平成11年度

建設機械と施工法シンポジウム

論　文　集

平成11年10月28日～29日

東京・機械振興会館

社団法人　日本建設機械化協会

平成11年度

建設機械と施工法シンポジウム

論　文　集

平成11年10月28日～29日

東京・機械振興会館

社団法人　日本建設機械化協会

平成11年度

「建設機械と施工法シンポジウム」論文集

目　　次

*印　口述発表者

【1】『基礎とその機械』

1．障害物対応型液状化対策工法（ネオドレーン工法）……東洋建設㈱：森田　研志… 2

2．地中連続壁鉄筋かご建込み機械の開発
……飛島建設㈱：三枝　俊治，籾山　正弘，*林　　栄司… 6

3．低空頭拡底リバース機投入台車の開発
……佐藤工業㈱：*小俣　文良，酒井　孝治，朝倉　　猛… 12

4．杭リバウンド計測システム　……清水建設㈱：西村　　淳… 16

【2】『その他の機械』

5．移動式クレーン衝突防止装置の開発 ……大成建設㈱：宮崎　裕道，*近藤　高弘… 22

6．根固めブロック投入装置の開発 ……建設省関東技術事務所：弓削　竹志，
*中村　保貴，建設機械化研究所：西ケ谷　忠明… 28

【3】『土工とその機械』

7．開削工事における換気計画と大型送風機の開発　……佐藤工業㈱：*朝倉　　猛，
小俣　文良，㈱流機エンジニアリング：西村　　章… 34

8．新しい厚層締固め機械の研究開発～鉛直加振型履帯式車両の性能比較～
……愛媛大学：*室　　達朗，河原　荘一郎，日立建機㈱：三林　貴宏… 38

9．軟弱地盤を走行する車輪式車両の研究　…国立呉工業高等専門学校：*重松　尚久，
愛媛大学：室　　達朗，河原　荘一郎… 44

10. センターホールジャッキを用いた杭芯材建込み装置の開発
……佐藤工業㈱：北原　益司，大野　　勉，*津島　　信… 50
11. 建設装輪両タイヤと地盤の接触問題解析 ……愛媛大学：室　　達朗，
明石工業高等専門学校：*江口　忠臣… 56
12. Influence of Track Length on Turning Characteristics of a Tracked Vehicle Running on Soft Terrain
……Ehime Univercity：T. Muro，S. Kawahara，*T. Q. Thai… 62
13. 災害復旧工事における遠隔操作型改造技術に関する考察
……建設省土木研究所：江原　正隆，新田　恭士，*朝倉　義博… 68

【4】『建築とその機械』

14. 構真柱ケレン機械 ……大成建設㈱：*白土　　篤，腰越　勝輝，駒野　敏郎… 72
15. 建築工事用 CAD/GPS 位置出しシステム ……三井建設㈱：*大津　慎一，
佐田　達典，高田　知典… 78
16. Ts-up 工法（高層鉄塔施工システム）……大成建設㈱：*吉川　明男，
西村　正宏，伊藤　幸次… 84
17. ドーム工事における膜屋根施工装置の開発 ……鹿島建設㈱：高橋　　敬，
*水谷　　亮，川音　一郎… 90
18. 大深度連続地下壁の掘削精度管理装置の開発
……㈱竹中工務店：*宮口　幹太，門中　章二… 94
19. デッキプレート自動敷き込みシステム「デッキマウス」の開発
……㈱熊谷組：*高田　秀行，江守　慎一… 98
20. 低騒音低振動化を図った居ながら免震改修施工法
……㈱竹中工務店：*宮崎　貴志，鈴木　賢礼…104

【5】『自動化・ロボット化・施工管理』

21. ダムコンクリート打設自動化システム ……㈱奥村組：*林　　正造，
栗本　雅裕，石井　敏之…108
22. マルチメディア情報化施工システム ……大成建設㈱：*松本　三千緒，堀田　明男…114
23. 転圧機械運行管理システム（道路土工バージョン）の開発
㈱熊谷組：*沼宮内　雅人，石口　真実，北原　成郎…118

24. シールド掘削工のポンプ圧送管理システム ……佐藤工業㈱：*黒崎　孝一，
和田　克己，倉田　　学…124
25. クラムシェル掘削揚土支援システム ……㈱鴻池組：吉岡　由郎，松原　和夫，
*松尾　多嘉久…130
26. コンクリート構造物の無人化施工技術～テレ・エレクションシステム～
……㈱フジタ：*間野　　実，須郷　茂夫…134
27. 情報化施工に関する要素技術の実証実験と適用性
……建設省関東技術事務所：星野　　剛，小櫃　基住，
建設機械化研究所：*藤島　　崇…140

【6】『トンネルとその機械』

28. 制動装置付セグメント台車システム ……㈱鴻池組：縁田　正美，日置　昌治，
*寺崎　修司…146
29. 安全性と省力化施工を可能にした導水管敷設装置の開発と実用化
……日本鉄道建設公団：高田　秀幸，
㈱熊谷組：安部　茂木，*杉山　裕一…150
30. 自動スランプ調整装置の紹介と適応事例 ……東亜建設工業㈱：*古堅　泰秀，
名岐機器㈱：落合　勝俊…156
31. 土圧式シールド用スクリューコンベヤの土圧保持性能……日立造船㈱：吉川　忠男…162
32. 大容量吹付機（スプレイメック9150WPC）による施工
……東亜建設工業㈱：*泉　　信也，
㈱ケー・エフ・シー：竹原　一弘…168
33. 同時掘進システム採用のシールド急速施工 ……大成建設㈱：大塚　寿次…174
34. DPLEX-TBM（偏心多軸岩盤掘削機の開発）
……大豊建設㈱：金井　和彦，*長谷川　春生，三菱重工業㈱：石瀬　文彦…178
35. トンネル発破掘削におけるずり出しシステム連続ベルトコンベヤ
……大成建設㈱：吉富　幸雄，*三浦　康文…184
36. 大容量タイヤ式搬送車を使用した無軌条工法の実施
……鹿島建設㈱：*柴田　　学，筒井　武志，神鋼電機㈱：杉田　陽一…190
37. 増径式シールド工法 ……西松建設㈱：*小寺　直人，川崎重工業㈱：真鍋　尚男…196
38. シールド機テール部の止水機構 ……鹿島建設㈱：永森　邦博，五十嵐　寛昌，
*猪又　勝美…202

39. 岩盤トレンチャによる溝掘削工法 ……㈱熊谷組：*北原　成郎，垣内　幸雄，
益田　光雄…208
40. 同時裏込め注入冷却システム ……佐藤工業㈱：芝草　正彦，*工　　義央，
㈱立花マテリアル：藤本　勇一…214
41. 支障物撤去シールド工法の開発 ……㈱熊谷組：*直塚　一博，木戸　義和…220

【7】『維持とその機械』

42. 道路補修技術の開発（中間報告） ……建設省東北技術事務所：*伊藤　　圭，
菊池　信一，岩渕　洋之…226
43. 新しい排水性舗装機能回復車と施工性の向上 ……酒井重工業㈱：*岸　　幸雄，
後藤　春樹，鈴木　信一郎…230
44. 高所点検車両……㈶首都高速道路技術センター：*田村　尚美，藤田　　健，
高田　恭一…234
45. 路面下空洞探査技術の開発 ……建設省関東技術事務所：*田中　義光，
㈶道路保全技術センター：山本　真一郎…238

【8】『コンクリートとその機械』

46. トンネル内連続鉄筋コンクリート舗装における材料供給装置
……日本舗道㈱：青山　俊行，樋口　文彦，*丑久保　吾郎…242
47. “リモコン・ハイパック”の現場への適用 ……㈱フジタ：森　　利夫，
*瀧谷　　誠…248

【9】『舗装とその機械』

48. ウォータージェットによるコンクリート目荒らしシステム
……日本道路㈱：*高木　幸雄，風林　克也…252
49. ロードスタビライザの高付加価値化～FA，AE 兼用型機の開発～
……日本舗道㈱：泉　　秀俊，*相田　　尚，コマツ：品川　春樹…258

【10】『環境・リサイクルとその機械』

50. 土質改良機 SP-P1200の開発 ……日立建機㈱：*中桐　史樹，
大有建設㈱：竹島　宏侑…262

51. 伐採樹木を利用したのり面緑化工法 ……㈱熊谷組：*小林　正宏，横塚　亨，
石口　真実…266

52. タンク＆プラグ混合処理工法（T＆P工法）の開発～浚渫土の早期リサイクル技術の開発～ ……三井不動産建設㈱：山田　尚史，*高羽　泰久，
三井造船㈱：高梨　清一…270

53. シールド掘削で発生する汚泥の再生設備 ……鹿島建設㈱：*柴田　学，
渡辺　聡…276

54. 道路植樹剪定枝葉の集枝粉砕機の開発
……建設省四国技術事務所：村上　正典，*元木　真二，山本　久…282

1．障害物対応型液状化対策工法（ネオドレーン工法）

東洋建設㈱：森田　研志

1. はじめに

我が国の大都市の多くは、港湾の埋立地や河川の河口部に堆積した軟弱な沖積低地に立地している。このような場所は、通常地下水位が高く緩い密度の砂地盤であるため、巨大地震が発生すると地盤が液状化するといわれている。地盤の液状化現象は新潟地震（1964）以降各地で発生し、種々の構造物に被害をもたらしてきた。阪神・淡路大震災以降、構造物の耐震基準が見直され、既設構造物の液状化対策の必要性が益々高まっている。

既に、数多くの液状化対策工法が開発されているが、地中に埋設障害物が存在する場合や地上に配管などの障害物があり接近できない場合は、ほとんどの工法は計画通りに施工することが困難であった。

当社は、これらの問題を解決するために障害物対応型液状化対策工法（ネオドレーン工法）を開発したのでここに紹介する。

2. 工法概要

ネオドレーン工法は、過剰間隙水圧の消散を目的とする柱状ドレーン工法に位置づけされるドレーンパイプ工法の一種で、液状化の可能性の高い地盤にポリエチレン製耐圧有孔パイプ（ドレーンパイプ）を軽量・小型の削孔型ドレーン打設機を用いて設置する工法である。

打設機には、小型のクローラタイプと0.7m³のバックホウをベースマシンにしたタイプの2種類がある。通常は軽量で小型のクローラータイプを使用して施工を行うが、地上部に障害物がありクローラータイプでは施工が困難な場合は、アウトリーチのあるバックホウタイプを採用する。

打設機はロータリーパーカッションドリル方式を採用しているため、硬質な地盤に対しても十分な削孔能力を持ち、地中のコンクリートガラや巨礫などの障害物に対しても問題なく削孔し、ドレーンパイプを設置することができる。さらに、ドレーン材の打設角度は鉛直方向に限らず、斜めに打設することも可能であるため、既設構造物の横からドレーンパイプを設置することができる。

本工法のバックホウタイプ打設機を図－1に、施工サイクルを図－2に示す。

3. 工法の特長

本工法の特長を以下に述べる。

①低振動・低騒音工法であるため、既設構造部に影響を与えることなく近接施工が可能である。

②施工機械が小型であるため、狭隘な場所でも施工が可能である。

③改良対象地盤内の旧構造物（杭、擁壁など）、コンクリートガラ、巨礫などの障害物に関係なく計画位置・計画深度へドレーン材の打設が可能である。

④ドレーン材をあらゆる角度に打設できるため、供用中の地下埋設物を避けて施工することができる。
また、鉛直ドレーンではカバーできない隅部への施工も可能である。

図－ 1　打設機

図－ 2　施工サイクル

4. ドレーン材の特性

本工法のドレーン材はドレーンパイプ協会のドレーン材（ドレーンパイプ）を使用する。

（1） ドレーン材の構造

ドレーンパイプは、パイプ本体、ジョイント、フィルター、ヘッドキャップ、エンドキャップ（先端アンカー付）から構成される。図－ 3にドレーンパイプ組立図を示す。

（2） ドレーン材の物性

ドレーンパイプの各材料はポリエチレン製で腐食に強い材料をからできている。ドレーン材の物性を表－ 1に示す。

図－ 3　ドレーンパイプ組立図

表－ 1　ドレーン材物性表

パイプ本体	
材　　質	ポリエチレン 100%
形　　状	外径 100mm±3%、t≒5mm
耐圧強度	35kgf／20cm 以上 （20cm 全圧法による 10%扁平強度）
重　　量	850g／m 以上
開 孔 率	20%以上
フィルター材	
材　　質	ポリエチレン製網袋
形　　状	長尺の筒状
密　　度	縦方向：2.5cm 幅当り 44 本±2 本 横方向：2.5cm 幅当り 36 本±2 本
引張り強度	縦方向：120kgf 以上／5cm 幅（2 重） 横方向：100kgf 以上／5cm 幅（2 重）
ﾍｯﾄﾞｷｬｯﾌﾟ・ｴﾝﾄﾞｷｬｯﾌﾟ・ｼﾞｮｲﾝﾄ	
材　　質	ポリエチレン 100%

5. 施工実績

（1）　桟橋基部護岸補強工事（地下埋設物の近接施工例）

工事概要

この工事は桟橋基部の液状化対策として、グラベルドレーンを打設する工事の一部に雨水管やマンホールなどの既設構造物が埋設されており、大型の打設機では構造物に影響を及ぼす恐れがあった為その周辺部を本工法で施工した。雨水管部の施工断面を図－ 4に示す。また、施工状況を写真－ 1、～写真－ 3に示す。

写真－ 1　打設状況（雨水管部）

図－ 4　施工断面（雨水管部）

写真－ 2　打設完了（マンホール部）

写真－ 3　ドレーン材

（2）浄水場法面補強工事（法面部の施工例）

この工事は浄水場の法面部の液状化対策として行ったもので、改良地盤周辺には地下埋設管があり、法面部にもドレーンパイプを打設した。施工断面を図－ 5に、施工状況を写真－ 4に示す。

図－ 5　施工断面

写真－ 4　法面部の打設状況

6. おわりに

本工法は、既設の地下埋設管やマンホール周辺部および法面部での施工など、既存の液状化対策工法では施工が不可能もしくは困難とされる場所でも、近接する構造物に影響を与えることなく無事故無災害で施工を行ってきた。今後も液状化対策工事の実績を重ね、社会に貢献して行きたいと考える。

2．地中連続壁鉄筋かご建込み機械の開発

飛島建設㈱：三枝　俊治，籾山　正弘
*林　　栄司

1．はじめに

東京都下水道局では、新河岸処理場の能力不足解消のため、当該流域の雨水及び汚水を新河岸東処理場に切り替えるための合流幹線として新浮間幹線を建設中である。本工事は、新浮間幹線の一部である新河岸東処理場の主ポンプ室への流水渠工事において、山留め工事として地中連続壁を施工するものである。

地中連続壁の鉄筋かごの建込み作業は、大型クレーンを使用して鉛直方向に数ピースに分割した鉄筋かごを吊り上げ、ガイドウォールに仮受けした下かごに接合した後、建込む作業を順次繰り返すことが一般的である。ここで紹介する工法は、各ピースの鉄筋かごを吊り上げる小型クレーンと、新たに開発した「鉄筋かご建込み機械」で鉄筋かごの建込みを行うことで、作業機械の小型化、効率化、省力化を図ったものである。建込み機械の外観を写真－１に示す。

本稿では、試験施工例を中心に、開発した鉄筋かご建込み機械の概要を報告する。

写真－１　鉄筋かご建込み機械

2．工事概要

地中連続壁の構造図を図－1に示す。地中連続壁は、延長112m、深度57.5m、壁厚1.0mであり、平面的に27エレメントに分割されている。このうち、先行エレメントが12箇所、後行エレメントが15箇所であり、各エレメントの長さは、2.00～6.80mである。

地層構成は、N値10前後の上部有楽町層、下部有楽町層および7号地層（砂質土、シルト）が25m程度堆積しており、その下部には、N値50以上の江戸川層が現れる。地下水位は、GL－2.7mであり、地下水は非常に豊富である。また、工事区域の周辺には、地中連続壁の東側に6.0m幅の幹線道路が走り、その脇に閑静な住宅地が密集している。このため、工事は、振動・騒音に充分配慮して実施する必要があった。

図－1　地中連続壁全体構造図

3．鉄筋かご建込み機械の開発

3.1 開発の目的

連壁工事では、鉄筋かごを建込むために、大型クレーンを使用するのが一般的である。しかしながら、鉄筋かごの建込み期間は、全体工期の２割にも満たなく、大型クレーンの稼働率が低いことに加え、広大な作業スペースが必要となる。また、本工事は周辺に閑静な住宅地があり、大型重機の移動に伴う振動・騒音に留意した施工が要求された。そこで、鉄筋かご建込み作業の効率化、および振動・騒音の低減を目的として、小型軽量で大型クレーンと同等の能力を有する建込み機械を開発した。

3.2 開発機械の概要および特徴

開発した機械による鉄筋かごの建込み要領を、在来工法と比較して図－２に示す。ここで紹介する機械は、従来、大型クレーンで上方から補強枠を数カ所支持して建込んでいた機構を、エレメント長手方向の両端部で支持する方式として開発したものである。機械は、エレメント長手方向の両端部に１基づつ据え付け、建込み作業は、エレメント端部に溶接した吊下げ治具にチェーンを固定して、油圧モーターにより行う。このように本工法では、エレメント両端部に吊下げ治具が必要となるため、後行エレメントは２分割せずに一体として施工する。また、支持機構の違い、および建込み間隔の長スパン化に伴い、補強枠に在来工法より大きな応力が発生するため、補強枠は剛性を高め、建込み時の安全性を確保した。

図－２　建込み要領対比図

今回開発した機械の特徴をまとめると次のようになる。

① 施工面

・狭隘な施工ヤードや高さ制限がある路下工事等、特殊条件下での施工が可能となる。

・作業時にガイドウォールおよび作業床の損傷が軽減され、安全性に優れる。

② 環境面

・クレーンが小型になるため、移動による振動・騒音が低減される。

③ 品質面

・鉄筋かご建込み時のレベル調整が容易なため、建込み精度の管理がしやすい。

④ 行程面

・後行エレメントを一体施工すると同時に、鉄筋かご建込み時にクレーンは次のピースの吊下げ工程に入れるため、工期が短縮できる。

⑤ 経済面

・開発機械と大型クレーンのリース料の差額、および工期短縮に伴う経費減を換案すると経済的に有利となる。

3.3 建込み機械の設計

建込み機械の構造を図－3に示す。建込み機械は、油圧駆動のチェーンウインチユニットで、長さ2.25m×幅1.70m×高さ2.50m、重量は2基当たりで約20tfである。また、機械は、下記の設計条件に基づいて製作した。

① チェーンは1基当たりに2本設置し、最大吊下げ荷重はエレメント最大荷重を考慮して80tfとする。

② チェーンの支点となる持出しアームは、連壁厚さの変化に対応できるように、エレメント短手方向に可動式とする。

③ 本体は、チェーン取外し後の巻上げスペースを確保するため、エレメント長手方向に可動式とする。

図－3　建込み機械据付要領図

4．試験施工

開発した建込み機械の実用性を確認するために、図－1に示す20、24、27エレメントを対象として試験施工を実施した。

4.1　施工順序

施工フローを図－4に示す同フローのなかで、①鉄筋かご運搬・荷下ろし、②鉄筋かご溶接（場外鉄筋組立の場合）・建起こし、③鉄筋かご吊下げ、④鉄筋かご仮受け、までの工程は通常施工と同様である。本工法においても、各ピースの鉄筋かごを吊上げるためにクレーンが必要となるため、建込む鉄筋かごの総重量がクレーンの最大吊下げ荷重に達するまでは、通常施工とする。鉄筋かごの総重量がクレーンの最大吊下げ荷重を越える時点から、次の手順で建込み作業を行う。⑤建込み機械をエレメントの両端部に据え付け（写真－2）、⑥下部ピースの吊下げ治具にチェーンを固定し、上部ピースをクレーンで吊上げる。⑦下部ピースと上部ピースの鉄筋および補強枠を溶接して（写真－3）、⑧エレメント両端を支持して鉄筋かごを建込む（写真－4）。建込み完了後、⑨カンザシ材で仮受けし、⑩チェーンを弛めて取付け治具から取り外して巻き上げる（写真－5）。この⑥～⑩の作業を、建込み完了まで順次繰り返す。

図－4　施工フロー

写真－２　建込み機械据付け

写真－３　鉄筋かご溶接完了

写真－４　建込み

写真－５　チェーン巻上げ

4.2　試験施工の結果

試験施工の結果、エレメントの建込み作業は、通常工程の２日を 1.5 日に短縮することができた。建込み作業は、全体工期の２割程度を占めるため、本工法を全エレメントに適用した場合、全体工期を１割弱短縮できることが期待される。また、環境面においては、振動騒音が、通常施工時に施工位置から 10m の地点で 75dB あったものを 50dB 以下に低減でき、本工法の実用性と効果を確認することができた。

5．おわりに

本稿で紹介した建込み機械は、建込み時の支持方式に特徴があり、建込み作業は、分割された鉄筋かご１ピースを吊上げることの出来るクレーンと本機械により施工可能となる。試験施工の結果、本工法は、工期短縮、周辺環境への騒音低減、空頭制限を含めた作業スペースの縮小に有効であることが確認できた。今後、都市部の地中連続壁工時においては、様々な制約条件下での施工が増加すると想定されるが、今回開発した建込み機械が、従来では難易とされていた条件下での施工、および建込み機械の省力化に対する一助となれば幸いである。

3．低空頭拡底リバース機投入台車の開発

佐藤工業㈱：*小俣　文良，酒井　孝治
朝倉　　猛

1．はじめに

路下でのリバース杭施工の際の工期短縮、コストダウンを図る目的で開発した低空頭拡底リバース機を用いての施工において、空頭の少ない場所で拡底機の移動及び投入が安全で行える方法の検討が必要となった。

本事例では、空頭 4.5mの路下で高さ約 4mの拡底機を立てた状態で移動することのできる門形クレーン形式の拡底機投入台車を開発し、これを用いることで作業の効率化や安全性の向上を図ることができた。

今回開発した拡底機投入台車の特徴としては以下のことがあげられる。

①吊り金具の改善により低空頭での必要な吊り代が確保できた

②クレーン認定の必要がない手動方式の採用によりコストダウンが図れた

（揚重方法を手動とすることで、落成検査費用が不要、揚重装置の使用料の低減が図られた）

③走行装置の小型化により既設杭間 5mの場所での移動が容易に行えた

本報告では、今回開発した拡底機投入台車の詳細および使用しての効果について述べる。

2．工事概要

「臨海、第１広町Ｔ他１」工事は、シールドに支障するＪＲ広町社宅６号棟、３号棟および品川区防災センターの既設杭の受替工事である。本工事の内容は、建物の下 1.5mの位置に厚さ 3mの鉄筋コンクリートの受替版を構築し、拡底リバース杭で支持させたあと、シールドの路線に位置する既設杭を撤去する工事である。工事の概要を下記に示す。

図－１　路線平面図

図－２　ＪＲ社宅６号棟受替概要図

表－１　工事概要

工事名称	臨海、第１広町Ｔ他１
発注者	日本鉄道建設公団　東京支社
請負業者	佐藤・鴻池・大豊特定建設工事共同企業体
工事場所	東京都品川区広町２丁目
受替工事概要	耐圧版方式、拡底リバース杭

３．背景

これまで現有している拡底機を用いる施工では最低 6mの空頭が必要になる。本工事では、工程短縮とコストダウンを図る目的で、建物から受替版下端までの 4.5mの空頭制限で施工できるリバース機を開発した。この開発では、空頭を 4.5mとすることで、受替杭の施工では、受替版底面直下から打設が行え、現有機を用いての空頭 6mの施工と比べ、掘削量の低減および埋め戻し作業(1.5m間）が不要となることで、工期短縮や施工コストの低減が図れる。

今回開発した低空頭拡底リバース機を用いての施工において、空頭 4.5mの制限下で高さ約 4m×径φ2mの拡底機を容易に移動させ、且つ安全に投入することのできる装置が必要となった。

図－３　低空頭拡底機との比較

写真－１　低空頭拡底リバース機

4．設計条件

拡底機の移動・投入装置として，門形クレーン方式の台車を考案した。この台車の開発、設計において以下の項目に留意した。

(1)4.5mの空頭制限および幅員 5mで、径φ2m×高さ 4mの拡底機（重量：約 10ｔ）の移動が可能となる。

(2)掘削部付近での作業を減少させて、安全性を向上させるため、拡底機は縦にしたまま移動するものとし、そのままリバース杭掘削部に投入する。

(3)施工手順を単純化させ、工程を短縮させる。

(4)台車自体の移動・盛替を容易にする。

5．拡底機投入台車

写真－２に拡底機投入台車の外形を示す。投入台車の特徴については以下の通りである。

(1)吊りしろの確保

4.5mの空頭において、台車の中心に揚重機を設置し、約 4m高さの拡底機を吊上げる計画では、吊りしろが確保できなくなる。この対策として、拡底機の拡翼に吊りピースを取付け、サイドから二点吊りを行うことで、必要な吊りしろを確保した。

(2)揚重設備の選定

今回、揚重設備として手動チェンブロックを用いた。その理由としては、施工上，投入台車の走行レールを複数の箇所に移設する必要がある。その際、電動式のクレーンでは設置の都度クレーン落成検査を受けなくてはならず、そのための諸手続が必要となる。吊り下ろしを手動チェンブロックで行えば、電動に比べ多少の作業時間はかかるものの、これらの諸手続が不要となる。費用の面では、落成検査費用が不要となり、また手動チェンブロックを用いることで装置の使用料が安価で済んだ。

(3)走行装置の選定

施工条件で、高さだけでなく、幅についても余裕が少なかった。また、拡底機降下後、投入台車を移動させる必要がある。そのため、走行装置はできるだけ幅の取らないものにする必要があった。約 10ｔの拡底機を吊り移動させるには、タイヤ方式を用いる場合、装置が大きくなると予想され、今回はレール方式を採用した。走行装置として、モーター部が飛び出ていないクレーンサドル（ホイールユニット）を使用した。なお、走行レールは 22ｋｇレールである。

6．拡底機投入台車の使用効果

拡底機投入台車の使用効果としては、路下リバース拡底杭の施工手順の簡略化、補助機械の減少、設置機具の削減などがあげられる。さらに、工程の短縮、安全性の向上、コストの低減などの効果があげられる。

今回の施工において、投入台車を約３ヶ月間使用し、無事故・無災害にて作業を終了させることができた。

7．おわりに

アンダーピニングのように、低空頭下で大型機械を使用して作業を行う場合、さまざまな問題点が発生してくる。とくに今回の投入台車のように、重量物の運搬・移動の機械は、現場特有のものを開発する必要がある。本事例の様に、現場に対応した設備を製作して、使用にすることにより、作業が簡略化し安全性が向上した。また、設備の簡略化・工程の短縮はそのままコストダウンにつながるものである。

今後とも、今回の拡底機投入台車を応用するなど、現場の施工条件に適応した機械の開発を考えていきたい。

写真－2 投入台車稼動状況

定格荷重(t)	10
揚程(m)	8
走行速度(m/min,50Hz/60Hz)	25/30
モートル出力(kW,50Hz/60Hz)	1.2/1.5
電源(V)	200
走行レール(kg)	22
重量(t)	3

図－4 拡底機投入台

4．杭リバウンド計測システム

清水建設㈱：西村　　淳

1．はじめに

既製杭の打ち止め管理は、杭の根入れ長さ、リバウンド量（動的支持力）、貫入量、支持層の状態等により総合的に判断しなけれならない。通常は支持層における打撃１回当たりのリバウンド量、貫入量等から動的支持力算定式を用いて支持力を推定している。現在、最も多く採用されているリバウンド量、貫入量の計測は、作業員によって記録用紙へ杭打ち時の杭の動きの軌跡を記入する方法であるが、この計測は、作業員が打撃稼働中にハンマー直下で行うため、落下物の危険や、振動、騒音等により作業環境は極めて悪い。また、計測結果からの支持力算出も係員の手作業によって行われており、データ処理にも時間を費やしている。

写真－１　従来の計測方法

こうした背景から開発した「杭リバウンド計測システム」について報告する。

2．システム概要

本システムは、コンピュータ、リアルタイム位置計測装置、ＣＣＤカメラ、ライト、プリンター、計測用ターゲット、基準用ターゲットで構成されている。（図－１参照）

本装置で使用するリアルタイム位置計測装置は、計測対象に取付けた反射ターゲットをＣＣＤカメラによって認識し、その反射ターゲットの移動量を360[Hz]（約3msec/回）で計測することができる。精度は、ＣＣＤカメラの解像度から算出すると、ＣＣＤカメラに映し出される視野の長さの約1/1000程度になっている。計測対象に取り付ける反射ターゲットは、反射テープを直径約20[mm]程度に丸く切り取ったものを使用し、それぞれの計測ターゲットに貼ることにより、計測用ターゲット、基準用ターゲットとして使用する。

リアルタイム位置計測装置は、画像処理を用いた計測方法で、計測する杭に取付けた計測用ターゲットと、その近傍の地面に設けた基準用ターゲットの２点をＣＣＤカメラで撮影して計測する。計測された２点のデータから、杭の移動のデータ（計測用ターゲットのデータ）を、地面の揺れのデータ（基準用ターゲットのデータ）を基準にして換算することにより、杭打撃時に発生する振動による地面の揺れやカメラの揺れを差し引いた杭の移動を計測するしくみとなっている。

計測前にコンピュータへ計測する杭の杭番号、杭長、測定深度、ハンマー落下高、計測位置、総打撃回数、計測時間等を入力する。計測は事前に設定された計測時間行う。計測を終了した時点で、計測し

たりバウンド量と、事前に設定した数値より算出した支持力を『杭貫入量測定記録』として表示する。それぞれの計測データは杭番号、測定深度をファイル名として保存される。保存されたファイルは事務所で再表示でき、それを印刷することができる。

図－１　システム概要図

３．画像処理による計測方法

リアルタイム位置計測装置は、丸く切り取った反射マークに、ＣＣＤカメラ側からライトアップして反射させ、その映像をＣＣＤカメラによって360[Hz]（１秒間に360枚）で撮影することにより計測を行う。撮影された映像はライトアップによって光る部分、つまり反射マークの部分が白く、反射マーク以外の部分は黒く映し出される。各々の反射マークの位置は映し出された円の重心座標の位置を自動的に算出する。

キャリブレーションは、上記方法で反射テープ間を任意長さ L（通常300[mm]程度）で貼ったものを撮影し、カメラで撮影した画面の１ドット当たりの長さを算出し画面内での距離を認識させる。1ドット当たりの長さは以下の式より算出できる。（図―２参照）

$$1\text{ドット当たりの長さ} = \frac{L[mm](\text{任意長さ})}{\sqrt{(Xa-Xb)^2+(Ya-Yb)^2}}$$

計測精度は、カメラの分解能が固定であるので、撮影する視野の範囲によって１ドット当たりの長さが異なり、撮影視野を広くすれば精度は悪くなり、撮影視野を狭くすれば精度は良くなる。計測精度の目安としては、撮影視野の実際の長さの1/1000程度の精度である。キャリブレーション後、基準用、計測用ターゲットとして反射マークを設置し、それぞれを撮影することにより杭の動きを計測する。

図－２　ターゲット認識方法

４．計測波形

計測波形をグラフ－１に示す。波形１は計測用ターゲット、波形２は基準用ターゲットの計測波形である。波形１は、杭の動きと計測時の振動によるカメラの揺れを含んでいる。同様に波形２は、地盤の動きと計測時の振動によるカメラの揺れを含んでいる。この２つの結果を差し引いた波形３は、計測時のカメラの揺れを打ち消し、現状のリバウンド測定と同じ計測状態での計測波形となる。

グラフ－２　打撃１回あたりの波形

グラフ－１　計測波形

5．杭の動的支持力(*Ra*)の算出方法

グラフ－２にグラフ－１の波形３の打撃１回分の波形を示す。リバウンド量、貫入量は下記の式から算出できる。

リバウンド量　＝　打設時のMax値　－　打設後の平均値

貫入量　＝　打設後の平均値　－　打設前の平均値

杭の動的支持力算出式は数多く発表されているが、本システムは

①道路橋示方書式

②建設省告示の式

③吉成の式

④Ｈｉｌｅｙの式

に対応できるシステムになっており、コンピュータの事前設定の『計算式の選択』により使用する計算式を選択する。以下に、本システムで対応できる動的支持力の算出式について説明する。

画面－１　計算式の選択

画面－２　プロジェクト詳細編集（道路橋示方書式）

①　道路橋示方書式

$$Ra = \frac{1}{3}\left(\alpha\frac{AEK}{e_0\ell_1} + \beta\frac{\overline{N}U\ell_2}{e_f}\right)$$

A　：杭の純断面積［m^2］

E　：杭のヤング係数［tf/m^2］

ℓ_1　：杭長補正値

ℓ_2　：地中に打込まれた杭長［m］

U　：杭の周長［m］

$\overline{N}$　：杭周面の平均Ｎ値

K　：リバウンド量［m］

e_0, e_f　：補正係数

α　：先端項補正係数

β　：周面摩擦力項補正係数

画面－３　杭種登録・編集

画面－４　ボーリングNo.登録・編集

画面－５　杭No.登録・編集

動的支持力を算出する計算式で使用する変数のうち事前に設定できる変数は、『プロジェクト詳細編集』、『ボーリングNo. 登録・編集』、『杭種登録・編集』、『杭No.登録・編集』で設定する。

②建設省告示の式

$$Ra = \frac{\alpha \cdot F}{5S + 0.1}$$

F ：ハンマーの打撃エネルギー[tf･m]

ドロップハンマーのとき　$F = W \cdot H$

ディーゼルハンマーのとき $F = 2W \cdot H$

S ：基礎杭の最終貫入量[m]

α ：補正係数

画面－６　プロジェクト詳細編集
（建設省告示の式）

③吉成の式

$$Ra = \frac{\alpha \cdot W_H \cdot H}{4(S + K)}$$

W_H ：ラム重量[tf]

H ：ラム落下高[m]

S ：杭の貫入量[m]

K ：リバウンド量[m]

α ：補正係数

画面－７　プロジェクト詳細編集
（吉成の式）

画面－８　プロジェクト詳細編集
（Ｈｉｌｅｙの式）

④ Ｈｉｌｅｙの式

$$Ru = \alpha \cdot \frac{e_f \cdot W_H \cdot H}{S + \frac{1}{2}K}$$

Ru ：杭の極限支持力[tf]

e_f ：ハンマ効率、機械効率に相当 *(=0.5)*

W_H ：ラム重量[tf]

H ：ハンマの落下高[m]

ディーゼルハンマの場合は *2H*

S ：杭の貫入量[cm]

K ：リバウンド量[cm]

α ：補正係数

画面－９　計測設定

事前に設定できる変数は『プロジェクト詳細設定』で設定し、計測前に『計測設定』を設定する。これらの変数と、計測波形から前記方法により算出されたリバウンド量、貫入量の値より杭の動的支持力を算出する。

6．計測結果

計測結果は、杭打ち時の波形、リバウンド量、貫入量、算出した支持力等を記載した『杭貫入量測定記録』として出力する。（画面－１０参照）

画面に表示された『杭貫入量測定記録』はプリンターによって印刷することができ、また、記載する波形は、原寸で出力される。

画面－１０　計測結果

7．効果

・打設する杭とその手前にターゲットを設置すれば、あとは打設個所から離れたところで打設時の杭の動きをＣＣＤカメラを使って撮影するだけでよいので、計測時の安全性を向上できる。

・杭のリバウンド量の計測・計算から地盤支持力の計算や図表化までの各種データ処理がすべて自動化されているため、地盤支持力をリアルタイムで確認できるので、杭の打設をより一層速やかに進められる。さらに、発注者への報告書作成も、本システムではパソコンから即座に出力できるので、従来方法よりも大幅に短縮できる。

写真－２　計測状況

写真－３　カメラ撮影状況

8．おわりに

作業員よって記録用紙へ杭打ち時の杭の動きの軌跡を記入するリバウンド量の計測方法は、ハンマーによる杭打ちが行われはじめたころから実施されている計測である。今回開発した「杭リバウンド計測システム」により、長年問題であった落下物の危険や、振動、騒音による作業環境は改善されたと考える。現在までに３現場での使用を完了し、使用中が１現場、計画中が１現場となっている。

今回採用したリアルタイム位置計測装置は、計測対象とは非接触で計測可能となっており、かつ高速計測できるメリットがあるので、今後、安全管理、施工品質管理等で展開して行きたいと考えている。

5．移動式クレーン衝突防止装置の開発

大成建設㈱：宮崎　裕道，*近藤　高弘

1．はじめに

建設現場で最も多く使われている機械は荷役機械であり、その代表にクレーンがある。クレーン作業では機械自身の転倒防止や近隣建物への接触防止、吊り荷の落下防止、旋回時の巻き込まれ防止、複数台のクレーン作業での衝突防止など作業所では多くの安全対策を考慮して実際の作業に従事している。

代表的な荷役機械のクレーンには定置式のものと移動式のものがあり、すでに定置式のクレーン（タワークレーン）では衝突防止装置が一般的に普及しているのが現状である。それに対して移動式クレーンでは移動に伴う諸条件の変化の対応の難しさから、今だに理想とするような衝突防止装置が無いのが現状である。

今回開発した移動式クレーン衝突防止装置は、レーザバリアを形成してバリア内に何かが侵入すればそれを検知する方法で衝突防止を実現した。

2．概要

図－1　ＢＢ概念図

本装置は、クレーンブームの左右面にレーザ距離スキャニングセンサーが設置され、レーザ光を発射して面状にスキャニングすることで、クレーンブームに接近する物体を検知して警報を出す装置である。以降この装置をＢＢ（ブームバリア）装置と呼ぶ事とする。

ＢＢ装置では検知範囲を自由に設定できる機能や、ブーム長が変化する場合や補助ジブの有無などにも対応ができる。

レーザバリアは１秒間に１２．５回の速度で検出処理されている。即ち侵入物が検知されると８０ msec 以内に警報が発せられる。

レーザ距離スキャニングセンサーはクレーンブーム背面に取付架台を固定して左右に張り出した格好で取り付けられる。またレーザ距離スキャニングセンサーを架台に固定する際に取付角を調整する機構がある。

１００ tonクレーンのブームに取り付けられた、レーザ距離スキャニングセンサーと取り付け架台を写真－１に示す。クレーンブーム根本から約１０mのところにレーザスキャニング装置を取り付けた状態を写真－２に示す。

写真－１　レーザ距離スキャニングセンサーと取付架台

写真－２　ＢＢ装置を取り付けたクレーン

ＢＢ装置の仕様

・レーザ距離スキャニングセンサー　2台
・レーザ距離スキャニングセンサー取付架台（上下左右微調整機能）　1組
・ＢＢコントローラ（動作電圧直流２４Ｖ電源）　1台
・測定範囲　測定角０～１００°、測定距離５０m以内
・使用環境　屋外仕様、－３０～５０℃

３．ＢＢ装置の機能と内容

ＢＢ装置は基本的に現在使われているほぼ全機種の全タイプのクレーンに対応できる。ＢＢ装置起動時には自己診断を行う機能があり、各装置の故障状態の診断を行う。また、オペレータが侵入警報解除スイッチを押しても状態の変化を捕らえ自動復帰する機能がある。

３－１．ＢＢ装置の警報動作内容

①. 左側のレーザバリア設定エリアに進入時、警報ブザーおよび左側侵入表示ランプが点灯。
②. 右側のレーザバリア設定エリアに進入時、警報ブザーおよび右側侵入表示ランプが点灯。
③. 左側侵入時、警報ブザーの警報解除スイッチが押され、かつその時右側からの侵入が有った場合は再度警報ブザーを鳴らす。
④. 右側侵入時、警報ブザーの警報解除スイッチが押され、かつその時左側からの侵入が有った場合

は再度警報ブザーを鳴らす。

⑤. 警報ブザーの警報解除が押されてた状態で、侵入物が設定エリア外に出た場合、自動的に初期状態にリセットされる。

3－2．ＢＢコントローラの仕様

ＢＢコントローラの要求仕様として２台のレーザ距離スキャニングセンサーを８０ msec 以下で処理する能力が必要となる。通信速度および処理するデータ量から一般の市販品のＣＰＵボードでは対応ができないので新たに専用のＣＰＵボードを製作して対応した。

図－２　ＢＢコントローラブロック図

ＢＢコントローラの仕様

CPU 日立 SH7032(SH-1)　20MHz

アナログ入力数	１６チャネル （差動８チャネル）
接点入力	１６点
接点出力	１６点
シリアル I/O 数	６チャネル

写真－３　ＢＢコントローラＣＰＵボード

3－3．ＢＢ装置の使用形態

使用形態１：ブーム長が固定で補助ジブなしで使用する場合。

使用形態２：ブーム長が変化する場合。

使用形態３：ブーム長が固定で補助ジブの起伏角の変化がある場合。

基本的に以上の３形態での使用が可能である。

ＢＢ装置は一度使用形態のセットアップデータを書き込むだけで、電源ＯＮ時にデータを読み取り自動的に設定された状態で起動する構造となっている。

また２台のレーザ距離スキャニングセンサーの１つが故障しても，左右どちらかの１台のみでの使用も可能なようになっている。

図－３　使用形態１の設定条件

使用形態１

ブーム長が固定で補助ジブなしで使用する場合。

まずはじめに、レーザ中心線を求める。これはレーザ距離スキャニングセンサーのレーザ光とクレーンブームの中心をおおよそ求める。この作業は以降全ての使用形態でも同様に行われる。以降レーザ中心線と呼ぶ。

設定条件はレーザ中心線を基準に上下幅の長さＬＵ、ＬＤを任意に設定し、有効長Ｌ（５０ｍ以内）を設定する。

図－４　使用形態２の設定条件

使用形態２

ブーム長が変化する場合。

ブームの伸縮長に応じたアナログ量の信号をＢＢコントローラに入力する。

左図より、伸縮するブームを最も短くした時の有効長Ｌとその時のアナログ信号値、最大に伸びた状態の伸び分の長さＬ max とその時のアナログ信号値を入力する。

レーザ中心線からの上下幅の距離ＬＵ、ＬＤを任意に設定する。

この設定によりＢＢ装置はクレーンのブーム長の変化を検出し、設定エリアを自動的に変化させながら侵入検出を行う。

図－5　使用形態3の設定条件

使用形態3

ブーム長が固定で補助ジブの起伏角の変化がある場合。

補助ジブの起伏角に応じたアナログ量の信号をＢＢコントローラに入力する。

左図より起伏する補助ジブ長Ｌｊと、最大起伏時のジブ角とその時のアナログ信号値、最小起伏時のジブ角とその時のアナログ信号値の入力を行う。

レーザ中心線からの上下幅の距離ＬＵ、ＬＤを任意に設定する。

設定エリアは設定エリア範囲１と範囲２の２ヶ所の範囲が設定される。

この設定によりＢＢ装置はクレーンの補助ジブ起伏角の変化を計測しながら設定エリアを自動的に変化しながら侵入検出を行う。

図－6　使用形態1で1台使用の設定条件

使用形態4

２台あるレーザ距離スキャニングセンサーを１台のみ使用した変則的な使用形態として、ブーム下端面に１台設置した場合が考えられる。

左図のようにクレーンブーム下面に設置して１面情報のみで設定エリア範囲を決定する。

３－４．ＢＢ装置の特徴

・多様なエリア設定が可能である。
・レーザ距離スキャニングセンサーが１台のみの一面設定方式でも使用可能である。
・警報解除スイッチを押しても、状態が変化すれば自動的に初期状態にリセットされる。
・鉄骨・鉄筋やコンクリートなどの構造物も障害物として検知する。
・使用する移動式クレーンの台数には制限がない。
・無線警報ブザーのみを隣接のクレーンに取り付けることにより、ＢＢ装置を取り付けていないクレーンにも注意をうながすことができる。
・自己診断機能があり異常箇所を表示する。
・車載電源（直流２４Ｖ）で動作する。
・構造がシンプルなので故障が少なく、取り付け取り外しが容易である。

４．おわりに

従来よりクレーンの衝突防止装置として、タワークレーンでのシステムが一般的に知られていた。

このシステムはクレーンの位置およびブーム旋回角などの情報をネットワークで通信することで実現していた。この通信ネットワークのメリットとして架空の障害物の設定（マイクロ波の通路）が可能であり、全体の動きを一元的に管理モニターできるという特徴があった。

今回開発したレーザスキャニング方式のクレーン衝突防止装置は、一台一台のクレーン内部で完結し、各クレーン間での情報通信の必要がないシステムである。そのためクレーンの台数が何台になっても対応が可能である。

また設定エリアをｃｍ単位できめこまかく設定でき、実際にレーザバリアに侵入する可能性のある全ての障害物が対象となる。クレーンのブーム同士はもとより、構築物、運搬中の資材なども検知対象となる。

ＢＢ装置のセッティング作業に関しては、クレーンの大小に関係なくどの様なブームにもレーザ距離スキャニングセンサー取付架台は取り付け可能となっている。架台およびレーザ距離スキャニングセンサーの重量はそれぞれ約１０ｋｇで、取り付け作業は人力のみで可能であり、１台のクレーンへのセッティング時間は調整込みで約３～４時間である。

このＢＢ装置の原理は、レーザ光をスキャニングして対象物からの反射光をとらえ処理している。そのため基礎実験では実用的に充分な光量は確保してあるが、反射光量が少ないと侵入物を検知することができない場合があり、特に黒色の対象物に対しては反射光量が少なくなる。この様な場合の対応として対象物に何か明るい色で塗る、または一般的売られている反射シールを要所要所に貼り付ける等の措置で現場での対応が可能である。

固定式クレーンの衝突防止同様に移動式レーンの衝突防止装置への関心や安全意識の高揚などから建設荷役作業機械への安全装置として普及することを願い、１９９９年７月現在、現場実証実験を行っている。

6．根固めブロック投入装置の開発

建設省関東技術事務所：弓削　竹志，*中村　保貴
建設機械化研究所：西ケ谷　忠明

1．開発目的

洪水による堤防の欠壊或いは護岸や橋脚の洗掘防止、また流水の勢いを弱めることを目的としてブロック投入が行われている。

投入作業は降雨、夜間に係わらず実施される。このため、ワイヤ掛け・吊り上げ・投入作業には常に危険が伴う作業である。

そこで、根固めブロックの現場投入を迅速かつ安全に行えることを目的に根固めブロック投入装置の開発・製作を行った。

2．開発条件

装置の開発にあたり、根固めブロック投入作業の実態を災害復旧を担当した事務所へヒアリングを行い装置に必要な開発条件として次のように設定した。

（1）装置の適用条件

①備蓄・投入実績の多いテトラ型ブロック、2t・4tに適用。

②汎用性があり、迅速な調達が可能なラフタークレーンに適用。

（2）装置に必要な機能

①ブロックの吊り上げにワイヤ掛けを不要とする。

②ブロックを着地せずに開放できる。

③ブロックの掴み・開放にクレーン以外の動力を使用しない。

④1台の装置で2t、4tの両方のブロックに適用できること。

⑤ブロック投入時にクレーンに与える影響が少ない。

⑥傾斜したブロックを掴むことができる。

⑦構造が簡単で維持管理が容易なこと。

3．構想案の比較検討

テトラポッドのように吊り点のない荷物を吊り上げる場合、荷の下側を支えて吊り上げる抱え方式か、荷物を挟むように側面に力を加えて把持し吊り上げる把持方式とが考えられる。装置を無動力で行う場合には、把持力を装置自体で発生させる必要があり、装置サイズ及び重量が非常に大きくなることが考えられる。

また、投入に関しては抱え方式の場合は機械的なリンク機構により動作させることが可能である。これに対し把持方式の場合は動力による油圧機構が適していると思われる。今回の検討では、アーム抱え方式、空圧方式、把持方式の３案で計画設計、比較検討を行った。表－１に比較検討結果を示す。この結果から、アーム抱え方式を開発対象として詳細設計製作を行った。

表－１　比較検討結果

掴み方式	アーム抱え方式 （３本ｱｰﾑ、無動力）	空圧方式 （包み込み、無動力）	把持方式 （３本脚、油圧駆動）
作業性 操作性	位置決めに多少時間がかかるが、作業性はよい。	介添が必要で。 小型で操作性はよい。	シリンダーを操作して掴むので、作業性はよい。
2･4もへの適用	リンクを可変とすれば、適用できる。	適用できる。	適用できる。
駆動方式	クレーンのみの動力だけで作業可能。	エア充填時に空気圧縮機が必要。	エンジン駆動・電動等の動力装置が必要
安全性	玉掛け作業がなくなり、安全である。	介添が必要なので、従来とあまり変わらない。	玉掛け作業がなくなり、安全である。
問題点	主巻き・補巻きの誤操作防止。	エア開放バルブの誤操作防止。	アキュムレータとパッドの摩擦力保持。
評価	◎	△	○
	動力を必要とせず、装置として簡易で、安全性も高い。	エア充填・ホース脱着が必要であるが、小型である。	動力装置を必要とするが、他ブロックに適用可能と思われる

アーム抱え方式（３本アーム、無動力）

空圧方式（包み込み、無動力切り離し）

把持方式（３本脚、油圧駆動）

4．装置の概要

（1）掴み機構

装置全体をクレーンの主巻きワイヤで吊り下げ、アームの開閉は補巻きワイヤで行う。主巻きを保持したまま補巻きワイヤを巻き上げるアームがく、補巻きワイヤを緩めるとアームが閉じてブロックを抱え込む機構とした。

（2）保持機構

ブロックが落ちようとする力(A)は、アームを外側に押し広げようとするが、アームに連なる水平リンクにより水平方向の力(B)となる。水平方向の力は3本アームに同時に作用して装置中央部に集中してバランスするためアームの開きは阻止される。

（3）投入機構

主巻きを保持したまま補巻きワイヤを巻き上げることにより、水平リンクを上位に変位させ、水平方向でバランスしていた力を開放して行う。

図－1　リンク機構

（4）安全機構

クレーンの主巻きと補巻きとの相対的な動きによりアームが開閉するため不用意にブロックを投入させる危険が考えられる。このため、誤操作防止の機構(図－2)を装備することとした。

（5）2t・4t切り換え機構

2tと4tブロックの形状は相似形であるが、寸法が異なるためアームがさらに装置の中心よりに閉じなければならない。

そこで、水平リンクの装置中心側のピンを偏芯ピンとして、ピンを回転させることによりリンクの長さを変える方法とした。(図－3)

このことにより、切り換え作業に要する時間が短縮された。

図－2　安全機構(トングキー)

図－3　切り換え機構(偏芯ピン)

（6）装置重量

装置の重量は、ブロック投入の作業半径を大きくとるためには軽量であることが望ましいが、ブームの逆反りを防ぐ必要がある。

そこで、装置の重量は中間ウエイトを兼ねた重量１．５ｔとした。

図－４　クレーンブーム

５．根固めブロック投入装置仕様

型　　式　補巻き開閉式
爪開閉幅　ＭＡＸ．Φ1990mm
吊り具高さ　２６７５mm
吊り具自重　１５００ｋｇ(４ｔ用)
　　１５７０ｋｇ(２ｔ用)

根固めブロック投入装置（詳 細 図）

6．操作手順

7．ラフターンクレーンでの作業半径

50tラフターンクレーン	アウトリガー / 荷重	最大7.4（全周）	中間6.8（側方）	中間5.4（側方）	中間4.1（側方）	最小（側方）
	4tﾃﾄﾗ＋装置	16.5	15.5	13.0	10.5	6.5
	2tﾃﾄﾗ＋装置	21.0	20.0	16.5	13.0	8.0
25tラフターンクレーン	アウトリガー / 荷重	最大7.4（全周）	中間6.8（側方）	中間5.4（側方）	中間4.1（側方）	最小（側方）
	4tﾃﾄﾗ＋装置	12.0	11.0	10.5	8.0	5.0
	2tﾃﾄﾗ＋装置	16.0	15.0	13.0	10.0	6.5

＊(全周)はクレーンの全方向に対して有効な作業半径です。

(側面)アウトリガーの作業半径であり、直角方向は最大張出と同じ作業半径。

8．まとめ

今回開発した根固めブロック投入装置は、ブロックの掴み・開放に動力を使用せず、クレーンオペレータ１人で吊り上げ・投入が可能であり、作業の安全性向上はもとより、災害現場で強く求められている迅速・的確な復旧作業に多大な貢献を果たすものと期待している。

7．開削工事における換気計画と大型送風機の開発

佐藤工業㈱：*朝倉　猛，小俣　文良
㈱流機エンジニアリング：西村　章

建物受替工において建物下から地盤改良を行う際、ボーリング孔から発生する酸欠ガスや可燃性ガスなどの希釈を目的として換気計画を行った。今回、換気計画に当たり以下のことが問題としてあげられる。

①ガスの発生箇所が多い

②ガスの発生量の把握が困難である。

③換気範囲が広く、開削空間内に一定方向の気流を発生させることが難しい。

これらの問題を解決させるため、開削工事に適した大風量・低静圧・低騒音の送風機を開発し今回の工事に採用した。本報告は開発した大型送風機の紹介と、これを使用しての換気効果について報告する。

2．送風機の選定

通常の送風機は、トンネル工事などに適用するため、風を遠くまで送ることを目的として製作されているものが多い。そのため、口径を小さく動力を大きくするなどして静圧を高くし、風管を用いてと遠くまで風を送っている。この様な送風機を開削工事に使用する場合、小口径吹き出しでの風量減少により、換気の範囲が狭くなるおそれがある。また、静圧が高いため、吹き出し付近で暴風状態となり、作業に支障をおよぼすことも考えられる。

そのため、開削工事に適した送風機は静圧は低くてもよいが、大口径で大風量のものが良いと考える。

3．大口径送風機の特徴

今回開発、適用した送風機の特徴について以下に記す。

(1) 大型プロペラの採用

風量を多くするための方策としては、①プロペラの大型化、②高速回転化があげられる。今回は回転を高速にせずプロペラの形状を大型化することで、小電力で大風量の送風機を実現した。開発した送風機は、動力が 11ｋＷと小型で 2100m3/min の風量を有するものである。動力の小型化は、同機種の送風機と比べ安価であり、且つ省電力による電力費低減の効果があるものと考える。また、動力の小型化により低騒音の効果も期待できる。

(2) 口径の大型化

風の広がりは、一般的に口径に比例して広くなるため、大口径であるほうが有利である。また、

イジェクター効果およびコアンダー効果で周囲の空気を大量に巻き込み、広範囲にわたった空気の流れを発生させることとなる。これらの効果により、開削工事に特に有利に働くものとなった。

(3)自動インバータ制御

インバータの使用により省エネが実現（約 40%減）できており、タイマーにより作業量に応じた自動運転が行える。また、風量調整によって騒音値を下げることが可能である。

(4)省スペース・軽量を実現

動力の小型化により、送風機を覆工板 2 枚に相当するスペース（2m×2m）に設置することができた。送風機の重量も 730ｋｇと軽量で、路面での移動、設置を容易に行うことができた。

表－1 仕様

最大風量	2100m³/min
最大静圧	20mAq
動力	11kW, 200V
口径	φ1760mm
騒音	72dB(A) at 3m
総重量	730kg
制御盤	ｲﾝﾊﾞｰﾀ、ｽｹｼﾞｭｰﾙ運転

図－1 大口径送風機（FA2000）

図－2 性能特性曲線

4．開削工事における換気量の算定と大口径送風機の使用事例

(1)換気量の算定

換気量の計算方法は、①有害物質の発生量を把握し、必要換気量を算定する方法、②ガス爆発に対して安全となる風速（0.5m）を確保し、必要換気量を算定する方法、③建設物の条件により、その容積から必要換気量を算定する方法、などがあげられる。

今回は、ガスの発生量が把握できないこと、および開削工事であるためよどみが生じ易いことから、③の方法で換気量の算定を行った。これを、「臨海、第1広町T他1」工事を例にとり算定すると、坑内体積9000m³について一時間あたり15回の換気をすると考えると、所要換気量は約2300m³/minが必要であった。

(2)使用事例

今回の工事では、大口径送風機（2100m³/min）1台とコントラファン（300m³/min）1台を併用して施工時の換気を行った（図－3 参照）。また、施工箇所で酸欠ガスや可燃性ガスが発生するおそれがあり、定置式ガス検知警報機を数箇所配備し、ガスを監視して工事を行った。なお、大口径送風機を設置した位置は、図－3に示すとおり、開削部のほぼ中央の位置である。

工事中にボーリング孔からガスの発生が確認されたものの、大口径送風機を用いて換気を行ったところ、作業の支障となるガス濃度は検出されず、作業を中断することなく無事に工事を終えることができた。

次に大口径送風機の換気性能を確認するため、送風機直下に位置する箇所の風速および坑内の風の流れを測定した。風速測定の結果をまとめたものを表－2、－3、図－4に示す。これをみると、吹き出し口直下5.5mの位置での平均風速は6.3m/secであり、直下から2m離れた位置（測点7）でも2.0m/secの風速が観測できた。

坑内の風の流れの測定結果を模擬的に表したものを図－5に示す。この測定は発煙管を用いて煙を発生させ風の向きを計ったものである。測定結果をみると、隅部の一部でよどみがあるものの、風の流れは全体的に坑内に広がっており、坑内の隅々まで換気ができているものといえる。

図－3 使用事例

表－2 風速測定　　（単位：m/sec）

周波数（Hz）		30	40	50	60
測点	1	3.0	2.4	4.7	4.2
	2	3.7	5.8	6.2	7.7
	3	3.3	4.0	5.1	6.5
	4	3.0	4.2	5.5	7.0
	5	2.9	4.1	6.1	6.3
	6	1.7	1.1	2.2	4.0
	7				2.0

表－3 風量

周波数	Hz	30	40	50	60
1～5までの平均風速	m/sec	3.2	4.1	5.5	6.3
送風機直下における流量	m^3/min	486	626	843	968

図－4 風速測定点

図－5 坑内風向測定

写真－1 使用状況

5．まとめ

開発した送風機は開削工事に十分適用可能なものであり、本工事の事例に示すとおり、これを用いることで広範囲において良好な換気が実現できた。さらに低騒音を実現しており（実測値：72dB)、都市部などの周辺環境に制約を受ける工事において実用性が高いものと考えられる。今後は、送風機の運転制御において各種センサーと連動させ自動制御を行い、安全性、省力化（省エネ化)、および低コストを図っていく予定です。

8．新しい厚層締固め機械の研究開発
～鉛直加振型履帯式車両の性能比較～

愛媛大学：*室　　達朗，河原　荘一郎
日立建機㈱：三林　貴宏

1．はじめに

近年、高リフト厚の土砂を高速で転圧し顕著な締固め効果を発揮する新しい締固め機械の開発が焦眉の緊急課題であるとされている。従来、鉛直方向に加振する振動ローラでは、地表面部分において過転圧のために密度が増加しないばかりでなく、厚層での締固めは不可能とされてきた。振動ローラが地盤に作用する線荷重よりはむしろ加振型履帯式車両の履帯接地圧として地盤に作用する面荷重による締固め作業の方が、土粒子の横方向の移動を拘束するためより効果的な転圧作業を実現させることができると予測できる。本研究の目的は、新しい厚層締固め機械を研究開発することであり、まず、遠心加振機を搭載した振動ローラと履帯式車両の転圧効果について比較し、履帯式車両の方がより大きな転圧性能を示すことを明らかにする。次に、鉛直加振型履帯式車両と遠心および水平加振型履帯式車両について、それぞれの転圧性能を比較し、鉛直加振機がより転圧効果の優れた加振方向であることを実証する。

2．実験装置と方法

2．1　供試地盤

愛媛県産の粒度配合に優れたまさ土を最適含水比 12.8％に調整し、長さ 5.4 m，幅 1.5 m，高さ 1.0 m の大型土槽に充填して供試地盤を作成した。試料土の物性は、平均粒径 0.78 mm，均等係数 12，比重 2.66 であった。一定の高さ 1 m より試料土を自由落下させ、リフト厚 80 cm に達するまで注意深く充填した。その結果、深さ方向の初期湿潤密度は、1.45±0.03 g/cm^3 とほぼ均一な密度を有する地盤を作成することができた。

2．2　締固め機械

（1）２軸２輪式振動ローラ

図－１は、試作した２軸２輪式振動ローラの構造図である。遠心加振機は車両中央部分においてその水平軸を車両の進行方向に対して直角方向に設置してある。遠心加振機の振動周波数は 56.8 Hz，遠心加振力 7.35 kN であり、出力 0.75 kW の電動モータで駆動されている。この遠心加振機を搭載した車両総重量は約 10 kN であり、前後輪ローラに作用する線荷重は 85.8 kN/cm である。これらのローラは直径 32 cm，幅 60 cm であり、２台の出力 0.75 kW の電動モータによって両輪駆動状態で自走させた。車両重心の偏心率 e は 0.002，重心高さ h_g は 53.3 cm，車軸間隔 L は 60 cm，車速は 4.61 cm/s である。

図－１　２軸２輪式振動ローラ

（２）加振型履帯式車両

図－２は、ゴム製履帯を装着したたわみ性履帯式車両の構造図である。加振機を搭載した車両総重量は約11 kNであり、車両重心偏心率eは0.003，重心高さh_gは34 cm，履帯幅Bは20 cm，履帯接地長Lは91 cm，履帯間隔Cは45.5 cm，平均接地圧は29.8 kPaである。車両は0.75 kWの電動モータで後輪スプロケットを駆動させ、車速は3.75 cm/sとした。加振機として使用した遠心加振機は２種類あり，一方は前述したものと同じで、他方は振動周波数16 Hz，遠心加振力9.8 kNであり、出力3.7kWの電動モータで駆動されている。鉛直方向加振機および車両の進行方向に振動する水平加振機は、振動周波数16 Hz，最大加振力9.8 kNであり、出力3.7 kWの電動モータで駆動されている。

図－２　加振型履帯式車両

２．３ 実験方法

まず、振動周波数f=56.8 Hz，遠心加振力7.35 kNの同一の遠心加振機を用いて、総重量約10 kNとした２軸２輪式ローラと履帯式車両による転圧実験を実施した。両車両の走行形態は実際の締固め作業を勘案し、転圧回数N=1～10では無振動転圧とし、N=11～20で振動転圧させた。ここに、Nとは車両がN回往復したことを意味する。次に、履帯式車両のみについて、f=16 Hzに対する最大加振力をそれぞれ9.8 kNとした鉛直・遠心および水平加振機を搭載し、総重量を約11 kNとした履帯式車両による転圧実験を行い、加振方向の振動転圧効果に及ぼす影響について調査した。ここでは、転圧回数N=1～3では無振動転圧とし、N=4～13で振動転圧させた。各転圧回数毎に、地表面の沈下量，深さ方向のコーン指数，垂直およびせん断応力，振動加速度を計測した。深さ方向の土の乾燥密度は、コーン指数より換算して求めた。地中に埋設した各種計測器は、図－３において履帯式車両の場合について示すように、土槽中央部の走行レーンの履帯直下において、土槽底面からの高さH(cm)の位置に設置した。

図－３　実験装置および各種計測器の埋設位置

3．実験結果と考察

3．1 遠心加振機によるローラと履帯式車両の振動転圧効果

（1）深さ方向の乾燥密度分布

図－4は、N=20における深さ方向の乾燥密度分布について、2軸2輪式ローラと履帯式車両による転圧効果を比較したものである。振動ローラでは、最大乾燥密度 ρ_{dmax} = 1.66 g/cm^3，深層部における乾燥密度 ρ_{dr} = 1.40 g/cm^3，履帯式車両では、ρ_{dmax} = 1.69 g/cm^3，ρ_{dr} = 1.54 g/cm^3 と増加している。

（2）地中応力伝播

図－5 (a) (b) は、2軸2輪式ローラと履帯式車両において、それぞれ N=20について各 H における鉛直方向の垂直応力 σ_z の水平面上の分布を車両の進行方向にとったものである。H= 65 cm においては、ローラ直下において応力集中による2つの山が観測されているが、履帯式車両では下転輪直下において5つのピーク値が観測されている。H = 40 cm においては、履帯式車両での最大垂直応力 25.0 kPa は、ローラでの 17.1 kPa と比較して約 1.46 倍と高い値を示している。

（3）深層部における振動加速度分布

図－6 (a) (b) は、2軸2輪式ローラと履帯式車両において、それぞれ H = 10 cm において計測した鉛直，水平加速度 a_V, a_H の振動波形である。両者の位相差は、2軸2輪式ローラにおいて約 $\pi/2$ rad であるのに対し、履帯式車両においては殆ど存在せず、鉛直と水平方向力が同時に作用するために転圧効果が優勢となることを示唆している。

3．2 鉛直・遠心および水平加振型履帯式車両の振動転圧効果

（1）車両－地盤系振動特性

図－7は、鉛直，水平加振力 F_V, F_H を発生させる加振型履帯式車両と鉛直，水平方向のばね定数 k_V, k_H と減衰定数 c_V, c_H を有する Voigt model で構成される地盤との間の振動特性を解析するための車両－地盤系振動モデルである。最大加振力 F，角速度 ω，位相差 γ に対し、$F_V = F\sin(\omega t-\gamma)$，$F_H = F\cos(\omega t-\gamma)$ と表現される。車両の質量 m，慣性モーメント J，回転角 θ，履帯接地長 L，車両重心高さ h_g に対し、x－y 座標において、次式で示す鉛直，水平および回転方向の振動方程式が成立する。

$$m\frac{d^2y}{dt^2}+c_V\frac{dy}{dt}+k_V = F\sin(\omega t-\gamma) \qquad (1)$$

図－4　乾燥密度 ρ_d と深さ z の関係（遠心加振機）

(a) 2軸2輪式ローラ

(b) 履帯式車両

図－5　垂直応力 σ_z の実測分布図（N=20）

(a) 2軸2輪式ローラ　　(b) 履帯式車両

図－6　鉛直，水平加速度 a_V, a_H の経時変化

図－7　加振型履帯式車両－地盤系モデル

図－8　3種類の転圧回数に対する共振曲線

$$m\frac{d^2x}{dt^2}+c_H\frac{dx}{dt}+k_H x-h_g c_H\frac{d\theta}{dt}-h_g k_H\theta$$

$$=F\cos(\omega t-\gamma) \qquad (2)$$

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2}+h_g^2 c_H\frac{d\theta}{dt}+h_g^2 k_H\theta-h_g c_H\frac{dx}{dt}$$

$$-h_g k_H x+\frac{1}{12}L^2 c_V\frac{d\theta}{dt}+\frac{1}{12}L^2 k_V\theta$$

$$=F H_c\cos(\omega t-\gamma) \qquad (3)$$

図－9　3種類の加振型履帯式車両による地表面沈下量 S と転圧回数 N の関係

図－8は、当該車両－地盤系における鉛直方向の共振曲線であり、振幅 y_0M と振動周波数 f と固有振動数 f_n の比率との関係を転圧回数4, 8, 12について算定したものである。それぞれ $f/f_n \fallingdotseq 1$ (f_n=4.96, 8.46, 9.85 Hz) において、車両－地盤系は共振しており、振動振幅は最大値を示している。

図－10　3種類の加振型履帯式車両による締固め乾燥密度 ρ_d の深さ z 方向の分布

（2）地表面沈下量

図－9は、鉛直・遠心および水平加振型履帯式車両の走行による地表面沈下量と転圧回数の関係について、f=16 Hz における実験結果を示したものである。図より明らかに、鉛直加振機による最終沈下量は17.2 cmであり、この値は遠心加振機と比較して1.32倍，水平加振機と比較して1.51倍となっている。

（3）深さ方向の乾燥密度分布

図－10 は、f=16 Hz，N=13 における ρ_d の深さ z 方向の分布を示したものである。図より明らかに、鉛直加振機による乾燥密度分布は深層部に至るまでほぼ均一に締固められており、さらに他の加振機と比較して全層にわたって顕著な締固め効果を発揮している。鉛直加振機を使用した場合、地表面における乾燥密度は1.54 g/cm³，ρ_{dmax} は z=5.2 cm において1.57 g/cm³，ρ_{dr} は1.44 g/cm³ であった。なお、地表面で計測した鉛直加速度振幅より算定した締固めエネルギーは、鉛直，遠心および水平加振型履帯式車両でそれぞれ313.5，29.7，22.4 kNm/m³ であった。

(a) 鉛直加振型履帯式車両

(b) 遠心加振型履帯式車両

(c) 水平加振型履帯式車両

図－11　垂直応力 σ_z，せん断応力 τ_{zx} と水平距離 X_H との関係（H=10 cm，f=16 Hz）

（4）地中応力伝播

図－11 (a)(b)(c) は、一例として、転圧回数9回目の鉛直，遠心および水平加振型履帯式車両の走行に伴って発生する深層部 (H=10 cm) における水平面に作用するせん断応力 τ_{zx} と鉛直方向の垂直応力 σ_z の分布を SST (Stress State Transduser) を用いて計測し、車両の進行方向にとった水平距離 X_H に対

して示したものである。図より明らかに、車両中心位置である $X_H=0$ において、鉛直加振機での σ_Z は最大値 40.4 kPa と他の加振機と比較して卓越しており格段の地中応力の伝播が認められる。それに対応する τ_{ZX} は −6.2 kPa を示しており、この場合、車両の通過に伴って正から負へと増減する大きな交番せん断応力が作用しており、せん断に伴うダイレイタンシー効果によって体積収縮し、最も有効な締固めが達成されたのである。すなわち、八面体垂直応力および八面体せん断応力の増加によって体積収縮が助長されたのである。

（5）深層部における振動加速度分布

図－12 (a) (b) (c) は、一例として、転圧回数 12 回目の鉛直，遠心および水平加振型履帯式車両の走行に伴って発生する深層部における鉛直および水平加速度 a_V, a_H の振動波形である。鉛直加振機での平均鉛直，水平加速度振幅は 1.47 G，0.75 G と他の加振機と比較して顕著な振動加速度を示しており、両者の位相差が 0.75 π であったとしても深層部における大きな振動転圧効果を発揮する大きな要因となっている。

4．結 論

（1）振動周波数 56.8 Hz，遠心加振力 7.35 kN の遠心加振機を搭載した同じ総重量約 10 kN を有する 2 軸 2 輪式振動ローラと履帯式車両を使用して、厚さ約 80 cm のまさ土地盤での振動転圧実験の結果、最大乾燥密度および深層部での乾燥密度については、履帯式車両の方が振動ローラと比較してそれぞれ約 1.01 倍および 1.10 倍と増加する。

（2）振動周波数 16 Hz，最大加振力 9.8 kN，総重量約 11 kN，厚さ約 80 cm のまさ土地盤での鉛直加振型履帯式車両は、他の同じ遠心，水平加振型履帯式車両と比較して深層部における締固め効果を顕著に発揮することができる。また、深さ方向の乾燥密度分布は全層にわたって均一となり、これは地中応力の深層部への伝播，交番せん断応力によるダイレイタンシー現象，さらに大きな加速度振幅によって体積収縮が効果的に行われ、地表面沈下量と締固め乾燥密度を著しく向上させたためである。

(a) 鉛直加振型履帯式車両

(b) 遠心加振型履帯式車両

(c) 水平加振型履帯式車両

図－12　深層部に作用する鉛直，水平加速度 a_V，a_H の経時変化（f= 16 Hz）

9．軟弱地盤を走行する車輪式車両の研究

国立呉工業高等専門学校：*重松　尚久
愛媛大学：室　　達朗，河原　荘一郎

1．はじめに

近年，車輪式車両のあり方が見直されてきている。自走式の車輪式車両は，自ら工事現場に走っていき，作業をし，作業が終わればまた自走して走って帰ることができるため，機械の運搬や保管にかかるコストの削減が可能である。そのためには，オンロード，オフロードに関わらず安定した作業能力が発揮できる車輪式の建設機械の開発が望まれている。現在までに舗装道路上での車輪式車両の研究はかなり進んでいるが，軟弱地盤においての研究はあまり行われていない．そこで本研究では、ゆるく堆積したまさ土地盤上において2軸4輪車両を前輪駆動(FWD)・後輪駆動(RWD)・両輪駆動(4WD)の3種類の駆動状態で走行実験を行い，全沈下量及び有効牽引力を測定し，車輪式車両の走行特性を明らかにした．また，最大の有効牽引力が生じるスリップ率(i=38.2 %)における地中応力状態を測定し，車両の走行が地盤に与える影響を明らかにした。

車両長	40 cm
車両幅	56 cm
車両重量 W	343 N
車軸間距離 D	25 cm
車輪半径 R	7.6 cm
車輪幅 B	2～14 cm
線圧 $W/4B$	6.5～43.8 N/cm
重心偏心率 e	0.00
車輪周速度 $R\omega$	0～4.56 cm/s
モータ出力	90 W

図-1　車輪式車両の三面図及び車両諸元

2．実験装置および実験方法

試料砂として愛媛県松山産のまさ土を使用した。気乾燥状態のまさ土の最大粒径 4.75mm 以下に調整したまさ土の土質特性は土粒子比重2.66、平均粒径0.78mm、均等径数12.0、曲率係数 3.0、最適含水比 12.8%であ

図-2　実験装置概略図

る。ここでは、含水比 10.0 ± 1.22%、乾燥密度 1.33 ± 0.88g/cm^3 に調整したまさ土を鋼製のパネル板を組み立てた実験土槽(長さ: 350cm, 幅: 90cm, 深さ: 30cm)内に 5cm ずつまきだし、密度分布を一定にするために 0.1kgf/cm^2 の圧力で締め固め、五層に分けて 25cm の高さの供試体を作成した。車輪式車両には直径 15.3cm の剛性車輪を使用し、車両重量 W=343N および走行速度 V=0.73cm/s を一定のもとに実験をおこなった。ウインチから出されるワイヤーの速度によって車両速度を変えることによって車両速度を決定し、車輪の回転速度を変化させることにより車両のスリップ率をコントロールした。車輪式車両の三面図および車両諸元を**図-1** に示す。実験の測定項目として、それぞれの車輪幅においてスリップ率を変化させた時の車両の有効牽引力 T、全沈下量 s を測定した。**図-2** に上記の土槽と車両の実験装置の概略図を示す。なお、スリップ率は実験車両の速度 V(cm/s)を測定し、次式(1)で求めた。

$$i=\frac{R\omega-V}{R\omega}=1-\frac{V}{R\omega} \quad (1)$$

R : 車輪半径(cm)

ω : 車輪の円周方向の角速度(rad/s)

次に、車両の走行が地盤に与える影響を詳しく調べるため、地表から 15cm にところに SST (Stress State Transducer)[1)2)]を埋設し、地中における垂直応力 σ_n 及びせん断応力 τ_n を測定した。**図-3** に SST のモデルを示す。これは、6 つの土圧計を多面体構造の中に埋め込んで作られたものであり、地中の主応力，せん断力と八面体応力が算定できるようになっている。なお、X,Y,Z は直交座標になっている。これを面 Z を水平面にとり、X と Y 軸の二等分線が進行方向となる位置に埋設した.

図-3 SST (Stress State Transducer) 概略図

3．シミュレーション解析

(1) 地盤－車輪系定数の決定 車両が走行するとき、後輪は前輪の通過した後の地盤を走行するため、前輪と後輪にでは通過する地盤が異なっている。そのためそれぞれの地盤に対する地盤-車輪系定数を求める必要がある。今回は、上記で示した供試地盤を前輪の通過する地盤、この供試地盤上を線圧 2.5kgf/cm のローラで転圧したものを後輪の通過する地盤とし、前輪と後輪の 2 種類の供試地盤を作成し、それぞれの供試地盤上で平板載荷・除荷試験[3),4)]および平板牽引試験[5)]を行い、地盤－車輪系定数を求めた。**表-1** にその値を示す。

表-1 地盤－車輪系定数

前輪	後輪
k_c=16.827 N/cm^{n+1}	k_c=17.219 N/cm^{n+1}
k_{cr}=45.002 N/cm^{n+1}	k_{cr}=222.979 N/cm^{n+1}
k_ϕ=1.137 N/cm^{n+2}	k_ϕ=3.499 N/cm^{n+2}
$k_{\phi r}$=13.397 N/cm^{n+2}	$k_{\phi r}$=29.557 N/cm^{n+2}
n=0.932	n=0.666
n_r=0.447	n_r=0.634
m_c=0.008 kPa	m_c=0.001 kPa
a=3.043 (1/cm)	a=6.617 (1/cm)
m_f=0.519	m_f=0.598
c_0=0.117 cm$^{1+2c1-c2}$/N^{n+1})	c_0=0.123 (cm$^{1+2c1-c2}$/N^{n+1})
c_1=0.625	c_1=0.293
c_2=0.828	c_2=1.269

(2) 解析方法 この解析では、ゆるく堆積したまさ土地盤(密度 1.61g/cm^3)において 2 軸 4 輪車両を走行させ、全沈下量・走行抵抗・駆動

力を車輪上の任意の点がトロコイド曲線上にあること[11]を用いて、地盤－車輪系定数を代入し算定する方法を提案し、その有効性を検討した。

図-4 は，後輪駆動状態で走行する 2 軸 4 輪車両に作用する諸力を表したものである．車両重量 W は車両重心 G に作用し，前輪部の軸荷重 W_f，後輪部の軸荷重 W_r はそれぞれの軸中心 O_f，O_r に作用する．車両重心は，軸間距離 $\overline{O_fO_r}$ に至る垂直距離 h_g，車両中心線からの偏心量 eD で表される．後輪駆動トルクは後輪中心 O_r に作用する．有効牽引力 T の作用点 F の位置は，後輪通過後の水平地盤面からの高さ H，車両中心線からの距離 L である．前輪軸中心 O_f には，水平方向に純粋転動時の転がり抵抗 L_{fcb} が作用し，後輪中心 O_r には，水平方向に有効駆動力 T_{rd} が作用する．車両傾斜角 θ_t は，軸間距離 $\overline{O_fO_r}$ の水平面となす角であり，前輪最下点 M_f における沈下量を s_f，後輪最下点 M_r における沈下量を s_r とすると，

図-4　後輪駆動状態に作用する諸力と諸元

$$\theta_t=\sin^{-1}\frac{R_f-u_f+s_f-R_r}{D} \qquad (2)$$

ここで，水平方向と鉛直方向の釣り合いより，次式(3)(4)が得られる．

$$T=T_{rd}+T_{fb}=\frac{Q_{rd}}{R}\cos\theta_t-L_{rcd}-L_{fcb}=T_{rd}-L_{fcb} \qquad (3)$$

$$W=W_f+W_r \qquad (4)$$

Q_{rd}：後輪の駆動トルク　　L_{rcd}：後輪の締め固め抵抗

θ_{ed}：地盤反力と車輪最下点間の中心角　　L_{fcd}：前輪の締め固め抵抗

また，O_r 点回りのモーメントの釣り合いより，次式(5)が成立する．

$$W_fD\cos\theta_t+T_{fb}D\sin\theta_t-W\left(\frac{D}{2}-(eD+h_g\tan\theta_t)\right)\cos\theta_t+(H-R)T\cos\theta_t-\left(L-\frac{D}{2}\right)T\sin\theta_t=0 \qquad (5)$$

上記の関係式を用いて，後輪駆動状態で走行する 2 軸 4 輪車両の走行性能に関するシミュレーション解析を行なった．このシミュレーション解析の特徴は，車両傾斜角 θ_t の変化にともなう軸荷重の変化を考慮し繰り返し計算をすることで，任意のスリップ率における軸荷重を計算することができることにある．

4. 実験及びシミュレーション解析結果

(1) 全沈下量　全沈下量 s は前・後輪輪の沈下量を s_f, s_r, 前・後輪のリバウンド量を u_f, u_r とすると次式(6)で表される。

$$s = s_f - u_f + s_r - u_r \qquad (6)$$

今回実験を行ったゆるく堆積したまさ土地盤では、リバウンドはほとんど起こらないため、全沈下量は前・後輪の沈下量の和と考えて良い。それぞれの駆動状態におけるスリップ率 i と全沈下量 s の関係を図-5 に示す。解析値と実験値は、実験誤差を考慮すると良好な関係を示している。解析値と実験値において、全沈下量は4WD 状態が最大となり、ついで RWD, FWD 状態の順となった。実験値では，自走状態での全沈下量は 8mm 程度となり走行状態による違いはあまりなかったが、スリップ率が増加するに従って、4WD 状態では全沈下量が大きく増加し、RWD 状態ではスリップ率が 20%を越えた辺りからは 4WD 状態と同じように大きく増加した。それに対して、FWD 状態での全沈下量は緩やかに増加した。

図-5　スリップ率と全沈下量の関係

(2) 有効牽引力　それぞれの駆動状態におけるスリップ率 i と有効牽引力 T の関係を図-6 に示す。解析値と実験値を比較すると、有効牽引力は全ての駆動状態で解析値の法が実験値よりも大きくなった。これは、解析値が土の排土抵抗を考慮してないために、実験値よりも大きくなったと考えられる。解析値と実験値において、有効牽引力は 4WD 状態が最大となり、RWD, FWD 状態の順になった。RWD, FWD 状態の有効牽引力の違いは、後輪の方が前輪よりも締め固められた地盤を通過するために、接地面のせん断応力が増加するため、後輪が駆動状態にある方が大きな有効牽引力が得られると考えられる。FWD 状態では i=25%, RWD 状態では i=40%, 4WD 状態では i=30%付近で有効牽引力は極大値を示した。また、自走におけるスリップ率を比較してみると、FWD, RWD 状態は 7%前後、4WD 状態は 5%辺りで自走できた。つまり、軟弱地盤においては 4WD 状態が安定した走行が出来ると言える。

図-6　スリップ率と有効牽引力の関係

(3) 地中応力　SST の実測値(σ_x, σ_y, σ_z, σ_{n1}, σ_{n2}, σ_{n3})を数学的に解析し，地中での応力状態を以下のように算定した.

図-7 σ_z,τ_{zx} と X_H の関係（RWD）

図-8 σ_z,τ_{zx} と X_H の関係（FWD）

$$\tau_{ZX}=\frac{3}{4}(\sigma_{n1}+\sigma_{n3})-\frac{1}{2}(\sigma_X+\sigma_Y+\sigma_Z) \qquad (7)$$

図-7,8,9 は RWD, FWD, 4WD のそれぞれの走行状態に対する車輪幅 B=14cm, スリップ率 i_d=38.2 % の垂直応力 σ_z, せん断応力 τ_{zx} と進行距離 X_H の関係を示す．なお，X_H は車両の中心が SST の真上を通過する時を X_H=0 とした．

a) RWD　σ_z 及び$|\tau_{zx}|$ともに純粋転動輪である前輪通過時より，駆動輪である後輪通過時の方が大きな値となった．

b) FWD　σ_z 及び$|\tau_{zx}|$ともに，駆動輪である前輪通過時と純粋転動輪である後輪通過時の値にはあまり大きな差はなかった．

図-9 σ_z,τ_{zx} と X_H の関係（4WD）

c) 4WD　σ_z 及び$|\tau_{zx}|$ともに駆動輪である前輪通過時より，駆動輪である後輪通過時の方が大きな値となった．

すべての駆動状態において前・後輪の通過する際に σ_z の値が最大になっていることが分かる．また，純粋転動輪より駆動輪の方が大きな値が出ていた．τ_{zx} は純粋転動輪では車輪の通過に伴って負の値になるのに対して，駆動輪では車輪の通過に伴って正の値から負の値に転じていることが分かる．今回の実験では，4WD 状態における σ_z 及び τ_{zx} の変化が他の 2 つの状態よりも小さくなった．これは実験のデータが少ないためで今後もっとデータを増やしていかなければならない．

5. まとめ

解析値と実験値を比較すると、全ての駆動状態で全沈下量は良好な関係を示したが、有効牽引力は実験値より解析値の方が大きくなった。排土抵抗のことを考慮に入れればこのシミュレーション解析は有

効であると考えられる。全沈下量は解析値と実験値において、4WD 状態が最大となり、ついで RWD, FWD 状態の順となった。また、有効牽引力は解析値と実験値において、4WD 状態が最大となり、RWD, FWD 状態の順になった。軟弱地盤においては 4WD 状態が安定した走行が出来ると言える。今回の実験では，SST で実測したデータはデータ数が少ないために定量的な比較は難しいが，車輪式車両が通過する際の，地中応力の変化の傾向はつかむことができた．今後の課題として，実験データを増やしていき定量的な比較ができるようにして，地中環境を考慮したそれらの基準点を探していくことが命題である。

参考文献　1) T.R Way, et al. : Soil stress state orientation beneath a tire at various loads and inflation pressures, Proc. of the 5th North American Meeting. I.S.T.V.S Conf. , pp.33-41, 1995. 2) T.A.Nichols, et al. : A Stress State Transducer for Soil, Trans. of the ASCE, 30(5), pp.1237-1241, 1987. 3) M.J.Bekker: Intoduction to terrain-vehicle systems, the University of Michigan Press, pp.38-144,1969. 4) M.J.Bekker:Off-the-road locomotion, The University of Michigan Press, pp.25-40,1960. 5) Z.Janosi,and B.Hanamoto: The analytical determimation of drawbar-pull as a function of slip for tracked vehicles in deformation soils, Proc. of the 1st Int.Conf.of the I.S.T.V.S,1961. 6) 室・荒井・深川・建山:最新建設施工学,朝倉書店,pp.96-108,1994.

10. センターホールジャッキを用いた杭芯材建込み装置の開発

佐藤工業㈱： 北原　益司，大野　　勉
*津島　　信

1．はじめに

従来、空頭が低い場所での杭芯材建込みは、門型架構を設置しチェーンブロック等を用いて芯材の吊り下ろしを行っていた。この方法では、チェーンブロックの吊り代の制約上、吊り揚程が低く芯材の1ピース長さが短くなり、ジョイント数が多く盛り換えの手間が増える。そのため、作業効率が低下するとともに、芯材建込みの精度が低下するおそれが考えられる。

そこで今回、杭の品質向上と作業効率を上げ安全性を高める目的でセンターホールジャッキを用いた杭芯材建込み装置を開発した。この装置を用いて空頭制限が 3.3m～3.6m の場所で杭芯材建込みを行い、良い結果が得られた。本報告では、開発した装置の概要と施工実績及び効果について紹介する。

2．開発の背景

2．1　工事概要

最近は都市部における大断面の開削工事も多くなり、今回、路下における杭芯材建込みを施工した現場（新浅草 St 作業所）は、秋葉原を起点として埼玉県千葉県を経て茨城県つくば市に至る延長約58km の都市高速鉄道新線（通称常磐新線）における開削駅部地下構造物建設工事である。

近隣には浅草寺、場外馬券売り場などがあり，通行人、交通量の多い国際通りの下を開削する非常に作業エリアの制限された工事である。

表1．工事概要

工事件名	：常新、新浅草 St 他２工事
発注者	：日本鉄道建設公団　東京支社
請負業者	：佐藤・奥村・日本国土　特定建設工事共同企業体
工事場所	：東京都台東区浅草１丁目２５番地～浅草２丁目１３番地先間
掘削	：開削工法　　駅部 304m
構造物	：RC 地下四階層
構築幅員	14.4m～19.7m
地上からの深さ	37.0m～31.6m
土留工法	：柱列式地下連続壁 SMWφ＝850mm、L＝48m、28518m^2
中間杭	H－400mm、L＝38m～44m、291 本

2．2　施工環境

山留めは路上から SMW 工法による柱列式地下連続壁（SMWφ＝850mm、L＝48m）で施工した。しかし施工箇所の一部、国際通り路下には電気、ガス、電話、下水、水道等の埋設物がGL－2m～－5m の深さに位置し縦横断しているため、土留不連続部（通称）と呼ばれる窓空き部分が 9 ヶ所存在する。これらの不連続箇所の山留めは、路下（GL－７m～－８m）から BH 工法により削孔、杭芯材建込み、モルタル打設を行い、連続壁（φ＝750mm～950mm）を構築した。この施工は杭芯材の建込み箇所の上部に埋設物があるため、空頭が 3.3m～3.6m と制限された条件下での作業となった。

2．3　地質概要

施工場所付近の地質は地層が大変複雑である。上部GL－25m付近の東京層（Ds4）までは、砂と粘土の互層であり、上部有楽町層（As1）、埋没ローム層（bl）、埋没段丘礫層（btg）は高水圧を受けやすい状態である。図1にボーリングデータから得られた土質柱状図を示す。

図1．土質柱状図・断面図

2．4　杭芯材建込みの概要

1）杭芯材の建込み位置

杭芯材の建込み位置は図2に示すA、C、D、E、F、G、I、J、Kの9ヶ所である。

図2．施工平面

2）施工期間

掘削機と建込み装置をそれぞれ3台（1号機、2号機、3号機）用いて、下記の順序で9ヶ所の土留不連続部を施工した。装置1台を使用しての作業人工は4～5人で、作業は昼夜間2交代で行った。

・1号機：I部→J部→K部→A部（H11.2.10～H11.4.27）

・2号機：F部→E部→C部（H11.3.15～H11.5.24）

・3号機：G部→D部（H11.3.15～H11.5.19）

3）杭芯材の施工数量

今回施工した杭芯材の総数量は表2に示す34本である。そのうちJ部における1本はシールド機発進の時に障害になるため一部ノムスト製であり、その他の部分はH型鋼である。

また杭芯材1本あたりの重量は3.8ton～6.2tonであり、1ピースの長さを約2.2mに分割して建込みを行った。

表2.杭芯材の施工数量

位置	削孔径	本数	芯材規格	芯材長／本	鋼材割付
A部	φ900mm	5本	H-594×302	28.0m	2.2m×12本+1.6m×1本
C部	φ800mm	5本	H-400×408	27.5m	2.2m×12本+1.1m×1本
D部	φ800mm	5本	H-400×408	25.0m	2.2m×11本+0.8m×1本
E部	φ800mm	3本	H-400×408	37.0m	2.2m×16本+1.8m×1本
F部	φ750mm	3本	H-428×407	36.5m	2.2m×16本+1.3m×1本
G部	φ800mm	4本	H-400×408	37.0m	2.2m×16本+1.8m×1本
I部	φ750mm	3本	H-428×407	31.0m	2.2m×13本+2.4m×1本
J部	φ850mm	1本	H-428×407 +路下ノムスト	37.5m	2.2m×12本+1.0m×1本 +2.02m×5本（路下ノムスト）
	φ750mm	1本	H-428×407	37.5m	2.2m×16本+2.3m×1本
	φ750mm	1本	H-428×407	37.5m	12.5m×3本
K部	φ850mm	2本	H-428×407	37.5m	2.2m×16本+2.3m×1本
	φ850mm	1本	H-428×407	37.5m	12.5m×3本

3．開発装置の概要

3．1　装置の構成

装置は、センターホールジャッキ2台を取り付けた本体架台と油圧ユニットから構成されている。表3に各機器の主な仕様を示す。この装置の特徴は、小型で軽量かつ少電力である。

表3．装置の仕様

機器	仕様
本体架台	大きさ：2000mm（長さ）×1200mm（幅）×2246mm（高さ） 重量：1650kg
センターホールジャッキ （2台）	型式；SLP－3520 外形：全長（360mm），外径（120mm） 推力；35t ストローク；200 mm ゲビンデスターブ；2350mm 作動圧力：683kgf／cm^2 重量：26kg
油圧ユニット	型式；アキシャルプランジャー型（LH－3.7型） 外形：850mm（長さ）×550mm（幅）×1070mm（高さ） 最高吐出量：2.5 ℓ／min 最高吐出圧力：700kg／cm^3 電動機：3.7kw×4P（AC200V×3相） 重量：300kg

本体架構の外形を図３に示す。また油圧ユニットの外形を写真１に示す。

図３．装置の外形

写真１．油圧ユニットの外形

３．２　施工手順

杭芯材は4.9t キャタクレーンを使って吊った。建込み手順を図４に示す。

<手順>

①下段カンヌキをセット、ジャッキをセット、ゲビンデスターブをセット

②前杭上段カンヌキを撤去

③ジャッキ下降（1100mm）

④上段カンヌキをセット、ゲビンデスターブ位置換え

⑤下段カンヌキ撤去

⑥ジャッキ下降（1100mm）、ジャッキ移動

⑦杭芯材ジョイント（①に戻って繰り返す）

図4．杭芯材建込み手順

写真2．建込み状況

4．施工結果

4．1　施工出来高

各土留不連続部における杭芯材建込みにかかった総作業時間と平均の時間当り杭芯材建込み長を表4に示す。なお作業時間にはボルトのジョイントも含まれる。

J、K部には埋設物が障害にならない箇所が各1本づつあり、その箇所の杭芯材2本は路上よりクレーンを使って建込んだので、作業時間が短かった。

表4．建て込み時間出来高

位置	杭芯材本数	施工長	総作業時間	時間当りの施工長
A部	5本	28.0m×5=140m	10.5+11+10.5+15+12.5=59.5h	2.35m／h
C部	5本	27.5m×5=137.5m	7.5+6+6+9+6=34.5h	3.99m／h
D部	5本	25.0m×5=125m	5+13+5.5+6.5+5.5=35.5h	3.52m／h
E部	3本	37.0m×3=111m	8+12.5+11=31.5h	3.52m／h
F部	3本	36.5m×3=109.5m	15+11.5+19.5=46h	2.38m／h
G部	4本	37.0m×4=148m	11.5+18+10.5+6=46h	3.21m／h
I部	3本	31.0m×3=93m	17+3.5+18.5=39h	2.38m／h
J部	3本	37.5m×3=112.5m	3.5+25+28=56.5h	1.99m／h
K部	3本	37.5m×3=112.5m	23.5+20+2.5=46h	2.44m／h

4．2　施工品質

各土留不連続部の削孔完了後に削孔穴設計位置の中心から横（X方向）と縦（Y方向）の変位量を超音波測定器で孔壁測定した。また杭芯材建込み完了後に杭芯材深度の変位量をレベルで測定した。

削孔穴の傾斜はK部を除いて許容値1／200以下であり、深度の変位も500mm以下に収まり良好な品質で施工できた。

各土留不連続部の測定変位量最大値を表5に示す。また設計位置図を図5に示す。

表5．杭芯材位置の変位量

施工場所	変位量		傾斜	深度の変位量
	X方向	Y方向		
A部	150mm	0mm	1／253	＋500mm
C部	90mm	30mm	1／421	±0mm
D部	110mm	120mm	1／233	＋500mm
E部	60mm	130mm	1／280	＋300mm
F部	40mm	90mm	1／421	＋130mm
G部	120mm	50mm	1／308	＋300mm
I部	75mm	75mm	1／377	＋500mm
J部	0mm	100mm	1／400	±0mm
K部	195mm	195mm	1／145	＋500mm

図5．杭芯材孔壁設計位置

4．3　施工性と安全性

杭芯材建込み装置は小型かつ軽量のため搬入，投入，移動，段取り替え全てを容易に行え、作業効率が良く安全に施工できた。ジャッキも油圧ユニットをボタンスイッチで操作することができ、少人数での作業が可能になり，省力化が図れた。

5．おわりに

今回開発した杭芯材建込み装置を用いることで、低空頭での杭芯材の建込み作業を無事施工し、初期の目的を達成できた。工事に関わった方々に深く感謝致します。

今後は類似の工事に適用を図り、実績を重ねて装置の能力アップや自動化を進めることで、省力化や施工のスピードアップを図っていく所存です。

11. 建設装輪両タイヤと地盤の接触問題解析

愛媛大学： 室　　達朗
明石工業高等専門学校：*江口　忠臣

1. まえがき

建設車両の走行装置と地盤材料との相互問題を力学的に解明することは，建設現場における土質特性に適合した建設車両の選定と作業能力向上およびロボット化をめざした新しい建設車両の位置決めシステム開発に有益な指針を与えるものである．タイヤをたわみ性車輪として扱うことのできる離散化モデルは位置決め情報提供に有力な手がかりとなる．さらにタイヤと地盤との接触状態の把握はタイヤの摩耗寿命予測にも寄与するものである．先に筆者らはタイヤ装着型車両の走行性能予測システムのうちタイヤ性能に関するシミュレーションモデルを示した[1]．このシミュレーションモデルを拡張すべく地盤接触情報を得るため種々の接触試験を行った．その後，タイヤに作用する２方向力（鉛直方向力，推進方向力）と作用トルク，摩擦係数，沈下量から剛盤上のタイヤ変形性状をもとに接触状態のモデルを再現した．今回は直進走行時における解析結果と拡張モデルの構築について報告する．

2. OR タイヤの変形性状

２．１　載荷試験

タイヤは建設車両中においてばねとして機能しているが，荷重支持および直進走行時の路盤からの衝撃吸収という点から見れば縦ばねに分類することができる．これまでタイヤを１個の弾性係数で表す場合にはこの縦ばねを計測もしくは推定することにより求めている．今回新たにたわみの初期における接触長を明確にするため**図-1** に示すような載荷装置を用いて，荷重に対するたわみ量を測定した．

図-１　載荷試験

表-１　供試タイヤ諸元

呼　び	10.00-20-14PR
外径(mm)	1055
タイヤ幅(mm)	296
空気圧(kPa)	550
空気圧 700kPa 時の最大負荷能力(kN) 時速 10km/h	52.1

また，接触面に感圧フィルムをはさみ接触形状を同時に測定した．載荷試験に用いたＯＲタイヤの諸元を**表-1** に示す．供試タイヤは未使用のものを用いたため，負荷に対する挙動を安定させるために予備載荷として回転角 30° 毎にたわみ 20mm を 20 回繰り返し与えた．接触形状の測定に際しタイヤ溝に変形に影響を与えない柔らかさのシリコン樹脂を充填し溝部分を投影した．
図-２，図-３は載荷試験の結果より得られる接触長－たわみ関係および荷重－たわみ関係である．

図-２　接触長Ｌ－たわみf

図-３　荷重Ｗ－たわみf

いずれの関係についてもたわみの初期部分（15mm 付近まで）以降は線形関係を示しており，従来の地盤接触予測においてはこの直線部分を用いた弾性係数測定が行われてきた．しかしながら軟弱地盤との接触領域の規定には１つの弾性係数でタイヤの変形性状を表すことは困難な面が生ずる[2]．

２．２　剛路盤上での接触形状

タイヤは周方向およびその直角方向（車軸方向）のいずれにも曲率を有しており，剛路盤上での接触形状は楕円となり弾性体間の接触はヘルツの理論を用いれば一般に長軸の長さ L は次式で表される．

$$L = 2\sqrt[3]{\frac{3W}{4}\left(\frac{1-\nu_A^2}{E_A}+\frac{1-\nu_B^2}{E_B}\right)\Bigg/\left(\frac{1}{R_A}+\frac{1}{R_B}\right)} \qquad (1)$$

ここに R_A：タイヤの半径，R_B：接触路盤の半径，E_A：タイヤの弾性係数，E_B：接触路盤の弾性係数，ν_A：タイヤのポアソン比，ν_B：接触路盤のポアソン比，W：荷重，L：接触長

さらに，Yong ら[3] はタイヤを１個の弾性係数で表せるものとして上式を基にした接触状態を示す式を提案している．

しかしながらタイヤの場合車軸方向の接触可能な幅は周方向に比して小さいため，たわみが大きくなると飽和することとなり接触形状は矩形に近づいていく．**図－４**は車軸方向の接触幅すなわち楕円の短軸側が飽和した後の接触形状例を示している．接触形状についてはタイヤ全体から見た弾性より接触域近傍の弾性の影響が大きいことから，２．１から推定できるトレッド部の等価弾性係数が重要となる．

図－４　接触形状例

２．３　一面せん断試験機によるトレッド材と土の接触試験

ここでは一面せん断試験機を用いてトレッド材と地盤材間の基本的な接触挙動推定データを得る．試験方法としては試験機の下側せん断箱にトレッド材を整形して挿入し，上側せん断箱に地盤材を詰めることにより行った．トレッド材は表面付近の変形能によるせん断抵抗の変化も考察するため，厚さを 1.5mm とし平滑面を有するものと表面にせん断直角方向に 5mm ピッチでサイピングを施した２種類を用いた．

図－５　地盤材（砂）とトレッド材の接触試験結果

図－６　地盤材（まさ土）とトレッド材の接触試験結果

図－5，**図－6**は地盤材として海砂およびまさ土を用いて一面せん断試験機による接触試験を行った結果である．図にはそれぞれの地盤材の一面せん断試験の結果を併記している．いずれの地盤材においても，一面せん断試験のせん断抵抗は平滑面を有するトレッド材との接触試験によるせん断抵抗値より大きい値を示している．この結果は溝を考慮しないトレッド表面下において，垂直方向荷重から生ずる駆動抵抗によって地盤材内部のせん断変形破壊が起こりにくいことを示していると考えられる．またサイピングを有するトレッド材の接触試験結果は平滑面トレッド材のせん断抵抗より大きい値を示している．サイピングを有している場合エッジ効果による抵抗増加が考えられるが，エッジ効果を発揮するためにはトレッド材の変形が必要条件となり，初期のせん断抵抗によって変形するに足る変形能をトレッド材が持ち合わせていることが必要である．

サイピングのない平滑面トレッド材についても十分な変形能を有する場合はせん断抵抗値が変化する可能性があり，試験方法を改善することによってこの点を調べていく必要がある．

２．４　地盤材とトレッド材の摩擦係数

地盤材とトレッド材の摩擦係数を調べるため，**図－7**に示すような簡易摩擦係数測定装置を用いて測定を行った．

図－7　簡易摩擦係数測定装置

測定は接触試験に用いた海砂，まさ土および火山灰を含んだまさ土の３種類を用い，調整時５％，１０％の含水比の試料を用意した．トレッド材は面積の等しい円形，楕円形，長方形を用いた．

表－2は静止摩擦係数の測定結果である．いずれの結果もトレッド材の接触形状による顕著な差が見られなかったので，試料ごとの全平均値で表している．火山灰を含むまさ土の含水比１０％の試料を除いて 0.62～0.64 付近の値を示している．今回の試験は動摩擦係数の測定も可能な装置であったが，すべり沈下と同様な現象が発生しトレッド材が動き出した後に地盤材の中に埋もれ

ていったため測定できなかった.

表－２　地盤材と静止摩擦係数

まさ土 含水比5%	まさ土 含水比10%	砂 含水比5%	砂 含水比10%	火山灰を含む まさ土 含水比5%	火山灰を含む まさ土 含水比10%
0.626	0.621	0.641	0.639	0.637	0.779

３．解析モデルと解析結果の検討

解析モデルは先に提案した図－８に示すRBSM タイヤモデルにて構築した．２．１の載荷試験結果から得られたトレッド部とサイドウオール部の等価弾性係数の推定結果は図－９に示す通りである．推定の方法については前述の文献[2]による．このモデルの特徴はタイヤを２つのブロックに分割し，それぞれに等価弾性係数を導入することによって接触形状の表示と荷重支持機能に起因するたわみの表示を明確にできるという点である．解析に用いた等価弾性係数はトレッド部 E_T10.3MPa，サイドウオール部 E_S58.2MPa，地盤材（砂）E_{SO}1.5MPa である．また地盤材（砂）の材料定数として２．３，２．４の結果より C＝0, tan ϕ ＝0.562, 摩擦係数 0.640 を用いた．解析の仮定として以下の項目を設けた．

（１）接触面領域は弾性接触の範囲にて発生し，駆動抵抗およびタイヤの変形抵抗による地盤材内部の破壊は起こらない．

（２）対象タイヤモデルのラグはなく平滑である．

図－８　RBSM タイヤモデル

図－９　各ブロックの等価弾性係数

図－１０に軸荷重 10kN，初期駆動トルク 295N・m を作用させた時のタイヤと地盤材（砂）の接触状態をタイヤ中心線の進行方向側および進行方向反対側について軸方向へ投影したものを示す．図中の●はタイヤ，○は地盤材の要素の重心位置を表しており，その座標値および回転角が与えられる．この時の最大沈下量は 18.1mm に達しているが，タイヤを１つの弾性係数（55.2MPa）で表した場合の沈下 20.3mmの約 81%であり予測性能の違いが現れている．また等価弾性係数の推定とは別にトレッド部の等価弾性係数を 5.0MPa，トレッド厚さを 60mmとした場合の最大沈下量は 16.9mmとなり，トレッド部の硬度を下げ厚くすることで軟弱地盤上での沈下を抑え接触面積の増加を図ることができると考えられる．

図－１０タイヤと地盤材（砂）の接触状態

図－１１は接触域付近のタイヤの変形を示したものである．実線は剛路盤上での変形，破線は地盤接触を示している．とくにせん断方向変形は地盤接触について剛盤接触より中心線側にピーク値を持つことが分り変形量の総和も小さくなっている．このことは軟弱地盤上でタイヤ変形エネルギー減少による推進力低下を表している．

図－１１　接触域付近のタイヤの変形

4. あとがき

先に示したＯＲタイヤの変形解析シミュレーションモデルに地盤との基礎的接触情報を加えることによって，タイヤ-地盤接触を表現するための拡張モデル構築した．解析結果より剛路盤上と地盤材上のタイヤの変形性状の相違が確認された．さらに動的な現象解析のための接触基礎データの収集および地盤材上でのタイヤ変形の実測が今後の課題である．

参考文献

1）室達朗，江口忠臣：ＯＲタイヤのモデル化に関する一考察，平成１０年度建設機械と施工法シンポジウム論文集，pp.208~211，1998

2）室達朗，江口忠臣：ＲＢＳＭタイヤモデルによるＯＲタイヤの基礎的変形性状解析，土木学会論文集（投稿中）

3）R.N.Yong，P.Boonsinsuk and E.A.Fattah：Tyre load capacity and energy loss with respect to varying soil support stiffness，*J. of Terramechanics*，*Vol.17*，*No.3*，pp.131~147，1980.

12. Influence of Track Length on Turning Characteristics of a Tracked Vehicle Running on Soft Terrain

Ehime Univercity : T. Muro, S. Kawahara, *T. Q. Thai

1. INTRODUCTION

The aim of the research is to investigate on a method to adapt ordinary tracked vehicle to a work on very soft terrain that requires turning motion. As have been known, the track contact pressure can exert larger influence on running characteristics of tracked vehicle. Consequently, it can be expected that the most economic way to adapt ordinary tracked vehicle to weak terrain is to change only the vehicle undercarriage. This paper presents the result of the investigation of the influence of track contact length on turning characteristics of a tracked vehicle model turning on soft sandy soil while keeping the track width unchanged. The investigation is carried out using our simulation analysis developed especially for soft terrain and verified by our research [1, 2]. The simulation is executed for a scale model of a tracked vehicle running on sandy soft terrain with steering ratio of 3.2 and different slip ratio of outer track. The results show that the track contact length, i.e. mean contact pressure, has considerable effect on the running proprieties of tracked vehicles.

2. MODEL VEHICLE AND TERRAIN TRACK SYSTEM CONSTANTS

The simulation was carried out for a 1/10-scale model of the 40 kN bulldozer turning on soft sandy terrain. The outline of the vehicle is shown in **Fig. 1**. The vehicle dimension as the input to the simulation analysis is shown in **Table 1**.

Fig. 1 Vehicle dimension as input to simulation analysis

Vehicle weight W (N)	582	Grouser height H (cm)	1.7
Height of hitch point H_{dp} (cm)	15	Grouser pitch (cm)	2.55
Dist. cent. of grav.-hitch point L_{dp} (cm)	26	Grouser thickness (cm)	0.3
Initial track tension Ho (N)	98.1	Maximum track deflection (cm)	1
Height of center of gravity Hg (cm)	15	Radius of front idler R_f,	5.4
Contact length D (cm) (changing)	27~39	Radius of rear sprocket R_r (cm)	5.4
Track width B (cm)	10	Radius of road rollers R_m (cm)	1.9
Track gauge C (cm)	23	Number of road rollers	3
Eccentricity of center of gravity	0	Road roller interval (cm)	6

Table 1 Dimension of model vehicle

The track contact length D was modified to adjust the mean contact pressure. **Table. 2** shows the cases of investigated track contact length and its corresponding contact pressure. Except for the change of contact length D, other dimensions of the vehicle remained unchanged.

Air-dried sandy soil was used in the experiment. The terrain-track system constants for the given track-soil system were determined by loading unloading test and traction test and are presented in **Table 3**.

D (cm)	$P_{mean} = \frac{W}{2BD}$ (N/cm^2)
39	0.7458
36	0.8080
33	0.8814
30	0.9696
27	1.0773

k_1 (N/cm^{n1+2})		n_1		k_2 (N/cm^{n2+2})	n_2	
3.031		1.259		4.061	0.545	
	m_c (N/cm^2)	m_f	a (1/cm)	c_0(cm$^{1+2c1-c2}$/N^{c1})	c_1	c_2
Lon.	0	0.87	0.6	0.343	0.81	0.7
Lat.	0	0.45	3.7	--	--	--

Table 3 Terrain-track system constants

The investigation was carried out for the case of vehicle in steering motion with steering ratio of 3.2 (defined as ratio of circumferential speed of the outer to that of the inner track) and different cases of slip ratio of outer track i_o. The investigated slip ratio of the outer track i_o is ranging from 4% to 80% with step of 1%. For each of slip ratio of outer track i_o the simulation was carried out for 5 cases of track contact length D.

3. INFLUENCE OF TRACK CONTACT LENGTH ON TURNING CHARACTERISTICS

The influence of track contact length on maximum amount of sinkage, longitudinal and lateral inclination angle, total thrust, turning radius, turning moment, effective tractive effort and optimum effective tractive effort was investigated.

The amount of sinkage of the vehicle is an important characteristic to assess the degree of ground damage caused by vehicle. **Fig. 2** shows the influence of the track contact length D on the amount of sinkage of front idler of outer track S_{fo}. The influence of the track contact length D on the amount of sinkage of front idler of outer track S_{fo} could be said rather complex.

Fig. 3 shows the influence of the track contact length D on the amount of sinkage of front idler of inner track S_{fi}. For a smaller range of the slip ratio of outer track i_o, the amount of sinkage of front idler of the inner track S_{fi} increases with the increment of track contact length D while reverse tendency is observed for a bigger range of the slip ratio of the outer track i_o. It can be concluded that the track contact length D exerts considerable effect on the amount of sinkage of front idler of inner track S_{fi}.

Fig. 4 shows the influence of the track contact length D on the amount of sinkage of rear sprocket of outer S_{ro}. As expected, the maximum amount of sinkage, i.e. the amount of sinkage of rear sprocket of outer track S_{ro} decreases with the increment of track contact length D, i.e. decrement of mean contact pressure P_{mean}. It can be concluded that the influence of track contact length D on the amount of sinkage of rear sprocket of outer S_{ro},

Fig. 2 Influence of track contact length D on sinkage of front idler of outer track S_{fo}

Fig. 3 Influence of track contact length D on sinkage of front idler of inner track S_{fi}

Fig. 4 Influence of track contact length D on sinkage of rear sprocket of outer track S_{ro}

i.e. on the maximum amount of sinkage of the vehicle is considerable.

Fig. 5 shows the influence of the track contact length D on the amount of sinkage of rear sprocket of inner track S_{ri} for different slip ratio of outer track i_o. In the bigger range of slip ratio of outer track i_o, the amount of sinkage of rear sprocket of inner track S_{ri} decreases with the increment of the track contact length D. In the smaller range of slip ratio of outer track i_o, however, the reverse effect of the track contact length D on the amount of sinkage of rear sprocket of inner track S_{ri} is observed. It can be seen from the figure that the track contact length D exerts larger influence on the amount of sinkage of rear sprocket of inner track S_{ri}.

Fig. 5 Influence of track contact length D on sinkage of rear sprocket of inner track S_{ri}

The longitudinal and lateral inclination angles are important characteristic to assess the stability of the vehicle turning in soft terrain. **Fig. 6** shows the influence of the track contact length D on the longitudinal and lateral inclination of the vehicle, θ_{lon} and θ_{lat} respectively, for different slip ratio of outer track i_o. The longitudinal angle θ_{lon} decreases with the increment of the track contact length D for the whole ranges of the slip ratio of outer track i_o. However, the influence of track contact length D on the lateral inclination angle θ_{lat} is more complex. In general, the lateral inclination angle θ_{lat} decreases with the increment of the track contact length D for the smaller range of the slip ratio of outer track where inner track is in braking state and outer track in driving state. The reverse tendency is observed for the range of bigger values of the slip ratio of outer track where both tracks are in driving state. The figure shows that the track contact length D has considerable effect on the longitudinal and lateral inclination of the vehicle θ_{lon} and θ_{lat}.

Fig 6. Influence of track contact length D on longitudinal and lateral inclination angle θ_{lon}, θ_{lat}

Fig. 7 shows the influence of the track contact length D on the total thrust T_3. In general, the total thrust T_3 decreases with the increment of the track contact length D. The decrement of total thrust T_3 while the track contact length D increases can be explained by the decrease of the ground contact pressure. It is observed that track contact length D exerts considerable effect on the total thrust T_3.

Fig. 8 presents the influence of the track contact length D on the turning moment M and turning radius R. It is observed that in general the turning moment M and turning radius R increase with the increment of the track contact length D. It can be concluded that the track contact length exerts substantial influence on the turning moment despite its little influence on turning radius especially in the region of the typical turning motion during which the outer track under driving and inner track under braking state. The increase of the turning moment M while track contact length D increases can be explained by the increases of arm length of lateral forces.

Fig. 9 presents the influence of the track contact length D on effective tractive effort T_4. The figure shows that the track contact length exerts larger influence on effective tractive effort especially in the smaller range of slip ratio of outer track i_o where typical turning motion of driving state of outer

Fig. 7 Influence of track contact length D on total thrust T_3

Fig. 8 Influence of track contact length D on turning moment M and turning radius R

Fig. 9 Influence of track contact length D on effective tractive effort T_4

track and breaking state of inner track occurs.

Fig. 10 presents the relationship between optimum effective tractive effort T_{4opt} and track contact length D. The figure shows that there exists the maximum value of optimum effective tractive effort T_{4opt} of about 285N at track contract length of 33 cm when mean contact pressure P_{mean} is of 8.81kPa while the vehicle is turning with slip ratio of outer track i_o of 34%. The existence of maximum value of effective tractive effort can be explained by the fact that bigger mean contact pressure P_{mean} (which would brings about larger thrust) exists at shorter track contact length D (which would reduce thrust because of smaller amount of slippage).

Fig. 10 Relationship between optimum effective effort T_{4opt} and track contact lenght D

4. CONCLUSION

The influence of track contact length on turning characteristics of a tracked vehicle model turning on soft terrain with steering ratio of 3.2 and with different slip ratio of outer track was investigated using a verified simulation analysis developed in our research. The followings can be concluded for a given tracked vehicle model and soil:

(1) The track contact length exerts considerable influence on amount of sinkage, thrust, effective tractive effort and inclination angles.

(2) For the case of typical turning motion when outer track under driving and inner track under braking state, it is observed that effective tractive effort increases with increment of track contact length.

(3) Maximum amount of sinkage, longitudinal inclination angle decreases with the increment of track contact length.

(4) The track contact length exerts significant influence on turning moment despite its moderate effect on turning radius. It is observed that both turning moment and turning radius increase with increment of track contact length.

(5) There exists a track contact length, i.e. mean track contact pressure, at which maximum optimum effective tractive effort can be achieved.

Reference

[1] T. Muro, T.D. Thai : Turning Characteristics of a Bulldozer under Traction on a Weak Sandy Terrain, Proceedings of 7th European ISTVS Conference, pp. 102-109, 1997.

[2] T. Muro, T.D. Thai : Numerical Analysis to Predict Turning Characteristics of Rigid Tracked Vehicle under Traction on Loose Sandy Soil, TERRAMECHANICS, Vol. 18, The Japanese Society for Terramechanics, pp. 41-48, 1998.

13. 災害復旧工事における遠隔操作型改造技術に関する考察

建設省土木研究所：江原　正隆，新田　恭士，*朝倉　義博

1．はじめに

我が国では、毎年土砂災害により甚大な被害を受けており、被災後は早急な復旧が求められている。しかし、被災直後の復旧には二次災害の発生が懸念され、その対策工法として遠隔操作型建設機械が用いられ、効果を発揮している。筆者らは、平成９年度に遠隔操作型建設機械を活用した被災現場での実態調査を行い、遠隔操作に従事した関係者への聞き取り調査を基に、災害復旧工事の施工上の課題を整理した。この結果、操作性等に課題があるものの、作業員の安全確保ができ早期に作業開始が可能であることから遠隔操作型機械のニーズが高いことが判った。しかし、一方で遠隔操作型建設機械は、国内の台数が少ないこと等から調達に時間を要し、建設機械の搬入に手間取っていることが判った[1]。

筆者らは、災害復旧作業における遠隔操作型建設機械の調達時間の迅速化を図るために、災害時に汎用型建設機械を遠隔操作型に改造する技術について検討を行ったので報告する。

2．遠隔操作型建設機械の現状

通常の工事で使用することが少ない遠隔操作型機械を災害時に短時間で輸送することは、現実的には困難である。建設省の各地方建設局が設定している災害対策ブロックでは、事前に配備してある災害対策用機械の移動時間を概ね３時間と設定しているところが多い。遠隔操作用機器の運搬時間を３時間以内とした場合、過去の災害事例を基に北陸技術術事務所が行った試算では、管内に適切に分散配備することを前提とした上で十数台を必要としている。一方、現在国内にある遠隔操作型機械の地域別台数（表－１）は、３時間以内の調達に必要な台数に対しかなり不足することが判る。

普段の工事で使用しない遠隔操作型の機械を災害時の使用のみを目的に保有することは、現実的に難しいことから、汎用の機械を遠隔型に改造することにより調達する方法が考えられる。土砂災害等の復旧作業で使用される機種・規格は、平成９年の現場調査[1]から輸送性と施工性を考慮したバックホウ（バケット容量 0.8～1.4m^{3}級）、ブルドーザ（機械質量 20t 級）、クローラダンプ（最大積載量 11t 級）が主力になると考えられる。また、これらの機種・規格は全て汎用機種であることから国内に多数保有されており[2]、改造を可能にすることで調達時間の短縮が図れる。

表－１　国内の遠隔操作型建設機械の数量[3]

名　称	規　格	北海道	東北	関東	北陸	中部	近畿	中国	四国	九州	合計
バックホウ	容量 0.7～1.5m^3	9	3	6	5	4	0	1	0	9	37
ブルドーザ	5～20t	0	1	2	0	0	0	0	0	4	7
クローラダンプ	10～12t	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2

3．建設機械の制御方式

現在の土工機械の制御方式を大別すると、メインバルブの制御方式により、①パイロット油圧制御方式、②電子制御方式、③バルブ直動方式がある（図－１）。①は、現在稼働している土工機械の90%以上を占め、バックホウでは中型クラス（0.6m³～1.4m³）が多い。②は、0.5m³以下の小型バックホウにのみ採用されている。③は、一部のブルドーザ等に採用されている方式である。

遠隔操作型への改造を想定した場合、上記の３方式の油圧弁を直接無線制御し開閉する方法がある。②は、通常のレバー操作による電気信号と同様の信号を出力する受信機を機体制御装置に取り付ければ良いため、最も改造が容易ではあるが、前述のとおり小型掘削機がほとんどであるため今回の検討から外した。また、③は遠隔操作用のメインバルブの取付が遠隔操作用に必要となり、油圧系統が２系統になるため、改造が複雑であることから今回の検討から外した。一方、①はほとんどの土工機械で採用されており、土砂災害の復旧作業で使用される 1.4～4.0m³クラスの機種・規格も多いことから、災害時の迅速な調達を想定すると最も現実的であるためこの方式について検討する。

図－１　建設機械の制御方式

4．遠隔操作型への改造方法の検討

汎用型建設機械を遠隔型に改造する際に取り付ける装置は、操作制御に関わる部分としては、コントローラから送られる無線信号のエラーをチェックし電気信号に変換する受信機、電気信号を各機器の制御信号に変換する遠隔操作制御装置、制御信号により各機器のメインバルブを操作する油圧を制御する電磁比例パイロットバルブ、通常のレバー操作時と油圧の流れを切り替える切替バルブがある。

また、その他部分では、機械を操作するために必要な視覚情報を得るためのカメラや、機械の状態を操縦者や周囲に伝えるための回転警告灯や警告ホーン等の安全装置等がある。このうち、最も主要である操作制御に関わる部分の改造方法について検討する。

油圧パイロット方式の最も単純な改造方法は、パイロットバルブとメインバルブの間に切替バルブを挿入する方法である（図－２）。この場合、パイロットバルブからメインバルブへの配管、電磁比例パイロットバルブから切替バルブへの配管等の改造が必要である。しかし、油圧配管の改造には、専門の技術者と数十時間を要し、迅速性が求められる災害時には現実的ではない。そこで、配管の改造を伴う切替バルブ等の取付を事前改造とし、災害時の改造を受信機の取付けに限定する。この方法による実証実験において、約 30 分まで改造時間が短縮された実績がある[4]。

図－２　油圧パイロット方式の改造概念図

事前改造時の取付部品の一例を写真－１～３に示す。

写真－１　切替バルブ

写真－２　電磁比例パイロットバルブ

写真－３　遠隔操作制御装置

５．制御プロトコル標準化による改造時間短縮

現場改造の概要を図－３に示す。事前改造として切替バルブのみを装着する場合、電磁比例パイロットバルブ以降を発注者側で用意し現場改造することになるが、機械によって油圧系統の応答特性が異なり、コントローラの操作に対する応答が異なるため、操作性に問題が発生する可能性がある。また、電磁比例パイロットバルブから切替バルブへの配管が必要となり、現場での改造に時間を要する。

図－３　プロトコル標準化による合理化

次に、切替バルブから遠隔操作制御装置までの取付を事前改造とした場合、機械毎に異なる油圧系統の応答特性は、メーカーの責任において最適設計され、各々機械に適合したセッティングが可能となり、コントローラの操作に対する応答をそろえることが可能となる。また、現場での改造は、受信機の取付及び受信機・遠隔操作制御装置間の配線のみであるため改造時間の短縮が図れる。

表－２　制御プロトコルの標準化例

制御データ	遠隔操作の開始（ON-OFF） エンジン始動・停止 非常停止 走行／作業モード ブレーキ　制動／解除 左走行　前進／後進 右走行　前進／後進 旋回　右／左 アーム　押し／引き ブーム　上げ／下げ バケット　掘削／ダンプ
受信機	受信機の取付方法 受信機と機械制御装置との配線方法 受信機への電力供給方法

さらに、表－２に示す受信機・遠隔制御装置間の制御プロトコルや受信機の取付方法等を標準化することができれば、コントローラーと機械本体に装着する受信機を一組として発注者側が用意しておくことにより、調達した事前改造済みの機械の機種規格に関係なく使用できる。

６．今後の検討

今回、事前改造として電磁比例パイロットバルブと遠隔操作制御装置の取付（図－４の②）を提案したが、通常使用時のメンテナンスや、事前改造コスト、遠隔操作時の信頼性等の課題が残る。これらの課題は、事前改造を切替バルブの取付のみとすることで解決できるが、前

図－４　事前改造範囲

述の通り操作性や改造時間に欠点がある。しかし、改造対象を国内保有台数の多い機種規格に限定すれば、電磁比例パイロットバルブの現場取付（図－４の①）を含めた改造手順であっても時間短縮が可能である。今後は、この方法についても検討を行い最適な改造方法を提案する予定である。

７．まとめ

遠隔操作型建設機械の活用事例の調査結果から、現状の災害復旧工事では遠隔操作型機械のニーズが高いものの、調達に時間を要し機械の搬入に手間取っていることが判った。このため、遠隔操作型建設機械の調達の迅速化を目的として、汎用型建設機械を遠隔操作型に改造する技術として，油圧パイロット方式の建設機械について切替バルブ等の取付けを事前改造とし、災害時の改造を受信機の取付けに限定する方式について検討した。その結果、受信機・遠隔操作制御装置間の制御プロトコルの標準化による共通化を進めることが必要となった。

今後は、災害復旧時におけるより迅速な遠隔操作型建設機械の調達のために、災害時に必要な台数に対応できる最適な事前及び現場改造範囲の再検討、遠隔操作型建設機械の採用判断基準、建設機械搬入方法、現場改造手順、施工方法について検討し施工マニュアルを作成する予定である。

また、遠隔操作型建設機械の施工を行う上で大きな課題である作業効率の向上として、映像装置やGPS 技術を用いた遠隔操作支援技術の開発、施工管理手法の検討、高分解能衛星データの利用等の幅広い検討が今後の課題である。

最後に調査にご協力いただいた現場担当者やメーカー技術者の方々に深く感謝申し上げます。

［出典］

１）災害復旧工事における建設機械の遠隔操作技術の活用に関する調査：土研資料第 3566 号
２）建設機械動向調査報告：通商産業省・建設省
３）日本建設機械化協会ホームページ：（社）日本建設機械化協会
４）建設機械の遠隔操縦技術検討業務概要報告書：北陸地建北陸技術事務所

14. 構真柱ケレン機械

大成建設㈱：*白土　　篤，腰越　勝輝
駒野　敏郎

1．はじめに

近年、地域の再開発プロジェクトを筆頭に建築工事の大型化が進んでおり、地下工事の規模もより広くより深く拡大し、地下掘削土量及び地下空間も飛躍的に大容量化している。しかし、工期については工事が大型化しているにも拘らず、コスト低減等の面から一層の短縮が求められている。

このような状況の下に、大型の地下工事の高速化・高効率化等に効果を発揮する、逆打（ｻｶｳﾁ）工法が各所で多く採用されている。今回紹介する構真柱ケレン機械は、この逆打工法による地下掘削工事の一端を担う省力化機械であり、大成建設㈱と日立建機㈱が共同で開発を行った。

2．逆打工法と構真柱

逆打工法の特徴として、

①１階の床を先行施工し、それを作業床として利用し構造物を１階→地下１階→地下２階･･･へと順次下方へと構築する。そのため桟橋構台が不要となり、仮設費の大幅なコストダウンに繋がる。

②地下の各階の床を支保工として利用することができるため、施工面積が広大な現場や敷地境界が複雑に入り組んでいる現場で、切梁・腹起し材の設置作業が極めて困難な場合、また立地条件等により山留め用アースアンカー工法を採用できない現場の山留工法としても有効である。

③極度の高所作業が無くなるため、各作業の安全性が向上する。

④本設の柱（構真柱：ｺｳｼﾝﾁｭｳ）を躯体構築に先行して建込むため、地下工事と並行して地上躯体の工事を行うことが可能となり、工期短縮を図ることができる。

等が挙げられ、長所が多い工法である。このように、総合的に作業の効率化を進める逆打工法の中にあって、構真柱のケレン作業は、機械化されていない作業性の悪い作業のひとつである。

3．現行の構真柱の清掃作業

構真柱は、地下掘削作業に先行してアースドリル等で削孔され、ベントナイト溶液（地山安定剤）が充填された孔に建て込まれ、泥土により埋め戻される鋼製の柱であり、形状・寸法は多種に及ぶ。この構真柱は、地下掘削作業の進捗に伴い上部から順次その姿を現すが、最終的には周囲に鉄筋を配筋し、コンクリートを打設してＳＲＣ造の柱とする。

このように、先行建込みされた鋼製の構真柱には多量の泥土が付着しているが、コンクリート打設前に、これらの泥土を除去することが必要である。

従来より、構真柱に付着した泥土を掻き落として除去する清掃作業は、「構真柱のケレン作業」

と言われている。この作業は、足元が軟弱で不安定な構真柱の周囲に可搬式足場等を設置し、防塵マスクを着用した作業員がその上で、高圧水、皮スキ、ノミ、ワイヤブラシ等を用いて人力により、行われている。（写真－１）

４．機械の開発目的

前述のように、構真柱のケレン作業は旧態然とした方式で人力のみで行っており、作業効率の低さ、作業員の安全性及び作業環境の悪さが問題になっていた。

これらの改善のために開発されたのが、「構真柱ケレン機械」である。

［開発の目的］

①高所作業の解消

②作業効率の向上（作業性向上、スピードアップ）

③苦渋作業の解消（作業環境の改善、作業の機械化）

写真－１　高圧水によるケレン作業

５．機械の概要

本機のベースマシンは、開発コストの低減、小旋回性能の確保、及び軽量で軟弱地盤上での走行性の確保等の理由により、既存の０．１４㎥級のミニショベルを採用した。

アーム先端には、ケレン作業用ツールとして、泥土の粗取作業用リッパと、仕上げ用回転ワイヤブラシの２種類のアタッチメントを装備した。この２種類のアタッチメントは、アーム先端の同軸ピンに取り付けられており、使用されない方はアームのブラケットに仮止めする。リッパは１本物の単体爪の他、多種の構真柱に対応するため、オプションとして爪の全幅を変えられる３枚組の鋼製爪も有する。一方、回転式ワイヤブラシには、特にクロスＨ型構真柱の内面のケレンに対応するため、遠心拡張型の回転ワイヤブラシを開発し採用した。また、粉塵飛散防止策として、運転席でＯＮ－ＯＦＦ操作を行う水噴出ノズルを回転ワイヤブラシの根元に設置した。

作業最高高さは、約4．５mであり、これは標準的な建物の床から梁下までの高さをカバーしている。（図－１）

6．機械の仕様

- 全高：２５２０ mm（運搬時）
- 全長：５４３０ mm（運搬時）
- 全幅：１８５０ mm
- 最大作業高さ：４４７５ mm
- 本体質量：約４ ton
- ﾘｯﾊﾟと回転ﾜｲﾔﾌﾞﾗｼの交換方法
  ：手動による回転入替方式
- ブラシ最大回転数：２５０ r.p.m.（可変）
- ブラシ最大トルク：５０ kgf-m
- 粉塵飛散防止用水ポンプ吐出量：18.5 L/min

図－１　粗取用リッパ

図－２　構真柱ケレン機械全体図

7．ケレン機械による作業

ケレン作業は、構真柱の内外面に付着して塊状になった泥土と固結したベントナイトをリッパを用いての粗取りから開始する。本機械は、本体の旋回機能に加えて、アームも根元でスイングする機能を有しているため、オペレータはリッパ先端を視認し易い位置・向きに機体をセットし作業を行うことができる。

粗取作業終了後は、アタッチメントを回転ワイヤブラシに交換し仕上げの作業を行う。アタッチメントの交換作業は、オペレータと介助者一人の計２名で行うが、これの所用時間は十数分である。（写真－２）

写真－２　リッパによる粗取作業

構真柱に付着した泥土は、埋戻土の土質・圧密度及び構真柱の断面形状、露出後の経過時間、地下空間の温度・湿度等の要因により、粘性・硬度に違いが出る。そのため、特に構真柱外面については泥土が自然崩落することもあり、リッパを用いず直接外面用回転ワイヤブラシを用いての作業から着手するケースもある。（写真－３、写真－４）

写真－３　外面用回転ワイヤブラシ
（稼動状況）

クロスＨ型構真柱内面の仕上げ取りケレン作業は、内面用回転ワイヤブラシを用いて行う。このブラシは、停止状態では頂板が直径２５０ｍｍ、底板が直径１００ｍｍの逆円錐台形であるが、これを縦軸中心で回転させると、先端の直径が約６００ｍｍまで拡張する。このような、ワイヤブラシの形状変化を利用して、間口が狭く内部空間が広がっているクロスＨ型構真柱の、内面ケレン作業を行う。これを遠心拡張型回転ワイヤブラシと称しており、今回新規開発したものである。このブラシの第２の特徴はワイヤ素線にあり、これの毛足が長く縮れて柔軟性に富んでいるため、構真柱内面形状に追従してしなりを持って回転し、

写真－４　内面用回転ワイヤブラシ
（稼動状況）

隅々に入り込んだ泥土を掻き落とすことである。

また、作業による粉塵の発生が多い場合は、作業前、作業中適宜にケレン面に水を噴霧して、粉塵発生を押える。（図－３、写真－５、写真－６）

A－A断面

番号	名称	材質	仕　様
①	毛材	SWRH72A	φ0.38×6 メッキ拠線
②	毛材	SWRH62A	φ0.3×7　ロープ線
③	六角穴付ボルト	SS400	M10×16L

図－３　遠心拡張型ワイヤブラシ

写真－５　遠心拡張型ワイヤブラシ
（停止状態）

写真－６　遠心拡張型ワイヤブラシ
（回転状態）

8．使用実績

本ケレン機械は、最初に大成建設㈱東京支店法政大学市ヶ谷新棟建設工事に実証実験を兼ね導入し、ここでの実験結果を基に、回転ワイヤブラシと構真柱断面形状との整合性向上を主眼に、ワイヤブラシに改良を加えた。その後、改良機を東京港湾合同庁舎建築工事に導入し、本格稼動を行い良好なケレン効果を確認した。

（本稿で紹介した回転ワイヤブラシ仕様は改良後のものである）（写真－7）

写真－7　構真柱ケレン機械全景

9．おわりに

現在、当ケレン機械は3番目の作業所で稼働中である。これまでの実稼動において、専門工事業者から好評を得ることができたが、寄せられた意見やノウハウを基に更にアタッチメントの多様化を進めてゆく所存である。

15. 建築工事用CAD/GPS位置出しシステム

三井建設㈱：*大津　慎一，佐田　達典
高田　知典

1．はじめに

筆者らは1993年にリアルタイムキネマティック測位（ＲＴＫ）を用いた「ＧＰＳ誘導型測量システム」を開発し[1]、主に陸上の工事測量に適用してきた。本システムには大きく分けて地形計測機能と位置出し機能とがあり、当初は主に地形計測機能を用いて、メッシュ土量計測、縦横断測量、平板測量などに適用し、在来法の３～５倍の高速化を実証してきた。工種としては宅地造成や道路工事、ダム建設などいわゆる土工事である。一方、位置出し機能については、在来法の3倍程度の速度で作業できるものの、計測精度が2cm程度であることから高精度を要求される本設のコンクリート構造物や鋼構造物の位置出しには適用できず、土工事での位置出しや仮設構造物に使用するに留まっていた。

建築工事に関して言えば構造物の墨出しには精度不足であり、また、衛星観測状況からも都市部では適用しにくいということから、ＧＰＳは建築工事では利用しにくいという評価がなされてきた。こうした一般的な評価に対して、筆者らは建築工事でも郊外の比較的敷地面積が大きく衛星観測条件が良好な物件を対象とすれば、数cmの誤差が許容される基礎杭や山留杭などの位置出しに適用できるのではないかと考えた。そして、そのためにシステムの整備・拡張を行ない、現在までに十数件の建築工事で適用してきた。システム整備の最大の特徴は、建築工事用にＣＡＤとの連動を考慮した機能拡張を行なったことである。手書きの図面がまだ多い土木工事と違い、建築工事では設計図、施工図等がほとんどＣＡＤで作成されていることから、ＣＡＤデータから直接、基礎杭座標を抽出する方法を導入した。それによって座標拾い時間の短縮を図るとともに、手作業による場合に比べて信頼性を格段に向上させることができた。

本稿では、システムの内容を紹介するとともに、位置出し精度、速度などに関する評価実験結果を報告し、システムの効果と課題についてまとめる。

2．システムの構成

2．1　ＧＰＳ誘導型測量システム

リアルタイムキネマティック（ＲＴＫ）機能を用いて携帯パソコン上で自分の現在位置と目標ポイントやメッシュ図を表示しながら測量できるシステムである。ＲＴＫは図－１に示すように既知点に設置したＧＰＳ受信機（基準局）と計測側のＧＰＳ受信機（移動局）を特定小電力無線で結び、基準局での衛星受信データをリアルタイムに移動局に送り、移動局側で基準局から移動局までの基線を即時に（通常は１秒間隔）計算する。誘導型測量システムは、移動局受信機から出力される測位データを携帯型パソコンに取り込み、パソコン画面の地図上に位置を表示するシ

図－１　ＧＰＳ誘導型測量システム

図－２　全体の作業手順

図－３　CADデータからのポイント座標抽出手順

ステムである。測位データは通常１秒間隔で緯度、経度、高さの三次元座標でＧＰＳ受信機から出力されるため、携帯パソコンで平面直角座標（Ｘ、Ｙ、標高）に変換して用いる。

２．２　全体作業の流れ

位置出し作業は図－２に示す手順に沿って実施される。まず、準備段階では杭芯等が含まれているＣＡＤデータから位置出しポイント座標を抽出し、チェック後、ファイルとして携帯パソコンに登録する。次に現地作業では、最初に現地の局地座標への座標変換設定を行い、パソコンに登録したポイント座標と同じ座標系で測位データが表示されるように設定する。そして、本作業に入り、画面による誘導機能を用いて位置出しを行い、鉄筋棒等を用いて印を設置する。最後に設置位置を再度計測してチェックを行う。

写真－１　誘導画面例

写真－２　位置出し作業状況

２．３　準備作業（ＣＡＤデータ処理）

位置出しを行うポイント座標を取り出す手段としては、従来、図面の寸法をもとにＸ座標、Ｙ座標を手計算で求める方法が一般的であったが、本システムでは大量のポイント座標を短時間に確実に取り出すため、ＣＡＤデータから直接抽出する方法をとっている。

まず、杭芯等が含まれているＣＡＤ図面データから不要な部分を削除し、位置出しをする点名称とポイントだけのデータとする。これをＤＸＦ形式で出力して点名称と座標の照合を行う。この時、マクロを利用して座標データの抽出を半自動化している。この処理により点名称と座標のファイルがＤＸＦ形式で作成される。これを最初のＣＡＤ図面に重ね合わせてチェックを行い、確認の上、誘導型測量システムのファイル形式に変換して携帯パソコンに登録する。図－３は、ＣＡＤデータからのポイント座標抽出手順を示している。

２．４　現地作業（ＧＰＳによる位置出し）

（１）現地での座標系への変換

現地ではまず、ＧＰＳで計測したデータを現地の局地座標に変換するために変換パラメータを求める。建築工事では国家座標ではなく、局地座標を使用することが多いため、この作業を最初に行うこととなる。

作業としては、施工区域の外周に４点以上の基準点を設置し、ＣＡＤ図面と同じ座標系で座標を与える。そして、これらの点をＧＰＳ誘導型測量システムで計測し国家座標を求める。この内、２点を使って国家座標から局地座標へ変換するパラメータを求め、他の点はその変換を使って正しく変換できているか確認に用いる。

なお、現地に国家座標の基準点が無い場合は、適当な点に基準局を設置し、単独測位で計測した緯度、経度から平面直角座標に変換した値を仮の国家座標として用いる。この座標自体は数十ｍの誤差を持つが、基準局から移動局への相対座標は影響をほとんど受けないので、十分な精度で局地座標に変換することができる。

（２）画面誘導による位置出しと印の設置

携帯パソコンに登録した目標ポイント座標ファイルから順次目標点を選択し、画面誘導機能を用いて位置出しを行う（写真－１）。パソコンのメッシュ画面には、目標点の位置が○印で表示

図－4 ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝによる検証結果
（設計値と計測値の差）

図－5 再計測による検証結果
（設計値と計測値の差）

表－1 ﾄｰﾀﾙｽﾃｰｼｮﾝによる検証結果(100 点)

項目	X座標差 (mm)	Y座標差 (mm)
平均値	-1.4	1.7
標準偏差	7.2	6.6
最大値	17	17
最小値	-18	-15

表－2 再計測による検証結果（300 点）

項目	X座標差 (mm)	Y座標差 (mm)
平均値	1.0	-0.6
標準偏差	8.6	8.7
最大値	25	23
最小値	-28	-27

され、現在位置は＋印で１秒毎に更新・表示される。したがって最初、パソコン画面を見ながら目標ポイントに近づき、微調整はＸ方向、Ｙ方向の残差表示を確認しながらＧＰＳアンテナを動かして行う（写真－２）。残差が 1cm 以下になったところで鉄筋棒などの印を設置する。

（３）設置点の確認

印の設置後、その印を再測し位置をパソコンに記録する。これは、チェックに用いる他、標高も同時に記録しているので地盤高のデータとなり、掘削の場合などの土量計算に利用することもできる。さらに、全点位置出しが終了したところでもう一度、周辺の基準点と位置出しした全点を当たってチェックを行う。チェックは短時間で終わるのでなるべく全点を当たることが望ましい。また、トータルステーション等の測量機を用いてランダムに数十点計測して系統的な誤差等が発生していないか確認する。

３．システムの評価実験

３．１　位置出し精度

（１）時系列的変動

ＲＴＫでは測位結果が時系列的に変動することから、平面誤差として最大で±20mm の変動があることを考慮する必要がある。特に、衛星からの電波が障害物に反射して直接波と干渉するマルチパスは移動しながら計測する本システムでは避けられない変動要因である。

表－3　作業日毎の位置出し速度

作業日	作業時間	設置点数	設置速度（点／時間）
第1日	6時間35分	202点	30.7
第2日	6時間20分	205点	32.4
第3日	6時間40分	225点	33.7
第4日	5時間30分	188点	34.2
計	25時間5分	820点	32.7

（2）トータルステーションとの比較

本システムで位置出しした点をトータルステーションで計測し、そのバラツキを検証した。図－4は100点計測した結果を示している。なお、この検証実験ではX座標、Y座標は国家座標である。表－1にX方向、Y方向の座標差について平均値、標準偏差、最大値、最小値を示す。標準偏差はX方向、Y方向とも約7mm、差の最大値、最小値は20mm以内に収まっており、ほぼX、Y両方向とも2cm以内の精度で設置できているといえる。

（3）杭設置後の再計測

次に、本システムを用いて300点の位置出しを行ない、印を設置した後、再計測を実施し設計値との比較を行なった（図－5）。表－2に測定結果を示す。トータルステーションによる検証に比べて差のバラツキが大きくなっており、標準偏差は両方向とも9mm、差の最大値もX方向28mm、Y方向27mmとなった。これはトータルステーションよりも精度が粗い本システムを用いて検測したためである。この結果から本システムで再計測すればX、Y各方向成分について±30mmの範囲で設置点を点検できる。点検は各点で瞬時に実施できるから、この程度の精度で良いとすれば極めて機動力が高く簡便な点検方法となる。

3．2　作業速度

（1）ＣＡＤデータ処理

ＣＡＤデータからポイント座標を抽出し、最終的に元図面データと重ね合わせて確認をするまでの作業は1日当たり概ね200点である。

（2）位置出し速度

820点の位置出しを4日間で実施した事例から位置出し速度を算定した結果を表－3に示す。作業時間は位置出し作業のみの時間であり、機器の設置など準備時間や休憩時間は含んでいない。また、鉄筋棒の設置を2組の作業班で交互に行なったため、位置出しには作業待ちの状態は発生していない。表－3から設置速度は平均で32.7点／時間となった。

4．システムの効果

3章での検討結果により、本システムの特徴及び効果をまとめると次のようになる。

①ＣＡＤとの連動による準備作業の省力化

ＣＡＤデータから位置出しポイントの座標データを抽出する工程を省力化したことから、位置出し作業の準備工程を大幅に短縮できた。1日当り約200点の座標抽出・チェックが可能である。

②短時間に多点の位置出しが可能

パソコン画面の誘導により順次ポイントを高速で設置し、鉄筋棒で印をする場合、1 時間に約 30 点、1 日に約 200 点の設置が可能である。

③複雑な点配置でも高速に設置

座標をもとに位置出しするため、設置速度は点配置に関係なく同じ速度で実行できる。従来測量では、円や複雑な線形での配置の場合、直線上の配置の場合に比較し速度が大幅に低下するが、本システムでは配置に関係なく高速で設置可能である。したがって、点数が多くかつ複雑なほど適用の効果が大きい。

④高い信頼性

精度的には検証の結果、X、Y各方向について標準偏差で 7mm、最大較差が±20mm となり、基礎杭や山留杭の位置出しには十分な精度となった。

一方、従来の方法では測量機からの距離と角度で位置出ししていたため、人為的な過誤は避けられなかったが、本システムでは座標で誘導するためその種の誤りはほとんど発生しない。また、設置点の確認は全点を本システムで再計測することで短時間に確実に実施できる。

さらに、座標抽出に際しては点名称と座標を抽出し、整理後に元のＣＡＤ図面に重ね合わせてチェックするため、座標の入力ミスを防ぐことができる。ＣＡＤと直接連動することによる大きな効果である。

5．結論

本システムはこれまでに集合住宅や商業施設など十数件の建築工事で適用した。特に、配置が複雑な基礎杭の芯出しを実施した例が多く、通常の方法では 10 日を要するところを 3 日で完了した例もある。したがって、本システムはある程度の規模があり位置出し点数の多い工事、中でも点配置が複雑な工事には効果が大きい。着工から本工事開始までの杭芯出し等の準備期間を大幅に短縮できるという意味で生産性の向上に少なからず寄与することができる。

今後の課題としては、さらなる操作性の改善がある。位置出しは着工直後だけでなく、工事の各段階で必要とされる。現在は、専門のスタッフでなければ運用が難しいため、工事中に職員が適宜使えるという状態にはなっていない。今後、機器の軽量化と操作の簡便化を図り、現場の技術者でも扱えるように改良を行う予定である。また、ＣＡＤとの連動についてもさらに自動化を図り、迅速で確実な手法を確立したいと考えている。

参考文献

1）佐田達典、高田知典：ＧＰＳ誘導型測量システム、応用測量論文集、（社）日本測量協会、1994.6、Vol.5

16. Ts-up 工法（高層鉄塔施工システム）

大成建設㈱：*吉川　明男，西村　正宏
伊藤　幸次

1. はじめに

近年、膨大な情報伝達をつかさどるマイクロウェーブ通信の中継所として、アンテナ設備を屋上に備えた高層オフィスビルが増えてきている。

このようなアンテナ設備設置用の高層鉄塔を、従来のように狭い吊り足場と水平ネットを用いて施工した場合、超高層エリアであるため工事は風の影響を受けやすく、溶接などの施工品質の低下、工程の遅延などが懸念される。また、安定した作業環境が確保できないため鉄骨の建方精度の確保が難しいと予想される。

これらの問題を解決するために鉄塔の周りに作業ステージを配置し、工事の進捗に合わせてその作業ステージを昇降させ、高層鉄塔を建設する「Ts-Up 工法」（写真 1）を開発し工事に適用した。Ts-Up 工法の「T」は「Taisei（大成建設）」と「Tower（塔状構造物）」、「s」は「stage（作業ステージ）」と「safe（安全）」を表し、「Up」は「上昇」の意である。本工法の適用により、超高層エリアの施工においても、安全に効率よく、高い施工品質を保ちながら鉄塔建設を進めることができる。

本報では、本工法を適用した工事の紹介を行ない、工法の概要とシステムを構成する技術を説明し、最後に工事への適用結果を報告する。

2. 適用工事の概要

本工法を適用した鉄塔は、横浜市みなとみらい地区の高層オフィスビル横浜 MM タワー（高さ約 105 m）の屋上に建設された通信用アンテナ設備設置用の高層鉄塔（高さ約 148 m）（図 1）である。

鉄塔の構造は鉄骨造のブレース付きラーメン構造である。塔体の基本平面プランは、2 スパン × 3 スパンである（図 2）。鉄塔の上層部には塔体から 5.5m 跳ね出したプラットホーム（アンテナ設置床面）を 5 層有する（図 1、3）。全ての鉄骨部材は防錆のため，溶融亜鉛メッキ処理されており、現場溶接部は亜鉛-アルミ溶射処理を施す。表 1 に高層鉄塔の建築概要を示す。

写真-1　Ts-Up 工法外観

図-1　横浜 MM タワー

表-1　MM タワービル鉄塔部の建築概要

建設地	横浜市西区みなとみらい地区	
工期	1998.9 月　～　1999.9 月（13 ヶ月）	
主要用途	通信用アンテナ設備設置用鉄塔	
階層	塔体　23 層　頂部小塔　2 層	
最高高さ	GL + 253.0 m	
構造	ブレース付ラーメン構造	
	S 造　溶融亜鉛メッキ	
	鉄骨総重量	：約 2600 t
	柱接合	：溶接接合
	梁・ブレース接合	：ボルト接合

(a)　立面図　　(b)平面図

図-2　鉄塔の塔体部

(a)　立面図　　(b)平面図

図-3　プラットホーム

3.　Ts-Up 工法の概要

Ts-Up 工法は、主にセルフクライム式に昇降する「ステージシステム」、鉄骨建方手順を工夫した「施工方法」、および鉄塔の鉛直性を管理するための「計測システム」により構成される。以下に各システムの説明を記す。

3.1　ステージシステム

ステージシステムは、「外周作業ステージ」、「昇降システム」と「インナーステージ」で構成される。ステージシステムの概念図を図 4 に示す。このステージシステムを採用することにより、作業員は、超高層エリアの施工であるにもかかわらず、その高さを意識することなく、作業を進めることができる。

(a)上段ステージ平面図　　(b)断面図

図-4　ステージシステム概念図

3.1.1　外周作業ステージ

外周作業ステージは工事の進捗に合わせて昇降システムにより昇降し、鉄塔外周の作業のための、安全で安定した作業床を提供する。

外周作業ステージは、「上段ステージ」、「下段ステージ」と上段ステージ上の「外周足場」の3層構造である。表2に示すように外周作業ステージ上の作業は3層に分割し、混在作業を無くした。これにより複数の作業を同時に行なうことができ、効率的な施工が可能になる。

表-2　外周作業ステージ内の作業区分

ステージ	上昇時の作業	下降時の作業
外周足場	鉄骨建方	下降前撤去
上段ステージ	柱建方、溶接	プラットホーム施工
下段ステージ	柱溶接部溶射	作業なし

外周作業ステージという安全で安定した同一作業環境で、作業員は同じ作業を繰り返すので、習熟による作業効率の向上が期待でき、工期短縮が可能になる。

作業場所への風の吹き込みを防ぐため、外周作業ステージはメッシュシートで覆われているので、作業の安全性と溶接・溶射の施工品質を保つことができる。

外周作業ステージには作業に必要な溶接機や溶射機、昇降システムの油圧機器類を搭載してある。外周作業ステージの骨組み重量は約40 t であり、搭載している資機材と外周足場を含めると全体重量は約80 t である。

3.1.2　昇降システム

外周作業ステージを昇降させるための昇降システムはセンターホールタイプの「油圧ジャッキ」と節付きの鋼棒「ステップロッド」とで構成される（写真2）。表3に油圧ジャッキとステップロッドの仕様を示す。

今回の適用工事では、外周作業ステージを昇降させるための油圧ジャッキを、図4に示すように鉄塔の四隅の柱の外側、上段ステージ梁下に固定した。ステップロッドは、鉄塔の四隅の柱の外側に本体ビル屋上の本設梁から立ち上げ、油圧ジャッキを貫通して上段ステージまで通っている。油圧ジャッキはステップロッドに沿って移動し、外周作業ステージを昇降させる。

写真-2　油圧ジャッキとステップロッド

表-3　油圧ジャッキとステップロッドの仕様

油圧ジャッキ	最大出力	75　ton
	最高圧力	170　kg/cm^2
ステップロッド	最大径	85　ϕ mm
	最小径	52　ϕ mm
	材質	SCM435

図-5　昇降システムの上昇手順

この昇降システムは、油圧ジャッキを任意の高さで停止・固定させることができるので、外周作業ステージを、作業を行なうのに最も適した位置に設置することが可能である。

外周作業ステージ全重量は、4本のステップロッドの軸力として鉄塔基部の鉄骨まで伝えられる。各々のステップロッドは約1300 mm間隔でロッドキャッチャーにより鉄塔の四隅の柱と固定されている。これによりステップロッドは軸外方向を規制されると共に、ステップロッドが座屈することを防いでいる。図5に昇降システムの上昇手順を示す。

3.1.3　インナーステージ

鉄塔内部の作業用のインナーステージは、作業床を6段持つ「ユニット足場」で構成される。今回の適用工事では、図4に示すようにユニット足場を24基使用した。

柱の溶接と溶射作業を安全にかつ連続して施工するために、ユニット足場の3・6段目と、上・下ステージとを可倒式の渡り床で連結し、柱全周を囲む作業床を構成する（図4）。個々のユニット足場の盛替えはタワークレーンで行なう。

3.2　施工方法

ステージシステム上昇時に、塔体を1層ずつ施工し、下降時にプラットホームを施工をする方法を採用した。下降開始前に外周足場を撤去し、上段ステージ上をフラットな状態にし、この床面上でラットホームを安全に施工する。図6に施工方法を示す。

図-6　施工方法

図-7　鉛直計測システム

3.3　計測システム

鉄塔の精度管理に関しては、ビル屋上に設けた基準位置から高精度（1 / 20000）の鉛直レーザ発振機で鉛直にレーザ光を発振し、そのレーザ光を上段ステージ上で受光して外周作業ステージの正確な位置を求める方式を採用した。受光には画像処理装置を用い、光が揺らいだり、建物が揺れていても正確に中心を把握できるようになっている（図 7）。求めた外周作業ステージの位置を基に各鉄骨柱の建入れ調整を行い、精度よく鉄塔を建設する。

4.　Ts-Up 工法の適用結果

4.1　基本サイクル

ステージシステム上昇時、塔体の施工は 3 層にわたって複数の作業を同時に進めていく。今回適用した工事では、1 層を 7 日サイクルで施工する計画を立案した。図 8 に基本層（N 層）の施工サイクルを示す。

図-8　サイクル工程表

図-9　全体工程表

4.2　全体工程

工事は、平成10年10月より開始した。鉄塔の2層目までを在来工法で建設した後、ステージシステムを本体ビル屋上に設置した。3層目からは、ステージシステムを上昇させながら塔体の施工を進め（写真-3）。平成11年5月中旬に頂部小塔を含めて塔体が上棟した。その後、プラットホームを取付けながら、本体ビル屋上までステージシステムを下降させ、7月下旬に本システムを屋上より撤去した。本工法の運用期間は約9ヶ月間であった。その後、タワークレーンを最上部からクライムダウンさせ、屋上で解体・撤去し、工事を完了した。図9に鉄塔建設工事の全体工程表を示す。

写真-3　施工状況

4.3　Ts-Up工法の導入による効果

以下に本工法を導入したことにより得られた効果をまとめる。

- ステージシステムにより、安定した作業足場を提供でき、超高層エリアにおける施工にもかかわらず、安全に工事を進めることができた。
- 同じ環境の中での繰り返し作業としたことにより、習熟による作業効率の向上が得られた。習熟後は、計画より1日短縮した6日サイクルで施工が進み、工事全体の工期短縮ができた。
- 安定した作業床があるので、施工監理者や元請け社員も施工場所に容易に行くことができ、十分な施工管理のもと、高い施工品質が確保できた。
- 高精度レーザ鉛直機を用いた計測システムにより、高い精度で鉄塔を建設できた。
- 外周がメッシュシートで覆われているため、ステージシステム内部では風に影響されない作業環境が得られ、溶接と溶射作業において高い品質の施工ができた。また強風による作業不能日を減らすことができ、工程の遅延を防ぐことができた。

5．まとめ

本工法は鉄塔の階層が多いほど導入効果が大きいが、今後は物件数が多い中規模の鉄塔に対しての工法のリファインと適用検討を行ないたい。

今後の計画において、プラットホーム施工に続けてアンテナ設置工事も行なうようにすれば、アンテナを含む鉄塔全体の建設コストを低減することができ、また全体工期を短縮することができるので、アンテナ設置工事も本工法の所掌範囲に取り込みたいと考えている。

17. ドーム工事における膜屋根施工装置の開発

鹿島建設㈱：高橋　　敬，*水谷　　亮
川音　一郎

1. はじめに

既存競技場施設のドーム化は、新設工事と異なり、グランド内の使用制限、外周アプローチの制限、工期の制限、既存施設との融合といった数々の制約を受ける。

これらの制約をクリアするには在来工法による対応では難しく、新しい発想による施工法と機械装置の開発が不可欠となる。

今回、はじめて既存競技場施設のドーム化を西武ﾗｲｵﾝｽﾞ球場で実施した。工事は2回のｼｰｽﾞﾝｵﾌを利用するため、Ⅰ期の外周部折版屋根工事とⅡ期の中央部膜屋根工事に分かれ、それぞれに新しい工法・装置を開発して施工した。

写真―1 屋根全景

中央部膜屋根工事において、膜屋根の施工の合理化を最重要課題ととらえ、屋根面を自走しながら長尺膜材を巻き出し同時定着させる「テフロン膜張り装置」を開発した。以降にその内容と施工実績について述べる。

なお、Ⅰ期工事における開発実績ついては昨年の本シンポジウムで報告している。

2. 全体工事概要および膜屋根概要

屋根直径：223m（膜屋根 145m）
屋根高さ：64.5m
屋根面積：39,000 ㎡（膜屋根約 17,000 ㎡）
全体工期:1997 年 7 月 7 日～1999 年 2 月 28 日

［膜屋根］構造：鉄骨骨組み膜構造（単相格子鉄骨）
傾斜、勾配とも最大は約 25 度
仕上：A 種テフロン膜（一重膜）

図―1 Ⅱ期工事（膜屋根）施工ステップ

3. 膜工事概要

膜工事は球場内で組み立てた単相格子の屋根鉄骨上面に、図－2の短冊状にテフロン膜を張りつめる。膜材は、幅約 7.5 m、長さ最大 160m に及ぶ長尺テフロン膜である。

周囲には I 期工事で構築した外周屋根があり、内部は鉄骨建方と同時に膜工事を進行させるため、クレーンは使用できない。さらに超短工期で施工するため2台の新しく開発した膜屋根施工装置によって鉄骨の天頂より左右に長尺テフロン膜を敷設し、場内奥より手前に順次行うことで全体を施工することとした。

図－2 膜工事概要

4. 開発経緯

そこで開発にあたり、過去の膜工事施工例調査と従来の膜施工法の手順分析のため実大テフロン膜を使った作業実験を実施した。

その実験結果データを解析検討し、機械化に必要な開発要素と最適な施工手順を絞り込み開発を進め、実施工へ展開した。

以降は参考として在来工法(図－3)を示す。人力作業で2段階の手順で施工されている。

①膜全体を広げて仮止めする。(展張・仮張り)

②端部より引き伸ばし張力を導入しながら本設の鉄骨に定着する。(定着・張力導入)

この方法は仮張り状態での風養生や緊張用の仮設が多く必要で、設置撤去の工数もかかる。

図－3 在来の膜施工方法

5. 新工法とテフロン膜張装置の概要

5. 1. 新工法概要

今回、在来工法の膜張り作業を分析し、巻き出し直後に鉄骨に定着していくという新たな手順を考案した。これに基づき、本体鉄骨上を自走するテフロン膜張装置を開発、膜下地鉄骨のディテール見直しも行ことで、クレーンを使用せずに膜を一度に張りあげる新工法(図－4)を実現した。(装置盛替と膜積載にはクレーン使用)

以下にその作業手順を示す。

①本装置を移動させながら膜を巻き出す

②膜ロープエッジをグリップで把持

③幅・長手方向に膜を緊張

④本設クランプにはさみ込み定着

⑤グリップを開放

以上の巻き出し同時定着を900 mmごとに繰り返すことで膜全体を施工する。

図－4 新工法概要

5. 2. 装置概要

本装置(図－5、表－1)は、以下の要素で構成されている。

①膜材を積載するフレーム

②スパンに追従するスライドサドル

③電動シリンダによる走行装置

④膜芯調整用電動ジャッキ

⑤ロール巻き出し用電動機

⑥膜張取付装置等

膜取付装置は、クサビ式膜グリップとそれを動かす三次元の電動シリンダ群で構成しており、自在に膜位置を調整できる。

図－5 装置全体図

表－1 装置仕様

項目	仕様他
装置サイズ	L約14m×W約5m×H約2m
最大積載荷重	1,500kgf (14,700N)
膜取付け引力	最大1,200kgf (11,760N)
移動速度	1.5m/min (90m/h)
自重(質量)	3,750kg
操作方法	ペンダントスイッチ
電源	3相 AC200V 30A
メーカー	カジマメカトロエンジニアリング(株) 吉永機械(株)

5. 3. 本工法の特徴および効果

①積載した膜を自分で展張するため、展張用クレーンが不要になり、鉄骨建方と並行作業が可能

②本設鉄骨上を走行するため、走行用仮設材をほとんど必要としない

③膜取付装置で本体鉄骨に同時定着するため、仮張り不要で、省人化、工期短縮が可能

④足場の悪い鉄骨上での力作業を低減できるため、安全性が向上

⑤膜の養生用、緊張反力用の仮設材、設置工数を大幅に削減

⑥巻き出されてフリーになる部分がほとんどなく、風の影響を受けにくいため、工程が安定

6. 施工実績

Ⅱ期工事の中央部膜屋根において、天頂より左右に2台の本装置を配置し、全数20枚の膜材のうち、両端を除く18枚の施工に使用した。写真－2，3は施工時の全景と状況である。

本装置によって巻き出し同時定着することで、クレーンを使用できない場所での膜張りを可能とし、作業効率も向上、超短工期を実現することができた。

在来工法での施工は事実上不可能であったが、過去の実績と比較しても約5.54ヶ月を43日へと大きく短縮、工数、仮設材の低減等も含めてコストダウンにも繋がった。

写真－2 施工全景

写真－3 施工状況

7. おわりに

今回、現場担当者や協力会社、機械メーカーとともに新しい施工法と機械装置を作り上げ、実施工においても所期のねらいを達成、滞りなく無事に施工を行うことができた。

今後の既存球場のドーム化工事においても、今回のような短工期かつエリアの制限は生じてくると考えられ、本工法は威力を発揮するものと思われる。新設の競技場工事においても施工効率向上・安全性・コスト低減のため、本工法・装置は適用性があり、実際の工事への適用も決定している。

今回のように「施工法自体を見直して、本来の目的・制約を克服する作業手順と装置を開発する」ことが重要で、今後もこのような施工に直結した開発を進めていきたいと考える。

最後に、本工法・装置の開発に携わった方々に、感謝致します。

「参考文献」:

・「施工記録 西武ドーム 既存の球場に巨大ドームを架ける」（施工 1999.5月号 彰国社）
執筆者:大竹文則、松岡謙一、佐々木直也、阿川清二

・「現場報告 西武ドーム」（日経アーキテクチャ1999.1.25号 日経BP社）

18. 大深度連続地下壁の掘削精度管理装置の開発

㈱竹中工務店：*宮口　幹太，門中　章二

1．はじめに

ＬＮＧ地下式貯槽等の構築に用いられる大深度連続地下壁は高い鉛直精度が要求されるとともに水平面内における掘削機の回転による掘削孔のねじれの管理も必要とされる。そこで１台の装置で掘削機の水平変位および回転を計測することができ，かつ計測精度の較正機能を有する掘削精度管理システムを開発した。本報では，システムの概要と施工実験結果について報告する。本システムの特長は以下の通りである。

① １本の計測用ワイヤで掘削機の水平変位とねじれが計測可能である。

② 較正機能を有し掘削中任意のタイミングでシステムの計測結果の信頼性を確認できる。

③ 変位計測センサを上下２段に設置することで外乱による基準点誤差を回避できる。

④ 計測部を本体から分離することで設置性の向上と熱変形等による計測誤差を減少できる。

2．原理確認モデルによる実験

2．1．機器構成

システムの構成を図－１に示す。

A 計測部（図－２）

地上から施工中の掘削機の位置を計測する。ウェイトによって張力が一定に保たれた計測用ワイヤを原点調整台で水平方向に拘束して固定点とし，変位計測器によってワイヤの変位を検出することによりワイヤ先端の動きを演算し掘削機の水平変位を計測する。変位計測に際してはレーザー変位計を使用することでワイヤの太さに影響されずに測定することができる。

B 較正部（図－３）

掘削機の頭部に取付け，計測用ワイヤの下端を地上の計測用コンピュータの指示により所定の方向へ設定量だけ移

図－1 システム構成

図－2 原理確認モデル計測部

図－3 較正部

動させる。ワイヤの下端を移動させることによって掘削機本体のねじれを計測するとともに水平変位の計測結果の信頼性を確認することができる。

C 計測用コンピュータ

レーザー変位計の検出値から施工中の掘削機の変位を演算するとともに較正時には計測用ワイヤ下端の移動量を制御する。

2．2． ねじれ計測原理（図－4）

① 掘削機が正規の位置にある掘削の初期に計測用ワイヤの下端（掘削機側）を較正装置によって一定量移動させる。地上の計測装置によってこのワイヤの変位を測定するとA点→B点のように計測され、これを初期値とする。

② 掘削精度を確認する掘削深度に達したところで再度計測用ワイヤの下端を①と同様に移動させると水平変位やねじれが発生しているとa点→b点のように計測される。

③ A点とa点とのずれ（ΔX，ΔY）が掘削機本体の水平変位に相当し、a→bの矢印を平行移動したA→b'の矢印とA→Bの矢印とのなす角度θが掘削機のねじれ角に相当する。

図-4 ねじれ計測原理

3． 性能確認実験

原理確認モデルを用いて屋内実験と屋外実験を実施し、計測性能と外乱の影響を確認した。

3．1． 屋内気中実験結果

室内において計測部と較正部の高低差約3mを確保し原理確認モデルにより計測実験を行った。実験は較正部によりワイヤ先端を変位させその実際の移動量を変位計によって計測した。またこのワイヤの移動量を本装置によって計測しその結果を比較した。この実験で較正装置は 0.1mm 以下の精度で動作することを確認し、また本装置は精度 0.1mm 以下で計測が可能なことを確認した。

写真－1 屋外気中実験

3．2． 屋外気中実験（写真－1）

屋外で計測部と較正部との高低差３０ｍを確保し計測用ワイヤの張力を変化させ、風などの外乱やワイヤのたわみ等による計測の誤差要因と影響の大きさを調査した。

実験では風の影響を受けワイヤが振動したため計測値に変動がでたが、この変動の移動平均を取ると較正部によってワイヤ下端を動かした量（移動指示量）と計測によって得られた値の誤差は最大で 0.3mm 程度であった。この事からワイヤの振動は平均化処理により影響を除去することが可能であると判断された。また、ワイヤ張力が 100kg 以上であればワイヤの自重によるたわみ（懸垂曲線）の影響がほとんどないことから、気中よりも浮力を受ける水中での自重によるたわみの影響はさらに小さいと予測される。また計測用ワイヤの張力を上げるとこれらの影響も少なくなり、より高精度の計測が可能になる事を確認した。

4．プロトタイプシステムによる実大規模施工実験

原理確認モデルによる実験によってシステムの有効性が確認されたので、引き続きプロトタイプシステムを製作し実大規模施工実験を実施し、システムの適用性などを確認した。

4．1．プロトタイプシステムの概要（図－5）

プロトタイプシステムは、レール上を移動する本体制御部、掘削孔直上に設置する計測部と掘削機に設置する較正部で構成される。本体制御部は計測ワイヤを一定の張力に保ちながら繰出し、計測部が検知したワイヤ変位から掘削機の変位を演算する。また、計測部はワイヤ変位を計測するレーザーセンサおよび垂直性保持装置で構成される。較正部は、計測ワイヤを所定の方向へ一定量動かすパルスモータとパルスモータ駆動用コンピュータを収納したドライボックスで構成される。較正部の動作の設定および操作は、地上の本体制御部に接続されたパソコンで行う。システムの特長を表－1に示す。

図－5 プロトタイプシステム概要

表－1 プロトタイプシステムの特長

特　長	効　　果
較正機能	セルフチェック機能 精度不足時に対策が可能 懸垂曲線による誤差を排除可能
ねじれ検出	計測用ワイヤ1本によるねじれ検出
2段センサ	固定点誤差を排除可能 新型センサにより精度向上
検出部分離	掘削孔上に設置する装置がコンパクト 温度変化による変形の影響が少ない

4．2．2段センサによる変位計測原理（図－6）

計測部はレーザーセンサを上下2段に有し、振動や熱変形などにより計測ワイヤ上部（トップシーブ）が動いた場合でも誤差を回避できる。

① 上側レーザーセンサ：Sensor(upper)と下側レーザーセンサ：Sensor(lower)の原点を垂直に補正し上下のレーザー変位計測器間の距離を l_0 とする。

② 掘削深度 l_1 において検出される計測用ワイヤの変位はSensor(upper)で S_{u1} 、Sensor(lower)でと S_{l1} する。また掘削機の位置を x_1 とする。

③ 掘削深度 l_2 において検出される計測用ワイヤの変位はSensor(upper)で S_{u2} 、Sensor(lower)で S_{l2} とする。また掘削機の位置を x_2 とする。

④ この時掘削機の水平変位Δｘを計算する。

$$\Delta x = x_2 - x_1$$

$$x_1 = \frac{(s_{u1} - s_{l1})}{l_0}(l_0 + l_1) + s_{u1}$$

$$x_2 = \frac{(s_{u2} - s_{l2})}{l_0}(l_0 + l_2) + s_{u2}$$

⑤ この計算式によれば計測用ワイヤの上端は固定されている必要はない。また掘削開始時に計測用ワイヤを垂直に保つように計測部を掘削機の直上に設置する必要もない。

図－6 変位計測原理

4．3． 較正部の耐水圧試験

較正部（写真－2）のパルスモータは作動油で満たされた圧力容器に収納されている。圧力容器内の圧力は調圧装置により水圧の変化に応じて調整され常に外部と内部の圧力の均衡を保つ機構となっており、可動部からの水の侵入を防ぐことができる。施工実験に先立ち、較正装置の耐水圧試験を実施した。水で満たした試験容器（写真－3）に較正部を入れ、約 10kgf/cm² の圧力を加えた状態で 24 時間放置した。つづいて高水圧下における作動状況についても確認した。その結果、圧力容器およびドライボックスへの浸水は認められなかったとともに、高水圧下においても較正部が正常に作動することを確認した。

写真－2 較正部

写真－3 耐圧試験容器

4．4． 実大規模施工実験（写真－4）

プロトタイプシステムの基本性能を確認した後、実際に掘削機に取付けて実大規模の施工実験を行い、施工時に発生する外乱の影響や計測精度を確認した。実験の第一段階では、あらかじめ掘削した孔(GL－53m)にシステムを取付けた連壁掘削機を昇降させ、ワイヤ張力や外乱の影響を検証した。実験時のワイヤ張力は、100kg、150kg、200kg と変化させた。

写真－4 プロトタイプシステム全景

外乱については、掘削機の下降に伴う振動、カッタ回転、排泥ポンプの運転および安定液の供給位置による影響を調べた。実験では移動幅 45mm の較正動作を行ったが、計測の結果誤差は最大でも 1 mm 程度であった。また、実験を行った張力の範囲ではワイヤ張力は計測精度にはほとんど影響しないが、張力が大きいほど計測値が安定するまでの時間が短くなった。

次に、実際の掘削作業にシステムを適用しプロトタイプシステムの性能を検証した。その結果、以下の点を確認した。

① 検出した掘削機の軌跡は、超音波測定器の測定結果とほぼ一致した。

② 掘削機のねじれ角は、考案した原理通り検出することができた。

③ 計測ワイヤ上部が動いた場合でも、誤差を生じることなく計測できることを確認した。

④ 掘削機本体の移動量 60cm に対しても追従できた。

5． まとめ

はじめに原理確認モデルによる実験を行って計測原理とシステムの有効性を確認した。つぎにプロトタイプシステムを製作し実大規模施工実験を行って目標性能を満足していることを確認した。今後は、システムをコンパクト化し施工時における適用性の向上と実工事への適用を進めていく予定である。なお、本システムは(株)竹中工務店、(株)竹中土木、大容基功工業(株)の共同研究の成果である。

19. デッキプレート自動敷き込みシステム「デッキマウス」の開発

㈱熊谷組：*高田　秀行，江守　慎一

1．はじめに

建築工事の中で、建物の躯体を構築するという作業は高所作業を伴うことや仮設資材が多数介在することなどから、他の作業に比べて安全を確保するために十分な計画検討と手順に従った確実な施工が望まれる最も重要な作業の一つである。

安全設備の充実や作業手順の整備などの危険防止のための施策を実行して、災害発生防止を徹底しなければならないが、特に柱、梁構築後に梁の上を歩いて渡る必要があるデッキプレート敷き込み作業は、人が人力で行う作業であることや、出来高追求の背景も相まって、墜落・落下災害の危険性が高まる作業である（写真－２）。

このような状況の中で、安全性を確保すると同時に作業員数の低減が可能であるデッキプレート敷き込みシステムを開発した。ここでは、本システムの概要を説明するとともに、現場適用状況を紹介する。

2．システム概要

本システムは、施工ブロックの小梁上に設置された敷き込み装置「デッキマウス」（写真－１）を無線による遠隔操作を行って、デッキプレートを１枚ずつはじから順に敷き込んで（仮敷き）いくシステムである（図－１）。小梁の上を２台のデッキマウスが同調しながら走行、把持、回転、解放を繰り返して敷き込み作業を行い、これらの操作は作業者が安全な場所から状況を確認しながら、１台の無線で実施するようになっている。敷き込み完了後の他のブロックへの盛替えは、大梁上に設置する乗り越え用レールや

図－１　システム概要図

写真－１　「デッキマウス」

専用の盛替え台車を使用することにより、スムーズに行えるようになっている。

写真－2　在来工法

3．システムの特長

①高い安全性

無線による遠隔操作のため、安全な場所で作業ができる。(危険な場所では、機械が作業する。)

②省人化

ひとりでデッキプレートの敷き込み作業ができる。

③省力化

無線のボタン操作のみで敷き込み作業が行えるので、苦渋作業が低減される。

④汎用性

各メーカの製品に対して、使用可能である。

4．構成

デッキマウスは、走行台車と把持アームの２つから構成されている。これらは工具を使用せずに廻すことができる固定ネジ（４カ所）をはずすことにより容易に脱着可能な構造となっており、分割に伴った軽量化により、設置や運搬、およびメンテナンス性の向上を考慮している。

装置全体としての形状は、自由度４（走行、アーム旋回、手首旋回、把持機構）のアーム型ロボットの型をしており、部分的ではあるが１回操作で連続動作も可能にしている。

電源に関しては、当初バッテリによる電源供給を検討していたが、小型、軽量化を目指した設計思想から、外形、重量ともに不利となるバッテリ搭載を改め、ＡＣ１００Ｖ直接供給方式とした（図－２）。

（１）走行台車部

走行台車には、梁上を走行する走行車輪と、デッキプレート把持時に浮き上がり防止の反力を取るための転倒防止車輪が設置されている。

図－２　デッキマウス　概要図

表ー1　デッキマウス　仕様

把持可能荷重	最大 100Kg（2 台使用時）
把持可能幅	600～630mm
使用可能梁幅	150～300mm
搬送速度	約 38m／分
無線 リモコン	特定小電力 400MHz 帯 1 台の指令機により 2 台連動・単独動作切替可
電　源	AC100V　約 700VA
重　量	台車部　：約 40Kg アーム部：約 20Kg

写真ー3　走行台車部

走行車輪は、重心（荷重）変動に対応するため四輪駆動方式を採用している。また、走行時は梁のフランジ側面をガイドとするため車輪はツバ付きであり、異なるフランジ幅（１５０～３００mm）に対しても走行できるように車輪幅が調整できる機構を有している。駆動モータは、本体内部に設置され、ベルトにより動力を伝達する構造としている（写真ー3）。

転倒防止車輪は、おもに把持時の転倒防止および安定走行のため設置されたもので、梁の上フランジの下面を挟み込む構造となっている。走行車輪同様、車輪幅が調整できる機構を有している。転倒防止の目的のためには走行車輪の外側に設置すると機能上有利になるが、デッキプレートへの接触をできるだけ防ぐために走行車輪の内側に設けている。盛り替えをする（大梁の乗り越えまたは盛り替え台車へ乗せる等）ためには、転倒防止車輪の上フランジ下面への挟み込みを解除しなければならない。そのため、転倒防止車輪が梁上面より上の位置を支点に約９０°回転し、外側へ跳ね出せるようにしている。その他に台車本体には、アーム回転用モータや制御・無線装置、各種ランプ等が設置されている。台車前部に設置されている動作ランプは電源入力の確認ランプで、後部のランプは確実にデッキプレートが把持されたことを把持フック内のセンサと連動させて確認できる表示装置であるが、これらの表示装置は建物外部の直射日光での下でも視認できる高輝度型を採用している。

（2）把持アーム

把持アームには、把持部を回転させるモータと把持フックをスライドさせるモータが設置されている。把持部は、デッキプレートを把持する把持フックを

直線ガイドと組み合わせてボールネジでスライドさせる機構を有している。建築工事において一般的に使用される合成スラブ用デッキプレートの幅は製品寸法で６００～６３０mmであり、スライドストロークはこれらに対応できる寸法にしている。

デッキプレートを把持する方法は、爪のような形状をした把持フックでデッキプレートを両側から挟み込んで上に持ち上げる方法であるが、

図ー3　動作範囲図

一度に２枚以上把持したり、またデッキプレート高さが異なる場合（一般的には５０mmか７５mm）おいても確実に把持できるように、フック高さ調整用プレートが把持部の両側に設けられている（写真－４）。

デッキプレートを把持し、アームを回転させた時の最高高さは、デッキプレートが垂直となる時だが、その高さはデッキプレート端部位置で１５００mm前後となる。デッキプレートの長さが１０m位ある場合は、風圧力に対する受圧面積が大きくなるため、吹き飛ばしに対する検討が必要で、その結果から把持フックの把持力を保持できる機構を採用している（図－３）。

（３）制御系

デッキマウスの動作制御は、基本的に作業者が無線装置を使用して、作業状況を確認しながら行うものであるが、デッキプレート把持後、最終姿勢である敷き込み状態になるまでの一連の動作（図―４②～⑤参照）は、内蔵されたシーケンスプログラムにより、一回の操作で行うことができる。（走行系の操作を除く）

２台のデッキマウスは、同調して動作を行うが、２台の動作にずれが生じた場合や片方だけ動作させる必要が生じた時には、動作させるデッキマウスを選択して、単独で操作する事も可能である。

センサとしては、フック高さ調整用プレートと把持フックに接触型のセンサを取り付けているが、これらはデッキプレートを把持するという確実性が求められる重要作業に対するものであり、それ以外のもの（例えば作業エリア侵入等）は、設置していない。

写真―４　把持部

図―４　動作手順

5．作業手順（図－5）

①デッキマウス（2台）を小梁の端部に設置する。

②遠隔操作にて小梁上を走行し、重ね積みされたデッキプレートの真横で停止。最上部の一枚だけを把持する。

③把持した状態でアームを回転させる。

図－5　作業手順

④アームを回転させながら、小梁上を走行させる。

⑤敷き込み位置で停止し、手首を回転。

⑥走行を前後に行って微調整を実施し、位置決め後にデッキプレートを解放する。

⑦②～⑥を繰り返えす。　⑧完了。

1

4

2

5

3

6

写真－5～10　敷き込み状況

写真－１１　大梁乗り越え用レール

写真－１２　台車へ乗り込み

写真－１３　盛り替え状況

写真－１４　資材搬送状況

写真－１５　台車裏面

６．盛り替え方法

１ブロック敷き込み完了後、次のブロックへの盛り替えには、大梁乗り越えレールや盛り替え台車を使用する。次のブロックのデッキプレートの敷き込み方向が同じであれば大梁上につば付き車輪が通過できるレールを設置して大梁を乗り越える（写真－１１）。敷き込み方向が異なる場合は、専用の台車に乗せて盛り替えを行う（写真－１２、１３）。この台車は、敷き込み後のデッキプレートの上を前後左右自在に走行できるようになっており、デッキマウスの盛り替えだけでなく、ボルトやスタッドジベル等の資材搬送台車としても利用できる（写真－１４）。

７．現場適用結果

本システムを平面的に面積の大きいショッピングセンター及び工場新築工事の２現場に適用した結果、

①高所危険作業が減少し、安全性向上。

②作業員数が削減。（３人→２人）

③重量物運搬などの苦渋作業が低減。

などの効果が確認された。

８．今後の展開

今後は、現場適用の結果確認された効果だけではなく、生産性向上に向けて装置に改良を加え、工期短縮の効果も併せて発揮できることを目指している。

最後に本システムの開発、現場適用に当たり、ご指導、ご協力をいただいた関係者各位に深く感謝の意を表します。

20. 低騒音低振動化を図った居ながら免震改修施工法

㈱竹中工務店：*宮崎　貴志，鈴木　賢礼

1．はじめに

1995 年の阪神淡路大震災を契機に建物の耐震安全性が見直されたこと、さらに現在の経済状況を反映して、既存建物を長く利用するための耐震改修工事が増加している。耐震改修には、柱に鋼板などを巻いたり鉄骨ブレースを新設することで建物の強度を増大させる耐震補強、制振装置を組み込むことにより地震エネルギーを吸収して地震力を小さくする制振補強、および積層ゴムなどを組み込むことにより地盤から伝わる地震力を大幅に低減する免震補強がある。これらの補強方法がある中で、特に最近ではコンピュータオフィスや銀行、病院などに対し、建物内の通常業務や居住環境に影響を及ぼすことなく、建物をいつも通りに使いながら免震補強を行う居ながら免震改修工事のニーズが高くなっている。免震補強は、他の耐震改修とは異なり建物のデザインや機能の変更を伴わないこと，居ながらは移転にかかる莫大な費用や手間が不要になることから、居ながら免震改修は今後益々拡大すると予想されている。居ながらを実現するためには、施工面では作業中に発生する音や振動を無くす、あるいは極力抑えること、管理面では建物使用者や工事関係者に対しての厳密な安全確保が重要な課題になる。

本論では、居ながら免震改修施工法の確立に必要な技術である低騒音低振動化を図った切断工法と。積層ゴム取付用として試作したマニピュレータに関して述べる。

2．免震改修の概要

免震改修には積層ゴムの場所により、切断した杭頭に取り付ける杭頭免震，基礎を新設し新旧の基礎間に取り付ける基礎免震、中間階の柱を切断して取り付ける中間階免震がある。中間階免震を例として、積層ゴムを組み込む施工手順を図１に示す。これらの中で大きな音と振動が発生する作業は、柱切断である。発生した音と振動は、空気伝搬や躯体内伝搬により上下階へ伝わる。空気伝搬は遮音カバーなどで抑えることができるが、躯体内伝搬は現状の技術では十分に抑えることはできない。したがって、発生源の音と振動を低減することが、課題になる。同様に、切断した塊の撤去や積層ゴムの取付に関しても、安全かつ低騒音低振動の作業が要求される。

図１　施工手順例（中間階免震）

3．低騒音低振動の切断工法

3．1 押し切り方法

既存柱の切断作業には、一般的にワイヤーソー工法が適用されることが多い。ワイヤーソー工法は、他の切断工法と比較して音と振動が小さいことが実証されているが、居ながらへの適用を考えた場合、現状のレベルよりさらに音と振動を低減させる必要がある。

図2に、考案したワイヤーソーによる押し切り方法の切断と、通常方法の切断を示す。通常方法は、柱の周囲にワイヤーソーを巻き付けて、駆動装置で引っ張りながら柱を背面から前面へ切断する。押し切り方法は、新規に開発した移動切断装置の2本のアームで柱を挟み、アームがベース上を柱方向へ移動することにより、前面から背面へ切断が進行する。図3に、移動切断装置の全体図を示す。

図2　押し切り方法と通常方法による切断

図3　移動切断装置全体図

3．2 効果

押し切り方法では、柱に接しているワイヤーソーの長さが短いために、騒音と振動を低減することが可能になる。写真１に示す 900mm 角 SRC 柱の切断実験では、切断部より 0.5m 離れた地点での音圧レベルが 80.5dB(A)、同条件での通常方法による切断時が 92.4dB(A)であった。同様に、振動レベルも押し切り方法が低い値であった。押し切り方法の他の利点は、柱へプーリーを取り付ける必要がないこと、アームがベース上を走行するために切断精度が高いことがある。一方、切断能率は通常方法と比較して多少低下するが、前述のような準備作業が無くなるため、柱１本あたりの全切断作業に要する時間はほぼ同等であった。

写真１　切断実験状況

4．積層ゴム取付用マニピュレータ

図４に、今回試作した積層ゴム取付用マニピュレータの機構概略図を示す。マニピュータは、柱軸力を仮受けしている仮設支柱に取り付け、約 15kgf の力で最大 500kg までの重量物を水平移動可能である。マニピュレータ１本の重量は 40kg で、重機を使用しなくても取り付けができる。２本のマニピュレータで、積層ゴムの上部プレートを下から支えるように保持するため、積層ゴムが通過できる最小スペースで水平移動することでき、切断後の塊を撤去することもできる。現在、１．５t までの重量物を移動できるマニピュレータ２号機を製作中である。

図４　マニピュレータの機構概略図

5．試験施工

既存建物を利用して、本工事と同じ手順で柱に積層ゴムを取り付ける試験施工を行った。対象とした柱は建物内の１階にあり、本数は２本、断面寸法は520mm角、構造はＲＣであった。

上部の構造体を支える４本のH鋼仮設支柱を、柱周囲に設置した油圧ジャッキの上に建て込んだ。構造体の変形量などを計測するセンサを取り付けた後、ジャッキアップを行い、想定した柱軸力を仮設支柱に負担させた。次に、押し切り方法で柱を切断し、マニピュレータで切断片を撤去して、積層ゴムを取り付けた。最後に、ジャッキダウンを行い、仮設支柱を撤去した。図５には、押し切り方法による柱切断時に発生した騒音の計測結果を示す。施工階である１階での切断部近傍の音圧レベルは86dB(A)、直上階は 70dB(A)、２層上は 60dB(A)であり、２層上で暗騒音とほぼ同値であった。したがって、施工階から２層離れた場所での通常業務や居住環境には、影響及ぼさないことが分かった。写真２～４には、試験施工の状況を示す。

図５　柱切断時の騒音計測結果

写真２　切断状況

写真３　切断面

写真４　マニピュレータによる積層ゴム取付

6．おわりに

押し切りによる切断方法は、本年度中に実施工へ適用して、騒音や振動、施工性などの検証を行う。今回発表した内容は、切断作業に重点を置いているが、免震改修工事には切断以外にも騒音・振動が発生する作業、例えば穿孔やはつりがある。居ながらを実現するためには、全作業を通した低騒音低振動化を図る必要があり、より快適な環境作りを目標に、今後も開発を推進していく予定である。

21. ダムコンクリート打設自動化システム

㈱奥村組：*林　　正造，栗本　雅裕
石井　敏之

1　まえがき

コンクリートダム本体建設工事におけるダムコンクリートの混練・運搬・打設作業は熟練技術が必要であり、さらに長時間におよぶ繰り返し作業となるため熟練技術者の不足や安全性の低下が問題となっている。

このようなことから、ダムコンクリートの一連の打設作業（バッチャープラントでの混練からトランスファーカによる積替え・運搬、クレーンによる運搬・放出）を自動化することにより、打設作業の効率化、安全性の向上および省人化を図ることを目的として、ダムコンクリート打設自動化システムを開発・実用化した。

開発システムは汎用の施工設備に制御機器を付加することによりコンクリートの混練・運搬・打設作業を自動化したもので、打設場からコンクリートの混練予約、混練指令、打設位置の指定、自動運転の管理情報の確認が行える。またクレーンの自動運転ではバケットの障害物回避、位置決め制御、振れ止め制御により運搬中の安全性および打設位置とバンカー線着床時の到達精度と振れの抑制を実現した。

本システムの導入により熟練技術者を必要とせず、長時間の繰り返し作業による安全性の低下を防ぎ安定したコンクリート混練・運搬・打設作業が可能となり、作業の効率化と安全性の向上および省人化に寄与するものとなった。

本報告では異なった施工設備を使用するダム本体工事にダムコンクリート打設自動化システムを導入したので、その概要と実績について述べる。

2　開発目標

開発システムのコンセプトを**図 -1**に示す。ダムコンクリート打設自動化システムはバッチャープラント、トランスファーカおよびクレーン設備を個々に自動化し、制御情報を伝送する光ファイバーケーブルと打設場との情報を伝送する無線式ハンディーターミナルを用いてネットワーク化することによって、コンクリートの混練・運搬・打設作業を打設場からの指示・確認により総合自動運転ができるようにしたものである。また、打設指揮者が持つハンディーターミナルで自動運転情報の確認、混練予約・指示が可能で施工状況に応じた自動運転ができる。さらに、個々の自動運転システムはそれぞれ独立した運転が可能で故障時にも他の自動運転ができるシステムとした。

自動化システムの開発目標を次に示す。

① 自動化システムを付加することにより汎用の施工設備の自動運転ができること

② ハンディーターミナルの指示により自動運転ができること

③ システムに互換性と柔軟性があること（各自動運転設備の独立性の確保、多様な設備の組み合わせが可能）

④ 手動運転と同程度の打設能力を有すること

⑤ 安全性が確保されていること

図 -1 ダムコンクリート打設自動化システム

3 対象設備

ダムコンクリート打設自動化システムを導入したダムおよび施工設備を表 -1に示す。対象ダムはＲＣＤ工法による大長見ダム（島根県）と拡張レヤ工法による大仁田ダム（群馬県）の重力式コンクリートダムである。それぞれ異なった工法およびコンクリート施工設備を使用するダムである。

表 - 1 施工設備

対象設備	大長見ダム	大仁田ダム
バッチャープラント	強制２軸攪拌方式 (2.25m^3 x 1 台)	傾胴形攪拌方式 (1.5m^3 x 2 台)
トランスファーカ	サイドシュート方式	リフトダンプ方式
クレーン	軌索式ケーブルクレーン (14.5 tonf)	ダム用タワークレーン (9.5 tonf)

4 ダムコンクリート打設自動化システム

ダムコンクリート打設自動化システムはバッチャープラント自動運転システム、トランスファーカ自動運転システム、クレーン自動運転システムを連動させ打設場からの指示・確認により総合自動運転を可能にしたものである。以下に各自動運転システムについて述べる。

4.1 バッチャープラント自動運転システム

打設場のハンディーターミナルから入力したコンクリート混練計画に従ったコンクリートの混練、トランスファーカへの積替え、トランスファーカの発進までの作業を自動化したシステムであ

る。打設場からは①配合別混練量、混練間隔等の予約、追加、修正、②混練計画の開始、一時停止、終了指令、③打設実績、予約状況、混練状況の確認ができる。

4.2 トランスファーカ自動運転システム

トランスファーカに積替えられたコンクリートをバンカー線で待機するバケットまで運搬し、バケットに積込む作業を自動化したシステムである。バケットが着床していないときは、バケットと接触の危険がない距離（一時待機距離）で待機する。特徴は以下の通りである。**(写真 -1)**

① コンクリート積込み完了後の自動発進（バッチャープラントへの復帰）

② 主索位置（起伏角度）からバケット着床位置を計算し、一時待機距離で自動的に停止

③ 待機中にバケット着床位置が変われば自動的に一時待機距離を保持する待機位置の補正

④ 走行中に障害物があった場合には自動的に警報を発して走行停止（非常停止）

⑤ 試料採取ボタンを押すことにより、バッチャープラント手前で自動的に停止・待機

4.3 クレーン自動運転システム

4.3.1 自動運転システムの特徴

バンカー線でトランスファーカからコンクリートを受取り、打設場で指定された任意の打設位置に、コンクリートを運搬・放出し、再びバンカー線に戻り着床するまでの作業を自動化したものである。特徴としては①施工に応じた運転モードの切替・選択、②容易な打設位置の指定、③障害物を回避した最適な運行経路の設定、④到達位置での到達精度と振れ止めの確保等がある。

コンクリート打設方法は、1バケット毎に打設位置を指定してコンクリートの運搬・放出を行うものである。打設位置の指定方法には、①**写真 -2**に示すように任意の打設位置に打設位置設定用プリズムを置き、自動追尾式トータルステーションで計測する方法、②打設位置の座標をハンディーターミナルに直接入力する方法の2通りがある。

写真 -1 コンクリート積込み状況（サイドシュート式）

写真－2　打設位置指定状況

4.3.2 クレーン制御方法

クレーンの運行制御手法には、オープン制御を適用した。打設位置が与えられると、障害物を回避しバケットの振れの発生を抑制し最短時間の経路を求める。この経路から巻き、横行(旋回)、走行(起伏)速度を求め制御速度とした。クレーンの制御フローを**図 -2**に示す。クレーンの運転モードはフローに示すように、①全自動モード(積込・運搬・放出がすべて自動)、②自動・確認モード(打設場の安全確認後、自動放出)③自動・手動介入モード(打設場への運搬までは自動、コンクリートの放出は手動)の3種類がある。打設場での施工条件により使い分けが容易に行えるシステムである。

図 - 2　クレーン制御フロー

a　自動運転の記録

自動・確認モードの自動運転の速度記録を**図 -3**に示す。自動運転の流れを同図を用いて説明する。**図 -3**はタワークレーンの結果であるが、旋回を横行、起伏を走行に読み替えるとケーブルクレーンの自動運転と同等なものになる。

① トランスファーカの積込み終了信号を受けてクレーンは自動的に離床を始める。

② バケットの離床信号を受けて、旋回(横行)は往路の計算結果の速度信号にしたがって振れを発生させない速度で加速・減速し③の打設待機位置(打設位置上空)で一旦停止する。

③ 合図者は周囲の確認後自動放出ボタンを押すとクレーンは自動的に打設高さまで降下し放出後自動的に打設待機位置まで上昇する。(自動・確認モードの場合)

④往路が終了しバンカー線への復路の計算をする。

⑤計算終了後、クレーンはバンカー線への復路に入り着床まで自動運転される。

クレーンの自動運転はトランスファーカと互いに連動して①～⑤までのサイクルを繰り返すものである。

図 － 3　自動運転の速度記録

b．障害物回避

コンクリートバケットの運行経路を求める場合、安全を確保する上で地形および打設の進捗により変化する堤体の形状を考慮する必要がある。この地形と堤体を重ね合わせたものを障害物と定義する。障害物の回避はコンクリート運搬の開始・到達位置までの障害物断面形状にバケット障害物回避高さを加えたものから侵入禁止領域を定める。この侵入禁止領域を回避する運行経路を求める。その結果を**図 －4**に示す。図には地形、侵入禁止領域、計画軌道と計測したバケットの軌道を併記している。バンカー線近傍に運行経路に障害となる山が存在しており、これを避けた形で運行経路を算定している。また、計画と実際の運行経路はほぼ一致していることがわかる。

図 －4　運行経路の比較

写真 －3　障害物回

また、計画と実際の軌道の離れを常に計測しており、離れが所定の長さ以上になれば自動運転が停止するインターロックを施している。**図 －4**の状況（山を越える運搬状況）を**写真 －3**に示す。

c．位置決め・振れ止め制御

バケット位置は、自動追尾式トータルステーションによる計測とクレーンの巻き、横行（旋回）、走行（起伏）エンコーダから変換したワイヤー長、角度および吊荷荷重をパラメータとした補正量からの幾何計算の２つの方法で求めている。自動追尾式トータルステーションで計測したバケット位置データは運搬中のバケット位置確認に用いている。また、バケットの振れ止めは、バケットが到達位置で横行（旋回）方向に振れが発生させない方法を適用している。その方法は、バケットを振り子モデルと

仮定し、横行あるいは旋回方向の加速および減速を、巻きの速度を考慮した振り子の固有周期で最大速度あるいは停止するように制御するものである。

タワークレーンとケーブルクレーンのバケット到達位置でのＸＹ座標（Ｘ：ダム軸方向、Ｙ：ダム軸直角方向）の時間変化の一例を**図 -5** に示す。バケット到達位置での目標位置に対するズレおよび振れは開発目標であるバケット直径の 1/2 以下となっており、十分な位置決め精度と振れの抑制が確保されている。これらの制御によりコンクリート放出作業は施工上問題なく行うことができた。

図-5　到達位置でのバケットの振れ

次に、打設サイクルタイムの一例を**図 -6** に示す。タワークレーンでは旋回角度約 220 度、作業半径が 20～60m、ケーブルクレーンは横行距離が約 110m の打設位置である。平均サイクルタイムはタワークレーンで５分５０秒、ケーブルクレーンで４分５５秒であった。また、ＲＣＤコンクリート部のサイクルタイムは３分３５秒であった。このサイクルタイムは手動運転の平均サイクルタイムと同程度である。

図 -6　打設サイクルタイム

5　まとめ

ダムコンクリート打設自動化システムを開発しダム本体の建設工事に導入した。その結果当初の開発目標を満足し、安定したコンクリートの混練・運搬・打設作業が可能となり作業の効率化と安全性の向上および省人化できることを確認した。

6　あとがき

当初の開発目的をほぼ達成できたと考えている。今後は信頼性・耐久性の向上を図っていく予定である。本システムの開発に際し、東京大学生産技術研究所藤田隆史教授のご指導と現場のご支援を頂き、ここに深く感謝の意を表します。

22. マルチメディア情報化施工システム

大成建設㈱：*松本　三千緒，堀田　明男

1. はじめに

計測データや監視画像、音声データなど様々な現場情報を、各種通信技術により遠隔から集中管理することで、施工管理の高度化・コストの縮減を目指したマルチメディア情報化施工システムを開発した。

特に、現場に既に設置されているインフラ（現場内の電話線、事務所の電話交換機、パソコンなど）を最大限に活用することで、現場監視・計測データ収集・作業連絡システムなどを短期間で構築でき、メンテナンスも容易に行なえる構成とした。現在、トンネル・橋梁・ダムなど様々な工事へ向けて導入や計画を行なっているが、ここではトンネルでの実施例を中心に本システムを紹介する。

2. システム概要

図－1にトンネル現場におけるマルチメディア情報化施工システムのイメージを示す。

2.1　システムのポイント

1）映像収集ネットワークシステム（電話線・平衡伝送・ビデオＭＴＸスイッチなど）

2）携帯通信システム（事業所コードレス・オフィスステーション・ホームステーションなど）

3）データ伝送システム（構内電話回線・モデム・無線ＬＡＮなど）

図－1　マルチメディア情報化施工システム

図－2　田上トンネル監視システム

4）切羽情報管理システム（切羽の性状判断やファイリングに利用）

5）三次元可視化システム（周辺地質や地層の３次元的判断に利用）

6）作業所内マルチメディアＬＡＮ（動画・モデムサーバー・ＩＳＤＮルーターなど）

2.2　現場での導入システム

九州新幹線八代～西鹿児島間の田上トンネル（北）工事を例に紹介する。

2.2.1　映像収集ネットワークシステム

当作業所では、切羽作業・覆工作業などのリアルタイム監視の要望が高かった為、図－２に示すような監視システムを構築した。これは、現場の各映像を事務所や詰所から独立して監視できるようにしたシステムであり、切羽など電話ケーブルと離れた位置の監視には、

・UHF帯（537.25～609.25MHz）

・BS帯（1.2GHz）

の微弱無線を利用することで、発破時の退避や進行に伴う移設作業を省力化している。また、高精細画像（切羽観察画像等）の伝送には、ＣＣＤカメラの映像を圧縮・デジタル化し電話回線で伝送する方式も行なっている。

2.2.2　携帯通信システム

事業所コードレス・オフィスステーション・ホームステーションの各方式があり、当作業所の特性

から使用者の数や作業エリアが限定できたため、ホームステーション方式でＰＨＳシステムを構築し、コストダウンを図った。また、耳骨マイク型イヤフォンを採用することで、騒音環境下でのハンドフリー通話も可能にしている。

2.2.3　切羽情報管理システム

発破後の切羽画像をデジタルカメラで撮影し走行傾斜や岩質・断層などの記録とともに事務所パソコンへファイリングするシステムであり、切羽性状や変化の傾向を判断することで施工管理に役立てている。（図－３参照）

2.2.4　三次元可視化システム

現場周辺の地質や地層状況を３次元的に表示（図－４）し、施工時の検討や計画に利用するシステムを構築している。可視化データは、地形データ・設計データに地質・地層など地表踏査の結果も含める事で、問題箇所の認識や把握が的確に行なえるようになっている。

切羽写真とスケッチ図　　地質連続図

図－３切羽情報管理システム

図－４　トンネル周辺地質三次元可視化画像

2.2.5　作業所内マルチメディアＬＡＮ

事務所内の自席のパソコンから監視映像や計測情報の収集、監視カメラの制御などを集中的に行えるようにしたのがマルチメディアＬＡＮ（ローカルエリアネットワーク）である。本システムは既に事務所にあるパソコンやＬＡＮなどのインフラに動画サーバーやモデムを組合せることで、図－５のように自席のパソコンから現場映像等を扱えるようにしたもので、見学者へのプレゼンテーションにも活用している。

図－５　監視システム利用状況

３．現状の課題

３.１　監視システム

監視か所との距離が長い場合、ノイズや信号劣化の影響で映像品質が低下し、鮮明な監視映像が得られない問題がある。そのため、信号補正機器（タイムベースコレクタ、カラーコレクタ等）を伝送路に入れ映像信号を規格内に保つ、無線化する箇所を増やす、デジタル伝送を行なう等の対策を考える必要がある。

３.２　無線機器の体系化

工事の進行上、撤去・移動の頻繁な箇所では、無線が有効であるが、伝送容量・周波数・耐ノイズ性など工事箇所と伝送内容に適した無線機器の体系化を行なう必要がある。

３.３　保守性

現場での監視・連絡・計測の箇所が増加すると、伝送系統や機器構成が複雑化し、故障時の原因把握や復旧に手間がかかる。従って、保守マニュアルの整備・機器構成の単純化・自己診断機能の検討等を行なう必要がある。

４．今後の展開

マルチメディアに関連する技術の進展は早く、新たな技術の導入・システム開発および本システムの再検討が必要と考えている。今後は、トンネル工事、橋梁工事、ダム工事、造成工事など様々な現場への展開を考えており、施工環境にマッチしたシステムを展開することで、施工の効率化や品質の向上および施工情報の蓄積に寄与していきたいと考えている。

参考文献

1)斎藤　寿直，岡田　篤生，他　編著：クローズアップ「九州新幹線田上トンネル」，日経コストラクション，pp.61-63，　1998

2)青柳　全　著書：通信・マルチメディアの仕組み,明日香出版，p.48，p.63，p.81，1994

23. 転圧機械運行管理システム（道路土工バージョン）の開発

㈱熊谷組：*沼宮内　雅人，石口　真実
北原　成郎

1．はじめに

現在の高速道路建設は、山岳部における道路建設が主体となってきている。特に盛土構造では、高盛土または大規模盛土の計画が多くなるものと予想されており、大型施工機械を導入することによる施工能力の向上およびその施工方法を確立させ、盛土施工の効率化を図る必要がある。日本道路公団の現行要領では、品質規定方式（ＲＩ計測等）による品質管理が困難な岩塊盛土材料について、工法規定方式による品質管理を行うことになっている。現在この管理手法では、転圧回数とタスクメータによる転圧機械の稼働管理を実施しているが、転圧ヤードの面的な施工範囲の確認が困難であった。

このような状態を改善するため、ロックフィルダムのコア盛立工事等の施工管理用に開発していた『ＧＰＳを用いた転圧機械運行管理システム[1)]』をこの度道路土工用にバージョンアップさせたシステムを開発した。本システムにより今後増加が予想される高盛土や大規模盛土工事の施工の効率化・品質の向上を図ることができる。

さらに、道路土工では、近接施工もしくは曲線施工などの要因で転圧機械が大きく蛇行しながら転圧作業を実施することも予想される。しかし、これまでのシステムでは平面上で大きく蛇行した場合、転圧機械の左右への傾きによりその位置座標がどの程度誤差を生じるかについて定量的に把握することが不可能であった。そこで、転圧機械に傾斜計を搭載させて、転圧機械の左右への傾きを把握するための実験を実施した。

本論文では、本システムの特徴を紹介し、次にシステムの有効性について検証した実験結果について報告する。

2．システムの概要

システムの基幹となる転圧機械位置の計測技術は、ＲＴＫ－ＧＰＳ方式とした。また、転圧機械と事務所間のデータ転送には、当社が開発したＳＳ無線機（データコントロール多重通信システム）を使用し、確実なデータ処理を行うとともに、複数の転圧機械の同時計測が可能なシステムである（図－１、２）。

図－1　システム概念図

図－2　システム構成図

3．システムの特徴

システムの特徴として、以下の①～⑧が挙げられる。

① 転圧機械のオペレータに対し、作業すべきエリアを転圧機械搭載のパソコン画面にリアルタイムに表示し、転圧不足エリアが発生しないように誘導を行うことができる。

② 転圧エリアを最小10cm四方のブロックに分割して管理するため、高精度を必要とする転圧作業に対し精度良く対応できる。転圧作業の判定は、ブロックの重心を転圧機械が走行することにより転圧回数をカウントアップし管理する。

③ 同一作業エリアにおいて、複数の転圧機械（最大4台）の同時管理が可能である。

④ 転圧機械のオペレータの作業は極めて容易で、転圧回数の確認作業といった精神的負担が低減される。

⑤ 転圧不足エリアや転圧回数不足を現場事務所のパソコンに色分けしてリアルタイムに表示できるので、その場にて再施工を指示できる。また、転圧状況、転圧記録、運行記録のリアルタイム出力が可能である。

⑥ （X方向、Y方向）のＧＰＳ座標のみの収集を行っていたが、道路土工バージョンとして高さ方向（Z方向）のＧＰＳ座標の収集を加えた。これにより、前層と次層の転圧面の高さを把握できるため層厚管理すなわち層厚分布図などの出力が可能である（図－3）。図－3は、塗りつぶしが濃くなる毎に層厚が厚くなっていることを示している。

⑦ 当社開発システムである『土工量管理システム[2)]』に対応させることにより、簡単かつ瞬時に盛立土工量の算出や鳥瞰図などの土量計算・解析作業が可能である（図－4）。

⑧ 処理速度を32ビット対応にすることでグラフィック表示機能などが向上した。

図－3　層厚分布図例

図－4　盛立出来形鳥瞰図例

4．実験概要

1）実験実施場所

第二名神高速道路　長島インターチェンジ作業所

発注者：日本道路公団名古屋建設局 四日市工事事務所

施工者：(株) 熊谷組・(株) フジタ共同企業体

工期：平成10年1月30日～平成13年1月13日

工事内容：総延長約517m、盛土工　747,869m³

2）実験実施時期

平成11年1月

3）実験目的

① システムの有効性について検証する。

② 傾斜計データより、蛇行時の転圧機械の傾斜による左右のずれについて検証する。

4）実験時使用傾斜計

ＦＯＧ（光ファイバージャイロ）姿勢計測装置（表－1）

表－1　傾斜計仕様

項　目		単　位	
計測範囲	ロール角	(degree)	±45
	ピッチ角	(degree)	±45
	相対方位角	(degree)	±180
分解能	角度	(degree)	0.1max
	角速度	°/s	0.2max
	加速度	G	0.01max

図－5　傾斜計設置図

5．実験結果

5．1　システムの有効性

表－2は、検証実験において同一作業エリア（30m×20m）を設定し、オペレータの目視による施工方法によって転圧不足を残さず転圧した場合と、本システムを用いた場合について比較した結果である。本システムを用いることで、規定回数以上の転圧や局所的な転圧不足を防止でき、合理的な転圧作業ができることを確認した。これにより従来の施工方法に比べて、転圧時間や転圧走行距離を20％程度低減することが可能であると思われる。

表－2　システムによる施工とオペレータによる目視施工の比較表

	施工方法	レーン数（本）	転圧所要時間（M' S"）	平均速度（km/h）	走行距離（m）
A	システムによる施工	11	39' 43"	4.01	2656.067
B	オペレータによる目視施工	17	47' 33"	4.28	3395.246
C	増減率（A／B）	—	0.835	—	0.782

図－6　システムによる施工の転圧回数色分図

図－7　オペレータによる目視施工の転圧回数色分図

5．2　傾斜計データによる左右のずれ

実験は図－9に示すような平坦な作業エリア（30m×20m）において、1、2回目は直線走行（A部）、3、4回目（B部）は蛇行走行を実施した。GPSアンテナは図－8に示すように転圧面から3.072mの高さにあり、蛇行走行すると大きく傾くことが予想された。

傾斜計から採取されたロール角データを式①に代入した値を図－10に示す。

ロール角のずれ＝H（3.072）×sin ϕ ――式①

B部において最大ロール角＝7.67°、最大ずれ値＝0.410mのずれが発生することを確認した。

表－3は、ずれ値を直線走行と蛇行走行に分けて統計処理したもので、ロール角のずれ範囲は直線走行で0.174m、蛇行走行で0.507mであった。図－11は表－3を度数分布図に表したものである。蛇行走行は、データのバラツキから直線走行に比べて明らかに車体が傾き左右へのずれを生じることがわかる。しかし、どちらの場合においてもほとんどが±0.1mのずれ値に収まっている。したがって、平坦な作

業エリアにおいて、本システムの転圧管理ブロック（転圧回数をカウントするブロックサイズ）を0.5m程度で行う場合は、蛇行走行より発生する転圧機械の傾斜よるずれ値はほとんど考慮しなくてもよい範囲内にあることが判明した。

図－8　ロール角の概念図

図－9　転圧機械の実験実施軌跡図

表－3　ずれ値の統計分析比較表

	A部	B部
平均（m）	0.003	0.078
中央値（m）	-0.001	0.052
最頻値（m）	-0.051	0.114
標準偏差	0.0412	0.1155
分散	0.0017	0.0133
範囲（m）	0.174	0.507
最小値（m）	-0.084	-0.097
最大値（m）	0.090	0.410
標本数（個）	117	132

図－10　ロール角によるずれ値

写真－1　実験実施状況

図－11　ずれ値の度数分布図

6．まとめ

施工の効率化・品質の向上を目的として、「転圧機械運行管理システム（道路土工バージョン）」を開発し、今回の検証実験により以下の成果を得た。

① 作業エリア（30m×20m）において、従来の施工方法に比べて、転圧時間や転圧走行距離を 20%程度低減できることがわかった。

② 作業エリア（30m×20m）において、本システムの転圧管理ブロックのサイズを0.5m程度で行う場合は、傾斜によるずれ値はほとんど考慮しなくてもよい範囲内にあることがわかった。

現在、幾つかの民間業者が盛土の締固め管理としてＧＰＳ等を利用した新しい工法規定方式に対応したシステムの開発に取り組んでいる。本システムはこうした提案にいち早く対応させるため、ロックフィルダム用に開発したシステムを道路土工用に改善・改良したもので、今後、道路土工等に積極的に活用したいと考えている。

今後は、ＧＰＳ受信地点の仰角 15 度以上に障害物がある場合や、衛星が 5 個以上受信できない場合等一時的にＧＰＳの受信が困難な場合の対策を講じてゆく必要があると考えている。これらの対策として現状では、自動追尾型トータルステーションやジャイロとの組み合わせが考えられる。また、次のステップとして転圧機械に加速度計等を取り付け連続して測定することにより、ＧＰＳの位置情報と地盤反力情報を得て、地盤の密度管理を可能とするシステムなども継続して開発していきたい。

参考文献

1）沼宮内ら：リアルタイム転圧機械運行管理システムの開発、土木学会第 23 回土木情報システムシンポジウム講演集、PP1-4、1998 年 10 月

2）江口ら：土工事出来形・出来高管理支援システムの開発、熊谷組技術研究報告第 55 号、PP155-164、1996 年 10 月

24. シールド掘削工のポンプ圧送管理システム

佐藤工業㈱：*黒崎　孝一，和田　克己
倉田　学

1．はじめに

近年、土圧式シールド工法における掘削土搬出設備として、排土作業効率が高いこと、坑内の安全性が向上すること等の理由からポンプ圧送方式が注目されている。しかしこの様な長距離圧送の場合、圧送土砂の性状把握が困難である事から、圧送管内部で砂礫等が沈降・堆積し、場合によっては圧送管が閉塞する等の事例も幾つか報告されている。これに対し、現状ではポンプ圧送管理の手法が確立されておらず、圧送土砂の挙動を把握し、トラブルを回避することは非常に難しい。そこで本工事では、このような問題点を解決する対応策の一つとして独自の管理手法を考案し、実施工に適用した。

本稿では、この管理手法の概要、得られたデータの分析を含めた施工実績について報告する。

表－1．工事概要

工事件名	利根中央農業水利事業 二郷半領導水路建設工事	発 注 者	関東農政局
工事場所	埼玉県北葛飾郡松伏町 大川戸～吉川市上内川	施工延長	2,238m
ｼｰﾙﾄﾞ機	泥土加圧式（中折装置付き） 外径φ2.69m、機長 5.00m	残土搬出	ポンプ圧送方式 （ピストン式ポンプ）
路線線形	R21.275 ～ R600 （計 12 カ所）	縦断勾配	i＝ －1/83 ～ 1/93
土　質	沖積砂層 ～ 洪積粘性土層	土被り	4 ～ 13m
ｾｸﾞﾒﾝﾄ	鋼製ｾｸﾞﾒﾝﾄ（4ﾀｲﾌﾟ） 外径 2,550mm，幅 1,000mm，300mm，桁高 100mm，板厚 3.0mm		

2．工事概要

2－1 工事概要

本工事は、関東農政局所轄の農業水利事業の一つであり、総延長 L＝2,238m、掘削外径φ2,690mm、仕上がり内径φ1,650mm の導水路管を泥土加圧式シールド工法により築造するものである。

工事概要を表－1に示す。

2－2 掘削路線概要

本工事の路線平面図を図―1、地質縦断図を図－2に示す。

まず路線線形であるが、計 12 カ所の曲線をもつ路線となっている。この内、排泥孔直後にある河川横断部は、前後に曲率半径 21R の急曲線施工箇所があり、直前で左カーブ、直後でＳ字カーブが控える本工事最大の難所である。また、路線勾配は図－2の下部に示す。

次に路線地質だが、事前に行った地質調査の結果によると、D_{C1}の粘性土層では含水比・粘着力

図－1．路線平面図

図－2．地質縦断図

が共に低く、D_{S1}の砂層では貝殻・礫を多量に含んでいる。本シールド路線はこれらの地層を含む複合地盤を通過するため、ポンプ圧送が困難な条件であると予想された。従って、適正な添加材の種類、配合、添加量の設定及び、管内土砂の性状把握等が円滑なポンプ圧送に対する必須条件であった。

3．ポンプ圧送設備

本工事は、小口径断面かつ長距離である為、坑内環境保全も考慮し、密閉式連動運転システムを採用した。

切羽面から取り込まれた土砂は、一次スクリューに連結している二次スクリューを経由して、P1（一次圧送ポンプ）に入り、後続台車最後部の P2（二次圧送ポンプ）まで圧送される。その後は P3～PE まで計５台の中継ポンプにより連続的に立坑上まで圧送される。これらのポンプは全てホッパー内面に設けた内圧センサーにより土砂量を検知し、自動で連続的にポンピングを行うシステムになっている。

図－3．ポンプ圧送設備図

よって通常動作であればオペレーターの手動操作は、各圧送ポンプのポンピング速度制御のみとなる。また、異常運転時の対策としてポンプ油圧値、異常表示信号はオペ台車と地上の中央管理室に表示されるようにしており、非常時の停止回路も組み込んである。

設備概要を図－3に示す。

4．ポンプ圧送管理システム 及び データ分析

4－1　管理システム概要

ポンプ圧送方式による掘削土の搬出は、図－3の様にスクリューコンベアの後部より複数のピストン式圧送ポンプを経由させ、地上まで連続的に排出する方法が多い。この場合、土砂の分離・沈降による圧送管内の閉塞現象を生じさせることがあり、圧送過程における土砂は、粒度構成、含水比、粘度等の数値変動を伴い、多様な性状を出現させていると考えられる。従来の掘削土の管理手法は、単体の密度計・流量計を併用したシステムによるものが一般的であり、このシステムのみでは圧送中の土砂の性状を把握することは困難であった。

本システムでは、従来行われていたシステムに加え、立坑下に流量計を追加設置すると共に、管路中に適当な間隔で圧力発信器を設置する。これらの複数の流量値及び管内圧力値を連続的に計測・蓄積し、圧送管内の土砂の状態を蓄積した計測値データとの比較により推定するものとした。

図－4．管理システム概要図

本システムの概要図を図－4に示す。

4－2 圧送管理データ分析

計器配置は図－4に示す通りである。

ここで洪積砂層 D_{S1} において2種の添加材を使用した計測値データと洪積粘性土層 D_{C1} においての

計測値データを用い比較を行う。これを比較したものをグラフ－１（左上に管理値記載）に示す。

まず上段のグラフは、洪積砂層 D_{S1} 掘削時における圧送管の閉塞直前 10m 区間のデータである。この区間では、添加材として高分子系ポリマーを主剤にしたものを使用していたが、切羽面へ注入すると地下水と混合して希釈や劣化現象を起こし、多量に砂礫・貝殻が混入する土砂に対応出来ず圧送管の閉塞兆候が見られた。この２つのグラフをみると、圧力値が高く、流量値の差が大きくなっている。

図－５．流量値計測差原理

ここで、簡単に電磁流量計による流量値の演算過程を説明しておくと、流量値は、

流量値＝K×配管断面積×流速値（K：定数）

で算出されており、上式の配管断面積は定数入力で

グラフ－１．計測データの比較

あるので、流速値のみに比例する。また、図－５に示すように、堆積物があれば管内の有効残存断面が狭小になり、堆積物が無い場合と比較すると、流速値が高くなることになる。従って、この原理をふまえると上段グラフのデータからは、圧送管中に堆積物があり円滑に切羽からの土砂が圧送出来ていなかったことが伺える。

次に中段のグラフであるが、これは上段と同様の地質でありながら、添加材が地質に適応し圧送時に土砂の分離徴候がみられなかったときのデータである。この区間では、添加材として前記の高分子系ポリマーよりも更に高粘性を有するものとベントナイトを併用していたが、管内土砂を調査したところこの添加材の特質である粘着性が異常発現していた。圧送時には、この発現した粘着性が逆に配管周面への粘着抵抗となり、ポンピング圧を高めていた。このような状況をふまえると、グラフに表れているように分離徴候が無く配管抵抗が高ければ、流量値に変化が無くても、圧力値は高い値を示すことになる。

最後に下段のグラフであるが、これらは洪積粘性土層 D_{c1} 掘削時のデータである。この区間での圧送土砂には粘土・シルトが含まれていた為、添加材として高分子ポリマーを使用せず、ベントナイトのみを使用した。この添加材では前述したような粘着性の異常発現はみられなかった。また、土砂の分離徴候も見受けられず、ポンピング圧も低い値に収まっていた。この区間のデータからは圧力値及び流量値の変化はさほどみられず、円滑な圧送が行われていたことが伺える。

以上、圧送時の状況とデータ比較を基にまとめると、以下のようにいえる。

（Ⅰ）管路中に堆積物がある場合、配管断面が狭くなり、円滑な圧送が行えず、２台の流量計の値に差が表れる。

（Ⅱ）圧送時、土砂の分離徴候が無くとも、粘着性等の配管周面抵抗が大きい場合は、圧力値が高くなる。

本システムによる管理は、その時点まで蓄積した管理データを日々整合し、その瞬時のデータをその整合したデータと比較することにより行った。この判断基準を図－６にまとめる。実施工においては状況により数値が上下するのでその都度、付帯条件を加味し判断したが、得られたデータより推測した管内状況と現状との差異はみられなかったことより、本システムによる管理は非常に有効であったといえる。

図－６．本管理システムによる管内状況判断

６．おわりに

今回の、ポンプ圧送方式は長距離であることや路線中に全断面砂層での閉塞トラブル等が懸念される中取り組んだものであ

ったが、結果として当初の計画を大幅に上回るサイクルタイムでの進捗を挙げることが出来た。

最近、注目されているポンプ圧送方式ではあるが、トラブルによる進捗低下を懸念してか依然として鋼車を用いた軌道方式を採用するケースも多い。これは、現在までポンプ圧送方式のみを捉えた管理手法が確立されておらず、圧送時多様な性状を示す土砂による様々なトラブルを不安視しがちな為であると思われる。

このような現状において、本工事に適用した管理システムは、圧送管内の状況把握、特に圧送管の閉塞兆候を事前に予測するという面において、有効な成果を挙げることが出来た。現段階では管理項目の不足やデータ取り込み時間の短縮等、処々に改善箇所が残っている本システムではあるが、ポンプ圧送管理の一端を担うシステムとして、我々としても今後の更なる成果を期待するところである。

25. クラムシェル掘削揚土支援システム

㈱鴻池組： 吉岡　由郎，松原　和夫
*松尾　多嘉久

1．はじめに

クローラクレーンによるクラムシェルバケットを用いたオープンケーソンの掘削揚土作業は、ケーソン躯体にて視界が妨げられ、更に水面下での掴み作業となるため、ケーソン掘削作業状況を適確に把握することは難しい。このためオペレータの勘や経験に頼るところが多く、作業効率は運転技量に大きく影響されているものと考えられる。そこで、この問題を解決するため操作に必要な情報を運転席に設置したディスプレイにて視覚的に表現し、また音声にて通知する運転支援システムを開発したので、そのシステムの概要と現場適用結果について報告する。（図－１）

図－１掘削揚土フロー図

写真－１現場状況

写真－２ケーソン掘削

2．システムの概要

クローラクレーンにセンサや制御盤を後付けし、本システムを構築した。(表－1，図－2，図－3)

（1）位置検出

旋回角度の検出は、旋回軸上の油圧スイベルジョイント部に設置した絶対値型のロータリエンコーダで行い（写真－3），起伏角度の検出はブームに設置したポテンショメータで行う（写真－4）。また、主巻及び補巻量の検出は、各ワイヤドラムに設置した磁気スケールにてドラム回転量を検知し（写真－5）、演算にてワイヤ繰出し量を求めている。

（2）荷重検出

支持ロープにかかる荷重の検出はシーブに設置したピンロードセルにて検出し、開閉ロープにかかる荷重は、クレーン装備の荷重計出力値より支持ロープにかかる荷重を差引いて求めている。

（3）ケーソン刃口深度

圧入管理システムより無線伝送にてケーソン刃口の深度情報を受信する。

（4）システム制御盤

制御盤では、入力信号をもとにブーム先端の平面位置、バケット刃先位置などを演算し、グラフィック描画を行う。毎回の揚土量を掘削時間、回数とともに記録し、必要時にはデータを取出して事務所などで内容を確認できる。（写真－6）

図－2システム機器配置図

写真－3旋回角検出

写真－4起伏角検出

写真－5主巻･補巻量検出

写真－６システム制御盤

表－１システムの仕様

検　出　器	旋回角度	ロータリエンコーダ(絶対値型12ﾋﾞｯﾄ)
	起伏角度	ポテンショメータ(温度補償型10KΩ)
	主巻ドラム回転量	磁気スケール(分解能0.45°)
	補巻ドラム回転量	同　上
	主巻＋補巻荷重	引張式ロードセル(クレーン装備)
	補巻荷重	ピンロードセル(最大荷重１５ｔ)
表　示　器	液晶ディスプレイ　高輝度ＴＦＴカラー，１５インチ	
音声出力	音声合成ユニット　総再生時間３２秒	
演算装置	CPU：i486DX4，ﾒﾓﾘｰ：640KB	
制　御　盤	寸法：1200×600×600	
電　　源	DC24V　20A　クレーンより供給	

図－３システム構成図

３．システムの特徴

写真－７に運転席状況、写真－８に表示画面を示す。

（１）掘削位置案内機能

現在のクラムシェルバケット位置および、既に掘削した箇所の位置を表示し、オペレータに次の掘削位置を把握させる。また、既掘削箇所は、ケーソン刃口を基準として深さに応じ７段階に色分け表示される。クラムシェルバケットが、ケーソン内壁に近付き過ぎると接近警報を発し、オペレータに注意を促す。

（２）クラムシェルバケット揚程表示機能

クラムシェルバケットの揚程を数値とグラフィックにて表示する。また、巻下げ時には設定した高さにて音声を発し、巻下げ終了の操作タイミングを通知する。

（３）クラムシェルバケット開閉度表示機能

掘削時にクラムシェルバケットの開閉度を数値とグラフィックにて表示する。水中での閉完了時には、音声にて通知し、巻上げ操作のタイミングを把握させる。

（4）荷重表示機能

支持、開閉ワイヤーロープにかかる荷重を表示する。巻上げ時、クラムシェルバケットの回転を防止するため支持と開閉のロープにかかる荷重の差が適切な許容範囲を越えると警報を発する。

（5）揚土量管理機能

掘削回数および、毎回の揚土重量とその累積値を表示し、記録する。

写真－7 運転席状況

写真－8 表示画面

4．適用結果

本システムを最近開発された自動化オープンケーソン工法（ＳＯＣＳ工法）による立坑工事に適用した。本工事では最終掘削深度が50m以上の大深度であり掘削精度と作業能率の向上が要求されたが、本システムを用いて現在まで約5000m³の掘削揚土を行った結果、次に示す効果を発揮し、システムの必要性が十分に認識され高い評価を受けた。（写真－1，写真－2）

（1）オペレータの熟練度に左右されない安定したサイクルタイムが確保できた。

（2）オペレータの疲労が軽減され、作業能率が向上した。

（3）掘り過ぎ、掘り残しが少なくなり、精度のよい掘削面が確保できた。

（4）正確な揚土量管理が行えるようになった。

5．おわりに

今後は、次の技術を用いて本システムを発展させ、適用範囲を拡大してゆく所存である。

（1）自動化技術による、更なる高速化。

（2）ＧＰＳなど位置検出技術による、管理機能の強化。

（3）システムの汎用性、転用性の向上。

最後に、本システムの開発・適用にあたって多大なるご指導、ご協力を賜りました関係者各位に厚くお礼申し上げます。

26. コンクリート構造物の無人化施工技術
～テレ・エレクションシステム～

㈱フジタ：*間野　　実，須郷　茂夫

はじめに

雲仙普賢岳の復旧工事は、水無川砂防基本構想に基づき、流域を土石流被害から守り、安全な生活を確保することを目的に建設されている。特に上流部にあっては、土石流、溶岩ドームの崩落等の危険性があるため、無人化施工が実施されている。

平成６年に建設省の“試験フィールド制度”適用第１号として雲仙における無人化施工に関する技術提案が行なわれ、試験工事として発注された。その後再度の無人化施工試験工事を経て、除石工事は、ほぼ毎年無人化施工にて発注されている。現在までに、砂防ダム建設工事も出件され、水無川１号砂防ダムは土砂型枠工法にてRCC（Roller Compacted Concrete）施工され、平成10年３月に完成している。水無川２号砂防ダムにおいては、さらに高度な無人化施工を目指し、技術開発が進められている。

その中で「遠隔施工によるコンクリート型枠ブロック技術」が技術活用パイロット事業として採用された。このシステムは、テレ・エレクションシステム（以下：本システムという）と呼び、砂防ダム本体にて実施された。本報告は、パイロット事業におけるブロック施工精度・サイクルタイム、コンクリート作業のサイクルタイム、圧縮強度試験等の結果報告をするものである。

１．工事概要

工事名称　　水無川２号砂防ダム越流部建設工事

発 注 者　　建設省九州地方建設局

工事場所　　長崎県島原市北上木場町地先

工　　期　　平成９年１０月８日 ～平成１０年３月２０日

請負金額　　￥６２２，６５０，０００－（消費税込み）

発 注 者　　建設省九州地方建設局

表－１ 主要工事数量

工事種別	単位	数量
提体掘削	m^3	４９，５９４
工事用道路	m^3	１５，９２６
導流堤	m^3	８，６５０
転流工	m^3	７，９４６
仮設道路工	m^3	１，４９２
流末処理工	m^3	４，１０７
作業残土処理工	m^3	３，３６５
ＲＣＣコンクリートダム工	m^3	１２，１６２
濁水処理工	式	１
仮設備工	式	１

2、テレ・エレクションシステム

本システムは、移動カメラ車等の重機搭載カメラ・固定カメラの各種映像を遠く離れたコントロールルームで見ながら、遠隔操作により砂防ダムを構築する技術である。新たに技術開発した自立式型枠ブロックを把持装置により吊り上げ、型枠兼用ブロックとして積み、背面にコンクリートを打設する。これを繰返すことにより、構造物を構築する技術である。

図－1 テレ・エレクションシステム概念図

図－1に本システムの概念図を示す。安全な場所に設置したコントロールルームから現場付近に中継点を設け、中継点を核として各重機を遠隔操作する。

無線の種類は、コントロールルームと中継点間は、指向性のある到達距離の長い50GHz 帯簡易無線、中継点と各重機間は、到達距離は短いが指向性のない特定小電力無線を使用している。離隔距離はコントロールルームと中継点が1～2km 程度、中継点と各重機が数百 m であり、各重機は2km 以上離れた場所からの遠隔操作を可能としている。また、作業状況も各種カメラ映像を通して確認している。

3．要素技術

本システムの主な要素技術は、自立式型枠ブロック（無人化施工対応型）と把持装置である。前者は無人化施工により型枠として積み上げられ、本体利用するブロックである。

後者は型枠ブロックを確実につかみ、精度良く据付けるためのアタッチメントである。

3．1自立式型枠ブロック（無人化施工対応型）

自立式型枠ブロックは写真－1に示すように、砂防ダムや擁壁などを合理的かつ安全に構築すると共に、無人化施工にも対応可能な自立式の型枠兼用プレキャストコンクリートブロックである。標準仕様は高さ1000mm、幅996mm、奥行920mm、重量約2t である。用途に応じてブロック勾配や形状が変更可能となっている。なお、ブロックは平成9年10月に財団法人・砂防地すべりセンタより、技術審査証明を取得している。 ブロックの特徴は以下の通りである。

写真－1 自立式型枠ブロック

①自立式構造

形状が立方体に近く自立式構造で、吊上げ・据付時にも安定している。

②容易な据付

ブロック嵌合のため凹凸部を設け、その線接触によりスムーズに精度良く据付けができ、せん断抵抗も期待できる。

③景観に配慮可能

二次製品であることから模様や着色により、景観に配慮が可能である。

④本体利用

ブロック背面のU型アンカー鉄筋により、背面コンクリートと十分密着し、一体化して十分な強度が得られる。

3－2把持装置

把持装置は、無人化施工でブロックを安全かつ確実に積み上げるために開発されたものであり、油圧ショベル先端に取付使用する。把持装置は、写真－2に示すように把持部と2台の監視カメラにより構成されている。

写真－2 把持装置

2台の監視カメラは、ブロックの吊り金具並びに隣接ブロックの詳細映像をオペレータに提供している。これらの映像を見ながら遠隔操作で把持部のシャックルを旋回させ、シャックルピンを吊り金具に通し、ブロックを吊る構造となっている。最大吊り荷重は、2.8t である。

把持装置の特徴は以下の通りである。

①シャックルピンの挿入･引抜き・シャックル旋回(左右各 150°)が遠隔操作できる。

②吊り金具の挿入を容易にするため把持部先端にガイドを取付けてある。ブロック吊り金具およびピン位置の確認は、マーキングを実施しており、カメラ映像での遠隔操作を容易にしている。

③2 方向のカメラを装備し、把持部分の詳細カメラ映像が得られる。

④重力により常に垂直になるようピンおよびユニバーサル構造を採用している。

3－3従来工法との比較

図－2 標準断面図

従来工法は、ダムの上下流に型枠となる土砂を盛立てる工法（土砂型枠）が採用され、その間にコンクリートを打設しながら、順次ダムを築造する。ダムは完成後、下流側の土砂型枠を撤去する計画となっており下流土砂の撤去と共に、撤去個所のコンクリート表面をハツリ整形する必要がある。

テレ・エレクションシステムは、下流側に本体利用のブロックを据付け、背面にコンクリートを打設する。このため、土砂撤去やコンクリート表面のハツリの作業が省略でき、工期短縮やコスト縮減が図れるものである。 図－2に従来工法と本システムにより、砂防ダムを無人化施工により築造する場合の比較標準断面図を示す。

4．施工

本システムによる、砂防ダム施工断面を図－３に示す。施工前に準備工として、ブロックの据付精度を確保するため、均しコンクリートと定規を予め有人施工しておく。

①ブロック据付

把持装置を装着した無人油圧ショベルにより、ブロックを下流側に据付ける。

②ＲＣＣコンクリート打設

無人ダンプトラックにより RCC 用コンクリートを運搬・打設後、無人ブルドーザにて１層 25cm 程度で２層敷均す。

図－３ 施工断面

③土砂型枠盛立て

無人油圧ショベルにより土砂型枠を上流側に盛立てる。土砂型枠盛立て後、１リフト 50cm となるように RCC 用コンクリートを無人振動ローラにより締固める。

④有スランプコンクリート打設

無人クローラダンプで有スランプコンクリートを運搬・打設後、バイブレータを装着した無人油圧ショベルにより締固める。

⑤～⑦（②～④の繰返し）

次リフトの RCC 用コンクリート打設、土砂型枠盛立て、有スランプコンクリート打設を同様に繰返す。

⑧次ブロック据付

①と同様に次ブロックを据付ける。以下計画高さまで②～⑧を繰り返す。

5．施工結果

試験施工は、水無川２号砂防ダム越流部建設工事において技術活用パイロット事業として、ダム本体の左岸端 30m にブロック１段当たり 30 個、４段合計 120 個を施工した。

砂防ダム構築を無人化施工する場合の基礎データを蓄積すること及び施工法の確立を目標に実施した。

1) 施工精度

据付精度をダム軸直角方向、ダム軸方向、高さ方向について計画値と比較した。

図－４ ﾌﾞﾛｯｸ出来高(ダム軸直角方向)

図－５ﾌﾞﾛｯｸ出来高（ダム軸方向）

（a）ダム軸直角方向

2段目以降でわずかに誤差が累積され、上流側に移動している。

（b）ダム軸方向

各段とも±20mm程度の値であり、基準値以内である。

（c）高さ方向

ブロックを積み上げるにつれ、高さ方向の誤差が累積する傾向がでる。1ブロックあたり、5mm程度である。

図－6 ﾌﾞﾛｯｸ出来高（高さ方向）

2)施工能力

ブロック据付の一連の作業を把持、旋回、据付に分けて各段ごとのサイクルタイムを測定した。

結果は、把持約1分、旋回行き約1分、据付3分強、旋回戻り1分強となり、トータルでは6分強を費やした。施工量の増加に伴うオペレータの慣れにより、時間短縮は可能と思われる。

表-2 ブロックサイクルタイム

	把持	旋回行き	据付け	旋回戻り	トータル
1	1分 4秒	1分 7秒	3分13秒	1分31秒	6分55秒
2	1分 2秒	0分54秒	3分11秒	1分11秒	6分18秒
3	0分57秒	1分 1秒	3分 5秒	1分40秒	6分52秒
段数	1分 4秒	1分 9秒	3分 2秒	1分24秒	6分39秒
平均	1分 2秒	1分 5秒	3分 8秒	1分26秒	6分41秒
最大	1分 4秒	1分10秒	3分13秒	1分40秒	6分55秒
最小	0分57秒	0分54秒	3分 2秒	1分11秒	6分18秒

3)品質

有スランプコンクリートおよびRCC用コンクリートの各部分のボーリングコア供試体を採取し、圧縮強度試験を行った。有スランプコンクリートの圧縮強度は、設計基準強度18N／mm² 以上で、全て目標強度を満足した。RCC用コンクリートとの接合部は、数箇所締め固めが十分でなかった。これは、バイブレータの起振力が小さすぎたことに起因する。

今後は、締固め能力を向上させることで圧縮強度不足を補う予定である。

図－7圧縮強度試験結果（有ｽﾗﾝﾌﾟｺﾝｸﾘｰﾄ）

図－8圧縮強度試験結果（RCC有ｽﾗﾝﾌﾟ接合部）

6．今後の課題

無人化施工によりブロックを用いて砂防ダムを構築することは精度を要する難度の高い技術である。今回の試験から種々のデータが蓄積できた。本試験結果を考察すると以下のような技術的課題が挙げられる。

写真－3 完成状況

①把持装置の改良

油圧ショベルをベースマシンとするため、動きが曲線的となる。ブロックを水平移動させる機能を付加し、ブロック据付時の微調整により、精度の高い効率的な施工が可能となると考える。

②RCC コンクリート締固めの施工性

有スランプコンクリートと RCC 用コンクリートの接合面で締固めが不十分な個所が見られた。150mm 程度の起振力の大きなバイブレータを使用することを計画しており、適切な締固めが期待できる。

③施工管理手法の確立

ブロック据付けは、オペレータがカメラ映像を見ながら行った。映像画面上にブロック据付位置表示等の作業支援を実施することが必要である。さらにデータ収集により最適な施工法ができると考える。

写真－4 ブロック据付

写真－5 有スランプ打設・締固め

7．あとがき

今回技術活用パイロット事業の結果から砂防ダムの築造におけるブロック、有スランプコンクリート、RCC 用コンクリートの品質が確認された。従来工法による土砂型枠の盛り立てや撤去及び RCC 法面のハツリ・整形作業が不要となりコストの削減、工期の短縮が図れることも確認された。さらに施工性を高めるため、今後もシステムの高度化に取り組む予定である。

写真－6 RCC 敷均し

写真－7 RCC 締固め

27. 情報化施工に関する要素技術の実証実験と適用性

建設省関東技術事務所： 星野　　剛，小櫃　基住
建設機械化研究所：*藤島　　崇

1．はじめに

現在、建設分野では、近年著しい進歩が見られる電子計測機器を利用してフィルドデータをリアルタイムに計測・蓄積し、施工管理に活用したり、あるいは設計データ・フィルドデータを建設機械に組込むことにより自動的に施工を行うなど、各種の情報化技術を活用した情報化施工が行われている。

ここでいう情報化施工とは、調査・設計、積算・発注、施工、維持管理から成る建設工事の一連の工程の中から施工に注目し、「工事の施工にあたり各種の情報化技術を活用し、関連施工間のデータの共有、施工と施工管理を一体的に行う等、施工に関する情報の効率的利用・各作業間の連携を図ることにより、安全性、品質の向上、省力化、環境保全・コストを含めた施工の合理化を目指す新しい建設生産システム」である。

建設省では、このような情報化施工の普及促進を支援するため、情報化施工に必要な要素技術の調査・分析や情報化施工を考慮した施工管理基準の検討を行うとともに、情報化施工に対応した建設機械を確実に使いこなすオペレータやマネージメントする人材の育成方策を検討している。

本報では、情報化施工システムを構築する要素技術の一つである「自動追尾技術とマシンコントロール技術を組合せた施工システム」の実証実験結果と当該技術の情報化施工への適用性について述べる。

2．システムの概要

自動追尾技術とマシンコントロール技術による施工システムとして、実証実験では３次元マシンコントロールシステム（以下、３次元ＭＣシステムと呼ぶ）を選定した。本システムは、設計データを入力したパソコンと直結したマシンコントロール用自動追尾トータルステーション（以下、ＭＣ用自動追尾ＴＳと呼ぶ）とレーザセンサ、重機制御システムおよびマシンコントロール用ソフトウェアを組合せて、モータグレーダ、ブルドーザ、アスファルトフィニッシャー等の重機制御を行うものであり、施工の進捗状況を確認しながら施工することができる。

今回は、対象機械としてブルドーザを用いた。本システムの概要を図２．１、ブルドーザ制御システムの構成を図２．２に示す。本システムを起

図2.1　３次元マシンコントロールシステム概要

動させるためには、まずブルドーザ本体に図２．２に示す制御装置を装着し、次にパソコンに接続されているＭＣ用自動追尾ＴＳを既知点にセッティングする。後は予めパソコンに設計データを入力しておくことによって、丁張り無しで施工ができると同時に出来形管理も行える。

図２．１で示すＭＣ用自動追尾ＴＳはレーザセンサを追尾し、Ｘ，Ｙ方向の位置データを測定してパソコンに送り込む。次に、パソコンは入力されている設計データ（Ｘ，ＹおよびＺ）をＭＣ用自動追尾ＴＳを介してレーザセンサに送り、重機のコントロールボックスへ伝達する。送られてきた高さデータは、レーザセンサによって自動的にブレードの上下動作や勾配等の制御を行い、位置データはオペレータに分かりやすいように表示され、オペレータはそれに従ってステアリングレバーを操作する。また、全てのデータがデジタルなので、次施工へのデータの引き渡しも可能となる。

図2.2　ブルドーザ制御システム

本システムと従来の自動追尾ＴＳの大きな違いとしては、従来の自動追尾ＴＳを用いた重機制御では３次元位置をＴＳ側で認識した後、無線などを介して重機側へデータを転送している為、データの転送に時間がかかっていたが、３次元ＭＣシステムではＭＣ用自動追尾ＴＳで測定した位置データより、その座標における高さをレーザビームで仮想的に設定し、移動局（重機）側に指示する。高さ方向のデータを一方通行（レーザビームは50Hzで点灯、勾配データは12.5Hzで送信、Ｘ－Ｙ座標は10Hzで計測）とすることで、データ通信時間を短縮し、高速での作業にも対応が可能である。

３．実験目的

実証実験での主な確認項目は次の①～⑥である。これらを検証することにより、現状の「自動追尾技術とマシンコントロール技術を組合せた施工システム」の技術レベルを把握し、一連の工事工程の中での効率的な施工を目指す情報化施工システム検討の基礎資料とするものである。

① 丁張りの自動化（丁張り無しでの施工性）
② 施工と施工管理(出来形管理)の一体化
③ 自動制御建設機械の安全性、操作性
④ 従来施工との施工精度や作業能力の比較
⑤ 重機追尾性能
⑥ 情報化施工への適用性

４．実験概要

建設省 関東地方建設局 首都国道工事事務所管内で工事中の藤代バイパスの盛土現場において，次の

規模の実験ヤードを造成し、ブルドーザ　コマツＤ２０Ｐを使用して敷き均し作業を行い、３次元ＭＣシステムの施工性能（施工精度、施工能力、重機制御性能）と重機追尾性能を確認した。

実験ヤード：幅６ｍ×距離４０ｍ（計測区間は幅５ｍ×距離３０ｍ）

（１）施工性能確認実験の条件

実験１：施工精度と施工能力の確認実験

実験ヤード上に約50m3の土砂を６個所に仮置きし、これを厚さ20cmとなるように敷均した。実験用の設計線形は図４．１のとおりとし、実験は丁張り掛けした従来施工による場合と、丁張りが不要な３次元ＭＣシステムについて実施し、施工精度や施工能力等を比較した。ブルドーザの作業速度は、実作業における通常の作業速度である２．５ｋｍ/ｈとした。

なお、従来施工では実験ヤードの両側に５ｍ間隔に丁張り（トンボ）を掛けた

図４．１　実験１の線形
（縦断勾配－２%，横断勾配０～３%）

実験２：重機制御性能の確認実験

実験用の設計線形は図４．２に示すような非常に複雑なものとし、このように複雑な線形における重機制御性能を確認した。ブルドーザの作業速度は、次の２条件である。

・２．５ｋｍ/ｈ（通常速度施工）

・３．５ｋｍ/ｈ（高速施工）

図４．２　実験２の線形
（縦断勾配１%～３%，横断勾配５%～－５%

（２）重機追尾性能確認実験の条件

レーザ光が遮断された場合の追尾の可否と作業中の最大追尾距離を確認した。レーザ光遮断の実験は、遮断時間を瞬時～３秒とし、追尾距離を５０ｍ～２００ｍまで変化させた。最大追尾距離の実験ではブルドーザを移動させ、追尾限界距離を確認した。

写真－１　実証実験時の写真

5．実験結果

(1) 3次元MCシステムの施工性能

1）施工精度と作業能力

前掲図4．1の設計線形において実施した実験1のうち、施工精度に関する結果を図5．1に示す。数値で示すと、設計値に対して3次元MCシステムが約±約10mm、従来施工が約±約40mmの精度であった。なお、従来施工では、道路土工の出来形管理基準である±約50mmの精度を確保するための手段として、作業途中で高さ確認のための水糸張りが必要であった。

図5．1　施工精度

作業能力に関する実験結果は表5．1のとおりであり、純作業能力では、従来施工に比べて3次元MCシステムの方がやや劣る結果となった。これは、まだオペレータが3次元MCシステムを完全に習熟しきっていなかったことと、システムの機能を発揮させるために操作するスイッチのON・OFFのロスタイムが影響していると思われる。

一方、丁張り間に張った水糸による高さ確認作業時間を含めた実作業能力は、従来施工の35m³/hrに対して、3次元MCシステムは約1．8倍の65m³/hrとなった。なお、表5．1で併記した施工精度は上記の施工精度を転記したものである。

表5．1　作業能力

項目			3次元MCシステム	従来施工
敷均し作業	①敷均し土量（m³）		50m³	
	作業時間（分）	② 純作業時間		39
		③ 水糸による高さ確認作業時間	0	47
		④ 丁張り掛け時間	0	25
		⑤ 計	46	111
	作業能力	⑥ 純作業能力 (m³/h) ①/②×60	65<0.8>	77<1>
		⑦ 実作業能力 (m³/h) ①/(②+③)×60	65<1.8>	35<1>
施工精度(設計に対して)(mm)			約±10mm	約±40mm

1．表中③の水糸による高さ確認作業時間とは、実験ヤードの両側に設置した丁張り間に水糸を張る時間と、作業中のオペレータが水糸を目安に敷均し面の凹凸を確認する時間である。
2．実作業能力の計算には、④の丁張り掛け時間は含んでいない。
3．作業終了は、オペレータの判断に任せた。
4．表中<>は、従来施工の作業能力を1.0とした場合の3次元MCシステムの作業能力比率を示す。
5．ブルドーザの作業速度は、通常作業時の2.5km/hである。

2）重機制御性能

前掲図４．２に示す非常に複雑な線形を設定し、ブルドーザによる敷均し作業後の施工精度で３次元ＭＣシステムの重機制御性能を確認した。その結果は図５．２のとおりであり、作業速度の影響は殆どなく、通常速度施工、高速施工とも設計値に対する差は約±約３０ｍｍであった。また、この施工精度は道路土工の施工管理基準である±約５０ｍｍを十分満足している。

図５．２　重機制御性能実験での施工精度

（２）３次元ＭＣシステムの重機追尾性能

作業中、障害物によってレーザ光が遮断されると重機追尾が不能となる。実験の結果、追尾距離５０ｍでは瞬時、追尾距離２００ｍでは約１秒の遮断で追尾不能となるが、いづれも数秒間のサーチによって再捕捉する。

一方、最大追尾距離は仕様値の３００ｍに対して、実験では約４００ｍであった。この追尾距離は天候や周辺環境（雨、霧、埃など）によって変化する。実験時の天候は晴れであった。

６．考察

① 丁張りの自動化

実証実験で得られた施工精度と制御性能から、３次元ＭＣシステムは丁張り無しでの施工が可能である。なお、オペレータは運転席において設計高さ±１０cmの範囲で施工高さを自由に設定できる。

② 施工と施工管理（出来形管理）の一体化

本システムは、重機の軌跡管理に関するデータはデジタルデータとして出力されることや、施工精度にも優れ、また、３次元の位置データがオペレータに分かりやすく表示されるので、施工と施工管理を同時に行える情報化施工技術と言える。しかし、現状では次のような問題があり、パソコン内部に記録するデータをそのまま最終の検査データとして利用するのは難しく、日々の自主管理データとして利用することになる。

・高さ偏差データは、ＭＣ用自動追尾ＴＳがセンサーの上下の動きをモニターしたものであり、ブレードが設計通り制御されたとしても、実際に土砂等が切盛されたかどうかはわからない。

・横断勾配値は、設計データから計算され重機側に光通信する値であり、実際の重機のブレードの傾斜を反映してはいない。

・現行の出来形管理基準は土工、舗装とも締固め後の値となっている

③ 自動制御建設機械の安全性、操作性

自動制御を行うのがブレードの上下・傾斜のみであり、前後進やステアリングは手動操作である。また、自動モードでも手動の油圧ラインが生きていることから、強い手動操作を行うと手動操作にしたがった動作となり通常の手動操作と大きな差異はないので、安全面での問題はない。

④ 従来施工との施工精度や作業能力の比較

ブルドーザ作業での従来施工の施工精度は約±４０㎜であった。これに対して、３次元ＭＣシステムは約±１０㎜の高精度施工が可能であり、土工以外では舗装工における路盤の出来形管理基準±２５～±４０㎜にも十分対応できる。ただし、締固めによる沈下を考慮した施工が必要となる。

一方、３次元ＭＣシステムの実作業能力は従来施工の約１．５倍近い結果となった。しかし、実工事の道路線形はもっと緩曲線であることや、土工の途中段階では実験のような仕上り面確認作業を頻繁に実施することはない。したがって、一般的な土工での作業能力は従来施工と大差ないと思われる。

ただし、施工途中での高さ確認が不要（日々の丁張り掛けが不要）なことや精度確保が容易であることに起因して作業効率が上がり、従来施工よりも作業能力が向上することは十分期待できる。特に土工基面の仕上げや路盤工での作業能力向上が予想される。

⑤ 重機追尾性能

短時間のレーザ光遮断によって追尾不能となるが、数秒間のサーチで再捕捉する。また、再捕捉が不可能となるような遮断が生じた場合には、指定地点に重機が戻ることで追尾を再開するシステムとなっている。したがって、レーザ光遮断は施工上の大きな問題とはならない。

⑥ 情報化施工への適用性

今回の実験で得られた施工精度や作業能力およびシステムの性能などから、ブルドーザ以外にモータグレーダやアスファルトフィニッシャへの適用は十分可能と思われる。ただし、アスファルトフィニッシャーについては、基層、表層の出来形管理基準が非常に厳しく±数ｍｍと規定されているので、適用にあたっては今後の検証が必要である。

施工データはデジタルデータとして蓄積されるので、次施工へのデータの引渡しも可能であり、施工に関する情報の効率的利用、各作業間のデータの共有などによる合理化を目指す情報化施工への適用性は高いと言える。

７．あとがき

模擬的な実証実験ではあったが「自動追尾技術とマシンコントロール技術を組み合わせた施工システム」を用いることによって、施工と施工管理を同時に行う効率的な作業の実施と施工精度および作業能力の向上などが期待でき、情報化施工への適用性も高いことが実証できた。しかし、実工事への適用、普及にあたっては、情報化技術に習熟したオペレータの育成や情報化施工に対応した施工管理基準の検討、システムの低コスト化等が課題としてあげられる。また、本システムの効果をより効率よく発揮するための工事規模などについても、今後の検討が必要と考えられる。

最後に、実証実験にあたって協力いただいた関係者各位に対し、深く感謝する次第である。

28. 制動装置付セグメント台車システム

㈱鴻池組： 縁田　正美，日置　昌治
*寺崎　修司

1．はじめに

都市の地下には，地下鉄・上下水道・電力電話線・ガス管等が複雑に交差しているため、シールドトンネル工事も勾配部や曲線部が多く、特に最近では急勾配工事が増加している。これらのシールドトンネル工事において、発進立坑からシールドマシンまでのセグメントの坑内搬送（軌条方式）は、一般的にセグメント台車を連結したバッテリー機関車で行われている。通常、セグメント搬入時においてセグメント台車は，シールドマシンのセグメント組立装置への取り込みの関係から先頭（シールドマシン側）に連結され、機関車が後押しする編成となっている。このため、下り勾配のシールド工事では、車輌の連結ピンを入れ忘れたり、不完全な連結であった場合、セグメント台車がシールドマシン方向へ逸走し、重大な事故につながる危険性があった。そこで、逸走したセグメント台車を安全に制動停止させ、事故を未然に防ぐことが可能な制動装置付セグメント台車システムを開発した。

2．システムの概要

本システムは、軌条側の所定位置に、ある一定距離で永久磁石を設置し、その距離でバッテリー機関車とセグメント台車に取り付けられた磁気センサが所定位置を通過する時，同時に磁石を検知すれば正常連結であると判断し、同時に検知しなければ連結がされていない状態と判断して、バッテリー機関車に取り付けられている制御盤のブザー、表示ランプでバッテリー機関車運転手に「連結確認指示」の警報を発する。セグメント台車に装備されているフラッシュライトが警報と同時に点滅し、前方にいる人間と運転手にセグメント台車位置を知らせて運転手が目視確認を行い、逸走状態なら無線装置を使ってセグメント台車の制動装置を作動させて停止させるシステムである。図－１にシステム構成図を示す。

図－１システム構成図

図－２セグメント台車全体図

制動装置付セグメント台車システムの構成要素は、セグメント台車側に無線機、制御盤、油圧ディスクブレーキ、アキュムレータ、フラッシュライト、ブザー、バッテリー、磁気センサ等が装備され、機関車側には、無線機、制御盤（警報表示用）、ブザー、磁気センサ等が装備されている。表－１に仕様、図－２にセグメント台車全体図、写真－１にセグメント台車を示す。

写真－１制動装置付セグメント台車

表－１仕様

台車重量	1,800kg
積載重量	約7,300kg（ｾｸﾞﾒﾝﾄ3ﾋﾟｰｽ分）
ブレーキ構造	油圧ディスクブレーキ（負動作型）
ブレーキディスク外径	φ260mm
車輪寸法	φ300mm
台車寸法	w1,200mm×L3,150mm×H419mm
ブレーキ動力源(油圧)	アキュムレータ　容量1500CC
制御系動力源(電気)	鉛蓄電池　12V×2ヶ Q=50Ah（5時間率）
無線装置（台車、機関車）	各1台（送受信共用）

図－３に制御フロー図を示す。また、警報機能として下記を備えている。

１）油圧回路の圧力が警報・下限値レベルになったとき警報を発する。

２）回路の電圧が警報・下限値レベルになったとき警報を発する。

３）バッテリー機関車～セグメント台車間の無線通信が遠距離、無線機の故障などにより通信不良になったとき警報が発せられ、セグメント台車は自動停止する。

図－３制御フロー図

3．性能試験

1）制動試験

図－4に示すテストコース（5％勾配部）を使用して実負荷による制動試験を実施した。試験の実施方法としては、50mのコースを10m毎に区切り、頂部から10mの位置でセグメント台車を切り離して逸走させた。コース上に連結検知用の永久磁石を20m及び30m地点に配置しておき、セグメント台車が永久磁石を検知するとブレーキを動作させる制動試験を行った。試験荷重と台車の編成を表－2のように変更しながら、以下のデータを各3回ずつ採取した。

図－4テストコース

①20、30m地点の手前2.6m区間の通過速度

②制動距離

表－2実験項目

	車輌編成及び荷重	走行区間
1	セグメント台車＋ウエイト4.7t	区間－1
2	セグメント台車＋ウエイト4.7t	区間－2
3	セグメント台車＋ウエイト7.5t	区間－1
4	セグメント台車＋ウエイト4.7t＋牽引重量5.48t	区間－1

写真－2は、セグメント台車にウエイト 4.7ｔを積載した状況、写真－3は、積載時の制動試験状況を示す。

写真－2ｾｸﾞﾒﾝﾄ台車積載状況

写真－3制動試験状況

2）制動試験結果

図－5は、セグメント台車単独の制動試験結果でセグメント台車にウエイト 4.7t（セグメント2ピース分）を積載させた状態で区間－1、区間－2を逸走させてから制動した試験結果と、セグメント台車にウエイト 7.5t（セグメント3ピース分）を積載させた状態で区間－1を逸走させてから制動した試験結果を示す。

この結果よりセグメント台車＋ウエイト 4.7t時では走行速度が約10km/h時で制動距離が約6m、走行速度が約14km/hでは制動距離が約11mとなり、レールと台車車輪の粘着係数がμ＝0.12で得られる制動距離にほぼ等しい結果となった。また、台車＋ウエイト 7.5t時の走行速度は約10km/h時では制動距離が約10mであった。

図－6は、セグメント台車とズリ鋼車を連結した状態の逸走を想定した制動試験結果で、セグメント台車にウエイト 4.7t積載させ＋牽引重量5.48t（空のズリ鋼車2台相当）を連結した状態で区間－1を逸走させてから制動した試験結果を示す。

この結果より粘着係数は、μ＝ 0.13で得られる制動距離に、ほぼ等しい結果となった。以上の結果から走行速度が速くなれば制動距離は長くなるが、いずれも装備機器類等の誤作動もなく、セグメント台車の制動時に軌条上で安全に制動停止する事が確認できた。

図－5 走行速度と制動距離（台車のみ）

図－6 走行速度と制動距離（台車＋ズリ鋼車）

4．まとめ

写真－4 現場使用状況

今回、制動装置付セグメント台車システムを地下鉄シールドトンネル工事に適用した。その結果、当システムが急勾配のシールドトンネルにおいて有効に機能する事が確認でき、セグメント台車の逸走事故防止対策としての安全性が向上した。今後の課題として、現状のシステムでは運転手の逸走の確認を前提とした、直接制動システムであり、二重の安全装置として自動制動によるセグメント台車システムへの展開を図って行きたいと考える。

最後に本システムの開発にあたり、御指導、御協力して戴いた関係者の方々に感謝の意を表します。

29. 安全性と省力化施工を可能にした導水管敷設装置の開発と実用化

日本鉄道建設公団：高田　秀幸
㈱熊谷組：安部　茂木，*杉山　裕一

1. はじめに

埼玉高速鉄道線は、営団地下鉄南北線（７号線）の延伸線として既設駅である赤羽岩淵から浦和市大門に至る延長 14.6km の地下鉄新線である。

この地下鉄では、新たな試みとして建設省からの委託工事としての導水管施工も合わせて行っている。本稿は、この導水管の敷設に当たって開発した導水管敷設装置について報告します。

2. 埼玉高速鉄道線の概要

埼玉高速鉄道線は、関係地方自治体や帝都高速交通営団（以下営団という)をはじめ、多くの民間企業からの支援により設立された第三セクター「埼玉高速鉄道株式会社（以下会社という）」を事業主体として建設が進められている。

当該路線は、東京都北区から川口市、鳩ヶ谷市を経て浦和市に至る路線で、鉄道不便地域の解消や近接する鉄道の混雑緩和を図る等として建設されている。

施工は、赤羽岩淵駅から鳩ヶ谷中央駅（仮称）の間、約６．２ｋｍを第三セクター地下鉄補助方式により、鳩ヶ谷中央駅（仮称）終端部から浦和大門駅間約８．４ｋｍを民鉄線方式により日本鉄道建設公団関東支社（以下公団という）が施工をしている。

なお、公団施工区間のうち浦和大門駅（仮称）約０．３ｋｍおよび車両基地の施工は会社へ委託している（図－１参照)。

図－１　埼玉高速鉄道線路線概要図

3. 綾瀬川・芝川等浄化導水事業

綾瀬川、芝川流域は、首都圏のベットタウンとして急速に進んだ宅地開発や中小工場の進出にともなう工業排水ならびに生活廃水の排出量増大により水質汚濁が深刻化し、現在行政や市民が一体となり、流域全体で水質改善に取り組む「清流ルネッサンス２１」という河川浄化活動が進められている。

こうしたことから建設省は、公団との共同事業として導水管敷設により荒川の水を両河川に送水して河川浄化を目指している。

4. 地下鉄道トンネル内への導水管敷設方法の検討

地下鉄内への導水管敷設工法について種々検討を行なった結果、日本鉄道建設公団・(株) 熊谷組の共同により導水管敷設装置の開発を行い、以下に開発に当たっての条件等を記載する。

(1)施工条件等検討事項

① 導水管はダクタイル鋳鉄管で、標準タイプが（直径：1.2m、長さ：6m、重さ：約3.3t/本）重量物である。

② トンネルインバート部への敷設のため、仮軌道枕木を挟んでの上下作業となる事から労働安全衛生法を満足し、かつトンネル掘進との平行作業においても工程に支障をきたさない作業とすること。

(2) 導水管敷設方法の検討

前述の施工条件の検討項目を踏まえ以下の２ケースについて比較検討を行った。

Case－１:シールド掘進に使用している仮軌道枕木（H－300×300×7,500）を利用したホイストによる導水管運搬・設置。

Case－２:導水管運搬・敷設機械の開発。

(a) Case－１について

・ 作業手順は、仮軌道枕木下にホイスト走行用Ｉビーム桁を固定し、４点吊りホイストにより管移動、敷設の一連作業を行う工法である。人力作業が主となりトンネル掘進用資材運搬等との上下作業となる事から安全確保上問題が多い。

・ 当該設備の場合は走行用Ｉビーム桁及びホイストのクレーン装置からなり掘進及びインバートの打設に伴う装置移動毎に労働基準監督署の検査が必要となる。

・ 導水管敷設においては、主に人力作業によるため管据付許容精度（許容値：上下左右 30mm）以内への据付作業が困難である。また作業の手順によっては、仮軌道枕木上を走行する資材運搬車の走行等も制限せざるを得なく、掘進停止等全体工程への悪影響も懸念される。

(b) Case－２について

・ 作業手順は、仮置された導水管を同装置が把持しインバート下部に取付けたレール上を移動、据付を行う工法であり大半が機械施工となり仮軌道用枕木も使用しないため上下作業となっ

ても作業に対する安全性は確保される。

・　導水管敷設装置は建設機械となり労働基準監督署の検査は不要となる。

・　導水管敷設装置は、油圧シリンダーによるため施工の精度が確保しやすく、単独の走行レールにより作業を行うのでトンネル掘進への影響は生じない。

以上の検討結果より、施工精度が確保でき、作業効率が良く、工程管理を確実に行えることを踏まえて Case－２の導水管敷設装置を採用する事とした。

5. 導水管敷設装置の概要

導水管敷設装置の開発にあたっては、それぞれの工区における設計条件及び作業条件を勘案し以下のとおり設定した。表－１に導水管敷設装置の仕様、図－２に導水管敷設装置構造概要を示す。

表－１　導水管敷設装置の仕様

項目		内容
ハンドリング容量		4.0 t(2.0 t/ハンドル)
走行速度		高速：10 m/分，微速：1.2 m/分
走行電動機		0.75 kW×4(ブレーキ付モータ)
把持装置	昇降速度	1 m/分(max)
	昇降ストローク	450 mm（U：100 mm，D：330 mm）
	水平ストローク	300 mm
	シリンダストローク	350 mm
	ロックシリンダストローク	30 mm
油圧ユニット		3.7 kW
逸走防止装置		レールクランプ(油圧解除方式)
安全	タッチセンサ	非常停止用
	非常停止スイッチ	プッシュロックリターンリセット方式
	回転灯	ブザー付き赤色回転灯
電線供給		ケーブルリール25 m巻
電源		200 V，50 Hz

図－２　導水管敷設装置構造概要

（1）　管体条件

・　導水管総重量　：4,000kg/本（付属品を含む）

・　導水管形状：φ＝1,246mm、L＝6,325mm

（2）敷設環境条件

・　トンネル形状：最小曲線半径R＝225m，最急勾配 34/1,000，トンネル内径 8,440～8,700mm

・　敷設装置走行距離：20m

・　作　業　空　間：セグメント内径最下点～枕木下

平板型　2,145～2,423mm

中子型　2,015～2,293mm

・導水管敷設高さ：セグメント中心～導水管中心

平板型、中子型 3,397mm

（3）機械構造

（a）走行装置

走行区間の最急勾配が34/1,000であるため安全性を考慮して四輪駆動方式全ブレーキ付とした。また走行速度は、通常走行の高速と導水管接続時の微速の２速とした。

（b）把持装置

把持装置は把持部、スライド部、昇降部から構成されている。

・ 把持部は、線路勾配、曲線箇所での敷設を考慮して２ヶ所で単独操作を可能とする構造とし、上下左右に導水管を傾ける必要性から把持部を完全拘束せずアーム上で支えるよう支持し、自由度を持った構造としかつ移動量も十分な余裕を確保する構造とした。

また、昇降量はセグメント上に仮置した導水管を直接把持出来ること、搬送時の管受台等の障害物をクリアできる範囲の移動量を確保することとした。

・導水管把持後、落下防止のため機械的に把持アームをロックする機構とした。

（c）本体構造

本体構造は防水シートに支障しないよう，走行レールスパンを出来るだけ広く確保する事としトンネル掘進用の仮軌道枕木と敷設装置のクリアランスを１００mm以上とした。

（d）安全装置

・ 装置休止時の逸走防止のため、自動油圧解除型レールクランプを搭載した。
・ 作業時の状況を知らせるため，ブザー付赤色回転等を装備した。
・ 緊急時に装置作動を停止させる非常ボタンとタッチセンサーを装備した。
・ 誤操作よる管落下防止のため、管持ち上げ状態での把持開閉不能装置を装備した。

6. 導水管の施工

（1） 導水管敷設によるトンネルへの影響の検討

トンネル内への導水管敷設という新たな試みのため公団では、その安全性確認のため（財）鉄道総合技術研究所へ委託し以下の各項目についての確認を行った。

・ トンネル内における列車荷重によるインバートコンクリート、導水管への影響
・ 導水管の内圧によるインバートコンクリートへの影響
・ 地震時及び不同沈下時の導水管とトンネルとの相対変位の影響
・ 電食の影響
・ 導水管破断，列車脱線時の導水管の損傷等異常時への対応

（2） 施工概要

導水管敷設装置は、公団施工区間の桜町Ｔ（L=1,026m）・赤山Ｔ（L=2,252m）・戸塚Ｔ（L=1,936m）・および大門Ｔ（L=1,653m）の総延長6,867mで施工している。

今回は、上記工区のうち戸塚トンネルにおける施工の状況について報告する。

戸塚Ｔは赤羽岩淵駅から五つ目の川口戸塚駅終端部より発進しＪＲ武蔵野線東川口駅へ至工区で複線シールドトンネルである。セグメント内径はφ=8.44m，φ=8.70mとなっている。

（3） 施工

導水管の施工は、セグメント等の資材と平行し予め坑内に搬送、仮置きされたものを敷設装置により所定の位置に設置する。

戸塚T工区の導水管は延長1,936mにわたり敷設する。以下に実施工の状況を紹介する。

① 導水管のトンネル内投入・搬送

トンネル発進立坑上部のヤード上より橋型クレーンにてセグメント運搬台車に積込みバッテリーロコにて切羽まで搬送する。

③ インバート部への仮置き

セグメント台車により搬送された導水管をセグメント吊り込み用ホイストにて仮置きする。

④ 管受け台設置他

導水管敷設位置の測量後、管受け台（H-100×100×2,000）を管両端より1.5mの位置に固定する。また、導水管を所定の位置に設置する前に緩衝材を巻付ける。緩衝材は高弾性塩化ビニールシート（6.10m×4.75m×1.0mm）の弾性材と織布（ループ状起毛）の通水材を組合せた二重構造のものを溶着使用している。

⑤ 導水管敷設

インバート部へ仮置きされている導水管を敷設装置にて把持・移動しスライドシリンダーにより水平方向の調整、昇降シリンダーで高さ調整を行う。引続き既に敷設済みの導水管と芯合せをして挿入する。なお、導水管の据付け精度は、高低・蛇行ともに±30mmであるが実施工はそれ以下の高精度で据付けられている。　写真－1に導水管敷設状況を示す。

写真－1　導水管敷設状況

⑥ 継ぎ手部の接合及び耐水圧試験

導水管継ぎ手部の接合は、セットボルトによりロックリングを締付け、導水管内部からゴム輪、割輪、押輪の順にセットする。継ぎ手部の水圧試験は、日本ダクタイル鉄管協会仕様の耐水圧5 kg/cm²以上を目標に内側から専用テストバンドを継ぎ手にセットし確認を行う。

⑦ 緩衝材の巻付け及び検査

導水管設置前に仮置きされた緩衝材を管に巻付け縦断方向に自動式二重溶着機にて接合しその後緩衝材内に0.5kg/cm²まで加圧し確認を行う。

⑧ 導水管の固定及び接合のモルタル充填

インバートコンクリートの打設時の浮力による浮き上り防止のためチェーンによりセグメントに固定する。また管内部は継手部のボルト防食及び流体摩擦軽減のためモルタル充填する。

導水管敷設完了後インバートコンクリートを打設して終了する。

(4)施工のまとめ

導水管敷設装置の開発は、完成期限が切迫している地下鉄工事の中でもシールドトンネルの施工サイクルを確実なものとし工程の確保を図っている。また、トンネル掘進との並行作業においての安全性も十分確保されている。

現在、戸塚トンネルでは全長 1,948mの掘進を完了し、導水管は全延長対して約９８％の進捗率で初期の当該機械の目的は十分に得られている。

30. 自動スランプ調整装置の紹介と適応事例

東亜建設工業㈱：*古堅　泰秀
名岐機器㈱：　落合　勝俊

1．はじめに

NATM における吹付コンクリートは、岩塊の局部的な脱落あるいは地山の緩み進行を防止し、地山アーチの形成を担う役割を持つ重要な支保材料である。最近では、高強度化による覆工厚さの低減や地山の支持力の向上、さらには、高品質化による粉塵、跳ね返りの低減といった技術開発が行われている。

一般に吹付コンクリートは、急結剤の添加により早期強度を発現、自由方向への施工可能など長所を持つ反面、跳ね返りによる材料損失が多く、施工性・品質にばらつきを生じやすいといった短所を併せ持つため、材料、配合、施工機械および施工管理などに十分注意する必要がある。

安定した吹付を行うためには、フレッシュコンクリートのスランプを管理することが重要である。そこで品質において最大に影響を及ぼす細骨材の表面水率に着目し、これを自動補正する自動スランプ調整装置の開発を行った。

以下に自動スランプ装置を適用した通常の吹付コンクリート施工と高強度吹付コンクリート施工並びに高品質コンクリート施工の事例を紹介する。

2．自動スランプ調整装置

2－1．原理

自動スランプ調整装置は、同材料を同量練り混ぜれば、フレッシュコンクリートの性状は等しくなり、ミキサ（定格 18.5kW）にかかる負荷はほぼ一定となることを利用している。

従来の方法では、細骨材の表面水率の違いによりミキサ内に投入される細骨材および水の量が異なるため、フレッシュコンクリートの性状にばらつきを生じていた。

自動スランプ調整装置は試験練りの結果とミキサにかかる負荷を照らし合わせ、練り混ぜた細骨材の表面水率を類推し、次回の混練りに反映させることによって、フレッシュコンクリートの性状を安定させることが可能となっている。ミキサの負荷は駆動モータの電流値より検出している。自動スランプ調整装置の混練りフローを図2-1に示す。

図2-1　混練りフロー

2－2．装置の構成

自動スランプ調整装置は２つの操作盤で構成されている。一方は、基準となるミキサ電流値を設定する機能と検出時間におけるミキサ電流値を表示する機能を有し、他方は、検出されたミキサ電流値をもとに表面水

率の補正量を決定するためのシーケンサを従来の現場プラントの操作盤に組み込んだものである。

また、高品質吹付コンクリートにおいては、その緻密で高粘性な特性より、ミキサの負荷電流の変動が微小となるため、インバータを組込み、モータへの負荷を3割程度増加させている。

2－3．装置の内容

自動スランプ調整装置の初期設定手順を以下に示す。

① 現場プラントで表面水率が分かっている細骨材を用いて試験練りを行い、予定したコンクリート性状、スランプであることを確認し、基準値とする。

② この際、ミキサの電流値が安定する時間を求め、これを設定電流並びに検出時間とする。

③ 次に、故意に表面水率を変化させ試験練りを行い、検出時間における電流値と混練り後のスランプを記録する。この作業を適当回数繰り返し、それぞれのコンクリート特性（ミキサ電流値とスランプ値）を把握する。

④ ③で求めたデータを基に、ミキサ電流値が規定値の範囲外となる時の表面水率の補正量を求め、これを制御盤のシーケンサへ入力する。

3．施工事例

3－1．通常吹付コンクリート（詰坂トンネル）

（1）工事概要

工事名称：詰坂工区改良（詰坂トンネル）工事
発 注 者：島根県
工　　期：平成5年12月18日～平成8年8月23日
概　　要：延長　1,140m（内トンネル区間　1,010m）
工　　法：NATM、発破掘削

図3-1　トンネル断面

（2）配合

試験練りの際、基準とした現場配合を表3-1に示す。

表3-1　基準とした現場配合

W/C (%)	S/a (%)	C (kg)	W (kg)	S (kg)	G (kg)
63	60	360	227	969	686

（注）細骨材の表面水率は2.0%

（3）自動スランプ調整装置の設定

前述の手順に従い求めたミキサ電流値及びスランプと表面水率の相関を図3-2に示す。また、図3-2より設定したミキサ電流値の変化量に対する表面水率の補正量を表3-2に示す。

図3-2　ミキサ電流値及びスランプと表面水率の相関

表3-2　自動スランプ調整装置の設定値

ミキサ電流値の変化量（$I-I_0$）	表面水率の変化量（%）
-6.1以下	+2.0
-4.1～-6.0	+1.6
-2.1～-4.0	+1.2
-1.1～-2.0	+0.8
-0.6～-1.0	+0.2
0.5～-0.5	0.0
0.6～ 1.0	-0.2
1.1～ 2.0	-0.8
2.1～ 4.0	-1.5
4.1～ 6.0	-2.0
6.1以上	-3.0

（4）吹付コンクリートの品質管理

掘削期間（H6/7～H7/9）中の吹付コンクリート管理全データ（511 件）を基に、スランプと表面水率の発生頻度を求めた。その結果を図3-3、図3-4に示す。

図3-3　スランプ発生頻度

図3-4　表面水率発生頻度

細骨材の表面水率は、最小値1.8%～最大値7.2%の範囲で変動している。それに対し、スランプは平均値＝8cmとして、管理基準値内に収まっていることがわかる。こうした結果を引き出すためには、事前に行うミキサ電流値及びスランプ値と細骨材の関連づけを的確に行うことが重要である。

3－2．高強度吹付コンクリート（三日町トンネル）

（1）工事概要

工事名称：平成7年度県単克雪対策工事（トンネル工区）
発 注 者：長野県
工　　期：平成7年12月19日～平成9年9月30日
概　　要：延長　320m（内トンネル区間　282m）
工　　法：NATM、機械掘削、ショートベンチカット

図3-5　トンネル断面

（2）高強度吹付コンクリートの概要

高強度吹付コンクリートは、プラントで添加する混和剤（高性能減水剤、Σショット、Σショット S 等）と吹付用急結剤（ナトミック Type-10、Type-10S）を吹付コンクリートに添加配合することにより得られるものである。従来の吹付と比べ飛躍的に高強度を得ることができ、且つ、耐凍結融解抵抗性の向上も図っている。

本工事においては、崩落性の地山（砂礫層）区間で、ウイングリブの根付けコンクリートと上半仮インバートに高強度吹付コンクリートを用い、初期強度が最も高くなる混和剤Σショット S と急結剤 Type-10S で施工を行った。尚、本吹付コンクリートの強度はσ_{10min}=4.7、σ_{1D}=18.6、σ_{7D}=36.4、σ_{28D}=48.0N/mm^{2}を示した。

（3）配合

本工事の細骨材は、粗粒率が大きい（2.85%）上に 0.3mm アンダーが少なく（12%程度）、手にふれた感触はザラザラしていた。このため、通常吹付の際は一般的なセメント量（360kg）での配合では、コンクリートに流動性が不足し、吹付機が閉塞を起こすため、コンクリート1m^{3}当たりのセメント量を20kg増加する必要があった。

表3-3に通常吹付と比較した高強度吹付の配合を示す。

表3-3　基準とした配合

種類	W/C (%)	S/a (%)	C (kg)	P (kg)	W (kg)	S (kg)	G (kg)
通常	57	65	380	－	216	1104	598
高強度	43	63	400	40	189	1041	621

（注）高強度吹付コンクリートのW/Cは次式より求めている。

水（W）/（セメント（C）＋混和剤（P））

（4）自動スランプ装置の設定

通常吹付コンクリート使用時、自動スランプ調整装置の設定基準値は、目標スランプを 10±2cm、ミキサ電流値を26.5A としていた。

これに対し、高強度吹付コンクリートは、粘性が高く、吹付機（ダイナミックローリ 2025GV）の施工性に影響するため、目標スランプを20cm 以上として配合試験を行った。その結果、表3-3 に示した配合において、スランプ 23.5cm、スランプフロー 38.5cm、ミキサ電流値 28.4A が得られた。この結果を基準として、スランプ、スランプフロー及びミキサ電流値と細骨材の表面水率との相関を求めた結果を図3-6 に示す。

図 3-6 から、高強度吹付コンクリートは、表面水率が小さい領域≪A≫におけるスランプ変化量が小さく、設定値を決定するに不適当であることがわかった。そこで、スランプフローに着目すると、その変化量は設定値を決定するに十分であり、特性も通常吹付コンクリートと同様な曲線となることがわかる。よって、自動スランプ調整装置の設定値はスランプフローと電流値の相関から表3-4 のように定めた。

表3-4　自動スランプ調整装置の設定値
（高強度吹付コンクリート）

ミキサ電流値の変化量($I-I_0$)	表面水率の変化量(%)
-3.6以下	+2.0
-1.6～-3.5	+1.5
-1.1～-1.5	+0.8
-0.6～-1.0	+0.5
0.5～-0.5	0.0
0.6～ 1.0	-0.5
1.1～ 1.5	-0.8
1.6～ 3.5	-1.0
3.6～ 5.5	-1.5
5.6～ 7.5	-1.8
7.6以上	-2.0

図3-6　ミキサ電流値と表面水率の相関

（5）自動スランプ調整装置の適応性

図3-6 より、次の事が言える。

①設定基準よりスランプ（スランプフロー）が大きい≪A≫の領域では、表面水率の変動に対しスランプの変動が少なく、スランプによる管理は不適である。しかし、対照的に、スランプフローの変動は大きく、しかも直線な変化であるため、管理に適している。

②設定基準よりスランプ（スランプフロー）が小さい≪B≫の領域では、①とは逆に少ない表面水率の変動で、スランプの変動がある。これは、混和剤の増粘効果のためと考えられる。

③通常吹付におけるスランプの特性（表面水率との相関）と、高強度吹付におけるスランプフローの特性は類似している。

以上から、三日町トンネルでは、高強度吹付コンクリートの品質管理をスランプフローを用いて行ったが、問題なく吹付施工を終了した。

3－3．高品質吹付コンクリート（秋浦トンネル）

（1）工事概要

工事名称：東北幹、秋浦トンネル他工事
発 注 者：日本鉄道建設公団
工　　期：平成9年8月5日～平成12年2月12日
概　　要：延長　835m（内トンネル区間　690m）
工　　法：NATM、発破、ミニベンチカット

図3-7　トンネル断面　(P-A)曲

（2）高品質吹付コンクリートの概要

高品質吹付コンクリートは、セメントの一部をシリカフュームと呼ばれる微粒子、砂の一部を石灰石微粉末（$CaCO_3$）で置き換え、それらを含むコンクリート材料を分割練混ぜ工法（SEC）(注1) により練り混ぜることで、従来よりも粘性が高く付着性の良いコンクリートを得て、リバウンド率の向上と粉塵発生量の低減を図るものである。

（注1）分割練混ぜ工法（SEC）のコンクリートプラントには、モルタル先練り方式と全骨材造粒方式があり、混練りミキサがパン型には前者を二軸ミキサには後者を採用している。

秋浦トンネルでは、二軸ミキサを採用したため、練混ぜ方は以下のように実施した。

【全骨材造粒方式】

$S+G+W_1 \rightarrow C+CaCO_3+SF \rightarrow W_2+$高性能減水剤→出荷

但し、SF と $CaCO_3$ は事前混合であり、C と累積計量である。

（3）配合

試験練りの際、基準とした現場配合を表3-5に示す。

表3-5　基準とした現場配合

W/C (%)	S/a (%)	単位重量 (kg/m³)						
		水	結合材		細骨材		粗骨材	添加剤
			セメント	シリカフューム	砂	石灰		
		W	C	SF	S	$CaCO_3$	G	(高性能減水剤)
60	62	216	342	18	1020	90	690	2.52

（注1）　高品質吹付コンクリートのW/Cは次式より求めている。

水（W）/（セメント（C）＋シリカフューム（SF））

（注2）　高品質吹付コンクリートのS/aは次式より求めている。

$$\frac{\text{砂（S）/（砂の比重）}+CaCO_3\text{/（}CaCO_3\text{の比重）}}{\text{砂（S）/（砂の比重）}+CaCO_3\text{/（}CaCO_3\text{の比重）}+\text{粗骨材（G）/（粗骨材の比重）}}$$

砂の比重：2.68　$CaCO_3$の比重：2.70　粗骨材の比重：2.72

（4）自動スランプ調整装置の設定

自動スランプ装置は、ミキサの負荷電流を基に、細骨材の表面水率に補正をかけ、所定のコンクリートスランプを得る装置であるが、高品質吹付コンクリートのような緻密で粘性の高いコンクリートにおいては、負荷電流の変動が小さく、表面水率の補正を明確化でいきない状況が生じる。そこで、インバータを組込み、ミキサへの負荷を（3割程度）増大させた。(図3-8)

次に、切羽段階でのスランプ目標値を 8±2cm とするために、試験練り段階において、スランプの経時変化を何点か測定した。吹付プラントからの出荷から吹付開始までの時間は、40～60 分程度と判断し、それに見合うスランプの経時変化を確認したところ、

図3-8　従来方式とインバータ方式の相違

図3-9が得られた。

図3-9から、コンクリート出荷時における自動スランプ調整装置の目標スランプを 15.5±2cm（ミキサモータ負荷 32.9%，スランプ 15.5cm）とし、これを設定基準値とした。これより、スランプ及びミキサモータ負荷と表面水率の相関を求めた結果を図 3-10 に示す。

図 3-10 を基にスランプ値とミキサモータ負荷の相関から、表面水率の補正を、表3-6のように求めた。

図3-9　高品質吹付コンクリートにおけるスランプの経時変化

表3-6　自動スランプ調整装置の設定値（高品質吹付コンクリート）

ミキサモータ負荷の変化量（F－F_0）	表面水率の変化量（%）
-2.0以下	+1.0
-1.6～-1.9	+0.8
-1.3～-1.5	+0.6
-1.0～-1.2	+0.4
-0.3～-0.9	+0.2
1.0～-0.2	0.0
1.1～ 1.5	-0.2
1.6～ 2.0	-0.4
2.1～ 3.0	-0.6
3.1～ 3.5	-0.8
3.6以上	-1.0

図3-10　ミキサモータ負荷と表面水率の相関

（5）自動スランプ調整装置の適応性

上記事項より、次の事がわかった。

①高品質吹付コンクリートは、スランプダウンが通常のコンクリートよりも早いため、事前にスランプの経時変化を測定し、切羽におけるスランプ基準を吹付プラントにおける自動スランプ調整装置の設定値に回帰する必要がある。

②インバータを組込み、ミキサモータ負荷を増大させることで、従来方式の通常吹付におけるスランプ特性（表面水率との相関）と類似したスランプ特性を得ることができる。

秋浦トンネルは、以上の方式を採用しているが、特に問題なく吹付施工を行っている。

4．おわりに

これまでに、自動スランプ調整装置は吹付コンクリート施工において以下に示す効果を上げている。

本装置は、工事当初に一旦設定してしまえば、材料（特に細骨材）の特性の大きく変化しない限り、安定した品質のコンクリートを供給可能である。

高強度吹付コンクリートのような流動性の高い材料においても、スランプフローによる管理で対応可能である。

更に、高品質吹付コンクリートのように緻密で粘性の高い材料においては、スランプダウンを回帰させ、インバータによるミキサモータ負荷を増大させることで対応可能となる。

最後に、本報告書の作成にあたり多大なご協力を頂いた詰坂トンネル（作）、三日町トンネル（作）、秋浦トンネル（作）をはじめ、関係者各位に深く御礼申し上げます。

31. 土圧式シールド用スクリューコンベヤの土圧保持性能

日立造船(株)：吉川　忠男

1. 緒　　言

土圧式シールドのスクリュー式排土装置は、スクリューコンベヤに充満した土砂を利用して、カッタチャンバ内土圧を維持しながらその土圧をスクリューコンベヤで圧力降下させ，排出口では土圧をゼロにしてトンネル内に排出するものである。

スクリューコンベヤがカッタチャンバ内土圧を圧力降下させる作用をスクリューコンベヤの圧力保持作用と表現する。

スクリューコンベヤがどれほどの土圧を保持できるかについては、実験や施工実績をもとに検討されているが，数値的に扱ったものはないように思われる。そこで、スクリューコンベヤの圧力保持の計算式を導き，実施工のデータを分析したところ計算値と施工値がかなりよく一致することが確認できた。

本報は，スクリューコンベヤ内に充満した土砂を利用して，カッタチャンバ内土圧を圧力降下させる計算式，圧力降下を大きくする対策，および施工例の数値的検討結果について述べる。

2. 土圧式シールド

土圧式シールドは、密閉型に分類され、さらに土圧シールドと泥土圧シールドに区分される。

土圧式シールドは、掘削した土砂を塑性流動化してスクリューコンベヤで排出するシールドである。

スクリューコンベヤは、従来からコンベヤ長さが長いものほど高い土圧を保持し、図1に示すようにコンベヤ入口土圧 P_0 が出口で $P_L=0$ で排土されている。

高い土圧が作用する土圧式シールドでは、スクリューコンベヤを二連式にした例が多い。

図1 スクリューコンベヤの圧力保持(推定)

3. スクリューコンベヤの圧力降下の計算式

記号の説明

ΔP：圧力降下値	e：羽根厚	τ：コンベヤと土砂のせん断応力
L：コンベヤ内の当該長さ	t：スクリューピッチ	C_1：係数$=D_s/(D_s-H)$
D_s：スクリュー外径	θ：排出角	C_2：係数$=D_s-2H/(D_s-H)$
D_c：スクリュー軸径、穴径	ϕ：コンベヤ傾斜角	α_o：スクリュー外径ねじれ角
H：羽根高さ	γ：土砂の密度	α_m：スクリュー平均径ねじれ角
U：圧力降下数	η：排出効率	α_r：スクリュー根元径ねじれ角

スクリューコンベヤのスクリュー溝部に充満した塑性流動化土砂がプラグ流として移動する場合の圧力降下の式を導き，軸付きスクリュー、およびリボンスクリューの圧力降下値の計算式を求める。

3.1 スクリュー部の圧力降下値

スクリューコンベヤが水平配置（$\phi=0$）のスクリュー部の圧力降下値 ΔPを式(1)で表す。ただし Uを圧力降下数と呼び、式(2)、(3)で表す。コンベヤが傾斜配置の場合は、コンベヤ内土砂の密度圧による圧力降下値 $\Delta P_s=\gamma L\sin\phi$は別途計算するとよい。

$$\Delta P=(L\tau/D_b)U \qquad \cdots(1)$$

(1)軸付きスクリューの圧力降下数 U_1

$$U_1=\frac{D_b}{H}\left[C_1\left(\frac{\cos\alpha_b}{\cos\alpha_m}\sin\theta-C_1\frac{\cos\alpha_b}{\sin\alpha_m}\cos\theta\right)+C_2\left(\frac{\sin\alpha_r\cos\alpha_r}{\cos\alpha_m}+C_3\frac{\cos^2\alpha_r}{\sin\alpha_m}\right)+\frac{2H}{(t-e)\sin\alpha_m\cos\alpha_m}\right] \qquad \cdots(2)$$

(2)リボンスクリューの圧力降下数 U_2

リボンスクリューは中心部に土砂の軸があるものと考える。リボンスクリューが圧力保持するためには、中心部の土砂が土砂同士のせん断応力により保持圧に耐える長さであることが必要である。

リボンスクリューの圧力降下数 U_2を式(3)に示す。

$$U_2=\frac{D_b}{H}\left[C_1\left(\frac{\cos\alpha_b}{\cos\alpha_m}\sin\theta-C_1\frac{\cos\alpha_b}{\sin\alpha_m}\cos\theta\right)+\frac{2H}{(t-e)\sin\alpha_m\cos\alpha_m}\right] \qquad \cdots(3)$$

図2に軸付きスクリューの圧力降下数 U_1を、図3にリボンスクリューの圧力降下数 U_2を示す。圧力降下数 Uは、スクリューのピッチtと排出効率（η＝掘削土量/コンベヤ理論排土量）より求められる。

図2　軸付きスクリューの圧力降下数 U_1

図3　リボンスクリューの圧力降下数 U_2

3.2 回転環の圧力降下数

回転環の圧力降下数U_3、U_4は式(4)、(5)で示す。図4、5にそれぞれの値を図示する。

(1) 軸付きスクリューの回転環圧力降下数 U_3

$$U_3=\frac{D_b}{H}\left[C_1{}^2\frac{\cos\alpha_b}{\sin\alpha_m}+C_2\left(\frac{\sin\alpha_r\cos\alpha_r}{\cos\alpha_m}+C_2\frac{\cos^2\alpha_r}{\sin\alpha_m}\right)+\frac{2H}{(t-e)\sin\alpha_m\cos\alpha_m}\right]\quad\cdots(4)$$

(2) リボンスクリューの回転環圧力降下数 U_4

$$U_4=\frac{D_b}{H}\left[C_1{}^2\frac{\cos\alpha_b}{\sin\alpha_m}+\frac{2H}{(t-e)\sin\alpha_m\cos\alpha_m}\right]\quad\cdots(5)$$

図4 軸付きスクリューの回転環圧力降下数 U_3

図5 リボンスクリューの回転環圧力降下数 U_4

3.3 プラグゾーンの圧力降下値

$$\Delta P=(4/D)L\cdot\tau\quad\cdots(6)$$

ここで、Dはプラグゾーンのケーシング内径である。

4. 土砂のせん断応力

土砂同士の内部せん断応力に対して、土砂とコンベヤ材料とは異種材料のせん断応力で、外部せん断応力と表現できる．一般に土砂の内部せん断応力は外部せん断応力より大きい。

外部せん断応力$\tau=(4/3)\tau_y+(8V/D)\mu_a$を土砂のスランプをもとに、ずり速度から求められるように一例を図6に示す。 τ_yは降伏値である。図6では粘度μ_a=200P(ポアズ)とした。せん断応力τは細粒分の含有率、含水率および塑性化改良材の性状などにより変化するので、実際には当該土砂を計測するのが望ましい。ずり速度はスクリュー溝部の断面を平均管径に換算しその管内速度で表す。

図6 土砂のせん断応力の例

5. スクリューコンベヤの圧力降下値を大きくする方策

計算式から明らかなように、圧力降下値ΔPを大きくするには、コンベヤ内のスクリュー長さL、土砂のせん断応力τ、圧力降下数 U等を大きくするとよい。

5.1 スクリューの構造と寸法

シールドの設計には、土質や所要の保持土圧に適合するスクリューコンベヤを選定・設計することが重要である。スクリューコンベヤの圧力降下数 Uを大きくするために、寸法的には式(2),(3),(4),(5)の(t-e)および Hを小さくすることである。

5.2 スクリューの運転

スクリューコンベヤが設計・製作された後は、スクリューの運転により保持圧力に対応するのが実際的である。スクリューの運転では、コンベヤの排出効率ηを変化させること、すなわちスクリュー回転数を変化させるとよい。ηを大きくすると圧力降下値が大きくなり、逆では圧力降下値が小さくなる。

5.3 施工

施工面では、スクリューコンベヤ内土砂のせん断応力τを大きくすることである。

掘削してカッタチャンバ内に取り込んだ土砂は、せん断応力を小さくするために塑性流動化添加材を注入・混練りするが、スクリューコンベヤ内では土砂のせん断応力τが小さいと圧力降下値 ΔPは小さくなる。スクリューコンベヤの圧力降下値を大きくするにはコンベヤ内の土砂のせん断応力を大きくする改良方法を採用するとよい。

6. 施工例の分析

上述の計算式で演算した圧力降下値と施工値を比較するため、二施工例を数値的に検討する。ただし塑性化土砂は土・水一体と考え、さらにコンベヤ出口の絞り抵抗は無視する。

6.1 第一例[軸付きスクリューコンベヤ]

第一例のシールドの概略を図7に示し、要目と施工運転データを表1に示す。

スクリューコンベヤは単一の軸付きスクリューである。

図7　第一例のシールド概略図

表1　シールドの要目とその運転データ

シールドの要目	運転データ	ケース1	ケース2
シールド外径　φ4.95m	掘進速度 m/min	0.0453	0.0364
コンベヤ寸法	土圧計指示値 P_s MPa	0.157	0.152
ケーシング内径 D=0.5716m	スクリュー回転数 min^{-1}	8.7	7.2

スクリュー外径D_o=0.565m 軸径D_s=0.1398m	排出土砂のスランプ	8 cm	
羽根ピッチt=0.46m (0.814D_o)	チャンバ内土砂密度圧 P_s	土圧計がコンベヤ入口より2582mm高く 土砂密度圧は +0.0506MPaとなる	
羽根厚　e=0.019m ｺﾝﾍﾞﾔ内ｽｸﾘｭｰ長さL=5.98m	コンベヤ入口土圧P_o MPa (必要圧力降下値)	0.2076	0.2026

[計算]

(1)排土量　　ケース1　　ケース2

$Q_1=\pi/4\times4.95^2\times0.0453\times1.3=1.1327m^3/min$　　$Q_2=0.9102m^3/min$

(2)コンベヤ理論排土量

$q_1=\pi/4\times(0.5716^2-0.1398^2)\times(0.46-0.019)\times8.7=0.9252m^3/min$　　$q_2=0.7657m^3/min$

(3)排出効率

$\eta_1=Q_1/q_1=1.2243$　　$\eta_2=1.1888$

(4)圧力降下数

軸径　D_s=0.244D_o、e=0.0336D_oで、図２の条件と少々異なるが、Uへの影響は小さいので図２よりUを求めることにする。

$U_{1-1}=22.5$　　$U_{1-2}=22$

(5)コンベヤの計算圧力降下値

スクリュー溝部の土砂通過断面を平均管直径 dに換算すると d=0.3314mとなる。

ずり速度 $8V/D=5.286\ s^{-1}$　　$8V/D=4.248\ s^{-1}$

$\tau_1=0.70$ kPa　　$\tau_2=0.69$ kPa

圧力降下値 $\Delta P_1=(L\tau/D_o)U_1$

$=(5.98\times0.70/0.565)\times22.5=166.70$ kPa　　$\Delta P_2=160.67$ kPa

コンベヤ内土砂の降下密度圧 $\Delta P_{s1}=49.53$ kPa　　$\Delta P_{s2}=49.53$ kPa

コンベヤの圧力降下値の合計 $\Sigma\Delta P_1=216.23$ kPa　　$\Delta P_2=210.2$ kPa

計算値と必要圧力降下値の比 $r_1=\Sigma\Delta P_1/P_o=216.23/207.6=1.042$　　$r_2=1.038$

上記計算のように、コンベヤの圧力降下の計算値と施工値はよく一致しているといえる。

6.2 第二例[リボンスクリューと軸付きスクリューの二連式]

第二例のシールドの概略を図8に、要目と運転データを表２に示す。No.1コンベヤは回転環で駆動されるリボンスクリューで、プラグゾーンを介して軸付きスクリューのNo.2コンベヤに連なっている。

図８　第二例のシールド概略図

表2　シールド要目とその運転データ

シールドの要目			運転データ	ケース1		ケース2		ケース3	
シールド外径　φ5.74m			ｼｰﾙﾄﾞ掘進速度m/min	0.0409		0.0515		0.0452	
ｺﾝﾍﾞﾔ寸法	No.1	No.2	土圧計指示値P_sMPa	0.225		0.183		0.234	
ｹｰｼﾝｸﾞ内径D(m)	0.6224	0.6224	ｺﾝﾍﾞﾔ No.	No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
ｽｸﾘｭｰ外径D_s(m)	0.618	0.613	ｺﾝﾍﾞﾔ回転数 min^{-1}	8.7	12.9	10.6	15.7	14	11.2
軸径D_i(m)	0.294	0.1907							
ｽｸﾘｭｰﾋﾟｯﾁ t(m)	0.580	0.510	排出土砂のｽﾗﾝﾌﾟ	10 cm					
	(0.939D_s)	(0.832D_s)							
羽根厚e(m)	0.100	0.025	ﾁｬﾝﾊﾞ内土砂密度圧 P_s	土圧計がコンベヤ入口より4535mm高く、土砂の密度圧は+0.0889MPaとなる					
ｽｸﾘｭｰ長さL(m)	9.462	19.426							
回転環長さ(m)	0.25	-							
プラグ長さ(m)	0.25	-	ｺﾝﾍﾞﾔ入口土圧P_0 MPa	0.3139		0.2719		0.3229	

表3　第二例の計算手順にそった各数値と計算値のまとめ

		ケース1		ケース2		ケース3	
掘削土量　m^3/min		1.3752		1.7316		1.5198	
コンベヤNo.		No.1	No.2	No.1	No.2	No.1	No.2
ｺﾝﾍﾞﾔ理論排土量　m^3/min		1.2699	1.7240	1.5472	2.0982	2.0435	1.4968
ｺﾝﾍﾞﾔ排出効率　η		1.0829	0.8230	1.1192	0.8253	0.7437	1.0154
ｽｸﾘｭｰ	圧力降下数U(図2,3)	15	2	16.5	2	-2	13.5
	平均管径　d　m	0.4204	0.3471	0.4204	0.3471	0.4204	0.3471
	ずり速度　s^{-1}	3.14	5.59	3.96	7.03	3.47	6.17
	せん断応力τ　kPa	0.585	0.637	0.600	0.665	0.595	0.650
	圧力降下値ΔP kPa	134.35	40.37	151.57	42.15	-18.22	278.08
回転環	圧力降下数U(図5)	23	-	23	-	23	-
	圧力降下値ΔP kPa	5.44	-	5.58	-	5.54	-
プラグゾーン	ずり速度　s^{-1}	0.97	-	1.22	-	1.07	-
	せん断応力τ　kPa	0.41	-	0.55	-	0.545	-
	圧力降下値ΔP kPa	0.66	-	0.88	-	0.88	-
ｺﾝﾍﾞﾔ内土砂降下密度圧ΔP_skPa		82.55		82.55		82.55	
圧力降下値の合計 $\Sigma\Delta P$ kPa		263.37		282.73		348.83	
圧力比　$i=\Sigma\Delta P/P_0$		263.37/313.9=0.84		282.73/271.9 =1.04		348.83/322.9=1.08	

第二例の計算値は施工値の約-16～+8%の範囲にあり、計算値が活用できることがわかる。

7. 結　　言

塑性化土砂を充満したスクリューコンベヤの圧力降下の計算式を導き、施工データを数値的に検討した結果、計算値と施工値がかなりよく一致することが確認できた。

スクリューコンベヤの圧力保持性能の数値化により、土圧式シールド用スクリューコンベヤの設計から運転・施工までの検討、および土圧式シールドの大深度化への展開に役立つものと思う。

[文献]吉川忠男.シールド掘進機用スクリュコンベヤ内土砂の圧力降下，他，日本機械学会論文集，62巻,C編,595号,599号

32. 大容量吹付機（スプレイメック9150WPC）による施工

東亜建設工業㈱：*泉　信也
㈱ケー・エフ・シー：竹原　一弘

1．はじめに

近年、NATM における吹付コンクリート施工では、施工コストの縮減、坑内作業環境の改善、トンネルのシングルシェル化あるいは大断面化などを目的として高品質吹付コンクリート（日本鉄道建設公団）や高強度吹付コンクリート（日本道路公団）が採用されつつある。これらの開発、導入にあたり、市場の動向としては大断面トンネルの急速施工に対応可能な吹付機の実用化が模索されている。このような新技術の流れに沿う試みの一つとして、フィンランドのノルメット社より吹付機スプレイメック9140WP を国内導入した。

スプレイメックは欧州のみならず、中近東、中国、韓国などアジア各国のトンネル市場で高い評価を得ているが、欧州などの国々では、エーライト系セメントと玉砂利、液体急結剤の組合せによる吹付施工が一般的となっている。一方、我が国では普通ポルトランドセメントと粉体急結剤の使用が圧倒的に多く、粗骨材も砕石の使用が多数を占める。

現在、仁田山トンネルにおいて液体急結剤の試験施工を終え、秋浦トンネル並びに曽台トンネルにおいて粉体急結剤による吹付施工を行っている。今回は、液体急結剤における問題点と粉体急結剤を用いた場合の機械仕様（機械の改造事項等）、工事実績（実際の吹付能力、リバウンド等）更に、吹付コンクリート吐出量 20m³/h以上で吹付施工する場合の機械的要求事項について報告する。

表 2-1　スプレイメック仕様

吹付機タイプ			液体急結剤・コンプレッサ分離型	粉体急結剤・コンプレッサ搭載型
使用現場			仁田山トンネル	秋浦トンネル
名称・型式			スプレイメック9140WP	スプレイメック9150WPC
吹付形式			湿式・ポンプ圧送方式	
全体寸法	長さ		12.2m	
	幅		2.4m	
	高さ		2.9m	
	重量		30.5t	32.6t
吹付機能	吹付範囲	最大高さ	15.0m	
		最大幅	15.0m	
	最大理論吐出量		33.0m³/h(50Hz, 440V)	
			28.0m³/h(50Hz, 400V)	
エンジン	名称・型式		ドイツ DF 4M 1012-9	
			排ガス対策型エンジン	
	定格出力		62kW/2,500rpm	
	走行速度		最高22kW/h	
コンクリートポンプ	名称・型式		シュウイングBPN 300 RE	
	ポンプ形式		ピストンポンプ	
	シリンダ内径×ストローク		φ180mm×1,000mm	
	シリンダ容積×本数		16.0L×2本	
	シリンダストローク数		35ストローク/min	
	電動機出力		37kW(50/60Hz, 460, 440V)	
コンプレッサ	名称・型式		北越PDS 665G	—
	吐出能力		18.5m³/min	
	エンジン出力		190PS	
	吐出動力		12.0m³/min	
	電動機出力		75kW(50/60Hz, 200/220V)	
	名称・型式	—		CB15000
	吐出能力			15.0m³/min(60Hz, 440V)
				13.3m³/min(50Hz, 400V)
	電動機出力			90kW(50/60Hz, 400/440V)
液体急結剤添加装置	名称・型式		スプレイメック標準装備	PAC□60
	供給特性		0~10L/min	90kg/rpm/h

図 2-1　スプレイメックの外径寸法

2．スプレイメックの概要

スプレイメックは、吹付可能範囲が最大 16m、高さ 15m であり、需要の多い 2 車線トンネル上下半施工から、第 2 東名・名神自動車道クラスの大断面トンネルまで 1 台で対応可能な幅広い作業範囲を有している。

従来、欧州のトンネル施工において、リバウンドや粉塵発生量の低減を目的とした液体急結剤を使用した吹付施工を行ってきた。その作業性としては、メインブームの先端に吹付操作員が搭乗可能なバスケットを装備しており、操作員は着座した状態で、コンクリート吐出量、圧縮空気量、

急結剤供給量をそれぞれ遠隔操作による調整を行いながら吹付施工可能である。

表 2-1 に、液体急結剤を使用し、コンプレッサ分離型の 9140WP（仁田山トンネルにて使用）と、粉体急結剤を使用し、コンプレッサを搭載した 9150WPC（秋浦トンネルにて使用）の仕様を示す。また、図 2-1 に、スプレイメックの外形寸法（9150WPC）を示す。

3．施工事例

3－1．液体急結剤を用いた試験施工（仁田山トンネル）

（1）工事概要

工事名称：仁田山トンネル築造工事
発 注 者：岩手県
工　　期：平成 9 年 10 月 9 日～平成 11 年 1 月 24 日
概　　要：延長　313m
工　　法：NATM、発破掘削

図 3-1　トンネル断面

（2）試験施工の使用コンクリート材料

仁田山トンネルでは、粉体急結剤を使用した吹付施工と液体急結剤を使用した試験吹付を行った。試験吹付におけるコンクリート材料は国内産を使用し、液体急結剤（欧州産）との適応性を確認した。試験吹付で使用した吹付コンクリート材料を表 3-1 に示す。

表 3-1　試験吹付のコンクリート材料一覧

材料	種類・仕様	製造会社/生産場所
セメント	普通ポルトランドセメント 比重＝3.15	秩父小野田㈱
細骨材	砕砂：比重＝2.65	岩手県住田町世田米城内産
粗骨材	砕石：比重＝2.69 Gmax＝15mm	岩手県住田町世田米城内産
粉体急結剤	デンカナトミック Type-5 （カルシウム・アルミネート系）	電気化学工業㈱
液体急結剤	UMA GUNITE LIQUID N （アルミン酸ナトリウム系）	トルグラー社（イタリア）
高性能減水剤	FTN-30 （ポリエチレングリコールエステル系）	デンカグレース㈱

（3）液体急結剤と国産材料の適応性（問題点）

国産材料によって練混ぜた吹付コンクリートとイタリア製液体急結剤の適応性を確認するために、トンネル坑口部法面で試験吹付を行った。また、仁田山トンネルにおいては、スプレイメックの吹付能力の確認として、通常吹付コンクリートについても施工を行ったので、併せて結果（表 3-2　スプレイメックの吹付能力確認結果、表 3-3　吹付コンクリートの強度試験結果）を示す。

第 1 段階として、通常配合の吹付コンクリートに液体急結剤を添加した結果、吹付操作性は特に問題は無かった。しかし、粉体急結剤を使用した場合に比べ強度発現が低く、材令 7 日時点において材令 28 日における設計基準強度 18N/mm^{2}の達成は不確実であった。(表 3-3 No.L-2 No.L-3)

このため、第 2 段階として、セメントの配合比率を 410kg/m^3、W/C を 50%とし、高性能減水剤を添加させて法面の試験吹付を行った結果、粉体急結剤に近い強度発現を得られたが、コンクリートポンプの設定吐出量 19.2m^3/h に対して実時間当たり吐出量 14.4m^3/h、ポンプ効率 75%となり、吹付効率が低下した。(表 3-2　No.L-3) これは、吹付コンクリートの粘着性増大による圧送性の低下などが原因と考えられる。

そこで第 3 段階として、圧送性の良い 1:3 モルタルに液体急結剤を添加させて試験を行い、スプレイメックの機械的な限界性能を確認した結果、最大で設定吐出量 26.9m^3/h に対して実時間当たり吹付量 24.0m^3/h、ポンプ効率 89%を発揮できた。(表 3-2　No.L-5)

表 3-2　スプレイメックの吹付能力確認結果

No.	試験目的	吹付量 (m^3)	設定(理論)吐出量 (m^3/h)	実時間当り吹付量 (m^3/h)	ポンプ効率 (%)	スランプ値(現場) (cm)	吹付場所	コンクリート配合概要	急結剤	備考
P-1	粉体急結剤適応性確認	6.0	11.5	10.9	94.8	11.2	坑内(全断面)	通常配合(別表)	粉体急結剤デンカナトミックType-5	
P-2		2.5	11.5	11.1	96.5	10.6				
P-3		4.0	14.6	14.1	96.6	10.9				
P-4		4.0	14.6	13.3	91.1	11.0				
P-5		5.0	15.4	14.4	93.5	10.2				
P-6		5.0	15.4	13.9	90.3	9.2				
P-7		5.0	15.4	13.8	89.6	10.4	坑内(上半)			強度試験(別表)
P-8		5.0	15.4	13.7	89.0	9.6				
P-9		6.0	16.4	14.4	87.8	9.4				
P-10		6.0	16.4	15.1	92.1	10.1				
P-11	吹付性能確認(粉体急結剤)	4.5	21.0	19.2	91.4	10.8				強度試験(別表)
P-12		2.0	21.0	20.0	95.2	11.1				
P-13		4.5	25.0	22.5	90.0	10.7				
P-14		4.5	25.0	16.9	67.6	8.5				
L-1	液体急結剤適応性確認	6.0	11.5	10.5	91.3	10.7	坑外(坑口法面)	減水剤混入 1:03 モルタル	液体急結剤トルグラーUMA GUNITE LIQUID N	強度試験(別表)
L-2		6.0	14.4	12.0	83.3	10.1				
L-3		6.0	19.2	14.4	75.0	14.2				
L-4		5.0	20.2	17.6	87.1	—				
L-5		5.0	26.9	24.0	89.2	—				

注) 試験施工であるため、トラックミキサ1車分 (5m³) の施工である。

表 3-3　吹付コンクリートの強度試験結果

No.	試験目的	コンクリート配合 W/C (%)	S/a (%)	Gmax (mm)	水 (kg/m³)	セメント (kg/m³)	細骨材 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	急結剤 (%)	減水剤 (kg/m³)	スランプ(現場) (cm)	強度試験(平均値) プルアウト 3H (N/mm²)	プルアウト 1日 (N/mm²)	コア 7日 (N/mm²)	コア 28日 (N/mm²)
P-7	粉体急結剤適応性確認	60	65	15	216	360	1,122	612	7.0	—	10.5	2.2	10.3	21.5	29.5
P-11	吹付性能確認(粉体急結										11.0	2.0	10.1	19.4	27.2
L-2	液体急結剤適応性試験								6.0		10.0	1.7	10.7	13.1	19.4
L-3		50	70	15	205	410	1,161	497		1.39	14.0	1.5	11.3	16.5	26.3

注)仁田山トンネル工事の設計基準強度は材令28日で18N/mm²、スランプ値は10cm±2cm記号Noコンクリート配合急結剤

3－2．粉体急結剤を用いた吹付施工（秋浦トンネル）

（1）工事概要

工事名称：東北幹、秋浦トンネル他工事
発 注 者：日本鉄道建設公団
工　　期：平成 9 年 8 月 5 日～平成 12 年 2 月 12 日
延　　長：延長　835m（内トンネル区間 690m）
工　　法：NATM、発破掘削

図 3-2　トンネル断面
(P-A)曲

（2）吹付施工における使用コンクリート

秋浦トンネルは、日本鉄道建設公団発注の新幹線トンネルであり、現在、分割練混ぜ（SEC）工法による高品質吹付コンクリートの使用が標準となっている。

秋浦トンネルにおいては、二軸ミキサを採用し、練混ぜ方は以下のように実施した。

【全骨材造粒方式】　$S+G+W_1 \rightarrow C+CaCO_3+SF \rightarrow W_2$ +高性能減水剤→出荷

但し、SF と $CaCO_3$ は事前混合であり、C とは累積計量である。

（3）粉体急結剤を用いた場合の機械仕様

秋浦トンネルで使用しているスプレイメック 9150WPC は、仁田山トンネルにおいて吹付施工した結果と粉体急結剤を使用する点から、以下のような変更がなされている。

1）コンプレッサを搭載

仁田山トンネルにおいて、分離していたコンプレッサを搭載し（仕様は表 2-1 参照）、機動性の向上とサイクルタイムの短縮を図った。これより、吹付コンクリートと急結剤の圧送系統は図 3-3 のようになった。

図 3-3　吹付コンクリートと急結剤の圧送系統

尚、図 3-3 において、現在はエアドライヤ（RX-22B）を基本としているが、将来的には、機械性能及びメンテナンスの容易さから、アフタークーラ（SE-500）へ移行しようとしている。

2）急結剤供給装置を粉体用に変更

スプレイメック 9150WPC 液体用の急結剤供給装置が標準装備となっていたが、これを粉体用に載せ替えた。表 3-4 に各吹付コンクリートにおける粉体用急結剤添加装置の仕様を示す。

表 3-4　各吹付コンクリートにおける粉体用急結剤添加装置の仕様

セメント量 (kg/m³)	従来吹付機			スプレイメック9150WPC		
	型式	供給特性 (kg/rpm/h)	タンク容量 (L)	型式	供給特性 (kg/rpm/h)	タンク容量 (L)
360	PAC250	45	250	PAC250	90	250
450	—			PAC400		400

注）急結剤添加装置は、電気化学工業㈱製のものを対象とした。

スプレイメック 9150WPC は、　従来吹付機と比較して吹付能力が高いため、供給特性が 2 倍の 90kg/rpm/h の急結剤添加装置を標準とした。

（4）配合

現場配合を表 3-5 に示す。

表 3-5　現場配合

W/C (%)	S/a (%)	Gmax (mm)	水 (kg/m³)	結合材 セメント (kg/m³)	結合材 SF (kg/m³)	細骨材 砂 (kg/m³)	細骨材 石灰 (kg/m³)	粗骨材 (kg/m³)	減水剤 (kg/m³)
60	62	13	216	342	18	1,020	90	690	2.52

注）高品質吹付コンクリートの W/C は次式　水（W）/（セメント（C）＋シリカフューム（SF））　より求まる。

（5）スプレイメックの高品質吹付コンクリートと粉体急結剤に対する適応性

秋浦トンネルにおいては、高品質吹付コンクリートと粉体急結剤に対する適応性として、スランプの経時変化、吹付ポンプ効率、コンクリート強度、リバウンド率、適正な吹付方法と吐出量について、試験あるいは実施工として確認した。

1）スランプの経時変化

秋浦トンネルにおけるスランプ基準は、切羽作業段階において、8±2cm である。そこで、これを目標に経時変化を何点か測定した。吹付プラントの出荷から吹付開始までの時間は、40～60 分程度と判断し、それに見合うスランプの経時変化（図 3-4）を確認した。図 3-4 より、吹付プラント出荷時のスランプ基準を 15±2cm とし、吹付施工を行ったところ、吹付時スランプ 8cm 程度が最適であった。

図 3-4　スランプの経時変化

2）スランプと吹付ポンプ効率

次に、試験的に出荷時のスランプを変え、スプレイメックの吹付ポンプ効率を測定したところ、以下のような結果（表3-6）が得られた。

表3-6　スランプと吹付ポンプ効率

No.	スランプ値（出荷時）(cm)	スランプ値（吹付時）(cm)	吹付量 (m^3)	設定(理論)吐出量 (m^3/h)	実時間当り吹付量 (m^3/h)	ポンプ効率 (%)
1	15.5	8.0	6.0	16.8	15.1	89.5
2	21.0	13.5	2.5	14.7	13.3	91.0
3	18.0	11.5	2.0	12.1	11.1	91.7

表3-6より、吹付ポンプ効率は、設定吐出量12.1～16.8m^3/h、スランプ（吹付時）8.0～13.5cmにおいては約90%であり、問題ないことがわかった。

3）コンクリート強度

コンクリート強度は、冬期に得られた結果を表3-7に示す。

表3-7　高品質吹付コンクリートの強度試験結果

スランプ（吹付時）(cm)	ブルアウト 3H (N/mm^2)	ブルアウト 1日 (N/mm^2)	供試体 28日 (N/mm^2)	コア 28日 (N/mm^2)
9.5	4.1	12.3	21.7	28.7

注）秋浦トンネルにおける設計基準強度は、材令3Hで1.5N/mm^2、材令1日で8.0N/mm^2、材令28日で18.0N/mm^2

表3-7より、早期強度、材令28日強度とも、設計基準強度を満足していることがわかる。

4）適正な吹付方法と吐出量

スプレイメックは、高い吐出能力を有するが、従来通りの吹付方法を行うと、急結剤の急結能力の限界から、吐出量が制限されてしまうことがわかった。以下に、従来吹付とその対策について述べる。

①従来（一層）吹付

実吐出量18m^3/h、ノズル距離1.0～1.5m程度で、鋼製支保工の根付けから側壁部→肩部→天端部へ順次1回で仕上げる吹付方法を行うと、肩部と天端部において頻繁に肌落ちが確認された。この原因として、図3-5に示すように、通常の吹付（12m^3/h）に比べて単位面積における単位時間当たりの吹付量が多くなり自重が急結能力を上回ることによるものと考えられる。このため、一回仕上げにて吹付を行うと、同じ急結剤（デンカType-5）である限り、最大吐出量は14m^3/h程度であることがわかった。

＊　吐出量を変化させた時の吹付流の広がり方はほぼ変わらないものとした。

図3-5　一層吹付の肌落ち原因

②薄吹の多層吹付（対策）

吹付領域全体に渡って、ノズルを吹付面から1.5～2.0m程度離して、薄吹の三回仕上げ（下地吹付、本吹付、仕上げ吹付）を行うと、肌落ちが無くなり、リバウンド率も向上して順調な吹付作業ができる。秋浦トンネルにおける適正な吐出量は、設定（理論）吐出量が21m^3/h、実吐出量18m^3/hであった。

吹付状況により、機械能力（最大28m^3/h、50Hz、400V）から判断すると、次に示す事項の改善により更に吐出量が大きくなるものと思われる。現時点では、実吐出量20m^3/hを目標としている。

4．機械的要求事項

今後の課題として、作業性・操作性の改善、実吐出量 20m^3/h 以上の吹付施工を可能とすることを考えている。以下に、改造事項または検討事項を列記する。

1）配電関係

圧送・ノズル・急結剤・照明関係および予備電源をまとめ1つの配電盤内に納める。このとき、主電源 ON 時に照明・急結剤添加装置（アフタークーラー含む）も ON の状態となるように配電する。

2）ノズル

トンネル周方向（縦方向）に長く（1往復 3m 程度）吹付可能な構造とする。（図 3-6 参照）

3）足廻り

路盤の凹凸、斜路に対応可能とする。（エンジン馬力の検討）

図 3-6　ノズル機構の改善

4）必要エア量の検討

実吐出量 20m^3/h 以上の吹付施工を実施する際、圧送に必要なエア量、コンクリート圧送エアと急結剤圧送用エアのバランス及び吸入位置の検討が必要となる。

5．おわりに

これまでに、スプレイメック 9150WPC において試験施工あるいは吹付施工した結果、以下の事が確認できた。

仁田山トンネルにおいて、液体急結剤（アルミン酸ナトリウム系）と国産材料を用い、試験吹付を行ったが、欧州などの国々で使用しているエーライト系セメントと比べ、国産の普通ポルトランドセメントは、液体急結剤（アルミン酸ナトリウム系）に適していないことがわかった。

また、秋浦トンネルにおいて、粉体急結剤を使用し高品質吹付コンクリートにおける吹付施工を行った結果、スプレイメックは高品質コンクリートにおいてスランプ 8cm 程度で最適な吹付が可能であり、粉体急結剤に対する適応性（吹付ポンプ効率、コンクリート強度、リバウンド等）も適切であることがわかった。

今後は、適正な吹付方法（薄吹きの多層吹付）による吹付施工と作業性・操作性の改善（ノズル機構の改善など）、更に吹付コンクリート品質の一定化（自動スランプ調整）技術、急結剤添加率を吹付箇所に応じて変化させる（急結剤添加率自動調整）技術を併用し、更なる急速化を目指したい。

最後に、本報告書の作成にあたり、多大なご協力を頂いた電気化学工業㈱をはじめ、関係者各位に深く御礼申し上げます。

33. 同時掘進システム採用のシールド急速施工

大成建設㈱：大塚　寿次

1．はじめに

建設省関東地方建設局霞ヶ浦導水事業の内、那珂導水路は、シールド工法区間が36.1kmと長く、事業の円滑な推進のため、長距離・急速施工技術が開発、導入された。この技術が初めて採用された石岡トンネル（その1）工事の施工を完了したので、ここに紹介する。

2．工事概要

本工事は、那珂導水路（地下トンネル河川）の一部である高浜立坑から玉里立坑までの2,400mを泥水シールド工法で施工するもので、長距離・急速施工技術の検証と評価を行う試験施工でもある。

表－1　工事諸元

工法	泥水加圧式シールド工法
シールドマシン	φ5,810mm、全長10,095mm
シールドジャッキ	170ｔ×2,550mm×30本
セグメント	RCセグメント（6当分割） 外径　5,650mm、　内径　5,200mm、　厚さ　225mm、　幅　1,200mm
延長	2,400m
土かぶり	21.6～33.0m
地下水位	2.5～3.0kgf／cm2
平面線形	直線
縦断線形	0.2～20‰
発進・到達工法	ＮＯＭＳＴ工法

3．地質概要

工事区域は、関東平野の北東部に位置し、発進側（高浜立坑）より洪積層砂質土が続き、到達側（玉里立坑）付近では洪積層シルト・粘土層となっている。（図－1）

図＝1　地質縦断図

4．施工技術

本工事に採用された長距離急速施工技術を表＝2に、トータルシステム（施主からの貸与）を図－1に示す。

表－2　長距離・高速施工技術

施工技術	特長	従来仕様
長距離対応型カッタービット	施工延長　5,000m	1,500m～2,500m
セグメント組立て同時掘進	平均掘進速度　50mm／min 日進量　20m／day	30mm／min 8～10m／day
自動方向制御システム	同時掘進対応	
急速施工支援システム	自動搬送台車（無人搬送） セグメントストック装置 エレベーター装置 セグメント自動空中受け渡し	有人運転 地上仮置 クレーン荷下ろし 手動操作

図－2　長距離・急速施工シールドトータルシステム

4－1．シールドマシン

カッタービットは、耐磨耗性に優れた超硬合金（E３種）を使用し、メインビットの磨耗低減のため先行ビットも配置している。また、平均掘進速度を50mm／minにするとともに急速施工支援システムの採用により長距離・急速施工を可能にしている。

4－2．同時掘進システム

従来、セグメント組立と掘進は交互に行っていたが、今回使用したシールドマシンでは、エレクターを掘進機本体より切り離し、セグメント組立と掘進を同時に行える構造となっている。（図－2）また、同時掘進を可能とするため、シールドジャッキは、2リング分の長さを持っている。

図－3　同時掘進システム

4－3、自動方向制御システム

施工計画線との位置ずれをジャイロシステムで検出し、その位置ずれを修正するため、セグメント組立位置以外のシールドジャッキを3ブロックに分け、自動で圧力制御することによりシールドマシンの方向制御を行う。

4－4．急速施工支援システム

急速施工に対応してセグメント、その他資材の供給体制も整える必要があり、また、長距離化による搬送時間ロスを最小限に抑えるため、急速施工支援システムが不可欠となる。

1）自動搬送台車

バッテリー式電動自動搬送台車で、運行は中央自動制御による無人運転が可能である。1編成でセグメント1リング分を搬送可能であり、複数の安全センサーを装備している。

2）セグメントストック装置

セグメントの立体自動倉庫で、50リング分のセグメントを格納できる。入出庫管理は中央制御室で集中管理する。

3）エレベーター装置

セグメントストック装置でセグメントを搭載した自動搬送台車を地上から立坑下に台車ごと昇降させるエレベーターで立坑での移設作業が不用となる。自動搬送台車のエレベーターへの乗り降り、エレベーターの昇降は自動運転である。

5．施工実績

本工事の施工は、ＮＯＭＳＴ発進→初期掘進１回目→初期掘進２回目→本掘進→ＮＯＭＳＴ到達の順で行ったが、セグメント組立同時掘進が可能になった本掘進は平成11年３月16日から開始した。

初期掘進完了の216m地点より1,000m地点までは本掘進調整区間として、機械設備の調整及び操作

の習熟を行ったが、稼動日あたり掘進量は18.1mで、1,000m～2,350mの本掘進区間では、稼動日あたり掘進量は21.25mを記録した。（表－３）

この間、本掘進において最大日進量は26.4m、最大月進量は469mに達した。

表－３　セグメント組立比較表（1998年6月期）

月　日	組立リング数 1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	日進量 (m)
6月　1日																					20.4
6月　2日																					12.0
6月　3日																					24.0
6月　4日																					12.0
6月　5日																					
6月　6日																					
6月　7日																					
6月　8日	昼勤										夜勤										
6月　9日																					20.4
6月１０日																					21.6
6月１１日																					16.8
6月１２日																					24.0
6月１３日																					24.0
6月１４日																					
6月１５日																					22.8
6月１６日																					24.0
6月１７日																					12.0
6月１８日																					21.6
6月１９日																					24.0
6月２０日																					24.0
6月２１日																					
6月２２日																					21.6
6月２３日																					24.0
6月２４日																					24.0
6月２５日																					24.0
6月２６日																					24.0
6月２７日																					
6月２８日																					
6月２９日																					24.0
6月３０日																					24.0
月進量																					469.2

６．問題点と対応

１）礫の出現

初期掘進時より1,400m付近まで予想以上の礫（200～300mm）が出現し、マシンのアジテータ停止や排泥管及び排泥ポンプの閉塞がたびたび起こった。アジテーターについては、決定的な対策はなかったが反転させることで対応し、マシン内の排泥管の閉塞に対しては、予備排泥管を使用した。また排泥ポンプ及び排泥管の閉塞に対しては、礫取り箱やクラッシャーを設備して対応した。

設備して対応した。

２）カッター減速機の温度上昇

2,000m～2,400m間は固結したシルト・粘土層であり、カッターにかかる負荷が大きく減速機の温度警報が頻繁に出た。このため、送風機で冷却しながら掘進を進めた。

３）セグメント供給装置

２％登り勾配区間においてセグメント空中受け渡しの不具合が発生した。これは、エレクターとホイストの位置関係に勾配の影響でずれが生じたためで、人力補助により対処した。

７．おわりに

本工事において、多少課題は残ったものの、本掘進において日進20mを超える急速施工が出来たことは、当初目標を十分達成できたと考えられる。今後、付帯設備も含め、課題の改善を進めることにより、今後の長距離・急速施工技術の導入・普及が大いに前進するでであろう。

34. DPLEX-TBM（偏心多軸岩盤掘削機の開発）

大豊建設㈱：金井　和彦，*長谷川　春生
三菱重工業㈱：石瀬　文彦

1．はじめに

近年、TBM 技術の進歩は目覚しいものがあり、急速施工化、大断面トンネルの施工が増大している。今後は、さらに大断面化が進むと共に、任意断面形状の全断面掘削が求められるものと思われる。

任意断面形状を掘削可能なシールドとして、偏心多軸(DPLEX)シールドがある。この掘削機構を TBM に適用し、任意断面を掘削可能な岩盤対応 TBM（DPLEX-TBM）を開発することを目的とし、掘削実験を行った。その実験概要、及び結果について報告する。

2．実験機の概要

(1) 偏心多軸機構による掘削

偏心多軸(DPLEX)シールドは、図―1 に示すように、複数の回転軸に偏心してカッタ軸支持しているため、回転軸を回転させるとカッタヘッドが平行リンク運動(DPLEX 運動)を行って地山を掘削する。従って、カッタヘッドの形状とほぼ相似形の、任意の断面形状のトンネルを構築できる。DPLEX シールドでは、クロスルーフビットを用いているが、このビットの軌跡は、図―2 に示す通りである。ビットのX軸、Y軸を保持したまま回転が行われている。また、カッタヘッドに取り付けたクロスルーフビットの軌跡は、すべてのビットで同一形状である。

図－1　偏心多軸（DPLEX）掘削機

図―2　カッタ切削軌

(2) 偏心多軸機構を TBM に適用するにあたっての課題

TBM には、一般に、硬岩を掘削することを目的としてローラカッタが使用されている。

このカッタを装備した DPLEX マシンを考えた場合、カッタヘッドの回転角によっては、ローラーカッタが回転せずに引きずってしまう。そこで，ローラカッタを回転可能な盤上に取り付けることで、この問題を解決することができる。

しかし、その結果として，ローラカッタの間隔は大きくなる。このときのカッタの軌跡を図―3

に示す。図の実線の円が各々のカッタの軌跡であり，点線の円がカッタを取り付けた回転盤である。各々のカッタ軌跡の円は、クランクの偏心量と等しい径であり、そのピッチは、カッタの配置ピッチと等しくなる。従って、このままではローラカッタによる掘削に必要なピッチを得ることが難しい。

また、カッタヘッドが平行リンク運動を行うため、従来の TBM に用いられているような掘削ズリの取り込み方式をとることができない。同様に、外周部の掘削用カッタも、従来の TBM と同じ考え方はできない。

以上をまとめると，次のような課題がある。

① カッタの追従性の確保

② カッタの掘削ピッチの確保

③ 掘削ズリの排出方法

④ 外周部掘削機構

図―3 DPLEX 運動による軌跡

(3) 対策

今回の実験では、①及び②について検討した。上記の課題に対する対策として、今回の実験機に採用したものを以下に述べる。

1) 自由旋回型ローラカッタの使用

実験機に使用したローラカッタを図－4に示す。ローラカッタは、Z軸まわりに回転自由な構造とした。平行リンク運動に対して全方向への追従を可能とする方法としては、機械的に制御する方法と、カッタを後方に偏心させることで、全方向への追従を可能とする方法が考えられる。構造を簡便にするために、実験機には、後者の方法を採用した。

2) 水平垂直方向にスライドできる機構を付加

②の課題の対策としては、以下に示す方法が考えられる

①DPLEX 運動に DPLEX 運動を加える

②DPLEX 運動にスライド運動を加える

③ピッチを確保できる多段ピットを用いる

図－4 偏心ローラカッタ

実験機には、制御が簡単で外周部の余掘りが少ない②の方法を採用した。今回の実験機のスライド機構として、水平垂直方向にジャッキによりスライドできる機構を付加し、そのスライド運動は，矩形状となるように設定した。

(4) 実験機

実験機およびその仕様を写真—1、表—1に、掘削軌跡を図—5に示す。

写真－1　実験機

表－1　実験機仕様

DPLEX回転機構	
最大トルク	30．8KN･m
最大回転数	22rpm
水平・垂直スライド機構	
最大推力	220KN
最大速度	800cm/min
推進装置	
最大推進推力	500KN
最大推進速度	20cm/min

3．実験概要

（1）　実験の目的

a) 偏心ローラカッタの掘削性、回転追従性の評価および偏心量の選定

b) ＤＰＬＥＸ回転運動とスライド運動の組み合わせによる影響評価

c) 掘削性能の評価

図－5　掘削軌跡

（2）　実験条件

DPLEX 回転数　　Nd：10rpm～20rpm

掘進速度　　Vt：10mm/min～50mm/min

ローラカッタ偏心量　Es：30mm，50mm，100mm

供試体（モルタル）強度σ：50MPa~120MPa

（3）　供試体

今回の実験に使用した供試体は表—2に示す通りである。

表－2 供試体一覧

種類		呼び強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	脆性度
疑似岩1	モルタル	50	50～60	4～5	12～12.5
疑似岩2	モルタル	80	60～70	5～6	11.6～12
実岩	凝灰岩	—	120～140	12～14	10

4．実験結果

(1) ローラカッタ追従性

実験の結果得られた掘削軌跡を写真—2に示す。偏心量 30mm、50mm については、切り込み量が小さいうちは追従性が良いが、切りこみ量が大きくなると追従性が悪くなる傾向が認められた。これに対して、後方偏心量が最も大きい 100mm では、常に良好な追従性を保ち，掘削軌跡も目標軌跡とほぼ一致していた。

ローラカッタの偏心量と回転トルクの関係を図―６に示す。偏心量が大きいほうがトルクは小さかった。

図―６　偏心量―トルク関係

写真－２　供試体掘削状

(2) 負荷特性

図―７、図―８に掘進速度と掘進推力および回転トルクの関係を、図―９に掘進速度とスライド推力の関係を示す。トルク、推力ともに正の相関関係にあり、比例係数は、岩強度に対応して増加する。

図－１０、図―１１に掘進推力と接線力およびスライド推力の関係を示す。掘進推力(スラスト力)と接線力(切削力)との関係は0.2程度であり、通常のローラカッタの設計荷重における切削力

図―７　掘進速度－掘進推力関係

図－８　掘進速度－トルク関係

図―９　掘進速度スライド推力関係

図－１０　掘進推力－接線力関係

／スラストカ比 0.1 に比べて高い。これは，DPLEX-TBM の方がスライド運動を伴った小径回転の連続によって掘削するため、低スラストカでの掘削が可能となったためと考えられる。

スライド推力は掘進推力の１０分の１程度であり、これは岩強度による差がほとんど見られなかった。

図－１１　掘進推力－スライド推力関係

(3) 掘削体積比エネルギー

偏心多軸機構による岩盤掘削の掘削能力を評価するため、単位体積当たりの地山を掘削するのに必要な動力を表す、「掘削体積比エネルギー」を用いた。掘削体積比エネルギーEs は，以下の式で表される。

$$E_s = \frac{F_t}{A} + \frac{2\pi \cdot N_d \cdot T_d}{A \cdot v_t} + \frac{F_j \cdot v_j}{A \cdot v_t} \quad \cdots 式(1)$$

ここで、

A ：掘削断面積(m²)　　Ft：掘進推力(tf)

vt：掘進速度(mm/min)　　Nd：ＤＰＬＥＸ回転数(rpm)

Td：ＤＰＬＥＸ回転トルク(tf·m)　　Fj：スライドジャッキ推力(tf)

vj：スライドジャッキ速度(mm/min)

式(1)の第１項から第３項は，それぞれ掘進系、ＤＰＬＥＸ回転系，スライド系の項を表わしているが，今回の実験では、掘進，スライドに比べてＤＰＬＥＸ回転の速度が圧倒的に高いため，掘削能力はＤＰＬＥＸ回転数，トルクに大きく依存している。

また、上述の掘削体積比エネルギーでは，掘削対象の強度特性の影響が含まれているため，掘削体積比エネルギーEs を掘削対象の一軸圧縮強度σr との比である掘削能係数 Nf を掘削機械の性能評価のための無次　元指標として用いた。

Nf = σr /Es　　…… 式(2)

図－１２は、１サイクル当たりの切り込み量と掘削体積比エネルギーとの関係を示す。掘削体積比エネルギーは、切り込み量に依存せずほぼ一定値となり，掘進条件に左右されない物理量であることがわかる。また、実岩の掘削における掘削体積比エネルギーは、45MPa 程度であり、同レベルの強度の岩盤に対する従来 TBM（後述）の掘削体積比エネルギー（40～65MPa）より優位な値であった。

図－１３に切り込み量と掘削能係数の関係を示す。モルタル供試体の場合ほぼ一定値になるのに対し、実岩はモルタルのほぼ倍程度の値となる。これは、実岩の方が高強度の割に掘削し易いということであり、岩とモルタルの脆性の相違などによるものと考えられる。

図－１２切込み　量－掘削体積比ｴﾈﾙｷﾞ-関係

図－１３　切込み量－掘削能係数関係

（4）　従来型ＴＢＭとの比較

本実験で行った DPLEX-TBM の結果から、従来型 TBM との比較を行う。

表－３に従来型ＴＢＭの仕様、表－４に DPLEX-TBM と従来型ＴＢＭの、同程度の切り込み深さにおけるトルク／推力比，掘削体積比エネルギー，掘削能係数を示す。

比較の結果、ＤＰＬＥＸ-ＴＢＭのトルク／推力比は、従来型ＴＢＭの 50%程度であった。これは、回転半径が小さいＤＰＬＥＸ運動のため掘削トルクが低減されたものと考えられる。また，掘削体積比エネルギー，掘削能係数は、ＤＰＬＥＸ-ＴＢＭの方が従来型ＴＢＭよりもやや優位な値となった。

以上から，ＤＰＬＥＸ-ＴＢＭの場合，従来型ＴＢＭと同等以下の動力で掘削が可能であることが分かった。

表－３　従来型ＴＢＭ仕様

掘 削 径	5,000 mm
カッタトルク	108 tf·m
カッタ回転数	7.5 rpm
カッタ径	394 mm
推　力	850 tf
動　力	1,080 kw

表－４　従来型ＴＢＭとの比較

		DPLEX-TBM	従来型TBM
切込み深さ	h(mm)	4	2～4
岩強度	σr(Mpa)	120～140	100～180
ﾄﾙｸ/推力比	(m)	0.05	0.07～0.11
掘削体積比ｴﾈﾙｷﾞｰ	Es(MPa)	45	40～65
掘削能係数		2.6～3.1	2.5～2.8

5．おわりに

本実験では、ＤＰＬＥＸ運動とスライド運動を組み合わせて旋回自由なローラカッタによる掘削を行い、良好な掘削が可能であることを確認した。今後は、実機への適用に向けて、掘削ズリの取り込み機構や外周部の掘削機構、掘削反力の支持機構など、偏心多軸機構特有の課題を解決していく所存である。

35. トンネル発破掘削におけるずり出しシステム連続ベルトコンベヤ

大成建設㈱：吉富　幸雄，*三浦　康文

1．はじめに

近年、山岳工法のトンネル工事においては、作業環境の改善が大きな課題となっている。特にＮＡＴＭ、タイヤ方式のトンネル工事が多く施工される中、ずり出し時の作業環境の改善は大きな問題である。

今回、新幹線田上トンネルに採用したずり出しシステムは長大トンネルにおける坑内換気の改善と安全性の向上を目的に開発されたものであり、従来のダンプによるずり出しに変わり、切羽で発生したずりを直接ベルトコンベヤで坑外まで搬出するものである。特に掘削方式が発破であるため、切羽近くに自走式クラッシャを配置し、小割りした後連続ベルトコンベヤで搬出する方式を採用した。

ここに新幹線田上トンネルで採用した連続ベルトコンベヤずり出しシステムについて報告する。

2．工事の概要

田上トンネルは全長６、９８８ｍのトンネル工事であり、当田上トンネル（北）工事は八代側より５、２４０ｍ片押しで施工する。

トンネル諸元

掘削方式　：ＮＡＴＭ・発破掘削
掘削工法　：ミニベンチ工法、
掘削断面積：約７４.５㎡
平面線形　：Ｒ＝６、０００ｍ、
縦断勾配　：３／１０００～１５／１０００

3．システムの概要

3－1設計条件

ずり出しシステムの構築に当たっては以下の条件で設計した。

①ずり出しシステムの変更に伴い掘削，覆工コンクリートの施工サイクルに影響を与えない。
②ずり搬出能力はダンプ方式と同等の３００ｔ／時能力とする。
③トンネル工事全体工程を短縮するため、掘削、覆工コンクリートと合わせてインバートの施工が可能とする。

3-2 システムの説明

コンベヤおよび覆工部のベルトコンベヤを支持する支持台車で構成されている。

システムにおけるずりの流れは，

① 切羽で発破されたずりはホイルローダーで切羽後方約４０ｍ～５０ｍの位置に配置した自走式クラッシャに投入する。
② 投入されたずりは自走式クラッシャで小割りし、排出用のベルトコンベヤでバックアップデッキのホッパに投入する。
③ ホッパに運ばれたずりは、第２ベルトコンベヤを経由し連続ベルトコンベヤで坑外の仮置ヤードまで搬出する。

図－2　ずり出しシステム

3－3自走式クラッシャ

この自走式クラッシャは従来、坑外（砕石場等）で使用されている機械をベースに改造を加え、トンネル内でも使用できるように製作した。以下仕様を以下に示す。

表－1　寸法

単位：mm

全長	17、300
全幅	3、300
全高	3、600
ホッパ高さ	3、600
クローラ全幅	3、000
コンベヤベルト幅	1、000

表－2　主要諸元

ｼﾞｮｰｸﾗｯｼｬ	形式	シングルトグル式
	供給口寸法	1000×750
ﾌｨｰﾀﾞ	形式	振動ﾌｨｰﾀﾞB10-42-2V
	寸法（全幅*全長）	1000×4200
能力	処理能力　t／h	300
	最大供給塊　mm	1000×650×450
エンジン	定格出力	101/1900
電気装置	クラッシャ駆動ﾓｰﾀ	440V-110KW
	油圧ポンプ駆動ﾓｰﾀ	440V--75KW
	クラッシャ	電動ﾓｰﾀVﾍﾞﾙﾄ駆動
	振動ﾌｨｰﾀﾞ	電動ﾓｰﾀによる油圧駆動
	搬出コンベヤ	電動ﾓｰﾀによる油圧駆動
駆動方式	クラッシャ	電動ﾓｰﾀVﾍﾞﾙﾄ駆動
	振動ﾌｨｰﾀﾞ	電動ﾓｰﾀによる油圧駆動
	搬出コンベヤ	電動ﾓｰﾀによる油圧駆動電
	走行	気及びエンジン
質量	全装備質量　kg	54、000
走行速度	高／低　km／h	1.8／0.9

写真-3　自走式クラッシャ

以上が主な仕様であるが、他にトンネル内での使用を考え以下の点を改造した。

1）積み込み高さ、ホッパ形状

坑外と異なり、積み込み機がホイールローダー（サイドダンプ）になるため、従来より投入高さを低くした。また、ホッパ形状をサイドダンプ用に変更し、一度に3．0㎥のホッパで投入可能な形状とした。（積み込み機CAT966）

2）電動化

坑内で使用するため、換気を考慮し駆動は電気とし、移動時のみエンジンとした。また、エンジンは排ガス対策とした。

3）縦切れ防止対策

金属片によるベルコンの縦切れ防止のため

に磁選機を取付けた。

4） 発破飛散対策

クラッシャは切羽近くに配置されるため、発破の飛び石対策としてクラッシャ前面に防爆シートを取付けた。

5）散水装置

粉じんを低減させるため散水装置を取付けた。

3－4　第2ベルコン

移動式クラッシャにより破砕されたずりは第2ベルトコンベヤに運ばれる。この第2ベルコンは連続ベルトコンベヤ先端部のバックアップデッキ上部に配置してあり、連続ベルトコンベヤの縦切れ防止及び壁側に配置された連続ベルトコンベヤへのシフトを目的に配置してある。仕様については表－3に示す。

写真－4　第2ベルコン

表－3　第2ベルコン仕様

項　目	仕　様
延　長	17.1m
ベルト　幅	900mm
ベルト速度	70 m/min
モ　ー　タ	15 Kw

3－5連続ベルトコンベヤ

連続ベルトコンベヤは長さを随時延伸することができるベルコンで、坑口部に配置されたストレージカセット部にベルトをストックできるようになっており、切羽の進行にあわせて随時引き出されていくものである。一度にストックできるベルトの長さは約280mであり、ストックが無くなるとベルトを切断し、また新しいベルトが継ぎ足す構造になっている。（図－3参照）

この連続ベルトコンベヤの駆動は、トンネル延長約2、500mまでは坑外のメインモーター（112 KW）1台で駆動し、それ以上になるとブースターモーター（112 KW）を増設する。最終的にトンネル延長5、240mを2台のモーターで駆動する計画である。また、起動方式はインバートを採用し起動時のスムーズな立ち上がりを可能にした。

表－4　連続ベルトコンベヤ主要諸元

項　目	仕　様
システム全長	5、240m
ベルト幅	610mm
ベルト速度	168mm
運搬能力	300t／時
ストレージカセット容量	300m
メインモータ	112 Kw
ブースターモータ	112 Kw

3－6　ずり出しシステムの延伸

ずり出しシステムの延伸は切羽進行が10m進む毎に行っている。

延伸手順について示すと

① 連続ベルコンのベルトに掛かっている張力を解除する。

② 自走式クラッシャを約10mほど自走し、同時にバックアップデッキ移動用のレールを前進する。

③ バックアップデッキを移動用のレールに乗せ、ウインチによりバクアップデッキを前進する。

④ 移動と同時に連続ベルトコンベヤのフレームを組立、ローラを組み込む。

⑤ バックアップデッキのアウトリガを張り固定する。

⑥ 連続ベルコンのベルトを油圧により緊張する。

図－3　　連続ベルコン延伸イメージ図

写真-－5　ベルトストレージカセット

3－7　支持台車及びベルコン吊り下げ構造

連続ベルトコンベヤの設置位置は掘削時の機械の入れ替え、仮排水の設置等、設置により極力作業スペートを狭くしないように、またインバートの施工時邪魔にならない位置を考慮し、切羽に向かって左壁の位置に配置した。（図－4）

一方、ベルトコンベヤの吊り下げ方法は掘削部は支保パターン（支保工の有無、ピッチ）関係なく支持できるように、壁側はアンカー、中側は吊りチェーンにより支持する構造とした。

図－4 ベルトコンベヤ設置位置図

写真-－5 掘削部吊り構造

一方、覆工コンクリートが完了した部分はコンクリート壁にブラケットを取付け、ベルトコンベヤを支持する構造とした。

写真－6　覆工部吊り構造

覆工作業部におけるベルトコンベヤ吊り下げ構造は、ずり出し作業の有無に関係なく防水シート、セントル移動等の作業ができるように特殊な支持台車を製作した。

この支持台車はシート張り作業から覆工セントル部までのベルトコンベヤを支持する構造となっており、ベルトコンベヤの稼動に関係なくセントル、シート張り台車が自由に移動可能な構造となっている。

また、この支持台車は自走可能であり、覆工作業の進捗に合わせて随時移動する。

写真-－7　ベルコン支持台車

3－8　安全対策

トンネルの連続ベルトコンベヤによるずり出しシステムにおいて安全対策は大きな問題である。狭い坑内に常時ベルコンが設置され、また稼動時には巻き込まれ、落石の危険性がある。これらの安全対策として以下の対策を実施した。

1）緊急停止装置

ベルコンの側に全線ワイヤーを取付けまた30m毎に引綱を取付けワイヤーに接触もしくは引綱を引くことによりシステム全体が停止する装置を取り付けた。

2）落石防止

連続ベルトコンベヤはキャリアローラーからはずれベルトが蛇行すると落石が発生する。そのためベルコンの蛇行防止装置として以下の対策を実施した。

① 自動調芯ローラの採用

② ガイドローラの採用

③ ローラ取付け角度の調整

以上の対策を実施することによりベルコンの蛇行を抑え落石を防止している。

写真－8　自動調芯ローラ

4．システム導入のメリット

このシステムを採用することにより、以下の点が改善されたと考えられる。

1）坑内作業環境の改善

ずり運搬にダンプトラックが無くなったことにより、ダンプから発生する排気ガス、走行時の粉じんが無くなり、坑内環境が改善された。また、大型車両から発生する音が少なくなり、坑内、坑外の騒音も改善された。

2）安全性の向上

ずり出し時大型のダンプ、ベッセルダンプ等が通行しないため、交通事故の危険性が非常に少なくなった。

が通行しないため、交通事故の危険性が非常に少なくなった。

3）工期短縮（急速施工）

連続ベルトコンベヤでずりを搬出することにより、ずり出しダンプの通行が無くなり、安全にインバートの施工が可能になり、全体工程の短縮が可能となった。

4）作業の効率化

タイヤ方式の場合、ずり出し時の安全を考慮し坑内への入場は規制されている。このシステムの場合、ずり出し時も関係なく作業ができるため、作業に制約がない。特に、測量、路盤の維持、覆工コンクリート等、効率的に作業が行うことができる。

5）コンパクトな坑外仮設

タイヤ方式では、大型のダンプの駐車スペースや修理スペースが必要になり、坑外仮設ヤード広く必要である。ベルコン方式では、ベルコンラインが坑外に出てくるだけで、タイヤ方式と比較してかなりコンパクトな仮設ヤードでよい。

6）ずり転倒音の低減

ダンプトラックの坑外でのずり転倒時、大きな音が出るため騒音が問題になる。特に夜間や、都市域では夜間ダンプ転倒禁止や防音装置が必要になる。このシステムではずりのベルコンからの搬出音だけで音は小さく、騒音対策は不要である。

7）路盤の維持が容易

大型車両の通行が少なくなり、路盤の痛みが少なくなった。

5．問題点

現在までに連続ベルトコンベヤによるずり出しを約2km行ったが、大きなトラブルもなく順調に稼動してきた。ただ今後改善すべき問題点もいくつか見られる。

1）運搬コスト

システム導入の初期投資に費用が掛かるため短いトンネルでは運搬コストが高くなる。

2）維持費用

システムの延伸、維持管理のため固定的に人員が必要である。

3）湧水を伴う地質への対応

土砂で湧水を伴う地質の場合、施工は可能であるがベルコン、クラッシャーの維持管理が大変である。

6．おわりに

トンネル発破掘削において、自走式クラッシャと連続ベルトコンベヤを用いたずり出しシステムにより、長大トンネルにおいても良好な作業環境を維持でき、より安全に施工できると考える。

現在、平成１１年８月時点で約2、５００ｍを掘削、硬岩から土砂、断層また大量の湧水の出る地質も施工してきた。種々改造点を残すもののＮＡＴＭ、発破掘削のずり出し方式として施工可能と考える。今後はさらに省力化、急速施工化また低コスト化を図り、多くのトンネル工事で使用できる環境を作って行く必要があると考えている。

36. 大容量タイヤ式搬送車を使用した無軌条工法の実施

鹿島建設㈱：*柴田　学，筒井　武志
神鋼電機㈱：杉田　陽一

1．はじめに

シールド工事は、さまざまな施工条件に対応できるように、通常の単円シールドだけでなくいろいろな形状をしたシールド機が開発されてきている。また、超長距離シールドトンネルや大口径シールドトンネルと形状、距離、口径もさまざまな組み合わせで施工されている。また、施工の高速化も計られてきている。その中で資機材搬送システムは、施工サイクルの中でセグメントや資機材を安全かつタイムリーに搬送を行う必要がある。そのために搬送システム、坑内設備や搬送サイクル、安全性、効率等を総合的に検討する必要がある。

シールド工事における資機材の搬送は、バッテリー機関車を使用し軌条設備を敷設して行う方法が一般的である。セグメントは平台車に載せ、機関車により牽引し搬送する。重量大きなｾｸﾞﾒﾝﾄでは、何度か往復して1リング分を搬送する。枕木、レールの仕様は、機関車や台車重量等で決まり大口径になれば枕木が大型化する。また長距離になると枕木の本数が多くなり設置、撤去の手間が大きくなる。また、重量物の枕木、レールを切羽に設置、撤去する作業により手足や体の挟まれや、衝突の危険性が常に付きまとう。そこで軌条設備の設置・撤去に関わる安全性の向上、工程の短縮を図るため、枕木、レール方式を使用しない無軌条方式を採用した。また、搬送回数を低減するため 1 度に1リング分を運ぶ能力を持つ搬送車を開発し、坑内搬送の効率、安全性の向上を図り、大口径シールドに適した搬送システムを構築することができた。

2．無軌条方式による搬送システム

地上～切羽までの搬送システムの全体図を記す。

図－1搬送システム全体図

以下の手順でセグメントの搬送を行う。

① 地上で止水用シールを貼付けたセグメントをドーリー（横持ち装置）に1リング分（9ピース）置く。

② リフトで立坑下まで垂直搬送する。

③ セッターで移載ラックに3ピース×3ブロックに積上る。

④ 搬送車により1リング1回で切羽まで搬送する。

⑤ 切羽でセグメントを供給装置にテルハで移載する。

3．大容量タイヤ式搬送車の仕様

3－1　本体

本搬送車の諸元は表―1のとおりである。

本搬送車は、当社と神鋼電機で共同開発したものである。特徴を記す。

① 走行回数を減らすためと、走行速度を押さえるために、1リング分を1度に搬送できるものとした。

② 前方2軸、後方2軸で各々ステアリング動作を行い操作性を上げている。

写真－1　坑内走行状況

③ 資機材の受渡しのため車体をリフトアップすることが可能。

④ 切羽のテルハクレーンの吊り芯に合わせるため荷台のスライド機能を有している。

⑤ 搬送車の誘導方式は磁石式、ガイド板2つを持ち、選択できる。

⑥ 給電方式はバッテリーで駆動装置は故障の少ないACインバーターを採用している。

表－1タイヤ式搬送車の主要諸元

	諸　　元
運転方式	自動運転式　　自動でｽﾃｱﾘﾝｸﾞ、走行を行う。 リモコン運転式　ｽﾃｱﾘﾝｸﾞの操作は自動。　走行操作はﾘﾓｺﾝ運転。
形　　状	車体幅　2,600　mm　　車体長 14,400 mm 車体高　走行時　2,150 mm 下限時　2,000 mm　ﾘﾌﾄｱｯﾌﾟ時　2,450 mm
重　　量	積載荷重　　６９　t　　自重　　３８　t　　総重量　107 t
誘導方式	誘導体部　磁気テープ、ガイド部　壁倣い式（倣いｱｰﾑは収納可能）
走行速度	磁気テープ部　　30m/min　1.8 km/h 倣いｱｰﾑ使用部　85m/min　5.1 km/h
走行電動機	30KW×２台（インバーター制御）
給電方式	ﾊﾞｯﾃﾘｰ　２８８V　３１２AH　２台搭載
タ　イ　ヤ	ﾉｰﾊﾟﾝｸﾀｲﾔ　ﾎﾜｲﾄ　輪荷重　6706 kg　　設置面圧　0.98～1.96 MPa
ｻｽﾍﾟﾝｼｮﾝ	油圧ｻｽﾍﾟﾝｼｮﾝ（荷台昇降機能兼用）３点支持（走行中）　ｽﾄﾛｰｸ　450mm
荷　　台	３ピース×３基　ｽﾗｲﾄﾞ機能付　ｽﾄﾛｰｸ　600mm
主たる安全装置	地上からの非常停止　----　誘導無線による。 本体の安全装置　---　障害物検知ｾﾝｻｰ、光ｾﾝｻｰ、ｵﾌﾙｰﾄ、過速度、 ﾊﾞﾝﾊﾟｰ接触、ﾊﾞｯﾃﾘｰ過放電など

図—2　搬送車外形図

3－2 ガイド設備

本搬送車のガイド方式は、磁石ガイド式ガイド板方式をとっている。

磁気ｶﾞｲﾄﾞでは、35m/min で走行が可能、高速で走行するには磁気ガイドでは無理なためトンネル側部にガイド板を取付け　85m/min での走行を行っている。このガイド板方式は、実験車で時速 15 km までのガイド走行を確認している。本工事では、磁気ガイド方式を切羽の後続台車内部、坑口の移載ラック付近に使用し、一般部をガイド板方式にしている。

写真—2磁気ガイド状況

写真—3 ガイド板設置状況

3－3 漏洩ケーブルを使用した無線通信

地上から搬送車を非常停止させるためと搬送車の監視のため、坑内全線に渡って漏洩ケーブルを敷設し、搬送車と常に無線通信を行っている。この地上からの信号が途切れれば搬送車は非常停止する。また、搬送車の状態を送信することで、地上で運行状態を確認する事が出来る。

3－4 給電設備

軌条式に比べタイヤ式の搬送車は、走行抵抗が大きいため消費電力も大きい。比較を表—2に記す。

表—2 消費電力比較表

	軌条式	タイヤ式
走行抵抗 kgf／t	5	30
消費電力※1 kwh／ﾘﾝｸﾞ	4※2	15

※1 1000m 平坦 往路実車、復路空車 荷重 70 t （1ﾘﾝｸﾞ分） ※2 8 tﾊﾞｯﾃﾘｰﾛｺ 3往復で計算した。

本搬送車は、バッテリーセットを3セットにして2交代の掘進作業に対応している。
本工事は、走行距離が 1300m程度であるが、更に走行距離が長くなる場合、バッテリー個数を増やすかトロリー方式などの電源供給を別に考える必要がある。

4．無軌条工法の坑内設備

4－1．後方台車

シールド機により牽引されて移動する。走行輪はウレタン車輪を使用し4輪でそれぞれの車輪でステアリングを取ることができ、台車のローリングを修正することができる。台車の牽引装置にはパッシブ型の油圧牽引装置を使用した。曲線部での牽引装置の長さの変更が自動で行われるので便利である。

台車の内部は、搬送車が通るのでその空間を開ける必要がある。その空間確保のため車輪のついた脚部とそれをつなぐ梁部の強度を十分に持たせて脚部が内側に変形しないにようする必要がある。

4－2．中間台車

中間台車は、移動のため走行駆動装置、ｽﾃｱﾘﾝｸﾞ装置を持つ、操舵を容易にするため、走行部が複雑になるが4輪ｽﾃｱﾘﾝｸﾞが必要である。電源はキャブタイヤケーブルで給電した。

中間台車も後方台車と同様に、脚部の内側に搬送車が走るので脚部、梁部の強度を確保した。また、台車内を通過する際のガイド装置として、ガイド板を脚部に固定し、中間台車が移動するときは、台車前後のガイド板取外し、台車停止後にガイド板を接続した。

4－3．配管、坑内通路

枕木がないために配管を支持する架台が必要になり写真―4のようなブラケットを使用した。取付にセグメントの組立ﾎﾞﾙﾄを緩めなくても使用できるようにし、後工程のボルトボックスの充填作業にも支障がないようにした。配管の延長には、ホースリール、プランジャバルブを使用したがこれも同様に枕木がないため図―3のように後方台車内にレールを設け移動できるようにした。

坑内通路も写真―5のように配管と同じくブラケットを作成し設置している。

図―3　配管延長用ホースリール、プランジャバルブ設置図

写真―4　配管ラック

写真―5　坑内通路ブラケット

4－4．ボルトボックス対策

トンネル内には、セグメント締結のためのボルトボックスが全周に渡ってある。これは搬送車、後方台車の車輪がボルトボックスに落ち込み、タイヤを痛めたり、セグメントを痛める要因となる。そのため写真―6のような鋼製蓋を製作して掛けていった。

写真―6　ボルトボックス蓋

4－5．安全対策

搬送車には、仕様に記した安全装置を取り付けているが、これらの安全設備が正常に動作しないことも考慮して、インバート部は、歩行禁止とした。ただし、インバート部の作業があるため搬送車が走行していないときに安全柵を設置することにより作業を許可した。

切羽と坑口部での行過ぎはオーバーランセンサーで作動するが、何かの理由で更に走行すればガイド板、磁石がなくなりオフルートにより非常停止する。

5．本技術の展開

本技術は大口径のシールドに適応したシステムとなっているが中口径（6m程度）までのシールド工事では展開可能である。ただし、地下鉄工事のようにトンネルに大きな勾配がある場合、バッテリー走行では長い距離の走行が難しくなるので、バッテリ容量、モーターパワーの検討が必要である。今後、エンジン式のタイヤ式搬送車についても検討が必要である。

6．おわりに

大口径シールド工事の無軌条工法として大容量の搬送車を使用して初めて取り組んだが、鋼製枕木の設置作業がないため切羽作業が安全に余裕を持って行われている。

当社においては、長距離用の高速型タイヤ式搬送車も同時に開発を進めていて無軌条工法をシールド工事施工法の一つとして確立させるよう開発を進めている。

37. 増径式シールド工法

西松建設㈱：*小寺　直人
川崎重工業㈱：　真鍋　尚男

1．はじめに

地下埋設物への影響などを考慮し最適空間で断面の異なるトンネルを築造する場合、従来親子シールドなどの様に大断面より施工を行い到達立坑で小断面のシールド機の発進を行う工法がとられた。しかし本工事では発進立坑が共通していること、大断面の到達立坑が既設の下水人孔でシールド機の引き上げが不可能なことを考慮し１台のシールド機で小断面より施工できるよう増径式シールド工法を採用した。シールド機の増径改造方法も工期の短縮やコストの低減を目標にスキンプレート以外を共有できるよう様々な工夫をし、現場で組立可能な簡便で本来の性能を損なわないものとした。工夫点として小断面のシールド機のジャッキをそのまま再使用できるよう大偏心に耐えうるジャッキの使用、エレクターの再利用を可能とする２段階伸縮エレクター、また軟弱地盤のため、増径後の中折れ球面部増大による地盤沈下への影響を最小限に抑えるためのバネ板の取り付けなどがあげられる。

本工事での改造の結果を報告する。

2．開発の目標

（1） 小断面のシールド機の転用物を最大限使用しコストの低減を図る。
（2） 改造は簡便に現場にて行えるものとし工期の短縮を図る。
（3） 増径改造後のシールド機の寸法・性能も従来基準を満たすものとする。

3．シールド機仕様

本工事で使用したシールド機と工事概要を以下に示す。

工事件名：墨田区錦糸二、四丁目付近再構築工事
発注者　：東京都下水道局

		小断面シールド機	大断面シールド機
工法	：	泥土圧シールド工法	泥土圧シールド工法
シールド機外径	：	φ２４９０	φ２８９０
線路延長	：	４６２．００m	５２９．４０m
曲線半径	：	R＝２０m	R＝１３m
土質	：	シルト，砂	シルト、砂
土被り	：	３．５～４．６m	３．５～４．６m

小断面（φ２４９０）シールド機仕様（中折れ型）

図1

大断面（φ２８９０）シールド機仕様（中折れ型）

図2

■小シールド機仕様

シールド本体要目	
外径	φ2490mm
全長	5630mm
シールドジャッキ	80X1150X220kg/cm²X8本
中折れジャッキ	125X320X350kg/cm²X4本
中折れ角度	右8°,上下±1°
最小曲線半径	右 R20m
仕上内径	φ1650mm
コピーカッタージャッキ	6X180X140kg/cm²X1本

スクリュウコンベヤ要目	
スクリュウ羽根外径	φ320mm,P320mm
回転数	0～19.5r.p.m
回転トルク	常用1051kg-m,最大1577kg-m
油圧モーター型式	MX750X１台

カッタードラム要目	
型式	全断面掘削正逆回転方式
回転数	0～2.05r.p.m
掘削トルク	36.8t－m
カッター	超硬チップ付カッター
油圧モータ型式	ME175－SS1905X6台

エレクター要目	
型式	リングドラム式
押込力	2000kg
吊荷重	150kg
回転数	1.5～3.0r.p.m
伸縮ストローク	MAX430mm
揺動ストローク	前100mm　後100mm
油圧モータ型式	ME600AX１台

■大シールド機仕様

シールド本体要目	
外径	φ2890mm
全長	5630mm
シールドジャッキ	80X1150X220kg/cm²X8本
中折れジャッキ	125X320X350kg/cm²X4本
中折れ角度	左13.5°,上下±1°
最小曲線半径	左 R13m
仕上内径	φ2000mm
コピーカッタージャッキ	6X210X140kg/cm²X1本

図3

4．増径手順概要

増径を行うにあったて大断面シールドのスキンプレートを前胴、後胴それぞれ上下２分割に製作しておく。小断面シールドの掘進が完了した後スクリューコンベアー、エレクターを解体し到達立坑内に前胴を押し出し、後胴をジャッキスプレッダー位置で切断し再度発進立坑内へ運んで増径改造を行う。

①大断面シールド機の前胴下部、後胴下部を発進架台上へ設置しておく。

②到達立坑から引き上げた小断面シールド機の前胴を①で設置したスキンプレートの中に投入しボルト締結を行う。

③カッターデスクフレームを増径分継ぎ足し面版を拡大する。(溶接)

④解体したスクリューコンベアー、エレクターとジャッキスプレッダーを取り付ける。

⑤大断面シールド機の前胴上部、後胴上部を組み合わせその後溶接し完成。

図4 増径手順

写真1 小断面シールド引き上げ

写真2 増径改造状況

5．偏心ジャッキ性能試験

（1） 適用

本シールドジャッキは増径後も解体せず同じ位置で使用するため３８０mmという従来に無い大きな偏心アームを使用することとなる。このような大偏心状況下で全ストロークにわたって異常なく作動することを確認するため以下の試験を行った。

（2） ジャッキ要目

推力　　：　８０ｔｆ
内径　　：　φ２１５mm
ロッド径　：　φ１９０mm
ストローク：　１１５０mm
使用圧力　：　２２０ｋg/cm2
偏心量　　：　３８０mm

図5 計測位置

（3） 試験要領

図５に示すようA、Bの二箇所で計測をおこなった。５.（２）の要目の試験ジャッキと同要目のカウンタージャッキ（偏心量０mm）の２本のジャッキを用い試験ジャッキの推力をカウンタージャッキで受けながら全ストロークを作動させ各推力時のジャッキの作動、変形量を計測した。

（4） 試験結果

（a）作動試験

無負荷及び各推力においてスムーズに作動した。

（b）変形量の計測

各推力におけるピンロッド及び偏心アームの変形量は下記の通りであった。

変形量(mm)計測結果

圧力(kg/cm2)		推力(tonf)	A(ピンロッド)	B(偏心アーム)
①	50	18.1	0.20	
②	100	36.4	0.40	
③	180	65.5	0.70	
④	220	80.0	0.83	2.05

図6 変形量計測結果

6．２段伸縮式エレクター

伸縮ジャッキを２段に取り付け小断面では１段目のジャッキを縮めた状態で２段目のジャッキを伸縮させ。大断面では両方のジャッキを使用し異なる２つの径のセグメント組立に対応させた。

7．中折れ球面部

増径と共に中折れ球面部が増大するため地盤の沈下の可能性、及び土砂等のかみこみなどにより中折れ機能への影響が懸念される。そのため増径後バネ板を全周に取り付け内部を充填することとした。内部充填材にはテールグリースを使用した。

図7 中折れ球面部詳細

8．増径後シールド機寸法検査

増径後のシールド機の寸法検査結果を以下に示す。

(1)本体軸方向の曲がり計測(真円度)

許容値:±9mm　計測ピッチ　500mm

計測位置	t1	t2	t3	t4	t5	t6	t7	t8
a	0	+1	+1	0	+1	+2	0	0
d	+2	+1	+1	0	-2	-2	-3	0
f	+2	+3	+3	+1	0	-1	0	0

(2)真円度計測(内径)

計測位置	d2	
基準値	φ2890±10	
検査結果	a－e	2812
検査結果	c-g	2812

(3)本体長さ計測

計測位置	c	g
基準値	5260±16	
検査結果	5255	5260

図8

9．実施工程

増径改造の実施工程を以下に示す。

項　　目／日　　数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
段取り工事・足場	―													
大径シールド機外胴下半設置		―												
小径シールド機スクリューコンベアー解体			―											
小径シールド機エレクター解体			―											
小径シールド機前胴切断				―										
小径シールド機吊ピース溶接				―										
小径シールド機引き上げ・投入					―									
大径シールド機スクリューコンベアー組立						―								
大径シールド機エレクター組み立て						―								
大径シールド機外胴上半投入							―							
大径シールド機上下半溶接								―	―					
カッターデスク拡大										―	―			
中折れ球面部バネ板取り付け												―		
タッチアップ													―	
寸法検査														―

図9 実施工程表

１０．施工結果

今回の増径改造ではスキンプレートとスプレッダー以外はすべて小断面シールド機からの転用品であったが、改造後も通常のシールド機と同様に使用することができ、大偏心ジャッキおよび２段階伸縮エレクター共に正常に機能することができた。増径後の外観寸法も従来基準を満たすことができた。工程的にも当初予定より短縮でき成果があったと思われる。また中折れ球面部のバネ板について沈下量などは地質、裏込注入量など様々な要因で変化するものなので一概に対比させることはできないが中折れの機構的には全く問題はなかった。

１１．まとめ

従来の親子シールドなどとは逆に小断面から大断面への異径掘進の施工が可能なことが本工事で立証することができた。このような工法では直径差が大きければ大きいほど掘削土量の減量、セグメントの小型化が図れコストの低減につながると思われる。また環境という側面からも産業廃棄物の減少、地域環境への影響の減少に貢献できる。今回の増径は４００mmであったが、さらに直径差のあるシールド機を転用によって改造するこの検証、また改造を簡略化したくさんの工事でこの工法の採用の推進が今後の課題であろう。

38. シールド機テール部の止水機構

鹿島建設㈱： 永森　邦博，五十嵐　寛昌
*猪又　勝美

1．はじめに

近年のシールド工事においては、都市部の過密化の進展に伴う地中構造物の輻輳化、立坑用地の確保難、河川・海域等の横断による長距離化とならんで大深度化する傾向にあり、これらの課題に対応したシールド工法のニーズが高まっている。それらのうち、高水圧下での長距離掘進対応技術としてのテールシールについては、現在はワイヤーブラシ式テールシールに高粘性グリスを充填したものが主流である。しかし、急曲線部でのシールの反転、シール部またはテールシール間への裏込注入材等の侵入・固結によるテールシールの損傷等が発生する工事例が多く、シールド工事の大深度化・長距離化を図る上では、テールシール部の耐久性向上が大きな課題となっている。

今回、新たにワイヤーブラシを発砲ウレタンで包み込むことにより、裏込注入材がブラシに侵入することを防ぐと共に、耐久性・止水性を大幅に向上させることができる高耐久性新型テールシールを開発した。また、グリスに代わり、油を使用しないエコフレンドリーな成分と優れた流動性を持つ充填材も合わせて開発した。本報では、この新タイプのテールシールと充填材を現場に適用し、シールド機の止水システムを再構築したので、その概要と結果について報告する。

2．高耐久性新型テールシール

(1)開発の背景

1）テールシールの種類

テールシールは、現在、ワイヤーブラシ式に繊維を混入させたグリスを注入する方法が多用されている。（表－1参照）

近年、シールド工事の大深度化・長距離化から、テールシールの材質・形状等の改良・工夫が行われ、実工事への適用が図られるようになった。

表－1 テールシールの種類と変遷過程

年　代	シールド傾向	テールシールの種類と想定性能
1965		布、綿等の随時補給による止水
1970		ｺﾞﾑｼｰﾙ(平形、リップ形、中空形)
1975	掘進距離増加	ゴム＋ワイヤーブラシ併用
1980		ワイヤーブラシ方式
1985	急曲線高水圧	〃　繊維入りｸﾞﾘｽ、給脂ｼｽﾃﾑ導入
1990	長距離対応	〃　ブラシ耐久性向上 ［掘進距離；2～2．5 km］
1995	超長距離対応	〃　強化型 ［掘進距離；5～6 km］

※マシンメーカー（コマツ）技術資料を一部修正

2）従来型ワイヤーブラシ式テールシールの問題点

これまでの工事の実績から、従来型ワイヤーブラシ式テールシール（以下、従来型テールシールという）の損傷過程を推定すると次のとおりである。

①急曲線または過度なマシン操作によるテールクリアランスの偏り

②シールド機の後退（以下パッキングという）によるテールシールの反転または裏込注入材の流入
③テールブラシおよび外側保護板取り付け部への裏込注入材固結
④テールプレートとセグメントの競りによる押し付け・せん断による固結テールシールの塑性変形
⑤内外保護板の脱落、ブラシの脱落

従来型テールシールで上記の損傷の発生を防ぐためにはグリスを発進前・掘進中に綿密に注入すること、テールクリアランスを綿密に管理して掘進することが必要であるが、既往の施工条件を超えた高水圧・長距離施工に対しては、従来型テールシールでは耐水圧性・長距離耐久性の面で懸念があり、テールシール自体の高耐久化が望まれる。

3）新型テールシールの開発コンセプト

高耐久性の新型テールシールとして、前記の従来型テールシールの損傷要因としての裏込注入材の侵入固結の防止対策を主目的に、ワイヤーブラシの素線間をグリスに代わって安定した材料で充填固結させた構造とする。ブラシ素線間の充填材の選定に当たっては、次の条件を考慮した。

①圧縮により体積が減少すること（圧縮時に圧縮と直角方向に膨張しないこと）
②セグメントへ過度の押しつけ力を与えないこと
③常温で注入・成形できること
④泥水や裏込注入材・油等に対して、安定であること
⑤不燃性であること

として、ゴム状弾性高分子の一種である発泡ポリウレタンを選定した。

（2）テールシール要素試験

新型テールシールの基本性能を把握するために、１ピース幅(10cm)又は３ピース幅(30cm)の供試体を作成して要素試験を行い、従来型テールシールとの性能比較を行った。

1）試験項目

要素試験の試験項目は、表－２に示すとおりである。

ここで、セグメントへの反力は、大きすぎるとセグメントにクラックや欠けが生じることが懸念されるため、外径４ｍ程度のＲＣセグメントを対象に３次元ＦＥＭによる応力解析で照査し、新型テールシールの管理値として、要素試験における反力を3kN／ピース以下に設定した。

2）試験結果

セグメントへの反力は、新型・従来型ともに、クリアランスが大きい時に小さく、クリアランスが小さくなると急激に大きくなる傾向があり、新型は従来型に比べて、反力が大きくより高い止水性を確保できることがわかった。なお、新型の反力は上述のように設定した管理値内に収まっており、セグメントへの影響は問題ない値である。表－２に併記したとおり、新型テールシールは従来型に比べて、基本性能が優れていることがわかった。

表－２　要素試験の試験項目と結果

試験項目	試　験　結　果	
	新型テールシール	従来型テールシール
止水性	ｸﾘｱﾗﾝｽ 50mm、 泥水圧 0.92MPa で漏水無し	ｸﾘｱﾗﾝｽ 50mm、 泥水圧 0.29MPa で漏水多し
セグメントへの反力	ｸﾘｱﾗﾝｽ　10mm で 1570N ｸﾘｱﾗﾝｽ 100mm で　100N	ｸﾘｱﾗﾝｽ　10mm で 590N ｸﾘｱﾗﾝｽ 100mm で　10N
耐パッキング性	パッキングによる ワイヤーの捲れ無し	パッキングによる ワイヤーの捲れ有り
耐摩耗性	摺動距離 2.5km で 重量 0.03%減少	摺動距離 2.5km で 重量 0.13%減少
耐アルカリ性	6ヶ月経過後、外観及び 反力に変化無し	実施せず

(3)テールシール大型円筒模型実験

実験装置の製作に当たり、テールシールおよびクリアランスについては外径４～５m程度の実機に用いられている標準的なものを実寸で採用し、実験装置の径は約２m(約 1/2)に縮小した。

1）実験装置

実験装置は、図－１に示す２重円筒形状になっており、外管がシールドテール部、内管がセグメントに相当する。テールルシールは３段設置し、最終段(３段目)のテールールシールの後方から液体圧(水・泥水・裏込注入材などによる、今回の実験では泥水圧を使用：以下、地山圧と称する）を作用させる構造とした。

図―１　実験装置模式図

また、内管は油圧ジャッキにより、軸方向に摺動できるようにしてあり、シールド掘進時のテールシールとセグメントの相対移動を再現できる。内管には、直線施工時のクリアランスの偏りを再現するための平行偏心管と曲線施工時のクリアランスの偏りを再現するための斜め偏心管の２種類があり、それぞれセグメントの面取り(円周方向に深さ 9mm の溝を設置)およびピース間目違い(軸方向に厚さ 4.5mm のフラットバーを設置)を模擬した。テールシールは、１・２段目が長さ 200mm、３段目が長さ 250mm である。外管のテールシール間及びテールボイド部には、圧力計（３ヶ所）ならびにグリス給脂孔(円周方向４ヶ所)等を設置している。

表－３　大型模型実験ケース

テールシールの種　類	内　管　種　類	
	平行偏心管	斜め偏心管
新　型（グリス有）	ケース１	ケース３
従来型（グリス有）	ケース２	ケース４

2）実験ケースならびに実験方法

実験ケースは、表－３に示す４ケースである。今回の実験におけるクリアランスは、

平行偏心の場合：最小6mm最大44mm、斜め偏心の場合：摺動開始時25mm均等、摺動終了時最少3mm最大47mmである。１つの実験ケースは、一連の６種類の実験条件からなり、その方法は表－４に示すとおりである。

表－４　実験方法

実験１	静止状態で、地山圧0.5MPaを作用させ、保持する。漏水が多い場合にはグリス供給量を増加させる。
実験２	上記実験１と同様に、地山圧1.0MPaを作用させる。
実験３	地山圧を解放し、再度地山圧0.5MPaを作用させ、保持する。内管を30 mm/分の速度で約1000mm正摺動させる。この間、グリスを連続給脂する。
実験４	地山圧を解放し、内管を逆方向に摺動させる。
実験５	地山圧1.0MPaにし、実験３と同様に正摺動させる。
実験６	地山圧を解放した後、再度地山圧0.5MPaを作用させ実験４と同様にバッキング摺動させる。

３）実験結果

(a)漏水量

漏水量の測定結果を、図－２に示す。この図から、地山圧0.5MPaの場合には、新型と従来型とを比較すると漏水量に大きな差はないが、地山圧1.0MPaの場合には、新型の方が漏水量が少なくなっていることがわかる。この傾向は平行偏心・斜め偏心のいずれの場合にも同じといえる。また、地山圧1.0MPaの場合において静止時よりも摺動実験時の方が漏水量が少なくなっている。この原因は明確にはわからないが、実験の順番が静止0.5MPa⇒静止1.0MPa⇒摺動0.5MPa⇒バッキング0 MPa⇒摺動1.0MPa⇒バッキング0.5MPaであり、この間連続的にグリスを供給しているため、静止時にはグリスが流入し難い箇所に、摺動によってグリスがいきわたり止水領域が形成され、止水性が向上したものと考えることができる。

図―２　漏水量測定結果

(b)バッキング摺動によるシール反転

実験６（地山圧0.5MPaでバッキング）において、従来型テールシールは、200～300mm程度バッキングさせた時点で、クリアランスが最大の位置で１段目シールが反転した。新型テールシールの場合は、反転は生じなかった。

(4)実験まとめ

新型テールシールはワイヤーブラシと発泡ウレタンとの複合構造であるため、シール１段当たりの止水性能に優れている。一方、従来型テールシールは、ワイヤーブラシとその中に充填されたグリスが一

体になって圧力に抵抗するため、グリスの十分な供給が必要である。地山圧 0.5MPa 程度の場合には、従来型シールでもある程度の止水性を確保することが可能であるが、地山圧 1.0MPa になると、従来型テールシールに比べ新型テールシールの方が格段に止水性能に優れている。また、バッキングに対しても、新型テールシールはウレタンにより円周方向に連続体となっているため、従来型に比べて優れているといえる。

なお、新型テールシールの開発は、東京電力㈱殿と共同で行ったものである。

3．テールシール充填材注入システム

(1)新タイプの充填材の特徴

テールシール充填材（以下充填材という）は、シール部またはテールシール間に充填して機内への漏水を防止している。現在多用されている充填材は、油脂系のグリスを主成分としたものである。油脂系のグリスのように高粘性で経時変化（固化しない）が少ないものが十分に充填されていれば止水性に問題はないが、充填性が悪いと裏込注入材等の侵入・固結からテールシールの損傷等が発生することがある。また、油脂系のグリスは、火気による事故の可能性がある他、衣類・足場などに付着すると、なかなか落ちにくい特性がある。

新タイプの充填材は、ノンオイルで、しかも、油脂系の長所である高粘性で付着力があるという特性は生かしつつ、ポンプ圧送時の圧力損失を低減でき、充填性に富むような材料として開発した。

主な特徴を下記に示す。

①油脂類が含まれていないので、火気による事故防止になる。

②注入中はポンプ圧送時に受ける圧力と流体移動に伴う練り返し効果により、低粘度で流動性に富み、注入後は高粘性になり止水効果を発揮する。

図―3　油脂系と新タイプの圧力損失比較（配管１５Ａ）

③衣類等に付着しても水で洗い落とせる。作業足場に付着しても水洗いすることにより容易に除去できるので、滑って転倒することも防止できる。

④ポンプ圧送時の圧力損失を低減できるので、圧送可能距離が延長する他、集中配管による注入が可能になる。

⑤油脂系よりコストダウンすることができる。

⑥掘進速度に合わせた、連続注入が容易になり、自動注入システム化が行える。

(2)新タイプの充填材の仕様

①種　　類：ハンドリングに合わせ、初期充填用と補給用があり、補給用は一般用と高粘性の２種類を開発した。

②成　　分：珪酸塩鉱物を主成分とし、材料の安定性と粘結強化を図るためのポリマー、目詰め効果のあるファイバーが含まれていている。

③比　　重：1.07～1.14

④燃　焼　性：難燃性（自己消火性）。消防法に示す危険物ではない。

⑤環境安全性：毒物および劇物取締法に該当する物質は含まれていない。

(3)連続注入システムの開発

連続注入システムは、シールド掘進中に消費される充填材に見合う量を常時供給するためのシステムである。これまでは、吐出圧を優先して注入ポンプ選定をしていたため、必要供給量に対してポンプの吐出量能力が大きいことが多く、掘進開始後、必要量注入すると途中で供給しない間欠注入で対応してきた。このため、テールクリアランスが変化し注入が必要な時などに供給ができていないことも想定された。これに対して、連続注入システムは、総注入量はいままでと同じで常時充填材を供給することが可能で、シールド機内注入用電動バルブを自動で切り替え注入口１ヶ所毎から供給する。充填材は、新タイプでも油脂系のどちらでも本システムで容易に管理ができるが、連続注入には、単価が安く、圧力損失が小さい新タイプの方が適している。

本システムは、エアー式ポンプのピストン回数を磁気センサーで感知して所定量に見合う量を制御することができる。また、シールド掘進信号と裏込注入信号から、自動演算して供給することも可能である。

4．あとがき

新型テールシールはワイヤーブラシと発泡ウレタンとの複合構造であるため、従来型シールに比べ単体としての止水性能に優れ、さらに長期的な耐久性も優れているといえる。また、新タイプのテールシール材を連続注入することにより、曲線または過度のシールド機方向操作によるテールクリアランスの偏りが生じた場合にも、充填材の補充が可能となり、裏込注入材や地下水の侵入を防止することで、テールシールの耐久性・止水性を格段と向上することができる。現在、これらのテールシール止水機構を現場で適用し、良好な結果が得られている。

39. 岩盤トレンチャによる溝掘削工法

㈱熊谷組：*北原　成郎，垣内　幸雄
益田　光雄

1．はじめに

従来、道路トンネル工事等における中央排水管敷設のための掘削作業は、発破工法やブレーカを併用したバックホウによる機械掘削工法で行われていた。その中で一般に硬岩質の地山では、発破工法が採用されているが、発破時の騒音・振動や坑内作業への影響、覆工コンクリートを傷める危険性などの問題点があった。また、ブレーカによる破砕掘削では、著しく施工能率が低下し、激しい振動の中での長時間の作業など運転者への負担も大きい。このため発破工法やブレーカ工法にかわる新しい掘削工法が強く求められてきた。一方これまでトレンチャは、海外で土砂や軟岩での溝掘削向けに発展しており、連続掘削による工期短縮や作業者負担の軽減、余掘りの低減などの優れた特徴を持っているが、山岳トンネルのように地中深部の硬い岩盤へ対応については検証されていなかった。

そこで、国内で初めて山岳トンネル中央排水工施工に本格的に採用するため、大型トレンチャに、ブーム位置の変更やクローラ幅の拡大などの硬岩掘削に対応した改良を施し、硬岩が出現する現場へ導入した。その結果、導入後約１年で８０００m以上の中央排水工を掘削したのでここに報告する。（写真－１ 岩盤トレンチャ）

写真－１ 岩盤トレンチャ

2．導入のねらい

当初、トレンチャについては、大断面トンネルでの急速施工に対応するため、下半切削専用機械としての可能性を検証することをねらいとして、山岳トンネル工事への導入を検討していたが、さらに以下の項目について検証するため、中央排水工の施工への導入を決定した。

①硬岩掘削への対応

ブレーカでは掘削が難しい１００N/mm²以上の硬岩への対応がどの程度可能であるか確認する。

②連続掘削方式の検証（工期短縮のメリット）

バックホウなどの代表的施工機械の動作は、掘削・移動・積込みと各動作が分断さる。掘削効率を上げるにはには、連続性のある掘削機械が理想であり、その合理性の確認を図る。

（図－１ 従来工法との比較）

中央排水工は、工事車両の通行遮断のため、トンネル工事の最終工程となる場合が多く、工期を短縮できるメリットは大きい。そのため、硬岩への対応能力を調査しながら、最も効果的な中央排水工への導入を行った。

図－１ 従来工法との比較

3．機械仕様

トレンチャは、カッタービットを規則的に配列したチェーンカッタを回転させるカッタープームを車体後部に取り付け、カッタの回転で岩盤を掘削する。これはアップカット方式と呼ばれ、クローラとチェーンカッターを逆方向に回転させて掘削する方式で、トレンチャの掘削の反力と車体重量をうまくバランスさせ、クローラの牽引力を十分に掘削に利用した合理的な掘削機構である。

車体の移動はクローラで行い、プームの負荷に応じて移動速度を変化させる。チェーンカッタを高速で回転させることで地山を必要以上にいためることなく幅広い地質の岩盤に対応して掘削することがで

きる。さらに掘削したズリはそのままベルトコンベアへと運ばれ、ダンプトラックへ積み込まれるか、または車体の側部へ排出する。

（図－2　施工概要図、表－1　機械仕様）

図－2　施工概要図

表－1 岩盤トレンチャ 機械仕様

項目	仕様
型　式	マステンブルク社　３０２５
総重量	42,000 kg
エンジン出力	246 kw
外形寸法（H×W×L）	3.0m×2.95(4.32)m×16.6m
掘削幅	0.65m（0.95）m
掘削深さ	地表面から 1.3m（1.8m,2.8m）
チェーンカッタ周速度	0～3.5　m/sec

4．主な特徴

トレンチャによる施工上の主な特徴を述べる。

・大型チェーンカッタで岩盤を連続切削することで、掘削・排土・積込作業をトレンチャ１台で行う。

・ビットによる機械掘削により、周囲の地山を傷めない。掘削した断面形状は整った矩形であるため、余掘りが少なく、埋め戻し材の無駄がなく、配管工事等の後工程も容易になる。

（写真－2　掘削形状）

写真－2　掘削形状

・硬岩から礫、土砂まで適用範囲が広く、ｺﾝｸﾘｰﾄやｱｽﾌｧﾙﾄ舗装の上からでも掘削可能である。

・レーザーレベル等により深さ、掘削方向の管理が容易にできる。

・掘削能率はブレーカ工法と比較すると機械の動作に無駄がなく、工期は大幅短縮が可能である。

・発破工法と比較して、騒音、振動が少なく、近接する他の構造物等への影響が少ない。

5．現場施工

トレンチャの実績はいずれもトンネルの中央排水工に導入したものである。中央排水工の掘削断面例を示す（図－6参照）。トレンチャの掘削は、以下の施工手順で行う。施工は不定期の休止時間（作業状

況により間隔を変更する）を入れ連続掘削し、掘削土の排土方法は現場条件により、機械本体横へ排出するか、前方のダンプトラックへ積み込む。施工手順を以下に示す。

① 方向及び深さ管理のためのレーザーレベルを掘削作業前に、走路に平行に設置する。

② 方向管理用レザーを元にトレンチャーを規定の位置にセットする。

③ 掘削は岩の硬さなどにより速度を変化させながら行い、同時に掘削土砂をトレンチャーの横に排出、またはダンプトラックへ積み込む。

④ 規定の区間が終了したら、出来形の検査および機械の点検を行う。

図－6 掘削断面例

実績として中硬岩質のBトンネルでの支保パターン別の掘削速度を示す。（図－8 Bトンネルでのパターン別 掘削速度）このトンネルは、延長約2.3ｋｍの中、2.2ｋｍの中央排水工をトレンチャで掘削した。安山岩の一部（一軸圧縮強度約１５０N/mm²）で極端に掘削速度が遅くなる区間（約１０ｍ）を除き、全体では平均約１４ｍ／ｈで掘削を完了した。平均値が低めに表示されるのは、ダンプトラックの入れ替え時間等の影響が現れるためと思われる。

（写真－4 トレンチャ坑内掘削状況）

粉塵対策についてはCトンネルにおいて集塵機を設置、実験しておりその効果を確認している。

写真－4 トレンチャ坑内掘削状況

次に施工トンネルの実績を示す。平成９年１１月の導水路トンネルへの本格的導入以来、これまでに施工延長は約８０００ｍとなった。（表－２ 施工実績表 ）

表－２ 施工実績表

No.	トンネル名	用途	岩種	掘削延長
1	A	導水路	凝灰角礫岩他	264m
2	B	道路	緑色頁岩 他	2899m
3	C	道路	安山岩、凝灰岩、砂岩他	3192m
4	D	道路	砂岩、泥岩	2345m

図―４ Ｂトンネルでのパターン別 掘削速度

６．導入効果

発破工法およびブレーカによる従来工法での施工と比較すると、掘削工程は大幅に短縮できた。また、掘削後の形状の正確さから、後工程の工期短縮にも大きな成果を得られた。

後工程については、これまでの工法と単純に比較はできないが、作業性は大幅に向上している。例えばこれまではバックホウで埋め戻し材を溝に投入していたが、Ｃトンネルでは、ダンプトラックを改造し溝の幅へフィルター材を均一に投入することで、１日１００ｍ以上の施工が可能になった。（写真－４ Ｃトンネルでの埋め戻し材投入状況）

写真－４ Ｃトンネルでの埋め戻し材投入状況

Aトンネルでは中央排水工の余掘量についてはトレンチャの場合では、１０～２０％程度に収まっている。溝の断面は整った矩形であるため、インバートなどの埋め戻し区間で壁面が崩れる場合以外は余掘り量は大変少ない。掘削ズリを路盤材等に流用する場合には、ダンプトラックは必要なく、さらに施工の合理化になる。その場合ダンプトラックの誘導員が必要ないため、施工はトレンチャの運転者と機械の誘導員の２名で掘削が可能である。

7．今後の課題

実績から一軸圧縮強度が７０N/mm²以下であれば、安定した掘削速度を得られるが、反面、課題もある。以下にその問題点を示す。これらは、現場でのデータを生かし、今後システムの改良により改善していきたい。

1．岩質によって、多量の粉塵が発生する。このため、他の作業に影響が出る場合がある。

2．地山によって、掘削速度が大きく変化するため、掘削速度の推定が難しい。

3．硬岩掘削時には、騒音が大きくなる。(直近で１００～１１０ｄＢ程度まで観測)

4．ビットの消費量は、変動が大きく予測が難しい。

5．他の工種との関連などで工期短縮にならない現場では、コストが割高になるため使いにくい。

6．ダンプトラックを利用する場合は、掘削速度が速いため機械を休止しない搬出を検討する必要がある。

7．ビットでは破砕できない程度の強度の転石がある場合、効率が著しく低下する。

8．まとめ

これまでの実施工の結果では、施工速度の大幅な向上により、中央排水工の工期短縮に大きく貢献することが判明した。また騒音などトンネル工事特有の問題や岩種にもよるがトレンチャの硬岩（135N/mm²以下）への適用は可能であった。連続掘削による施工合理化や余掘り低減などの効果と合わせて、その掘削能力の高さからトンネル工事に限らず、岩盤トレンチャの溝掘削への適用は今後の土木工事の合理化施工技術の一端を支える可能性を持つ。これまで述べた問題点も現場での工夫により、解消するものと思われる。その適用性の広さと合理性により、硬岩掘削の一つの可能性を拡大すると思われる。

《参考文献》

1）ジェオフロンテ研究会 ；下半切削に関する報告書 １９９８年１１月３０日

2）Towards the prediction of rock excavation machine performance. Bulletin of engineering Geology and the Environment Volume57 Number1 ·June 1998:3-15

3）垣内，北原：「山岳トンネルにおける岩盤トレンチャ溝掘削工法」：建設の機械化 '99,6

40. 同時裏込め注入冷却システム

佐藤工業㈱：芝草　正彦，*工　　義央
㈱立花マテリアル：藤本　勇一

1.はじめに

現在、シールド工事では、シールドテール部の地山を早期に安定させるために、同時裏込め注入設備の使用が増加している。年々改良が加えられている同時注入管だが、現在多く使用されている可塑状裏込め材は、短時間に固まる特性があり、注入管内で固化、閉塞し注入が不可能になるトラブルがしばしば発生する。現在、完全な解消法はなく、閉塞の防止策として、シールド掘進の１リング毎に注入管内を清水で洗浄して注入材を排出している。その結果、シールド施工中は多数回の洗浄排出を必要とし、作業工数が多く、同時裏込め注入の作業が繁雑となる。また、洗浄には大量の洗浄水を要し、その排水はトンネル坑内に流れ込むために、排水処理および坑内清掃の困難性とコスト増大を招いている。同時裏込め注入冷却システムは、注入材の温度を低温に保つことにより強度発現速度や注入管への付着力を抑制し、洗浄排出作業の削減や注入管の閉塞を防止するために開発されたシステムである。

本報告では、今回開発された同時裏込め注入冷却システム及び現場での適用について述べる。

2.システム概要

２－１　システムの構成

同時裏込め注入冷却システムは、同時裏込め注入管と裏込め注入プラントおよび冷却装置から構成される。図１に、本システム構成を示す。

２－１－１　同時裏込め注入管

開発した同時裏込め注入管は基本的に従来と同様に注入と洗浄機能を持つが、注入管を２重構造とした。注入管は、内管に注入材、内管と外管の間に冷媒（以下：ブライン）が通過できる構造で、注入材の温度を測定するセンサを装備している。このセンサにより、同時裏込め注入作業を停止している間、管内の注入材を一定の冷温に保つようにブラインの流れを制御している。同時裏込め注入管を図２に示す。

２－１－２　冷却装置

冷却装置は、同時裏込め注入管２本を同時に冷却できる程度の能力を持っており、ブラインタンクと、ブライン循環ポンプおよびブライン液を冷却する冷却ユニット等から構成される。表１に冷却装置の仕様を示す。

２－２　システムの特徴

（１）　注入材の温度を０℃程度に冷却制御することにより、強度発現速度を低下させ、６～８時間程度、同時裏込め注入管の閉塞を防止することができる。
従来行なっている１リング毎の注入管の洗浄回数・洗浄水・廃棄注入材等が大幅に減少し省力化・コスト低減を

図１　同時注入冷却システムの構成

図２　同時裏込め注入管及び断面図

表１　冷却装置の仕様

項　目	仕　様
寸法	W1000 × D2000 × H1420 (mm)
温度制御範囲	-10℃～50℃
冷却ユニット能力	4800W（5600kcal/h）
ブラインタンク容量	100l
ブライン循環ポンプ吐出量	100l/min
電動ボールバルブ	32A
温度センサ	シース形熱電対

※寸法・冷却ﾕﾆｯﾄ能力はφ6.44 ｼｰﾙﾄﾞにおけるものである

図ることができる。

（２）　注入管の洗浄排水処理に伴う産業廃棄物が従来の５％と大幅に低減できる。

（３）　冷却装置はコンパクトなユニットでシールド後続台車に容易に搭載でき、転用が可能である。

（４）　注入管内で注入材が閉塞した場合、注入管内の注入材を凍結したのち解凍することにより、閉塞・固化した注入材を回収することができる。

図３ 工事平面図

3.現場での適用

３－１ 工事概要

本工事は、名古屋市の高速度鉄道第４号線大曽根～名古屋大学間の内、名古屋大学駅を発進立坑として、本山駅に向かって（２番線）掘進し到達後、反転Uターンして再度名古屋大学に向かって（１番線）再掘進する単線断面併設トンネル工事である。(図３参照)

（１）工事件名：高速度鉄道第４号線四谷通工区土木工事

（２）発 注 者：名古屋市交通局

（３）工事場所：名古屋市千種区四谷通一丁目１６番

（４）工　　期：H09.01.09～H12.02.08

（５）施 工 者：佐藤･青木･村本特別共同企業体

（６）工事内容

１） シールド工事：土圧式（気泡式）掘削径Φ6,440mm

２） 掘 削 延 長 ：１番線 L＝802.5m
２番線 L＝742.5m

（７）地質概要

シールド掘進部の土質は第三紀の矢田川累層であり、砂質土・砂礫（Ps 層）および粘性土（Pc 層）の互層である。色調は単灰色を呈し、N 値は 7～50 以上、透水係数は 1.4×10^{-2}cm/sec～1.0×10^{-6}cm/sec である。

３－２ 施工方法

本システムを適用するため、冷却装置はシールドマシン後続台車に搭載し、シールドマシンの掘削に伴う裏込め注入に連動して作動する様に自動制御で行った。また、今回の 2 番線の適用に当っては、実施工への初適用であることを考慮し、片番終了時には洗浄を実施することで運用した。冷却装置の後続台車間位置を図４に、写真１には搭載された冷却装置を示す。

また、本システムの施工手順を図５のフローによって示す。

３－３ 施工実績

当現場では、残土搬出をズリ鋼車（3 両編成×3 バッテリー）で実施している。このため、１リング掘進中にも、鋼車（バッテリー）入替時に掘進停止が必要となる。したがって、従来の同時注入方式ではリング間の掘進停止に加えて、鋼車入替時の掘進停止に対しても、注入管の洗浄作業が必要となる。これに対して、本システムを適用することにより、注入管洗浄作業の削減を図ったものである。図６は、２月３日の片番での同時注入管内の注入材温度、ブライン温度、坑内環境温度を時系列的にグラフ化し、注入材の注入圧を合わせてプロットしたものである。尚、データのサンプリング間隔は、温度計測が 10 秒毎、注入圧は 3 秒毎である。次に、冷却システム稼動時における裏込め注入圧と流量について着目し、片番でのリング毎の注入開始３０秒間における注入圧と流量の関係を図７に、また、２番線掘進到達後に

図４　冷却装置搭載位置

写真１　冷却装置（後続台車）

図５　冷却システム施工フロー

図6　裏込め温度管理グラフ（2月3日）

A. 2月3日　片番（昼勤）

B. 2月4日　片番（昼勤）

図7　裏込め注入圧―流量分布

同時裏込め注入管内の状況をカメラで撮影を行なった時の映像を写真2に示す。

管理グラフから、裏込め停止後の同時注入管内の注入材温度は 0℃～2℃の範囲で確実に保冷されていることがわかる。片番終了時の洗浄作業前に実施した閉塞予防のための、凍結→解凍→排出作業においても管理グラフから、凍結時の温度は設定とした−4℃以下で凍結され、解凍後は坑内環境温度まで戻った後排出されている。

写真2　同時裏込め注入管内

次にリング間に着目し、冷却後の再注入圧について見ると、管内が洗浄状態（前回の作業終了後に洗浄）にある掘進作業開始時１R 目の初期注入圧はほとんど無負荷であり、これは図７の初期注入圧（30 秒間）のグラフＡからみても確認できる。図６において２R 目以降（約３０分の冷却保持後）の初期注入圧についても極端な圧力上昇や差異は見られない。ただし、図７のグラフ A の最終リング５R 目では、わずかに注入開始 30 秒間の注入圧が他より高くなっていることが確認できるが、先に述べた閉塞予防のための、凍結→解凍→排出作業を行なうことによって５R 目の圧高が回避されたことが図７のグラフＢによって確認できる。

2 番線到達後に同時裏込め注入管内をカメラで撮影した結果、管内には注入材の付着がほとんどないこと確認した。

4.おわりに

今回、本システムの実施工への適用は初めてであったが、以下のような結果を得ることが出来た。

（1）　裏込め停止中の同時注入管内における注入材の温度は、0℃～2℃の範囲で確実に制御できることを確認した。

（2）　リング間に冷却をしてもリングを重ねるにつれ、多少の圧高を生じる可能性はあるが、本システムの機能（凍結→解凍）を使用することにより解消できることが確認できた。

（3）　本システムの適用による洗浄の省略で、排水処理費の低減、作業工程の簡素化および材料ロスを低減することができた。

以上より、本システムの有効性を確認することができた。

今後の課題としては、

① 現在掘進中の１番線における成果の検証。

② 片番終了後の洗浄を止めても注入管の閉塞は回避できるか。

上記の結果については機会をみて報告したいと思う。

41. 支障物撤去シールド工法の開発

㈱熊谷組：*直塚　一博，木戸　義和

1．はじめに

近年、シールド工法により構造物を構築する場合、既設構造物やその基礎が支障物としてシールド計画路線上に出現し、掘進の障害となるケースが増大しています。密閉型シールドで、切羽前方に支障物が出現する場合の対策方法としては、

(1)地上から撤去　(2)切羽安定対策を施し、切羽より撤去　(3)開削工法への変更　(4)中間立坑で開放型シールドに改造等の方法が行われています。しかし、これらの方法では、地上占有が確保できない場合や、作業の安全性や施工性の問題及び工期または経済性等に課題が残されています。

本工法は、シールドマシンで支障物を切断、撤去できこれらの課題を解決することを目的として開発を行いました。ここで、支障物撤去シールドを採用するにあたりその目的となる支障物の種類として以下のものがあげられます。

① 軟弱な埋立地に埋設されているドレーン材等の地盤改良材（ドレーン材）のような軟材

② 昔の護岸工事等の際に橋脚等の一部として使用されていた木杭等

③ H型鋼、鋼管柱、鋼矢板等の鋼材

このように大きく分類すると上記①～③に分けられますが、これら支障物の種類に応じて本文では、3種類の支障物撤去シールド工法を紹介します。

まず、上記①、②に対応可能なブレードカッター方式による支障物撤去シールド工法、上記②、③に対応可能な鼓型カッターによる支障物撤去シールド工法及び前面スライド式支障物撤去シールド工法に分類して順次紹介します。

2．ブレードカッター方式による支障物撤去シールド工法

（1）　ドレーン材対応型シールド工法の必要性

過去に地盤改良材（ペーパードレーン、パックドレーン等）が施工されいる埋立地盤で現在は滑走路等供用されている直下にトンネルを構築する場合、掘進と共にドレーン材をそのまま引きちぎると地中の土とともにドレーン材が引き込まれ大きな地表面沈下を誘発する懸念がありました。そこで、今回ドレーン材切断用の特殊装置をあらかじめシールド機に装備することで解決を図りました。

図－1 ドレーン材切断装置付シールド機

（2）　工事概要

工事件名：東京国際空港鉄道トンネル築造工事(その 2-1,2)

発 注 者：運輸省第二港湾建設局

工事場所：東京都大田区羽田空港内

工　　期：平成６年７月～平成 10 年３月

(シールド工事の内容)

シールド機械：ドレーン材切断装置付泥水式シールド　外径φ7,150mm

ｼｰﾙﾄﾞ掘削延長：1,446m

最小曲率半径：R＝500m

最大縦断勾配：I＝25/1000

土　被　り：8.5m～16.2m

セグメント：RC 平板型セグメント（幅 1,200mm、桁高 350mm）

図－2 ドレーン材出現箇所

（3）　ドレーン材切断装置の開発

図－3 シールド機

① ブレードの形状

本工事にて採用したブレードの形状を図－４に示します。ブレードカッターは、チップを針状形状のものを埋め込む方法とし、材質は高度の高いものを使用して母材

図－4 ブレードカッター

の背面摩擦を防止するため、硬化肉盛も施しました。

（3） 掘進状況

通常の地山掘削とドレーン材部の掘進状況の違いを表－1に示します。

表－1 通常地山部とドレーン材部の掘進状況

	通常地山部	ドレーン材部
日進量	10 Ring/day	8 Ring/min
掘進速度	25～30 mm/min	20～25 mm/min
地盤変状	-10～+10 mm	-10～+10 mm

施工の結果、推力、カッタートルクなどのシールド機の負荷に関しても通常地山部、ドレーン材部の掘進の違いは確認できませんでした。これらは、ブレードカッターがドレーン材を良好に切断したためにシールド機に負荷がかからなかったものと考えられます。なお、摩耗許容量となる稼働時間は実験により 280 時間となっており、今回の工事においては全稼働時間は約 500 時間であったので、途中1回ブレードカッターの交換を行い、計4枚（2枚×2組）使用しました。

表－2 ブレードカッター稼働条件

ブレードカッター回転数	500 rpm
平均ジャッキスピード	22 mm/min
シールドカッター回転数	0.8 rpm

3．鼓型カッター装置による支障物撤去シールド工法

鼓型カッターを用いた支障物撤去シールド工法は、支障物切断用の鼓型形状のカッター1対（2基）と支障物切断時及び回収時に支障物を把持するための把持ハンド2対（2基×2対＝4基）からなる切断・把持装置を面板部に装備した構造を有しています。支障物の切断は、この超硬チップを埋め込んだ鼓型カッター部を高速回転することによって行います。なお、カッターを鼓型としたのは、支障物切断時において支障物をつつみこむ構造とすることで支障物を安定させ効率の良い切断を行うことを目的としています。また、隔壁後部には支障物回収装置を装備し、切断後の回収ができるシステムを有しています。

図－6に鼓型カッター方式による切断装置図を示します。

図－5 鼓型カッター方式による撤去概念図

図－6 鼓型カッター方式による切断装置

（1） 支障物の切断、撤去、回収手順

①支障物探査

探査装置で前方の支障物を探査（電磁波による粗位置及びロッドによる精密位置探査）します。

②1ピース切断手順

チャンバー内に格納された支障物切断装置を切羽側におこし支障物を把持ハンドにてつかみ、鼓型カッターを高速回転させて切断を行います。上部切断終了後、把持ハンドを外し、切断装置をチャンバー内に格納した後、180度面板回転方向に回転させます。再び切断装置を切羽側に起こして1ピース下部の切断を行います。

③格納

支障物を把持したまま本装置を90度チャンバー内に倒すことで装置全体をチャンバー内に倒すことで装置全体をチャンバー内に格納し、スライドゲート位置まで面板を回転させます。

④回収

支障物を把持した状態で、切断装置を上下にスライドさせることで回収ホール前方のスライドゲート前面までもってきます。本状態で回収装置のアームを伸ばし支障物を切断・把持装置から受けとります。次に回収装置のアームを縮め回収ホール内に支障物を取り込み、回収ホール内のリフターを上げコンベア上に支障物を落とします。

この工程の繰り返しにより順次、支障物を切断・回収し、支障物がある程度貯留した後、スライドゲートを閉じ密閉状態として回収ホール内の泥水を抜いた後に後方ゲートから支障物を取り出します。

切断開始

図－7 切断開始状況

図－8 回収ホール支障物貯留状況図

図－9 フライス型カッターによる最外周切削図

⑤最外周部支障物の切削による撤去

最外周部に残った支障物は、面板に複数装備のフライス型カッターで削り、ルート上の全ての支障物を取り除きます。なお、本シールドは鼓型カッターの機内交換システムを有しています。

4．前面スライド式切削装置による支障物撤去シールド工法

（1） シールド機構造

本シールド工法は、カッターフェイスに前後スライド式のジャッキを内蔵する切削装置（切削装置には機械加工用の超硬チップを埋め込んだビットを複数装備）を面板の一部に採用している点に特徴を有しています。下図－10 で示す中心部楕円形状の前面スライド式中心部切削装置及び左右に装備されている扇形形状の中外部切削装置も各々２本のジャッキを内蔵しており、支障物遭遇時に隔壁を反力としてこれらのスライドジャッキを前面に伸ばして、支障物に密着させ面板の回転でもって支障物の切削を行います。

図－10　前面スライド式支障物撤去シールド全体構造図

（2） シールド機の特長

２つの扇形状の前面スライド式中外部切削装置は、各々左と右回転用に切削用のチップを配置していますが、これは、左右に面板を回転させることにより効率的な切削を行うこと及びシールド機のローリングが発生したときに一方をカッター右回転もう一方を左回転時に切削できるチップの向きを考慮し配置す

写真－１　カッター摩耗前切削屑

写真－２　カッター摩耗後切削屑

ることでローリングの修正を図ることを目的としています。また、カーブ施工時の支障物遭遇対策、もしくは最外周部の確実な切断を目的とし支障物最外周切削用スライドカッターを装備しています。

また写真－１，２に示す切削後の切削屑は、細かく切削されるため、チャンバー内に土砂と一緒に取り込まれ回収され、スクリューコンベア（土圧式の場合）、もしくは排泥管（泥水式の場合）を通して地上まで搬出されます。したがって、本工法では特別な回収装置は不要であり、通常地山掘進と同様に回収が可能です。下表－２に鼓型カッター方式と前面スライド方式の比較表を示します。

表－２　鼓型カッター方式と前面スライド方式の比較表

	鼓型カッター方式	前面スライド方式
掘削外径	機械的駆動部分の多様性により制約を受け掘削外径 φ8.00m 程度以上	機械的な制約は、チャンバー内のジャッキのみであるため、小口径（φ2.00m程度）から採用可能
シールド形式	チャンバー内でのスライドを想定するため、泥水式に限定される	切削という概念から回収装置が不要となるため、泥水・土圧両タイプで採用可能
支障物の種類	木杭、H型鋼、モルタル杭、コンクリート杭等	左記に加え鋼矢板等
ビットの耐久性	耐久性能としては、H-200 の場合 10 本程度　シールド機内からのビット交換が可能	耐久性能はチップの配置本数等により可変するが平均的に H-200 で 15 本程度 ビット交換不可能
マシンコスト	２割以上のコストアップ	１割～１割５分程度のコストアップ

５．おわりに

近年のシールド工事の幅輳化により、支障物が出現する計画路線上にルートを選定せざるを得ないケースが多々見られます。支障物の撤去に当たっては、地上から引き抜いたり、地盤改良を施した上でチャンバー内に人が入ることによって人力で掘削、撤去しているのが現状であり、工期や安全面に課題が残されていました。本工法は、地上が占用できない場合や、作業の安全性に配慮して開発した画期的なシールド工法です。

今後、施工条件や地山の条件に応じて本工法の活用を図ると共に、多種多様な現場条件に対応できるように適切かつ確実な切削を行えるような改良を施し、過密化した都市空間の更なる有効需要に応じて採用できるシールド工法として用いられることを望みます。

42. 道路補修技術の開発（中間報告）

建設省東北技術事務所：*伊藤　圭，菊池　信一
岩渕　洋之

1．はじめに

道路のポットホール等の補修は、管理瑕疵等の問題から緊急性を要し、現在主に人力施工による加熱合材を用いた「敷均し方式」により行われているが、「吹き付け方式」による補修方法は、短時間による補修作業を実現し、交通障害の低減、省人化・安全性の向上を図ることができる。

今般、本技術による補修機械を試作、フィールド試験を実施し、本技術の有効性を確認したことから、現在までの成果と今後の課題について報告する。

2．開発目的

道路舗装路面に生じたポットホール、クラック等の比較的小規模な損傷が生じた場合の補修については、通行車両の安全確保のため、緊急性を要することが多く、軽微な交通規制の中、主として人力施工により行われている。こうした作業の頻度は高く、併せて交通規制が伴うことから、作業時間の短縮、安全性の向上が求められている。

このような背景を踏まえ、比較的小規模な路面欠損部を短時間に補修できる機械の開発を行い、交通障害を最小限に抑えるとともに、作業員の危険・苦渋作業の解消及び省人化を図るものである。

写真-1　従来工法（人力施工）

3．調査概要

(1)全体計画

本開発は、平成８年度から平成 11 年度の４ヶ年で、図－１に示す全体計画により開発を進めている。

平成８年度	小規模路面補修作業に関する調査 既存機械の調査
平成９年度	既往技術の評価 要素技術の検討
平成10年度	試作機の構想及び設計製作 フィールド試験
平成11年度	実用機の詳細設計 小規模路面補修作業に関する調査 施工方法と管理基準の提案 評価とりまとめ

図-1　開発の全体計画

(2)開発目標

本開発を進めるにあたり、小規模路面補修作業の実態及び国内外の既存技術（機械）の調査を実施した結果、欧米で補修実績のある「吹き付け方式」が小規模路面補修において、作業時間の短縮及び省力化を図る上で有効であるとの検討結果を得た

①清掃　②乳剤吹き付け　③補修合材吹き付け　④表面処理

図-2　吹き付け方式

そこで、各要素技術の検討、確認を経て、日本の道路事情・作業条件を考慮し開発目標を次のとおりまとめた

①交通障害の低減：作業時間の短縮、機動性（自走式）

②安全性の向上：作業拘束時間の短縮、車内操作

③省　　人　　化：機械化による少ない人員での施工

図-3　開発機械イメージ

(3)試作機の構想及び設計製作

開発目標に基づき、試作機の基本仕様をとりまとめ、設計製作を行った

①吹き付け装置

吹き付け装置は、車両前方に配置し、ジョイスティックレバーによる前後・左右への伸縮操作（作業半径 2.45 m、車両回送時は格納）、一連の吹き付け施工操作を車内より可能とした　ノズル先端には、乳剤によるノズルの詰まり防止対策として、乳剤の噴射が止まると同時に、圧縮空気を噴射させ残留している乳剤を除去する空気洗浄機構を設けている

写真-2　試作機全景

②骨材ホッパー

ホッパー容量は、1出動あたりのポットホール補修数量が 30 箇所程度であることから、必要容量を 0.37 m^3、積載重量約 630 kgとした　人力での投入のしやすさを考え、上部開口式とし、防塵対策としてカバーを設けている

③乳剤タンク

タンク内の乳剤容量は最大 200 ℓとし、乳剤の保温及び劣化防止対策として、乳剤タンク周囲に加熱用水タンクを設け、その水を加熱することで乳剤を温める2重構造とした

写真-3　散布制御盤(上)、ﾉｽﾞﾙ操作盤(下)

(4)フィールド試験

試作機による事務所構内及び路上での補修作業を行い、施工性能及び補修箇所の耐久性について、調査を行った。使用材料として、骨材は補修面の凸凹への馴染みの良さを考慮し7号砕石（粒径 5～ 2.5mm）とし、乳剤には付着性の高い高濃度乳剤を使用した。なお、骨材と乳剤の配合比率は、付着・剥離・ダレによる配合試験結果から10％としている。

①構内試験の概要

事務所構内の既設アスファルト舗装面にポットホールを一部再現し、試作機による補修を行い、補修時の乳剤・骨材の飛散状況、補修状況の出来映えの確認、従来工法である加熱合材を用いた人力施工との施工時間の比較を行った。

②路上試験の概要

路上試験は、実際の路面補修作業と同じ環境下においての施工を行い、試作機の課題抽出及び補修箇所の耐久性等を確認することを目的に行った。

表-1　補修箇所の形状及び数量

試験種別	補修形状	寸法（長さ×幅×深さ）	数量	施工場所	備　　考
構内試験	ポットホール	40cm × 40cm × ～5cm	9	東北技術事務所構内	人力施工1箇所含む
路上試験	ポットホール	30cm × 30cm × ～3cm	2	国道4号 383.2KP （宮城県三本木町）	交通量　16,500台/日 大型車混入率29.0%(12h)

4．試験結果

(1)補修箇所の状態

構内試験では、施工後の補修箇所に遊離している砕石の飛散が目立った（写真－4）。これは、通行車両への付着や剥離防止のための表面処理に補修材料と同じ7号砕石を使用したため、付着しなかった骨材が飛散しているためである。

写真-4 施工直後（構内）

この結果を踏まえ、路上試験では表面処理に砂を使用した（写真－6）。その結果、砂が表面の乳剤を吸収し、骨材の隙間に入り込んだ状態となって、きめ細かい表面を形成しており、通行車両への付着、遊離骨材の飛散防止に有効であることが確認された。

写真-5 施工前（路上）

写真-6 施工直後（路上）

写真-7 施工1日後（路上）

写真-8 施工2ヶ月後（路上）

(2)補修箇所の耐久性

施工２ヶ月後における沈下量は、路上試験箇所で施工厚から最大 19mm、平均８ mm である。

図－４に示すとおり沈下量の推移は、施工の翌日以降、大きな変化がないことから翌日には沈下は落ち着くものと思われ、施工直後の硬化前から受けるイメージとは対照的に大きな剥離もなく安定した状態を保っている（写真－８）。

図-4　沈下量の推移（ポットホール 国道4号 382.3KP）

(3)施工時間の比較

ポットホール（40cm × 40cm 程度）の補修における施工時間は、加熱合材による人力施工での 41 分に対し、吹き付け施工では 11 分となり、大幅な作業時間の短縮が図れた。また、作業人員についても約３割の省人化が図ることができる。

表-3　施工時間の比較

補修区分		吹き付け施工	人力施工
施工時間	安全施設設置(想定)	３分	５分
	清掃開始～施工～清掃完了	５分	３１分
	安全施設撤去(想定)	３分	５分
	合計	１１分	４１分
作業人員		３人	４人

※吹き付け施工：締固めはﾌﾟﾚｰﾄｺﾝﾊﾟｸﾀによる人力施工
　人力施工　　：交通開放温度までの養生時間を含む

(4)試作機の課題

試験結果から開発目標をほぼ満足することが確認されたが、操作性、整備性等に関し課題があげられる。

①吹き付け時の飛散防止

②ノズルアームの軽量化、操作性の向上

③乳剤系配管、ポンプ等の保温・洗浄対策

④表面処理（砂散布）及び締固めの検討

５．まとめ

開発目標である「交通障害の低減」「安全性の向上」「省人化」に対し、施工時間の大幅な短縮化、作業員による路上作業の低減等により、ほぼ満足する結果を得られた。なお、補修箇所の擦り付け等の仕上がりに対しある程度の精度が求められるなど、品質管理面において人力による路上作業によらざるを得ない場合もあり、安全設備の充実が必要である。

今後は、フィールド試験の結果等を基に、課題として挙げられた操作性、整備性を重点として試作機の改良を行い、現場適応性試験を実施し、実用機の詳細設計を実施するとともに本技術による施工方法及び管理基準の提案、評価とりまとめを行っていくこととしている。

43. 新しい排水性舗装機能回復車と施工性の向上

酒井重工業㈱：*岸　幸雄，後藤　春樹
鈴木　信一郎

1．はじめに

排水性舗装（高機能舗装）は、雨天時の走行安全性の向上効果及び車輌走行騒音低減効果が高い舗装として、近年急速に施工面積が増加している。しかし、これらの効果は排水性舗装の空隙への塵埃等の詰まりにより供用後低下の傾向にあり、排水性舗装の持つ優れた機能を維持する、あるいは低下した機能を効率的に回復させる技術を確立することが、緊急かつ重要な課題となっている。

このような状況に鑑み、従来の排水性舗装機能回復車クリーンジェットＣＪ４００に、高真空化による改良を加え、より高い機能回復効果を持つ排水性舗装機能回復車ＣＪ４００－Ⅱを開発し良好な結果を得たのでその概要を述べる。又、雨天時の施工における機能回復効果についても考察を加える。

2．排水性舗装（高機能舗装）機能回復車の概要

従来、排水性舗装の機能回復方法としては、高圧水吹き付け及び汚泥水吸引回収という方法が広く行われて来た。しかし、この方法は、透水層内の屈折した連続空隙に対しては高圧水の衝撃力が減衰され、深部に詰まった空隙詰まり物質の除去には限界があった。

そこで、深部の空隙詰まり物質を効率良く除去する方法として、従来の高圧水噴射－汚泥水吸引回収に加え、高真空による透水層内の空隙詰まり物質に対する吸い出し遊離を目的とした吸引専用装置を組み込んだ。　システム概要を図-１に，主要諸元を表-１に示す。又、高真空吸引装置付作業装置を図-２に示す。

この吸引専用装置は，前後２列に配置された回転ゴムローラとその中央部に位置する吸引ノズルにより構成され路面との高い密閉性が確保されるようになっている。したがって，高真空下でも、装置が路面に吸い付いて走行出来なくなってしまうことなく、常に高い真空度を保って吸引作業が出来るようになっている。

図－１　システム概要

図－２　高真空吸引装置付作業装置

表－1　主要諸元

重量	車両総重量	１９，５００kg
寸法	全　長	９，８００mm
	全　幅	２，４９０mm
	全　高	３，５５０mm
機関	総排気量	１９，００１cc
	出　力	３６０ps／２，３００rpm
作業装置	機能回復方式	高圧水Ｖ型吹き付け－汚泥水吸引回収および高真空吸引方式
	作業幅	２，０００mm
	シフト量	左右各７００mm
高真空発生装置	最高到達真空度	－６００mmHg

３．性能試験

場内試験ヤードに打設した排水性舗装に人工的に空隙詰まり状態を作り、それに対して従来型と新型（高真空吸引型）による機能回復効果の比較試験を行った。空隙詰まり状態は、次の手順で作った。

１）　細砂３５，土３５、石膏１０の割合で乾燥混合する。

２）　1)の目詰め材を路面にレーキで擦り込む。

３）　振動プレートコンパクタで１往復振動をかける。

４）　空隙内部に落込んだ分の目詰め材を路面に追加散布し、レーキで擦り込む。

５）　3),4)をもう一度繰り返す。

６）　路面に水を充分散布した上で、目詰め材を養生硬化させる。

機能回復効果を評価する手段として、現場透水量試験器を用いての４００ｍｌの水が透過する時間の大きさを、空隙詰まり物質の量に対応するものとして用いた。そして、機能回復効果の大小は、図-３における残留空隙詰まり物質の影響による透水時間（取り残し分）Ｒの大きさによって評価した。

図-３は、透水性能（透水時間）が、

①空隙詰まり物質の影響

②舗装体の空隙の大きさや形による影響

③計測器の透水抵抗による影響

等の要因を包含した評価指標であることを考慮し概念図化したものである。

４．結果

１回洗浄を行った場合と２回洗浄を行った場合の両方について性能比較試験を行った。

その結果、いずれの場合においても新型の高真空吸引装置付の方が従来型に比較して取り残し分が半分以下となり、高真空吸引の高い効果が確認された。　表-２に比較試験の結果を示す。

図－３　透水性能概念図

表－２　比較試験結果　　単位：秒／４００ｍｌ

試験装置	測定点数	空隙詰め後透水時間	１回洗浄後取り残し分(平均)	２回洗浄後取り残し分(平均)
従来型	１７	無限大(不透水)	３０．６２	５．２７
新型	２５	無限大(不透水)	１０．７０	２．５４

このような結果が出た理由としては、次にようなことが考えられる。従来型では、Ｖ型高圧水吹き付けにより、高圧水が２回 路面を叩いて空隙詰まり物質を弾き飛ばしていた。しかし、新型の高真空吸引タイプでは、１度 高圧水で表面近くの空隙詰まり物質を弾き飛ばした後、下部に残っている空隙詰まり物質を真空吸引で上部に引き上げ、その上でもう１度 高圧水で弾き飛ばすために、より多くの空隙詰まり物質を除去出来たものと思われる。この動作をイメージ図にしたものが、図-４である。

図－４　機能回復のイメージ図

通常、排水性舗装の下部に堆積した空隙詰まり物質の除去は難しいと言われている。新型高真空吸引タイプでは、図-４のように空隙詰まり物質を上部に引き上げるようにしながら機能回復を行う。したがって、従来型に比較して空隙詰まり物質を下部に押しやってしまうことが少なく、排水性舗装の長いライフサイクルの中で機能回復作業を繰り返す中では、下部への空隙物質の堆積を出来るだけ遅らせられることからも、排水機能のより一層の延命効果が期待できる。

５．到達真空度と透水性能

今回開発した高真空発生装置は、吸引口を完全に閉じてしまえば、言い換えれば密閉性さえ確保されれば－７５０ mmhg 程度の高真空が容易に得られる。しかし、実際に作業走行をしながら路面を吸引する場合には、前述の回転ゴムローラによる路面との密閉性の向上をもってしても、吸引装置と路面を完全に密閉された状態に保つのは難しい。実際の洗浄作業中における到達真空度と洗浄後の現場透水時間(平均値)の関係は次のとおりであった。

	洗浄中の到達真空度	洗浄後の現場透水時間(平均)
普通路面の洗浄（空隙ゼロ）	－６００ mmHg	無限大（不透水）
排水性舗装１回目洗浄	－４００ mmHg	１５．７　秒/400cc
排水性舗装２回目洗浄	－３００ mmHg	９．４　秒/400cc

このことは，１回目洗浄，２回目洗浄と空隙詰まり物質の除去が進むにつれ、舗装体内の連続空隙を空気ないし水が通過し易くなってくるために、同じ真空吸引装置で吸引しても実際に到達する真空度が低下してくるものと考えられる。言い換えれば、高い真空度を示している間は、まだ連続空隙が充分には確保されていないと言え、洗浄作業中の到達真空度がどの程度まで低下したかで、現場透水試験を待たずに機能回復の程度を知る一つの目安とすることが可能である。

６．降雨の機能回復効果への影響

舗装体の空隙への目詰まり物質は、透水層を上から下へ向かって移動する中で，連続空隙の狭くなったところを中心に空隙を閉塞する形で詰まっていることが多い。すなわち、連続空隙を持った透水層自身がフィルタの形となって、目が詰まっていると考えられる。フィルタに詰まった異物を除去するには、本来の流れと逆向きに流体を流してやることで異物を遊離除去させる、いわゆる逆洗が効果的であることは良く知られた事実である。そして、上方から同じ高真空で吸う場合でも、乾燥状態で空気だけを吸い出すよりも、下部に水が溜まった状態（雨後の状態）でその水も含めて吸い出した方が，より空隙物質の遊離除去は効果的に行えるものと思われる。

そこで、舗装体の下部に水が有る場合と無い場合の比較試験を行った。表-３にその試験結果を示す。

表-３　試験結果　　単位：秒／４００ｍｌ

	測定点数	洗浄前透水時間(平均)	洗浄後透水時間(平均)
舗装体内下部水無し	１２	無限大(不透水)	５．４２
舗装体内下部水有り	９	無限大(不透水)	５．２０

以上より、機能回復作業は、晴天時に行うよりも、雨天時あるいは雨後あまり時間が経っていない間に行うのが，より効果的であろうと思われる。必要ならば、散水車等で予め路面に水を撒いておいてからその水を回収しながら洗浄作業を行うのも、機能回復効果を高める上で良い方法と考えられる。

７．まとめ

場内試験においては、新型(高真空吸引型)は、従来型に比較して機能回復効果が非常に優れていることが確認された。又、雨後のような透水層の下部に水が存在している状態で機能回復作業を行うことは，より高い機能回復効果が期待出来ることが分かった。今後、実際の道路での機能回復効果に対しても試験を行い、データを積み重ねる中でより実用性の高い機械へと仕上げて行きたい。

44. 高所点検車両

㈶首都高速道路技術センター：*田村　尚美
藤田　　健，高田　恭一

1．はじめに

「高所点検車両」とは、橋脚梁上などの死角位置にある支承等のほかに床版下面等における視認性の悪い構造部分に対する点検作業を地上（車両内）からの遠隔操作で簡易に実施することを目的とした点検システムである。

2．システム概要

1）高所点検車両

高所点検車両（以下「車両」）は、高架下などの狭い地形に対応できるように車両本体を可能な限りコンパクト化を図り、ベース車台は２ｔトラックシャーシを採用して改造を加えた。車両内部は、運転室と操作室及び格納室に区分けされている。操作室には高所点検機構の制御装置と点検画像モニタ及び記録装置を配置して、ここで点検作業を実施する。格納庫には高所機構及び発動発電器を搭載し、その他カラーコーン等を収納するスペースが設けてある。

2）高所点検機構

車両に搭載している高所点検機構は、地上高さ１５ｍ伸長が可能な多段式伸縮ポール、その頂部に１～３ｍ伸縮する水平アームを組合せた高所機構と、水平アームの先端部に取付けた点検用カメラ設備によって構成している。

伸縮ポール及びアームは、構造上軽量化を図る必要から高剛性ガーボングラスファイバー製（円断面）を採用した。格納の都合上、ポール部が１３段構造、アーム部が３段構造となっており、それぞれの伸縮駆動方式には作業時の微妙な位置調整が容易な「帯型曲面板バネ鋼」（コンベックス）による電動送り出し／巻き取り方式を採用した。伸縮ポールの上昇速度は４ｍ／min、アームの伸縮速度は６ｍ／minである。

本機構では、ポール軸が３６０度旋回可能になっているので車両の停車方向・位置に関係なく目標方向を簡単に設定することができる。

先端部の点検用カメラは、３ＣＣＤデジタルカメラで１２倍ズーム機能を有する。カメラ雲台の可動範囲は左右１８０度及び上下９０度であり、これにより全方向カメラ視野に入れることができる。

また暗部の物標に対応できるように照明器具、異常発生音等を収録するための集音マイクが点検用カメラに併設してある。

3）画像表示とデータ記録

操作室の画像モニタ（高解像度１４インチ）は、点検用カメラからの画像データがリアルタイムに表示され、また記録装置からはタイムリーな画像再生ができる。データ記録装置は、ＤＶ方式とＳ－

ＶＨＳ方式の２種類を備えており、それぞれ目的に応じて使い分けができる。

デジタルデータは、プリントアウトやパソコンへの出力が可能であり通信機器に接続すれば基地等にデータ送信することができる。

３．検討事項

１）伸縮ポール

伸縮ポールは、重量軽減の目的もありカーボングラスファイバー製を採用したが、材料の特性上タワミ易さによる変形・揺れ等の挙動が懸念されたことから、事前に類似のポールを用いて要素実験を実施し、ポールの偏荷重によるタワミ変形の影響をはじめ振動特性や減衰状況等を調査し適性の検証を行った。

ポールの伸縮駆動にはコンベックス方式を採用した。この方式はポールの１段目（最上段ポール）にコンベックスの先端部を取付け駆動装置により筒内のコンベックスを上方に送り出すことで、２段目のポールが１段目に引き上げられ、順次これを繰り返し下段側１２段目が上昇して伸長が完了する。

コンベックスは、直線状態で大きな軸力に耐え、かつ巻き取りが容易であることが望ましい。板バネ鋼の曲率半径ｒ板厚ｔとして円弧開き角度が一定なら座屈強度はr^3tに、巻き取りトルクはrt^3にそれぞれ比例する。採用断面についてはＦＥＭ解析及び座屈試験を実施して強度確認を行った。

コンベックス方式の伸縮ポール自体は既存技術であるが、本車両に採用するにあたっては以下の点で技術的対策を必要とした。

２）伸縮駆動装置

高架下に進入するためには車高を出来るだけ抑える必要がある。格納高の制約はポール段数を増加させる一方で、駆動装置についても形状寸法を小型化する必要があり、特に基段ポール直下に位置するコンベックスの送り出し機構については新たな検討項目となった。

本機ではコンベックスの送り出し部分のスペースが狭いことから、コンベックスを１対の凹凸円弧状の回転ローラに挟んで送り出す方法を採用することにした。この場合、凹凸ローラは回転軸から表面までの回転半径が断面上で異なるので、表面の回転速度が一定にならず、凸ローラは中央部で速度が大きく辺端部は小さくなり、凹ローラではその逆となることから、コンベックス表面には常時板幅方向にスリップ現象が生じ摩耗するおそれがある。このため幾つかのタイプのローラを試作して実験を行った結果、図－２のようなコンベックス円弧より緩やかな円弧をもつ「緩凹凸型のゴムローラ」を本機構に採用した。更に安全を期して軸方向のスリップ防止用

図－１　コンベックス斜視図

図－２　回転ロール断面図

ブレーキ装置も一体的に取付けた。

高所機構の旋回動作は、ポール頂部における重量軽減と格納高抑制の理由から、頂部に旋回機構を設けるのは不利と判断し、車床部のポール基部に旋回用ラックギア装置を取付けてポール本体を旋回させる方式を採用した。

4．点検システム（車両）の仕様

1）車両

車両寸法 …… 全長5．13m、全幅1．71m、全高3．08m（ポール収納時）

車両重量 …… 2．0ton　車両総重量 …… 4．5ton

最小回転半径 …… 4．6m　乗車定員 …… 5名

総排気量 …… 2，693cc

2）搭載機構

ポール …… スライド高さH＝2．90～14．80m

最大径　280mm　最小径 110mm

回転角度　左右各275度

上昇速度　8cm／s　下降速度　9cm／s

回転速度　15cm／s

アーム …… スライド長　L＝1．5～3．0m

最大径　110mm　最小径　73mm

アーム角度　水平～20度（手動操作）

伸縮速度　5cm／s，10cm／s

ポール及びアーム伸縮方式

コンベックス駆動方式（帯型曲面ばね板鋼）

カメラ用俯仰装置　旋回角度　±180度　俯仰角度　±90度

安全装置 …… 監視カメラ、接触防止用超音波センサ、水平制御装置

3）計測部

CCDカメラ …… 1／2インチ38万画素×3板式（カラー）

水平解像度 …… 750TV本

レンズ …… 12倍ズーム

マイク …… 指向性集音マイク

4）データ記録装置

記録方式 …… デジタル記録、S－VHS

5）画像表示装置

計測時 …… リアルタイム画像表示

再生時 …… テープ早送り、頭出し機能、画像プリント

図－3　点検用から支承を望む

図－4　高所点検車

図－5　側面外観図

5．まとめ

本車両は、スポット的な点検に特に効果的であり、従来の高架下からの点検において点検者の視角に捉えにくかった構造部分の補完だけに止まらず、具体的な性状確認や追跡調査等にも適用できることから、定常的な点検手段として本車両の利用価値は大きいものがある。また、車両搭載型であり、機動性に富むこと、収録画像は後の対応検討時に有用な情報となることから、緊急的な点検出動において特に威力を発揮する。これらのことを、今後の実地点検にて検証する予定である。

45. 路面下空洞探査技術の開発

建設省関東技術事務所：*田中　義光
㈶道路保全技術センター：　山本　真一郎

1．はじめに

昭和６３年に道路陥没事故が多発し、社会問題になったことから路面下空洞探査車を開発して、平成２年度から平成９年度までの間に、全国で約1,100個もの空洞が発見された。しかし、空洞に対する適切な処置・復旧作業を行うためには、内部の状況を確認し原因を把握することが課題となっている。本報告は、空洞の内部状況を詳細・正確に把握できる「空洞内部状況観察装置」の開発についてまとめたものである。

2．路面下空洞探査の概要と課題

現行調査方法においては、路面下空洞探査車（図－１）により、交通規制を行うことなく地中レーダを使用した非破壊調査法で異常箇所を発見する。異常箇所については、専用の地中レーダを用いて詳細の位置を特定（メッシュ調査）し、φ４㎝の小口径ボーリング孔をあけて断面を写真撮影（スコープ調査）することによって深さと空洞の厚みを計測している。しかし、地中レーダによる探査では、波形から大きさを判定するため、空洞の形状・広がりを正確に把握することは困難であり、また、スコープ調査においても部分的な断面撮影となるため、内部の状況を正確に把握することはできないことが課題となっている。

従って、空洞の原因を調査するために開削を行っているが、このとき空洞が崩れてしまうため、原因を把握できるのは全数の２～３割程度である。今回開発した空洞内部観察装置は、スコープ調査時に空洞に向けて削孔するφ４㎝のボーリング孔から、特殊ＣＣＤカメラ装置を挿入し、内部の状況を撮影できるとともに、空洞の大きさを把握する機能を付加したものである。

図－１　路面下空洞探査車

図－２　空洞内部状況観察装置

３．空洞内部状況観察装置

空洞内部状況観察装置は挿入部と制御・記録部で構成される。

３．１　挿入部

３．１．１　機構

全長１．８ｍの円筒型ゾンデの先端部（約７０㎜）には地中観察用ＣＣＤカメラ及び照明装置が装備されており、ゾンデに設けたハンドルにより当該部を９０°曲げることで水平方向の画像を撮影できる。ハンドル下部に装備したＣＣＤカメラは、地中観察用ＣＣＤカメラと同方向を向いており、このカメラにより並行して地上の周辺風景を記録することで、地中画像の方向を確認できる。

３．１．２　照明装置

照明装置は、ゾンデ屈曲部にハロゲンランプと先端面に白色ＬＥＤを装備している。白色ＬＥＤは発熱量が小さいため、近接しているＣＣＤに悪影響を与えない。通常はハロゲンランプを使用するが、空洞の厚みが薄くハロゲン部が内部に入らない場合や小さい空洞でハレーションを起こす場合は、この白色ＬＥＤを使用する。ただし、撮影画像はハロゲンランプの方が鮮明であり、白色ＬＥＤの場合、壁面の画像が青みがかることがわかった。

３．１．３　レーザマーカ（簡易距離計測機能用）

先端面から２本の平行レーザマーカを空洞内壁面に向け照射し、ＣＣＤカメラの視野と映像におけるレーザ光間隔の相対的比率によって、カメラからレーザマーカの当たっている壁面までの距離を計測できる。ゾンデを回転させ、全周にわたり距離を算出して、空洞の大きさ・形状を把握する。

図－３　計測原理

図－４　ディスプレイ画面例

距離計測の原理を以下に示す。

ＣＣＤカメラから距離Ｌ離れたスクリーン（視野）では、次の関係が成立つ。

$X = 2L\tan\theta$ ———①

$Y =$ 一定 ———②

距離Ｌ離れたときのディスプレイ上の画像は、図－４の様になる。

ここで、　$X : Y = X_m : Y_m$

①より　$2L\tan\theta : Y = X_m : Y_m$

$Y_m \cdot 2L\tan\theta = X_m \cdot Y$

$\therefore L = \dfrac{X_m \cdot Y}{2\tan\theta} \cdot \dfrac{1}{Y_m}$　　$\dfrac{X_m \cdot Y}{2\tan\theta}$ は図－３，４より定数である。

従って、距離Ｌ(カメラからレーザーの到達地点までの距離)は、ディスプレイ上のレーザーマーカー間隔Y_mの関数となるため、画面上のY_mを計測することにより距離Ｌが求まることになる。

３．２　記録部

記録部は、ディスプレイ、デジタルビデオ、蓄積型暗視装置、映像処理装置から構成される。記録のデータベース化を勘案してデジタルビデオを採用し、大規模な空洞などで照度が確保できない場合のために蓄積型暗視装置を導入した。また、簡易距離計測のためのメジャーを表示したり、地上部の風景を内部映像と並行記録するために映像処理装置を使用する。

３．３　簡易距離計測機能試験

簡易距離計測機能を確認するため、ＣＣＤカメラから距離Ｌにある白板にレーザマーカを照射し、撮影画面をディスプレイに映し出して間隔内の画素数（ドット）を計測し、理論値と比較した。試験結果を表－１に示す。実測値は理論値とほぼ同じ値を示し、距離計測が実際に可能であることが確認された。

表－１　距離性能確認試験結果

距離Ｌ（ｍ）	実測値（ドット）	理論値（ドット）
０．５	３４	３２．８
１．０	１７	１６．４
１．５	１１	１０．９
２．０	８	８．２
２．５	６	６．６
３．０	５	５．４

３．４　実際の空洞による適用試験

東京国道管内５箇所、横浜国道管内４箇所、仙台市建設局管内５箇所の計１４箇所に及ぶ実際の空洞で適用試験を行った。図－５に観察結果の例を示す。地中レーダによる空洞の広がりを判定した結果（点線）と、本装置により把握した広がり（太実線）を比較すると地中レーダでは捉えきれない奥まった広がりも計測できていることが判る。また、映像によって奥に落ち込んでいるような水みちらしきものを確認することができる。

大きさ測定における誤差は、概ね機能試験と同様の傾向を示すが、複雑な形状の計測では影になる部分が充分に把握できない場合がある。

図－５　空洞の観察結果

４．考察

４．１空洞内部観察の効果

空洞の実体を映像で観察することにより、水みちの発生方向や空洞の延伸方向が確認できる。簡易距離計測機能については、半径１．５ｍ程度の空洞であれば約１０％程度の誤差で計測できることがわかった。

４．２今後の課題

４．２．１記録のデータベース化

現在１箇所当たり５～１０分の動画データをビデオとして記録している。これを空洞探査調書機能（既存システム）や位置表示機能（既存システム）に閲覧データとして関連付け、整理・検索・解析を容易にする必要がある。

４．２．２距離計測の精度向上

簡易距離計測機能については、ディスプレイに示させるゲージが０．５ｍピッチのため、目視による読み取りを行っている現段階では、１０％という誤差が限界である。精度向上を図るためには、記録した画像を拡大処理し、専用マイクロコンピュータを映像処理装置に接続して距離を計算させるシステムの開発が必要である。

５．まとめ

現在、路面下空洞探査によって発見された全ての空洞は、開削により原因調査を実施しているが、発生原因が特定できたのは、埋設管の破損・漏水など原因がわかりやすいもののみである。今後本装置が活用されることによって、より多くの発生原因を特定できるようになり、多くの路面下空洞に対し、迅速かつ適切な補修措置のために寄与できると確信している。

46. トンネル内連続鉄筋コンクリート舗装における材料供給装置

日本舗道㈱：青山　俊行，樋口　文彦
*井久保　吾郎

1．はじめに

従来の２車線トンネル内連続鉄筋コンクリート舗装における全幅一括施工では、施工エリア前方からボックススプレッダを用いて材料供給を行うのが一般的である。従来のこの方法では、材料運搬車から材料を受け取って、コンクリートフィニッシャ手前に供給する時間的ロスが大きい。更にコンクリート打設と鉄筋組立作業を並行して行うことが出来ないので施工効率も低かった。

このような状況を踏まえ、施工の省力化、コストの縮減を図るために、施工エリア前方から材料の供給を行いながら、平行して配筋作業を行う工法を開発した。なお本工法は、北陸自動車道能生舗装工事において採用したものであり、本報告において施工機械と施工方法を紹介する。

2．機械開発の経緯

２車線トンネル内のコンクリート舗装における材料供給方法として、①ボックススプレッダによる方法、②材料横取り機による方法、③コンクリートポンプ車圧送による方法、④コンクリートスタッカによる方法、の４方法を検討した。

①の方法は、ボックススプレッダが施工エリア前方で材料運搬車１台分の材料を受けて、コンクリートフィニッシャ手前まで運搬する作業を繰り返す。このため連続した材料供給が出来ず、時間的ロスの大きいことが問題となった。

②の方法は、材料横取り機をコンクリートフィニッシャの隣に配置する必要があるために１車線ずつ施工しなければならない。トンネル内での施工を考慮すると施工幅員が狭すぎて大型の機械を入れることが出来ないため、施工効率、品質ともに低下するおそれがあった。

③の方法は、配筋の完了した施工エリア前方からコンクリートポンプ車で材料を圧送供給するために、圧送用配管作業にかかるコストや、配管延長距離が長くなることによる材料圧送能力の低下が懸念された。

加えて①～③の方法は、いずれも配筋作業を打設の前日に行うことになるため、作業員の体力的負担増と、人件費が問題となった。

これらの経緯より、材料供給の時間的ロスが少なく、なおかつ高い供給能力を持つ機械が必要となり、④のコンクリートスタッカを新たに開発した。コンクリートスタッカはベルトコンベヤによる施工エリア前方からの材料供給が可能であるため、時間的ロスを生じることなく連続して大量の材料を供給することが出来る。さらに、材料供給ベルトコンベヤ下空間で効率的な配筋作業を可能にする配筋補助機械としてメッシュセッタも併せて開発した。これら２つの機械を組み合わせることによりコンクリート打設と配筋作業を同時に行うことが可能となった。

3．開発機械の概要

コンクリートスタッカと、メッシュセッタについて、各々の機械の概要、仕様等を説明する。

3－1　コンクリートスタッカ

機械の主な構成として、コンクリート材料を材料運搬車から受け取るホッパと、このホッパから材料供給用ベルトコンベヤに中継する第1コンベヤと、コンクリートフィニッシャに材料を供給する第2ベルトコンベヤの3つから構成されている。

ホッパは、材料運搬車の車輪を押すプッシュローラ、受け取った材料を第1コンベヤに集めるスクリューフィーダと上下可動式ウィング、第1コンベヤへの材料送り量をコントロールする開閉式ゲートで構成されている。プッシュローラはアスファルトフィニッシャと同様のもので、材料運搬車を押しながら材料を受け取ることが出来る。

第1コンベヤは、スラットコンベヤ形式でホッパ内のスクリューフィーダと連動しており、第2ベルトコンベヤとの中継点には、材料流出防止シュートを取り付け、材料漏れを防止している。

第2ベルトコンベヤは、コンベヤ下空間での配筋作業のスペースを出来るだけ広く確保しなければならないので、延長を20mとした。この第2ベルトコンベヤは上下方向の動きに加え、進行方向左右にも各15度ずつ旋回が可能となっており、コンクリートフィニッシャ手前に材料を均一に供給することが出来る。ベルトコンベヤ先端部付近において下方に折り曲げており、ベルトコンベヤ先端部の地上高さを低く保ち、材料排出時に骨材の分離を防止する構造としている。ベルトコンベヤの上下左右の動きは、ベルトコンベヤ先端部においてリモートコントロール操作が出来る。安全対策としてベルトコンベヤの操作やコンクリートスタッカの操作は、オペレータと誘導員が無線による通話確認を行った後に実施した。

コンクリートスタッカの主要諸元を表－1，概略図を図－1に示す。

表－1　コンクリートスタッカ主要諸元

エンジン	型式	BF6M1013CP（三井ドイツ）
	定格出力	209PS/1800rpm
性能	走行方式	4輪駆動、
	操向方式	4輪ステアリング方式
	作業速度	0～10m/min
	回送速度	0～60m/min
	材料移送能力	48m³/h
ホッパ	容量	3m³
	寸法	2800(W)×1000(H)×1300(L)
第1コンベヤ	型式	スラットコンベヤ（下引き方式、傾斜型）
	寸法	850(W)×780(H)×7000(L)
第2コンベヤ	型式	ベルトコンベヤ
	寸法	600(W)×20000(L)

図－1　コンクリートスタッカ

写真－1　コンクリートスタッカ

3－2　メッシュセッタ

機械の主な構成要素は本体台車部と吊り装置部の２つからなる。本体台車部には、機械進行方向前部の両端に立ち上げた２本の柱からアームが出ており、その先端に吊り装置の横行用レールが設置されている。台車後部には各装置の動力源としての発電機を乗せている。走行は円形水路構造物上になるため、構造物を傷めないように重量用ウレタンゴム車輪を使用している。各車輪には脱輪防止対策を行っているため、スムーズに往復走行が出来る。

吊り装置は電気トロリ結合形の電動ホイストを使用し、吊り荷方式は、ワイヤロープとフックを用いた４点支持で、メッシュ式プレハブ鉄筋を１度に３枚まで吊り上げることが出来る。このホイストの横行や、吊り荷上下は作業者が安全に操作出来るように、リモートコントロール方式とした。

メッシュセッタ主要諸元を表－２、概略図を図－２に示す。

表－２　メッシュセッタ主要諸元

動　　力	型　　式	０．７５kw×４p×１／２４０発電機
性　　能	走行方式	後輪左右単独式
	操向方式	前輪ステアリング（パワーシリンダ作動）
	作業速度	５．７m/min
	遠隔操作	走行、操向、ホイスト、非常停止
形　　状	寸　　法	５８００(L)×８６１５(W)×２８５０(H)
	重　　量	４５００（発電機除く）
	車　　輪	重両用ウレタンゴム車輪　φ３００×１００(W)×２個×４輪
吊り装置	型　　式	上下横行１速型電気トロリー結合形
	揚　　程	４０００
	巻上速度	４m/min
	横行速度	２０m/min
	吊り荷重	４９０kg

図－２　メッシュセッタ

写真－２　メッシュセッタ

４．施工状況

平成１１年２月から４月にかけて、北陸自動車道能生舗装工事において本工法を実施したので、その概要について述べる。

工区延長約６㎞のうち、能生トンネル（延長約３㎞）と山王トンネル（延長約２㎞）の区間に、コンクリート舗装の上にアスファルト舗装を行うコンポジット舗装を実施した。このコンクリート舗装では、コンクリートスタッカによる材料の供給と、メッシュセッタによる配筋、及びコンクリート打設を同時に進行させるトンネル内２車線全幅一括施工を行った。材料運搬車の方向転換にはターンテーブルを用いたことにより、限られた施工エリア内でも安全に方向転換することが出来た。さらに材料運搬車が長い距離を後進する必要がないので、トンネル内の排気ガスが低減され作業環境を改善出来た。さらに、コンクリートの打設は、スリップフォーム工法によって施工したので機械走行用レールの設置、及び撤去作業をなくすことが出来た。また、メッシュ式プレハブ鉄筋は、工場にて予め所定の寸法に作成し、小型移動式クレーン車で数枚ずつ重ねて路肩の円形水路上に仮置きしておき、これをメッシュセッタによって配置し結束した。

１日当たりの施工量は、施工延長が約２５０ｍ、打設数量は約３８０m^3であった。本工事のコンクリート舗装に要した実働日数は、計画工程通り能生トンネル部が１３日間、山王トンネル部が８日間であった。施工機械編成図を図－３に示す。

図－３　施工機械編成図

写真－３　施工状況（北陸自動車道能生トンネル内）

５．従来工法との比較

従来の２車線トンネル内の連続鉄筋コンクリート舗装において全幅一括施工を行う場合は、ボックススプレッダによる施工エリア前方からの材料供給が主体であった。この方法では、材料運搬車とコンクリートフィニッシャとの間をボックススプレッダが何度も往復しなければならないため、時間的ロスが大きかった。更に、鉄筋組立作業はコンクリート打設の前日の作業となるため、コストの縮減や工期の短縮を図ることは困難であった。

これに対して配筋作業とコンクリート打設を同時に行う本工法は、材料運搬車から受け取った材料をコンクリートスタッカにより、連続してコンクリートフィニッシャ手前に供給出来る。また供給用ベルトコンベヤ下空間での配筋作業は、メッシュセッタによりメッシュ式プレハブ鉄筋を作業員に負担をかけることなく、少人数で配置することが出来る。但し、メッシュ式プレハブ鉄筋は工場で製作することに加え、継ぎ目をオーバーラップさせて結束するため現場組立より鉄筋量が多くなり、材料にかかる費用が多少割高になる。しかし、前日の配筋作業が不必要となるので、労働条件が大幅に改善され、工期の短縮を図ることが出来る。この結果、コスト縮減を図ることも出来る。

６．まとめ

今回施工した北陸自動車道能生工事は、本工法を実用化した最初の工事であるにもかかわらず、従来工法による施工計画と比較して確実に施工効率の向上が見られた。さらに、前日の配筋作業を解消したことにより、労働条件が改善されるメリットもあった。

今後は、日本道路公団等の御指導により改良を進め、工法の確立と品質の向上を図る所存である。

47. “リモコン・ハイバック”の現場への適用

㈱フジタ：森　利夫，*瀧谷　誠

【概　要】

綾里川は、その源を大股山(標高 613.9m)に発し、山間部を流下して太平洋に注ぐ流域面積 11km²、流路延長 3.5km の二級河川である。

流域の降水量は、年平均としてはそれほど多くないものの、梅雨時・台風期に降雨が集中し、特に台風期の豪雨により古くから度々被害を受けてきた。その度災害復旧工事や河川改良工事等が行われてきたが、抜本的な治水計画が要求されている。しかしながら、綾里川の沿川は、耕地として利用され、市街地周辺では住家が密集し、河道拡幅による再改修は不可能に近い状態である。

また、綾里川は耕地や上水に対する水源として利用されているが、夏期には毎年のように水不足に悩まされている。

綾里川ダムは、このような治水対策や水源確保を目的とする多目的ダムで、綾里川総合開発の一環として建設される、高さ 43.0m、総貯水量 486,000m³の重力式コンクリートダムである。

当社のコンクリートダムの施工に当たっては、自動化施工を目指し、これまでにコンクリート自動運搬設備(FACTS)、グリーンカットマシン、自動型枠等の施工設備の開発を行ってきた。

今回新たに、ダムコンクリート締固め機械であるダム用バイブレータを新キャタピラー三菱(株)と共同開発し、平成 9 年 11 月より綾里川ダムに導入した。

現在、鋭意施工中であるが、本論文では開発機の概要および途中経過について述べる。

1．工事概要

工 事 名：綾里川ダム建設(堤体工)建設工事

発 注 者：岩手県

工事場所：岩手県気仙郡三陸町綾里地内

工　　期：平成 8 年 3 月 15 日～平成 13 年 3 月 15 日

施工内容：転流工　1 次転流:173m
　　2 次転流:107m
　　基礎掘削工　133,350m³
　　基礎処理工　ｺﾝｿﾘ:1830m,149 ｽﾃｰｼﾞ
　　ｶｰﾃﾝ:7164m,1294 ｽﾃｰｼﾞ
　　ﾘﾑｸﾞﾗｳﾄﾄﾝﾈﾙ:82.4m
　　堤体ｺﾝｸﾘｰﾄ　68,100m³
　　雑工事　照明装置,測定装置:1 式
　　基礎排水工:287m
　　手摺工:1650m
　　法面保護工:11400m²
　　減勢工背面埋戻工:2720m³
　　施工設備工　1 式

2．開発機概要

2-1 従来工法及び問題点

従来のダムコンクリート締固め作業は、手動式バイブレータと機械式バイブレータが使用されている。この内機械式バイブレータとしては、バイバックと呼ばれるものが一般的に使用されている。

バイバックによる締固め作業は、オペレータが搭乗して運転・操作を行っている。この作業は、運転席での操作のため、車輌死角が多く、合図者との連絡調整を必要とした。また、バイブレータの締固め場所がオペレータ操作席より離れているため、施工状況を把握することは、熟練を要する作業である。

2-2 開発機の構成

1) ベースマシン

- バックホウの運転席を取り除き非搭乗式とする。
- 運転操作は無線式リモコンによる遠隔操作方式を採用する。
- ブーム旋回機構をフロント部に配置し、後部に荷台を設け、作業資材を積み込めるようにする。

写真-1 開発機全景

2) バイブレータ

- 国産品と比較し，下記の機能を有するSTV社(フランス)製とする。
- 負荷検知装置を搭載し、コンクリート貫入時に振動数が7,500vpmまで上昇し、無負荷状態では振動数500vpmを保つ。これにより、バイブレータ本体の寿命を向上させ、無駄な燃料消費を防止する。
- 旋回機構を搭載し（左右90°），鉄筋部及び構造物周りの締固めを容易にする。
- バイブレータ自体にチルト機構(前方30°)を設け、下流型枠際の締固めを容易にする。

ベースマシン		
項目	開発機	従来機
運転重量	8000kg	7130kg
機関定格出力	55PS/2100rpm	55PS/2100rpm
走行速度	4.7km/h	2km/h
旋回速度	11rpm	12rpm
全長	7515mm	8014mm
全幅	2500mm	2355mm
全高	3070mm	3005mm
クローラ中心距離	2225mm	2090mm
接地長	2830mm	2700mm
接地幅	600mm	600mm
接地圧	0.27t/cm^2	0.26t/cm^2
最大作業半径	5390mm	6264mm
油圧ポンプ	可変容量ﾋﾟｽﾄﾝ×2 ギア式×2	可変容量ﾋﾟｽﾄﾝ×1 ギア式×2
最高ポンプ圧力	210kg/cm^2	200kg/cm^2
運転室	無	有
荷台	有(800kg)	無

バイブレータ		
項目	開発機	従来機
型式	BH160(STV社)	HIB150HL(ｴｸｾﾝ社)
加振深さ	800mm	850mm
重量	40kg	60kg
振動部(径×長さ)	φ160mm×470mm	φ150mm×850mm
有効範囲	1.6m	1.0m
振動数(負荷時)	7500vpm	7000～8000vpm
遠心力(負荷時)	20348N(平均)	13900～18900N
油圧	15.7MPa	15.7MPa
油量	15ﾘｯﾄﾙ/min/本	15ﾘｯﾄﾙ/min/本
振動部貫入角度	垂直	円弧状
大径骨材回避機能	±15度	なし
振動部旋回機能	左右90度	なし
対応可能スランプ	0cm近傍	3cm

3．稼動実績

3-1 打設実績

平成9年11月10日に導入し、平成11年8月1日現在で約66,000m³の堤体コンクリートを施工した。岩着部等の制限を受けている箇所においては手動式バイブレータによって施工したが，本機での施工可能な場所での稼動率はほぼ100%である。

3-2 考察

1) 施工能力について

コンクリート3m³を1層仕上るのに要した時間は，コンクリートの打設サイクルが平均5.9分に対し、平均3.2分であり、打設設備の能力に対して、十分な締固め能力を有すると判断できる。また、当初目標としていた能力50m³/h(サイクルタイム3.6分)をも満足する。

2) 品質について

オペレータが締固め場所付近で作業できるため、締固め，ブリージング状況を目視確認でき、より確実且つ均一な締固めができたと考えられる。しかし、バイブレータの径が従来の国産品と比較し10mm大きく、また、引き抜き時に負荷が小さくなり振動数が低下するため、引き抜き箇所に穴が残る現象が起こった。これに対しては、可能な限りゆっくり引き抜くことと、負荷検知の感度を鈍くさせることにより対応したが、締固め作業上、注意の必要な点である。

写真－2　コンクリート打設状況

3) 施工性について

コンクリート締固め作業は，柱状打設工法の1リフト(1.5m)3層打ちで行う。従来機と同様に車輌本体をダム軸と平行に設置し，上流側から順次打設する。従来機と比較して，ブームの旋回部が前方に位置するため，本体後部の作業範囲が少なくなるが，施工上，大きな問題とならない。

また，型枠，鉄筋際等狭隘部の締固め作業において，従来機と比較しバイブレータ本体の旋回機構により，容易に施工でき、手動式バイブレータの使用頻度が減少し，苦渋作業の低減につながった。

写真－3　無線操作状況

4) 安全性について

オペレータがコンクリートバケットを目視し易く，コンクリートバケットと締固め機械の接触事故の危険性が低減されたと判断できる。また，バケット接近時の本機の退避状況もスムーズであり，クレーンが本機の退避を待つ事がなく，作業効率の上昇につながる。

さらに，フロント部での旋回機構により機械の旋回半径が小さくなり，機械後部での挟まれ災害の危険性も低減された。また，オペレータが移動することにより，機械の死角を0にすることができ，安全性が向上している。

しかしその反面，オペレータに対して機械の反対側は完全な死角となるため，旋回先及び走行先の目視確認を確実に指示徹底することが重要である。

5) 経済性について

従来機使用の場合と比較して，打設作業の編成人員を半数にすることができ，また，手動式バイブレータの数を一本減らすことにより，周波数変換機の容量を小さくすることができた。機械自体のコストは従来機・開発機共に同等であるため，経済性においても効果が認められた。

4．今後の課題・展開

4-1 今後の課題

以上，新技術である“非搭乗式バイバック”について，その施工性，安全性等で当工事において相当の効果があったことについて述べたが，『売れる技術』とするためにはまだまだ未完成の部分がある。

更なる省力化，効率化さらに遠隔操作，無人化まで展開することで本機は初めて完成された技術となると考える。

近年のコンクリートダムの施工方法が，従来の柱状打設工法から面状工法に移行傾向にあるという背景から，その締固め作業はブロック幅の制限を受けず，横継目型枠が減少してきている。この新技術の展開は今後のダム工事において明らかに有利に作用すると思われる。

4-2 今後の展開

コンクリートの締固め作業は，類似した動作を無数に繰り返す作業である。そこに着目し，更なる省力化を図るべく，オートサイクル機能を追加する。

このオートサイクル機能は，締固め作業をパターン化し，これを機械に記憶させ，送信機のボタンにより，そのパターンを繰り返すというものである。

本機は従来機と異なり，動作の命令を行っているのが電気信号であるため，ハード的には機能の付加は容易であるが，最適な締固めパターンの導出は困難が予想される。

また，雲仙普賢岳で実証されたテレアースワークシステムの技術を導入し，運転室からの遠隔操作による，苦渋作業・危険作業の低減を目的とした技術展開を考える。

48. ウォータージェットによるコンクリート目荒らしシステム

日本道路㈱：*高木　幸雄，風林　克也

1．はじめに

空港のエプロン改修において、従来の打ち換え工法に替わる新工法として、付着型オーバーレイ工法が開発された。付着型オーバーレイ工法とは、既設コンクリート舗装に、超高圧・大流量のウォータージェットおよびショットブラストによる表面処理を施し、新たに厚さ１５ cm のコンクリートを打ち継ぐものである。

全層を撤去する打ち換え工法と比較すると、付着型オーバーレイ工法では、産業廃棄物の発生および二酸化炭素排出量を大幅に削減でき、環境に優しい工法である。また、工期の短縮およびコストの低減が可能になる等、経済的なメリットも大きく、時代のニーズにマッチした工法といえる。

ウォータージェット（以下「WJ」と略記）システムは、付着型オーバーレイ工法において、最も特徴的、かつ重要なシステムである。WJ 技術は、建設分野においても適用されてきているが、今回のように空港のエプロンという広大な面積の施工に対しては初の試みであり、従来に比べ大規模な WJ システムの開発が必要であった。その結果、本システムは、世界的にも例を見ない超高圧、大流量 WJ システムとなった。

また、大規模な WJ システムを運用する上で大きな問題となるのが、高圧ポンプへの清水の供給、発生する濁水の処理、ハツリがらの回収である。WJ の使用水を上水道水にたよることは、供給上の問題があり、地下水にたよれば地下水の枯渇を招くおそれがある。そこで、大規模 WJ システム用の水リサイクルシステムを、世界で初めて実用化した。また、ハツリ後の凹凸面上のがらおよびノロ分を完全に回収するシステムについても開発、実用化したものである。ここでは、この一連の WJ システムについて述べるものである。

2．付着型オーバーレイ工法の概要

付着型オーバーレイ工法全体の施工フローを図－１に、舗装断面図を図－２に示す。

本工法は、空港エプロンの補修において、既設コンクリート舗装版の耐力を有効に活用するオーバーレイ工法である。WJ により既設舗装表面の表面に粗い凹凸を付け、さらにショットブラストによって細かい凹凸を付けることにより、新旧コンクリートの付着力を高め、一体化させることを特徴としている。WJ の噴射圧力、ショットブラ

図－１　施工フロー図

ストの投射密度などを適正に管理することで、２５～３０ kgf/cm²の高い付着強度を得る事が可能である。

付着型オーバーレイ工法により、既設版の耐用期間を大幅にのばし、さらに今後の航空機の大型化に対応するものである。

本工法における廃材の発生は、WJ によるハツリがらのみである。ハツリ深さは平均１５㎜であるので、廃材発生量は打ち換え工法の約１／２０となり、きわめて少量に抑えられる。オーバーレイコンクリートの版厚も打ち換え工法に対しておよそ半分ですむため、二酸化炭素の排出量は打ち換え工法に比較して半減され、環境に優しい工法と言うことができる。

図－２　舗装断面図（cm）

３．WJ システムの仕様・能力

図－３のように、本 WJ システムは主に３基の超高圧ポンプ、自動ハツリロボット、がら回収機、および濁水リサイクル設備により構成されている。そして、その間を清水運搬車、特殊吸引車、濁水運搬車などが、結合している。

図－３　施工システム図

表－１に WJ の仕様を示す。

空港エプロンのコンクリートは、一般のコンクリート舗装あるいはコンクリート構造物に比べ強度が高いこと、新旧コンクリートの付着をより確実にするためには、凹凸の程度がより均一なハツリ面であること、そして施工面積が広大なことを考慮すると、一般の WJ システムでは能力が不足する。

表－１　WJ システム仕様

高圧ポンプ		
１基当たり	圧力	2,100kgf/cm² (max)
	流量	117 ℓ/min (max)
	エンジン出力	550kw
高圧ポンプ数		３基（並列運転）
自動ハツリロボット		
高圧水噴射ノズル数		３基
施工幅員		7,000mm

そこで大きな能力を持つ超高圧ポンプの開発が不可欠となった。図－４は現在日本国内で使用されている超高圧ポンプの圧力と流量の関係をプロットしたものである。この図から今回開発した超高圧ポンプが今までにない高圧，大流量であることが分かる。

図－４　WJ ポンプの能力分布

また自動ハツリロボット（ハツリ装置）は、３基の回転式高圧水噴射ノズルを有し，それぞれのノズルには独立した超高圧ポンプ３台から高圧水を供給するシステムとし、既設コンクリート版の幅員（７ｍ）に対しワンパス施工が可能な構造とした。３基の回転式高圧水噴射ノズルは、作業用フレームに等間隔で配置され、往復横行運動する。自動ハツリロボットは、高圧水噴射ノズルが横行中は進行方向に対して停止しており、施工幅員の端部までノズルが達すると同時にステップ走行する。

施工品質を確保する上では、所定の処理面形状を得ることが重要であり、そのためには、高圧、大流量、回転式高圧水噴射ノズルという WJ の基本要件に加え、コンクリート版と横行する高圧水噴射ノズルの間隔（スタンドオフ）を常に一定に保つことが必要である。本システムでは、予め計測した既設コンクリート版の高さデータと高圧水噴射ノズルの現在位置により、スタンドオフを常に一定に自動制御する装置を開発し、自動ハツリロボットに組み込んだ。

以上の結果として，本 WJ システムは世界的にも類をみない大規模かつ高精度なものとなった。

超高圧ポンプユニットと自動ハツリロボットを、写真－１および２に示す。

写真－１　超高圧ポンプユニット

写真－２　自動ハツリロボット

4．WJ使用水のリサイクルシステムの概要

表－２に使用機材の一覧、図－５に使用水のリサイクルシステムのフローを示す。

WJ 用の使用水は、機械への影響を避けるために、極めて清浄な水に限られ、通常は上水道水を使用する。

一方、WJ のハツリ作業により発生する濁水は、コンクリートにより強アルカリ性を示すと共に、容易には沈殿しない微小粒子を多く含み、さらに WJ のエネルギーのため、５０～６０℃の高温となっている。いずれも WJ 用超高圧ポンプの繊細な機構に対して有害な要因であり、リサイクルするうえで、解決しなければならない問題であったため、WJ 使用水リサイクル用の精密濾過システムを開発した。

このシステムでは、まずハツリ作業装置の特殊フード内部に設けられた濁水吸引部から、特殊吸引車により濁水を吸引する。この部分で使用水の６～７割を回収している。機外に漏れ出た濁水は、止水堤を築き特殊吸引車によって回収する。これにより、使用水のほぼ全量を回収する事が可能である。特殊吸引車で回収した濁水は、濁水運搬車に積み替えて濁水リサイクル設備に運搬する。

運搬した濁水は受水タンクに排出し、一次タンクに随時移し替えて懸濁物質を自然沈降させた後、炭酸ガスにより中和処理を行い、二次タンクへ移し替える。この二次タンクは、１日分の濁水を貯留できる大きさであり、この間に自然冷却、懸濁物質の沈降、炭酸カルシュウムの析出を行っている。この後、濁水処理装置にて高分子凝集剤、ＰＡＣ材を投入撹拌しペレット式フィルター、砂濾過装置、プリコートフィルターによる３段階の濾過器を通過させ、懸濁物質を除去すると共に滅菌処理を行う。この一連の処理により、WJ 用超高圧ポンプに対して表－３のように再使用可能な水質を確保することができた。処理能力は、２０ m^3/h であり、WJ の使用水量と適合させている。

特殊吸引車および濁水運搬車を写真－３に、濁水処理装置を写真－４に示す。

表－２　使用機械の一覧

機械名	仕様	台数
特殊吸引車	$2.5m^3$	2
濁水運搬車	4t 車	4
受水タンク	$5m^3$	1
一時タンク	$30m^3$	2
炭酸ガス中和装置	$20m^3/h$	1
二次タンク	$20m^3$	5
ペレッター式濾過装置	$20m^3/h$	1
砂濾過装置	$20m^3/h$	1
プリコートフィルター	$20m^3/h$	2
清水タンク	$20m^3$	2
清水運搬車	4t 車	4

濁水を特殊吸引車で吸引
↓
濁水リサイクル設備に運搬
↓
受水タンク
↓
一次タンク
↓
炭酸ガス中和
↓
二次タンク
↓
一次濾過(ペレッター)
↓
滅菌
↓
二次濾過(砂濾過)
↓
三次濾過(プリコート)
↓
清水タンク
↓
超高圧ポンプ

図－５　システムのフロー

表－３　リサイクル水の水質

管理項目	管理基準	実測値
濁度	10mg/ℓ以下	検出せず
ｐｈ	6.5 ～ 8.5	7.5 程度
硬度	89 ～ 178mg/ℓ	120mg/ℓ程度
水温	27 ℃以下	27 ℃以下

写真－３　特殊吸引車および濁水運搬車

写真－４　濁水処理装置

今回の WJ システムを運用するには、WJ 水の他にがら回収にも高圧洗浄機用の水を必要とし、合計の使用水量は、１日に約１６０ m^3 にのぼる。これだけの水量を毎日上水道水から確保することは困難であり、地下水にたよったとしても新しい水を毎日供給し、廃水として放流することは、地下水の枯渇など工事区域周辺の社会問題となりかねない。今回開発したリサイクルシステムによれば、日々の新水の供給量を少量に抑えることができる事に加え、廃水を放流する必要が無くなり、環境への影響を最小限にとどめる事ができた。

５．がら回収システムの概要

WJ によるハツリ表面は１０～２０㎜の凹凸が連続しており、この上に散らばるハツリがらおよびノロ分は非常に扱いづらく、通常のロードスイーパ等では清掃が不可能であるため、専用のがら回収機を開発した。表－４に使用機械の一覧、図－６にがら回収システムの概略図を示す。

表－４　使用機械一覧

機械名	仕様	台数
がら回収機	作業幅 1.5m	1
特殊吸引車	タンク容量 $8m^3$	2
空気圧縮機	$21.9m^3$ /min	1
高圧洗浄機	$150kgf/cm^2$	6
水槽	$5m^3$	1
大型平ボディー		1

空気圧縮機、高圧洗浄機、水槽は大型平ボディーに積載

ハツリ面上に散乱するがらを回収するには、圧縮空気と高圧水を組み合わせて、洗浄しながら吹き飛ばす方法が最も有効である。実験を重ねた結果、図－６のような最も効率的な装置構成を見いだした。ハツリ面に積み重なるハツリがらに対して、圧縮空気および高圧水を噴射し、がらを路面から浮かせブラシに向けて吹き飛ばす。次にブラシの回転によって前方

図－６　がら回収システムの概略

のスクリューに移動させ、集積部に集めた後に、上部に設けた開口部から特殊吸引車で吸引する。この方式によるとハツリがらのみではなく、ノロ分や水分も同時に回収することが可能であり、WJ によるハツリ面の清掃には最も適した方法と言える。また一連の作業は完全に自動運転で行い、省力化が進んだシステムといえる。特殊吸引車のレシーバタンクに溜まったがらは、指定された集積場所までそのまま自走運搬し排出する。ハツリがらについても、その発生量は少ないものの、再生材等への有効活用が可能である。

写真－５にがら回収機、写真－６にがら回収機用特殊吸引車を示す。

写真－５　がら回収機

写真－６　がら回収用特殊吸引車

６．おわりに

本システムにおいて、平成１０年に約 35,000 ㎡のエプロン改修工事を完了し、現在、２度目となる改修工事が実施されている。付着型オーバーレイ工法は、環境に配慮し、経済的にも優れた工法であり、他の空港あるいは他の構造物への適用の拡大、普及が期待される。また、本システムにより、超高圧・大流量・高精度制御の WJ 技術が確立でき、異分野への応用の可能性も考えられる。

一般的に WJ システムを運用する際に、特に問題となるのが、大量の使用水の調達とハツリ水の処分である。給水場および廃水場の確保、水質の調査、給水車の台数、交通渋滞など様々な要因がふくまれている。今回のような大規模システムを、供用中の空港エプロンという特殊な状況で運用するには、この問題はさらに深刻なものとなる。今回開発した水のリサイクルシステムは、この問題を環境に優しい方法ですべて解決すると共に、湖沼あるいは河川などの水でも、一旦リサイクルシステムを通すことによって、WJ 用超高圧ポンプに適用することが可能になるなど、WJ 工法の適用範囲を広げることが可能となった。

今後、さらに環境に優しく、経済的にメリットのある工法となるよう研究開発をかさね、システムの改良を行い、WJ 工法の拡大、普及に取り組む所存である。

【参考文献】

金子：完全付着型オーバーレイ工法の確立、月刊建設（1997,11）

49. ロードスタビライザの高付加価値化
～FA，AE 兼用型機の開発～

日本舗道㈱：泉　　秀俊，*相田　　尚
コマツ：品川　春樹

1．はじめに

近年、環境保全に対する関心は、世界的に高まりつつある。舗装工事においても様々な技術が試みられているが、その中で路上再生路盤工法は経済的なリサイクル技術としてばかりでなく、加熱が不要でCO_2削減に貢献できることなどから需要も多く、年間約２５０万m²が施工されている。

同工法に使用する瀝青添加材には、アスファルト乳剤、フォームドアスファルトの２種類があるが、後者の場合のスタビライザは大型の輸入機あるいはフォームドアスファルト専用機であって、わが国の道路幅員やフォームド工法の発注量を勘案すると，現時点では汎用性が必ずしも高いとは言えない。

以上の点を鑑み、フォームドアスファルト、アスファルト乳剤のいずれも施工可能で、わが国の道路幅員に合った中型の兼用型スタビライザを開発・実用化した。

ここでは，開発したスタビライザの概要を紹介する。

2．路上再生路盤工法用スタビライザ

路上において既設のアスファルト混合物を破砕し、同時にセメントや瀝青材などの添加材と既設路盤材料とを混合し、締め固めて新たな高耐久性路盤を構築する工法を路上再生路盤工法という。既設材料等の破砕・混合は通常、タイヤ式の路上再生路盤工法用スタビライザ（以下スタビライザ）で行い、特に瀝青材混合用スタビライザには次の２種類がある。

①アスファルト乳剤散布装置付きスタビライザ

②フォームドアスファルト発生装置付きスタビライザ

これらのスタビライザは通常のスタビライザに瀝青材散布装置を備えたもので、主な装置としては、前者はアスファルト乳剤（以下ＡＥ）を噴射するためのポンプ、ノズル、後者はフォームドアスファルト（以下ＦＡ）発生装置およびこれを噴射するためのポンプ、ノズルである。

表－１に主な装置を示す。

表－１　スタビライザの装置比較

	ＡＥ散布装置付きスタビライザ	ＦＡ発生装置付きスタビライザ
噴射用ポンプ	高粘性用	高温・高粘性用
流量計	回転数検出式、電磁式	回転数検出式
水タンク	－	泡状化用
コンプレッサ	－	泡状化または洗浄用
加熱装置	－	配管，ポンプ用
管理計器	－	温度計・圧力計

ＦＡ散布装置は、高温（150 ～ 180℃）のストレートアスファルトを扱うため、管やポンプの保温あるいは加熱対策が必となり、同時に温度計や圧力計により均な泡状化にするための管理が付加される

また、泡状化する方式は種々あるが、一般的に知られる方式では水または水と

エアーをチャンバー内でアスファルトに噴射してＦＡを発生させることから、水とコンプレッサは必要不可欠なものとなる。

３．開発方針

ＦＡによる路上再生路盤工法は、国内でも約 20 年前から行われているが、近年の省エネルギーに対する高い関心からか、ここ数年で世界的に拡がりを見せている。

しかしながら、市販されているスタビライザは前述のとおり汎用性に問題があることから、今回開発に当たっての方針を以下のように定めた。

①狭隘かつ埋設物の多いわが国の道路事情を勘案し、一般的なロードスタビライザ同等の大きさ、性能とする。

②装置の軽量・小型化を実現するため、アスファルトの供給・散布系統とＡＥのそれは極力供用する。

③一般的な施工条件範囲内でＦＡ、ＡＥともに正確に安定して散布できる。

④ＦＡ、ＡＥいずれであっても、添加材を均一に混合できる。

４．開発機の概要

ベースとなるスタビライザには、実績の多いコマツＧＳ３６０－Ⅱを選定した。また、路上再生路盤工事用として、既設アスコンの細粒化は重要な要素であることから、ドラム型ロータにコニカルビットを配列したＳＲロータの搭載を必須とした。

ＦＡ発生装置に必要となるコンプレッサは、エンジン駆動式を新たに組み込んだ。また、水タンクおよび水ポンプは車体後方に搭載した。

アスファルトの供給ラインは、ヒータ等の保温装置が最低限ですむローリ循環式とした。従って、ヒータはポンプ廻りおよび戻り配管の一部のみに布設し、それに必要な発電機は小型のものを車載することとした。開発機の主要諸元を表－２に、全景を写真－１を示す。

また、ノズルアッセンブリを油圧シリンダで起こす機構など、清掃などのメンテナンス性に配慮した。

表－２　開発機の諸元

	諸元・性能
全　長（回送時）	９，７００ mm
全　幅（回送時）	２，４５０ mm
全　高（回送時）	３，３７５ mm
重　量	２０，４００ kg
混合幅（散布幅）	２，０００ mm
混合深さ	最大　４００ mm
散布ノズル本数	１２本
散布幅	最大２，０００ mm
水タンク容量	５００Ｌ

写真－１　開発機全景

5．発泡原理

ＦＡの場合，体積膨張による粘性の低下によって、細粒分の多い湿潤骨材の常温混合を可能にすることから、いかに膨張率を上げるかという点をポイントとして，ノズルの開発に取り組んだ。

その結果、アスファルトに対しての水の衝突力を大きくとれれば，アスファルトの吐出圧力に関係なく大きな発泡倍率を得ることが可能と分かり、図－１のような発泡形式とした。

水は気化することにより、体積が 約１０００倍に膨張する。従って、理論上は、水２％で２０倍，３％で３０倍，４％で４０倍の膨張率が得られることになる。

図－１ 発泡イメージ図

今回、ノズルの径、アスファルト量を変化させながら最適な発泡率を模索し,図－２に示す実験値を得た。

また，ＡＥを散布する場合，水を添加する必要はないが、エアーを常時吹き出すことによって、ノズルの閉塞がなくなり、さらに少量時/多量時といった散布量によるノズルの交換が不要となる効果が得られた。

図－２ 添加水量と発泡率との関係

6．吐出精度の確認

ストレートアスファルトと乳剤では粘度が違うこと、また、温度によって性状がかわることなどから、同一の回路で２種類の液体を噴射した場合の吐出精度について，吐出試験を行った。

12 あるノズルのうち左右および中央付近から計３箇を選定し，ＦＡ，ＡＥの供給量を変化させてノズルかの吐出量を測定して確認した。結果は図－３に示すとおりであり、各ノズルとも供給量に係わらず目標の± 10 ％以内、平均では３％以内であり安定しているといえる。

図－３ 吐出量測定結果

7．混合精度の確認

クラッシャランを対象として、深さ方向のＦＡの混合性を確認した。設定散布量 4.5 ％に対し抽出試験を実施し、結果は図－４に示すとおりほぼ安定している。また、掘削後、ガスバーナで加熱することで、均一に混合されているのが目視によっても確認することができた。

図－４　抽出試験結果

8．施工

（１）施工方法

ＦＡ添加の場合、安全を配慮しアスファルトローリとタイロッドで連結し、混合しない時はアスファルトはスタビライザ内からローリへと常時循環させ、一定の温度を保つようにする。一方、ＡＥ添加の場合は、温度の心配はないが乳剤の性状が安定するようにスタビライザ本体内で循環させる。これらはスタビライザの配管のバルブ切り替えで容易に行える。

（２）実路施工

平成１０年１０月から平成１１年７月までにＦＡ，ＡＥ合わせて約１０万㎡の施工を重ねてきた（写真－２）。その間、現場において問題点を抽出しながら改良を加え、施工性，メンテナンス性等ほぼ満足のできる機能を有する形となった。

当初懸念していた寒冷期間のアスファルト温度の低下も、最大で１０℃程度であり、ＦＡの品質や施工性に影響を及ぼさないことを確認した。

また、施工後の供用性についても、現在までのところ問題は生じていない。

写真－２　施工状況

9．おわりに

大型の輸入機や専用機が大半を占めていたフォームドスタビライザを、国産汎用機並の寸法・重量のＦＡ／ＡＥ兼用型とすることで、スタビライザの汎用性を高めることができた。現在まで、３台のＦＡ／ＡＥスタビライザを整備しているが、さらに今後、市場の動向や技術の普及を見ながら同機を順次追加整備し、ＦＡおよびＡＥによる路上再生路盤工法に対処する所存である。

50. 土質改良機 SP-P1200の開発

日立建機(株)：*中桐　史樹
大有建設(株)：竹島　宏侑

1．開発の背景と目的

建設副産物のリサイクルは近年その膨大な発生量と、これに伴なう最終処分場不足等の問題から、我国では大きな課題となっている。

この状況に鑑み、平成３年の「リサイクル法」の施行、平成６年に建設省策定の「リサイクルプラン２１」および平成９年に見直しが図られた「建設リサイクル推進計画’９７」等の法律やガイドライン（指針）開示面においても、建設副産物のリサイクル熱は一段と高まっている。この「建設リサイクル推進計画’９７」によれば、コンクリート塊・アスコン塊・建設発生木材等に代表される建設廃棄物全体でのリサイクル率は、平成７年度実績ベースでも５８％と比較的高い数値である。しかしながら、建設副産物の中でも年間約８億トンと最も発生量が多い建設発生土については、その再資源化利用率は平成７年度実績ベースで３２％と低く、平成１２年度における目標値の８０％には程遠い現状にある。

（図１、図２参照）

図１．建設発生土の再資源化フロー（平成７年）
（出典：総合的建設副産物対策）

図２．建設発生土の再資源利用率

この背景には、建設発生土の品質が高含水比や高粘性土の比率が比較的多く、埋戻し材・路床材・盛土材等としての要求品質に合致しない事が上げられる。これに対し従来は、発生土に生石灰やセメント等の固化材を加え油圧ショベルで攪拌混合する方法が採用されていた。しかしこの方法では固化材散布時の粉塵の舞い上がりや改良土品質のバラツキ等問題が多い。最近はこの問題解決の方法として、定置型の発生土改良プラントの建設・設置も増加する傾向にあるが、プラントは投資コストが高額であり充分なプラント数の設置は思うに任せず、また施工現場の近くにプラントが無い場合には輸送コストの増大が問題となっている。さらに、採石等の骨材業界においては湿式プラントによる洗浄・選別工程で発生する汚泥濁水の脱水ケーキは、現場内堆積するか最終処分場に埋立てされており、再生資源としての有効利用が大きな課題となっているのが現状である。

このような背景から、施工現場の近くで効率よくしかも低コストで高品質の改良土を生成する、自走式土質改良機ＳＲ－Ｐ１２００を開発した。尚、本機の開発に当たっては日立建機（株）と定置式土質改良プラントに実績を持っている大有建設（株）２社の共同開発で取り纏めたもので、今回本機の狙い

と特徴さらには土質改良事例等について紹介する。

2．開発の狙い（コンセプト）

建設発生土および脱水ケーキ等を適切に改良し再資源化を図るため開発の狙いを次のとおりにした。

1）低コストで高品質の改良土を生成

・混合効率の優れた２軸パドルミキサの採用

・高精度固化材供給コントロールシステムの採用

2）稼動率の高い機械

・大容量固化材ホッパの採用

・自走機能を有し、且つ運搬性能も優れた機械

・整備性を重要視した構造採用

3）トータルシステムリサイクルを担える土質対応力の高い機械

3．基本仕様および外観

本機の基本仕様を表１に、全体外形を図３に示す。

表1．ＳＲ－Ｐ１２００主仕様

運転質量	20 t
全　　高	4,300mm（作業時）
	3,500mm（輸送時）
全　　長	12,400mm
全　　幅	2,990mm
エンジン出力	99kw（135PS）
混合方式	2軸パドルミキサ
最大処理量	120t／h（80m³／h）
原料ホッパ	1．8m³（振動スクリーン付）
積込み高さ	3,300mm
固化材ホッパ	4m³（伸縮式）
固化材供給装置	ロータリフィーダ
クレーン性能	2．6t×1．6m，1．05t×3．0m
計 量 装 置	連続式重量計量機（コンベアスケール）

図３．ＳＲ－Ｐ１２００全体図

4．土質改良の仕組み

ＳＲ－Ｐ１２００土質改良機の主要機器構成と土質改良の仕組みを図４に示す。

図４．土質改良機の主要構成機器

1）建設現場等で発生する原料土を振動スクリーン付ホッパに供給する。

2）玉石等を除去し、大きな塊を解砕して６０mm以下の原料土がフィーダに供給される。

3）含水比等土質の違いに対応し設定された固化材を、固化材ホッパ底部に設置された固化材フィーダから供給・添加する。

4）二軸パドルミキサに送られた原料土と固化材は、均一に解砕・攪拌・混合される。

5）解砕・攪拌・混合された改良土は、排出ベルコンで排出される。

5．主な特長

本機はパドルミキサの採用と、コンベアスケールに依る改良土の重量計測値を固化材供給コントローラにフィードバックさせる機能を有しているため、設定した固化材添加率で均一で良質な改良土を低コストで生成する事が出来る。

特長を以下に示す。

1）高い混合効率と広範囲の土質対応

・攪拌、混合効率の優れた二軸パドルミキサの採用

・投入口に設置された振動スクリーンに依る前処理で改良土品質が安定

・高粘性土から砂質系土まで幅広く改良可能

2）高精度の固化材供給コントロール

・コンベアスケールで改良土量（重量）計測し、固化材添加率を一定にコントロール（図５参照）

・ロータリフィーダに依る固化材の安定供給

3）高い作業効率

・クレーンを標準装備しセルフカッタ付ホッパで固化材供給が容易

・本体運搬時に分解作業不要の伸縮式固化材ホッパ採用と２０トントレーラによる丸積み輸送

・メインテナンス性を重要視した各部構造

4）トータルコストパフォーマンスの高い機械

図５．高精度固化材供給システム

6．土質改良の事例

各種原料土の改良度合い確認をするために各種土質試験を行ったので、その代表事例を表２に示す。尚、全体的な傾向は下記の通りである。

1）含水比は、固化材（生石灰）の添加により低下する。

2）コンシステンシーは、固化材添加量に伴ない液性限界・塑性限界共に上昇するが、塑性限界の上昇が大きく塑性指数は低下する。

3）粒度は、固化材（生石灰）の添加により粘土粒子の凝集・団粒化が生じ、細粒分が減少し砂分が増加する。

4）ＣＢＲ値は、固化材添加量の増加に伴ない増大する。

建設発生土等を再資源材として埋め戻し材や路床材等に利用するためには、要求品質としてＣＢＲ値

が重要な要素となる。原料土の種類、含水比により、要求ＣＢＲ値を確保できる固化材の添加量が異なる。

表２．土質試験データ

		粘土混じり砂質土				関東ローム質土			粘　質　土		脱水ケーキ	
		原料土	改　良　土			原料土	改　良　土		原料土	改良土	原料土	改良土
生石灰添加量(%)		—	0.5	1.0	1.5	—	2.0	3.0	—	3.0	—	2.5
採取時の含水比(%)		15.5	14.7	14.2	13.4	61.6	47.7	46.7	39.1	34.2	29.2	24.6
PI	液性限界(%)	30.4	31.8	—	—	55.3	—	57.6	44.1	53.2	—	—
	塑性限界(%)	18.9	24.5	—	—	39.8	—	48.8	25.9	41.2	—	—
	塑性指数(%)	11.5	7.3	—	—	15.5	—	8.8	18.2	12	—	—
組成分	レキ分(%)	27.3	29.1	28.5	29.7	10.2	14.2	15.3	14.2	18.4	0	0.1
	粗砂分(%)	24.1	24.3	27.0	26.8	6.8	15.7	15.5	20.3	22.2	0	1.2
	細砂分(%)	20.3	20.2	17.6	19.7	22.7	22.9	23.5	14.1	19.8	9.9	6.2
	細粒分(%)	28.3	26.4	26.8	23.8	60.3	47.2	45.7	51.4	39.8	90.1	92.5
土質分類(土質記号)		SC	SM	SM	SM	VH_1	SV	SV	CL	SM	—	—
CBR (%)	即時(非養生)	—	4.9	12.4	26.3	—	1.8	3.8	—	2.9	—	1.6
	4日水浸	0.4	—	—	—	0.6	—	—	0.4	—	測定不能	—
	標準養生(10日)	—	19.6	37.4	54.4	—	4.2	15.7	—	11.6	—	8.7

図６、図７および図８に含水比、固化材添加量によるＣＢＲ値の変化を示す。

図６．シルト混砂質土を改良した時のＣＢＲ値

図７．関東ローム質土を改良した時のＣＢＲ値

図８．砕石ダスト脱水ケーキを改良した時のＣＢＲ値

７．今後の展開

各種原料土の改良確認を行い、固定式プラントに劣らない高品質の改良土を生成することが確認出来た。

建設発生土は種々雑多であり、大塊の除去・解砕、高含水比・高粘性の土砂の改良や要求粒径への改良土の篩い分け等、本土質改良機の前後処理を含めた現場事情に合ったトータルシステム提案で多量に発生する建設発生土のトータルリサイクルを目指していきたい。（図９参照）

図９．発生土のトータルリサイクルシステム

今後とも建設副産物のリサイクルという大きな課題解決に対し、貢献出来るよう努力する所存であり、関係各位のご指導・ご協力を宜しくお願い申し上げます。

51. 伐採樹木を利用したのり面緑化工法

㈱熊谷組：*小林　正宏，横塚　　亨
石口　真実

はじめに

伐開・除根作業を伴う建設工事現場では、野焼きが禁止されているため、発生した伐採樹木の処理が問題となっている。このような背景から、伐採樹木を現地で粉砕（チップ化）し、マルチング材や堆肥などに利用する事例が増加している。そこで筆者らは、伐採樹木や現地発生土などの現地廃材を緑化資材の原料としてリサイクルする法面緑化工法「ネッコチップ工法」を開発した。

本稿では、まずネッコチップ工法の概要を説明する。次に、本工法の主要機械である「混合装置」および大量かつ効率施工を目的として新たに開発した「高速ベルトコンベア式撒きだし装置」について述べた後、本工法の実施例を紹介する。

1．ネッコチップ工法の概要

ネッコチップ工法は、**図－1** に概略フローを示すように、伐採樹木（主に利用困難な根や枝葉）を針状に粉砕し、これに現地発生土（主に盛土に不適当な表土）と種子・肥料・団粒剤・接合剤などを混練した生育基盤材料を、法面に付着させて生育基盤を造成する工法である[1]。本工法は、勾配が 1:0.5 より緩い法面であれば、一般の切土・盛土法面、岩盤法面、肥料分や土壌の少ない法面など、広範囲な土質条件の法面に適用できる。

図－1　ネッコチップ工法の概略フロー

伐採樹木は、針状に粉砕して生材のまま現地発生土と混合させることにより、互いに絡み合い、生育基盤の補強材、土壌構造の改良材としてリサイクルする。現地発生土は、原則として自然植生の復元が期待できる表土を用い、団粒剤により自然表土と同程度の団粒土壌に改良する。なお、針状チップと現地発生土の混合割合は、体積比で1：1を標準としている。また、針状チップを含む生育基盤材料を撒きだす専用装置（高速ベルトコンベア式撒きだし装置）により、法面に効率よく生育基盤を造成することができる。さらに、法面工と併せて施工することにより、整形した法面を早期に保護して崩落・侵食を防止できる。

2．主要機械

①混合装置

図－2 に混合装置を示す。ミキサは、原材料を槽内全体に素速く分散混合させる必要があるため、

撹拌能力に優れている強制練り2軸ミキサ（底開式）を採用している。このミキサにより、針状チップ同士が絡み合い、現地発生土が均質に団粒した生育基盤材料を製造することができる。

針状チップおよび現地発生土の投入はバックホウで行われ、水はポンプによる自動投入、肥料・種子・団粒剤・接着剤は作業員が投入する。製造した生育基盤材料は、架台下の運搬車に直接排出され、施工場所まで運搬される。この装置により、1回当たり約1.8m³の生育基盤材料が10分程度で製造できる。

図－2　混合装置

②高速ベルトコンベア式撒きだし装置

寸法が大きく（最大15cm）、しかも形状の異なる針状チップ同士が絡み合って補強された生育基盤材料は、流動性・分散性に著しく劣るため、従来の圧送式（圧縮空気、ポンプなど）の吹付装置では連続吐出できない。そこで筆者らは、圧送困難な材料を連続的に掻き出して機械的に飛ばす「高速ベルトコンベア式撒きだし装置」を開発した[2]。この装置は、**写真－1**に装置の全景を示すように、現場で汎用の油圧ショベル（0.7m³）を母機と、これに高速ベルトコンベアを搭載した専用アタッチメントを取り付けたものである。

写真－1　高速ベルトコンベア式撒きだし装置

専用アタッチメントは，**図－3**にその構造を示すように，ホッパ底部のチェーンフィーダーから生育基盤材料を定量供給し，下部の高速ベルトコンベア（ベルト速度600m/min）により法面に付着可能な吐出速度約10m/sで前方に撒きだす（吐出量20～25m³/h）装置である。ホッパーは、内部で材料が閉塞しにくいボックス形状をなしており，材料が閉塞しやすい出口上部にはアーチング防止と定量性確保のため、補助ローラが設置されている。生育基盤材料の供給量と吐出速度は、チェーンフィーダや高速ベルトコンベアの回転数を制御することにより個別に設定できる。高速ベルトコンベアは，ベンドローラによりベルトが曲線構造をなしており、上部から落下してきた材料が短い距離でさらに加速されて前方に撒きだされる。また、狭所や盛土法面への施工に対応するため、正面から左右45度の角度で向きを変えることができる。

図－3　専用アタッチメントの構造

3．実施例

①大規模造成工事における切土法面への施工例

平成１０年４月から８月にかけて、立命館アジア太平洋大学設置事業に伴う造成工事現場（大分県別府市）において、伐開・除根に伴い発生した約 3,000m³ のチップおよび現地で大量に発生する黒ボク土の場内リサイクルを図るため、粘性土の切土法面（勾配 1:1.5、面積 30,000m²）に対し、本工法により厚み 7cm の生育基盤を造成した。**写真－２**に伐採樹木の粉砕状況を示す。なお、当法面は施工後に植栽を計画しているため、作業の妨げになるラス金網は使用しないこととした。

施工手順は、まず現場内の敷地に定置した混合装置で生育基盤材料を製造し、材料運搬車を用いてこれを施工場所まで運搬し、高速ベルトコンベア式撒きだし装置により法面整形・清掃工が完了した法面から順次施工した。**写真－３**に生育基盤材料の製造状況、**写真－４**に生育基盤の造成状況を示す。

施工は法面工の完了とほぼ同時に終了することができた。今回の施工実績より、混合装置の製造能力は平均 12m³/h、高速ベルトコンベア式撒きだし装置の施工能力は平均 7.4m³（厚み 7cm 換算で 100m²）/h と推定され、従来（吹付装置）の３倍程度の効率で施工できることを確認した。

造成した生育基盤は、いくつかの台風を経て、今年の大雨によりかなりの降雨を経験しているにもかかわらず、顕著な流出もなく安定しており、針状チップの絡み合いによる補強効果が認められた。

導入植物は、播種の不適期である夏期に施工した法面も含めて施工後２週間には発芽し、植栽が完了した現在も順調に生育していることを確認している。**写真－５**に施工直後の法面状況、**写真－６**に施工後１年の法面状況を示す。

②盛土法面への施工例

平成 10 年 10 月、希望ヶ丘西地区土地区画整理事業造成工事現場（宮崎県宮崎市）において、盛土法面（勾配 1:1.8、面積 1,500m²）に対し、本工法により厚み 5cm の生育基盤を造成した。**写真－７**に施工状況を示すように、盛土法面の施工は切土法面と異なり法面上部からの撒きだしとなる。

写真－２　伐採樹木の粉砕状況

写真－３　生育基盤材料の製造状況

写真－４　生育基盤の造成状況

写真－5　施工直後の法面状況

写真－6　施工後1年の法面状況

従って、オペレーターが法面を確認できるよう油圧ショベルのアームを斜めにして母機を法面に近づけるとともに、高速ベルトコンベアに角度をつけて法面と並行に撒きだすことにより効率よく施工できた。造成した生育基盤は、顕著な流出もなく、植物も順調に発芽・生育している。**写真－8** に施工後 6 ヶ月の法面状況を示す。

おわりに

伐採樹木や現地発生土などの現地廃材を利用した法面緑化工法「ネッコチップ工法」を開発した。なかでも、吹付困難な生育基盤材料を効率よく大量に撒きだすことができる高速ベルトコンベア式撒きだし装置の開発は、大規模造成現場への適用を可能にし、経済性も向上した。平成 11 年 3 月に先端建設技術・技術審査証明を取得し、平成 11 年 4 月には研究会を発足するに至っており、今後は本工法の普及を図るとともに、整形が完了している多段法面への施工方法などの機械的課題に取り組む予定である。

参考文献

(1)石口,横塚,小林：ネッコチップ工法でリサイクル緑化, 土木施工, Vol.40, No.5, pp.81-85, 1999.
(2)麻生,渡辺,供田：「ネッコチップ工法」の施工機開発, 建設機械, Vol.35, No.5, pp.47-50, 1999.

写真－7　盛土法面への施工状況

写真－8　施工後6ヶ月の法面状況

52. タンク&プラグ混合処理工法（T&P工法）の開発～浚渫土の早期リサイクル技術の開発～

三井不動産建設㈱：山田　尚史，*高羽　泰久
三井造船㈱：高梨　清一

1．はじめに

近年、資源のリサイクルの観点から、港湾工事や湖沼などから発生する軟弱な浚渫土砂を有効活用するための再処理・利用技術の検討がなされている。

管中混合固化処理工法は，軟泥土を空気圧送にて搬送する過程で固化材を添加し、プラグ流を利用して混練りを行うことにより必要な強度を持つ固化処理土として様々な部位に利用しようとするものである。固化処理土は、今まで浚渫土砂が利用されていなかった岸壁・護岸の腹付土砂等へ利用できるほか、埋立に利用した場合にも地盤改良工の軽減や放置期間が短縮できるなど、建設コストの縮減や工期の短縮が図られる可能性がある。

当社では、管中混合固化処理工法の一つである「タンク&プラグ混合処理工法（以下、T&P工法とする。）」の実用化試験を平成4年[1]から行い、改良を重ねてきた。以下、T&P工法の概要と平成10年に福岡市港湾局殿のご協力により博多港アイランドシティ埋立地にて行った実証試験結果について報告する。

2．工法の概要

T&P工法は、管中混合固化処理工法の中の圧送前に固化材を添加する圧送機添加方式に分類される。MATS-600を代表とするMES-KHシリーズの空気圧送船の特長である撹拌機付の圧送タンクで固化材を添加し、圧送することで連続的に固化処理土の埋立を行うものである。

T&P工法における浚渫土砂と固化材の混練りは、タンク内の撹拌機による強制撹拌（1次混練）と混気圧送中のプラグ流の乱流効果（2次混練）を併用して行う。このため、プラグ流の不連続性に影響されることなく確実に固化材を添加でき、混練りの信頼性が高いことから固化処理土を十分均質化させることが可能である。図－1にT&P工法による埋立工概念図を示す。

図－1　タンク&プラグ混合処理工法による埋立工概念図

（1）固化処理土の製造機構

Ｔ＆Ｐ工法は、圧送前に密閉式の圧送タンクでセメントスラリー等の固化材を添加し、撹拌機による１次混練り後、空気圧送を行い、この圧送過程で発生するプラグ流による２次混練りでより均質な固化処理土を製造する。図－２にＴ＆Ｐ工法の概念図を示す。

図－2　タンク＆プラグ混合処理工法概念図

（2）工法の特徴

Ｔ＆Ｐ工法の特徴を以下に示す。

①混練の信頼性が高い

強制撹拌とプラグ流混合の併用となるため練り混ぜの信頼性が高い

②品質のバラツキが少ない

バッチ毎に確実に固化材を添加できるため固化処理土の品質にバラツキが少ない

③土砂性状の変化にも対応可能

バッチ毎に土砂量、固化材量、含水量を制御できるため、土砂性状の変化に対しても対応が可能

３．実証試験

（1）実験概要

実験期間：平成 10 年 12 月 15～21 日

実験場所：福岡県福岡市アイランドシティ埋立地内

図－３　実験場所位置図

圧送ｼｽﾃﾑ：空気圧送船　MATS-600（660m³/hr）

実験では、3系統6基の圧送タンクの内、1系統1基を使用

圧送距離：534～602m

固 化 材：セメントスラリー（高炉B種、W／C＝1．0）

浚渫土砂：博多港航路浚渫土（－12.6～－14.6m）

・含水比　　82%（土運船積載状態）

・液性限界　65.1%

・粗砂2.0%、細砂14.2%、シルト35.8%、粘土47.3%

実験ｹｰｽ：実験は、気中打設を3ケース（CASE1～3、固化材添加量50，75，100kg/m³）、水中打設を2ケース（CASE4,5、固化材添加量75，100kg/m³）、及び気中打設のバッチ容量を増加させた場合2ケース（CASE6,7、固化材添加量75kg/m³）の合計7ケース、総打設量は442.6m³行った。実験ケースの一覧表を表－1に示す。

表－1　実験ケース一覧表

実験番号	実験ｹｰｽ	固化材添加量（kg/m³）	調整含水比（%）	取込土砂量（m³/ﾊﾞｯﾁ）	ﾊﾞｯﾁ容量（m³/ﾊﾞｯﾁ）	打設量（m³）
CASE1	気中　50kg	50	100	4.5	5.5	82.5
CASE2	気中　75kg	75	100	4.5	5.7	85.5
CASE3	気中 100kg	100	100	4.5	5.9	70.8
CASE4	水中　75kg	75	100	4.5	5.7	57.0
CASE5	水中 100kg	100	100	4.5	5.9	70.8
CASE6	気中全ﾀﾝｸ	75	100	9.0	11.4	45.6
CASE7	気中2/3ﾀﾝｸ	75	100	6.0	7.6	30.4
					合計	442.6

実験方法：埋立地内に10m×10m×1m程度の打設ピットを掘削し、30～80m³程度の固化処理土を打設した。打設後、打設ピット内の任意の5箇所から試料を採取（現場モールド、現場コアサンプリング）し、一軸圧縮強度試験を行った。なお、1ヶ所当たりの試料採取本数は、3本であり、5ヶ所合計で15本の供試体を作成した。図－4に陸上打設試験の概念図を、写真－1，2に試験状況写真を示す。

図－4　陸上打設試験の概念図

写真－1　無添加土（含水比 100%）の打設状況

写真－2　固化処理土（75kg/m³ 添加）打設状況及び掘削断面

（2）実験結果

表－2 に一軸圧縮強度試験の結果の一覧表を示す。また、図－5に気中打設における室内配合試験との強度比較、図－6には一軸圧縮強さの変動係数を示す。

表－2　現場モールド試料の一軸圧縮強度試験結果(養生 28 日)

実験番号	実験ｹｰｽ	固化材添加量 kg/m³	一軸圧縮強さ kgf/cm² ×10⁵N/m²	変動係数 %
CASE1	気中打設　50kg	50	1.26(1.36)	6.8(12.0)
CASE2	気中打設　75kg	75	3.74(3.12)	13.8(19.8)
CASE3	気中打設 100kg	100	8.74(6.29)	5.6(10.4)
CASE4	水中打設　75kg	75	(3.63)	(14.6)
CASE5	水中打設 100kg	100	(7.44)	(18.0)
CASE6	気中打設全ﾀﾝｸ	75	4.83	4.8
CASE7	気中打設2/3ﾀﾝｸ	75	5.11	11.5

注)（　）内の数値は、現場コアサンプリングにより採取した試料

気中打設 (CASE1～3) での固化処理土の一軸圧縮強さは、現場モールドにおいて固化材添加量 100kg/m³ で q_{u28}=8.74kgf/cm²(×10⁵N/m²)、固化材添加量 50kg/m³ でも q_{u28}=1.26kgf/cm²(×10⁵N/m²)まで発現してい

る。これは、室内強度の 50～80%に相当し、実用上良好な数値が得られた。強度のばらつきを示す変動係数は、現場モールドで 15%以内、現場コアサンプリングにおいても 20%以内に収まっている。また、水中打設(CASE4,5)及びバッチ容量を増加させた場合(CASE6,7)でもほぼ同等な品質が得られている。

圧送能力に関しては、圧送時間、圧送背圧の計測結果より無添加土の圧送に比べ 2～3 割程度低下することが分かった。

図－5 気中打設における室内強度との強度比較

図－6 気中打設における固化処理土の変動係数

4．固化処理土の利用方法

①埋立土砂として利用

埋立土砂として利用した場合、埋立後の地盤改良（バーチカルドレーン工法や表層処理工法）や圧密放置期間が不要となるため、埋立から土地利用までの工期が大幅に短縮できる可能性がある。（図－1参照）

②護岸、岸壁等の腹付土砂として利用

浚渫土砂が海砂等の代替材として利用可能となるほか、qu=1～2kgf/cm² 程度の強度を持つ地盤を構築できるため、安定上有利となり、現地盤の地盤改良が軽減できる。また、固化処理土は液状化しないため岸壁の液状化対策が不要となる。(図－7参照)

図－7 護岸、岸壁の腹付土砂としての利用概念図

③浚渫土の陸上運搬・処分の補助工法として利用

組立可搬式の空気圧送機（KH-150 等）を用いれば湖沼等の浚渫から圧送・固化処理までを一貫して行うことが可能である。固化処理土は、翌日にはダンプトラックに積み込み可能な程度まで硬化するため、浚渫区域から離れた処分場までの運搬が可能となる。また、固化処理土は硬化後、山積みにできるため、限られた面積の処分場を有効に利用することができる。(図－８参照)

図－８　浚渫土の陸上運搬・処分の補助工法としての利用概

④その他の利用方法

・ケーソン岸壁等における現地盤の置換工法として利用

・鋼鈑セル、二重締切矢板の中詰材としての利用

５．おわりに

実証試験の結果は、埋立や護岸・岸壁の腹付土砂等に利用するために必要な強度が充分得られており、本工法が、浚渫土の有効利用を実現する有効な手段となる可能性が高まったと判断する。今後は、試験施工等の実施により水中打設の施工方法や出来形管理、品質管理等の施工管理方法など、残された問題点を解決して行きたい。

なお、実証試験の実施にあたり、格別なご理解とご協力を頂いた福岡市港湾局殿に紙面を借りて厚く感謝する次第である。

＜参考文献＞

1)内山、村沢、別府：空気圧送船によるプレミックス埋立工法実験報告，土木学会第 20 回関東支部技術発表会講演概要集　P573～574，1993.3.

53. シールド掘削で発生する汚泥の再生設備

鹿島建設㈱：*柴田　学，渡辺　聡

1．はじめに

最近の建設汚泥の最終処分場の受入れ能力の逼迫や，循環型社会を構築するための建設リサイクルの推進を背景に、廃棄物の処理及び清掃に関する法律の一部を改正する法律（平成9年法律 85 号）により再生利用認定制度が創設された。それにより対象となる廃棄物、再生利用の内容の基準、再生利用を行い、又は行おうとする者の基準、再生利用の用に供する施設の基準等が定められ、対象となる廃棄物として、建設汚泥（シールド工事若しくは、開削工法を用いた掘削工事、杭基礎工法、ケーソン基礎工法若しくは、連続地中壁工法に伴う掘削工事又は地盤改良工法を用いた工事に伴って生じた無機性のものに限る。）が指定された。この再生利用認定を受けることにより、今まで産業廃棄物として処理していた二次処理土（汚泥の脱水処理を行ったもの）を高規格堤防の築造材として再生利用が可能になった。

再生利用の認定を受けることのメリットは次のとおりである。

① 高規格堤防築造材として使用ができ、発生土のリサイクルが図られ、最終処分場を手当する必要がなくなる。

② 盛土先の高規格堤防を最終処分場として扱う必要がなく、管理型の最終処分場としての設備や管理が不要である。

③ 再生品と一般発生土を共に盛土する事が出来るので品質のよい堤防を築造することができる。

④ 再生品の運搬に通常のダンプトラックを使用することができる。

この再生利用認定制度は、建設省関東地方建設局江戸川工事事務所の首都圏外郭放水路事業で活用され建設発生土のリサイクルで大きな成果をあげている。　首都圏外郭放水路事業は、江戸川・利根川・荒川に囲まれた低地でお皿のような水の溜まりやすい地形の中川・綾瀬川流域の治水対策として、中川・倉松川の各河川と江戸川を地下放水路で結び、これら河川の洪水を江戸川に排水するものである。当社は、この放水路工事の外郭放水路第3工区トンネル新設工事で認定第1号を受け、再生利用を実施中である。この認定手続き、設備についての概要を紹介する。

2．再生利用認定の手続き

申請のフローを図―1に記す。大きな流れは、産業廃棄物中間処理施設の設置申請と同じであるが，再生利用が可能な状態であるかが大きなポイントとなる。具体的に言えば、再生土を受け入れる高規格堤防の工事が存在するか、トンネルを掘削する対象の土質が厚生省の告示と高規格堤防の仕様に対応できるかである。申請先は、厚生省で、厚生大臣の認定をうけることで設置工事を開始することができる。

図―１　再生利用認定申請フロー

３．予備実験と機械の選定

３－１　試験目的

申請の準備として外郭放水路トンネル新設工事に伴う発生土が高規格堤防への盛土材として使用できる施工方法の検討・確認を目的とした試験を行い、下記の項目を確認した。

①一次処理土（振動ふるいで分級される土砂）が盛土材料の選定基準を満足していること。

②一次処理土と二次処理土の混合土（添加剤なし）が盛土材料の選定基準を満足していること。

③処理施設が一次処理土と二次処理土の混合まで一連で行えること。

３－２　予備試験結果

試験は実大の脱水設備を使用して、トンネルの掘削対象地盤の土質と同じ立坑工事で発生した土砂を搬入して掘削時の泥水と同等の泥水を作成して試験を行った。脱水設備として普通圧フィルタープレス（打込圧 0.686 MPa 7kgf/cm²）と高圧フィルタープレス（打込圧 3.92 MPa 40kgf/cm²）を使用し二次処理土を作成、また一次処理土、一次と二次の混合土のそれぞれで盛土試験を実施した。結果は以下のとおりで、凝集材などの薬品を使用せず充分な強度をもつ再生土の製造について高圧フィルタープレスが適していることがわかった。また、一次処理土：二次処理土（高圧プレス使用）が 7：3 の混合を行ってもコーン指数を確保できることがわかった。この結果により設備の設計を行い、申請を行った。

表—1　予備試験結果

種類	コーン指数　MPa (kgf/cm²)	含水比　%
高圧プレス	1.38 (14)	40.2
普通圧プレス	0.118 (1.2)	55
混合土　一次：二次　7：3	0.529 (5.4)	33.7

4．再生土の利用状況

4－1　一次、二次処理土の物性

本工事で発生した処理土の物性は、下記のとおりである。

表—2　処理土の物性

	土質区分	含水比　%	コーン指数 MPa (kgf/cm²)	有害物質
一次処理土	砂質土	27～38	0.275 (2.8)	基準値以下
二次処理土	粘性土	35～45	0.61～1.08 (6.2～11)	基準値以下
混合土		29～39	0.88～0.98 (9～10)	基準値以下

有害物質試験は、産業廃棄物に含まれる金属等の検出方法により実施し、一次処理土でセレン又は、その化合物が 0.002mg/l 検出されたが基準値の 0.01mg/l 以下であった。他の物質については一次・二次処理土ともに不検出であった。また、一次処理土と二次処理土の粒度試験結果、二次処理土単体では、粒度分布が偏っているため、一次処理土を混合することにした。

4－2　再生実績

再生土は、一次処理土と二次処理土を３：７で混合して、高規格堤防の堤体の盛土（地表になる面より 1.5 m以深）に使用した。本工事の掘削で発生する土砂の利用予定を下に記す。

表—3　　発生土の利用方法

	利用方法	数量 (m^3)
一次処理土	堤防盛土	109,200
	再生土と混合して高規格堤防盛土	16,800
二次処理土（再生土）	一次処理土と混合して高規格堤防盛土	39,200

5．再生利用設備の概要

シールド機で掘削された土砂は、泥水により地上まで運搬されローヘッドスクリーン、振動ふるいで砂分、れき分が分離される、泥水に溶け込んだ粘土・シルト分は、一旦余剰水槽、スラリー槽にためて、高圧フィルタープレスに 3.92 MPa で打ち込まれて脱水ケーキが出来る、そのままでは、粒径がかなり大きなものになり、堤防の撒きたての障害になるため脱水ケーキを解砕して再生品にする。

図－2　に処理フローを記す。

図－2　泥水処理フロー

下記にフィルタープレス、解砕機の仕様を記す。

表—4　フィルタープレス、解砕機仕様

高圧フィルタープレス	ろ室容積	6.8 m^3
	打込圧力	3.92 MPa　40kgf/cm^2
	ケーキ厚さ	23.5 mm
	濾板	595 m^2　(1,600mm□)
	濾室	136 室
	打込ポンプ	Max 44 m^3/hr　Max 3.92 MPa 専用高圧ポンプ 27.5 kw× 3 台
解砕機	ローター	2 基
	モーター容量	37 kw×2 台

以下に実際工事で使用している泥水処理設備のフロー図、写真を示す。

図—3　泥水処理設備フロー図

写真—1　泥水処理プラント

泥水処理プラント

泥水輸送されてきた掘削土砂を一次処理設備の振動ふるい、調整槽、二次処理設備のスラリー槽、高圧プレス、解砕機を使用して掘削用泥水と掘削土砂に分離する。

写真－2　土砂ストックヤード

土砂ストックヤード

泥水処理プラントで処理された一次処理土、二次処理土（再生品）を搬出するまで仮置きする。

6．本工事での機械の稼働実績

6－1　高圧プレス

1,000m掘削完了時点で 5,200 回の打ち込みを行った。凝集材などの薬品を一切加えずに要求の強度をもったケーキを製造することができた。打込み時間、回数は、下記のとおりである。

表―5　高圧フィルタープレス打込実績

地点	打込み時間（分）	リング当たりの打込み回数（回／ﾘﾝｸﾞ）
100m	70	7.8
500m	80	7.5
1000m	60	5.4

高圧プレスの維持については、数回の打込み毎にろ布の洗浄を実施した。打ち込み回数が 1,000 回を越えた頃からろ布の破れが頻発したので全交換を実施した。その他のトラブルとしては、打ち込みポンプ周りのバルブ等トラブルと、夏場の作動油温度上昇等があった。

6－2　解砕機

解砕したケーキが解砕機の内部にこびりつき閉塞が発生した。これは脱水時の水分がケーキ搬出用コンベアに多少残り、ケーキにその水分がまたついてしまうことで、水分をもったケーキが解砕機のなかで徐々に成長していくためである。そのため定期的に解砕機内部の粘土状になったケーキを除去する作業が必要となった。サイクルタイムにも影響が出ることもあり、今後改善の余地が残っている。また、解砕用のブレードが約 35,000 m^3で磨耗により損傷したので交換を行っている。

7．本技術の展開

今回の施工では盛土材としての要求仕様の達成を高圧プレス+解砕機の組合せで行ったが、今回の対象土質でしか実証していない。土質によっては高圧プレスでの施工性が上がらない場合などが出てくる可能性がある、これについては事前の土質試験やろ過試験を密に行い、対策を立てておく必要がある。

この制度が創設され、いくつかのプロジェクトで活用されている。同様の再生利用方法といえば都道府県の個別指定による再生利用があるが、この実施件数もまだ少ない。今後、これらの制度の活用でさらに建設発生土のリサイクルが推進されることと思う。

8．おわりに

新制度の初の実施として企業者の建設省の指導により、厚生省の担当部局との調整や施工法確立のための実験・試験を行い今回の再生利用が可能となった。この認定により首都圏外郭放水路事業で発生するトンネル掘削土の全量を産業廃棄物にすることなくリサイクルを可能とした。このことにより平成10年度のリサイクル功労者の建設大臣賞を受賞することができた。

54. 道路植樹剪定枝葉の集枝粉砕機の開発

建設省四国技術事務所：村上　正典，*元木　真二
山本　　久

1．はじめに

道路における街路樹の整備は、環境緑化・歩車道分離・ドライバーの視線誘導等を目的として施工されており、環境緑化の積極的な推進により植樹をほどこした路線は年々増加しているのが現状である。

街路樹の維持管理として行う剪定作業により発生する剪定枝は、そのほとんどが焼却処分に頼っていたが、平成３年の廃棄物処理法の改訂によって、焼却処分を行うことが困難になってきた。

そして、資源のリサイクル推進とCO^2発生抑制の観点からも、剪定枝を焼却処分せずに再利用することが求められてきている。

一方、街路樹の剪定作業は、人力作業を中心とした重労働作業であり、その上現道上での危険な作業であることが問題点としてあげられていた。

そこで、四国技術事務所では「自走式植樹剪定機」を開発して植樹帯の維持管理に関する機械化の推進及びコスト縮減に取り組んできたところである。

今回は、植樹剪定作業のさらなる機械化を目指すとともにと、発生する剪定枝葉をマルチング材として再利用することによる除草作業経費の軽減と、CO_2の発生抑制する試みを行ったのでここに報告する。

集枝粉砕機試作機

2．開発内容

（1）試作機の仕様検討

従来の道路植樹の剪定作業は、大きく分けて、**「剪定行程→集枝行程→積込行程→運搬行程→焼却処分行程」**となり、その行程をほとんど人力にて行っていた。

これに対して開発したシステムは、**「剪定行程→集枝行程→粉砕行程→袋詰め行程」**を機械で行い現地で植樹の根元にマルチングする事により、その後の**「運搬行程→焼却処分行程」**が削除できるものである。

まず、平成７年度から平成８年度にかけて市販の機器を組み合わせた試験機を製作し構内試験等により、集枝粉砕機械に求められる構造、機構及び能力に関する設計条件等を検討した

その基礎試験の結果、試験機で剪定枝葉の大半が３ｃｍ以下に粉砕されマルチング材料として再利用可能なチップになること、破砕後の容積は破砕前の１／５程度になることが分かった。

また、試験機の問題点として集枝機構と粉砕機構の間で剪定枝が詰まってしまうトラブルが多発したため、コンバインで使用されている稲わら切断用ストローカッタを一次切断用として追加することで枝詰まりをなくした。

右の写真は、ストローカッタの内部を撮影したもので、２列に並んだカッタの間に剪定枝が通過することで、剪定枝を１５ｃｍ程度に切断できる。

ストローカッタ

（２）試作機の製作と性能試験

これらの基礎実験結果を参考に図の様な試作機を製作した。（前ページの写真も参考）

試作機の構造は、剪定され道路上に落ちている枝葉をガッタブラシや掻き揚げブラシで回収し、ストローカッタで一次切断、粉砕機（シュレダー）で粉砕、ブロワで粉砕チップを風送しサイクロンで分離、袋詰めを行える機械である。

最後尾のスイーパーは、掻き揚げブラシで回収できなかった小さな剪定枝を吸い込み、シュレッダーに投入する装置である。

集枝粉砕機と自走式剪定機を連動させた剪定作業の機械化施工試験を国道１１号線の植樹帯で実施した。

その結果、作業速度０．８ｋｍ／ｈで、当初設定した目標と比べて若干低い結果となったが、これは機械トラブルに起因するものと作業員の経験不足によるものが考えられる。

本試作機は現地試験後、機械改良を行っており作業員の操作の習熟と併せて今後は作業能力が向上するものと考えている。

集枝粉砕機と自走式剪定機による現地試験状況

（３）剪定枝の再利用

集枝粉砕機により袋詰めされた剪定枝葉チップの再利用方法として、マルチングの試験を実施した。

マルチングとは、畑の乾燥や霜害防止のため、作物の根元にわらやビニールをかぶせる栽培法のことで、集枝粉砕機により粉砕した剪定枝葉をマルチング材として敷設した場合の効果や影響を調査するために下表の箇所において試験を行った。

剪定枝を再利用したマルチング試験箇所の一覧表

路線名	試験場所	試験年月	試験内容
国道32号	高松市勅使町	平成 7年 1月	新設植樹帯に5cm、10cm厚さにマルチング
国道11号	高松市西山崎町	平成 9年 3月	堆肥化したチップを10cm厚さにマルチング
国道32号	高松市中間町	平成 10年 10月	未植樹帯を掘削し、5cm、10cm厚さにﾏﾙﾁﾝｸﾞ
国道32号	高松市成合町	平成 10年 10月	植樹帯を10cm掘削し、5cm、10cm厚さにﾏﾙﾁﾝｸﾞ
国道55号	小松島市江田町	平成 10年 11月	同上の試験

左の写真は、植樹帯の周辺にチップを敷き詰めマルチングを実施した現場で、雑草が生育していないことが分かる。

右の写真は、年間２回、人力による除草を実施している従来の現場で植樹帯周辺に雑草が繁茂している。

マルチングを施工した植樹帯

マルチング未施工の植樹帯

このようなマルチングを行うことにより、**「雑草の発芽成長抑制効果」「土中水分の蒸発散防止」「表土の固化防止」「有機肥料効果」「飛来雑草種子の発芽抑制効果」「土中の昆虫や微生物の活動助長」**など様々な効果が期待できる

今回は特に雑草の発芽抑制効果に注目して調査を実施している

試験結果をまとめた表を下記に示す

雑草の発芽成長抑制効果

マルチング厚さ ＼ 掘削深さ	マルチングなし	マルチング５ｃｍ	マルチング１０ｃｍ
除草のみ	×	×	○
5cm掘削	×	△	○
10cm掘削	△	○	◎

×：効果なし　△：やや効果あり　○：効果あり　◎：効果が大きい

この表から掘削深さが深く、マルチング厚さが厚いほど雑草の抑制効果が高いことが分かる

これは、「種子の発芽を抑制するマルチング」と、「既存の雑草根を除去する掘削」を組み合わせることによる相乗効果と思われる

（４）実機の提案

改良型の集枝粉砕機の実機仕様をまとめると下記のような諸元と外観図になる

集枝粉砕機主要諸元

全長	輸送時	3,700mm
	作業時	4,300mm
全幅		1,800mm
全高		2,400mm
車輌総重量		2,500kg
走行速度		5km/h

実機外観図

３．今後の計画

平成７年度から平成１０年度の４カ年にわたり実施した調査結果により道路植樹剪定から集枝・粉砕までの機械化と、現場で発生した剪定枝葉をマルチング材として再利用することにより廃棄物を同一現場内にて処理できる一現場内完結型のリサイクルシステムが確立できると考えている

今後は、集枝粉砕機の実用化に向けて現地試験を繰り返しにより、機械の性能を確認するとともにマルチングの有効性を広く認識してもらうために広報に努めたい

建設機械と施工法シンポジウム論文集（平成11年度版）

平成11年10月20日　印刷
平成11年10月25日　発行

不　許
複　製

編集
発行所　社団法人　日本建設機械化協会
東京都港区芝公園3－5－8
（機械振興会館内）
TEL (03) 3433－1501
FAX (03) 3432－0289
振替口座　00170－5－71122

印刷所　昭和情報プロセス㈱
東京都港区三田5－14－3