

港湾設計シリーズ

棚式係船岸4（許容応力度法）
for Windows

Ver 1. X. X

商 品 概 説 書

目次

1. 概要	1
1-1. システムの特長	1
1-2. システムの制限事項	1
1-3. データ入力・計算上の注意事項	2
2. 機能説明	3
2-1. 粘着力からN値を計算する場合	3
2-2. 見かけの震度の算定方法について	4
見かけの震度	4
二建の提案式—地表面天端より残留水位が高い位置にある場合	5
二建の提案式—設計海底面より前面水位(L.W.L.)が高い位置にある場合	5
動水圧の算定について	6
2-3. 土圧の考え方について	7
常時砂質土の土圧	7
地震時砂質土の土圧	8
常時粘性土の土圧	9
地震時粘性土の土圧	10
地震時粘性土主働土圧の考え方	12
2-4. 残留水位の考え方について	15
2-5. 崩壊角の算定方法について	16
砂質土の主働崩壊角算定式	16
砂質土の受働崩壊角算定式	17
粘性土の主働崩壊角算定式	18
粘性土の受働崩壊角算定式	20
2-6. 腐食後の断面性能について	21
鋼矢板の場合	21
鋼管矢板の場合	22
2-7. 前面矢板の根入れ長について	25
フリーアースサポート法	25
たわみ曲線法	26
ロウの方法	28
2-8. タイ材について	30
2-9. 腹おこし材について	31
2-10. 杭の反力について	32
変位法	32
各杭に作用するV, H, M	33
地中部の杭の軸方向バネ定数(KV)	33
杭本体のY, M, S	34
K1, K2, K3, K4の計算法	35
K値の計算法	36
2-11. 杭の応力について	38
2-12. 支持力について	39
打込み鋼管杭	39
中掘り鋼管杭(道路橋示方書)	41
埋め込み杭(漁港基準)	43
2-13. 負の周面摩擦について	44
打込み鋼管杭	44
中掘り鋼管杭(道路橋示方書)	46
埋め込み鋼管杭(漁港基準)	48
2-14. 杭とフーチングの結合計算について	49
許容応力度法	49
限界状態設計法	51

— 目 次 —

3. 補足資料.....	53
3-1. 参考文献.....	53

1. 概要

1-1. システムの特長

本システムは、港湾・漁港構造物の中の1つである「棚式係船岸」の設計業務を支援するために開発されたシステムです。データは、入力画面を用いることにより比較的簡単に入力することができます。

本システムには、以下のような特徴があります。

- ・ 設計基準は、平成11年港湾基準、漁港基準に準拠しています。
- ・ 前面矢板の計算には、ロウの方法、フリーアースサポート法、たわみ曲線法が選択できます。
- ・ プログラム内部に鋼矢板データを保持しており矢板断面が自動選択/任意選択できます。
- ・ 多層地盤及び、短ぐいの計算が行えます。
- ・ 腐食速度と耐用年数から腐食後の矢板の断面性能を自動計算します。
- ・ 横抵抗定数、地盤反力係数をN値から計算します。また、直接入力することも可能です。
- ・ フリーアースサポート法の場合、複数の仮想海底面が検出された場合に、選択が可能です。
- ・ プログラム内部にタイ材・腹おこし材を保持しており内部でトライアル計算を行います。
- ・ 棚部は断面形状が任意のものを扱えます。
- ・ 棚部の安定計算が行えるため、複合断面の検討を行うことができます。
- ・ 棚部にはその他の外力として任意の荷重を作用させることができます。
- ・ 杭とフーチングの結合計算が可能です。
- ・ 印刷イメージを画面に表示し、確認することができます。
- ・ 任意の鋼矢板データを追加・修正することができます。

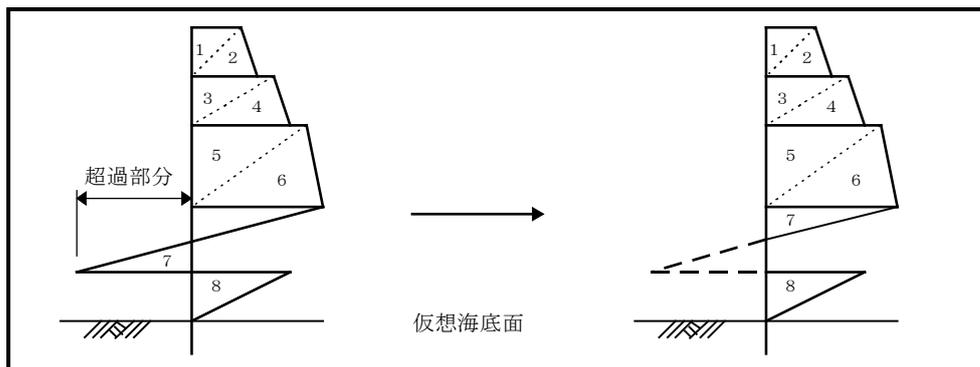
1-2. システムの制限事項

[データ容量]

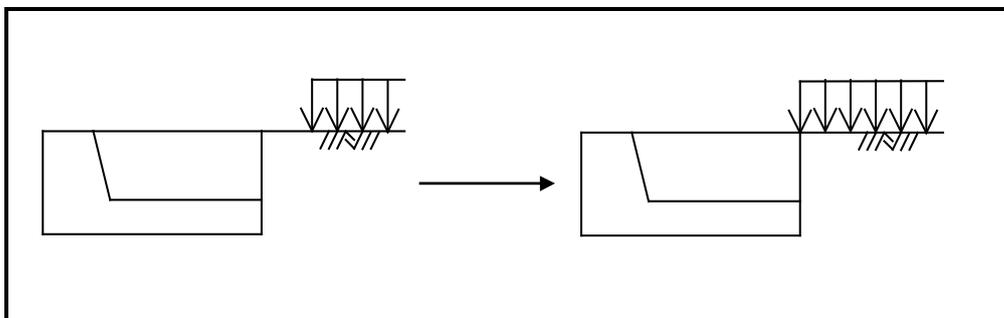
- | | | |
|-------------|----|--------|
| ・ 層データ数 | 最大 | 15層 |
| ・ 鋼管矢板データ数 | 最大 | 10データ |
| ・ 上部工座標データ | 最大 | 100点 |
| ・ 検討点 | 最大 | 10点 |
| ・ 関連ブロック数 | 最大 | 10ブロック |
| ・ 土圧作用点 | 最大 | 10点 |
| ・ その他外力データ数 | 最大 | 3つ |
| ・ 杭データ数 | 最大 | 7データ |
| ・ 追加矢板データ数 | 最大 | 30件 |

1-3. データ入力・計算上の注意事項

- ・ 主働側の土層開始位置は、必ず地表面天端高さと同じ高さにして下さい。
- ・ 受働側の土層開始位置は、必ず設計海底面高さと同じ高さにして下さい。
- ・ 見かけの震度を二建の提案式で求める場合、地表面天端位置・設計海底面位置の見かけの震度は、必ず $k' = \gamma / (\gamma - 10) \times k$ を使用します。
- ・ 見かけの震度を二建の提案式で求める場合で水位（R. W. L. ・ L. W. L. ）がそれぞれの天端位置より高い場合、二建の提案式で用いる h_w は、それぞれの天端位置からの深さを使用します。
- ・ 荷重として受働土圧が主働土圧を超過する場合は、超過した部分を無視して計算を行います。



- ・ 上載荷重が地表面の途中から始まった場合でもプログラム内では、地表面全体に上載荷重が作用するとして計算します。



- ・ 検討点は、必ず1点は入力してください。複数入力した場合、入力した順番に検討点レベルの安定計算を行い、最終検討点で柵全体の検討を行います
- ・ 土圧作用面は、 ψ の計算の都合上、必ず上から下に設定してください。

2. 機能説明

2-1. 粘着力からN値を計算する場合

次式を使用して、N値を計算します。この場合に使用する粘着力は、土層中心の粘着力です。

$$C = q_u / 2.0 \text{ (kN/m}^2\text{)}$$

$$q_u = N / X \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

よって、

$$2.0 \times C = N / X$$

$$N = 2.0 X \times C$$

ここに、

C : 土層中心の粘着力 (kN/m²)

q_u : 一軸圧縮強度 (kN/m²)

N : N値 (回)

X : 入力画面で入力した係数に×0.001した値 (単位換算のため)
通常、40.0~80.0の値を使用

2-2. 見かけの震度の算定方法について

見かけの震度

本プログラムでは、見かけの震度の計算方法を次の4つの中から選択します。直接入力以外を選択した場合は、各土層毎の土質定数を使用して見かけの震度を計算します。

- a. 直接入力
- b. 標準式

$$k' = \frac{\gamma_t}{(\gamma_t - 10)} \times k$$

□□□□

k' : 水中における見かけの震度

k : 空気中における震度

γ_t : 水で飽和した土の空気中における単位体積重量 (kN/m^3)□

- c. 二建の提案式

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

ここに、

k' : 水中における見かけの震度

k : 空気中における震度

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

γ_w : 海水の単位体積重量 (kN/m^3)

h : 土層の厚さ (m)

h_w : 土層の水につかっている深さ (m)

w : 単位面積当たりの載荷重 (kN/m^2)

- d. 荒井・横井の提案式

$$k' = \frac{2(\Sigma \gamma h + \Sigma \gamma_i h_j + w) + \gamma_i h}{2\{\Sigma \gamma h_i + \Sigma (\gamma_i - 10) h_j + w\} + (\gamma_i - 10) h} \times k$$

ここに、

h_i : 残留水位以上の土の層の厚さ (m)

h_j : 残留水位以下の土圧を求めようとする層より上の層の厚さ (m)

h : 残留水位より下の土圧を求めようとする層の厚さ (m)

γ : 水位面上の土の単位体積重量 (kN/m^3)

γ_i : 水で飽和した土の空気中における単位体積重量 (kN/m^3)

w : 単位面積当たりの載荷重 (kN/m^2)

k : 震度

k' : 見かけの震度

二建の提案式—地表面天端より残留水位が高い位置にある場合

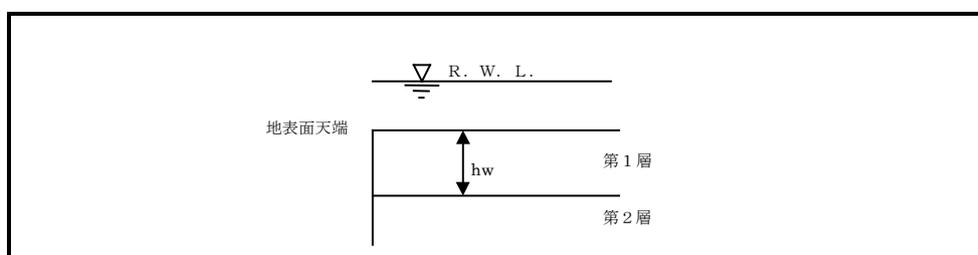
二建の提案式を選択した場合で、残留水位が地表面天端よりも高い位置にある場合の天端位置の見かけの震度及び、 h_w を求めるための残留水位位置の考え方は以下ようになります。

1) 天端位置の見かけの震度の算定方法について

本プログラムでは、地表面天端位置の見かけの震度は、常に標準式を用いて計算を行います。

2) h_w を求めるための残留水位位置の考え方について

二建の提案式では、[h_w : 土層の水につかっている深さ (m)] を使用します。本プログラムでは、地表面天端位置を残留水位位置として、その位置から現在層までの深さを h_w として計算します。



二建の提案式—設計海底面より前面水位 (L. W. L.) が高い位置にある場合

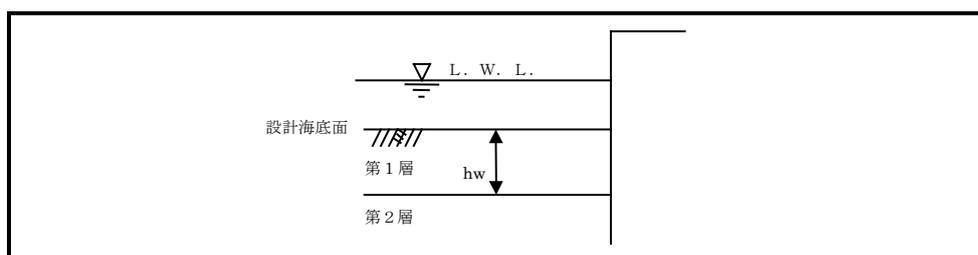
二建の提案式を選択した場合で、設計海底面位置の見かけの震度及び、 h_w を求めるためのL. W. L.位置の考え方は以下ようになります。

1) 設計海底面位置の見かけの震度の算定方法について

本プログラムでは、設計海底面位置の見かけの震度は、常に標準式を用いて計算を行います。

2) h_w を求めるためのL. W. L.位置の考え方について

二建の提案式では、[h_w : 土層の水につかっている深さ (m)] を使用します。本プログラムでは、設計海底面位置をL. W. L.位置として、その位置から現在層までの深さを h_w として計算します。



動水圧の算定について

矢板壁に動水圧を作用させることができます。一般に、見かけの震度を「荒井・横井の提案式」で計算する場合に作用させるようになっています。

(動水圧)

$$p_{dw} = \pm \frac{7}{8} K \gamma_w \sqrt{H} y$$

ここに

p_{dw} : 動水圧 (kN/m^2)

K : 設計震度

γ_w : 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)

(動水圧合力及び作用点位置)

$$P_{dw} = 2 \frac{7}{12} K \gamma_w \sqrt{H} y^{\frac{3}{2}}$$

$$h_{dw} = \frac{2}{5} H$$

□□□

P_{dw} : 動水圧の合力 (kN/m)

h_{dw} : 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)

2-3. 土圧の考え方について

常時砂質土の土圧

1) 主働土圧

$$p_a = K_a \cdot \cos \delta \cdot \left[\Sigma \gamma h + \frac{w \cos \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \right]$$
$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \varphi)}{\cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta)}{\cos(\delta + \varphi) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

2) 受働土圧

$$p_p = K_p \cdot \cos \delta \cdot \left[\Sigma \gamma h + \frac{w \cos \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \right]$$
$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \varphi)}{\cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \beta)}{\cos(\delta + \varphi) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

ここに、

$p_a(p_p)$: 壁面に働く主(受)働土圧強度 (kN/m^2)

ϕ : 土の内部摩擦角 (度)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

h : 土層の厚さ (m)

$K_a(K_p)$: 土層の主(受)働土圧係数

φ : 壁面が鉛直となす角度 (度)

β : 地表面が水平となす角度 (度)

δ : 壁面摩擦角 (度)

地震時砂質土の土圧

1) 主働土圧

$$p_a = K_a \cdot \cos \delta \cdot \left[\Sigma \gamma h + \frac{w \cos \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \right]$$
$$K_a = \frac{\cos^2(\phi - \varphi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi + \theta) \left[1 + \sqrt{\frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \beta - \theta)}{\cos(\delta + \varphi + \theta) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

2) 受働土圧

$$p_p = K_p \cdot \cos \delta \cdot \left[\Sigma \gamma h + \frac{w \cos \varphi}{\cos(\varphi - \beta)} \right]$$
$$K_p = \frac{\cos^2(\phi + \varphi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \varphi \cos(\delta + \varphi - \theta) \left[1 - \sqrt{\frac{\sin(\phi - \delta) \sin(\phi + \beta - \theta)}{\cos(\delta + \varphi - \theta) \cos(\varphi - \beta)}} \right]^2}$$

ここに、

- $p_a(p_p)$: 壁面に働く主(受)働土圧強度 (kN/m^2)
 ϕ : 土の内部摩擦角 (度)
 γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)
 h : 土層の厚さ (m)
 $K_a(K_p)$: 土層の主(受)働土圧係数
 ϕ : 壁面が鉛直となす角度 (度)
 β : 地表面が水平となす角度 (度)
 δ : 壁面摩擦角 (度)
 θ : 地震合成角 (度) $\theta = \tan^{-1} k$ 又は、 $\theta = \tan^{-1} k'$ で表わされる。
 k : 震度
 k' : 見かけの震度

常時粘性土の土圧

1) 主働土圧

次に示される(式-1)あるいは(式-2)のうち、構造物に危険となる土圧分布を用いるか(漁港基準)あるいは、(式-1)のみを用いるか(港湾基準)の選択がプログラムで可能になっています。また、(式-2)のみを用いることも可能です。(式-1)を使用した場合に生じる負の土圧領域は考慮せず、正の土圧が発生する深さまでは土圧を0とします。

$$p_{a1} = \Sigma \gamma h + w - 2c \cdots (\text{式-1})$$

$$p_{a2} = Kc(\Sigma \gamma h + w) \cdots (\text{式-2})$$

2) 受働土圧

$$p_p = \Sigma \gamma h + w + 2c$$

ここに、

p_a : 壁面に働く主働土圧強度 (kN/m^2)

p_p : 壁面に働く受働土圧強度 (kN/m^2)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

h : 土層の厚さ (m)

w : 地表面単位面積当り載荷重 (kN/m^2)

c : 粘着力 (kN/m^2)

K_c : 圧密平衡係数、 $K_c = 0.5$

地震時粘性土の土圧

1) 主働土圧

次に示される(式-3)あるいは(式-4)のうち、構造物に危険となる土圧分布を用いるか(漁港基準)あるいは、(式-3)のみを用いるか(港湾基準)の選択がプログラムで可能になっています。また、(式-4)のみ用いることも可能です。

(式-3、式-4)の比較を行って土圧を計算する場合で、(式-3)のルート内が負になる場合、入力画面で指定した崩壊角を使用して土圧を計算するかもしくは岡部式(式-5)を用いるか又は、常時土圧式用いてかを選択することができます。

(式-3)のみで土圧を計算する場合で、(式-3)のルート内が負になる場合は、入力画面で指定した崩壊角を使用して土圧を計算するかもしくは(式-5)を用いるか又は、常時土圧式用いてかを選択することができます。

$$p_{a1} = \frac{(\Sigma\gamma h + w)\sin(\zeta + \theta)}{\cos\theta \sin\zeta} - \frac{c}{\cos\zeta \sin\zeta} \dots (\text{式-3})$$
$$\zeta = \tan^{-1} \sqrt{1 - \left(\frac{\Sigma\gamma h + 2w}{2c}\right)\tan\theta}$$
$$p_{a2} = Kc(\Sigma\gamma h + w) \dots (\text{式-4})$$
$$p_a = \frac{(\Sigma\gamma h + w)\sin(\alpha + \theta)}{\cos\theta \sin\alpha} - \frac{c}{\cos\alpha \sin\alpha} \dots (\text{式-5})$$
$$2\alpha = 90^\circ - \mu$$
$$\mu = \tan^{-1} \frac{\bar{a}}{\sqrt{\bar{b}^2 - \bar{a}^2}}$$
$$\bar{a} = \sin\theta$$
$$\bar{b} = \sin\theta + \frac{2c \cdot \cos\theta}{\Sigma\gamma h + w}$$

(式-5)の出典は、次のようになっています。

土圧係数図表 日本港湾協会編

2) 受働土圧

$$p_p = \Sigma \gamma h + w + 2c$$

ここに、

p_a : 壁面に働く主働土圧強度 (kN/m^2)

p_p : 壁面に働く受働土圧強度 (kN/m^2)

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

h : 土層の厚さ (m)

w : 地表面単位面積当り載荷重 (kN/m^2)

c : 粘着力 (kN/m^2)

K_c : 圧密平衡係数、 $K_c = 0.5$

θ : 地震合成角 (度) $\theta = \tan^{-1} k$ 又は、 $\theta = \tan^{-1} k'$ で表わされる。

k : 震度

k' : 見かけの震度

α, ζ : 崩壊面が水平となす角度 (度)

地震時粘性土主働土圧の考え方

本プログラムでは、地震時粘性土主働土圧の計算方法を以下の4つの方法の中から選択します。

- 上・下共に見かけの震度を用いて土圧を計算する
- 海底面～海底面-10m間の土圧強度を直線補完（土層下限値のみ補完で算出）
- 海底面～海底面-10m間の土圧強度を直線補完（土層上・下限値共に補完で算出）
- 海底面～海底面-10m間の見かけの震度を直線補完

（aの方法を選択した場合）

海底面～海底面-10m以内に粘土層がある場合でも、全て見かけの震度を考慮し、計算式の選択により(式-3、式-4)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-3)・(式-4)のみで計算します。

海底面-10m以深の粘土層については、見かけの震度を0として、計算式の選択により(式-1、式-2)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-1)・(式-2)のみで計算します。

尚、層の下限値が層の上限値よりも小さくなる場合は、層の上限値を層の下限の土圧とするかどうかの選択が可能です。

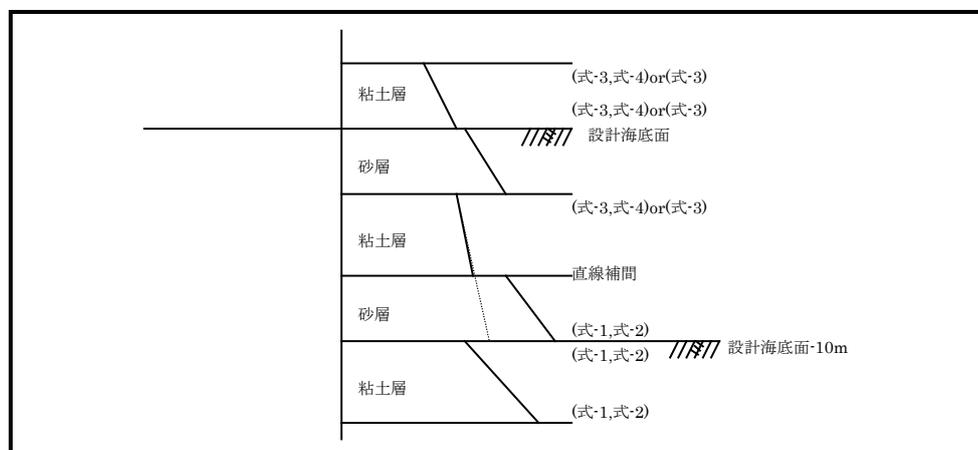
（bの方法を選択した場合）

海底面～海底面-10m以内に粘土層がある場合に、層の上限の土圧は、見かけの震度を考慮し、計算式の選択により(式-3、式-4)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-3)・(式-4)のみで計算します。

層の下限の土圧は、その土層が海底面-10m位置までであると仮定し、見かけの震度を0として、計算式の選択により(式-1、式-2)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-1)・(式-2)のみで計算し、実際の層の下限位置で直線補完を行います。

海底面-10m以深の粘土層については、見かけの震度を0として、計算式の選択により(式-1、式-2)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-1)・(式-2)のみで計算します。

尚、層の下限値が層の上限値よりも小さくなる場合は、層の上限値を層の下限の土圧とするかどうかの選択が可能です。



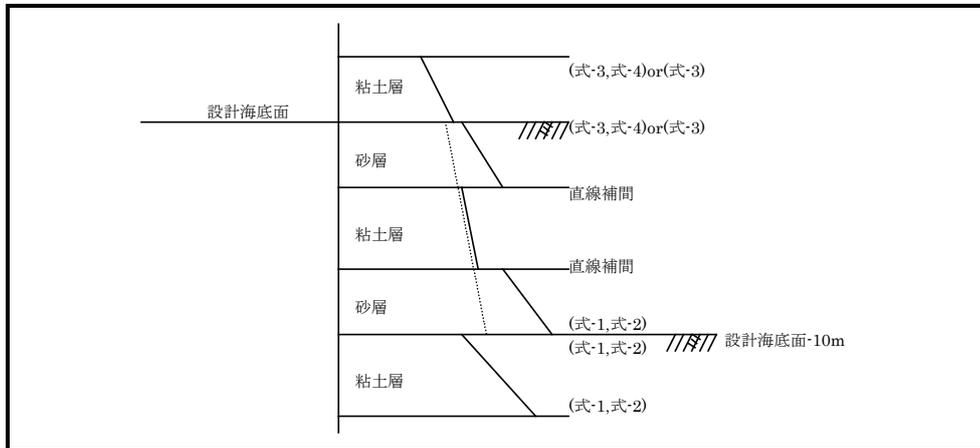
(cの方法を選択した場合)

海底面～海底面－10m以内に粘土層がある場合に、その粘性土が一様にあるものとし、層の上限位置を海底面位置と仮定して、見かけの震度を考慮し、計算式の選択により(式-3、式-4)の構造物に危険側となる値があるいは、(式-3)・(式-4)のみで計算し、実際の層の上限位置で直線補完を行います。

層の下限の土圧は、その土層が海底面－10m位置までであると仮定し、見かけの震度を0として、計算式の選択により(式-1、式-2)の構造物に危険側となる値があるいは、(式-1)・(式-2)のみで計算し、実際の層の下限位置で直線補完を行います。尚、層の上限・下限の土圧強度が海底面位置の土圧強度よりも小さくなった場合、海底面位置の土圧強度を採用するかどうかの選択が可能です。

海底面－10m以深の粘土層については、見かけの震度を0として、計算式の選択により(式-1、式-2)の構造物に危険側となる値があるいは、(式-1)・(式-2)のみで計算します。

尚、層の下限値が層の上限値よりも小さくなる場合は、層の上限値を層の下限の土圧とするかどうかの選択が可能です。



※ 粘性土が設計海底面を挟む場合、使用する見かけの震度は、実際の土層による見かけの震度です。

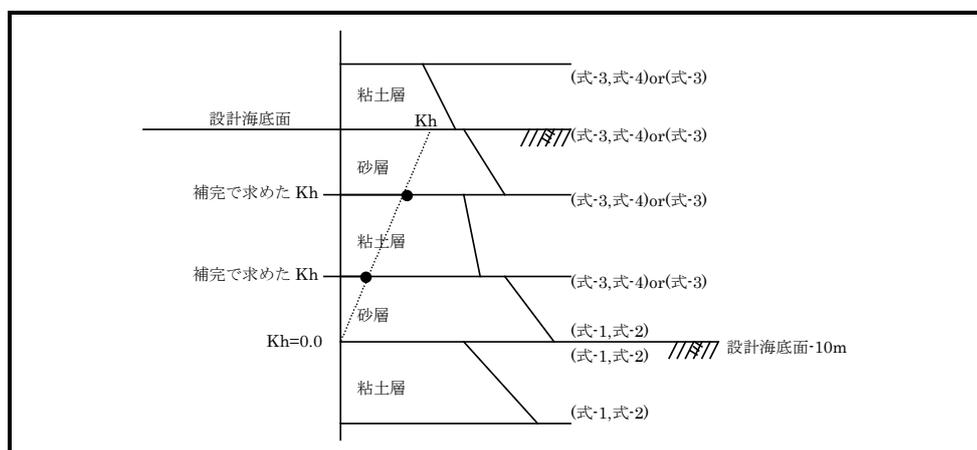
(dの方法を選択した場合)

海底面～海底面－10m以内に粘土層がある場合に、実際の土層の見かけの震度を計算し、その見かけの震度を設計海底面の見かけの震度と仮定します。その見かけの震度が、海底面－10m位置で0.0になるものとして実際の土層上限・下限で直線補完を行います。求めた土層上限の見かけの震度を用いて、計算式の選択により(式-3、式-4)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-3)・(式-4)のみで計算します。

層の下限の土圧は、求めた層の下限値の見かけの震度を用いて、計算式の選択により(式-3、式-4)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-3)・(式-4)のみで計算します。尚、層の上限・下限の土圧強度が海底面位置の土圧強度よりも小さくなった場合、海底面位置の土圧強度を採用するかどうかの選択が可能です。

海底面－10m以深の粘土層については、見かけの震度を0として、計算式の選択により(式-1、式-2)の構造物に危険側となる値かあるいは、(式-1)・(式-2)のみで計算します。

尚、層の下限値が層の上限値よりも小さくなる場合は、層の上限値を層の下限の土圧とするかどうかの選択が可能です。



※ 粘性土が設計海底面を挟む場合、使用する見かけの震度は、実際の土層による見かけの震度です。

2-4. 残留水位の考え方について

係船岸等で裏込め又は、裏埋土内の水位と前面の水位との間に水位差が生じる場合には、設計にあたり、以下に示す残留水位が係船岸等に作用するものとします。

$$0 \leq y < h_w \text{ のとき } p_w = \gamma_w y$$

$$h_w \leq y \text{ のとき } p_w = \gamma_w h_w$$

ここに、

p_w : 残留水圧 (kN/m²)

h_w : 残留水位差、裏込め又は裏埋土内の水位が前面の水位よりも高い場合でその時の最大の水位差 (m)

y : 裏込め又は裏埋土内の水面から残留水位を求める点までの深さ (m)

γ_w : 水の単位体積重量 (kN/m³)

2-5. 崩壊角の算定方法について

本プログラムでは、杭の突出長を算出するために崩壊角を計算します。各土層の上限・下限値を算出し、その平均値を崩壊角とします。

砂質土の主働崩壊角算定式

1) 常時の主働崩壊角算定式

$$\cot(\zeta_i - \beta) = -\tan(\phi_i + \delta + \varphi - \beta) + \sec(\phi_i + \delta + \varphi - \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta) \sin(\phi_i + \delta)}{\cos(\varphi - \beta) \sin(\phi_i - \beta)}}$$

2) 地震時の主働崩壊角算定式

$$\cot(\zeta_i - \beta) = -\tan(\phi_i + \delta + \varphi - \beta) + \sec(\phi_i + \delta + \varphi - \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta + \theta) \sin(\phi_i + \delta)}{\cos(\varphi - \beta) \sin(\phi_i - \beta - \theta)}}$$

ここに、

ϕ_i : i 層の土の内部摩擦角 (度)

ϕ : 壁面が鉛直となす角度 (度)

β : 地表面が水平となす角度 (度)

δ : 壁面摩擦角 (度)

ζ_i : i 層の崩壊面が水平となす角度 (度)

θ : 地震合成角 (度) $\theta = \tan^{-1} k$ 又は、 $\theta = \tan^{-1} k'$ で表わされる。

k : 震度

k' : 見かけの震度

砂質土の受働崩壊角算定式

1) 常時の受働崩壊角算定式

$$\cot(\zeta_i - \beta) = \tan(\phi_i - \delta - \varphi + \beta) + \sec(\phi_i - \delta - \varphi + \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta) \sin(\phi_i - \delta)}{\cos(\varphi - \beta) \sin(\phi_i + \beta)}}$$

2) 地震時の受働崩壊角算定式

$$\cot(\zeta_i - \beta) = \tan(\phi_i - \delta - \varphi + \beta) + \sec(\phi_i - \delta - \varphi + \beta) \sqrt{\frac{\cos(\varphi + \delta - \theta) \sin(\phi_i - \delta)}{\cos(\varphi - \beta) \sin(\phi_i + \beta - \theta)}}$$

ここに、

ϕ_i : i 層の土の内部摩擦角 (度)

ϕ : 壁面が鉛直となす角度 (度)

β : 地表面が水平となす角度 (度)

δ : 壁面摩擦角 (度)

ζ_i : i 層の崩壊面が水平となす角度 (度)

θ : 地震合成角 (度) $\theta = \tan^{-1} k$ 又は、 $\theta = \tan^{-1} k'$ で表わされる。

k : 震度

k' : 見かけの震度

粘性土の主働崩壊角算定式

1) 常時の主働崩壊角算定式

常時の粘性土には、主働崩壊角を求める式が基準書等には表記されていないため、ここでは、入力値を用います。

2) 地震時の主働崩壊角算定式

(式-①)

$$\zeta_a = \tan^{-1} \sqrt{1 - \left(\frac{\Sigma\gamma h + 2w}{2c} \right) \tan \theta}$$

(式-②)

$$2\alpha = 90^\circ - \mu$$

$$\mu = \tan^{-1} \frac{\bar{a}}{\sqrt{\bar{b}^2 - \bar{a}^2}}$$

$$\bar{a} = \sin \theta$$

$$\bar{b} = \sin \theta + \frac{2c \cdot \cos \theta}{\Sigma\gamma h + w}$$

ここに、

γ : 土の単位体積重量 (kN/m^3)

h : 層の厚さ (m)

w : 水平単位面積当たりの載荷重 (kN/m^2)

c : 土の粘着力 (kN/m^2)

θ : 地震合成角 (度) $\theta = \tan^{-1} k$ 又は、 $\theta = \tan^{-1} k'$ で表わされる。

k : 震度

k' : 見かけの震度

α, ζ_a : 崩壊面が水平となす角度 (度)

上記の(式-①)で崩壊角を計算した場合、ルートの中身が負になる場合があります。その場合、(式-②) [岡部式]を用いるか、あるいは崩壊角既定値を用いて計算するかをプログラムにより選択可能となっています。崩壊角既定値により、計算する場合は、以下のような処理を行います。岡部式の場合は、上限・下限値の平均値を用います。

- ① 土層の上限・下限の崩壊角が負の値の場合、入力した崩壊角既定値を層の崩壊角とします。
- ② 土層の上限の崩壊角が負の値の場合、下限の崩壊角と入力した崩壊角既定値をその土層の崩壊角とします。
- ③ 土層の下限の崩壊角が負の値の場合、上限の崩壊角と入力した崩壊角既定値をその土層の崩壊角とします。
- ④ 土層の上限・下限の崩壊角が正の値の場合、上限・下限の崩壊角の平均値をその土層の崩壊角とします。

(式-2)の出典は、次のようになっています。

土圧係数図表 日本港湾協会編

粘性土の受働崩壊角算定式

1) 常時の受働崩壊角算定式

常時の粘性土には、受働崩壊角を求める式が基準書等には表記されていないため、ここでは、入力値を用います。

2) 地震時の受働崩壊角算定式

地震時の粘性土には、受働崩壊角を求める式が基準書等には表記されていないため、ここでは、入力値を用います。

2-6. 腐食後の断面性能について

本プログラムでは、鋼矢板・鋼管矢板／鋼管杭・H形鋼杭の腐食後の断面性能を以下のように考えて算定しています。

鋼管杭については、 t_1 、 t_2 の腐食代が同じ場合と考え継手有効間隔（B）は、考慮しません。

鋼矢板の場合

鋼矢板の場合は、腐食後の断面性能の計算方法として以下の2つの内のどちらかが選択できます。

- a. 腐食後の断面係数を「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。
- b. 「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。

1) 断面係数（Z）

プログラム内部に「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。

2) 断面二次モーメント（I）

断面二次モーメントは、腐食後の断面係数を用い次式により算出します。

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

ここに、

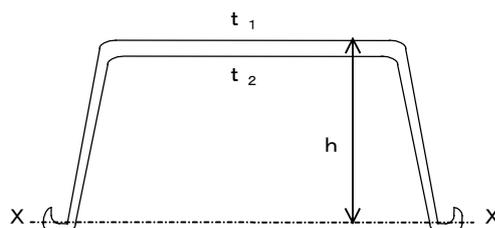
I : 腐食後の断面二次モーメント (cm^4/m)

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 : 鋼矢板の腐食代 (cm)

t_2 : 鋼矢板の腐食代 (cm)



鋼管矢板の場合

1) 継手有効間隔 (B)

継手有効間隔は、直接値を入力することもできますが、以下の4型については、プログラムの内部で継手有効間隔を算出します。

a. L-T型 (二港湾型) L-65×65×8

$$B = \left\{ \frac{D}{2} + 76 + \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - 80^2} \right\} - D$$

b. L-T型 (二港湾型) L-75×75×9

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

ここに、

B : 継手有効間隔 (mm)

D : 鋼管の外形 (mm)

c. P-T型 (パイプT型) B = 180.0mm

d. P-P型 (パイプ型) B = 247.8mm

2) 断面二次モーメント (I)

- a. まったく腐食がない場合か、あるいは t_1 、 t_2 の腐食代が同じ場合は次式を使用します。

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

ここに、

I_{nx} : 図心軸に関する断面の断面二次モーメント

D : 外形の直径

d : 内径の直径

- b. 腐食代が t_1 、 t_2 で違う場合は次式を使用します。

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

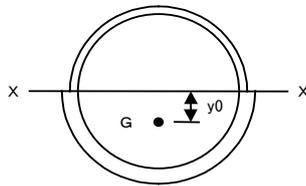
ここに、

I_{nx} : 図心軸に関する断面の断面二次モーメント

I_x : $X-X$ 軸に関する断面二次モーメント

A : 断面積

y_0 : $X-X$ 軸と図心との離れ



3) 断面係数 (Z)

断面係数は、腐食後の断面二次モーメントを用い次式から計算します。
腐食代が t_1 、 t_2 で違う場合は、最小の断面係数 (Z) を採用します。

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

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

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

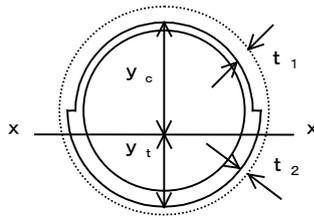
ここに、

Z : 断面係数

I_{nx} : 図心軸に関する断面の断面二次モーメント

y_c : 図心軸から上縁までの距離

y_t : 図心軸から下縁までの距離



2-7. 前面矢板の根入れ長について

フリーアースサポート法

根入れ長は、以下の式を満足するように決定します。

$$M_P \geq F_S \cdot M_A$$

ここに、

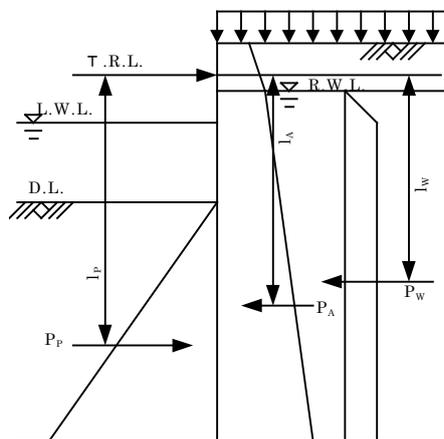
M_A : 主働側土圧および残留水圧によるタイロッド取付点まわりのモーメント ($kN \cdot m/m$)

$$M_A = P_A \cdot l_A + P_W \cdot l_W$$

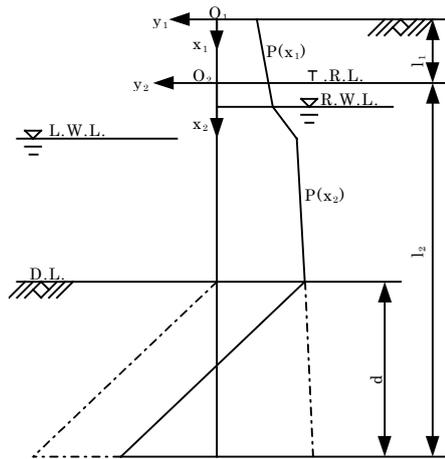
M_P : 受働側土圧によるタイロッド取付点まわりのモーメント ($kN \cdot m/m$)

$$M_P = P_P \cdot l_P$$

F_S : 安全率



たわみ曲線法



上図のように座標を与えますと、タイロッド取付点 O_2 より上側の支配方程式は(1)式で、また、下側の支配方程式は(2)式で与えられます。

$$EI \frac{d^4 y_1}{dx_1^4} = B \cdot p(x_1) \quad (1)$$

$$EI \frac{d^4 y_2}{dx_2^4} = B \cdot p(x_2) \quad (2)$$

ここに、

- E : 鋼材の弾性係数 (kN/m^2)
- I : 鋼矢板壁の断面二次モーメント (m^4)
- B : 壁幅 (m)
- p : 荷重関数 (kN/m^2)
- x_1 : 天端からの深さ (m)
- x_2 : タイロッド取付点からの深さ (m)
- y_1, y_2 : 鋼矢板壁の変位 (m)

(1) 式及び (2) 式の解は、(3) 式、(4) 式のようになります。

$$y_1 = a_1 + b_1 x_1 + c_1 x_1^2 + d_1 x_1^3 + \frac{B}{EI} \iiint p(x_1) (dx_1)^4 \quad (3)$$

$$y_2 = a_2 + b_2 x_2 + c_2 x_2^2 + d_2 x_2^3 + \frac{B}{EI} \iiint p(x_2) (dx_2)^4 \quad (4)$$

$a_1 \sim d_1, a_2 \sim d_2$: 積分定数□

ここで、上記 2 式の境界条件は、下記のように与えられます。

$$\left. \begin{array}{l}
 (i) \quad \text{鋼矢板壁天端 } O_1 \text{ における境界条件} \\
 \quad -EIy_1''(0) = 0, \quad -EIy_1'''(0) = 0 \\
 (ii) \quad \text{タイロッド取付点 } O_2 \text{ における境界条件} \\
 \quad y_1(l_1) = y_2(0) = 0, \quad y_1'(l_1) = y_2'(0) \\
 \quad -EIy_1''(l_1) = -EIy_2''(0), \quad -EIy_1'''(l_1) + A_p = -EIy_2'''(0) \\
 \quad A_p: \text{タイロッド取付点反力 (kN)} \\
 (iii) \quad \text{鋼矢板壁下端における境界条件} \\
 \quad y_2(l_2) = 0, \quad y_2'(l_2) = 0, \quad -EIy_2''(l_2) = 0
 \end{array} \right\} (5)$$

支配方程式 (3) 式、(4) 式と、境界条件式 (5) を比べますと、未知数が積分定数と取付点反力の 9 個に対して境界条件が 10 個であり、境界条件の方が 1 つ多くなっています。それ故、鋼矢板壁下端における 3 個の境界条件のうち 2 個を取出し、除いた条件式を満足するまで、順次繰り返し計算を行い根入れ長を決定します。

このようにして、根入れ長が決定されればすべての未知数（積分定数、タイロッド取付点反力）が決まります。故に、先の支配方程式 (3) 式および (4) 式より鋼矢板壁各部の 4 諸量（変位、たわみ角、曲げモーメント、せん断力）は全て得られます。尚、実際の根入れ長は、先の計算により得られた根入れ長に所定の安全率をかけて決定します。

ロウの方法

ロウの方法は、根入れ部を弾性支承上のはりとして解く方法で、基本式は以下のようになっています。

$$\frac{d^4 y}{dx^4} EI = p(x) = P_{A0} + K_{AD} \cdot \gamma \cdot x - K_0 \cdot \gamma \cdot x - \left(\frac{lh}{D_F \cdot r_t} \right) \cdot x \cdot y$$

ここに、

- E : 矢板のヤング係数 (MN/m^2)
- I : 矢板の単位幅当たりの断面二次モーメント (m^4/m)
- P_{AD} : 海底面における主働土圧と残留水圧による荷重強度 ($MN/m^2/m$)
- K_{AD} : 矢板壁根入れ部の主働土圧係数
- γ : 土の単位体積重量 (MN/m^3)
- K_0 : 静止土圧係数
- I_h : 矢板壁の地盤反力係数 (MN/m^3)
- D_F : 矢板壁の収束根入れ長 (m)
- r_t : 根入れ部前面の第一次の正の反力土圧の作用深さと D_F の比

本システムでは、フリーアースサポート法で計算した根入れ長が、下記のロウの方法による根入れ長を満足するように決定します。ここでは、値の大きくなる方の値を用いています。

$$\delta_N = \frac{D_F}{H_T} \geq 4.9510 \times \omega^{-0.2} - 0.2486$$

$$\delta_s = \frac{D_F}{H_T} \geq 5.0916 \times \omega^{-0.2} - 0.2591$$

ここに、

- δ_s : 矢板の根入れ長とタイ材取り付け点から海底面までの高さの比
- D_F : 矢板の根入れ長 (m)
- H_T : タイ材取り付け点から海底面までの高さ (m)
- ω : シミラリティナンバー ($=\rho \cdot I_h$)
- ρ : フレキシビリティナンバー ($=HT^4/EI$) (m^3/MN)
- E : 矢板のヤング係数 (MN/m^2)
- I : 矢板の単位幅当たりの断面二次モーメント (m^4/m)
- I_h : 矢板壁の地盤反力係数 (MN/m^3)

最大曲げモーメント及び、タイ材取付点反力については、仮想ばり法で求めた結果を下記の式を用いて修正します。

$$\mu_N = \frac{M_F}{M_T} = 3.8625 \times \omega^{-0.2} + 0.2255$$

$$\mu_s = \frac{M_F}{M_T} = 4.5647 \times \omega^{-0.2} + 0.1329$$

$$\tau_N = \frac{T_F}{T_T} = 1.8259 \times \omega^{-0.2} + 0.6232$$

$$\tau_s = \frac{T_F}{T_T} = 2.3174 \times \omega^{-0.2} + 0.5514$$

ここに、

μ : たわみ曲線解析において収束根入れ長 D_F のときの最大曲げモーメント M_F とタイ材取付点及び海底面を支点とした仮想ばり法の設計の最大曲げモーメント M_T との比

τ : たわみ曲線解析において収束根入れ長 D_F のときのタイ材取付点反力 T_F と仮想ばり法で求めたタイ材取付点反力 T_T との比

A_p : タイ材取付点反力 (T_F, T_T) (kN/m)

2-8. タイ材について

本プログラムでは、タイ材をプログラム内部に保持し、下の式を満足するように断面の小さいものからトライアル計算を行い、決定します。

$$\sigma_a \leq \frac{T}{A}$$

ここに、

T : タイロッドの張力(N)

A : タイロッドの断面積(mm²)

σ_a : 許容引張応力度(N/mm²)

2-9. 腹おこし材について

本プログラムでは、腹おこし材をプログラム内部に保持し、下の式を満足するように断面の小さいものからトライアル計算を行い、決定します。また、分母値は、プログラムにより入力可能となっています。

$$M_{\max} = \frac{T \cdot L}{10}$$

ここに、

M_{\max} : 腹おこしに作用する最大曲げモーメント (kN・m)

T : タイロッドの張力 (kN)

L : タイロッド取り付け間隔 (m)

$$\sigma_a \geq \frac{M_{\max} \times 10^6}{2 \cdot Z \times 10^3}$$

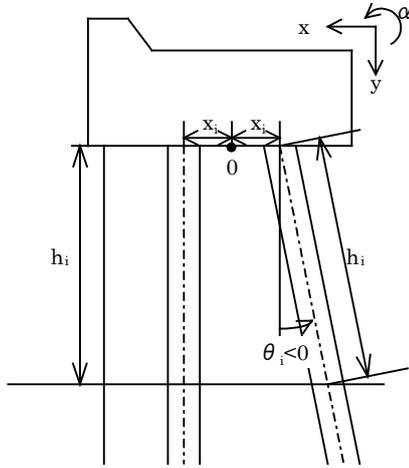
ここに、

Z : 腹おこしの断面係数 (cm³)

σ_a : 許容曲げ応力度 (N/mm²)

2-10. 杭の反力について

変位法



$$A_{xx} \cdot \delta_x + A_{xy} \cdot \delta_y + A_{x\alpha} \cdot \alpha = H_0$$

$$A_{yx} \cdot \delta_x + A_{yy} \cdot \delta_y + A_{y\alpha} \cdot \alpha = V_0$$

$$A_{\alpha x} \cdot \delta_x + A_{\alpha y} \cdot \delta_y + A_{\alpha\alpha} \cdot \alpha = M_0$$

$$A_{xx} = \sum (K_1 \cdot \cos^2 \theta_i + K_V \cdot \sin^2 \theta_i)$$

$$A_{xy} = A_{yx} = \sum (K_V - K_1) \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i$$

$$A_{x\alpha} = A_{\alpha x} = \sum \{ (K_V - K_1) x_i \cdot \sin \theta_i \cdot \cos \theta_i - K_2 \cdot \cos \theta_i \}$$

$$A_{yy} = \sum (K_V \cdot \cos^2 \theta_i + K_1 \cdot \sin^2 \theta_i)$$

$$A_{y\alpha} = A_{\alpha y} = \sum \{ (K_V \cdot \cos^2 \theta_i + K_1 \cdot \sin^2 \theta_i) x_i + K_2 \cdot \sin \theta_i \}$$

$$A_{\alpha\alpha} = \sum \{ (K_V \cdot \cos^2 \theta_i + K_1 \cdot \sin^2 \theta_i) x_i^2 + (K_2 + K_3) x_i \cdot \sin \theta_i + K_4 \}$$

ここに

H_0 : フーチング底面より上に作用する水平荷重 (kN)

V_0 : フーチング底面より上に作用する鉛直荷重 (kN)

M_0 : 原点Oのまわりの外力のモーメント (kN・m)

δ_x : 原点Oの水平変位量 (m)

δ_y : 原点Oの鉛直変位量 (m)

α : フーチングの回転角 (rad)

x_i : i番目の杭の杭頭の座標 (m)

θ_i : i番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度 (度)

各杭に作用するV, H, M

$$\begin{aligned}P_{\setminus} &= K_V \cdot \delta_{yi}' \\P_{Hi} &= K_1 \cdot \delta_{xi}' - K_2 \cdot \alpha \\M_{ti} &= -K_3 \cdot \delta_{xi}' + K_4 \cdot \alpha \\ \delta_{xi}' &= \delta_x \cdot \cos \theta_i - (\delta_y + \alpha x_i) \cdot \sin \theta_i \\ \delta_{yi}' &= \delta_x \cdot \sin \theta_i + (\delta_y + \alpha x_i) \cdot \cos \theta_i\end{aligned}$$

ここに

δ_{xi}' : i 番目の杭の杭頭の軸直角方向変位量 (m)

δ_{yi}' : i 番目の杭の杭頭の軸方向変位量 (m)

K_V : 杭頭に単位量の軸方向変位量を
生じさせる杭軸方向力 (杭の軸方向バネ定数) (kN/m)

K_1, K_2, K_3, K_4 : 杭の軸直角方向バネ定数

x_i : i 番目の杭の杭頭の座標 (m)

θ_i : i 番目の杭の杭軸が鉛直軸となす角度 (度)

P_{Ni} : i 番目の杭の杭軸方向力 (kN)

P_{Hi} : i 番目の杭の杭軸直角方向力 (kN)

M_{ti} : i 番目の杭の杭頭に作用する外力としてのモーメント (kN・m)

地中部の杭の軸方向バネ定数 (KV)

$$K_V = a \frac{A_p E_p}{l}$$

ここに

K_V : 杭の軸方向バネ定数 (kN/m)

A_p : 杭の純断面積 (m²)

E_p : 杭体のヤング係数 (kN/m²)

l : 杭の根入れ長 (m)

a は次式により算定する

平成8年道路橋示方書

打込み鋼管杭 $a = 0.014(l/D) + 0.78$

中掘り鋼管杭 $a = 0.009(l/D) + 0.39$

平成14年道路橋示方書

打込み鋼管杭 $a = 0.014(l/D) + 0.72$

中掘り鋼管杭 $a = 0.010(l/D) + 0.36$

D : 杭径 (m)

杭本体のY、M、S

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

$$\mathfrak{I}_1(\beta x) = \cosh \beta x \cos \beta x$$

$$\mathfrak{I}_2(\beta x) = \frac{1}{2} (\cosh \beta x \sin \beta x + \sinh \beta x \cos \beta x)$$

$$\mathfrak{I}_3(\beta x) = \frac{1}{2} \sinh \beta x \sin \beta x$$

$$\mathfrak{I}_4(\beta x) = \frac{1}{4} (\cosh \beta x \sin \beta x - \sinh \beta x \cos \beta x)$$

$$\cosh \beta x = \frac{1}{2} (e^{\beta x} + e^{-\beta x}), \quad \sinh \beta x = \frac{1}{2} (e^{\beta x} - e^{-\beta x})$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{K_h D}{4EI}}$$

$V_0 = \{y_0, \theta_0, -M_0, -H_0\}^T \dots \dots$ 初期条件

一般に*i*層では

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

が成り立つ。 V_i は*i*層下端の状態量ベクトル $\{y_b, \theta_b, M_b, S_b\}$ である。

したがって、*i*層先端の状態量は

$$V_n = AV_0$$

$$A = F_n F_{n-1} \dots \dots F_i \dots \dots F_2 F_1$$

で表される。 A は (4×4) の正方マトリックスであり、その要素を α_{ij} ($i=1, 2, 3, 4, j=1, 2, 3, 4$)とし、杭先端を自由とすると

$$\begin{Bmatrix} y_b \\ \theta_b \\ 0 \\ 0 \end{Bmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix} \begin{Bmatrix} y_0 \\ \theta_0 \\ -M_0 \\ -H_0 \end{Bmatrix}$$

であるから、これより

$$y_0 = f_{HH}^\circ H_0 + f_{HM}^\circ M_0$$

$$\theta_0 = f_{OH}^\circ H_0 + f_{OM}^\circ M_0$$

$$f_{HH}^\circ = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} a_{34} & a_{32} \\ a_{44} & a_{42} \end{vmatrix}, \quad f_{HM}^\circ = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} a_{33} & a_{32} \\ a_{43} & a_{42} \end{vmatrix}$$

$$f_{OH}^\circ = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} a_{31} & a_{34} \\ a_{41} & a_{44} \end{vmatrix}, \quad f_{OM}^\circ = \frac{1}{\Delta} \begin{vmatrix} a_{31} & a_{33} \\ a_{41} & a_{43} \end{vmatrix}$$

$$\Delta = \begin{vmatrix} a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \end{vmatrix} = a_{31}a_{42} - a_{32}a_{41}$$

K1, K2, K3, K4の計算法

前記（2. 4. 4 杭本体のY、M、S）の結果より以下の方法で求める。

$$H_t = K_1 y_t - K_2 M_t$$

$$M_t = -K_3 y_t + K_4 M_t$$

$$K_1 = \frac{f_{OM}}{f_{HH} f_{OM} - f_{HM} f_{OH}}$$

$$K_2 = K_3 = \frac{f_{HM}}{f_{HH} f_{OM} - f_{HM} f_{OH}}$$

$$K_4 = \frac{f_{HH}}{f_{HH} f_{OM} - f_{HM} f_{OH}}$$

K値の計算法

K値の計算法として以下の6種類を用意しています。

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

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

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

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

※ この手法で等しくならない場合(2つの値で振幅する)には2つの値を用いて二分法で算定を行う。

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 $q_u \rightarrow N \rightarrow K$ 値

$$K_h = 1500 \cdot 2 \cdot X \cdot C$$

X については、 $q_u (N/mm^2) = N/X$ の入力値 (X) を kN/m^2 に単位変換かけたもの

斜角による K_h の補正

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

※日本道路協会，道路橋示方書・同解説IV下部構造編（平成14年3月 P254）

※鋼管杭協会，鋼矢板 設計から施工まで（2000年 改定新版 P26）

※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

2-11. 杭の応力について

$$\text{軸力に対して} \quad \sigma_c = \frac{N}{A}$$

$$\text{曲げに対して} \quad \sigma_b = \frac{M}{Z}$$

$$\text{軸方向圧縮に対して} \quad \frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$$

$$\text{軸方向引張に対して} \quad |\sigma_t - \sigma_{bt}| \leq \sigma_{ba}$$

許容軸方向圧縮応力度

$$\begin{aligned} & \left[\begin{array}{l} \frac{l}{r} \leq 18 : 140 \\ 18 < \frac{l}{r} \leq 92 : 140 - 0.82\left(\frac{l}{r} - 18\right) \\ \frac{l}{r} > 92 : \frac{1200000}{6700 + (l/r)^2} \end{array} \right. \\ & \left[\begin{array}{l} \frac{l}{r} \leq 16 : 185 \\ 16 < \frac{l}{r} \leq 79 : 185 - 1.2\left(\frac{l}{r} - 16\right) \\ \frac{l}{r} > 79 : \frac{1200000}{5000 + (l/r)^2} \end{array} \right. \end{aligned}$$

2-12. 支持力について

本システムでは、支持力の検討を以下の3つの工法から選択できます。

打込み鋼管杭

1) 軸方向押し込み支持力

[支持層：砂質土]

$$Ru = 300 \cdot N \cdot Ap + \sum 2 \cdot Ni \cdot As + \sum Cai \cdot As$$

$$Ra = \frac{Ru}{F}$$

ここに

Ru : くいの極限支持力 (kN)

Ra : くいの特容支持力 (kN)

N : くい先端地盤のN値

Ap : くい先端面積 (m^2)

As : くい周表面積 $As = U \cdot Li$ (m^2)

U : くい周長 $U = \pi \cdot B$ (m)

B : 杭径 (m)

Li : 層の厚さ (m)

Ni : 砂質土層内の平均N値

Cai : 粘性土層内の平均付着力 (kN/m^2)

F : 安全率

ただし、N値は次式により算定するものとする

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

ここに

N_1 : くい先端位置でのN値

$\overline{N_2}$: くい先端より上方へ4Bなる範囲内の平均のN値

[支持層：粘性土]

$$Ru = 8 \cdot Cp \cdot Ap + \sum 2 \cdot Ni \cdot As + \sum Cai \cdot As$$

$$Ra = \frac{Ru}{F}$$

ここに

Cp : くい先端位置での粘着力 (kN/m^2)

2) 軸方向引き抜き支持力

$$Ru = \sum 2 \cdot Ni \cdot As + \sum Cai \cdot As$$

$$Ra = w + \frac{Ru}{F}$$

ここに

Ru : くいの極限支持力 (kN)

Ra : くいの許容支持力 (kN)

As : くいの周表面積 $As = U \cdot Li$ (m^2)

U : くいの周長 $U = \pi \cdot B$ (m)

B : 杭径 (m)

Li : 層の厚さ (m)

Ni : 砂質土層内の平均N値

Cai : 粘性土層内の平均付着力 (kN/m^2)

w : くい自重 (浮力を差し引いたもの) (kN)

F : 安全率

ただし、 w は次式により算定するものとする

$$w = A \cdot \gamma \cdot L - A \cdot \gamma_w \cdot L_w$$

ここに

A : くい断面面積 (m^2)

γ : くい単位体積重量 (kN/m^3)

L : くい長さ (m)

γ_w : 海水の単位体積重量 (kN/m^3)

L_w : くい浮力を受ける部分の長さ (m)

中掘り鋼管杭（道路橋示方書）

1) 軸方向押し込み支持力

$$Ru = qd \cdot Ap + U \cdot (\sum Ni \cdot Li + \sum 0.5 \cdot Cai \cdot Li) \text{——— 道路橋示方書 平成8年}$$

$$Ru = qd \cdot Ap + U \cdot (\sum 2 \cdot Ni \cdot Li + \sum 0.8 \cdot Cai \cdot Li) \text{——— 道路橋示方書 平成14年}$$

$$Ra = \frac{Ru}{F}$$

ここに

Ru : くいの極限支持力 (kN)

Ra : くいの許容支持力 (kN)

qd : くい先端で支持する単位面積当りの極限支持力度 (kN / m²)

Ap : くい先端面積 (m²)

U : くい周長 $U = \pi \cdot B$ (m)

B : 杭径 (m)

Li : 層の厚さ (m)

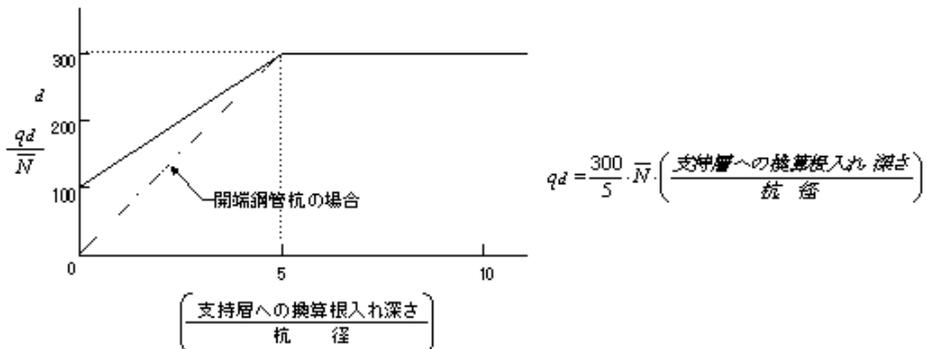
Ni : 砂質土層内の平均N値

Cai : 粘性土層内の平均付着力 (kN / m²)

F : 安全率

この支持力の算定式は道路橋示方書 平成8年に掲載されているものと道路橋示方書 平成14年に掲載されているものとの2種類を選択できます。極限支持力度qdの算定法として以下の5種類を選択できます。

1 : 最終打撃方式



2 : セメントミルク噴出攪拌方式（砂層） $qd = 150 \cdot N$

3 : セメントミルク噴出攪拌方式（砂礫層） $qd = 200 \cdot N$

4 : コンクリート打設方式（砂礫層及び砂層） $qd = 3000$

5 : コンクリート打設方式（良質な砂礫層） $qd = 5000$

6 : コンクリート打設方式（硬質粘性土層） $qd = 3 \cdot qu$ qu : 一軸圧縮強度 (kN/m²)

2) 軸方向引き抜き支持力

$$Ru = U \cdot (\sum Ni \cdot Li + \sum 0.5 \cdot Cai \cdot Li) \text{——— 道路橋示方書 平成8年}$$

$$Ru = U \cdot (\sum 2 \cdot Ni \cdot Li + \sum 0.8 \cdot Cai \cdot Li) \text{——— 道路橋示方書 平成14年}$$

$$Ra = w + \frac{Ru}{F}$$

ここに

Ru : くい^の極限支持力 (kN)

Ra : くい^の許容支持力 (kN)

U : くい^の周長 $U = \pi \cdot B$ (m)

B : 杭径 (m)

Li : 層^の厚さ (m)

Ni : 砂質土層内^の平均N値

Cai : 粘性土層内^の平均付着力 (kN /m²)

w : くい^の自重 (浮力を差し引いたもの) (kN)

F : 安全率

ただし、 w は次式により算定するものとする

$$w = A \cdot \gamma \cdot L - A \cdot \gamma_w \cdot L_w$$

ここに

A : くい^の断面積 (m²)

γ : くい^の単位体積重量 (kN /m³)

L : くい^の長さ (m)

γ_w : 海水^の単位体積重量 (kN /m³)

L_w : くい^の浮力を受ける部分^の長さ (m)

この支持力^の算定式は道路橋示方書 平成8年に掲載されているものと道路橋示方書 平成14年に掲載されているもの^の2種類を選択できます。

埋め込み杭（漁港基準）

1) 軸方向押し込み支持力

$$Ra = \frac{1}{F} \left[200 \cdot \eta \cdot \bar{N} \cdot Ap + \left(\sum 2 \cdot Ns \cdot Ls + \sum 10 \cdot Nc \cdot Lc \right) \cdot \phi \right] - w$$

ここに

Ra : 長期許容支持力（上部構造からの荷重とくいの自重の和に対して適用）(kN)

η : 開端くいの閉塞効力（開端くいでは $\eta = 1$ ）

\bar{N} : 先端抵抗N値（くい先端より下へ1.0d～上へ4.0dの間の実測N値の平均）

Ap : くい先端の全断面積（開端くいでは閉鎖断面積とする）(m²)

Ns : くい周地盤中、砂質部分の実測N値の平均

Ls : くい周地盤中、砂質部分にあるくい長さ (m)

Nc : くい周地盤中、粘土質部分の実測N値の平均

ただし、実測値のうち $N = 0$ は0.5とみなし、またその上限は4とする

Lc : くい周地盤中、粘土質部分にあるくい長さ (m)

ϕ : くいの周長 (m)

w : くいの自重 (kN)

F : 安全率

2) 軸方向引き抜き支持力

$$Ra = \frac{1}{F} \left(\sum 2 \cdot Ns \cdot Ls + \sum 10 \cdot Nc \cdot Lc \right) \cdot \phi + w$$

ここに

Ra : 長期許容支持力（上部構造からの荷重とくいの自重の和に対して適用）(kN)

Ns : くい周地盤中、砂質部分の実測N値の平均

Ls : くい周地盤中、砂質部分にあるくい長さ (m)

Nc : くい周地盤中、粘土質部分の実測N値の平均

ただし、実測値のうち $N = 0$ は0.5とみなし、またその上限は4とする

Lc : くい周地盤中、粘土質部分にあるくい長さ (m)

ϕ : くいの周長 (m)

w : くいの自重 (kN)

F : 安全率

2-13. 負の周面摩擦について

本システムでは、負の周面摩擦の検討を以下の3つの工法から選択できます。

打込み鋼管杭

1) 負の周面摩擦の最大値 $R_{nf, max}$

$$R_{nf, max} = \left(\sum 2 \cdot N_{si} \cdot L_i + \sum \frac{q_{ui} \cdot L_i}{2} \right) \cdot \phi$$

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/m^2)

L_i : 層の厚さ (m)

ϕ : くい周長の周長 (m)

2) ぐいの先端支持力

[支持層：砂質土]

$$R_p = 300 \cdot N \cdot A_p + 2 \cdot N_s \cdot L \cdot \phi$$

ここに

R_p : ぐいの先端支持力 (kN)

N : ぐい先端地盤のN値

A_p : ぐいの先端面積 (m^2)

L : ぐいが支持地盤 (砂質土地盤) 中に貫入している長さ (m)

N_s : L区間での平均N値

[支持層：粘性土]

$$R_p = 8 \cdot C_p \cdot A_p + C_a \cdot L \cdot \phi$$

ここに

R_p : ぐいの先端支持力 (kN)

C_p : ぐい先端位置での粘着力

A_p : ぐいの先端面積 (m^2)

L : ぐいが支持地盤 (粘性土地盤) 中に貫入している長さ (m)

C_a : L区間での平均付着力

3) 安定検討

$$Ra \leq \frac{1}{1.2} \cdot Rp - Rnf, \max$$

$$Ra \leq \sigma f \cdot Ae - Rnf, \max$$

ここに

Ra : 軸方向許容支持力 (常時) (kN)

Rp : くい先端支持力 (極限值) (kN)

Rnf, \max : 負の周面摩擦の最大値 (kN)

σf : けいの降伏点圧縮応力度、又は長期許容圧縮応力度の1.5倍 (kN/m²)

Ae : けいの有効断面積 $Ae = \pi/4 \cdot (B^2 - B'^2)$ (m²)

B : 腐食後の杭径 (m)

B' : 杭の内径 (m)

中掘り鋼管杭（道路橋示方書）

1) 負の周面摩擦の最大値 $R_{nf, max}$

$$R_{nf, max} = (\sum N_{si} \cdot L_i + \sum 0.5 \cdot C_{ai} \cdot L_i) \cdot \phi \quad \text{——— 道路橋示方書 平成8年}$$

$$R_{nf, max} = (\sum 2 \cdot N_{si} \cdot L_i + \sum 0.8 \cdot C_{ai} \cdot L_i) \cdot \phi \quad \text{——— 道路橋示方書 平成14年}$$

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)

ϕ : くい周長の周長 (m)

2) ぐいの先端支持力 R_p

[支持層：砂質土]

$$R_p = qd \cdot A_p + N_s \cdot L \cdot \phi \quad \text{——— 道路橋示方書 平成8年}$$

$$R_p = qd \cdot A_p + 2 \cdot N_s \cdot L \cdot \phi \quad \text{——— 道路橋示方書 平成14年}$$

ここに

R_p : ぐいの先端支持力 (kN)

qd : くい先端で支持する単位面積当りの極限支持力度 (kN/m²)

A_p : ぐいの先端面積 (m²)

L : ぐいが支持地盤 (砂質土地盤) 中に貫入している長さ (m)

N_s : L区間での平均N値

[支持層：粘性土]

$$R_p = qd \cdot A_p + 0.5 \cdot C_a \cdot L \cdot \phi \quad \text{——— 道路橋示方書 平成8年}$$

$$R_p = qd \cdot A_p + 0.8 \cdot C_a \cdot L \cdot \phi \quad \text{——— 道路橋示方書 平成14年}$$

ここに

R_p : ぐいの先端支持力 (kN)

qd : くい先端で支持する単位面積当りの極限支持力度 (kN/m²)

A_p : ぐいの先端面積 (m²)

L : ぐいが支持地盤 (粘性土地盤) 中に貫入している長さ (m)

C_a : L区間での平均付着力 (kN /m²)

この支持力の算定式は道路橋示方書 平成8年に掲載されているものと道路橋示方書 平成14年に掲載されているものとの2種類を選択できます。

3) 安定検討

$$Ra \leq \frac{1}{1.2} \cdot Rp - Rnf, \max$$

$$Ra \leq \sigma f \cdot Ae - Rnf, \max$$

ここに

Ra : 軸方向許容支持力 (常時) (kN)

Rp : くい先端支持力 (極限值) (kN)

Rnf, \max : 負の周面摩擦の最大値 (kN)

σf : くい降伏点圧縮応力度、又は長期許容圧縮応力度の1.5倍 (kN/m²)

Ae : くい有効断面積 $Ae = \pi/4 \cdot (B^2 - B'^2)$ (m²)

B : 腐食後の杭径 (m)

B' : 杭の内径 (m)

埋め込み鋼管杭（漁港基準）

1) 負の周面摩擦の最大値 $R_{nf, max}$

$$R_{nf, max} = \left(\sum 2 \cdot N_{si} \cdot L_{si} + \sum 10 \cdot N_{ci} \cdot L_{ci} \right) \cdot \phi$$

ここに

$R_{nf, max}$: 負の周面摩擦の最大値 (kN)

N_{si} : くい周地盤中、砂質部分の実測N値の平均

L_{si} : くい周地盤中、砂質部分にあるくい長さ (m)

N_{ci} : くい周地盤中、粘土質部分の実測N値の平均

ただし、実測値のうち $N = 0$ は0.5とみなし、またその上限は4とする

L_{ci} : くい周地盤中、粘土質部分にあるくい長さ (m)

ϕ : くいの周長 (m)

2) くいの先端支持力 R_p

[支持層：砂質土]

$$R_p = 200 \cdot \eta \cdot \bar{N} \cdot A_p + 2 \cdot N_s \cdot L \cdot \phi$$

ここに

R_p : くいの先端支持力 (kN)

η : 開端くいの閉塞効力 (閉端くいでは $\eta = 1$)

\bar{N} : 先端抵抗N値 (くい先端より下へ1.0d～上へ4.0dの間の実測N値の平均)

A_p : くい先端の全断面積 (開端くいでは閉鎖断面積とする) (m^2)

L : ぐいが支持地盤 (砂質土地盤) 中に貫入している長さ (m)

N_s : L区間での平均N値

[支持層：粘性土]

$$R_p = 200 \cdot \eta \cdot \bar{N} \cdot A_p + 10 \cdot N_c \cdot L \cdot \phi$$

ここに

L : ぐいが支持地盤 (粘性土地盤) 中に貫入している長さ (m)

N_c : L区間での実測N値の平均

ただし、実測値のうち $N = 0$ は0.5とみなし、またその上限は4とする

3) 安定検討

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

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

ここに

R_a : 軸方向許容支持力 (常時) (kN)

R_p : くいの先端支持力 (極限值) (kN)

$R_{nf, max}$: 負の周面摩擦の最大値 (kN)

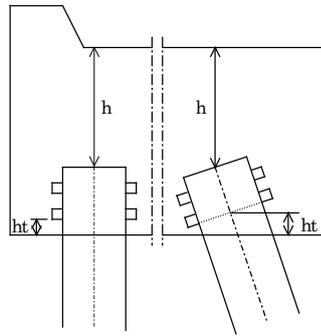
σ_f : くいの降伏点圧縮応力度、又は長期許容圧縮応力度の1.5倍 (kN/m^2)

A_e : くいの有効断面積 $A_e = \pi/4 \cdot (B^2 - B'^2)$ (m^2)

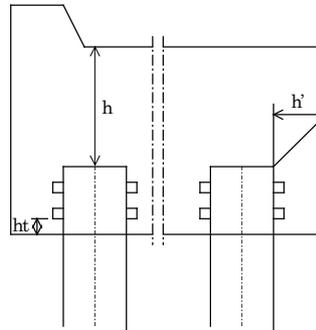
B : 腐食後の杭径 (m)

2-14. 杭とフーチングの結合計算について

許容応力度法



斜杭の場合のh'は垂直杭と同様の計算をします。



1) 押し込み力に対する照査

a. フーチングコンクリートの垂直支圧応力度

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

b. フーチングコンクリートの押抜きせん断応力度

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

2) 引抜き力に対する照査

a. フーチングコンクリートの引抜きせん断応力度

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

3) 水平力およびモーメントに対する照査

a. フーチングコンクリートの水平支圧応力度

$$\sigma_{ch} = \frac{H}{D \cdot l} + \frac{6 \cdot M}{D \cdot l^2} \leq \sigma_{ca}$$

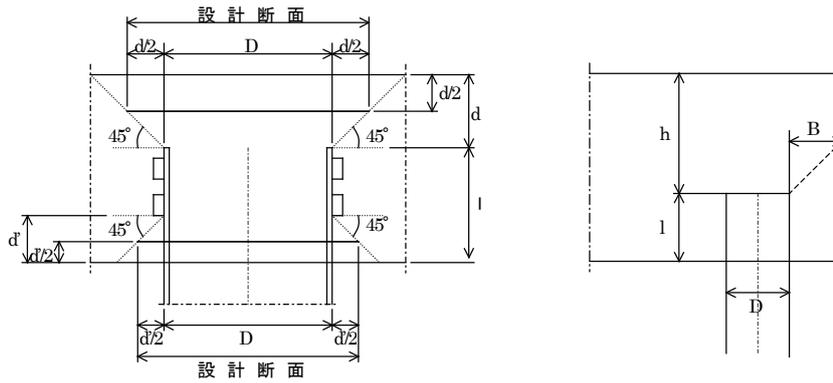
b. フーチング端部の杭に対する水平方向押抜きせん断応力度

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

ここに

σ_{cv}	: 垂直支圧応力度	(N/mm^2)
σ_{ch}	: 水平支圧応力度	(N/mm^2)
σ_{ca}	: コンクリートの許容支圧応力度	(N/mm^2)
τ_v	: 垂直方向の押抜きせん断応力度	(N/mm^2)
τ_{vt}	: 垂直方向の引抜きせん断応力度	(N/mm^2)
τ_h	: 水平方向の押抜きせん断応力度	(N/mm^2)
τ_a	: コンクリートの許容押抜きせん断応力度	(N/mm^2)
τ_{at}	: コンクリートの許容引抜きせん断応力度	(N/mm^2)
P	: 軸方向押込み力	(N)
P_t	: 軸方向引抜き力	(N)
H	: 軸直角方向力	(N)
M	: モーメント	($N \cdot mm$)
l	: 杭の押込み長	(mm)
D	: 杭の外径	(mm)
h	: 垂直方向の押抜きせん断力に抵抗するフーチングの有効厚さ	(mm)
h'	: 水平方向の押抜きせん断力に抵抗するフーチングの有効厚さ	(mm)
h_t	: 引抜きせん断力に抵抗するフーチングの有効厚さ	(mm)

限界状態設計法



1) 押し抜き／引き抜きせん断に対する照査

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

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

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

ここに

γ_i : 構造物係数

S_d : 最大軸力の設計用値 (kN)

V_{pcd} : 設計押し抜きせん断耐力 (kN)

β_d : せん断耐力の有効高さに関する係数

$$\beta_d = (l/d)^{1/4} \quad \beta_d > 1.5 \text{ならば、} \beta_d = 1.5$$

β_p : せん断耐力の鉄筋比に関する係数

$$\beta_p = (100 \cdot p_w)^{1/3} \quad \beta_p > 1.5 \text{ならば、} \beta_p = 1.5$$

β_r : せん断耐力の載荷面の周長に関する係数

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

u : 杭の周長 (m)

u_p : 設計断面の周長で最下面から $d/2$ 離れた位置
で計算するものとする。 (m)

f'_{cd} : コンクリートの圧縮強度の設計用値 (N/mm^2)

d : 有効高さ (m)

p : 二方向の鉄筋に対する平均値

γ_b : 部材係数

2) 押し込み／引き抜き力に対する照査

$$l \geq \frac{P}{\Psi \cdot f_{bod}} \cdot \gamma_b$$

ここに

l : 埋め込み長 (m)

P : 杭に作用する軸方向力の設計用値 (kN)

Ψ : 杭の外周長 (m)

f_{bod} : 杭材とコンクリートとの付着強度の設計用値 (kN/m^2)

γ_b : 部材係数

3) 曲げモーメントに対する照査

$$l \geq \sqrt{\frac{6 \cdot M}{D \cdot f'_{ad}}} \cdot \gamma_b \cdot \gamma_i$$

ここに

l : 埋め込み長 (m)

M : 杭頭拘束モーメント ($\text{kN} \cdot \text{m}$)

D : 杭幅又は杭の直径 (m)

f'_{ad} : 上部工コンクリートの支圧強度の設計用値 (kN/m^2)

γ_b : 部材係数

γ_i : 構造物係数

4) フーチング端部の杭に対する水平方向の押抜きせん断に対する照査

$$\tau_h = \frac{H}{B \cdot (2l + D + 2B)} \leq f_{pcd} / \gamma_b$$

ここに

τ_h : 水平方向の押抜きせん断応力度 (kN/m^2)

f_{pcd} : コンクリートの押し抜きせん断強度の設計用値 (kN/m^2)

l : 埋め込み長 (m)

D : 杭幅又は杭の直径 (m)

B : 水平方向押し抜きせん断に対する有効縁端距離 (m)

H : 軸直角方向力 (kN)

γ_b : 部材係数

3. 補足資料

3-1. 参考文献

準拠基準及び参考文献は以下の通りです。

- | | | |
|--------------------|----------|--------------|
| ・ 港湾の施設の技術上の基準・同解説 | 平成11年 4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 |
| ・ 漁港の技術指針 | 1999年版 | 全国漁港協会 |
| ・ 漁港・漁場の施設の設計参考図書 | 2015年版 | 水産庁 |
| ・ 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 |
| ・ SI単位系移行に関する参考資料 | 平成10年 7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 |
| | 平成18年 1月 | 日本道路協会 |