

Vブロック工法 — 沈埋トンネルの新しい最終継手 —

V Block Method, The New Final Joint in Immersed Tunnels

南兼一郎*・梅山和成**・梅野修一***・北出徹也****

Ken-ichiro MINAMI, Kazushige UMEYAMA, Shuichi UMENO and Tetsuya KITADE

A V block method is a new construction technique for connecting a final part of immersed tunnel. A characteristic of this method is hydraulic coupling with a wedge block. Adopting the V block method makes possible to reduce underwater works greatly. Consequently, reliability and safety of the constructions at deep-water are improved. The Third Port construction Bureau, Ministry of Transport, adopted the new method for the first time in the world at the Osakako-Sakishima Tunnel.

Keywords : V block, final joint, immersed tunnel, hydraulic coupling

1. はじめに

沈埋トンネル工法は、予めドック等で製作した沈埋函を沈設現場まで曳航し、海底に順次据え付けてトンネルを建設する工法であり、海底面から浅いところに建設が可能であることから、縦断線形に制限を受ける場合に採用されることが多い。その沈埋トンネルの施工の際に問題となってくるのが、沈埋函を順次据え付けていった場に残る空隙部分を埋める最終継手部分の施工である。従来の沈埋トンネルにおいては、最終継手の工法として表-1に示す各種方法が用いられてきた。

しかしながら、水中コンクリート方式およびドライアップ方式は施工性、安全性の面での課題が多いことから、近年の沈埋トンネルには用いられておらず、施工実績の多い止水パネル方式についても水中作業が必要となるため、大水深下での施工には問題が多い。また、

表-1 従来の最終継手工法

最近日本で開発されたターミナルブロック方式は施工性、安全性ともに大幅に改善された工法であるものの、立坑の設計段階で最終継手構造を考慮する必要がある。

そこで、これらの課題を解決する最終継手の新工法として、くさび形のブロックを最終継手部の隙間に埋め込むVブロック工法が考案、開発された。運輸省第三港湾建設局では、大阪港咲洲トンネルにおいて本工法を世界で初めて採用し、平成8年3月に施工を行ったことから、その概要について報告する。

工 法	施 工 概 要	施 工 実 績
水中コンクリート方式	水中で型枠を設置し、水中コンクリートを打設して沈埋函の隙間を埋める。	安治川トンネル (1944)
ドライアップ方式	仮締切して内部を排水し、ドライ空間にて最終継手部の施工を行う。	東京港トンネル (1976) 他
止水パネル方式	隙間にパネルを貼り付けることにより止水を行い、内部をドライにして継手を構築する。	扇島海底トンネル (1974) 他
ターミナルブロック方式	予め中空筒状のターミナルブロックを立坑に収容しておき、それを引き出して水压接合を行う。	多摩川トンネル (1994) 他

2. Vブロック工法の概要

Vブロック工法は、くさび形をした沈埋函ブロック(図-1参照)を最終継手部に挿入し、ブロック上下に作用する水压差と自重を合理的に利用する水压接合により、ブロックの両端面を同時に既設の沈埋函に密着させ、完全な止水を行う最終継手の工法である。その施工手順を図-2に示す。

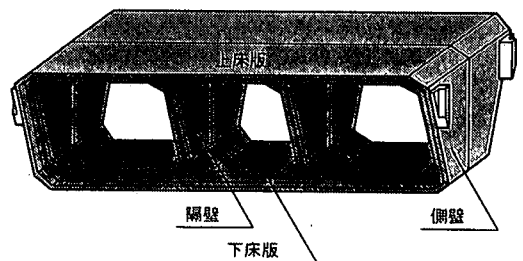


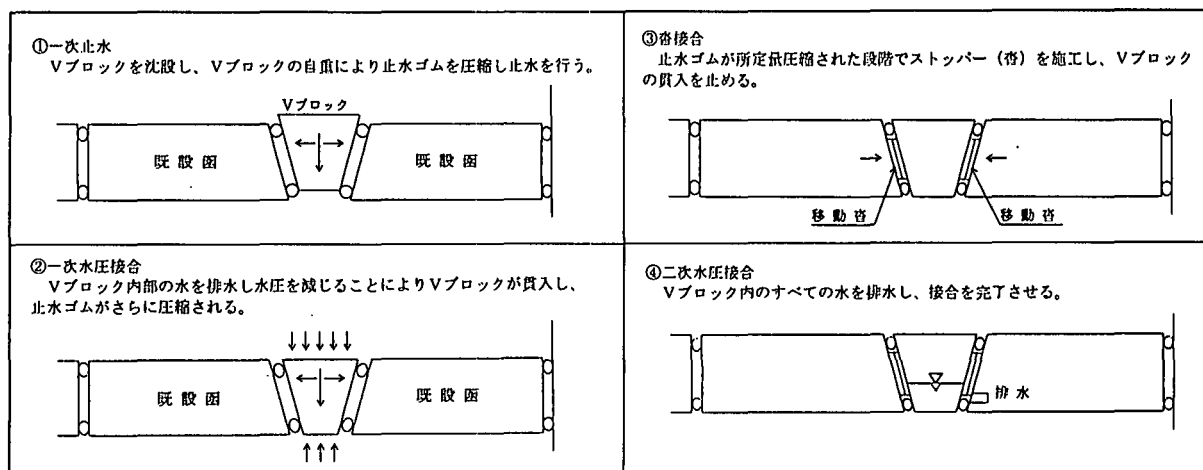
図-1 Vブロック

* 正会員 前 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所長 (650 神戸市中央区海岸通 神戸地方合同庁舎)

** 正会員 前 同 大阪港湾空港工事事務所長

*** 正会員 運輸省第三港湾建設局神戸調査設計事務所技術開発課長

**** 正会員 同 技術開発課



図－2 Vブロック接合手順

このVブロック工法は以下の特徴を有している。

- ①潜水士による水中作業が不要であり、大水深においても安全確実な施工が可能である。
- ②Vブロック本体を陸上ヤードで製作できるため、工期の短縮が可能である。
- ③水中コンクリートを使用せず、ドライな空間で連結作業を行えるため、品質管理が容易である。
- ④最終継手位置の自由度が高い。
- ⑤Vブロック内部に可とう性継手を構築することにより、最終継手部への応力集中を回避できる。

3. 水压接合の原理

先述のとおり、Vブロックと既設沈埋函との密着にはVブロックの上下に作用する水压を利用している。ここではその原理について述べる。

図－3に一次止水時の作用力を示す。この状態における鉛直及び水平方向の力の釣り合いは次式ようになる。

鉛直方向力の釣り合い

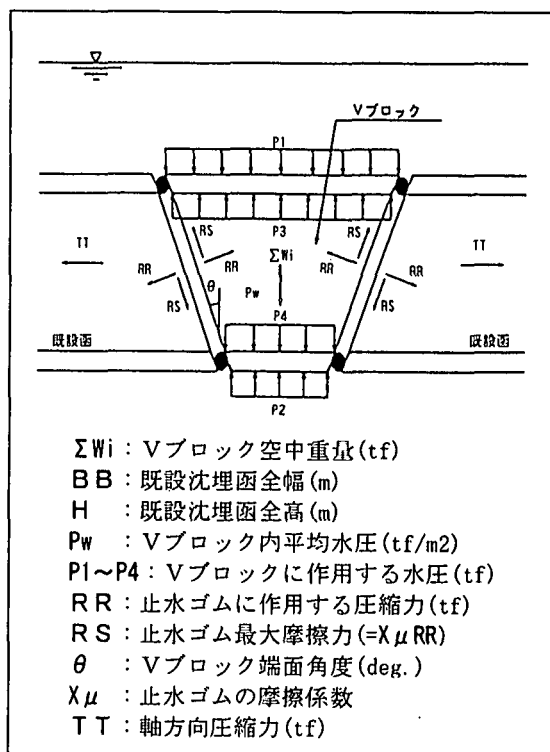
$$\frac{1}{2} \times (\Sigma Wi + P1 - P2) = RR \times (\sin \theta + X\mu \cos \theta) + (P3 - P4) / 2 \quad \text{--- (1)}$$

水平方向力の釣り合い

$$TT = RR \times (\cos \theta - X\mu \sin \theta) + Pw \times BB \times H \quad \text{--- (2)}$$

この状態からVブロック内部の水を排水して水压を減じていくと、(1)式の右辺(P3-P4)が減ることになる。このとき、左辺の ΣWi 、P1、P2は変化しないので、釣り合いを保つためにRR（止水ゴムに作用する圧縮力）が増加することとなり、Vブロックはさらに貫入される。これを水压接合と呼んでいる。

一方、Vブロック内部の水を排水することにより、(2)式におけるPwが減少することから水平方向力(TT)が減少することになる。この水平方向力が接合前の初期水压による水平方向力を下回ると、既設継手部の圧縮力が減少し、所要の圧縮力を確保できなくなる。そこで、水平方向力が低下するのを防ぐため、杓と呼ばれるストッパーを施工することにより接合部を固定する。ストッパー施工後、Vブロック内の水をすべて排水して水压接合が完了する。



図－3 一次止水時の作用力図

4. 模型実験による検討

Vブロック工法は既往の沈埋トンネル最終継手としての実績がないことから、接合原理や施工性について確認する必要があった。そこで運輸省第三港湾建設局では、民間技術開発推進制度の1つである新技術活用パイロット事業として縮尺4分の1の模型による実施工規模のVブロック接合実験を平成5年に行った。

(1)設計理論確認実験

①止水ゴムの止水性の確認

通常の沈埋函同士の水压接合とは異なり、Vブロック工法では止水ゴムは斜め方向から圧縮を受けることとなるため、止水性及び止水ゴムの異常な変形（横倒れ等）の有無を確認した。

その結果、止水ゴムの過度の圧縮や蛇行及び漏水は目視確認されず、良好な止水性を発揮していた。

②止水ゴムの摩擦係数の確認

Vブロック工法において、止水ゴムは止水材としての役割とともに、図-3に示したような力が作用する構造部材としての役割がある。ここで、(1)式、(2)式に示すとおり、止水ゴムの摩擦係数 $X\mu$ が設計上重要なパラメータとなっており、ゴムガスキットの要素試験結果より設計では $X\mu = 0.05 \sim 0.2$ を用いている。しかし、接合端面の施工誤差等による摩擦係数への影響が懸念されることから、実施工に近い条件での止水ゴムの摩擦係数が設計で使用了範囲に入っているかどうかを確認した。

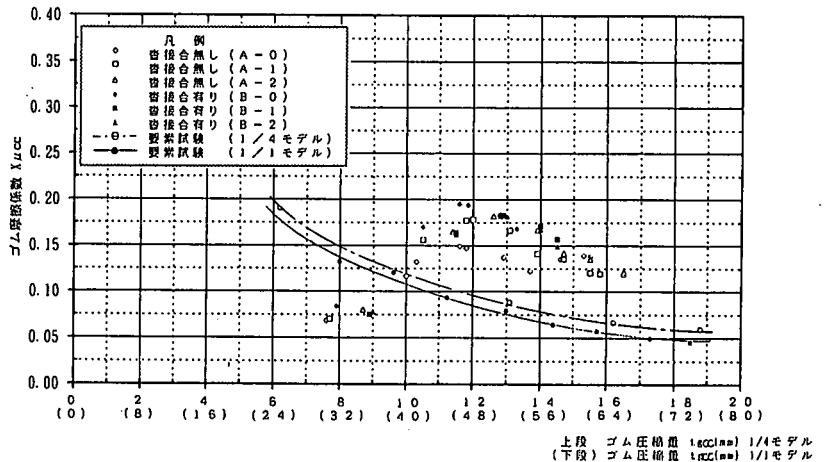


図-4 止水ゴムの圧縮量～摩擦係数関係図

その結果、要素試験と傾向は多少異なるものの、値は $0.05 \sim 0.2$ の範囲に入っており（図-4参照）、設計上想定している範囲内にあることが確認された。

③沓の機能の確認

貫入したVブロックを固定する沓について、実施工に近い条件下においても設計どおりに機能することを確認した。

(2)施工性確認実験

Vブロック沈設の際、Vブロック側、沈埋函側ともに沈設用ガイドを設置し、沈設時の施工誤差をカバーすることとしている。このため、Vブロックを傾斜させて沈設した場合に沈設用ガイドが適切に作用するか、沈設用ガイドにより許容された誤差がVブロック貫入に影響を及ぼすかを確認した。

その結果、Vブロックの傾斜は沈設用ガイドにより一次止水完了時には修正され、水压接合の各段階ではほぼ水平で排水完了時まで貫入が進むことが確認された。

5. 大阪港咲洲トンネルでの施工

大阪港咲洲トンネル（以下咲洲トンネル）は、南港地区と港区築港を結ぶ道路・鉄道併用の沈埋トンネルであり、「テクノポート大阪」計画の中核として整備が進む大阪市の南港地区（咲洲）への交通需要の増加に対応するため、現在鋭意建設中である。この咲洲トンネルの9号函と10号函の間（図-5参照）にVブロック工法による最終継手を構築することとなり、平成8年3月に本施工を行った。

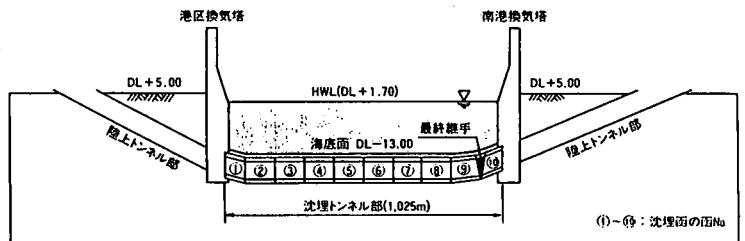


図-5 大阪港咲洲トンネル計画縦断面図

(1)沈設準備

9、10号函の函軸を一致させるため、方向修正ジャッキにより方向修正を行った上で、9、10号函の隙間を正確に把握するため、端面間の距離測定を行った。測定装置にはピアノ線を使用し、直接海中で上部と下部の間隔計8ヶ所を測定した。この測定結果をもとにVブロックの形状の調整を行った。具体的にはVブロック端面に取り付ける端面プレートの出入幅を調整して、最終継手部の隙間のデータをVブロック形状にフィードバックさせた。なお、摩擦力低減のため、端面プレートにはフッ素樹脂フィルムを貼り付けている。

(2)Vブロック沈設

Vブロックの沈設作業では、運搬から二次水圧接合終了までに合計7日間を要した。まず、鋼・コンクリート合成構造のVブロックを起重機船（3,600t吊）を使用して吊り上げ、曳船により沈設現場まで曳航し、起重機船により沈設を行った。

Vブロックを所定の位置に正確に沈設するため、本工事ではVブロック沈設システムを導入した。このシステムはVブロック沈設時の目標位置に対する3次元位置ずれをトータルステーションやジャイロコンパスの測定データをもとにリアルタイムに計算、グラフィック表示することにより、施工状況の確実な把握を可能としている。また、接合時には各種センサーを用い、止水ゴムの圧縮状況やVブロック内の水圧変動の様子などを刻々と表示し、10号函内に設置した中央監視部で集中監視を行った。その概念図を図-6に示す。このシステムと各種沈設ガイドにより、確実な沈設を行うことができた。

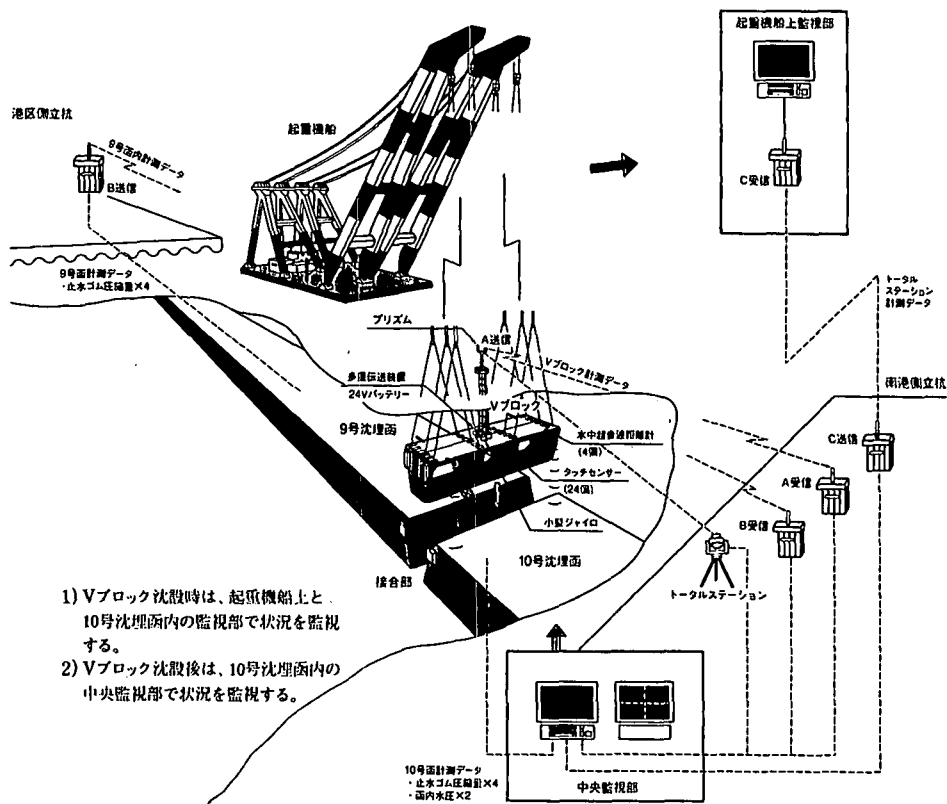


図-6 Vブロック沈設システム概念図

(3)施工実績

①沈設用ガイドの効果

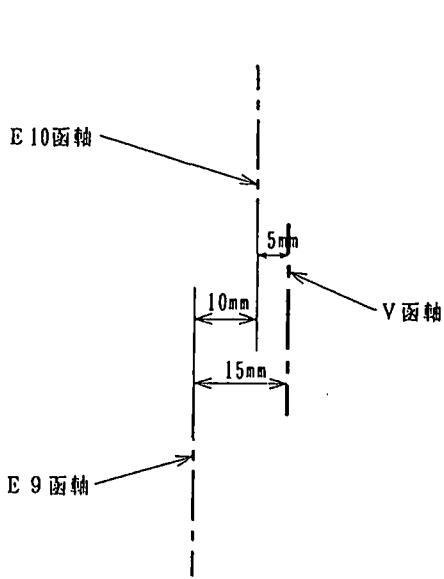
Vブロック沈設時の各段階におけるVブロックのぶれ幅は、表-2のようになり、沈設用ガイド採用の効果が表れていることがわかる。

表-2 沈設用ガイドによる効果

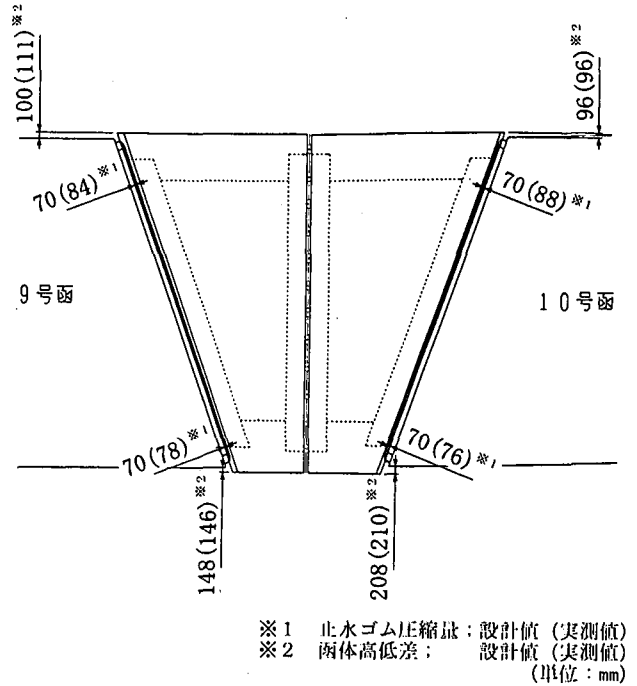
沈設用ガイド (函軸方向)	沈設最終位置からのずれ	函軸方向ぶれ幅
沈設ガイド嵌入前	7. 6 cm	± 3 3 cm
沈設ガイド嵌入時	1 0. 2 cm	± 1 3 cm
微調整ジャッキ押し出し時	2. 1 cm	± 6 cm
一次止水完了時	0. 0 cm	0
沈設用ガイド (函軸直角方向)	沈設最終位置からのずれ	函軸直角方向ぶれ幅
沈設ガイド嵌入前	0. 5 cm	± 2 0 cm
沈設ガイド嵌入時	1. 0 cm	± 1 3 cm
微調整ジャッキ押し出し時	0. 5 cm	± 5 cm
一次止水完了時	0. 0 cm	0

②沈設出来型

最終の沈設出来型を図－7および図－8に示す。函軸直角方向のずれは微調整ガイドの遊間（15mm）により生じたものであり、許容誤差の範囲内であった。鉛直方向のずれについても、許容誤差±30mmのところ、10mm前後の誤差で収まっており、所要の精度で沈設が完了した。



図－7 Vブロック函軸出来型図



図－8 Vブロック側面出来型図（桜島側）

6. おわりに

Vブロック工法は水圧という自然の力を巧みに利用した最終継手工法であり、現在沈埋トンネル方式で建設中の神戸港島トンネルの最終継手としても用いる予定である。咲洲トンネルでの施工が成功したことで、本工法の信頼性はさらに向上したといえる。この新工法が、大水深下での沈埋トンネルの施工性の向上に少しでも寄与することを願って止まない。

なお、本工法の開発に際し、ご指導頂いた大阪南港トンネル技術検討委員会（長尾義三委員長）の先生方をはじめ、施工された五洋・東亜・東洋JV他多数の関係者の方々に対し深く感謝する次第である。

<参考文献>

- 1) (社)日本埋立浚渫協会，最終継手模型実験（委託）報告書，1993
- 2) 金崎哲也，大阪南港トンネル最終継手の施工について，第三港湾建設局第27回管内施工技術研究会資料，1996