

先端根固め杭の本体先端部の形状と材料特性が杭の支持力性能に及ぼす影響

九州工業大学大学院 学生会員 ○繁富友也
 九州工業大学工学部 非会員 中村知恵
 九州工業大学工学部 正会員 廣岡明彦

1.はじめに

地盤を掘削しそこに既成杭を挿入する埋込み杭工法は騒音・振動が少なく近隣住民に与える影響が小さいため、近年、市街地において多く採用され実績を上げている工法である。この工法では、杭の設置に伴う掘削によって地盤が緩むことから、打ち込み杭工法に比べ支持力の発現に大きな沈下量を要することとともに、コストおよび環境面において掘削時に排出される廃土も問題となっている。

そこで、原地盤とセメントミルクの混合によってコラムを築造し、先端部に数枚の螺旋羽を取り付けた SC 杭をソイルセメントのコラム内に回転しながら挿入する杭が開発された。この杭は両者が一体となり大きな支持力を発揮し、廃土がほとんど出ないという特長をもっており、杭長の短い摩擦杭では既に実用化されている。今回研究対象とした杭は杭長を長くし、コラムを支持層に造成することで、大規模な構造物にも用いられるようにしたものである。摩擦杭の場合とは作用する荷重の大きさなどが異なるため、羽根の厚さなど各種寸法を再度検討する必要がある。現場での載荷試験も行われているが、羽根部材にどのような現象が起こっているか、詳細は不明な点が多い。よって本研究では、羽根の厚さ、コラムの材料特性が杭の支持力性能に与える影響を調べることを目的とし、有限要素解析を行った。

2.解析モデル

解析モデルの詳細を図 1, 2 に示す。実物は直径 500mm の中空の外殻鋼管付きコンクリート杭で、直径 850mm の鋼製の羽根を 3 枚溶接したものである。羽根は螺旋状になっているが、解析モデルでは螺旋ピッチの中央に平坦な羽根を取り付けたものの 1/4 断面モデルである。羽根はその厚さ(t_w)を $t_w=28\text{mm}$ 、9mm の 2 パターンとし、ソイルセメントとの境界に薄い付着層を設定した。荷重は杭頭部に 10000kN を 10000 ステップにわたって載荷した。ただし、コラムで発揮される周面摩擦抵抗によって杭頭荷重の 1/2 を負担するように、根固め部周辺部の各接点に鉛直上向きに一樣なせん断力を作用させる。構成則に MISES モデルを使用し、表 1 に示す材料パラメータを設定した。

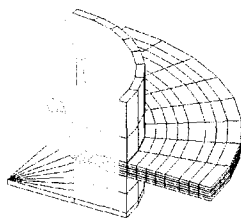


図 1 羽根詳細

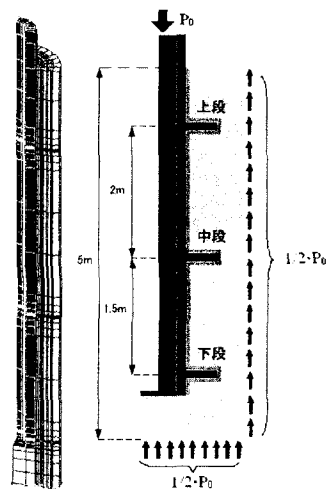


図 2 全体図及び荷重分配

3.解析結果

図 3 に荷重と杭頭変位の関係を示す。荷重が 10000kN に達しても杭頭変位曲線は、ほぼ線形であり杭体は降伏には至っていないことがわかる。ただし、荷重が 8000kN を超えるあたりから各ケースにわずかながら違いが生じており、羽根の厚いケースの方が杭体の剛性が高いといえる。

表 1 材料特性

材料	弾性係数 (Pa)	ポアソン 比	降伏強さ (Pa)
鋼材	2.1×10^{11}	0.3	2.4×10^8
杭コンクリート	2.22×10^{10}	0.2	1.0×10^8
ソイルセメント	3.28×10^9	0.26	8.0×10^6
付着部	3.28×10^9	0.26	8.0×10^5

図4に両ケースの杭頭からの位置と杭体に作用する軸力との関係を示す。両ケースの軸力分布は非常によく似ており、杭頭変位曲線と同様にわずかに $tw=28mm$ の方が軸力の減少が大きくなった。軸力の測定位置は杭頭付近→上段羽根上→中段羽根上→下段羽根上→杭先端となっており、下段の羽根による軸力の減少の効果が大きいことがわかる。

図5に下段の羽根に発生する半径方向ひずみと羽根溶接部からの位置の関係を示す。ひずみの絶対値は 400μ ほどで降伏ひずみ(約 1000μ) よりも小さな値となった。また、 $tw=28mm$ では羽根部には上に凸の曲げが起こり、 $tw=9mm$ では羽根全体が半径方向に引張られる現象が起きた後、曲げが発生している。よって、羽根は厚ければ曲げ部材、薄ければ引張部材として作用していると考えられる。

vonMises 応力は変位ひずみエネルギー説による構造強度の評価に用いる応力値で以下のように表現できる。

$$\sigma_{vm} = \sqrt{\frac{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}{2}}$$

σ_m を降伏応力とすると、 $\sigma_{vm} \leq \sigma_m$ であれば、降伏には至らない。そこで、下段羽根における vonMises 応力分布を図6に示す。載荷荷重は $9000kN$ であり、羽根にかかる最大応力は $tw=28mm$ で約 $150MPa$ 、 $tw=9mm$ で約 $120MPa$ である。鋼材の降伏強度の $240MPa$ よりも十分小さい値であるから、両ケースにおいて羽根は降伏していないことがわかる。また、 $tw=28mm$ では羽根溶接部に応力集中が見られるが、 $tw=9mm$ では応力の高い領域が羽根本体にまで及んでいる。これは $tw=28mm$ の羽根の剛性が大きいことが原因である。

4.まとめ

- 杭頭変位曲線、軸力分布に両ケースで大きな違いは見られず、コラムの強度が十分であれば、羽根の厚さが支持力性能に与える影響は大きくないと予測される。
- $tw=28mm$ では羽根部には上に凸の曲げ変形が起こるのに対し、 $tw=9mm$ では羽根部の上面および下面の両面に引張ひずみが発生したことから、羽根の変形はせん断変形に近いと考えられる。
- 羽根の剛性が大きい場合、羽根溶接部に応力の集中する領域が生じる可能性がある。

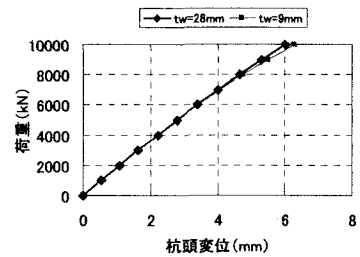


図3 荷重-杭頭変位曲線

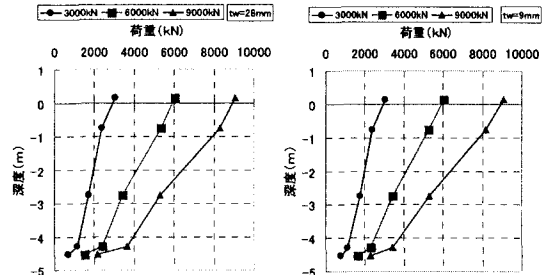


図4 杭の軸力分布

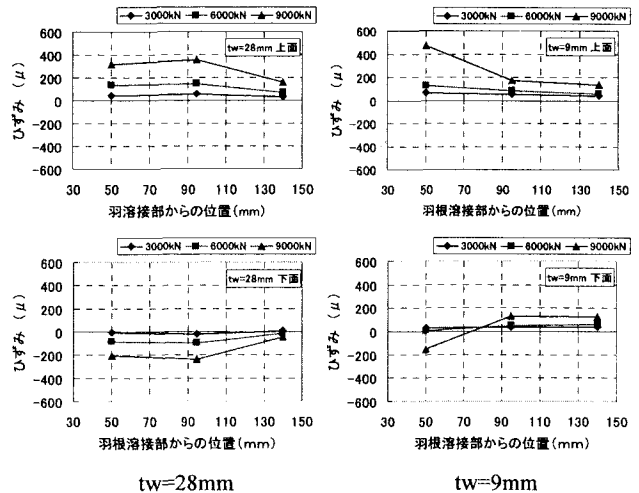


図5 羽根の半径方向ひずみ分布

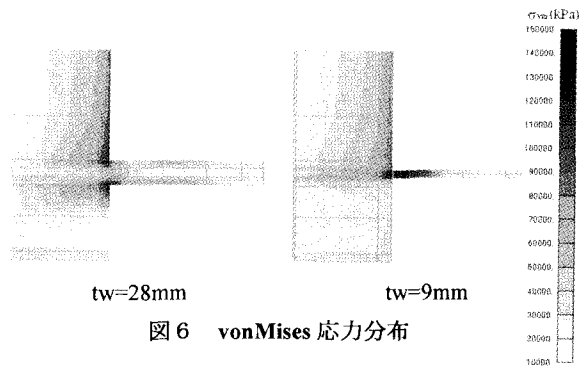


図6 vonMises 応力分布