

技術開発賞受賞の紹介 沈埋トンネルの新しい最終継手工法（ターミナル ブロック工法）の開発と実用化

TERMINAL BLOCK METHOD, THE NEW CONSTRUCTION METHOD OF
FINAL JOINT IN IMMersed TUNNELS

新津敬治¹・林 紀夫²・松本修一³・伊佐 秀⁴・
櫻井節也⁵

Keiji NIITSU, Norio HAYASHI, Shūichi MATSUMOTO, Hiizu ISA
and Setsuya SAKURAI

¹正会員 首都高速道路公団保全施設部調査役
(〒100 東京都千代田区霞ヶ関1-4-1)

²元 首都高速道路公団湾岸線建設局湾岸海底トンネル工事事務所長 (現
太平工業(株) 建設事業本部部长)

³正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 東北支社技術部長

⁴正会員 大成建設(株) 技術本部技術開発第二部部长

⁵正会員 大成建設(株) 東京支店川崎航路トンネル作業所工事長

Key Words : immersed tunnel, final joint, terminal joint, flexible
joint

1. はじめに

ウォーターフロントの開発に伴って、航路、河口などを横断する道路および鉄道の計画が数多くなされている。これらの計画において、沈埋トンネルは、シールドトンネルおよび橋梁に比べアプローチが短く、後背地へのアクセスに有利なため、採用されていることが多い。

沈埋トンネルは、長さ50m~100m程度の函体を、順次沈設・接合を繰り返して建設するものである。この工法では、立坑と最終沈埋函との間には施工上必ず隙間が生じる。この隙間を接続し、トンネルを完成させる部分を最終継手とよぶ(図-1)。

従来、最終継手の施工方法として、以下の工法などが採用されている(図-2)。

①仮締切り工法：最も一般的な方法で、最終沈埋函を沈設した後、最終継手部を囲うように仮締切りを構築し、締切り内を排水した後、最終継手を気中で構築するものである。

②止水パネル工法：一種の水中型枠を用いた方法で、最終沈埋函の沈設後、潜水作業により最終継手部を囲うように多数の止水パネルを並べる。その後、止水パネルで囲まれた内部を排水し、最終継手部を函内から施工する。

ところで、近年の沈埋トンネルは、大断面、比較的大深度のものが多く、しかも早期開通が求められている。

このような条件下において、従来の最終継手工法には以下の課題が生じる。

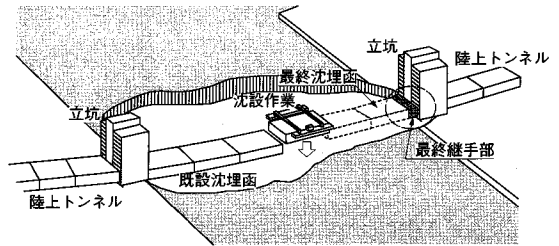
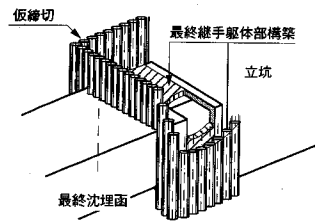
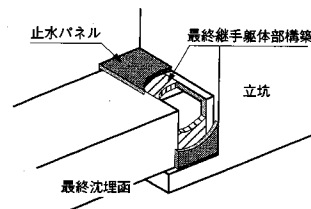


図-1 沈埋トンネルと最終継手



(1) 仮締切り工法



(2) 止水パネル工法

図-2 従来の主な最終継手工法

①仮締切り工法の場合：大断面、大水深の最終継手の場合、大規模な仮締切りが必要となる。さらに、仮締切構築および最終継手部構築がクリティカルパスであるため、全体工程が長くなる。

②止水パネル工法の場合：止水パネルの設置が大水深下の潜水夫の作業となり、作業効率、安全性が低下する。同時に工程が伸びる要因になる。

③上記①、②の理由により従来工法では水深が深くなるトンネル中央部に最終継手を設置することが適さないため、沈埋函を両立坑から同時に沈設することによる沈設工期の短縮が図り難い。

これらの課題を解決する目的で開発された工法がターミナルブロック工法である。

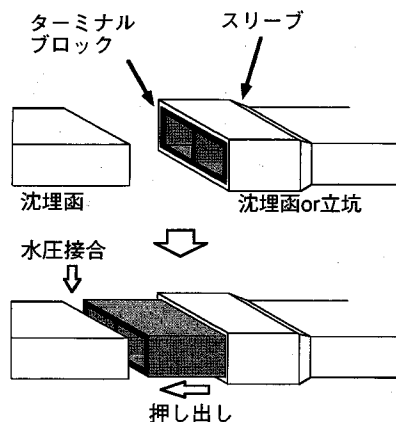


図-3 ターミナルブロック工法の概念

2. ターミナルブロック工法の特徴

(1) 概念

本工法の概念は以下のとおりである（図-3）。

①トンネルと同一の内空断面を持つプレハブブロック（ターミナルブロック）を沈埋函体端部、又は立坑前面に設けられたスリーブに収納する。

②最終沈埋函沈設後に、あたかも望遠鏡の筒を伸ばすように、ターミナルブロックをスリーブの中から押し出し、最終沈設函体の端面に接触させる。その後、水圧接合によりターミナルブロックを最終沈埋函に接合する。

③函体内部から気中作業により最終継手を完成させる。

なお、水圧接合とは、沈埋トンネル工法で一般に行われている函体間の接合方法であり、沈埋函の端面を接触させた後、端面間の海水を排水し、函体背面に作用する水圧を利用して函体同士を接合するものである。

(2) 特徴

ターミナルブロック工法は以下の特徴をもつ。

①潜水作業を特に必要としない（潜水作業は目視確認程度のみ。その他の作業は函内もしくは立坑内から行える）。

②仮締切りを特に必要としない。

③最終継手位置の選定の自由度が高い（立坑前面以外の配置が可能）。

④最終函体沈設後、貫通までの工程が短い。

⑤ターミナルブロックと沈埋函の接合は一般函体間と同様に水圧接合による。

⑥これゆえ、一般函体間と同様な可撓性継手が構築でき、最終継手部に生じる断面力を低減できる。

(3) 構造

ターミナルブロック工法による最終継手の主な構成部

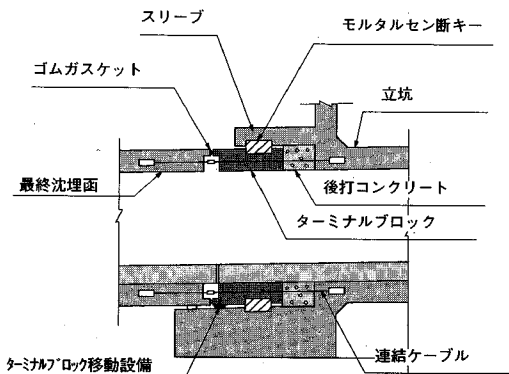


図-4 最終継手構造図（ターミナルブロックを立坑前面から押し出す場合）

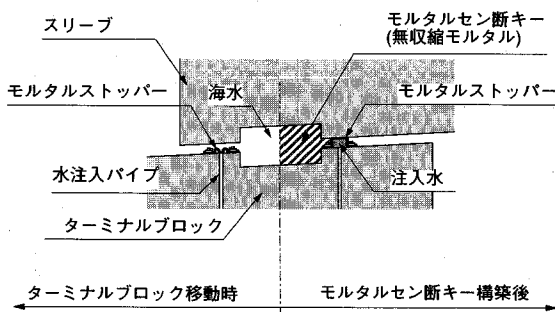


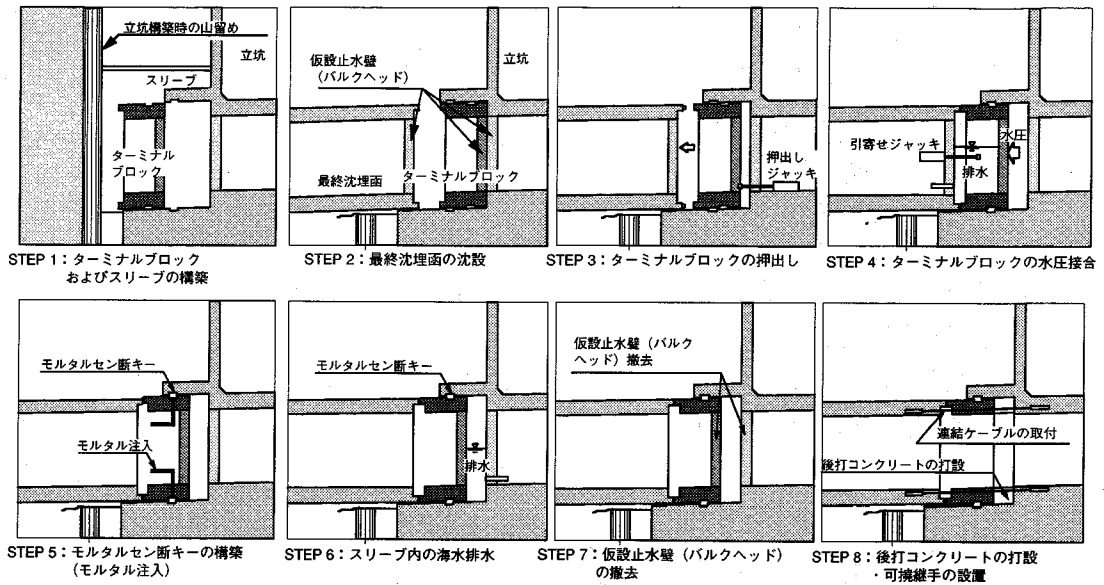
図-5 モルタルセン断キー部詳細図

材は、構造図（図-4）に示すように以下の通りである。

①ターミナルブロック：函体と同一の内空断面をもつ短いプレハブブロックであり、トンネル完成後の本体構築となる。

②スリーブ：ターミナルブロックを収納する部分。

③モルタルセン断キー：ターミナルブロックを最終函



図一六 施工手順（立坑前面からターミナルブロックを押し出す場合）

体に水圧接合した後、ターミナルブロックの戻りを抑え、固定する部材。ターミナルブロックおよびスリーブに設けられた溝にモルタルを注入して構築する（図一五）。

④モルタルストッパー：モルタルセン断キーを構築するための型枠であり、モルタルが海中に漏出することを防止する部材。モルタルの注入圧によりモルタルが漏れないことおよびターミナルブロックのスライドに支障とならない構造となっている（図一五）。

⑤ゴムガスケット：水圧接合およびトンネル完成時の止水材かつ可撓継手のパネ部材。

⑥連結ケーブル：可撓継手の構成部材であり、引張力に抵抗する。

⑦後打コンクリート：ターミナルブロックが移動してできた空間を間詰めるものであり、本体構造としておにもトンネル軸方向の圧縮力を負担する。

⑧ターミナルブロック移動設備：ターミナルブロックを押し出す際、その移動をスムーズかつ正確に行うための設備。後述事例では下面にテフロン板を張ったスライド杓とステンレス板を張った移動用レールおよびコンピュータ制御された4台の押し出しジャッキで構成した。

(4) 施工手順

最終継手の施工手順およびそれぞれのステップで機能する部材について略述する。なお、ここでは後述の施工事例に合わせ、立坑前面から押し出す方法を例に述べる（図一六）。

STEP 1 ターミナルブロックおよびスリーブの構

築：立坑構築時にターミナルブロックを製作し、スリーブの中に収納する。

STEP 2 最終沈埋函の沈設

STEP 3 ターミナルブロックの押し出し：押し出しジャッキにより、ターミナルブロックをスリーブから押し出す。このとき、最終継手部の長さの誤差をターミナルブロックの押し出し量で吸収する。

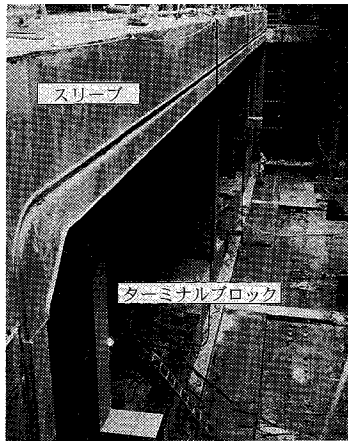
STEP 4 ターミナルブロックの水圧接合：一般の沈埋函間の水圧接合と全く同様な手順で行う。

STEP 5 モルタルセン断キーの構築：モルタルストッパーを膨らませ、ターミナルブロックとスリーブの隙間を閉じ、無収縮モルタルを充填する（図一五参照）。

STEP 6 スリーブ内の海水排水：ターミナルブロックの背面のスリーブ内の海水を排水する。このとき、ターミナルブロック背面に作用していた水圧を失うため、圧縮されていたゴムガスケットがターミナルブロックを水圧と等しい反力で押し戻そうとする。モルタルセン断キーは、この反力によるターミナルブロックの戻りを防止し、ゴムガスケットの止水性を維持し施工時のトンネル全体の安全性を確保する機能をもつ。

STEP 7 仮設止水壁（バルクヘッド）の撤去：この時点で、トンネルは貫通し、物資の往来が可能となる。

STEP 8 後打ちコンクリートの打設・可撓継手の設置：ターミナルブロックを移動した後に残った空間に後打コンクリートを打設する。また、継手が可撓継手の場合、最終沈埋函と立坑を結ぶ連結ケーブルの取付などを行い、継手を完成させる。



写真一 1 ターミナルブロック収納状況（立坑構築用山留め内）



写真一 2 最終継手貫通状況

3. 実用化に先立つ検討

実用化に先立ち必要な検討課題を抽出し、種々の検討を行った。これらの検討において前述施工手順 STEP 6 のスリーブ内の海水排水時の安全性を確保するため、特にモルタルセン断キーを確実に機能させることがこの工法を実現させる最も重要なポイントと判断された。このため、次のような解析・試験を行い、セン断キーの形状、耐力、施工性を検討した。

①セン断キーの力の伝達機構の確認：スリーブ内の海水排水時、モルタルセン断キーには 60 t/m のゴムガスケット反力が作用する。この力の伝達機構について FEM により解析し、1 面セン断としてセン断キーを設計することが十分安全であることを確認した。

②セン断キー用水中モルタルの配合選定試験：ターミナルブロックのセン断キーに用いる特殊水中モルタルは、流動性（充填性）がよく、かつ持続すること、かつ早期強度発現性（2 日強度 220 kg/cm²）に優れていることが要求され、その配合を試験により決定した。

③モルタル注入試験：②で決定した配合のモルタルの流動性（充填性）および施工状況に於ける強度確認のため、実物大模型により注入実験を行った。この結果、流動性、強度ともに良好な結果を得た。

④セン断キーの強度試験：1000 t アムスラーを用い、実物大のセン断キーのモデルによる直接 2 面セン断試験を行い、セン断キーの強度確認および形状決定を行った。

4. 施工事例

ターミナルブロック工法は、首都高速道路高速湾岸線の内、川崎市東扇島と浮島間の川崎航路を横断する川崎航路トンネル、および浮島と羽田空港間の多摩川河口部を横断する多摩川トンネルの 2 つの沈埋トンネルで同時に採用された。なお、当該工事での実施は、施工上の種々の環境条件から立坑前面でターミナルブロックを構築し（写真一 1）、押し出す方法が採用された。

川崎航路トンネルにおいて、平成 6 年 3 月 23 日に最終沈埋函が沈設された。確認および接合準備の後、ターミナルブロックの押し出し、水圧接合が行われ、作業は一日で終了した。

その後、セン断キーへのモルタル注入の後、ターミナルブロック背面の排水を行い、バルクヘッドのハッチを開放し、トンネル両側からのアプローチが可能となった（写真一 2）、このときセン断キー等からの有意な漏水はなかった。又、排水によるターミナルブロックの移動も認められなかった。

川崎航路・多摩川トンネルは、最終函体の沈設からバルクヘッドのハッチ開放まで非常に短い期間で施工完了し、供用開始（平成 7 年 12 月 21 日）の早期実現に大きく寄与した。

5. おわりに

以上述べたように、ターミナルブロック工法は沈埋トンネルの最終継手の施工上の問題点を解決し、継手位置を任意に設定できるなど設計上の自由度を与えるもので、沈埋トンネルのみならず各種の構造、形状の構造物を水中で接続する手段の一つと考えられる。この技術が、今後の海洋土木の発展に寄与できれば幸いである。

なお、本工法の開発は、沈埋トンネルの設計施工に関する調査研究委員会（委員長 今田東京都立大学教授）のご指導をうけ、首都高速道路公園、(株)オリエンタルコンタルタツ、大成建設㈱ならびに川崎航路トンネル建設共同企業体、多摩川トンネル建設共同企業体を始めとする多くの方々のご支援、ご協力によりなしたものであり、関係各位に深くお礼申し上げます。

(1995.6.28 受付)