

# 資料 FRP 製防食パネルを装着したプレキャストコンクリート製品への適用について

柄澤 英明\*<sup>1</sup>・新居 隆\*<sup>2</sup>

**要旨:** 従来、新設建造物の防食工法として、現場で防食材を塗布する工法が用いられてきた。しかし、これらの工法をプレキャストコンクリート製品（以下 PCa 製品）に適用する場合、防食材養生による工期延伸、施工後の防食材膨れや剥がれなどの事例も報告されていて、品質や耐久性などの問題も指摘されている。本資料では、PCa 製品の耐久性向上を目的とし、FRP 製防食パネルを装着した PCa 複合製品について提案を行った。そして、FRP 製防食パネルを装着した複合製品への載荷試験を実施した。結果 FRP 製防食パネルが、従来から用いられてきた塗布型ライニング工法と比較し、耐久性に優れた性能を有することを確認した。

**キーワード:** 防食、プレキャストコンクリート製品、耐久性、FRP 製防食パネル

## 1. はじめに

近年コンクリート建造物の早期劣化により、設計耐用年数を待たずして補修・補強などを必要とする事例が増えている。これらの劣化は周囲環境の影響によることが多く、さまざまな補修・補強が行われている。しかし維持管理費の増大に伴い、新設建造物でも周囲環境の厳しい腐食環境下で、将来的補修工事が困難な箇所では、新設時から防食工法を施す方がライフサイクルコストを低く抑えられると言われている。

新設建造物の防食工法としては、従来から施工現場で防食材を塗布するライニング工法が用いられてきた。しかしこれらの工法を PCa 製品に適用する場合、製品工場（または現場）で防食材を塗布する工程の増加、防食材養生による工期の延伸、さらには作業ヤード確保が困難などの問題もある。また施工後の防食材膨れや剥がれなどの事例も報告されていて、品質や耐久性などの問題も指摘されている。

本資料では上記問題の解決、および PCa 製品の耐久性向上を目的とし、工場製品である FRP

製防食パネル（以下、FRP パネル）を装着した、鉄筋コンクリート製プレキャスト床版への載荷試験を実施した結果を報告し、その適用事例を示す。

## 2. FRP 製防食パネルの特徴

PCa 製品の防食性能向上を目的とした FRP パネルは、型枠内面にあらかじめ所定の寸法に切断・加工された FRP パネルを使用している。そのため FRP パネルを PCa 製品工場にて、型枠内面に設置し、コンクリートを打設することで PCa 複合製品を容易に製作することができ、また以下の特徴が挙げられる。

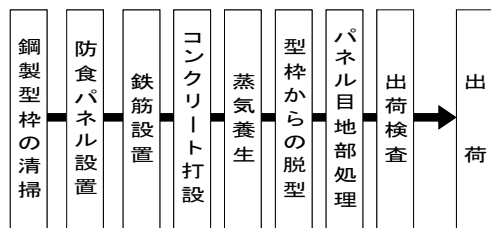
- ・コンクリート打設と同時に防食被覆が行える。
  - ・製造工程に大幅な変更を要しない。
  - ・防食被覆の品質に作業者の技量が影響しない。
- など施工品質、耐久性、経済性の利点がある。従来型と比較した工程を図-1に示す。

PCa 複合製品に装着する FRP パネルは、ビニルエステル樹脂とガラス繊維で構成されている。コンクリートとの付着面には、波形形状の樹脂

\*<sup>1</sup> 鶴見コンクリート（株）技術開発部（正会員）

\*<sup>2</sup> 日東紡績（株）グラスファイバー事業部門 化成品営業部

●FRP製防食パネル



◆塗布型ライニング工法

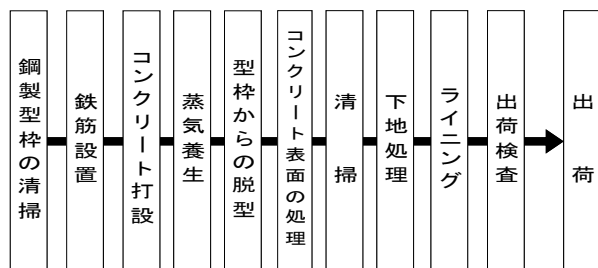


図-1 製造工程比較<sup>1)</sup>

ネットが全面に施されており、コンクリートが樹脂ネットに絡みつくことにより、コンクリートとの一体化が図れる構造となっている。FRPパネルを写真-1、2に示す。

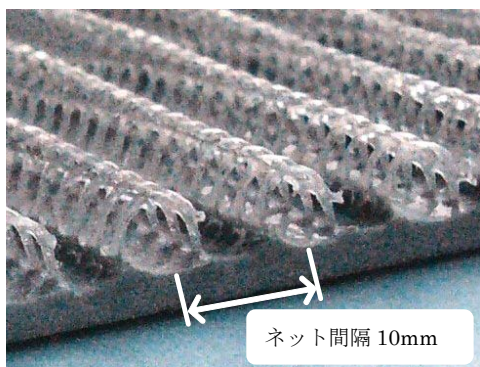


写真-1 FRP 製防食パネル(背面)

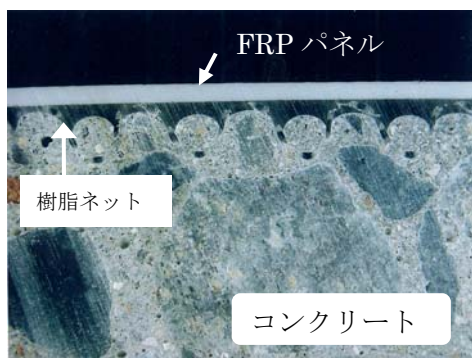


写真-2 一体化の状況 (断面)

3. 載荷試験

3.1 試験概要

FRP パネルを装着した際の耐久性性能を評価するにあたり、無装着、FRP パネル装着、現場塗布型ライニングの3種供試体への載荷試験を実施し、その終局耐力について比較検討を行った。

3.2 コンクリートの物性

載荷試験に使用する各供試体に用いたコンクリートに対して JIS 規定による材料試験を行い、圧縮強度、割裂引張強度、曲げ強度と弾性係数を求めた。コンクリートの配合を表-1に、試験の結果を表-2に示す。養生方法は、打設直後に 62℃での蒸気養生を3時間、その後試験材齢まで気中養生とした。また材料試験の供試体と載荷試験の供試体で共通とし、その材齢については、試験日程の関係で下記のようになった。

表-1 コンクリートの示方配合  
単位量 (kg/m<sup>3</sup>)

W	C*	膨張材**	細骨材	粗骨材	減水剤***
168	522	50	757	860	6.24
その他の数値					
水結合材比	細骨材率	スランプフロー	空気量		
29.4%	46.6%	65±5cm	2.0%		

\*普通ポルトランドセメント+高炉スラグ微粉末 (セメント置換率 50%)、\*\*エトリンガイト系膨張材、\*\*\*減水剤 標準形 (ポリカルボン酸系化合物)

表-2 コンクリートの物性値

タイプ	材齢 [日]	圧縮強度 [MPa]	割裂引張強度 [MPa]	曲げ強度 [MPa]	弾性係数 [GPa]
無装着型	16	62.1	4.88	5.16	34.0
FRP パネル装着型	14	62.3	5.04	4.71	32.5
FRP ライニング型	13	60.5	4.59	4.95	30.8

その際、同材齢にて接着面法線方向の付着力試験（建研式接着力試験）を実施した。各試験体の付着力は、FRP 装着型で平均 1.94 MPa、ライニング型で平均 1.76 MPa を確認し、FRP パネルおよび FRP ライニングがコンクリートと十分に接着していることを確認した。

使用した供試体は、FRP パネル無装着のものを無装着型、FRP パネルを装着したものを FRP 装着型、FRP ライニングを施したものを FRP ライニング型とした。

### 3.3 FRP パネルの物性

本試験で使用した FRP パネルの物性値を「ガラス繊維強化プラスチックの引張試験方法；JIS K 7054-1995」に従って測定を行った。その試験結果を表-3 と図-2 に示す。

表-3 FRP パネルの物性

引張強度 [MPa]	弾性係数 [GPa]	破断ひずみ [---]
104.41	4.473	0.0233

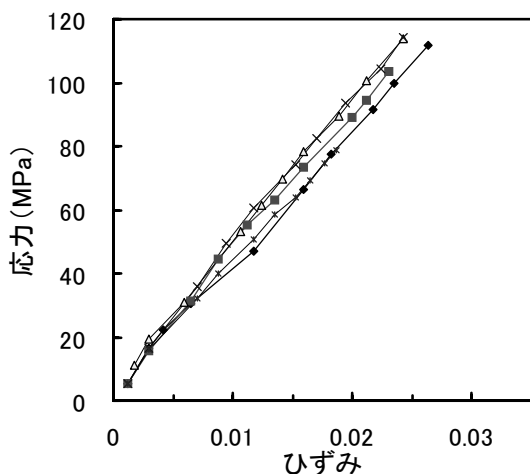


図-2 FRP パネル引張時の応力ひずみ関係

### 3.4 床版供試体

載荷試験で使用した、床版供試体の形状寸法は、幅 500mm、厚さ 150mm の単鉄筋プレキャスト製供試体を使用した（図-3）。供試体下面に、FRP パネルを貼り付けることにより、載荷時に供試体下面に生じる引張力に対して、耐力を向

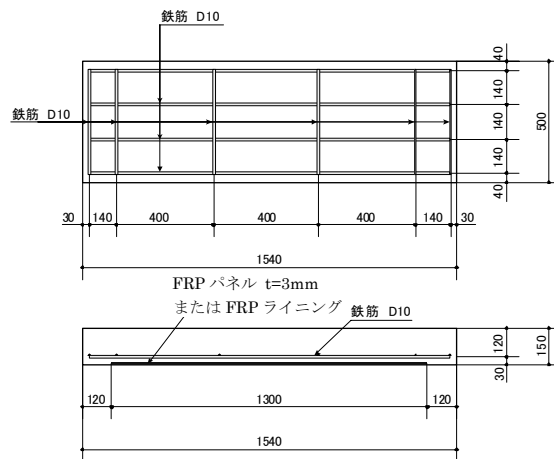


図-3 供試体の形状

上させた構造となっている。なおライニング型については、あらかじめ製作した鉄筋コンクリート床版にサンディング処理とビニルエステル系プライマーの塗布を行い、その後樹脂とガラス繊維シートを 2 プライ貼り付けた。樹脂量とガラス繊維シートの枚数は、FRP パネル装着型の供試体と同一になるように配慮し、ライニング処理は材齢 7 日で実施した。各供試体は 3 枚ずつ作成し、先程述べたとおりの蒸気養生と気中養生を行った。

### 3.5 試験方法

試験方法は、図-4 や写真-3 に示すような 2 点載荷方法で試験を行った。

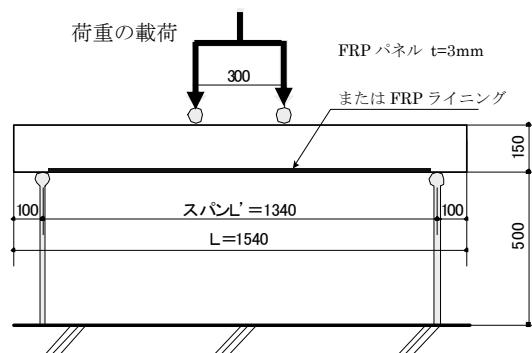


図-4 載荷条件

### 3.6 試験結果と考察

ひび割れ荷重、および破壊荷重の試験結果を表-4 示す。

ひび割れ荷重は鉄筋ゲージで測定したひずみ



写真-3 載荷試験状況



写真-4 FRP パネル装着型の破壊状況

表-4 載荷試験の結果

タイプ	ひび割れ荷重 [kN]	破壊荷重 [kN]
無装着型	25.8 (1.00)	62.0 (1.00)
FRP パネル装着型	48.8 (1.89)	139.8 (2.25)
FRP ライニング型	48.0 (1.86)	95.5 (1.54)



写真-5 FRP ライニング型の破壊状況

にもとづき、ひずみの急激な増加が生じた荷重としている。なお表中の括弧内の数値は無装着型との比較値を示す。また FRP パネル装着型と FRP ライニング型の破壊後の状況を写真-4 と写真-5 に示す。

載荷試験により、以下のことを確認した。

- 1) ひび割れ荷重では無装着型と比較し、FRP パネル装着型、FRP ライニング型ともに約 1.8 倍の耐力を得ることができた。
- 2) 破壊荷重では無装着型と比較し、FRP パネル装着型では約 2 倍、FRP ライニング型では約 1.5 倍程度の終局耐力があることを確認できた。また、FRP パネル装着型と FRP ライニング型とを比較した場合には、FRP パネル装着型の方が、約 1.5 倍程度の終局耐力を有することが確認できた。
- 3) FRP パネル装着型供試体の破壊状況では、FRP パネルはスパン中央で破断していた。ま

たコンクリートとの剥離部分は、スパン中央部付近にのみ見られた。これは FRP パネル背面のネットにより、FRP パネルとコンクリートとの付着性能が高くなったことにより、供試体終局耐力の向上につながったと推測される。

- 4) FRP ライニング型供試体の破壊状況では、大きな斜めひび割れを伴っていることから、せん断破壊が生じていることが確認できた。またコンクリートとの剥離部分は、この斜めひび割れ部を起点とした、支点部全域で FRP ライニング部分が剥離し、FRP 部分での破断は生じていなかった。FRP パネル装着型と比較し、FRP パネルの破断前にコンクリートとの界面でライニング部との剥離が生じたため、この様な破壊形態になったと推測される。以上の試験結果から、従来から用いられてき

た FRP ライニング工法に比較し、FRP 製防食パネルの方が PCa に適用する際、製造工程合理化を図ることができ、より耐久性に富んだ PCa 複合製品への適用が可能であることが分かった。

なお、これらの試験結果および解析結果詳細については、既報<sup>2)</sup>・<sup>3)</sup>・<sup>4)</sup>にて行っている。

#### 4. 適用事例

今回の試験で使用した、FRP パネルを PCa 複合製品へ適用することで、ライニング工法と比較し、より耐久的な構造物を構築することが明らかになった。今後はその特性を活かし、より多くの適用を検討していきたい。例えば海岸地域における、塩害の影響を受ける構造物への適用や、供用後の補修工事が困難な下水道施設構造物への適用である。ここでは、下水道施設構造物への適用事例を紹介する。

本事例は、幹線道路の下に敷設されている合流式下水道幹線で、供用開始から 39 年経過し腐食摩耗・老朽化によるコンクリート剥離が著しいため、更生改良を行う工事であった。

既設老朽管きよの更生改良にあたっては、部分的な開削で、既設管きよ内部に新しい PCa 製品を構築する更生改良工法が適用された。その際、供用開始からの経過年数に比較し既設管きよの劣化状況が激しく、また敷設場所が幹線道路下という敷設状況から、今後の維持管理低減を鑑み、内面に防食性能の高い FRP 製防食パネルを装着した PCa 複合製品が適用されるに至っ

た。FRP 製防食パネルを使用するにあたっては、今回の用途が下水道管きよでの使用であることから、防食性能については下水道施設で適用される防食被覆工法の防食性能試験「下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル」<sup>5)</sup>シートライニング工法 (D<sub>2</sub>種) の品質規格にもとづき、各種試験を行い防食性能の確認を行った。その試験項目及びその結果を表-5 に示す。以上の試験などにより、施工品質・耐久性・経済性に優れた FRP 製防食パネルを装着した PCa 複合製品を構築することができた。

更生改良前および劣化状況を示す(写真-6, 7)。また更生改良後の状況を示す(写真-8)。工事報告の詳細については、既報<sup>1)</sup>にて報告を行っている。

#### 5. まとめ

本資料では、プレキャストコンクリート製品の耐久性向上を目的とした、FRP 製防食パネルを装着したプレキャストコンクリート複合製品について、開発とその適用事例の紹介を行った。今回は使用用途を下水道管きよへ適用したが、今後は他用途への適用(具体的には、海岸構造物でのバース床版部、新設構造物でのアルカリ骨材反応対策(被覆による外的要因の遮断)、酸性河川地域における新設コンクリート構造物への表面被覆、およびそれらの地域での橋梁(床版)など)について検討していきたい。

表-5 防食性能試験の試験項目およびその結果一覧<sup>1)</sup>

試験項目	シートライニング D <sub>2</sub> 種の品質規格	試験結果
被覆の外観	被覆にしわ、むら、はがれ、われがないこと。	異常なし
コンクリートとの固着性	0.24MPa 以上	0.74MPa
耐酸性	10%の硫酸水溶液に 60 日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出が出ないこと。	異常なし
硫黄浸透深さ	10%の硫酸水溶液に 120 日間浸漬した時の侵入深さが設計厚さに対して 1%以下であること。	不検出
耐アルカリ性	水酸化カルシウム飽和水溶液に 60 日間浸漬しても被覆にふくれ、われ、軟化、溶出がないこと。	異常なし
透水性	透水量が 0.15g 以下	0.00 g



写真－6 更生改良前



写真－7 劣化部拡大



写真－8 更生改良後

なお今回の資料では、既発表の論文、報告を取りまとめものである。

#### 参考文献

- 1) 新居隆, 福室順也 : FRP 製防食パネルを装着した下水道プレキャスト製品の性能向上について, 第 43 回 下水道研究発表会講演集 (平成 18 年度) 社団法人日本下水道協会, pp.88-90
- 2) 石井将幸, 新居隆, 福室順也, 岩成聡, 野中

資博 : FRP 板の付着特性を考慮した補強構造物の破壊解析, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 第 7 巻  
2007 11 月 社団法人日本材料学会  
pp.135-140

- 3) 石井将幸, 新居隆, 福室順也, 佐藤周之, 野中資博 : FRP 補強板の付着特性が補強効果に及ぼす影響, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 第 5 巻 2005 11 月社団法人日本材料学会 pp.111-116
- 4) 佐藤周之, 新居隆, 福室順也, 石井将幸, 野中資博 : FRP 板による RC ボックスカルバートの補強効果に関する研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 第 4 巻 2004 11 月社団法人日本材料学会 pp.395-400
- 5) 日本下水道事業団 : 下水道コンクリート構造物の腐食抑制技術及び防食技術指針・同マニュアル (平成 14 年 12 月), pp.29-30