

大断面シールドにおける 土留壁切削対策

川田 成彦¹・津野 和宏²・高瀬 隼人³・松原 健太⁴・新井 直人⁵

¹正会員 首都高速道路（株） 神奈川建設局設計課（〒221-0013 横浜市神奈川区新子安1-2-4）

E-mail: n.kawada106@shutoko.jp

²正会員 首都高速道路（株） 神奈川管理局保全設計第一課（〒221-0044 横浜市神奈川区東神奈川1-3-4）

E-mail: k.tsuno68@shutoko.jp

³正会員 首都高速道路（株） 神奈川建設局横浜工事事務所（〒222-0033 横浜市港北区新横浜3-20-8）

E-mail: h.takase118@shutoko.jp

⁴正会員 大林・奥村・西武 横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体
（〒223-0059 横浜市港北区北新横浜2-7-3）

E-mail: matsubara.kenta@obayashi.co.jp

⁵正会員 大林・奥村・西武 横浜環状北線シールドトンネル特定建設工事共同企業体
（〒223-0059 横浜市港北区北新横浜2-7-3）

E-mail: n-arai@seibu-const.co.jp

本工事は、シールド機外径φ12.49m、掘進延長5 500mのシールドトンネルを2本施工する工事である。本工事では、発進から約300mの位置においては、土留壁（NOMST壁）を2回切削する。

NOMST切削後に約5 200m掘進することから、NOMST壁切削時に、カッタービットの損耗が生じたり、シールド機のベアリング等に過大な負荷が作用しないよう留意する必要があった。また、当該箇所は、地下鉄や道路橋の橋脚に近接しているため、NOMST壁切削中の地盤変状を抑制し、近接構造物に影響を与えないよう留意する必要があった。

本稿では、上記の課題に対して実施した各種対策と、施工結果について報告する。

Key Words : large diameter shield, NOMST wall, cutter bits

1. 工事概要

現在、首都高速道路株式会社が整備を進めている横浜環状北線（以下、北線）は、横浜市の交通ネットワークの骨格を形成する横浜環状道路の北側区間であり、第三京浜道路「港北インターチェンジ」と首都高速道路横浜羽田空港線「生麦ジャンクション」をつなぐ延長約8.2kmの自動車専用道路である（図-1 参照）。北線では、家屋の移転を少なくし、周辺環境を保全するために、全体の約7割をトンネル構造とした。北線のうち、横浜環状北線シールドトンネル工事では、新横浜発進立坑を起点に子安台換気所を終点とする延長約5.5kmの大断面併設トンネルを2台の泥土圧シールド機（外径φ12.49m、気泡シールド）によって施工する。工事概要を表-1に、トンネル標準断面図を図-2に示す。

北線のトンネル部においては、図-3に示すように、換気所を3か所設ける。そのうち新横浜換気所について

は、シールド通過前に土留め壁を施工し、シールド通過後に掘削、構築を行う計画である。シールド通過部の土留め壁は、シールド機が切削できるように NOMST 壁とした。

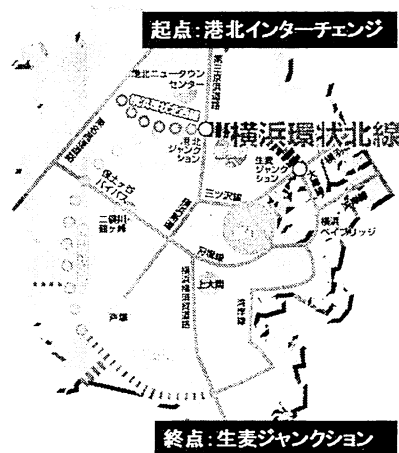


図-1 横浜環状北線の概要

表-1 工事概要

工事名	横浜環状北線シールドトンネル工事	
工事場所	神奈川県横浜市港北区新羽町から神奈川県子安台一丁目まで	
施工者	大林・奥村・西武 特定建設工事共同企業体	
シールド延長	(外回り) 5517m (内回り) 5513m	
シールド	外径	12490mm
	工法	泥土圧シールド (気泡シールド)
セグメント外径	12300mm	
RCセグメント	幅/桁高	2000mm / 400mm
	種類	耐火型 SFRCセグメント (ワンパスセグメント2)
鋼製セグメント	幅/桁高	2000, 1500, 1200, 1000mm / 400mm
	構造	プレキャスト PC構造
床版	幅	2000mm
	長さ/厚さ	8150mm / 330mm
	施工方法	シールド掘進と同時に施工

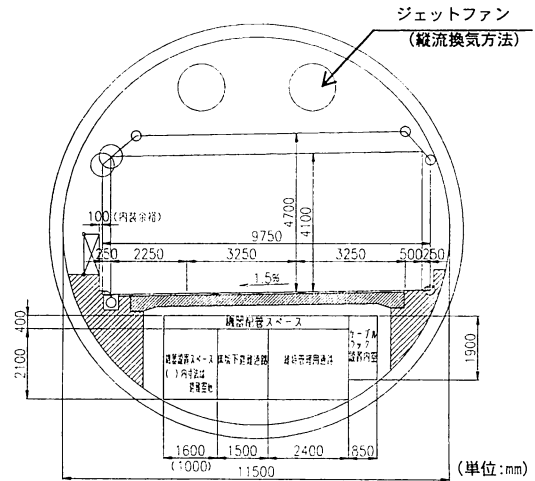


図-2 トンネル標準断面図

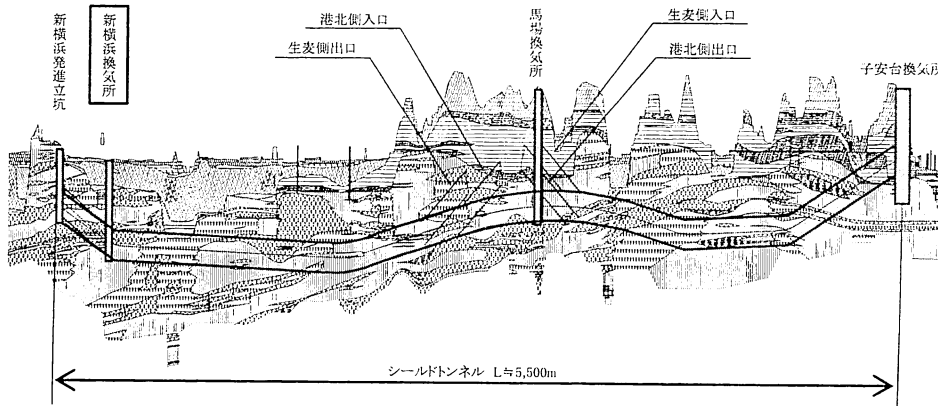


図-3 トンネル地質縦断面図

地質層序表			
地質時代	地層名	地質名	記号
第四紀	完新世	人工地盤	盛土・埋土 B
		有機質土	AH
	沖積層	粘性土	Ao
		砂質土	As
		砂 礫	Ag
		砂 礫	Ag
	ローム層	ローム	Lm
	相模層群	粘性土	Do
		砂質土	Ds
第三紀	上新世	泥 岩	Km
		砂・砂岩	Ks
		砂泥互層	Kst
		砂質泥岩	Ksh

2. 本工事における課題

新横浜換気所の構築は、土留壁を施工した後、シールド機を通過させ、その後、掘削、構築を行う。土留め壁内のセグメントは仮設として掘削にあわせて解体、撤去していく。シールド通過部の土留壁は、シールド機が直接切削できるように NOMST 壁になっている。図-4 に NOMST 壁の詳細を示す。

本工事では、NOMST 壁を切削してシールドを通過させるにあたって、以下の課題に留意した。

(1) NOMST 切削時のシールド機への負荷を抑制

新横浜換気所は、発進立坑から約 300m の位置にあり、シールド機は NOMST 壁を 2 回切削した後、約 5200m の掘進を行う。そのため、NOMST 壁切削に伴い、カッタービットが損耗したり、シールド機のベアリング等に過大な負荷が作用しないよう留意する必要があった。

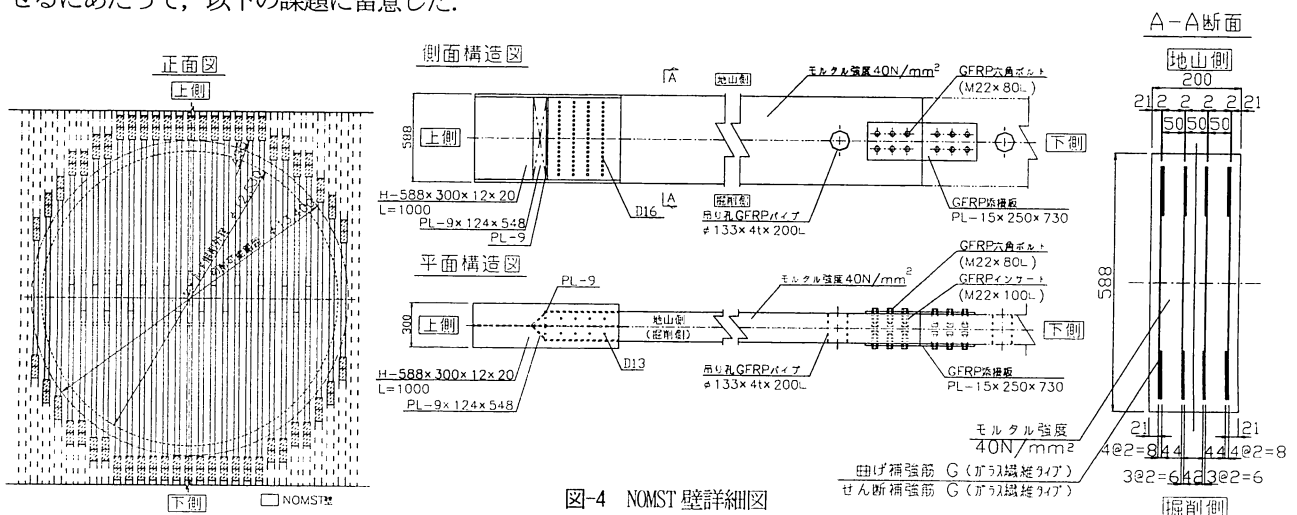


図-4 NOMST 壁詳細図

(2) NOMST 壁通過時の地盤変状を抑制

新横浜換気所は、図-5 に示すように、地下鉄や道路橋の橋脚に近接している。そのため、NOMST 壁通過にあたっては、地盤変状を抑制し近接構造物に影響を与えないよう留意する必要があった。

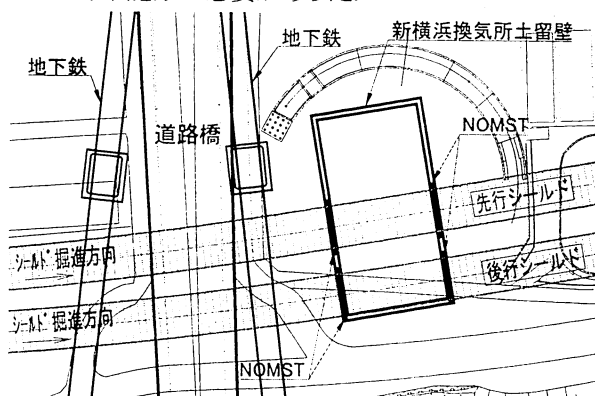


図-5 新横浜換気所付近 平面図

3. NOMST壁切削時のシールド機への負荷抑制対策

(1) カッタービットの配置計画

NOMST 壁切削時のシールド機への負荷を抑制する対策として、まず、掘進土層と NOMST 壁の切削性を考慮してカッタービットの配置計画を行った。

本シールドの掘進土層は、図-3 に示すように、泥岩 (Km)、砂質泥岩 (Kms)、砂、砂岩 (Ks) の互層で、Km 層および Kms 層は一軸圧縮強度が $1\,000\text{kN/m}^2$ 以上、Ks 層は N 値が 50 以上といずれも硬質な地盤である。Ks 層については、最大 0.5Mpa に被圧されている。Km 層および Kms 層は、細かく砕かれた状態で加水されると非常に強い粘着性をもつ特性がある。

このような掘進土層を考慮して、シールド機のカッタービットは、先行ビットで筋切りしティースビットで掘り起こす配置とし(図-6 参照)、ビット間に細かく砕かれた泥岩が固着しないよう、先行ビットパス間隔を 150mm とすることを考えた。

しかし、NOMST 壁を切削するには、先行ビットで NOMST 壁を筋切り、切り残し部をせん断破壊もしくは引張破壊させる必要がある。そのため、前述のように、先行ビットパス間隔を 150mm とすると、切り残し部をせん断破壊もしくは引張破壊させるには、広すぎるものが懸念された。

そこで、NOMST 切削に対応する先行ビットを図-7 に示すように増設して、パス間隔を 75mm とした。ただし、細かく砕かれた泥岩がビット間に固着するのを防止するために、先行ビットの配置を千鳥に配置することで、ビット設置間隔を 150mm 以上確保した。

(2) 掘進管理計画

NOMST 切削時、カッタービットに過大な負荷が作用しないよう、カッターの回転数を 0.64rpm (外周速度 25.1m/min)、掘進速度を $1\sim 2\text{mm/min}$ として、先行ビット 1 パス当りの切込み深さが $1.6\sim 3.1\text{mm}$ 程度になるようにした。

NOMST 切削時は掘進速度が遅く NOMST 壁の切粉が長時間チャンバー内に留まるため、切粉がカッタービットやチャンバーに付着することも懸念された。そのため、切削中は掘削添加剤の気泡に加えて、分散剤を注入して付着の防止を図ることとした。

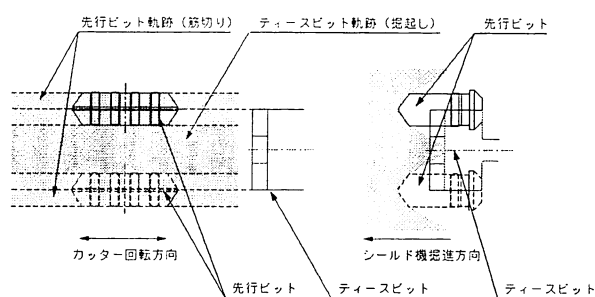
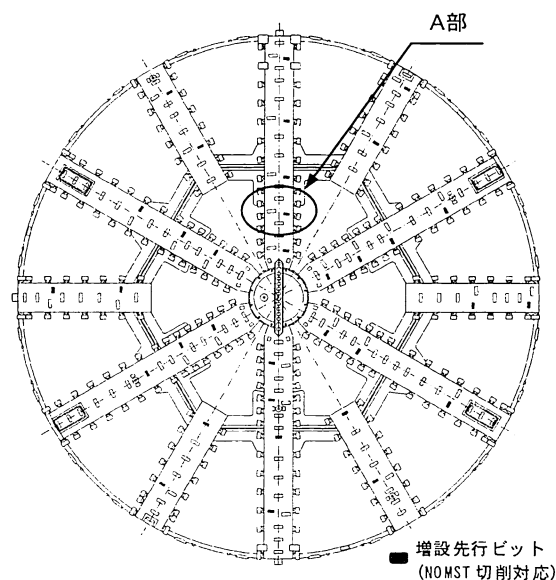


図-6 ビット配置図



A 部詳細図

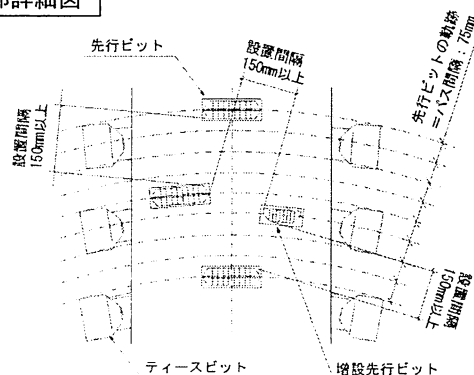


図-7 先行ビット配置図

(3) 計測管理計画

一般に、NOMST 切削時は掘進速度、推力、カッタートルクを管理し、シールド機に過大な負荷が作用していないか確認する。

今回は、さらに、カッターおよびベアリングに過大な負荷や偏荷重が作用していないか確認するために、図-8に示すように、ロータリージョイントにダイヤルゲージを設置して、カッターの「偏芯量」の変化を計測した。また、ベアリングハウジングにひずみ計を設置して、カッターからベアリングに伝わるスラスト反力の変化を計測した。

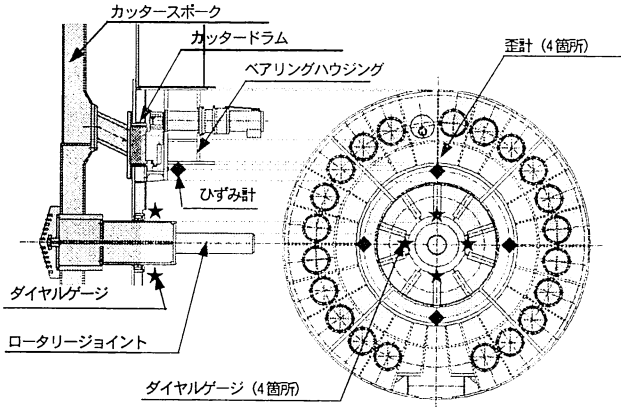


図-8 ダイヤルゲージ、ひずみ計 配置図

4. NOMST 切削時の地盤変状抑制対策

地盤変状を抑制するためには、切羽を安定させ、適切な土圧管理と排土量管理を行うことが重要である。

(1) 土圧管理

本工事においては、管理土圧を「静止土圧+水圧+予備圧」とし、切羽圧をチャンバー内のバルクヘッドに設置した 7 つの土圧計で管理した (図-9 参照)。とくに、シールド上部の土圧は、シールド中央部の管理土圧ラインよりも小さくなる傾向があったため、シールド上部の切羽圧が管理土圧を下回らないよう注視した。

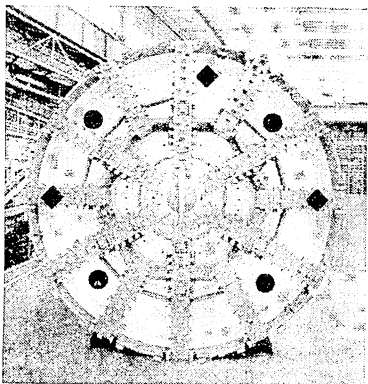


図-9 土圧計配置図

今回、土中にある NOMST 壁を通過するため、NOMST 壁切削時の管理土圧は、切削前の切羽圧と同様にして、掘進を行った。

(2) 排土量管理

本工事では、シールド掘削土の坑内運搬を連続ベルトコンベアで行っている。排土量については、レーザースキャンにより掘削土砂の体積を、ベルトスケールにより掘削土砂の重量を計測管理した。

NOMST 壁切削中も、通常掘削と同様の排土量管理を行った。

(3) チャンバー内の塑性流動管理

切羽の安定を図るには、チャンバー内の土砂が塑性流動状態であることが重要である。今回、NOMST 切削中に、チャンバー内における切粉が占める割合が増えた際、塑性流動状態を確保できるか懸念された。

チャンバー内の切粉の割合は、最大 67% となり、これを模擬して室内試験を行った。室内試験では、上記の割合で混ぜた試料土に気泡を混入して、土砂性状を確認した。その結果、地山掘削時の気泡注入率でも良好な塑性流動化を図れたが、切粉のアルカリ成分の影響で気泡が破泡気味であった。そのため、安全側を考え、NOMST 切削中は、アルカリ成分に対して破泡しにくい気泡材を使用することにした。

(4) 計測管理

NOMST 切削箇所は、道路橋橋脚、地下鉄に近接している。そのため、通常的地盤変状管理で実施している地表面のレベル測量に加えて、道路橋橋脚のレベル測量と、地下鉄坑内の鉛直変位、水平変位について自動計測を行った (図-10 参照)。

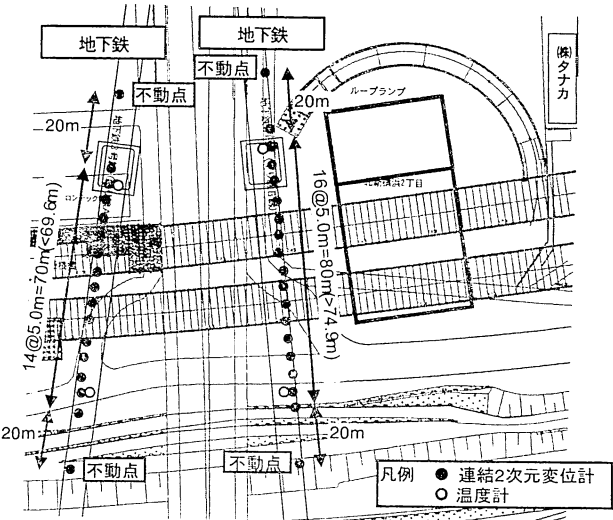


図-10 地下鉄自動計測 概要図

5. 施工結果

(1) NOMST 壁切削に伴うシールド機への負荷

今回、2台のシールド機とも、2枚の NOMST 壁を問題なく切削することができた。

図-11 に NOMST 切削中の掘進実績を示す。NOMST 切削に伴い、カッタートルクや推力が上昇することなく、安定した状態で掘進しており、カッタービットの切削性も良好であったと考えられる。

図-12 に、ダイヤルゲージとひずみ計の計測結果を示す。

いずれの計測データも、NOMST 切削前後の地山掘削時と比較して大きな変化がなく、NOMST 切削時にシールド機に大きな負荷は作用していなかったと考えられる。

また、NOMST 切削後も、カッタートルクや推力の上昇もなく、安定して掘進できており、NOMST 切粉によるカッタービットやチャンパーへの付着を防止できたと考える。

なお、今回の NOMST 切削においては、切削に伴う振動は発生しなかった。

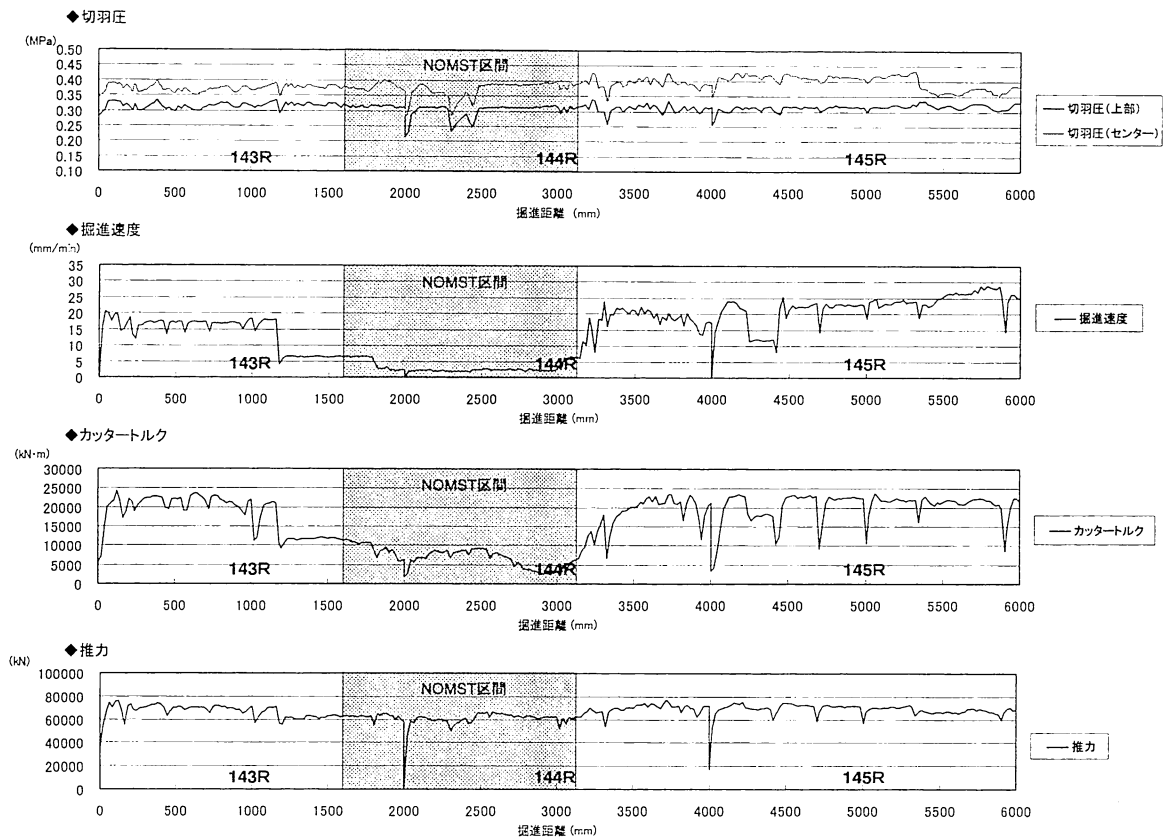


図-11 NOMST 切削時掘進実績

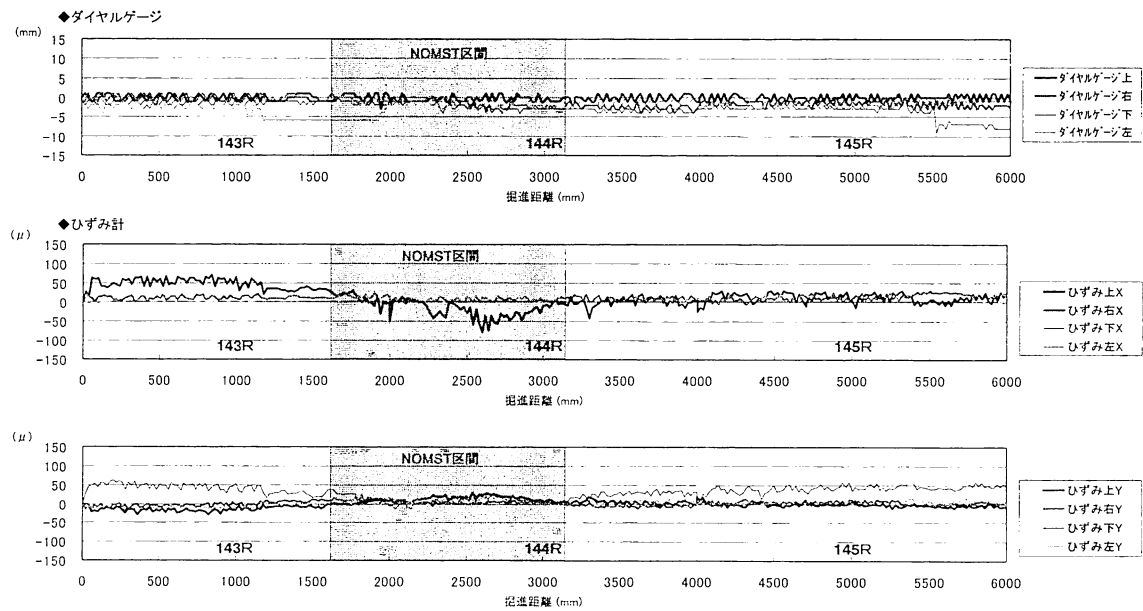


図-12 ダイヤルゲージ、ひずみ計 計測結果

(2) NOMST 壁通過に伴う近接構造物への影響

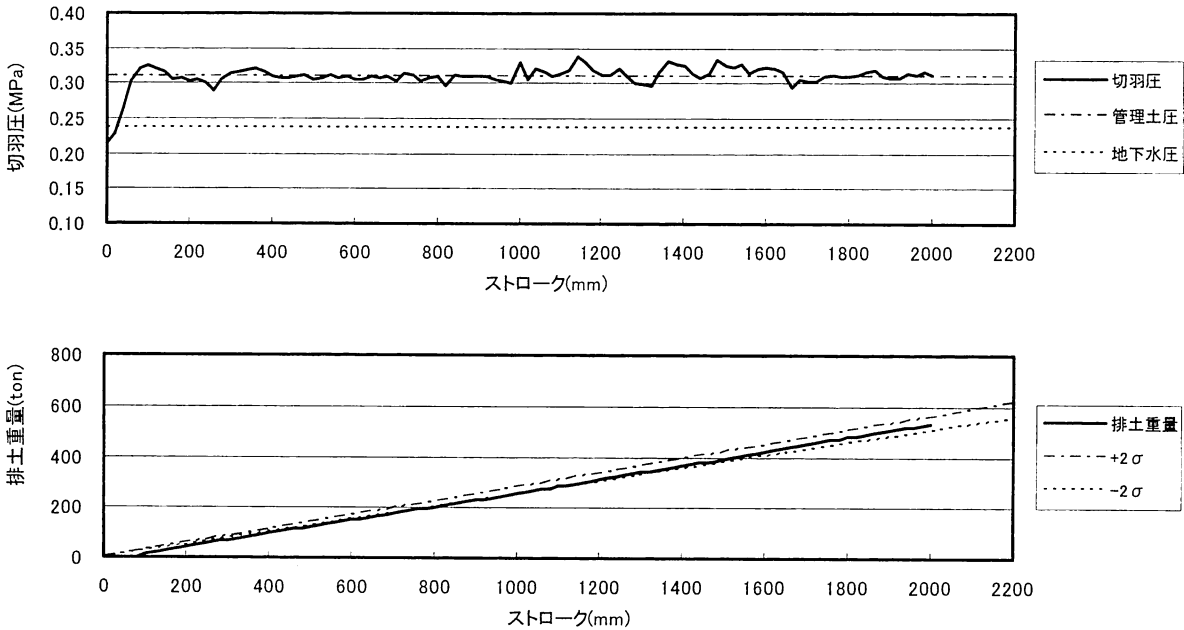
NOMST 切削時の土圧管理および排土量管理の状況を図-13 に示す。土圧管理については、地山掘削時と同様の管理を行った。排土量については、地山掘削時と同様に、過去 20 リングの排土量を対象に設定している管理値内 ($\pm 2\sigma$) であった。

NOMST 壁切削時の排土状況は、スクリーコンベアの閉塞やスクリーコンベアからの噴発もなく、良好であった。よって、チャンバー内は適切な塑性流動化が図られていたと考える。

地下鉄坑内の変位については、地下鉄直下を通過する際 0.9mm 程度の沈下が見られたが、NOMST 壁切削に伴う変位は生じなかった。

また、道路橋橋脚については、シールド通過および NOMST 壁切削に伴う変位は生じなかった。

◆通常時



◆NOMST 壁切削時

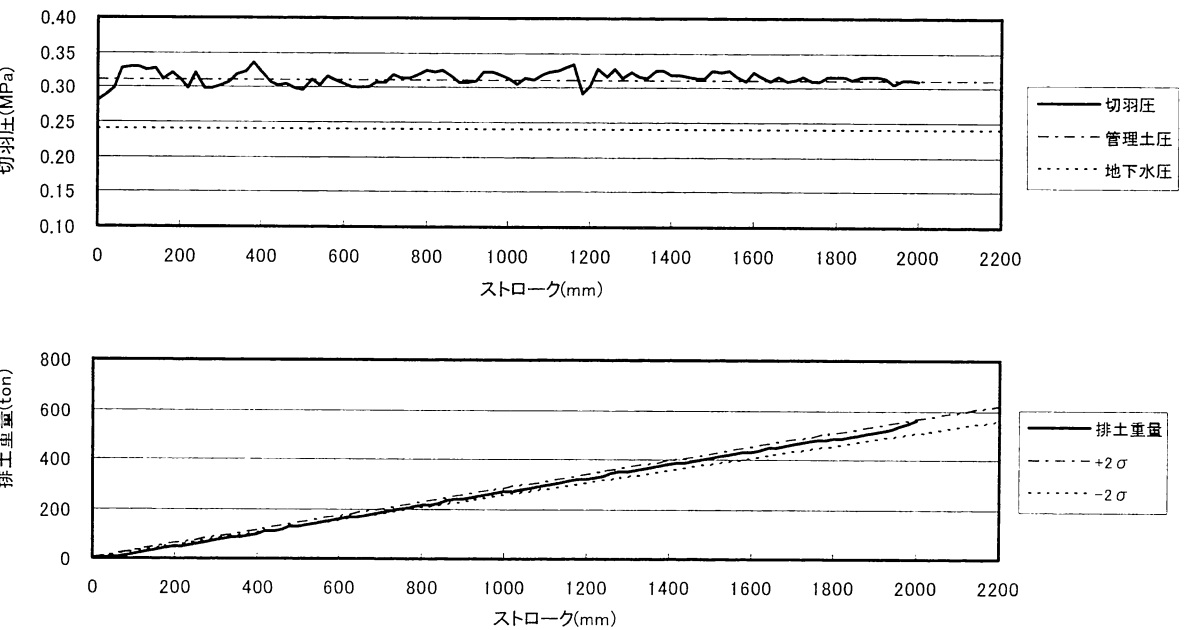


図-13 NOMST 切削時の土圧管理および排土量管理

6. まとめ

本工事においては、NOMST 壁切削時にシールド機に過大な負荷が作用しないよう対策を行い、各種計測を行ってその効果を確認した。

また、NOMST 壁切削時の地表面や近接構造物への影響を抑制するために各種対策を行い、その効果も確認した。

平成 24 年 8 月現在、シールドは約 3 100m まで掘進している。

本論文が今後のシールドトンネル計画の参考になれば、幸いである。

参考文献

- 1) 高瀬隼人, 高橋博威, 落合栄司, 松原健太, 林成卓: 民地下の互層地盤を施工する大断面併設シールドトンネルの掘進管理, トンネル工学報告集, 第 21 巻, pp.395-401, 2011.11

(2012.9.3受付)

PROTECTION MEASURES TO PENETRATE SLURRY WALL BY LARGE DIAMETER SHIELD MACHINES

Naruhiko KAWADA, Kazuhiro TSUNO, Hayato TAKASE,
Kenta MATSUBARA and Naoto ARAI

This project consists of 2 each 5500m tunnels mined by large diameter shield machines. The excavation diameter was 12.49m. There were 2 each NOMST walls per shield machine to cut through at the location of just 300m away from the launching points. The wear of cutter bits and excessive forces to the bearings and other components of the shield machines may have caused the future impacts to mine the remaining 5200m portions. It was also required to minimize the ground movements because NOMST walls were very close to the subway system and the foundations of the bridge. This paper describes several protection measures to prevent the potential damages mentioned above and those results.