

# 大口径シールド機による急曲線施工

田 辺 和 也・原 秀 平

本工事は、東京都品川区を流れる立会川下流域を発進立坑とし、勝島ポンプ所までの約 980 m の区間をシールド径 10.3 m の泥水式シールド工法により管渠を築造するものである。路線線形には、曲線半径が 30 m の急曲線施工区間が 4 箇所も含まれており、到達直前には曲線半径 30 m の S 字曲線が存在する。さらに S 字曲線区間においては、重要構造物である首都高速道路橋脚基礎との離隔が 2 m 程度の近接施工となっている。そのため、近接構造物への影響を最小限に抑えるとともに、急曲線施工に伴う余掘り量の増加による周辺地山の緩み防止とシールド掘進反力の確保が求められた。急曲線施工対策を講じることにより良好な結果を得たので報告する。

キーワード：大口径シールドトンネル，急曲線，余掘り充填材，袋付きセグメント，近接施工

## 1. はじめに

近年、1 時間に雨量 50 mm を越える急激な集中豪雨が発生し、都市において深刻な浸水被害が発生している。高度な都市機能を浸水被害から守るため、河川管理者、下水道管理者、地方公共団体等が一体となり、水害対策に取り組んでいる。東京都品川区を流れる立会川流域においても例外ではなく、集中豪雨による立会川の氾濫被害軽減を図るため下水道の整備を進めている。本工事は、東京都下水道局から受託した日本下水道事業団発注の東京都勝島ポンプ所流入管渠工事である。立会川・勝島運河の合流部を発進立坑として勝島ポンプ所までの約 980 m の区間をシールド径 10.3 m の泥水式シールド工法により築造するものである。

## 2. 概要

### (1) 工事概要

品川区内を流れる立会川流域の「浸水対策」と「勝島運河の水質改善」を目的とし、「第二立会川幹線」及び「浜川幹線」の 2 つの雨水幹線で収容した雨水を勝島ポンプ所に送るトンネルを築造するものである。路線概要としては、発進直後に曲線半径  $R=80$  m の曲線があり、その後曲線半径  $R=30$  m の急曲線を曲がり到達直前において  $R=30$  m (3 ヶ所) の S 字急曲線となっている (図-1)。

工 事 名：東京都勝島ポンプ所流入管渠工事

企 業 者：東京都下水道局

発 注 者：日本下水道事業団

工事場所：東京都品川区勝島 1 丁目，2 丁目

工 期：平成 20 年 3 月 27 日～平成 26 年 3 月 14 日

工事内容：泥水式シールド  $\phi$  10.30 m

セグメント外径  $\phi$  10.10 m

(急曲線区間は  $\phi$  10.06 m 縮径 ST セグメント)

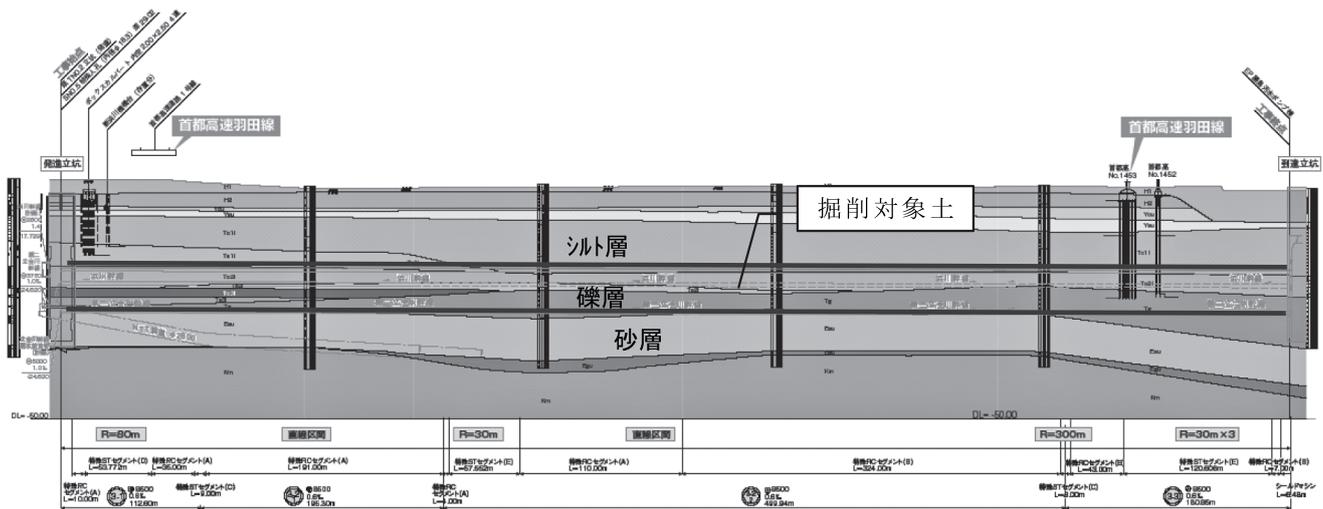
線路延長  $L=990.95$  m

曲線半径： $R=30$  m  $\times$  4 箇所

$R=80$  m  $\times$  1 箇所， $R=300$  m  $\times$  1 箇所



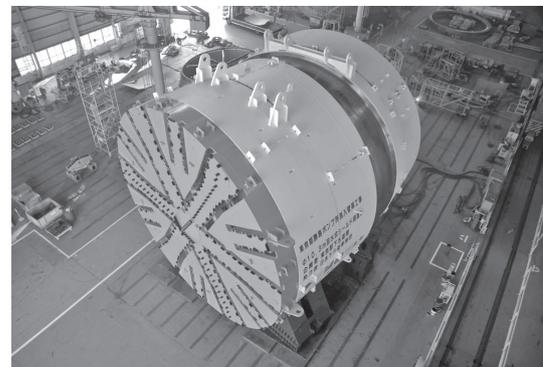
図-1 路線平面図



図一 土質縦断面図

## (2) 地質概要

図一に本工事の掘削対象土質を示す。シールドの土被りは全般にわたり約 20 m 程度であり、地下水位は地表より 3 m 程度である。また掘削対象土質は、大きく分けて上半部がシルト・粘土を主体とする地層であり、N 値が 10～20 程度である。下半部は砂礫を主体とする地層であり、N 値が 50 以上もある硬質地盤である。



写真一 シールド機中折れ状況

## 3. 急曲線施工対策

急曲線対策として、以下に示す「泥水式シールド機の対策」、「セグメントの対策」、「余掘り充填材の採用」、「袋付きセグメントの採用」等の物理的な対策に加え、首都高速橋脚変状計測および地中変位計測を実施した。

### (1) 泥水式シールド機

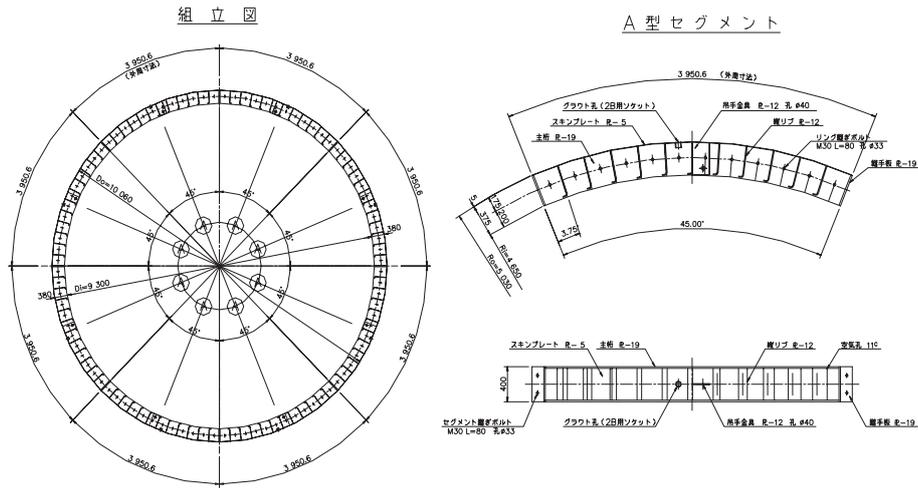
急曲線施工に伴う余掘り量の低減を図るため、板厚 160 mm 大型中折れ球面を採用し、最大で左右 11.5 度屈曲可能な中折れ機構を装備し、中折れ時、シールド機構成機器が干渉しないようシールド機の中心寄りに配置した。さらに余掘り量と回転抵抗を低減させるため、シールド機長をできるだけ短くし、外径と機長とが 1:1 となるようにした (写真一)。テールシールについては、急曲線施工に伴い大きな変形、損傷を伴うとともにテール部でのセグメントとのクリアランスが一定とならず、偏る傾向にあるため、耐久性、耐圧性、追従性に優れたシリコンシールを使用したテールブラシを採用した。

### (2) セグメント

直線区間のセグメントは、外径  $\phi$  10.1 m、幅 1.0 m、厚さ 0.4 m の RC セグメントを採用した。これに対し、急曲線区間ではテールクリアランスを確保するため、セグメント幅を 0.4 m に縮幅し、外径を 40 mm 縮径した  $\phi$  10.06 m の鋼製セグメントを採用した。さらにテールクリアランスが偏った場合を想定して、K セグメントを用いずに全て A ピース構成した等分割のセグメントを採用した。その結果、1 リング内の最終組立位置が拘束されることがないため、テールクリアランスがある場所での組立が可能となった (図一 3)。

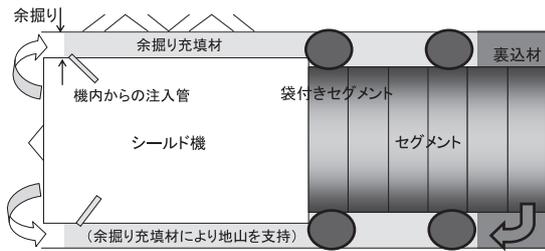
### (3) 余掘り充填材

スキンプレート外周で急曲線施工に伴う余掘り部 (余掘り量 161 mm) の地山に全て泥水圧で対抗させることは、泥水の逸水等もあり困難である。そのため、シールド機側面から余掘り充填材を注入することにより早期に地盤変形を抑制させる必要がある。そこで、粘土系の加泥材としても使用されている 2 液混合型の高粘性な塑性流動性ゲル化材を余掘り充填材として注



図一三 急曲線用鋼製セグメント構造図

入ることにより、地山を保持することとした。以下に余掘り充填材施工イメージ図，試験施工により得られた余掘り充填材の性状およびゲル化した写真を示す（図一四，写真一2，表一1）。



図一四 余掘り充填材施工イメージ図



写真一2 ゲル化した余掘り充填材

表一1 余掘り充填材の性状

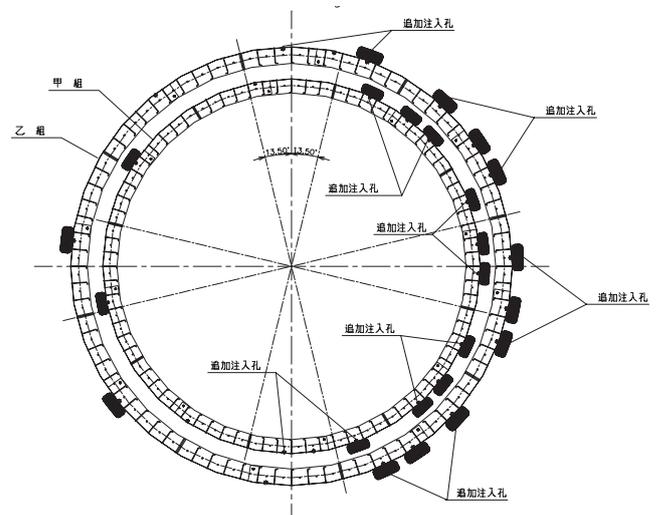
試験項目	測定値	規格値
ゲルタイム	4.5秒	-
粘度(混合後)	300 dPa*s	300~500 dPa*s

(4) 袋付きセグメント

急曲線部においては、シールドジャッキ推力により直線部及び緩和曲線部に比べて、トンネル軸方向に生じる曲げモーメントが大きくなり、曲線法線方向への

分力が卓越するようになる。そこで、セグメントの変位を最小限に抑え、周辺地盤への影響を最小限に抑えるためには、セグメントと地山との早期一体化が必要である。しかしながら、早期にテールボイドを裏込注入により充填する必要がある一方で、シールド機テールにより近い箇所での裏込注入は、裏込注入材の切羽または余掘り部分への回り込みを発生させて必要な余掘り量を確保できなくなるという危険がある。さらに余掘り量が大きい場合、裏込注入材が切羽または余掘り部分へ回り込み易い。

そこで、裏込注入材の切羽または余掘り部分への回り込みを防止し、セグメントと地山との早期一体化を図るため、袋付きセグメントを採用した。今回使用した袋付きセグメントは、セグメント製造時の特殊な加工が不要であり、異形、標準タイプといったセグメント種別に関わらず装備できるものを採用した。以下に袋付セグメント配置図，膨張試験状況，袋付きセグメント諸元を示す（図一五，写真一3，表一2）。



図一五 袋付きセグメント配置図



写真一三 膨張試験状況

表一 袋付きセグメント諸元

膨張した袋	直径φ600mm 有効高さH150mm
筒の長さ	L=157mm
筒の直径	φ70mm

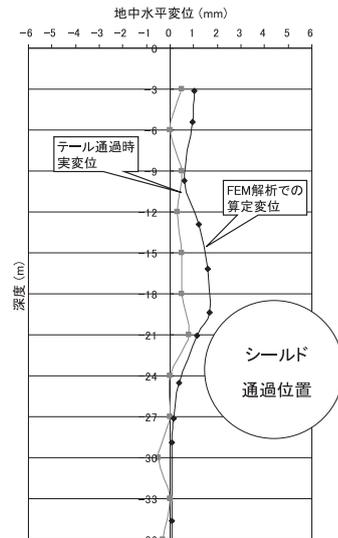
  

#### 4. 計測結果

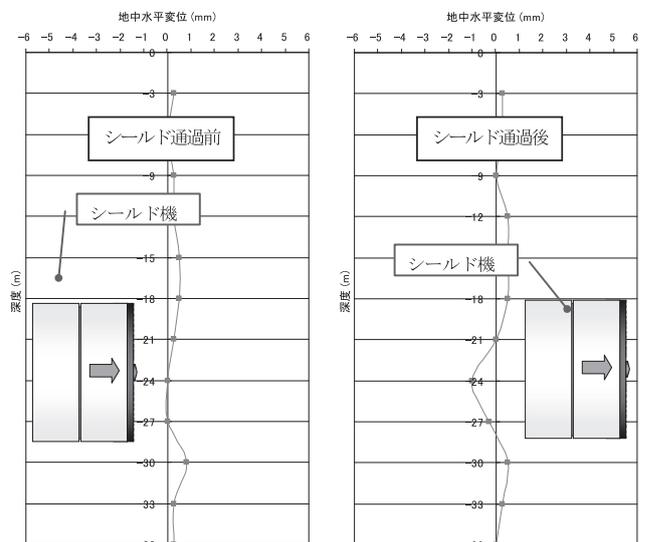
S字急曲線部では、シールド通過に伴う首都高速橋脚の変状、周辺地盤の変状、間隙水圧の変動及びセグメントの変状を把握するため、「首都高速道路に近接する構造物の施工指導要領書」に従い、計測機器の設置を行った。さらにトライアル計測として、1回目の急曲線部において多段式傾斜計、間隙水圧計、鋼製セグメントにひずみ計を設置した。これらの計測結果をもとに逆解析を行い、有限要素法による事前の数値シミュレーション結果の妥当性を検証した。さらにトライアル計測結果をS字急曲線部にフィードバックさせることで、首都高速橋脚基礎への影響および周辺地山への影響を最小限に抑える掘進管理を実施した。

##### (1) 地中水平変位計測結果

図一六に示した変位分布図は、計測された地中変位分布図に有限要素法により解析を実施した結果を重ね合わせた1例である。この結果より応力解放率は、1.8%～8.5%であった。当初、急曲線施工に伴う余掘量の増大を考慮して応力解放率35%と想定していたが、「余掘り充填材」「袋付きセグメント」の採用により応力解放率が低減できることが解る。図一七にシールド路線縦断方向について、シールド通過前と通過後の変位分布図を示す。シールド通過後にテール方向にわずかに挙動している程度に変位が留められている事



図一六 S字急曲線部における実測値と数値解析結果との比較



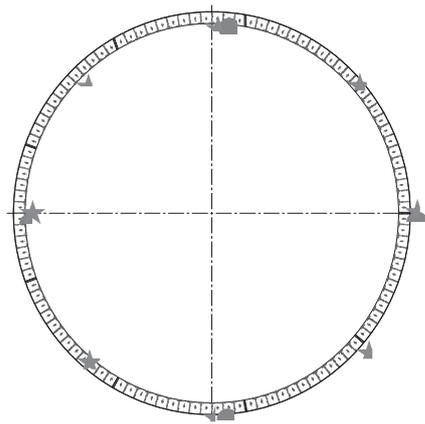
図一七 シールド通過前後における地中変位

がわかる。

##### (2) セグメントひずみ計測結果

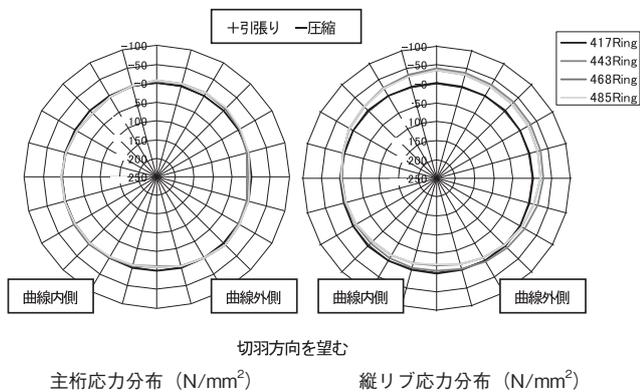
トライアル計測部および到達側S字急曲線区間においてセグメントのひずみ計測を行った。図一八に計測器設置位置断面図を示す。図一九にセグメントひずみ計測リング平面図および主桁応力（円周方向の応力）分布、縦リブ応力（縦断方向の応力）分布グラフを示す。

急曲線施工に伴うシールドジャッキ選択の偏りにより、曲線内側よりも曲線外側のセグメントにジャッキ推力が大きく載荷されていることがわかる。しかし、余掘り充填材、袋付きセグメントの効果により、セグメントが曲線外側に変位することはなかった。



★：主桁ひずみ計（内縁側，外縁側） 16 測点  
●：縦リブひずみ計（トンネル軸方向）8 測点

図一8 ひずみ計設置位置図



図一9 セグメント応力分布図

## 5. おわりに

大口径かつ急曲線施工によるトンネル周辺地盤や近接構造物への影響を最小限に抑えることを主眼において、対策を実施した結果、周辺地盤や近接構造物へ影響を与えることなく施工を行うことができた。さらにシールドの平面蛇行及び鉛直蛇行に関しても大きく変位することなく、許容値以内に収めることができた。

最後に、本工事において多大なご指導ご鞭撻を頂いた日本下水道事業団関東・北陸総合事務所の皆様に、ここに深く感謝の意を表す次第である。

JCMA

### 《参考文献》

- 1) 日経コンストラクション 2010.11.26号
- 2) 第67回施工体験論文発表会 日本トンネル技術協会
- 3) シールド掘削における地盤変状予測 土木技術資料 43-3 (2001)

### [筆者紹介]



田辺 和也 (たなべ かずなり)  
前田建設工業(株)  
東京支店 立会川作業所  
機電課長



原 秀平 (はら しゅうへい)  
前田建設工業(株)  
東京支店 立会川作業所  
機電主任