

地盤との動的相互作用を考慮に入れた 卵形タンクの地震応答解析

マツダ㈱	○正員 中村 秀明
山口大学工学部	正員 三浦 房紀
〃	正員 浜田 純夫
〃	正員 日野 伸一
浅野工事(株)	正員 森川 慎吾

1. まえがき

主に西ドイツを中心にヨーロッパで多くの実績をもつ卵形消化タンクは、従来の消化タンクに比べ機能性などが良く、注目を集めている。しかし地震国である我国ではその実績はほとんどなく、耐震性の検討はまだ十分になされていないのが現状である。地震時における構造物の挙動は、構造物自身の振動特性だけでなく、地盤の動的特性にも密接な関係がある。したがって、地震による構造物の安全性を確かめるためには、

地盤と構造物の動的相互作用を考慮した地震応答解析が不可欠となる。そこで本研究では2次元問題に対してLysmerらによって提案された、“粘性境界(viscous boundary)”を軸対称問題に拡張し、有限要素法を用いて地盤との連性を考慮に入れた卵形タンクの地震応答解析をおこなった。

2. 解析方法

(1) 運動方程式 解析の対象とする卵形PCタンクは2方向に曲面をもつ軸対称形となり、有限要素モデルはリング要素を用いて解析することになる。フーリエ変換および逆フーリエ変換を用いて時刻歴応答を求める。フーリエ変換場、即ち周波数領域における粘性境界を含めた全体系の運動方程式は境界での粘性応力および自由地盤からの影響に対応する外力項を加えて以下のように書ける。¹⁾

$$(-\omega^2 [M] + i\omega ([C] + [C_B] + [C_S]) + [K]) \{U\} = \omega^2 [M] \{U_G\} + i\omega [C_S] \{U_f\} + [G_S] \{U_f\} + i\omega [G_{rS}] \{U_f\}$$

ここに[M],[K],[C]は解析領域の質量マトリクス、剛性マトリクス、減衰マトリクスであり、
 [C_B]：底面での粘性境界マトリクス [C_S]：側面自由地盤に接する粘性境界マトリクス
 [G_S]：側面自由地盤変形に伴う境界剛性マトリクス [G_{rS}]：側面自由地盤変形に伴う境界減衰マトリクス
 {U}：解析領域の相対変位ベクトル {U_f}：側面自由地盤の相対変位ベクトル
 {U_G}：入力加速度ベクトル
 である。

この運動方程式は、バンドマトリクスを用いた複素数のガウス消去法を用いて解かれ、各円振動数 ω_j に対応した複素変位応答{U_j}が求められそれを逆フーリエ変換することにより時刻歴が得られる。

(2) 解析モデル 解析は、タンクが空の場合、内容液がある場合、内容液があり地盤を考慮した3モデルについて行った。なお内容液は全て固定水と見なした。また、入力加速度としては、El Centro(1940)強震記録のNS成分を用い、地盤を考慮したモデルでは、事前に行った地盤系だけの解析結果を基に地表面で326galとなるようDeconvolutionによって基盤面加速度を設定した。

3. 解析結果及び考察

図3、4に地盤を考慮しない場合、する場合の加速度の時刻歴を示す。地盤を考慮しない場合はその波形

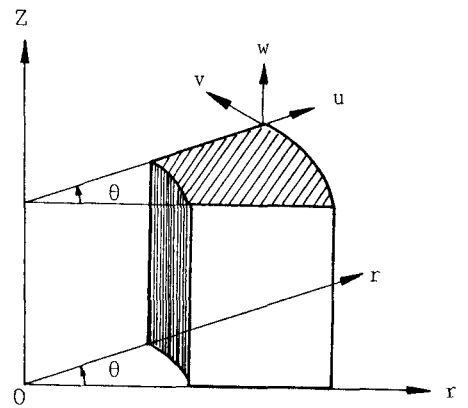


図-1 リング要素

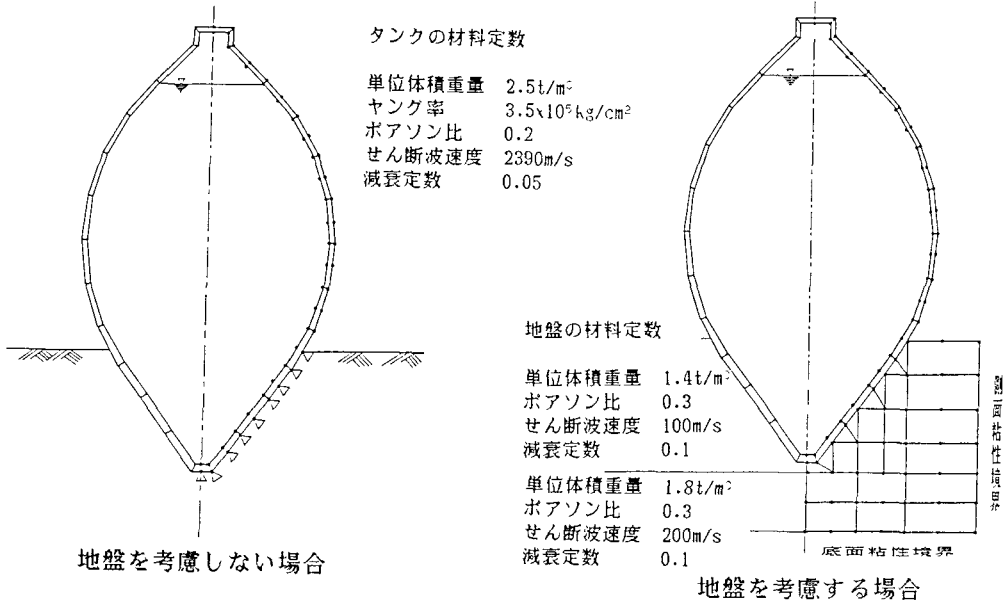


図2 有限要素モデル

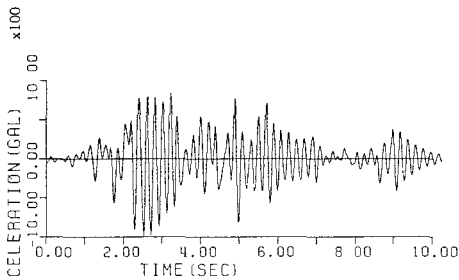


図3 El Centro 波形入力時の応答加速度
(地盤を考慮しない場合)

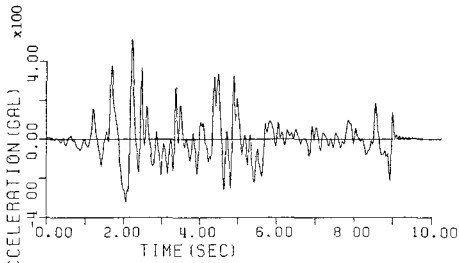


図4 El Centro 波形入力時の応答加速度
(地盤を考慮する場合)

表1 El Centro 波形入力時の最大せん断応力τ_{max}の最大値

《地盤を考慮しない場合》 (単位 kg/cm²)

	①	②	③	④
1	4.2	24	5.2	51
2	46	46	32	36
3	33	25	33	24
4	4.3	2.2	4.1	2.4
5	1.3	0.70	1.1	1.2
6	1.4	0.72	1.7	0.33
7	0.56	0.67	0.72	0.84

《地盤を考慮する場合》 (単位 kg/cm²)

	①	②	③	④
1	12	7.5	16	12
2	14	12	7.1	10
3	8.2	6.0	8.4	6.2
4	1.4	0.75	1.3	0.86
5	0.64	0.80	0.69	1.0
6	2.1	0.71	2.3	0.2
7	0.48	0.60	0.58	0.46

は固有振動数の卓越したものになっている。最大加速度はいつでもタンクの上部の加速度で地盤を考慮しない場合には980gal、地盤を考慮する場合は510galとなり地盤を考慮することにより約半分になる。表1に図2のモデル図で示す1~7までの要素のガウス積分点における最大せん断応力を示す。どちらの場合も基礎地盤との境界付近の応力が大きくなっている。地盤を考慮しない場合には相当大きい応力となり地盤を考慮したモデルの3倍以上の応力がでていた。以上より地盤との相互作用を考慮することにより加速度や応力の低下が認められ、耐震設計上有利になることがわかる。

〈参考文献〉 中村秀明：卵形PCタンクの耐震設計法、山口大学工学研究科修士論文、1986.3.