

埼玉大学工学部 正会員 東原 紘道
 埼玉大学大学院 学生員 O三田 武

1. はじめに

円筒タンクの地震被害例によると、地盤とタンクの動的相互作用により、滑動や剝離が発生することがある(動的接触問題)。こうした現象を解析するには、底板にも弾性挙動を許し、円筒タンクをタンク側壁-タンク底板-液体の連成を考慮したモデルとみなす必要がある。しかしタンク壁を弾性体として取り扱った研究は種々報告されているが、底板も弾性体として扱った研究は数少ない。こうした観点から、本研究では弾性円筒タンクを側壁-底板-液体の連成系とみなして、有限要素法を適用して固有振動解析を行ない、さらに地震応答解析を行なうことを目的とする。

2. 解析の理論

解析においマッぎのような仮定を設ける。

- i) 側壁は弾性薄肉シェルとする。
- ii) 底板は面外の弾性変形のみ考慮する。
- iii) 側壁と底板は完全剛結で、その折れ角は保持される。
- iv) 内部液体はポテンシャル流に従う。
- v) 地盤は Winkler 基礎とする。

薄肉シェルの FEM 解法はすでに確立しているといえる。底板は図1のように中心部分に円形要素、そのまわりにリング要素を配する分割法を用いる。また、内部液体のポテンシャル問題に境界法を適用することによって、自由度は大幅に節約できる。

上記の仮定のもとに、各構造要素毎に運動エネルギーとポテンシャルエネルギーを求め、エネルギー原理により、汎関数を定義し、停留値問題を用いて最終的にはマッぎの運動方程式に帰着できる⁽⁶⁾。

$$M\ddot{\delta} + K\delta = 0$$

(1)

式(1)にモーダルアナリシスを適用して応答解を求めることにする。まず式(1)の固有振動解析から固有ベクトル δ_i (ω_i に対応) が得られ、変位ベクトル δ は固有ベクトルの一次結合としてマッぎのように表わせる。

$$\delta = \sum_{i=1}^N z_i(t) S_i \quad (z_i: \text{一般化変位})$$

(2)

式(2)を用いて直交化を行なうと、よく知られた式になる。

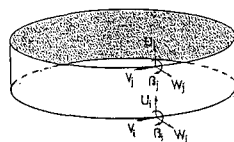
$$\ddot{z}_i + 2\omega_i c_i \dot{z}_i + \omega_i^2 z_i = P_i(t)$$

(3)

式(3)を $i = 1, \dots, N$ について個別に積分し、式(2)により、マッぎ加え合わせれば応答解が得られる。

3. 固有振動解析結果

解析に使用した円筒タンクの寸法、および側壁、底板、内容液の材料特性を表1に示す。要素分割数は側壁、底板、自由表面とも10個とした。これにより自由度は、軸対称モードについて71、非対称モードについて70となる。固有振動数とモードの関係を図2に示す。ここに、横軸は振動数(Hz)、 m は Fourier 展開次数である。流力弾性振動に着目すると、 m が増加するに伴い底板の振動数が増加しているのに対し、側壁の振動数は減少している。また、 $m=1$ の場合の代表的な変形モードを図3に示す。図の下に数字は一般化質量で振動の支配性を表わす。



Shell Element



Bottom Plate Element

Fig.1

Diameter	0.50m
Height of Side Wall	0.50m
Height of Free Surface	0.40m
Thickness of Side Wall	$0.8 \times 10^{-3} \text{m}$
Thickness of Bottom Plate	$1.0 \times 10^{-3} \text{m}$
Young's modulus	$3.3 \times 10^8 \text{N/m}^2$
Poisson's ratio	0.3
Mass of Tank	$1.4 \times 10^3 \text{kg/m}^3$
Mass of Liquid	$1.0 \times 10^3 \text{kg/m}^3$
Elastic constant of Ground	$7.6 \times 10^4 \text{N/m}^3$

Tab.1 Properties

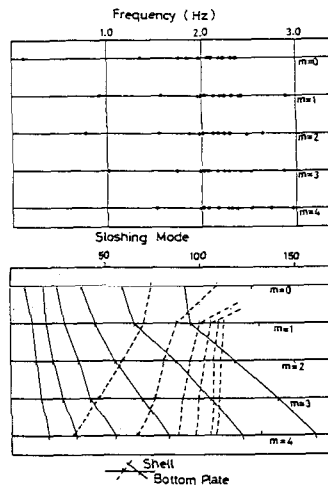


Fig. 2

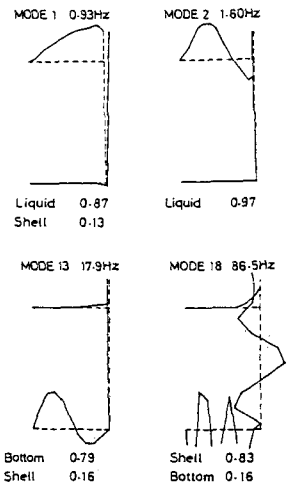


Fig. 3

4. 応答解析結果

短周期に卓越した關北橋波（最大加速度 413 gal，宮城県沖地震 1978）を側壁下端に水平に入力した場合の応答結果を一例として図 4 に示す。なお、計算においては対数減衰率を 0.1 とした。図中、上段は入力地震波の加速度を示し、中段は側壁上端の半径方向変位を示し、下段は底板隅角部分の鉛直変位を示す。タンク側壁変位、および底板の変位の時刻歴応答は入力波と類似しており、応答の最大値の現われる時間が地震波の加速度の最大値が現われる時間に近いことがわかる。これに対して、液面の動揺はさきわめて微小である。これは、入力地震波の卓越周期がタンクのスロッシングの固有周期よりも十分に短いためである。

5. まとめ

以上、弾性円筒タンクを側壁-底板-液体の連成振動系とみなして解析した。以下に解析により得られた結果をまとめると、
 (i) 円筒殻の固有振動数はさきわめて大きい。内容液が加わるとその周波数は数%に下がり、耐震工学上危険な周波数領域に入る。
 (ii) スロッシング現象と充液弾性振動現象は独立な現象で固有振動数が2分割されるので、短周期地震が入力された場合と長周期地震が入力された場合とでは、タンクは違った挙動を示す。

なお、解析方法および解析結果の詳細は当日発表する。

《参考文献》

- (1) 岡田・坂井・迫田：有限要素法による大型液体タンクの地震応答解析，川崎技報 Vol. 59 1975, 12
- (2) 曾我部・重田・柴田：液体貯槽の耐震設計に関する基礎的研究，東大生産技研報告 Vol. 26 No. 7 1977, 3
- (3) 東原・石井・三田：円筒タンクの連成振動に関する研究，第29回構造工学シンポジウム 1983, 2
- (4) 小松敬治：液体を満す軸対称容器の振動解析，航空宇宙技術研究所報告 1976, 11
- (5) Khabbaz, G.R.: Dynamic Behavior of Liquids in Elastic Tanks, AIAA Journal, Vol. 9, No. 10, 1971, 10
- (6) 東原・石井・秋山：境界法による弾性円筒タンクのモード解析，埼玉大学建設系研究報告 Vol. 12 1982, 10

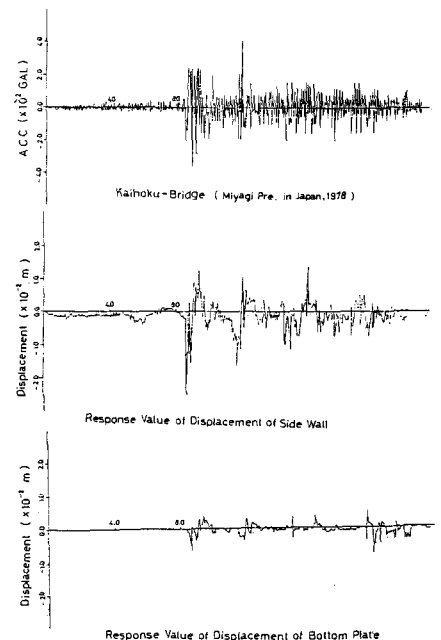


Fig. 4