

特集記事・6

我が国の社会インフラを支える鉄鋼材料

トンネル・地下空間構造を支える鋼材
及び構造・施工法Steel Materials, Structure, Construction Method used for Tunnels and
Underground Structures首都高速道路(株)
技術部
土木技術担当部長田嶋仁志
Hitoshi Tajima鹿島建設(株)
土木管理本部 土木工務部
シールドグループ グループ長中川雅由
Masayoshi Nakagawa鹿島建設(株) 東京土木支店
東京外環中央JCT北側ランプ
工事事務所 所長米沢 実
Minoru Yoniezawa鹿島建設(株) 東京土木支店
東京外環中央JCT北側ランプ
工事事務所 工事課長代理森田大介
Daisuke Morita(株) 安藤・間
土木事業本部 技術第一部
シールドグループ グループ長井上隆弘
Takahiro Inoue青山機工(株)
技術・設計部長佐久間誠也
Seiya Sakuma

1 はじめに

首都高速道路(以下、首都高速または首都高)は、東京都およびその周辺地域にある都市高速道路であり、東京の輸送をつかさどる都市交通網の重要な道路の一つである。首都高速では、都心部への交通集中緩和のため道路ネットワークの整備を促進するため環状線を整備してきたが、このうち中央環状線として、最後の区間である品川線約9.4kmが2015年3月に開通した。これにより中央環状線全区間が完成となった(図1)。

中央環状線は当初全線高架構造で計画されたが、環状線の西側区間の新宿線、南西側区間の品川線は、沿道の環境に配慮し、全線トンネル構造としたため、総延長約18.2kmの都市内長大トンネルとなった。これらの事業を進めるため、工程、事業費等の観点から、トンネル構造としては、外径11~13m

の大口径シールドトンネルを基本とした、特に品川線では、延長約8.2kmの長大シールドトンネルとなった。また、都市内トンネルの特徴である、多くの出入口、放射方向の高速道路とのJCTが存在するため、シールド施工後に拡幅工事を行うトンネル切開き施工方法を開発し初めて導入した。

これらの地下構造物には鋼構造も様々なトンネル構造、仮設構造に使用されている。シールドトンネルのセグメント、今回開発したシールド切開き構造における鋼殻セグメント、工事中の仮設構造として使用する鋼部材等、鋼構造の特徴である、高剛性、現場に合わせた製作・加工性、現場での切断、撤去、接合、加工の容易性を生かして、その用途は多岐に渡り活用されている。

本報文ではそれらの概要を報告するとともに、構造の特徴と特に鋼構造を積極的に取り入れた事例を紹介するものである。

2 シールドトンネル構造物

2.1 トンネル覆工(セグメント)と鋼材

トンネル覆工としては、通常は鉄筋コンクリートセグメント(以下、RCセグメント)が用いられるが、セグメントとして使用される鋼製部材としての代表例には、鋼製セグメントや合成セグメントが挙げられる。これらトンネル覆工として用いられるセグメントの特長を図2に示す。

鋼製セグメントは箱型の形状であり、小口径トンネルではRCセグメントに比べて経済的に優位となることから使用されることが多く、中・大口径トンネルではRCセグメントの



図1 首都高速中央環状新宿線・品川線(山手トンネル)

適用が困難な急曲線部や開口部等の特殊部で使用されることが多い(急曲線部に適用されるセグメントは幅狭のテーパリングとなるためRCセグメントは製作困難であり、開口部等の特殊部では局所的に大きな断面力が作用するために桁高を変えずに主桁厚さや材質の変化で対応でき、かつ現場加工性にも優れた鋼製セグメントが多用される)。また、トンネル開口部や切開き部などでは、極厚の鋼材を組み合わせた特殊鋼殻が使用されている。

一方、鋼とコンクリートの合成構造である合成セグメントは、軸圧縮力に対して合理的な構造となるRCセグメントに



図2 鋼材の特性を活かしたシールドセグメントの特徴

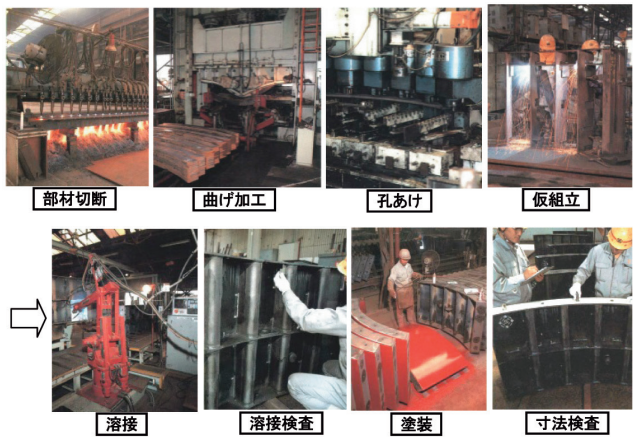


写真1 鋼製セグメントの製作フロー

対して、同じ断面形状であれば高い耐力を付与できることから、桁高を抑えてトンネル外径を小さくしたい場合、トンネル内径を部分的に拡大したい場合、大きな内水圧が作用する場合、非円形トンネル等で使用されている。

2.2 鋼製セグメントと特殊鋼殻

鋼製セグメントおよび特殊鋼殻は、鋼材を溶接することで構造部材を製作すること、溶接部には高い止水性が求められること、製品に $\pm 1.5\text{mm}$ という寸法精度(桁高, 幅, 弧長など)が求められることから、溶接管理および出来形寸法精度管理が重要となる。また、鋼製部材の長期耐久性を確保するためには、使用環境や用途に応じて防錆対策が必要となる。

2.2.1 鋼製セグメントの製作と現場適用事例

鋼製セグメントの製作フローおよび製作状況を写真1に示す。鋼製セグメントは止水性、耐久性を確保した上で、高い出来形寸法精度を確保し、地下構造物としての機能を満足するため、高品質のトンネル覆工材として活用されている(写真1)。また、鋼製セグメントの主桁は一般的には平鋼板から円弧状に切断するが、平鋼板の歩留まり向上を目的として、首都高中央環状線の一部では、平鋼板を短冊状に切断した上で冷間曲げ加工により主桁材を製作する工法を初めて適用した(図3,4、写真2)。これにより、鋼材ロス低減による合理化を実現した。

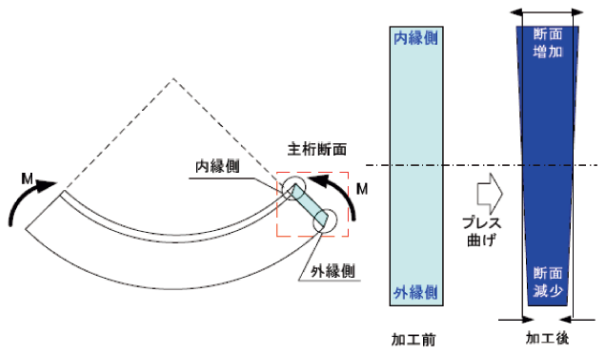


図4 冷間曲げによる主桁の変形

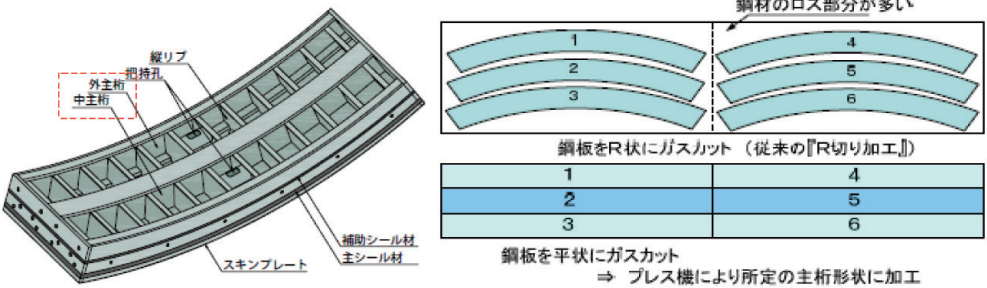


図3 冷間曲げ加工による主桁製作のメリット

2.2.2 合成セグメント

トンネル周辺が軟弱地盤の場合や併設トンネルの離隔が小さく併設の相互影響が大きい場合、または地上部の建物荷重や掘削の影響で偏圧が作用する場合等において、鋼・コンクリート複合部材として合理的な合成セグメントが活用されている。ここでは、その代表例としてSBLセグメント、6面鋼殻式（フルサンドイッチ型）合成セグメント、およびNMセグメントを紹介する。

(1) SBL (Steel Beam Lining) セグメントの製作と適用事例

SBLセグメントは、突起付鋼板と束材による主鋼材と外面鋼板を配置し、鉄筋コンクリートと一体化した平板型合成セグメントであり、セグメント継手・リング継手ともワンタッチ締結式のボルトレスセグメントであり首都高中央環状線品川線で初めて採用された（写真3）。SBLセグメントは鉄骨鉄筋コンクリート構造（SRC構造）として設計するため耐力が大きく、品川線では上載荷重が大きな偏圧作用部に適用して、一般部のRCセグメントと同じ覆工厚で特殊荷重に耐える構造とすることができた。なお、SBLセグメントは耐火機能を備えたコンクリート適用により耐火被覆工を省略し、鋼材のコンクリート被りを確保することで防錆処理も省略できることがメリットとしてある（写真4）。

(2) 6面鋼殻式合成セグメントの製作と現場適用事例

6面鋼殻式合成セグメントは、6面をスタッドジベル付き



写真2 大型プレス機



写真3 SBLセグメントの概要

の鋼板で囲い、内部にコンクリートを打設・充填したフルサンドイッチ型の合成セグメントである（写真5）。本セグメントは高い剛性のため、セグメント厚（桁高）を小さくできる等、セグメント応力が高いところに有利である。

首都高中央環状線品川線では、五反田出入り口地下ランプ分合流部におけるシールドトンネル覆工の本設構造適用箇所（切開き撤去されない残置部分）に6面鋼殻式合成セグメントを適用し、切開き躯体接合部の特殊鋼殻との複合リング構造として一部適用した（図5）。

6面鋼殻式合成セグメントの特長は、セグメントの最外縁・最内縁に鋼材を配置でき、主鋼板に配置したスタッドジベルで鋼コンクリート一体構造とすることにより、主鋼材の全断面を有効とした桁高を抑えてトンネル内空を確保できるトンネル覆工構造を実現したことである。

(3) その他の合成セグメント

首都高中央環状線以外で採用されているセグメントであるが、NMセグメント（New Mechanically Jointed Segment）は、NM形鋼という特殊形状の鋼材（フランジ材）を継手面に配置し、鋼材同士の嵌合とワンタッチ締結式の継手により高い剛性を確保した鋼材とスキンプレートにコンクリート



写真4 SBLセグメントによる躯体完成状況

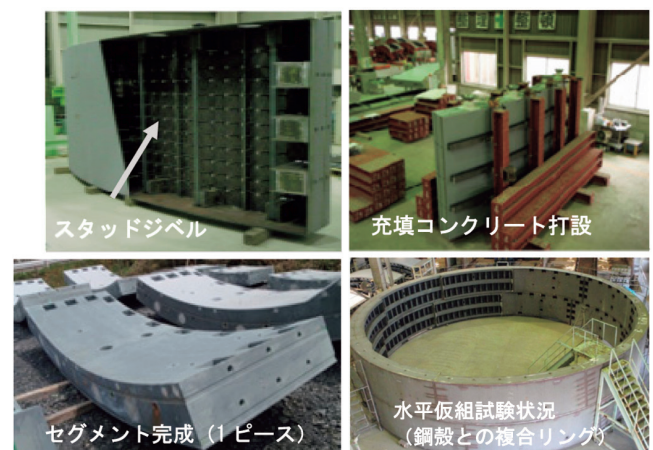


写真5 6面鋼殻式合成セグメントの構造概要

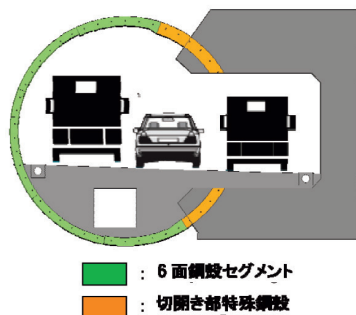


図5 6面鋼殻と特殊鋼殻による複合リング構造と躯体完成状況

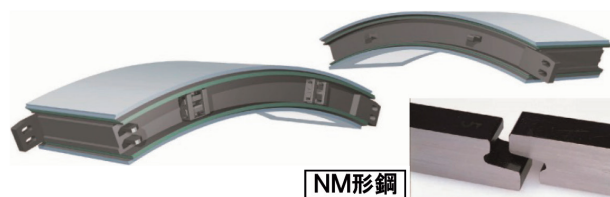


写真6 NMセグメントの概要

を充填したワンタッチ組立式の合成セグメントである(写真6)。NMセグメントは高い出来形寸法を確保するため、鋼材溶接後に5面切削機にて外面成形を行っている(写真7)。

3 シールドトンネル切開き工事適用事例

3.1 切開き工事個所の構造、特殊鋼殻の適用事例

首都高中央環状線では、地下ランプ分岐・合流部(以下、分合流部)の構築手順として、先行して2本の本線トンネルをシールド工法にて構築し、開削工法またはパイプルーフ工法などの非開削工法を用いて出入口JCTトンネルと本線トンネルの分合流部をシールドトンネルの切開き拡幅によって構築した(図6)。

分合流部の切開き用セグメントは特殊鋼殻を用い、分合流部の切開き躯体は現場打ちのRC構造とした。切開き部の特殊鋼殻とRC躯体構造は、特殊鋼殻の縦リブをシアコネクタとし、接続部の補強鉄筋を配置した上でコンクリートを打設して一体化する構造である(写真8)。切り開き部の鋼殻は切斷、撤去される。

首都高中央環状線のシールド工事では、トンネル開口部や切開き部への対応として、特殊鋼材(SM570-H)の極厚部材(板厚120mm)を適用した鋼殻や、桁高1,100mmの特殊鋼殻を製作・適用した。トンネルに開口や切開きを行わない箇所的一般部鋼製セグメントの鋼材重量が「15ton/m」程度であるのに対し、特殊部鋼殻の鋼材重量は「23ton/m」程度であり、リング構造であるシールドトンネルを切開いた分合流部の鋼殻構造が如何に高剛性で、特殊であるかが分かる。本線



写真7 5面切削機による高精度の寸法確保

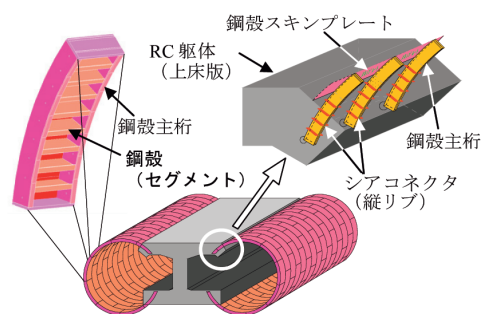


図6 シールド切開き構造及び接続部

シールドトンネルは、シールド機にて地盤を掘削してトンネル覆工を構築することから全線でトンネル外径が同一とする必要があり、分合流部などのトンネル切開き部で桁高が極端に大きくなると道路建築限界を確保できなくなるため、特殊鋼材や極厚鋼材を適用した。

また、シールドトンネルの切開き時には、本線トンネル内部および本線トンネル間に施工時のトンネル安定を目的として仮設の支保部材を使用した(写真9)。



写真8 切開き部の鋼殻接続部配筋



写真10 切開き部の完成状況



写真9 切開き部の仮設支保工

このように、首都高速中央環状新宿線は、地下ランプ分合流部のトンネル覆工および仮設材に鋼材を有効に適用することで、地下に大規模な空間を安全に構築することが出来た(写真10)。

3.2 鋼材のみでシールドトンネル分合流部の地下大空間を構築した事例

地上の制約等からシールド切開き工事を主に地下だけで行う工法(非開削切開き工法)がある。

非開削切開き工法のなかで施工箇所付近に立坑を設けることが可能な工法としては、「パイプルーフ工法」があり次章で紹介する。しかしながら都市内においても、施工箇所に横断橋等の構造物がある、また土地表面の権利を取得しないで、地下部分だけ取得し施工するケースなど、地下部分だけで切開き工事をするケース「完全非開削工法」がある。このようなケースに対して、大橋ジャンクションの工事例を報告する。大橋連絡路は、大橋JCTの一部として首都高速3号線と品川線本線トンネルと分合流部を形成する連絡路トンネルである。この分合流部は、2車線の本線トンネルと1車線の連絡路トンネルとを地中で拡幅、接合することで、延長約200mにわたって密集市街地の幹線道路直下に3車線用の大空間を上下2層で建設するものである(図7)。

3.2.1 技術的特徴

分合流部の地上は日交通量4万台の幹線道路であり、その沿道にはビルが林立し、陸橋や河川などの重要構造物がある

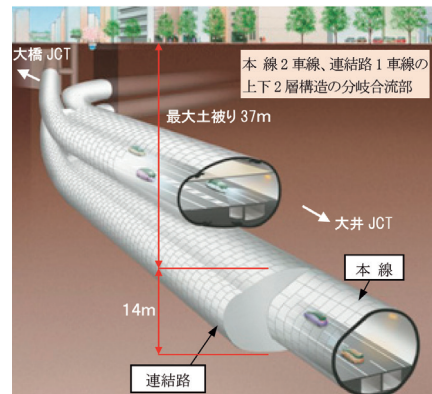


図7 大橋連絡路工事の概要

ことから、中央環状新宿線で採用した地上からの開削工法による切開き施工は困難であった。そこで、本線シールドトンネルに対して、連絡路トンネルもシールド工法で構築し、本線(外径12.3m)と連絡路(外径9.5m)の2本のシールドトンネルを地中で拡幅、セグメントで接合して1本の大断面トンネル(幅22.3m、高さ14m)を構築する工法を新たに開発、実用化した(図8)。以下に、本工法の覆工構造の主な特徴を述べる。

図9に示すように、本線・連絡路間の拡幅部はアーチ状の鋼製セグメント(拡幅セグメント)で覆工する。シールドトンネルとの接合部には特殊形状のセグメント(接続ピース)を設けておき、拡幅セグメントをボルトで接合できるようにしている。また、この接合部は折れ角をもって交わるため、補強梁で支持して応力集中の緩和を図っている。このような構造により、特に次の長所を有する。

- ① アーチから構成される合理的かつコンパクトな楕円形状を形成でき、覆工の薄肉化と軽量化およびコストダウンが可能。
- ② 耐力および靱性の高い鋼製セグメントの採用により、大深度・大断面トンネルにおける覆工の軽量化と止水性・耐久性の向上および工場製品による品質の向上が可能。
- ③ 拡幅部のプレファブ化により工程を大幅に短縮可能。また、既設シールドのセグメントを撤去することなく拡幅セグメントを接合でき、既設シールドの安定を確保するとともに、地山の開放を最小限に抑えて、地盤沈下の周辺環

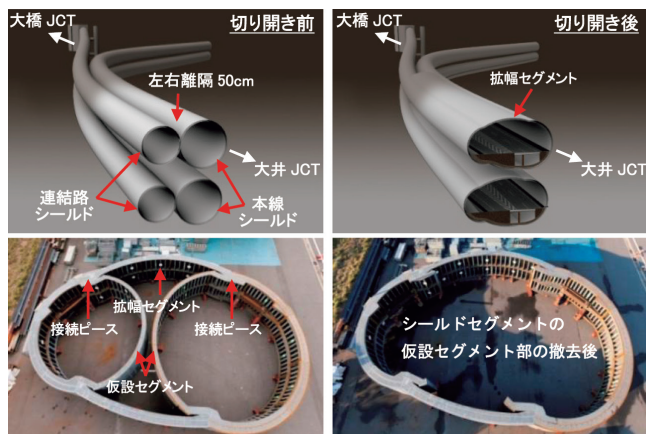


図8 鋼拡幅セグメントを用いたシールドトンネル地中拡幅工法

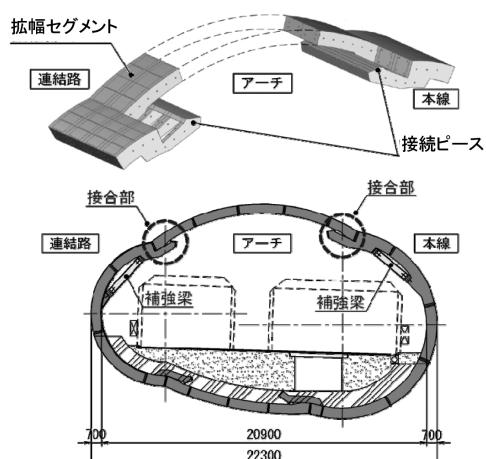


図9 拡幅セグメントの接合構造

境への影響を抑制可能。

設計にあたっては、各種構造や地盤の解析だけでなく、1/2モデルでの実証試験等で安全性、施工性の確認を行った(写真11)。

3.2.2 施工方法、施工結果

詳細は省略するが、施工方法として、2本のシールド工事後、シールド内部からセグメントを一部切削、撤去後、シールド間の上半部分を掘削し、拡幅セグメントを設置する。さらに、下半部分を同様に掘削、セグメント設置する。最後にトンネル内の既設セグメントを切断、撤去し、トンネルが完成する。

本工法を適用することにより、約2年間の短い工期内で漏水のない上下二層の分合流部を完成することができた。また、地表面の沈下もほとんど生じず、周辺環境や道路交通に影響を与えることなく、無事完成することができた(写真12)。

なお、本工事と同規模程度の分合流部(3車線断面、上下2層構造、延長約200m)を既存技術の開削工法により構築した事例と比較すると、約25%のコストダウン効果が、また、開削工法で行う支障物撤去や土留め・路面覆工、埋戻し・復旧工が省略で



写真11 拡幅セグメント部1/2スケール載荷試験



写真12 大橋連結路完成状況(下層：分岐部)

きるため、約50%の工程短縮効果があったと考えられる。

4 施工時に活躍する「地下を支える鋼構造物」の合理的な活用事例

4.1 鋼製地中連続壁

トンネルを開削工法等で作る場合、掘削するために土留め壁を構築する必要があるが、それへの適用例として、鋼製地中連続壁(以下、鋼製連壁という)があり、土木構造物の仮設や本体利用で多くの実績がある工法である。首都高中央環状新宿線の要町換気所や同品川線の大橋ジャンクションにも工法のメリットを生かした使い方がなされており、直近では、相鉄・東急直通線の新横浜駅や新綱島駅の地下駅の構造物に採用され現在、施工が進められている。

4.1.1 鋼製連壁の種類

鋼製連壁には、工法-I(コンクリート等充填鋼製連壁工法)と工法-II(ソイルセメント鋼製連壁工法)がある。工法-Iは、安定液掘削後に鋼製連壁部材(以下、NS-BOXと呼ぶ)を掘削溝に建込み、コンクリート充填する工法であり、工法-IIは、原位置土混合攪拌工法により、造成されたソイルセメント溝中に、NS-BOXを建て込む工法である。

NS-BOXはパイプ状の雌継手を持つGH-RとT型の雄継手を有するGH-HやGH-Iからなるが、工法に応じてNS-BOXの種類や形状も異なる。工法-Iはコンクリートの充填性を確保するためにNS-BOXのウェブに開口を設け、嵌合継手が等

間隔で設置される。工法-Ⅱではウェブに開口をもうけずに嵌合継手を連続させている。

工法-Ⅰは、大深度・大壁厚への適用が多く、工法-Ⅱは工法-Ⅰよりも高遮水性、工期短縮、省スペース性に優れている（図10、写真13）。

4.1.2 適用事例

工法-Ⅰの適用事例を前述の要町換気所で説明する。要町換気所は、当初高速道路階の下部に延長190m×4層構造（掘削深さ40m）で計画されていたが、事業用地内の未収用地のために施工途中で構造変更となり延長100m×6層構造（掘削深さ53m）になった。そのため、土留壁についても壁の追加や構造変更の必要が生じ、RC連壁・鋼製連壁・泥土モルタル壁・SMW（Soil Mixing Wall）が混在する土留め構造となった。

このうち、鋼製連壁は、薄壁化を目的として採用され、壁厚1mの内壁との重ね壁として本体利用する構造であった。換気所躯体の実施設計においては、鋼製連壁を本体利用するにあたり、経済性の点から仮設壁である1次土留め壁（RC連壁）の抵抗を設計に考慮した。

(1) 設計荷重と断面力

図11に荷重図及び構造断面図を示す。荷重は、砂質土、粘性土ともに土水分離として側圧を算定し、土圧は1次土留め壁・鋼製連壁・内壁の3層の重ね壁に、水圧は1次土留め壁の長期的遮水性が期待できないことから鋼製連壁・内壁の2層の重ね壁に作用させて鋼製連壁・内壁・1次土留め壁の断

面力を算定した。

(2) 設計モデル

設計モデルは、鋼製連壁と内壁の剛性を考慮した骨組みモデル（全荷重モデル）とし、鉄筋の配置されている範囲の1次土留め壁の土圧分担分を発生断面力より剛比分担で算定し、全荷重モデルの断面力から差し引いたものを鋼製連壁と内壁に負担させた（図12）。

鋼製連壁と内壁との断面力分担計算は、重ね壁の抵抗曲げモーメントを鋼製連壁の抵抗曲げモーメントと内壁の抵抗曲げモーメントの累加とする「累加設計法」で行い、1次土留め壁の抵抗力を有効に利用した。

(3) 鋼製連壁の概要

鋼製連壁の概要を表1に、鋼製連壁の断面図を図13に、施

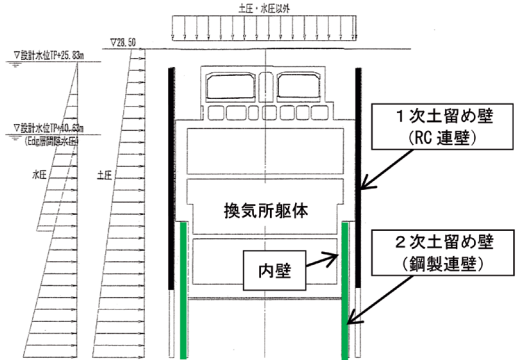


図11 荷重図及び構造断面図

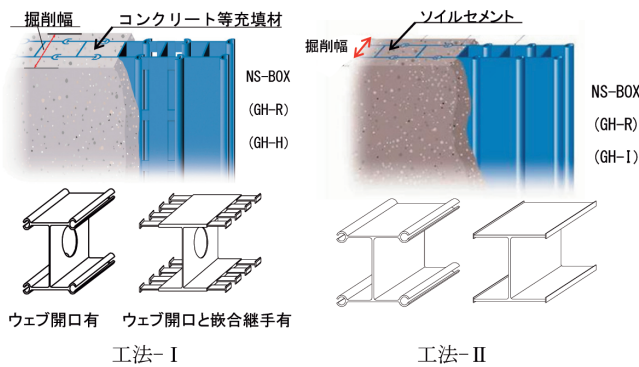


図10 鋼製地中連続壁の施工法概要

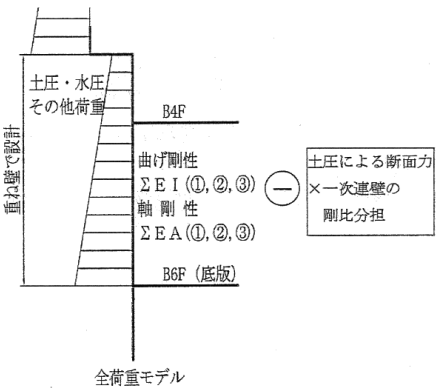


図12 設計モデル図

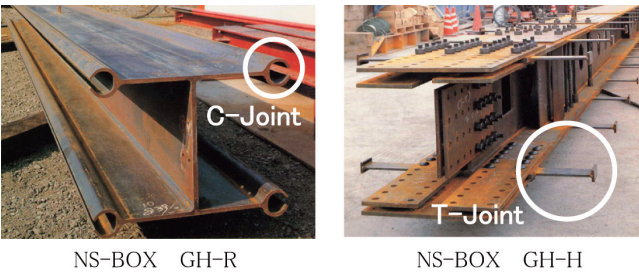


写真13 鋼製地中連続壁部材

表1 山手トンネル要町換気所 鋼製連壁の概要

形状	厚：1.5m，削溝深さ：24.0m
築造面積	5,300m ²
エレメント幅	先行：2.6m（1ガット） 後行：2.8m（1ガット）
エレメント継手	カッティング（切削幅10cm）
応力材等	NS-BOX（長さ23.8m,6分割）
充填材	高流動コンクリート（45-60-20L）
掘削機	トレンチカッター2機（MBC-30）
施工基面	GL-35.0m（TP+28.5m）路下施工

工状況の写真14にそれぞれ示す。

鋼製連壁は、内壁との重ね壁となるのでエレメント間の水平継手がない構造とした。NS-BOXの配置は、安定液掘削した1エレメント内に、3本を割り当て、中央に凹継手のGH-Rタイプをその両端に凸継手のGH-Hタイプを配置した。なお、この鋼製連壁と同等な剛性を持つRC連壁とした場合は約2mの壁厚となり用地的に設計が成り立たない状況であった。

4.2 パイプルーフ工法

非開削工法により地下構造物を構築する場合、掘削空間周囲の荷重を支持するため、鋼管を用いたパイプルーフ工法が用いられる。パイプルーフ工法とは、鋼管を本体構造物の外周に沿って等間隔にアーチ状または柱列状に水平に打設してルーフ（屋根）や壁を作ること掘削空間を支持する補助工法である。一般に、パイプルーフ工法では、直線パイプルーフを門型に配置して、そのパイプルーフを支持杭や受桁等の仮設支保工部材で支持するが、この場合は支持杭等により作業空間が狭隘となり、施工条件が非常に厳しく、多大な労力

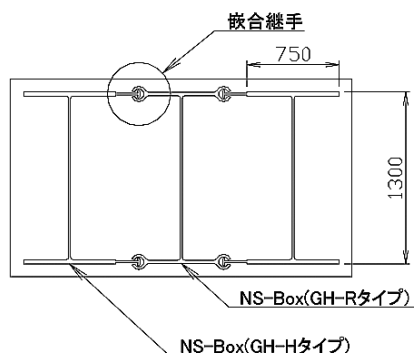


図13 NS-BOXの配置



写真14 鋼製連壁施工状況（左：掘削、右：建込み）

と工程を要することが課題であった。

ここでは、大規模地下空間を構築する際に懸案となっていたパイプルーフ下部の支持杭や受桁等の仮設支保工部材を省略した、パイプルーフ鋼管を活用した合理的な施工事例を紹介する。

4.2.1 曲線パイプルーフ鋼管を用いた無支保での大規模地下空間構築事例

首都高速中央環状新宿線の富ヶ谷出入口では、トンネル下部に本線トンネル坑内から「太極曲線パイプルーフ工法」（第3回ものづくり日本大賞 内閣総理大臣賞）を適用して無支保アーチ構造を形成（パイプルーフ鋼管φ812.8mm, R=16m, L=19m）し、地下ランプ切開き部を非開削工法により安全かつ迅速に構築した（図14）。

本工法における曲線パイプルーフ推進機は到達側の鋼殻主桁間（平均クリアランス55mm）に到達しなければならず、非常に高い施工精度が要求されたため、新たに開発した計測システム（ATS：オートターゲットシステム）により、±10mm以内の計測精度を実現したことにより、全ての曲線パイプルーフを管理値である±50mm以内で施工完了した（写真15）。

またパイプルーフ間の止水には凍結工法を用いている。

4.2.2 パイプルーフアーチ工法による無支保での大規模地下空間構築事例

首都高速中央環状品川線の五反田出入口では、直線パイプルーフ鋼管をアーチ状に配置し、鋼管内・鋼管間にモルタルを充填して一体型アーチシェル構造を形成する「パイプルーフアーチ工法」（平成26年 土木学会技術開発賞）を適用し、道

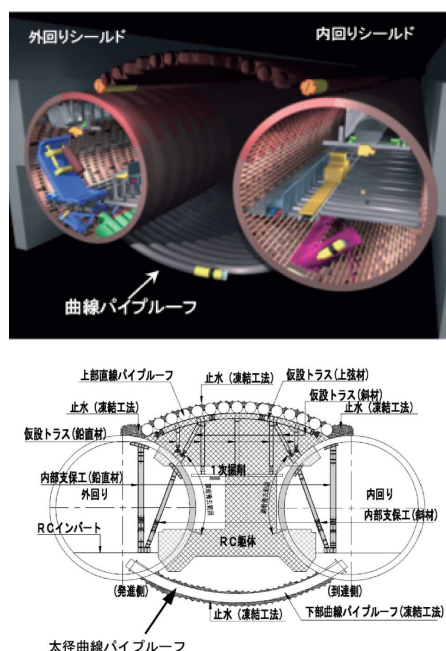


図14 太極曲線パイプルーフによる無支保での大規模切開き事例

路トンネルの地下ランプ分合流部を安全かつ迅速に構築した。

図15に示すように、当初計画では地下ランプ分合流部を「直線パイプルーフ鋼管の門型配置＋支持杭＋支保工」で計画していたが、工程短縮と躯体品質の向上を同時に達成できるパイプルーフアーチ工法を開発・適用することで生産性を大幅に向上できた。

五反田出入口に適用したパイプルーフアーチ工法の構造概要を図16に示す。

パイプルーフアーチ工法では、直線パイプルーフ鋼管を高精度でアーチ状に配置する必要があることから、事前にCCDカメラを用いた計測管理手法の適用性検証を行い、合計54本の直線パイプルーフ鋼管（延長60m～78.5m）を±30mm以内

の高精度で施工を完了した（写真16）。

また、本工事では鋼管として新型の止水機能付きピン継手を開発して実施工に採用した（図17）。この継ぎ手は、従来の鋼管接合方法である溶接継手では作業時間及び検査に時間を要していたため、工期短縮策として、開発された。本工法の開発前には、同じ工期短縮策として、片側の鋼管に挿入し、接着材により接合する鋼管接着継手が開発されており、新宿線においても中野長者橋付近の河川横断箇所にて用いられた。一方本工事の場合、接着継手では止水のために鋼管間に造成



発進部施工状況



到達部施工状況

写真15 太径曲線パイプルーフの施工状況

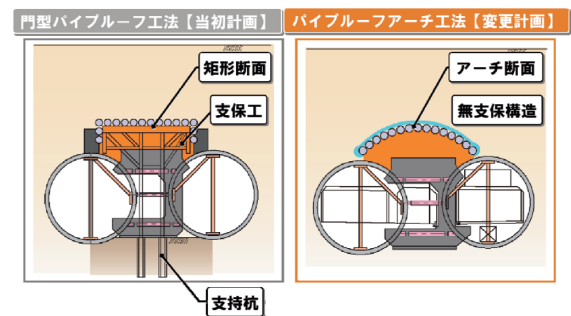


図15 門型パイプルーフ工法とパイプルーフアーチ新工法

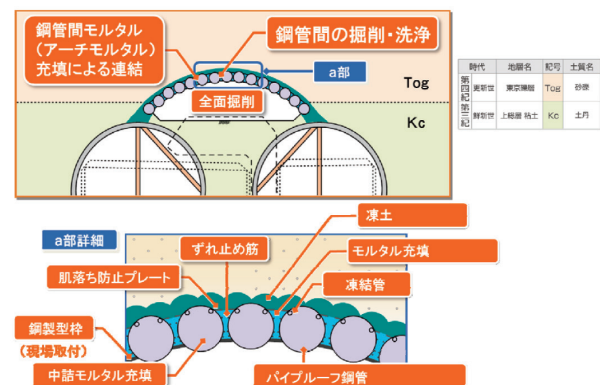


図16 パイプルーフアーチ工法の構造概要

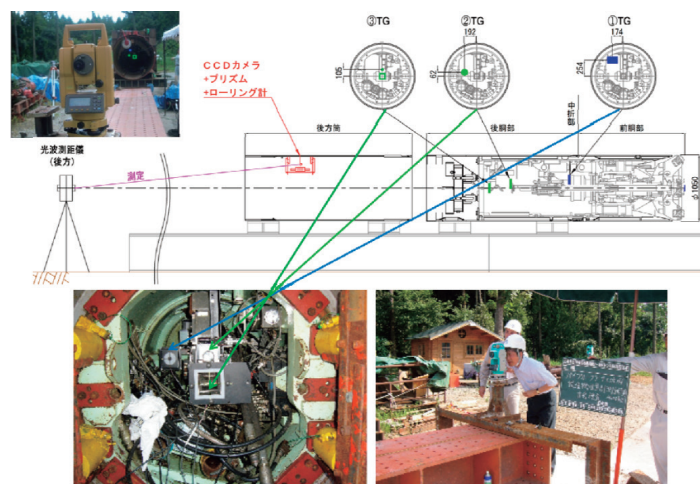


写真16 CCDカメラによる鋼管位置計測管理システム検証状況

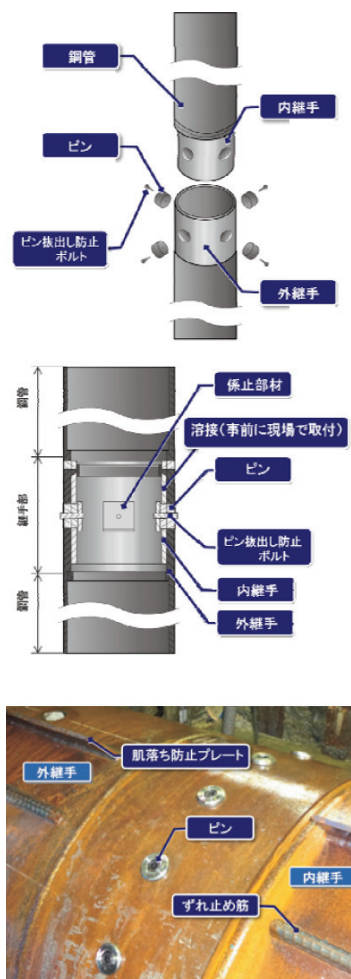


図17 止水機能付きピン継手

する凍土による低温下で強度低下するため、凍結工法との併用が困難であることから、新型鋼管継手の開発を行った。これによりパイプルーフ鋼管の接合時間を15～20分程度に短縮し、大幅な工程メリットを得ることが出来た。

なお、五反田出入口にパイプルーフアーチ工法を初めて適用するにあたり、パイプルーフ鋼管内に配置した貼付け凍結管による凍土造成、および鋼管間の地盤掘削後に凍土に接して充填する鋼管間モルタルの品質を確保できるかが課題となった。そこで、模擬地盤によるパイプルーフ鋼管間の止水凍結および鋼管間地盤の掘削・モルタル充填実験を行って出来形品質を実証した(写真17)。

これらの工法の施工状況を写真18に示す。

5 おわりに

トンネルや地下空間構造を支える鋼材並びに構造・工法として、主に都市内道路トンネル、とりわけ首都高速道路中央環状新宿線、品川線に適用された事例を紹介した。

これらの地下構造物には鋼構造が様々なトンネル構造、仮

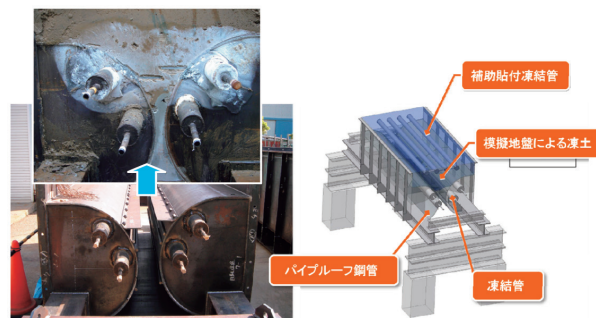


写真17 鋼管間の地盤凍結・掘削・モルタル充填実証実験



写真18 パイプルーフアーチ工法を適用した施工状況

設構造に使用されており、シールドトンネルのセグメント、今回開発したシールド切り開き構造における鋼殻セグメント、工事中的仮設構造として使用する鋼部材等が主な適用個所である。

トンネル構造は一般的には鉄筋コンクリート構造を適用するが多いが、鋼構造の特徴である、剛性が高い構造、現場に合わせた製作・加工の容易性、現場での切断、撤去、加工、接合の容易性を生かして、その用途は多岐に渡り、活用されている。

一方では、地下構造として鋼材の腐食、道路トンネルの場合、火災時の耐火性、鋼材同志あるいは鋼材とコンクリート部材の接合部の止水性等、構造・設計・施工上の考慮すべき点もあるため、これらに配慮することが大事である。

今後これらの地下空間構造に対して、鋼構造の特徴を生かした活用方法が多数あると考えられ、今後もそのような個所に、適用が図られ、技術的にも発展していくことが望まれる。

(2016年9月30日受付)