

炭酸化養生と温度変動の有無がコンクリートと FRP 補強筋の付着強度に及ぼす影響

金沢工業大学 正会員 ○保倉 篤 金沢工業大学 正会員 宮里心一
 鹿島建設(株) 正会員 小林 聖 鹿島建設(株) 正会員 取違 剛
 鹿島建設(株) 正会員 関 健吾

1. はじめに

近年、地球温暖化対策に向けて、温室効果ガスの排出削減および吸収量の確保を目指している¹⁾。ここで、二酸化炭素の吸収に着目すると、コンクリートを炭酸化養生させる技術が確立されており、栈橋の補修工事への適用や放射性廃棄物の貯蔵容器が試作されている²⁾。ただし、炭酸化養生させたコンクリート中に鉄筋を埋設した場合、早期に腐食が発生することが懸念される。そのため、高耐食鋼（ステンレス）の適用が検討されている³⁾。さらに、全く腐食しない FRP 補強筋も使用できると考えられる。しかしながら、コンクリートと比較して FRP は熱膨張係数が小さいことから、温度変化するような環境下で適用する場合、付着切れが懸念される。

以上の背景を踏まえて本研究では、FRP 補強筋を埋設したコンクリートを炭酸化養生後、温度変動させた環境下に暴露した時の付着に及ぼす影響を評価した。

2. 実験手順

実験の流れを図-1 に、コンクリートの配合を表-1 に示す。コンクリートの打込みから 48 時間後に脱型し、28 日間の水中養生を行った。No.1 では、水中養生から取り出した後、引抜き試験を行った。No.2 では、水中養生から取り出した後、温度変動環境下に暴露し、引抜き試験を行った。ここで、温度変動の条件は、一定温度 (-15°C および 65°C) を 2.5h、その間に 21.4°C/h の温度変動 (昇温および降温) を各 3.5h にわたり作用さ

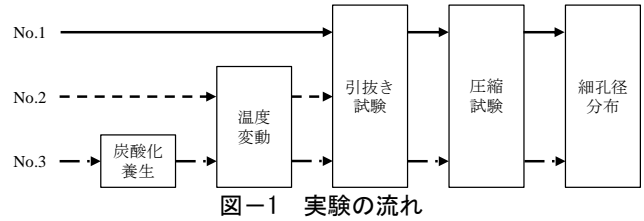


図-1 実験の流れ

表-1 コンクリートの配合

No.	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				圧縮強度 (N/mm ²)
			W	C	S	G	
1	70	45	180	257	805	964	24.2
2							—
3							33.1



(a) No. 1 (水中養生)



(b) No. 3 (炭酸化養生)

写真-1 フェノールフタレイン溶液噴霧後の供試体の様子

せる 12h を 1 サイクルとして、200 サイクルにわたり気中環境下で暴露した。No.3 では、水中養生から取り出し、コンクリート全体に炭酸化が進行するまで養生後、温度変動させて、引抜き試験を行った。写真-1 にフェノールフタレイン溶液を噴霧させた時の外観を示す。なお、JSCE-E 539-2007 に準拠し、供試体中央部に補強筋を配置し、付着長さを直径の 4 倍として自由端側に設けた。ここで、コンクリートの割裂破壊を防ぐため、

表-2 補強筋の種類

種類	外観	材質 (繊維/樹脂)	外層 (繊維)	径 (mm)	周長 (mm)	表面形状	熱膨張係数 (10 ⁻⁶ /°C)
CFRTP(G)		炭素/熱可塑性エポキシ	ガラス	9.0	28.3	7 本撚り線	0.5
CFRTP(V)			ビニロン				
CFRTS		炭素/エポキシ	—	8.0	25.1	異形	6.0
BFRTS		バサルト/ビニルエステル		9.0	28.3		7.5
AFRTS		アラミド/ビニルエステル		7.4	23.2		-3.0

キーワード：環境配慮型コンクリート, FRP, 付着強度

連絡先 〒924-0838 石川県白山市八束穂 2-2 金沢工業大学 工学部 環境土木工学科 TEL 076-274-7798

らせん筋 ($\phi 6$, ピッチ 40mm) も埋設した。

補強筋の種類を表-2 に示す。本実験では、炭素繊維を用いた FRTP (熱可塑性 FRP) と、炭素繊維、バサルト繊維およびアラミド繊維を用いた FRTS (熱硬化性 FRP) の 3 種類を使用した。なお、CFRTP の表面にはガラス繊維およびビニロン繊維を接着し、表面に凹凸を設けた。

また、圧縮試験は JIS A 1108 に準拠し、No.1 では水中養生後に、No.3 では温度変動後に測定した。細孔径分布の試料は、コンクリートの圧縮試験後に破壊されていない箇所を選定し、水銀圧入ポロシメーターを用いて計測した。

3. 実験結果

図-2 に、No.1 と No.2 におけるコンクリートと補強筋の付着強度を示す。これによれば、温度変動の有無に拘らず、全ての種類の補強筋において、暴露前後の付着強度は同等になることを確認できた。

図-3 に、No.1 と No.3 におけるコンクリートと補強筋の付着強度を示す。また図-4 に、コンクリートの細孔径と細孔量の関係を示す。これらによれば、全ての補強筋において、No.3 の方が付着強度は高くなることを確認できた。これは、No.3 では炭酸化養生させることでコンクリート中の細孔量が減少し、緻密化されたためと考えられる²⁾。ここで、表-1 に示すとおり、No.1 と比較して No.3 の方が圧縮強度は高くなることを確認できた。筆者らは、圧縮強度と付着強度は正の相関関係であることを確認しているため⁴⁾、本研究でも同様に、圧縮強度の高い No.3 の方が付着強度は高くなったと考えられる。

4. まとめ

炭酸化養生させることで、コンクリートは緻密化され、補強筋との付着強度が 1.3~2.2 倍に増加することを確認できた。なお、コンクリート中に熱膨張係数が小さい FRP 補強筋を用いても、温度変動の作用が付着強度に及ぼす影響は小さいと考えられる。

謝辞

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務 (JPNP16002) の結果得られたものである。また、金沢工業大学の卒業生の小野穂高氏に多大な協力を頂いた。

参考文献

1) 外務省, <https://www.mofa.go.jp/mofaj/ic/ch/page1w>

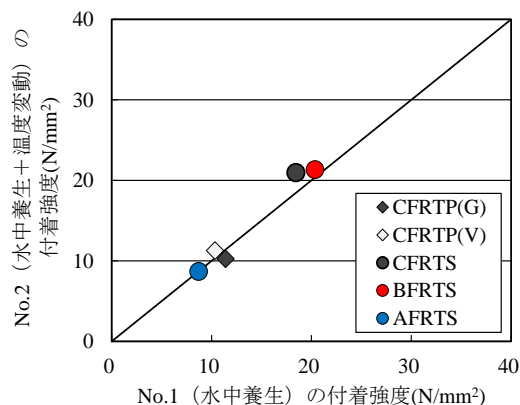


図-2 コンクリートと補強筋の付着強度 (No. 1 と No. 2)

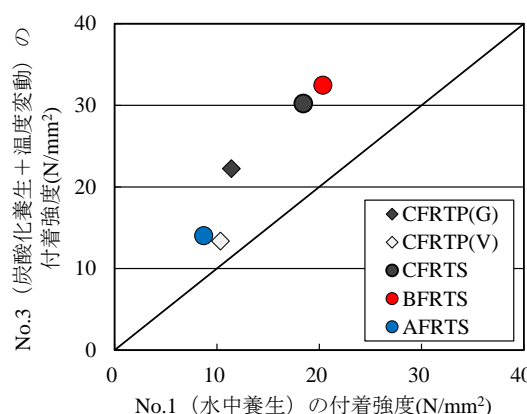


図-3 コンクリートと補強筋の付着強度 (No. 1 と No. 3)

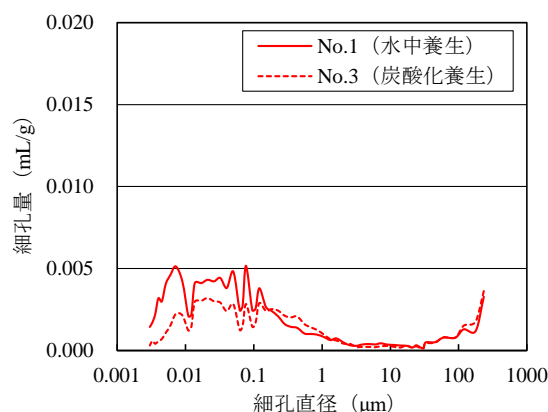


図-4 細孔径と細孔量の関係 (No. 1 と No. 3)

_000121.html, (2022/3/23 アクセス) .

- 2) 横関康祐, 渡邊賢三, 取違剛, 関健吾: 長寿命化を実現する炭酸化養生コンクリートと技術, コンクリート工学, Vol.54, No.5, pp.531-536, 2016.
- 3) 中島朋子, 宮里心一, 横関康祐, 取違剛: 炭酸化コンクリート中に埋設されたステンレス鉄筋の塩害評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.38, No.1, pp.1215-1220, 2016.
- 4) 保倉篤, 宮里心一: 水セメント比と温度変動がコンクリートと FRTP ロッドの付着強度に及ぼす影響, 第 46 回複合材料シンポジウム, B215, 2021.