

25. 鉛直水平両用シールド機の開発

東京電力(株)：貝沼 憲男

大成建設(株)：金子 研一

石川島播磨重工業(株)：*伊藤 広幸

1. はじめに

近年、大都市圏における都市機能の高度化、過密化、都市基盤整備に対する需要の増大に伴い、地下空間利用の必要性が高まっている。そのため、既存の地下構造物の機能を損なわず、限られた地上用地から大深度の地下構造物を構築する工法の開発が急がれている。このような背景より、大深度シールド発進立坑の合理化を目指し、新しい立坑構築技術として鉛直水平両用シールド機の開発を行なっている。

本文では、鉛直水平両用シールド機の概要と要素実験結果について報告する。

2. 鉛直水平両用シールド機の概要

本工法は、地上から密閉型シールド機を用いて立坑と水平坑を連続して掘削する工法である。

鉛直水平両用シールド機は、図-1に示すように立坑を掘削する鉛直シールドと水平坑を掘削する水平シールドを内蔵した球体により構成される。鉛直シールドは、立坑外径を掘削するために水平シールドのカッターヘッド外側に環状の外周カッターを装備する。両者はストップピンにより結合しており、油圧ジャッキにより脱着を行なう。掘削土は、球体外側に配置した送泥管からの泥水流により中央の排泥管に集め、センタシャフトから排泥する。

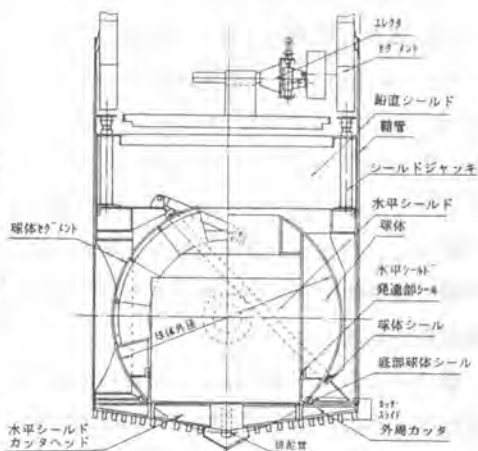


図-1 鉛直水平両用シールド機

施工手順は、図-2に示すとおりである。

- (1) 地上に架台を設けてシールド機を倒立させた状態で下方掘進する。
- (2) テール内でセグメントを組立て、セグメントを反力に掘進する。
- (3) 所定の深度まで掘削が完了した段階で外周カッターを切り離し、水平シールド全体を上方へスライドさせ、球体の回転範囲内に収納する。
- (4) 回転ジャッキにより球体を回転させ、カッターヘッドを下方から水平方向に向ける。
- (5) テールプレートを溶接し、エレクターを装備して、水平シールドを完成させる。
- (6) 水平シールドは、鉛直シールドから発進し、従来のシールド機と同様に掘削する。

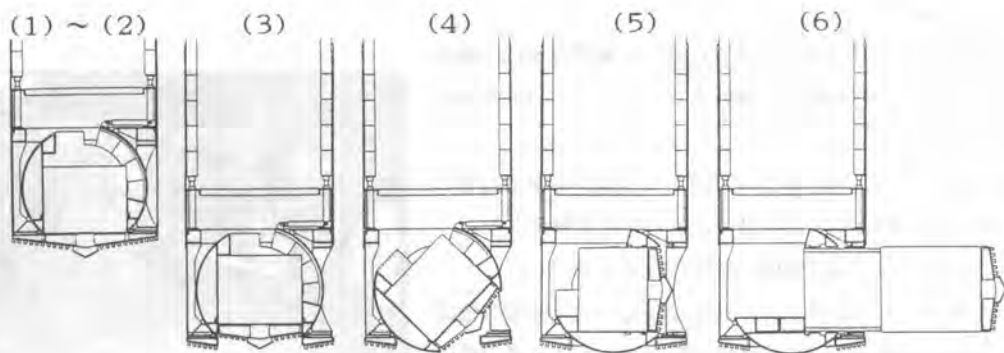


図-2 施工手順図

3. 本工法の特徴

- (1) 本工法による立坑寸法は、立坑にセグメントを使用して覆工厚を薄くでき、従来工法に比べて外径で50～70%に縮小できる。立坑寸法が小さくなることは用地費が低減できるほか、掘削土量が減少することから経済的効果が期待できる。
- (2) シールド工法で立坑を築造するため、立坑の工期は従来工法に比べて50%短縮でき、現場経費の低減につながるほか、道路占用をはじめとする近隣に対する影響を和らげる効果大きい。
- (3) 工事費は、シールド機の固定費と立坑深度に伴う可変費からなる。本工法による立坑掘削費用は深度が増大するほど経済性が得られ、その分岐点は立坑深さ30～40m以上が目安となる。
- (4) 鏡開け、発進等の危険作業がなく、大深度における信頼性が増す。増加する水圧に対しては機械的なシールで対処できる。また、地中連続壁のように根入れ長や底盤改良の不安がなく、ニューマチックケーソンのように圧気による作業員の健康問題や周辺への漏気を心配することもない。

4. 球体部シールの止水性能実験

球体回転部のシールは本シールドの構成要素の中で最も信頼性を要求されるにもかかわらず実績がなく、大深度立坑での利用を狙い、選定したシールの水圧10kgf/cm²での止水性能確認を目的に実験を行なった。

(1) シールの選定

球体シールは鉛直に対し斜めの方向に組み込まれ、立坑掘進後、球体回転時に球体製作精度に追従し、かつ反転しないことをが要求される。シールは2段リップ形状とし、リップ間に給油できる構造とした。

底部球体シールは球体回転後、球体底部を塞ぐもので、静止時の耐圧性能と、カッタの通過に対する耐久性が要求される。形状はインフレートタイプとし、内部にグリースを給油できる構造とした。球体シールおよび底部球体シール形状を写真-1、写真-2に示す。材質はどちらもウレタンゴムとした。

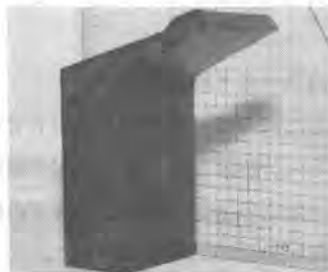


写真-1 球体シール



写真-2 底部球体シール

(2) 実験概要

実験は写真-3に示す装置で行った。装置はφ1200mmの球体とφ2000mmの水槽から構成される。シールは実規模の形状とした。

球体シールは、水圧を2kgf/cm²ずつ10kgf/cm²まで設定し、各段階で静止時と90°回転時のシール性能を確認した。また、水圧10kgf/cm²で24時間保持の性能を確認した。

底部球体シールは静止時の10kgf/cm²での耐圧性能を確認すると共に、無加圧時に球体を回転させ、カッタ通過時の耐久性を確認した。



写真-3 球体シール実験装置

(3) 実験結果

加圧水として、清水と泥水の2ケースで行い、全てのケースにおいて、漏水はなかった。実験の結果わかったことは以下のとおりである。

- ①両シールとも、給脂することで水圧10kgf/cm²時の止水性能を確認した。
- ②球体シールの摺動抵抗は、水圧上昇とともに比例して増加する。図-3に水圧と球体回転モーメントの関係を示す。
- ③球体シールが回転時に反転することはなかった。また、底部球体シールはカッター通過時の耐久性を確認した。両シールとも実用上問題はないと思われる。

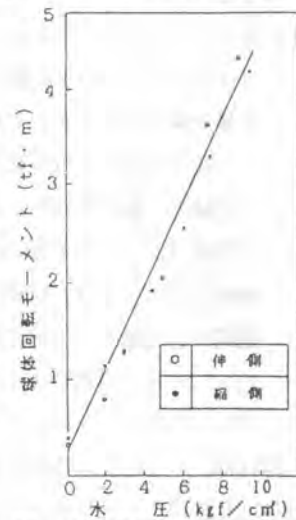


図-3 球体シール摺動抵抗

5. 鉛直シールド機の掘削実験

実施した例のない密閉型シールドでの立坑掘削機能を実証するとともに、鉛直方向と水平方向の掘削性能を同時に確保できるカッタ形状の選定、鉛直シールドの排土方式と流体輸送システムの確認を目的に実験を行った。

(1) 実験概要

掘削は外径φ1500mmの密閉型シールド(写真-4)を架台に吊り下げ実際に立坑を掘削した。

1ケースの掘削深さは1.2mとした。掘削した地盤は人工的に造成したもので、粘性土(N値5)と砂質土(N値32)とした。それぞれの地盤をカッタービットの高さと掘進速度を変えて掘削した。

掘削は泥水式で行い、切羽水圧を0.1~0.2 kgf/cm²、送泥流量1.5m³/分で管理した。



写真-4 鉛直掘削実験装置

(2) 実験結果

- ① いずれのケースも周辺地盤を乱すことなく、自立した立穴を掘削でき、通常水平坑を掘削する密閉型シールドで立坑掘削が可能であることを確認した。
- ② 図-4にビット高ささと切羽抵抗の関係を示す。左側が掘進速度1cm/分、右側が掘進速度2cm/分の場合の平均値である。切羽抵抗とは次式によって表される F_c 、 F_s の合計である。

$$F_c + F_s = W_s + F_j - F_e - F_w$$

- F_c : 切削抵抗 F_s : シールドと坑壁の摩擦抵抗
- W_s : シールド重量 F_j : スライドジャッキ推力
- F_e : エントランス摺動抵抗 F_w : 泥水による浮力

図-4よりカットビット高さが高いほど切羽抵抗は小さくなること分かる。特に粘性土より砂質土において顕著である。これはカットビット高さが高いほどカッター面板前での掘削土の流れがスムーズに行われたことが考えられる。

- ③ 図-5にビット高ささとトルク係数の関係を示す。カットトルク係数は粘性土で0.09~0.11、砂質土で0.09~0.17(図は平均値)と従来の水平シールドに比べて1/10と非常に小さい値になり、水平シールドの装備トルクで径の大きな鉛直シールドのカッターが回転可能であることを確認した。

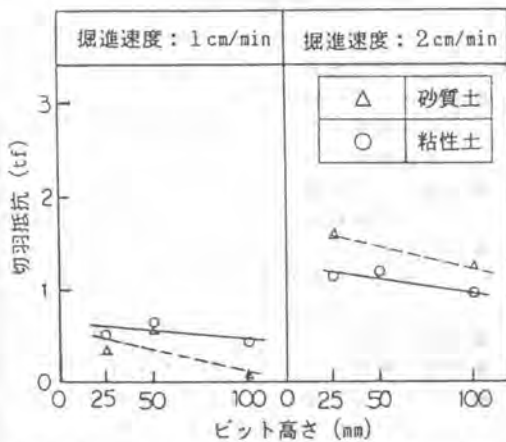


図-4 ビット高ささと切羽抵抗の関係

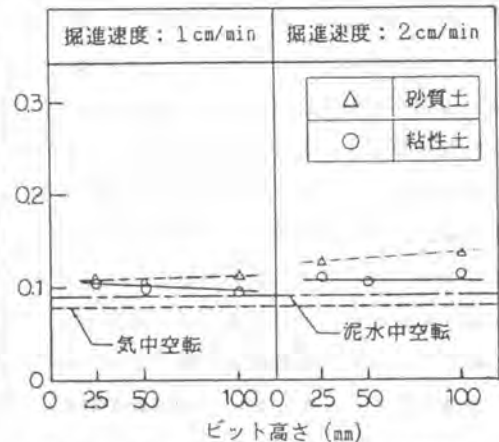


図-5 ビット高ささとトルク係数の関係

6. おわりに

本研究は東京電力(株)、大成建設(株)、石川島播磨重工業(株)の3社で共同研究しているものである。本研究で実施した要素実験により、本工法が安全な工法として成立することが実証できた。また、経済性、工期短縮等の面からも画期的な新工法であり、今後は構造物への積極的な適用が期待できる。本研究を進めるに当り都立大学山本稔名誉教授に貴重なご意見をいただいております、ここに深く感謝する次第である。