

大断面シールドの低土被り， 高水位地盤における掘進管理

大場新哉¹・高瀬隼人²・西嶋宏介³・松原健太⁴・小林晃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:s.oba75@shutoko.jp

2正会員 首都高速道路（株）建設事業部建設企画課（〒100-8930 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1）
E-mail:h.takase118@shutoko.jp

³正会員 首都高速道路（株）東京建設局品川線工事事務所（〒141-0032 東京都品川区大崎5-4-3）
E-mail: k.nishijima610@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工事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工事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:kobayashi.a@obayashi.co.jp

本工事は、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 $\phi 12.49\text{m}$ 、気泡シールド）によって施工する工事である。本シールドは、ほぼ、全線にわたって民地の下を掘進する。

本工事では、土被りが約 15m と浅く、GL-11m 付近までは N 値ゼロ～1 程度の軟弱な沖積粘性土層である区間を掘進する。当該区間は、掘進土層の被圧水頭が GL+1m 程度と地表面よりも高く、掘進土層と沖積粘性土層が水理的につながっている可能性があった。当該区間の掘進にあたっては、民地の下であることも考慮して、地盤変状の抑制が重要な課題であった。

本稿では、上記の課題に対して実施した各種検討、対策と施工結果について報告する。

Key Words : large diameter shield, low earth coverage, high underground water pressure
alluvial clay layer, excavation control

1. 工事の特徴

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、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。

掘進土層は、図-3 に示すように、泥岩 (Km)、砂質



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区子安台一丁目まで		
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)	5 517m	
	(内回り)	5 513m	
シールド	外径	12 490mm	
	工法	泥土圧シールド（気泡シールド）	
セグメント外径	12 300mm		
RCセグメント	幅／桁高	2 000mm／400mm	
	種類	耐火性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	2 000, 1 500, 1 200, 1 000mm／400mm	
床版	構造	プレキャストPC構造	
	幅	2 000mm	
	長さ／厚さ	8 150mm／330mm	
	施工方法	シールド掘進と同時施工	
分合流拡幅	4箇所		

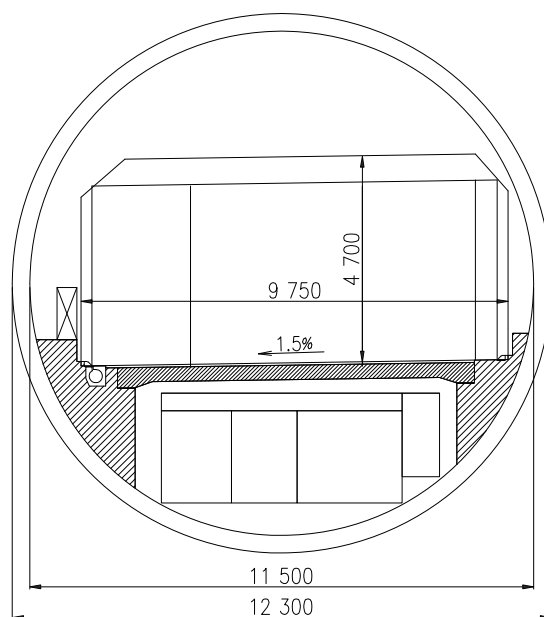


図-2 トンネル標準断面

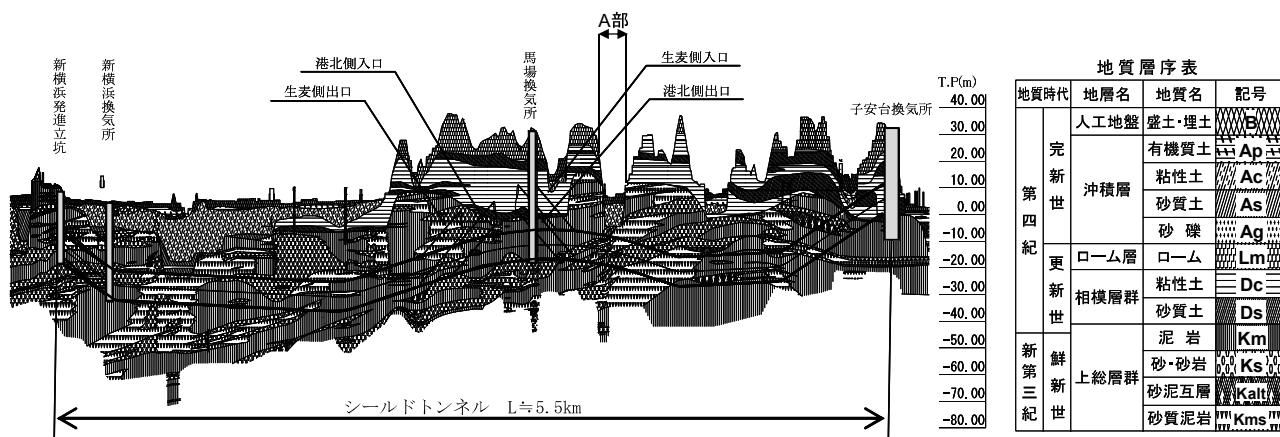


図-3 トンネル地質縦断面図

泥岩（Kms），砂・砂岩（Ks）の互層で，Km 層及び Kms 層は一軸圧縮強度が 1 000kN/m² 以上，Ks 層は N 値が 50 以上と硬質な地盤である．Ks 層については水量が豊富で被圧されている．シールドトンネルの土被りは，概ね 2D 以上（25m～56m，D：シールド外径）で，ほぼ全線にわたって民地の下を掘進する．ただし，発進部，到達部，A 部の付近については，土被りが 2D 以下と浅くなっている．

A 部の拡大図を図-4 に示す．A 部については，土被りが約 15m と浅く，GL+11m 付近までは N 値ゼロ～1 程度の軟弱な沖積粘性土層（Ac）が存在する．掘進土層の特性としては，ks 層は被圧水頭が GL+1m 程度と地表面よりも高く，Ac 層と水理的につながっている可能性がある．また，Km 層及び Kms 層は亀裂が多く存在しており，Ks 層の被圧水頭が亀裂を伝って Ac 層に作用している可能性もある．

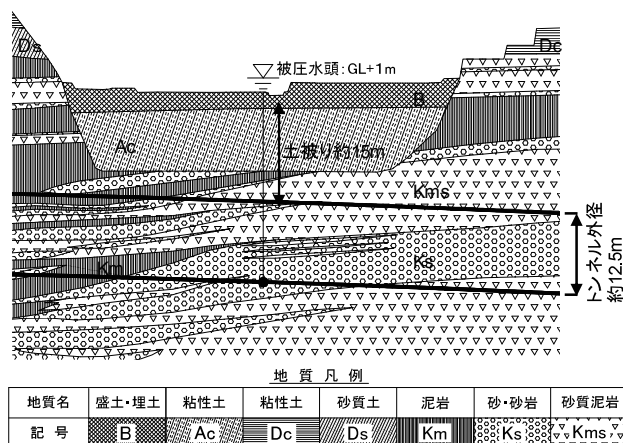


図-4 A部拡大図

2. 本工事における課題

本シールドは、ほぼ全線にわたって民地下を掘進するため、掘進に伴う地盤変状の抑制は重要な課題である。とくに A 部については、低土被りであること、Ac 層が厚く堆積していること、掘進土層には前述の特性があることを考慮して以下の課題に留意した。

(1) 掘進に伴う地盤沈下の抑制

土被りが約 15m と浅く、シールド頂部より 4m 以浅は軟弱な Ac 層であることから、掘進に伴う地盤沈下の発生が懸念された。二次元 FEM 解析による想定沈下量は、シールド直上の地表面で 1.6mm であった。解析断面図を図-5 に、物性値を表-2 に、解析結果を図-6 に示す。

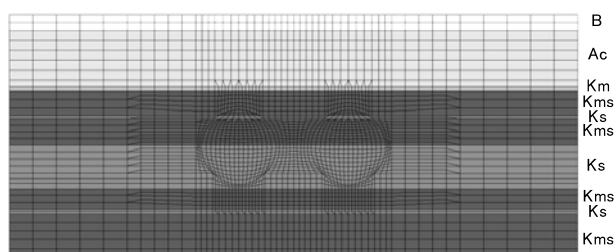


図-5 解析断面図

表-2 物性値

土質定数	地 質	B	Ac	Km	Ks	Kms
	単位体積重量 $\gamma(\text{kN/m}^3)$	14.0	15.5	18.5	19.5	19.0
	粘着力 $C(\text{kN/m}^2)$	30	35	2 020	60	1 840
	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	0	3	7	42	10
	変形係数 $E(\text{kN/m}^2)$	1 200	3 300	430 000	289 000	492 000
	ポアソン比 ν	0.45	0.45	0.35	0.30	0.35
応力解放率 $\alpha=10\%$						

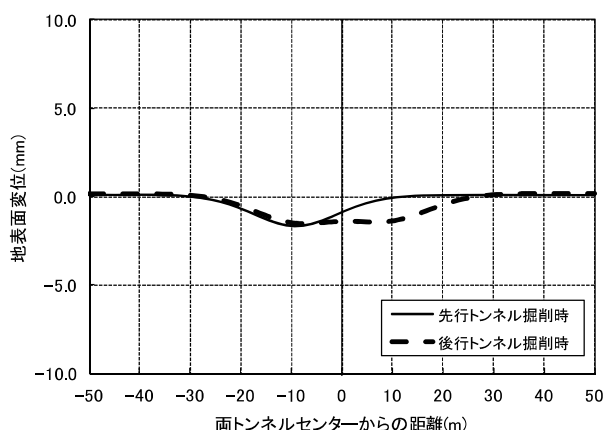


図-6 解析結果（地表面の変位量）

(2) 掘進に伴う掘進地盤の間隙水圧上昇の抑制

一般に、掘進中は切羽圧によって掘進地盤の間隙水圧が上昇する。当該地盤は、Ks 層の被圧水頭が GL+1m 程

度と高いこと、Ks 層が Ac 層と水理的につながっている可能性があること、Km 層、Kms 層には亀裂が多く存在していることから、掘進に伴い Ks 層の間隙水圧が著しく上昇すると、Ks 層の間隙水圧が Ac 層に作用し、Ac 層が隆起することが懸念された。逆に、Ks 層の間隙水圧が Ac 層に作用することにより、Ac 層に過剰間隙水圧が発生し圧密沈下が促進されることも懸念された。

3. 対策

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

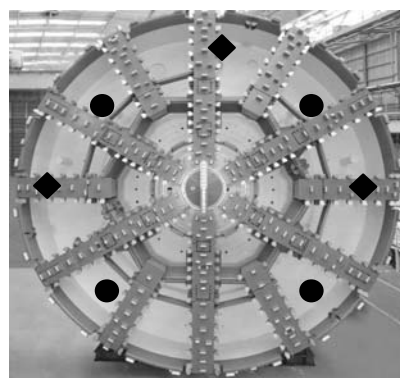
A 部の掘進にあたっては、地盤沈下の抑制に対しては切羽圧を下げすぎない、間隙水圧上昇の抑制に対しては切羽圧を上げすぎない、といったように相反する対応が必要になるため、切羽圧管理がとくに重要であり、切羽圧の設定にあたっては、より厳密な検討と検証が必要であった。

(1) 適切な切羽圧の設定

掘進土層の Km 層、Kms 層は硬質で自立する土層である。

Ks 層については、被圧されてはいるものの地下水を引込まなければ自立する土層であるが、Ac 層と水理的につながっている可能性があるため掘進による間隙水圧の著しい上昇を避けなければならない。よって、地盤変状を抑制するためには、Ks 層の地下水を、極力、動かさないように掘ることが重要であり、切羽圧は地下水圧相当に設定することが適切と考えた。

なお、本工事における切羽圧の管理は、チャンバー内のバルクヘッドに設置した 7 つの土圧計で行った（図-7 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管理した。



● 固定型土圧計
◆ 交換型土圧計

図-7 土圧計配置図

(2) 切羽圧の妥当性の検証

切羽圧の設定にあたり地下水压については、掘進土層の自立性が高いことを考慮し、切羽圧が週末を挟んで、掘進停止期間中に減少して平衡状態になった値を地下水压相当とみなし、その値を掘進中の管理土圧に採用した。

A部の掘進に先立ち、A部と同様の掘進土層の区間（図-8、検証用①、②断面）に層別沈下計、間隙水压計、水位計を配置し、掘進の影響による地中変位と地下水位の動きを確認し、設定した切羽圧の妥当性を検証した。

(3) 各種計測結果を掘進管理に反映

A部の掘進にあたっては、検証した切羽圧を基本として掘進を行うが、A部においても層別沈下計、水位計、間隙水压計を設置し、設定した切羽圧の妥当性を確認しながら施工を進めた（図-9参照）。また、地表面についても20mメッシュを基本としてレベル計測を行い、掘進管理に反映した。

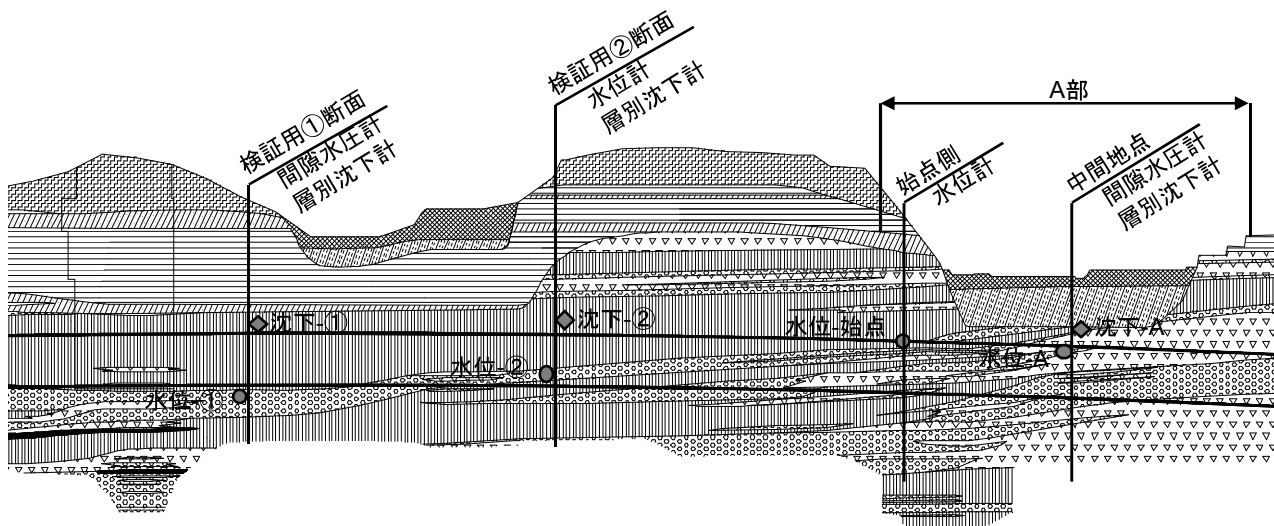


図-8 計測位置断面図

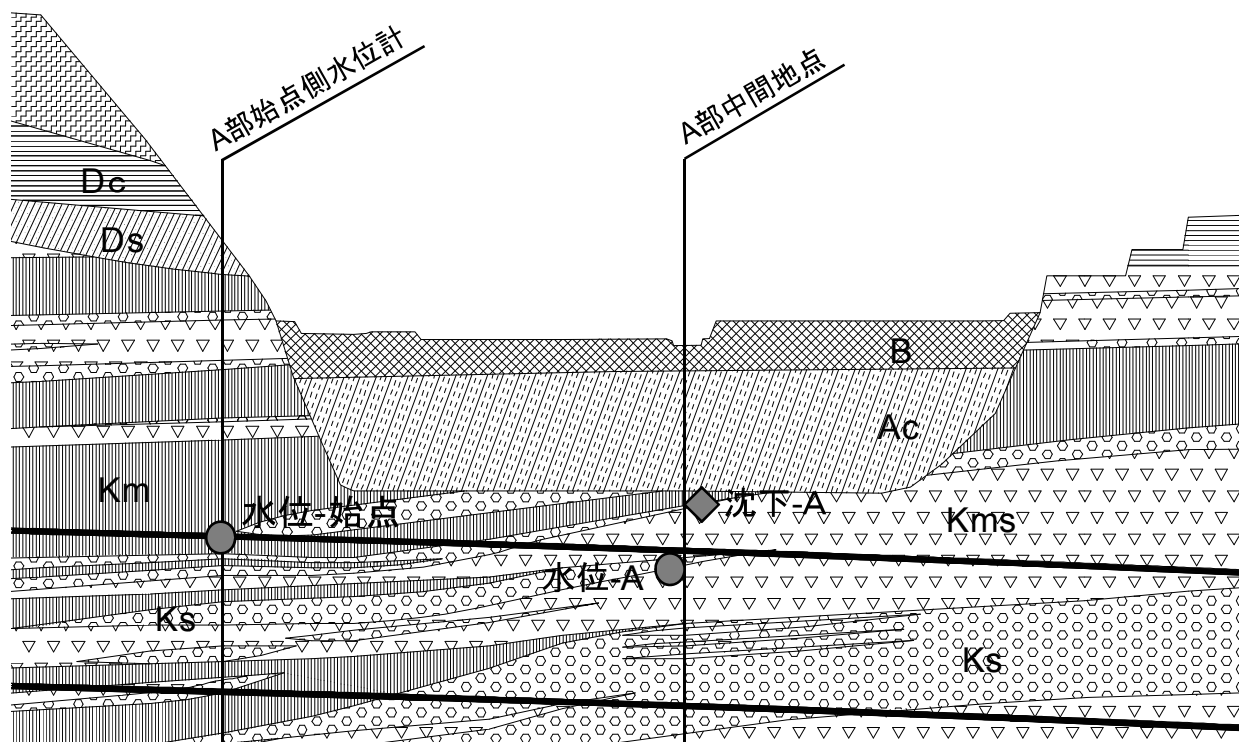


図-9 A部計測断面図

4. 施工結果

(1) 切羽圧の妥当性の検証結果

検証用①及び②断面における地下水位と地中変位の計測結果を図-10, 11 に示す。掘進に伴う地下水位の上昇は概ね 1～2m 程度（切羽圧で換算すると 10～20kPa 相当）に抑制でき、地中変位も 0.4mm 程度の軽微な沈下であったため、切羽圧の妥当性は検証できたと判断した。

しかし、地中変位が若干ではあるが沈下傾向であったため、地表面沈下の抑制の観点から、切羽圧を地下水位相当よりもやや高めにした方が良いと考えた。切羽圧を地下水位相当として掘進した時の地下水位の上昇は 1～2m 程度で、Ac 層への影響は少ないと考えられるため、切羽圧を地下水位相当よりもやや高めに設定しても問題ないと判断した。

よって、A 部の掘進にあたっては、切羽圧は地下水位相当に予備圧（10～20kPa）を付加することにした。予備圧の値は、A 部で実施する各種計測の結果を考慮して設定することにした。

(2) A 部の掘進結果

A 部の始点側に設置した水位計の計測結果を図-12 に示す。水位計近傍での切羽圧は「地下水位相当＋予備圧（10kPa）」とした。地下水位の上昇は、2.5m 程度、地表面についても沈下傾向はみられなかったため、切羽圧の設定は妥当と判断し掘進を継続した。

A 部の中間地点に設置した間隙水圧計と層別沈下計の計測結果を図-13 に示す。当該箇所近傍での切羽圧は水位計通過時と同様である。間隙水圧の上昇は 0.5m 程度、層別沈下計については、変位はほとんどみられなかった。

その後も同様の切羽圧で掘進し、A 部を問題なく通過した。

なお、後行シールドも同様の掘進管理を行い A 部を問題なく通過した。

平成 25 年 9 月現在、シールドが当該区間を通過してから約 10 ヶ月が経過したが、後続沈下等もみられていない。

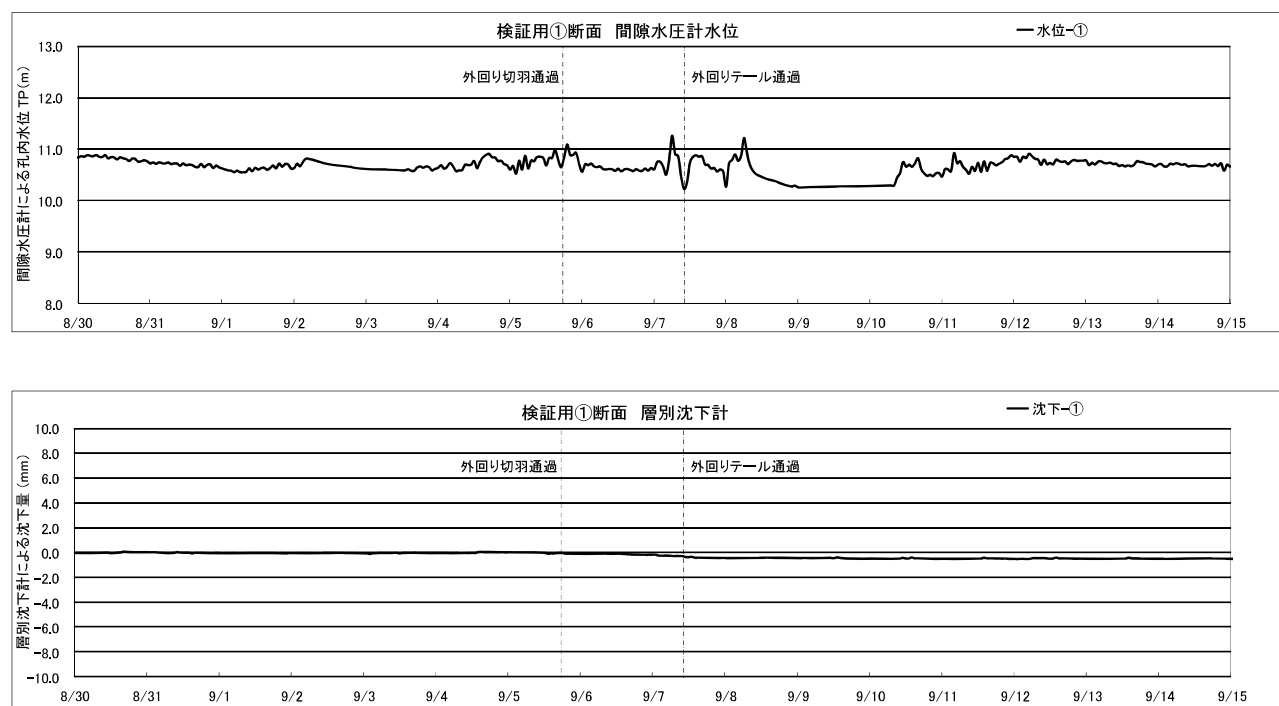


図-10 検証用①断面 計測結果

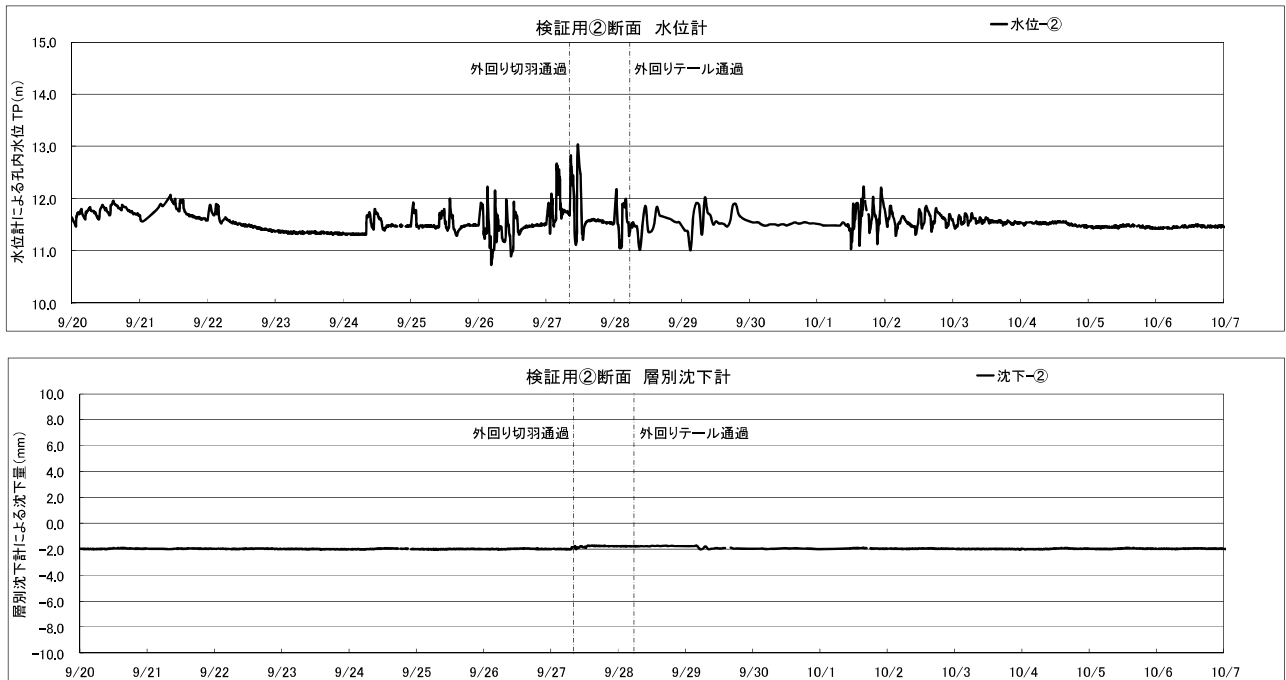


図-11 検証用②断面 計測結果

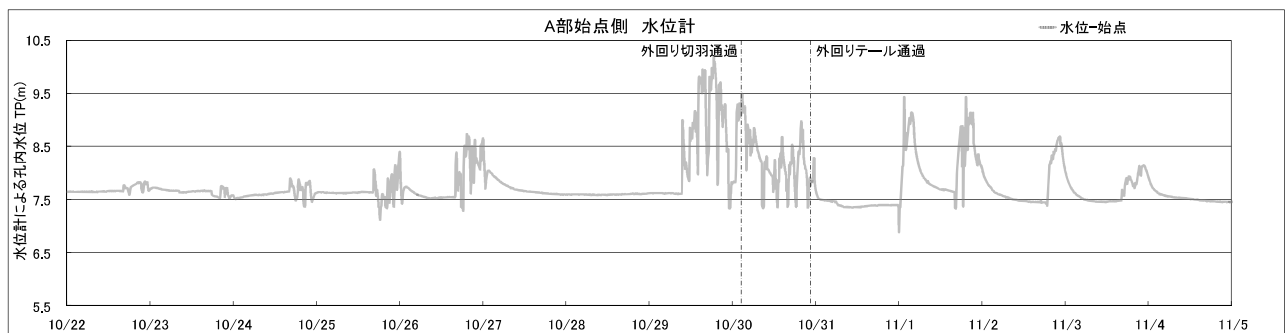


図-12 A部始点側 計測結果

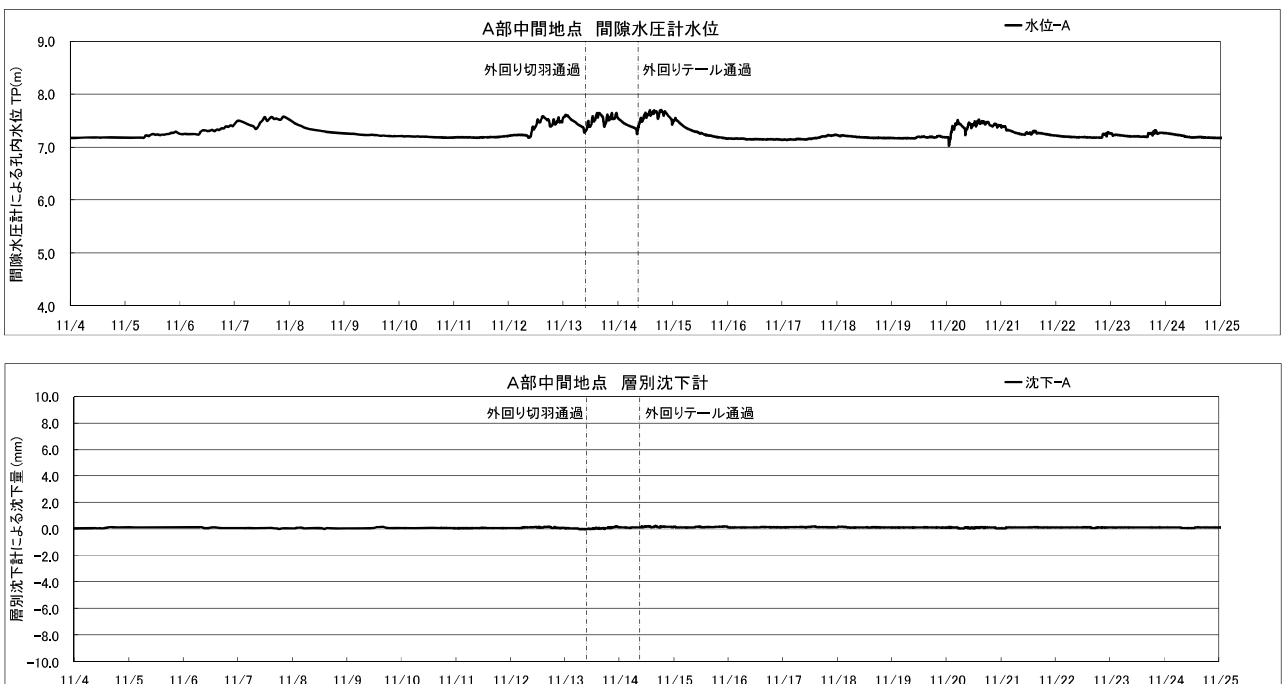


図-13 A部中間地点 計測結果

5. まとめ

本工事においては、低土被りで、掘進土層の被圧水頭が地表面より高く、掘進土層と地表面付近に堆積している沖積層が水理的につながっている可能性が高い、といった施工条件において、大断面シールドの掘進を行った。

掘進にあたっては、地盤変状を抑制するために、切羽圧を掘進土層の特性等を考慮して設定し、切羽圧の妥当性を掘進時の地中変位や地下水位の動きを計測することによって検証しつつ、慎重な施工を進めた。

その結果、地盤変状を最小限に抑制することができた。本報文が今後のシールド掘進管理の参考になれば、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

(2013. 9. 2 受付)

EXCAVATION CONTROL OF LARGE DIAMETER SHIELD MACHINE UNDER THE CONDITIONS OF LOW EARTH COVERAGE AND PRESSURIZED UNDERGROUND WATER

Shinya OBA, Hayato TAKASE, Kosuke NISHIJIMA
Kenta MATSUBARA, Akira KOBAYASHI

This project consists of each 5.5km of twin tunnels with the diameter of 12.3m. 2 Earth Pressure Balance (EPB) machines (Rheological foam shield, 12.49m Outside Diameter) are utilized. The most part of the tunnel goes underneath of the residential areas.

In some tunnel excavation area, the earth coverage is as shallow as about 15 m and the tunnel passes through under the section of the weak alluvial clay layer with N-value 0-1. This layer is covering up to near GL-11m. This section also have the higher underground water pressure of about 1m above the ground (GL+1m) and there is the potential water continuity through the weak clay layer to the tunnel excavation face.

Under these circumstances, the proper chamber pressure to stabilize the excavation face could result in the movement of the ground surface.

This paper describes the various means and methods implemented to control the ground surface movement during the shield excavation and the results obtained.

