

収縮低減剤を用いたコンクリートの長期耐久性に関する試験報告

三井住友建設(株)	土木本部	土木設計部	○正会員	紙永 祐紀
三井住友建設(株)	土木本部	土木設計部	正会員	西村 一博
(株)フローリック	技術本部	技術部		坂本 健
(株)フローリック	技術本部	コンクリート研究所		西 祐宜

1. はじめに

プレストレストコンクリート構造物を対象とした 36N/mm² の早強コンクリートについて、乾燥収縮によるひび割れ抑制を目的に、乾燥収縮低減剤(以下、収縮低減剤)の効果と圧縮強度・凍結融解・塩化物イオンに対する各種抵抗性について検討を行った。その結果、収縮低減剤を外割り添加したコンクリートは、収縮低減剤無添加(以下、ベースコンクリート)に対して、長さ変化は約 20%の低減効果が認められた。また、凍結融解・塩化物イオンに対する抵抗性は、ベースコンクリートと同等の水準で、プレストレストコンクリート構造物に収縮低減剤を適用した場合でも通常のコンクリートと同等の長期耐久性が確保でき、寒冷地・飛沫帯等においても適用可能であることが確認できた。また、実際の施工への適用を踏まえ、生コン工場における試し練りと実機設備による試験を行い、各試験値が規格値を満足することを確認した。

2. 試験の概要

試験はベースコンクリートと収縮低減剤を添加したコンクリートに対して実施した。耐久性試験では、乾燥収縮による低減効果・凍結融解抵抗性・中性化の性状把握・塩化物イオン拡散挙動・圧縮強度・ヤング係数について確認を行った。試し練り試験においては、乾燥収縮による低減効果・圧縮強度・ヤング係数・膨張率について確認を行った。また、実機設備を用いた試験では、スランプおよび空気量の経時変化および圧縮強度について確認した。耐久性試験、試し練り試験、実機設備試験の概要を表-1 に示す。

表-1 各試験の概要

No	試験項目	室内耐久性	試し練り	実機設備	関連規格
		試験	試験	試験	
1	フレッシュ性状	○	○	○	JIS A 1101(スランプ), JIS A 1128(空気量)
2	長さ変化	○	○	-	JIS A 1129-1 (コンパレータ法に準拠)
3	凍結融解	○	-	-	JIS A 1148
4	中性化	○	-	-	JIS A 1153
5	塩分浸せき	○	-	-	JSCE-G572-2010
6	電気泳動	○	-	-	JSCE-G571-2010
7	圧縮強度	○	○	○	JIS A 1132 および JIS A 1108
8	ヤング係数	○	○	-	JIS A 1149
9	膨張率試験	-	○	-	JIS A 6202

4. 試験方法・使用材料およびコンクリートの配合

コンクリートの練混ぜ手順は、ベースコンクリートのスランプ・空気量等の品質基準を確認後、収縮低減剤をベースコンクリートに後添加し室内試験で 60 秒、実機試験では 45 秒練り混ぜた。使用材料を表-2 に、フレッシュコンクリートの品質基準を表-3 に、コンクリートの配合を表-4 に示す。

表-2 使用材料一覧

種別	密度	吸水率(%)
早強セメント	3.13	-
膨張材(E)	3.16	-
細骨材:陸砂	2.62	1.44
粗骨材:陸砂利 2505	2.64	0.81
練混ぜ水	上水道水	
混和剤	AE 減水剤(高機能タイプ) 乾燥収縮低減剤	

表-3 コンクリートの品質基準

測定項目	規格値
スランブ (cm)	8±2.5
空気量 (%)	4.5±1.5
コンクリート温度(°C)	20±2(室内)

表-4 コンクリートの配合(36-8-25H)

No	配合	W/C+E (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE 減水剤 (C×%)	AE 剤 (C×%)	収縮低減剤 (kg/m ³)
				水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材			
1	ベースコンクリート	44.2	39.5	152	324	20	718	1106	0.5	0.004	-
2	収縮低減剤									0.004	4

5. 試験結果

5.1 長さ変化

長さ変化の試験結果を図-1~3に示す。材齢26週における長さ変化は図-1に示すように、ベースコンクリート535μ、収縮低減剤添加コンクリートは431μと約20%の低減効果が認められた。また、図-2に示す乾燥期間と長さ変化比の関係においては、材齢1~8週の初期・中期において約60~70%の水準にあることから、この時期の乾燥収縮によるひび割れに対して、特に高い抑制効果が期待できる。

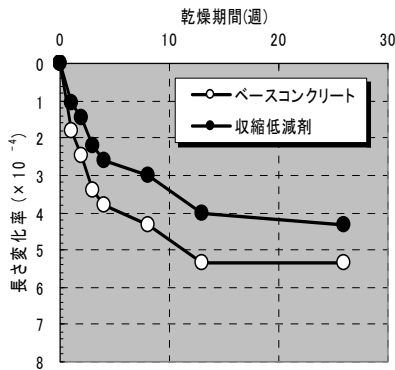


図-1 乾燥期間と長さ変化

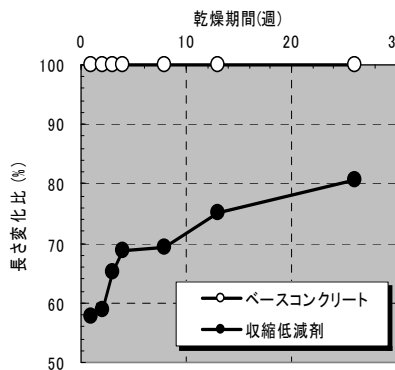


図-2 乾燥期間と長さ変化比

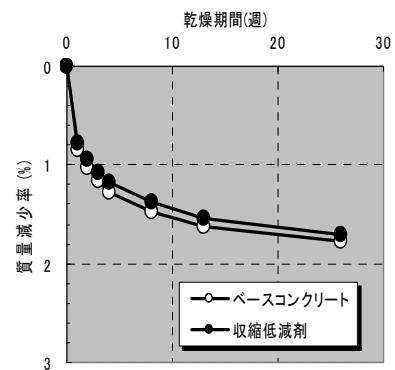


図-3 乾燥期間と質量減少率

5.2 凍結融解に対する抵抗性

凍結融解に対する抵抗性の結果を図-4に示す。300サイクルにおける相対動弾性係数は、ベースコンクリート62.4%、収縮低減剤添加コンクリートは61.1%と同等の水準にあり、品質基準である60%以上を満足している。収縮低減剤は、1980年代に実用化されすでに20年以上の年月が経過しており、多くのコンクリート構造物に適用されているが、凍結融解に対する抵抗性は、図-5に示す概念図にあるように十分な抵抗性を有していないのが実情である。今回使用した収縮低減剤は、この点を改善しており、試験の結果においてもベースコンクリートと同等の水準を維持していることが確認できた。

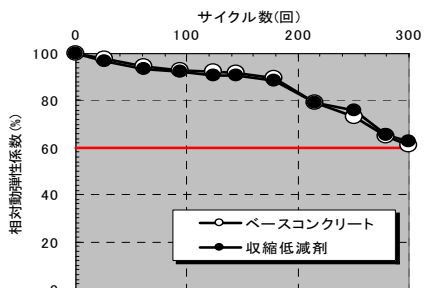


図-4 サイクル数と相対動弾性係数

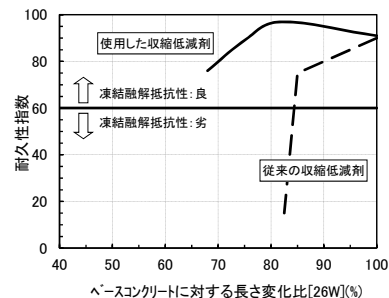


図-5 凍結融解抵抗性の概念図

5.3 中性化

促進中性化による試験結果を図-6に示す。今回の試験結果では中性化の進行は認められず、その要因としては実施した水セメント比が44.2%と小さく、圧縮強度も約50N/mm²と高く硬化体の組織が密実であったことが考えられる。

5.4 塩化物イオンの拡散挙動

塩分浸漬および電気泳動法による塩化物イオンの拡散係数の結果を図-7, 8に示す。両試験方法ともにベースコンクリートとの顕著な差は認められず、若干の実効拡散係数の低下に留まり、収縮低減剤を使用しても塩化物イオンの拡散挙動に影響を及ぼさないことが確認できた。

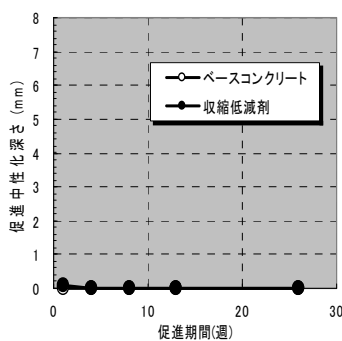


図-6 促進期間と中性化深さ

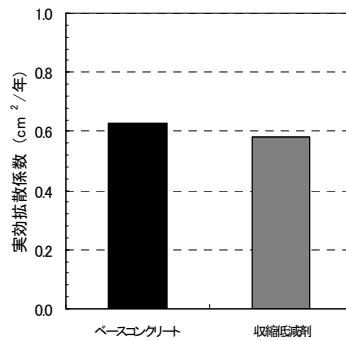


図-7 実効拡散係数

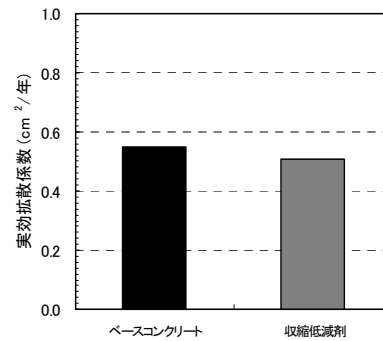


図-8 見かけの拡散係数

5.5 圧縮強度およびヤング係数

圧縮強度およびヤング係数の結果を図-9, 10に示す。図-9に示すように収縮低減剤添加コンクリートは圧縮強度が若干低下している。低下の要因としては、空気量はほぼ同水準にあることから、収縮低減剤を配合上の外割りに添加したことが影響したと思われる。図-10に示す圧縮強度とヤング係数の関係は、収縮低減剤有無の影響は認められず、圧縮強度にヤング係数は依存する結果であった。

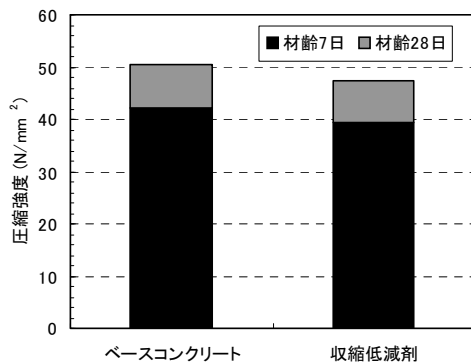


図-9 圧縮強度

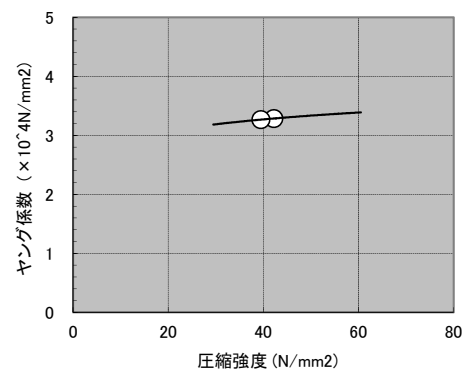


図-10 圧縮強度とヤング係数

6. 現場試験

実施工への適用を踏まえ、生コン工場での試し練り試験と実機設備を用いた試験を行った。

6.1 試し練り試験

現場で実際に使用している生コン工場にて試し練りを行い、各種の試験を行った。ベースコンクリートおよび収縮低減剤添加コンクリートのフレッシュ性状・圧縮強度・ヤング係数・膨張率についての試験結果を表-5に示す。なお、スランプは、筒先で8cmとし運搬ロス2cmとポンプロス1cmを考慮している。各試験結果はそれぞれの規格値を満足しており所定の品質を確保できることが確認できた。長さ試験の結果を図-11

に示す。材齢 26 週における長さ変化は、ベースコンクリート 441 μ ，収縮低減剤添加コンクリートは 330 μ となり耐久性試験で確認された約 20%と同程度の低減効果が確認できた。

表-5 試し練り試験結果

測定項目	測定値 ベースコンクリート	測定値 添加コンクリート	規格値 ※ロス考慮
スランプ (cm)	10.0	10.5	11.0 \pm 2.5
空気量 (%)	5.3	4.5	5.0 \pm 1.5
コンクリート温度(°C)	21.0	21.0	20 \pm 2(室内)
圧縮強度 σ_3 (N/mm ²)	31.1	31.2	-
圧縮強度 σ_7 (N/mm ²)	37.1	38.1	-
圧縮強度 σ_{28} (N/mm ²)	43.5	45.0	41.8
ヤング係数 (N/mm ²)	-	3.22 \times 10 ⁴	-
膨張率試験	205 \times 10 ⁻⁶	223 \times 10 ⁻⁶	150~250 \times 10 ⁻⁶

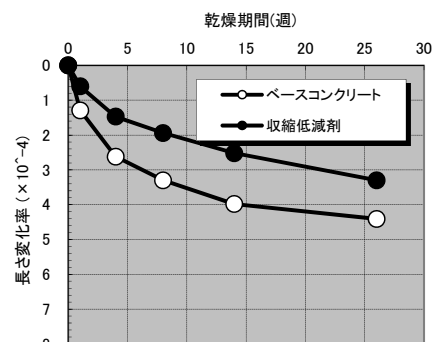


図-11 乾燥期間と長さ変化

6. 2 実機設備試験

実際に用いる実機設備を用いた試験を行った。工場のみキサにて練り混ぜて製造したコンクリートを生コン車により現場へ運搬し、収縮低減剤を現場にて後添加して練り混ぜた(写真-1)。ベースコンクリートの性状確認と収縮低減剤添加後の生コン車による練り混ぜ状態、排出中の攪拌による影響を確認するために、①現着時(ベースコンクリート)、②排出開始時(収縮低減剤後添加、練り混ぜ完了直後)、③排出終了時について、スランプ、空気量と圧縮強度の確認試験を行った。試験結果を表-6に示す。各状態においてスランプ、空気量は安定しており、生コン車内のコンクリートは均一で排出中の攪拌の影響もなくフレッシュ性状は安定していることが確認できた。また、材齢 7 日の圧縮強度は、試し練り試験の同材齢の圧縮強度 38.1N/mm²と同程度であり、圧縮強度にも問題がないことが確認できた。

表-6 スランプ、空気量、圧縮強度試験結果

	スランプ (cm)※ロス考慮	空気量 (%)	圧縮強度 σ_7 (N/mm ²)
規格値	9.0 \pm 2.5	4.5 \pm 1.5	-
①現着時	9.0	4.5	37.1
②排出開始時	10.5	4.6	36.9
③排出終了時	10.0	3.8	37.4



写真-1 収縮低減剤添加状況

7. まとめ

収縮低減剤添加コンクリートは、基本性能である乾燥収縮に対して、ほぼ目標性能である約 20%の低減効果が認められた。また、近年の作用機構に関する研究では、細孔構造に影響を及ぼすことが収縮低減の一因としている文献¹⁾²⁾が多く、添加量の増加に伴い微細細孔量が減少し、粗大細孔量が増加する傾向が確認されている。この現象から耐久性に及ぼす影響を想定することはできないため、実験による確認が必要となる。そのため実施した耐久性に関する試験により、収縮低減剤を添加したコンクリートは、ベースコンクリートと同等の耐久性を確保できることが確認できた。また、実施工への適用を踏まえて行った生コン工場における試し練り試験、および実機設備を用いた試験においても、各規格値を満足する結果が得られており、実施工へ適用した場合でも所定の品質が得られることが確認できた。

8. 参考文献

- 1) 西, 中江, 橋爪, 名和: 水溶性収縮低減剤が乾燥収縮および凍結融解に与える影響, 日本コンクリート工学会年次論文集, vol. 31, No. 1, pp. 1099-1104, 2009
- 2) 福島, 石森, 胡桃澤, 名和: 乾湿繰り返しによるセメント硬化体の収縮・膨張挙動, セメント・コンクリート論文集, No. 64, pp. 74-81, 2010