

フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートの
乾燥収縮ひび割れ抵抗性

住友大阪セメント(株) 正会員 ○福岡紀枝 鈴木康範 齋藤尚
香川大学 フェロー会員 堺孝司
(株)間組 正会員 福留和人 坂本守 齋藤淳

1. はじめに

フライアッシュや高炉スラグ微粉末を用いると乾燥収縮ひび割れ抵抗性がやや低下するとの指摘もある¹⁾。本論では、フライアッシュ（以下、FA）および高炉スラグ微粉末（以下、BFS）を用いたローカーボンコンクリートの乾燥収縮ひび割れ抵抗性について、ポルトランドセメント（以下、セメント）の種類の影響、および膨張材（以下、EX）による改善効果について検討した。

2. 実験概要

表-1 に本論で検討したセメントの種類、混和材料の置換率および単位膨張材量の組合せを示す。本論では、まず混和材を含まないセメント単体のコンクリート（以下、セメント単体）と比較して、JIS A 6206 附属書 2（B 法）の一軸拘束ひずみ（以下、B 法拘束ひずみ）が約 150×10^{-6} 低減できるように単位膨張材量を 10, 15, 20kg/m³ の 3 水準変化させて、単位膨張材量を選定した。なお、B 法拘束ひずみの測定期間は材齢 98 日とした。併せて、標準養生下における圧縮強度も測定した。次に、参考文献¹⁾に示されている方法に従い、コンクリートの収縮ひび割れ抵抗性試験を行った。ここでは、セメント単体、ローカーボンコンクリートおよび B 法拘束ひずみをもとに定めた膨張材を含むローカーボンコンクリートを対象とした。

表-2 にコンクリートの主な使用材料を示す。コンクリートの配合は、既往の成果²⁾を参考にして、水結合材比を 40%，細骨材率を 46%，高性能 AE 減水剤量を結合材に対して 2.00%一定とし、目標スランプ 12 ± 2.5 cm，目標空気量 4.5 ± 1.5 % が得られるように、単位水量および AE 剤量を調整して定めた。なお、FA および BFS はセメントに対する質量置換としたが、EX は結合材に含めず、細骨材に対して置換した。

収縮ひび割れ抵抗性試験の試験体数は各配合 2 体とし、材齢 7 日まで湿布養生とし、それ以降は温度 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ，湿度 60 ± 5 % の条件で、ひび割れが発生するまで試験体に埋め込んだ鋼材のひずみを測定した。

3. 実験結果

3.1 単位水量

図-1 に各配合の単位水量を示す。ローカーボンコンクリートは、セメント単体と比較して、単位水量が 7～13kg/m³ 減少した。また、セメントの種類によって単位水量は異なり、普通セメントと比較して早強セメントは微増し、

表-1 検討項目

セメントの種類	FA 置換率 (%)	BFS 置換率 (%)	EX (kg/m ³)
普通 (N)	0	0	0
早強 (H)	20	20	10
中庸熱 (M)			15
低熱 (L)			20

表-2 主な使用材料

種類	密度 (g/cm ³)	比表面積 (cm ² /g)
普通 (N)	3.15	3350
早強 (H)	3.13	4650
中庸熱 (M)	3.21	3390
低熱 (L)	3.24	3800
FA (JIS II 種)	2.39	4110
BFS (4000)	2.89	4200
高性能 EX	3.05	2860

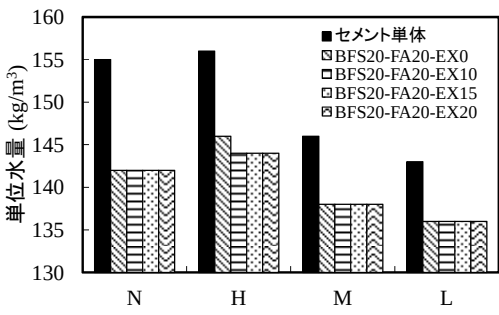


図-1 各配合の単位水量

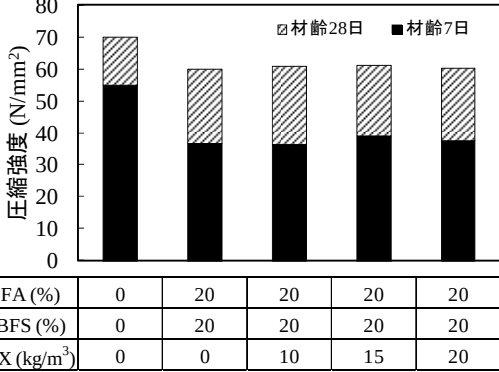


図-2 圧縮強度の例

中庸熱・低熱セメントは減少する。なお、EX を使用しても単位水量にほとんど変化は見られなかった。

3.2 圧縮強度

図-2 に圧縮強度の一例として、普通セメントの結果を示す。ローカーボンコンクリートの圧縮強度は、セメント単体と比較して、材齢 7 日で約 70%，材齢 28 日で約 80% 程度となったが、EX を使用しても圧縮強度の値は変化しなかった。

3.3 B 法拘束ひずみ

図-3 に B 法拘束ひずみの経時変化の一例として、普通セメントの結果を示す。EX を使用しない場合、水結合材比が 40% と比較的小さいため、自己収縮ひずみに起因する収縮ひずみが認められた。EX を使用するとその単位量の増加に伴い、材齢 7 日の膨張ひずみが増加し、それ以降の材齢の B 法拘束ひずみが低減できている。

図-4 に材齢 98 日における単位膨張材量とセメント単体に対する B 法拘束ひずみの差を示す。セメント単体と比較して、B 法拘束ひずみを約 150×10^{-6} 低減するのに必要な単位膨張材量は、標準的な 20 kg/m^3 より少なく、低熱セメントで 12.5 kg/m^3 ，その他のセメントで 15 kg/m^3 となった。同一の単位膨張材量を使用しても、L 単体の膨張量は他のセメントと比較して大きくなる³⁾が、混和材料を用いたローカーボンコンクリートにおいても同様の傾向が見られた。

3.4 乾燥収縮ひび割れ抵抗性

図-5 に収縮ひび割れ抵抗性試験における収縮拘束応力の経時変化の一例として、早強セメントの結果を示す。図中には収縮ひび割れ抵抗性試験と同一養生で測定した材齢 7，28 日の割裂引張強度から推定した式を破線で示す。早強セメントを用いた場合のひび割れ発生材齢はセメント単体より長く、膨張材を使用するとひび割れ発生材齢がさらに長くなる傾向がみられた。

図-6 に各配合のひび割れ発生材齢を示す。同図中にはひび割れ発生時の応力強度比の推定値を括弧内に示す。早強セメント以外を使用したローカーボンコンクリートは、セメント単体と比較して、ひび割れ発生材齢は短くなり、既往の結果¹⁾と同様であった。また、EX を使用すると、ひび割れ発生材齢は長くなるが、その程度はセメントの種類によっても異なり、早強・低熱セメントのひび割れ発生材齢が最も長く、次いで中庸熱セメント、普通セメントの順となった。また、ひび割れ発生時の応力強度比の推定値は低熱・中庸熱セメントが早強・普通セメントと比較して大きい。これらの傾向は、セメントの種類による強度発現や乾燥収縮ひずみの差に起因すると思われる。

4. まとめ

フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を用いたローカーボンコンクリートの乾燥収縮ひび割れ抵抗性は、ポルトランドセメントの種類によって異なるが、早強セメントではセメント単体よりも優れていた。さらに、適切な量の膨張材を使用すれば、ローカーボンコンクリートの乾燥収縮ひび割れ抵抗性を改善できた。

参考文献 1) 日本コンクリート工学協会：混和材料から見た収縮ひび割れ低減と耐久性改善研究委員会報告書，2010 2) 松家武樹ほか：フライアッシュおよび高炉スラグ微粉末を使用したローカーボンコンクリートに関する基礎的研究，セメント・コンクリート論文集，No.64，pp.295-302，2010 3) 小田部裕一ほか：各種セメントを用いた膨張コンクリートのひび割れ抵抗性，コンクリート工学年次論文集，Vol.25，No.1，pp.419-424，2003

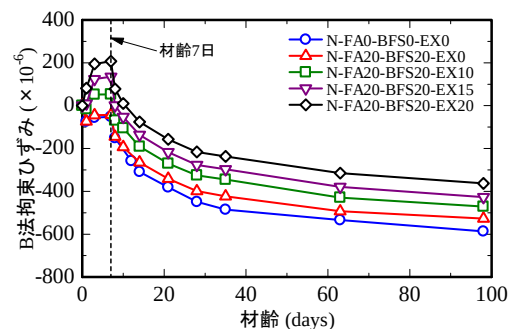


図-3 B 法拘束ひずみの経時変化の例

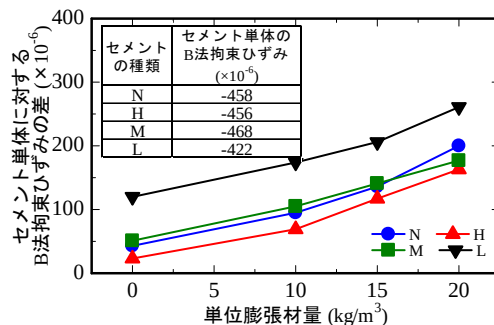


図-4 単位膨張材量とセメント単体に対する B 法拘束ひずみの差 (材齢 98 日)

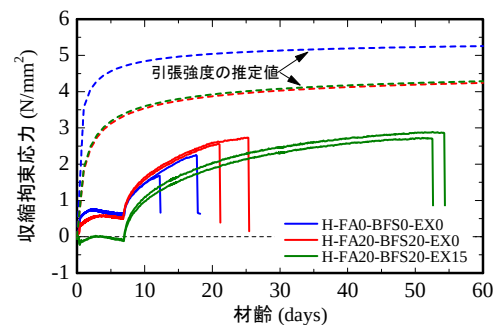


図-5 収縮拘束応力の経時変化の例

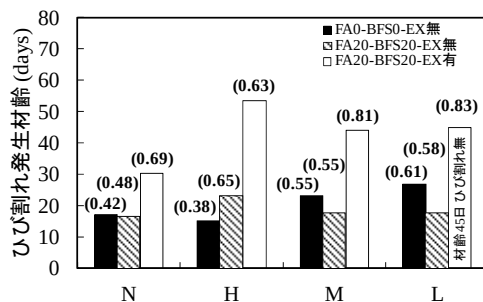


図-6 各配合のひび割れ発生材齢