

港湾設計業務シリーズ

門型係留杭

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
2. 機能説明	2
2-1. 浮棧橋に作用する波力	2
2-2. 浮棧橋に作用する風荷重	3
2-3. 浮棧橋に作用する流体力	4
2-4. 連絡橋に作用する風荷重	4
2-5. 断面性能について	5
2-6. 断面力について	6
フレーム計算	6
水平方向地盤反力係数の算定方法	8
2-7. 杭の応力について	10
杭の応力照査【漁港基準、港湾基準(H11)】	10
杭の応力照査【港湾基準(H30)】	11
2-8. 支持力について	12
杭の支持力照査【港湾基準(H11)、漁港基準】	12
杭の支持力照査【港湾基準(H30)】	12
打込鋼管【港湾基準(H11)、漁港基準】	13
打込鋼管【港湾基準(H30)】	14
中堀鋼管(H24)【港湾基準(H11)、漁港基準】	15
中堀鋼管(H29)【漁港基準】	17
中堀鋼管(H29)【港湾基準(H30)】	17
2-9. 根入れ長の検討	18
地盤が一様とみなせる場合	18
地盤の性質が著しく変化する場合	18
2-10. 杭の天端高の照査	19
2-11. H30年港湾基準の照査方法について	20
杭の応力照査	20
杭の支持力照査	20
3. 補足資料	21
3-1. 参考文献	21

1. 概要

1-1. システムの特長

本システムは、「門型係留杭」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。

計算外力として、波力、風荷重、流体力、接岸力、牽引力、他外力の考慮ができ、門型杭の断面力/応力度、根入れ長、支持力、連結部の変位量、天端高の検討が可能です。

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30年/11年港湾基準、漁港基準に準拠しています。
- ・ 長手直角方向と短手直角方向の2方向の検討が可能です。
- ・ 杭は 鋼管杭/H型鋼杭 から選択できます。
- ・ 横梁は 角形鋼管/H型鋼杭/なし から選択できます。
- ・ 検討潮位は最大3潮位扱えます。(H.W.L、L.W.L、任意潮位)
- ・ 1回の計算で最大10ケースの検討ができます。
- ・ 杭の支持力(打込鋼管、中掘鋼管(H24年、H29年))の計算が可能です。
- ・ 現況の腐食量と耐用年数の腐食速度から腐食後の断面性能を自動計算します。また、地中部の防食も考慮できます。
- ・ 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。
- ・ 報告書の印刷イメージを画面に表示し、確認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]

- | | | |
|-------------|----|-------------------|
| ・ 検討ケース数 | 最大 | 10ケース |
| ・ 土層データ数 | 最大 | 13層 |
| ・ その他外力データ数 | | 各ケース毎に水平力、鉛直力で各4つ |

2. 機能説明

2-1. 浮棧橋に作用する波力

参照：『浮体式係船岸設計・施工マニュアル(案)』(P. 39)

参照：『漁港・漁場構造物設計計算例 平成16年新刊』(P. 407)

参照：『プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル(平成30年改訂版)』(P. 27~32)

(1) 浮体式係船岸設計施工マニュアル

$$F_b = \rho_0 g \cdot H \cdot (B \cdot d + A)$$

F_b : 浮棧橋に作用する波力	(kN)
$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量	(kN/m ³)
H : 設計波高 $H_{1/3}$	(m)
B : 浮棧橋の全長もしくは全幅	(m)
d : 浮棧橋の喫水	(m)
A : 係留船舶による受圧面積の加算	(m ²)

(2) プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル

○長手直角方向検討時

$$d > \frac{1}{2} \cdot H \text{ のとき}$$

$$F_b = \rho_0 g \cdot H \cdot B \cdot d$$

$$d \leq \frac{1}{2} \cdot H \text{ のとき}$$

$$F_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 g \cdot \left(\frac{H}{2} + d\right)^2 \cdot B$$

F_b : 浮棧橋に作用する波力	(kN)
d : 浮体の喫水	(m)
H : 設計波高 H_{\max}	(m)
$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量	(kN/m ³)
B : 浮棧橋の全長もしくは全幅	(m)

○短手直角方向検討時

$$d > \frac{1}{2} \cdot H \text{ のとき}$$

$$F_b = \rho_0 g \cdot H \cdot (B + L) \cdot d$$

$$d \leq \frac{1}{2} \cdot H \text{ のとき}$$

$$F_b = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 g \cdot \left(\frac{H}{2} + d\right)^2 \cdot (B + L)$$

F_b : 浮棧橋に作用する波力 (kN)

d : 浮棧橋の喫水 (m)

H : 設計波高 H_{\max} (m)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)

B : 浮棧橋の全長もしくは全幅 (m)

L : 船舶の長さ (m)

2-2. 浮棧橋に作用する風荷重

参照 : 『浮体式係船岸設計・施工マニュアル』(P. 39)

参照 : 『漁港・漁場構造物設計計算例 平成16年新刊』(P. 408)

$$F_K = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot (B \cdot h + A) \cdot C_K$$

F_K : 浮棧橋に作用する風荷重 (kN)

ρ : 空気の密度 (t/m³)

V : 設計風速 (m/s)

B : 浮棧橋の全長もしくは全幅 (m)

h : 浮棧橋の乾舷高 (m)

A : 係留船舶による受圧面積の加算 (m²)

C_K : 抗力係数

2-3. 浮棧橋に作用する流体力

参照：『浮体式係船岸設計・施工マニュアル(案)』(P.40)

$$F_C = \frac{1}{2} \cdot \rho_0 g \cdot C_{DC} \cdot A_C \cdot U_C^2$$

$$A_C = S_K \cdot B$$

F_C : 浮棧橋に作用する流体力 (kN)

$\rho_0 g$: 海水の単位体積重量 (kN/m³)

C_{DC} : 抗力係数

A_C : 浮棧橋の没水部の流れ方向の投影面積 (m²)

U_C : 流速 (m/s)

S_K : 浮棧橋の喫水 (m)

B : 浮棧橋の全長もしくは全幅 (m)

2-4. 連絡橋に作用する風荷重

参照：『道路橋示方書・同解説 I 共通編 平成29年11月』(P.137)

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 \cdot C_d \cdot G \cdot A$$

P : 連絡橋に作用する風荷重 (kN)

ρ : 空気の密度 (t/m³)

V : 設計風速 (m/s)

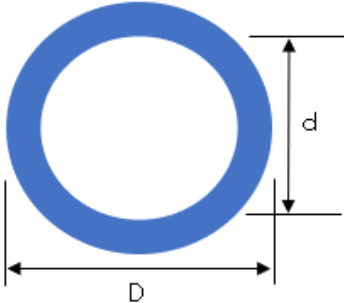
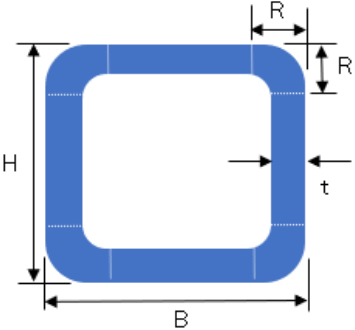
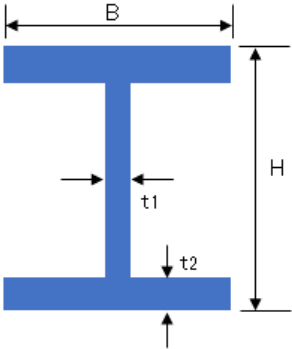
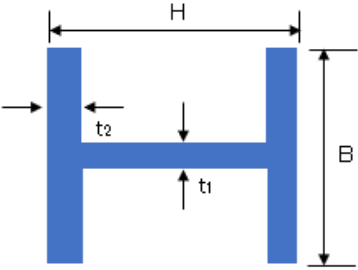
C_d : 抗力係数

G : ガスト応答係数

A : 有効投影面積 (m²)

2-5. 断面性能について

本プログラムでは、骨組構造解析で用いる断面性能を以下のように算定しています。

断面形状	断面積 A	断面二次 モーメント I
 <p>A diagram of a circular ring cross-section. The outer diameter is labeled 'D' and the inner diameter is labeled 'd'. Arrows indicate the dimensions.</p>	$\frac{\pi(D^2 - d^2)}{4}$	$\frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$
 <p>A diagram of a square ring cross-section with rounded corners. The outer side length is 'B' and the inner side length is 'H'. The corner radius is 'R' and the thickness is 't'. The inner radius is labeled 'r = R - t'. Arrows indicate the dimensions.</p>	$4\pi \left(\left(\frac{R}{2} \right)^2 - \left(\frac{r}{2} \right)^2 \right) + 2t((B - 2R) - (H - 2R))$	$\frac{t(D - 2R)^3}{6} + \frac{(B - 2R)}{12} (D^3 - (D - 2t)^3) + \left(\frac{D}{2} + \frac{4}{3\pi} R - R \right)^2 \pi R^2 - \left(\frac{(D - 2t)}{2} + \frac{4}{3\pi} r - r \right)^2 \pi r^2 + \left(\frac{\pi}{4} - \frac{16}{9\pi} \right) (R^4 - r^4)$
 <p>A diagram of an I-beam cross-section. The total height is 'H' and the flange width is 'B'. The web thickness is 't1' and the flange thickness is 't2'. Arrows indicate the dimensions.</p>	$(h - 2t_2)t_1 + 2bt_2$	$2 \left\{ \frac{bt_2^3}{12} + bt_2 \left(\frac{h}{2} - \frac{t_2}{2} \right)^2 \right\} + \frac{t_1(h - 2t_2)^3}{12}$
 <p>A diagram of an H-beam cross-section. The total height is 'H' and the flange width is 'B'. The web thickness is 't2' and the flange thickness is 't1'. Arrows indicate the dimensions.</p>	$(h - 2t_2)t_1 + 2bt_2$	$\frac{(h - 2t_2)t_1^3}{12} + \frac{t_2b^3}{6}$

2-6. 断面力について

参照：『構造力学公式集 昭和49年12月』(P. 73~P. 93)

参照：『杭基礎設計便覧 平成4年10月』(P. 196)

フレーム計算

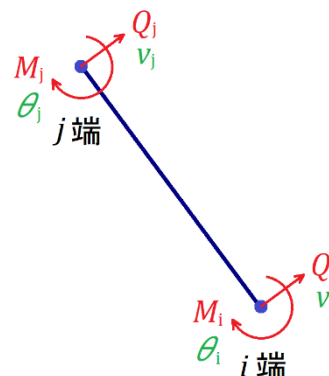
突出部におけるフレーム計算は次のようになります。

$$F = K\delta$$

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

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

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



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

A : 部材の断面積

I : 部材の断面二次モーメント

l : 部材長

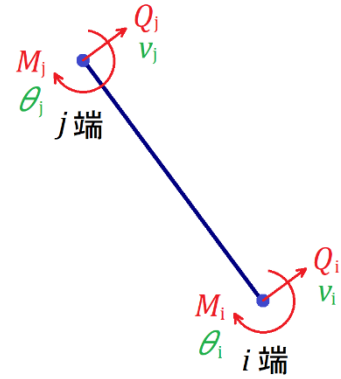
地中部におけるフレーム計算は次のようになります。

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

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

水平方向地盤反力係数の算定方法

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）

参照：『道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月』（P187、259）

参照：『鋼矢板 設計から施工まで 2000年』（P26）

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』

水平方向地盤反力係数K値(kN/m³)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) $K = 1500 \cdot N$
- 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 $\alpha = 1$

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 値→K値

算定式は4) 道路橋N値→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 $\alpha=4$

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 →N値→K値

粘性土でN値がない場合は q_u →N値でK値を算出します。

$$K = 1500 \cdot N$$

$$N = q_u \cdot X$$

$$q_u = 2 \cdot C$$

ここに

C : 土層の粘着力 (N/mm^2)

N : N値

X : 40~80の値を使用

q_u : 一軸圧縮強度 (N/mm^2)

K値の計算で使用する粘着力は次式で算出します。

$$C = C_0 + k(z_u + z_d)/2$$

C_0 : 粘着力切片 (N/mm^2)

k : 粘着力勾配 (N/mm^3)

z_u : N値計算対象となる土層の上限標高 (m)

z_d : N値計算対象となる土層の下限標高 (m)

7) 相関式

$$K_H = 3910 \cdot N^{0.733}$$

2-7. 杭の応力について

参照：『漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年度版 [上]』（P210）

参照：『港湾の施設の技術上の基準・同解説 平成11年4月』（P318）

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）

杭の応力照査【漁港基準、港湾基準(H11)】

杭軸圧縮方向に関する照査	杭軸引張方向に関する照査
$\frac{\sigma_c}{\sigma_{ca}} + \frac{\sigma_{bc}}{\sigma_{ba}} \leq 1.0$	$ \sigma_t + \sigma_{bt} \leq \sigma_{ta}$

σ_c : 軸方向力による圧縮応力度 (N/mm²)

σ_t : 軸方向力による引張応力度 (N/mm²)

σ_{bc} : 曲げモーメントによる圧縮応力度 (N/mm²)

σ_{bt} : 曲げモーメントによる引張応力度 (N/mm²)

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)

$$\sigma_c, \sigma_t = \frac{N}{A}, \quad \sigma_{bc}, \sigma_{bt} = \frac{M}{Z}$$

鋼材の許容応力度

鋼種 応力度	SKK400 SHK400M STKR400		SKK490 SHK490M STKR490	
	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	$l/r \leq 16$	185
	$18 < l/r \leq 92$	$140 - 0.82 \left(\frac{l}{r} - 18 \right)$	$16 < l/r \leq 79$	$185 - 1.20 \left(\frac{l}{r} - 16 \right)$
	$l/r > 92$	$\frac{1,200,000}{6,700 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$	$l/r > 79$	$\frac{1,200,000}{5,000 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$
曲げ引張応力度 σ_{ba}	140		185	
曲げ圧縮応力度 σ_{ba}	140		185	

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

杭の応力照査【港湾基準(H30)】

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

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

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/mm^2)

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/mm^2)

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/mm^2)

σ_{by} : 曲げ圧縮降伏応力度 (N/mm^2)

R_k : 抵抗項に関する特性値 (N/mm^2)

S_k : 荷重項に関する特性値 (N/mm^2)

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 (mm^2)

Z: 断面係数 (mm^3)

l: 有効座屈長 (m)

r: 断面二次半径 (m)

鋼種 応力	SKK400 SHK400M STKR400	SKK490 SHK490M STKR490	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 $13 < l/r \leq 67$ $450 - 3.70 \left(\frac{l}{r} - 13 \right)$ $l/r > 67$ $\frac{2,000,000}{3,500 + \left(\frac{l}{r} \right)^2}$

2-8. 支持力について

本システムでは支持力の検討には3つの工法（打込鋼管、中掘鋼管(H24)、中掘鋼管(H29)）があります。設計法によって選択できる工法が異なります。

設計法	工法		
	打込鋼管	中掘鋼管(H24)	中掘鋼管(H29)
港湾基準(H30)	○	×	○
港湾基準(H11)	○	○	×
漁港基準	○	○	○

杭の支持力照査【港湾基準(H11)、漁港基準】

$$N + W \geq 0.0$$

$$R_a \geq N + W, R_a = R_u / F$$

$$N + W < 0.0$$

$$R_a \geq N, R_a = R_u / F + W$$

N : 杭の軸方向力 (kN)

R_a : 杭の許容支持力 (kN)

R_u : 杭の極限支持力 (kN)

W : 鋼材自重 (kN)

F : 安全率

杭の作用状態に応じて以下の値を用いる

作用状態	押し込み	引き抜き
常時	2.5	3.0
異常時	1.5	2.5

杭の支持力照査【港湾基準(H30)】

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

$$\text{押し込みの場合 } S_k = V + W, \quad R_k = R_{pk} + R_{fk}$$

$$\text{引抜きの場合 } S_k = V - W, \quad R_k = R_{fk}$$

R_k : 抵抗項に関する特性値 (N/mm^2)

S_k : 荷重項に関する特性値 (N/mm^2)

R_{pk} : 杭先端支持力の特性値 (N/mm^2)

R_{fk} : 杭周面支持力の特性値 (N/mm^2)

V : 杭の軸方向力 (kN)

W : 杭の自重 (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

打込鋼管【港湾基準(H11)、漁港基準】

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）

参照：『漁港・漁場の施設の設計参考図書 2015年度版 [上]』（P258～260）

1) 軸方向押込み力

[支持層：砂質土地盤]

$$R_u = 300 \cdot \alpha \cdot N \cdot A_p + \sum 2 \cdot N_i \cdot A_s + \sum C_{ai} \cdot A_s, \quad R_a = \frac{R_u}{F}$$

ここに

R_u : 杭の極限支持力 (kN)

R_a : 杭の許容支持力 (kN)

α : 杭の閉塞率

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

A_p : 杭の先端面積 (m²)

A_s : 杭の周表面積 $A_s = U \cdot L_i$ (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

F : 安全率

N_1 : 杭先端地盤でのN値

N_2 : 杭先端より上方へ4×杭径での範囲内の平均N値

[支持層：粘性土地盤]

$$R_u = 8 \cdot \alpha \cdot C_p \cdot A_p + \sum 2 \cdot N_i \cdot A_s + \sum C_{ai} \cdot A_s, \quad R_a = \frac{R_u}{F}$$

ここに

C_p : 杭先端位置での粘着力

2) 軸方向引き抜き力

$$R_u = \sum 2 \cdot N_i \cdot A_s + \sum C_{ai} \cdot A_s, \quad R_a = \frac{R_u}{F} + w$$

ここに

w : 杭の自重 $w = A \cdot \gamma \cdot L$

A : 杭の断面積 (m²)

γ : 杭の単位体積重量 (kN/m³)

L : 杭の長さ (m)

打込鋼管【港湾基準(H30)】

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）

1) 杭の先端抵抗力

$$[\text{支持層：砂質土地盤}] \quad R_{pk} = 300N\alpha A_p$$

$$[\text{支持層：粘性土地盤}] \quad R_{pk} = 6C_p\alpha A_p$$

ここに

$$R_{pk} : \text{杭の先端抵抗力の特性値} \quad (kN)$$

α : 杭の閉塞率

$$A_p : \text{杭先端の有効面積} \quad (m^2)$$

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

$$N_1 : \text{杭先端地盤の}N\text{値} \quad (N_1 \leq 50)$$

$$\overline{N_2} : \text{杭先端より上方}4B\text{なる範囲内の平均の}N\text{値} \quad (\overline{N_2} \leq 50)$$

$$B : \text{杭の直径} \quad (m)$$

$$C_p : \text{杭先端位置での粘着力} \quad (kN/m^2)$$

2) 杭の周面抵抗力

$$\begin{aligned} R_{fk} &= \sum 2N_i A_s + \sum C_{ai} A_s \\ &= \left(\sum 2N_i L_i + \sum C_{ai} L_i \right) U \end{aligned}$$

ここに

$$R_{fk} : \text{杭周面抵抗力の特性値} \quad (kN)$$

$$A_s : \text{杭の周面積} \quad (m^2)$$

$$L_i : \text{層の厚さ} \quad (m)$$

$$U : \text{杭の周長} \quad (m)$$

$$N_i : \text{層の平均}N\text{値}$$

$$C_{ai} : \text{層の平均付着力} \quad (kN/m^2)$$

ここで C_{ai} は次のようにする

$$c \leq 100kN/m^2 \quad \text{の場合} \quad C_{ai} = c$$

$$c > 100kN/m^2 \quad \text{の場合} \quad C_{ai} = 100kN/m^2$$

中掘鋼管(H24)【港湾基準(H11)、漁港基準】

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）

1) 軸方向押込み力

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

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

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

F : 安全率

2) 軸方向引抜き力

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

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

ここに

w : 杭の自重 $w = A \cdot \gamma \cdot L$

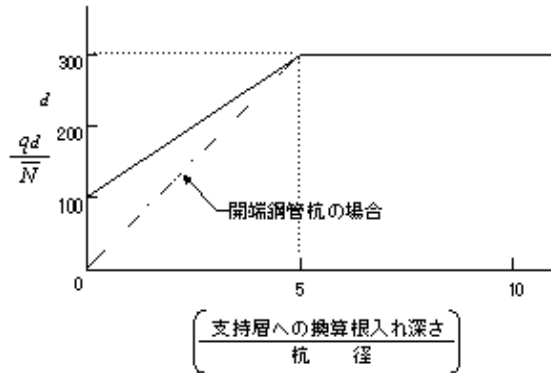
A : 杭の断面積

γ : 杭の単位体積重量

L : 杭の長さ

q_d は以下の項目より算定します

1 : 最終打撃工法



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

2 : セメントミルク噴出攪拌方式 (砂層)

$$q_d = 150 \cdot N$$

3 : セメントミルク噴出攪拌方式 (砂礫層)

$$q_d = 200 \cdot N$$

4 : コンクリート打設方式 (砂礫層及び砂層)

$$q_d = 3000$$

5 : コンクリート打設方式 (良質な砂礫層)

$$q_d = 5000$$

6 : コンクリート打設方式 (硬質粘性土層)

$$q_d = 3 \cdot q_u$$

$$q_u : \text{一軸圧縮強度}(kN/m^2)$$

中堀鋼管(H29)【漁港基準】

参照：『道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月』（P. 239）

1) 軸方向押込み力

$$R_a = \frac{R_u}{F} \quad , \quad R_u = q_d \cdot A_p + U(\sum 2 \cdot N_i \cdot L_i + \sum 0.8 \cdot C_{ai} \cdot L_i)$$

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($0.8C_{ai} \leq 70$)

F : 安全率

2) 軸方向引抜き力

$$R_a = \frac{R_u}{F} + w \quad , \quad R_u = U(\sum 2 \cdot N_i \cdot L_i + \sum 0.8 \cdot C_{ai} \cdot L_i)$$

ここに

w : 杭の自重 $w = A \cdot \gamma \cdot L$

A : 杭の断面積

γ : 杭の単位体積重量

L : 杭の長さ

中堀鋼管(H29)【港湾基準(H30)】

参照：『道路橋示方書・同解説IV下部構造編 平成29年11月』（P. 239）

1) 杭の先端抵抗力

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

2) 杭の周面抵抗力

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

q_d は以下の項目より算定します

- | | |
|--------------------------|---------------------|
| 1 : 最終打撃方式（先端粘性土層） | $q_d = 90 \cdot N$ |
| 2 : 最終打撃方式（先端砂層及び砂礫層） | $q_d = 130 \cdot N$ |
| 3 : セメントミルク噴出攪拌方式（先端砂層） | $q_d = 220 \cdot N$ |
| 4 : セメントミルク噴出攪拌方式（先端砂礫層） | $q_d = 250 \cdot N$ |

2-9. 根入れ長の検討

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）

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

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

ここに

β	: $1/\beta$ の平均特性値	(m^{-1})
l	: 根入れ長	(m)
X	: 円周率(π)か入力値	
k_H	: $1/\beta$ の平均横方向地盤反力係数	(kN/m^3)
l_i	: 第 <i>i</i> 層地盤の層厚	(m)
k_{hi}	: 第 <i>i</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)

地盤の性質が著しく変化する場合

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

ここに

β_n	: 第 <i>n</i> 層地盤の特性値	(m^{-1})
l_n	: 第 <i>n</i> 層地盤の層厚	(m)
X	: 円周率(π)か入力値	
k_n	: 第 <i>n</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_n	: 第 <i>n</i> 層地盤の杭の断面二次モーメント	(m^4)

2-10. 杭の天端高の照査

参照：『漁港・漁場構造物設計計算例 平成16年新刊』P410

$$L_T = h + I + \frac{H}{2} + \alpha \leq L$$

L_T 必要高さ位置	(m)
h : H.H.W.L	(m)
I : 浮棧橋の乾舷高	(m)
H : 設計波高	(m)
α : 余裕高	(m)
L : 横梁下端の高さ位置	(m)

2-11. H30年港湾基準の照査方法について

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』（P27）

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、標準的な部分係数は示されていません。そのため、支持力の照査は、「過去の経験に基づく方法」（過去の適用事例が多く、十分に実績のある、従来から利用されてきた安全率法や許容応力度法）に準ずるものとして、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。

杭の応力照査

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』（P1110）

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
常時	— (1.00)	— (1.00)	1.67
異常時	— (1.00)	— (1.00)	1.12

杭の支持力照査

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』（P1111）

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
常時	引抜杭	1.00	1.00	3.00
	押込杭	1.00	1.00	2.50
異常時	引抜杭	1.00	1.00	2.50
	押込杭	1.00	1.00	1.50

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 |
| | 平成19年 7月 | 日本港湾協会 |
| | 平成30年 5月 | 日本港湾協会 |
| | 2003年版 | 全国漁港協会 |
| | 2015年版 | 全国漁港協会 |
| ・ 漁港・漁場の施設の設計の手引き | 平成27年 3月 | 漁港漁場新技術研究会 |
| ・ 漁港・漁場の施設の設計参考図書 | 平成30年改訂版 | 日本マリーナ・ビーチ協会 |
| ・ 浮体式係船岸設計・施工マニュアル(案) | 平成16年新刊 | 全国漁港漁場協会 |
| ・ プレジャーボート用浮棧橋設計マニュアル | 昭和49年12月 | 土木学会 |
| ・ 漁港・漁場構造物設計計算例 | 平成 4年10月 | 日本道路協会 |
| ・ 構造力学公式集 | 平成29年11月 | 日本道路協会 |
| ・ 杭基礎設計便覧 | 平成29年11月 | 日本道路協会 |
| ・ 道路橋示方書 I 共通編 | 平成14年 4月 | 日本道路協会 |
| ・ 道路橋示方書 IV 下部構造編 | 第41回地盤工学研究発表会 | |
| ・ 道路橋示方書 IV 下部構造編 | 2000年 | 鋼管杭協会 |
| ・ 杭軸直角方向地盤反力係数の推定方法に関する一提案 | | |
| ・ 鋼矢板 設計から施工まで | | |