

低炭素型のコンクリートのシールドセグメントへの適用検討

(株) 大林組 正会員○谷田部勝博
(株) 大林組 正会員 新 村 亮
(株) 大林組 正会員 上 田 潤

1. はじめに

低炭素型のコンクリートは低炭素型社会の実現に向けて近年益々注目が高まっているが、その適用拡大に向けては、環境負荷低減効果（価値）の社会的評価手法の他いくつかの課題もある。製造面では、主たる材料である高炉スラグ微粉末を大量に使用することから混和材サイロの使用が必須であり、これが市中生コン工場を利用した低炭素型のコンクリートの適用拡大の障壁となっている。

プレキャスト製品である RC セグメントの製造では、大断面シールド向けの部材厚が大きいセグメントの温度ひび割れ対策として、高炉スラグ微粉末が混和材として頻繁に利用されている。そのため、混和材用のサイロを常備している、あるいはサイロの転用など対応可能な工場が多数あり、低炭素型のコンクリートとの親和性は高い。本報では、RC セグメントの製造に向けた低炭素型のコンクリートの配合検討について述べる。

2. 実験概要と使用材料

練り混ぜ実験は、圧縮強度と結合材水比（B／W）の把握とフレッシュ性状の確認、および多量の高炉スラグ微粉末の使用に起因する鋼材腐食リスクへの対応として、中性化と水の浸透に伴う鋼材腐食深さの照査、膨張材によるひび割れ低減効果の確認を目的として実施した。使用材料を表 1 に、コンクリートの目標性能を表 2 に、実験した配合ケースの示方配合を表 3 に示す。結合材となる混和材には、収縮低減を目的としてブレン値 3000 の高炉スラグ微粉末を使用した。RC セグメントは、一般に適用される環境が安定しており凍結融解のリスクが低いことから、空気量は $2.0\pm1.5\%$ に設定した。圧縮強度と B／W との関係把握のため、 $W/B=30\%$ （B3 配合）を中心に $\pm3\%$ 振ったケースで圧縮強度試験を実施した。フレッシュ性状の確認は、B3 配合を用いて練り上り直後・練り上り 10 分後・15 分後・20 分後においてスランプの変化を確認した。膨張材添加の効果の有無の確認は、B3 および A2 配合で作成した $15\text{cm}\times53\text{cm}$ の角柱供試体を屋外に 28 日間暴露し、表面に発生したひび割れの有無を比較した。圧縮強度供試体およびひび割れ確認用供試体は、実際のセグメント製造に合わせて蒸気養生を実施した。蒸気養生のサイクルを図 1 に示す。

3. 実験結果

(1) 圧縮強度と B／W の関係

表 4 に圧縮強度試験の結果を示し、図 2 に脱型時（材齢 20 時間）と材齢 28 日の圧縮強度と B／W の関係

表 1 使用材料

材 料	名 称
水(W)	地下水
セメント(C)	普通ポルトランド
混和材(Bs)	高炉スラグ微粉末(3000)
混和材(Ex)	膨張材
細骨材(S)	川砂
粗骨材(G)	川砂利
混和剤(Ad)	高性能減水剤

表 2 目標性能

項 目	目標性能
設計基準強度	42.0 N/mm^2
脱型強度（20 時間）	12.0 N/mm^2
配合強度	50 N/mm^2
スランプ	$21.0\pm1.5\text{ cm}$
空気量	$2.0\pm1.5\%$
塩化物含有量	0.3 kg/m^3 以下

表 3 示方配合

配合	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)						
		W	B			S	G	Ad
			C	Bs	Ex			
B3	30.0	155	129	388	0	746	965	2.07
B4	27.0	155	144	431	0	694	965	2.30
B5	33.0	155	118	353	0	788	965	1.88
A2	30.0	155	109	388	20	749	965	2.07

キーワード シールドセグメント，低炭素型のコンクリート，高炉スラグ微粉末
連絡先 〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟
株式会社大林組 TEL03-5769-1322

図を示す。脱型強度の目標値を工場の実績より、 $12\text{ N/mm}^2 \times 1.11 = 13.3\text{ N/mm}^2$ と設定すると、図2に示した近似式より、 $B/W = 2.91 \therefore W/B = 34\%$ が得られた。一方 $\sigma 28$ 強度を配合強度である 50 N/mm^2 とすると、同じく近似式より $B/W = 3.21 \therefore W/B = 31\%$ が得られた。

(2) フレッシュ性状

フレッシュ性状の試験結果を表5に示す。各配合とも目標とする性能は得られた。表6にB3配合で実施したスランブの経時変化を示す。試料は、練り舟に乾燥防止のシートを掛けた状態で所定の時間まで静置しておき、試験実施前にスコップで切り返しを行った。静置20分で8cmのスランブロスが確認されたが、実施工の打込みでは問題ない範囲と判断した。

(3) 水掛かりに対する耐久性照査

B3 配合に対して短期の水掛かりを受けるコンクリート中の水分浸透速度係数試験方法 (JSCE-G582) を実施し、2017 年制定コンクリート標準示方書〔設計編〕に則り鋼材腐食に対する照査を実施した。照査結果を図3に示す。水分浸透速度係数は $1.69(\text{mm}/\sqrt{\text{hr}})$ であり、かぶりが 38.5mm のセグメントを想定した場合、耐用年数を100年としても問題ないことが確認できた。

(4) 膨張材によるひび割れ抑制効果

写真1に材齢28日まで気中に暴露したB3配合(膨張材なし)の角柱供試体表面を示す。型枠面には1か所に微細なひび割れが生じただけであった。膨張材入りの配合も同程度であったことから、本配合では収縮ひび割れ対策に膨張材を使用しなくても問題ないと思われる。

4. まとめ

蒸気養生を行うRCセグメントの製造において、低炭素型のコンクリートの室内試験による適用検討を行った。製造サイクルに支障しない配合設計が可能であり、硬化性状や強度、耐久性に問題ないことが確認できた。本検討をもとに、今後は実大セグメントの性能試験、実製造を実施する予定である。



写真1 B3 配合の材齢 28 日の表面

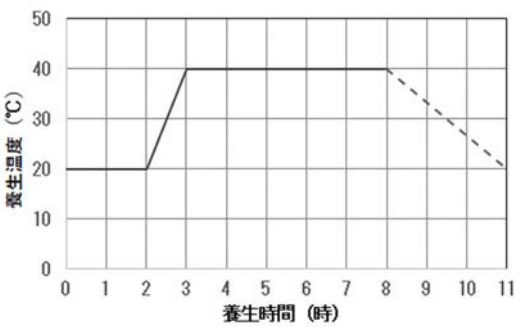


図1 養生サイクル

表4 圧縮強度試験結果 (N/mm²)

測定時期	目標性能	B3	B4	B5	A2
脱型	12 以上	19.4	22.7	14.3	22.3
$\sigma 7$	—	30.4	43.8	27.2	43.5
$\sigma 28$	42 以上	51.6	60.8	46.7	64.6

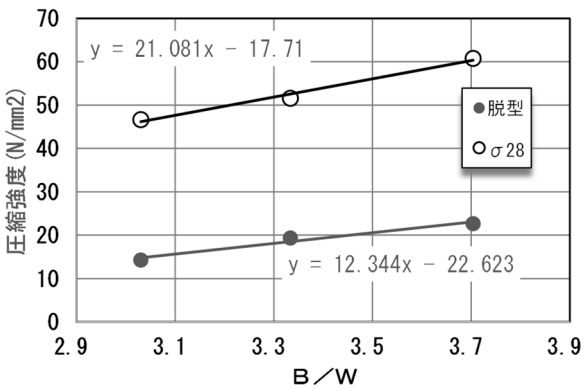


図2 圧縮強度と B/W の関係

表5 フレッシュ性状試験結果

試験項目	目標性能	B3	B4	B5	A2
スランブ(cm)	21±1.5	21.5	21.5	21.0	21.5
空気量(%)	2.0±1.5	1.8	1.7	2.1	1.8
コン温度(℃)	20±3	20	21	21	21

表6 スランブの経時変化 (B3)

試験項目	目標性能	直後	10 分	15 分	20 分
スランブ(cm)	21±1.5	21.5	19.5	19.0	13.5

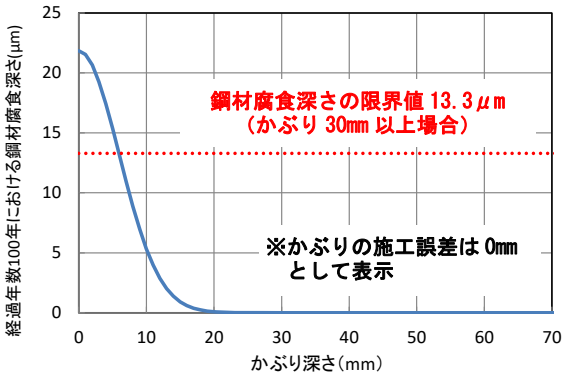


図3 100 年経過時の鋼材腐食深さと鋼材かぶり深さの関係