

沈埋工法による大阪南港トンネルの施工

CONSTRUCTION OF OSAKA NANNKOU TUNNEL DESIGNED BY IMMERSSED METHOD

小島朗史*・竹村淳一*・中村 勇*・小泉勝彦**

Roushi OJIMA, Jun-ichi TAKEMURA, Isamu NAKAMURA and Katsuhiko KOIZUMI

This paper describes the outline and technical features of Osaka Nannkou Tunnel(ONT). ONT is an immersed tube type undersea tunnel, comprised of three tubes. One includes two tracks of railroad, while the remaining two tubes are for motor vehicles, two lanes each. Steel-concrete composite type structure is adopted as a structure of tunnel elements. this is the first time that this type of structure has been adopted in Japan.

Keyword: immersed-tube tunnel, steel-concrete composite type structure,

1. はじめに

運輸省第三港湾建設局では、大阪市の委託を受け、大阪市港区築港と住之江区南港を結ぶ海底トンネル「大阪南港トンネル」を建設している。大阪南港トンネルは、

- (a) 予め陸上で製作したトンネルエレメント(沈埋函)を海底で接合、埋設する「沈埋工法」を採用している。
 - (b) 道路と鉄道が一体となった大断面のトンネルである。
 - (c) 沈埋函の構造として、コンクリートと鋼の「合成構造」を採用した。
- 等の特徴を有している。

本報告は大阪南港トンネル整備事業のうち、沈埋函の設計・施工の概要について報告するものである。

2. 大阪南港トンネル整備事業の概要

2・1 基本計画

図-1に、大阪南港トンネルの計画位置図を示す。大阪市は、「大阪市総合計画21」に従い、複数の埋立地で構成される「テクノポート大阪」地区及び在来臨海地区を大阪の発展を先導する「新都心」とする事業を推進している。特に、大阪港最大の埋立地「南港地区」は、その中核と位置づけられ、現在、大阪ワールドトレードセンター、アジア・太平洋トレードセンター等の建設が急ピッチで進んでいる。

一方、南港地区と従来のお大阪都心部を結ぶ主要な交通路としては

- (a) 「港大橋」経由の高速道路

* 正会員 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所

** 運輸省第三港湾建設局神戸港工事事務所

の2本があるが、南港地区の開発に伴う自動車交通と旅客輸送の需要増加に対応するため、新たな交通路の整備が必要となる。そこで、南港地区と既存都心部を直結する「大阪港・港区～南港地区連絡交通路」が臨港道路と臨港鉄道として事業化した。

「大阪港・港区～南港地区連絡交通路」の基本条件は表-1に示すとおりである。

「大阪港・港区～南港地区連絡交通路」は、水深13m、幅400mの大阪港中央航路と泊地を約1kmに渡って横断することになる。このため、施工方法として、橋梁、シールドトンネル、沈埋トンネルの3工法について比較検討を行った。

(a) 橋梁案においては、桁下高DL+51m、中央径間800mの道路・鉄道併用の長大橋となり、縦断線形の制約からループを採用しないと既存の駅・軌道施設及び道路に接続することができないことが判明した。また、橋梁の構造はその中央径間から吊橋以外には考え難く、沈埋トンネル案よりも経済的に不利となった。

(b) シールドトンネル案については、工法上海底面から少なくとも10m程度の深度は確保する必要があるため、縦断線形の制約から鉄道を既存の駅・鉄道施設に接続するのが困難であることが判明した。また、トンネル断面を計3断面（道路トンネル2断面、鉄道トンネル1断面）確保する必要がある、工費的には3案の内でも最も不利である。

(c) 沈埋工法とは、トンネルを設置する海底にあらかじめ溝（トレンチ）を掘削しておき、陸上部で製作した沈埋函を製作場所から海上曳航し、順次沈設して接続することによりトンネルを建設する工法である。このため、沈埋工法トンネルは以下のような特徴を持つ。

- ① トンネル設置深さを船舶の影響の無い程度まで浅くでき、トンネル全長の短縮が可能である。
- ② 沈埋物はドライドック・造船所といった陸

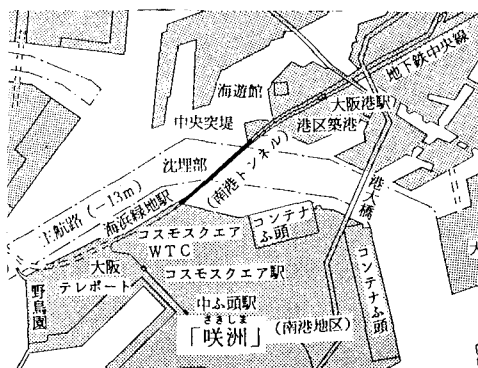


図-1 大阪南港トンネル位置図

表 - 1 基本条件

種 別	細 目	仕 様
道 路	道 路 規 格	第 4 種 第 1 級
	設 計 速 度	60 km/hr
	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 750 V
	軌 間 隔	1,435 mm
	車 兩 編 成	6 兩
	設 計 速 度	70 km/hr
航 路	航 路 限 界	D L + 51.10 m
	主 航 路 水 深	D L - 13.00 m
	対 象 最 大 船 舶	45,000 D/T
	最 小 土 被 り 厚	1.5 m

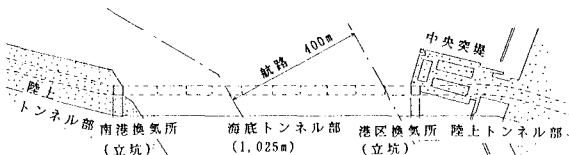
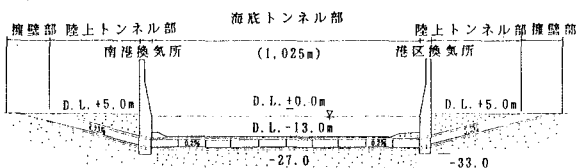


圖-2 計画平面図



圖一 3 計面縱斷圖

上部で施工するため、確実に大断面のトンネルの製作が可能である。

- 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。

これらの特徴をふまえ、沈埋トンネル案を検討したところ、施工延長が最も短く、既存施設との無理の無い接続が可能であることから線形的に最も有利であること。また、経済的にも最も有利であることが判明し、大阪港・港区～南港地区連絡交通路には、沈埋トンネルが最適であるという結論を得た¹⁾。

2・3．線形計画

図-2に大阪南港トンネルの計画平面図を、図-3に計画縦断面図を示す。大規模な沈埋トンネルの多くは、中央部の沈埋トンネル部、沈埋トンネルの両端に設置される換気塔及び海底トンネルへのアプローチ部となる陸上トンネル部の3つの部分によって構成されることが多い。大阪南港トンネルも図-2、3に示すように、約1Kmの沈埋トンネル部、換気塔部、両端600mづつの陸上トンネル部から構成されている。このうち、沈埋トンネル部及び換気塔部の延長約1,100mの部分を運輸省第三港湾建設局が大阪市より委託を受け施工を担当し、これらを除く陸上トンネル部については大阪市が施工を担当している。

3．沈埋函の設計

沈埋函の設計上の特徴として、以下の2点があげられる。

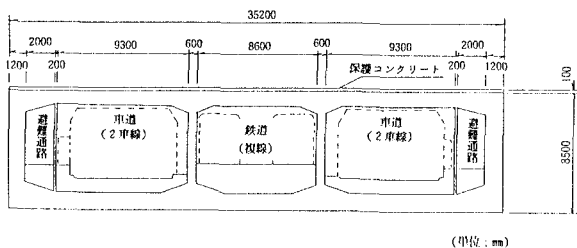


図-4 沈埋函標準断面図

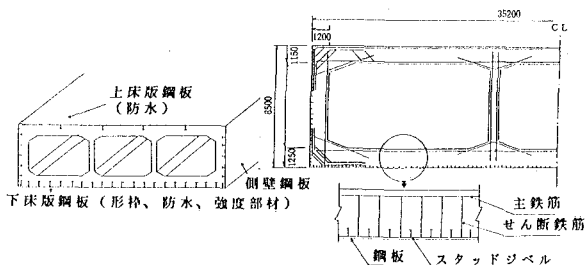


図-5 合成構造の模式図

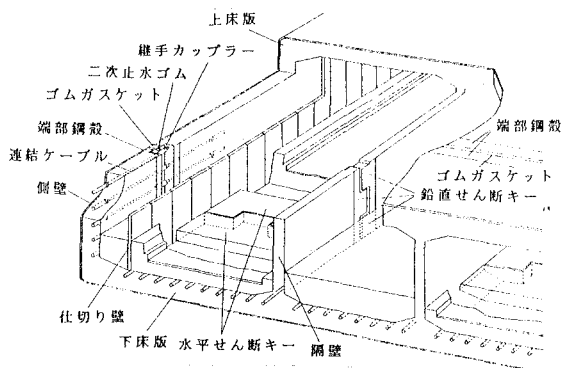


図-6 継手部の構造

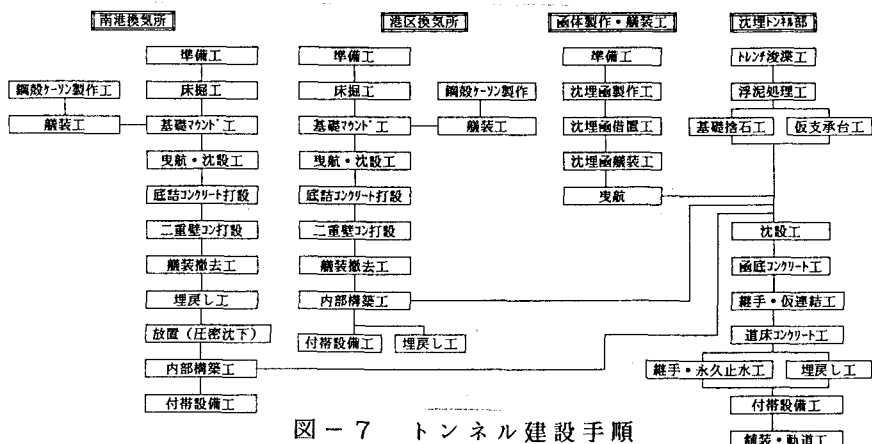


図-7 トンネル建設手順

(a) 合性構造方式の採用

(b) 全ての継手を可撓性(かとうせい)としたこと。

以下、上の2点について概略を述べる。

3・1．合成構造

これまで、沈埋函そのものは鉄筋コンクリート構造として設計・製作されてきた。その場合でも函の外周に厚さ6～8mmの鋼板を配置したが、それは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て配置されたものではなかった。今回、大阪南港トンネルでは、この鋼板も構造部材として評価することを考え、鋼板が外力に対してコンクリートと一体化して抵抗する「合成構造」を沈埋函の構造形式として採用する可能性について検討を開始した。しかしながら、道路橋などではこのような構造に実績があるものの、大規模な海洋構造物に合成構造を適用した例はなかった。また、当時の設計基準類を見ても「鋼・コンクリート合成構造の設計ガイドライン²⁾」があったが、これは中間段階のものであり、沈埋函の設計基準として適用するには限界があった。そこで、構造実験³⁾を行なうなど合成構造方式沈埋函の製作の可能性を調査し、以下のような結論を得た。

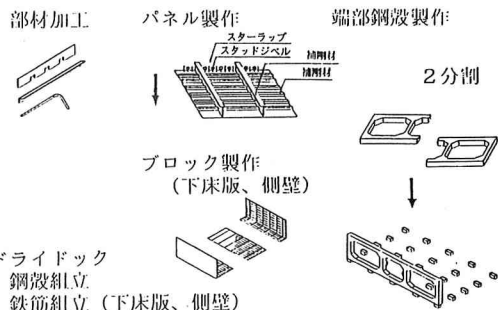
(a) 合成構造方式は、RC構造に比べ構造的に靱性が高く、破壊までのエネルギー吸収が大きく、耐震性に優れている。

(b) 合成構造方式は、鋼板を強度部材として設計するため、RC方式に比べ、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。

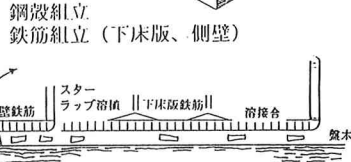
そこで、沈埋函の構造として「合成構造方式」を採用することとした。このような沈埋函の設計・施工には基準的なものが存在しないことから、「合成構造沈埋函設計指針(案)」を取りまとめつつ、沈埋函の設計を行った。図-4に沈埋函の標準断面を、図-5に合成構造の模式図を示す。図-4、5から解るように大阪南港トンネルの沈埋函は以下の特徴を持つこととなった。

(a) 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て合成構造とするのは、下床版と側壁のみとした。したがって、

(1) 工場製作



(2) ドライドック



(3) 大型海洋ドック

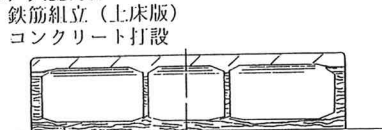


図-8 沈埋函の施工手順

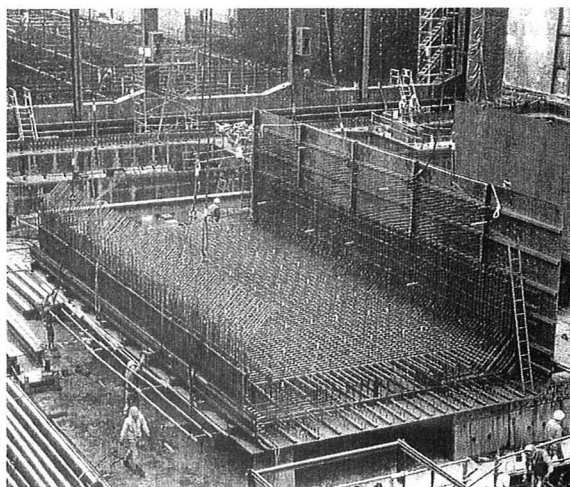


写真-1 鋼殻組立

下床版及び側壁については鋼板側に主鉄筋は存在しない。上床版については鉄筋コンクリート構造とし、鋼板は防水機能だけを期待する。中壁についても鉄筋コンクリート構造とした。したがって、横断面全体からみれば合成構造部材と鉄筋コンクリート部材からなる混合構造となっている。

(b) 鋼板とコンクリートは機械式のずれ止めにより一体性を確保する。ずれ止めにはスタッドジベル、スターラップ、および形鋼を用いる。スタッドジベル及びスターラップは鋼板にスタッド溶接されるものである。形鋼は、沈埋函の製作時に鋼殻に発生する応力を押さえるために必要なものであるが、ずれ止めの機能も兼用させている⁴⁾。

3・2．可撓性継手

沈埋函同士もしくは沈埋函と換気塔の継手として、剛継手と可撓性継手の2種類があり、沈埋トンネルの設計条件に応じた様々の解析を行い、継手の種類やその性能、配置が決定する。その際に、地震、トンネルの温度収縮等の影響が考慮することが多いが、大阪南港トンネルでは併せて沈下の影響も考慮している。

トンネルエレメントの継手を剛性の高い構造とした場合、地震力や不等沈下によってトンネルエレメントに大きな応力が作用する場合がある。このため、可撓性継手の使用を前提とし、剛継手と可撓性継手の5種類の組み合わせについて、地震応答解析、温度応答解析および沈下応答解析の結果を比較検討し、最も有利な継手の組み合わせを採用することとした。

その結果、可撓性継手を多く配置した方が構造系は有利となることが判明した。図-6に採用した可撓性継手の構造を示す。

4．大阪南港トンネルの施工について

4・1．全体工程

大阪南港トンネルの建設手順を図-7に示す。平成5年10月現在、沈埋函は1～6号函が完成し、そのうち、1～3号函は沈設作業が終了している。

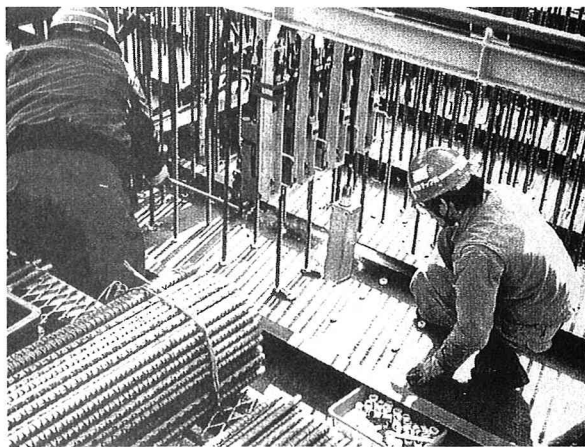


写真-2 スターラップ溶融

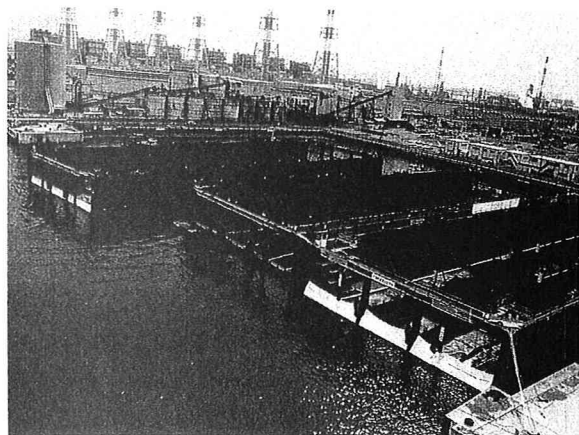


写真-3 ドック入渠

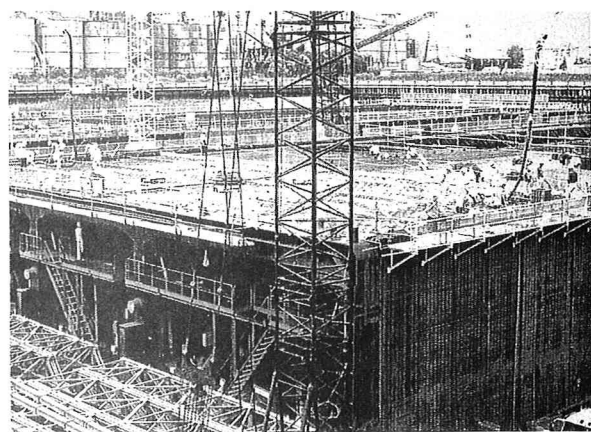


写真-4 コンクリート工

4・2．沈埋函の製作

沈埋函の製作は、大阪港の南隣にある堺泉北港内の造船所のドックで行うこととした。このドックではトンネルエレメントを3函同時製作できる。このため、全10函を3、3、2、2の4サイクルで製作することとした。沈埋函の施工手順を図－8に示す。

(a) 鋼殻の組立

沈埋函の外周、端部の各鋼殻は、日本各地の工場では小割りして組み立てている。ブロックに、この段階で可能な限りの鉄筋の組立て、ずれ止めの溶殖を実施することで、全体の工期の短縮を図っている。各ブロックは堺泉北港のドライドックに海上輸送され、「底版と側壁の鋼殻本体の組立」と「底版と側壁部の鉄筋の一部の組立」を行い（写真－1）、箱形の鋼殻を完成させる。

(b) スターラップの溶殖

合成構造においてずれ止めを兼ねるスターラップ鉄筋は、1函あたり約6万9千本あり、手溶接でこれを施工することは、困難である。そこで、専用の多連装の溶殖機を開発し、スターラップ鉄筋の溶殖作業を行った（写真－2）。

(c) ドックシフト

箱形になった沈埋函の鋼殻は、ドライドックに注水して浮上させ、隣接する大型海洋ドックに移動される（写真－3）。その後大型海洋ドック内を排水し、次のコンクリート工へと進む。

(d) コンクリート工

海洋ドック内では、残りの鉄筋の組立、コンクリートの打設が行われる。打設は全長(103m)を6分割し、下床版、壁部、上床版の順に施工する（写真－4）。

沈埋函のコンクリートの厚さは、1.15～1.25mであり、いずれもマスコンクリートとなる。このため、コンクリートの材料試験、断熱温度上昇試験、構造実験を行った。これらの結果から、温度ひび割れ制御対策として、セメントは低発熱型の高炉セメントの使用および散水と日除けシートの展帳による養生を行うこととした。

その結果、温度ひび割れの発生を止めることはできなかったが、ひび割れ幅を小さく押さえることができた。

(e) 沈埋函の完成

コンクリートの打設終了後、上床鋼板（防水用）の組立、バルクヘッド（トンネルエレメントの端部を閉鎖する部材）、曳航時に必要となる艀装品を取り付け、沈埋函は完成する。

5．おわりに

本トンネルの設計・施工の検討にあたっては、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深く感謝の意を表する次第である。

6．参考文献

- 1) 片岡真二ら：大阪海底トンネルの計画と設計、埋立と浚渫、No.153、PP10～23、1990
- 2) 土木学会：鋼・コンクリート合成構造のガイドライン、1989.3
- 3) Sinji KATAOKA et al:Osaka port undersea tunnel designed as a composite structure, ICCS-3, PP581～586, 1991.9
- 4) T.KATAYAMA et al:The connecting method of steel and concrete using long deformed bar studs, engineering foundation conference on composite construction II, 1992.6