

III-310

遠心モデル用せん断土槽の開発

水資源開発公団	正会員	東 世司美
"	正会員	○ 青山 竜二
中央大学理工学部	正会員	涂 敏強
"	正会員	藤井 斉昭

1. はじめに

試料容器内の模型地盤を対象に行う振動実験では地盤のせん断変形に応じて容器側壁が変形する、いわゆるせん断土槽を用いることが望ましい。特に、容器の寸法はもとより重量の制約が大きい遠心模型実験では、小型で軽量のせん断土槽が殊更必要である。ところで、これまでは通常重力場で行われる振動実験のために開発された積層板型せん断土槽を単に小型化しただけのものを遠心場でも用いている場合が多いようである。筆者らは数年前から遠心模型実験用のせん断土槽の開発を行ってきたが、ここでは開発した土槽の特徴について報告する。

2. せん断土槽の開発

さて、理想的なせん断土槽とは、容器側壁の質量はゼロに近い、容器のせん断方向の剛性はゼロに近い、容器の内面は滑らかである等、Whitmanらは六項目の条件を提案している。これらは重力場におけるせん断土槽にも適用される一般的な条件であるが、遠心模型実験では特に以下の三点についても配慮が必要である。

①遠心力場では容器側壁に高い内圧が作用する。

②積層板自体が遠心力場で大きな物体力を受ける。

③地震波程度の振動を考えると、遠心模型では相似則により振動数は数百ヘルツと高くなるが振幅は小さい。

従来のせん断土槽は積層板相互の摩擦抵抗を抑えるため、積層板の間にベアリングを挟み込んだ形式のものが多いが、遠心模型では上記③の特徴に着目して、積層板と特殊なゴム板をサンドイッチ状に積み上げる新しい形式のせん断土槽の開発も進められている。筆者らもいくつかの形式について検討したが、剛な積層板をベアリングを介して積み上げていく従来の形式を採用し、容器にかかる内圧に対して積層板自体が十分な剛性をもつものを目指した。筆者らが開発したせん断土槽を図-1に示すとともに、その特徴を以下に記す。

この実験に用いる遠心模型用振動台の規模から、せん断土槽の寸法を予め図のように考え、土槽に作用する内圧を試算したところ最大 3kgf/cm^2 と見積られた。この内圧に対し土槽側壁の最大たわみ量がひずみ拘束方向で0.2%以下のひずみに抑えられるよう側壁の寸法、即ち壁に相当するところの積層板の板幅を決めるとともに、全体の剛性を高めるために土槽内側の隅角部には敢えて曲率を付けた。また、積層板の材質はその質量を抑えるためアルミ合金としたが、積層板相互の摩擦を小さくするためボールベアリング用のV字型軌条は超硬度加工をした鋼製のものである。このベアリング軌条は耐荷重の面から軽量化が出来ず、軌条を組み入れた積層板の質量は一枚当り4~5kgで、遠心力場では下部の積層板に3,000~4,000kgfの力がその自重によって働くことになっている。これら積層板が両側一對のベアリング軌条を介してその重量を下部へ一様に伝達できるよう、積層板の組み立て時に土槽四隅に取付けたスプリングによりプレロードが加えられる構造とした。この試みは成功し、プレロードが無い場合に比べてはるかに安定した加速度応答を得ることが出来た。

3. せん断土槽の性能

せん断土槽としての性能を調べるため、ここでは以下の三点について検討を行った。

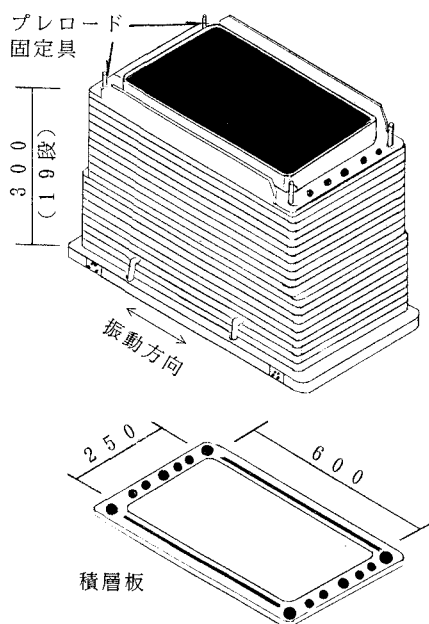


図-1 せん断土槽

1) 積層板の摩擦抵抗

積層板を積み上げて図-1のようなせん断土槽に組み立てた後、プレロード用のスプリングで上載荷重(最大1,000kgf)を加え、下方の積層板一枚だけを押し出してその間の摩擦抵抗を調べた。この結果、水平変位が0.8mm程で摩擦抵抗は最大となり、さらに荷重を加えていくと滑動を始めた。この試験による最大摩擦係数は $\mu = 0.0048$ であった。

2) 土槽のせん断剛性

理想的なせん断土槽として積層板の質量が小さく、積層板の間の摩擦抵抗が小さければこの土槽のせん断剛性はゼロに近いはずである。このような土槽を空の状態では振動台に取り付けて加振したとき、積層板はほとんど応答しないはずである。以上のことを確かめるため図-1の土槽を空の状態では振動台に固定し、土槽の四隅にそれぞれ50kgfのプレロードをスプリングで加えた後、40gの遠心力場において200Hzの周波数で振動を与えた。図-2はこのとき得られた積層板の加速度を入力加速度との比で表したものである。この結果、土槽の底から三段目位までは入力値と同じであるが、土槽の上部では20%以下の応答加速度になっていることが知れる。また、振動台への入力加速度が大きいほど応答加速度は小さくなっているが、これは積層板の摩擦抵抗が一定と考えられるため入力加速度の大きさに対し、その比が相対的に小さくなるためと考えられる。因に、この土槽の中に水を満たして同様な実験を行ったが、当然のことながら応答加速度の分布は図-2に同じであった。

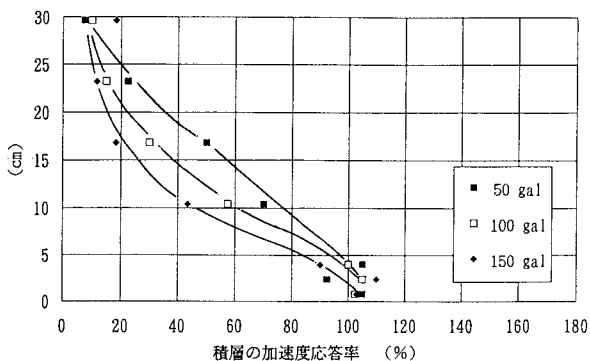


図-2 積層板の応答加速度
(土槽空)

3) 積層板の質量

積層板の質量は小さいに越したことはないが土槽としての剛性を無視する訳にもいかず、結果的には土槽内部の試料の質量にはば匹敵するものとなった。そこで積層板一枚当りに相当する部分の試料が水平方向にのみ単振動を起こし、それに伴って積層板も振動をしているような簡単な力学モデルを考え、積層板のもつ運動エネルギーとその間の摩擦損失の関係について調べてみた。その結果、土槽の上端部を除きほとんどの積層板では積層板の質量よりも積層板相互の摩擦による影響が大きいことがわかった。

4. 実験の一例

上記せん断土槽内に層厚が25cmになるよう乾燥状態の豊浦砂を入れ、図-2と同じ条件で加振実験を行ない積層板及び地盤内の加速度応答を調べた。図-3はそのときの加速度応答率を示したものである。この図より地表付近では加速度が急増しているのに、それより上の積層板の加速度は土槽が空の場合の値(図-2)に近付いている。これらのことはせん断土槽として、積層板が非常にうまく作用していることにはかならない。勿論、積層板と同一レベルにおける地盤内で両者の加速度波形は良い一致を見ていたことは言うまでもない。

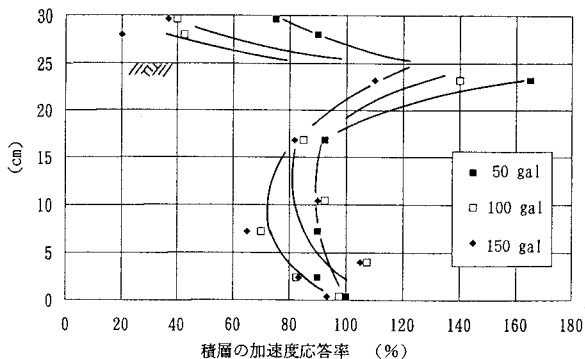


図-3 応答加速度の分布
(砂厚25cm)

参考文献 H. Law, H-Y. Ko, S. Sture, & R. Pak: "Development and performance of a laminar container for earthquake liquefaction studies" Centrifuge 91, Rotterdam, 1991, pp369-376