

大深度・高水圧下における 横2連分岐型複円形シールドの施工

泉谷 信夫¹・秋山 真²・滝沢 究³・岩崎 広幸⁴

¹正会員 東京都下水道局 第二基幹施設再構築事務所 設計課長(〒108-0075東京都港区港南1-2-28)

²正会員 東京都下水道局 第二基幹施設再構築事務所 工事第二課長(〒161-0034東京都新宿区上落合1-2-40)

³非会員 間・大豊・安藤建設共同企業体(〒104-0054 東京都中央区勝どき4-7-19)

⁴正会員 間・大豊・安藤建設共同企業体(〒104-0054 東京都中央区勝どき4-7-19)

E-mail:hiwasaki@hazama.co.jp

第二溜池幹線と勝どき幹線は、都心部の浸水被害の軽減および放流先の水質改善を目的に計画された雨水管渠である。設計段階から立坑用地、工期、安全性、経済性などについて検討した結果、一つの立坑からきわめて近接した2連のトンネルを同時に構築でき、さらに中間立坑を設けず地中で分岐したのちに各々の到達位置まで掘進することが可能な、横2連分岐型複円形シールド(H&Vシールド工法)を採用した。これまで、分岐を伴う外径比の大きい複円形シールドを大深度の高水圧下で施工した例はなく、安全かつ確実な施工に向けて詳細な検討を行った。

本報では、発進から横2連同時掘進、分岐における技術的課題および対策と施工実績について述べる。

Key Words : Double circular Shield, Branch tunnel, Deep underground, High groundwater pressure

1. はじめに

東京都下水道局では、浸水の危険性が高いエリアを対象促進地区として選定し、幹線やポンプ所など基幹施設の再構築を推進している。

第二溜池幹線と勝どき幹線は、千代田区番町地区、港区赤坂、溜池地区及び中央区銀座、築地地区の地区の浸水被害の軽減を図るとともに、放流先の水質改善を目的として計画された雨水幹線である、図-1に路線全体図を示す。



図-1 路線全体図

2. 工事の概要

本工事は、第二溜池幹線の下流側区間（内径8,000mm×延長約2.5km）のうち一期工事分の約2.3kmと、勝どき幹線（内径3.5m×延長約1.0km）を構築するものである。

(1) H&Vシールド工法の採用

第二溜池幹線と勝どき幹線は、両幹線の放流先となる勝どきポンプ所建設予定地内に設けた立坑からシールド工法により構築する。設計段階から立坑用地、工期、安全性、経済性などについて検討した結果、一つの立坑からきわめて近接した2連のトンネルを同時に構築でき、さらに中間立坑を設けず地中で分岐したのちに各々の到達位置まで掘進することが可能な、H&Vシールド工法を採用した。図-2に2連近接区間(坑口部)の横断面図を示す。両幹線の純離隔は僅か295mmである。

H&Vシールド工法（Horizontal & Vertical variation Shield Method）は、複数の円形断面を組み合わせることによって多様なトンネル断面を構築することが可能な工法であ

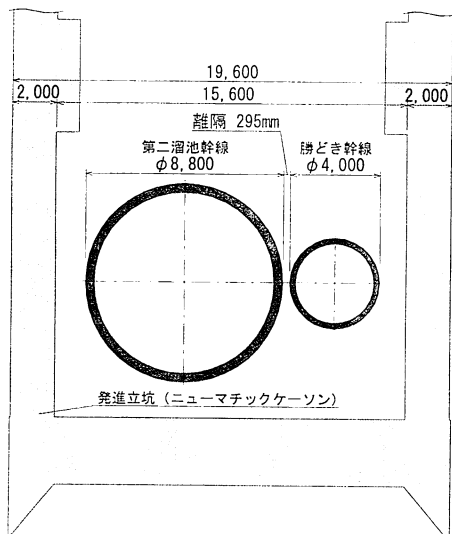


図-2 坑口部横断面図

る。H&Vシールドは、複数台の中折れ型シールドを連結した構造としており、特殊な中折れ機構（クロスアーティキュレート）の優れた姿勢・方向制御性により、横並列から縦並列あるいは縦並列から横並列へと90度ねじったスパイラルトンネルの築造も可能である（図-3）。また、それぞれのシールドが独立した掘進機構を備えている構造上、連結を切り離すだけで容易に分岐することが可能である。写真-1に本工事で用いる横2連分岐型H&Vシールドを示す。

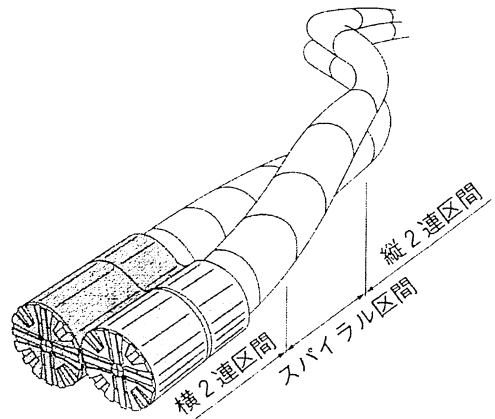


図-3 スパイラルトンネル(縦並列から横並列)

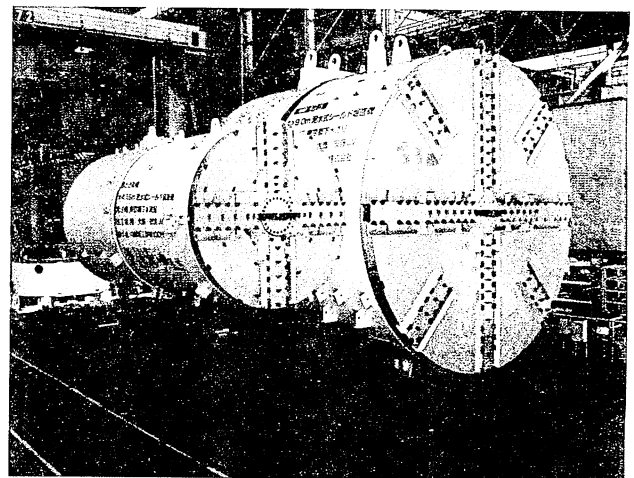


写真-1 横2連分岐型H&Vシールド(泥水式)

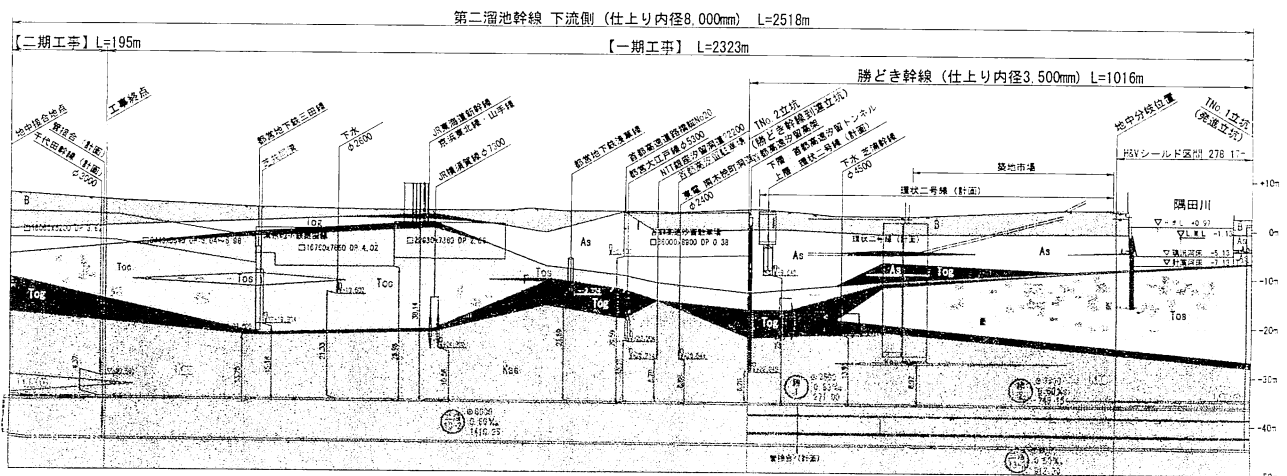


図-4 路線縦断面図

(2) 路線概要

図-4に路線縦断面図を示す。両幹線は横2連で発進した直後に隅田川を横断し、約280m進んだ築地市場直下で分岐する。分岐後はトンネル相互間の影響がなくなるまで離隔を徐々に増やし、単独シールドとしてそれぞれの到達地点へ向かう。両幹線とも主に都道下を占用する。また、首都高速・JR・地下鉄・通信・電力など多数の既設構造物に近接する。所定の離隔を確保した結果、トンネル中心深度は約43mとなった。

掘削地盤は、N値50を超える締った洪積砂層が主体であるが、細粒分含有率が5～6%と非常に少なく均等係数が2程度と極めて偏った粒度分布である上、トンネル中心で約0.4MPaの高水圧下であることから、密閉型シールドにあっても慎重な切羽管理を要する。

(3) セグメント

本工事では、横2連区間においても、第二溜池幹線と勝どき幹線それぞれが独立した単円のRCセグメントを用いる。RCセグメントは内面側に厚さ50mmの防食層を持たせた二次覆工一体型を用いる。主要寸法を表-2に示

す。第二溜池幹線は、一般部では幅1.5mの幅広タイプを用いるが、H&Vシールド区間においては勝どき幹線と組立のタイミングを合わせるため、同幅(1.2m)を用いる。

表-2 RCセグメント(二次覆工一体型)の仕様一覧

	外径	内径	厚さ	幅	分割数
第二溜池幹線	8 900mm	8 000mm	400mm	1 200mm/1 500mm	8
勝どき幹線	4 000mm	3 500mm	250mm	1 000mm/1 200mm	6

(4) 仮壁直接切削工法による発進

本工事では、あらかじめ坑口部に設けた仮壁をシールドのカッタービットで直接切削しながら発進する、仮壁直接切削工法（SEW工法）により発進を行う。

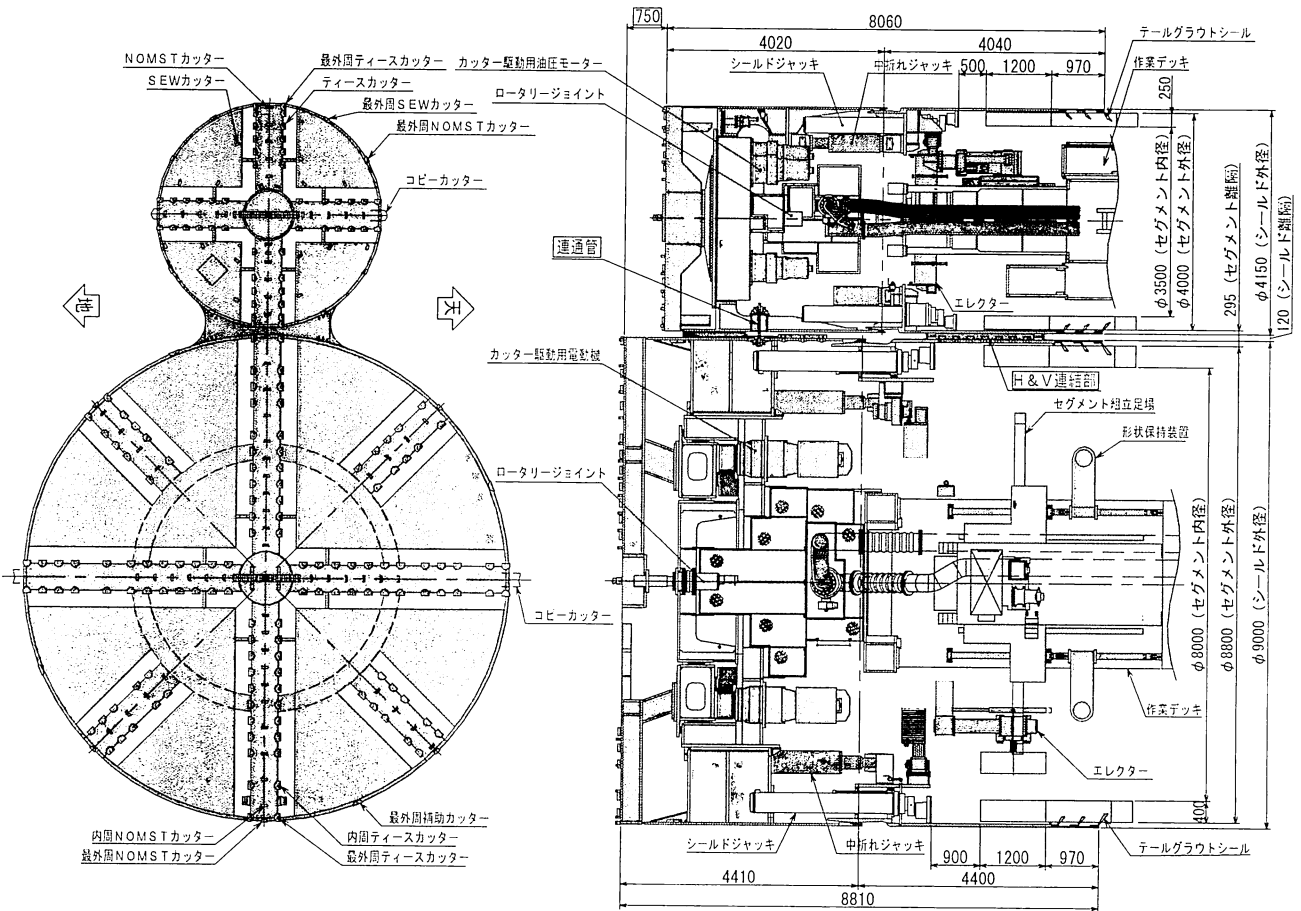
3. 技術的課題と対策

本工事の技術的課題および対策について以下に示す。

(1) 外径比の大きな2連分岐型H & Vシールドの構造

シールドの全体図と主要諸元を図-5に示す。

大径機(第二溜池幹線)は外径9.0m、小径機(勝どき幹



■主要諸元

	外径	全長	芯間距離	装備推力	カットトルク	カット回転数	中折れ角度
小径側	4 150mm	8 060mm	6 695mm	16 000kN	852kN・m	0.54rpm	左右 5°
大径側	9 000mm	8 810mm	(純離隔 120mm)	72 500kN	8 544kN・m	1.16rpm	左 4° 右 5°

図-5 シールド全体組立図と主要諸元

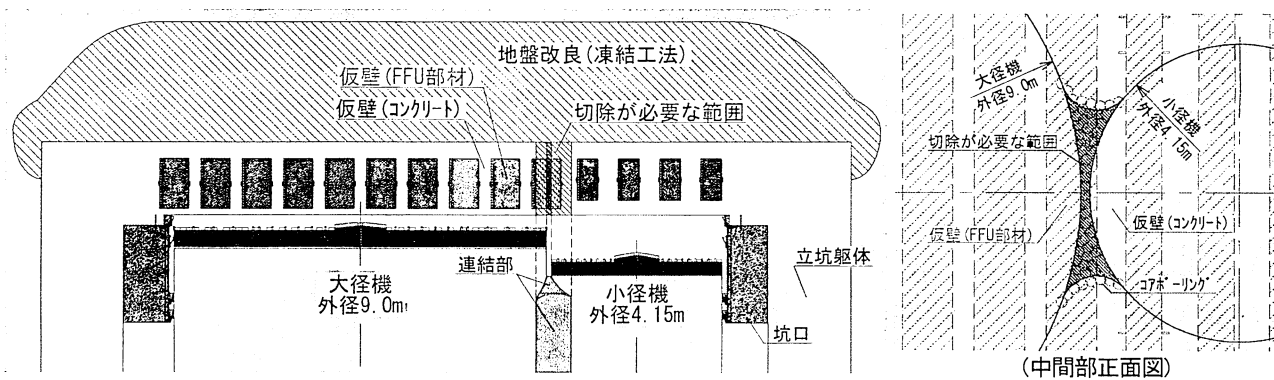


図-6 中間部のコアボーリング

線)は外径4.15mである。大径機と小径機は外径比は約2倍であり、装備推力で約4.5倍、カットトルクで約10倍の差がある。そのため、小径機の挙動が大径機の挙動に支配される可能性があると考えられた。そこで、連結部に可動範囲を持たせ、両シールドの進捗(ストローク)差および方向差を吸収できる、スライダー方式の連結構造を採用した。

2台のシールドの連結部にあたる部分は、コピーカッターで掘削する必要があるが、大径機と小径機では、カッターヘッドの回転数が異なる(大径側:0.54rpm、小径側1.16rpm)。コピーカッターの干渉を避けるため、小径機のカッターヘッドを大径機より750mm後方に配置してしている。

(2) 高水圧下における複円形断面シールドの発達

0.4MPa超の高水圧下において、単円形断面シールドの施工実績はあるが、本工事のような複円形断面(ひょうたん形)での施工は例がない。

安全かつ確実な施工に向けて発進時の施工ステップごとに詳細な検討を行い、加圧チューブ付パッキンを4段配置することとした。加えて、両断面の連結部はエントランスパッキンが逆方向の弧を描き、効果不足が予測されたことから、補助チューブを配置しつつ泥水加圧試験を繰り返して改良を重ね、止水性を確保した。

また、本H&Vシールドは、両断面の中間部をコピーカッターによって掘削するが、仮壁通過時はコピーカッターを作動できない。あらかじめコアボーリングによって切除する必要があり、仮壁背面を露出させることから、凍結工法を採用し、地盤崩壊を防止した(図-6)。

さらに、発進後の坑口止水では親子エントランス方式を採用した。

シールドが坑口を通過している間は、前述のエントランスパッキン(親エントランス)が止水効果を発揮するが、シールド通過後は2つの独立した円形トンネルが構築されるため、親エントランスだけでは両断面の中間部を止水できない。そこで、図-7に示すような、シールドと同断面(ひょうたん形)を備え、中間部を鋼板で一体

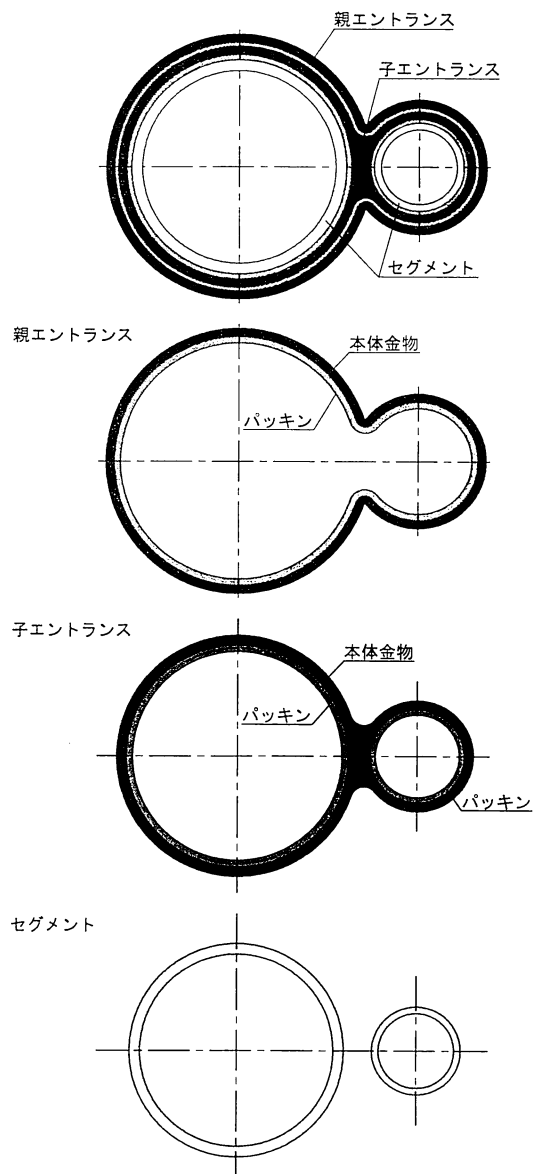


図-7 親子エントランス

化した、めがね形の子エントランスをシールドに追従させて坑口へ挿入し、止水構造を形成した。

(3) 2連同時掘進時におけるシールドの姿勢制御

2台のシールドの連結部は可動範囲を持たせた構造としているが、可動範囲は限られているため、相対位置の管理が重要である。そこで、通常行われるトラバース測

量結果の座標演算による間接的な計測に加えて、2台のシールド間に設けた連通管を利用した直接的な計測を併せて実施した。なお、トータルステーションは自動視準システムを導入し、掘進中も逐次計測を行った。

連通管を用いた直接的計測値は、トラバース測量による間接的計測値と良好な相関がみられ、作業員や資材等の障害物により計測が離散的になりがちなトラバース測量による計測値を補完するものとして有効に機能した。これらを併用することにより、両シールドの相対位置を可動範囲内に管理することができた。

(4) 地中分岐

過去の施工例においては、分岐後に連結部材の取付部から多少ながらも漏水を生じていた¹⁾。本工事は高水圧下での施工となるため、止水機構を確実なものとする必要があった。そこで、新たに開発された、外部からの水の侵入を阻止できる機構を有した特殊なボルトとナットを用いる方式を採用した。地中分岐は2011年12月中旬に行い、連結部の分離に要した期間は昼夜施工で約1週間であった。

連結部材取付部の止水機能は有効に機能し、漏水は皆無だった。これにより、地中分岐は補助工法等を併用することなく安全に終えることができた。

4. おわりに

地中分岐を伴う外径比の大きい2連シールドの実施工は国内初であり、これを大深度・高水圧の厳しい施工条件下で行うという非常に技術的難易度の高い工事であったが、発進から分岐までを無事に完了することができた。その後、勝どき幹線は2012年3月に到達し、約1kmの掘進を完了した。第二溜池幹線は一期工事の到達地点に向けて掘進中である。本稿が掲載される頃、第二溜池幹線も二期工事に着手している予定である。また、上流側区間との地中接合、坑内発進による枝線の施工および大深度取水人孔の構築など、今後も難易度の高い工事が続く。安全性の検討を十分に行い、細心の注意を払って工事を進めていく所存である。

参考文献

- 1) 小南, 北本: H&V シールド工法における下水道管渠工事施工, 第47回施工体験発表会, pp.81~90, 2000.12

(2012.9.3 受付)

CONSTRUCTION OF HORIZONTALLY PARALLEL BRANCHING DOUBLE CIRCLER SHIELD UNDER THE SITUATION OF DEEP UNDERGROUND AND HIGH GROUNDWATER PRESSURE

Nobuo IZUMITANI, Makoto AKIYAMA, Kiwamu TAKIZAWA and Hiroyuki IWASAKI

The DAINITAMEIKE trunk line and The KACHIDOKI trunk line are the storm drain ditches planned for the purpose of flood damage and water quality purification of a discharge place.

A vertical shaft lot, time for delivery, safety, economical efficiency, etc. were examined from the design phase. As a result, since advancing was carried out to each terminal point after not preparing that the parallel tunnel which approached extremely from one vertical shaft can be built simultaneously, and a middle vertical shaft but branching in underground, the "H&V shield driving method" was adopted. Since there was no example which constructed the large double circular shield of the outside diameter ratio accompanied by branch under the flood pressure of large depth until now, detailed examination was performed towards safe and positive construction.

This report describes the technical subject, the measure, and the construction track record that it can set by parallel simultaneous advancing and branch from start.