

群杭の水平荷重に対する数値解析的研究

豊橋技術科学大学 ○筑前収司
豊橋技術科学大学大学院 学生員 小松広和
豊橋技術科学大学 正員 栗林栄一

1. はじめに

現場において杭は単杭で使用される事は少なく、大部分が群杭として使用されている。群杭の挙動は、荷重の大きさ、方向、土質の性状、杭間隔、杭頭の拘束条件等により支配されるため不明な点が多く、確固たる算定法が決められていない。昨年度、群杭の水平抵抗に対する実験¹⁾が行われ、鉛直荷重、載荷点位置、荷重方向、杭間隔の各因子に対する群杭の挙動が求められた。しかしそこで明らかにされた事は、群杭を同じ間隔に配置した場合の行列方向の並べ方に対する影響が主であり、杭間隔、杭本数に対する挙動のデータが少なく、その特性を詳しく表すまでには至っていない。よって、本研究では数値解析である有限要素法を用いて、群杭効率に対し、各因子がどのような特性を持って影響を与えているかを求めた。

2. 群杭効率について

群杭においては、杭が地中応力を介して相互に干渉する事により、各杭の荷重分担が異なるとか、全体の支持力が低下するなどの現象が現れ、群杭の支持力は（単杭支持力）×（群杭本数）とはならない。また、低減させる係数を一般に群杭効率といい、一般にその値は1.0より小さい値を示す。

3. 解析概要

3.1 解析パラメータ

本研究では、数値解析によって、以下に示すパラメータに対する群杭効率の影響を求めるものとする。

- 1) 杭本数による影響
- 2) 杭間隔による影響
- 3) 杭頭拘束条件による影響
- 4) 鉛直荷重による影響

表-1 モデル諸数値

形状	寸法	埋め込み長	地上部長	弾性係数	断面二次モーメント
	(mm)	(mm)	(mm)	(kg/cm ²)	(cm ⁴)
鋼管杭	円筒中空	外径165 内径155	2000	750	2100000
解析杭	四角柱	165×165	2000	750	2740000
地盤	-	-	-	-	48.8772

3.2 前提条件

今回の解析は、数値解析によって行うものとした。またその手段として、有限要素法を用いた。モデルは、二次元問題とし、以降扱う静的弾性問題は、次の条件を前提にする。

- ・静的平衡状態：時間の経過に関係なく同じ平衡状態を保つ。
- ・線形弾性：応力と変形は比例し、その比例係数は常に一定である。
- ・均質等方性：同じ材質の部分では、位置と方向によらず線弾性の比例係数は一定である。

3.3 解析方法

解析モデルに用いた材料の諸数値を表1に示す。

解析法は二次元であるため実際に用いる円筒中空杭をそのまま用いることは出来ないため解析では四角柱で行った。杭を水平抵抗で考える場合、弾性係数と断面二次モーメントは一对で考慮される場合がほとんどで、その両者を利用して曲げ剛性として取り扱っている。よって解析で用いる杭の弾性係数は実際に用いる杭の曲げ剛性と解析に用いる曲げ剛性が同じになるように断面二次モーメントから逆算した。

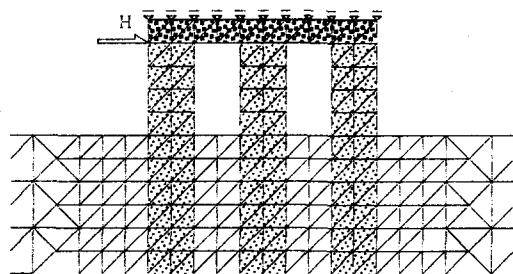


図-1 杭頭剛結時

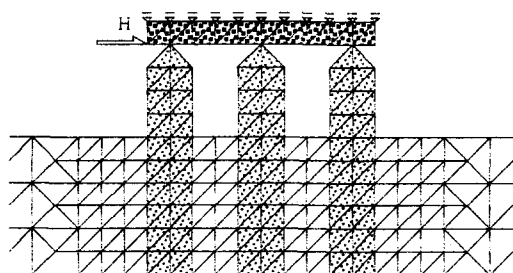


図-2 杭頭ヒンジ時

地盤の性状は粘性土とした。また、実際の地盤では半無限状に考えられるが、有限要素法では半無限状には考えられないので地盤面積を十分にとり有限とした。さらに地盤端では全変位拘束 ($\delta x = 0$ 、 $\delta y = 0$) とした。

杭頭の条件は剛結とヒンジの2通りを考えるものとした。剛結の場合、杭頭の回転を拘束するために水平変位のみ移動可能、垂直変位を拘束 ($\delta y = 0$) とした。杭頭モデルを図-1, 2に示す。

4. 解析結果 以上に示した解析を行い式 (1) を用いて群杭効率を算出した。その結果を図3, 4に示す。

Ef = 群杭支持力 / (単杭支持力 $\times$ 群杭本数) (1)

5. 考察

5.1 群杭効率の杭本数による影響

杭本数が多くなるに従い群杭効率が1.0より徐々に小さくなる事が明らかになった。その変化は杭本数のべき乗にほぼ反比例しており、杭本数が3本以降の変化は徐々に小さくなっている。

5.2 群杭効率の杭間隔による影響

杭間隔が大きくなるに従い群杭効率が1.0に向かって大きくなる事が明らかになった。またその変化は杭間隔のべき乗に比例していると考えれ、杭間隔が3.5D以降の変化は徐々に小さくなっている。

鉛直荷重無載下時の杭本数、杭間隔に対する群杭効率について、べき乗回帰分析を行ったところ以下に示す結果が得られた。式(2), (3)

$$\text{杭頭剛結時} : \lg Ef = -2.0D^{-1.37} \lg X \quad (2)$$

$$\text{杭頭ヒンジ時} : \lg Ef = -1.21D^{-1.53} \lg X \quad (3)$$

ここに、 Ef : 群杭効率 X : 杭本数 D : 杭間隔

これらの式によれば、杭間隔がかなり大きい範囲

まで群杭効率に影響が現れることになる。しかし、この解析は地盤を完全等方弾性体と仮定したものであり、実際の地盤では、亀裂や、異法性によって計算通りの値を示すとは限らない。

5.4 杭頭拘束条件による影響

杭頭ヒンジ時には杭頭剛結時よりも大幅に水平変位が生じた。又、杭頭ヒンジ時の方が杭頭剛結時よりも群杭効率の変化が小さくなった。

5.5 群杭効率の鉛直荷重による影響

鉛直荷重に対する影響は、極わずしか見られなかった。この理由は、杭の変位が0の状態から荷重をかけたため、重ね合わせの原理から、このような状態に、鉛直荷重を載荷しても水平方向には影響はない。文献(1)によると軸方向力と軸直角方向力を同時に受ける杭では、応力について重ね合わせの原理は厳密には成り立たないとされている。特に、根入れ長が短い場合や、杭頭拘束条件がヒンジの場合、重ね合わせの原理による誤差が大きくなるとされてる。今回の解析で扱った杭は、非常に短く重ね合わせの原理が適用できないものと考えられる。このような場合に鉛直荷重を考慮するには、杭体が水平荷重のみで変位した後に鉛直荷重を載荷する必要がある、今後の課題である。

6. 参考文献

- 金子孝雄他：小口径群杭に関する実験的研究，土木学会中部支部平成元年度研究発表会講演概要集，1990年3月
- 横山幸満著：杭構造物の計算法と計算例，山海堂，1985年4月

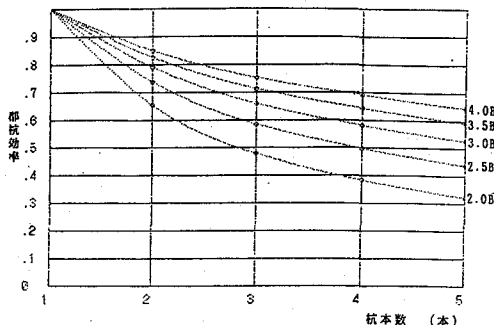


図-3 杭頭剛結時 杭本数-群杭効率曲線

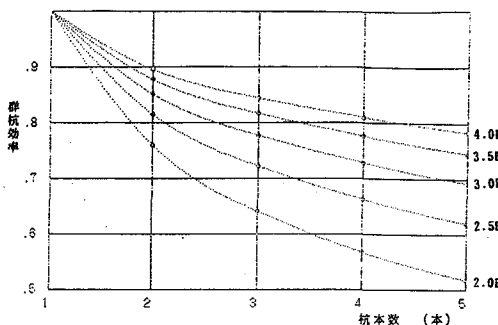


図-4 杭頭自由時 杭本数-群杭効率曲線