

組み合わせ荷重の荷重経路と杭の支持力

建設技術研究所 正員 ○坂田隆博
九州共立大学 正員 前田良刀
日本道路公団 正員 市川博康
建設技術研究所 正員 禿 和英

1. まえがき

基礎には、上部構造の自重などの鉛直荷重と土圧や地震時の慣性力などの水平荷重が作用する。このような組み合わせ荷重の影響は、浅い基礎の支持力に大きく影響すると考えられ、杭のような深い基礎の支持力特性には、あまり影響がないとされてきた。従って、杭のような深い基礎においては、研究事例が多くなく、組み合わせ荷重下の支持力特性についての研究は、Meyerhofら¹⁾の研究がある程度である。

本文は、鉛直荷重と水平荷重の組み合わせ荷重下における杭の支持力特性を検討するため、室内での模型杭による支持力実験を行ったものであり、荷重経路の違い、すなわち、水平荷重載荷後に鉛直荷重を載荷した場合と水平荷重と鉛直荷重の比率を一定に、荷重傾斜角を一定に保って荷重増加する方法の載荷方法の違いによる杭の支持力特性について考察したものである。

2. 載荷実験装置と載荷方法

実験に用いた福岡県産の岡垣砂は、豊浦標準差と比較し、均等係数でやや劣るものの強度特性は、豊浦標準砂とほぼ同等のものである²⁾。試験地盤は多重ふるいを用いた空中落下方式により、その再現性については土槽中に配置したモールドによる確認および鉛直杭の荷重-変位関係によった³⁾。模型杭は、直径 $\phi=50\text{mm}$ 、厚さ $t=6\text{mm}$ の中空アクリル管で、根入れ深さは $D_f=440\text{mm}$ ($\beta \approx 2$)、 200mm ($\beta \approx 1$)、および地上部への突き出し長 $h=95\text{mm}$ である。土槽は、横幅 $B=40\text{cm}$ 、奥行き $L=236\text{cm}$ 、深さ $D=70\text{cm}$ であり、この土槽に3本の杭を等間隔で配置した。杭の設置方法は、平面位置と鉛直度に十分注意して、手動ジャッキにより杭を地盤中に押し込んだ³⁾。

荷重載荷は、鉛直荷重、水平荷重の両者を組み合わせた傾斜荷重とする。傾斜荷重は、水平荷重載荷後、水平荷重を保持した状態で鉛直荷重を増加させる方法(荷重ケースA)と、水平荷重と鉛直荷重の比を一定に荷重増加させ、荷重の傾斜を一定に保つ方法(荷重ケースB)の2タイプの荷重経路について実験を行った。

載荷方式は、荷重ケースAは多サイクル方式、荷重ケースBは単サイクル方式とした。載荷は、処女荷重は載荷時間1分、荷重保持時間5分とし、履歴荷重は、載荷時間、荷重保持とも1分とした。

荷重ケースAの水平荷重一定方式の場合の組み合わせ荷重の載荷方法は、まず、剛な載荷ロッドを組み込んだテーブルプレートを横移動し、載荷ロッドを介して杭頭に水平荷重を載荷する。所定の水平荷重を多サイクル方式で載荷し、荷重を保持した後、鉛直方向載荷ロッドにより、鉛直荷重を多サイクル方式で最大まで載荷する。この場合、荷重傾斜は絶えず変化している。従って、この場合は、鉛直荷重 $V=0$ の場合の水平支持力以上の水平荷重が存在しないことになり、限界がある。

荷重ケースBの、荷重傾斜一定方式の場合は、水平荷重載荷ロッドと鉛直荷重載荷ロッドを同時に作動させ、1分間で、それぞれの荷重増分を単サイクルで最大荷重まで載荷する。

3. 荷重経路と杭の支持力特性

本文では、杭の支持力特性を検討するために、杭の支持力判定法として、地盤工学会基準⁴⁾の第一限界荷重と、第二限界荷重を準用した。すなわち、 $\log P\text{-}\log S$ 法より曲線の変曲点を求め、これを降伏荷重、すなわち第一限界荷重とする。第二限界荷重(極限荷重)は、鉛直方向では実験結果から、鉛直変位が、杭径の50%、25mmに達した時点。また、水平方向は、水平変位が保持できなくなった時点第二限界荷重とする。

荷重ケースAの載荷実験³⁾の結果を図-1に整理した。図-1は、組み合わせ荷重と杭の支持力の関係を一種の降伏曲線と、破壊曲線として整理したものである。これによると、組み合わせ荷重による降伏曲線は、右肩に膨らむが見られる曲線となり、Meyerhof(1972)らの提案している楕円形とはならない。また、第二限界荷重は、杭が長い場合、組み合わせ荷重の影響が見られない。

荷重ケースBでは、鉛直荷重が支配的で、鉛直荷重-変位関係から限界荷重が決まる範囲、水平荷重が支配的な範囲および限界荷重が、鉛直荷重と水平荷重同時にきまる範囲が存在する。図-2は、図-1と同様に降伏曲線と、破壊曲線で整理したものである。長杭では、荷重傾斜角 $\tan\theta=0.3\sim 0.4$ (θ は、縦軸よりの角度)を境にして、 $\tan\theta=0$ (鉛直荷重のみ)の範囲では鉛直荷重が卓越し、 $\tan\theta=\infty$ (水平荷重のみ)の範囲では水平荷重が卓越する領域である。従って、荷重傾斜角 $\tan\theta=0.3\sim 0.4$ の範囲は、鉛直荷重と水平

荷重の両者が同時に限界に達する領域である。荷重ケースAでは、水平荷重の限界荷重以上に荷重が載荷されないため、図-2のような破壊曲線の右肩のふくらみが、明確に表せないが、水平荷重の第二限界荷重以下の領域では傾斜荷重による限界荷重に関して、荷重ケースによる差はあまりなく、この範囲内では杭の支持力特性は荷重経路に依存しないといえる。さらに、破壊曲線の右肩のふくらみは、鉛直荷重と組み合わせられて載荷される水平荷重の限界値が、水平荷重単独で載荷された場合より大きくなっていることを示している。

4. まとめ

模型杭による組み合わせ荷重（HとVの傾斜荷重）に関する実験結果から、水平力載荷後に鉛直荷重を載荷するケースと、荷重傾斜一定のケースで、水平荷重の限界荷重以下の範囲では杭の支持力特性の荷重経路依存性がないこと。組み合わせ荷重の限界荷重について、鉛直荷重と水平荷重が同時に限界に達するいわゆるつり合い破壊領域が存在することがわかった。今後は、根入れ効果の影響を直接基礎から長杭までを連続的に組み合わせ荷重下の特性を調査し、理論的検証を進める必要があると考える。

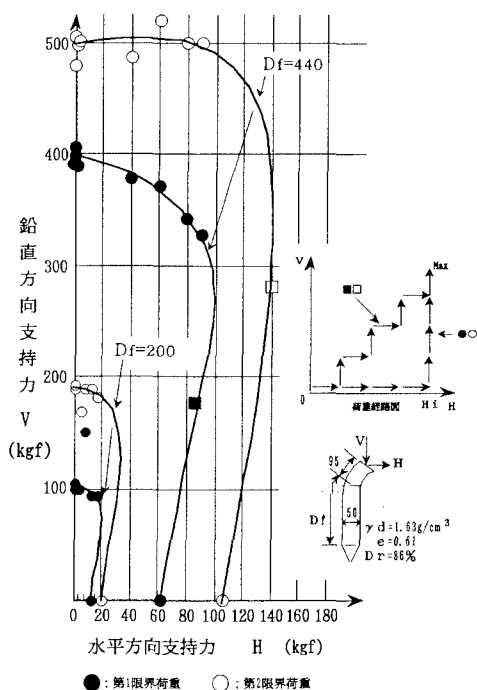
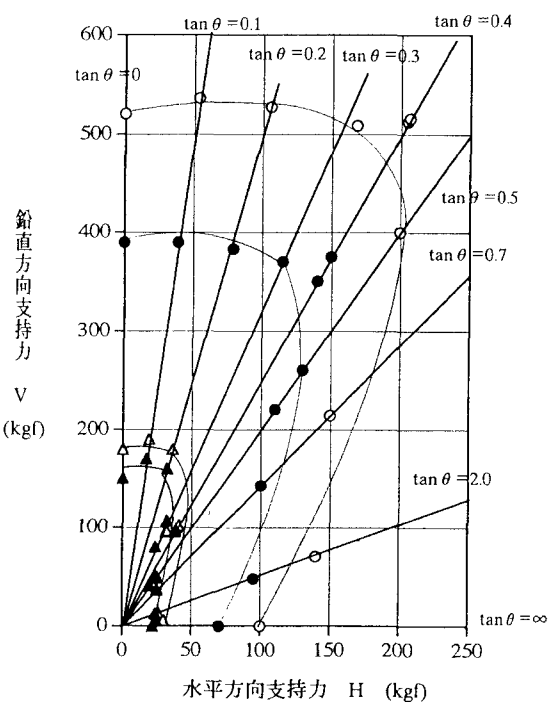


図-1 荷重ケースAの荷重と杭の支持力の関係



● 長杭 (第1限界) ○ 長杭 (第2限界)
▲ 短杭 (第1限界) △ 短杭 (第2限界)

図-2 荷重ケースBの荷重と杭の支持力の関係

参考文献

- 1) 例えば、G.G.Meyerhof, Gopal Ranjani : The Bearing Capacity of Rigid Pile Under Inclined Load in Sand : Vertical Pile, Canadian Geotech. Journal, 9, pp430-439, 1972
- 2) 松井謙二、前田良刀、落合英俊、李向新：岡垣砂を用いた支持力実験用地盤の作成とその力学特性、土木学会西部支部研究発表会講演概要集1995、3
- 3) 禿英和、坂田隆博、松井謙二、前田良刀：組み合わせ荷重下の単杭の支持力特性に関する模型実験、土木学会西部支部研究発表会講演概要集1995、3
- 4) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説、1993