

14. シールド裏込め注入(HUC)工法の開発

(株)間 組：*配野 均・志野 和巳

1. まえがき

シールド工法は工事中の地上占有が少なく過密化した都市のトンネル工法として種々の目的で施工されている。都市部においてはシールド路線上に多数の地下埋設物や重要構造物が近接する場合が多く、シールド掘進による地盤への影響を最小限に施工しなければならないといった厳しい環境になっている。このような背景からシールド掘進に伴う地盤沈下が問題とされ、その対策として裏込め注入の重要性が見直され、各種の注入工法が開発されてきている。わが社でもシールド工事の合理化の一環として裏込め注入の品質向上と施工の合理化を目標に、急結型の裏込め注入材料および混練・注入設備の開発を基にハザマ裏込め注入(HUC)工法を開発した。

2. 裏込め注入材の開発

2.1 注入材料および配合

最近の裏込め注入材料は、注入後早期に強度発現できる2液系急結型の材料が多用されてきているところで中小径のシールド工事では、坑内の作業空間が狭いことから裏込め注入は坑外に設置したプラントから材料圧送して注入する場合が多く、そのため注入材料は長距離を低圧で圧送できる必要がある。また裏込め注入はシールド掘進に伴い断続的に行われるため注入材料を長時間放置できることが望まれ、さらに、使用する材料は産地が限定されていたり特殊な材料では運搬費、製造費の増加となり好ましくなくできるだけ低価格材料がとる必要がある。これらの条件から細骨材として工業用石灰石粉を使用したエアームタルを主剤とし、水ガラス系の急結剤を使用した2液系急結型の裏込め注入材料を開発した。本注入材料の標準的な配合を表1に示す。

表1 HUC裏込め注入材の標準配合 (1m³ 当り)

| 主 剤 | | | | | 急 結 剤 |
|--------|--------|---------|--------|-------|----------|
| セメント | 細骨材 | 起泡剤 | 遅延剤 | 水 | 珪酸ソーダ水溶液 |
| 210 kg | 350 kg | 0.63 kg | 2.6 kg | 340 l | 80 l |

2.2 注入材料の特長

HUC注入材料の主な特長としては

- ①主剤のエアームタルの圧送性が優れている。(図1に圧送特性を示す。)
- ②遅延剤の添加により主剤の放置可能時間は5～6時間である。(図2に主剤のフロー値を示す。)
- ③テールボイドへの充填性に優れ止水性が良い。(写真1に充填状況を示す。)

ことなどである。また標準配合による注入材料の一軸圧縮強度については図3に示すとおりであり、高強度の急結型裏込め注入材である。

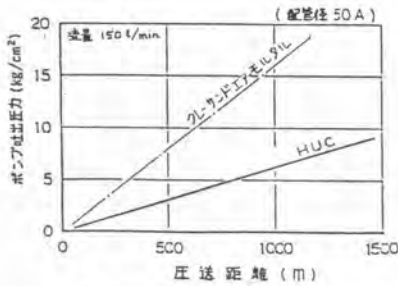


図1 主剤の圧送特性

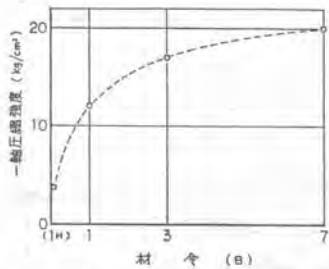


図3 注入材の一軸圧縮強度

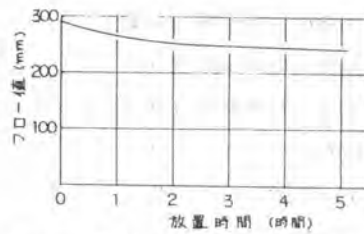


図2 主剤のフロー値経時変化



写真1 注入材の充填状況

3. 混練・注入設備の開発

3.1 概要

裏込め注入材は対象地盤の性状や経済性などから種々の注入材料が使用される場合がある。また最近では泥漿式シールド工法が増加傾向にあることから、本設備は種々の裏込め注入材料に使用することができ、かつ泥漿材を混練、注入できる裏込め・作泥兼用型のプラントとしている。また、作業地の有効利用を図るよう設備の占有面積を小さくし、さらに装置の運転は省人化を図った自動運転としている。

3.2 構成および仕様

本裏込め・作泥兼用プラントのフロー図および全体図を図4、図5に、主要仕様を表2に示す。プラントは材料ストック移送装置、混練装置、圧送注入装置から構成され、混練装置、圧送注入装置は可搬、設置が容易なようにユニットとしている。以下に各装置の構成および機能について述べる。

1) 材料ストック移送装置

裏込め注入材および泥漿材に使用する粉体材料および液体材料は

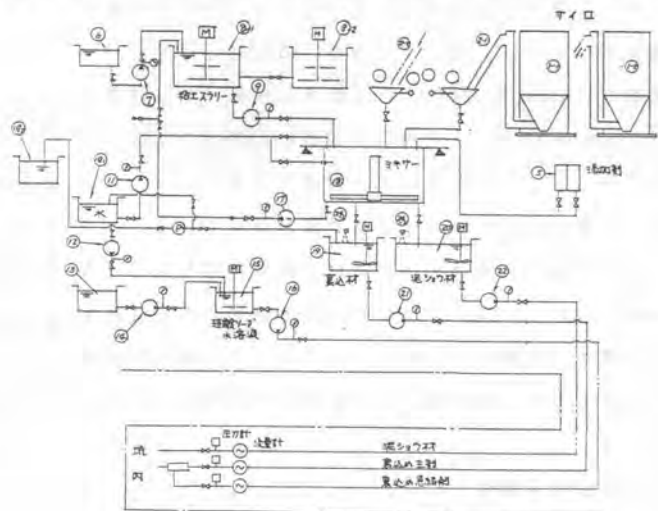


図4 裏込め・作泥プラントフロー図

混合装置，圧送注入装置周辺に必要な数配置したサイロおよびタンクにストックする。粉体材料はサイロに設置されたスクリーフィーダまたはスネークコンベヤーにより、また液体材料はポンプにより混練装置にそれぞれ移送される。この材料供給は混練装置内に設置されたシーケンスコントローラーによる運転制御で行われる。サイロおよびタンク類の数量および仕様は裏込め材，作泥材の使用材料と現場条件により設定する。

2) 混練装置

混練装置は材料投入部，ミキサー部，添加剤計量部，清水タンクおよび水供給ポンプ部，運転室から構成され裏込め材および泥漿材の混練を行う。

材料計量はミキサーを3個のロードセルで懸架し供給される各材料の累積重量を測定する方式とし、また添加剤に関しては秤量が小さいことからビーム型ロードセルを使用した計量部を設けている。さらに計量精度確保のため、計量時，混練時，放出時のミキサー回転数をインバーターにより可変させ振動による計量誤差の減少を図り、また材料供給機停止直後の材料余投入をあらかじめ設定補正する機能できるように、計量誤差は2～3%の高精度となっている。

材料混練は、裏込め，泥漿材の使用状態を圧送注入装置内のバッファタンクレベル計で検知し不足材料を設定量まで自動的に行われる。このとき混練材料が変わればミキサー洗浄運転が行われ材料の混合を防止している。

3) 圧送注入装置

注入装置には裏込め注入用のバッファタンク，主剤ポンプおよび急結剤タンク，急結剤ポンプ，泥漿材注入用バッファタンク，ポンプが設置されている。各ポンプには一軸スクリーウポンプを使用し

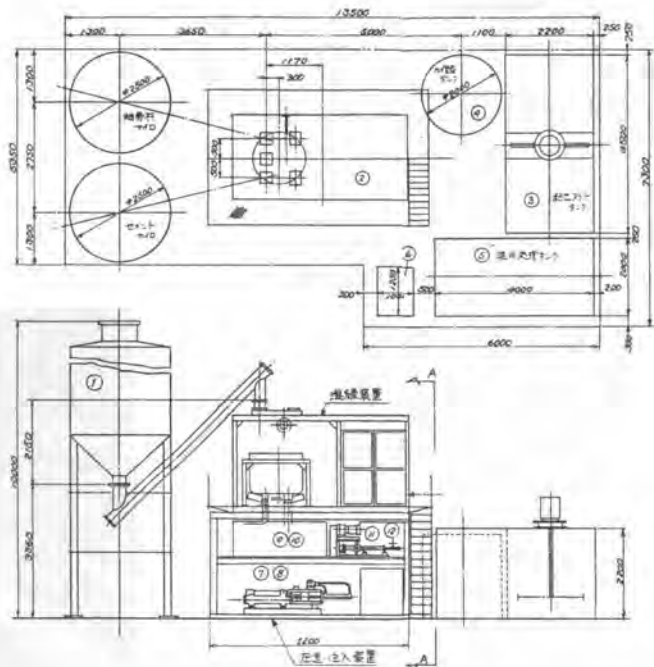


図5 裏込め・作泥プラント全体図

表2 主要機器仕様

| 装置名称 | 仕様 | |
|------------|--|--|
| ミキサー | 形式 混合式 混練容量 回転数 液粘度 電動機 | プロベラ式 1300 ℓ 500 ℓ 90～190 rpm 6000 cp 7.5kw × 4P 1/10GM |
| ミキサー計量機 | 形式 秤検出器 | 吊秤方式 999 kg / 1 kg 懸架型ロードセル |
| 添加剤計量装置 | 形式 秤検出器 | 吊秤方式 10 kg / 0.5 kg ビーム型ロードセル |
| 添加剤計量スクリーウ | 形式 能力 電動機 | 円筒トラフ型 1.2 T/H 0.2 kw × 4P 1/20GM |
| 清水タンク | 形式 容量 | 鋼板箱型 1200 ℓ |
| 水供給ポンプ | 形式 吐出量 電動機 | 渦巻ポンプ 900 ℓ/min 2.2kw × 4P |

ポンプの回転数を設定することにより定量注入を可能にしている。裏込め用の各ポンプは主剤と急結剤の混合比が一定となるように回転数を設定し連動運転する。シールド自動運転管理システム（SDACS）による注入制御を行うことによりシールド掘進速度に連動した自動注入も実施できる。

4) 自動運転制御

運転制御は混練装置内の運転室に設けられたシーケンスコントローラーにより行われる。あらかじめ使用材料の初期設定（使用材料の配合設定、混練バッチ数設定）を行っておけば、裏込め材泥漿材のストック量により設定量に達するまで自動的に混練される。自動運転時のフローチャートを図6に示す。また操作は遠隔操作盤を使用して坑内からも材料混練、注入が可能である。注入量注入圧力は電磁流量計および圧力センサーにより管理される。

4. 実施例

本注入材料および設備は電力関連管路新設工事における泥漿シールドに初めて適用した。工事概要を以下に示す。

- シールド外径 : 4330mm
- セグメント外径 : 4200mm
- トンネル延長 : 235m
- 土質 : 洪積シルト
- 土被り : 5~12m

その後設備関係の改良を加え、現在のプラントに至り、5現場に適用している。そのなかではSDACSにより自動注入を実施した例もあり、シールド裏込め注入作業の簡易化が図られてシールド工法の合理化に貢献している。

5. あとがき

現在、各種の優れた裏込め注入材料が開発されており、現場条件に適した材料選択が必要であると思われる。また適正な注入材料を確実にテールボイドに充填するためには機械的に同時注入ができることが望ましい。注入設備は注入材料の多様化に対応できる汎用性の高いものであり、自動化されたものが必要になる。今回紹介した開発品は満足できるものと考えている。今後さらに現場適用していくなかで改善を加えより合理的なものにしたいと思っている。なお、プラント開発にあたって御協力いただいたケイ・エム・エンジニアリング 榎松下氏をはじめ 榎日工 および関係諸氏に感謝の意を表するものである。

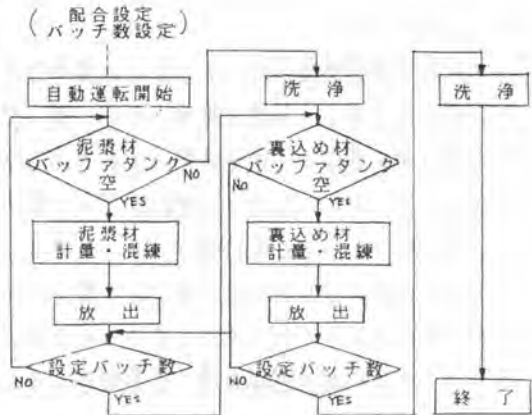


図6 自動運転制御フロー



写真2 プラント全景