

日本鋼管(株) 正員 岡本 隆
同上 同上 榊 信昭

1 まえがき 昭和58年日本海中部地震時に、新潟県にある大型石油タンクは、大きなスロッシング波高（以後波高と称す）を生じ、溢流したものもあった。ここでは実際の波高と速度ポテンシャル理論の線形解による計算波高を、波高が大きいものについて比較し検討を加えた。

2 入力地震動 波高の計算に用いた入力地震動は、新潟地方気象台の1倍強震計（No.51216）の記録から求めた。同強震計は、地動と振子の相対変位を記録し、記録範囲は±31.5 mmである。本地震記録は、変位が記録範囲をこえたため欠損部分が存在する。本記録は、原記録の写真を原寸大に拡大し、SMACリーダⅢ型（江藤電気(株)製）で0.1 mm間隔で読み取り（明豊エンジニアリング(株)）、ペンの回転中心は基準線上にあるとして、時間軸の円弧補正をした。波形の欠損部とその近傍の乱れた部分は欠損のない波形のピークで近似的に補正した。欠損部と補正波形の一部分を図1に示す。補正後の相対変位記録から、強震計振子の固有振動数 f_0 と減衰定数 h を用いて求めた地動変位を図2に、そのパワースペクトルを図3に示す。フーリエ変換で微分して得た、周期4秒以上の成分をもつ加速度波形（NS成分）を図4に、同波形入力時の固有周期8, 10, 12秒，減衰定数0の1自由度系の応答を図5に示す。同加速度波形の速度応答スペクトルを図6に示す。

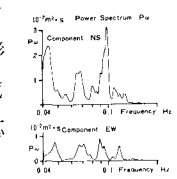
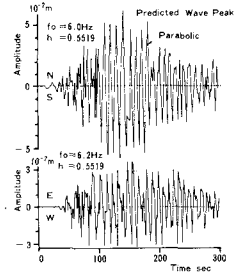


図3 パワースペクトル 図1 相対変位波形

3 実際の波高と計算波高の比較 実際の波高はタンク内側のスロッシング時の貯油の痕跡の上端とした。貯油は浮屋根上部に達していることから、痕跡の上端は図7のシール上端から浮屋根の上端までの範囲内にあると考えられる。従って実際の波高は痕跡の上端から最大で図7のL2だけ低くなる。計算波高は剛体円筒形タンクに、非圧縮、非粘性の完全流体があり、渦流が生じない場合について、速度ポテンシャル理論の線形解¹⁾²⁾を用いて求めた。モードは10次まで重ね合わせた。計算タンクは入力地震動の記録位置から約4km（A基地）、14km（B基地）、12km（C基地）はなれている。タンク諸元、液深、スロッシング1次固有周期（以後固有周期と称す）を表1に示す。波高の時刻歴計算波形の例として、A1, A3タンクの側壁部の加振方向(NS)の位置のものを図8に示す。タンク中心から波高計算位置の方向の成分の地震動を入力したタンク側壁部の最大波高の分布を図9に示す。スロッシング応答の減衰定数 ξ は全モードで同一とし、計算波高の上限を求めるため、 $\xi = 0$ とした。参考のため $\xi = 0.001$ の波高も求め同図に示す。同図の記号●は最も高い痕跡の上端、記号○は最も低い痕跡の上端を実際の波高として示す。同図より、タンクA2～A4を除いて、タンク全周で波高の最大になる方向は計算値と実際とよく一致した。B3, C2タンクは実際の波高の最大値、最小値とも計算値とよく一致する。A1, C3タンクでは実際の痕跡の最小値は計算波形よりかなり大きな値となった。実際の最大波高と $\xi = 0, 0.001$ の計算最大波高（共にタンク全周の最大波高分布のうち最大のものを）を比較して図10に示す。同図で溢流タンク

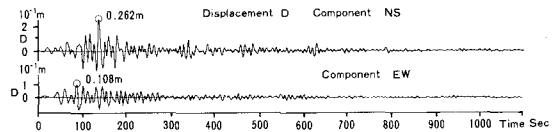


図2 地動変位

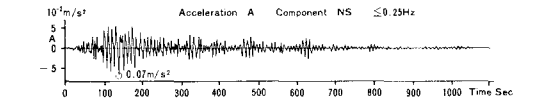


図4 加速度波形

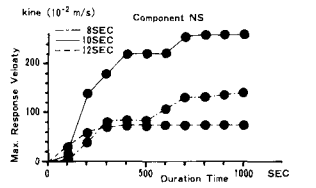


図5 速度応答と継続時間

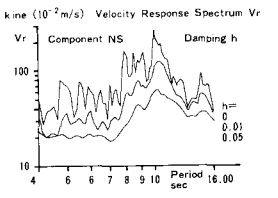


図6 速度応答スペクトル

クはタンク高を記号■で示した。減衰定数を変えたときの最大波高の変化の例をタンク A1(North), B1(N30°W) について図11に示す。波形の欠損部を放物線で近似した場合 $\xi = 0, 0.001$ のとき, 最大波高は 3 ~ 12% 小さくなる程度である。

4 まとめ (1) 1倍強震計記録から求めた地動の速度応答スペクトル(減衰定数 $h = 0$) は周期10秒で 258kine となる。(2)(1) で用いた地震動入力時, 10秒の固有周期をもつ 1自由度系 ($h = 0$) の応答速度は 700秒まで大きく増加する。(3) 計算波高が最大になる方向は固有周期により異なる。(4) 減衰定数 ξ に対する計算最大波高の変化の割合は固有周期と入力地震動により異なる。(5) 溢流したものを除くと実際の波高は計算波高より大きくなる傾向がある。その理由として①地盤とタンク群の動的相互作用の影響で実際の入力地震動がここで用いたものと異

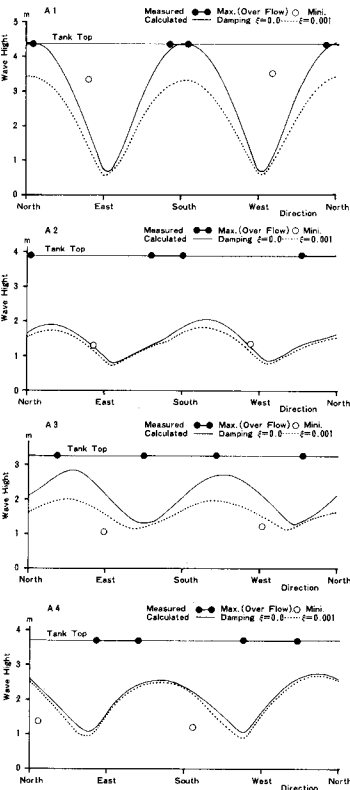


図9 最大波高円周方向分布

- 1) 曾我部, 柴田 (1974) : 円筒液体貯槽の液面動揺の応答第 1 報—基礎式と正弦波解—, 生産研究, 26 巻, 3号, pp.119—122.
 2) 楠, 横山, 長岡 (1980) : 剛体円筒貯槽の液面動揺解析, 土木学会第35回年次学術講演会講演概要集, 第 1 部, pp.568—569.

った。②実際の波高の応答では, 波頭の回転や非対称な応答等非線形は挙動をした。等が考えられるが, これらの影響は今後の検討課題としたい。

表1 石油タンク諸元

TANK NO.	直径Dm	高さHm	液深Hlm	スロッシングの危険程度(%)
A 1	62.00	18.318	13.893	10.0
A 2	51.50	16.455	12.548	8.3
A 3	51.50	16.455	13.200	8.7
A 4	78.46	23.700	19.980	10.8
B 1	78.46	23.700	20.342	10.8
B 2	78.46	23.700	20.000	10.6
B 3	75.00	22.000	19.379	10.6
C 1	64.60	22.000	19.348	10.5
C 2	76.00	22.000	19.408	10.4
C 3	62.10	22.000	19.530	9.1
C 4	71.70	22.000	19.900	10.6

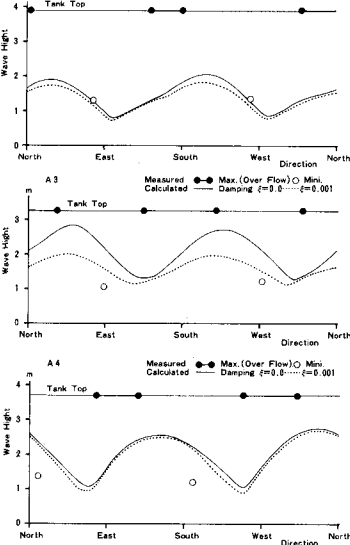


図10 最大波高の比較図

った。③実際の波高の応答では, 波頭の回転や非対称な応答等非線形は挙動をした。等が考えられるが, これらの影響は今後の検討課題としたい。

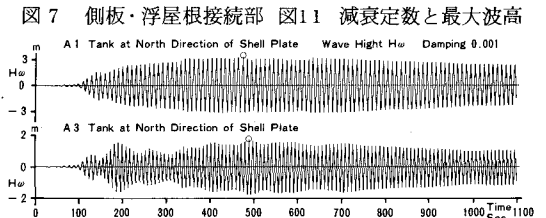


図7 側板・浮屋根接続部 図11 減衰定数と最大波高

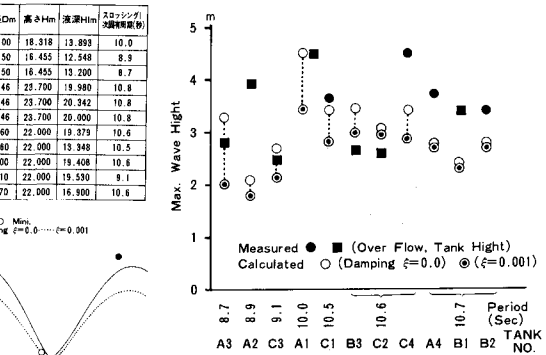


図8 波高の時刻歴波形