

3. 設計基準

3.1 一般事項

本設計基準は、キャブリングパイル工法（略称：CP 工法）を用いて設計を行う場合の設計基準を示す。

(1) 設計条件

- ① 建物の用途、規模、構造形式などに対しての制限は無いが、杭頭曲げを処理できることが条件である。
- ② 杭種は既製杭を対象とする。
- ③ 本設計基準は許容応力度設計を行う際の基礎構造の検討に適用する。

(2) 適用範囲

1) 対象とする建物

建物規模、形状および構造種別等についての制限は特にない。但し、杭頭曲げ、引抜き等の処理については以下の条件を満足するものとする。

- ①地震時における杭の水平抵抗によって杭頭固定度に応じた杭頭曲げが発生するため、杭の曲げ戻しモーメントの処理として基礎梁あるいはこれに類する抵抗部材を配置する。
- ②杭頭部に引抜き力が発生する杭については基礎梁等を介して引抜き力を処理するか、杭頭部に中詰コンクリートと引張定着筋を設け、この鉄筋で引張力の伝達を行う。

2) 対象とする杭工法

対象とする杭工法は既製杭工法とする。

本工法で対象とする杭径は下記の通りである。

既製杭（PHC 杭、PRC 杭、SC 杭、鋼管杭）

杭径 300mm～1200mm

設計基準強度 80N/mm² 以上

※ 在来一般工法とは、杭頭鉄筋等をパイルキャップへ定着させた杭頭接合法及びこれに類する工法を言う。

3) 本工法以外の杭頭接合工法との併用

同一建物において、本工法と在来一般工法等※との併用は可能である。

(3) 準拠規準

本設計基準に記載の無い事項については、以下の規準および指針等に準拠すること。

・ 2020 年版 建築物の構造関係技術基準解説書

一般財団法人建築行政情報センター 一般財団法人日本建築防災協会、2020.10

・ 建築基礎構造設計指針

日本建築学会、2019.11

・ 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

日本建築学会、2018.12

・ 鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説

日本建築学会、2014.1

3.2 設計方針

(1) 設計法

- ① 基礎・杭・杭頭接合部の設計は、許容応力度設計とする。
- ② 外力は長期・短期を設定し、それぞれ各部位が許容応力度以内であることを確認する。
- ③ 杭体の応力・変形の算出方法は次の 2 ケースとし、各々の設計条件に応じ選択する。
 - ・ 略算解析法（固定度を考慮した Chang の方法を用いる）
地盤がほぼ均一であり、十分長い杭（ $\beta L \geq 3.0$ ）の場合に用いる。
 - ・ 精算解析法（杭頭回転ばね、杭、地盤を線材又はばねにモデル化し、多層地盤解析を行う）
地盤が不均一で、水平地盤反力係数が著しく変化している場合及び、短杭（ $\beta L < 3.0$ ）の場合に用いる。
- ④ PC リング以外の部材(杭、パイルキャップ、基礎梁等)についての材料強度及び許容応力度は、前述の準拠規準による。

(2) 杭頭接合部の設計の要点

- ① 上部構造から杭に伝達される力及び杭頭からパイルキャップ、基礎梁へ戻される力の処理の方法は以下とする。
 - ・ 軸力：圧縮力の場合はパイルキャップから杭頭接合面を介して杭へ直接伝達される。引張力の場合には、引張定着筋によりパイルキャップへ伝達される。
 - ・ せん断力：接合面摩擦によって直接杭に伝達される成分もあるが、短期設計時はすべて PC リングにせん断力を負担させる。
 - ・ 杭頭曲げ：引張定着筋がない場合には、引張側の杭体と PC リングとの摩擦抵抗は無視し、圧縮側について PC リングと接合面の支圧にて抵抗させ、引張定着筋がある場合にはさらに引張定着筋の曲げ抵抗力を考慮する。
- ② 杭体と PC リングのせん断力の検定
PC リングの許容せん断力が、杭体からの作用せん断力を上回っていることを確認する。

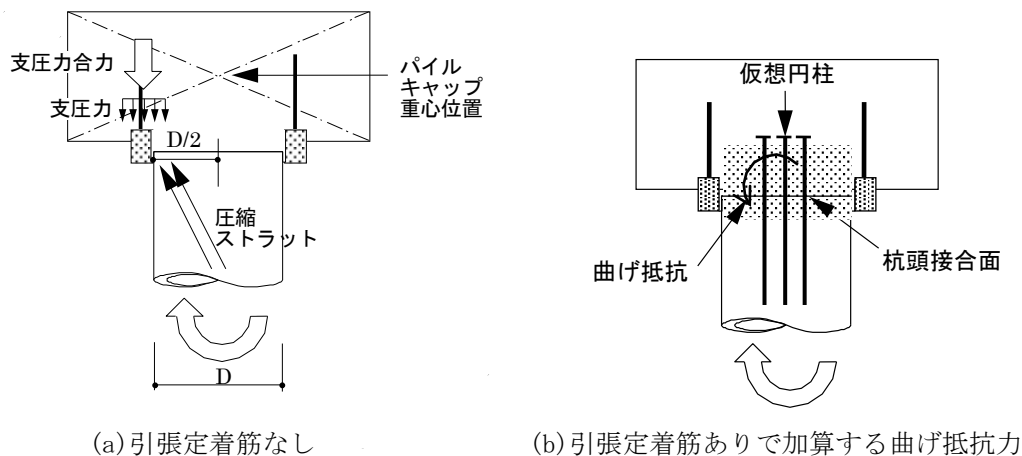
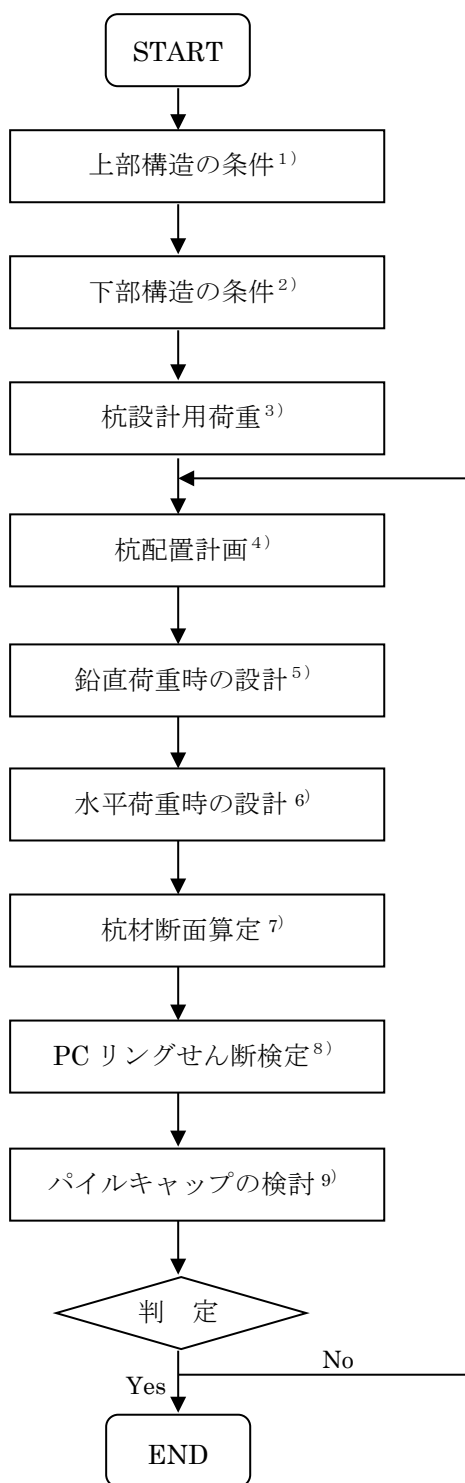


図 3-1 曲げモーメント伝達

3.3 設計フロー

(1) 全体フロー

一般的な設計フローとして図 3-2 に示す。PC リングは杭径・必要せん断耐力に応じて選択し、せん断検定を行う。



1) 長期柱軸力、地震時柱軸力、地震時せん断力

2) 地下、基礎部の水平力

3) 長期杭軸力、短期杭軸力、地震時杭せん断力

4) 杭径、杭タイプ

5) 杭支持力（長期、短期）

6) 固定度（略算用）、回転ばね（精算用）杭 1 本当りの負担せん断力、杭体応力、変形算定

7) M・N 曲線に M_s 、 N_s をプロット、せん断設計

8) 設計せん断力が PC リングの短期許容せん断力以下であることを確認

9) パイルキャップのパンチングに対する検討

注) 杭と PC リングの設計せん断力のうち、地震時せん断力は、割増し係数 n を掛けた値とする。原則として、 $n = 1.0$ とする。

ただし、一次設計のみ行う場合、コンクリート系の杭（PHC 杭、PRC 杭）については、 $n = 1.5$ とする。

設計条件		検定部材	割増し係数 n
一次設計のみ 行う場合	杭	PC リング	1.0
		SC杭、鋼管杭	1.0
		PHC杭、PRC杭	1.5
二次設計まで 行う場合	一次設計	PC リング	1.0
		SC杭、鋼管杭	1.0
		PHC杭、PRC杭	1.0
	二次設計	PC リング	1.0
		SC杭、鋼管杭	1.0
		PHC杭、PRC杭	1.0

図 3-2 PC リング設計フロー

(2) 略算解析法・精算解析法

略算解析法および精算解析法の応力解析と断面算定についてのフローを図 3-3 に示す。

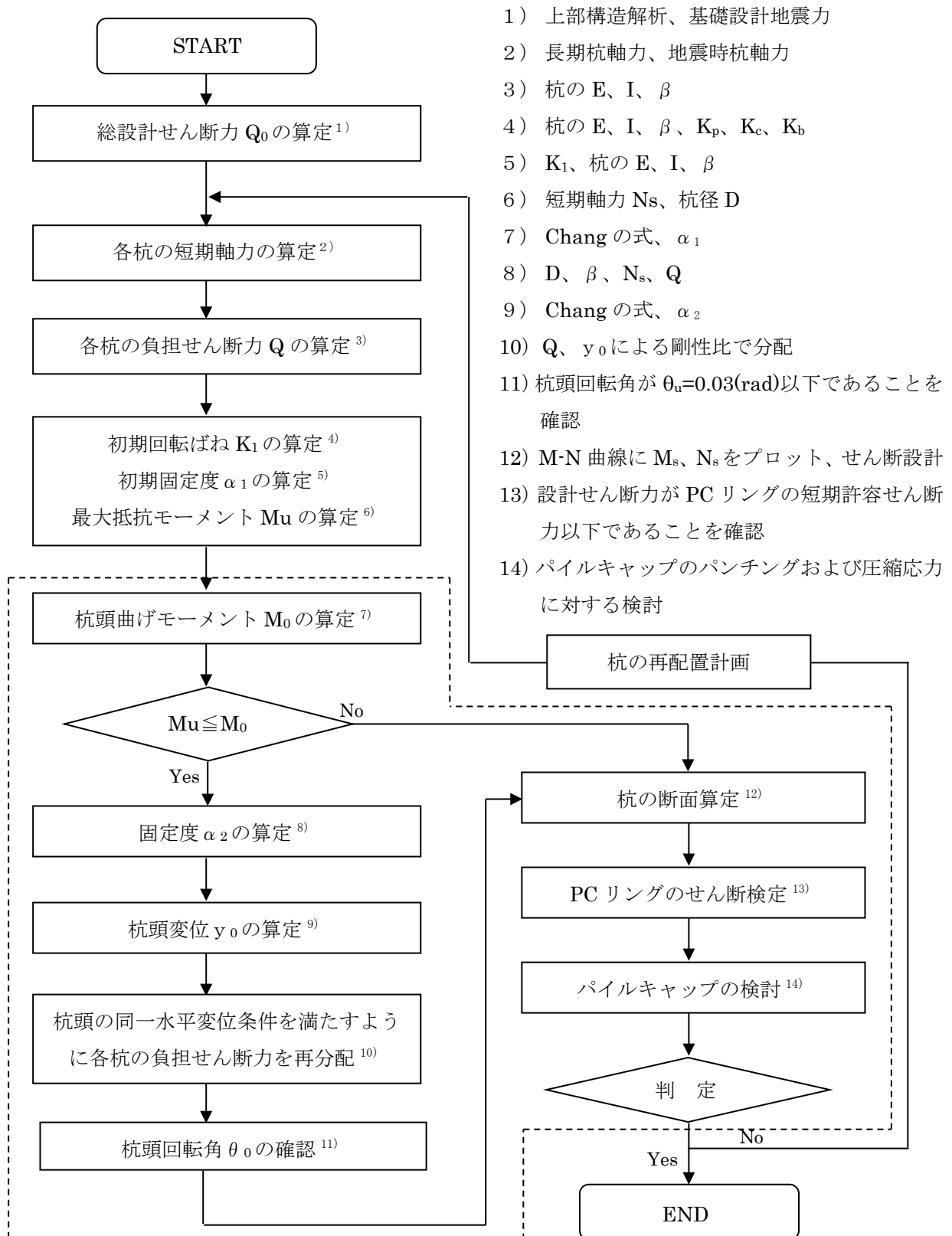


図 3-3 略算解析法的设计フロー

3.4 杭頭接合部の回転ばね評価法

(1) 回転ばねの算定

キャプリングパイル工法による杭頭接合部の回転ばねは、杭頭曲げモーメント M_0 と杭頭回転角 θ_0 との関係で表す。 $M_0-\theta_0$ 関係は、図 3-4 に示すようにバイリニアでモデル化する。初期回転剛性 K_i 及び最大抵抗モーメント M_u は以下に示す方法で算定する。なお、限界回転角 θ_u は実験結果及び設計許容範囲等を考慮し、 0.03rad とする。

K_i と M_u は、引張定着筋の有無、軸力の方向（圧縮／引張）に応じて表 3-1 に示す式にまとめられる。以下、軸力 N は圧縮を正とする。

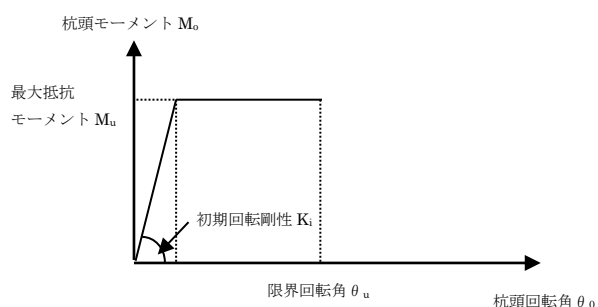


図 3-4 杭頭回転ばねモデル

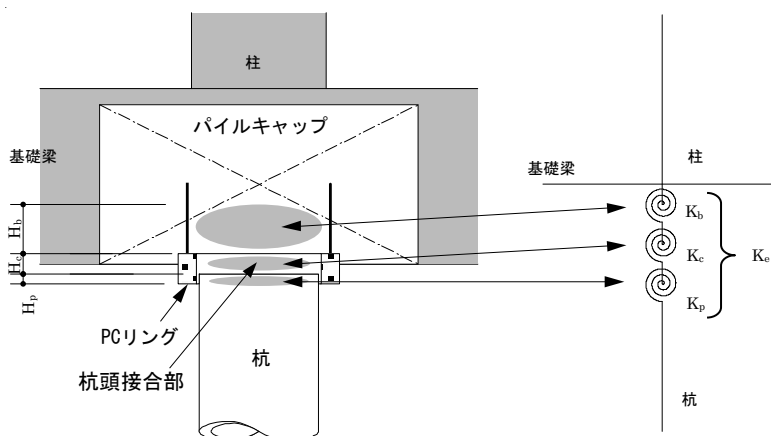


図 3-5 初期回転剛性モデル

1) 杭頭回転ばね評価一覧

表 3-1 杭頭回転ばね評価

引張定着筋	杭頭軸力	杭頭回転ばね (K_i)	最大抵抗モーメント (M_u)
なし	圧縮のみ	$K_i = K_e = \frac{1}{\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_b}}$	$M_u = \frac{D}{2} \cdot N$
あり	圧縮		$M_u = \frac{D}{2} \cdot N + M_r$
あり	引張	$\left(\frac{ N - N_{ty}}{N_{ty}} \right)^2 + \left(\frac{K_e - K_i}{K_e - K_{ty}} \right)^2 = 1$ $(0 < N \leq N_{ty})$ $K_i = K_{ty} \quad (N_{ty} < N \leq N_y)$ ここで、 $N_{ty} = N_y \cdot \left(\frac{D}{D + D_c} \right)$ $N_y = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y$ $K_{ty} = \frac{D_c \cdot Z \cdot E_s}{2 \cdot D}$	$M_u = M_r \cdot \left(1 - \frac{ N }{N_y} \right)$

2) 初期回転剛性 (K_e) の算定

杭頭接合部の初期回転剛性の評価は、軸力の方向によって次の2ケースに区分される。

① 圧縮軸力のケース (引張定着筋なし、あり)

PC リング内の杭体部、コンクリート及びパイルキャップ部コンクリートの各回転ばねを直列に繋いだ剛性で評価する。初期回転剛性モデルを図 3-5 に示す。

算定式を (3-1) 式に示す。

$$K_i = K_e = \frac{1}{\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_b}} \quad \text{----- (3-1)}$$

K_p : 杭体部分の回転剛性 ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$)

$$K_p = \frac{E_p \cdot I_p}{H_p} \quad \text{----- (3-2)}$$

E_p : 杭体のヤング係数 (kN/m^2)

I_p : 杭体の断面二次モーメント (m^4)

H_p : 杭体と PC リングとの重なり長さ (m)

K_c : PC リング内コンクリート部分の回転剛性 ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$)

$$K_c = \frac{E_c \cdot I_c}{H_c} \quad \text{----- (3-3)}$$

E_c : PC リングに囲まれたパイルキャップコンクリートのヤング係数 (kN/m^2)

I_c : PC リング内側コンクリートの断面二次モーメント (m^4)

H_c : 杭頭接合面から PC リング上端までの長さ (m)

K_b : パイルキャップ部分で杭頭回転に寄与する仮想円柱の回転剛性 ($\text{kN}\cdot\text{m}/\text{rad}$)

$$K_b = \frac{E_b \cdot I_b}{H_b} \quad \text{----- (3-4)}$$

E_b : パイルキャップコンクリートのヤング係数 (kN/m^2)、 $E_b=E_c$ とする。

I_b : 仮想円柱の断面二次モーメント (m^4) $I_b=I_c$ とする。

H_b : 仮想円柱の高さ (m)

$$H_b = \frac{D}{2} \quad \text{----- (3-5)}$$

D : 杭径 (m)

② 引張軸力のケース（引張定着筋ありの場合のみ）

引張軸力下における初期回転剛性 K_i は、圧縮縁ひずみがゼロかつ引張定着筋が降伏する図 3-6 に示す応力状態時の曲げモーメントと曲率から求めた回転角で曲げモーメントを除して初期回転剛性 K_{ty} を算出する。この K_{ty} を下限として、各軸力における初期回転剛性 K_i を算定する。

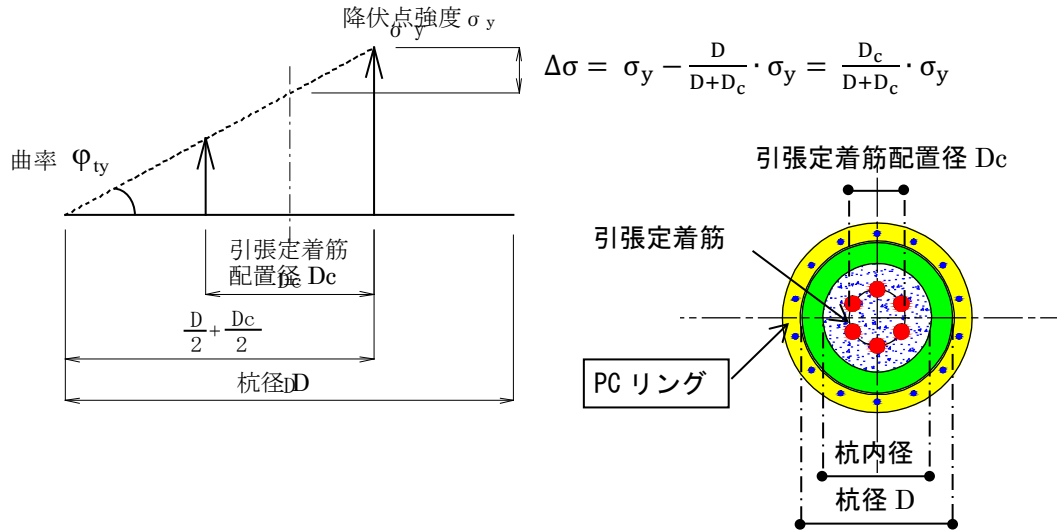


図 3-6 初期回転剛性の下限 K_{ty} 評価時の応力状態

図 3-6 における回転角を次式で算定する。

$$\theta_{ty} = \int_0^D \phi_{ty} \cdot dx = \phi_{ty} \cdot D \quad \text{----- (3-6)}$$

曲率 ϕ_{ty} は次式である。

$$\phi_{ty} = \frac{\frac{\sigma_y}{E_s}}{\frac{D}{2} + \frac{D_c}{2}} = \frac{2 \cdot \sigma_y}{E_s \cdot (D + D_c)} \quad \text{----- (3-7)}$$

また、モーメント M_{ty} は次式となる。

$$M_{ty} = \frac{\sigma_y \cdot D_c \cdot Z}{D + D_c} \quad \text{----- (3-8)}$$

ただし、 Z は引張定着筋を等価な円環配置と仮定した場合の断面係数であり、次式で計算する。

$$Z = \frac{\pi}{32} \cdot \frac{D_c^4 - (D_c^2 - \frac{4 \cdot n_s \cdot a_s^2}{\pi})^2}{D_c} \quad \text{----- (3-9)}$$

ここで、 n_s は引張定着筋本数、 a_s は引張定着筋 1 本の断面積（ mm^2 ）である。

したがって、初期回転剛性の下限值 K_{ty} は (3-10) 式で得られる。

$$K_{ty} = \frac{M_{ty}}{\theta_{ty}} = \frac{D_c \cdot Z \cdot E_s}{2 \cdot D} \quad \text{----- (3-10)}$$

以上から、引張軸力を受ける場合の初期回転剛性 K_i は次式にまとめられる。

a. $0 < |N| \leq N_{ty}$ の時

$$\left(\frac{|N| - N_{ty}}{N_{ty}} \right)^2 + \left(\frac{K_e - K_i}{K_e - K_{ty}} \right)^2 = 1 \quad \text{----- (3-11)}$$

b. $N_{ty} < |N| \leq N_y$ の時

$$K_i = K_{ty} \quad \text{----- (3-12)}$$

$$\text{ここで、} N_{ty} = n_s \cdot a_s \cdot \frac{D}{D + D_c} \cdot \sigma_y = N_y \cdot \left(\frac{D}{D + D_c} \right) \quad \text{----- (3-13)}$$

$$N_y = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y \quad \text{----- (3-14)}$$

(2) 最大抵抗モーメント M_u の算定

杭頭回転ばね評価の回転ばねに対応させ、最大抵抗モーメントの評価を行う。なお、軸力 N は圧縮を正とする。

① 圧縮軸力時

$$M_u = N \cdot \frac{D}{2} \quad \text{----- (3-15)}$$

ただし、引張定着筋がある場合は次式を用いる。

$$M_u = N \cdot \frac{D}{2} + M_r \quad \text{----- (3-16)}$$

$$\text{ここで、} M_r = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{D}{2} \quad \text{----- (3-17)}$$

② 引張軸力時（引張定着筋がある場合のみ）

$$M_u = M_r \cdot \left(1 - \frac{|N|}{N_y} \right) \quad \text{----- (3-18)}$$

(3) 固定度の算定

略算解析法の場合に用いる杭頭回転ばね評価として、算定した初期回転剛性 (K_e) と最大抵抗モーメント (M_u) で規定されるバイリニアモデルをベースとし、杭頭モーメント (M_0) が $M_0 < M_u$ のケースと $M_0 = M_u$ のケースについてそれぞれ α_1 (初期固定度)、 α_2 (2次固定度) を算定する。

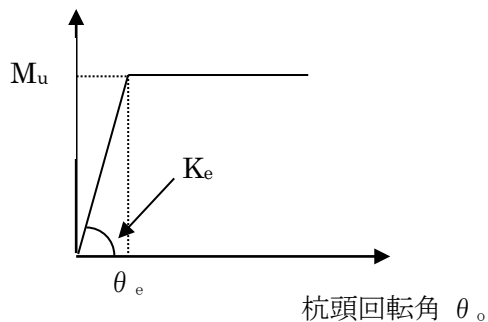
Chang の式に示されている以下の式を用いて求める。

$$\theta_0 = \frac{M_0}{K_e} = \frac{Q}{2 \cdot E \cdot I \cdot \beta^2} \cdot (1 - \alpha)$$

$$M_0 = \frac{Q}{2 \cdot \beta} \cdot \alpha$$

ここで K_e は下図に示す。

杭頭モーメント M_0



1) 圧縮軸力の場合

① 初期固定度

$$\alpha_1 = \frac{K_e}{E_p \cdot I_p \cdot \beta + K_e} \quad \text{----- (3-19)}$$

E_p : 杭体のヤング係数 (kN/m^2)

I_p : 杭体の断面2次モーメント (m^4)

β : 杭の特性値 ($1/\text{m}$)

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p}}$$

k_h : 水平地盤反力係数 (kN/m^3)

D : 杭径 (m)

$$K_e = \frac{1}{\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_b}}$$

② 2次固定度

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot \beta}{Q} \cdot \left(N \cdot \frac{D}{2} + M_r \right) \text{-----} (3-20)$$

N : 杭頭軸力 (kN)

$$M_r = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{D}{2} \quad (\text{注: 引張定着筋なしの時は } M_r = 0 \text{ とする。})$$

2) 引張軸力の場合 (引張定着筋あり)

① 初期固定度

$$\alpha_1 = \frac{K_e}{E_p \cdot I_p \cdot \beta + K_e} \text{-----} (3-21)$$

$$K_e = \begin{cases} K_e - (K_e - K_{ty}) \sqrt{1 - \left(\frac{|N| - N_{ty}}{N_{ty}} \right)^2} & (0 < |N| \leq N_{ty}) \\ K_{ty} & (N_{ty} < |N| \leq N_y) \end{cases}$$

$$K_{ty} = \frac{D_c \cdot Z \cdot E_s}{2 \cdot D} \quad N_{ty} = N_y \cdot \frac{D}{D + D_c}$$

② 2次固定度

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot \beta}{Q} \cdot M_r \cdot \left(1 - \frac{|N|}{N_y} \right) \text{-----} (3-22)$$

$$N_y = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y$$

※ 定着筋仕様は「2. 工法標準仕様」2.3(4) を参照

(4) 引張定着筋の抵抗曲げモーメント M_r

$$\text{抵抗曲げモーメント： } M_r = \frac{7 \cdot D}{16} \cdot n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y$$

表 3-2 抵抗曲げモーメント一覧(kN・m)

SD345										
配筋 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D (mm)	300	39								
	350	45								
	400	52								
	450	58								
	500	65	69							
	550	72	78							
	600	78	86							
	700	91	97							
	800	104	108							
	900	117	121							
	1000	130	138							
	1100	143	151							
Dc(mm)		110	180	180	180	230	230	230	300	360

SD390										
配筋 No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D (mm)	300	44								
	350	51								
	400	59								
	450	66								
	500	73	78							
	550	80	88							
	600	88	98							
	700	103	110							
	800	117	122							
	900	132	147							
	1000	147	171							
	1100	161	196							
Dc(mm)		110	180	180	180	230	230	230	300	360

※配筋 No における鉄筋仕様は、「2. 工法標準仕様」2.3(4) を参照

3.5 杭体応力・変形算定法

略算解析法または精算解析法による杭体応力・変形算定を以下に示す。

(1) 略算解析法

Chang の式を用いて杭体応力および杭頭変位を算定する。各杭の固定度は水平力に応じて変化するため、設計例に示すような応力再分配が必要となる。

$$\text{杭頭変位 } y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} \quad (\text{m}) \quad \text{----- (3-23)}$$

$$\text{杭頭回転角 } \theta_0 = -\frac{Q}{2 \cdot E \cdot I \cdot \beta^2} \cdot (1 - \alpha_r) \quad (\text{rad}) \quad \text{----- (3-24)}$$

$$\text{杭頭モーメント } M_0 = \frac{Q}{2 \cdot \beta} \cdot R_{M0} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad \text{----- (3-25)}$$

$$\text{地中部最大曲げモーメント } M_{\max} = -\frac{Q}{2 \cdot \beta} \cdot R_{\max} \quad (\text{kN} \cdot \text{m}) \quad \text{----- (3-26)}$$

$$\text{杭頭モーメント } l_m = -\frac{1}{\beta} \cdot R_{lm} \quad (\text{m}) \quad \text{----- (3-27)}$$

但し、

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kh \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p}} \quad (\text{m}^{-1})$$

$$R_{y0} = 2 - \alpha_r$$

$$R_{M0} = \alpha_r$$

$$R_{\max} = \exp \left[-\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) \right] \sqrt{(1 - \alpha_r)^2 + 1}$$

$$R_{lm} = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right)$$

ここで、

Q : 杭頭の水平力 (kN)

K_h : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

B : 杭径 (m)

E : 杭のヤング係数 (kN/m²)

I : 杭の断面二次モーメント (m⁴)

α_r : 杭頭の固定度(固定のとき 1、ピンのとき 0)

(注)上記算定式は半無限長の場合に適用でき、有限長の場合は別途短杭としての計算による。

(2) 精算解析法

杭、地盤、杭頭ばねをモデル化した解析モデルにて荷重増分解析を行い、杭体応力および杭頭変位を算定する。

精算解析法としては、伝達マトリクス法による解析方法がある。伝達マトリクス法は以下に示す条件下で適用する。

- ① 多層地盤
- ② 杭変位による地盤反力係数の低減を考慮

1) 解析モデル

杭を線材、地盤を水平ばねに置換し、杭頭ばねを非線形回転ばねとする。

解析モデルは、地震力を負担する全ての杭をモデル化し、杭頭変位が同一水平変位になるように設定する。

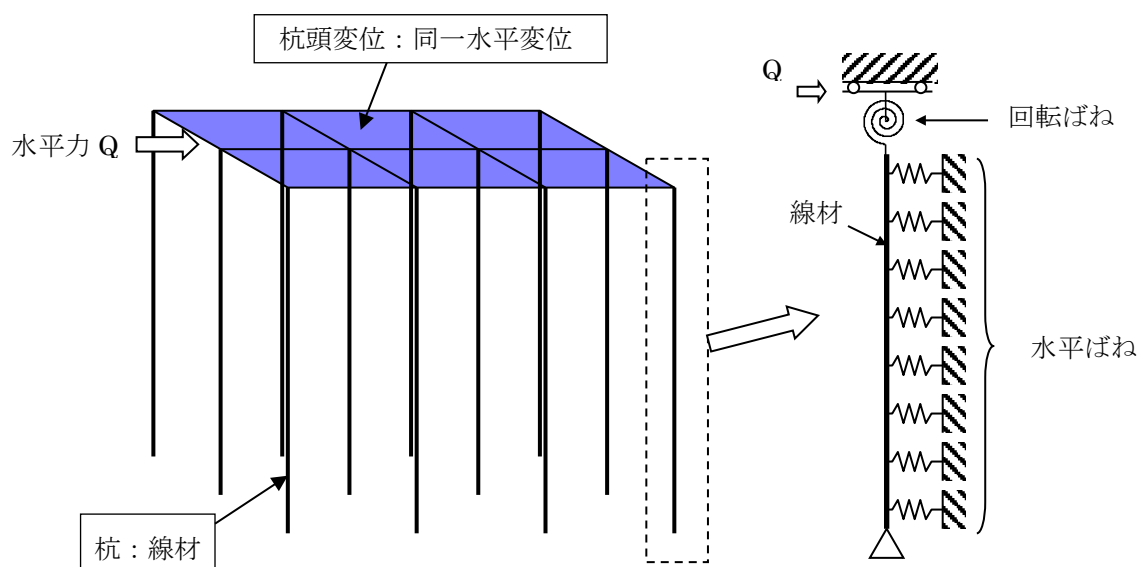


図 3-7 解析モデル

3.6 基礎定着部検討

(1) パンチングに対する検討

パンチングに対する検討は、設計した建物の部材配置状況に応じて検討を行う。代表的な応力について以下に示す。

1) 軸方向の押込み力に対する応力

杭の直上に柱、若しくは基礎梁がない場合は、図 3-8(a)に示す応力に対して検討を行うこと。

2) 複数杭の場合の曲げせん断応力

複数杭で柱直下に杭がない場合は、図 3-8(b)に示す応力に対して検討を行うこと。

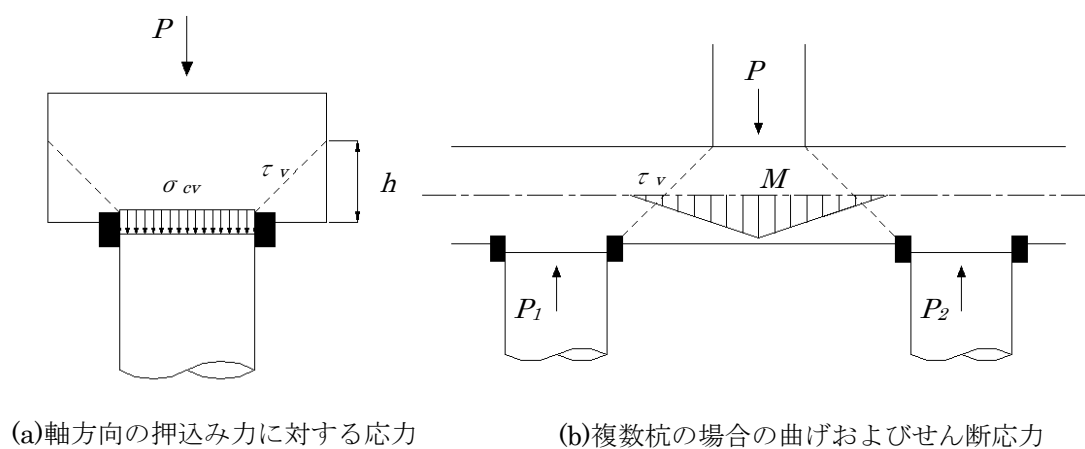


図 3-8 杭頭接合部に発生する各種応力

3.7 設計例

3.7.1 杭頭に引張力が生じない場合

(1) 建物概要

用 途 : 事務所ビル

階 数 : 地上3階、地下なし

スパン : 長辺方向 6m×3スパン、短辺方向 8m×2スパン

構造種別: 鉄筋コンクリート造

構造形式: 純ラーメン構造

基礎構法: 杭基礎

杭 : 既製杭 (PHC 杭A種、800φ、杭実長 20m)

支持層 : 細砂層

(2) 杭配置

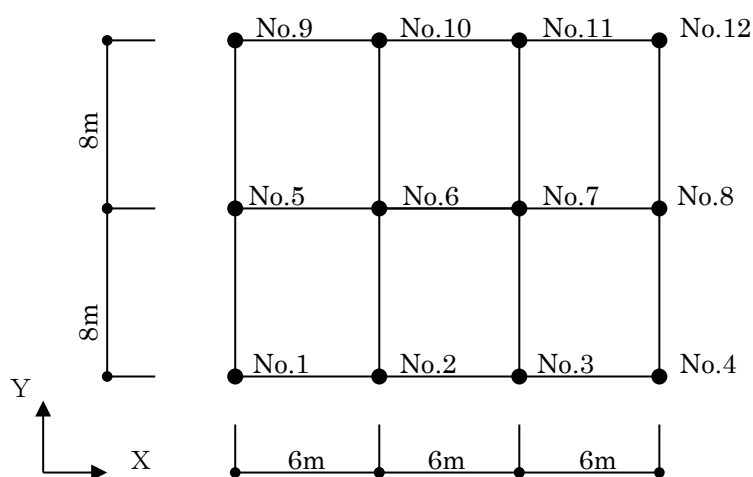


図 3-9 杭配置図

(3) 杭設計用短期軸力

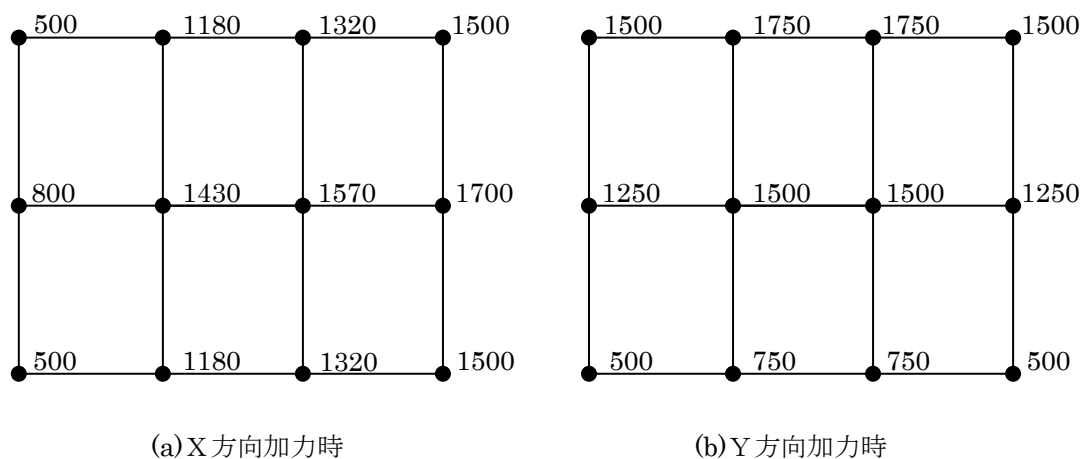


図 3-10 短期軸力(kN)

(4) 設計せん断力

杭全体に作用する設計せん断力 $Q_0 = 2520 \text{ kN}$

基礎の根入れ低減 $D_f = 1.60\text{m} \leq 2.0\text{m}$ なので根入れ効果による低減を行わない。

設計例では、剛床仮定とし、杭径が同一なので杭1本当たりの負担せん断力は杭全体に作用する設計せん断力 Q_0 を杭本数 n で割った値となる。

杭1本当たりの負担せん断力 $Q_p = 2520/12 = 210 \text{ kN}$

(5) 初期回転剛性 K_e の算定

杭体のヤング係数 $E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

杭体の断面二次モーメント $I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$

杭体と PC リングの重なり長さ $H_p = 0.07\text{m}$

$$\therefore K_p = \frac{E_p \cdot I_p}{H_p} = \frac{3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2}}{0.07} = 8.17 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

パイルキャップコンクリートのヤング係数 $E_c = 25700 \text{ N/mm}^2 = 2.57 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

PC リング内側コンクリートの断面二次モーメント $I_c = 2.22 \times 10^{-2} \text{ m}^4$

杭頭接合面から PC リング上端までの長さ $H_c = 0.15 - 0.07 = 0.08 \text{ m}$

$$\therefore K_c = \frac{E_c \cdot I_c}{H_c} = \frac{2.57 \times 10^7 \times 2.22 \times 10^{-2}}{0.08} = 7.13 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

パイルキャップコンクリートのヤング係数 $E_b = 25700 \text{ N/mm}^2 = 2.57 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

仮想円柱の断面二次モーメント $I_b = 2.22 \times 10^{-2} \text{ m}^4$

仮想円柱の高さ $H_b = D/2 = 0.4\text{m}$

$$\therefore K_b = \frac{E_b \cdot I_b}{H_b} = \frac{2.57 \times 10^7 \times 2.22 \times 10^{-2}}{0.4} = 1.43 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

$$K_i = K_e = \frac{1}{\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_b}} = \frac{1}{\frac{1}{8.17 \times 10^6} + \frac{1}{7.13 \times 10^6} + \frac{1}{1.43 \times 10^6}} = 1.04 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

(6) 初期固定度 α_1 の算定

この設計例では地盤反力係数 $kh = 20000 \text{ kN/m}^3$ ($\approx 2.0 \text{ kg/cm}^3$) として算定する。

$$kh = 20000 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kh \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p}} = \sqrt[4]{\frac{20000 \times 0.8}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2}}} = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$\therefore \alpha_1 = \frac{K_i}{E_p \cdot I_p \cdot \beta + K_i} = \frac{1.04 \times 10^6}{3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289 + 1.04 \times 10^6} = 0.86$$

(7) 最大抵抗モーメント M_u の算定

最大抵抗モーメント M_u の算定結果を表 3-3 に示す。

$$\text{算定式 } M_u = \frac{N \cdot D}{2}$$

表 3-3 最大抵抗モーメント M_u の算定結果

X 方向；正加力時

杭 No.	杭径 D(m)	軸力 N (kN)	最大抵抗モーメント M_u (kN・m)
1	0.8	500	200
2	0.8	1180	472
3	0.8	1320	528
4	0.8	1500	600
5	0.8	800	320
6	0.8	1430	572
7	0.8	1570	628
8	0.8	1700	680
9	0.8	500	200
10	0.8	1180	472
11	0.8	1320	528
12	0.8	1500	600

(8) 杭体応力・変位算定

設計例では、略算解析法を用いて杭体応力・変位を算定する。

① 杭頭モーメント M_0 の算定

$$Q = 210 \text{ kN}$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{M0} = \alpha_r = 0.86$$

$$M_0 = \frac{Q}{2 \cdot \beta} \cdot R_{M0} = \frac{210}{2 \times 0.289} \times 0.86 = 313 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

② 地中部最大曲げモーメント $M_{\max}$ の算定

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \exp \left[-\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) \right] \sqrt{(1 - \alpha_r)^2 + 1} = \exp \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - 0.86} \right) \right] \sqrt{(1 - 0.86)^2 + 1} \\ &= 0.241 \end{aligned}$$

$$M_{\max} = -\frac{Q}{2 \cdot \beta} \cdot R_{\max} = -\frac{210}{2 \times 0.289} \times 0.241 = -87.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

地中部最大曲げモーメント発生深さ

$$R_{lm} = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - 0.86} \right) = 1.43$$

$$l_m = -\frac{1}{\beta} \cdot R_{lm} = -\frac{1}{0.289} \times 1.43 = -4.96 \text{ m}$$

③ Mu との比較と固定度 α_2 の算定

杭頭曲げモーメント M_0 と最大抵抗モーメント M_u との比較を行い、 M_0 が M_u を超えている場合は、固定度 α_2 (算定式； $\alpha_2 = D \cdot \beta \cdot N_0 / Q_0$) を算定して杭頭変位 y_0 を求め、杭頭変位が同一となるように各杭の負担せん断力の算定を行う。

設計例では、No.1、No.9 の杭において、 $M_0 \geq M_u$ の関係にあるので固定度 α_2 を算定し、杭頭変位 y_0 を求めて応力再分配を行った上で設計応力を算定する。

表 3-4 M_u と M_0 の比較

杭 No.	最大抵抗モーメント $M_u(\text{kN} \cdot \text{m})$	判定	杭頭曲げモーメント $M_0(\text{kN} \cdot \text{m})$	
1	200	$\leq$	313	---→ α_2 の算定
2	472	$>$	313	
3	528	$>$	313	
4	600	$>$	313	
5	320	$>$	313	
6	572	$>$	313	
7	628	$>$	313	
8	680	$>$	313	
9	200	$\leq$	313	---→ α_2 の算定
10	472	$>$	313	
11	528	$>$	313	
12	600	$>$	313	

→上記算定結果より、No.1 と No.9 の杭について固定度 α_2 を算定する。

表 3-5 固定度 α_2 の算定

杭 No	D(m)	N (kN)	β (m ⁻¹)	Qp(kN)	固定度 α_2
1	0.8	500	0.289	210	0.55
9	0.8	500	0.289	210	0.55

④ 杭頭変位の算定

a)Mu を超えない杭

固定度 α_1 を用いて、Chang の式により算定する。

設計例では、No1 と No.9 以外の杭の杭頭変位が以下の値となる。

$$\alpha = \alpha_1 = 0.86$$

$$E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{y0} = 2 - 0.86 = 1.14$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.14 \times 10^3 = 4.32 \text{ mm}$$

b)Mu を超えた杭

固定度 α_2 を用いて、Chang の式により算定する。

設計例では、No1 と No9 の杭の杭頭変位が以下の値となる。

$$R_{y0} = 2 - \alpha_r = 2 - 0.55 = 1.45$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.45 \times 10^3 = 5.51 \text{ mm}$$

⑤ 各杭の負担せん断力の再分配

設計例では、No.1、No.9 の杭の固定度に変化が生じたため、各杭の負担せん断力の再分配を行う。

尚、負担せん断力の再分配は、杭の水平剛性に応じて行う。

再分配した結果を表 3-6 に示す。

表 3-6 各杭の負担せん断力

杭 No	杭本数	$y_0(\text{mm})$	剛 比	$Q_p(\text{kN})$
No.1、No.9	2	5.51	0.78	171
上記以外	10	4.32	1.00	218
合計	12			$\Sigma Q \approx 2520$

⑥ 設計応力

③～⑤で行った計算を各杭の杭頭変位の差が小さくなるまで収斂計算を行い、負担せん断力 Q_p と固定度 α を求める。これらの値を元に Chang の式を用いて設計応力を算定する。収斂計算を行った算定結果を表 3-7 に示す。但し、 M_u を超えた杭の設計曲げモーメント M_D は $M_D = M_u$ とする。

表 3-7 算定結果

杭 No	Q_p (kN)	固定度 α	M_0 (kN・m)	y_0 (mm)	θ_0 ($\times 10^{-3}$ rad)
No.1、No.9	182	0.64	200	4.44	0.679
上記以外	216	0.85	317	4.44	0.338

上記算定結果では杭頭変位がほぼ等しく、杭頭の同一水平変位が成立していると判断でき、表 3-9 の応力を設計応力とする。

尚、杭頭回転角 θ_0 が $\theta_u (= 3.0 \times 10^{-2} \text{ rad})$ 以下であることも確認した。

(9) 断面算定

1) 杭の断面検定

杭の断面算定は、曲げ・軸力およびせん断について行う。

設計例では、代表例として No.1 と No.8 の杭について以下に示す。

① 曲げモーメントと軸力に対する断面検定

M-N 曲線にて、設計応力が許容応力以内であることを確認する。

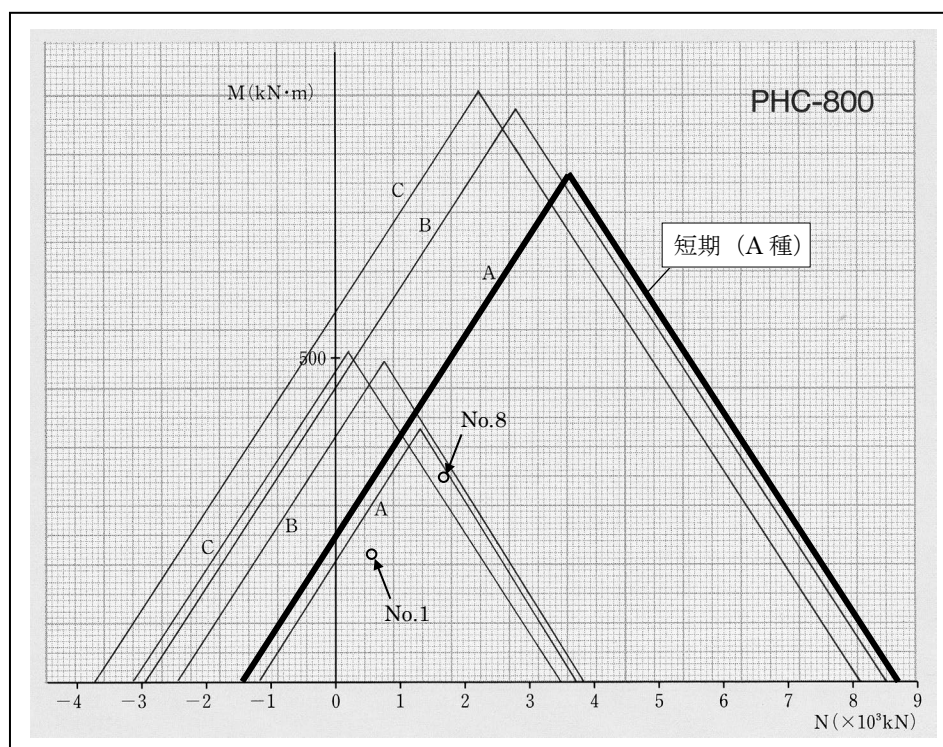


図 3-11 PHC 杭 (800φ) の M-N 曲線

∴ 図 3-11 より、杭の設計応力が短期許容応力以内であることが確認できる。

② せん断力に対する断面検定

短期設計せん断力が杭の短期許容せん断力以下であることを確認する。

設計例では、No.6 にて検定を行う。

- ・ 短期設計せん断力 $sQ_D = 216 \times 1.5 = 324 \text{ kN}$
- ・ 短期許容せん断力 $sQ_a = 326 \text{ kN}$ (表 3-8 による。)

$$\therefore \text{検定比} \quad \frac{sQ_D}{sQ_a} = \frac{324}{326} = 0.99 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

注) この設計例では、杭種が PHC 杭で、一次設計のみであるため、割増し係数は 1.5 を採用している。

2) PC リングのせん断力に対する断面検定

短期設計せん断力が PC リングの短期許容せん断力以下であることを確認する。

設計例では、No.6 にて検定を行う。

- ・ PC リング用短期設計せん断力 $sQ_D = 216 \times 1.0 = 216 \text{ kN}$
- ・ PC リングの短期許容せん断力 $sQ_r = 720 \text{ kN}$ (表 3-9 による)
(既製杭、800 φ 用)

$$\therefore \text{検定比} \quad \frac{sQ_D}{sQ_r} = \frac{216}{720} = 0.3 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

3) 基礎のパンチングに対する検討

本設計例では、杭の直上に柱があるので、検討を省略する。

表 3-8 既製杭の短期許容せん断力

D (mm)	t (mm)	S ₀ (cm ³)	I (cm ⁴)	E _p Q _{p4} (kN)	E _p Q _{p8} (kN)	E _p Q _{p10} (kN)
300	60	1764	34610	63.3	83.6	92.1
350	60	2559	59930	75.6	99.8	109.9
400	65	3693	99580	94.3	124.4	137.1
450	70	5111	156000	114.9	151.7	167.1
500	80	7141	241200	145.4	191.9	211.3
600	90	11830	483400	197.9	261.1	287.6
700	100	18170	871800	258.1	340.7	375.2
800	110	26410	1455000	326.0	430.3	473.9
900	120	36790	2289000	401.7	530.1	583.9
1000	130	49560	343700	485.0	640.1	705.0

t : 杭厚さ

S₀ : 杭の断面一次モーメント

I : 杭の断面二次モーメント

E_pQ_{p4} : $\sigma_e=4.0(\text{N/mm}^2)$ 時の短期許容せん断力E_pQ_{p8} : $\sigma_e=8.0(\text{N/mm}^2)$ 時の短期許容せん断力E_pQ_{p10} : $\sigma_e=10.0(\text{N/mm}^2)$ 時の短期許容せん断力

表 3-9 PC リング短期許容せん断力

D (mm)	N タイプ		S1 タイプ		S2 タイプ	
	タイプ	sQr(kN)	タイプ	sQr(kN)	タイプ	sQr(kN)
300	300N	280	300S1	340	300S2	470
350	350N	330	350S1	390	350S2	540
400	400N	370	400S1	450	400S2	620
450	450N	380	450S1	520	450S2	710
500	500N	400	500S1	590	500S2	800
600	600N	620	600S1	840	600S2	980
700	700N	670	700S1	970	700S2	1220
800	800N	720	800S1	1040	800S2	1350
900	900N	770	900S1	1110	900S2	1440
1000	1000N	810	1000S1	1170	1000S2	1520
1100	1100N	1000	1100S1	1530	1100S2	1940
1200	1200N	1050	1200S1	1600	1200S2	2030

※sQr は PC リングの短期許容せん断力

3.7.2 杭頭に引張力が生じる杭がある場合

(1) 建物概要

用 途 : 事務所ビル

階 数 : 地上3階、地下なし

スパン : 長辺方向 6m×3 スパン、短辺方向 8m×2 スパン

構造種別: 鉄筋コンクリート造

構造形式: 純ラーメン構造

基礎構法: 杭基礎

杭 : 既製杭 (PHC 杭B種、800φ、杭実長 20m)

支持層 : 細砂層

(2) 杭配置

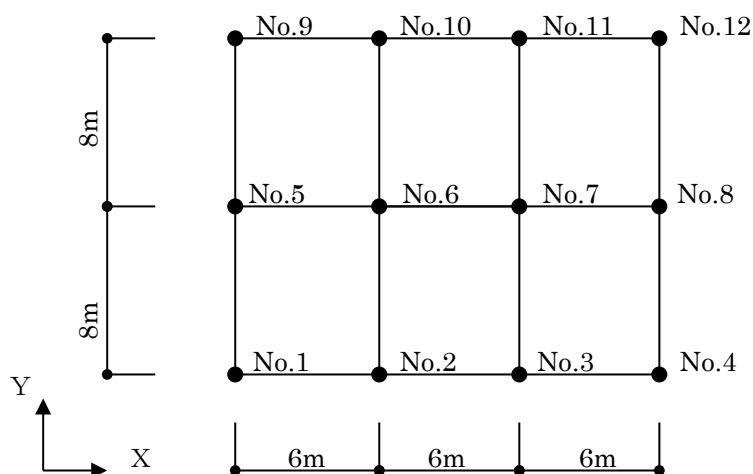


図 3-12 杭配置図

(3) 杭設計用短期軸力

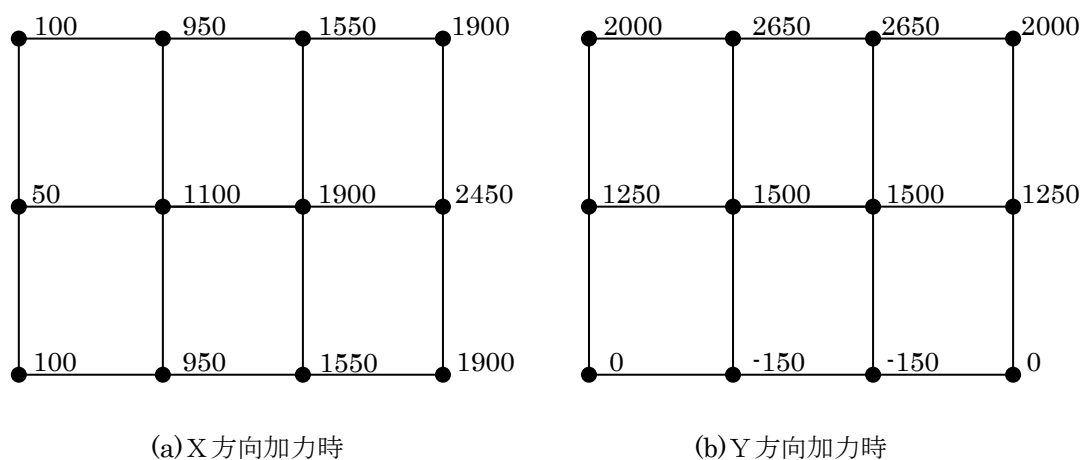


図 3-13 短期軸力(kN)

※ 引張定着筋の配筋は以下の通りとする。

杭 No.1 : 配筋 no.3	杭 No.7 : 配筋なし
杭 No.2 : 配筋 no.5	杭 No.8 : 配筋 no.1
杭 No.3 : 配筋 no.5	杭 No.9 : 配筋 no.3
杭 No.4 : 配筋 no.3	杭 No.10 : 配筋 no.5
杭 No.5 : 配筋 no.1	杭 No.11 : 配筋 no.5
杭 No.6 : 配筋なし	杭 No.12 : 配筋 no.3

表 3-10 引張定着筋短期許容引張力一覧表 (SD345)

引張定着筋鋼種		SD345									
No		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
配筋		3-D19	4-D19	5-D19	6-D19	4-D25	5-D25	6-D25	5-D32	6-D32	5-D38
配置径(mm)		110※	180	180	180	230	230	230	300	300	355
帯筋外径(mm)		150※	220	220	220	280	280	280	360	360	420
定着長さ (mm)	パイルキャップ側定着板あり	500	500	500	500	600	600	600	750	750	800
	パイルキャップ側定着板なし	800	800	800	800	950	950	950	1200	1200	1450
	杭体側	800	800	800	800	950	950	950	1200	1200	1450
上 : 杭径 下 : 杭内径 (mm)	300 (180)	296									
	350 (230)	296									
	400 (270)	296	395								
	450 (310)	296	395	494							
	500 (340)	296	395	494							
	600 (420)	296	395	494	593	699					
	700 (500)	296	395	494	593	699	874				
	800 (580)	296	395	494	593	699	874	1048			
	900 (660)	296	395	494	593	699	874	1048	1369		
	1000 (740)	296	395	494	593	699	874	1048	1369		
	1100 (820)	296	395	494	593	699	874	1048	1369	1643	
	1200 (900)	296	395	494	593	699	874	1048	1369	1643	1966

(単位 : kN)

注 : No.1 で杭径 400mm 以上の場合には配置径は 180mm、帯筋外径は 220mm とする。

(4) 設計せん断力

杭全体に作用する設計せん断力 $Q_0 = 2520 \text{ kN}$

基礎の根入れ低減 $D_f = 1.60\text{m} \leq 2.0\text{m}$ なので根入れ効果による低減を行わない。

設計例では、杭径が同一なので杭 1 本当りの負担せん断力は杭全体に作用する設計せん断力 Q_0 を杭本数 n で割った値となる。

杭 1 本当りの負担せん断力 $Q_p = 2520/12 = 210 \text{ kN}$

(5) 初期回転剛性 K_i の算定

(i) 圧縮軸力作用時

杭体のヤング係数 $E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

杭体の断面二次モーメント $I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$

杭体と PC リングの重なり長さ $H_p = 0.07\text{m}$

$$\therefore K_p = \frac{E_p \cdot I_p}{H_p} = \frac{3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2}}{0.07} = 8.17 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

パイルキャップコンクリートのヤング係数 $E_c = 25700 \text{ N/mm}^2 = 2.57 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

PC リング内側コンクリートの断面二次モーメント $I_c = 2.22 \times 10^{-2} \text{ m}^4$

杭頭接合面から PC リング上端までの長さ $H_c = 0.15 - 0.07 = 0.08 \text{ m}$

$$\therefore K_c = \frac{E_c \cdot I_c}{H_c} = \frac{2.57 \times 10^7 \times 2.22 \times 10^{-2}}{0.08} = 7.13 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

パイルキャップコンクリートのヤング係数 $E_b = 25700 \text{ N/mm}^2 = 2.57 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$

仮想円柱の断面二次モーメント $I_b = 2.22 \times 10^{-2} \text{ m}^4$

仮想円柱の高さ $H_b = D/2 = 0.4\text{m}$

$$\therefore K_b = \frac{E_b \cdot I_b}{H_b} = \frac{2.57 \times 10^7 \times 2.22 \times 10^{-2}}{0.4} = 1.43 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

$$K_i = K_e = \frac{1}{\frac{1}{K_p} + \frac{1}{K_c} + \frac{1}{K_b}} = \frac{1}{\frac{1}{8.17 \times 10^6} + \frac{1}{7.13 \times 10^6} + \frac{1}{1.43 \times 10^6}} \\ = 1.04 \times 10^6 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

(ii) 引張軸力作用時(Y 方向加力時、杭 No2、No3)

初期回転剛性は、引張軸力下では軸力に依存した値となる。

鉄筋配置径

$$D_c = 0.23 \text{ m}$$

$$n_s = 4 \text{ 本、} \quad a_s = 507 \text{ mm}^2 = 5.07 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$n_s \cdot a_s = 2.03 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$N_{ty} = N_y \left(\frac{D}{D + D_c} \right) = 700 \times \left(\frac{0.8}{0.8 + 0.23} \right) = 543 \text{ kN}$$

$0 < |N| \leq N_{ty}$ であるため、

$$\left(\frac{|N| - N_{ty}}{N_{ty}} \right)^2 + \left(\frac{K_e - K_i}{K_e - K_{ty}} \right)^2 = 1 \quad \text{で表される。}$$

$$\begin{aligned} Z &= \frac{\pi}{32 \cdot D_c} \left\{ D_c^4 - \left(D_c^2 - \frac{4}{\pi} n_s \cdot a_s \right)^2 \right\} \\ &= \frac{\pi}{32 \times 0.23} \left\{ 0.23^4 - \left(0.23^2 - \frac{4}{\pi} 2.03 \times 10^{-3} \right)^2 \right\} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$K_{ty} = \frac{D_c \cdot E_s \cdot Z}{2 \cdot D} = \frac{0.23 \times 2.05 \times 10^8 \times 1.14 \times 10^{-4}}{2 \times 0.8} = 3352 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

以上より、

$$K_i = 2.97 \times 10^5 \text{ kN} \cdot \text{m/rad}$$

以上より各杭に対する初期回転剛性を表 3-11、表 3-12 に示す。

表 3-11 初期回転剛性 K_e の算定結果 (X 方向加力時)

杭 No.	初期回転剛性 K_e (kN・m/rad)
1~12	1.04×10^6

表 3-12 初期回転剛性 K_e の算定結果 (Y 方向加力時)

杭 No.	初期回転剛性 K_e (kN・m/rad)
2,3	2.97×10^5
2,3 以外	1.04×10^6

(6) 初期固定度 α_1 の算定

この設計例では地盤反力係数 $kh=20000 \text{ kN/m}^3$ ($\div 2.0 \text{ kg/cm}^3$) として算定する。

$$kh = 20000 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{kh \cdot D}{4 \cdot E_p \cdot I_p}} = \sqrt[4]{\frac{20000 \times 0.8}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2}}} = 0.289 (\text{m}^{-1})$$

$$\therefore \alpha_1 = \frac{K_e}{E_p \cdot I_p \cdot \beta + K_e} = \frac{K_e}{3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289 + K_e}$$

初期固定度 α_1 の算定結果を表 3-13、表 3-14 に示す。

表 3-13 初期固定度 α_1 の算定結果 (X 方向加力時)

杭 No.	初期固定度 α_1
1~12	0.86

表 3-14 初期固定度 α_1 の算定結果 (Y 方向加力時)

杭 No.	初期固定度 α_1
2,3	0.64
2,3 以外	0.86

(7) 最大抵抗モーメント M_u の算定

最大抵抗モーメント M_u の算定結果を表 3-15 に示す。

(i) 圧縮軸力作用時 (軸力零の場合も含む)

$$\text{算定式 } M_u = \frac{N \cdot D}{2} + M_r$$

(ii) 引張軸力作用時(Y 方向加力時、杭 No2、No3)

$$\text{算定式 } M_u = M_r \times \left(1 - \frac{|N|}{N_y}\right)$$

$$\text{ここで、 } M_r = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y \cdot \frac{7}{8} \cdot \frac{D}{2}$$

$$N_y = n_s \cdot a_s \cdot \sigma_y$$

表 3-15 最大抵抗モーメント M_u の算定結果

X 方向加力時			Y 方向加力時		
杭 No.	軸力 N(kN)	最大抵抗モーメント $M_u(\text{kN} \cdot \text{m})$	杭 No.	軸力 N(kN)	最大抵抗モーメント $M_u(\text{kN} \cdot \text{m})$
1	100	213	1	0	173
2	950	625	2	-150	192
3	1550	865	3	-150	192
4	1900	933	4	0	173
5	50	124	5	1250	604
6	1100	440	6	1500	600
7	1900	760	7	1500	600
8	2450	1084	8	1250	604
9	100	213	9	2000	973
10	950	625	10	2650	1305
11	1550	865	11	2650	1305
12	1900	933	12	2000	973

(8) 杭体応力・変位算定

設計例では、略算解析法を用いて杭体応力・変位を算定する。

① 杭頭モーメント M_0 の算定

(i) 圧縮軸力作用時

$$Q = 210 \text{ kN}$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{M0} = \alpha_r = 0.86$$

$$M_0 = \frac{Q}{2 \cdot \beta} R_{M0} = \frac{210}{2 \times 0.289} \times 0.86 = 313 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(ii) 引張軸力作用時(Y 方向加力時、杭 No2、No3)

$$Q = 210 \text{ kN}$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{M0} = \alpha_r = 0.64$$

$$M_0 = \frac{Q}{2 \cdot \beta} R_{M0} = \frac{210}{2 \times 0.289} \times 0.64 = 233 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

③ 地中部最大曲げモーメント $M_{\max}$ の算定

(i) 圧縮軸力作用時

$$\begin{aligned} R_{\max} &= \exp \left[-\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) \right] \sqrt{(1 - \alpha_r)^2 + 1} = \exp \left[\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - 0.86} \right) \right] \sqrt{(1 - 0.86)^2 + 1} \\ &= 0.241 \end{aligned}$$

$$M_{\max} = -\frac{Q}{2 \cdot \beta} R_{\max} = -\frac{210}{2 \times 0.289} \times 0.241 = -87.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

地中部最大曲げモーメント発生深さ

$$R_{lm} = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - 0.86} \right) = 1.43$$

$$l_m = -\frac{1}{\beta} \cdot R_{lm} = -\frac{1}{0.289} \times 1.43 = -4.96 \text{ m}$$

(ii) 引張軸力作用時(Y 方向加力時、杭 No2、No3)

$$R_{\max} = \exp \left[-\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) \right] \sqrt{(1 - \alpha_r)^2 + 1} = \exp \left[-\tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - 0.64} \right) \right] \sqrt{(1 - 0.64)^2 + 1}$$

$$= 0.31$$

$$M_{\max} = -\frac{Q}{2 \cdot \beta} \cdot R_{\max} = -\frac{210}{2 \times 0.289} \times 0.31 = -113 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

地中部最大曲げモーメント発生深さ

$$R_{\text{lm}} = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - \alpha_r} \right) = \tan^{-1} \left(\frac{1}{1 - 0.64} \right) = 1.23$$

$$\text{lm} = -\frac{1}{\beta} R_{\text{lm}} = -\frac{1}{0.289} \times 1.23 = -4.25(\text{m})$$

③ Mu との比較と固定度 α_2 の算定

杭頭曲げモーメント M_0 と最大抵抗モーメント M_u との比較を行い、 M_0 が M_u を超えている場合は、固定度 α_2 を以下の算定式により算定して杭頭変位 y_0 を求め、杭頭変位が同一となるように各杭の負担せん断力の算定を行う。

設計例では、X 方向加力時の No.1、No.5、No.9 の杭において、Y 方向加力時の No.1～No.4 の杭において、 $M_0 \geq M_u$ の関係にあるので固定度 α_2 を算定し、杭頭変位 y_0 を求めて応力再分配を行った上で設計応力を算定する。

算定式

(i) 圧縮軸力作用時 (軸力零の場合も含む)

$$\alpha_2 = \frac{2 \cdot \beta}{Q} \cdot \left(\frac{D \cdot N}{2} + M_r \right)$$

(ii) 引張軸力作用時 $\alpha_2 = \frac{2 \cdot \beta}{Q} \cdot M_r \left(1 - \frac{|N|}{N_y} \right)$

表 3-16 Mu と M₀ の比較(X方向加力時)

杭 No.	最大抵抗モーメント Mu(kN・m)	判定	杭頭曲げモーメント M ₀ (kN・m)	
1	213	≦	313	-----> α ₂ の算定
2	625	>	313	
3	865	>	313	
4	933	>	313	
5	124	≦	313	-----> α ₂ の算定
6	440	>	313	
7	760	>	313	
8	1084	>	313	
9	213	≦	313	-----> α ₂ の算定
10	625	>	313	
11	865	>	313	
12	933	>	313	

表 3-17 Mu と M₀ の比較(Y方向加力時)

杭 No.	最大抵抗モーメント Mu(kN・m)	判定	杭頭曲げモーメント M ₀ (kN・m)	
1	173	≦	313	-----> α ₂ の算定
2	192	≦	233	-----> α ₂ の算定
3	192	≦	233	-----> α ₂ の算定
4	173	≦	313	-----> α ₂ の算定
5	604	>	313	
6	600	>	313	
7	600	>	313	
8	604	>	313	
9	973	>	313	
10	1350	>	313	
11	1350	>	313	
12	973	>	313	

→上記算定結果より、X方向加力時の No.1、No.5、No.9 の杭について、Y方向加力時の No.1
～No.4 の杭について固定度 α₂を算定する。

表 3-18 固定度 α_2 の算定

杭 No	杭 No	D(m)	N(kN)	β (m ⁻¹)	Qp(kN)	固定度 α_2
X 方向	1,9	0.8	100	0.289	210	0.59
	5	0.8	50	0.289	210	0.34
Y 方向	1,4	0.8	0	0.289	210	0.48
	2,3	0.8	-150	0.289	210	0.53

④ 杭頭変位の算定

i) X 方向加力時

a) Mu を超えない杭

固定度 α_1 を用いて、Chang の式により算定する。

設計例では、No.1、No.5、No.9 以外の杭の杭頭変位が以下の値となる。

$$\alpha = \alpha_1 = 0.86$$

$$E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{y0} = 2 - 0.86 = 1.14$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.14 \times 10^3 = 4.32 \text{ mm}$$

b) Mu を超えた杭

固定度 α_2 を用いて、Chang の式により算定する。

設計例では、No.1、No.9 の杭の杭頭変位が以下の値となる。

$$R_{y0} = 2 - \alpha_r = 2 - 0.59 = 1.41$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.41 \times 10^3 = 5.37 \text{ mm}$$

同様に、No5 の杭の杭頭変位が以下の値となる。

$$R_{y0} = 2 - \alpha_r = 2 - 0.34 = 1.66$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.66 \times 10^3 = 6.30 \text{ mm}$$

ii) Y 方向加力時

a) Mu を超えない杭

固定度 α_1 を用いて、Chang の式により算定する。

設計例では、No.5~12 の杭の杭頭変位が以下の値となる。

$$\alpha = \alpha_1 = 0.86$$

$$E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{y0} = 2 - 0.86 = 1.14$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.14 \times 10^3 = 4.32 \text{ mm}$$

b) Mu を超えた杭

固定度 α_2 を用いて、Chang の式により算定する。

設計例では、No.1、No.4 の杭頭変位は以下の値となる。

$$\alpha = \alpha_2 = 0.48$$

$$E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{y0} = 2 - \alpha_r = 2 - 0.48 = 1.52$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.52 \times 10^3 = 5.79 \text{ mm}$$

同様に、No.2、No.3 の杭頭変位は以下の値となる。

$$\alpha = \alpha_2 = 0.53$$

$$E_p = 39200 \text{ N/mm}^2 = 3.92 \times 10^7 \text{ kN/m}^2$$

$$I_p = 1.46 \times 10^{-2} \text{ m}^4$$

$$\beta = 0.289 \text{ m}^{-1}$$

$$R_{y0} = 2 - \alpha_r = 2 - 0.53 = 1.47$$

$$y_0 = \frac{Q}{4 \cdot E \cdot I \cdot \beta^3} \cdot R_{y0} = \frac{210}{4 \times 3.92 \times 10^7 \times 1.46 \times 10^{-2} \times 0.289^3} \times 1.47 \times 10^3 = 5.59 \text{ mm}$$

⑤ 各杭の負担せん断力の再分配

設計例では、X 方向加力時の No.1、No.5、No.9 の杭、Y 方向加力時の No.1~No.4 の杭の固定度に変化が生じたため、各杭の負担せん断力の再分配を行う。

尚、負担せん断力の再分配は、杭の水平剛性に応じて行う。

再分配した結果について X 方向加力時を表 3-19 に、Y 方向加力時を表 3-20 に示す。

表 3-19 各杭の負担せん断力(X 方向加力時)

杭 No	杭本数	$y_0(\text{mm})$	剛 比	$Q_p(\text{kN})$
No.1、No.9	2	5.37	0.805	180
No.5	1	6.30	0.686	153
上記以外	9	4.32	1.000	223
合計	12			$\Sigma Q \doteq 2520$

表 3-20 各杭の負担せん断力(Y 方向加力時)

杭 No	杭本数	$y_0(\text{mm})$	剛 比	$Q_p(\text{kN})$
No.1、No.4	2	5.79	0.747	167
No.2、No.3	2	5.59	0.774	173
上記以外	8	4.32	1.000	224
合計	12			$\Sigma Q \doteq 2520$

⑥ 設計応力

③～⑤で行った計算を各杭の杭頭変位の差が小さくなるまで収斂計算を行い、負担せん断力 Q_p と固定度 α を求める。これらの値を元に Chang の式を用いて設計応力を算定する。算定結果を表 3-21、表 3-22 に示す。但し、 M_u を超えた杭の設計曲げモーメント M_D は $M_D = M_u$ とする。

表 3-21 算定結果 (X 方向加力時)

杭 No	Q_p (kN)	α	M_0 (kN・m)	y_0 (mm)	θ_0 ($\times 10^{-3} \text{rad}$)
No.1、No.9	187	0.66	213	4.53	0.67
No.5	161	0.44	124	4.53	0.94
上記以外	221	0.86	329	4.53	0.32

表 3-22 算定結果 (Y 方向加力時)

杭 No	Q_p (kN)	α	M_0 (kN・m)	y_0 (mm)	θ_0 ($\times 10^{-3} \text{rad}$)
No.1、No.4	176	0.56	173	4.54	0.79
No.2、No.3	179	0.60	185	4.54	0.75
上記以外	221	0.85	330	4.54	0.32

上記算定結果では杭頭変位が等しく、杭頭の同一水平変位が成立していると判断でき、表 3-21、表 3-22 の応力を設計応力とする。

尚、杭頭回転角 θ_0 が $\theta_u (= 3.0 \times 10^{-2} \text{rad})$ 以下であることも確認した。

(9) 断面算定

1) 杭の断面検定

杭の断面算定は、曲げ・軸力およびせん断について行う。

設計例では、代表例として Y 方向加力時の No.1、No.2、No.5 の杭について以下に示す。

① 曲げモーメントと軸力に対する断面検定

M-N 曲線にて、設計応力が許容応力以内であることを確認する。

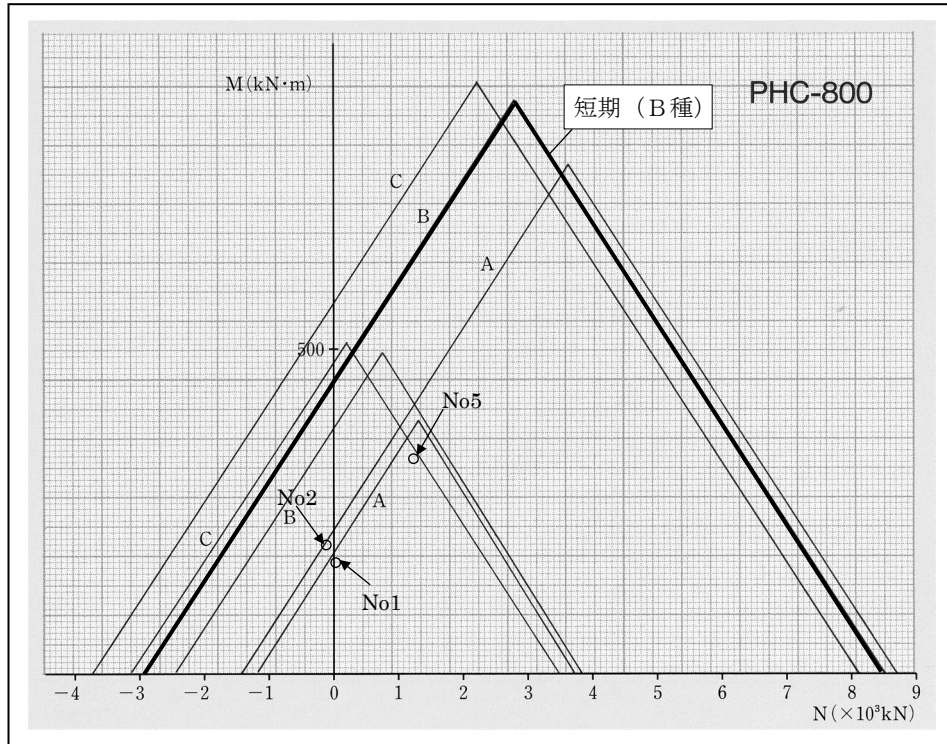


図 3-14 PHC 杭 (800φ) の M-N 曲線

∴ 図 3-14 より、杭の設計応力が短期許容応力以内であることが確認できる。

② せん断力に対する断面検定

短期設計せん断力が杭の短期許容せん断力以下であることを確認する。

設計例では、No.5 にて検定を行う。

・ 短期設計せん断力 $sQ_D = 221 \times 1.5 = 332 \text{ kN}$

・ 短期許容せん断力 $sQ_a = 430 \text{ kN}$ (表 3-23)

$$\therefore \text{検定比} \frac{sQ_D}{sQ_a} = \frac{332}{430} = 0.77 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

注) この設計例では、杭種が PHC 杭で、一次設計のみであるため、割増し係数は 1.5 を採用している。

2) PC リングのせん断力に対する断面検定

短期設計せん断力が PC リングの短期許容せん断力以下であることを確認する。

設計例では、No.5 にて検定を行う。

・ PC リング用短期設計せん断力 $sQ_D = 221 \times 1.0 = 221 \text{ kN}$

・ PC リングの短期許容せん断力 $sQ_r = 720 \text{ kN}$ (タイプ : 800N)

(既製杭、800φ 用)

$$\therefore \text{検定比} \frac{sQ_D}{sQ_r} = \frac{221}{720} = 0.31 \leq 1.0 \quad \text{OK}$$

表 3-23 既製杭の短期許容せん断力

D (mm)	t (mm)	S ₀ (cm ³)	I (cm ⁴)	^E Q _{p4} (kN)	^E Q _{p8} (kN)	^E Q _{p10} (kN)
300	60	1764	34610	63.3	83.6	92.1
350	60	2559	59930	75.6	99.8	109.9
400	65	3693	99580	94.3	124.4	137.1
450	70	5111	156000	114.9	151.7	167.1
500	80	7141	241200	145.4	191.9	211.3
600	90	11830	483400	197.9	261.1	287.6
700	100	18170	871800	258.1	340.7	375.2
800	110	26410	1455000	326.0	430.3	473.9
900	120	36790	2289000	401.7	530.1	583.9
1000	130	49560	343700	485.0	640.1	705.0

t : 杭厚さ

S₀ : 杭の断面一次モーメント

I : 杭の断面二次モーメント

^EQ_{p4} : $\sigma_e=4.0(\text{N/mm}^2)$ 時の短期許容せん断力

^EQ_{p8} : $\sigma_e=8.0(\text{N/mm}^2)$ 時の短期許容せん断力

^EQ_{p10} : $\sigma_e=10.0(\text{N/mm}^2)$ 時の短期許容せん断力

表 3-24 PC リング短期許容せん断力

D (mm)	N タイプ		S1 タイプ		S2 タイプ	
	タイプ	sQr(kN)	タイプ	sQr(kN)	タイプ	sQr(kN)
300	300N	280	300S1	340	300S2	470
350	350N	330	350S1	390	350S2	540
400	400N	370	400S1	450	400S2	620
450	450N	380	450S1	520	450S2	710
500	500N	400	500S1	590	500S2	800
600	600N	620	600S1	840	600S2	980
700	700N	670	700S1	970	700S2	1220
800	800N	720	800S1	1040	800S2	1350
900	900N	770	900S1	1110	900S2	1440
1000	1000N	810	1000S1	1170	1000S2	1520
1100	1100N	1000	1100S1	1530	1100S2	1940
1200	1200N	1050	1200S1	1600	1200S2	2030

※sQr は PC リングの短期許容せん断力

3.7.3 杭頭に引張力が生じる杭がある場合（精算解析法）

荷重条件は、3.7.2 と同様とし、精算解析法（キャプリングパイルソフト使用・多層解析）にて検討を行う。

(1) 地盤条件

地盤条件は、図 3-15 にて行う。

地盤は、多層地盤とし 0～5m で N 値 1、6～10m で N 値 5、11～17m で N 値 10、18～22m で N 値 60 と設定した。0～5m の範囲については、一層地盤で使用している $kh=20000\text{kN/m}^3$ から変形係数 $E0=6687\text{kN/m}^2$ を逆算し算出した。

(2) 設計せん断力

杭全体に作用する設計せん断力 $Q_0=2520\text{kN}$

(3) 杭設計用軸力 (kN)

杭設計軸力は、3.7.2 と同じ短期軸力とした。表 3-25 に軸力表を示す。

なお、引張定着筋は引き抜きが生じている No2,3 に配置する。

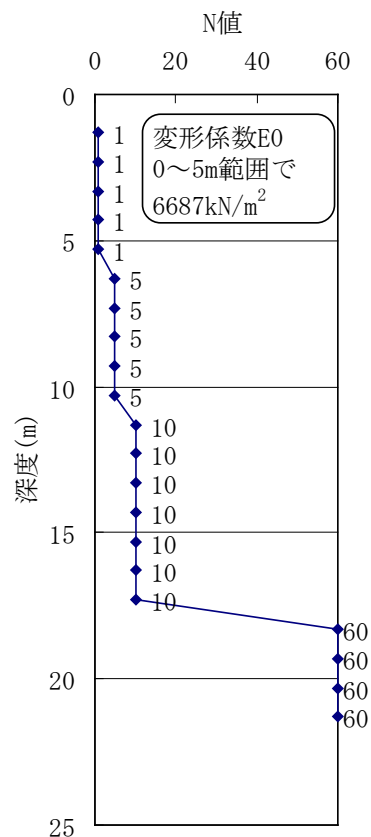


図 3-15 bor 図

表 3-25 軸力表

基礎 No	杭位置	杭径	杭 本数	軸力/基礎毎 (kN)								杭頭軸力/基礎	
				長期	パイルキャッ プ重量	長期 +	地震時 変動軸力				Nmax (kN)	Nmin (kN)	
							X(右→左)	X(左→右)	Y(右→左)	Y(左→右)			
1	X1-Y1	800	1	0	0	0	100	100	0	0	100	0	
2	X2-Y1	800	1	0	0	0	950	950	-150	-150	950	-150	
3	X3-Y1	800	1	0	0	0	1550	1550	-150	-150	1550	-150	
4	X4-Y1	800	1	0	0	0	1900	1900	0	0	1900	0	
5	X1-Y2	800	1	0	0	0	50	50	1250	1250	1250	50	
6	X2-Y2	800	1	0	0	0	1100	1100	1500	1500	1500	1100	
7	X3-Y2	800	1	0	0	0	1900	1900	1500	1500	1900	1500	
8	X4-Y2	800	1	0	0	0	2450	2450	1250	1250	2450	1250	
9	X1-Y3	800	1	0	0	0	100	100	2000	2000	2000	100	
10	X2-Y3	800	1	0	0	0	950	950	2650	2650	2650	950	
11	X3-Y3	800	1	0	0	0	1550	1550	2650	2650	2650	1550	
12	X4-Y3	800	1	0	0	0	1900	1900	2000	2000	2000	1900	

(4) 結果

表 3-26 に杭頭モーメント・杭頭せん断力・杭頭固定度結果を、表 3-27 に PC リングおよび杭頭回転角の照査結果を、表 3-28 に引張定着筋の仕様を示す。図 3-16 に PHC 杭 (φ 800) の M-N 曲線を示す。

表 3-26 杭頭モーメント・杭頭せん断力・杭頭固定度

基礎 No	基礎 位置	径 (mm)	X方向						
			杭頭 軸力 (kN)	杭頭 曲げ モーメント (kN・m)	杭頭 変位量 (mm)	概算 杭頭 固定度 α	地中部最大		杭頭せん断力 (kN)
							曲げ モーメント (kN・m)	発生 深度 (m)	
1	X1-Y1	800	100	40.0	5.89	0.15	148.7	3.3	143.7
2	X2-Y1	800	950	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
3	X3-Y1	800	1550	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
4	X4-Y1	800	1900	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
5	X1-Y2	800	50	20.0	5.89	0.08	154.8	3.1	138.4
6	X2-Y2	800	1100	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
7	X3-Y2	800	1900	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
8	X4-Y2	800	2450	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
9	X1-Y3	800	100	40.0	5.89	0.15	148.7	3.3	143.7
10	X2-Y3	800	950	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
11	X3-Y3	800	1550	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7
12	X4-Y3	800	1900	375.1	5.89	0.87	94.9	5.1	232.7

基礎 No	基礎 位置	径 (mm)	Y方向						
			杭頭 軸力 (kN)	杭頭 曲げ モーメント (kN・m)	杭頭 変位量 (mm)	概算 杭頭 固定度 α	地中部最大		杭頭せん断力 (kN)
							曲げ モーメント (kN・m)	発生 深度 (m)	
1	X1-Y1	800	0	0.0	6.14	0.00	168.1	3.0	138.6
2	X2-Y1	800	-150	51.5	6.14	0.18	152.1	3.4	152.2
3	X3-Y1	800	-150	51.5	6.14	0.18	152.1	3.4	152.2
4	X4-Y1	800	0	0.0	6.14	0.00	168.1	3.0	138.6
5	X1-Y2	800	1250	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
6	X2-Y2	800	1500	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
7	X3-Y2	800	1500	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
8	X4-Y2	800	1250	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
9	X1-Y3	800	2000	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
10	X2-Y3	800	2650	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
11	X3-Y3	800	2650	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3
12	X4-Y3	800	2000	390.5	6.14	0.87	98.8	5.1	242.3

表 3-27 PC リングおよび杭頭回転角の照査

基礎 No	杭 位置	PCリングせん断力		せん断力 (kN)				杭頭回転角 (0.03rad以下)		合・否
		PCリング タイプ	PCリング 許容値 (kN)	X-RL	X-LR	Y-RL	Y-LR	X方向 加力時 (rad)	Y方向 加力時 (rad)	
1	X1-Y1	N	760	143.7	143.7	138.6	138.6	0.001	0.002	合
2	X2-Y1	N	760	232.7	232.7	152.2	152.2	0.000	0.001	合
3	X3-Y1	N	760	232.7	232.7	152.2	152.2	0.000	0.001	合
4	X4-Y1	N	760	232.7	232.7	138.6	138.6	0.000	0.002	合
5	X1-Y2	N	760	138.4	138.4	242.3	242.3	0.002	0.000	合
6	X2-Y2	N	760	232.7	232.7	242.3	242.3	0.000	0.000	合
7	X3-Y2	N	760	232.7	232.7	242.3	242.3	0.000	0.000	合
8	X4-Y2	N	760	232.7	232.7	242.3	242.3	0.000	0.000	合
9	X1-Y3	N	760	143.7	143.7	242.3	242.3	0.001	0.000	合
10	X2-Y3	N	760	232.7	232.7	242.3	242.3	0.000	0.000	合
11	X3-Y3	N	760	232.7	232.7	242.3	242.3	0.000	0.000	合
12	X4-Y3	N	760	232.7	232.7	242.3	242.3	0.000	0.000	合

表 3-28 引張定着筋仕様

引張 定着筋 仕様	引張定着筋 短期許容引張力 (kN)	最大 引抜き軸力 (kN)
1	296	150

引張定着筋仕様は、表 3-10 より 3-D19 となる。

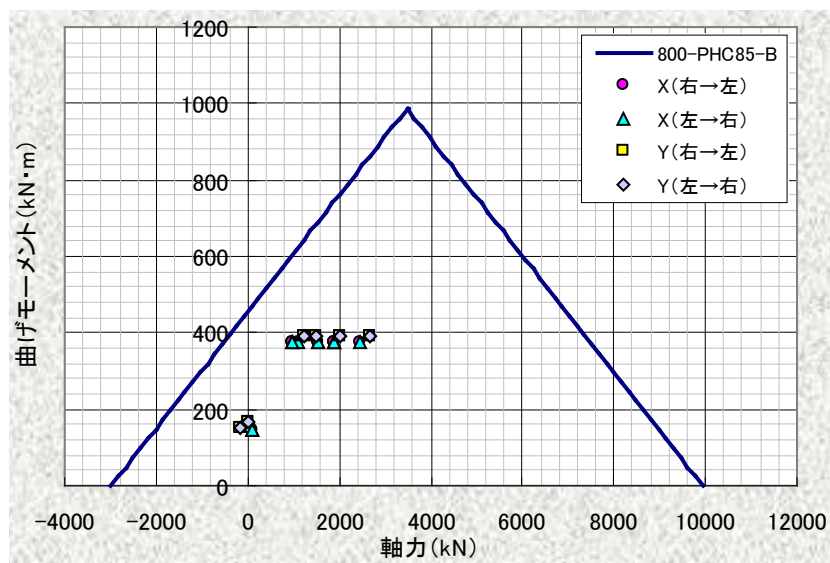
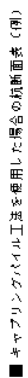


図 3-16 PHC 杭 (φ 800) の M-N 曲線

キャプリングパイプ工法基準図 (既製杭用サイトPCリング構成部材仕様及び施工要領)

① 鋼板リング				② 連結 ブラケット				③ 薄板鋼板型枠リング				④ 鋼筋鋼板 スライダ				⑤ ウルボン スライダ			
名 称	板厚 材質	内径 幅	外径 幅	コンクリート 厚さ	板厚 材質	外径 幅	板厚 材質	板厚 材質	外径 幅	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質	板厚 材質
300N	49.0	320	370		508	558	608	658	708	758	808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208
350N	49.0	370	420		558	608	658	708	758	808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258
400N	49.0	420	470		608	658	708	758	808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308
450N	49.0	470	520		658	708	758	808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358
500N	49.0	520	570	87	708	758	808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408
550N	49.0	570	620		758	808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458
600N	49.0	620	670		808	858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508
650N	49.0	670	720		858	908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558
700N	49.0	720	770		908	958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608
750N	49.0	770	820		958	1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658
800N	49.0	820	870		1008	1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708
850N	49.0	870	920		1058	1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758
900N	49.0	920	970		1108	1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808
950N	49.0	970	1020		1158	1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858
1000N	49.0	1020	1070		1208	1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908
1050N	49.0	1070	1120		1258	1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958
1100N	49.0	1120	1170		1308	1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008
1150N	49.0	1170	1220		1358	1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058
1200N	49.0	1220	1270		1408	1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108
1250N	49.0	1270	1320		1458	1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158
1300N	49.0	1320	1370		1508	1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208
1350N	49.0	1370	1420		1558	1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258
1400N	49.0	1420	1470		1608	1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308
1450N	49.0	1470	1520		1658	1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358
1500N	49.0	1520	1570		1708	1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408
1550N	49.0	1570	1620		1758	1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458
1600N	49.0	1620	1670		1808	1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508
1650N	49.0	1670	1720		1858	1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558
1700N	49.0	1720	1770		1908	1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608
1750N	49.0	1770	1820		1958	2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658
1800N	49.0	1820	1870		2008	2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708
1850N	49.0	1870	1920		2058	2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758
1900N	49.0	1920	1970		2108	2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808
1950N	49.0	1970	2020		2158	2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858
2000N	49.0	2020	2070		2208	2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908
2050N	49.0	2070	2120		2258	2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958
2100N	49.0	2120	2170		2308	2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008
2150N	49.0	2170	2220		2358	2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058
2200N	49.0	2220	2270		2408	2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108
2250N	49.0	2270	2320		2458	2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158
2300N	49.0	2320	2370		2508	2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208
2350N	49.0	2370	2420		2558	2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258
2400N	49.0	2420	2470		2608	2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308
2450N	49.0	2470	2520		2658	2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358
2500N	49.0	2520	2570		2708	2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408
2550N	49.0	2570	2620		2758	2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458
2600N	49.0	2620	2670		2808	2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508
2650N	49.0	2670	2720		2858	2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558
2700N	49.0	2720	2770		2908	2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608
2750N	49.0	2770	2820		2958	3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658
2800N	49.0	2820	2870		3008	3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708
2850N	49.0	2870	2920		3058	3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758
2900N	49.0	2920	2970		3108	3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808
2950N	49.0	2970	3020		3158	3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858
3000N	49.0	3020	3070		3208	3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908
3050N	49.0	3070	3120		3258	3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958
3100N	49.0	3120	3170		3308	3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008
3150N	49.0	3170	3220		3358	3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058
3200N	49.0	3220	3270		3408	3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108
3250N	49.0	3270	3320		3458	3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108	4158
3300N	49.0	3320	3370		3508	3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108	4158	4208
3350N	49.0	3370	3420		3558	3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108	4158	4208	4258
3400N	49.0	3420	3470		3608	3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108	4158	4208	4258	4308
3450N	49.0	3470	3520		3658	3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108	4158	4208	4258	4308	4358
3500N	49.0	3520	3570		3708	3758	3808	3858	3908	3958	4008	4058	4108	4158	4208	4258	4308	4358	4408
3550N	49.0	3570	3620		3758	3808	3858	3908	3958	400									

[illegible][illegible]

抗压图 轴压=1:100 轴拉=200kN

共著書

1 新編 五 プレホリンズ数学初階の工夫
2 ▲印紙、印刷本等。
3 ▲印紙、印刷本等。

格段の厚山下記である。
上五枚の本は、F-31944401-31944406。