

新高橋連絡通路橋（水辺の散歩道）の設計と施工

田 中 敏 夫*
 森 下 昭 吾**
 甲 斐 一 夫***

1. ま え が き

東京都江東区は多くの大小河川が存在し、かつ東京湾に面しており、古くから水と親しみ、水とともに発展してきた地域である。ところが近年、工場や住宅その他の建造物の増加、人口の増加が著しく、それに伴う自然環境の破壊や減少が問題となってきた。

このような背景のなかで、江東区はかつてのように、水と身近な親しみのある生活環境作りを目指した地域整備事業を進めている。

この整備事業の一環として、河川に沿った遊歩道の整備を実施している。これは、「水辺の散歩道」と称されるものであり、旧護岸とその前面に新たに造成された耐震護岸との間の休閑地を有効利用し、人々に自然と親しむ憩いの場を提供するものである。

この遊歩道は、計画総延長 1.8 km に及ぶものであるが、途中の 5 箇所既設の道路橋と交差しており、連続して歩行できる遊歩道を確保するために江東区では、既設の道路橋の桁下を通すことで計画を進めてきた。そのための構造形式として、浮き桟橋連絡通路案、着底式連絡通路案、および前面矢板締切案などを検討し、各交差箇所ごとに、自然条件、施工条件、美観、経済性などを考慮に入れた最適な構造形式の選定を行った。

本報告は、既設の道路橋の桁下と河水面との空間が、全交差箇所なかで最も小さい地点（東京湾に近いため潮汐の影響を受け、満潮時の桁下空間は 1.17 m である）における新高橋連絡通路橋について述べるものである。

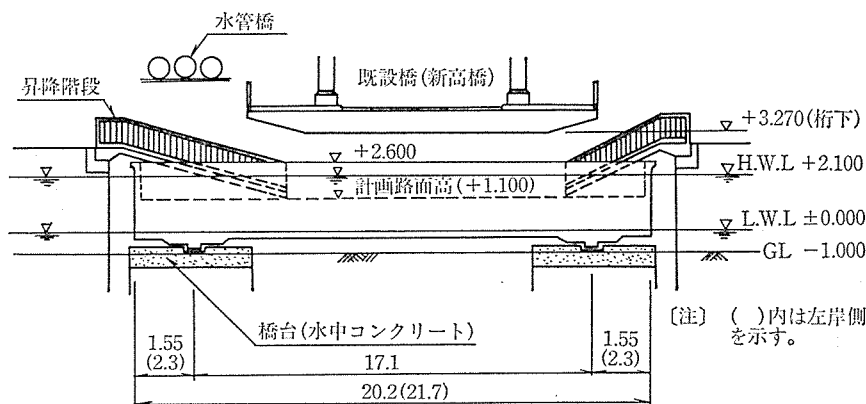
本地点では、建築限界により、満潮時における計画路面高さを河水面下に設定する必要があり、着底式案および矢板式案が検討対象となったが、桁下空間の制約から矢板施工に問題があり着底式案を採用した（図—1 参照）。

なお、通路橋本体は、鋼製とコンクリート製の 2 案で比較検討したが、本地点では維持管理面に優れたコンクリート製を採用し、橋軸方向については、ひびわれ抑制が可能な PC 構造とすることに決定した。

以下に、通路橋本体の設計と施工について、その概要を示す。

2. 設 計

本連絡通路橋の施工箇所は、前述したように潮汐の影響を受ける場所であり、橋体の現場施工は不適當といえる。したがって、陸上で橋体製作を行い、進水、曳航後、浮遊させた状態で設置箇所に誘導し、河床に設けたコンクリート製橋台に設置する施工法を採った。



図—1 新高橋連絡通路橋一般図

* 東京都江東区土木部河川公園課課長

** オリエンタルコンクリート（株）本社技術部主任研究員

*** オリエンタルコンクリート（株）本社技術部

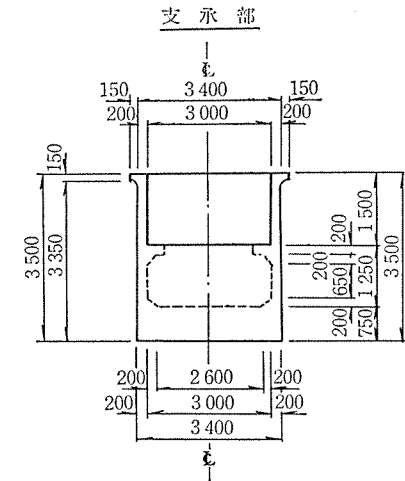
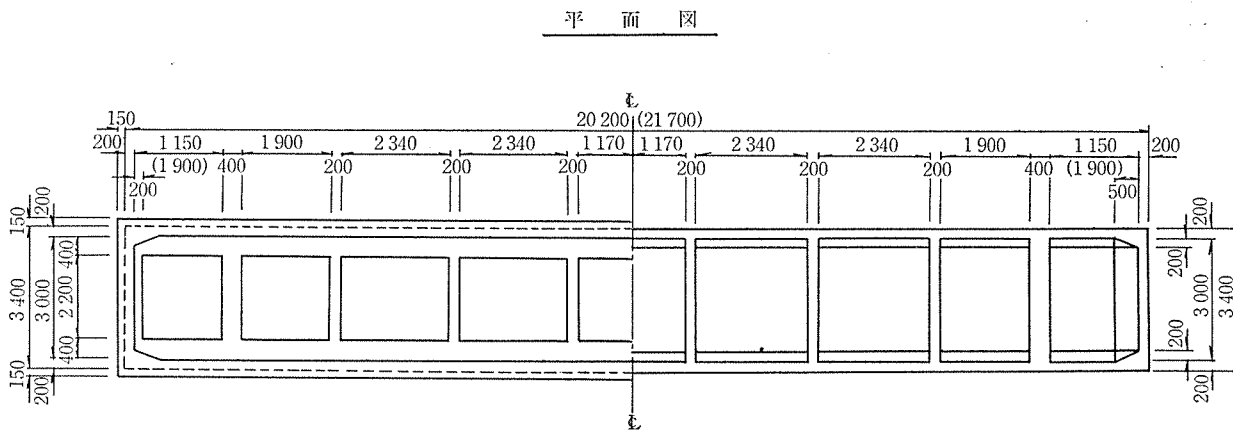
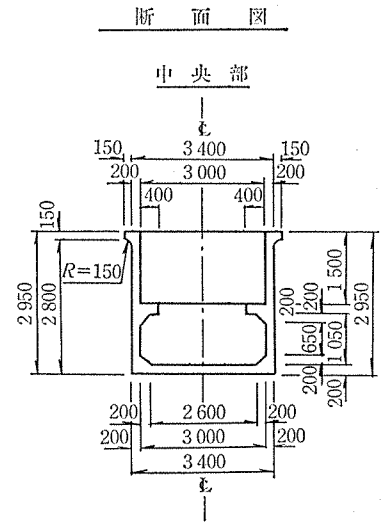
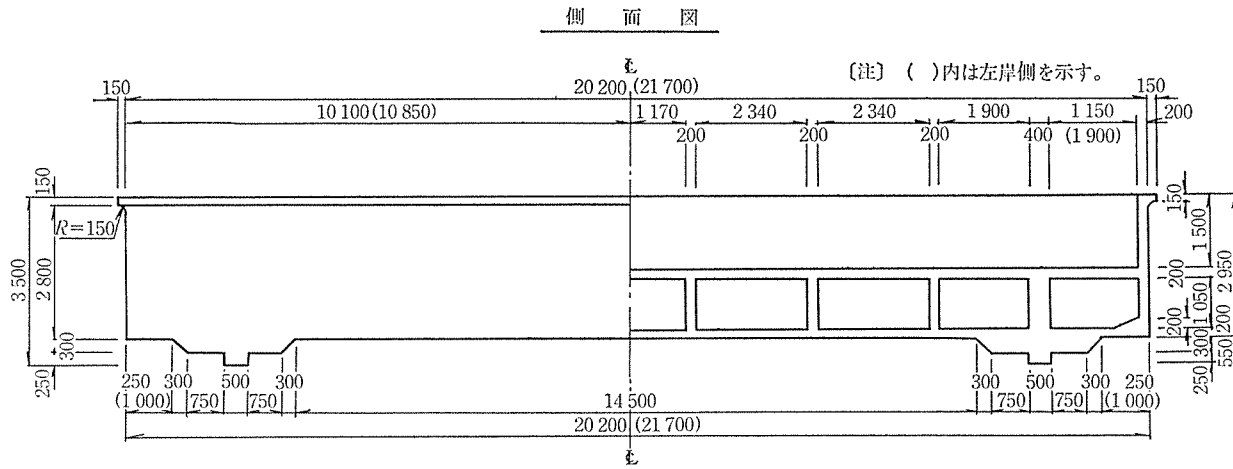


図-2 橋体の構造一般図

そのため設計においては、供用時に作用する死荷重、活荷重、および船舶運航によって発生する航跡波による波圧のほか、浮遊時の静水圧および曳航時の波浪荷重についても考慮した。

応力検討は、橋軸方向については梁としての全体応力と局部応力（側壁および隔壁等で固定支持された版としての応力）の両者に対して行った。この場合、梁としての全体応力の影響が大きいため、橋軸方向は PC 構造として、永久荷重作用時についてはフルプレストレスとし、設計荷重作用時については $\sigma_c = -15 \text{ kgf/cm}^2$ までの引張応力を許容することとした。一方、橋軸直角方向については局部応力に対する検討のみ行うものとし、発生応力が小さいため RC 構造とした。

また、本通路橋は常時潮の干満作用を受ける厳しい環境条件下におかれる構造物であるため、鋼材の最小かぶりには「港湾の施設の技術上の基準・同解説」（日本港湾協会）に基づき、海水に直接接する側を 70 mm、海水に直接接しない側を 50 mm とすることで、耐久性に対する配慮を行った。

本通路橋の構造一般図を 図-2 に示す。

2.1 設計条件

- (1) 構造形式：PC 構造水中着底式歩道橋
(ポストテンション単純U形箱桁橋)
- (2) 構造寸法：長さ 右岸側 $L=20.2 \text{ m}$
左岸側 $L=21.7 \text{ m}$
幅 $B=3.4 \text{ m}$
高さ 一般部 $H=2.95 \text{ m}$
支承部 $H=3.50 \text{ m}$
- (3) 設計水深： $GL=-1.0 \text{ m}$
- (4) 設計潮位：H.W.L. $=+2.1 \text{ m}$
L.W.L. $=\pm 0.0 \text{ m}$
- (5) 設計波高： $H_D=1.0 \text{ m}$
- (6) 設計震度： $K_h=0.2$
- (7) 群集荷重： $w=0.35 \text{ tf/m}^2$
- (8) 単位体積重量：
プレストレストコンクリート 2.50 tf/m^3
無筋コンクリート 2.35 tf/m^3
アスファルト 2.30 tf/m^3
海水 1.03 tf/m^3
- (9) 材料強度および許容応力度：

- 1) プレストレストコンクリート；
設計基準強度 400 kgf/cm^2
プレストレスを与える時の圧縮強度 340 kgf/cm^2
許容曲げ圧縮応力度 プレ導入直後 180 kgf/cm^2
設計荷重時 140 kgf/cm^2
許容曲げ引張応力度 プレ導入直後 -15 kgf/cm^2

永久荷重時	0 kgf/cm^2
設計荷重時	-15 kgf/cm^2
許容せん断応力度	設計荷重時 5.5 kgf/cm^2
	終局荷重時 53 kgf/cm^2
許容斜引張応力度	設計荷重時 10 kgf/cm^2

2) 鉄筋コンクリート；

設計基準強度	400 kgf/cm^2
許容曲げ圧縮応力度	設計荷重時 130 kgf/cm^2

3) PC 鋼材；

材質・種類	SWPR 19 1 T 21.8
引張強度	187 kgf/mm^2
降伏点応力度	161 kgf/mm^2
許容引張応力度	プレ導入時 145 kgf/mm^2 プレ導入直後 131 kgf/mm^2 設計荷重時 121 kgf/mm^2

4) 鉄筋；

材質	SD 30 A
降伏点応力度	3000 kgf/cm^2
許容引張応力度	設計荷重時 1800 kgf/cm^2

(10) 設計計算に関する諸数値：

- 1) ヤング係数；
コンクリート プレ導入時 $3.2 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
設計荷重時 $3.5 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
PC 鋼材 $20 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$
- 2) クリープ係数 2.6
- 3) 乾燥収縮度 10×10^{-5}
- 4) レラクセーション率 5.0%
- 5) セット量 4.0 mm

2.2 安定計算

(1) 浮遊時の安定計算

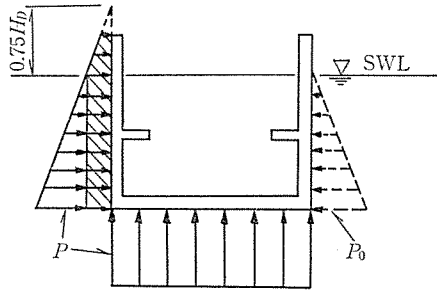
本通路橋は、施工時において海中に進水し、さらに海上を曳航する必要がある。したがって、その間の状態での橋体の乾げん、転覆あるいは傾斜に対する安全性の検討を行った。

一般に、浮遊時の安定計算は、重心から傾心までの距離（メタセンター長： \overline{GM} と称する）を求め、その値が吃水の 5% 以上あることを確認することで行われる。

表-1 に検討結果を示す。右岸側、左岸側ともに、乾

表-1 浮遊時の安定計算結果

	右岸側	左岸側
橋体の重量 (W)	146.5 tf	154.3 tf
橋体の重心高さ (G)	1.508 m	1.514 m
吃水 (D)	2.603 m	2.566 m
乾げん (F)	0.897 m	0.934 m
浮心 (C)	1.513 m	1.515 m
メタセンター長 (\overline{GM})	0.457 m	0.462 m
$0.05 D$	0.130 m	0.128 m



注) 安定計算…… $P-P_0$ (斜線部)
部材計算…… P
 H_D : 設計波高

図-3 航跡波による波圧

表-2 供用時の安定計算結果

	右岸側	左岸側
橋体の重量 (W)	146.5 tf	154.3 tf
中埋めコンクリート重量 (W')	137.3 tf	143.5 tf
全体重量 $W_T = W + W'$	283.8 tf	297.8 tf
作用浮力*1 (F)	209.4 tf	224.5 tf
橋体の水中重量 $W_w = W_T - F$	74.4 tf	73.3 tf
支承部摩擦抵抗力*2 $R_H = \mu \cdot W_w$	37.2 tf	36.6 tf
航跡波による水平力*3 (P_w)	52.0 tf	55.9 tf
地震による水平力*4 (P_H)	56.8 tf	59.6 tf
安全率		
浮上 W_T/F	1.36	1.33
滑動 R_H/P_H	0.65*5	0.61*5

- *1 橋体天端まで水位が上昇したと仮定した場合の浮力。
- *2 摩擦係数 $\mu=0.5$ (コンクリートとコンクリート)。
- *3 図-3 参照。
- *4 橋体底面まで水位が低下したと仮定した場合の地震水平力。
- *5 滑動防止用ストッパーを設けることで対応。

げん $F=0.9\text{ m}$, $\overline{GM} > 0.05 D$ であり, 十分安定であるといえる。

(2) 供用時の安定計算

供用時においては, 浮力による橋体の浮き上がりに対する検討, および船舶の運航によって発生する航跡波あるいは地震による水平力に対する滑動の検討を行った。

図-3 に, 橋体に作用する航跡波による波圧の考え方を示すとともに, 表-2 に供用時の安定計算結果を示す。

検討の結果, 浮力による浮き上がり防止のため, 隔壁間の桁空間部に中埋めコンクリートを打設して橋体の重量を大きくすることとした。一方, 滑動に対しては, 支承部の摩擦抵抗力のみでは滑動の恐れがあるために, 別途滑動防止用のストッパーを橋体支承部に設けることとした(図-2 参照)。

なお, 支承部ストッパーの検討は, コンクリートのみで作用せん断力を受け持たせることとし, 所要厚さを決定した。

2.3 部材の設計

(1) 全体応力に対する検討

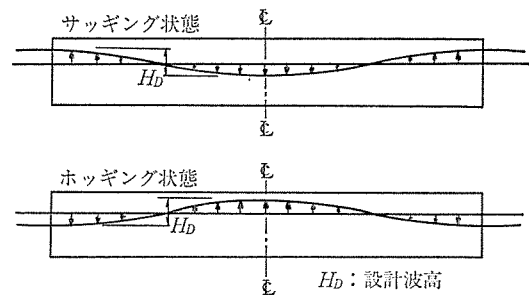


図-4 曳航時の波浪荷重

橋軸方向の梁としての全体応力に対する検討は, 供用時の永久荷重作用時および設計荷重作用時, 橋体吊上げ時(進水時), 橋体曳航時の各状態に対して行った。

供用時および吊上げ時の検討は, 通常の単純支持の梁としての応力検討を行っており, 曳航時の検討は, 橋体長と等しい波長の波による波浪荷重(図-4 に示す正面波による静水圧分布)に対する検討を行った。

波浪荷重による断面力算式を式(1), 式(2)に示す。

$$\text{曲げモーメント } M_{\max} = \pm \omega_0 B H_D \left(\frac{L}{2\pi} \right)^2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{せん断力 } S_{\max} = \omega_0 B \frac{H_D}{2} \frac{L}{2\pi} \dots\dots\dots (2)$$

ここに, M_{\max} : 最大曲げモーメントであり, 橋体の中央部に発生する

S_{\max} : 最大せん断力であり, $\pm L/4$ 点に発生する

ω_0 : 海水の単位体積重量

B : 橋体の幅

L : 橋体の長さ

H_D : 曳航時の設計波高

なお, 本設計における曳航時の設計波高は, $H_D=1.0\text{ m}$ として検討を行った。

表-3 および表-4 に, 橋軸方向の全体応力に対する検討結果を示す。

(2) 局部応力に対する検討

1) 設計荷重

底版, 側壁(端壁を含む), 隔壁等の各部材の局部応力に対する検討は, 以下に示す荷重を考慮して行った。

底版 ①版自重+航跡波による波圧(図-3 参照)

②版自重+中埋め重量+橋面工自重+群集荷重

側壁 ①航跡波による波圧

②中埋め生コンクリート圧

隔壁 ①中埋め生コンクリート圧

2) 曲げモーメントの算定

曲げモーメントの算定は, 底版および側壁下部につい

表-3 曲げモーメントに対する検討結果

検討状態	検討断面	曲げモーメント (tfm)	断面	断面係数 (m ³)	荷重応力度 (kgf/cm ²)	プレストレス (kgf/cm ²)	合成応力度 (kgf/cm ²)	
供用時	永久荷重時	支間中央	上縁	1.000	51.4	4.1	55.5	
			下縁	〃	53.4	4.1	57.5	
		〃	上縁	-1.725	-29.8	42.6	12.8	
			下縁	〃	-30.9	42.4	11.5	
		支点	上縁	-39.3	1.286	-3.1	18.4	15.3
			下縁	-18.0	〃	-1.4	18.4	17.0
	設計荷重時	支間中央	上縁	1.000	55.2	4.1	59.3	
			下縁	〃	57.2	4.1	61.3	
		〃	上縁	-1.725	-32.0	42.6	10.6	
			下縁	〃	-33.2	42.4	9.2	
		支点	上縁	-39.3	1.286	-3.1	18.4	15.3
			下縁	-18.0	〃	-1.4	18.4	17.0
吊上げ時	支間中央	上縁	1.000	24.1	4.1	28.2		
		下縁	〃	25.6	4.1	29.7		
	〃	上縁	-1.725	-14.0	42.6	28.6		
		下縁	〃	-14.9	42.4	27.5		
	支点	上縁	-18.8	1.286	-1.5	18.4	16.9	
		下縁	-8.7	〃	-0.7	18.4	17.7	
曳航時	ホッピング状態	上縁	1.000	-4.1	4.1	0.0		
		下縁	〃	-3.5	4.1	0.6		
	支間中央	上縁	-40.6	-1.725	2.4	42.6	45.0	
		下縁	-35.1	〃	2.0	42.4	44.0	
	サッキング状態	上縁	40.6	1.286	4.1	4.1	8.1	
		下縁	35.1	〃	3.5	4.1	7.6	
〃	上縁	-2.979	-2.4	42.6	40.2			
〃	下縁	〃	-2.0	42.4	40.4			

(注) 表中数値 上段：左岸側，下段：右岸側を示す。

表-4 せん断に対する検討結果

	右岸側		左岸側	
	設計荷重時	終局荷重時	設計荷重時	終局荷重時
設計せん断力 (tf)	113.8	193.6	113.7	193.3
斜引張応力度 (kgf/cm ²) 〔許容値〕	5.2 (10.0)	—	5.2 (10.0)	—
平均せん断応力度 (kgf/cm ²) 〔許容値〕	10.0 (5.5)	17.0 (53.0)	10.0 (5.5)	17.0 (53.0)
斜引張鉄筋の配置	スターラップ D 13-40 cm		スターラップ D 13-40 cm	

ては四辺固定の二方向版として、側壁上部については単位幅当りの片持ち梁として、隔壁については三辺固定の二方向版としてそれぞれ行った。

3) 応力度の検討

底版の橋軸方向は、PC 構造として全断面有効による曲げ応力度の計算を行い、別に算定した全体応力および

表-5 底版橋軸方向の検討結果

		永久荷重時		設計荷重時	
		版上縁	版下縁	版上縁	版下縁
全体応力 (kgf/cm ²)	右岸側	-25.2	-30.9	-27.1	-33.2
	左岸側	-24.3	-29.8	-26.1	-32.0
局部応力 (kgf/cm ²)	右岸側	10.8	-10.8	11.8	-11.8
	左岸側	10.8	-10.8	11.8	-11.8
プレストレス (kgf/cm ²)	右岸側	39.8	42.4	39.8	42.4
	左岸側	40.0	42.6	40.0	42.6
合成応力度 (kgf/cm ²)	右岸側	25.4	0.7	24.5	-2.6
	左岸側	26.5	2.0	25.7	-1.2
許容応力度 (kgf/cm ²)		0.0 ≤ σ _c ≤ 140.0		-15.0 ≤ σ _c ≤ 140.0	

プレストレス力による応力を合成して検討を行った。

表-5 に、検討結果を示す。

一方、底版の橋軸直角方向および側壁、隔壁については、RC 構造としての鉄筋量の検討を行った。各部材の

◇工事報告◇

部材厚は 20 cm としており、鉄筋配置は最小かぶり（外側 70 mm，内側 50 mm）を確保したうえで二層配置とした。鉄筋量は、全部材 D 13 を 20 cm 間隔で配置することで十分に許容値を満足する結果が得られた。

3. 施 工

橋体本体の製作は、右岸側と左岸側の 2 基を同時に、船橋市近郊の岸壁上において場所打ち工法で行った。

施工に当たっては、構造物の耐久性を考慮して、鉄筋をはじめ PC 鋼材および定着具等のかぶりを確保するとともに、コンクリート打継目の処理等に十分注意して行った。

また、橋体の進水、曳航に際しては、天候の穏やかな日を選ぶとともに、航行規則に従い十分な警戒体制のもとで行った。

3.1 橋体製作

(1) 底版工

橋体製作は、前述したように既設の岸壁上で行うため、岸壁の荷重耐力あるいは不同沈下等の影響を考慮して、十分な量の H 形鋼を用いて製作台を組み立て、メタルフォームを用いて底枠とした。

(2) 型枠工

型枠は、外枠および内枠ともに加工性が良く、コンクリート養生時の保温性に優れた合板（厚さ 12 mm）を使用した。また、型枠の組立てに際しては、所定の純かぶりがとれるセパレータを使用することで、耐久性に対する配慮を行った。

(3) 鉄筋工

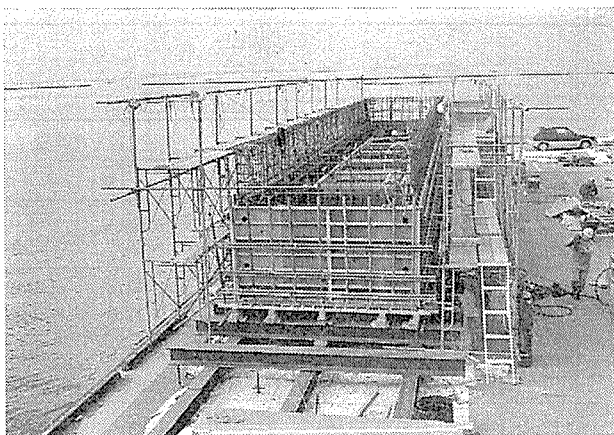


写真-1 型枠組立て状況

鉄筋のかぶり確保のために用いるスペーサーとしては、コンクリートとの付着性の良いモルタル製のものを使用した。

(4) ケーブル組立て工

スパイラルシース（φ 35 mm 使用）は、施工中における変形あるいは損傷を考慮して標準タイプより肉厚の大きいものを使用した。

底版に配置したケーブルは、モルタルスペーサーを配置した箇所で棚筋により保持することで、配置高さに誤差が生じないようにした。

(5) コンクリート工

コンクリートは、表-6 に示す示方配合によるレディミクストコンクリートを使用した。なお、本施工においては、表-6 に示すように、水セメント比が 36.5% と低いいため、施工性を良くするために流動化剤を使用した。

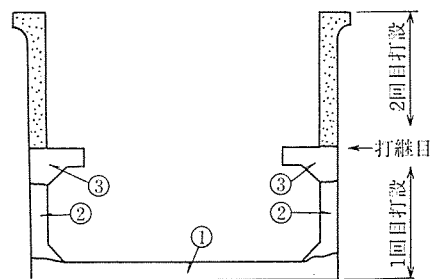
コンクリートの打設は、ブーム付きポンプ車によるポンプ打設によって 2 回に分けて行った。図-5 にコンクリートの打設順序を示す。

打継目は、ワイヤーブラシを用いてレイタンスの処理を十分に行い、接着剤を打継面に塗布した後に新旧コンクリートの打継ぎを行った。

(6) 緊張工

定着工法はシングルストランド工法とし、PC 鋼材は 1 T 21.8 を 17 ケーブル使用した。1 ケーブル当りの緊張力は 42.2 tf とし、支間中央のコンクリート断面応力で、上縁側約 4 kgf/cm²，下縁側約 40 kgf/cm² のプレストレス導入を行った。

また、緊張は片引きで行い、後埋め処理が必要となる切欠き定着部を減じるために、固定側はデッドアンカー



1 回目打設量 46m³ (打設時間 4 時間)
2 回目打設量 17m³ (打設時間 2 時間)

図-5 コンクリート打設順序および打設量

表-6 コンクリートの示方配合

設計基準強度 (kgf/cm ²)	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランブ (cm)	空気量 (%)	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 S/a (%)	単位容積重量 (kgf/m ³)				
						水 (W)	セメント (C)	細骨材 (S)	粗骨材 (G)	混和剤ポゾリス No. 70
400	25	8	4	36.5	36.5	161	441	619	1 104	1.102

とした。この場合、緊張側、固定側ともに、定着具についても所定のかぶりが確保できるよう留意した。

(7) 表面処理

側壁および端壁については、外側全面と内側の打継目付近に、表面の気泡の後埋めと防水性を考慮して表面処理（浸透性防水剤：ケミストップ使用）を行い、橋体製作を完了した。

3.2 橋体の進水、曳航、据付け

(1) 進水

橋体の進水に際しては、曳航時の波による海水の流入を防止するために、橋体上面を予め防水シートで被覆した（浮遊時の乾げん設計値は、約 0.9 m である）。

橋体の重量は約 150 tf であり、進水には 250 tf 吊りのフローティングクレーンを用いて行った（写真—3 参照）。

なお、橋体進水直後の吃水は、設計計算値に対して右岸側、左岸側ともに約 1.0 cm の誤差であった。

(2) 曳航

橋体は、進水後ただちに設置現場に曳航した。曳航船団の構成は、以下のとおりである。

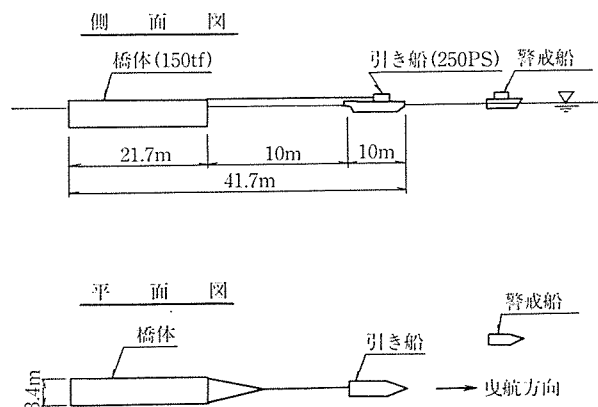
引き船 250 PS 2 隻

引き船 150 PS 1 隻

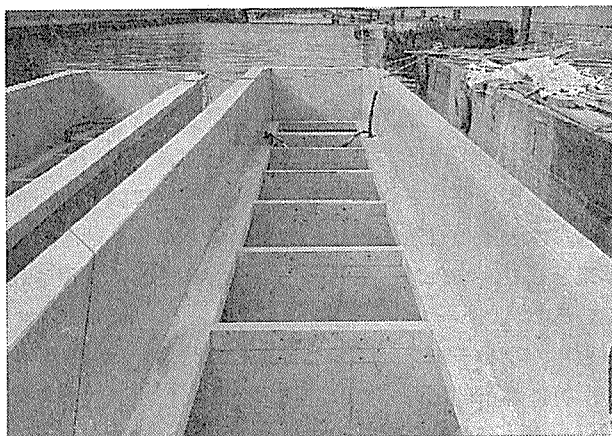
警戒船 85 PS 1 隻

曳航に際しては、航行規則の遵守は勿論のこと、警戒船による見張りを十分に行い、他の航行船舶の支障とならないように行った。図—6 に曳航要領図を、写真—4 に曳航状況を示す。

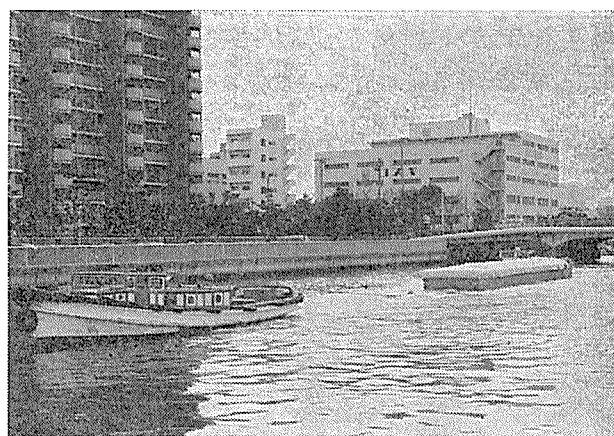
曳航航路は、船橋市近郊の岸壁より、東京湾沿岸部および隅田川を経て設置現場に至る約 37 km に及ぶ航程であり、所要時間は約 7 時間であった。



図—6 橋体の曳航要領図



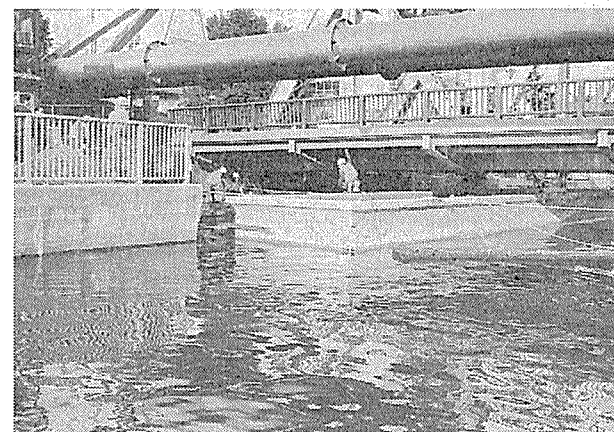
写真—2 橋体完成（仮係留状態）



写真—4 橋体の曳航状況



写真—3 橋体の進水状況（F.C 250 tf 吊り）



写真—5 橋体の据付け状況

◇工事報告◇

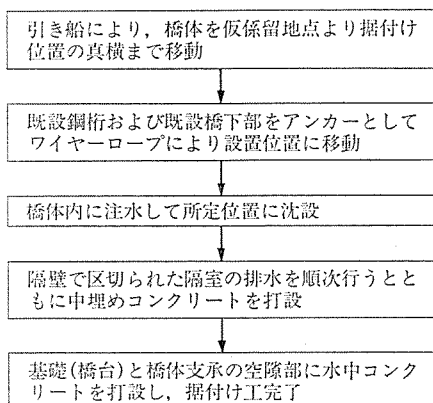


図-7 橋体の据付け作業手順

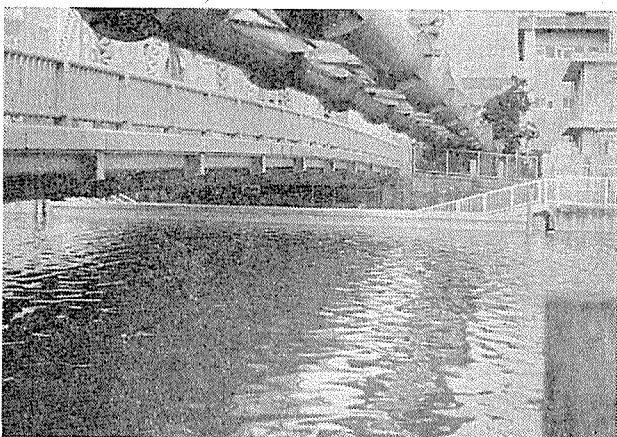
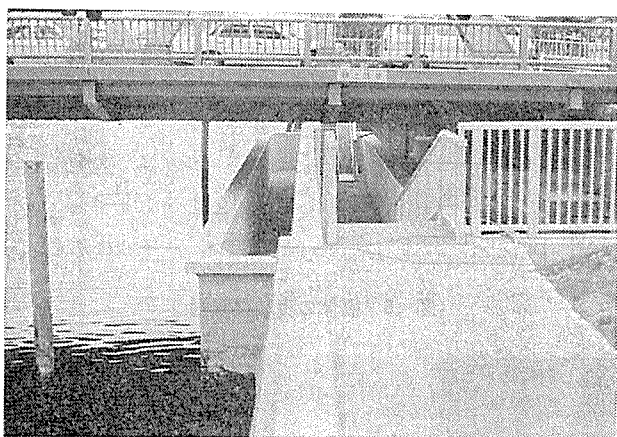


写真-6 連絡通路橋完成

(3) 据付け

橋体の据付け作業は、河床に設けた橋台天端と橋体支承部底面との余裕空間が最大となる大潮の満潮時(余裕空間約 30 cm)を選んで、1日1函の据付けとして2回に分けて行い、橋体工を完了した。

橋体の据付け作業手順を図-7に示す。なお、据付け現場では、予めL形チャンネルを用いて位置決め用のガイドを設置して、橋体支承部突起が橋台の所定位置に確実に設置できるように配慮した。

4. あとがき

以上、満潮時に水面下を渡ることになる PC 連絡橋の設計・施工についてその概要を述べた。通常の橋梁と異なり、橋桁そのものが水中に没するということが本橋の大きな特徴であり、実施に当たっての問題点でもあった。橋桁が水中に没するということにより、橋桁の水密性、耐久性の確保がより重要となり、また、施工空間の制約から、岸壁上でプレキャスト製作した橋桁そのものを進水、曳航して所定の位置に設置するという水面あるいは海面を利用した施工法を用いたことにより、橋桁に浮体としての性状(浮力確保のための軽量化、水密性、ひび割れ制御等)も必要となった。これらの要求を満たすために最適と考えられる PC 構造を適用することにより、水密性、耐久性、軽量化、施工性を確保し実現したものである。

現在、計画路線全区間の整備を完了し、「水辺の散歩道」は区民に開放されている。散歩道沿いには植栽が施され、水と緑の自然に親しむ憩いの場となり、通園、通学路として、また日常生活の生活路として広く利用されている。

近年、ウォーターフロントと称される時代背景のなかで、特に都市部においては、親水性の高い水際線の有効利用や再開発が着目され、各地でこの種の親水事業が計画・実施されている。

本報告が、これら関係者各位にとって多少なりとも参考になれば幸いである。

【1988年12月10日受付】