

コルゲートチューブの長さ変化試験に基づく 若材齢セメントペーストの内部組織に関する研究

Shrinkage of early age cement paste based on the experiment of corrugated mold

苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科 ○学生員 丸山健太 (Kenta Maruyama)
 苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科 正 員 渡辺暁央 (Akio Watanabe)
 苫小牧工業高等専門学校環境都市工学科 正 員 廣川一巳 (Kazumi Hirokawa)
 苫小牧工業高等専門学校環境システム工学科 学生員 鎌田高之 (Takayuki Kamada)

1.はじめに

コンクリートのひび割れが大きな問題となっている。このひび割れは大きく分けて収縮によるものと、膨張により発生するものがある。ひび割れの原因はコンクリートの体積変化であり、これを評価するのは非常に重要である。既往の研究では、水セメント比 20%、50%のセメントペーストにおいて ASTM C 1698 のコルゲートチューブを用いた長さ変化試験を行い打設直後から凝結までの収縮量を測定した。その収縮量と凝結時の理論化学収縮量との対応を検討した¹⁾。しかし、データが2つしかないことから長さ変化試験の収縮の原因を特定することができなかった。本研究では、凝結時間の水セメント比 20%、30%、40%、50%、60%と増やして既往の研究同様に内部組織観察や長さ変化試験を行い、フレッシュ時の収縮原因を検討することにした。このフレッシュ時において想定される収縮現象の要因としては化学収縮、自己収縮、乾燥収縮、材料分離が考えられる。この要因のうち、本研究では化学収縮に着目し考察を行うことにした。ここで Powers モデルから理論化学収縮量を求め、収縮量との関係を解明することとした。

2.実験概要

(1) セメントペーストの作製

使用するセメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)で水セメント比 20%、30%、40%、50%、60%のセメントペーストを作製した。なお、水セメント比が20%のときポリカルボン酸系高性能 AE 減水剤を使用した。

(2) 長さ変化試験

打設後のセメントペーストの収縮量を評価する方法として ASTM C 1698 のコルゲートチューブを用いた長さ試験を採用した。試験方法はコルゲートチューブを振動台の上に鉛直に設置し、振動を加えながら、上部から注ぎ込んだ。その後テフロン製の栓をして、長さ変化測定用の供試体とした。これを写真-1のように設置し、打設直後からの長さ変化をレーザー変位計で連続的に自動計測した。

(3) SEM-BEI による内部組織観察

水セメント比 20%、25%、30%、35%、40%、45%、

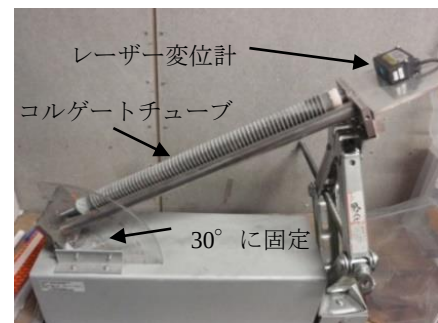


写真-1 長さ変化測定装置

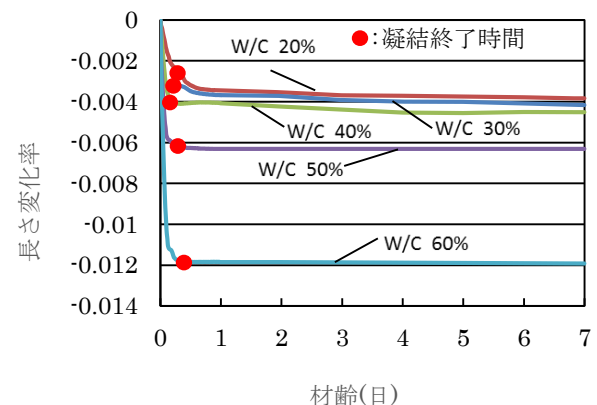


図-1 長さ変化試験結果

50%、55%、60%の凝結時間でのセメントペースト供試体を厚さ 5mm、幅 10mm の正方形供試体に切り出しプロパノール浸漬をして水和反応を停止させた。その後、エポキシ樹脂を含浸させ鏡面研磨したものを、反射電子像観測試料とした。反射電子検出器を備えた走査型電子顕微鏡を使用して内部組織観察を行い、画像を取得した。その例を写真-2に示す。白色の粒子の相が未水和セメントの相、灰色の相は水和物の相、黒色の相が空隙の相となっている。未水和セメントを抽出する二値化を行い、面積計測を行い、式(1)から水和度を求めた。この水和度をもとに、Powers モデルにより化学収縮量を求めた。Powers の水和反応モデルの例を図-3に示す。このPowers モデルでは理論化学収縮量が式(2)で計算することができる²⁾。

$$\alpha_{BEI} = 1 - \frac{VC_{BEI}}{VC_0} \quad (1)$$

ここに、

α_{BEI} : 水和度

VC_{BEI} : 画像解析により求めた未水和セメントの体積率

VC_0 : 配合時のセメントの体積率

$$\begin{aligned} V_{CS} &= \rho_c 6.410^{-5} (1 - \rho) \alpha \\ &= 0.20 (1 - \rho) \alpha \quad (\text{chemical shrinkage}) \end{aligned} \quad (2)$$

ここに、

V_{CS} : 体積減少量

ρ_c : セメントの密度

ρ : 初期密度

α : 水和度

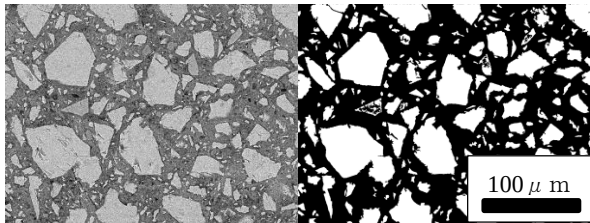


写真-2 反射電子像と二値化処理後の画像

3.実験結果および考察

(1) 長さ変化試験

水セメント比 20%、30%、40%、50%、60%のセメントペースト供試体の長さ変化試験結果および凝結時間を図-1に示す。いずれの水セメント比においても打設直後から著しい収縮が確認された。このフレッシュ時の収縮は水セメント比が最も高い60%が最も大きく20%が最も小さい。また、低水セメント比(40%以下)では凝結後も継続的に収縮が起きている。これは、含水率が少なく、セメントペーストが自己乾燥状態となって、自己収縮が発生したことが原因だと考えられる。

(2) 凝結後の内部組織観察

凝結終了時間での理論化学収縮と長さ変化率を比較したものを図-4に示す。図-4より理論化学収縮量にばらつきがあることがわかるが近似直線を引くと長さ変化試験で得られた結果同様に、理論化学収縮量は上昇傾向にあることがわかった。理論化学収縮量のデータのばらつきは凝結終了時間での水和反応を完全に止めることができないことが原因だと考えられる。また、供試体の切り出し時や研磨時にセメント粒子が剥離した可能性が考えられる。そのため、今後は凝結時の理論化学収縮量のデータの信頼性を上げるために凝結時の水和度のデータを収集することが必要である。

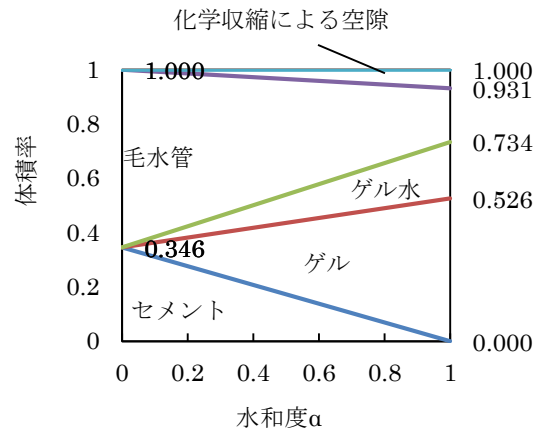


図-3 Powers モデルの例(w/c60%)

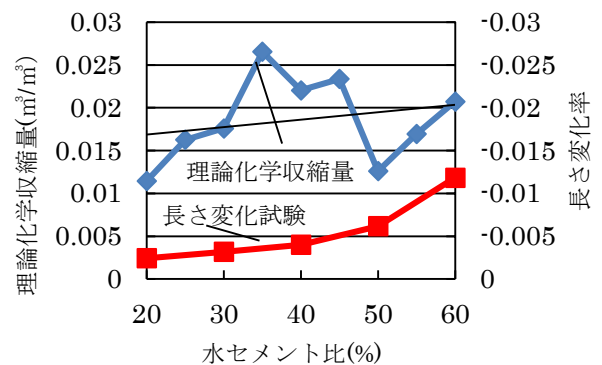


図-4 理論化学収縮量と長さ変化率の対応

4.まとめ

本研究では、コルゲートチューブを用いたセメントペーストの供試体の長さ変化を ASTM C 1698 に準じた長さ変化試験により測定した。結果をまとめると以下のようになる。

- (1) いずれの水セメント比においても打設直後から著しい収縮がみられ、水セメント比が大きいほど初期の収縮が大きいことがわかった。
- (2) 低水セメント比(40%以下)では凝結終了後も継続的に収縮がみられ、自己収縮が発生していることが確認された。
- (3) 凝結時の理論化学収縮量には、ばらつきがあるが長さ変化試験の結果と類似した傾向にあることがわかった。

参考文献

- (1) 大巻雅篤、廣川一巳、渡辺暁央：コルゲートチューブの長さ変化試験に基づく若材齢セメントペーストの内部組織に関する研究、平成 25 年度土木学会北海道支部論文報告集、第 70 号部門 E、E-29、2014
- (2) Jenson、O.M. and Hansen、P.F.：Water-entrained cement-based materials I. Principles and theoretical background、Cement and Concrete Research Vol.31、pp.647-654、2001