

(41) LNG地下貯槽の地震時挙動の観測と数値シミュレーション

(財) 電力中央研究所 岩楯敬広

1 目的

LNG地下タンクの耐震安全性について 今まで模型振動実験、起振実験、数値解析により検討を進めて来たが(図1)、実タンクの地震時挙動については、観測例も少なく、十分な把握がなされていない。

本研究では、東京湾に建設された60000KLのLNG地下タンクで観測された地震記録¹⁾に基づいて同タンクの地震時挙動について検討し、さらに以前当所で開発した軸対称FEM複素応答振動解析コード(CRAS)を用いて、観測結果の数値シミュレーションを行い、解析と実測との照合により、解析コードの妥当性を検証するとともに、地下タンクの耐震性について解析的に検討を加えたものである。

2 結果

2-1. 地震観測結果²⁾

(1) 本地震観測により、現在までに10個の地震記録が得られた。この中で、伊豆半島東方沖の群発地震の1つ(1980.6.29)と千葉県中部地震(1980.9.25)の2記録は、マグニチュード6以上の特に注目すべき地震で、前者が比較的浅発で遠距離型であるのに対し、後者は震源が深く直下型に属することにそれぞれの特色がある。

(表1)

(2) 両地震による基盤、盛土およびタンクの最大加速度を比較すると、千葉県中部地震の方がかなり大きい。しかし、盛土、タンク頂部の基盤の同一成分に対する応答倍率を見ると、両地震で大きな差はない。(表2) また、基盤で50gal程度の地震でも、地盤に生ずる最大せん断ひずみは 10^{-4} 程度であり、地盤は非線形状態に至っていないと考える。

(3) 伊豆半島東方沖地震の場合は、前半部(0~45sec)では短周期成分が卓越し、後半部(45~90sec)では比較的長周期成分が卓越している。また、千葉県中部地震の場合は、1.5Hzの周期成分を多く含む波形であるが、主要動の継続時間は5秒程度できわめて短い。(図2,3)

(4) 両地震について、最大変位発生時刻付近のタンクおよび周辺地盤の振動挙動について調べた結果、タンクと周辺地盤は、同位相でほぼ一体となって振動しており、タンクの挙動は対象とした2つの地震波の性質がかなり異っているにもかかわらず、周辺地盤に支配されていることが示された。この時のタンクの振動モードは深さ方向、円周方向とも1次のモードに近い形状を示しており、断面形状の変化を伴うようなオーバリング振動は生じていない。(図5)

(5) 両地震によるタンク躯体応力は、 20kg/cm^2 以下であり、極めて小さい。³⁾

2-2 地震観測結果の数値シミュレーション

(1) 千葉県中部地震および伊豆半島東方沖地震の観測記録の中で、基盤上の測点A1-X(DL-30m)で得られた観測波(最大加速度52.3galおよび6.7gal)を計算入力波として、前述の複素応答振動解析コード(CRAS)により、LNG地下タンクの数値シミュレーションを行った。地盤、タンクの加速度応答時刻歴とフーリエスペクトルについて、計算値と実測値を比較し、良い一致が得られた。(図4) 通常、設計で用いられている2次元平面歪モデルでは、シェル剛性の評価率が困難であったが、CRASのような軸対称プログラムでは、シェル剛性が自動的に評価できるという長所を有しており、実測値との良い一致度から判断して本解析法の有効性が示されたと考えられる。

(2) 今回の解析では、地盤の非線形性を考慮しない方が、実測結果と十分な精度で一致しており、タンク地盤連成・振動系の振動は、50gal程度の入力規模では、ほぼ線形範囲内にとどまっていることが解析的にも明らか

となった。(図6)

(3) 解析上、止水壁を考慮すると、タンク本体の応答およびタンク側壁に作用する地震時土圧の減少が見られ止水壁が 制震効果を有するという結果が得られた。(図7.8) 止水壁のモデル化に当っては 妥当な剛性評価法の確立等の問題点が残されているが タンク本体の耐震性を高める上で効果が期待出来ると思われる。

また、タンク屋根のタンク本体の応答に及ぼす影響はほとんど無い事が示された。(図8)

(4) 解析で求めた地震時土圧は 現行設計法(物部・岡部式)による土圧(三角形分布)と分布形状が異っており、また値もかなり小さい。今後、この点を考慮し設計に反映する必要がある。

(5) 地震時にタンクに生ずる躯体応力は 150gal 入力を想定しても、 $2\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以下であり、コンクリートの許容応力($100\text{Kg}/\text{cm}^2$)より、かなり小さい。したがって、この程度の地震に対して地下タンクは 応力的には、十分安全であるとする。

(6) 本解析により算出した地盤の動的バネ定数は現行の設計式(道路橋示方書・同解説下部構造物設計指針)による値と比較的良好一致を示しており、現行の簡便な方法による地盤バネ定数の妥当性が、本解析により示された。(図9)

参考文献

1 地盤-構造物連成系の地震応答解析プログラムの開発

(等価線形法を用いた軸対称構造物の複素応答解析プログラム)

電力中央研究所 研究報告 380023 昭和55年12月

2 鈴木英世, 宮本幸始 LNG地下タンクの地震時挙動の観測について

第16回 地震工学研究発表会 1981, 7

3 岩橋広成他 LNG地下タンクの地震時挙動の観測と数値シミュレーション

電力中央研究所 研究報告 とりまとめ中

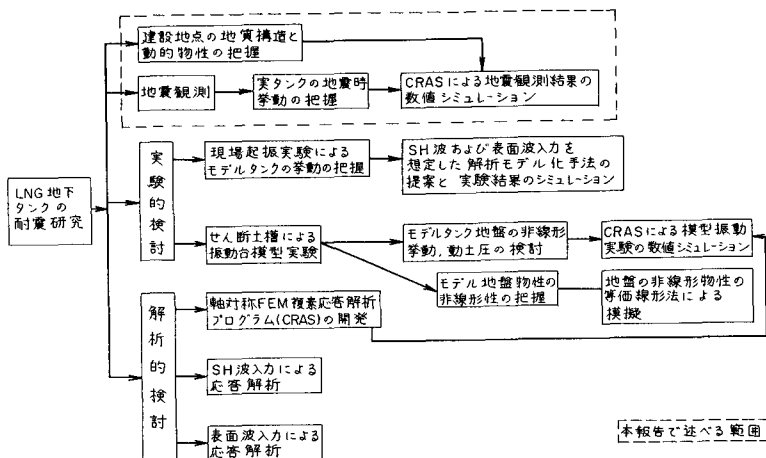


図1 LNG地下タンク耐震研究ブロック図

Table 1 Earthquake Data

Record Designation	EQ.1 IZU-HANTO TOHO-OKI Earthquake	EQ.2 CHIBA-KEN CHUBU Earthquake
Date Origine Time	1980,6,29,16:20	1980,9,25,2:54
Hypocenter Location	IZU PENINSULA REGION	SE COAST OF KANTO
Longitude	139.2	34.9
Latitude	140.2	35.5
Depth	10Km	80Km
Epicentral Distance	100Km	20Km
Magnitude	6.7	6.1

Table 2 Maximum Accelerations of The Observation Points and Amplification Factors of ones to Rigid Base (A-1)

Observation Point	EQ.1		EQ.2		Location and Depth
	Max. Acc. (gal)	Ampl. Factor	Max. Acc. (gal)	Ampl. Factor	
A-1X Y	6.8 7.7	1.0 1.0	52.3 31.7	1.0 1.0	Rigide Base (DL-30m)
A-2X Y	10.5 12.5	1.54 1.62	116.9 64	2.24 2.02	Surface of the Fill-up Ground
B-1X Y	8.3 9.5	1.22 1.23	76.7 50.8	1.47 1.60	Bottom of Side-wall of the Tank (DL-10m)
B-2X Y	8.5 10.7	1.25 1.39	93.6 56.9	1.79 1.79	Top of Side-wall of the Tank (DL+13m)

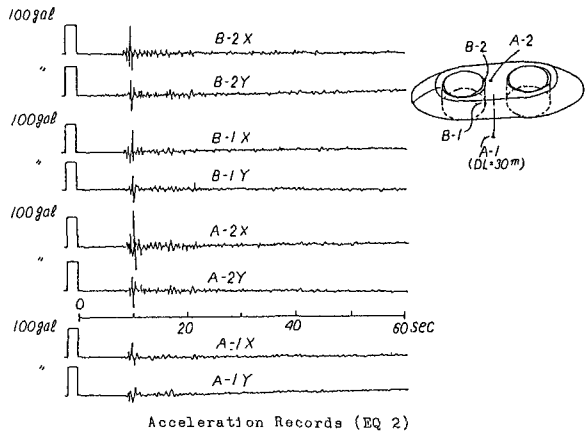
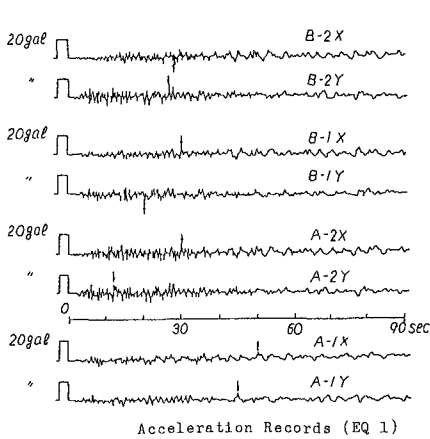


図-2 伊豆半島東方沖地震観測波形
フーリエスペクトル

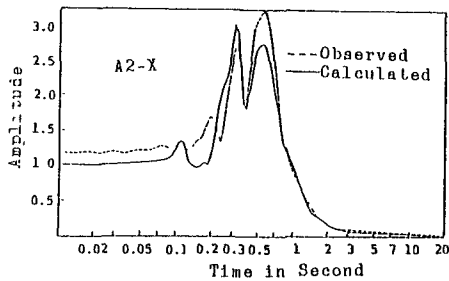


図-3 千葉県中部地震観測波形
時刻歴波形

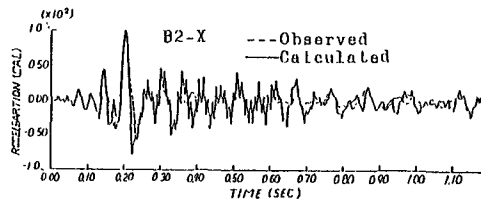
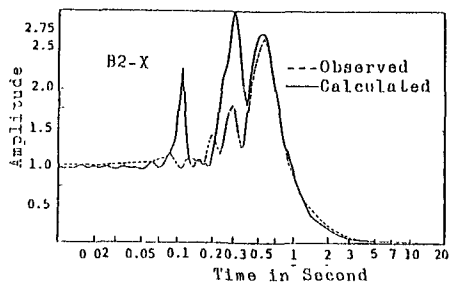
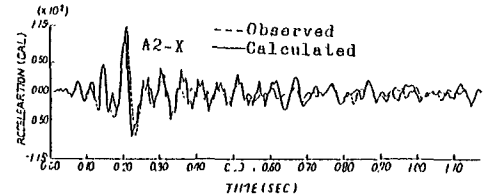


図4 観測結果と計算結果の比較

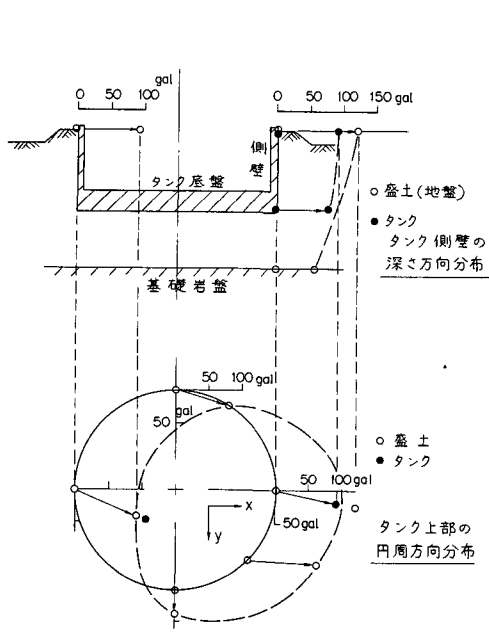
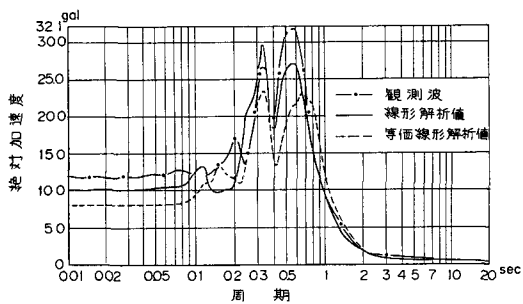


図5 地盤-タンクの加速度応答分布
(千葉県中部地震 $t = 10\text{Sec}$)

測点 A-2 地盤(地表面 DL 120^m)



測点 B-1 躯体(底板側部)

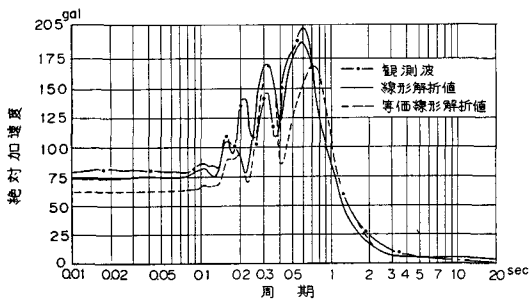


図6 観測波と線形解析, 等価線形解析
による加速度応答スペクトルの比較

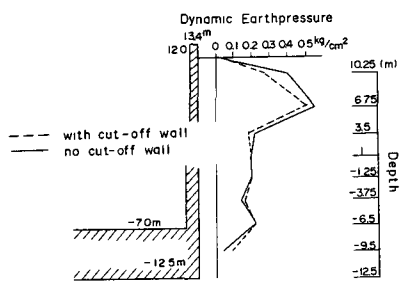


図7
タンク側壁に作用する地震時土圧

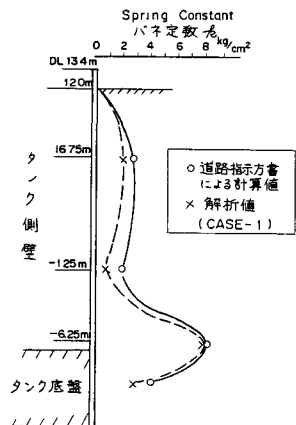


図9
地盤バネ定数の分布比較図

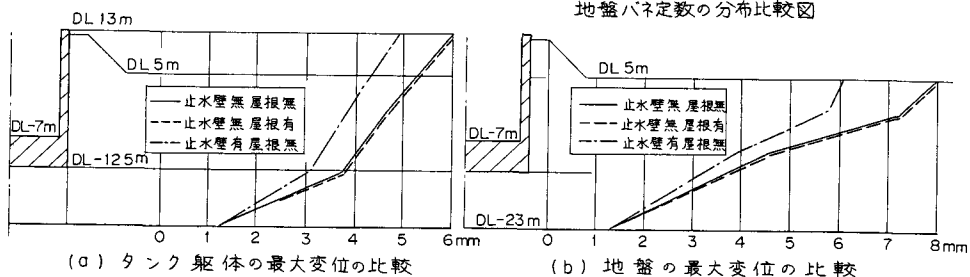


図8 止水壁, 屋根の地盤とタンク躯体に及ぼす影響(最大変位の比較)