

水道管が横断している交差点下の共同溝を 都市NATMにより施工

Construction of Common Duct undermined crossing water supply pipe below the intersection by NATM

小池 信一¹・遠藤 雅裕²・仲野谷 渉³・山縣 茂俊⁴・畔高 伸一⁵
Shinichi Koike, Masahiro Endou, Wataru Nakanoya, Shigetoshi Yamagata
and Shinichi Azetaka

¹国土交通省 横浜国道事務所 (〒221-0855 横浜市神奈川区三ツ沢西町13-2)

²正会員 株式会社熊谷組 首都圏支店保土ヶ谷共同溝作業所 (〒240-0065 横浜市保土ヶ谷区和田2-12-5)

³株式会社熊谷組 首都圏支店保土ヶ谷共同溝作業所 (〒240-0065 横浜市保土ヶ谷区和田2-12-5)

E-mail:wnakanoy@ku.kumagaigumi.co.jp

⁴株式会社熊谷組 首都圏支店城山八王子トンネル作業所 (〒193-0846 東京都八王子市南浅川町3016)

⁵正会員 株式会社熊谷組 土木事業本部トンネル技術部 (〒162-8557 東京都新宿区津久戸町2-1)

Common Duct, a 42m tunnel in length, has been constructed by NATM under the intersection on Route16 with extremely heavy traffic density. The tunnel cover is very small, only 6.5m. And also the water supply pipe was running just above the tunnel. Under the severe and adverse condition, various auxiliary methods, i.e. piperroof method, chemical grouting method etc. were planned and implemented to stabilize the tunnel face and to keep the safety of construction. This paper deals with the construction of common duct by NATM, the results of measurements to carry out to verify the safety.

Key Words : urban NATM, under the intersection, under the water supply, dynamic grouting method

1. はじめに

保土ヶ谷共同溝は、横浜国道事務所で計画されている安全で信頼性の高いライフライン網としての共同溝整備の内、一般国道16号線の横浜市西区中央2丁目から保土ヶ谷区東川島町間で延長約4,300mの共同溝を整備する事業である。

本工事は、保土ヶ谷区和田1丁目から釜台町3丁目まで、約345m区間を築造する工事で、参加企業は、NTT、東京電力、横浜市水道局、パワードコムである。

当工事区域は中間に1日の交通量が5万台強という約70mの変則交差点(図-1和田町交差点)を抱え、埋設支障物(水道管φ900・φ1100)が交差点内を横断しており、都市生活施設や交通にとって重要な交差点であった。当該交差点区間は、当初開削工法で計画されていたが、次のような問題が発生した。

- ① 横断する水道管は昭和初期の施工であり資料が無い。

- ② 占用企業者から、移設は工事が長期に渡るため不可能であり、老朽化のため吊り防護も危険で避けたいとの見解があった。

- ③ 交通管理者において、開削による施工での長期にわたる交通規制(交通規制・通行止め等)が許可されない。

以上の点から非開削工法を種々比較検討することにした。

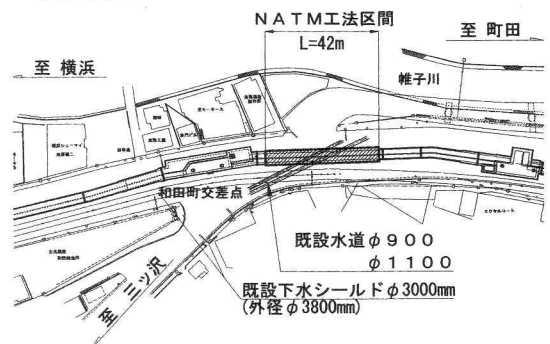


図-1 平面図

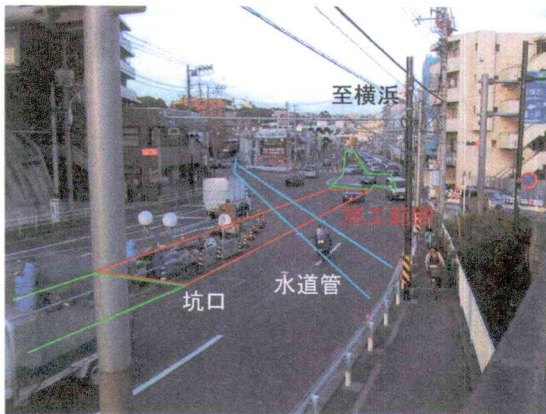


写真-1 施工箇所交差点全景①

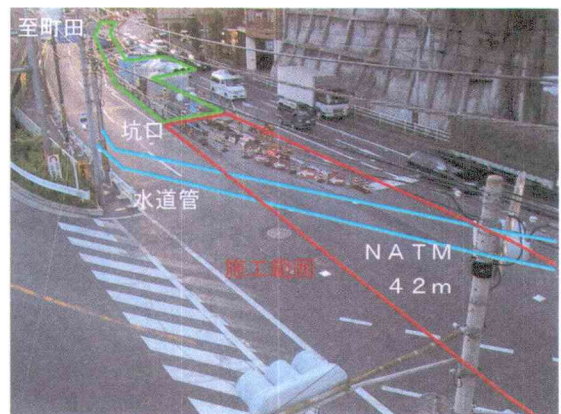


写真-2 施工箇所交差点全景②

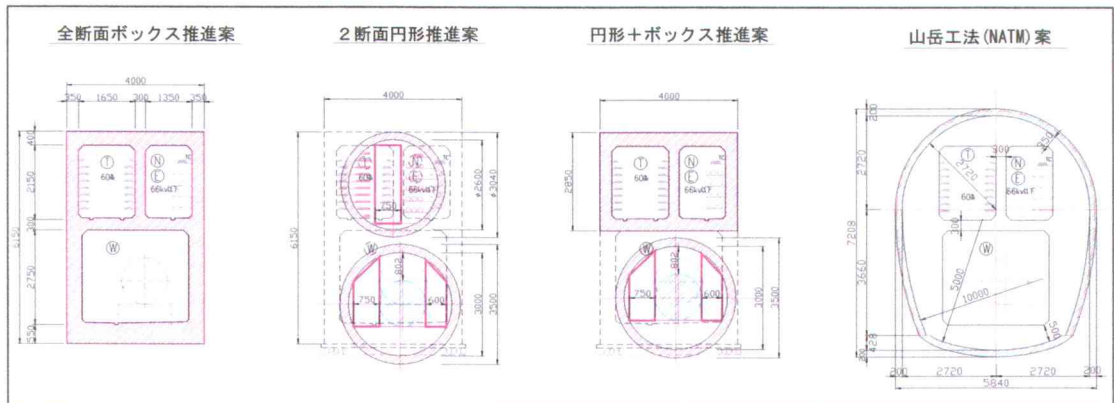


図-2 非開削工法比較検討図

図-2に示すように、開削工法に変わる施工方法（非開削工法）を比較検討した結果、次のような条件を考慮して選定するものとした。

- ① 前後の開削部への支障を最小限にすること。
- ② 大規模な構造変更を伴わないこと。
- ③ 道路中央部作業帯での作業性を考慮すること。（写真-1、写真-2参照）

これらのことから、比較項目の内、特に、経済性・施工性・維持管理・法規（共同溝法）の点から、補助工法を併用した山岳工法（NATM）による施工がもっとも有利であると判断し採用に至った。

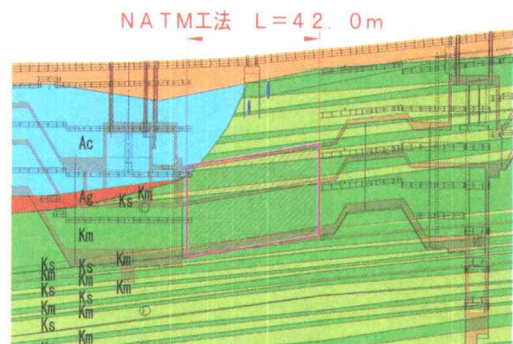


図-3 地質縦断面図

表-1 地質層序表

時代	地層名	記号	土質名	N値 (平均)	特徴
第四紀 更新世 第三紀	盛土層	B	A s・コンクリート 砕石・粘性土 ・砂質土	3	国道の757号・コンクリート探石などが80～100cm程度分布 以深は、粘性土、砂質土主体
	沖積層	粘性土	A c	2～5 (3)	植物片や砂分を混入 特に下部では砂分が多く混入
	砂礫層	砂礫	A g	50以上	最大礫径φ70mm程度
	上層総川層群	泥岩	K m	50以上	少量の軽石を混入 細砂との互層
鮮新世	細砂層	K s	細砂	50以上	粒子均一なもの 泥岩との互層

2. 施工上の問題点と対策

(1) トンネル施工上の問題点

当トンネルは図-3、表-1に示すように大部分が上総層群上星川層のK m層（泥岩）とK s層（細砂）の互層からなっている。

K s層は均等係数が小さいため被圧地下水により

流出崩壊が想定された。切羽の自立性・安定性はもちろん地表面沈下が懸念されるため地下水対策が必要であった。

また、前述の通り交通量の多い交差点の直下でトンネルの土被りが6.5m程度と小さく、埋設支障物として水道管（φ900・φ1100mm）が斜めに横断している。この水道管がトンネル天端との離隔2.6m程度であることから、掘削に伴う水道管の沈下を抑制する対策が必要であった。

（2）問題点に対する対策

前述のような施工条件に対して、NATMによる掘削施工時の影響を最小限にするための補助工法検討を行った。

その結果、信頼性・施工性・経済性の面で優れ、切羽の安定性・地表面沈下抑制・地山先行変位抑制の効果が期待できる以下の掘削補助工法（図－4参照）を対策として採用した。

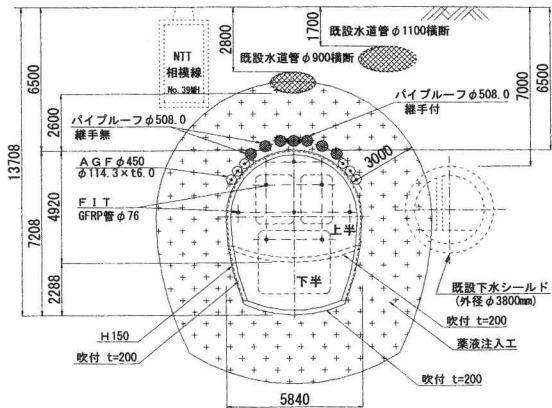
- ① 薬液注入工法（水平）
流砂現象による切羽安定確保および地下水低下による地盤沈下抑制（動的注入工法採用）
- ② パイプラーフ工法
天端安定性確保、沈下抑制・先行変位抑制
- ③ 注入式長尺先受け工法（AGF工法）
天端120°防護に対する②による不足個所の補充
- ④ 長尺鏡ボルト工法（FIT工法）
鏡安定性確保、沈下抑制・先行変位抑制
- ⑤ 上半仮インバート
上半掘削における早期仮閉合による変位抑制

3. 掘削補助工法

（1）薬液注入工法（水平）

地下水対策工としては、表－2に示すように排水工法と止水工法がある。排水工法のうちディープウェルが有効であると考えられるが、交差点という立地条件を考慮すると効果的な配置が出来ないことや、地下水低下に伴う周辺環境への影響が懸念されるため、止水工法の中から対策工としてトンネル周囲に遮水ゾーンを設ける薬液注入工法を採用した。

注入範囲に関して検討を行った結果、（社）日本薬液注入協会の「薬液注入工法 設計資料 平成14年度版」によると、ライナープレート立坑の場合や推



図－4 トンネル掘削補助工法断面図

表－2 山岳トンネルの地下水対策工法¹⁾

基本概念	区 分	工 法
排水工法	重力排水工法	水抜きボーリング
		水抜き導坑
	強制排水工法	ディープウェル
		ウェルポイント
	併用工法	上記工法の併用
止水工法	薬液注入工法 圧 気 工 法 凍 結 工 法	
併用工法	薬液注入，補助的な圧気等， 止水工法と排水工法の併用	

進管の場合などが示されているが、当トンネル断面規模に関する改良範囲については具体的な記載がされていないため、止水を目的とした工事実績を参考に決定した。

文献から実績を調査した結果、参考文献^{2)・3)・4)・5)}の実績によれば、地下水位の高低に関わらずトンネル外周 3.0mを注入範囲とし、安全にトンネル掘削を完了させている。

この実績を参考に、当トンネルにおいて注入範囲を「トンネル外周 3.0m」と設定した。

注入施工条件として地上部の交通規制が出来ないためトンネル両坑口からの水平施工となった。

水平施工においてダブルパッカ工法は施工性が悪く、対象砂層のN値は 50 以上を示しているため「二重管ストレーナー工法複相式」を計画した。

また、注入施工中の地盤変位がより少なく、切羽崩壊等の対策としての重要度からより高い注入効果を得るため、従来の工法に改善を加えた「動的注入工法」を採用した。

動的注入工法とは従来工法が所定の注入速度を一

定に保って施工を行うのに対し、注入速度や圧力を意図的に変化させて施工を行う方法である。(図-5 概念図参照)

この注入の緩急により砂質土地盤での浸透注入では薬液の浸透性が高まり、薬液の逸走を抑制し、設計上必要な領域内に、留まりやすく均質な改良が期待できる特徴を有しているため注入効果を発揮できる。

動的注入を行った結果、土丹と細砂の互層でそれほど注入が入らないと思われていたところに、想定注入率に近い注入が出来、湧水もなく切羽部の層境にも止水効果の確認が出来た。(写真-3 切羽止水効果確認、写真-4 層境薬液浸透確認)

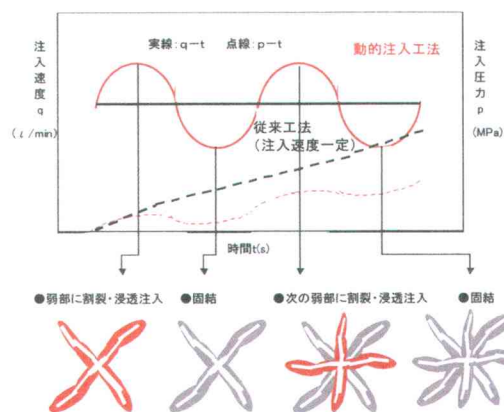


図-5 動的注入工法概念図

(2) 沈下抑制対策 (図-6 参照)

水道管及び路面沈下に対する安全を第一に考え施工を行うことが必要条件であることから、沈下対策の施工範囲を施工実績から標準的な上半部 120° と設定し、トンネル掘削を速やかに終わらせ、かつ施工性及び沈下抑制に対する信頼性を重視し剛性の高いものとしてパイプルーフ工法により全線先受けを行った。(写真-5、写真-6)

パイプルーフの施工に関しては、施工ヤードが開削部の立坑であり打設範囲がその山留めにより制限されることから、120° の範囲を確保できない両肩部の不足部分については、ドリルジャンボでの坑内作業が可能な「長尺先受け工法 (AGF 工法)」によりカバーした。(図-6 参照)

また、切羽鏡面は薬液注入の状態あるいは湧水の状態により自立しなくなることも想定されるため、鏡吹付けコンクリートと鏡止めボルトを採用した。



写真-3 切羽状況(湧水なし)



写真-4 薬液注入浸透確認

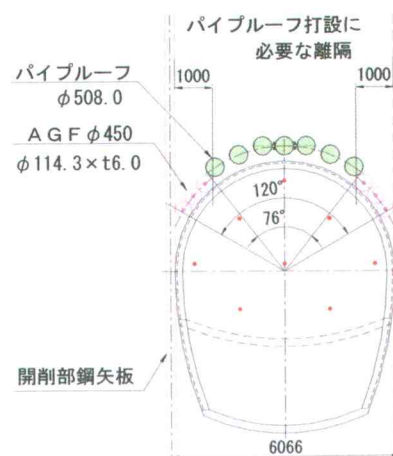


図-6 打設配置計画

鏡止めボルトは長尺補強により切り羽前方の補強が必要と考え、先受け工法で用いる AGF 工法と同じ施工シフトで施工可能な「長尺鏡ボルト (FIT 工法)」を行った。(写真-7)



写真-5 パイプルーフ施工状況



写真-6 パイプルーフ施工及び掘削完了

4. 計測工

トンネル掘削に伴う既設構造物（水道管）及び周辺環境への影響監視と安全管理を目的とし、表-4、図-7に示す計測を行い施工管理した。

表-4 計測項目一覧表

計 測 項 目	
計測工 A	切羽観察調査
	天端及び支保工脚部沈下測定
	内空変位測定
	地表面沈下測定（レベル測量）
計測工 B	地表面沈下測定（沈下棒）
	吹付けコンクリート応力測定
	鋼アーチ支保工応力測定
	パイプルーフ沈下測定（先行変位測定）
坑外計測	水道管沈下測定

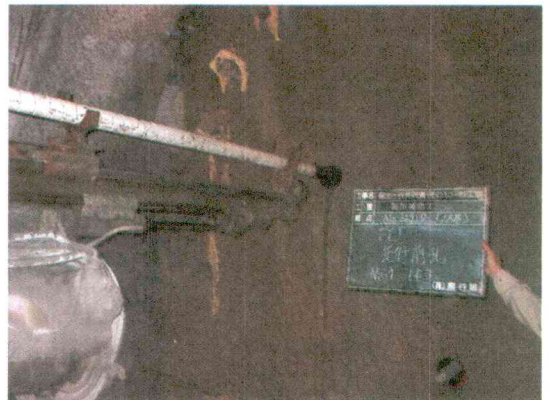


写真-7 F I T施工状況

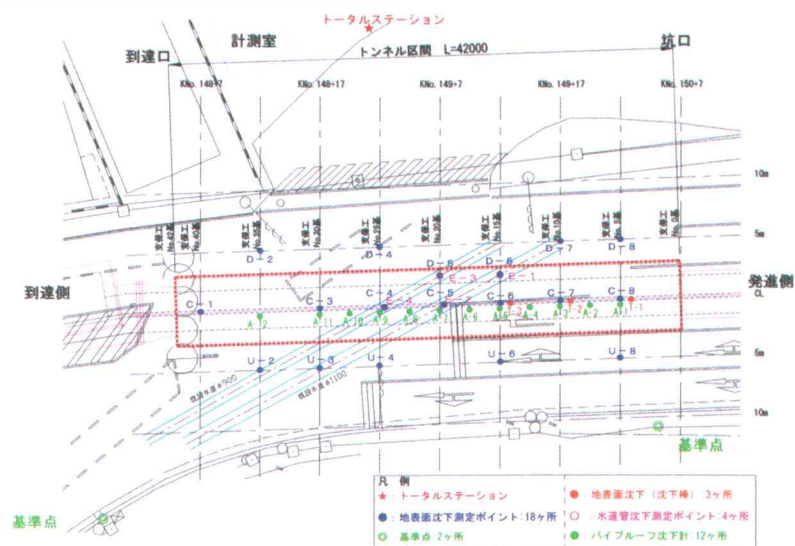


図-7 計測点配置図

計測項目の内、最重要項目として実施した地表面沈下測定、パイプルーフ沈下測定及び水道管沈下測定について以下に述べる。

(1) 地表面沈下測定

交差点において、トンネル掘削による周辺地山の変位に伴い地表面に生じる沈下の大きさ、範囲を把握し、沈下防止対策の効果判定、周辺地山およびトンネルの安定性を評価するとともに周辺環境に対する影響を評価するものとした。

地表面沈下計測箇所が和田町交差点内となるため、安全確保の観点からリアルタイムで計測管理することが望ましいことや、測定時における作業上の安全性から地表面沈下自動計測システムを採用した。

本計測に使用したシステムは、計測室に設置したパソコンにより自動追尾トータルステーションを制御して、計測点および基準点を自動視準・測距・測角を行うシステムで、計測のインターバルは30分で全18測点を測定するように設定した。

計測した距離と角度データはコンピュータに送信されて、変位量を演算して画面表示を行い、計測対象の変動を常時モニタリング出来るようにした。

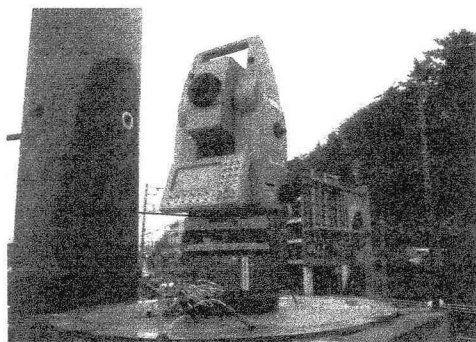


写真-10 自動追尾トータルステーション
(ノンプリズム)

(2) パイプルーフ沈下測定(先行変位測定)

トンネル直上の沈下を縦断方向に連続して把握し、また切羽掘削に伴うトンネル直上先行変位の把握、地山の安定評価のため、パイプルーフの沈下を測定した。

測定は、坑外に基準タンク(水タンク)を設置し、各沈下計をホースにより接続することにより基準タンクとの水圧の差を測定し沈下量に換算する方法で行った。

(3) 水道管沈下測定

最重要管理対象物としての水道管への影響把握を目的として、地表面よりボーリングにより削孔を行

い、水道管に直接マグネットで測定ロッドを固定し、継ぎ目計を用いて水道管の沈下を直接測定した。(図-8参照)

この計測により地表部から水道管の間の沈下を把握し、頭部は前述の地表面自動計測により測定し、絶対変位量の把握をした。

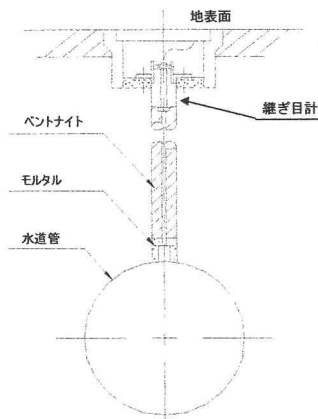


図-8 水道管沈下計設置概要

(4) 管理基準値

表-5 計測管理基準値

計 測 工	計 測 管 理 値		
	レベルⅠ	レベルⅡ	レベルⅢ
地表面沈下	10 mm	15 mm	20 mm
天端・支保工脚部沈下 内空変位	10 mm	15 mm	20 mm
水道管沈下測定	10 mm	15 mm	20 mm
パイプルーフ沈下測定	15 mm	23 mm	30 mm

各計測における管理基準値として表-5のように設定して管理した。

天端沈下及び内空変位については、岩の一軸圧縮強度試験による限界ひずみを用いて管理値を設定する限界ひずみ法により定めた。

水道管沈下については、参考文献⁶⁾の許容値・管理値の実績に基づく、沈下量の許容値は20mmである。

また、沈下勾配の許容値は「水管橋設計基準(日本水道鋼管協会)」による水管橋の許容値と同程度と考えると、1/350である。この参考値を元に管理企業者と打ち合わせの上管理基準値を設定した。

地表面沈下に関しては水道管の動きと連動するものと想定し水道管管理値と同一とした。

パイプルーフに関しては、掘削前の計測から地表面沈下が先行変位の約1/2発生すると考えられたが、安全側を考慮し地表面管理値の1.5倍の値で管理を行うものとした。

(5) 計測結果

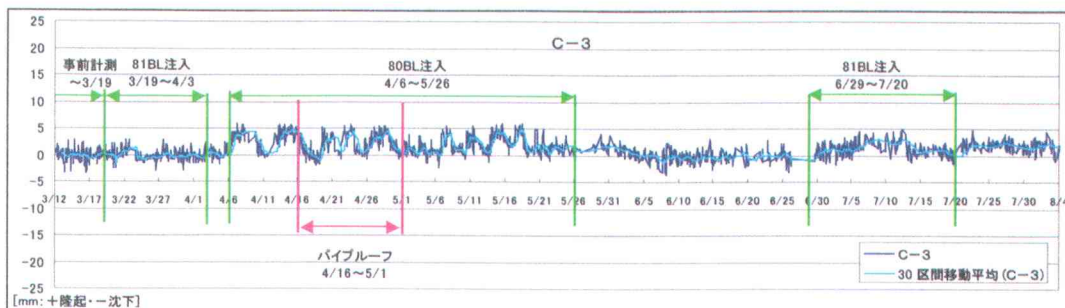


図-9 地表面沈下計測結果(注入施工時)

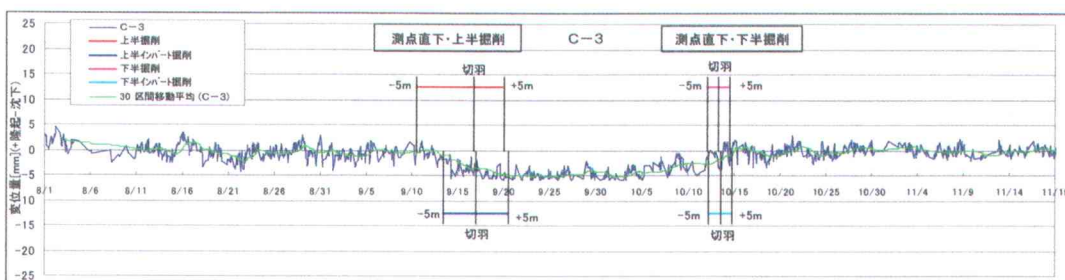


図-10 地表面沈下計測結果(掘削時)

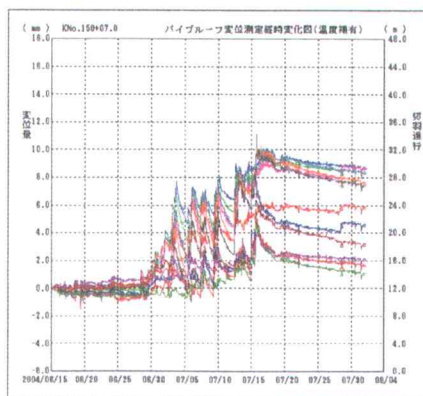


図-11 パイプルーフ沈下測定結果(注入施工時)

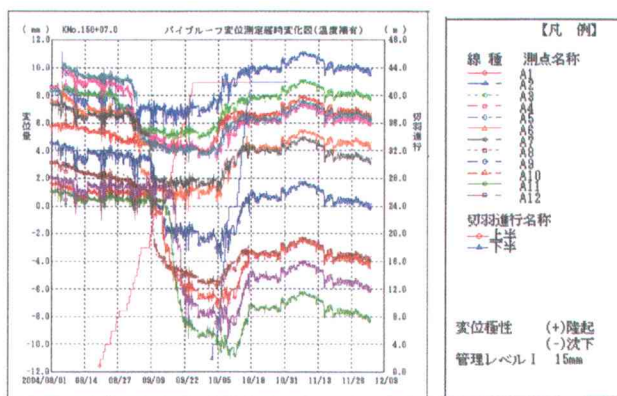


図-12 パイプルーフ沈下測定結果(掘削時)

a) 地表面沈下測定

薬液注入での周辺地盤の隆起が懸念され、図-9に見られるように最大で約6mmの隆起が測定されたが、注入時における地表面データの常時監視体制により、注入中断待機や注入吐出量または計画注入量調整などの管理を行い、管理基準値レベル I ($\pm 10\text{mm}$) の範囲内で収めることが出来た。

また、トンネル掘削時には図-10に見られるように上半掘削時に最大で約4mmの沈下が発生し下半掘削時に最大約4mmの隆起が発生した。いずれも管理基準値のレベル I の範囲内であり、周辺構造物に影響を及ぼさずに掘削を終えられた。

b) パイプルーフ沈下測定

地表面同様に薬液注入時に図-11に示すように隆起が測定されその測定値は地表面データの約2倍が発生した。また測定変異の上下動も地表面データとほぼ同等の動きが観測された。

これにより、前述の管理基準値を定めトンネル掘削時における先行変位管理を行った。

トンネル掘削時には、図-12に示すように上半掘削で最大約10mmの沈下・下半掘削で約2~4mmの隆起が発生した。いずれも管理基準値のレベル I ($\pm 15\text{mm}$) の範囲内であり先行変位量の半分が地表面に発生すると想定した当初の考えに合致した。

c) まとめ

以上の計測結果から、水道管、地表面ともに、当初定めた管理基準値のレベルⅠ（±10 mm）以内に収まっている。また表-5 に示すように水道管部では着工前からの変位が最大で3 mmとなり、トンネル掘削による水道管への影響は最小限に抑えられた。

これは、掘削補助工法の薬液注入の止水効果及び、トンネル上部 120° のゆるみ防護としての、パイプルーフ及び長尺先受け（AGF）、切羽の崩壊押出防護の長尺鏡ボルト（FIT）により、地山のゆるみを十二分に押さえることが出来、かつ上半仮インバート・下半インバートによる早期閉合の効果で速やかな変位の収束が見られたものと考えられる。

また、各計測項目ともFEM解析から想定された変位量内であったが下半掘削時において隆起傾向が見られた。その理由として、下半掘削においては先行支保がないため一時的に側圧が卓越し天端での応力が大きくなる傾向にあり隆起を発生させたと考えられる。

しかし、その傾向は微少であり水道管への影響はなかった。

表-5 変位測定結果(水道管部最終)

	測定位置	水道管沈下	地表面沈下	合計値
KNo. 149+12	E-1	+1.3mm	+1.0mm	+2.3mm
KNo. 149+ 7	E-2	+0.7mm	+2.0mm	+2.7mm
KNo. 149+ 7	E-3	+1.0mm	+2.0mm	+3.0mm
KNo. 149+ 2	E-4	+0.8mm	+2.0mm	+2.8mm

5. おわりに

当トンネルは延長 42mと非常に短く掘削開始後の変更は非常に難しいため、トンネルの設計の段階から発注者である国土交通省横浜国道事務所の方々と綿密な検討を行い、絶対に周辺道路や水道管に影響が出ない対策を事前に確立させ、細心の注意を払い施工を行った。

その結果、土被りの浅い縦長の断面で側圧が想定よりも増大する挙動が計測されたが、周辺に影響を及ぼさず懸念された水道管に対しても、最大変動量が変位の許容値 20 mmに対し約 35%の 7 mmで収まり安全にトンネル掘削を終わらせることが出来た。

都市NATMはこれからも多数施工される工事であることから、今回のような厳しい条件の中で無事施工出来た事は今後の都市土木にも展開されることが考えられる。

謝辞：本トンネル工事を施工するにあたり、各方面からの有益なるご助言ご指導及びご協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 動的注入工法の鋼確認試験，鉄道構造物など設計標準・同解説 開削トンネル，国土交通省鉄道局監修，鉄道総合研究所編，平成13年3月
- 2) 佐藤栄作，森 清，三浦正幸：飛鳥山公園下の大断面めがねトンネルの施工 首都高速中央環状子線飛鳥山トンネル，トンネルと地下，Vol. 29，No. 7，pp. 15-23，1998 年 7 月
- 3) 財津 勝，坂本孝二，木村征訓：沖積低地に偏平大断面トンネルを掘る 横浜横須賀道路長浜トンネル，トンネルと地下，Vol. 25，No. 11，pp. 13-20，1994 年 11 月
- 4) 大坪義昭，米田富雄，高桑 学，小原克己：6m²のトンネルを薬液注入で克服 迫川幹線用水路トンネル工事，トンネルと地下，Vol. 29，No. 9，pp. 35-41，1998 年 9 月
- 5) 渡邊 清，新田武治，畑山勝明：新幹線を横断する水路トンネル 横浜市・帷子川分水路，トンネルと地下，Vol. 25，No. 7，pp. 17-24，1994年7月
- 6) 地中構造物の建設に伴う近接施工指針，(社)日本トンネル技術協会，平成11年2月，p108