

報告 収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた低収縮コンクリートの性質と施工

俵 道和^{*1}・呉 承寧^{*2}・小野里 勲^{*3}・宮部 光貴^{*4}

要旨：収縮低減タイプ AE 減水剤を設計基準強度 30～50MPa，スランブ 8～12cm の土木用コンクリートに適用し，その諸性質を調べた。室内試験により通常の AE 減水剤および膨張材を用いたコンクリートとの比較試験を行い，所要の収縮低減効果が確認された収縮低減タイプ AE 減水剤を用いて実構造物を模擬した試験体を製作し収縮低減性能および施工性を確認し，最後に実施工の壁高欄に収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた際のひび割れ発生状況の確認を行った。その結果，収縮低減タイプ AE 減水剤を用いることにより，実構造物壁高欄においてひび割れ発生抑制効果が確認された。

キーワード：収縮低減タイプ AE 減水剤，収縮低減，ひび割れ，壁高欄の施工

1. はじめに

近年，コンクリート構造物の耐久性と信頼性を確保するために，収縮ひび割れを抑制・制御する対策が求められている。これまで，スランブ 18 cm 前後の流動性の高いコンクリートへの適用を目的とした，収縮低減タイプ高性能 AE 減水剤の開発がなされてきた¹⁾²⁾。これらをスランブ 12 cm 以下の硬練りコンクリートに使用する場合，減水剤の添加量は少なくなる。収縮低減成分は混和剤中に一定割合で混合されているため，減水剤の添加量が少なくなると収縮低減効果も小さくなる。

本研究では，上記の問題を解決するために，新しく開発された収縮低減タイプ AE 減水剤を使用した低収縮コンクリートの性質と施工性の確認を行った。室内試験として通常の AE 減水剤，収縮低減タイプ AE 減水剤および膨張材を用いた配合について，コンクリートの諸性質および収縮低減効果について比較を行った。橋梁上部工として壁高欄部にひび割れが発生し，性能，美観上の問題となっている。そこで，壁高欄を模擬した実物大の試験体を製作し，通常の AE 減水剤および収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた配合について施工性および収縮低減性能の確認を行った。最後に，橋梁上部工の壁高欄施工に収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた低収縮コンクリートのひび割れ抑制効果を確認した。

2. 室内試験

2.1 試験概要

室内試験として，収縮低減タイプ AE 減水剤を用いたコンクリートの諸性質を調べるとともに，収縮低減効果については，通常の AE 減水剤を用いたコンクリートおよび膨張材を用いた収縮補償コンクリートとの比較を行った。

2.2 使用材料

試験に使用した減水剤を表-1に示す。AE 減水剤（記号 AE）は JIS A 6204 に適合した AE 減水剤である。収縮低減タイプ AE 減水剤（記号 AE-SR）は，主成分としてリグニン系化合物とポリカルボン酸系ポリマーおよびポリエーテル系化合物（収縮低減剤成分）を一液化したものであり，JIS A 6204 「コンクリート用化学混和剤」 AE 減水剤標準形（I 種）に適合し，コンクリートの収縮率を 5～20%程度低減することを目的として開発された混和剤である。

セメント N は普通ポルトランドセメント（3 銘柄混合，密度=3.16g/cm³），セメント BB は高炉セメント B 種（3 銘柄混合，密度=3.04g/cm³），膨張材 E は石灰系膨張材（密度=3.16g/cm³），細骨材 S は岩瀬産砕砂（密度=2.61g/cm³，F.M.=2.83），粗骨材 G は岩瀬産砕石（最大寸法 20 mm，密度=2.63g/cm³，実積率=62.3%）であった。

表-1 減水剤種類

記号	種類	減水率 (%)	主成分
AE	AE 減水剤	13	有機酸系誘導体，芳香族高分子化合物
AE-SR	収縮低減タイプ AE 減水剤	15	リグニン系化合物，ポリカルボン酸系ポリマー，ポリエーテル系化合物

2.3 コンクリートの配合

室内試験コンクリートの示方配合を表-2に示す。今回の試験では，橋梁の壁高欄に使用するコンクリートを想定し，コンクリートの設計基準強度を 30MPa，目標スランブを 8.0±2.5 cm，目標空気量を 4.5±1.5%とした。

*1 オリエンタル白石株式会社 技術研究所 工修（正会員）

*2 オリエンタル白石株式会社 技術研究所 工博（正会員）

*3 オリエンタル白石株式会社 東京支店 施工技術部

*4 中日本高速道路株式会社 東京支社 清水工事事務所

表-2 示方配合 (室内試験)

記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	セメント種類	W/B (%)	s/a (%)	減水剤添加率 (B×wt%)	単位量(kg/m ³)				
								W	C	E	S	G
N-AE	20	8±2.5	4.5±1.5	N	55.0	48.0	0.2	165	300	0	871	951
N-AE-E							0.2	165	280	20	871	951
N-AE-SR							1.5	165	300	0	871	951
BB-AE				BB		48.5	0.2	165	300	0	875	936
BB-AE-E							0.2	165	280	20	875	936
BB-AE-SR							1.55	165	300	0	875	936

※B=C+E

2.4 コンクリートの製造

コンクリートの製造には、容量 0.1m³ のパン型強制練りミキサーを用いた。練り混ぜ方法は、全ての材料を一括投入し 90 秒間練り混ぜ後に排出した。

2.5 試験の結果

(1) フレッシュ性状

フレッシュコンクリートの試験結果は、全てのコンクリートについて、スランプは6~8cm, 空気量は3.3~4.2%の範囲内に収まり、目標範囲を満足した。

(2) 圧縮強度

成形翌日に脱型し 20℃一定の水中養生を行った圧縮強度の結果を図-1 に示す。普通セメントを用いた配合の圧縮強度は、AE-SR を用いた配合と通常の AE 減水剤を用いた配合は同程度であった。高炉セメント B 種を用いた配合では、材齢 7 日の強度差は確認されないが材齢 28, 91 日では約 6%の強度低下が確認された。一方、膨張材を用いた普通セメントの配合は通常の AE 減水剤を用いた配合より強度低下が確認され、高炉セメント B 種の配合では強度増加が確認された。

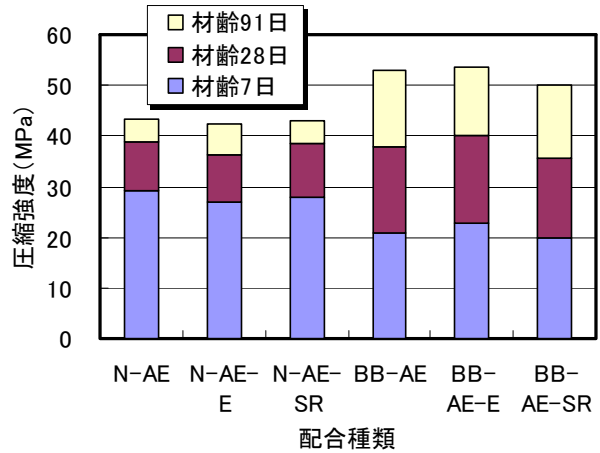


図-1 圧縮強度試験結果

(3) 長さ変化率

長さ変化率は、10×10×40 cm の供試体を用い、JIS A 1129-3(ダイヤルゲージ法)に準拠して測定を行った。基長の測定は材齢 1 日とした。供試体の養生条件は標準養生、乾燥養生および封緘養生の 3 種類について検討した。標準養生は、供試体を材齢 1 日で脱型後、材齢 7 日まで

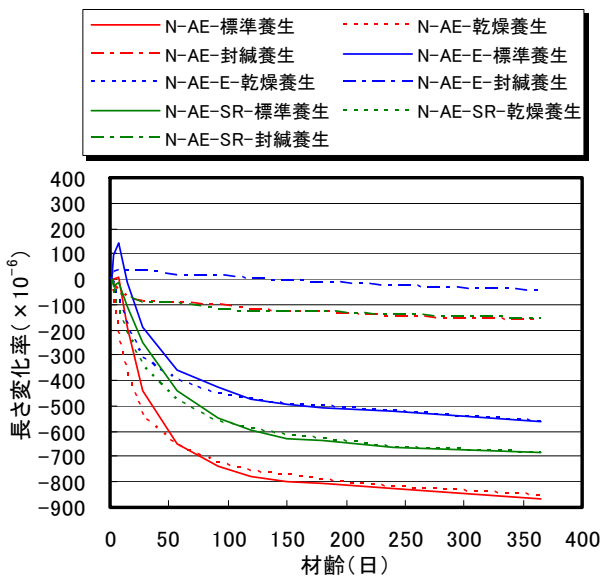


図-2 材齢と長さ変化率の関係(普通セメント)

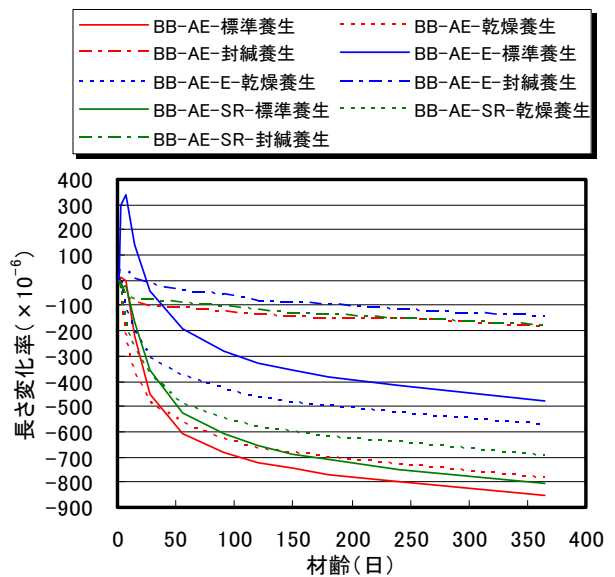


図-3 材齢と長さ変化率の関係(高炉セメント B 種)

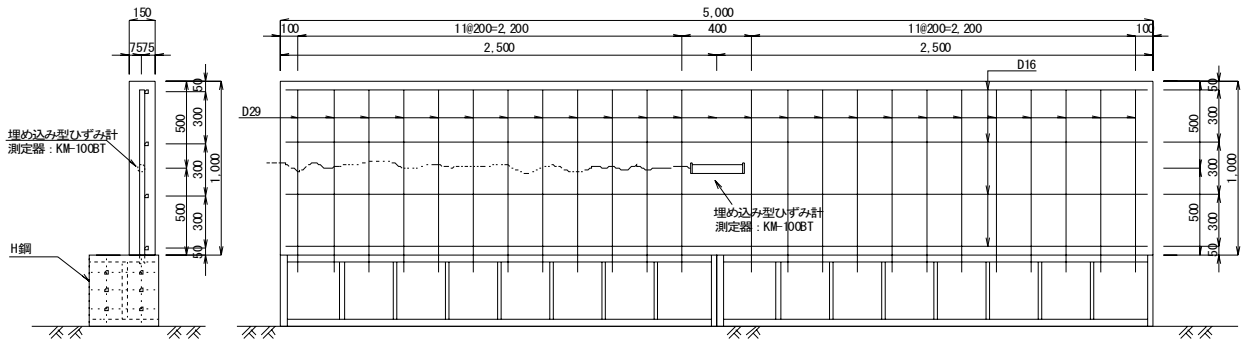


図-4 実物大模擬試験体形状図

表-3 示方配合 (模擬試験)

記号	粗骨材の 最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	減水剤 添加率 (C×wt%)	単位量(kg/m ³)			
							W	C	S	G
AE	20	8±2.5	4.5±1.5	55.0	48.0	0.2	165	300	871	951
AE-SR							160	291	892	950

20℃一定の水中養生を行った後に温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室で保管した。乾燥養生は、供試体を材齢 1 日で脱型した後、温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室で保管した。封緘養生は、供試体を材齢 1 日で脱型後、アルミテープでシール後、温度 20℃、湿度 60%の恒温恒湿室で保管した。長さ変化率の測定結果を養生方法およびセメント種類毎に図-2, 3 に示す。

乾燥を伴わない封緘養生を行った AE と AE-SR の長さ変化率は、セメントの種類にかかわらず同等の収縮量を示した。普通セメントを用いて標準養生を行った配合は、AE-SR を用いることにより材齢 1 年で約 180×10^{-6} 、高炉セメント B 種を用いた配合は材齢 1 年で約 50×10^{-6} の収縮低減効果が確認された。脱型直後から恒温恒湿室で保管した乾燥養生については、普通セメントを用いた配合は材齢 1 年後では標準養生とほぼ同等の長さ変化率を示した。高炉セメント B 種については、AE に比べて AE-SR は約 100×10^{-6} の収縮低減効果が確認された。

高炉セメント B 種を用いた配合 BB-AE および BB-AE-SR は、乾燥養生より標準養生を行った供試体の長さ変化率が大きくなった。これは、標準養生の場合、コンクリートに比較的多くの水分が供給されたため、乾燥収縮試験の間にも、高炉セメントの水和反応により発生した自己収縮が乾燥収縮に加えて計測されたためと考えられる。

3. 実物大模擬試験

3.1 試験概要

AE-SR を用いた配合と通常の AE 減水剤を用いた配合について図-4 に示す壁高欄(長さ 5m×高さ 1m×幅 0.15m)を模擬した試験体を作製した。コンクリートと基

表-4 コンクリートのフレッシュ性状

種類	スランプ (cm)	空気量 (%)
AE	8.5	5.0
AE-SR	10.0	5.3



写真-1 実物大模擬試験体

礎部の H 鋼を一体化させるために鉛直方向鉄筋と H 鋼はボルト接合とした。測定項目として、埋め込みゲージを用いてコンクリート内部の長さ測定を行った。写真-1 に AE-SR を用いた配合の脱型後の状況を示す。

3.2 試験用コンクリート

コンクリートの使用材料は、セメントは普通ポルトランドセメント(密度=3.16g/cm³)、骨材は室内試験と同様の骨材を使用した。コンクリートの示方配合を表-3 に示す。コンクリートの設計基準強度は 30MPa、目標スランプは 8.0±2.5 cm、目標空気量は 4.5±1.5%とした。実物大模擬試験体に使用した配合 AE と AE-SR の単位水量が異なる理由は、配合 AE は実際に現場で使用されている

配合であり、配合 AE-SR は目標とする収縮低減効果を確認するための減水剤標準使用量は 1.5% であり、配合 AE と同一スランブを確保するために単位水量を $160\text{kg}/\text{m}^3$ に設定する必要があった。

コンクリートの製造には、容量 1m^3 の水平二軸強制練りミキサーを用いた。練り混ぜ方法は、セメント、細骨材を投入し 10 秒間空練りを行い、練り混ぜ水、混和剤、粗骨材を投入して 2 分間練り混ぜ後に排出した。

3.3 試験の結果

(1) フレッシュ性

フレッシュコンクリートの試験結果を表-4 に示す。今回の試験結果より、実機練りについても、示方配合に示される減水剤添加率であれば目標スランブ、目標空気量に対して製造可能であった。

(2) 長さ変化率

長さ変化率の測定は、供試体と模擬試験体について行った。供試体の長さ変化率は、 $10\times 10\times 40\text{cm}$ の供試体を用いてダイヤルゲージ法に準拠して測定を行った。実物大模擬試験体は、埋め込みゲージ(東京測器研究所: KM-100BT)を用いてコンクリート内部の長さ測定を行った。図-5 に供試体 $10\times 10\times 40\text{cm}$ の材齢と長さ変化率の関係を示す。材齢 7 日を基準とし標準養生および封緘養生を行った結果を示す。標準養生を行い材齢 1 年経過したものは約 11%、封緘養生は約 34% の収縮低減効果が確認された。

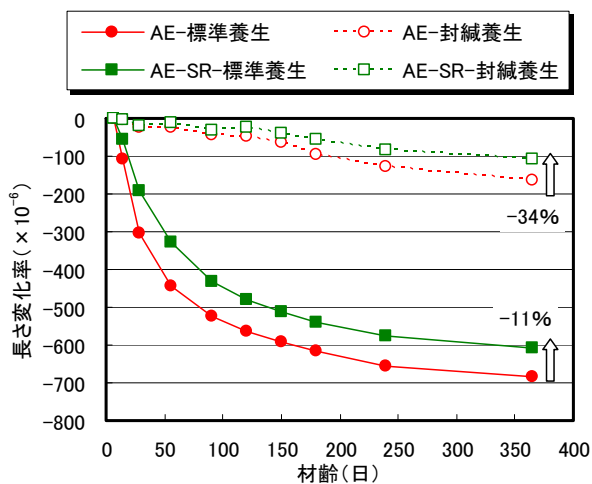


図-5 材齢と長さ変化率の関係

壁高欄模擬試験体の湿潤養生期間は、2007 年制定土木学会標準示方書[施工編]³⁾を準拠し設定した。コンクリート打ち込み時の日平均気温が約 5°C であったため湿潤養生期間を 9 日とした。以下の埋め込みゲージの長さ測定は、湿潤養生終了後を基準とした結果である。図-6 に埋め込みゲージ(低弾性係数型)を用いて測定した材齢と長さ変化率の関係を示す。埋め込みゲージを用いて

測定した配合 AE と AE-SR の長さ変化率は、材齢 1 年で同程度であった。外観の変状としては、模擬試験体の製造に使用した骨材は品質が良く、単位水量も比較的少なかったため減水剤の違いによるひび割れ発生は材齢 1 年時でも確認されていない。

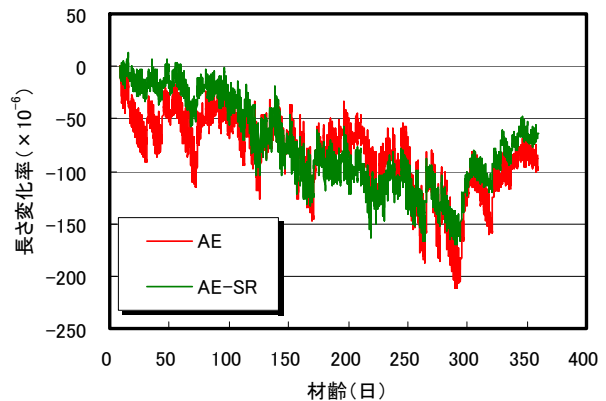


図-6 壁高欄模擬試験体の長さ変化率

4. 現場施工試験

4.1 工事概要

上伊佐布第三高架橋、上伊佐布第四高架橋は静岡県に位置する新東名高速道路の橋梁である。上伊佐布第三高架橋の構造形式は、5 径間連続ストラット付波型鋼板ウェブ箱桁橋であり、上伊佐布第四高架橋は、3 径間連続ストラット付波型鋼板ウェブ箱桁橋である。上伊佐布第三高架橋の橋梁一般図および壁高欄の断面図を図-7 に示す。壁高欄の支点橋脚部には、桁の伸縮に追従するために伸縮目地を設置し、ひび割れ誘発を目的としたひび割れ誘発目地を 4m 間隔で設置した。壁高欄の総延長は、片側約 $650\text{m}\times 2$ 列で総延長は約 1300m である。

4.2 使用材料およびコンクリート配合

コンクリートの製造は 2 つの工場で行った。減水剤は AE-SR と比較するために減水率 15% 程度の AE 減水剤(リクニンスルホン酸系とポリカルボン酸系の複合体)、セメントは普通ポルトランドセメント(密度= $3.16\text{g}/\text{cm}^3$)、プラント A の骨材は、細骨材 S1 は陸砂(密度= $2.6\text{g}/\text{cm}^3$)、細骨材 S2 は山砂(密度= $2.6\text{g}/\text{cm}^3$)、粗骨材 G は碎石(最大寸法 20 mm, 密度= $2.7\text{g}/\text{cm}^3$)、プラント B の骨材は、細骨材 S1 は川砂(密度= $2.6\text{g}/\text{cm}^3$)、細骨材 S2 は山砂(密度= $2.6\text{g}/\text{cm}^3$)、粗骨材 G は碎石(最大寸法 20 mm, 密度= $2.7\text{g}/\text{cm}^3$)を用いた。現場施工コンクリートの示方配合を表-5 に示す。設計基準強度を 30MPa とし、練り上がり直後の目標スランブおよび空気量は $10.0\pm 2.5\text{cm}$ および $4.5\pm 1.5\%$ とした。現場施工には収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた配合 AE-SR を使用した。AE 減水剤を用いた配合 AE は、比較用として圧縮強度および長さ変化試験に使用した配合である。

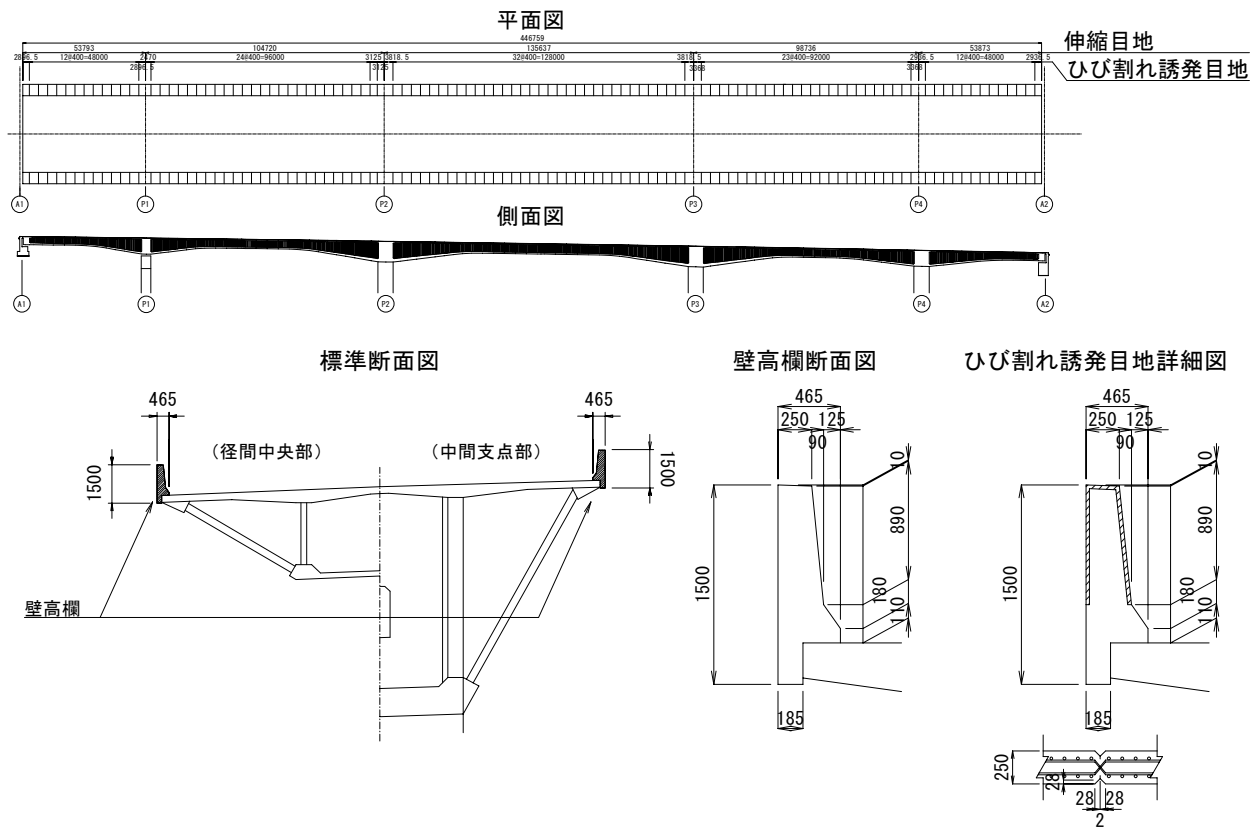


図-7 構造一般図および壁高欄断面図

表-5 示方配合 (現場施工試験)

プラント	記号	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	減水剤添加率 (C×wt%)	単位量(kg/m ³)				
								W	C	S1	S2	G
A	AE	20	10±2.5	4.5±1.5	49.8	44.4	1.0	155	311	690	122	1053
	1.5						155	311	690	122	1053	
B	AE	20	10±2.5	4.5±1.5	49.2	45.5	1.0	155	315	705	124	1029
	1.5						155	315	705	124	1029	

4.3 打ち込み方法

コンクリートの打ち込みは平成 21 年 10 月～12 月の期間に行った。コンクリート打ち込み総量は約 580m³ であり 8 回に分割して行った。打ち込みは、橋面上にポンプ車を配置しポンプ車から直接行った。フレッシュコンクリートの試験結果を表-6 に示す。AE-SR を用いた配合は良好なフレッシュ性状を示していたためポンプ圧送性および打ち込み性状は良好であった。

4.4 圧縮強度

図-8 に 20℃一定の水中養生を行った材齢 7, 28 日の圧縮強度を示す。材齢 7, 28 日では AE-SR を用いたものの強度減少は約 4% であり、AE 減水剤を用いた配合と同等の圧縮強度が得られた。

4.5 長さ変化率

現場施工に使用した配合について、10×10×40cm 供試体採取し長さ測定を行った。標準養生を行い、材齢 7

表-6 コンクリートのフレッシュ性状

プラント	種類	スランプ (cm)	空気量 (%)
A	AE	10.0	4.9
	AE-SR	10.5	5.1
B	AE	11.0	4.7
	AE-SR	12.0	5.2

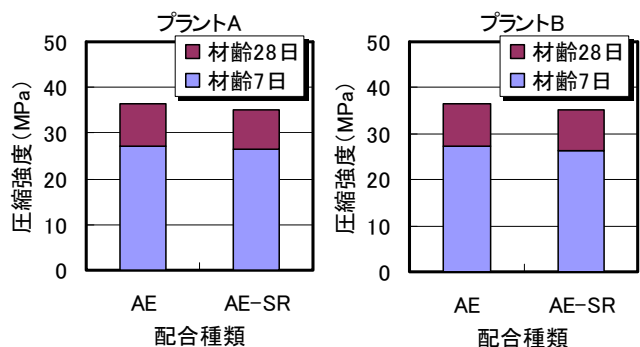


図-8 圧縮強度試験結果

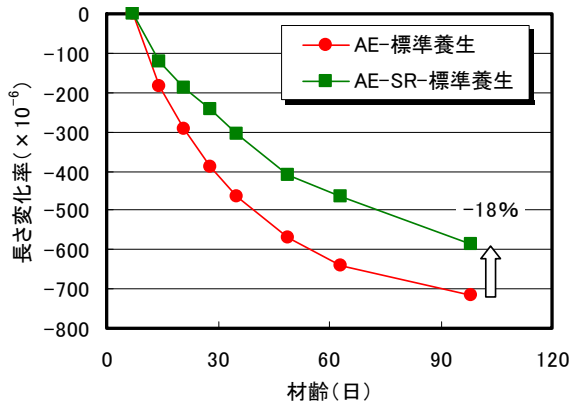


図-9 材齢と長さ変化率の関係(プラント A)

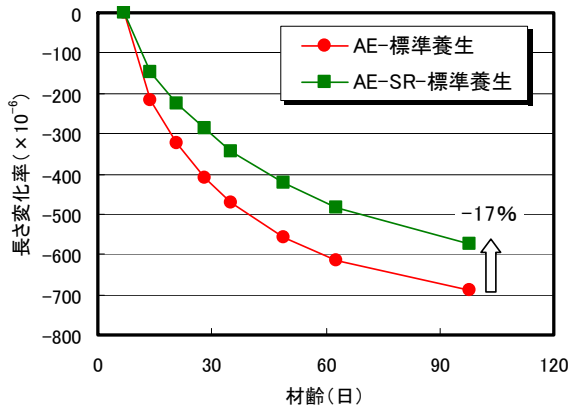


図-10 材齢と長さ変化率の関係(プラント B)

日水中養生終了後を基準とした材齢と長さ変化率の関係をプラント毎に図-9, 10 に示す。乾燥材齢 13 週時点でプラント A の配合 AE の長さ変化率は 716×10^{-6} 、配合 AE-SR は 588×10^{-6} であり、プラント B の配合 AE の長さ変化率は 689×10^{-6} 、配合 AE-SR は 573×10^{-6} であり、17～18%の収縮低減効果が確認された。

4.6 現場施工

収縮低減タイプ AE 減水剤を用いたコンクリートを使用し実構造物壁高欄の施工を行った。脱型直後の状況を写真-2 に示す。外観性状については、コンクリート表面の色むら等も無く良好であった。脱型後 2～2.5 ヶ月の時点でのひび割れ発生は、ひび割れ誘発目地部を除き総延長 1300m の壁高欄に 5 ヶ所 (ひび割れ幅 0.1mm 以下) しか確認されなかった。既往の施工において、ひび割れ誘発目地間に 0～2 本程度のひび割れが発生することに比べ、本施工でのひび割れの発生は非常に少なかった。

5. まとめ

本研究では、ひび割れ発生を抑制するために開発された収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた低収縮コンクリートの諸物性を確認し、実構造物壁高欄に使用した結果、以下の結論が得られた。



写真-2 現場施工壁高欄脱型直後

- (1) 圧縮強度について、収縮低減タイプ AE 減水剤を用いた配合は、通常の AE 減水剤を用いた配合と同等の強度発現であった。
- (2) 材齢 7 日まで水中養生を行った後に乾燥状態で保管した供試体について、材齢 1 年後でも通常の AE 減水剤を使用したものと比較して約 5～20%の収縮低減効果が確認された。
- (3) 収縮低減タイプ AE 減水剤を実構造物壁高欄に使用した結果、ひび割れ発生はひび割れ誘発目地部を除き総延長 1300m の壁高欄に 5 ヶ所しか確認されなかった。

謝辞：本研究を進めるにあたり、竹本油脂株式会社より混和剤を提供して頂き、実験においても多大な協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 木之下光男, 齊藤和秀, 名和豊春: ハイブリッド高性能 AE 減水剤を用いた耐久性改善コンクリートの性質, 土木学会論文集 E, Vol.64, No.4, pp.698-704, 2008.
- 2) 齊藤和秀, 木之下光男, 名和豊春: 高強度コンクリート用ハイブリッド混和剤の性質, コンクリート工学年次論文集, Vol.28, No.1, pp.143-148, 2006
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[施工編], pp.126-129, 2007
- 4) 俵道和, 呉承寧: 収縮低減型 AE 減水剤を用いた低収縮コンクリートの開発, 第 64 回年次学術講演会講演概要集, 2009
- 5) 稲垣他: ハイブリッド高性能 AE 減水剤を用いた低収縮コンクリートの開発 (その 1～3), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), 2007