

沈埋トンネルの新しい最終継手工法の開発 (Vブロック式最終継手工法)

NEW TECHNOLOGY FOR IMMERSED TUNNEL CONSTRUCTION (V-BLOCK METHOD)

三上圭一¹⁾・草地清美¹⁾・吉井一郎²⁾・下石誠³⁾

Keiichi MIKAMI, Kiyomi KUSACHI, Ichiro YOSHII, Makoto SHIMOISHI

In a final procedure of immersed tunnel construction, it is necessary to carry out joint work in the final opening of tunnel elements. The construction method in the brochure explain the installation procedure of V-shape shell concrete element (V-BLOCK) in the final opening as the closure joint.

This report will examine this method as introduced in the construction of Osaka Nanko Tunnel.

Key Words : immersed tunnel, closure joint, Osaka Nanko

1. まえがき

沈埋トンネルは工法、あらかじめドック等で製作した沈埋函を、海底に順次据え付けて接続し、海底トンネルを建設する工法である。一般的には、両側の換気立坑あるいは陸上トンネルの間に沈埋函を沈設し接続していく。このため、最終の沈埋函を沈設するための施工上のクリアランスが最後に隙間として残ることになる。この隙間をつなぐ工事を最終継手工と呼んでいる。

従来、この最終継手工として、海中でパネルを張り付けて隙間をふさぐ「止水パネル工法」や仮締切りを設ける「ドライアップ工法」が採用されてきた。しかしながら、多くの潜水作業や大規模な仮設工が必要となり、特に水深が深い場所では問題も多く、より安全で確実な最終継手工法の開発が望まれていた。近年、潜水作業が不要な工法として機械的に沈埋函を延ばして隙間をふさぐ「ターミナルブロック工法」が開発されたが、大阪南港トンネルのように水深が深いうえに立坑の沈下量が大きく、位置調整などに多くの構造上の工夫を要する場合には適応しづらい工法であった。このため、立坑の構造にも影響を与えず、このような地点でも適用できる最終継手工法の確立が、沈埋トンネル工法の大きな技術課題として残されていた。

今回、上記問題を解決する「Vブロック式最終継手工法」を開発し、大阪南港トンネルに適用したので、ここに概要を報告する。

2. 工法の概要

本工法は、くさび形のブロック（Vブロックと呼ぶ）を既設沈埋函で構成される最終継手部にはめ込み、沈埋トンネルを併合させる工法である。

1) 運輸省第三港湾建設局 大阪港湾空港工事事務所

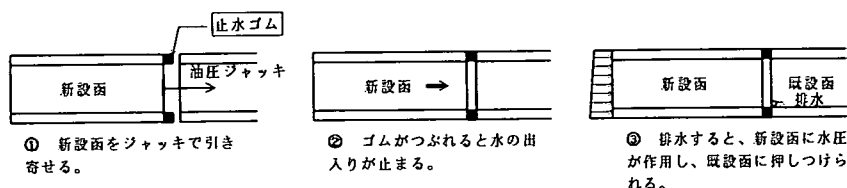
2) 五洋・東亜・東洋JV

3) 正会員 五洋建設㈱ 技術本部 第一技術部

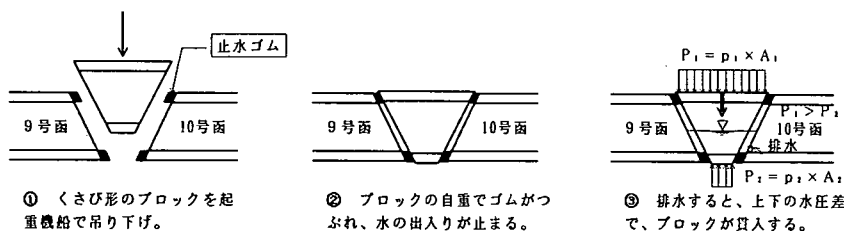
本工法の特徴は以下に示すとおりで、特に①の点にアイデアと工夫が集約される。

- ① 接合の際にVブロックの自重と水圧を利用するなど、自然の力を利用する。
- ② 沈埋トンネル部の区間での接合が可能であるので、立坑の構造に影響を与えない。
- ③ Vブロック本体は陸上ヤードで製作されることから、水中での作業が大幅に軽減され、安全性の向上および工期の短縮が図れる。
- ④ 仮設構造部材がほとんど不要なので経済性に優れる。

本工法の大きな特徴である①の水圧の利用について、通常の沈埋函の水圧接合との比較を下図に示す。通常の沈埋函の接合は水平方向の水圧を利用するが、本工法では上下の水圧力の差を利用して接合する。



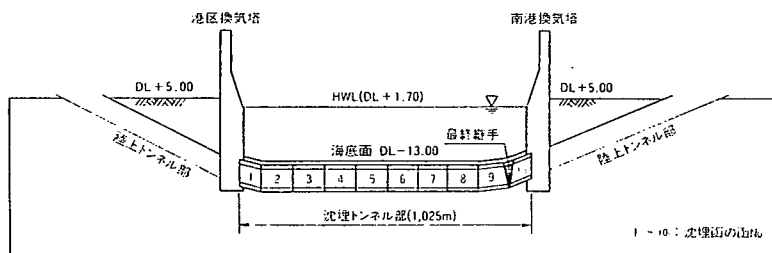
図－1 沈埋函の水圧接合



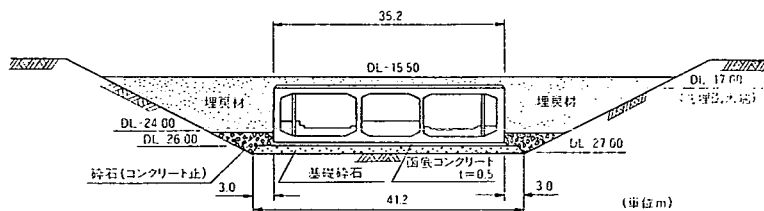
図－2 Vブロックの水圧接合

3. 大阪南港トンネルへの適用

大阪南港トンネルは、大阪市港区築港と対岸の人工島（咲島）を結ぶ海底トンネルで、往復4車線の道路と上下2車線の鉄道が併用となる国内でも最大級となる断面を有している。本トンネルは、図－3に示すとおり、延長1,025mの沈埋トンネル部とその両端の換気塔および陸上トンネル部で構成されている。Vブロックを接合させる最終継手部は9号函と10号函の間に設けられている。



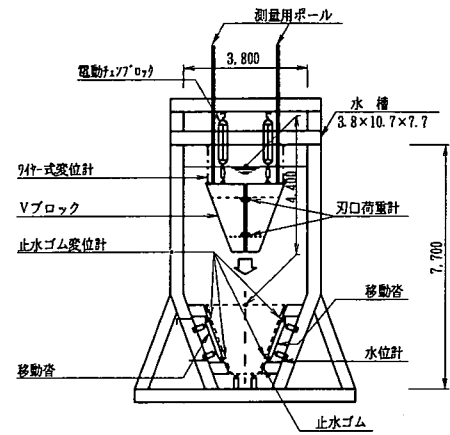
図－3 大阪南港トンネル縦断面図



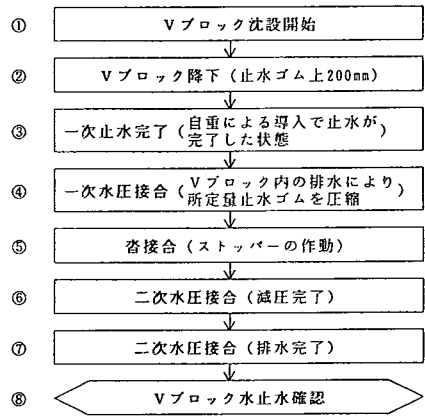
図－4 沈埋トンネル部標準断面図

1) 実証実験

Vブロック工法の接合理論や水圧接合の際に重要となる止水ゴムの性能等の要素技術については、開発の初期段階で実験等により確認されていたが、世界でも初めてとなる新工法であり、採用に当たっては実証実験による確認が必要であった。このため、1/4 縮尺の模型実証実験を行い、接合原理と施工性の確認を行った上で実施工に当たった。



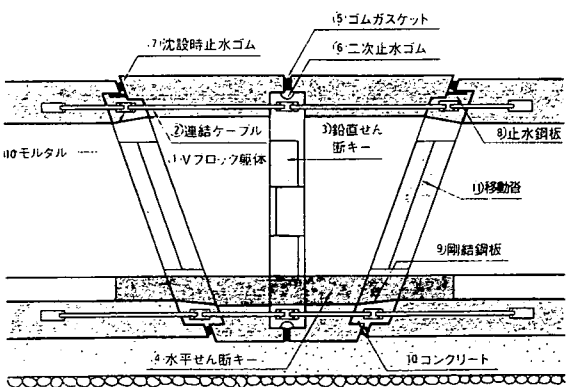
図－5 実験水槽と計測機器



図－6 実験フロー

2) Vブロックの構造

大阪南港トンネルで実施された最終継手（Vブロック）の完成時断面図を図－7に示す。大阪南港トンネルの場合、最終継手にも可撓性継手が要求されている。このため、Vブロックは中央部に一般部継手と同様の可撓性継手が組み込まれた構造となる。



図－7 最終継手断面図

各部の名称と機能

- ① Vブロック本体（トンネル本体構造）
- ② 連結ケーブル（軸方向引張力の伝達）
- ③ 鉛直せん断キー（鉛直方向ずれ力に抵抗）
- ④ 水平せん断キー（水平方向ずれ力に抵抗）
- ⑤ ゴムガスケット（軸方向圧縮力の伝達，一次止水）
- ⑥ 二次止水ゴム（二次止水）
- ⑦ 沈設時止水ゴム（施工時の止水）
- ⑧ 止水鋼板（完成時の止水）
- ⑨ 剛結鋼板（せん断力に抵抗）
- ⑩ コンクリート，モルタル（軸方向圧縮力の伝達）
- ⑪ 移動柵（施工時のVブロック貫入量制御
軸方向圧縮力の伝達）

3) 施工手順

Vブロック工法による最終継手工事の施工手順を図-8に示す。図に示すように9、10号函の沈設の出来形を計測し、その出来形に合わせてVブロックの接合面の寸法調整を行う。したがって、大きな施工誤差は、この時点で吸収され、Vブロックや沈埋函の接合面の不陸など小さな施工誤差は止水ゴムにより吸収される。

4) Vブロック製作

Vブロック本体は、経済性の比較検討により、鋼板とそれにはさまれたコンクリートが一体となって挙動する合成構造が採用された。このため、密閉された鋼殻内にコンクリートが確実に充填できるよう、高流動コンクリートを使用した。使用した高流動コンクリートの品質規格と配合を表-1、表-2に示す。

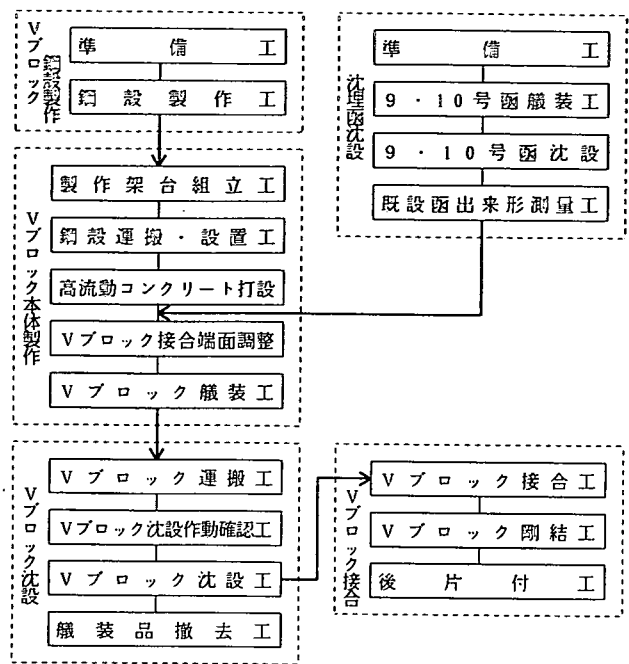


図-8 施工手順

表-1 高流動コンクリートの品質規格

管理項目	規格値
スランプフロー	65±5cm
V75漏斗流下時間	10±5秒
単位容積質量	2.30g/cm³以上
設計基準強度 σ28	30.0kgf/cm²

表-2 高流動コンクリートの配合

W/P (%)	S/m (%)	単位量 (kg/m³)					増粘剤 (W×%)	SP (P×%)
		W	C	石粉	S	G		
31.8	45	181	411	158	783	789	0.10	1.2

P：粉体量 SP：高性能AE減水剤

高流動コンクリートは骨材の状態、練り混ぜ後の経過時間、外気温などに品質が左右される。このため、生コン工場と打設現場をオンラインで結び、練り混ぜ後の経過時間と品質がリアルタイムで把握できるシステムを使用して品質管理を行った。Vブロック内に充填した高流動コンクリートは全体で約530m³で、打設数量が少ないこともあり全生コン車について品質管理試験を実施した。品質管理結果を表-3に示す。また、写真-1に品質管理システム画面、図-9に品質管理の一例を示す。

表-3 品質管理結果

	スランプフロー (cm)		V75漏斗流下時間 (秒)		単位容積質量 (t/m³)	圧縮強度 (N/mm²) (σ28)
	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差		
工 場	67.4	1.4	8.7	1.9	2.33	6.1
現 場	67.0	2.0	9.2	1.6		

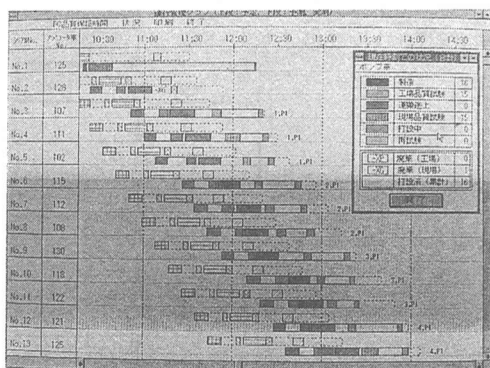


写真-1 品質管理システム画面

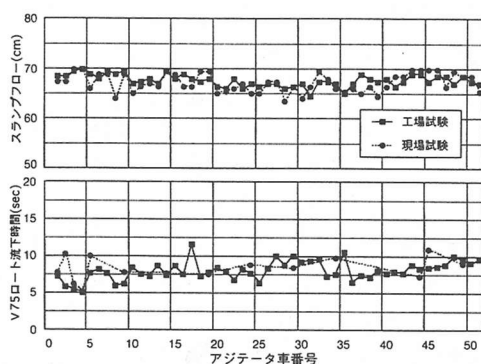


図-9 品質管理の一例

4) Vブロックの沈設

Vブロックの重量は約2100 tとなり、製作場所から沈設場所までの運搬および沈設は、3600 t吊り起重機船を用いた。Vブロックの設置水深はブロック下端で約DL-25mとなり、潮位を加えるとVブロック上面が約17m水没した状態となる。このため、Vブロックを安全・確実に所定の位置に沈設するために、誘導用の各種ガイドおよびVブロックの位置や止水ゴムの圧縮量等をリアルタイムに把握するための監視システムを開発・導入した。(写真-3 参照)

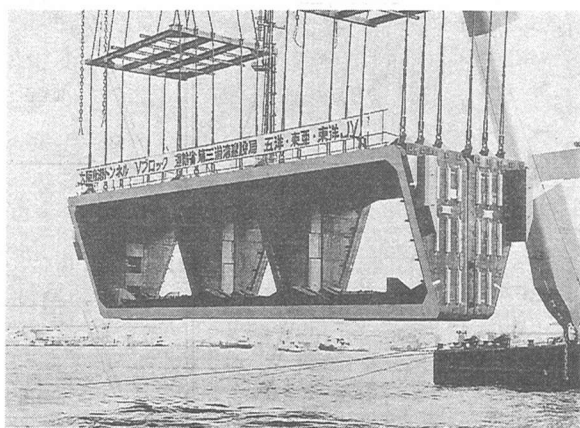


写真-2 Vブロック沈設状況

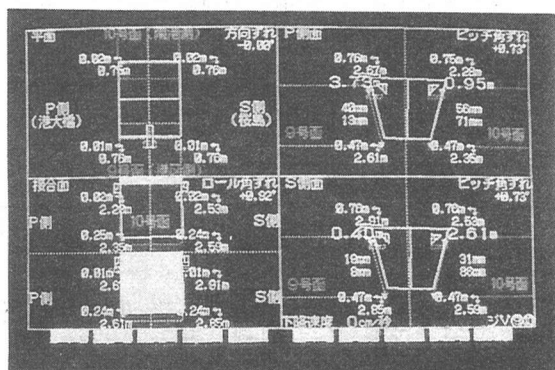


写真-3 監視モニター画面

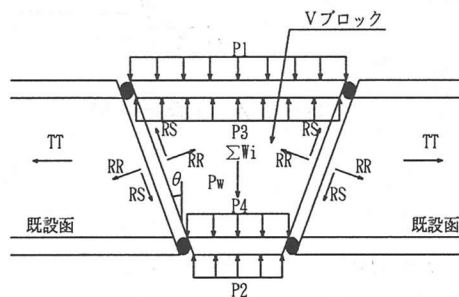
Vブロックの沈設により、既設沈埋函側に取り付けた止水ゴムが圧縮され、Vブロック内部と外部の水の出入りが止まる。この状態を一次止水と呼ぶ。一次止水の状態では、Vブロック内部の水圧が僅かに上昇し、止水が達成できていることが確認できる。

なお、止水ゴムと接合する端面は摩擦低減処置を施し、摩擦によりVブロックの接合力が減じられることを防止している。

右図に一次止水時の力の釣り合い関係を示す。

一次止水時の実績では、

- ① 止水ゴム平均圧縮量 28mm
- ② Vブロック内平均水圧 $PW = 26.40 \text{ t/m}^2$
であった。(圧力上昇量 $dP = 5.0 \text{ t/m}^2$)



ΣW_i : Vブロック空中重量(ハラスト重量塔含む)
 B : 既設沈埋函全幅(m)
 H : 既設沈埋函全高(m)
 Pw : Vブロック内平均水圧(tf/m^2)
 $P1 \sim P4$: Vブロックに作用する水圧(tf)
 RR : 止水ゴムに作用する圧縮力(tf)
 RS : 止水ゴム最大摩擦係数($=\chi \mu RR$)
 $\chi \mu$: 止水ゴムの摩擦係数
 TT : 軸方向圧縮力(tf) $TT = RR \times (\cos \theta - \chi \mu \sin \theta) + Pw \times B \times H$

図-10 一次止水時の作用力図

5) Vブロック接合工

沈設完了後、Vブロック内部を排水し、Vブロックを剛結するまでのフローを右図に示す。

水圧接合は、Vブロック内部を排水し、水圧を利用してVブロックを既設沈埋函に密着させることである。排水に伴いVブロックが貫入し、止水ゴムが圧縮されることになる。

本工事では、施工誤差を吸収した上で、止水ゴムの止水能力が十分に発揮される（止水ゴム圧縮量70mm程度）まで排水を行い水圧接合を完了した。

移動柵工は、Vブロックの過貫入を防止すると共に、Vブロックの接合の際にトンネル軸方向の圧縮力が解放され、既設沈埋函の可撓性継手に悪い影響がおよぶことを防止するストッパーの役割を持つ。移動柵は沈埋函の隔壁部に取付られており、沈埋函側から油圧ジャッキで押し出しVブロック側隔壁に設けた移動柵受けに密着させた後、内部にモルタルを充填して固める。

移動柵工を完了し、内部を排水しドライアップ後、函内作業により、接合部の剛結や連結ケーブルの接続を行い、無事接合工事を完了させた。

図-12～図-13に最終出来形を示す。

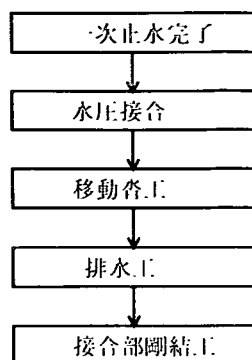


図-11 Vブロック接合工施工フロー

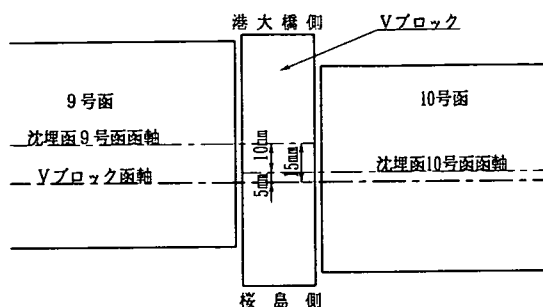
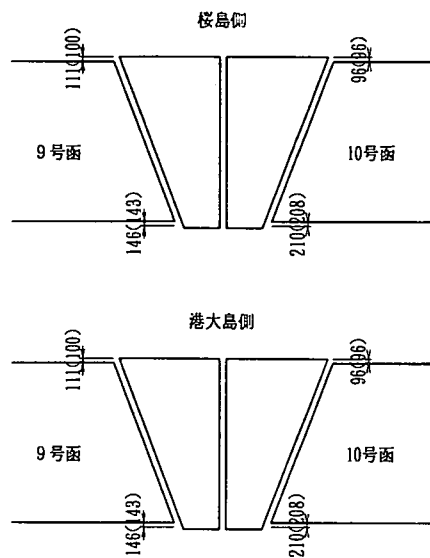


図-12 平面出来形



注) 数値は実測値()内は目標管理値, 単位mm

図-13 函体側面の出来形

4. おわりに

大阪南港トンネルで実施された世界初の「Vブロック工法」による沈埋トンネル最終継手工事は、平成8年7月無事竣工した。本工事により、潜水作業の軽減、安全性の向上および工期の短縮など本工法の目標が達成できたと考える。また、工事の実施段階で開発された幾つかの施工支援システムは、今後の同種の工事でも応用できるものと考えている。本工法が今後の沈埋トンネルの建設においても活用されることを期待する。

なお、本工事の設計、施工に当たっては「大阪南港トンネル技術検討委員会（委員長：長尾義三 京都市大学名誉教授）」の御指導を頂いた。本報告を機会にあらためて深く感謝の意を表す。