

埼玉大学 学生員 塩冶 幸男  
 埼玉大学 正員 秋山 成興  
 埼玉大学 正員 山口 宏樹

**1. まえがき** 屋外貯液タンクの耐震設計を考える場合、弾性地盤上タンクの振動特性の把握が重要となるが、それが流体-タンク-地盤という複雑な連成振動系であるために、これまで実験と解析の両面からのアプローチが試みられているものの、特に地盤の影響に関して未解明な点が多いのが現状である。そこで本研究では、地盤をも含めた形でのタンク振動解析手法を確立し、それによる数値解の精度の検証をした。さらに既往の模型実験結果と本手法による数値解との比較をして本手法の有効性を検討し、弾性地盤上タンクの振動特性についての考察を試みた。

**2. 解析手法** 流体-タンク-地盤連成系をタンク側壁・タンク底板・弾性地盤・流体の4つの部分構成物に分ける。タンク側壁は軸対称シェル要素、タンク底板は軸対称板要素、弾性地盤は軸対称リング要素として有限要素法(FEM)を用いて、また流体は軸対称流体要素として境界要素法(BEM)を用いて各々の局所座標系において離散化する。そして境界条件によって全体座標系における振動方程式を作成する。その際ロッキング振動を考慮するために、フーリエ級数次数 $n=1$ についてタンク底板と地盤との接合部における水平剛体自由度を導入した。そして固有振動解析を行い振動形解析法を用いた正弦地盤動による定常応答解析を行った。

**3. 数値解の精度** 前節で述べた手法で解析を行う際、本手法による数値解の精度を検証しておく必要がある。まず流体のみの振動であるスロッシング振動については剛タンク・剛地盤を対象に速度ポテンシャル理論より求めた厳密解と本手法による数値解とを比較したところ、スロッシング1次～3次について固有振動数は2%以内で、固有モード・動水圧モードはほぼ完全に一致した。次に流体とタンクの連成振動であるバルジング振動については、フレキシブルタンク・剛地盤を対象に既往の数値解析法による数値解1)と本手法による数値解と比較したところ、固有振動数において2%以内で一致した。又、弾性地盤についてはFEMにおける要素分割による地盤モードの固有振動数の収束性について検討した。

#### 4. 弾性地盤上タンクの応答特性

##### (1) 剛タンクの応答特性

Fig.1は縦軸に静水圧で無次元化した動水圧を、横軸に周波数をとった剛タンク底板上の周波数-動水圧応答曲線である。フーリエ級数次数 $n=1$ のときの本手法の数値解を減衰をパラメータとして描き、それに栗田らによる実験結果2)をプロットした。実験結果によると、実験値の6Hz付近の共振ピークはロッキングによるものである。それと減衰が10%のときの数値解は共振周波

[剛タンク諸元]  
 高さ: 61.75cm  
 半径: 20cm  
 側壁厚: 0.5cm  
 底板厚: 3.5cm  
 水深: 30cm  
 密度:  $1.307 \times 10^6 \text{ kg/cm}^3$   
 [弾性地盤諸元]  
 地盤厚: 7cm  
 弾性定数:  $0.469 \text{ kg/cm}^2$   
 ポアソン比:  $0.4$   
 密度:  $1.178 \times 10^6 \text{ kg/cm}^3$

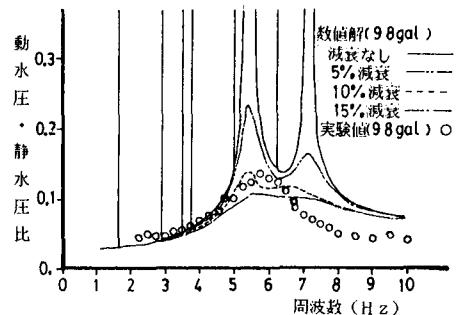


Fig.1 剛タンク底板上周波数-動水圧応答曲線 ( $n=1$ )

数に若干の差はあるものの応答値は比較的良く一致しているのがわかる。固有振動解析により、この数値解の共振ピークはロッキングモードによることが確認された。実験値と数値解の共振周波数の差については数値解析上の地盤弾性定数の算定のしかたに問題があると考えられる。

(2) フレキシブルタンクの応答特性

Fig 2 は縦軸に動水圧を横軸に周波数をとったフレキシブルタンク側壁上の周波数-動水圧応答曲線である。剛タンクのと看同様にロッキング共振ピークが8 Hz付近に現れている。しかしながらバルジング共振ピークは $n=1$ の場合30 Hzまでには現れない。

[フレキシブルタンク諸元]  
 高さ: 50cm  
 半径: 25cm  
 側壁厚: 0.10cm  
 底板厚: 0.08cm  
 水深: 30cm  
 弾性定数:  $51000 \text{ kg/cm}^2$   
 密度:  $1.438 \times 10^{-6} \text{ kg/cm}^3$   
 ポアソン比: 0.4  
 [弾性地盤諸元]  
 剛タンクの場合と同じ

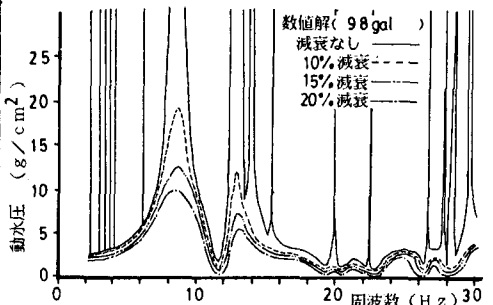


Fig.2 フレキシブルタンク側壁上  
周波数-動水圧応答曲線 ( $n=1$ )

そこでタンクの初期不整により、 $n=1$ 以外の高次のバルジング振動が励起されることが実験で知られているので、 $n=3$ と $n=5$ についてのタンク側壁上の周波数-動水圧応答曲線を Fig 3とFig 4 に示す。地盤への入力に簡単のため $n=1$ の場合の10%とした。これを見ると30 Hzまでに各々バルジング共振ピークが現れているのがわかる。以上より求めた $n=1, 3, 5$ の数値解をすべて重ね合わせて、それに大橋らの実験結果 3) をプロットしたのが Fig 5である。実験結果によるとロッキング共振ピークが7 Hz付近に、バルジング共振ピークが16 Hzと26 Hz付近に現れている。実験値と数値解を比べてみるとロッキング共振については共振周波数に若干の差はあるものの対応づけることができる。しかしバルジング共振についてはあまり対応づけることはできない。それらの原因として先に述べた地盤弾性定数の算定のしかたや応答計算の際、減衰を周波数によって一定としたことなどが挙げられる。

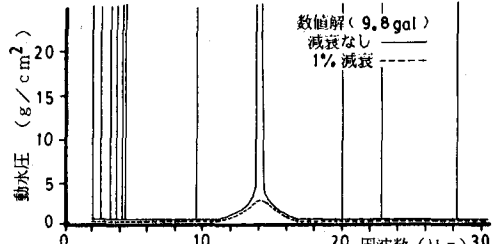


Fig.3 フレキシブルタンク側壁上  
周波数-動水圧応答曲線 ( $n=3$ )

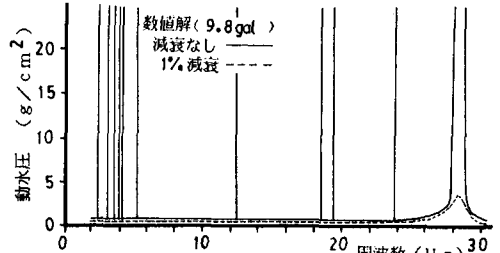


Fig.4 フレキシブルタンク側壁上  
周波数-動水圧応答曲線 ( $n=5$ )

5. 結論 以上の考察により弾性地盤上タンクの振動特性として、(1) ロッキング振動は $n=1$ の場合に励起され、解析の際には地盤弾性定数の評価が重要となる。(2) 今回対象とした実験測定周波数内に現れるようなバルジング振動は $n=1$ 以外の高次の場合に励起されたものである。の2点が明らかとなった。今後の課題として地盤弾性定数による共振周波数への影響や、模型実験によるタンクの減衰特性と初期不整による影響の把握などが挙げられる。

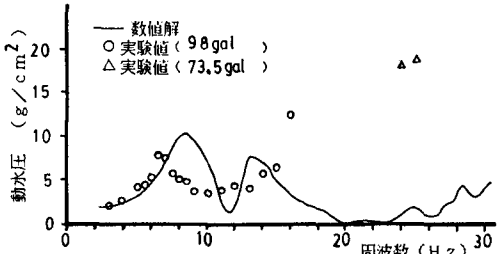


Fig.5 フレキシブルタンク側壁上  
周波数-動水圧応答曲線 ( $n=1, 3, 5$ )

[ 参考 文献 ]

1) MEDHAT A.HAROUN : 「 VIBRATION STUDYS AND TESTS OF LIQUID STORAGE TANKS 」  
 EARTHQUAKE ENGINEERING AND STRUCTURAL DYNAMICS.VOL11.179-206,1983,Univ Of California  
 2) 池田, 浅枝, 中村, 栗田 : 「弾性層上の円筒タンクの連成振動に関する研究」  
 埼玉大学建設系研究報告, 第12巻, PP.135-165,1982.  
 3) 大橋, 篠 : 「弾性地盤上薄肉タンクの振動性状」 埼玉大学建設基礎工学科 昭和55年度 卒業論文