

引抜き荷重と水平荷重を同時に受ける杭の挙動解析 実規模場所打ち杭の斜め引抜き載荷試験

電源開発（株） 大坪 芳次，中嶋 晃*
（株）白石 ○茂木 浩二 劔 朋広**

1．はじめに

筆者らは，鉄塔基礎のコンパクト化を目的として，脚材と杭基礎とを直接連結する 1 本杭方式の採用を検討している。鉄塔基礎では，鉄塔転び方向に引抜き荷重が作用するため，そのときの杭の挙動を把握しておく必要がある。そこで，実規模の場所打ち杭を対象に斜め引抜き載荷試験と水平載荷試験を行った¹⁾²⁾。ここでは，引抜き荷重と水平荷重を同時に受ける杭の挙動解析を行った結果を報告する。

2．解析モデル

解析は，杭体を梁とし，地盤抵抗をバネとする弾性床上の有限長ばりで行った。杭体の曲げ剛性は，ひびわれ，降伏，終局を考慮したトリリニア型とし，地盤バネは，図 - 1 に示すように地盤反力度の上限値を有するバイリニアモデルとしている。

3．解析結果

(1) 水平載荷試験

水平載荷試験で得られた水平荷重 - 変位曲線と解析結果との比較を図 - 2 に示す。水平載荷試験は，斜め引抜き載荷試験を行った後，残留変位 $\delta p = 4.07\text{mm}$ が生じた状態から載荷を開始した。そのため，図 - 2 は，試験開始時の変位を 0mm とし，各荷重段階の変位から残留変位の 4.07mm を減じた値を水平変位としてプロットしている。また，水平荷重 482kN までは履歴荷重となるため，新規荷重の 50% の変位と考え，載荷試験で得られた変位を 2.0 倍に補正している。

杭体の曲げ剛性は，供試体の圧縮試験結果からコンクリートの圧縮強度を 40N/mm^2 ，鉄筋の降伏応力度を鋼材検査証明書より 400N/mm^2 とした。しかし，載荷試験では明確な杭体降伏が得られていないため，杭体の降伏モーメントの値を 1.2 倍し，降伏しないようにしている。

解析に用いた地盤反力係数および地盤反力度の上限値は， N 値を基に道路橋示方書³⁾に準じて求めた値を初期値とし，載荷試験結果と一致するように補正した。荷重変位曲線の初期の立ち上がりは，地盤反力係数の初期値を 5.0 倍したときとよく一致し，地盤反力度の上限値を初期値の 2.0 倍としたときとよく一致した。

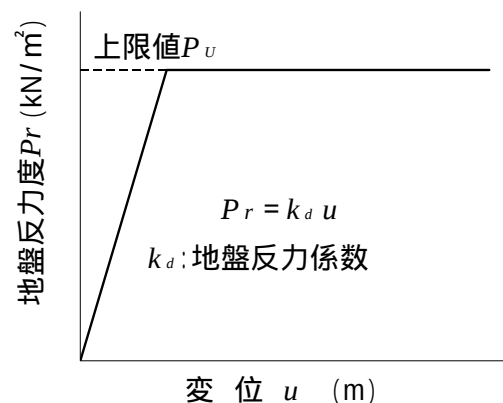


図 - 1 地盤バネモデル

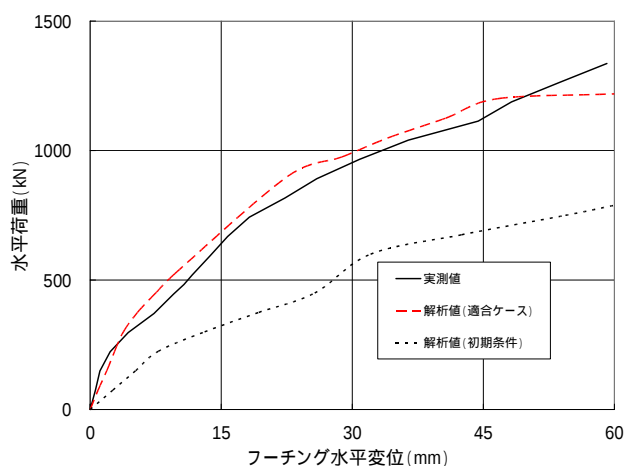


図 - 2 水平荷重 - 水平変位曲線
(水平載荷試験)

Keywords：実規模杭，載荷試験，斜め引抜き，受働土圧抵抗

*：電源開発（株） 水力流通事業部 送電技術グループ
**：（株）白石 技術本部 土木技術部

東京都中央区銀座 6-15-1
東京都千代田区神田岩本町 1-14

電話 03-3546-9400 FAX 03-5565-7073
電話 03-3252-2564 FAX 03-3252-2510

(2)斜め引抜き载荷試験

斜め引抜き载荷試験で得られた水平荷重 - 変位曲線と解析結果との比較を図 - 3 に示す。解析ケースは、表 - 1 に示すように、水平载荷試験とよく一致した地盤評価をケース 1 とし、本試験結果と一致するように地盤反力係数の上限値を変化させている。ケース 2 は N 値から求めた初期値をそのまま用いたケースであり、ケース 3 は初期値に 0.6 を乗じて地盤反力係数の上限値を低減している。ケース 4 は、受働土圧係数 K_p を求める次式において、杭の引抜きにより上方への摩擦力が生じると考え、負の壁面摩擦角 δ を考慮して受働土圧係数を求めている。

$$K_p = \frac{\cos^2 \varphi}{\cos \delta \left(1 - \sqrt{\frac{\sin(\varphi - \delta) \sin \varphi}{\cos \delta}} \right)}$$

ここに、 φ ：土のせん断抵抗角

δ ：壁面と土の摩擦角（ $-\varphi/3$ ）

地盤反力度の上限値を低減したケース 3 およびケース 4 の解析値が、载荷試験と実験結果に近い値を示している。この結果から、引抜き荷重を受けながら水平荷重を受ける杭の水平方向の地盤抵抗は、水平荷重を単独に受ける場合に比べ低下することが確認できた。また、このときの水平抵抗の低下は、上方への摩擦力により受働土圧の抵抗領域が減少したことによるものと考えることができる。

斜め引抜き载荷試験時の杭体の曲げ剛性は、コンクリート曲げ引張強度 σ_{bt} からひびわれモーメントを求め、降伏モーメントは、最大载荷重である 3200kN の引張り軸力を考慮して求めている。水平载荷試験の解析に用いた杭体の曲げ剛性と斜め引抜き载荷試験の解析に用いた剛性の比較を図 - 4 に示す。引張り軸力を考慮することにより降伏モーメントが低下し、杭体にひびわれが発生した後に急激な剛性低下が生じる要因を示している。

4. おわりに

今回の载荷試験は、引抜き载荷の荷重方向を 8.5° 傾けた場合の結果であり、荷重の傾斜角により地盤抵抗の低減度合いが異なることが予想される。このような複合荷重を考慮した設計を行う場合、引抜き脚単独ではなく圧縮脚を含めた全体系での挙動を考える必要があり、今後の課題である。

<参考文献>

大坪，中嶋，津田，大内，劔：実規模場所打ち杭の斜め引抜き载荷試験（その 1），第 41 回地盤工学研究発表会講演集，2006.7
大坪，中嶋，津田，茂木，劔：実規模場所打ち杭の斜め引抜き载荷試験（その 2），第 41 回地盤工学研究発表会講演集，2006.7
(社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説，平成 12 年 7 月

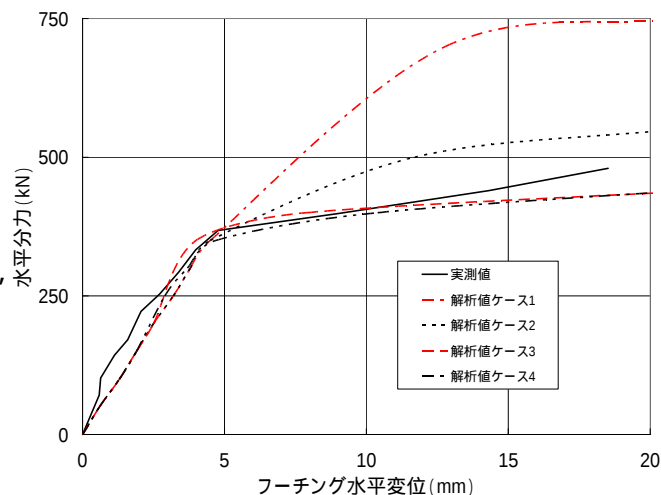


図 - 3 水平荷重 - 水平変位曲線
(斜め引抜き载荷試験)

表 - 1 解析ケース (δ , K_p は 1 層目の値)

	δ	K_p	地盤反力度の上限値
ケース 1	-6.83	2.47	初期値の 2.0 倍
ケース 2	-6.83	2.47	初期値
ケース 3	-6.83	2.47	初期値の 0.6 倍
ケース 4	6.83	1.75	負の壁面摩擦角

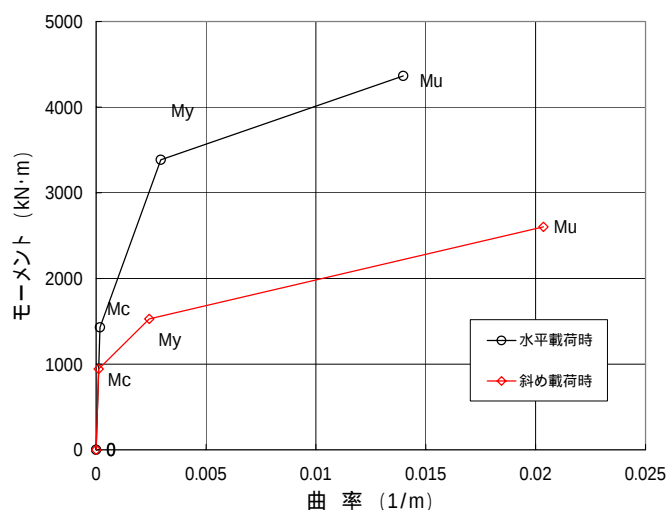


図 - 4 杭体の曲げ剛性