

清水建設研究所 正会員 竹 脇 尚 信
清水建設研究所 山 原 浩

1. はじめに

石油類を地下に貯蔵するための施設として、最近注目を集めているものにロックオイルタンクと呼ばれるものがある。この施設は地下水位以下の良質の岩盤内に素掘りのトンネル状の空洞を設けて、その中に石油類を貯蔵するものである。このロックオイルタンクの原理は、油類が水より軽くて混合しないという性質を利用して、地下水の水圧により油類を空洞の中に封じ込めるものである。このような施設は、北欧では30年ほど前から建設され始め実用に供されているものであるが、地震の多いわが国に技術導入する場合に特に問題になるのはその耐震性である。そこで1つのロックオイルタンクのモデルについて、その耐震性の検討を定量的に行なった。

2. 解 析

この解析で用いたロックオイルタンクの形状寸法は図-1に示す通りである。つまり、20mの風化岩層の下に良質の花崗岩が続く、その花崗岩層の中に高さ20m、幅15mの食パン型のタンクが横方向へ4基並ぶものである。タンクの底部はGL-105mのところに位置し、耐震設計用の基盤はGL-165mである。

解析は平面歪状態の完全弾性体としてFEMを用いて行なった。要素の分割に際しては次のような点を考慮した。図-1において、もしロックオイルタンクが存在しなければ、これは構造物の全く存在しないいわゆる自然地盤である。現実には4基のタンクが存在するために、タンク周辺ではタンクの影響で自然地盤の挙動が乱される。しかしながら、タンクからある程度離れたところは、この影響が無視できるから自然地盤の挙動に一致する筈である。したがって、自然地盤の挙動が乱されるタンク周辺は三角形要素で分割し、タンクの存在の影響が無視できると考えられる領域は、自然地盤の挙動を表わすことができる半無限要素⁽¹⁾を用いることにした。さらに、入力としてはSH波を用いるので、構造物の対称性と外力の逆対称性を利用して、解析は半分の領域について行なった。

始めに固有値解析を行なった。表層と下層のヤング係数の比が1:300であるので、低次の方から固有モードを求めると始めの方は殆んどが表層の動きを表わすモードである。いま注目しているのはタンク近傍の応力であるから、必要なものは下層の動きを表わすモードである。そこで、縮合により自由度を縮少して固有値解析を行なった。結果は表-1に示されているが、この中で下層の動きを表わすのは4次、10次、13次及び16次の4個で、残りは殆んど表層だけが変形するモードである。図-2に1次、図-3に4次のモード図を示す。

次に周波数伝達関数を計算して、基盤に入った地震波がタンク周辺を通過して地表面に達する間に、場所によってどの周波数が最も増幅されるかを見ることにした。結果は図-4に示されている通りで、タンク近傍に最も厳しい条件を与える地震波は、0.28秒付近に卓越する周期成分をもつものであることが分かったので、既往の観測記録より、IBARAGI 606, Feb. 5, 1964, N-Sを入力地震波として採用した。

入力地震の規模としては、過去の地震記録よりタンク建設地点から10kmのところにマグニチュード7.7の地震が発生したと考えた。この場合、建設地点の基盤における地震波の最大速度は、金井、飯田両博士の式を用いて、 16 cm/sec 程度と推定される。この値を用いて入力地震波を規準化すれば、入力最大加速度は370galとなった。

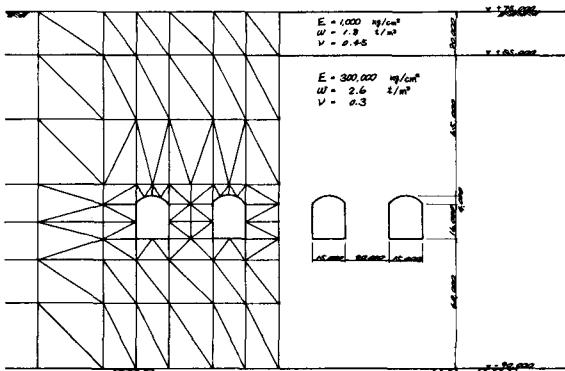
応答解析はモーダルアナリシスを用いて10次までのモードを重ね合せた。それ以上の高次のモードを重ね合せなかったのは、入力地震波の中にこれらの周波数成分が殆んど含まれていないからである。減衰

定数はすべてのモードに対して5%とした。得られた結果の最大加速度は、タンク底部で約760gal、タンク頂部で約1100galであった。さらに、タンク近傍での主応力の最大値は、引張応力で 60 kg/cm^2 、圧縮応力で 28 kg/cm^2 、せん断応力で 31 kg/cm^2 であった。

3. 考 察

タンク建設地点での土質調査はまだ完了していないので既往のデータを参照すると、花崗岩の平均的な強度は圧縮で1200～1800 kg/cm^2 、引張で100～160 kg/cm^2 というデータがある。この値と計算値を比較すれば、引張応力の60 kg/cm^2 という値はかなり大きな値であるけれども、それでも花崗岩の強度の $\frac{1}{2}\sim\frac{1}{3}$ である。更に、岩盤層自体が自重による初期応力で圧縮状態になっていると考えられるので、地震時に生ずる引張応力はこの圧縮応力と相殺してかなり軽減されるものと思われる。想定した地震が、金井マップと比較すれば分る通り、非常に大きなものであることを考えれば、ロックオイルタンクの耐震性はかなり高いものと考えられる。

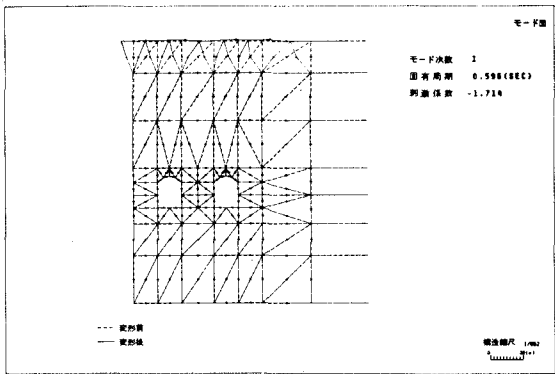
図－1 解析モデル



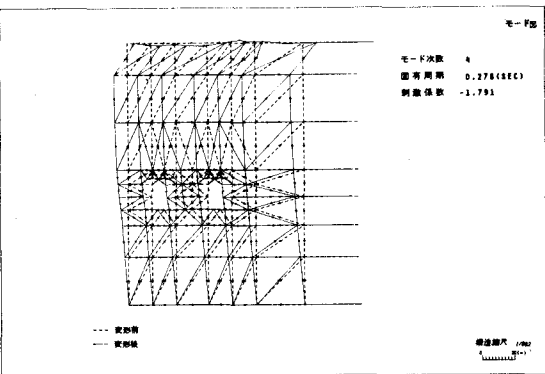
表－1 固有値

モード	振動数 (Hz)	固有周期 (sec)	制振係数
1	1.68	0.596	-1.714
2	1.97	0.508	-0.226
3	3.02	0.331	-0.674
4	3.60	0.278	-1.791
5	4.23	0.236	-0.329
6	6.20	0.161	1.654
7	6.21	0.161	2.637
8	7.20	0.139	-1.248
9	8.90	0.112	-0.430
10	10.7	0.093	-0.580
11	11.8	0.085	-0.168
12	16.6	0.060	0.333
13	17.9	0.056	-0.307
14	20.8	0.048	0.107
15	23.3	0.043	0.197
16	25.2	0.040	-0.225
17	26.0	0.038	0.546
18	27.9	0.036	0.265
19	30.1	0.033	0.001
20	32.7	0.031	0.205

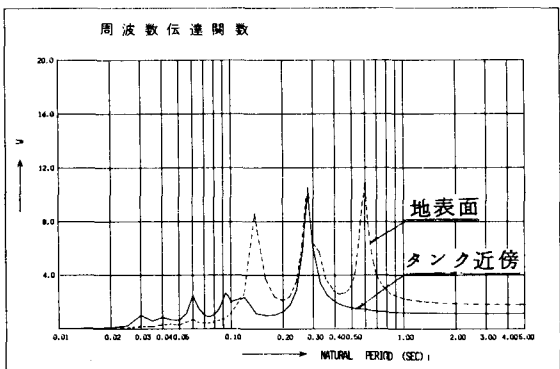
図－2 1次モード



図－3 4次モード



図－4 周波数伝達関数



参考文献

- (1) 竹脇, 田蔵, 中松「半無限要素の特性について」 第30回年次講演概要集第1部