

鉛直沈下を考慮した杭の水平支持力問題

九州共立大学 ○正 前田良刀

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

杭の水平支持力は地盤力学的に受動土圧問題であり、杭前面の地盤支持力を計算するために従来から、Coulomb や Rankine などの受動土圧式が用いられる。しかし、これらの慣用式は杭が沈下せず回転・水平移動する場合のみ適用可能である。筆者らは、鉛直荷重と水平荷重からなる組合せ荷重を受ける杭の支持力特性について研究を進めているが、荷重の組合せにより、杭頭での合成支持力は大きくなり、特に水平支持力成分の増大が顕著である実験結果を得ている。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杭の水平支持力式を提案する。

2. 慣用の受動土圧とその限界

速度場法で慣用の受動土圧を求める破壊メカニズムを図1に示す。そこでは、鉛直沈下が無く、a点を中心とした回転・水平移動破壊問題として表現される。このうち、Coulomb や Rankine の土圧はすべり形状や壁面摩擦の条件の簡便化が図られた近似解である。

ここで、杭体を伸び縮みのない剛体と仮定すれば杭頭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 のみが支持力の対象となる。この P_H を垂直成分として、杭と地盤の摩擦角 δ だけ合力が傾斜して地盤反力とつり合う。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、特に水平支持力が増加するという実験事実を説明できない。

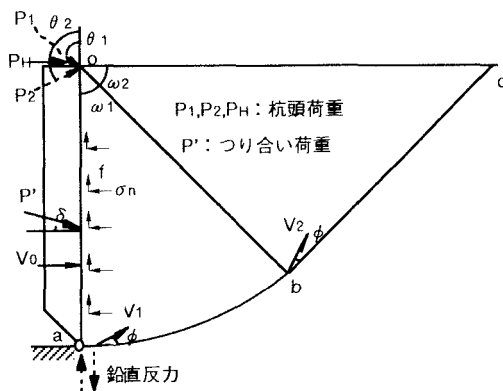


図-1 慣用的な受動土圧のメカニズム

3. 杭の鉛直沈下を考慮した破壊メカニズムと可容速度場

提案する破壊メカニズムと可容速度場を図2に示す。組合せ荷重の増大にともない杭の変位も鉛直、および水平方向に増加する。ここで、どちらかの変位が限界値に達した場合が杭の限界支持力であるが、実験的には水平破壊モード、鉛直破壊モード、およびつり合い破壊モードが存在する。¹⁾ このうち、本文では水平荷重と水平変位の関係が支配的となる水平破壊モードについて検討する。

図2に示すように荷重の増加にともない、杭が鉛直方向にも変位するには杭と地盤の接触面付近に主働くさび領域が必要である。このため、地盤の破壊メカニズムとして $\triangle oab$ で主働くさびを形成し、地表面付近の受働くさび領域 $\triangle ocd$ と無理なく連続するために、 $\triangle obc$ の遷移領域と接続する。ここで、遷移領域のすべり形状を対数らせんとすると、(I)、(II)、(III)の3領域からなる破壊メカニズムは可容な速度場を形成する。

ここで、杭と地盤の接触面でのつり合い荷重 P の鉛直軸からの作用方向角 β は、図-3を参考にして次式で得られる。

$$\beta = \tan^{-1} \left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta + \sin \theta \tan \delta} \right) \dots \dots \dots (1)$$

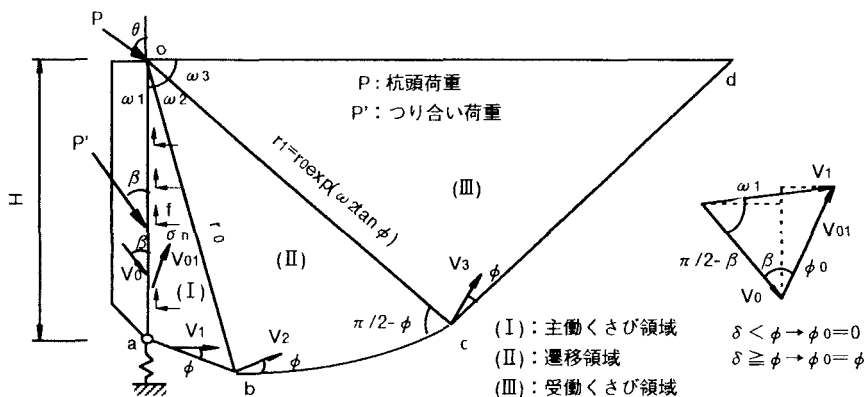


図-2 鉛直沈下を考慮した受働土圧のメカニズムと可容速度場

4. 速度場法による支持力式

つり合い荷重 P' と地盤自重の成す外力仕事と、図 2 の可容速度場での内部消散エネルギーを等値して得られるつり合い荷重 P' と杭の水平支持力 P_H は次式で与えられる。

$$P = \frac{\cos \phi_0 - \sin \phi_0 \tan \omega_1}{\cos \phi_0 - \sin \phi_0 \tan \omega_1 - \cos \beta \cos \phi_0 (\sin \beta \tan \omega_1 + \cos \beta)} \cdot \left(\frac{1}{2} \gamma H^2 N_\gamma + c H N_c \right) \dots \dots (2)$$

$$P_H = P' \sin \beta \dots \dots (3)$$

ここで、支持力係数 N_γ 、 N_c は次式で示される。

$$N_\gamma = A \left[\frac{\cos(\omega_1 - \phi) \sin^2 \omega_1}{\cos \phi} + \frac{\cos^2(\omega_1 - \phi) \sin \omega_3 \cos \omega_3 \exp(3\omega_3 \tan \phi)}{\cos \phi \cos(\omega_3 + \phi)} + \frac{\cos^2(\omega_1 - \phi)}{\cos^2 \phi} I \right] \dots \dots (4)$$

$$N_c = \frac{\cos \phi_0 (\sin \beta \tan \omega_1 + \cos \beta)}{\cos \phi_0 - \sin \phi_0 \tan \omega_1} + A \left\{ \sin \omega_1 + \frac{\sin \omega_3 \cos(\omega_1 - \phi) \exp(2\omega_2 \tan \phi)}{\cos(\omega_3 + \phi)} + \frac{\cos(\omega_1 - \phi) [\exp(2\omega_2 \tan \phi) - 1]}{\sin \phi \cos \phi} \right\} \dots \dots (5)$$

ただし、

$$A = \frac{\sin \beta + \tan \phi_0 \cos \beta}{\cos \omega_1 - \tan \phi_0 \sin \omega_1} \dots \dots (6-1)$$

$$I = \sin \omega_1 [-3 \tan \phi + (3 \tan \phi \cos \omega_2 + \sin \omega_2)] + \cos \omega_1 [1 + (3 \tan \phi \sin \omega_2 - \cos \omega_2) \exp(3\omega_2 \tan \phi)] \dots \dots (6-2)$$

である。

支持力の計算は、(2) または (3) 式によりすべり形状を与えるくさび角 ω_1 、 ω_2 を変化させて行ない、支持力の最小値をもってその上界値を得ることができる。

(参考文献)

- 1) 坂田、前田、松井、落合：組合せ荷重下の単杭の支持力特性とその考察、土木学会構造工学論文集、H.8.3

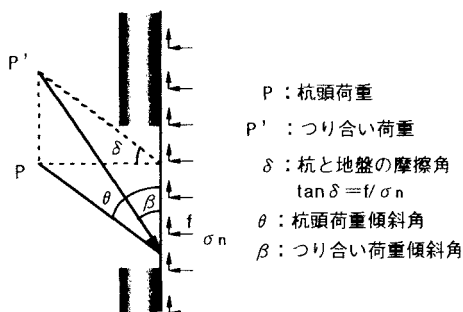


図-3 杭頭荷重とつり合い荷重