

基礎の安定計算(ケーソン基礎)

計算方法-E の計算例サンプル

〇〇柵の支柱基礎計算
設置箇所：NO.12+15(L)

1.計算条件

(1)基礎の形状等

・基礎幅	B =	2.000 (m)
・基礎奥行き	L =	2.000 (m)
・基礎高	H =	2.000 (m)
・コンクリート単位体積重量	$\gamma c =$	23.00 (kN/m ³)

(2)作用荷重

・水平力	P =	15.000 (m)
・鉛直力	V =	10.000 (m)
・曲げモーメント	M =	86.000 (m)
・荷重の作用位置	X =	0.000 (m)

(3)上載土

・土被り厚	d =	0.300 (m)
・単位体積重量	$\gamma d =$	17.00 (kN/m ³)
・地表面の傾斜角	$\beta =$	0.00 (°)

(4)根入れ地盤条件

・有効根入れ長	Df =	2.000 (m)
・単位体積重量	$\gamma f =$	17.00 (kN/m ³)
・内部摩擦角	$\phi f =$	27.25 (°)
・粘着力	Cf =	0.00 (kN/m ²)

(5)支持地盤条件

・単位体積重量	$\gamma s =$	18.00 (kN/m ³)
・内部摩擦角	$\phi s =$	30.00 (°)
・粘着力	Cs =	10.00 (kN/m ²)

(6)安定条件

1) 根入れ地盤の受働抵抗に対する安定条件

・受働抵抗に対する計画安全率	Fsf =	1.20
・壁面摩擦角(受働土圧計算用)	$\delta =$	-9.08 (°)

2) 底面地盤のせん断力に対する安定条件

・せん断力に対する計画安全率	Fsb =	1.20
・基礎底面の摩擦係数	$\mu =$	0.50
・基礎底面の付着力	Cb =	0.00 (kN/m ²)

3) 底面地盤の支持力に対する安定条件

・支持力に対する計画安全率	Fsj =	3.00
---------------	-------	------

2. 死荷重計算

(1) 基礎の重量

$$\begin{aligned} WB &= B \times L \times H \times \gamma_c \\ &= 2.000 \times 2.000 \times 2.000 \times 23.00 \\ &= 184.000 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

(2) 上載土の重量

$$\begin{aligned} WU &= B \times L \times d \times \gamma_d \\ &= 2.000 \times 2.000 \times 0.300 \times 17.00 \\ &= 20.400 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

3. 基礎底面における地盤反力の分布形状

(1) 基礎底面におけるモーメント合計

$$\begin{aligned} \Sigma M &= M + P \times H + V \times X_e \\ &= 86.000 + 15.000 \times 2.000 + 10.000 \times 0.000 \\ &= 116.000 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

(2) 基礎底面における鉛直力合計

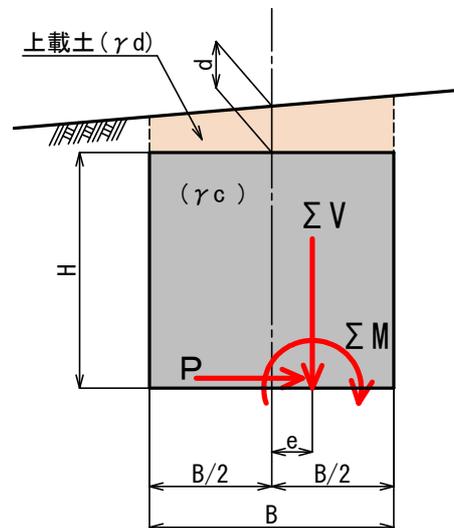
$$\begin{aligned} \Sigma V &= V + WB + WU \\ &= 10.000 + 184.000 + 20.400 \\ &= 214.400 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

(3) 合力作用位置の基礎中心からの偏心距離

$$\begin{aligned} e &= \Sigma M / \Sigma V \\ &= 116.000 / 214.400 \\ &= 0.541 \text{ (m)} \end{aligned}$$

(4) 底面反力の作用幅

$$\begin{aligned} X_q &= 3(B/2 - |e|) \\ &= 3 \times (2.000 / 2 - 0.541) \\ &= 1.377 \text{ (m)} \end{aligned}$$

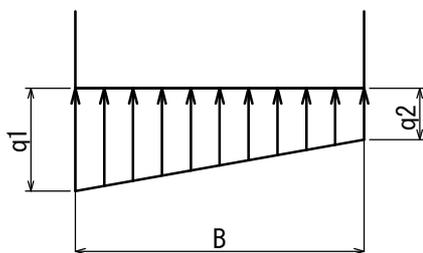


(5) 基礎底面の地盤反力分布形状

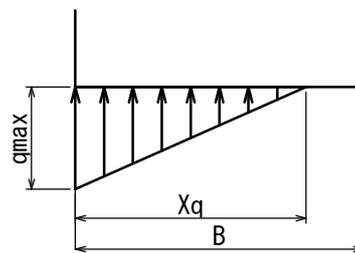
作用幅(X_q)が基礎幅(B)より大きいときには台形分布となり、小さいときには三角形分布となる。

$$X_q = 1.377 \leq B = 2.000 \text{ (m)}$$

$X_q \leq B$ なので三角形分布となる。



(台形分布)



(三角形分布)

4.地盤反力係数の計算

(1) 水平方向地盤反力係数 (側面の分担分20%を考慮)

$$\begin{aligned}k_H &= k_{H0} (B_H/0.3)^{-3/4} \\ &= 224,000 \times (2.000 / 0.3)^{-3/4} \\ &= 53,990 \text{ (kN/m}^3\text{)}\end{aligned}$$

ここに、 k_{H0} : 平板載荷試験値に相当する水平方向地盤反力係数

$$\begin{aligned}k_{H0} &= 1.2/0.3 \cdot \alpha \cdot E_0 = 1.2/0.3 \times 2 \times 28,000 \\ &= 224,000 \text{ (kN/m}^3\text{)}\end{aligned}$$

α : 地盤反力推定係数

$$\alpha = 2$$

B_H : 基礎の概算載荷幅

$$\begin{aligned}B_H &= \sqrt{A_H} = \sqrt{4.000} \\ &= 2.000 \text{ (m)}\end{aligned}$$

A_H : 水平方向の載荷面積

$$\begin{aligned}A_H &= L \times H = 2.000 \times 2.000 \\ &= 4.000 \text{ (m}^2\text{)}\end{aligned}$$

(2) 鉛直方向地盤反力係数

$$\begin{aligned}k_V &= k_{V0} (B_V/0.3)^{-3/4} \\ &= 186,667 \times (2.000 / 0.3)^{-3/4} \\ &= 44,992 \text{ (kN/m}^3\text{)}\end{aligned}$$

ここに、 k_{V0} : 平板載荷試験値に相当する鉛直方向地盤反力係数

$$\begin{aligned}k_{V0} &= 1/0.3 \cdot \alpha \cdot E_0 = 1/0.3 \times 2 \times 28,000 \\ &= 186,667 \text{ (kN/m}^3\text{)}\end{aligned}$$

α : 地盤反力推定係数

$$\alpha = 2$$

B_V : 基礎の概算載荷幅

$$\begin{aligned}B_V &= \sqrt{A_V} = \sqrt{4.000} \\ &= 2.000 \text{ (m)}\end{aligned}$$

A_V : 鉛直方向の載荷面積

$$\begin{aligned}A_V &= B \times L = 2.000 \times 2.000 \\ &= 4.000 \text{ (m}^2\text{)}\end{aligned}$$

(3) 水平方向せん断地盤反力係数

$$\begin{aligned}k_S &= \lambda \cdot k_V \\ &= 1/4 \times 44,992 \\ &= 11,248 \text{ (kN/m}^3\text{)}\end{aligned}$$

ここに、 λ : 鉛直地盤反力係数に対する水平せん断地盤反力係数の比

$$\lambda = 1/4$$

5.ケーソンの回転角および回転中心深さの計算

ケーソンの回転角(θ)と回転中心深さ(h)は、底面の地盤反力度の分布形状に応じて計算方法が異なる。そこで、それぞれの場合について計算を行ない、該当するケースの計算結果を採用するものとする。

(1) 底面の地盤反力度が台形分布の場合

1) ケーソンの回転角

$$\begin{aligned}\theta &= \frac{M \cdot K1 + P \cdot K2}{K1 \cdot K3 - K2^2} \\ &= \frac{86.000 \times 152972 + 15.000 \times 233957}{152972 \times 455917 - 233957 \times 233957} \\ &= 0.00111 \quad (\text{rad})\end{aligned}$$

2) ケーソンの回転中心の深さ

$$\begin{aligned}h &= \frac{M \cdot K2 + P \cdot K3}{M \cdot K1 + P \cdot K2} \\ &= \frac{86.000 \times 233957 + 15.000 \times 455917}{86.000 \times 152972 + 15.000 \times 233957} \\ &= 1.618 \quad (\text{m})\end{aligned}$$

ただし、

$$\begin{aligned}K1 &= b \cdot k_H \cdot H + k_S \cdot A \\ &= 1.000 \times 53,990 \times 2.000 + 11,248 \times 4.000 \\ &= 152,972 \\ K2 &= \frac{2}{3} \cdot b \cdot k_H \cdot H^2 + k_S \cdot A' \cdot H \\ &= \frac{2}{3} \times 1.000 \times 53,990 \times 2.000 \times 2.000 \\ &\quad + 11,248 \times 4.000 \times 2.000 \\ &= 233,957 \\ K3 &= \frac{1}{2} \cdot b \cdot k_H \cdot H^3 + k_S \cdot A \cdot H^2 + \frac{4}{3} \cdot b \cdot a^3 \cdot k_V \\ &= \frac{1}{2} \times 1.000 \times 53,990 \times 2.000 \times 2.000 \times 2.000 \\ &\quad + 11,248 \times 4.000 \times 2.000 \times 2.000 \\ &\quad + \frac{4}{3} \times 1.000 \times 1.000 \times 1.000 \times 1.000 \times 44,992 \\ &= 455,917\end{aligned}$$

ここに、M : ケーソン基礎に作用するモーメント (kN・m)

P : ケーソン基礎に作用する水平力 (kN)

ΣV : ケーソン基礎底面における鉛直力合計 (kN)

a : ケーソン基礎の側面幅の1/2 a = B/2 = 1.000 (m)

b : ケーソン基礎の前面幅の1/2 b = L/2 = 1.000 (m)

H : ケーソン基礎の高さ H = 2.000 (m)

A : ケーソン基礎の底面積 A = B × L = 4.000 (m²)

k_H : 水平方向の地盤反力係数 (側面の分担分20%を加算)

k_V : 鉛直方向の地盤反力係数

k_S : 水平方向せん断地盤反力係数

(2) 底面の地盤反力度が三角形分布の場合

1) 有効底面積を決定する角度(β)の計算

β は次の条件式が満足されるように繰り返し計算を行なって決定する。

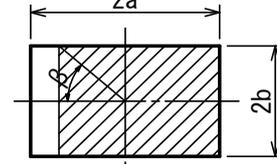
$$\Sigma V = k_v \cdot \theta \cdot v_1 \cdot a^3 \text{ ----- (条件式)}$$

いま、 $\beta = 0.75066$ とすると。

$$k_v \cdot \theta \cdot v_1 \cdot a^3 = 44992 \times 0.00111 \times 4.293 \times 1.000^3$$

$$= 214.400 = \Sigma V = 214.400 \text{ (kN)}$$

となり、条件式を満たす。



2) ケーソンの回転角

$$\theta = \frac{M \cdot K1 + P \cdot K2}{K1 \cdot K3 - K2^2}$$

$$= \frac{86.000 \times 154,592 + 15.000 \times 237,197}{154,592 \times 462,158 - 237,197 \times 237,197}$$

$$= 0.00111 \text{ (rad)}$$

3) ケーソンの回転中心の深さ

$$h = \frac{M \cdot K2 + P \cdot K3}{M \cdot K1 + P \cdot K2}$$

$$= \frac{86.000 \times 237,197 + 15.000 \times 462,158}{86.000 \times 154,592 + 15.000 \times 237,197}$$

$$= 1.622 \text{ (m)}$$

ただし、

$$K1 = b \cdot k_H \cdot H + k_s \cdot A'$$

$$= 1.000 \times 53,990 \times 2.000 + 11,248 \times 4.144$$

$$= 154,592$$

$$K2 = 2/3 \cdot b \cdot k_H \cdot H^2 + k_s \cdot A' \cdot H$$

$$= 2/3 \times 1.000 \times 53,990 \times 2.000 \times 2.000$$

$$+ 11,248 \times 4.144 \times 2.000$$

$$= 237,197$$

$$K3 = 1/2 \cdot b \cdot k_H \cdot H^3 + k_s \cdot A' \cdot H^2 + k_v \cdot v_2 \cdot a^4$$

$$= 1/2 \times 1.000 \times 53,990 \times 2.000 \times 2.000 \times 2.000$$

$$+ 11,248 \times 4.144 \times 2.000 \times 2.000$$

$$+ 44992 \times 1.328 \times 1.000^4$$

$$= 462,158$$

ここに、M : ケーソン基礎に作用するモーメント (kN・m)

P : ケーソン基礎に作用する水平力 (kN)

ΣV : ケーソン基礎底面における鉛直力合計 (kN)

a : ケーソン基礎の側面幅の1/2 a = B/2 = 1.000 (m)

b : ケーソン基礎の前面幅の1/2 b = L/2 = 1.000 (m)

H : ケーソン基礎の高さ H = 2.000 (m)

A' : 浮き上がりを生じていないケーソン基礎の有効底面積
 $A' = 2b \cdot (a + b \cdot \cot \beta) = 4.144 \text{ (m}^2\text{)}$

k_H : 水平方向の地盤反力係数 (側面の分担分20%を加算)

k_v : 鉛直方向の地盤反力係数

k_s : 水平方向せん断地盤反力係数

v_1, v_2 : 底面の形状によって定まる係数で、矩形的場合次の式となる。

$$v_1 = n \cdot (1 + n \cdot \cot \beta)^2 = 4.293$$

$$v_2 = n/3 \cdot (2 - n \cdot \cot \beta) \cdot (1 + n \cdot \cot \beta)^2 = 1.328$$

n : ケーソン前面幅と側面幅の比 n = b/a = 1.000

(3) 当設計におけるケーソンの回転角および回転中心深さ

本設計では、底面の地盤反力度は三角形分布となる。

よって、

・ケーソンの回転角 $\theta = 0.00111$ (rad)

・ケーソンの回転中心の深さ $h = 1.622$ (m)

6. ケーソン基礎底面の最大地盤反力度

(1) 底面の地盤反力度が台形分布の場合

$$\begin{aligned} q_{1,2} &= \Sigma V/A \pm k_v \cdot a \cdot \theta \\ &= 214.400 / 4.000 \pm 44,992 \times 1.000 \times 0.001110 \\ &= 53.600 \pm 49.941 \\ q_1 &= 103.541 \text{ (kN/m}^2\text{)} \\ q_2 &= 3.659 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{\max} &= \text{MAX}(q_1, q_2) \\ &= 103.541 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(2) 底面の地盤反力度が三角形分布の場合

$$\begin{aligned} q_{\max} &= k_v \cdot \theta \cdot (a + b \cdot \cot \beta) \\ &= 44,992 \times 0.001110 \times \{ 1.000 + 1.000 \times \cot(0.75066) \} \\ &= 103.474 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(3) 当設計における最大地盤反力度

本設計では、底面の地盤反力度は三角形分布となる。

よって、

$$q_{\max} = 103.474 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

7.基礎の安定照査

(1) 根入れ地盤の水平支持力(受働抵抗)に対する安定検討

次に示す基礎前面の受働土圧強度(P_p)と水平地盤反力度(P_y)の比が許容安全率 (F_{sf}) 以上となることを照査する。
安定照査はケーソン天端、ケーソン下端及び $h/2$ の深度(地盤反力度が最大となる深度)について行なう。

水平支持力に対する安全率

$$F_s = \frac{P_p}{P_y} = \frac{H \cdot \gamma f \cdot K_p}{(h - y) \cdot \theta \cdot k_H} \geq F_{sf} = 1.20$$

ここに、 F_s : 水平支持力に対する安全率

P_p : 基礎天端から深さ y における受働土圧強度

$$P_p = \gamma f \cdot K_p \cdot y$$

P_y : 基礎天端から深さ y における水平地盤反力度

$$P_y = k_H \cdot y / H \cdot (h - y) \cdot \theta$$

H : ケーソンの高さ = 2.000 (m)

h : ケーソンの回転中心の深さ = 1.622 (m)

θ : ケーソンの回転角 = 0.00111 (rad)

y : ケーソン天端からの計算点深度

γf : 根入れ地盤の単位体積重量 = 17.00 (kN/m³)

k_H : 水平方向の地盤反力係数 = 53,990 (kN/m³)

K_p : 受働土圧係数

$$K_p = \frac{\cos^2 \phi f}{\cos \delta \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi f - \delta) \sin(\phi f + \beta)}{\cos \delta \cos \beta}} \right]^2} = 3.534$$

ϕf : 根入れ地盤の内部摩擦角 = 27.25 (°)

δ : 壁面摩擦角 = -9.08 (°)

β : 地表面の傾斜角 = 0.00 (°)

水平支持力に対する安定照査表

照査位置	深度 y (m)	分子① $H \cdot \gamma f \cdot K_p$	分母② $(h - y) \theta k_H$	安全率 $F_s = ① / ②$	判定 $F_s \geq 1.20$
基礎天端	0.000	120.156	97.201	1.236	OK
$h/2$	0.811	120.156	48.600	2.472	OK
基礎下端	2.000	120.156	22.652	5.304	OK

(2) 基礎底面のすべりに対する検討

$$\begin{aligned} F_s &= \frac{\Sigma V \cdot \mu + C_b \cdot A_e}{|R|} \\ &= \frac{214.400 \times 0.50 + 0.00 \times 4.144}{19.557} \\ &= \frac{107.200}{19.557} \\ &= 5.481 \geq F_{ss} = 1.20 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

ここに、 F_s : 滑動に対する安全率

R : 基礎底面のせん断力 =

$$R = k_s \cdot (h - H) \cdot \theta \cdot A_e$$

$$= 11,248 \times (1.622 - 2.000) \times 0.00111 \times 4.144$$

$$= -19.557$$

k_s : 水平方向せん断地盤反力係数	11,248 (kN/m ³)
h : ケーソンの回転中心の深さ	1.622 (m)
H : ケーソンの高さ	2.000 (m)
ΣV : 基礎底面に作用する鉛直荷重	214.400 (kN)
μ : 基礎底面と地盤の摩擦係数 =	0.50
C_b : 基礎底面と地盤の付着力 =	0.00 (kN/m ²)
A_e : 基礎底面の有効面積	4.144 (m ²)

(3) 地盤の支持力に対する検討

ケーソン基礎の極限支持力度算定式

$$q_d = \alpha \cdot C \cdot N_c + q \cdot N_q + 1/2 \cdot \gamma_s \cdot \beta \cdot B \cdot N_r$$

ここに、 q_d : 基礎底面の極限支持力度 (kN/m²)

B : 基礎幅 = 2.000 (m)

α 、 β : 基礎の形状係数

$$\alpha = 1 + 0.3 \times B / L = 1 + 0.3 \times 1.000 = 1.300$$

$$\beta = 1 - 0.4 \times B / L = 1 - 0.4 \times 1.000 = 0.600$$

$$B/L = 2.000 / 2.000 = 1.000$$

(B/L>1の場合、B/L=1とする。)

L : 基礎の奥行き = 2.000 (m)

C : 支持地盤の粘着力 = 10.000 (kN/m²)

q : 上載荷重(= $\gamma_f \cdot D_f$) (kN/m²)

$$q = \gamma_f \times D_f = 17.00 \times 2.000 = 34.000 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

γ_f : 根入れ地盤の単位体積重量 (kN/m³) = 17.00

Df : 有効根入れ長 (m) = 2.000

γ_s : 支持地盤の単位体積重量 (kN/m³) = 18.00

ϕ_s : 支持地盤の内部摩擦角 = 30.000 (°)

N_c, N_q, N_r : 支持力係数(道路橋示方書、支持力係数グラフより)

$$N_c = 30.14$$

$$N_q = 18.40$$

$$N_r = 15.32$$

極限支持力度

$$\begin{aligned} q_d &= \alpha \cdot C \cdot N_c + q \cdot N_q + 1/2 \cdot \gamma_s \cdot \beta \cdot B \cdot N_r \\ &= 1.300 \times 10.00 \times 30.14 + 34.00 \times 18.40 \\ &\quad + 1/2 \times 18.00 \times 0.600 \times 2.000 \times 15.32 \\ &= 391.820 + 625.600 + 165.456 \\ &= 1,182.876 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

・地盤支持力に対する安定照査

最大地盤反力度 $q_{max} = 103.474 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

極限支持力度 $q_d = 1,182.876 \text{ (kN/m}^2\text{)}$

地盤支持力度の計画安全率 $F_{sj} = 3.00$

地盤支持力度の安全率

$$\begin{aligned} F_s &= q_d / q_{max} \\ &= 1,182.876 / 103.474 \\ &= 11.432 \geq F_{sj} = 3.00 \quad \text{OK} \end{aligned}$$

8. 安定照査結果

照査項目	安定条件	計算結果	基準値	判定	
根入れ地盤の水平支持力	$F_s \geq F_{sf}$	$F_s=1.236$	$F_{sf}=1.20$	$F_s \geq F_{sf}$	OK
基礎底面のすべり	$F_s \geq F_{ss}$	$F_s=5.481$	$F_{ss}=1.20$	$F_s \geq F_{ss}$	OK
地盤の支持力	$F_s \geq F_{sj}$	$F_s=11.432$	$F_{sj}=3.00$	$F_s \geq F_{sj}$	OK