

室内および海洋環境下に長期暴露された FRP 補強材の耐久性および引張特性

神鋼鋼線工業（株）正会員 ○細居 清剛 正会員 武市 知大
東京製綱インターナショナル（株） 非会員 幸田 英司 三井住友建設（株）正会員 永元 直樹
京都大学 正会員 Bruno Ribeiro 正会員 服部 篤史 正会員 塩谷 智基

1. はじめに

FRP 補強材は高い腐食抵抗性と引張強度を持ち、且つ軽量であることからコンクリート構造物の補強筋やプレストレストコンクリート用緊張材としての有効利用が検討され、特に厳しい腐食環境下である海洋構造物への適用が考えられてきた。しかしながらコンクリート中のアルカリ環境および乾湿繰り返しへの抵抗性、海洋環境下における長期耐久性が不明であった。そこで 1994 年に三重県熊野鵜殿地区の太平洋に面した実験フィールドに FRP 補強材を埋設したコンクリート部材および気中暴露した FRP 補強材を設置し、1～4 年毎に目視観察などの各種調査を行ってきた。今回、開始より 28 年間が経過した供試体に関して、破壊を伴う本格的な性能確認試験を実施したので、その結果の一部について報告する。

2. 設置状況

コンクリート部材設置状況を写真 1 に示す。試験目的に応じて作成された部材が合計 80 体、海岸部飛沫帯に並べて設置されている。ここでは FRP 補強材の耐久性と引張特性のみに着目し、サンプリングを行った。



写真 1 設置状況

3. 試験供試体

コンクリート部材に埋設されている FRP 補強材の種類を表 1 に示す。埋設した場合はコンクリート部材からこれらを取り出して試験供試体とした。サンプリングは繊維表面に傷が付かないように慎重に行い、調査に不要な成分が付着しないように乾式ダイヤモンドカッターを用いて切断・加工した。

表 1 供試体の種類

材料	種類	形状	サイズ
炭素繊維	CS	より線	φ10.5mm (RC 供試体), φ7.5mm (PC 供試体)
アラミド繊維	AB	組紐	φ10.4mm (RC 供試体), φ7.3mm (PC 供試体)
	AD	異形鉄筋	φ 8.0mm (RC 供試体), φ6.0mm (PC 供試体)

コンクリート部材の暴露条件を表 2 に示す。RC 部材は FRP 補強材を鉄筋として埋設したものの、PC 部材は緊張材として用いたものである（プレテンション方式にて規格引張荷重の約 70%の初期張力を導入）。また、比較材として室内保管していた PC 部材からも供試体を採取した。

表 2 コンクリート部材暴露条件

供試体	暴露場所	暴露環境
RC 部材	海岸飛沫部	コンクリート中
	海岸飛沫部	気中
PC 部材	海岸飛沫部	コンクリート中
	室内	コンクリート中

4. 調査項目

FRP 補強材の劣化状況を確認するため、マイクロスコープにより表面状況の観察を行った。また、長期暴露によってどのような成分がコンクリート内に浸透し、供試体表面に付着しているかを分析するため SEM（走査型電子顕微鏡）に装備された EDX（エネルギー分散型 X 線分光法）を用いた。さらに引張試験により破断荷重等の機械的性質も確認した。

キーワード FRP 補強材，長期耐久性，引張特性，プレストレストコンクリート

連絡先 〒660-0091 兵庫県尼崎市中浜町 10 番地 1 神鋼鋼線工業（株） TEL 06-6411-1072

5. 試験結果

海岸飛沫部に暴露した供試体のマイクロスコープによる観察結果を写真2～4に示す。気中暴露供試体は未使用品に対して若干の変色が観察されている。これは紫外線の影響や飛来物の付着によるものだと考えられるが、厳しい環境においても繊維破断やひび割れなどの劣化は生じていない事が確認できた。RC部材およびPC部材中から採取した供試体についても同様に劣化は確認出来なかった。気中暴露とRC部材供試体のEDXによる成分分析結果および引張試験結果を表3に、気中暴露品の成分検出状況を図1～3に示す。CSおよびABの気中暴露品からは海洋からの飛来物（NaおよびCl）が検出されているが、ADには見られなかった。これは表面形状によって飛来物を保持する量に差があるからと推察される。また、これら成分はコンクリート中供試体からは検出されていないため、FRP補強材付近までは浸透していない事が確認された。引張試験によって供試体の残存強度を測定した結果では、規格値（製造当初カタログ値）から若干の低下が確認された。その要因としてコンクリートからの取出し時等に伴う外的な損傷が考えられるが、詳細については他の化学分析等の結果を含めて調査予定である。一方で残存伸びの低下は少なく、著しい劣化や脆化は生じていないことが分かった。



写真2 マイクロスコープ観察（気中暴露）



写真3 マイクロスコープ観察（RC部材）



写真4 マイクロスコープ観察（PC部材）



図1 CS 気中暴露品 成分検出状況



図2 AB 気中暴露品 成分検出状況



図3 AD 気中暴露品 成分検出状況

表3 成分検出結果および引張試験結果

種類	供試体	検出成分（重量%）									残存荷重 (kN)		残存伸び (%)	
		C	N	O	Na	Mg	Al	Si	Cl	Ca	規格値	結果	規格値	結果
CS	コンクリート中	60.2		36.3		0.2	0.2	0.3		2.8	104.0	98.9	1.3	1.4
	気中	59.4		36.8	1.2	0.5	0.5	1	0.5			122.7		1.6
AB	コンクリート中	56.5	5.7	31.9		0.6	0.4	1.1		3.9	125.0	92.3	2.0	1.7
	気中	59.2	7.2	30.1	0.7	0.2	0.4	1.5	0.7			105.5		2.1
AD	コンクリート中	59.4		38.5		1.7	0.4				86.2	83.8	3.7	3.6
	気中	59.0	9.3	30	0.6	0.2	0.6	0.2				76.9		3.6

6. まとめ

何れのFRP補強材にも著しい劣化は確認されなかった。その他性能については今後、コンクリートの曲げ載荷試験、各種化学分析などで明らかにする予定である。

謝辞

本実験の遂行にあたり、連続繊維補強材WGおよび京都大学インフラ先端技術コンソーシアムC05クラスタの関係者各位の多大なるご協力を頂いた。ここに記して、深く感謝の意を表します。