

低発熱・収縮抑制型高炉セメントにおける初期材齢の膨張を含む自己収縮予測に関する検討

○ (株) デイ・シイ 正会員 谷田貝 敦
 (株) デイ・シイ 正会員 二戸 信和
 足利工業大学 正会員 宮澤 伸吾

1. はじめに

高炉セメントの温度ひび割れの抑制方法として、高炉セメントB種のJIS規格の範囲内で高炉スラグ比表面積および化学成分の調整を行い断熱温度上昇量と自己収縮を抑制した、低発熱・収縮抑制型高炉セメントを提案した¹⁾。また、マスコンクリートでは、自己収縮の影響を考慮した温度応力解析により事前に温度ひび割れの予測を行うことが一般的であるが、低発熱・収縮抑制型高炉セメントの自己収縮は初期材齢で膨張ひずみを示し¹⁾、初期材齢から収縮ひずみを示す従来の自己収縮予測式では評価が困難である。そこで、本研究では、これまで把握してきた膨張および自己収縮ひずみのデータを用いてJCI マスコンクリートのひび割れ制御指針2008²⁾(以降JCI指針)に示される既存式を参考にして低発熱・収縮抑制型高炉セメントの膨張成分を考慮した予測式の構築を行った。

2. 検討プロセス

自己収縮試験はJCI自己収縮研究委員会の方法を参考にして埋込型ひずみ計(弾性係数:40N/mm²)によりひずみの測定を行った。対象セメントは、低発熱・収縮抑制型高炉セメント(比表面積:3380cm²/g, SO₃量:3.8%, スラグ量:58%)とし、水セメント比40%から55%で(全72個のデータ)検討を行った。測定環境は、20℃一定の環境下と、最高温度が40℃および60℃の温度履歴の環境下とした。

低発熱・収縮抑制型高炉セメントは、SO₃量が多く、エトリンガイトの生成により初期材齢において膨張ひずみが生じる。また、JCI指針において、膨張コンクリートの温度応力解析に用いるひずみは、図-1の模式図のように、自己収縮と膨張ひずみを重ね合わせて用いることとしている。低発熱・収縮抑制型高炉セメントについても膨張コンクリートと同様に、膨張ひずみと自己収縮ひずみをJCI指針の式を参考にして、それぞれを定式化した。

3. 結果および考察

膨張ひずみは、水セメント比に関係なく、約材齢1.5日で最大となり、平均で約 100×10^{-6} の膨張ひずみが生じた。これを水セメント比との関係式(式③)を用いることで評価することとした。図-2に最大膨張材齢時のひずみを1.00とした場合の膨張比の実験値および計算値の一例を示す(W/C=50%)。膨張ひずみは、初期にごく少量ではあるが収縮し、その後膨張するケースも存在した。膨張の速度を膨張コンクリートの予測式²⁾を参考にし、自己ひずみを回帰計

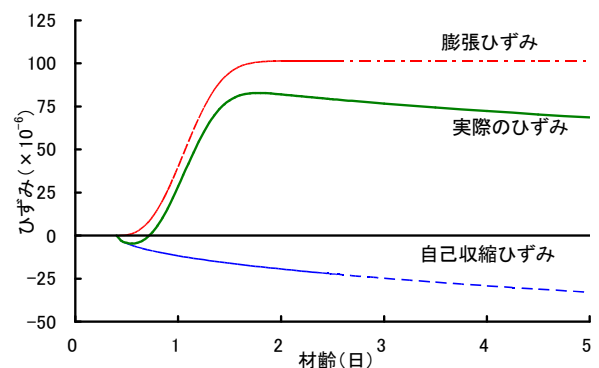


図-1 初期材齢の膨張を含む自己収縮の推定模式図

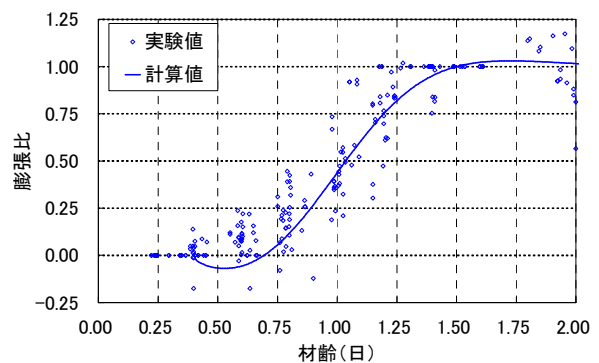


図-2 自己膨張比 (W/C=50%)

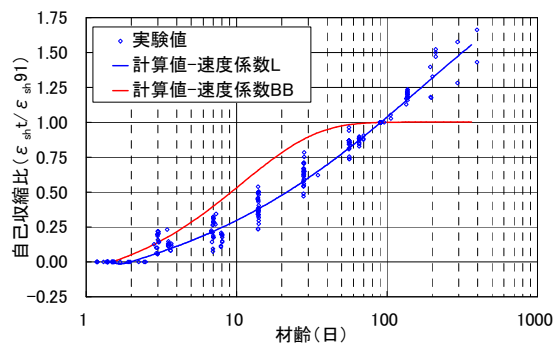


図-3 自己収縮比 (W/C=50%)

キーワード 自己収縮, 膨張ひずみ, 予測式, 高炉セメント, マスコンクリート, 温度応力

連絡先 〒210-0854 神奈川県川崎市川崎区浅野町1番17号 (株) デイ・シイ 技術センター TEL 044-333-0618

算により評価を行った。膨張コンクリートの予測式は、膨張速度に関する係数 a_{ex} および b_{ex} は、セメントの種類によるが、本セメントにおいては、水セメント比で評価する必要が認められた (式④, 式⑤)。

本検討で取り扱った自己収縮ひずみは材齢 1 年が経過しても収束していない (図-4 参照)。そこで、自己収縮の終局値は、材齢 91 日の実験値と同等となるように式⑦で評価することとした。図-3 に自己収縮比の実験値および計算値の一例を示す ($W/C=50\%$)。また、計算値は、自己収縮の速度係数に L および BB を用いて示している²⁾。実験値は、緩やかな収縮挙動であり、 BB を用いた係数より L の係数を用いた収縮挙動に近い傾向が認められた。図-4 に膨張および自己収縮ひずみの実験値および計算値 (式①) の一例を示す ($W/C=50\%$)。実験値と計算値の膨張および収縮挙動は概ね近似されている。なお、本検討での得られた実測値が材齢 1 年であるため、本近似式の適用範囲も材齢 1 年以内とした。図-5 に水セメント比が 45% から 55% における自己収縮ひずみと最高温度の関係を示す (有効材齢 42 日)。本検討においては、最高温度と自己収縮ひずみの影響は確認できなかった。しかし、JCI 指針においては、自己収縮の終局値は、最高温度に依存するとされており、本検討の傾向とは異なる²⁾。低発熱・収縮抑制型高炉セメントの自己収縮の温度依存性は今後の検討課題である。

4. 温度応力解析

温度応力解析は、橋脚をモデル (厚さ 1.0m, 幅 5.0m, 高さ 7.0m) として、 BB および低発熱・収縮抑制型高炉セメントを対象に実施した。物性値は水セメント比 55% のコンクリートを想定し、 BB は、JCI 指針より算出した。低発熱・収縮抑制型高炉セメントは、実験値を適用した。が膨張および自己収縮ひずみについては本検討で構築した近似式を用いた。図-6 にひび割れ指数を示す。高炉セメント B 種に比べ低発熱・収縮抑制型高炉セメントは、ひび割れ抑制効果が認められた。

5. まとめ

初期材齢で膨張ひずみを示す低発熱・収縮抑制型高炉セメントの自己膨張・収縮は、自己収縮と膨張ひずみをそれぞれ近似し、重ね合わせることで評価可能である。

参考文献

- ・二戸信和, 廣島明男, 大友健, 宮澤伸吾: スラグ粒度と化学成分の異なる高炉セメント B 種を用いたコンクリートの特性, セメント・コンクリート論文集, No.59, pp.231-238, 2006.2
- ・日本コンクリート工学協会: マスコンクリートのひび割れ制御指針 2008, 2008.11

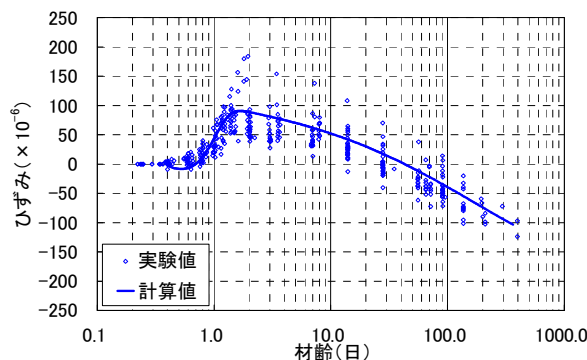


図-4 実験値と近似値の比較 ($W/C=50\%$)

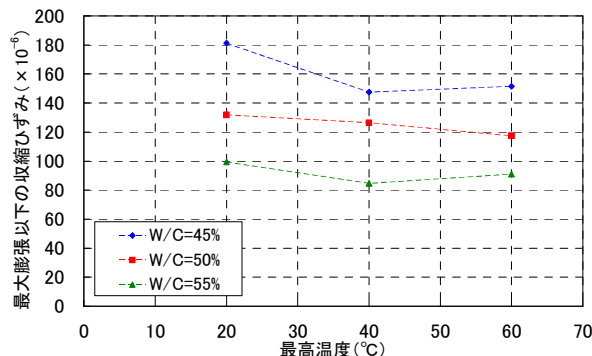


図-5 最高温度と収縮ひずみの関係 (有効材齢 42 日)

$$\varepsilon_{total}(t_e) = \varepsilon_{ex}(t_e) + \varepsilon_{sh}(t_e) \quad \text{式①}$$

$$\varepsilon_{ex}(t_e) = \varepsilon_{ex,\infty} [1 - \exp\{-a_{ex}(t_e - 0.4)^{b_{ex}}\}] \quad \text{式②}$$

$$\varepsilon_{ex,\infty} = 590 \exp\{-3.2(W/C)\} \quad \text{式③}$$

$$a_{ex} = 29.0 \exp\{-4.8(W/C)\} \quad \text{式④}$$

$$b_{ex} = 0.70 \exp\{2.5(W/C)\} \quad \text{式⑤}$$

$$\varepsilon_{sh}(t_e) = \eta_c \cdot \varepsilon_{sh,\infty} [1 - \exp\{-a_{sh}(t_e - 0.4)^{b_{sh}}\}] \quad \text{式⑥}$$

$$\varepsilon_{sh,\infty} = 2640 \exp\{-4.4(W/C)\} \quad \text{式⑦}$$

$$a_{sh} = 2.4 \exp\{-6.5(W/C)\} \quad \text{式⑧}$$

$$b_{sh} = 0.12 \exp\{2.7(W/C)\} \quad \text{式⑨}, \quad \eta_c: 1.0, \quad t_e: \text{有効材齢}$$

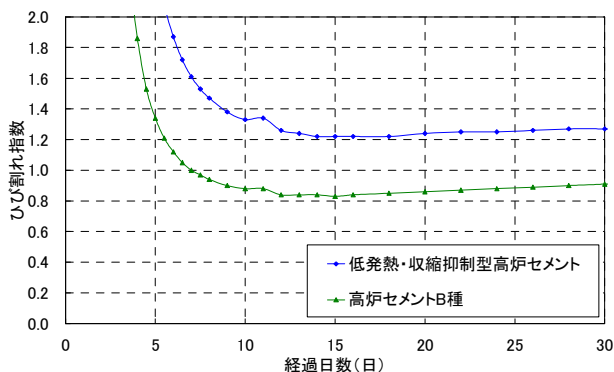


図-6 ひび割れ指数