

III-155 起振実験による柔構造模型タンクの動特性

電力中央研究所 土木技術研究所 正員 若橋敬広
同 上 正員 堤 一

1. まえかき 都市ガスや発電用燃料としての液化天然ガス(LNG)の利用の増大に伴ない、地上式、半地下式、地下式の大規模なLNGタンクが各地で建設あるいは計画されている。これらの構造物は、地震時に、下から入射される実体波だけでなく、表面を伝わる長周期の水平方向入力を受けると考えられる。タンクと地盤の境界では、タンクと地盤の剛性の違いや地震入力の違いにより滑りや隙間が生じ耐震安全上問題点が多い。

今回、LNG地下タンクの耐震性の問題点を追求するため、現場において地下タンクのシミュレーションモデルを作成し、起振実験によりタンクの動特性および地盤の諸特性の把握を行ない、その耐震性を検討した。

2. 試験項目 (1)直接起振実験 地下タンク底盤上に起振機を設置しタンクを直接に起振し動特性の検討を行った。(2)間接起振実験 表面波入力によるタンクの動特性を把握するため、タンクの近くにブロックを打設しブロックを加振しこれによって発生した入力波によるタンクの挙動について検討した。

3. 柔タンクおよびブロックの諸元 図1に柔タンクおよびブロックの配置を示した。タンクの寸法は直径50m、高さ25m、厚さ12cm 鋼製タンクで底部に厚さ60cmのコンクリートが打設されている。またブロックは50m×30m×10mのコンクリート製である。計画には、加速度計(水平9成分、上下9成分)、土圧計(6成分)、歪計(24成分)および地震計(9成分)を用いた。

4. 起振実験結果 4-1. 直接起振による柔タンクの動特性

(1) 図2は 直接起振時の柔タンク頂部の測点1(起振方向成分)の共振曲線である。20Hz~25Hzに大きなピークが、また16.0Hz~18.0Hz、および12Hz~13Hzに小さなピークが確認された。底盤上の測点では8.5Hz~9.0Hz、11Hz~12Hzにピークが確認された。(2) 図3は、各共振点付近の加速度記録による振動モード(円周方向、高さ方向)を示すものである。(a)高さ方向に対しては、9.0Hz、12.0Hz付近ではタンクの頂部と底部の応答に大きな差が認められ、タンクと周囲地盤は同様の挙動を示しているが、17.5Hz、21.1Hzではタンク頂部の応答が増増され、せん断一次振動に似た挙動を示している。(b)円周方向に対しては、各共振点とも1次モードを示しており、断面形状の変化を伴うような高次の振動挙動は生じてない。(3) 共振点付近の主圧分布、タンクの円周方向全分布についても調べたがセンサーがきわめて少なかった。また変位と土圧から水平バネ定数を求めた。その結果 $k=1.25 \sim 1.56 \text{ t/cm}$ となった。この値は一様分布を仮定して求めた水平バネの理論値($k=1.67 \text{ t/cm}$)とよく一致する。

4-2 間接起振による柔タンクの動特性

(1)ブロック起振によって柔タンクへ入力される波は起振方向が卓越しており起振直角方向および上下方向はきわめて小さく起振方向の程度であった。また入力波の深さ方向の分布はほぼ一様であった。(2) 図2は間接起振時の柔タンク頂部の測点1(起振方向成分)の共振曲線である。直接起振にくらべて数多くのピークが存在する。このうち、8.5Hz~9.0Hz、11.8Hz~12.0Hz および15.5Hz~16.0Hzはブロックおよび地盤に関する共振点と考えられ、17.6Hz~18.5Hz、20.5Hz~21.0Hzは柔タンク本体の共振点と考えられる。(3) 図4は各共振点付近の振動モードを示している。8.5Hz~18.0Hzでは断面形状の変化はほとんどないが、他の共振点では断面変形の変化を伴うような高次の振動モードが生じている。(4) 図5は柔タンク頂部の測点1,2の起振方向成分の位相差を振動数の変化に応じてプロットしたものである。(i) 直接起振時には、6.0Hz~25Hzの範囲で2測点間の位相差はなく、ほとんど同位相で振動している。(ii) 間接起振時には、8.0Hz~21.1Hzの範囲で90°~180°の位相差が生じており振動数の増加に伴って増大する傾向があり、20Hz付近で約180°の位相差となっている。

この結果 直接起振による入力に対しては一次振動が支配的で断面変形を伴うような高次の振動性状はほと

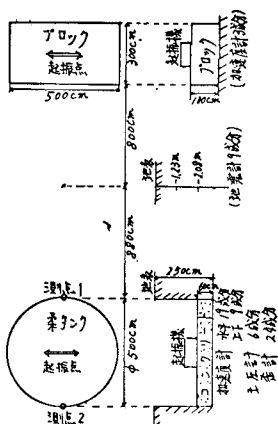


図1 柔タンク、フロア配置図

んど認められないが、間接起振による入力に対しては、周波数に応じて入力の位相差が生じ、このため柔タンクは断面変形を伴う複雑な振動挙動を示すことがわかった。

5. 解析モデルによる計算

柔タンクを図6に示すように、周辺がバネで支持された構造にモデル化し、軸対称薄肉円筒シェルとして動的解析した。タンクの側面および底面のバネ定数は実験値および一様分布を仮定して求めた理論値を用いた。その結果、タンクの固有振動数として、せん断1次20.6Hz、オーバル1次17.3Hzがそれぞれ実験結果とよく一致した。

この種のモデル化は妥当であると考える。

今後、入力波の差による柔タンクの振動挙動、入力波の波長の変化に伴う振動挙動等について検討を進め、実物への適用を図りたい。

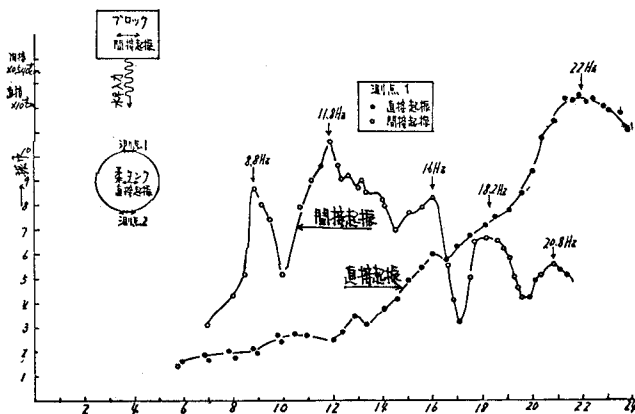


図2 柔タンクの測点1の振幅曲線(直接起振, 間接起振)

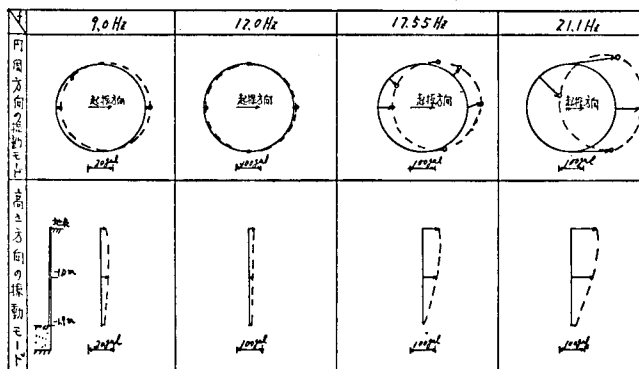


図3 柔タンクの振動モード(直接起振時)

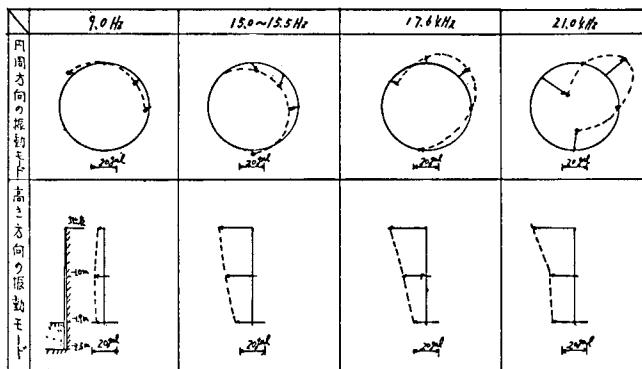


図4 柔タンクの振動モード(間接起振時)

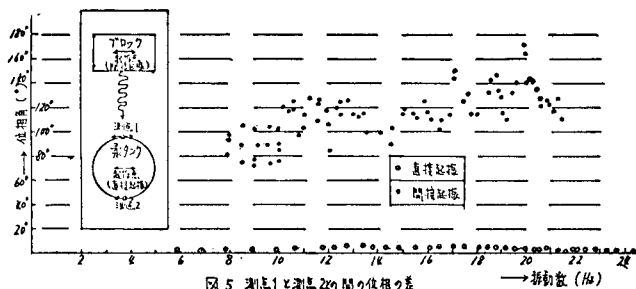


図5 測点1と測点2間の位相の差

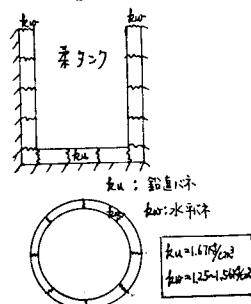


図6 柔タンク解析モデル