

港湾設計業務シリーズ

胸壁防潮堤3

商 品 概 説 書

目次

はじめに.....	1
1. 概要.....	2
システムの特長.....	2
システムの機能.....	2
システムの制限事項.....	2
2. 設計の考え方.....	3
2-1. 外力の求め方.....	3
作用長さ x について.....	3
自重、慣性力.....	3
浮力.....	3
主働土圧、受働土圧(クーロン).....	4
主働土圧、受働土圧(試行くさび).....	6
波圧/揚圧力(重複波).....	7
波圧/揚圧力(砕波).....	7
波圧/揚圧力(合田式).....	8
波圧/揚圧力(津波式-谷本式/修正谷本式).....	10
波圧/揚圧力(津波式-静水圧差による算定式).....	10
波圧/揚圧力(津波式-水工研提案式).....	11
波圧/揚圧力(津波式-谷本式(消波ブロック被覆堤)).....	12
波圧(フルード数による津波波力算定法).....	12
波圧(津波浸水深による津波波力算定法).....	13
静水圧.....	14
動水圧.....	14
他外力集中 VH	14
他外力分布 H	14
他外力分布 V	14
2-2. 照査(重力式基礎).....	15
検討点と V, H, MI について.....	15
滑動(安全率法).....	15
滑動(部分係数法(H19港湾基準)).....	16
滑動(部分係数法(H30港湾基準)).....	16
転倒(安全率法).....	17
転倒(部分係数法(H19港湾基準)).....	17
転倒(部分係数法(H30港湾基準)).....	17
転倒(偏心量(安全率法)).....	18
底面反力.....	19
支持力.....	20
ビショップ用荷重出力.....	24
2-3. 設計計算(杭式基礎、矢板式基礎).....	25
システム内の断面力の向き.....	25
計算方法における検討点の高さ位置について.....	26
変位法.....	26
フレーム計算(骨組構造解析).....	34
チャンの方法.....	39
港研方式(C型地盤、S型地盤).....	41
K 値の計算法.....	44
断面性能について(杭式基礎).....	46
断面性能について(矢板式基礎).....	47
2-4. 照査(杭式基礎).....	51

目次

杭の応力について	51
根入れ長の検討	55
支持力について	56
負の周面摩擦について	67
2-5. 照査(矢板式基礎)	73
矢板の応力について	73
根入れ長の検討	73
支持力について	74
2-6. 杭頭部の結合計算について(杭式基礎)	75
安全率法(許容応力度法)	75
部分係数法(限界状態設計法)	78
2-7. 設計震度の算定(重力式基礎、杭式基礎)	81
加速度応答スペクトルの算定	82
固有周期の算定	83
2-8. 性能照査に用いる諸定数(許容応力度法)	85
杭の発生応力の照査に伴う許容応力度の割増	85
杭の支持力に関する性能照査	85
2-9. H30年港湾基準の照査方法について	86
杭の応力照査	86
杭の支持力照査	86
杭の負の周面摩擦照査	86
3. 参考文献	87

はじめに

この説明書は港湾設計業務シリーズの、「胸壁防潮堤3」について説明したものです。

1. 概要

システムの特長

本システムは、胸壁／防潮堤の設計計算を行います。
堤体の支持形式は重力式／杭式／矢板式に対応しています。
胸壁／防潮堤に作用する各外力を計算し集計します。

集計値から、

重力式では滑動、転倒、支持力の安定計算

杭式では変位、根入れ、応力、支持力、杭頭部の設計計算

矢板式では、変位、根入れ、応力、支持力の設計計算

を行います

検討方法として安全率法および部分係数法が選択できます。

計算結果は報告書形式で印刷されるためそのまま報告書として利用できます。

システムの機能

〈入力、計算機能〉

- 複数の検討ケースが照査できます(最大 10 ケース)。
- ケース毎に、検討方向、状態、外力、水位を設定できます。
- 検討方向として海→(主働方向が海側)、←陸(主働方向が陸側)を考慮できます。
- 状態として常時、地震時、異常時が考慮できます。
- 外力として、自重、浮力、慣性力(地震時のみ)、主働土圧、受働土圧、波力、揚圧力、静水圧、動水圧(地震時のみ)、他外力集中(VH)、他外力分布(VH)を考慮することができます。
- 外力の組合せを任意に設定できます。
- 主働／受働土圧の鉛直力を考慮することができます。
- 重力式の場合、滑動、転倒、支持力の安定計算を行うことができます。
- 杭式の場合、杭の変位、根入れ、応力、支持力、杭頭部の設計計算を行うことができます。
- 矢板式の場合、矢板の変位、根入れ、応力、支持力の設計計算を行うことができます。

システムの制限事項

[制限事項]

▼共通

- 登録できるブロックは最大 10 ブロックとなります。
- 1 ブロックの構成点数は最大 50 点となります。
- 胸壁底面は水平である必要があります。

▼重力式

- 考慮できる土層は砂単層及び砂二層です。

▼杭式

- 縦断方向の杭列数は最大 6 列です。

▼矢板式

- 縦断方向の矢板列数は 1 列のみです。
- 腐食しろは海側、陸側共通となります。電気防食も海側、陸側共通となります。
- 固有周期及び加速度応答スペクトルからの設計震度算出には対応していません。

2. 設計の考え方

2-1. 外力の求め方

作用長さxについて

重力式基礎

海側が主働側(海→)の場合は「検討点x-重心x」となります。

陸側の主働側(←陸)の場合は「重心x-検討点x」となります。

杭式基礎、矢板式基礎

検討方向に関わらず、「重心x-検討点x」となります。

自重、慣性力

胸壁本体と、前面背面の土ブロック(胸壁に載る土部分)の各ブロックに対して、重量、慣性力を計算します。

ブロックを三角形、四角形に分割し、個々の底辺、高さより重量を計算します。方塊等の飽和/湿潤の単位体積重量が同じ場合は分割しません。

〔重量〕

水上部分=底辺×高さ(水上部分)×湿潤単位体積重量

水中部分=底辺×高さ(水中部分)×飽和単位体積重量

浮力

浮力水位海側、浮力水位陸側より下の水中部分の浮力を計算します。

〔浮力〕

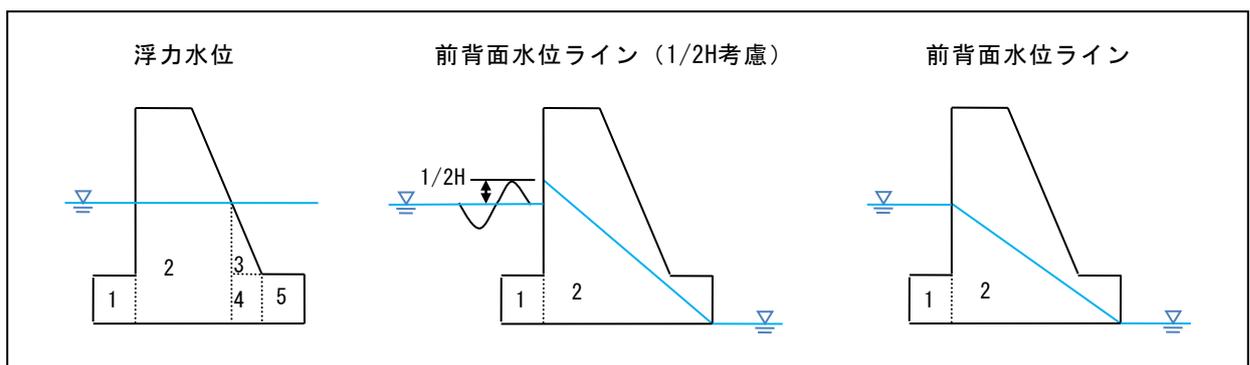
底辺×高さ(水中部分)×(飽和単位体積重量-水中単位体積重量)

下図に設定例を示します。

下図左：海側浮力水位=海側水位、陸側浮力水位=海側水位

下図中：海側浮力水位=海側水位+1/2H、陸側浮力水位=陸側水位

下図右：海側浮力水位=海側水位、陸側浮力水位=陸側水位



主働土圧、受働土圧(クーロン)

主働土圧

土圧係数ka

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

ϕ : 内部摩擦角(度)

ψ : 各土層の壁面が鉛直となす角(度)

θ : 地震合成角(度)(地震時のみ) $\tan^{-1}k$ または $\tan^{-1}k'$

k : 水上震度(地震時のみ)

k' : 水中震度(地震時のみ)

土圧強度 p_a (kN/m²) ※水平強度

$$p_a = k_a \left[\sum \gamma h + \frac{\omega \cos \psi}{\cos(\psi - \beta)} \right] \cos(\psi + \delta)$$

γ : 層の単位体積重量(kN/m³)

h : 層の厚さ(m)

ω : 上載荷重(kN/m²)

β : 地表面が水平となす角(度)

δ : 壁面摩擦角(度)

水平成分 P_{iH} (kN/m²)

$$P_{iH} = \frac{p_{i-1} + p_i}{2} h_i$$

鉛直成分 P_{iV} (kN/m²)

$$p_{iV} = p_{iH} \tan(\psi + \delta)$$

受働土圧

土圧係数kp

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

土圧強度 p_p (kN/m²) ※水平強度

$$p_p = k_p \left[\sum \gamma h + \frac{\omega \cos \psi}{\cos(\psi - \beta)} \right] \cos(\psi + \delta)$$

水平成分 P_{iH} (kN/m²)

$$P_{iH} = \frac{p_{i-1} + p_i}{2} h_i$$

鉛直成分 P_{iV} (kN/m²)

$$p_{iV} = p_{iH} \tan(\psi + \delta)$$

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成30年5月」 P350

参照: 「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015年版」 P147

水中におけるみかけの震度 k' （地震時）

荒井・横井の提案式

$$k' = \frac{2(\sum \gamma h_i + \sum \gamma_t h_j + \omega) + \gamma_t h}{2\{\sum \gamma h_i + \sum (\gamma_t - 10) h_j + \omega\} + (\gamma_t - 10)h} k$$

k' : みかけの震度

γ : 水位より上の土の単位体積重量（湿潤）(kN/m³)

h_i : 水位より上の層の厚さ(m)

γ_t : 水で飽和した土の空気中の単位体積重量（飽和）(kN/m³)

h_j : 水位より下で土圧を求めようとする層より上の層の厚さ(m)

ω : 上載荷重(kN/m²)

h : 水位より下で土圧を求めようとする層の厚さ(m)

k : 水上震度

※本システムで考慮できる土層は単層なので、 h_j の層は発生しません。

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻）平成30年5月」P356

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書（上巻）2015年版」P154

二建の提案式

$$k' = \frac{\sum \gamma h + \gamma_w h_w + w}{\sum \gamma h + w} k$$

ここに

k : 震度

k' : みかけの震度

γ : 土の単位体積重量(kN/m³)

γ_w : 水の単位体積重量(kN/m³)

h : 土層の厚さ(m)

h_w : 土層の水につかっている深さ(m)

w : 上載荷重(kN/m²)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻）平成元年6月」P220

主働土圧、受働土圧(試行くさび)

主働土圧(常時)

土圧合力Pa(kN/m)

$$Pa = \frac{W \sin(\omega - \phi)}{\cos(\omega - \phi - \delta - \alpha)}$$

土圧水平成分Pah(kN/m)

土圧鉛直成分Pav(kN/m)

$$Pah = Pa \cos(\alpha + \delta)$$

$$Pav = Pa \sin(\alpha + \delta)$$

主働土圧(地震時)

土圧合力Pa(kN/m)

$$Pa = \frac{W \sin(\omega - \phi + \theta)}{\cos(\omega - \phi - \delta - \alpha) \cos \theta}$$

土圧水平成分Pah(kN/m)

土圧鉛直成分Pav(kN/m)

同左

受働土圧(常時)

土圧合力Pp(kN/m)

$$Pp = \frac{W \sin(\omega + \phi)}{\cos(\omega + \phi + \delta - \alpha)}$$

土圧水平成分Pph(kN/m)

土圧鉛直成分Ppv(kN/m)

$$Pph = Pp \cos(\alpha - \delta)$$

$$Ppv = Pp \sin(\alpha - \delta)$$

受働土圧(地震時)

土圧合力Pp(kN/m)

$$Pp = \frac{W \sec \theta \sin(\omega + \phi - \theta)}{\cos(\omega + \phi + \delta - \alpha)}$$

土圧水平成分Pph(kN/m)

鉛直成分成分Ppv(kN/m)

同左

ω : すべり角(度)

α : 壁面傾斜角(度)

W : すべる土塊の重量(上載荷重 $q \cdot b$ (kN/m)を含む)

波圧/揚圧力(重複波)

重複波（水深 $h > 2H$ ）の波圧強度

$$p_b = 1.5wH$$

$$p_1 = (p_2 + wh) \left(\frac{H + \delta_0}{h + H + \delta_0} \right)$$

$$p_2 = \frac{wH}{\cosh\left(\frac{2\pi h}{L}\right)}$$

$$\delta_0 = \frac{\pi H^2}{L} \coth \frac{2\pi h}{L}$$

$$p_u = p_2$$

p_b : 碎波による波圧強度 (kN/m²)

p_1 : 壁面に波の山があるときの静水面上における波圧強度 (kN/m²)

p_2 : 壁体下端における波圧強度 (kN/m²)

w : 海水の単位体積重量 (kN/m³)

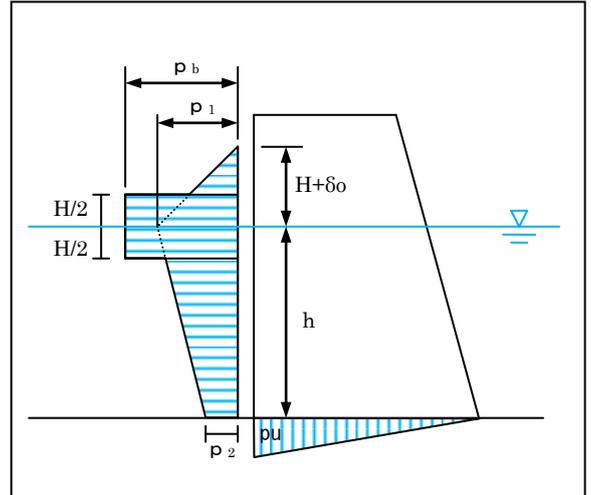
δ_0 : 壁面における波高中分面の静水面上の高さ (m)

h : 壁体前面の水深 (m)

H : 壁体設置位置における進行波としての波高 (m)

L : 水深 h における波長 (m)

p_u : 前面下端における揚圧力 (kN/m²)



参照：「漁港・漁場の施設の設計の手引き（上巻）2003年版」P60

波圧/揚圧力(碎波)

碎波（水深 $h \leq 2H$ ）の波圧強度

$$p = 1.5wH \cos^2 \beta \quad (\beta < 45^\circ \text{ の場合})$$

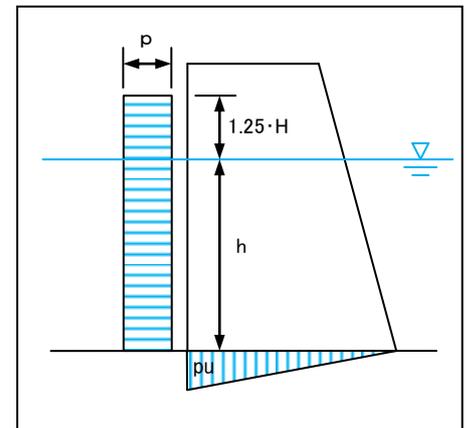
$$p = 0.75wH \quad (\beta \geq 45^\circ \text{ の場合})$$

$$p_u = 1.25wH$$

p : 碎波領域における壁体に作用する波圧強度 (kN/m²)

β : 入射角度 (度)

p_u : 前面下端における揚圧力 (kN/m²)



参照：「漁港・漁場の施設の設計の手引き（上巻）2003年版」P61

波圧/揚圧力(合田式)

合田式の波圧強度

$$\eta^* = 0.75(1 + \cos \beta)\lambda_1 H_D$$

$$p_1 = 0.5(1 + \cos \beta)(\alpha_1 \lambda_1 + \alpha_2 \lambda_2 \cos^2 \beta) \rho_0 g H_D$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)}$$

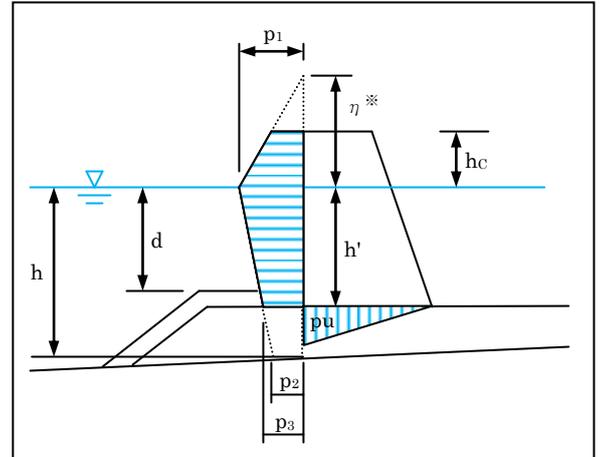
$$p_3 = \alpha_3 p_1$$

$$\alpha_1 = 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2$$

$$\alpha_2 = \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right]$$

$$\alpha_3 = 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right]$$

$$p_u = 0.5(1 + \cos \beta) \alpha_1 \alpha_3 \lambda_3 \rho_0 g H_D$$



η^* : 静水面上波圧強度が0となる高さ (m)

p_1 : 静水面における波圧強度 (kN/m²)

p_2 : 海底面における波圧強度 (kN/m²)

p_3 : 直立壁底面における波圧強度 (kN/m²)

h : 直立壁前面における水深 (m)

h_b : 直立壁前面から沖側へ有義波高の5倍だけ離れた地点での水深 (m)

h' : 直立壁底面の水深 (m)

d : 根固め工又はマウンド被覆工天端のいずれか小さい方の水深 (m)

ρ_0 : 海水の密度 (1.03t/m³)

g : 重力加速度 (9.81m/s²)

H_D : 設計計算に用いる波高 (m)

L : 水深 h における設計計算に用いる波長 (m)

β : 直立壁法線の垂線と波の主方向から $\pm 15^\circ$ の範囲で最も危険な方向となす角度 (度)

p_u : 直立壁の底面に作用する揚圧力 (kN/m²)

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$: 波圧の補正係数 (通常は1.0)

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 (上巻) 平成30年5月」 P214

衝撃砕波を考慮する場合（合田式）

$$\begin{aligned} \eta^* &= 0.75(1 + \cos \beta) \lambda_1 H_D \\ p_1 &= 0.5(1 + \cos \beta) (\alpha_1 \lambda_1 + \alpha^* \lambda_2 \cos^2 \beta) \rho_0 g H_D \\ \alpha^* &= \max(\alpha_2, \alpha_1) \\ p_2 &= \frac{P_1}{\cosh(2\pi h/L)} \\ p_3 &= \alpha_3 p_1 \\ \alpha_1 &= 0.6 + \frac{1}{2} \left[\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)} \right]^2 \\ \alpha_2 &= \min \left[\frac{h_b - d}{3h_b} \left(\frac{H_D}{d} \right)^2, \frac{2d}{H_D} \right] \\ \alpha_3 &= 1 - \frac{h'}{h} \left[1 - \frac{1}{\cosh(2\pi h/L)} \right] \end{aligned}$$

ここに

α_1 : 衝撃砕波力係数

（衝撃砕波力係数 α_1 ）

$$\alpha_1 = \begin{cases} 0 & : \alpha_{11} \leq 0 \\ \alpha_{10} \cdot \alpha_{11} & : \alpha_{11} > 0 \end{cases}$$

$$\alpha_{10} = \begin{cases} H_D/d & : H_D/d \leq 2 \\ 2 & : H_D/d > 2 \end{cases}$$

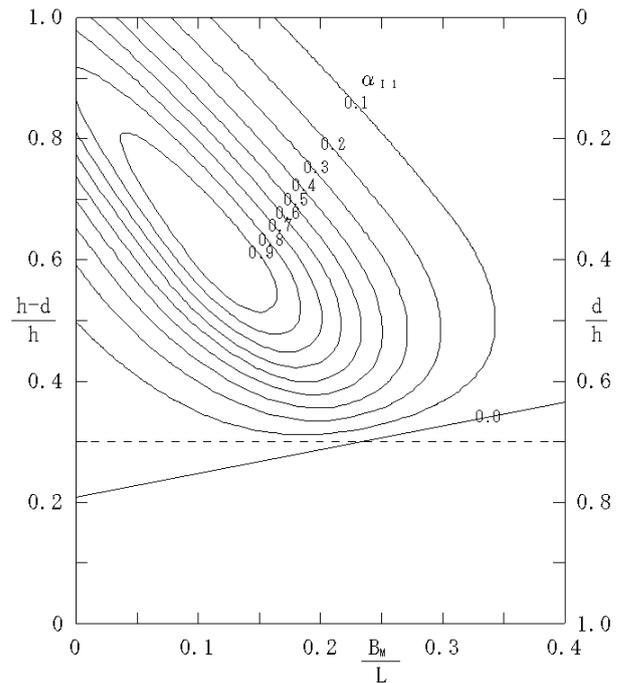
$$\alpha_{11} = \begin{cases} \frac{\cos \delta_2}{\cosh \delta_1} & : \delta_2 \leq 0 \\ \frac{1}{\cosh \delta_1 \cdot (\cosh \delta_2)^{1/2}} & : \delta_2 > 0 \end{cases}$$

$$\delta_1 = \begin{cases} 20 \cdot \delta_{11} & : \delta_{11} \leq 0 \\ 15 \cdot \delta_{11} & : \delta_{11} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_2 = \begin{cases} 4.9 \cdot \delta_{22} & : \delta_{22} \leq 0 \\ 3.0 \cdot \delta_{22} & : \delta_{22} > 0 \end{cases}$$

$$\delta_{11} = 0.93 \cdot \left(\frac{B_M}{L} - 0.12 \right) + 0.36 \cdot \left(\frac{h-d}{h} - 0.6 \right)$$

$$\delta_{22} = -0.36 \cdot \left(\frac{B_M}{L} - 0.12 \right) + 0.93 \cdot \left(\frac{h-d}{h} - 0.6 \right)$$

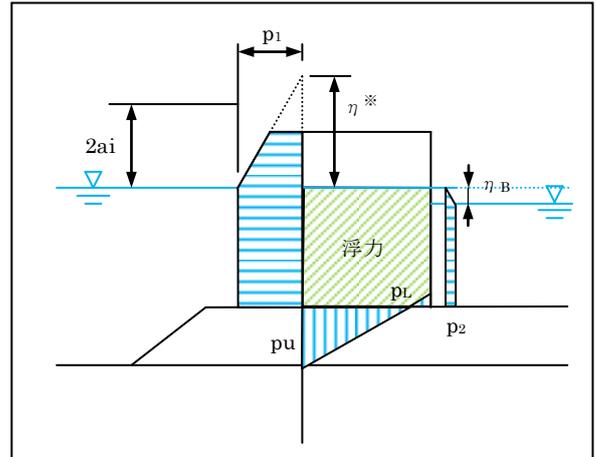


参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（上巻） 平成30年5月」 P219～P222

波圧/揚圧力(津波式一谷本式/修正谷本式)

$$\begin{aligned} \eta^* &= 3.0a_i \\ p_1 &= 2.2\rho_0g \cdot a_i && \text{谷本式} \\ p_1 &= 3.0\rho_0g \cdot a_i && \text{修正谷本式} \\ p_2 &= \rho_0g\eta_B \\ p_u &= p_1 \\ p_L &= p_2 \end{aligned}$$

η^* : 静止面上の波圧作用高さ(m)
 a_i : 入射津波の静水面上の高さ(振幅)(m)
 η_B : 直立壁背面での静水面からの下げ幅(m)
 ρ_0g : 海水の単位体積重量(kN/m³)
 p_1 : 静水面における波圧強度(kN/m²)
 p_u : 前面下端における揚圧力(kN/m²)
 p_L : 背面下端における揚圧力(kN/m²)

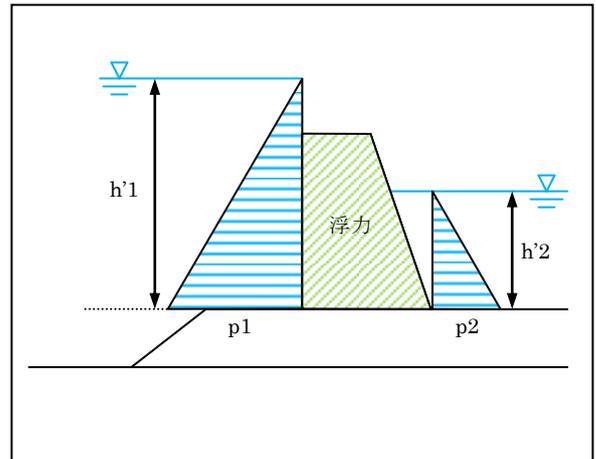


※浮力については前面静水面を背面まで考慮した場合の容積として計算する

波圧/揚圧力(津波式一静水圧差による算定式)

$$\begin{aligned} p_1 &= \alpha f \cdot \rho_0g \cdot h'1 \\ p_2 &= \alpha r \cdot \rho_0g \cdot h'2 \\ p_u &= 0.0(\text{揚圧力なし}) \end{aligned}$$

p_1 : 前面の波圧強度(kN/m²)
 p_2 : 背面の波圧強度(kN/m²)
 αf : 前面の静水圧補正係数
 αr : 背面の静水圧補正係数
 ρ_0g : 海水の単位体積重量(kN/m³)
 $h'1$: 前面津波襲来時潮位一底面(m)
 $h'2$: 背面津波襲来時潮位一底面(m)



※浮力については、水没している堤体全体(前面水位を背面まで考慮した場合の容積として計算する。揚圧力は考慮しない。

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成30年5月」 P248~P251

参照: 「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015年版」 P104~108

参照: 「防波堤の耐津波設計ガイドライン 平成25年9月 国土交通省 港湾局」 P23~P25

波圧/揚圧力(津波式—水工研提案式)

$$p_1 = \rho_0 g (h' + \eta) \alpha_1$$

$$p_2 = (\eta - h_C^*) / (h' + \eta) p_1$$

$$h_C^* = \min(\eta, h_C)$$

$$P_1 = \frac{1}{2} (p_1 + p_2) (h' + h_C^*)$$

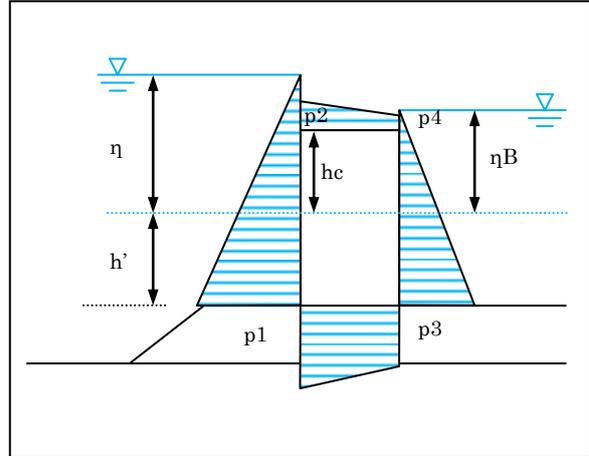
$$p_3 = \rho_0 g (h' + \eta_B) \alpha_{1B}$$

$$p_4 = (\eta_B - h_{CB}^*) / (h' + \eta_B) p_3$$

$$h_{CB}^* = \min(\eta_B, h_C)$$

$$P_B = \frac{1}{2} (p_3 + p_4) (h' + h_{CB}^*)$$

$$P_u = \frac{1}{2} (p_1 + p_3) B - \frac{1}{2} (p_2 + p_4) B$$



P_1 : 前面波力 (非越流時は $p_2=0$) (kN/m)

P_B : 背面波力 (非越流時は $p_4=0$) (kN/m)

P_u : 揚圧力合力 (浮力、揚圧力を含む) (kN/m)

η : 静水面上の前面の津波高さ(m)

η_B : 静水面上の背面の津波高さ(m)

h' : 堤体の前面における水深(m)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量(kN/m³)

p_1 : 静水面における前面波圧強度(kN/m²)

p_2 : 堤体上端部における前面波圧強度(kN/m²)

p_3 : 静水面における背面波圧強度(kN/m²)

p_4 : 堤体上端部における背面波圧強度(kN/m²)

α_1 : 前面の係数 (1.1)

α_{1B} : 背面の係数 (0.9)

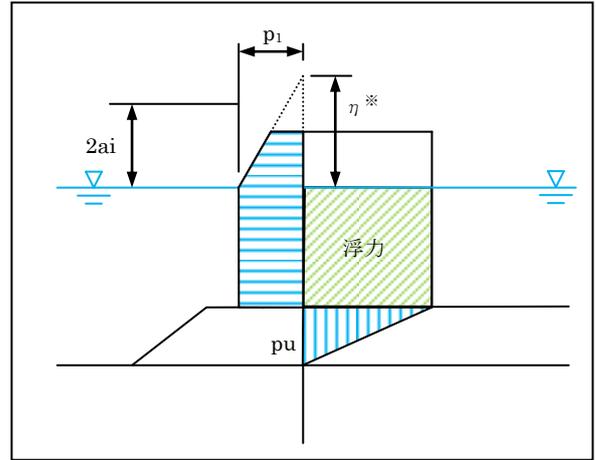
※浮力については揚圧力に含まれるため、考慮しない。

参照 : 「平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
平成26年1月23日改定」 P64～P65

波圧/揚圧力(津波式-谷本式(消波ブロック被覆堤))

$$\begin{aligned}\eta^* &= 3.0a_i \\ p_1 &= \alpha\lambda\rho g a_i \\ p_u &= 2.2\lambda\rho g a_i\end{aligned}$$

η^* : 静止面上の波圧作用高さ(m)
 a_i : 入射津波の静水面上の高さ(振幅)(m)
 α : 静水面の波圧に関する係数
 λ : 消波工による波圧低減率
 ρg : 海水の単位体積重量(kN/m³)
 p_1 : 静水面における波圧強度(kN/m²)
 p_u : 前面下端における揚圧力(kN/m²)



※浮力については前面静水面を背面まで考慮した場合の容積として計算する

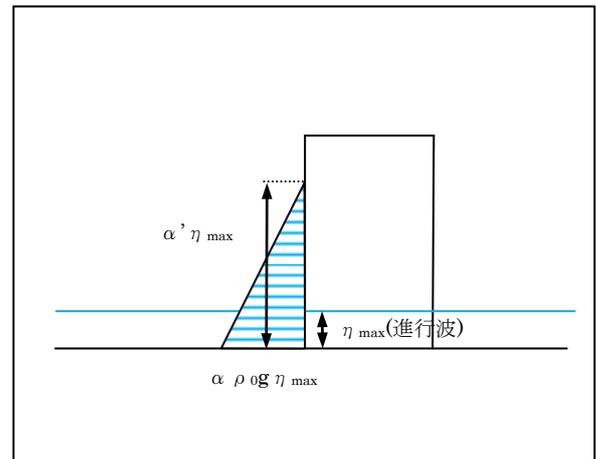
参照 : 「【参考資料Ⅲ】津波に対する防波堤の安定及び粘り強い構造の検討に係る現状の知見」Ⅲ-43

参照 : 「ソリトン分裂津波に対する消波ブロック被覆堤の津波波力算定法に関する研究」Ⅰ_267~268

波圧(フルード数による津波波力算定法)

$$\begin{aligned}\alpha'\eta_{max} \\ p_1 = \alpha\rho_0g\eta_{max}\end{aligned}$$

$\alpha'\eta_{max}$: 静水面上波圧が0となる高さ(m)
 p_1 : 波圧強度(kN/m²)
 α' : 無次元波圧作用高さ係数
 $\alpha' = \max(3, \alpha) \text{ ¥}$
 ρ_0 : 海水の密度(t/s)
 g : 重力加速度(m/s²)
 η_{max} : 進行波の最大浸水深(m)
 α : 無次元波圧係数
 $\alpha = 1.0 + 1.35F_r^2$
 F_r : フルード数



$$F_r = \frac{U}{\sqrt{g\eta_{max}}}$$

U : 水平流速(m/s)

フルード数が不明な場合は、($\alpha' = 3.0, \alpha = 2.2$)とする

参照 : 「海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成30年8月」2-95~96

波圧(津波浸水深による津波波力算定法)

$$p_1 = \alpha \rho_0 g \eta$$

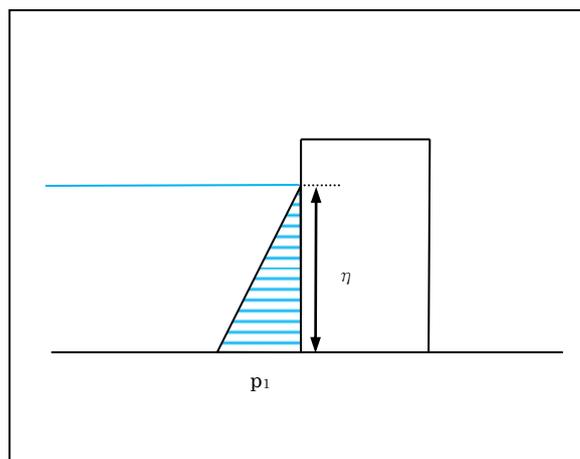
p_1 : 下端部における波圧(kN/m²)

α : 静水圧の波圧係数(1.1)

$\alpha' = \max(3, \alpha)$ ¥

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量(kN/m³)

η : 堤体設置時の遡上水深(m)



参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成30年5月」 P252

静水圧

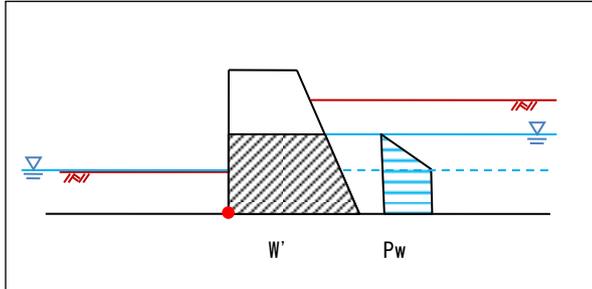
前面と背面の水圧強度の差を計算します。

水圧強度 $P_w(\text{kN/m}^2)$

$$P_w = \gamma_w h$$

γ_w : 海水の単位体積重量(kN/m^3)

h : 水深(m)



動水圧

$$pdw = \frac{7}{8} kh \gamma_w \sqrt{Hy}$$

$$Pdw = \frac{7}{12} kh \gamma_w \sqrt{H} y^{\frac{3}{2}}$$

$$hdw = \frac{2}{5} y$$

pdw : 動水圧(kN/m^2)

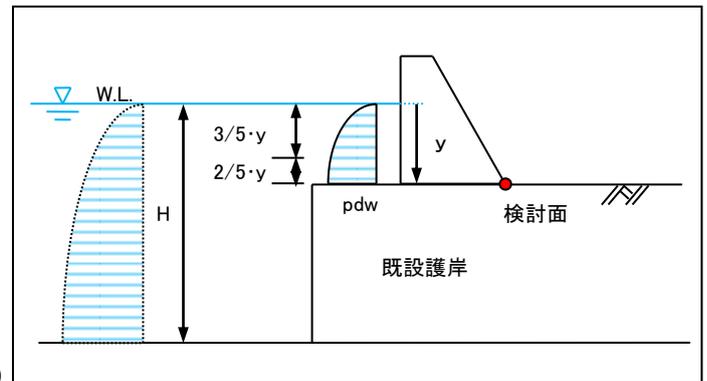
y 位置での強度

kh : 設計震度

γ_w : 海水の単位体積重量(kN/m^3)

y : 水面から動水圧を求める点までの深さ(m)

H : 直立壁前面における水深(m)



Pdw : 動水圧の合力(kN/m)

hdw : 動水圧を求める点から動水圧の合力の作用点までの距離(m)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成30年5月」 P359

参照: 「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015年版」 P157

他外力集中VH

集中荷重の入力値をそのまま作用させます。

他外力分布H

分布荷重の入力値をそのまま作用させます。

他外力分布V

分布荷重の入力値をそのまま作用させます。

2-2. 照査(重力式基礎)

検討点とV, H, Mについて

海側が主働側(海→)の場合は、壁体陸側下端が検討点となります。
 陸側が主働側(←陸)の場合は、壁体海側下端が検討点となります。
 V(鉛直力)は下向きが+、上向きが-となります。
 H(水平力)は検討方向の向きが+となります。
 モーメントは検討方向によって逆転し、以下の表と対応しています。

		検討方向	
		海→	←陸
V: 鉛直力	↓	+	+
	↑	-	-
H: 水平力	→	+	-
	←	-	+
M: モーメント	 時計回り	+	-
	 反時計回り	-	+

※→は海方向から陸方向への水平力の方向を指します。←は逆です。

滑動(安全率法)

求めた外力より、滑動の安全率F を計算し安全率(許容値)と比較します。

$F \geq$ 安全率(許容値) ... OK

受働土圧を考慮する場合、受働土圧水平力 P_{ph} の取り扱いについて、以下の2通りの計算方法があります。

$$\text{抵抗力として考慮する} \dots F = \frac{\mu \sum V + P_{ph}}{\sum H}$$

$$\text{作用力から減じる} \dots F = \frac{\mu \sum V}{\sum H - P_{ph}}$$

- μ : 堤体底面と基礎の摩擦係数
- F : 滑動の安全率
- $\sum V$: 鉛直力の合計 (P_{ph} は除く) (kN/m)
- $\sum H$: 水平力の合計 (P_{ph} は除く) (kN/m)
- P_{ph} : 受働土圧水平力(kN/m)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成11年4月」 P658, 659

参照: 「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015年版」 P507

滑動(部分係数法(H19港湾基準))

求めた外力と部分係数により、耐力作用比が1.00以上を照査します。

$$\frac{\text{耐力}}{\text{作用力}} = \frac{\gamma_a \Sigma V}{\mu_d \Sigma H} \geq 1.00 \cdots \text{OK}$$

γ_a : 部分係数(構造解析係数)

受働土圧水平力 P_{ph} の取り扱いについては、安全率法と同じとなります。

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」 P961

滑動(部分係数法(H30港湾基準))

$$m \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \cdots \text{OK} \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = f_k \Sigma V$$

$$S_k = \Sigma H$$

ここに、

f : 壁体底面と基礎との摩擦係数

R : 抵抗項(kN/m)

S : 荷重項(kN/m)

γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数

γ_S : 荷重項に乗じる部分係数

m : 調整係数

※添字k及びdはそれぞれ特性値及び設計用値を示す。

受働土圧水平力 P_{ph} の取扱いは以下となります。

$$R_k = f_k \Sigma V + P_{ph} \cdots \text{抵抗力として考慮する場合}$$

$$S_k = \Sigma H - P_{ph} \cdots \text{作用力から減じる場合}$$

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成30年5月」 P1070

転倒(安全率法)

求めた外力より、転倒の安全率Fを計算し安全率(許容値)と比較します。

$F \geq$ 安全率(許容値)…OK

受働土圧を考慮する場合、受働土圧水平モーメント M_{pph} の取り扱いについて、以下の3通りの計算方法があります。

抵抗モーメントとして考慮する・・・ $F = \frac{\sum M_v + M_{pph}}{\sum M_H}$

転倒モーメントから減じる・・・ $F = \frac{\sum M_v}{\sum M_H - M_{pph}}$

考慮しない・・・ $F = \frac{\sum M_v}{\sum M_H}$

F : 転倒の安全率

$\sum M_v$: 鉛直モーメントの合計(M_{pph} は除く)(kN・m/m)

$\sum M_H$: 水平モーメントの合計(M_{pph} は除く)(kN・m/m)

M_{pph} : 受働土圧水平モーメント(kN・m/m)

参照 : 「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2015年版」 P380

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成11年4月」 P659

転倒(部分係数法(H19港湾基準))

求めた外力と部分係数により、耐力作用比が1.00以上を照査します。

$$\frac{\text{耐力}}{\text{作用力}} = \frac{\gamma_a \sum M_v}{\sum M_H} \geq 1.00 \dots \text{OK}$$

γ_a : 部分係数(構造解析係数)

受働土圧水平力 M_{pph} の取り扱いについては、安全率法と同様です。

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」 P964

転倒(部分係数法(H30港湾基準))

$$m \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \dots \text{OK} \quad R_d = \gamma_R R_k \quad S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_k = \sum M_v$$

$$S_k = \sum M_H$$

ここに、

$\sum M_v$: 鉛直モーメントの合計(M_{pph} は除く)(kN・m/m)

$\sum M_H$: 水平モーメントの合計(M_{pph} は除く)(kN・m/m)

M_{pph} : 受働土圧水平モーメント(kN・m/m)

R : 抵抗項(kN/m)

S : 荷重項(kN/m)

γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数

γ_S : 荷重項に乗じる部分係数

m : 調整係数

※添字k及びdはそれぞれ特性値及び設計用値を示す。

受働土圧水平モーメント M_{Pph} の取り扱いは以下となります。

$R_k = \sum M_V + M_{Pph}$ … 抵抗モーメントとして考慮

$S_k = \sum M_H - M_{Pph}$ … 転倒モーメントから減じる

M_{Pph} を考慮しない … 考慮しない

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（中巻）平成30年5月」 P1072

転倒(偏心量(安全率法))

求めた外力より、転倒の偏心量 $|e|$ を計算し $B/6$ (常時) および $B/3$ (地震時/異常時) と比較します。

$$|e| \leq B/6 \dots OK \text{ or } |e| \leq B/3 \dots OK$$

(常時)

$$|e| \leq B/6$$

(地震時/異常時)

$$|e| \leq B/3$$

ただし、

$$e = B/2 - d$$

$$d = \frac{\sum M_V - \sum M_H}{\sum V}$$

受働土圧を考慮する場合、受働土圧水平モーメント M_{Pph} の取り扱いについて、以下の2通りの計算方法があります。

タイプA：抵抗モーメントとして考慮する。および転倒モーメントから減じる。

$$d = \frac{\sum M_V - \sum M_H + M_{Pph}}{\sum V}$$

タイプB：考慮しない。

$$d = \frac{\sum M_V - \sum M_H}{\sum V}$$

B : 壁体の底面幅

e : 堤体底面における合力の偏心量

$\sum V$: 鉛直力の合計 (kN/m)

$\sum M_V$: 鉛直モーメントの合計 (M_{Pph} は除く) (kN·m/m)

$\sum M_H$: 水平モーメントの合計 (M_{Pph} は除く) (kN·m/m)

M_{Pph} : 受働土圧水平モーメント (kN·m/m)

底面反力

底面反力 $P(\text{kN}/\text{m}^2)$ を計算し、許容支持力 $P_a(\text{kN}/\text{m}^2)$ （許容端趾圧）と比較します。

$$P \leq P_a \cdots OK$$

$e \leq \frac{b}{6}$ の場合

$$p_1 = \left(1 + \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b}$$

$$p_2 = \left(1 - \frac{6e}{b}\right) \frac{V}{b}$$

$e > \frac{b}{6}$ の場合

$$p_1 = \frac{2V}{3x}$$

$$p_2 = 0.0$$

$$b' = 3x$$

$e < -\frac{b}{6}$ の場合

$$p_2 = \frac{2V}{3(b-x)}$$

$$p_1 = 0.0$$

$$b' = 3(b-x)$$

ただし、

$$x = \frac{M_V - M_H}{V} \quad e = \frac{b}{2} - x$$

※転倒で受働土圧を考慮する場合、受働土圧水平モーメント M_{pph} を以下のように考慮します

$$x = \frac{M_V - M_H + M_{pph}}{V}$$

p_1 : 壁体底面における最大地盤反力(kN/m^2)

p_2 : 壁体底面における最小地盤反力(kN/m^2)

b : 壁体の底面幅(m)

V : 壁体に作用する全鉛直力(kN/m)

b' : $e > \frac{b}{6}$ の場合の反力の分布幅(m)

M_V : 壁体に作用する抵抗モーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)

M_H : 壁体に作用する転倒モーメント($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}$)

e : 壁体底面における合力の偏心量(m)

x : 壁体端から合力の作用位置までの距離(m)

支持力

基礎マウンド内での荷重分散を考慮した底版反力 $P(\text{kN/m}^2)$ を計算し、支持層の許容支持力 $q_a(\text{kN/m}^2)$ と比較します。

$$P \leq q_a \cdots OK$$

受働土圧を考慮する場合、受働土圧水平力 P_{ph} の取り扱いについて、以下の2通りの計算方法があります。

考慮しない 傾斜角 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{V} \right)$

作用力から減じる 傾斜角 $\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H - P_{ph}}{V} \right)$

底版反力 $P(\text{kN/m}^2)$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{H}{V} \right)$$

$$b_1 = b + D \{ \tan(30^\circ + \theta) + \tan(30^\circ - \theta) \}$$

$$p_1' = \frac{b}{b_1} p_1 + \gamma_2 D$$

$$p_2' = \frac{b}{b_1} p_2 + \gamma_2 D$$

p_1' : 捨石マウンド下部の最大地盤反力(kN/m^2)

p_2' : 捨石マウンド下部の最小地盤反力(kN/m^2)

b : 壁体底面下の荷重分布幅(m)

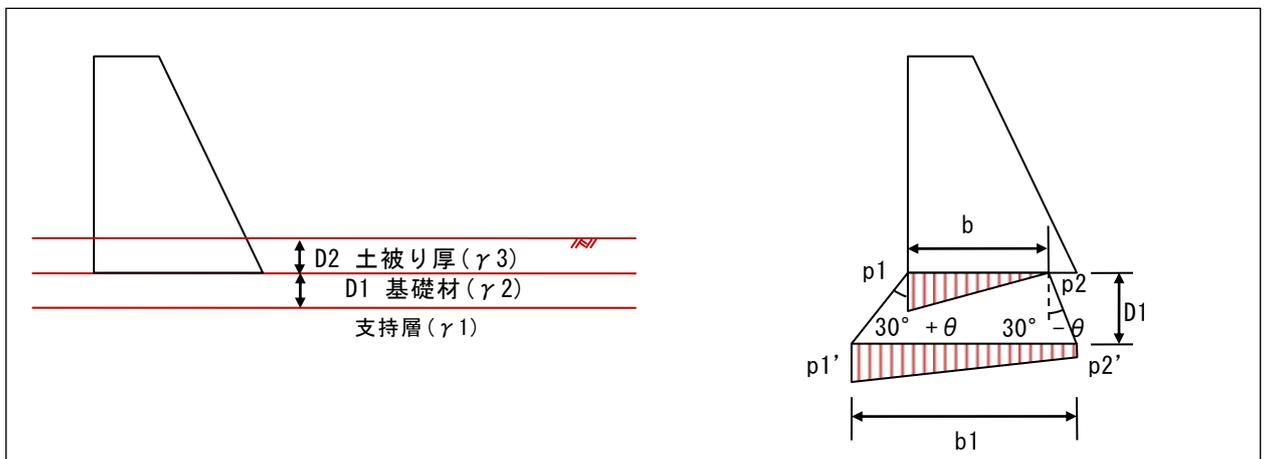
b_1 : 検討面における荷重分布幅(m)

γ_2 : 捨石マウンドの単位体積重量(kN/m^3) (水面下にある部分は水中単位体積重量)

D : 捨石マウンド厚さ(m)

θ : 直立壁底面に作用する合力の傾斜角(度)

※反力計算の D は、基礎材厚さ D_1 を、 γ_2 は基礎材の γ_2 を使用。また、基礎材が水上/水中に分割される場合はそれぞれの厚さ D_{1u} 、 D_{1L} 、単重 γ_2 、 γ_2' で計算する。→ $\gamma_2 \cdot D_{1u} + \gamma_2' \cdot D_{1L}$



砂質土地盤の許容支持力

許容支持力 q_a (kN/m²)・・・漁港基準／旧港湾基準

$$q_a = \frac{1}{F} (\beta \gamma_1 B N_\gamma + \gamma_2 D N_q) + \gamma_2 D$$

- F : 安全率
β : 形状係数 (0.5 : 連続基礎)
γ₁ : 基礎底面より下の土の単位体積重量(kN/m³)
γ₂ : 基礎底面より上の土の単位体積重量(kN/m³)
B : 検討面における荷重分布幅(反力計算時の分布幅b1)(m)
N_γ, N_q : 支持力係数
D : 基礎の根入れ深さ(m)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成11年4月」 P422

参照：「漁港・漁場の施設の設計参考図書(上巻) 2003年版」 P248

許容支持力 q_a (kN/m²)・・・港湾H11、港湾H19

$$q_a = \frac{1}{F} \left(\beta \gamma_1 \frac{B}{2} N_\gamma + \gamma_2 D (N_q - 1) \right) + \gamma_2 D \cdots \text{港湾H11}$$

$$q_a = \gamma_R \left(\beta \gamma_1 \frac{B}{2} N_\gamma + \gamma_2 D (N_q - 1) \right) + \gamma_2 D \cdots \text{港湾H19}$$

$$N_q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \exp(\pi \tan \phi)$$

$$N_\gamma = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi)$$

- F : 安全率
γ_R : 安全係数(支持力)
β : 形状係数 (1.0)
γ₁ : 基礎底面より下の土の単位体積重量(kN/m³)
γ₂ : 基礎底面より上の土の単位体積重量(kN/m³)
B : 検討面における荷重分布幅(反力計算時の分布幅b1)(m)
N_γ, N_q : 支持力係数
D : 基礎の根入れ深さ(m)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成11年4月」 P422

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」 P567

基礎支持力の設計用値 q_d (kN/m²) ・ ・ ・ 港湾H30

$$q_d = \frac{1}{m_B} \left(\beta \rho_{1k} g \frac{B}{2} N_{\gamma k} + \rho_{2k} g D (N_{qk} - 1) \right) + \rho_{2k} g D$$

q_d : 水中部分の浮力を勘案した基礎支持力の設計用値

m_B : 支持力に関する調整係数(2.5以上)

β : 基礎の形状係数(連続形 1.0)

$\rho_{1k} g$: 基礎の底面から下の地盤の土の単位体積重量の設計用値

B : 基礎の最小幅

$N_{\gamma k}, N_{qk}$: 支持力係数の特性値

$\rho_{2k} g$: 基礎の底面から上の地盤の土の単位体積重量の設計用値

D : 基礎の地盤への根入れ長

$$N_{qk} = \frac{1 + \sin \phi_k}{1 - \sin \phi_k} \exp(\pi \tan \phi_k)$$

$$N_{\gamma k} = (N_q - 1) \tan(1.4 \phi_k)$$

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(中巻) 平成30年5月」 P676~P680

粘性土地盤の許容支持力

許容支持力 q_a (kN/m²) ・ ・ ・ 港湾H11、港湾H19

$$q_a = \frac{1}{F} (1.018kB + 5.14 C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{kB}{C_0} \leq 4 \right) \cdot \cdot \cdot \text{港湾H11}$$

$$q_a = \gamma_R (1.018kB + 5.14 C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{kB}{C_0} \leq 4 \right) \cdot \cdot \cdot \text{港湾H19}$$

- F : 安全率
 γ_R : 安全係数(支持力)
 C_0 : 土の粘着力(kN/m²)
k : 地盤の粘着力増加係数(kN/m³)
B : 基礎の最小幅(m)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成11年4月」 P424

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻) 平成19年7月」 P570

許容支持力 q_a (kN/m²) ・ ・ ・ 漁港基準(2003)

$$q_a = \frac{1}{F} 5.52C_0 + \gamma_2 D$$

(k = 0の場合)

$$q_a = \frac{1}{F} (1.84kB + 5.52C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{H}{B} \geq 0.4 \text{の場合} \right)$$

$$q_a = \frac{1}{F} (1.18kB + 6.94C_0) + \gamma_2 D \quad \left(\frac{H}{B} < 0.4 \text{の場合} \right)$$

- F : 安全率
 C_0 : 土の粘着力(kN/m²)
k : 地盤の粘着力増加係数(kN/m³)
B : 基礎の最小幅(m)
H : C_0/k

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(上巻) 平成元年6月」 P337

基礎支持力の設計用値 q_d (kN/m²) ・ ・ ・ 港湾H30

$$q_d = \frac{1}{m_B} (1.018k_B + 5.14c_{0k}) + \rho_{2kg}D \quad \left(\frac{k_B}{C_{0k}} \leq 4 \right)$$

m_B : 支持力に関する調整係数

k : 地盤の粘着力増加係数 (kN/m³)

B : 基礎の最小幅 (m)

C_{0k} : 基礎の底面における粘性土の非排水せん断強さの特性値 (kN/m²)

ρ_{2kg} : 基礎の底面から上の地盤の土の単位体積重量の特性値 (水面下にあつては、水中単位体積重量基礎の最小幅 (m))

D : 基礎の地盤への根入れ長 (m)

※ m_B をFに置き換えることで港湾11の照査式と同様となります。

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（中巻）平成30年5月」 P678～P680

ビショップ用荷重出力

上載荷重、および、上載荷重の載荷幅 $2b'$ は、各外力の特性値から求めるのではなく、各外力の平均値を用いて計算します。平均値の算出には、部分係数ではなく、**平均値の偏り** (μ/X_k) を用います。

上載荷重、載荷幅の平均値は次式により計算します。

$$\bar{2b}' = \frac{2 \sum \bar{M}}{\sum \bar{V}} = \frac{2 \left\{ \left(a_1 \sum_i \bar{W}_i - a_2 \bar{P}_B - a_3 \bar{P}_U \right) - a_4 \bar{P}_H \right\}}{\sum_i \bar{W}_i - \bar{P}_B - \bar{P}_U}$$

$$\bar{q} = \frac{\sum \bar{V}}{2b'}$$

ビショップ法で用いる水平力、上載荷重、載荷幅は次式により計算します。

$$q_d = \gamma_q \bar{q}$$

$$2b'_d = 2\bar{b}'$$

$$P_{Hd} = \gamma_{PH} P_{Hk}$$

上載荷重の設計用値は、上載荷重の平均値に対し部分係数をかけます。

載荷幅の設計用値は、載荷幅の平均値を用います。

水平力の設計用値は、水平力の特性値に対し部分係数をかけます。

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説（下巻）平成19年7月」 P963

※本システムでは、ビショップ法による円弧すべりの検討を行うことはできません。

2-3. 設計計算(杭式基礎、矢板式基礎)

システム内の断面力の向き

断面力 {H(水平力)、V(鉛直力)、M(モーメント)、 δ (水平変位)}の向きは以下となっています。

		杭基礎 計算に 用いる 外力	杭基礎計算で求めた断面力		
			変位法、 フレーム 計算	チャン の方法	C型地盤 S型地盤
V: 鉛直力	↓	+	+	+	+
	↑	-	-	-	-
H: 水平力	→	+	+	+	+
	←	-	-	-	-
M: モーメント	 時計回り	+	-	+	常に+
	 反時計回り	-	+	-	常に+
δ : 水平変位	→		-	+	常に+
	←		+	-	常に+

※→は海方向から陸方向への水平力または変位の方角を指します。←は逆です。

計算方法を、「[変位法](#)」、「[フレーム計算](#)」、「[チャンの方法](#)」、「[C型地盤](#)」、「[S型地盤](#)」から選択できます。

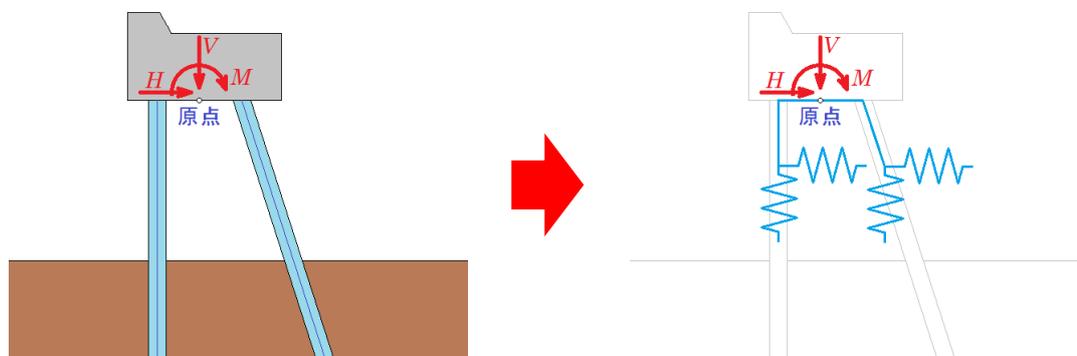
「[チャンの方法](#)」、「[C型地盤](#)」、「[S型地盤](#)」を選択した場合、杭列数は1列のみに制限されます。

計算方法における検討点の高さ位置について

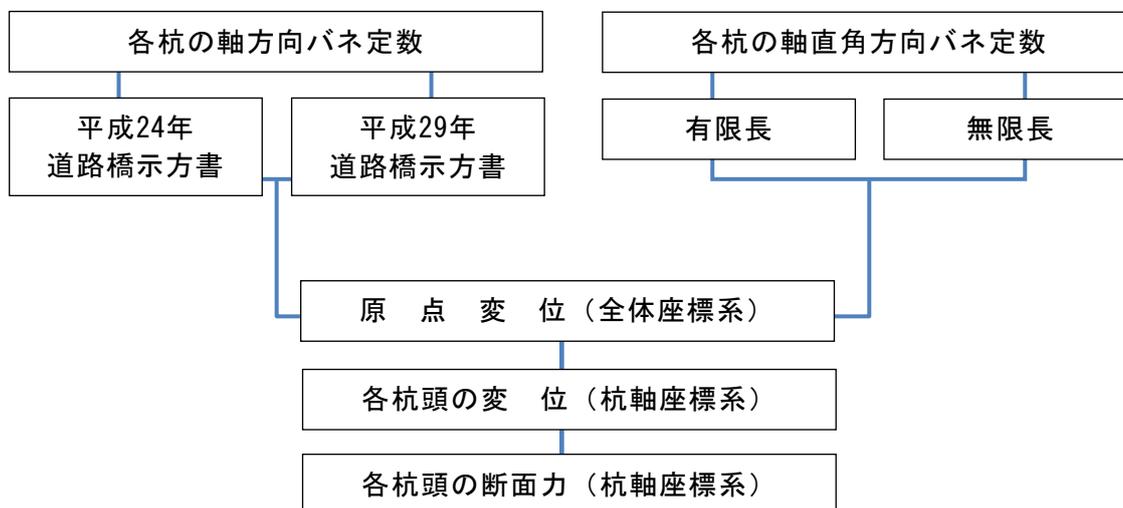
基本的には、堤体設置面となりますが、チャンの方法、C型地盤、S型地盤で突出がある場合は、式の適用上地表面となります。

変位法

このプログラムで用いる変位法とは剛体とみなせる上部工原点と各杭頭バネを結合させたモデルにおいて、上部工の原点に作用する外力による原点変位を算出します。その後、原点変位から各杭頭の変位を算出し、その算出した杭頭変位を用いて、各杭頭の断面力を算出します。



計算の流れは次のようになります。



各杭の軸方向バネ定数

一般式

$$P = K_V \delta \quad (K_V: \text{一定})$$

ここに

K_V : 杭の軸方向バネ定数

P : 杭軸方向に作用する荷重

δ : 杭軸方向変位

平成24年道路橋示方書

$$K_V = \frac{1}{\delta_0 + \delta_1} \quad , \quad \delta_0 = \frac{1}{K_{V0}} \quad , \quad \delta_1 = \frac{1}{K_{V1}}$$

$$K_{V0} = \frac{1}{\left(\sum \frac{l_{0i}}{EA_{0i}}\right)} \quad , \quad K_{V1} = \frac{1}{\left(\sum \frac{l_{1j}}{EA_{1j}}\right)}$$

ここに

δ_0 : 突出部での杭の軸方向変位 (m)

δ_1 : 地中部での杭の軸方向変位 (m)

K_{V0} : 突出部での杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

K_{V1} : 地中部での杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

E : 杭のヤング定数 (kN/m²)

A_{0i} : 突出部*i*部材での杭の純断面積 (m²)

A_{1j} : 地中部*j*部材での杭の純断面積 (m²)

l_0 : 杭の突出長(= $\sum l_{0i}$) (m)

l_1 : 杭の根入長(= $\sum l_{1j}$) (m)

D : 杭径 (m)

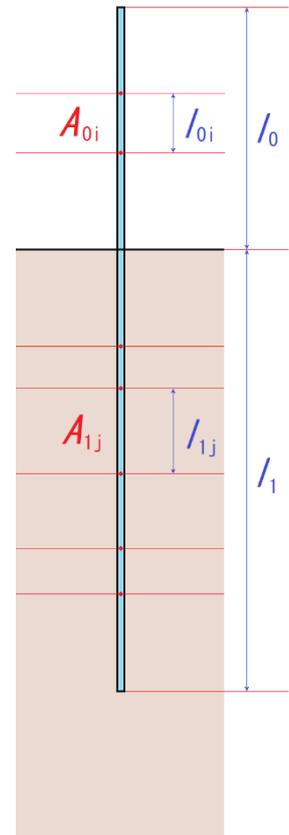
a : 次式により算定する

$$a = 0.014l_1/D + 0.72 \dots \text{打込み杭(打撃工法)}$$

$$a = 0.017l_1/D - 0.014 \dots \text{打込み杭(バイブロハンマ工法)}$$

$$a = 0.010l_1/D + 0.36 \dots \text{中掘り杭}$$

参照: 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成24年3月」 P407



平成29年道路橋示方書

$$K_V = \frac{1}{\delta_0 + \delta_1 + \delta_2}, \quad k_v = \frac{\alpha E_0}{0.3} \left(\frac{B}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

$$\delta_0 = \frac{1}{K_{V0}}, \quad \delta_1 = \frac{1}{K_{V1}}, \quad \delta_2 = \frac{1}{K_{V2}}$$

$$K_{V0} = \frac{1}{\left(\sum \frac{l_{0i}}{EA_{0i}} \right)}, \quad K_{V1} = \frac{2}{1 + \gamma_y - \zeta_e} \frac{1}{\left(\sum \frac{l_{1i}}{EA_{1i}} \right)}, \quad K_{V2} = \frac{k_v A_p}{\gamma_y \zeta_d}$$

ここに

δ_0 : 突出部での杭の軸方向変位 (m)

δ_1 : 地中部での杭の軸方向変位 (m)

δ_2 : 杭先端での杭の軸方向変位 (m)

K_{V0} : 突出部での杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

K_{V1} : 地中部での杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

K_{V2} : 杭先端での杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

E : 杭のヤング定数 (kN/m²)

A_{0i} : 突出部*i*部材での杭の純断面積 (m²)

A_{1j} : 地中部*j*部材での杭の純断面積 (m²)

A_p : 杭の先端断面積 (m²)

B : 杭径 (m)

α : 地盤反力係数の換算係数

l_0 : 杭の突出長(= $\sum l_{0i}$) (m)

l_1 : 杭の根入長(= $\sum l_{1j}$) (m)

E_0 : 杭先端地盤の弾性係数(または2800N)

N : 杭先端地盤の*N*値

杭の降伏支持力に達したときの杭頭部に作用する

γ_y : 軸方向押込力の杭先端への伝達率の推定値(= $\lambda_{yu} \gamma_u$)

λ_{yu} : 先端伝達率算出のための補正係数

杭の極限支持力に達したときの杭頭部に作用する

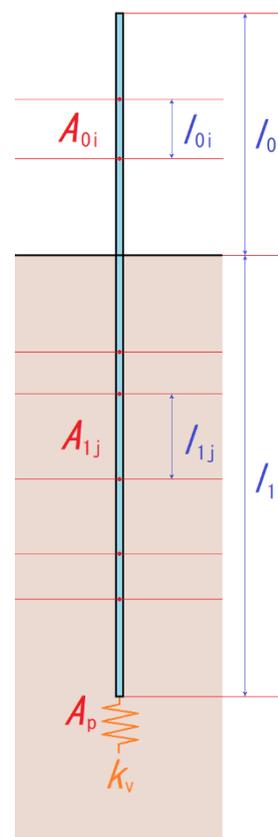
γ_u : 軸方向押込力の杭先端への伝達率の推定値(= R_p / R_u)

R_p : 杭先端の極限支持力の推定値 (kN)

R_u : 杭の極限支持力の推定値 (kN)

ζ_e : 杭体収縮量に関する補正係数

ζ_d : 杭の先端変位量に関する補正係数



参照 : 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月」 P187~263

各杭の軸直角方向バネ定数

1) 杭部材の伝達マトリクス
突出部

$$F_i = \begin{bmatrix} 1 & -x_i & -\frac{x_i^2}{2EI_i} & -\frac{x_i^3}{6EI_i} \\ 0 & 1 & \frac{x_i}{EI_i} & \frac{x_i^2}{2EI_i} \\ 0 & 0 & 1 & x_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

地中部

$$F_i = \begin{bmatrix} \mathfrak{I}_1(\beta_i x_i) & -\frac{1}{\beta_i} \mathfrak{I}_2(\beta_i x_i) & -\frac{1}{EI\beta_i^2} \mathfrak{I}_3(\beta_i x_i) & -\frac{1}{EI\beta_i^3} \mathfrak{I}_4(\beta_i x_i) \\ 4\beta_i \mathfrak{I}_4(\beta_i x_i) & \mathfrak{I}_1(\beta_i x_i) & \frac{1}{EI\beta_i} \mathfrak{I}_2(\beta_i x_i) & \frac{1}{EI\beta_i^2} \mathfrak{I}_3(\beta_i x_i) \\ 4EI\beta_i^2 \mathfrak{I}_3(\beta_i x_i) & -4EI\beta \mathfrak{I}_4(\beta_i x_i) & \mathfrak{I}_1(\beta_i x_i) & \frac{1}{\beta_i} \mathfrak{I}_2(\beta_i x_i) \\ 4EI\beta_i^3 \mathfrak{I}_2(\beta_i x_i) & -4EI\beta^2 \mathfrak{I}_3(\beta_i x_i) & -4\beta_i \mathfrak{I}_4(\beta_i x_i) & \mathfrak{I}_1(\beta_i x_i) \end{bmatrix}$$

$$\mathfrak{I}_1(\beta_i x_i) = \cosh \beta_i x_i \cos \beta_i x_i$$

$$\mathfrak{I}_2(\beta_i x_i) = \frac{\cosh \beta_i x_i \sin \beta_i x_i + \sinh \beta_i x_i \cos \beta_i x_i}{2}$$

$$\mathfrak{I}_3(\beta_i x_i) = \frac{\sinh \beta_i x_i \sin \beta_i x_i}{2}$$

$$\mathfrak{I}_4(\beta_i x_i) = \frac{\cosh \beta_i x_i \sin \beta_i x_i - \sinh \beta_i x_i \cos \beta_i x_i}{4}$$

$$\cosh \beta_i x_i = \frac{e^{\beta_i x_i} + e^{-\beta_i x_i}}{2}$$

$$\sinh \beta_i x_i = \frac{e^{\beta_i x_i} - e^{-\beta_i x_i}}{2}$$

$$\beta_i = \sqrt[4]{\frac{K_{hi} D}{4EI_i}}$$

ここに

β_i : 第*i*層の特性値 (m^{-1})

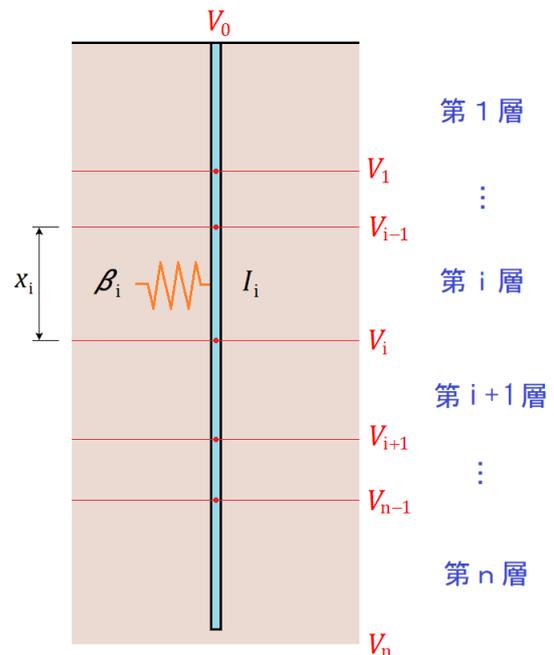
x_i : 第*i*層の層厚 (m)

K_{hi} : 第*i*層の地盤反力係数 (kN/m^3)

I_i : 第*i*層の断面二次モーメント (m^4)

D : 鋼材径 (m)

E : ヤング係数 (kN/m^2)



2) 部材の断面力・変位

$$V_i = F_i V_{i-1}$$

$$V_i = [u_i \quad \alpha_i \quad -M_i \quad -Q_i]^T$$

ここに

u_i : 第*i*層端部の水平変位 (m)

α_i : 第*i*層端部の回転角 (rad)

M_i : 第*i*層端部の曲げモーメント (kN・m)

Q_i : 第*i*層端部のせん断力 (kN)

3) 杭の軸直角方向バネ定数の算出

$$V_i = F_i V_{i-1} \text{ より } V_n = F_n F_{n-1} \cdots F_i \cdots F_1 V_0$$

$$\text{ここで } A = F_n F_{n-1} \cdots F_i \cdots F_1 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \text{ とすると}$$

$$V_n = \begin{bmatrix} u_n \\ \alpha_n \\ -M_n \\ -Q_n \end{bmatrix} = AV_0 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ \alpha_0 \\ -M_0 \\ -Q_0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式(1)より、杭先端を自由とした場合

$$V_n = \begin{bmatrix} u_n \\ \alpha_n \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = AV_0 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ \alpha_0 \\ -M_0 \\ -Q_0 \end{bmatrix} \quad (2)$$

これにより

$$\begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} a_{34} & a_{33} \\ a_{44} & a_{43} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -Q_0 \\ -M_0 \end{bmatrix} = 0 \quad \therefore \begin{bmatrix} u_0 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{HH} & f_{HM} \\ f_{OH} & f_{OM} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_0 \\ M_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} f_{HH} & f_{HM} \\ f_{OH} & f_{OM} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} a_{34} & a_{33} \\ a_{44} & a_{43} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{a_{31}a_{42} - a_{32}a_{41}} \begin{bmatrix} a_{42} & -a_{32} \\ -a_{41} & a_{31} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{34} & a_{33} \\ a_{44} & a_{43} \end{bmatrix} \\ &= \frac{1}{a_{31}a_{42} - a_{32}a_{41}} \begin{bmatrix} a_{34}a_{42} - a_{32}a_{44} & a_{33}a_{42} - a_{32}a_{43} \\ a_{31}a_{44} - a_{34}a_{41} & a_{31}a_{43} - a_{33}a_{41} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} Q_0 \\ M_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_1 & -K_2 \\ -K_3 & K_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ \alpha_0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(3)(4)より

$$\therefore \begin{bmatrix} K_1 & -K_2 \\ -K_3 & K_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{HH} & f_{HM} \\ f_{OH} & f_{OM} \end{bmatrix}^{-1} \quad (5)$$

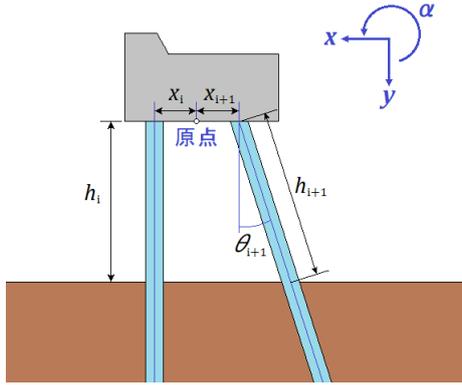
杭先端をヒンジとした場合

$$V_n = \begin{bmatrix} 0 \\ \alpha_n \\ 0 \\ -Q_n \end{bmatrix} = AV_0 = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_0 \\ \alpha_0 \\ -M_0 \\ -Q_0 \end{bmatrix} \quad (2)'$$

として式(3)～(5)を導出します。

参照：「杭基礎設計便覧 平成4年10月」P204

原点変位 (全体座標系)



$$\begin{aligned}
 A_{xx} &= \sum (K_{li} \cos^2 \theta_i + K_{Vi} \sin^2 \theta_i) \\
 A_{xy} &= A_{yx} = \sum (K_{Vi} - K_{li}) \sin \theta_i \cos \theta_i \\
 A_{xa} &= A_{ax} = \sum \{ (K_{Vi} - K_{li}) x_i \sin \theta_i \cos \theta_i - K_{2i} \cos \theta_i \} \\
 A_{yy} &= \sum (K_{Vi} \cos^2 \theta_i + K_{li} \sin^2 \theta_i) \\
 A_{ya} &= A_{ay} = \sum \{ (K_{Vi} \cos^2 \theta_i + K_{li} \sin^2 \theta_i) x_i + K_{2i} \sin \theta_i \} \\
 A_{aa} &= \sum \{ (K_{Vi} \cos^2 \theta_i + K_{li} \sin^2 \theta_i) x_i^2 + (K_{2i} + K_{3i}) x_i \sin \theta_i + K_{4i} \}
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} H_0 \\ V_0 \\ M_0 \end{bmatrix} \quad \therefore \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{xx} & A_{xy} & A_{xa} \\ A_{yx} & A_{yy} & A_{ya} \\ A_{ax} & A_{ay} & A_{aa} \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} H_0 \\ V_0 \\ M_0 \end{bmatrix}$$

ここに

- H_0 : 原点に作用する水平荷重 (kN)
- V_0 : 原点に作用する鉛直荷重 (kN)
- M_0 : 原点に作用するモーメント (kN・m)
- δ_x : 原点のx軸での変位量 (m)
- δ_y : 原点のy軸での変位量 (m)
- α : 原点の回転角 (rad)
- x_i : i番目の杭の原点を基準とした座標 (m)
- θ_i : i番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度 (rad)
- $K_{li}, K_{2i}, K_{3i}, K_{4i}$: i番目の杭の軸直角方向バネ定数
- K_{Vi} : i番目の杭の軸方向バネ定数

参照: 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年12月」 P548~549

各杭の変位 (杭軸座標系)

$$\begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \alpha_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i & 0 \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & x_i \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \alpha \end{bmatrix}$$

ここに

- δ_x : 原点のx軸での変位量 (m)
- δ_y : 原点のy軸での変位量 (m)
- α : 原点の回転角 (rad)
- θ_i : i番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度 (rad)
- x_i : i番目の杭の原点を基準とした座標 (m)
- u_i : i番目の杭の杭頭部の杭軸直角変位量 (m)
- v_i : i番目の杭の杭頭部の杭軸変位量 (m)
- α_i : i番目の杭の杭頭部の回転角 (rad)

参照: 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年12月」 P550

各杭に作用する断面力（杭軸座標系）

$$\begin{bmatrix} Q_i \\ N_i \\ M_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} K_{1i} & 0 & -K_{2i} \\ 0 & K_{Vi} & 0 \\ -K_{3i} & 0 & K_{4i} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_i \\ v_i \\ \alpha_i \end{bmatrix}$$

ここに

- N_i : i 番目の杭の軸力 (kN)
 Q_i : i 番目の杭のせん断力 (kN)
 M_i : i 番目の杭の曲げモーメント (kN・m)
 u_i : i 番目の杭の杭頭部の杭軸直角変位量 (m)
 v_i : i 番目の杭の杭頭部の杭軸変位量 (m)
 α_i : i 番目の杭の杭頭部の回転角 (rad)
 $K_{1i}, K_{2i}, K_{3i}, K_{4i}$: i 番目の杭の軸直角方向バネ定数
 K_{Vi} : i 番目の杭の軸方向バネ定数

参照：「道路橋示方書・同解説Ⅳ下部構造編 平成29年12月」 P550

フレーム計算(骨組構造解析)

突出部の剛性マトリックスは次のようになります。

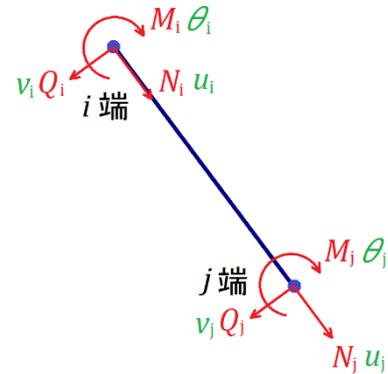
$$F = K\delta$$

XY平面

$$F = (N_i, Q_i, M_i, N_j, Q_j, M_j)^T$$

$$\delta = (u_i, v_i, \theta_i, u_j, v_j, \theta_j)^T$$

$$K = \begin{bmatrix} K_v & 0 & 0 & -K_v & 0 & 0 \\ 0 & \frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} & 0 & -\frac{12EI}{l^3} & \frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} \\ -K_v & 0 & 0 & K_v & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} & 0 & \frac{12EI}{l^3} & -\frac{6EI}{l^2} \\ 0 & \frac{6EI}{l^2} & \frac{2EI}{l} & 0 & -\frac{6EI}{l^2} & \frac{4EI}{l} \end{bmatrix}$$



ここに

F : 部材力

δ : 変位

K : 剛性マトリックス

N_i, N_j : 部材*i*端,*j*端に作用する軸力

Q_i, Q_j : 部材*i*端,*j*端に作用するせん断力

M_i, M_j : 部材*i*端,*j*端に作用する(*z*軸回りの)モーメント

u_i, u_j : 部材*i*端,*j*端の*x*方向の変位

v_i, v_j : 部材*i*端,*j*端の*y*方向の変位

θ_i, θ_j : 部材*i*端,*j*端の(*z*軸の)回転角

E : 部材のヤング係数

K_v : 部材の軸方向バネ定数

I : 部材の断面二次モーメント

l : 部材長

参考: 「土木学会, 構造力学公式集 昭和49年12月」 P73~P93

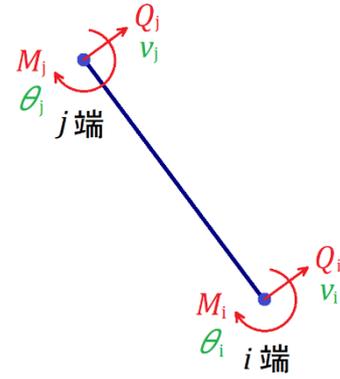
地中部の剛性マトリックスは次のようになります。

$$F'' = K'' \delta''$$

$$F'' = (N_i, Q_i, M_i, N_j, Q_j, M_j)^T$$

$$\delta'' = (u_i, v_i, \theta_i, u_j, v_j, \theta_j)^T$$

$$K'' = \begin{bmatrix} K_v & 0 & 0 & -K_v & 0 & 0 \\ 0 & A_{11} & A_{12} & 0 & A_{13} & A_{14} \\ 0 & A_{21} & A_{22} & 0 & A_{23} & A_{24} \\ -K_v & 0 & 0 & K_v & 0 & 0 \\ 0 & A_{31} & A_{32} & 0 & A_{33} & A_{34} \\ 0 & A_{41} & A_{42} & 0 & A_{43} & A_{44} \end{bmatrix}$$



$$A_{11} = A_{33} = \frac{4EI\beta^3 (\sin \beta l \cos \beta l + \sinh \beta l \cosh \beta l)}{\sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l}$$

$$A_{12} = A_{21} = \frac{2EI\beta^2 (\sinh^2 \beta l + \sin^2 \beta l)}{\sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l}$$

$$A_{13} = A_{31} = -\frac{4EI\beta^3 (\cosh \beta l \sin \beta l + \sinh \beta l \cos \beta l)}{\sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l}$$

$$A_{14} = A_{41} = \frac{4EI\beta^2 \sinh \beta l \sin \beta l}{\sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l}$$

$$A_{23} = A_{32} = -A_{14}$$

$$A_{22} = A_{44} = \frac{2EI\beta (\sinh \beta l \cosh \beta l - \sin \beta l \cos \beta l)}{\sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l}$$

$$A_{24} = A_{42} = \frac{2EI\beta (\cosh \beta l \sin \beta l - \sinh \beta l \cos \beta l)}{\sinh^2 \beta l - \sin^2 \beta l}$$

$$A_{34} = A_{43} = -A_{12}$$

ここに

$$\beta: \text{特性値} \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{K_H D}{4EI}}$$

K_H : 部材に作用する水平方向地盤反力係数

D : 杭径

EI : 曲げ剛性

l : 部材長

参照: 「杭基礎設計便覧 平成4年10月」 P196

剛性マトリックス中の杭の軸方向バネ定数 K_v (kN/m) は次式により算定します。

平成24年道路橋示方書

$$\begin{cases} K_v = \frac{AE}{l} & \text{突出部} \\ K_v = a \frac{AE}{l} & \text{地中部} \end{cases}$$

ここに

K_v : 杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

A : 杭の純断面積 (m^2)

E : 杭のヤング係数 (kN/m^2)

l : 杭長 (m)

a : 係数

係数 a は杭の打設工法から次式で算定されます。

打込鋼管(打撃工法) $a = 0.014(L/D) + 0.720$

打込鋼管(バイブロハンマ工法) $a = 0.017(L/D) - 0.014$

中堀鋼管 $a = 0.010(L/D) + 0.360$

ここに

L : 杭の埋め込み長

D : 杭径(最小径)

参照: 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成14年3月」 P373

平成29年道路橋示方書

$$\begin{cases} K_v = \frac{AE}{l} & \text{突出部} \\ K_v = a_0 \frac{AE}{l} & \text{地中部} \\ K_v = a_1 k_v A_p & \text{杭先端} \end{cases}$$

ここに

K_v : 杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

k_v : 杭先端の杭軸方向地盤反力定数 (kN/m³)

A : 杭の純断面積 (m²)

A_p : 杭の純断面積 (m²)

E : 杭のヤング係数 (kN/m²)

l : 杭長 (m)

a_0 : 係数

a_1 : 係数

杭先端の杭軸方向地盤反力定数 k_v は次式で算定されます。

$$k_v = \frac{1}{0.3} \alpha E_0 \left(\frac{D}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

ここに

E_0 : 土層の変形係数

D : 杭径 (m)

α は次のように設定します。

変形係数 E_0	$E_0=2800N$		E_0 =入力値	
検討条件	常時	地震時	常時	地震時
α	1	2	4	8

係数 a_0 は次式で算定されます。

$$a_0 = \frac{2}{1 + \gamma_y - \zeta_e}$$

係数 a_1 は次式で算定されます。

$$a_1 = \frac{1}{\gamma_y \zeta_d}$$

ここに

$$\gamma_y = \lambda_{yu} \gamma_u \quad (0 \leq \gamma_y \leq 1)$$

$$\gamma_u = R_{up} / R_u$$

- γ_y : 杭の降伏支持力に達した時の杭頭部に作用する軸方向押込力の杭先端への伝達率の推定値
 γ_u : 杭の極限支持力に達した時の杭頭部に作用する軸方向押込力の杭先端への伝達率の推定値
 R_{up} : 杭先端の極限支持力の特性値
 R_u : 杭の極限支持力の特性値
 λ_{yu} : 杭の先端伝達率算出のための補正係数
 ζ_e : 杭体収縮量に関する補正係数
 ζ_d : 杭の先端変位量に関する補正係数

以下、補正係数は次のようになります。

	λ_{yu}	ζ_e	ζ_d
中掘杭工法	0.66	0.07	0.42

杭の極限支持力の特性値及び杭先端の極限支持力の特性値は次式で計算する。

$$R_u = q_d \cdot A_p + U \left(\sum 2 \cdot N_i \cdot L_i + \sum 0.8 \cdot C_{ai} \cdot L_i \right)$$

$$R_{up} = q_d \cdot A_p$$

ここに

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力度

A_p : 杭の先端面積

U : 杭の周長

L_i : 層の厚さ

N_i : 砂質土層内の平均N値

C_{ai} : 粘性土層内の平均付着力

参照 : 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月」 P259～263

チャンの方法

地上部 : $EI \frac{d^4 y}{dx^4} = 0$ 、地中部 : $EI \frac{d^4 y}{dx^4} + Bk_h y = 0$

ここに

EI : 杭の曲げ剛性 (kN・m²)

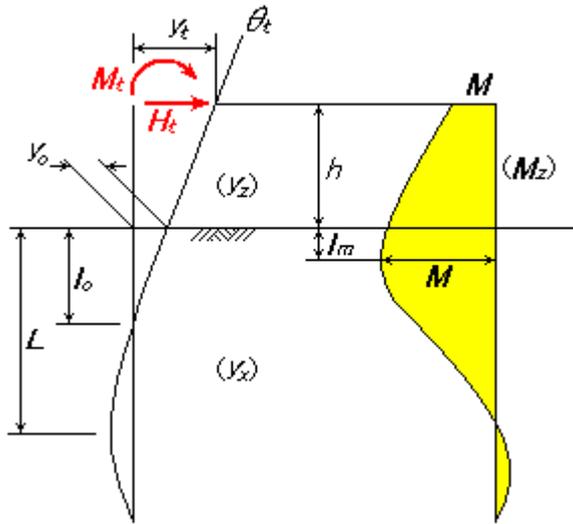
x : 地表面からの深さ (m)

y : 深さ x における杭の変位 (m)

B : 杭幅 (m)

k_h : 横方向地盤反力係数 (kN / m³)

Kh =一定の場合の半無限長の杭の計算



H_t : 杭頭の軸直角方向力 (kN)

M_t : 杭頭の外力モーメント (kN・m)

B : 杭径 (m)

EI : 杭の曲げ剛性 (kN / m²)

k_h : 杭の水平方向地盤反力係数 (kN / m³)

h : 杭の突出長 (m)

$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h B}{4EI}}$ (m⁻¹)

$h_0 = h + \frac{M_t}{H_t}$ (m)

たわみ曲線	$y_z = y_t - \theta_t z + \frac{M_t}{2EI} z^2 + \frac{H_t}{6EI} z^3$ $y_x = \frac{H_t}{2EI \beta^3} e^{-\beta x} \{ (1 + \beta h_0) \cos \beta x - \beta h_0 \sin \beta x \}$
杭頭変位	$y_t = \frac{(1 + \beta h)^3 + 1/2}{3EI \beta^3} H_t + \frac{(1 + \beta h)^2}{2EI \beta^2} M_t$
地表面変位	$y_0 = \frac{1 + \beta h_0}{2EI \beta^3} H_t$
杭各部の曲げモーメント	$M_z = -M_t - H_t z$ $M_x = -\frac{H_t}{\beta} e^{-\beta x} \{ \beta h_0 \cos \beta x + (1 + \beta h_0) \sin \beta x \}$
地中部最大曲げモーメント	$M_{\max} = -\frac{H_t}{2\beta} \sqrt{(1 + 2\beta h_0)^2 + 1} \exp(-\beta l_m)$
地中部最大曲げモーメントの生じる深さ	$l_m = \frac{1}{\beta} \tan^{-1} \frac{1}{1 + 2\beta h_0}$

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説(下巻)平成19年7月」 P704~709

参照 : 「道路橋示方書・同解説 I 共通編 IV 下部構造編 平成24年3月」 P630, 631

変位量

$$\delta = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3$$

$$\delta_1 = \frac{(1 + \beta h_0) H_0}{2EI\beta^3} \quad \delta_2 = \frac{(1 + 2\beta h_0) H_0 R_h}{2EI\beta^2} \quad \delta_3 = \frac{BR_h}{EI} Q$$

ここに

δ : 杭の変位量	(m)
δ_1 : 仮想地表面における杭の変位量	(m)
δ_2 : 仮想海底面のたわみ角による点より上の杭の回転角のために生じる杭天端の変位量	(m)
δ_3 : 地上部を片持ち梁とした際の頭部の変位量	(m)
β : 特性値	(m^{-1})
h_0 : 合力作用高さ	(m)
H_0 : 水平力	(kN)
R_h : 杭の変位量仮想海底面から天端までの高さ	(m)
EI : 杭の曲げ剛性	($kN \cdot m^2$)
Q : 変形係数	(kN / m)

変形係数Qは次のように表される。

$$Q = \sum \frac{H_i}{6} (3 - d_i) d_i^2 \quad , \quad d_i = \frac{h_i}{R_h}$$

H_i : 各集中荷重 (kN / m)

h_i : 仮想海底面より各集中荷重の作用高 (m)

参照 : 「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年版」 P538～P539)

港研方式 (C型地盤、S型地盤)

$$EI \frac{d^4 y}{dx^4} = -P = -pB$$

C型地盤

$$p = k_c xy^{0.5} \quad k_c = 540N^{0.648}$$

S型地盤

$$p = k_s xy^{0.5} \quad k_s = 592\bar{N}^{0.654}$$

ここに

EI : 杭の曲げ剛性 (kN・m²)

x : 地表面からの深さ (m)

y : 深さ x における杭の変位 (m)

P : 深さ x における杭の単位長さ当たりの地盤反力 (kN / m)

p : 深さ x における杭の単位面積当たりの地盤反力 (kN / m²)

B : 杭幅 (m)

E_s : 地盤の弾性係数 (kN / m²)

k_c : C型地盤の横抵抗係数 (kN / m^{2.5})

k_s : S型地盤の横抵抗係数 (kN / m^{3.5})

N : 平均 N 値

\bar{N} : N 値の増加率

港研方式ではある杭（原型杭＝ p 杭）の挙動を推定するのに一定の基準杭（ s 杭）について求めた基準曲線を換算係数を用いて換算するという方法をとります。計算手順は以下の通りになります。

a. 基準杭の諸元

載 荷 高 さ		$h=1\text{m}$
曲 げ 剛 性		$EI=10^4\text{kN}\cdot\text{m}^2$
横 抵 抗 定 数	S型地盤	$Bk_s=0.5\text{m}\times 2000\text{kN}/\text{m}^{3.5}=1000\text{kN}/\text{m}^{2.5}$
	C型地盤	$Bk_c=0.5\text{m}\times 2000\text{kN}/\text{m}^{2.5}=1000\text{kN}/\text{m}^{1.5}$

b. 換算係数の計算

$$R_x = R_h = \frac{(h_0)_p}{(h)_s} \quad R_{EI} = \frac{(EI)_p}{(EI)_s}$$

$$R_{BK} = \frac{(Bk_c)_p}{(Bk_c)_s} : C\text{型地盤} \quad R_{BK} = \frac{(Bk_s)_p}{(Bk_s)_s} : S\text{型地盤}$$

(C型地盤)

$$\begin{aligned} \log R_T &= \log R_s = 5(\log R_x) - (\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \\ \log R_M &= 6(\log R_x) - (\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \\ \log R_i &= 7(\log R_x) - 2(\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \\ \log R_y &= 8(\log R_x) - 2(\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \end{aligned}$$

(S型地盤)

$$\begin{aligned}\log R_T = \log R_s &= 7(\log R_x) - (\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \\ \log R_M &= 8(\log R_x) - (\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \\ \log R_i &= 9(\log R_x) - 2(\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK}) \\ \log R_y &= 10(\log R_x) - 2(\log R_{EI}) + 2(\log R_{BK})\end{aligned}$$

c. 基準杭の荷重の計算

$$\log T_s = \log T_p - \log R_T$$

d. 基準杭の諸量

上記の $\log T_s$ より基準曲線表を用いて各諸量を比例配分により求める。

e. 杭の諸量

$$\begin{aligned}\log M_{\max} &= \log(M_{\max})_s + \log R_M \\ \log l_{m1} &= \log(l_{m1})_s \\ \log y_0 &= \log(y_0)_s + \log R_y \\ \log i_0 &= \log(i_0)_s + \log R_i\end{aligned}$$

ここに

$$\begin{aligned}M_{\max} &: \text{杭の最大曲げモーメント} && (kN \cdot m) \\ l_{m1} &: \text{杭の曲げモーメント第一零点深さ} && (m) \\ y_0 &: \text{杭の仮想地表面変位} && (m) \\ i_0 &: \text{杭の仮想地表面のたわみ角} && (rad)\end{aligned}$$

変位置量

$$\begin{aligned}\delta &= \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 \\ \delta_1 = y_0 \quad \delta_2 &= \frac{QR_h^3}{EI} \quad \delta_3 = i_0 x R_h\end{aligned}$$

ここに

$$\begin{aligned}\delta &: \text{杭の変位置量} && (m) \\ \delta_1 &: \text{仮想地表面における杭の変位置量} && (m) \\ \delta_2 &: \text{地上部を片持ち梁とした際の頭部の変位置量} && (m) \\ \delta_3 &: \text{仮想海底面のたわみ角による点より上の杭の回転角のために生じる杭天端の変位置量} && (m) \\ y_0 &: \text{仮想海底面での杭の変位置量} && (m) \\ i_0 &: \text{仮想海底面での杭のたわみ角} && (rad) \\ R_h &: \text{杭の変位置量仮想海底面から天端までの高さ} && (m) \\ EI &: \text{杭の曲げ剛性} && (kN \cdot m^2) \\ Q &: \text{変形係数} && (kN / m)\end{aligned}$$

変形係数Qは次のように表される。

$$Q = \sum \frac{H_i}{6} (3 - d_i) d_i^2$$

$$d_i = \frac{h_i}{R_h}$$

ここに

H_i : 各集中荷重 (kN / m)

h_i : 仮想海底面より各集中荷重の作用高 (m)

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P711~P723, P1125

参照 : 「漁港・漁場の施設の設計参考図書2015版[上]」 P538~539

参照 : 「第41回地盤工学研究発表会, 杭軸直角方向地盤反力係数の推定方法に関する一提案」

K値の計算法

K値の計算方法として以下の7種類を用意しています。

- 1) K値直接入力
- 2) K=1500N
- 3) 横山の図
- 4) 道路橋N値→K値

$$K_H = \frac{\alpha}{0.3} \cdot E_0 \cdot \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}} \quad \text{--- ①}$$

$$B_H = \sqrt{\frac{D}{\beta}} \quad , \quad \bar{\beta} = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}} \quad \text{--- ②, ③}$$

ここに

D : 杭径 (m)

EI : 曲げ剛性 ($kN \cdot m^2$)

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数 $\alpha = 1$ (永続状態) $\alpha = 2$ (変動状態)

E_0 : 標準貫入試験のN値(入力値)より $E_0 = 2800N$ で推定した変形係数

B_H : 換算載荷幅 (m)

$\bar{\beta}$: 杭の1/ $\bar{\beta}$ における平均特性値 (m^{-1})

k_H : 1/ $\bar{\beta}$ までの深さの水平方向地盤反力係数の平均 (kN/m^3)

多層地盤での対象地盤における $\bar{\beta}$ は次のように算定しております。

① $1/\bar{\beta}$ を仮定する

② $1/\bar{\beta}$ までの $\overline{\alpha E_0}$ を算出(α は常時の値を用いる)

$$\overline{\alpha E_0} = \frac{\sum \alpha_i \cdot E_{oi} \cdot l_i}{1/\bar{\beta}}$$

③ 式②より換算載荷幅 B_H を算出

④ k_{H0} を算出

$$k_{H0} = \frac{1}{0.3} \overline{\alpha E_0}$$

⑤ k_H を算出

$$k_H = k_{H0} \left(\frac{B_H}{0.3} \right)^{-\frac{3}{4}}$$

⑥ 式③より $\bar{\beta}$ を算出

⑦ ①の $\bar{\beta}$ と比較して等しくなるまで①から計算を繰り返す

5) 道路橋 $E_0 \rightarrow K$ 値

算定式は4) 道路橋N値 $\rightarrow K$ 値の場合と同様、 α 、 E_0 の内容は以下の通り。

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数 $\alpha=4, 8$

E_0 : ボーリング孔内で測定した変形係数(入力値)

6) 粘性土 $qu \rightarrow N \rightarrow K$ 値

$$K_h = 1500N'$$

$$N' = qu \cdot X / 1000$$

$$qu = 2C$$

$$C = (C_{上} + C_{下}) / 2$$

$$C_{上} = C_0 + K(Z_0 - \text{層上限標高})$$

$$C_{下} = C_0 + K(Z_0 - \text{層下限標高})$$

N' : 換算N値

qu : 一軸圧縮強度(kN/m²)

X : 40~55

C : 平均粘着力(kN/m²)

C_0 : 粘着力(入力値)(kN/m²)

Z_0 : 粘着力基準高(標高m)

K : 粘着勾配(入力値)(kN/m²)

7) 相関式 $K_h = 3910 \cdot N^{0.733}$

斜角によるK値の補正

斜杭の傾き (度)	算定式
$-30^\circ < \theta \leq -20^\circ$	$K' = K \times (-0.051\theta + 0.71)$
$-20^\circ < \theta \leq -10^\circ$	$K' = K \times (-0.039\theta + 0.95)$
$-10^\circ < \theta \leq 0^\circ$	$K' = K \times (-0.034\theta + 1.00)$
$0^\circ < \theta \leq 10^\circ$	$K' = K \times (-0.026\theta + 1.00)$
$10^\circ \leq \theta < 20^\circ$	$K' = K \times (-0.024\theta + 0.98)$
$20^\circ \leq \theta < 20^\circ$	$K' = K \times (-0.017\theta + 0.84)$

参照 : 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成24年3月」 P284

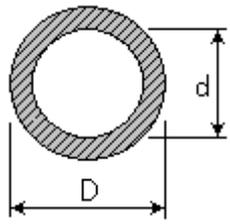
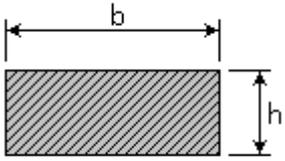
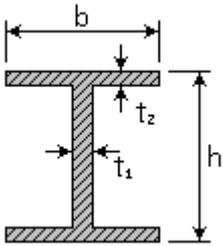
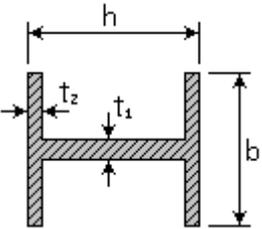
参照 : 「鋼矢板 設計から施工まで 2007.4. 改定新版」 P100

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」 P628, P629, P1112

参照 : 「第41回地盤工学研究発表会, 杭軸直角方向地盤反力係数の推定方法に関する一提案」

断面性能について(杭式基礎)

本システムでは骨組構造解析で用いる断面性能については次式を使用しています。

断面形状	断面積 A	断面二次 モーメント I
	$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$
 <p style="text-align: center;">$b > h$</p>	bh	$\frac{bh^3}{12}$
	$(h - 2t_2)t_1 + 2bt_2$	$2 \left\{ \frac{bt_2^3}{12} + bt_2 \left(\frac{h - t_2}{2} \right)^2 \right\} + \frac{t_1(h - 2t_2)^3}{12}$
	$(h - 2t_2)t_1 + 2bt_2$	$\frac{(h - 2t_2)t_1^3}{12} + \frac{t_2b^3}{6}$

断面性能について(矢板式基礎)

鋼矢板

腐食後の断面性能の計算方法として以下の2つの方法が選択できます。

- 腐食後の断面性能を「鋼矢板の腐食後の断面係数のグラフ」から直接引用し、その値に鋼矢板の高さを乗じて断面二次モーメントを求めます。
- 「鋼矢板の腐食後の断面係数のグラフ」から残存断面性能率を引用し、その値をそれぞれ腐食前の断面係数、断面二次モーメントに乗じて腐食後の断面諸値を求めます。

以下にaを指定した場合の詳細について記述します。

断面係数

システム内部に「鋼矢板の腐食後の断面係数のグラフ」を保持しており、

$\alpha = t_2/t_1$ から腐食後の断面係数を引用します。

断面二次モーメント

次式により算出します。

$$I = Z \times [h - (t_1 + t_2) \times 0.5]$$

ここに

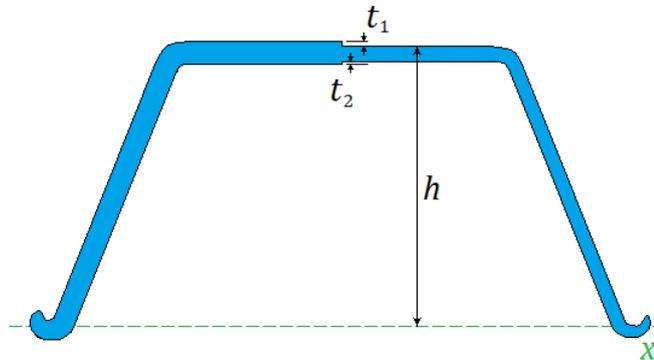
I : 腐食後の断面二次モーメント (cm^4/m)

Z : 腐食後の断面係数 (cm^3/m)

h : 鋼矢板の上縁までの高さ (cm)

t_1 : 鋼矢板の腐食しろ (cm)

t_2 : 鋼矢板の腐食しろ (cm)



鋼管矢板

継手有効間隔

直接入力の外、以下の5つのタイプについては継手有効間隔を自動的に算出します。

L-T型(二港湾型)L- 65 × 65 × 8

$$B = 76.0 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 80^2} - \frac{D}{2}$$

L-T型(二港湾型)L- 75 × 75 × 9

$$B = 85.5 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 90^2} - \frac{D}{2}$$

L-T型(二港湾型)L-100 × 75 × 10

$$B = 110 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 90^2} - \frac{D}{2}$$

P-T型(パイプT型)

$$B = 180.0$$

P-P型(パイプ型)

$$B = 247.8$$

ここに

B : 鋼管矢板の継手有効間隔 (mm)

D : 鋼管矢板の外形 (mm)

図心軸に関する断面二次モーメント

a. 腐食がない場合、あるいは腐食しろ

t_1, t_2 が同じ値の場合

$$I_{nx} = \frac{\pi}{64}(D^4 - d^4)$$

ここに

I_{nx} : 図心軸に関する断面二次モーメント

D : 外径

d : 内径

b. 腐食しろ t_1, t_2 が異なる場合

$$I_{nx} = I_x - Ay_0^2$$

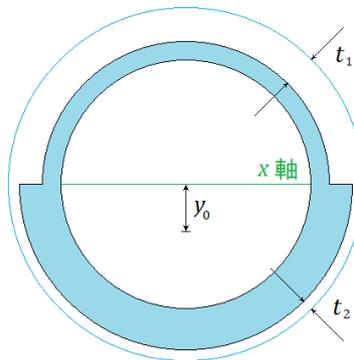
ここに

I_{nx} : 図心軸に関する断面二次モーメント

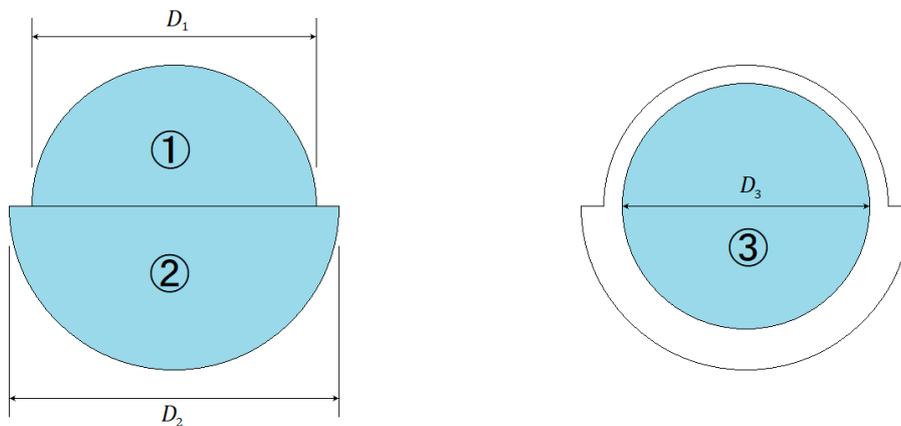
I_x : x 軸に関する断面二次モーメント

A : 断面積

y_0 : x 軸と図心軸との離れ



計算過程の詳細について、次のように断面を分割して計算を行います。



	断面積 A_i	x 軸からの距離 y_i	断面二次モーメント I_{xi}
①	$A_1 = \frac{\pi D_1^2}{8}$	$y_1 = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{D_1}{2}$	$I_{x1} = \frac{\pi D_1^4}{128}$
②	$A_2 = \frac{\pi D_2^2}{8}$	$y_2 = \frac{4}{3\pi} \cdot \frac{D_2}{2} \times (-1)$	$I_{x2} = \frac{\pi D_2^4}{128}$
③	$A_3 = \frac{\pi D_3^2}{4} \times (-1)$	$y_3 = 0$	$I_{x3} = \frac{\pi D_3^4}{64} \times (-1)$
合計	$A_0 = \sum A_i$	-----	$I_{x0} = \sum I_{xi}$

x 軸における図心軸の距離

$$y_0 = \frac{\sum A_i y_i}{A_0}$$

断面二次モーメント

$$I = I_{x0} - A_0 y_0^2$$

断面係数

断面係数は腐食後の断面二次モーメントを用いて、次式から計算します

腐食し t_1, t_2 が異なる場合、最小の断面係数を採用します。

$$Z_c = \frac{I_{nx}}{y_c}$$

$$Z_t = \frac{I_{nx}}{y_t}$$

$$Z = \min(Z_c, Z_t)$$

ここに

Z : 断面係数

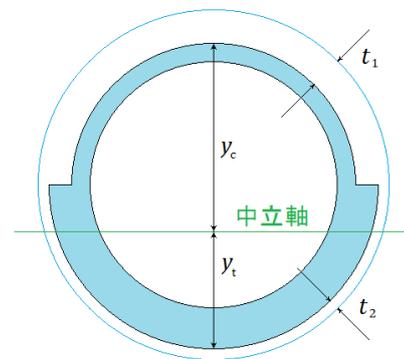
Z_c : 上縁～図心軸における断面係数

Z_t : 下縁～図心軸における断面係数

I_{nx} : 図心軸に関する断面二次モーメント

y_c : 上縁と図心軸との離れ

y_t : 下縁と図心軸との離れ



2-4. 照査(杭式基礎)

杭の応力について

杭の応力照査【安全率法】

鋼管杭の許容応力度

鋼種	SKK400	SKK490
軸方向引張応力度 σ_{ta}	140	185
軸方向圧縮応力度 σ_{ca}	$l/r \leq 18$ 140 $18 < l/r \leq 92$ $140 - 0.82 \left(\frac{l}{r} - 18 \right)$ $l/r > 92$ $\frac{1,200,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r \leq 16$ 185 $16 < l/r \leq 79$ $185 - 1.20 \left(\frac{l}{r} - 16 \right)$ $l/r > 79$ $\frac{1,200,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
曲げ引張応力度 σ_{bt}	140	185
曲げ圧縮応力度 σ_{ba}	140	185

鋼種	SM490Y	SM570
軸方向引張応力度 σ_{ta}	210	255
軸方向圧縮応力度 σ_{ca}	$l/r \leq 15$ 210 $15 < l/r \leq 75$ $210 - 1.50 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$ $l/r > 75$ $\frac{1,200,000}{4,400 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r \leq 13$ 255 $13 < l/r \leq 67$ $255 - 2.10 \left(\frac{l}{r} - 13 \right)$ $l/r > 67$ $\frac{1,200,000}{3,500 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
曲げ引張応力度 σ_{bt}	210	255
曲げ圧縮応力度 σ_{ba}	210	255

軸方向力及び曲げモーメントを同時に受ける部材の照査

▼軸方向力が引張の場合

$$\sigma_t + \sigma_{bt} \leq \sigma_{ta} \quad \text{かつ} \quad -\sigma_t + \sigma_{bc} \leq \sigma_{ba}$$

▼軸方向力が圧縮の場合

$$\sigma_c / \sigma_{ca} + \sigma_{bc} / \sigma_{ba} \leq 1.0$$

ここに

σ_t : 軸方向引張応力度 = N/A (N/mm^2)

σ_c : 軸方向圧縮応力度 = N/A (N/mm^2)

σ_{bt}, σ_{bc} : 最大引張応力度及び最大圧縮応力度 = M/Z (N/mm^2)

σ_{ta} : 許容引張応力度 (N/mm^2)

σ_{ba} : 許容曲げ圧縮応力度 (N/mm^2)

N: 軸方向力 (kN)

M: 曲げモーメント (kN・m)

A: 杭の断面積 (mm^2)

Z: 杭の断面係数 (mm³)
l: 杭の有効座屈長 (m)
r: 杭の断面二次半径 (m)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」P318

杭の応力照査【部分係数法(H19港湾基準)】

鋼材の降伏応力度

鋼種	SHK400M, SKK400	SHK490M, SKK490
軸方向引張応力度 σ_{ty}	235	315
軸方向圧縮応力度 σ_{cy}	$l/r \leq 18$ 235 $18 < l/r \leq 92$ $235 - 1.38 \left(\frac{l}{r} - 18 \right)$ $l/r > 92$ $\frac{2,010,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r \leq 16$ 315 $16 < l/r \leq 79$ $315 - 2.04 \left(\frac{l}{r} - 16 \right)$ $l/r > 79$ $\frac{2,040,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
曲げ圧縮応力度 σ_{ba}	235	315

軸力に対して
$$\sigma_{cd} = \frac{N_d}{A}$$

曲げに対して
$$\sigma_{bd} = \frac{M_d}{Z}$$

軸圧縮方向力に関する照査
$$\gamma_a \left(\frac{\sigma_{cd}}{\sigma_{cad}} + \frac{\sigma_{bd}}{\sigma_{bad}} \right) \leq 1.0$$

軸引張方向力に関する照査
$$\gamma_a (\sigma_{td} + \sigma_{btd}) \leq \sigma_{tyd}$$

 かつ
$$\gamma_a (-\sigma_{td} + \sigma_{bcd}) \leq \sigma_{byd}$$

$$\sigma_{cad} = \gamma_{\sigma_y} \sigma_{ca} \quad \sigma_{bad} = \gamma_{\sigma_y} \sigma_{ba} \quad \sigma_{tad} = \gamma_{\sigma_y} \sigma_{ta}$$

ここに

- σ_c : 杭の軸方向力による圧縮応力度 (N/mm²)
- σ_t : 杭の軸方向力による引張応力度 (N/mm²)
- σ_{bc}, σ_{bt} : 杭の曲げモーメントによる応力度 (N/mm²)
- N_d : 杭の軸方向力の設計用値 (N)
- M_d : 杭の曲げモーメントの設計用値 (N・mm)
- A: 杭の断面積 (mm²)
- Z: 杭の断面係数 (mm³)
- l: 杭の有効座屈長 (m)
- r: 杭の断面二次半径 (m)
- γ_{σ_y} : 鋼材の降伏応力度の部分係数
- γ_a : 構造解析係数

本システムでは $\sigma_{tyd} = \sigma_{byd}$ $\sigma_{btd} = \sigma_{bcd}$ $\sigma_{td} + \sigma_{btd} < -\sigma_{td} + \sigma_{bcd}$ より

軸引張方向力に関する照査は $\gamma_a (-\sigma_{td} + \sigma_{bcd}) / \sigma_{byd}$ として行っています。

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」 P1120

杭の応力照査【部分係数法(H30港湾基準)】

$$m \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \quad , \quad S_d = \gamma_S S_k \quad , \quad R_d = \gamma_R R_k \quad , \quad \sigma_c = \frac{N}{A} \quad , \quad \sigma_b = \frac{M}{Z}$$

軸方向力が圧縮の場合	軸方向力が引張の場合
$S_k = \frac{\sigma_{ck}}{red} + \sigma_{bck} \quad , \quad R_k = \sigma_{byk}$	$S_k = \sigma_{tk} + \sigma_{btk} \quad , \quad R_k = \sigma_{tyk}$ $S_k = -\sigma_{tk} + \sigma_{btk} \quad , \quad R_k = \sigma_{tyk}$

ここに

red: 軸方向圧縮降伏応力度を降伏応力度で除した値として定義される係数

σ_t, σ_c : 軸方向引張力による引張応力度及び軸方向圧縮力による圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{bt}, σ_{bc} : 杭の曲げモーメントによる最大引張応力度及び最大圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{ty}, σ_{cy} : 軸方向引張降伏応力度及び軸方向圧縮降伏応力度 (N/mm²)

σ_{by} : 曲げ圧縮降伏応力度 (N/mm²)

R_k : 抵抗項に関する特性値 (N/mm²)

S_k : 荷重項に関する特性値 (N/mm²)

γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数

γ_S : 荷重項に乗じる部分係数

m: 調整係数

A: 断面積 (mm²)

Z: 断面係数 (mm³)

l: 有効座屈長 (m)

r: 断面二次半径 (m)

鋼種 応力	SKK400 SHK400M	SKK490 SHK490M	SM490Y	SM570
曲げ方向 降伏応力度	235	315	355	450
軸方向引張 降伏応力度	235	315	355	450
軸方向圧縮 降伏応力度	$l/r \leq 19$ 235 $19 < l/r \leq 93$ $235 - 1.40 \left(\frac{l}{r} - 19 \right)$ $l/r > 93$ $\frac{2,000,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r \leq 16$ 315 $16 < l/r \leq 80$ $315 - 2.10 \left(\frac{l}{r} - 16 \right)$ $l/r > 80$ $\frac{2,000,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r \leq 15$ 355 $15 < l/r \leq 76$ $355 - 2.60 \left(\frac{l}{r} - 15 \right)$ $l/r > 76$ $\frac{2,000,000}{4,400 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r \leq 13$ 450 $13 < l/r \leq 67$ $450 - 3.70 \left(\frac{l}{r} - 13 \right)$ $l/r > 67$ $\frac{2,000,000}{3,500 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月」P1210~1212

根入れ長の検討

本システムでは計算方法で「[変位法](#)」「[フレーム計算](#)」「[チャンの方法](#)」を選択した場合、次の根入れ長の検討方法を選択できます。

地盤が一様とみなせる場合

$$L \geq 3.0/\beta, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_H D}{4EI}}, \quad k_H = \frac{\sum k_{hi} l_i}{l_i}$$

ここに

β : $1/\beta$ の平均特性値 (m^{-1})

L : 根入れ長 (m)

k_H : $1/\beta$ の平均横方向地盤反力係数 (kN/m^3)

l_i : 第 i 層地盤の層厚 (m)

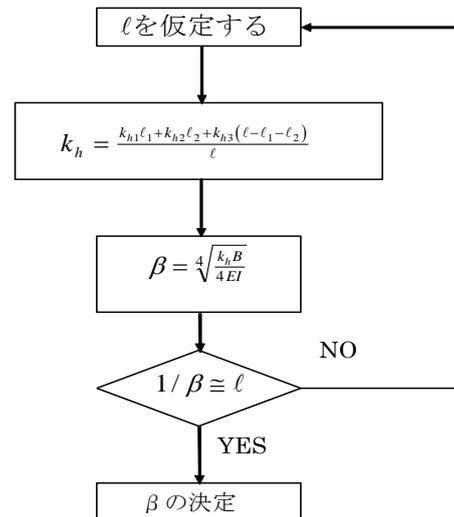
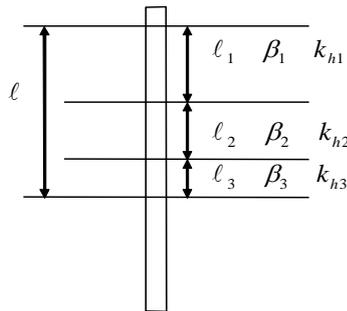
k_{hi} : 第 i 層地盤の横方向地盤反力係数 (kN/m^3)

D : 杭径 (m)

E : 杭の弾性係数 (kN/m^2)

I : 杭の断面二次モーメント (m^4)

多層地盤の場合は地表面から $1/\beta$ 区間の横方向地盤反力係数の平均値を用いて計算する。



地盤の性質が著しく変化する場合

$$\beta_1 l_1 + \beta_2 l_2 + \dots + \beta_n l_n \geq 3.0, \quad \beta = \sqrt[4]{\frac{k_n D}{4EI_i}}$$

ここに

β_n : 第 n 層地盤の特性値 (m^{-1})

l_n : 第 n 層地盤の層厚 (m)

k_n : 第 n 層地盤の横方向地盤反力係数 (kN/m^3)

D : 杭径 (m)

E : 杭の弾性係数 (kN/m^2)

I_n : 第 n 層地盤の杭の断面二次モーメント (m^4)

計算方法で「[C型地盤](#)」「[S型地盤](#)」を選択した場合、港研方式で計算した l_{m1} (杭の曲げモーメント第一零点深さ) の 1.5 倍以上とします。

参照 : 「漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年度版[上]」 P268

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月」 P705

支持力について

安定検討【安全率法】

押込み($N + W \geq 0.0$)

$$R_a \geq N + W \cdots \text{OK}$$

$$R_a = R_u / F$$

引抜($N + W < 0.0$)

$$R_a \geq N \cdots \text{OK}$$

$$R_a = R_u / F + W$$

ここに

N : 杭の軸方向力(kN)

W : 杭自重(kN)

F : 安全率

R_a : 杭の許容支持力(kN)

R_u : 杭の極限抵抗力(kN)

安定検討【部分係数法 (H19港湾基準)】

押込み($N_d + W \geq 0.0$)

$$\gamma_a R_u \geq N_d + W \cdots \text{OK}$$

$$R_u = R_p + R_f$$

引抜($N_d + W < 0.0$)

$$\gamma_a R_u + W \geq N_d \cdots \text{OK}$$

$$R_u = R_f$$

ここに

N_d : 杭の軸方向力(kN)

W : 杭自重(kN)

γ_a : 構造解析係数

R_u : 杭の極限支持力(kN)

R_p : 杭の先端抵抗力(kN)

R_f : 杭の周面抵抗力(kN)

安定検討【部分係数法 (H30港湾基準)】

$$m \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0 \cdots \text{OK}$$

$$S_d = \gamma_S S_k$$

$$R_d = \gamma_R S_k$$

押込み力の場合

$$S_k = V + W, \quad R_k = R_{pk} + R_{fk}$$

引抜力の場合

$$S_k = V + W, \quad R_k = R_{fk}$$

ここに

R_k : 抵抗項に関する特性値(kN)

S_k : 荷重項に関する特性値(kN)

R_{pk} : 先端抵抗力の特性値(kN)

R_{fk} : 周面抵抗力の特性値(kN)

V : 軸方向力(kN)

W : 杭自重(kN)

γ_R : 抵抗項に乗じる部分係数

γ_S : 荷重項に乗じる部分係数

m : 調整係数

杭重量 W は浮力の有無を選択できます。

$W = A\gamma L$ 浮力を考慮しない場合

$W = A\gamma L - A\gamma_w L_w$ 浮力を考慮する場合

ここに

A : 杭断面積(m^2)

γ : 杭の単位体積重量(kN/m^2)

L : 埋込長を含めない杭長(m)

γ_w : 海水の単位体積重量(kN/m^2)

L_w : 杭の浮力を受ける部分の長さ(m)

本システムでは支持力の検討の打設工法を以下から選択します。

打込工法【安全率法】

1) 軸方向押込み力

[支持層：砂質土地盤]

支持杭

$$R_u = 300\alpha N A_p + \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s$$

摩擦杭

$$R_u = \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s$$

$$R_a = \frac{R_u}{F}$$

ここに

R_u : 杭の極限抵抗力 (kN)

R_a : 杭の許容支持力 (kN)

α : 杭の閉塞率

N : 杭先端地盤のN値 $N = \frac{N_1 + N_2}{2}$

N_1 : 杭先端地盤でのN値

N_2 : 杭先端より上方へ杭径の4倍の範囲内の平均N値

A_p : 杭の先端面積 (m^2)

A_s : 杭の周表面積 $A_s = U L_i (m^2)$

U : 杭の周長 (m)

L_i : 層の厚さ (m)

N_i : 砂質土層内の平均N値

C_{ai} : 粘性土層内の平均付着力

F : 安全率

[支持層：粘性土地盤]

支持杭

$$R_u = 8\alpha C_p A_p + \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s$$

摩擦杭

$$R_u = \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s$$

$$R_a = \frac{R_u}{F}$$

ここに

C_p : 杭先端位置での粘着力

2) 軸方向引き抜き力

$$R_u = \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s$$

$$R_a = \frac{R_u}{F} + w$$

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」P436～P443

打込工法【部分係数法 (H19港湾基準)】

1) 杭の先端抵抗力

[支持層：砂質土地盤] $R_{pk} = 300N\alpha A_p$

[支持層：粘性土地盤] $R_{pk} = 6C_p\alpha A_p$

ただし摩擦杭の場合は $R_{pk} = 0$

ここに

R_{pk} : 杭の先端抵抗力の特性値 (kN)

α : 杭の閉塞率

A_p : 杭先端の有効面積 (m²)

N : 杭先端地盤のN値 $N = \frac{N_1 + N_2}{2}$

N_1 : 杭先端地盤でのN値

N_2 : 杭先端より上方へ杭径の4倍の範囲内の平均N値

C_p : 杭先端位置での粘着力

2) 杭の周面抵抗力

$R_{fk} = \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s = (\Sigma 2N_i L_i + \Sigma C_{ai} L_i) U$

ここに

R_{fk} : 杭周面抵抗力の特性値 (kN)

A_s : 杭の周面積 (m²)

L_i : 層の厚さ (m)

U : 杭の周長 (m)

N_i : 層の平均N値

C_{ai} : 層の平均付着力 $C_{ai} \leq 100$ (kN/m²)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P691～P698、1214

打込工法【部分係数法 (H30港湾基準)】

1) 杭の先端抵抗力

[支持層：砂質土地盤]

$$R_{Pk} = 300N\alpha A_p$$

[支持層：粘性土地盤]

$$R_{Pk} = 6C_p\alpha A_p$$

ここに

R_{Pk} : 杭の先端抵抗力 (kN)

α : 杭の閉塞率

A_p : 杭先端の有効面積 (m²)

N : 杭先端地盤のN値 $N = \frac{N_1 + N_2}{2}$

N_1 : 杭先端地盤でのN値

N_2 : 杭先端より上方へ杭径の4倍の範囲内の平均N値

A_p : 杭の先端面積 (m²)

C_p : 杭先端位置での粘着力 (kN/m²)

2) 杭の周面抵抗力

$$R_{fk} = \Sigma 2N_i A_s + \Sigma C_{ai} A_s = (\Sigma 2N_i L_i + \Sigma C_{ai} L_i) U$$

ここに

R_{fk} : 杭周面抵抗力の特性値 (kN)

A_s : 杭の周面積 (m²)

L_i : 層の厚さ (m)

U : 杭の周長 (m)

N_i : 層の平均N値

C_{ai} : 層の平均付着力 $C_{ai} \leq 100$ (kN/m²)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月」P691～P698

中掘工法(H24道路橋示方書)【安全率法】

1) 軸方向押込み力

支持杭

$$R_u = q_d A_p + (\Sigma 2N_i L_i + \Sigma 0.8C_{ai} L_i) U$$

摩擦杭

$$R_u = (\Sigma 2N_i L_i + \Sigma 0.8C_{ai} L_i) U$$

$$R_a = \frac{R_u}{F}$$

ここに

R_u : 杭の極限支持力(kN)

R_a : 杭の許容支持力(kN)

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力(kN/m²)

A_p : 杭の先端面積(m²)

U : 杭の周長(m)

L_i : 層の厚さ(m)

N_i : 砂質土層内の平均値

C_{ai} : 粘性土層内の平均付着力($0.8C_{ai} \leq 100.0$)(kN/m²)

F : 安全率

2) 軸方向引抜き力

$$R_u = (\Sigma 2N_i L_i + \Sigma 0.8C_{ai} L_i) U$$

$$R_a = W + \frac{R_u}{F}$$

ここに

W : 杭重量

中掘工法(H24道路橋示方書)【部分係数法(H19港湾基準)】

1) 杭の先端抵抗力

支持杭

$$R_{pk} = q_d A_p$$

摩擦杭

$$R_{pk} = 0$$

ここに

R_{pk} : 杭の先端抵抗力の特性値(kN)

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力度(kN/m²)

A_p : 杭の先端面積(m²)

2) 杭の周面抵抗力

$$R_{fk} = (\sum 2N_i L_i + \sum 0.8C_{ai} L_i) U$$

ここに

R_{fk} : 杭の周面抵抗力の特性値(kN)

N_i : 砂質土層内の平均N値

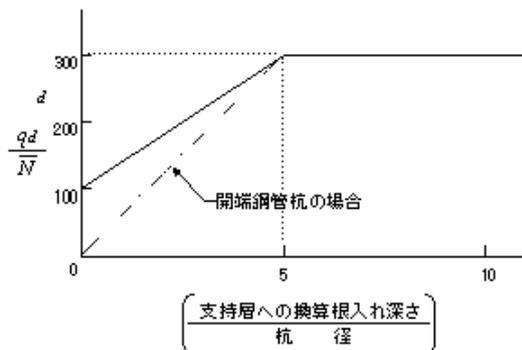
C_{ai} : 粘性土層内の平均粘着力(kN/m²) (kN/m²)

L_i : 層の厚さ(m)

U : 杭の周長(m)

q_d は次式により算定

最終打撃工法



$$q_d = \frac{300}{5} \cdot \bar{N} \cdot \left(\frac{\text{支持層への換算根入れ深さ}}{\text{杭径}} \right)$$

セメントミルク噴出攪拌方式 (砂層)

$$q_d = 150N$$

セメントミルク噴出攪拌方式 (砂礫層)

$$q_d = 200N$$

コンクリート打設方式 (砂礫層及び砂層)

$$q_d = 3000$$

コンクリート打設方式 (良質な砂礫層)

$$q_d = 5000$$

コンクリート打設方式 (硬質粘性土層)

$$q_d = 3q_u$$

q_u : 一軸圧縮応力度(kN/m²)

参照 : 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成24年 3月」 P383~P395

中掘工法(H29道路橋示方書)【安全率法】

1) 軸方向押込み力

支持杭

$$R_u = q_d A_p + U(\sum 2N_i L_i + \sum 0.8C_{ai} L_i)$$

摩擦杭

$$R_u = U(\sum 2N_i L_i + \sum 0.8C_{ai} L_i)$$

$$R_a = \frac{R_u}{F}$$

ここに

R_u : 杭の極限支持力(kN)

R_a : 杭の許容支持力(kN)

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力(kN/m²)

A_p : 杭の先端面積(m²)

U : 杭の周長(m)

L_i : 層の厚さ(m)

N_i : 砂質土層内の平均N値

C_{ai} : 粘性土層内の平均付着力($0.8C_{ai} \leq 70$)(kN/m²)

F : 安全率

q_d は次式により算定

最終打撃方式(先端粘性土層)

$$q_d = 90N (\leq 4500)$$

最終打撃方式(先端砂層及び砂礫層)

$$q_d = 130N (\leq 6500)$$

セメントミルク噴出攪拌方式(先端砂層)

$$q_d = 220N (\leq 11000)$$

セメントミルク噴出攪拌方式(先端砂層)

$$q_d = 250N (\leq 12500)$$

ここに

N : 杭先端地盤平均N値

2) 軸方向引き抜き力

$$R_u = U(\sum 2N_i L_i + \sum 0.8C_{ai} L_i)$$

$$R_a = W + \frac{R_u}{F}$$

ここに

W : 杭重量(kN)

参照: 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月」P239

中掘工法(H29道路橋示方書)【部分係数法(H30港湾基準)】

1) 杭の先端抵抗力

$$R_p = q_d A_p$$

ここに

R_p : 杭先端抵抗力(kN)

A_p : 杭の先端面積(m^2)

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力(kN/m^2)

q_d は次式により算定

最終打撃方式(先端粘性土層)

$$q_d = 90N (\leq 4500)$$

最終打撃方式(先端砂層及び砂礫層)

$$q_d = 130N (\leq 6500)$$

セメントミルク噴出攪拌方式(先端砂層)

$$q_d = 220N (\leq 11000)$$

セメントミルク噴出攪拌方式(先端砂層)

$$q_d = 250N (\leq 12500)$$

ここに

N : 杭先端地盤平均N値

2) 軸方向引き抜き力

$$R_f = U(\sum 2N_i L_i + \sum 0.8C_{ai} L_i)$$

ここに

U : 杭の周長(m)

A : 杭断面積(m^2)

L_i : 層の厚さ(m)

N_i : 砂質土層内の平均N値

C_{ai} : 粘性土層内の平均付着力($0.8C_{ai} \leq 100.0$)(kN/m^2)

参照: 「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月」 P239

ジャイロプレス(回転切削圧入)工法【安全率法】

1) 軸方向押し込み力

支持杭

$$R_u = q_d A_p + U(\sum 2N_{si}L_i + \sum 8N_{ci}L_i)$$

$$q_d = 60N(N \leq 40)$$

摩擦杭

$$R_u = U(\sum 2N_{si}L_i + \sum 8N_{ci}L_i)$$

$$R_a = \frac{R_u}{F}$$

2) 軸方向引抜き力

$$R_u = U(\sum 2N_{si}L_i + \sum 8N_{ci}L_i)$$

$$R_a = \frac{R_u}{F} + W$$

ここに

R_u : 地盤から決まる杭の極限支持力(kN)

q_d : 杭先端における単位面積当たりの極限支持力度(kN/m²)

N : 杭先端地盤の設計N値

A_p : 杭先端面積(m²)

U : 杭の周長(m)

N_{si} : 砂質土層内の平均N値($2N_s \leq 100$)

N_{ci} : 粘性土層内の平均N値($N_c > 2$ かつ $8N_c \leq 100$)

L_i : 層の厚さ(m)

W : 杭の自重(kN)

F : 安全率

ジャイロプレス(回転切削圧入)工法【部分係数法(H19港湾基準)】

1) 杭の先端抵抗力

支持杭

$$R_{pk} = q_d A_p$$

$$q_d = 60N(N \leq 40)$$

摩擦杭

$$R_{pk} = 0$$

ここに

R_{pk} : 杭の先端抵抗力の特性値(kN)

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力度(kN/m²)

A_p : 杭の先端面積(m²)

N : 杭先端地盤の設計N値

2) 杭の周面抵抗力

$$R_{fk} = U(\sum 2N_{si}L_i + \sum 8N_{ci}L_i)$$

ここに

R_{fk} : 杭の周面抵抗力の特性値(kN)

N_{si} : 砂質土層内の平均N値($2N_s \leq 100$)

N_{ci} : 粘性土層内の平均N値($N_c > 2$ かつ $8N_c \leq 100$)

L_i : 層の厚さ(m)

U : 杭の周長(m)

参照 : 「ジャイロプレス(回転切削圧入)工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針(2014年3月) 参考-23~29

埋込杭【安全率法のみ】

1) 軸方向押込み力

支持杭

$$R_a = \frac{1}{F} [200\eta\bar{N}A_p + (\Sigma 2N_s L_s + \Sigma 10N_c L_c)\psi] - w$$

摩擦杭

$$R_a = \frac{1}{F} (\Sigma 2N_s L_s + \Sigma 10N_c L_c)\psi - w$$

ここに

R_a : 長期許容支持力(上部構造から荷重と杭の自重の和に対して適用)

η : 開端杭の平塞効力(閉端杭では $\eta=1$)

\bar{N} : 先端抵抗N値(杭先端より下へ1d~上へ4dの間の実測N値の平均)

A_p : 杭先端の全断面積

N_s : 杭周地盤中、砂質部分の実測N値の平均

N_c : 杭周地盤中、粘土部分の実測N値の平均($N_c \leq 4$)

ただし、実測値のうちN=0は0.5とみなす

L_s : 杭周地盤中、砂質部分の杭長

L_c : 杭周地盤中、粘土部分の杭長

ψ : 杭の周長

w : 杭の自重

F : 安全率

2) 軸方向引抜き力

$$R_a = \frac{1}{F} (\Sigma 2N_s L_s + \Sigma 10N_c L_c)\psi + w$$

ここに

R_a : 長期許容支持力(上部構造から荷重と杭の自重の和に対して適用)

N_s : 杭周地盤中、砂質部分の実測N値の平均

N_c : 杭周地盤中、粘土部分の実測N値の平均($N_c \leq 4$)

ただし、実測値のうちN=0は0.5とみなす

L_s : 杭周地盤中、砂質部分の杭長

L_c : 杭周地盤中、粘土部分の杭長

ψ : 杭の周長

w : 杭の自重

F : 安全率

参照: 「漁港構造物の設計ガイド 平成6年度版」 P66

※マニュアル記載の式は旧単位をSI単位に換算しています。

負の周面摩擦について

安定検討【安全率法】

$$R_a \leq \frac{1}{1.2} R_p - R_{nf,max}$$

$$R_a \leq \sigma_f A_e - R_{nf,max}$$

両式を満たす…OK

ここに

R_a : 軸方向許容支持力(常時)(kN)

R_p : 杭の先端支持力(極限值)(kN)

$R_{nf,max}$: 負の周面摩擦の最大値(kN)

σ_f : 杭の降伏点圧縮応力度または長期許容圧縮応力度の1.5倍(kN/m^2)

A_e : 杭の有効断面積(腐食後)

$$\text{鋼管杭 } A_e = \pi/4(B^2 - D^2)(m^2)$$

B : 杭径(m)

D : 杭径(内径)(m)

$$\text{H形鋼杭 } A_e = 2BT_f + (H - 2T_f)T_w(m^2)$$

B : H形鋼杭の幅(m)

H : H形鋼杭の高さ(m)

T_f : H形鋼杭のフランジ幅(m)

T_w : H形鋼杭のウェブ幅(m)

安定検討【部分係数法(H19港湾基準)】

$$R_{ad} \leq \gamma_{Rp} R_{pk} - R_{nf,max}$$

$$R_{ad} \leq \gamma_{\sigma f} \sigma_f A_e - R_{nf,max}$$

両式を満たす…OK

ここに

R_{ad} : 軸方向許容支持力(永続状態)(kN)

γ_{Rp} : 杭の先端抵抗力に関する部分係数(0.8)

R_{pk} : 杭の先端抵抗力(極限值)(kN)

$R_{nf,max}$: 負の周面摩擦の最大値(kN)

$\gamma_{\sigma f}$: 杭の圧縮降伏応力度に対する部分係数(1.0)

σ_f : 杭の圧縮応力度の特性値

A_e : 杭の有効断面積(腐食後)※安全率法と同じ

負の周面摩擦の最大値、杭の先端抵抗力の算定方法は打設工法によって異なります。

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」P446～P447

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説k 平成19年7月」P599～P602

安定検討【部分係数法 (H30港湾基準)】

$$m_1 \frac{S_{d1}}{R_{d1}} = m_1 \frac{\gamma_{S1} \cdot S_{k1}}{\gamma_{R1} \cdot R_{k1}} \leq m_1 \frac{m_0 (R_{pk} + R_{fk}) + R_{nf, \max}}{R_p} \leq 1.0$$

$$m_2 \frac{S_{d2}}{R_{d2}} = m_2 \frac{\gamma_{S2} \cdot S_{k2}}{\gamma_{R2} \cdot R_{k2}} \leq m_2 \frac{\{m_0 (R_{pk} + R_{fk}) + R_{nf, \max}\} / A_e}{\sigma_f} \leq 1.0$$

両式を満たす…OK

ここに

R_{pk} : 杭の先端支持力 (kN)

R_{fk} : 杭の周面支持力 (kN)

R_p : 杭の先端支持力(極限值) (kN)

$R_{nf, \max}$: 負の周面摩擦の最大値 (kN)

σ_f : 杭の圧縮降伏応力度の特性値 (kN / m²)

A_e : 杭の有効断面積 (m²)

m_0 : 支持力(波圧作用時-押込)の調整係数の逆数

m_1 : 極限支持力照査での調整係数

m_2 : 降伏応力度照査での調整係数

γ_{S1}, γ_{S2} : 荷重項にかかる係数 (=1.00)

γ_{R1}, γ_{R2} : 抵抗項にかかる係数 (=1.00)

S_{k1}, S_{k2} : 荷重項の特性値

R_{k1}, R_{k2} : 抵抗項の特性値

負の周面摩擦の最大値、杭の先端抵抗力の算定方法は打込鋼管から選択できます。

参照 : 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月」 P727~P730

打込工法

《負の周面摩擦の最大値》

$$R_{nf,max} = (\Sigma 2N_{si}L_i - \Sigma 0.5q_{ui}L_i)U$$

ここに

$R_{nf,max}$: 負の周面摩擦の最大値 (kN)

N_{si} : 層内での平均N値 (砂質土)

q_{ui} : 層内での平均一軸圧縮強度 (粘性土) (kN/m²)

L_i : 層の厚さ (m)

U : 杭の周長 (m)

鋼管杭 $U = \pi B$

B : 杭径 (m)

H形鋼杭 $U = 2(H + B)$

H : H形鋼杭 (m)

B : H形鋼杭の幅 (m)

《杭の先端支持力》

[支持層：砂質土地盤]

$$R_p = 300N\alpha A_p + 2N_sLU$$

[支持層：粘性土地盤]

$$R_p = 8C_p\alpha A_p + C_aLU \cdot \cdot \cdot \text{安全率法}$$

$$R_p = 6C_p\alpha A_p + C_aLU \cdot \cdot \cdot \text{部分係数法}$$

ここに

R_p : 杭の先端支持力 (kN)

N : 杭の先端地盤のN値

α : 杭の閉塞率

A_p : 杭の先端面積 (m²)

N_s : L区間での平均N値 (m)

C_a : L区間での平均付着力 (kN/m²) $C_a \leq 100(kN/m^2)$

L : 杭が支持地盤中に貫入している長さ (m)

U : 杭の周長 (m)

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」 P440, P446～P447

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」 P589, P599～P602

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月」 P695～700, 728

中掘工法

《負の周面摩擦の最大値》

$$R_{nf,max} = (\Sigma 2N_{si}L_i - \Sigma 0.8C_{ai}L_i)U$$

ここに

$R_{nf,max}$: 負の周面摩擦の最大値(kN)

N_{si} : 層内での平均N値(砂質土)

C_{ai} : 層内での平均付着力(粘性土)(kN/m²)

L_i : 層の厚さ(m)

U : 杭の周長(m)

《杭の先端支持力》

[支持層：砂質土地盤]

$$R_p = q_d A_p + 2N_s L U$$

[支持層：粘性土地盤]

$$R_p = q_d A_p + 0.8C_a L U$$

ここに

R_p : 杭の先端支持力(kN)

q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力(kN/m²)

※推定式によって異なります。参照→[支持力の中掘工法](#)

A_p : 杭の先端面積(m²)

N_s : L区間での平均N値(m)

C_s : L区間での平均付着力(kN/m²)

($0.8C_s \leq 100.0$)・・・H24道路橋示方書

($0.8C_s \leq 70.0$)・・・H29道路橋示方書

L : 層の厚さ(m)

U : 杭の周長(m)

参照：「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成 8年12月」 P330～P338

参照：「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成14年 3月」 P355～P362

参照：「道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成24年3月」 P383～P396

埋込杭

《負の周面摩擦の最大値》

$$R_{nf,max} = (\Sigma 2N_{si}L_i - \Sigma 10N_{ci}L_i)U$$

ここに

- $R_{nf,max}$: 負の周面摩擦の最大値 (kN)
 N_{si} : 杭周地盤中の砂質部分の実測N値の平均
 N_{ci} : 層内での平均一軸圧縮強度 (粘性土) (kN/m²)
 L_i : 層の厚さ (m)
 U : 杭の周長 (m)

《杭の先端支持力》

[支持層：砂質地盤]

$$R_p = 200N\eta A_p + 2N_sLU$$

[支持層：粘性土地盤]

$$R_p = 200N\eta A_p + 10N_cLU$$

ここに

- R_p : 杭の先端支持力 (kN)
 N : 先端抵抗N値 (杭先端より下へ1.0d～上へ4.0dの間の実測N値の平均)
 η : 開端杭の閉塞効力 (閉端杭では $\eta = 1.0$)
 A_p : 杭先端の全断面積 (m²)
 N_s : 支持層内での平均N値
 N_c : 支持層内での粘性土部分の実測N値の平均
 L : 支持地盤中に貫入している層の厚さ (m)
 U : 杭の周長 (m)

参照：「漁港構造物の設計ガイド 平成6年度版」 P66

※マニュアル記載の式は旧単位をSI単位に換算しています。

ジャイロプレス(回転切削圧入)工法

《負の周面摩擦の最大値》

$$R_{nf,max} = (\Sigma 2N_{si}L_i - \Sigma 8N_{ci}L_i)U$$

ここに

- $R_{nf,max}$: 負の周面摩擦の最大値(kN)
 N_{si} : 杭周地盤中の砂質部分の実測N値の平均
 N_{ci} : 層内での平均一軸圧縮強度(粘性土)(kN/m²)
 L_i : 層の厚さ(m)
 U : 杭の周長(m)

《杭の先端支持力》

[支持層：砂質土地盤]

$$R_p = q_d A_p + 2N_s L U$$

[支持層：粘性土地盤]

$$R_p = q_d A_p + 8N_c L U$$

$$q_d = 60N(N \leq 40)$$

ここに

- R_p : 杭の先端支持力(kN)
 q_d : 杭先端で支持する単位面積当たりの極限支持力(kN/m²)
 N : 杭先端地盤の設計用N値
 A_p : 杭の先端の全断面積(m²)
 N_s : 支持層が砂質土の平均N値($2N_s \leq 100$)
 N_c : 支持層が粘性土の平均N値($N_c > 2$ かつ $8N_c \leq 100$)
 L : 支持地盤中に貫入している層の厚さ(m)
 U : 杭の周長(m)

2-5. 照査(矢板式基礎)

矢板の応力について

許容応力度法	信頼性設計法
$\frac{\sigma}{\sigma_a} \leq 1.0, \quad \sigma = \frac{M}{Z}$	$m \frac{S_d}{R_d} \leq 1.0, \quad R_d = \gamma_d R_k, \quad S_d = \gamma_s S_k$ $R_k = \sigma_y, \quad S_k = \sigma = \frac{M}{Z}$
ここに	ここに
σ_a : 矢板の許容応力度 (N/mm ²) σ : 矢板の応力 (N/mm ²) M : 矢板に生じる最大曲げモーメント (N・mm) Z : 矢板の断面係数 (mm ³)	σ_y : 矢板の降伏応力 (N/mm ²) σ : 矢板の応力 (N/mm ²) M : 矢板に生じる最大曲げモーメント (N・mm) Z : 矢板の断面係数 (mm ³) γ_s : 荷重項に乗じる係数 γ_R : 抵抗項に乗じる係数 Z : 調整係数

参照：「全国漁港漁場協会，漁港・漁場の施設の設計参考書 2003年版」P345

参照：「全国漁港漁場協会，漁港・漁場の施設の設計参考書 2015年版」P423

参照：「日本港湾協会，港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」P1104

根入れ長の検討

照査(杭式基礎)の[同項目](#)を参照してください。

支持力について

負担幅は1m当たりでなく、鋼管矢板1本当たり、鋼矢板1枚当たりとする。

鋼管矢板は杭式の[同項目](#)と同様になります。

鋼矢板

押し込み($N + W \geq 0.0$)

$R_a \geq N + W \dots OK$

引抜($N + W < 0.0$)

$R_a + W \geq N \dots OK$

$$R_a = \frac{1}{n} R_u$$

ここに

R_a : 許容鉛直支持力(kN)

n : 安全率(=2) 仮設構造物である事を考慮して定めた値。構造物の重要度、荷重条件、設置期間、交通条件等によっては、この値を割り増すのが良い。

R_u : 地盤から求まる土留め壁の極限抵抗力(kN)

$$R_u = q_d A + U \sum l_i f_i$$

ここに

q_d : 土留め壁先端地盤の極限支持力度(kN/m²)

A : 土留め壁の先端面積(m²)

U : 周長(m)で、土留め壁の設置状況を考慮し、土と接する部分。

l_i : 周面摩擦力を考慮する層の層厚(m)

f_i : 周面摩擦力を考慮する層の最大周面摩擦度(kN/m²)

$q_d = 200\alpha N$

$f_i = 2\beta N_s$ (砂質土)

$f_i = 10\beta N_c$ (N_c : N値の場合)、 $f_i = \beta N_c$ (N_c : 粘着力cの場合) (粘性土)

ここに

α : 施工条件による先端支持力度の係数

β : 施工条件による周面摩擦力度の係数

N : 先端地盤のN値(≤40)

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

N_1 : 杭先端地盤のN値

N_2 : 杭先端から上方へ2mの範囲における平均N値

N_s : 砂質土のN値(≤50)

N_c : 粘性土のN値または粘着力c(≤150kN/m²)

施工方法		α	β
打撃工法		1.0	1.0
振動工法		1.0	0.9
圧入工法		1.0	1.0
プレボーリング	砂充填	0.5	0.5
工法	打撃・振動・圧入による先端処理	1.0	1.0

参照: 「鋼矢板 Q&A 平成29年3月」 Q6.25

2-6. 杭頭部の結合計算について(杭式基礎)

本システムでは杭頭部の結合計算を安全率法、部分係数法の2つの方法から選択できます

安全率法(許容応力度法)

◆ 押込／引拔せん断に対する照査

上部工コンクリートの垂直支圧応力度

$$\sigma_{cv} = \frac{P}{\pi D^2/4} \leq \sigma_{ca}$$

上部工コンクリートの押し抜きせん断応力度

押抜

$$\tau_v = \frac{P}{\pi(D+h)h} \leq \tau_a$$

引抜

$$\tau_{vt} = \frac{P_t}{\pi(D+h_t)h_t} \leq \tau_a$$

ここに

σ_{cv} : 垂直支圧応力度(N/mm²)

σ_{ca} : コンクリートの許容支圧応力度(N/mm²)

τ_v : 垂直方向の押し抜きせん断応力度(N/mm²)

τ_{vt} : 垂直方向の引抜きせん断応力度(N/mm²)

P: 軸方向押し抜き力(N)

P_t : 軸方向引抜き力(N)

D: 杭の外径(mm)

h: 垂直方向の押し抜きせん断力に抵抗する上部工の有効厚(mm)

h_t : 垂直方向の引抜きせん断力に抵抗する上部工の有効厚(mm)

参照: 「杭基礎設計便覧平成18年度改訂版」 P. 296~298

◆ 軸方向力に対する照査

鋼管杭

$$l \geq \frac{P}{U\tau_0}$$

H形鋼杭

$$l \geq \max(l_1, l_2)$$

$$l_1 = \frac{P}{U\tau_0}, \quad l_2 = \frac{P}{2(Af_{vcd} + B\tau_0)}$$

ここに

l: 埋込長(mm)

P: 杭に作用する軸力(N)

U: 杭の外周長(mm)

τ_0 : 杭とコンクリートの付着強度の設計用値 $\tau_0 = 0.11f'_{ck}{}^{2/3}$ (N/mm²)

f'_{ck} : コンクリートの設計基準強度(N/mm²)

A: ウェブの高さ(mm)

B: フランジの幅(mm)

f_{vcd} : 杭とコンクリートの付着強度の設計用値 $f_{vcd} = 0.20f'_{ck}{}^{1/3}$ (N/mm²)

参照: 「漁港・漁場構造物設計計算例 平成16年」 P375

◆杭頭モーメントに対する照査

$$l \geq \sqrt{\frac{6M}{D\sigma_{ca}}}$$

ここに

l:埋込長(m)

M:杭頭拘束モーメント(KN・m)

D:杭幅または杭の外径(m)

σ_{ca} :上部工コンクリートの許容支圧応力度(kN/m²)

参照:「漁港・漁場構造物設計計算例 平成16年」P375

◆水平力及びモーメントに対する詳細

上部工コンクリートの水平支圧応力度

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{DI} + \frac{6M}{DI^2} \leq \sigma_{ca} \cdots \text{方法A}$$

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{DI} \leq \sigma_{ca} \cdots \text{方法B}$$

上部工端部の杭に対する水平方向の
押抜／引抜せん断応力度

$$\tau_h = \frac{H}{h'(2l + D + 2h')} \leq \tau_a$$

ここに

σ_{ch} :水平支圧応力度(N/mm²)

σ_{ca} :コンクリートの許容支圧応力度(N/mm²)

τ_h :水平方向の押抜／引抜せん断応力度(N/mm²)

τ_a :コンクリートの許容せん断応力度(N/mm²)

H:水平力(N)

M:モーメント(N・mm)

l:杭の埋込長(mm)

D:杭の外径(mm)

h':水平方向の押抜せん断力に抵抗する上部工の有効厚(mm)

参照:「杭基礎設計便覧平成18年度改訂版」P. 296～298

方法Bによるコンクリート及び鉄筋の応力度の照査

断面に圧縮応力及び引張応力がおこる場合

$$\sigma_c = \frac{M'}{r^3} C \leq \sigma_{ca}$$
$$\sigma_s = \frac{M'}{r^3} S n \leq \sigma_{sa}$$
$$M' = M + Nr$$

断面に圧縮応力だけがおこる場合

$$\sigma_c = \frac{N}{A_i} + \frac{Ne}{I_i} r \leq \sigma_{ca}$$
$$A_i = \pi r^2 + nA_s$$
$$I_i = \frac{\pi r^4}{4} + \frac{nA_s r_s^2}{2}$$
$$e = M/N$$

ここに

σ_c : コンクリート応力度 (N/mm²)

σ_s : 鉄筋の引張応力度 (N/mm²)

σ_{ca} : コンクリート許容支圧応力度 (N/mm²)

σ_{sa} : 鉄筋の許容引張応力度 (N/mm²)

M: モーメント (N・mm)

N: 軸方向押込み力または軸方向引抜き力 (N)

r: 仮想鉄筋コンクリート断面半径 (鋼管半径+100) (mm)

r_s : 中心から鉄筋まで距離 ($r_s = r - c$) (mm)

c: 有効かぶり (mm)

n: ヤング係数比 (15)

A_s : 鉄筋の断面積 (mm²)

A_i : 換算断面積 (mm²)

I_i : 直径軸についての換算断面の断面二次モーメント (mm⁴)

※C、Sは『鉄筋コンクリートの新しい計算図表[RG]』P56の精算式にて算出する

参照: 「鉄筋コンクリートの新しい計算図表[RG]」P55～60

参照: 「第3次改著鉄筋コンクリート設計方法」P385～390

部分係数法(限界状態設計法)

◆ 押抜せん断／引抜せん断に対する照査

$$\gamma_i \cdot S_d / V_{pcd} \leq 1.0$$

$$V_{pcd} = \beta_d \cdot \beta_a \cdot \beta_d \cdot f_{pcd} \cdot u_p \cdot d / \gamma_b$$

ここに

γ_i : 構造物係数

S_d : 最大軸力の設計用値 (kN)

V_{pcd} : 設計押抜せん断耐力 (kN)

β_d : せん断耐力の有効高さに関する係数

$$\beta_d = (1/d)^{\frac{1}{4}} \quad \text{ただし } \beta_d > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする}$$

β_p : せん断耐力の鉄筋比に関する係数

$$\beta_p = (100p)^{\frac{1}{3}} \quad \text{ただし } \beta_p > 1.5 \text{ となる場合は } 1.5 \text{ とする}$$

β_r : せん断耐力の載荷面の周長に対する係数

$$\beta_r = 1 + 1/(1 + 0.25u/d)$$

u : 載荷面の周長

$$f_{pcd} : 0.20(f'_{cd})^{\frac{1}{2}} \quad (f_{pcd} \leq 1.2) \quad (N/mm^2)$$

f'_{cd} : コンクリートの圧縮強度の設計用値 (N/mm²)

u_p : 設計断面の周長

最下面から $d/2$ 離れた位置で算定するものとする (m)

d : 二方向の鉄筋に対する平均有効高さ

p : 二方向の鉄筋に対する平均鉄筋比

γ_b : 部材係数(一般に1.3としてよい)

参照 : 「コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 2002年制定」 P73

◆軸方向力に対する照査

$$\gamma_i P_d / P_{ud} \leq 1.0$$

$$P_{ud} = \frac{1}{\gamma_b} (L\varphi + 2A_p) f_{bod}$$

ここに

γ_i : 構造物係数

P_d : 軸方向力の設計用値(N)

P_{ud} : 杭のはり内埋込み部分で伝達できる軸力(N)

L : 鋼管杭の埋込長(mm)

φ : 鋼管杭の外周(mm)

f_{bod} : 杭材とコンクリートの付着強度の設計用値(N/mm²)

$$f_{bod} = 0.11 f_{ck}'^{2/3} / \gamma_c$$

f_{ck}' : コンクリートの圧縮強度の特性値(N/mm²)

γ_c : コンクリートの材料係数 (=1.3)

A_p : 縦リブのコンクリートに付着する面積(mm²)

γ_b : 部材係数 (=1.0としてよい)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P1218

◆杭頭モーメントに対する照査

$$\gamma_i M_d / M_{ud} \leq 1.0$$

$$M_{ud} = \frac{DL^2 f_{cd}'}{6\gamma_b}$$

ここに

γ_i : 構造物係数

M_d : 曲げモーメントの設計用値(N・mm)

M_{ud} : 杭のはり内埋込み部分で伝達できる曲げモーメント(N・mm)

D : 鋼管杭の直径(mm)

L : 鋼管杭の埋込長(mm)

f_{cd}' : はりコンクリートの圧縮強度の特性値(N/mm²)

γ_b : 部材係数 (=1.15としてよい)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P1218

◆水平方向の押抜せん断に対する照査

$$\gamma_i V_d / V_{pcd} \leq 1.0$$

$$V_{pcd} = 0.2 (f'_{cd})^{\frac{1}{2}} \beta_d \beta_p \beta_r A_r / \gamma_b$$

ここに

γ_i : 構造物係数

V_d : せん断力の設計用値 (kN)

V_{pcd} : 水平方向の押し抜きせん断耐力の設計用値 (kN)

f'_{cd} : コンクリートの設計圧縮強度

β_d : $(1/d)^{\frac{1}{4}}$ ($\beta_d \leq 1.5$)

β_p : $(100p)^{\frac{1}{3}}$ ($\beta_p \leq 1.5$)

β_r : 1.0

d : 法線平行方向、法線直角方向の有効高さの平均値

p_w : 法線平行方向、法線直角方向の鉄筋比の平均値

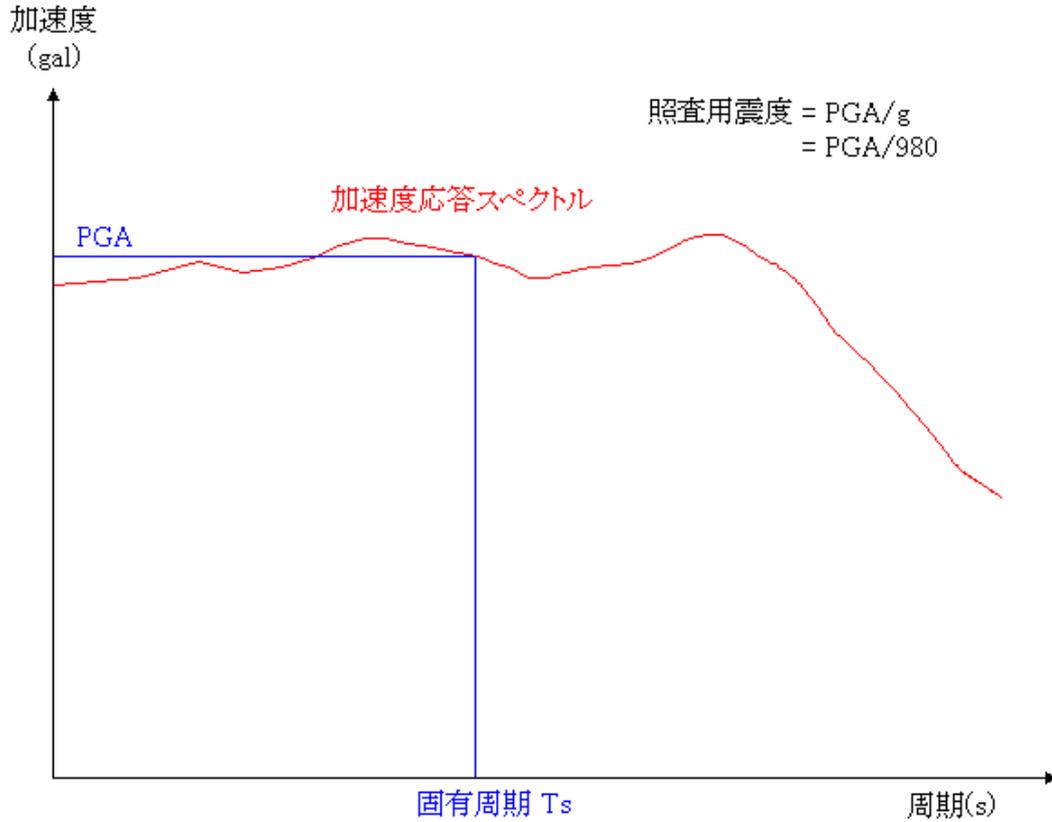
A_r : せん断抵抗面積

γ_b : 部材係数 (=1.3としてよい)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成19年7月」 P1129-1130

2-7. 設計震度の算定(重力式基礎、杭式基礎)

設計震度の特性値は1次元の地震応答解析により得られた地表面からの加速度から求めた加速度応答スペクトルを構造物の固有周期に対応する応答加速度を重力加速度で除した値で算定されます。



加速度応答スペクトルの算定

$$\left. \begin{aligned}
 t = 0 \quad \left. \begin{aligned}
 x_1 &= 0 \\
 x'_1 &= -y\Delta t \\
 (x'' + y'')_1 &= 2h\omega y\Delta t
 \end{aligned} \right\} \\
 t \neq 0 \quad \left. \begin{aligned}
 x_{i+1} &= A_{11}x_i + A_{12}x'_i + B_{11}y''_i + B_{12}y''_{i+1} \\
 x'_{i+1} &= A_{21}x_i + A_{22}x'_i + B_{21}y''_i + B_{22}y''_{i+1} \\
 (x'' + y'')_{i+1} &= -(2h\omega x'_{i+1} + \omega^2 x_{i+1})
 \end{aligned} \right\}
 \end{aligned}$$

ここに

$$A_{11} = e^{-h\omega\Delta t} \left(\cos \omega_d \Delta t + \frac{h\omega}{\omega_d} \sin \omega_d \Delta t \right)$$

$$A_{12} = e^{-h\omega\Delta t} \frac{1}{\omega_d} \sin \omega_d \Delta t$$

$$A_{21} = e^{-h\omega\Delta t} \frac{\omega^2}{\omega_d} \sin \omega_d \Delta t$$

$$A_{22} = e^{-h\omega\Delta t} \left(\cos \omega_d \Delta t - \frac{h\omega}{\omega_d} \sin \omega_d \Delta t \right)$$

$$B_{11} = e^{-h\omega\Delta t} \left[\left(\frac{1}{\omega^2} + \frac{2h}{\omega^3 \Delta t} \right) \cos \omega_d \Delta t + \left(\frac{h}{\omega\omega_d} - \frac{1-2h^2}{\omega^2 \omega_d \Delta t} \right) \sin \omega_d \Delta t \right] - \frac{2h}{\omega^3 \Delta t}$$

$$B_{12} = e^{-h\omega\Delta t} \left[-\frac{2h}{\omega^3 \Delta t} \cos \omega_d \Delta t + \frac{1-2h^2}{\omega^2 \omega_d \Delta t} \sin \omega_d \Delta t \right] - \frac{1}{\omega^2} + \frac{2h}{\omega^3 \Delta t}$$

$$B_{21} = e^{-h\omega\Delta t} \left[-\frac{1}{\omega^2 \Delta t} \cos \omega_d \Delta t - \left(\frac{h}{\omega\omega_d \Delta t} + \frac{1}{\omega_d} \right) \sin \omega_d \Delta t \right] + \frac{1}{\omega^2 \Delta t}$$

$$B_{22} = e^{-h\omega\Delta t} \left[\frac{1}{\omega^2 \Delta t} \cos \omega_d \Delta t + \frac{h}{\omega\omega_d \Delta t} \sin \omega_d \Delta t \right] - \frac{1}{\omega^2 \Delta t}$$

x : 質点の地面に対する相対変位

y'' : 地動の加速度時刻歴 (gal)

$(x'' + y'')$: 絶対加速度応答 (gal)

ω : 質点固有円振動数

$$\omega_d : \omega_d = \omega \sqrt{1-h^2}$$

h : 減衰定数

Δt : 時間間隔 (s)

参照: 「新・地震動のスペクトル解析入門」 P243~P244、P251~P254

固有周期の算定

$$T_s = 2\pi \sqrt{\frac{W}{gK}}$$

$$K = P_H/\delta$$

ここに

T_s : 固有周期(s)

W : 構造物の自重及び地震時の上乗荷重(kN)

g : 重力加速度(= 9.8 m/s²)

K : 構造物のバネ定数(kN/m)

P_H : 水平荷重(kN)

δ : 水平荷重が作用した際の構造物の水平変位(m)

参照: 「港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月」 P1209

節点に作用する鉛直方向バネ定数(kN/m)※重力式基礎のみ

$K_V = k_v A_{v1}/p$ … 重力式基礎

ここに

k_v : 鉛直方向地盤反力係数(kN/m³)

A_{v1} : 鉛直方向の載荷面積(m²) … $A_{v1} = BD$

p : フレーム解析モデルでの上部工底面の節点数(=5)

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v + 0.3}{2B_v} \right)^2 \dots \text{H24道路橋示方書 (P312)}$$

$$k_v = k_{v0} \left(\frac{B_v}{0.3} \right)^{-3/4} \dots \text{H29道路橋示方書 (P187, 223)}$$

$$k_{v0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

α : 換算係数 (2: $E_0 = 2800N$ 、8: 試験で求めた場合) 港湾空港技術研究所報告Vol. 56 No3 P56 図3-3より

E_0 : 地盤の変形係数(kN/m²) … $E_0 = 2800N$ または試験値

N : N 値(回)

$$B_v: \text{基礎の換算載荷幅(m)} \dots B_v = \sqrt{A_v}$$

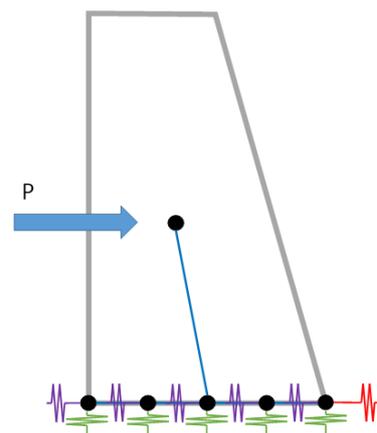
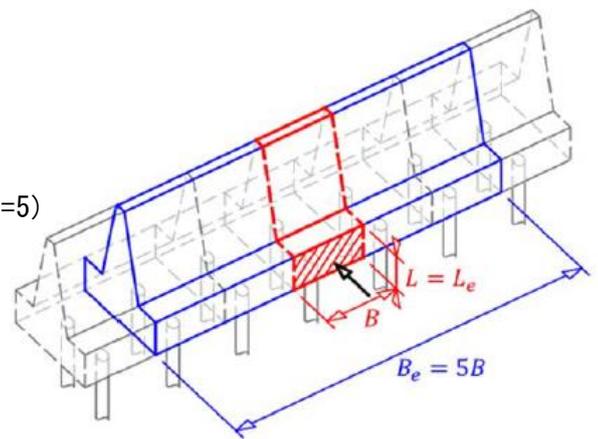
$$A_v: \text{1ユニットの鉛直方向の載荷面積(m}^2\text{)} \dots A_v = DB_e$$

D : 堤体幅(m)

$$B_e: \text{1ユニットの奥行(m)} \dots B_e = nB$$

n : $B_e = nB$ の n ※右上図での5に相当

B : 奥行き幅(杭式の場合は杭間隔)(m)



フレーム解析モデル図

● 節点

赤: 堤体側面水平地盤反力ばね

紫: 堤体底面水平せん断地盤反力ばね ※重力式基礎のみ

緑: 堤体底面鉛直地盤反力ばね ※重力式基礎のみ

節点に作用する水平方向バネ定数(kN/m)

$$K_H = k_h A_{h1} + k_s A_{v1} / \rho \cdots \text{重力式基礎}$$

$$K_H = k_h A_{h1} \cdots \text{杭基礎}$$

ここに

$$k_h: \text{水平方向地盤反力係数}(kN/m^3)$$

$$A_{h1}: \text{水平方向の載荷面積}(m^2) \cdots A_{h1} = BL$$

$$k_s: \text{水平方向せん断地盤反力係数}(kN/m^3) \cdots k_s = \lambda k_v$$

$$A_{v1}: \text{鉛直方向の載荷面積}(m^2) \cdots A_{v1} = BD$$

$$k_h = k_{h0} \left(\frac{B_h}{0.3} \right)^{-3/4}$$

$$k_{h0} = \frac{1}{0.3} \alpha E_0$$

$$k_s = \lambda k_v$$

λ : 水平せん断地盤反力の比 (H24道路橋示方書: 1/3~1/4)、(H29道路橋示方書0.3)

$$B_h: 1 \text{ ユニットの水平方向の換算作用幅}(m) \cdots B_h = \sqrt{A_h}$$

$$A_h: 1 \text{ ユニットの水平方向の載荷面積}(m^2) \cdots A_h = LB_e$$

L : 堤体土被り厚(m)

2-8. 性能照査に用いる諸定数（許容応力度法）

許容応力度法では、各照査に伴う諸定数は次ようになります。

杭の発生応力の照査に伴う許容応力度の割増

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」 P321

照査対象	割増係数
異常時	1.5

杭の支持力に関する性能照査

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月」 P437、451

照査対象	杭状態	安全率
常時	引抜杭	3.00
	押込杭	2.50
異常時	引抜杭	2.50
	押込杭 (支持杭)	1.50
	押込杭 (摩擦杭)	2.00

2-9. H30年港湾基準の照査方法について

既に港湾の施設の技術上の基準・同解説では、H19年版より構造物の照査方法が、許容応力度法によるものから材料係数アプローチによるレベル1信頼性設計法に基づく方法（部分係数を用いた設計用値による性能照査式）（以下、部分係数法）に変更となっています。

この度のH30年版では、部分係数の与え方が荷重抵抗係数アプローチによるものに変更となりました。

部分係数法での、各外力を求める方法は許容応力度法の場合と同じです。一般に、部分係数（ γ ）が乗じられていない値を部分係数法では特性値と呼び、部分係数（ γ ）が乗じられた値を設計用値と呼びます。

※ 基準書には、応力照査に用いる部分係数を除いて胸壁の標準的な部分係数は示されていません。しかし、「性能照査に用いる調整係数は、過去設計法等に基づく許容応力度を参考として、適切に設定する。」と記述があるため、全ての部分係数を便宜上1.0とした上で、調整係数を用いて照査することを前提として初期値を設定しています。

参照：『港湾の施設の技術上の基準・同解説 上巻 平成30年5月』P.27～

参照：『港湾の施設の技術上の基準・同解説 中巻 平成30年5月』P.964

杭の応力照査

照査対象	抵抗項に 乗じる 部分係数	荷重項に 乗じる 部分係数	調整係数 m
永続状態	— (1.00)	— (1.00)	1.67
レベル1地震動、異常状態	— (1.00)	— (1.00)	1.12

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P1110

杭の支持力照査

照査対象	杭の種類	抵抗項に 乗じる 部分係数	荷重項に 乗じる 部分係数	調整係数 m
永続状態	引抜杭	1.00	1.00	3.00
	押込杭	1.00	1.00	2.50
レベル1地震動、異常状態	引抜杭	1.00	1.00	2.50
	押込杭	1.00	1.00	1.50

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P1111

杭の負の周面摩擦照査

照査対象	抵抗項に 乗じる 部分係数 γ_R	荷重項に 乗じる 部分係数 γ_S	調整係数 m
$m \cdot \frac{\gamma_S (R_{ak} + R_{nf,max})}{\gamma_R R_{pk}} \leq 1.0$	— (1.00)	— (1.00)	1.20
$m \cdot \frac{\gamma_S [(R_{ak} + R_{nf,max})/A_e]}{\gamma_R \sigma_{fk}} \leq 1.0$	— (1.00)	— (1.00)	1.00

参照：「港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成30年5月」 P729

3. 参考文献

- ・ 防波堤の耐津波設計ガイドライン 平成 25 年 9 月 国土交通省 港湾局
- ・ 海岸保全施設の技術上の基準・同解説 平成 30 年 8 月 全国農地海岸保全協会、全国漁港漁場協会
全国海岸協会、日本港湾協会
- ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成 元年 6 月 日本港湾協会
平成 11 年 4 月 日本港湾協会
平成 19 年 7 月 日本港湾協会
平成 30 年 5 月 日本港湾協会
- ・ 港湾構造物設計事例集 平成 11 年 4 月 沿岸開発技術研究センター
平成 19 年 3 月 沿岸技術研究センター
- ・ 漁港の技術指針 1999 年版 全国漁港協会
- ・ 漁港・漁場の施設の設計の手引き 2003 年版 全国漁港協会
- ・ 漁港・漁場の施設の設計参考図書 2003 年版 全国漁港協会
- ・ 漁港構造物の設計ガイド 平成 7 年 2 月 全国漁港協会
- ・ 漁港・漁場構造物設計計算例 平成 16 年 6 月 全国漁港漁場協会
- ・ 鋼管杭—その設計と施工— 平成 21 年 4 月 鋼管杭協会・鋼矢板技術委員会
- ・ 鋼矢板設計から施工まで 2007 年 4 月 鋼管杭協会・鋼矢板技術委員会
- ・ 鋼管杭・鋼管矢板の附属品の標準化 平成 14 年 3 月 鋼管杭協会
- ・ 道路橋示方書 IV 下部構造編 平成 8 年 12 月 日本道路協会
平成 14 年 4 月 日本道路協会
平成 24 年 9 月 日本道路協会
平成 29 年 11 月 日本道路協会
- ・ 杭基礎設計便覧 平成 4 年 10 月 日本道路協会
- ・ 杭基礎設計便覧 平成 18 年 1 月 日本道路協会
- ・ 構造力学公式集 昭和 49 年 12 月 土木学会
- ・ コンクリート標準示方書 設計編 平成 8 年制定 土木学会
- ・ コンクリート標準示方書[構造性能照査編] 2002 年制定 土木学会
- ・ コンクリート標準示方書[設計編] 2017 年制定 土木学会
- ・ ジャイロプレス(回転切削圧入)工法による鋼管土留め擁壁設計・施工指針 2014 年 3 月 国際圧入学会
- ・ 改訂版鉄筋コンクリートの新しい計算図表[RG] 昭和 57 年 5 月 近代図書
- ・ 第三次改著鉄筋コンクリート設計方法 昭和 57 年 5 月 養賢堂
- ・ 杭軸直角方向地盤反力係数の推定方法に関する一提案 第41回地盤工学研究発表会
- ・ 平成23年東日本大震災を踏まえた漁港施設の地震・津波対策の基本的な考え方
- ・ 新・地震動のスペクトル解析入門 1994 年 鹿島出版会
- ・ 鋼矢板 Q&A 平成 29 年 3 月 鋼管杭・鋼矢板技術協会