

V-352

コンクリート用断熱温度上昇試験機の制御精度チェック方法とその検証結果について

電源開発 総合技術試験所 正会員 鍵本 広之
電源開発 総合技術試験所 正会員 前田 哲宏

1.はじめに

マスコンクリートでは硬化時に内部温度が著しく上昇し、硬化したコンクリートの温度が降下する過程で温度ひび割れが発生する。この時温度ひび割れが発生するかどうかの検討は、打設スケジュール、リフト高、気温その他の条件に加え、断熱温度上昇試験から得られるコンクリートの発熱特性値（発熱カーブ、K値）を用いた温度応力解析を実施し行う。現在、断熱温度上昇試験については試験機仕様、試験法とも規格化されておらず、一応の暗黙のルールがあるとしても各社各様で試験を実施していると言っても過言ではない。

またコンクリートの時々刻々と変化する温度変化に試験機が正確に追従し制御を行っているかどうかについてははなはだ疑問であり、また試験機の検定にしても、お湯を試験槽に入れ、温度降下もしくは上昇が無い事をチェックしているにすぎない。

現在当社ではより低発熱なダムコンクリートの研究開発を実施しており、コンクリートの発熱特性を正確に把握する必要があった。そこでセメントの種類、セメント量の違いにより異なる発熱特性を示すコンクリートを模擬するため、アルミにヒーターを巻き、ヒーターに加える電力量を変化させることでコンクリートの発熱パターンを再現する検証システムを採用し、断熱温度上昇試験機の制御精度のチェックを試みた。

本報告は検証システムの概要と、検証結果を報告するものである。

2.検証システムの構成

検証ユニットはコンクリートの自己発熱作用を、アルミにジュール熱を加え発熱させることで再現するものである。検証ユニットは①φ150×300Lのアルミ製ブロック（純度99.5%）、②ラバーヒーター（DC30V,10W）、③断熱材（硬質ウレタンフォーム）、④断熱容器で構成されており、⑤電力供給ユニットからラバーヒーターへ電力を与えてアルミ自体を熱する仕組みとなっている。

また加えた電力量はユニットに組み込まれた積算電力計により記録される。

3.検証試験

本検証システムはセメント量の大小（温度上昇量）、セメントの種類（早強、普通、中庸熱）の違いを反映した温度上昇と、与える電力のパターンを任意に選定することにより再現することができる。

今回行った検証試験の発熱パターンは図-1に示す通りであり、試験の前半は低発熱のダムコンクリートを、後半は結合材量の多い富配合コンクリートを想定したものである。

ヒーターへ加えた電力は、0～24時間までは1.5W、24～48時間までは0.8W、その後3日間（48～120時間）は電力供給をストップし平衡状態を再現した。

さらに継続して1日で（120～144時間）5.2Wの電力供給を行い、アルミの温度を約70℃まで上昇させ、その後電力供給をストップし3日間（144～216時間）平衡状態を保った。

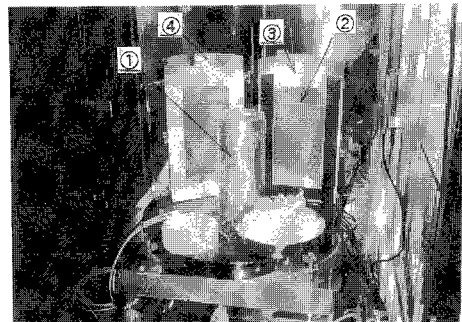


写真-1 検証ユニット

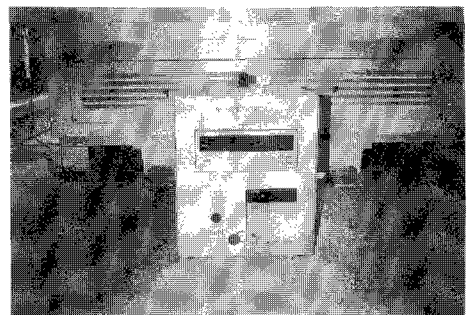


写真-2 電力供給ユニット

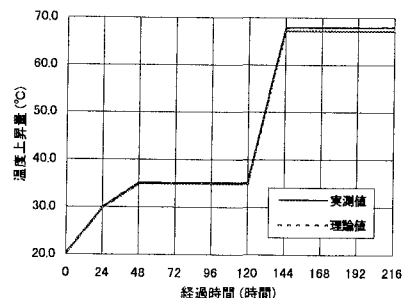


図-1 検証試験の発熱パターン

マスコンクリート、断熱温度上昇試験、試験精度、検証試験

〒253 茅ヶ崎市茅ヶ崎 1-9-88 電源開発（株）総合技術試験所 TEL0467-87-1211(FAX87-7319)

検証試験の実施時期は2月中旬であり、試験機を設置している部屋の室温は7℃であった。

また加えた電力量から理論温度上昇量は右式で算出するが、この時検証供試体（アルミブロックなど）の熱容量はアルミ製ブロック、ラバーヒーター、温度センサ、断熱容器（硬質ウレタンフォームの厚みの内側半分）の和とする。

4 検証結果

検証試験結果を表-1、図-1に示す。

試験の結果、

- ①貧配合コンクリートを模擬したケース（K値≒15℃）では、理論温度と測定温度との差 $\Delta t_1 = 0.20^\circ\text{C}$ 、また発熱停止した後の温度変化は $0.03^\circ\text{C}/\text{day}$ （上昇）であった。
- ②富配合コンクリートを模擬したケース（K値≒50℃）では、理論温度との差 $\Delta t_2 = 0.81^\circ\text{C}$ 、また発熱停止した後の温度変化は $0.01^\circ\text{C}/\text{day}$ （上昇）であった。

5.検証ユニットと実試験の断熱材の伝熱特性

実試験はコンクリート試料をポリエチレン容器に投入後断熱容器へ格納し温度測定を行う。（図-2）

仮に検証ユニット用の断熱材（写真-1）が実試験におけるコンクリート試料をとりまく断熱材と比較して格段に断熱性能が高いものとすれば、誤差が少ないという本報告の検証試験結果は当然の結果といえる。

従って両断熱容器の断熱性能（熱通過率）を比較するため、検証ユニットの周囲温度を5℃上昇させたときの単位時間当たりの温度上昇量を測定し、アルミ+ヒーター+温度センサの熱容量、伝熱面積から熱通過率を算出した。また同様に実試験に用いる試料容器+断熱容器の熱通過率を試験した結果表-2の通りとなり、検証ユニットの断熱材に対して実試験用断熱材の熱通過率は約80%程度であった。

従って両者の断熱性能は一方が格段に高いと言うわけではなく、どちらかといえば検証ユニットの断熱材性能の方が劣るという結果であった。

6.まとめ

本報告では当社が採用している断熱温度上昇試験機の試験精度のチェック方法とその結果を紹介した。

本システムを用いることにより、断熱温度上昇試験機が時々刻々と変化するコンクリートの発熱現象を正確にとらえ制御しているかどうかをチェックする事ができ、コンクリート試料を用いた試験に対する信頼性を確認することができるようになった。

今後は本試験装置を用い、コンクリートの発熱特性に関する研究を深めていきたいと考えている。

$$\Delta \theta = W \times 0.86 / (m_1 \cdot C_1 + m_2 \cdot C_2 + m_3 \cdot C_3 + m_4 \cdot C_4)$$

①アルミニウム（純度99.5%、 $\phi 150 \times 300$ ）

$$m_1 \cdot C_1 = 14.34 \times (0.210 + 0.000197 \times \theta) \text{ kcal}/^\circ\text{C}$$

②ラバーヒーター

$$m_2 \cdot C_2 = 0.075 \text{ kcal}/^\circ\text{C}$$

③温度センサ（ $\phi 3.2 \times 150 : 3$ 本）

$$m_3 \cdot C_3 = 0.00335 \text{ kcal}/^\circ\text{C}$$

④断熱容器（硬質ウレタンフォームの厚みの半分）

$$m_4 \cdot C_4 = 0.084 \text{ kcal}/^\circ\text{C}$$

ここでm：質量（kg）、C：比熱（kcal/（kg・℃））、 θ ：試料温度（℃）

表-1 検証試験結果

経過時間 (h)	積算電力 (Wh)	試料平均 温度 (°C)	試料温度 上昇量 (°C)	理論温度 上昇量 (°C)	誤差 (Δt) (°C)
0	0	20.27	—	—	—
24	36.0012	29.96	9.09	9.54	0.15
48	55.2949	35.09	14.82	14.62	0.20
120	55.2949	35.18	14.91	14.62	0.29
144	179.7770	67.91	47.64	46.87	0.77
216	179.7770	67.95	47.68	46.87	0.81

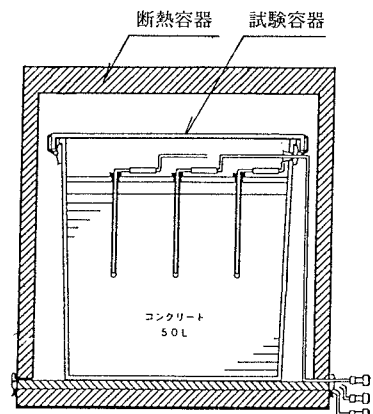


図-2 実試験における試料容器と断熱容器

表-2 断熱容器の伝熱特性比較

	熱通過率 (kcal/m ² ・h・°C)	備考
検証ユニット断熱材	0.426	
実試験断熱材	0.352	