

フジタ工業 技術研究所 正員 斎藤 悦郎

1. はじめに

円筒形地下タンクの耐震性に関する研究は、各方面で進められており、その動的挙動は、タンクのみがけの質量が地盤の質量に比べ小さいため、タンク自身が固有の動きをせず、地盤の動き(変位)による影響が支配的であることが定性的な考え方となっている。コンテナ・備蓄基地等においてタンクを建設する場合、数基・数十基の群として計画されることが多い。上述の耐震性に関する研究では、タンク1基のみを対象としたものがほとんどであり、地盤の影響を強く受ける地下タンクの群設によるタンク-地盤-タンク間の動的相互干渉効果について十分検討を加えておく必要があるものと考えられる。筆者が行なった群設地下タンクの有限要素法を用いた数値解析から、タンク側壁の断面力(とくに円周方向モーメント)は、タンク頂部の応答変位量に比べ、より敏感にタンク間の相互干渉効果を受けることが明らかになった。そこで本群設地下タンクの振動による破壊実験では、タンクモデルに弱小材料、地盤モデルに砂を用い、各モデルケースに対して同一モデル10ヶを作成し、相似比を合わせたモデル化に対し、最大入力を与えた。そしてタンク側壁に生じたクラックから、群設効果による側壁断面力への影響度及び、タンク間距離による影響度について、そのクラック発生確率、及びパターンより検討を行なったものである。

2. モデル材料及び形状

地盤材料には、豊浦標準砂を用いた。砂月の締め固め方法は、同一モデルに対して10回の実験をくり返し行なうため、砂月の初期構造の均一性と再現性の良い多量な落下土(落下高1.5m)を用いた。そしてその平均密度は、 1.6 g/cm^3 であり、最大締め固め時の密度に近い値を示した。地盤の相似比は、モデルにおいて重力の加速度がコントロールできないものとして求めた縮尺比を用いた(表-1)。タンク材料は、振動台の能力内において砂中に埋め込まれたタンクがセリ性的に十分破壊できる材料として選定を行ない、予備実験をくり返し、石膏・フライアッシュ・水、の配合比を決定した。本材料では、養生日数(3日, 7日, 14日)によって強度の変化はあまり見られないが、応力ひずみ曲線から養生日数14日以上になると、セリ性的な破壊形式となることがわかった。以上によりモデルタンクは、14日以上養生するものとし、相似比に用いる材料定数は、圧縮強度 1.8 kg/cm^2 、引張り強度 0.3 kg/cm^2 、弾性係数 1100 kg/cm^2 と設定した。地盤-タンクモデルにおける相似比は、地盤における相似比とタンクにおける相似比に相違があり、タンク強度に対する相似比を求めるために、変位法を用いて検討を行った。そしてコンクリートの圧縮強度を 240 kg/cm^2 とすると、モデル材料の圧縮強度は、 0.36 kg/cm^2 と設定され、弱小なモデルタンク材料強度は、地盤との相似比を合わせたモデル強度に対して、5倍程度大きくなっている。モデルタンクの底版と側壁の結合方式は、剛結とした。また、図-1にモデルの形状寸法を示した。なお本実験は、地盤のセリ断変形のみを対象としているため、砂箱は側板を9段に分け、ベアリングを介して重箱状に重ね合わせ、振動方向に各段が砂月のセリ断変形挙動に追随できる構造とした。

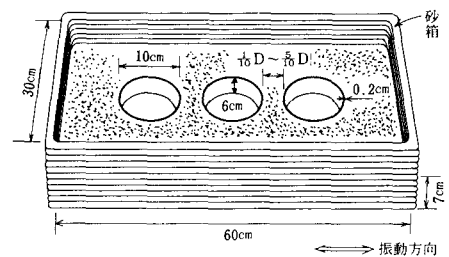


図-1 モデルの形状寸法

表-1 相似比

厚(長)比	H_m/H_p	λ	$1/600$
質量密度比	ρ_m/ρ_p	1	1
減衰定数比	η_m/η_p	1	1
角振動数比	ω_m/ω_p	$\lambda^{-3/4}$	≈ 120
加速度比	a_m/a_p	1	1
変位比	u_m/u_p	$\lambda^{3/2}$	$\approx 1/4700$
ひずみ比	ϵ_m/ϵ_p	$\lambda^{1/2}$	$\approx 1/25$
剛性比	G_m/G_p	$\lambda^{1/2}$	$\approx 1/25$

相似比は、地盤における相似比とタンクにおける相似比に相違があり、タンク強度に対する相似比を求めるために、変位法を用いて検討を行った。そしてコンクリートの圧縮強度を 240 kg/cm^2 とすると、モデル材料の圧縮強度は、 0.36 kg/cm^2 と設定され、弱小なモデルタンク材料強度は、地盤との相似比を合わせたモデル強度に対して、5倍程度大きくなっている。モデルタンクの底版と側壁の結合方式は、剛結とした。また、図-1にモデルの形状寸法を示した。なお本実験は、地盤のセリ断変形のみを対象としているため、砂箱は側板を9段に分け、ベアリングを介して重箱状に重ね合わせ、振動方向に各段が砂月のセリ断変形挙動に追随できる構造とした。

3. 実験方法

モデルケースは、自然地震3ケース、またタンク1基及びタンク3基のタンク間距離 $1/10D$, $2/10D$, $3/10D$, $5/10D$ (D はタンク直径) については、それぞれモデルに対して10ケースとした。計測位置は、超小型の加速度計をタンク側壁頂部、中段部、振動台上に各1ヶ所、底版部に2ヶ所とした。実験は、13Hzの正弦波入力とし、片振幅を、0.3, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 1.0 mm の10段階に分け、それぞれの振幅における加速度測定を行ない、同時にクラック発生状況の目視観測を行なった。なお各入力変位段階での加振時間は、5分とし、得られた加速度データは、直接12bitのA/D変換を行ない、マイコンによる処理を行なった。

4. 実験結果

実験に使用した振動数13Hzは、せん断一次の共振振動数以下であり、加速度応答倍率は、1に近い値となった。また各モデルケースとも、応答加速度の差異はほとんど見られず、タンク間距離を変化させても、明確な応答量の差は認められなかった。モデルタンクに生ずるクラック発生位置は、各モデルケースとも以下の2種類に分類できる(図-2)。

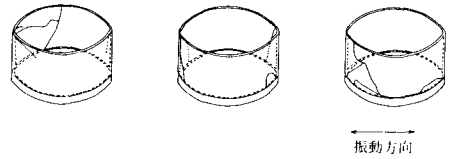


図-2 クラック発生状況 ($1/10D$)

(1) タンク底版と側壁の結合部の円周方向にクラックが発生し、円周方向上を貫通するか、又は側壁頂部方向に進展するもの。

(2) 振動方向タンク直径軸上の頂部付丘にクラックが発生し、底版方向に進展するもの。

図-3、図-4は、クラック発生位置別の、タンク間距離をパラメータとした、クラック発生確率を示したものである。

ここでクラック発生確率(P)は、

$$P = \frac{N_f}{N} \times 100$$

N_f ; 各モデルにおいてタンク側壁(底版結合部)からクラックが生じた実験回数

N ; 各モデルにおける実験回数(=10)

としてあらわしたものである。

側壁頂部からのクラック発生確率は、中央のタンク及び両側のタンクとも、タンク間距離が近づくに従って、高くなる傾向を示すが、中央のタンクでは、 $0.6D$ 程度、両側のタンクでは、 $1.0D$ 程度タンク間距離を離せば、タンク1基のクラック発生確率と同程度となることからわかる。また両側のタンクのクラック発生確率は、中央のタンクと比較すると、同じタンク間距離においてその確率が高くなることからわかる。そして、底版結合部からのクラック発生確率も上述と同様な傾向を示しているが、側壁頂部のクラック発生確率と比較して全体的に高くなる傾向を示す。

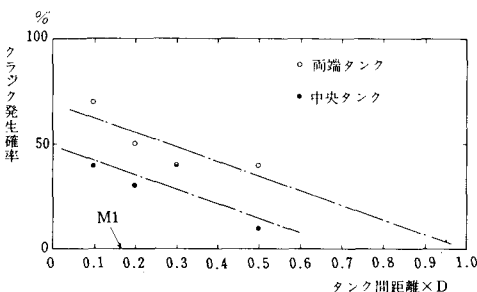


図-3 側壁頂部のクラック発生確率

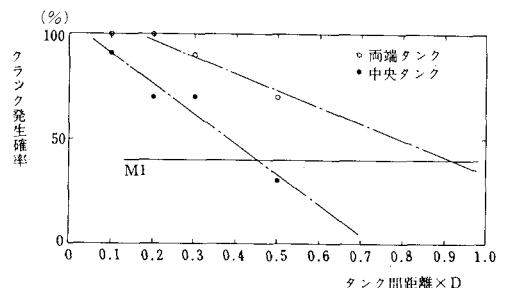


図-4 底版結合部のクラック発生確率