

ダブルミキシングで製造したプレキャストコンクリートの耐凍害性と細孔構造に関する研究

東海大学 学生会員

○鈴木 翔太

東海大学 正会員

笠井 哲郎

ランデス (株) 正会員 Jariyathitipong paweena

1. はじめに

現在のプレキャストコンクリート工場におけるプレキャスト部材の製造において、生産性の向上やコスト削減のためにコンクリート本来の品質を損なうことなく、養生時間を短縮することが求められている¹⁾。一方、セメントペーストの製造において、練混ぜ水を一括投入して行う従来の練混ぜ方法（シングルミキシング：SM）に対して、練混ぜ水を最適比率で分割し練混ぜる（ダブルミキシング：DM）をプレキャストコンクリートの製造に適用すると、その養生工程、特に前置時間の短縮に有効であることが報告されている²⁾。

2. 実機製造ラインで作製したコンクリートの耐凍害性と研究目的

実機製造ラインにおいて SM および DM で作製し、常圧蒸気養生したコンクリート供試体に関して、凍結融解試験を行った結果を図-1に示す。図より SM では前置き時間 2 および 5 時間の場合ともサイクル回数 180 回で相対動弾性係数が 60%以下に低下した。一方、DM ではどの前置き時間の条件においても相対動弾性係数の低下は僅かであった。これは DM の方が SM より凝結が速いため、蒸気養生過程での温度上昇による内部欠陥が生じにくいためであると推察される。これより蒸気養生における前置時間を短縮する方法として、DM による練混ぜ方法が有効であると考えられる。以上の結果を踏まえ、本研究では試験室内実験においてプレキャストコンクリートを SM および DM で製造し、蒸気養生したコンクリート供試体の凍結融解試験および細孔径分布、気泡間隔係数を測定し耐凍害性に及ぼす DM の有効性について検討した。

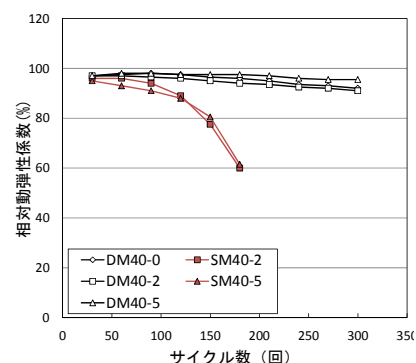


図-1 凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の変化

表-1 使用材料

種類	記号	物性または主成分
セメント	C	普通ポルトランドセメント
細骨材	S	菊川支流産
粗骨材	G	青柳産
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸エーテル系化合物
混和剤	AE	変性ロジン酸化合物系陰イオン界面活性剤

表-2 コンクリートの配合

W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)					
		W	C	S	G	SP	AE
40	42	170	425	708	1019	2.125	0.021

使用材料を表-1に、コンクリートの配合を表-2に示す。W/C=40%, s/a=42%とし SP を 0.5% (C×%), AE を 0.005% (C×%) 添加した。練混ぜは図-2の方法にて行った。また DM における一次水セメント比 (W_1/C) は 24%とした。

コンクリートの養生条件は、標準養生 (20±2℃の水中養生) および常圧蒸気養生とした。常圧蒸気養生は恒温恒湿槽を用いて前置時間を 0, 3h (室温 20℃湿度 65%) と変化させ、昇温速度を 20℃/h, 最高温度を 65℃, 最高温度保持時間を 3h (室温 65℃, 湿度 98%) とし、常圧蒸気養生終了後の供試体は、所定の材齢まで室温 20±1℃, 湿度 65%の条件で気中養生した。

試験項目はスランプ試験、空気量試験、圧縮強度試験および凍結融解試験 (A 法) を JIS に準拠して行った。また、凍結融解試験用供試体は材齢

21 日まで気中養生した後、28 日まで水中養生 (水温 20±2℃) し、試験に供した。気泡間隔係数用供試体は凍結融解試験と同一の養生条件とし、ASTM C 457 リニアトラバース法に準じて測定を行った。

キーワード ダブルミキシング, 常圧蒸気養生, 凍結融解抵抗性, 細孔径分布, 気泡間隔係数

連絡先 〒259-1292 神奈川県平塚市北金目 4-1-1 東海大学 TEL. 0463-58-1211 FAX. 0463-50-2045

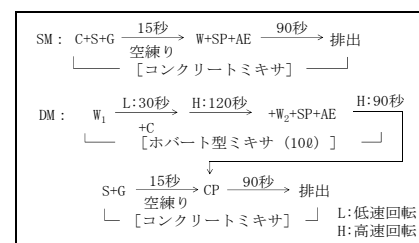


図-2 練混ぜ方法

4. 実験結果

(1) 凍結融解試験

図-3, 4はSMおよびDMで製造し、標準養生したものおよび蒸気養生したコンクリートの凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の変化および質量減少率の変化を示したものである。図-3より、練混ぜ条件および養生条件に拘わらず、相対動弾性係数の低下および実機製造ラインで生じたようなSMとDMの差は現れなかった。しかし、図-4に示す様に、凍結融解サイクルに伴う質量減少率は、養生条件が同一のSMとDMを比較すると、SMの方が大きくなった。これは、養生の初期段階において蒸気養生の温度上昇を受け、硬化体内部に欠陥が生じたこと、更にAE剤等で連行されたエントレインドエアが膨張することなどにより、凍結融解抵抗性に有効な気泡の径や分布が変化したことが原因であると推察される。

(2) 細孔構造

表-3に、フレッシュコンクリートとリニアトラバース法で測定した硬化コンクリートの空気量および気泡間隔係数等の測定結果を示す。SM40-0に着目すると、フレッシュコンクリートの空気量に比べ硬化コンクリートの空気量が大きく測定されている。気泡間隔係数に関し、SMとDMで比較すると、どの養生方法ともSMよりDMの方が気泡間隔係数は小さい値となった。また、DMは養生条件の相違による気泡間隔係数の差は小さく、SMではSM40-N, SM40-3, SM40-0の順に大きくなっており、前置き時間の影響が明確に現れている。図-5は、各気泡径範囲における気泡発生率を示したものである。図より、DMは90-190 μm の気泡径範囲における気泡発生率が高く、大きい範囲の気泡発生率は低くなっているのに対し、SMはSM40-N, SM40-3, SM40-0の順に小さい径の気泡発生率が高くなる傾向を示している。これらの結果は、前項(1)で述べた通り、DMの方が蒸気養生の初期段階において蒸気養生の温度上昇の影響が小さいことを示すものである。

5. まとめ

実機製造ライン実験では、蒸気養生するコンクリートをDMで製造することで、SMに比べ凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の低下が大幅に小さくなった。試験室内実験においては、凍結融解サイクルに伴う質量減少率に差が見られ、SMに比べDMは質量減少率が大幅に小さくなった。またDMで製造することによりコンクリートの細孔構造の内、耐凍害性に関係する気泡間隔係数を小さくでき、また、内部の気泡径がより小さい径に分布するようになり、DMにより組織が緻密化する。

以上のことから、ダブルミキシングは常圧蒸気養生するプレキャストコンクリートの製造における養生工程、特に前置時間の短縮に有効であることが明らかとなった。

参考文献

- 1) 田澤榮一, 笠井哲郎: フレッシュセメントペーストのダブルミキシング効果, 土木学会論文集, 第396号/V-9, pp. 135-142, 1988
- 2) 笠井哲郎, 田澤榮一, 磯貝寛幸: 常圧蒸気養生で製造するコンクリート製品へのダブルミキシングの適用に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 31, No. 1, pp2185-2190, 2009

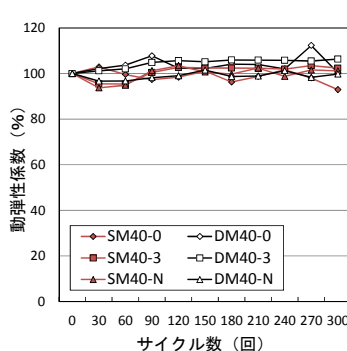


図-3 凍結融解サイクルに伴う相対動弾性係数の変化

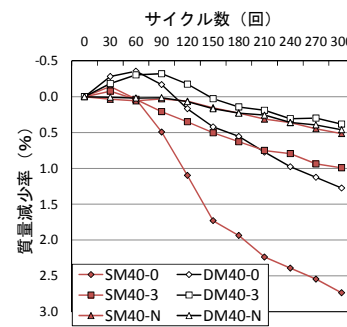


図-4 凍結融解サイクルに伴う質量減少率の変化

表-3 コンクリートの空気量および気泡間隔係数

記号	空気量 (%)		気泡間隔係数 (μm)	比表面積 (mm^2/mm^3)
	フレッシュ	硬化		
SM40-0	4.6	6.3	323	13.41
DM40-0	4.4	4.9	283	17.91
SM40-3	4.5	4.4	308	17.93
DM40-3	4.5	4.9	286	16.77
SM40-N	4.5	3.9	293	18.40
DM40-N	4.5	5.4	280	18.30

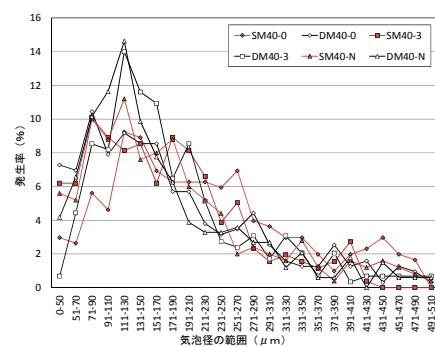


図-5 気泡径の範囲とその発生率