

III-119

砂礫地盤における場所打ち杭の周面摩擦力についての一考察

東京電力(株) 正員○奥山一夫 川田和生
日本工営(株) 金坂聖于

1. まえがき

送電用鉄塔の杭基礎には場所打ち杭が多用されているが、砂礫地盤における実証試験例は少なくその耐力の発揮される過程については不明な点が多い。また現行の設計式は主に粘性土、砂質土における試験データをもとに導入されていることから砂礫地盤での多くの実証試験データが必要とされている。そこで昭和61年～62年に洪積砂礫地盤において実規模杭による引抜試験(3試験体)と鉛直載荷試験(1試験体)を実施した。これ等の実験より極限荷重時の最大周面摩擦力が $32\sim 43\text{t/m}^2$ という大きな値が得られ、既存の実測データと比べてもかなり大きなものであった。そこで周面摩擦力の発揮メカニズムについて考察を進め、要素試験を実施したところ新しい所見が得られたのでここに報告する。

2. 杭の載荷実験の概要と結果

(1) 試験地盤状況

試験地盤の柱状図を図-1に示す。上部を埋土層とローム層が覆っており、深度5m以深に砂礫層が存在する。この砂礫層は洪積世後期のものであり、中～大円礫を含むほぼ均質な層である。局部的に玉石が点在しシルトの薄層をレンズ状に挟む。粒径加積曲線から最大粒径が $200\sim 300\text{mm}$ 、 D_{50} が $8\sim 18\text{mm}$ 、均等係数 U_c が60程度で、細粒分の含有量は $4\sim 8\%$ であった。砂礫層の密度は約 2.1g/cm^3 で相対密度は $70\sim 85\%$ である。また現場一面せん断試験より内部摩擦角は 40° 前後と推定される。

(2) 実験ケースと結果

杭の設置深度を図-1に示し、実験ケースと砂礫層への根入れ長を表-1に示す。また結果を表-2にまとめて示す。ここで周面摩擦は杭全周に均一に作用すると仮定した場合のものであるが、実際には引抜載荷の場合には杭頭から杭軸中央へ漸増して最大となり、杭先端へ漸減してべりになる三角形分布となった。一方鉛直載荷の場合は杭頭から杭先端へ漸減する三角形分布となった。¹⁾従って単位周面摩擦力度は最大で約 60t/m^2 にまで及んだ。各深度における単位周面摩擦力度の最大値は上載圧を考慮に入れるとおおむね深度方向に増加するが杭径の4倍程度以深で一定値になる傾向が得られた。

3. 考察

(1) 最大周面摩擦力度 $\tau_{\max}$ とN値の関係

周面摩擦力度 $\tau_{\max}$ と平均N値(表-2)の相関関係を既存データ²⁾と共に図-2に示す。これ等両データを比較すると今回の実験で得られた周面摩擦力度はかなり高い値と言える。今回の実験では平均として $\tau = \frac{1}{1.5}$ という相関関係が得られたが従来の $\tau = \frac{1}{5} \sim \frac{1}{2}$ という相関関係よりも大きな相関係数が得られた。

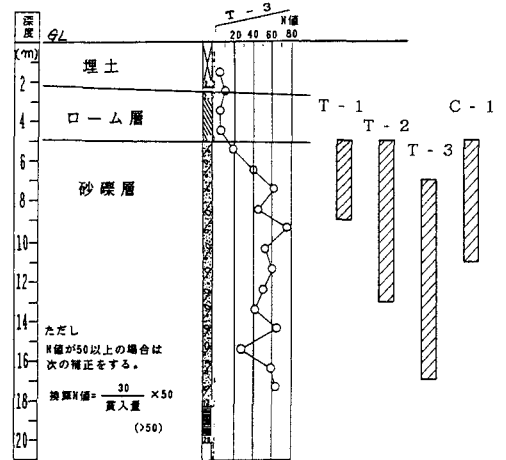


図-1 試験地盤の柱状図と試験杭の設置深度

表-1 実験ケースと条件

載荷条件	実験ケース	杭径	根入れ長
引抜	T-1	0.8 m	4 m
"	T-2	"	8 m
"	T-3	"	10 m
鉛直載荷	C-1	"	6 m

表-2 実験結果

項目	T-1	T-2	T-3	C-1	
				周面摩擦	杭全体 ²⁾
降伏荷重	236 t	650 t	790 t	390 t	900 t
極限荷重	329 t	850 t	1100 t	518 t	1050 t
極限時変位量	91 mm	139 mm	101 mm	78 mm	198 mm
周面摩擦 $\tau_{\max}$	32.3t/m^2	41.8t/m^2	43.2t/m^2	34.5t/m^2	29.9t/m^2
平均N値	58	55	53	49	-
$\tau_{\max}/N$	1/1.8	1/1.3	1/1.2	1/1.4	-

²⁾ 周面摩擦は杭の極限時の値であるが残留強度に違っている。

（2） 試験杭体と周辺地盤の挙動

試験杭体の周辺地盤には地中鉛直変位計、地中水平変位計等を設置してその挙動を観察したところ破壊におけるスリ線は杭体近傍にあって杭体が地盤からすり抜け、周辺地盤はそれに引きずられて隆起し同時に杭体から離れる方向に変位することが確認された。

（3） 周面摩擦力度 τ

砂質地盤における周面摩擦力度 τ は一般に次式にて表わされる。

$$\tau = \sigma_h \cdot \tan \phi \quad \text{----- (1)}$$

ここで σ_h は地中水平初期拘束圧である。打ち込み杭の場合 σ_h は杭打設の影響を受けて上昇し受働土圧近くにまでなる場合があり、内部摩擦角 ϕ も打設前より改善された値を取ると考えられる。²⁾ 場所打ち杭においてはこの打設による改善効果は考えられずむしろ逆に地盤を弱めると考えられる。式(1)にて今回得られた最大周面摩擦力より静止土圧係数を逆算すると3~5の値を取り、妥当な値とは言えず満足のいく説明ができない。そこで式(1)を修正し次式を提案する。

$$\tau = (\sigma_h + \Delta \sigma_h) \cdot \tan \phi \quad \text{--- (2)}$$

ここで $\Delta \sigma_h$ は地中拘束圧の増加量であり、せん断変形に伴うゲルティンにより引き起こされる値である。

（4） ギャングを想定した要素試験の結果

杭体と地盤の局所的なギャングを再現する目的で要素試験を実施した。これは試験後掘り出した試験杭(T-1)の表面から凹凸度を型取りしたコンクリート版と採取された砂礫試料とによるせん断試験である。図-4にその結果の一例を示すが、実際の杭と地盤の挙動は定圧条件と定体積条件の間にあると考えられる。図-4よりゲルティンの発生量が制限されると垂直応力の増加が生じるという関係が理解される。一方図-3は載荷試験より得られた結果を同様の関係で整理したものである。両者の間に良い現象の一致が見られる。

4. あとがき

砂礫地盤における場所打ち杭の周面摩擦力についてはゲルティンにより拘束圧の増加が引き起こされるという現象が極めて重要であることが確認された。今後検討をさらに進めて結果を報告していきたい。

《参考文献》 1. 奥山、根津、金坂：砂礫地盤における場所打ち杭の引抜支持力、第23回土質工学研究発表会(1988) 2. 財団法人道路協会：杭基礎設計便覧、(昭和61年) 3. 土質工学会：土質工学ハンドブック(昭和40年10月)、pp415~425

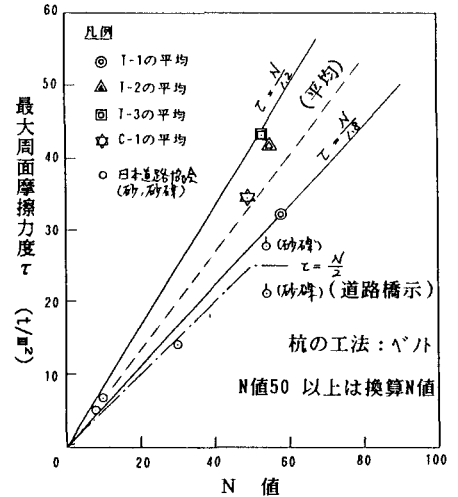


図-2 最大周面摩擦力度とN値の関係

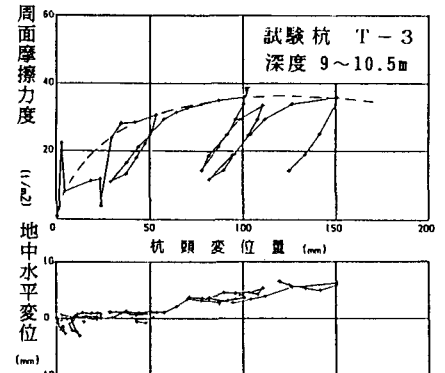


図-3 杭の周面摩擦力度 - 杭頭変位 - 地中水平変位関係

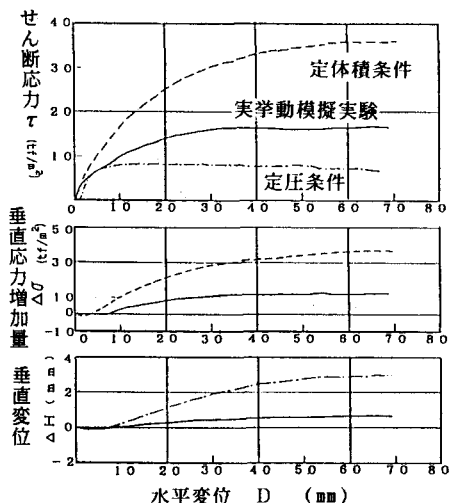


図-4 要素試験の排水条件の違いによるせん断応力 - 垂直応力増加量 - 垂直変位関係の比較