

# 都市NATMによる交差点直下の共同溝の施工

遠藤雅裕\* 仲野谷 渉\* 山縣茂俊\* 原田 亮\*

一般国道16号での開削による共同溝工事において、中央付近にある和田町交差点で埋設支障物や道路規制の諸問題が発生し開削による施工が出来なくなった。

そこで開削工法に変わる施工方法（非開削工法）を種々比較検討した結果、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、施主に提案し採用され設計及び施工を行った。

キーワード：都市NATM、交差点直下、水道管直下、動的注入工法

## 1. はじめに

保土ヶ谷共同溝は、国土交通省横浜国道事務所にて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、横浜市水道局、NTT、東京電力、パワードコムである。

当工事区域は中間部にfig.1に示す1日の交通量が5万台強の延長約70mにおよぶ変則交差点（和田町交差点）がある。また、交差点内には埋設支障物（水道管φ900・φ1100）が横断しているため都市生活施設や交通にとって重要な交差点である（photo.1, photo.2参照）。

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比較検討することにした。

開削工法に変わる施工方法（非開削工法）を推進工法等種々比較検討した結果、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。

\* 首都圏支店 保土ヶ谷共同溝作業所

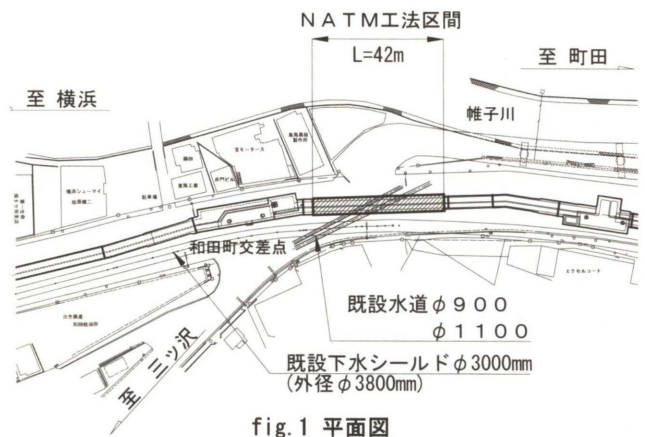


fig.1 平面図



photo.1 交差点全景①



photo.2 交差点全景②



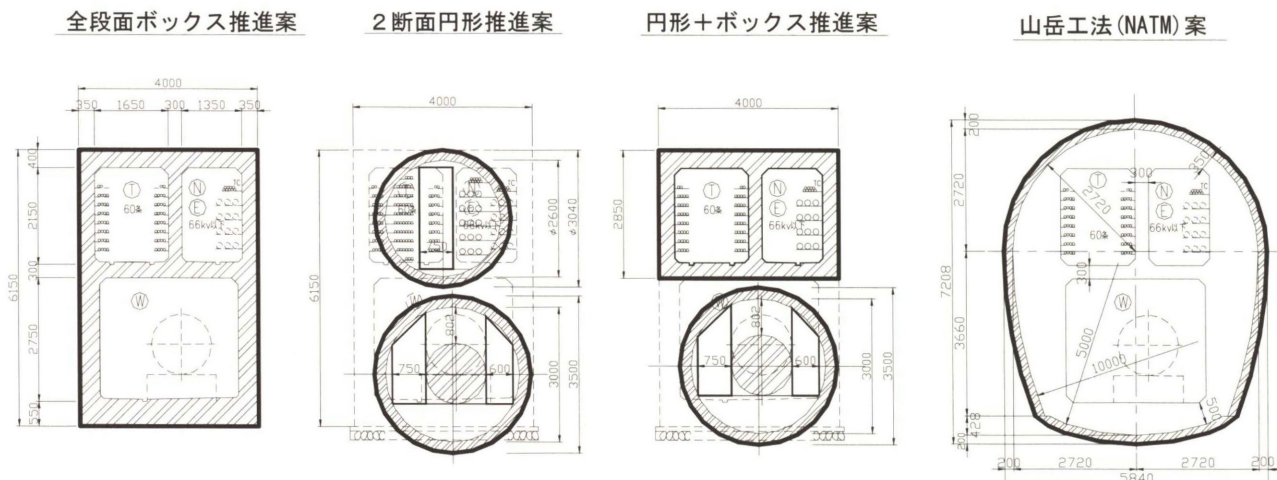


fig. 2 比較断面図

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、fig. 2 の断面の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、施主に提案することにより採用され、詳細設計及び施工を行うに至ったものである。

## 2. 問題点と対策

### 2.1 トンネル施工における問題点

当トンネルは fig. 3, table. 1 に示すように大部分が上総層群上星川層の Km 層（泥岩）と Ks 層（細砂）の互層からなっている。

Ks 層は均等係数  $U_c$  が 2.3~2.9 と小さいため被圧地下水（湧水）により切羽の流出崩壊が懸念された。切羽の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、トンネルの土被りが 6.5 m 程度と小さく、前述のとおり交通量の多い交差点の直下であるとともに埋設支障物として 2 本の水道管（ $\phi 900 \cdot \phi 1100$  mm）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 2.6 m 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。

### 2.2 問題点に対する対策

前記のような施工条件に対して、NATM によるトンネル掘削施工時における切羽の安定性確保や既存水道管への影響を最小限にするための補助工法の検討を行った。

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 (fig. 4 参照) を対策として採用した。

#### ① 薬液注入工法（水平）【動的注入工法採用】

流砂現象に対する切羽安定確保および地下水低下による地盤沈下抑制

#### ② パイプルーフ工法

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）

天端防護範囲  $120^\circ$  に対するパイプルーフによる不足ヶ所の補充

#### ④ 長尺鏡ボルト工法（FIT 工法）

鏡面安定性確保、沈下抑制・先行変位抑制

#### ⑤ 上半仮インバート（吹付けコンクリート）

上半掘削時における早期仮閉合による変位抑制

#### ⑥ 下半インバート（吹付けコンクリート）

下半掘削時における早期閉合による変位抑制

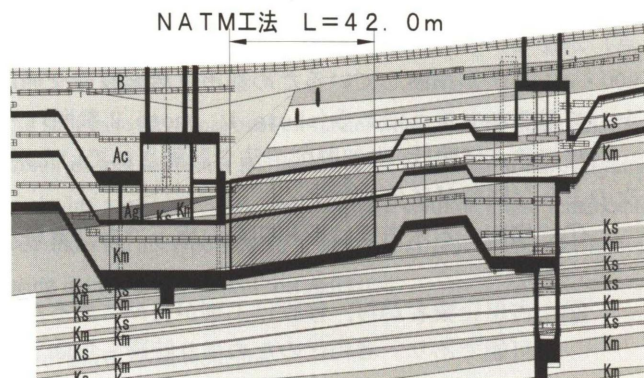


fig. 3 地質縦断面図

table. 1 地質層序表

| 時代         | 地層名    | 記号  | 土質名                         | N値<br>(平均)   | 特徴   |                            |
|------------|--------|-----|-----------------------------|--------------|--|----------------------------|
| 第四紀<br>更新世 | 盛土層    | B   | As・コンクリート<br>碎石・粘性土<br>・砂質土 | 3            | 国道の7A7Fルト・コンクリート採石などが80~100cm程度分布<br>以深は、粘性土、砂質土主体 |                            |
|            | 沖積層    | 粘性土 | Ac                          | シルト<br>泥岩片混リ | 2~5<br>(3)   | 植物片や砂分を混入<br>特に下部では砂分が多く混入 |
|            |        | 砂礫  | Ag                          | 砂礫           | 50以上   | 最大礫径 $\phi 70$ mm程度        |
| 第三紀<br>更新世 | 上上総川層群 | Km  | 泥岩                          | 50以上         | 少量の軽石を混入<br>細砂との互層                                 |                            |
|            | 星川層群   |     | 細砂                          | Ks           | 50以上   | 粒子均一なもの<br>泥岩との互層          |



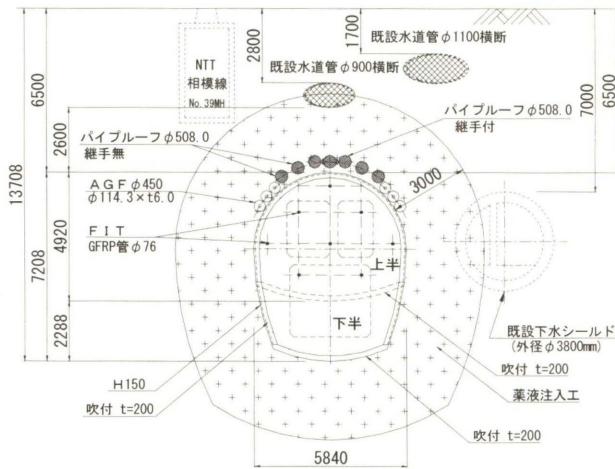


fig. 4 トンネル掘削補助工法配置断面図

### 3. 補助工法の施工

#### 3.1 薬液注入工法（水平注入）

地下水対策工としては、排水工法と止水工法があるが排水工法の場合、地下水位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。

注入範囲については、(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<sup>2)</sup>、<sup>3)</sup>、<sup>4)</sup>、<sup>5)</sup>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、周囲に影響なく安全にトンネル掘削を完了させている。

この実績を参考にして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。

施工箇所は交差点部であり、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以上であるため「二重管ストレーナー工法複相式」を計画した (photo. 5 参照)。

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 (fig. 5 参照)。

砂質土地盤では、この注入の緩急により、薬液の浸透性が高まり、設計上必要な範囲に留まりやすく、均質な改良が期待できる。注入対象地山が泥岩と細砂の互層であり、確実な注入が行えないことも想定されたが、動的注入工

法の採用により、設計に近い注入率を確保することが出来た。掘削時には、砂層や地層境に薬液が浸透している状況も確認でき、湧水もなく止水効果が得られた (photo. 3, photo. 4 参照)。

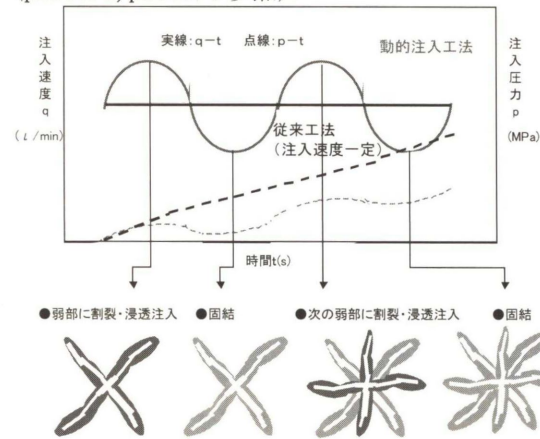


fig. 5 動的注入工法の概念図



photo. 3 切羽状況（湧水無し）



photo. 4 薬液注入浸透効果確認

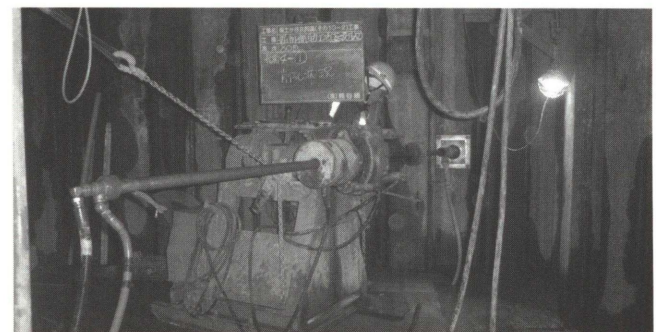


photo. 5 水平注入施工状況



### 3.2 沈下抑制対策

既設水道管及び交差点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り、沈下対策の施工範囲を補助工法の施工実績から、標準的な上半部120°と設定した。

トンネル掘削時の天端沈下抑制には剛性の高いもので全線において先受けを行うことが効果が高いと考え、施工性及び沈下抑制に対する信頼性を重視しパイプルーフ工法(φ508, 継ぎ手有り ctc553, 継ぎ手無し離隔200)により全線先受けを行った(photo. 6, photo. 7 参照)。

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ため、両肩部の不足部分については、ドリルジャンボによる坑内での作業が可能な「長尺先受け工法(AGF工法)」(φ114.3, L=12.5m, 打設ピッチ9m)によりカバーした(fig. 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ボルトを採用した。

鏡ボルトは長尺補強による切り羽前方の補強が必要と考え、先受け工法の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)」(φ76, L=13.5m, 打設ピッチ9m, ctc1.5m)を行った(photo. 8 参照)。

これらの補助工法を行う事により、4. 計測管理に示すように最大沈下4mmで収まった。

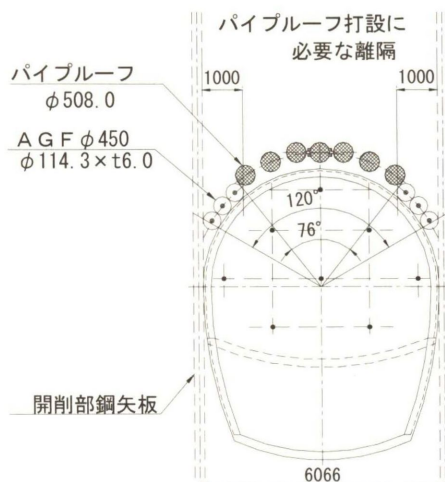


fig. 6 打設配置計画

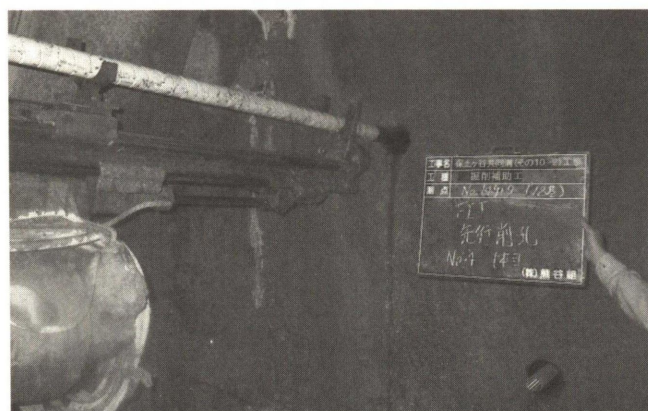


photo. 8 FIT施工状況

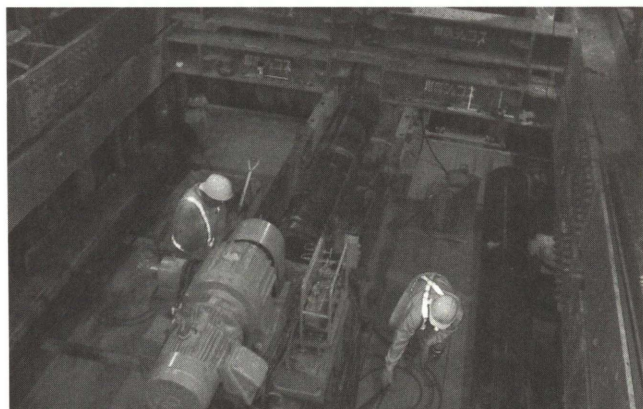


photo. 6 パイプルーフ施工状況



photo. 7 補助工法1シフト完了・掘削開始前

### 4. 計測管理

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て table. 2, fig. 7 に示す計測を行い、施工管理を行った。

table. 2 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            |

計測項目の内、最重要管理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記す。



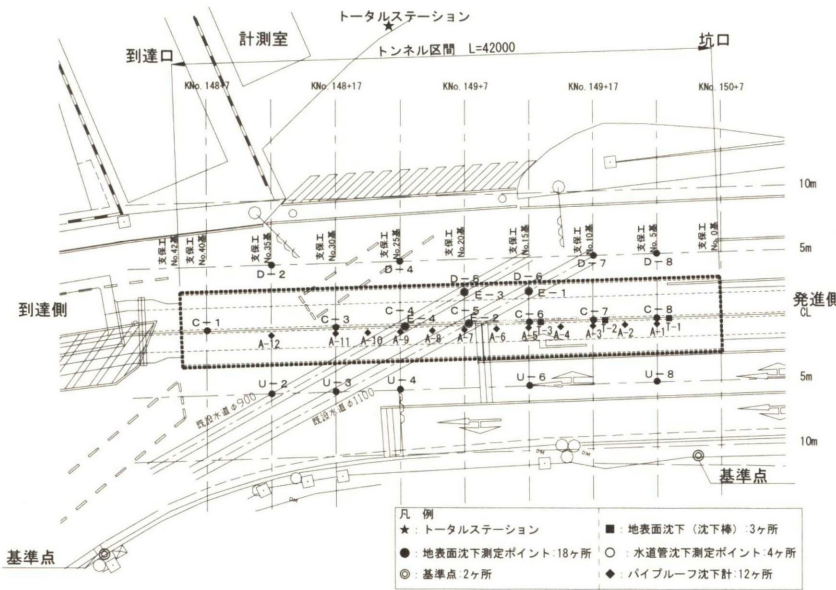


fig. 7 計測点配置図

#### 4. 1 管理基準値

各計測項目の管理基準値を table. 3 に示す。

table. 3 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<br>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 |

天端沈下及び内空変位については、地山の軸圧縮強度試験から得られ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<sup>6)</sup>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。

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して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、掘削前の補助工法施工時の計測実績から、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。

#### 4. 2 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。

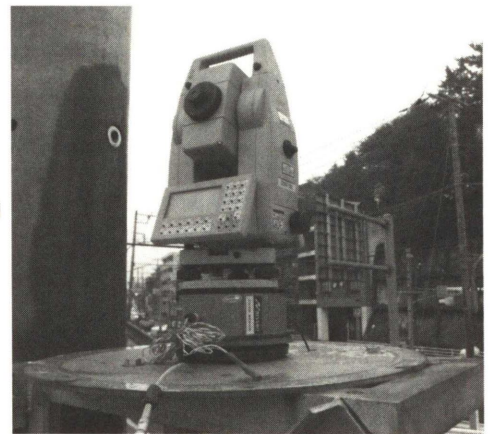


photo. 9 地表面沈下計測器  
自動追尾トータルステーション  
(ノンプリズム)

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 (photo. 9 参照) 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を30分とし全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。

#### 4. 3 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 (fig. 8, fig. 9 参照)。

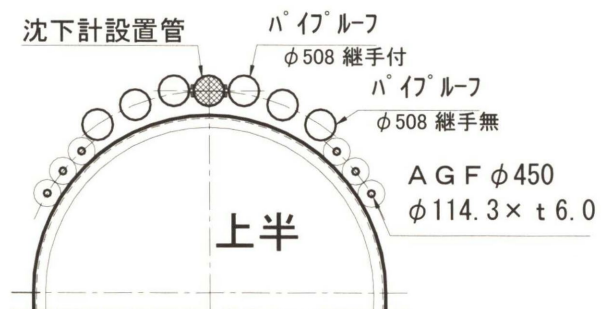




fig. 8 パイプルーフ沈下計設置位置

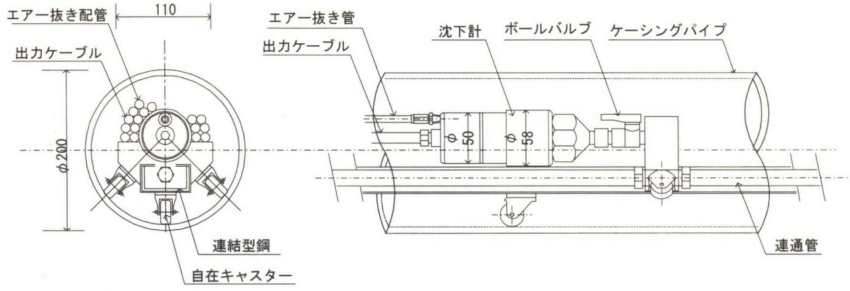


fig. 9 パイプルーフ沈下計

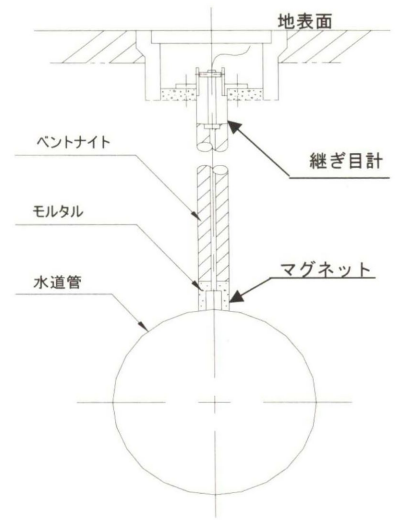


fig. 10 水道管沈下計設置概要

#### 4.4 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により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。測定は自動計測で行った (fig. 10 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することにより水道管の絶対変位量の把握をした。

この数値は、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適時行うことにより、管理基準値レベルI (±10mm)の範囲内で収める施工を行ったものである。

また、トンネル掘削時にはfig. 12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ることが出来た。

#### 4.5 計測結果

##### 4.5.1 地表面沈下測定結果

薬液注入での周辺地盤の隆起が懸念され、fig. 11 に見られるように最大で約6mmの隆起が測定された。

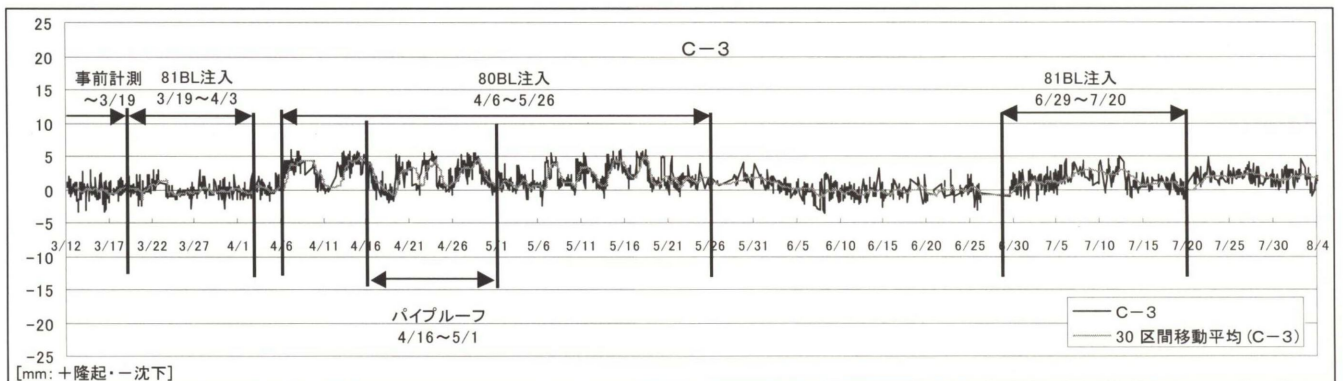


fig. 11 地表面沈下計測結果 (注入施工時)

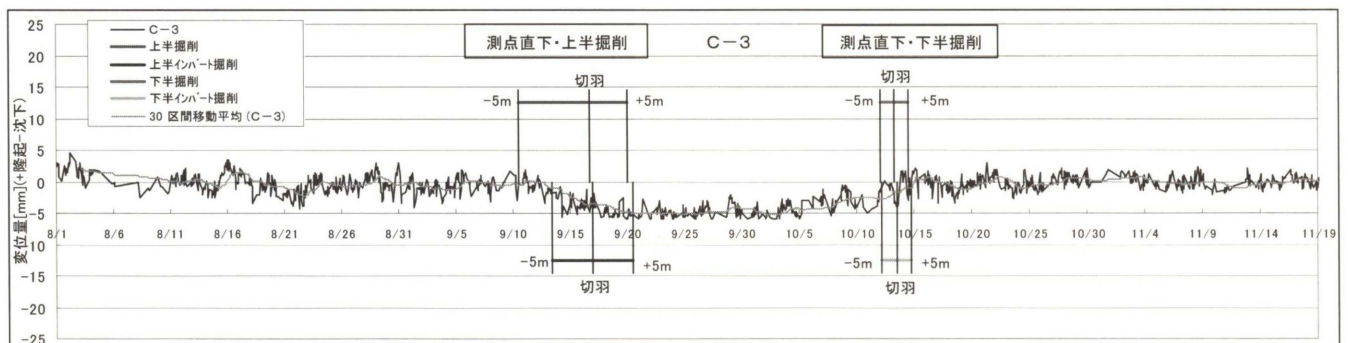


fig. 12 地表面沈下計測結果 (掘削時)



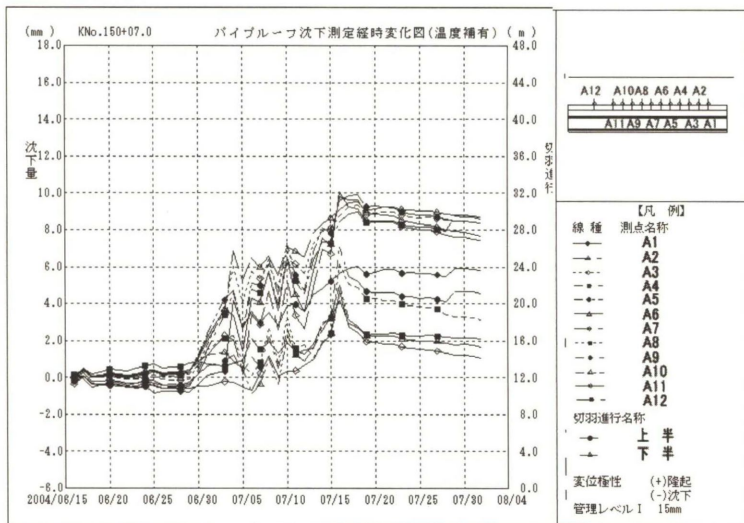


fig. 13 パイプルーフ沈下測定結果

(注入施工時)

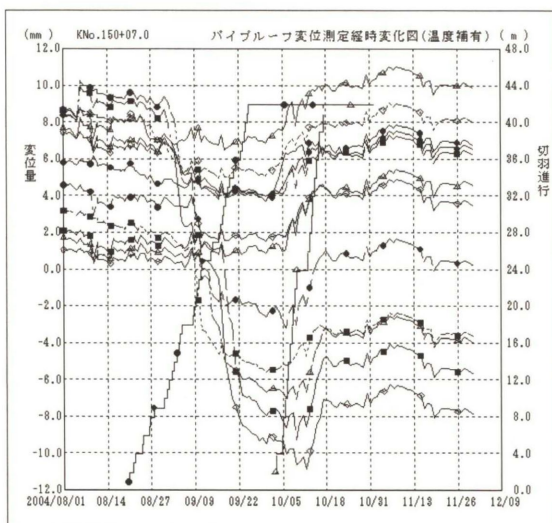


fig. 14 パイプルーフ沈下測定結果

(掘削時)

#### 4. 5. 2 パイプルーフ沈下測定結果

地表面同様に薬液注入時にfig. 13に示すように隆起が測定され、その測定値は地表面の約2倍発生した。

また測定値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。

トンネル掘削時においては、fig. 14 に示すように上半掘削で最大約 10 mm の沈下・下半掘削で約 2~4 mm の隆起が発生した。いずれも管理基準値のレベル I (±15 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測定結果であり先行変位管理が適切に行われたと考える。

#### 4. 5. 3 計測結果まとめ

以上の計測結果から、水道管及び地表面沈下は、ともに当初定めた管理基準値のレベル I (±10mm) 以内に収まっている。

また table. 4 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、各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が発揮され速やかな変位の収束が可能となったためと考えられる。

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。

table. 4 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 42 m と非常に短くトンネル全体が交差点内であり、通常のトンネルと違い発進坑口が地下という条件から掘削開始後の工法変更は非常に難しい。

こ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、現地状況を考え万全の対策を施すよう指示・指導いただき、絶対に周辺及び重要構造物に悪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たと考えられる。



## 謝辞

本トンネル工事を施工するにあたり、発注者の国土交通省横浜国道事務所の方々をはじめ各方面からの有益なご助言ご指導及びご協力をいただき無事に竣工することが出来ました。ここに深く感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 動的注入工法の効果確認試験，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 首都高速中央環状王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：6m<sup>2</sup>のトンネルを薬液注入で克服 迫川幹線水路トンネル工事，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

---

## Construction of common duct under the intersection by NATM

Masahiro ENDOU, Wataru NAKANNOYA, Shigetoshi YAMAGATA and Akira HARADA

### Abstract

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.

Keywords : Urban NATM, Under the intersection, Under the water supply, Dynamic grouting method

---