

# 46. 縦二連分岐式泥水シールド工法（H&Vシールド工法）に関する施工

西松建設(株)：\*北本 正弘、小南 幸博

## 1. はじめに

東京都下水道局発注の南台幹線工事において、仕上り内径φ2,400mmとφ2,000mmの2本の集水管を発進から160.4m区間で上下に並列し、その後別方向に布設するため、縦二連分岐式泥水シールド工法(H&Vシールド工法)により築造を行った。

本工事は縦2連状態での曲線半径 R=15m の急曲線施工、機械式地中分岐、地下鉄丸の内線構築との近接施工などが計画されていた。

本報は、縦二連分岐式泥水シールド工法での急曲線施工における姿勢制御結果、地中分岐、地下鉄丸の内線との近接施工の結果に関して報告するものである。



図-1 H&Vシールド機

表-1 工事概要

工事件名	南台幹線工事、南台幹線その2工事
工事場所	東京都杉並区方南一・二丁目、中野区弥生町六丁目、南台五丁目
企業先	東京都下水道局
工事期間	南台幹線工事(発進立坑築造、管路の一部) 平成10年1月5日～平成11年3月31日 南台幹線その2工事 平成11年4月1日～平成12年5月11日
工事内容 (管路関係)	円形管内径φ2,400mm:南台幹線 シールド外径 φ3,290mm 掘削延長 730.45m 円形管内径φ2,000mm:主要枝線 シールド外径 φ2,890mm 掘削延長 923.50m

## 2. 工事概要および土質概要

### 2.1 工事概要

本工事では、杉並区和田二丁目から中野区南台五丁目までの幹線流域を集水する南台幹線(仕上り内径 2,400 mm)と、杉並区和田二丁目から方南二丁目までの周辺流域の雨水を集水する主要枝線(仕上り内径 2,000 mm)の2本の集水管を外径φ3,290 mmおよび外径φ2,890 mmの泥水シールド工法により築造を行った。また、発進立坑から約160mの地点において機械式地中分岐を行った。

南台幹線および主要枝線の平面線形を図-2 に示す。縦2連時の平面線形は、曲線半径 R=15m が2カ所、R=20m、R=100m が1カ所ある。

分岐後、南台幹線は、区道の下を通り、方南通りに入り営団丸の内線



図-2 路線平面図

構築下を離隔約 10m で約 50m 併走後、神田川を横断し到達立坑に至る総延長 728m の区間である。

一方、主要枝線は、区道の下を通り、宮団丸ノ内線構築下を離隔約 15m で横断後、神田川を横断して到達部に至る総延長 923m の区間である。

## 2. 2 土質概要

南台幹線の土被りは 15～24m で、掘進対象土質は発進部から N=14～50 と非常に締まった細砂、礫混じり細砂、シルト質細砂である。

主要枝線の土被りは 18～27m で、掘進対象土質は、発進部から礫混じり細砂、シルト質細砂 (N=25～50) である。間隙水圧は、ほぼ静水圧分布に近く 150～190kN/m<sup>2</sup> である。また、透水係数は、細砂で 10<sup>-3</sup> cm/sec のオーダー、砂礫で 10<sup>-2</sup> cm/sec のオーダーを示している。

## 3. 縦 2 連分岐式泥水シールド

### 3. 1 H&V シールド工法の特長

H&V シールド工法は、2つの円形断面シールドを接合した複断面シールドをらせん状に掘進することや、分岐したりすることを可能としたシールド工法である。H&V シールド工法の主な特長を以下に示す。

I) 独特のローリング制御機構 (クロスアーティキュレート機構) により、縦 2 連、横 2 連でシールド掘進が可能である。

II) 横並列から縦並列へと断面形態の変化するスパイラルトンネルの構築が可能である。

III) シールドを地中分岐することにより、立坑を設けずに分岐トンネルの構築が可能である。

縦 2 連分岐式泥水シールド機の構造を図-3 に、仕様を表-2 に示す。

#### (1) 姿勢制御 (H&V 機構)

##### ① クロスアーティキュレート機構

クロスアーティキュレート機構とは、2つの前胴が相反する方向へ中折れる機構である。これにより各々の前胴に相反する方向の地盤反力が作用し、発生する回転力によりローリング制御を行う。機構概念図を図-4 に示す。

##### ② スパイラルジャッキ

スパイラルジャッキは、シールドジャッキをシールドの進行方向に対し円周方向へ偏心させることによりジャッキ推力の分力を利用してローリング力を発生させるものである。図-5 に概要を示す。クロスアーティキュレート機構に比べ回転力は小さい。上下シールドともに 4 本のスパイラルジャッキを装備した。

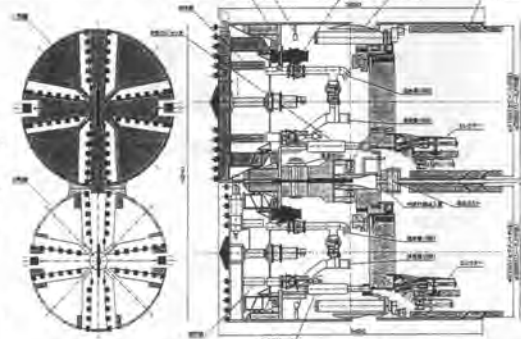


図-3 H&V シールド機構造図

表-2 H&V シールド機仕様

	上部シールド	下部シールド
外径	φ 3,290mm	φ 2,890mm
機長	5,650mm	5,450mm
シールドジャッキ	1,000kN×1150mm×10 本	800kN×1150mm×10 本
中折れジャッキ	1,000kN×585mm×8 本	800kN×585mm×8 本
中折れ角	左右 13.0° 上下 1.0°	
カット回転数	0～1.8rpm	0～2.0rpm
装備トルク	常用 370kN-m 最高 560kN-m	常用 250kN-m 最高 380kN-m
コピーカット	158kN×150mm×2 台	158kN×210mm×2 台

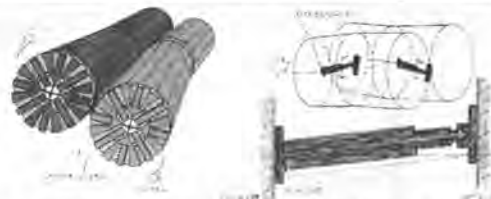


図-4 クロスアーティキュレート 図-5 スパイラルジャッキ

## (2) 分岐機構

縦2連分岐式泥水シールドは、 $\phi 3,290$  mmの上部シールドと $\phi 2,890$  mmの下部シールドをスペーサと呼ばれる金物を介して、前胴・後胴それぞれを連結ピンで連結している。地中分岐の手順は、連結ピンを取り外し、シールドのスキムプレートとスペーサの付着を取るためのジャッキアップを挿入し、上部シールドが先に分岐発進する。その後、下部シールドとスペーサを分離し、スペーサを地中に残置し下部シールドが掘進する。分岐概要を図-6に示す。



図-6 分岐手順

## 4. 分岐工

分岐時の懸念事項は以下の通りであった。

- ①上下シールド間の離隔が極小(スキムプレート間で 60mm)のため地中に残置するスペーサがシールド通過時セグメントに干渉し、セグメントに悪影響を与える可能性がある。
- ②スペーサとシールド機の鏝等による固着によりスペーサの分離に影響がでる可能性がある。

### 4.1 施工結果

分岐に関しては懸念されたような事態は起きなかった。推力、姿勢制御ともに異常なく施工を終えることができた。しいて問題を挙げるとすれば、上下シールドを連結していたピンに歪が生じていたために抜取りに手間取ったことであった。

## 5. 縦2連シールド姿勢制御結果

今回の縦2連シールド区間では、急曲線が3カ所(R=15m:2カ所、R=20m:1カ所)存在し、シールドの姿勢、特にローリング制御が重要な課題であった。

### 5.1 ピッチング、ヨーイング

上部シールドの径が下部シールドより大きな縦2連という形状から急激なピッチング変化が懸念されたため、上下中折れ機構を装備した。

ヨーイング制御は、単円シールドと同様の左右中折れ機構とジャッキ選択による制御を行った。

急曲線 R=15m 施工時のピッチング角の状況を図-7に、上部セグメントの計画線からの変位置(上下、左右)を図-8に示す。

セグメントの上下変位置が、35リングで30mm変化

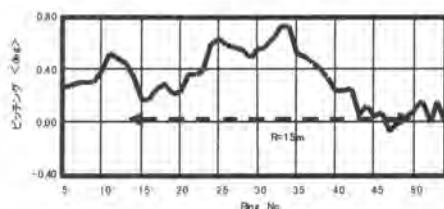


図-7 ピッチング変化

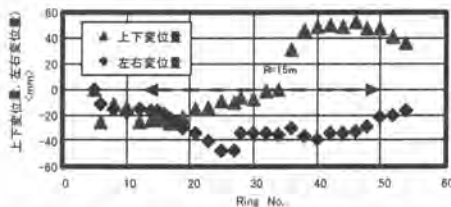


図-8 計画線からのセグメント変位置

し、50リングまで+30～+52mmの間で推移している。発進からR=15m区間では、セグメントの左右変位量に急激な変化はなく、±0～-49mmの間で推移している。急曲線R=15m施工でのピッチング、ヨーイング変位量管理目標値はともに±50mmとしていたことから、満足できる結果であった。

## 5. 2 ローリング

ローリング制御方法は、施工性を考慮し、カッタ回転方向選択を優先し、制御が困難となった場合に、H&V機構のクロスアーティキュレートを使用し、次にスパイラルジャッキを使用することとした。

図-9、10、11に急曲線R=15m施工時のローリング角、相対中折れ角、平均中折れ角を示す。

急曲線が開始する15リング掘進時にローリング角が0.27degまで変化し、平均中折れ角を变えることなく2リングで0.77degの相対中折れ角とし、ローリングの進行を抑制した。その後は、シールド機の変化が中折れ操作より数リング遅れる過去の実験結果を参考に、ローリング角の変化を確認しながら相対中折れ角の調整を行った。40リング以降は、線形が曲線区間から直線へ移行するため、掘進の方向性とテールクリアランス管理に重点を置き、急激な姿勢変化をさせないようにクロスアーティキュレートの使用には慎重を期し、極力使用を控えるようにした。急激なローリング変化もなく、面盤回転制御のみによりローリング修正することが可能であった。

次に、曲線施工部(R=100、R=15)におけるローリング変化量 $R(n) - R(n-1)$ と相対中折れ角差 $\theta_U(n) - \theta_L(n-1)$ の関係を図-12(i)(ii)(iii)に示す。

直線での過去のローリング施工実験結果によると、ローリング角変化量と中折れ角度差にはほぼ相関関係が成立するとのことであったが、本工事の曲線施工においては、ばらつきが大きく良好な相関性はみられなかった。

R=100mに比べてR=15mにおいてばらつきが大きい理由としては以下のことが考えられる。

- ① 急曲線施工時のテールクリアランスの低減によりシールドスキムプレートとセグメント間の摩擦抵抗が増大し、回転力の発生への影響が大きい。
- ② シールドが平面的に屈曲した中折れ状態が、回転力の効果へ影響を与える。

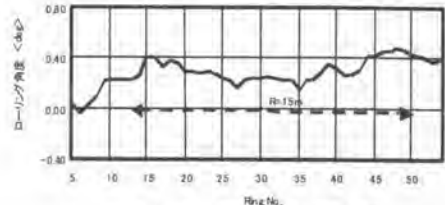


図-9 ローリング変化

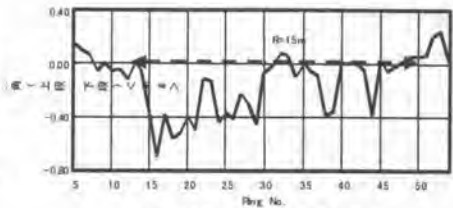


図-10 相対中折れ角

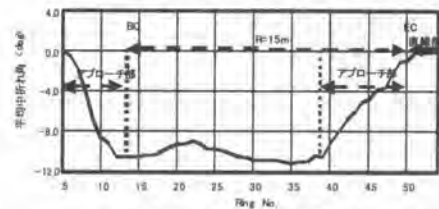


図-11 平均中折れ角

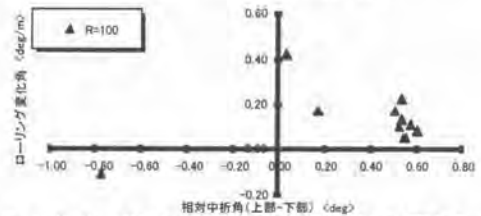


図-12 (i) 相対中折れ角度差とローリング変化角

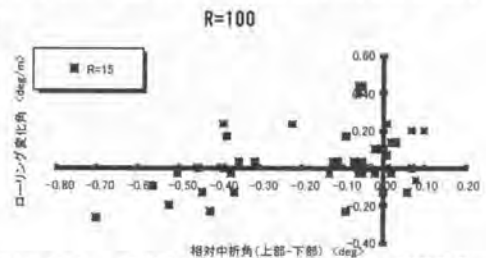


図-12 (ii) 相対中折れ角度差とローリング変化角

R=15

③中折れ状態でのピッチング変化やヨーイング制御のジャッキ選択操作などが、ローリング修正に影響を与える。

④急曲線では余掘りを大きくしているため、面盤回転方向反転によるローリング修正効果が大きくなり、その影響が考えられる。

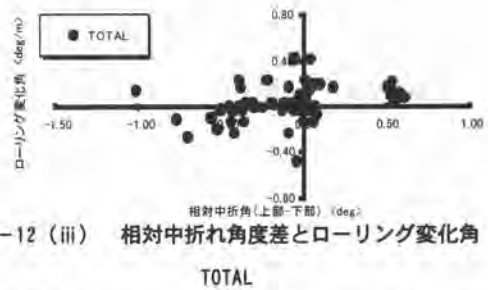


図-12 (iii) 相対中折れ角度差とローリング変化角

### 5. 3 姿勢制御について

今回の施工における大きな特長の一つは、縦2連形状での急曲線施工(R=15m)であり、過去に経験がないため、手探り状態での施工となった。

姿勢方向制御では、ピッチング、ヨーイング、ローリング、上下シールドのテールクリアランスなどパラメーターが非常に多く、常にバランスをとりながら、クロスアーティキュレート、中折れ角、セグメントテーパ量などの設定の方向性を探らなければならなかった。特にローリング制御に関しては、クロスアーティキュレートのタイムラグ特性を考慮した施工を求められるなど、留意すべき点が多く、発進直後の急曲線(R=15m)については慎重な施工を求められた。その後の R=15m、R=20m の施工においては、その経験を生かし無事に施工をおえることができた。

## 6. 余掘り充填工法

### 6. 1 概要

上部シールドの路線である方南通りでは、シールド機が地下鉄構築直下を離隔 9.49m(約 3D)で丸の内線と約 50m 並走するため、シールド掘進による丸の内線構築への影響が懸念された。しかし、構築直下において在来工法である地上からの地盤改良による構築の防護対策施工は物理的に不可能であった。

そこで、シールド機内からの充填材の同時注入による掘進が可能な余掘り充填工法が採用された。

また、地下鉄構築および周辺地盤へのシールド掘進による影響を把握するため、丸の内線構築内に計測器を事前に設置し構築の挙動を常時監視して管理を行った。図-13 に路線図および計測位置を示す。

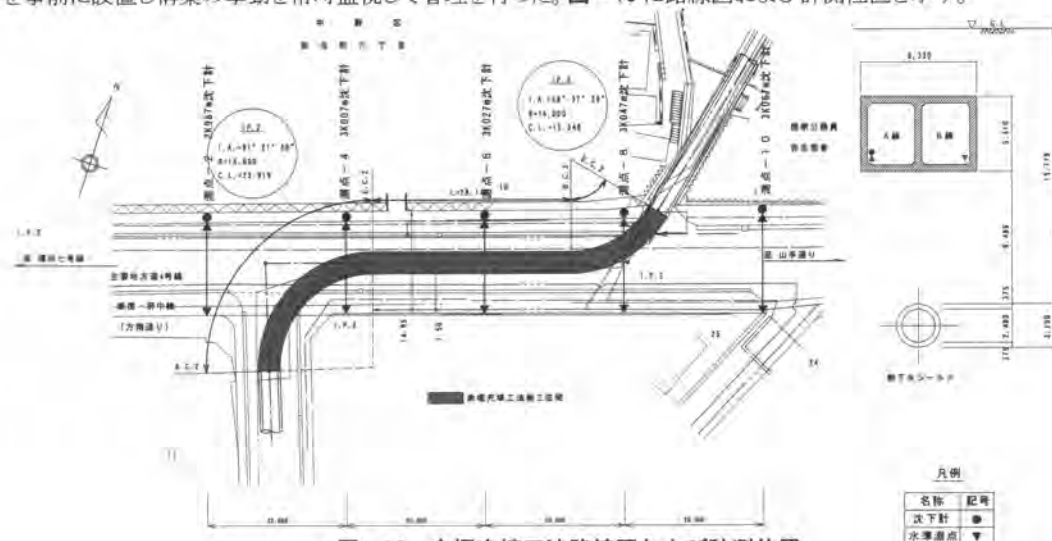


図-13 余掘り充填工法路線図および計測位置

## 6. 2 施工手順

近接構造物への影響を最小限に抑えるため、シールド掘進時、シールド機前後胴の注入孔（8カ所）およびテール通過後のセグメントより余掘り部およびテールポイドへの充填材の同時注入を行った。シールド通過後、速やかにセグメントグラウトホールを利用して裏込注入により充填材の置換を行った。

この際、充填材の置換効率を上げるため、袋付きセグメントの使用を行った。図-14に施工手順を示す。

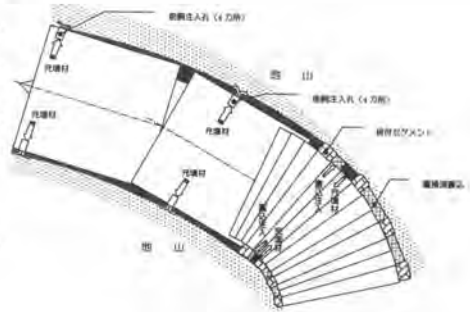


図-14 充填工法

## 6. 3 配合および設備

### (1) 基本配合

基本配合を表-3に示す。

### (2) 充填工法設備

充填工法で使用した設備を以下の図-15に示す。

①地上の作液プラントで基本配合に従いA液（ハイビック+清水）を混合し、ポンプにて坑内の充填台車に圧送した。

②坑内の充填台車上でA液とポリマー（ビスカL）をミキサーで攪拌し、切羽まで圧送、注入した。

表-3 充填材配合表

主材料名	添加量(L)	比重
ハイビック	313	2.36
清水	863	1.00
助材料名	添加量(L)	比重
ビスカL	4.7	0.90~1.05

## 6. 4 変状計測結果

図-16に地下鉄丸の内線計測結果を示す。前述の充填工法にともなった施工の結果をみると、シールド通過に伴う地下鉄構築の変状は最大0.5mm程度しかなく、その後のシールド通過に伴う影響と見られる沈下も1mm以内という小さな値で収束している。水準測量においても、特に変化は見られなかったため、無事にシールド掘進を施工できた。

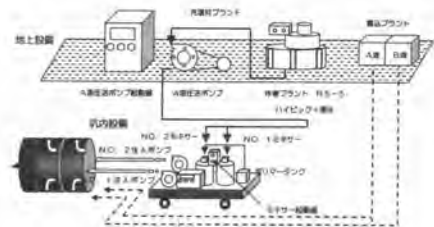


図-15 充填工法設備

## 7. あとがき

本工事はH&Vシールドによる急曲線施工、地中分岐、地下鉄構築での近接施工など、困難が予想されたなか、無事両シールドとも施工を終えることができた。

施工にあたりご指導、ご協力頂いた関係者各位に深く感謝いたします。



図-16 変状計測結果