

東京大学工学部 正会員
 " "
 大成建設 "

山田 恭央
 石原 研而
 岩野 政浩

▷はじめに◁

近年LNGや石油を貯蔵するタンクが埋立地などの軟弱地盤上に数多く建設されるようになってきているが、それらの施設の地震時安定性については必ずしも十分な検討が加えられてはいない。本研究では、ポテンシャル理論より求めた液面動揺を構造物-地盤系と連成させ、石油タンクの振動解析を行ってみた。

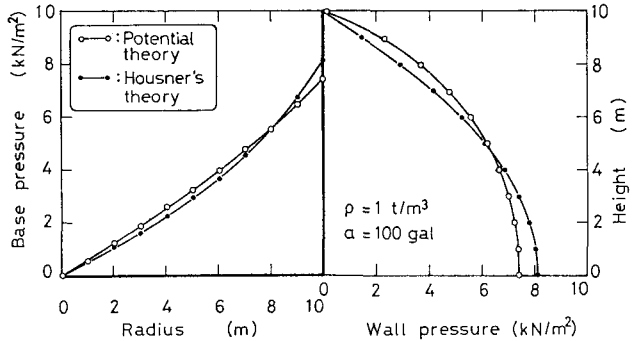


図-1 短周期波加振時の液体圧分布

▷解析手法の概略◁

大阿久ら⁽¹⁾は、複素応答法と等価線形法を適用した軸対称構造物解析プログラムに、Chopraら⁽²⁾の開発した Dynamic Substructure法を導入し、液面動揺を連成させた解析手法を作成している。このプログラムでは、短周期域では Housner 理論⁽³⁾に基づく衝撃圧、液体の固有周期に近い長周期域ではポテンシャル理論⁽⁴⁾に基づくスロッシング圧と、別個に液体圧を求めている。しかし、ポテンシャル理論は短周期から長周期までの全領域の液体運動を統一的に表現し得るものであり、不自然なプログラム形態となっている。そこで、ポテンシャル理論で統一的に液体圧を求めるようにプログラムを改良し解析を行ってみた。

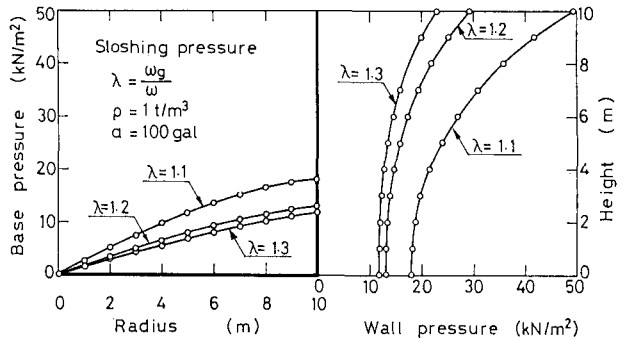


図-2 スロッシング圧の分布 (ポテンシャル理論による)

図-1, 2 は検証用例題として、半径10mの剛体タンクに深さ10mまで $\rho = 1 \text{ t/m}^3$ の液体を貯蔵させ、 $\alpha = 100 \text{ gal}$ の加速度で振動を加えた時の液体圧分布をポテンシャル理論で求めプロットした図である。図-1に示すように、短周期域 ($\lambda = \omega_g/\omega \gg 1$, ω_g : 入力波固有振動数, ω : 液体固有円振動数) では、ポテンシャル理論と Housner理論はほぼ等しい液圧を与えている。図-2は $\lambda \approx 1$ の固有周期に近い領域のスロッシング圧を表わしており、 λ が1に近づくにつれ液圧は急増することがわかる。

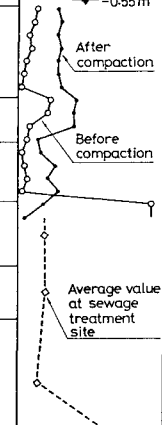
Depth (m)	Soil type	ρ (t/m ³)	$G_{\max}$ (t/m ²)		N-value	
			Uncompacted	Compacted		
5	Surface soil	1.8	1840	1840	 After compaction Before compaction Average value at sewage treatment site -0.55m	
	Medium sand	1.8	3500	8810		
		1.8	2220			
		Sand with silt	1.8			1840
10	Medium sand	1.8	6190	11880		
	Fine sand with silt	1.8	1840			
15	Sandy silt	1.8	2000			5660
	Silty fine sand	1.8	5660			
20	Gravel	1.85	5660			
25	Silt	1.85	10510			
50	Gravel	1.85	20820			
	Rock	2.00	73470			

図-3 石巻漁港石油タンク地盤の土質柱状図

▷石巻漁港500kℓ石油タンクの応答解析例◁

このプログラムを用い、宮城県沖地震時の石巻漁港500kℓ

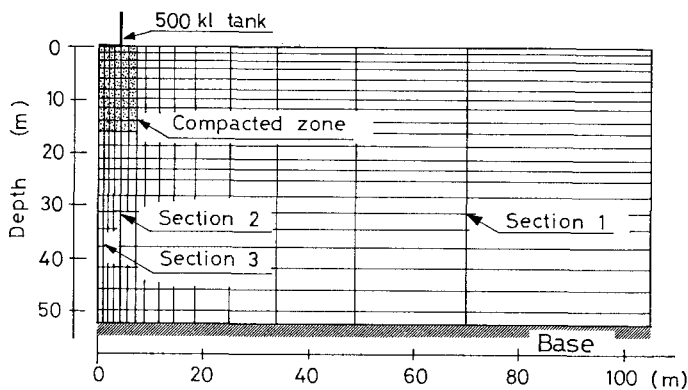


図-4 解析に用いたFEMメッシュ

石油タンクの挙動を解析してみた。地震時には周辺の埋立地で多くの液状化現象が見受けられたが、このタンクの基礎は深さ16mまでコンパクションパイルで改良されており、問題となるような被害は認められなかった。図-3には、地盤柱状図と解析に用いた土質定数、図-4には解析用のメッシュを示してある。この地盤では20m以深のボーリングが行われていないので、その部分については、約1km離れた下水処理場のデータに基づき定数を決めている。なお、剛性率および減衰比のひずみ依存性は、石原⁽⁵⁾を参考にして決定した。

宮城県沖地震時に南北橋で記録された橋軸直交方向の地震波を重複反射理論に基づくプログラムで処理した波 ($a_{max} = 197 \text{ gal}$) を基礎より入力して解析を行い、さらに地盤改良が施されていないと仮定して得られた結果との比較を行ってみた。図-4の3つの断面について、その最大加速度分布を図-5に示してみた。タンク下部では、締固めを行ったことにより最大加速度の値が減少していることがわかる。これに応じて生ずるひずみ量も小さくなっている。なお、入力波は短周期成分が卓越していたため、スロッシングの影響はほとんど認められなかった。

□おわりに

ポテンシャル理論を導入することにより、全周波数域にわたり統一的形式で液体圧を表現した応答解析が可能となった。末筆ながら、プログラムに際し便宜を計って頂いた庵中研、国生剛治氏に感謝いたします。

□参考文献

- (1) 大野他 (1979) "貯留液体-タンク-地盤の軸対称連成振動解析," 第15回地震工学研究発表会 (2) Chakrabati & Chopra (1972) "Earthquake Response of Gravity Dams Including Reservoir Interaction Effects," EERC 72-6 (3) Housner (1963) "Dynamic Pressure on Accelerated Fluid Containers," Bull. Seism. Soc. Am. Vol. 47 (4) 曹我部・柴田 (1974) "円筒液体貯槽の液面動揺の応答," 東京大学生産研究 Vol. 26 (5) 石原 (1976) "土質力学の基礎," 鹿島出版会

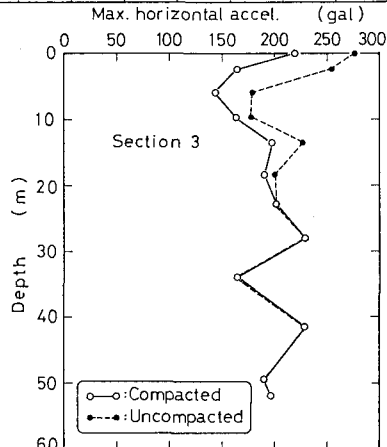
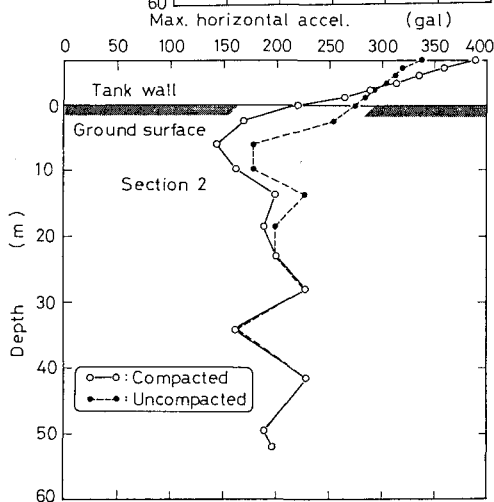
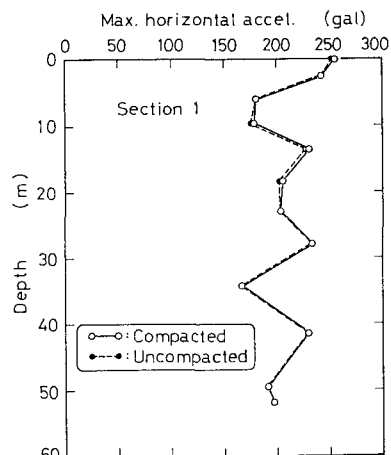


図-5 断面1~3における加速度分布