

(85) レキ混じり砂層の液状化に関する振動台実験

金沢大学大学院		片原 道男
金沢大学工学部	正会員	宮島 昌克
金沢大学工学部	正会員	北浦 勝
金沢大学大学院		中川 浩明

1. はじめに

一般にレキ混じり地盤の液状化抵抗は大きく、地震時の液状化被害の可能性は低いと考えられて来た。しかし、1993年北海道南西地震において、火山噴出物の液状化が確認され、火山弾などの大きなレキ混じり砂層が液状化したことが注目された<sup>1)</sup>。

また、1995年兵庫県南部地震においてもポートアイランド、港湾部などでレキ混じり砂層が液状化したことが確認された。写真1はポートアイランドの港湾部の様子であるが、巨大なレキが噴出しているのがよくわかる。噴砂の多くは粗砂からレキを主体としたまさ土であった。また、粘性土に近い細かい土も認められた。これらのことより、今後液状化判定基準を見直す必要があると思われる。



写真1 兵庫県南部地震による  
ポートアイランド港湾部における噴砂

そこで、砂箱を用いた振動台実験を行い、レキ混じり砂層の液状化についてレキの混合率、地盤の透水係数に注目し実験的に検討を行った。

2. レキ混じり砂層の液状化に関する模型実験

2.1 実験概要

実験装置の概要を図1に示す。振動台は水平1方向にのみに加振できる。その振動台上に鋼製の砂箱を設置し、砂箱内に模型地盤（長さ1500mm×幅500mm×高さ170mm）を作成し砂箱の長手方向に加振を行う。模型地盤に用いた砂は手取川の川砂（比重 $G_s=2.67$ 、平均粒径 $D_{50}=0.20\text{mm}$ 、均等係数 $U_c=2.96$ ）である。また、実験に用いたレキはコンクリート骨材用の5号碎石（比重 $G_s=2.69$ 、最大粒径 $D_{max}=25\text{mm}$ ）である。レキの混合率（体積率）を0%、10%、30%、50%の4種類として実験を行った。

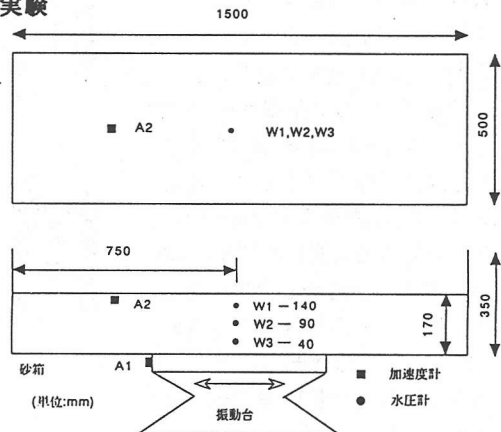


図1 実験装置概略図

地盤は水中落下法により作成した緩詰め飽和砂地盤であり、レキが地盤全体に均一になるように作成した。入力加速度は約130gal, 190gal, 230galの3ケースである。入力加速度は5Hzの調和波であり、5秒間で最大加速度に達するようにし、その後さらに同振幅で25秒間加振した。加振中に砂箱に設置した加速度計で入力加速度を計測し、地盤内に設置した水圧計で過剰間隙水圧を計測した。また、地表面に設置した加速度計で応答加速度を計測した。加振前後に地盤厚を測定し、地盤の沈下量を求めた。

## 2.2 実験結果および考察

実験結果の一例を図2に示す。レキ混合率が50%、入力加速度が230galのケースにおける結果である。それぞれ上から順に入力加速度、地表面の応答加速度、間隙水圧の測定データW3, W2, W1を示したものである。過剰間隙水圧の図から、地盤表面に近づくほど液状化継続時間が長くなっていることが見て取れる。また、応答加速度の波形を見ると4秒付近で一度加速度が減衰していることがわかる。このことから液状化が起こったことが確認できる。これがレキの混じっていない砂のみのケースでは加速度の小さい部分が6秒前後続いている。このことからレキが混じると液状化継続時間が短くなるものの、液状化が発生することがわかる。

図3はレキの混合率と地盤沈下率（初期地盤厚に対する地盤沈下量の百分率）との関係を表したものである。入力加速度が大きくなるにつれ全体に地表面沈下率が増加していることがわかる。また入力加速度が130galの場合は、レキの混合率が0%での沈下率が4.0%であったのが、レキの混合率が増加するにつれて地盤沈下率が減少していることがわかる。入力加速度130galでのレキ混じり砂地盤の過剰間隙水圧比は0.6~0.7ぐらいであり、完全液状化に達していない。しかし入力加速度が190gal, 230galの場合には、過剰間隙水圧比の記録より、完全液状化状態まで達していることがわかる。これらの入力加速度においては、地盤沈下率はレキの混

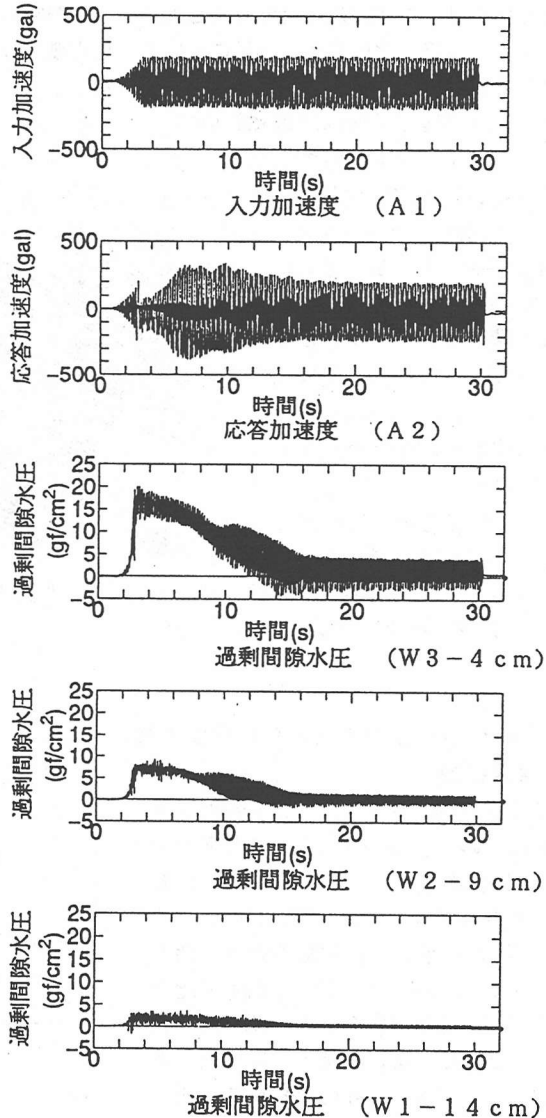


図2 波形の時刻歴の一例  
(混合率50%, 入力加速度230gal)

合率が増加してもほぼ一定の値を示している。このことより、地盤が完全液状化状態に達すれば、レキの混合率による地盤沈下率の顕著な差はみられないものと考えられる。

レキ混合率30%での地盤沈下率が少し大きめの値を示していることに関しては、地盤の剛性の違いに起因するものか、あるいは実験結果のばらつきであるのかについては、現段階においてどちらとも言えない。しかし、もし実験結果のばらつきでないとすれば、実地盤においてもあるレキ混合率において地盤の動的挙動が大きく異なる可能性があると言うことになる。これに関しては今後とも検討を進めていきたいと思う。

図4、図5にレキの混合率と液状化継続時間との関係を表した。図4は地盤底面から4cmの所に設置した水圧計の記録によるものであり、図5は底面から9cmのものである。レキの混合率が増加するにしたがって液状化継続時間が減少していることがわかる。特に混合率が0%の場合と50%の場合を比較すると、明らかに混合率50%の方が液状化継続時間は短い。これは混合率が上がるにつれて透水性がよくなる事が原因の一つではないかと考えられる。

そこで、実際に模型地盤の透水係数を測定した。図6はレキの混合率と透水係数との関係を測定したものである。レキの混合率が0%の砂の透水係数は $2.0 \times 10^{-2} \text{cm/s}$ であり、混合率50%の砂の透水係数は $4.5 \times 10^{-2} \text{cm/s}$

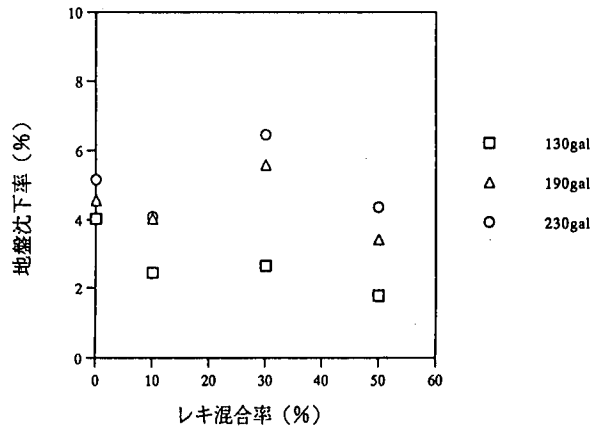


図3 レキ混合率と地盤沈下率の関係

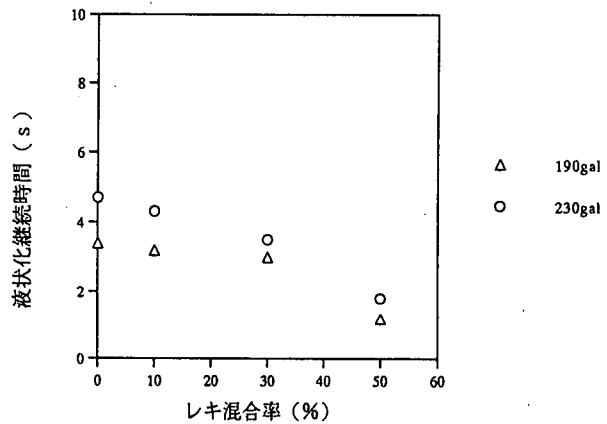


図4 レキ混合率と液状化継続時間の関係 (W3)

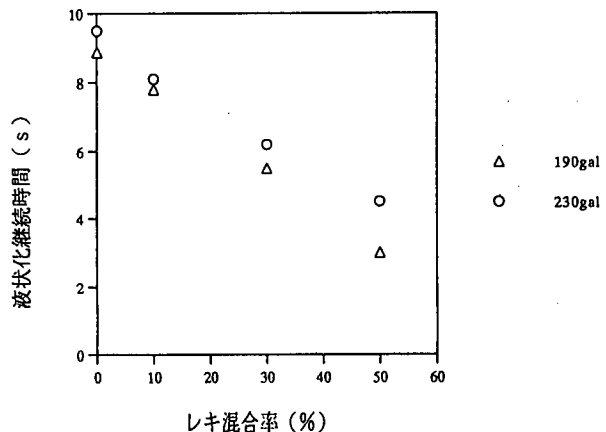


図5 レキ混合率と液状化継続時間の関係 (W2)

であり、約2.3倍の値になっている。さらに表1は土粒子の径と透水係数の概略値を示したものである。同表に基づくと、砂のみの地盤では平均粒径から考えて細砂の分類に入り、レキを50%混ぜても細砂から中砂になる程度である。このことから考えると、レキの混合率を50%とした場合でも、液状化継続時間の違いはあるものの液状化が十分に起こりうると判断できる。今後はさらに混合率を増して検討していく必要がある。

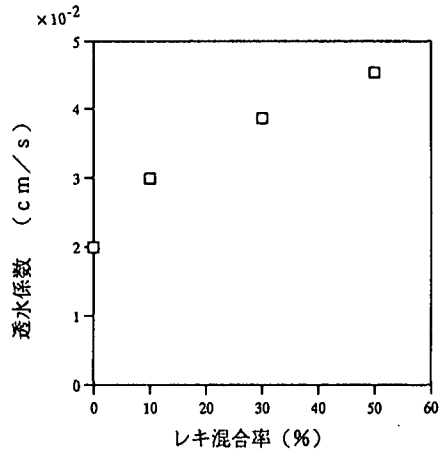


図6 レキ混合率と透水係数の関係

表1 土粒子の径と透水係数<sup>2)</sup>

土質	土粒子の径 (mm)	透水係数 (cm/s)
微細砂	0.05~0.10	0.001~0.005
細砂	0.10~0.25	0.005~0.010
中砂	0.25~0.50	0.010~0.100
粗砂	0.50~1.00	0.100~1.000
小砂礫	1.00~5.00	1.000~5.000

### 3. まとめ

振動台実験によれば、砂地盤にレキが混じると液状化継続時間が短くなるとはいえ、大きい入力加速度のもとでは液状化は起こるといことが明らかとなった。たとえ砂地盤の50%がレキであったとしても、砂部分が緩い堆積状態であれば液状化は起こるようである。例えば、液状化対策工法の一つにグラベルドレーン工法があるが、10%程度地盤をレキで置換することで液状化を防ぐことが出来るという報告<sup>3)</sup>がある。レキ混じり地盤では、レキ間に砂粒子が入っているので過剰間隙水圧の消散効果が減少し、同じ置換率でもグラベルドレーン工法のような劇的な液状化軽減効果は得られないようである。

また、これまでの液状化の簡易予測法としてN値に基づいた手法が用いられてきたが、N値の測定においては、砂のみの層よりレキ混じり砂層の方が大きな値が得られるので、液状化危険度が低く見積られる可能性がある。今後の液状化危険度判定には透水係数なども考慮するなど、十分な改善が必要であろう。

今後はさらに混合率を増やすとともに、地盤の相対密度の違いに注目した実験を行う予定である。

#### 参考文献

- 1) 河井正・田中幸久・国生剛治・瀬尾和義：北海道南西沖地震による岩屑なだれレキ層の液状化－（その5）室内液状化試験－，第29回土質工学研究発表講演集，pp.793-794，1994.
- 2) グラベルドレーン工法研究会：グラベルドレーン工法技術資料，1990.
- 3) 中川浩明：グラベルドレーン工法における液状化対策効果と地盤の置換率に関する実験的研究，金沢大学卒業論文，1995.