

11. 高水圧対応型シールド工法の開発

(株)鴻池組：*田中 浩
コマツ：山崎 敏弘・南 好人

はじめに

ケミカル・プラグ・シールド工法（以下CPS工法と称す）は、鴻池組と小松製作所が共同で開発した高水圧対応型の泥土圧式シールド工法である。同工法は、土質適用範囲が広い・掘進速度が速い・巨レキに対応能力が高い等勝れた工法であるが、唯一の欠点は、高水圧が作用する滞水砂層や砂レキ層の掘進が困難なことである。当CPS工法は泥土圧式シールド機を特別な改造を行わずに10 kgf/cm²程度の水圧が作用する地盤を安全・確実に掘進できる様にした工法である。

本報告は研究開発の内容と技術的ポイントを述べると共に、平成6年4月に施工を完了した3.5 kgf/cm²の地下水圧が作用する砂レキ層の掘進実績について述べるものである。

1. 開発の方針と技術課題

切羽に高水圧が作用するとスクリーコンベヤー排土口から土砂と地下水が噴発して、切羽圧力は低下し切羽が崩壊する。これを防止するために排土口にロータリバルブを設けたり、長尺のスクリーを設置する機械的に噴発を防止する対策が講じられている。本開発は切羽の砂レキに掘削添加材（以下泥漿と記す）が混合され、流動性が高くなった軟弱な掘削土砂をスクリーコンベヤー内で薬剤を用いて泥土化した掘削土砂を改良し、この改良土砂でスクリー後半部に切羽水圧に対抗する止水プラグを形成させる方式である。これを可能にする技術開発テーマは下記の通りである。

- (1) 短時間（十数秒以内）に泥土を改良し、かつシールド施工に使用できる薬剤の開発。
- (2) 掘削土砂と薬剤を混合し、泥土を改良するスクリーコンベヤーの開発。
- (3) 改良した土砂をスクリー後半部に詰めて、切羽水圧に対抗する止水プラグを形成するスクリーコンベヤーの開発。

2. 泥土を改良する薬剤の開発

泥土改良の目標は、砂レキに泥漿が添加された泥土を数秒から十数秒以内にスランプ値が零程度の非流動性の土砂に改良することである。高吸水性ポリマーと高分子系凝集剤を中心に調査・研究し、化学メーカーと共同で天然高分子（多糖類）を用いた泥土改良剤を開発した。これは粉末で掘削土砂1.0 m³当たり1.0～2.0 kg程度添加し混合すると、数十秒でバサバサの流動性を消失した土砂に改良することができるものである。粉末をシールド施工に使用するために吸水性を防止する網かけを行い泥漿中に混入し切羽に添加し、スクリーコンベヤーに粉末の網かけを解除する液体を添加する工夫を行い、粉末をシールド工事の環境で取扱える様にした。

3. スクリューの模型実験

図-1に示すφ60mmのスクリュー2本を用いた装置を製作し、スクリューによる土砂の混合・泥土改良能力性と改良土砂が止水プラグの役割を行うか否かの試験を実施した。装置は中央部にリボンスクリューと軸付スクリューをラップさせて、2軸混合部(L=200mm)を設け泥土を混合・改良させる様にしたものである。試料土砂は泥土に改良剤を添加し試料土ホッパーより、リボンスクリューで混合部に運び、混合部で改良した土砂は軸付スクリューで排土口に運ぶものである。試験の結果は、

- (1) 泥土の改良は混合部で確実に改良される。
- (2) 試料土ホッパーに圧力蓋を取付け圧力空気(7 kgf/cm²)を封入すると改良土砂は、30~60秒程度プラグとして機能する。

当実験で改良土砂が排土口よりスムーズに排出せず閉塞するケースが多々あった。これは排土口がスクリュー筒の横に設けたため流動性を消失した改良土砂が排出しにくいのが原因と考え、次段階の試験は改良土砂をスクリュー軸方向から排出する外周駆動方式のスクリューの採用を決めた。

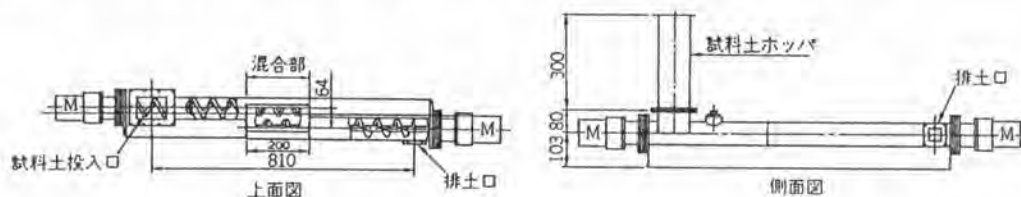


図-1 スクリューコンベヤミニモデル

4. 実大模型実験

4-1 実験装置

図-2に示すφ300mmのリボンスクリューを主とし、同径の副スクリューを併設し、混合部を設けた。スクリューの先端はシールド機のみキシングチャンバを模した3.0m³の圧力タンクに貫入させた、これにシールド掘削土砂を模した土砂を投入し、エアにより5 kgf/cm²まで加圧できる様にした。

泥土を改良する薬剤は実験用に1液性としポンプでスクリューに注入した。スクリューは外周駆動方式とし、“トラフ回転閉塞効果”が止水プラグの形成に寄与するのではないかと推測した。

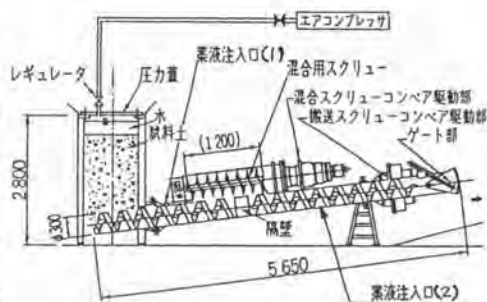


図-2 リボンスクリュー利用の実験機

4-2 実験方法(実験は下記の3段階で実施した。)

第1段階 - - - 土砂タンクに圧力を加えず、効率的な泥土改良運転の研究

第2段階 - - - 土砂タンクに加圧して、止水プラグの効果の確認

第3段階 - - - スクリューの1軸化と実際のシールド工事に備えた薬剤添加システムの確立

試料土砂は、2.0 m³の鋼製タンク内で砂レキと泥漿を混合し含水比25%程度にしたものを用いた。

4-3 第1段階・泥土改良運転の結果

- (1) 泥土改良は所期の目的通り行えることを確認した。
- (2) スクリュー内で泥土が改良されると、スクリューの駆動油圧モータの供給油圧が未改良時に比べ、約2倍に上昇する。この油圧でスクリュー内の土砂が改良されているか否かの判定が容易に可能であることが分かった。
- (3) スクリュー排土量は理論排土量の50%程度ですこし少ない。(図-3参照)

4-4 第2段階・加圧試験結果

実験装置の耐圧性能より5 kgf/cm²までしか加圧しなかったが、噴発は全く発生せず、改良土砂を安定して排出することができた。試料土タンクが空になりスクリューに残った最後の土砂がスクリュー駆動部を通過するまで噴発はせず、止水プラグの効果を確認した。図-3に示すのは、無圧力状態と5 kgf/cm²加圧状態のスクリュー回転数と排土ゲート開度を変化させた場合の排土量を示すものである。無圧時は排土量が少なかったが、加圧時はほぼ理論排土量近く排出することを確認した。

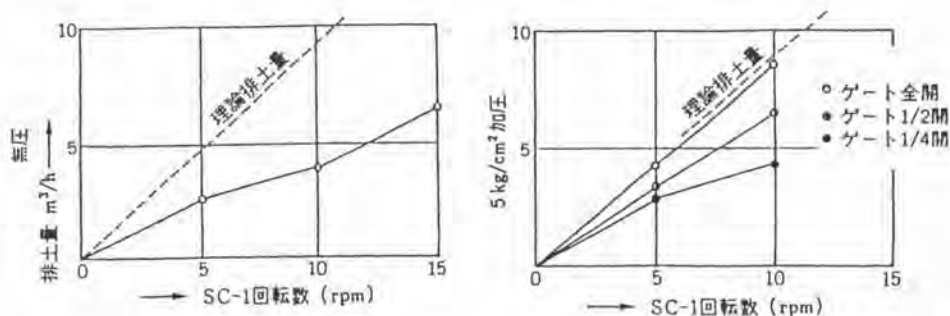


図-3 ゲート開度・SC1回転数

4-5 第3段階・スクリューコンベヤーの1軸化

2軸のスクリューを用いることは、狭いシールド機内や経済的に問題があり、スクリューの1軸化問題に取り組んだ。まずスクリューの各所に開孔蓋を取付けスクリュー内の土砂がどの部分で改良されているか確認した。結果は意外にも2軸の混合部分ではなく、図-1に示す薬液注入口(1)から1ピッチ後方部で改良されていることが判明した。試みにスクリューの排土口に近い薬液注入口(2)から注入すると良好な結果が得られた。リボンスクリューは改良された土砂の様な非流動性の粒体は軸方向に搬送する機能しかないが、流動性の高い泥土に対しては極めて高い混合機能を有することを確認した。この結果1軸化問題は直ちに解決した。

5. 現場実証施工(砂レキ層を掘進する2現場でCPS工法の実証施工を実施した。)

5-1 薬剤添加システム

粉末の主剤(CP-M)は泥漿中に混入し、泥漿と共に切羽に添加する。主剤の貯蔵・計量・払い出し設備を地上の泥漿プラントに併設して泥漿混合ミキサーに主剤を添加できる様にした。

液体の助剤(CP-S)はスクリューコンベヤーに直接注入する。シールド機の後続台車に貯蔵タンク

クとポンプを設置し、スクリーまで配管で送る。各々の薬剤の添加量は掘削土砂 1.0 m³ 当たり、主剤は 1～2 kg、助剤は 0.5～1 ℓ 程度である。これらの添加量の調整は泥漿と助剤の各ポンプ吐出量をシールドジャッキ速度に連動させ流速と量を調整できる様にした。

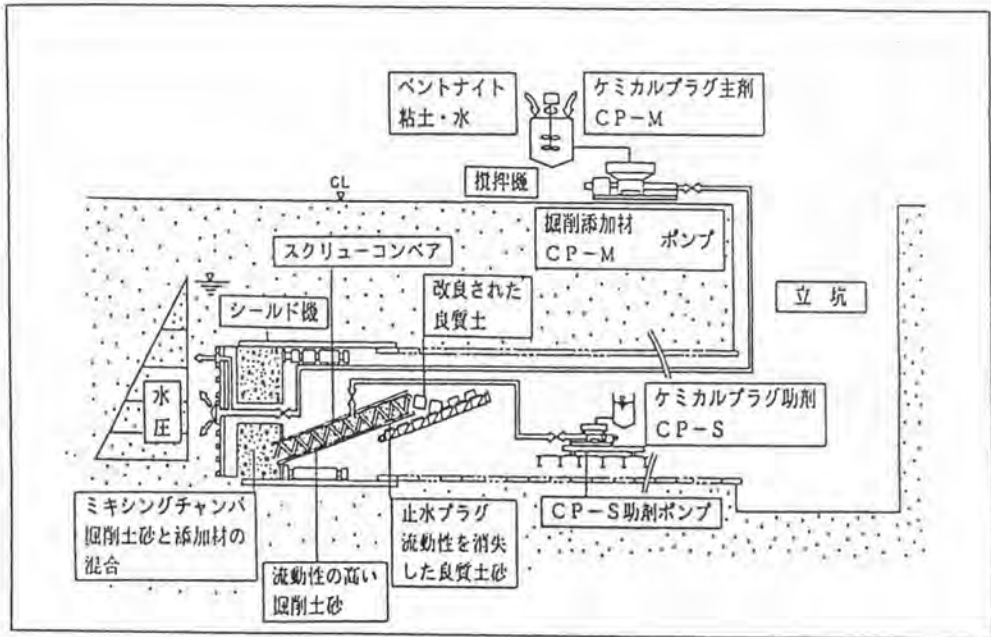


図-4 ケミカル・プラグ・シールド工法システム図

5-2 止水プラグの形成とスクリーの管理

止水プラグの形成は所期の目的通り行うことができた。地下水圧は 1.5 kgf/cm² 程度しか作用していなかったが、薬剤の添加を中断すると噴発が発生し、切羽圧力も低下し止水プラグの効能を確認することができた。スクリーの管理は駆動モータの供給油圧の値で容易に行えた。

5-3 トラブルとその対策

○スクリーコンベヤの異常摩耗とその対策

最初の現場でスクリーが摩耗し破断する事故が発生した。流動性を消失した土砂と止水プラグを形成のためスクリー駆動力は従来の泥土圧式シールドに比べ約 2 倍となっており、スクリーを摩耗させたものである。現場ではスクリーの部分的な補修しか行わなかったが、次現場よりスクリーの摩耗し易いヶ所に超硬チップを取付け耐摩耗対策を行い、その後の 2 現場で好成績を得た。

○地下水の水質と薬剤の不適合

粘土・ベントナイトや高吸性ポリマーが水質に影響を受ける様に C P S 工法に使用する薬剤も水質に影響を受ける。2 現場目に薬剤が効果を発揮せず、止水プラグの形成が困難となった。水質調査の結果多量のイオウイオンの影響であることが判明し、薬剤の改良で対処することができた。今後の対策として地下水の水質調査にイオン調査が必要であることを痛感した。

6. 止水プラグの形成について（止水プラグについて少し詳述する。）

6-1 スクリュー内の土砂粘性の変化（図-5を参照）

①②カッターヘッドチャンパー並びにスクリュー前半部（CP-S添加孔より前方）

掘削土砂と泥漿が混合され、土砂は泥土化し塑性流動状態である。

③CP-S添加孔からスクリュー2～3ピッチ

泥土は薬剤により改良させるゾーンである。

④スクリュー後半部

土砂は流動性を消失して改良土となり、駆動部のトラフ回転閉塞効果により圧密されながらスクリューに充満する。これが切羽水圧に対抗する止水プラグとして機能する。

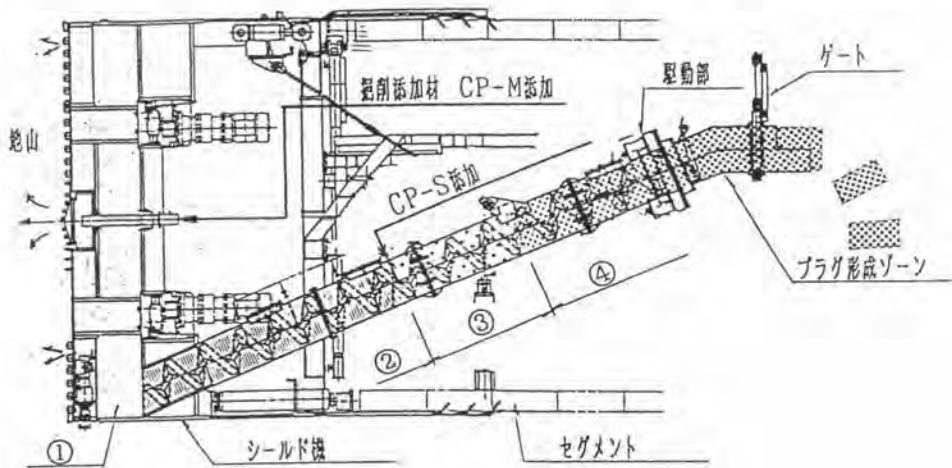


図-5 スクリュー内の土砂粘性の変化

6-2 泥土改良のメカニズム

改良剤は凝集剤の一種で砂レキに流動性を付与する土中の粘性土・添加した泥漿の粘土・ベントナイトを凝集し比較的大きく強固なブロックを形成する。このため流動性を消失する。改良前後の土質力学的特性は対象土砂が砂レキであるので測定できないのが悩みである。

6-3 止水プラグの水圧対抗力

φ450mmのスクリューを用い、10kgf/cm²の水圧を作用させる実大模型実験を実施した。

止水プラグは10kgf/cm²の水圧に十分に耐えることはできたが、長さ5m程度のスクリューでは排出土量に制約があった。水圧が高い場合はスクリュー長を長くする必要があることを痛感した。

6-4 水圧と止水プラグ長の関係

止水プラグの耐水圧能力は止水プラグ長に比例するが、改良後の土砂性状、スクリューの羽根や駆動部の形状、スクリュー運転条件などに著しく左右され切羽水圧に対する必要な止水プラグ長を定量的に把握できないのが現状である。おおよその目安として止水プラグ長をスクリューのピッチ数で表現すると(3+0.5×切羽水圧)ピッチの長さである。

7. 高水圧（3.5 kgf/cm²）の水圧が作用する砂レキ層への適用

7-1 工事概要並びに地質・地下水の条件

工事概要は右表に示す。地質は地表よりOP-32 m程度までは沖積層の砂層と粘性土層が堆積し、その下部に層厚5 m程度の洪積砂レキ層（天満砂レキ層）が存在する。この砂レキ層が当シールド工の主な施工対象地盤である。

天満砂レキ層は、レキ率60%前後、最大レキ径φ300 mm程度でよく締まっている。地下水は豊富で、水圧はレキ層中心部で3.5 kgf/cm²程度である。

表-1 工事概要

項目	摘要
工 事 名	百鳥シールド/S引出管路新設工事 第I区
工 事 場 所	大阪市此花区西島6丁目 ～大阪市此花区島屋2丁目
工 期	平成4年7月～平成6年12月
企 業 者	関西電力株式会社
施 工 者	俄瀧池組、佐藤工業㈱、俄奥村組、大豊建設㈱、JV
シールド掘進延長	832m
シールド機外径	φ6,140mm
仕 上 り 内 径	φ5,000mm
土 被 り	20.7～34.7m

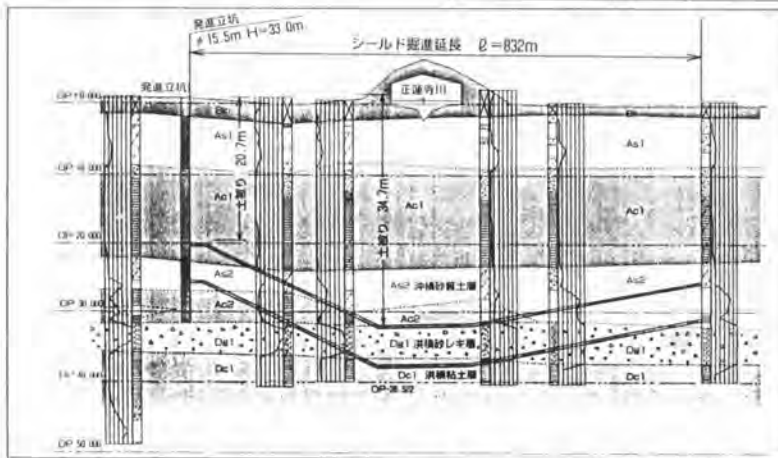


図-6 シールド路線縦断・地質図

7-2 砂レキ層のシールド掘進

発進立坑より約170 m間は沖積粘性土と砂層であったので、薬剤の添加は行わず泥土圧式シールド工法で掘進した。砂レキ層に貫入する直前よりCPS工法による掘進を開始した。主な施工データは

▽切 羽 水 圧 - - - シールド機中心部で3.5～3.7 kgf/cm²

▽シールド機掘進速度 - - - 毎分40 mm

▽掘 削 添 加 材 - - - 1.0 m³当たりC100 kg、B200 kg、W887 ℓの配合の泥漿を掘削土1.0 m³当たり10～15%添加

▽泥 土 改 良 剤 - - - 掘削土1.0 m³当たり、主剤2.5 kg、助剤2 ℓ添加

砂レキ層に於いて泥土改良・止水プラグの形成ともに順調に行い、切羽圧はカッター回転の影響で0.1～0.3 kgf/cm²前後の脈動を示していたが、ほぼ一定に保持しながら掘進することができた。

8. おわりに

比較的高水圧が作用する天満砂レキ層を無事に掘進することができ、CPS工法が泥水加圧式シールド工法と同等の大深度シールドにも適用できることを実証できた。しかしまだまだ問題点や不明点が山積しており、今後とも多くの現場でデータを収集し、理論的な裏付けを確立したいと考えている。