

技術ノート

キーワード
多摩川トンネル
沈埋函
端部鋼殻
設計

多摩川トンネル沈埋函端部鋼殻の設計

Design of Steel Shells at End of TAMAGAWA Tunnel

山崎 秋信*
Akinobu YAMAZAKI

田 畠 謙 一**
Ken-ichi TABATA

1. まえがき

首都高速道路公団、高速湾岸線の多摩川河口部と浮島埋め立て地をはさんだ川崎港の出入路を横断する世界最大級の二つの沈埋トンネル、多摩川トンネル(12函)と川崎航路トンネル(9函)の施工が行われている。

現在、大田区東海5丁目地先に建設されたドライドック内(約600m×200m)にて沈埋函11函が製作中であり、この後さらに10函が予定されている。

沈埋トンネル工法採用にあたっては、他に橋梁形式とシールドトンネル工法が考えられるが、前者においては空域制限および電波障害などの問題、後者においては沈埋トンネルよりも道路計画基準面が下がり取り付け区間が長くなり、また大口径のトンネルになることから、本工法が選定された。

このうち、多摩川トンネルの沈埋函本体の両端部に取り付ける端部鋼殻、バルクヘッド、鉛直せん断キーの製作を川崎重工業(株)・川田工業(株)共同企業体にて請け負い(総鋼重4函分約2,000t)現在施工中である。本文は、主とその設計思想と施工概要について報告するものである(図-1, 2参照)。

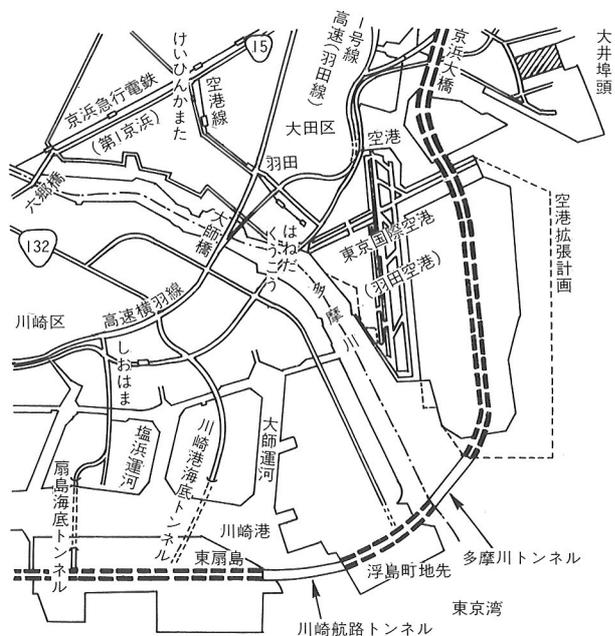


図-2 位置図

2. 構造概要

(1) 沈埋函本体(エレメント)

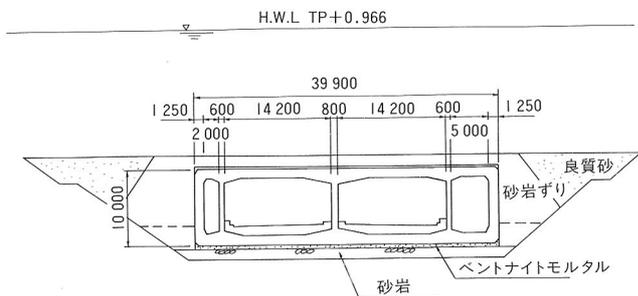


図-1 沈埋トンネル断面図

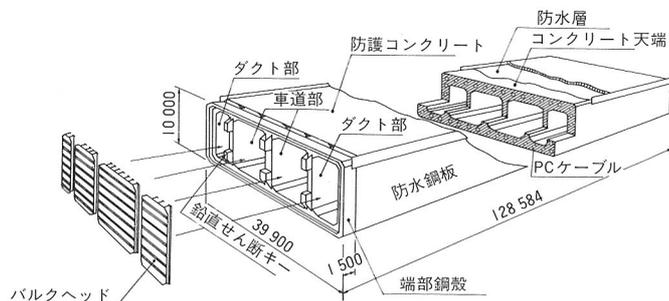


図-3 エレメント概況図

*川田工業(株)技術本部設計部設計課係長 **川田工業(株)技術本部設計部設計課

a) エレメント

鉄筋コンクリート構造物であり、1函あたりのコンクリート量は約18750m³($\sigma_{ck}=350\text{kg/cm}^2$)、鉄筋量は約5500t(SD35)である。軸方向には、コンクリート打継目に材齢差により発生するひびわれを抑制するため、また軸方向の耐力を増加させるためにプレストレスが導入されている。

b) 防水鋼板

t=8mmの鋼板で、底床、側壁、上床ハンチ部を覆い、函体の防水を目的とするものである。

c) 防護コンクリート

上床部にはゴム防水が施工されるが、いかりの落下などにより損傷するのを防ぐ目的で、防水層の上面には鉄筋コンクリートの防護層が設けられている。

(2) 端部鋼殻

エレメントの両端部は水圧接合にて施工されるため、高い製作精度が要求される。したがって、コンクリート構造に比べ、容易に精度が確保できる鋼殻構造が端部に採用された。

a) 設計断面

設計断面は図-4に示すとおり、その1工事(No.1~No.4函)では、立坑部に面する箇所とNo.2, 3間における断面力を使用した(エレメント本体の設計に用いたものと同じもの)。

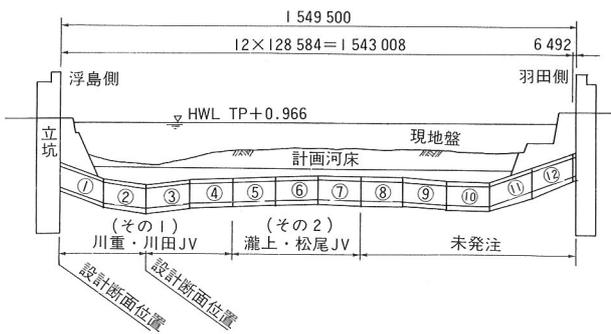


図-4 側面図

b) 設計条件

① 荷重

- ・水圧：常時 TP+0.966
- 異常時 TP+2.866
- 海水比重 $\rho=1.025\text{t/m}^3$

- ・埋め戻し土、堆積土荷重
- ・不等沈下の影響
- ・温度差荷重($\pm 10^\circ\text{C}$ トンネル内外の温度差)

- ② 許容応力度 鋼道路橋示方書2.2.1による
- ③ 荷重組み合わせによる許容応力度の割り増し

表-1 許容応力度の割り増し

荷重の組み合わせ	鋼材	コンクリート
常時 ^{注)}	0%	0%
異常時(H.H.W.L)	30%	30%
温度差荷重を含む場合	15%	15%
地震時	70%	50%

注) 不等沈下の影響を考慮した場合を含む。

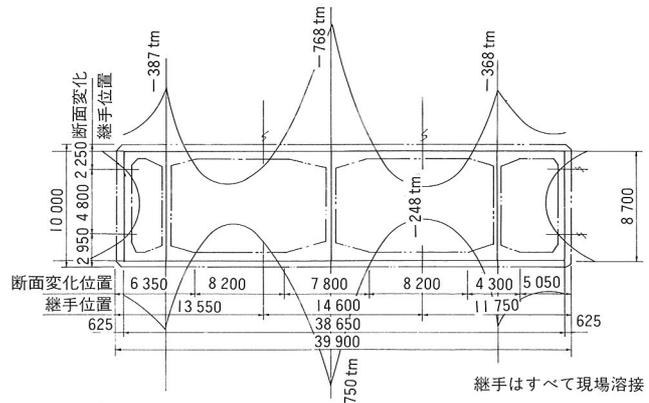


図-5 断面力図(函No.2~3, 常時)

c) 基本構造

材質：SS41, SM50Y, SM58

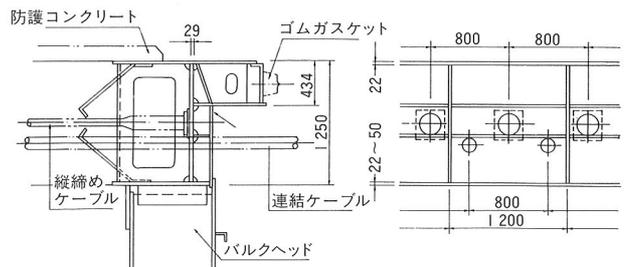


図-6 端部鋼殻標準断面図

d) 構造計算

断面計算上の部材断面は図-7に示すように、点線で示す。鋼板は、埋設後撤去するので無視し、かつ斜線部鋼板も断面計算上無視する。したがって、着色部の断面において計算を行う。また、中詰めコンクリートも鋼殻の設計上無視した。

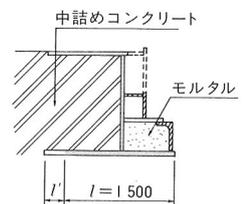


図-7 部材断面

フランジ幅については、全幅で一律 $l=1500\text{mm}$ とし、縦断勾配の影響によるフランジ幅の増加分 l' はわずかなので、ここでは無視した。また、道路橋示方書に準拠し有効幅を考慮した(図-8参照)。

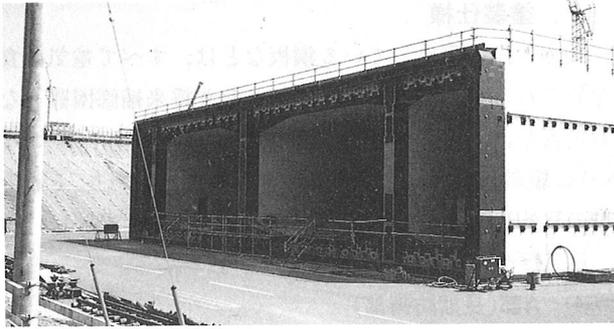
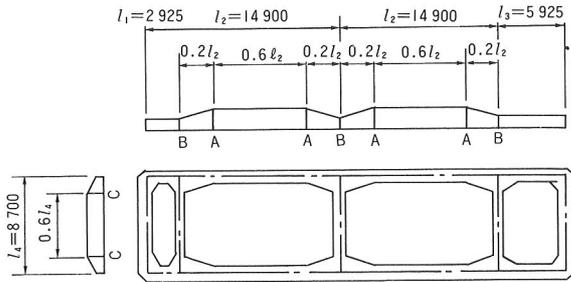
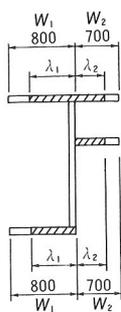


写真-1 端部鋼殻



λを求める場合の等価支間長および適用式

	等価支間長(L)	適用式
A	$0.6l_2$	8.3.1
B	$0.4l_2$	8.3.2
C	$0.6l_4$	8.3.2



	W(cm)		等価支間長 L(cm)		有効幅 λ(cm)	
	W1	W2	L1	L2	λ1	λ2
A	80.0	70.0	894.0	894.0	73.7	66.0
	70.0	70.0	596.0	596.0	56.7	52.2
B	80.0	70.0	522.0	522.0	63.5	58.2
	70.0	70.0	522.0	522.0	63.5	58.2

図-8 有効幅について

(3) バルクヘッド

函体を浮体とするため両端部に水密性の要求される仮隔壁が設けられるが、沈設後に撤去することから鋼製の蓋(I型の主桁とスキンプレートから成る)にて計画された。これをバルクヘッドと称する。

設計位置は、水深に応じ3断面に区分し(その1, 2工事7函分)計算を行った。荷重は静水圧(H.W.L.がTP+0.966)とし、海水の単位荷重は $\rho=1.025t/m^3$ とした。許容応力度については鋼道路橋示方書に準じ、25%の割り増しを行った。

主桁は両端固定ばり、横リブは主桁を支点とした連続ばり、スキンプレートは4辺固定版として計算を行い、スキンプレートは主桁と横リブの一部となるため応力度の合成を行った(図-9参照)。

部材	最深部	中間部	最浅部	
スキンプレート厚	20	19	17	
主桁	ウェブ	800×19	800×18	750×16
	フランジ	280×32	280×32	250×25
横リブ	L125×75×10	L125×75×10	L125×75×7	

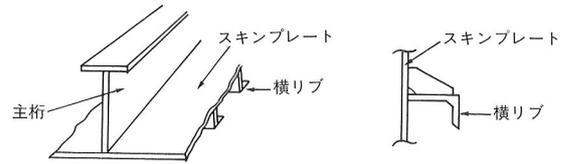
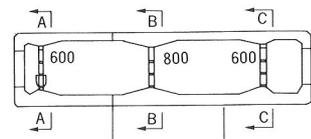
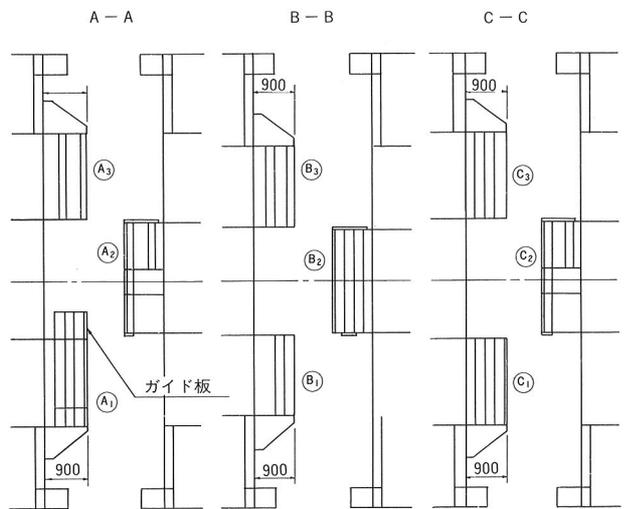


図-9 バルクヘッド

(4) 鉛直せん断キー

鉛直せん断キーは函体の継手部で鉛直方向せん断力に対処するもので、図-10に示すように、端部鋼殻の壁部に設けられる。水平方向せん断力に対しては、路床バラストの位置に水平せん断キーが設けられるが、ここでの説明は省略する。



(A3、B3、C3)は沈設後取り付けられる

図-10 鉛直せん断キー

a) 設計条件

鉛直せん断キーに作用する荷重には、施工時荷重として誘導時荷重・引き寄せ時荷重・追加荷重が、供用時荷重として地震時荷重・地盤の不等沈下による荷重・函体本体の耐力と同等の荷重があり、これらの荷重を考慮して設計を行った。

① 誘導時荷重

沈埋函の鉛直せん断キーが既設函の鉛直せん断キーの本体上に設置されておらず、ガイド板の上に乗っている

状態をいい、荷重状態は次のようになる。

既設函のガイド板に作用する鉛直荷重 V は、衝撃などを考慮し15%を割り増す。

$$V = 550 / 2 \times 1.15 = 316t$$

沈設時のゆれによる水平方向荷重として $0.2V$ を考慮し、

$$H = 0.2 V = 63t$$

となる。

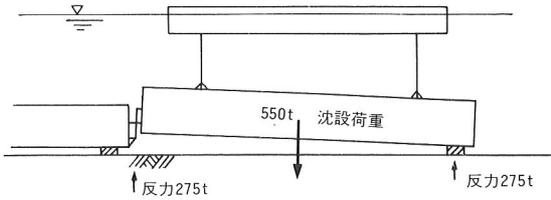


図-11 沈設時

② 引き寄せ時荷重

沈設函の鉛直せん断キーの先端が、既設函の鉛直せん断キーの本体上に達した後、引き寄せジャッキにて両函体を接合し、ゴムガスケットの1次止水を行う際に、水平力(引き寄せ力)が作用する。

ゴムガスケットの止水に必要な荷重は、ジャッキ1台あたり65t程度であるが、ジャッキ能力100t/台の使用を考慮し、設計に用いる引き寄せ力は、ジャッキ能力2台相当の200tとする。

③ 追加荷重

引き寄せジャッキによる1次止水、水圧接合による2次止水が完了後、函体の浮き上がり安全率を1.03確保するために水バラストを追加打設する。そのときの水バラスト量は2100t、支持状態は仮支承2点、鉛直せん断キー2点の計4点支持、鉛直せん断キーの分担はその半分の1050tとなる(偏載荷状態を考慮して1カ所あたり574t)。

④ 供用時荷重

地盤の不等沈下によって生じる継手位置での最大鉛直せん断力は約1500tで、3カ所のせん断キーで受ける(1箇所500t)。

⑤ 函体本体の耐力と同等の荷重

コンクリートの許容せん断応力度 $\tau_{ca} = 20\text{kg/cm}^2$ (斜引張鉄筋と共同して負担する場合)に相当する耐力に対して設計を行うものとする、せん断力は、壁幅60cmに取り付けるせん断キーに対しては1200t、壁幅80cmに取り付けるものには1600tの荷重となる。

以上の荷重を見比べた結果、継手部は沈埋トンネルにとって極めて重要な構造であり、かなり大きな荷重が作用するため、函体本体と同等の耐力を持たせるものとして設計を行った。

3. 塗装仕様

函体本体に露出している鋼板などは、すべて電気防食を施されるが、沈設後、気中部となり将来補修困難となる箇所や、ドック内で施工中(電気防食が作用していない)に短期間の防食を必要とする箇所などがあり、それぞれの目的に応じた塗装仕様を計画した(表-1参照)。

塗装区分は図-12に示すとおりである。

(1) A部(長期防錆部)

沈埋函沈設後、気中部となるが、湿気の多い場所でも将来の補修が困難となる部分。

(2) B部(施工中防錆部)

沈埋函外面で、沈設後は電気防食が働かぬため、施工中と仮置き中の短期間の防食を必要とする箇所、また、縦

表-1 塗装仕様

適用範囲	塗装工程	塗料名	使用量 g/cm ² /回	回数	目標 膜厚 μ /日
A部	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	200	1	—
	第1層	タールエポキシ樹脂塗料(茶系)	250	1	80
	第2層	同上(黒系)	250	1	80
	第3層	同上(茶系)	250	1	80
B部	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	200	1	—
	第1層	タールエポキシ樹脂塗料(茶系)	250	1	80
C部	プライマー	無機ジンクリッチプライマー	200	1	—
	第1層	ノンブリード型タールエポキシ樹脂塗料(茶系)	320	1	80
	第2層	同上(黒系)	320	1	80
	第3層	同上(茶系)	320	1	80

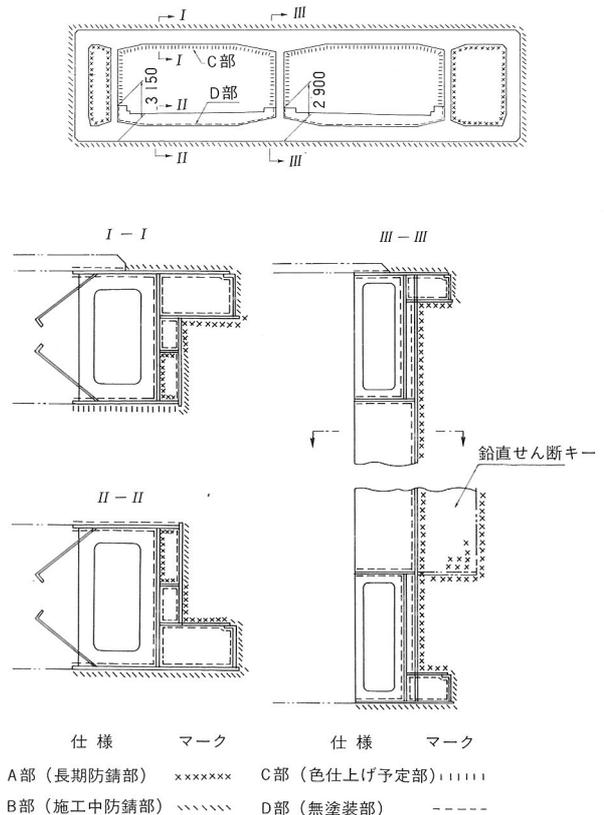


図-12 塗装区分図

締めケーブル定着部で、全面のプレート取り付け後に密閉状態となり、酸化が一定以上進行しない部分。

(3) C部(色仕上げ予定部)

端部鋼殻の内側フランジの表面で、施工中の耐水性を有し、しかも将来トンネルの内装仕上げ塗装が塗り重ねできる塗装系の部分。

4. 施工概要

沈埋函は、図-13に示すようなドライドック(製作ヤード)において製作される。その後、ドック内に注水し水の浮力を利用して浮上させ、残りの10函がドライドック内にて製作が完了するまで、いったん仮置き場へ曳航し(図-14参照)、沈設される。そして、全21函製作完了後、所定の位置への沈設作業が開始される。

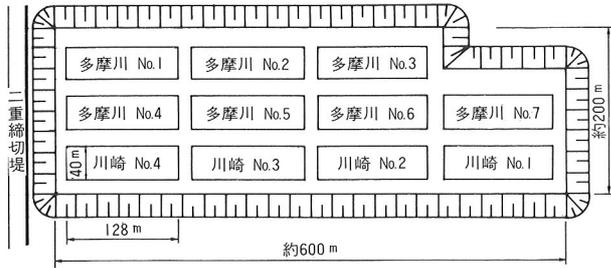


図-13 ドライドックにおける沈埋函の設置状況

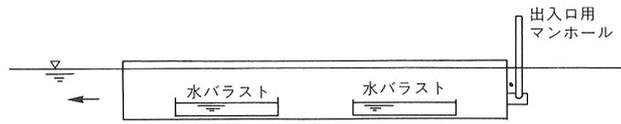


図-14 沈埋函の曳航

沈設作業は、立坑側No.1 函より順次行ふ。函体は図-15に示すように、沈設函側のせん断キーを既設函側に乗せて引き寄せ、ジャッキにてゴムガasketを若干圧縮し初期止水を行う。その後、図-16に示すようにバルクヘッド

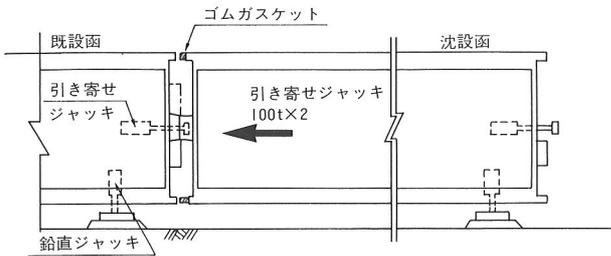


図-15 沈設工程-1²⁾

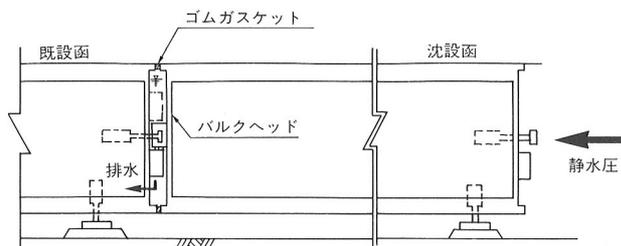


図-16 沈設工程-2²⁾

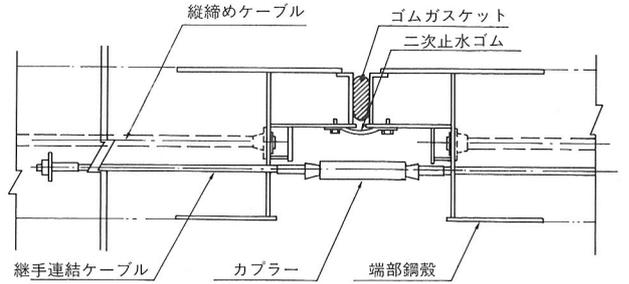


図-17 継手部構造³⁾

ド間の水を排水すると、静水圧によって圧接されて完全な止水が完了する。バルクヘッドはガス切断にて撤去する。

5. あとがき

沈埋トンネル全体からみれば端部鋼殻はほんの一部分であるが、鋼殻に付随する鉛直せん断キー、バルクヘッドも含め非常に重要な役目を持つ個所である。

本稿では、その設計思想と施工概要を中心に報告したが、橋梁と違い特殊な構造物であるため、設計においては特別な配慮も必要であった。図-18に示すように、ウェブにおけるせん断力の伝達を明確にするため、基本設計時の断面の構造変更や設計方針の変更を余儀なくされた箇所もいくつかあった。

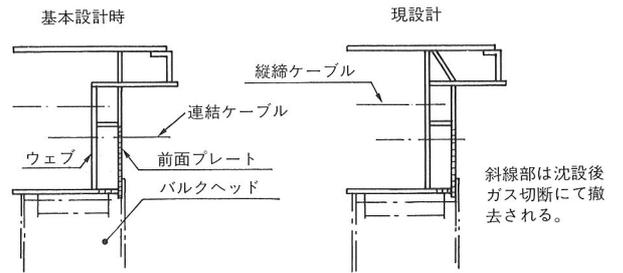


図-18 鋼殻断面図

紙面の都合上、工場製作、現場施工については割愛したが、現在、工場製作はほとんど完了し、ドック内での組み立て・取り付けが、函体本体の工程に合わせて進行中である。

参考文献

- 1) 社団法人土木学会：沈埋トンネル要覧, 昭和46年7月.
- 2) 東京都湾岸局：東京港第二航路海底トンネル工事誌, 東京港第二航路海底トンネル工事共同企業体, 昭和55年11月.
- 3) 財団法人首都高速道路技術センター：沈埋トンネルの設計施工に関する調査研究(その2)報告書, 昭和61年3月.
- 4) 首都高速道路公団湾岸建設局：多摩川・川崎トンネル, 1987年11月.