

金沢工業大学 正員 ○甘利 裕二

金沢工業大学 正員 谷本 勉之助

I. はじめに. 最近, 石油やLNG等代替エネルギーを大量に貯蔵するために, より大型な地下式備蓄タンクが求められるようになったが, これら大型タンクの解析は, 現在のところ主に軸対称(あるいは非軸対称)要素を用いたFEM解析によっている<3,9>\*. 本報は, FEMとは異なった手法で大型タンクを能率良く解析する1つの方法を提案するものである<4,5>.

II. 解析概要. タンクは軸対称な構造物であり, 地盤は弾性地盤と仮定する. すなわち, 底板は弾性床土上の円形板, 側壁は弾性地盤内の円筒シェルであると考え. この場合, 厳密解はBessel関数等超越関数を用いて表わされるが, ここでは, その種の複雑な関数を選けるため, タンクを幾つかの同心円状のリング要素に分割し, 地盤の分布反力を, 隣接するリング要素間の結合面に作用する, 同心円状の線分布反力に置き換えて取り扱う. また, 非軸対称問題への応用である非軸対称荷重系に関しては, 荷重を円周方向にFourier級数展開する方法により処理することとする.

III. 軸対称解. 円形底板の基本曲げ微分方程式は, 次のように書くことができる<8>:

$$\left(\frac{d^2}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{d}{dr}\right) w_r = \frac{q}{D}. \quad (1)$$

(1)式の解 $w_r(p)$ (但し,  $p=r/a$ )をもとにして, 曲げ挙動に関する状態ベクトル $W_r(p)$ が導かれる. 膜挙動に関する状態ベクトル $W_m(p)$ は, Airyの応力関数法を利用して求めることができる<7>. 両状態ベクトルの半径方向成分のみを組み合わせると, 円形底板の結合状態ベクトル $W_r(p)$ が, 次のように書き表わされる:

$$W_r(p) = \{u \ w \ \theta \ N \ Q \ M\}_r = D_r[R(p)I + K(p)]r. \quad (2)$$

ここで,  $I$ は特に固有マトリクスと呼ばれる<1,2,6>. 円形底板の中心 $p=0$ においては, 有限条件が考慮される. また, 同心円状の各結合面においては, 次々と移行操作がなされ, 最後に $I$ は円筒側壁に移行される.

円筒側壁については, 円筒シェルの基礎微分方程式をもとにして, 同様の操作がなされ, 最終的に側壁上面に至る. 側壁上面では, 境界条件が考慮され, 軸対称問題が解かれる.

IV. 数値結果. 軸対称解の数値結果を次の頁に載せる. 図1は, 今回行った数値計算のモデル図である. 図2は, 5つの荷重ケースに対する主な状態ベクトル成分の座標に関する変化の様子を示している.

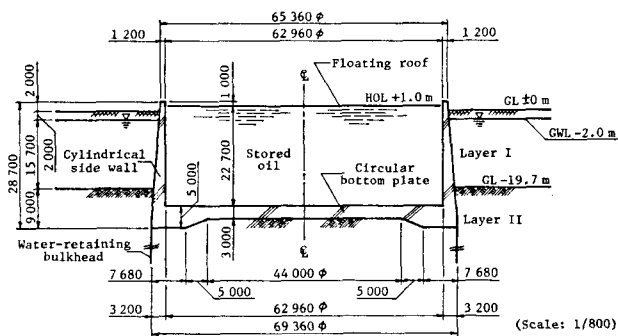
V. おわりに. 解析プログラムは自作作成で, 計算機は金沢工業大学計算機センターのIBM/3031を用いた. CPU時間(TSS操作)は, 底板・側壁ともに100分割の計200分割で, 1ケース約20秒, 5ケース約190秒である. なお, 非軸対称荷重に対する数値計算例は, 当日発表の予定である.

## VI. 参考文献

1. 谷本・石川, 演算法構造解析 1—梁の固有マトリクス法—, 森北出版(株), 12月, 1977年.
2. 谷本, マトリクス構造解析—演算法による梁・アーチの振動—, 日刊工業新聞, 7月, 1980年.
3. 土木学会, 新体系土木工学 95—貯蔵タンク・サイロ—, 技報堂出版(株), 5月, 1980年.
4. Tanimoto, B., "Axisymmetric Oil Tanks by The Operational Method," No. 780722T, Vol. XVII-31, Aug., 1978.
5. Tanimoto, B., "Axisymmetric Cylindrical Tanks by The Operational Method," No. 780722TR, Vol. XVII-31R, Aug., 1978.
6. Tanimoto, B., Ishikawa, K., and Natsume, S., "Forced Vibration of Beams by Eigenmatrix Method," J. STRUCTURAL DIV., ASCE, Vol. 105, No. ST12, Proc. Paper 15090, Dec., 1979, pp. 2725-2749.
7. Timoshenko, S. P. and Goodier, J. N., Theory of Elasticity, McGraw-Hill Book Co. Ltd., 1933, Chap. 4.

\* <>内の数字は, 本報本の参考文献番号を示している.

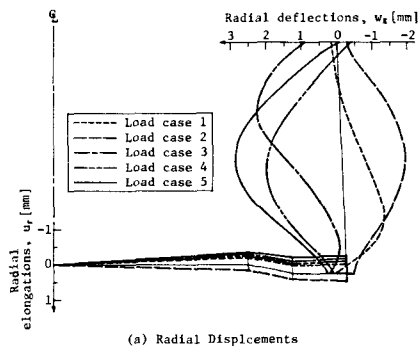
† 資料提供・協力は飛島建設(株)技術本部, 九段南, 千代田, 東京.



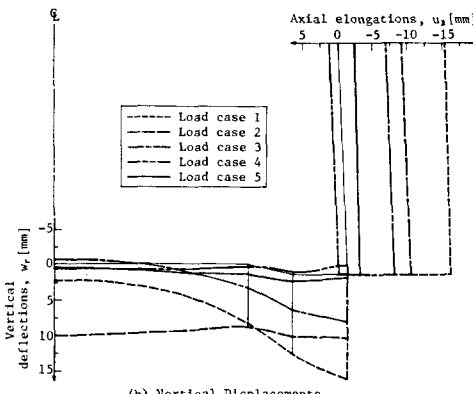
|              |                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Tank         | Reinforced concrete<br>$E = 2.1 \times 10^6 \text{ tf/m}^2$ , $\nu = 1/6$ , $\gamma = 2.45 \text{ tf/m}^3$                                                                                                            |
| Stores       | Oil<br>$\gamma = 0.9 \text{ tf/m}^3$                                                                                                                                                                                  |
| Layer I      | Soil<br>$\gamma = 1.6 \text{ tf/m}^3$ , $K = 1500 \text{ tf/m}^2$ , $C = 0.5$ , $\delta = 20^\circ$<br>( $\gamma = 0.6 \text{ tf/m}^3$ , $K = 1500 \text{ tf/m}^2$ , $C = 0.5$ , $\delta = 10^\circ$ in ground water) |
| Layer II     | Soil<br>$\gamma = 1.8 \text{ tf/m}^3$ , $K = 2000 \text{ tf/m}^2$ , $C = 0.5$ , $\delta = 20^\circ$<br>( $\gamma = 0.8 \text{ tf/m}^3$ , $K = 2000 \text{ tf/m}^2$ , $C = 0.5$ , $\delta = 10^\circ$ in ground water) |
| Ground Water | $\gamma = 1 \text{ tf/m}^3$                                                                                                                                                                                           |

Note:  $E$  = Young's modulus,  $\nu$  = Poisson's ratio,  $\gamma$  = weight per unit volume,  $K$  = foundation modulus,  $C$  = earth pressure coefficient, and  $\delta$  = friction angle at side wall surface.

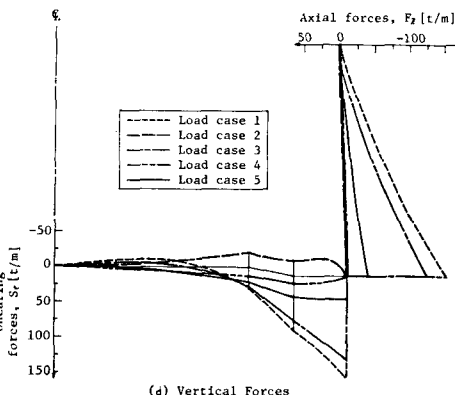
FIG. 1.—CROSS SECTION OF CYLINDRICAL OIL TANK WITH NONUNIFORM THICKNESS



(a) Radial Displacements

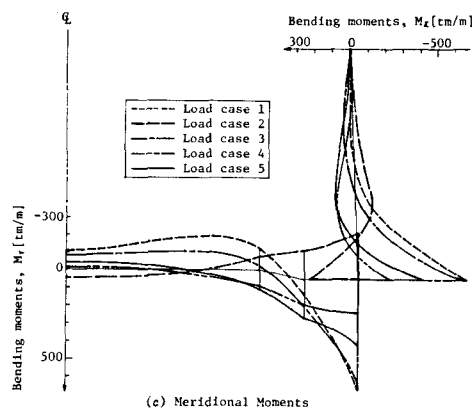


(b) Vertical Displacements

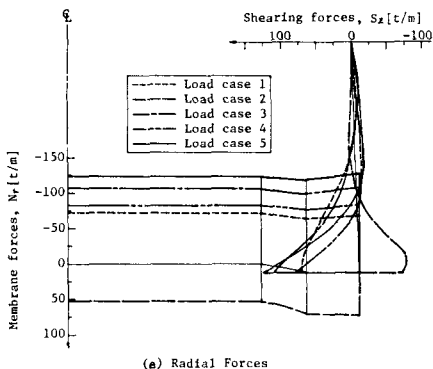


(d) Vertical Forces

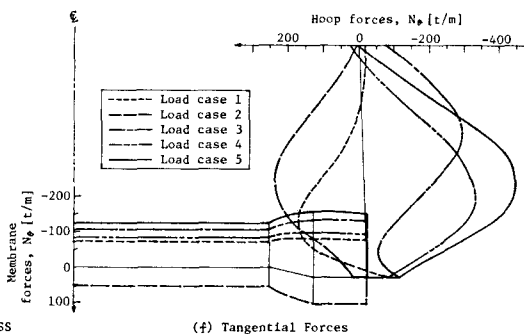
| L.C. | Load      |
|------|-----------|
| 1    | 自重        |
| 2    | 貯油圧       |
| 3    | 土圧        |
| 4    | 地下水圧      |
| 5    | 地下水存在時の土圧 |



(c) Meridional Moments



(a) Radial Forces



(f) Tangential Forces

FIG. 2.—STATE VECTORS OF OIL TANK WITH NONUNIFORM THICKNESS

- Timoshenko, S. P. and Woinowsky-Krieger, S., Theory of Plates and Shells, McGraw-Hill Book Co. Ltd., 1959, Chaps. 3 and 15.
- Zienkiewicz, O. C., The Finite Element Method, McGraw-Hill Book Co. Ltd., 1977, Chaps. 5, 13, 14, and 16.