

## 10年経過したCFRP棧橋の劣化調査とLCC検討

港湾PC構造物研究会 正会員 ○大柳修一  
 (財)沿岸技術研究センター 博士(工学) 白石 悟  
 港湾PC構造物研究会 博士(工学) 内藤英晴  
 港湾PC構造物研究会 正会員 佐藤祐輔

### 1. はじめに

港湾コンクリート構造物は、常に海水にさらされているため、外部からの塩分の浸透による内部鋼材の腐食が進行するなど、非常に厳しい環境に置かれている。そのため、港湾コンクリート構造物の劣化が顕在化し、深刻な問題であることの認識の高まりと合せて、耐久性を高める材料の開発が切望されてきた。

平成4年度の旧運輸省第四港湾建設局管轄の北九州港葛葉地区における岸壁改良工事の一部において、炭素繊維(CFRP)材を使用したプレキャストPC床版(以下、CFRP床版と略す)が試験的に採り入れられた。

今回、CFRP床版の施工から10年を迎えたことから、当該CFRP床版の現地調査を行い、海洋環境下における新素材を用いたコンクリート部材の耐久性を確認することとした。さらに、その有効性について、ライフサイクルコストを試算し、鉄筋コンクリート構造との比較・評価を行うこととした。

尚、本研究は財団法人沿岸技術研究センターと港湾PC構造物研究会との共同で実施したものである。

### 2. 棧橋の諸元

本棧橋は昭和40年から41年にかけて施工されたが、昭和59年度の「港湾構造物の腐食調査」において、梁および床版のコンクリートのひび割れ、鉄筋腐食、欠落および鋼管杭の腐食の進行が判明した。

この結果を受けて平成2年度から4年度にかけて改良が行われた。この改良においては、既設床版は切り出して撤去し、梁については断面修復を行っている。梁の補修を行った後に、新規に製作したプレキャスト製のRC床版を架設し、間隙部に場所打ちコンクリートを打設して一体化が図られた。

一方、環境条件の厳しい棧橋床版の耐久性向上を目的に、試験施工として、CFRP床版(2区画)が採用された。梁の上にCFRP緊張材で補強されたCFRP床版(3.80m×1.52m×120mm)を3枚敷き並べ、一体化した後、その上で鉄筋を組み立て、場所打ちコンクリート(厚さ230mm)を打設して連続合成床版とするものであった。表-1に棧橋の諸元、図-1に棧橋構造図を示す。

表-1 棧橋の諸元

延長	195.0m
幅	15.5m
平面形状(1ブロック)	19.5m(延長)×15.5m(幅)
杭の配置(1ブロック)	3列×5列(鋼管杭φ700mm)
天端高	+3.75m
棧橋前面水深	-11.00m
H.W.L.	+2.10m
L.W.L.	±0.00m

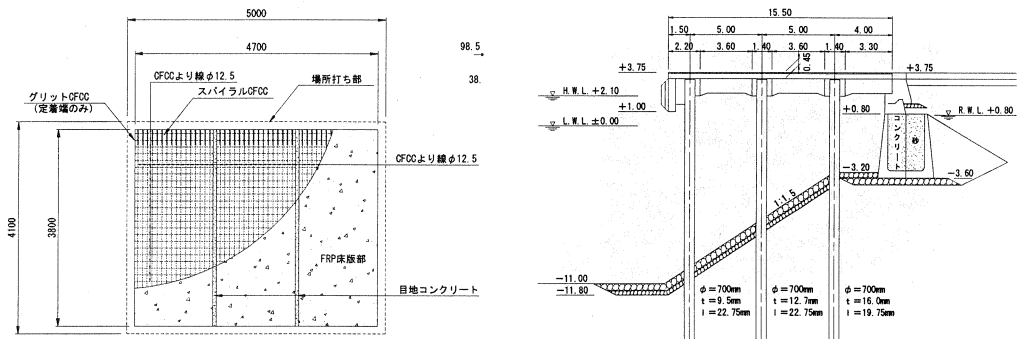


図-1 棧橋構造図

CFRP 床版は、塩害耐久性の向上のため、割裂防止のためのスパイラル筋や支圧補強のグリッド筋も CFRP 製のものを使用している。また、3 枚の版を一体化する際に、横締め用緊張材の定着具が部材内部に残らないように、グラウト強度発現後に定着端部のコンクリートを切断し、グラウトと緊張材との付着による定着方法が採用された。尚、シースにはステンレス製のものを採用している。

### 3. 外観目視調査

#### 3.1 調査方法

CFRP 床版部および RC 床版部について、コンクリート表面に顕在化した損傷の状況を目視観察 (たたき調査併用) により調査した。外観調査としては、イカダで床版下側へもぐり込み、間近に床版を観察した。また、赤外線カメラを用いたひび割れ、剥離、空洞等の調査も実施した。

#### 3.2 調査結果

外観調査結果および赤外線カメラによる非破壊調査結果を図-2 に示す。同図に示すように、目視からは CFRP 床版部は健全であり、何ら変状は認められなかった。また、CFRP 床版部の周囲の RC 床版部についても、若干のひび割れや錆汁、エフロレッセンスの発生は認められたものの、劣化判定基準に従った判定では 0 か I に該当する比較的健全なものであった。

赤外線カメラによる非破壊調査結果について、CFRP 床版部については、スラブの継ぎ目の一部において、小さな変状らしき箇所が映し出されている。これは、目地コンクリート施工時の漏れ防止パッキンの残りが表面に残っていたものを捉えた結果と推察される。尚、その他の調査箇所においては、空洞やひび割れなどの異状は認められなかった。

以上、調査結果から炭素繊維材(CFRP)は耐塩分腐食に優れていると言われている通り、厳しい海洋環境下において CFRP で補強されたコンクリート部材は健全であり、耐久性は通常の RC 部材と比べて優れていると言える。よって、現時点 (10 年目) においては建設当初の目的を満足している。

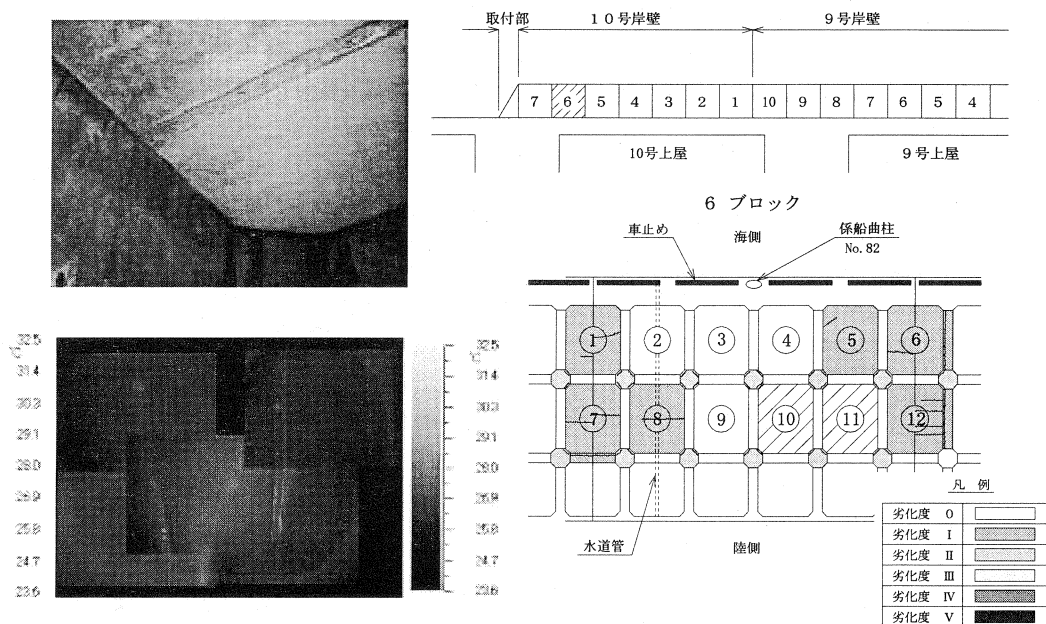


図-2 外観調査結果および赤外線カメラによる非破壊調査結果

4. CFRP構造に関するLCC評価

4.1 対象構造物

今回調査した北九州葛葉地区の栈橋を対象として、LCC 算出による評価を行う。本検討は栈橋の受け梁を除いたCFRP 床版のみのLCC を評価することとし、RC 床版については施工条件が同一となるよう現場打ちではなく、床版支保工が不要なRC プレキャスト床版を比較対象に選定した。プレキャストCFRP 版はプレストレストコンクリート専用の工場で作成し、建設地点まで運搬するものとした。一方、RC プレキャスト床版については建設地点の葛葉岸壁付近に設けた製作ヤードで作成することとした。

4.2 劣化予測

海上の栈橋ということで劣化機構を床版下面部の塩害と限定し、劣化度0～Vに対応した劣化過程と予測期間および腐食ひび割れ発生(塩化物イオン量2.0kg/m<sup>3</sup>)後の鋼材腐食速度は、「港湾空港技研資料」を参考にした。塩化物イオンの拡散予測は、「コンクリート標準示方書」を参考に検討を行った。尚、表面の塩化物イオン濃度は10年前に現地付近に設置

表-2 拡散予測及び腐食速度算定の条件

項目	CFRP合成床版	RCプレキャスト床版
セメントの種類	普通ポルトランドセメント	高炉セメントB種
水セメント比 W/C(%)	36	55
初期含有塩化物イオン量(kg/m <sup>3</sup> )		0.00
表面塩化物イオン量(kg/m <sup>3</sup> )		17.72
鉄筋径(mm)		19
鉄筋かぶり(mm)	120	70
経過年数(年)		10
腐食発生限界塩化物イオン量(kg/m <sup>3</sup> )		1.2
腐食ひび割れ発生限界塩化物イオン量(kg/m <sup>3</sup> )		2.0
腐食量とひび割れ幅を関係付ける係数(mg/cm <sup>3</sup> )		1500
腐食による初期ひび割れ幅(cm)		0.005
腐食速度とひび割れ幅の関係付け係数(mg/cm <sup>3</sup> /y)		220
床版の耐力及び変形限界に対する鉄筋腐食量(%)		20

された暴露供試体の分析から得られた濃度を用いた。表-2に塩化物イオン拡散予測および腐食ひび割れ発生後の鋼材腐食速度を算定する際の条件を示す。塩化物イオンの拡散係数 (cm<sup>2</sup>/年) は計算の結果、CFRP 合成床版で0.39、RC プレキャスト床版で0.73 となった。

劣化予測は、塩化物イオンの拡散予測結果と進展期終了後の鉄筋断面減少率を用いて行った。予測の結果は、RC プレキャスト床版では、建設後およそ44年で鉄筋の残存断面積が80%となるため、供用期間中に構造物の力学特性が限界に達して劣化期に入ると予測された。一方、CFRP 合成床版では加速期終了までの期間が104年となるため、CFRP 合成床版の場合は供用後に劣化期を向かえることとなる。

4.3 LCC の算定

表-3 検討対象ケース

(1) LCC の算定条件

以下に示す2つの対策方法を講じた場合の供用年数100年におけるLCCを算定し、床版構造の違いによる差異を明らかにしてCFRP 構造に関する評価を行った。

対象種別	対象時期	対策内容	備考
予防保全	建設時	① CFRP合成床版	
		② 表面被覆塗装	15年毎の再塗装
		③ 電気防食	20年毎の電装更新
事後保全	加速期	④ 断面補修+電気防食	20年毎の電装更新
		⑤ 断面補修+電気防食	20年毎の電装更新
	加速期	⑥ 断面補修+表面被覆塗装	15年毎の再塗装
		⑦ 断面補修+表面被覆塗装	15年毎の再塗装

① 建設時に塩害対策を行う場合 (予防保全)

② 進展期後期あるいは加速期前期に塩害対策を行う場合 (事後保全)

LCC 算定に用いる補修(対策)コストの考え方は「港湾空港技研資料」を参考にして、補修仕様と概算施工単価を設定した。表-3にLCC を算出した7ケースを示す。尚、栈橋のマネジメントにおいては・建設コスト・保全コスト・利用者が負担するコスト・収益を考慮すべきであるが、ここでは建設コスト・保全コストだけで評価した。

(2) LCC の算定結果に基づく評価

LCC 算定結果は、図-3および図-4に①CFRP 床版を1.0とした場合における各ケースの比率にて示す。初期

費用だけで見れば、③RCプレキャスト床版に建設時から電気防食を適用するケースが最も大きく、2番目に①CFRP床版が大きかった。しかし、供用期間を100年としたとき、①CFRP床版のトータルコスト(LCC)が最も小さくなった。また、RCプレキャスト床版だけに着目すると、事後補修を行うケースにおいて補修に必要な費用は初期建設費の9~11倍と大きく、供用期間が長くなると補修費の占める割合が大きくなるのが判る。供用期間100年のトータルコストでは②15年ごとに表面被覆塗装を繰り返す場合(予防保全)の費用が最も小さくなった。RCプレキャスト床版の補修として、④(断面補修+電気防食)と⑤(断面修復+表面被覆塗装)を比べると、トータルコストはほぼ同じとなった。また、どちらのケースにおいても維持管理期間の長い劣化度Ⅱ終了時で補修する方が、劣化度Ⅲ終了時で補修する場合より僅かであるがトータルコストは大きくなった。

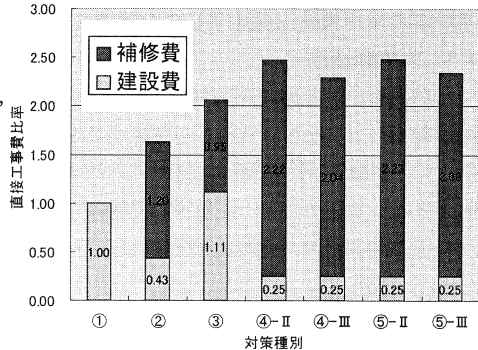
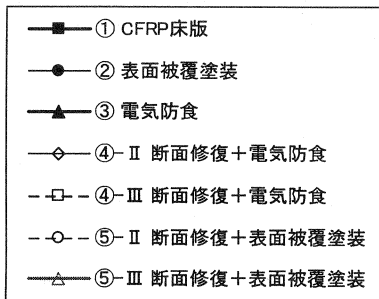


図-3 LCC 算定結果(1)

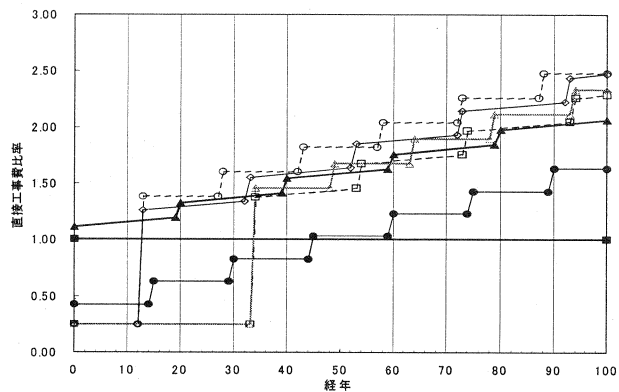


図-4 LCC 算定結果(2)

5. あとがき

建設後10年が経過したCFRP床版に関する現地調査を行った結果、満潮時には海水が直接、床版に触れるような厳しい環境でもあるにもかかわらず、外観上は何ら劣化変状は見られなかった。また、赤外線サーモグラフィにより内部の浮き・空洞などの欠陥の有無についても調査を行ったが、それら欠陥も認められずCFRPを用いることの有効性が現時点で認められる。また、当該栈橋の床版部のみを対象としてLCCを算定した結果、CFRPを用いた床版では初期コストが高くなるが、CFRP自体が耐久性に優れるため、供用期間を100年としても維持管理費用は不要と考えられ、供用期間100年におけるトータルコストはRCプレキャスト床版を用いて種々の対策を採るいずれの場合に比べても小さくなり、費用面からもその有効性が確認された。

謝辞: 本調査研究は、(財)沿岸技術研究センターおよび港湾PC構造物研究会の自主研究として行ったものである。委員各位ならびに、調査にご協力頂いた北九州港湾・空港整備事務所に深く感謝の意を表します。

参考文献: 1) (財)沿岸技術研究センター: 繊維系素材 (FRP) を用いた港湾構造物の技術開発に関する研究 (1993年)  
 2) (財)沿岸技術研究センター: 港湾構造物の維持・補修マニュアル(1999年)  
 3) 港湾空港技術研究所: 栈橋の維持補修マネジメントシステムの開発, 港空研資料 NO. 1001 (2001年)  
 4) 土木学会: コンクリート標準示方書〔維持管理編〕(2001年)  
 5) 土木学会: コンクリート標準示方書〔施工編〕(2002年)