

(株)熊谷組 正会員 野口 利雄  
同 上 正会員 安井 潤二  
同 上 中島 善夫  
同 上 橋本 浩一

1. はじめに

首都圏外郭放水路第1立坑の本体コンクリート(厚さ2.5m)は施工時の温度応力により、ひび割れ発生が懸念された。そのため、本体コンクリート施工初期に構造物内部の温度分布を計測し、そのデータを基にFEMによる2次元および3次元温度解析によってコンクリートの熱物性値など温度解析に必要な諸条件を推定し、その後の施工における温度解析にこの結果を反映させた。本報文では計測値と解析値のフィッティング結果(温度経時変化の差)について報告するものである。

2. 解析条件

2.1 基本条件(変更しない条件)

温度解析に必要な解析条件は基本的に試験により求められた値およびコンクリート標準示方書を参考に以下(表-1~3)のように設定した。(コンクリート配合等は別稿参照)

表-1 熱物性値(標準示方書、設計計算書より)

| 項目          | 本体コンクリート | 連壁コンクリート | 基礎地盤  |
|-------------|----------|----------|-------|
| 密度(kg/m³)   | 2,306    | 2,500    | 1,900 |
| 比熱(kJ/kg°C) | 1.15     | 1.15     | 0.96  |
| 熱伝導率(W/m°C) | 2.70     | 2.70     | 1.63  |

・熱伝達率(標準示方書より)

$\eta = 14 \text{ (W/m}^2\text{°C)}$

(メタルフォーム、型枠なし共)

・断熱温度上昇特性(試験結果より)

$Q(t) = 44.0 \times (1 - e^{-0.353 \cdot t})$

表-2 コンクリート打設日程、温度(実績より)

| 打設位置 | 打設日      | 打設温度 |
|------|----------|------|
| 3ロット | 96/10/31 | 16°C |
| 4ロット | 96/12/6  | 16°C |

表-3 連壁コンクリートの初期温度(計測結果より)

| 位置   | 地中側  | 中央部  | 本体側  |
|------|------|------|------|
| 初期温度 | 22°C | 20°C | 18°C |

2.2 外気温データ

立坑内という解析対象物の特殊性から、参考とできる外気温(立坑内温度)の経時変化データは入手不可能であった。そのため解析当初は、理科年表を参考にして、近隣の熊谷市のデータを暫定的に使用した。以後、本体コンクリートの発熱による温度の経時変化は、小さい傾向であると認められたため、最も外気に近い部分の温度変化を参考とし、式(1)に示す正弦曲線で当初データを近似して使用した。

$$T(t) = 18.0 + 11.4 \times \sin \left[ 2\pi \frac{t-117}{365} \right] \quad \text{—— 式(1)}$$

$T(t)$ : 外気温(°C)  
 $t$ : 1月1日を $t=0$ とした日数(日)

2.3 解析ステップ

解析ステップ数は解析に要する時間に直接影響するため、解析当初は計測器の設置されている3ロットの発熱のみを対象に解析を行った。しかし、解析後半の温度が計測データに比べ低く推移していたことから、その後に施工された4ロットをモデルに追加した。解析ステップの時間間隔を次頁の表-4に示す。

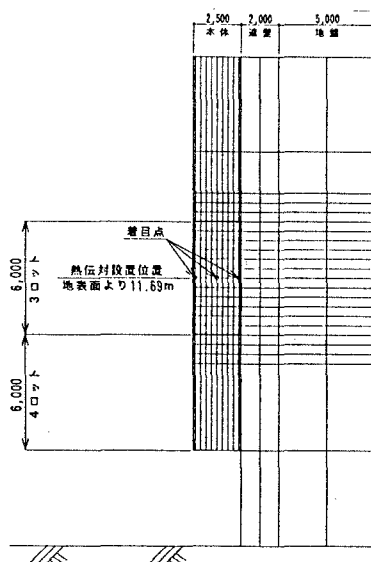
3. モデル化

解析結果をより計測結果に近づけることをこの解析の主目的としていることから、解析モデルは、計測器の設置された位置に節点を設け、次頁の図-1の様に設定した。計測深度12.4mに設置された9個の熱伝対のうち、両外側の2測点と中央部の計3測点に着目し解析、対比を行った。

キーワード: 円形立坑, マスコンクリート, 大深度, 温度応力解析  
連絡先: 新宿区津久戸町2-1 株式会社 熊谷組 TEL 03-3235-8622 (直通) FAX 03-3266-8525

表－４ 解析ステップ時間間隔

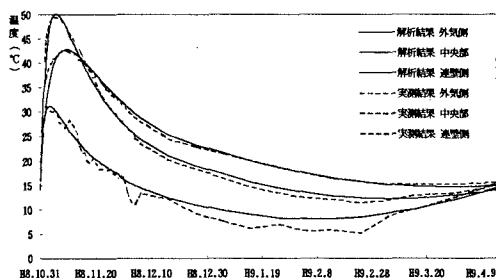
| 2次元  |         |      |         |      |         | 3次元  |         |      |         |      |         |
|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|------|---------|
| STEP | TIME(h) | STEP | TIME(h) | STEP | TIME(h) | STEP | TIME(h) | STEP | TIME(h) | STEP | TIME(h) |
| 0    | 0       | 23   | 312     | 46   | 696     | 0    | 0       | 17   | 192     |      |         |
| 1    | 2       | 24   | 336     | 47   | 704     | 1    | 2       | 18   | 288     |      |         |
| 2    | 4       | 25   | 360     | 48   | 712     | 2    | 4       | 19   | 384     |      |         |
| 3    | 6       | 26   | 384     | 49   | 720     | 3    | 6       | 20   | 528     |      |         |
| 4    | 9       | 27   | 408     | 50   | 732     | 4    | 9       | 21   | 672     |      |         |
| 5    | 12      | 28   | 432     | 51   | 744     | 5    | 12      | 22   | 864     |      |         |
| 6    | 16      | 29   | 456     | 52   | 768     | 6    | 16      | 23   | 1056    |      |         |
| 7    | 20      | 30   | 480     | 53   | 792     | 7    | 20      | 24   | 1248    |      |         |
| 8    | 24      | 31   | 504     | 54   | 816     | 8    | 24      | 25   | 1488    |      |         |
| 9    | 32      | 32   | 528     | 55   | 840     | 9    | 32      | 26   | 1728    |      |         |
| 10   | 40      | 33   | 552     | 56   | 864     | 10   | 40      | 27   | 2088    |      |         |
| 11   | 48      | 34   | 576     | 57   | 1104    | 11   | 48      | 28   | 2448    |      |         |
| 12   | 60      | 35   | 600     | 58   | 1344    | 12   | 60      | 29   | 2808    |      |         |
| 13   | 72      | 36   | 624     | 59   | 1584    | 13   | 72      | 30   | 3168    |      |         |
| 14   | 96      | 37   | 648     | 60   | 1824    | 14   | 96      | 31   | 3528    |      |         |
| 15   | 120     | 38   | 672     | 61   | 2064    | 15   | 120     | 32   | 3984    |      |         |
| 16   | 144     | 39   | 674     | 62   | 2304    | 16   | 144     |      |         |      |         |
| 17   | 168     | 40   | 676     | 63   | 2544    |      |         |      |         |      |         |
| 18   | 192     | 41   | 678     | 64   | 2784    |      |         |      |         |      |         |
| 19   | 216     | 42   | 681     | 65   | 3024    |      |         |      |         |      |         |
| 20   | 240     | 43   | 684     | 66   | 3264    |      |         |      |         |      |         |
| 21   | 264     | 44   | 688     | 67   | 3624    |      |         |      |         |      |         |
| 22   | 288     | 45   | 692     | 68   | 3984    |      |         |      |         |      |         |



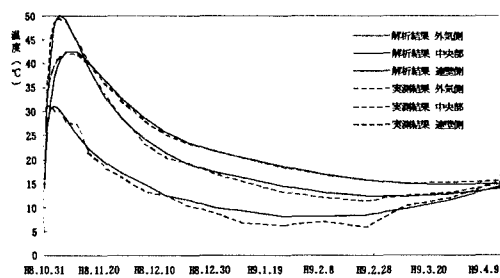
図－１ 解析モデル図

#### ４．実測値と解析結果の適合性

図－２、３に温度の経時変化を、表－５に計測値と解析値の差をそれぞれ示す。



図－２ 温度の経時変化図（２次元）



図－３ 温度の経時変化図（３次元）

表－５ 計測値と解析値の差

| 解析モデル        | 2次元 |     |     |     | 3次元 |     |     |     |
|--------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|              | 外気側 | 中央部 | 地山側 | 計   | 外気側 | 中央部 | 地山側 | 計   |
| 対比ステップ数      | 60  | 60  | 60  | 180 | 30  | 30  | 30  | 90  |
| 温度差の平均値(°C)  | 0.4 | 0.5 | 0.5 | 0.2 | 0.0 | 0.8 | 1.3 | 0.7 |
| 温度差の標準偏差(°C) | 1.8 | 1.6 | 2.1 | 1.9 | 2.1 | 2.2 | 2.6 | 2.3 |
| 最高温度の差(°C)   | 0.2 | 0.7 | 0.2 | —   | 0.2 | 0.7 | 0.1 | —   |
| 最高温度到達日の差(日) | 3   | 0   | 0   | —   | 3   | 0   | 3   | —   |

#### ５．おわりに

今回の温度解析は、計測データに最も近い解析結果を得られる条件についてケーススタディーを行ったものである。当初設定していた条件のうち、最終的に変更したのは外気温および解析対象物と隣接する物質の初期温度の２つである。解析当初は、コンクリートの熱物性値などの条件も、比較的広い幅で変更していたが、解析結果に大きな差は認められなかったため、以後変更せずに解析を続行した。また、コンクリートの断熱温度上昇試験が行われていたため、解析対象物周辺の温度がフィッティングにおいて重要な要因となったが、温度解析結果と計測データの差は標準偏差が2℃程度と小さく、フィッティング結果は良好であった。