

液状化地盤の側方流動が地中構造物に及ぼす作用力に関する実験

金沢大学工学部	穂坂 英正
金沢大学大学院 学生員	長谷川 正道
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

1. 序論

液状化地盤の側方流動による地中構造物への影響については近年盛んに研究が行われている。その手法として、液状化地盤を剛性の低下した弾性地盤と仮定し応答変位法を適用する方法と、粘性流体として流体力を考慮する方法が試みられている。本研究では、まず液状化地盤を粘性流体と仮定して実験を行うとともに、その塑性的性質、特に過剰間隙水圧の消散過程におけるそれについても注目しながら液状化地盤の地盤特性ならびにその挙動について考察する。

2. 完全液状化地盤の粘性的性質

まず完全液状化地盤の粘性係数を求めることを目的として落球試験を行った。実験装置をFig. 1に示す。砂箱内の地盤は水中落下により作成し、これに5Hzの振動を加え液状化を起こし、地盤上に置いた球が沈下する速度を測定した。実験には直径の異なる4種類の球を用い(Table 1)、その大きさが粘性係数に与える影響についても調べた。

実験結果の一例をFig. 2に示す。地盤に振動を加えると間隙水圧は上昇し、過剰間隙水圧比は1に達して完全液状化状態となる。同時に球は緩やかに沈下し始める。完全液状化状態はその後数秒間継続し、その間、球の変位も時間とともに増加している。やがて容器の下方から間隙水圧は消散し始める。変位は過剰間隙水圧比が1より小さくなるのとほぼ同時に一定値となる。

球が完全に地盤中に没してから、その沈降速度が減衰する前の一定な沈降速度を測定し、Stokesの式を用いて求めた粘性係数と加速度とを比較したものがFig. 3である。この図を見ると加速度が大きくなるに従って粘性係数が小さくなる傾向が確認される。

ここで注目されるのはA球の挙動である。Fig. 4にA球と他の球の変位の時刻歴を示す。これを見るとA球の変位の変化には他の球に比べ明らかに凹凸がある。これは沈下する際球周りの液状化地盤が締め固まり、一時的に塑性的性質を取り戻したためと思われる。このことを考慮して静止した球が再び沈下し始めた点から、再び止まるまでの速度を用いて粘性係数を求めFig. 5に示した(CASE2)。その結果は直径の最も小さいD球の結果と近いものであり、変位時刻歴の凹凸を平均化して求めた場合(CASE1)にみられるような、入力加速度が粘性係数に与える影響もなくなった。このときのレイノ

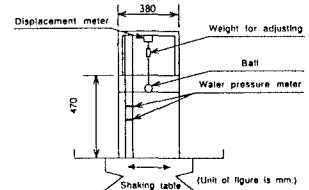


Fig.1 General view of test apparatus for dropping-ball experiment.

Table 1 Test condition

	Diameter (cm)	Weight (gf)	Density (gf/cm ³)
A	12.7	5068.7	4.67
B	7.8	1160.0	4.67
C	6.0	528.0	4.67
D	3.6	150.0	4.67

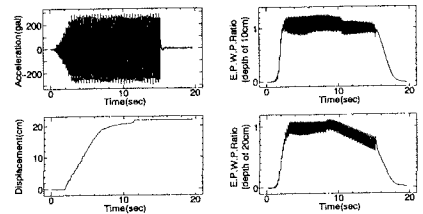


Fig.2 Time histories of input acceleration, displacement and excess pore water pressure ratios.

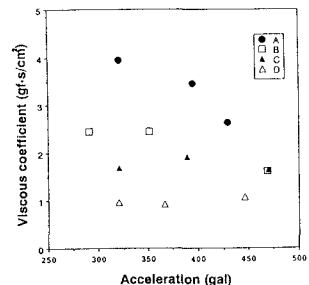


Fig.3 Relationship between viscous coefficient and input acceleration.

ルズ数は、Stokesの式の適用範囲内にあるものの、変位時刻歴の凹凸を平均化して求めた場合、ならびに他の球の結果と比較して1ケタ大きくなった。このことから、大きい球は周囲の液状化地盤を乱しながら沈下し、塑性的性質を取り戻した地盤によって一時的に支持されるものと思われる。また一度締め固まった地盤が、周囲の完全液状化地盤や球の振動による応答によって再びその流体的性質を取り戻すことになるが、それに要する時間が加速度の大きさにより異なるために、Fig. 3のような球径による粘性係数の違いが生じたと思われる。そのように考えると、B球においても同様の現象が起きている可能性がある。したがって、そのような影響を取り除いて粘性係数を算出するとその値は $1.1 \text{ gf} \cdot \text{sec} / \text{cm}^2$ となった。

また、相対密度と粘性係数の相関についても調べたところ、従来の研究結果¹⁾と良い対応を示した。

3. 液状化の遷移過程における地盤特性の変化

つぎに流体的挙動をしていた液状化地盤が再び固体的性質を取り戻す過程に注目し、上載圧一定のもとに球を横に引く実験を行った。Fig. 6に示すように、本実験では球をモーターによって一定速度で水平方向に引き、球に加わる抵抗力と球の変位を測定した。過剰間隙水圧は砂箱の底からの上向き浸透流によって調整した。

引き上げ速度 1.5 cm/s 、球の埋設深さ 9.0 cm で行った実験における変位と荷重の相関をFig. 7に示す。同図によると過剰間隙水圧比が約 0.9 を下まわると波形の傾向が明らかに異なっている。過剰間隙水圧比が 1.0 のときの粘性係数は落球試験の結果と一致したが、過剰間隙水圧比が 0.91 になると粘性係数は約 6 倍に急増する。また、過剰間隙水圧比がさらに減少した実験でも地盤挙動は塑性的なものであった。すなわち、球に作用する抵抗力は静止摩擦により一度最大値に達した後、降伏して動摩擦に変わっている。この状態では荷重と速度の関係から粘性係数を求めることは困難である。このことは、消散過程における液状化地盤は塑性的性質を持ち合わせていることを示しているといえよう。

4. 結論

液状化地盤を粘性流体と仮定した実験を行ってきたが、大きい球の沈下する際の挙動や横引き実験の荷重の時刻歴などから、地中構造物に作用する力を粘性流体として評価できない現象が幾つか確認された。このことは液状化地盤が、とりわけその消散過程において塑性的特性を持ち合わせていることを示唆するものであった。今後は液状化過程の地盤の挙動をさらに明確に捉えらるとともに、その評価方法について考えていく必要がある。

参考文献 1) T. Kawakami, N. Suemasa, H. Hamada, H. Sato and T. Katada : Experimental Study on Mechanical Properties of Liquefied Sand , Proc. of 5th U.S.-Japan Workshop on Liquefaction and Large Ground Deformation and Countermeasures for Lifelines , 1994(in press).

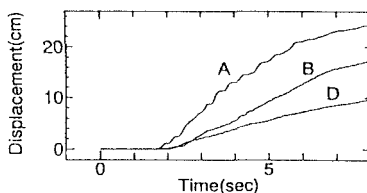


Fig. 4 Time histories of displacement of ball.

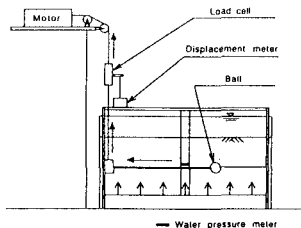


Fig. 6 General view of test apparatus for pulling-ball experiment.

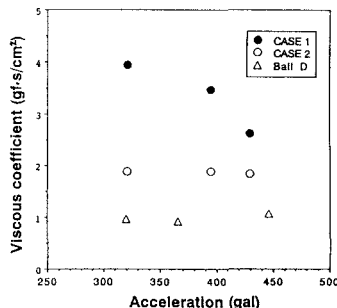


Fig. 5 Relationship between viscous coefficient and input acceleration.

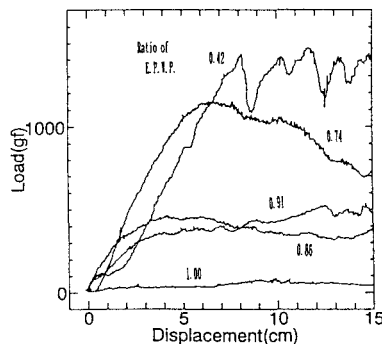


Fig. 7 Relationship between displacement of ball and load.