

炭酸化したコンクリート中における鉄筋の耐腐食性と付着特性に関する一考察

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

1. はじめに

地球温暖化への対応が求められる中、日本は 2030 年度には 2013 年度比で 46%減という CO₂ 排出量の削減目標を掲げている。さらに、「2050 年カーボンニュートラル」に向けて、地球温暖化対策の動きが加速している。コンクリート分野においては、二酸化炭素と反応するダイカルシウムシリケートγ相（以下、γC₂S とする）を混和材として用い、若材齢からコンクリートに強制的に CO₂ を吸収させる（炭酸化させる）ことでカーボンネガティブとなる環境配慮型コンクリート¹⁾が開発され、世界で初めて実用化された。しかし、本技術はコンクリートを強制的に炭酸化させることから、コンクリートの pH が低下し、水と酸素が供給される箇所においては、鉄筋の不動態被膜が破壊されることによる早期の腐食発生が懸念される。本技術を広く活用・展開していくためには RC 部材としての適用が望まれ、鉄筋腐食に関する課題を解決する必要がある。そこで、筆者らは腐食抵抗性の高いエポキシ樹脂塗装鉄筋（以下、エポ筋）と亜鉛めっき鉄筋（写真-1）の適用性を検討している。ここでは、強制的に炭酸化させたコンクリート中の鉄筋の耐腐食性と付着特性について確認した。

2. 実験概要

使用材料を表-1 に、コンクリート配合を表-2 に示す。目標スランブは 8cm、空気量は 4.5%とした。

各種鉄筋の耐腐食性を評価するために腐食促進実験を行った。試験体寸法は 80×80×80mm とし、部材中心に各種鉄筋（D13）を埋設した。なお、比較用として普通鉄筋も使用した。試験体作製の翌日から 50℃、40%RH、CO₂ 濃度 10%の環境で炭酸化養生した。比較用として水中養生（20℃）も行い、これを一般的な RC 部材と想定した。材齢 58 日以降、鉄筋腐食を促進するために、全ての試験体を 50℃、80%RH の養生環境に移し、腐食促進養生を行った。所定の材齢で鉄筋をはつり出し、10%クエン酸水素二アンモニウムに 2 日間浸漬して除錆して質量を計測した。腐食前の鉄筋の質量で質量減少量を除して質量減少率を算出した。

コンクリートと鉄筋の付着特性を評価するために JSCE-G 503-2013 を参考に引抜き試験を実施し、付着応力度を確認した。試験体の概要を図-1 に示す。試験体寸法は 80×80×80mm とし、鉄筋径 D13、付着長 4D（=52mm）、非付着長 28mm とした。養生条件は腐食促進実験と同様とした。また、引抜き試験体と同一条件で φ100×h200mm の供試体も作製し、圧縮強度試験を材齢 58 日、261 日、506 日で実施した。引抜き試験により得られた結果から以下の式により付着応力度を算出した。



写真-1 検討に使用した鉄筋

表-1 使用材料

材料	記号	摘要
水	W	上水道水
セメント	B	C 普通ポルトランドセメント， 表乾密度：3.16g/cm ³
		BFS 高炉スラグ微粉末，密度：2.91g/cm ³
		γ ダイカルシウムシリケート γ 相， 密度：2.85g/cm ³
混和材	S	S1 砕砂，表乾密度：2.65g/cm ³ ，粗粒率：2.78
		S2 山砂，表乾密度：2.71g/cm ³ ，粗粒率：2.57
細骨材	G	G10 砕石，最大粗骨材寸法：10mm， 表乾密度：2.65g/cm ³
		G20 砕石，最大粗骨材寸法：20mm， 表乾密度：2.65g/cm ³
粗骨材	AD	AE 減水剤（高機能タイプ）

表-2 コンクリート配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)								AD (B×%)
		W	B			S1	S2	G10	G20	
			C	BFS	γ					
55	47	169	92	200	15	771	75	573	384	1.2

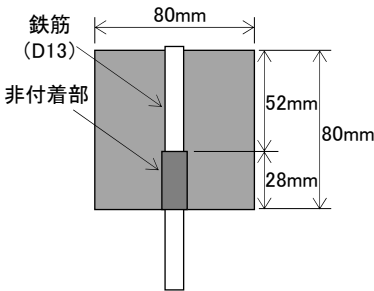


図-1 引抜き試験体の概要

キーワード 環境配慮型コンクリート，エポキシ樹脂塗装鉄筋，亜鉛めっき鉄筋，耐腐食性，付着強度
連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL 042-485-1111

$$\tau = P / (4 \pi D^2) * \alpha$$

ここで、 τ ：付着応力度(N/mm²)、 P ：引張荷重(N)、 D ：鉄筋径(mm)、 α ：コンクリートの圧縮強度に対する補正係数（ここでは1.0）とした。

3. 実験結果

圧縮強度の結果を図-2に示す。炭酸化養生は50℃で養生していることから炭酸化養生中に強度増進し、腐食促進養生中の強度増進は確認されなかったが、腐食促進養生後（材齢 506 日）における圧縮強度は25.1N/mm²であり、一般的なコンクリート構造物に適用可能な値である。一方、水中養生した場合は腐食促進養生中も強度増進し、腐食促進養生後（材齢 506 日）における圧縮強度は48.3N/mm²となった。

最大付着応力度の結果を図-3に示す。最大付着応力度は圧縮強度と正の相関関係にあることから²⁾、ここでは相関関係の有無を確認した。その結果、鉄筋種類によらず、圧縮強度と最大付着応力度に正の相関関係が確認され、炭酸化養生による最大付着応力度の低下などは確認されなかった。また、普通鉄筋に対して、亜鉛めっき、エポ筋ともに同等の最大付着応力度であった。鉄筋の腐食減少率を図-4に示す。炭酸化養生した試験体の普通鉄筋は促進材齢 203 日の時点で腐食減少率 1.6%、448 日の時点で 0.9%であった。一方、水中養生した試験体（一般的な RC 部材）においても普通鉄筋は促進材齢 203 日の時点で腐食しており、コンクリートに十分な水分と酸素が供給される今回の腐食促進養生においては、炭酸化養生の有無によらず普通鉄筋が腐食することが確認された。今回は試験体にひび割れが発生していないため、腐食により付着応力度が低下する傾向は確認されなかった³⁾。なお、今回の腐食促進養生により、亜鉛めっきおよびエポ筋における腐食は確認されなかった。

炭酸化養生した試験体の普通鉄筋は促進材齢 203 日の時点で腐食減少率 1.6%、448 日の時点で 0.9%であった。一方、水中養生した試験体（一般的な RC 部材）においても普通鉄筋は促進材齢 203 日の時点で腐食しており、コンクリートに十分な水分と酸素が供給される今回の腐食促進養生においては、炭酸化養生の有無によらず普通鉄筋が腐食することが確認された。今回は試験体にひび割れが発生していないため、腐食により付着応力度が低下する傾向は確認されなかった³⁾。なお、今回の腐食促進養生により、亜鉛めっきおよびエポ筋における腐食は確認されなかった。

以上より、今回の腐食促進養生においては、炭酸化養生した試験体において、普通鉄筋、亜鉛めっきおよびエポ筋は一般的な RC 部材と同等以上の耐腐食性および付着特性が確保できるものと考えられる。

4. まとめ

強制的に炭酸化させたコンクリートが鉄筋構造物に適用できる可能性が示された。今後は実環境における鉄筋の耐腐食性と付着特性について確認する予定である。

謝辞：この成果は、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す。

参考文献

- 1) 取違ほか：CO₂ 排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO₂-SUICOM，セメント・コンクリート，Vol.786，pp.26-31，2012
- 2) 村田ほか：引抜き試験による異形鉄筋の付着強度に関する研究，土木学会論文集，第 348 号，V-1，pp.113-122，1984.8
- 3) 西内ほか：腐食した鉄筋とコンクリートとの付着特性に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.1，pp.821-824，1992

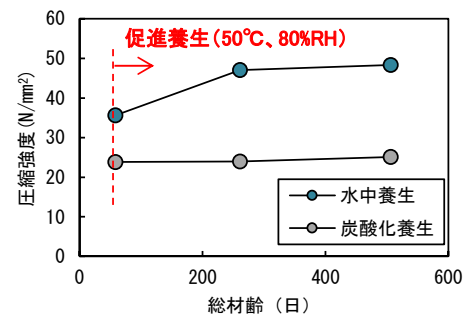


図-2 圧縮強度の測定結果

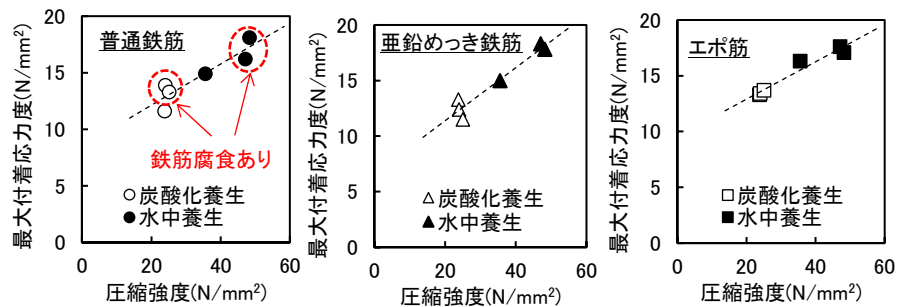


図-3 最大付着応力度

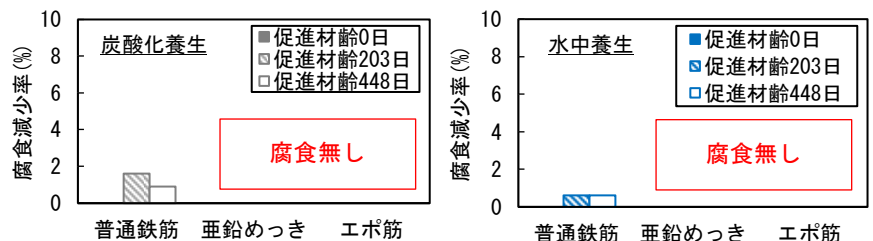


図-4 腐食減少率