

21. シールドによる直接発進工法

NOMST研究会：*園田 徹士・田中 秀明

1. はじめに

一般に、シールドの発進・到達は、地盤改良を行い地山を自立させた後、人力により開口作業を行い発進・到達を行っている。しかし、地下空間の過密化したがい、シールドトンネルの深層化が進み、大深度・高水圧下での地盤改良や開口作業を人力で行うことは、施工性、安全性などに課題を残している。NOMST研究会（新日本製鐵、日本プレスコンクリート、熊谷組、佐藤工業、清水建設、鉄建建設、西松建設、間組、前田建設工業、三井建設）では、これらの課題を解決する方法として、地盤改良を行わずシールドにより直接土留め壁を切削しながら発進・到達する工法の開発を進め、平成4年1月に実シールドを用いた発進の実験を行い良好な結果を得た。本文では、この工法概要、各種試験結果について述べる。

2. 工法概要

従来の土留め壁は、鉄筋コンクリートや鋼製部材で構築されており、シールドにより直接発進・到達を行う場合、ビットの摩耗、切羽の安定性が確保できないなどの問題を持っていた。本工法は、シールド発進部の土留め壁に高強度で切削性に優れたコンクリート部材を使用し、地盤改良を行わずにシールドで直接発進・到達を行う工法である。

本工法と従来工法の発進概要を図-1に示す。

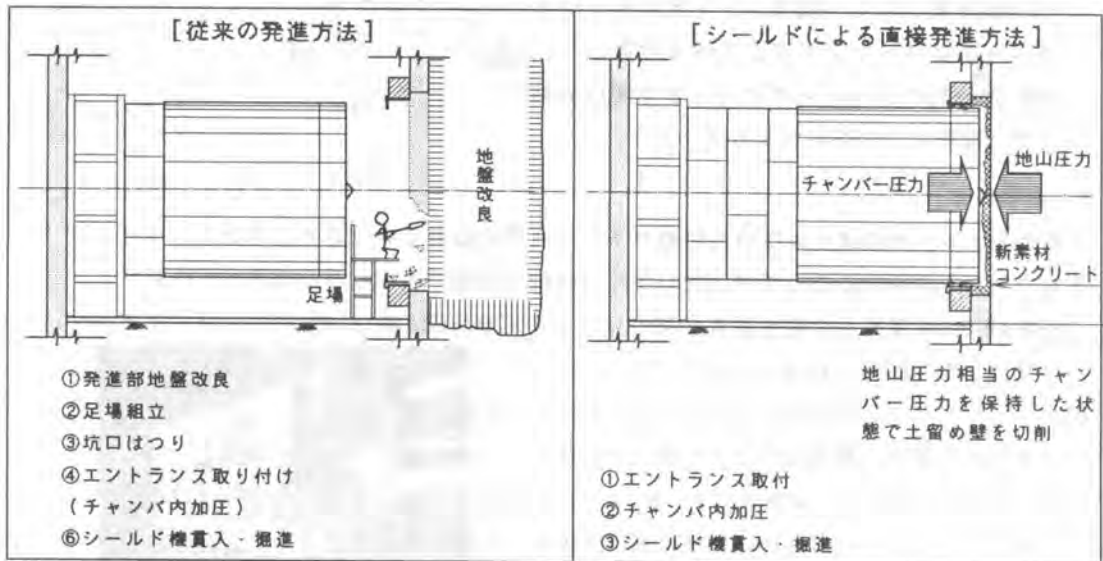


図-1 従来の発進方法とシールドによる直接発進方法

2.1 土留め壁部材の選定

カッターによるコンクリートの切削性は主に粗骨材の強度に起因し、粗骨材の強度はコンクリート強度と大きく関連する。そこで、各種骨材について強度試験、ビットの摩耗試験を行った。また、引張り補強材の選定にあたっては、従来用いられている鉄筋はカッターにからみつき切削が困難であるため、剛性・強度などの基本物性について各種素材について調査を行い(図-2)、適用可能と考えられたカーボンとガラス繊維について切削試験を行った。試験結果を以下に記す。

①メサライト(軽量骨材)を用いた場合、石灰碎石、スラグ碎石に比べ強度が低い。

②メサライトに比べ石灰碎石、スラグ碎石は、切削トルク

は大きくなるが両者の差は認められない。

③スラグ碎石に比べ、石灰碎石を用いた場合、カッターの刃先の摩耗はほとんど見られない。

④強度・剛性において、カーボンおよびアラミド繊維は他の繊維より優れる。

⑤切削試験において、切削断面はガラス繊維が引きちぎられるのに対し、カーボン繊維は切削される状況である。以上より、粗骨材として石灰碎石、引張補強材としてカーボン繊維(以下、CFRPストランド)を使用したコンクリート(以下、新素材コンクリート)とした。

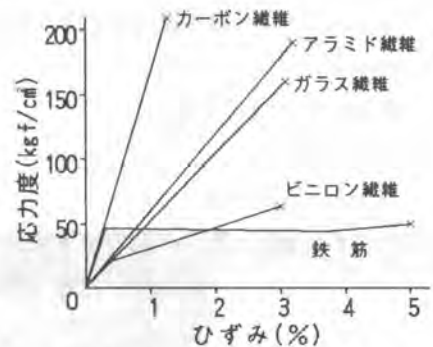


図-2 各種繊維の応力ひずみ曲線

2.2 実物大梁曲げ試験

また、部材の特性把握を目的に、次章で述べる実証実験で用いる部材の実物大梁曲げ試験を行った。部材は、桁高600mm、幅560mmで主筋にφ30mmのCFRPストランドを正負6本ずつ配置しており、短期許容モーメントで80tf・mである(図-3)。

図-4に実際の使用域と考えられる載荷荷重(29.6~101.8tf)でのCFRPストランド主筋歪みおよびコンクリート表面歪みを示す。この間でCFRPストランドとコンクリートの歪みは、おおむね中立軸からの距離に比例して直線的に分布しており、平面保持の仮定が成り立つものと考えられる。

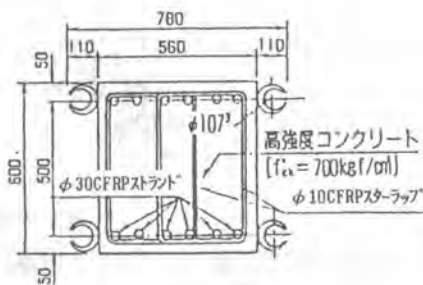


図-3 新素材コンクリート断面

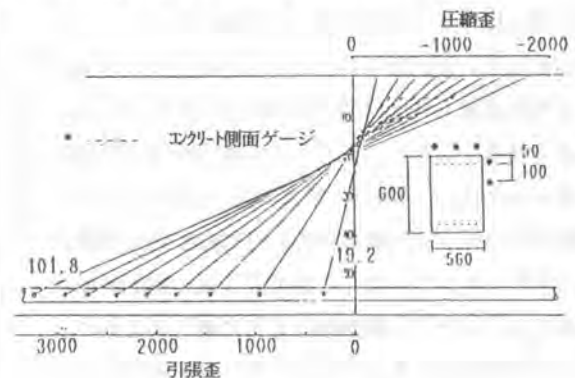


図-4 部材歪み分布

3. 発進実証実験

本工法の施工性の確認および特性把握のため、シールド実機を用いた発進実験を行った。土留め壁はシールド切削部分にプレキャストの新素材コンクリート部材を用い、それ以外の上下の部分には鋼製部材を用いた(図-5)。

3.1 実験概要

[立坑]

- ・床付けGL-8.2m(トンネル中心GL-6.8m)
- ・エントランス:高水圧対応2段パッキン

[シールド]

- ・外径:φ2,480mm
- ・形式:泥水式
- ・総推力:600tf
- ・カッタートルク:最大45tf・m($\alpha=2.9$)
- ・カッタービット:一般土砂用(E5種,100mm幅)

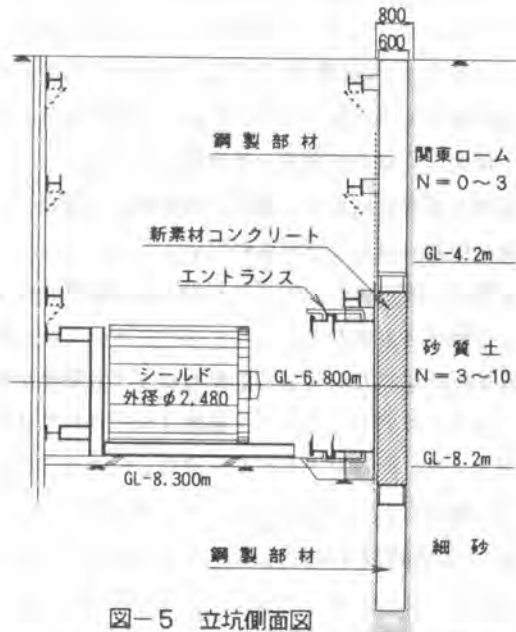


図-5 立坑側面図

3.2 実験結果

切削試験結果と実験機のカッタービット配置より、掘進速度と発生トルクの推定を行った(表-1)。これより、実験での掘進速度を1~3mmとして掘進を行った(壁厚600mmの場合、掘進時間は5時間程度となり、実施工においても問題の無い時間と考えられる)。掘進時の各種計測結果を以下にまとめる。

(1) 切削性

推力とカッタートルクの関係は、図-6に示すとおり、正の相関が見られが、カッタートルクは表-1の推定値に比べ2倍程度となっている(図-7)。この理由として、実測値は油圧ポンプの吐出圧より算定しており損失トルク(配管抵抗等)も含まれるためと考えられる。しかし、シールドの能力を考えた場合、発生トルクは10~30tf・m(最大トルクの22~67%)、総推力は40~110t(総推力の3~18%)であり掘進は十分可能であった。また、掘進完了後、掘削面の目視確認を行ったが、掘削面は非常に滑らかであり、地山との境界部においてもコンクリートがブロック状に破壊するような状況は見られなかった。

(2) ビットの摩耗

表-1 切り込み量による推定トルク

掘進速度 (mm/min)	回転数 (rpm)	切込み量 (mm/rev)	単位掘削量 (tf/m)	トルク (tf・m)
1.0	1.25	0.8	14.9	12.4
2.0	1.25	1.6	18.9	15.3
3.0	1.25	2.4	20.9	17.4

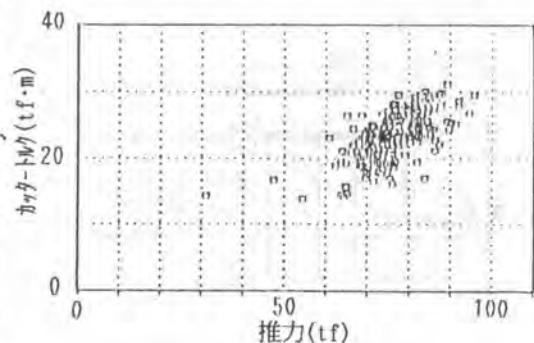


図-6 推力とカッタートルクの関係

新素材コンクリート壁貫通によるビットの摩耗量は、外周ビットの平均値で0.8mmであった。この量は砂礫層を掘進速度30mm/minで約1,000m掘進した場合に想定される摩耗量10mmに比べ小さく、本掘進に影響は無いと考えられる。

(3) 排土性

シールドにより切削、排土されたずりを写真-1に示す。石灰碎石粗骨材は砂状に細かく削れ、CFRPストランドも素線にばらけた長さ10cm程度の小枝状に削れられ、いずれも4インチの排泥管で閉塞することなく排出された。

(4) 土留め壁、地盤の挙動

シールド掘進中央部での挿入式傾斜計による土留め壁の変形計測結果を図-8に示す。土留め壁の切削開始から内筋切断時までは、土留め壁の変形はほとんど見られない。残厚が薄くなる外筋切断前及び切断後は、切断部分の地山側へ5mm程度のはらみ出しが確認されたが、掘進後の目視確認よりコンクリートのブロック破壊は無かったと考えられる。また、地盤の鉛直変位(沈下量)および水平変位は、最大2mm程度であった。

4. おわりに

今回の実証実験により、本工法の実施工適用が可能であることが確認され現在、東京都内にてシールド外径φ2,930mmの第1号の実工事を施工中である。今後は、特殊条件下(路下施工等)での施工法、大断面シールドへの適用性についての検討を進めていく予定である。

参考文献

- 園田徹士他：NOMSTの開発(その1)～(その4)、土木学会第47回年次学術講演会講演概要集、1992.9
 北川滋樹他：シールドトンネルの直接発進の実証実験報告、トンネル工学研究発表会論文・報告集、1992.10

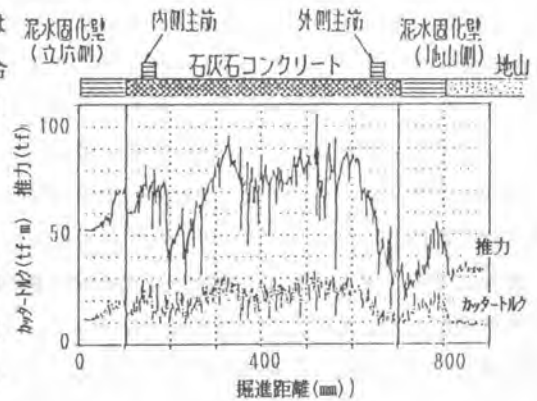


図-7 推力・カットトルクの変化



写真-1 切削ずり

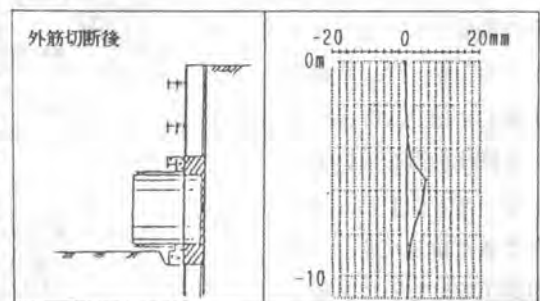


図-8 掘進状況と土留め壁の関係(外筋切断後)