

Ⅲ－B31

粒状体の流動が杭モデルに与える力の実験的解析

武蔵工業大学大学院 学生員 中野達人

武蔵工業大学 正会員 片田敏行 正会員 末政直晃

日鉄シビルコンストラクション(株)

岩井千鶴

1. はじめに

液状化した飽和砂地盤が側方流動すると、地盤が大変形して杭基礎が損傷する。このため、液状化砂が流動する際に、杭基礎に作用する流動力を明らかにすることは、杭基礎の耐震性評価のために重要である。これに関する研究として、主に模型杭を埋設した模型地盤に対する加振実験がある。これに対して、本研究では液状化した砂地盤の砂粒子を剛体と仮定して、これが流動したときに杭に及ぼす力を実験解析的に求めた。

2. 流動圧の算定

本研究では、側方流動時の杭基礎と地盤の流動を相対的に考えた。すなわち、地盤の流動を杭の移動として捉え、作用反作用の定理により砂粒子が杭に及ぼす力と見なす。杭が加速度 $\ddot{x}$ で運動すると仮定する時、静止していた1つの砂粒子が杭と接触し、杭と同じ加速度で運動するのに要する力は、砂粒子の質量を m とすると $f=m\ddot{x}$ として与えられる。この力が砂粒子が杭に及ぼす力といえる。

次に、杭の移動に伴って動く範囲全体について、この力を見積もり流動力を算定する。杭の移動に伴って動く全砂粒子の範囲は、杭による砂の移動体積から求める。これは図-1における図部で示され、これが部と等しいと仮定する。この時、 Δh の範囲に関する粒子群の移動体積は次式で与えられる。

$$dV = D \times x \times \Delta h \quad (1)$$

D : 杭直径、 x : 杭の移動距離、 Δh : 杭の微小要素高さ

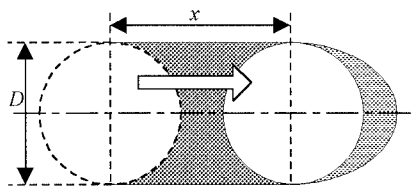


図-1 杭の移動に伴う砂粒子の移動

(1)式で表される移動体積は、実際と必ずしも一致するとは限らない。これは杭の移動に伴う砂の移動がすり抜け、盛り上がりなどを起こすことで、理想化された理論とは異なると考えられるためである。そこで(1)式を補正係数 y で補正した式が(2)式である。

$$dV' = dV \times y \quad (2)$$

ただし、 dV' : 砂粒子の移動体積、 y : 補正係数

このように求められた移動体積 dV' に砂の飽和密度 ρ_{sat} をかけることにより、杭の移動に伴って動く砂粒子の全質量が求められる。その結果、液状化した砂地盤が杭に及ぼす力 F_{LS} は(3)式で与えられる。

$$F_{LS} = \rho_{sat} \times dV' \times |\ddot{x}| \quad (3)$$

3. 杭要素の移動に伴って動く砂の範囲

前述の理論と実際の違いを考慮するため、杭と砂地盤を簡単にモデル化した実験を行った。これにより実際に杭の移動に伴って動く砂粒子の範囲を求め、(2)式の補正係数 y を決定した。

(1) 実験方法及び実験ケース

試料砂を敷き詰めたバットに、杭要素を模擬した直径12cmの塩ビ管を置き、これを砂中で移動させる。一定距離を移動させたところで、生じた砂の変形形状を測定し、杭の移動距離と砂の移動体積の関係を求めた。実験は敷き詰めた砂の上にアクリル板を載せた実験と載せない実験の2通りを行い、盛り上がりによる影響を考慮した。表-1に各実験ケースを示す。その後、これらの実験結果を近似して、補正係数 y を決定した。

表-1 実験ケースの一覧

実験1（盛り上りを考慮しない実験）			
使用試料	ガラスビーズ	乾燥豊浦砂	飽和豊浦砂
実験ケース	ケース1	ケース2	ケース3
実験2（盛り上りを考慮した実験）			
実験ケース	ケース4	ケース5	ケース6

杭，側方流動，粒状体，模型実験

〒158-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学工学部 地盤工学研究室 Tel&Fax 03-5707-2202

(2) 実験結果と考察

実験結果の一例として飽和豊浦砂の結果を図-2、図-3に示す。横軸に移動距離を杭径で除したものの、縦軸に実験値の理論値に対する倍率という形で表した。これを見ると、杭の移動距離が杭径の

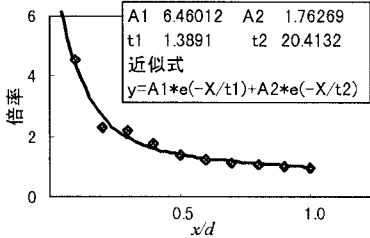


図-2 実験結果とその近似結果（ケース3）

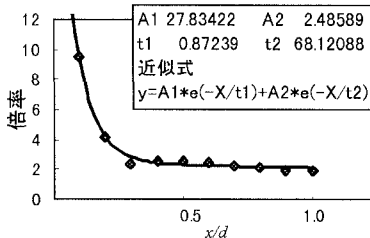


図-3 実験結果とその近似結果（ケース6）

10%～30%の時の倍率が高い。これは動き始めでは、理論で仮定した範囲形状と異なる形状を示したためであると考えられる。アクリル板によって盛り上りを拘束した、ケース5の実験ではその傾向が強く表れている。その後、両ケースとも1～4倍の値に収まっていることがわかる。これにより理論で仮定した形状よりも、実際は大きな範囲の砂粒子が杭に影響を及ぼすことが予想された。他の実験に関してもほぼ同じようなグラフになることが確認された。また盛り上りを拘束するか否かの違いにより、倍率が異なることは、地表面近くと地中深くでは動く砂の範囲が異なることを示している。

実験ケース6に関して、(3)式を用いて F_{LS} を算定した。この算定結果を図-4に示す。この図を見ると、杭が移動するに伴い、 F_{LS} が増加する傾向にある。図中には示されていないが、移動距離12cmより大きくなるとピークが存在した。このことから、杭が移動するにつれて杭周に砂が蓄積されていくが、ある一定以上

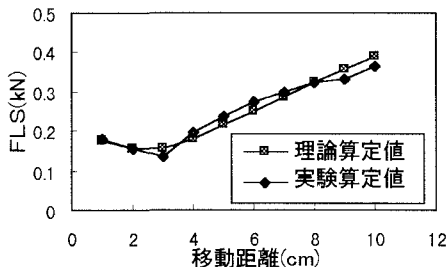


図-4 移動距離と流動力

には蓄積されず、それ以上は徐々に杭周からすり抜けていくと考えられる。

4. 流動力の評価

以上の結果を用いて、杭基礎モデルに対して流動力の算定を試みた。杭基礎モデルとして、道路橋示方書（平成8年度版）¹⁾の設計例を用いた。表-2に用いたパラメータを示す。設計例では12本の群杭となっているが、ここでは一本の杭について幅 $\angle h$ の間に働く力を調べる。また、表-2の値を(3)式に代入し、流動力と杭の移動距離についてまとめたものが図-5である。補正係数は非液状化層としてケース5、液状化層としてケース6の値を用いた。

本研究における算定式は、杭の移動距離 x と砂粒子の流動加速度 $\ddot{x}$ をパラメータとして定式化している。つまり、時刻 t の関数であり、時間ステップごとの流動力が求められる。図-5を見ると、非液状化層における土の流動は考えにくい、杭の変位により杭に力が発生することとなる。また、液状化層では、砂が流動する際、杭に作用する流動力が変化する様子がわかる。また、60cm付近のピークより杭周からの砂のすり抜けも表れ、流動力の最大値を示している。

表-2 計算に用いた各パラメータ

杭径(m)	層圧(m)	流動加速度(m/s ²)
1.2	0.5	100

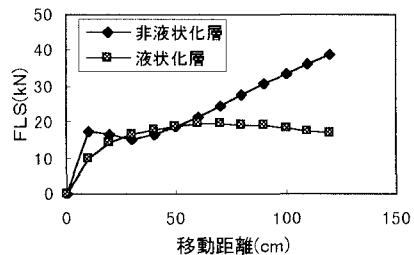


図-5 流動力と移動距離

5. おわりに

今回は粒状体モデルによって杭が受ける流動力の算定を試みた。しかし、杭に作用する力は深さ方向によっても変化し、間隙水の影響も大きいと思われる。よって、これを考慮する必要があると考えられ、今後はこれらのことを踏まえながら研究を進める方針である。

参考文献

- 1) 社団法人 日本道路協会：道路橋の耐震設計に関する資料，pp6-36～6-45，1997