

## 基礎の支持力とその極限支持力を求めるためのノモグラフ

やま  
山ぐち  
口まさる  
勝\*

## 1. はじめに

基礎の支持力を算定するには幾つかの計算式があるが一般に使用されている公式としては

- 1) ランキンの土圧理論から誘導されたランキン公式
- 2) ライスナーの与えた支持力公式
- 3) 粘着力を考慮するときに用いられるカコーの支持力公式

が挙げられるであろう。

また、地表面上にある帯状のフーチングの下地の極限支持力を算出するには

- 1) プラントルの与えた式
- 2) テルツァーギの与えた式

などが挙げられる。

今ここに紹介しようとするのは上記5公式のうち

- a) ランキン公式

$$q_1 = \gamma \cdot h \cdot \left( \frac{1 + \sin \varphi_1}{1 - \sin \varphi_1} \right)^2$$

- b) ライスナー公式

$$q_2 = \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi_2}$$

- c) カコー公式

$$q = \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} + \frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} - \frac{c}{\tan \varphi}$$

- d) プラントル公式

$$q = \frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} - \frac{c}{\tan \varphi} + \gamma \cdot b \cdot \tan^3 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi} - \gamma \cdot b \cdot \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)$$

の4式の図化を試みた3枚のノモグラフである。

式中

- $q$  : 基礎の支持力……………t/m<sup>2</sup>  
 $\gamma$  : 土の単位重量……………t/m<sup>3</sup>  
 $h$  : 基礎の深さ……………m  
 $b$  : 基礎の幅……………m  
 $\varphi$  : 土の内部摩擦角……………deg  
 $c$  : 土の粘着力……………t/m<sup>2</sup>

とする。

## 2. 図表の紹介

## 1) ノモグラフ——1

これは、ランキン公式とライスナー公式の2式を5本の平行直線群に展開してみたものである。

したがってランキン公式を用いるときは、その支持力  $q$  を  $q_1$  で表わし、内部摩擦角  $\varphi$  は  $\varphi_1$  で表わしてある。

$\gamma$  は共通であるので添字はない。

ライスナー公式を用いるときは、 $q$  を  $q_2$  に、 $\varphi$  は  $\varphi_2$  に表示して使い分けてあることに注意されたい。

## 2) ノモグラフ——2

ここではカコー公式をつぎの3項に分けて、1)と同様5本の平行直線群で図化してある。すなわち

$$\gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} = X$$

$$\frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} = Y$$

$$\frac{c}{\tan \varphi} = Z$$

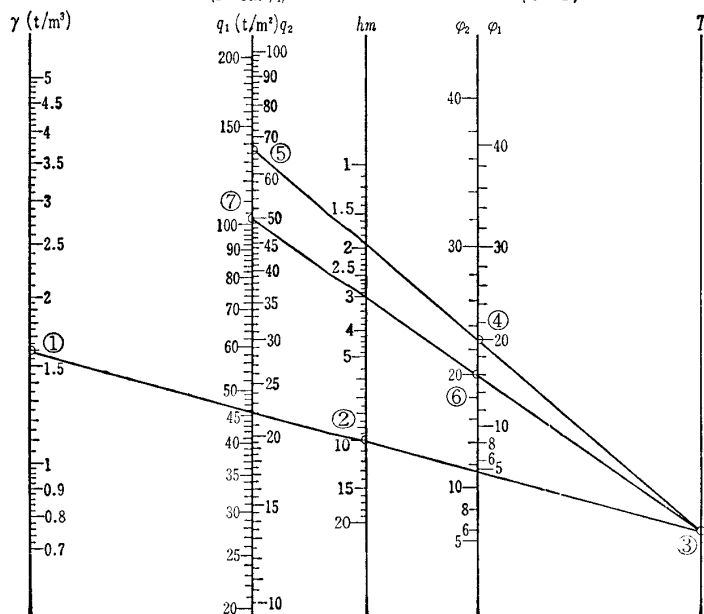
として求むる支持力  $q$  は

$$q = X + Y - Z$$

から求めようとするものである。

基礎の支持力

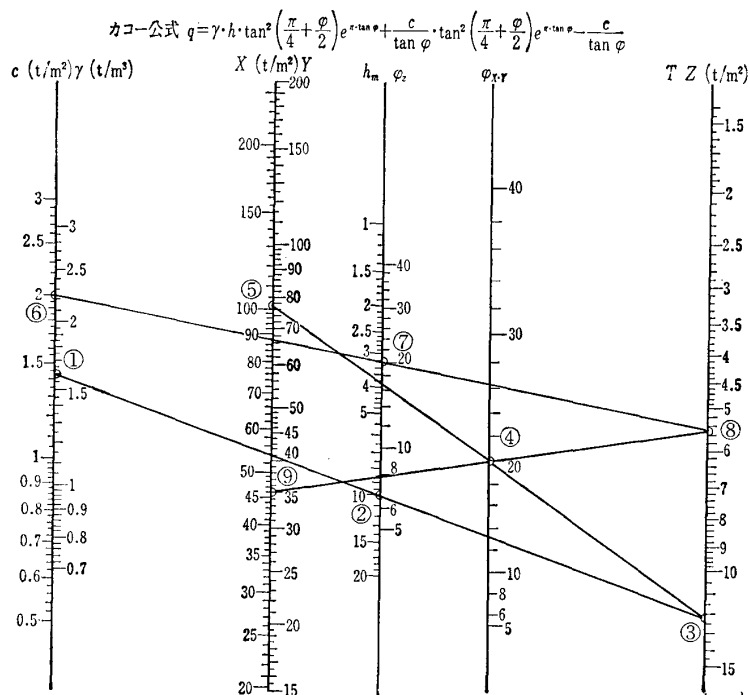
$$\text{ランキン公式 } q_1 = \gamma \cdot h \cdot \left( \frac{1 + \sin \varphi_1}{1 - \sin \varphi_1} \right)^2 \quad \text{ライスナー公式 } q_2 = \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi_2}$$



図—1 ノモグラフ—1

\* 八千代エンジニアリング大阪事務所 副所長

この場合、 $c$ 、 $\gamma$ 、 $h$  はそれぞれ共通使用するが、内部摩擦角  $\varphi$  だけは、 $X$  および  $Y$  の項を求めるときは  $\varphi_{X \cdot Y}$  軸を用い、 $Z$  項を求めるときは  $\varphi_Z$  軸を用いるよう使い分けしてある。



図—2 ノモグラフ—2

また、 $X \cdot Y$  の値は同じ軸であるが左右に目盛り分けされていることに注意されたい。

$Z$  は右端軸の右側の目盛から求められる。

### 3) ノモグラフ—3

ここではプラントル公式を、フーチングが地表面下  $h$  にあるときにもその極限支持力が求められるようつぎの5項に分けて図化してある（フーチングが地表面にあるときは  $h = 0$  であるから(i)~(iv)までを累計すればよい）。すなわち

$$\frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} \dots\dots\dots (i)$$

$$\frac{c}{\tan \varphi} \dots\dots\dots (ii)$$

$$\gamma \cdot b \cdot \tan^3 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} \dots\dots\dots (iii)$$

$$\gamma \cdot b \cdot \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \dots\dots\dots (iv)$$

$$\gamma \cdot h \dots\dots\dots (v)$$

に分割して、求むる極限支持力  $q$  は

$$q = (i) - (ii) + (iii) - (iv) + (v)$$

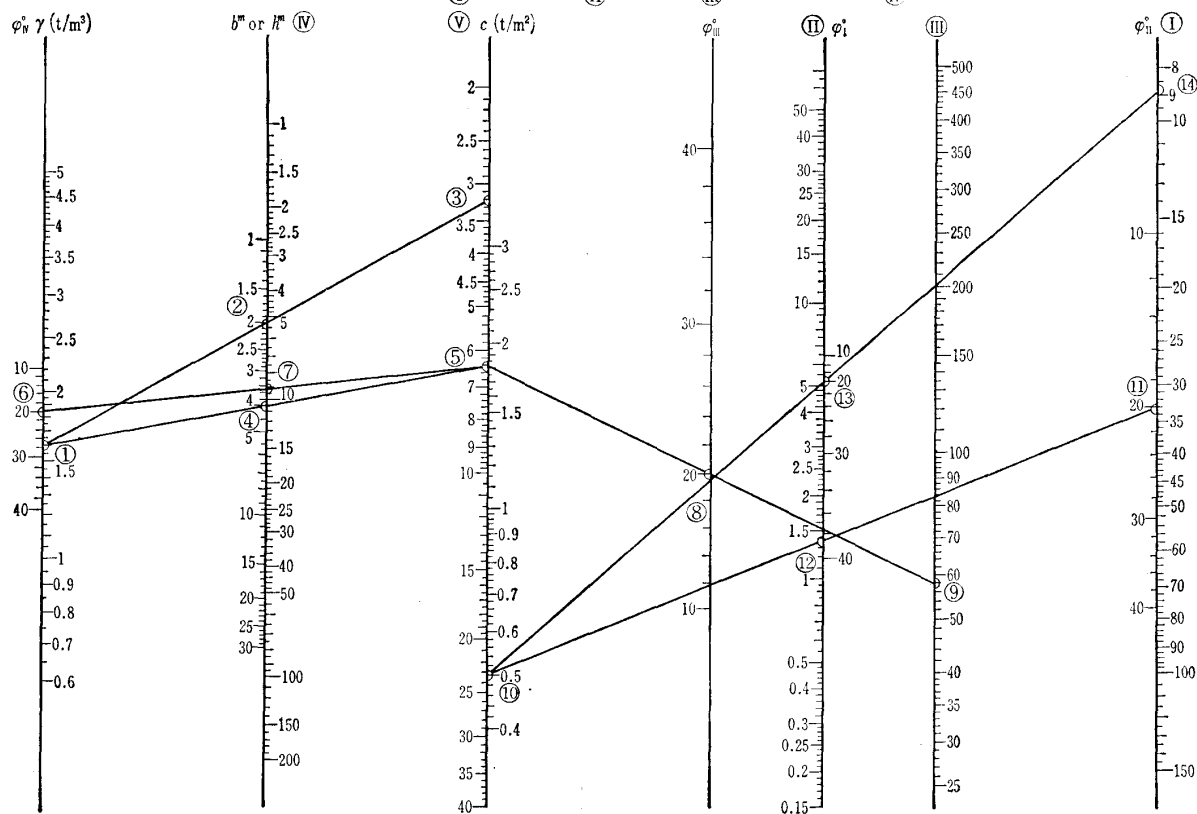
から求めようとするものである。

この場合、内部摩擦角  $\varphi$  だけが  $\varphi_I \sim \varphi_{IV}$  の4通りの使い分けをすることになる。すなわち

(i)項を求めるときの  $\varphi$  は  $\varphi_I$  軸（右端から3番目）

(ii)項のときは  $\varphi_{II}$  軸（右端）

$$\text{基礎の極限支持力 } q = \underbrace{\frac{c}{\tan \varphi} \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi}}_{(i)} - \underbrace{\frac{c}{\tan \varphi}}_{(ii)} + \underbrace{\gamma \cdot b \cdot \tan^3 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi}}_{(iii)} - \underbrace{\gamma \cdot b \cdot \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right)}_{(iv)} + \underbrace{\gamma \cdot h}_{(v)}$$



図—3 ノモグラフ—3

(iii)項は  $\varphi_{III}$  軸 (中央軸)(iv)項のそれは  $\varphi_{IV}$  軸 (左端)

をそれぞれ使うのである。

なお全般について、各軸目盛りは下から上へ、あるいは上から下へと、区々の目盛りの施し方がなされているからそのつど注意されたい。

### 3. 使用例

#### 1) ノモグラフ——1

##### ① ランキン公式

$$q_1 = \gamma \cdot h \cdot \left( \frac{1 + \sin \varphi_1}{1 - \sin \varphi_1} \right)$$

において、 $\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$   $\varphi = 20^\circ$

基礎の根入れ深さ = 10m であるとしたとき、支持力  $q$  は①→②→③→④→⑤で約 66.2 を読みとれば  $q = 66.2 \text{ t/m}^2$  である。

一演算値—

$$q = 1.6 \times 10 \times \frac{1}{0.24} = 66.667 \text{ t/m}^2$$

##### ② ライスナー公式

$$q_2 = \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi_2}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi_2}$$

において①と同じ条件とすれば  $q_2$  は

①→②→③はランキンの場合と共通で、 $\varphi = 20^\circ$  を  $\varphi_2$  軸の⑥にとり、延長して  $q_2$  との交点⑦の読み約 102 を読みとれば、求むる  $q = 102 \text{ t/m}^2$  を得る。

一演算値—

$$\begin{aligned} q &= 1.6 \times 10 \times \tan^2(45^\circ + 10^\circ) e^{3.14 \times 0.364} \\ &= 16 \times 2.049 \times 3.133 \\ &= 102.712 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

#### 2) ノモグラフ——2

カコー公式

$$\begin{aligned} q &= \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi} \\ &+ \frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi} - \frac{c}{\tan \varphi} \end{aligned}$$

において

$\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$   $\varphi = 20^\circ$   $c = 2 \text{ t/m}^2$   $h = 10 \text{ m}$  とすれば

$\gamma = 1.6$  を①にとることから始めて ②→③→④→⑤で  $X = 102$  を読みとり、つぎに  $c = 2$  を⑥にとって⑦→⑧で  $Z = 5.5$  を読みとり、続いて④(これは  $X \cdot Y$  共用である)→⑨で  $Y = 35.1$  を読みとれば、

支持力  $q$  は  $X + Y - Z = 102 + 35.1 - 5.5 = 131.6 \text{ t/m}^2$  を得る。

一演算値—

$$\begin{aligned} X &= \gamma \cdot h \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi} \\ &= 1.6 \times 10 \times \tan^2 55^\circ \cdot e^{3.14 \times 0.364} \\ &= 16 \times 2.049 \times 3.133 = 102.712 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y &= \frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi} \\ &= 2/0.364 \times 2.049 \times 3.133 = 35.272 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$Z = \frac{c}{\tan \varphi} = 2/0.364 = 5.495 \text{ t/m}^2$$

$$\therefore q = X + Y - Z$$

$$= 102.712 + 35.272 - 5.495 = 132.489 \text{ t/m}^2$$

を得る。

#### 3) ノモグラフ——3

プラントルの提案する地盤の極限支持力  $q$  を求める。

今  $\gamma = 1.6 \text{ t/m}^3$ ,  $b = 4 \text{ m}$ ,  $\varphi = 20^\circ$ ,  $c = 0.5 \text{ t/m}^2$ ,  $h = 2 \text{ m}$  とすれば

①→②→③で(v)の  $\gamma \times h$  が  $3.2 \text{ t/m}^2$  と読みとれ、つぎに  $b = 4 \text{ m}$  を④にとり ①→④→⑤を求め、 $\varphi = 20^\circ$  を  $\varphi_{IV}$  上⑥にとり、⑥→⑤で⑦を求めることによって、 $\gamma \cdot b \cdot \tan(\pi/4 + \varphi/2)$  (iv) が  $9.2 \text{ t/m}^2$  と読みとれる。

次いで⑤→⑧→⑨で(iii)の  $\gamma \cdot b \cdot \tan^3(\pi/4 + \varphi/2) \cdot e^{\pi \cdot \tan \varphi}$  が  $58 \text{ t/m}^2$  と読みとれる。続いて  $c = 0.5$  を⑩にとり  $\varphi_{II}$  に  $20^\circ$  の⑪をとって⑫で(ii)の  $c/\tan \varphi = 1.37 \text{ t/m}^2$  を得て、同じく⑩と  $\varphi_I$  の⑬を延長して⑭で(i)の  $c/\tan \varphi \times \tan^2(\pi/4 + \varphi/2) e^{\pi \cdot \tan \varphi} = 8.8 \text{ t/m}^2$  を読みとることができる。

∴ 極限支持力  $q$  は

$$\begin{aligned} q &= (i) - (ii) + (iii) - (iv) + (v) \\ &= 8.8 - 1.37 + 58 - 9.2 + 3.2 \\ &= 70 - 10.57 = 59.43 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

一演算値—

$$\begin{aligned} (i) &= \frac{c}{\tan \varphi} \cdot \tan^2 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi} \\ &= 0.5 \times 2.75 \times 6.382 = 8.775 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$(ii) = \frac{c}{\tan \varphi} = 0.5 \times 2.75 = 1.375 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} (iii) &= \gamma \cdot b \cdot \tan^3 \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) e^{\pi \cdot \tan \varphi} \\ &= 1.6 \times 4 \times 9.1141 = 58.330 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (iv) &= \gamma \cdot b \cdot \tan \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) = 1.6 \times 4 \times 1.428 \\ &= 9.139 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

$$(v) = \gamma \cdot h = 1.6 \times 2 = 3.2 \text{ t/m}^2$$

$$\begin{aligned} \therefore q &= 8.775 - 1.375 + 58.33 - 9.139 + 3.2 \\ &= 70.305 - 10.514 = 59.791 \text{ t/m}^2 \end{aligned}$$

### 4. おわりに

上記3枚のノモグラフは前述のように最も原始的なタイプに仕上げてあるが、読者の工夫で、より見やすい、より使いやすいノモグラフに展開されんことをお願いしたい。

#### 参考文献

- 1) 土木設計便覧: 丸善 K. K.
- 2) 河上房義: 土質工学計算法 森北出版(株)  
(原稿受理 1976. 5. 27)