



概要
 工事名称: 大阪南港トンネル沈埋部築造工事(その5)
 工期: 1995年5月30日~1996年7月31日
 発注者: 運輸省第三港湾建設局
 施工者: 五洋・東亜・東洋特定建設工事共同企業体
 施工場所: 大阪市港区海岸通一丁目一住之江区南港北一丁目間
 主な工事内容: Vブロックの製作・沈設・接合
 受賞: 平成9年度土木学会賞技術開発賞(1998年)

Vブロック沈設状況

大阪港咲洲トンネル

マリコンの矜持でVブロック工法を着想 発注者の課題に応え、実績ゼロで採用へ 最終継手制し、沈埋トンネル市場を攻略

陸上で製作した沈埋函を海底で接合し埋設する沈埋トンネル。その市場の攻略に向け開発されたのが、五洋建設で特許を持つVブロック工法である。最終継手をその自重と水圧を用いて既設函に接合することで、潜水作業を軽減し、施工性と安全性の向上を図った。採用第一号は、1997年10月に大阪臨海部で開通した大阪港咲洲トンネル。新工法開発の裏側には技術者の矜持と強い信念があった。

2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）の開催で再び脚光を浴びる大阪臨海部。その一角の人工島である咲洲では1980年代から1990年代にかけて、地元大阪市が打ち出したテクノポート計画を基に、業務地区としての開発が進んだ。

その咲洲と内陸側を結ぶ海底トンネルが、沈埋工法で建設された大阪港咲洲トンネルだ。総延長約2400mに及ぶ道路・鉄道併用トンネルで、沈埋トンネル部分は1025m。海底に沈む沈埋函は10函を数える。開通は1997年10月。同年12月には大阪市営地下鉄（現・大阪メトロ）中央線の延伸に伴い、鉄道部分も開通した。

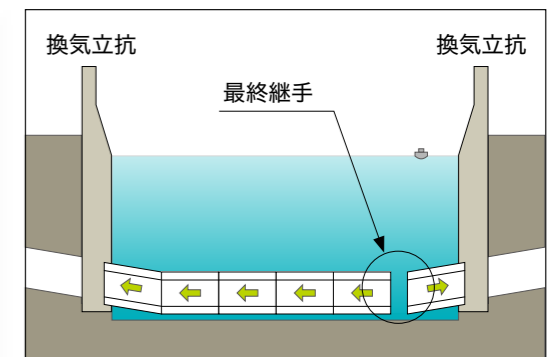
この海底トンネルこそ、最終継手工法である「Vブロック工法」の採用第1号。五洋建設にとっては、沈埋トンネル工法の担い手としての礎を築いたともいえる、歴史に残る現場なのである。

◎それは、1枚の絵から生まれた

Vブロック工法の誕生は、開通の6年前に遡る。当時、専務執行役員、九州支店駐在の下石誠は、沈埋工法の現場である首都高速湾岸線の川崎航路トンネルにいた。内示を受け、下石は新人時代を過ごした本社土木設計部に異動する。

「そこで何か新しいことは考えなかったのか?」。本社に戻り、上司からそう問われた下石は、現場で感じていた問題の解決法を突き詰めていく。それは、沈埋函最終継手の施工方法である。

最終継手とは、既設函と最終沈埋函の間に残る隙間。当時は潜水士が外側から鋼板で覆ったうえで、内部を排水シドライな状態に改めてからその継手を施工していた。そこには高い止水性能が求められるが、作業環境は決して良くない。



■沈埋トンネル側面図

沈埋トンネルは一般に、港湾構造物の中では深い位置にある。しかも都市部の港湾内では、海水が濁り、見通しが利かない。下石は「潜水士は水深30m近い場所に潜り、視界は50cm程度という悪条件の中で作業することになる。当時は施工性や安全性が問われた」と指摘する。

秘めた思いもあった。沈埋トンネル市場の攻略である。下石は「当時、沈埋工法はゼネコンの領域。マリコンの役割は沈埋函を沈設し据付け断顔を浚渫する程度だった」と回想する。

最終継手を海上からもっと洗練された形で施工できないか。最終継手を制すれば、沈埋トンネルそのものを制することができる——。下石はその思いを強くしていた。

意識を常にそこに向けていると、目の前に道が開かれるのかもしれない。下石はある日、ひらめきを得て、1枚の絵を描く。

そこに描かれたのは、横に連なる沈埋函の最終継手部分にくさびのように打ち込まれた三角形の物体だ。その脇には「くさびブロック」という手書きの文字が見える。

技術者のひらめきが最終継手の新技術に結実

この「くさびブロック」こそ、Vブロックの原型だ。「浴槽の排水口の栓は水圧でびたっとはまる。それと同じ原理で最終継手を施工できないかと考えた」。下石は自らの着想を説明する。

着想の正しさを証明するには実験するしかない。下石は上司に掛け合う。予算を尋ねた上司に「500万円」と返したところ、「やってみよう!」と背中を押す言葉。社内の技術研究所で1/20モデルを作り、V字型の試験体が想定通りに最終継手の施工方法として機能するか、検証した。

採用に向けた売り込みにも動いた。その一つが、当時大阪南港トンネルと呼ばれていた大阪港咲洲トンネルである。地元大阪市の委託を受けた運輸省(当時)が計画を進めていた。

●実験設備で「これは、いける!」

大阪支店で沈埋工法を担当し、同省第三港湾建設局に同行した常務執行役員、土木部門担当(営業)の松山章が記憶をたどる。「説明すると、『面白い。ただ本当にできるのか?』という反応だった。最初から発注者が採用に前向きだったので、かえって驚いた」。

とはいえ、公共事業で実績のない新工法がすぐに採用されることはない。まず業界団体で1/4モデルを基に実現性や施工性を検討する体制を整え、新技術活用に向けた国のパイロット事業の一環として検討を進めた。

検討課題の一つは、新工法の実現性だ。何しろ、Vブロックの重さは約2000t。それを起重機船で吊り上げ、沈設した沈埋函の最終継手部分にはめ込まなければならない。下石は「そんな大きなものを安全にはめ込むにはどうすればいいのか、一生懸命考えた」と明かす。

考え付いたのが、Vブロックを受け止める側の既設函へのガイドの装着だ。海上から下りてくるVブロックを最終継手に引き込むようなガイドを艀装品として取り付けた。

検討作業で実現性や施工性が確かめられると、Vブロック工法は大阪港咲洲トンネルの最終継手の施工方法として正式採用に至った。

自社で開発した新工法の施工ともなれば、失敗は許されない。本施工に向けて準備を進める中で、浮上する多くの課題と現場は格闘した。



1/4実証実験の様子

Vブロックを受け止める側の沈埋函の製作担当は、本社土木設計部で下石の部下として行動を共にしてきた五栄土木株式会社 代表取締役社長の玉井昭治だった。玉井は、「移動沓の取り付け精度を確保することに苦労した」と振り返る。この移動沓とは、Vブロックの嵌入を早めに食い止めるために押し出し、中にモルタルを注入し固定する装置のことだ。Vブロック側に設置する移動沓受けとの間に隙間を生じさせない精度の高さが求められる。

その役割は、万が一の備えだった。

Vブロックは既設函に取り付けられたゴム部材の上を滑らせるように最終継手にはめ込んでいく。するとゴム部材が圧縮され、止水の機能が発揮される。ところがゴム部材が想定以上の摩擦力を受けて変形すると、止水に支障を来す。そこで、想定以上の摩擦力を受けることがないように、早めにVブロックの嵌入を食い止める装置を設けたのである。

この移動沓は下石の慎重さの表れだ。採用第1号の案件で不確定要素が多いことから、冒険は避けようとして取り付けを決めた。しかし、摩擦力が想定内に収まるのがこの現場の実測によって明らかになったため、以降は姿を消すことになる。

施工上の課題はVブロックを沈設する段階でも抱えていた。その工程を担当した土木本部の小崎正弘は課題の一つに、Vブロックの向きや既設函の位置などを正確に把握する難しさを挙げる。Vブロックを海上の起重機船から沈設し、水深30m近い海底に設置された既設函の最終継手に確実に嵌入するには、その両方の空間情報を高い精度で捉えないといけない。

情報把握は沈埋函の製作段階から始まる。小崎は「製作場所で完成した沈埋函を隅から隅まで測って、基点を定めて座標に落とし込んでいった」と振り返る。測定では精度確保に努めた。たとえ1mmの誤差でも積み重なれば大きくなる。松山は「基点を変えて違う方法で測り直すなどチェックにチェックを重ねた」と回想する。

●ジャイロや光波測距儀を総動員

Vブロックの製作は沈埋函の製作と並行するが、完全には仕上げない。Vブロックを接合する沈埋函が沈設された後、出来形測量の結果を基に既設函との接合面を仕上げるからである。そのため既設函の出来形測量は重要な工程となる。

当時はまだ、GPS(全地球測位システム)の精度が今ほど高くない。小崎はVブロックの沈設工での苦労を明かす。「Vブロックには、角度を検出するジャイロスコープや端面間の距離を測る光波測距儀などを設置し、それらを組み合わせて空間情報の把握に努めた」。

着想から4年。現場ではVブロックの据付工事を迎えていた。最終降下の指令を発したのは開発者の下石だった。全ての安全対策工が完全に機能し据付が完了した。水圧を利用した接合作業も無事完了し、大阪港咲洲トンネルは1本につながった。

●進化形のキーエレメント工法へ

この工法はその後、神戸港島トンネル(神戸市)や新・衣浦海底トンネル(愛知県碧南市・半田市)で実績を積み、最終継手の施工方法としてさらに進化を遂げる。その進化形が、2009年8月開通の大阪港夢咲トンネルで初めて採用されるに至ったキーエレメント工法である。

この工法は、キーエレメントと呼ぶ最終沈埋函を既設函に接合し、トンネルを完成させるものだ。

Vブロックのような最終継手は不要。沈埋函だけでトンネルを構成する。

キーエレメントと既設函の接合面はVブロック同様、横から見ると斜めになっている。水圧を利用して確実に接合するという原理はVブロック工法の発想と同じである。

下石はVブロック工法を開発し終わると早くも、キーエレメント工法の確立を目指していた。「沈埋函の沈設を最終継手なしに済ませられないか、と構想し始めた。接合面をVブロックと同様の形状にすれば可能性はあるとみていた」。

構想を具体化させたきっかけは、那覇うみそらトンネル(那覇市)の受注だ。現場是那覇空港近くで航空法による高さ制限がかかるため、ブームの長い起重機船を使わず、Vブロック工法の採用は見送らざるを得なかった。下石はその状況を逆手に取り、進化形の開発に向けて動き出す。

最大の課題は、トンネル延長誤差の吸収である。沈埋函の長さが長いほど、施工誤差は生じやすい。最終沈埋函の据付段階で、それまでに生じた施工誤差をどのように吸収し、最終沈埋函と既設函の間の止水性を確保していくのか――。

下石が行き着いたのは、伸縮性止水ゴムの開発だ。この部材を既設函の端部に巡らせ、最終沈埋函を据付ける段階で中空構造の中に空気を注入し、止水の役割を果たすまで膨らませる。そのゴムの伸縮性が、誤差を吸収する。

ただ外力を受けても破裂することがないように、形は保ったまま空気をモルタルに置き換えている。小崎は「容易ではなかったが、実現にこぎ着けた。そこには同じようにモルタルを注入する移動沓での技術が生きた」と胸を張る。

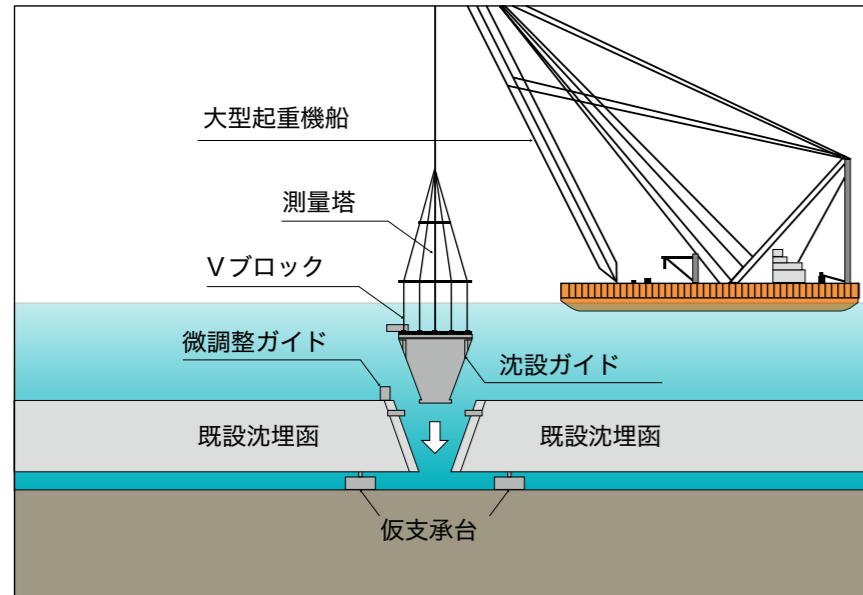
工期の差から採用第1号は大阪港夢咲トンネルに譲ったものの、那覇うみそらトンネルの現場で具体化に至ったキーエレメント工法。その後、この現場はもちろん、若戸トンネル(北九州市)や東京港海の森トンネル(東京都江東区)でも採用されていく。下石は「当初の願い通り、沈埋トンネル工法をマリコンの技術として確立できたのではないかと、感慨深さをにじませる。

さらにこう願う。「Vブロックの原型を思い付き、実験を申し入れたとき、上司が『やってみよう!』と前向きに受け止めてくれたからこそ、今の技術がある。そういう社風を継続してほしい」。

TEC 01 Vブロック工法

自重と水圧を利用し最終継手にV字型の構造体

■Vブロック概念図



有効性を多種の実験で検証 | 1/4スケールの実証実験に加え、水圧接合基本原理確認試験や止水ゴム性能試験、移動性性能確認試験などの基礎実験、要素試験を実施。接合原理の確認、施工性の確認に万全を期した。

POINT



水圧接合原理確認試験の様子

最終継手の施工方法の一つ。鋼殻とコンクリートで構成するV字型の構造体「Vブロック」を起重機船で吊り上げ、海底に沈めながら、自重と水圧を利用して既設函の最終継手にはめ込んでいく。既設函に取り付けられたゴム部材の上を滑らせるようにVブロックをはめ込むと、そのゴム部材が次第に圧縮され、止水の機能を発揮する仕組みだ。Vブロックがゴム部材の上を滑りやすくなるように、その表面には海洋生物付着防止用の塗料を塗布し、表面平滑性を高めている。止水完了後はVブロック内の海水を排出。Vブロックと既設函内部を気中作業によって剛結合する。水深の深い現場や海水の濁りで見通しの悪い現場では、最終継手の施工を担ってきた潜水士の作業に安全性・施工性の問題が生じる。Vブロック工法はそうした問題を解決し、最終継手の安全・確実な施工を実現する。

TEC 02 高流動コンクリート

Vブロックの鋼殻構造内で自己充てん性発揮



高流動コンクリート

材料分離の抵抗性を損なうことなく、流動性を高めたコンクリート。パイプレーターなどによる締め固めなしに打設できる。Vブロックは鋼殻の構造体内にコンクリートを打ち込む鋼・コンクリートサンドイッチ合成構造。鋼殻内は作業員が立ち入れないことから、締め固め不要の流動性の高いコンクリートが必要とされた。大阪港咲洲トンネルでは、運輸省港湾技術研究所(当時)と民間11社の共同研究で開発された高流動コンクリートを用いた。

POINT

耐久性の向上 | 高流動コンクリートは自己充てん性が高いため、施工時の弱点とされる充てん不良が減り、耐久性の向上を図ることができる。

沈埋トンネルに対する絶え間ない取組

当社の沈埋トンネルの歴史は、最終継手の技術開発の歴史といっても過言ではない。1986年の川崎航路トンネル以降、30年以上にわたり途切れることなく続いてきた沈埋トンネルの歴史を振り返る。

最終継手の技術

- T ターミナルブロック 01・05
- V Vブロック 02・04・06

- S 止水パネル 03・11
- K キーエレメント 07・08・09・10

01 T 川崎航路トンネル

事業期間：1986年～1994年／神奈川県川崎市川崎区東扇島と同区浮島町を結ぶ首都高速湾岸線の道路トンネル。1函当たりの重量5万2000tにも及ぶ沈埋函9函を使用した、国内最大規模の沈埋トンネル。



02 V 大阪港咲洲トンネル

事業期間：1989年～1997年／Vブロック工法の採用第1号。大阪臨海部の人工島・咲洲と内陸側を結ぶ道路・鉄道併用トンネルで総延長は約2400mに及ぶ。10函の沈埋函で構成され、沈埋トンネル部分の延長は1025m。



03 S 新潟みなとトンネル

事業期間：1989年～2005年／信濃川の川底を横断する総延長1423mの川底トンネルで、日本海における初の道路用沈埋トンネル。4函同時製作可能なドライックを建造しRC構造の沈埋函を製作した。



04 V 神戸港港島トンネル

事業期間：1992年～1999年／神戸港新港東ふ頭とポートアイランドを結ぶ道路トンネル。Vブロック工法の採用第2号。沈埋函に鋼コンクリート合成構造が初採用された。



05 T 東京港臨海トンネル

事業期間：1993年～2002年／近くに東京国際空港があるため沈埋トンネル工法を採用。東京港第1航路を横断する、延長約1300mの国内最大規模の沈埋トンネル。



06 V 新・衣浦海底トンネル

事業期間：1996年～2003年／愛知県碧南市と半田市を結ぶ海底トンネルで、総延長1500mのうち沈埋区間は約450m。軽量コンクリートの浮遊打設や伸縮性止水ゴムを用いた沈埋函沈設。



07 K 那覇うみそらトンネル

事業期間：1997年～2011年／那覇港と那覇空港を結ぶ海底トンネル。全長1140m、沈埋部分は約742mで、那覇ふ頭三重城側と那覇空港側をつなぐ。高流動コンクリートの浮遊打設、耐波安定を考慮した沈埋函を沈設。



08 K 若戸トンネル

事業期間：2007年～2009年／総延長4200mの新若戸道路(福岡県)のうち、海底部は557m。キーエレメント工法に加え、充てんコンクリートの浮遊打設や伸縮性止水ゴムを用いた沈埋函沈設を行った。



09 K 夢咲トンネル

事業期間：2006年～2008年／大阪港の夢洲と咲洲を結ぶ総延長約2100mの海底トンネル。沈埋函8函で構成され、7号函と6・8号函の接合において、キーエレメント工法が沈埋トンネル工事で初めて採用された。



10 K 東京港臨港道路南北線

事業期間：2016年～2020年／東京港の中央防波堤地区と有明地区を結ぶ海底トンネル。沈埋部分は134mの沈埋函を7函沈設。1函当たりの長さ134mは、これまでに国内で製作された沈埋函の中では最長となる。



11 S SCL1121

事業期間：2014年～2020年／沈埋トンネル初の海外案件となった、香港の地下鉄の海底トンネル。市街地の中心地に位置するピクトリア湾を縦断し、沈埋部分は1664m。全長156mの沈埋函11函で構成される。



<新工法の受賞および採用実績>

工法	受賞内容	採用実績
Vブロック工法	平成9年度土木学会技術開発賞	大阪港咲洲、神戸、新・衣浦
クラウンシール式継手	平成16年度土木学会技術開発賞	夢咲、南北線
キーエレメント工法	平成21年度国土技術開発賞最優秀賞 国土技術開発賞20周年記念大賞	夢咲、那覇、若戸、南北線