

CO₂ 吸収型コンクリートの消波ブロック適用に向けた基礎検討
ー G I 基金事業『CUCO』開発成果ー

(株) 不動テトラ 正会員 ○昇 悟志 錦織和紀郎 廣瀬紀一 木村圭梧
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

我が国の CO₂ 排出量の 6 割を占める発電，鉄鋼，化学工業などの多くが立地する港湾においては，カーボンニュートラルポート（CNP）形成に向けた取り組みが進められている．港湾施設の中で防波堤に使用されている消波ブロックは，そのほとんどが無筋コンクリートであり，CO₂ 排出量は材料由来の割合が大きい．また，防波堤建設時の CO₂ 全排出量のうち約 50%を消波ブロックが占めているという算定結果もある¹⁾．よって，消波ブロックの CO₂ 排出量削減は港湾のカーボンニュートラルポート形成に大きく貢献できるものとなる．このような中，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）に 2 兆円規模の「グリーンイノベーション（GI）基金」が造成され，筆者らもコンソーシアム「CUCO（Carbon Utilized COncrete）」の一員として研究開発を進めている．

本報告は，近年開発が活発に行われている環境配慮型コンクリート技術の中でも，CO₂ と反応する特殊粉体（以降， γ -C₂S と称す）を練り混ぜて成型したコンクリートを，CO₂ で満たされた環境下で強制的に炭酸化させて多量の CO₂ を吸収・固定させる CO₂ 吸収型コンクリート技術²⁾について，消波ブロックへの適用に向けた基礎検討を行ったものである．

2. 実験概要

消波ブロックは型枠組立，コンクリート打設，養生，型枠脱型，転置・仮置（移動）の一連の作業を繰り返して大量に製作しているため，上記作業の遅延はコスト上昇に繋がる．一方で，環境配慮型コンクリートの中でセメントの使用量を低減する技術は初期強度が低い傾向にあるため施工サイクルの遅延は避けられない．そこで，初期材齢の強度が普通コンクリートと同等以上となる CO₂ 吸収型コンクリート配合の基礎的知見を得るべく，初期材齢時の強度発現性や強制炭酸化による長期強度に及ぼす影響を検討した．検討に用いたモルタルの配合を表-1 に示す．配合は初期強度発現の向上を目的に初期養生温度やセメント種および水粉体比 W/P を要因とした 7 ケースとし，セメント，高炉スラグ微粉末および γ -C₂S の配合比率を No.1～No.4 は 30 : 40 : 30，No.5～No.7 は 40 : 55 : 5 とした．また，材齢 3 日から高濃度促進炭酸化装置を用いて温度 20℃，湿度 50%，CO₂ 濃度 80%で炭酸化養生を実施した．

3. 実験結果

初期材齢時（材齢 2 日，材齢 3 日）の圧縮強度を図-1 に示す．一般的に消波ブロック（図-2）の初期材齢時における圧縮強度は，型枠脱型時に 3.5N/mm² 以上（材齢 2 日），転置・仮置き時はブロックの大きさに応じて 4.3N/mm²～8.3N/mm² 以上（材齢 3 日）が必要である．図-1 より，すべ

表-1 モルタル配合

ケース	初期養生温度(℃)	セメント	W/P (%)	単位量 (kg/m ³)			
				W	BFS	γ	S
No.1	20	OPC	60	255	170	128	1469
No.2	35	OPC	60	255	170	128	1469
No.3	50	OPC	60	255	170	128	1469
No.4	20	OPC	55	239	174	130	1503
No.5	20	HPC	55	239	239	21.7	1507
No.6	20	OPC	55	239	239	21.7	1508
No.7	20	OPC	50	223	245	22.3	1540

W/P：水粉体比（粉体：セメント＋BFS＋ γ -C₂S）

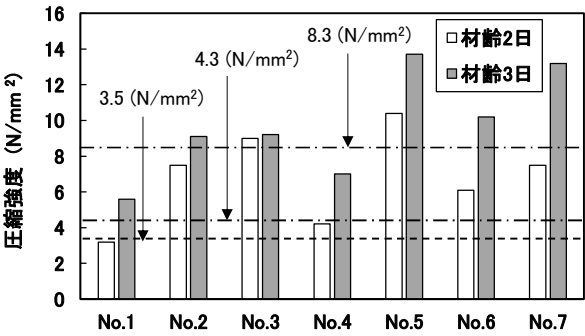


図-1 初期材齢時の圧縮強度

キーワード CUCO，CO₂ 吸収型コンクリート，消波ブロック，初期材齢，圧縮強度
連絡先 〒300-0006 茨城県土浦市東中貫町 2-7 (株) 不動テトラ 総合技術研究所 TEL029-831-7411

てのケースにおいて材齢 2 日で 3.5N/mm^2 以上となった。
 まず初期養生温度に着目すると、 20°C (No.1) から 35°C (No.2) に上げることで圧縮強度は約 2.5 倍、 35°C (No.2) と 50°C (No.3) で約 1.5 倍と圧縮強度が大きく増進した。
 次に W/P で比較すると、W/P=55% (No.4) の材齢 3 日の圧縮強度は W/P=60% (No.1) の約 1.3 倍であった。さらに使用セメントの種類で比較すると、早強セメント (HPC) を使用した No.5 の材齢 3 日の圧縮強度は普通ポルトランドセメント (OPC) を使用した No.6 の約 1.7 倍となり、このケースも初期強度が大きく増進した。

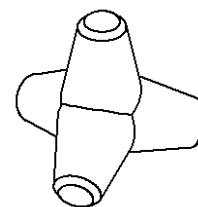


図-2 対象とする消波ブロック

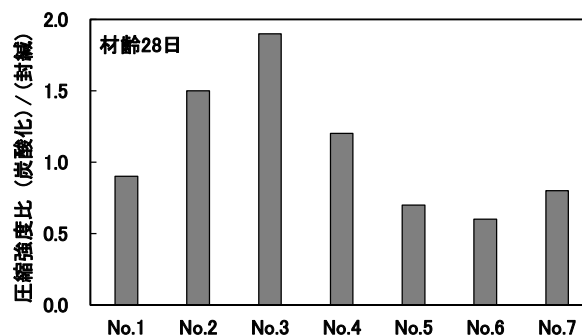


図-3 材齢 28 日の圧縮強度比

図-3 は材齢 28 日の圧縮強度であり、図の縦軸は封緘養生時の圧縮強度に対する炭酸化養生時の圧縮強度比である。初期養生温度をパラメータとしたケース (No.1~No.3) は炭酸化養生によって圧縮強度が封緘養生と同等もしくは上回る結果となった。これは高濃度 CO_2 環境下にて炭酸化反応が促進され、細孔構造が緻密化したためと考えられる。一方、No.5~No.7 の圧縮強度は封緘養生の圧縮強度を下回る結果となった。これは、 $\gamma\text{-C}_2\text{S}$ が No.1~No.4 より少ないことに加えて、炭酸化させた場合、高炉スラグ微粉末 (BFS) の量が増えると炭酸化による強度が封緘養生時よりも低下する傾向にあることがわかっており、その影響と考えられる。ただし、消波ブロックの材齢 28 日における一般的な圧縮強度 18N/mm^2 は全ケースではほぼ満足した (図-4)。

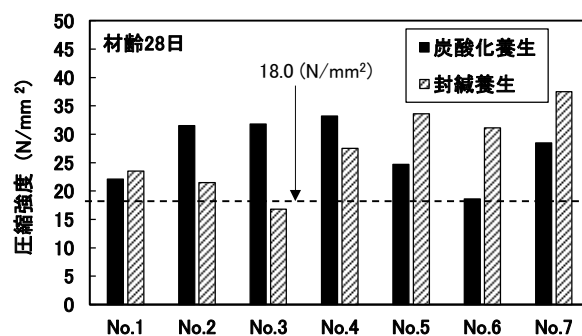


図-4 材齢 28 日の圧縮強度

以上より、消波ブロックに適した CO_2 吸収型コンクリートの配合は初期養生温度を上げる、または早強セメントの使用が効果的と考えられるが、将来的に現場実装を考える場合、特に冬季に大型消波ブロックの初期養生温度を上げる

には大きなエネルギーが必要であり、かつ消波ブロックに適した初期養生設備も必要となる。一方、早強セメント使用は炭酸化養生による強度増進は期待しにくいものの生コンプラントで対応可能であることから、現段階で CO_2 吸収型コンクリートを消波ブロックに適用するための有効な手段の一つであると考えられる。

4. まとめ

- 1) 初期養生温度を上げることで初期材齢時の圧縮強度が大きく増進し、かつ炭酸化養生により炭酸化反応も促進されて長期材齢における圧縮強度増進も期待できる。
- 2) 早強セメントを使用することで炭酸化養生による圧縮強度増進は期待できないが、初期材齢時の圧縮強度は大きく増進する。早強セメント使用は生コンプラントで対応可能であり、現段階で CO_2 吸収型コンクリートを消波ブロックに適用するための有効な手段の一つである。

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) 中村ら：ケーソン式防波堤の建設時における CO_2 排出量の傾向分析と概略推定法の検討，土木学会論文集 B3 (海洋開発)，Vol.78, No.2, pp.I_307-I_312, 2022.
- 2) 取違ら： CO_2 吸収型カーボンネガティブコンクリート $\text{CO}_2\text{-SUICOM}$ ，土木施工，Vol.62, No.11, pp79-82, 2021.