

(株) 神戸製鋼所 正員 〇 兒玉 道正
 (株) 神戸製鋼所 島本 明
 (株) 神戸製鋼所 山村 正明

1. まえがき

地盤と構造物の動的相互作用に関する既往のほとんどの研究は、地盤と構造物の接触面が完全に固着していることを前提としている。しかしながら、塔・槽類構造物は、国内外の震災例からも明らかのように、地盤との接触面における横ずれおよび転倒などの防止も、耐震安全上重要といわれている。本研究では、上記接触面における横ずれ(すべり)現象を調べるため、摩擦係数の異なる地盤モデルを作成し、比較的剛な模型円筒-地盤モデル系の振動実験を行なった。得られた結果に、フーロンの摩擦法則を適用して若干の検討を加えた。

2. 実験の概要

2.1 地盤モデルと構造物模型 モデルⅠ(図1(a))の地盤モデルは、軟質発泡ウレタンからなる3次元体(高さ40cm、振動方向200cm、横幅100cm)であり、構造物模型は、アクリルライト製の中空円筒(直径15cm、高さ15cm)である。モデルⅡ(図1(b))は、アクリルライト製の中空円筒(直径30cm、高さ30cm)を、構造物模型として、直接振動台上に載せたものである。地盤モデルの弾性定数は、板たき法による弾性波試験結果より求め、減衰定数は、自由振動の減衰波形より求めた。地盤モデルの諸元を表1に示す。

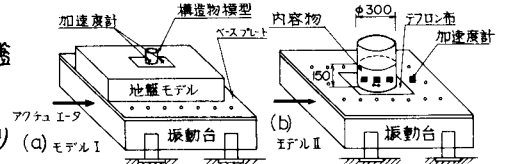


図1. 地盤モデルと構造物模型

表1 地盤モデルの諸元

	弾性定数 (kg/cm ²)	ポアソン比	密度 (kg/cm ³)	減衰定数
軟質発泡ウレタン	0.319	0.25	5×10^{-3}	0.05

表2 まさつ係数

	アクリル模型 150×150 ^{mm}	アクリル模型 300×300 ^{mm}
静まさつ係数	テフロン布 0.33~0.34 カドババ 0.73~0.75	テフロン布 0.31~0.33 カドババ —
動まさつ係数	テフロン布 0.31~0.33 カドババ 0.44~0.49	テフロン布 0.23~0.32 カドババ —

2.2 実験方法 構造物模型と地盤モデルの間に、表2に示す摩擦係数の異なる、たサンドバー(40)とテフロン布の2種類のシートを敷き、構造物模型を上面中央に設置する。モデルⅠ、Ⅱについて、模型の滑動開始加速度を求めるために、振動数を5~20Hzの各段階で固定し、加速度振幅を漸増させる正弦波加振を行なった。次に、モデルⅠについて、地盤モデルのみの場合、および構造物模型を置いた場合の正弦波(3~25Hz)加振を行なった。振動台加速度振幅は、100, 400galの2段階である。モデルⅡについて、内容物を水、豊浦砂および空の3種類とし、テフロン布のみを模型の下に敷き、正弦波加振(3~25Hz、加速度一定500gal)を行なった。モデルⅡにおいて、入力加速度を地盤モデルのみの上端中央の水平加速度に一致させた場合の正弦波加振もあわせて、行なった。なお計測は、加速度計と非接触変位計を用いて行なった。

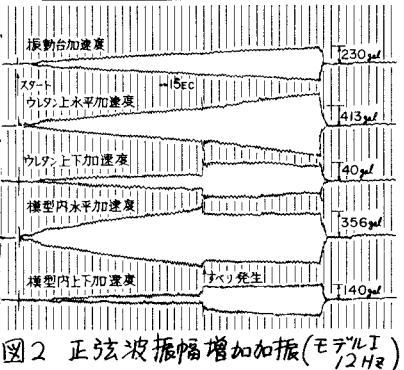


図2 正弦波振幅増加加振(モデルⅠ 12 Hz)

3. 実験結果

モデルⅠの振幅増加加振試験における滑動発生を示す各点の振動波形の一例を図2に示す。図および非接触変位計により得られた滑動開始時の水平加速度をモデルⅠおよびⅡについて、図3に示す。図より、(i)滑動開始加速度は、加振振動数にほとんど依存せず、重力加速度に静摩擦係数を乗じた値にほぼ等しい(モデルⅠ、Ⅱ)、(ii)内容物が水

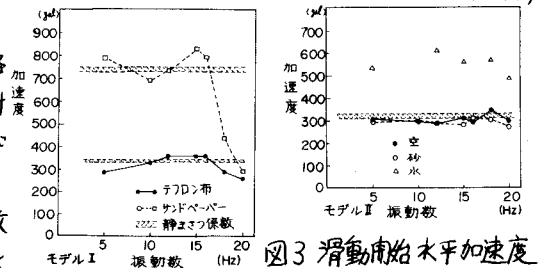


図3 滑動開始水平加速度

の場合、滑動開始加速度が他の場合（空および砂の投入時）に比較して特に大きくなり、滑動しにくいことがわかる（モデルⅡ）。したがって、本実験の場合、内容物が水の場合を除いて地盤モデルの表面の加速度と模型円筒の静摩擦係数の値が既知であれば、滑動の発生の有無が推定可能と考えられる。ただし、図3のモデルⅠにおいて、約16Hz以後、滑動開始加速度が低下する傾向を示しているが、これは、地盤モデルの端面および上下加速度の影響により、水平加速度のみでは滑動開始を推定できないためと考えられる。

地盤モデルのみの共振曲線および仕相差角曲線を図4に示す。モデルⅠおよびⅡの加速度応答倍率曲線をそれぞれ図5、6に示す。図5は振動台加速度振幅を100gal一定とした場合であり、図6は、図4に示す地盤モデル上面の応答加速度に相当する加速度を入力した場合である。図5および図6の比較によれば、(i)定常振動において、模型円筒が滑動状態にある場合の水平応答加速度振幅は、モデルⅠでは、テフロンの場合約300gal、サンドペーパーの場合約700galであり、モデルⅡ（テフロン）では、約400galである。これらの値は、図3に示す滑動開始加速度にほぼ等しい、(ii)モデルⅠでは、共振振動数（15Hz）付近より模型円筒の水平加速度が著しく減少すると同時に、上下方向の応答加速度が急激に増加する、(iii)モデルⅡの滑動状態における模型円筒の応答加速度振幅は、振動数に依存なくほぼ一定である、ことなどが明らかとなった。

モデルⅡについて、加速度振幅一定の正交加振試験を行ない得られた模型円筒の応答加速度を図7に示す。図より、内容物が砂の場合、5Hz未満の振動数では、模型円筒の応答加速度が300gal程度の滑動状態を示すことに対し、高振動数領域では、入力加速度振幅に近い値を示していることがわかる。これは実験中の目視による観察によれば高振動数領域において砂が液体状の挙動を示したことによるものと推測される。

なお、内容物が砂の場合のモデルⅡについて、図8のようにモデル化し、振動数が3.1Hzで入力加速度振幅が500galの場合の数値解析を行ない（図9(a)）、実験値（図9(b)）と比較した。計算では、動まじり係数を0.3、積分時間間隔を1/1000秒として行なった。数値解は、実験結果によく似た波形を示しており、この場合には、クーロンの摩擦法則により説明可能と考えられる。

4. まとめ (i)模型円筒の滑動開始加速度は、接触面の水平加速度および静摩擦係数が既知であれば、ほぼ予測可能である。(ii)模型円筒と内容物が剛体的挙動を示す場合には、滑動を伴う定常振動状態は、クーロンの摩擦法則によって説明できる。

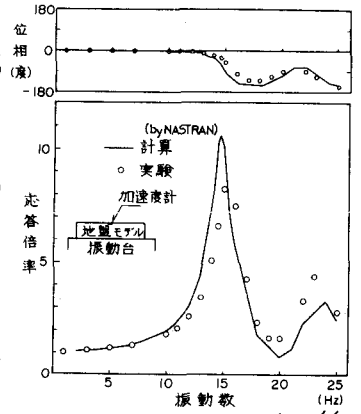


図4. 地盤モデルのみの応答曲線

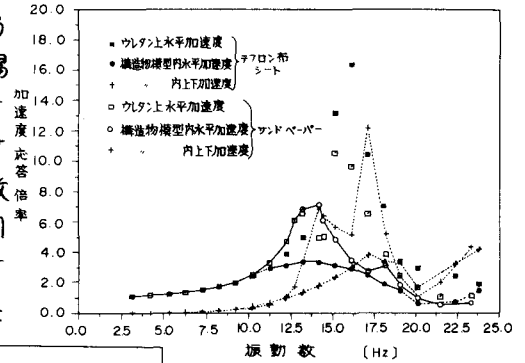


図5. 加速度応答曲線 (ETIL I, 100gal)

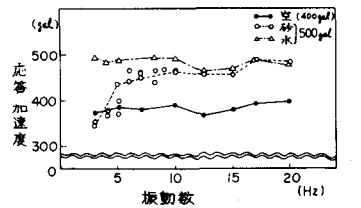


図7. 加速度応答曲線 (ETIL II) (加速度一定)

図6 加速度応答曲線 (ETIL II)

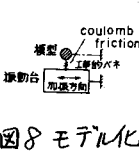
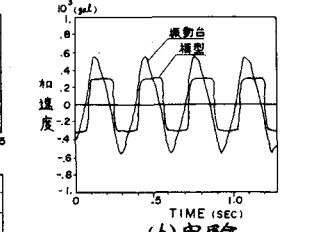
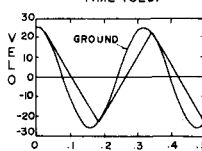
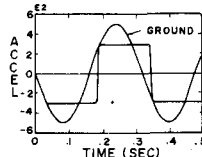


図8 モデル化



(a) 計算 (by NASTRAN) (b) 実験 (3.1Hz) 図9 振動波形