

強制炭酸化がコンクリートの曲げ耐力に及ぼす影響

鹿島建設(株) 正会員 ○天野景一朗 クマルアワド 関 健吾 取達 剛
東洋大 正会員 横関康祐

1. はじめに

気候変動の問題を軽減するため、カーボンニュートラルに資する技術の開発が求められている。一例として筆者らは、CO₂排出量の少ないセメントを用い、強制的に炭酸化させることでカーボンニュートラルコンクリートを実現できることを示している¹⁾。このコンクリートはこれまで無筋のプレキャスト製品が対象となっており、RC 構造物に適用するための検討は行われていない。そこで本研究では、強制炭酸化したコンクリートの試験体および RC 梁を作製し、圧縮強度および曲げ耐力を測定して一般的な RC コンクリートと比較検討を行った。

2. 実験概要

実験ケースを表-1 に示す。また、使用材料を表-2 に、配合を表-3 に示す。高炉セメント B 種 (BB) と、BB の 30% を特殊混和材ダイカルシウムシリケート γ 相 (γ -C₂S) に置き換えた 2 種類を用いて試験体を作製した。いずれの梁試験体も打込み後は 20℃ 環境にて養生を行い、炭酸化のケースは材齢 2 日で側枠を、材齢 5 日で底枠をそれぞれ取り外したのちに、炭酸化養生槽にて強制炭酸化を行った。試験項目を表-4 に示す。また、梁試験体の諸元を図-1 に示す。高さ 140mm、幅 110mm、長さ 900mm とした。主筋は D6 の SD345 を用い、有効高さは 101mm (下面真かぶり 39mm) とした。コンクリート標準示方書 [設計編]²⁾ (以下、示方書と称す) をもとに本諸元の梁試験体において、コンクリートの圧縮強度を 24MPa と設

表-1 実験ケース

Case	種類	養生	養生条件
1	BB-封	封緘	50℃
2	BB-炭	炭酸化	50℃, 50% RH, 80% CO ₂
3	LC-封	封緘	50℃
4	LC-炭	炭酸化	50℃, 50% RH, 80% CO ₂

表-2 鉄筋コンクリートの使用材料

項目	記号	摘要
水	W	水道水, 密度 1.00g/cm ³
セメント	OPC	普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm ³
	BFS	高炉スラッグ微粉末, 密度 2.92g/cm ³
混和材	γ	ダイカルシウムシリケート γ 相を主とする特殊混和材, 密度 2.95g/cm ³
細骨材	S	砕砂, 表乾密度 2.64g/cm ³
粗骨材	G	砕砂, 表乾密度 2.65g/cm ³ , G _{max} 13mm
混和剤	Ad	AE 減水剤, リグニンスルホン酸化合物とポリカルボン酸エーテルの複合体
鉄筋	D	D6, SD345

表-3 コンクリートの配合

名	W/P (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	OPC	BFS	γ	S	G
BB	55.0	47.0	169	154	154	-	849	958
LC				108	108	92	846	955

W/P : 水粉体重量比, P=OPC+BFS+ γ

表-4 試験項目および試験体寸法

項目	試験体寸法	試験材齢	摘要
圧縮強度	ϕ 100×200mm	12, 28, 56 日	JIS A 1108
曲げ耐力	H140×D110 ×L990mm	56 日	図 1 参照

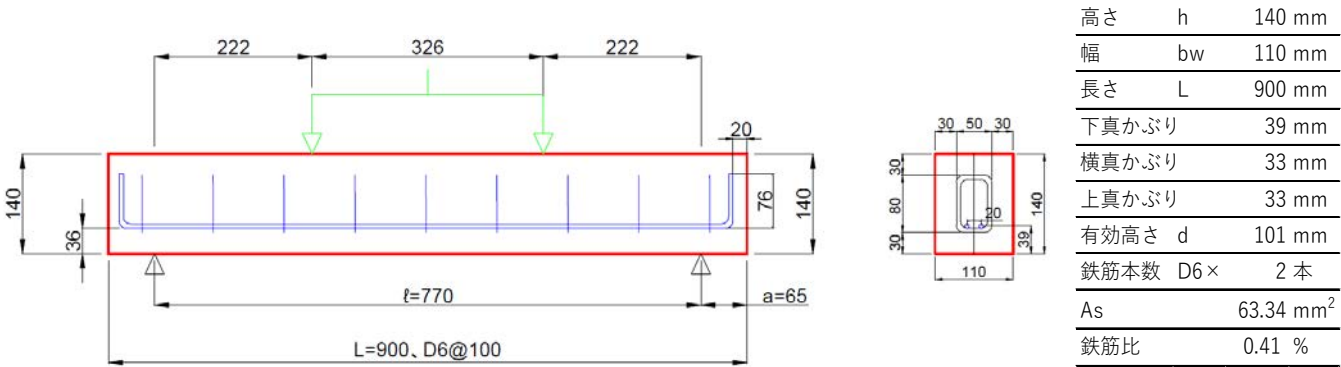


図-1 梁試験体の諸元および载荷位置状況

キーワード 環境配慮型コンクリート, CO₂吸収コンクリート, カーボンリサイクル, 炭酸化, 曲げ耐力

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

定したときの設計曲げ耐力は 22.2 kN と算出された。なお、炭酸養生した梁試験体は材齢 56 日時点で全面炭酸化していた。

3. 実験結果および考察

図-2 に圧縮強度の結果を示す。BB 炭の圧縮強度は、BB 封と比較して半分程度であった。材齢初期からの強制炭酸化により、特に高炉スラグ微粉末の反応が進行しにくかった可能性がある。一方で、LC においては炭酸化した LC 炭の強度は LC 封に比べて低下せず、LC 封と同程度の圧縮強度が発現した。LC 封は水和が進行した一方で、LC 炭は BB 封と同様に材齢初期からの強制炭酸化によって高炉スラグ微粉末の反応が進行しにくかった可能性があるが、代わりに γ -C₂S の炭酸化反応が進むことで組織が緻密化したものと考えられる。その結果、LC 封と LC 炭の強度差が生じなかった可能性がある。図-3 に静弾性係数の結果を示す。BB および LC とともに強制炭酸化によって約 4~5 割程度に低下する結果となった。このメカニズムについては現時点では不明であり、今後詳細に検討する必要がある。

試験体の荷重-変位曲線を図-4 に示す。セメントの種類や養生条件によらず、いずれのケースも荷重-変位曲線はほぼ同じであった。このことから炭酸化した梁と炭酸化していない梁の曲げ挙動は、圧縮強度や静弾性係数の違いによらず同等となった。これは、一般的な梁部材の曲げ耐力には鉄筋量が支配的であるためと考えられる。各ケースとも降伏強度は約 30kN となり、設計値である 22.2 kN を上回った。したがって、本研究の範囲内であれば、材齢初期に強制炭酸化を施した場合でも、曲げ耐力については、示方書に示される設計計算方法が適用できる可能性がある。

4. まとめ

本研究では、CO₂ 排出量の少ない混合セメントを用いて円柱および梁試験体を作製し、コンクリートの物性および RC 梁試験体の曲げ挙動に及ぼす強制炭酸化の影響について比較・評価した。この結果から、強制炭酸化によって静弾性係数は低下するものの、曲げ耐力については示方書に示される設計曲げ降伏耐力の設計値を十分に上回っており、示方書に示される設計手法が適用できる可能性が示唆された。

(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) 取達ほか；炭酸化養生による CO₂ 吸収型カーボンネガティブコンクリートの開発と今後の展開，コンクリート工学，Vol.59，No.9，pp.813-818，2021.9.
- 2) 土木学会；2017 年制定コンクリート標準示方書【設計編】，pp.180-184，2018.3.

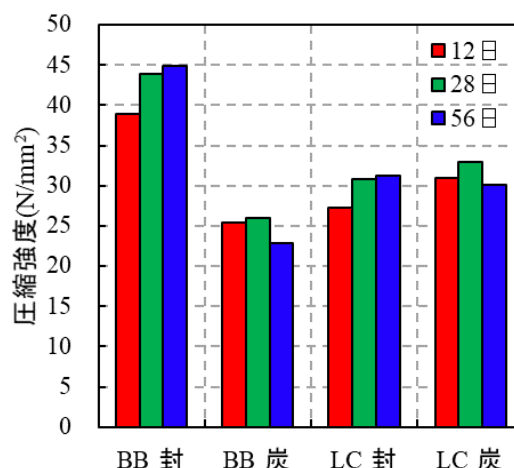


図-2 圧縮強度の結果

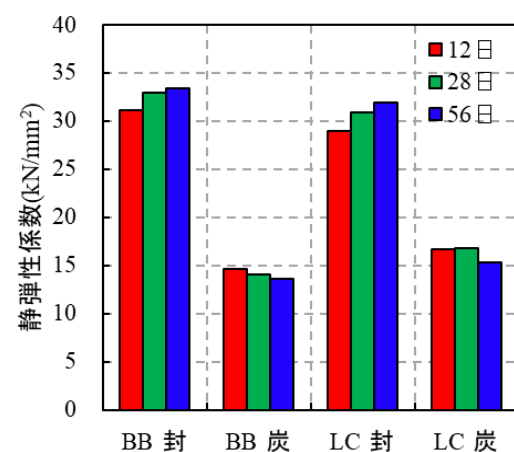


図-3 静弾性係数の結果

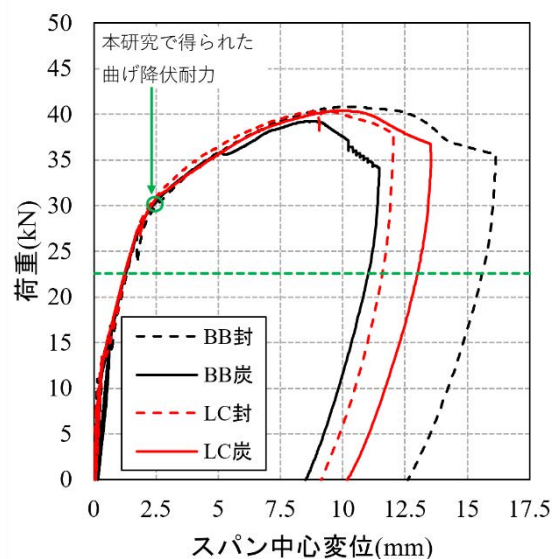


図-4 梁試験体の荷重-変位曲線