

偏心・傾斜荷重を受けるテーパー付き杭の支持力特性

九州大学大学院 学○北林 弘明 F 落合 英俊

正 安福 規之 正 中島 通夫

九州共立大学工学部 正 前田 良刀

1. はじめに

テーパー付き杭はその構造的な特徴から周面摩擦力を増加させることができる。しかし、その支持力メカニズムについて十分に検討されているとは言い難い。一方、基礎には、上部構造の自重などの鉛直荷重と土圧や地震力などの水平荷重が同時に作用する場合があるため、偏心・傾斜荷重を受ける杭のような深い基礎の支持力をどのように評価するかという問題は、構造物設計における重要な検討課題の一つである¹⁾。本研究の目的は、偏心・傾斜荷重を受けるテーパー付き杭の支持力特性を明らかにすることである。そのため、杭に鉛直・水平の2方向から载荷する模型実験を行ったので、その载荷試験結果を報告する。

2. 载荷試験の概要

载荷試験は今回新たに作製した支持力試験装置を用いて行った。図1に示すように、横幅 $W=100\text{cm}$ 、深さ $H=120\text{cm}$ 、奥行き $L=5\text{cm}$ の2次元の土層に、土粒子を模したアルミ棒を積層して試験地盤としている。模型杭は地上への突き出し長 $h=5\text{cm}$ 、根入れ長 $D_f=40\text{cm}$ で、テーパー角 β は $\beta=0, 1, 2^\circ$ の3種類であり、杭先端の幅を $D_0=3\text{cm}$ で一定としている。ここで、杭の先端支持力 R_d と周面摩擦力 R_f を区分できるように杭先端にロードセルを設置している。またアルミ棒は径 1.6mm と 3mm を3対2の割合で混合しており、単位体積重量 $\gamma_d=19.7\text{kN/m}^3$ 、せん断試験結果より内部摩擦角 $\phi=21^\circ$ である。

载荷は、模型杭頭部に2個のエアシリンダーを用いた応力制御方式としている。傾斜荷重は図2に示すように、水平荷重と鉛直荷重の比を一定に保ちながら载荷する方法で実験を行った。この時、水平荷重の増加分 ΔR_H として、目標とする荷重傾斜角 θ に見合う鉛直荷重の増加分 ΔR_V を载荷するものとする。また、偏心荷重は偏心距離 e を $e=3, 5, 10, 15\text{cm}$ と変化させることによって载荷した。

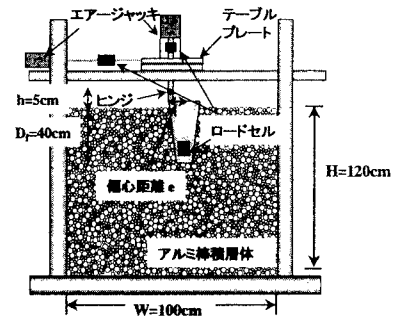


図1.杭の支持力試験装置図

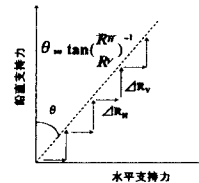


図2.荷重载荷経路図

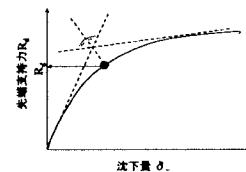


図3.先端支持力の評価方法

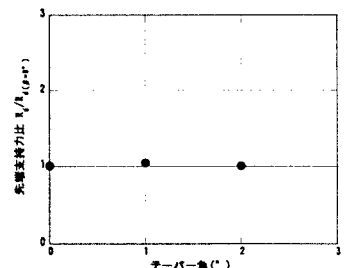


図4.テーパ角の違いによる先端支持力の変化

3. テーパー角による鉛直支持力改善効果

3.1. テーパー角と先端支持力の関係

テーパー角 β の効果を、以下に示す先端支持力比 $R_d/R_{d(\beta=0^\circ)}$ によって検討した。

$$R_d / R_{d(\beta=0^\circ)} = \frac{\text{各}\beta\text{における先端支持力 } R_d}{\text{テーパー角 } \beta=0^\circ\text{の時の先端支持力 } R_{d(\beta=0^\circ)}}$$

ここで、各 β における先端支持力 R_d は、図3に示すように直線と曲線の交点を先端支持力として評価した。その結果が図4である。この結果より、先端支持力比はテーパー角 β の増加に関係なく、いずれの場合もほぼ一定と言える。

3.2. テーパー角と周面摩擦力の関係

周面摩擦力 R_f の発現過程を検討するため、周面応力 - 沈下曲線を図5に示す。この結果より、テーパー角 $\beta=0, 1^\circ$ の時は比較的分形の小い初期段階において支持力の発現があり、その後は一定に収束していく。一方、 $\beta=2^\circ$ と増加させた場合、支持力の初期勾配は

$\beta=0^\circ$ の結果と同程度であるが、その後は支持力が増大し、支持力改善効果が見うけられる。また、周面摩擦力 R_f を先端支持力同様、周面摩擦力比 $R_f/R_{f(\beta=0^\circ)}$ によって検討した。その結果を図6に示す。この結果より、 $\beta=2^\circ$ の時の周面摩擦力比は $\beta=0^\circ$ の時に比べ、およそ 1.6 倍に増加していることが分かる。以上のことから、テーパ角は周面摩擦力の増加に大きく寄与することが推察される。

4. 偏心・傾斜荷重条件下での支持力空間

テーパ角 $\beta=2^\circ$ の場合において、偏心距離の異なる各実験ケースで得られた破壊時の水平支持力・鉛直支持力・偏心距離を図7にプロットした。この支持力空間の特徴を以下に述べる。

4.1. 傾斜荷重条件下での支持力包絡線

図8に示すように、 R_{Vmax} と R_{Hmax} を結ぶ曲線は傾斜荷重試験 ($e=0^\circ$) を行った時の結果である。荷重-変位曲線は鉛直と水平の2組得られるため、傾斜荷重下の破壊モードは以下により判定する。

- ① 鉛直支持力破壊モード： $R_v < R_H / \tan\theta$
- ② 水平支持力破壊モード： $R_H < R_v \cdot \tan\theta$
- ③ 釣り合い破壊モード： $R_v \approx R_H / \tan\theta$, $R_H \approx R_v \cdot \tan\theta$

この結果より、支持力特性は $\theta=20^\circ$ を境に、鉛直支持力破壊モードと水平支持力破壊モードに分けられ、鉛直および水平に独立で載荷した場合よりも大きい合成支持力 R が得られる。鉛直・水平の両破壊モードにおいて、テーパ角の増加につれ、合成支持力が増加していることが分かる。また R_{Vmax} と R_{Hmax} を結ぶ曲線は、座標原点から外側に膨らむ曲線となっている。

4.2. 鉛直支持力・偏心距離の関係

図9に示すように、 R_{Vmax} と e を結ぶ曲線は水平荷重が作用しない場合の破壊時の鉛直支持力と偏心距離の関係を示し、座標原点から徐々に下がる曲線となっている。これは偏心距離により、有効な荷重載荷幅が減少したため、杭の鉛直方向の支持力が低減したものと考えられる。

5. まとめ

テーパ形状を有する杭の支持力特性を明らかにするため、アルミ棒積層体モデル地盤を作製し、偏心・傾斜荷重実験を行った。得られた結果をまとめると、

- 1) 先端支持力比はテーパ角の増加に関係なく、一定である。
- 2) 周面摩擦力比はテーパ角の増加に伴って増加する傾向にあり、支持力の改善に寄与する。
- 3) 傾斜荷重下では鉛直および水平単独載荷の場合に比べて、その合成支持力は増大する。
- 4) 偏心荷重下では有効な荷重載荷幅の減少により、鉛直支持力が低減する。

参考文献

- 1) 坂田・前田・徐・落合・安福：傾斜荷重を受ける杭の支持力特性に関する実験的研究、構造工学論文集 Vol. 44A, 1998. 3.

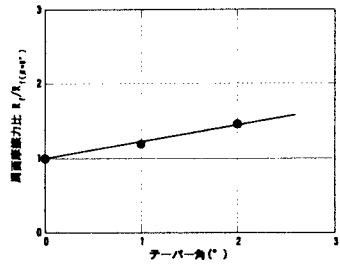
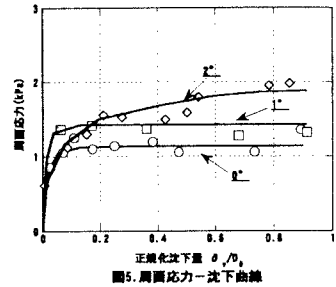


図5. 周面応力-沈下曲線

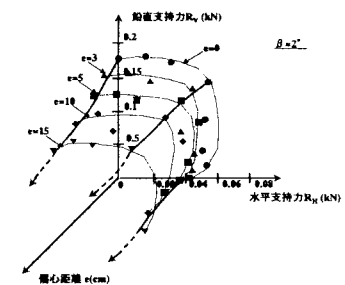


図7. 偏心・傾斜荷重を受ける杭の支持力空間

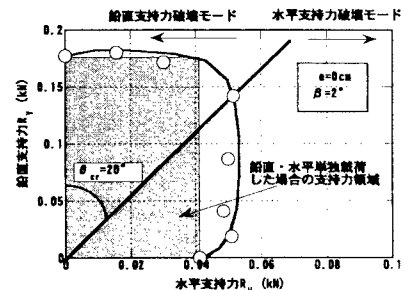


図8. 傾斜荷重を受ける杭の支持力包絡線

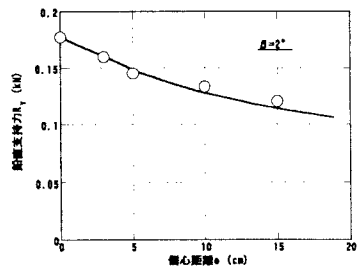


図9. 鉛直支持力・偏心距離