

## オープンケーソン工法における沈設過程を再現した躯体の温度応力解析

(株) 銭高組 正会員 ○東海林 瞬  
(株) 銭高組 正会員 木野村 達哉

## 1. はじめに

観音地区下水道築造 2-1 号工事（施工場所：広島市西区）は、雨水幹線シールド工事のための発進立坑をオープンケーソン工法により築造する工事である。立坑の躯体寸法は、外径 16.6m、壁厚 1.8m、高さ 44.0m であり（図-1）、河川（太田川放水路）の近傍に位置することから、水密性が要求される構造物である。立坑は壁厚の大きな円環状構造物であり、コンクリートの分割施工（8 リフト@5.5m）において、既設部材による拘束を受けるため、内部拘束、外部拘束による温度ひび割れが懸念された。そこで、ひび割れ抑制対策の一環として 3 次元 FEM による温度応力解析を実施した。

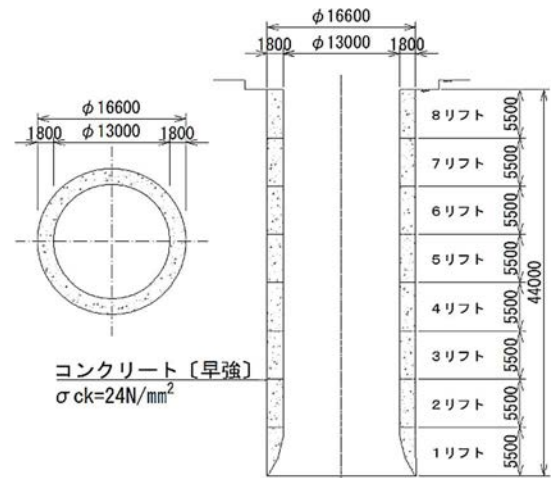
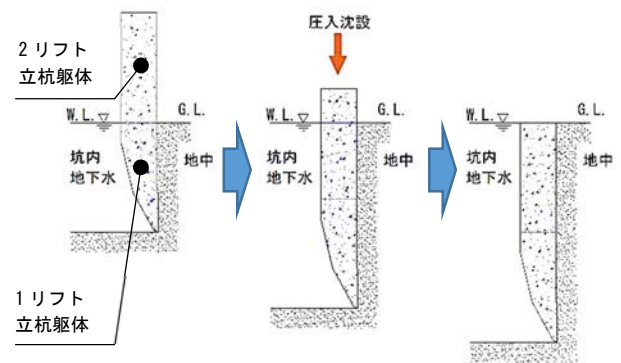


図-1 立坑構造一般図

## 2. オープンケーソン工法の特徴

オープンケーソン工法は、地上部で構築（コンクリート打込み）した立坑躯体をリフトごとに地中へ順次圧入し、所定の深度まで沈設していく工法である（図-2）。このとき、地中の温度は深度とともに変化するため、沈設過程における立坑躯体周囲の環境条件も刻々と変化していく。精度よく温度応力解析を行うためには、沈設過程の各リフトにおける地中の環境条件を適切に解析に反映することが重要である。本解析では、各リフトの深度の増加を考慮するために、深度に見合った温度の地盤要素を追加することにより、実際の沈設過程を再現した（図-3）。



① 躯体構築完了 ② 圧入沈設作業 ③ 圧入沈設完了

図-2 立坑躯体の圧入沈設作業概略図

## 3. 解析条件

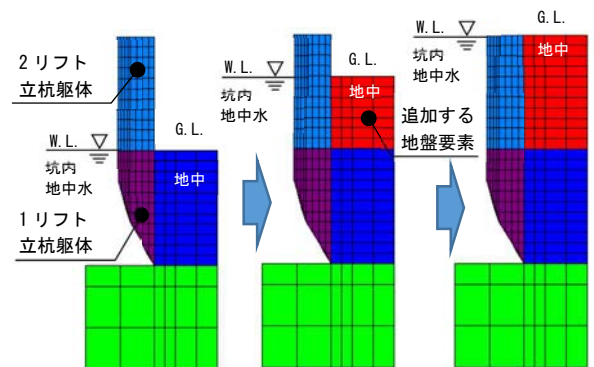
温度応力解析は（株）計算力学研究センター「ASTEA MACS」を使用して実施した。解析条件を以下に示す。

## 3.1 解析モデル

解析モデルは、立坑の形状や境界条件の対称性から円周方向の 1/4 モデルとした（図-4）。また、躯体と地盤の熱伝達を再現するために、鉛直方向に 15.0m（1 リフト高さの約 3 倍）、水平方向に 12.7m（壁厚の約 7 倍）の地盤をモデル化した。

## 3.2 沈設過程の立坑躯体の熱伝達境界条件

地上部で構築中の立坑躯体の熱伝達境界条件は、打込み・養生中は「型枠（合板）」、脱型後は「外気」とする。地中に沈設された立坑躯体の熱伝達境界条件は、躯体外側は「地盤」、躯体内面は「地下水」とする。



① 躯体構築完了 ② 圧入沈設作業 ③ 圧入沈設完了

図-3 沈設過程のモデル化概念図

キーワード 立坑、オープンケーソン工法、温度応力解析

連絡先 〒103-8678 東京都千代田区一番町 31 (株) 銭高組 技術部 TEL03-5210-9372

### 3.3 地盤温度解析およびその他の解析条件

地盤の温度は深度により異なるため<sup>1)</sup>、地中深部～地表面における各リフトの沈設時期の温度分布を、地盤温度解析により求めた。この予備解析の結果、深度10mまでの地盤温度は外気温の影響を受けて変化するが、10m以深では年平均気温(17.0℃)とほぼ一定であることがわかった(図-5)。

立坑躯体の温度応力解析では、沈設されたリフトの外側(既設地盤の上層)に地盤要素を追加していくタイミングで、予備解析で得られた深度ごとの地盤温度を地盤要素に与えた。

また、躯体コンクリートの配合諸元を表-1、各リフトの構築時期と外気温、コンクリートの打込み温度を表-2に示す。

### 4. 解析結果

ひび割れ指数が最小となるのは、外気温が最高となる9月上旬に構築した6リフトとなった。6リフトにおける最小ひび割れ指数発生時刻(材齢1.3日)での温度と最小ひび割れ指数の分布を図-6に示す。躯体表面でひび割れ指数が最小となっているのは、躯体内面の上端(1.11)であり、打込み後1.3日の材齢初期に生じていた。これより、躯体の内外温度差に起因する鉛直方向の内部拘束ひび割れの発生が懸念されたため、最大ひび割れ幅の予測値を算出し、水密性の確認を行った。最大ひび割れ幅の予測値は0.06mmであり、「一般の水密性を確保する場合におけるひび割れ幅の設計限界値の目安<sup>2)</sup>が0.10mmであることから、水密性は確保できると判断した。

### 5. おわりに

本稿では、オープンケーソン工法による立坑の沈設過程を反映させた温度応力解析により、躯体の水密性評価を行った事例を紹介した。地下構造物の沈設による環境条件の変化を考慮した温度応力解析の事例は少なく、本稿が同種工事の参考となれば幸いである。

### 参考文献

- 1) 日良篤志, 田中岳: 地中温度分布の季節変化と感度分析, 平成27年度土木学会北海道支部論文報告集第72号 B-26
- 2) 2017年制定 コンクリート標準示方書【設計編】, 2018.3

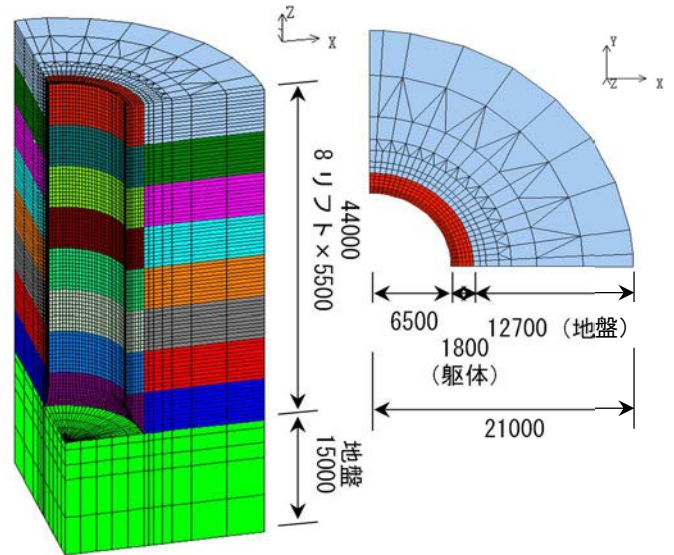


図-4 解析モデル図(1/4モデル)

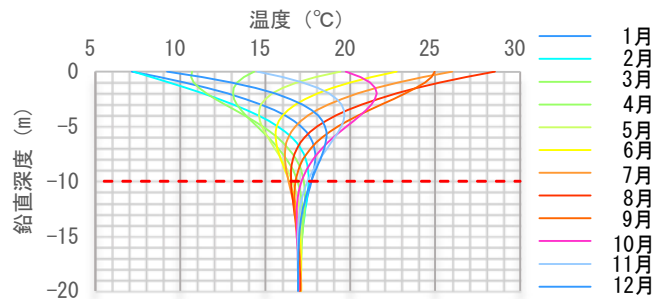


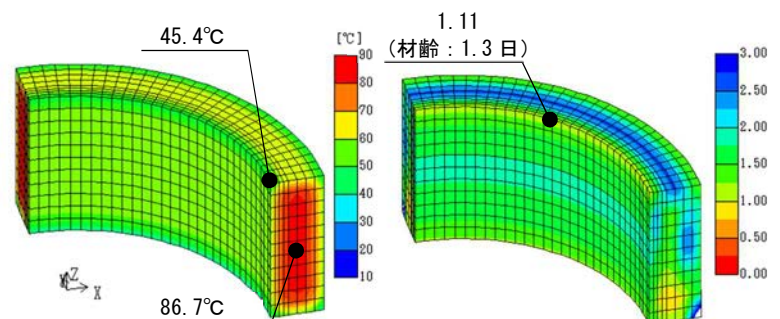
図-5 地盤温度(予備解析結果)

表-1 コンクリートの配合諸元

| セメント種別                       | 早強  |
|------------------------------|-----|
| 呼び強度 (N/mm <sup>2</sup> )    | 24  |
| 単位水量 (kg/m <sup>3</sup> )    | 166 |
| 単位セメント量 (kg/m <sup>3</sup> ) | 312 |
| 膨張材 (kg/m <sup>3</sup> )     | 20  |

表-2 外気温と打込み温度

| リフト | コンクリート打込み時期 | 外気温(°C) | 打込み温度(°C) |
|-----|-------------|---------|-----------|
| 8   | 2月上旬        | 6.5     | 11.5      |
| 7   | 11月中旬       | 13.5    | 18.5      |
| 6   | 9月上旬        | 26.4    | 31.4      |
| 5   | 6月下旬        | 25.2    | 30.2      |
| 4   | 4月下旬        | 17.1    | 22.1      |
| 3   | 2月中旬        | 8.0     | 13.0      |
| 2   | 12月下旬       | 7.2     | 12.2      |
| 1   | 11月中旬       | 14.6    | 19.6      |



材齢1.3日の温度分布 最小ひび割れ指数分布図  
図-6 6リフトの解析結果(ひび割れ指数が最小)