

円筒状構造物における外部拘束度の設定方法について

清水建設（株） 土木本部 正会員 江渡 正満
 清水建設（株） 名古屋支店 正会員 野村 朋宏
 清水建設（株） 名古屋支店 正会員 夏目 公雄
 清水建設（株） 名古屋支店 福田 英二

1. はじめに

壁状構造物の温度応力を簡易的に求める方法としては、コンパネーションプラン法や簡易法[1]がある。これらの方法は計算に要する労力が少ないため、構造物に発生する温度応力を迅速且つ簡易に求めるのには有用な方法である。これらの方法で温度応力を推定する場合、外部拘束係数あるいは外部拘束度が必要となる。外部拘束度の設定方法としては、例えばACIの方法があるが、直線壁を対象にしたものであり、円筒状構造物を対象にした研究は少ない[2]、[3]。本研究は円筒状構造物の外部拘束度の実用的な設定方法を、主に有限要素法（FEM）によるパラメータ解析に基づいて検討したものである。また、本論で提案した拘束度を、実測に基づき検証したものである。

2. 外部拘束度Rの設定

2. 1 設定方法

外部拘束度RはACIによる方法を参考に、以下のように設定した。ただし、 K_R は円筒の下面が完全固定された場合の任意の壁高での拘束度、Mは形状や剛性を考慮した補正係数とする。

$$R = M \times K_R \quad (1)$$

2. 2 任意の壁高での拘束度 K_R

任意の壁高での拘束度 K_R は、軸対称回転体モデルによるFEM解析を行い求めた。図-1に解析モデルを示す。次に、円筒体の形状を表す直径 ϕ 、壁高H、壁厚tについて、表-1に示すように ϕ/t 、 ϕ/H 、 H/t に関するパラメータを設定し解析を行った。解析定数は、線膨張係数 $\alpha = 10 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$ 、温度降下量 $\Delta T = 10^\circ\text{C}$ である。解析から得られる任意点のひずみを $\Delta \varepsilon$ とし、拘束度 K_R は以下の式で求めた。

$$K_R = \Delta \varepsilon / \alpha / \Delta T \quad (2)$$

K_R は、 ϕ/t 、 ϕ/H 、 H/t に関する重回帰式で表した。表-2に重回帰式を表す。

2. 3 補正係数M

補正係数Mは、拘束体を円版とし、被拘束体を円筒と考えた場合の、半径方向の力の釣り合いより求めた。すなわち、図-2より円筒の自由な温度収縮変位を U_0 、円版の拘束による釣り合い状態での円筒中心（半径 r_m ）での変位を U_m とする。 U_m を内圧 P_i による U_0 からの変位と置き換えると、内圧 P_i と U_m との関係は以下になる[4]。

$$P_i = E c (b^2 - a^2) / r_m / \{ a^2 + b^2 + \nu (b^2 - a^2) \} \cdot U_m \quad (3)$$

$E c$ ：円筒のヤング係数

ν ：ポアソン比

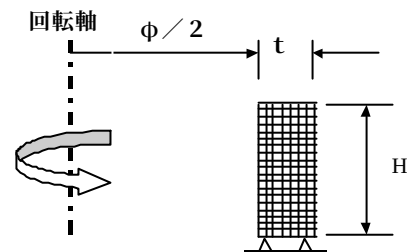


図-1 解析モデル

表-1 要因と水準

要因	水準
ϕ/t	5~40
ϕ/H	0.625~40
H/t	1~8

表-2 重回帰分析結果

下面からの距離	A0	A1	A2	A3	重相関係数
0.1H	0.996	-0.006	0.00640	-0.04	0.899
0.5H	0.792	-0.002	0.0127	-0.118	0.953
0.9H	0.488	0.0190	0.00210	-0.088	0.882
$K_R = A0 + A1 \times (\phi/H) + A2 \times (\phi/t) + A3 \times H/t$					

キーワード：マスコンクリート、円筒状構造物、外部拘束度、温度応力

連絡先：〒105-8007 東京都港区芝浦 1-2-3 シーバンス S 館 TEL03-5441-0559 FAX03-5441-0512

次に、釣り合い状態における円版の半径方向の変位 ($U_0 - U_m$) を外圧 P_0 によるものと置き換えると、外圧 P_0 と変位 ($U_0 - U_m$) の関係は以下になる。

$$P_0 = E_r / r_m / (1 - \nu) \cdot (U_0 - U_m) \quad (4)$$

E_r : 円版のヤング係数

円筒の高さ H に作用する内圧 P_i と、円版の高さ D に作用する外圧 P_0 により水平方向の力が釣り合うと仮定すると、補正係数 M は以下になる。

$$M = U_m / U_0 = 1 / \{ 1 + (H/D) \cdot (E_c / E_r) \cdot K \} \quad (5)$$

$$K = (1 - \nu) \cdot (b^2 - a^2) / \{ a^2 + b^2 + \nu (b^2 - a^2) \}$$

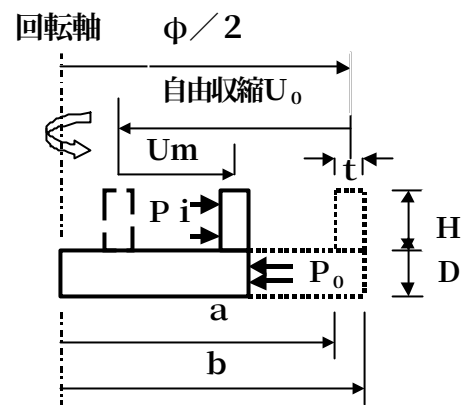


図-2 円筒体の収縮概要図

3. 実測値との比較

3. 1 計測対象構造物および計測概要

構造物の概要および計測位置を図-3に示す。本構造物は内径 11.3m、高さ 25.5m、壁厚 30cm の円筒型 2 層構造の配水タンクである。計測は上層部の壁第 1 リフトで実施した。最高温度は材齢 0.5 日で生じ、その後温度降下した。拘束度は温度降下量の実測値 ΔT と無応力計から求めた線膨張係数 α および周方向に配置したひずみ計の計測値の変化量 $\Delta \varepsilon$ より、式 (2) から求めた。

3. 2 実測値との比較

図-4に壁高さ方向の拘束度に関し、提案法による計算値と実測値の比較を示す。提案法では拘束体は中床版(版厚 0.3 mの平板)とし、壁厚はハンチを含めた平均厚とした。また同図には、提案法の検証として版厚 0.3 mの平板を含めモデル化した場合の FEM 解析結果と、実測値の検証として実構造物形状をモデル化した場合の FEM 解析結果を併せて示す。図-4より、提案法と実測値や FEM 解析結果等は概略一致しており、提案法は実用的な方法であると考えられる。なお、下部では提案法と実測値で 0.2 程度の差が生じている。これは、壁の下方にはハンチがあり、解析で想定している等幅の円筒体に比べて、断面剛性が高いことが一因と考えられる。

4. まとめ

有限要素法によるパラメータ解析結果をもとに、円筒状構造物の外部拘束度の設定方法を提案した。また、実構造物での実測結果等と比較し、提案方法が実用的な方法であることを示した。

(参考文献)

- 1) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針、1986
- 2) 江渡正満、木村克彦、小野 定、館崎真司：円筒状構造物の外部拘束度に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.11、NO.1、1989
- 3) 賀茂友裕、畑中重光、田辺忠顕：環状コンクリート構造物に対する Compensation Plane 法の適用、土木学会第 42 回年次学術講演会、昭和 62 年 9 月
- 4) ティモシェンコ、ステバーン、グーディア：弾性論、1976

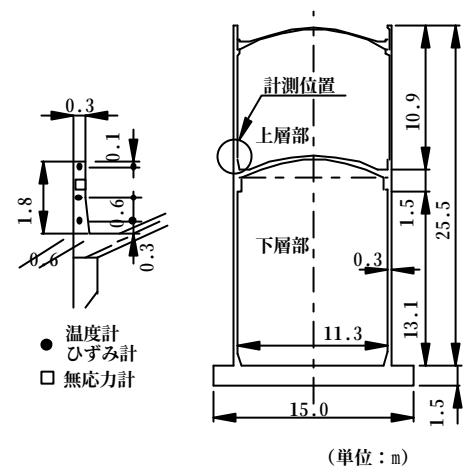


図-3 計測対象構造物と計測位置

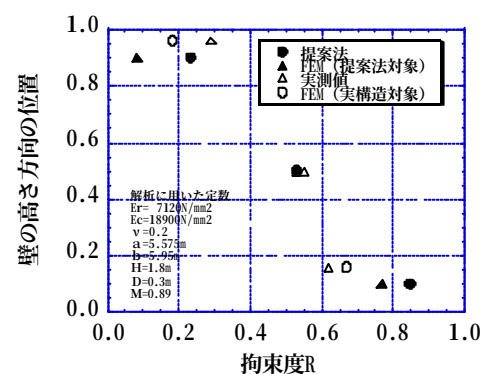


図-4 外部拘束度Rの分布