III-303　　各種動的支持力推定法による計算結果の比較

筑波大学　沢口正俊

1．はじめに

動的支持力推定法は、一般に杭の極限支持力を推定するには適当でないといわれている。その理由は杭打ちという動的な挙動の過程で測った記録値に基づいて静的な杭の支持力を求めようとする点にある。したがって、現在では動的支持力推定法は杭打ち施工管理に利用する場合が多い。しかし、他の支持力推定法と併用して極限支持力の算定に役立たせるという意味で、現在でも設計指針等に記述しているものもある。上記の理由からこれらの指針等に見られるHileyの公式とWeisbachの公式の精度を再び見直すとともに、外国の文献等に見られるJanbuの公式とDenmark の公式、更にSmithの波動方程式による推定精度が前二者に比べてどの程度のものかを調べるために、土質工学会が調査した約129例の鉛直載荷試験結果を用いて検討してみた。ただし、この検討に用いた杭の種類は鋼杭に限ることとした。

2．動的支持力推定法の概要

上記5つの推定法のうちHiley の公式とWeisbachの公式は参考書や指針等に記述されているので、ここではJanbuの公式、Denmark の公式およびSmithの波動方程式の概要について紹介する。

Janbuの公式

$$R_{du} = \frac{1}{k_u}\frac{W_H H}{S} \tag{1}$$

ただし、$k_u = C_d\left[1+\sqrt{1+(\lambda e/C_d)}\right]$, $C_d = 0.75 + 0.15\,(W_p/W_H)$, $\lambda e = W_H H L/AES^2$

ここに、R_{du}；杭の動的極限支持力(tf)、W_H；ハンマの重量(tf)、H；ハンマの落下高(cm)、S；杭の貫入量(cm)、W_p；杭の重量(tf)、L；杭の長さ(cm)、A；杭の実断面積(cm^2)、E；杭材のヤング率(tf/cm^2)

Denmarkの公式

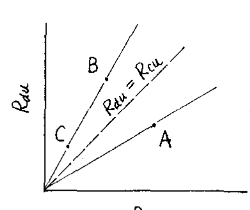
$$R_{du} = \frac{e_f W_H H}{S+C} \tag{2}$$

ただし、$C=\sqrt{e_f WHL/2AE}$　　ここに、e_f；ハンマの効率(ディーゼルハンマ　1)

Smithの波動方程式　　この方法は差分法によって解くため、杭を幾つかの質量に分割し、各質量間をバネで連結した力学モデルに置き換える。また各質量は地盤からバネおよびダッシュポットによって支えられているとする。杭にハンマが衝突してから数千分の一という時間間隔で個々の質量に伝わる力を計算し、ほとんど静的状態になったと見なされるまで繰返す。その結果、各質量に作用する力、つまり杭体応力と貫入量および地盤からの反力、つまり支持力が求まる。ここでの計算条件として、(1)各質量の長さを3mとする、(2)クッション、ヘルメットも質量に含める、(3)杭のバネ常数は$K=AE/l_i$とする、(4)周面摩擦抵抗として$R_f = 0.48\,\psi l_i N$(粘性土)、$R_f = 0.2\,\psi l_i N$(砂質土)と仮定する、(5)地盤バネの弾性限界までの変位を0.254cm(1インチ)とする、(6)ダッシュポットの粘性抵抗係数は杭周面で0.66×10^{-2}秒/cm、杭先端で0.033×10^{-2}秒/cm とする。

3．統計的解析

各種動的支持力推定法で計算した値が、載荷試験によって求まった極限支持力に対して、どの程度の誤差を有するかを調べるには、例えば図－1に示すように同目盛にとった座標に計算値R_{cu}と実測値R_{du}をプロットしてみればよい。そうすれば、いま、2つの値A, Bが$R_{du}=R_{cu}$の直線に対して、線対称の位置にあるとすれば、AとBは同程の誤差をもつと考えられる。さらに、$R_{du}=R_{cu}$直線に対し点Aと対称位置にはないが点Bと原点を結ぶ直線上にある点Cも同程度の誤差をもつと考えてよい。いま、点AにおけるR_{cu}, R_{du}をそれぞれ$(R_{cu})_A$, $(R_{du})_A$等と書き、その比$(R_{cu})_A/$



図－1

$(R_{au})_A$ を λ_A（対比値）等と表わせば、　$\lambda_A = 1/\lambda_B = 1/\lambda_C$　(3)

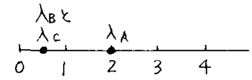
となる。つまり、もし各推定法による計算値が載荷試験による実測値に対し同じ程度の誤差をもつということは、対比値またはその逆数が同じ値になるということである。いま、点Aに対する対比値λ_Aと点Bに対する対比値λ_Bと点Cに対する対比値λ_Cを普通目盛で表した線グラフ上にプロットすれば図－2に示すように$\lambda=1$（$R_{cu}=R_{au}$）から等距離にプロットされず、0＜λ_i＜1の範囲にプロットされる値が1＜λ_iの範囲にプロットされる値よりも常に$\lambda=1$よりの距離が近いところにプロットされる。したがって、R_{cu}がR_{au}よりも小さく求まる推定方法は、R_{cu}がR_{au}よりも大きく求まる推定方法に比べて、常に狭い範囲にまとまる計算結果を与えるため、一見精度が高い印象を与えることになる。そこで対比値λとその逆数$1/\lambda$が$\lambda=1$より等距離のプロットになるように対数線グラフ上にプロットしてみる。そうすればλ_Aとλ_B，λ_Cは$\lambda=1$から等距離の位置にプロットされて、線グラフ上でこれらの値は同じ程度の誤差をもつことが一目で分る。（図－3）つまり，$\log\lambda_A+\log\lambda_B=0$、または$\log\lambda_A+\log\lambda_C=0$である。$\lambda_A$と$\lambda_B$，または$\lambda_A$と$\lambda_C$が同じ程度の誤差をもつということは、その平均値が零になることと同意義であるとすれば、λ_Aとλ_B、またはλ_Aとλ_Cの平均値は、それぞれの対比値の対数について算術平均し、その値の真数をこれらの平均値と定義したほうが合理的である。つまり、λ_Aとλ_B，λ_Aとλ_Cの相乗平均がこの場合の平均値である。また、いくつかの対比値λ_iが平均値に対して、どの程度の範囲にばらついているかを表わす値を求めるために対比値λ_iの対数についての標準偏差を求め、それを真数に直したもので表わす。これは対比値λ_iがその平均値の何倍、あるいは何分の1倍の範囲内にばらついているかを示す1つの目安となる。上記の計算を式で表わせば次のとおりである。いま、対比値λ_i（＝各推定方法による極限支持力／載荷試験による極限支持力）に対し、平均値$\overline{\lambda}$は

$$\overline{\lambda}=10^{\frac{1}{N}\sum\log\lambda_i}$$

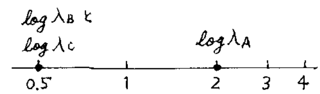
、また、標準偏差に相当する値 S は

$$S=10^{\sqrt{\frac{1}{N}\sum(\log\lambda_i-\log\overline{\lambda})^2}}$$

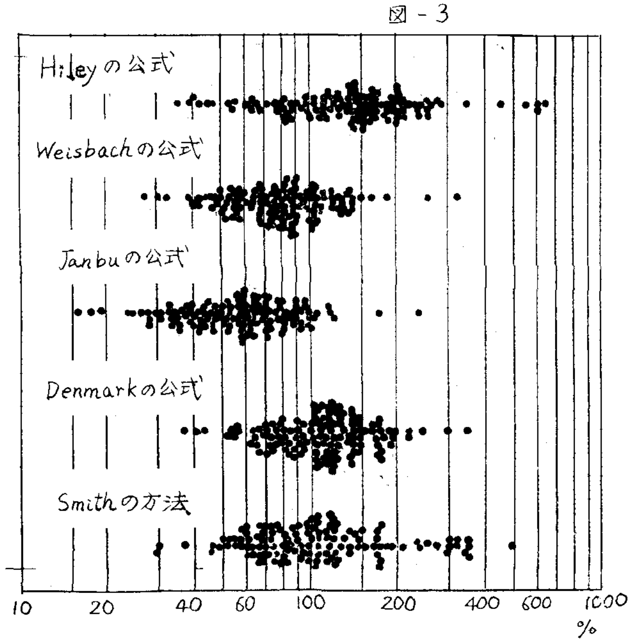
ここに、N；データ数



図－2



図－3



図－4

4．計算結果

上記の方法を用いて、土質工学会が所有している鉛直支持力調査カードのうち、鋼杭のみ約129例について調べた結果が図－4，または表－1である。ただし，載荷試験結果から求まる値は降伏荷重なので，経験によりその4/3倍したものを極限支持力とした。表－1から$\overline{\lambda}$についてはSmithの波動方程式，Denmarkの公式が100%に近く，Sについては Denmarkの公式、Weisbachの公式が1に近いことが分る。

	$\overline{\lambda}$	S
Hileyの公式	131.9 %	1.74
Weisbachの公式	77.7	1.49
Janbuの公式	54.4	1.55
Denmarkの公式	106.1	1.48
Smithの方法	100.7	1.73

表－1

謝辞　鉛直支持力調査カードを借用したことに対し関係各位に謝意を表します。