

機械式直接地中接合工法を用いた シールドトンネルの建設

本山智啓*・渡辺俊雄**・井手和雄***・
遠藤 勝****

東京都水道局は、送水管布設の建設工事において、シールドトンネルの地中接合を各種検討した結果、補助工法を一切使用せず、全ての作業を地下で行う機械式直接地中接合工法を採用して無事完成した。世界最初の建設となった工事の概要と、そこで得られたいいくつかの知見を報告する。

Key Words : construction of water pipes. shield. auxiliary works. mechanical shield docking method

1. まえがき

東京都水道局は増大する水需要に対応し、安定給水を図るために施設の整備拡充を重ねてきた。なかでも送配水幹線の整備は都市化の進展に伴い、住民の生活環境の変化や交通障害など社会的に多くの問題をかかえている。

これらの問題を解決しながら施設整備を進めるため、従来から計画・設計・施工面で積極的に対処してきた。その中でもシールド工事については特に次のような課題を掲げ、研究・開発を進めている。

- ① 立坑用地確保、或いは建設が困難な条件下でも路線選定が制約を受けないこと。
- ② 運河、河川横断も含め長距離化を図ること。
- ③ 軟弱地盤、大深度施工においても安全で確実な工法を確立しておくこと。

この度マイタウン東京'91「東京都総合実施計画」に基づく配水整備事業の一環として進めている東南幹線（送水管）シールド工事において上記課題の解決を目指し、機械式直接地中接合工法であるメカニカル・シールド・ドッキング工法（以下MSD工法^{1), 2)}という）を世界で初めて採用した³⁾。

MSD工法を採用することにより、地上からの作業や接合に伴う補助工法が不要となり、全ての作業を地中で行う機械式直接接合が可能となった。

平成4年10月に接合工事が無事完了した^{4), 5)}。

工法を採用した経緯と実施工を通じて得られた新たな知見をここに報告する。

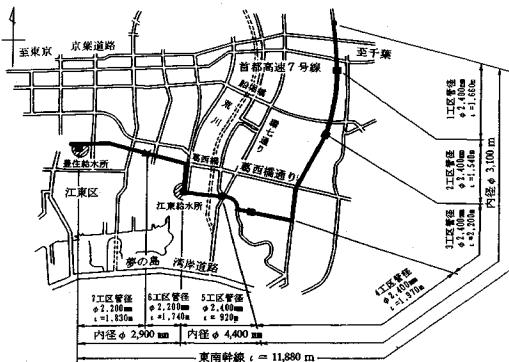


図-1 路線全体図

2. 建設工事

(1) 工事概要

東南幹線は東京都区部東部、及び城南地区の給水所に給水するとともに、既設幹線と連絡して送水機能を強化し給水の安定を図るものである。

また、建設が進んでいる臨海部副都心の水需要にも対応する重要な幹線である。

図-1に全体を7工区に分けた路線全体図を示す。

ここで報告するシールドトンネルの建設は、既設豊住給水所と建設中の江東給水所間3.6kmの送水管（φ2,200 mm）を6工区、7工区の2つの工区で新設するもので、中間地点の江東区南砂4丁目葛西橋通りの道路下30mで地中接合するものである。図-2に両工区の地質断面を図-3に送水管断面を示す。工事諸元は表-1の通りである。

写真-1に接合地点付近とMSDシールド機を示す。

本工事は6工区の25mR、7工区の40mRという急曲線をコラムジェットグラウト工法（CJG工法）で地盤

* 正会員 東京都水道局 東部建設事務所 工事第一課長
(〒136 東京都江東区亀戸四丁目28番1号)

** 正会員 清水建設㈱ 技術開発本部 土木技術開発部 副部長

*** 正会員 清水建設㈱ 土木東京支店 土木第四部 工事長

**** 正会員 植大林組 東京本社 土木部

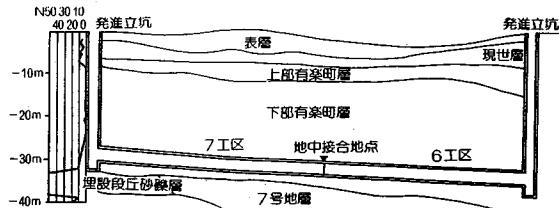


図-2 地質断面図

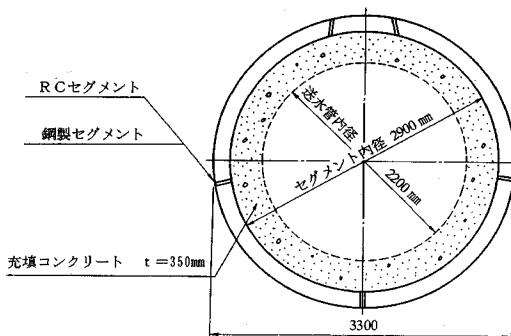


図-3 送水管断面図

改良して掘進しなければならないことに加え、先着する7工区は設計位置に対して正確な位置に、後着する6工区は先着する7工区シールド機に対して正確な位置にそれぞれ到達させるために慎重な測量管理を要する工事である。

(2) 地中接合工

シールドトンネルの地中接合は、接合部周辺の地盤強化や止水性を確保するために地上から各種補助工法を用いて施工しているが、品質、施工性からC J G工法や凍結工法の実績が多い。

本工事の施工箇所の直上部には、電力、ガス等のエネルギー配管や上水、下水道など生活系のボックスカルバートなど9種類もの埋設物が幅6.3mの範囲に存在する。また、道路の交通量も日平均51,600台と多く、直前には高層住宅がある。こうした施工環境では、従来の補助工法を施工することは相当の困難が予測された。

図-4に道路下断面図を示す。

そこで、近年の新技術を調査しMS D工法も含め、総合的な検討を行った。

MS D工法は、昭和61年から清水建設と三菱重工業とが共同で開発してきたもので、基礎実験、耐久性実験、ならびに実証実験(Φ3.5m 昭和63年 清水建設市川工場、泥水式シールド機による地中接合、以下“市川実証実験”という)の成果に対して、昭和63年に(社)日本建設機械化協会から「民間開発建設技術審査証明事業」に

表-1 工事諸元

	7工区受入側	6工区押出側
土質	N値0~8の軟らかいシルト層 地下水圧 約0.3MPa	
土被り	28m~35m	
シールド機外径	3,430mm	
施工延長	1844.0m	1749.3m
シールド形式	泥水式	泥土圧式
中折れ機構	有	有
急曲線掘進 補助工法	40mR CJG工法	25mR CJG工法



写真-1 接合地点付近とシールド機

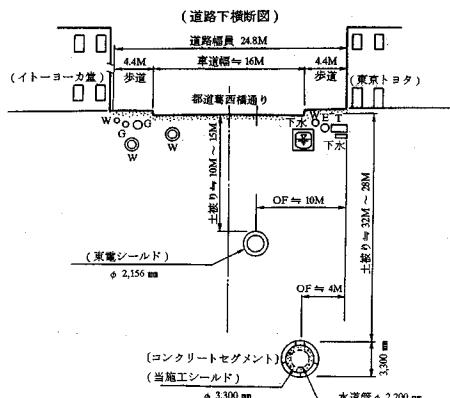


図-4 道路下断面図

よる証明を受けているものである。

地中接合工法の比較検討は実績の多いC J G工法とM S D工法に絞り、その結果は表-2に示す通り本工事ではM S D工法を採用した。

M S D工法は地上からの作業が全くなく、夜間作業もなくなるため、3K(きけん、きたない、きつい)克服の一つとなることに加え、将来のシールド工事に路線選定の幅を持たせ、21世紀のトンネル技術として大深度地下利用、港湾地域など立坑間が長距離に及ぶ路線への応用が期待されるなど利点の多い工法であると判断した。

表-2 本工区検討結果

	噴射搅拌工法(CJG)	M S D 工法
接合概念図		
本工事での特記事項	<ul style="list-style-type: none"> ・プラント用地の確保困難→車上プラント ・注入作業のための道路占用許可が必要 ・作業帯の設置による交通障害 ・スライム処理用ピットのための →試掘 →覆工、山止工 ・埋設管の移設(上水、下水、MT、東電、東ガス) 	<ul style="list-style-type: none"> ・接合時期が10ヶ月ズレる。 ・急曲線施工のため、中折れジャッキを装備しており、機内スペースが狭いため貫入リングの押出しにこれを転用する。
周辺環境対策	注入作業時ある程度の夜間騒音、振動は避けられない。	夜間騒音、振動はない
当該土質への適応	○	あらゆる土質に適応 ◎
止水性	深度が大きいので不安がある。補足注入で可 △	リングと受圧ゴムにより確実に保持できる。 ○
掘進の精度	通常の管理状況	接合付近での高い位置精度(±5cm)
工期	事前にCJGを施工するため、クリティカルとはならないが、マシン間の接合作業に長時間を要する。 ○	接合も閉合も短い ◎
経済性	○	△
安全性	埋設管損傷事故等危険性がある。 接合時に品質不良など不足の事態への対応が必要。 △	すべて機械内でのジャッキ作動であるので安全である。 ◎
作業のシステム化	△	◎
総合評価	○	◎

3. 施工管理

(1) 施工工程

本工事に用いたMSDシールド機は、接合に必要な貫入リング、受圧ゴムリングやスプーク伸縮ジャッキなどの機構を装備しているが、切羽の安定、姿勢制御等の掘進性能は従来のシールド機と同様であった。

急曲線区間や重要構造物との近接施工においてもCJG工法による改良地山の掘進など何ら従来シールド機と変わらなかった。このことは長距離掘進におけるMSD工法の大きな実績となった。

図-5に6工区、7工区の施工工程を示す。

(2) 測量管理

先着している7工区受入側シールド機に精度良く接合させるために、受入側1ヶ所、6工区押出側2ヶ所に設置したチェックボーリング孔を利用して基線をシールドトンネル坑内に落して相互のシールド機の位置確認を行った。最終的な位置確認測量は、接合地点手前45.0m、セグメント50リングを残して掘進を停止して実施した。

その後5.0m及び1.0mで方向、シールド機の傾きを再確認して両機を10cmまで近づけた。その結果、接合誤差は上下方向に0mm、左右方向に17mm、面角0.3°と許容値

(相対変位±50mm、面角1°)を大幅に下回り高い精度が得られた。これには縦断線形において、接合手前にレベル区間50mを設けたことも寄与していると考えている。

(3) 接合工

図-6は地中接合の流れを示しており、接合作業では押付圧、貫入量(ゴム変位量と同じ)の設定について事前に検討した。接合地点の水圧として0.3MPaを考慮し、押付圧は基礎実験から得られている押付圧と止水性能の関係図(図-7)から1.96MPa以上とした。また、押付圧とゴム変位量の関係図(図-8)から1.96MPa以上の押付圧を得るにはゴムの変位量が30mm以上である。

従って押付圧として1.96MPa以上、貫入量として30mm以上を目標とした。

今回は貫入リングの押出しジャッキとして中折れジャッキを転用したため、1回の押し出し長は150mmとなり、これを順次繰り返して実施した。貫入リングがチャンバー内に入ることによりチャンバー内土圧が上昇する。その場合はスクリューコンベヤを回転させ、土圧が過剰になるとすることを避けた。

以下図-9に作業状態を示す。

- ① 贯入リングが受入側シールド機の外周リングを越え、サポートジャッキと接触直前でサポートジャッ

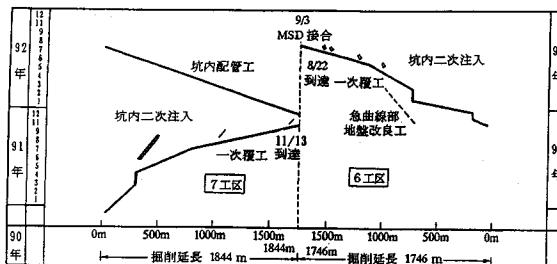


図-5 施工工程

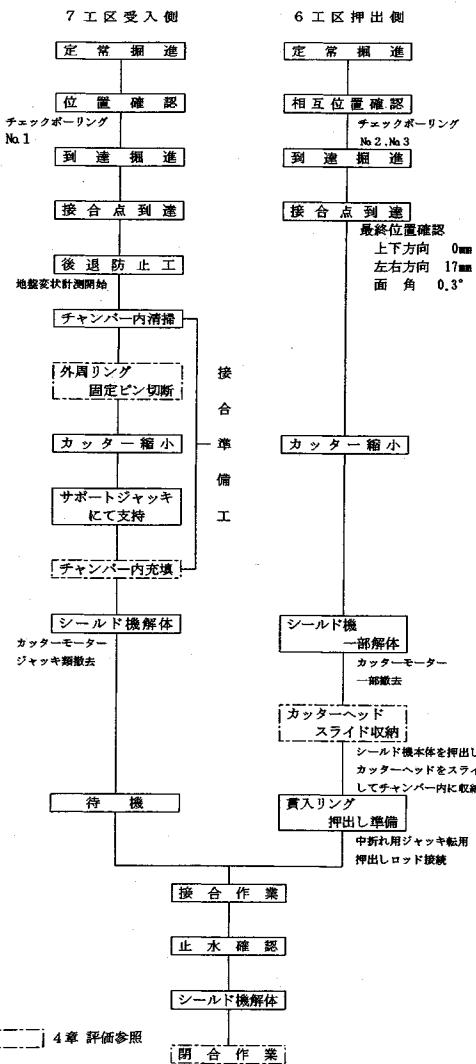


図-6 地中接合フロー

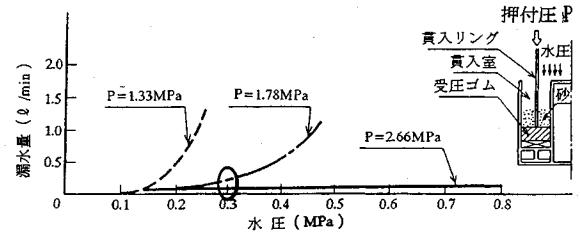


図-7 押付圧と止水性能

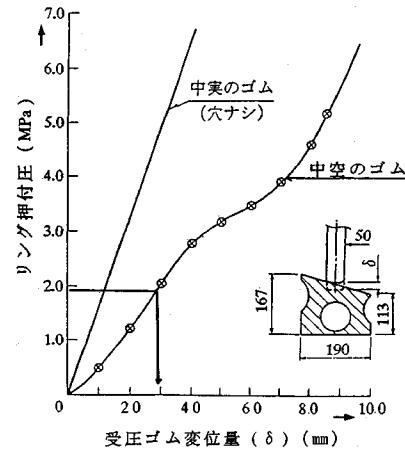


図-8 押付圧とゴム変位量

キを引き戻した。

- ② 外周リングを完全に越えた。
- ③ 受圧ゴムに接触した。
- ④ 貫入リングを受入側シールド機の内側スキンプレートと閉合溶接を行うため、その作業性から受圧ゴムを 100mm 引き戻した。それに合わせて貫入リングを押出した。

- ⑤ 測量結果より、水平誤差 17mm、面角 0.3° を完全に吸収するよう受圧ゴムの押付け変位量を予定の 30mm に 20mm を加えた 50mm として完了した。

実施に当り 6 工区、7 工区とは NTT 回線を両工区切羽まで引込んで逐一作業状況を連絡しながら施工した。

止水性についてはチャンバー内の土圧を徐々に低下させ、圧力の上昇がみられなければ漏水がないものと考え 48 時間観測を行った。その結果、漏水は認められなかつた。

(4) 計測管理

a) 計測概要

この工法はわが国で初めてのものであり、6 工区、7 工区とも計測管理をしながら慎重に施工した。

測定箇所、測定方法、および実測の結果を図-10 に一覧した。

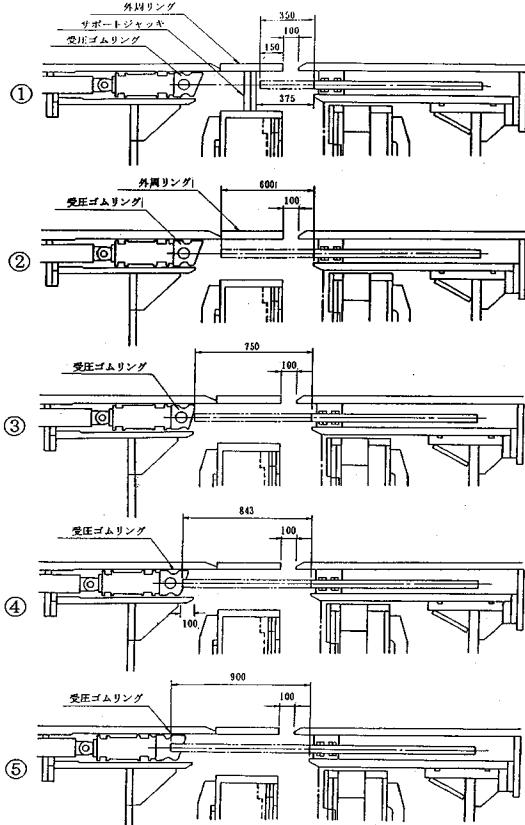


図-9 接合作業詳細

b) シールド機計測

M S D工法に使用するシールド機は、市川実証実験を含め今回が3号機、4号機である。施工中に接合機能が異常となり、接合作業に支障をきたさないように安全性を確保するためと今後の一層の合理的な設計のために各種計測を実施した。その結果は材料の許容値に対し十分な安全性が確認された。

なお、シールド機の施工性として切羽安定を天端検知という形で実施したが、異常は確認されなかった。

c) 地盤変形計測

接合に伴う機械的な作業において、周辺地盤に影響を与えないことを確認するため層別沈下計2ヶ所、傾斜計1ヶ所を設置し地盤変形計測を実施した。図-11に計測位置を示すが、計測結果は地山が非常に軟弱であるにも係わらず、地中鉛直変位はシールド機到達時の影響を含めてシールド機直上で最大1.8mm、地中水平変位は軽微な値であった。接合後、数カ月においても状況の変化は見られなかった。

これにより、地表面はもとより地中変形も起こさない工法として近接構造物や変位を許さない重要構造物周辺での接合にも有効と考えられる。

表-3 開発目標とその結果

開発目標	工事の結果
(I) 周辺地山を乱すことなく、かつ地中における接合管理が容易で、大幅な工期短縮が可能な工法であること。	(1) 接合時の地表面、地中の変状はない。 (2) 接合管理は油圧操作、部品供給そして受入側、押出側の連絡体制のみで実施。 (3) 接合を10日、閉合を8日で実施。
(II) 接合部において高い止水性を有する工法であること。	(1) 外水圧に対して完璧な止水性を確保。
(III) M S Dシールド機は①泥水式ならびに土圧式いずれのシールド工法にも適用できる機械であること。 ②従来のシールド機と同様の性能及び施工性を有する機械であること。	(1) 受入側を泥水式、押出側を泥土圧式で実施。 (2) 挖削工程、装備能力、操縦性、切羽の安定すべて従来と同様である。 (3) 各種の部材応力も十分安全な値である。

4. 建設工事の評価

本工事は、M S D工法の第一号工事として工法開発における基礎実験、実証実験を通して得られたノウハウを全て盛り込んだ形で、入念な検討のもとに実施した。更に送水管の線形、地質、掘削深度など本工事で要求される与条件に対応した機能、能力を装備して慎重な計測管理を行って施工した。

そして、開発目標として定めていた項目全てにおいて表-3に示すように満足できる結果を得た。

また、過去の地中接合の例を文献で調査した結果は、表-4に示す通りである。本工事を通じてシールド形式、覆工等、この表に示された項目について以下に新たな知見が得られたものを示し、今後の工事への展開を図ろうとするものである。

(1) 安全性の確保

接合工に伴う掘削、及び閉合工の安全性について考察する。

従来の地中接合では、狭い面板間において人力主体で露出した改良地山を掘削し、止水工留工、閉合工を実施している。図-12に凍結工法を用いた接合工を示す。

即ち、接合部のシールド機の大部分を解体し、チャンバー内の土砂を撤去した後、凍結あるいは注入による改良土を掘削していくが、この時の安全性は改良土を一種の構造物的に考え、シールド機間を単純梁として土圧・水圧に抵抗できる厚さ・強度を算定している。強度計算は安全率として2~3を確保することで行っている。

図-13に模式的にその内容を示す。

しかし、荷重条件、改良土の品質、特に止水性評価などは一概に安全率で表現できない不確定な要素を含んでいる。

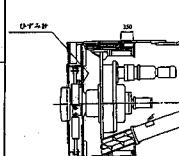
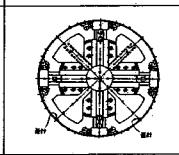
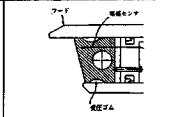
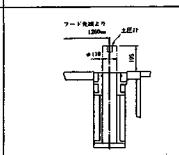
シールド形式	対象	部位	測定箇所	測定方法	実測
泥土圧式 (6工区)	シールド機	カッター		歪計 許容値 137.2 MPa	$\sigma_{max} = 44.7 \text{ MPa}$
		フード			急曲線部 $\sigma_{max} = 16.8 \text{ MPa}$ 通常部 $\sigma_{max} = 13.0 \text{ MPa}$
泥水式 (7工区)	シールド機	外周リング		電極式 摩耗検知装置 天地2ヶ所表面より 3mm, 6mm, 9mmで検知	$\sigma_{max} = -15.5 \text{ MPa}$
		ゴム摩耗量			3mm未満
施工性	施工	天端崩壊検知		土圧センサー付 貫入式地山 探査装置	平均 4.4mm

図-10 測定結果

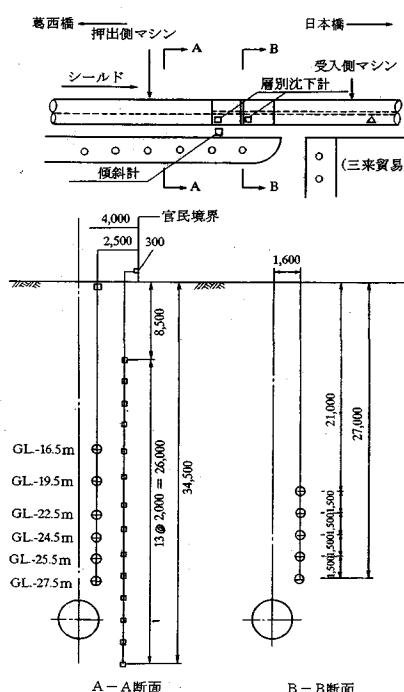


図-11 計測位置

従って、改良地山での作業は個々の技術が向上しているとは言えMSD工法による鋼製リング内での作業には安全性において及ばないものがある。

本工事では、2機のシールド機の隔壁と貫入リングとでできた閉鎖空間の内部の土水圧を解放し、止水が確実になされたことを確認した後、解体、接合作業に入った。このことは改良土を勘と経験で掘削していくことに比較してはるかに安全、確実な作業であった。そして、作業員の心理的な不安・苦痛を解消することができ、完璧な止水性により十分な安全性を確保した上での作業のため解体、閉合工事も順調であった。

(2) 接合の汎用性

a) シールド機

① 形式

泥水式、泥土圧式の異なるシールド形式で接合工事が完了し、いずれのシールド形式にも適用できる工法であることを今回の工事で実証することが出来た。

このことは工法の形式に対する自由度の大きさを示すものである。従来の接合においては表-4に示すように同種のものが多いが、形式の選定はシールド工事が長距離になるにつれて地盤条件が異なることはもちろん、立坑敷地や他の条件など総合的見地から決められるものであるため、異なる形式は今後もあり得るものと思われる。

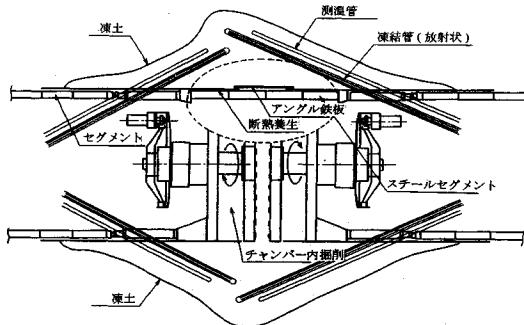


図-12 凍結工法の例

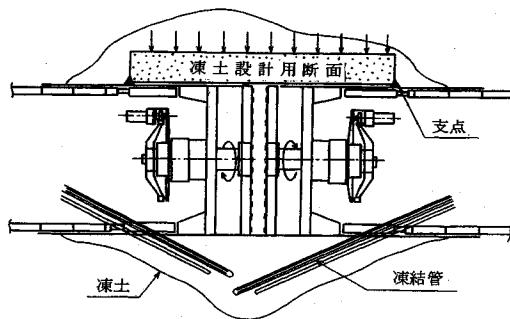


図-13 凍土厚の決定

表-4 地中接合の例

	マシン径	接合場所	補助工法	特記項目			参考文献
				シールド形式	到達時期の差	覆工	
A工事	4640 mm	道路下	凍結工法	泥水-泥水	1ヶ月以内	鉄板溶接 +鉄筋コンクリート	文献 6
B工事	8210 mm	道路下	凍結工法	泥土圧-泥土圧	2ヶ月	鋼板+鋼製セグメント	文献 7
C工事	3840 mm	海底下	凍結工法	泥水-泥水	1ヶ月以内	スチールセグメント +2次ライニング	文献 8
D工事	7750 mm	道路下	凍結工法	土圧-土圧	約1年	鋼製セグメント	文献 9

注) 時期の差を考慮して凍結方法について検討

先着側で凍結を実施、後着で補助凍結を行う。

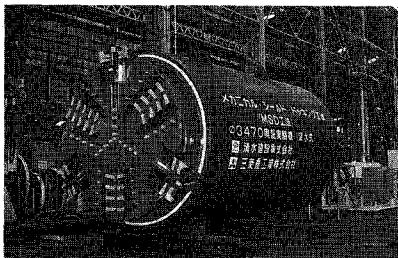


写真-2 市川実証実験機

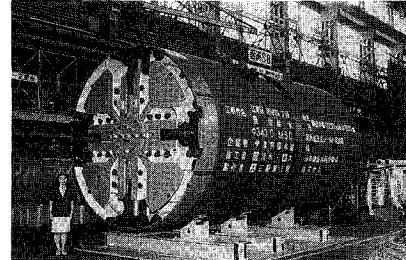


写真-3 7工区シールド機

② 中折れ機構

6工区、7工区とも急曲線施工部はC J G工法によって地盤改良を行っており、その中を中折れ機構を装備したMS Dシールド機で掘削した。中折れ機構を装備するにあたり、貫入リング、受圧ゴムリング並びにそれらの伸縮ジャッキがカッタ旋回電動モータ、シールドジャッキ、中折れジャッキと干渉することなくスペース内に納まるかについて工夫・検討した結果、押し出しジャッキは中折れジャッキを掘削後に転用することとして製作することができた。掘削結果はC J G改良体の中を、しかも急曲線で施工しても施工性も従来シールド機と変わることなく、MS D機構にも何ら影響を及ぼさないことが実証できた。

③ 外周リング

泥水式において貫入室、貫入リング室の前面をオーバーカッタ方式で掘削するタイプは、すでに実証実験(写真-2 市川実証実験機)を行っているが、今回は最外周にリングを有して一層の地山の安定、ビット植付けを可能とするタイプ(写真-3 7工区シールド機)を採用した。それに合わせて伸縮カッターとの結合部をピンカッターで切削する方式を実証した。

図-14にその手順を示す。

地盤条件、掘進距離などによって外周リングの有無が決定されるが、どちらのタイプでも地中接合が可能であることを実証した。

④ カッタースライド

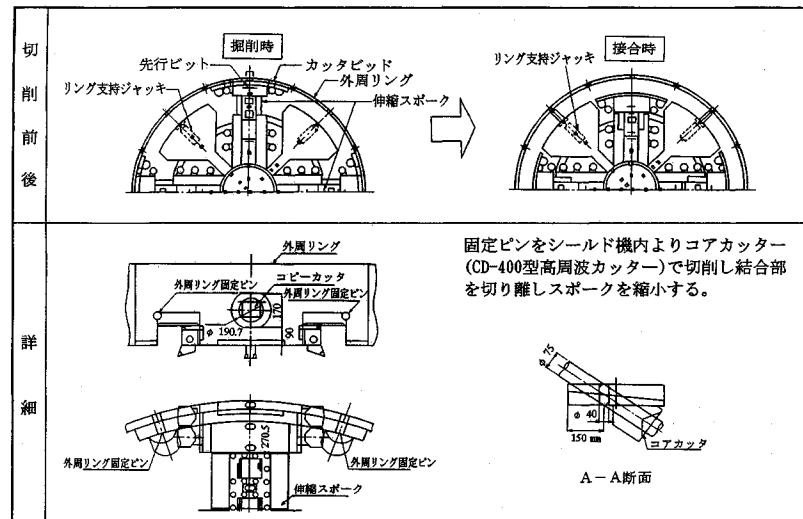


図-14 外周リング切削手順

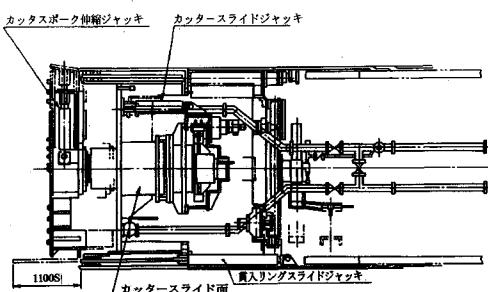


図-15 中央スライド方式

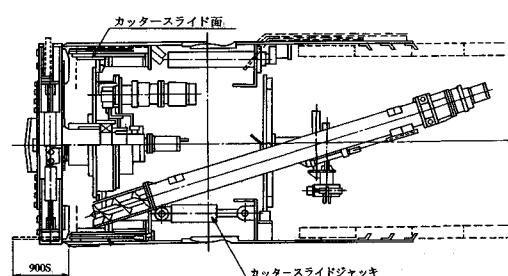


図-16 外周スライド方式

スキンプレート間の距離を近づけるため、カッターをスライドしてチャンバー内に取り込む機構（現場でカッター位置を動かすことなくシールド機本体を前進させて、その前進量に見合った量だけカッターを引き戻すシステム）を有しているが、そのスライド面を中心を持つタイプは、すでに実証実験（中央スライド方式図-15 市川実証実験機）を行っているが、今回は外周近くに設置したタイプを採用した。

即ち、土圧式で攪拌翼を有していたり、今回図-16（外周スライド方式）に示すようにスクリューコンベアの取付位置の点から中央スライドが困難な場合にはこのタイプが有効である。

以上の①、②、③、④の実績より、汎用性が高くシールド機の選定に制約を受けないことを実証した。

b) 接合時期

両シールド機の到達時期は、発進立坑等の用地確保、管理者、および他企業者との協議などにより発注時期が

異なり必ずしも同時期とはならない場合がある。

この到達時期調整には多大の労力を必要とし、また、施工時の条件変更等で到達に大きな差ができることも十分考慮しなければならない。

MS D工法を採用した本工事では、到達のずれは約10ヶ月であるが、何ら支障なく接合できた。このことは、MS D工法が接合時期にズレがあっても対応できる有効な工法であることを示している。即ち、先着しているシールド機側（受入側）はバルグヘッド、および接合用部材を残し全て解体して配管工事も完了している状況で貫入リングを受入れる手動のジャッキ操作のみを行った。

先着7工区側で行った長期間待期のための接合準備作業は次の2点である。

① チャンバー内充填

泥水式で掘削したシールド機チャンバー内を地山と同程度の粒状ベントナイトで泥水と置換して充填する。これにより待期中のシールド機の固定と地山

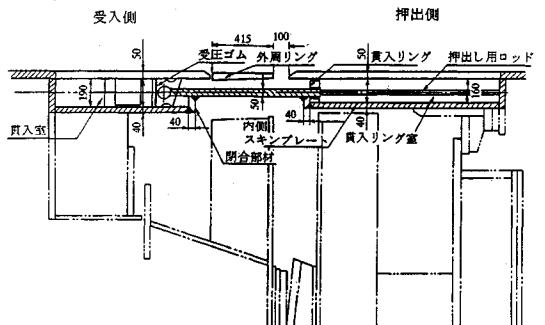


図-17 構造断面

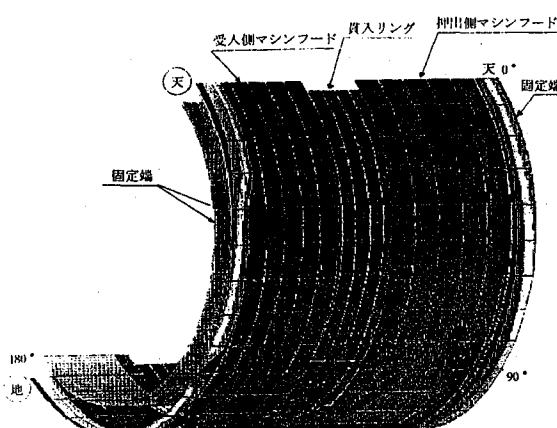


図-18 FEM 解析結果

変状を防止した。

② 地盤計測

シールド機周辺地盤の沈下、傾斜を計測した。

(3) 覆工

シールドトンネル接合部の覆工構造は、MSD工法独得の構造を検討した。

従来の接合部の覆工は図-12に示すように、シールド機間の地山露出部分を自立可能な不透水層になるように注入、凍結などで地盤改良し、シールド機のバルクヘッド解体後、手掘りで改良地山を掘削して鋼製の部材を用いて溶接等で仮の覆工を行う。更に分割セグメントを使用したり、鉄筋コンクリートで完全な一次覆工としている。この作業は限定された狭い空間で実施されるもので多大な時間を要するものである。

本工事においては、貫入リングを仮覆工とするだけでなく、シールド機の内側スキンプレートと閉合部材を溶接して完全な一次覆工とすることとした。そしてFEM解析で構造的な検討を行った。

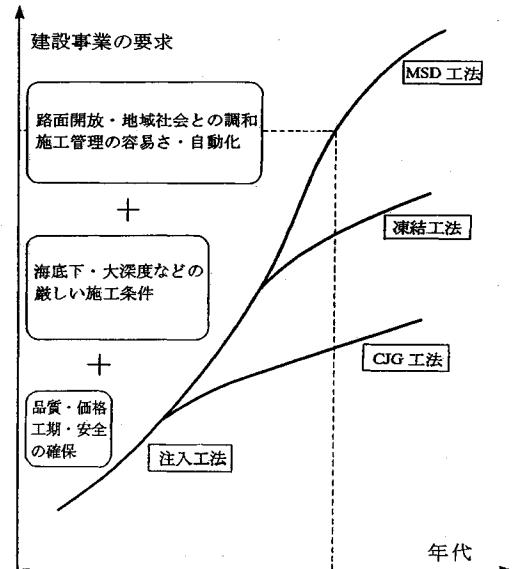


図-19 補助工法の時代的変遷

図-17は構造断面で図-18はその解析結果である。このことより最大発生応力は固定端付近で 19.5 MPaであり十分安全な値であった。

図-17に示す閉合部材の溶接は延べ 8 日で完了し、安全確実な覆工構造を安全な作業環境の中で短期間のうちに完成した。

(4) 地域社会との調和

建設工事は、公共性が高いとはいえる建設期間に多大な交通障害、騒音振動を発生させることは許されるものではない。

地中接合に伴う補助工法を地上から行う場合、道路の迂回切り廻し、占用による交通阻害は避けられない。

更に施工にあたって充分な配慮をしてもある程度の騒音、振動は避けられない。

また、地下埋設物を取扱う場合には埋設位置、深度が不明確であったり、埋設物が老朽化して取扱いが非常に危険であったり困難である場合も多く、移設、防護、復旧には多大な配慮が必要となる。

本地点のような施工環境では、従来からの課題である安全で確実な施工に加え、今後は周辺環境への配慮や地域社会との調和がますます求められるものと思われる。

地中接合工事を終え、地上からの作業を一切なくして路面を開放し、全ての作業を地中で行うMSD工法は地域社会との調和を図る点において有効なものであったと実感した。

5.まとめ

都市内シールドトンネル工事は、立坑の用地難、地下埋設物の幅輶化や住民関係の複雑化などにより路線選定はますます困難になっている。このような状況からシールドトンネルは長距離化、大深度化する傾向にあり、厳しい施工条件・環境条件の中での地中接合のニーズは一層高まっており、本工法による建設の実績の意義は大きく次のようない結論を得た。

- ① 接合部は貫入リングによる閉鎖空間となり、隔壁解体前に止水性を水圧計などの計器を用いて確認することが可能となり、安全性を大きく向上させることとなる。
- ② シールド形式は泥水式、泥土圧式のいずれの形式でも本工法は適用できる。
- ③ 急曲線対応の中折れ機構を装備してもMSD機構に何ら影響しない。
- ④ カッタの外周リングやカッタスライド機構の有無のいずれの形式でも可能であり、地盤条件、シールド機製作に制約を受けない。
- ⑤ 2台のシールド機の到達時期がズレでも何ら支障なく接合できる。
- ⑥ 地上の作業が全く無いため、住民に迷惑を及ぼすことが無く、地域社会との調和が図れる。

図-19に補助工法を含めた技術変遷を示しているが、MSD工法に更に工夫・改良が加えられ、水道施設建設のみならず広く採用され社会に役立つことを願うものである。

本工事を完成し今後の課題と考えられる項目は以下の2点である。

① 相互位置検出システム

相互のシールド機の位置を簡便に計測するシステムを地中を通じて検出、あるいは気中の測量精度を向上させる方法などで確立。

② 小口径への適用

需要の多いΦ2000mmクラスへの適用を考慮し、接合の全装備のうち止水構造、貫入室寸法などニーズに合った簡便な構造の開発。

最後に、本工事の実現に向けてご指導いただきました東京都水道局 多田純治技監、民間開発建設技術審査証明委員会の山本 稔 都立大名誉教授をはじめとする各委員、ならびに本工事の関係各位に深く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡辺俊雄・萩原英樹・西岳 茂・杉山雅彦：シールドトンネルの機械式直接地中接合工法における止水工法の開発、土木学会論文集、VI-19、PP.77～85、1993年6月。
- 2) 渡辺俊雄・宮沢和夫・大石善啓・杉山雅彦：機械式直接地中接合工法用のシールド機の開発、土木学会論文集、VI-18、PP.83～91、1993年3月。
- 3) 細矢正弘・原 昭人・渡辺俊雄・井手和雄：世界初のシールド同志の直接地中接合の実施工、トンネルと地下、第23巻6号、PP.41～50、1992年6月。
- 4) 本山智啓・千葉忠義・須貝静夫・武田邦夫・遠藤 勝：世界初のシールド同志の直接地中接合の施工について、トンネルと地下、第24巻1号、PP.25～32、1993年1月。
- 5) 本山智啓・萩原英樹・本山 進・西岳 茂：メカニカル・シールド・ドッキング工法の実施工、土木学会誌、第78巻2号、PP.13～15、1993年2月。
- 6) 吉田和夫・渡辺 純・名和芳久：地中ドッキングによる長距離シールド、トンネルと地下、第16巻11号、PP.15～22、1985年11月。
- 7) 富沢章夫・加藤周三・加藤哲治：大口径シールドの凍結地中接合トンネルと地下、第20巻9号、PP.7～14、1989年9月。
- 8) 山下 修・稻田澄夫・和佐野貞利・小林育男：大深度ケーソン立坑と高水圧海底シールド工事、土木学会論文集、VI-12、PP.135～144、1990年3月。
- 9) 赤井仁孝・堀田清美・山崎進弘：大深度シールドの地中接合トンネルと地下、第22巻9号、PP.25～30、1991年9月。

(1993.6.21 受付)

CONSTRUCTION OF WATER PIPES USING MECHANICAL SHIELD DOCKING METHOD

Tomoyoshi MOTOYAMA, Toshio WATANABE,
Kazuo IDE and Masaru ENDOH

The Waterworks Bureau of ToKyo Metropolitan government applied newly developed mechanical shield docking method for the construction of water pipes. This method allows shield docking works without any auxiliary works. The construction work completed successfully. This paper outlines the process of adopting of the above new docking method and the construction work which represents such kind of construction for the first time in the world, with some views.