

### ベーンせん断試験における非排水せん断強さの新たな推定方法の提案 (その2)

東亜建設工業	正会員	○平林 弘
港湾空港技術研究所	非会員	田中 政典
北見工業大学	正会員	川尻 峻三
北見工業大学	正会員	川口 貴之

#### 1. はじめに

ベーンせん断試験時のせん断機構を反映したベーンせん断強さ  $\tau_v$  の新たな算出方法を提案することを目的に、川尻ら<sup>1)</sup>はベーン回転時のせん断状況を X 線 CT スキャンを用いて観察した。その結果、 $\tau_v$  の発揮にはベーンブレード外周でのせん断力よりも、ベーンブレードを介して作用する支持力が寄与していると考えられることを確認した。そこで、本文では、最初に支持力理論に基づいたせん断強さの算出方法について述べ、続いて室内ベーンせん断試験を実施して基準で規定される方法から得られる数値との比較を行った結果を報告する。

#### 2. せん断強さの算出式

ベーンブレードを基礎底面と見なし、ベーンせん断試験とはその極限支持力を計測する試験であると考えられる。まず、支持力理論に基づいて連続基礎及び長方形基礎と見なした場合のそれぞれのせん断強さの算出式を示す。その次に比較のために円弧すべりと考えた場合及び基準式による算出式を示す。

##### 2.1 支持力理論 (連続基礎) に基づく算出

図-1 は、ベーンせん断試験の応力状態を上面から見た状態を示したものである。ここで、奥行き (ベーン高さ  $H$ ) は無限長としている。飽和粘性土に対する連続基礎の極限支持力は、主働土圧と受働土圧の関係か

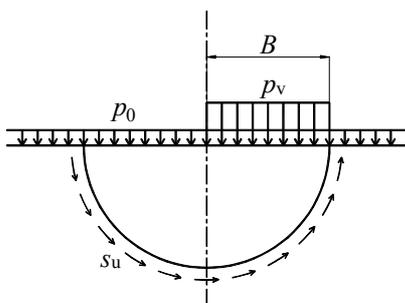


図-1 ベーンせん断試験の応力状態

ら次式で表される。

$$q_d = Q/A = (\pi + 2)s_u^* + p_0 = (\pi + 2)s_u^* + (K_0 \cdot \sigma_{v0}) \dots (1)$$

$A$  はベーンブレード 1 枚の幅  $B$  と高さ  $H$  の積とし (無限長の解を有限長に拡張)、室内ベーンせん断試験では  $p_0$  の影響は無視できるため、式(1)から式(2)に示す支持力から求められるせん断強さ  $s_u^*$  を導くことができる。

$$s_u^* = p_v \cdot B / (B \cdot H) / (\pi + 2) \dots (2)$$

ここで、 $p_v$ : ベーンブレードに作用する力  
式(2)をモーメント  $M^*$  で表したものが式(3)である。

$$s_u^* = 2 \cdot M^* / (B^2 \cdot H) / (\pi + 2) \dots (3)$$

ベーンせん断試験から得られるモーメント  $M$  は全周に対するものであるため、 $M = 2 \cdot M^*$  の関係がある。よって、式(3)は式(4)で表される。

$$s_u^* = M / (B^2 \cdot H) / 5.28 \dots (4)$$

式(4)から得られる連続基礎に基づき算出したせん断強さを支持力(1)によるせん断強さと定義する。

##### 2.2 支持力理論 (長方形基礎) に基づく算出

Tschebotarioff によると、短辺長さ  $B$ 、長辺長さ  $L$  の長方形基礎の極限支持力は次式で表すことができる。

$$q_d = Q/A = 5.52 \cdot s_{ut}^* (1 + 0.44 B/L) \dots (5)$$

よって、 $B$ 、 $H$ 、及び  $M$  を用いて奥行きを有限長として求められるせん断強さ  $s_{ut}^*$  は式(6)となる。

$$s_{ut}^* = M / (B^2 \cdot H) / \{5.52 \times (1 + 0.44 B/H)\} \dots (6)$$

さらに、 $H=2D=4B$  の関係から次式が得られる。

$$s_{ut}^* = M / (B^2 \cdot H) / 6.73 \dots (7)$$

式(7)から得られる長方形基礎に基づき算出したせん断強さを支持力(2)によるせん断強さと定義する。

キーワード ベーンせん断試験, ベーンせん断強さ, 支持力

連絡先 〒230-0042 神奈川県横浜市鶴見区安善町 1-3 東亜建設工業 (株) 技術研究開発センター TEL045-503-1241

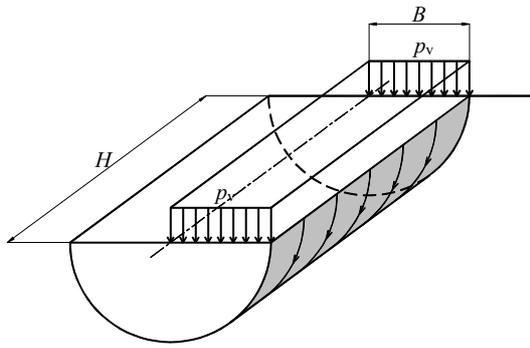


図-2 長方形基礎の支持力理論に基づく算定

2.3 円弧すべりの力の釣合いに基づく算出

図-1 に示すように M の釣合いから次式が得られる。

$$M = p_v \cdot B \cdot B/2 = s_u \cdot 2\pi B \cdot B \dots\dots\dots (8)$$

奥行き H を考慮すると次式となる。

$$s_u = M / (B^2 \cdot H) / 2\pi = M / (B^2 \cdot H) / 6.28 \dots\dots\dots (9)$$

2.4 基準に基づく算出

ベーンブレード鉛直面に働くせん断強さ  $\tau_v$  及びベーンブレード水平面に働くせん断強さ  $\tau_H$  と M との関係は、式(10)で表される。

$$M = \frac{\pi}{2} H \cdot D^2 \cdot \tau_v + \frac{\pi}{2} D^3 \cdot \alpha \cdot \tau_H \dots\dots\dots (10)$$

ここで、 $\alpha=1/3$  (水平面のせん断力分布が一樣な長方形) 及び  $\tau_v=\tau_H=\tau$  と仮定し、 $H=2D$  のとき、JGS1411「原位置ベーンせん断試験方法」で規定される次式が得られる。

$$\tau_v = \frac{6M}{7\pi \cdot D^3} \dots\dots\dots (11)$$

さらに、B と H で表すと、式(12)なる。

$$\tau_v = M / (B^2 \cdot H) / 7.33 \dots\dots\dots (12)$$

3. 結果と考察

表-1 に東京湾海成粘土再構成試料 (液性限界  $w_L=96\%$ , 塑性限界  $w_p=39\%$ , 塑性指数  $I_p=57$ ) に対する室内ベーンせん断試験結果を示す。試験は液性限界の 2.5 倍の含

表-1 各種せん断強さの比較

圧密圧力 (kPa)	測定トルク (kN・m)	せん断強さ (kN/m <sup>2</sup> )				ベーンブレード寸法
		支持力(1)	支持力(2)	円弧すべり	基準	
46.0	0.194	21.8	17.1	18.3	15.7	A
68.0	0.261	29.3	23.0	24.6	21.1	
90.0	0.403	45.2	35.5	38.0	32.6	
100.0	3.130	43.9	34.5	36.9	31.6	B

支持力(1) : 連続基礎と見なした場合  
 支持力(2) : 長方形基礎と見なした場合  
 ベーンブレードA : D=1.5cm, H=3.0cm  
 ベーンブレードB : D=3.0cm, H=6.0cm

水比になるように調整したスラリー状態の粘土試料を予圧密容器内で所定の圧密圧力まで段階的に圧密した後、ベーンを貫入し、ベーン回転速度 6°/min でせん断した。圧密完了の確認は  $3 \cdot \log t$  法で行った。粘土供試体表面からベーンブレード上端までの距離は、ベーンブレード A (幅 D=1.5cm, 高さ H=3.0cm, 厚さ t=1.0mm) では 30mm, ベーンブレード B (D=3.0cm, H=6.0cm, t=1.0mm) では 90mm である。

基準から求めたベーンせん断強さ  $\tau_v$  に対して、支持力(2)と円弧すべりに基づいて算出されるせん断強さは、ほぼ等しい値となっている。一方、基準と比べて支持力(1)によるせん断強さは過大な値を示している。ベーンせん断試験の機構を考えると、奥行きは無有限長ではなく、有限長として考えるべきであり、連続基礎に対する支持力理論を拡張したことがこの乖離の原因と考えられる。

各算出方法から求めたせん断強さの違いは、それぞれの算出式である式(4), 式(7), 式(9)及び式(12)における共通項である  $M / (B^2 \cdot H)$  を 5.28, 6.73, 6.28 又は 7.33 のいずれかで除すかの違いである。これら係数は、算出方法から決定される支持力係数の一種とも言えるものである。このことは、円弧すべり又は基準に基づく算出であっても、支持力理論に基づいた式で表現できるということである。つまり、ベーンせん断強さは支持力理論に基づいて算出できるものと考えられる。

4. まとめ

ベーン回転時のせん断状況を X 線 CT スキャンを用いて観察した結果から、本研究では支持力理論に基づいたベーンせん断強さの算出を行った。その結果、次の知見が得られた。

1. ベーンせん断強さは、得られた測定モーメントから支持力理論に基づいて算出することができる。
2. 基準から得られるベーンせん断強さは、支持力理論 (長方形基礎) 又は円弧すべりに基づいて算出した値とほぼ等しい。これは、基準による算出式を展開した結果、測定モーメントに関する共通項を除する値が、たまたま近い値を示したためである。

参考文献

- 1) 川尻峻三ら：ベーンせん断試験における非排水せん断強さの新たな推定方法の提案 (その 1), 土木学会第 70 回年次学術講演会概要集, 投稿中, 2015