

大深度地下連続壁に新素材コンクリートを用いたシールドの発進実施工結果報告

A CONSTRUCTION REPORT OF USING NOVEL MATERIALS FOR A DIAPHRAM WALL

DESIGNED FOR A DEEP DEPARTURE SHAFT OF A SHIELD DRIVEN TUNNEL

石川智康*・中原将年**・滝沢 究***・園田徹士***・田中秀明***

Tomoyasu ISHIKAWA, Masatoshi NAKAHARA, Kiwamu TAKIZAWA, Tetushi SONODA and Syumei TANAKA

The construction period was shortened 4 months by using a newly developed construction method.

The method using novel materials for diaphragm walls was applied for a departure shaft of the shield driven tunnel. The method did not require soil improvement works for the departure of the shield machine because the machine could cut the shaft walls with its rotating cutters.

Mud-pressurized shield machine ($\phi=4,180\text{mm}$) departed from 31m under the ground with 2kgf/cm^2 water pressure. The ground consists of diluvial gravel and silt.

The execution was successfully completed within 2,500 minutes with a driving speed of 0.5mm/min.

Keywords: shield driven tunnel, deep departure shaft, diaphragm wall, without soil improvement work,
novel materials

1. まえがき

シールド工法は、土木建設工事の中でも自動化・機械化の進んだ工法である。しかしながら、シールドの発進方法においては、土留め壁背面の地山を地盤改良等を用いて固化した後、人力により土留め壁の取り壊しをおこなって発進することが通例となっている。この問題点として、近年の都市の過密化、輻輳化による作業スペースの確保難や、大深度化による工事費の増大、若年労働者不足による労働力の確保難などがある。この煩わしい作業を省力化し、これらの問題点を解決する新しい工法として、昨今、土留め壁にシールド機で直接切削可能な新素材コンクリートを用いた発進・到達工法（NOMST）が実用化され、すでに泥水固化壁での発進実施工事例¹⁾が報告されている。また、新素材コンクリート部材（NOMST部材）を土留め部材として建て込んだ事例として、SMW^{2) 3)}、地下連続壁（円形立坑）⁴⁾などが報告されている。ここでは、大深度地下連続壁にNOMSTを適用し、地下連続壁では初めてシールドの発進実施工をおこなった結果を報告する。

* 横浜市下水道局

** 正会員 ハザマ横浜支店

*** 正会員 ハザマ土木統括本部

3. NOMST部材の設計

シールド機が直接切削する地下連続壁の切削可能範囲は、シールド外径に施工余裕を考慮して決定し、直径φ4,580mmの円形とした。

プレキャストのNOMST部材断面の設定においては、地下連続壁へのコンクリート打設方法を考慮する必要があった。検討の結果、切削可能範囲を5本の矩形断面NOMST部材で応力分担させることとした。また、地下連続壁へのコンクリート打設は、NOMST部材間の隙間にトレミー管を挿入し、施工することとした。このように設定した部材断面について、弾塑性逐次解析により算定した土留め壁の設計断面力を用いて照査をおこなった。決定した断面を図-3に、使用したCFRPストランドの仕様を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。

NOMST部材と鉄筋籠の接合は、部材両端にH鋼の継手を設け、これを鉄筋籠の補強フレームと溶接し、接合することとした（写真-1）。

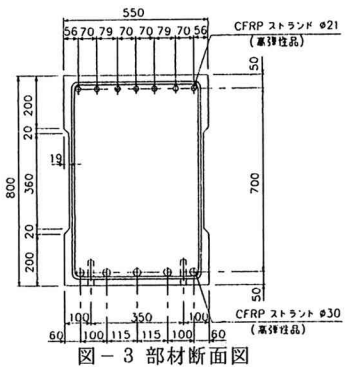


図-3 部材断面図

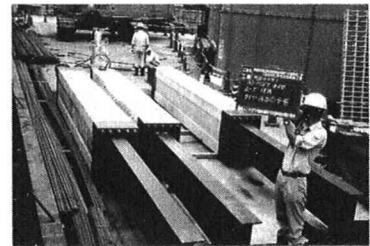


写真-1 NOMST部材

表-1 CFRPの仕様

	名称	呼び径 (mm)	標準断面積 (cm ²)	保証切断荷重 (kgf/本)	弾性係数 (kgf/cm ²)	n
主	19本より線	21.0	2.632	23,000	1.7×10 ⁴	8
筋	37本より線	30.0	5.383	43,500	1.5×10 ⁴	7
	φ10スチーパ	10.0	0.785	(3,611)	1.2×10 ⁴	

()内数値は曲げ加工部保証引張強度

表-2 コンクリートの示方配合 (f'_{ca}=750kgf/cm²)

最大骨 材寸法 (mm)	スラブ (cm)	空気量 (%)	水セメ ント比 (%)	細骨 材率 (%)	単 位 量 (kg/m ³)				混和材 C×%
					W (kg)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	
20	3±1.5	1.5±1	25	35	175	700	545	1051	8.47

4. 地下連続壁の施工

NOMST部材を接合した鉄筋籠は、その重量が40tf程度であり、2台のクレーンを用いて相吊りし、建て込みをおこなった（写真-2）。

地下連続壁をシールド機が直接切削する際、エレメント継手の一部が切削範囲にかかるため、この部分については鋼材を用いることができない。そのため、仕切板の材質をt=15mmの亚克力樹脂とした。また、亚克力樹脂とNOMST部材の接合は、NOMST部材製作の際、部材にGFRP製のインサートを埋め込み、現場でFRP製ボルトにて亚克力樹脂を接合する方法とした（写真-3）。

NOMST部材配置位置での地下連続壁へのコンクリート打設は、一般部と比較して打設量が少ないため、打設速度が速くならないように注意を払いながら、5 m/hrで打設した。



写真-2 鉄筋籠建込

5. シールドの発進

シールドの発進手順は、以下のとおりである（図-4）。

① エントランス取付・シールド機据付

エントランスは、土留め壁切削時点から2 kgf/cm²以上の

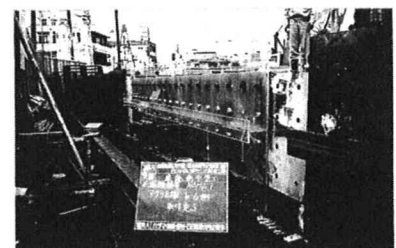


写真-3 仕切板

切羽圧を保持する必要がある。また、シールド機の径が一般部に比べて小さい中折れ部の通過時や、テール部の通過後は、エントランスとシールド機・セグメントの間隙から出水する可能性がある。このため、エントランスパッキンは２段とし、水密性を高めた（図－５）。

② シールド機貫入・耐圧試験

シールド機をエントランス内に貫入した後、エントランスの耐圧試験をおこなった。シールド機側よりエントランス内に清水を注水し 2.5kgf/cm^2 まで加圧して水密性を確認した。なお、掘進を開始する際、エントランス内でシールド機のカッタを回転させる必要があるため、エントランスパッキンは、カッタ回転時に痛めないように干渉しない位置に設置した。

③ シールド掘進

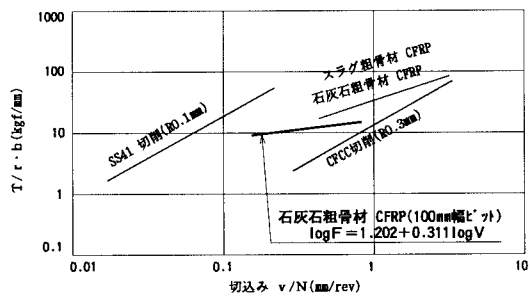
すでに報告されている実証実験^{5) 6)}および実施工¹⁾を参考に、当初掘進速度 1mm/min を管理値とした。

6. 切削トルクの推定

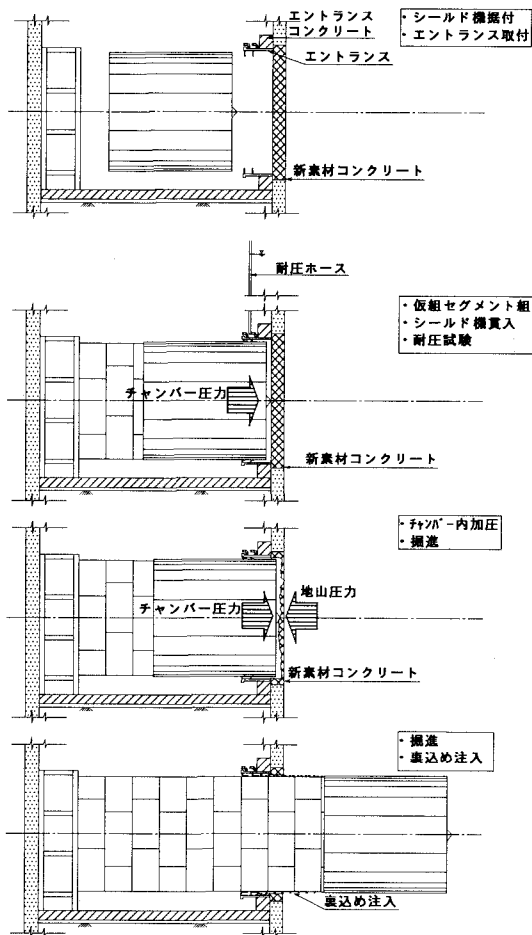
掘進速度 1mm/min を仮定した場合の切削トルクを推定した。NOMST部材切削時の切込み量（V）とティースビットの単位幅切削力（F）の関係は、室内切削試験結果（図－６）⁶⁾より、次式で表される。

$$\log F = 1.202 + 0.311 \log V \quad \dots (1)$$

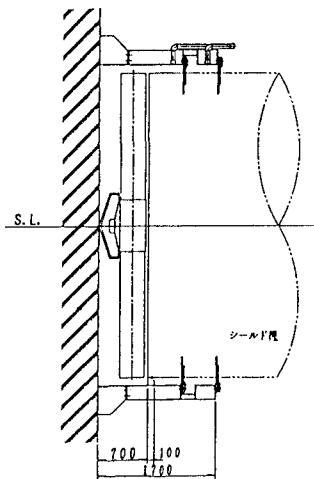
また、切削トルク（T）と単位幅切削力（F）の関係は、



図－６ 補強筋コンクリート切削試験結果



図－４ シールド発進手順



図－５ エントランス概要図

$$T = \Sigma r (F \Delta r) \quad \dots \dots (2)$$

ただし、 r ：ビット位置

Δr ：ビット幅

である。上式を用いて、

① 低トルク・カッタ高回転（138tf・m, 1.8rpm）

② 高トルク・カッタ低回転（216tf・m, 1.0rpm）

の2ケースについて、切削トルクを推定した。結果を表

－3に示す。

さらに、シールド機のカッタの無負荷運転により、損失トルクが40tf・m程度発生すると推定され、これを加えると、掘進速度1mm/minを仮定した場合の必要トルクは、それぞれ130tf・m、150tf・m程度であり、以下が考えられる。

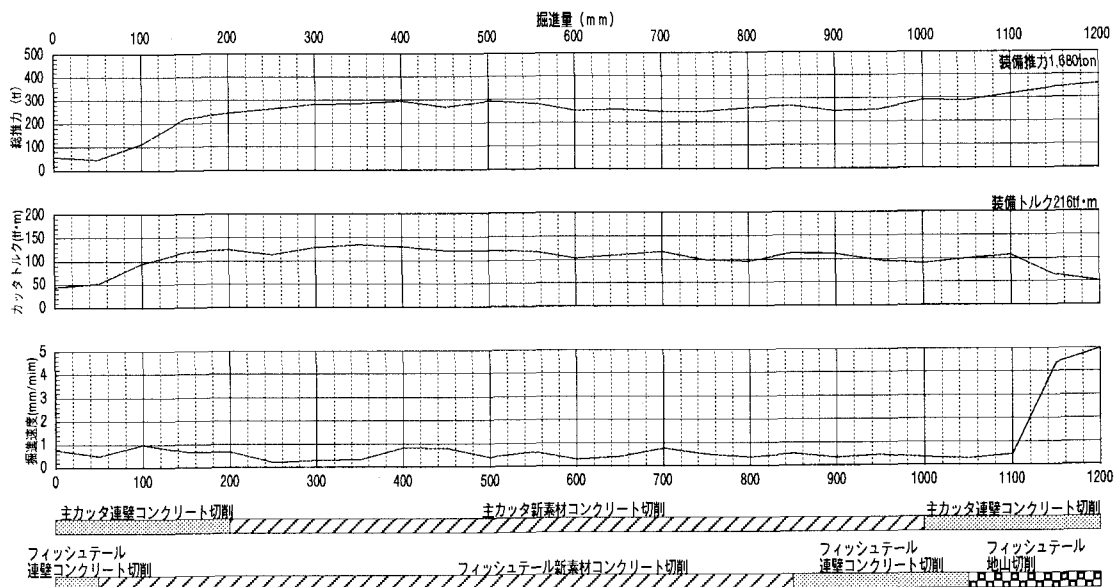
① 低トルク・カッタ高回転とした場合、装備トルク138tf・mに対し、必要トルクが130tf・m程度あり、実際の掘進時のトルク変動を考慮すると、速度1mm/minでの掘進はかなり難しいと予想される。

② 高トルク・カッタ低回転とした場合、装備トルク216tf・mに対し、必要トルクが約70%の150tf・m程度であり、速度1mm/minでの掘進は可能と考えられるが、長時間高トルクで切削することで、ビットへの悪影響が懸念される。

対策として、先行ビットのパス配置を約5cm程度とし、破碎切削することとした。

7. 掘進結果

総推力、カッタトルク、掘進速度の実績を図－7に示す。総掘進時間約2,500min、平均掘進速度0.5mm/minで地下連続壁（壁厚1.2m）の掘進を完了した。以下に経過および考察を加える。



図－7 掘進結果

① 当初の掘進管理値である掘進速度1mm/minに対して、実際は安定してこの速度を維持して連続運転することは困難であった。掘進速度1mm/minを維持しようとする、カッタトルクの変動幅の上限が、装備トルクに近づくためである。このことから、カッタトルクには、先行ビットに起因する抵抗

の他に、ティースビットの掻取り抵抗がかなり含まれているものと考えられる。

②安定した掘進を続けるために、掘進管理値を掘進速度からカットトルクに変更し、管理値を110tfとした。これにより、掘進速度は減じたが、連続して安定した掘進が可能となった。

③コンクリートの切削「ずり」は、細粒状のものと、5 cm×10cm×1 cm程度の小片状のものに分類される。これは、それぞれティースビットによる掻取りと先行ビットによる破砕に関連づけられるものと考察できる。

④掘進量1,100mm前後でカットトルクは減少し始め、掘進速度を上げてでも減少した。この付近のコンクリートの一部が、φ10cm～φ15cm程度の塊で排出したことから、掘進量1,100mm以降は短時間で破砕されたものと考えられる。

8. まとめ

NOMSTを地下連続壁に適用し、壁厚1.2m、土被り31m、水圧2 kgf/cm²で初めてシールド発進実施工をおこなった。

地下連続壁の施工は、鉄筋籠の建込み、コンクリートの充填状況など、いずれも良好な結果を得ることができた。今後は、大断面シールドに適用する際の部材重量や、コンクリートの打設方法など、更に改善の余地があると考えられる。

シールドの掘進中、エントランスの水密性は終始保たれ、エントランスパッキンを2段とすることの有効性が証明された。土留め壁の切削は、カットビットの配置や形状によっては切削抵抗が大きく、必ずしも既報告にあるような掘進速度（2 mm/min～3 mm/min）が出せないことが判った。また、先行ビットの適切な配置により、土留め壁面を破砕する切削法の有効性も示唆された。今後は、より大深度の施工におけるエントランスの水密性の検討や、シールド機の性能、カットビットの配置や形状にあわせた掘進管理値の設定など、注意深くおこなう必要があると考えられる。

9. おわりに

本工事では、地下連続壁にNOMSTを適用し、シールドの発進実施工をおこなった。NOMSTにより、シールド発進部の地盤改良および土留め壁の人力による開口作業が不要となり、工期が4ヶ月短縮された。今後、本工法の更なる適用拡大を望む次第である。

10. 参考文献

- 1) 園田徹士ら：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，トンネル工学研究発表論文・報告集 第3巻，pp293～298，1993.11
- 2) 串山宏太郎・高相恒人：シールドの発進・到達に新素材を採用，トンネルと地下，vol.25 no.4，pp319～324，1994.4
- 3) 高松正伸ら：SMWに新素材を用いた芯材の曲げ耐力，土木学会第49回年次学術講演会，1994.9
- 4) 山岡泰弘ら：大深度場所打ち連続地中壁へのNOMSTの適用，土木学会第49回年次学術講演会，1994.9
- 5) 園田徹士ら：NOMSTの開発（その1）～（その3），土木学会第49回年次学術講演会，1992.9
- 6) 北川滋樹ら：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論文・報告集 第2巻，pp101～106，1992.10