

計算法-A

支柱基礎の根入れ長計算（極限地盤反力法による最小根入れ長を確保する）

〇〇柵の支柱基礎

設置箇所：NO.12+15(L)

計算条件

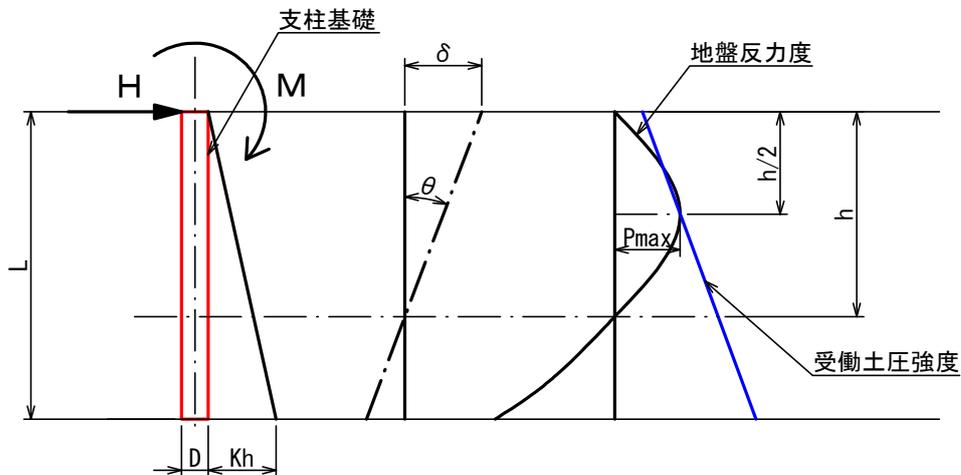
項目		記号	単位	数値	摘要
作用荷重	水平力	H	kN	9.126	
	曲げモーメント	M	kN・m	4.563	
支柱寸法	支柱の幅(直径)	D	m	0.1652	
地盤条件	単位体積重量	γ	kN/m ³	18.00	
	内部摩擦角	ϕ	度	30.00	
	壁面摩擦角	δ	度	10.00	
	粘着力	C	kN/m ²	0.00	

支柱基礎の計算法

支柱基礎の根入れ長は、極限地盤反力法(エンゲル法)により最大地盤反力度(Pmax)が受働土圧強度(Pp)以下となるように根入れ長を求める。

基礎を剛体、水平地盤反力係数Khを深さとともに1次増加するものとし、基礎底面の抵抗を考慮しないものとする、支柱基礎の回転角(θ)および回転中心深さ(h)は次式で求められる。

※ 計算式の出典は、「設計要領 第五集 交通安全施設編(NEXCO)」等に拠る。



・支柱基礎の回転角

$$\theta = \frac{12 \cdot (3M + 2H \cdot L)}{kh \cdot D \cdot L^3} \dots \dots \dots \text{式(1)}$$

・支柱基礎の回転中心深さ

$$h = \frac{L \cdot (4M + 3H \cdot L)}{2 \cdot (3M + 2H \cdot L)} \dots \dots \dots \text{式(2)}$$

- ここに、D：支柱の幅 (m)
 L：支柱の根入れ長 (m)
 kh：水平地盤反力係数 (kN/m³)
 H：作用水平力 (kN)
 M：作用曲げモーメント(kN・m)

最大地盤反力度は h/2 の深度で生じるので、Pmaxおよび Ppは次式で示される。

・h/2における地盤反力度

$$P_{max} = \delta kh' = 1/2(h \cdot \theta) \cdot kh \cdot (h/2L) \dots\dots\dots \text{式(3)}$$

・h/2における受働土圧強度

$$P_p = 1/2 \cdot h \cdot K_p \cdot \gamma + 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_p} \dots\dots\dots \text{式(4)}$$

ここに、Kp：受働土圧係数

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

$$= 4.143$$

- γ：土の単位体積重量(kN/m³)
- φ：内部摩擦角(度)
- C：粘着力(kN/m²)
- δ：壁面摩擦角(度)
- β：地表面傾斜角(度) = 0(度)

Pmax = Pp とすると、次の式が得られる。

$$1/2(h \cdot \theta) \cdot kh \cdot (h/2L) - 1/2 \cdot h \cdot K_p \cdot \gamma + 2 \cdot C \cdot \sqrt{K_p} = 0 \dots\dots\dots \text{式(5)}$$

式(5)に式(1)と式(2)を代入すると、Lに関する4次方程式が得られる。

$$3 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D \cdot H \cdot L^4 + 4 \cdot D \cdot (K_p \cdot \gamma \cdot M + 4 \cdot C \cdot \sqrt{K_p} \cdot H) \cdot L^3 - 3 \cdot (9 \cdot H^2 - 8 \cdot C \cdot \sqrt{K_p}) \cdot D \cdot M \cdot L^2 - 72 \cdot M \cdot H \cdot L - 48 \cdot M^2 = 0 \dots\dots\dots \text{式(6)}$$

杭の抵抗幅は Bromsの実験および杭の解析手法を参考として、杭径Dの3倍を抵抗幅として考えるものとする。

式(6)において、D = 3D とすると、式(6)は式(7)となる。

$$3 \cdot K_p \cdot \gamma \cdot D \cdot H \cdot L^4 + 4 \cdot D \cdot (K_p \cdot \gamma \cdot M + 4 \cdot C \cdot \sqrt{K_p} \cdot H) \cdot L^3 - (9 \cdot H^2 - 24 \cdot C \cdot \sqrt{K_p}) \cdot D \cdot M \cdot L^2 - 24 \cdot M \cdot H \cdot L - 16 \cdot M^2 = 0 \dots\dots\dots \text{式(7)}$$

各項の係数を C1、C2、C3、C4、C5に置き換えると式(8)で示される。
各係数の値を表-1に示す。

$$C1 \cdot L^4 + C2 \cdot L^3 + C3 \cdot L^2 + C4 \cdot L + C5 = 0 \dots\dots\dots \text{式(8)}$$

表-1 4次方程式の係数

係数	係数項	係数の算式	数値
C1	L ⁴	3・Kp・γ・D・H	337.287
C2	L ³	4・D {Kp・γ・M + 4・C・√(Kp)・H}	224.858
C3	L ²	- { 9・H ² - 24・C・√(Kp)・D・M }	-749.555
C4	L ¹	- 24・M・H	-999.407
C5	L ⁰	- 16・M ²	-333.136

式(8)の4次方程式を解いて次の値が得られる。

$$L = 1.752 \text{ (m)}$$

計算法-B

支柱基礎の根入れ長計算（土圧のつり合いより根入れ長を計算する）

〇〇柵の支柱基礎

設置箇所：NO.12+15(L)

計算条件

項目		記号	単位	数値	摘要
作用荷重	水平力	H	kN	9.126	
	曲げモーメント	M	kN・m	4.563	
支柱寸法	支柱の幅(直径)	D	m	0.1652	
地盤条件	単位体積重量	γ	kN/m ³	18.00	
	内部摩擦角	ϕ	度	30.00	
安全率		f	-	1.00	

(1) 支柱基礎の根入れ長計算式

支柱基礎の根入れ長は式(1)により算定する。

計算式は、「設計の要点と安全作業 新版 仮設構造物の設計(山海堂)、p.69」に拠る。

$$(2 - f) \cdot L^4 - \frac{2(7 - 3f)}{P_p - P_a} \times H \cdot L^2 - \frac{D(3 - f)}{P_p - P_a} \times M \cdot L - \frac{4 \cdot H^2}{(P_p - P_a)^2} = 0 \quad \text{---- 式(1)}$$

ここに、D：支柱の幅 (m)

L：支柱の根入れ長 (m)

H：作用水平力 (kN)

M：作用曲げモーメント(kN・m)

P_a：主働土圧強度 (kN/m²)

P_p：受働土圧強度 (kN/m²)

f：安全率

(2) 主働土圧強度の計算

主働土圧強度は次式により算定する。土圧の計算幅は、支柱幅の3倍とする。

$$\begin{aligned} P_a &= \gamma \cdot \tan^2(45^\circ - \phi/2) \times 3D \\ &= 18.00 \times \tan^2(45^\circ - 30.00/2) \times 3 \times 0.1652 \\ &= 2.974 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(3) 受働土圧強度の計算

受働土圧強度は次式により算定する。土圧の計算幅は、支柱幅の3倍とする。

$$\begin{aligned} P_p &= \gamma \cdot \tan^2(45^\circ + \phi/2) \times 3D \\ &= 18.00 \times \tan^2(45^\circ + 30.00/2) \times 3 \times 0.1652 \\ &= 26.762 \text{ (kN/m}^2\text{)} \end{aligned}$$

(4) 支柱基礎の根入れ長計算

式(1)において、各項の係数を C1、C2、C3、C4、C5に置き換えると式(2)で示される。
各係数の値を表-1に示す。

$$C1 \cdot L^4 + C2 \cdot L^3 + C3 \cdot L^2 + C4 \cdot L + C5 = 0 \dots\dots\dots \text{式(2)}$$

表-1 4次方程式の係数

係数	係数項	係数の算式	数値
C1	L^4	$2 - f$	1.000
C2	L^3	0	0.000
C3	L^2	$- 2 (7-3f) \cdot H / (P_p - P_a)$	-3.069
C4	L^1	$- D \cdot (3-f) \cdot M / (P_p - P_a)$	-0.063
C5	L^0	$- 4 \cdot H^2 / (P_p - P_a)^2$	-0.589

式(2)の4次方程式を解いて次の値が得られる。

$$L = 1.812 \text{ (m)}$$

計算法-C

支柱基礎の根入れ長計算（弾性床土上の半無限長梁として根入れ長を計算する）

〇〇柵の支柱基礎

設置箇所：NO.12+15(L)

計算条件

	項目	記号	単位	数値	摘要
作用荷重	水平力	H	kN	9.126	
	曲げモーメント	M	kN・m	4.563	
支柱条件	支柱の幅(直径)	D	m	0.1652	
	ヤング係数	E	kN/m ²	2.000E+08	
	断面2次モーメント	I	m ⁴	7.339E-06	
地盤条件	地盤の変形係数	E ₀	kN/m ³	42,000	
	試験方法による係数	α	-	1	

(1) 支柱基礎の根入れ長計算式

支柱基礎の根入れ長は次式により算定する。

計算式は、「道路土工・仮設構造物指針、H11.3、p.153」に拠る。

$$L = \frac{2.5}{\beta} \quad \text{---- 式(1)}$$

ここに、L：支柱の根入れ長 (m)

β：杭の特性値(m⁻¹)で、式(2)による。

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kh \cdot D}{4 \cdot E \cdot I}} \quad \text{---- 式(2)}$$

D：支柱の径(幅) (m)

E：支柱のヤング係数 (kN/m²)

I：支柱の断面2次モーメント (m⁴)

kh：水平方向地盤反力係数(kN/m³)で、式(3)による。

$$kh = kh_0 \left(\frac{Bh}{0.3} \right)^{-3/4} \quad \text{---- 式(3)}$$

Bh：支柱の換算載荷幅 (m)で、式(4)による。

$$Bh = \sqrt{\frac{D}{\beta}} \quad \text{---- 式(4)}$$

kh₀：直径30cmの剛体円板による平板載荷試験に相当する水平方向地盤反力係数で、式(5)による。

$$kh_0 = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot E_0 \quad \text{---- 式(5)}$$

α：地盤反力係数の推定に用いる係数で表-1による。

表-1 変形係数 E₀ と α

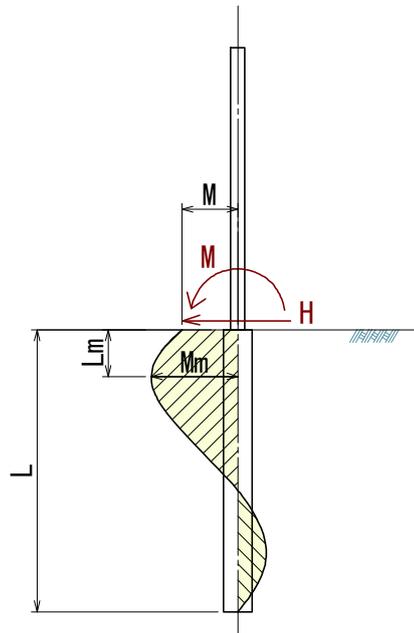
変形係数 E ₀ の推定方法	係数 α	
	常時	地震時等
孔内水平載荷試験で求めた変形係数	4	8
供試体の一軸、三軸試験から求めた変形係数	4	8
N値からE ₀ =2800Nで推定した変形係数	1	2

(2) 支柱基礎の根入れ長計算

式(1)～式(5)に与値を代入して根入れ長を計算する。

表-2 根入れ長計算表

項目		単位	数値	備考(算式)
変形係数	E_0	kN/m^2	42,000	
試験方法による係数	α	-	1	
換算地盤反力係数	kh_0	kN/m^3	140,000	$kh_0 = \alpha E_0 / 0.3$
換算載荷幅	Bh	m	0.3472	$Bh = (D / \beta)^{1/2}$
水平地盤反力係数	kh	kN/m^3	125,480	$kh = kh_0 (Bh / 0.3)^{-3/4}$
基礎の特性値	β	m^{-1}	1.3708	$\beta = (kh \cdot D / 4EI)^{-1/4}$
基礎の特性長	$1 / \beta$	m	0.7295	
杭の根入れ長	L	m	1.824	$L = 2.5 / \beta$



計算法-D

支柱基礎の根入れ長計算（モーメントのつり合いより根入れ長を計算する）

〇〇柵の支柱基礎

設置箇所：NO.12+15(L)

計算条件

項目		記号	単位	数値	摘要
作用荷重	水平力	H	kN	9.126	
	曲げモーメント	M	kN・m	4.563	
支柱寸法	支柱の幅(直径)	D	m	0.1652	
地盤条件	単位体積重量	γ	kN/m ³	18.00	
	内部摩擦角	ϕ	度	30.00	
	粘着力	C	kN/m ²	0.00	
土圧の計算幅は、支柱幅のN倍とする		N	倍	3.0	

(1) 支柱基礎の根入れ長計算式

支柱基礎の根入れ長は、以下の方法による。

※ 計算法は、「道路土工 擁壁・カルバート・仮設構造物工指針、(S62.5)、p.231」に拠る。

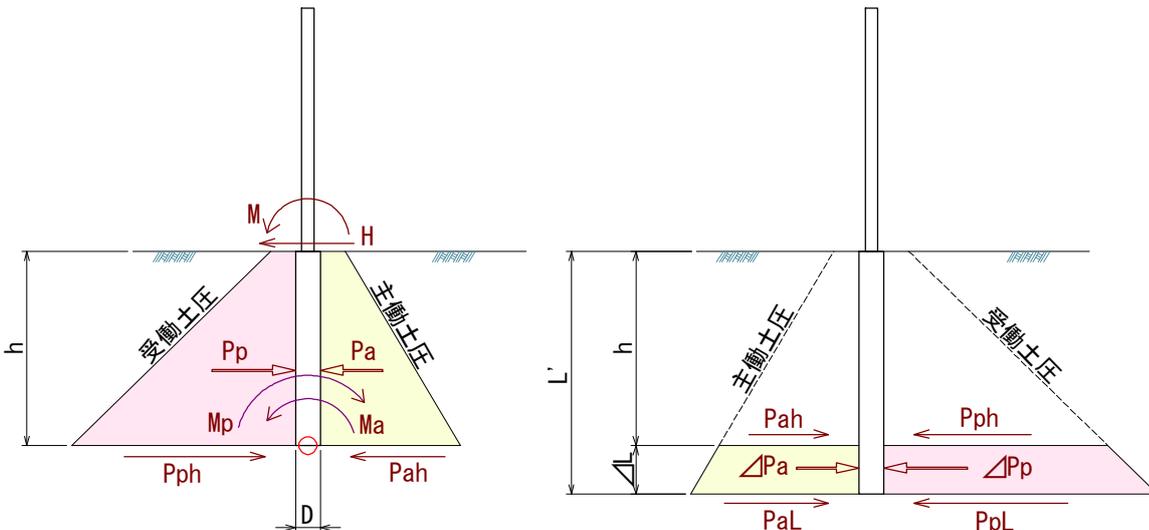
- ① 根入れ長は、つり合い深さの1.2倍とする。
- ② つり合い深さは、作用モーメントと受働土圧による抵抗モーメントが等しくなる深さ(h)に、付加根入れ長(ΔL)を加えた長さとする。
- ③ 付加根入れ長は、h区間の水平力の差R1が、 ΔL 区間の受働土圧と主働土圧の差R2と等しくなる区間長として求める。

$L = 1.2 \times L'$ ----- 設計根入れ長の算定式

$M_a = M_p$ ----- モーメントのつり合い式

$R_1 = P_p - P_h$ ----- h区間の水平力の差

$R_2 = \Delta P_p - \Delta P_a$ ----- ΔL 区間の受働土圧と主働土圧の差



(2) 土圧の計算

1) 主働土圧係数

$$\begin{aligned}K_a &= \tan^2(45^\circ - \phi/2) \\ &= \tan^2(45 - 30.00/2) \\ &= 0.333\end{aligned}$$

2) 受働土圧係数

$$\begin{aligned}K_p &= \tan^2(45^\circ + \phi/2) \\ &= \tan^2(45 + 30.00/2) \\ &= 3.000\end{aligned}$$

3) 主働土圧強度の算定式

$$P_{ah} = \gamma \cdot h \cdot K_a - 2C \cdot K_a \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{---- 式(1)}$$

4) 受働土圧強度の算定式

$$P_{ph} = \gamma \cdot h \cdot K_p + 2C \cdot K_p \quad (\text{kN/m}^2) \quad \text{---- 式(2)}$$

(3) モーメントによるつり合い深さの計算

1) 土圧の計算幅

土圧の計算幅 (D')は支柱幅(D)の 3.0倍とする。

$$\begin{aligned}D' &= 3.0 \times 0.1652 \\ &= 0.4956 \quad (\text{m})\end{aligned}$$

2) 作用モーメント(作用する荷重と主働土圧によるモーメント)

$$\begin{aligned}M_a &= M + H \cdot h + 1/2 \cdot P_{ah} \cdot h \cdot 1/3 \cdot h \cdot D' \quad (\text{kN}\cdot\text{M}) \\ &= 1/6 \times D' \times \gamma \times K_a \times h^3 - 1/3 \times D' \times C \times K_a \times h^2 + H \times h + M \quad \text{---- 式(3)}\end{aligned}$$

3) 抵抗モーメント(受働土圧によるモーメント)

$$\begin{aligned}M_p &= 1/2 \cdot P_{ph} \cdot h \cdot 1/3 \cdot h \cdot D' \quad (\text{kN}\cdot\text{M}) \\ &= 1/6 \times D' \times \gamma \times K_p \times h^3 + 1/3 \times D' \times C \times K_p \times h^2 \quad \text{---- 式(4)}\end{aligned}$$

4) モーメントによるつり合い深さ

$$M_p = M_a \text{ より}$$

$$M_p - M_a = 1/6 \times D' \times \gamma \times (K_p - K_a) \times h^3 + 1/3 \times D' \times C \times (K_p + K_a) \times h^2 - H \times h - M = 0 \text{ --- 式(5)}$$

式(5)の各項の係数を C1、C2、C3、C4に置き換えると式(6)で示される。
各係数の値を表-1に示す。

$$C1 \cdot h^3 + C2 \cdot h^2 + C3 \cdot h + C4 = 0 \text{ ---- 式(6)}$$

表-1 4次方程式の係数

係数	係数項	係数の算式	数値
C1	h^3	$1/6 \times D' \times \gamma \times (K_p - K_a)$	3.965
C2	h^2	$1/3 \times D' \times C \times (K_p + K_a)$	0.000
C3	h^1	$- H$	-9.126
C4	h^0	$- M$	-4.563

式(6)の3次方程式を解いて次の値が得られる。

$$h = 1.723 \text{ (m)}$$

(4) 付加根入れ長の計算

1) 作用水平力と主働土圧

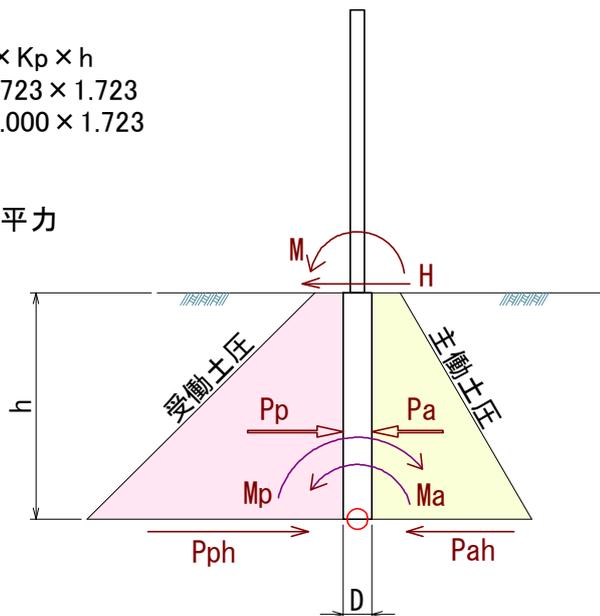
$$\begin{aligned} P_a &= H + 1/2 \cdot P_{ah} \cdot h \cdot D' \\ &= H + 1/2 \times D' \times \gamma \times K_a \times h^2 - D' \times C \times K_a \times h \\ &= 9.126 + 1/2 \times 0.4956 \times 18.00 \times 0.333 \times 1.723 \times 1.723 \\ &\quad - 0.4956 \times 0.00 \times 0.333 \times 1.723 \\ &= 13.535 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

2) 受働土圧

$$\begin{aligned} P_p &= 1/2 \cdot P_{ph} \cdot h \cdot D' \\ &= 1/2 \times D' \times \gamma \times K_p \times h^2 + D' \times C \times K_p \times h \\ &= 1/2 \times 0.4956 \times 18.00 \times 3.000 \times 1.723 \times 1.723 \\ &\quad + 0.4956 \times 0.00 \times 3.000 \times 1.723 \\ &= 39.725 \text{ (kN)} \end{aligned}$$

3) モーメントのつり合い深さ h における水平力

$$\begin{aligned} R_1 &= P_p - P_a \\ &= 39.725 - 13.535 \\ &= 26.190 \text{ (kN)} \end{aligned}$$



4) 付加根入れ区間の水平力

- ・ モーメントによるつり合い深さ底面 (h) における主働土圧強度

$$P_{ah} = \gamma \cdot h \cdot K_a - 2C \cdot K_a$$

- ・ 付加根入れ底面 (h + ΔL) における主働土圧強度

$$P_{aL} = \gamma \cdot (h + \Delta L) \cdot K_a - 2C \cdot K_a$$

- ・ 付加根入れ区間の主働土圧

$$\begin{aligned} \Delta P_a &= 1/2 \cdot (P_{ah} + P_{aL}) \cdot \Delta L \\ &= \gamma \cdot h \cdot K_a \cdot \Delta L + 1/2 \cdot \gamma \cdot K_a \cdot \Delta L^2 - 2C \cdot K_a \cdot \Delta L \end{aligned}$$

- ・ モーメントによるつり合い深さ底面 (h) における受働土圧強度

$$P_{ph} = \gamma \cdot h \cdot K_p + 2C \cdot K_p$$

- ・ 付加根入れ底面 (h + ΔL) における受働土圧強度

$$P_{pL} = \gamma \cdot (h + \Delta L) \cdot K_p + 2C \cdot K_p$$

- ・ 付加根入れ区間の受働土圧

$$\begin{aligned} \Delta P_p &= 1/2 \cdot (P_{ph} + P_{pL}) \cdot \Delta L \\ &= \gamma \cdot h \cdot K_p \cdot \Delta L + 1/2 \cdot \gamma \cdot K_p \cdot \Delta L^2 + 2C \cdot K_p \cdot \Delta L \end{aligned}$$

- ・ 付加根入れ区間の水平力

$$\begin{aligned} R_2 &= (\Delta P_p - \Delta P_a) \cdot D' \\ &= 1/2 \cdot D' \cdot \gamma \cdot (K_p - K_a) \cdot \Delta L^2 + D' \cdot \{ \gamma \cdot h \cdot (K_p - K_a) + 2C \cdot (K_p + K_a) \} \cdot \Delta L \\ &= 11.896 \times \Delta L^2 + 40.993 \times \Delta L \end{aligned}$$

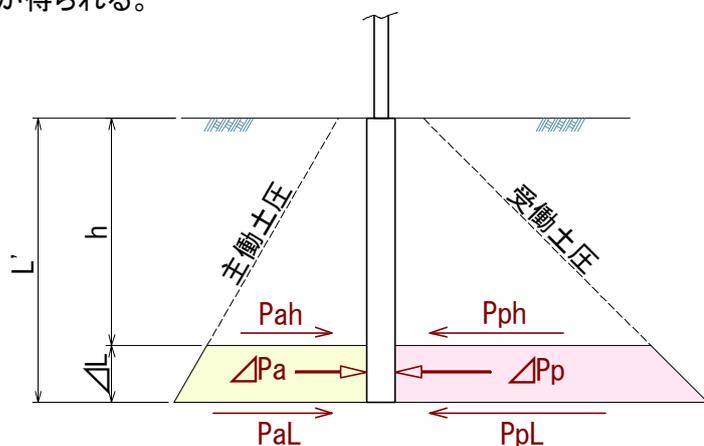
- ・ 付加根入れ長の計算

$$R_1 = R_2 \text{ より}$$

$$11.896 \times \Delta L^2 + 40.993 \times \Delta L - 26.190 = 0$$

上の2次方程式を解いて次の値が得られる。

$$\Delta L = 0.551 \text{ (m)}$$



(5) 根入れ長の計算

1) 必要根入れ長

モーメントのつり合い深さに付加根入れ長を加算した長さ

$$\begin{aligned} L' &= h + \Delta L \\ &= 1.723 + 0.551 \\ &= 2.274 \text{ (m)} \end{aligned}$$

2) 設計根入れ長

設計根入れ長は、必要根入れ長の 1.2倍 とする。

$$\begin{aligned} L &= L' \times 1.2 \\ &= 2.274 \times 1.2 \\ &= 2.729 \text{ (m)} \end{aligned}$$

計算法-E

支柱基礎の根入れ長計算（転倒の安全率を満たすように根入れ長を計算する）

〇〇柵の支柱基礎

設置箇所：NO.12+15(L)

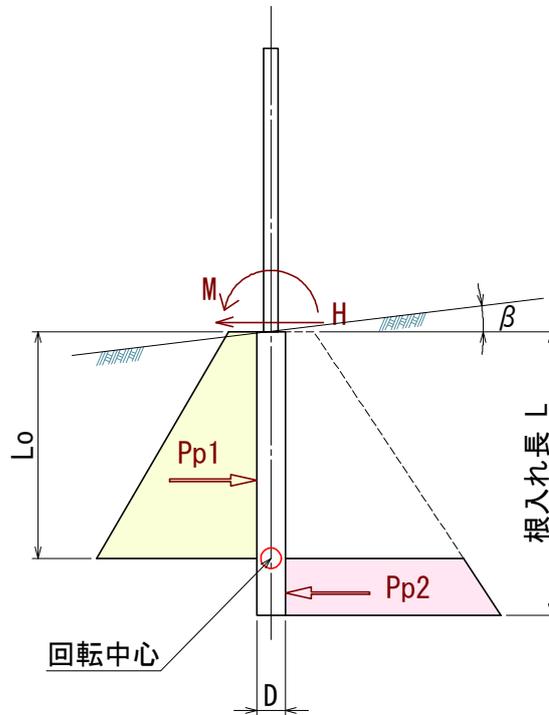
計算条件

項目		記号	単位	数値	摘要
作用荷重	水平力	H	kN	9.126	
	曲げモーメント	M	kN・m	4.563	
支柱寸法	支柱の幅(直径)	D	m	0.1652	
地盤条件	単位体積重量	γ	kN/m ³	18.00	
	内部摩擦角	ϕ	度	30.00	
	粘着力	C	kN/m ²	0.00	
	地表面の傾斜角	β	度	0.00	
	低坑土圧の割り増し係数	α	-	2.50	
転倒に対する安全率		Fs	-	1.20	

支柱基礎の計算法

支柱基礎の設計方法は、「落石対策技術マニュアル(平成11年3月)」(財団法人 鉄道総合技術研究所)に示されている、円柱基礎の設計法($L/D \geq 4$ の場合)に拠る。

支柱基礎の根入れ長は、転倒に対する安全率を満たすように決定する。転倒に対する検討は、作用荷重による転倒モーメントと受働土圧による抵抗モーメントを用いて行う。





(1)基礎前面、背面の受働土圧係数(Kp1,Kp2)の計算
 受働土圧は次のクーロン式により求める(壁面摩擦角は0°とする)

$$Kp = \cos^2 \phi \left/ \left[1 - \sqrt{\{\sin \phi \cdot \sin(\phi + \beta)\} / \cos \beta} \right]^2 \right.$$

・基礎前面 ($\phi = 30.0^\circ$, $\beta = 0.0^\circ$)
 $Kp1 = 3.00$

・基礎背面 ($\phi = 30.0^\circ$, $\beta = 0.0^\circ$)
 $Kp2 = 3.00$

(2)受働土圧における粘性土の自立高さ(Z)の計算

$$\begin{aligned} Z &= (2 \cdot C / \gamma) \cdot \tan(45^\circ - \phi / 2) \\ &= (2 \times 0.0 / 18.00) \times \tan(45 - 30.0 / 2) \\ &= 0.000 \text{ (m)} \end{aligned}$$

(3)必要根入れ長(L)の計算

水平力の釣り合いから次式が成立する

$$H - Pp1 + Pp2 = 0 \text{ -----式(A)}$$

基礎前面、背面の受働土圧合力(Pp1,Pp2)は次式より求める

・基礎前面の天端における受働土圧強度

$$p1 = \gamma \cdot Z \cdot Kp1$$

・基礎前面の根入れLoにおける受働土圧強度

$$p2 = \gamma \cdot (Z + Lo) \cdot Kp1$$

・基礎前面の受働土圧合力

$$\begin{aligned} Pp1 &= 1/2 \times \gamma \times (p1 + p2) \times Lo \times \alpha \times D \\ &= 1/2 \times \gamma \times (2 \cdot Z + Lo) \times Lo \times Kp1 \times \alpha \times D \text{ -----式(B)} \end{aligned}$$

・基礎背面の根入れLoにおける受働土圧強度

$$p3 = \gamma \cdot (Z + Lo) \cdot Kp2$$

・基礎背面の根入れLにおける受働土圧強度

$$p4 = \gamma \cdot (Z + L) \cdot Kp2$$

・基礎背面の受働土圧合力

$$\begin{aligned} Pp2 &= 1/2 \times \gamma \times (p3 + p4) \times (L - Lo) \times \alpha \times D \\ &= 1/2 \times \gamma \times (2 \cdot Z + Lo + L) \times (L - Lo) \times Kp2 \times \alpha \times D \text{ -----式(C)} \end{aligned}$$

式(A)に式(B)および式(C)を代入して整理し、Loに関する方程式を解いて

$$Lo = -Z + \sqrt{Z^2 + Kp2 / (Kp1 + Kp2) \cdot (L + 2Z) \cdot L + 2H / \{\gamma \alpha D (Kp1 + Kp2)\}} \text{ -----式(D)}$$

ここに、
 Kp1, Kp2: 基礎前面、背面における受働土圧係数
 Z: 粘性土の自立高さ(m)
 H: 基礎天端に作用する水平力
 D: 基礎の直径(m)
 L: 基礎の根入れ長(m)
 Lo: 基礎天端から回転中心(O点)までの深さ(m)
 α : 抵抗土圧の割り増し係数 (=2.50)
 γ : 支持地盤の単位体積重量(kN/m³)

(4) 転倒に対するモーメントの安全率計算

O点における転倒モーメント(M_o)と抵抗モーメント(M_r)から安全率(F_s)を求める。

・転倒モーメント

$$M_o = M + H \cdot L_o \text{ -----式(E)}$$

・抵抗モーメント

$$M_r = 1/6 \cdot \gamma \cdot \alpha \cdot D \{Kp1(L_o + 3Z)L_o^2 + Kp2(L_o + 2L + 3Z)(L - L_o)^2\} \text{ -----式(f)}$$

・安全率

$$F_s = M_r / M_o \text{ -----式(G)}$$

(5) 計算結果

式(D)において L を仮定して L_o を求める。

次に、式(G)により、安全率 F_s を計算する。

このとき、安全率 $F_s \geq 1.2$ となる L を 試行計算により求める。

計算結果を下表に示す。

基礎必要根入れ長の計算結果表

必要 根入れ	回転中心 深さ	転倒 モーメント	抵抗 モーメント	安全率	備考
L (m)	L_o (m)	M_o (kN·m)	M_r (kN·m)	F_s = M_r/M_o	
2.30	1.748	20.52	27.04	1.32	

※ L は10cmラウンドとした。

基礎の根入れ L が 2.3m以上あれば安定である。

支柱基礎本体の応力度照査

支柱基礎の応力度照査（弾性床土上の半無限長梁として計算する）

〇〇柵の支柱基礎

設置箇所：NO.12+15(L)

計算条件

	項目	記号	単位	数値	摘要
作用荷重	水平力	H	kN	9.126	
	曲げモーメント	M	kN・m	4.563	
支柱条件	支柱の幅(直径)	D	m	0.1652	
	ヤング係数	E	kN/m ²	2.000E+08	
	断面2次モーメント	I	m ⁴	7.339E-06	
	断面係数	Z	m ³	8.885E-05	
	許容曲げ応力度	σ_a	N/mm ²	210.0	
地盤条件	地盤の変形係数	E_0	kN/m ²	42,000	
	試験方法による係数	α	-	1	

(1) 最大曲げモーメントが生じる深さの計算

最大曲げモーメントが生じる深さは次式により算定する。

以下の計算式は、「道路橋道路橋示方書・同解説・IV下部構造編 (p.393)」他に拠る。

$$L_m = \frac{1}{\beta} \cdot \tan^{-1} \frac{1}{1 + 2 \cdot \beta \cdot h_0} \quad \text{---- 式(1)}$$

ここに、 L_m ：最大曲げモーメントが生じる深さ (m)

h_0 ：水平力の作用高さで、式(2)による。

$$h_0 = M/H \text{ (m)} \quad \text{---- 式(2)}$$

β ：杭の特性値(m⁻¹)で、式(3)による。

$$\beta = 4 \sqrt{\frac{kh \cdot D}{4 \cdot E \cdot I}} \quad \text{---- 式(3)}$$

D：支柱の径(幅) (m)

E：支柱のヤング係数 (kN/m²)

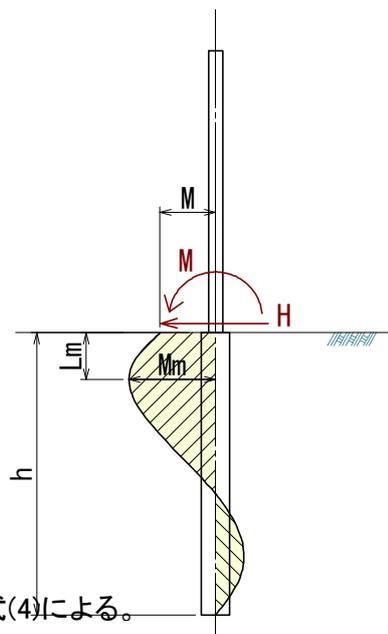
I：支柱の断面2次モーメント (m⁴)

kh：水平方向地盤反力係数(kN/m³)で、式(4)による。

$$kh = kh_0 \left(\frac{Bh}{0.3} \right)^{-3/4} \quad \text{---- 式(4)}$$

Bh：支柱の換算載荷幅 (m)で、式(5)による。

$$Bh = \sqrt{\frac{D}{\beta}} \quad \text{---- 式(5)}$$



kh₀ : 直径30cmの剛体円板による平板載荷試験に相当する水平方向地盤反力係数で、式(6)による。

$$kh_0 = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot E_0 \quad \text{----式(6)}$$

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数で表-1による。

表-1 変形係数 E₀ と α

変形係数 E ₀ の推定方法	係数 α	
	常時	地震時等
孔内水平載荷試験で求めた変形係数	4	8
供試体の一軸、三軸試験から求めた変形係数	4	8
N値からE ₀ =2800Nで推定した変形係数	1	2

式(1)～式(6)に与値を代入して最大曲げモーメントが生じる深さを計算する。

表-2 最大曲げモーメントが生じる深さの計算表

項目		単位	数値	備考(算式)
変形係数	E ₀	kN/m ²	42,000	
試験方法による係数	α	-	1	
換算地盤反力係数	kh ₀	kN/m ³	140,000	kh ₀ =α E ₀ /0.3
換算載荷幅	Bh	m	0.3472	Bh=(D/β) ^{1/2}
水平地盤反力係数	kh	kN/m ³	125,480	kh=kh ₀ (Bh/0.3) ^{-3/4}
基礎の特性値	β	m ⁻¹	1.3708	β=(kh·D/4EI) ^{-1/4}
水平力の作用高さ	h ₀	m	0.500	
最大曲げモーメント深さ	L _m	m	0.291	

(2) 最大曲げモーメントの計算

最大曲げモーメントは式(7)により算定する。

$$M_m = -\frac{H}{2\beta} \sqrt{(1 + 2 \cdot \beta \cdot h_0)^2 + 1} \cdot \exp(-\beta \cdot L_m) \quad \text{----式(7)}$$

$$= 5.748 \text{ (kN}\cdot\text{m)}$$

ここに、H : 作用する水平力 = 9.126 (kN)
 L_m : 最大曲げモーメントが生じる深さ = 0.291 (m)
 h₀ : 水平力の作用高さ = 0.500 (m)
 β : 杭の特性値(m⁻¹) = 1.3708 (m⁻¹)

(3) 応力度の照査

支柱基礎の曲げ応力度は式(8)により算定する。

$$\begin{aligned} \sigma &= \frac{M_m \times 10^6}{Z \times 10^9} \\ &= \frac{5,748,000}{88850} \\ &= 64.7 \leq \sigma_a = 210.0 \text{ (N/mm}^2\text{)} \quad \text{O.K.} \end{aligned}$$

ここに、M_m : 最大曲げモーメント = 5.748 (kN·m)
 Z : 断面係数 = 8.885E-05 (m³)