

港湾コンクリート構造物への繊維系素材の応用

大 即 信 明*

1. はじめに

本特集号で紹介されているように FRP 等の繊維系素材は多くの長を有している。

一方、港湾コンクリート構造物は、現在、多くの乗り越えるべき技術的課題を有している。すなわち、塩害対策技術、大型化技術、海上接合技術、浮遊構造技術などである。これらの技術的課題の解決策の一つとして、運輸省では、昭和 59 年度より繊維系素材の主として PC 緊張材あるいは連結材としての検討を開始し、後述する H.M.S. の施工実験などを行い、徐々にその成果があがりつつある。

本文は、主として運輸省における港湾コンクリート構造物への繊維系素材の応用に関する検討の現状を著者なりにとりまとめたものである。

2. 港湾コンクリート構造物の緊張材あるいは連結材として用いた場合の利点と問題点

繊維系素材の特性は、繊維の種類や成型体の種類（ロッド状あるいはローブ状）によって異なる。

ここでは、比較的汎用性の高い CFRP および AFRP を中心に、港湾コンクリート構造物の PC 緊張材あるいは連結材として用いる場合の利点および問題点についてまとめる。成型体の種類については、適性の面からの差異は少ないと判断し、特に区別しない。

2.1 利 点

- ① 海洋環境においても全く腐食しない。

- ② PC 鋼材に比較して軽量であるため、運搬、取扱い作業が容易となる。

- ③ アウトケーブルとしても使用できる。

上記の利点は、緊張材、連結材としての港湾コンクリート構造物への適用を可能性の高いものとしている。

2.2 問 題 点

- ① 軸方向引張力には強いが、横方向の力には弱い。ため、定着部、連結部での耐力が弱い。

- ② じん性、延性が小さく、波力などの衝撃荷重あるいは不等沈下による変形に対する抵抗性に問題がある。

- ③ 疲労特性に関するデータが少ない。

- ④ 耐久性がありかつ信頼性の高い定着装置の開発が必要である。

- ⑤ PC 鋼材と比較し、現時点では高価である。

さらに、施工上からも解決せねばならぬ問題がある。

3. 技術開発の方向

2章で述べた繊維系素材の利点および問題点を考慮し、港湾構造物への適用として、① PC 港湾構造物への適用、および、② 連結材としての適用、の二つの方向で技術開発が進められている。

①については、主として栈橋上部工への適用を検討している。

②については、浮防波堤への適用などを検討しているが、運輸省第2港湾建設局では、多目的型の H.M.S. なる構造体の実物試験を行っている。

4, 5章で詳細について述べる。

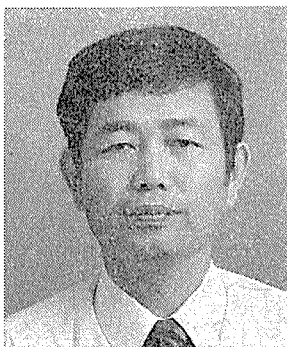
4. 栈橋上部工への適用に関する検討

図-1 に、繊維系素材を適用して栈橋上部工の概要を示す。図からも理解されるようにプレキャスト部材を用いる形式を考えている。

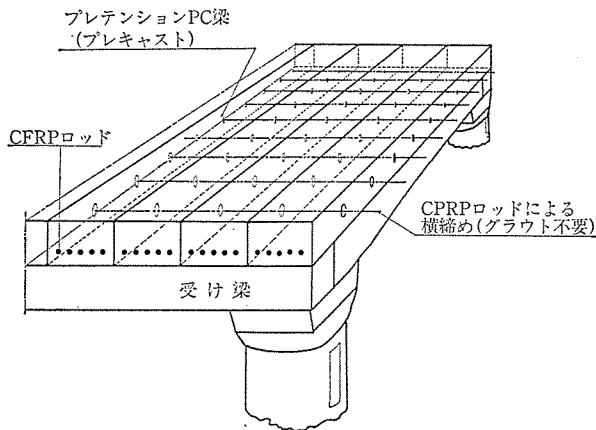
検討の内容は、繊維系素材のプレキャスト部材への PC 緊張材としての適用、および、プレキャスト部材の横締め材としての適用の二つに分けられる。

4.1 プレキャスト部材への PC 緊張材としての適用

これに関しては、プレテンション式の梁を製作し、破壊曲げモーメントおよび有効プレストレスの経時変化を



* Nobuaki OTSUKI
運輸省港湾技術研究所



図一1 CFRP ロッドを緊張材とした PC 栈橋上部工

検討した。用いたのは CFRP のロッドで、付着を良くするために凹型の溝を彫り込んだ。結果は、定着長がやや通常の PC 鋼棒に比して長かった以外は、破壊曲げモーメント、有効プレストレスともにほぼ計算値に等しく、かつ材令 6 か月の範囲で安定していた。また、最近では CFRP より線も開発されており、このより線の付着性能は PC 鋼より線を上回るとも言われている。これより、CFRP ロッドを用いた PC 梁は十分実用可能であろう。

4.2 プレキャスト部材の横締め材としての適用

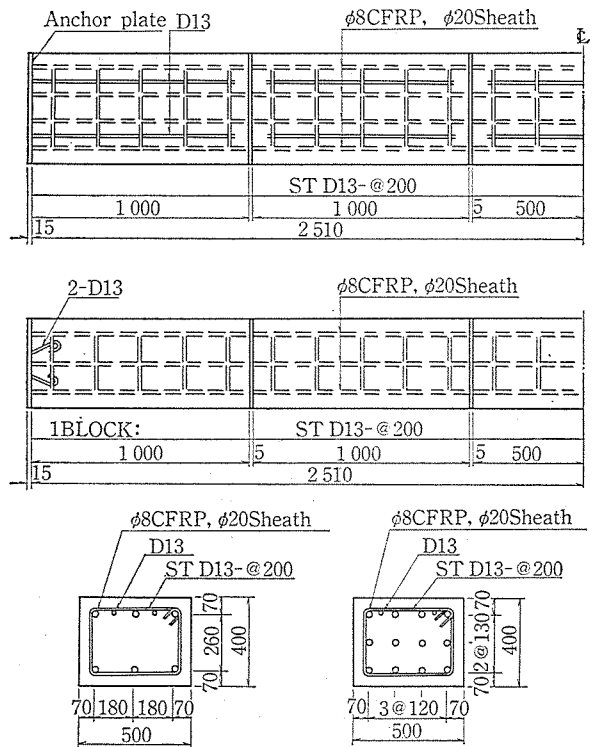
横締め材として繊維系素材を用いるねらいは二つある。一つは、繊維系素材自体が腐食しないこと、一つは、アンボンドにすることによって個々の部材の一部が何らかの理由により不都合が生じた場合に取替えが容易となる構造とすることである。後者の考え方は、今後、構造物の社会的寿命が長くなった場合には必要な考え方であろう。

栈橋床版の設計では、床版を二方向の梁部材にモデル化して、その各々の梁の曲げおよびせん断に対する検討を行っている。この考えを受けて、床版の横締め方向を一方方向梁にモデル化した CFRP ロッドを用いたアンボンド PC ブロック梁を製作し (図一2)、曲げに対する力学的性質 (図一3) と有効プレストレスの長期の安定性に関する試験を行った。結論は、①曲げ破壊耐力の実験値は、一体梁として計算した値に対して、0.90~1.03 (材令 3 か月)、および 0.93~0.96 (材令 1 年) であった、②有効プレストレスは材令 3 か月と材令 1 年でほぼ同じであった。

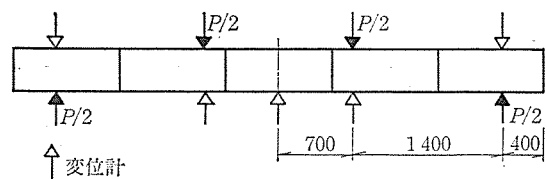
この結論より、定着方法の制約より導入直後の緊張材の引張応力度を緊張材の破断強度の 62% と抑えた事実を割り引いても、CFRP ロッドは横締め材として十分使用できるものと考えられる。

4.3 安全対策

緊張、定着作業中は、緊張ジャッキ側とその反対の国



図一2 アンボンド PC ブロック梁詳細図



図一3 曲げ試験の概要

定端側の後方に鋼製の防護壁を仮置きし、CFRP ロッドが破断した場合に備えると同時に、作業員等が後方に立入することを禁止した。これは通常の PC 鋼材の場合も同様であるが、CFRP ロッドの場合には特に気をつける必要があると思われる。

横締め材に関する PC 梁製作中に全体で 90 本のロッドを緊張したが、1 件の破断事故が発生した。その原因については不明である。

また、アンボンドの場合、緊張後も CFRP ロッドはせん断で破壊し、定着具やロッドが飛散することも考えられるので、十分な梁端部の保護対策が必要である。

5. 連結材としての適用

三つの適用方式が考えられる。一つは従来より行われている浮防波堤等の連結方式、一つはアウトケーブル方式、一つは H.M.S. 方式である。各々について述べる。

5.1 海上接合 PC 浮防波堤

昭和 57 年、運輸省第四港湾建設局では、比較的大型

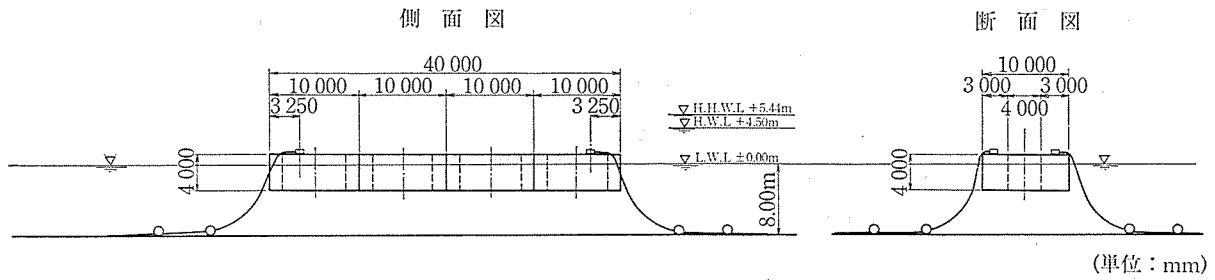


図-4 PC 浮防波堤 (実験堤) の概要

の浮防波堤として、熊本にて実証試験を行った。この防波堤は、陸上で分割して建造され、海上で浮かべたまま、PC 鋼線によって連結され、一体化した構造物となった点に大きな特長がある。

この浮防波堤の形状は、中央部に空間があるサイドフロート型である。図-4 に示すように、全長 40 m、幅 10 m、高さ 4 m、吃水 3.06 m で、これを四つの長さ 10 m の鉄筋コンクリートのブロックに分割して、マッチキャスト方式にて製作した。完成後、各ブロックを切り離し、クレーンにより進水させた。

このブロックをドック内で (一般的な海上でも十分可能) 60 本の PC 鋼線で結合した。そのうち、20 本は浮体外で緊張作業が行われた。この場合、最も注意したのは PC 鋼線が海水と触れないことであった。

この PC 鋼線の代わりに、CFRP ロッドあるいはより線を用いれば、腐食という最大の問題点が解決するた

め、今後、このような構造形式の浮体に対して CFRP の使用は有望である。

5.2 繊維系素材をアウトケーブルとした方式

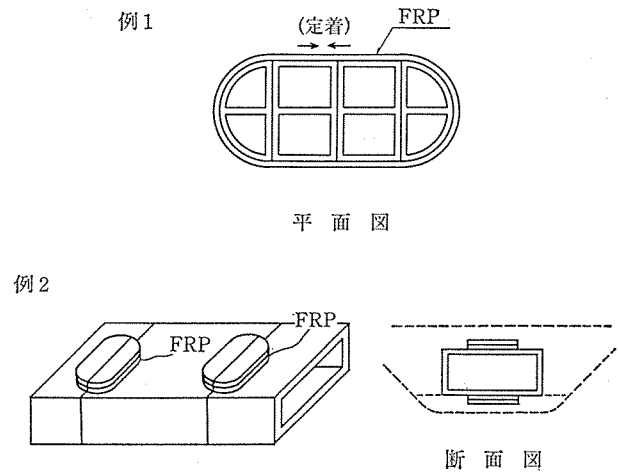


図-5 アウトケーブル方式の概念

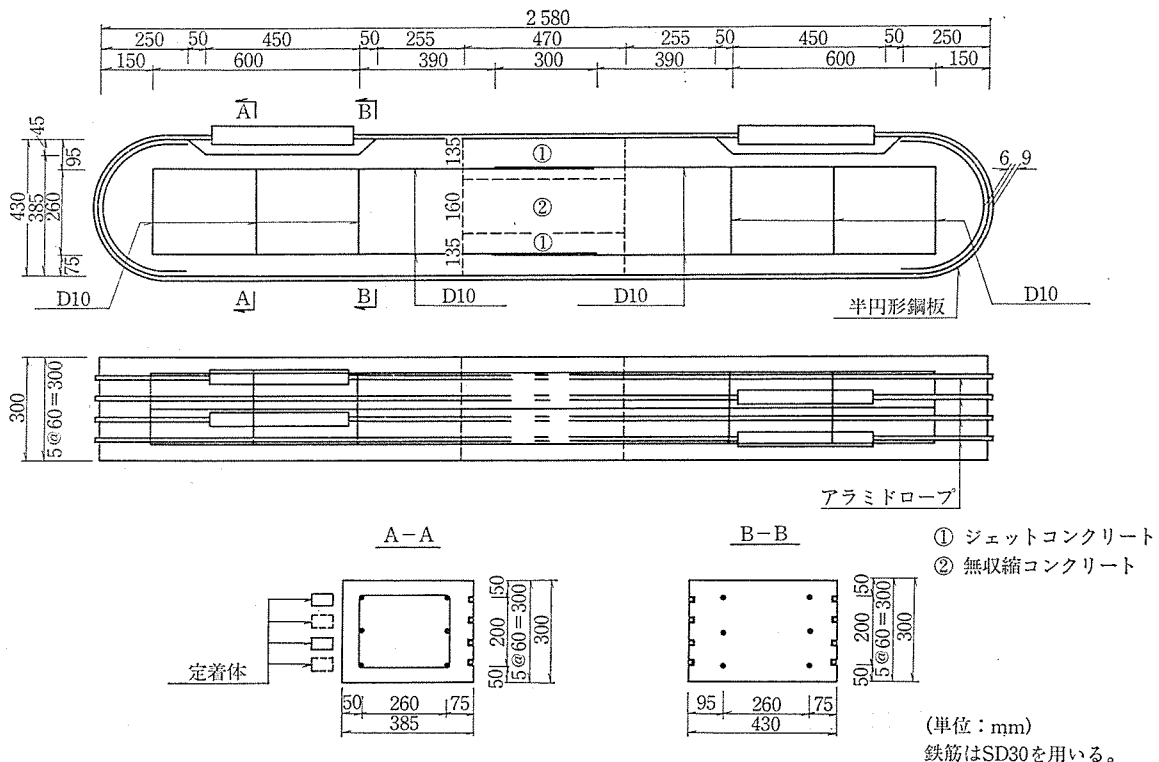


図-6 アウトケーブル方式供試体

繊維系素材をロープ状で用いることにより、アウトケーブル方式で部材を連結することでできる。特徴としては小径のロープでも多重に巻くことで大きな緊張力を得ることができること、定着箇所が少なく済むことなどが挙げられる。しかしながら、事例もなく解決すべき問題点も多いものと思われる。図-5に、この方式を用いた連結方式の概念を示す。

この方式に対して図-6に示す試験体を製作し、曲げ破壊試験および有効プレストレスの経時変化を検討している。この製作方法は、両端のU字形の部材を前もって製作し、アラミド繊維ロープ（商品名ケブラー）を3重に巻き、定着した状態でジャッキによりロープに引張力を与え、その状態でU字形部材間にコンクリートを打設し、硬化後ジャッキを取り外すことにより、コンクリートにプレストレスを導入するものである。

この試験体は現在試験継続中であるが、曲げ破壊荷重の算定および有効プレストレスの評価ともに困難である。

5.3 H.M.S. 工法

H.M.S. (Hexagonal Marine Structure) とは、運輸省第二港湾建設局が開発した六角形形状のユニットポンツーンを複数個連結させて、浮防波堤、浮体式係船岸、マリーナ施設などの港湾施設への利用を考えた構造物である。その利用例を図-7に示す。また、昭和62年に施工実験用に製作されたユニットポンツーンの構造一般図を図-8に示す。

このユニットポンツーンは、6個のコンクリート部材の集合体であり、次のような特徴を有している。すなわち、

- ① 6個のコンクリート部材をそれぞれ対角線方向に緊張材で緊結することによって組み立てる構造である。
- ② 対角線方向に緊張力を与えて、長手方向にプレ

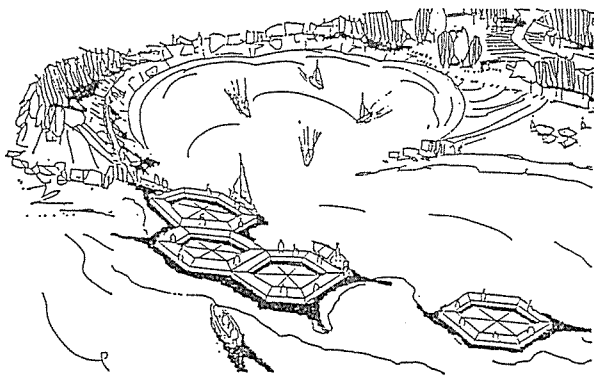


図-7 H.M.S. 工法利用例

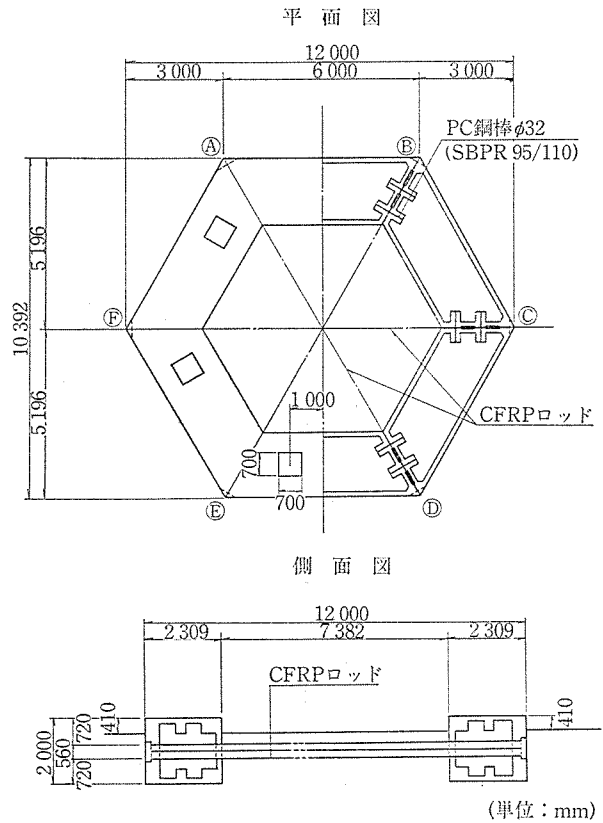


図-8 ユニットポンツーン構造図

ストレスを与える構造である。

- ③ 緊張材として腐食対策を考えて CFRP ロッドを用いている。

の三つである。

このユニットポンツーンについては、すでに、図-8に示すものを用いて、浮遊接合実験、偏載荷試験、および浮遊動揺試験を完了している。この結果、H.M.S. の実用化について大きく前進したと言える。

6. おわりに

以上、運輸省内部で行われている繊維系素材の応用について著者なりにまとめた。まだ、運輸省内部での方向が不明確な時期にこのような報文を出すのはやや軽率かもしれない、かつ、結果的にやや方向違いの情報を伝達する可能性のあることを断っておきたい。しかしながら、読者諸兄への情報として役立てば、若干の失策も許してもらえるものと思っている。

また、本文をまとめるに際し、(財)沿岸開発技術研究センターおよび運輸省第二港湾建設局の内部資料を参考とした。資料を利用させていただいたことに深く感謝いたします。

【昭和63年6月10日受付】