

# コンクリート構造物の品質確保のための初期ひび割れ防止に関する解析的研究

長崎大学 学生会員 ○ 牟田 庄吾  
長崎大学 正会員 松田 浩

長崎大学大学院 学生会員 上里 尚也  
長崎大学 正会員 牧野 高平

## 1. はじめに

打設直後のコンクリート構造物は、水和反応によって生じた温度応力に起因する初期ひび割れによって、耐久性が低下する。この特徴は、マスコンクリート構造物に特に顕著であるため、設計の際、初期ひび割れの低減もしくは防止に関する検討は不可欠である。マスコンクリートの初期ひび割れ低減に関する解析的研究は多く行われているものの、初期ひび割れを完全に防止するまでには至っていない。

そこで、本研究では、新設構造物を対象として温度解析と計測結果の比較を行い、水和発熱に焦点を絞って、実構造物への温度解析の妥当性の検討を行った。さらに、温度解析結果をもとに温度応力解析を行い、初期ひび割れの防止へ向けた検討を行った。

## 2. 解析対象の概要

本研究の解析対象は、長崎県内に新設される橋台である。橋台の形状寸法を図1に、配合を表1に示す。また、解析に用いた各種パラメータを表2に示す。断熱温度上昇式は、以下の式を用いた<sup>1)</sup>。

$$Q(t) = Q_{\infty}(1 - e^{-rt})$$

$Q_{\infty}$  : 終局断熱温度上昇量  $r$  : 温度上昇速度

セメントの種類、打ち込み温度により、 $Q_{\infty}=49.9$ 、 $r=1.086$ と設定した。なお、物性値が特に設定されていなかったものについては、一般的な値を用いた。

## 3. 温度計測の概要

計測箇所は、水和熱が最も集中されると思われるフーチング中央部とし、温度計測装置をフーチング下面から200, 800, 1400mmの位置に設置した。

## 4. グラフの比較

計測値と解析値の比較のグラフを図3に示す。最高温度や温度勾配において計測値と解析値に差が出ている。200mm・800mm地点では、発熱速度の過程に大きな差が見られる。1400mm地点では、最高温度は一致しているが収束するまでの過程に大きな差が見られる。

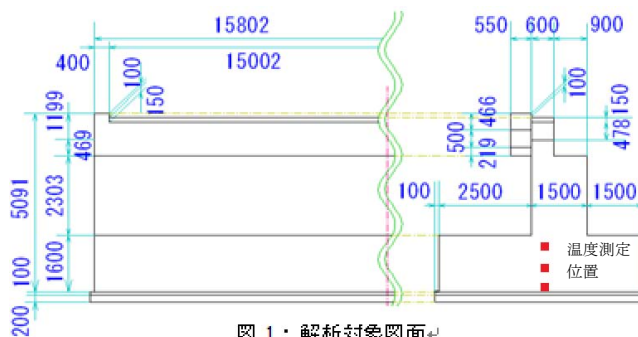


図1: 解析対象図面

表1: コンクリート配合表

| 呼び方           | コンクリートの種類による記号 | 呼び強度       | スラブ又はスランブフロー<br>(cm)     | 粗骨材の最大寸法<br>(mm) | セメントの種類による記号 |      |     |
|---------------|----------------|------------|--------------------------|------------------|--------------|------|-----|
|               | 普通             | 24         | 8                        | 20               | BB           |      |     |
| 配合表           |                |            |                          |                  |              |      |     |
| 水セメント比<br>(%) | 細骨材率<br>(%)    | 空気量<br>(%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |                  |              |      |     |
|               |                |            | セメント                     | 水                | 細骨材          | 粗骨材  | 混和剤 |
| 55            | 46.2           | 4.5        | 300                      | 165              | 820          | 1019 | 3   |

表2: 解析概要

| 項目     | 物性値                      |                              |
|--------|--------------------------|------------------------------|
|        | 地盤                       | コンクリート                       |
| 設計基準強度 | —                        | 24(N/mm <sup>2</sup> )       |
| 熱伝達率   | 1.0(W/m <sup>2</sup> °C) | 2.6(W/m <sup>2</sup> °C)     |
| 密度     | 1800(kg/m <sup>3</sup> ) | 2400(kg/m <sup>3</sup> )     |
| 比熱     | 1.5(kJ/kg°C)             | 1.26(kJ/kg°C)                |
| 初期温度   | 28(°C)                   | 28(°C)                       |
| ヤング率   | 50(N/mm <sup>2</sup> )   | E=4700*√Fc(t)                |
| 圧縮強度   | 22.6(N/mm <sup>2</sup> ) | Ft(t)=t/(6.2+0.93*t)*24*1.15 |
| 引張強度   | 1.96(N/mm <sup>2</sup> ) | Ft(t)=0.44*√Fc(t)            |
| ポワソン比  | 0.35 (-)                 | 0.2 (-)                      |
| 線膨張係数  | 10(μ/°C)                 | 10(μ/°C)                     |
| 部位     | 養生条件                     | 熱伝達率(W/m <sup>2</sup> °C)    |
| 各リフト側面 | 木製型枠                     | 設置期間8→脱枠後14(5日後)             |
| 各リフト上面 | シート及び散水養生                | 設置期間14→脱枠後14(5日後)            |
| 地盤面    | —                        | 14                           |

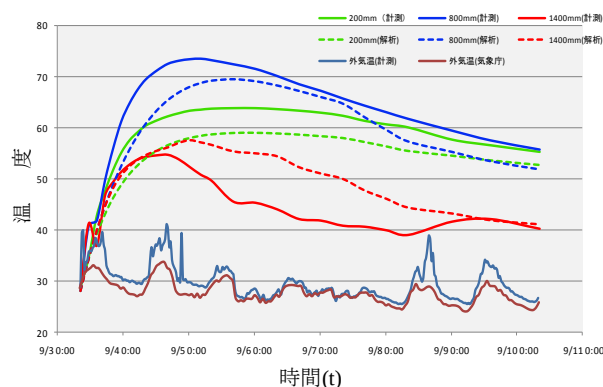


図2: 温度比較グラフ ( $Q_{\infty} = 49.9$   $r = 1.086$ )

## 5. 解析条件に関する検討

実際のコンクリート内部の発熱挙動を同定するため、解析における各種条件の検討を行った。

今回使用したセメントは比較的温床上昇が緩やかである特徴を持つ高炉スラグ B 種である。しかし、計測値は解析値と比較して明らかに温度勾配が急であった。そこで、温床上昇速度  $r$  に高炉スラグ B 種と比較して一般的に温度勾配が急である特徴を持つ普通ポルトランドセメントの値 ( $r=1.537$ ) を代入して解析を行った。解析結果を図 3 に示す。解析結果を見ると、温床上昇過程および低下過程の挙動が計測値と類似していることが確認できる。

さらに、 $H=800\text{mm}$  の計測点に着目して最高温度を同定するため、終局断熱温床上昇量を 5% 程度割り増しした値 ( $Q_{\infty}: 49.9 \rightarrow 52$ ) を用いて解析を行った<sup>2)</sup>。解析結果を図 4 に示す。 $H=200\text{mm}$ ,  $800\text{mm}$  の計測点において、計測値と解析値が一致している。

## 6. 温度応力解析

設計条件および計測結果から同定した解析条件を用いた解析結果を図 5～8 に示す。図 5, 6 は各解析における発生温度の最大値の分布を、図 7, 8 は以下の式から算出されるひび割れ発生確率を表すひび割れ指数の分布を示したものである。それぞれの最高温度、最小ひび割れ指数を表 3 に示す。

$$\text{ひび割れ指数} = \frac{\text{引張強度}}{\text{温度応力}}$$

解析結果を比較すると、設計条件を用いて行った解析結果に比べて、計測結果から同定した解析条件を用いた解析結果のほうが、発生温度が高く、ひび割れ指数も小さい値を示していることが分かる。

## 7. 考察

配合設計値を用いて行った解析では、発生温度と発生応力ともに、実挙動より低く推定される。発生温度は、本構造物では高炉スラグ B 種を使用しているにもかかわらず、計測値は普通ポルトランドセメントを使用した場合の温度挙動に近く、実構造物の温度解析においては、終局断熱温床上昇量  $Q_{\infty}$  と温床上昇速度  $r$  が大きな影響因子であることがわかる。配合設計値におけるセメント等の材料成分等を考慮して、断熱温床上昇式における係数を正確に設定する必要があると考えられる。

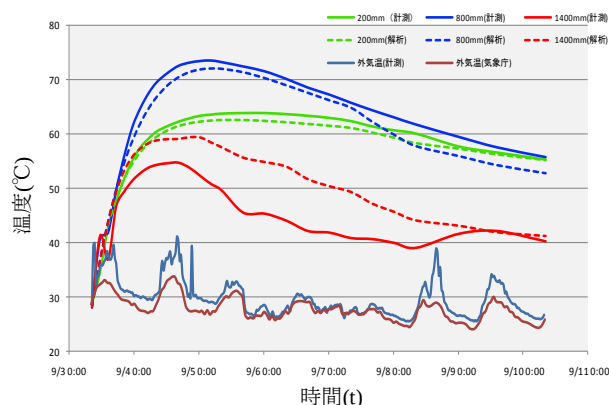


図 3：温度比較グラフ ( $Q_{\infty}: 49.9$   $r: 1.537$ )

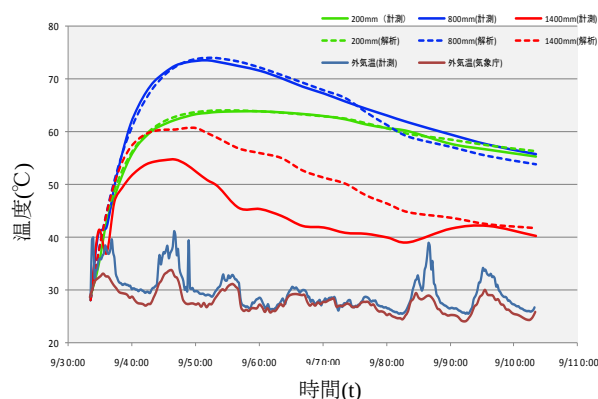


図 4：温度比較グラフ ( $Q_{\infty}: 52$   $r: 1.537$ )

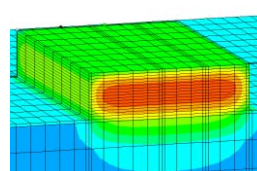


図 5：温度解析 (設計条件)

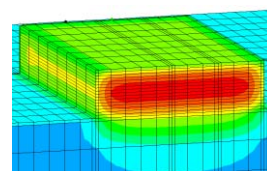


図 6：温度解析(同定後)

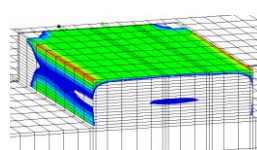


図 7：ひび割れ指数(設計条件)

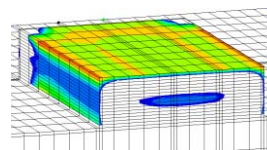


図 8：ひび割れ指数(同定後)

表 3：最高温度と最小ひび割れ指数

|          | 設計条件  | 同定後   |
|----------|-------|-------|
| 最高温度(°C) | 71.07 | 75.68 |
| 最小ひび割れ指数 | 1.12  | 0.98  |

## 8. 参考文献

- 1) コンクリート標準示方書 (設計編), (施工編)
- 2) 戸田晶ほか, 大規模底版コンクリートの温度解析方法に関する - 考察, 土木学会第 65 回年次学術講演会, 2010