

# サンドイッチ構造沈埋函工法の開発

## Development of Sandwich-Structure Submerged Tunnel Tube Construction Method

木 村 秀 雄<sup>\*(1)</sup>  
Hideo KIMURA

小 島 一 雄<sup>\*(2)</sup>  
Ichio KOJIMA

盛 高 裕 生<sup>\*(3)</sup>  
Hiroo MORITAKA

### 抄 録

“ドライドックを必要としないプレファブ工法”，“合成構造”，“信頼性の高い可撓性継手”をコンセプトに，新しい沈埋トンネル工法の実現に向けて1988年から研究開発に取り組んできた。初のサンドイッチ構造の沈埋函は神戸港港島トンネル(ドライドック施工)で実現した。更に2001年早春，那覇港トンネル工事において，北九州から沖縄に海上輸送したベローズ継手を内蔵した二重鋼殻函体に洋上で高流動コンクリートを施工して沈埋函を竣工し，本工法は完成した。

### Abstract

Since 1988, Nippon Steel Corporation has developed a new submerged tunnel tube construction method consisting of prefabrication method which does not required a dry dock, composite structure, and reliable flexible joint. The Kobe Minatojima Submerged Tunnel, the first steel-concrete sandwich tunnel tube, was constructed in the dry dock. And this development has completed with the completion of The Naha Submerged Tunnel, which the double-skin steel tube shell body including a bellows joint was towed to Okinawa from Kitakyusyu, and was placed high fluidity concrete while afloat early spring in 2001.

### 1. はじめに

沈埋トンネル工事で沈埋函の製作は施工方法によって鋼殻方式と鉄筋コンクリート方式とに大別される。鋼殻方式は工場で鋼殻を製作した後，これを進水させて海上で配筋し，内型枠，支保工を組み立て，コンクリートを打設して沈埋函を完成させる工法であり，鉄筋コンクリート方式は大規模なドライドックで鉄筋コンクリートの函体を製作する工法である。米国では前者，欧州では後者による製作が主流である。

我国もかつては鋼殻方式で沈埋函を製作したこともあったが，閉空間での煩雑なコンクリート施工という過酷な作業環境が嫌われ，大井のドライドックの建設を契機に欧州同様，後者による製作が殆どとなった。ところが近年の臨海部開発の進展に伴い，増大する沈埋函の需要に対して既存の製作用ドックは量的に十分でなく，またドライドックを新設しようとしてもトンネル計画地の近隣に用地を確保することが困難な状況になっている。

沈埋函の構造形式は前者の沈埋函には外型枠としての鋼殻に止水機能を期待しているが，後者でも防水用に沈埋函の外周には厚さ6～8mm程度の鋼板が使われている。いずれの方式による沈埋函でも，完成時の耐力は常時荷重に対して鉄筋コンクリートが受け持つRC構造として設計されており，沈埋函の外周にある鋼板は止水目

的だけに使われていた。しかし，大阪港咲洲トンネルでは設計の合理性を追及して国内では初めて鋼殻を構造部材とみなした合成構造(オープンサンドイッチ構造)の沈埋函がドライドック内で製作された。合成構造は鋼板の靱性によって破壊に至るまでの吸収エネルギーが大きく耐震構造物に適しており，その後の沈埋函構造の方向性を示すものとなった。

また，沈埋トンネルの耐震継手には東京港第二航路トンネル以来，水圧接合に用いたゴムガスケットを圧縮ばねとして，PCケーブルを引張りばねとして施工継手部に可撓性継手を構築する工法がとられ，既に8例のトンネルを数えている。この間，設計地震動の見直しや沈下対策に伴うより大きな変形能の要求には，大型化の限界に近いゴムガスケットを開発することで対処してきたが，特に川崎航路トンネルで発生した水圧接合時のゴムガスケット圧壊事故を契機に，有機材料であるゴムガスケットを高い圧縮ひずみ状態のままで用いる可撓性継手の長期耐久性の信頼性が疑問視され，新たな継手構造の開発が待たれていた。

新日本製鐵はこれら沈埋函の施工方式，構造形式，継手構造の技術的課題に対し“ドライドックを必要としないプレファブ工法”，“合成構造”，“信頼性の高い可撓性継手”をコンセプトとする新しい沈埋トンネル工法の実現に向け研究開発に取り組んできた。本報はその成果である“サンドイッチ構造沈埋函工法”について報告する。

\*<sup>(1)</sup> 鉄構海洋事業部 営業部 マネジャー  
東京都千代田区大手町2-6-3 ☎100-8071 ☎03-3275-7694

\*<sup>(2)</sup> 鉄構海洋事業部 設計部長

\*<sup>(3)</sup> 鉄構海洋事業部 部長

## 2. サンドイッチ構造沈埋函工法

沈埋函の構造形式を図1に示す。鋼コンクリートサンドイッチ構造とすることで、鋼殻によるトンネルの水密性の確保のみならず、鉄筋、型枠、支保工を全て鋼殻工で代替し、経済性、省力化、工期短縮を実現し、かつ鉄筋コンクリート方式の沈埋函製作で不可欠であったドライドックを不要にする。

本工法の基本的な沈埋函製作の施工フローを図2に示す。沈埋函の鋼殻を工場で適当な大きさのブロックに分割して製作する。これらを陸上ヤードの出荷用のスキッドウェイ上で大組立し、完成した鋼殻函体を半潜水式台船に引き出して固縛し、コンクリート施工現場まで海上輸送する。現場到着後、固縛材を撤去し台船に注水して鋼殻函体を浮上させてコンクリート施工岸壁まで曳航し、係留状態で高流動コンクリートを打設して沈埋函を完成させる。

また、トンネルの可撓性継手を施工継手と分離して沈埋函内蔵形式とし、函体鋼殻の製作時に完全な止水性を保証できる変形能の高い鋼製部品として工場内で鋼殻に組み込むことで、品質管理の確実な信頼性の高い可撓性継手を実現する。

本工法の要素技術である“鋼コンクリートサンドイッチ構造”、“高流動コンクリートの充填施工”、“ベローズ式継手”、“沈埋函の洋上施工”について一連の技術開発を行った。

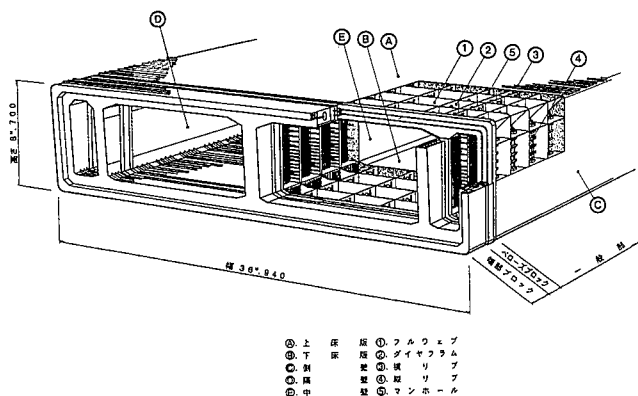


図1 サンドイッチ構造沈埋函の鋼殻構造

### 2.1 鋼コンクリートサンドイッチ構造

#### 2.1.1 サンドイッチ構造沈埋函の基本構造形式

沈埋函の製作・施工方法を考慮して、施工時の鋼構造系と完成時の合成構造系とを力学的に整合させる、図3に示す鋼コンクリートサンドイッチ構造を沈埋函部材の基本構造とする。

沈埋函部材は全くの無筋構造であり、圧縮・引張り補強部材として機能する両側の鋼板を、せん断補強鋼板（兼圧縮・引張り補強鋼材）として機能するフルウェーブ（部材軸方向）とずれ止め（兼せん断補強鋼材）として機能するダイヤフラム（部材軸直角方向）とで連結する。

コンクリートはこれらの鋼板で囲まれた閉断面の隔室内に密実に充填され、抜け出しが防止される。圧縮・引張り補強鋼板には、鋼殻の製作・輸送時の剛性確保、コンクリート打設時の補強のために、形鋼（山形鋼、平鋼）等による補剛が必要となるが、これらは完成系ではずれ止めとして鋼とコンクリートの一体性向上に寄与する。

#### 2.1.2 鋼コンクリートサンドイッチ構造の設計法

鋼コンクリートサンドイッチ構造の特性は、既往の実験、研究等で明らかにされつつあったが、体系的に設計法としてまとめられたものはなかった。そこで、二重鋼殻構造研究会（幹事新日本製鐵）から（社）土木学会に研究委託を行い、鋼コンクリートサンドイッチ構造研究小委員会（岡村甫委員長）において“鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案）”<sup>1)</sup>が作成され、サンドイッチ構造沈埋函の設計が可能になった。

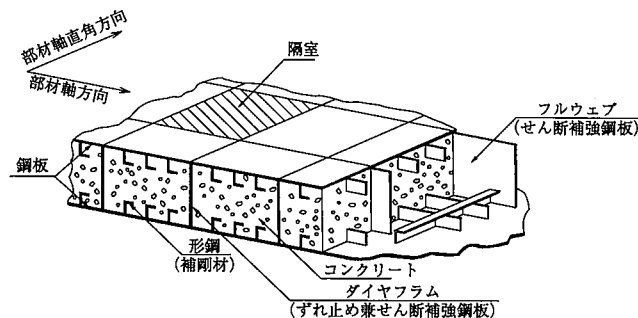
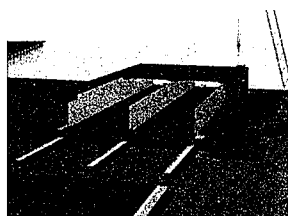
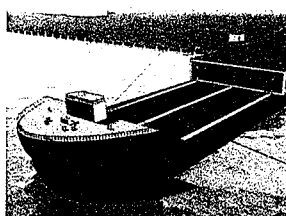


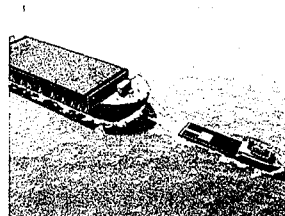
図3 サンドイッチ構造部材



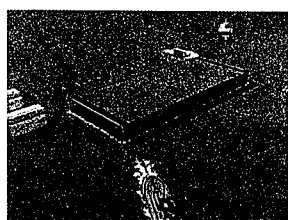
(1)鋼殻函体製作  
陸上ヤードで鋼殻函体を製作する



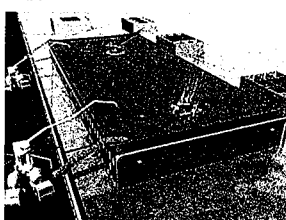
(2)台船積込  
完成した鋼殻函体を半潜水式台船に積込む



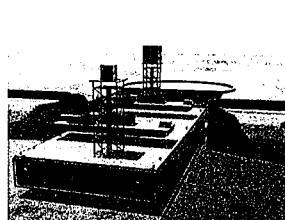
(3)輸送  
コンクリート施工岸壁まで輸送する



(4)進水  
台船に注水して鋼殻函体を進水する



(5)高流動コンクリートの浮遊打設  
岸壁に係留し、浮遊状態で高流動コンクリートを施工する



(6)罐装、沈設  
完成した沈埋函に罐装、沈設する（従来工法と同じ）

図2 サンドイッチ構造沈埋函工法の施工フロー

なお、この設計指針(案)で特筆すべきは以下の2点である。

- (1)コンクリート打設時に鋼板に発生する応力の設計上の取扱い  
供用時応力が引張となる場合は、施工時応力の影響は初期ひずみを有する鋼板の引張り強度の問題として評価でき、終局強度に対して十分な塑性変形能を持つ鋼板の初期ひずみの影響は少なく、これを無視しても差し支えないとした。また、圧縮応力に対しては鋼板の後座屈強度の算定式を提示している。

## (2)ずれ止め量の決定法

ずれ止めが離散して配置されるため、全ての位置において合成状態を得ることは難しいが、鋼板の軸方向力が完全合成時の分布に近くなるようにずれ止めを配置することが望ましい。このため、簡便で実用的に曲げモーメントがゼロとなる断面と最大曲げモーメント作用断面との間の区間に配置されるずれ止めのせん断耐力の総和を、鋼板の軸方向力の変化量よりも大きくするとした。なお、過去の実験から形鋼ずれ止めのせん断伝達耐力の算定式を提示している。

## 2.2 高流動コンクリートの充填施工

鋼コンクリートサンドイッチ構造では、鋼殻内に打ち込むだけで通常のコンクリート施工で不可欠な締固め作業を不要にするコンクリート材料の開発とその施工法、ならびにそれらを前提として充填を確実にする鋼殻構造細目の考案が必須であった。

### 2.2.1 自己充填性高流動コンクリートの開発

新日本製鐵鉄鋼研究所鋼構造研究開発センターでは、経済的な汎用材料である高粉末度の高炉スラグと高性能減水剤とを適切に用いることにより、流動性に優れ、かつ高い材料分離抵抗性を有する自己充填性高流動コンクリートを実用化している<sup>2)</sup>。この粉体系自己充填性高流動コンクリートのサンドイッチ構造の実工事への施工性を立証するために、新日本製鐵君津製鉄所構内の電気暗渠建設工事に適用した<sup>3)</sup>。その後、この自己充填性高流動コンクリートは、多摩川・川崎航路両沈埋トンネルの最終継手鋼殻への充填工事に採用され<sup>4)</sup>、沈埋函製作工事に於いて一般に普及した。

### 2.2.2 充填工法と構造細目

サンドイッチ構造沈埋函の実物大の隔室模型への充填実験を繰返し、高流動コンクリートの要求性能を明らかにし、図4に示す工法と構造細目を考案した。

#### (1)コンクリートの要求性能

高流動コンクリートの受入れ検査時の要求性能として、

スランプフロー値：SF=65±5(cm)

Vロート試験値：V=10±5(s)

を規定した。

#### (2)充填補助筒工法

特殊なコンクリートの圧入装置を用いることなく、簡便な施工補助具として打設孔、空気孔に高さ1mの筒をセットし、これにオーバーフローする高流動コンクリートのヘッド分の圧力で隔室内の隅々へ密実に充填することが可能である。

#### (3)打設孔、空気孔の最適配置

水密性を必要とする函体外側鋼板では溶接による復旧を必要とする空気孔を必要最小限とすべく、最適な打設孔と空気孔の数、配置を充填実験から定めた。

#### (4)鋼殻構造細目

鋼殻製作時に必要なカット、スカラップを充填性の向上に最大限活用する。最も充填難度の高い上側鋼板部の山形鋼には通孔を配

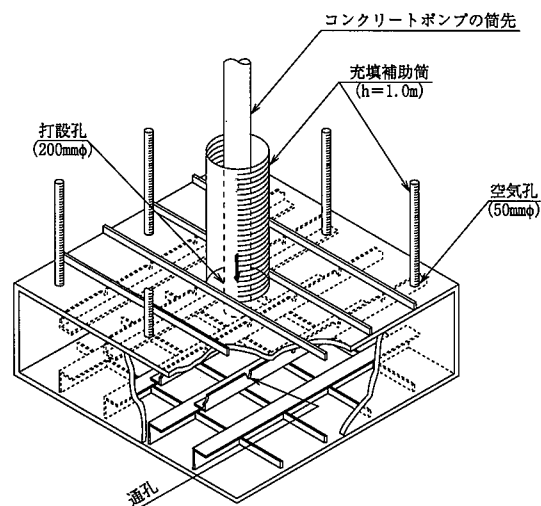


図4 充填補助筒工法と鋼殻構造細目

置し、また垂直補剛材の上端には必ず空隙を設けるなど充填性に留意した構造細目を定めた。

## 2.3 神戸港港島トンネル沈埋函製作工事

神戸港港島トンネルは、神戸市ポートアイランドと既成市街地とを結ぶ神戸大橋に続く第二の道路として整備された全長1.6kmの海底トンネルである。トンネルの沈埋部520mは6函の沈埋函で構成される。沈埋函の構造は図5に示すように下床版がオープンサンドイッチ構造、壁・上床版が沈埋函構造では初のサンドイッチ構造であり、サンドイッチ構造部には高流動コンクリートを充填施工した。写真1にコンクリート施工のためにドックシフトをする沈埋函鋼殻を示す。ドライドック内では表1に示方配合を示す粉体系自己充填性高流動コンクリートを施工した<sup>5)</sup>。

初のサンドイッチ構造沈埋函の設計、施工にあたっては、多岐にわたる調査、検討ならびに確認試験が行われたが、特に以下の二つの実験では各々設計上、施工管理上で意義ある成果を得た。

### 2.3.1 形鋼ずれ止めの耐力実験<sup>6)</sup>

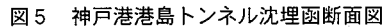
実際に沈埋函の鋼殻で用いるサイズの補剛用形鋼のずれ止めとしての耐力は、図6に示した実験方法によって確認すると、前述の“鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)”による耐力の算定値が、必ずしも安全側ばかりの推定をあたえないことが認められた。そこで、設計では実験結果から形鋼のサイズ毎に設計耐力を規定して安全性の確認を行うことにした。

### 2.3.2 未充填部を有するサンドイッチ部材の曲げおよびせん断特性<sup>7)</sup>

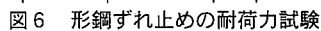
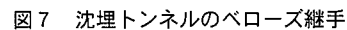
自己充填性高流動コンクリートの施工管理では、小容量の中性子線源を用いた間隙測定器による非破壊検査を実施する。検出される未充填部の許容深さを規定する目的で、未充填深さをパラメータにサンドイッチ部材の耐力を確認する一連の実験を行った。これらの実験結果に対する考察から、未充填深さの許容値を5mmとする施工管理基準値が定められた。

## 2.4 ベローズ式継手

ベローズは主に配管分野で温度収縮や地震時の変位吸収を目的に従来から広く用いられてきた高い変形能力を有する伸縮継手である。設計手法、製作時の品質管理、長期間の防食法も既に確立されており、これを従来型の耐震継手に代わる耐久性と信頼性に優れた可撓性継手として沈埋トンネルに応用する。



| スランプフロー<br>(cm) | 粗骨材容積<br>(l/m³) | W/(C+Sg)<br>(%) | s/a<br>(%) | 単位量(kg/m³) |     |     |     |     | SP/(C+Sg)<br>(%) |
|-----------------|-----------------|-----------------|------------|------------|-----|-----|-----|-----|------------------|
|                 |                 |                 |            | W          | C   | Sg  | S   | G   |                  |
| 65±5            | 300             | 30              | 50         | 176        | 176 | 411 | 778 | 777 | 1.3              |



沈埋トンネルへのベローズの適用に当たっては、FEM弾塑性解析と縮小モデルによる力学特性、疲労特性等の基礎的な実験的研究を経て、実工事にに向けた実寸大のモデルでの製作、検査方法と低サイクル疲労特性の確認を行った。

水深20m程度の外水圧の作用する矩形の沈埋トンネル断面に、**図10**の軸方向に±100mm程度の変形能を目標に設計するとベローズには14mm程度の板厚が必要となる。こうした大径肉厚のベローズは配管分野で殆ど実績が無く、いかに製作するかが問題であった。

沈埋函用ベローズ式継手は図8に示すように板厚14mm、山高250mm、山の内径が板厚の3倍、山数2山であり、材質は沈埋函鋼殻本体と同じ溶接構造用圧延鋼材(SM490Y)とした。なお、止水に対する従来の安全性の考え方を踏襲し、同一断面にベローズを二重に配し、またコーナー部は応力集中を防ぐラウンド形状とした。

- 82 -

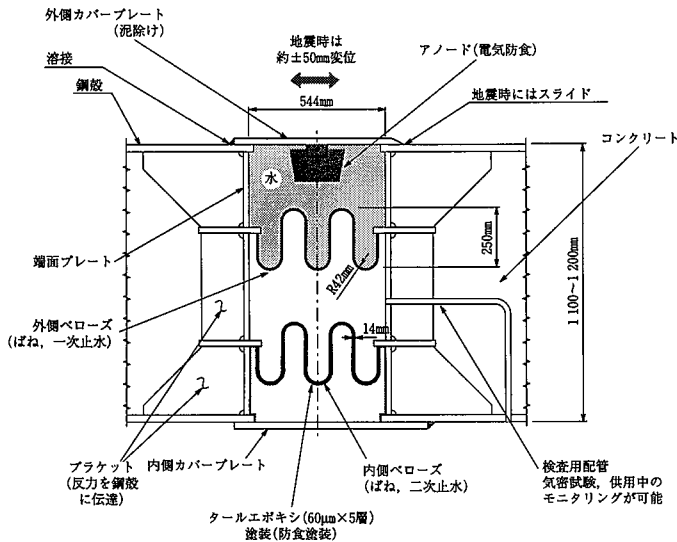


図8 沈埋函用ベローズ継手の断面図

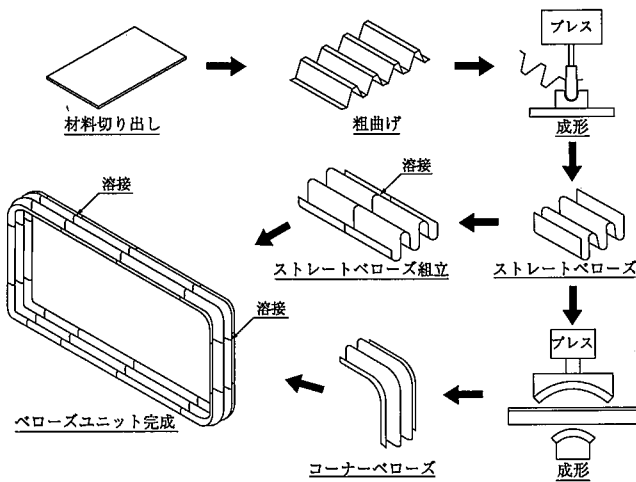


図9 沈埋函用ベローズの製作フロー図

る。

ベローズ式継手は内蔵型であることから、従来型の継手と異なり地震時の函体の発生断面力が最小となるような位置に配置することも可能である。

#### 2.4.2 低サイクル疲労特性

沈埋函のベローズ式継手は温度変化や水位変動、地震時の変位応答による各疲労損傷に対し、Miner則による累積疲労損傷率で照査する。疲労損傷の殆どを占める地震時の変位応答では、ベローズの山部や谷部は子午線方向に塑性化するいわゆる低サイクル疲労を受ける。止水性を要求されるベローズの疲労亀裂の発生を実寸大のモデルで試験により確認した。実験は写真2に示すようにコーナー部を取り出して行い、レベル2地震動(±43mm)とその2倍の振幅の地震動(±86mm)を想定した二種類の振幅で2,000kN疲労試験機により実施した。実験結果を表2に、またそれらを適用する疲労曲線に重ねて図10に示す。実験値はASMEの疲労曲線上にあり、よい適合性を示している。

なお、14mm程度の厚板では殆ど懸念はないと考えられるが、冷間曲げ加工時の熱処理による靱性低下を防止する目的で、鋼材にシャルピー吸収エネルギーの規定を付与した。これは低サイクル疲労後のそれにも効果が期待できる。

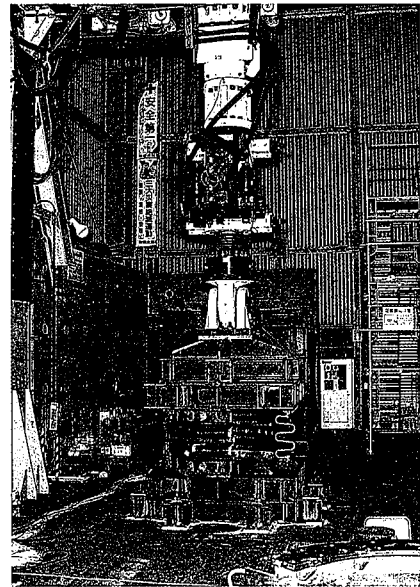


写真2 沈埋函用ベローズの疲労試験

表2 沈埋函用ベローズの疲労試験結果

|        | 変位(mm) | 亀裂発生回数 | 設計回数 |
|--------|--------|--------|------|
| レベル2   | ±43    | 700    | 10   |
| レベル2×2 | ±86    | 140    | -    |

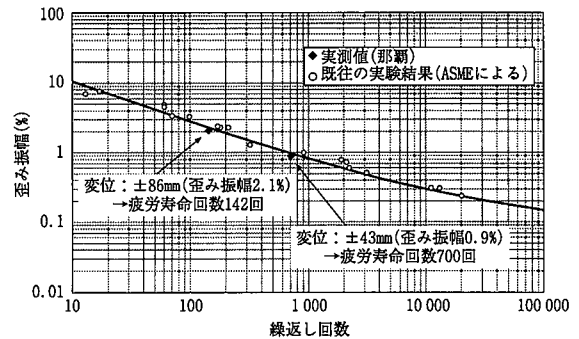


図10 ASMEの疲労曲線と試験結果

#### 2.5 沈埋函の洋上施工

サンドイッチ構造沈埋函は、配筋、型枠、支保工を全て鋼殻工で代替しているため、過去の鋼殻方式と異なり、施工の煩雑さが皆無となったばかりでなく、

- ・二重鋼殻構造のため、鋼殻だけの状態でも函体の剛性が高い
  - ・コンクリート打設計画は隔室(約10m<sup>3</sup>)単位の組み合わせで設定でき、任意の隔室群に任意の順序で施工できる
  - ・床版より壁を先行して打設することが可能で、施工の初期段階から函体の函軸方向の曲げ剛性を効果的に大きくできる
- などから、変形量もかつての鋼殻方式によるそれより小さく、かつその制御が容易な沈埋函構造である。

洋上施工時の変形ではコンクリートの自重による函断面内のそれは内空の余裕代の範囲で十分に小さく特段の対策を必要としないが、最も弱軸となる函軸鉛直方向の変形は水压接合に関わることから極力押さえることが望ましい。従って変形を小さくする打設順序でコンクリートを打設することがその対策であるものの、変形の予測法に課題があった。

鋼殻方式で施工された川崎港トンネルの沈埋函製作工事では、函軸方向の撓みは高々50~70mm程度であったが、弾性床土の梁に

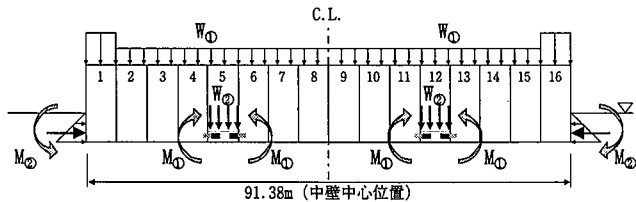


図11 洋上施工時に函体に作用する荷重

コンクリートの自重だけを外力として予測した沈埋函の変形は、その量ばかりか推移の傾向までも現実のそれらと符合しなかった<sup>8)</sup>。

そこで、図11に示すように鋼殻やコンクリートの自重( $W_1$ ,  $W_2$ )の他に荷重としてコンクリート硬化時の発熱に伴う温度上昇、降下による下式で表す温度モーメント( $M_1$ )を考慮し、函体の変形の要因を温度変化中の断面剛性の変化が変形として累積されるとする力学モデルで表現した。

$$P_i = A_i \times E_i \times \alpha \times \Delta t_i \quad (1)$$

$$M_i = \sum (P_i \times h_i) \quad (2)$$

ここで、 $A_i$ : 断面積( $m^2$ )

$E_i$ : ヤング率(tf/ $m^2$ )

$\alpha$ : 線膨張係数(1/ $^{\circ}C$ )

$\Delta t_i$ : 温度上昇量( $^{\circ}C$ )

$h_i$ : 函体中立軸からの偏心量(m)

解析では、コンクリートの断熱温度上昇量曲線、大気温、函内温度、コンクリートの練り上がり温度、海水温、ならびに部材と外気間の熱伝達率を仮定して、函断面の各部材毎に1次元FEM熱伝導解析から温度変化モデルを設定し、これらと施工工程から同工事の変形解析を行い、実測データと比較したところ、施工管理上必要な精度内でおおむね再現できるとの見通しを得た。なお、この力学モデルは理論上膨大なケース数の施工工程から適切な打設順序を抽出できるようにプログラム化して施工検討に供している。

## 2.6 那覇港トンネル沈埋函製作工事

那覇港トンネルは那覇ふ頭地区の湾口部を横断し、那覇空港と波の上地区とを結ぶ海底トンネルであり、空港側立坑と三重城側立坑間724mの沈埋トンネル区間は8函の沈埋函で構成される。沈埋函は鋼殻製作中の写真3から分かるように完全なサンドイッチ構造断面である。

沈埋函製作工事は、本土で製作した鋼殻を沖縄まで台船で輸送して、サンドイッチ構造の沈埋函を洋上施工で製作した。本トンネルの可撓性継手として沈埋トンネルでは初めてベローズ式継手を採用している。写真4はこのベローズブロックの製作中の状況と完成したブロックの沈埋函鋼殻への搭載状況である。新日本製鐵若松鉄構海洋センターで完成した総重量約4400t(艀装他含む)の沈埋函の鋼殻は、1台53tの移動能力を持つエアークASTER114台を用いて半潜水式台船“オーシャンオルカ”に積み込み(写真5)、沖縄に向かった。

その後、那覇港内にこの鋼殻を係留し、2か月間の高流動コンクリートの充填施工(写真6参照)で沈埋函を完成させた。なお、高流動コンクリートの施工は図12示すように、函軸方向に左右対称に8ブロックづつに分け、自重により函体に発生する曲げモーメントが最小となるブロックの順序で施工の初期段階から函体の函軸方向の曲げ剛性を効果的に大きくすべく壁部を先行して打設し、その後も函軸方向のブロックの順序は同じにして下床版、上床版の順で打設した。

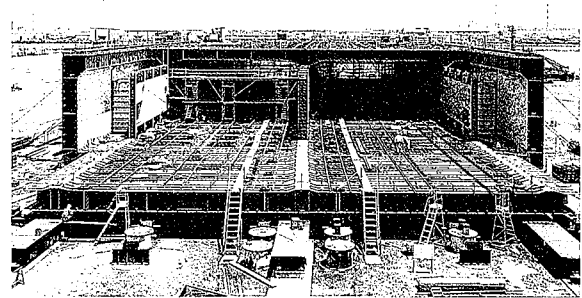
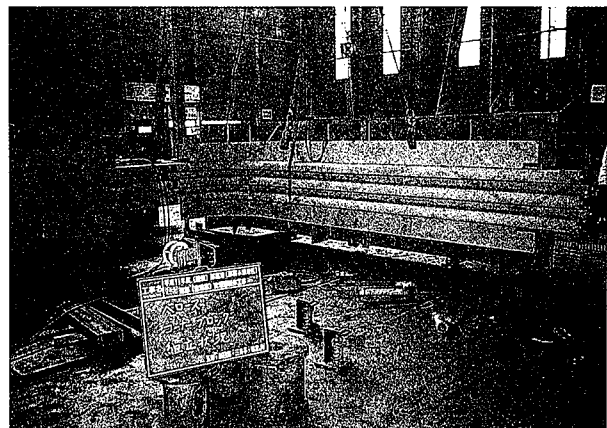
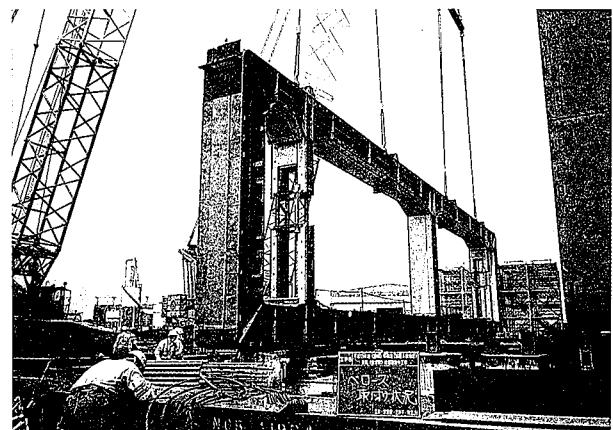


写真3 製作中の那覇港トンネル沈埋函鋼殻



(a)ベローズブロック製作状況(コーナー部)



(b)ベローズブロック搭載状況

写真4 ベローズ式継手

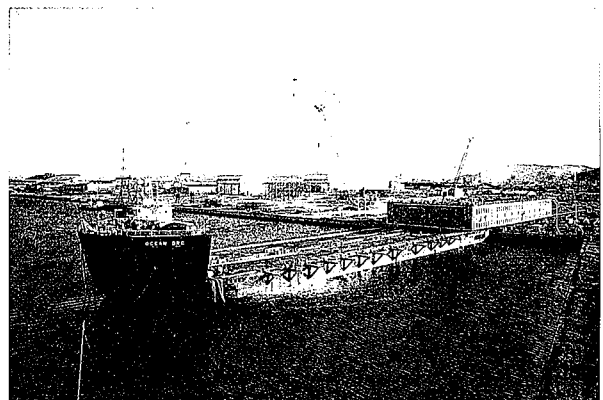


写真5 沈埋函鋼殻の積み込み

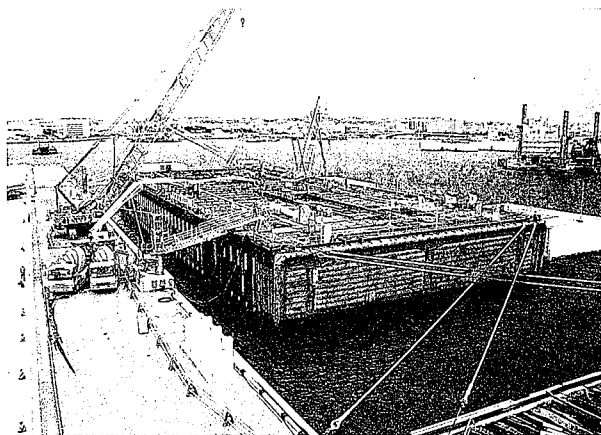


写真6 沈埋函の洋上施工

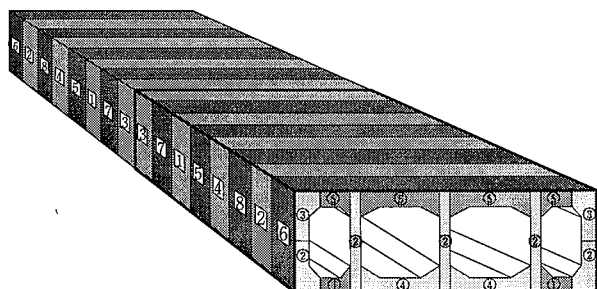


図12 函体へのコンクリート打設順序

函体内外には総数200点余の計測点を設け、施工期間中日照による変形の影響のない深夜に、19回に及ぶトータルステーションによる3次元測量を行い、施工中の函体の変形状況をモニターして、変形シミュレーション結果と対比しながら不測の変形が生じていないかを確認して慎重に施工した。図13に函軸方向の撓み変化量の履歴とシミュレーションとの比較を示す。高々20mm程度の撓み変化にもかかわらず、シミュレーションはほぼ現象を再現している。なお、この程度の撓みでは函端面の倒れは1mm程度の微小な値であり水圧接合に全く支障はなく、洋上施工ゆえの沈埋函の出来形に対する懸念は不要である。

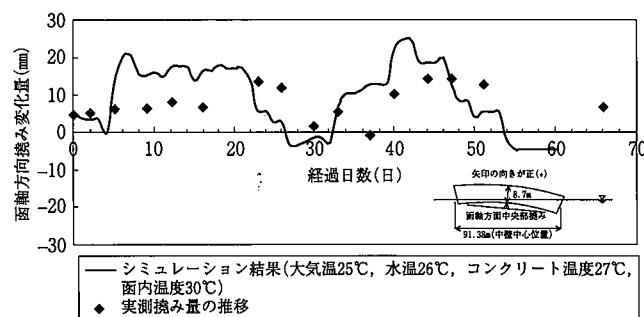


図13 函軸方向の撓み変化量の履歴とシミュレーションとの比較

### 3. おわりに

サンドイッチ構造の設計法と高流動コンクリートの充填施工法の確立は、既存のRC構造に代わる省力化プレファブ工法として新しい構造形式と施工法を可能にした。大阪港夢洲トンネルでは、沈埋函だけでなく、トンネル立坑の鋼殻ケーソンにも適用され建設が進んでいる。

サンドイッチ構造、高流動コンクリートの充填施工、ベローズ式継手、沈埋函の洋上施工を要素技術とするサンドイッチ構造沈埋函工法は港内や湾内、あるいは国内外にとどまらず、世界中の何処へでも沈埋トンネルを作りたい海峡や港に鋼殻を運び、ドライドックの制約を受けることなく、沈埋函を海上で製作することを可能にしたのである。

#### 参考文献

- (1) (社)土木学会:鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案). コンクリートライブラリー73. 1992
- (2) 小門 武, 三宅正人:スラグ系締固め不要コンクリートの基礎特性と充填性実験. コンクリート工学年次論文報告集, Vol.13, No.1, 1991, p.875-880
- (3) 義若秀人, 木村秀雄, 小門 武, 赤星哲也:ハイブリッド式躯体構造の実証試験工事. 土木学会第46回年次学術講演会概要集. 第6部, 1991, p.248-249
- (4) 横山正史, 柄川伸一, 田中充夫, 松岡 彰, 小門 武:鋼殻構造の沈埋トンネル最終継手部への超流動コンクリートの適用性検討. 土木学会第48回年次学術講演会概要集. 第 部, 1993, p.248-249
- (5) 小門 武, 鈴木雄三, 輪湖建雄, 佐藤正一:沈埋トンネル・フルサンドイッチ構造部への充填を対象とした粉体系高流動コンクリートの諸特性について. コンクリート工学年次論文報告集. Vol.17, No.1, 1995, p.191-196
- (6) 木村秀雄, 小島一雄, 清宮 理:試験方法による山形鋼ズレ止めの耐荷力の相違. 土木学会第48回年次学術講演会概要集. 第V部, 1993, p.20-21
- (7) 清宮 理, 木村秀雄, 小島朗史:未充填部を有するサンドイッチ部材の曲げおよびせん断特性. 港湾技術研究所報告. 1996.6
- (8) (社)日本港湾協会:川崎港海底トンネル工事誌. 1981.4