

高濃度 CO₂ 環境下における高強度コンクリートの諸物性
ー G I 基金事業『CUCO』開発成果ー

(株)ピーエス三菱 正会員 〇鈴木 雅博 小島 利広 久徳 貢大 花房 禎三郎
鹿島建設(株) 正会員 関 健吾 山野泰明 境 美緒 フェロー会員 坂井吾郎

1. はじめに

地球温暖化対策が求められる中、脱炭素社会の実現に向けた取組みが加速しており、建設業も例外ではなく対応が迫られ、筆者らもグリーンイノベーション (GI) 基金のコンソーシアム「CUCO (Carbon Utilized COncrete)」にて研究開発を進めている。現在、セメントの一部を二酸化炭素排出量の少ない混和材で置換して CO₂ を削減し、さらに γ -C₂S と CO₂ の反応による CO₂ 固定を組み合わせるカーボンネガティブを目指すコンクリートの検討が進められている。CO₂ 固定では炭酸化養生が行われているが、プレテンション方式プレストレストコンクリート部材(以下、プレテン PC 部材)に用いる高強度コンクリートは緻密な組織であることから大気中の CO₂ 濃度の環境下ではほとんど炭酸化しないことが知られている¹⁾。そこで、セメントの一部を混和材で置換したコンクリートに対して高濃度で炭酸化養生を施し、炭酸化養生開始時期および炭酸化養生日数が炭酸化深さに与える効果を検証した。

2. 実験概要

使用材料と各材料の CO₂ 排出原単位を表-1に示す。表-1を用いて算出した CO₂ 排出量とコンクリートの配合を表-2に示す。水結合材比を 36%とし、早強ポルトランドセメント(以下、HC)単味の配合、HC の 50%を高炉スラグ微粉末(以下、BFS)で置換した配合およびHC の 70%を BFS で置換した配合とした。HC 単味の配合はプレテン PC 部材の一般的な配合である。BFS50 はプレキャスト工場における実績配合に膨張材を添加した配合である。HC 単味に対する CO₂ 削減量を概ね 200kg/m³ とするため、BFS の置換率 70%の配合も対象とした(図-1 参照)。なお、本検討では、膨張材と早強材は結合材に含めないこととした。また、プレテン PC 部材に適用するため、BFS の置換率 70%の配合では材齢 1 日の圧縮強度を HC 単味のコンクリートと同等とするため早強材を添加した。

供試体の養生は、炭酸化養生を給熱養生と同時に開始した場合、給熱養生後に開始した場合および炭酸化養生をせずに給熱養生のみとした場合の 3 水準とした。脱枠

は給熱養生後に行った。給熱養生と同時に炭酸化養生した供試体の材齢 16 時間までの養生方法を図-2に示す。材齢 1 日以降の槽内温度は 20℃とし、CO₂ 濃度は材齢 1 日から材齢 8 日まで 80%とした。給熱養生を施し、脱型後に

表-1 使用材料

使用材料	記号	適 用	CO ₂ 排出原単位 (kg-CO ₂ /t)
セメント	HC	早強ポルトランドセメント 密度 3.14g/cm ³	758.2
高炉スラグ微粉末 6000	BFS	密度 2.91g/cm ³ 比表面積 5860cm ² /g	26.5
細骨材	S1	陸砂 表乾密度 2.61g/cm ³	3.7
細骨材	S2	砕砂 表乾密度 2.60g/cm ³	
粗骨材	G	碎石 表乾密度 2.65g/cm ³	2.9
膨張材	EX	エトリンガイト・石灰複合系 密度 3.08g/cm ³	764
早強材	ES	カルシウムサルフォアルミネート系 密度 2.55g/cm ³	764

CO₂ 排出原単位: C はセメント協会、骨材と BFS は文献¹⁾、EX と ES はセメントと同等と仮定して試算

表-2 コンクリート配合

配合名	W/(HC+BFS) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)								CO ₂ 排出量 (kg/m ³)
			W	HC	BFS	EX	ES	S1	S2	G	
HC 単味	36	46.5	160	444	-	-	-	396	395	928	342
BFS50	36	46.0	160	222	222	20	-	380	379	928	195
BFS70	36	45.8	160	133	311	20	20	367	366	928	145

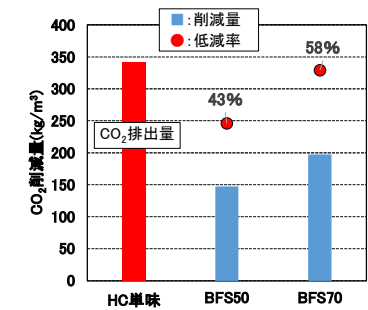


図-1 CO₂ 排出量の削減量と低減率

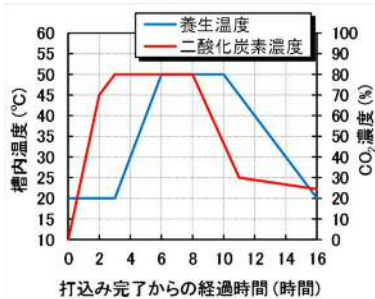
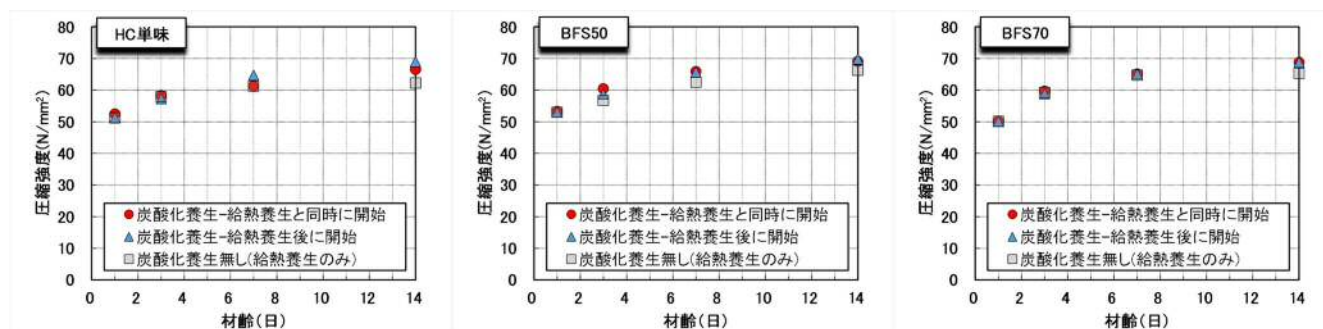


図-2 槽内の温度と CO₂ 濃度の設定

キーワード CUCO, 環境配慮型コンクリート, 高炉スラグ微粉末, 高濃度炭酸化養生

連絡先 〒250-0875 神奈川県小田原市南鴨宮 2-1-67 (株) ピーエス三菱 技術研究所 TEL 0465-46-2780



図－3 炭酸化養生方法による圧縮強度発現の比較

炭酸化養生した供試体の炭酸化養生開始は材齢 1 日とし、CO₂ 濃度は材齢 8 日まで 80%とした。

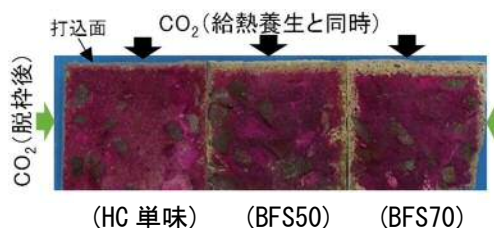
炭酸化深さを測定した供試体の寸法はφ100×100mm とし、測定は JIS A 1152 を参考に、供試体を割裂して割裂面にフェノールフタレイン溶液を噴霧し、供試体の打込み面から赤紫色を呈した位置までの距離を等間隔で 9 点測定した平均値とした。測定は炭酸化養生した日数が 1, 3 および 7 日のときに実施した。

圧縮強度試験の供試体の寸法はφ100×200mm とし、試験は JIS A 1108 に準拠し、試験材齢は 1, 3, 7 および 14 日とした。

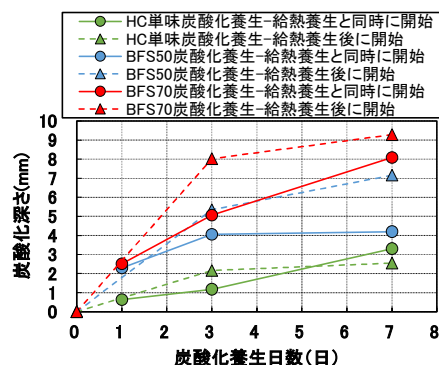
3. 試験結果および考察

炭酸化養生の開始時期および炭酸化養生有無による各配合の圧縮強度発現の比較を図－3 に示す。全ての配合において、圧縮強度発現は炭酸化養生の開始時期および炭酸化養生の有無による大きな差異は認められなかった。また、圧縮強度発現は全ての配合とも概ね同じとなり、早強材を適量添加することにより圧縮強度発現が HC 単味のコンクリートと同等となった。

炭酸化養生の開始時期を給熱養生と同時にした供試体の材齢 7 日の炭酸化状況を写真－1 に示す。BFS の置換率が大きいほど炭



写真－1 給熱養生と同時に炭酸化養生した供試体の炭酸化状況(材齢 7 日)



図－4 炭酸化日数と炭酸化深さの関係

酸化深さが大きくなる傾向が認められた。この傾向は炭酸化養生を給熱養生後に開始した場合も同様であった。炭酸化養生を給熱養生と同時に開始した場合と給熱養生後とした場合の炭酸化養生日数による炭酸化深さの変化を図－4 に示す。CO₂ 濃度が 80% の環境下では、BFS の置換率が大きいほど炭酸化の進行が大きい傾向を示した。HC 単味は、炭酸化養生を給熱養生と同時に開始した場合と給熱養生後とした場合でほとんど差異が認められなかった。一方、BFS50 および BFS70 は、炭酸化養生を給熱養生後に開始した場合において炭酸化深さが大きくなる傾向が認められた。なお、炭酸化養生しない供試体はいずれの配合でも材齢 7 日時点で炭酸化が確認されなかった。これより、炭酸化養生を給熱養生と同時に開始すると炭酸化を進行させる効果が低いことが認められた。

4. まとめ

- (1) HC 単味, BFS50 および BFS70 のコンクリートの圧縮強度発現は、炭酸化養生を給熱養生と同時に実施した場合と給熱養生後に実施した場合において差異は認められなかった。
- (2) BFS を混入したコンクリートは、炭酸化養生を給熱養生と同時に開始すると炭酸化を進行させる効果が低い。

謝辞：本成果は、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 (JPNP21014) を受け、革新的カーボンネガティブコンクリートの材料・施工技術及び評価技術の開発で得られた成果である。

参考文献

- 1) 土木研究所, プレストレスト・コンクリート建設業協会: 新設プレストレストコンクリート橋の品質・信頼性向上方法の構築に関する共同研究報告書, 整理番号 559 号, 2022