

III-B 41 偏心・傾斜荷重を受ける直接基礎の支持力曲線に関する考察

東急建設（株）土木技術部

正会員 ○ 鄭 光司

正会員 岡本 正広

1. はじめに

地震力や波力などにより、基礎構造物には鉛直荷重 V のみならず水平荷重 H およびモーメント M が作用するが、この場合の支持力算定式として既にいくつかの提案がなされている。本報告においては、偏心あるいは傾斜荷重が作用する粘土地盤上の剛な円形直接基礎における支持力曲線の形状について、既往の提案式に基づき、いくつかの簡単な考察を行うものである。

2. ($V, M, H=0$) における支持力曲線について (偏心荷重時)

根入れのない円形の直接基礎において、Hansen および Vesic により提案された支持力式を適用すると、水平荷重 $H=0$ で偏心荷重 M のみを受ける場合、若干の計算の後に以下の支持力曲線を導くことができる。

$$\text{Hansen : } V/V_0 = \{1 + 0.2\sqrt{(R-e)/(R+e)}\} / 1.2 \cdot A' / A$$

$$\text{Vesic : } V/V_0 = \{\pi + 2 + \sqrt{(R-e)/(R+e)}\} / (\pi + 3) \cdot A' / A$$

また、関口、Houlsby、および Meyerhof により提案されている支持力式²⁾は、それぞれ下式で示される。

$$\text{関口 : } M/(RV_0) = V/V_0 \times (1 - \sqrt{V/V_0})$$

$$\text{Houlsby : } M/(0.2RV_0) = 4 \times V/V_0 \times (1 - V/V_0)$$

$$\text{Meyerhof : } M/M_0 = 4 \times V/V_0 \times (1 - V/V_0), \quad \text{ただし、} M_0 = RV_0/4$$

ここで、 $e = V/M = V_0/M_0$ は基礎中心からの荷重の偏心距離、 R は円形基礎の半径、 A および A' は円形基礎およびそれを長方形基礎に換算した場合の等価有効面積である。また、 (V, M) および (V_0, M_0) は、それぞれ偏心量 $e \neq 0$ および $e = 0$ における最大鉛直荷重および最大モーメントを表わす。なお、Meyerhof の式は、有効載荷半径 $R' = R - e = R - M/V$ を支持力式に適用することにより、簡単に求めることができる。

図-1 に、上式から求まるモーメントに関する支持力曲線 $\{V/V_0 \sim M/(RV_0)\}$ をまとめて示す。また、既往の実験データ（粘土および砂地盤）^{2),3)} を図-1 にあわせて示す。これより、下界値として求められている関口の式は小さめ（安全側）の、Houlsby の式は大きめの支持力を与えることが認められる。また、多少のばらつきがみられるものの、実験データと上記の支持力曲線の整合性は、おおむね良好であることがわかる。

3. ($V, H, M=0$) における支持力曲線について (傾斜荷重時)

上記の偏心荷重時と同様に、モーメント $M=0$ の場合の傾斜荷重時における支持力曲線について、既往のいくつかの支持力式を適用すると以下のように求まる。ここで、 $(V, H = \tan \delta)$ および (V_0, H_0) は、それぞれ鉛直方向からの荷重傾斜角 $\delta \neq 0^\circ$ および $\delta = 0^\circ$ における最大鉛直荷重および最大水平荷重である。なお、 s_u を粘土の非排水せん断強度（深さ方向に一定）とすると、最大水平荷重は $H_0 = V_0 / (\pi + 2) = s_u \cdot A$ となる。

$$\text{Hansen : } H/V_0 = \{1 - (1.2 \cdot V/V_0 - 0.5)^2 / 0.7^2\} / (\pi + 2)$$

$$\text{Vesic : } H/V_0 = (1 - V/V_0) / 1.5$$

$$\text{Houlsby : } H/H_0 = 4 \times V/V_0 \times (1 - V/V_0)$$

$$\text{Meyerhof : } V/V_0 = (1 - \delta^\circ / 90^\circ)^2 = [1 - \{\tan^{-1}(H/V)\} / 90^\circ]^2$$

図-2 に、上式で表わされる支持力曲線 $\{V/V_0 \sim H/V_0\}$ をまとめて示す。なお、図-2 には、寺師ら⁴⁾ により得られている砂地盤上における直接基礎の遠心模型実験データも併記している。ここで、比較的小さい V/V_0

の範囲においては、基礎地盤の破壊モードが bearing failure（地盤支持力による破壊）から sliding failure（基礎底面における土とのすべり破壊）に移行するとみなすことができる。sliding failure においては、水平支持力 H/V_0 が基礎底面と地盤との付着力により規定されるとして、例えば Houslyby の式において $(H/V_0)_{\max} = H_0/V_0 = 1/(\pi+2) \approx 0.194$ 、Vesic の式では $H_0/V_0 = 1/(\pi+3) \approx 0.163$ などと仮定している。これに対してほとんどの実験結果は、小さな V/V_0 においては H/V_0 の値が一定値ではなく、 V/V_0 の低下とともに徐々に低下している傾向を示している。すなわち、摩擦性材料と類似の水平支持力 H/V_0 が発現している。この理由の一つとして、基礎に水平荷重のみを与えても、基礎の若干の浮き上がりや土との付着ぎれなどが生じる可能性があることにもよると思われるが、詳細は不明である。なお、偏心荷重時とは異なり、模型実験データにおいては、いずれの支持力曲線から予想される水平支持力 H/V_0 よりも、若干小さめの値を与えている。

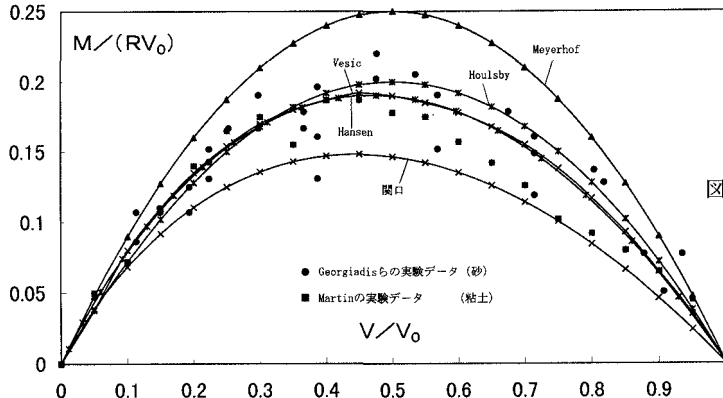


図-1 偏心荷重時

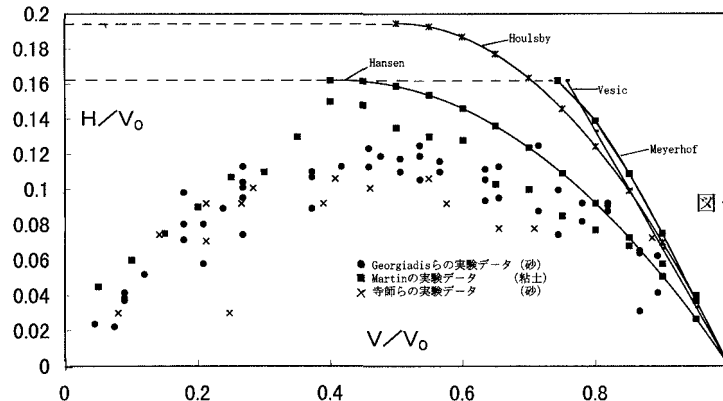


図-2 傾斜荷重時

4. おわりに

本報告では、いくつかの支持力曲線と既往の実験データとの比較を行った。今後、根入れ効果や繰返し載荷、および硬化による影響などについて、定量的に明らかにする必要があると思われる。

参考文献

- 1) 鄭、岡本：偏心・傾斜荷重を受ける直接基礎の支持力における根入れ効果について、第31回地盤工学研究発表会、1996.
- 2) Georgiadis M. and Butterfield R. : *Displacements of footings on sand under eccentric and inclined loads*, Can. Geotech. Jour., Vol.25, 1988.
- 3) Martin.C.: *Physical and numerical modelling of offshore foundations under combined loads*, D.Phil. Thesis, University of Oxford, 1994.
- 4) Terashi M. and Kitazume M. : *Bearing capacity of a foundation on top of high mound subjected to eccentric and inclined loads*, PHRI Report, 1987.