

ドックシフト工法による大阪南港 トンネル沈埋函の施工

Construction of immersed tunnel element using twin docks

運輸省第三港湾建設局 ○ 小島朗史*
同 上 渋谷晴夫*
同 上 中村 勇*
同 上 上野敏生*
同 上 竹村淳一*

By Rousi OJIMA, Haruo SHIBUYAMA, Isamu NAKAMURA, Toshio UENO and Jun-ichi TAKEMURA

大阪港において港区築港～咲洲を結ぶ大阪南港トンネルが現在建設中である。同トンネルの特徴として我が国ではじめての道路鉄道併用沈埋トンネルであること、断面が大きいこと、沈埋函の設置水深が深いこと、設置位置が海上交通の輻輳点にあること、沈埋函に鋼コンクリート合成構造を採用していること等が挙げられる。

沈埋函の製作にあたっては、十分な広さの製作場所が確保できないため、合成構造方式の特徴を生かし、鋼殻を隣接する造船ドックで組み立てた後、海洋構造物ドックに移動し、コンクリート打設を行うドックシフト工法を採用することで工期の短縮を図っている。また、コンクリート打設においても一函を6ブロックに分割し、それぞれ下床版、側壁、上床版、と順次移動式型枠（トラベラー）を使用して打設していくことで工期の短縮を図っている。

【キーワード】沈埋トンネル、鋼コンクリート合成構造、ドックシフト工法

1. はじめに

大阪港最大の人工島である咲洲（さきしま：南港地区）では、外貿コンテナ埠頭・ライナー埠頭・フェリー埠頭等の物流施設、ATC（アジア太平洋トレードセンター）、WTC（ワールドトレードセンター）・インテックス大阪（国際見本市会場）等の交流施設、3万人が居住するポートタウン・海水遊泳場・野鳥園等のアメニティ・生活施設が計画的に配置され、大規模な総合的港湾空間として整備が進められている。さらに大阪市の「テクノポート大阪」計画において、隣接する舞洲（まいしま）、夢洲

（ゆめしま）とともに、高度技術化・国際化・情報化といった社会の要請に応えつつ水と緑を活かした豊かな街づくり・新都心づくりを進める地域として位置づけがなされており、将来にわたり既存市街地部との間に人・物・情報の流れの大幅な増加が予測されている地域である。

現在、咲洲と大阪都心部とを結ぶ交通路は、港大橋経由の高速道路と住之江経由の道路、新交通システム（ニュートラム）があるのみである。このため、大阪都心部との間の交通需要増加への対応及び円滑な交通流動の確保を目的とした交通基盤整備が緊急の課題となってきた。このような背景のもと、大阪市都心部からウォーターフロントの港区築港まで現在供用されている地下鉄中央線を咲洲（海浜緑地駅）まで延伸するとともにあわせて道路を整備し、

* 神戸港工事事務所 06-574-8561

本報告は、大阪南港トンネル整備事業の概要及び沈埋函製作について報告するものである。

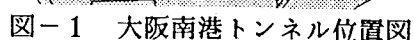


表 1 基本条件

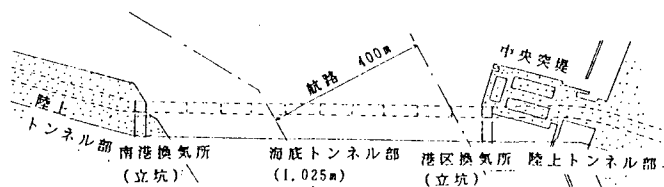
沈埋トンネル部は、大阪港の中央航路及びその両側の泊地を横断する。中央航路は水深13m、幅 400 mあり、4.5万D.W. トン級の大型外貿コンテナ船から非自航の小型バージまで一日あたり千数百隻が航行する文字どおり大阪港のメイン航路である。将来ともこの航路、泊地は大阪港の枢要をなすことから、その間隔を狭めないことを基本に換気塔の位置が決められた。

トンネル縦断図を図-3に示す。航路と泊地の水深を従来どうり確保するため沈埋函底部及び換気所立坑の最大深さはそれぞれ-27.0m、-33.0mとなった。沈埋函数は10函である。

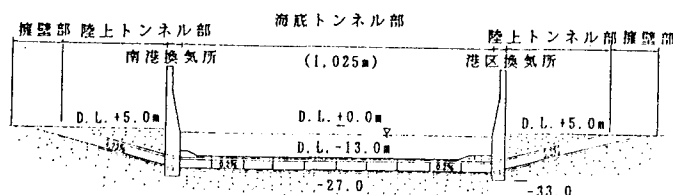
沈埋トンネルの基本条件を表－１に示す。道路が上下各２車線、鉄道（地下鉄）が複線で入る。当初、軌道系として中量輸送機関であるニュートラムが入る計画だったが、その後の将来旅客需要の見直しの結果、ニュートラムでは旅客需要に十分に対応できないことが判明したため、平成５年４月に大量輸送機関である地下鉄に計画変更している。

沈埋函標準断面図を図-4に示す。トンネルの中

種 別	細 目	仕 様
道 路	道 路 規 格	第4種第1級
	設 計 速 度	60km/h
	車 線 構 成	往復分離 4車線
	計 画 交 通 量	25,900台/日
	大型車混入率	35%
鉄 道	軌 道 構 成	複線
	電 気 方 式	直流75V
	軌 間	1,435mm
	車 両 編 成	6両
	設 計 速 度	70km/h
航 路	航 路 限 界	DL+51.10m
	主航路水深	DL+13.00m
	対象最大船舶	45,000D/T
	最小土被り厚	1.5m



圖一 2 計畫平面圖



圖一 3 計畫縱斷圖

央に地下鉄、その両側に道路、一番外側に避難通路を配置している。沈埋函一函の大きさは、幅 35.2m×高さ8.6m×長さ103.4m、重さ31,000トンある。トンネルの換気方式は立坑集中排気型縦流換気方式を採用している。

沈埋工法は、トンネルを建設する海底に溝（トレンチ）を掘削し、あらかじめ陸上部で製作したトンネルエレメント（沈埋函）を製作場所から曳航し、水圧を利用して接合し、トンネルを建設していく工法である。このため、沈埋トンネルは以下のような特徴を持っている。

- ① シールドトンネルに比べ設置深度を浅くできるため、アプローチ部を含めたトンネル全長を短縮できる。
- ② 沈埋函はドライドック等好条件下で施工できるため、確実な施工ができる。継手部も確実に止水ができることから、全体として水密性の高い構造である。
- ③ 沈埋函の比重が小さいため、沈下の問題のある軟弱地盤中でも大規模な沈下対策を必要としない。
- ④ 断面形状に対する自由度が高いため、大断面のトンネルでも効率的な断面を設定できる。

3. 大阪南港トンネルの設計について

大阪南港トンネルは我が国で初めての道路鉄道併用沈埋トンネルで、世界でも道路鉄道併用沈埋トンネルはE3シェルデトンネル（ベルギー）、イースタンハーバークロッシングトンネル（香港）の数例があるだけである。また、大水深（-27m）、大断面（幅35.2m×高さ8.6m）のトンネルであるとともに、構造上もいくつかの特徴がある。以下大阪南港トンネルの設計上の特徴について紹介する。

（1）合成構造

これまで我が国の大規模な沈埋トンネルでは、沈埋函を鉄筋コンクリート構造として設計・製作してきた。その場合でも函の外周に厚さ6～8mmの鋼板を配置しているが、あくまで防水を目的としたもので、恒常的な耐力部材としたものではなかった。今回、大阪南港トンネルでは、鋼板にずれ止めを配置し、コンクリートと一体化して挙動できるようにすることで鋼板を構造部材として評価する合成構造方式

（オープンサンドイッチ構造）の採用を検討した。

合成構造方式は、RC構造と比べると以下の特徴を有している。

- ① 構造的に靱性が高く、破壊までのエネルギー吸収が大きいことから、耐震性に優れている。
- ② 鋼板を強度部材として設計するため、鉄筋量を減少させることができ、製作期間が短くなるなど、経済性、施工性の面で有利となり得る。

合成構造方式については、当時我が国では道路橋などでの施工実績はあるものの、大規模な海洋構造物では事例がなく、世界的に見ても沈埋函への適用例は少なかった。また、基準類では「鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン」¹⁾があったが、これはあくまで中間段階のもので沈埋函の設計指針として適用するには限界があった。そこで沈埋函に合成構造方式を適用することに対する技術的信頼性を確認する目的で、はり部材裁荷実験、隅角部強度確認実験等の構造実験を実施するとともに「合成構造沈埋函設計指針(案)」²⁾を取りまとめ、沈埋函の設計を行った。

図-5に合成構造の模式図を示す。鋼板とコンクリートの一体性を確保するずれ止めにはスタッドジベル、スターラップおよび形鋼を用いている。沈埋函は外周面に鋼板を配置しているが、コンクリートとの密着性を考慮し、合成構造方式を採用するのは、下床版と側壁のみとし、上床版についてはRC構造で、上床鋼板には防水機能だけを期待することとした。また、道路部と鉄道部を隔てる隔壁についてもRC構造とした。したがって、横断面全体をみれば合成構造部材とRC部材からなる混合構造となっている。下床版、側壁の鋼殻は、コンクリート打設時は外型枠として、供用時は構造部材および防水材の役割を持つ。沈埋函に合成構造方式を採用することで後述するドックシフト工法が可能となり、工期の短縮が可能となった。

（2）可撓性継手

これまでの沈埋函同志もしくは沈埋函と換気塔と間の継手部には、沈埋函本体部と同様に沈設後鉄筋コンクリートで剛結する剛継手を使用されてきた。大阪南港トンネルでは、地震、温度伸縮、不等沈下等の影響により、継手の剛性を高くすると沈埋函に大きな応力が発生する恐れがあるため、継手の剛性

を下げ継手部で変形を吸収する可撓性継手を全継手で使用することとした。図-6に採用した可撓性継手を示す。函軸方向の圧縮力に対してはゴムガスケット、函軸方向の引張力に対しては連結ケーブル、函軸直角方向のせん断力に対しては鉛直、水平せん断キーがそれぞれある程度の変形を許容しつつ抵抗する構造となっている。ゴムガスケットは沈設、水压接合を行う際に止水材として機能し、接合後は止水機能に加え構造部材（圧縮材）としての機能を持たせている。沈設後、ゴムガスケットの内側にΩ型の二次止水ゴムを配置し、万一、ゴムガスケットから漏水が生じてでも函内に入り込まない構造になっている。

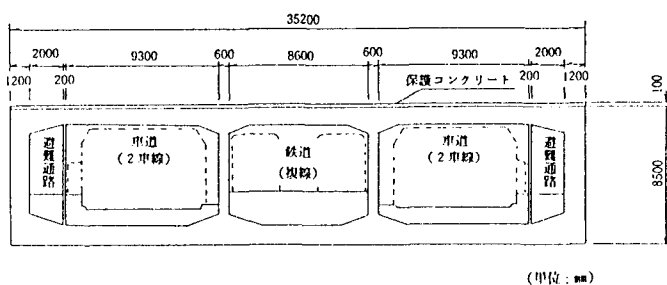


図-4 沈埋函標準断面図

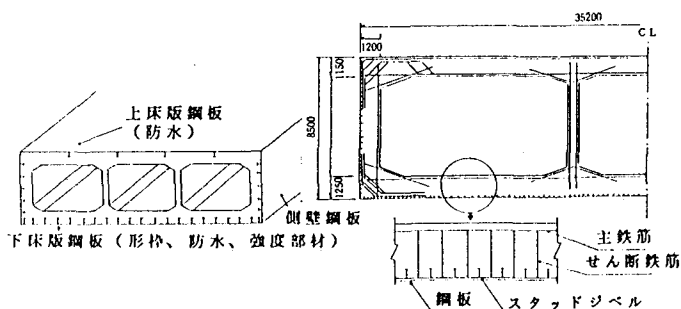


図-5 合成構造の模式図

4. 大阪南港トンネルの施工について

(1) 概要

大阪南港トンネルの施工にあたっては、咲洲地区の開発の進展に係る社会的要請および沈埋函製作に使用するドックの使用料等に係る経済的要請から工期短縮が重要な課題となっている。従って施工計画も工期短縮を念頭に置きつつ検討された。

大阪南港トンネルの建設手順を図-7に示す。本工事では、南港、港区両換気所用のケーソン製作をまず行った。南港換気所は、同時期に背後地域の埋立てが行われ洪積層に及ぶ圧密沈下が予想されたことから、供用開始までにできる限り沈下を促進させる目的で、また、港区換気所は、一号沈埋函接合の受け口であり、接合後は函内作業のための資材搬入路として使用するため、それぞれ早い時期に工事を開始した。換気所の製作は、施工性、工期、安全性

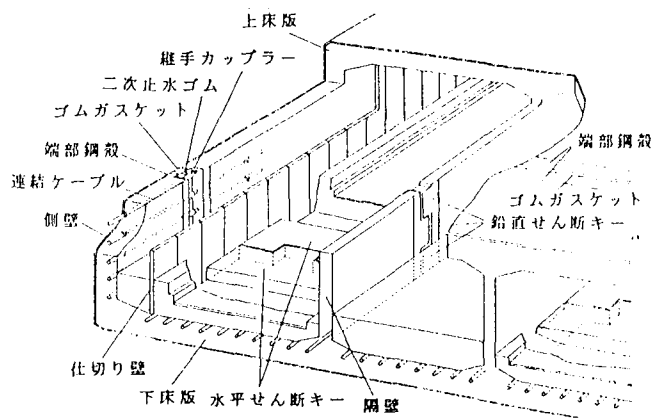


図-6 継手部の構造

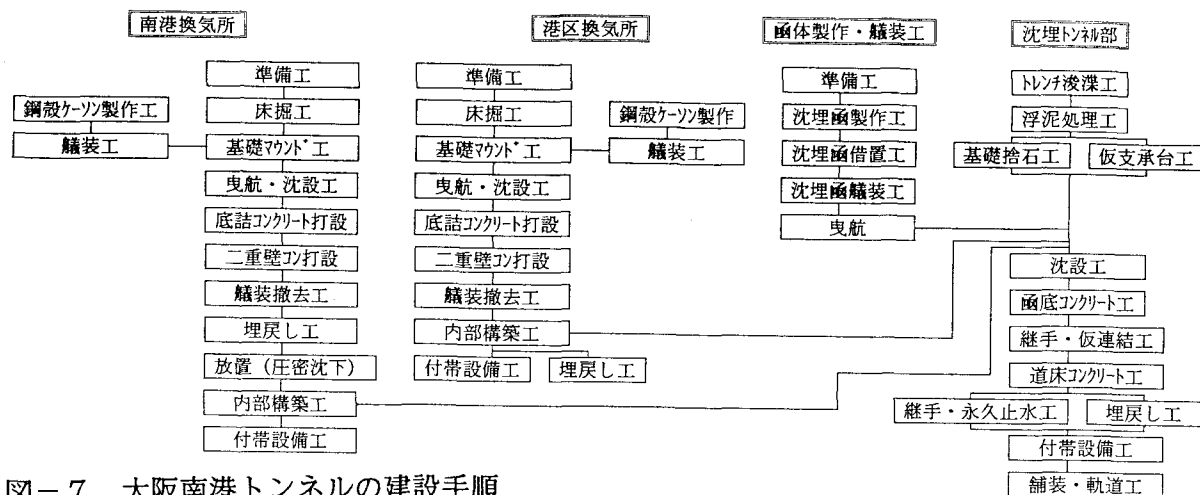


図-7 大阪南港トンネルの建設手順

表－２ 沈埋函製作の流れ（１～６号函）

		年	平成 3 年				平成 4 年												平成 5 年											
		月	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
本体工	鋼殻工場製作工																													
	造船用ドック 鋼殻組立工等						1～3号函									4～6号函														
	大型海洋構造物用ドック コンクリート工等																													
入渠・注水工																														

表－３ 沈埋函の製作工程（６号函）

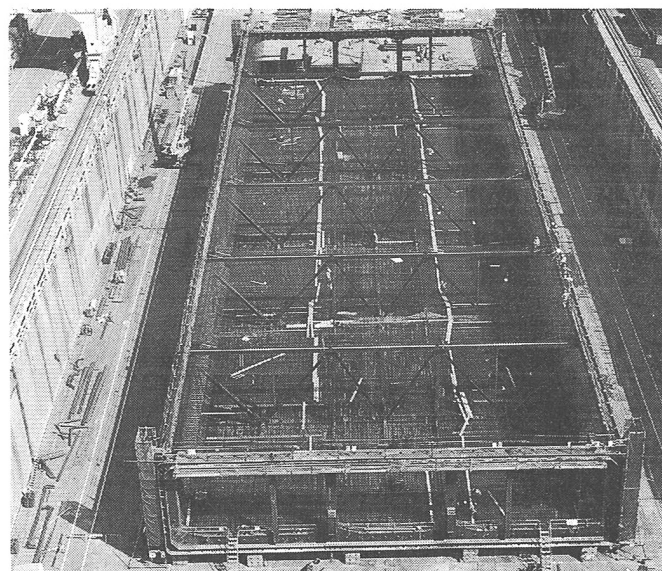
	年	平 成 4 年								平 成 5 年											
	月	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
鋼殻製作工	下床版	工場	製作				組立	鉄筋													
鋼殻組立工	側壁・隔壁	工場	製作				組立			鉄筋											
鉄筋工	上床版										鉄筋										
コンクリート工	下床版									6 54	3 2	1BL									
	側壁・隔壁										6 5	4 3	2 1B	L							
	上床版											6	5	4 3	2 1	BL					
鋼殻取付工	防水鋼板											工場	製作	組立							
	バルクヘッド																				
その他	モルタル注入																				
舗装工																					
入渠・注水工									ドック	シフト										出渠	

等を勘案し設置ケーソン工法を採用した。使用した鋼殻ケーソンの大きさは、南港、港区とも間口53m×高さ36m×奥行き37.2mある。鋼殻ケーソンは、大阪港の南隣りにある堺泉北港内の造船所ドックで製作し、曳航、据付けの後内部構築を行っている。

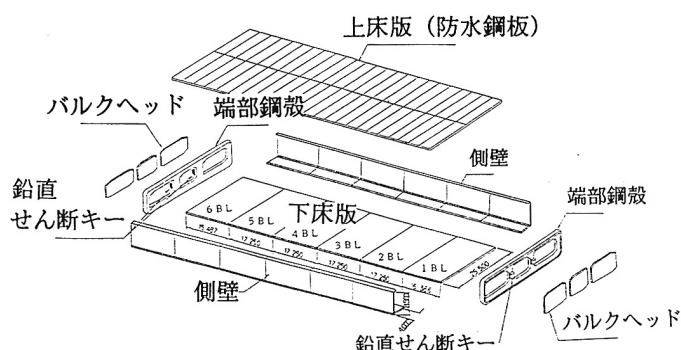
沈埋函は平成6年8月末現在、1～6号函が製作を完成し（7～10号函は制作中）、そのうち、1～5号函は沈設作業が終了している。製作は、換気所ケーソンと同じ堺泉北港内の造船所で行っている。陸上トンネル部は現在オープンカット工法で工事が進められている。

（２）沈埋函の製作について

大阪南港トンネルでは、沈埋函の製作を建設現場から約10km離れた堺泉北港内の造船用ドック（幅62m×長さ408m）、大型海洋構造物用ドック（幅180m×長さ135m）の二つのドックを使用して行っている。造船用ドックでは鋼殻の組立てを中心に、大型海洋構造物用ドックではコンクリート打設を中心とした作業を行っている。大型海洋構造物用ドックは沈埋函製作に先立ち幅を15m拡張している（120m→135m）。沈埋トンネル部の全長と両ドックの大きさ等を勘案し、沈埋函の長さと函数を決めている。両ドックでは、沈埋函をそれぞれ3函同時に製作できることから全10函を3、3、2、2の4サイ



写真－１ 鋼殻大組立



図－８ 鋼殻ブロック割り

クルで製作することとした（表－2）。沈埋函の製作工程を表－3に示す。工場、造船用ドック、大型構造物用ドックでの製作期間はそれぞれ 4.5ヶ月、2.5ヶ月、10ヶ月要する。これに準備工、材料手配等を含めると製作開始から大型海洋構造物用ドックを出渠するまで約20ヶ月要する。2サイクル目以降は工場および2つのドックでの工事を並行して実施できるため、全体工期の短縮が可能になる。コンクリート打設は構造上の制約から海洋構造物用ドックに限られるが、ここでの作業期間が10ヶ月と長く、全体工期を決める支配的要因となっている。従ってコンクリート工以外の工種を他の場所で行うなど、ここでの作業を減らすことが全体の工期短縮に直結する。以下、主な工種ごとに工事概要を述べる。

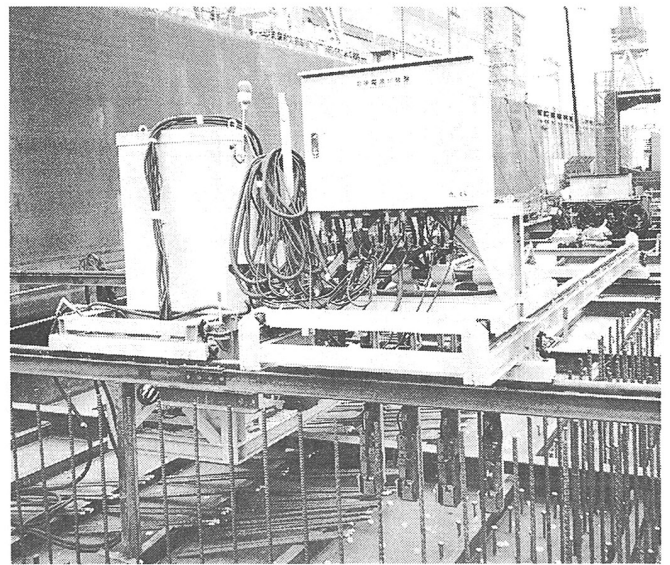
a) 鋼殻製作工

沈埋函本体部（下床版、側壁、端部）の各鋼殻は、日本各地の工場において小ブロックに分割して製作し、堺泉北港の造船用ドックに海上輸送後、大組立てを行っている（写真－1）。鋼殻のブロック割りを図－8に示す。上床版防水鋼板、バルクヘッドの取付けは大型海洋構造物用ドックでコンクリート打設後実施した。

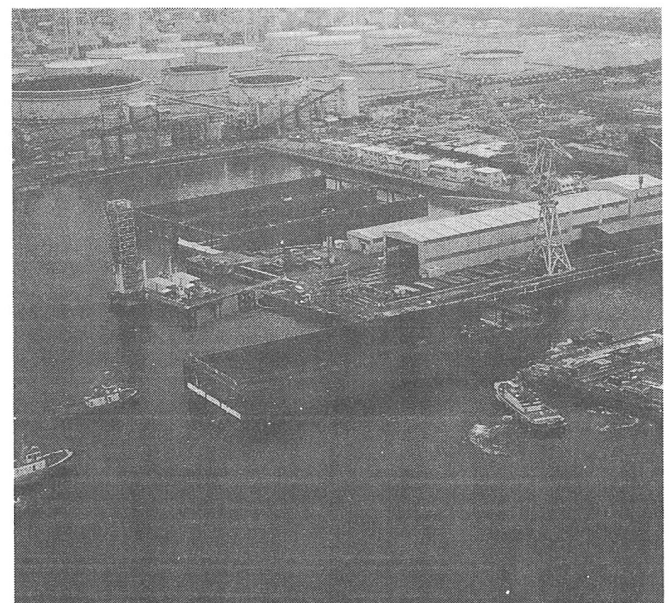
b) 溶殖工

本沈埋函は合成構造方式を採用していることから、鋼殻とコンクリートを一体化させる目的で、形鋼、スタッドジベル、スターラップをずれ止めとして施工している。このうちスタッドは通常の頭付きスタッドを、スターラップは異形鉄筋をそれぞれ鋼殻に溶殖しているが、両方で1函あたり10万本以上あり、手溶接でこれを全て施工することは困難である。このため、スターラップについては専用の4連装の溶殖機を開発し、工期短縮を図っている（写真－2）。

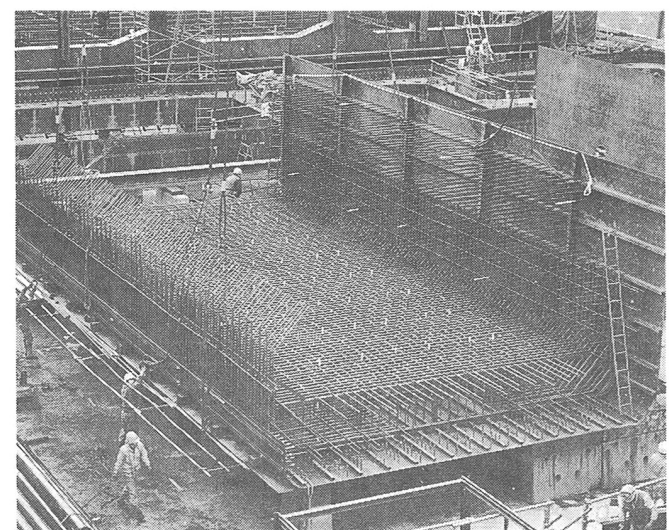
造船用ドック搬入前および鋼殻大組立て前にパネルへのずれ止め溶殖を可能な限り前倒しして実施することで造船用ドック、大型海洋構造物用ドックでの工期短縮ができ、その結果、全体の工期の短縮を図ることができた。さらに側壁パネルについては、大組立ての前に下向き作業でずれ止め溶殖を行うことができたため、横向き、上向き溶殖作業が減少し、作業負荷の軽減、安全性や品質等の向上が図れた。



写真－2 スターラップ溶殖



写真－3 ドックシフト工法



写真－4 側壁鉄筋の配筋

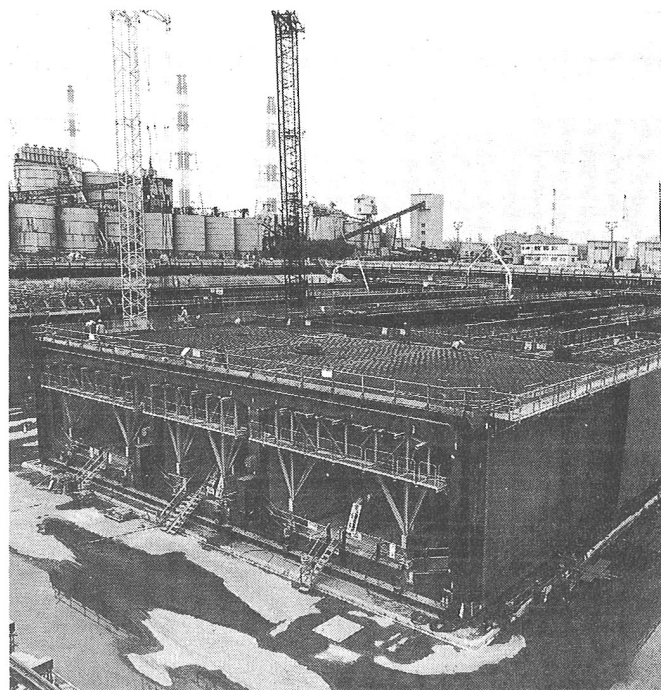
c) ドックシフト工

大組立を行い函形になった鋼殻を、造船用ドックから隣接する大型海洋構造物用ドックに曳航、移動する作業をドックシフト工法という（写真－3）。ドックシフト時に鋼殻の喫水は約60cmで、沈埋函の曳航には1,000～2,600馬力の曳船を使用している。また、ドックシフトの際の水圧、波圧による変形が生じないように、鋼殻には5ヶ所に横トラスを取り付けている（写真－1）。

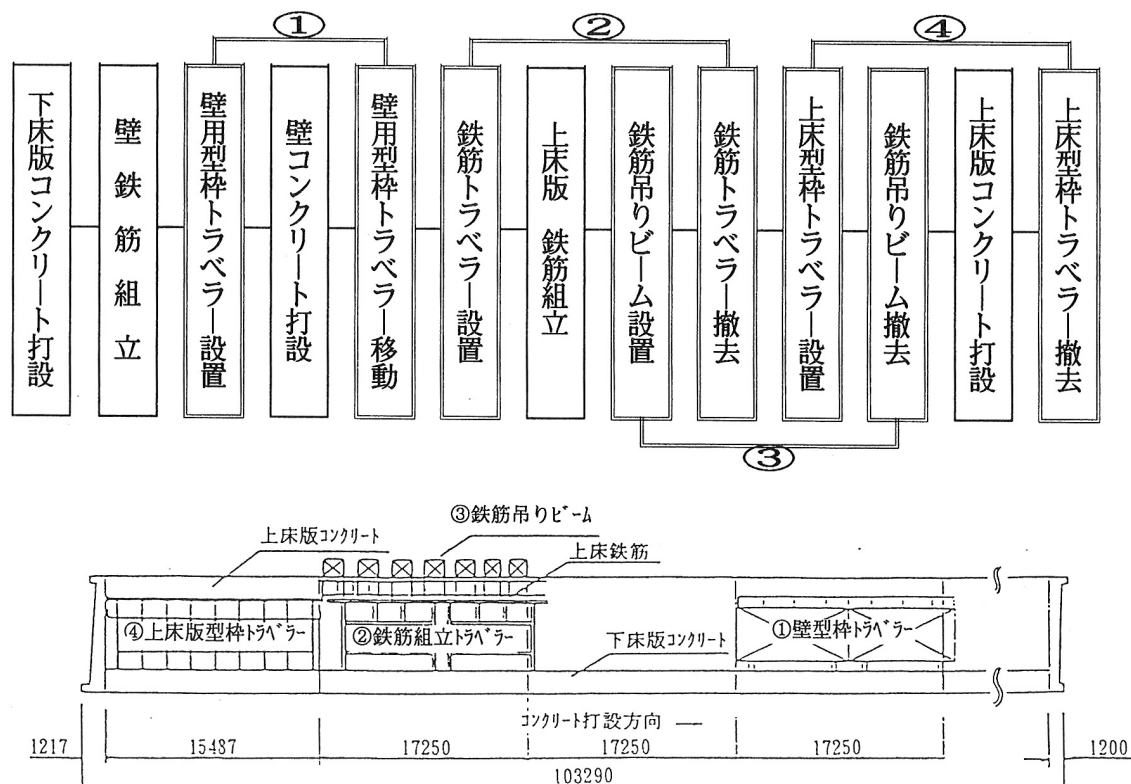
ドックシフト後の鋼殻は大型海洋構造物用ドックにてコンクリート工を進めるとともに、造船用ドックでは次のサイクルの沈埋函の鋼殻の製作を開始している。工場でのパネル製作、造船用ドックでの鋼殻組立、大型海洋構造物用ドックでのコンクリート打設と流れ作業で沈埋函を製作し、大型海洋構造物用ドックにおける一函あたりの占有時間を短縮することで全体の工期短縮を図っている。

d) 鉄筋工

本沈埋函は、合成構造方式を採用していることから、外側（鋼殻側）の主筋を省略した構造になっており、通常のRC構造の沈埋函に比べ、鉄筋組立て



写真－5 トラベラー



図－9 トラベラー運用手順

の工期が大幅に短縮されている。

一般に壁部における鉄筋組立工は鉄筋組立足場上の施工となるため、作業効率が悪く、しかも安全面での問題も多い。このため側壁部の鋼殻については合成構造方式の特徴を生かし、造船用ドック搬入時に寝かせた状態で仮置きし、側壁鉄筋の組立てを行った後、下床版部との溶接、大組立てを行った（写真－４）。これによって上記の課題を解決するとともにクリティカルとなっている大型海洋構造物用ドックでの工期が短縮された。

さらに上床版の鉄筋工においては、後述する鉄筋トラベラー等の使用により、工期の短縮を図っている。

e) 型枠工

沈埋函のコンクリートの打設は全長を6ブロック（1ブロックは約17m）に分割し、各ブロックを下床版、側壁・隔壁、上床版に分割して施工した。

沈埋函は同一断面でしかも施工長が長いため、工期短縮、精度等を考慮し、側壁・隔壁部型枠および上床版型枠として移動式型枠（トラベラー）を採用した（写真－５）。トラベラーはコンクリート打設用型枠を型枠台車で支持したもので本体、走行装置、型枠調整用ジャッキから構成されている。

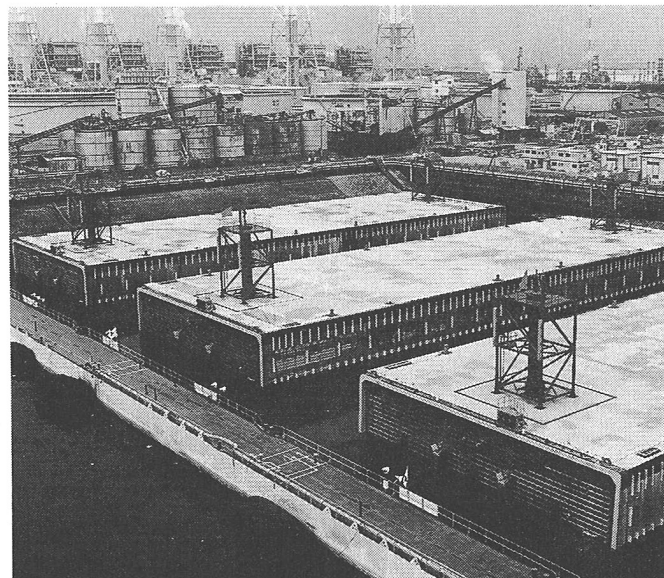
実際には工事の進捗に合わせ、側壁型枠トラベラー、上床版鉄筋組立トラベラー、鉄筋吊りビーム、上床版型枠トラベラーの順に組み合わせて使用している（図－９）。なお、各トラベラーは全体重量を軽減し、大型海洋構造物用ドックへの搬入・搬出を容易にするため全長を2分割できる構造とした。

f) コンクリート工

コンクリートの厚さは、上床版、下床版、側壁いづれも約1.2mあり、マスコンクリートとなる。このため、温度ひび割れ制御対策として、低発熱型セメントの使用、散水、日除けシートの展張による養生等の対策を講じている³⁾。

g) その他

コンクリート打設後、上床版鋼板（防水用）、保護コンクリート（沈埋函を船舶のアンカーから守る）、ゴムガスケット、電気防食、バラストタンク、バルクヘッド、各種艀装品等を取付け、沈埋函は完成する（写真－６）。



写真－６ 完成した沈埋函

5. おわりに

沈埋トンネル工法は、ドック等施工のしやすい場所で同時並行的に複数の沈埋函を製作し、現地に沈設することにより、現地での作業を軽減できることから、工期短縮、品質向上、安全性向上等が可能な工法である。加えて大阪南港トンネルでは、合成構造方式の特徴を生かしたドックシフト工法、トラベラーの使用等によりさらに工期短縮が可能となった。

今後、残りの沈埋函の製作、据付け、最終継手の施工、換気塔の製作等の工事をおこない、大阪南港トンネルは完成する。

最後に本沈埋トンネルの設計施工にあたっては、大阪南港トンネル技術検討委員会（委員長：長尾義三 日本大学教授）をはじめとする関係各位に貴重なご助言、ご指導を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会：鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン、1989年5月
- 2) 小島、河合、水谷、松尾：合成構造沈埋函設計指針の策定、コンクリート工学年次論文報告集、Vol115, No2、1993年
- 3) 小泉、三橋、住吉、信田：沈埋函コンクリート施工時の温度応力計測結果について、コンクリート工学年次論文報告集、Vol115, No1、1993年