

## 1 4. 急勾配シールドトンネルの施工における品質確保方法

東京都下水道局 北部建設事務所工事第一課長

小松原修義

東京都下水道局 北部建設事務所工事第一課 工事第二係長

土居 正司

(株)奥村組 東京支社 機械部工務課長

○柴崎 貞典

### 1. はじめに

近年、シールド現場でも周辺環境等の影響から長距離、小口径、急勾配等の難工事が多くなっている。本報では、+199.3‰と上り急勾配では国内最大級である【業平橋ポンプ所放流渠その5工事（東京都下水道局発注 H17.8.23～H18.6.21）】での施工実績から、急勾配施工における問題点、本工事における技術的対応方法ならびに結果について報告を行う。

### 2. 工事概要

#### (1) 工事内容

- ・泥土圧式シールド工法
- ・シールド機外径：φ5800mm
- ・仕上内径：φ5000mm
- ・管渠延長：471m
- ・セグメント

直線部：ハニカムセグメント

(幅1000mm)=299リング

縦曲線勾配変化部：コンクリート中詰セグメント

(幅：500mm)=48リング

急曲線部：スチールセグメント

(幅：1000, 500, 300mm)=356リング

- ・残土搬出：14.760m<sup>3</sup>
- ・発進坑口：噴射攪拌杭工(SJM)6本、NOMST壁
- ・到達坑口：噴射攪拌杭工(SJM)14本、  
二重管ストレーナー複相式1式
- ・計測工：東武鉄道、源森橋、北十間川護岸  
(傾斜計、沈下計)

#### (2) 工事の特徴

- ・高水圧：最大土被り40m、最大水圧0.45MPa
- ・急曲線：交角90°、R=20m・CL=32m 2ヶ所
- ・急勾配：水平距離L=170m、土被りDP=40～6m  
勾配+199.3‰

#### (3) 線形

平面・縦断線形を図-1及び2に示す。

発進直後に  $R_1=60\text{m}$  の曲線部施工を行い、次に源森橋直下を通過する前後で  $R_2=20\text{m}$  の急曲線部を2箇所施工する。(土被り40m) 縦断曲線  $R_1=60\text{m}$  の施工を経て+199.3‰の急勾配区間に入り、170mの掘進後に縦断曲線  $R_3=60\text{m}$  で5‰の勾配に戻して到達する。(土被り6m)

#### (4) 土質概要

図-2 縦断図に示すとおり、発進部から急勾配部手前までの土被り40mの大深度区間は洪積の締った砂礫(Tog)主体で、部分的にレンズ状の洪積硬質粘土(Toc)を含んでいる。(区間①) 急勾配区間に入ってからすぐに層厚が約2mの洪積硬質粘土(Toc)が現れ、洪積硬質粘土が主体になった時には、切羽上部に沖積砂礫(btg)、下部に洪積砂礫(Tog)の土質構成となり、掘進とともに切羽の土質性状が複雑になる。(区間②) その後はローム(Lm)と沖積粘性土(Ylc)を挟んで、沖積砂礫(btg)・礫質土(Yug)の2種類の沖積砂礫層となり、特に沖積粘性土(Ylc)と礫質土(Yug)の層境付近に崩落性の高い箇所が存在した。(区間③) 到達前の水平区間に入ると、沖積砂質土(Yus)・粘性土(Yuc)・礫質土(Yug)の互層になるが、大部分が地盤改良区間であることから比較的地盤が安定していた(区間④)



図-1 平面図

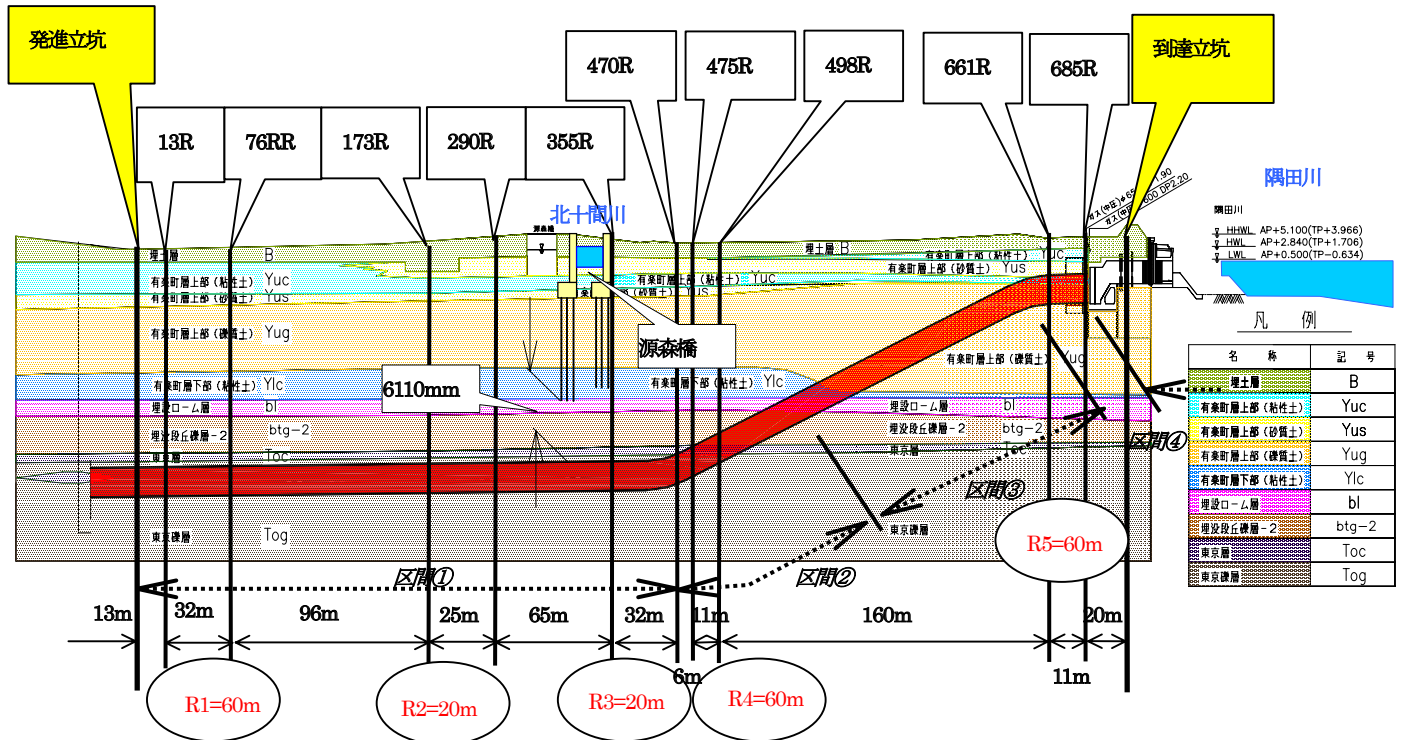
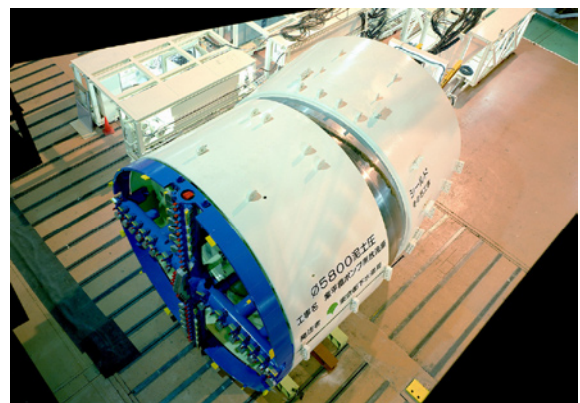


図-2 縦断面図

#### (5) シールドマシンについて

- ・高水圧 0.4kg/cm<sup>2</sup> 以上に対応するため、テールシールパッキンを3段装備
- ・急曲線 R=20m 対応のため、左右 11.1° の中折れ機構
- ・急曲線 R=20m 対応のため、スクリーコンベアー首振り機構を装備
- ・急勾配 R=60m 対応のため、上下 4.0° の中折れ機構
- ・坑口 NOMST 壁対応 NOMST 先行ビット装備
- ・メタン対応機内防爆仕様



### 3. 問題点と対策

急勾配施工時の問題点及び留意点は何点かあると思われるが、本報では、下記の2点について【業平橋ポンプ所放流渠その5工事】での施工結果と考察をふまえて述べる。

- (1) 坑内搬送設備の安全対策
- (2) 複雑な地盤への対応

#### (1) 坑内搬送設備の安全対策

##### <ピンラック&ピニオン方式サーボロコ>

急勾配部の施工にあたっては、セグメント運搬等にも使用されるバッテリー機関車の安全対策が問題とされる。本工事では、ピンラック&ピニオン方式サーボロコ（写真—3）を使用した。

これは、従来のサーボロコにピニオンギアを装備し、平坦部では通常の車輪の駆動力、急勾配部では軌条に設置したピンラックにギアが噛み込み、ピニオンギアの駆動力によって牽引力とする方式である。ピンラックが逸走防止の歯止めの役割も兼ねている。

また、浮上防止機構により、転倒・浮上を防止した。（写真—7）

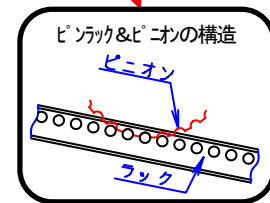
平坦部と急勾配部の切替はセンサー感知で自動的に行うので、運転手の負担が減りかつ安全である。

サーボロコの稼動状況を写真—4～7に示す。

今回、ピンラック&ピニオン方式サーボロコを採用したが、平坦部から急勾配に遷移する縦断曲線区間（R=60m）ではサーボロコの構造上、ピンラックとのなじみが悪くなり、ロコ通過時に軽い衝撃のようなものが発生した。台車をボギー機構にする等、改良を加えれば、縦断曲線通過時にも今回のような衝撃は発生しないのではないかと考えられる。

##### <傾動装置>

急勾配部では材料台車からセグメント等の資機材を下ろす際には、荷が傾いた状態で吊りようになる。ところが荷は重力の影響を受けるため、水平に戻ろうとする。その為、荷が振れ危険性である。そこで本工事では、材料台車の荷台部分が傾く構造とした。これによって急勾配部でも荷が振れることなく安全に作業出来た。（図—3）



写真—3 ピンラック&ピニオン方式サーボロコ



写真—4 サーボロコ急勾配を行く

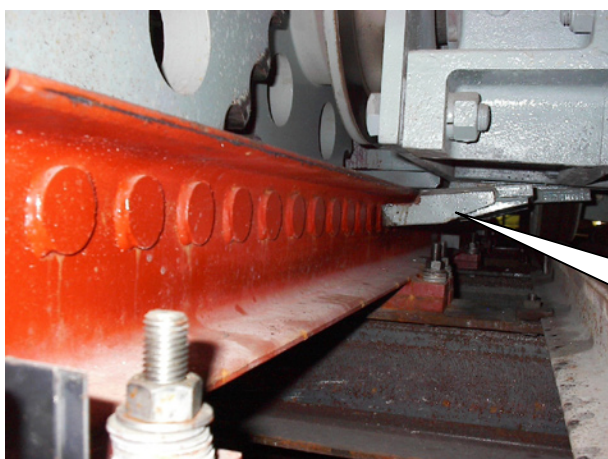




写真—5 サーボロコ下側



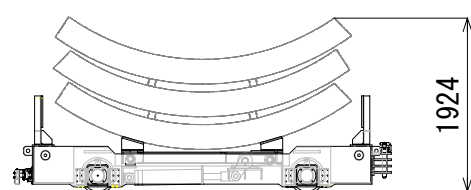
写真—6 サーボロコ側面



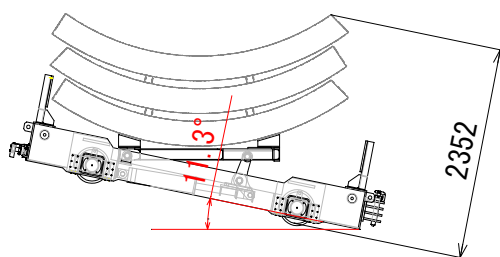
写真—7 浮上防止機構

浮上防止機構

ピンラック上部フランジがストッパーになり、  
浮上り・転倒しない。



平坦部走行時

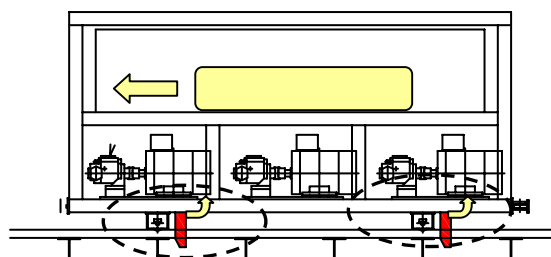


急勾配部走行 傾動装置作動

図—3 傾同装置

また、後続台車の逸走防止対策として、台車にストッパーを取付けた。これは後続台車の前進とともにこのストッパーが、枕木を通過する毎に単方向に回転する機構であり、これを採用することで、進行方向と逆方向に逸走した場合にはストッパーが枕木に引っかかり後続台車が停止する方式である。

(図—4 参照)

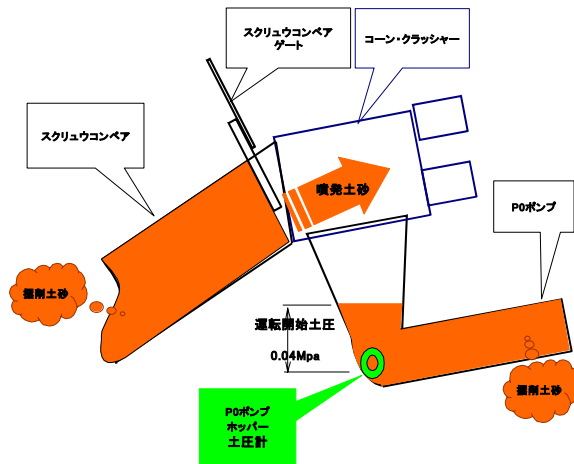


図—4 逸走防止装置

## (2) 複雑な地盤への対応

### ① 当初 $H=0.04\text{Mpa}$

SC ゲート開放 → 「噴発」



### ② 変更 $H=\text{切羽土圧} + \alpha$ $0.05 \sim 0.15\text{Mpa}$

SC ゲート開放 → 噴発なし

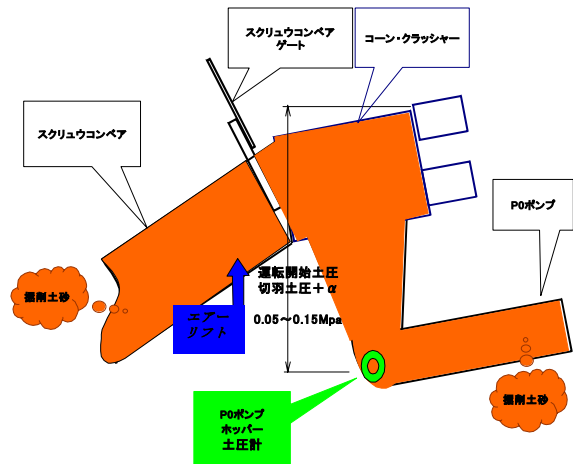


図-5 圧送ポンプ<P0>ホッパー土圧制御モデル図

## <問題点の整理>

本工事は、当初から下記の課題があった。

- ・ ほぼ全線にわたり砂礫層
- ・ 圧送ポンプによる土砂排出
- ・ 立坑深さが 45m

通常、土砂の圧送をスムーズにするためには、土砂が分離しないように加泥注入量を増やしていけばよいと考えられている。しかし、加泥注入量を増加させると、高水圧であるため、スクリュウコンベアのフライトと土砂の摩擦力が低下し、「プラグ効果」が損なわれ、排出ゲートで「噴発」し易く、切羽土圧が不安定になるという矛盾が生じた。

そこで、当現場では「噴発」と「閉塞」防止が懸案事項であった

更に、縦断図（図-2）を見て分かるように、急勾配部では特に土質が礫層から粘性土層までと実に8種類も変化し、かつ切羽土圧の変化と併せると非常に管理が難しいものであった。

## <対策と結果>

そこで、噴発防止対策として、土砂圧送ポンプ<P0ポンプ>のホッパー内圧に着目し、内圧を制御させる

ことで噴発を抑える方法を採用した。

図-5 にホッパー土圧制御の概略を示す。当初は、P0ポンプのホッパー内圧を $0.04\text{Mpa}$ で一定させていたが、「切羽土圧 $+\alpha$ 」と変化させることによって一定の成果を見ることができた。図-6 は、P0ポンプホッパー内圧で制御する前後の切羽土圧の変動結果であるが、これからも明らかなように、対策後には切羽土圧の変動が少なく落ち着いた状態になっている。

たし、この方法は一定の効果があったものの、今回のように土質が急激に変化する場合や土水圧の変化によって頻繁に制御値を変化させなければならないという条件下では、少々手間のかかる方法ではあった。今後は、切羽土圧の変動に対して自動調整可能なシステムを考案すれば、より応用範囲が広がるのではないかと考えられる。

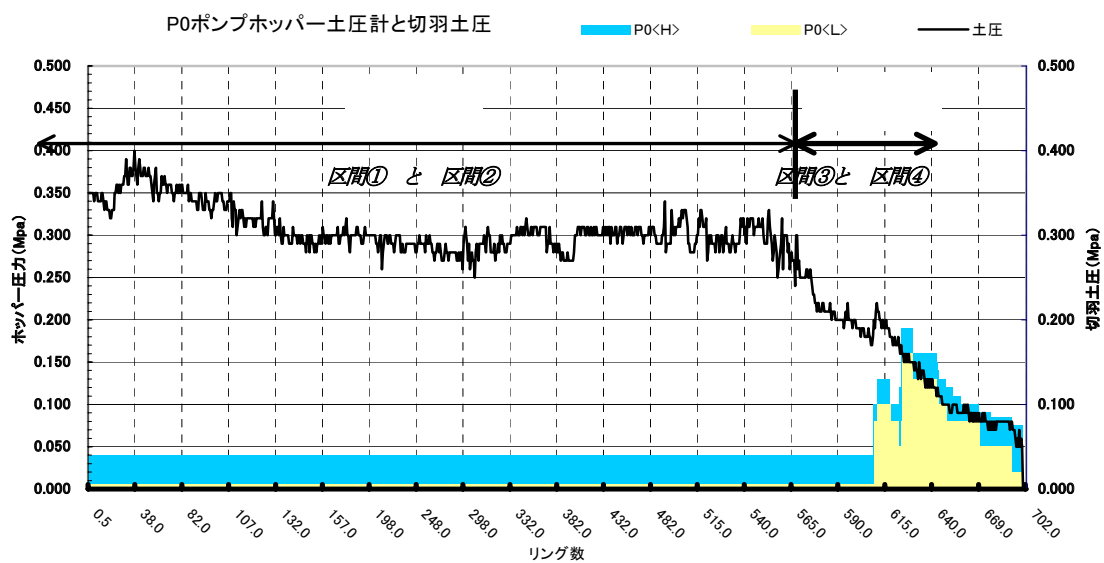


図-6 P0 ポンプホッパー土圧計による制御グラフ

### 3. おわりに

本文では紹介できなかったが、当工事は、高水圧・急勾配・急曲線に加えて、可燃性ガス、既設構造物（源森橋直下通過）および在来営業鉄道（東武線）との近接施工等、数多くの厳しい施工条件下であったが、平成 18 年 5 月に無事到達することができた。

