

29. 真空吸着パッドを利用した全自動セグメント搬送・供給システム

三井造船(株)：*松中 信恭
 (株)大林組：井上 幸芳・富岡 彰

1. はじめに

シールド工事におけるセグメント搬送は、規則性を持つ繰り返し作業であり、作業全体の自動化が望まれている。当システムは立坑部から切羽部・エレクタ装置まで、一連のセグメント搬送作業を完全自動化・無人化したものである。

本システムの特徴は切羽部付近におけるセグメント把持・移送作業に、真空吸着パッド方式を採用した点にある。この方式により、セグメント把持の際、高精度の位置決めが必要で無いため、システムの自動運転における確実性が増し、全体作業の時間短縮が実証された。

ここでは、システムの概要・特徴を説明し、開発にあたり重要ポイントと成る真空吸着パッドの安全性に対する要素実験、実機を使用して行われた工場内総合実証実験の結果も合わせて紹介する。

2. システム概要

当システムは、図1に示す各装置を制御して、立坑部より切羽部エレクタ装置まで、図2のフローにそってセグメントを全自動搬送・供給するもので次のシステムにより構成される。

- (1) AGV（自動走行車）システム
- (2) 自動ハンドリングシステム
- (3) 総合制御システム

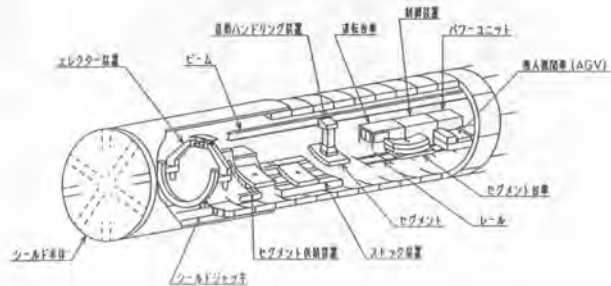


図1 全体システムの機器構成

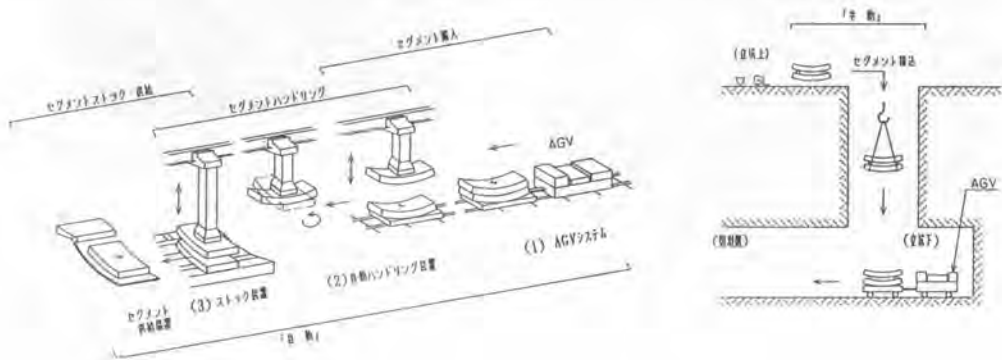


図2 システムフロー図

2-1. AGVシステム

立坑下にて作業員の手動操作で積み込まれたセグメントをAGVシステムにより、切羽部・後方台車付近まで自動搬送するもので、無人バッテリー機関車と2台のセグメント台車より構成され、1回の搬送で最大4ピースのセグメント搬送が可能である。このシステムの特徴は、図3に示すセグメント台車に自動枕木取外し装置を装備した点で、自動ハンドリングシステムと連携することで、セグメント受渡しの自動化が可能なものとなった。

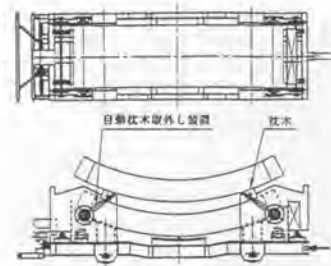


図3 セグメント台車

2-2. 自動ハンドリングシステム

このシステムは、AGVにより自動搬送されたセグメントを、自動ハンドリング装置にて把持・移送し、ストック装置で一時保管後、エレクタ装置に受渡すものである。

1) 自動ハンドリング装置

本装置は、セグメントの自動把持・移送が可能な、テルハクレーンで、特徴と成る真空吸着装置の他、位置決め装置、巻上げ装置、走行装置、走行ビーム、旋回装置および制御・監視装置より構成される。以下に特徴である(1)位置決め装置(2)真空吸着装置について概要を記す。

装置全体図を図4に、セグメント移送状況を写真1に示す。

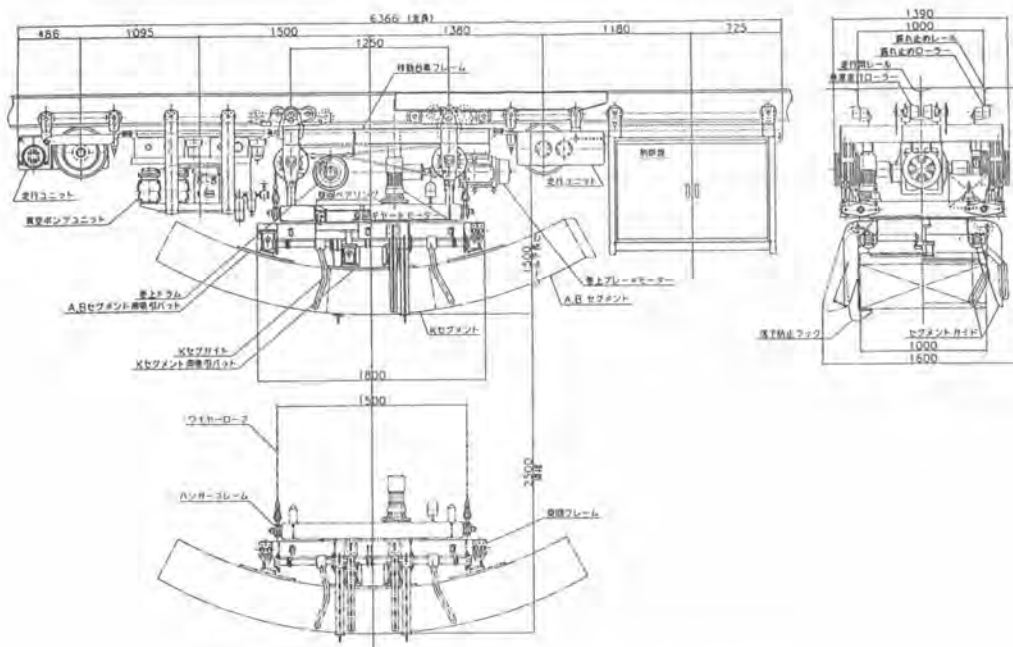


図4 自動ハンドリング装置全体図



写真1 セグメント移送状況

本装置は、セグメント中央部に取付けられた把持金物を、CCD（超小型）カメラと画像処理装置にて検出し、走行装置を制御して自動ハンドリング装置をセグメント把持位置まですばやく移動させるものである。

(1) 位置決め装置

本装置の採用により、位置決め時間が短縮され、シールド機本体の掘進等にもなう把持位置の変化に対しても、自動的に追従することが可能となった。図5に位置決め装置の概要を示す。

本装置の採用により、位置

(2) 真空吸着装置

システムの特徴である本装置は吸着パッド部、位置決めガイド部、真空ポンプユニット及び安全装置より構成され、真空吸着力を利用して、セグメント表面の把持を行う。把持に際して高精度の位置決めを必要としないことから、運転時間の短縮が図れると共に、セグメント表面全体を把持しているため、移送中の横揺れや振動に対しても、安定した運転が実証された。また、停電時対策や落下防止用安全フックなど2重の安全対策を施した。図6に真空吸着装置系統図を示す。

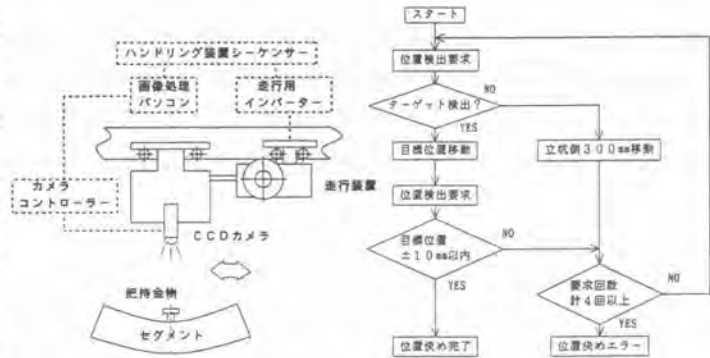


図5 位置決め装置

2) ストック装置

自動ハンドリング装置により移送されたセグメントを受取り、自動的に順次前方へ送り出しながらストックする装置で、セグメント組立時には、エレクトラ装置の要求に応じ、ストックされたセグメントをセグメント供給装置へ供給する。本装置には、シールド機のローリングに対する追従機構や、ストックされたセグメントのセンタリングを行う機能も有する。

図7に、ストック装置の概要を示す。

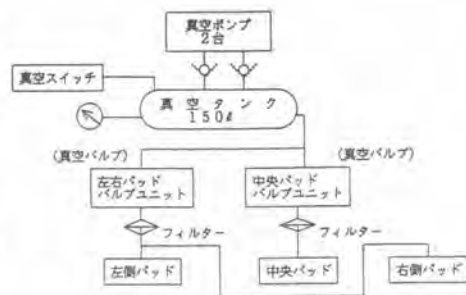


図6 真空吸着装置系統図

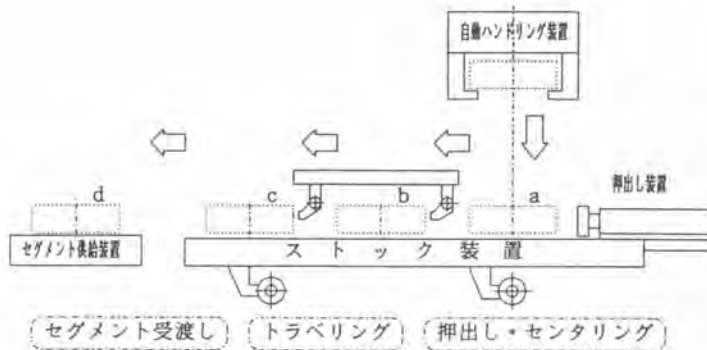


図7 ストック装置概要

視するとともに、セグメント組立用のデータ入力・管理も同時に行っている。

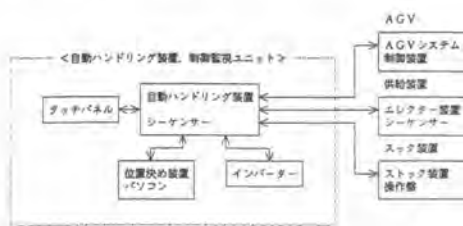
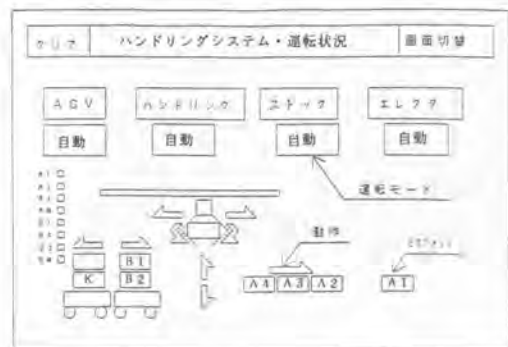


図8 総合制御システム及び監視モニター



2-3. 総合制御システム

図8に、総合制御システム及び監視モニターを示す。システム全体のコントロールは、自動ハンドリング装置に搭載したシーケンサーにより行われる。また、監視モニターは、CPU内蔵のタッチパネル画面にて表示され、全体システムを監

3. 真空吸着装置の要素実験

自動ハンドリング装置には、真空吸着パッドを採用している。一般に吸着パッドは、比較的軽量物の把持手段として利用され、工場内FAなどで実績を持つものの、コンクリート製セグメントなど重量物把持に対する実績や、ワーク脱離の危険性及び安全に対する信頼性など不確定要素が数多くあるため、開発に当たり様々な要素実験を実施し、実機に反映させた。本稿では、

- ①吸着負圧（吸着パッド内の真空圧）と把持能力。
- ②吸着面の状態が把持能力（垂直荷重、剪断荷重）におよぼす影響。
- ③衝撃時の把持能力・状態。

について、模擬セグメントによる実験結果を報告する。

3-1. 実験概要

1) 垂直荷重試験

鋼製フレーム内に装備された吸着パッドにセグメントを把持させ、これに外力を鉛直方向に加え、強制的にパッドとセグメントを離脱させる。この時吸着面に働く垂直荷重、真空圧力等を計測すると共に、セグメントの表面状態、偏心量を変化させて同様の実験を行い、これらの要因が把持能力にどのような影響をもたらすかを検証した。

2) 剪断荷重試験

垂直荷重試験と同じ要領で行い、外力を水平方向に加えて強制離脱し、限界剪断力を計測した。

3) 衝撃荷重試験

単振り子方式を利用した衝突試験で、吸着パッドにて把持されたセグメントをハンドリング装置の所定速度にて衝突させ、この時発生する衝撃力、加速度、真空圧力、変位量を計測した。

3-2. 実験結果と考察

1) 垂直荷重試験

① 図9に示す通り、垂直方向の吸着能力は理論値とほぼ一致し、設定圧力に比例して増加した。

② セグメント表面の違い(ドライ/ウエット)による明らかな差異は認められ無かった。

③ 吸着力は、偏心量に反比例して能力が低下した。図10に示すように、偏心量が0の場合と比較して偏心量25mmで8%、偏心量50mmで9~12%の能力低下が確認された。これは、偏心によるモーメント荷重の作用で、パッドのシール性が局部的に限界に達し、真空破壊したもともとと考えられる。

2) 剪断荷重試験

① セグメント軸方向試験で、パッドとセグメントの密着性は、ワークが移動しても保持され、パッドの一部がセグメント表面から外れて初めて離脱した。この時の摩擦係数は、セグメントの表面状態に関係なく、 $\mu_1 = 0.8 \sim 0.9$ で静・動摩擦係数はほぼ一緒であった

② セグメント円周方向の試験で、摩擦係数は $\mu_2 = 1.1 \sim 1.2$ となった。これは、円弧形状のワークに対し、吸着パッドを水平方向に移動させたため、一方が抵抗となり、摩擦係数が大きくなったものと考えられる。

3) 衝突荷重試験

① 剪断荷重試験の結果を図11に示す。衝突加速度は速度に比例して増加し、これに伴い衝突時の発生剪断力も増加したが、パッドの持つ許容剪断力に対し、衝突剪断力は小さいため、セグメントが脱落することはなかった。

② 衝突時の吸着パッドとセグメント表面の変位を図12に示す。衝突の瞬間は、上下・水平方向共変位が見られるが、時間経過に伴い原点位置に復帰することから、パッドは復元性を持つことが確認された。

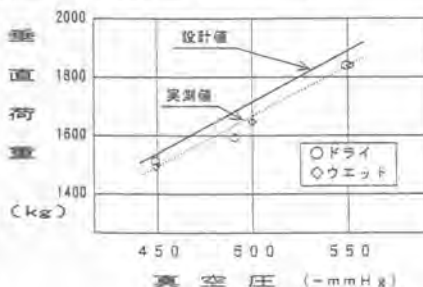


図9 真空圧と垂直荷重

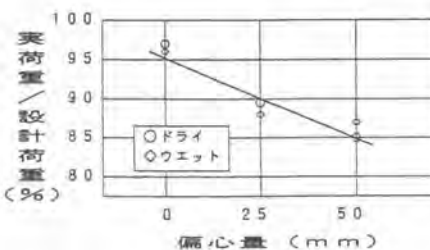


図10 偏心量の及ぼす影響

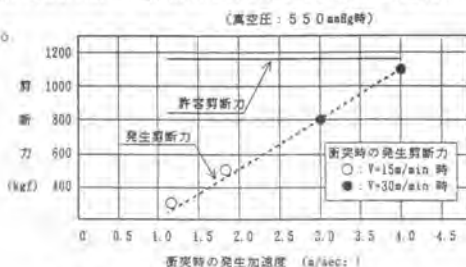


図11 衝突時に発生する剪断力

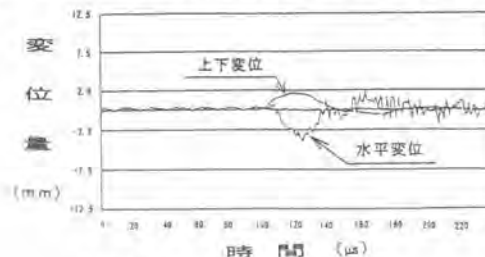


図12 衝突時の変位状態

4. 工場内総合実証実験

吸着パッドを利用した全自動セグメント搬送・供給システムの実用化に際し、システムの機能、性能、及び信頼性を確認するため、実機を用いて工場内総合実証実験を行った。実験は、現場状況を想定して、軌道勾配が最大となる条件にて、各装置を据付けこれを行った。

1) 実験結果

各装置・システムとも手動及び自動運転に関して、設計通りの作動を確認し、現場での実用化の確信をもらった。写真2に実験状況を、表1、2に各装置の作動精度及びシステムのサイクルタイムを示す。これにより、高い作業効率を実証できた。

ハンドリング装置作動精度 (mm)		ストック装置作動精度 (mm)
把持精度	位置決め装置	センタリング
	巻き上げ装置	
	把持精度	
ストック装置への受渡し精度		供給装置への受渡し精度

表1 各装置の作動精度



写真2 総合実証実験状況

サイクルタイム計測結果・RCセグメント

セグメント 動作内容	構成-1				構成-2		
	A型①	A型②	A型③	A型④	B型①	B型②	K型③
走行(セグメント)	4.7	6.1	7.0	7.0	4.6	5.0	6.7
位置決め	1.6	1.1	2.1	2.3	1.6	1.8	2.1
巻き上げ・着床	2.4	3.2	2.4	3.1	2.5	3.3	4.1
吸着把持	7	1.2	9	5	9	6	4
巻き上げ	1.9	2.4	1.8	2.4	1.9	2.3	2.4
走行(ストリッパ)	4.7	4.8	6.7	6.6	4.8	4.9	6.8
旋回(90°)	2.7	2.6	2.6	2.6	2.5	2.7	2.7
巻き上げ・着床	3.6	3.7	4.0	4.1	3.4	3.5	4.6
吸着解放	1.4	1.3	1.1	1.1	1.2	1.3	1.1
巻き上げ	3.4	3.6	3.6	3.4	3.6	3.7	3.4
旋回(90°)	2.3	2.4	2.5	2.3	2.4	2.2	2.3
リフトアップ	4	5	5	-	5	4	-
小計	4' 53"	5' 19"	5' 49"	5' 54"	4' 59"	5' 17"	6' 05"
合計	22' 00"				16' 22"		
総計	38' 22"						

表2 システムのサイクルタイム

5. おわりに

本システムの完成により、立坑より切羽までのセグメント搬送・供給について、一連作業の自動化が実現した。このシステムの導入により現場作業の省力化・安全性・確実性などが向上するものと確信する。

尚、このシステムは平成7年7月から、建設省近畿地方建設局大阪国道事務所発注の2号新淀川共同溝工事に導入し、現地実証試験を予定している。今後は、現地実証試験の結果を反映して、より現実に適したシステムの改良・開発に努力して行きたい。

最後に、本システムの開発・導入にあたり、多大なる御指導、御協力頂きました関係各位、大林組佐藤工業特定建設工事共同企業体の方々に、感謝の意を表します。