

栈橋構造に適用したFRP合成床版の設計と施工

Design and Construction of FRP-RC Composite Slabs for Jacket Structures

久保圭吾* 西田正人** 河西龍彦*** 筒井秀樹**** 松井繁之*****

Keigo KUBO, Masato NISHIDA, Tatsuhiko KASAI, Hideki TSUTSUI, Shigeyuki MATSUI

* (株) 宮地鐵工所 設計部設計グループ (〒590-0831 千葉県市原市八幡海岸通3)

** (株) 宮地鐵工所 工事部工事グループ (〒103-0011 東京都中央区日本橋大伝馬町7-5)

*** 工博 (株) 宮地鐵工所 工場管理部 (〒590-0831 千葉県市原市八幡海岸通3)

**** 第一コンサルタンツ (株) 技術部設計一課 (〒781-8122 高知県高知市高須新町3-1-5)

***** 工博 大阪大学大学院教授 工学研究科地球総合工学専攻 (〒565-0871 大阪府吹田市山田丘2-1)

Ushio-Shinmachi Bridge is the jacket structure that is located on the sea. FRP-RC composite slab was adapted to this bridge, because corrosion resistance and construction method. The strength and fatigue durability of the slab is confirmed by the test result and this slab has the construction example as the long span slabs. However, this bridge is the first using as a slab for jacket structure. The paper describes the design and construction of the FRP-RC composite slab applied to the jacket structures.

Key Words: Jacket Structures, composite slab, design method

1. はじめに

近年、道路橋床版では、合理化、省力化の観点から、合成床版の採用が増えつつある。しかし、合成床版の適用事例としては、鋼桁上の床版が大多数であり、他の構造の床版に合成床版が使用された事例はほとんどないのが現状である。本橋は、図-1に示す高知広域都市計画道路潮新町線の新田排水機場から県道交差点の区間の公有水面内を通過する部分に位置しており、この公有水面は、排水機場の排出口であるため、埋め立てられずに取り残された入り江の部分にあり、この入り江と外海（高知港）は、幅約10mの水路でつながっている。このような条件下での架橋に当たり、橋梁形式の比較検討が、(1)逆T形擁壁（ボックスカルバート）案、(2)栈橋案、(3)逆T形擁壁+栈橋案の3案で行なわれた。この結果、①経済性に優れる、②公有水面に対する環境負荷が最も少ない、③施工性に優れている（工期が最短）、④周辺施設（ポンプ場等）への影響が少ないなどの理由により、栈橋案が採用された。ただし、本橋が海面上での施工であり、型枠・支保工の設置空間が確保できず、高潮時は海

水中に没するため、これらに対応できる床版構造としてFRP合成床版が採用された。このときの橋梁概要を表-1に、構造を図-2に示す。なお、FRP合成床版は、輪荷重走行試験による疲労試験や長支間床版としての施工実績もあるが、栈橋構造に対しては最初の適用例である。ここでは、栈橋構造の橋梁における、FRP合成床版の設計と施工について報告する。

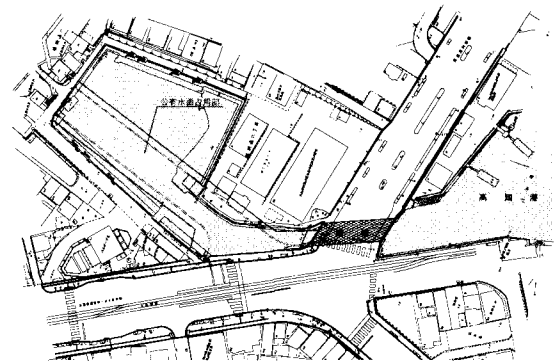


図-1 橋梁位置図

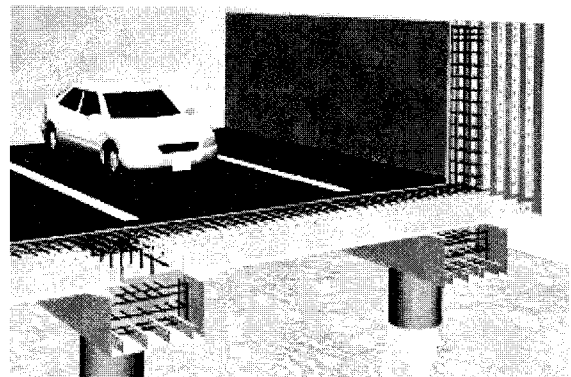


図-2 構造概念図

表-1 潮新町線橋梁の概要

発注者	高知市
工期	平成17年3月～平成18年2月
位置	高知県高知市栈橋通4丁目
形式	連続合成桁橋
活荷重	B活荷重
橋長	83.200m
支間長	5.000m
有効幅員	22.000m
床版形式	FRP合成床版
主桁形式	合成T桁
杭形式	鋼管杭（φ600mm）重防食

2. 構造概要

2.1 構造形式

本橋は、図-3に示すように栈橋構造の道路橋であり、下部構造として、5m 間隔に鋼管杭が配置されている。上部工形式は、杭上の橋軸方向にRC桁を配置し、この桁間に床版を設置する構造である。ただし、施工位置が海面から非常に近く、床版型枠・支保工の施工が困難なことから、プレファブ形式の床版とする必要があり、さらに、耐塩害性を考慮して、FRP合成床版が採用された。なお、FRP合成床版は、長支間床版に適用可能であるため、主桁間隔を大きくし杭本数の削減を図っている。

主桁は、床版よりさらに海面に近く、縦断勾配の低いC17側では、満潮時に主桁下面が水没してしまう。このため、特に耐塩害性に優れた材料の使用が要求されたため、FRPで囲ったRC構造とした。なお、杭位置の主桁間には、横桁が配置されている。

壁高欄は、高潮時の防潮堤を兼用しており、路面からの高さが約2.3mと非常に高く、外側に足場等の施工が困難なことから、外面にFRPパネルを設置する構造とした。これらより、本橋は、高潮時、直接海水に接触する部分を、全てFRPで覆う構造となり、耐塩害性の向上が図られた。

2.2 主桁構造

主桁の桁高は、路面と海面の高さが近いため、極力低くする必要がある。しかし、主桁の杭位置で横桁を支持するため、主桁上部を切り欠いた構造となり、この下の断面で横桁コンクリート打設時の荷重を支持する必要があるため、これを考慮し、主桁高さを700mmとした。また、主桁形状が凸型となるため、上部の幅が減少し、非合成桁とした場合、上面鉄筋の配筋が困難となる。このため、本橋では、床版コンクリート硬化後の荷重（後死荷重・活荷重）に対しては、主桁と床版が合成して抵抗するものとして設計した。このときの主桁断面寸法、抵抗断面を図-4に示す。

3. 床版の設計方法

3.1 床版厚

FRP合成床版の床版厚は、通常、土木学会鋼構造設

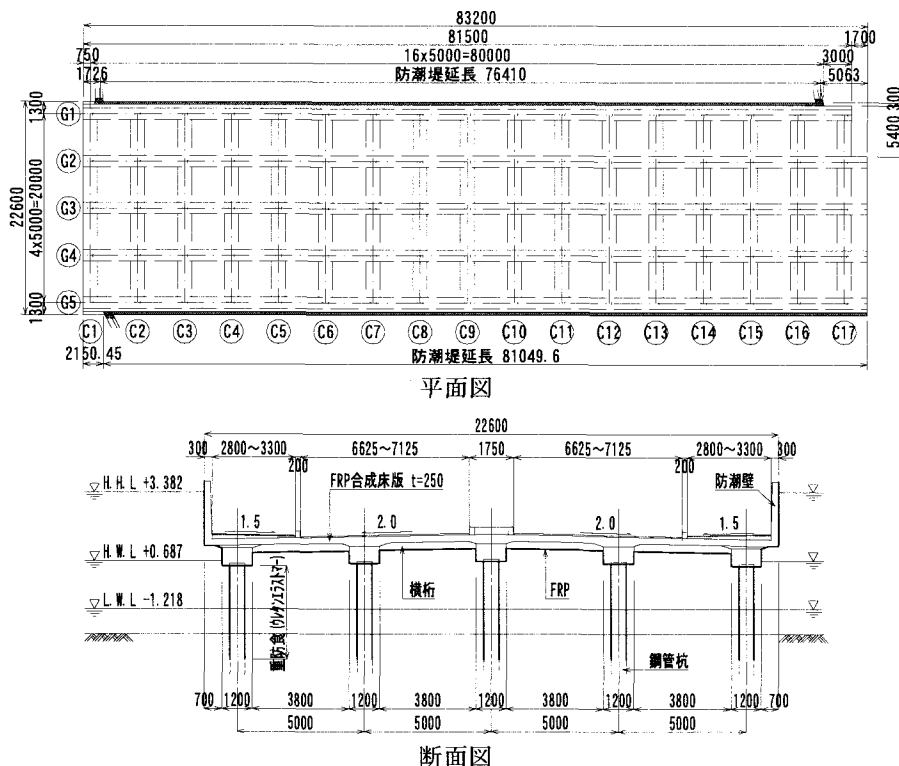
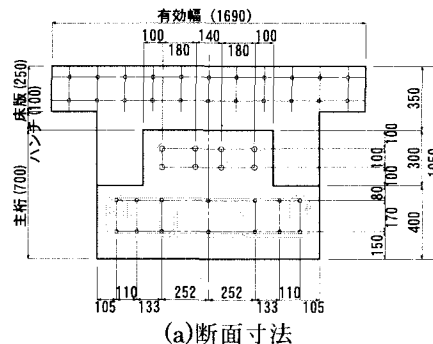
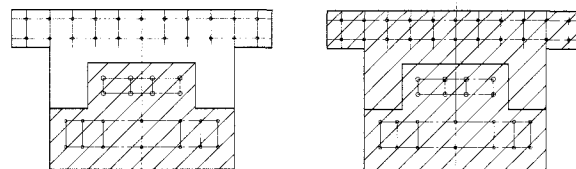


図-3 橋梁概要図



(a)断面寸法



(b)合成前抵抗断面

(c)合成後抵抗断面

図-4 主桁断面形状

計指針 part B に準じて最小厚を決め、応力度等の照査を行い、これらを満足する厚さを確保することとしている。しかし、本橋の構造は、通常の床版構造と異なり、主桁と横桁で支持される2方向版の挙動を示すと考えられるため床版厚の決定方法が不明確であること、および高潮時に浮力が作用するため床版厚をあまり薄くすることは好ましくないことから、道路橋示方書のRC床版の90%とした。このときの床版厚は250mmであり、FRP材はリブ高180mmのものを使用した。

3.2 床版設計断面力

本橋では、横桁と床版を同時にコンクリート打設することから、前死荷重に対しては、1方向版として算出した。一方、後死荷重、活荷重による床版の支間部設計曲げモーメントは、通常、相対する2辺で単純支持された等方性無限単純版で解析された曲げモーメント式の値を用いる。本橋は、杭位置の橋軸直角方向に横桁を配置しており、2方向版として挙動することが考えられたが、この横桁高さが550mmと、床版厚の250mmと比べあまり大きくないことから、設計では、2辺単純支持版と2方向版の設計曲げモーメントの両方を算出し、これらの大きい方の値を用いることとした。なお、このときの二方向支持板の設計曲げモーメント式は、下式²⁾を用い、設計死荷重は、図-5の荷重載荷図のとおりとした。また、本橋は高潮時に防潮堤頂部付近まで海面が上昇することから、このときの浮力も考慮した。

(1) 後死荷重による曲げモーメント式

1) 主鉄筋方向曲げモーメント

$$0.495wL^2 \quad (B/L \geq 1.5)$$

$$[0.012 + 0.025(B/L)]wL^2 \quad (1 \leq B/L < 1.5)$$

2) 配力鉄筋曲げモーメント

$$0.023wL^2 \quad (B/L \geq 1.25)$$

$$[0.053 + 0.024(B/L)]wL^2 \quad (1 \leq B/L < 1.25)$$

(2) 活荷重による曲げモーメント式

1) 主鉄筋方向曲げモーメント

$$[0.124 + 0.022(B/L)]PL \quad (B/L \geq 1.5)$$

$$[0.079 + 0.052(B/L)]PL \quad (1 \leq B/L < 1.5)$$

2) 配力鉄筋曲げモーメント

$$\frac{0.058}{0.1L + 0.7} PL \quad (B/L \geq 2)$$

$$\frac{0.088 - 0.015(B/L)}{0.1L + 0.7} PL \quad (1.2 \leq B/L < 2)$$

$$\frac{0.0178 - 0.09(B/L)}{0.1L + 0.7} PL \quad (1 \leq B/L < 1.2)$$

ここに、 w ：床版に作用する死荷重強度 (kN/m)

P ：後輪荷重 (=100kN)

B ：主桁間隔 (m)

L ：横桁間隔 (m)

表-2 設計で考慮する材料特性

	設計強度 (N/mm ²)		許容応力 (N/mm ²)		弾性係数比 (鋼との比)
	引張	圧縮	引張	圧縮	
鉄筋 (SD345)	—	—	140	200	1
FRP	250	220	85	75	7
コンクリート	—	30	—	8.6	10

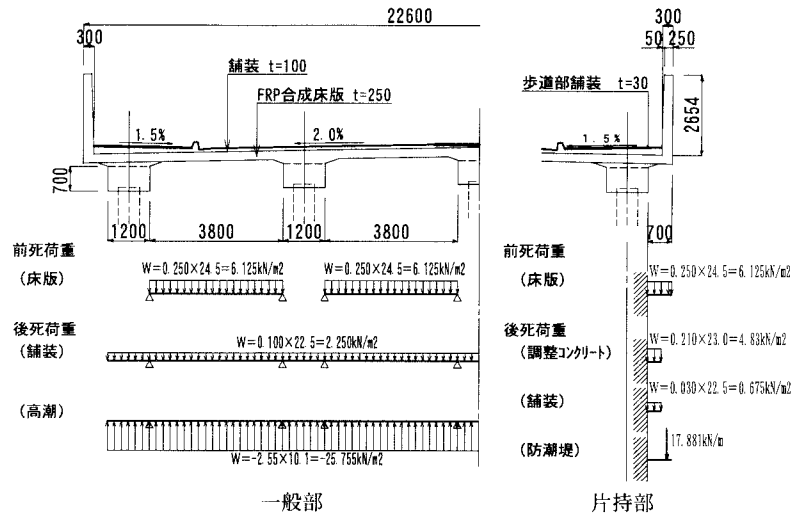


図-5 荷重載荷図

3.3 床版断面計算

床版の断面設計は、FRP型枠が支保工を兼用するため、床版コンクリート硬化までの荷重に対しては、FRP型枠のみで荷重を受け持ち、コンクリート硬化後は鉄筋コンクリートとFRP型枠が合成した断面で外力に抵抗するものとした。設計に用いた材料特性は、表-4のとおりであり、引張側コンクリートの強度は無視した。

4. 施工手順

4.1 施工フロー

本橋の施工は、FRPパネルを、工場で輸送可能な大きさに組み立てることで現場作業の軽減を図っており、このときの工場組み立てパネルは、主桁、横桁、床版としている。なお、横桁、床版パネルは、現場作業をさらに省力化するため、下側鉄筋をFRPパネルに組み込んでいる。しかし、主桁パネルは、工場で鉄筋を組み立てた場合、輸送時の鉄筋の形状保持が困難となるため、現地ヤードにて配筋を行った。

現地施工は、下部工鋼管杭の施工用栈橋を撤去しながらFRPパネルを設置する手順とし、上部工の架設用栈橋と兼用することで、施工の合理化を図っている。このときの施工ステップを図-6に示す。施工は、最初の4径間分の主桁パネル架設を先行し、その後、2径間分の主桁コンクリートの打設、横桁・主桁パネルを設置という手順とし、この手順のサイクル作業により施工を行った。なお、この時の施工工程を表-2に示す。

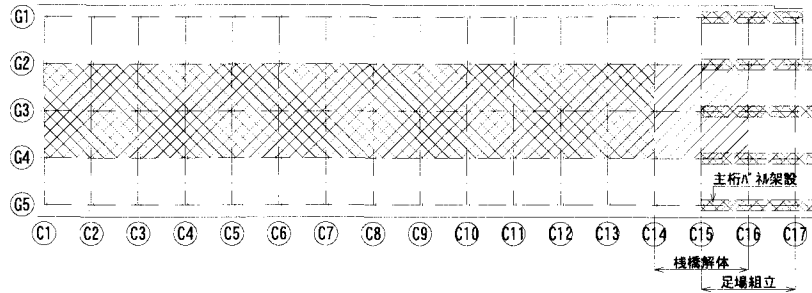
床版コンクリートの打設は、コンクリート打設量の関係から、全体を3分割した5径間分毎の施工とし、設計基準強度30N/mm²の膨張コンクリートを使用した。

防潮堤を兼ねた壁高欄の施工は、床版コンクリート施工後、FRP型枠を設置する方法とした。

このような施工手順をとることにより、当初工程より、施工開始が1ヶ月以上遅れたが、工期内にほぼ施工を完了する事ができた。

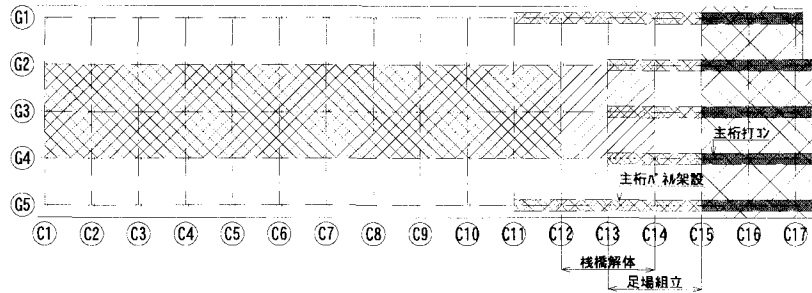
ステップ-1

- ・ 棧橋解体
- ・ 足場組立
- ・ 主桁パネル架設



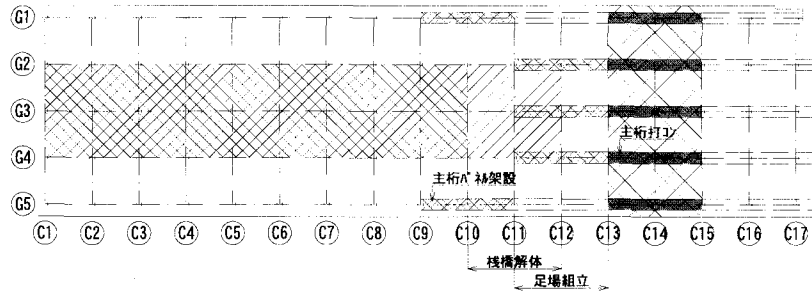
ステップ-2

- ・ 棧橋解体
- ・ 足場組立
- ・ 主桁パネル架設
- ・ 主桁部：打コン
- ・ 床版パネル架設



ステップ-3

- ・ 棧橋解体
- ・ 足場組立
- ・ 主桁パネル組立
- ・ 主桁部：打コン
- ・ 床版パネル架設



ステップ-4

- ・ 棧橋解体
- ・ 足場組立
- ・ 主桁パネル組立
- ・ 主桁部：打コン
- ・ 床版パネル架設
- ・ 床版打コン

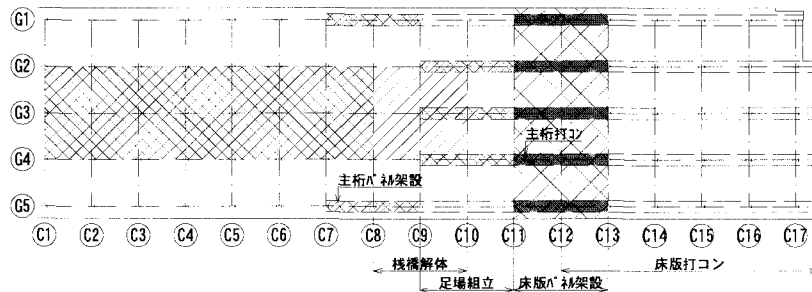


図-6 施工ステップ

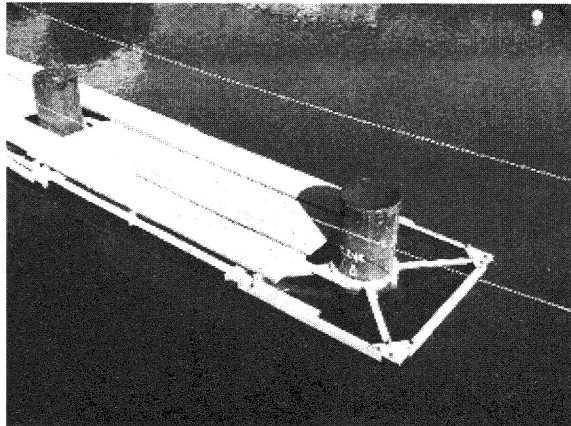
表-2 施工工程表

工種	月日	2005年		2006年				
		11月	12月	1月	2月			
主桁 (架設・打コン)	C15-C17	■						
	C13-C15		■					
	C11-C13			■				
	C9-C11				■			
	C7-C9					■		
	C5-C7						■	
	C3-C5							■
C1-C3								■
横桁・床版 (架設・配筋)	C15-C17							
	C13-C15							
	C11-C13							
	C9-C11							
	C7-C9							
	C5-C7							
	C3-C5							
C1-C3								
横桁・床版打コン								
防潮壁								

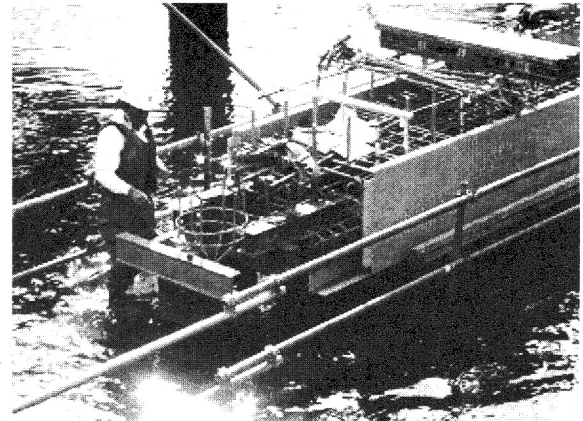
4.2 主桁の施工

本橋は、鋼管杭上の橋軸方向に主桁を配置しているが、この主桁は、設計上、鉄筋コンクリート構造としている。この主桁の施工は、当初、主桁下面に支保工を設置し、その上にFRPパネルを設置する計画であった。しかし、本橋の施工位置が海面から非常に近く、満潮時に主桁下面が海水に浸かるため、主桁下面に支保工を設置するのは不可能であったため、主桁に支保工を埋め込む構造に変更した。このため、海中での設備は、写真-1(a)に示す作業用足場のみとすることができた。主桁の支保工は、

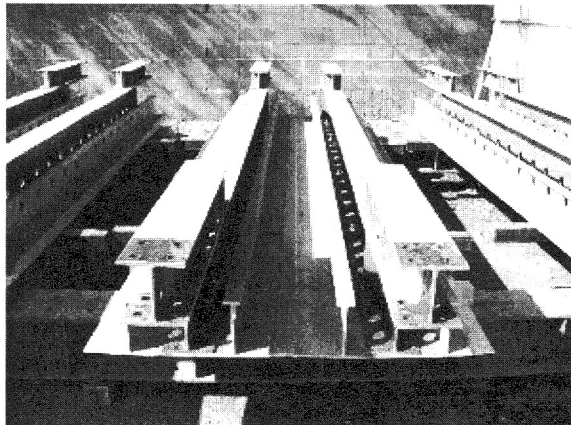
H型鋼を使用し、これとFRPパネルによりコンクリート打設時の荷重を支持する構造とした。なお、主桁パネルの鋼管杭への取り付けは、写真-1(d)に示すように、杭に設置した溝型鋼の上に、このH型鋼を設置する構造であり、これらにより、干潮時のみの作業で主桁の設置が可能となった。また、主桁と床版との結合は、写真-1(f)に示すように、D25の鉄筋を予め主桁に埋め込んでおき、これに床版コンクリート打設することで一体化する構造とした。なお、主桁のコンクリートは、横桁・床版の設置工程を早めるため、早強コンクリートを用いた。



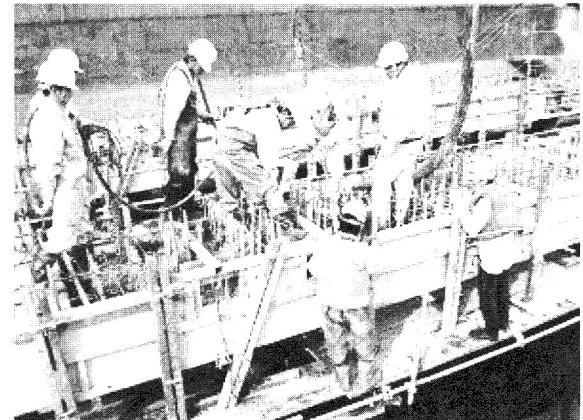
(a) 足場設置状況



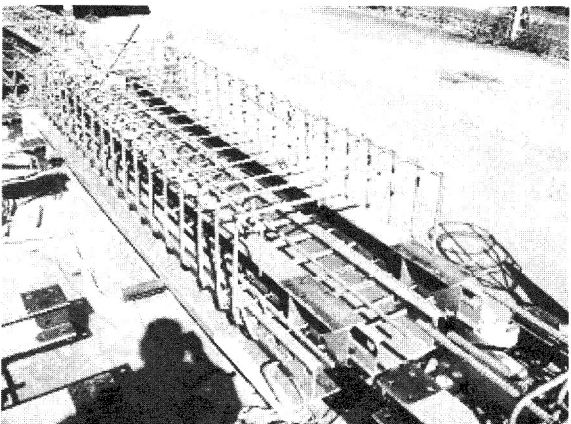
(d) 主桁パネルの設置状況



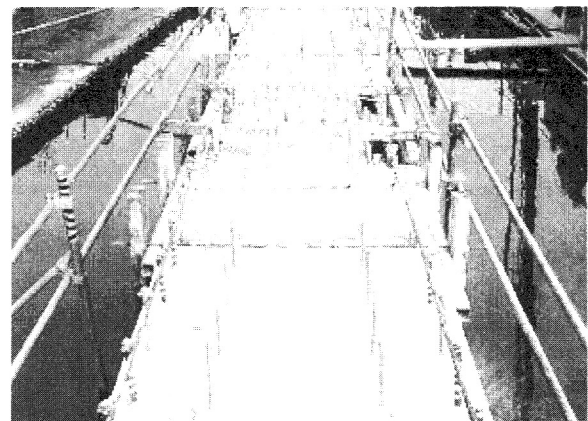
(b) 主桁底板パネル



(e) 主桁コンクリート打設



(c) 主桁パネルの配筋状況



(f) 主桁と床版のずれ止め

写真-1 主桁の施工手順

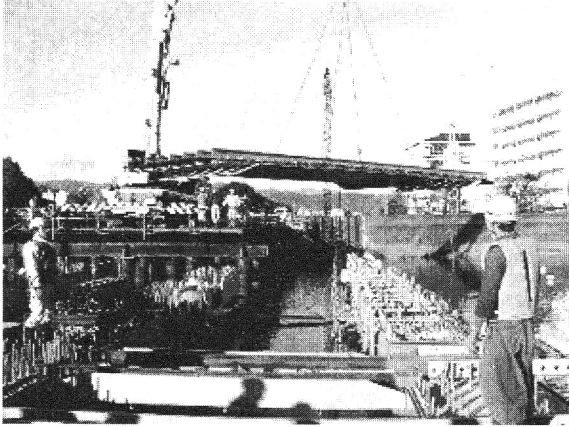


写真-2 床版パネルの架設

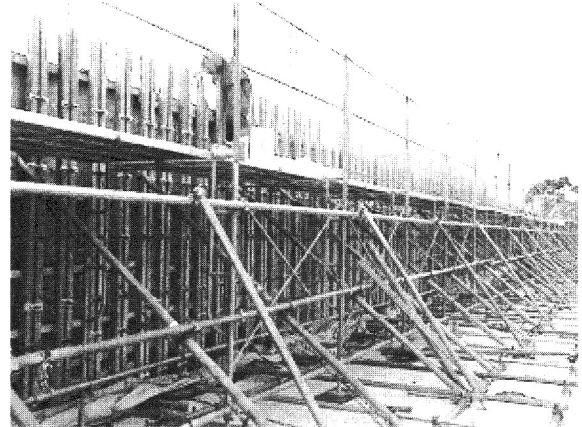


写真-4 防潮壁内側型枠

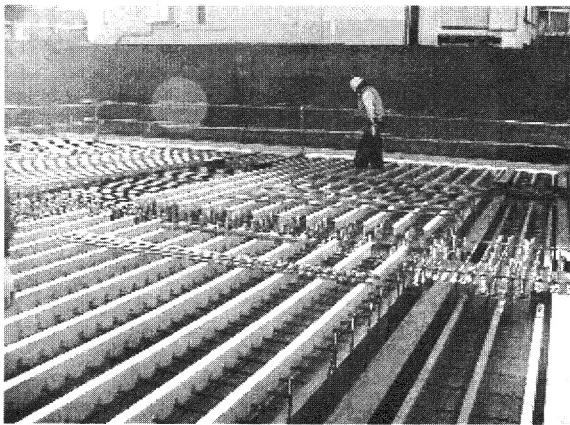


写真-3 横桁・床版パネルの現場配筋

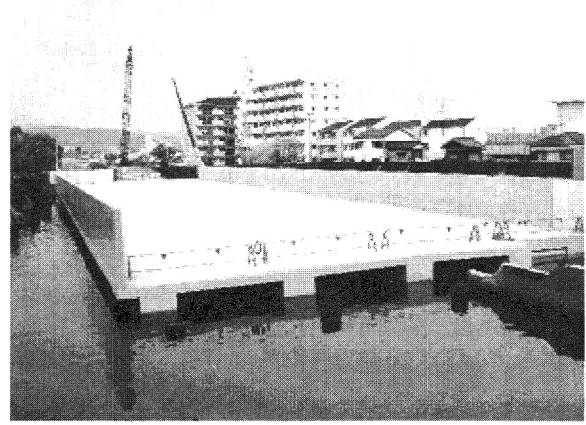


写真-5 完成

4.3 横桁・床版の施工

横桁は、床版と比べ桁高が大きく、コンクリート打設時の荷重が大きくなるため、FRP材のリップ間にH型鋼を配置し、このH型鋼とFRP板でコンクリート打設時の荷重に抵抗することとした。また、この横桁パネルの主桁上での支持は、H型鋼を杭上の主桁切り欠き部に、載せる構造とした。床版パネルは、横桁パネル設置後、主桁と横桁に囲まれた部分に設置した。主桁上での床版パネルの支持は、ずれ止め用鉄筋にL型鋼を設置し、これを支持する構造とした。このときの、パネル設置状況を、写真-2に示す。横桁、床版パネル設置後、現場で上側鉄筋の配筋を行うが、FRPリップがスペーサーとなるため、配筋作業・管理の簡略化が可能となった。このときの、配筋状況を、写真-3に示す。

4.4 防潮堤（壁高欄）の施工

防潮堤は、高さ約2.3mと非常に高い上、幅が下端で300mmと狭かったため、コンクリートの充填性および、FRP型枠の変形が問題となった。このため、事前に実物大の施工確認試験およびFEMを行い、支持構造の確認を実施した上で施工を行った。このときの施工状況を写真-4に示す。なお、コンクリートは、充填性、施工性に配慮して、高流動コンクリートを使用した。

5. まとめ

潮新町線橋梁における設計、施工により、栈橋構造にFRP合成床版が適用可能であることが確認でき、写真-5に示すように無事施工する事ができた。また、高潮時、水没するという特殊な事例であるが、全面を耐食性の高いFRP材で覆うことで、耐久性の向上が図れた。なお、今回の主桁構造は、支保工を桁内に埋め込んだが、設計上はRC構造としている。このため、これを強度部材とすることで、より合理的な構造とすることが望まれる。

最後に、本工事の設計・施工にあたり、高知市役所の方々に適切なお指導を頂きました。ここに、感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 久保、小松原、山口、若山、興地、石崎：長支間FRP合成床版の設計と施工、土木学会、第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集、pp277-282、2003
- 2) 松井、石崎：2方向支持された長支間道路橋RC床版の設計曲げモーメント式について、土木学会構造工学論文集 VOL.42A、1996