

# 東京港臨港道路南北線 沈埋函沈設について

小川 賢

関東地方整備局 東京港湾事務所 第二建設管理官室 (〒136-0082 東京都江東区新木場1-6-25) .

国際戦略港湾である東京港は多数の貨物が取り扱われており、コンテナ物流の幹線道路である第二航路海底トンネルの交通混雑が頻発している。また、新たな国際海上コンテナターミナルの整備による更なる周辺交通量の増大が予想され、交通量の増大に対応した円滑な物流を確保するため臨港道路南北線の整備事業を実施している。加えて、2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピックのアクセス道路としての利用も計画されているため、当事業では施工条件、施工性、工程から総合的に判断し沈埋トンネル工法を採用した。本論文では、施工概要および限られた工程の中での沈埋函沈設から接合完了までの施工管理について述べる。

キーワード 臨港道路, 沈埋函, 施工管理, 工程

## 1. 臨港道路南北線の概要

本事業の対象とする有明地区及び中央防波堤地区の陸上部は、既に港湾関連用地として利用されており未利用地が少ないことから、極力アプローチ部を短くすることが求められる立地環境である (写真-1参照)。

海上部に関しては東京港第二航路の航行範囲の確保が必要になる。また、交通量の増大に対応した円滑な物流を確保することに加え、2020年東京五輪のアクセス道路としての利用も計画されている。これにより臨港道路南北線には①陸上部アプローチ部の短縮②航路への影響③必要工程期間の3つの項目を考慮して基本的な検討が行われた (表-1参照)。

航路を横断する道路としては、シールドトンネル、沈埋トンネル、橋梁等の構造が一般的であるが、検討の結果、本事業において総合的に有利と判断された沈埋トンネル工法を基本構造として採用した。(図-1参照)



写真-1 東京港臨港道路南北線整備位置

構造	検討結果	評価
橋梁	アプローチ部が長くなるため、利用可能な土地面積の狭い本事業では実現性が低い。	×
シールド	航路への影響という面では優れているが、土砂の受入量の上限によっては工程が収まらない可能性がある。	△
沈埋函	航路への影響は多少出るが、アプローチ部線形の自由度が高いことから、工程面で優れている。	○

表-1 各種構造の比較

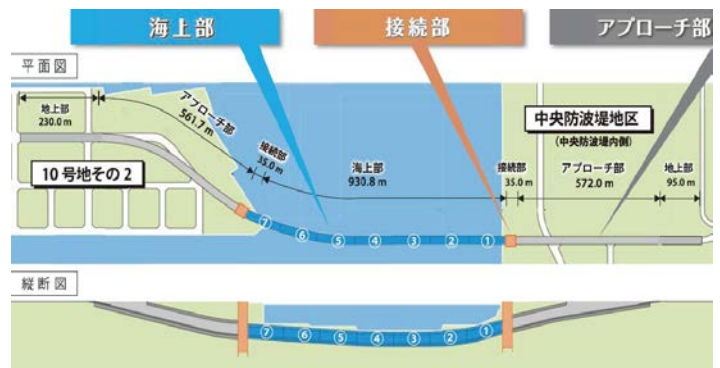


図-1 南北線平面・縦断イメージ図

## 2. 沈埋トンネルの施工手順

沈埋トンネルの施工はトンネル部となる場所を床掘り、基礎マウンド設置 (図-2参照)、沈埋函の製作、沈設

(据付) (図-3参照), 埋戻し (図-4参照) の手順で行われる。



図-2 床掘・基礎マウンド設置

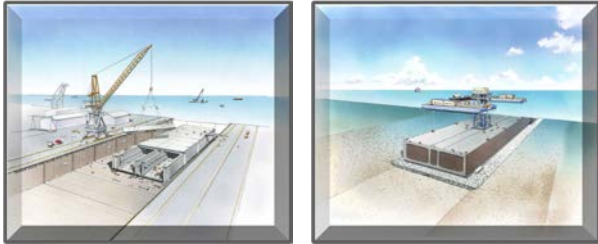


図-3 沈埋函製作・沈設



図-4 埋戻し・完成

### 3. 沈埋函の製作

通常同規模の工事では約7～10年の工期を必要とするが、限られた工程の中、施工着手からおよそ4年で工事完了を目指すことになることから、沈埋函の構造は、最も函体製作工期が短い鋼殻内部にコンクリートを充填するフルサンドイッチ構造 (写真-2参照) を採用した。

沈埋函の鋼殻製作 (大組立) は東京湾内の造船所ドックで計画した。ドックでの製作期間、ドックの使用可能期間を考慮し、鋼殻本体を約80ブロックに分割し全国の工場で行って製作 (写真-3参照) を行い、それらをドックに輸送して大組立 (写真-4参照) を行うことで、ドックでの製作期間の短縮 (表-3参照) を図った。

後続函の鋼殻製作にドックを明け渡すため、大組立の完了した沈埋函をドックから出渠 (写真-5参照) させ、東京港と千葉港の岸壁まで曳航し、岸壁に係留させる。

岸壁係留後、鋼殻内部にコンクリートを打設する浮遊打設工法 (写真-6参照) により鋼殻内にコンクリートを充填した。

浮遊打設完了により沈埋函の製作が概ね完了となる。

工種	内容	施工場所
鋼殻ブロック製作	沈埋函鋼殻を約80ブロックに分割して製作する	工場 (全国)
大組立	鋼殻ブロックの大組立を行う	ドック
浮遊打設	沈埋函の鋼殻内にコンクリートを打設する	岸壁

表-2 沈埋函製作工種

条件	工種	工程
ドック内で全て施工を行う場合	鋼殻ブロック製作	先行函
		後続函
	大組立	先行函
		後続函
浮遊打設	先行函	
	後続函	
施工場所を分けた場合	鋼殻ブロック製作	先行函
		後続函
	大組立	先行函
		後続函
浮遊打設	先行函	
	後続函	
ドック内で全て施工を行う場合		
施工場所を分けた場合		← 短縮期間 →

表-3 沈埋函製作時の工程短縮検討



写真-2 フルサンドイッチ構造



写真-3 鋼殻ブロック製作



写真-4 大組立状況 (ドック内)





写真-5 鋼殻製作（大組立）完了時（ドック出渠前）



写真-6 浮遊打設状況

ため、作動確認と本沈設を同日中に実施した。

作動確認開始から沈設完了（ハッチ解放）に06：00～23：00までかかる計画（図-10参照）となったが、事前検討を十分に行ったことにより、施工時は滞りなく想定通りの時間で施工が完了し、荒天日前に艀装品を撤去することで艀装品損傷のリスクを回避した。



写真-7 沈埋函二次艀装（浮遊打設場所）



写真-8 沈埋函曳航（沈設前）

#### 4. 沈埋函の沈設（据付）

沈埋函の沈設（据付）前に、沈設時の施工および施工管理に使用する艀装品等を、浮遊打設場所または沈設場所所で取り付ける。沈設はウインチタワー1基、沈設ポンツーン2基を用いるワンタワーポンツーン工法を採用した（写真-7参照）。

沈埋函の沈設（据付）は、曳航された沈埋函の内部のバラストタンクに海水を注水（図-5参照）し、鉛直、水平方向の位置を調整しながら沈降、前進を繰り返し沈設する。沈埋函が基礎マウンドに着底した後、既設函の連結ジャッキを新設函に挿入（図-6参照）し、新設函を引き寄せて沈埋函の両端面を密着させる。既設沈埋函と新設沈埋函の間の海水を排水し、水圧により沈埋函を接合（水圧接合）（図-7参照）させる。

2019年4月に実施した5号函沈設時の施工の概要を述べる。沈設は大きく分けると二次曳航、沈設の2つの工程より構成される。二次曳航は船橋市の京葉ふ頭から沈設場所まで、約3ノットの速度で曳航をされる（写真-8参照）。曳航は一般航行船舶の妨げとならないよう、比較的船舶の航行が少ない夜間（23：00～翌06：30）（図-8参照）に実施した。

沈埋函沈設は沈設機器の作動確認と本沈設の2段階に分かれる。先行函の1～4号函は作動確認、本沈設をそれぞれ1日の作業としていたが、5号函では沈設後に荒天が予想されていた（図-9参照）ため、二次曳航前に受発注者で協議を行い、従来の工程だと沈設用の艀装品撤去前に荒天日を迎え、艀装品損傷のリスクがあると判断され

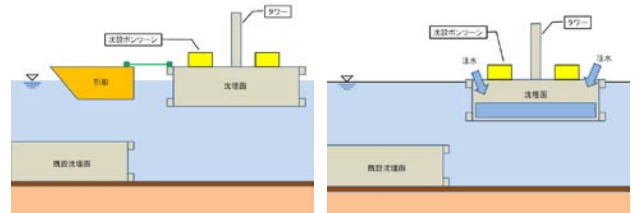


図-5 沈埋函曳航・海水注水

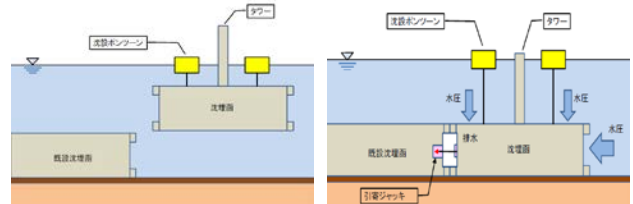


図-6 沈埋函沈設・連結ジャッキ挿入

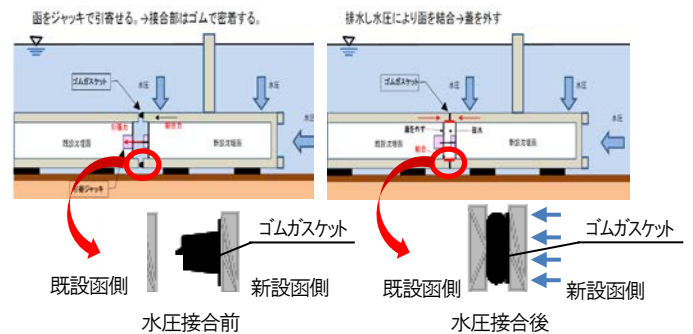


図-7 水圧接合

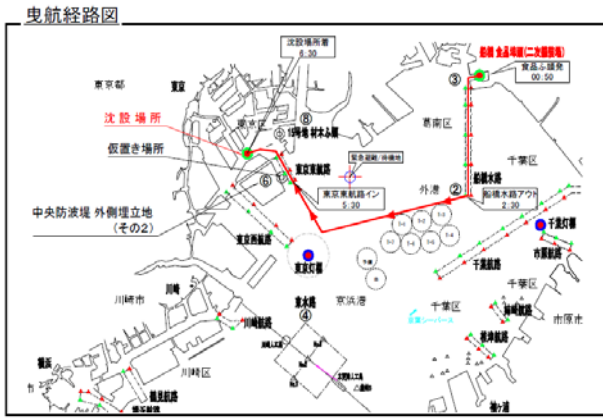


図-8 5号函二次曳航経路

沈設に関連する作業内容	施工場所	4月8日	4月9日	4月10日	4月11日	4月12日	4月13日	4月14日	4月15日
二次曳航準備	二次積装場所(船橋)								
二次曳航	二次積装場所(東京)								
沈設準備	沈設場所								
総合作動確認	沈設場所								
沈設・水圧接合	沈設場所								
積装品撤去	沈設場所								

図-9 沈設スケジュール

5号函作動確認	(計画)4月12日(実施)4月13日実施																		
	5時	6時	7時	8時	9時	10時	11時	12時	13時	14時	15時	16時	17時	18時	19時	20時	21時	22時	23時
準備作業																			
バラスト水注水																			
沈埋函沈設作業 (沈設・前進・浮上・後退)																			
潜水調査																			
一体型仮支承台玉掛け																			
一体型仮支承台位置決め・据付																			
一体型仮支承台玉外し																			
沈埋函浮上・後退																			
バラスト水排水																			
片付け																			

図-10 5号函沈設スケジュール

### 5. 沈埋函沈設の精度確保に向けた検討

沈埋函は国内での施工実績が少なく、港湾工事共通仕様書で品質・出来形の管理基準が定められていない。このような特殊な構造物において施工管理を行うにあたり、本事業では港湾工事共通仕様書の他に道路橋示方書や過去の沈埋函施工実績等から、本事業における独自の品質・出来形管理基準を作成し管理を行っている。

また、先述したとおり通常約7～10年で行う施工をお

よそ4年で施工するという非常に厳しい工程の中において、沈埋函を沈設し接合を完了させるためには、沈埋函沈設の高い据付精度が求められる。このため、沈埋函の沈設にあたり、発注者、設計者、施工を実施する4つの工事受注者で「立坑・沈埋函の沈設精度に係る協議会」を設け、各沈埋函毎に沈設精度の方針を決定するとともに、沈設後の据付出来形の確認を行い、方向修正の有無を検討している。(2019年4月までに全7函中5函(1～5号函)の沈設が完了しており、検討の結果5号函の方向修正を行った。(詳細は後述))

沈設精度の方針を決定するにあたり、沈埋函製作の出来形計測結果から、沈設後に想定される据付位置を3次元シミュレーションにより図化し、最終函となる6号函が隣接する5号函と7号函に問題なく接続されるか確認した。6号函が接続されない場合の許容値を決定し、許容値を超える場合は、沈設した沈埋函の方向修正を実施することとした。なお、方向修正を実施することは別の作業工程が追加されることになるため、極力減らすことを目標に7函中最大3回までとすることとした(図-11参照)。沈設後は、実際の据付出来形の測量結果を基に、再度3次元シミュレーションを用いて、6号函沈設への影響を確認している。

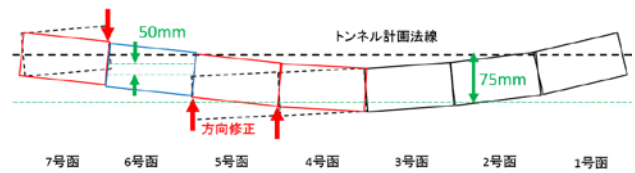


図-11 方向修正概念図

### 6. 沈設時の施工管理

沈埋函の沈設精度は出来形管理基準より、沈埋函法線に対する据付誤差は最大で75mmまでとしているとともに、「立坑・沈埋函の沈設精度に係る協議会」で設定した許容値を満足する必要がある。

沈埋函沈設の施工管理は、函体測位システム、端面探査装置、ストロークセンサー等により管理する。沈設する前日には、沈設時の施工ステップと同様の作業を行う作動確認を行う。このとき、既設の沈埋函や基礎となる面と沈埋函の底面との離隔などを潜水土により計測し、函体測位システムや端面探査装置で計測された数値の妥当性を確認のうえ、本沈設に臨む。

### 7. 方向修正の施工方法

沈埋函の接合時に、沈埋函の製作誤差、ゴムガスケットの品質のばらつき等の原因により、沈埋函軸方向にずれが生じ、トンネル法線軸方向の許容範囲から逸脱する

(図-12参照) 可能性がある。接合時に法線軸が許容範囲から逸脱した場合、トンネル法線軸に対する函軸の方向修正を行うこととしている。

本事業で行う方向修正は沈埋函側部の片側にジャッキを取付け、仮支承台をジャッキで押すことで反力により沈埋函を引っ張る方法とした(図-13参照)。5号函の方向修正では、函体西側にジャッキを取付け、方向修正を行っている(図-14参照)。

これは従来の方法(図-15参照)だと、ジャッキの取付位置が沈埋函内部の接続面であるため、バルクヘッドの撤去やジャッキの取付け等で約1か月の期間を要するのに対して、本事業で採用した方法であれば方向修正ジャッキを事前に製作しておくことにより、ジャッキ取付け～方向修正まで1～2日で完了するといった利点(表-4参照)があるため、この方法を採用した。

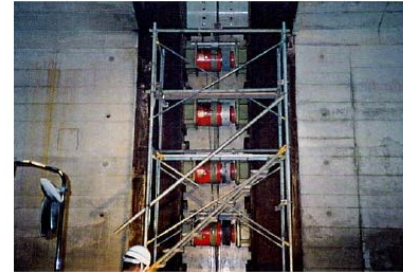
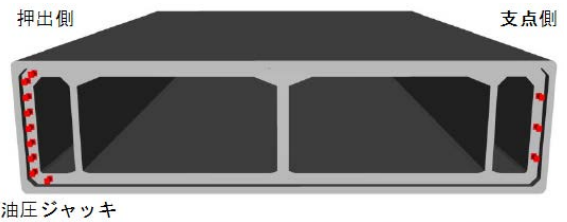


図-15 従来の方向修正方法

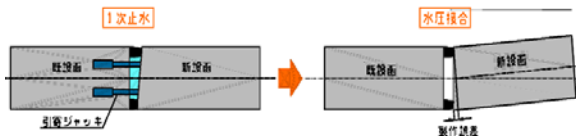


図-12 水圧接合後に生じる法線ずれ

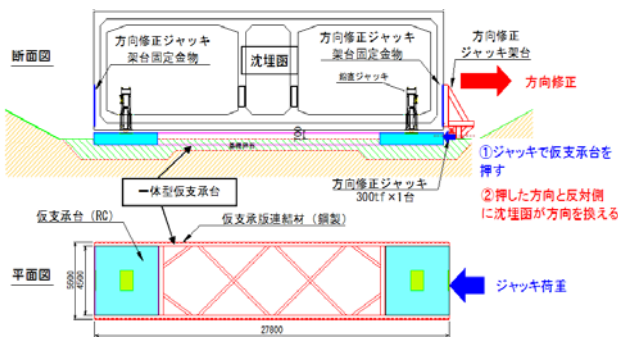


図-13 方向修正概念図

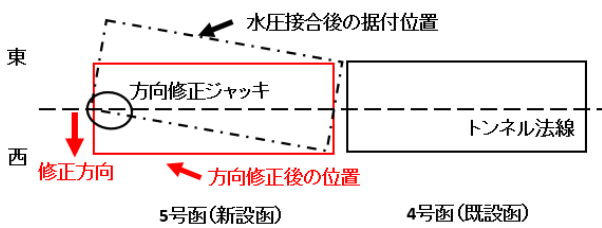


図-14 5号函方向修正

	従来	本事業
取付け箇所	沈埋函内側 接続面(先行函側)	沈埋函外側 後続函側
ジャッキ取付回数	複数回	1回
その他作業	バルクヘッド撤去	ジャッキ製作 (先行可能)
施工日数 (沈設後から)	1ヶ月程度	1～2日

表-4 従来の方向修正方法との比較

## 8. 沈埋函据付精度および方向修正

2019年2月までに、沈埋函は全7函中4函(1号函～4号函)の沈設が完了した。

1号函から4号函は、設計法線に対する据付精度は-17mm～+51mmとなっており(表-5参照)、シミュレーションにより方向修正が必要ないと判断したことから、方向修正は実施していない。また、5号函は、2019年4月に沈設を実施し、5号函沈設後の6号函側の据付出来形は、設計法線に対して+63mm(東側)(図-16参照)となった。

この結果はシミュレーションで得られた許容値を超えていた(図-17参照)ため、本事業で初めて方向修正を行うこととなった。

沈埋函	施工順序	据付精度
1号函	①	(東) +51mm
2号函	②	(東) +30mm
3号函	③	(西) -17mm
4号函	④	(東) +17mm
5号函	⑤	(東) +63mm

表-5 各函の据付精度まとめ



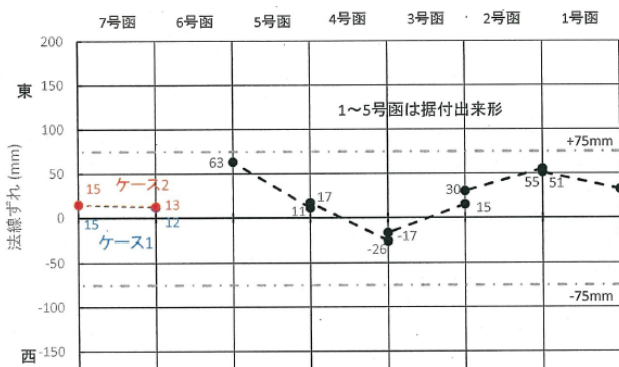


図-16 5号函沈設までの据付出来形

5号函(6号函側) 据付精度	シミュレーションによる 最大許容値		沈設・水圧接合 後の測量結果
	西側	東側	東側
	-6mm	+44mm	+63mm

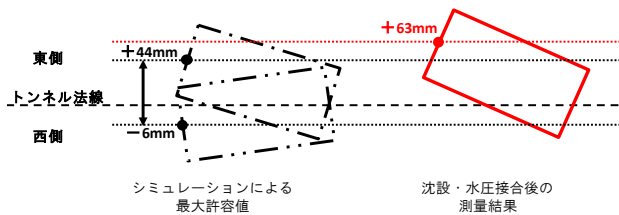


図-17 最大許容値と実際の据付結果

次に、5号函で方向修正を実施した理由を述べる。図-16の7号函の6号函側のシミュレーションによる数値(ケース1で+12mm, ケース2で+13mm)は、沈埋函製作の精度から想定される7号函の沈設精度を示す。このとき、5号函の6号函側は+63mmの据付出来形となっており、最終函である6号函を沈設し、5号函と7号函に接続可能か検討した。なお、接続可能とは、5号函の6号函側と7号函の6号函側の相対ずれが50mm以内となることである。

前述のとおり、7号函は製作の精度から想定される沈設精度は+12mm~+13mmであるが、実際の沈設後は、東側へも西側へもずれる可能性はある。例えば、水圧接合後の位置が西側へ-75mmとなった場合、7号函を東側へ方向修正し-25mmの位置まで戻した場合、5号函の6号函側との相対ずれが88mmとなる(図-18参照)ため、6号函は接続しない。従って、5号函を方向修正し、7号函との相対ずれを少なくしておく必要があると判断し、5号函方向修正を実施した。

方向修正量は想定される7号函の沈設誤差と既設函を結んだ軸線に近づけるよう、西側に50mmと決定した。実際に方向修正を行った結果、5号函の6号函側は東側に13mmとなった(図-19参照)。

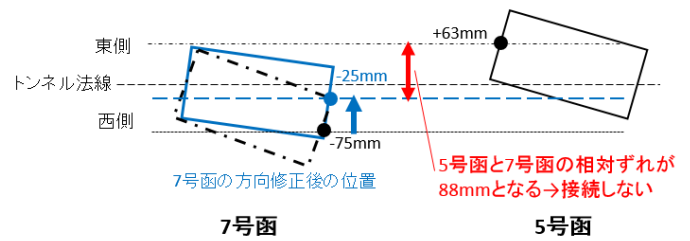


図-18 5号函沈設後の方向修正の検討

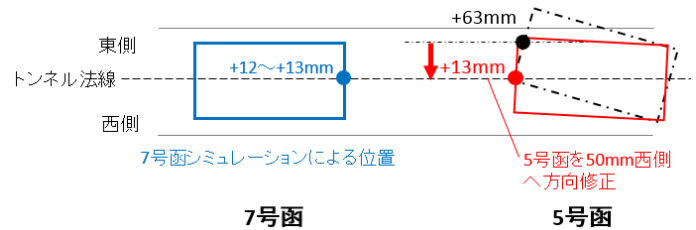
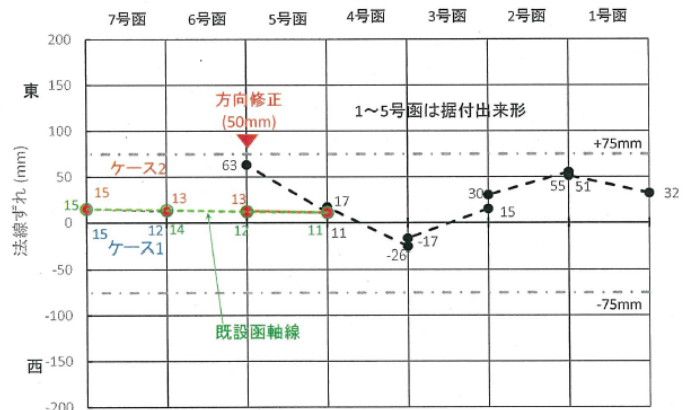


図-19 5号函方向修正の実施

## 9. 終わりに

現在、沈埋函は1~5号函までの沈設が完了しており、5号函の方向修正が完了している。

これまでの沈設では先行函の沈設で得られた経験を後続函の沈設時に反映させるために、先行函でのトラブル事例などを記録し、施工者に周知するといった取り組みを行ってきた。これにより5号函の沈設ではトラブルなく想定した施工時間どおりに施工を完了することが出来ている。

2019年5月には7号函の沈設、7月に最終函の6号函の沈設を予定しているため、着実に施工を実施するとともに、沈埋トンネルの完成に向けて、発注者、受注者が連携し進めていく所存である。