

ドライアイスを噴射したコンクリートのフレッシュ性状および硬化特性に関する検討

東亜建設工業 正会員 ○網野 貴彦, 田中 亮一, 小林 雄一

1. はじめに

コンクリートの練混ぜ時に液化CO₂を取り込み、ナノ鉱物を生成してセメント量を削減しながら所定の強度を発現させる技術が開発されている¹⁾。本実験では、コンクリート製造設備に特殊な設備を設けないことを考慮し、練混ぜ時ではなく、レディーミクストコンクリート工場からの現着コンクリートにCO₂（本検討ではドライアイスを使用）を噴射することを想定したときのコンクリートの各種性状について調査した。本稿ではその結果を報告する。

2. 実験概要

検討ケースを表-1に、検討配合を表-2に示す。本検討では、普通ポルトランドセメント使用コンクリート（N）、セメント質量の45%、65%を高炉スラグ微粉末4000で置換したもの（B45、B65）、50%をフライアッシュII種で置換したもの（F50）を用いた。いずれの配合も水結合材比は0.55で、傾動式ミキサ（公称容量：90ℓ、回転速度：約16rpm）により各ケース50ℓのコンクリートを製造した。

練り上がり直後の目標スランプ（18±2.5cm）、空気量（4.5±1.5%）が得られていることを確認した後、現着コンクリートを想定してミキサ内にコンクリートを戻して30分静置した後に、図-1に示す装置によりドライアイス（以下、DI）を噴射した。なお、DIは粒径0.3mmのペレット状のものを扱い、噴射速度を250g/min（噴射時の空気圧力0.43MPa）に設定し、ミキサを攪拌しながら3分間DIを噴射した（コンクリート1m³あたりの噴射量：15kg/m³）。配合B45では、表-1に示すように、噴射時間1および5分、DI粒径3.0mmについても検討した。

3. 実験結果

(1) フレッシュ性状

図-2に練混ぜ30分後（DI噴射後）のスランプを示す。N-0.3とB65-0.3は、DI噴射の有無によらず、時間経過に伴うスランプ低下が生じ、DI噴射の有無の違いが明瞭に見られなかった。B45-0.3とB45-3.0では時間経過に伴うスランプ低下はなかったが、DI噴射により低下した。なお、F50-0.5は時間経過、DI噴射の有無によらずスランプ低下はなかった。図-3に空気量を示す。N-0.3、B45-0.3、



図-1 ドライアイスの噴射状況

表-1 検討ケース

ケース名	配合名	ドライアイス 粒径 (mm)	噴射量 (kg/m ³) ー噴射時間 (分)
N-0.3	N	噴射なし	
		0.3	15 ー 3
B45-0.3	B45	噴射なし	
		0.3	5 ー 1
		0.3	15 ー 3
		0.3	25 ー 5
B45-3.0		噴射なし ※B45-0.3（噴射なし）と同じ	
		3.0	5 ー 1
		3.0	15 ー 3
		3.0	25 ー 5
B65-0.3	B65	噴射なし	
		0.3	15 ー 3
F50-0.3	F50	噴射なし	
		0.3	15 ー 3

表-2 検討配合

配合名	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)						添加率 (C×wt.%)	
		W	OPC	BFS	FA	S	G	Ad1	Ad2
N	55	170	310	768	ー	774	1051	0.8	0.007
B45	55	170	170	140	ー	763	1051	0.8	0.007
B65	55	170	109	201	ー	759	1051	0.8	0.007
F50	55	170	155	ー	155	728	1051	0.1	0.056

W：上水道水、OPC：普通ポルトランドセメント（JIS R 5210、密度 3.16g/cm³）、BFS：高炉スラグ微粉末 4000（JIS R 6206、密度 2.89g/cm³、比表面積 4480cm²/g）、FA：フライアッシュII種（JIS R 6201、密度 2.33g/cm³、比表面積 3700cm²/g）、S：君津産山砂（表乾密度 2.60g/cm³、粗粒率 2.52）、G：北海道嵯朗町産砕石 2005（表乾比重 2.70g/cm³、粗粒率 6.71）、Ad1：AE 減水剤標準形I種（JIS R 6204）、Ad2：AE 剤I種（JIS R 6204）

キーワード ドライアイス、低炭素コンクリート、現着生コン、高炉スラグ微粉末、フライアッシュ

連絡先 〒235-0035 横浜市鶴見区安善町1丁目3 東亜建設工業（株）技術研究開発センター TEL045-503-3741

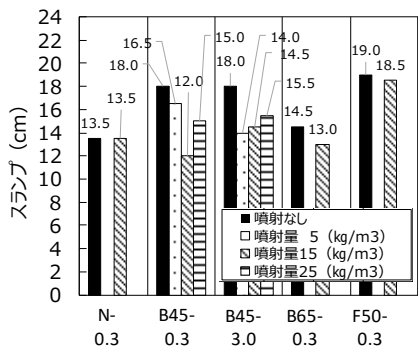


図-2 スランプ (練混ぜ 30 分後)

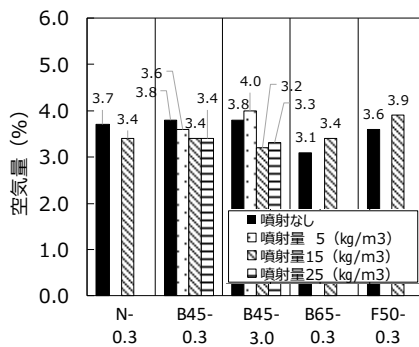


図-3 空気量 (練混ぜ 30 分後)

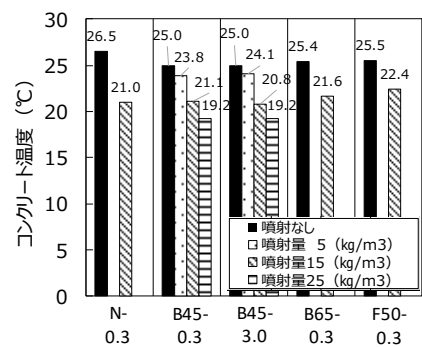


図-4 コンクリート温度 (練混ぜ 30 分後)

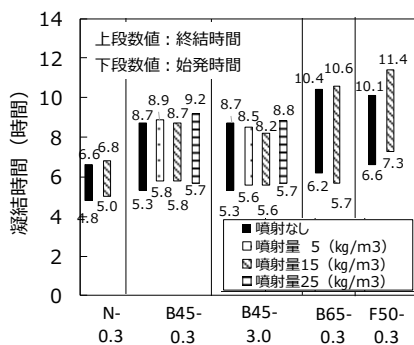


図-5 凝結時間

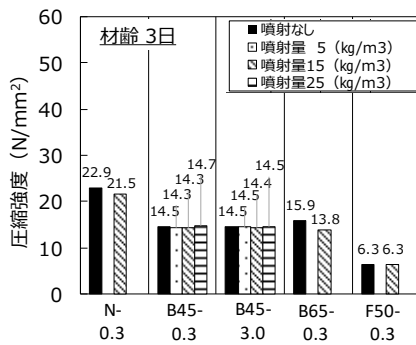
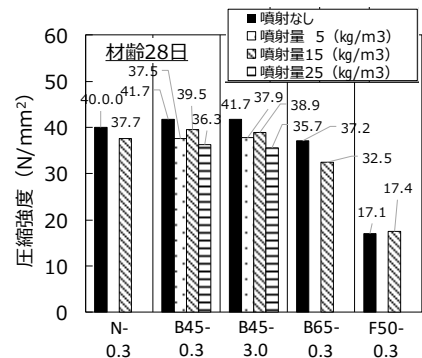


図-6 圧縮強度 (左: 材齢 3 日, 右: 材齢 28 日)



B45-3.0 では DI 噴射により空気量の低下が見られたものの、その量は微量であり、ほとんど影響を受けていない。図-4 にコンクリート温度を示す。いずれのケースも、DI 噴射により温度は低下し、その低下量は噴射量に概ね比例している様子が伺えた。図-5 に凝結試験 (JIS A 1147 に準拠) の結果を示す。N-0.3, F50-0.3 は、DI 噴射により若干凝結が遅延し、特に F50-0.3 では顕著であった。一方、B45-0.3, B45-3.0, B65-0.3 は、凝結時間が早まるものと遅延するものが混在しているが、DI 噴射の影響はわずかであった。

(2) 硬化特性

図-6 に材齢 3 日および 28 日の圧縮強度を示す。なお、供試体は試験直前まで 20℃の室内で封緘養生した。材齢 3 日の圧縮強度はいずれのケースも DI 噴射による影響は見られないが、材齢 28 日では強度の小さい F50-0.3 を除いて DI 噴射したものは噴射なしに比べ 3~5N/mm² 程度小さくなった。図-7 に粗骨材を除去したモルタルを試料として全炭素量を分析した結果を示す。なお、全炭素分析 (TC) は、炭素・硫黄分析装置を用い文献 2) に記載の方法で行った。F50-0.3 を除いて DI 噴射により全炭素量の増加が見られ、特に N-0.3 では噴射量 15kg/m³ に対し 10kg/m³ の増加が確認された。文献 3) では、水セメント比 45% の普通ポルトランドセメント使用コンクリートの練混ぜ時に CO₂ を噴霧させ、9.3kg/m³ の CO₂ が固定化されたことを報告している。本検討のように、練混ぜ後 30 分が経過したコンクリートに CO₂ を噴霧させた場合でも、同程度の CO₂ 固定を期待できる可能性があることがわかった。

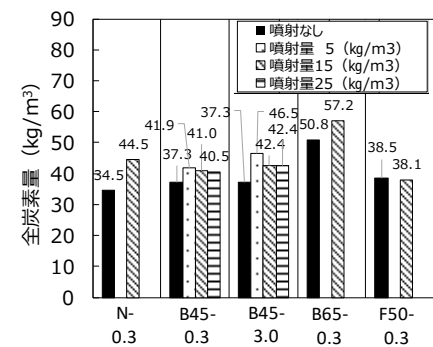


図-7 全炭素量

4. まとめ

練混ぜから 30 分経過したコンクリートにドライアイスを噴射した場合、スランプや圧縮強度の低下、凝結時間の若干の遅延等の懸案事項はあるが、マスコンクリート対策や CO₂ 固定等において有効である可能性を示した。

参考文献

- 1) Sean Monkman et. al.: Properties and durability of concrete produced using CO₂ as an accelerating admixture, Cement and Concrete Composites 74, pp.218-224 (2016)
- 2) 扇嘉史・小林和揮・橋本真幸・細川佳文: CO₂ 吸収・硬化セメント「カーボフィクス®セメント」の強度発現および CO₂ 固定化, 太平洋セメント研究報告, 第 183 号, pp.43-53, 2022
- 3) 松元淳一・橋本理・坂本淳・丸屋剛: コンクリート製造時に二酸化炭素を固定させる技術, コンクリート工学, Vol.61, No.2, pp.138-144, 2023.2