

## 40.円筒柱運搬建込み装置の開発と地下鉄駅部工事への導入

東急建設株式会社 技術本部 機械技術部：○金井 孝行 西尾 仁

### 1. はじめに

近年、地下構造物の施工においても、品質向上・省力化・工期短縮を目的に工場生産された製品部材が躯体重要部位として多く使われ、その部材は大型・重量化の傾向にある。今回、狭隘な地下トンネル工区内の駅舎プラットフォーム構築に円筒形鋼製柱が採用されたのに伴い、柱の運搬と建込み作業を安全迅速に行う必要に迫られた。

本稿では自社で開発し、現場導入した円筒形鋼製柱の運搬・建込み装置について報告する。

### 2. 運搬建込み装置の要求性能と選定上の問題点

#### 2.1 工事概要

横浜市高速鉄道4号線日吉駅建設工事は横浜環状鉄道(市営地下鉄4号線)中山～日吉間の起点である日吉駅を東急東横線日吉駅の下に駅舎構造物を建設するものである。地下空間は NATM トンネル工法で施工され、駅舎はアーチ形状の空間内に構築される。

プラットフォーム上部に位置する機械室床盤支持に円筒形鋼製柱が使われ、この柱の現場内運搬と建込み作業の検討が必要となった。柱建込み完了状況を写真-1、地上開口部から柱の吊降ろし状況を写真-2、柱の諸元を表-1に、柱外形を図-1に示す。



写真-1 建込み終了後の円筒柱



写真-2 地上開口部から搬入中の円筒柱

表-1 円筒柱の諸元

|    |         |      |      |
|----|---------|------|------|
| 質量 |         | (Kg) | 4430 |
| 全長 |         | (mm) | 3600 |
| 直径 | 柱本体     | (mm) | 650  |
|    | 上下フランジ部 | (mm) | 1300 |

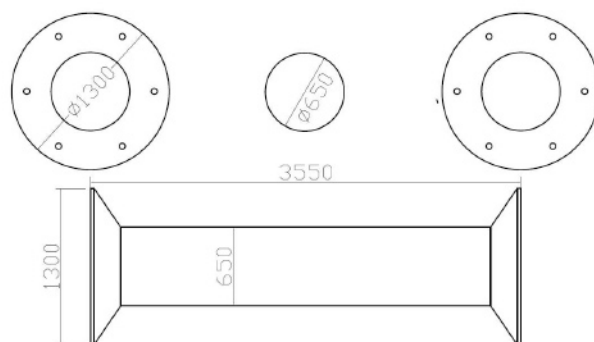


図-1 円筒柱

円筒柱の搬入経路全体を図-2 に示す。

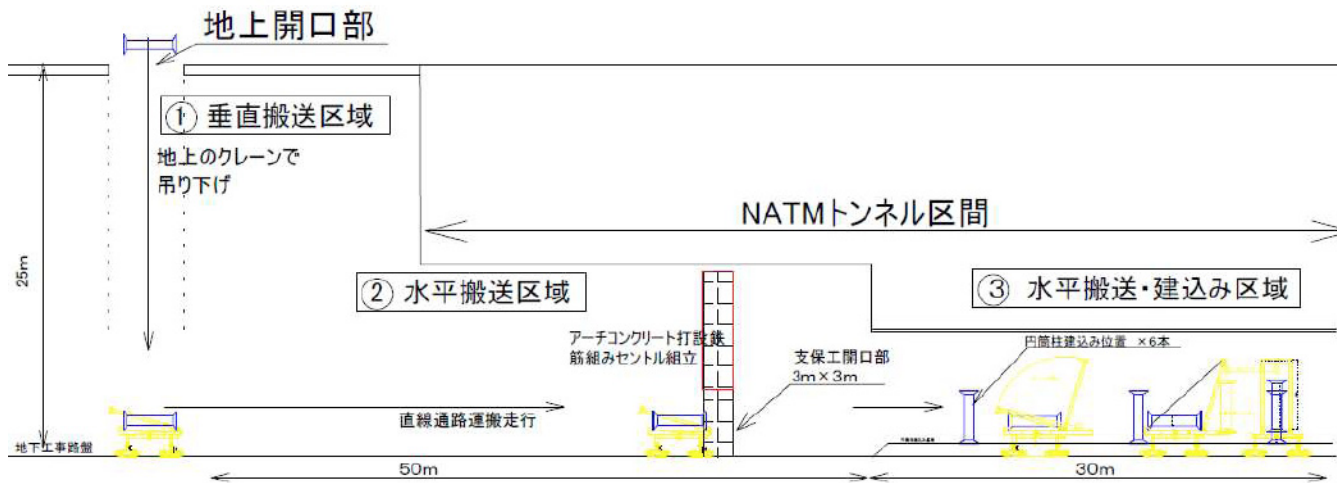


図-2 円筒柱搬入経路の全体概要

## 2.2 円筒柱運搬と建込みの制約条件

### (1) 垂直搬送区域

(地上路面投入開口部から地下工事床盤までの揚程 25m区間、図-2、①)

円筒柱の地下空間への投入は、日吉駅前東口の路面覆工板を夜間の交通量が減少した時間帯に開放し、有効幅 2.6m、長さ 4.0mの開口部を投入口とする。柱の吊り降ろし機械はラフテレーンクレーンを用いる。

### (2) 水平運搬区域

(NATMトンネル大断面工区、延長 50m、図-2、②)

水平搬送で、最初に NATM トンネル大断面工区を通過する。この工区では同時期に二次覆工のコンクリート型枠支保工の組み立てが進行し、中央運搬路を遮断している。支保工中央部に高さ3m×幅3mの開口部をもうけ、搬送動線を確保する。

搬送路面は鉄筋コンクリート床であるが、排水や設備配管溝等の切り込みが点在し±50mmほどの段差が生じている。

### (3) 水平運搬と建込み区域

(NATMトンネル小断面工区、延長 30m、図-2、③)  
大断面工区を通過すると図-3 の断面図に示す建込み区間に入る。柱建込みは図-4 の平面図に示すように、中央走行路左右のプラットフォーム側に片側3本ずつ、計6本の柱を建込む。柱の基礎高さは中央走行路よりレベルが+858mm高く、走行路センターから直角方向に 2850mm離れた距離に位置する。

柱は下端フランジボルト穴と基礎アンカーボルト穴芯を一致させボルト8本で固定する。

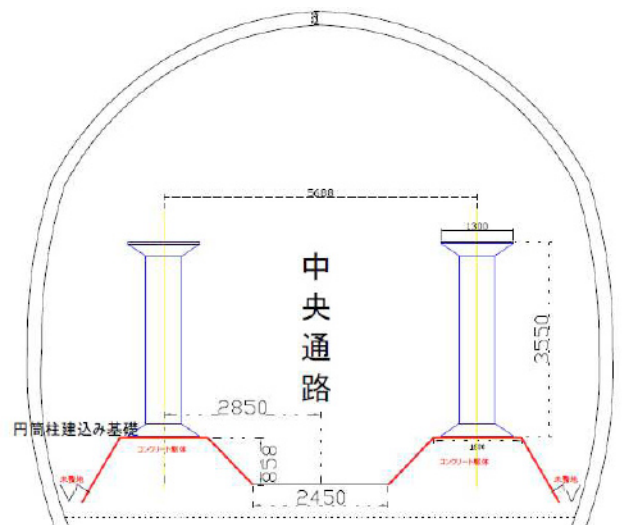


図-3 柱建込み区域 断面図

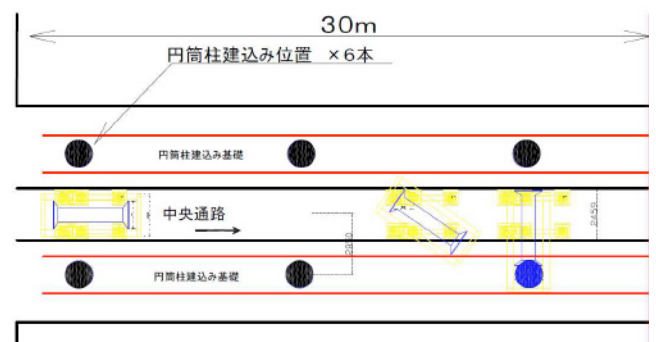


図-4 柱建込み区域 平面図

## 2.3 運搬建込み装置の要求性能

前項2.2で述べた制約条件から搬送・建込み時の機械の要求仕様を表-2に明記する。

表-2 搬送・建込み機械要求性能

|   | 部位    | 仕様                        | 備考          |
|---|-------|---------------------------|-------------|
| 1 | 搬送機械  | 積載定格荷重                    | (Kg) 5000   |
|   |       | 車体幅                       | (mm) 2400   |
|   |       | 車体長さ                      | (mm) 4000   |
|   |       | 積載時全体高さ                   | (mm) 3000   |
|   |       | 走行速度                      | (m/min.) 12 |
| 2 | 建込み機構 | 建込み定格荷重                   | (Kg) 5000   |
|   |       | 水平距離 搬送路中心より              | (mm) 2850   |
|   |       | 垂直距離 搬送路盤高より              | (mm) 4700   |
|   |       | 基礎部フランジボルトの穴の調整機能(回転)が必要  |             |
|   |       | (幅2.6m×長さ4.0m)からの投入が可能な形状 |             |

## 2.4 既存機械の問題点

最初に既存の施工機械導入を前提に機械の検討を行った。

### (1) 運搬機械の検討

クローラダンプ、貨物自動車、フォークリフトの中から検討したが、積載荷重の容量や荷台の長さ寸法が不足した。建機レンタル業者が保有する資材運搬台車も検討したが、同様に積載荷重が不足し選定困難であった。

### (2) 建込み機械の検討

最大吊り上げ荷重が5～10tonの自走式クレーンと鋼材ハンドリングマシンの中から選定を進めた。

- 1) クレーン設置通路が狭くアウトリガーの張出しが困難。
- 2) クレーンブーム先端の空間がトンネル内壁に接近し、柱上端部の玉架けワイヤ吊り代の確保が困難。
- 3) ハンドリングマシンの把持機構はH形鋼に対応しているため円筒柱中央部〔φ650mm〕の把持が困難。
- 4) 柱下端部フランジのアンカーボルト穴合わせの回転角度調整も困難と判明した。

又、上記の既存機械は地下路盤へ投入する時に、地上路面覆工開口部の拡大が不可欠であった。

以上のように既存機械では対応困難なことが判明したため、新規開発を行うことにした。

## 3. 運搬建込み装置の新規開発

### 3.1 新規開発のコンセプト

- (1) 運搬機械と建込み機械を一体化し、狭隘な作業空間にゆとりを持たせ、施工の容易化を図る。
- (2) 運搬建込み機械の地下投入時に地上開部(幅2.6m長さ4.0m)を拡大せずに投入可能とするため、分解組立が容易な構造とする。

### 3.2 運搬装置の設計条件

- (1) 運搬装置の本体フレーム上面は長方形の平面形状とする。
- (2) 走行路面はコンクリート床、鉄板、覆工板上で不陸の段差は最大100mmを通過可能とする。
- (3) 運搬時には走行路に過大な集中荷重が作用しないよう、荷重を分散させる。走行速度はゆっくり歩く時の速度(12m/分程度)とする。
- (4) 運搬装置車輪は水平運搬だけでなく、建込み時の重心移動による荷重変動に耐えられ垂直沈下変動の少ない構造とする。

### 3.3 運搬走行車輪の構造

#### (1) 車輪ユニット台車の構造

車輪ユニット台車は、建込装置を搭載するので、全装備質量は20トンを超え、この荷重を車輪が受ける。

又、装置の高さ制限や平面形状のコンパクト化が要求され車輪の小径化が必須条件である。近年フォークリフトや高所作業車への普及が目覚しい硬質ゴム(ノーパンク)タイヤに注目し、硬質ゴムタイヤの導入を前提に性能調査した。空気タイヤと硬質ゴムタイヤの最大負荷能力比較を図-5に示す。

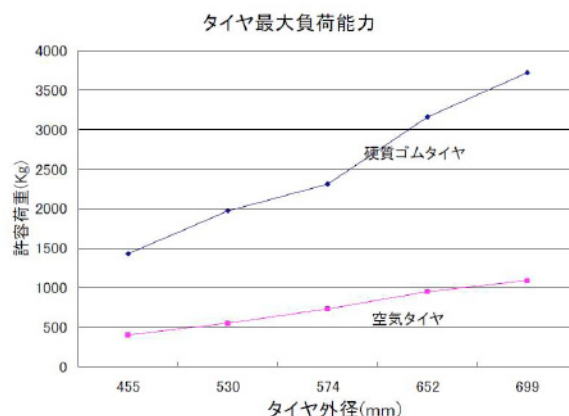


図-5 空気タイヤと硬質ゴムタイヤ最大負荷能力の比較



図-5で示すように、硬質ゴムタイヤは同径の空気タイヤの3倍以上の荷重負荷能力を有することが確認できる。空気タイヤはエアの圧力管理やパンク対策が必要である。また車軸との結合にハブドラムが必要である。タイヤはリムとハブボルトで接合するので3本以上のホイールの接続は困難である。しかし硬質ゴムタイヤを用いる車輪接合機構の設計は比較的容易である。

今回、選定した硬質ゴムタイヤ(5.00-8-3.00D)は外形455mm、幅は140mmである。このタイヤ3本を接合し、幅420mmの車輪ブロックを1軸のシャフトに接合し、2軸のシャフトで1ユニット台車を構成した。1ユニット台車はタイヤを6本装着し、4ユニット台車で24本のタイヤを走行フレームに装着した。

このタイヤ1本当たりの最大負荷能力は1500kgである。24本のタイヤに1500kgが同時に作用したと想定した場合、全体で36tonの質量を支持できる。

最大負荷時のタイヤ変形量および走行時の接地路面に与える応力(接地圧力)のデータが公表されていないので計測を実施した。(写真-3,写真-4)

計測の結果を図-6に表示する。タイヤ最大負荷時の変形沈下量は20mmであった。路面に作用する接地圧力は、接地面中心の変形量が多く圧力は高くなり、周辺は低下する。接地面の平均圧力は0.59MP(6.07 kg/cm<sup>2</sup>)と判明した。この値は一般の貨物自動



写真-3 タイヤ荷重テスト(1.5t)

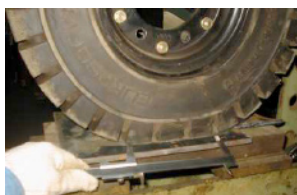


写真-4 接地面積測定



写真-5 タイヤ3本連結

車の空気タイヤの接地圧(タイヤ空気圧)にほぼ等しい。

写真-6は走行フレーム上に16tonの試験ウエイトを積載した走行テスト状況である。走行フレームの4隅に車輪ユニット台車を配置し、計4ユニット台車(24輪)で本体フレームを支える。

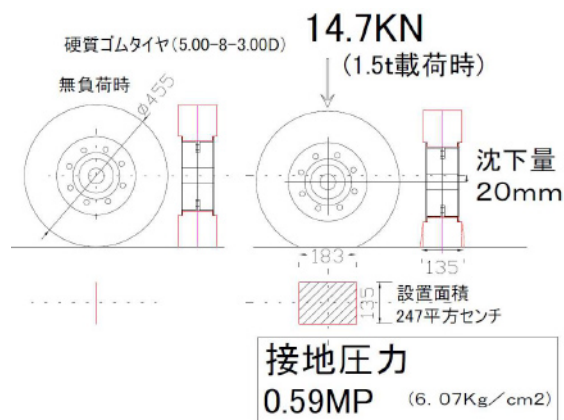


図-6 接地面変形状況と接地圧力

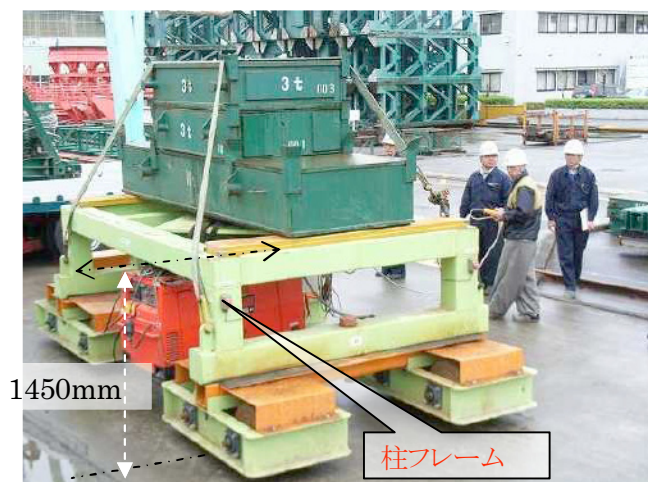


写真-6 走行フレーム載荷(16t)走行テスト

### 3.4 建込み装置の構造

建込み装置は走行装置本体フレーム上部に回転テーブルを搭載し中心部をピンで結合する。

回転テーブルは旋回時に通路両側の柱基礎に接触しない様、走行ユニットフレームのコーナーに柱フレームを配置し、走行フレーム上端高さを走行路面から+1,450mmの位置とした。(写真-6) 運搬建込み装置の構造概要を図-7と表-3に示す。

表-3 運搬建込み装置仕様

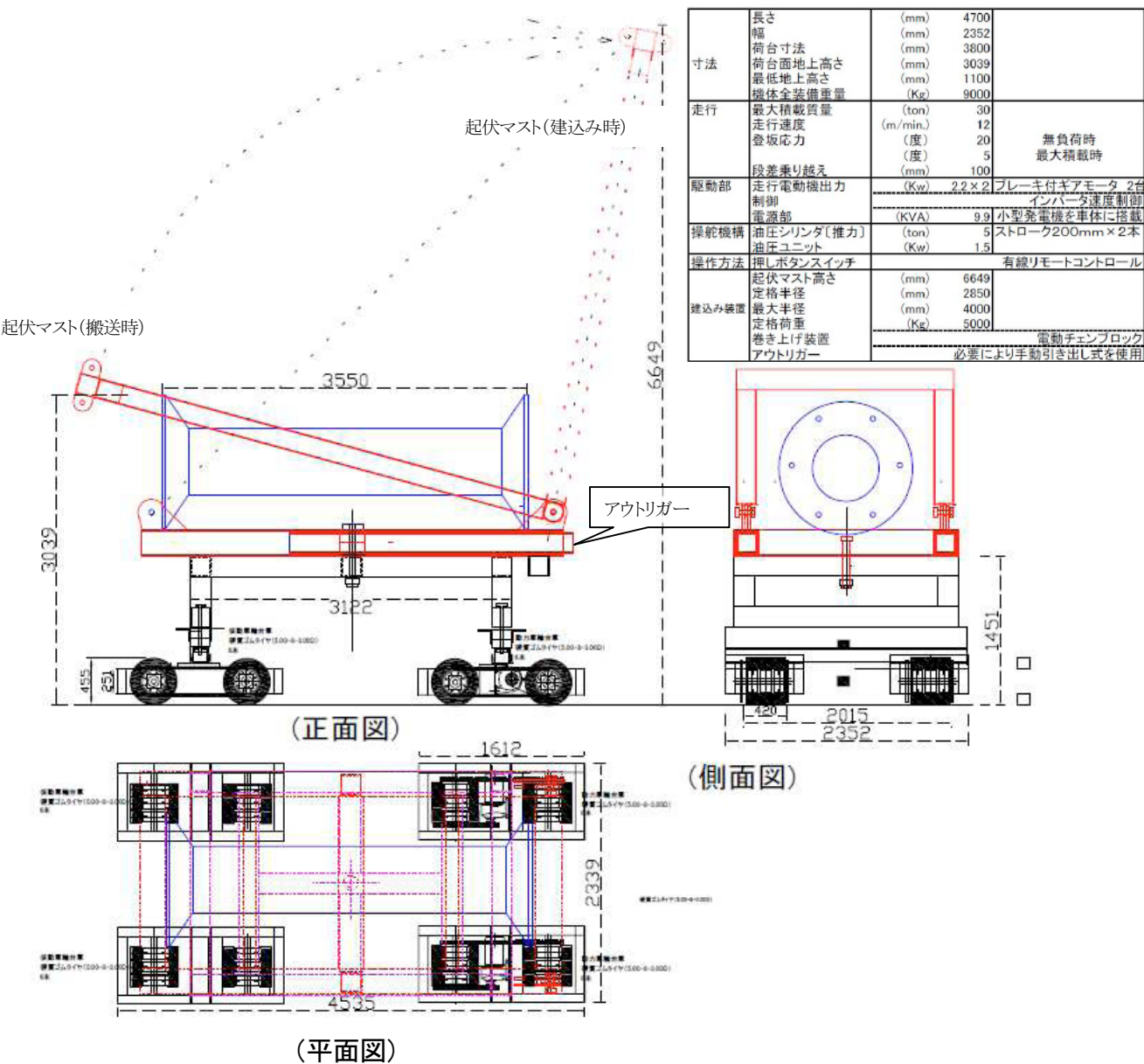


図-7 運搬建込み装置 全体概要

4. 施工報告

4.1 施工手順

- 運搬・建込み手順概要は以下のとおり  
(建込み手順を図-8に示す)
- (1) 柱運搬時は回転テーブル中央に柱を水平固定し、折畳み式鳥居型起伏マストは積載物を囲む形状で後方に収納する。(図-7)
  - (2) 建起し作業時には回転テーブルを建込み基礎方向に旋回し、起伏マスト上部先端を柱建込み位置センターに一致するよう、起伏マスト角度を調整する。(図-8、①)

- (3) 起伏マストの先端に取り付けたチェンブロックで水平に搭載している柱の上端を引き上げる。  
柱の下端は回転テーブル上を滑りながら移動し柱は立ち上がる。(図-8、②)
- (4) 柱上部が完全に吊り上がると、柱下端フランジは基礎アンカー上部に移動し揚重状態となる。  
(図-8、③)
- (5) 柱下端のフランジ穴芯とアンカーボルトの角度を合わせた後に柱を降下させ、固定する。  
(図-8、④)



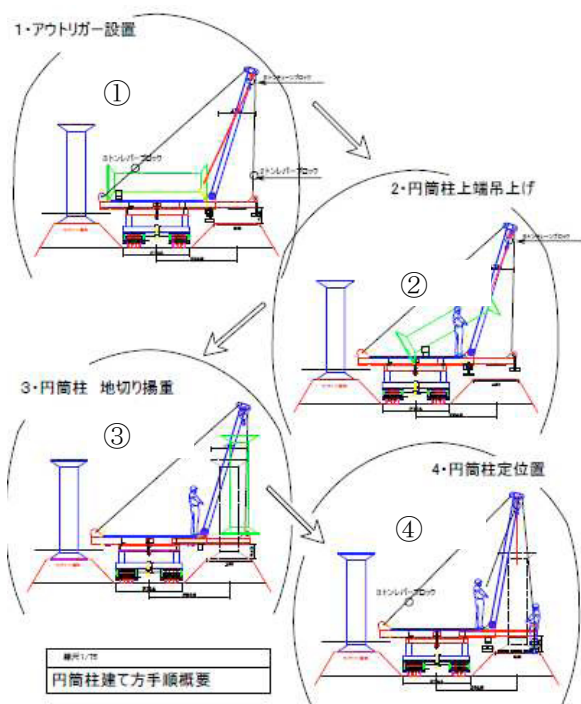


図-8 円筒柱建て込み手順

#### 4.2 施工状況

前述の手順に従い、安全で迅速な柱の運搬建て込み施工を実施した。(写真7～11)



写真-7 円筒柱運搬状況(前方)

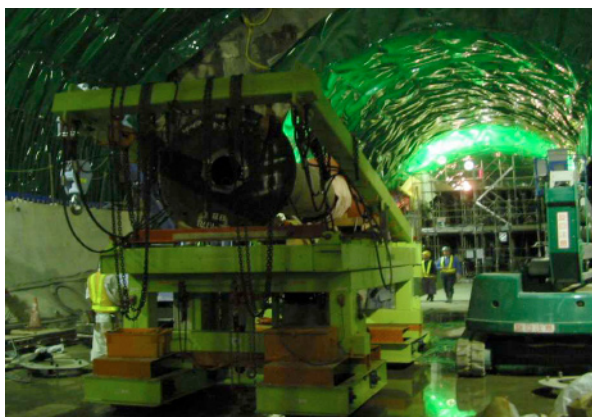


写真-8 円筒柱運搬状況(後方)



写真-9 建起し状況 下部スライド装置



写真-10 アンカーボルト芯合せ



写真-11 建て方終了

#### 5. おわりに

資機材揚重に用いる工事用クレーンは幅広いニーズに対応する機種が開発され、特殊な小分割クレーンなども建設工事で活躍している。資機材水平運搬に用いる搬送機械も、軌道走行のバッテリーロコなど、工事のニーズに対応し高性能化し進化している。しかし、工事現場の路盤上を自由走行する運搬機械は流通・倉庫・製造・鉱山・農林等で開発された機械がそのまま建設工事に転用され、自動化・高性能化が図られて広く活躍しているが、本稿で報告した狭隘地下空間において運行可能な重量物運搬は汎用機械で対応することは困難である。

今回、現場と共同で車輪調査の選定から新規に見直し、硬質ゴム車輪ユニットを組み合わせ小型の車体寸法枠の中で重負荷搬送の能力を有する台車(走行プラットフォーム)を開発製作し、このプラットフォーム上に建込装置を搭載して使用した結果、鋼製円筒柱の運搬建て込みを1日に2本施工できた。

今後は、プラットフォームの走行曲線半径の縮小化による操作性と機動性向上や構成ユニットの標準化と低コスト化を図り、重量運搬作業の更なる安全と生産性向上の推進に寄与したい。