

III-418 杭の引抜き支持機構に関する解析と考察

東京電力 正会員○佐藤 博 正会員 高橋守男 正会員 鈴木英世

1. まえがき 杭基礎構造物の引抜き抵抗に対する合理的な設計法を確立するためには、引抜き支持機構を解明することが必要である。既往の引抜き試験結果^{2), 3)}より、引抜き荷重が最大に近づくとき杭に追従して変形する地盤の範囲は杭近傍に限られる傾向にあることから、引抜き耐力を決定するうえで重要な杭周面摩擦力に着目し、有限要素法を用いてその発現特性に関する数値シミュレーションを行った。その結果、杭と地盤の剛性の相対的な違いにより杭の支持機構が異なることを把握した。以下にその内容を報告する。

2. 解析条件 解析断面を図-1に示す。解析は杭位置を中心とする軸対象FEM解析とし、杭体はトラス要素でモデル化し、杭体と地盤は弾性体と仮定した。また、杭体と地盤との間の非線形的挙動を非線形な付着特性を有する付着ばねによって表現した。杭、地盤の物性値を表-1に示す。杭の寸法、地盤の物性を一定とし、杭の引抜き剛性として EA/L (E :弾性係数、 A :断面積、 L :長さ)を採用してこれを変化させ、軟岩地盤中の鋼管杭の他、アースアンカーならびに深礎基礎の3種類の引抜き構造物をモデル化した。杭と地盤との間の付着ばねの概念図ならびに特性を図-2、3に示す。付着ばねの特性は一定とし、鉛直ばねの特性は別途実施した室内試験から推定した。

表-1 解析に用いた物性値

項目	単位	ケース1	ケース2	ケース3
地盤	弾性係数	3000(弾性体)	同 左	同 左
	寸法	直径400mm、長さ3m 肉厚9mm	同 左	同 左
杭	弾性係数	2.1×10^4	2.1×10^6	3.0×10^7
	剛性	7.9×10^3	7.9×10^5	1.1×10^7
	(EA/L)			
	杭剛性比	1(基準)	100倍	1400倍
杭と地盤との剛性比	(EA/L)/G*	7	700	9800
対象構造物		軟岩地盤中のアースアンカー $\phi=12\text{mm}$, $L=3\text{m}$	軟岩地盤中の鋼管杭 $\phi=400\text{mm}$ $t=9\text{mm}$, $L=3\text{m}$	軟岩地盤中の深礎基礎 $\phi=1800\text{mm}$ $L=3\text{m}$

*:Gは地盤のせん断弾性係数

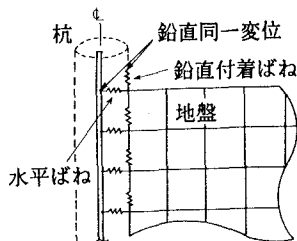
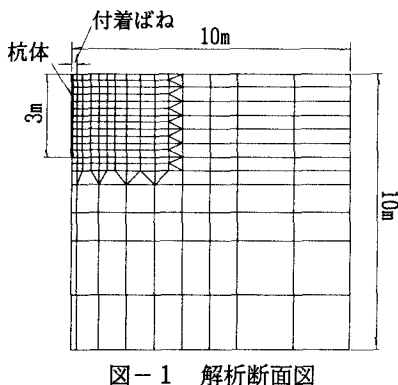


図-2 杭、地盤、付着ばねのモデル概念図

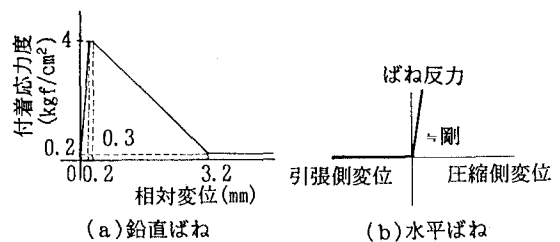


図-3 付着ばねの特性

3. 解析結果 解析により得られた引抜き荷重ならびに杭周面摩擦力(鉛直付着ばねの応力)の深度分布を図-4に示す。

杭と地盤の剛性比の小さいケース1では、荷重が小さい段階では摩擦力は杭頭部のみに生じ、それ以後では生じていない。荷重が増加するにつれ杭頭部の摩擦力が大きくなり、付着切れを生じてこれが順次深部に伝播していくような進行性破壊を示しており、深さ方向の摩擦力が同時には発生しない。これは杭剛性が小さいため杭の軸力が深部まで伝達されないためである。その結果、引抜き荷重も他のケースに比べて小さい結果となっている。

剛性比が中程度のケース2では、ケース1に比べ引抜きによる杭の軸力が杭深部まで伝達され、摩擦力は杭全長区間にわたって生じているが、杭頭部、杭端部で大きく、特に杭端部でその傾向が強い。また最大荷重段階では、これらの区間では摩擦力の低下域に入っている。

剛性比の大きいケース3では、摩擦力の発生の仕方ならびに分布は、ケース2とよく似ているが、杭端部での摩擦力はケース2よりさらに早期に発生している。最大荷重時における杭頭部、杭端部の摩擦力の低下量が大きいいため、引抜き荷重はケース2に比べやや小さくなっている。

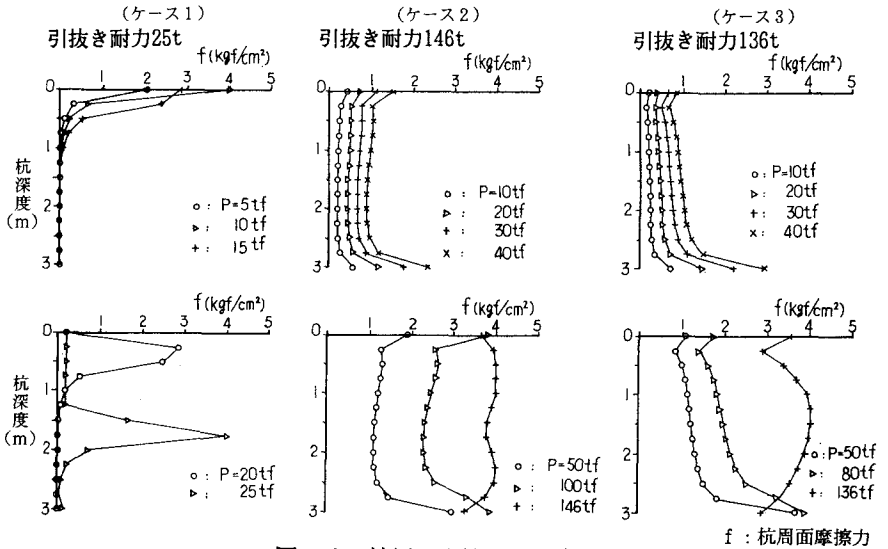


図-4 杭周面摩擦力の深度分布

4. 原位置試験結果との比較

ケース2の軟岩地盤中の鋼管杭について、原位置試験結果³⁾と比較して示すと図-5のとおりである。これによると最大荷重時を除いては、荷重の増加につれて杭頭部ならびに杭端部で摩擦力が大きくなる傾向はよく一致している。最大荷重時の分布に隔たりがあるのは、解析では鉛直ばねの特性を深度方向に一定としているのに対し、実測値は地盤の不均一性等の影響により、各深度の付着強度にばらつきが生じたことが一因と考えられるが、詳細は今後検討する予定である。

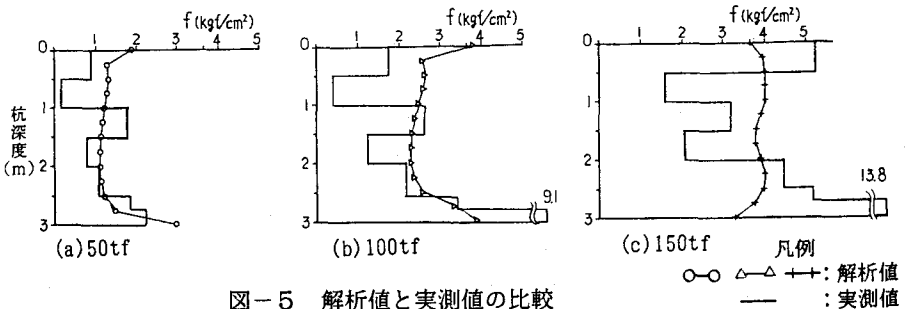


図-5 解析値と実測値の比較

5. まとめ

現行の設計基準では摩擦力は地盤の物性値、主にN値により一義的に決定され、引抜き耐力もこれにより一義的に決定される。今回の結果より、摩擦力は杭と地盤との剛性の違いによりその発現特性が異なり、このことは杭と地盤の剛性の相対的な関係を考慮する必要があることを示唆するものと考えられる。

今回は数値解析によるパラメータスタディと原位置試験の一例を示したが、現在さらに地盤の非線形性を考慮した解析と既往の原位置試験の事例調査を行っており、その結果については別途報告する予定である。

- 参考文献 1) 松尾稔他：送電鉄塔基礎の引き上げ抵抗力について、土木学会論文集、NO. 105, 1964
2) 伊藤圭典他：場所打ち杭の引抜き抵抗特性に関する実験と考察、土木学会論文集、NO. 376, 1986
3) 佐藤博他：鋼管杭の原位置引抜き試験結果とその評価、土質工学会第27回土質工学研究発表会、1992