

III-104

過剰間隙水圧存在下での杭の鉛直引き抜き抵抗力

住友金属工業(株) 正会員 西谷道暢 喜田 浩 飯田 毅

1. まえがき

液状化地盤に設けられる栈橋の斜め組杭、建築構造物の基礎杭、埋設構造物のアンカー杭など、地震時に引抜き抵抗力を期待する杭については、杭と地盤間の摩擦抵抗力が過剰間隙水圧の上昇に伴い小さくなるので、引抜き抵抗力の確保を目的に非液状化層まで杭を根入れているケースがみられる。これは現行設計法において杭の引抜き抵抗力が無視されているか¹⁾または具体的取扱いが明記されていない²⁾³⁾ことによる。しかし、液状化地盤内では過剰間隙水圧が対象地震により異なり、また、深さ方向で一定でないと考えられるため、これに応じた杭の引抜き抵抗を明らかにすることによって合理的な杭の設計が可能と考えられる。ここでは、模型杭の鉛直引抜き実験により、過剰間隙水圧存在下での杭の引抜き抵抗力の定式化を試みた。

表1 実験の種類と条件

実験 No.	上載圧 σ'_{vo} (kgf/cm ²)	相対密度 D_r (%)	備 考
1	0.5	65~70	使用砂:豊浦標準砂 使用杭:ジュラルミン製 φ100mm
2	1.0		

2. 実験概要

実験の種類と条件、実験概要を表1、図1に示す。実験は、内径688mmの鋼製円筒土槽中央部に、φ100mm×長350mmのジュラルミン製模型杭を設け、周囲に深さ30cmの飽和砂地盤を作成し、一定上載圧のもとで過剰間隙水圧を上昇させた後、杭の引抜きを行なった。地盤は気乾状態の豊浦砂($G_s=2.65, D_{50}=0.26\text{mm}, U_c=1.38, e_{\min}=0.653, e_{\max}=0.963$)を用い、水中落下法で作成した。過剰間隙水圧 Δu (以下、間隙水圧と略す)の設定は、地盤表面にゴムシート($t=0.5\text{mm}$)を敷き、空気圧で上載圧を与えて地盤を圧密させた後、水圧を一定値まで増加させた。杭の引抜きは1.5~3.0mm/分の速度で行った。計測項目は杭の引抜き抵抗力、引抜き量、土槽下面の間隙水圧、側面および底面の土圧である。

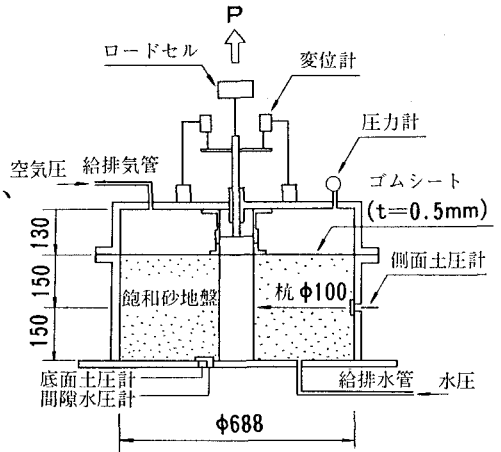


図1 実験概要

3. 実験結果および考察

3.1 杭の引抜き抵抗力と引抜き量

実験No.2につき、各間隙水圧比 $\Delta u/\sigma'_{vo}$ での杭の引抜き抵抗力 P と引抜き量 δ の関係を図2に示す。図より、引抜き抵抗力は、引抜き量が砂の平均粒径程度以内の初期に極限引抜き抵抗力の7~9割程度発現の後、 $\delta=3\text{mm}$ 程度以内で最大値を示し、間隙水圧比が大きい地盤ほど小さいことがわかる。本結果より、地盤が剛塑性的挙動を示すことが理解される。すなわち、杭周辺の砂粒子骨格が変化するまでに初期引抜き抵抗力(図中←印)が発現すると考えられる。従って、初期引抜き抵抗力から極限引抜き抵抗力に至る漸増現象については、地盤が中密であることから引抜き量の増加に伴って杭周辺地盤でゲイルキンが生じ、杭-地盤間の摩擦抵抗が増加する結果と推定される。

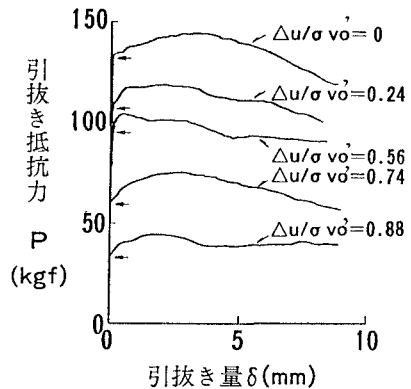


図2 引抜き抵抗力と引抜き量の関係 ($\sigma'_{vo}=1.0\text{kgf/cm}^2$)

3.2 過剰間隙水圧存在下での引抜き抵抗力の定式化

(1)引抜き抵抗力比と過剰間隙水圧比の関係:引抜き抵抗力と間隙水圧の関係を明らかにするため、単位土圧係数当りの初期引抜き抵抗力に関する間隙水圧存在時と常時との比(P_1/K)/(P_{01}/K_0)を引抜き抵抗力比と定義し、間隙水圧比で整理した結果を図3に示す。なお、初期引抜き抵抗力について単位土圧係数当りの値を用いた理由は間隙水圧の設定時に土圧係数が実験ごとに若干変化するためである。図より、杭の引抜き抵抗力は間隙水圧比の増加につれ直線的に低減し、完全液化化時に消失することがわかる。

(2)引抜き抵抗力算定式の誘導:図3の結果は比例定数aを用いて次式で表し得る。

$$P_1 = a \cdot K \cdot (P_{01}/K_0) \cdot (1 - \Delta u / \sigma_{v0}') \dots (1)$$

P_1 : 過剰間隙水圧存在時の初期引抜き抵抗力、

K : 過剰間隙水圧存在時の土圧係数、

P_{01} : 常時の初期引抜き抵抗力、 K_0 : 常時の土圧係数、

Δu : 過剰間隙水圧、 σ_{v0}' : 初期有効応力

また、杭の表面に沿う破壊面以外の地盤は剛で、引抜き抵抗力が側圧に比例すると仮定する⁴⁾と、常時の初期引抜き抵抗力は、次式で表し得る。

$$P_{01} = \pi D \int_0^H \mu_0 K_0 \sigma_{v0}' dz \dots (2)$$

D : 杭径、 μ_0 : 常時の杭-地盤間の摩擦係数、

H : 地盤厚

一方、(1)式中で $\Delta u=0$ と置くことにより常時の引抜き抵抗力が求められ、これが(2)式と等しいことから、比例定数 a は(3)式となる。

$$a = K_0 / (P_{01} \cdot K) \cdot \pi D \int_0^H \mu_0 K_0 \sigma_{v0}' dz \dots (3)$$

間隙水圧存在下での初期引抜き抵抗力式は(3)式を(1)式に代入することにより下式のように求められる。

$$P_1 = \pi D \int_0^H \mu_0 K_0 \sigma_{v0}' (1 - \Delta u / \sigma_{v0}') dz \dots (4)$$

(3)過剰間隙水圧存在下での摩擦係数:間隙水圧存在下での摩擦係数と間隙水圧の関係を明らかにするため、(4)式中の K_0 を K と置き換え、摩擦係数 μ を逆算した結果を間隙水圧比との関係でまとめて図4に示す。図より、摩擦係数は、間隙水圧比に関係なくほぼ一定値を示すことが窺える。

以上より、常時の杭と地盤間の摩擦係数を把握することにより間隙水圧存在下での引抜き抵抗力の推定が(4)式で可能と考えられる。

4. あとがき

模型杭の鉛直引抜き実験により、過剰間隙水圧存在下での杭の引抜き抵抗力の定式化を試みた結果、あらかじめ杭と地盤間の摩擦係数を把握することにより、過剰間隙水圧存在下での杭の引抜き抵抗力の推定が可能であることが判明した。なお、本実験に際し、東京大学工学部土木工学科 石原研而教授の御助言を賜った。ここに感謝の意を表す。

《参考文献》

- 1) (社) 日本建築学会編: 建築基礎構造設計規準・同解説、1974年改定
- 2) (社) 日本港湾協会編: 港湾施設の技術上の基準・同解説、改訂版、平成元年2月
- 3) (社) 日本道路協会編: 共同溝設計指針、昭和61年3月
- 4) 林、龍岡ら: 砂地盤の剛な鉛直アンカーの引抜き抵抗メカニズム、土と基礎、vol. 38, No. 5, pp33-38, 1990

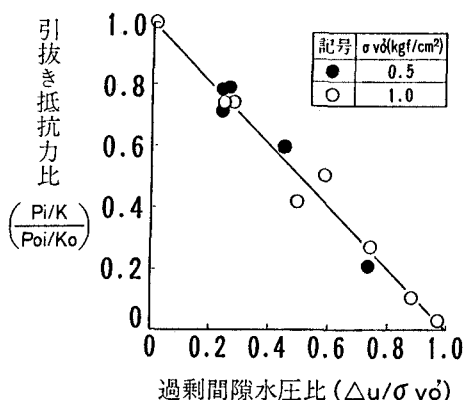


図3 引抜き抵抗力比と過剰間隙水圧比の関係

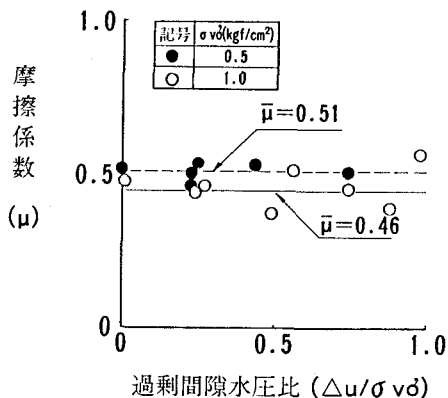


図4 摩擦係数と過剰間隙水圧比の関係