

浸食を受けた海岸擁壁の補修パネルに試験適用した繊維補強 PFC の性能

太平洋セメント(株) 正会員 ○河野 克哉 正会員 森 香奈子 正会員 安田 瑛紀
(株)構研エンジニアリング 正会員 牛渡 裕二 正会員 川瀬 良司

1. はじめに

最近、筆者らは流し込み成型で世界最高水準の圧縮強度を発現する無孔性コンクリート(Porosity Free Concrete, PFC)を開発した¹⁾。PFC は、材料、配合、製造方法を工夫することで内部空隙が極限まで減少し、 400N/mm^2 以上のきわめて高い圧縮強度を発現する。本研究では、激しい浸食を受けた海岸擁壁に対する補修用コンクリート製パネルに PFC を適用するため、繊維で補強した PFC を部分的に用いたパネルの製造と設置を行うとともに、繊維補強 PFC の強度特性、すり減り抵抗性、塩分浸透性の各性能を検討した。

2. 海岸擁壁のコンクリート製パネル補修の概要

(1) 擁壁浸食の状況

図 1 は、北海道の黄金道路(国道 336 号線)における海岸擁壁の状況を示したものであり、日高山脈の南端部(最南端部は襟裳岬)に位置することから、山側の急斜面では崩落による落石を生じ、海中に落下した石が波に運ばれて、擁壁に衝撃や磨耗を与えている。さらに海水の作用下で凍結融解なども加わり、擁壁が激しい浸食を受けている。この海岸擁壁は、1970 年ごろに施工されたものと推定されるが、浸食が顕著になったのは 2003 年 9 月 26 日に発生した十勝沖地震(マグニチュード 7.1)以降といわれている。地震による海底地形の変動、消波ブロックの流失などで、海岸擁壁に対する波の作用が変化し、擁壁に用いたコンクリートの浸食が加速したものと考えられている。

(2) 擁壁補修の概要

図 2 は、海岸擁壁のパネルによる補修工事の状況であり、既存擁壁の前方に超高強度繊維補強コンクリート(UFC)製パネルを、鋼製アングルとのボルト接合ならびに既存擁壁とのアンカー鉄筋定着にて斜めに設置した上で、パネルと擁壁との間に裏込め材としてレディーミクストコンクリートを打ち込んで固定する補修工法が採用されている。なお、パネルに用いるコンクリートの設計基準圧縮強度は 180N/mm^2 、パネルの断面減少を想定した設計耐用年数は 15 年となっている。

表 1 PFC ならびに UFC の配合

	V_f (%)	単位量 (kg/m^3)						Flow (mm)	f_c' (N/mm^2)
		W	B	S	F*	SP**	DF**		
PFC	2.0	193	1281	934	157	$B \times 1.7\%$	$B \times 0.02\%$	285	344
UFC	2.0	180	1278	934	157	$B \times 1.3\%$	—	277	216

* PFC は外割体積比, UFC は内割体積比. ** W に内割置換.

3. パネルの製造

(1) 材料と配合

PFC の結合材(B)は、低熱セメントとシリカフュームの混合物に対し、鈴木らの多成分粒子ランダム充填シミュレーション²⁾にて算出される空間率が最小となるように粒度分布を調整した石英微粉末を添加したプレミックス粉体とした。また、UFC は市販の標準配合プレミックス粉体を用いた。PFC と UFC の配合は、表 1 のように、細骨材(S)には同じ高強度砂を、繊維(F)にも同じ鋼繊維(寸法 $\phi 0.2 \times 15\text{mm}$)を 2%の混入率(V_f)で用いた。混和剤は、各 B に専用の高性能減水剤(SP)を、PFC にはさらに消泡剤(DF)を添加し、フロー(無振動)を $280 \pm 10\text{mm}$ とした。



図 1 海岸擁壁の浸食状況



図 2 擁壁補修工事の状況

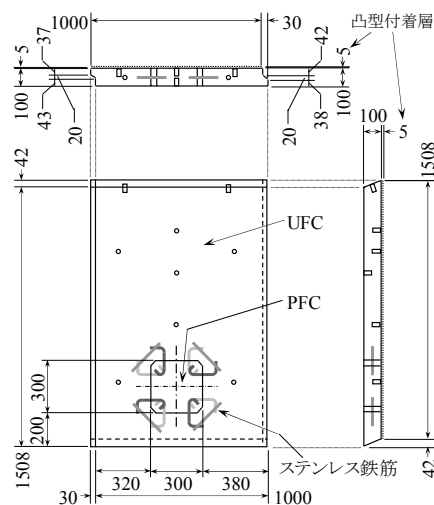


図 3 補修パネルの概要

キーワード 無孔性コンクリート(PFC), 繊維補強, 海岸擁壁, 補修, すり減り抵抗性, 塩分浸透

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント(株) 中央研究所 TEL. 043-498-3893

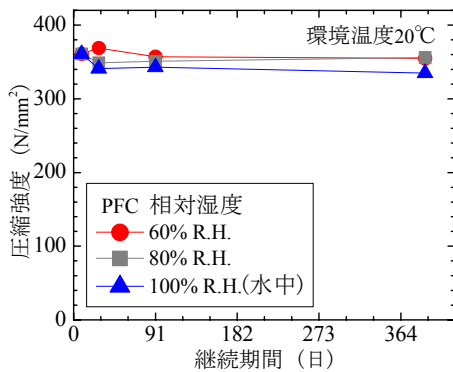


図4 湿度によるPFCの圧縮強度の変化

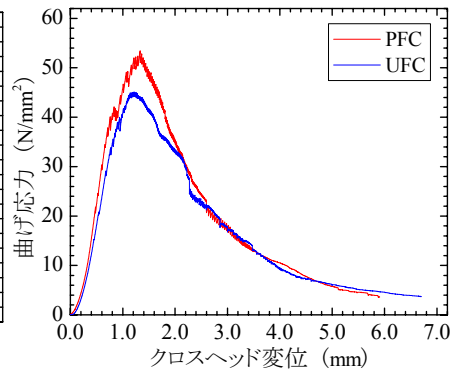


図5 PFCの曲げ特性

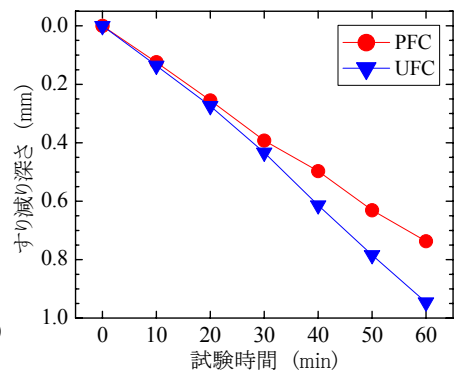


図6 PFCのすり減り抵抗性

(2) パネルの形状と製造

図3のようにパネル全体はUFCとし、パネル下部の浸食が激しい部分(寸法 300×300mm, 厚さ 100mm)にPFCを埋め込む形とした。パネル背面には裏込め材との接着を強化するため、凸型付着層を設けた。PFC埋込み部は、固定用のステンレス鉄筋D10を配して打ち込んだ後、材齢2dで脱型し、i) 脱気吸水処理(脱型直後に密閉容器の中で脱気真空状態とし、水を滴下して水没させて30分間ほど水分を内部補給)、つぎにii) 蒸気養生(最高温度 90℃×保持時間 48h)、さらにiii) 加熱養生(最高温度 180℃×保持時間 48h×1気圧)を行って、予め作製したものである。そして、製品工場で型枠内にPFC埋込み部を設置してからUFCを打ち込み、一次蒸気養生(最高温度 40℃)に供して材齢1dで脱型し、二次蒸気養生(最高温度 90℃×保持時間 48h)に供してパネルを作製した。なお、各種試験のため、同じ養生条件にて供試体も作製した。

3. 補修パネルに適用した繊維補強PFCの性能

(1) 各種強度特性

表1に示したようにパネル製造後のPFCの圧縮強度(寸法 $\phi 5 \times 10\text{cm}$, f_c')は 344N/mm^2 となり、UFCの場合の 216N/mm^2 に比べて1.6倍ほど向上した。ここで、PFCの f_c' の増大には、最密粒度とした結合材粉体の充填効果のほか、脱型直後の吸水処理で含んだ水分を利用した90℃蒸気養生時の水和物生成による空隙充填効果、さらに180℃加熱養生時の乾燥による余剰水分の逸散効果が大きく関与している¹⁾。図4に示すように、水中(相対湿度100%)、気中(相対湿度80%ならびに60%)の各条件で1年以上保管したときの f_c' はいずれも約 350N/mm^2 で一定であり、吸湿による f_c' の低下は見られなかった。また、図5に示すようにパネル製造後のPFCの曲げ強度(寸法 $40 \times 40 \times 160\text{mm}$, 曲げモーメント区間 40mm の3等分点曲げ試験)は 52N/mm^2 となり、UFCの場合の 44N/mm^2 に比べて1.2倍ほど向上した。

(2) すり減り抵抗性

図6は、PFCならびにUFCの回転ディスクによるすり減り抵抗性試験(ASTM C779)の結果を示したのである。試験時間60分にお

けるすり減り深さは、UFCの場合にくらべてPFCの方が2割ほど低減し、PFCでは耐摩耗性が向上した。

(3) 塩分浸透性

図7は、PFCならびにUFCを人工海水(Cl濃度3%)に180d浸漬した後においてEPMAでClの面分析を行い、浸透深さ方向に全Cl濃度分布曲線を求めたものである。PFCは、空隙が体積で1%未満となる緻密な硬化組織であるため¹⁾、表層でUFCよりもClの浸透が進まず、遮塩性が向上した。

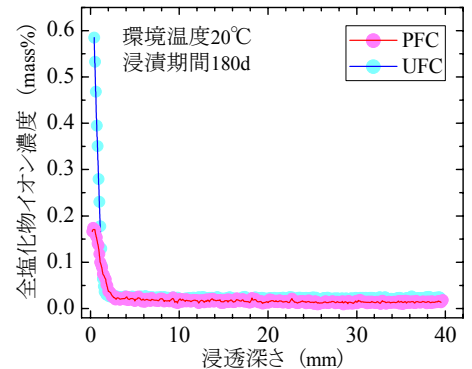


図7 PFCの全Cl濃度分布曲線

4. まとめ

繊維補強PFCは、 350N/mm^2 程度のきわめて高い圧縮強度を発現し、水中における圧縮強度も1年以上安定している。また、繊維補強PFCは曲げ強度、耐摩耗性および遮塩性の各性能がUFCよりも優れていることがわかった。この繊維補強PFCを黄金道路の海岸擁壁の補修パネルに部分的な適用を行い、1年半ほど実環境で供用したところ、現在まで変状は確認されておらず、健全な状態を維持している。今後も、定期的にPFCの長期耐久性を実地検証する計画である。

【謝辞】本検討では、国土交通省北海道開発局帯広開発建設部 広尾工事事務所のご協力を頂き、ここに記して深謝致します。

【参考文献】

- 1) 河野克哉ら：コンクリート工学, 54 (7), pp.702-709, 2016
- 2) 鈴木道隆ら：化学工学論文集, 11 (4), pp.438-443, 1985