

炭素繊維緊張材を用いたPC床版における建設後20年の健全性調査

港湾PC構造物研究会 正会員 ○渡瀬 博
 港湾PC構造物研究会 正会員 工修 星野 展洋
 港湾PC構造物研究会 正会員 小野 滋久
 (一財)沿岸技術研究センター 工修 由井 陸粋

1. はじめに

1.1 棧橋改良工事の概要

岸壁、防波堤、棧橋などのコンクリート港湾施設は、外部からの塩分浸透によって内部鋼材が腐食するなど、非常に厳しい環境に置かれている。また、高度経済成長期に集中整備された構造物が多く、塩害劣化による安全性の低下や補修補強費用の増大が懸念され、耐久性に優れた構造物の開発が切望された。こうした背景の中、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、高耐久性構造物として期待された、緊張材に炭素繊維補強材を用いたプレキャストPC床版（以下、CFRP床版と呼ぶ）が試験的に採用された。

北九州港葛葉地区棧橋は、昭和40年から41年にかけて直杭式横棧橋構造で施工されたもので、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、鉄筋腐食および鋼管杭の腐食が判明した。早急な補修が必要とされ、平成2年度から4年度にかけて改良工事が行われた。既設床版は、切り出して撤去し、梁については断面修復が施された。梁の補修後、新規に製作したプレキャストRC床版を架設して、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。そして、この改良工事の一区画において、CFRP床版が施工された。

1.2 CFRP床版の特徴

CFRP床版に適用した炭素繊維緊張材は、写真-1に示すように多数に束ねられた炭素繊維を樹脂接着で棒状に成形された複合材料である。高張力、高耐久性で軽量といった優れた特長を有しており、腐食環境の厳しい場所で建設されるコンクリート構造物の補強材として適している。

CFRP床版は、プレテンション方式で工場製作した3枚のCFRP版を、現地ヤードにて目地コンクリートを介してポストテンション方式で接合し、架設後場所打ちコンクリートと一体化することで合成床版構造としている。図-1に棧橋の構造図を、図-2にCFRP床版の配筋図を示す。コンクリートの設計基準強度は50N/mm²で、割裂防止用のスパイラル筋や支圧補強のグリッド筋も耐塩害性に配慮して炭素繊維製の補強材を使用している。また、金属製の定着具が将来的な腐食要因となるのを避けるため、グラウト強度発現後に定着部を切断撤去して、緊張材とグラウトの付着によ



写真-1 炭素繊維緊張材

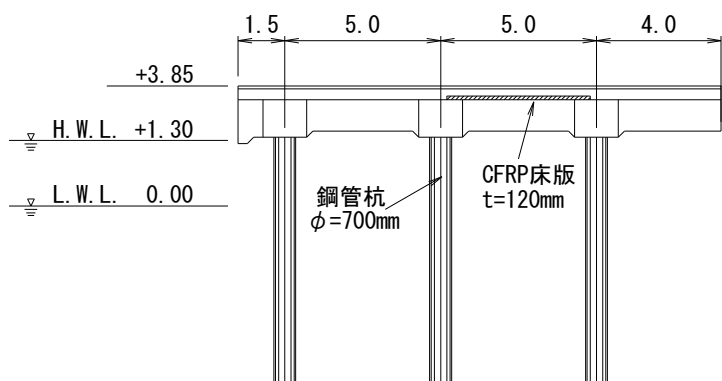


図-1 棧橋の構造図

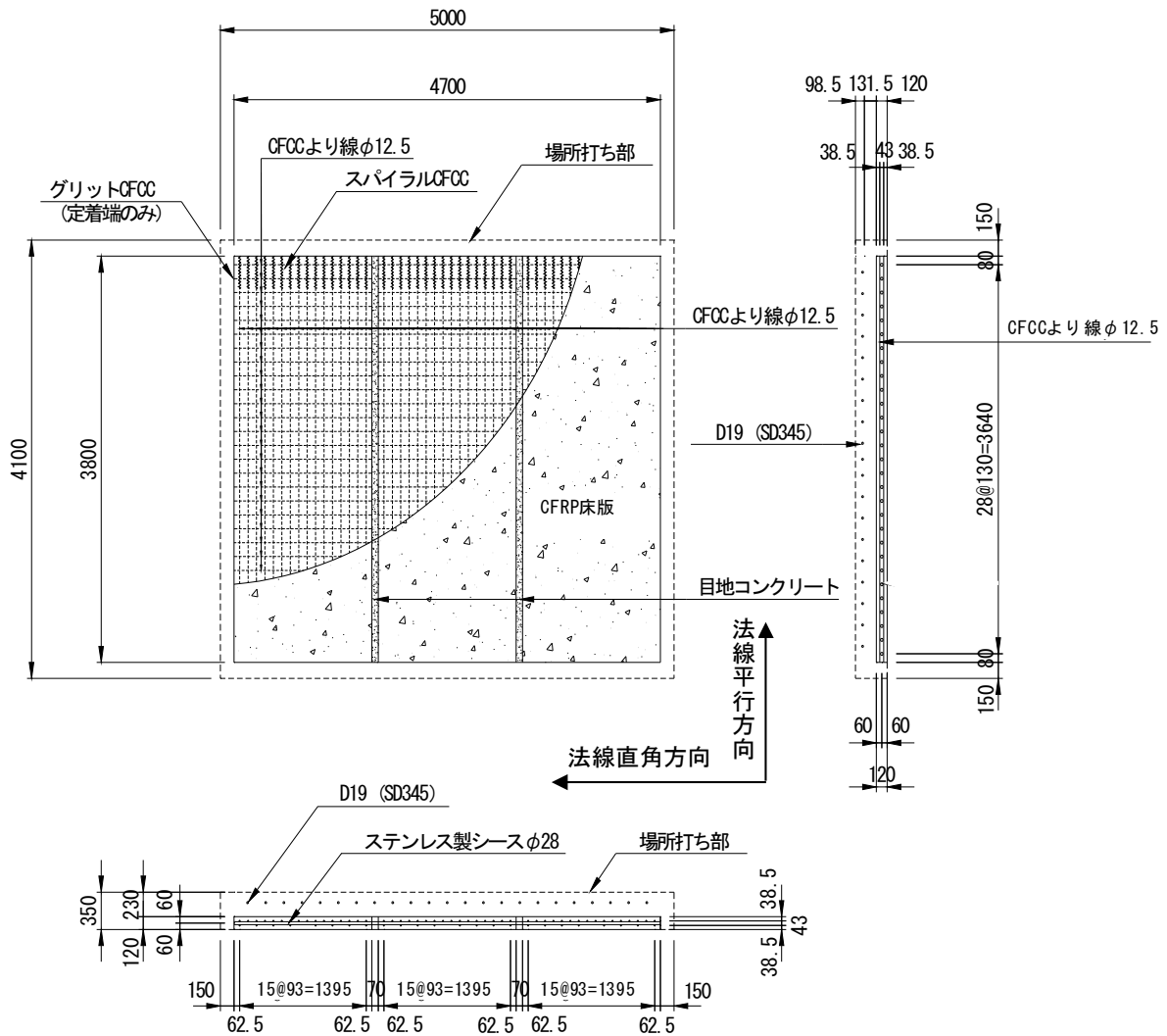


図-2 CFRP 床版構造図

り定着する方法（以下、グラウト定着と呼ぶ）が採用された。なお、シースにはステンレス製のものが使用されている。

また、この床版は施工から5年経過した時点で、目視による外観調査を行い、施工から10年を迎えた時点においては、目視および赤外線カメラによる外観調査を行っているが、ひび割れなどの変状は確認されていない。今回は、施工から20年が経過したため、目視調査に加え、载荷試験および有効プレストレスの調査を実施することにより、CFRP床版の健全性について確認した。

2 目視調査

2.1 調査概要

改修工事から20年が経過した現在においても、10年前の調査時と同程度の健全性が保たれているか、あるいは変状が生じているかについて比較検証することを目的とした。調査は写真-2に示すように、CFRP床版の1区画に簡易吊足場を設置して近接目視調査を行った。

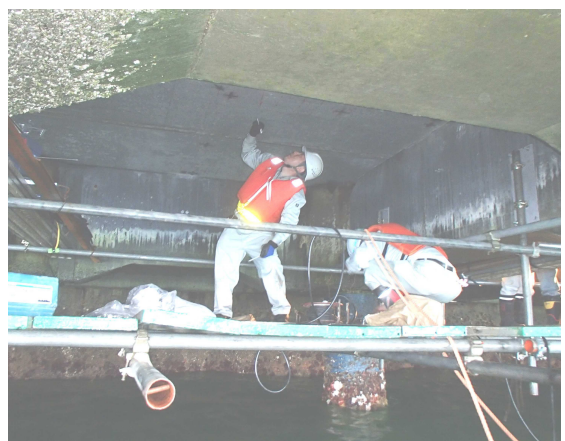


写真-2 吊り足場からの近接目視調査

2.2 目視調査の結果

CFRP 床版下面の状況は、写真-3に示すとおり 10 年前と同様の状態で、ひび割れの発生や錆汁の滲出などは確認されず、外観上健全な状態であった。

3. 有効プレストレスの調査

3.1 調査概要

CFRP 床版の長期健全性を検証する上では、有効プレストレスの定量的な調査が必要と考えられた。これは炭素繊維緊張材が長期的に一般の PC 鋼材と同等に機能しているか、またグラウト定着によるポストテンション材の緊張力は確保されているか、といった観点からである。そこで、潮位の関係から短時間で作業を終えることができ、また特殊な調査機材を必要としないコア切込み法によるプレストレスの調査を実施した。図-3にコア切込み法の概要を示す。調査方法は、コンクリート表面にクロスゲージを貼り、φ50 のコアドリルで 18mm 切り込みを入れた後、解放ひずみを測定した¹⁾。調査対象は 2 方向にプレストレスが導入されているため、2 方向解放ひずみの差分から推定する手法²⁾では評価できない。ここでは調査箇所を 1 方向のプレストレスが卓越したおのおのの定着端部にとり、その伝達率を考慮した提案式³⁾から有効プレストレスに関するひずみ成分を評価した。そして、補正したプレストレスひずみに設計の弾性係数 33kN/mm^2 を乗じて有効プレストレスの推定値を算出した。

3.2 プレストレスの調査結果

計測結果から評価した有効プレストレスの推定値は、プレテンション方向が 7.12N/mm^2 、ポストテンション方向が 5.35N/mm^2 であった。当時の設計値⁴⁾と有効プレストレスの推定値の比較を図-4に示す。いずれも設計に対して 101%とほぼ同等のプレストレス量が確保されていることから、CFRP 床版の長期プレストレス安定性が確認できたと考えられる。

4. 載荷試験

4.1 試験概要

載荷試験は、載荷による CFRP 床版の変位とひずみを計測し、解析値と比較することで、内部ひび割れや場所打ち床版との剥離などの内部劣化の有無を、間接的に推定することが目的である。載荷方法は、図-5に示すように 60t ラフタークレーンのアウトリガーが CFRP 床版の中央部に位置するよう据付け、ブームの昇降によって載荷荷重を制御した。そして荷重は、アウトリ



写真-3 CFRP 床版下面の状況

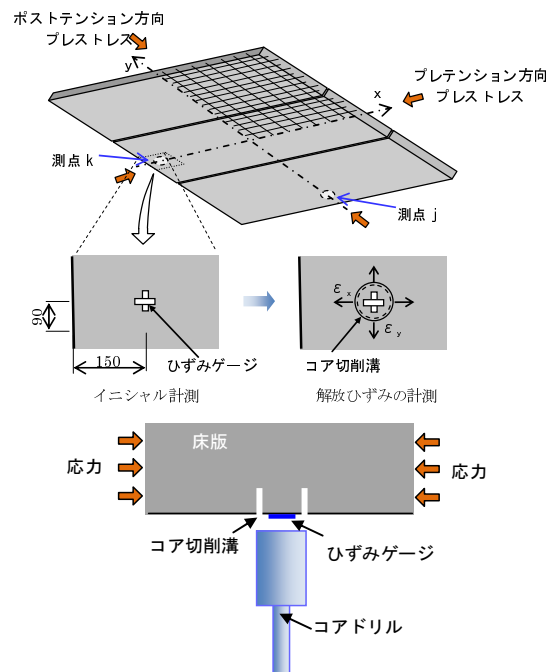


図-3 コア切込み法の概要図

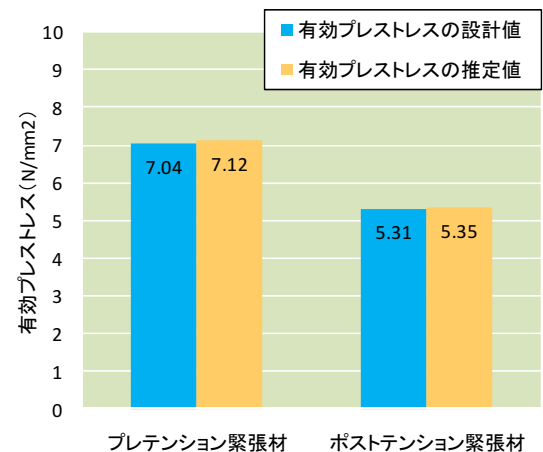


図-4 有効プレストレスの推定結果

ガーと敷鉄板の間に設置した荷重計で管理した。また、変形挙動は、床版下面に設置した高感度変位計とひずみゲージ、および π 型ゲージを用いて計測した。荷重ステップは、アウトリガーから得られる最大反力を 190kN に設定し、載荷・除荷を 3 回繰返し行った。

また、事前に実施した FEM 解析では、載荷荷重 190kN における床版中央の鉛直変位は 0.20mm で、床版下縁の引張応力度は、法線平行方向が 1.59N/mm²、法線直角方向が 1.49N/mm²であった。

4.2 載荷試験結果

CFRP 床版の中央部で計測した荷重-変位の履歴を図-6 に示す。試験で得られた測定値は、鉛直変位が平均で 0.23mm、ひずみが 2 方向ともに 55 μ 程度と応力度換算で 1.8N/mm² であった。また、履歴曲線も概ね線形の挙動を示した。載荷試験結果と解析値に大きな乖離がないことから、CFRP 床版の内部ひび割れや場所打ち床版との剥離といった内部劣化は生じていないと判断できる。

5. おわりに

北九州港葛葉地区栈橋は、昭和 40 年から 41 年にかけて施工され、昭和 59 年度の港湾構造物の腐食調査において、早急に補修が必要とされたことから、平成 2~4 年度にかけて改良工事が行われた。今回の調査では、改良工事後 20 年が経過した CFRP 床版の目視調査、載荷試験、有効プレストレスの調査などを行った。目視調査では、CFRP 床版本体の下面にはひび割れなどの変状は無く、載荷試験においては、CFRP 床版の剛性低下は確認されなかった。また、有効プレストレスの調査においては、設計で想定したプレストレスが現在も導入されていることを確認した。

以上の調査結果から、緊張材に炭素繊維補強材を用いたプレキャスト PC 床版の長期にわたる有用性を確認できたと考えられる。

以上を要約する。

謝辞

本調査は、(一財)沿岸技術研究センターと港湾 PC 構造物研究会の共同研究として実施したものである。調査の実施にあたり助言を頂いた、東京工業大学の 大即信明教授、西田孝弘助教に心より御礼申し上げます。また、調査にご協力を頂いた、国土交通省九州地方整備局北九州港湾・空港整備事務所、北九州市港湾空港局港営部港湾事務所、(独)港湾空港技術研究所および施設周辺の企業の方々には厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 渡瀬博, 二井谷教治, 綾野克紀: 浅切り方式によるコア応力解放法の提案とその適用性, 補修補強アップグレードシンポジウム, vol.12, 2012
- 2) 二井谷教治, 渡瀬博, 阪田憲次, 綾野克紀: コンクリート部材の有効応力の推定手法に関する研究, コンクリート工学論文集 vol.20 No.2 (57), 2009
- 3) 由井 陸稔, 渡瀬 博, 村井 伸康, 立神 久雄: 緊張材に炭素繊維を用いたプレキャスト PC 床版の劣化調査, プレストレストコンクリート, vol.55 No.6, pp46-51, 2013
- 4) 廣田孝夫, 清宮理, 鹿籠雅純, 横井聰之: CFRP で補強した永久型枠を用いた合成梁の力学特性と栈橋床版への適用性, 土木学会論文集 No.522/VI-28, pp119-131, 1995

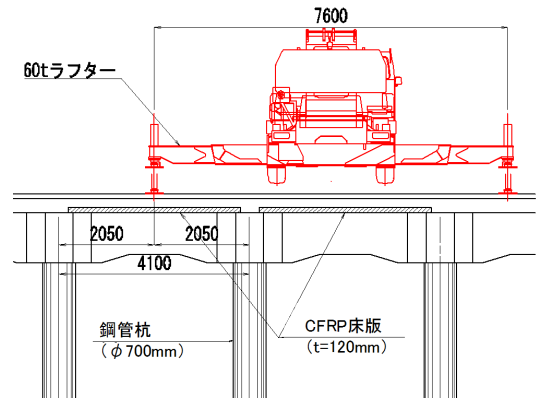


図-5 載荷要領図

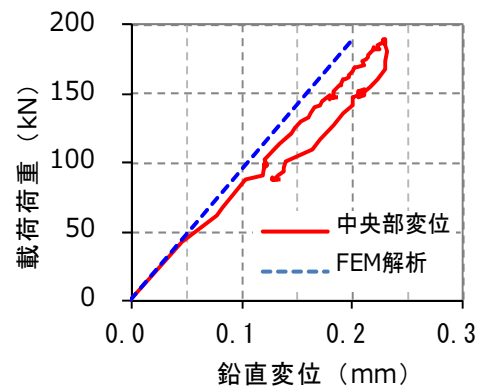


図-6 荷重と変位の履歴