

新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達方法の実施工結果報告

REPORT ABOUT AN EXECUTION OF CONSTRUCTION METHOD WITH NOVEL MATERIALS FOR DEPARTURE-ARRIVAL SHAFT OF SHIELD DRIVEN TUNNEL

園田 徹士*, 岸 辰夫**, 萩原 勉***, 新津 強****, 宮内 宏明*****

Tetsushi SONODA, Tatsuo KISHI, Tsutomu HAGIWARA, Tsuyoshi NIITU, and Hiroaki MIYAUCHI

Construction method for departure or arrival shaft of shield driven tunnel without soil improvement work was first adopted and executed at the project for an electric-supplying tunnel. In this method, a part of tunnel section in the shaft wall was constructed using novel materials of CFRP and limestone, so as to cut the wall with rotating cutters of shield machines. In this case, a mud-pressurized shield machine ($\phi 2,930$ mm) was employed. The ground is mainly composed of gravel.

While cutting the wall, pressure inside the chamber was controlled at 0.5 kgf/cm^2 to stabilize facing. Driving speed was 2 mm/min , and it took only 4 hours to cut through the wall. Ground settlements were less than 2 mm, and the execution was considered quite successful.

Keyword: shield driven tunnel, departure or arrival shaft, without soil improvement work,
shaft wall, novel materials

1. まえがき

建設現場の3K改善や、作業員の高齢化等が課題の中でも、切羽管理、方向制御等にコンピュータを利用することでほぼ自動化されたシールド工事は、土木建設工事の中でも自動化・機械化の進んだ工法といえる。しかし、シールドの発進方法に関しては前方地山を地盤改良等により固化し人力により土留め壁の取り壊しを行った後、シールドの発進を行っているのが現状である。今回報告するシールド現場は、工事用地内に設置する発進立坑が食品工場の井戸に近接するため工事の条件として地盤改良を用いないことが条件づけられた。そのため、地盤改良を必要としないシールドの発進方法の検討を行った結果、NOMST研究会の開発した「新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達工法」を採用することとなった。本工法はシールドの発進および到達の際に、前方地盤を改良せずシールドで直接土留め壁を切削するものである。本工法の

-
- * 正会員 ハザマ土木本部土木部
 - * * 正会員 ハザマ東京支店
 - * * * 正会員 ハザマ土木本部設計部
 - * * * * 正会員 東京電力(株)銀座支店
 - * * * * * 東京電力(株)東京西支店

開発経緯に関してはすでに発表されている¹⁾が、今回本工法を用いた初の実施工が行われたのでその報告をする。

本工事は電力洞道建設を目的とするシールド工事である。発進立坑の土留め壁は、シールド発進部にプレキャストの新素材コンクリートを、その他の部分にはH鋼を芯材として挿入した泥水固化壁とした。

2. 施工概要

2・1 発進立坑

本工法を採用したシールドの発進立坑の対象地盤は、上層より埋土、腐植土、礫層であり、シールド発進部は全面武蔵野礫層である（図-1）。土留め壁はシールド発進部の芯材に新素材コンクリートを用いた部材を、その他の部分についてはH鋼を芯材とした泥水固化壁である。また部材の継手は上下のH鋼とボルトによる摩擦接合が可能な構造とした（図-2）。

新素材コンクリート部材の断面は図-3に示すように、主筋として7本撚線と呼び径12.5mmのCFRPストランドを使用し、コンクリートの設計基準強度は500kgf/cm²とした。使用した主筋材料の仕様を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。

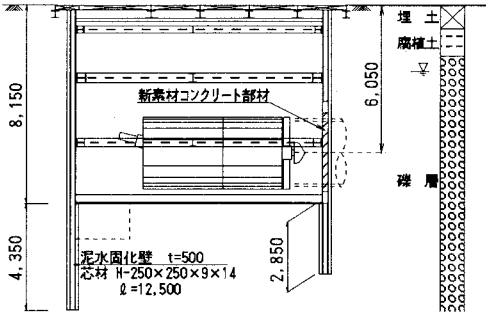


図-1 土留め構造

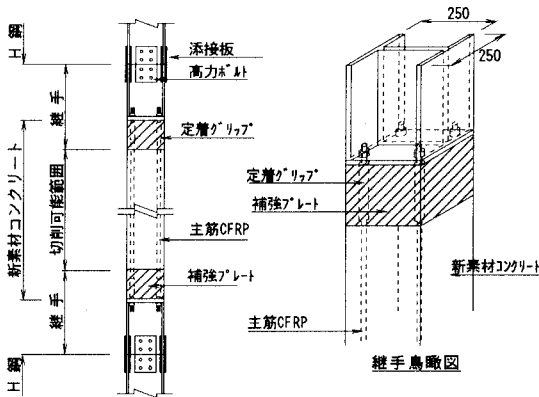


図-2 新素材コンクリート部材

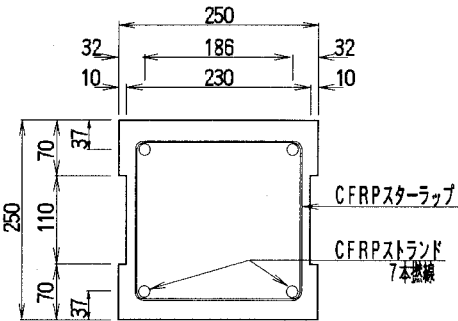


図-3 部材断面

表-1 材料仕様

名 称	CFRPストランド
撚 数	7 本
呼 び 径	12.5 mm
許 容 応 力 度	7,474 kgf/cm ²
引張弾性係数	2.1×10 ⁶ kgf/cm ²
弾性係数比n	10

表-2 コンクリート配合表

最大骨材 寸法(mm)	スランプ (cm)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m ³)				
				W	C	S	G	混和剤
20	3±1.5	35	41	144	411	768	1139	4.97

2・2 シールド

本工事は、掘進延長(644m)の約半分が武蔵野礫層であることより礫対応のシールドとし、直接発進のための改造は行わなかった。シールドの仕様を表-3に示す。

2・3 エントランス

地盤改良を用いず直接発進するため、土留め壁を通過すると直接地山掘削となり土留め壁切削時から切羽圧を保持する必要がある。

また、シールド中折れ部およびテール部通過時にエントランスとシールドの間隙より出水する可能性があるため、エントランスは2段式とし各パッキン間に注入管を取り付けた。なお、エントランスパッキンはカッタ回転開始時に干渉しない位置に配置とした。

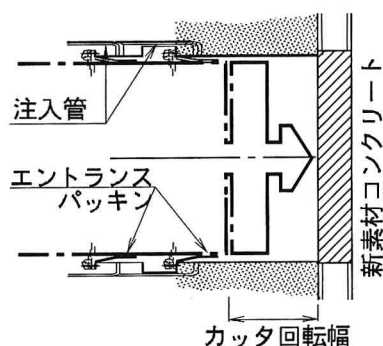


図-4 エントランス構造

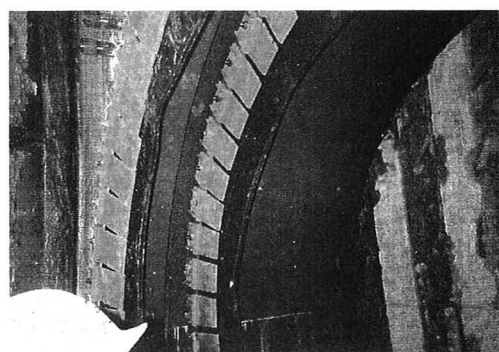


写真-1 エントランス

2・4 発進手順

シールドの発進手順は以下の通りである(図-5)。

① エントランス内へ仮推進

エントランスパッキンを傷めないようカッタを回転させず、カッタヘッドが土留め壁に接するまで推進。

② チャンバ内加泥材充填・加圧

地山掘進時の目標切羽圧と同じ 0.5kgf/cm^2 まで加圧。なお、加泥材には対象地盤が礫であることから、逸泥防止のため高粘性の添加剤(20,000~30,000CP)を用いた。

③ シールド掘進

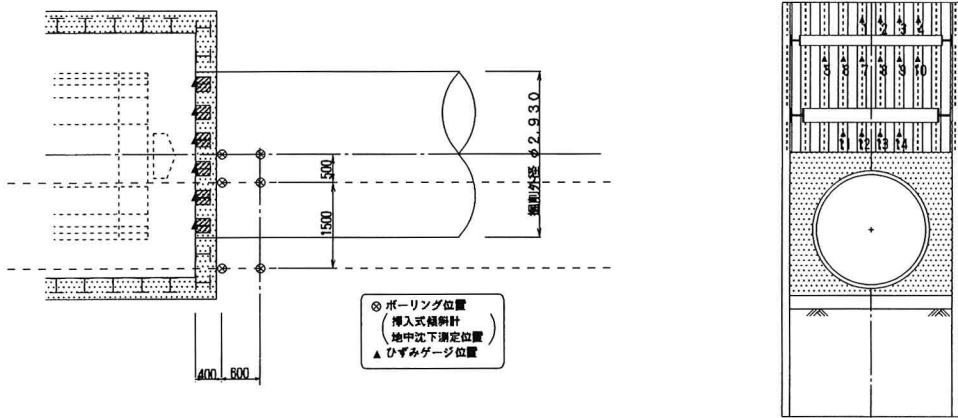
既報告の実証実験^{2) 3)}とシールド径がほぼ同じであることより、実証実験で良好な掘進が可能であった掘進速度 2mm/min を管理値とした。

	地 山	【仮 推 進】 ・エントランス内仮推進 ・エントランス加泥材充填 ・エントランス内加圧(圧力保持)
	地 山	【土留壁切削】 ・土留壁切削
	地 山	【地山貫入】
	地 山	【掘 進】 ・テール部エントランス通過 ・裏込め注入開始

図-5 発進手順

2・5 計測計画

シールド発進による土留め壁および周辺地盤の挙動を調べるため、土留め変位、地中変位等の計測を行った（図－6）。



図－6 計測位置図

3. 施工結果

3・1 芯材の建込み

本発進立坑は掘削深さも浅く土留め壁長も短いことから、各芯材を現場継手を用いず一体物で建込むことが可能であった。新素材コンクリート部材の芯材の建込みは、コンクリート部材と泥水との建込み摩擦抵抗の大きさが懸念されたが、一般部のH鋼芯材と変わらず順調に建込むことができた。写真－2に芯材の建込み状況を示す。

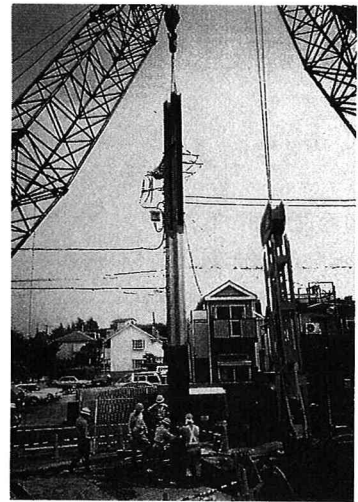
3・2 掘進結果

土留め壁の切削は午前9時40分に開始し、午後1時50分にトラブルなく約4時間で完了することができた（計測のため1時間停止）。以下、掘進結果、地盤変状計測結果および土留め壁変形計測結果について述べる。

(a)掘進結果

掘進速度、総推力、カットトルクの実績を図－7に示す。これらより解る掘進結果の考察は以下の通りである。

- ①掘進速度は予定通り2mm/minでの掘進が可能であった。
- ②土留め壁掘進時の推力は地山掘進と同程度で、装備能力(800tf)の約13%であった。
- ③土留め壁掘進時のカットトルクについては地山掘進時に比べ若干高い値となっているが、装備能力の50%以下であった。
- ④ほぼ同規模のシールドにおける実証実験結果に比べ、低いカットトルクで掘削を行うことが可能であったが、その理由として、土留め壁のコンクリート強度が低かったこと、カット回転数が実証実験時(1.6rpm)に比べ高かったこと(2rpm)、および適正な添加剤を使用したことが考えられる。



写真－2 芯材建込み状況

(b)土留め壁変形

図-8に示すようにシールド通過部の土留め壁はほとんど変形が見られず、地山貫入直前で約2mm程度の地山方向へのはらみだしが見られた程度であった。実証実験結果(2mm)に比べ変形量が小さい理由として、地山が礫地盤であり比較的固い地盤であったこと(実証実験における対象地盤は軟弱粘性土)およびカット回転数が早かったことが考えられる。

(c)周辺地盤変状

シールドの土留め壁通過時における地表面沈下および地盤の側方変位は1~2mm程度と小さなものであった(図-9)。掘進地山は礫層であったが、加泥材に高粘性の添加剤を加えたことなどによりシールドの地山貫入時にも切羽圧が正常に保たれていたと考えられる。

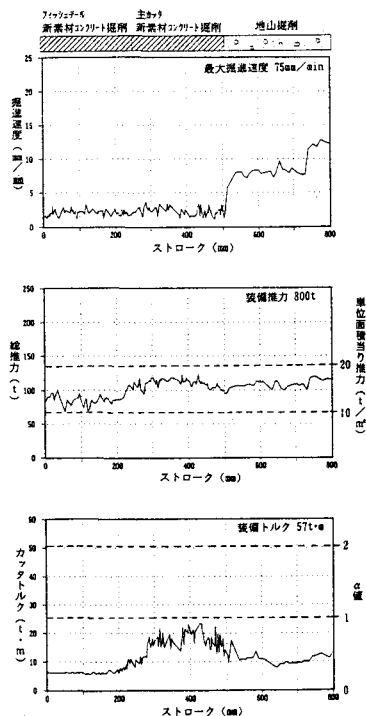


図-7 掘進結果

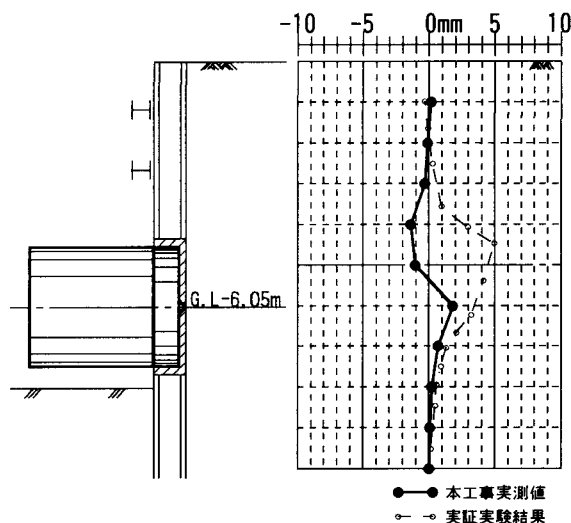


図-8 土留め壁の変形

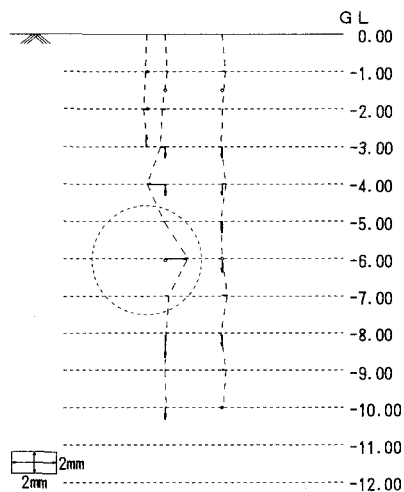


図-9 周辺地盤変状

(d)土留め壁ひずみ

シールドの直接発進に伴う発進部土留め壁の影響を確認するため、発進部の芯材H鋼部ひずみを測定した(図-10)。土留め壁は切削開始と同時に圧縮力(負のひずみ)が生じ始め、その値はシールドが貫通する直前で最大値となる。その傾向は切削面に近いほど(下段方向)影響を受けやすく、上段ではほとんど影響はみられない。なお圧縮力増加の最大は 110μ (約 220kgf/cm^2)であり、シールド貫通後には圧縮力は低下し(約 80kgf/cm^2)安定していることから、本工法による仮設土留め壁への影響は小さかったといえる。

4. まとめ

今回切削性プレキャストコンクリートを用いたシールド直接発進の初の実施工を行い、約2mm/minの掘進速度の管理値で土留め壁を通過することができ、切羽も安定していたことが確認された。また、土留め壁周辺の地盤の影響もほとんど見られなかった。これらの良好な結果は主に高いカット回転数で切削を行ったためと考えられる。高いカット回転数による切削方法の採用は、同規模の実証実験結果を踏まえ、本工法においてはカット回転が安定した掘進につながると考えられたことによるものである。

本工事において発進は約4時間（計測1時間含む）で終了することができ、シールド外径 $\phi 3$ mクラスのシールド発進工においては、同程度の時間での発進が十分に可能であると考ええる。しかし、シールド外径やカット回転速度などのシールドによるもの、芯材の建込み方法や形状など土留め壁によるものなど、様々な要因よりその条件は変化すると考えられる。従って実施時には十分に検討を行うことが必要であろう。

5. おわりに

シールド発進工法として、今回の新しい技術を導入・実施したことにより、工事費の節減、工期の短縮が図られた

ことに加え、建設現場の3K改善および熟練労働者不足、作業員の高齢化課題に大きく寄与できたと考えている。今後、本工法の技術の確立と同種工事への適用拡大が望まれる。

本工法の開発においては有識者の方々から貴重なご意見を頂いている。また今回の実施工には東京電力㈱、施工JVの方々のご協力を頂いた。ここにお礼を申し上げる次第である。

6. 参考文献

- 1) 龍田昌毅ほか：新素材コンクリートを用いた立坑およびトンネルライニング工法，トンネル工学研究発表会論文報告集 第1巻1991.12
- 2) 園田徹士ほか：NOMSTの開発(その1)～(その3)，第47回年次学術講演回講演概要集第Ⅲ部門，1992.9
- 3) 北川滋樹ほか：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 第2巻 1992.10

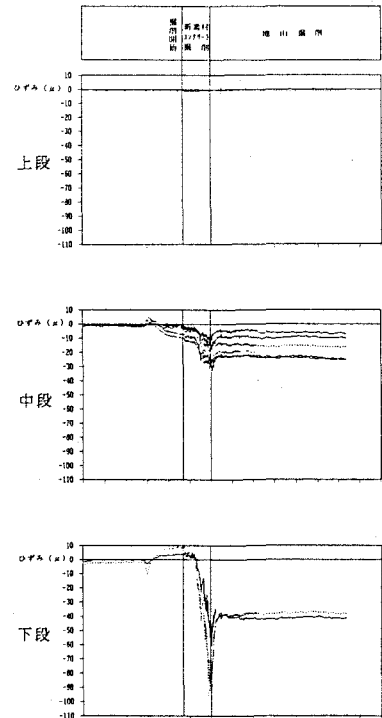


図-10 土留め壁ひずみ