

傾斜荷重を受ける柱状基礎の水平方向塑性地盤反力の評価式

九州共立大学 ○正 前田良刀

(株)建設技術研究所 正 坂田隆博 正 横田康行

九州大学 正 落合英俊 正 安福規之

1. はじめに

著者らは以前から傾斜荷重下の杭の支持力特性について研究を行っている¹⁾。それによると、荷重の組合せにより、合成支持力は鉛直および水平のみの単独荷重の場合に比較して増大し、特に水平支持力の増大が顕著である結果を得ている。従来から用いられている慣用の受働土圧式では、杭の沈下を許さないため、傾斜荷重における鉛直荷重成分を考慮できず、適用不可となる。

本文では、極限解析法の一つである速度場法を用いて、組合せ荷重下において鉛直沈下を考慮した柱状基礎の水平方向塑性地盤反力の評価式を提案する。

2. 慣用十斤式の限界と傾斜荷重下の破壊メカニズム

基礎の水平支持力は、地盤力学的には受働土圧問題であり、この支持力増大を理論的に考察すると、柱状基礎のように傾斜荷重により水平・鉛直方向に変位を生じやすい基礎では、基礎頭部の作用荷重が地盤内の水平・鉛直荷重のみを受ける場合に比較して大きくなることに起因していると考えられる。

図-1 は、慣用的な受働土圧を速度場法で求めるための破壊メカニズムの一例である。ここで、杭体を伸び縮みのない剛体と仮定すれば、杭体に作用する組合せ荷重の鉛直成分 P_v は杭の水平抵抗にまったく関与せず、水平成分 P_H のみが対象となる。この P_H を垂直応力として、杭と地盤の摩擦角 δ 分だけ合力が傾斜して地盤反力とつりあう。この場合、杭頭荷重の方向(押し: P_1 , 引き: P_2)に関係なく水平支持力は一定値となる。したがって、この破壊メカニズムでは、荷重の組合せにより水平支持力が増加するという実験事実を説明できない。

3. 傾斜荷重下の破壊メカニズムの提案

本文で新たに提案する破壊メカニズムを図-2に示す。この速度場法での破壊メカニズムは4つの剛体の塑性域からなっている。このうち、領域(I)では、傾斜荷重の効果により荷重が有効に分配され、地盤の受働抵抗領域を大きくするために存在する領域であり、主働領域(II)との境界面aeで接続する。したがって、ae面は傾斜した杭頭荷重が ψ だけ傾いて作用する等価な荷重面である。

領域(Ⅱ)は、領域(Ⅰ)により伝達された荷重によりすべりが発生する主働くさび領域である。また、領域(Ⅳ)は、受働くさび領域であり、さらに領域(Ⅱ)、領域(Ⅳ)を無理なく連続させるための遷移領域(Ⅲ)を仮定する。なお、この遷移領域の形状を対数らせんとするが、この仮定は、厳密には地盤自重がない場合にのみ成立する。

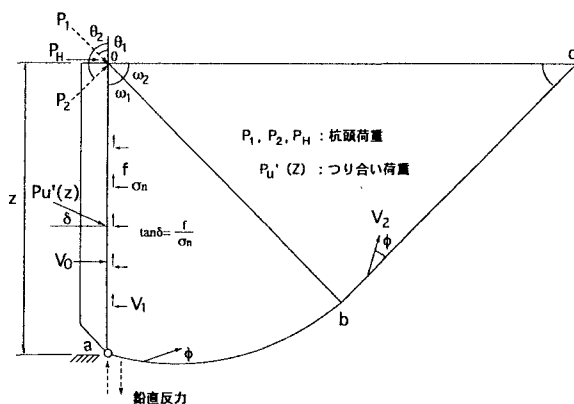


図-1 慣用的な受働土圧のメカニズム

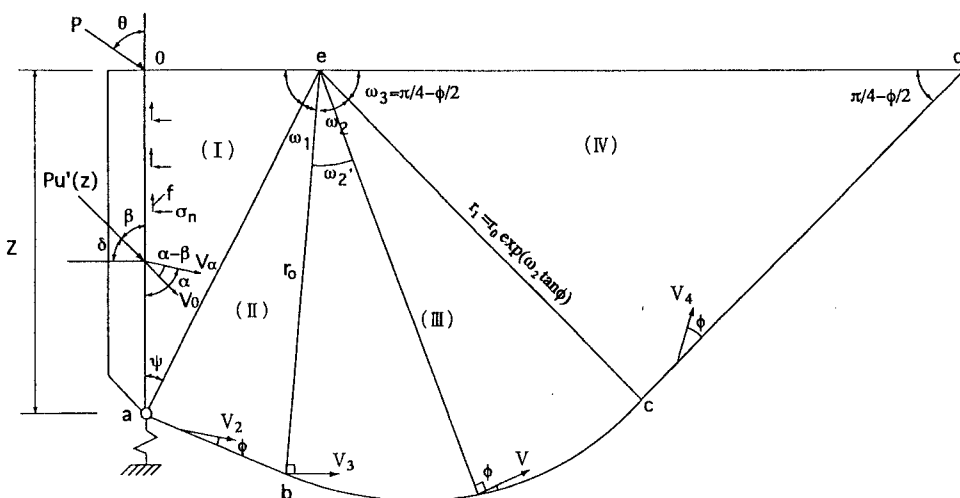


図-2 破壊メカニズムと可容速度場

4. 水平方向塑性地盤反力の評価式²⁾

水平方向塑性地盤反力 $P_{hu}'(z)$ は、図-2 に示す可容速度場における全内部消散エネルギーと全外力仕事を等値として得られ、次式で示される。

$$P_{hu}'(z) = \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta) - |\cos \alpha - \cot \alpha_1 \sin \alpha| \sin \beta \tan \delta} \left\{ CZN_{c\beta} + \frac{1}{2} \gamma Z^2 N_{\gamma\beta} \right\} \quad (1)$$

また、この式から水平方向合成受働土圧係数 $K_{p\gamma c\beta}$ は次式で表わされる。

$$K_{p\gamma c\beta} = \frac{P_{hu}'(z)}{P_v} = \frac{\sin \beta}{\cos(\alpha - \beta) - |\cos \alpha - \cot \alpha_1 \sin \alpha| \sin \beta \tan \delta} \left\{ \frac{2C}{\gamma Z} N_{c\beta} + N_{\gamma\beta} \right\} \quad (2)$$

ここに、 $N_{c\beta}$ 、 $N_{\gamma\beta}$ は支持力係数であり、以下のようなになる。

$$N_{c\beta} = |\cos \alpha - \cot \alpha_1 \sin \alpha| + \frac{\sin(\psi + \alpha_1) \sin \alpha \tan \omega_1 + \cot(\alpha_1 + \psi)}{\sin \alpha_1 \cos \psi} + \frac{\sin \omega_1 \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha}{\cos \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1} \quad (3)$$

$$+ \frac{\cos(\phi - \omega_1) \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha}{\sin \phi \cos \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1} \left[\exp(2\omega_2 \tan \phi) - 1 \right] + \frac{\cos(\phi - \omega_1) \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha \exp(2\omega_2 \tan \phi)}{\cos \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1}$$

$$N_{\gamma\beta} = -\tan \phi \sin \alpha_1 - \frac{\cos(\phi - \omega_1) \sin \omega_1 \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha \sin(\psi - \omega_1)}{\cos^2 \phi \cos^2 \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1} - \frac{\cos^2(\phi - \omega_1) \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha}{\cos^2 \phi \cos^2 \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1} I_1 \quad (4)$$

$$+ \frac{\cos^2(\phi - \omega_1) \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha \exp(2(\psi - \omega_1) \tan \phi)}{\cos^2 \phi \cos^2 \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1} I_2 + \frac{\cos^2(\phi - \omega_1) \sin(\alpha_1 + \psi) \sin \alpha \cos \omega_3 \exp(3\omega_2 \tan \phi)}{\cos \phi \cos^2 \psi \cos \omega_1 \sin \alpha_1}$$

式(2)の合成受働土圧係数は、粘着力 C 、地盤自重 γ を同時に考慮しているため、ランキンの周面摩擦のない直線すべり場で得られるような形と異なり、粘着力項と地盤自重項をそれぞれ独立に与えられないことから多少表現が異なっている。実務においては一般に行われているように、粘着力のない地盤と地盤自重を無視した地盤をそれぞれ別途に仮定して、式(2)の合成受働土圧係数を求めればよい。

参考文献

- 1) 坂田, 前田, 徐, 落合, 安福: 傾斜荷重を受ける杭の支持力特性に関する研究, 土木学会構造工学論文集 (投稿中)。
- 2) 坂田, 前田, 落合, 安福, 横田: 傾斜荷重を受ける柱状基礎の水平方向塑性地盤反力に関する研究, 土木学会論文集 (投稿中)。