

# 平板載荷試験結果とその適用について

名城大学理工学部 堀内 孝英  
東建地質調査株式会社 永木 明世  
同上 楠 覚

## 1. まえがき

地盤の平板載荷試験結果から、設計に必要な極限荷重や降伏荷重などを判定する種々の方法が往来から提案され用いられてきている。しかし、現在の地盤の平板載荷試験の基準では、「荷重-沈下量曲線」で折曲点に相当する、いわゆる降伏荷重とか降伏支持力については、不明確な点が多いことから、試験結果の評価として、この種の荷重を求めないことにしている。したがって、現行基準では、試験結果の評価として検討すべき事項を、「荷重-沈下量曲線」から直接求め得る地盤の極限支持力と地盤反力係数の2つの事項としている。

一方、地盤の平板載荷試験結果の現情を見てみると、「荷重-沈下量曲線」が沈下量軸に平行となるような極限状態まで載荷されている例は少ない。載荷荷重や沈下量が小さい載荷試験では、極限荷重はもちろん、往来の降伏荷重すらも明確に推定できないことがしばしばある。これは、一般的に平板載荷試験の目的が、設計支持力の確認を主としている場合が多く、通常、設計支持力の3倍程度を根拠において計画最大載荷荷重を設定しているためと思われる。

このような観点から、地盤の極限支持力を精度良く推定するためには、地盤の平板載荷試験において、どの程度までの「荷重-沈下量」が得られるまで載荷すべきかが重要になる。ここに、本報告は、地盤の平板載荷試験において、極限状態と考えられるまで載荷された資料を用いて、地盤の極限支持力を精度良く推定するために必要な沈下量を主観をいれずに評価しようとする宇都らの方法<sup>2)</sup>により検討した結果について述べる。

## 2. 解析手法

今回、地盤の極限支持力を推定するために用いた解析手法は、宇都らによる杭の載荷試験結果の整理方法に準拠したものである。この方法は、「荷重-沈下量曲線」(以下単にP-S曲線と略す)を簡単な数学モデルで整理し、主観を入れずに支持力を評価するもので、その一般化した数学モデルは、式(1)で示される。

$$P = P_{\max} \{ 1 - e^{-(S/\delta s)^m} \} \text{----- (1)}$$

ここに、  
P : 荷重  
S : 変位量(沈下量)  
P<sub>max</sub> : 極限荷重(極限支持力)  
δs : 基準変位量(降伏荷重P<sub>y</sub>に対応する変位、P<sub>y</sub> = P<sub>max</sub>(1 - e) ≈ 0.63 P<sub>max</sub>)  
e : 自然対数の底  
m : 変位指数(m > 0)

本解析では、P-S曲線の形状を詳細に検討することを目的としていないで、式(1)の変位指数mをm = 1とした式(2)によった。

$$P = P_{\max} \{ 1 - e^{-(S/\delta s)} \} \text{----- (2)}$$

図-1は、式(2)の数学モデルを図化したものである。式(2)は、極限荷重を推定するVan der Veen<sup>3)</sup>の図解法で用いられている曲線と対応するが式の表現が異なっている。また、式(1)および式(2)は、統計学で扱う確率分布曲線であるところの、Weibull分布曲線と指数分布曲線にそれぞれ対応している。

式(2)に平板載荷試験における各荷重Pと沈下量Sの計測値をあてはめ、非線形最小2乗法によって二つの回帰係数 $P_{max}$ と $\delta_s$ を決定すればよい。このような取扱をすれば、P-S曲線が二つの回帰係数のみで表現されるため、地盤や載荷板寸法(幅)などの違いによらず、 $P_{max}-\delta_s$ に図上プロットされ、支持力や変位(沈下)の問題を主観を入れずに比較検討することができる。

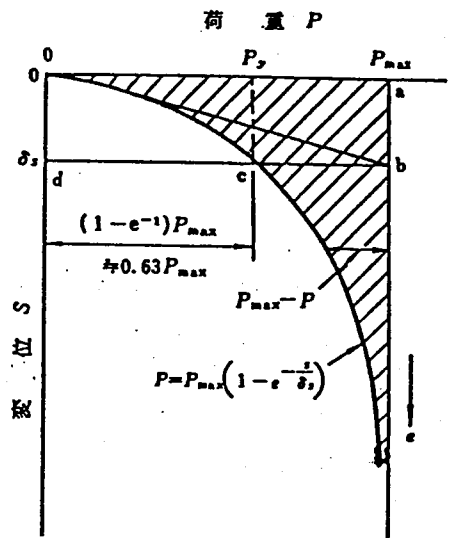


図-1 荷重・変位曲線の数学モデル式(2)  
(指数分布曲線<sup>2)</sup>)

### 3. 検討資料

検討に用いた資料は、建設省研究所の「総合技術開発プロジェクト新地盤改良技術に関する報告書(直轄)」(昭和53年度および昭和54年度<sup>4)5)</sup>に掲載されている地盤の平板載荷試験結果のうち、同一敷地内における関東ローム層の地盤を対象に、載荷板の寸法を変えて実施された一連の平板載荷試験において、極限状態付近まで載荷されたものである。これら資料の概要を表-1に示す。また、図-2は、各試験結果の $\log P-S$ 関係を一括して図示したものである。

図-2から、各試験結果とも荷重の増大に伴って沈下量の割合が増大していく曲線の形状傾向を示しているが、特に、同一荷重に対する沈下量は、載荷板寸法1500mmの場合が最も大きく測定されており、沈下量の最も小さい載荷板寸法300mmに対して2倍以上の相違が見られる。また、載荷板寸法1500mmの場合の荷重と沈下量の傾向は、やや変則的な形状をたどる曲線部分も見られる。一方、載荷板寸法300mmと600mmの場合の荷重と沈下量の関係は、概して同じ曲線に近い分布を示している。

表-1 検討に用いた資料概要

NO	載荷板寸法(mm)	最大載荷重 P (tf/m <sup>2</sup> )	最大載荷重沈下量 S (mm)	試験深度 (m)
1	300 × 300	97.8	97.91	2.0
2	600 × 600	90.3	113.71	2.0
3	1500 × 1500	80.0	239.70	2.0

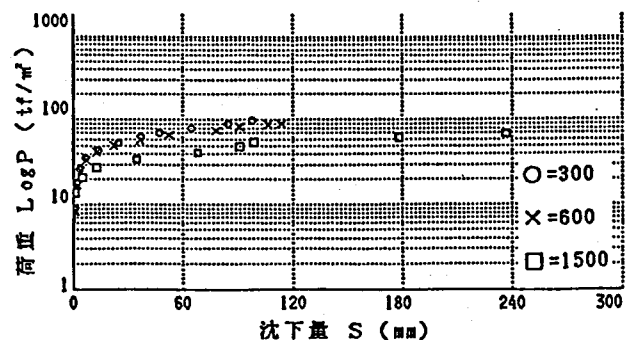


図-2  $\log P-S$ 関係図

### 4. 宇都法による極限荷重の推定精度の検討

宇都法の信頼性を検討するために、表-1に示した平板載荷試験資料による最大載荷荷重Pと宇都法によって推定した極限荷重 $P_{max}$ との関係を示したのが図-3である。

この図から、宇都の方法によって推定した極限荷重  $P_{max}$  は、平板載荷試験結果の「荷重-沈下量曲線」が、極限状態（沈下軸に平行に近い状態）付近まで載荷されたデータに対して、極めて良い精度で規定できることがわかる。

一般に行われている平板載荷試験では、前述したように、極限まで載荷される例はほとんどない現状を考えるならば、極限荷重、すなわち極限支持力の推定法の有意性は、極限付近の実測データが得られていない場合に評価されなければならない。したがって、極限付近のデータを用いしないで、換言すれば、平板載荷試験において、どの程度までの「荷重-沈下量」のデータが得られていれば、宇都の方法による分布曲線から極限荷重  $P_{max}$ 、すなわち、極限支持力を精度良く推定できるかについて、以下のような検討を行った。

図-4、図-5および図-6は、宇都の方法によって極限荷重  $P_{max}$  の推定  $P_{max}-\delta s$  分布曲線を各載荷板寸法別に示したものである。これらの図の  $P_{max}-\delta s$  分布曲線は、平板載荷試験結果による最大載荷荷重から各載荷荷重と沈下量の計測点を順次減らした場合の一例を示したものである。なお、これら図中の○印は、平板載荷試験の実測値である。また、これらの図の下には、最大載荷荷重点から計測点3ヶを減じた場合について宇都の方法によって推定した極限荷重  $P_{max}$ 、基準変位量  $\delta s$ 、降伏荷重  $P_y \div 0.63 P_{max}$  および最大載荷荷重  $P$  と  $P_{max}$  の比を一覧表として示した。

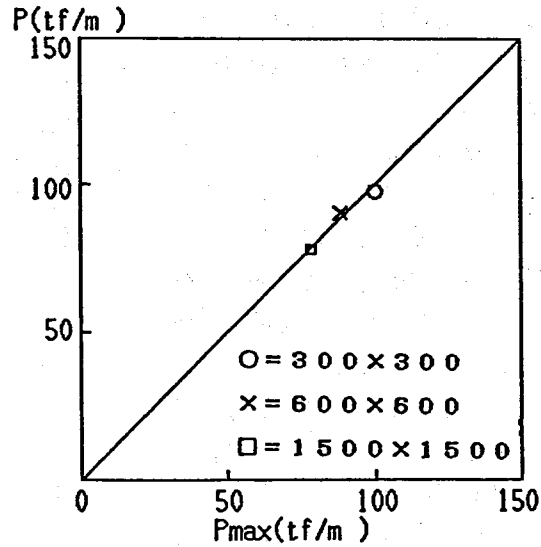
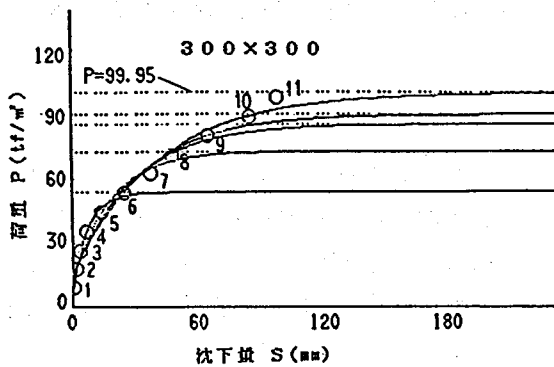
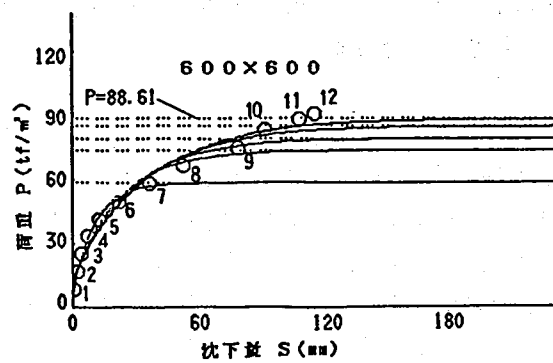


図-3 P -  $P_{max}$ 関係図



データ順数	$P_{max}(tf/m^2)$	$\delta s(mm)$	$P_y(tf/m^2)$	$P/P_{max}(\%)$
0	99.95	41.07	62.97	2.4
1	89.87	31.77	55.52	8.8
2	85.18	28.38	52.65	14.8
3	72.79	18.42	45.86	34.4

図-4 P - S 曲線 (300×300mm)



データ順数	$P_{max}(tf/m^2)$	$\delta s(mm)$	$P_y(tf/m^2)$	$P/P_{max}(\%)$
0	88.61	35.69	55.82	1.9
1	84.98	31.69	53.52	6.3
2	79.20	25.78	49.90	14.0
3	73.72	21.34	46.44	22.47

図-5 P - S 曲線 (600×600mm)

これらの図および表から、宇都の方法によって関東ロー層地盤の極限荷重、すなわち極限支持力  $P_u$  を精度良く推定するためには、平板載荷試験においてどの程度までの載荷荷重と沈下量が必要であるかが

わかる。例えば、極限支持力 $P_u$ を10%の範囲内の誤差で精度良く推定するためには、基準変位量 $\delta_s$ と折曲点 $P_y$ ( $\approx 0.63P_{max}$ )との関係は、載荷板寸法300mmと600mmに対して、 $\delta_s$ は約32mm、 $P_y$ は55tf/m<sup>2</sup>、また、載荷板寸法1500mmに対しては、 $\delta_s$ は約47mm、 $P_y$ は約47tf/m<sup>2</sup>程度まで荷重されたデータが必要であることがわかる。

また、前述したように、ここに示した平板載荷試験のP-S曲線は、やや変則的な曲線を描いており、視覚的に、折曲点が、2ヶ所見受けられる。したがって、もし、載荷試験において最大試験荷重が、第一折曲

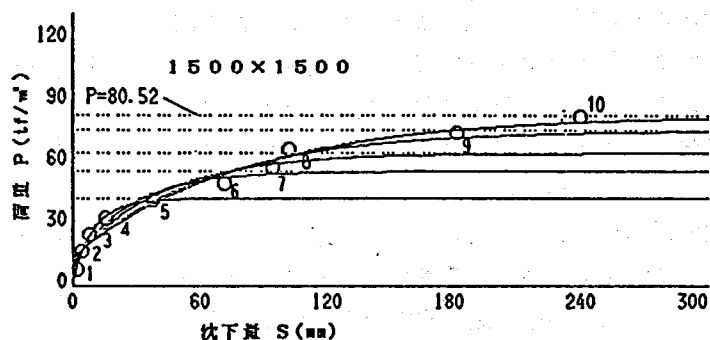
点附近で終了している場合、宇都の方法では、計測点までのデータを用いて極限支持力を推定しなければならない。それらについても、これらの図に併記してあるが、かなり極限支持力値を推定することになり、設計値としそれを採用するならばかなり安全側となり、過大設計となることがわかる。このような観点から、最大試験荷重とか降伏荷重(あるいは降伏支持力)の1.5倍<sup>1)</sup>というような値をもって、極限支持力とすることに問題があり、現行基準では、このような方法による極限支持力の規定は行わないことになっている。したがって、地盤の平板載荷試験における支持力の評価に当たっては、沈下が増加し始める荷重の判定には十分注意する必要があり、できる限りlogP-S曲線が、沈下軸に平行になる荷重を確認できるまで荷重すべきである。

## 5. まとめ

地盤の平板載荷試験においては、大変形を生じる、いわゆる極限状態まで荷重される例はほとんどない。このような観点から、本報告は平板載荷試験において、どの程度の荷重と沈下量があれば、極限荷重すなわち極限支持力を精度良く推定できるかについて、極限荷重状態まで荷重された関東ローム層の地盤を対象とした3例のデータに基づき、宇都の方法を用いて検討を行った。その結果、宇都法は極限まで荷重されているデータに関しては、非常に精度良く極限支持力を推定できることが明らかとなった。今後は更に、各種地盤の載荷データを集積し、宇都法によって極限支持力を精度良く推定するために必要な沈下量を、各種地盤との関係で明らかにしたいと考えている。

### 〈参考文献〉

- 1) 土質工学会：土質工学会基準・地盤の平板載荷試験方法・同解説、昭和62年5月。
- 2) 宇都一馬、冬木 衛、桜井 学：杭の載荷試験結果の整理方法、基礎土、Vol.10 No.9 P.P.21~30
- 3) Van der Veen, C.: The bearing capacity of a pile. Proc. 3rd ICSMFE, Vol. 2, 84~90. 1953.
- 4) 建設省建築研究所：調査試験法の合理的利用法の開発、昭和52年度総合技術開発プロジェクト新地盤改良技術に関する研究報告書(直轄)、昭和53年3月。
- 5) 建設省建築研究所：地盤区分図に関する研究、(関東ローム層地盤での載荷試験)、昭和53年度総合技術開発プロジェクト新地盤改良技術に関する研究報告書(直轄)、昭和54年3月。



データ順数	$P_{max}$ (tf/m <sup>2</sup> )	$\delta_s$ (mm)	$P_y$ (tf/m <sup>2</sup> )	$P/P_{max}$ (%)
0	80.52	31.79	50.73	63.00
1	73.09	54.07	46.01	63.00
2	62.23	40.03	39.02	63.00
3	53.85	25.93	33.93	63.00

図-6 P-S曲線(1500×1500mm)