

シールド工事における覆工技術の変遷

東京都立大学 今田 徹
Toru Imada

1. はじめに

シールド工法はシールドと呼ばれる地山の崩壊を防止するための枠を切羽を押さえながらジャッキで地中に押し込み、進んだ分だけ、枠の保護の下で覆工を施行し、この操作を繰り返してトンネルを完成させる工法である。従って、覆工に使用される材料はジャッキの反力と枠から抜け出したときに上圧をすぐに受けることになり、即時に強度を必要とするというのが特徴である。このため、初めから強度のある材料を組み立てて覆工を構築する方式がとられた。1843年竣工した最初のシールドである Brunel の Thames トンネルでは煉瓦が使われた。1869年に完成した Tower Subway トンネルは Greathead によってシールド工法の原型が形作られたトンネルであるが、このトンネルでは覆工に鑄鉄が使用された。円形を3分割したセグメントと短いキーセグメントがフランジボルト継手で用いられている。鑄鉄製セグメントを用いたことによって信頼性と止水性が向上した。その後、コンクリートセグメントの開発が試みられ一部で使用されたが、1950年代まで殆どのシールドトンネルで鑄鉄製のセグメントが使用された。種々のセグメントあるいはセグメントを用いない覆工が使用されるようになったのはそれ以降のことである。ここでは主に鑄鉄、鋼、コンクリートあるいはその組み合わせなど多様な材料と構造が用いられるようになった近年のセグメント発展について述べることにする。

2. セグメントの種類

セグメントには強度、水密性、施工性、耐久性などと共に経済性が要求される。これはシールドトンネルにおいて工事費に占める覆工の費用の割合が大きく、また延長が長い場合セグメントの費用の僅かな差が全体工事費では大きな金額になるためである。従って、必要な性能を満たした上で出来るだけ廉価なものを模索するという線上で検討がなされてきていると考えることができる。勿論、性能を改善するという努力がなされてきたが、シールド工法の黎明期の Greathead の時から鑄鉄製のセグメントが用いられ、優れた特性を発揮したことから、ある意味では高価な鑄鉄製のセグメントを代替えるものとしてどのようなセグメントが成立するかというような検討がなされてきているという見方もできる。一般に利用できる構造材料としては鋼、コンクリートがあるが、セグメントの場合も鋼、コンクリートをどのようにセグメントに利用するかが開発の流れであった。従って、セグメントは利用材料でまず鑄鉄製セグメント、鋼製セグメント、コンクリート(鉄筋コンクリート)セグメントおよびそれぞれの材料の特性を組み合わせ合わせた合成構造のセグメントに分けることができる。一般的ではないが湧水のない地山では形鋼と木材を組み合わせたリブアンドラッキングが使用されることもある。

セグメントは周辺が地山に接している構造物であるから、セグメントと地山との相互作用をどのように評価するかによって構造形式は異なってくる。地山との力のやりとりを積極的に評価すれば変形し易い多ヒンジ系のセグメントが有利であり、地山との相互作用を評価せず構造体としての覆工に土圧が作

用すると考える場合は上圧に対抗するために高い強度と剛性がセグメントに要求されることになる。どのように考えるかは地山条件によって異なり、わが国のように軟弱な地山において施工される場合は、前者の考え方、すなわちセグメントに可撓性を積極的に取り入れた事例はほとんどないと考えて良く、セグメントの継手における剛性を確保するセグメント形式が主流になっている。また、セグメントを組み立てて、リングとする場合、最終のセグメントを挿入するためには、その幾何学的な形状から、キーセグメントと呼ばれる特別のセグメントを用いる必要がある。一般には、ハの字形をした短いセグメントが半径方向から挿入されるが、最近では切羽側からトンネル軸方向に挿入する形式のものも多く使われるようになってきている。

シールドの覆工技術は材料と設計の考え方、合理化およびシールド機の進歩、施行方法とともに発展してきている。ここでは、セグメントの材料ごとにその変遷を見ていくことにする。

なお、シールドでは裏込めが覆工を安定させ、地表沈下を押さえるための重要な覆工構造の要素であるがここでは割愛する。

3. 鋳鉄セグメント

鋳鉄セグメントはシールド覆工として信頼性が高いセグメントとして初期の頃から使われてきた。わが国の最初のシールドは鉄道省によって羽越線折渡トンネルで使用されたが、本格的にシールドが用いられたのは1938年に関門鉄道トンネル海底部の門司方不良地盤部、下り線726m、上り線405mの部分である。シールド径は7mである。このシールドではねずみ鋳鉄製のセグメントが用いられている。関門トンネルのセグメントはセグメント幅750mm、桁高280mmであった。当時の諸外国で一般に使用されていた形式と同じものと考えることができる。鋳鉄製セグメントの止水はシールド溝を設け、鉛をコーキングすることによって行われた。関門鉄道トンネルは戦時中の困難を乗り越え終戦の前年の1944年に完成したが、その後は終戦の混乱でトンネル工事は停滞し、本格的なシールド工事が行われるようになるには1960年代まで待たなければならなかった。この間ルーフシールドが関門国道トンネルなどにおいて使用されたがセグメントは用いられずブッシュロッドによってジャッキ反力を取る場所打ちコンクリー

トが用いられた。

鋳鉄製セグメントの使用は1965年に営団地下鉄5号線本場駅、大阪地下鉄4号線法門坂のシールドから再開される。これらで用いられた鋳鉄製セグメントはねずみ鋳鉄ではなくダクタイル鋳鉄セグメントである。ねずみ鋳鉄は圧縮には強いが、伸びがほとんどなく脆い材料であった。しかし、1948年に殆ど時を同じくしてアメリカと英国で、鑄放しで球状黒鉛を析出させ強靱で伸びのあるダクタイル鋳鉄が発明された。ダクタイル鋳鉄は伸びは若干小さいものの鋼と同程度の強度を有し、従来のねずみねずみ鋳鉄に比べて著しく特性が改善された。鋳鉄製セグメントは以後ダクタイルセグメントの名称で一般的に呼ばれるようになった。

ダクタイルセグメントの特徴は、良好な鑄造性によって、薄肉構造で断面形状、肉厚を任意に変化させることができ、条件に応じた最も合理的な高強度の構造とすることができることである。ボルトによる接合が容易で、継手効率がよいものを作ることができる。また、高い精度での製作が可能であり、軽量で施工性が良く、水密性にも優れている。シールド用セグメントとしては理想的なものといえる。しかし、高価であるため高強度を要する橋台、ビル等の構造物の下、急曲線部、近接構造部、河川下など特別の信頼性を要する部分、駅部、換気口取り付け部など特殊な構造になる部分に使用が偏るなど一般性に欠ける面がある。このため、コストダウンの努力が進められた。

標準的なダクタイルセグメントの形状は2主桁構造であるが、製造時にフランジがあるために脱型に制約を受け、製造工数が多かったが、3主桁とすることによってフランジをなくすことなどが行われた。重量は増加するが経済性は向上した。この方式のセグメントは1975年名港導水路海底トンネルで用いられている。

3主桁方式はダクタイルセグメントの特徴である断面内での合理的な材料配分という点で問題を残している。このため、大幅な工数低減による量産方式と力学的な合理性を有するセグメントとしてコルゲート型セグメントが開発された。すなわち、このセグメントではコルゲート構造にすることによって、スキンプレートでセグメント内外面に振り分けることにより、中立軸を桁中央部に持っていき、全断面が曲げに対して有効に働く構造としてある。また、

背面部にはコンクリートを充填し、断面を有効に利用することによって圧縮に強い構造ともしている。このセグメントは1986年に札幌市の地下鉄使用され、以後コルゲートセグメントがダクタイルセグメントの主流となる。また、セグメントの製造にあたってはVプロセス（減圧造形）と呼ばれるフィルムと真空を利用した造形製造方式が用いられ、製造技術面でも大幅な合理化が行われた。

ダクタイルセグメントではボルト接合が容易なことから、ボルト継ぎ手が一般的であるが、ボルトによる継ぎ手は作業時間が掛かるのは避けられない。このため最近の施工の高速化に対応するため、コッター形式の継ぎ手も開発され、用いられるようになっていく。

4. スチールセグメント

スチールセグメントは圧延形鋼、銅鋳を組み合わせ溶接によって組みあがる形式である。構造形式は鑄鉄セグメントと変わらず、経済性を求めて使用されるのが普通である。また、切断、溶接が容易なことから分岐部などセグメントに後から切断や加工をしなければならない部分などに用いられる。軽量で組み立てや運搬が容易であるなどの特長はあるが、止水溝を設けるなどの点では難があると共に、耐食性が問題になることがあり、二次覆工等の対策が必要である。スチールセグメントの経済性は比較的小口径の部分にあり、下水道や洞道などのセグメントとして用いられることが多い。スチールセグメント単体としては技術的な発展は限られてきたというのが実情である。

しかし、最近になって大断面のトンネルや矩形シールドなど特に強度を必要とするトンネル、あるいは、MMSTなど特殊なトンネルでは、鋼の持つ構造材としての優れた特性と加工性などの取り扱いやすさなどから、合成セグメントや特殊セグメントとして用いられ、その用途が広がろうとしている。スチールセグメントは種々の要求に迅速に応えられるセグメントとして存在して行くものと思われる。

5. コンクリートセグメント

コンクリートセグメントは覆工材料としての経済性を求める過程の中で発展してきた。1893年にメルボルンでコンクリートセグメントが使用されとの記録があり、また1898年、オルリアンズ鉄道のバリ市

中乗り入れの際のルーフシールドでコンクリートブロックを練積みした覆工が用いられている。コンクリートセグメントは、トンネル工法としてシールドが使われるようになった比較的早い段階から、一部で使われるようになったものと考えられる。

わが国でも1943年に関門鉄道トンネルで戦時中の材料逼迫の中で鑄鉄セグメントに変わるものとして鉄筋コンクリートセグメントが使用されている。わが国のシールド工事が本格化するのは1960年代からであるがそこで用いられるセグメントは小径のトンネルを除けば鉄筋コンクリートセグメントが主体であった。

鉄筋コンクリートセグメントは圧縮力が主体となるトンネル覆工として適切であると共に、他の材料に比べて経済性に優れている。また、種々の設計条件にも容易に対応が可能で、種々の構造、形状のものを作ることができる。しかし、一方では一般に重量が大きくなり、また取り扱いによってはワレ、カケなどが生じやすく施工性に劣る。構造的には継手が作りやすく、セグメント間の力を適切に伝えるため、千鳥組による添接効果を含めて、継手構造には工夫が必要であり、継手の型式によって多様なものがある。

鉄筋コンクリートセグメントの基本的な形状は中子形あるいは箱形と呼ばれる鑄鉄製セグメントと同じように主桁とリブを設ける形状のものと平板形と呼ばれる中子を設けない単純な型式のものがある。中子形は直接端部リブあるいは桁にボルト孔を設けボルトで接合することが可能であるが、平板型ではボルトボックス等による継手を設けて、接合しなければならない。継手の形式としては継手版+短ボルトが多く使用されるが、長ボルト式、インサート式など多様な形式のものがありセグメントを特徴付けるものとなっている。鉄筋コンクリートセグメントは継手に対する種々の工夫はあったものの合成構造とすることの検討を除けば1990年代になるまで余り変化は見られなかった。

鉄筋コンクリートセグメントの止水構造はシールド溝を設けてシールド材を貼付するものが一般的である。1980年代から水膨張シールドが開発され止水性能が著しく改善され、鉄筋コンクリートセグメントの覆工としての信頼性を高めている。

1989年に着工した東京湾横断道路のシールドトンネルでは、平板型のコンクリートセグメントが用い

られたが、大断面化、高水圧化によってセグメントは大型化し、セグメントの自動組み立てが全面的に採用された。自動組み立てでは組み立て時間を小さくすることが重要であり、また経済性の点からも、継手を少なくすることが必要で、キーセグメントを含めて11等分割とするとともにセグメント幅は1.5mのものが用いたれた。高水圧対策としてはキーセグメントを切羽側からの軸方向挿入方式とし、セグメントをより難透水性のものとするため高炉スラグ微粉末が混和材として用いられた。また、2次覆工が施工されているが止水性をより確保するため、セグメントと2次覆工との間に防水シートが施工されている。

1990年代になるとコンクリートセグメントを含めてセグメントの検討が盛んになる。これは、シールド技術としての切羽安定技術が確立し、技術的な関心が切羽後方に向いてきたと考えることもできるが、主として大断面シールドでシールド機械の高度化が進み、組み立ての自動化・省力化、高速施工が技術開発の目標として一般化し、これによりシールド工事の合理化をさらに進め、コスト縮減に対する強い要請等に応える必要が強くなったためと考えることができよう。また、都市化に伴う地下河川の建設という新しいニーズから、圧力トンネルに対するシールドトンネルの適用などによって内圧に耐えるセグメント等新しい機能が必要とされるようになったためである。

自動化のためにはそれに適したセグメント形式、継手を必要とするし、高速施工のためには連続的にシールドを動かしながらセグメントを組み立てていくことが考えられ、それに適合したセグメントを必要とする。従来のセグメントでは掘進をを停止して、ジャッキを盛り変えながらセグメントを組み立て、ボルトを締め付けなければならないなど高速施工には適していない。ハネカム、コネックス、DNA、ウイング等のセグメントは開発目標の1つとして掘進・組立同時施工が含まれている。最近のセグメントの開発では必ずしもセグメントの形状は矩形ではなく、六角形や凹凸を持った形状など特殊な形状のものも開発されている。

品質の向上とコストの縮減は、すべての工事において普遍的な命題であるが、近年の社会、経済情勢はコスト縮減を強く要請している。シールドの覆工では1次覆工と場所打ちコンクリートによる2次覆

工を施工することが広く行われてきた。しかし、セグメントの製作精度の向上、継手の改良、ロボット化等による組立精度の改善、水膨張シールの採用によって止水性が向上し、2次覆工を省略する条件が整うようになってきている。2次覆工を省くことはトンネル断面の縮小につながり、コスト縮減に有利である。このため、最近では2次覆工を省くことが多くなり、このためのセグメントの開発が進められ、コンクリートセグメントの多くは内面が平滑なものが主流となっている。継手は内面にボルトボックスを必要としないコッター方式のものが開発されている。

セグメントの製作では固練りのコンクリートを振動パイプレータで締固める方式が一般的であるが、高流動コンクリートを用いる方法などが行われるようになってきている。

6. 合成セグメント

セグメント限らず、2種類以上の材料を用いて、それぞれの材料の特性を生かして、優れた特性のものを作ることは広く行われることであり、セグメントにおいても同様である。セグメントでは、コンクリートと銅、コンクリートとダクタイル鋳鉄の組み合わせが用いられている。1960年代の後半にはコンポジットセグメントと呼ばれる内面および側面に銅板を配置し、外面は鉄筋コンクリートとするセグメントが広く用いたれた。また、同時期にTYセグメントと呼ばれる平鋼を用いた梁を主桁とする合成セグメントも用いられた。これらのセグメントは鉄筋コンクリートセグメントの性能の向上とともに次第に用いられることが少なくなった。しかし、近年シールドの大断面化や矩形シールドのような特殊シールドが使用されるようになり、今までにない高耐力のセグメントを必要とすることになったことやセグメントの薄型化に対する要請などから、再び、合成構造のセグメントが注目されるようになってきている。内外面、側面に銅板を配置したサンドイッチ型合成セグメントやDRCセグメントと呼ばれるダクタイルセグメントと鉄筋コンクリートを組み合わせたものなどが開発されている。

7. 場所打ちコンクリートによる覆工

場所打ちコンクリートをシールドの1次覆工に用いようとする試みは、1890年代にフランスで試みら

れたという記録があり、早くから試みられている。わが国でも関門国道トンネルのルーフシールドでブッシュロッド方式の場所打ちコンクリート覆工が用いられている。シールドであるからジャッキ推力を何らかの方法で取る必要があり、場所打ちコンクリートの場合は特別の工夫が必要である。ブッシュロッドはその1つであり、他に型枠で受ける方法、直接コンクリートで受ける方法がある。シールドのテール内で型枠を組立て、シールドテールと型枠の間にコンクリートを打設し、シールドジャッキで推進にともなって生じるテールボイドにジャッキ推力を利用してコンクリートを圧入する方法は、ECL (extruded concrete lining) 工法と呼ばれている。この工法はドイツ、フランス等で1910年代に考案されていたが、実用化されたのは近年のことである。わが国では1980年代から研究が盛んにおこなわれるようになった。この工法では裏込め注入を必要とせず、しかもシールドの推進に伴って遅滞なくテールボイドがコンクリートによって充填されていくため、地山をゆるめることが少なく、またコンクリートは加圧されるため密実なコンクリートとすることができる。無筋コンクリートではあるが信濃川発電所導水路トンネルで使用されている。鉄筋コンクリートのECL工法は東電野沢4丁目付近管路新設工事、千駄木1丁目付近枝線工事等で採用されている。また、岡南共同工事ではスチールファイバーコンクリートを用いて工事が行われている。ECL工法はシールドの覆工工法として優れた特性を持っているが、発展途上にある工法であるといえるであろう。

8. おわりに

シールドトンネルの覆工工法の変遷を見ると、シールドの開発の当初から、鋳鉄製セグメントという優れた覆工形式があり、これに替わる経済的な覆工をいかにして造っていくかということを中心に多様な技術開発が行われてきたように思われる。ここで詳細を述べることは当然不可能である。近年になるとシールド機械の技術が発展し、大断面化、大深度化、高速化、用途の拡大、自動化さらには異形断面など特殊なシールドが開発、使用されるようになり、それに適合したセグメントの開発が重要な課題となり、それに応じたセグメントの開発が行われてきた。今後も、多様な技術が開発され、試みられていくものと考えられるが、シールドトンネルは長期

に亘って使われるものであり、耐久性には十分な配慮が必要である。シールドの開発から200年になろうとしているが、過去の経験を積極的に生かすことが望まれる。

【筆者紹介】

今田 徹

東京都立大学 名誉教授

国土上技術研究センター 顧問
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-12-1
ニッセイ虎ノ門ビル

TEL : 03-4519-5000 FAX : 03-4519-5010

社建設機械化協会 施工技術総合研究所 顧問
〒417-0801 静岡県富士市大淵3154
TEL : 0545-35-0212 FAX : 0545-35-3719

大深度大口径内水圧対応型 セグメントについて

＝首都圏外郭放水路でのセグメントの使用例について＝

国土交通省 荒木 茂
Shigeru Araki

1. はじめに

中川は、埼玉県羽生市を水源とし、綾瀬川・元荒川などの多くの支川を集めながら、埼玉県東部を流下し東京都江戸川区で東京湾に注ぐ、流路延長約81km、流域面積約1,000km²の一級河川です。

流域は荒川、利根川、江戸川といった大河川に囲まれた、お皿のような低平な地形を有し、河川勾配も1/4,000程度と非常に緩やかなため、水が流れにくく、かつ首都圏のベッドタウンとして市街化が急速に拡大したため、保水能力が低下し毎年のように浸水被害が生じています。

首都圏外郭放水路は、従来から進めている河道の拡幅、築堤などの河川改修による治水方式に加え、中流部から各河川の洪水を地下放水路に取り込み、これを江戸川へ排水することによって、中川流域の浸水被害を大幅に軽減することを目的とした治水施設です。工事は平成5年より着手され、平成18年度全体完成を目指して鋭意進められています。

また、すでに完成している江戸川～第3立坑までの一部区間（約3.3km）については平成14年6月から試験通水を実施しています。

2. 首都圏外郭放水路事業の概要

首都圏外郭放水路は、埼玉県春日部市～同庄和町にかけての一般国道16号線の地下約50mに、内径10.6m、延長約6.3kmの地下トンネルを建設し、途中大落古利根川より85m³/s、倉松川100m³/s、中川25m³/s等各河川からの洪水を取り込み、最後に江戸川へ最大200m³/s（50m³/s×ポンプ4台）排水するものです。

施設は大きく分けて、各河川からの洪水を取り入れる流入施設（5ヶ所）、シールドマシンの発進到達・洪水のトンネルへの流入および維持管理に必要な立坑（5ヶ所）、地下トンネルおよび排水施設（調圧水槽・排水機場・排水樋管）で構成されています（第1図参照）。

地下トンネル部分は9等分割のセグメントを用いたシールドトンネルとなっており、一次覆工のみで内外水圧に耐える構造としています。本稿では首都圏外郭放水路トンネルの基本的な考え方および使用したセグメントについて紹介します。

3. 外郭放水路の覆工構造

首都圏外郭放水路の地下トンネル部分はシールドトンネルにより構成されていて、トンネル内径は10.6mの円管のトンネルとなっています。

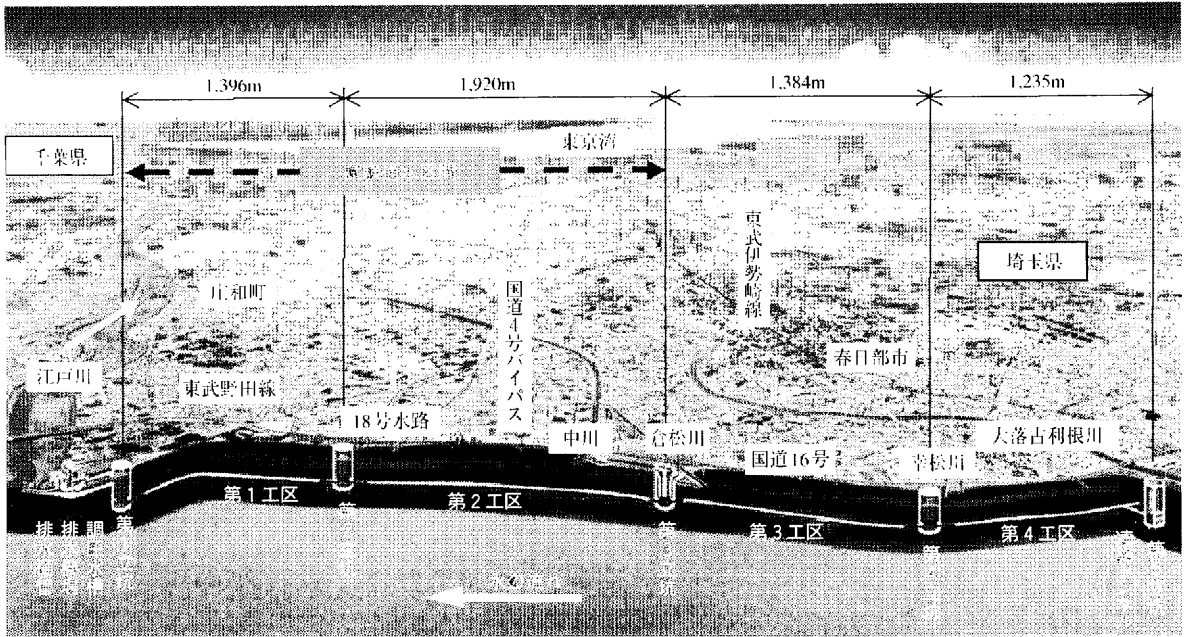
トンネル深度は、

- ① シールド工事に伴う地表面への影響を極力小さくするため、安定した地盤である洪積層を通過させる。
- ② 地震時の影響、今後の地表面の土地利用等を考慮した深さ、地盤の設定を行う。

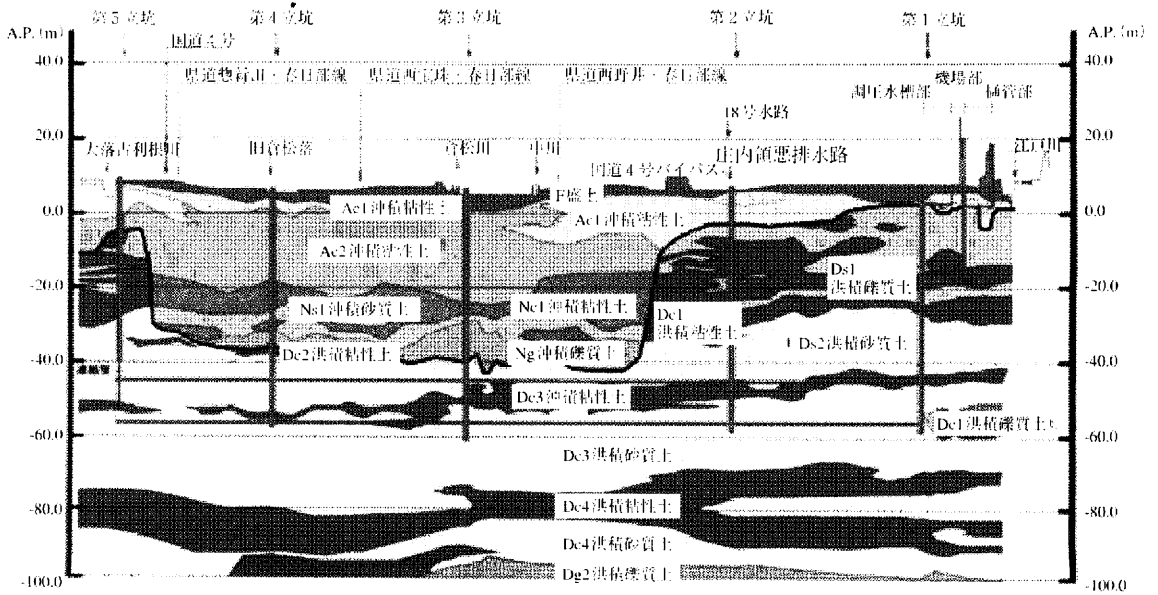
より地下約50mの位置に施工されています（第2図参照）。

このような地下トンネルではトンネル内に内水圧が作用します。今までの内水圧を受ける地下河川トンネルの場合は、外圧に対しては1次覆工であるセグメントで、また内圧に対しては2次覆工（鉄筋コンクリート等）で対応する設計とされています。

首都圏外郭放水路では各覆工に次のような荷重（圧力）を考えています。



第1図 首都圏外郭放水路全体イメージ図



第2図 地質縦断面図

1次覆工には、

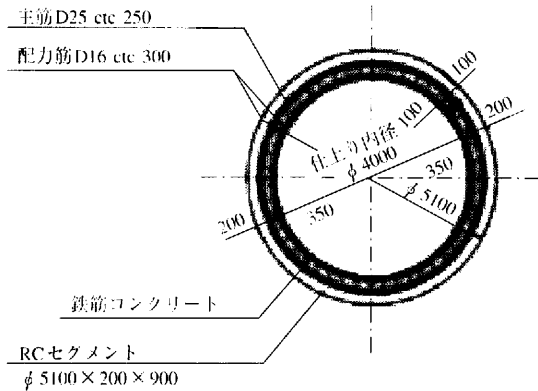
- ① 1次覆工の外側から作用する鉛直土圧および水平土圧。
- ② 1次覆工の外側から作用する水圧。
- ③ 1次覆工を構成しているセグメントの自重。

④ 上載荷重。

⑤ 2次覆工からの漏水圧。

2次覆工には、

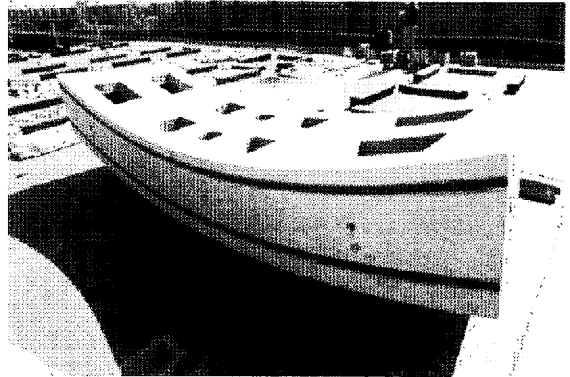
- ① 2次覆工の自重。
- ② 2次覆工の内面に作用する水圧。



第3図 内水圧が作用するトンネルの例

するものとする。

- ② トンネル内面に洪水流が流れることによるセグメントの摩耗に対し、セグメントの内面に摩耗代として1.5cmを確保する。
- ③ 漏水を防ぐためのシール材をセグメントの内側と外側に2ヶ所に設置する（第4図、セグメントの黒い箇所がシール材の位置となっています）。



第4図 2重シールセグメント

- ③ 2次覆工の漏水が1次覆工と2次覆工の間に回り込むことによる、2次覆工への外水圧。
 - ④ 1次覆工の漏水による外水圧。
- が作用します。

首都圏外郭放水路ではコスト削減の観点および近年のトンネル技術の進歩から、2次覆工を省略し、1次覆工のみで全ての荷重に対応する構造とする設計を行っています。内水圧についてはトンネルの使用条件や内水位の変動に対して安全となるよう、平常時内水圧および異常時内水圧の2種類の内水圧を考慮した設計を行っています。荷重条件の組み合わせについては第1表のような組み合わせで設計を行っています。

構造の特色は以下のようになっています。

- ① トンネル内面は洪水流の流れに支障がないよう内面平滑としている。このためボルトボックス、把持穴を充填することにより、内面平滑のトンネルとする。なお、ボルトボックスについては漏水等が懸念されるため防水性を確保する構造とするとともに、ボルト等の防蝕にも対応

特に第1上区トンネルおよび第4工区トンネルでは通常用いられているボルトを使わず、くさびの原理を用いたコッター継手やASジョイントを用いてセグメントの締結を行っています。

これらの締結方法の特色として、ボルトを用いずセグメントの内面で締結が行えることから、ボルトボックスが不要となっています。このため、漏水の危険のあるボルトボックスがなく、従来であれば施工労力の必要となるボルトボックスの充填作業を省略することができました。

第1表 荷重の組み合わせ

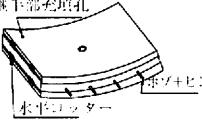
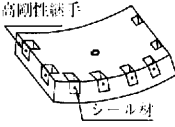
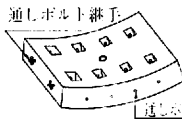





荷重ケース	管内の状態	上圧		地下水圧		内水圧		自重	地盤反力	許容応力度の増し
		大	小	高	低	平常	異常			
1	空水の状態	○		○				○	○	1.0
2	空水の状態	○			○			○	○	1.0
3	平常時内水位	○		○	○	○		○	○	1.0
4	平常時内水位		○		○	○		○	○	1.0
5	異常時内水位	○		○		○		○	○	1.5
6	異常時内水位		○		○		○	○	○	1.5

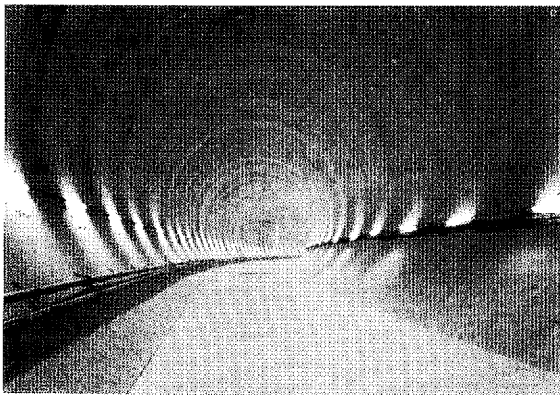
外郭放水路では基本的な仕様を満足した様々なタイプのセグメントを用いています（第2表参照）。

4. おわりに

外郭放水路では平成14年6月より試験通水を実施しています。10月末現在で6度の洪水調節を実施しており、その

第2表 首都圏外郭放水路で用いているセグメントの種類

施工箇所	第1工区トンネル		第2工区トンネル		第3工区トンネル		第4工区トンネル	
セグメントの種類	RCセグメント(水平コッター) RC: Reinforced Concreteの略		RCセグメント(高剛性継手)		RCセグメント (長ボルト継手)		DRCセグメント DRC: Ductile and Reinforced Concreteの略	
セグメントの概要	 継手部が埋孔 水平コッター		 高剛性継手 シール材		 通しボルト継手			
	ピース間継手 水平コッター式 水平コッター・シール材		リング間継手 ボックス型リッパ付埋孔 高剛性継手・シール材		ピース間継手 インサートノボルト継手 通しボルト継手・シール材		ピース間継手 リング間継手 ASジョイント アンカージョイント	
セグメント写真								
規格	幅1.2m、桁高0.6m、重量7t/P		幅1.2m、桁高0.65m、重量8t/P		幅1.2m、桁高0.6m、重量7.4t/P		幅1.2m、桁高0.465m、重量7t/P	
特徴	ボルト締結作業やボルトボックスの穴埋めの内面仕上げが不要であるので、施工の自動化、省力化に適している。また、組立と同時に締結力が得られ、くさびの原理にゆがみが発生しないためボルトの増締めが不要である。		強度的に他の材質に劣るため、曲げモーメントが卓越する条件では、厚くなる。継手剛性が高く経済的であり広く用いられている。内面にボルトボックスがあるため、継手防食および内面粗度係数の低減のために、ボルトボックス穴埋めが必要である。		強度的に他の材質に劣るため、曲げモーメントが卓越する条件では、厚くなる。継手剛性が高く経済的であり広く用いられている。内面にボルトボックスがあるため、継手防食および内面粗度係数の低減のために、ボルトボックス穴埋めが必要である。東京湾横断道路トンネルでも採用しているセグメントである。		ダクタイルセグメントと充填コンクリートの合成セグメントのため、高強度・高剛性を確保できる。また、一体製造のダクタイルセグメントで面が覆われているため高い水密性を確保できる。継手は、ボルトレスのため1パス組立が可能であり、締結後のモルタル等の充填は一切不要である。	



第5図 1工区トンネル

うちトンネルが満管となった洪水が5回ありました。これは、トンネル自体に約50mの内水圧が作用したこととなります。

先にも述べているように、首都圏外郭放水路では様々な新技術を取り入れ施工を行ってきました。この技術の検証を行うため流入後のトンネル内の点検を実施しています。

また、トンネルに内水圧が作用していることから、セグメントを締結しているボルト、コッター等の応力解析、セグメントの鉄筋の応力解析を行うとともに、トンネルの安全性を検証していくこととしています。

(筆者紹介はp.005掲載)

拡径シールドによる地下駅の建設

＝伸縮スポーク方式によるシールドの挿入式拡径と異径の地中接合＝

日本鉄道建設公団 小林 素一
Motokazu Kobayashi
深沢 成年
Naritoshi Fukazawa
高久 寿夫
Hisao Takaku

1. はじめに

りんかい線（臨海副都心線）は、新木場駅を起点として東京臨海副都心を経て大崎駅に至る延長約12kmの鉄道新線で、平成14年12月1日全線開業し、大崎駅でJR埼京線と相互直通運転が開始された（第1図）。これにより埼玉・池袋・新宿・渋谷方面と臨海副都心が直結されるなど、新たな鉄道ネットワークが形成されるものである。今回完成した区間は大崎付近を除き全線地下である。

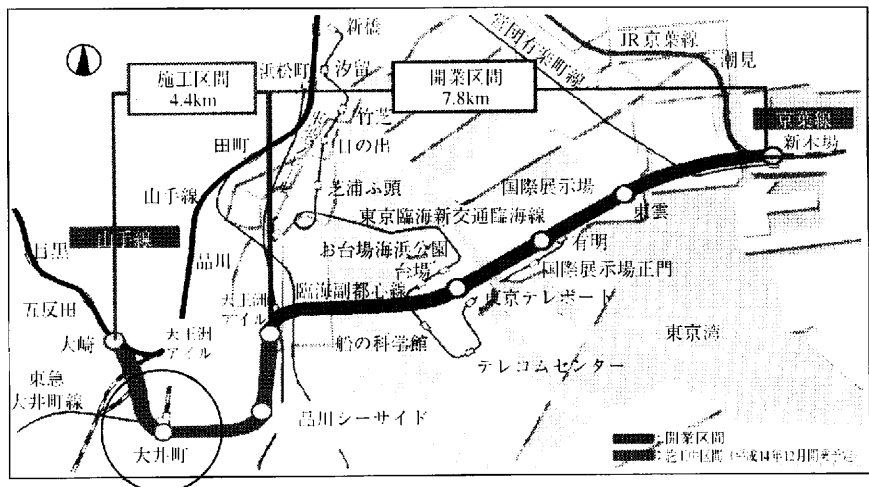
本稿は、りんかい線大井町駅建設で新たに開発した、伸縮スポーク方式を用いたシールドの挿入式拡径および径の異なる地中接合について紹介するものである。

2. 大井町駅付近の状況と施工概要

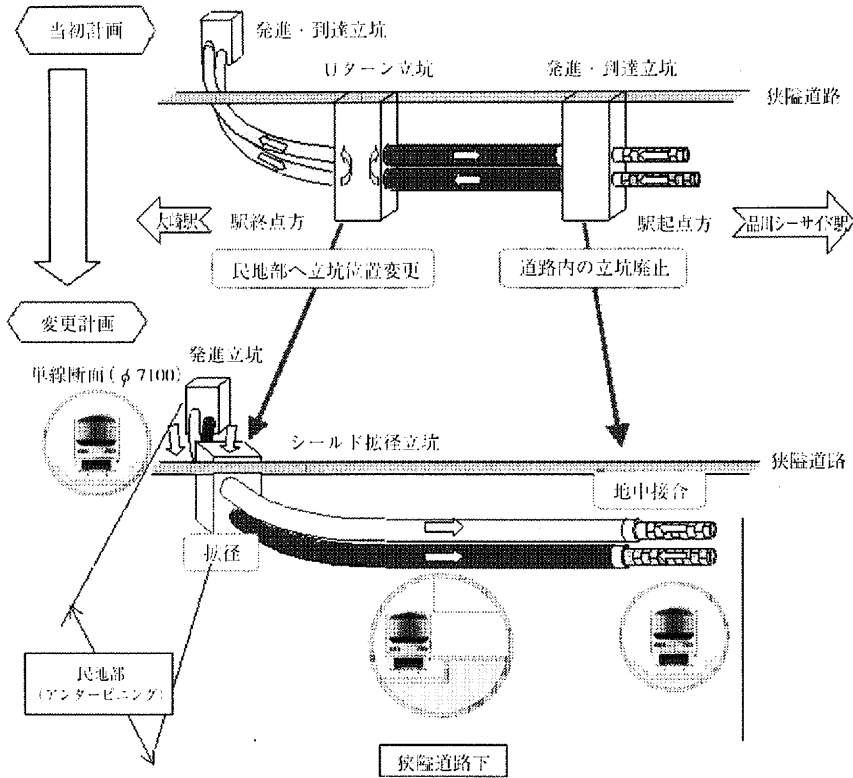
大井町駅周辺は本線直上道路が幅員15mと狭く非常に混雑、輻輳している。また、ルートに隣接して東急大井町線があり、JR東海道本線もルートと交差している。当事業の当初計画では駅両端に立坑を設置し、立坑間に上下2段の複線断面シールドトンネルを掘削してホームはシールドトンネル内に設置することが考え

られていた。しかしながら、現地の交通規制事情や工事基地としての用地確保を考えると工期的（工事着手後開業まで約6年）に不可能であることが想定された。そのため、最大限に工期短縮が可能な方法として次のような工法を考えた（第2図参照）。

まず、起点方隣接の品川シーサイド駅から掘進してきた径7.2mの単線断面シールド（東大井シールド）と上下並列で地中接合させ、到達立坑を廃止することとした。地中接合の方式は地盤改良等の補助工法を必要とせず、地上からの作業がない機械式接合で行うこととした。一方、大崎側隣接区間は、高層住宅等をアンダーピニングにて受け替えシールドで通過するが、新設杭間隔を駅部断面シールドが通過できるように広げることは困難であり、シールド径は単線断面の7.2mである。シールドトンネルの断面



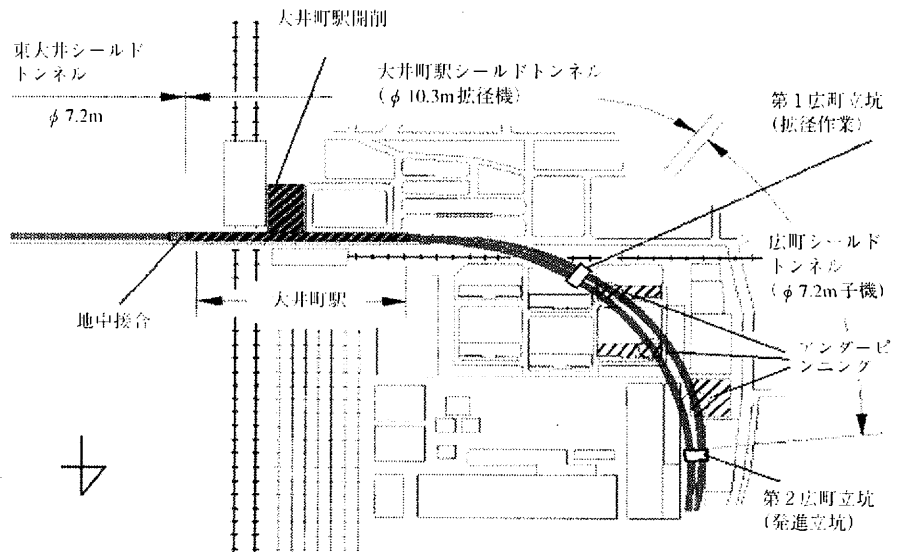
第1図 りんかい線位置図



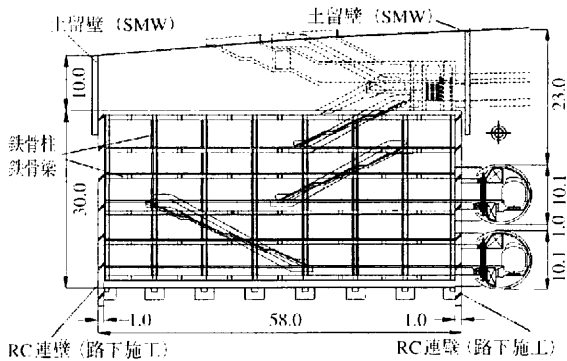
第2図 大井町駅の当初計画と実際

が変化する立坑（第1広町立坑）を民地部に設置できることとなったが、アンピン部を通過するシールドトンネル延長はわずか230mである。駅部シールドとアンピン部を通過するシールドを掘削径ごとに製作した場合、相当割高なトンネルとなる。そこで、アンピン部を通過する径7.2mの2本のシールド（子機）を第1広町立坑において、それぞれ10.3mに径を拡大（「拡径」）して、大井町駅部を掘削することとした（第3図参照）。拡径したシールドは径の異なる地中接合を行うため、拡径時の面板接合に伸縮スポーク方式を開発・採用した。

駅設備のうち改札等の駅施設を収容するスペースは本線上の道路に接する既設の駅前広場に開削で構築し、さらにシールドと開削は双方構築完了後にホ



第3図 大井町駅周辺平面略図

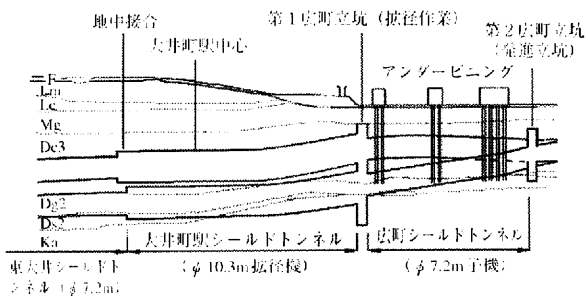


第4図 大井町駅断面図

ーム中央部分で連結することとした(第4図参照)。また、換気口や避難階段は道路に面する位置に開削にて構築し、ホーム両端部でそれぞれシールドと接続することとした。

これらにより、当初工程的に困難とされた道路内の駅両端立坑(発進・到達立坑)設置をとりやめ、大幅な工程短縮、コスト縮減とともに道路交通への影響を最小限に抑えることも可能となった。

大井町駅付近におけるシールド掘削対象地山は、上段シールドが洪積世の東京粘土層、下段シールドが0.3Mpa近い被圧水を有する東京礫層・江戸川砂層である。大井町駅付近の地質縦断面図を第5図に示す。



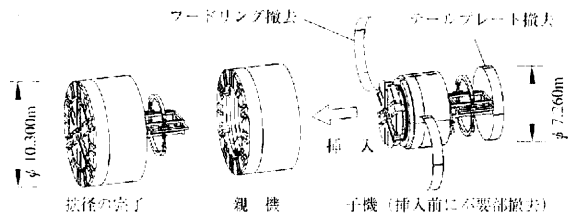
地質年代	地層名	記号
洪積世	盛土・埋土・表土層	F
	立川・武蔵野ローム層	Lm
	ローム層・粘性土層	Lc
	武蔵礫層	Mg
	東京層・粘性土層	De3
	東京礫層	Dg2
鮮新世	江戸川層・砂質土層	Ds2
	土籠層群・泥岩礫砂層	Ka

第5図 大井町駅付近地質縦断面図

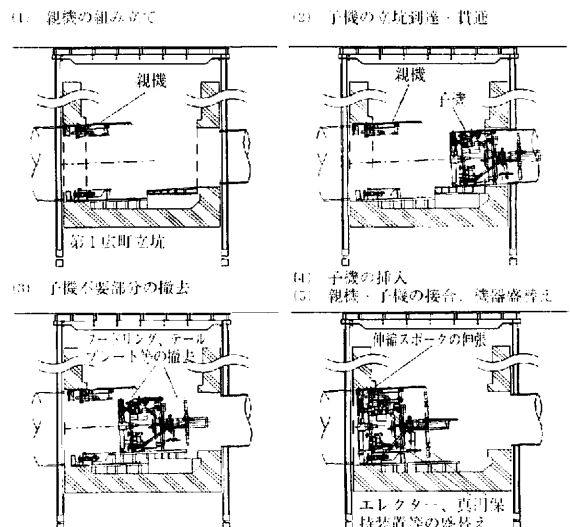
3. シールドの拡径

拡径の方法については、「子機基準組立方式」と「挿入方式(子機挿入方式)」を検討した。「子機基準組立方式」は、親機を到達後の子機に合わせて組み立てることができるものの、立坑面積が大きく拡径の作業期間が長い。そのため、第6図に示すような大口径シールドの外周部分であるドーナツ状の親機を予め立坑内に組み立てその中に到達した子機を挿入する「挿入方式(子機挿入方式)」を採用した。「挿入式拡径」の作業手順は次のとおりである(第7図参照)。

- ① 立坑に大口径シールドの外周部分であるドーナツ状の親機を投入し組み立てる。
- ② 立坑に小口径の子機を到達・貫通させる。
- ③ 子機の不要部分の解体(外周リング・フードリングの撤去、テール部プレート切断など)を行う。
- ④ 軸心を合わせて子機を親機内に挿入する。写



第6図 挿入拡径模式図



第7図 挿入式拡径の施工順序図

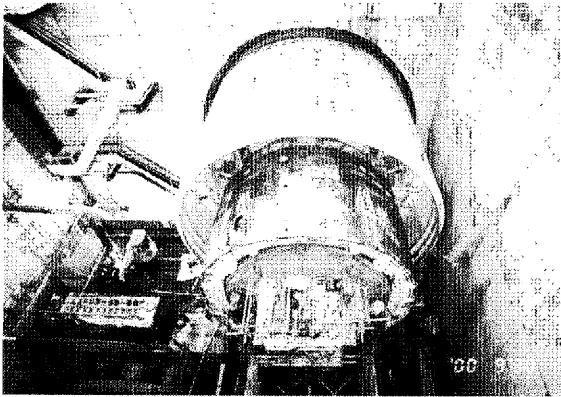


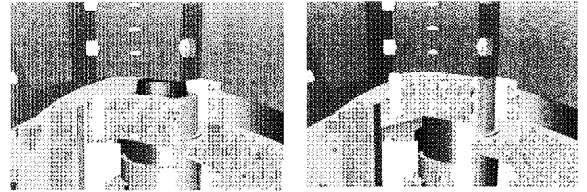
写真1 親機への子機挿入状況 (上段シールド)

写真1は子機挿入の状況である。

- ⑤ 子機と親機の溶接接合、子機伸縮スポークの延伸、エレクター・真門保持装置の盛替、送排泥管の盛替等を行い、拡径作業が完了する。

この拡径したシールドは地中接合時に親機と子機のカッターヘッドを確実に分離し、対向シールドから押し出される貫入リングを受け入れるリング状のスリットを確保する必要がある。そのため、拡径に際して親機と子機の面板接続には伸縮スポーク方式を開発・採用した。伸縮スポークは子機に6本装備され、スポーク先端にあるテーバーピンを親機のボス穴に挿入して親子の面板を接合・分離する構造である(第8図、第9図参照)。

この伸縮スポークには、拡径時に確実に伸張して子機の駆動を親機に均等に伝達させ、地中接合時に確実に収縮することが求められる。そのため、シールドの製作・組立・拡径には極めて高い精度が要求



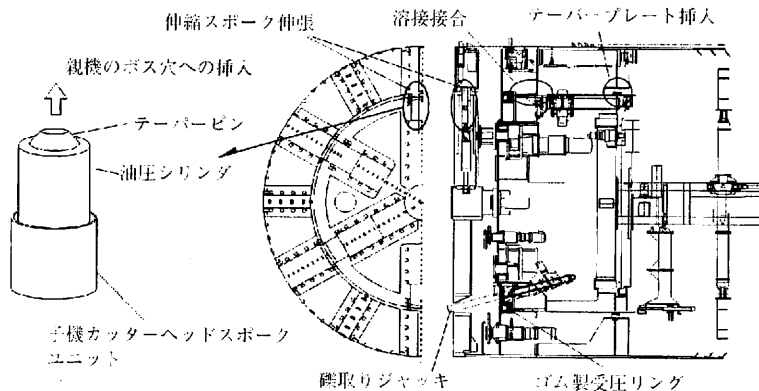
第9図 スポークの伸縮イメージ

されるが、この伸縮スポークの接合部の製作精度は、製作した子機伸縮スポークに合わせて親機のカッターヘッドを製作する写し加工を行うことで確保した。また、接合部の高精度を維持・検証のため、シールド製作工場、発進・拡径の各立坑において特殊検査という情報化施工を実施した。これは、計測・検査項目とその方法・機器、評価基準を全工程統一して設定した詳細検査を施工段階毎に実施し、誤差を排除し、精度向上を図るものである。また、掘進中の偏圧や過負荷等に対するチェックのため伸縮スポークの曲げ歪み計測を行った。特殊検査と歪み計測を組立、掘進時の施工管理に反映させ、高い精度を維持検証した。

なお、面板以外の接合については、チャンバー部、本体内部は溶接接合し、テール部はコッターにて固定した。また、子機挿入には、親機内周に予めガイドレールを正確に設置しその上を滑らせ親子機の軸心一致を図った。

4. 地中接合

地中接合点の地質は、上段のシールドは硬質の洪積粘土層であるものの、下段のシールドは東京礫層



第8図 親機・子機の接合方法

を主体とする0.3Mpa近い被圧水を有する砂礫層で、当然確実な止水対策が求められる。また、先に述べた周辺環境から地上からの補助工法は困難で、シールド機内からの補助工法は工期的に厳しい。そのため、地中接合には、接合位置での地盤改良を基本的に必要とせず接合作業期間も短い貫入リング方式を採用した。この方式は、小口径側から外径7.0mの鋼製貫入リングを押し出し、大口径側のチャンパー内に装備したゴム製受圧リングに押しあて、貫入リングの押込み力によって接合・止水を行うものである。貫入リング方式による地中接合はこれまで小口径同士のシールドで実施されてきたが、今回のように10.3mと7.2mという大口径のしかも異径シールドの接合は世界で初めてである。

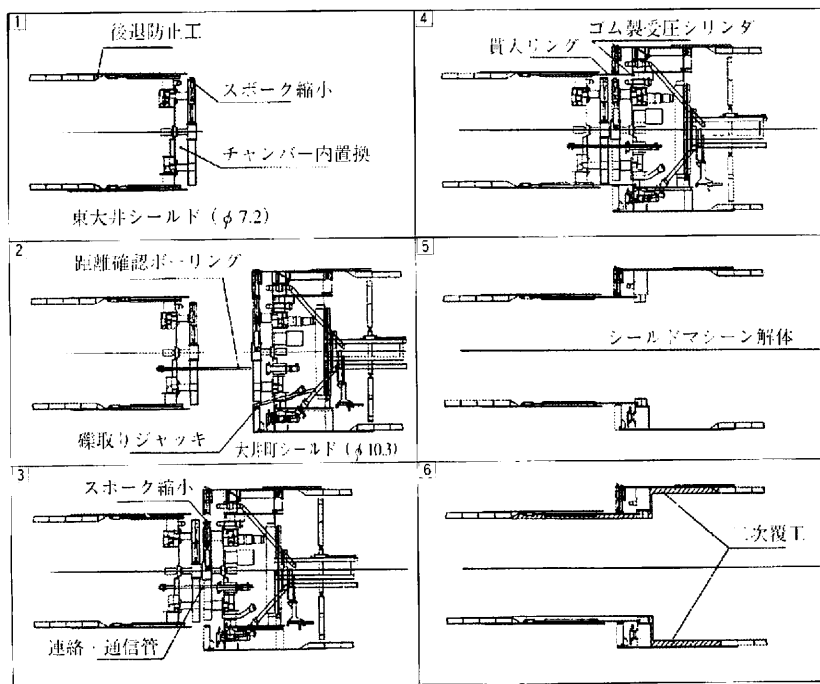
以下に貫入リング方式地中接合の手順を示す（第10図参照）。

- ① 貫入側シールド到達：貫入リングを装着した東大井シールドを、所定位置までの掘進完了後、伸縮スポークを縮小し貫入リングの一次押し出しを行う。また、チャンパー内を高濃度泥水に置換して切羽安定を図り大井町駅シールド到達まで待機する。その間、後退防止工、後方装置撤去（一次解体）を行う。

- ② 相互の位置確認：受入側である大井町駅シールドが直近まで近づいた時点で東大井シールドからの水平ボーリングにより相互距離を確認し接合位置まで掘進する。接合位置はビット間で50mmの位置とした。
- ③ 大井町駅シールドのスポーク縮小：拡張の際親子のカッターヘッドを接続していた6本の伸縮スポークを縮小して、貫入リングを受入れる円周状のスリットをカッターヘッドに確保する。伸縮スポークを縮小の際、外周部を保持するため外周カッター保持装置を有している。また、棒状の礫取りジャッキをチャンパー側から円周状スリットに押し出しカッターを回転することでスリットに噛んだ礫を取り除く。
- ④ 貫入リングの押し出し：東大井シールドから貫入リングを押し出し、大井町駅シールドバルクヘッドに設けた受圧リングに押しあて、貫入リングの押込み力によって止水を行う。受圧リングは貫入リング押込み時の追随性を高め止水性を向上させる中空構造としている。止水の確認はチャンパー内の泥水位を少しづつ下げていくことを行う。さらに止水確認後チャンパー内を清掃し、貫入リングとバルクヘッドを受圧リングの周辺に当て板を介して溶接接合する。なお、大井町駅シールドの外周側（貫入リングの地山側）のチャンパー内は泥水を裏込材に置き換え充填する。

- ⑤ マシン解体：後退防止工を施工し、双方シールドの解体（東大井シールドは一次解体済み）を行う。
- ⑥ 二次覆工：スキムプレートを埋め殺した形で、鉄筋コンクリートにて覆工を行う。

なお、上下2段の接合順序は、まず東大井シールドの下段、続いて上段が到達し待機。その後、駅シールド下段が到達して地中接合し、最後に駅シールド上段が到達・接合し、上下2段



第10図 MSD工法地中接合の施工順序図

の地中接合が完了する。

地中接合の許容誤差は、掘削中心線のズレで±75mm、面角のズレが±0.5°と厳しい精度が要求される。しかも、接合地点近傍の大井町駅シールドの線形は、対向の東大井シールドと鉄道の軌道軸が一致する掘進線形からシールド中心線を一致させる接合線形へとシフトする必要があるため、到達地点直前で急激なS字カーブを描くことになり、精度の高い線形管理が要求される。そのため、掘削中の測量の頻度を増すとともに、東大井シールドでは到達後地上と上段シールド間および上下シールド間に測量孔を設け、また大井町駅シールドでは駅開削部とシールドとをつなぐ測量孔を設けることにより、双方シールド停止位置の測量精度の向上を図った。接合の際の双方シールド位置の許容誤差並びに実施工での測量結果を第1表に示す。

上下2段の地中接合にあたっては、大井町駅シールド到達時に地山の先行変位により、先着側の東大井上段シールドが傾斜し地中接合が困難になることが懸念された。そのため、上下段の接合地点の離れ

第1表 地中接合の双方シールド位置の許容誤差と実績

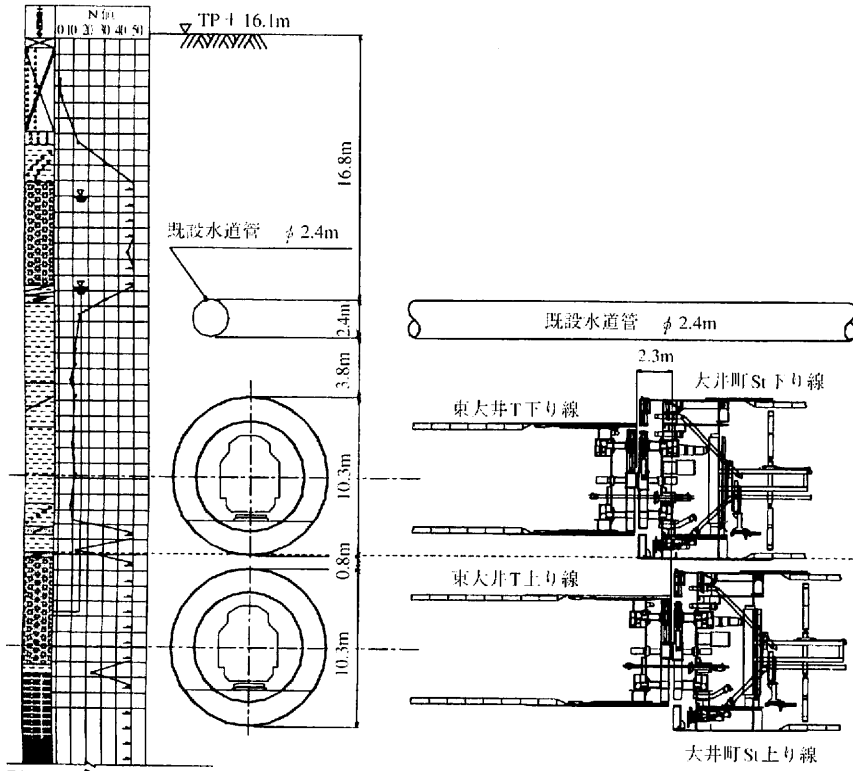
相対位置	上段	水平方向	鉛直方向	許容値
		下段	右6mm	
面角のずれ	上段	左向 0.04°	上向 0.03°	±0.5°
	下段	左向 0.14°	上向 0.02°	

を、「同一地点」、「2.3m」、「4.6m」の3ケースについて、掘削順序を考慮した三次元弾性解析を実施・検討した。その結果、離隔2.3m、4.6mに比べ同一地点では影響が大きいものの、2.3mと4.6mではほとんど差がないことがわかった。そこで、上下段シールドの接合点を2.3mトンネル方向にずらせることとした(第11図)。なお、地盤内計測の結果、大きな変位はなくゆるみの発生は認められなかった。

5. おわりに

挿入式掘径と径の異なる機械式地中接合はともに世界で初めてのことである。これら一連の施工を可能としたのは伸縮スポークの開発と特殊検査やひ

ずみ計測を用いた施工管理の導入による。今回の掘径と地中接合はもともと工期短縮の必要性から開発・採用された工法であるが、この伸縮スポーク方式の開発は、工期短縮、コスト縮減、周辺環境への影響抑制など要求が高度化するこれからのトンネル・地下空間の建設において、計画や施工法の選択肢を大きく広げることになるものと思われる。なお、このシールドの挿入式掘径と径の異なる地中接合技術により、平成13年度土木学会技術賞を受賞している。



第11図 地中接合の上下位置図

(筆者紹介はp.005掲載)

特集

シールド工事における最近の覆工技術動向

C0211-10

MMST工法にて超大断面トンネルを構築

＝首都高速道路川崎縦貫線への適用＝

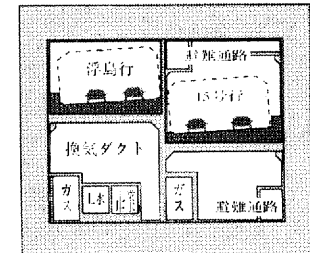
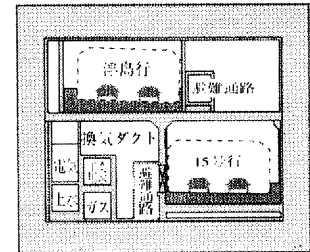
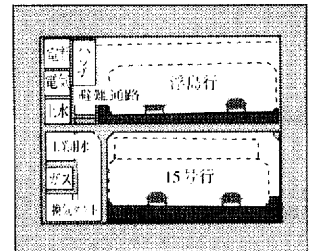
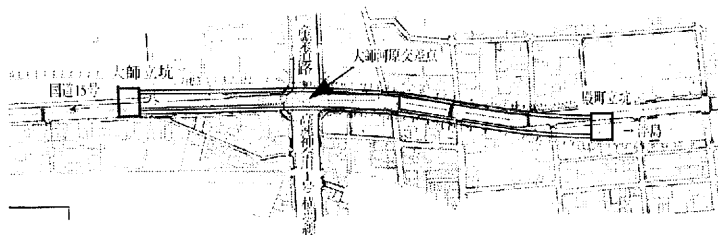
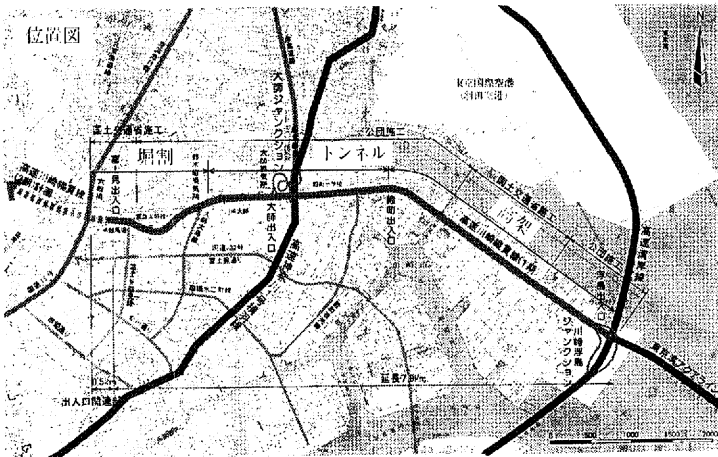
首都高速道路公団 森 健太郎
Kentaro Mori

大成建設㈱ 服部 佳文
Yoshifumi Hattori

1. 高速川崎縦貫線の概要

高速川崎縦貫線は、国道15号（富士見）を起点とし、国道409号に沿って南東に進み、途中大師河原付近で高速神奈川1号横羽線と大師ジャンクション（仮称）で連絡する。さらに国道409号に沿って

進み、高速湾岸線および東京湾アクアライン（東京湾横断道路）と浮島ジャンクションで接続する。道路の構造は、住宅地域については堀割およびトンネル構造、工場地域は高架構造となっている（第1図）。



トンネル代表断面

MMSTトンネルの諸元

トンネル延長	L = 540m	土被り	4.8m ~ 12.6m
トンネル外寸	高さ 24.05 ~ 22.5m、幅 27.9 ~ 26.1m	平面線形	R = ∞ ~ 610m
内部掘削断面積	413 ~ 353m ²	縦断線形	2.5% (最大)
掘削断面積	671 ~ 594m ²		

第1図 高速川崎縦貫線の概要

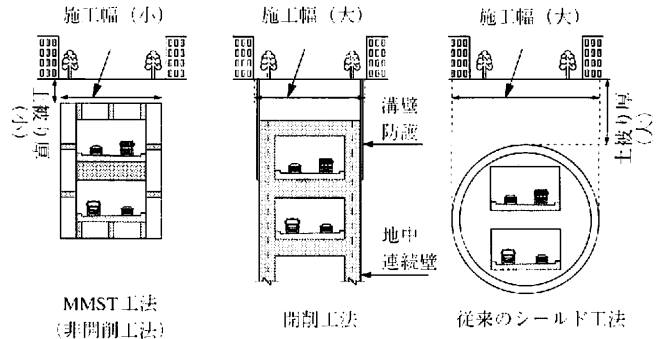
2. MMST工法の概要

MMST工法 (Multi-Micro Shield Tunneling Method) とは、トンネル外殻部を複数の小断面シールドにより先行掘削し、それらを相互に接続してトンネル外殻部躯体を構築した後、内部土砂を掘削して大断面トンネルとする工法である。その施工手順を第2図に示す。

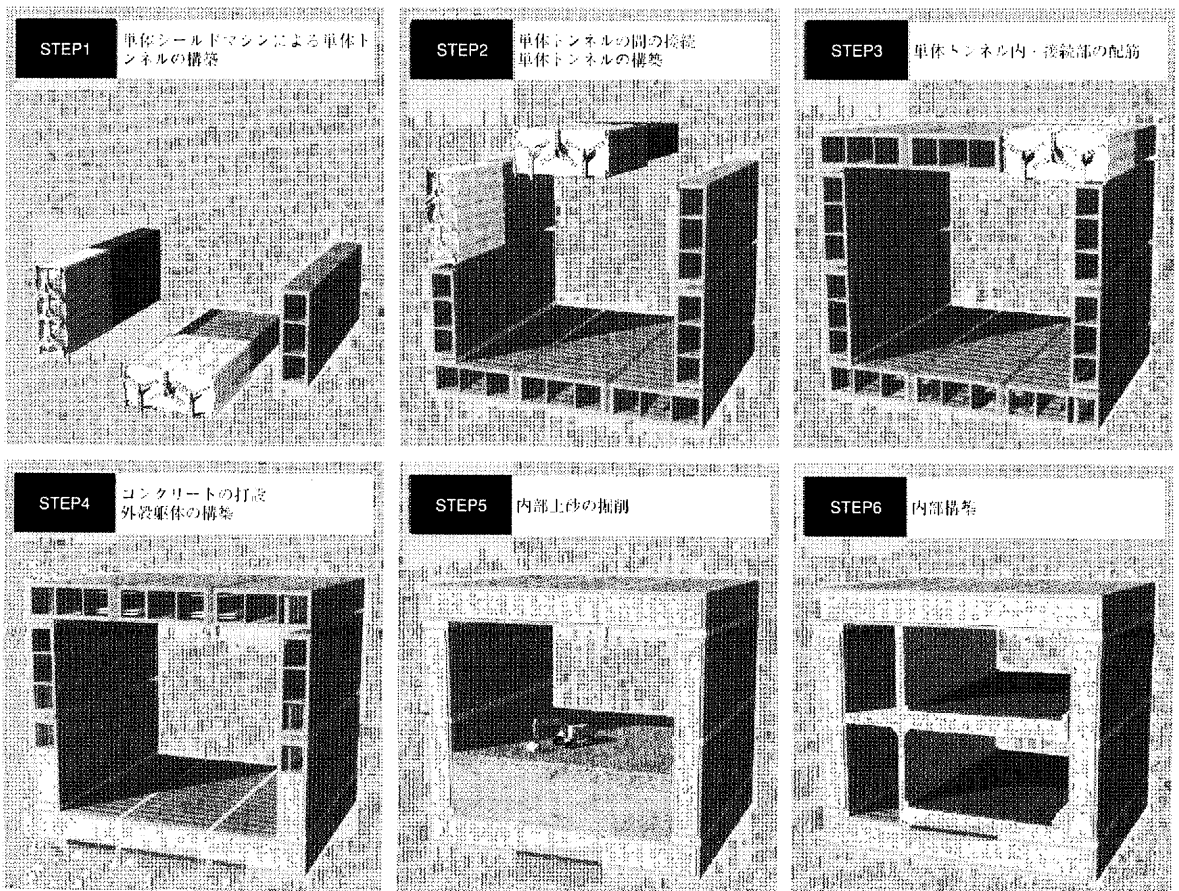
立坑の構築後、トンネル躯体となる外殻部を構成するMMST単体シールドを掘進し、単体シールドを構築する。隣接する単体シールドの施工完了後、スキンプレートなどの鋼殻の一部を撤去し、単体シールド間の土砂掘削、配筋およびコンクリート打設により単体シールド同士を接続する。このように外殻部の躯体を構築したのち、立坑より内部土砂を掘削してトンネルを完成させる。

本工法は開削工法や従来のシールド工法と比較すると以下のような特徴を有している。

- ① 単円の大断面トンネルに比べて合理的な断面を確保可能 (第3図)。

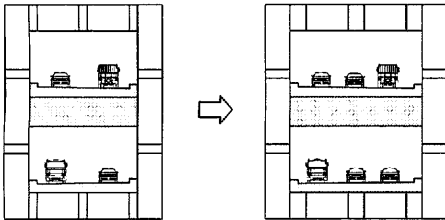


第3図 MMST工法と開削工法・円形シールドの比較



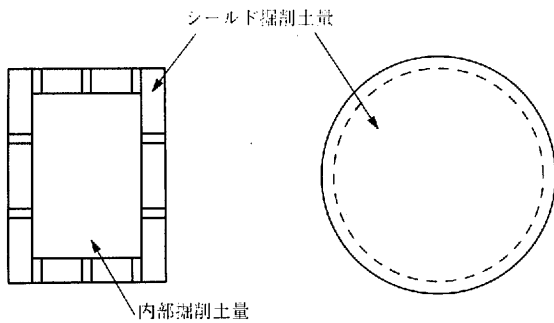
第2図 MMST工法施工手順

② トンネルの断面形状をある程度変化させることが可能(第4図)。



第4図 道路幅員の変化に伴う単体シールドの割り付け

③ 内部上砂は掘削機械で掘削するため産業廃棄物となる泥水または泥土の量を減少させることが可能(第5図)。



MMST工法

従来のシールド工法

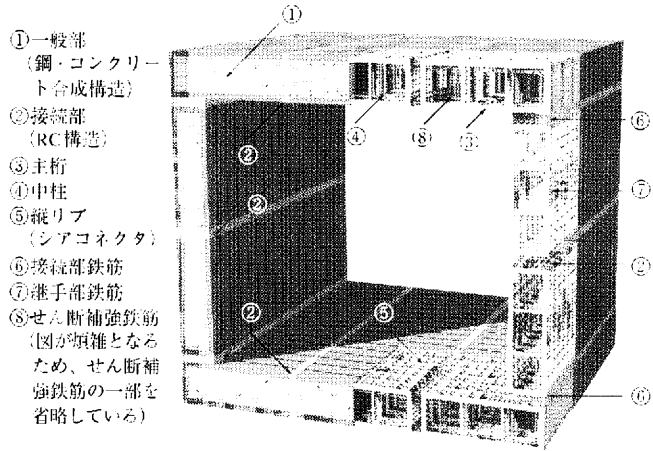
第5図 シールド掘削土量の比較

3. 構造の特徴

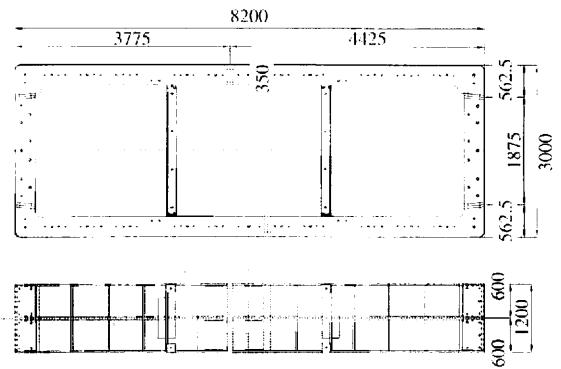
トンネル構造は、鋼・コンクリート合成構造(一般部①)とRC構造(接続部②)の複合構造というMMST工法特有の構造形式を有している。

隣接する鋼殻間を繋ぐ接続部は、接続部鉄筋を主鉄筋としたRC構造である。

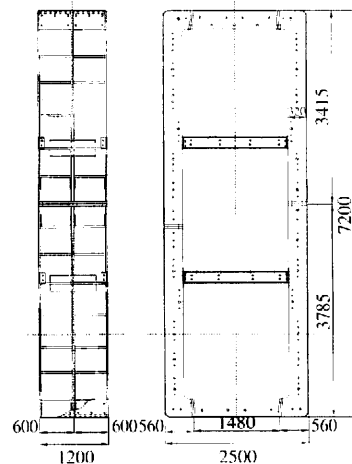
鋼殻の構造概要を、以下に示す。縦リブは、コンクリート打設時の充填性を良くするため、ジャッキ本数を減らし間隔を大きめに設定している。主桁は、3本で構成され、単体トンネル掘削(仮設)時に配置される鋼殻を極力利用し、外殻部の躯体(本設)構築時に主桁を主鋼材として設計しコストダウンを図っている。



第6図 トンネル構造概要



横鋼殻



縦鋼殻

第7図 鋼殻概要図

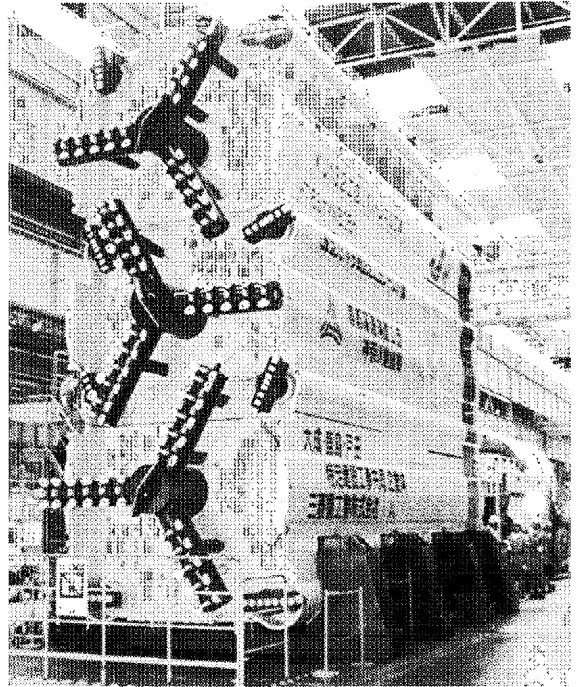
4. シールドマシンの特徴

矩形シールドマシンであるためカッターの掘削機構、姿勢制御には以下の特徴がある。

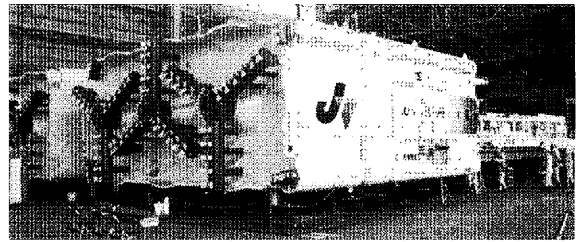
カッターは、主カッター以外にコピーカッター、サブカッターが配置されており掘削範囲を網羅することができる。主カッターは、相互干渉しないように同一平面同期方式により回転している。

縦型シールドの姿勢制御は、V中折れ機構を装備している。マシンは、前胴上部、前胴下部および後胴部分より組み立てられている。ピッチング、ヨーイングについては前胴上下部を後胴に対し中折れさせ、ローリングについては前胴上下部を左右反対方向に中折れさせて対応する機構となっている。

横型シールドは、前胴、中胴、後胴より組立られている。姿勢制御は、ピッチング、ヨーイングについては前胴中胴部を後胴に対し中折れ（V中折れ機構）させ、ローリングについては3分割した前胴部をそれぞれ上下方向に中胴に対し中折れさせて対応する機構（X中折れ機構）となっている。



縦型



横型

第1表 シールドマシン仕様

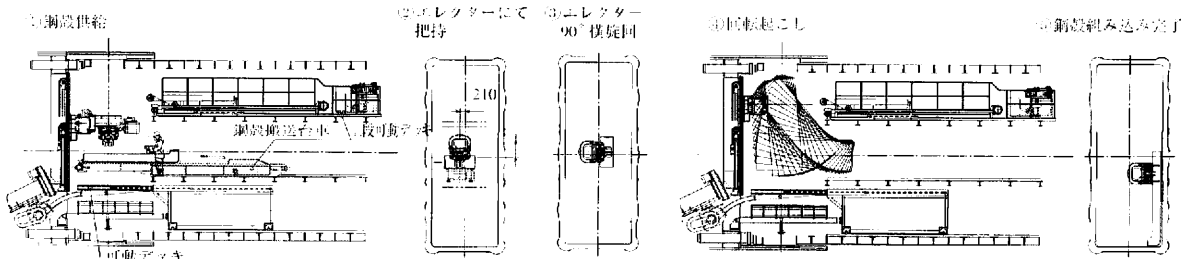
項目	横型シールド機	縦型シールド機
掘削形式	泥土圧式	
シールド機外寸法	3900×8800×10090	3190×7850×9720
マシン全装備重量	670t	547t

5. 鋼殻組立手順

限られたスペースの中で大型ピースを搬入、供給しエレクターにより組立を行う。サイクルタイム向上のため鋼殻は6分割となっており、1ピースが大きく重量が重い場合エレクターの特殊な作動と強度が要求される。

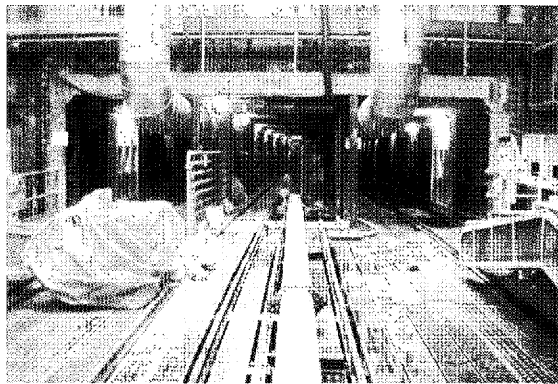
第8図 シールドマシン

参考として縦型シールドの組立手順を以下に示す。まず鋼殻搬送台車は坑道中段レールを走行しエレク



第9図 組み立て手順図

ターへ供給する。その後、所定の位置へ旋回しながら組み立てる。ただし、エレクターが上下するため坑道上段に上段可動デッキを設置し鋼殻組立時の足場として利用する。



第10図 進捗状況（殿町立坑より底版中央鋼殻を望む）

6. 工事の現況と今後の予定

現在、10本ある単体トンネルのうち最初の底版中央の横型シールドを掘進中である。今後、残りの単

体トンネルを掘進し、単体トンネル間の接続工、外殻の躯体構築、内部の構築を行っていく予定である。

【筆者紹介】

森 健太郎

首都高速道路公団 神奈川建設局 建設第三部
設計第二課

〒221-0013 横浜市神奈川区新子安1-2-4

オルトヨコハマ・ビジネスセンター3F

TEL : 045-439-0755 FAX : 045-439-0773

E-mail : mori.kentaro@mex.go.jp

URL : <http://www.mex.go.jp>

服部 佳文

大成建設(株) 土木本部 土木設計部 陸上第二設計室
課長代理

〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1

新宿センタービル

TEL : 03-5381-5417 (ダイヤルイン)

FAX : 03-3342-2084

E-mail : hattori@ce.taisei.co.jp

日本工業出版(株)インターネットホームページのお知らせ

当社では、インターネットのホームページを運営しております。

<http://www.nikko-pb.co.jp/>

月刊技術誌に加え更に広く情報受発信を行い、明日の技術に貢献してまいりたいと存じますので、是非一度アクセスしていただきます様お願い申し上げます。

また、合わせてe-mailによる、当社刊行物へのご意見ご要望もお待ちしております。

e-mail : info@nikko-pb.co.jp (本社)

e-mail : info-n@nikko-pb.co.jp (日本橋事務所)

日本工業出版(株)

インターネット係

TEL 03 (3944) 1181 FAX 03 (3944) 6826

斬新的な二次覆工一体型セグメントの導入

＝コンパクトシールド工法にて実現＝

東京都下水道局 松浦 将行
Masayuki Matsuura
高久 節夫
Setsuo Takaku

1. はじめに

東京都23区の下水道管渠の総延長は約15,000kmになる。このうちの約13%が耐用年数50年を越えている。これらの管渠は、排水能力の不足、管渠の損傷に伴う道路陥没、浸水被害の発生や耐震性能の低下等多くの課題を抱えている。このため、東京都は平成7年度より老朽管渠の更新や雨水排水能力の増強、耐震化等の機能向上を図る「下水道の再構築事業」に取り組んでいる。

しかし、現に供用されている下水道を再構築するには、工事に起因する騒音・振動や交通規制等の制約が大きいことや、工事用地や立坑等の事業用地の確保が難しいなどの課題がある。

一方、厳しい財政状況の中、経営の効率化と共に、再構築事業の効率化や建設コストの縮減が大きな課題となっている。さらに、住宅等の高密度化が進んでいる都市の再構築事業は、工期の短縮や環境負荷の低減等についても様々な配慮が求められている。

今回、このような状況下で、再構築主要枝線の構築に用いる工法を、工期短縮、工費の縮減、立坑の省面積化、環境負荷の低減等から検討した結果、二次覆工一体型セグメントを用いた「コンパクトシールド工法」が適切として採用した。

本稿では、「コンパクトシールド工法」に用いられるセグメントおよび坑内搬送・組立設備についての開発経緯を述べると共に、施工事例を紹介する。

2. 工法の概要・特徴

コンパクトシールド工法において新規開発された主な技術は「インバート溝付き二次覆工一体型セグ

メント」、「後方設備内包型3分割シールド」、「ガイドローラ付きタイヤ式搬送設備」である。なお、本シールド工法は、工法の汎用性を高めることによってコストダウンを促進させるため、当面は仕上り内径φ2,000mmに絞って開発が進められた。

各要素技術の概要を以下に示す。

2-1 インバート溝付き二次覆工一体型セグメント

覆工体としてのセグメントの検討にあたって考慮した事項は以下のとおりである。

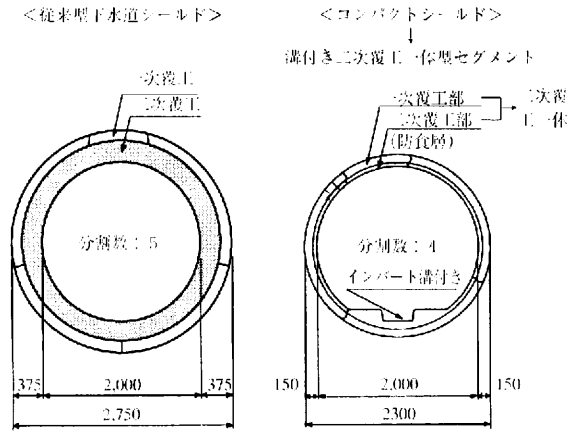
- ① 二次覆工の工程を省略して工期短縮が可能なこと。
- ② 二次覆工厚を薄くして掘削断面を縮小できること。
- ③ 分割数を少なくし、経済性を向上させるとともに、組立施工性を向上させること。
- ④ 3ヒンジの静定構造とし、安定した覆工体であること。

これらの要求事項に対して、コンパクトシールド工法では、4分割3ヒンジ構造のインバート溝付き二次覆工一体型セグメントを新たに開発した(第1図参照)。これにより、二次覆工工程を省略するとともに、経済性・施工性さらには構造的安定性に優れた覆工構造となった。

2-2 後方設備内包型3分割シールド

現状のシールドは、駆動設備をはじめとする諸施工設備を後方に配置し、シールドの推進とともに牽引される形でシールド機と一体の設備として扱われている。

このため、シールド工事においてもっとも作業が幅狭する箇所には後方設備を配置することになり、作

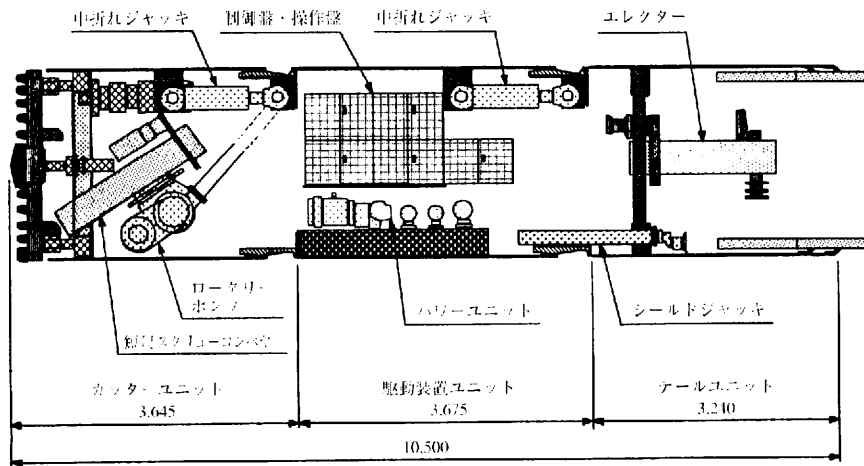


第1図 従来型下水道シールドとコンパクトシールドの断面

業性をはじめとして多くの制約を受けている。

コンパクトシールドにおいては、分割数が少なく、かつ、厚いセグメントを扱うことから、後方設備が大きな支障となり、検討の結果、シールド機内に後方設備を収容し、3分割のユニット構造とすることで課題が解決された。

各ユニットは申折れ装置で連結されており、R15mまでの急曲線施工にも対応可能となっている。また、各ユニットを逐次接合しながら発進させることで、立坑の長さが短くできる。同時に、到達時においてもシールド機の引上げが容易となり、シールド機を他の現場に容易に転用することが可能となっている（第2図参照）。



第2図 後方設備内包型3分割シールド

2-3 ガイドローラ付きタイヤ式搬送設備

搬送システムは、インバート上を直接走行するタイヤ式の新しい搬送システムである（写真1参照）。インバート中央に設けた溝に沿って走行するガイドローラを取付けることで無操舵、かつ滑らかな搬送が実現し、最大登坂能力は2%である。また、セグメントの扱いを容易にするため、ローラー式搬送台車も開発された。

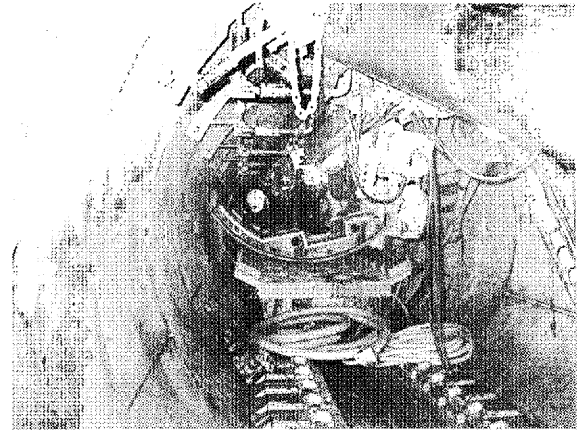


写真1 搬送台車および搬送ローラー

3. 溝付き二次覆工一体型セグメント

3-1 二次覆工工程の省略

東京都下水道局の「二次覆工一体型セグメント設計・施工指針（案）」によれば、管渠の環境条件によって適用できる範囲が定められている（第1表参照）。

本工法の適用対象とする主要枝線は、合流管渠で腐食性環境（合流管・汚水管）に位置づけられる。

このため、硫化水素等の影響を受ける可能性がある腐食性環境において、現場打ちコンクリートの二次覆工工程をいかに省略するかについて検討された。

第1表 環境条件と適用管渠の種類

環境条件	適用管渠の種類	備考
一般の環境	1. 雨水管渠（分流式および合流式のピークカット管渠） 2. 処理水放流管渠 3. 雨水貯留管渠（合流式のピークカットによる暫定貯留管渠）	二次覆工省略型セグメントを適用対象とする管渠の種類
腐食性環境	合流管渠	二次覆工一体型セグメントを適用対象とする管渠の種類
	汚染管渠	

腐食性環境における二次覆工機能のうち、「内面の平滑性」「防水・止水性」は一般の環境と同様に扱うことができる。しかし、「セグメントの防食」機能については、下水道トンネルにおけるコンクリートの劣化メカニズムが解明されていないことから、劣化が発生した場合への対策が必要とされた。また、「蛇行・勾配修正」機能に関しては、下水の滞留等の条件下で硫化水素等の生成が起ることを考慮し、その生成防止から流下機能を確保するための勾配調整方法の検討がなされた。その結果、セグメント構造を溝付き二次覆工一体型とし、腐食性環境においても二次覆工工程の省略を可能とした。

3-2 セグメントの耐久性

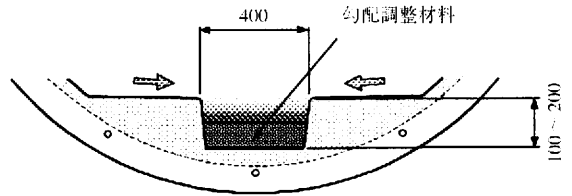
下水管渠の供用期間およびその環境等における劣化現象については未解明な部分も多く、それを精度よく予測することは難しいのが現状である。そこで、第1図に示したようにセグメント内側に覆工構造体として評価しない防食層（二次覆工部）を設け、維持管理の点検等より防食層等の劣化状況を把握し、必要に応じて補修を行うことで、将来にわたっての耐久性を確保することとした。

防食層の厚さは各種中性化推定式による中性化深さおよび東京都の下水道施設の劣化進行状況調査実測値における最大値（47mm）と、コンクリートを打替える場合の施工性（最大骨材径の2倍程度）を考慮して50mmを確保した。

また、本セグメントのインバート平坦部は、維持管理時の点検作業足場として活用できるとともに、将来の点検・補修の機械化・自動化に適した形状を提供している。このように維持管理を効率化させる機能を新設管渠に付加させることは、管渠のライフサイクル全般にわたった耐久性向上に貢献するものでもある。

なお、本セグメントではインバートに設けた溝を

利用することにより、安価な材料で、かつ、容易な方法により勾配調整が可能となる（第3図参照）。また、セグメントの継手はトンネル内面に継手金物が露出しない構造なので、継手目地にコーキングを施すことで内面平滑性が確保できる。



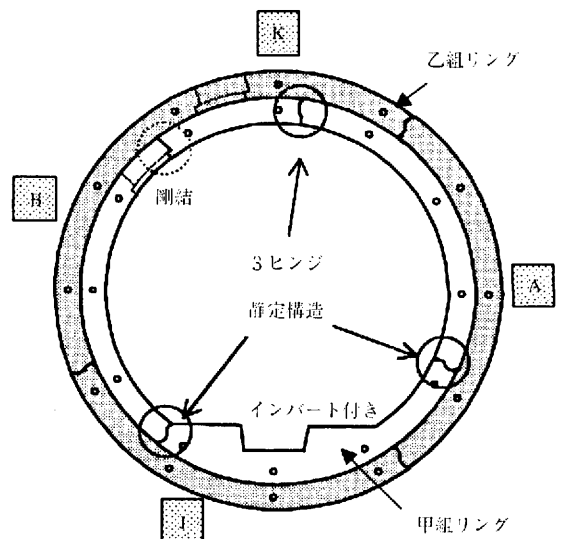
第3図 インバート部詳細（横断面）

3-3 合理的構造の検討

(1) 3ヒンジ構造と分割数の削減

3ヒンジ構造と分割数削減による経済性の向上のためには、セグメントを3分割とすることが望ましい。しかし、二次覆工一体型としたことからセグメントが厚くなり、セグメントピースの搬送や組立時における作業空間の確保がきわめて困難となる。このために、第4図に示すように3ヒンジ1剛結合のリングとすることにより、分割数の可能な限りの削減と4分割3ヒンジ静定構造の確保を両立させた。

セグメントリングはインバート付きのI型、A型、B型および軸方向挿入式のK型で構成される。しかし、リングの組立形態は、ヒンジ部は引張りに抵抗



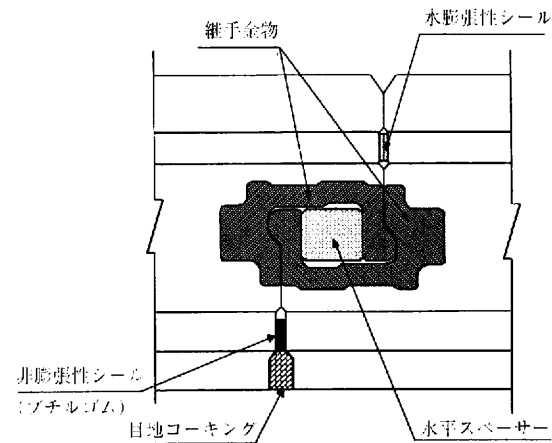
第4図 4分割3ヒンジ構造（千鳥組）

できない構造である。このため、完成後の近接施工に伴う荷重変化や異常時の内水圧作用等への対応と、組立直後、シールドテール内でジャッキ推力が作用した際、リング中心方向への拘束力の安定性を確保する必要から、リング間拘束効果が得られる千鳥組としている。

(2) 継手構造

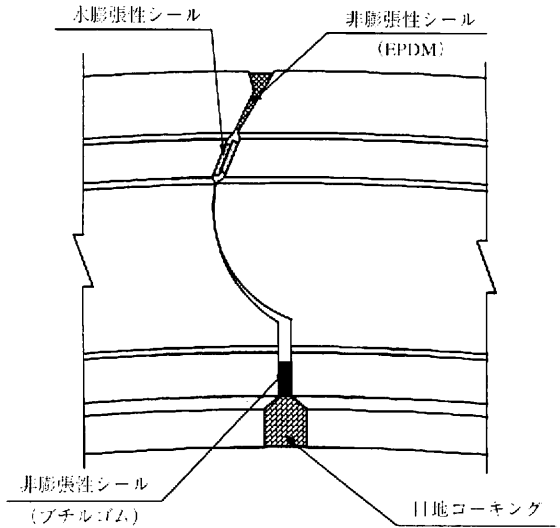
① セグメント継手

剛結合とするB-K間継手は、第5図に示すように相対するC形の金物を嵌合させ、水平スペーサーを挿入することにより結合する構造（C型嵌合継手）とした。上下方向の位置合わせが容易であり、かつK型セグメントの軸方向挿入により自動的に嵌合する機構を採用し、組立施工性を確保している。なお、C形金物は高い製作精度を要求しないため、「熱押形鋼」としての製造が可能であり、製作コストの低減を図っている。



第5図 C形嵌合継手

ヒンジ部の継手は、回転を許し、かつ、十分なせん断抵抗力および止水性を有した構造とする必要がある。そこで、プレキャスト部材のヒンジ構造として実績がある、突合せ継手の「ナックル継手」を適用することとした（第6図参照）。止水材は、ナックル接触部近傍を通過する水膨張性シール材のほか、内縁側二次覆工部の非膨張シールと目地コーキングにより、回転に追従して止水性を確保できる構造とした。さらに、ナックル部外縁側には隙間形状に成型した硬質のスポンジシール材を設け、外縁隙間への裏込め材や土砂の目詰りに対処している。

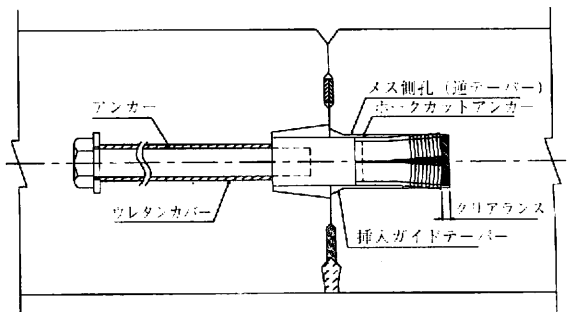


第6図 ナックル継手

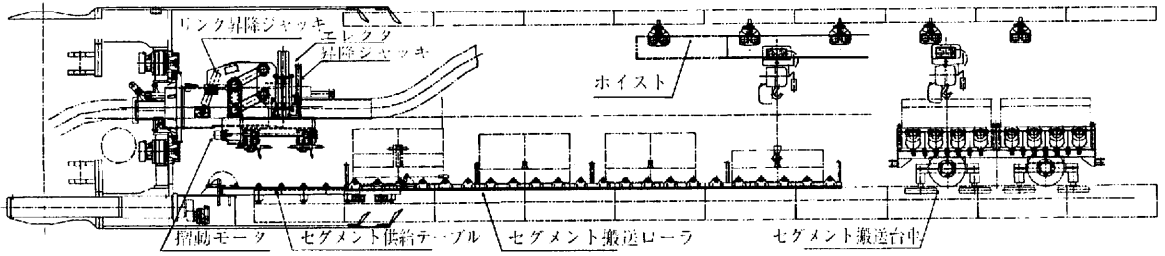
② リング継手

リング継手は、内面平滑型セグメントに用いられるピン挿入型継手を基本としている。リング継手に要求される性能としては、組立時のセグメントの安定性、止水性の確保、および曲線施工の安全性が確保される引張り抵抗力と、千鳥組によって生じるせん断力に対抗できる抵抗力を有すること等である。

本工法では、これまでに実績があるもののうち、これらの要求性能を満足し、かつ本セグメントへの設置に支障のないことを確認している、ノブ型継手とカブラ型継手を採用可能としている。また、リング継手のコスト削減の観点から、埋込みインサートとして実績のあるホークカットアンカー式継手を開発中である（第7図参照）。この継手は、シールドジャッキにより打込んで押し広げられた筒状金物とコンクリートとの付着により引き抜き力に抵抗する



第7図 ホークカットアンカー式継手



第8図 セグメント組立システム全体図

構造である。

③ 性能確認試験

セグメント本体とこれらの継手性能については、要素試験ならびに実物大のリング載荷試験により十分な性能を有することを確認している。

4. セグメント搬送・組立システム

前述したセグメントを搬送・組立を行う上で、以下の点に注意する必要がある。

- ① RCセグメントであるため、取扱いを慎重に行う。
- ② 小口径トンネルとしては1ピースの大きさおよび厚さが従来と比較して大型である。

そこで、このような大型のセグメントピースを搬送および組立可能にするため、特殊なセグメント供給装置やエレクターを開発した(第8図参照)。

本工法では、セグメント組立完了の時点でトンネル底部は水平となる。この点に着目し、インバート水平部を直接走行するタイヤ方式の搬送システムを採用した。セグメント台車からエレクター把持位置までのセグメントの供給はセグメント搬送ローラとセグメント供給テーブルで行った。セグメント供給テーブルはスライドする機構を有しており、前方へ張り出すことで組立位置までセグメントを移動させた。エレクターによりセグメントを把持した後は、セグメント供給テーブルをエレクターの回転に支障にならないように後方へ引き戻し、シールド機内のスペースを確保した。また、搬

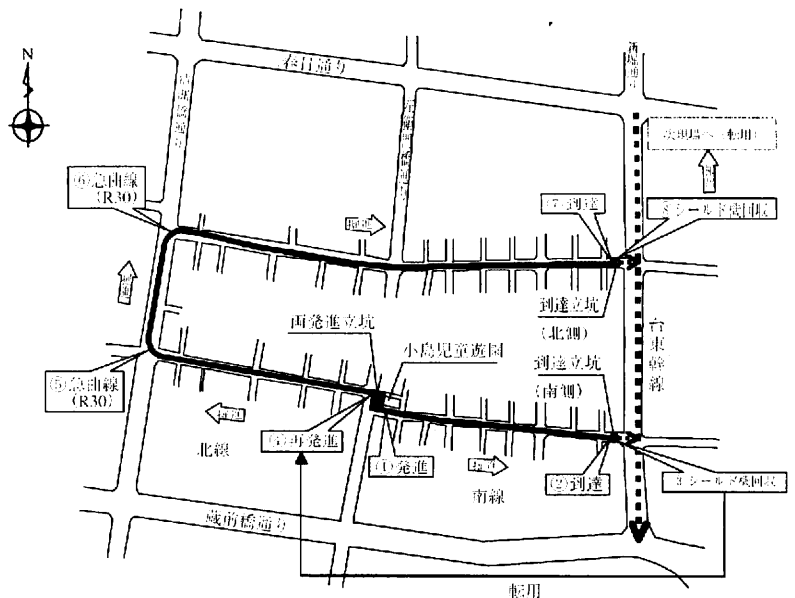
送ローラおよび供給テーブルの支持部には、コンクリートセグメントの欠け防止のため、ナイロン系樹脂を採用して対処した。

エレクターは旋回中心をシールド中心から上方へ偏心させるとともに、リンク機構とスライド機構を併用した2段式昇降機構とし約600mmの昇降ストロークを確保した。これにより、狭小空間で大型のセグメントピースの把持・旋回等を可能とした。

5. 施工事例

5-1 工事概要

本工法を採用した試行工事は、「台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事」である。本工事は同地域の浸水軽減および老朽化対策を目的として、面整備に先行して主要枝線を再構築するもので、仕



第9図 試行工事路線平面

上り内径はφ2,000mm、路線延長は1.280mである(第9図参照)。土被りは約5~6m、縦断勾配0.15~1.4%で、平面線形は急曲線(R30m)を2ヶ所含む。また、シールド通過位置の地層は、上部有楽町層の砂質系シルト層(N=5~10)が主体である。

5-2 施工実績

シールドは平成14年1月に発進し、同年5月に南線を終了した。南線到達立坑でシールド機を引き上げ(写真2参照)、発進立坑に再投入した後、現在は北線の急曲線(R30m)2ヶ所(写真3参照)を無事終え、引き続き掘進施工中である。北線の到達は平成15年1月の予定である。

分割発進は元押しジャッキとストラット(押輪)を用いて行っており(第10図参照)、以下のメリットを確認している。

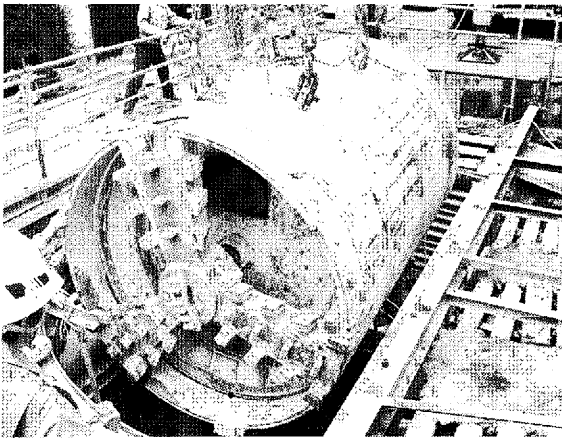


写真2 シールド機引き上げ状況(到達立坑)

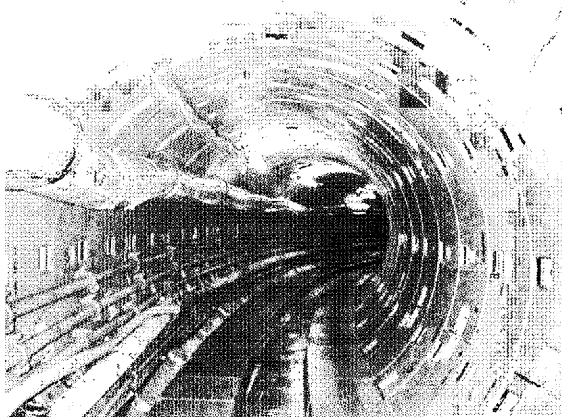
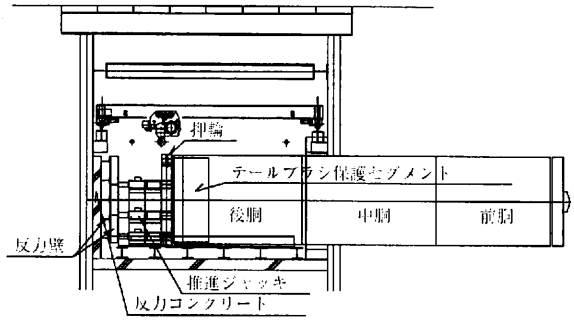


写真3 R30急曲線の施工状況



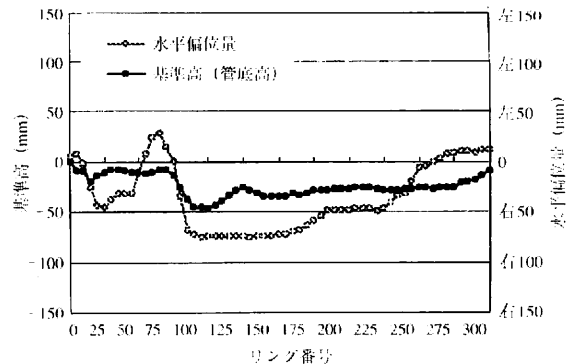
第10図 元押しジャッキによる発進作業手順例

- 従来工法と比較して発進立坑の大きさを標準泥土盾の場合よりも3割程度小さくできた。
- 狭い立坑内にもかかわらず、仮発進に伴う諸設備の投人や様々な段取替えが容易で安全に行えた。

初期掘進中は、後方台車が無いために発進立坑内が整然としており、さらに、軌条設備を必要としないため、作業環境に加え安全性も向上した。また、推進反力の計測を実施しており、当該現場における初期掘進長は搬送台車がすべて坑内に入る距離(30m)を確保すれば十分であることを確認した。

到達立坑でのシールド機の回収は、内径5,200mmの小さな立坑から搬出ができ、3分割シールド構造のメリットを生かすことが実証できた。

本掘進の実績は昼夜連続施工で平均8リングであり、施工精度は第11図に示すように基準値(基準高:±50mm、水平線変位:左右150mm)以内に収まる良好な結果が得られた。



第11図 施工精度

なお、今後はこのモデル工事で計測した各種データを整理・分析し、設計・積算資料に反映させる予定である。

6. シールド機の繰り返し使用

これまでにシールド工法を用いた東京都の下水道管渠の築造は、約1,400件で800km代に達する。しかし、シールド機を繰り返し使用した例は数例に過ぎない。

繰り返し使用が出来なかった主な原因は、シールド工法そのものの技術が発展・改革段階にあったこと、下水道事業が下水道管渠の収容能力を上流より下流に向かって増径しながら敷設しなければならない普及段階にあり、各幹線の管径が工事毎に違うため、不可能であったことなどがあげられる。

しかし、平成7年からの再構築事業段階では、シールド工法を用いる管渠構築は、主要枝線が多くなり、管渠能力にあった流集面積として、管径を統一化することが可能であること、シールド工法の技術が向上し、土質条件・施工環境条件等に1つのシールド機で対応可能となったこと等から繰り返し使用が可能と考えられる。今後は、コスト縮減、工期の短縮等の1手法として、シールド機の繰り返し使用を積極的に進めることが大きな課題である。

7. おわりに

今日、シールド工法の掘進技術やセグメントの組立等の技術革新は目覚ましいものがある。特に、今回採用したコンパクトシールドは、従来のシールド工法に比べて、セグメント構造や、坑内搬送設備、繰り返し使用への対応等、非常に斬新的な工法である。

しかし、この斬新的な技術も、次のような点でさらなる技術開発が望まれる。

7-1 土砂搬送方式の改善

今回採用したタイヤ式搬送設備は搬送台車方式であり、掘進延長によって搬送時間が長くなり、サイクルタイムが左右される。そこで、掘進延長に左右されないポンプ圧送方式の開発が必要と思われる。

7-2 コーキング材の開発

従来、セグメント間の目地は二次覆工コンクリートにより充填され、かつ、内面平滑が確保された。しかし、二次覆工一体型セグメントの採用により、セグメント間の目地は何らかの材料で充填する

必要が生じた。そこで、容易に充填できるコーキング材および手法が早期に開発されることが期待される。

東京都では、今後、コスト縮減、工期短縮、環境負荷の低減等の観点から、シールド工事に二次覆工一体型セグメントの本格導入を図っていく方針である。

今後も技術革新を図り、より一層充実したコンパクトシールド工法にしたいと考える。

<参考文献>

- (1) 東京都下水道局：二次覆工一体型セグメント設計・施工指針(案)、2002.5.
- (2) 前田、中山：コンパクトなシールドシステムの開発と実用化—東京都下水道局 三筋・鳥越付近再構築工事、トンネルと地下、2001.8.
- (3) 高久、平峯：新たなシールド技術「コンパクトシールド工法」、土木施工、2002.10.
- (4) 守屋、山森、他：コンパクトシールド工法=下水道再構築に適した新しいシールドシステムの開発=、建設機械、2002.6.
- (5) 菊池、平峯、他：後方設備内包型3分割シールドによる分割発進方法—立坑におけるシールドの逐次接合発進実績—、土木学会第57回年次学術講演会、2002.9.
- (6) 木戸、藤崎、他：3分割シールドの初期掘進時における推進反力の計測結果について、土木学会第57回年次学術講演会、2002.9.
- (7) 千代、鎌形、他：後方設備内包型3分割シールドの初期掘進時における土砂・資機材の搬送実績について、土木学会第57回年次学術講演会、2002.9.

【筆者紹介】

松浦 将行

東京都下水道局 建設部 設計調整課 課長
〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1 第二庁舎6F
TEL：03-5320-6651

高久 節夫

東京都下水道局 建設部 設計調整課
事業調査担当係長
〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1 第二庁舎6F
TEL：03-5320-6654

特集

シールド工事における最近の覆工技術動向

C0211-01

矩形シールドで複線断面トンネルを構築

＝京都市高速鉄道東西線（六地蔵－醍醐間）六地蔵北工区＝

京都市交通局 吉川 衛
Mamoru Furukawa
岡崎 弘
Hiroshi Okazaki
鹿島・奥村・大豊・吉村・岡野特定共同企業体 溝田 正志
Syoji Mizota
中尾 努
Tutomu Nakao

1. はじめに

高速鉄道東西線延伸工事（六地蔵－醍醐間）は、宇治市域に位置する六地蔵駅から石田駅を経て営業中の醍醐駅に至る延長約2.4kmを建設するもので、六地蔵駅始端0.2km以外はすべて道路幅員が15m程度と狭隘で、交通が輻湊する外環状線下での工事である。

このうち六地蔵駅～石田駅間の六地蔵北工区南端に設ける渡り線区間を開削工法で計画していたが、周辺への影響を軽減できコスト面や工期面で有利なシールド工法を進めることとして、矩形シールドを採用した。円形の複線断面は土被りの制約があつて

駅部を含めた建設費では割高となつた。

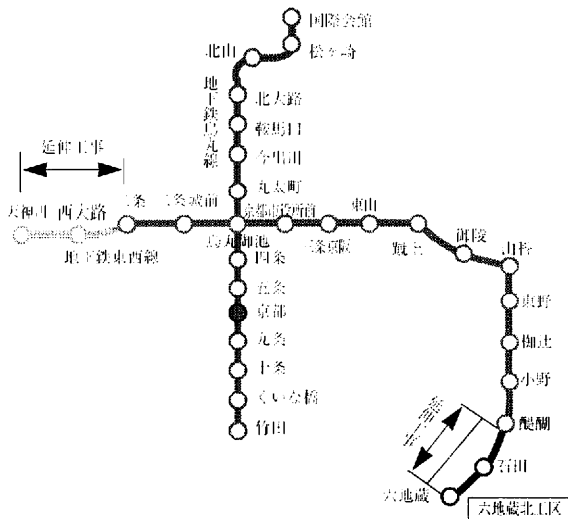
本稿では、世界で初めて採用した複線大断面矩形シールド工事の概要と主にセグメントに関連する実績について紹介する。

2. 計画概要

2-1 基本計画

工事は六地蔵駅の北側に発進立坑を構築し、石田駅までの760.79m間を泥土圧式の矩形シールドで施工する。シールド区間のうち渡り線部が56m、一般線路部は703mとなっている。

トンネルは地下水の豊富な沖積～洪積砂礫層中に



第1表 六地蔵北工区の工事概要

1	工事名	高速鉄道東西線建設工事（六地蔵北工区）
2	工事場所	宇治市六地蔵奈良町23-1番地先～京都市伏見区石田森東町27-4番地先
3	発注者	京都市交通局
4	施工者	鹿島・奥村・大豊・吉村・岡野特定共同企業体
5	工期	1999年10月1日～2003年10月31日
6	主要構造物	渡り線および一般線路部 延長L=753m、 外寸法H=6,500mm、W=9,900mm 発進立坑（延長23.61m）およびシールド基地立坑
	シールド部	渡り線部（一層二径間、合成セグメント） L=56m、掘高H=500mm 接続部（一層二径間、合成セグメント+柱） L=5m 一般部（一層二径間、DCセグメント） L=697m、掘高H=300mm
7	シールド工法	泥土圧式・Wagging Cutter Shield工法（ワックタカ揺動回転）
	施工条件	土被り：8.2～14.4m 地下水位：GL-3～-6m 掘進土層：沖積・洪積砂礫層（N値=30～50以上、一部砂・粘土を含有）

位置し、土被りは8～14mである。地下水位は、GL-3～-6mに分布する。

2-2 覆工の設計

セグメントの設計は、継手をばね、セグメント本体を梁とした“はりばねモデル”による。荷重条件としては、常時（全土圧載荷）、常時（偏土圧載荷）、地震時（レベルⅠ、Ⅱ地震動）、施工時荷重（裏込め注入圧）、等を考慮している¹³⁾。

(1) 渡り線部の覆工構造（一層一径間）

渡り線区間は中柱の無い一層一径間構造となる。柱のある一般線路部に接続する関係で覆工厚を極力薄くする必要があり、サンドイッチ型の合成セグメントを採用している。これは外面を鋼殻で覆い、その中にコンクリートを充填した構造である。覆工厚は500mmで、インバートを除き二次覆工は行わない。当初セグメント間継手は正曲げ主体の計画であっ

第2表 セグメントの仕様一覧

	合成セグメント	ダクタイル（DC）セグメント
縦×横×幅（mm）	6,500×9,900×1,000	6,500×9,900×1,200
分割数	7分割	12分割+3 （柱・柱脚部）
総重量	375.2kN（38.2t）	193.3kN（19.72t）
鋼殻重量	113.7kN（11.60t）	170.9kN（17.44t）
桁高	500mm	350mm
材質（鋼材）	SM490	ダクタイル鋳鉄
1ピース重量（max）	69.9kN（7.13t）	27.8kN（2.84t）
コンクリート重量	261.4kN（26.66t）	22.4kN（2.28t）
セグメント間継手	M36×8本/断面	M30×6本/断面
リング間継手	M33×34本/リング	M30×68本/リング

たが、継手のボルト配置・本数を変えることで負曲げ特性の向上（当初の4倍）を図った。

また、セグメント3Ringを試作し、一連の載荷試験¹⁴⁾で性能を確認した上で製作に着手した。更に、実機を使ってのセグメント組立試験等を実施した。

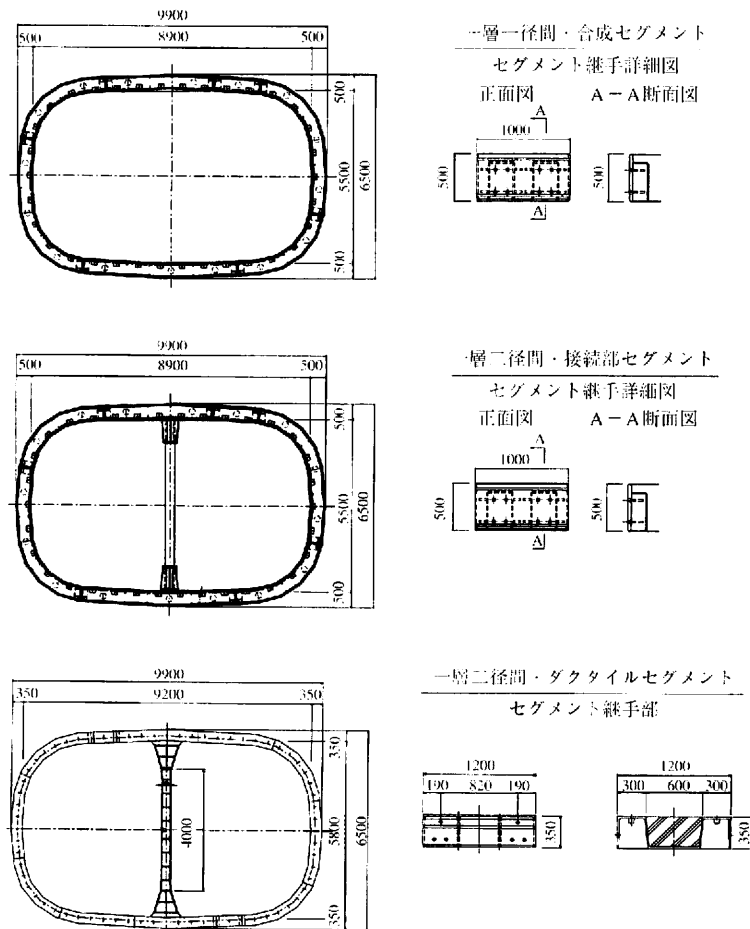
(2) 一般線路部の覆工構造（一層二径間）

一層二径間部では主に施工性の面からダクタイル（DC）セグメントを採用している。覆工厚は350mmで、渡り線部と同様に二次覆工は行わない。なお、柱なし区間から柱あり区間に移行する部分に、渡り線部と同様の構造で中柱（鋼管柱、 $\phi = 300\text{mm}$ ）を設けた接続部セグメント5Ringを介在させる。

柱脚部は大きなモーメントが発生するためコルゲート形とし、その他の円周部分は4本主桁としている。柱部分は、組立の面から3分割（柱、柱台）している。合成セグメント同様載荷試験¹⁴⁾を実施した上で製作に着手した。

2-3 矩形シールド

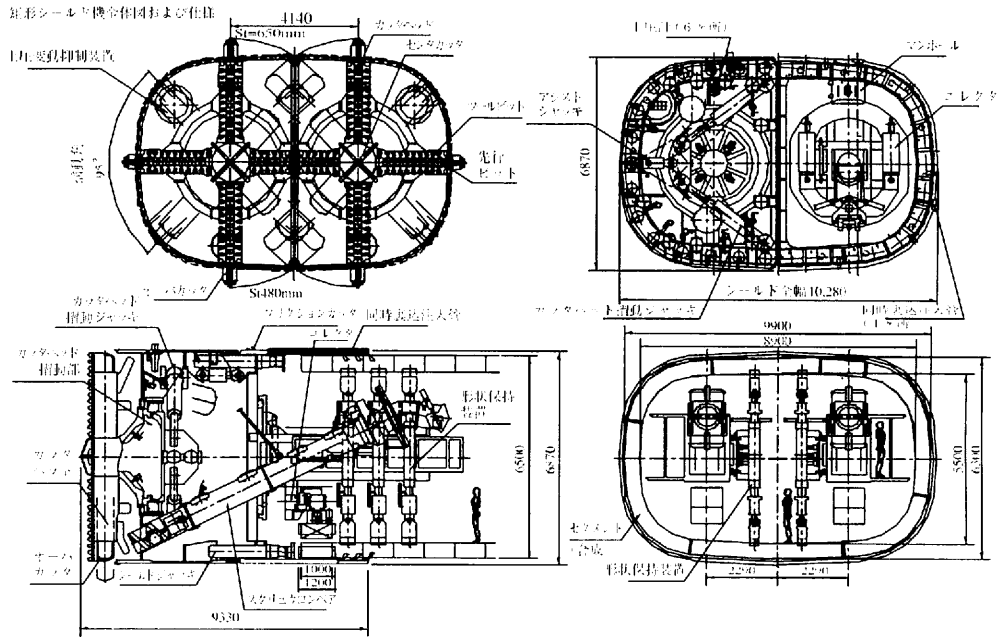
シールド工法は、主に立地条件から泥土圧式とし、掘削機構には揺動カッタ方式（Wagging Cutter Shield工法）を採用した。この工法



第2図 セグメント構造図

は、カッタヘッドを一定の角度内で揺動運動 (= Wagging) させながら掘進するもので、隅角部は伸

縮制御機構をもつ余掘り装置 (オーバカッタ) で切削する。カッタを一定区間で揺動させるため、主カ



第3図 矩形シールド (Wagging Cutter Shield工法) 全体組立図

第3表 矩形シールド (Wagging Cutter Shield工法) の仕様一覧

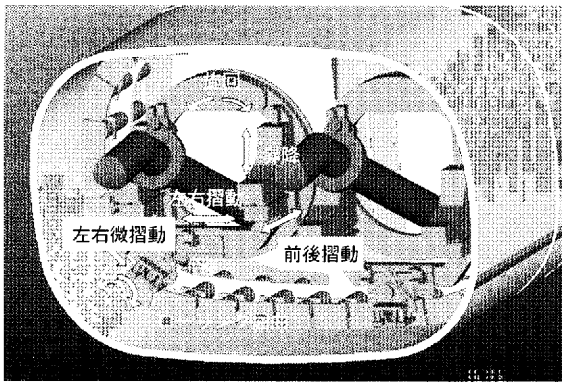
シールド本体	形式	泥土圧式矩形シールド Wagging Cutter Shield工法
	外形寸法	高さH6,870×幅10,240×機長L9,330mm
	推進装置	総推力77450kN (7900tf) (125.4tf/m ²) = 2940kN (300tf) × 8本 + 2450kN (250tf) × 22本
	中折れ装置	シールドジャッキ後胴支持方式、上下中折れ型、中折れ角度=1度
カッタヘッド	構造形式	ツインカッタ方式 面板部…開放スボーク形、支持部…センタ支持方式
	駆動部	油圧ジャッキ揺動駆動方式、揺動角度: 95° 揺動ジャッキ3432kN (350tf) × 2本 + アシストジャッキ1961kN (200tf) × 2本、 最大トルク時6082 ~ 10025kNm (620、10220m, α = 23.9、33.0)、 常用時4865 ~ 8020kNm (496 ~ 8180m, α = 19.4 ~ 26.4)
	オーバカッタ	490kN (50tf) × 650st (2基 (上下用)、470st (1基 (左または右用))
スクリュウコンベヤ	形式と形状	リボンスクリュー、羽根径×ピッチ×スクリュウ長 = φ700 × 650 × 9000mm
	回転トルク×回転速度	常用トルク : 68kNm (6.93tf・m (α = 198)) × 最大12.8rpm 最大トルク : 101kNm (10.3tf・m (α = 294.5)) × 最大8.7rpm
エレクタ	旋回部	油圧モータギヤ駆動方式 (パーキングブレーキ内蔵形)
	昇降部	円形フレーム方式
	ヘッド部	前後揺動、左右揺動、屈曲、微揺動、振れ止め
形状保持装置		上下拡張式×3列、拡張力、拡張量 1961kN (200tf) × 500mm 機械式 (ベア) ロック機構、内蔵型ストローク計、荷重計装備
同時表込注入装置		油圧ジャッキ開閉式 (注入圧検知用圧計付)、A・B液先端混合 (2ショット) 方式、 4基 (上部2ヶ所←左右各1ヶ所)

ッタスポーク長を最適の長さにすることが可能で、主カッタでカバーできる範囲が広がる。これはオーバカッタの負担軽減になる。

主カッタの摩耗対策としては、ビットの大型化、段差ビット等実績のある方法を採用した。また、形の異なる大型セグメントに対処するため、6軸を制御できるエレクターを新たに開発した。

中柱のない合成セグメントでは裏込めなどの施工時荷重による初期変形を抑え、更にもその後の変形(中央部での設計つぶれ量が25mm)を形状保持装置3基6本で馴染ませる計画とした。

裏込めは、シールドの頂部と側部各2ヶ所に装備



第4図 セグメントエレクター構造

した注入管から各々2ヶ所を選択し、同時注入する。

3. 施工実績

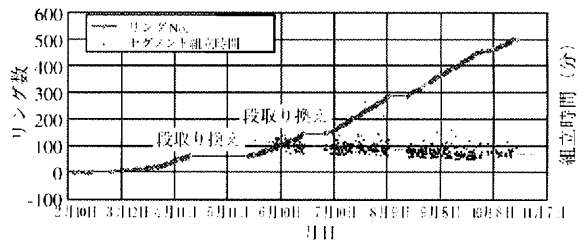
3-1 掘進実績

シールド掘進は、2002年2月19日から開始した。合成セグメント(初期推進)区間での掘進実績は稼働日で1.72Ring(3Ringベース)、一次段取り替え後のDCセグメント区間では3.15Ring(4Ringベース)となった。二次段取り替え後は概ね5Ring(6m)ペースで掘進している。

なお、最近の実掘削時間(実際に掘進している時間)は60~80分、セグメント組立時間(DC)は70~90分となっている。

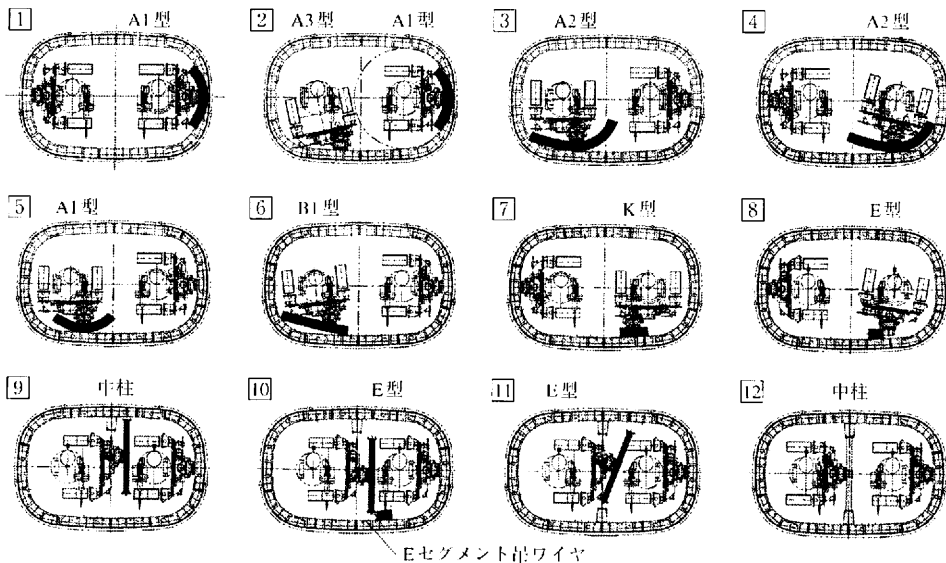
3-2 合成セグメント組立

合成セグメントの組立手順を第6図に示す。エレクターとの位置関係で把持孔が重心位置に配置でき



第5図 矩形シールドの掘進実績

合成セグメント組立順序図



第6図 合成セグメントの組立手順

[8] 以降は接続部、中柱の組立

なかったため、切羽に吊込むための特殊な吊治具（写真1参照）を製作し使用した。合成セグメントのボルトはM36、M33と太径のため締結トルクは1～1.2万N・mとなり、油圧レンチを使用することとした。増し締めも油圧レンチを使用した。形状保持装置付近では人力も交え追加増し締めを行った。

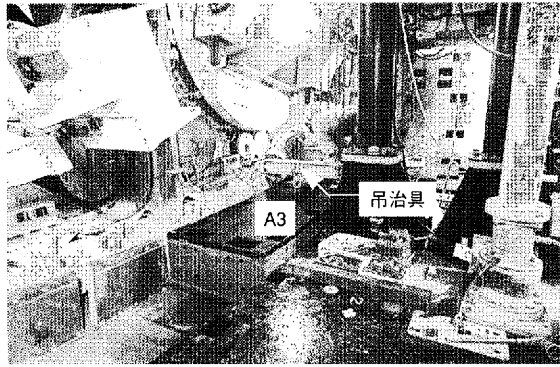


写真1 合成セグメント吊り込み状況

合成セグメントの最終的な変形量（上下のつぶれ量）は、日違いなどで生じた分も含め20～30mmと設計値（25mm）に近い結果となった。

3-3 形状保持装置の使用

合成セグメント組立後、形状保持装置を盛り換えて次リングの掘進を開始する。ロック機構で掘進中にストローク変動はなく、裏込め注入圧が直接作用する①ジャッキのみ荷重が増加する傾向が認められた。なお同装置は、合成セグメント区間終了後撤去した。

3-4 接続部の施工

中柱を有する一般線路部は柱部分での変形量（上下のつぶれ量）が3mm程度と予想されたため、接続部5Ring間で5mm/Ring程の調整（段階的に柱長さを伸ばす）を行った。

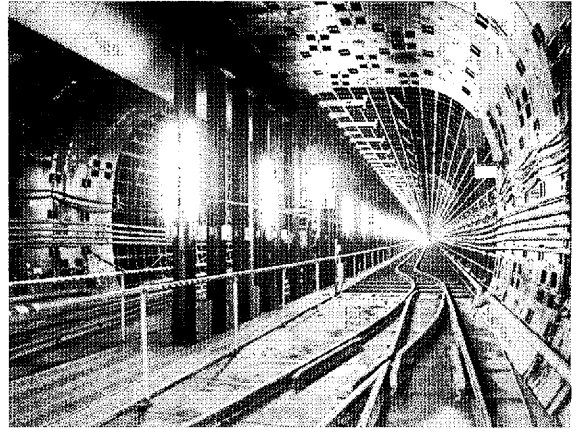
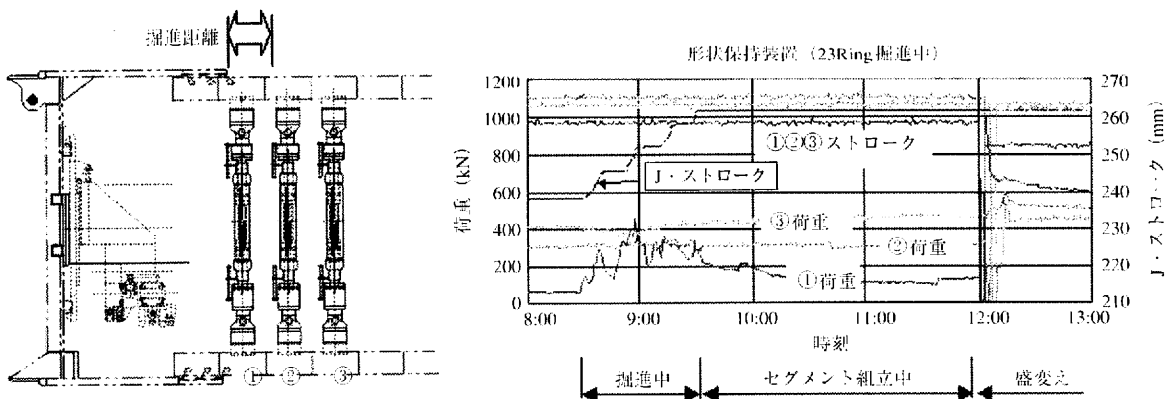


写真2 接続部覆工構造

3-5 DCセグメントの組立

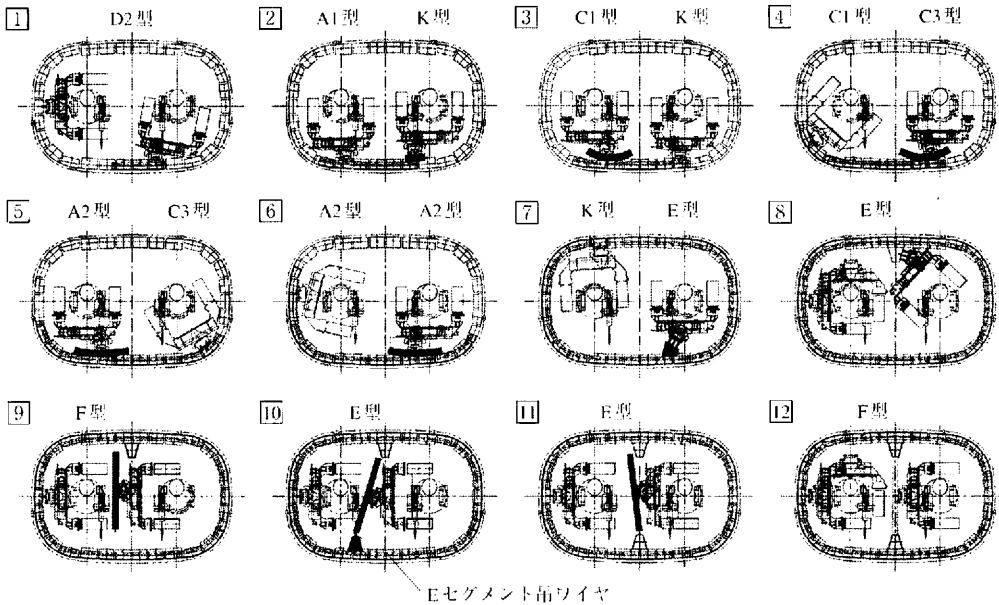
DCセグメントの組立手順を第8図に示す。合成セグメントの最大ピース重量が69.9kNに対し、DCは27.8kNと約40%に止まる。このため段取り変え時にエレクターの作動油圧を下げ、回転速度を倍程度に上げるなどの調整を行った。

DCセグメント組立の特徴は、先に柱を把持した後に柱台（Eセグメント）を挿入する手順と柱挿入要領にある。双方のエレクターでD・Eセグメントピースを若干押し上げ、柱挿入の空間を確保している。



第7図 形状保持装置の挙動

DCセグメント組立順序図



第8図 DCセグメントの組立手順

3-6 漏水対策

セグメントシールドは、水膨張シールドを2段配置した。ボルト孔は継手板間に水膨張ゴムパッキンを挟む方法とした。グラウトホールについても一部を除き密閉構造として漏水防止に努めた。この結果、施工途中でではあるが漏水は確認されていない。

3-7 シールドの線形管理

シールドの路線は、平面は直線で縦断は発進から+2%、-20%→-2%と変化する。シールドの操作は左右がシールドジャッキで、上下がジャッキと中折れの併用で概ね計画通りの線形を確保している。掘進を終えた覆工構造 (DC区間) を写真3に示す。

4. おわりに

地下鉄のトンネルでは初めてとなる大断面矩形シールドの主に覆工について計画から現在までの実績を紹介した。工事はトンネル延長の80%を過ぎた段階であるが、覆工は良好な仕上がり状況にあり、構造的にも安定している。これらの成果はまとも次第報告したい。

最後に本工事に関しご指導頂いた、「京都市高速鉄道東西線六地蔵～醍醐間建設技術委員会・同矩形シールド検討ワーキング」の各位に感謝する。

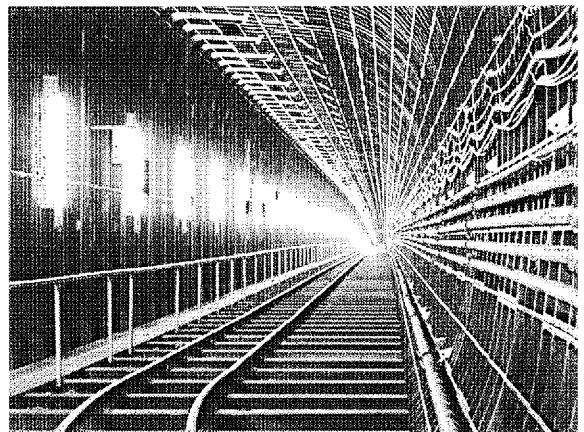


写真3 一般線路部の覆工構造

<参考文献>

- (1) 山崎宗治：大断面矩形シールド工法の概要について（京都市高速鉄道東西線六地蔵北1区）、SUBWAY、2001年1月
- (2) 中村 浩・古川 衛・山口直紀・溝田正志：Planning for shield driven double track subway tunnel of box shape. IS-Kyoto. 2001/11/1.
- (3) 中村 浩・中川嘉博・古川 衛・北嶋武彦・小嶋 勉：大断面矩形シールドの設計について、第11回トンネル工学研究発表会、2001.11.29.
- (4) 中村 浩・中川嘉博・岡本直久・溝田正志・中尾 努：大断面矩形シールドの実用化検討、第11回トンネル工学研究発表会、2001.11.29.

(筆者紹介はp.005掲載)

ハニカムセグメントを用いたシールドの急速施工法

＝シールド掘進とセグメント組立の同時施工を実現＝

㈱奥村組 荒川 賢治
Kenji Arakawa

畑山 栄一
Eiichi Hatayama

1. はじめに

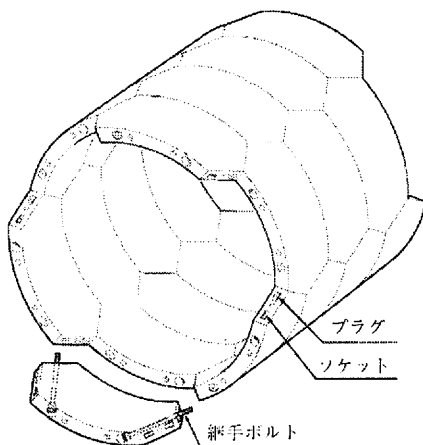
ハニカムセグメントは、奥村組が昭和63年度より取組んだ『長距離・急速化シールド施工法の開発』⁽¹⁾の中で、効率的な急速施工を実現するため、シールド掘進とセグメント組立の同時施工に適した形状として開発した六角形状のRCセグメントである。このセグメントは、第1図に示すように組立形態が蜂の巣状であることから“ハニカムセグメント”と呼び、覆工内面に継手金物が露出せず平滑で二次覆工省略に適し、全ピース同一形状でセグメント自動組立に適した構造であるなど従来のセグメントにはない種々の特長を備えている。ハニカムセグメントは第1表に示すように、現在までに種々の実大載荷試験や解析^{(2)~(4)}を行い、くさび状に連結した斜辺継手の力学的な応力の伝達特性の把握、および設計法や

施工・製造方法の検討を行ってきた。

平成14年度までに第2表に示すように6件のハニカムセグメントの施工実績があり^{(5)~(9)}、平成15年度以降にも数件の実工事への適用を計画している。

第1表 ハニカムセグメント開発経緯

昭和63年	●『長距離・急速化シールド施工法の開発』に着手。掘進と組立の同時施工を実現するためセグメント形状を六角形とし、ストレートやテーパセグメントの基本形状の設定および基本的な設計概念と同時施工用の機械設備を構想。
平成3年	●石川島建材工業㈱と共同研究を開始。
平成4年	●『外径4050mm継手曲げ試験』を実施し、継手形式を決定。
平成4年	●東京都地下鉄建設㈱に地下鉄12号線環状部門仲・月島工区へのハニカムセグメント適用を提案。
平成5年	●『外径5300mm実大載荷試験』を実施。
平成6年	●東京電力土木と野連系管路新設工事(第1工区)にVE提案を行い、外径4100mm電力管路トンネルへの全線承認を受ける。
平成7年	●『外径4100mm実大載荷試験、施工性確認試験』を実施。
平成7年	●土尾野連系管路新設工事(第1工区)に適用。
平成8年	●地下鉄12号線環状部門仲・月島工区建設工事のうち相生シールド工事区間の初期発進部129mに部分適用。
平成9年	●助先建設技術センターの技術評定を受領。
平成9年	●内水圧対抗型ハニカムセグメントの開発に着手。
平成10年	●地下鉄12号線環状部門仲・月島工区建設工事のうち月島シールド工事に全線適用。
平成10年	●中部電力中桑名洞道建設工事(第3工区)にて全自動組立装置による同時施工を実施。
平成11年	●内圧を作用させた内水圧対抗型ハニカムセグメントの実大リング載荷試験を実施。
平成11年	●大阪府北部流域下水道摂津高槻雨水汚水幹線(第5工区)下水道管渠工事で下水道(雨水)で過去にあまり例のない二次覆工を省略したシールド工事に適用。一部区間にて半自動方式による同時施工を実施。
平成13年	●第3回国土技術開発最優秀賞(国土交通大臣賞)を受賞。
平成13年	●東京都下水道局神谷幹線その3工事で部分的に適用。
平成14年	●『外径5300mm実大載荷試験』(Level 2対応)を実施。



第1図 ハニカムセグメント組立概念

第2表 ハニカムセグメント適用一覧

施工期間	工事件名	発注者	工事概要	適用状況
H7.11～ H8.4	上尾与野連系管路新設工事（第1工区）	東京電力中部地中線工事事務所	トンネル延長730m、トンネル外径4100mm、 仕上内径3700mm、セグメント幅1000mm	全区間に適用、二次覆工省略
H8.2～ H8.5	地下鉄12号線環状部門仲・月島工区 建設工事のうち相生シールド区間	東京都地下鉄建設局	トンネル延長1156m×2本、トンネル外径5300mm、 仕上内径4300mm、セグメント幅1000mm	発進部より上下線とも洪覆地盤 129m区間に適用
H10.6～ H10.10	地下鉄12号線環状部門仲・月島工区 建設工事のうち月島シールド区間	東京都地下鉄建設局	トンネル延長421m×2本、トンネル外径5300mm、 仕上内径4300mm、セグメント幅1000mm	全区間に適用、沖積世軟弱粘性土地盤 (N=0～2)、ボルト自動締結装置使用
H10.12～ H11.8	桑名地区洞道新設工事（3工区）	中部電力中央送電建設所	トンネル延長1380m、トンネル外径4680mm、 仕上内径4200mm、セグメント幅1200mm	1238m区間に適用、同時施工・全自動 組立装置、二次覆工省略
H11.2～ H11.8	安城川流域下水道摂津・高槻雨水 下水道幹線（第5工区）	大阪府北部流域下水道事務所	トンネル延長1075m、トンネル外径3900mm、 仕上内径3500mm、セグメント幅1000mm	全区間に適用、同時施工・半自動組立装置、 下水道（雨水）での二次覆工省略
H13.9～ H13.10	神谷幹線その3工事	東京都下水道局	トンネル延長593m、トンネル外径5700mm、 仕上内径5250mm、セグメント幅1000mm	直線部30m区間に適用

本報告では、ハニカムセグメントの構造と、シールド掘進とセグメント組立の同時施工（以下、同時施工と称す）による急速施工への取組みについて紹介する。

2. ハニカムセグメントの構造（基本形状と継手構造）

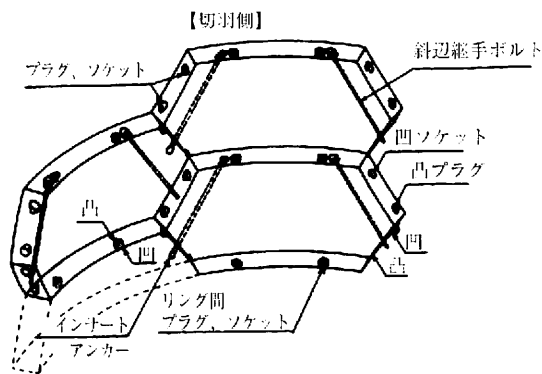
(1) 基本形状

ハニカムセグメントは、数値解析結果や実大載荷試験によるくさび状に連結した斜辺継手剛性の評価や組立性能およびシールド推力載荷面の確保など、強度と施工の両面の検討から隅角部を全て120°とし、正六角形をリング方向に長く伸ばした全ピースが同一の形状を基本としている。分割数は、4以上の偶数分割が原則となり、継手位置が常に同一になるため、覆工断面力の小さくなる箇所継手を配置すれば継手への作用力を軽減することができる。

(2) 継手構造

ハニカムセグメントの斜辺継手は、第2図に示すようにセグメントの切羽側端面から長ボルトを斜辺継手間およびリング間に連結する構造としている。この斜辺継手ボルトは、従来の矩形セグメントのセグメント継手ボルトに相当する応力部材である。リング継手ボルトは組立精度と止水性向上を狙いとした施工部材であり、現在では施工実績から斜辺継手ボルトのみで高精度の組立と止水性が確保されることから平成10年度以降の工事では省略している。この長ボルトを用いた継手構造とすることにより、セグメント内面に継手の連結部が露出せず、二次覆工省略時にはボルト孔の防錆、防食処置が不要とな

る。また、斜辺継手面には、組立時のガイド効果を期待するとともに組立精度の向上のため、凹凸状のプラグとソケットを配置している。



第2図 ハニカムセグメントの継手構造

3. 急速施工への取組み

3-1 ハニカムセグメントを用いた同時施工法の概要

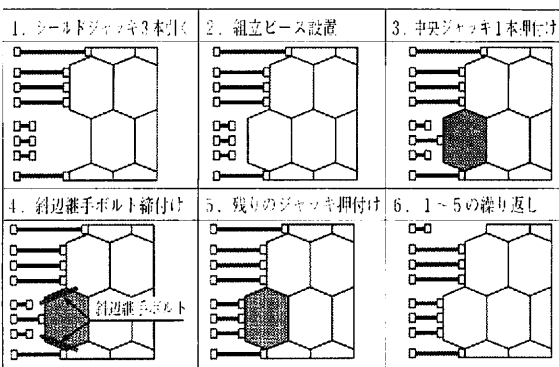
ハニカムセグメントを最初に適用した東京電力上尾与野連系管路新設工事（第1工区）²⁾ および地下鉄12号線環状部門仲・月島工区建設工事³⁾における施工から、ハニカムセグメントは覆工機能として十分な強度と止水性を備えていることが実証された。また、セグメントの組立時間はシールド掘進時間よりも短く、条件が整えばシールド掘進とセグメント組立の同時施工による急速施工も可能であることが示唆された。これらの結果から、ハニカムセグメントを用いた同時施工を実工事に適用するため

の検討を本格的に行うこととした。ここでは、同時施工を行うため考慮しなければならない施工上の主な要点を示す。

(1) セグメント組立精度の確保

シールド掘進とセグメント組立の同時施工ではシールド機の掘進反力となるべきセグメントは組立途中の不安定な状態であり、セグメントの組立精度に支障を与えない施工上の工夫が必要となる。

通常の矩形セグメントは、セグメントをリングに閉合して組み立てるまではシールド推力の载荷に対して不安定な状態となる。一方、ハニカムセグメントは、全ピースが軸方向挿入型セグメントであり、第3図に示す組立手順のように六角形の3辺が拘束して組立てられるため、1ピース組立後セグメントの組立精度に支障することなくただちに安定した状態でシールド推力の载荷が可能となるなど、同時施工に適したセグメント形状である。



第3図 ハニカムセグメントの組立手順

(2) シールド機の姿勢制御

同時施工では掘進中、常時セグメントを組立てるため、セグメント組立位置のシールドジャッキを引抜き、1ピースのセグメントを組立後ただちにシールドジャッキを押当てる施工サイクルを繰り返す必要がある。したがって、掘進中はセグメントの組立位置ごとにシールドジャッキの载荷パターンが変化し、その都度シールド機に偏モーメントが作用するため、施工時のシールド機の姿勢制御が課題となる。これに対応するため、ハニカムセグメントを用いた同時施工では、シールド機の中折れ装置をセグメントの組立位置ごとに屈曲させる中折れ制御によって、偏モーメントを吸収する姿勢制御方式とした。

(3) シールドジャッキストローク（シールド機長）の増大

同時施工では、掘進開始時からセグメントの組立空間を確保するため、通常の矩形セグメントを用いた場合にはシールドジャッキは2.2B～2.5B程度（B：セグメント幅）のストロークが必要となり、必然的にシールド機長はジャッキストロークの増大に応じ長くなる。ハニカムセグメントは、セグメント組立端面が半リング毎に凹凸状の組立面になることから、1.5Bのストロークに軸挿入長や余裕長を加えた約1.85Bのジャッキストロークで同時施工に対応することができる。

(4) エレクタの掘進同調機構

同時施工では、エレクタが掘進に伴い切羽前方に移動するため掘進中でもエレクタをセグメント組立位置に正確に保持する機能が要求される。このため、ハニカムセグメントを用いた同時施工では、掘進速度と同じ速度で常時エレクタを後退させ、エレクタを見かけ上、静止状態に保持する掘進同調ジャッキを装備している。

(5) セグメント組立時の安全性の確保

同時施工では常時、シールド機テール内でセグメント組立作業が継続され、人力によりセグメント組立作業を行う場合の安全性の確保が課題となる。ハニカムセグメントは、全ピースが同一形状で継手ボルトは組立前に装着されるため、ボルト供給が不要で切羽側のリング継手端面からのみのボルト締結作業となるため自動組立に適した特性がある。このため、ハニカムセグメントを用いた同時施工では、切羽作業の安全性確保とセグメント組立時間の短縮を狙いに、セグメント組立やシールドジャッキの選択およびセグメント供給をすべて自動化した全自動組立方式と、セグメントの供給・位置決めは作業員が行い、ボルト締結やエレクタの位置制御を自動化した半自動組立方式の2種類の同時施工対応型シールド機を開発している^{16)~18)}。

3-2 半自動組立方式による同時施工

ハニカムセグメントを用いた半自動組立方式の同時施工対応型シールド機を、平成11年2月より大阪府北部流域下水道事務所発注の“安威川流域下水道拱津・高槻雨水汚水幹線（第5工区）”¹⁹⁾に適用した（ハニカムセグメントの形状：外径3900mm、桁高200mm、幅1000mm、6分割）。

この工事では、セグメントの供給、把持、旋回、

位置決めを作業員が遠隔操作で行い、継手ボルトの締結はボルト自動締結装置（第4図参照）を用い、エレクトラには掘進同調機構（第5図参照）を装備している。この工事におけるハニカムセグメントの組立後の坑内状況を写真1に示す。

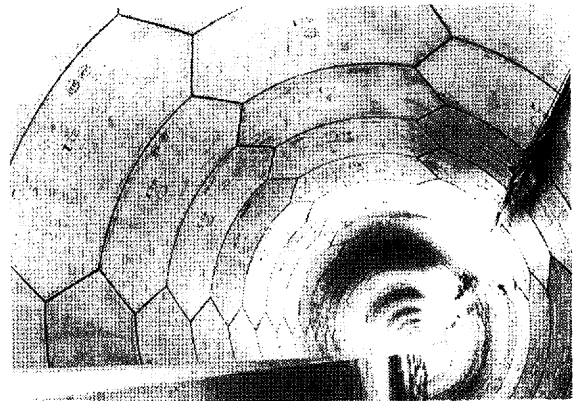
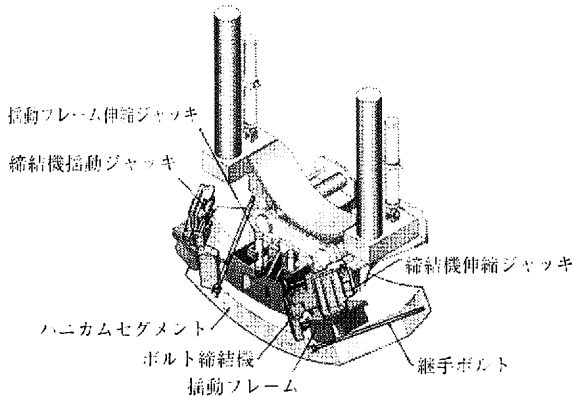
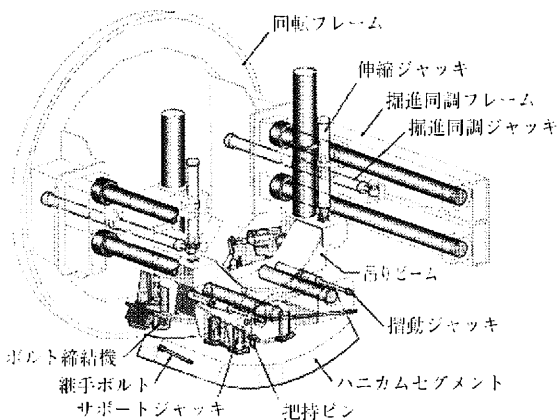


写真1 安威川流域下水道摂津・高槻雨水汚水幹線（第5工区）坑内状況



第4図 ボルト自動締結装置



第5図 エレクトラ構造（半自動）

(1) 施工の状況

① セグメント組立時間

同時施工時のセグメント組立時間は、人力による操作であることや組立位置の違いで巡回時間などに差が生じることから各ピースの組立時間のばらつきはあったが、1ピースの平均組立時間は約4.4分であった。なお、全施工区間における平均の組立時間は1リング30分であった。

② 施工サイクルの比較

1リング6ピースの施工サイクルタイムを第3表に示す。同表に示すようにシールド掘進とセグメント組立を分離した通常の逐次施工に比べ、同時施工ではサイクルタイムが30分短くなり、約半分となっている。昼夜施工における最大日進量は18リングで、逐次施工の日進量10～12リングに比べて1.5～1.8倍の実績が得られた。

第3表 施工サイクル（半自動組立方式）

	掘進時間	組立時間	サイクル	比
逐次施工	33分	30分	63分	1
同時施工	33分	(30分)	33分	0.52

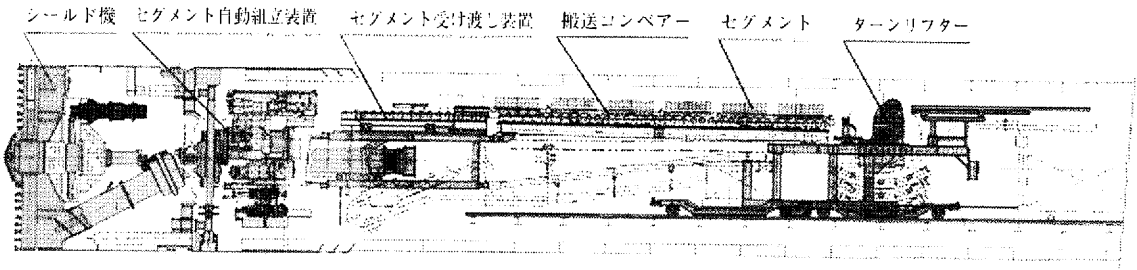
セグメント幅：1000mm 掘進速度：3 cm/min

③ シールド機の姿勢制御

同時施工時には、シールド機の姿勢制御を中折れ制御方式により行い、計画線形に対して±15mm以内のずれでシールド機を制御することができ、中折れ制御で問題なく施工可能であることが検証できた。

3-3 全自動組立方式の開発と実証施工

セグメントの搬送（第6図および写真2に示す上部供給方式による全自動搬送機構）からボルト締結および組立時のシールドジャッキの伸縮動作をすべて自動化した同時施工対応型シールド機（第6図参照）を中部電力㈱発注の“桑名地区洞道新設工事（3工区）”に適用した（ハニカムセグメントの形状：外径4680mm、桁高240mm、幅1200mm、6分割）。



第6図 同時施工対応型シールド機（全自動組立）

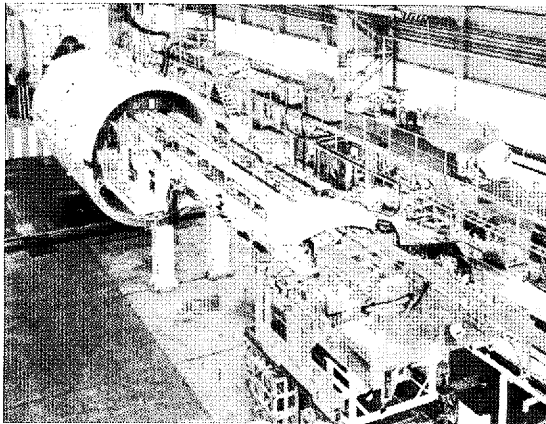


写真2 全自動ハニカムセグメント供給機構（上部供給方式）

この工事で使用した自動組立装置は¹³⁾、旋回方向、伸縮方向、摺動方向の3軸、6自由度を持ち、自動ボルト締結機（第4図参照）を装備している。また、セグメントの位置決めは、エレクタに取り付けた2本のガイドバーと既設セグメントの左右の斜辺継手面をガイドとして利用し、超音波センサなどに頼らず力制御によりセグメントを既設セグメントの組立面に自動的にはめ込む方式である（写真3参

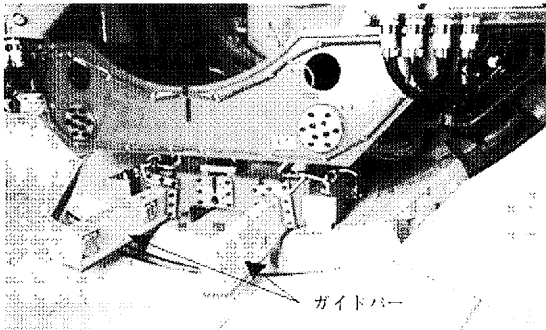


写真3 全自動ハニカムセグメント組立装置

照)。この工事におけるハニカムセグメントの組立後の坑内状況を写真4に示す。

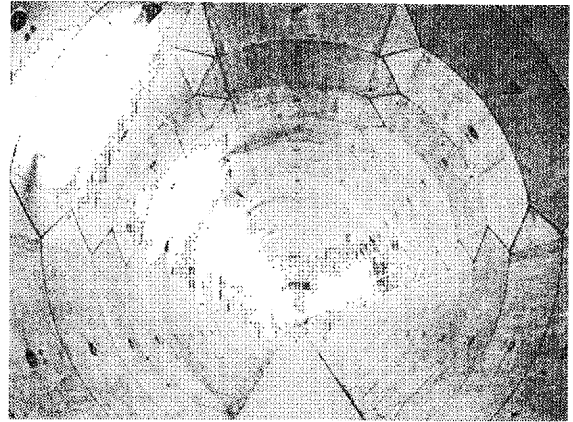


写真4 桑名地区洞道新設工事（3工区）坑内状況

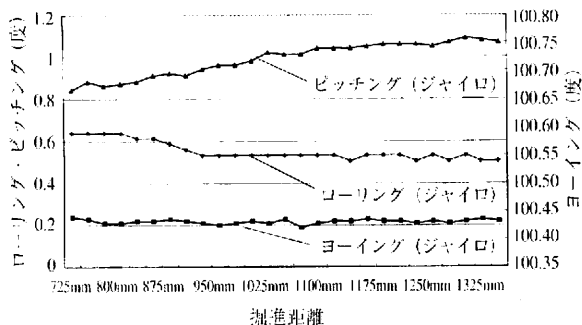
(1) 施工の状況

① セグメント全自動組立装置の性能

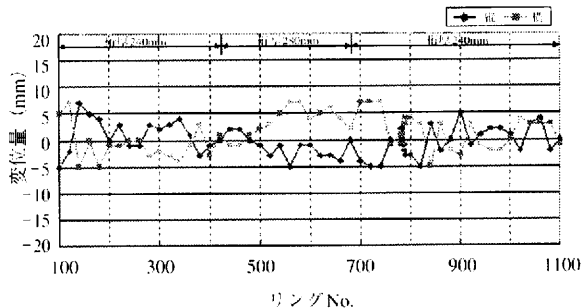
同時施工を実施する前に、掘進と組立を交互に行う従来の逐次施工の形態でセグメント自動組立システムの調整を行い、セグメント全自動組立装置の性能を確認した。初期の施工段階では斜辺継手の目開き量が1mm以上となる個所があり、より組立精度を向上させるため斜辺継手に設けた位置決め用の凹凸形状のプラグとソケットの隙間を少なくすることや、自動組立装置の作動調整を厳密に行った。その結果、すべての継手目開き量は最大でも1mm以内の軽微な値に収まり、セグメント供給からボルト締結までのすべての作業を全自動で実施できた。セグメント1ピースの平均組立時間は4分で、1リングの組立時間は24分であった。

② 同時施工の実施

同時施工時のシールド機の姿勢変動の一例を第7



第7図 シールド機の姿勢変動



第8図 内空変位計測結果

図に示す。同図はセグメント半リング分を掘進した時のシールド機のローリング、ピッチングおよびヨーイングを示したもので、いずれも微小な変動に留まっている。このように、同時施工では中折れ制御によりシールド機の姿勢制御が十分に行え、かつ、問題なくセグメント組立が実施できた。

③ 施工サイクルの比較

セグメント1リングあたりの逐次施工および同時施工のサイクルタイムを第4表に示す。計画時のリングあたりの掘進時間は30分であった。しかし、掘削地盤は、当初の予想に比べて非常に硬質な地盤で、しかも250mm程度の玉石も数多く出現したため、実施工時のリング当り掘進時間は40～60分となり、逐次施工に比較した同時施工の時間短縮割合は0.62～0.71に留まった。通常の洪積や沖積の比較的掘進が容易な地盤条件では掘進時間が30分程度と予想されることから、従来の掘進とセグメント組立を分離した施工形態に比べて2倍以上の施工速度を確保できるものと考えられる。

第4表 施工サイクル (全自動組立方式)

	掘進時間	組立時間	サイクル	比
逐次施工	40～60分	24分	64～84分	1
同時施工	40～60分	(24分)	40～60分	0.62～0.71

セグメント幅：1200mm 掘進速度：2～3cm/min

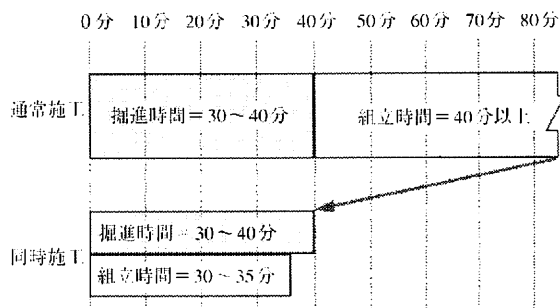
④ セグメントの出来形

第8図に内空変位測定結果を示す。鉛直方向、水平方向ともに±10mm以内であった。また、セグメントのローリングは、管理基準値 (max100mm) に対して最大で40mmに収まり、組立精度は非常に良好で、継手目開き量、目違い量も1mm以内であった。

3-4 同時施工の実工事における試行結果のまとめ

実工事における同時施工の試行や経済性の評価から、ハニカムセグメントを用いた同時施工は以下のように結論される。

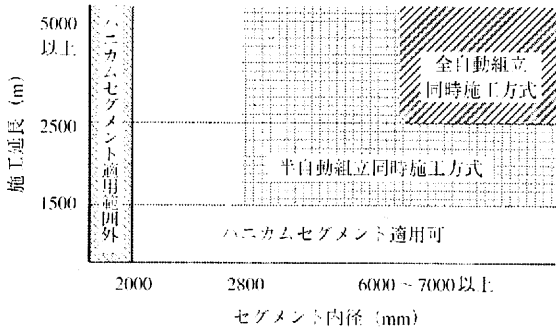
- ① 掘進中のシールド機の姿勢変動に影響されずにセグメントの組立が可能である。
- ② 坑内外の搬送設備等を充実させれば、同時施工で従来の2倍の日進量を確保できる (第9図参照)。



第9図 通常施工と同時施工における1リング当たりの時間比較 (セグメント幅1200mm、セグメント外径φ5.0m級の場合)

- ③ 同時施工では、中折れジャッキで前胴を屈曲させる方法でシールド機の方向制御が可能である。
- ④ 半自動組立方式および全自動組立方式による同時施工法が可能である。
- ⑤ 同時施工用の機械設備費のイニシャルコストが増大するため、半自動方式では施工延長

1500m以上、全自動組立方式では同2500m以上で適用することにより、従来方式に比べコスト低減が可能となる(第10図参照)。



第10図 ハニカムセグメントを用いた同時施工法の適用範囲

⑥ 今後、ハニカムセグメントを用いた同時施工法を、実工事に適用する場合には、逐次施工に比べて連続作業が増えることによる坑内および坑外の作業員配置の見直し、立坑から切羽へ掘進時間内に効率よくセグメントを搬送する設備の導入、日進量が増加することによる掘削残土の処理能力やストック容量のアップ、作業基地からの土砂の搬出方法など、シールド施工全体としての総合的な計画と検討が必要であると考える。

4. おわりに

ハニカムセグメントは、従来以上の急速施工を可能とするため掘進とセグメント組立の同時施工に適した形状として着目したことに開発の経緯がある。研究開発が進むにつれ、ハニカムセグメントは覆工内面が平滑で二次覆工省略に適し、全ピース同一形状で自動組立に適するなど種々の特長を有し、同時施工の実工事への適用により、従来の2倍程度の日進量を確保可能であることが立証され、昨年度の第3回国土開発技術賞の最優秀賞に選ばれる経緯となった。

これらの成果は、開発技術でご指導を頂いた多くの学識経験者や発注者の方々の温かいご声援の賜物であり、ここに改めて謝意を表する次第である。

<参考文献>

- (1) 都甲博二・荒川賢治・他：“我が国初のハニカムセグメントの開発”，土木学会誌、技術最前線、Vol.78、pp.17-19、1993.4.
- (2) 荒川賢治・奥野三郎・他：“ハニカムセグメントの継手曲げ試験”，土木学会第47回年次学術講演会、Ⅲ-7、1992.9.
- (3) 高橋 忠・荒川賢治・他：“ハニカムセグメントの実大載荷試験、I・II”，土木学会第49回年次学術講演会、Ⅲ-672、673、1994.9.
- (4) 半出 亨・福島昭男・他：“ハニカムセグメントの実大載荷試験”，トンネルと地下、Vol.26、No.4、pp.51-61、1995.4.
- (5) 池谷 洋・竹内友章・他：“曲線部を含むシールド工事にハニカムセグメントを採用、東京電力上尾野連系管路”，トンネルと地下、Vol.27、No.9、pp.41-49、1996.9.
- (6) 金安 進・新治 均：“地下鉄にハニカムセグメントを採用、都営12号線相生シールド”，トンネルと地下、Vol.29、No.10、pp.23-31、1998.10.
- (7) 荒川賢治・相馬誠人・高橋 忠：“6. ハニカムセグメントを使用したトンネルの急速施工”，土木学会土木施工小委員会、地下鉄12号線環状部の施工技術、pp.63-74、2000.11.
- (8) 兼子 実・古川鏡吾・他：“シールド工事における事業費の削減、二次覆工を省略した雨水管渠の築造”，月刊下水道、Vol.22、No.8、pp.67-72、1999.7.
- (9) 荒川賢治・白石浩司：“ハニカムセグメント—連載講座セグメントの新技術—”，トンネルと地下、Vol.29、No.12、1998.12、pp.91-94.
- (10) 畑山栄一・福居雅也・他：“ハニカムセグメントの自動組立装置の開発”，土木学会第51回年次学術講演会、VI-14、1996.9.
- (11) 畑山栄一：“ハニカムセグメント自動組立装置、最近の施工技術と機械①”，月刊建設機械390、Vol.33、No.8、97.8.
- (12) 中山 元・永山 剛・他：“ハニカムセグメントを用いた全自動同時施工法”，土木学会第53回年次学術講演会、VI-58、1998.9.
- (13) 中山 元・南川昭夫・他：“ハニカムセグメントを用いた同時施工法”，土木学会第54回年次学術講演会、VI-67、1999.9.
- (14) 畑山栄一・荒川賢治：“特集：長距離トンネル工法のポイント—掘進とセグメント組立の同時施工法—”，月刊下水道、Vol.21、No.14、pp.33-36.

【筆者紹介】

荒川 賢治

株奥村組 技術本部 技術開発部
都市トンネルグループ長
〒108-8381 東京都港区芝5-6-1
TEL：03-5427-8470 FAX：03-5427-8104
E-mail：oku06868@gm.okumuragumi.co.jp

畑山 栄一

株奥村組 技術本部 技術開発部 次長
〒108-8381 東京都港区芝5-6-1
TEL：03-5427-8578 FAX：03-5427-8104

樹脂被覆ライニングによる二次覆工の省略

＝下水道トンネルへのHDライニングの全線適用事例＝

石川島建材工業(株) 染谷 洋樹
Hiroki Someya

1. はじめに

伊丹市の雨水は、東部は猪名川、西部は武庫川、南部は合流式下水道、中央部は金岡雨水幹線から庄下川へ排水する計画になっている。このうち、猪名川第二排水区内県道米谷昆陽尼崎線沿線において、集中豪雨時に既設の排水路では排水流下能力が不足しているため、付近一帯が浸水することが確認されている。

当工事は、集中豪雨時の排水流下能力を確保し、将来にわたり浸水災害が発生しないよう安全な雨水排水を実現する為、金岡排水路を最下流とするバイパス管渠を泥土圧式シールド工法により築造する工事である。

所定の排水流下能力を確保した上で、止水性や防食性を満足し、いかに工事費を低減するかを課題にセグメントの仕様を比較検討した結果、HDライニング（High Durability Tunnel Lining：高耐久性トンネル覆工）による内面樹脂被膜（パネルタイプ）のセグメントを一次覆工全線にわたり採用し、二次覆工省略型の下水道管渠を築造している。ここでは、採用までの経緯とHDライニングの特徴、施工実績を報告する。

2. 工事概要

工事名：昆陽泉町雨水幹線築造工事
企業者：伊丹市建設部下水道整備室
施工者：鹿島・新井特定建設工事共同企業体
工事場所：伊丹市昆陽字城の前～南野2丁目
工期：2000（H.12）.9.12～2003（H.15）.3.25
工事内容：＜泥土圧式シールド工法＞

掘進延長：1,640.7m

シールド機外径：φ2,430mm

仕上がり内径：φ2,000mm

セグメント：内面樹脂パネル被覆

外径 φ2,300mm

RCセグメント（W＝1.0m）

SSPC鋼製中詰（W＝1.0m）

SSPC鋼製中詰（W＝0.3m）

曲線半径：R＝2,000m、R＝30m

上被り：9.5～10.2m

縦断勾配：0.4%

3. 基本計画

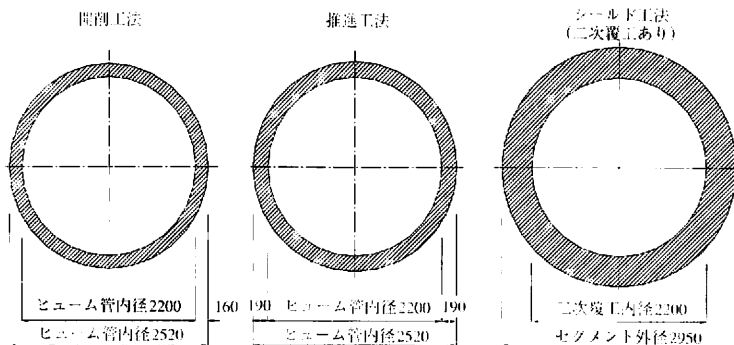
3-1 管渠仕様・工法の見直し

当工事に要求される雨水排水の流下能力を確保するには、コンクリートでの仕上がり（粗度係数n＝0.013）で、φ2,220mmの内径が必要である。現在、日本下水道協会による仕上がり内径φ2,000mmクラスの管渠布設工法は、第1図のとおりである。この中で「開削工法」「推進工法」については、当工事における施工環境や施工条件から採用が困難である。

「開削工法」や「推進工法」においては、使用材料が規制されてしまい検討の余地が少ないが、シールド工法については、構造物に要求される品質・性能により十分見直す要素があると考えられる。

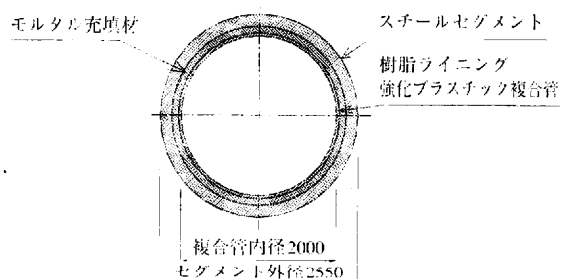
3-2 二次覆工の見直し

従来、二次覆工はコンクリートを巻き立てることにより施工されてきた。しかし最近では、φ3,000mm以下のシールド工事において、施工性や工期の観点から一次覆工完了後に「強化プラスチック複合管（FRPM管）」を挿入し、一次覆工との空隙にモルタ



第1図 管渠布設工法

ルを充填する工法も増えている。仕上がり内面をFRPM管や樹脂ライニングにすると、粗度係数が $n=0.010$ 程度まで低減され、仕上がり内径を $\phi 2,000\text{mm}$ まで縮小することが可能となり、セグメント外径も200mm程度縮小できる(第2図参照)。



第2図 強化プラスチック複合管布設工法

3-3 二次覆工省略

近年、シールド工事において二次覆工省略は、工事費低減の有効な手段として技術開発が活発である。

しかし、用途や機能により要求される品質が異なるため、安易に採用できず、各々の要求に適合した覆工構造・仕様を決定する必要がある。

二次覆工の目的には次のことが挙げられる。

- ① 一次覆工の防水・防食・耐久性確保
- ② 一次覆工の蛇行修正・内面平滑化
- ③ 管渠内の内装仕上げ(要求機能確保)
- ④ 一次覆工の補強

二次覆工省略は、電力洞道や共同溝、地下鉄で実績があり、地下河川にも適用が図られている。

しかし、下水道管渠のような厳しい腐食性環境の

下での二次覆工省略は困難とされてきた。

今回、これらの課題を解決すべく、下水道管渠築造における一次覆工材の開発が必要となった。

3-4 適正材料の選定

前項3-1、2、3を念頭に置き、粗度係数の低減と二次覆工の省略を実現してトンネル外径縮小を図り、更に下水道管渠に要求される機能を確保するため、内面樹脂被覆を施したHDライニングセグメントの採用に至った。

管渠の耐用年数50年に見合う被覆構造を念頭に、二次覆工コンクリートと同等の耐久性・耐腐食性確保およびセグメントのコンクリート部への浸食防止を図るための技術が検討された。HDライニングにおけるトンネル機能確保の概要を第1表に示す。

第1表 トンネル機能確保

項目	技術概要
① 内面平滑化	内面樹脂被覆により粗度係数低減 ボルトボックス・注入孔充填、コーキング
② 防食性・耐久性	樹脂被覆により耐腐食性向上
③ 防水性	樹脂+シールド材+コーキングで止水
④ 内装仕上げ	ボルトボックス・注入孔充填、コーキング

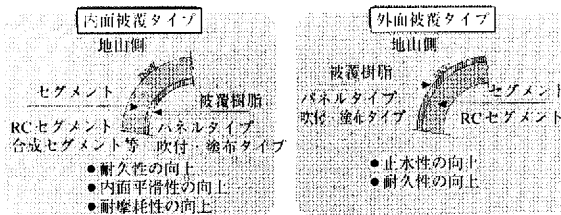
3-4-1 内面平滑化

(1) HDライニングの種類

HDライニングには、第3図に示すように外面被覆と内面被覆があり、各々パネルタイプと塗布タイプがある。

当工事は雨水排水管渠であり、所定の流下能力・機能を確保した上で管径を縮小するのが目的であるため、内面樹脂被覆を施している。

内面樹脂被覆については、パネルタイプ・塗布タイプ共に、神戸市および名古屋市のシールド工事で部分的な試験施工が行われており、いずれも品質・



第3図 HDライニングの種類

機能共に良好な結果が記録されているが、一次覆工全線に渡り採用するのは当工事が初めてである。

(2) HDライニングの材質

従来の二次覆工コンクリートと同等の耐久性を要求されており、摩耗輪試験による摩耗量などから、樹脂被覆厚みが4mmに設定されている。塗布タイプで4mmの樹脂被覆を施すにはかなりの手間が掛かりコストアップにつながるため、パネルタイプを採用した。パネルタイプについて、現在考えられる材質の比較を第2表に示す。

第2表 HDライニング (パネルタイプ) 材質比較表

項目	ジシクロペンタジエン (DCPD)	ポリ塩化ビニル (PVC)
比重	1.00	1.40
引張強さ	4.6 (kN/cm ²)	4.7 (kN/cm ²)
硬 度	95以上	95以上
摩 耗 量	15 (mg)	20 (mg)
耐薬品性	変化なし	変化なし
耐火性	自然性 (有害ガスなし)	自己消火性 (有害ガス発生)
耐熱性	120℃	80℃
特 徴	水素と炭素で構成される。2液の原料と顔料を混合し金型に流し込み硬化させる熱硬化性樹脂。現状の技術では厚さ3.5mm厚までの薄さで製作可能。金型により1枚ものパネルが製作可能。金型は塩ビよりは安価。セグメント取付はセグメント製作時に型枠にセットする先施工型。	押し出し成形による熱可塑性樹脂。現状の金型は製品幅=314mmであるため、パネル同士の継ぎ目が発生する。1枚ものパネル製作には新規金型と製造ラインを設ける必要があり、かなり高価である。セグメント取付は、セグメント製作時に型枠にセットする先施工型。
経 済 性	100%	117%

第2表の他、類似工法としてポリエチレン製のシートタイプがある。三者共にパネルとセグメントコンクリートを一体化させるため、パネル裏側に突起を設けている。

ポリエチレンは付着性が悪いため、シート端部までアンカー材の設置を要している。

第2表の両者とも物理的および科学的特性に大きな差はないが、以下の点から当工事ではDCPDを採

用している。

- ① 現状の製造方法の違いによる仕上がり内面の外観・精度に優れている。
- ② カutting処理した場合の廃材処分の際、燃焼しても有害ガスが発生しない。
- ③ 経済性に優れている。

当工事において従来の二次覆工した場合と、DCPDによるHDライニングセグメントを用いて一次覆工した場合の比較を第3表に示す。

第3表 トンネル覆工における比較表

項目	工 法	二次覆工あり	HDLセグメント
シールド機外径		φ 3,070mm	φ 2,430mm
仕上り内径		φ 2,220mm	φ 2,000mm
セグメント外径		φ 2,950mm	φ 2,300mm
工 期		約21ヶ月	約15ヶ月
工 事 費		100%	98%

(3) HDライニングセグメント製作

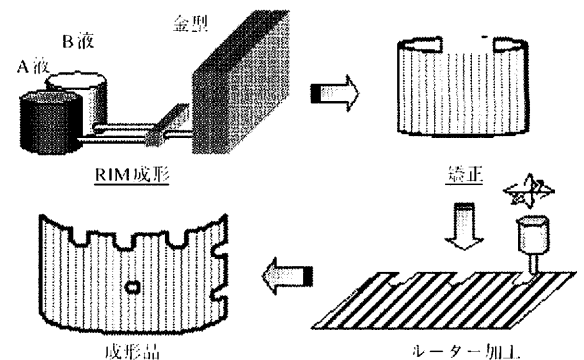
① パネル製作

DCPDの成形方法は、2液の原料と顔料を混合し金型に流し込み、熱硬化させる (RIM成形) ことは第2表内のおりである。

金型は2~3工事で償却されるもので、要求される内径に合わせ金型を製作しパネルを製作すると金型の転用が難しいため、コストアップにつながる。このため、フラットタイプの金型を採用し、内径やセグメント幅が異なるシールド工事への転用を可能とした。金型脱型後、パネルが冷めないうちに曲げ加工することにより、所要の内径を確保している。

出来上がった成形品をルーター加工 (NC旋盤) することでボルトボックス用の切り込みを入れている。

パネル製作工程概略を第4図に示す。



第4図 DCPDパネル製造工程概略図

② HDライニングセグメント製造

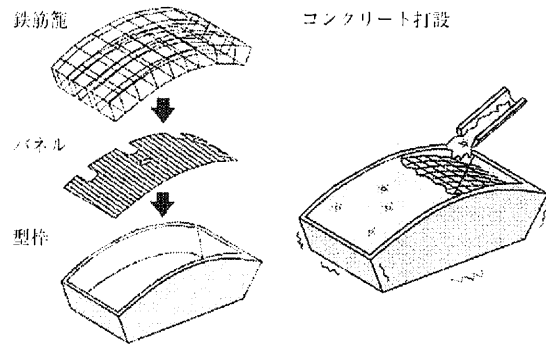
当工事の使用セグメントを第4表に示す。

第4表 製造セグメント種類

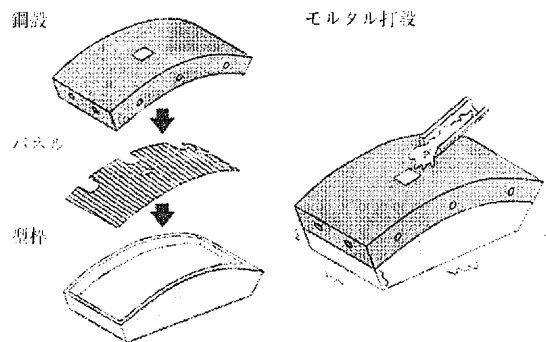
	般部 RCタイプ	流入管取付部 鋼製中詰タイプ	R=30m曲線部 鋼製中詰タイプ
数量 R	1,586	24	107
幅 m	1.0	1.0	0.3

DCPDパネルを型枠に組込み、コンクリートを打設するパネル先施工タイプである。

第5図にRCタイプ、第6図に鋼製中詰タイプの製造工程概略図を示す(写真1 RCセグメント)。



第5図 RCセグメント製造概略図



第6図 鋼製中詰タイプ製造概略図

なお、セグメントコンクリートとHDパネルの付着性であるが、セグメントの単体曲げ試験や継手曲げ試験において、コンクリートが破壊するまでパネルが剥離しないことが確認されている。

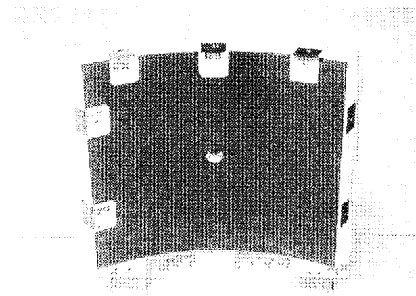


写真1 HDライニングセグメント (RCタイプ)

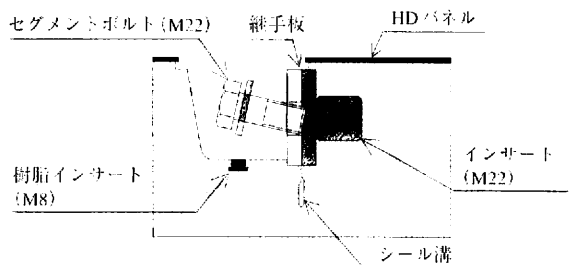
3-4-2 内装仕上げ

リング間・ピース間のボルトボックスやグラウトホールがある場合には、内装仕上げ・平滑化のため、各々を充填する必要がある。

近年、多く採用されているボルトレスセグメントの場合、ボルトボックス充填が省略できる。また、同時裏込注入の採用によりグラウトホールが省略されている例もあり、更に、セグメント組立時のエレクターの改良によりセグメント把持金物も省略となるケースも今後出てくるものと思われる。

当工事では、継手金物とセグメント桁高の関係からボルトレスセグメントの採用には至っていないが、片側袋ナット(インサート)式セグメントの採用により、ボルトボックス充填数量の低減を図っている。

片側袋ナット(インサート)式の継手概略図を第7図に示す。



第7図 セグメント継手構造概略図

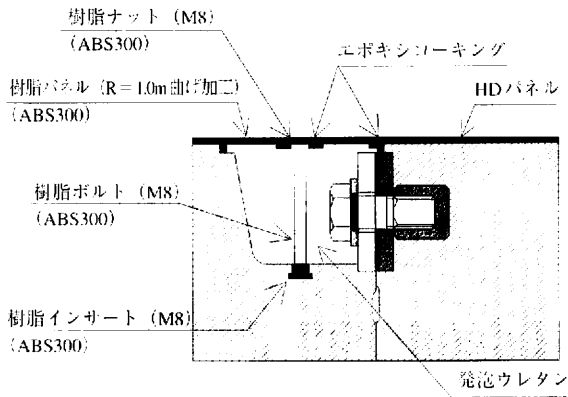
当工事における充填項目・数量は以下のとおりである。

- ① ボルトボックス : 28ヶ所/R
- ② グラウトホール : 6ヶ所/R (セグメント把持金物兼用)

(1) ボルトボックス充填

ボルトボックス充填の手順を以下に示す。

- ① セグメント製作時にボルトボックスの底面に樹脂インサートを埋め込んでおく。
 - ② 樹脂インサートに樹脂ボルトを取付ける。
 - ③ 硬質発泡ウレタン（1液性ポリウレタン）をボルトボックス容積の1/3程度注入する。
 - ④ 樹脂パネルで蓋をする。
 - ⑤ 樹脂ナットをボルトに取付け、樹脂パネル蓋を締付ける。樹脂パネルのR加工面をセグメントに合わせる。
 - ⑥ 樹脂パネルの端部から発泡ウレタンが若干出ることを確認する（充填確認、出た分は清掃）。
 - ⑦ 樹脂パネル周り樹脂ナット周りをエポキシ樹脂でコーキングする。
- ボルトボックス充填の概略を第8図に示す。

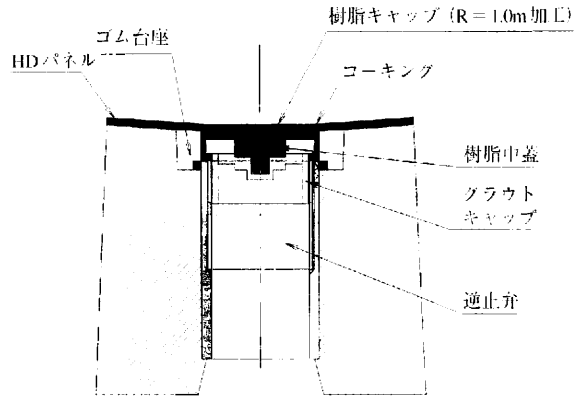


第8図 ボルトボックス充填概略図

(2) グラウトホール充填

グラウトホール充填の手順を以下に示す。

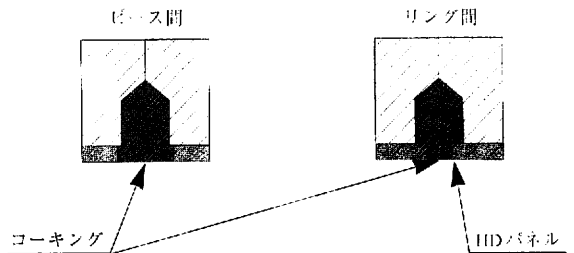
- ① セグメント組立後、逆止弁を取付ける。
 - ② 裏込注入完了後、グラウトキャップを取付ける。
 - ③ グラウトキャップにエポキシ接着剤を塗り、樹脂中蓋を取付ける。
 - ④ 樹脂キャップを内面に段差が無くなるまでねじ込む。その際、樹脂キャップのR加工面をセグメント内面に合わせる。
 - ⑤ 樹脂キャップ周りをコーキングする。
- グラウトホール充填の概略を第9図に示す。



第9図 グラウトホール充填概略図

(3) 目地コーキング

セグメントのリング間・ピース間の目地にエポキシ樹脂コーキングを施工している。目地部の概略図を第10図に示す。



第10図 目地コーキング概略図

(4) 外観

本来DCPDは茶系の飴色であり、神戸市や名古屋市では表面をグレーに塗装している。

セグメント工場出荷までの仮置きが屋外の場合、紫外線により変色し外観が悪くなることから、当工事では、原料に顔料（カーボン）を混ぜ黒色にすることにより、変色を防いでいる。

ボルトボックスやグラウトホールの樹脂蓋、コーキングもこれに合わせ黒色にしている。



写真2 ボルトボックス・グラウトホール充填状況

4. 施工実績

4-1 シールドマシン

シールドマシンの特徴は以下のとおりである。

- ① K型セグメントが軸挿入式であるため、ジャッキストローク長および機長が長い。
- ② $R=30\text{m}$ の急曲線施工に備え、中折装置(4.5°)を装備している。

当工事のシールドマシン全体図を第11図に示す。

4-2 セグメント

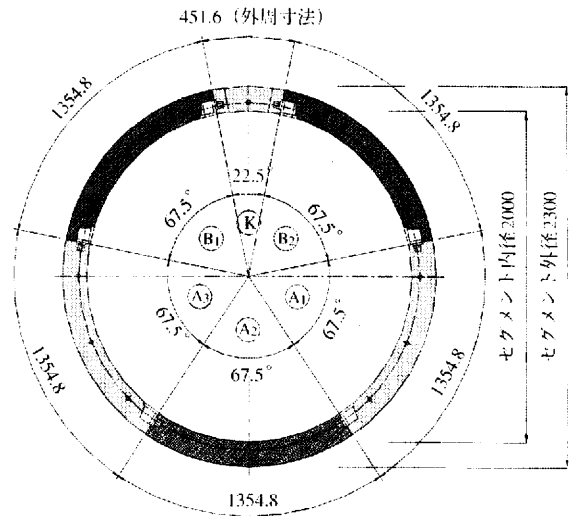
セグメントを5分割にすることにより、ピース間継手の数を低減し、ボルトボックス充填の数を低減することが考えられたが、当工事では、切羽作業スペースが狭く、セグメント台車からエレクターまでのセグメント搬送の作業性を考慮し、6分割とした。

セグメントの構造図を第12図に示す。

4-3 一次覆工の品質

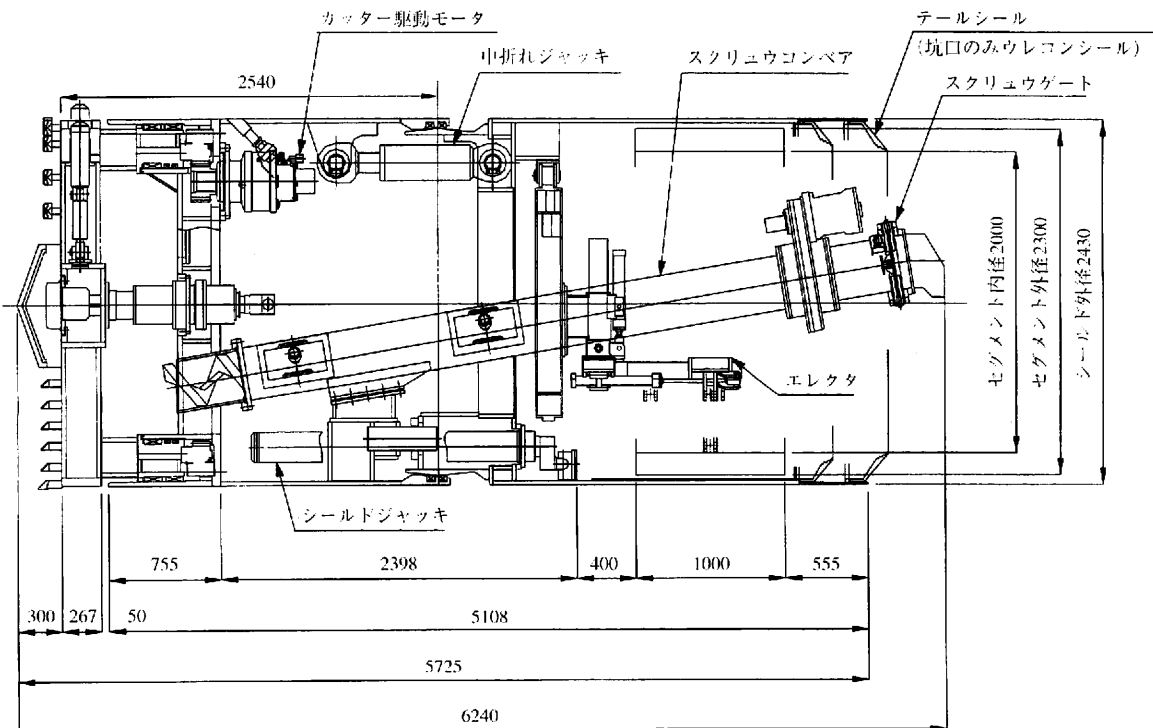
シールド工事において問題となるのは、漏水と欠けである。

漏水においては、目地部およびボルトボックス周



第12図 セグメント構造図

りからにじむ程度が数ヶ所あったが、いずれも止水注入にて完全に止水が行われている。



第11図 φ2.430mm シールドマシン

仕上りが黒一色のため、坑内の明るさが心配されたが、そのようなこともなく全体的に外観は優れている。

完成したシールド坑内状況を写真3に示す。

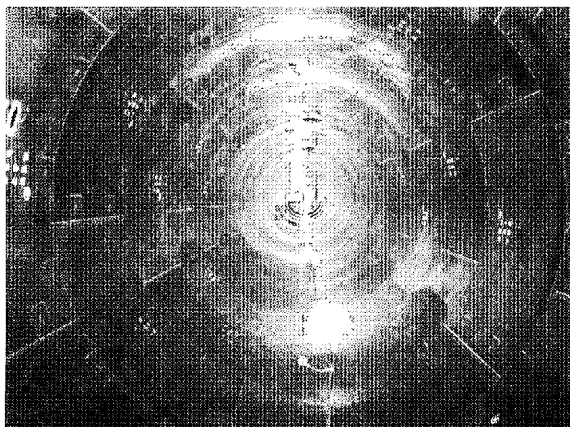


写真3 シールド坑内状況

5. おわりに

今回、内面パネル樹脂被覆型セグメントを採用することにより、シールドトンネルの品質確保と工事費低減を図ることができた。

採用されたHDライニングセグメントは、鹿島建設㈱、シーアイ化成㈱、石川島建材工業㈱、ジオスター㈱の4社で共同開発したものである。

このセグメントの今後の課題として、以下のことが挙げられる。

- ① より安価な樹脂パネルの開拓
- ② ボルトレスセグメント採用によるボルトボックス充填の省略。
- ③ セグメント把持孔の合理的な充填方法の開発。把持金物の不要な組立装置の開発により、把持孔充填省略も可能。

近年、二次覆工省略型シールドトンネルは実績も多くなってきているが、今回、HDライニングにより下水道管渠における二次覆工を省略したことにより、今後、更に多くなると思われる。

HDライニング工法としては、2002年3月に(財)下水道新技術推進機構より発行された「下水道シールドトンネルの内面被覆工法・技術資料」の中で適用にあたっての詳細が示されている。

シールド技術の発展と社会貢献のため、更なる品

質・耐久性の向上とコスト低減が要求されていくと思われる。

そのために、新技術の開発と現場でのより厳しい施工管理が必要である。

本報告が、同種工事および技術開発の参考になれば幸いである。

【筆者紹介】

染谷 洋樹

(昭和30年7月1日生・千葉県出身)
石川島建材工業㈱
セグメント事業本部 技術部 部長
〒100-0006
東京都千代田区有楽町1-12-1
TEL : 03-5221-7237
FAX : 03-5221-7298
E-mail : hiroki_someya@ikk.co.jp



石川島建材工業株式会社

<代表者名> 児下 光弘
<本社住所>

〒100-0006 東京都千代田区有楽町1-12-1
TEL : 03-5221-7211 FAX : 03-5221-7299
URL : <http://www.ikk.co.jp/>
E-mail : kazuyuki_fujiu@ikk.co.jp
<資本金> 1,665 (百万円)
<年商> 24,000 (百万円)
<従業員数> 181名

<主要取引先> 国土交通省、日本道路公団、他省・公団・公社、JR各社、建設会社、他

<事業内容および会社近況>

コンクリート製品、土木・建築資材プレハブ構築物の設計・製作・販売などの事業。

主力であるシールド工事に用いるRCセグメントと鋼製セグメントは、施工の高速化、二次覆工の省略化に対応した機能とコスト低減が求められており、高性能・高品質を維持した製品の開発でお応えするように努めています。

特集

シールド工事における最近の覆工技術動向

C0211-08

4心円H&Vシールド工法で地下鉄駅を構築

＝大江戸線六本木駅シールド工事＝

顧問 藤本 明生
Akio Fujimoto

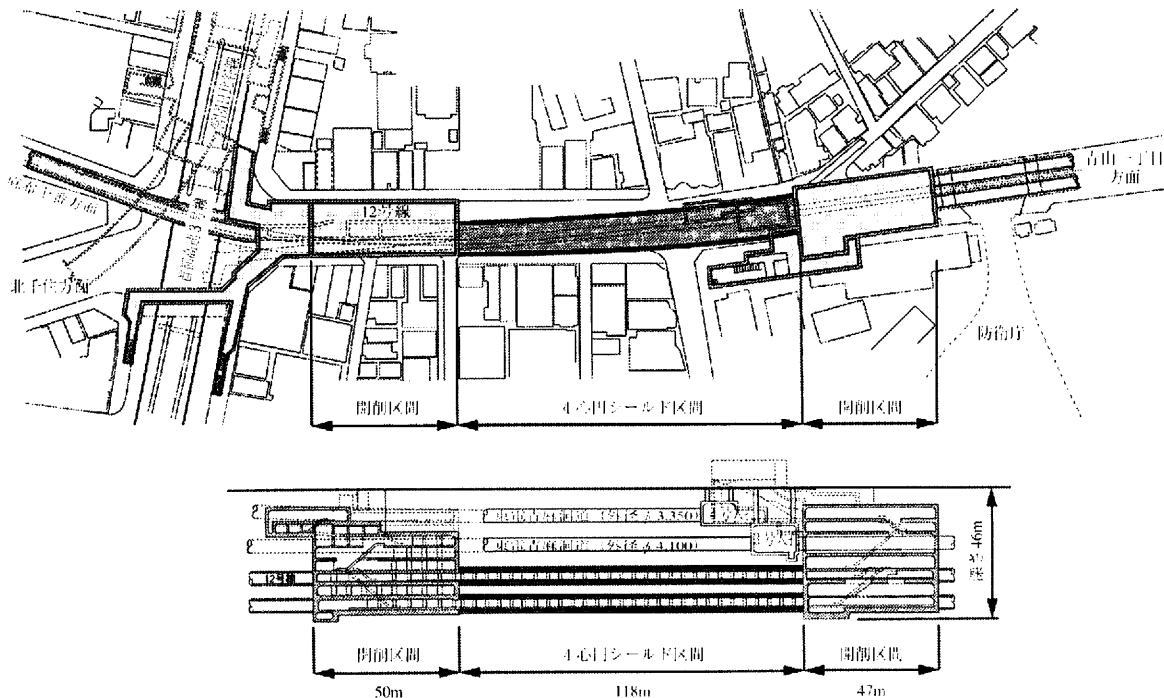
1. はじめに

開業時に大江戸線と命名された地下鉄12号線は、経済や文化の拠点を結ぶとともに、放射状に走る鉄道ときめ細かく連絡している。都心の地下空間を有効に活用し、都市の活性化を図るものである。六本木駅も地域を活性化する役割を担い、日本有数の繁華街の中心に建設が計画された(第1図)。

周辺には高速道路や幹線道路が複雑に交差し、沿

道には道路ぎりぎりまで迫ったビルが密集する。地下にも、電力人孔・洞道など無数のライフラインが錯綜しており、埋め尽くされた状況にある。

こうした場所での地下鉄駅の建設は、路上での作業が大幅に制限されるのため工期に多大な時間を要する。地上からの開削は、膨大な量の地下埋設物や沿道建物を防護しながらの作業となるため、工期短縮と工事による周辺環境への影響防止が課題である。

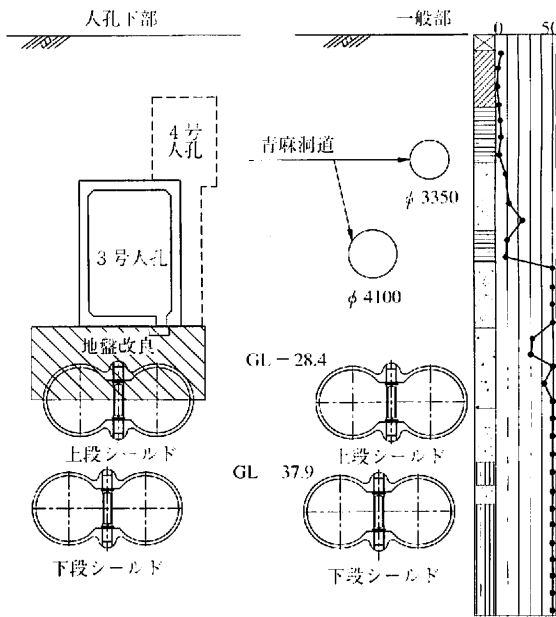


第1図 六本木駅工区平面図および縦断面図

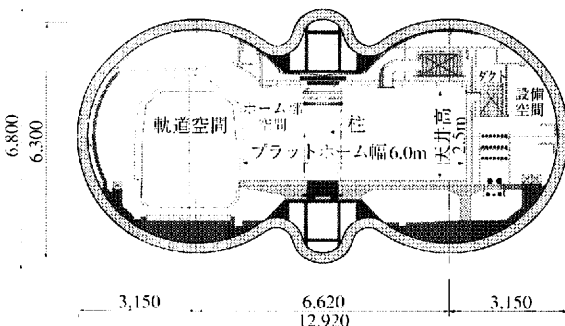
そこで、開削の範囲を地上とのアクセスに必要な駅の両端部に限定し、上下二段のプラットホーム区間に「4心円H&Vシールド工法」を採用した。ここでは、4心円シールドで用いたセグメントの構造、セグメント供給・組立方法と、シールド機姿勢制御を中心に施工結果を報告する。

2. 六本木駅の概要

六本木駅は線路線形の制約により上下二段の地下駅となっている。トンネルの上被りは上段シールドで28m、下段シールドで38mであり、プラットホームの深度は大江戸線の地下駅の中で最も深い。第2図にトンネル標準断面図、第3図に完成断面図を示す。



第2図 トンネル標準断面図



第3図 駅トンネル完成断面図

(1) 地質の概要

シールドの通過する地質は、上段シールドが東京礫層および東京砂層、下段シールドが上総層の泥岩および砂質土である。なお、既設電力人孔とトンネルとの離隔が約2.7mと小さいため、人孔下部には地盤改良による防護工を実施している。

(2) 4心円シールド機

4心円シールド機は左右・上下に合計4つのカッターを有する。掘削方式には泥水式を採用し、カッターを同一平面内に配置し単一チャンバー方式とすることで、切羽安定や流体制御を容易にするよう配慮している(写真1)。泥水配管や油圧ホース類は、シールド機の右側円部に配置されている。左側円部は中央部セグメントおよび柱を搬入するスペースとなる(写真2)。

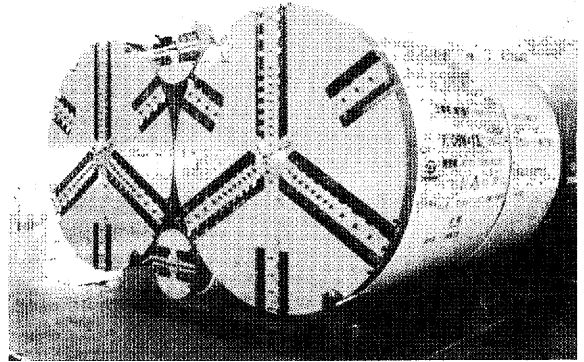


写真1 4心円H&Vシールド機

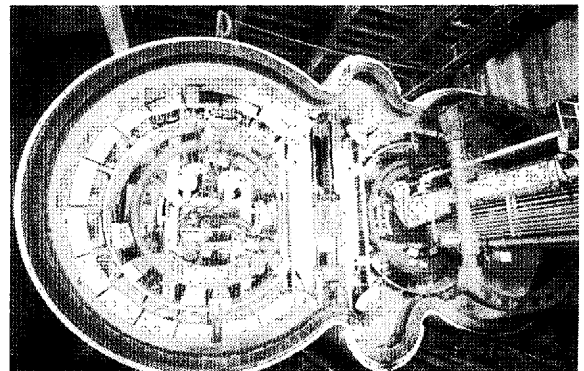


写真2 4心円H&Vシールド機(テール側)

多円形シールドでは、掘進中の姿勢制御が単円形に比べて難しく、ローリングが発生したときの修正が問題となる。これに対応するため、H&Vシールド工法のクロスアーティキュレート機構を装備した。

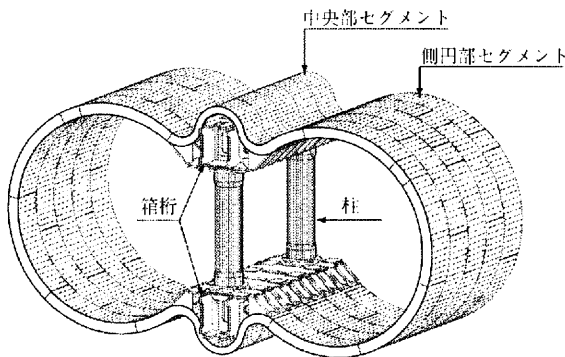
本機構は、シールド機の左右側円部を個別に上下に中折れさせる機構である。これによりローリング制御やピッチング制御などの姿勢制御を自在に行うことが可能となる。第1表にシールド機の仕様を示す。

第1表 シールド機の仕様

幅×高×機長	13,180×7,060×8,100mm
カッター外径	左右φ6,560mm、上下φ1,720mm
整備総推力	79,000kN
左右カッター	3,130kN・m、0.8r.p.m
上下カッター	85kN・m～105kN・m、0～3r.p.m
中折れ角度	上下 ±1.0度

(3) セグメントの構造

第4図にセグメントの概要図を示す。中央部セグメントの構造は、セグメントに箱桁を内蔵した「一体型セグメント」となっている。この箱桁を1リングごとに高力ボルトで摩擦接合して、トンネル軸方向の桁部材を構成する。このためセグメント組立時点で駅の主構造は完成しており、掘進完了後に桁を設置して柱を盛り替える受桁後施工方式に比べて、工期を短縮できる利点がある。



第4図 セグメントの概要図

箱桁を接合するボルトは、1リングあたり上段シールドで464本、下段シールドで592本である。箱

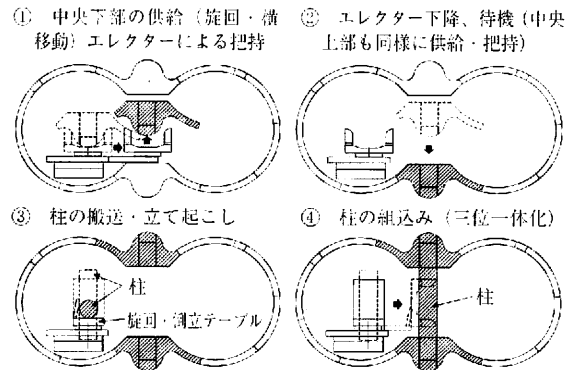
桁を支持する柱は4m間隔に設置され、プラットフォームの空間が確保されている。柱間の3リングには、シールド掘進時に組立用の仮柱を設置し、掘進完了後に撤去する。なお、中央部セグメントおよび柱は鋼製であり、側円部セグメントは合成セグメント（NMセグメント）である。

3. セグメント組立方式

側円部については従来どおりの組立方式であり、ここでは中央部について述べる。

(1) セグメント組立

中央部セグメントの組立手順を第5図に示す。まず、上下の中央部セグメントを搬送・供給し、中央部エレクターでそれぞれ把持しておく。次に柱を供給装置で立て起こし中央部セグメントの間に挿入し、中央部セグメントと柱を三位一体化する。三位一体化された中央部を既設セグメントに連結した後、側円部のセグメントの組立を行う。

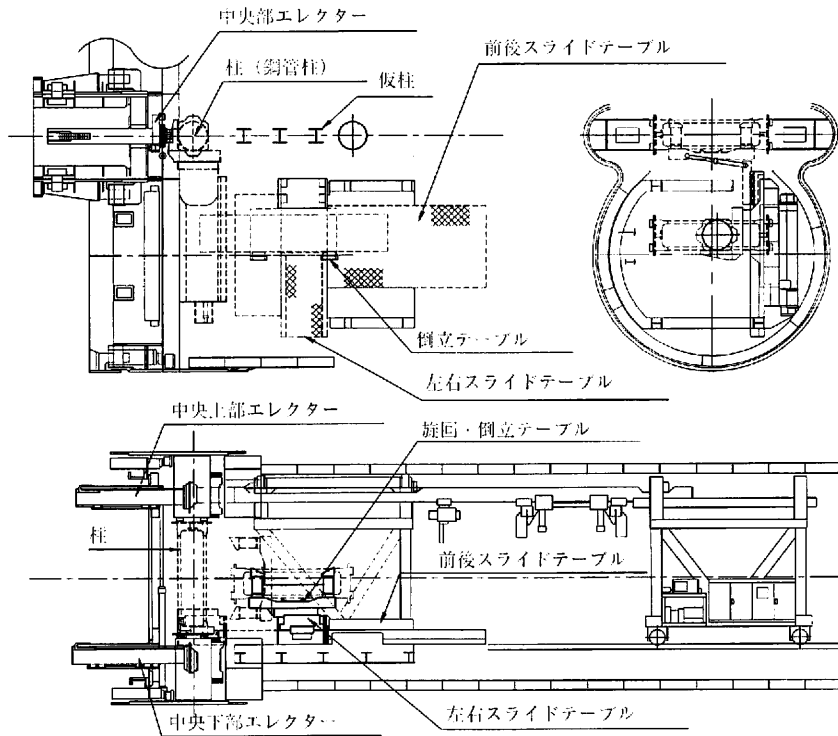


第5図 中央部セグメントの組立手順

(2) セグメント供給・組立機構

特殊形状のセグメントの組立に対応するため、中央部エレクターを上部、下部に各1基装備している。

セグメント供給装置は、中央部セグメントおよび柱を中央部エレクター位置まで供給する装置である（第6図、写真3）。シールド機とは分離独立し、前後スライドテーブル、左右スライドテーブル、旋回および倒立テーブルで構成される。1ピース約6tの重量の中央部セグメントを供給し、狭い空間で効率的に組立てられるように配慮されている。



第6図 セグメント搬送・供給装置

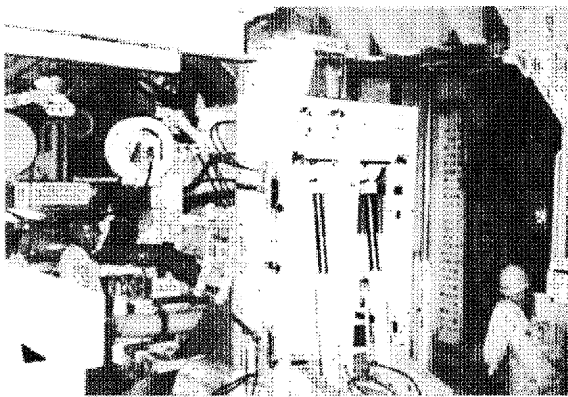


写真3 セグメント供給装置

4. 施工結果

(1) シールド掘進工

初期掘進では、セグメントの組立が不慣れであることや、東電マンホール直下の慎重な施工のため、平均日進量は1リング/日であった。本掘進では平均2リング/日(最大4リング/日)の進捗であった。掘進スピードは、地盤改良部や到達部で5mm/

分程度、一般部で10～15mm/分である。

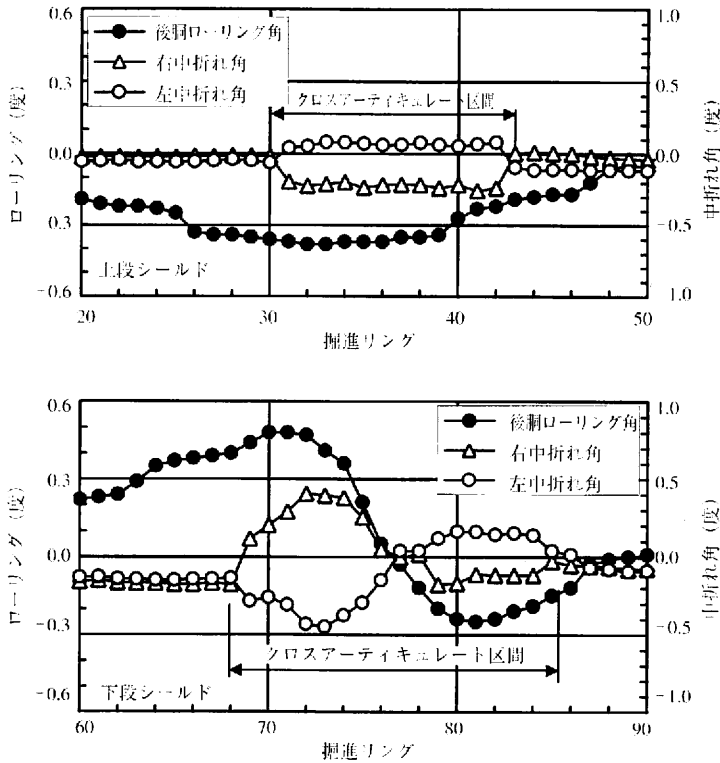
箱桁のボルト締結を含むセグメント組立に当初は10時間程度を要したが、習熟後は4時間程度で組立てることができた。

(2) シールド機のローリング修正

セグメントのローリングが発生すると中央部の箱桁構造を支持する柱に曲げモーメントが作用する。柱の設計耐力より許容されるローリング量は0.9度である。

上下段シールドともに掘進に伴って徐々にローリングが顕著となり、カッター回転方向やジャッキパターン、コピーによる余掘りなどで修正を試みたが効果はなかった。そこで、クロスアーティキュレート機構によるローリング修正を実施した。

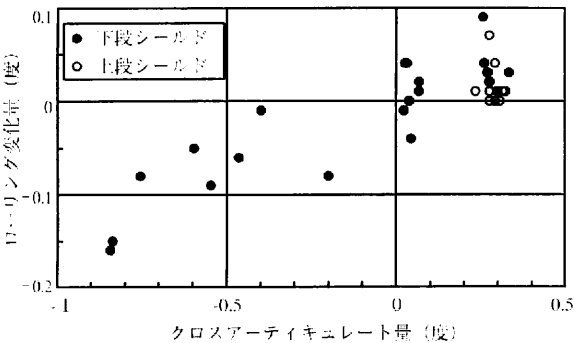
第7図に掘進リングごとのローリング発生量と、中折れ量を示す。下段では69～84リング、上段では31～42リングでクロスアーティキュレート機構を使用した。クロスアーティキュレートの効果は、作動後3リング程度から現われている。下段シールドでは中折れの戻しが遅れてローリングが戻りすぎたため、逆方向への中折れにより修正した。上段シ



第7図 ローリング発生と中折れ使用状況

ールドでは中折れ量を抑えて使用した結果、ゆるやかに修正することができた。

第8図にはクロスアーティキュレート量(=左胴中折れ量-右胴中折れ量)とローリング変化量(1リングあたりの修正量)の関係を示す。両者には明確な相関が認められることがわかる。これよりH&Vシールドのクロスアーティキュレート機構は、ローリングを修正しシールド機の姿勢制御に有効であるといえる。



第8図 クロスアーティキュレートの効果

5. おわりに

六本木で培った4心円シールド技術は、地下街や公共広場などの憩いと潤いをもった新たな空間の創出や、都市基盤の再整備など、今後の活力ある豊かな街づくりへと繋がっていくものと考えます。

本工事で様々な御指導を賜った環状部特別委員会の諸先生方、ならびに東京都地下鉄建設㈱をはじめとする関係諸氏に感謝の意を表わす次第である。

【筆者紹介】

藤本 明生 (昭和34年6月2日生・大阪府出身)
 (株)間組 土木事業総本部 都市土木統括部 課長
 〒107-8658 東京都港区北青山2-5-8
 TEL : 03-3423-2451 FAX : 03-3405-1854
 E-mail : fujimoto@hazama.co.jp
 <主たる業務歴および資格>
 地下鉄12号線環状部六本木・青山工区建設工事。地下鉄12号線環状部六本木駅(仮称)工区建設工事。第二青山幹線その5工事監理技術者。MM、本町シールドT監理技術者。
 <過去の執筆実績>
 「建設の機械化」、「トンネルと地下」

ボルトレスセグメントによる高速施工の実現

=WBセグメントの全自動組立=

鹿島建設 坪内 範和
Norikazu Tsubouchi

1. はじめに

近年のシールド工事は、二次覆工省略・大断面化・大深度化・最適断面化の流れだけでなく、建設コストの縮減施策、あるいは都市部での立坑用地確保の困難さ等から長距離施工となるケースが増えてきている。一工区の施工距離が長くなるにもかかわらず、通常の設備計画や考え方で施工をおこなうと、工期は長くなり、仮設備の損料や工事経費の増大等を招くことは当然予見できることである。したがって施工距離を長くする上で、工期短縮すなわち高速施工を目指すのは必然的なニーズであり、この実現のためには、掘削作業の高速化・覆工作業の高速化・資材搬送作業の高速化・排上処理の高速化等を総合的にバランスよく計画しなければならない。

このうち覆工セグメントの仕様決定にあたっては、その施工条件を満足しながらも、本来の目的で

ある本設構造物としての長期にわたる高い品質を確保することへの配慮が重要である。

今回紹介する施工事例は、延長5kmを越える超長距離シールド工事でありながら、高水圧下における二次覆工省略が施工条件であり、ボルトレスセグメントを全自動組立方式で組立てることで高速施工を実現した事例である。

2. 工事概要

2-1 工事概要 (第1図参照)

工事場所：大阪市淀川区～吹田市

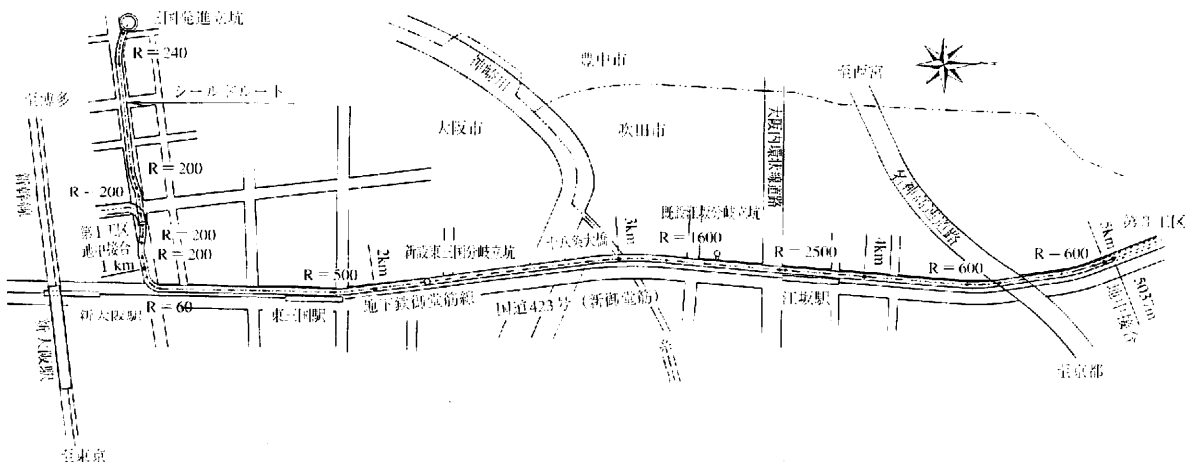
工期：1996年11月～2002年7月

用途：電力洞道

工事内容：

施工延長：5,037m

シールド機外径：φ5,750mm (泥水式)



第1図 シールドルート図

仕上り内径：φ5,000mm
 土 被 り：18～53m
 最小曲率半径：60m
 (RCセグメント部は200m)

最大勾配：4.9%

2-2 ボルトレスセグメントの採用経緯

本工事の覆工セグメントは、コスト低減および工期短縮を目的とした二次覆工省略のRCセグメントが主体であり、リング剛性が高く、漏水のない水密性の高い覆工構造であるとともに、工期の設定から高速組立性能を有する必要があった。その施工計画時の高速掘進仕様は、本掘進において切羽の延伸にもかかわらず、平均月進量として280mを確保しなければならず、計画上のサイクルタイムを以下と設定した。

計画日進量：

18m/日 (= 15リング/日)

1リング当たりのサイクルタイム：

50分/リング

(掘削20分、組立25分、その他5分)

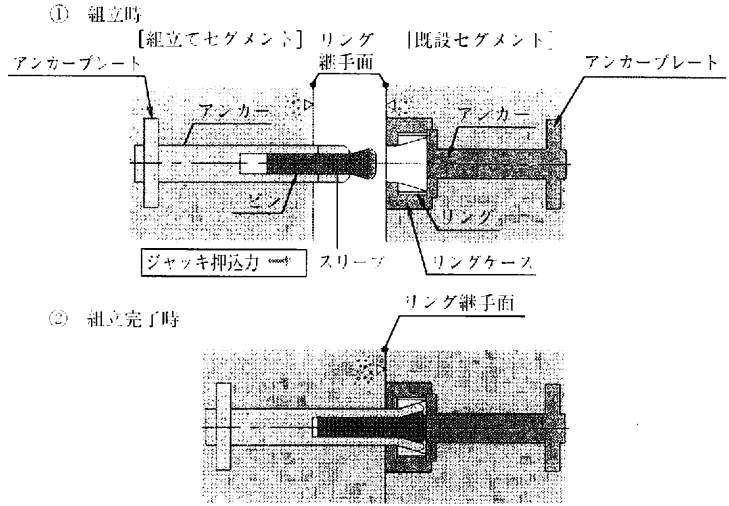
一方、工事が長期化することから、作業の安全性や環境面からも組立作業が効率よくおこなわれるためには、合理的な構造のセグメント仕様であることも検討対象となり、数種類のセグメントタイプを比較した。

この結果、セグメントリング間継手には、ピン継手構造によるワンパス方式を採用し、セグメントピース間継手にはコッター継手とすることで完全ボルトレス化を図った。

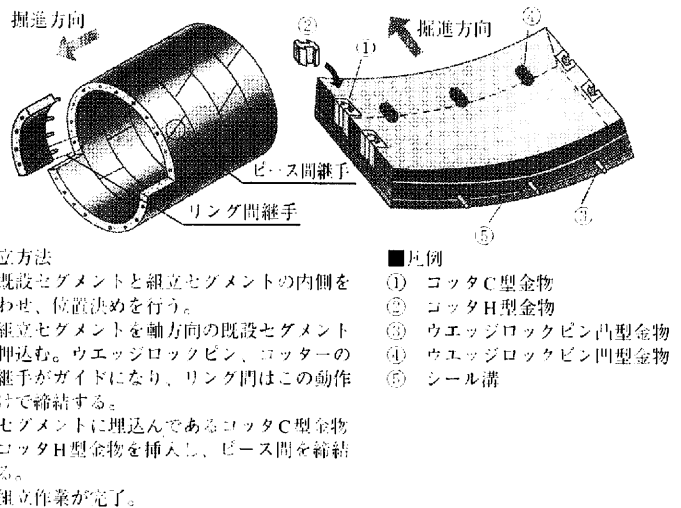
3. セグメント

3-1 WBセグメント概要

WBセグメントは、リング間継手にウエッジロックピン（以降WLP）を、セグメントピース間継手にはコッターを用いたセグメントである（第2図、第3図、写真1参照）。



第2図 ウエッジロックピン締結図



第3図 WBセグメント概念図

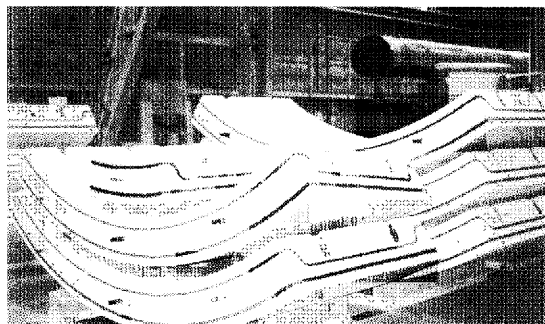


写真1 WBセグメント

このWLPはシールドジャッキによるセグメントベースの押込みにより締結され、コッターもエレクターに搭載された油圧打込み装置により締結することができるため、組立時間が短縮され、全自動組立方式にも対応しやすいものとなっている。

3-2 WBセグメントの性能確認試験

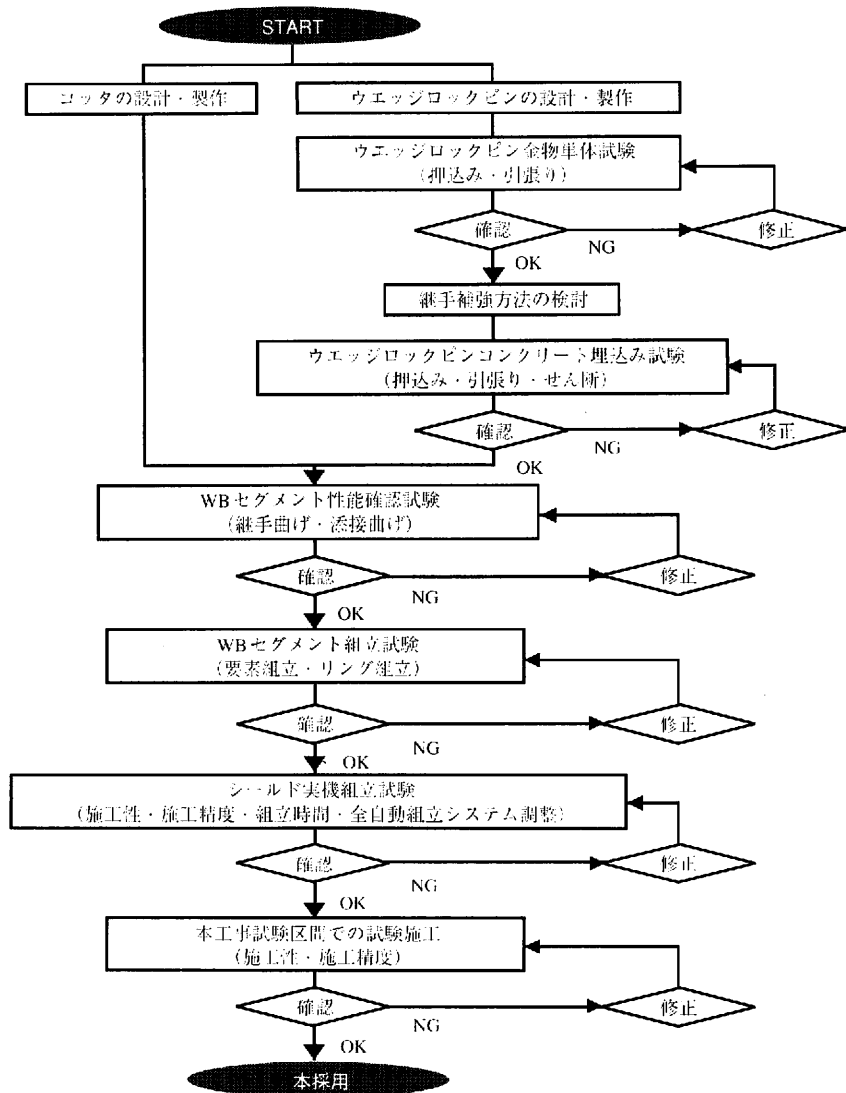
WBセグメントの採用は本工事が全国初の試みとなったため、金物単体試験からシールド実機によるセグメント組立試験に至る、各種性能確認試験をおこなった(第4図参照)。

3-3 全自動組立システム

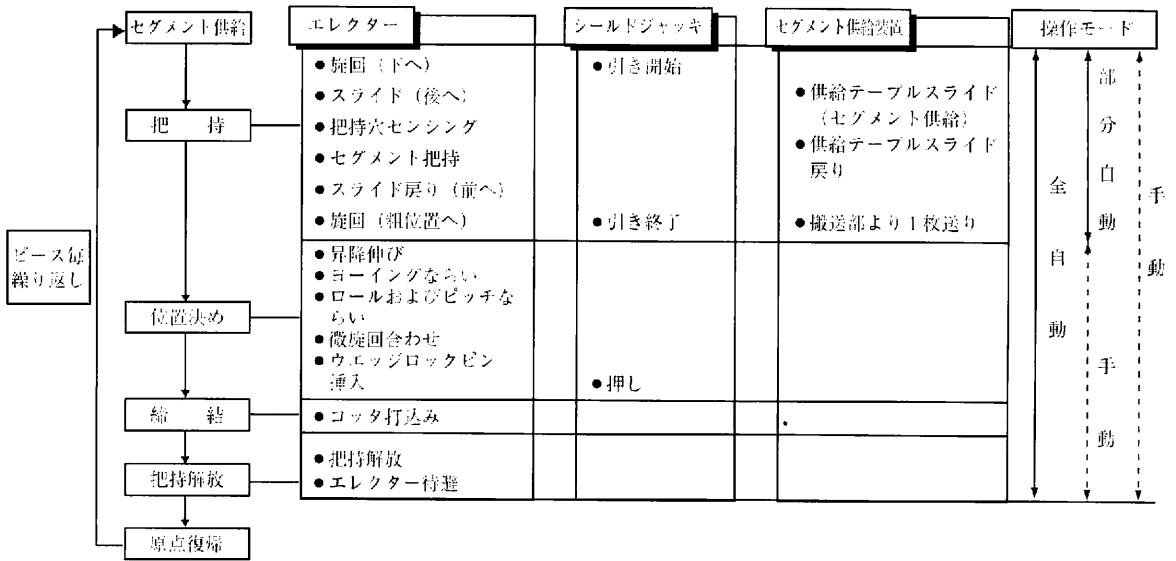
本工事では、セグメントの組立方式も当時国内では最小シールド径となる全自動組立方式を採用した。

本工事で採用した全自動組立システムは、目標25分以内の高速組立を実現するために、センサー類による演算工程をできる限り廃し、既設セグメントに把持セグメントを倣わせる、独自の倣い装置により合理的かつ高精度なシステムとした。

システム上の各セグメントベース別組立時間は、以下を目標値とした。



第4図 セグメント性能確認試験フロー図



第5図 セグメント全自動組立システムフロー図

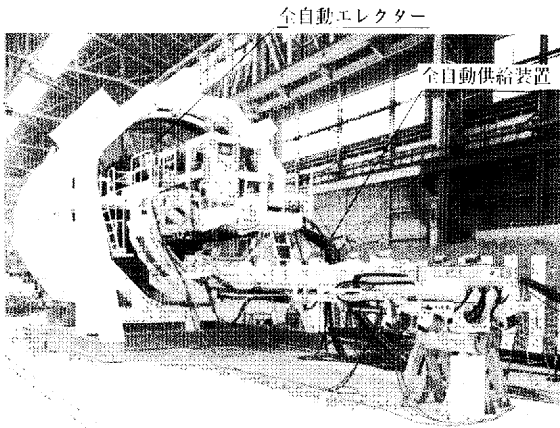


写真2 セグメント全自動組立システム

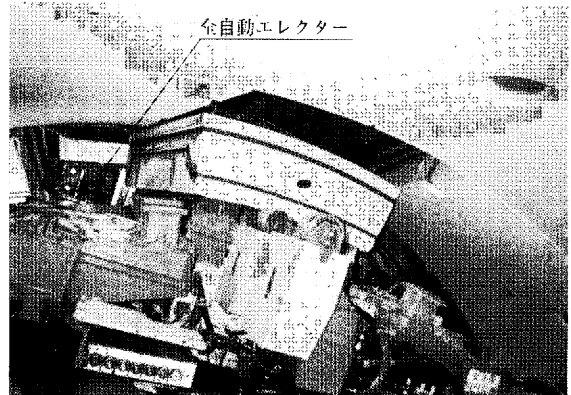


写真3 セグメント組立状況 (全自動)

Aピース	3.0分×3ピース
Bピース	3.5分×2ピース
Kピース	4.0分×1ピース
計	20分

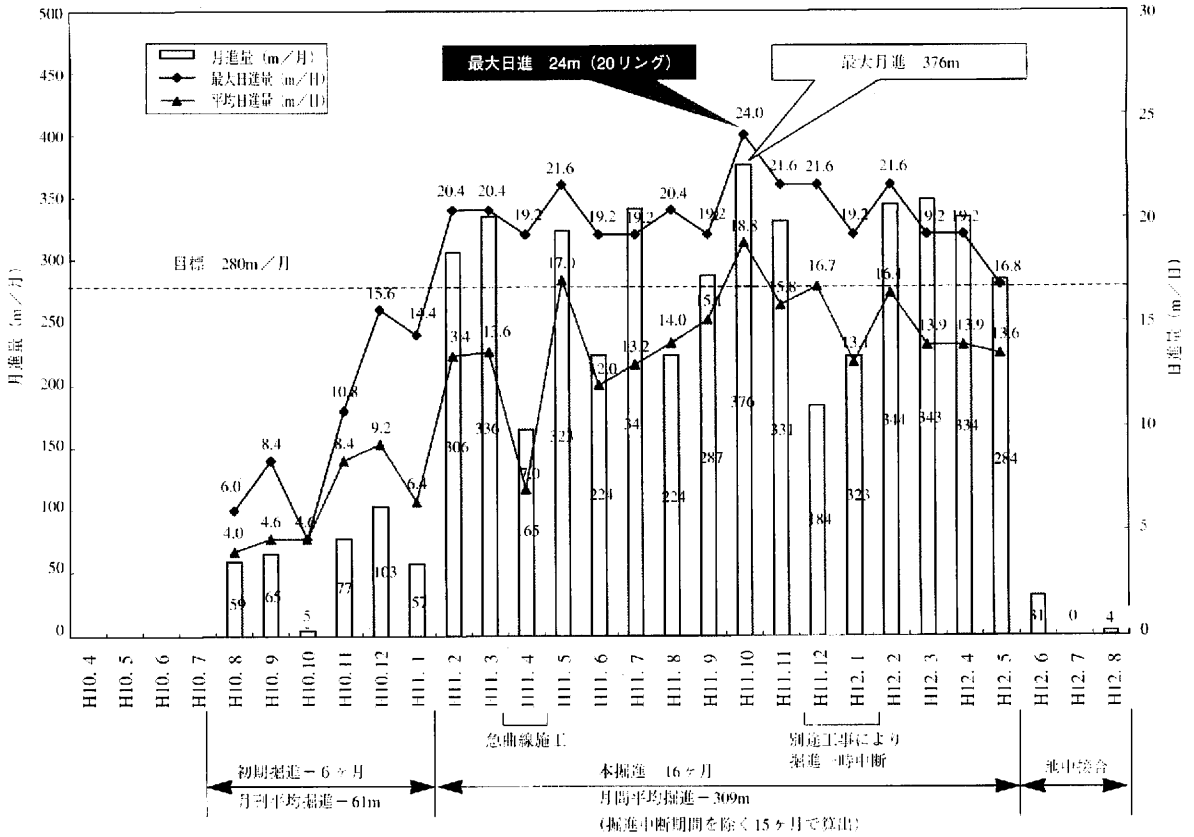
4. 高速施工実績

WBセグメントの全自動組立方式による掘進は3139リング(全線の約75%)の実績であり、残りは類似した仕様であるクイックジョイントセグメント(部分自動組立・全自動組立)あるいは特殊部の

鋼殻系セグメント(手動組立)であった。

全自動組立時の1リング平均組立時間は約22~24分、最速組立時間は21分台であり、当初の目標時間25分を満足することができた。

全体的な進捗においては、システムのソフト上の不具合がたびたび発生しながらも、約2年間の長期掘進に耐え、最終リングまで組立システムは機能することができ、さらに本掘進での最大月進量は376m、平均月進量は309mと、当初計画時の目標値280mを満足することができた(第6図参照)。



第6図 シールド掘進進捗図

ただし高速施工の成果は、セグメント組立作業だけでなく、全ての作業工程で計画された諸設備がバランスよく機能し、施工管理も十分であった結果であると考えている。また、シールドの高速掘進をつづける上で最も大きな影響を受けるのは、当初考えられていた設備の不具合や資材搬送による時間ロスではなく、掘削地盤の性状により、掘削速度や排土処理時間の増大によるところが大きいことがわかった。

覆土セグメントの品質面においては、0.5Mpaを越える高水圧を受けているにもかかわらず、漏水箇所はほとんどなく、内面平滑に近い仕上がり状況も非常に良好なものとなっている（写真4参照）。

一方本工事では、ピン継手タイプセグメントの貴重なデータ収集と実施工における施工性の確認を目的として、通常の施工管理とは別にセグメントの挙動計測工を約1ヶ月間にわたり実施した。この計測項目については、セグメントリングがシールド機内で組立てられた後、長期荷重条件に至るまでの荷重

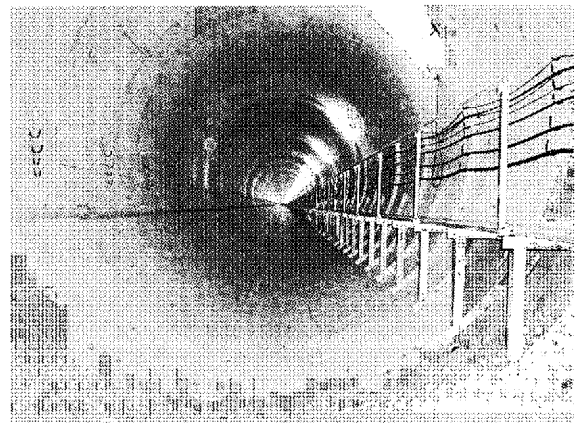
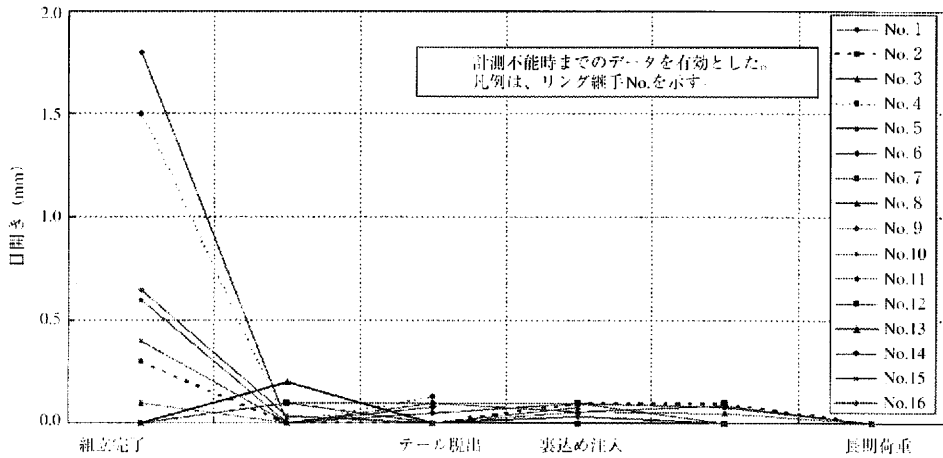
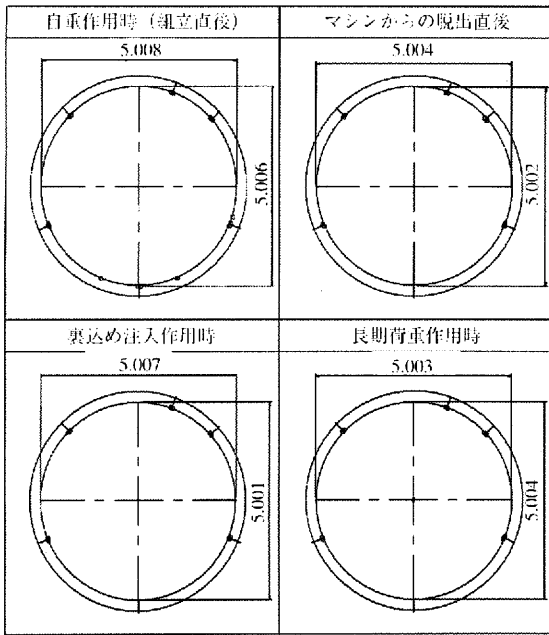


写真4 シールド坑内仕上がり状況

条件の移り変わりにともなうセグメントリングの形状変化（真円度、目開き量、目違い量、せん断ずれ量他）に着目した内容となっており、膨大な計測デ



第7図 セグメントリング間口開き量の経時変化



第8図 真円度の経時変化

に効果があった。さらにセグメント自体がシンプルな構造であるため、準備工程も含めた組立作業がかなり合理化され、長期にわたる昼夜坑内作業での作業員の肉体的・精神的負担の軽減にも大きく貢献したと考えている。

5. おわりに

本工事ではシールド高速施工の手法として、高速施工対応セグメントを全自動組立方式にて組立てるという工法を採用し、その成果を得ることができた。

本工事で初めて採用されたWBセグメントは、これ以降複数の多種工事に採用されるとともに、セグメントピース間をコッター以外の様々な継手とも組み合わせられながら、さらに高速組立が可能なセグメントも開発され、現在施工中である。

本工事の施工事例が同種工事の参考になれば幸いであるが、さらなるシールド工事の高速施工を実現するためには、切羽の最先端から地上の最終工程部に至るまで、全ての資材や設備がシステマチックに効率よく機能するように計画するだけでなく、資機材あるいは掘削土仮置きスペースの確保や資材搬出入時間帯の制約解除など、施工環境等のソフト面でも対応しなければならない課題は数多くあると考えている。

ータの中からその一部を第7図および第8図に示す。この結果、WBセグメントは、荷重変遷にともなう形状変化は小さく、非常に高いリング剛性を有していることを確認した。

また、掘進中の施工性においては、全自動組立方式により、機械の作動部に作業員が立ち入る必要がなく、監視作業のみとなることから、安全面で非常

(筆者紹介はp.005掲載)

特集

シールドにおける最近の覆工技術動向

C0211-11

縦横連続シールド工法

＝工法と覆工技術＝

大成建設㈱ 井櫻 潤示
Junji Izakura

1. はじめに

近年の都市部におけるシールド工事では、

- 発進立坑用地の省スペース化
- 地下空間の過密化による大深度化
- 騒音・振動等の低減化
- 工期短縮による早期供用
- 工費縮減

などの課題に対応できる技術が求められている。

縦横連続シールド工法はこれらの課題に対応できる工法として開発されたものである。本稿では、この縦横連続シールド工法の概要と設計方法、最近の動向等について報告する。

2. 縦横連続シールド工法

2-1 工法の概要

縦横連続シールド工法とは、シールド機内部に球

体を持つ球体シールド工法の1つであり、球体の回転により1台のシールド機で立坑から横シールドまでを連続して施工できるものである。この工法の利点としては下記のようなものが挙げられる。

- ① 立坑の掘削、横シールドの発進において、機械的に地下水および土砂の流入を防ぎながら施工できるため、大深度立坑、大深度トンネルの施工性、安全性が向上する。
- ② 立坑の内空断面、躯体壁厚などを小さくでき、立坑規模を縮小できる。
- ③ 立坑の底盤改良、発進防護工といった補助工法を省略できる。
- ④ 立坑の施工速度が速く、発進基地における工期を短縮できる。

本工法は、現在までに第1表に示す6件の施工実績がある。

第1表 縦横連続シールド工法実績表

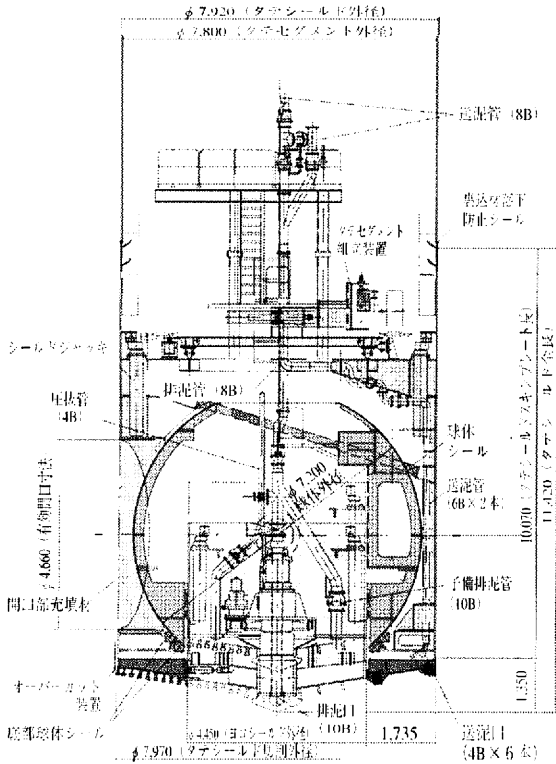
No.	1	2	3	4	5	6
工事名称	足立区花畑七・八丁目付近枝線工事	荒川幹線立坑設置工事	第二十三社幹線その4立坑設置工事	弥生町幹線工事	万代～阪南幹線地下管渠築造工事その1	第二浅草幹線その2立坑設置工事
発注者	東京都下水道局	東京都下水道局	東京都下水道局	東京都下水道局	大阪市下水道局(現:都市環境局)	東京都下水道局
工期	1993.10～1995.03	1994.11～1996.03	1996.02～1998.02	1997.10～2000.09	19997.03～1998.03	1998.07～2000.05
施工場所	東京都足立区	東京都荒川区	東京都新宿区	東京都中野区	大阪府大阪市	東京都台東区
シールド外径	縦:φ5.82m 横:φ2.89m	縦:φ7.92m 横:φ4.84m	縦:φ7.45m 横:φ4.45m	縦:φ5.95m 横:φ3.94m	縦:φ5.90m 横:φ4.20m	縦:φ7.92m 横:φ4.45m
仕上り内径	縦:φ4.00m 横:配管・モルタル充填	縦:φ5.70m 横:φ3.80m	縦:φ5.50m 横:φ3.50m	縦:φ5.10m 横:φ3.00m	縦:φ4.85m 横:φ3.25m	縦:φ6.10m 横:φ3.50m
施工延長	縦:38.1m 横:433m	縦:39.7m 横:2,396m*2	縦:46.6m 横:985m*2	縦:47.4m*1 横:189m	縦:19.8m 横:2,019m*2	縦:37.7m 横:1,905m*2
シールド形式	底部球体シールド型	底部球体シールド型	底部球体シールド型	球体シールド型	球体シールド型	底部球体シールド型
掘削地盤	沖積砂・粘性土層	沖積砂・粘性土層	沖積砂・砂礫層、洪積砂質土層	硬質粘性土層、硬質砂層	沖積砂・粘性土層、洪積粘性土層	沖積粘性土層・砂礫層
さや管	あり	あり	あり	あり	なし	なし
反力材	場所打ち(パノト)杭	グラウンドアンカー	グラウンドアンカー	グラウンドアンカー	グラウンドアンカー	グラウンドアンカー

0385-9878/03/Y 40/JCLS

*1:GL-12mより発進 *2:横シールドは別途工事

2-2 縦横連続シールド機の構造

シールド機は主に縦シールド機、横シールド機、球体、鞘管および外周カッターより構成され、球体外周には地下水および土砂の流入を防止するための各種シールド機構が設置されている（第1図参照）。



第1図 縦横連続シールド機構造図

球体シールド特有のシールド機構として、球体シールドがある。縦横連続シールド機のタイプは最終立坑構造の形状により、球体シールドのみで球体周りの止水を行う球体シールド型と、横シールド発進後に球体の底部を残して上部構造を撤去するために底部球体シールドをさらに設けた底部シールド型がある。底部シールド型の場合、同じ横シールド径に対して球体シールド型よりも立坑の開口部住上り内径は大きくできるが、適用できる縦シールド径の下限値が大きくなる。縦シールド機には縦掘進を行うためのシールドジャッキ、エレクトーなどが装備され、側部には横シールドが発進するための開口部がある。縦掘進時は、横シールド機カッター部と外周カッターを連結ピンで結合し、外周カッターを回転させることによ

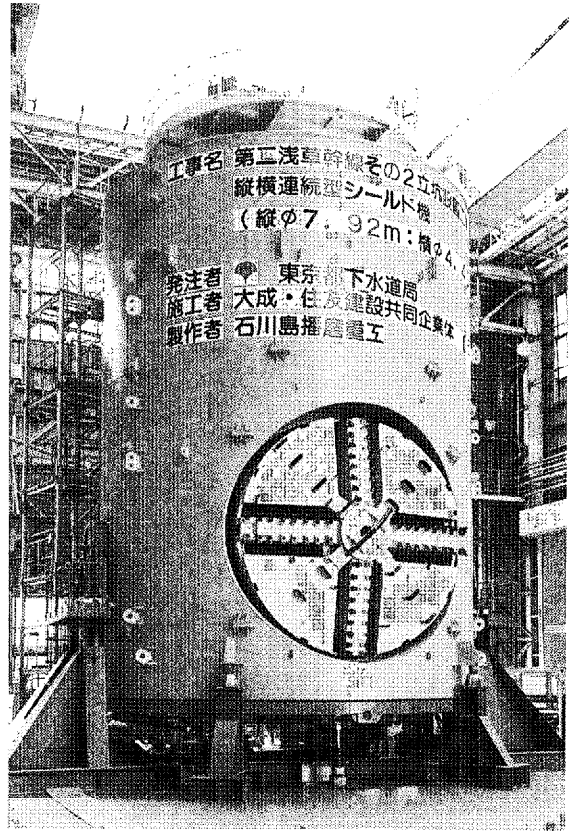


写真1 縦横連続シールド機全景

り地山を掘削する。この外周カッターは縦掘進完了後、ジャッキにより連結ピンを引き抜き、横シールド機と切り離す。

3. 立坑セグメントの設計

3-1 構造

立坑セグメントは、従来のセグメントと同様にA型、B型および円環結合用のK型セグメントで構成されている。立坑セグメントは施工時および完成後の浮力に対抗するために、重量の大きな鉄筋コンクリート製セグメントを標準としているが、構造計算で必要とされる厚さ以上の断面となる場合がある。

3-2 設計項目と手順

立坑セグメントは次の条件を満たすよう設計する必要がある。

- ① 人孔としての所要空間の確保
- ② 構造的な安全性の確保

したがって、設計項目と設計手順は次のようになる。

- ① 基本条件の設定
- ② セグメント形式、断面形状寸法の検討
- ③ 構造的な安全性の検討

立坑セグメントの設計の進め方としては、まず所要内空および断面形状に関する条件を整え、これを元にセグメントに求める役割すなわち設計の基本条件を明確にする。次に、設定した基本条件を満足するセグメントを築造するための各諸元を決定していく。設計の手順は、状況に応じて前後することも考えられるが、基本的には「形状・形式・寸法の設計」、「反力体としての構造設計」および「覆工体としての構造設計」の順に行う。

3-3 設計計算

立坑セグメントの設計計算は、完成後、施工時、地震時について検討を行うが、第二十二社幹線では補助立坑施工時についても検討を行っている。

(1) 完成後の設計外力

完成後の立坑セグメントに作用する外力荷重としては、静止土圧を想定する。また、鉛直方向に組み立てた立坑セグメントの横断面には、理想的な設計土圧が作用するとした場合には曲げモーメントは生じないものと考えることができる。しかし、施工においてセグメントを真円に組み立てることは困難であり、組立誤差などを考慮すれば曲げモーメントが付加されることが予想される。そこで、縦横連続シールド工法と同様に円形断面で、深度方向に長い形状を有する構造物であるコンクリートセグメント構造の集水井および深礎工の上留め材としてのライナープレートの設計の考え方を参考にして、立坑セグメント施工時の組立誤差として半径の1%の元撓み率を想定している。

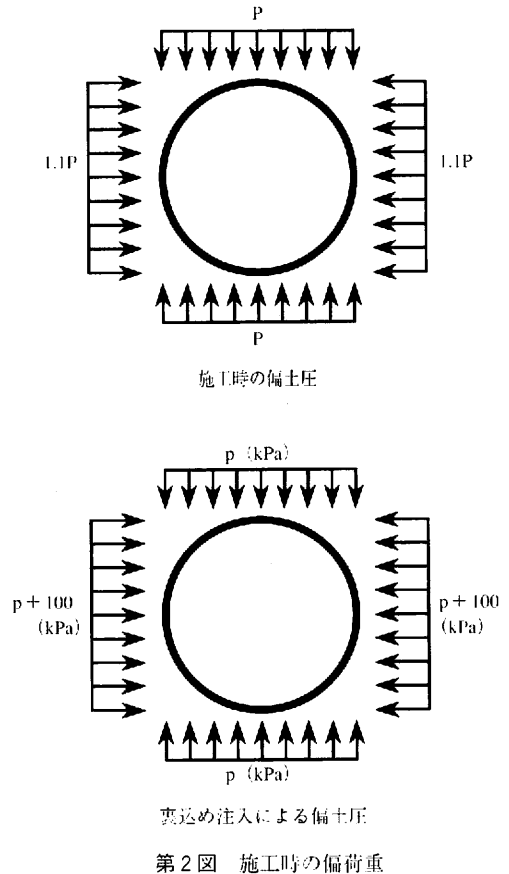
(2) 施工時の設計外力

通常の横シールドと同様、立坑セグメントの設計においても、ジャッキ推力（軸方向荷重ならびに軸方向偏心荷重）、裏込め注入圧（横断面偏荷重）等を施工時荷重と考える。

しかし、軸方向荷重に対しては、推力の反力をセグメント自重でも考慮する考え方から部材厚さは適当な厚さを確保していること、また鉛直下向きの掘進精度を保持しながらの掘進であるため横シールドと比較するとジャッキ偏心荷重発生がほとんどないことから、設計上問題となることは少ない。

地質の不均一性、掘削時の地山のゆるみなど予測できない施工段階での一時的偏土圧の作用に対して

は、第2図に示すように、完成時荷重の10%割増し荷重を考慮して設計している。また、裏込め注入の影響として、セグメント周辺に均等な裏込め注入圧を考え、2方向にのみ100kPaの注入圧を付加して、全体として偏土圧を考慮している。



(3) 地震時の設計外力

地震時については、立坑を線状地中構造物として応答変位法により検討を行う。地震時の縦断方向の立坑の剛性は、リング間の継手を考慮した等価剛性の梁に置換し、これに地盤バネと地盤変位から算定した水平荷重を作用させて断面力を算定する。

4. 縦横連続シールド工法の施工

4-1 搬送、供給方法

縦横連続シールド工法では立坑内のスペースが限られているため、特に作業のしやすさと飛来落下等に対する安全面を考慮して設備を配置する必要がある。

縦シールド施工中のセグメント搬送は、専用のリフトを使用し、直接エレクターに供給している。ただし万代の事例では、立坑深さが浅いことから鋼製セグメントを使用し、クレーンで供給して直接組み立てる方式を採っている。このため縦シールドのエレクターの省略が可能となった。セグメントリフトを写真2に示す。

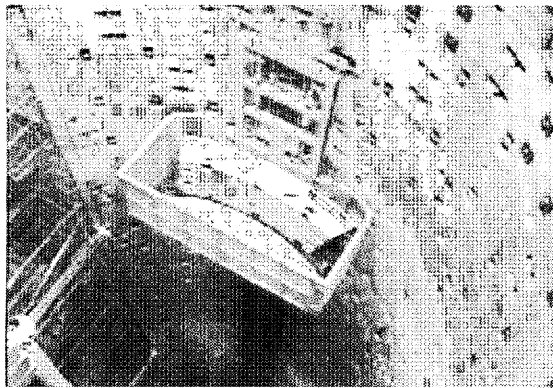


写真2 セグメントリフト

また、いくつかの事例では横シールド掘進時のセグメント搬送に、バケツリレー方式の搬送装置「サーフィン」を採用している。これは、単線軌条のトンネルにおいても、自走式の台車と台車上进行移動するドーリを用いてバケツリレー方式の資材搬送を行うものであり、距離が長くなっても台車編成を増やすことで従来の施工速度を確保できるものである。立坑でのセグメントリフトと組み合わせることで、台車への資材の移載を効率よく、安全に行うことができる。サーフィンによる移載手順を第3図に、外観を写真3に示す。

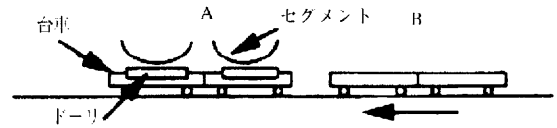
4-2 コストダウンへの取り組み

万代、第二浅草の事例では、横シールド発進用開口を防護するための鞘管を省略し、この部分に低強度の繊維入りエアモルタルを充填し、横シールド機で直接切削する方式を採用した。このエアモルタルには、横シールドでの安定した切削を行うために、ポリオレフィン短繊維を混入し、また外面に塗装を行った。

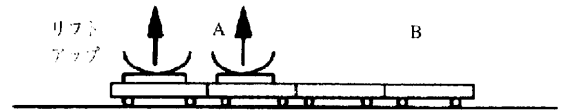
この方式により、縦シールド機の鋼材重量軽量化によるコストダウンや、シールド機組立工程の短縮が可能となっている。

また、ほとんどの事例では立坑セグメントは幅

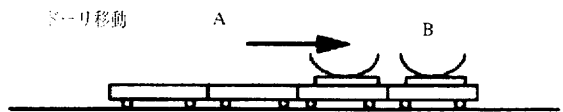
- ① 立坑側よりセグメントを積んだ台車Aが、切羽側より立坑側へ向かう空の台車Bと接続する。



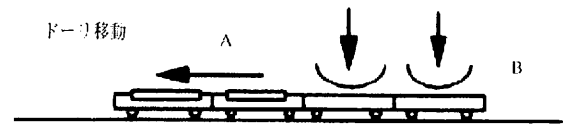
- ② ドーリにてセグメントを持ち上げる。



- ③ ドーリが台車Bに移動する。



- ④ ドーリのリフトを下げることでセグメントを台車Bに受け替え、ドーリは立坑側の台車Aに戻る。



第3図 移載手順

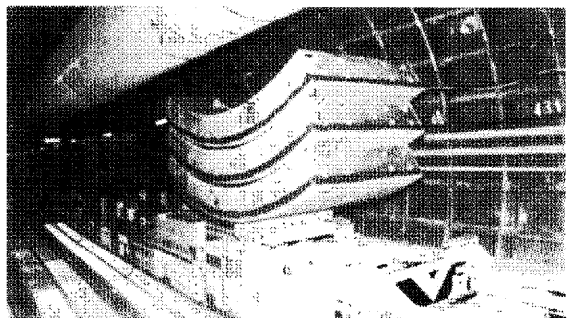


写真3 サーフィン

1.0mのものを使用しているが、万代～阪南幹線下水管渠築造工事では立坑深度が浅いことなどから、セグメント幅を0.75mとすることで、縦シールド機長の短縮を図っている。さらに、鋼製セグメントを使用することにより、縦シールド用エレクターを省略し、コストダウンを図っている。

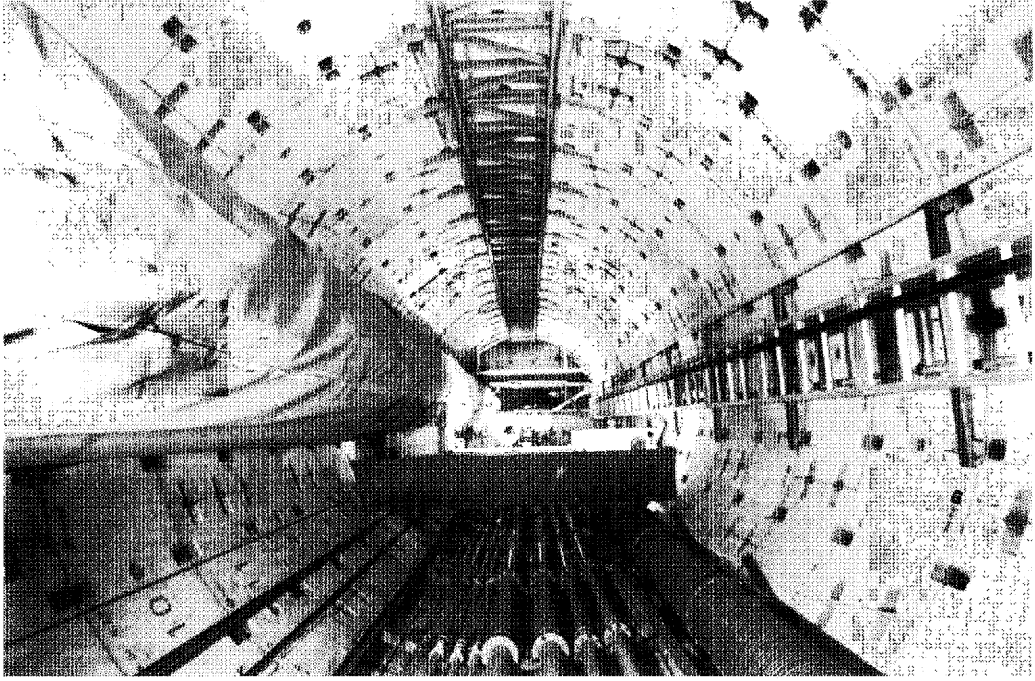


写真4 縦シールド一次覆工完了（地上から立坑下を望む；写真中央がセグメントリフト、右がエレベーター用ガイド）

5. おわりに

縦横連続シールド工法は、冒頭で述べた様々な課題を克服すべく開発され、改良が重ねられてきた工法である。今後は、時代の要望に応えられるよう更なる進化を遂げるものとする。

<参考文献>

- (1) 横山博一・他：“縦横連続シールド工法による長距離施工”、日本トンネル技術協会、第41回施工体験発表会、1997.11.
- (2) 東京都下水道局建設部・新日本トンネル技術協会：“「第二十三社幹線工事」における縦横連続シールドの施工に係る調査研究 その2”報告書、1998.9.
- (3) 竜田 浩・他：“縦横連続式シールド工法の採用 大阪市・万代・阪南下水道幹線”、土木施工、39巻10号、1998.10.
- (4) シールド工法技術協会：球体シールド工法技術資料、2001.7.

【筆者紹介】

井櫻 潤示（昭和42年10月10日生・和歌山県出身）

大成建設㈱ 東京支店 土木第一部
日立電線作業所 課長代理
〒300-0026 茨城県上浦市大字木田余3550
TEL：0298-35-9237 FAX：0298-35-9238

E-mail：izakura@ce.taisei.co.jp

<主なる業務歴および資格>

平成2年大成建設㈱入社。

名古屋支店にて小田井山田共同溝（異形断面シールド工法）などの作業所に勤務。

平成12年より本社土木技術部に在籍。

平成14年11月より東京支店作業所勤務となり、現在に至る。

<過去の執筆実績>

土木施工（2001年5月号）

大成建設株式会社

<代表者名> 葉山 莞児

<本社住所>

〒163-0606 東京都新宿区西新宿1-25-1
新宿センタービル

TEL：03-3348-1111

<資本金> 94.300（百万円）

<年商> 1,306,000（百万円）

<従業員数> 10,404名

<事業内容および会社近況>

国内外における土木・建築の設計・施工、エンジニアリング、プラント、都市開発、不動産、住宅、技術開発など幅広い分野で展開。

セグメント搬送・組立自動化の最新技術

＝大断面・大深度・長距離シールド工事への適用例－計画・実績＝

大林組 的場 一彦
Kazuhiko Matoba

藤井 亜紀
Aki Fujii

1. はじめに

近年、社会資本の形成に際して、品質や安全の確保だけでなく、その執行過程における効率性や透明性が課題となっている。シールドトンネル工事における効率性として合理化施工、すなわち、高速施工、自動化施工に関する技術が注目を集めている。

本報文では大口径・大深度・長距離のシールドトンネル工事で採用したセグメントの地上から切羽までの搬送・組立の自動化について、自動化の範囲、搬送・組立の自動化、施工実績について紹介する。

2. 事業ならびに工事概要

首都圏外郭放水路は、中川中流域の浸水被害を解消するために計画された地下河川トンネルで、事業の早期完成と地上への影響を考慮して、国道16号

下で土被り50m以上の大深度に築造された。第1表に工事概要を示す。

3. 自動化の範囲

(1) 基本方針

自動化の対象としてセグメント搬送・組立を選定し、以下の基本方針を策定した。

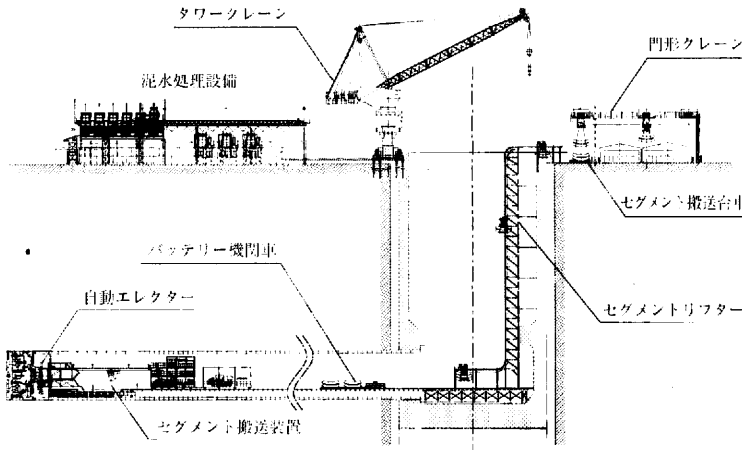
- ① 安全確認以外は自動運転とする。
- ② セグメントの搬送は切羽優先とする。
- ③ 坑内搬送は軌道式とし、待避線を設ける。
- ④ セグメント組立は1ピース組立終了の指示により次のピースの組立に移る。
- ⑤ セグメント組立の組立品質に関する項目（真円度、締結力など）も自動化する。

(2) 自動化の範囲

第2図に自動化範囲のフロー図を示す。

第1表 工事概要

工事名称	外郭放水路第1工区トンネル新設工事		発注者	国土交通省 関東地方整備局		
施工者	大林・熊谷・前田特定建設工事共同企業体		工期	平成9年2月6日～平成13年3月31日		
施工場所	埼玉県北葛飾郡庄和町土崎地先～金崎地先					
工事内容	トンネル延長	L1,396m	トンネル掘削径	φ12.04m	掘削土量	V158,560m ³
	トンネル線形	直線延長Ls886m (63%)、曲線延長Lc510m (37%)、最小曲線半径R250m×4ヶ所				
	掘削方法	泥水式シールド工法(中折型)	補助工法	発進および到達防護は地盤凍結工法		
	一次覆工	水平コッター式継手RCセグメント(二次覆工省略型)1,155リング セグメント継手:水平コッター(ピース間)、ほぞプッシュグリップ(リング間) 外形11.8m、内径10.6m、厚さ0.6m、幅1.2m、9等分割(Kセグメントは軸方向挿入式)				
	土質	クラウン部に粘土層が連続し、掘削部は砂質土が主体で粘土層を介在する。 砂質土: N値50以上、粘性土: N値20～30、C-200～300kN/m ²				
土被り	51～53m					



第1図 自動化する設備

4. セグメント搬送の自動化

(1) セグメント搬送の概要

地上部ではタワークレーンを使用してセグメントを荷降ろしし、ストックヤードからセグメントリフターへの受渡しは門形クレーンで手動作業として行った。セグメントリフターは高速自動搬送を実現すべく、地上部から立坑下までの水平・垂直搬送を自動化するもので、セグメントハンドリング後のピンラック式レールに沿うセグメント搬送において、外部指令によるトルク制御・速度制御の組合



注) 図中の矢印は番号によって自動化の内容を示す。

①作業員による操作 ②作業員による安全確認の操作以外は自動化 ③完全自動化

第2図 自動化のフロー

せて安定かつ滑らかな走行を実現した。立坑底部では、バッテリー機関車への積込み位置を3ヶ所設け、積込み確認は作業者が行った。

セグメントリフターは16tonの運搬能力とし、シーケンサー制御で自動走行するが、故障時を考慮して発進・停止などの運転制御は地上制御盤により、自動運転（地上から立坑下までの指定位置への自動運転）と手動運転（各部単体の手動作動）の運転モードを装備した。

坑内搬送は掘進総延長の約37%がR=250mの急曲線であるため、台車の曲線走行安定性と設備の経済性から、バッテリー機関車による軌条走行形式を選定した。バッテリー機関車の走行速度は制動距離から決定され、通常は前照灯の届く範囲の20mを基本としている。制動距離は車輪～レール間の摩擦係数に大きく影響されることから、本工事では鋼製車輪に比べて制動距離が短いアルキャン車輪（高粘着係数車輪）を機関車に装着し、自動高速運転時の時速を12kmに向上させることができた。

また、セグメントおよび資機材を坑口から後方台車まで自動搬送するための自動運行管理システムを採用した。SS無線（米国で軍用に開発された通信方式で、通信の信頼性や秘話性が高い）による無線通信システムおよびIDシステム（ステーション番号、指示速度等のデータを書き込んだIDタグを、各車両に搭載したID認識装置により読出し、現在地の確認および走行速度の増減を行う）を使用して、中央制御装置にて各車両の現在地と進行方向をリアルタイムに把握し、適切な運行指示を与えることで安全かつ効率的な運行管理が可能となった。

後方台車からのセグメント荷降ろしはマニュアル搬送とし、セグメント搬送装置で把持した後、自動運転でセグメントストック装置にストックし、自動エレクターへ自動で供給した。

(2) 搬送設備の仕様

搬送設備の仕様を第2表、第3表に、セグメントリフター、バッテリー機関車を写真1、写真2に示す。

第3表 バッテリー機関車の仕様

項目	機械仕様
型式	TEL12-M・S・TB-914
速度	徐行部 4.0km/hr
	最大速度 12.0km/hr
牽引力	定格 2,300kgf
	最大 2,900kgf
レールゲージ	914mm
車輪径	φ660mm
電機機	ACサーボモータ、30kW×2個、DC180V
電源	VCC12 192V 516AH/5HR
制御方式	IGBT正弦羽根 PWM制御
駆動方式	ベベルヘリカル減速機
制動方式	常用予速制動 回生制動
	常用停止 油圧ブレーキ、トラックブレーキ、手動ブレーキ
	非常停止 負作動電磁ブレーキ、油圧ブレーキ、トラックブレーキ、手動ブレーキ
安全装置	加速度警報、停止装置
	オーバーランセンサー（磁気センサー）
	障害物センサー（光電式） 前哨灯、非常停止ボタン
全体寸法	4,900L * 1,430W * 1,915H
機械重量	13,200kg

第2表 搬送設備の仕様

種類および型式	セグメントリフター		クラブトロリ式門形クレーン 20t×(25.5m+3m) スパン			タワークレーン JCC1500H					
搬送方式	ピンラックピンキヤ		ワイヤー			ワイヤー					
定格荷重 (t)	16t (セグメント2ピース)		20t			35m・35t 19m・70t					
揚程	-		9m			300m					
定格速度 (m/min)	巻上	走行	巻上	横行	走行	巻上	起伏	旋回			
									早巻 50~160	平均 14	0.38r.p.m
									遅巻 20~64		
定格出力 (kW)	30	2×100	2×45	5.5	2×11	350	90	30			
サイクルタイム (60m運搬時)	セグメント 2ピース 搬送時470sec					旋回90° 50sec 無負荷巻上下 40sec 負荷巻上下 80sec 合計 220sec					
備考						ジブ長さ44.5m					

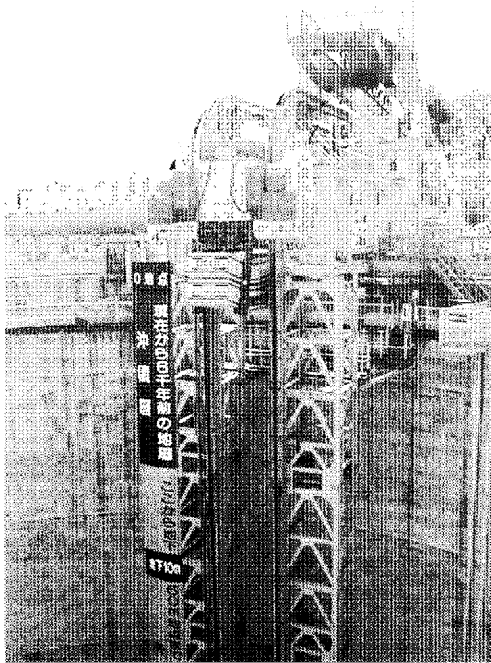


写真1 セグメントリフター

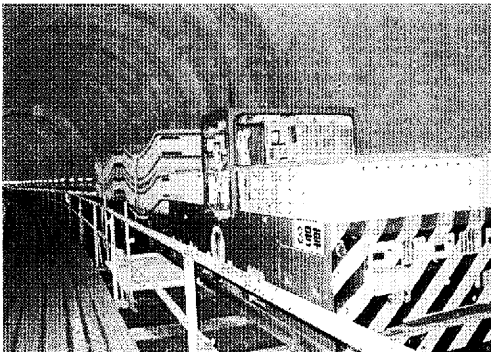


写真2 バッテリー機関車

5. セグメント組立の自動化

(1) セグメント自動組立の概要

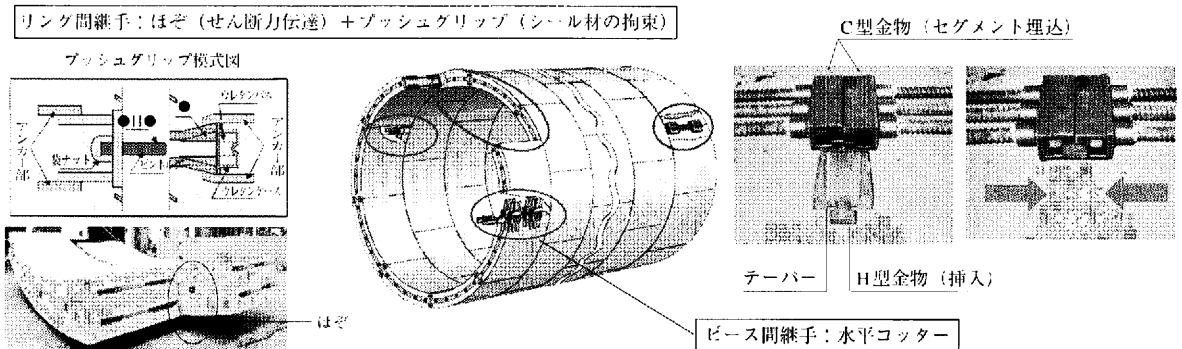
本工事に開発した軸方向水平コッター式RCセグメントを第3図に示す。同セグメントは止水性・耐久性・耐震性に優れているだけでなく、自動組立対応という観点からは以下の特徴を有している。

- ① トンネル軸方向の運動だけでセグメント組立が可能である。
- ② 継手締結はコッター（楔）のトンネル軸方向押込みという直線運動のみで可能で、ボルトのような回転運動を必要としない。
- ③ 増締めが不要である。

セグメント組立は、第2図に示す組立フローに則り、レーザーセンサーによる把持セグメントと既設セグメントの位置計測により正確な位置決めを行う。締結は曲線部での高速施工を考慮し、テーパセグメントは坑口側テーパとして、軸方向水平コッター挿入のセグメント組立プロセスを直線部・曲線部で同じとした。

(2) 自動エレクターの仕様

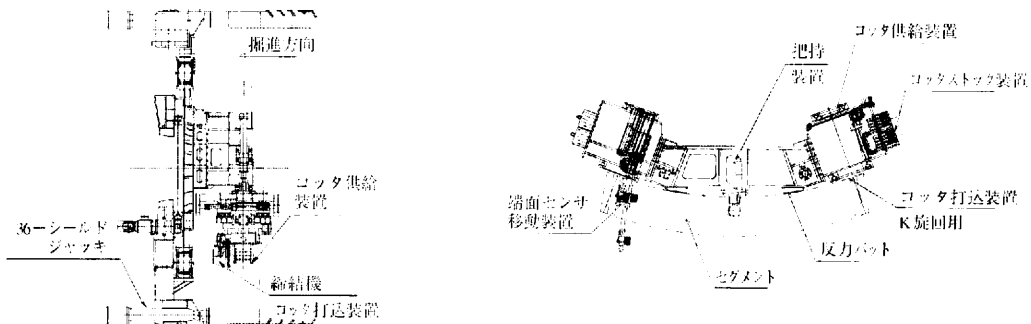
第4表に自動エレクターの仕様、第4図に装置本体、写真3にコッター締結装置を示す。なお自動エレクター装置は第5図に示す7自由度を有し、旋回のみインバーターモーターで、他の軸は油圧サーボで各々を数値制御し既設セグメントに倣って組み立てた。



第3図 セグメント構造図

第4表 自動エレクターの仕様

型式	中空軸式自動組立方式		
取扱セグメント重量	約78.4kN		
支持方式	前方支持（シールド本体テール内取付）		
位置制御装置	旋回装置（X軸）	旋回トルク	1.372kN-m（100%）／1.852kN-m（150%）
		回転数	最大1.5rpm
		旋回範囲	±210°
	伸縮装置（Y軸）	旋回用モータ	29.23／39.62kN-m×45kW×6台
		推力	押側 1.627kN 引側 1.313kN
		移動速度	130mm/sec
	スライド装置（Z軸）	伸縮用シリンダ	813kN×1600st×20.6MPa×2本
		推力	押側 510kN / 引側 343kN
		移動速度	100mm/sec
		スライド用シリンダ	255kN×750st×20.6MPa×2本
ヨーイング	ヨーイング用シリンダ	314kN×70st×20.6MPa×1本	
ピッチング	ピッチング用シリンダ	314kN×70st×20.6MPa×2本	
ローリング	ローリング用シリンダ	314kN×70st×20.6MPa×2本	
旋回微調	旋回微調用シリンダ	314kN×70st×20.6MPa×1本	
センシング装置	組立偏差量検出	超音波式変位センサ×32台	
	平行量確認検出	画像センサ×2台	
	7軸位置検出（各軸）	アップコーダ、ストロークセンサ	
セグメント把持装置	把持	クランプシリンダ	235kN×230st×20.6MPa×2本
	ロック	ロータリアクチュエータ	108kN-m×90°×2台
コッター打込み装置	形式・数量	ビス開	順次打込式×1台
コッター供給装置	形式	外置式自動供給装置（1リング分ストック）	
	数量	2式	



第4図 自動エレクター装置

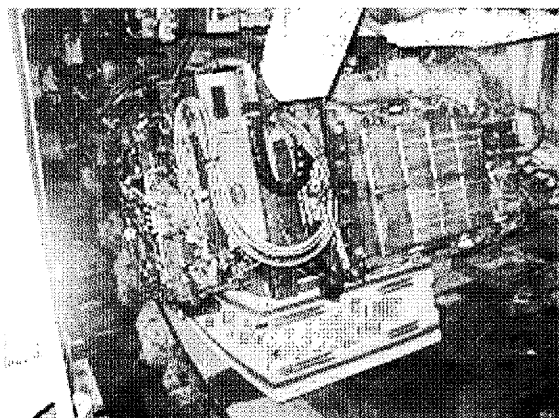
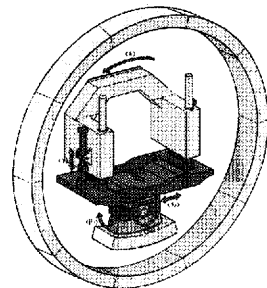


写真3 コッター締結装置



名	称	記号	制御方法	機能
旋 回 軸	X	ACベクトルインバータ		旋回移動
伸 縮 軸	Y	油圧サーボ		径方向移動
ス ラ イ ド 軸	Z	油圧サーボ		軸方向移動
旋 回 微 調 軸	X ₀	油圧サーボ		旋回接線方向移動 旋回方向微調位置決め
ヨーイング軸	Y ₀	油圧サーボ		伸縮並進り揺動
ローリング軸	R ₀	油圧サーボ		スライド軸廻り揺動
ピッチング軸	P ₀	油圧サーボ		旋回軸廻り揺動

第5図 エレクターの姿勢制御軸

6. 施工実績

(1) セグメント搬送

地上から切羽までのセグメント自動搬送の搬送サイクルタイムを第6図に示す。当初は離合個所を1ヶ所設置する計画であったが、アルキャン車輪採用により坑内運行速度を12km/hrに向上できたことから、セグメント1R分の搬送サイクルは90分以下と高速搬送を実現した。セグメントリフターも2サイクル16分での搬送が可能となった。また、写真4に示す中央制御室に設置した自動運行管理モニターにより、リアルタイムでバッテリー機関車の状態を把握でき、安全な運行管理を実現した。

(2) 自動エレクター

自動エレクターによる組立時間と真円度を第7図、第8図に示す。組立時間は、エレクターの初期調整や急曲線施工などで200Rまでは目標時間を超過したが、以降は平均で72分であった。また、真円

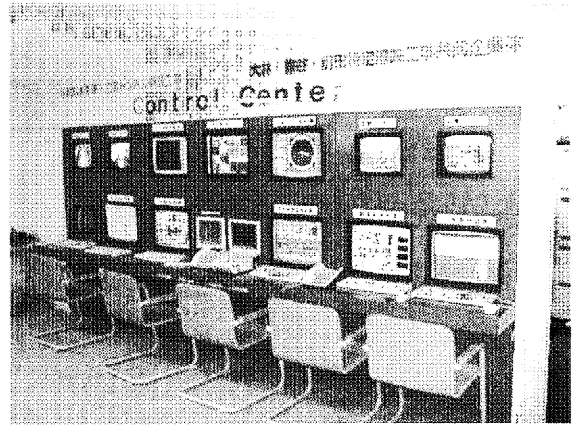
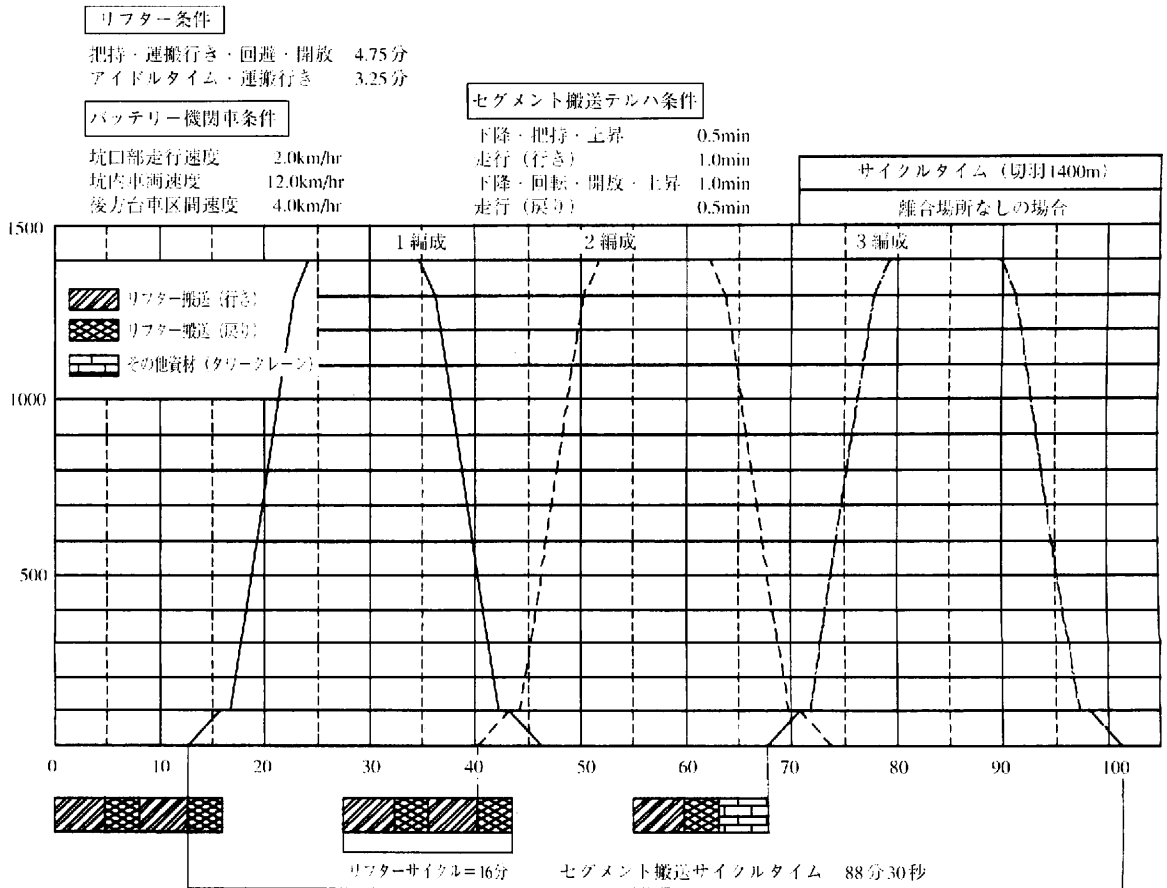
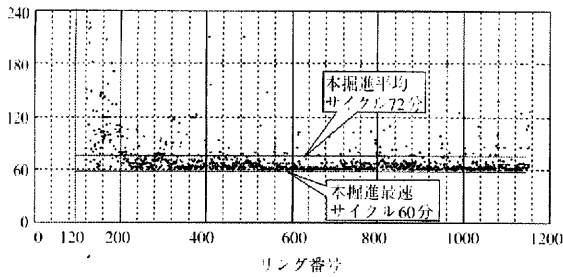


写真4 中央制御室

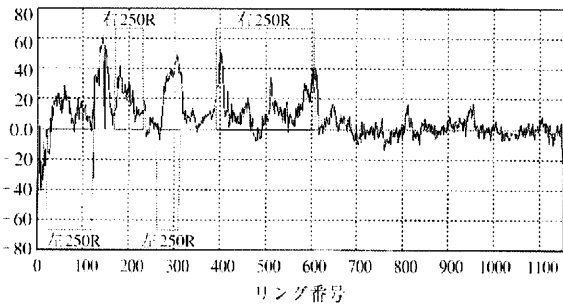
度は急曲線区間では中折れ装置トラブルによるテールプレート変形のため、立て卵型の変形となったが、直線区間ではほぼ真円であった。



第6図 セグメント搬送サイクル



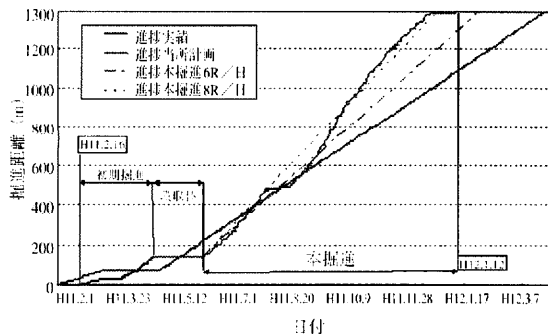
第7図 組立時間記録



第8図 真円度測定結果一覧表

(3) トンネル進捗

本シールドトンネル工事の計画工程および実施工程を第9図に示すが、自動化施工により、トンネル掘進は原計画に対して6ヶ月短縮することができた。



第9図 トンネル進捗グラフ

また、最大月進捗274.8m、平均月進捗187.4mと同規模・他工区シールド工事における平均月進捗

100～140mを上回った。これは、セグメント搬送・組立の自動化、水平コッター式RCセグメント採用などの効果が顕著であったためと考える。

7. おわりに

本報告では、泥水シールドトンネル工事における自動化施工について、首都圏外郭方水路第1工区トンネル新設工事を例として、地上から切羽までのセグメント搬送・組立で計画された設備概要、施工結果をまとめた。

社会資本整備におけるシールドトンネル工事は、都市部における用地不足や地上・地下建造物輻輳化などの制約条件により、大深度・長距離施工となる傾向にあり、ますます高速化、効率化、自動化が必要とされる。

本報告が類似条件下のトンネル工事の参考となれば幸いであり、この実績をもとにさらに自動化の改善・開発に取り組んでいく所存である。

【筆者紹介】

的場 一彦

(株)大林組 首都高池袋南JV工事事務所 工事長
 〒171-0043 東京都豊島区西池袋5-22-19
 TEL: 03-5951-3511 FAX: 03-5951-3528
 E-mail: matoba.kazuhiko@obayashi.co.jp

藤井 亜紀

(株)大林組 東京本社 土木技術本部 技術第二部
 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2
 品川インターシティ28F
 TEL: 03-5769-1319 FAX: 03-5769-1976
 E-mail: fujii.aki@obayashi.co.jp

木材切断機 M-20T、M-28T

＝万能破碎機シリーズに木材切断用アームがラインアップされました＝

日本ニューマチック工業株式会社 明地 省五
Syougo Akechi

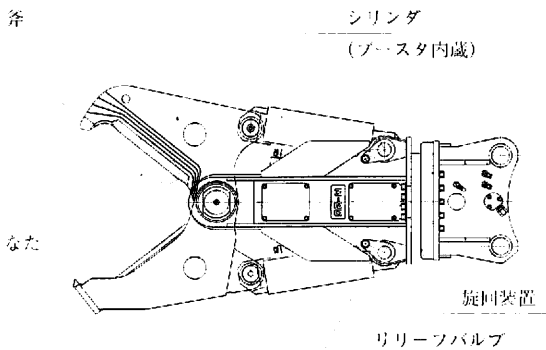
1. はじめに

最近、造成工事や道路工事から発生する伐根や伐採材をチップ化し、製紙材料や堆肥材料等に使用する技術が進んできた。チップ化する前処理としての、木材を切断する機能をもつ木材切断機を以下に紹介する。

従来、コンクリート構造物の解体作業用に開発された万能破碎機をベースとした、伐採材の切断、根株の除去を行う木材切断機である。

2. 木材切断機 M-20T、M-28T

木材をチップ化する前処理として、木材を切断する機能を有しており、木材切断機のアーム先端部の「斧」の役割をする個所で木材をつかみ、砕く作業を行い、次に長い刃渡りの「なた」の部分で木材を切断する（第1図）。

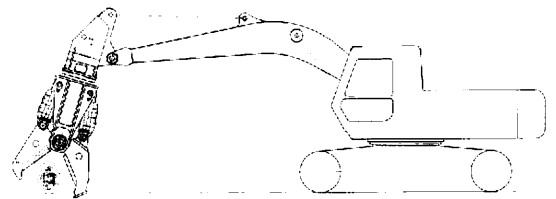


第1図 M-20T

木質系廃棄物のリサイクルが強く要望されているが、木材のみならず、廃家電、建築廃材、廃プラスチック等の廃棄物を切断し廃棄物のリサイクル処理としても利用できる。油圧ショベルに搭載して使用されるので、機動性にも優れている。

M-20T、M-20TFは、20tonクラスの油圧ショベルに搭載され、M-20Tは油圧旋回方式であり、M-20TFはフリー旋回方式である。

M-28Tは、先端開口、先端切断力ともにM-20Tよりも大きく、油圧ショベルのブーム取付タイプ（セカンドメンバー）として、20tonクラスの油圧ショベルに取り付けができる（第2図）。もちろん、油圧ショベルのアーム取付タイプとして、30tonクラスの油圧ショベルにも取り付け可能である。第1表に仕様を示す。



第2図 ブーム取付タイプ M-28T

第1表 木造切断機仕様

項目	機種	M-20TF	M-20T	M-28T
質量	kg	2,050	2,070	3,400
先端切断力	kN	630	630	920
最大開口	mm	853	853	1,070
全長	mm	2,548	2,670	3,748
旋回方式		フリー	油圧	油圧
適用油圧ショベル		17～21ton		

3. 特長

(1) アームの開閉速度が速い

切断作業において、切断力が大きくても、木材切断機のアームの開閉速度が遅くては、作業効率は良くなりません。木材切断機には油圧シリンダに増圧機構（ブースタ機構）が内蔵されており、シリンダ内部が高圧化され、同じ出力を有するシリンダと比べて、シリンダのボア径を小さく設計することができた。従って、同出力のシリンダで、同流量の場合と比べて、アームの開閉速度が速く、作業効率が良い。

(2) 360度旋回により位置決めが容易

油圧旋回または、フリー旋回装置により360度旋回をすることにより、任意の角度に位置を定めることができる。被破砕物に対し直角に当てて切断することができ、切断能力が向上する。

(3) 2本の油圧シリンダで駆動

被破砕物を両アームで噛み、反力を両方の油圧シリンダで均等に受けるため、切断機本体のねじれが少なく、油圧ショベルに対しても負担が軽減される構造となっている。

さらに、木材切断機のアームの開口が大きい時と小さい時の切断力の変化が少なく、被破砕物の大きさに関係なく切断力を発揮できる。

(4) リリーフバルブにより、最大出力は一定

ベースマシンである油圧ショベルの作動圧力は年々高圧化の傾向にあるが、内蔵されたりリーフバルブにより、切断機の最大作動圧力、切断力は一定であり切断機本体への負荷も一定となり、過負荷にはならない。従って、切断力は、油圧ショベルの機種による影響を受けない。

4. 万能破砕機の種類と用途を次に述べる。

木材切断機のベースとなる万能破砕機、Mシリーズは、万能破砕機のアームを交換することにより、木材切断作業、鉄骨切断作業、コンクリートの丸割作業および小割作業を行う破砕機になる。それぞれ、木材切断用、鉄骨切断用、圧砕用、小割用、コンボカッタ用のアームが準備されており、ピン3本の脱着でアーム交換が行われる。

(1) 木材切断機

先端開口が大きく、木材の切断、さらに廃家電、建築廃材、廃プラスチック等の廃棄物を切断、破砕するのに適している。

(2) 鉄骨切断機

ビルや橋といった鉄骨構造物を解体するのに適している。もちろん、木、ゴム、プラスチックを含んだ廃棄物を破砕する作業も行える。上下の「く型」の切断刃で被切断物を圧縮変型させながら、懐へ抱え込み、切断刃喉もとの大きな切断力で切断する。

(3) 圧砕機

ビル、橋梁、高速道路等のコンクリート構造物を破砕するのに適している。

破砕機アームの根元に装備したカッタにより、露出した鉄筋を切断することができ、ガラの搬出を容易にし、作業効率を上げることができる。

(4) 小割機

大割されたコンクリート塊の小割、鉄骨、鉄筋の丸め作業、トラックへの積み込み作業を行うのに適している。

(5) コンボカッタ

建造物の破砕作業において、コンクリート部を破砕し、鉄骨や鉄筋を切断することができる。圧砕機と鉄骨切断機の機能をそなえており、鉄筋、鉄骨類を多く含む建造物解体に適している。

5. おわりに

木材切断機の開発にあたり、貴重なアドバイスをいただいた、お客様をはじめとする関係各位にこころより感謝申し上げます。今後とも、お客様と共に製品を開発していく所存です。

【筆者紹介】

明地省五

日本ニューマチック工業株 技術部 第1技術課
〒518-0605 三重県名張市八幡1300-80
TEL : 0595-64-5711 FAX : 0595-64-5714
E-mail : akechS@npk.co.jp

日本ニューマチック工業株式会社

<代表者名> 小刀彌義治
<本社住所>
〒537-0003 大阪市東成区神路4-11-5
TEL : 06-6973-9100 FAX : 06-6974-5523
URL : <http://www.npk.co.jp>
<資本金> 200 (百万円)

大割用油圧圧砕機

TS-W1100V、TS-N1000V

＝大口径、ショートストロークシリンダ構造の油圧圧砕機＝

(株)アイオンテック 町井 哲也
Tetsuya Machii

1. はじめに

近年、コンクリート建築物の解体工事では振動、騒音などの問題から壁、梁、柱、基礎など構築物の全てを油圧圧砕機により解体する工法が多く採用されている。また、環境、効率をトータルに考えた場合、現時点ではこの解体工法が最も適していると思われる。

現在、行われている解体工事の多くが高度成長期に大量建設した中層住宅や、同時期に建設された都市部ビル密集エリア内の中層ビルである。

従来、これらのコンクリート建築物の構成部材である壁、梁、柱、基礎の解体作業を行う際、厚み、強度もそれぞれの部材ごとに異なるため、圧砕機を使い分けたり、もしくは開閉スピードか破砕力、どちらかだけの性能に片寄った圧砕機での効率の悪い作業を余儀なくされていた。

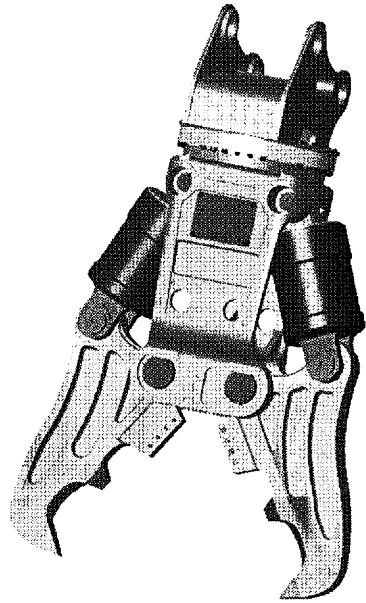
これらの建築物を効率よく解体する為の油圧圧砕機を開発したので紹介したい。

2. TS-W1100V (第1図)

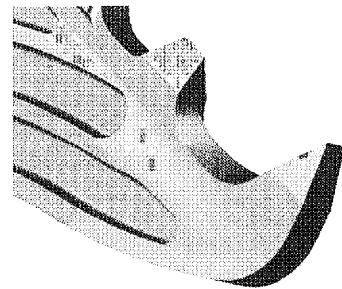
(1) 操作性、作業効率の向上

従来機と比べシリンダ径を大口径、ストロークはショートストローク化することで、全長を短くすることができ、シリンダの幅方向への張り出しも少ないため、機械全体が軽量コンパクトで住宅やビルの密集エリアでも操作性が良い。

破砕アームの先端爪から中爪にかけての従来平面部分を、稜線形状(第2図)にすることでアームが破砕対象物に対して平面で接することがなく、点か線で接するので、圧縮荷重に強く引張荷重に弱いコ



第1図 TS-W1100V



第2図 アーム拡大図

ンクリートの破砕作業には極めて効果的である。
さらに、2本のシリンダによるアーム駆動はアーム

第1表 TS-Wシリーズ仕様

	TS-W620V	TS-W1100V	TS-W1800V	TS-W2000V
質量	kg 650	2350	6400	6400
全長	mm 1610	2585	3010	2950
全幅	mm 1120	1620	2565	2695
最大開口幅	mm 620	1100	1825	2000
最小開口幅	mm 0	0	0	210
先端破砕力	kN 358	941	2010	2010
使用圧力	MPa 28	32	32	32
取付シヨベル	ton 6~9	18~25	45~70	45~70

第2表 TS-N1000V仕様

	TS-N1000V
質量 (kg)	2430 (2290)
全長 (mm)	2675 (2465)
全幅 (mm)	1513
最大開口幅 (mm)	1000
最小開口幅 (mm)	0
先端破砕力 (kN)	864
使用圧力 (MPa)	32

() 内はフリー旋回用ブラケット使用時

の開閉動作による破砕力の変動が少なく、破砕対象物の大きさにかかわらず安定した破砕力が得られる。

(2) 早い開閉スピード

増速バルブの標準装備で破砕力を減少させることなくアーム開閉スピードを高速化している。

(3) 旋回用配管不要の360°油圧自動旋回

旋回用配管、電気も不要で、通常の圧砕機用配管のみで油圧自動旋回が使える、当て回しのフリー旋回としても使用できる。

(4) 今後の展開

今回紹介したTS-W1100Vの他に、TS-Wシリーズとして、最大開口幅2000、1800、620のTS-W2000V、TS-W1800V、TS-W620Vが市場に導入され高い評価を得ている。

今後、同シリーズをさらに充実させてゆく予定である。

(5) 仕様

第1表にTS-Wシリーズの主な仕様を示す。

3. TS-N1000V (写真1)

(1) 概要

TS-N1000Vは1987年市場に導入され高い評価を得てきたロングセラー機種であるTSクラッシャー850RCDをベースに、更なる操作性、作業効率の向上を目標とした新機種である。

(2) 改良点

シリンダ内へ供給される作動油量を変更せずにシリンダを大口径、ショートストローク化し、新たに増速バルブを搭載した事で、アーム開閉スピードが飛躍的に向上した。

更に水平配置シリンダタイプの短所であるアームを閉じた際の全幅の拡大(ロングストロークのため、ピストンロッドのクレビス部が横方向に大きく張り出してしまう)を極力抑えることができた。

破砕アームは開口幅850mmから1000mmにスケー

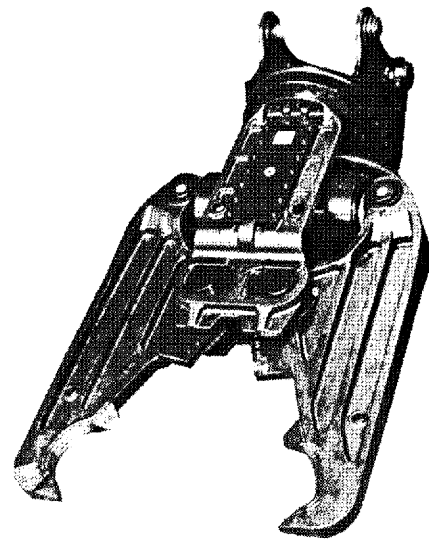


写真1 TS-N1000V

ルアップ。

破砕アームの形状、旋回方式は前述のTS-W1100Vと同様の形態を取り入れているため、ここでは説明を省略させていただく。

(3) 仕様

第2表にTS-N1000Vの主な仕様を示す。

4. おわりに

今回紹介した大口径、ショートストロークシリンダ構造は、圧砕機に限らず、鉄骨建築物などの解体で使用される鉄骨カッターにも採用されている。

アームの開閉にかかわらず、常に安定した切断力が得られる構造は、鉄骨など金属系の切断にも、効果が高い。

(筆者紹介はp.005掲載)

長尺物の反転吊り装置 「写楽」

＝作業性、居住性、整備性を向上、情報機能を搭載＝

吉永機械㈱ 池永 憲明
Noriaki Ikenaga

1. はじめに

吉永機械㈱では、建築・土木工事において施工の効率を上げるためのさまざまな機械を開発してきた。特に吊り治具に関しては、たくさんのニーズがあり、それぞれに特徴ある機械を開発してきた。建設工事において、長尺の資材をハンドリングする場合、鉄骨柱等の建て方、長い梁等を傾けて組み立てる場合等々、反転吊り具のニーズがある。

今までも反転吊り具はたくさんあったし、当社でも種々の機械を製作してきた。しかし、機械の大きさが大きかったり、装置の価格が高かったりして、必ずしも一般に広く普及していたとは言えない状況であった。今回紹介する「写楽」は、コンパクトで、手頃な価格ながら、機能・性能とも十分満足できる機械を目標に開発された。

2. 主な特長

- ① 水平から垂直まで角度を変えることが可能で、さらに垂直の状態でも上下に巻上げが行える。このため、柱等の垂直に敷設される工事等にも使用できる。
- ② バッテリーと充電器が内蔵され、無線で操作をおこなうのでコードレス化が図られた。
- ③ 高速・低速と速度を選定できる。また、反転時あるいは軽負荷時は高速運転し、吊られる物が垂直になり重負荷になった時は低速運転することで重負荷の巻上げが可能となる。この機構により、小さい出力のモーターで大荷重の反転をおこなうことができ、機械の寸法の小型化がはかれた。

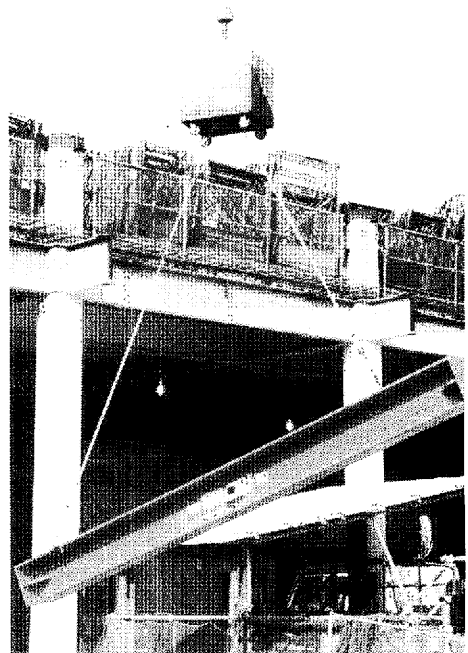


写真1

- ④ 機械がコンパクトであるので、場所を取らないし、キャスターが付いているので、平滑な場所であれば押して容易に場所を移動させることができる。
- ⑤ 吊りチェーンは本体内に格納できるので、保管、移動に便利。

3. 本機の基本的構造

- ① 反転機構
高速・低速各々に専用直流モーターを使用している。この2基のモーターで1基の遊星歯車装置を駆

動させている。高速モーターはウォームを介して遊星歯車装置のリングギヤを駆動し、低速モーターはソーラーギヤを駆動している。このために装置の大幅な小型・軽量化を達成している。また、ウォームの増速時の特性を利用し、高速モーターで重荷重をも巻き下げることができる。直流モーターを使用しているため、軽負荷では自動的に増速され作業の効率化が図られている。チェーンホイールを回転させ、組み込まれた吊りチェーンの左右の長さを変えることにより吊り荷を反転させることができる。

② 本体ボックス

本体ボックスの中に、反転機構、電動機、バッテリー、制御盤、充電器、安全装置等がコンパクトに納められ、なおかつ吊りチェーンとフックも収納できる。

ボックスそのものは各部に扉が付いており、扉を開いた状態で種々のメンテナンスが行える。

③ 吊りチェーン

特殊合金鋼を使用しており、軽量でしかも大きな荷重に耐えることができる。

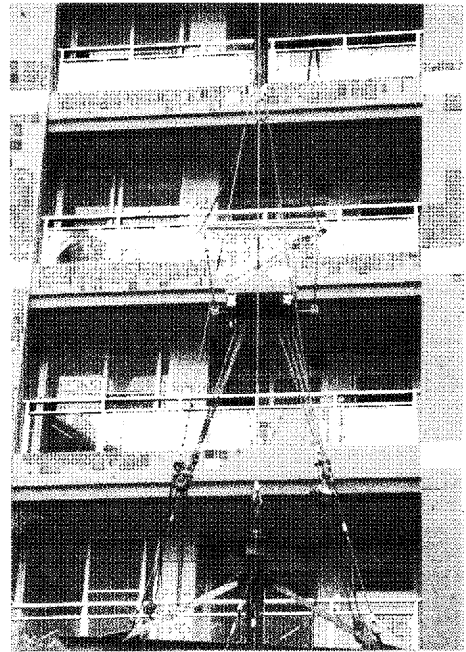


写真2 8ton吊り用治具

4. 主な仕様 (第1表)

第1表

定格荷重	3ton
吊り荷の長さ	最大10m (吊り荷の両端で吊る場合)
反転速度(高速)	4m/min (チェーンの送り速度)
吊上速度(低速)	0.43m/min
ロードチェーン	φ10mm×P30mm×20m
電源	バッテリー(24V) *フル充電で連続1時間の使用可
操作	無線式 *特定小電力
総重量	約320kg

5. おわりに

今回開発したのは、3ton吊り1機種であるが、さらに大きい吊り荷重に対するニーズも大きく、現在8tonまで吊れる治具を使用し対応しているが、速度が遅くなり長尺物の作業にはあまり向いていない。さらに大きな荷重に対応した機種も今後開発して行く予定である。

【筆者紹介】

池永 憲明 (昭和26年5月3日生・東京都出身)
 吉永機械株式会社 社長
 〒130-0021
 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル
 TEL : 03-3634-5651
 FAX : 03-3632-0562
 E-mail : n.ikenaga@yoshinaga.co.jp



吉永機械株式会社
 <代表者名>池永憲明
 <本社住所>
 〒130-0021 東京都墨田区緑4-4-3 吉永ビル
 TEL : 03-3634-5651
 FAX : 03-3632-0562

URL : <http://www.yoshinaga.co.jp>
 E-mail : n.ikenaga@yoshinaga.co.jp
 <資本金> 75 (百万円)
 <年商> 120 (百万円)
 <従業員数> 39名
 <主要取引先> 鹿島建設、大成建設、清水建設、大林組、竹中工務店、戸田建設、東急建設
 <事業内容および会社近況>
 建設機械の製造・販売・レンタルおよびクレーン関係の製造販売を行う。タワークレーン関連機械(クライミング架台、壁つなぎ)、土砂搬出装置、吊り治具、特殊な建築・土木機械、開発型機械、門型クレーン、天井クレーン等を設計製作している。最近、ダム工事用機械、新型吊り治具等を開発、販売している。

2002年9月度 建設機械出荷金額統計

(注)日本建設機械工業会

9月の建設機械出荷金額の総合計は、1,262億円で前年同月比9.6%の減少となった。内需は779億円で18.2%の減少、外需は484億円で8.9%の増加となった。その結果、内需は24カ月連続の減少、外需は6カ月連続の増加となった。

機種別の出荷金額をみると、トンネル機械、基礎機械、その他建設機械の3機種が増加となった。

内需について機種別にみると、トンネル機械11.2%増加 [41億円]、基礎機械1.5% [25億円]の2機種が増加した。一方で、7機種が2桁減少するなど計8機種と補給部品が減少し、この結果、内需

全体では18.2%の減少となった。

外需について機種別にみると、輸出金額の大きい油圧ショベル23.1%増加 [197億円]を始めとして、建設用クレーン58.6%増加 [40億円]、その他建設機械55.3%増加 [46億円]、ミニショベル42.8%増加 [52億円]と大幅に増加するなど計6機種が増加し、外需全体では8.9%の増加となった。地域別にみると、3大輸出先である欧州、北米・中南米が6カ月連続の増加となったものの、アジアは昨年5月以来、16カ月振りに減少した。

第1表 2002年9月度 建設機械国内出荷台数統計 (その1)

上段：台数
下段：前年同期比増減(%)

月単位統計機種	今月 2002年9月	今四半期 (7～9月)	2002年累計 (1～9月)	2002年度累計 (4～9月)
ホイールローダ	626 -12.2	1,421 -11.8	4,638 -15.5	2,483 -18.2
油圧ショベル (クローラ式、ホイール式)	2,552 -26.5	5,689 -20.0	13,563 -32.2	9,050 -24.4
ミニショベル (クローラ式、ホイール式)	2,960 -15.1	6,223 -11.2	14,665 -23.0	9,739 -18.6
クローラクレーン	36 -25.0	59 -27.2	15.5 -18.8	84 -25.7
アスファルトフィニッシャー	62 -6.1	12.3 -15.2	300 -17.1	194 -19.2

第1表 2002年9月度 建設機械国内出荷台数統計(その2)

四半期単位統計機種	今四半期 (7～9月)	2002年累計 (1～9月)	2002年度累計 (4～9月)
クローラテレスコクレーン	45 -11.8	100 0.0	69 7.8
タワークレーン	5 -50.0	8 -63.6	6 -68.4
高所作業車	1,885 -10.9	4,463 -13.9	2,654 -19.8
締固め機械(ローラ)	1,555 -9.6	3,124 -19.9	2,312 -15.5
締固め機械(ランマー、コンパクタ)	7,474 -7.7	20,969 -13.7	13,725 -9.6
アスファルトプラント (リサイクル・バージンを含む)	13 -27.8	35 -12.5	32 -5.9
コンクリートプラント	51 -19.0	120 -26.4	89 -21.2
ドリル	27 -49.1	115 -25.3	58 -38.9
油圧ブレーカ	1,078 -34.0	3,132 -32.0	1,956 -33.4
油圧圧砕機 (大割・小割・グラブ)	58.4 27.5	1,646 -2.7	1,052 -1.7
可搬式圧縮機	1,190 -18.1	2,502 -27.4	1,776 -25.9
キャリア	294 -46.0	748 -34.1	471 -41.7
ラフテレーンクレーン	293 -13.1	835 -23.3	479 -18.8
スッキドステアローダ	259 9.7	862 -5.5	484 -8.7
トンネル機械 (シールド機械、TBMの合計)	32 33.3	85 -14.1	44 -2.2
推進機械 (先導管+先導管付)	31 -13.9	77 -17.2	54 -1.8
自走式クラッシャー	36 -23.4	133 -21.8	72 -25.8

第2表 建設機械出荷金額統計(2002年9月)

金額単位:百万円、()内:前年同月・期比増減%

		2002年9月	当該四半期 (7~9月)	2002年累計 (1~9月)	2002年度累計 (4~9月)
トラクタ	内需	5,478 (-30.8)	12,458 (-32.0)	43,980 (-28.6)	25,232 (-33.6)
	外需	7,750 (-25.2)	25,863 (16.9)	77,659 (21.3)	50,506 (27.3)
	小計	13,228 (-27.6)	38,321 (-5.2)	121,639 (-3.1)	75,738 (-2.5)
油圧ショベル	内需	21,720 (-24.4)	48,630 (-20.3)	121,840 (-29.4)	80,516 (-22.8)
	外需	19,731 (23.1)	55,687 (42.0)	167,071 (27.0)	109,217 (38.7)
	小計	41,451 (-7.4)	104,317 (4.1)	288,911 (-5.0)	189,733 (3.6)
ミニショベル	内需	7,699 (-17.5)	16,366 (-13.7)	37,866 (-28.4)	25,086 (-23.3)
	外需	5,212 (42.8)	12,015 (20.8)	36,327 (8.9)	24,096 (17.4)
	小計	12,911 (-0.6)	28,381 (-1.9)	74,193 (-13.9)	49,182 (-7.6)
建設用クレーン	内需	13,531 (-10.1)	23,920 (-17.5)	66,506 (-18.2)	36,967 (-18.4)
	外需	4,033 (58.6)	7,950 (65.8)	17,838 (52.2)	11,486 (65.9)
	小計	17,564 (-0.2)	31,870 (-5.7)	84,344 (-9.3)	48,453 (-7.3)
道路機械	内需	4,574 (-30.8)	10,449 (-15.0)	23,420 (-16.7)	16,150 (-14.2)
	外需	793 (-62.0)	2,925 (-22.1)	9,222 (-22.3)	5,836 (-2.3)
	小計	5,367 (-38.3)	13,374 (-16.7)	32,642 (-18.4)	21,986 (-11.4)
コンクリート機械	内需	2,654 (-31.5)	6,508 (-16.6)	16,843 (-29.4)	10,759 (-25.8)
	外需	183 (37.6)	472 (77.4)	1,828 (143.7)	1,284 (205.7)
	小計	2,837 (-29.2)	6,980 (-13.5)	18,671 (-24.2)	12,043 (-19.3)
トンネル機械	内需	4,093 (11.2)	8,104 (9.4)	26,499 (-0.8)	14,661 (29.8)
	外需	45 (-86.2)	1,103 (0.9)	4,860 (27.5)	1,777 (-5.3)
	小計	4,138 (3.3)	9,207 (8.3)	31,359 (2.7)	16,438 (24.8)
基礎機械	内需	2,523 (1.5)	5,632 (2.7)	11,018 (-20.8)	6,905 (-13.1)
	外需	0 (-100.0)	0 (-100.0)	210 (-67.5)	97 (-83.4)
	小計	2,523 (1.0)	5,632 (-1.2)	11,228 (-22.9)	7,002 (-17.9)
油圧ブレーカ ・油圧圧砕機	内需	1,049 (-23.0)	3,004 (-12.7)	8,911 (-18.1)	5,607 (-18.0)
	外需	520 (27.1)	1,722 (11.6)	5,803 (6.7)	3,843 (12.2)
	小計	1,569 (-11.5)	4,726 (-5.2)	14,714 (-9.8)	9,450 (-7.9)
その他建設機械	内需	5,602 (-1.7)	13,678 (-5.2)	33,589 (-16.4)	22,547 (-11.3)
	外需	4,574 (55.3)	13,558 (68.7)	30,406 (38.0)	23,825 (82.3)
	小計	10,176 (17.7)	27,236 (21.2)	63,995 (2.9)	46,372 (20.5)
本体合計	内需	68,923 (-18.7)	148,749 (-16.5)	390,472 (-23.7)	244,430 (-19.9)
	外需	42,841 (11.3)	121,295 (33.3)	351,224 (23.2)	231,967 (35.5)
	小計	111,764 (-9.3)	270,044 (0.3)	741,696 (-7.0)	476,397 (0.0)
補給部品	内需	8,957 (-14.4)	26,448 (-9.7)	81,112 (-11.2)	53,118 (-10.3)
	外需	5,517 (-6.4)	15,763 (-2.9)	48,560 (-0.2)	31,879 (3.5)
	小計	14,474 (-11.5)	42,211 (-7.3)	129,672 (-7.3)	84,997 (-5.5)
総合計	内需	77,880 (-18.2)	175,197 (-15.6)	471,584 (-21.8)	297,548 (-18.3)
	外需	48,358 (8.9)	137,058 (27.8)	399,784 (19.8)	263,846 (30.6)
	小計	126,238 (-9.6)	312,255 (-0.8)	871,368 (-7.0)	561,394 (-0.9)

社)日本建設機械工業会
 TEL: (03) 5405-2288(代)
<http://www.cema.or.jp>

次号掲載予定報文

■特集：無人化施工の現状と展望

- 無人化施工への取り組みと将来展望
- 無人化施工協会の役割と今後の展望
- 三宅島における無人化施工の導入事例とその期待効果
- 雲仙普賢岳噴火火災復旧工事における無人化施工
- 有珠山火山噴火火災復旧工事における無人化施工
- テレスコピック式ラジコン車開発と適用事例
- ダム工事の原石山立坑内における無人化施工
- 高所垂直斜面掘削や高所法面掘削における遠隔操作事例
- 共用変換型無人化施工システムの開発と適用事例・効果
- 遠隔操縦ロボットの開発と適用事例・効果
- 遠隔距離5kmへの挑戦と適用事例・効果
- 装着が簡単な遠隔操舵装置の開発と適用事例・効果

■製品紹介

- ドリルジャンボ用新型油圧ドリフタHD210
- 移動式木質系廃材破砕装着フジダイヤモンドZ
- 自走式木材破砕機BR130M-160M
- 木質系専用大型クラッシャーCRAMBO
- 多機能型鉄骨カッターFCシリーズ
- ラバウンティ・シア

■新工法

- パイルドラフト基礎設計技術

■業界情報

- 2002年10月度建設機械売上統計

[掲載予定報文は編集部都合で変更になる事があります。]

■本誌編集顧問

杉山 庸夫 津雲 孝世

■本誌編集委員

日立建機株 浅野 邦彦
 鹿島建設株 金井 雅夫
 大成建設株 舘越 勝輝
 新キヤタビラー(三菱) 雨宮 信一
 コマツ 村上 伸一

■本誌企画委員

住瀬千壽夫研究所 網干 壽夫
 吉永機械(株) 池永 憲明
 西松建設(株) 石井 正典
 飛鳥建設(株) 市川 健作
 西松建設(株) 佐藤 幸五郎
 東都電機工業(株) 大塚 浩一
 コマツエンジニアリング(株) 奥野 昇
 古河機械金属(株) 金子 勉
 住友建機(株) 加持 俊二
 清水建設(株) 佐藤 成美
 アイレック技建(株) 白川 淳一
 物産村組 萩森 健治
 清水建設株 萩原 英樹
 清水建設株 福元 洋一
 三井建設株 本多 正人
 日立造船(株) 前畑 英彦
 偉大林組 井上 康夫
 (株)関組 森 秀文
 飛鳥建設(株) 真中 弘
 (株)熊谷組 御手洗真夫
 日本国土開発(株) 赤神 元英

●本誌に掲載する著作物の複製権・上映権・譲渡権・公衆送信権(送信可能権を含む)は日本工業出版株式会社が保有します。

●TEL<日本著作出版権管理システム依託出版物>
 本誌の無断複写は著作権法上での例外を除き禁じられています。複写される場合は、そのつど事前に日本著作出版権管理システム(TEL:03-3817-5670、FAX:03-3815-8199)の許諾を得てください。

●盗丁、落丁本は、ご面倒ですが小冊までご送付ください。送料小社負担にてお取替いたします。

編集 建設機械編集委員会

発行所 日本工業出版株式会社

本社 〒113-8610 東京都文京区本駒込6-3-26
 TEL 03(3944)11814 FAX 03(3944)6826
<http://www.nikko-pb.co.jp/>
 e-mail:info@nikko-pb.co.jp

大阪営業所 TEL 06(6202)8218 FAX 06(6202)8287
 日本橋事務所 TEL 03(3803)1021 FAX 03(3808)1023
 中国事務所 TEL・FAX (0591)7855622
 販売専用 TEL 03(3944)8001 FAX 03(3944)0389
 振替 00110-6 14874

定価2,000円(本体1,905円)
 年間購読料・年12冊20,000円(税込)

(東京本社付近図)

