

(65) 液状化防止対策としての補強土工法の適用性

(小型振動台による実験)

フジタ工業(株) 技術研究所 望月 美登志

福島 伸二

香川 和夫

1. まえがき

これまで補強土工法の液状化防止対策への適用性を室内試験(繰返し三軸試験, ねじり単純せん断試験)によって調べてきた。しかしながら実地盤における液状化現象は上層から水圧が散逸するものであり, 室内要素試験においてはこれを忠実に再現することはむずかしい。そこで本研究は飽和砂層における液状化現象に対して, 補強土工法が液状化防止対策として有効であるかどうかを小型振動台を用いて調べたものである。

2. 繰返し三軸試験結果^{1), 2), 3), 4)}

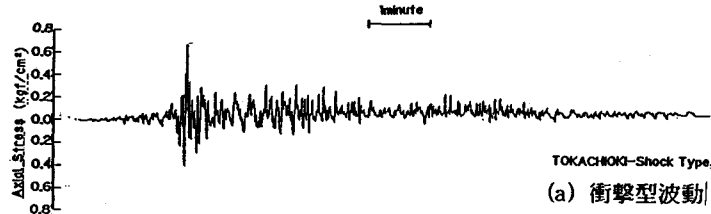
補強した砂の供試体について, 正弦波载荷(周波数0.1HZ)と不規則波载荷(十勝沖地震の加速度記録を用いた)による

繰返し三軸試験を行ない,

動的条件下における補強材の効果について調べた。図-1に不規則波载荷に用いた荷重記録を示してある。図-2に供試体中に針金を8層に配置して補強した場合の試験結果を示す(a):振動型波動, (b):衝撃型波動)。

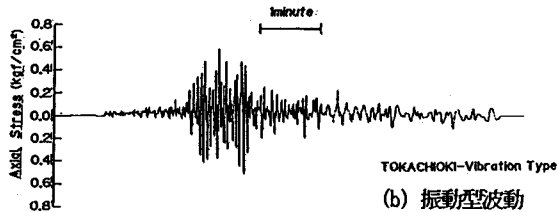
尚, 試験方法, 補強材の配置方法について

は参考文献^{1), 2), 3), 4)}を参照してほしい。



TOKACHOKI-Shock Type

(a) 衝撃型波動



TOKACHOKI-Vibration Type

(b) 振動型波動

図-1 十勝沖地震における地震波

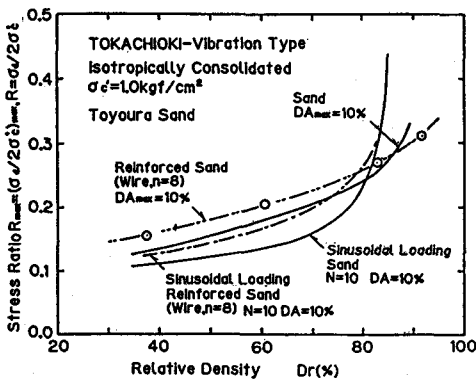


図-2 (a) 応力比-密度関係 (振動型波動)

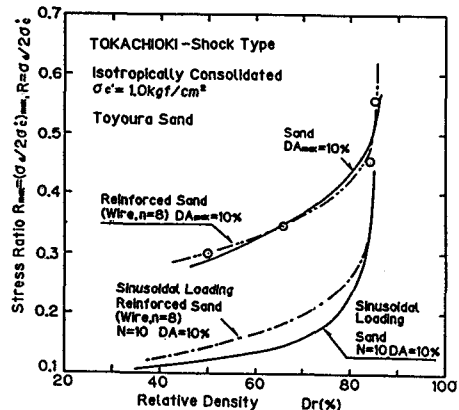


図-2 (b) 応力比-密度関係 (衝撃型波動)

図中、実線が無補強の場合で、点線が補強した場合である。図-2より以下のことがわかる。

- i) 正弦波載荷では、特に応力比の小さいところで大きな補強効果(密度増加)が認められる。
- ii) 不規則波載荷のうち振動型波動を用いた場合、正弦波で載荷した時と同様の結果が得られ補強効果が認められる。
- iii) 衝撃型波動を用いた場合、補強効果はほとんど認められないが、砂自体の液化強度は振動型波動で載荷した場合よりもかなり大きくなる。

3. ねじり単純せん断試験結果

針金で補強した砂の中空円筒供試体について正弦波(周波数0.1Hz)の繰返しせん断応力を加えて補強効果を調べた。図-3に補強材の配置方向の影響(鉛直方向と水平方向の比較:補強材間隔をそろえてある)を、図-4に補強材の直径の影響を示す($d=1.6\text{mm}$ と 0.9mm)。尚、供試体作製方法、試験方法の詳細については参考文献5)を参照してほしい。

試験結果をまとめると次のようになる。

i) 補強材の配置方向が主応力方向からずれる場合には補強材を主応力方向に配置した場合と補強機能が異なり、材料の剛性の大きいものの方が補強効果が大きくなる。

ii) ねじり単純せん断試験において、補強材を鉛直方向と水平方向に配置した場合は主応力方向からの傾き(45°)は等しいが水平方向の配置の方がやや効果が大きい。

4. 小型振動台実験

4-1 試験方法

実験に用いた装置は図-5に示すような空圧式の小型振動台である。土槽は長さ 1.1m 、幅 30cm 、高さ 60cm でモデル地盤が試験中自由にせん断変形できるように振動方向の壁を底版にヒンジ結合させてある。

本装置は通常の油圧式の振動台に比べると高周波で高出力を得ることが困難であるが、非常に安価で容易にランダム波も入力できる点が特徴である。また土槽の寸法は、補強材の補強効果を各種の条件下で調べることが目的であるため小型にしている。本装置の空気圧システムは空圧式の繰返し三軸試験機¹⁾と同様であるが、できるかぎり高周波で圧力が追従できるようにジャイアントプスターを用いた。飽和砂層は土槽の底部より 25cm の高さに張った水に水面より 50cm の高さからホッパー(開目幅 5mm)を用いて豊浦標準砂($G_s=2.64$)を落下させて作製した。この時の間げき比は $e=0.88$ であり、これに側壁を木ずちで均等に12カ所、10回ずつ打撃する(両面に行う)ことによって $e=0.80$ の状態を作り、 $e=0.88$ 、 $e=0.80$ の2種類の間げき比について試験を行なった。水位は地表面に設定し、試料作製後12時間放置した(これによって完全ではないが、飽和度が上るものと考えられる)。砂層の厚さは、 40cm とし、計測器(間隙水圧計、加速度計、変位計)の配置は図-6の通りである。本研究においては、無補強の砂層に対して種々の加速度で加振を行い、液化が生じた時(間隙水圧 Δu が初期の有効土かぶり圧 σ_v と等しくなる)の繰返し回数 N を基準に

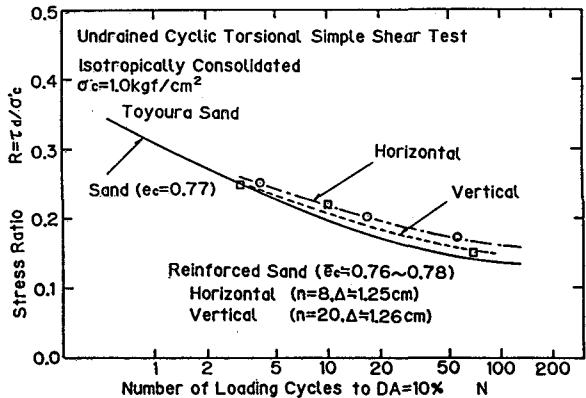


図-3 補強材の配置方向の影響

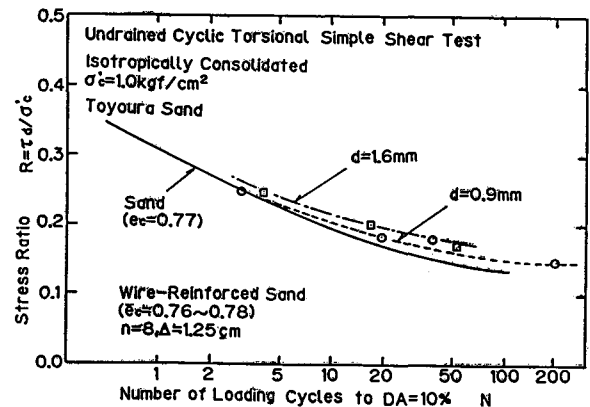


図-4 補強材(針金)の径の影響

整理し、加速度-繰返し回数の平均曲線を求めておく。補強砂においても同様の方法で試験を行なって整理し、同一密度のもとでの液状化までの繰返し回数を比較することによって補強効果を調べた。本実験に用いた補強材は長さ20cm、直径1.2mmの針金の表面にアルルダイトで砂を付着させたもので、これを図-6に示すように飽和砂層に鉛直方向に配置した。本試験における地盤中の応力状態はねじり単純せん断試験の場合に近く、今回の補強材の配置方向(鉛直方向)は主応力方向から傾き、完全な引張及び圧縮補強材としての機能は果たさないが、今回は実際の施工のしやすさを考えて鉛直方向の配置をした。模型地盤における補強範囲は $l_R=40\text{cm}$ とし、土槽の中心に取った。補強材の配置間隔はすべて等しくなるよう $\Delta l=\Delta w=2.5\text{cm}$ とした(補強材数 $n=187$ 図-6 参照)。

この模型地盤に対して相似則は無視して、幾何学的な縮尺のみあてはめて実地盤を想定してみると縮尺1/25で、深さ10mの砂地盤に $l_R=10\text{m}$ 、 $\Delta W=\Delta l=62.5\text{cm}$ の間隔で長さ5mの補強材を配置した場合に相当しよう。尚、本実験は所定の台加速度を生じさせるために必要なベロフラムシリンダーの空気圧を検定台によって事前にチェックしてから行ない、試験周波数はすべて1.5Hzとした。

4-2 試験結果

図-7に間げき比 $e=0.8$ 、台加速度156galで加振した際の台加速度及び間隙水圧(P_1)の記録を示す。同図より本装置においては初期の段階から所定の加速度が発生し、液状化までの間ほぼ一定の値を保っていることがわかる。

図-8に針金で補強した場合の加速度と液状化までの繰返し回数の関係を示す(a): $e=0.88$, (b): $e=0.8$ 。

尚、ここでは補強領域内 P_1 の位置での液状化発生時の繰返し回数をとっている。図中の実線は砂のみの場合の加速度-繰返し回数の関係を表しており、補強砂の曲線は砂のみの曲線の右側に位置し同じ加速度でも多くの繰返し回数を要し、補強効果が認められる。効果の大きさは $e=0.88$ の場合、 $N=2$ で液状化する加速度に着目すると20gal程度の増加、 $e=0.8$ の場合、 $N=10$ のところまで40gal程度の増加が認められる。補強効果の傾向としては、繰返し三軸試験、ねじり単純せん断試験の結果と同様に加速度が小

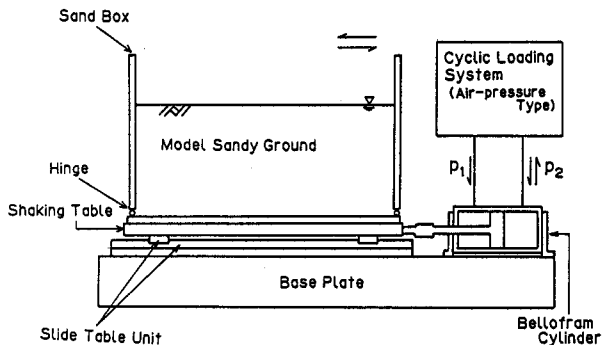


図-5 小型振動台

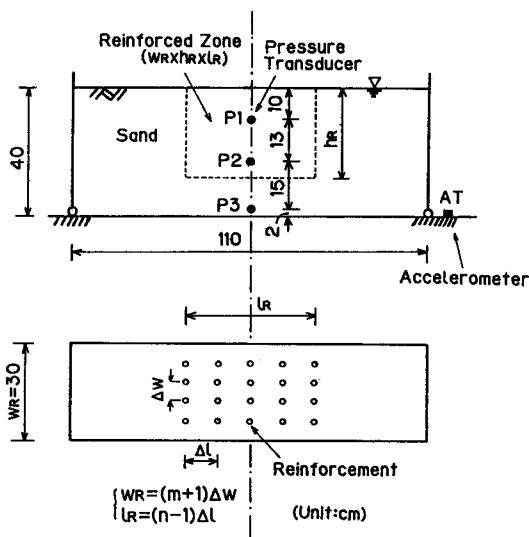


図-6 計測器および補強材の配置

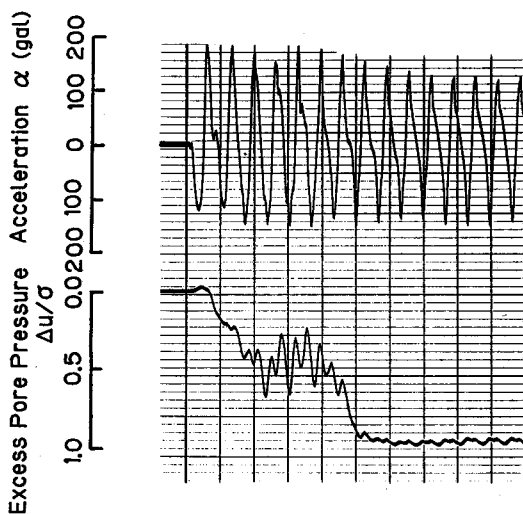


図-7 台加速度及び間隙水圧(P_1)の記録

さくなるほど補強効果が大きくなるのがわかる。

また間げき比 $e=0.88$ と $e=0.80$ の場合を比較すると、 $e=0.80$ の方が加速度がかなり大きくなっている(たとえば無補強の場合の $N=5$ の液状化加速度をみると $e=0.88$ では80gal, $e=0.80$ では180gal)が、これは試験条件である1.5Hzという低い周波数の影響を受けたためと考えられる。

5. 結論

針金で補強した飽和砂層の振動実験の結果をまとめると次のようになる。

i) 飽和砂層を補強材で補強することによって地盤の液状化抵抗を大きくすることができる。

ii) その補強効果は繰返し三軸式試験やねじり単純せん断試験の時と同様に、大きな加速度の振動を受ける場合より小さな加速度の振動を受ける場合の方が大きくなる。

以上の結果により補強土工法が地震時の液状化防止対策として有効で安価で行なえる適当な工法と考えられる。今後はさらに補強材の補強領域や剛性が補強効果にいかなる影響を及ぼすか、また他工法との補強効果の比較を行なっていくつもりである。

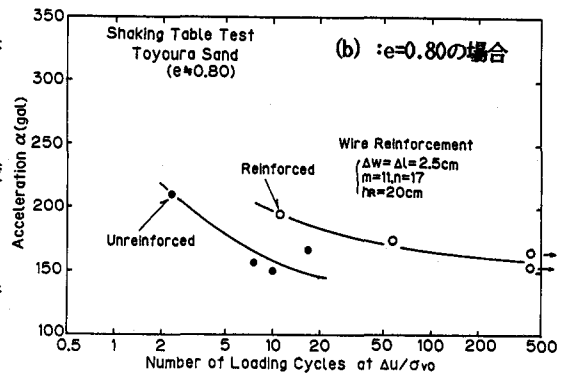
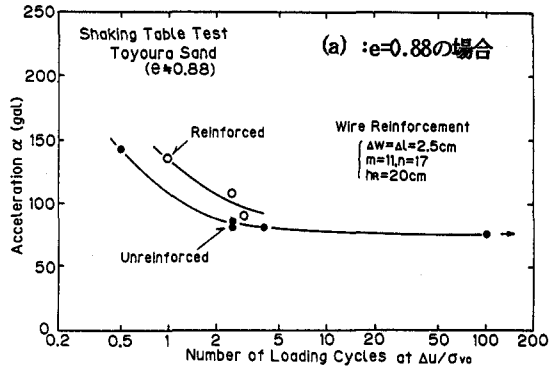


図-8 加速度-繰返し回数 関係

参考文献

- 1) 望月 福島 香川「補強砂の非排水繰返し三軸式試験 第21回土質工学研究発表会
- 2) 福島 望月 香川「補強砂の動的強度に及ぼす密度の影響」第21回土質工学研究発表会
- 3) 望月 福島 香川「補強土工法の液状化防止対策への適用性」第7回地震工学シンポジウム
- 4) 福島 望月 香川 久野「補強土工法の液状化防止対策への適用性」土と基礎 vol 35 N04 pp5-pp10
- 5) 望月 福島 香川「液状化防止対策としての補強土工法の適用性」第1回ジオテクニカルシンポジウム