

# 沈埋トンネルの最終継手を省略する キーエレメント工法

段塚隆雄<sup>1</sup>・羽田宏<sup>2</sup>・下村直己<sup>3</sup>

<sup>1</sup>正会員 五洋建設株式会社 土木本部土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)  
<sup>2</sup>正会員 五洋建設株式会社 若戸沈埋工事事務所 (〒808-0021 福岡県北九州市若松区響町1-77)  
<sup>3</sup>五洋建設株式会社 土木本部土木設計部 (〒112-8576 東京都文京区後楽2-2-8)

一般に沈埋トンネル工法では、最終沈埋函を沈設した後に最終継手と呼ばれる間隙が残る。この最終継手部の施工は工程上のボトルネックになるとともに、工費、施工の安全性からも課題が多かった。キーエレメント工法は、従来のVブロック工法を最終沈埋函に応用することで最終継手を省略し、施工の安全性や品質の向上、工期短縮を目指した技術である。

本稿では、大阪港夢咲トンネル、那覇港臨港道路空港線沈埋トンネル部で施工したキーエレメント工法について、その開発技術、施工方法を紹介する。

**キーワード：**沈埋トンネル，最終継手，キーエレメント工法，伸縮性止水ゴム

## 1. はじめに

沈埋トンネル工法は、水底トンネルの代表的な構築方法であり、国内外で多数の施工例を見る。一般に沈埋トンネル工法では、沈埋函同士の連結に水圧接合と呼ばれる接続方法が用いられる。これは水圧を利用して、沈埋函端部に取り付けたゴムガasketを圧縮することによって、止水し連結する方法である。

沈埋トンネルの最終沈埋函を連結した場合、沈設作業に必要なクリアランスと水圧接合時の函体移動により、連結部分と反対側に間隙部分が残る(図-1参照)。これを最終継手と呼ぶ。従来、この最終継手部の施工は工程や工費、施工の安全性という面において課題が多かった。

キーエレメント工法は、従来技術のVブロック工法を最終沈埋函に応用することで最終継手を省略し、施工の安全性や品質の向上、工期短縮を目指した技術である。2007年8月に大阪港夢咲トンネル、続いて2009年5月に那覇港臨港道路空港線沈埋トンネル部で、本工法により沈埋トンネルが貫通した。

本稿では、キーエレメント工法について、その開発技術、施工方法を紹介する。

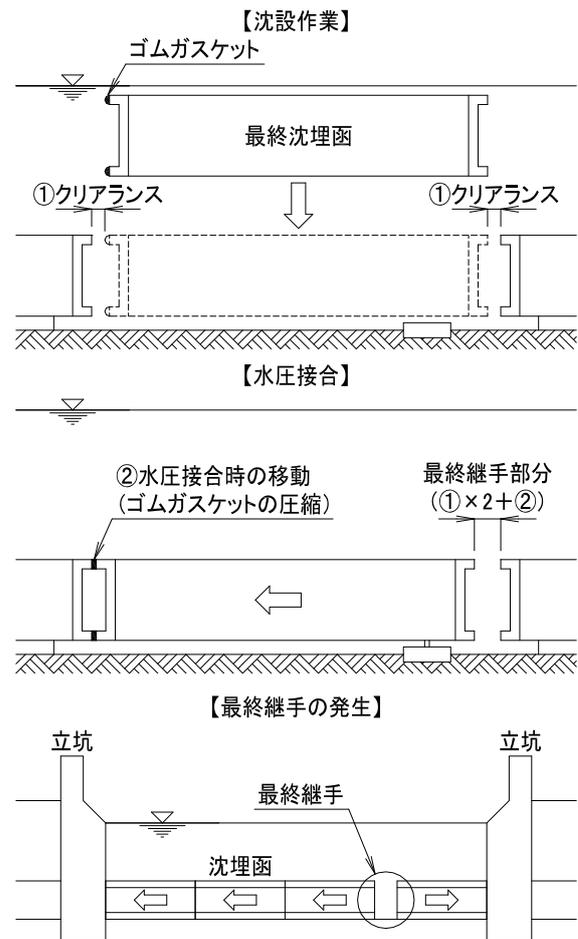


図-1 最終継手概念図

## 2. キーエレメント工法の概要

キーエレメント工法は、従来の最終継手工であるVブロック工法の接合原理を応用し、キーエレメントと呼ぶくさび形の最終沈埋函を自重と水圧を利用して既設沈埋函に密着させることによって、沈埋トンネルを貫通する工法である（図-2、写真-1および写真-2参照）。

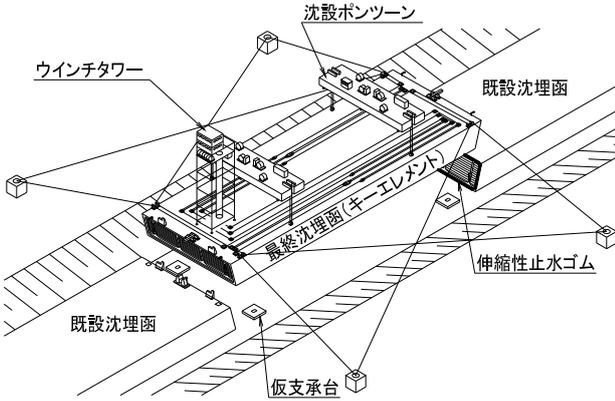


図-2 キーエレメント工法概念図



写真-1 キーエレメント工法(1) (大阪港夢咲トンネル)



写真-2 キーエレメント工法(2) (那覇港臨港道路)

キーエレメント工法の特徴として、以下の項目が挙げられる。

- ①最終継手工の省略
- ②通常の沈埋函と同じ沈設設備の使用
- ③潜水作業の省力化
- ④水圧接合を利用した完全な止水
- ⑤伸縮性止水ゴムによるトンネル延長誤差への柔軟な対応

## 3. キーエレメント工法の接合原理

### (1) くさび形水圧接合原理

キーエレメント工法は、従来技術であるVブロック工法（写真-3参照）の接合原理を応用している。図-3に水圧接合原理の概念図を示す。この原理では、水圧接合前に作用していた継手部分の水圧とキーエレメントの水中重量が、水圧接合後における止水ゴムの圧縮力と摩擦抵抗に相当する。



写真-3 Vブロック工法 (神戸港港島トンネル)

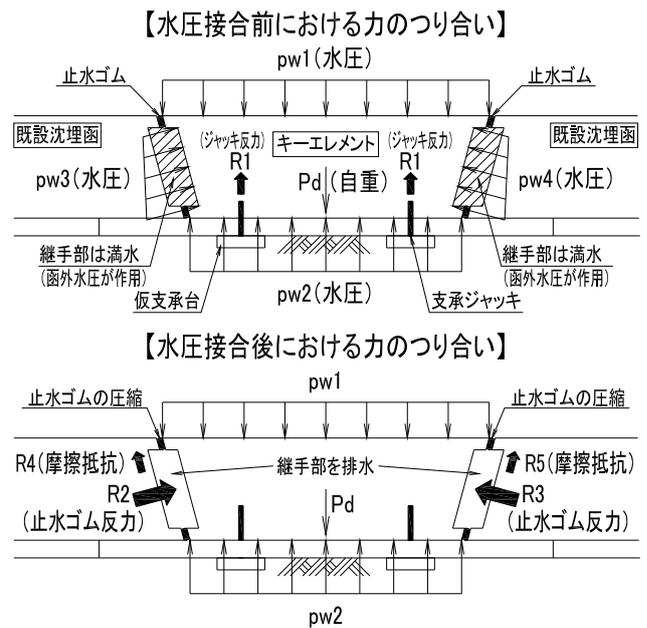


図-3 水圧接合原理概念図

## (2) 止水ゴムと戸当りの摩擦低減

水圧接合で止水ゴムに導入される圧縮力は、止水ゴムと止水ゴムの当たり面の摩擦係数に依存する。水圧接合によって止水ゴムを圧縮し確実な止水を実現するためには、この摩擦を低減する必要がある。摩擦の低減は、止水ゴムおよび止水ゴム当たり面に特殊シリコン樹脂無毒形防汚塗料を塗布することによって対処する。実験により、摩擦係数を0.00～0.05の範囲に低減できることを確認した。

## (3) 水圧接合力の計算

実際に施工した大阪港夢咲トンネルにおける水圧接合力の計算条件を図-4および表-1に示す。

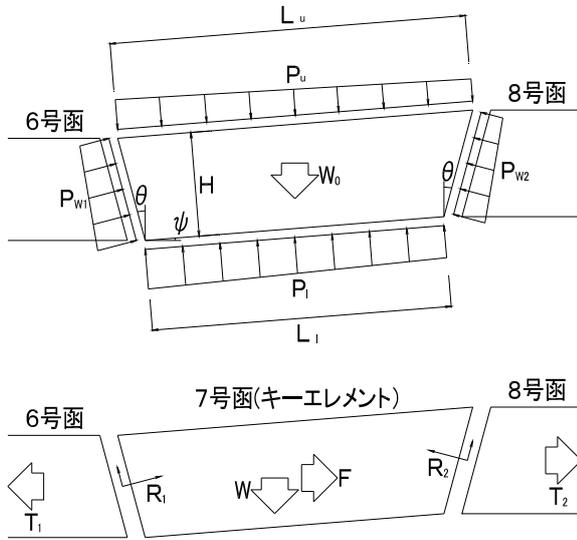


図-4 水圧接合力計算条件

表-1 水圧接合力計算条件 (H. W. L. 時)

記号	記号の意味	単位	数値
$W_0$	キーエレメントの気中重量	kN	—
$W_u$	キーエレメントの水中重量	kN	8,339
B	キーエレメントの幅	m	35.4
$L_u$	キーエレメント上床版の長さ	m	100.576
$L_l$	キーエレメント下床版の長さ	m	100.976
H	キーエレメントの高さ	m	8.6
$\theta$	戸当り角度	deg	15
$\phi$	据付勾配角度	deg	0.195
$P_u$	キーエレメント上床版に作用する平均水圧	kN/m	7,153
$P_l$	キーエレメント下床版に作用する平均水圧	kN/m	10,214
$P_{w1}$	キーエレメント戸当りに作用する平均水圧(6号函側)	kN/m	8,746
$P_{w2}$	キーエレメント戸当りに作用する平均水圧(8号函側)	kN/m	8,621
W	キーエレメントに作用する鉛直方向力	kN	—
F	キーエレメントに作用する水平方向力	kN	—
$R_1$	止水ゴムに作用する圧縮力(6号函側)	kN	—
$R_2$	止水ゴムに作用する圧縮力(8号函側)	kN	—
$T_1$	既設沈埋函を水平方向に押す力(6号函側)	kN	—
$T_2$	既設沈埋函を水平方向に押す力(8号函側)	kN	—
$\mu$	止水ゴムの摩擦係数	—	0.00,0.05

表-2に水圧接合力の計算結果を示す。

表-2 水圧接合力計算結果

項目	単位	潮位H.W.L.(OP+2.13)時		潮位L.W.L.(OP+0.53)時			
		キーエレメント沈設前	水圧接合後		キーエレメント沈設前	水圧接合後	
			$\mu=0.00$	$\mu=0.05$		$\mu=0.00$	$\mu=0.05$
W	kN	0	48,358	48,358	0	45,733	45,733
F	kN	0	-942	-942	0	-950	-950
$R_1$	kN	0	93,907	79,223	0	88,841	74,954
$R_2$	kN	0	92,933	78,235	0	87,857	73,957
$T_1$	kN	75,149	90,708	75,498	70,256	85,814	71,430
$T_2$	kN	74,205	89,766	74,557	69,302	84,864	70,480

7号函に作用する函軸方向圧縮力は、表-2の既設沈埋函を水平方向に押す力Tと同等であり、H. W. L. 時では75,000kN～90,000kNの範囲となる。大阪港夢咲トンネルの7号函には内蔵可とう性継手(クラウンシール式継手)があり、曳航から沈設作業の期間中、仮結合材のひずみ計測を実施した。ひずみ計測結果より、H. W. L. 時における7号函水圧接合後の函軸方向圧縮力は約82,000kNと推定され、計算値の範囲であることを確認した。

## 4. 伸縮性止水ゴム

### (1) 開発の経緯

Vブロック工法の接合には、一般沈埋函での接合同様のジナ型ゴムガスケットが使用されている(図-5参照)。ジナ型ゴムガスケットは使用実績が多く、信頼性は高いが、トンネル延長、当たり面の不陸などの施工誤差を吸収する性能は±20～30mm程度である。Vブロックの延長は約10mであり、約100mの沈埋函に応用するためには、これまで以上に施工誤差を吸収できる新たなゴムガスケットを開発する必要があった。

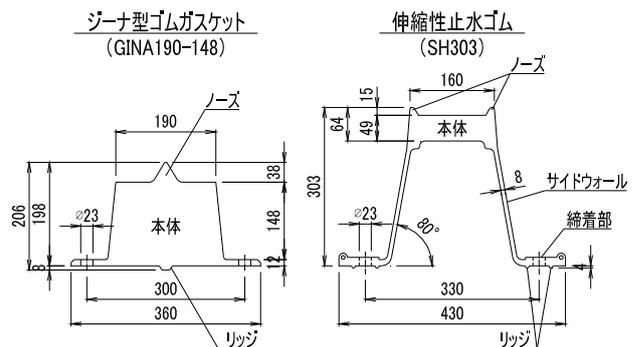


図-5 ジナ型ゴムガスケットと伸縮性止水ゴムの構造

過去の同種工事における沈埋函の製作誤差、据付誤差および測量誤差について調査し、誤差吸収性能が片側1継手で±60mm、両側2継手に設置した場合±120mmのゴムガスケットを開発すれば、キーエレメント工法は成立すると判断した。この値を目標性

能として、中空構造で内部にエアおよびモルタルを注入することによって伸縮可能な伸縮性止水ゴムを開発した（図-5および図-6参照）。

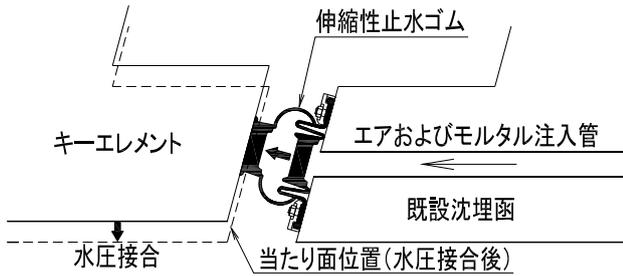


図-6 伸縮性止水ゴムの伸縮機能

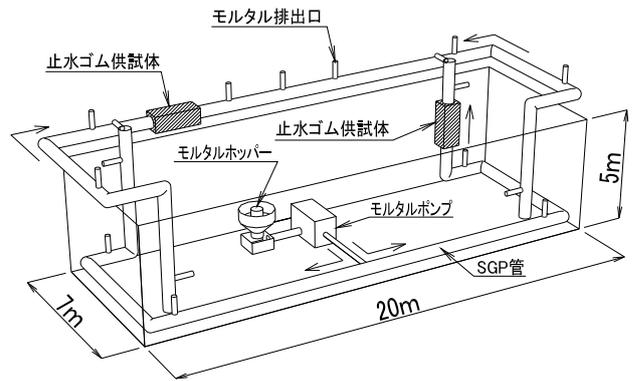


図-7 モルタル注入実験装置の概要

## (2) 開発実験の概要

伸縮性止水ゴムの開発時には、実施工を想定し、実物大の模型を用いて以下の開発実験を行った（写真-4参照）。

- ・ 止水性能試験
- ・ エアおよびモルタル注入時の圧縮特性試験
- ・ 水圧接合時の圧縮特性試験

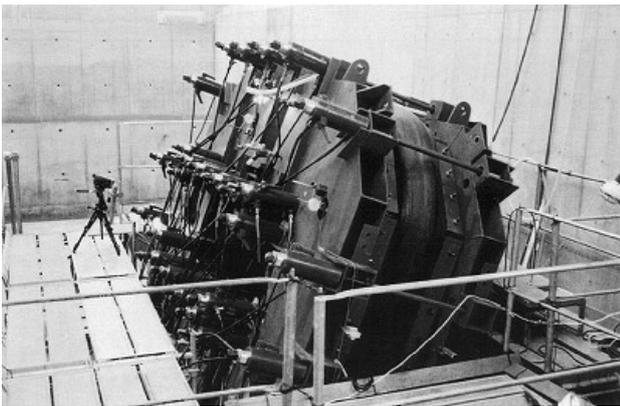


写真-4 伸縮性止水ゴムの開発

実験により、1継手あたり±60mmの施工誤差吸収性能と水深45m相当までの止水性能を確認した。これより、実施工では、水深30mにおける確実な止水と±120mmの施工誤差を吸収することが可能となった。

また、伸縮性止水ゴムを実際に使用する場合、水深を考慮して内部に注入するエアの圧力は、設置位置の水圧に170kPaを加えた値の300～400kPaを保つ必要がある。伸縮性止水ゴム内部が高圧力状態でモルタルを注入するため、注入方法、圧力管理方法などを検討しておく必要があった。これより、実物大モデルの注入実験を実施し、モルタルの注入方法を確認した（図-7参照）。

## (3) 細部構造

伸縮性止水ゴムの細部構造の特徴として、保持ロッドとずれ止めプレートを配置していることが挙げられる（図-8参照）。キーエレメント沈設作業時のクリアランスを確保するため、伸縮性止水ゴムはサイドウォールを折り畳んだ状態で既設沈埋函に設置する（写真-5参照）。保持ロッドは約2mの間隔で配置され、押え金具の間に本体部分を収納する作業を容易にするための部材である。また、ずれ止めプレートは伸縮性止水ゴム取付面に配置され、水圧接合時におけるモルタルの滑動を防止する部材である。

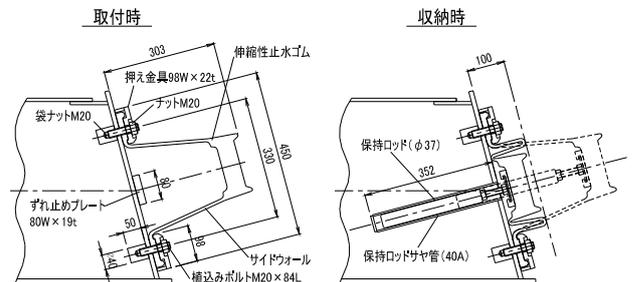


図-8 伸縮性止水ゴムの細部構造



写真-5 伸縮性止水ゴムの取付・収納状況



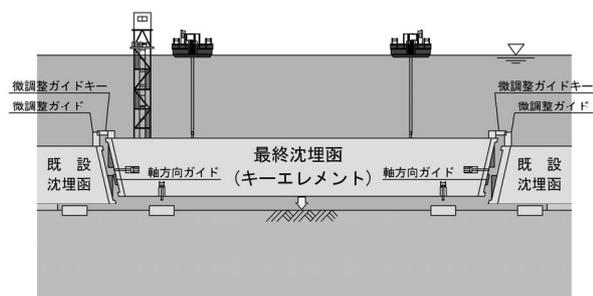


図-12 キーエレメント工法施工手順(2)

### c) 一次止水位置決定

押出ジャッキロッドのストロークを調整し、函軸方向の位置決めを行う。鉛直ストッパー間が所定の間隔になるまで支承ジャッキにより沈降する（図-13参照）。

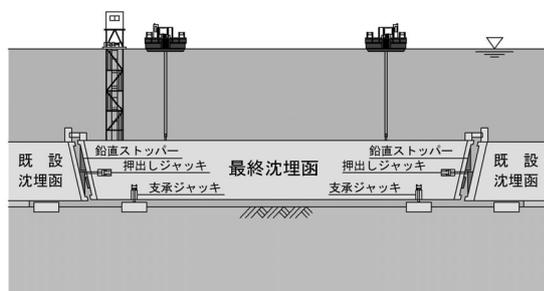


図-13 キーエレメント工法施工手順(3)

### d) 伸縮性止水ゴム内エア注入およびモルタル注入

伸縮性止水ゴム内部にエアを注入し、一次止水を確認する。バルクヘッド間の圧力を開放した後、伸縮性止水ゴム内部にモルタルを注入する（図-14参照）。

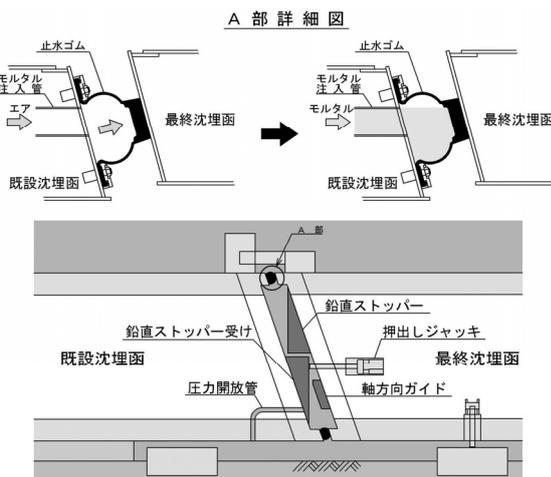


図-14 キーエレメント工法施工手順(4)

### e) 水圧接合

モルタルが必要強度まで硬化後、支承ジャッキダウンを行い、キーエレメントを伸縮性止水ゴムに預

ける。両側のバルクヘッド間を同時に排水して、水圧接合を行う（図-15参照）。

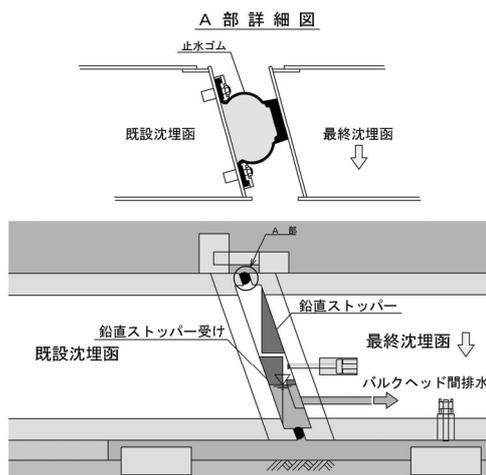


図-15 キーエレメント工法施工手順(5)



写真-6 水圧接合後の継手部分

### f) 接合部剛結

接合部を剛結する（図-16参照）。

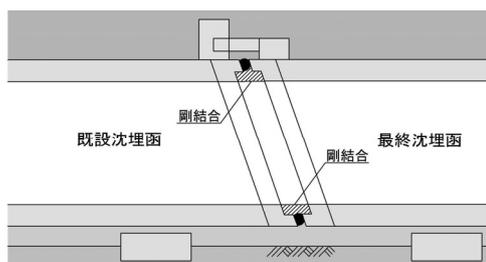


図-16 キーエレメント工法施工手順(6)

## 6. おわりに

キーエレメント工法は2件の沈設・接合が完了し、沈埋トンネルにおける最終継手を省略できる工法として、その有効性が実証された。今後、実施工で得られた新たな知見をもとに、キーエレメント工法の施工に関する改良を進める所存である。