

大深度泥水式シールドにおけるNOMSTの発進

APPLICATION OF NOVEL MATERIALS FOR A DEEP DEPARTURE SHAFT OF SLURRY SHIELD

山岡 泰弘*・石川 眞**・岸谷 眞***・岡本 達也***・金田 則夫****
Yasuhiro YAMAOKA, Makoto ISIKAWA, Makoto KISIYA, Tatsuya OKAMOTO, and Norio KANEDA

NOMST(Novel Material Shield-cutttable Tunnel-wall) was applied for a departure shaft of a slurry shield. Conventional method requires supplemental processing in large areas and dangerous manual work to break shaft wall. Novel materials, consist of cement, carbon fiber reinforced plastic (CFRP) and limestone have been used for shaft wall which shield machine can ream easily.

Slurry shield machine($\phi 4,680\text{mm}$) departed from 67m under the ground with 6~7 kgf/cm² water pressure. The ground consists of mudston. Driving speed was 1mm/min, and it took 6 day to cut through the wall.

Kywords: deep depdarture shaft, slurry shield, novel materials

1. はじめに

横浜市北部の鶴見川流域は近年の著しい都市化により、雨水流出量が増大している。横浜市では、浸水対策として当該地域(排水面積 4,536ha)を対象とする雨水貯留管(新羽末広幹線、貯留量 412,400m³)の整備が進められている。ここで報告する末広支線は、新羽末広幹線の最下流部に位置しており、平均土被りが約64mで都市部において最も深いシールドトンネルである。

近年、都市部では地下空間の有効利用が進められており、より深い施設を設置する機会が増えている。しかしながら、洪積層が広がる50m以深における立坑とトンネルの接続をはじめとし、地下構造物相互の接続等、地盤改良技術も含めて多くの解決しなければならない課題が残されている。

昨今、シールド工事において、このような課題に対して土留め壁をシールド機で直接切削できるNOMST(新素材コンクリートを用いたシールドの発進・到達工法)が実用化されてきている。

本報告では、50m以深の大深度において我が国で初めて、NOMSTを連続地中壁(円形立坑)に適用し泥水式シールドで発進した結果について報告する。

* 前日本下水道事業団東京支社東神奈川工事事務所(現横浜市下水道局)

** 日本下水道事業団東京支社東神奈川工事事務所

*** 正会員 (株)熊谷組技術本部土木技術部シールドグループ

**** (株)熊谷組横浜支店

2. 工事概要

2・1 全体工事概要

本工事は、新羽末広幹線の最下流部に位置する雨水貯留管（貯留量18,600m³）を平均土被り64mの大深度シールドトンネルで施工するものである。

工事名 : 横浜市末広支線下水道整備工事

工事場所：横浜市鶴見区末広町～向井町

2・2 発進立坑

発進立坑は、円形の連続地中壁であり概要を以下に示す。

図-2に発進立坑断面図を示す。

立坑寸法 : 内径 12.5 m (正16角形)

壁 厚 : 1.2 m

連壁施工深さ： 96.8 m

掘削深さ : 72.6 m

発進部シールド中心深さ： 67 m

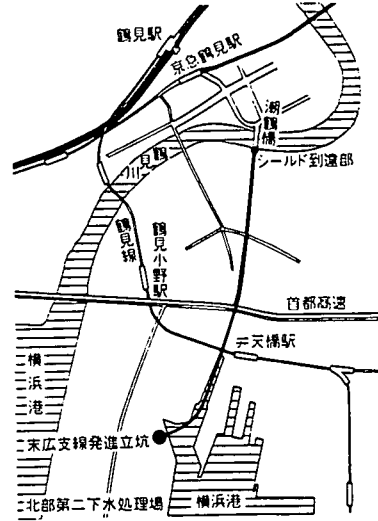


図-1 ルート図

2·3 地質概要

発達立坑は、一級河川鶴見川の河口左岸に位置している。基盤は泥岩主体の上総層群であり、その上部に固結粘性土や砂および礫からなる相模層群鶴見層が分布し、さらにその上部に埋土が堆積している。基盤となっている上総層群はGL-50m以深に分布し、細砂や浮石層が介在しており、全体的に泥岩が主体である。この層はN値50以上、一軸圧縮強度35kgf/cm²程度を示すが、縦、横、斜めに亀裂が発生しており、破碎状を呈する部分も多い。 シールド発達部の地層は、泥岩に亀裂が発生しており、湧水圧試験より透水係数約10⁻⁸cm/sec、地下水圧約 6~7 kgf/cm²が確認された。

2・4 シールド機

シールド機の仕様を以下に示す。

形式 : 泥水式シールド

掘削外径 : $\phi 4,680$ mm

掘削トルク : 155.2 tm (常時)

186.3 t_m (最大)

カッタ回転数： 0.97 rpm

総推力 : 2700tf

なお、NOMST切削のために特別の配慮は行っていない。

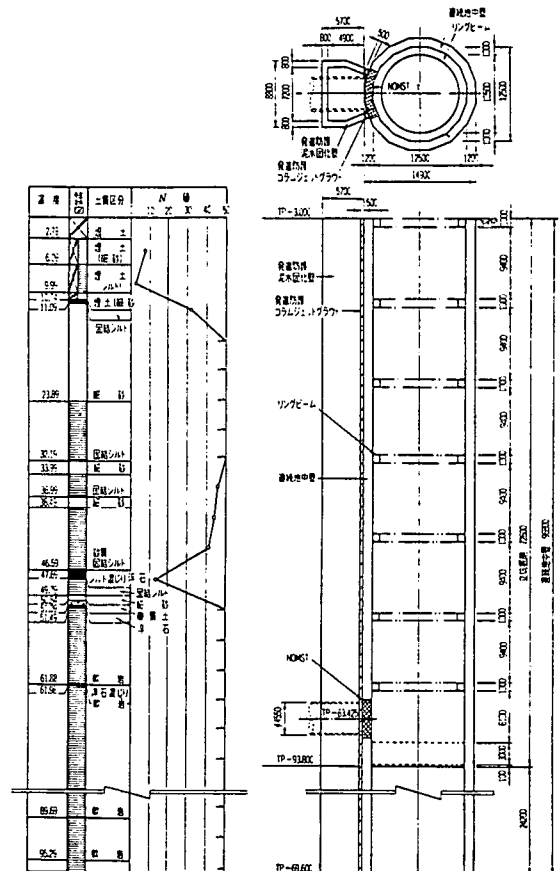


図-2 発進立坑断面図

3. 発進防護工の検討

3・1 NOMSTの適用

現在、泥水式シールド工法において、発進防護工はシールド機の発進に不可欠である。従来、大深度、高水圧においては、凍結工法、高圧噴射注入工法などが採用されている。しかし、これらの工法にも以下に示す問題点がある。

①凍結工法では、泥岩層において発生する強大な膨張圧による立坑への影響。

②高圧噴射注入工法では、削孔の施工精度や亀裂の発生している泥岩層に対する改良効果の信頼性。

以上より、高水圧下での泥岩層を対象とした大深度における従来工法のための発進防護工では困難であると判断した。そこで、鏡切りを行うことなく、シールド機が直接連続地中壁を切削して発進することのできるNOMSTを50m以深の大深度で初めて採用した。

3・2 NOMSTの構造

山留め壁の平面形状は円形で、主筋の配置は水平方向である。また、鉄筋籠と連結して吊り降ろすため、鋼材類を配置出来ないNOMST部分にも建て込み時の吊り剛性および吊り強度の確保が要求される。

このため、図-3に示すようにプレキャストのNOMST部材を鉛直方向に配置し、部材端部の補強鋼材と上下の鉄筋籠のラップ鉄筋を溶接して、鉄筋籠全体の剛性を確保した。また、連続地中壁の主筋となる水平方向には、異形鉄筋と同等以上の付着強度を確保するように異形成形したCFRPロッド（ $\phi 22\text{mm}$ ）を配置した。鉛直方向はプレキャスト部材間に $\phi 19\text{mm}$ のCFRPロッドを配置している。

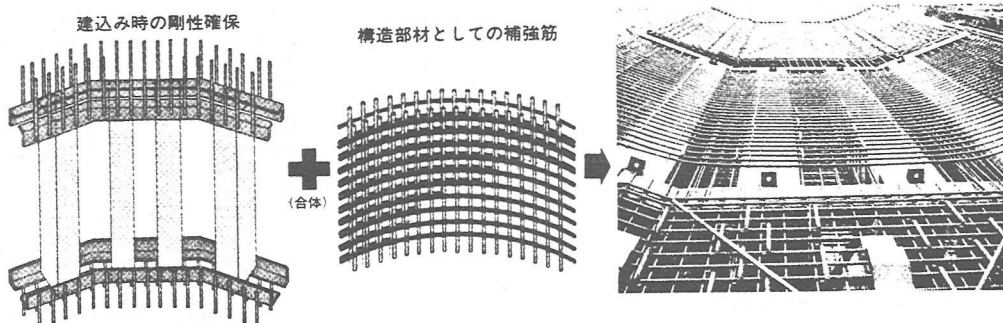


図-3 NOMSTの構造

円形立坑の構造計算は、水平方向の多角形平面骨組み解析により設計断面力を算定している。これに対して、NOMST部材の設計断面力は、掘削ステップを考慮した弾塑性解析により算定した。これより、発進部の後行エレメントにプレキャストのNOMST部材を4本配置し、1本当たりの抵抗断面力を $M=54.0\text{tfm}$ 、 $S=59.0\text{tf}$ とした。（図-4）

3・3 補助工法（遮水壁）

補助工法としては、エントランスからの漏水を考慮し、遮水壁として泥水固化壁および連続地中壁との接合部分に止水を目的としたコラムジェットグラウトを採用した（図-2）

本工事では、遮水壁による発進防護を行って周辺地盤からの地下水を遮水した領域の中でNOMST壁を切削しながらシールドを発進した。

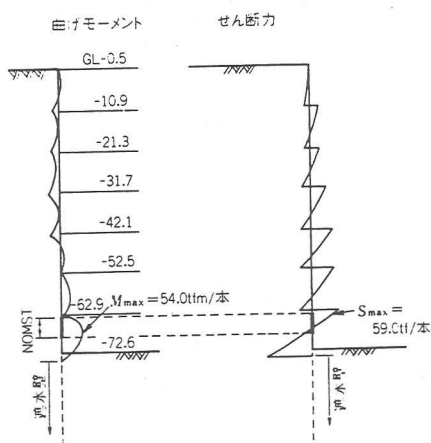


図-4 弾塑性解析結果

4. シールド発進結果

4・1 NOMST切削時系列経過

発進立坑が円形であるため、NOMST切削時にシールド面板に現れてくるNOMST部材は以下のように変化する(図-5)。

- ①両端部NOMST切削区間
- ②全断面NOMST切削区間
- ③中央部NOMST切削
・両端部地山掘削区間
- ④全断面地山掘削区間

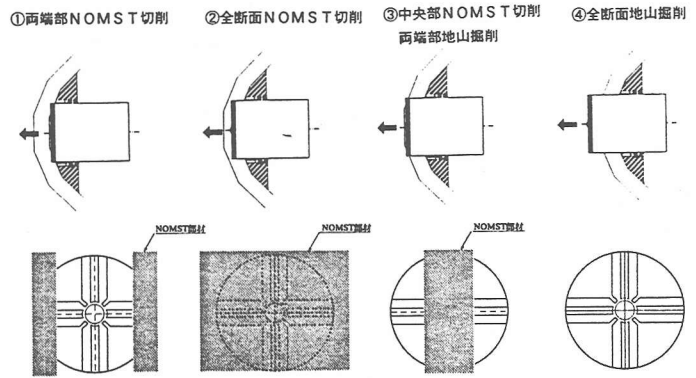


図-5 NOMST切削時のシールド面板状況

NOMST切削時の時系列掘進結果を図-6に示す。NOMST部分の切削延長は約1650mmである。この部分の切削は、掘進速度1mm/minで、1日平均25~30cm掘進し、6日間でNOMST壁の切削を完了した。

掘削トルクは、最大で160tfm前後と常用のカッタートルクの最大値に達したが、NOMST部材の切削面積の増減に比例してカッタートルクも変動した。切羽水圧は0.8~1.0 kgf/cm²で管理した。

NOMST切削時のシールド周辺の完全止水を確保するため、フラップ式2段エントランスリングを採用したが、シールド外殻に自動給脂管が設置されている部分でエントランスからの漏水が比較的多く、止水性の面では現状のゴムパッキンでは課題があると考えられる。ただし、エントランスからの漏水については、補助工法(遮水壁)の効果もあり、本掘進には影響はなかった。

切削したズリの状況を写真-1に示す。CFRPロッドについては、大部分が細かく切削されていたが、一部長さが数十センチに切断されて排出されたものもあった。これは、CFRPロッドと連続地中壁のコンクリートとの付着力が十分ではなかったことによるものと判断される。また、切削が進み土留め壁の残りが15cm程度になった時点で、握りこぶし程度のコンクリート塊が排出された。これらにより、P2ポンプや処理設備で閉塞ぎみとなった。今後は、

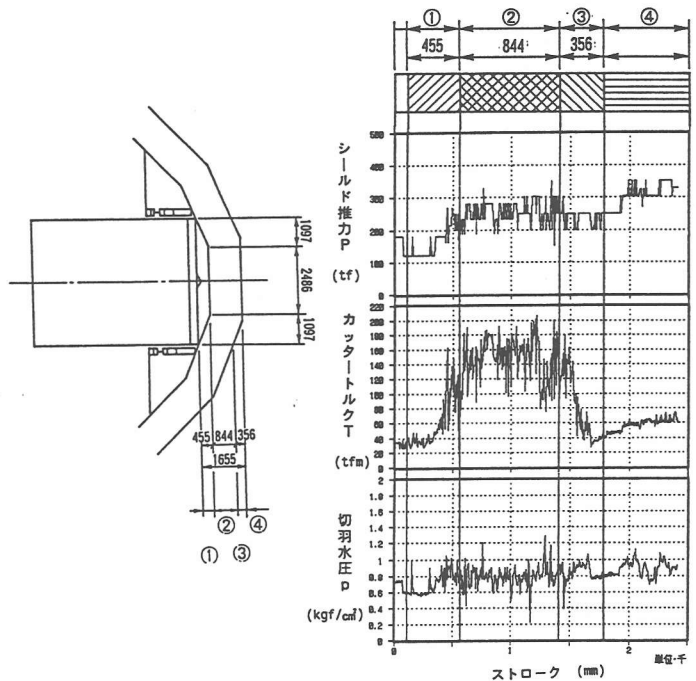


図-6 NOMST切削時の掘進結果

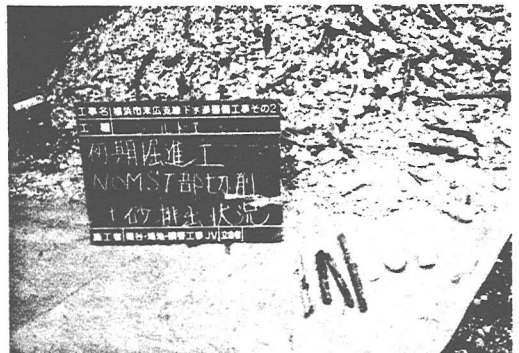


写真-1 切削ズリ状況

状況に応じて以下の対処が必要である。①シールドの先行ビットをより鋭利なものとする。②先行ビットの間隔を短くする。③カッタービットと先行ビットの段差を大きくとり、CFRPロッドの縁切りを確実にする。

4・2 NOMST切削特性

泥水式シールドによるNOMST切削時の推力は、以下のように示される（図－7）。

$$P=W+K+F \quad \text{..... (1)}$$

$$V=K/A=(P-W)/A \quad \text{..... (2)}$$

ここで、

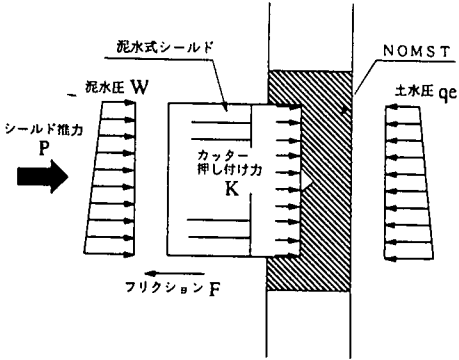
P：シールド推力(tf)、W：泥水圧(tf)= $p \cdot A$
 K：カッター押し付け力(tf)、p：切羽水圧(tf/㎡)
 V：カッター指圧(tf/㎡)、A：切削面積(㎡)
 F：エントランスおよび発進架台のフリクション(tf.)
 カッタービットによる切り込み深さは推力に比例するため、カッター押し付け力に着目した結果を図－8に示す。カッター押し付け力Kは、フリクションFが微小と判断されるので無視すると、シールド推力Pから泥水圧（切羽圧）Wを引いた値であり、NOMSTの切削に必要な切り込み力を表したものである。カッター押し付け力Kは、全断面NOMST切削時（②区間）には約120tfであった。単位カッター押し付け力当たりのカッタートルク（T/K）は、全断面NOMST切削区間では約1.3tfm/tではば一定であり、地山掘削区間（④区間）に比べ単位カッター押し付け力当たり約3倍のカッタートルクを必要とした（表－1）。さらに、NOMST切削に必要なカッタートルクを算定するために単位面積当りに換算（T/K/A）すると、全断面NOMST区間（②区間）では、0.075tfm/t/㎡となる。

以上より、NOMST切削に必要なカッタートルクは、以下のように表すことができる。

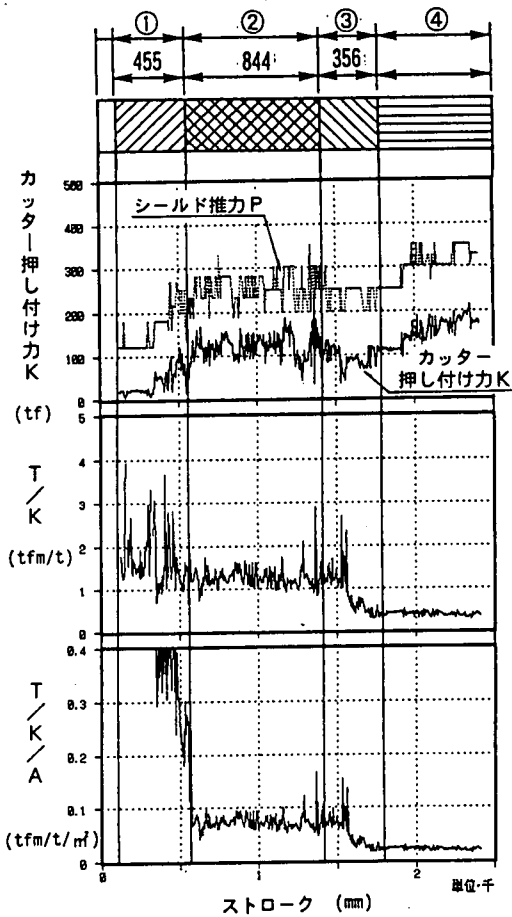
$$T=\alpha \cdot A \cdot K \quad \text{..... (3)}$$

ここで、

T：NOMST切削に必要なカッタートルク（tf）
 α ：係数（tfm/t/㎡）、A：切削面積（㎡）
 K：カッター押し付け力(tf)



図－7 シールド推力概念図



図－8 NOMST切削特性

係数 $\alpha=0.075$ とすると、掘削外径 $\phi 10\text{m}$ のシールドでは、 $T=5.89\text{K}$ のカッタートルクがNOMST切削に必要であることになる。

土留め壁の残厚が15cm程度になった時点で、握りこぶし程度のコンクリート塊が排出されたが、これをカッター指圧 V とカッタートルク T の関係から示すと図-9のようになる。土留め壁の残厚15cmを境にA区間とB区間に区分すると、B区間ではA区間に比べカッタートルクの減少が著しい。また、表-2に示すとおり α 値($T/K/A$)はA区間は全断面NOMST切削区間(②区間)とほぼ等しく、B区間になると α 値が減少している。これは、土留め壁の残厚が薄くなった時点でブロック破壊が生じ、カッタートルクが減少したものであると考えられる。今後は、掘進中残厚に応じて推力を調整する必要がある。

7. おわりに

本工事では、NOMSTによるシールド発進において、①大深度である、②円形立坑である、③泥水式シールドである点で、我が国で初めての試みであった。

今回、NOMSTの切削では抵抗力が大きく、地山掘削時より3倍強のカッタートルクを必要とした。このため、状況に応じては、推力を小さくすることによりカッタートルクを減少させる事が必要となる。しかし、逆にカッタービットの摺動距離が長くなりビットの磨耗の要因となる。今後、データを蓄積し適切な推力を求める必要がある。

NOMSTの発進では、高水圧下でのエントランスの止水性を確保することが技術的な課題である。本工事では、発進部で高水圧が作用するため泥水固化壁による遮水壁を併用したが、今後は、高水圧下においてもNOMSTのみで発進を可能とするため、エントランスの止水能力の向上を図る必要がある。

8. 参考文献

- 1) 山岡康弘ら：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
- 2) 山岡康弘ら：泥水式シールドによるNOMST の切削特性、土木学会第50回年次学術講演会、1995.9

表-1 単位カッター押し付け力当たりのカッタートルク

	T/K (tfm/t)	比 率
②全断面NOMST切削区間	1. 2 7	3. 2 6
④全断面地山掘削区間	0. 3 9	1

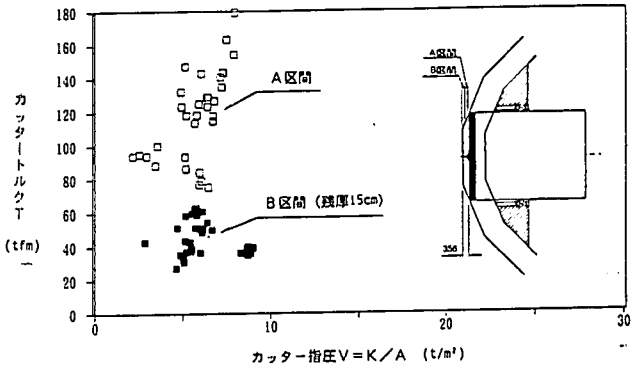


図-9 V～T関係図(③区間)

表-2 単位面積・単位カッター押し付け力当たりのカッタートルク(α 値)

		T/K/A (tfm/t/m ²)
②全断面NOMST切削区間		0. 0 7 5
③区間	A区間	0. 0 7 1
	B区間 (残厚15cm)	0. 0 3 5
④全断面地山掘削区間		0. 0 2 2