

ネガティブフリクションの計算法に関する一試案

大阪大学工学部 正 員 ○松 井 保
大阪大学大学院 学生員 竹 本 雅 俊

[1] はしがき

ネガティブフリクションを算定する方法は種々行なわれているが、現在のところ明確な方法がないようである。そこで軟弱な粘性土に対して有効と思われる計算法の一試案をここに報告する。基本的には圧密中の粘性土による杭に生ずるネガティブフリクションと粘性土中の杭がごくゆっくりとした一定速度で引抜かれるとき杭に作用するフリクションの間にアナロジーがあると考え、まずはじめに粘性土中の杭を一定速度で引抜くとき杭に作用する力を計算する方法を述べ、つぎにこの方法を応用してネガティブフリクションの計算法を述べる。

[2] 粘性土中の杭の一定速度引抜き力の計算法

以下の計算の前提となるおもな仮定は次の通りである。

- 杭を一定速度で引抜くとき杭周辺の粘性土は流動状態にあるものとする。
- 粘性土の流動特性は pipe flow 試験等で概知であるものとする。たとえば Bingham 流動あるいは非 Bingham 流動として Herschel-Bulkley の式など。
- 杭が一定速度で引抜かれているとき杭に作用する力は一定とする。

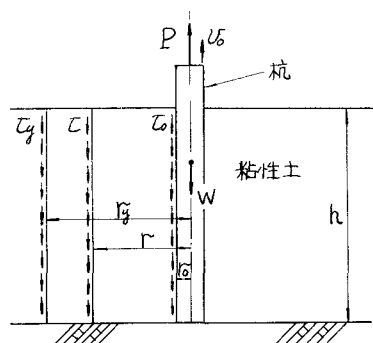


Fig-1

Fig-1 に示すように一定速度 v_0 で杭を引抜くとき杭に作用する力を P 、杭の自重を W 、粘性土層の厚さを h 、任意の半径 r の円筒面に作用するせん断応力を τ 、降伏応力を τ_y 、 τ_y を生ずる円筒面の半径を r_g 、杭の表面すなわち半径 r_0 面に生ずるせん断応力を τ_0 とする。流動部分の粘性土の自重を無視できるものとして、鉛直方向の釣合いより、

$$P' = P - W = 2\pi r h \tau \quad \text{----- i)}$$

$$d\tau = -(2\pi r h \tau^2 / P') dr \quad \text{----- ii)}$$

$$-dv/dv = f(\tau) \quad \text{----- iii)}$$

i) 式より、

$$\text{粘性土の流動特性は一般的に} \quad \text{iii) 式を積分し、ii) 式により変数変換すると、} \quad v = - \int_{r_g}^r f(\tau) dr = \frac{P'}{2\pi h} \int_{\tau_y}^{\tau} \frac{f(\tau)}{\tau^2} d\tau \quad \text{----- iv)}$$

いま杭の速度は v_0 であるから結局

$$v_0 = \frac{P'}{2\pi h} \int_{\tau_y}^{\tau_0} \frac{f(\tau)}{\tau^2} d\tau \quad \text{----- v)}$$

A) 流動特性が Bingham 流動の場合； $f(\tau) = (\tau - \tau_y) / \mu_p$ (μ_p : 塑性粘度) を V) 式に代入すると、

$$v_0 = \frac{P'}{2\pi h \mu_p} \int_{\tau_y}^{\tau_0} \frac{(\tau - \tau_y)}{\tau^2} d\tau = \frac{P'}{2\pi h \mu_p} \ln \frac{P'}{2\pi h \tau_y r_0 \cdot e} + \frac{\tau_y r_0}{\mu_p} \quad \text{----- vi)}$$

B) 流動特性が Herschel-Bulkley の式の場合； $f(\tau) = k(\tau - \tau_y)^n$ (k, n : 定数) を V) 式に代入すると、

$$v_0 = \frac{P' k}{2\pi h} \int_{\tau_y}^{\tau_0} \frac{(\tau - \tau_y)^n}{\tau^2} d\tau \quad \text{----- vii)}$$

Vii)式中の n は一般に有理数であるので Vii)式の積分は多少複雑になる。

以上のように、流動特性が分かれば V)式を利用して杭の自重を差引いた引抜力 P が求まる。たゞし Vi)式からも明らかなように普通 P の数値計算は試算法になる。

[3] ネガティブフリクションの計算法

Fig-2 に示すように圧密粘性土層を n 層に分割したとき、厚さ h_i の第 i 層の Δt 時間の圧密量 Δh_i が概知の場合について考える。第 i 層の Δt 時間の平均沈下量 S_i を

$$S_i = \Delta h_1 + \Delta h_2 + \dots + \Delta h_{i-1} + \Delta h_i / 2 \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots \text{Vii)}$$

で表わされるとすると、第 i 層の Δt 時間の平均速度 v_i は、 $v_i = S_i / \Delta t \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots \text{X)}$

はしききで述べたように圧密によるネガティブフリクションと差速度引抜き力の間にアナロジーがあると考え、すなわちネガティブフリクションの算定に前節で求めた V)式が成立すると考えて、第 i 層によるネガティブフリクションを P'_i とすれば次式が成立する。

$$v_i = \frac{P'_i}{2\pi h_i} \int_{c_y}^{c_0} \frac{f(c)}{c^2} dc \quad (i=1, 2, \dots, n) \dots \text{X)}$$

とくに流動特性が Bingham 流動あるいは Herschel-Bulkley の式の場合、それぞれ Vi), Vii)式において v_i を v_i 、 P を P'_i 、 h を h_i におきかえればよい。ゆえに X)式より $v_1, v_2, \dots, v_n, \dots$ に対してそれぞれ $P'_1, P'_2, \dots, P'_n, \dots$ が求まるから、杭に作用する全ネガティブフリクション P'_{total} は、 $P'_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n P'_i \dots \text{Xi)}$

[4] 数値計算例

参考文献 2)の実験 I で行なったネガティブフリクションの模型実験を例にとり、以上の計算法を適用する。模型粘土層は $h_1 = h_2 = 20 \text{ cm}$ 、 $h_3 = 10 \text{ cm}$ の三層からなり、各層の間に排水層をもっている。含水比約 160%、 $\Delta t = 410 \text{ min}$ の間の表面沈下量は $\sum_{i=1}^3 \Delta h_i = 0.49 \text{ cm}$ 、この間に測定した平均のネガティブフリクションは 455 gr である。粘土は Bingham 流動に従うとして $c_y = 0.1 \text{ g/cm}^2$ 、 $\mu_p = 1 \times 10^5 \text{ g/cm} \cdot \text{sec}$ と仮定する。(たゞしこれらの値に関しては、pipe flow 試験のデータとしてこの実験の速度より大きい速度のデータしかなかったため、それらから類推したもので正確な値ではない。) 各層が自重の影響がなく同じように圧密しているものとして Δh_i 、 S_i 、 v_i を求め、X)式を使って各層について P'_i を計算し、Xi)式に代入すると $P'_{\text{total}} = 230 \text{ gr}$ となる。

[5] 結び

以上の計算例で、ネガティブフリクションの実測値と計算値のオーダーは合っているようであるが、層の取り方や代入した数値等おきかえに拠って概算であり、また一方計算法自体の中に種々の仮定を設けているので、今後この計算法を実験的に検証し、不備な点は改善して行きたい。終りに、つねに御指導いただいている本学伊藤篤雄教授に感謝致します。

参考文献：1)伊藤、松井、岩谷、竹本「軟弱地盤の流動に関する実験」第22回年次学術講演会、昭42

2)伊藤、藤井、石川「杭のネガティブフリクションに関する検討」

同上