

ドライアイスを噴射したコンクリートの実機試験

東亜建設工業 正会員 ○小林 雄一，田中 亮一，網野 貴彦

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⁾。本試験では、コンクリート製造において特殊な設備を設けるのではなく、レディーミクストコンクリート工場で製造したコンクリートの現場到着時に、ドラム内のコンクリートにCO₂（本検討ではドライアイスを使用）を噴射する設備を現場に準備し、CO₂を噴射したコンクリートの施工性、外観（仕上がり）、強度および塩化物イオン拡散係数、CO₂固定量について確認した。本稿ではその結果を報告する。

2. 実機試験の概要

表-1に、コンクリートの配合を示す。実機試験は、図-1に示すように、アジテータ車（以下、アジ車）のドラム内のコンクリートにドライアイス（以下、DI）を噴射し、噴射前後の試料を用いて各種試験を実施した。噴射に用いたDIは、粒径3mmのペレット状のもので、本実験におけるDI噴射速度は1.0kg/min（エアコンプレッサを接続し、噴射時の空気圧力0.5MPaとした）とした。表-2に検討ケースを示す。製造バッチの異なるアジ車2台のコンクリートに対し、DIを1台あたり5分（約5kg）噴射した。噴射中は、DIが均一に攪拌されるようにアジ車のドラムを高速回転させた。なお、アジ車の工場から現着までの運搬時間は32～48分であった。

3. 実機試験の結果

(1) フレッシュ性状

表-3に、DI噴射前後におけるスランプ、空気量、コンクリート温度を示す。スランプとコンクリート温度は、噴射前後でほぼ変化がなかった。これは、1.25～2.0kg/m³の噴射量ではスランプやコンクリート温度に与える影響が小さかったためと考えられる。空気量は、DI噴射後に2.6～3.6%増加していた。これは、アジ車のドラムの高速回転と気化したDI（CO₂ガス）がコンクリートに巻き込まれたものと推察される。

(2) 施工性および外観

DI噴射後のコンクリートは、ポンプ圧送により高圧受電設備の基礎に打ち込んだ。写真-1～3にDI噴射前後のスランプ試験例、打込み状況、脱型後の外観を示す。ポンプ圧送や締固め、天端均し作業は、通常のコンクリート施工と同様に施工することができた。また、脱型後のコンクリート表面に目立った表面気泡などはなく、2カ月経過時点でひび割れは確認されていない。

表-1 コンクリートの配合（21-18-20N）

W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				
	W	C	S	G	AD
64.4	179	278	854	977	3.34

W：上水道水，C：普通ポルトランドセメント（JIS R5210，密度3.16g/cm³）S：混合砂（表乾密度2.62g/cm³，君津産山砂80%，三重県度会郡産砕砂20%），G：北斗市峯朗産砕石2005（表乾密度2.70g/cm³），AD：AE減水剤I種（JIS A 6204）



図-1 ドライアイス噴射状況

表-2 検討ケース

ケース名	アジ車のコンクリート積載量 (m ³)	コンクリート1m ³ あたりのDI噴射量の推定値 (kg/m ³)
4m ³	4.0	0（噴射前）
		1.25（噴射後）
2.5m ³	2.5	0（噴射前）
		2.0（噴射後）

表-3 フレッシュ性状および硬化特性

確認項目	4m ³		2.5m ³	
	噴射前	噴射後	噴射前	噴射後
スランプ (cm)	16.5	16.5	17.5	18.0
空気量 (%)	4.4	7.0	4.5	8.1
コンクリート温度 (°C)	13.0	13.0	13.4	14.4
材齢28日における圧縮強度 (N/mm ²)	35.2	30.3	35.1	27.5
全炭素量 (mass%)	1.07	1.28	1.39	1.54

キーワード ドライアイス，低炭素コンクリート，現着コンクリート，実機試験
連絡先 〒230-0035 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 TEL 045-503-3741

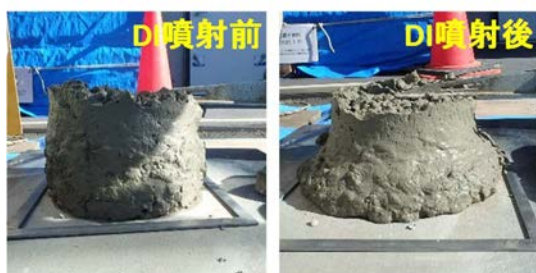


写真-1 スラップの例 (1.25m³)



写真-2 打込み状況



写真-3 打設後の外観

(3) 硬化特性

表-3 に、材齢 28 日まで標準養生を行った供試体の圧縮試験の結果を示す。圧縮強度は、DI 噴射後のケースで低下した。図-2 に、DI 噴射前後の空気量の変化量と圧縮強度比の関係を示す。文献 2) によれば、空気量が 1% 増加すると圧縮強度は 4~6% 低下すると言われていることから、本実験における圧縮強度の低下は、空気量の増加による影響が大きいものと考えられる。

図-3 に、材齢 28 日まで標準養生を行った供試体を用いて、非定常電気泳動試験により取得した塩化物イオン拡散係数（以下、 D_{nssm} ）を示す。試験は、印加電圧の設定以外は NT BUILD 492 に準じて実施し、実際に印加した電圧を図-3 に付記した。図-3 によれば、DI 噴射後において D_{nssm} が低下していた。

図-4 に、電気抵抗率の測定結果を示す。標準養生中の供試体を用いて、JSCE-F581 の B 法に準拠して電気抵抗率を測定し、供試体 2 体で測定した値の平均値を電気抵抗率として示した。これによれば、電気抵抗率はほぼ全ての材齢において DI 噴射後のほうが大きかった。 D_{nssm} は電気抵抗率と相関があることが知られており、 D_{nssm} と電気抵抗率の傾向は同じであった。また、文献 1) によれば、液化 CO_2 をコンクリート 1m^3 あたり $0.15\sim 0.92\text{kg}$ 混入させると、 D_{nssm} は同程度もしくは低下していることが示されており、本試験結果と傾向が一致していた。この考察として、コンクリート液相中の Ca^{2+} と CO_2 の反応生成物である CaCO_3 が、通常のセメントの水和反応を促進させ、細孔組織が緻密化されることが報告されており¹⁾、本試験も DI 噴射が物質透過性に影響した可能性が考えられる。

表-3 に、ウェットスクリーニングしたモルタル試料を用いて全炭素量を分析した結果を示す。全炭素分析は、文献 3) に記載の方法で行った。DI 噴射後において全炭素量の増加が確認された。このことから、運搬によって時間経過したコンクリートに DI を噴射しても、 CO_2 の固定化を期待できる可能性があることがわかった。

4. まとめ

現着コンクリートに DI を噴射し、遮塩性の向上や CO_2 の固定化を期待できる可能性を確認した。ただし、アジ車のドラム内で CO_2 を攪拌する際には、空気量の増加を防ぐ方法について検討が必要であることがわかった。

参考文献

- 1) Sean Monkman, Mark MacDonald, R.Doug Hooton, Paul Sandberg: Properties and durability of concrete produced using CO_2 as an accelerating admixture, Cement and Concrete Composites 74, pp.218-224, 2016
- 2) 日本コンクリート工学会:コンクリート技術の要点'20, p.67, 2020
- 3) 扇嘉史, 小林和輝, 橋本真幸, 細川佳文: CO_2 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 CO_2 固定化, 太平洋セメント研究報告, 第 183 号, pp.43-53, 2022

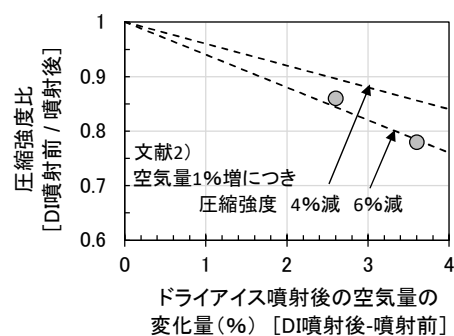


図-2 空気量の変化量と圧縮強度比

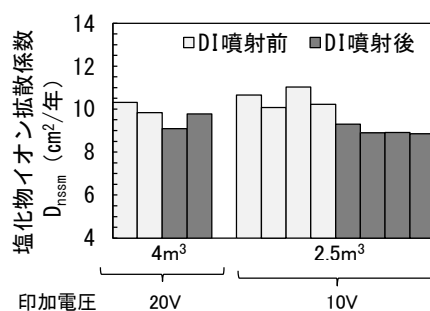


図-3 塩化物イオン拡散係数

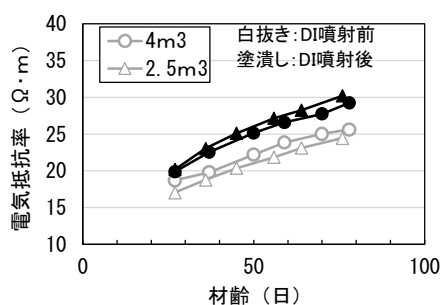


図-4 電気抵抗率