

ポリマー含浸高強度コンクリート型枠を用いた 吊床版橋の設計と施工

関 文夫*¹・田中 茂義*²・濱田 武人*³・葛西 敏*⁴

1. はじめに

吊床版橋は、施工の容易性、経済性から注目され、ゴルフ場、公園などの歩道橋として、我が国では十数橋建設されている。一般に、床版の施工法は、橋台間に張り渡された PC ケーブルを利用して、プレキャストセグメントを引出し架設し、セグメント間を場所打ち施工する工法が用いられている。しかし、この工法は、セグメント間の間詰め施工が必要となるため、型枠工の煩雑さ等の課題を有していた。そこで、本稿では、プレキャストセグメントの代わりに、ポリマー含浸高強度コンクリート型枠（以下、PIC フォームと称す）を用い、主桁を一度

に場所打ち施工する MCC 工法（移動式埋設コンクリート型枠工法）を提案した。この工法により、間詰め工の省略、軽い PIC フォームを用いることによるハンドリングの容易さ等の施工上の省力化に加えて、耐久性の向上、設計自由度の増大などが達成されるものと思われる。

本工法の MCC 工法が実証されたのは、愛知県南設楽郡作手村に建設中のつくでカントリークラブ内の吊床版橋で、施工方法の改善のほかに、詳細な景観設計が実施された橋梁である（写真-1）。本稿では、景観設計、構造設計、施工方法の概要について報告する。



写真-1 つくで C. C. 吊床版橋

*¹ Fumio SEKI : 大成建設(株) 土木本部土木設計部 主任

*² Shigeyoshi TANAKA : 大成建設(株) 札幌支店十勝大橋作業所 課長(前:土木本部土木設計部 係長)

*³ Taketo HAMADA : 大成建設(株) 名古屋支店土木部技術室 次長(前:名古屋支店つくで C. C 作業所 所長)

*⁴ Satoshi KASAI : 日本鋼管工事(株) 橋梁部 主任

2. 景観設計

2.1 デザインコンセプト

つくでカントリークラブは、戦略性の高いゴルフ場としてコースデザインされ、ゴルファーには高度のゴルフ技術が必要である。その中で、本橋の架設されている約180ヤードのショートホールは、ゴルファーに束の間の安心感を与える位置付けにある。ゴルフ場のコースデザイナーが持つコンセプトから、橋梁のデザインコンセプト



図-1 スケッチ例



写真-2 サグ勾配確認状況

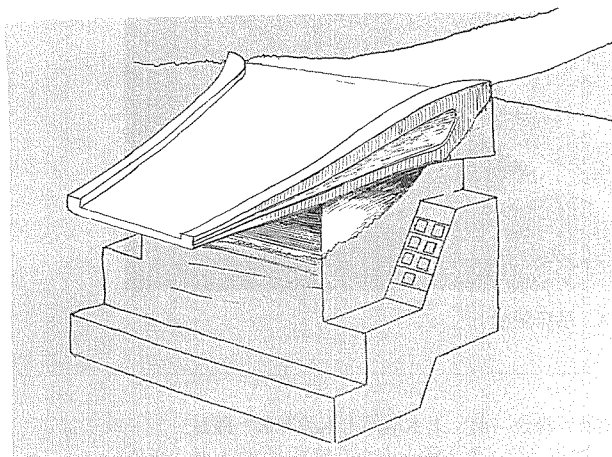


図-2 橋台回りの検討

トを決定するまでに、構造デザイナーを交えて十分な検討がなされた。最終的には、デザインコンセプトを“自然の揺らぎ”とし、ゴルファーが、ティーグラウンドに立ったときに、優しい自然の風が頬をすり抜け、橋がコースの導線の一部となるようなデザインを目標とした。

2.2 景観設計

デザインコンセプトの決定後、構造デザイナーにより橋種の検討が行われた。まず視点をティーグラウンドとし、中景のシーン景観を中心に、スケッチ 20 枚程度のいろいろな橋種を描いて検討した(図-1)。橋種の決定後、吊床版橋について、架橋位置の選定、幅員、平面線形検討、縦断線形等の基本的な検討がなされた。コースデザイン上、吊床版橋のサグから生じる上り勾配が、ゴルファーのシーケンス景観上好ましくないという観点、開発以前の自然地形から感じる線形を崩したくないという観点から、左右の橋台間に高低差をつけることにした。この高低差(3.912 m)により橋台の最大勾配が、橋台上での下り勾配が17.1%となったため、架橋付近の掘削現場で実際の勾配を再現して検討した後採用した(写真-2)。本橋の景観設計での特徴は、曲線を主体にした柔らかな線で設計したこと、人工物の露出度を控えるよう配慮したことである(図-2)。

3. 構造設計

本橋の一般図および主桁断面図を図-3、図-4に示す。また、一般諸元および数量表を表-1、表-2に示す。

表-1 一般諸元

橋種	歩道橋
構造形式	単径間 PC 吊床版橋 (ポストテンション)
橋長	72.6 m
支間	62.6 m
幅員	3.6 m (有効幅員: 3.0 m)
基本サグ量	1.7 m
荷重	群集荷重 250 kgf/m ²
基礎形式	アースアンカー

表-2 主要数量

種別	仕様	単位	数量	適要
コンクリート	$\sigma_{ck}=400 \text{ kgf/cm}^2$	m ³	86	床版
	$\sigma_{ck}=240 \text{ kgf/cm}^2$		371	橋台
PICフォーム	1.8 m×1.0 m	m ²	235	床版
鉄筋	SD 295	tf	19	
PC鋼材	CCL 1 S 21.8 mm	kgf	3248	ボンドケーブル
	CCL 1 S 21.8 mm		2164	アフターボンドケーブル
アースアンカー	VSL 10-φ12.7 mm	kgf	3415	永久アンカー

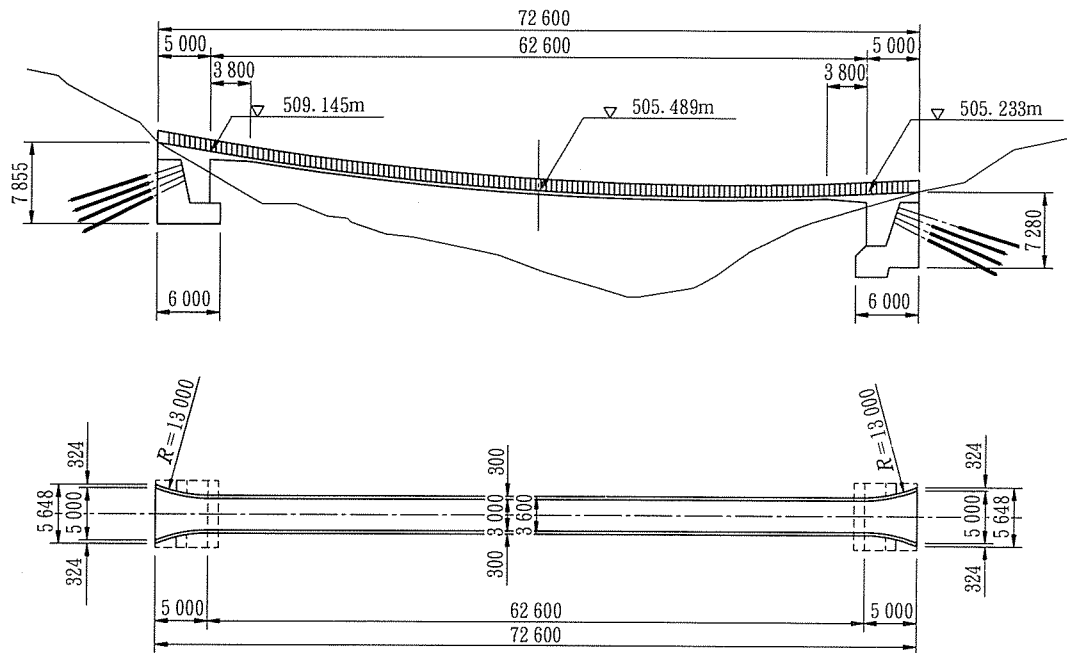


図-3 一般図

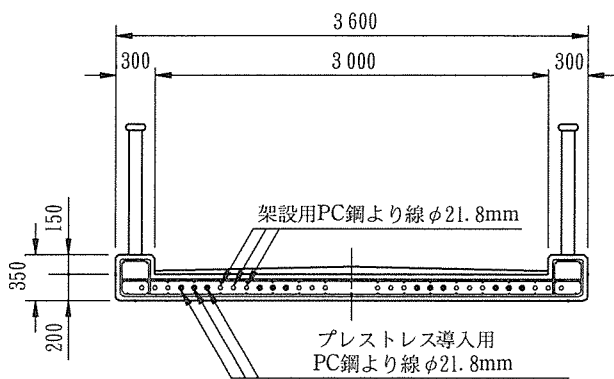


図-4 主桁断面図

表-3 各設計段階でのサグ量

設計段階	サグ量(m)
PICフォーム架設後	0.570 m
コンクリート打設後	1.924 m
プレストレス力導入後	1.817 m
高欄架設後	1.838 m
クリープ終了時	1.700 m

支間中央のサグ量を表-3に示す。

(2) 床版厚

床版厚は、一般に主ケーブルの防錆に対しての必要な厚さ、振動特性に対する質量効果、さらに、広幅員の吊床版橋の場合、上述検討項目のほか、プレキャストブロックの運搬時あるいは架設時におけるコンクリート版の応力性状等からも検討される。

本橋では、PICフォームをかぶり厚として有効と評価し、設計上の最小厚である20 cmとした。PICフォームの接続面はステンレス製の専用金具で補強し、エポキシ系接着剤を充填している。

(3) 断面力の算定

断面力の算定は、ケーブルの変形理論を基本とした。床版コンクリートのクリープ乾燥収縮による影響量の算定は、曲げ剛性を無視したケーブル部材として微小変形理論により求めた。各設計状態でのコンクリートの応力度、ケーブル張力を以下、表-4に示す。PICフォームの断面は、設計荷重作用時に全断面に圧縮の応力が作用することを確認して、設計上有効な断面として評価した。

3.1 上部工

(1) 基本サグ量

基本サグ量は、橋台に作用する水平力、振動特性に対して大きな影響を与えるため、適切な基本サグ量を決定する必要がある。基本サグ量の大きさにより、ケーブル、アースアンカー等の数量が増大し、不経済な設計となったり、歩行者の歩調と橋梁の固有振動数が近い場合、揺れ易い橋梁となることがあり得る。一般に、基本サグ量が小さく弦のように張り渡した状態では、吊床版橋は、振動モードが対象形になる。逆に、基本サグ量を大きく設定すると、底次での振動モードで逆対称形が卓越し、固有振動数が大きくなり、人体に与える影響を小さくできるとされている。

本橋では、一般的に設定される基本サグ比（基本サグ量/支間長）1/30~1/50を目安に、固有値解析の結果から、基本サグ量を1.7 mとした。各設計段階における

表-4 各設計状態でのコンクリート応力度と鋼材張力

設計状態	コンクリート 応力度 (kgf/cm ²)	PC 鋼より線の 張力 (tf/本)	
		架設用	プレストレス 導入用
架設ケーブル張り渡し後	-	10.0	-
PIC フォーム 架設後	-	16.0	-
コンクリート打設後	-	28.7	-
プレストレス力導入後	46.7	26.9	33.0
高欄 架設 後	29.4	27.2	33.3
クリープ 終了 時	23.7	25.7	31.8
設計荷重 作用 時	0.5	26.1	32.3

(4) ケーブル配置

ケーブルとして、30本のPC鋼より線φ21.8mmを橋台間に配置した。このうち、18本はPICフォームの自重、コンクリート打設時の死荷重を負担する架設ケーブルとし、残りの12本は活荷重、温度荷重、クリープ乾燥収縮に対して、床版にプレストレスを導入する主ケーブルとして配置している。この主ケーブルは、薄肉の床版内で、配置位置(図心)を保持できること、グラウト作業の不要なことから、アフターボンドケーブルφ21.8mmが採用された。

(5) 橋台との接合部の設計

吊床版橋の橋台と床版の接合部は、活荷重および温度変化などの繰返し荷重により、床版上下縁にひび割れが生じ、床版内のケーブルにも局部的な二次曲げが発生する。そこで、図-5のように、橋台上面と床版下面の間

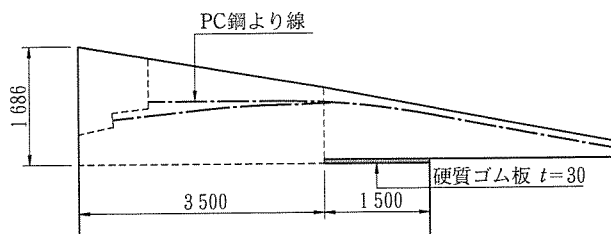


図-5 橋台と床版の接合部

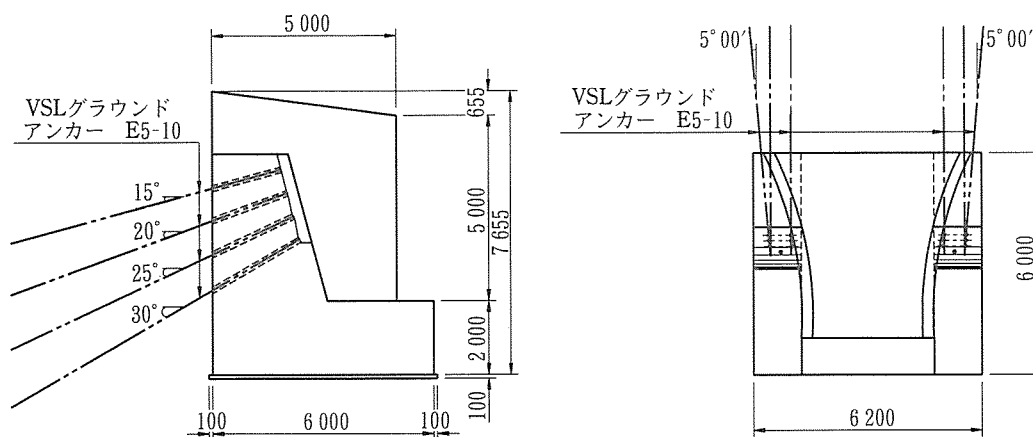


図-6 グラウンドアンカーの配置

に、厚さ30mmの硬質ゴム支承を敷設し、床版の角度変化に緩衝する構造とした。また、ゴム支承上の床版部の橋軸方向の鉄筋は、ゴム支承を無視した片持ち梁として断面力を求め、RC断面として鉄筋量(D 19 c.t.c. 125mm)を算定した。

(6) 歩行者の振動に対する検討

歩行者による振動対策として実施した固有値解析は、境界条件の影響を把握するために、橋台と床版の結合条件を固定の場合(CASE-1)、回転自由の場合(CASE-2)の2ケースで検討した(表-5)。いずれのケースも、1次の固有振動数が、歩行者の平均的歩調(1.8Hz~2.2Hz)の領域外であるため、橋梁との共振現象は発生しないと判断した。

表-5 固有振動数

次数	CASE-1	CASE-2
1次	1.69	0.91
2次	2.59	2.04
3次	4.14	3.88

(単位: Hz)

3.2 下部工

(1) 基礎形式

吊床版橋の橋台には、床版部から伝達される引張荷重を支えるために、次のような基礎形式が考えられる。

- ① 重力式橋台の基礎
- ② 斜杭式の杭基礎
- ③ 地中壁と斜杭の併用した基礎
- ④ グラウンドアンカー方式の基礎

本橋の場合、地質調査の結果から、比較的浅い箇所(地表面下約6~7m)に良好で堅固な岩盤の支持層を確認できたので、躯体が最も小さくなり、施工性が良いグラウンドアンカー方式(VSL E 5-10)を採用した。

(2) グラウンドアンカーの配置

グラウンドアンカーの配置は、吊床版橋の反力を効率

良く支持するためには、なるべく水平に配置した方が設計上有利である。本橋では、岩盤との定着、ケーブル製作長、地盤内での応力分散を図るために、図-6のように、側面方向に15°~30°、平面方向に0°~5°の角度でグラウンドアンカーを分散して配置した。配置した数量は、各橋台14本ずつの28本配置した。

(3) グラウンドアンカー導入力

グラウンドアンカーは橋台の安定を図るために、上部工の施工段階により、随時緊張するのが望ましいが、緊張回数が増加し、施工を複雑にするため、適切なグラウンドアンカーの配置および緊張時期の設定が必要である。本橋では、床版のコンクリート打設時までに生じる水平力に対処する導入力を、グラウンドアンカーの1次導入力として橋台施工後に導入した。また、橋面工完了時および設計荷重作用時、クリープ完了時に対して必要な導入力を、グラウンドアンカーの2次導入力として、床版のコンクリート打設後に追加導入した。1次導入力は、6本(1橋台当り)とし、2次導入力は、残りの8本で対処した。

緊張時の導入力は、岩盤のクリープおよびPC鋼材のリラクゼーション等を考慮し、緊張時の導入力を80 tf/本とした。また定着長は、引抜き力に対して安全率を2.5とし約10 mに決定した。橋台の躯体形状は、底面の最大地盤反力が、設計荷重時60 tf/m²、施工時90 tf/m²を満足するように躯体断面を決定した。

4. 施 工

4.1 施工概要

施工順序および工程表を、図-7、表-6に示す。本橋の施工の特徴は、上部工の施工にPICフォームを用いたMCC工法(Movable Consolidated Concrete Formwork Method)を採用したこと、グラウンドアンカーの緊張回数を削減させたことなど、施工の省力化を図った点である。

4.2 下部工

掘削した地盤上に橋台を構築し、転圧しながら埋戻しを行った。その後、グラウンドアンカー工を行い、14本を挿入し、そのうち6本を緊張し、床版コンクリート

表-6 工程表

工種	月数	1	2	3	4	5	6
準備工		準備工					
下部工		橋台躯体工 アンカー工	削孔 アンカー工	緊張	緊張	緊張	
上部工			PIC製作 架設	組立 ケーブル工 張力調整	床版工 主ケーブル緊張		橋面工
跡片付け工							跡片付け工

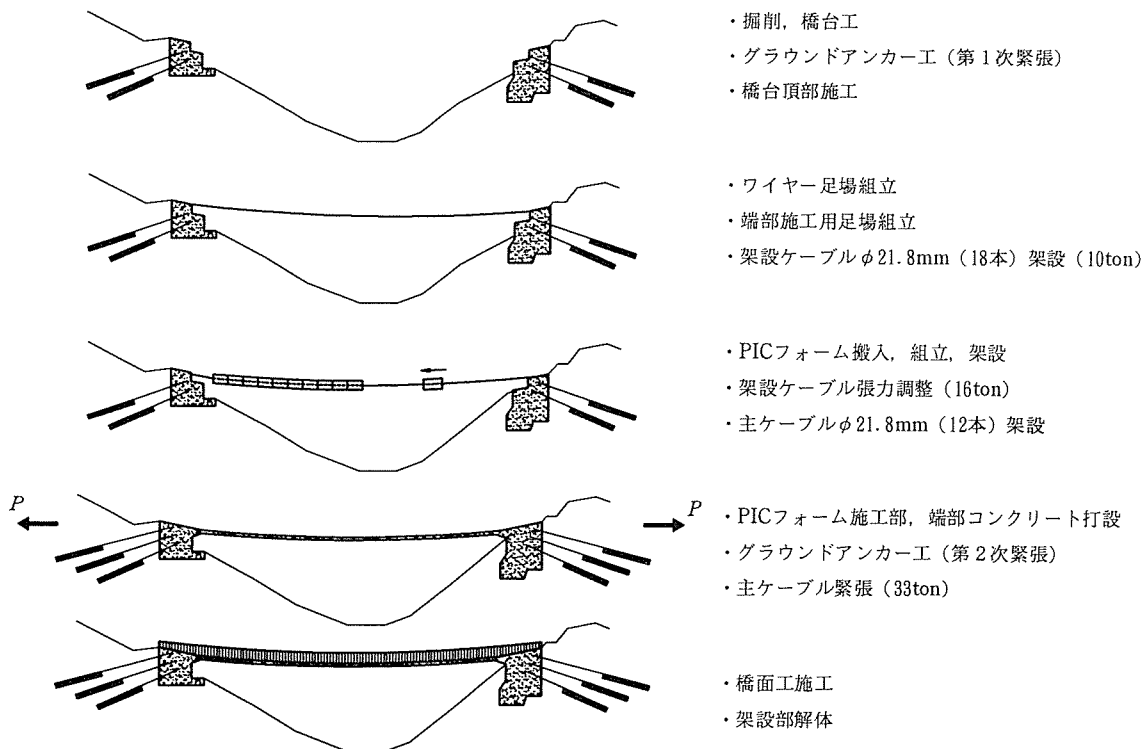


図-7 施工順序

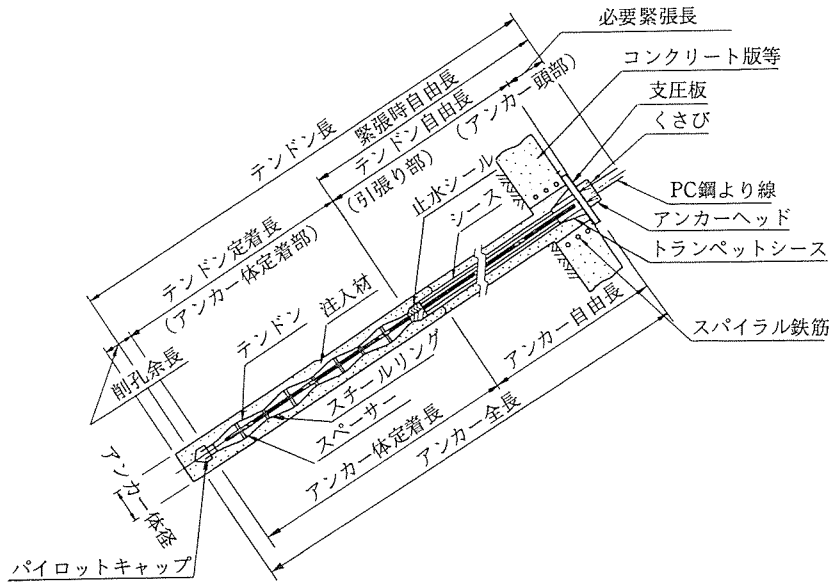


図-8 VSL 永久アンカー

打設後に、残りの8本を緊張した。使用したグラウンドアンカーは、VSL 永久アンカーを採用した(図-8)。

4.3 上部工

上部工は、支間 62.6 m を、PIC フォームを用いた中央部の 55.0 m と、吊り支保工による両端部の 3.8 m × 2 に分割施工した(図-9)。

(1) MCC 工法 (Movable Consolidated Concrete Formwork Method)

床版の施工は、プレキャストセグメント工法の代り

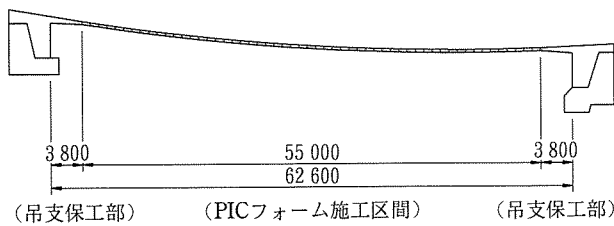


図-9 上部工の施工区間

に、型枠の PIC フォームを架設後、床版コンクリートを一度で場所打ち施工する MCC 工法を採用した。この工法は、PIC フォームを埋設型枠として使用し、コンクリート打設後は、本体構造物と一体構造とするもので、PIC フォームの組立て方に特徴がある。MCC 工法を本橋に適用するにあたり、事前に、PIC フォームのスライディング架設に不可欠な取付け金具や、コンクリート打設時に大きな変形に耐える接続金具等を開発し、安全性、施工性の確認実験を行って、吊床版橋の施工システムとして確立した¹⁾。PIC 版を用いた MCC 工法は、吊床版橋以外にもアーチ橋等のコンクリート橋に広く適用可能で、施工省力化、構造物の耐久性の向上を特徴としている。

(2) PIC フォーム (Polymer Impregnated Concrete)

PIC フォームは、硬化コンクリートモルタルの微細な空隙に、樹脂のモノマーあるいはプレポリマーを含ま

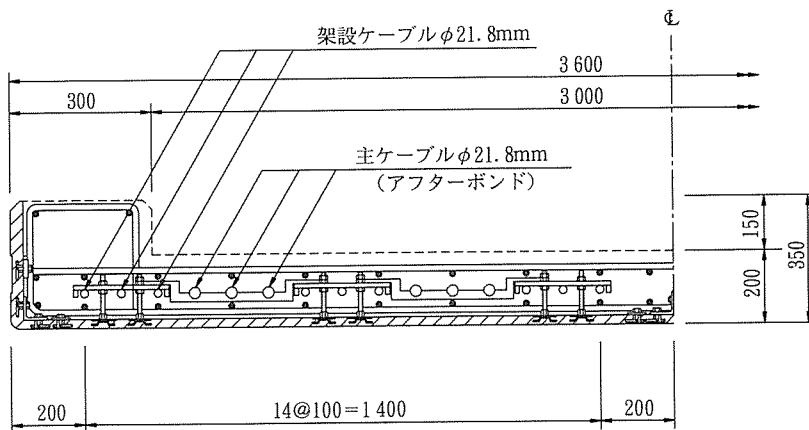


図-10 架設時の断面図

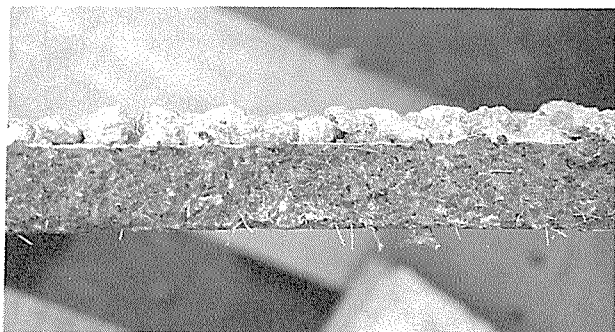


写真-3 PIC フォーム断面

・重合させ充填し緻密にした複合強化材料である（写真-3）。表面は、通常のコンクリート仕上げ面と同等で、背面は付着性状を向上させるため、骨材を露出させた形状になっている。PIC フォームの性能は、平成2年3月に建設大臣の認定機関である（財）土木研究センターが「民間開発建設技術の技術審査・照明事業認定規定」に基づき、審査証明されている（技審証第0107号）²⁾。PIC フォームを適用したコンクリート構造物は、ポリマーで含浸された強靱な殻で覆われているため、遮塩・遮水性、耐凍害性、耐摩耗性及び化学抵抗性が向上し、高い耐久性が保証される^{3)~5)}。

（3）施工方法

① 架設ケーブルの架設

架設ケーブルとして、PC 鋼より線φ21.8 mm 18本を橋台間に張り渡し、橋台両側に設置したジャッキにより緊張（10 tf）した。

② PIC フォームの組立

工場内で製作された PIC フォームユニット（1.0 m × 1.8 m）は、2枚ずつ工場ですり合わせを組立て、接合

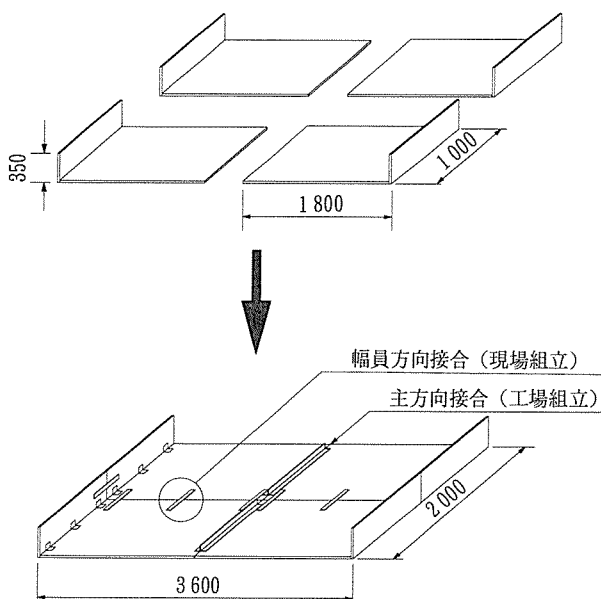


図-11 PIC フォーム組立図



写真-4 PIC フォーム組立状況

し（2.0 m × 1.8 m）、現場に搬入された。主方向の接合面は、エポキシ樹脂系接着剤により接着し、さらに主方向接合金具にて補強した。搬入された PIC フォームは、図-11のように1スパン分（2.0 m × 3.6 m）が、現場で接合された（写真-4）。幅員方向の接合面は、薄肉の平鋼（幅員方向接合金具）にて接合され、版間の止水性を確保するためにシリコン系樹脂を現場で接合面に塗布した。

③ PIC フォームの架設

橋台付近の細工ヤードで PIC フォームを組み立て、橋軸直角方向の鉄筋（下筋）を配置した。PIC フォームはクレーンにより、架設用金具を利用して PC 鋼より線に吊り下げられ、ウインチにて引出し架設が行われた（写真-5）。全スパンを架設後、PIC フォームの幅員工法接合面を、幅員方向接合金具にて接合し、版間の止水性を確保するためにシリコン系樹脂を接合面間に充填した。接合後、橋軸方向の鉄筋（下筋）を組み立て、版のねじれ、サグ量の施工管理のために、架設ケーブルの張力調整を行った。

④ 床版工

架設ケーブルに吊り下げられた PIC フォーム上で、

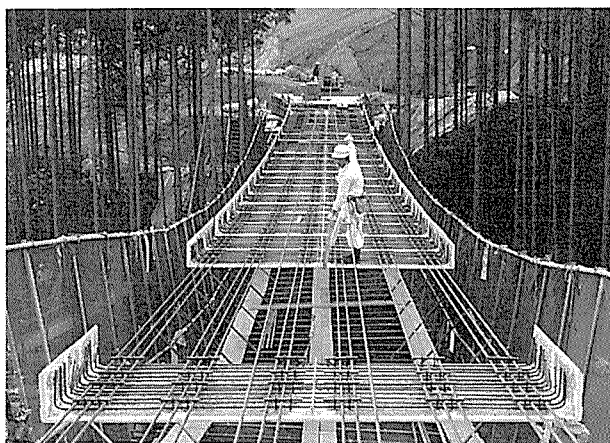


写真-5 PIC フォーム架設状況

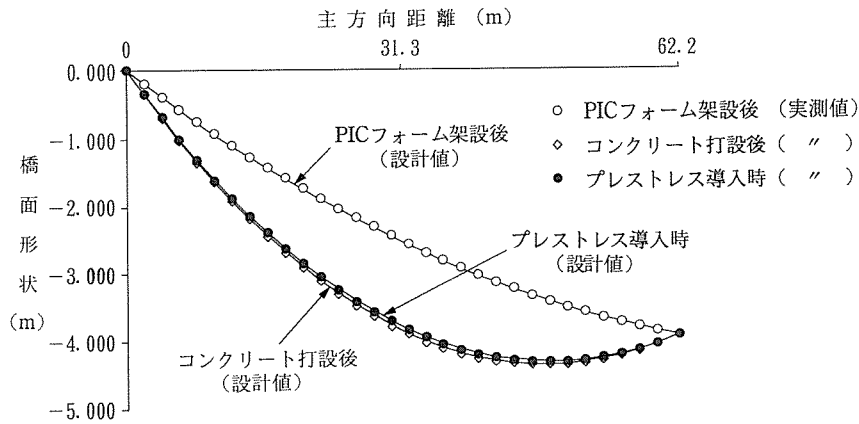


図-12 橋面形状

表-7 橋面形状

(単位 : m)

距離	PIC フォーム架設後			コンクリート打設後			プレストレス力導入後		
	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差	設計値	実測値	差
0.0	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2.0	-0.196	-0.195	0.002	-0.358	-0.360	0.002	-0.350	-0.352	0.002
4.0	-0.387	-0.384	0.004	-0.701	-0.705	0.003	-0.685	-0.688	0.003
6.0	-0.573	-0.568	0.005	-1.029	-1.034	0.005	-1.005	-1.010	0.005
8.0	-0.755	-0.749	0.006	-1.341	-1.347	0.006	-1.310	-1.316	0.006
10.0	-0.932	-0.925	0.007	-1.637	-1.645	0.007	-1.601	-1.608	0.006
12.0	-1.104	-1.096	0.008	-1.919	-1.928	0.008	-1.877	-1.885	0.008
14.0	-1.272	-1.263	0.009	-2.185	-2.195	0.010	-2.137	-2.146	0.009
16.0	-1.435	-1.425	0.011	-2.435	-2.446	0.011	-2.383	-2.393	0.010
18.0	-1.594	-1.583	0.011	-2.670	-2.682	0.011	-2.615	-2.625	0.010
20.0	-1.747	-1.735	0.012	-2.890	-2.902	0.012	-2.831	-2.842	0.011
22.0	-1.896	-1.884	0.013	-3.094	-3.107	0.013	-3.032	-3.044	0.011
24.0	-2.041	-2.029	0.012	-3.283	-3.296	0.013	-3.219	-3.231	0.012
26.0	-2.181	-2.169	0.013	-3.457	-3.470	0.013	-3.391	-3.403	0.012
28.0	-2.316	-2.304	0.013	-3.615	-3.629	0.013	-3.548	-3.560	0.012
30.0	-2.446	-2.434	0.013	-3.758	-3.772	0.014	-3.690	-3.702	0.012
32.0	-2.572	-2.560	0.013	-3.885	-3.899	0.014	-3.817	-3.830	0.013
34.0	-2.693	-2.681	0.012	-3.997	-4.011	0.014	-3.930	-3.942	0.012
36.0	-2.810	-2.798	0.012	-4.094	-4.107	0.013	-4.027	-4.039	0.012
38.0	-2.921	-2.910	0.011	-4.175	-4.188	0.013	-4.110	-4.122	0.011
40.0	-3.028	-3.018	0.011	-4.241	-4.253	0.012	-4.178	-4.189	0.011
42.0	-3.131	-3.121	0.011	-4.291	-4.303	0.011	-4.231	-4.242	0.011
44.0	-3.229	-3.219	0.010	-4.326	-4.337	0.011	-4.270	-4.280	0.010
46.0	-3.322	-3.313	0.009	-4.346	-4.356	0.010	-4.293	-4.302	0.009
48.0	-3.410	-3.402	0.008	-4.350	-4.359	0.009	-4.302	-4.310	0.008
50.0	-3.494	-3.487	0.007	-4.339	-4.347	0.008	-4.295	-4.303	0.008
52.0	-3.573	3.567	0.006	-4.313	-4.320	0.006	-4.274	-4.280	0.006
54.0	-3.648	-3.643	0.005	-4.271	-4.277	0.006	-4.238	-4.243	0.005
56.0	-3.718	-3.714	0.005	-4.213	-4.217	0.004	-4.188	-4.192	0.003
58.0	-3.783	-3.781	0.002	-4.141	-4.144	0.002	-4.122	-4.124	0.002
60.0	-3.843	-3.843	0.001	-4.053	-4.054	0.000	-4.042	-4.043	0.001
62.6	-3.915	3.915	0.000	-3.915	-3.915	0.000	-3.915	-3.915	0.000

ただし、実測値は温度補正後の値である。

主ケーブル(PC鋼より線 $\phi 21.8$ mm) 12本を取付け金具上に配置し、橋軸方向、橋軸直角方向の鉄筋(上筋)を組み立てた。コンクリート打設(早強 $\sigma_{ck}=400$ kgf/cm²)は、主桁中央部から先行し、橋台両端部を打設した。

⑤ 床版プレストレスング

グラウンドアンカーの2次緊張(8本)後、床版にプレストレスを導入するため、主ケーブル12本が緊張された。

⑥ 橋面工

吊床版橋の橋面形状は、複雑な曲線(カタナリー曲線あるいは放物線)となるため、高欄支柱の角度が問題となる。本橋の高欄は、放物線を基線として、鉛直方向に支柱を設置したため、橋面と支柱のなす角度はすべて異なり、支柱間ごとに個別に計算した。

(4) 施工管理

吊床版橋は、施工時の荷重状態や温度変化により、サグ量および張力が変化するため、橋の形状管理が難しい。本橋では、ケーブル張力、サグ量、橋体温度、主桁コンクリート材料試験、グラウンドアンカーの張力管理等を総合的に管理するパーソナルコンピュータを用いた施工管理システムを導入した。橋面形状の施工管理状況を図-12に示す。各施工段階ごとに設計値と温度の影響を考慮した実測値と比較して施工管理を実施した。設計値と実測値の程度は支間中央部付近で最大13 mmであった(表-7)。

5. おわりに

近年、省力化施工は、時代の趨勢である。代表的な省力化施工例としてプレキャストセグメント工法が注目されているが、プレキャストセグメント間の継手処理が複

雑になり、施工性を低下させた場合もある。本稿では、有力な省力化施工法の一つとして、PICフォームを用いた吊床版橋の設計、施工例を報告した。本稿で適用された工法は、主桁、橋脚、アーチリブ等の橋梁工事の省力化のみでなく、塩害の影響を受ける海洋構造物の耐久性の向上や、任意なコンクリート部材の形状加工が可能のため、今後の発展が期待されている。

本稿を閉じるにあたり、本稿での提案が、今後の橋梁、コンクリート構造物の設計・施工に役立てば幸いである。本橋完成までに御尽力いただいた関係各位に、誌上を借りて深く感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 大熊, 田中, 関, 白石: プレキャスト版型枠を用いた吊床版橋の施工システムと実施例, プレストレストコンクリートの発展に関する第3回シンポジウム, 1992. 11
- 2) 民間開発建設技術の技術審査・証明事実認定規程に基づく「土木系材料技術・技術審査証明報告書(技審証第0107号): ポリマー含浸コンクリートによる高耐久性埋設型枠材 PIC フォーム」, 財団法人土木研究センター, 1990. 3
- 3) 新藤, 内藤, 松岡: PIC フォーム複合部材の耐久性に関する研究, プレストレストコンクリートの発展に関する第1回シンポジウム, 1990. 11
- 4) 内藤, 松岡, 新藤: ポリマー含浸コンクリートによる高耐久性埋設型枠, 土木学会誌, 1990.
- 5) S.TANAKA, T. TSUKAGOSHI, K. SAITOU, M. MATSUO, F. SEKI: THE APPLICATION OF SUPER WORKABLE CONCRETE AND POLYMER IMPREGNATED CONCRETE FORM TO PC CABLE-STAYED BRIDGES. Proceedings of the FIP Symposium '92, 1992. 5
- 6) 佐藤, 杉本, 須田: 吊床版橋の設計・施工および静的載荷試験, 橋梁と基礎, 1990. 3
- 7) 材寄勉, 南敏和, 小林剛: アフターボンドPC鋼材の諸特性について, プレストレストコンクリート, 1990

【1993年9月13日受付】