

動的載荷による杭の鉛直支持力に関する基礎的研究

東京都市大学 学生会員 ○細田明善 比企野将司 秋葉将太
財団法人ベターリビング 正会員 久世直哉
東京都市大学 国際会員 末政直晃

1. はじめに

日本の平野には、東京・名古屋・大阪などの巨大都市が形成されているが、地質年代的に新しい沖積層で構成されていることから、地盤工学上の問題を多く抱えている。また、近年では埋立地などの開発が進行している。このような土地は地下水位が高く、支持層が地表面から深く位置しており、やわらかい粘性土やゆるい砂質土から構成されている傾向にあり、軟弱な地盤である。軟弱地盤上にある主要都市には、大型構造物が多く建設されており、地震発生時における構造物への支持力の保持が重要となっている。そのため、都市開発を行う上では軟弱地盤での超高層物の荷重をいかに安全に地盤に伝達するかが課題となっている。そこで、有効な基礎として杭基礎が広く用いられている。杭基礎とは、地盤の深部まで基礎を設置することにより構造物の荷重を伝達し支えるものであり、先端からの抵抗力と杭の周囲の摩擦力の総和から支持力を確保し、構造物の沈下防止や耐震性向上の役割を果たしている。しかし、地震動のように動的振動を受ける場合の杭の支持力特性については未だに十分な規定がなく、解明されていない。本研究は、常時荷重がかかっている時の地震時における杭基礎の動的な支持力特性に関して、実験的に調査を行うことを目的としている。本報告では、荷重制御と変位制御の極限支持力の変化を比較するために行った模型実験の結果を示す。

2. 杭の鉛直支持力

一般に構造物から杭基礎には鉛直方向に荷重が伝わる。これに対する支持力を鉛直支持力という。杭の鉛直支持力は杭の鉛直載荷試験¹⁾によって求められ、鉛直載荷試験の一つに静的押込み試験があり、この試験により得られる指標の一つに極限支持力がある。図-1は杭の静的押込み試験の荷重-沈下曲線の概念図である。この極限支持力に構造物の重要度や耐震性をもとに定められた安全率を用いて使用限界及び損傷限界における許容支持力が算定され、設計に用いられている。これらの限界値は大きな地震動を受けた時を想定して定められている。しかし、この試験では動的振動を与えていない場合で極限支持力を求めているため、動的振動を与えた場合の極限支持力が静的押し込み試験の極限支持力との違いがあるのか調べる必要がある。

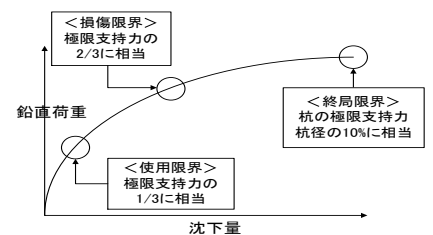


図-1 鉛直荷重-沈下曲線

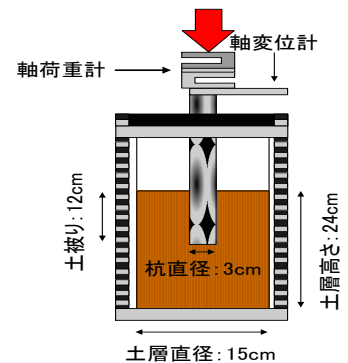


図-2 模型実験装置

3. 鉛直載荷実験

3-1. 実験概要

実験装置概要を図-2に示す。本実験の実験装置は、模型杭と土槽で構成され、通常の静的載荷試験の極限支持力と静的載荷の途中で動的振動を与えることで、地震の様な繰り返し載荷を考慮した場合の極限支持力を比較した。土槽装置は円筒の亚克力容器（直径15cm、高さ30cm）、模型杭（直径3cm、長さ36cm）のものをを用いて、鉛直載荷と沈下量の測定を行った。模型地盤には、豊浦標準砂を使用して、空中落下法により高さが12cmになるように作製した。

表-1 土層条件及び載荷方法

	実験方法	相対密度	載荷方法
Case1	荷重制御	60	A
Case2			B
Case3		80	A
Case4			B
Case5	変位制御	60	A
Case6			B
Case7		80	A
Case8			B

	載荷方法	載荷条件
A	静的載荷	杭径の10%(3mm)まで載荷
	I: 静的載荷	極限支持力の1/3まで載荷
B	II: 動的載荷	繰り返し載荷
	III: 静的載荷	杭径の10%(3mm)まで載荷

杭基礎 動的載荷 支持力

その後、模型地盤と模型杭を載荷装置に設置して、ロードセルを模型杭と結合させた。鉛直荷重がかからないように、模型杭先端をゆっくりと模型地盤上に設置し、更に試料を土被り分の高さが 12cm になるまで空中落下法により作製した。土層条件および載荷方法を表-1 に示す。Case1~4 は荷重制御、Case5~8 は変位制御で実験を行った。どちらの制御の実験も相対密度を 60% と 80% になるように作製した。Case1, 3, 5, 7 の載荷方法 A は静的載荷試験を行い、模型杭の極限支持力を測定した。また、Case2, 4, 6, 8 の試験方法 B は載荷方法を 3 段階に分けて行った。試験方法 B は試験方法 A で求めた極限支持力の 1/3 まで静的載荷を行い、動的載荷を繰り返し行った。その後、再び静的載荷を行い、極限支持力を測定し、載荷方法 A, B 両方の試験方法で求めた極限支持力の値を比較した。ここで試験方法 B の動的載荷は 20 回とし、荷重制御の実験は極限支持力の 1/3 の荷重を荷重振幅値として、変位制御の実験は変位量を 0.40mm/sec として繰り返し載荷させた。以上の相対密度と載荷方法を用いて計 8 ケースの実験を行った。極限支持力は杭径の 10% (3mm) に達した終局時の鉛直荷重を採用した。尚、Case1~8 は乾燥地盤を想定して実験を行った。

3-2. 実験結果及び考察

荷重制御で実験を行った Case1~4 の結果と変位制御で行った Case5~8 の結果として沈下量と鉛直載荷の荷重の関係を図-3 に、各ケースの極限支持力値を表-2 に示す。

Case1~4 では沈下量 1mm 程度まで荷重-沈下曲線はほぼ線形となった。Case1, 3 は載荷が進むにつれて曲線の勾配が減少し、僅かな荷重の増加で沈下量が増大した。Case1 においては、杭径の 10% である 3mm 付近では 783N の極限支持力が得られた。Case2 は動的載荷を加えたことにより鉛直荷重が大幅に増加し、Case1 の極限支持力よりも高い値となり極限支持力は 830N になった。これより、やや緩い乾燥地盤では動的載荷により、杭先端の地盤が締め固まる効果によって地盤が密になり、先端支持力が増加するものと思われる。Case3 においては、杭径の 10% である 3mm では 907N の極限支持力が得られた。Case4 は動的載荷を加えたことにより鉛直荷重が低下し、Case3 の極限支持力より低い値となり、極限支持力値は 866N となった。これは密な地盤に振動が加わることで、正のダイレイタンシーの影響から杭先端の地盤の体積が膨張し、土粒子間に働く力の低下から模型杭先端での支持力が減少したことが考えられる。変位制御で行った実験では、緩い地盤では荷重制御で行った実験結果と同様になったが、密な地盤でも動的振動を加えた場合の方の極限支持力が大きくなった。これは振幅の大きさが十分に足りずに密な地盤でも負のダイレイタンシーが働き極限支持力が増加してしまったと考えられる。

4. まとめ

以上の実験結果より以下の知見が得られた。荷重制御で行った実験では、相対密度の低い乾燥地盤では動的振動を加えることにより、杭先端の地盤が密になり、極限支持力が増加し、また相対密度の高い地盤では正のダイレイタンシーの影響より杭先端の地盤は緩くなり、極限支持力が減少することが確認できた。変位制御で行った実験では、振幅が十分に足りずに密な地盤でも極限支持力が増加してしまった。

〈参考文献〉

- 1) 地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説
- 2) 中村靖，内藤禎二：大地に根ざす基礎，山海社
- 3) 日本建築学会：基礎構造設計指針

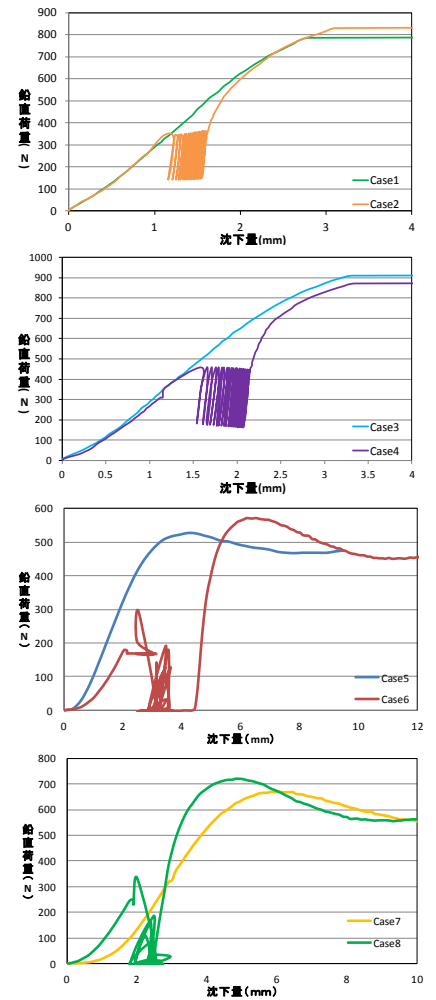


図-3 各 Case の結果

表-2 各 Case の極限支持力値

	実験方法	相対密度	載荷方法	極限支持力 R_u (N)
Case 1	荷重制御	60	A	783
Case 2			B	830
Case 3		80	A	907
Case 4			B	866
Case 5	変位制御	60	A	526
Case 6			B	572
Case 7		80	A	669
Case 8			B	720