

東海大学工学部 正員 宇都一馬

正員 冬木 徹

学生員 ○桜井 学

1. まえがき

杭の支持機構は多くの要因に支配されていることはよく知られており、土質基礎工学における難解な問題の一つとなっている。筆者らは杭の支持機構におよぼす諸要因の統計的な解析を行なうことを目的としており、その前段階として載荷試験から得られる荷重-変位曲線(以下P-S曲線)の定量的な記述が必要となった。

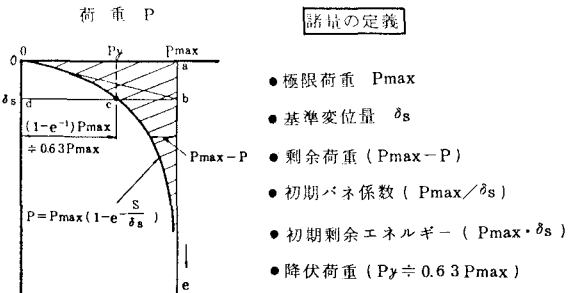


図-1 荷重-変位曲線の数学モデル(1)式

そこで、図-1に示すように、変位 S に対する荷重 P の増加率 dP/dS は、極限荷重 P_{max} から載荷重 P を差し引いたところの残余荷重 $(P_{max}-P)$ に比例すると仮定のもとで、 $P = P_{max} (1 - e^{-S/\delta_s})$ ——(1)で表現される数学モデルを設定した。この数学モデルは、いわゆるC. Van der Veenの提案式¹⁾と一致する。さらに筆者らは(1)式の自由度をもたせるために(1)式を一般化した次式 $P = P_{max} [1 - e^{-(S/\delta_s)^m}]$ ——(2)を提案した。(1)式および(2)式の回帰係数 P_{max} , δ_s , m を最小2乗法で決定するのであるが、回帰式が非線形であるため、回帰計算には若干の工夫を要する。なお、諸量の定義および解析結果の評価に関しては参考文献2)3)4)を参照されたい。また、本手法を杭の鉛直および水平載荷試験結果に適用し検討した結果をすでに報告した²⁾³⁾⁴⁾。これによると、この手法から得られる回帰係数によって主観の入らない支持力の評価法が可能となった。

今回の報告は、場所打ち杭の鉛直載荷試験結果を例にとり、(1)式および(2)式による回帰結果をもとに筆者らが定義した極限荷重 P_{max} 、降伏荷重 $P_y (=0.63 P_{max})$ の値と、従来の推定法による値や推定法そのものの比較を行ない、若干の考察を加えたものである。従来の極限荷重を推定する方法として、視覚による方法、 $\log P \sim S$ 法、C. Van der Veenによる $S \sim \log(1 - P/P_{max})$ 法、降伏荷重の推定法として $\log P \sim \log S$ 法ととりあげている。

2. 非線形回帰結果による極限荷重と降伏荷重の推定

図-2は、杭径1m、長さ33.5mのベント杭の鉛直載荷試験結果の本手法による解析例であり、図中の表に示した実測値を黒丸でプロットしてある。(1)式によれば、極限荷重 $P_{max} = 800$ t、基準変位量 $\delta_s = 8.49$ mm、残差平方和 $SSR = 1004$ t²、変動値 $TV = 0.016$ 、降伏荷重 $P_y (=0.63 P_{max}) = 506$ tであり、(2)式によれば、修正係数 $m = 0.9065$ 、 $P_{max} = 829$ t、 $\delta_s = 9.21$ mm、 $SSR = 340$ t²、 $TV = 0.009$ 、 $P_y = 524$ tとなり、(1)式および(2)式に関する適合状態は比較的良好のものであった。図中に(1)式によるものを破線で、(2)式によるものを実線と示してある。

3. 視覚による極限荷重の推定

図-3は、図-2のP-S曲線のS軸のスケールを0.5倍した図

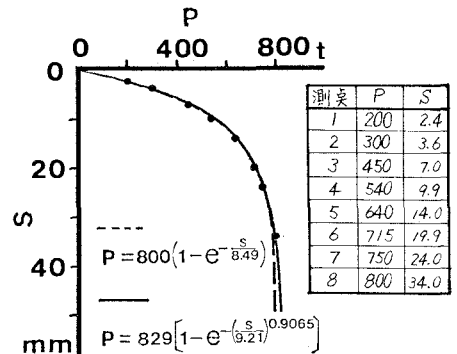


図-2 解析例

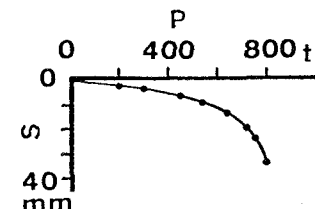


図-3 図-2のS軸のスケールを0.5倍したもの

である。両者の図で視覚による極限荷重の推定を行なうと、図-2では、およそ800tと推定されるが、図-3では、それ以上の値をとるものと推定される。このように視覚によればP-S曲線がま、た、く異な、た曲線に見えるので、推定する極限荷重はスケールの取り方で違、た値になる。また、 $\log P \sim S$ 法においても同様のことが言える。すなわち、これはスケールのマジックであ、る。

4. $S \sim \log(1 - P/P_{max})$ 法による極限荷重の推定

C. Van der Veenは3.で述べたスケールの影響を取り除くためにこの方法を提案している。すなわち、P-S

曲線が(1)式で表わせるとして図-4に示したように各

荷重段階における荷重Pに対応する沈下量Sを普通目盛で縦軸にとり、横軸を逆対数目盛にとって極限荷重 P_{max} を幾つか想定し、おのおのの P_{max} ごとに $S \sim P/P_{max}$ 曲線を描く。この曲線群のうち、直線性を示すものを選んでその値を極限荷重 P_{max} とするものである。しかし、最終的な判断は視覚によるため多少の個人差が含まれるようである。また、参考文献5)によるとP-S曲線がなめらかである状態を確認してから、初めてこの方法を採用すべきであるといっている。今回用いたデータに関して極限荷重は830t付近と推定された。この値は(2)式による推定値とほぼ一致する。また、(1)式および(2)式の回帰式そのものを入れたものがそれぞれ図中の④、⑤であり、④は直線、⑤は上に凸な曲線となる。

5. $\log P \sim \log S$ 法による降伏荷重の推定

図-5は、 $\log P \sim \log S$ 法による降伏荷重の推定を示したものである。この手法によれば降伏荷重 $Q_y \div 550$ tと推定され、(1)式による降伏荷重 $P_y = 506$ tは安全側の値を推定しているものと思われる。また、このデータに関して初心者10人で $\log P \sim \log S$ 法による降伏荷重の推定を行な、たところ、その値は390t～720tと幅広い範囲とな、った。図中には(1)式および(2)式による回帰式をそれぞれ破線と実線で示したが、図-2と同様に実測値に対する適合状態の良さがうかがえる。筆者らの降伏荷重の定義は現象論的なものであり、従来 $\log P \sim \log S$ 直線の折曲がり点を検出することが困難な場合でも推定が可能である。今回の報告では一例にすぎないが、多量のデータの解析結果に関しては参考文献2)3)4)を参照されたい。

6. まとめ
今回は、杭の載荷試験から得られる荷重-変位曲線をもとに、従来から用いられている極限荷重や降伏荷重の推定法から求めた値と筆者らの手法によるものとを比較し、初歩的な検討を行な、た。その結果、従来から用いられている極限荷重や降伏荷重の推定法には、スケールの取り方で視覚による判定に個人差があるが、筆者らの方法では主観の入らない支持力の評価が可能とな、った。今後は、荷重-変位曲線より抽出し定義した諸量をもとに、多変量解析手法を用いて杭や地盤の諸定数との関係を明らかにし、杭の支持機構に及ぼす諸要因の系統的な解析を行なう予定である。

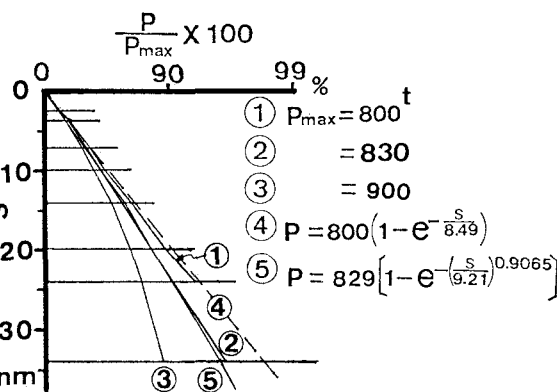


図-4 $S \sim P/P_{max}$ 曲線

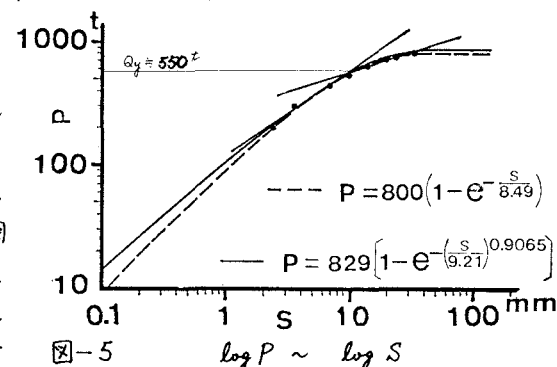


図-5 $\log P \sim \log S$

参考文献 1) C. Van der Veen; The Bearing Capacity of a pile, proc. 3rd. ICSMFE, (1953). 2) 宇都・冬木・近藤・桜井; 71の載荷試験結果の一整理方法, 第3回土質工学会研究発表会, (1978). 3) 宇都・冬木・近藤・桜井; 鋼管杭の鉛直載荷試験結果の一解析, 土木学会, 第33回年次学術講演会, (1978). 4) 塩井・宇都・冬木・近藤・桜井; 杭の荷重-変位曲線の非線形回帰結果による支持力の一評価法, 第23回土質工学会シンポジウム, (1978). 5) 永木明世; 71の鉛直支持力, 土質工学会, 土と基礎の設計計算演習, (1972).