

78. 大口径シールドトンネルの発生土改質方法

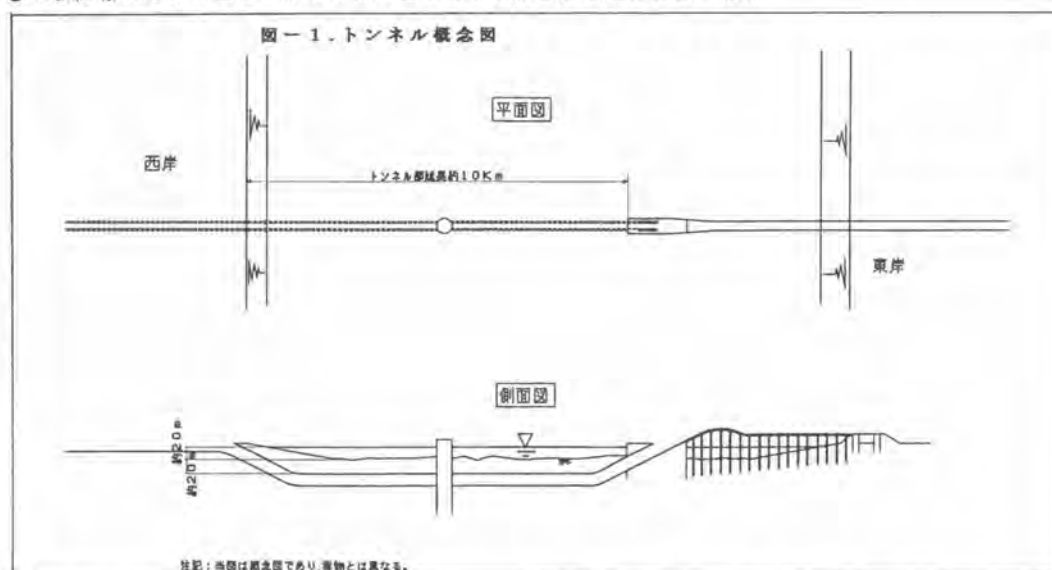
前田建設工業(株)： 山下純一郎
 (株)大林組： 徳留 正男
秩父小野田(株)： *越智 恭二

1. はじめに

最先端技術により行われている巨大トンネル建設工事において、発生土の処理・処理土の活用は重要な要素の一つであり、ここにも最新技術が活かされている。

本文で紹介するトンネルは海底下軟弱地盤内の大口径（掘削外径約14m）・高水深条件下での並列トンネルであるため、以下の特徴点があり、最先端技術でこれに対応している。

- ① 高剛性と高耐力を有し、止水性・耐久性の高い継手構造と覆工構造
- ② 地盤沈下と地震による縦断方向の変形を吸収できる覆工構造
- ③ 立坑とトンネル接合部や地中接合部における接合覆工構造
- ④ 高水圧・小土被り条件下での並列シールドの大断面切羽安定推進維持システム
- ⑤ 大口径シールドの製作・組立と、高水圧・長距離推進に対する耐久性・止水性・耐摩耗性
- ⑥ 工程短縮のための工事自動化や急速施工および大量発生土の処理・使用



上記⑥項の発生土の処理・使用について、これに対応した新技術の一例を紹介する。

2. 工事概要

・ 工事内容：泥水シールド（掘削外径約14m）2式 掘進により発生する土砂処理および改質

・ 処理土量：1次処理土（砂）：約60万 m^3 2次処理土（粘性土）：約20万 m^3

1次処理土：泥水加圧シールドの排泥水を振動篩で分級した土砂

2次処理土：余剰泥水をフィルタープレスによって脱水したケーキ状土砂

この工事では以下の特殊条件が付け加えられた。

- ① 再利用場所では2種の埋め立て土（1次処理土（非化学処理砂分）・2次処理土（化学的改質処理済み粘性土））を混合使用しない。
- ② 1次処理土・改質済み2次処理土共、海上作業基地内に2～3日分のストックが可能である。これをパワーショベルでダンプトラックに積み込み陸送する。再利用地区での化学的改質処理工は行わない。

3. 処理および改質計画

(1) 処理能力

・月当り処理土量

1次処理：約3万㎡

2次処理：約1万㎡

・月当り稼働日：23日

・日当りの処理土量

1次処理：1,500㎡

(最大時2,500㎡)

2次処理：400㎡

(最大時1,200㎡)

・日当り稼働時間：20時間

・処理能力：1次処理：350㎡/h 2式

2次処理：50㎡×(2運)/h 1式

(2) 装置の決定

処理土量計画については前項のとおりであるが、装置等の当初設計は、①1次土の作業基地内での含水比低下方法・単粒土材料による高盛り土技術 ②2次土（脱水ケーキ）の粘土分が付着して閉塞故障しない全体装置・（基本設計による混合方法）ベルト乗り離ぎ混合のための（狭い）海上基地内ベルコン配置・乗り離ぎ時の石灰発塵対策等について未解決な問題点があることが判明した。

<実施設計提案>これに基づいて①1次土については土木的透水性シート使用・仮置き場使用。

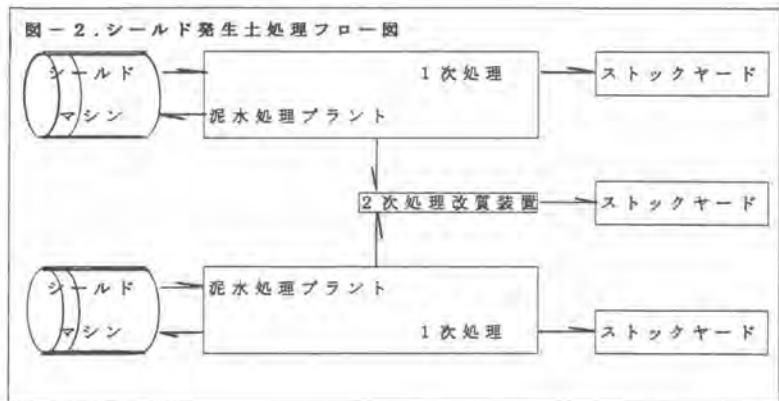
②2次土については混合前に脱水ケーキ塊砕フィーダーにより前処理（細粒化と定流量化）を行い、2軸パドルミキサーを乗り離ぎ混合用ベルトコンベアの前工程に設置する計画を提案したが、パドルミキサーを使わない方法を求められた。<設備軽減化指示>

<耐候条件>海上での施工のため、装置の設計は次の条件を解決する必要があった。①塩害等に強い設備。②少ない要員で安定運転できる。③改質材料が海上搬入時・陸送時とも安定供給できる。④添加率の増減制御が確実に行える。⑤粉塵発生が少ない。

(3) 装置の概要

(a) 2次処理土改質システム

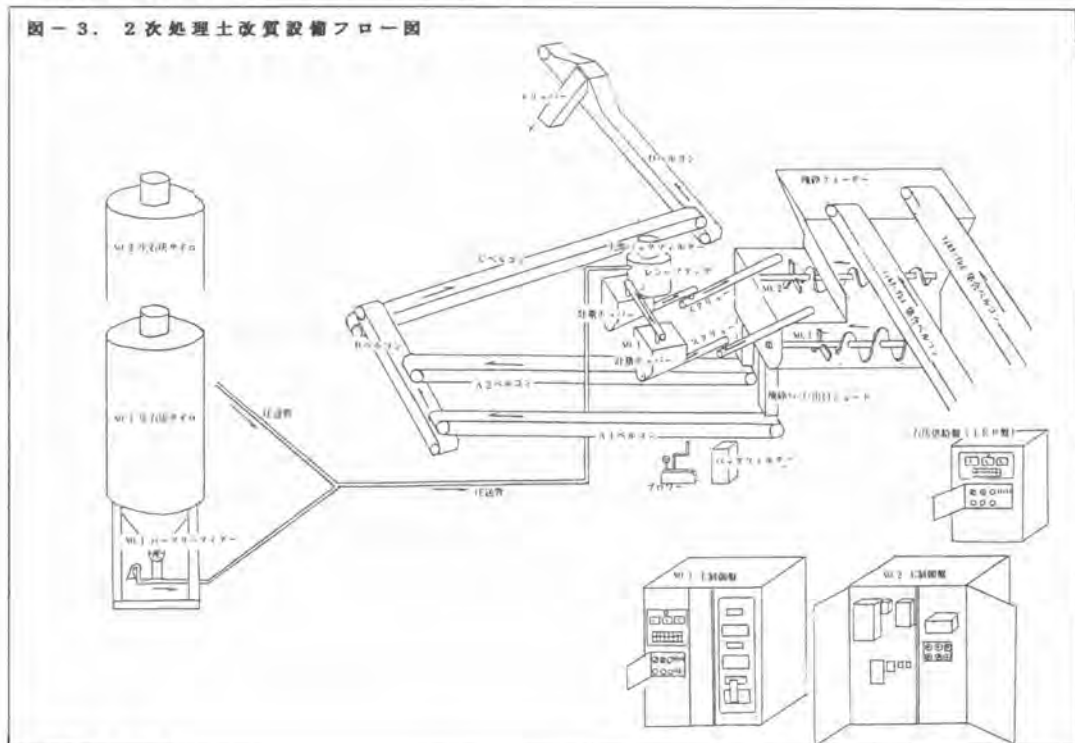
2次処理土改質装置のフロー図を図-3に示す。



各フィルタープレスで開砕された脱水ケーキは集合ベルコン2台に集められ、塊砕フィーダーに落とされる。塊砕フィーダーで前処理（塊砕・定流量化）されたケーキは、生石灰を定量散布後、粗混合され、ベルコンに落ちる。ベルコンを（3回）乗り継いでストックヤードに落とされる。

（乗り継ぎ時等の衝撃により二次混合される。）

図-3. 2次処理土改質設備フロー図



(c) 設備仕様

・塊砕フィーダー

連続処理方式（フィルタープレス開砕前の脱水ケーキ容積で）50 m³/H、2式の能力とする。機械構成はフィルタープレス集合ベルコン（2台）から受け取る上部ホッパー（容量25m³）・脱水ケーキを細粒化定流量化するためホッパー下部にある2軸式不等ピッチスクリーコンベア2式・生石灰散布口2式・前記スクリーコンベアと同一軸の粗混合用2軸攪拌羽根2式である。未改質土付着防止対策として、上部ホッパー内壁は高分子系付着防止板を貼り、側面2面は鉛直にした。

所要動力・トルクの理論値計算式を次に示す。

$$M = (F \cdot \alpha \cdot K \cdot Q (L + \beta \cdot L_0) + M_0) \times 2 \text{ 軸} \quad : \text{「粉体の貯層と供給」より}$$

$$= (1.5 \times (2.74 \times 10^{-6}) \times 4 \times 37,500 \times (4 + 1.5 \times 1) + 8.5) \times 2 = 30.9 \text{ (KW)}$$

$$T = 17.6 \cdot C \cdot D^{2.7} \cdot I^{2.4} \cdot (V + 2.4) \cdot (1 + \delta (n - 1)) \times 2 \text{ 軸} \quad : \text{D J M工法式}$$

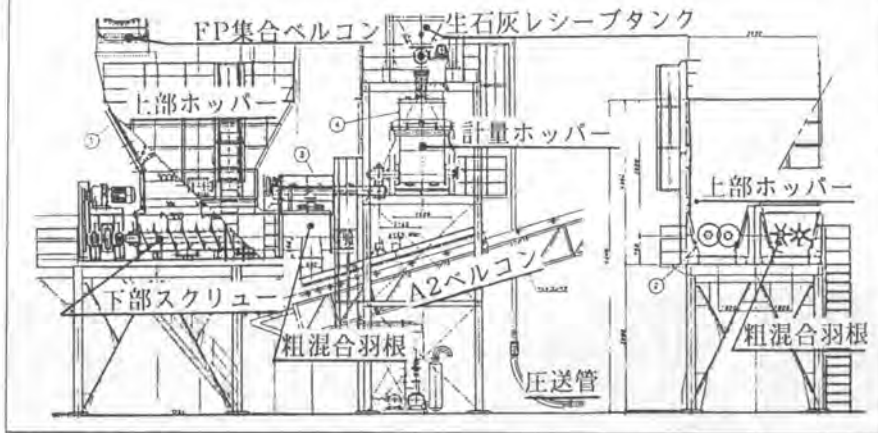
$$= 17.6 \times 7.5 \times 0.64^{2.7} \times 11.2^{2.4} \times (2.3 + 2.4) \times (1 + 0.64(4.44 - 1)) \times 2$$

$$= 3,126 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

$$\leq (\text{モーター能力, 60sec短時間運転}) 3,200 \text{ (kgf} \cdot \text{m)}$$

F : $\alpha \cdot K \cdot Q (L + \beta \cdot L_0)$ によりきまる係数

図-4. 塊砕フィーダー側断面図



α : 定数

K : 従土質係数

Q : ケーキ流量

L : フィーダ'有効長

β : 従土質係数

L_0 : フィーダ'送り長

M_s : 固有分動力

C : 泥の粘性値

D : 羽根径

f : 回転数 rpm

V : 送り速度

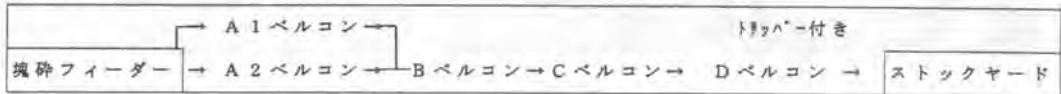
δ : 粘性低減率

・ 生石灰定量供給装置

全自動制御装置・生石灰サイロ（容量60ton縦型）2基・空気圧送装置（能力4t/h、圧送管・レシーブタンク・ブロワー）1式・正回転スクリューコンベア・可変速抽出しスクリューコンベア（2t/h）付き計量ホッパー2式・（散布用）最終スクリューコンベア2式。

塊砕フィーダー出口部での生石灰散布の制御方法は、泥流センサーを配し制御機器を介してON-OFF式にした。

・ ベルトコンベア



落差衝撃混合と（塊砕フィーダー～ストックヤード間）搬送のため平型ベルコン5台設置。

(d) 生石灰供給

設備仕様	使用材料：生石灰（5mmアンダー）	添加能力：2~0t/h × 2式（添加率：40~0kg/m ³ ）
------	-------------------	--

以下の通りに実施した。

・（初期掘進時：海上より搬入）台船に専用コンテナ袋（容量2t、PVCカーボン#100製完全防水）を搭載して廻航し、海上作業基地の揚陸用クローラクレーンにより吊り上げて搬入した。基地で仮貯蔵した生石灰は、油圧トラッククレーンで吊り、サイロ天端に設けた投入口より、サイロ内に補給した。バラ搬入に比べて生石灰の単価が高く、投入作業・使用済みコンテナ袋の整理等に人力を必要とする方法であるが、最小限の設備投資（サイロ天端用2t袋受け台2式のみ）で確実に補給可能な方法とした。実施期間中は全体工程への悪影響は無かった。

・（本掘進時：補使用陸送）生石灰専用バラローリー車を使用して搬入。問題なし。1台当たり約10tの圧送納入時間は平均20分。配管仕様：管径100(A)、水平距離6m、揚呈12m、濾布面積合計6m²、粒度分布（フルイ残分：5mm0%、3mm9%、1mm38%、0.5mm53%）

(e) 粗混合原理

2次土の脱水ケーキ表面はポリ塩化アルミニウム（PAC）等によって造成されたブロックの薄い表面層

があるので、装置に付着し難い。しかし、一旦加工（切る・割る・こねる）すると、新しく現れた面は大変付着しやすい性質になる。

例えるならば、臼と杵でついた餅の大塊を小丸餅にするような物である。餅を切る手（羽根）に粉（石灰）をまぶして小丸状に切った後、再度粉をまぶすのが作業内容である。使用する粉を少なくして、一定時間内に多くの小丸餅を作る作業が要求される。（実際の餅の場合は製品の形状と大きさの誤差範囲を守る・餡の多少・隣りの相棒と仲良くする等々で、本件と多少異なるのは云うまでもない。）

前処理兼粗混合装置（塊砕フィーダー）は、まさに上記作業を行う装置である。



4. 施工管理について

（1）公害対策等：粉塵対策：風向きによりケーキ泥土と共に石灰も飛散して来る。防塵眼鏡が必要。ベルコンの点検・整備のため覆いができないので完全集塵は困難だが、要所所で改善して行きたい。橋のダンプトラック通行：通行量が多い（最大時100台/時）ので、ロードスクレーパー使用。

（2）品質管理：石灰添加率管理：1日単位でフィルタープレス開枠日報を見て改質土量を集計。石灰使用量記録表示値より添加率実績を計算し、石灰流量を設定している。

<未使用機能>制御盤内には泥流重量センサー対応の演算器を設置して石灰添加流量の自動制御を可能にした。しかし、スペースと予算の関係でこの工事ではセンサー部分の設置をしなかった。しかし将来的には、これを作動させ、他の諸問題を解決して、無人化を目指したい。

処理後の品質管理方法：管理基準 $q_c \geq 4 \text{Kgf/cm}^2$ 。最終盛土地での巻きだし、ブル・ローラ転圧可能なこと。（実績値は上記基準をクリアしている。）

5. まとめ

産業廃棄物を本格的に有用土にする技術は、コスト・能力・品質を満足しなければならない。
軟弱地盤を掘進する大口径泥水シールドでは塊砕フィーダーを使って2次処理土改質を行う方が、上記三者に加えて、（閉塞故障等の低減により）工程安定面でも優れている。

