

コンクリートの乾燥収縮に及ぼす粗骨材物性・収縮低減材料の影響

太平洋セメント(株) 正会員 ○ 兵頭 彦次 谷村 充 中崎 豪士
同上 井坂 幸俊

1. はじめに

コンクリートの乾燥収縮が骨材の種類や性質によって大きく異なることが再認識されてきており、その要因として、骨材自体の乾燥収縮や弾性係数が挙げられている¹⁾。本検討では、この両物性がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響について検討した。また、物性の異なる粗骨材の使用が、収縮低減材料の効果に及ぼす影響についても併せて検討した。

2. 実験概要

(1) 使用材料・コンクリートの配合

表-1 に、使用した骨材を示す。細骨材には、硬質砂岩砕砂および山砂の混合砂を用いた。粗骨材には、石灰石砕石および4種類の硬質砂岩砕石を用いた。セメントには普通ポルトランドセメントを用いた。混和材料には、収縮低減剤(低級アルコールのアルキレンオキシド付加物)および石灰系の低添加型膨張材(標準量 20kg/m³)を用いた。また、ポリカルボン酸系の高性能 AE 減水剤を使用した。表-2 に、コンクリートの配合条件を示す。粗骨材の種類によらず、単位水量、水セメント比、単位粗骨材かさ容積をそれぞれ 170kg/m³、50%、0.57m³/m³一定とした。膨張材・収縮低減剤は、それぞれセメント・単位水量の一部として添加した。

(2) 試験方法

骨材の静弾性係数の測定は、同一産地の破砕前の母岩からφ32×64mmのコアを採取し、圧縮載荷時の縦ひずみをひずみゲージで測定した(n=3)。骨材の乾燥収縮ひずみの測定は、粗骨材自体にひずみゲージを貼り付けて行った(n=5)。測定環境は、7日間20℃水中で保管した時点を経験点とし、以後20℃-60R.H.%におけるひずみを骨材の乾燥収縮ひずみとした。

コンクリートの試験は、乾燥収縮試験および軸拘束膨張試験を実施した。試験方法はそれぞれ JIS A 1129-2(コンタクトゲージ法)、JIS A 6202 附属書 2(B 法)に準じて行った。両試験の養生条件は、供試体成形後7日まで20℃水中、以後20℃-60R.H.%とした。

3. 実験結果

3.1 骨材がコンクリートの乾燥収縮に及ぼす影響

図-1 に、乾燥期間6か月までのプレーンコンクリートの乾燥収縮ひずみを示す。乾燥収縮ひずみは、GL<GS4<GS1<GS3<GS2の順に大きくなり、6か月で比較すると、最小はGLの510×10⁻⁶程度、最大はGS2の1030×10⁻⁶程度であった。

図-2 に、骨材の静弾性係数および乾燥収縮ひずみとコンクリートの乾燥収縮ひずみの関係を示す。静弾性係数が小さくなるほど、骨材の乾燥収縮ひずみが大きくなるほど、ほぼ線形にコンクリ

表-1 使用した骨材の種類・物性

材料	記号	岩種	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)	安定性 損失質量(%)
細骨材		混合砂*	2.55	2.07	—
粗骨材	GL	石灰石	2.69	0.43	1.7
	GS1	硬質砂岩	2.64	0.74	2.5
	GS2	硬質砂岩	2.56	1.88	18.7
	GS3	硬質砂岩	2.64	0.96	12.5
	GS4	硬質砂岩	2.72	0.55	1.0

*硬質砂岩砕砂：山砂=6：4(容積比)

表-2 コンクリートの配合条件

コンクリートの種類	プレーン	膨張材	収縮低減剤
単位水量(kg/m ³)	170		
W/C(%)	50		
単位粗骨材かさ容積 (m ³ /m ³)	0.57		
スランプ(cm)	18±2.5		
空気量(%)	4.5±1.5		
混和剤・材 添加量(kg/m ³)	膨張材	20	—
	収縮低減剤	—	3, 6, 9

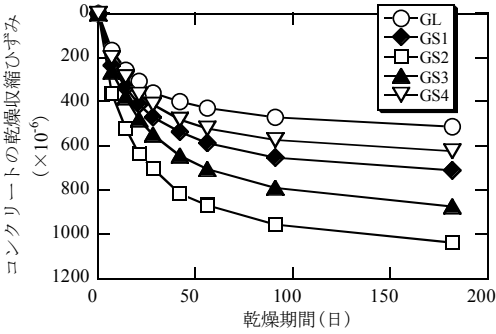


図-1 プレーンコンクリートの乾燥収縮

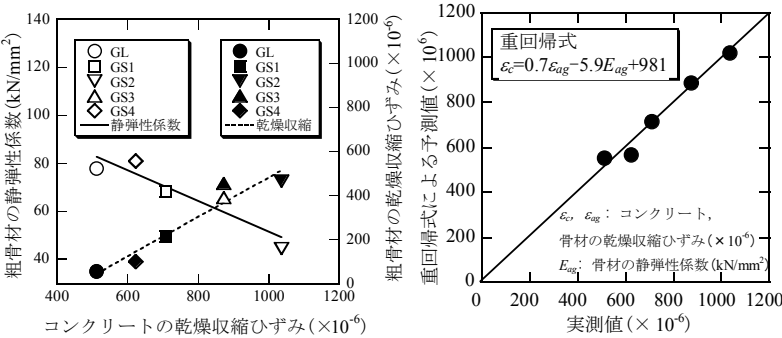


図-2 骨材物性とコンクリートの乾燥収縮ひずみ

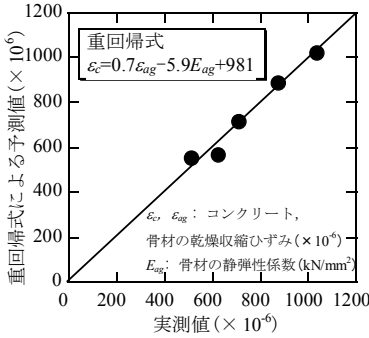


図-3 乾燥収縮ひずみの実測値と予測値の比較

ートの乾燥収縮ひずみが大きくなる傾向であり、骨材の両物性との関連性が確認された。また、両物性を説明変数、コンクリートの乾燥収縮ひずみを目的変数とした重回帰分析を行ったところ、骨材の乾燥収縮ひずみ 100×10^{-6} あたり 70×10^{-6} 、静弾性係数 10 kN/mm^2 あたり 59×10^{-6} の変化をともしう結果が得られた(図-3)。

3.2 収縮低減剤の効果に及ぼす影響

(1) 膨張材

膨張材を用いた場合の材齢7日の拘束膨張ひずみを、粗骨材種類別に示す(図-4)。いずれの水準も $150 \times 10^{-6} \sim 250 \times 10^{-6}$ の範囲であり、所定の拘束膨張ひずみ量²⁾を発現していることが確認された。骨材別に見ると、その種類によっては拘束膨張量がやや異なった。拘束膨張ひずみには、拘束棒とコンクリートの弾性係数比が関与する。そのため、骨材の静弾性係数が拘束膨張ひずみに影響を与えたことが考えられた。図-5に、粗骨材の静弾性係数に絶対容積比を乗じた値と拘束膨張ひずみの関係を示す。粗骨材の静弾性係数が大きくなると拘束膨張ひずみが大きくなる傾向が認められたが、必ずしも両者の相関は高くなく、複数の要因がその変動に影響しているものと考えられる。

(2) 収縮低減剤

図-6に、乾燥期間6か月の収縮比(収縮低減剤添加コンクリートの収縮/プレーンコンクリートの収縮)と収縮低減剤添加量との関係を示す。収縮比は、収縮低減剤添加量の増加にともなって小さくなった。低減率でみると、標準添加量である 6 kg/m^3 以上で概ね15%程度以上の効果が認められた。ただし骨材種類によってその効果は変動する傾向が認められた。

収縮低減剤の効果の変動については、骨材自体の乾燥収縮ひずみに収縮低減剤が影響を及ぼした可能性は考えられる。しかし、練混ぜ水中にある収縮低減剤がコンクリート内でどのような挙動を示し、骨材にどの程度関与するかは不明な点が多い。一方、コンクリートを構成する材料個々の収縮・弾性係数を組込んだ収縮予測モデルとして、複合モデル³⁾が提案されている(式1)。

$$\varepsilon_c = \varepsilon_p \frac{1 - (1 - m_s n_s) V_s - (1 - m_g n_g) V_g}{n_c} \quad (1)$$

ここで、 ε_c 、 ε_p ：コンクリート、セメントペーストの収縮ひずみ、 m_s 、 m_g ：細・粗骨材とセメントペーストの収縮ひずみ比、 n_s 、 n_g ：細・粗骨材とセメントペーストの弾性係数比、 V_s 、 V_g ：細・粗骨材体積比

この原理に立脚すれば、収縮低減剤の添加によってペーストの収縮量が変化した場合、それ自体の収縮変化だけでなく、骨材との収縮比(m_s 、 m_g)が拘束度に関与し、両者がコンクリートの乾燥収縮に影響を与える。そこで、収縮低減剤添加およびプレーンペーストの収縮量を設定し、複合モデルでコンクリートの収縮比を予測した。収縮低減剤添加ペーストの収

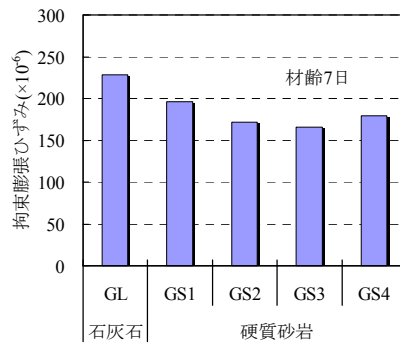


図-4 拘束膨張ひずみ

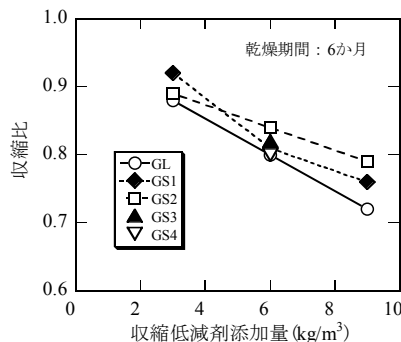


図-6 収縮低減剤添加量と収縮比

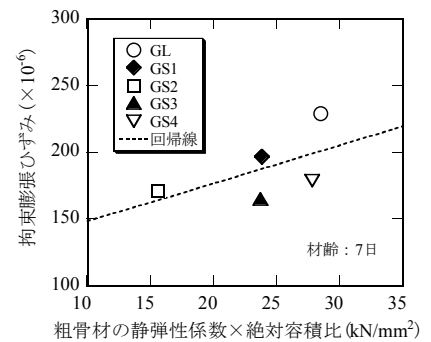


図-5 拘束膨張ひずみと骨材の静弾性係数の関係

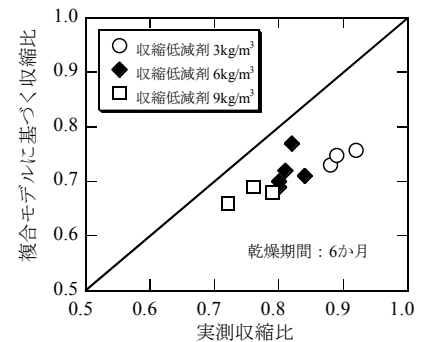


図-7 収縮比の実測値と予測値

縮は、後藤ら⁴⁾の検討を参考に、添加量3, 6, 9 kg/m^3 に対しプレーンペーストの0.67, 0.57, 0.53倍とした。その他のパラメータはすべて同一とした(プレーンペーストの乾燥収縮・静弾性係数³⁾： $3414 \times 10^{-6} \cdot 16.0 \text{ kN/mm}^2$ 、細骨材の乾燥収縮・静弾性係数⁵⁾： $361 \times 10^{-6} \cdot 44.3 \text{ kN/mm}^2$)。図-7に、乾燥期間6か月における複合モデルで予測した収縮比および実測収縮比の関係を示す。同図より、絶対値の差異は生じたが、定性的には骨材種類が異なることで収縮比が変動する傾向を表現できていることがわかる。これにより、骨材物性が異なることによって収縮比が変動した要因のひとつとして、収縮低減剤添加によってペーストと骨材の乾燥収縮比が変化した影響が含まれている可能性が考えられた。

4. まとめ

(1)骨材の静弾性係数および乾燥収縮とコンクリートの乾燥収縮の関連性が確認された。(2)膨張材の効果は、粗骨材種類が異なっても所定の拘束膨張ひずみ量を満足した。(3)収縮低減剤の効果は、標準量以上で15%程度以上の効果が得られた。その効果は、骨材によって異なる傾向が認められたが、複合モデルを用いてその変動傾向を説明できる可能性が示された。

参考文献：1)後藤ほか：コンクリートの乾燥収縮に及ぼす骨材の影響，土木学会論文集，第286号，pp.125-137，1979，2)土木学会：2007年制定コンクリート標準示方書[施工編]，2008，3)寺西ほか：複合モデルを基盤としたコンクリートの乾燥収縮予測式，日本建築学会構造系論文集，第602号，pp.21-28，2006，4)後藤ほか：セメント硬化体の乾燥収縮を低減する有機質混和剤，セメント・コンクリート，No.442，pp.9-15，1984，5)兵頭ほか：コンクリートの乾燥収縮特性に及ぼす粗骨材物性および収縮低減剤の影響評価，コンクリート工学年次論文集 Vol.32(投稿中)