

沈埋トンネルの施工に関する技術の伝承

島田 伊浩¹¹正会員 (一財) 港湾空港総合技術センター (〒100-0013 千代田区霞ヶ関3-3-1 尚友会館 3階)

E-mail: shimada@scopenet.or.jp

沈埋トンネルについては、これまで工法、維持管理などについて概要的に整理されてきたものがあるが、種々のトンネルタイプを網羅できる汎用的な施工方法の考え方を整理したものが無く、また、施工された沈埋トンネルの工事内容を詳しく整理した資料も無かった。今後の全国的なプロジェクト動向を見ても沈埋トンネルの施工が計画されているものが無く、沈埋トンネルのような特殊技術については技術の継続性が危ぶまれる状況が考えられる。

そのため、「沈埋トンネルの施工に関する技術」をとりまとめた。ここではとりまとめの概要と今後の技術の伝承について述べる。

Key Words : *immersed tunnel, construction , handing down technology*

1. 研究の概要

(1) はじめに

沈埋トンネルについては、これまで工法、維持管理などについて概要的に整理されてきたものがあるが、種々のトンネルタイプを網羅できる汎用的な施工方法の考え方を整理したものが無く、また、施工された沈埋トンネルの工事内容を詳しく整理した資料も無かった。今後の全国的なプロジェクト動向を見ても沈埋トンネルの施工が計画されているものが無く、沈埋トンネルのような特殊技術については技術の継続性が危ぶまれる状況が考えられる。このため、「沈埋トンネルの施工に関する技術」をとりまとめ、特殊技術を多く含む沈埋トンネルの細部にわたる技術の整理および技術の保全を図るため、以下に示す様に沈埋トンネルの施工技術について資料収集・整理を行った。

本報告は、今後の沈埋トンネルの施工検討に資する資料として取り纏め、技術の伝承を図ることを目的とする。また、最新の技術情報を網羅し、実際の施工方法等を整理して資料として取り纏めた。

(2) 資料の内容

施工方法全体を把握できるよう、極力一般的な施工方法に留意しつつ、工法毎に施工フローと施工概要を整理している。ただし、沈埋トンネルに限定されない工種については簡潔に記述するに留めている。記述の対象とした工種は以下の10工種である。

- ① 沈埋函製作工, ② トレンチ浚渫工, ③ 基礎工,
④ 沈設工および接合工, ⑤ 函底充填工, ⑥ 継手工,

- ⑦ 道床コンクリート工, ⑧ 埋戻し工, ⑨ 換気塔 (立坑), ⑩ 陸上取付部

また、沈埋トンネルの計画、設計、施工は現地の特性により大きく影響され、個々の施工事例毎に内容が異なるものである。ここでは、将来の沈埋トンネル計画において技術的に参考になるであろう施工済み10事例について資料を収集し、各事例毎に、以下の①～④の構成について整理した。

- ①事業概要, ②トンネル概要, ③施工方法,
④工事写真

(3) 沈埋トンネルの定義

沈埋トンネルは、図-1に示すように沈埋トンネル部、アプローチ部（開渠部、陸上トンネル部）、立坑および換気所から構成されている。最近では、立坑を構築しないで、沈埋トンネル部とアプローチ部を直接接合する場合がある。構造全体または一部をケーソンの形で別の建設ヤードで製作し、これを水に浮かべて敷設現場まで曳航し、あらかじめ地盤を掘削して造成された溝（トレンチ）内の所定の位置に沈め、その後、埋戻しを行って構造物を完成させる。このように沈埋トンネルは、一種のプレハブ工法と言える。図-2に沈埋トンネルの一般的な横断図を示す。

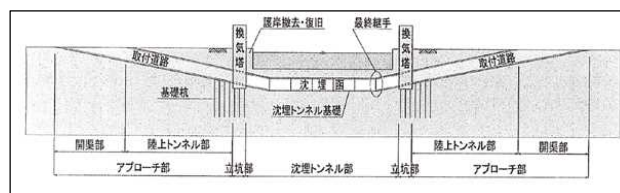


図-1 沈埋トンネル縦断図

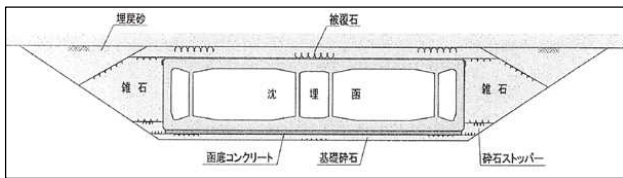


図-2 沈埋トンネル横断面図

2. 沈埋トンネルの施工方法

(1) 沈埋函製作工

a) 沈埋函の構造形式

沈埋函の構造形式を製作方法から分類すると図-3に示すように、鋼殻構造、コンクリート構造、鋼コンクリート合成構造に大別することができる。

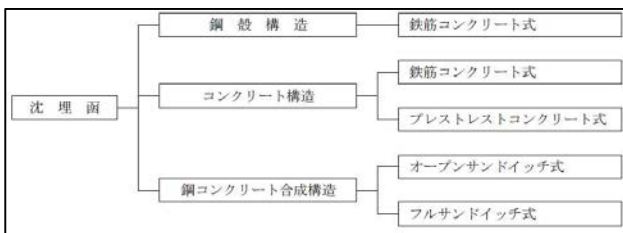


図-3 沈埋函の構造形式

b) 沈埋トンネル部の函割り

沈埋函の函割りは、既往の沈埋トンネルの事例を参考にして、線形計画（縦断勾配の変化位置等）および耐震性を考慮して検討する必要がある。表-1に沈埋トンネルの函割りの事例を示す。

表-1 既往の沈埋トンネルにおける函割りの事例

トンネル名称	沈埋トンネル長 (m)	沈埋函の規模 (m)	函体長 (m) : 函数
東京港トンネル	1,035.0	37.4×8.8	115.0 : 9 函
川崎港海底トンネル	840.0	31.0×8.542	110.0 : 4 函 100.0 : 4 函
東京港第二航路トンネル	744.0	28.4×8.8	124.0 : 6 函
多摩川トンネル	1,549.5	39.9×10.0	128.584 : 12 函
川崎航路トンネル	1,187.4	39.7×10.0	131.212 : 9 函
大阪港咲洲トンネル	1,025.0	35.2×8.5	102.5 : 10 函
新潟みなとトンネル	850.0	28.6×8.9	105.5~107.5 : 8 函
神戸港島トンネル	520.0	34.6×9.1	78.5~98.5 : 6 函
東京港臨海トンネル	1,328.825	32.3×10.0	120.0 : 10 函 124.205 : 1 函
新・衣浦海底トンネル	447.77	13.5×8.45	111.94 : 4 函
那覇港臨港道路トンネル	724.0	36.94×8.7	90.0~92.0 : 8 函
新若戸道路トンネル	557.0	27.9×8.4	66.5~106.0 : 7 函
大阪夢咲トンネル	802.068	36.4×8.6	93.08~103.48 : 8 函
東京港臨港道路南北線	936.8	27.8×8.35	134.0 : 6 函 132.8 : 1 函

c) 沈埋函製作ヤード

沈埋函製作ヤードの主な形式は以下のものが挙げられる。① 造船所のドライドック、② 仮設ドライドック、③ 岸壁製作ヤード、④ フローティングドック (FD) ・リフトバージ

d) 鋼殻の進水・運搬（曳航）方法

鋼コンクリート合成構造および、コンクリートの浮遊打設等の技術が確立される以前は、沈埋トンネル施工場所近郊のドライドックで沈埋函を製作し、浮遊曳航されてきた。そのため、沈埋函の製作において、ドライドックの確保が大きな制約条件であった。

那覇港臨港道路、新若戸道路および東京港臨港道路南北線の沈埋トンネルでは、フルサンドイッチ合成構造、コンクリート浮遊打設による沈埋函の製作方法が採用された。そのため、沈埋トンネル施工場所から離れたドライドックや陸上ヤードで鋼殻を製作し、コンクリートの浮遊打設場所まで長距離運搬する事例がでてきている。

e) 沈埋函製作工

沈埋函の構造形式ごとに、フローを示した。フルサンドイッチ式の沈埋函製作フロー例を図-4に示す。

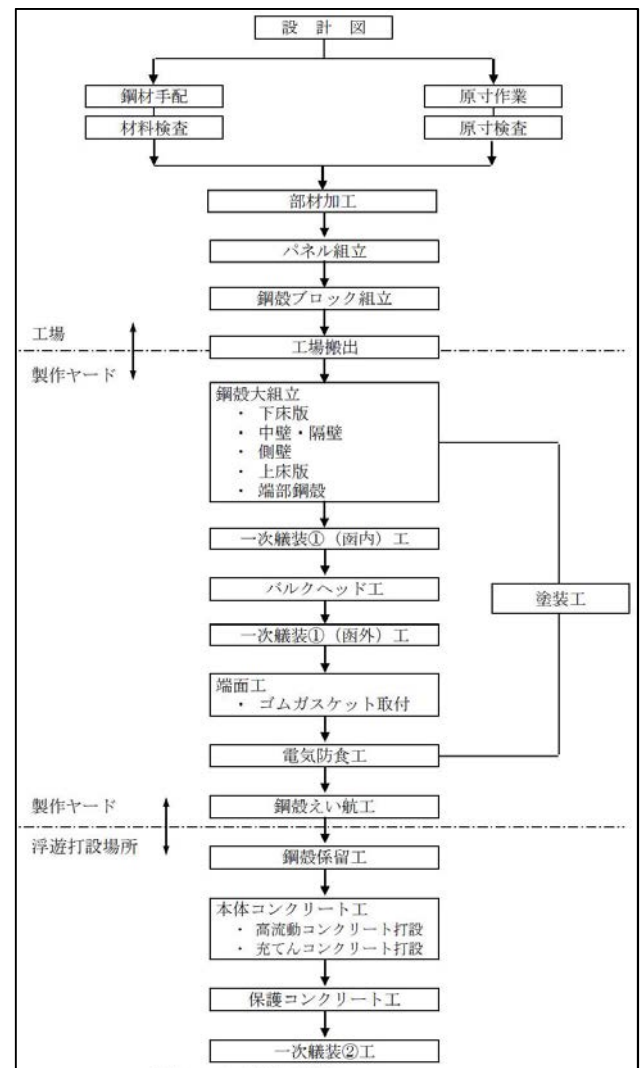


図-4 沈埋函製作フロー

(2) トレンチ浚渫工

トレンチ浚渫は、掘削深さが深いうえに、掘削底面の高い仕上げ精度が求められるので、基礎地盤を極力乱さない掘削方法を採用する必要がある。トレンチ断面の実施例を表-2に示す。

表-2 トレンチ断面の実施例

トンネル名	土質	法勾配	掘削底面高(m)	原地盤の水深(m)
東京港臨港道路南北線	粘性土	1:2	-20.8	-12.4
大阪港夢咲トンネル	粘性土	1:2	-29.2	-14.6
新若戸道路	粘性土・風化岩	1:2～1:3	-21.7	-9.8
那覇港臨港道路	砂 礫	1:1.5	-25.7	-10.0
東京港臨海トンネル	シルト	1:3	-29.5	-15.0
新潟みなとトンネル	細 砂	1:2	-24.5	-12.0
新・衣浦海底トンネル	砂 礫	1:2	-24.0	-12.0
神戸港港島トンネル	粘性土	1:2	-24.6	-12.0
大阪港咲洲トンネル	粘性土	1:2	-27.0	-15.5
多摩川トンネル	シルト	1:3	-25.8	-12.9
川崎航路トンネル	シルト	1:3	-25.6	-13.1

(3) 基礎工

a) 概要

基礎工としては、基礎石および函底充填材注入などによる連続支持方式と、独立支持方式とがある。杭等による独立支持方式は、一般的に小規模な沈埋函に用いられる。一方、連続支持方式は、大規模な沈埋函に用いられる。

b) 浮泥処理工

トレンチ浚渫底面あるいは基礎栗石上に堆積した浮泥を放置したまま、基礎栗石の投入やモルタル注入を行うと、不等沈下の原因になったり、浮泥の混入による基礎モルタルの品質低下を招くため、浮泥処理を行う必要がある。

c) 基礎石工

沈埋函が設置される標準部と仮支承台設置部の床掘終了後、基礎石投入および均しを行う。

d) 仮支承台工

仮支承台は、沈埋函沈設後、函底コンクリートを充填し、その強度が発現するまでの間、ジャッキによって沈設函の重量を支持し、据付高さを維持するものである。

仮支承台の基礎は、基礎地盤の状況に応じて、直接基礎型式（良質地盤、砂質土系）、杭基礎型式（軟弱地盤、シルト・粘土系）が採用されている。

(4) 沈設工および接合工

a) 沈設方式

一般的に、沈設方式として次の方式がある。

タワーポンツーン方式、プレーシングバージ方式

プレーシングポンツーン方式、自己昇降式作業台船（SEP）方式、フローティングクレーン方式

b) 一次艀装工

艀装工は、曳航・沈設計画に基づき、沈設方式に適した艀装品を選定する必要がある。沈埋函の製作が完了し、一次曳航および仮置を行うために行う艀装を一次艀装という。

c) 一次曳航工および仮置工

沈埋函の一次艀装完了後、函体を沈埋函製作場所から引き出し、仮置場まで曳航する。沈埋函は通常4～6隻の

引船によって、1～1.5ノット程度のゆっくりした速度で曳航する。一次曳航された沈埋函は、バラストタンクに注水し仮置場所へ着座仮置きする。

d) 二次艀装工

沈埋函の二次曳航および沈設のための艀装を二次艀装という。本沈設に必要な艀装設備は、仮置場で函体を浮上させて取付を行う。

e) 二次曳航工

二次艀装完了後、仮置場から沈設地点まで沈埋函を曳航する。

f) 沈設工

沈設作業は、大きく分けて既設函の仮受ブラケット（鉛直せん断キー）上に着地するまでの操縦作業と、着地後、引寄ジャッキを用いて新設函を既設函に引寄せて水圧を利用して接合する水圧接合作業に分けられる。

g) 位置計測管理

沈埋函の沈設は、リアルタイムで正確に沈埋函の位置を把握しておく必要があり、沈埋函位置測量システム、端面探查装置、端面間距離計等の計測機器を同時に使用して精度良く沈設する。

h) 接合工

沈埋函を水中で接合する方法は、大別してゴムガasketを用いて水圧で接合する方法と、継手の周囲に水中コンクリートを打設して止水する方法の2方式があり、最近はほとんど水圧接合方式で行われている。

i) 撤去工

沈設完了後、順次、函外艀装品、バルクヘッド、バラストタンクを撤去する。

(5) 函底充填工

a) 概要

沈埋函沈設後、基礎石または栗石と沈埋函底との空隙に水中コンクリートやベントナイトモルタル等を充填し、一体の基礎とする。

b) 袋詰めモルタル工

袋詰めモルタルは、函軸方向への函底充填材漏出防止のために既設函と反対側の端部付近の仮支承台前面に設置する。

c) 漏洩防止シート工

漏洩防止シートは、函軸方向への函底充填材漏出防止のために既設函と反対側の端部付近の仮支承台前面に設置する。

d) 漏洩防止シート工碎石ストッパー工

碎石ストッパーは、沈埋函側部からの函底充填材の漏出防止のために設ける。

(6) 継手工

継手には中間継手と最終継手があり、その構造は地震

時の変位や部材の断面力に対して安全で止水性があること、地盤沈下、温度変化、コンクリートの乾燥収縮等による継手部の変位に対して安全であること、施工性がよいことなどが求められる。

a) 中間継手

継手部の構造は一般的に、可撓性継手（柔継手）と剛継手に大別され、継手が柔らかいほど、トンネルが地盤変化に対して追従して変化しやすくなり、断面力も小さくなる。

b) 最終継手

沈埋函を順次沈設していくと、最終的に沈埋函接合のためのクリアランスが、空隙として残ることになる。この部分は、他のエレメント間の継手の結合とは異なる施工法が用いられ、「最終継手」と呼ばれている。

(7) 道床コンクリート工

道床コンクリートは、完成後は舗装の一部となるが、施工中は浮き上がりに対する安定性の確保と工事用の道路として利用される。施工段階としては、沈設前に乾舷調整用に打設するもの（一次道床コンクリート）、沈設直後に浮き上がりに対する安定を確保するためのもの（二次道床コンクリート）、最終的に路盤等として打設するもの（三次道床コンクリート）がある。

(8) 埋戻し工

道床コンクリート打設後、沈埋函の周りに碎石等による埋戻し作業が行われる。埋戻しは、頂部雑石部分と側部土砂部分に大別される。

(9) 換気塔（立坑）

沈埋トンネル部の両端部には、立坑や換気塔が配置されることが多い。この場合、立坑は全体構造系において沈埋トンネルの起点であり、構造的特徴が異なる沈埋トンネル部と陸上トンネル部の接点となる。

(10) 陸上取付部

沈埋区間の両端は一般に立坑となっており、立坑部から地表面までの取付け部は陸上トンネルとオープン斜路で築造されるのが一般的である。

(11) 施工事例の整理

第2編「施工事例の整理」においては、施工済みの10事例について、整理して記述している。

3. 技術の伝承

(1) 伝承の方法

建設業では従来から現場におけるOJT(On the Job Training)中心の教育が行われてきた。しかし、このような教育方法では教育者(先輩)の技量あるいは指導力による影響が大きく、そのバラツキも大きくなるという欠点が出ていた。土木技術者として必要とする能力を明確にし、その能力を修得させるために行う階層別教育がある。また、技術伝承として、ナレッジ・マネジメントがあり、具体的には、ある企業、組織の職員がもつ（属人的な）目に見えない知識やノウハウをだれでも利用できる形で共有化し、これを活用することで、業務の効率化や新しい知識の創造を図っていくとする。

(2) 伝承の課題

情報化社会とは、大量の情報を保有することであるが、これを維持していく仕組みに確信はない。本資料により、この沈埋トンネルの施工に関する情報が伝承されることに期待する。

4. まとめ

本資料が、今後の沈埋トンネルの施工に活用され、安全かつ経済的な沈埋トンネルの建設に資するものと確信している。

(2021.10.11 受付)

HANDING DOWN TECHNOLOGY RELATED TO THE CONSTRUCTION OF IMMERSED TUNNELS

Yoshihiro SHIMADA

Regarding submerged tunnels, there are some that have been summarized in terms of construction methods, maintenance, etc., but there is no one that has organized the concept of general-purpose construction methods that can cover various tunnel types, and they are constructed. There was no document that detailed the details of the construction of the submerged tunnel. Looking at future nationwide project trends, there are no plans to construct submerged tunnels, and it is possible that the continuity of the technology will be jeopardized for special technologies such as submergence.

Therefore, we have compiled "Technology for construction of submerged tunnels". Here, the outline of the summary and the transmission of future technologies will be described.