

## 炭酸化したコンクリートと鉄筋の付着に関する一考察

鹿島建設(株) 正会員 ○小林 聖 中嶋翔平 関 健吾 取違 剛  
金沢工業大学 正会員 保倉 篤 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、2015年の第21回国連気候変動枠組条約締約国会議(COP21)により採択された「パリ協定」を発端にCO<sub>2</sub>削減に対する動きが世界的に活発化している。日本も2030年度には2013年度比で46%減というCO<sub>2</sub>削減目標を掲げている。さらに、2020年10月には「2050年カーボンニュートラル」を宣言し<sup>1)</sup>、国内でも地球温暖化対策に向けた動きが加速している。一方で、コンクリート分野においては、カーボンニュートラルを実現できるコンクリート技術がほとんどない中で、二酸化炭素と反応するダイカルシウムシリケート $\gamma$ 相(以下、 $\gamma$ C<sub>2</sub>S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CO<sub>2</sub>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<sup>2)</sup>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、鉄筋の不動態被膜が破壊されることで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と鉄筋との付着強度について基礎的な特性を把握した。

## 2. 実験概要

使用材料を表-1に、配合を表-2に示す。目標スランプは8cm、空気量は4.5%とした。コンクリートと鉄筋の付着強度を確認するためにJSCE-G 503-2013を参考に引抜き試験を実施した。試験体の概要を図-1に示す。試験体寸法は80×80×80mmとし、鉄筋径はD13、付着長は4D(=52mm)、非付着長は28mmとした。鉄筋種類は前述のとおり耐腐食性を有するエポ筋と亜鉛めっき鉄筋とし、比較用として普通鉄筋を使用した。また、炭酸化による影響を把握するために、炭酸化養生する試験体に加えて、比較用として水中養生(20℃)の試験体を作製した。コンクリート



普通鉄筋 亜鉛めっき鉄筋 エポ筋  
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	C	普通ポルトランドセメント, 表乾密度: 3.16g/cm <sup>3</sup>
混和材	BFS	高炉スラグ微粉末, 密度: 2.91g/cm <sup>3</sup>
	$\gamma$	ダイカルシウムシリケート $\gamma$ 相, 密度: 2.85g/cm <sup>3</sup>
細骨材	S1	砕砂, 表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 2.78
	S2	山砂, 表乾密度: 2.71g/cm <sup>3</sup> , 粗粒率: 2.57
粗骨材	G20	砕石, 最大粗骨材寸法: 20mm, 表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup>
	G10	砕石, 最大粗骨材寸法: 10mm, 表乾密度: 2.65g/cm <sup>3</sup>
混和剤	AD	AE減水剤(高機能タイプ)

表-2 配合

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

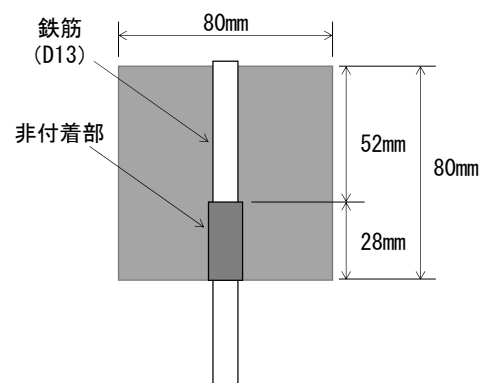


図-1 引抜き試験体の概要

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, 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

打込み後、20℃の室内で封緘養生し、材齢3日で炭酸化養生と水中養生を開始した。炭酸化養生中の環境は50℃、40%RH、CO<sub>2</sub>濃度10%とした。同時に圧縮強度と炭酸化深さ測定用の供試体も養生した。圧縮強度および炭酸化深さの供試体寸法はφ100×h200mmとし、炭酸化深さは所定の炭酸化養生を終了した供試体を割裂し、1%フェノールフタレイン溶液を用いて測定した。炭酸化深さと材齢の関係から炭酸化速度係数を求め、実際の引抜き試験体が全面炭酸化するために必要な炭酸化養生日数を算出した。

### 3. 実験結果

圧縮強度の測定結果を図-3に示す。水中養生と炭酸化養生では養生環境が異なるため圧縮強度に差が生じている。炭酸化養生は50℃で養生していることから、初期材齢におけるセメント、 $\gamma$ -C<sub>2</sub>S、高炉スラグ微粉末の反応が活性化され、水中養生よりも高い圧縮強度が得られているが、長期的には鈍化する。一方で、水中養生した場合はセメントの水和反応や高炉スラグ微粉末の潜在水硬性により材齢経過に伴って強度が増進し、材齢28日以降は水中養生の方が炭酸化養生よりも高い結果となった。

炭酸化深さの測定結果を図-4に示す。炭酸化速度係数は8.38(mm/√日)であり、引抜き試験体が全面炭酸化するために必要な炭酸化養生日数は約23日であることを確認した。そこで、炭酸化養生日数28日(総材齢31日)で炭酸化養生を終了し、引抜き試験を実施した。なお、炭酸化養生日数28日の時点で引抜き試験体が全面炭酸化していることを確認している。

引抜き試験の結果を図-5に示す。水中養生の試験体においては、普通鉄筋と亜鉛めっき鉄筋はほぼ同等で、エポ筋のみ若干付着強度が低下した。一般的に普通鉄筋に比べてエポ筋の付着強度は低下するため妥当な結果である。一方で、炭酸化養生した試験体においては、水中養生に対して付着強度が若干大きくなることを確認された。一般的にコンクリートの圧縮強度が大きいほどコンク

リートと鉄筋の付着強度は大きくなるため、圧縮強度が大きい水中養生の方が付着強度は大きくなると思われる。一方で、炭酸化養生した場合は細孔量が減少するという報告もあり<sup>3)</sup>、強度の差より細孔構造の変化が付着強度に対して支配的となった可能性が考えられる。これらを踏まえると、炭酸化養生によりコンクリートと鉄筋の付着強度が低下することはなく、各種鉄筋は炭酸化させたコンクリートに対して問題なく適用できるものと考えられる。

### 4. まとめ

コンクリートを強制的に炭酸化させたことが付着強度に及ぼす影響はほとんど無いことが確認された。今後は腐食促進試験を実施し、炭酸化したコンクリート中の各種鉄筋の腐食抵抗性について把握する予定である。(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) 首相官邸 HP：第203回国会における菅内閣総理大臣所信表明演説，2020.10.26(2022.3.9 閲覧)
- 2) 取違ほか：CO<sub>2</sub>排出量ゼロ以下の環境配慮型コンクリート CO<sub>2</sub>-SUICOM，セメント・コンクリート，Vol.786，pp.26-31，2012
- 3) 盛岡実，樋口隆行： $\gamma$ -2CaO・SiO<sub>2</sub>の中性化抑制効果とその機構，セメント・コンクリート論文集，No.57，pp.23-29，2003

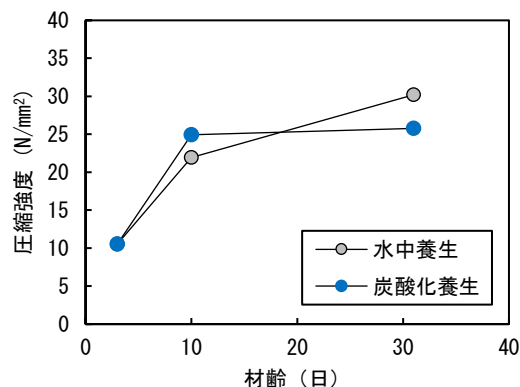


図-3 圧縮強度の測定結果

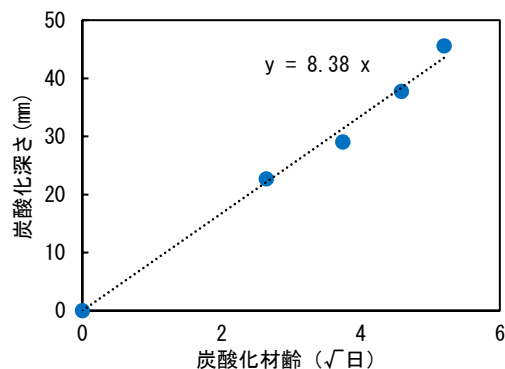


図-4 炭酸化深さの測定結果

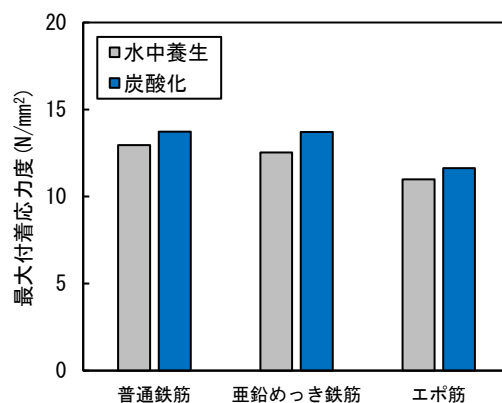


図-5 付着強度