

# シールド二次覆工におけるエアモルタル無中継(3.5km)長距離圧送

## Non-Intermittent Long-Distance (3.5 km) Pumping of Air Mortar for the Inner Lining of a Shield Tunnel

榎園 庄一郎<sup>\*1</sup> 藤林 民男<sup>\*2</sup>  
Shoichiro Enokizono Tamio Fuzibayashi  
早川 英一<sup>\*3</sup> 村中 大悟<sup>\*2</sup>  
Hayakawa Eiichi Daigo Muranaka

【キーワード】 長距離圧送 無中継 ポンプ圧送 二次覆工 大深度地下利用法

### 1. はじめに

シールド工事においては経済性に優れ、より効率的、効果的な施工を求められる中、近年では飛躍的な掘進技術の進歩により長距離施工が当然の如く計画されている。

その中でも、本工事のような都市部の水道における大容量送水管は、拠点間の水道水の大量輸送が目的であり分岐の必要がないことから、長距離施工が要求される工事が増えている。

このような状況下で、シールド工事では、一次覆工における裏込注入材、二次覆工での中詰充填材等の長距離ポンプ圧送の要求も増大することが予測される。

本稿では従来、中間立坑などを設けて2分割で施工していた3,457mの長距離における二次覆工(エアモルタル圧送充填)を無中継で成功させた事例について述べる。

### 2. 大容量送水管(王子工区)整備工事の概要

#### 2.1 全体工事概要

工事名称：大容量送水管(王子工区)整備工事  
工事場所：神戸市中央区大日通1-1～東灘区御影町西平野  
工期：平成15年8月23日～平成21年8月31日  
発注者：神戸市水道局  
施工者：飛島・戸田・五洋特定建設工事共同企業体  
施工延長：3,457m  
発進立坑：外径φ12.4m 圧入式オープンケーソン工法  
一次覆工：泥土圧式シールド工法  
(セグメント外径φ3,350mm, 気泡シールド)  
二次覆工：φ2,400mm鋼管布設, エアモルタル中詰工

#### 2.2 二次覆工概要

一次覆工した内径φ3,094mmの鋼製セグメントの中にφ2,400mmの鋼管を布設し、空隙をエアモルタルで充填した。鋼管1本当たりの長さは8mであり、施工単位を1回当たり鋼管10本分の80mとして、打設回数を44回として計画した。図-1に二次覆工断面図を示す。

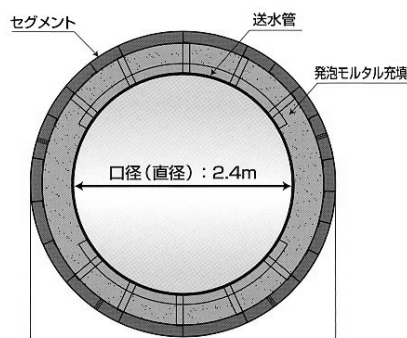


図-1 二次覆工断面図

モルタルプラントは、施工サイクルより混練り能力が36m<sup>3</sup>/hr必要であるため、一次覆工裏込注入プラントを改造し、1基追加して合計2基として施工した。

エアモルタルの標準配合は、品質要求事項(σ28日=1.0N/mm<sup>2</sup>)を満たすよう設定した。表-1に標準配合を、図-2に注入設備模式図を示す。

表-1 エアモルタル標準配合

高炉セメント	TAC-α	TACフォームH	水	空気量
300kg	25kg	0.7kg	541ℓ	35%

TAC-α=助剤(クレソト<sup>®</sup>) 比重=0.87  
TACフォームH=起泡剤 フロー値=30cm±5cm

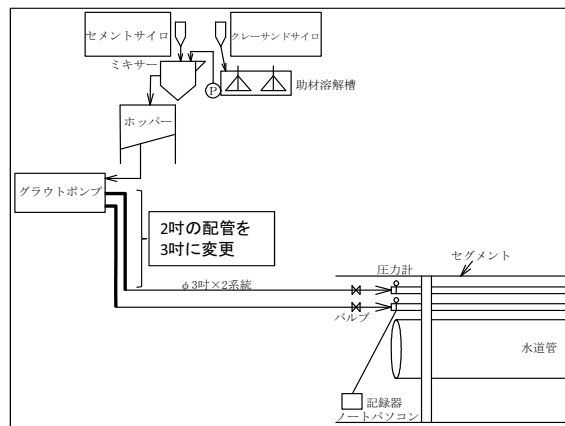


図-2 注入設備模式図

1. 中日本土木支社 大阪土木事業部 神戸王子シールド作業所 2. 中日本土木支社 大阪土木事業部 甲子園浜シールド作業所  
3. 東日本土木支社 関東土木事業部 土木グループ

### 3. 当初の不具合と抽出した問題点

表-1の標準配合に対して、表-2に示す試験練りにより流動化剤の添加量を  $3\text{kg/m}^3$  として打設を開始した。

表-2 量別流動化剤添加試験練り結果一覧

添加量	無添加	$2\text{kg/m}^3$	$3\text{kg/m}^3$	$5\text{kg/m}^3$	$7\text{kg/m}^3$	
生比重	0.86	0.85	0.87	0.88	0.86	
フロー値	30cm	37cm	39cm	41cm	42cm	
粘性	$3.0\text{dpa}\cdot\text{s}$	$2.0\text{dpa}\cdot\text{s}$	$1.6\text{dpa}\cdot\text{s}$	$1.0\text{dpa}\cdot\text{s}$	$0.7\text{dpa}\cdot\text{s}$	
分離	1h	0%	0%	0%	0%	分離大
	2h	0%	0%	0%	クラック	分離大
	3h	0%	0%	0%	クラック	分離大

しかし、モルタルの坑内輸送時間が想定以上となって可使時間を超え、管内閉塞が発生した。発生した不具合と抽出した問題点は次の通りである。

- 1) 流動化剤の計量、添加量のばらつき。
- 2) 配管の口径変化点による流動性の阻害。(2inch→3inch)
- 3) 配管内面に付着したモルタルが固化して断面が減少。
- 4) 高圧力による坑内配管の暴動、ハンガーからの脱落。

### 4. 抽出した問題点に対する改善策の実施

問題点に対して実施した改善策は次の通りである。

- 1) 使用した流動化剤は粉体であり、プラント内で流動化剤をスクリーフィーダーにてミキサーに移送して添加していたが、管内閉塞時の材料の比重、フロー値を計測すると流動化剤の添加量にバラツキ、不足があり、計量、添加に不具合があることが判明した。調査の結果流動化剤が計量ホッパー内で圧密されて自立し、スクリーフィーダーが空回りしていることが原因であった。改善策として、投入ホッパー内に攪拌翼と振動バイブレータを増設し、さらにベビーコンプレッサーにてエアレーションし圧密を抑制してスクリーフィーダーによる流動化剤の計量、移送、添加が正確に行えるよう改善した。
- 2) 当初、圧送ポンプに近い立坑底部では圧送圧力の減衰が少なく、2inch から 3inch への口径変化点があっても流動性は大きく阻害されないと考えたが、打設中の配管挙動を観察すると、流動性がかなり阻害されることが解った。そこで、圧送開始点から切羽までの配管ルート上の全ての口径を 3inch に統一した(図-2参照)。
- 3) 管内閉塞時に閉塞管の断面を確認すると、配管内面に付着したモルタルが固化して断面を縮小させていた。そこで、配管断面減少を解消するために、通常打設完了時に水送りしながら投入する配管クリーナー(砲弾型ワイヤー入りスポンジ)を打設中定期的に複数投入して圧送し、配管ルート内に常時最低1個のクリーナーが管内をクリーニングしている状況を創り出した。配管クリーナーは、妻枠付近の配管に接続した回収用箱で回収した。
- 4) 圧送用坑内配管は、3inch 鋼管(6m/本)とビクトリックジョイントによる連続配管であり、ジョイント箇所は600箇所弱にもなる。このため、ジョイント内部での

数ミリの「遊び」が累積してモルタル圧送時には数百ミリも配管が伸びることになる。この配管の伸びにより、圧送時に配管が暴れ、坑内数箇所配管ハンガーからの脱落があった。対策としては、ハンガーに乗せているだけであった配管を全点で番線にて結束し、配管ハンガー自体も要所で一次覆工の鋼製セグメントへ緊結した。

上記対策を施しても打設箇所におけるモルタルの粘性が高く配管閉塞の恐れがあったため、表-2の試験結果を参考に流動化剤の添加量を  $4\text{kg/m}^3$  に増量して流動性を高め(フロー値 40cm)、練上り状況で材料分離が生じていないことを確認して打設した。

以上の対策を施して以降、配管閉塞も無く無事 3,500m のエアモルタル圧送充填を完了することができた。

そして、流動化剤は、打設の進捗による移送距離の減少に伴い添加量を減少させ、2,500m以下では添加無しで圧送することができた。

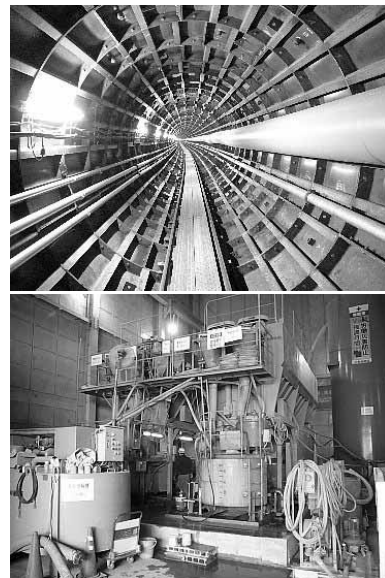


図-3 坑内配管状況写真(上)と地上プラント写真(下)

### 5. おわりに

前例無き 3,500m に及ぶ長距離のモルタル無中継圧送工事を成功させることができたのは、失敗を糧に作業所が一枚岩となり問題点を抽出・改善したことにある。こうして振り返ってみると原因と対策は案外と基本的なことである。基本的な問題に愚直に対策することも前例無きことへ挑戦する場合は不可欠なのではないだろうか。本工事が当社の実績となり今後ますます増大するシールド長距離施工の参考となれば幸いである。

謝辞：「二次覆工」における本件の事例紹介ができたのも、非常に厳しい条件下での「一次覆工」を無事貫通させることができたためと考えています。一次覆工貫通にあたり、平成15年から6年に及ぶ長期間にわたり御支援いただいた、本社、支社の土木、機電、専門委員会の皆様に紙面をお借りして謝意を表します。