

厳しい施工条件を克服した夢咲トンネルの整備

坂 克 人

夢咲トンネルは、咲洲（南港地区）と夢洲（北港南地区）を直結することによりスーパー中枢港湾「阪神港」の物流効率化を図るとともに大阪湾全体の臨海部交通ネットワークの役割を担うものと期待されている。この夢咲トンネルは、短期間での完成を目指し、埋め立て直後の超若齢地盤での施工を余儀なくされるとともに、大型船舶等が多数航行する大阪港主航路上に沈埋函を設置するなど、非常に厳しい施工条件下で工事を進捗させた。同トンネルの整備にあたっては綿密な計測施工を行うとともに、サイドワンタワー方式による沈埋函据付けや最終函にキーエレメント工法を採用するなどの数々の新技術を採用した。

キーワード：大阪港，スーパー中枢港湾，臨港交通施設，沈埋トンネル，超弱齢地盤，沈埋工法，開削工法

1. はじめに

昨年（平成21年）8月に大阪港夢咲トンネルが開通した。この夢咲トンネルにより、現在の大阪港の物流センターである咲洲（南港地区）と新たな国際海上コンテナターミナルが整備され今後の国際物流拠点として期待される夢洲（北港南地区）が直結し、スーパー中枢港湾「阪神港」としての物流の集約・効率化を図るための新たなルートが形成された。さらに、大阪湾全体の交通体系においても、舞洲、夢洲、咲洲を結ぶ臨海部交通ネットワークが完成し、今後関西経済の発展に大きな役割を担うものと期待されている。

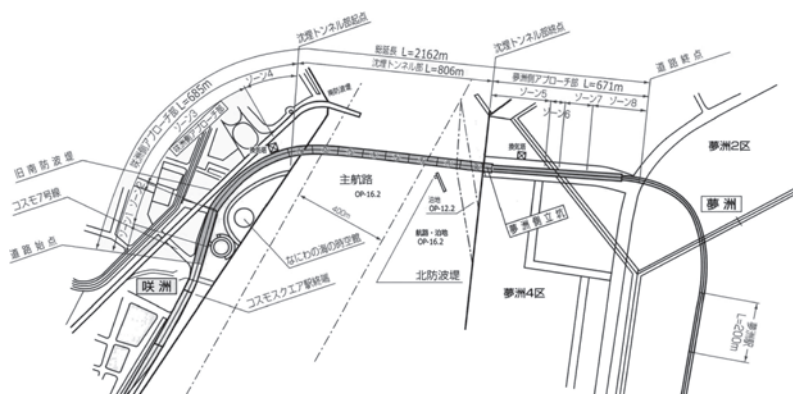
一方、この夢咲トンネルは、短期間での完成を目指し、埋め立て直後の超若齢地盤での施工を余儀なくされるとともに、大型船舶等が多数航行する大阪港主航路上に沈埋函を設置するなど、非常に厳しい施工条件下で工事を進捗させたものである。ここでは、大阪港夢咲

トンネルの整備および施工の特徴について記述する。

2. 夢咲トンネルの概要

(1) 夢咲トンネル計画

物流施設等が多数立地する大阪港咲洲（南港地区）では、臨港鉄道・南港テクノポート線（地下鉄）が平成9年12月にコスモスクエア駅まで開業し、また、国際・国内フェリーターミナルやトラックターミナルも集積している。一方、夢洲（北港南地区）では、国際海上コンテナターミナルをはじめとする国際物流施設群の整備が進められている。これら、両地区の交通需要の増加に対応し、物流と人流の分離による埠頭間の物流効率化を図るため、咲洲と夢洲を結ぶ臨港交通施設として、鉄道・道路併用トンネルである夢咲トンネルが計画された。図—1に計画平面図を示す。



図—1 夢咲トンネル計画 平面図

(2) 構造概要

夢咲トンネルは、咲洲と夢洲の両地区を結ぶ鉄道と道路を併設した海底トンネルであり、海底部分は沈埋工法で、陸上のアプローチ部分は開削工法で整備することとなった。

沈埋工法とは、トンネルエレメントとなる沈埋函を陸上又はドライドックなどの製作ヤードにおいて函体構造物の形で製作し、その両端部を仮隔壁で閉鎖したうえで水に浮かべて沈設現場まで曳航、予め掘削した海底面に沈設、水圧等を利用して函体相互の接合を行い、土砂の埋め戻しを行う手順で完成させる海底トンネルの建設工法である。今回この沈埋トンネルを採用することにより、トンネル設置深さを船舶の航行に影響のない程度まで浅くでき、アプローチ部となる陸上トンネル部分の延長を短くすることが可能となった。また、沈埋函をドライドックなどで製作したことから現地での工事期間が大幅に短縮できた。さらに鉄道・

道路併用という大断面のトンネル施工にも比較的容易に対応できたことなどにより工期面、費用面などの効果があった。

具体的なトンネル構造については、現地の状況、土地利用計画、地盤性状等の施工条件を勘案して決定した。図-2に縦断面構造を示す。

まず、トンネルの出入り口となるアプローチ部分については、地盤の粘土層の圧密沈下量を考慮して躯体構造は多層ボックス構造、基礎構造は支持層までの杭基礎またはCDM工法による地盤改良による基礎を基本断面とした。多層構造を採用することにより、圧密沈下や基礎構造に作用する支持力の低減を図ることとした。さらに、杭基礎、CDM基礎により、沖積粘土層の圧密に伴う不同沈下等にも対応できることとし、施工性・経済性を勘案して夢洲側アプローチ部の一部にCDM基礎、その他の区間には杭基礎を選定した。アプローチ部分の代表的な構造断面を図-3,4に示す。

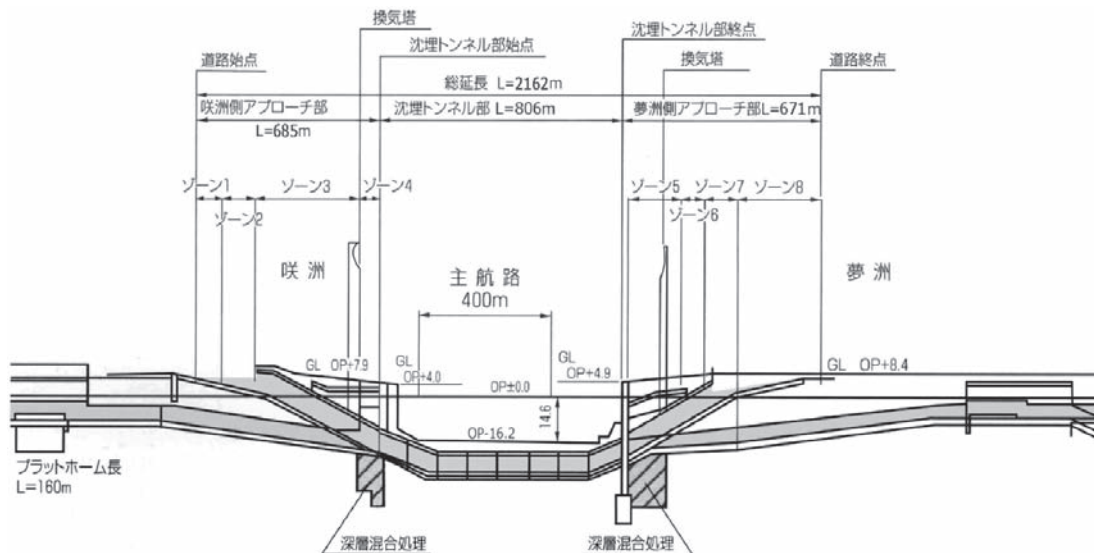


図-2 夢咲トンネル 縦断面図

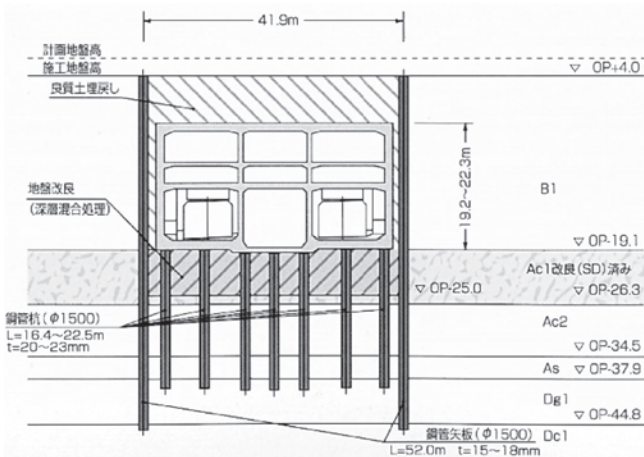


図-3 咲洲側 アプローチ部 標準断面図

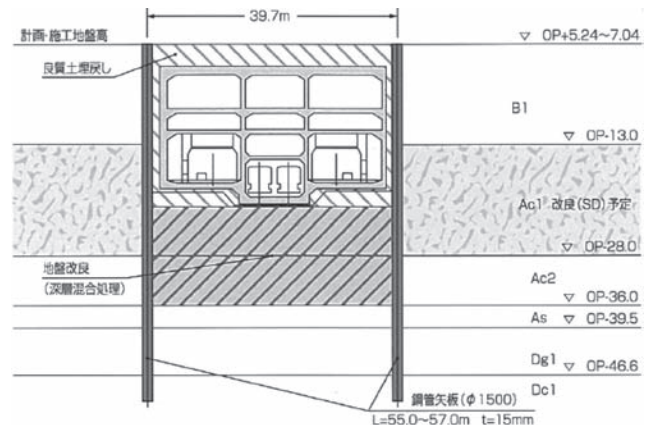


図-4 夢洲側 アプローチ部 標準断面図

海底部分に設置する沈埋函の構造および規模は、設置される航路部の状況、隣接する埋立地の造成状況さらに洪積粘土層の圧密沈下等を総合的に勘案して次のように決定した。①咲洲側は護岸法線から30m陸側で直接アプローチ部に接合、②夢洲側は護岸法線部分に立坑を設置して接合、③沈埋函は長さ約100mの規模とし合計8函設置することとした。

また、構造形式は、製作ヤードの条件や工費、工期等を鑑み、上床版、側壁をフルサンドイッチ、下床版をオープンサンドイッチとした鋼コンクリート合成構造形式を採用した。トンネルの断面は、鉄道を中央に、道路は左右に上下2車線ずつ振り分けて配置し、非常時のための避難通路も設けている。沈埋函の標準断面寸法は、幅34.5m、高さ8.6mである。必要内空寸法は、道路の方の建築限界（背高コンテナ対応：4.2m）に舗装厚や沈下余裕等を踏まえて、内空断面6.4mとした。沈埋トンネル断面図を図-5に示す。

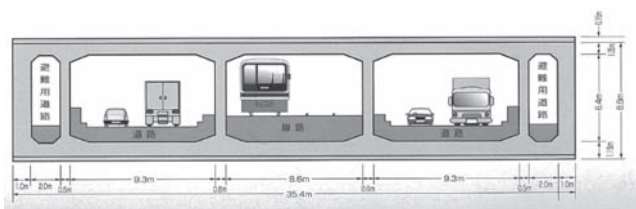


図-5 沈埋トンネル断面図

沈埋函部分とアプローチ部分との接続部分については、夢洲側は着工時点でまだ埋め立てられていないため圧密沈下や護岸設備を勘案して立坑を設置した。一方の咲洲側は既に埋め立てが完了していたため、コスト削減の観点から立坑を設置せずにアプローチ部分に直接接合することとした。一般に立坑は護岸としての機能、アプローチ部施工時の止水機能、沈埋トンネル部への資器材の搬出の役割を果たす。今回の夢洲側立

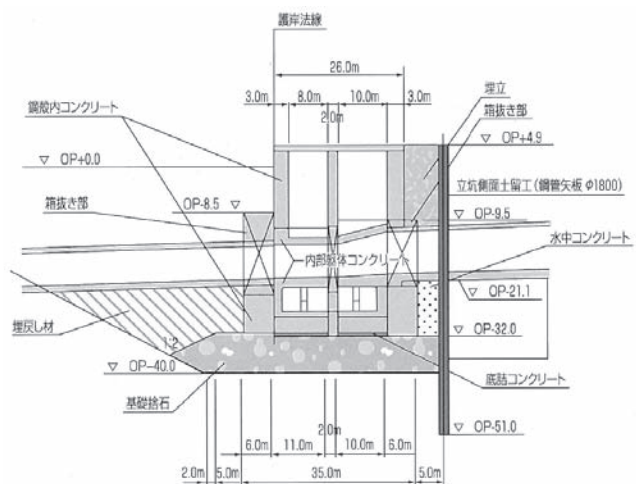


図-6 夢洲側立坑部 鋼殻ケーソン断面図

坑は鋼板を構造部材とみなしたフルサンドイッチ合成構造の鋼殻ケーソンとした。

3. 厳しい施工条件の克服

(1) 超若齢地盤下での施工

夢咲トンネルの着工前は、夢洲側はまだ埋め立て工事が行われておらず、海面の状況であった。このような状況から、平成12年度に咲洲側・夢洲側アプローチ部の地盤改良から着工したが、その後、スーパー中核港湾の中核施設として整備された夢洲コンテナターミナル岸壁C12の開業と同時に夢咲トンネルを供用できるようにと、可能な限り短期間で整備を進めることとなった。この現場は、以前より軟弱な粘性土が厚く堆積している地盤条件であったことから、長期にわたる地盤の圧密沈下の発生が予想されていた。特に夢洲側の護岸付近では、埋め立て後の十分な圧密沈下期間を確保できず、超若齢地盤上での施工を余儀なくされたため、1m以上の大きな地盤沈下がトンネル供用後100年間に発生すると予想された。さらに、咲洲側の護岸付近でも、トンネル法線（沈埋函）が護岸と斜めに交差することなどの特殊条件により、複雑な地盤変形の発生も懸念されていた。

(2) 綿密な計測管理の実施

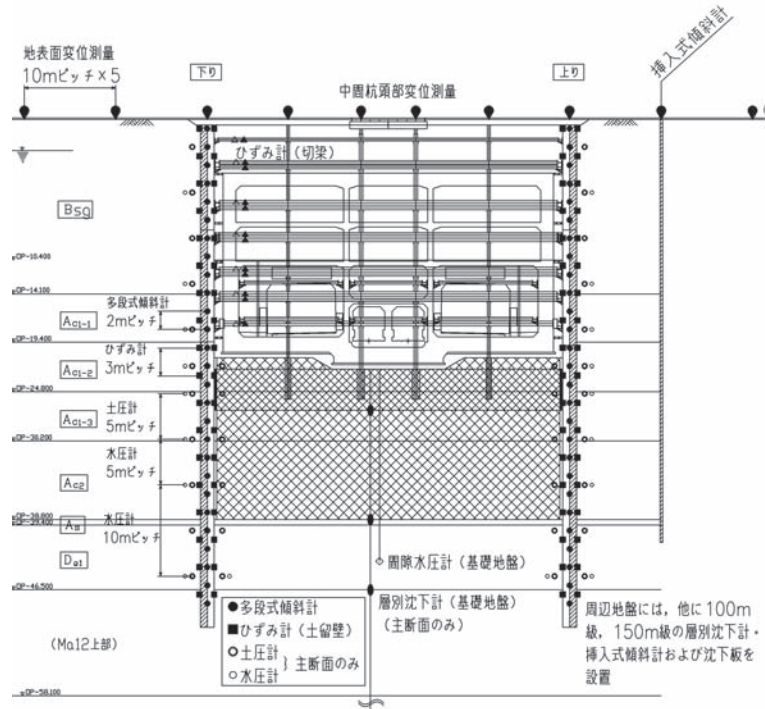
このように夢洲側、咲洲側アプローチ部分の開削工事は、埋め立て間もない超若齢地盤を大規模に掘削する（幅40m、最大掘削深さ約25m）困難なものであった。特に、土留鋼管矢板等の仮設構造物や周辺地盤の挙動を計測管理データによる予測解析を実施するなど綿密な計測施工の下に工事を完了させた。夢洲側アプローチ部で実施した計測項目を表-1に示す。

咲洲、夢洲側アプローチ部はともに延長600mもの線状構造物であるため、約50mごとに計測主断面、従断面を設け、仮設構造物の挙動を把握することとした。

計測結果は、許容応力度等をもとに設定した管理基準値を設定し、現段階の計測値と施工途中において実施する次段階以降の予測解析結果の組み合わせによる管理マトリックスを用いて評価・管理を行うこととした。夢洲側アプローチ部では掘削開始前に鋼管矢板の

表-1 夢洲側アプローチ部の計測項目一覧

	主な計測項目
土留め構造物	土留め壁の変形、応力、土・水圧、切梁軸力、中間杭の鉛直変位
基礎地盤	掘削域内層別沈下、間隙水圧
周辺地盤	層別沈下、地表面沈下、水平変位、間隙水圧



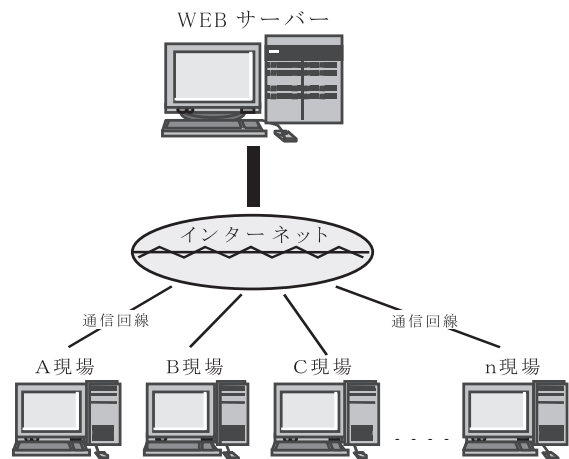
図一七 夢洲側アプローチ部の計測機器配置図

表一 管理マトリックスの例

		次段階以降の予測値			
		1次管理基準値 (許容応力度×0.6)	2次管理基準値 (許容応力度×0.8)	限界管理基準値 (許容応力度)	
現段階の計測値	1次管理基準値 (許容応力度×0.6)	工事を続行する	監視を強化し工事を続行する	事前に対処工法を協議する	限界管理基準値以内に収めるための対処工法を協議する
	2次管理基準値 (許容応力度×0.8)	監視を強化し工事を続行する	監視を強化し工事を続行する	事前に対処工法を協議する	
	限界管理基準値 (許容応力度)	集中管理の実施及び対処工法を協議し、準備を行う			
	降伏点	現段階が最終掘削段階の場合 ：工事を中止し、現在以上増加しない対処工法を実施する 現段階が最終掘削段階でない場合 ：工事を中止し、限界管理基準値以内に収める対処工法を実施する			
		工事を中止した後、緊急協議を行い、対処工法を実施する			

変状が増大し、一部で鋼管矢板の応力度が限界管理基準値（許容応力度）を超過することが予想されたため、降伏点までを想定した管理マトリックスを設定した。

また、各工区で得られた計測データを共通の計測システムで効率よく集約、管理することとし、システムの比較検討を行った結果、操作性、維持管理に要する労力、多量の計測データを管理できる等の理由から、汎用ブラウザによるWEB型計測システムを活用した。これにより、施工中の計測を30分ごとに実施し、大阪港湾・空港整備事務所内に設置したWEBサーバーによって、工事関係者が計測データを閲覧することが可能となるようにし、管理基準値との比較や、次



図一八 計測管理WEBシステム

段階の予測解析等へ適用した。

(3) 船舶安全対策の徹底

夢咲トンネルのルートは、大阪港でも最も航行船舶の多い港口部である大関門から港内側に220 m程度入った位置で計画された。したがって、沈埋部の施工では一般船舶の航行安全の確保が最も重要な課題の一つであった。これまでに大阪湾内で建設された大阪港咲洲トンネルおよび神戸港港島トンネルでは、2箇所とも沈埋部の施工時には航泊禁止区域が設定された工事区域の中で施工した。しかしながら、夢咲トンネルは港口に非常に近い位置に建設され、大阪港に入出港する大型船舶のほとんどが航行するため、極力航行船舶への航行障害を低減する目的から、工事中の航泊禁止区域を設けずに施工する方法を検討した。特に、航路中央部での施工に必要な工事区域を確保すると、一般船舶の航行幅が狭くなり、安全性の確保が難しくなる。また、沈埋函沈設時には一度作業を開始すると大型船が航行しても沈埋函を退避させることができなくなるため、新技術「サイドワントワー工法」が考案され採用された。

また、航路内での作業中は、可航幅をより広く確保することや作業船の退避時の迅速性を考慮し、ブイ等による表示を行わないこととし、可航側を示す表示板を掲げた表示専用船の配備、夜間でも航行船舶に対し航行できる水域を示すなど、航行船舶の安全確保を徹底して施工した。また、沈埋函の沈設作業は、一旦開始すると大型船の航行などにより途中で中止して退避することが現実的でないため、一連の作業として作業区域を設定し、灯浮標で明示して一般船舶の安全な運行を確保することとした。その他にも安全対策として、情報連絡系統の設定と各工事間および関係者等との連絡調整、リーフレットの配布、警戒船の配備など船舶航行安全対策委員会を通じて審議されたことを遵守し施工した。

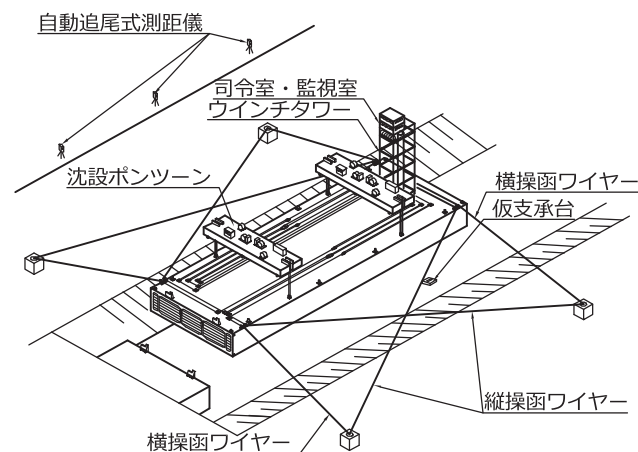
(4) サイドワントワー方式による沈埋函の沈設

基本的な航行船舶の安全対策は、前述したとおりであるが、最も安全確保が難しいとされた航路中央部における沈埋函沈設時での航行船舶の安全確保のためには、一般船舶の可航水域をできるだけ広く確保し、かつ沈設作業後の航路を早期開放する必要がある。そのため、従来の標準的な沈設方法の一つである2基のウインタワーを用いたツータワーポンツーン方式からウインタワーを片側1基のみとするサイドワントワー方式に代えて沈設することとした。従来のツータ

ワーポンツーン方式とサイドワントワー方式による沈設方式を、写真—1 および図—9 に示す。



写真—1 従来のツータワーポンツーン沈設方式
(神戸港港島トンネルの例)



図—9 サイドワントワー沈設方式

このサイドワントワー方式は、夢咲トンネル工事で初めて採用され、従来方式に比べてウインタワーが1基分減るため、艀装・撤去に要する時間や労力が低減でき、コストダウンが図れるとともに、最も大きなメリットとして航路中央部での沈設時に航路開放を早期に安全に行うことができた。

4. その他の新技術の導入

(1) 大変形に追従するクラウンシール継手の採用

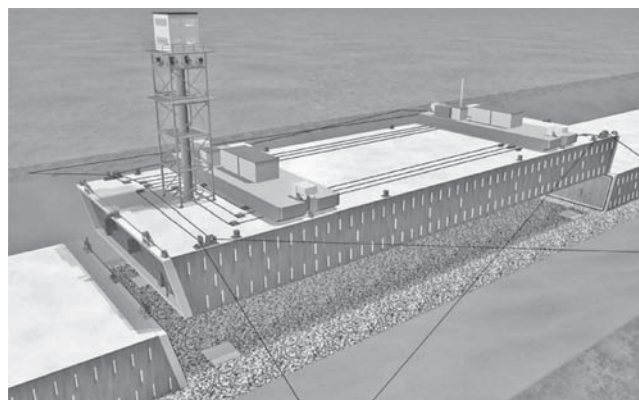
海底の沈埋トンネル部分には、供用後の地盤沈下に伴う変形や地震時の地盤変位に追従するための可とう継手が必要である。現地の地盤条件からはトンネル供用後100年間で最大1 m程度の地盤沈下が予測されていた。また、阪神淡路大震災以降、沈埋トンネルにおいても地震動に対する耐震性能の確保が要求されていた。このため、近年発生が危惧されている東南海・南海地震に対する耐震性能を向上させるための技術が



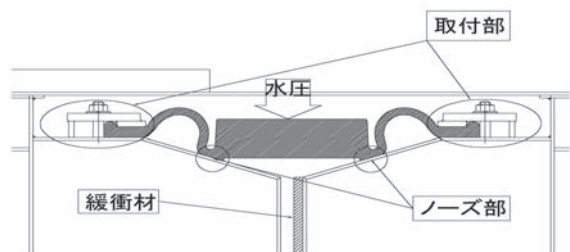
図一 10 クラウンシール継手の構造

求められた。このように大規模地震時および地盤沈下による変位によって、夢咲トンネルの沈埋函接合部では函軸方向に200 mm以上の大きな変位が発生する可能性が高いと想定された。このため、従来から沈埋トンネルで使用している継手構造では予測される変位に追従できず接合部の止水性能が確保できないことから、より大きな変位に追従することができる継手「クラウンシール継手」を新たに開発して採用した。クラウンシール式継手は、継手の外周に円環状のゴムを設置し、外水圧を利用した止水性能と大変形に対する可とう性を確保する構造で、世界でも初めての継手構造であった。クラウンシール継手の採用にあたっては、止水性能、変形（追従）性能および部材安全性を確認するための様々な実験・解析を行った。

行って、材料や施工法および性能などの検証を行った後に採用されたものである。今回初めてキーエレメント工法が採用され、所定の精度で問題なく施工することができるとともに、従来の方式と比較して約3カ月の工期の短縮が可能となった。



図一 12 キーエレメント工法による最終函の沈設



図一 11 クラウンシール部の拡大図

(2) キーエレメント工法採用による工期の短縮

従来は沈埋函の最終継手にはVブロックという部材を別途製作して接続していた。今回の夢咲トンネルでは、このVブロック工法を改良・発展させた工法である「キーエレメント」と呼ばれるくさび形の沈埋函を自重と水圧を利用して既設函に密着させ、止水を実現させる工法を採用した。本工法の採用によって沈埋函に最終継手の機能を兼用させることができ、据付手順の共通化及び回数の減少につながった。この工法は既設沈埋函の据付精度と最終函の出来形精度に左右されたが、継手部に伸縮性を有する止水ゴムが開発のポイントとなった。施工誤差を吸収するために新しく開発した伸縮性止水ゴムについては、各種実験などを

5. おわりに

夢咲トンネルが平成21年8月に開通するに併せて、スーパー中核港湾の中核である夢洲コンテナターミナルの供用が平成21年10月に開始された。これにより、大型コンテナ岸壁のある夢洲と大阪港の物流施設が集



写真一 2 夢咲トンネルを通行する貨物車両

結する咲洲を直結する夢咲トンネルの交通量は、平成21年12月の段階で、早くも1日当たり11,000台（うち大型車が50%超）を記録し、大阪港臨海部の交通の幹線としての役割を果たしている。

一方、夢咲トンネルの整備は、埋立て間もない超若齢地盤や大型船が頻繁に航行する大阪港主航路での施工など厳しい施工条件を様々な技術的工夫により克服するとともに、「スーパー中樞港湾 阪神港」の機能発揮に欠くことの出来ない陸上アクセスを早期に実現した画期的なプロジェクトとして土木施工技術の発展にも少なからず寄与するものと考えている。

JCM/A

【筆者紹介】

坂 克人（さか かつひと）
国土交通省 近畿地方整備局
大阪港湾・空港整備事務所



「建設機械施工ハンドブック」改訂3版

近年、環境問題や構造物の品質確保をはじめとする様々な社会的問題、並びにIT技術の進展等を受けて、建設機械と施工法も研究開発・改良改善が重ねられています。また、騒音振動・排出ガス規制、地球温暖化対策など、建設機械施工に関連する政策も大きく変化しています。

今回の改訂では、このような最新の技術情報や関連施策情報を加え、建設機械及び施工技術に係わる幅広い内容をとりまとめました。

「基礎知識編」

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

「掘削・運搬・基礎工事機械編」

1. トラクタ系機械
2. ショベル系機械
3. 運搬機械
4. 基礎工事機械

「整地・締固め・舗装機械編」

1. モータグレーダ
2. 締固め機械
3. 舗装機械

● A4版／約900ページ

● 定 価

非 会 員：6,300円（本体6,000円）

会 員：5,300円（本体5,048円）

特別価格：4,800円（本体4,572円）

【但し特別価格は下記◎の場合】

◎学校教材販売

〔学校等教育機関で20冊以上を一括購入申込みされる場合〕

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも沖縄県以外700円、沖縄県1,050円

※なお送料について、複数又は他の発刊本と同時申込みの場合は別途とさせていただきます。

●発刊 平成18年2月

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園3-5-8（機械振興会館）

Tel. 03 (3433) 1501 Fax. 03 (3432) 0289 <http://www.jcmanet.or.jp>