

地下空間

寺島真

新連続地中壁造成システムによる土留壁の施工 —高精度で構築する原位置攪拌混合工法—

秋田 順一・林 清史・伊藤 俊夫

中之島新線は、大阪の中心、中之島の交通利便性を向上させるため、京阪電鉄天満橋駅から分岐し、中之島の北側中之島通下を通り、中之島西部の国際会議場に至る、2.9kmの地下線である。

本報文は、工事区間の一部で先行して4種類の土留めを打設し、比較することを目的とした、調査工事において採用された新連続地中壁造成システムの概要を、同調査で施工したSMW工法との比較を中心に説明する。

キーワード：土留壁、連続壁、新連続地中壁造成システム、SMW、中空油圧モータ、計測システム、UD-HOMET

1. はじめに

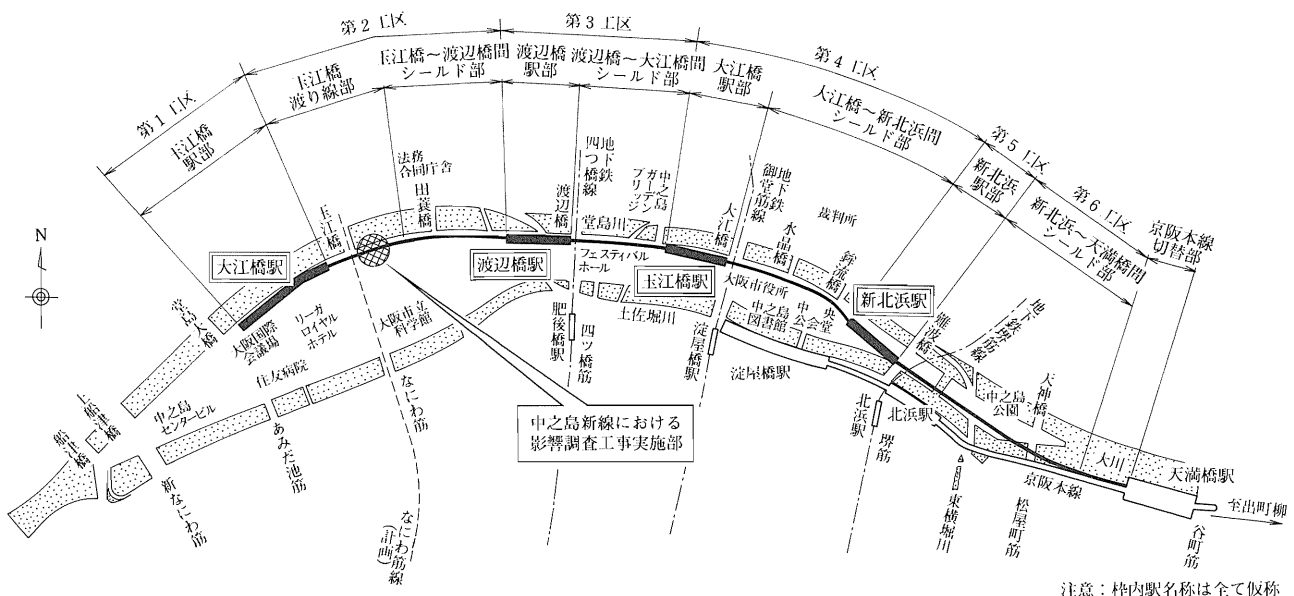
中之島新線は、大阪の中心中之島の交通利便性を向上させるため、京阪電鉄天満橋駅から分岐し、中之島の北側中之島通下を通り、中之島西部の国際会議場に至る、2.9 kmの地下線である(図—1)。

天満橋駅付近は上町台地の東端にあたり、天満橋駅から御堂筋の間は断層や褶曲を含む複雑な地層である。また、御堂筋以西では、地層は一定しているが、掘削する地盤に厚い海性粘土層があるうえ、下部に被圧滞水層があり、かつ護岸と非常に近接するため、技術的難易度の高い建設工事である。

そのため、事業主体の中之島高速鉄道株式会社と施工管理を受託している京阪電気鉄道株式会社では、御堂筋以西の開削工事区間における、土留工法の選択を最重要課題の一つと位置付け、工事区間の一部で先行して4種類の土留めを打設し、掘削まで行い、周辺への影響も含め確認することとした。

4種類の土留めは図—2に示すとおり、SC連続壁工法(株式会社大林組)、ONS-8工法(鹿島建設株式会社)、新連続地中壁造成システムとSMW工法(大成建設株式会社)が採用され、構成会社の分担施工で実施された。

本報文は、新連続地中壁造成システム(大成建設株式会社、成和機工株式会社、成幸工業株式会社による



注意：枠内駅名称は全て仮称

図—1 中之島新線建設工事路線図

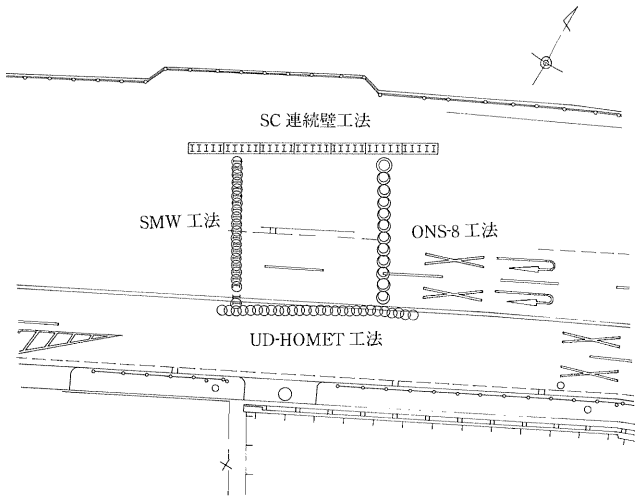


図-2 中之島新線における影響調査工事実施部平面図

共同開発，以下，新造成システムと称する)の概要を，SMW工法との比較を中心に説明する。

2. 土留壁概要

施工条件，使用機材，削孔液の配合（対象土量 1 m³ 当り）を以下に示す。また，図-3 に柱状図及び概略断面図を示す。

(a) 施工条件

- 削孔長：41.0 m
- 削孔径：φ900 mm
- 施 工：@1, 200 mm
- 芯 材：H-700×300×13×24
- 芯材長：40.0 m (20.0 m+20.0 m)
- 建込み：@600 mm

(b) 使用機材

- 施 工 機：三点式杭打ち機 DH 658-135 M
- リーダ長：30 m (新造成システム)
27 m (SMW)
- 駆 動 部：中空油圧モータ (新造成システム)
アウターモータ (7.0 t・m) 2 基
インナーモータ (4.8 t・m) 1 基
電動モータ (SMW)
減速機 (75 kW×2) 1 基

(c) 削孔液の配合 (対象土量 1 m³ 当り)

- セメント : 280 kg
- ベントナイト : 15 kg
- 水 : 700 kg

(d) 先行削孔削孔液の配合 (対象土量 1 m³ 当り)

SMW工法では，約 26 m 以深の非常に締まった礫混じり砂及び砂礫層 (天満層) に対応するため，先行削孔併用方式を採用し，下記配合の削孔液を使用した。

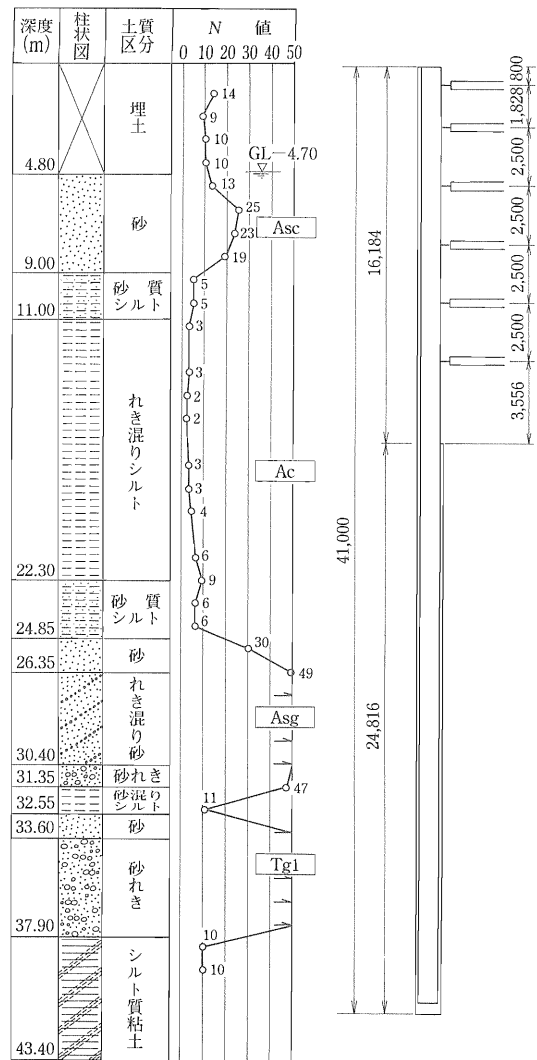


図-3 柱状図および概略断面図

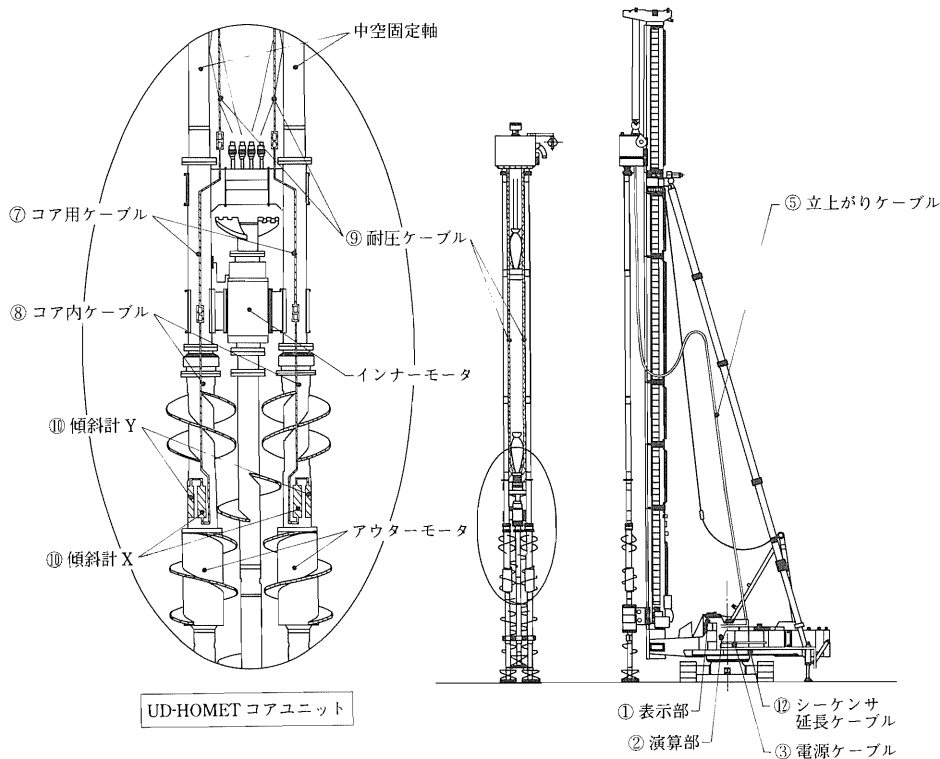
- セメント : 50 kg
- ベントナイト : 20 kg
- 水 : 400 kg

3. 新造成システム概要

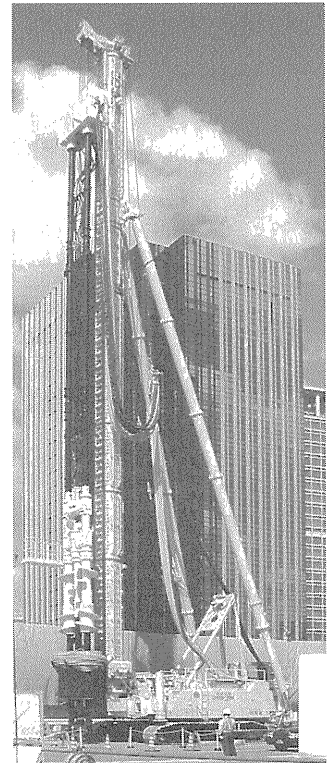
本システムは，中空油圧モータを使用した施工技術である。従来のリーダ上部に駆動部 (減速機) を設置したトップドライブ方式とは異なり，削孔装置の先端部に配置した駆動部が削孔の進捗に伴い，掘削ヘッド及び錐とともに土中に推進する工法で，UD-HOMET (Underground Drive-Hollow Motor Execution Technology) 工法と称する。

UD-HOMET コアユニットは，2 本の中空固定軸とその周囲を回転する駆動部 (アウターモータと錐) と，左右の固定軸に支持され，中軸が回転する駆動部 (インナーモータと錐) とから構成される (図-4)。

特徴としては，



図—4 UD-HOMET コアユニット及び計測システム概要



写真—1 施工機全景

- ・駆動部を下部に設置することで、掘削機構が低重心となり、ベースマシンの安定性が高い。
- ・従来工法に比べて、トルクの伝達ロスが少なく、掘削力をダイレクトに地盤へ伝える。
- ・各軸が独立駆動であり、回転方向、回転数、トルクを独立して制御できることから、地盤に適応した組合せを選択できる。
- ・削孔軸のほとんどが非回転なので、作業時の巻込まれ等の危険が少ない。
- ・地上から固定軸が貫通していることから、有線による連続計測が可能である。

などが挙げられる。

写真—1 に UD-HOMET 施工機の全景を示す。

4. 計測システム概要

本計測システムは、新造成システムの特徴である、左右2本の固定軸先端付近に傾斜計を取付けることにより、錐回転の影響を受けることなく、地中錐位置を連続計測するものである(図—4)。

左右傾斜計からのデータは、施工機上の装置で演算処理され、削孔による振動・衝撃の影響を取除いた後、深度に対応して変位量に変換処理し、施工機オペレータ室内の表示・操作パネルに表示及び記録される。また、計測管理室を別途設置し、無線伝送にてコンピュー

タに表示及び記録することも可能である。

一方、SMW工法の計測には、削孔混練錐軸の両側先端部に傾斜計を内蔵し、任意深度毎に回転を停止して、左右同時に傾斜角度を計測し、計測した傾斜角度と区間距離とから、区間毎の削孔軌跡を求め、地表位置を原点として累加することで、壁体造成精度を把握する、DAMシステムを採用した。

5. 施工

(1) 削孔状況及び施工サイクル

天満層を対象とした施工において、SMW工法では先行削孔併用方式が一般的であるが、新造成システムでは先行削孔なしで施工し、サイクル的にはエレメント毎に多少の差はあるが、削孔には問題がなかった。

また、当初懸念された、駆動部の中空油圧モータの外径が大きいこと、左右の固定軸にインナーモータを固定・連結するための梁状の機構及びその直上に位置する油圧回路を左右アウターモータに振分ける梁状の機構が抵抗となり、削孔不能となることもなかった。

SMW 1エレメントあたりの平均施工サイクル(先行削孔、削孔攪拌、DAM計測、芯材建込みを含む)を1とすると、新造成システムの平均施工サイクルは、0.72(削孔攪拌、芯材建込みを含む)となり、約3割程度早くなった。

新造成システムは、継回数、打設順序等の施工条件の差もあるが、先行削孔併用方式のSMWと比較して、総合的には施工サイクルを短縮することができた。その最大要因は、芯材建込みに要する時間がSMWの約半分となったことである。

(2) 削孔精度

削孔精度について、最大深度での変位量をグラフ化したものを図-5及び図-6に示す。比較すると、明らかに新造成システムがSMWよりも精度が良い。

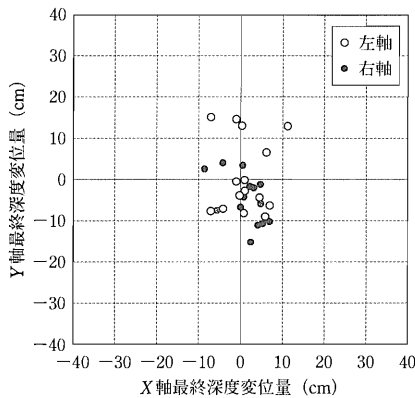


図-5 新造成システム変位量

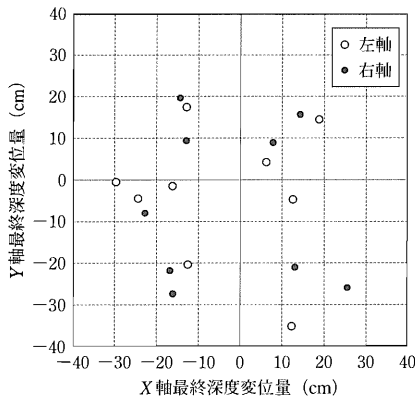


図-6 従来型SMW変位量

また、芯材建込み精度についても、土留壁延長方向の建込み誤差が、SMWでは平均98mm、最大317mmに対して、新造成システムでは平均48mm、最大113mmであった。

削孔精度が向上した理由としては、左右の固定軸にインナーモータを固定・連結するための梁状の機構及びその直上に位置する油圧回路を左右 OUTERモータに振分ける梁状の機構により、左右軸及び中央軸が剛結され、ねじれに対する剛性が増したことが考えられる。

更に新造成システムの特徴でも述べたように、駆動

部が錐軸先端付近にあり、従来工法に見られるうえからの押さえつけによる、削孔錐軸の歪みが少なくなることも削孔精度向上の一因と思われる。

新造成システムでは、各軸の回転方向（正、逆）、回転数（高速：30 r.p.m.、低速：15 r.p.m.、微速）、トルク（高、低）を独立して制御できることを利用して、削孔精度の修正を試みた。

当工事では連続計測による変位量を確認しながら、各軸の制御と施工機リーダの前後左右の傾斜調整とを組合せ、ターニングにより、ある程度の修正効果、特に、三軸のねじれの修正効果を上げることができた。ただし、修正効果は地盤条件にも左右されると考えられ、今後更に検証の必要がある。

(3) 騒音

騒音の比較では、SMWでは施工機から30m離れた地点の騒音レベルが、平均75dB程度であったのに対して、新造成システムでは、平均70dB程度であり、新造成システムが低く押さえられていた。

新造成システムのモータは油圧駆動であることから静かであり、駆動部及び回転部分が、削孔開始直後に地中に入ることから、連結装置と回転部との摩擦音がなくなり、数値以上に静かな印象を受けた。また、SMWでは、電動モータへの負荷が大きくなった際に、電動モータ特有のうなりが生ずるが、油圧モータでは、この現象が発生しないことも、低騒音化要因の一つと思われる。

6. ボーリングコアによる透水係数及び圧縮強度

施工完了後のボーリングにより採取したコアを用いて、透水試験及び圧縮強度試験を行った結果を表-1、表-2に示す。設計では圧縮強度500kN/m²以上と規定されていた。

表-1 コア供試体の透水係数 (cm/s)

| 地層 | SMW | 新造成システム |
|-----|--|----------------------|
| Asc | 2.5×10 ⁻⁸ | 2.3×10 ⁻⁷ |
| Ac | 6.3×10 ⁻⁸ 5.0×10 ⁻⁸ | 8.3×10 ⁻⁸ |
| Asg | 2.7×10 ⁻⁸ 1.7×10 ⁻⁸ | 2.8×10 ⁻⁸ |
| Tg1 | — | 3.3×10 ⁻⁸ |

表-2 コア供試体の圧縮強度 (kN/m²)

| 地層 | SMW | 新造成システム |
|-----|-------|---------|
| 埋土 | 1,188 | — |
| Asc | 2,139 | 1,054 |
| | | 1,306 |
| Ac | 1,400 | 896 |
| | | 1,029 |
| Asg | 1,809 | 3,393 |
| | 2,657 | 3,726 |
| Tg1 | — | 3,004 |

7. 土留壁の遮水性の評価

対象滞水層を、OP-24.85 m から 31.35 m までの砂・礫混じり砂層 (Asg) と OP-32.55 m から 37.90 m までの砂・砂礫層 (Tg1) とし、事前予測解析と揚水試験結果による土留壁の遮水性の評価を行った。表-3 に各滞水層の水理定数を示す。

表-3 透水試験による滞水層の水理定数

| 地層 | 揚水量 (m ³ /min) | 層厚 (m) | 透水係数 (cm/s) | 透水量係数 (m ³ /min) |
|-----|---------------------------|--------|-----------------------|-----------------------------|
| Asg | 0.5 | 9.6 | 8.15×10^{-2} | 0.47 |
| Tg1 | 0.82 | 5.3 | 2.10×10^{-1} | 0.67 |

Asg 層では、揚水量 0.024 m³/min に対し、坑内地盤水位低下量が 13 m 以上、背面地盤水位低下量 0 m となり、土留壁の透水係数が 1×10^{-5} cm/s 以下であり、十分な遮水性を有していると判断された。

Tg1 層でも、揚水量 0.0019 m³/min に対し、坑内地盤水位低下量が 10 m 以上、背面地盤水位低下量 0 m となり、土留壁の透水係数が 1×10^{-5} cm/s 以下であり、十分な遮水性を有していると判断された。

新造成システム、SMW とともに目視確認では、掘削構内における土留壁からの漏水は認められなかった。

8. その他

新造成システムの道路占用、近接作業、プラントヤード及び排泥量の各状況は、SMW と同様であった。

施工数量は少ないが、新造成システム各部、油圧ホース及び計測関連、特にソイルセメント中に入る計測データ伝送用耐圧ケーブル等の耐久性についても、問題はなかった。

9. おわりに

本報文では、新造成システムと SMW 工法について述べたが、他の 2 種類の土留も良好に施工され、「開削工事影響調査」がほぼ竣功を迎えているところである。本報文掲載にあたり、資料の提供や使用に関し多大な理解と協力を頂戴した、中之島高速鉄道株式会社、京阪電気鉄道株式会社、大林組・大成建設・鹿島建設共同企業体をはじめとする関係者の方々に、誌面をお借りして深く感謝の意を表したい。 JICMA

【筆者紹介】

秋田 順一 (あきた じゅんいち)
成幸工業株式会社
開発本部
部長



林 清史 (はやし きよし)
成幸工業株式会社
開発本部
課長



伊藤 俊夫 (いとう としお)
成幸工業株式会社
開発本部
課長補佐

