

既往の文献データによる杭の引抜き抵抗の検討
(その1 最大周面摩擦応力度)

正会員 小椋 仁志* 同 井上 波彦**
同 尾古健太郎*

引抜き抵抗 最大周面摩擦力 N値
粘着力 場所打ち杭 埋込み杭

1. はじめに

建築基準法の改正によりアスペクト比が4を超える建物については杭の引抜き力を含む基礎の極限軸方向支持力の検討が義務づけられたように、最近の杭の設計では引抜き抵抗の評価が重要になっている。また、引抜き方向を含む杭の鉛直方向のばね定数を適切に設定することも求められている。しかし、引抜き抵抗に関しては押込み方向の支持力に比べてデータ数も少なく、適切な引抜き抵抗や引抜き方向のばね定数を評価するのは難しい。

そこで、筆者らは、これまで発表された文献の中から杭の引抜き試験の結果を報告したものを抽出し、それらの試験データをもとに引抜き抵抗に関する調査を行い、既存の算定式との比較などの検討を行ったので報告する。

2. データの抽出方法の概要

表-1に示す論文集類のうち1998年から2009年までの11年間に発行されたものを対象として、引抜き試験の結果が報告された文献を調べた。その結果、文献1)~6)など76編の文献が得られた。記載された引抜き試験杭の工法別の杭径・杭長の範囲を表-2に示す。工法は場所打ち杭、埋込み杭、回転貫入杭の3工法に分類した。埋込み杭は全てプレボーリング工法で施工されており、杭周固定液を使用している。試験杭には、ストレート部分の他に、杭先端や中間に拡径部(回転貫入杭では羽根部)を設けているものが多い。

表-1 対象とした論文集

日本建築学会 (AIJ)	日本建築学会構造系論文集
	学術講演梗概集
地盤工学会 (JGS)	日本建築学会技術報告集
	地盤工学会論文報告集
	土と基礎、地盤工学会誌
土木学会 (JSCE)	地盤工学会研究発表会
	年次学術講演会講演概要集
総合土木研究所	土木学会論文集
日本建築総合試験所	基礎工
	G B R C

表-2 工法別の杭諸元の範囲

工法	場所打ち杭	埋込み杭	回転貫入杭
ストレート部径 (mm)	700 ~ 1500	300 ~ 1200	165.2 ~ 1000
拡径部径・羽根部径 (mm)	1200 ~ 1700	440 ~ 1200	350 ~ 1500
杭長 (m)	4.8 ~ 28.4	4.0 ~ 54.0	6.0 ~ 55.3

文献から得られた杭頭荷重 P_0 - 杭頭変位量 S_0 曲線と区間周面摩擦応力度 f_i - 区間変位量 S_i 曲線の数を表-3に示す。 $P_0 - S_0$

表-3 曲線の数

	$P_0 - S_0$ 曲線	$f_i - S_i$ 曲線
場所打ち杭	19	54
埋込み杭	10	46
回転貫入杭	21	23
計	50	123

曲線や $f_i - S_i$ 曲線のうち数値データのないものは、文献に記載された図から数値を読み取った。

3. 最大周面摩擦応力度と地盤定数の関係

得られた $f_i - S_i$ 曲線において f_i の最大値を最大周面摩擦応力度 f_{max} とする。図-1~4は、場所打ち杭と埋込み杭の f_{max} と地盤定数(砂質土はN値、粘性土は粘着力 c_u 、一軸圧縮強さ q_u しか示されていない場合は $c_u = q_u/2$)との関係を示したものである。ただし、拡径部や羽根部のデータは、原則として除外している。

図-1は杭周地盤が砂質土で場所打ち杭、図-2は砂質土で埋込み杭、図-3は杭周地盤が粘性土で場所打ち杭、図-4は粘性土で埋込み杭の場合を示している。

これらの図には、回帰直線として原点を通る回帰式と最小二乗法で求めた回帰式を示している。前者の回帰係数(平均勾配) a は、個々の f_{max}/N 、 f_{max}/c_u の値を相加平均したものである。また、これらの図には、平成13年国土交通省告示第1113号第五に定められた式(以下、告示式)と指針⁷⁾に示された引抜き方向の周面摩擦応力度の算定式(以下、学会式)も併記した。告示式は押込み方向の周面摩擦係数を砂質土、粘性土ともに0.8倍にしたものであり、学会式は砂質土では押込み方向の2/3倍、粘性土では押込み方向と同じ値としたものである。合わせて示した「学会平均式」は、指針⁷⁾に示された押込み方向の周面摩擦応力度の平均勾配を、学会式と同じ割合で低減したものである。なお、図-3(粘性土・場所打ち杭)については c_u が 300kN/m^2 以上のデータもあったが、文献8)などより c_u が大きいと f_{max} がばらつくこと、 c_u の増加に比べて f_{max} の増加が小さくなる傾向があるため、ここでは除外して検討している。

これらの図から以下のことが指摘できる。

データのばらつきは、指針⁷⁾のデータと同様、全体的に場所打ち杭は大きく、既製杭は小さくなっている。

回帰式 の平均勾配は、いずれの場合も設計式である告示式や学会式の勾配よりも大きい。粘性土・場所打ち杭（図 - 3）では 1.5 倍程度であるが、他のケースでは 2 倍以上となっている。これから設計式は安全側の値を与えることが確認できる。ただし、設計式を下回るデータも数点見られる。

学会平均式の勾配と比べると、回帰式 は砂質土・場所打ち杭（図 - 1）と粘性土・埋込み杭（図 - 4）では少し大きく、砂質土・埋込み杭（図 - 2）は 2 倍以上の値となっている。反対に、粘性土・場所打ち杭（図 - 3）は 1/2 以下の値になっているが、これは学会のデータは c_u が小さい範囲（ $c_u < 50\text{kN/m}^2$ ）で f_{max} が大きくて平均勾配を押し上げる結果となっているためである。

以上、 f_{max} について検討したが、引抜き抵抗は最大値だけでなく残留値も重要になる。しかし、今回得られたデータには、残留引抜き抵抗まで記載された文献はほとんどなかったため検討できなかった。なお、回転貫入杭については、試験結果にばらつきが大きかったため、本報では f_{max} の検討から除外した。

4. おわりに

本報では、引抜き抵抗に関して既往の文献の調査し、得られた最大周面摩擦応力度のデータについて検討を加

えた。しかし、押し込み試験に比べ引抜き試験のデータは少ない。また、繰返し荷重下の引抜き抵抗も重要であるが、正負交番荷試験はほとんど行われていない。今後、杭の引抜き抵抗に関しても多く研究され、データが蓄積されることを期待したい。

参考文献

- 1) 須藤敏巳・佐藤真弘・西村勝尚・石井雄輔他：場所打ち節付き杭の鉛直交番荷試験および引抜き試験（その 1～5），日本建築学会大会（中国）学術講演梗概集，2008
- 2) 青木雅路・平井芳雄・丸岡正夫：多段拡径場所打ちコンクリート杭の原位置引抜き試験結果（その 1～2），日本建築学会大会（東海）学術講演梗概集，2003
- 3) 塚田義明・中川宏人・大和真一・重松秀和：高層建築物における DYNABIG（ダイナミック）の施工例，基礎工，Vol.28，No.11，pp.54-57，総合土木研究所，2000
- 4) 小椋仁志・本間裕介・尾古健太郎・真鍋雅夫・大島章，プレボーリング拡大根固め工法による既製杭の引抜き抵抗，GBRC，Vol.34，No.2，pp.7-16，日本建築総合試験所，2009
- 5) 佐伯英一郎・平田尚・大杉文哉：羽を有する回転圧入鋼管杭の引抜き試験，第 35 回地盤工学会研究発表会（岐阜），2000
- 6) 梅田雅芳・前嶋匡・國松諭・吉田勝之：粘土質地盤における先端羽付き鋼管杭の引抜き耐力について，第 43 回地盤工学会研究発表会（広島），2008
- 7) 日本建築学会：建築基礎構造設計指針，2001
- 8) 平山英喜：長尺摩擦杭の支持機構から見た設計上の留意点，土と基礎，Vol.40，No.2，pp.35-40，土質工学会，1992

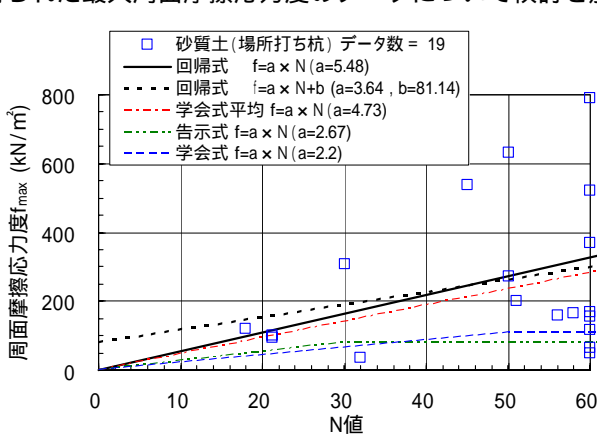


図 - 1 $f_{\text{max}} - N$ 関係 砂質土（場所打ち杭）

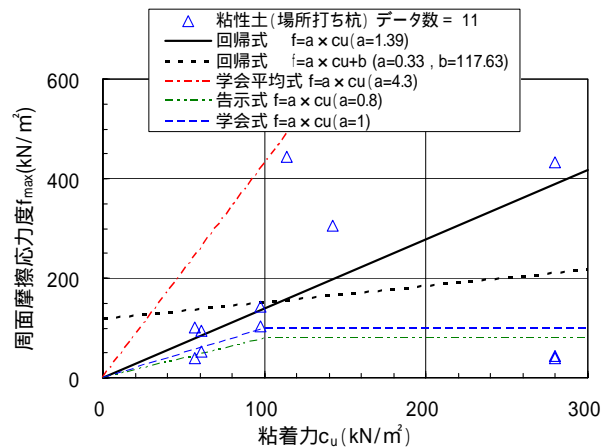


図 - 3 $f_{\text{max}} - c_u$ 関係 粘性土（場所打ち杭）

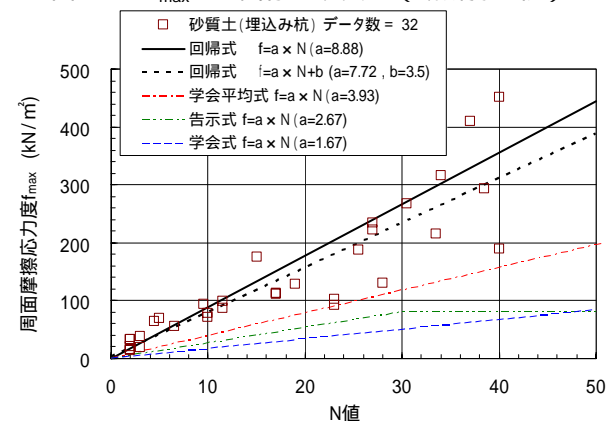


図 - 2 $f_{\text{max}} - N$ 関係 砂質土（埋込み杭）

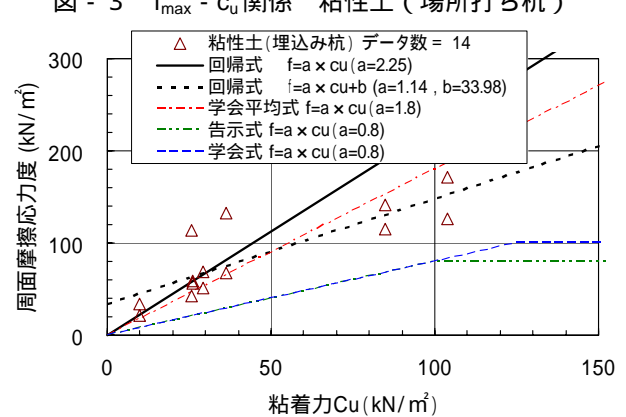


図 - 4 $f_{\text{max}} - c_u$ 関係 粘性土（埋込み杭）

* ジャパンパイル(株)
** 国土技術政策総合研究所

* JAPAN PILE Corporation
** National Institute for Land and Infrastructure Management