

III-243

飽和砂の二方向せん断時液状化強度特性

東北大学工学部 正 菅野 高弘
東北大学大学院 許 峻榮
東北大学工学部 正 柳澤 栄司

1 まえがき 大地震に際して発生する飽和した緩い砂地盤の液状化現象は、従来、その機構についてはS波の応答により考察されてきたが、過去の震害の実例から見て、表面波の影響がかなり大きく存在するものと考えられる。本研究は、軟弱な砂地盤および粘土地盤上の敷砂の液状化現象を表面波の見地から考察することを目的としている。

2 装置の概要 Love波伝播時の応力、ひずみ状態は図1で示すように二方向のせん断応力、ひずみ成分を有しており、このような応力、ひずみ状態を既存のせん断試験装置で再現することは難しい。そこで、図2に示すようなLove波を考慮した二方向純粋せん断試験装置を考案し、飽和砂の非排水せん断試験を行なった。供試体は一辺が10cmの立方体で、紙面に直交する方向(X_1 方向)にLove波が進行する時の変形

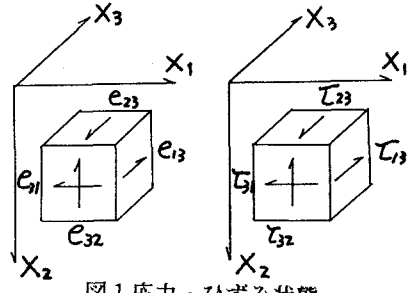


図1 応力・ひずみ状態

状態を再現している。載荷板は、回転中心が板の中央部分の供試体との接触面に来るように特殊な支持機構を備えている。また、上下板を X_3 方向に移動できる様にして、せん断応力の伝達ができるように改良を行なった。

3 実験および考察 本装置によって液状化試験を行なうために、あるモデル地盤を想定しLove波伝播時の地中の応力状態を求め、その応力状態を再現する事とした。モデル地盤は1983年日本海中部地震で被害の発生した八郎潟干拓堤防のボーリングデータを参考に図3のように仮定した。この地盤の固有周期は1.41秒と推定される。ここに地表変位を片振幅5cm、周期1.41秒の正弦波で入力した場合の地中せん断応力分布を求めると(図3)、S波重複反射理論で求めたせん断応力に比べて地表付近でせん断応力が大きくなっていることがわかる。即ち、S波重複反射理論では液状化の危険性が小さいと考えられる地表付近において、Love波の伝播を考えるとせん断応力が大きく、拘束圧が小さいため液状化発生の可能性が大きくなる。今回は深度2.7m地点での応力状態を再現する事とし、 $\tau_{13}/\tau_{23}=1.29$ を用いた。この時の最大主応力ベクトルの動きを図4に示した。せん断応力が載荷されると最大せん断応力が大きくなりながら回転していくことがわかる。また、この実験に先立ち、V方向、H方向のみの単方向せん断実験を行ない比較の対象とした。実験に使用した試料は豊浦標準砂($G_s=2.645$, $e_{max}=0.969$, $e_{min}=0.614$)である。バックプレッシャーは0.5kgf/cm²

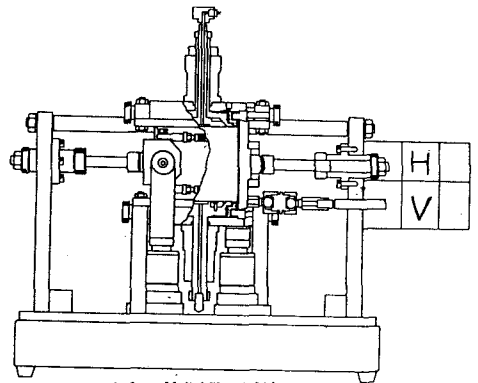


図2 装置概略図

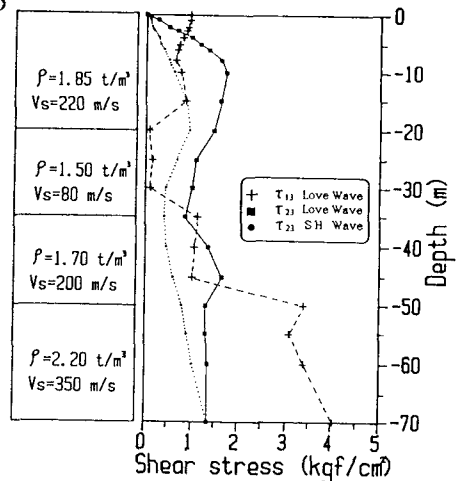


図3 地中せん断応力分布

かけており、鉛直応力 $\sigma_v=0.5\text{kgf/cm}^2$ で、相対密度 $Dr=61\%$ 、応力制御非排水繰返しせん断試験を行なった。H、V方向の単一方向の液状化試験を行なった所、図5に示すような液状化強度曲線が得られた。これは明らかにせん断の方向によって液状化強度特性が変わることを示しており、空中落下法によってできた、粒子長軸方向が水平方向に卓越する構造異方性の影響が反映されていると思われる。この図5を基にある N^* 回で液状化する各々の τ_{13} 、 τ_{23} を求めてみると、これは N^* に対するある種の破壊境界を表すものと考えられる。ここに縦軸に τ_{23} を横軸に τ_{13} をとり図6のような座標系を考えると、ある

N^* 回に対して τ_{13}^* 、 τ_{23}^* が決まる。この関係を τ_{13} 、 τ_{23} が同時に載荷される二方向せん断についても拡張してみると図6のように τ_{13} 、 τ_{23} の組み合わせによって連続的にこの境界曲線が存在するものとする。そこで、今回はこの境界曲線に楕円を仮定してみた。楕円の長短軸の比 τ_{13}/τ_{23} は実験データから1.53を仮定した。二方向せん断時の等価せん断応力 τ は楕円の半径で定義し、等価せん断ひずみも同様に定義した。二方向せん断時の実験結果が Δ 印で図5に示してある。このように二方向(VH)せん断試験結果が単一方向(V,H)の強度曲線の間にプロットされることから上述の仮定の妥当性が確かめられる。

4 あとがき 地震時の地盤の解析の多くは、地盤を弾性体と仮定しているが、土の場合、材料の非線形性、構造などを考慮にいれた解析が望まれる。このため種々の材料試験が行なわれているが、Love波のような特殊な条件下での研究があまり行なわれていないのが現状である。このため、今回二方向せん断試験装置を新たに開発し、実験を試みた。その結果、水平堆積地盤に近い構造を持つと考えられる供試体の場合、その液状化特性に構造異方性の影響が認められ、また、単一方向(V,H)及び二方向(VH)せん断載荷時の液状化に対する総合的な評価を行なうことができた。しかし、これらの評価はまだ実験数も少なく、供試体の相対密度も $Dr=61\%$ の一種類のみであり、今後、実験データの蓄積が必要である。また、二方向のせん断応力の位相差などLove波の振動特性に着目した実験を行なう必要があると考えている。

参考文献 柳澤栄司、石原金洋、飛田善雄、中村 晋：日本海中部地震における八郎潟正面堤防の振動特性、土と基礎、Vol. 32, No. 9, pp. 41-44, 1984

S. Nakamura, E. Yanagisawa: Application of Nonlinear Surface Wave Response Analysis to Liquefaction Damage to Hachirogata Reclaimed Dike Due to Nihonkaichubu Earthquake of 1983, Proc. of 2nd Int. Conf. on Numerical Models in Geomechanics, 1986

土質工学会東北支部：1983年日本海中部地震被害調査報告書、1986年

神山 真：地震時における地盤内の応力ひずみの評価、土木学会論文報告集、Vol. 205, pp. 9-23, 1976年

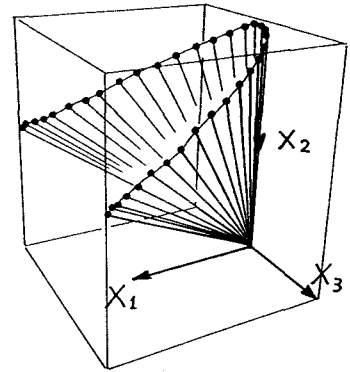


図4 最大主応力軸の回転

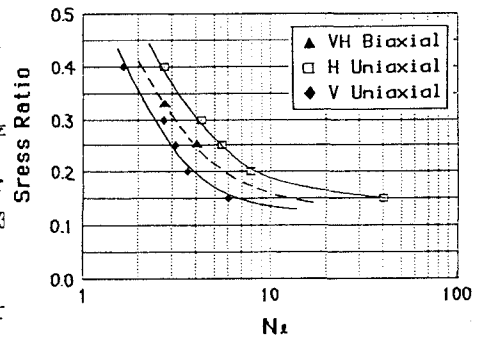


図5 液状化強度

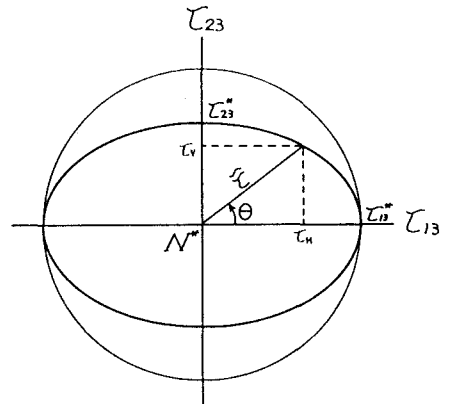


図6 液状化の境界曲線