

### 13. 法を用いた液体貯蔵タンクの形状最適化に関する研究

1010920086 松原瑞成  
指導教員 藤井大地 教授

形状最適化 力法 感度解析 骨組構造 分布荷重

#### 1. はじめに

近年、構造解析および施工技術の発達により、幾何学にとらわれないより不定形で自由な形態の建築物が設計・建築されるようになってきている。

そこで、藤井、垣田ら<sup>1)</sup>は、畔上、下田ら<sup>2)4)</sup>によって提案された力法を、建築骨組の形状最適化問題に適用する方法を示した。そして、力法が感度係数を荷重とする骨組の弾性変形にしたがって形状変更を行う点から、どのような骨組構造に対しても、意匠設計者の意図を反映した、よりスムーズな形状が得られ、意匠設計者の恣意的な形状を修正する方法として適している。

最近、液体貯蔵タンクなどの破損による石油や汚染水の漏洩が問題になっており、処理しきれない汚染水を一時的に貯蔵する貯蔵タンクの需要が増えている。現在では、JIS 規格の改正や、建築基準法の大幅な改正により、昔に比べて液体貯蔵タンクの構造の計算の精度が上がり、より最適な形状を求めることが可能となった。

そこで、本研究では、T. George ら<sup>5)</sup>によって行われた回転楕円体形状の液体貯蔵タンクの実用化に関する研究のモデルや、それ以外の形状を、藤井、垣田らによって提案された力法を用いて検討する。

#### 2. 力法による形状最適化

本論文では、2次元骨組の形状最適化問題として、以下のような問題を考える。

目的関数

$$C(\mathbf{q}) = \mathbf{f}^T \mathbf{d} = \mathbf{d}^T \mathbf{K} \mathbf{d}$$

を最小にする節点座標

$$\mathbf{q} = \{x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n\}$$

を求める。

ただし、要素総長さの制約条件

$$L = \sum_{i=1}^m l_i \leq L^U$$

を満足するものとする。

(1)

上式において、 $C$  はコンプライアンス、 $\mathbf{f}$  は節点外力ベクトル、 $\mathbf{d}$  は節点変位ベクトル、 $\mathbf{K}$  は全体剛性マトリクス、 $x_i, y_i$  は  $i$  番目節点の座標値、 $L$  は要素の総長さ、 $l_i$  は  $i$  番目要素の長さ、 $L^U$  は要素総長さの制約値、 $n$  は座標変更を行う節点数、 $m$  は要素数である。

#### 3. 液体貯蔵タンクの解析例

図1は、本研究の解析モデルの初期形状を示す。本解析モデルでは、水位 WL1~WL4 の液体荷重から最適形状をそれぞれ求める。さらに、液体荷重+風荷重や、液体荷重+積雪荷重についても検討する。

解析にあたり、重み係数を0とし、要素総長さの上限値下限値の制約を与えていない。また、最適化の繰り返し計算数は50000回、初期形状変更倍率係数 $\alpha$ は0.001、絞り込み係数 $\beta$ は0.3に設定しており、使用する鋼材は200×200×8×12×13のH形鋼( $E=20600\text{kN/cm}^2$ )とする。

ここで、図2~図4に液体荷重のみの場合のWL1~WL4の解析モデル、WL1~WL4の解析結果、WL1モデルの応力分布を示す。図5~図6に液体荷重+風荷重の場合のWL1モデルの解析結果、WL1モデルの応力分布を示す。図7~図8に液体荷重+積雪荷重の場合のWL1モデルの解析結果、WL1モデルの応力分布を示す。

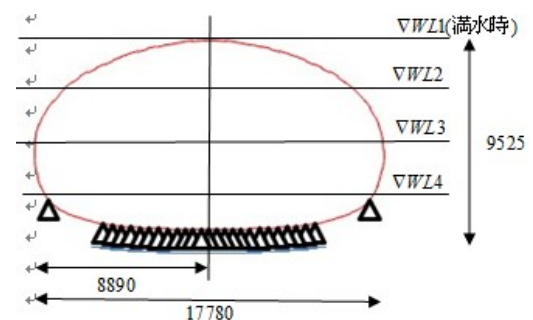


図1 解析モデルの初期形状(mm)

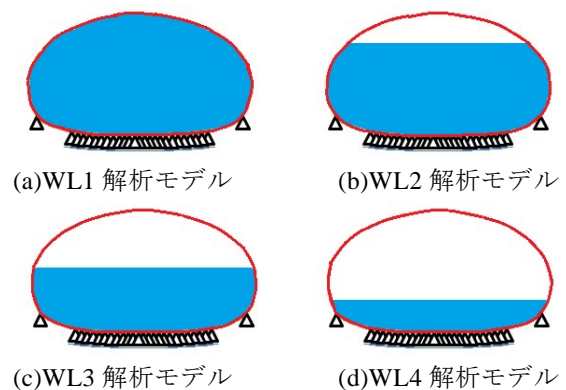


図2 解析モデル(液体荷重)

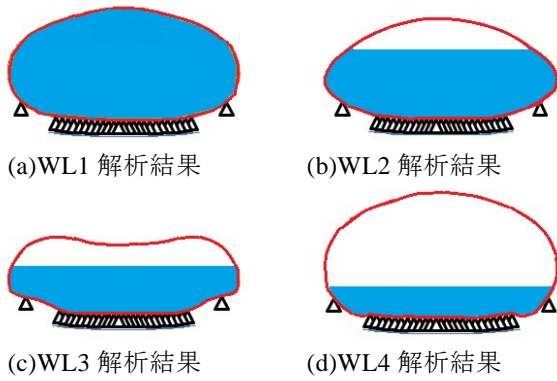


図 3 解析結果(液体荷重)

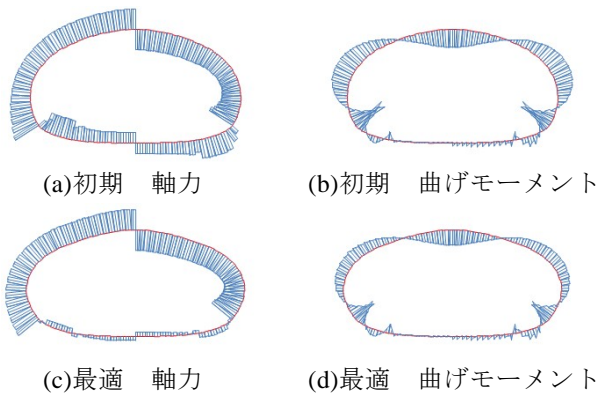


図 4 WL1 モデルの応力分布(液体荷重)

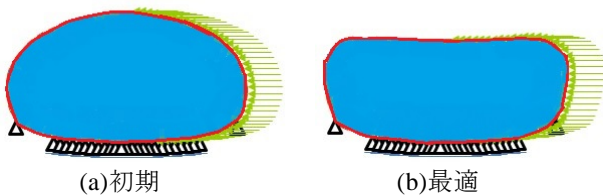


図 5 WL1 モデルの解析結果(液体荷重+風荷重)

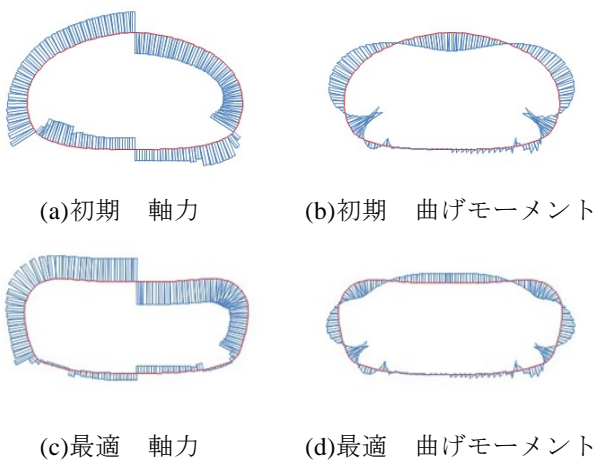


図 6 WL1 モデルの応力分布(液体荷重+風荷重)

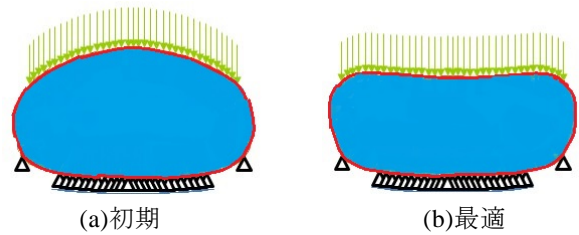


図 7 WL1 モデルの解析結果(液体荷重+積雪荷重)

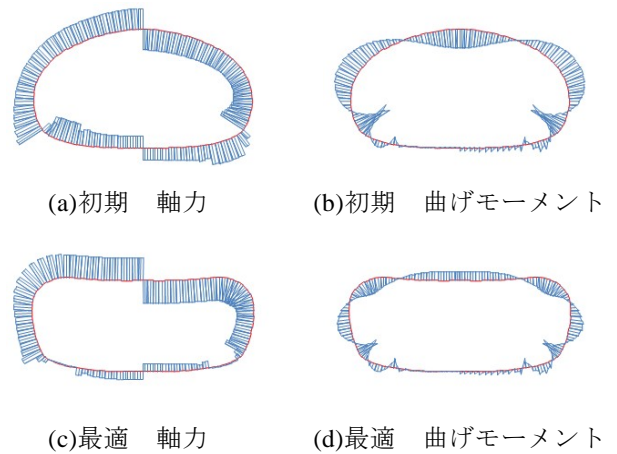


図 8 WL1 モデルの応力分布(液体荷重+積雪荷重)

#### 4. まとめ

本論文で、液体貯蔵タンクに液体荷重、液体荷重+風荷重、液体荷重+積雪荷重において、最適な形状を比較した結果、同じような形状修正がみられた。水位が低いほど左右に大きく広がり、鉛直下向きに潰れる度合いが大きくなる。しかし、水位が低すぎると逆に、左右が狭まりながら鉛直上向きに膨らむことが分かった。さらに、水位が低いほど、外力が形状修正にあてる影響が大きくなった。これは、水位や外力により最適な形状が異なることが分かり、1つの最適解といわれている回転楕円体形状より、最適な形状が存在する可能性を証明した。

#### 参考文献

- 1) 藤井大地, 垣田仁: 力法による骨組構造の形状最適化, 日本建築学会構造系論文集, 第 77 巻, 第 682 号, pp. 1881 - 1886, 2012. 12
- 2) 畔上秀幸: 領域最適化問題の一解法, 日本機械学会論文集, A 編, 60 巻, pp.1479-1486, 1994.6
- 3) 下田昌利, 吳志強, 畔上秀幸, 桜井俊明: 汎用 FEM コードを利用した領域最適化問題の数値解析法 (力法によるアプローチ), 日本機械学会論文集, A 編, 60 巻, pp.2418-2425, 1994.10
- 4) 畔上秀幸: 線形弾性問題における領域最適化解析 (力法によるアプローチ), 日本機械学会, A 編, 60 巻, pp.2312-2318, 1994
- 5) New Spheroidal Design for Large Oil Tanks, 1929.9