

東京大学生産技術研究所 正員 久保慶三 評
同 正員 〇佐藤暢彦

1 液化ガスタンクとその地震観測 液化ガス(LNG)タンクは、内容積35,000^{kl}、重量21,440tであり、-162℃に冷却されたLNGを貯留するものである。基礎は図1に示すように鋼管杭による群杭構造をとり、杭頭は地表面上70^{cm}にあるタンク床板に40^{cm}埋め込まれている。杭下端は深さ10~30mにある土丹まで打ち込まれている。地表はサンドドレーン工法により地盤改良が施されている。その後調査により、およそ地表下15mまでシルトでN値1であり、その下は砂質粘土でN=5~8であった。フレッシュオメガによる変形係数は平均11.6^{kg/cm³}、降伏圧は1.65^{kg/cm³}であった。土丹の深さを主なる点でA点を図1に示す。

地震観測は下の測点図に示すように、タンクの水平運動(T-X, T-Y, T-R)、タンクの近くの地表(A-X)、それより離れた点の地表(B-X, B-Y)と土丹(C-X, C-Y)を合わせて8成分を対象とした。観測された波形で記録の小さいものは最大振幅を読み取り、その程度の振幅を得られたものは波形をデジタル化し、パワースペクトル・周波数応答関数を求めた。前者は16例、後者は5例について解析した。

2 入力波 観測された例も少ないが、入力波(C)の振動数特性は今までのところニフアパターンがみられた。図2はその代表的なものの例であり、方向による特性の差異はほとんどみられなかった。

3 減衰定数 入力波が最も多く、振動数

成分を各人でいう地震(図2の実線)による各測点の応答を自己相関から求めた。その結果、減衰定数はタンクは10%、地盤はX方向15%、Y方向25%であった(表-1)。

4 周波数応答関数 図3は三つの地震による周波数応答関数を示す。これによれば

およそ測点と方向に関係なく、タンクの固有振動数は1.9Hz、地盤のそれは2.6Hzである。タンクの土丹に対する応答関数では

1.9Hzと2.6Hzのピークがあるが、タンクの地表(A)に対する応答関数では1.9Hzのみである。これはタンクの挙動に大きく地表が寄与していることを意味している。タンクの土丹に対する応答倍率はX方向がY方向の約2倍である。これは地表面(B)でも同じ性質があることから、タンク自身・特性ではなく、地表の特性を表わしていると考える。一方、地表の固有振動数は地表の厚さを2倍程違っているA・B两点とも同じ値を示した。これは $V/4H$ という考えからは説明できなく、その応答よりも地表全体が固有振動と考えられる。このモード振中では、応答倍率からして、A点はB点の2倍の値をもっている。また、方向からみて、倍率はX方向がY方向に対して約1.5倍大きい。この事は、土丹の上面の傾斜がゆるい方向の方が、きつい方向よりも振動しやすいことを意味している。同じことは減衰定数が傾斜がきつい方が大きく求められていることから推定される。これは傾向は最大の加速度比(図-4)から判断できる。

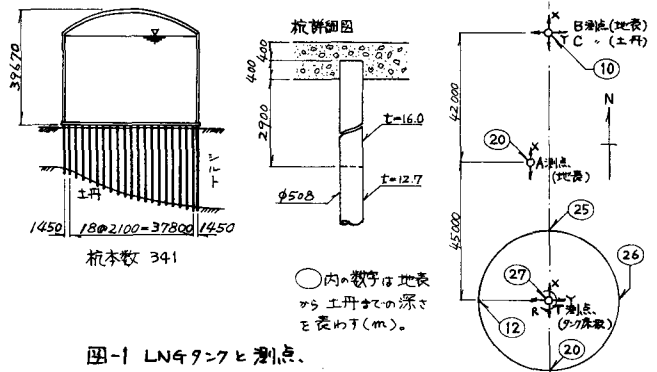


図-1 LNGタンクと測点

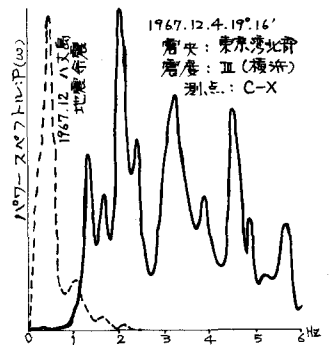


図-2 入力波のパワースペクトル

表-1 減衰定数

測点	T-X	T-Y	T-R	A-X	B-X	B-Y
η(%)	10	12	12	15	14	26

5 最大応答加速度比 図-4は3組の最大加速度比を表している。

タンクと土丹房に対する倍率は平均4、地表(A)は5、タンクと地表に対する倍率は0.9である。しかし、それらの区は加速度の増大に従い、若干の減少する傾向がみられる。タンクとの減少は、タンクと地表に対する倍率減少が小さいことから、主に地表との応答の低下によると考えられる。

6 タンクの固有振動数と水平地震反力係数

同波数応答関数から推定した各地震での固有振動数は図-5にタンクと最大加速度の周数といて○印で示した。加速度の増大により固有振動数の低下傾向がみられる。また、タンク基礎系は振動は、タンクを剛体とした要点をもち、かつ群杭をばねとした一自由度系と考えらる。タンク部の質量はHousnerの方法により自由剛性を除いた全質量とし、ばねはChangの方法による群杭固定単杭の水平ばね定数本数倍とした系を考える。測定された振動数から地震反力係数を逆算した結果は図5の△印である。ほぼ0.2%^{kg/cm³}の値を示している。この値は□内の多くの杭の水平載荷実験から逆算して求めたN値と地震反力係数との関係に一致している。

しかし、群杭による低下を考慮すれば、他の関係の方が良いといえるかも知れない。また群杭基礎全体の中を地震に抵抗受けることと考慮せよ、この方法では0.8%^{kg/cm³}の値が測定振動数を与えれば、この値はN値・コレジオの結果からしていく分大きい。

謝辞 本観測に際し、多大の便宜を与えられた東京ガスおよび東京電力の関係各位に深謝する次第である。

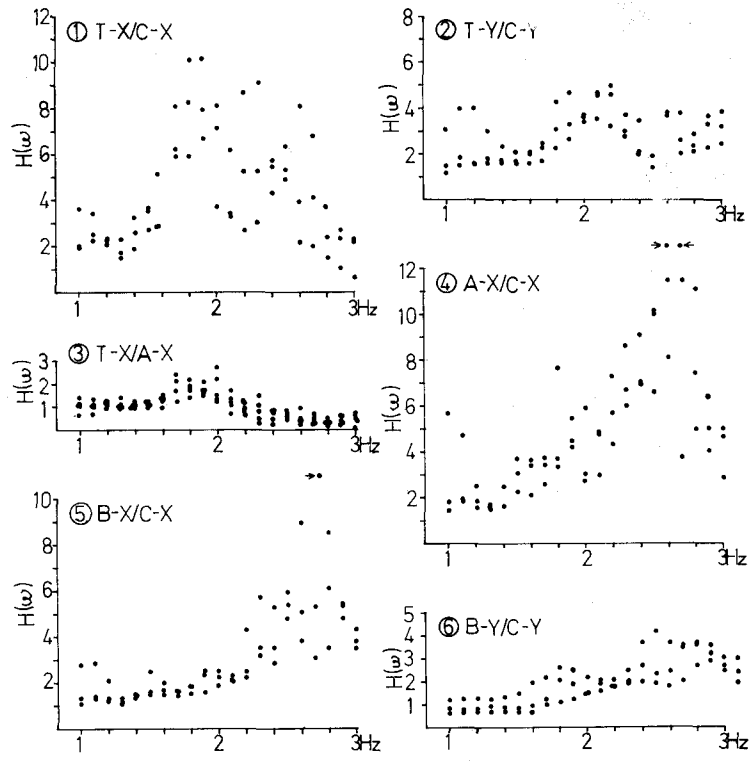
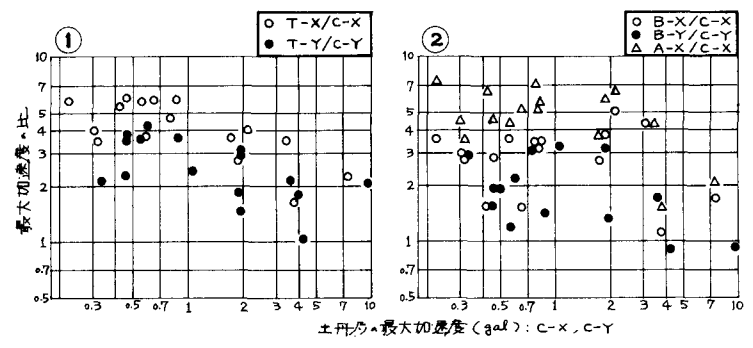


図-3 同波数応答関数



土丹房の最大加速度 (gal): C-X, C-Y

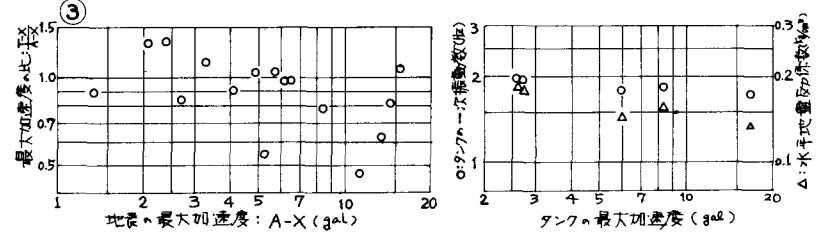


図-4 最大応答加速度比

図-5 タンクの固有振動数と地震反力係数