

地盤の極限支持力照査用「2サイズ載荷板法」の提案

○ 日進コンサルタント (株) 正会員 鐘 廣喜

1. はじめに

平板載荷試験は、基礎地盤の c (粘着力)、 ϕ (せん断抵抗角) を求めるのが本来の目的ではあるが、その試験結果をそのまま地盤の極限支持力として構造物設計に利用する (以下「現行載荷試験利用法」) ことが一般的となっている。

これは「道路橋示方書 IV 下部構造編」 (以下「道示 IV」) で示された 1 回の平板載荷試験のみによる c 、 ϕ の算出は困難 (予め c 、 ϕ の適切な仮定が必要) であることが主な原因と考えられる (2. 参照)。

そこで、本文は c または ϕ のどちらかの仮定も必要とせず、 c 、 ϕ の単独算出の可能な「2サイズ載荷板法」を提案し、その計算式及び算出手順を示した。また、実例による現行他法 (「現行載荷試験利用法」、「土質分類による推定法」) との設計結果の比較により、これらの方法の問題点を検証した。

2. 「道示 IV」の c 、 ϕ の確認式 (pp.275-276.278)

$$Q_u = \pi B^2 (1.3 c N_c S_c + 0.3 B \gamma_1 N_\gamma S_\gamma) / 4 \cdots (\text{解 } 10.3.6)$$

Q_u : 平板載荷試験によって求めた極限支持力 (kN)
 B : 載荷板直径 (m)
 c : 土の粘着力 (kN/m²)
 γ_1 : 地盤の単位重量 (kN/m³)
 N_c, N_γ : 鉛直荷重に対する支持力係数
 S_c, S_γ : 支持力係数の寸法効果に関する補正係数

$$S_c = (c^*)^\lambda \quad c^* = c/c_0$$

$$c_0 = 10 \text{ (kN/m}^2\text{)} \quad \lambda = -1/3$$

$$S_\gamma = (B^*/B_0)^\mu \quad B^* = B_c/B_0$$

$$B_c = B - 2e_B$$

$$e_B$$
 : 荷重の偏心量 (m)
 $B_0 = 1.0 \text{ (m)}$
 $\mu = -1/3$

載荷試験結果から c 、 ϕ を確認する場合、たとえば砂質土では、はじめに土質試験結果や既往の資料から適当な c を仮定し、これに対する ϕ を求める。また粘土土では、はじめに ϕ を仮定し、これに対する c を求める。

3. 「2サイズ載荷板法」の提案

「2サイズ載荷板法」とは、直径の異なる 2 つの載荷板を用いて載荷試験を別々に行い、2 つの試験結果から c と ϕ を直接算出する方法である。

1) 平板載荷試験における極限支持力の計算式

平板載荷試験の場合は、荷重の偏心量 $e_B = 0$ 。また単位面積当たりの極限支持力を q_u と仮定すると、 c 、 ϕ の確認式 (2. 参照) によって、

$$S_c = (c^*)^\lambda = (c/10)^{(-1/3)} = 2.1544 c^{(-1/3)}$$

$$S_\gamma = (B^*/B_0)^\mu = ((B - 2e_B)/1.0)^{(-1/3)} = B^{(-1/3)}$$

$$q_u = Q_u / (\pi B^2 / 4) = 1.3 c N_c S_c + 0.3 B \gamma_1 N_\gamma S_\gamma$$

$$= 1.3 c N_c (2.1544 c^{(-1/3)}) + 0.3 B \gamma_1 N_\gamma B^{(-1/3)}$$

$$q_u = 2.8 c^{(2/3)} N_c + 0.3 B^{(2/3)} \gamma_1 N_\gamma \cdots (\text{式-1})$$

2) 「2サイズ載荷板法」の手順及び計算式

直径 B_1 と直径 B_2 の載荷板の単位面積極限支持力をそれぞれ q_{u1} 、 q_{u2} と仮定すると、(式-1) より、

$$\begin{cases} q_{u1} = 2.8 c^{(2/3)} N_c + 0.3 B_1^{(2/3)} \gamma_1 N_\gamma \\ q_{u2} = 2.8 c^{(2/3)} N_c + 0.3 B_2^{(2/3)} \gamma_1 N_\gamma \end{cases} \cdots (\text{式-2})$$

(1) N_γ の算出 : (式-2) から N_γ を求めると、

$$N_\gamma = \frac{q_{u1} - q_{u2}}{0.3 \gamma_1 (B_1^{(2/3)} - B_2^{(2/3)})} \cdots (\text{式-3})$$

(2) ϕ を求める : 平板載荷試験時の荷重の傾斜角 $\theta = 0$ であるため、 N_γ を用いて「道示 IV pp.275」 (図一解 10.3.3) から ϕ が求められる (但し、 $\phi \leq 45^\circ$)。

(3) N_c を求める : ϕ を用いて、「道示 IV pp.274」 (図一解 10.3.1) から N_c が求められる。

(4) c の算出 : (式-2) から c を求めると、

$$c = \left[\frac{q_{u1} B_2^{(2/3)} - q_{u2} B_1^{(2/3)}}{1.2 N_c (B_2^{(2/3)} - B_1^{(2/3)})} \right]^{(3/2)} \cdots (\text{式-4})$$

4. 「2サイズ載荷板法」と現行他法との実例比較

1) 現場及び設計条件

擁壁建設現場で実施したボーリング調査では、深さ 9m まで N 値が 10 程度の軟弱地盤層となっていた (図-1)。

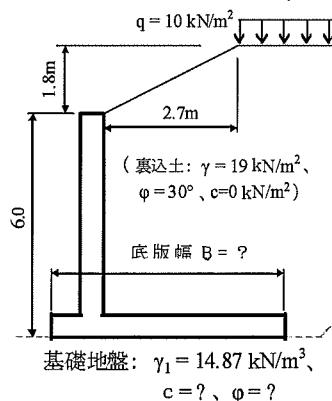


図-1 擁壁構造及びボーリング柱状図

2) 「2サイズ載荷板法」を用いた設計

直径 30 cm と 40 cm の 2 サイズの載荷板を用いて、平板載荷試験を別々で実施し、3. 2) で示した手順と計算式を用いて計算した結果は表-1 に示す (地盤単位重量 γ_1 は土質試験値 14.87 kN/m³ を用いた)。

表-1 「2サイズ載荷板法」による c 、 ϕ の算出表

1サイズ目		2サイズ目		計算値	
B_1 (m)	q_{u1} (kN/m^2)	B_2 (m)	q_{u2} (kN/m^2)	c (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)
0.3	780.0	0.4	820.0	3.9	41.0

(室内試験値: $c' = 8.0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi' = 4.8^\circ$)

この方法で求めた c 、 ϕ を用いて設計した結果、擁壁底版幅は**6.4m**が必要となる(表-3)。

3). 現行他法による設計

(1). 「現行載荷試験利用法」

直径 ϕ (通常30cm)の円板を用いた平板載荷試験結果 q_u をそのまま構造物底面地盤反力の最大値 $\sigma_{\max}$ と比較し、即ち

$$\sigma_{\max} \leq q_u / \text{安全率} \quad \text{図-2 現行載荷試験利用法}$$

の式で照査する方法である。(図-2)

この方法を設計に用いると、擁壁底版幅は**4.7m**の場合の最大地盤反力度 $\sigma_{\max} = 210.7 < q_u / 3 = 780 / 3 = 260$ (kN/m^2)であるため、地盤はこの構造物にとっては十分な支持力を有する評価となる。しかし、「2サイズ載荷板法」で正確に求めた c 、 ϕ を用いて、「道示 IV」pp269 (10.3.1)の式で照査すると、鉛直荷重559.7 kNに対し、許容鉛直支持力は276.0 kNしかなく、地盤の支持力は大いに不足していることが判明した。(表-3)。

この方法の最大の問題点は「地盤の許容鉛直支持力」と「最大地盤反力度の上限値」のまったく異なる2つの概念の混同が挙げられる(表-2)。

表-2 「地盤の許容鉛直支持力」と「最大地盤反力度の上限値」の概念比較表

比較項目	地盤の許容鉛直支持力	最大地盤反力度の上限値
照査目的	地盤のすべり破壊防止	基礎の過大沈下防止
照査式	$\text{鉛直荷重 (N)} < \frac{\text{極限支持力}}{\text{安全率}}$	$\text{基礎底面最大地盤反力度} < \text{最大地盤反力度の上限値} (\sigma_{\max})$
方法	計算式から算出する 「道示 IV」(10.3.1)	表から調べる 「道示 IV」(表-解 10.3.1)
許容値 影響要素	荷重傾斜、上載荷重、接地面積、基礎寸法形状、根入れ、地盤定数(γ 、 c 、 ϕ)、荷重ケース等	土質の分類(粘、砂、礫、軟岩、硬岩等)、荷重ケース
単位	kN(合力)	kNm^2 (応力)

(2). 「土質分類による推定法」

「土質分類による推定法」とは土質の分類によって地盤定数 c 、 ϕ を推定する方法である²⁾。

当現場では礫質土として $c = 0 \text{ kN/m}^2$ 、 $\phi = 35^\circ$ で設計すると擁壁底版幅は**8.7m**も必要となる(表-3)。

4). 各種方法による設計結果の比較

表-3 各種方法による設計結果の比較表

	単位	現行載荷試験 利用法	2サイズ 載荷板法	土質分類による 推定法
c	kN/m^2	—	3.9	0
ϕ	$^\circ$	—	41	35
底版幅B	m	4.7	6.4	8.7
最大地盤反力度照査	kN/m^2	$210.7 < 260$ OK	$154.9 < 600$ OK	$154.9 < 600$ OK
許容鉛直力照査	kN	$(559.7 > 276.0)$ (OUT!)	$834.3 < 850.4$ OK	$1205.7 < 1248.4$ OK
評価		危険!	適正	過大

本例では、「現行載荷試験利用法」と「土質分類による推定法」は、それぞれ危険設計と過大設計の結果となっているが、設計条件によっては逆の結果もあり得ると予想される。

4. まとめ

本研究は、地盤極限支持力照査に必要な c 、 ϕ の算出方法として、「2サイズ載荷板法」を提案し、その手順と計算式を示すとともに、実例により現行他法と比較し、以下の知見が得られた。

- (1) 「提案法」は、「道示 IV」の c 、 ϕ 確認式から直接導いた計算式と、現位置での平板載荷試験データを用いて、 c 、 ϕ をそれぞれ単独算出できるため、実用上の**利便性と正確性**が保証されるものとする(c または ϕ の仮定は不要)。
- (2) 現行他法は、過大設計だけではなく危険設計となる可能性も十分あるため、**早期の使用中止**が必要と考える。
- (3) 今回の現場のように、 N 値が低くても高い地盤支持力を有する可能性もあるため、杭基礎の省略等大幅な**コスト削減**が期待できる手法として、「提案法」の**緊急の利用促進**が必要と考える。
- (4) 「提案法」は、地盤の c 、 ϕ を求める有効な手段として、地盤極限支持力照査だけではなく、円弧滑り計算等にも**広く利用できる**ものとする。

[参考文献]

- 1) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 IV 下部構造編 H14年3月、2) 日本道路協会: 道路土工 擁壁工指針 H11年3月 pp.19、3) 右城 猛: 基本からわかる 土質のトラブル回避術 日経 BP 社、4) 地盤工学会: 地盤調査法 pp.345-353