

# 被圧地下水下における均質砂層での シールドマシン引抜きについて

The method of pulling out the shield tunneling machine in the  
homogeneous sand deposit under the confined groundwater

西村 聡<sup>1</sup>・岡田龍二<sup>2</sup>

Satoshi Nishimura and Ryuji Okada

<sup>1</sup>正会員 東京地下鉄(株) 建設部新宿工事事務所所長 (〒160-0022 東京都新宿区新宿 5-18-21)

E-mail:S.Nishimura@tokyometro.jp

<sup>2</sup>正会員 東京地下鉄(株) 建設部新宿工事事務所技術課長 (〒160-0022 東京都新宿区新宿 5-18-21)

E-mail:R.Okada@tokyometro.jp

The Tokyo Metro Shinjuku section (a building area) is single line shield tunnel construction that connects Shinjuku-sanchome station and Shinjuku-nanachome station (both tentative names). The shield is started Shinjuku-sanchome station, makes a U-turn at Shinjuku-nanachome station, and returns to Shinjuku-sanchome station. The problem feared most in constructing the Shinjuku section is a method of pulling out the machine after it reaches Shinjuku-nanachome station. The confined groundwater level of the section arrived at was high, and the stratum uniformity coefficient was less than ten. Therefore, it was necessary to take measures to prevent sand out-flowing and road sinking when the machine was pulled out. The industrial method adopted was to fill the section arrived at with water. This allowed for construction to proceed without any major problems.

*Key Words* : fill the section arrived at with water, method of pulling out the machine

## 1. はじめに

東京地下鉄(株)は現在地下鉄13号線(池袋～渋谷間の延長8.9km)の建設を進めており、平成20年6月の開業を目指している。

本稿はこの地下鉄13号線建設工事のうち、新宿三丁目(駅名はすべて仮称)から新宿七丁目間の単線シールドにおける到達後のマシンの引抜き方法について報告するものである。

## 2. 13号線路線概要

地下鉄13号線は東京メトロ有楽町線新線池袋駅を起点とし、都道435号(通称:グリーン大通り)、都市計画道路環五ノ1号線の下を通過後、明治通りを南下し、新宿三丁目、明治神宮前を経由して渋谷に至る延長8.9kmの路線である(図-1)。

完成後は基点の新線池袋において東京メトロ有楽町線を経て東武東上線、西武有楽町線・池袋線と、終点の渋谷駅において東急東横線と相互直通運転を行う予定であり、東京都北西部および埼玉県南西部から神奈川県横浜方面をつなぐ大動脈が完成することになる。

駅は既設の新線池袋を除き、雑司ヶ谷、西早稲田、新宿七丁目、新宿三丁目、新千駄ヶ谷、明治神宮前、渋谷の7駅である。シールドトンネルは、9区間15本で、池袋～新宿三丁目の各駅間は単線シールド(駅シールドを含む)で、新宿三丁目～渋谷の各駅間は複線シールドを採用している。本稿は、この内の新宿七丁目～新宿三丁目間の単線シールドについてまとめたものである。

13号線の地質構成は、池袋～新宿七丁目付近は武蔵野台地の豊島台、新宿七丁目～渋谷付近は淀橋台に位置している。淀橋台では関東ローム層の下部に東京層と上総層が分布し、豊島台

では関東ローム層の下部に段丘礫層をはさみ、東京層と上総層群が分布している。東京層までの各地層は概ね水平方向に堆積しており、上総層群は池袋側へ傾斜している。台地を浸食した神田川や渋谷川の河谷低地には薄く谷底堆積物が分布しているが、大部分は洪積層の安定した地盤である。地下水は、関東ローム層、段丘礫層の不圧滞水層と、東京層及び上総層群の数層に分かれた被圧滞水層に分布している。

### 3. シールド概要

新宿工区シールドは新宿三丁目駅と新宿七丁目駅（いずれも仮称）を結ぶ併列単線シールドトンネル工事で、シールドは新宿三丁目駅を発進して新宿七丁目駅に到達後 U ターンして新宿三丁目駅まで戻る計画である（図-3）。路線延長は491mで、二本のトンネルを併せたトンネル延長は982mで、泥水式シールド工法である。縦断勾配は、新宿三丁目駅から新宿七丁目駅に向かって40%で下り、U ターン後は上

り30%で新宿三丁目に戻る。土被りは最小10.9m～最大27.6mと大きく変化し、掘削土質も、東京層粘性土、東京層砂層、東京礫層、上総層砂層と多様な地盤である（図-4）。

新宿工区シールドの施工において最も懸念される問題の一つとして、七丁目到達後のマシンの引抜き方法が挙げられた。到達部は土被り27.6m、全断面上総層砂層、被圧水位GL-22mである。上総層砂層は、N値50以上で基礎地盤としては十分な地盤であるが、均等係数が10未満の粒形が揃った均質地盤であり、マシン引抜き時の地下水出水、土砂引き込みの防止対策が必要不可欠であった。また、到達部上部にはNTT洞道や東電人孔等の重要埋設物を抱えており、近接工区や過去の近傍他工事においても、同様の地盤での砂引き込み、出水事故が発生している。

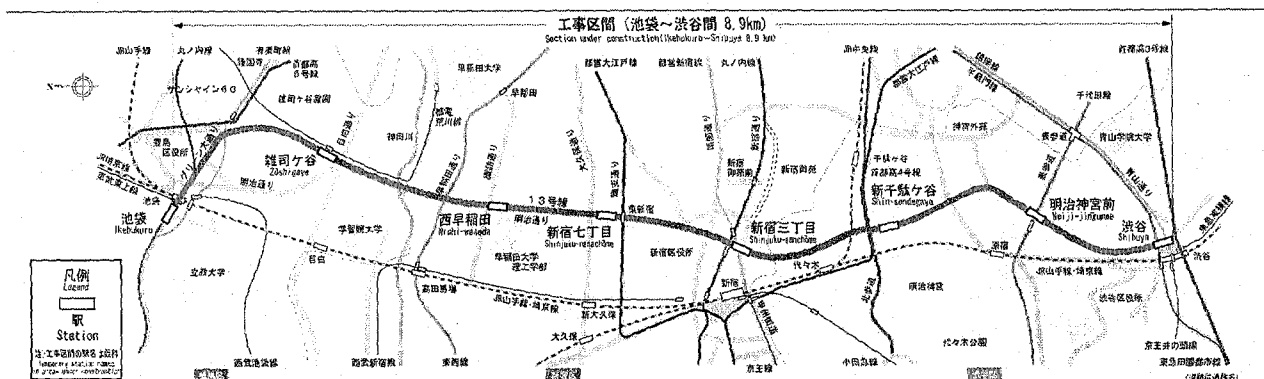


図-1 13号線路線平面図

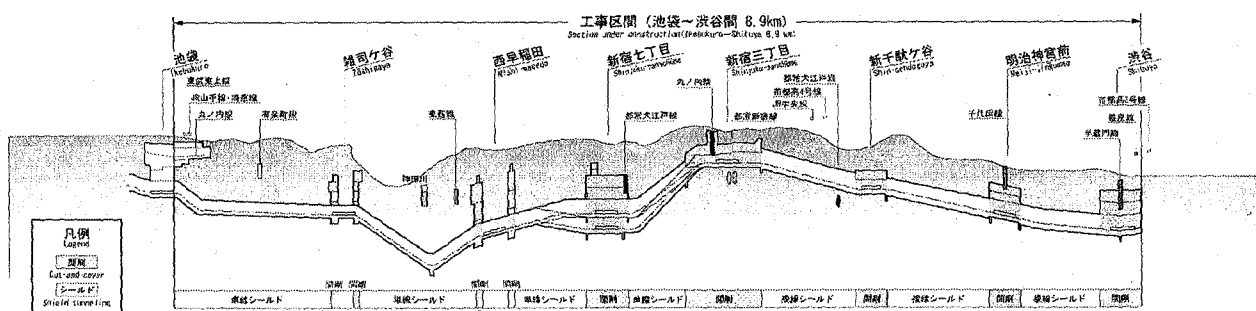


図-2 13号線路線縦断面図



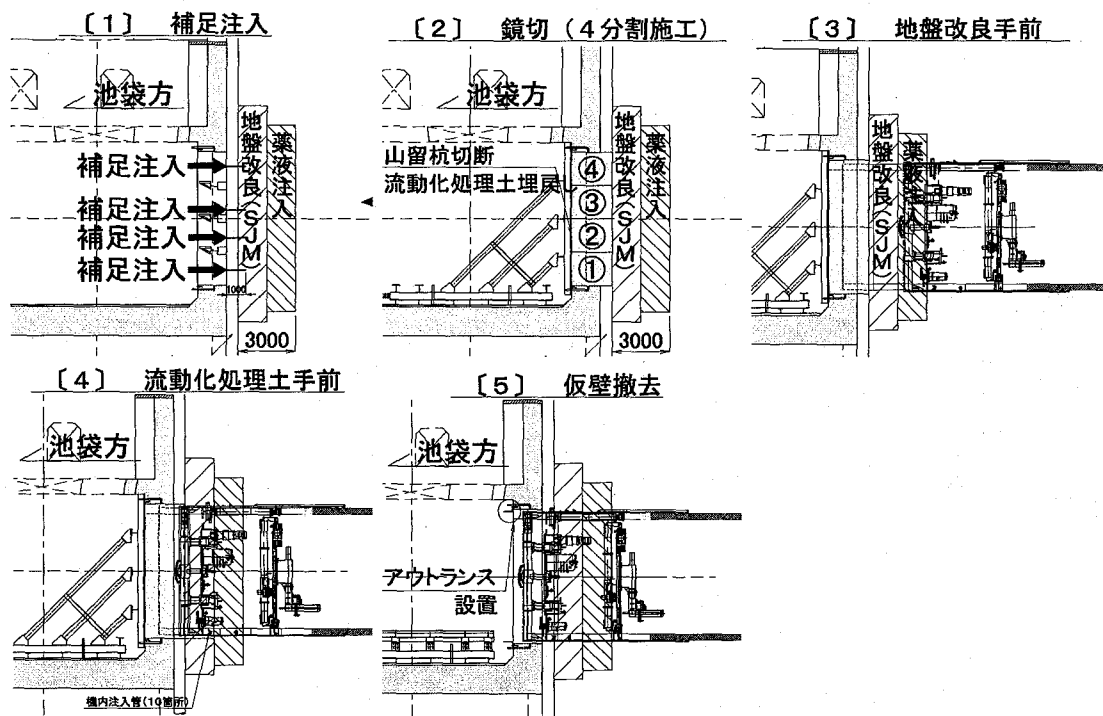


図-6 到達工ステップ図

## (2) 到達鏡切工～到達工

鏡部は、マシンを引抜くために直径7mの円形である。鏡切は、鋼製隔壁を設置し、鏡部を4分割で撤去、流動化処理土に置換した。山留壁背面は、山留壁切断時の地山安定のために、セメント系高圧噴射攪拌工法と薬液注入工で防護をした。シールドは、地盤改良体まで通常掘進し、そこから徐々にジャッキスピードと切羽水圧を徐々に下げていき、隔壁寸前まで掘進した(図-6)。

## (3) マシン引抜き計画

### a) 補助工法の選定

概要で述べたとおり、マシン引抜き時には、マシンスキンプレートと地山との摩擦による地下水や土砂引き込み防止が、最も重要な課題であり、種々の対策を検討した(表-1)。

検討の結果、出水・砂引き込み防止対策として、立坑に水を張り、水中到達することで背面地山の地下水圧を押え、土砂の引き込みを防止することとし、他の工法を補助的に採用することとした。

表-1 マシン引抜き補助工法比較

|       | 地下水位低下工法                                                                                                                                            | 地盤改良工                                                                                                                                      | 機械式止水装置                                                                                                                      | 立坑埋戻し                                                                                                | 水中到達                                                                                                                                      |
|-------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 工法概要図 |                                                                                                                                                     |                                                                                                                                            |                                                                                                                              |                                                                                                      |                                                                                                                                           |
| 工程    | ○ (事前に施工可能な場合)                                                                                                                                      | ○ (事前に施工可能な場合)                                                                                                                             | ×                                                                                                                            | ×                                                                                                    | ○                                                                                                                                         |
| コスト   | ×                                                                                                                                                   | ×                                                                                                                                          | ×                                                                                                                            | ×                                                                                                    | △                                                                                                                                         |
| 考察    | <ul style="list-style-type: none"> <li>DWを設置するスペースがない。</li> <li>4本のDW稼働中で、現状以上の水位低下は見込めない。</li> <li>周辺地盤の沈下等悪影響が懸念。</li> <li>排水のコストが大きい。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>埋設物の関係で路上から確実な計画改良が出来ない。</li> <li>水平薬液注入では、確実な止水ゾーン形成が困難。</li> <li>高圧噴射攪拌工法では、コスト・工期が莫大。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>立坑が狭く、信頼性の高い機械式止水装置を設置するスペースがない。</li> <li>同時注入管や保護ビット等の突起物に完全に対応するのは困難である。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>地下水出水や砂引き込みに対して安全性が高い。</li> <li>土砂埋戻し、撤去に大きな手間が必要。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>地下水出水や砂引き込みに対して安全性が高い。</li> <li>供給水の確保</li> <li>排水ルートの確保が必要。</li> <li>排水時の安全確保の補助工法が必要。</li> </ul> |
| 評価    | ×                                                                                                                                                   | ×                                                                                                                                          | ×                                                                                                                            | △                                                                                                    | ○                                                                                                                                         |

## b) 観測井戸設置

山留壁背面の地下水位を正確に把握し、水中到達時の水位を決定するために、観測井戸2本を設置した(図-7)。

## c) ディープウエル工

立坑部には、周辺に4本のディープウエルが開削工事のために設置され、稼働しており、現状以上の水位低下は望めないが、水位を維持するために、マシン引抜き時まで、継続して稼働させることとした(図-7)。

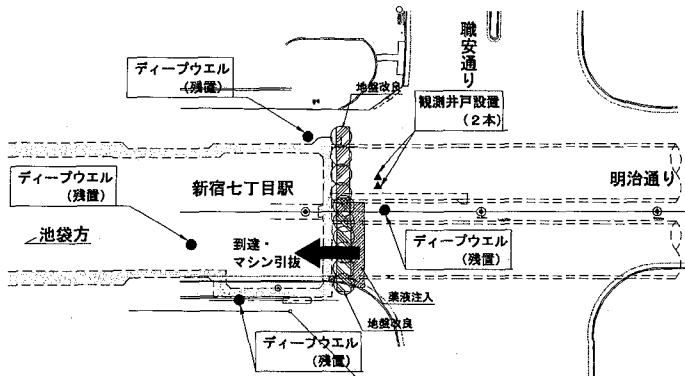


図-7 観測井戸・ディープウエル設置平面図

## d) 機械的止水装置(アウトランスパッキン)

今回の立坑条件では、バルクヘッドタイプの止水装置は設置スペースがないこと、また、裏込め同時注入装置やその保護ビットがスキンプレート外側に装備されており、完全止水が困難である。そこで、排水時の土砂引き込みを防止することを主目的に、簡易なゴムパッキン装置(アウトランスパッキン)を設置することとした(写真-1)。

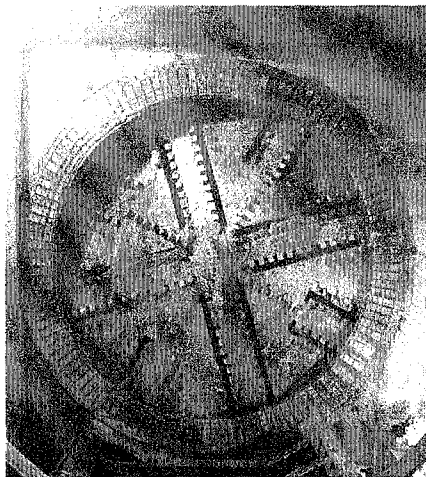


写真-1 アウトランスパッキン

## e) シールドマシンの検討

水中到達では、シールドマシンを水中に引き出す

ため、密閉性が確実なこと、水中で浮かないことが絶対条件である。今回のシールドマシンは泥水シールドであり、テールシールドもワイヤーブラシ式三段装備で過去の実績からも密閉性は問題ないと考えられた。

シールドマシンの浮力については、以下の式により安全と判定されたが、マシン自体の算定重量に誤差があることから、水中への引抜き時には、マシン内にセグメント2ピース(8.4t)を仮置きして、補助ウエートとした。

$$\text{マシン浮力 } F = \rho \cdot V$$

$$\text{ただし } \rho = 10.5 \text{ KN/m}^3$$

$$V = 7.42 \times (6.76/2)^2 \times \pi$$

$$F = 2796 \text{ KN} < W = 3000 \text{ KN (マシン重量)}$$

注) マシン機長はバルクヘッドからテールまで  
水の比重は安全を考慮して高めに設定

## f) 水張り水位と必要水量

観測井戸の地下水位データに基づき、水張り水位を背面地下水位+1.0mに設定した(図-8)。+1.0mにした理由は、立坑側の水位が逸水等で下がった場合に対応するためである。

設定水位より、水張りに必要な水量は2800m³となり、稼働中のディープウエル4本から供給することとした。1本あたり、200ℓ/分の供給量なので、水張り所要時間は約60時間である。

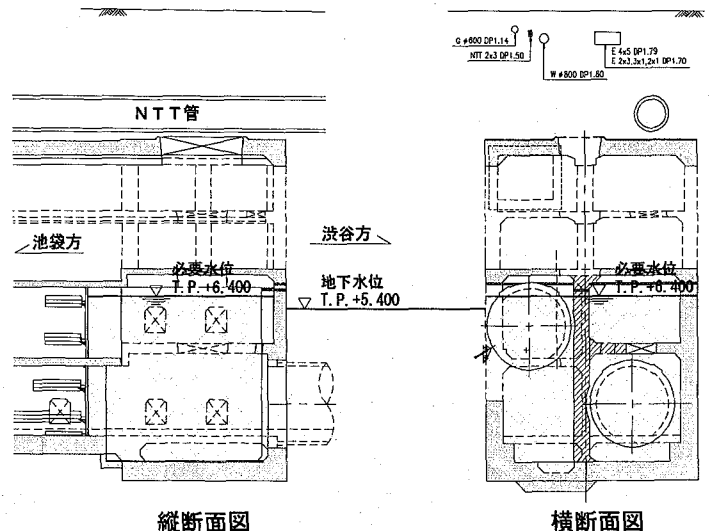


図-8 水張り計画図

## (4) 遮水壁計画

### a) 遮水壁の構造検討

ほぼ完成した構築内に水を張るために、立坑横の地下4階、地下3階に遮水壁を設置する必要がある。遮水壁については、コンクリート構造、鋼構造が検

討されたが、種々の条件より今回は鋼構造とした（表－2）。

遮水壁の設計に関しては、以下の点に留意した。

- ・ 壁体のたわみ制御
- ・ 構築物への負担軽減
- ・ 端部の水密性確保

遮水壁構造図を図－9に示す。

#### b) 遮水壁の設計

遮水壁の設計条件として、坑内での小機械を使用するの人力主体の設置作業となることから、極力、小さな部材を選定し、かつ、たわみも抑える必要があったため、壁体主柱をH-200×200×8×12の@300として、t=9mmの鉄板を貼り付けた。

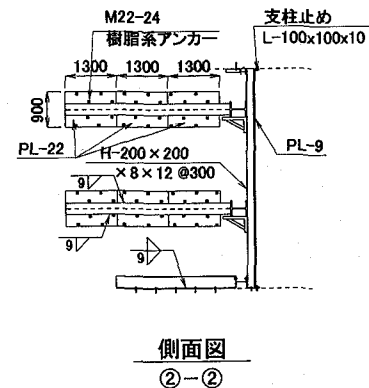
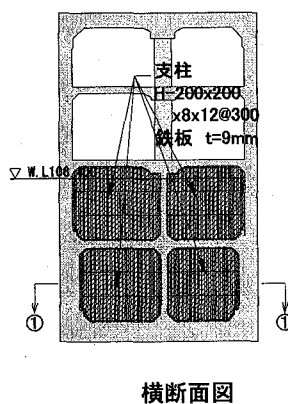
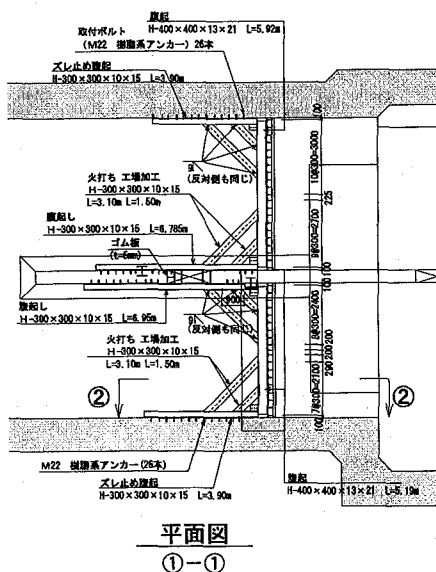
本来ならば遮水壁周面を構築物とアンカー等で接合すれば、構造上有利であるが、遮水壁設置箇所は電車が通る軌道階であり、スラブ下面に多数のアンカーを設置することは、将来的にコンクリート表面の剥落等の恐れもあることから、遮水壁上端部は自由端とし、腹起し、火打により壁体を支えることとした。火打ちのズレ止め腹起しは、既設構築物の

側壁にアンカーでとめたプレートに溶接して固定した。これにより、既設構築物へは、火打部の圧縮力とアンカーのせん断力のみが伝わるようにした。アンカーについては樹脂系アンカーを、プレートについては施工性を考慮し分割したものを使用した。ここで留意した点は、施工誤差やボルト穴の隙間により均一に全てのアンカーに応力が伝播しない場合、連鎖的にアンカーが破断する恐れがあったため、アンカー頭部に角ワッシャーを設置し、アンカーおよびプレートと全強溶接をして、全てのアンカーに同時に応力が伝播するようにした。安全率として、総せん断力に対するアンカー必要本数の1.5倍のアンカー数とした（図－10）。

次に遮水壁の必要な機能である水密性の確保については、壁体全ての接合を溶接構造として対処した。壁体端部とコンクリート構築物との取合い部は、壁体端部にゴム板を挟み込み、コーキングにて止水を行った。今回は、シールドトンネルの目地やRC・PC防火水槽目地、打ち継ぎ誘発目地等に使用されるエポキシ樹脂系高弾性目地材を使用した（図－11）。

表－2 マシン引抜き補助工法比較

| 工法        | 鋼構造                                                                                                                             |                                                                                                                      | コンクリート構造                                                                                                                                      |                                                                                                                    |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | 斜梁方式                                                                                                                            | 水平梁（火打）方式                                                                                                            | RC壁                                                                                                                                           | 重力壁                                                                                                                |
| 略図（断面図）   |                                                                                                                                 |                                                                                                                      |                                                                                                                                               |                                                                                                                    |
| 特徴        | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工は比較的容易である。</li> <li>・ 壁体自体に軸力が発生する。</li> <li>・ 中床に設置する場合、中床スラブに過度の荷重を受ける。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工は斜梁より、手間を要する。</li> <li>・ 壁体には曲げ応力とせん断力のみが発生するので斜梁よりも部材を小さくできる。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工は比較的手間を要する。</li> <li>・ 多くのアンカーが必要となる。</li> <li>・ 撤去に手間を要する。</li> <li>・ 無収縮モルタル等の注入を要する。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・ 施工は容易である。</li> <li>・ 撤去は非常に手間を要する。</li> <li>・ 無収縮モルタル等の注入を要する。</li> </ul> |
| 既設構築物への負担 | 斜梁下部と壁体上部で、ややあり                                                                                                                 | 火打アンカー部のみで、少ない                                                                                                       | アンカー部が集中しており、大きい                                                                                                                              | コンクリートが大量で、かなり大きい                                                                                                  |
| 評価        | △                                                                                                                               | ○                                                                                                                    | △                                                                                                                                             | ×                                                                                                                  |



図－9 遮水壁構造図

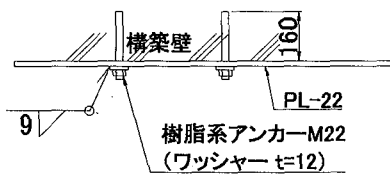


図-10 アンカー詳細図

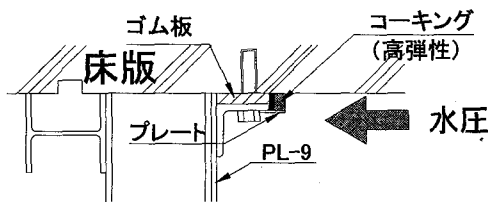
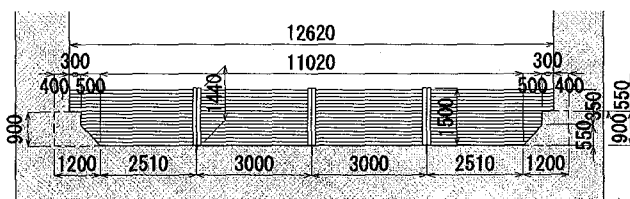


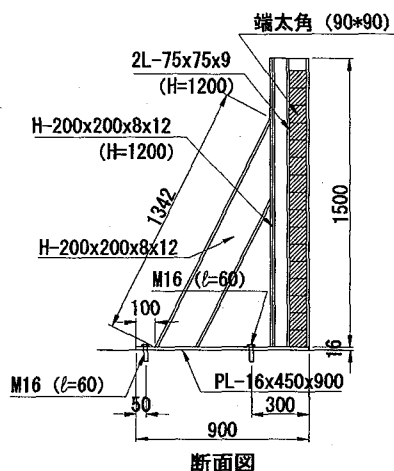
図-11 遮水壁端部詳細図

### c) 緊急止水壁

万が一、遮水壁の変形等による大量の逸水が発生した場合、新宿七丁目駅の池袋方を発進してシールド掘進作業をしている戸山工区のシールドマシンを水没させる危険性があったため、新宿七丁目駅内に緊急止水壁を設置し、緊急時の対応をすることとする。緊急止水壁は、H鋼と角材を使用した角落しタイプとし、地下4階に2000m<sup>3</sup>の水を溜めることができるようにした(図-12)。



正面図



断面図

図-12 緊急止水壁構造図

### (5) 水中到達の施工

#### a) 水張り工

水張りは、残置した4本のディープウエルで実施し、約60時間(3日半)の予定であったが、遮水壁からの漏水や構造物の未施工部分と山留壁間からの逸水等により、それらを補修しながらの施工となり、6日間を要した(写真-2)。水張り中は、立坑内水位計測と併せて、背面地下水位の観測、遮水壁の腹起しのたわみ計測を実施した。遮水壁のたわみは腹起し部の最大値1.0mmで計算値0.9mmとほぼ同等であった。4箇所 of 遮水壁の内、3箇所はほとんど漏水が見られなかったが、1箇所については、端部が3.0mmほど全体に変位し、最大で100ℓ/分程度の漏水が見られた。漏水については、潜水作業によりすぐ収めることができた。変位の原因としては、全て溶接接合の構造であったため、施工時に溶接の熱による変形が起こり、その状態で水圧がかかり、壁体自体が変位を起こしたと推定された。

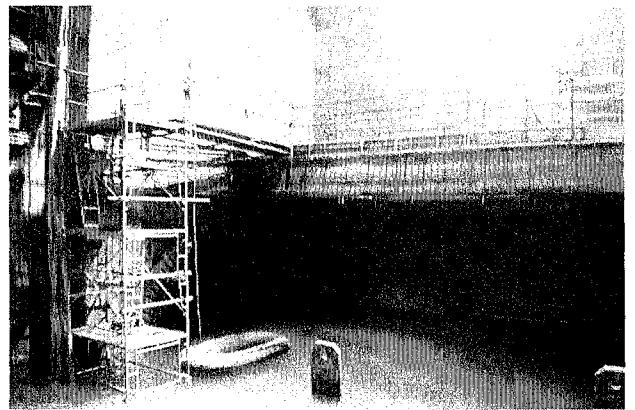


写真-2 水張り状況

#### b) マシン引抜き

シールドマシンは、送排泥管を閉鎖、カッター停止状態で同時裏込め注入を行いながら、シールドジャッキにより押し出した。速度は、20mm/分で、潜水士により坑口やアウトランスパッキン、発進架台への乗り上げ状況等を監視しながら、所定の位置まで押し出した(図-13)。押し出し時には、立坑内水位は、シールドマシン体積分の上昇し、観測井戸での山留壁背面の地下水位は、全く変化がなかったことから、地山からの地下水の引き込み等が起こっていなかったことが実証できた。

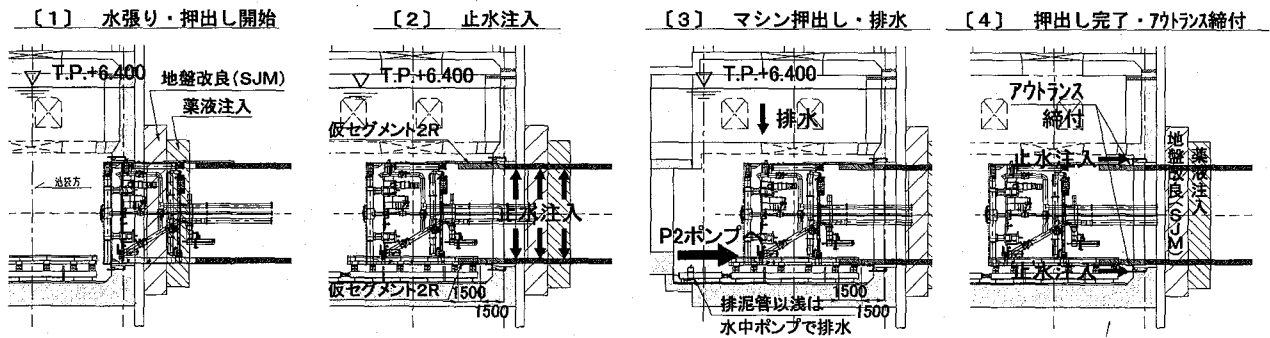


図-13 マシン引抜きステップ図

#### c) 止水注入

坑口3リングのセグメントは、予め、Oリング付のエレクトアール孔が設置してあり、そこを貫通させて、薬液注入工を実施し、セグメント周辺と坑口周辺の止水処理を実施した。

#### d) 排水

排水は、当該立坑付近に大きな下水函渠がないために、排水に先立ち下水道局と協議を行い、シールド発進基地のある新宿三丁目立坑まで流体輸送ポンプにより排水を行った。排水方法は、流体設備のP2ポンプで排水可能な水位まで下げ、それ以降は、排水ポンプを排泥管に直結させて排水を行った。平均で約2m<sup>3</sup>/分の排水を行い、潜水土により坑口周辺の状況を観察しながら24時間で排水を完了した。(写真-3)

排水完了後の坑口付近状況は、裏込め、薬液注入が坑口に完全に填充されており、地山からの漏水がほとんど無い状況であった。

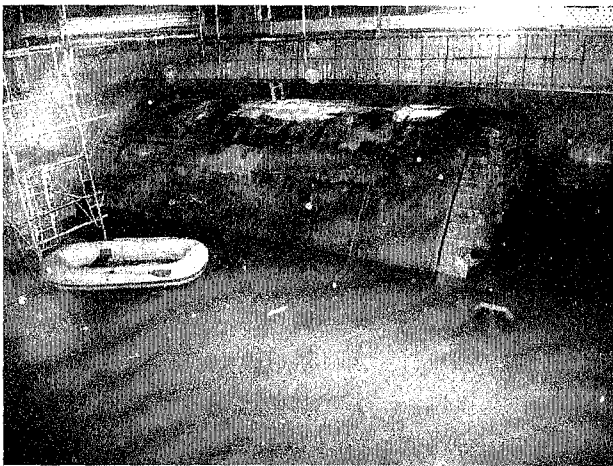


写真-3 排水状況

#### 5. まとめ

当該シールド工事は、平成18年4月の水中到達完了後Uターンを行い、5月に新宿七丁目を再発進、8月には無事新宿三丁目に到達した。

都市部の比較的大断面のシールドでの計画的な水中到達(マシンの引抜き)は、ほとんど例を見ない施工方法である。今回工事では、供給する水の確保や遮水壁を設置するスペース、排水可能な設備等々の与条件により施工可能であったが、土砂の引き込みを防止する観点からは完全に安全な工法であり、コスト面においても、従来のシールドマシン機長分の地盤改良工よりもはるかに有利な工法である。また、立坑側に水圧がかかっているため、マシンからの裏込め注入やセグメントからの止水注入も確実に施工できたことも特筆すべき点であった。

最も苦労した点は、完全止水構造を目指した遮水壁の設計・施工であったが、若干の漏水があったのみで、細部に渡る工夫により、問題なく施工できた。予め構造物構築時に埋め込みアンカー等の措置ができていれば、より確実、簡易に施工可能であったと思われる。

今後、シールド工事においても、より一層のコストダウンが望まれる中で、シールド機の引抜き、Uターンは欠かせない工法であり、同種の工事での地下水出水、土砂引き込み防止対策の参考資料として有効であったと考える。



写真-4 排水後の坑口状況