

III-182 液状化している砂の粘性係数に関する要素実験

東京電力株式会社 正会員 土居 賢彦 正会員 佐藤 博
 東海大学海洋学部 正会員 浜田 政則
 榊原研究所 ○正会員 湯浅 明

1. はじめに

側方流動のメカニズムを解明するため、日本の4地震（1923年関東、1948年福井、1964年新潟、1983年日本海中部）による被害事例をもとに総合的に考察した結果¹⁾、液状化した地盤は流体的な挙動を示すのではないかとの推測が示された。この点に着目し、液状化している砂の物性の評価を行うことを目的として以下に示す2種類の実験を実施した。

(1) 液状化土層中における鋼球の引き上げ実験 (2) 液状化土層中におけるパイプの横引き実験

2. 実験方法および実験項目

図-1に鋼球の引き上げ実験装置（以下鋼球実験）、図-2にパイプの横引き実験装置（以下パイプ実験）の概要を示す。両実験とも土槽に豊浦砂を詰め、土槽内の砂をボイリングにより攪拌して緩詰め地盤を製作する。その後、加振し液状化状態を継続させながら鋼球・パイプを等速度で移動させる。これに作用する荷重をロードセルにより測定する。

鋼球実験・パイプ実験、両実験の実験項目をそれぞれ表-1、2に示す。

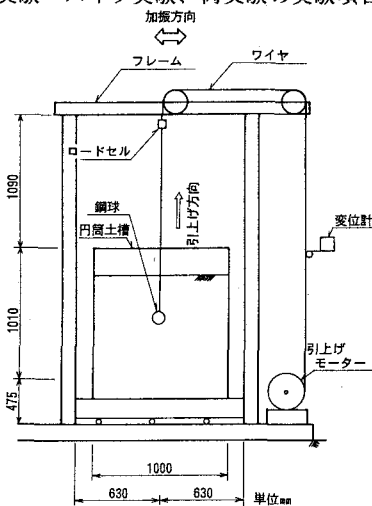


図-1 鋼球の引き上げ実験装置の概要

表-1 鋼球実験の実験ケース

球径 (mm)	入力加速度 (Gal)	相対密度 (%)	引き上げ速度 (cm/sec)
30, 50, 100	150, 250, 350	10, 30, 50	1, 3, 6

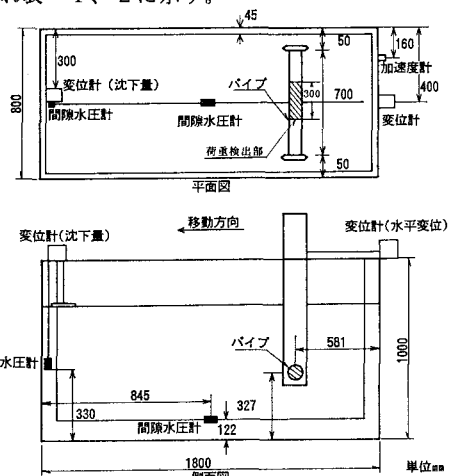


図-2 パイプの横引き実験装置の概要

表-2 パイプ実験の実験ケース

直径 (mm)	入力加速度 (Gal)	相対密度 (%)	横引き速度 (cm/sec)
50	80~500	25, 35, 45	1.5

3. 実験結果

図-3に鋼球実験において入力加速度が150、300 Galで他の条件が等しい場合の実験結果を示す。液状化により鋼球に作用する荷重は浮力により負側に変動し、これを基準にして鋼球の引き上げに伴いランダムに変化している。また、球に作用する荷重は、入力加速度が大きい方が小さい結果となっている。

事前に実施した予備実験において、鋼球の表面に埋め込んだ間隙水圧計により計測した球表面の間隙水圧と荷重との関係を図-4に示す。鋼球の引き上げに伴い間隙水圧は漸減するものの、ランダムに変化しており、水圧の変化と荷重の変化とは良く対応している。即ち、間隙水圧が減少した時荷重はピークを示している。これは、鋼球の引き上げに伴い鋼球周辺の砂層が一時的に剛性を回復し、再び液状化状態に戻るという

状態変化が繰り返し生じているためと考えられ、荷重がランダムに変化するのはこのためである。

また、入力加速度が大きい方が鋼球に作用する荷重が小さいという結果は、入力加速度が大きいと、前述した鋼球周辺の砂層の剛性の回復が少なく、液状化状態を保つ程度が大きいためと考えられる。これと同様のことを、砂層の相対密度についても確認している。これは、液状化している砂の物性を評価する上で液状化状態の度合いを表す指標が重要になると判断できる。

従って、入力加速度・砂層の相対密度の要因を考慮するため、液状化判定に用いられている F_L 値を採用した。また、試験体が液状化土中を等速度で移動した際、試験体に作用する流体力を示す指標として粘性係数を採用し両者の関係を整理した。なお、 F_L 値と粘性係数の算定方法は以下の通りである。

$$F_L = \frac{0.0042 D_r g \gamma'}{\alpha_{\max} \gamma} \quad D_r: \text{相対密度} (\%) \quad \alpha_{\max}: \text{土槽の最大加速度} (\text{cm/sec}^2)$$

鋼球実験の場合の粘性係数は液状化している砂がNewton流体であると仮定し、Stokes近似の式を用いた。

$$\eta = \frac{F}{6\pi r V} \quad r: \text{鋼球の半径} (\text{cm}) \quad F: \text{粘性抵抗力} (\text{gf}) \quad V: \text{鋼球の引き上げ速度} (\text{cm/sec})$$

パイプ実験の場合の粘性係数は試験体の形状が円筒であるので、層流状態におけるLambの式を用いた。

$$q = \frac{4\pi}{R_e (2.002 - \ln R_e)} \rho V^2 d \quad R_e = \frac{\rho v d}{\eta} \quad \rho: \text{液状化時の砂の密度} (\text{g/cm}^3)$$

q : 荷重検出部、単位長さ当たりの荷重 (gf/cm) v : 相対速度 (cm/sec)

以上の条件に基づいて整理した結果を図-5に示す。粘性係数が移動速度と投影面積に若干依存している傾向が見受けられるものの、実験方法が異なるにもかかわらず、総合的に判断すれば、相関性があると考えられる。ちなみに、相関曲線を二次関数で近似すると、その関係は粘性係数: $\eta = 96 F_L^2$ で表すことができる。従って、 F_L 値により粘性係数を定量的に推定することができるものと考えられる。

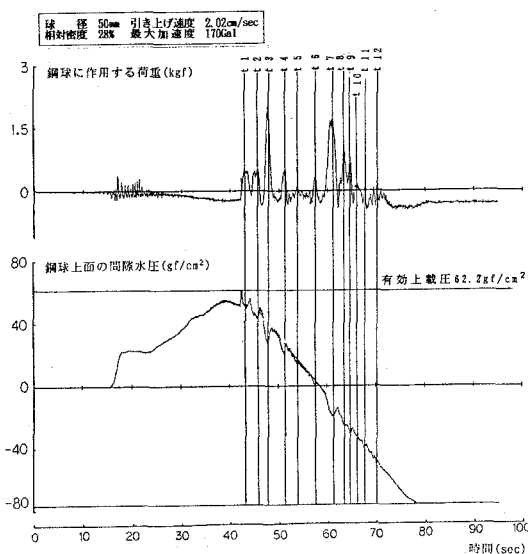


図-4 予備実験の結果

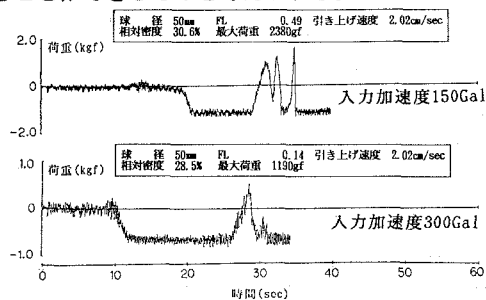


図-3 鋼球実験の結果

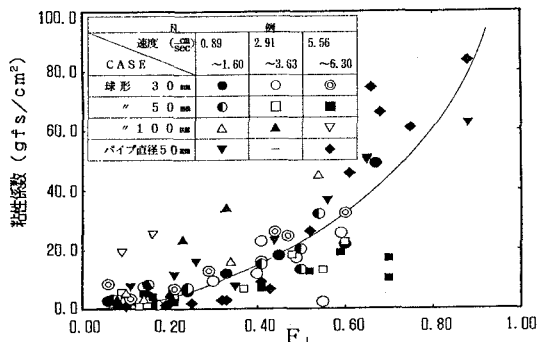


図-5 鋼球・パイプ実験の F_L 値と粘性係数の関係

(参考文献)

1) Masahiko Doi and Masanori Hamada :

A Summary of Case Studies on Liquefaction-Induced Ground Displacements, Fourth Japan-U.S. Workshop, Vol.1, 1992