地すべり抑止鋼管杭の計算（くさび杭タイプ・無限長杭計算））

計算書タイトル	○○地区地すべり検討
計算書サブタイトル	検討断面 NO.100+10

地すべり抑止杭の設計に当っては、以下の文献に準拠するものとした。

・「新版 地すべり鋼管杭設計要領」（地すべり対策技術協会）
・「道路土工ー切土工・斜面安定工指針」（日本道路協会）
・「道路橋示方書・同解説 Ⅳ 下部構造編」（日本道路協会）

1. 計算条件

(1) 地すべり諸元

・必要抑止力　$Pr =$ 111.110 (kN/m)
・すべり面の傾斜角　$\theta =$ 10.000 (°)

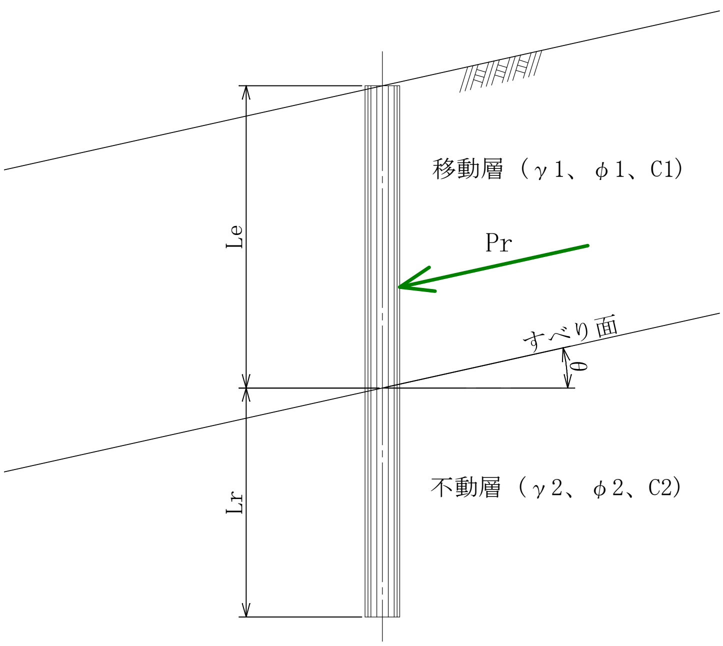
(2) 地盤条件

1) 移動層
・移動層の変形係数　$E_{01} =$ 22,400 (kN/m²)
・試験方法による係数　$\alpha =$ 1

2) 不動層
・不動層の変形係数　$E_{02} =$ 42,000 (kN/m²)
・試験方法による係数　$\alpha =$ 1

変形係数 E_0 と α

変形係数 E_0 の推定方法	係数 α
	常時
孔内水平載荷試験で求めた変形係数	4
供試体の一軸、三軸試験から求めた変形係数	4
N値からE_0=2800Nで推定した変形係数	1



くさび杭断面図(模式図)

(3) 抑止杭諸元

・地すべり抑止杭の設計タイプ	Type =	くさび杭	
・抑止杭の有効長	Le =	5.000	(m)
・抑止杭の列数	N =	1	(列)
・抑止杭の間隔	W =	2.000	(m)

(4) 鋼管杭諸元

・鋼管杭の材質	SKK490、STK490、SM490 および同等品		
・鋼管杭の強度種別	:	長期強度	
・許容曲げ応力度	σ a =	185,000	(kN/㎡)
・許容せん断応力度	τ a =	105,000	(kN/m)
・鋼管杭の外径	D =	300.0	(㎜)
・鋼管杭の肉厚	t =	10.0	(㎜)
・鋼管杭の断面積	A =	9.111E-03	(m^2)
・鋼管杭の断面2次モーメント	I =	9.590E-05	(m^4)
・鋼管杭の断面係数	Z =	6.390E-04	(m^3)
・鋼管杭の弾性係数	E =	2.000E+08	(kN/㎡)
・鋼管杭の曲げ剛性	EI =	19,180	(kN/㎡)

(5)地盤の降伏破壊条件

1) 移動層

・単位体積重量	γ 1=	18.0	(kN/m^3)
・内部摩擦角	ϕ 1=	25.0	(°)
・粘着力	C 1=	50.0	(kN/㎡)

2) 不動層

・単位体積重量	γ 2=	18.0	(kN/m^3)
・内部摩擦角	ϕ 2=	25.0	(°)
・粘着力	C 2=	50.0	(kN/㎡)

2. 作用荷重の計算

抑止杭1本に作用する荷重は次式により算定する。

・水平力

$$H = Pr \times \cos\theta \times W / N$$

$$= 111.1 \times \cos 10.00 \times 2.000 / 1.0$$

$$= 218.8 \ (kN)$$

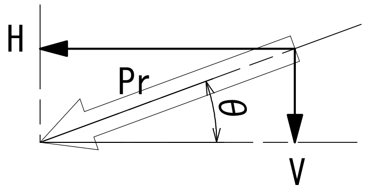
・鉛直力

$$V = Pr \times \sin\theta \times W / N$$

$$= 111.1 \times \sin 10.00 \times 2.000 / 1.0$$

$$= 38.6 \ (kN)$$

ここに、Pr : 必要抑止力 (kN/m)
θ : すべり面傾斜角 (θ)
W : 抑止杭の間隔 (m)
N : 抑止杭の列数 (列)



3. 水平地盤反力係数の計算

抑止杭の断面力、変位および根入れ長算定に必要な地盤反力係数(Kh)は、「道路橋示方書・同解説 Ⅳ 下部構造編 p285～287)」に示された以下の算定式で求める。

$$kh = kh_0 \left(\frac{Bh}{0.3} \right)^{-3/4} \quad \cdots\cdots\cdots \text{式(1)}$$

$$kh_0 = \frac{1}{0.3} \cdot \alpha \cdot E_0 \quad \cdots\cdots\cdots \text{式(2)}$$

$$Bh = \sqrt{\frac{D}{\beta}} \quad \cdots\cdots\cdots \text{式(3)}$$

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

ここに、

- kh：水平方向地盤反力係数 (kN/m^3)
- kh_0：直径30㎝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
- Bh：杭の換算載荷幅 (m)
- β：杭の特性値 (m^{-1})
- D：杭外径 (m)
- α：地盤反力係数の推定に用いる係数
- E_0：地盤の変形係数 (kN/㎡)
- E：杭のヤング係数 (kN/㎡)
- I：杭の断面2次モーメント (m^4)

水平地盤反力係数は上の式(1)～式(4)を整理した下記の式(5)より求める。

$$kh = \frac{(\alpha \cdot E_0)^{32/29}}{0.3^{8/29} \times (4 \cdot E \cdot I)^{3/29} \times D^{9/29}} \quad \cdots\cdots \text{式(5)}$$

1) 移動層

$$kh1 = \frac{(\alpha \cdot E_{01})^{32/29}}{0.3^{8/29} \times (4 \cdot E \cdot I)^{3/29} \times D^{9/29}}$$

$$= \frac{63{,}135.507}{1.581}$$

$$= 39{,}944 \ (kN/m^3)$$

2) 不動層

$$kh2 = \frac{(\alpha \cdot E_{02})^{32/29}}{0.3^{8/29} \times (4 \cdot E \cdot I)^{3/29} \times D^{9/29}}$$

$$= \frac{126{,}332.898}{1.581}$$

$$= 79{,}927 \ (kN/m^3)$$

4. 杭の特性値の計算

杭の特性値(β)は以下の式で求める。

$$\beta = \left(\frac{kh \cdot D}{4 \cdot E \cdot I} \right)^{1/4}$$

1) 移動層

$$\beta_1 = \left(\frac{kh1 \cdot D}{4 \cdot E \cdot I} \right)^{1/4}$$

$$= \left(\frac{39{,}944 \times 0.3}{4 \times 19{,}180} \right)^{1/4}$$

$$= \left(\frac{11{,}983}{76{,}720} \right)^{1/4}$$

$$= \quad 0.6287 \quad (m^{-1})$$

2) 不動層

$$\beta_2 = \left(\frac{kh2 \cdot D}{4 \cdot E \cdot I} \right)^{1/4}$$

$$= \left(\frac{79{,}927 \times 0.3}{4 \times 19{,}180} \right)^{1/4}$$

$$= \left(\frac{23{,}978}{76{,}720} \right)^{1/4}$$

$$= \quad 0.7477 \quad (m^{-1})$$

5. 断面計算式

(1) 杭の基本式

弾性床上の梁の一般式は、以下のChangの式で表される。

$$E \cdot I \cdot d^4 y / dx^4 + Es \cdot y = 0$$

上の式の たわみに関する一般解は次の式で表される。

[たわみ方程式]

$$y = e^{\beta x} (A \cos \beta x + B \sin \beta x) + e^{-\beta x} (C \cos \beta x + D \sin \beta x) \quad \cdots \text{式(1)}$$

この式を逐次微分することで、すべり面の上下で次式を得る。

[たわみ角]

$$i = y' = \beta e^{\beta x} \{ (A+B) \cos \beta x - (A-B) \sin \beta x) \} - \beta e^{-\beta x} \{ (C-D) \cos \beta x + (C+D) \sin \beta x) \}$$

[モーメント]

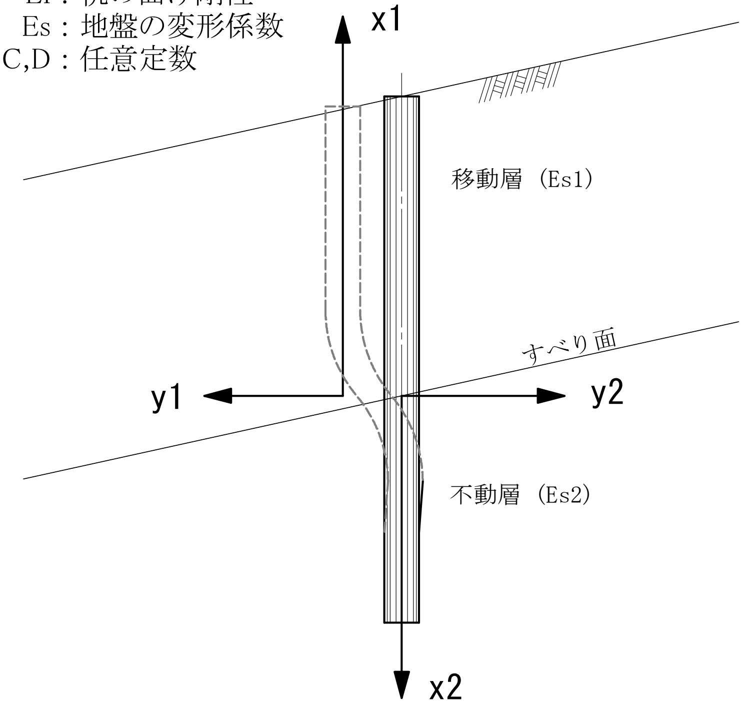
$$M = EIy'' = 2EI \{ \beta^2 e^{\beta x} (B \cos \beta x - A \sin \beta x) - \beta^2 e^{-\beta x} (D \cos \beta x - C \sin \beta x) \}$$

[せん断力]

$$S = EIy''' = 2EI [-\beta^3 e^{\beta x} \{ (A-B) \cos \beta x + (A+B) \sin \beta x) \} - \beta^3 e^{-\beta x} \{ -(C+D) \cos \beta x + (C-D) \sin \beta x) \}]$$

ここに、

x : すべり面を原点とした場合の深度
y : 深度 x における杭の変位
EI : 杭の曲げ剛性
Es : 地盤の変形係数
A,B,C,D : 任意定数



計算モデル図

(2) くさび杭の基本式（上下無限長杭の算定式）

上下に無限長なくさび杭の境界条件は以下の通りである。

[x=0（すべり面）]

・$y1' = y2'$ ・・・ 上下杭のたわみ角が等しい

・$y1'' + y2'' = 0$ ・・・ 上下杭のモーメント合計がゼロ

・$y1''' = y2''' = H/EI$ ・・・ 上下杭のせん断力が共にH/EIの値となる

[x1=∞（杭頭）]

・$y1 = 0$ ・・・ 杭頭部の変位がゼロ

[x2=∞（杭先端）]

・$y2 = 0$ ・・・ 杭先端部の変位がゼロ

すべり面の上下における杭長が無限長の場合、x1=0、x2=0で変位が y=0となるため、式(1)で A=B=0 となり、福岡の提案した簡明な次式が求められる。

① すべり面上部

$$y1 = \frac{-H}{4EI\beta_1^{\ 2}} e^{-\beta_1 x_1}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\beta_1 x_1 + \left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\beta_1 x_1\right\}$$

$$i1 = \frac{H}{2EI\beta_1} e^{-\beta_1 x_1}\left\{\frac{1}{\beta_2}\cos\beta_1 x_1 + \frac{1}{\beta_1}\sin\beta_1 x_1\right\}$$

$$M1 = \frac{H}{2} e^{-\beta_1 x_1}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\beta_1 x_1 + \left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\beta_1 x_1\right\}$$

$$S1 = H\beta_1 e^{-\beta_1 x_1}\left\{\frac{1}{\beta_1}\cos\beta_1 x_1 - \frac{1}{\beta_2}\sin\beta_1 x_1\right\}$$

最大曲げモーメント

$$M1_{max} = \frac{H}{2} e^{-\alpha_1}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\alpha_1 - \left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\alpha_1\right\}$$

ここに、

$$\alpha_1 = \tan^{-1}\frac{\beta_2}{\beta_1}$$

最大曲げモーメントの発生位置

$$x1_{max} = \frac{1}{\beta_1}\tan^{-1}\frac{\beta_2}{\beta_1}$$

最大せん断力（すべり面下部についても同じ）

$S1 = -H$

最大せん断力の発生位置

$x1max = 0$

② すべり面下部

$$y2 = \frac{H}{4EI\beta_2^2}e^{-\beta_2 x_2}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\beta_2 x_2-\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\beta_2 x_2\right\}$$

$$i2 = \frac{-H}{2EI\beta_2}e^{-\beta_2 x_2}\left\{\frac{1}{\beta_1}\cos\beta_2 x_2+\frac{1}{\beta_2}\sin\beta_2 x_2\right\}$$

$$M2 = \frac{-H}{2}e^{-\beta_2 x_2}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\beta_2 x_2+\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\beta_2 x_2\right\}$$

$$S2 = -H\beta_2 e^{-\beta_2 x_2}\left\{\frac{1}{\beta_2}\cos\beta_2 x_2-\frac{1}{\beta_1}\sin\beta_2 x_2\right\}$$

最大曲げモーメント

$$M2_{max} = \frac{-H}{2}e^{-\alpha_2}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\alpha_2+\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\alpha_2\right\}$$

ここに、

$$\alpha_2 = \tan^{-1}\frac{\beta_1}{\beta_2}$$

最大曲げモーメントの発生位置

$$x2_{max} = \frac{1}{\beta_2}\tan^{-1}\frac{\beta_1}{\beta_2}$$

(3) 最大曲げモーメントの計算

① すべり面上部(移動層)

最大曲げモーメントの計算

$$M1_{max}=\frac{H}{2}e^{-\alpha_1}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\alpha_1-\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\alpha_1\right\}$$

= H/2×K11×(K3 ×K7 − K4×K8)
= 218.8 / 2 ×0.4183×(0.2531×0.6436 − 2.9280×0.7654)
= −95.09 (kN・m)

最大曲げモーメントの発生位置

$$x1_{max}=\frac{1}{\beta_1}\tan^{-1}\frac{\beta_2}{\beta_1} \qquad = K1\times K5$$

= 1.5906×0.8716
= 1.386 (m)

② すべり面下部(不動層)

$$M2_{max}=\frac{-H}{2}e^{-\alpha_2}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1}-\frac{1}{\beta_2}\right)\cos\alpha_2+\left(\frac{1}{\beta_1}+\frac{1}{\beta_2}\right)\sin\alpha_2\right\}$$

= −H/2×K12×(K3 ×K9 + K4×K10)
= −218.8 / 2 ×0.4970×(0.2531×0.7654 + 2.9280×0.6436)
= −112.99 (kN・m)

最大曲げモーメントの発生位置

$$x2_{max}=\frac{1}{\beta_2}\tan^{-1}\frac{\beta_1}{\beta_2} \qquad = K2\times K6$$

= 1.3374×0.6992
= 0.935 (m)

③ 最大曲げモーメント

Mmax = max (| M1max | , | M2max |)
= 112.99 (kN・m)

予備計算表

記号	算式	数値
K1	$1/\beta_1$	1.5906
K2	$1/\beta_2$	1.3374
K3	$1/\beta_1-1/\beta_2$	0.2531
K4	$1/\beta_1+1/\beta_2$	2.9280
K5	$\alpha_1=\tan^{-1}(\beta_2/\beta_1)$	0.8716
K6	$\alpha_2=\tan^{-1}(\beta_1/\beta_2)$	0.6992
K7	$\cos\alpha_1$	0.6436
K8	$\sin\alpha_1$	0.7654
K9	$\cos\alpha_2$	0.7654
K10	$\sin\alpha_2$	0.6436
K11	$e^{-\alpha 1}$	0.4183
K12	$e^{-\alpha 2}$	0.4970

(4) 最大せん断力の計算

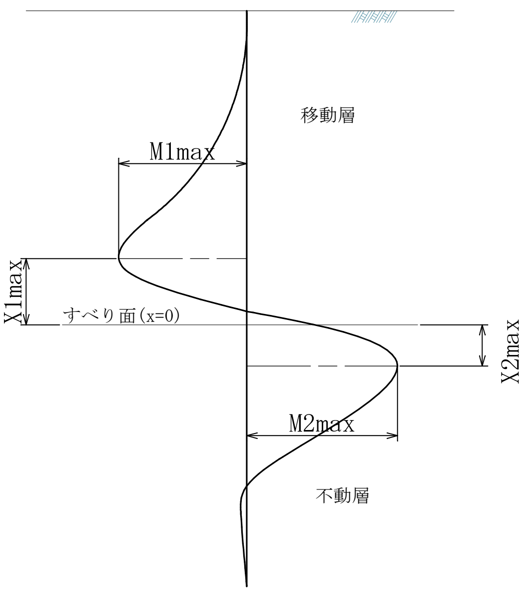
せん断力が最大となるのはすべり面位置で、最大せん断力は以下の式で算定する。

Smax = H

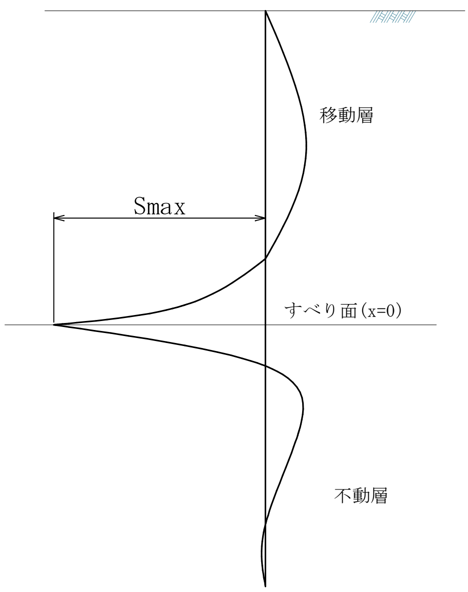
= 218.80 (kN)

ここに、

H : 杭に作用する水平力 (kN)



曲げモーメント模式図



せん断力模式図

6. 応力度の照査

(1) 曲げ応力度の照査

鋼材の曲げ応力度は以下の式により算定する。

$$\sigma = \frac{Mmax}{Z} + \frac{V}{A}$$

$$= \frac{112.99}{6.390E-04} + \frac{38.60}{9.111E-03}$$

$$= 176{,}823 + 4{,}237$$

$$= 181{,}060 \ (kN/m^2) \leqq \sigma sa = 185{,}000 \ (kN/m^2)$$ [O.K]

ここに、

Mmax	： 最大曲げモーメント =	112.99	(kN・m)
V	： 杭1本に作用する鉛直力 =	38.60	(kN)
Z	： 杭の断面係数 =	6.390E-04	(m^3)
A	： 杭の断面積 =	9.111E-03	(m^2)

(2) せん断応力度の照査

鋼材のせん断応力度は以下の式により算定する。

$$\tau = \frac{\alpha_0 \times Smax}{A}$$

$$= \frac{2.00 \times 218.80}{9.111E-03}$$

$$= 48{,}030 \ (kN/m^2) \leqq \tau a = 105{,}000 \ (kN/m^2)$$ [O.K]

ここに、

Smax	： 最大せん断力 =	218.80	(kN・m)
A	： 杭の断面積 =	9.111E-03	(m^2)
α_0	： せん断応力補正係数	2.00	(kN)

(一般には、α_0=2.0として良い)

7. 根入れ長および杭全長の計算

(1) 必要根入れ長の計算

抑止杭の必要根入れ長は以下の式から求まる値と3.0m(最低長)の何れか大きい値とする。

$$Lrc \geqq 1/\beta_2 \left(\tan^{-1}\frac{\beta_1 - \beta_2}{\beta_1 + \beta_2} + \pi\right)\cdot k$$

$$= 1/0.7477 \times \left(\tan^{-1}\frac{0.6287 - 0.7477}{0.6287 + 0.7477} + \pi\right)\times 1.50$$

$$= 4.086 \times 1.50$$

$$= 6.13 \ (m)$$

Lrn= max (Lrc , Lrmin)
= max (6.13 , 3.0)
= 6.13 (m)

ここに、
Lrn : 抑止杭の必要根入れ長 (m)
Lrmin : 抑止杭の最低根入れ長 =3.0(m)
Lrc : 抑止杭の計算上の必要根入れ長 (m)
β_1 : 移動層の特性値 = 0.6287 (m^{-1})
β_2 : 不動層の特性値 = 0.7477 (m^{-1})
k : 根入れ長補正係数 = 1.50
(一般には、k=1.0～1.5の範囲)

(2) 抑止杭全長の計算

抑止杭の全長は、50cm単位のラウンド長となるように決定する。

L = Le + Lrn
= 5.000 + 6.13
= 11.130 (m)
= 11.50 (m) ・・・・・ 50cm単位に丸める。

(3) 根入れ長の計算

抑止杭の根入れ長は全長から杭の有効長を引いて求める。

Lr = L − Le
= 11.50 − 5.000
= 6.500 (m)

8. 変位の計算

抑止杭頭部の変位量は次式により算定する。

$$\delta = \delta 1 + \delta 2 + \delta 3$$

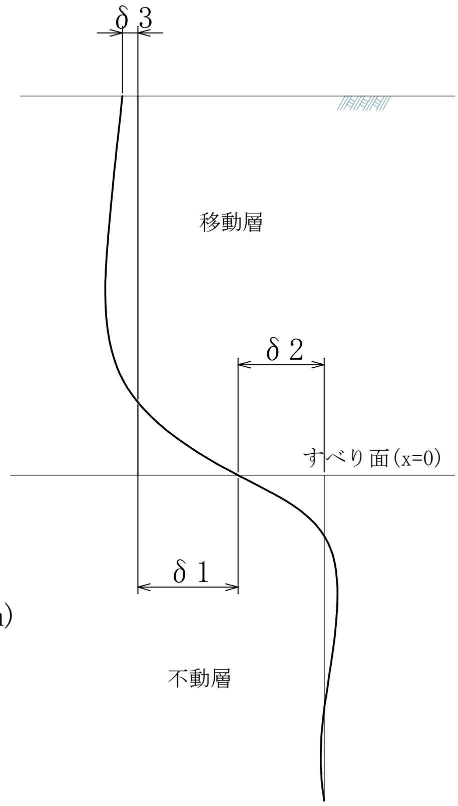
$$= y1(0) + y2(0) + y1(xy)$$

$$= 0.0369 \ (\mathrm{m})$$

$$= 36.9 \ (\mathrm{mm})$$

ここに、

δ ：抑止杭頭部の変位量 (m)
δ 1: すべり面での移動層の変位量 (m)
δ 2: すべり面での不動層の変位量 (m)
δ 3: 杭頭($x=x_y$)での移動層の変位量 (m)



たわみ模式図

$$\delta 1 = y1(0) = \frac{H}{4EI\beta_1^2}\left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2}\right) = 0.0211 \ (\mathrm{m})$$

$$\delta 2 = y2(0) = \frac{H}{4EI\beta_2^2}\left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2}\right) = 0.0149 \ (\mathrm{m})$$

$$\delta 3 = y1(x_y) = \frac{-H}{4EI\beta_1^2} e^{-\beta_1 x_y}\left\{\left(\frac{1}{\beta_1} + \frac{1}{\beta_2}\right)\cos\beta_1 x_y + \left(\frac{1}{\beta_1} - \frac{1}{\beta_2}\right)\sin\beta_1 x_y\right\}$$

$$= 0.0009 \ (\mathrm{m})$$

ここに、

H：作用する水平力 = 218.80 (kN)
E：杭の弾性係数 = 2.000E+08 (kN/m^2)
I：杭の断面2次モーメント = 9.590E-05
β_1：移動層の特性値 = 0.6287 (m^{-1})
β_2：不動層の特性値 = 0.7477 (m^{-1})
xy：杭頭距離 = Le = 5.000 (m)

9. 根入れ地盤の降伏破壊検討

抑止杭に作用する受働土圧Qpが、抑止杭に作用する水平荷重より大きいことを照査する。
受働土圧Qpは、次式により求める。

(1) 移動層の検討

$$Qp1 = 3D\{1/2\cdot\gamma_1\cdot Le^2\cdot Kp1 + 2\cdot C_1\cdot Le\cdot\sqrt{(Kp1)}\}/Fs$$

$$= 3\times0.3000\times\{1/2\times18.0\times5.00\hat{\ }2\times2.464 + 2\times50.0\times5.00\times\sqrt{2.464}\}/2.00$$

$$= 602.67\ \text{(kN)} \geqq H = 218.80\ \text{(kN)}$$

Qp1 ≧ H となるので、地盤の降伏破壊に対して安全である。

(2) 不動層の検討

$$Qp2 = 3D\{(1/2\cdot\gamma_2\cdot Lr^2 + \gamma_1\cdot Le\cdot Lr)\cdot Kp2 + 2\cdot C_2\cdot Lr\cdot\sqrt{(Kp2)}\}/Fs$$

$$= 3\times0.3000\times\{(1/2\times18.0\times6.50\hat{\ }2 + 18.0\times5.00\times6.50)\times2.464 + 2\times50.0\times6.50\times\sqrt{2.464}\}/2.00$$

$$= 1{,}529.41\ \text{(kN)} \geqq H = 218.80\ \text{(kN)}$$

Qp2 ≧ H となるので、地盤の降伏破壊に対して安全である。

ここに、

Qp1,Qp2 :	受働土圧 (kN)		
D :	鋼管杭の外径 =	0.3000	(m)
γ_1 :	移動層の単位体積重量 =	18.0	(kN/m^3)
γ_2 :	不動層の単位体積重量 =	18.0	(kN/m^3)
ϕ_1 :	移動層の内部摩擦角 =	25.0	(°)
ϕ_2 :	不動層の内部摩擦角 =	25.0	(°)
C_1 :	不動層の粘着力 =	50.0	(kN/m^2)
C_2 :	不動層の粘着力 =	50.0	(kN/m^2)
Le :	移動層の杭長 =	5.000	(m)
Ler:	不動層の杭長 =	6.500	(m)
Fs :	安全率 =	2.0	
Kp1,Kp2 :	受働土圧係数		
	移動層 $Kp1 = \tan^2(45° + \phi_1/2) =$	2.464	
	不動層 $Kp2 = \tan^2(45° + \phi_2/2) =$	2.464	
H :	抑止杭に作用する水平力 =	218.80	(kN)

10. 杭の計算式の妥当性

(1) 有限長杭と半無限長杭の使い分け

本計算は、半無限長杭の計算式を用いている。
「新版 地すべり鋼管杭設計要領」に示された 設計上の杭型式の区分を下図に示す。本図によると、$\beta \cdot Lr = 3$ を有限長杭と半無限長杭の境界としている。

有限長杭と半無限長杭の区分図

適用する杭の計算式	β・L 0	1	2	3	4	5
有限長の計算式 (1≦ β・L＜3)						
半無限長の計算式 (β・L≧3)						

[移動層の検討]

$\beta_1 \cdot Le = 0.6287 \times 5.000 =$ 　　3.144 (m)

β・L≧3.0となるので、半無限長杭の計算式は妥当である。

[移動層の検討]

$\beta_2 \cdot Lr = 0.7477 \times 6.500 =$ 　　4.860 (m)

β・L≧3.0となるので、半無限長杭の計算式は妥当である。

ここに、β_1 : 杭の特性値 = 0.6287 (m^{-1})
β_2 : 杭の特性値 = 0.7477 (m^{-1})
Le : 杭の有効長 = 5.000 (m)
Lr : 杭の根入れ長 = 6.500 (m)

(2) 曲げ杭とケーソン(剛体杭)の使い分け

本計算は、曲げ杭(抑え杭)として計算を行っている。
「道路土工ー切土工・斜面安定工指針 (p.423)」には次の記述がある。

・β・Lr≦2 の場合はケーソン(剛体杭)として設計する。
・β・Lr＞2 の場合は曲げ杭として設計する。

$\beta_2 \cdot Lr = 0.7477 \times 6.500$ 　　4.860 (m)

β・Lr＞2 となるので、曲げ杭としての計算は妥当である。

11. 計算条件の総括表

計算条件一覧表			記号	単位	数値
項　目			記号	単位	数　値
抑止杭の計算タイプ			－	－	くさび杭
地すべり諸元	必要抑止力		Pr	kN/m	111.110
	すべり面傾斜角		θ	度	10.000
鋼管杭の配置	抑止杭の有効高さ		Le	m	5.000
	抑止杭の間隔		W	m	2.000
	抑止杭の列数		N	列数	1
鋼管杭の規格	鋼管杭の規格		SKK490、STK490、SM490 および同等品		
	設計強度の設定		－	－	長期強度
	弾性係数		E	kN/㎡	2.000E+08
	許容曲げ応力度		σa	kN/㎡	185,000
	許容せん断応力度		τa	kN/㎡	105,000
鋼管杭の断面諸量	外径		D	㎜	300
	肉厚		t	㎜	10
	断面積		A	㎡	9.111E-03
	断面2次モーメント		I	m^4	9.590E-05
	断面係数		Z	m^3	6.390E-04
	弾性係数		Z	kN/㎡	2.000E+08
地盤の変形係数	移動層	変形係数	E_{01}	kN/㎡	2.240E+04
		E_0の推定に用いる係数	α	－	1
	移動層	変形係数	E_{02}	kN/㎡	4.200E+04
		E_0の推定に用いる係数	α	－	1
根入れ長補正係数	モーメントゼロ点深度のk倍		k	－	1.50
地盤の降伏破壊条件	単位体積重量	移動層	γ_1	kN/㎡	18.00
		不動層	γ_2	kN/㎡	18.00
	内部摩擦角	移動層	ϕ_1	度	25.00
		不動層	ϕ_2	〃	25.00
	粘着力	移動層	C_1	kN/㎡	50.00
		不動層	C_2	〃	50.00
	降伏破壊安全率		Fs	－	2.00

12. 計算結果の総括表

計算結果一覧表					
項　　目			記号	単位	数　値
設計外力	水平力		H	kN	218.80
	鉛直力		V	kN	38.60
鋼管杭の断面力	最大曲げモーメント		Mmax	kN･m	112.99
	最大せん断		Smax	kN	218.80
鋼管杭の応力度	曲げ応力度		σ	kN/㎡	181,060
	せん断応力度		τ	kN/㎡	48,030
応力度照査	曲げ応力度		$\sigma \leqq \sigma a$ ･････ O.K.		
	せん断応力度		$\tau \leqq \tau a$ ･････ O.K.		
抑止杭長	不動層必要根入れ長		Lrn	m	6.130
	不動層設計根入れ長		Lr	m	6.500
	移動層有効長		Le	m	5.000
	抑止杭全長 (L = Le + Lr)		L	m	11.500
杭頭変位量	-		δ	㎜	36.9
地盤の降伏破壊検討	受働土圧	移動層	Qp1	kN	602.67
		不動層	Qp2	kN	1,529.41
	降伏破壊に対する安定照査	移動層	Qp1 ≧ H (水平力) ･････ O.K.		
		不動層	Qp2 ≧ H (水平力) ･････ O.K.		
杭の計算式	判定境界値 (β ･L)	移動層	β_1･Le	-	3.144
		不動層	β_2･Lr	-	4.860
	無限長杭計算式の妥当性	移動層	$\beta 1$･Le ≧ 3.0(無限長杭計算式の適用可能)		
		不動層	$\beta 2$･Lr ≧ 3.0(無限長杭計算式の適用可能)		
		判定	無限長杭計算式の適用は妥当である		
	曲げ杭としての妥当性		$\beta 2$･Lr ＞ 2.0 ･････ O.K.		

変位・断面力図

変位図	曲げモーメント図	せん断力図
δ max=　37.3 （㎜） X=　0.77 （m）	Mmax=　112.99 （kN･m） X=　5.935 （m）	Smax=　218.80 （kN･m） X=　5.000 （m）