

『賛助会員による技術発表会』

日本建築構造技術者協会 東北支部

三谷セキサン杭頭接合構法 Lev-Pile構法

(一財)ベターリビング 評定 CBL FP018-18号

2019年10月11日

三谷セキサン株式会社



お願い
本資料の貴社外での複写および配布、転載はご遠慮いただきますよう、お願いいたします。

1. 背景と概要

2. Lev-Pile構法の適用範囲

3. Lev-Pile構法の設計式(一次設計)

3. 1 杭頭埋込部の曲げ設計、試設計

3. 2 基礎梁下面の曲げ設計

3. 3 杭頭埋込部のせん断設計

補足4. Lev-Pile構法の設計式(二次設計)

4. 1 杭頭埋込部の曲げ設計

4. 2 基礎梁下面の曲げ設計

4. 3 杭頭埋込部のせん断設計

補足5. 杭頭曲げせん断実験の実験結果

5. 1 杭頭実験fase1 (定着部支圧係数)

5. 2 杭頭実験fase2 (てこ支圧係数)

2

1. 背景と概要

2. Lev-Pile構法の適用範囲

3. Lev-Pile構法の設計式(一次設計)

3. 1 杭頭埋込部の曲げ設計、試設計

3. 2 基礎梁下面の曲げ設計

3. 3 杭頭埋込部のせん断設計

3

杭頭接合部の課題

既製杭高支持力工法の普及により杭径が縮小され、上杭に鋼管厚の厚い(耐力の高い)SC杭が採用されるケースが増えている。



- ・杭の耐力を担保するだけの杭頭定着筋が並びきらない問題。
- ・杭頭定着筋が過密となり、基礎梁の配筋がしきれない問題。

杭頭定着筋の過密配筋を解消する方法が必要

4

既往の設計方法提案の例



建築研究所報告No.129、1990年9月
杭頭接合部の力学的挙動に関する研究
第5章 既製コンクリート杭の杭頭接合部の設計
5.4 設計方法の提案式 より

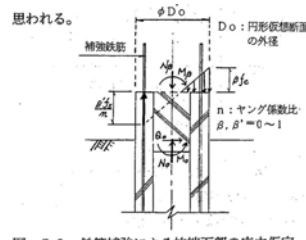


図-5.6 鉄筋補強による杭頭面部の応力仮定

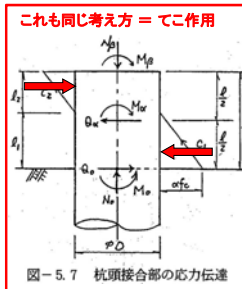


図-5.7 杭頭接合部の応力伝達

構造実験等で抵抗機構を確かめられたものではなく、バックデータが無い
杭頭埋込部の“てこ反力”に対する補強配筋等の提案がない
設計方法として確認機関から認められないケースが増えている



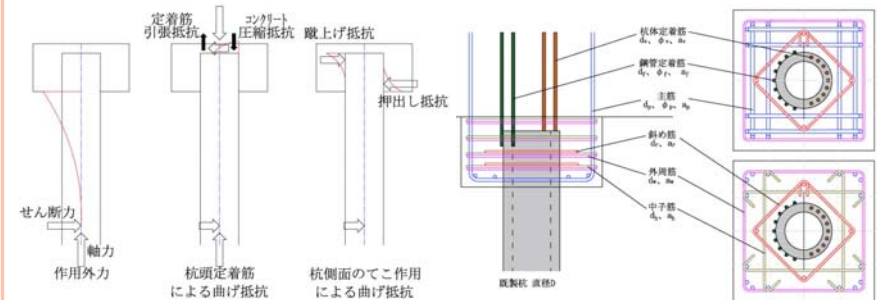
構造実験結果に基づいた杭頭接合構法として、Lev-Pile構法を開発

5

Lev-Pile構法概要

てこ作用=Leverage ⇒ Lev

杭頭埋込み部の抵抗機構を構造実験により検証し、設計法を明確化



○杭頭曲げモーメントに対して、
“杭頭定着筋”と“埋込みによるてこ作用”で抵抗が可能

○杭頭定着筋のみ、または杭頭定着筋無しで埋め込みのみでも設計可能

○てこ反力に対する水平筋、曲げ伝達のための鉛直筋の配筋設計を規定

6

1. 背景と概要

2. Lev-Pile構法の適用範囲

3. Lev-Pile構法の設計式（一次設計）

- 3.1 杭頭埋込部の曲げ設計、試設計
- 3.2 基礎梁下面の曲げ設計
- 3.3 杭頭埋込部のせん断設計

7

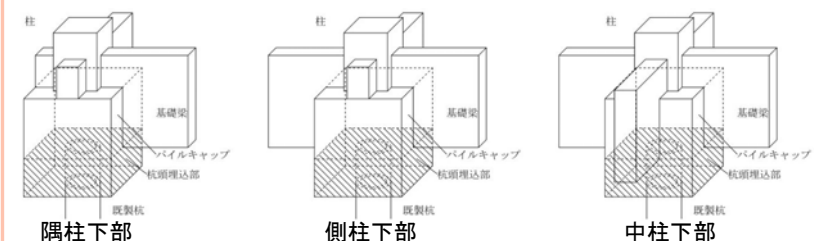
Lev-Pile構法が対象とする部分

杭頭固定端の曲げモーメントおよびせん断力に対して、
“てこ作用による曲げ抵抗”と“定着部杭頭面による曲げ抵抗”を
抵抗機構とする杭頭接合法。

パイルキャップ：杭・基礎梁・柱の応力伝達を行うための接合部材

杭頭埋込部：基礎梁下部の杭頭が埋め込まれる部分
杭に作用する外力をパイルキャップに伝達させるRC補強部

※Lev-Pile構法は、杭頭埋込部を対象とした構法



8

評定事項

- ① 杭頭埋込部の許容曲げモーメントおよび許容せん断力
- ② 杭頭埋込部の終局曲げモーメントおよび終局せん断力

二次設計についても、評定範囲に含まれる

i) 対象とする杭と杭工法

本構法が対象とする杭はJIS認証または評定を受けた既製コンクリート杭（SC杭、PRC杭、PHC杭、SPHC杭等）

対象とする杭工法は三谷セキサン株式会社が国土交通大臣認定、評定を受けた杭工法

または三谷セキサン株式会社が施工する平成13年国土交通省告示第1113号に定められた杭工法とする

ii) 対象とする杭径

杭径は300mm以上1500mm以下を対象とする。

9

iii) 杭頭埋込部に関する基本事項

杭頭埋込部に既製杭1本（単杭）が取り付くものとし、2本以上取り付く場合は対象外とする。

杭頭埋込部の断面の幅Bb及びせいDbは2.5D（D：杭径）以上とする。

てこ作用による曲げ抵抗を考慮する場合の埋込み長さℓは0.5D以上とし、埋込み長さℓが0.5D未満の場合はてこ作用による曲げ抵抗を考慮しないものとする。

杭頭埋込部内へ埋め込みされた杭の中空部には、中詰めコンクリートを充填するものとする（埋め込み部下端までは中詰めコンクリートを充填する）。

iv) 対象とする建物

建物用途、建物規模、形状および構造種別等についての制限は特に設けない。

10

使用材料 (1) コンクリート

使用するコンクリートの種類と設計基準強度を以下に示す。杭頭埋込部のコンクリートの設計基準強度Fcは、パイルキャップコンクリートと同一とする。

コンクリート*の種類と設計基準強度

コンクリートの種類	設計基準強度(N/mm ²)
普通コンクリート	18～60(杭頭埋込部)

*法第37条第一号もしくは第二号に該当するコンクリート

・短期許容支圧応力度 $f_n=2/3 \cdot F_n$ [N/mm²] F_n : 支圧強度
杭頭埋込部のてこ作用に関する支圧強度 $F_n=\beta_{te} \cdot F_c=1.5 \cdot F_c$
杭頭面の曲げ作用に関する支圧強度 $F_n=\beta_H \cdot F_c=1.8 \cdot F_c$

11

使用材料 (2) 鉄筋

i) 異形棒鋼

- ・JIS G 3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」異形棒鋼SD295, SD345, SD390, SD490
- ・建築基準法第37条第二号の規定に基づく国土交通大臣認定を受けた材料

ii) 杭頭定着筋

- ・JIS G 3112 「鉄筋コンクリート用棒鋼」異形棒鋼SD295, SD345, SD390, SD490
- ・建築基準法第37条第二号の規定に基づく国土交通大臣認定を受けた材料（New J-BAR 等）
- ・評定、建設技術審査証明等を受けた工法で指定された材料（パイルスタッド 等）

鉄筋の許容応力度

[建築基準法施行令第90条、平成13年国土交通省告示第1024号]

鋼種	短期	
	引張および圧縮	せん断補強
SD295A, SD295B	F	F
SD345, SD390, SD490	F	F

12

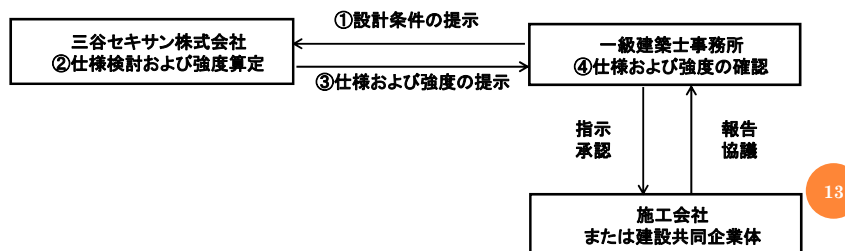
実施体制

○設計体制

本構法の設計は、三谷セキサン株式会社から構造設計の設計支援を受ける一級建築士事務所が実施する。ここで設計支援とは、三谷セキサン株式会社が本構法の設計指針に基づき杭頭接合部の仕様検討および強度算定を行い、一級建築士事務所に対して仕様および強度の提示を行うことをいう。一級建築士事務所は、提示された仕様および強度の確認を行う。

○施工体制

本構法の施工および施工管理は、構造設計・監理を行う一級建築士事務所からの指示により施工会社または建設共同企業体を実施する。



13

1. 背景と概要

2. Lev-Pile構法の適用範囲

3. Lev-Pile構法の設計式（一次設計）

3. 1 杭頭埋込部の曲げ設計、試設計
3. 2 基礎梁下面の曲げ設計
3. 3 杭頭埋込部のせん断設計

14

設計荷重の設定

杭の設計

多層地盤解析

杭頭固定端の作用曲げモーメント M_D
 杭頭固定端の作用せん断力 Q_D
 杭頭固定端の作用軸力 N_D

杭頭埋込部の設計荷重

杭頭埋込部下面の設計用曲げモーメント M_0
 杭頭埋込部下面の設計用せん断力 Q_0
 杭頭埋込部下面の設計用軸力 N_0

方法①（安全側の設計）

杭頭面を固定端として、 M_D 、 Q_D 、 N_D を算定。

→得られた杭頭面の荷重を埋込部下面にもってきて、杭頭埋込部を設計。

$M_0=M_D$ (杭頭固定端:杭頭面)、 $Q_0=Q_D$ (杭頭固定端:杭頭面)、 $N_0=N_D$ (杭頭固定端:杭頭面)

方法②（詳細な設計）

方法①で杭頭埋込部を設計後、得られた埋込部下面を固定端として、 M_D 、 Q_D 、 N_D を再算定。

→埋込部下面の荷重で、杭頭埋込部を再度設計。

$M_0=M_D$ (杭頭固定端:埋込部下面)、 $Q_0=Q_D$ (杭頭固定端:埋込部下面)、 $N_0=N_D$ (杭頭固定端:埋込部下面)



3. 1 杭頭埋込部の曲げ設計、試設計

杭頭埋込部許容曲げモーメント

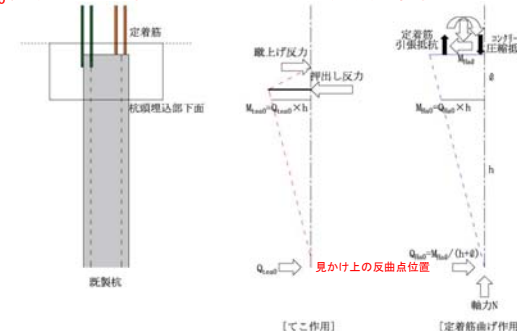
$$M_0 \leq M_{a0} = \underbrace{M_{Ha0}}_{\text{定着筋}} + \underbrace{M_{tea0}}_{\text{てこ}}$$

M_0 : 杭頭埋込部下面位置における設計用曲げモーメント

M_{a0} : 杭頭埋込部許容曲げモーメント

M_{tea0} : 杭頭埋込部下面位置における杭側面でてこ作用による許容てこ曲げモーメント

M_{Ha0} : 杭頭埋込部下面位置における杭頭定着筋等による許容定着曲げモーメント



16

許容てこ曲げモーメント

$$M_{tea0} = \xi \frac{\alpha \lambda^2}{4\lambda + 6\alpha} D^3 f_n$$

D: 杭径

f_n : コンクリートの短期許容支圧応力度

$$f_n = 2/3 \cdot F_n = 2/3 \cdot \beta_{te} F_c$$

β_{te} : てこ作用における支圧応力度係数 $\beta_{te} = 1.5$

ℓ : 杭の杭頭埋込部への埋込み長さ $\ell \geq 0.5D$

λ : 埋込み長さ比 $\lambda = \ell/D$

h : 短期荷重時のせん断スパン

$$h = M_0/Q_0$$

α : 短期荷重時のせん断スパン比

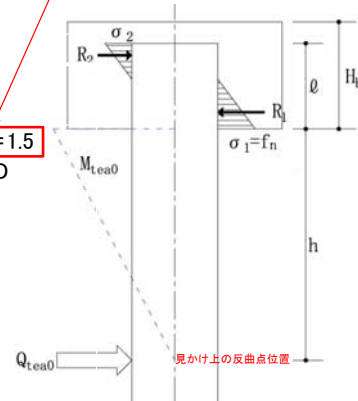
$$\alpha = h/D = M_0/(Q_0 \cdot D)$$

ξ : 許容反力による低減係数 $\xi = \frac{T_a}{R_1} \leq 1.0$

R_1 : コンクリートの許容てこ押し力

T_a : 水平筋による許容反力

コンクリートには支圧強度を用いる。
てこ支圧係数は実験結果により1.5(後述)。



17

てこ押し力R1に対して、抵抗できる水平筋を杭頭埋込部に配筋する(後述)。

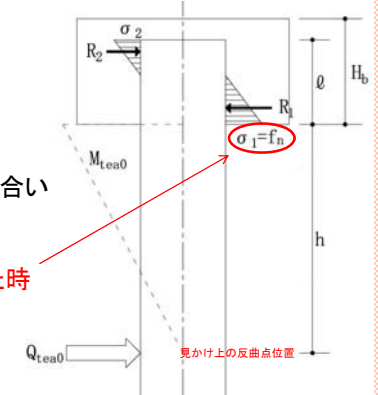
許容てこ曲げモーメント 算定仮定

てこ押し力R1、てこ蹴力上げR2、
許容てこせん断力Qtea0(=Mtea0/h)の力のつり合い

杭頭埋込部下面位置の圧縮縁応力度 σ_1 が
コンクリートの短期許容支圧応力度 f_n に達した時

算定仮定

- ①支圧応力度分布は、三角形分布
合力R1とR2間の距離は $2\ell/3$
- ②押し力および蹴力上げの支圧応力度分布の傾きは同じ
- ③コンクリート支圧応力度は、杭幅Dに一樣に生じている
- ④コンクリートのてこ作用における支圧応力度係数 β_{te} を設定
- ⑤杭体の付着強度を無視、てこ作用には軸力は関係しない



18

許容反力による低減係数 ξ

$$\text{低減係数} \xi = \frac{T_a}{R_1}$$

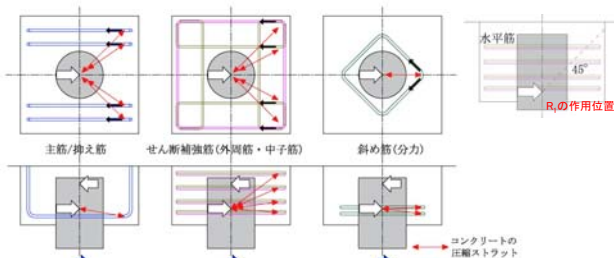
てこ押し力R1に対して、抵抗できる水平筋を杭頭埋込部に配筋する。
R1に対する水平筋反力Taの不足分だけ、てこ反力を低減する。

$$R_1 = \frac{Q_{tea0}(\xi=1)}{3\ell} \cdot \frac{(2\ell + 3h)^2}{\ell + 2h} = \frac{M_{tea0}(\xi=1)}{3\ell \cdot h} \cdot \frac{(2\ell + 3h)^2}{\ell + 2h}$$

$$T_a = m_p n_p a_p f_{py} + m_w n_w a_w f_{wy} + m_h n_h a_h f_{hy} + m_r n_r a_r f_{ry} \cos 45^\circ$$

p, w, h, r: 主筋、外周筋、中子筋、斜め筋

m, n, a, f_y : 有効段数、有効本数、断面積、短期許容引張応力度



水平筋の有効範囲



45° 方向のひび割れ

19

杭頭定着筋による短期許容曲げモーメント

$$M_{Hao} = \frac{h}{h + l} M_{Hat}$$

M_{Hao} : 杭頭埋込部下面位置における許容定着曲げモーメント

M_{Hat} : 杭頭面位置における許容定着曲げモーメント

M_{Hat} の算定

平面保持が成立するものとし、断面分割法を用いて算定

$$M_{Hal} = \min(M_{Hac}, M_{Hat})$$

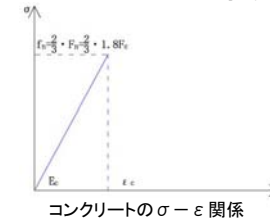
M_{Hac} : 圧縮側コンクリートが短期許容支圧応力度に達したときの曲げモーメント

M_{Hat} : 引張側定着筋が短期許容引張応力度に達した時の曲げモーメント

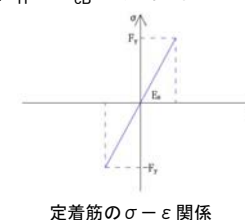
1) 仮想円形断面は杭径D+200mm

2) コンクリートの支圧強度は $\beta_H \times \sigma_{cb}$

定着部の支圧係数 $\beta_H = 1.8$

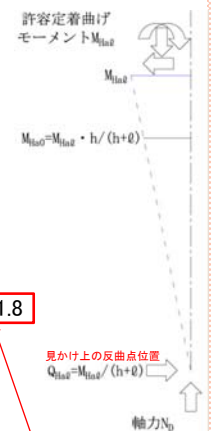


コンクリートの $\sigma - \epsilon$ 関係



定着筋の $\sigma - \epsilon$ 関係

コンクリートには支圧強度を用いる。
定着部支圧係数は実験結果により1.8(後述)。



20

試設計

杭の設計

鋼管厚の厚いSC杭

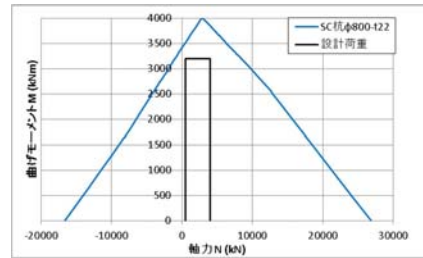
Hi-SC105 杭径 $\phi 800$ 鋼管厚 $t22$
 $M_D = 3200 \text{ kNm}$
 $Q_D = 1000 \text{ kN}$

従来方法の設計

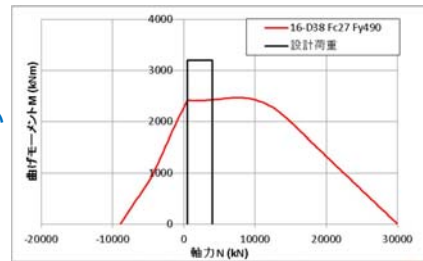
これ以上は並ばない
最大本数

杭頭定着筋 16本
 コンクリート強度 F_{c27}
 → 定着筋の耐力 $M_{Ha0} = 2421 \text{ kNm}$

$MD > M_{Ha0}$ ($3200 > 2421$) 設計NG



杭体のNM曲線



杭頭埋込部のNM曲線

21

試設計

Lev-Pile構法で計算

せん断スパン $h = M_0 / Q_0 = 3200 / 1000 = 3.20 \text{ m}$

埋込み長さ $l = 800 \text{ mm} = 0.80 \text{ m}$

① 定着筋

$$M_{Ha0} = \frac{h}{h+l} M_{Ha} = \frac{3.20}{3.20+0.80} \cdot 2421 = 1937 \text{ kNm}$$

② てこ

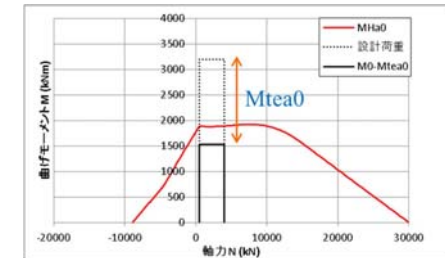
$$M_{tea0} = \frac{h l^2}{4l+6h} D f_n = \frac{3.20 \cdot 0.80^2}{4 \cdot 0.80 + 6 \cdot 3.20} \cdot 0.80 \cdot 27.0 = 1975 \text{ kNm}$$

③ 杭頭埋込部の耐力

$$M_{a0} = M_{tea0} + M_{Ha0} = 1937 + 1975 = 3912 \text{ kNm}$$

$MD < M_{a0}$ ($3200 < 3912$)

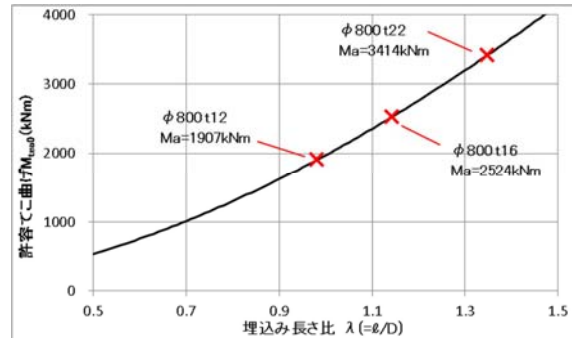
設計OK



杭頭埋込部のNM曲線

22

定着筋なしで設計した場合の埋込み長さ算定例



設計条件

杭径 D 800mm
 シアスパン比 α 4.0
 コンクリート強度 F_c 27N/mm²
 設計軸力 N 0kN

杭種 必要な埋込み長さ

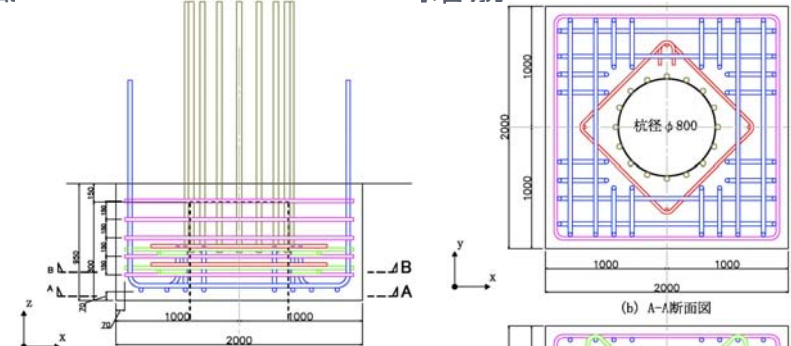
$\phi 800t12$	0.98D(790mm)
$\phi 800t16$	1.14D(920mm)
$\phi 800t22$	1.35D(1080mm)

M_a : 杭体の短期許容曲げモーメント

※軸力が高い場合は、
 定着許容曲げモーメント M_{Ha0} が大きくなるので、
 必要埋込み長さは、より短くなります。
 ※水平筋で決まる場合は、
 必要埋込み長さが長くなる場合があります。

23

配筋例 SC杭 $\phi 800t22$ 定着筋D38-16



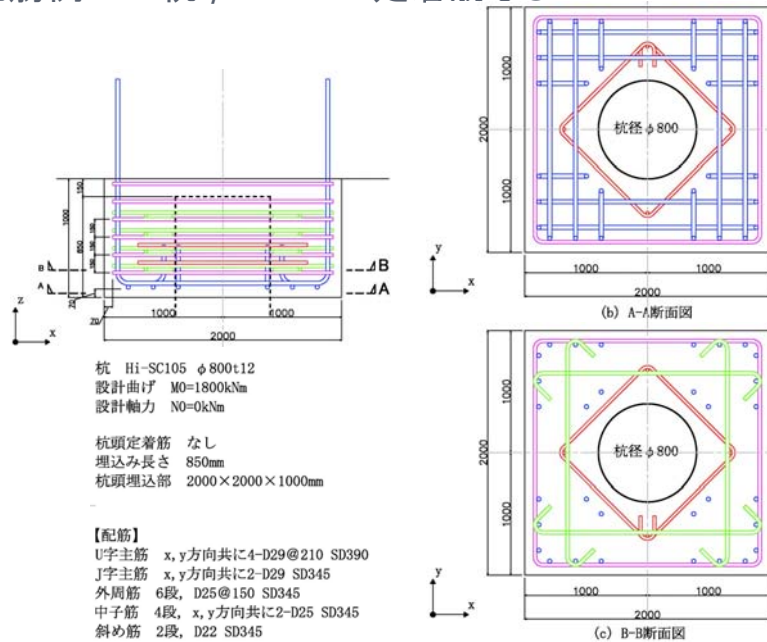
杭 Hi-SC105 $\phi 800t22$
 設計曲げ $M_0 = 3200 \text{ kNm}$
 設計軸力 $N_0 = 0 \text{ kN}$
 杭頭定着筋 16-D38 (WSD490)
 埋込み長さ 800mm
 杭頭埋込部 2000×2000×950mm

【配筋】
 U字主筋 x, y方向共に4-D29@210 SD390
 J字主筋 x, y方向共に4-D29 SD345
 外周筋 5段, D25@150 SD345
 中子筋 2段, x, y方向共に2-D25 SD345
 斜め筋 2段, D22 SD345

(c) B-B断面図

24

配筋例 SC杭φ800t12 定着筋なし



25

3. 2基礎梁下面の曲げ設計

$$M \leq M_{pa1}$$

M: 設計用曲げモーメント

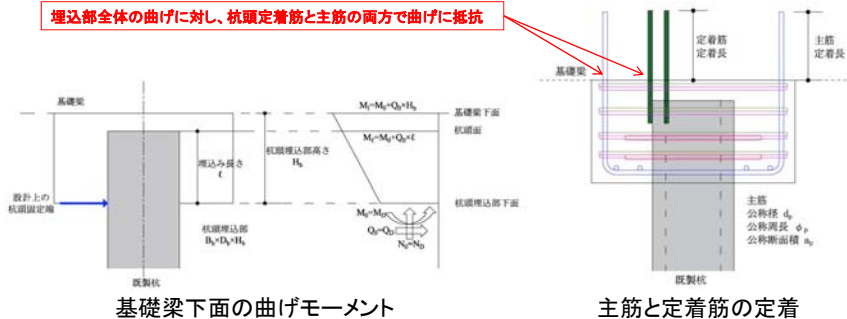
M_{pa1} : 主筋が負担する許容定着曲げモーメント

$$M = M_1 - M_{Ha1}$$

M_1 : 基礎梁下面に作用する設計用曲げモーメント $M_1 = M_0 + Q_0 \times H_b$

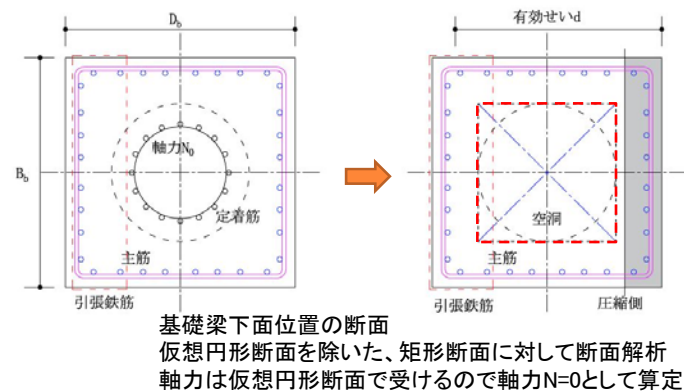
M_{Ha1} : 杭頭面位置における杭頭許容定着曲げモーメント

埋込部全体の曲げに対し、杭頭定着筋と主筋の両方で曲げに抵抗



主筋が負担する許容定着曲げモーメント M_{pa1}

基礎梁下面位置の断面において、断面分割法より算定する。



安全側に評価できる略算式を用いて算定してもよい

$$M_{pa1} = a_{pt} f_{py} j$$

a_{pt} : 引張側主筋の全断面積(有効範囲0.25 D_b)

f_{py} : 主筋の短期許容引張応力度

j : 応力中心間距離 $j=7/8 \cdot d$ d : 有効せい $d=0.9D_b$

27

3. 3杭頭埋込部の許容せん断設計

建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」第4編 各種アンカーボルト設計指針
(へりあきが小さい場合のコーン状水平破壊強度の準じて算定)

$$Q \leq Q_{csa}$$

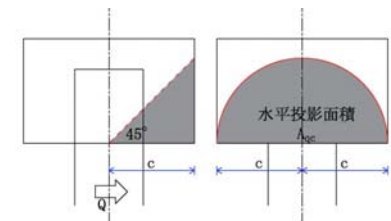
Q: 設計用せん断力

Q_{csa} : 短期許容コーンせん断力

$$Q = Q_0 - M_{Ha0}/h$$

Q_0 : 杭頭埋込部下面に作用する設計用せん断力

M_{Ha0} : 杭頭埋込部下面位置における許容定着曲げモーメント



$$Q_{csa} = 2/3 \cdot Q_{csu} = 2/3 \cdot \sigma_{ct} A_{qc}$$

σ_{ct} : コンクリート引張強度 $\sigma_{ct} = 0.31\sqrt{F_c}$

A_{qc} : 水平有効投影面積 $A_{qc} = 0.5\pi c^2$ $c = \min(D_b, B_b)$

28

補足資料

補足4. Lev-Pile構法の設計式(二次設計)

- 4. 1 杭頭埋込部の曲げ設計
- 4. 2 基礎梁下面の曲げ設計
- 4. 3 杭頭埋込部のせん断設計

補足5. 杭頭曲げせん断実験の実験結果

- 5. 1 杭頭実験fase1 (定着部支圧係数)
- 5. 2 杭頭実験fase2 (てこ支圧係数)

30

4. 1 杭頭埋込部の曲げ設計

杭頭埋込部終局曲げモーメント

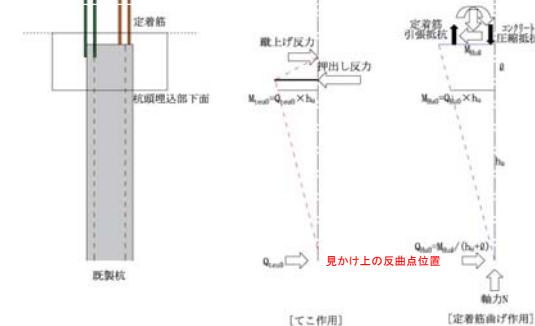
$$M_{u0} = M_{Hu0} + M_{teu0}$$

M_0 : 杭頭埋込部下面位置における設計用曲げモーメント

M_{u0} : 杭頭埋込部終局曲げモーメント

M_{teu0} : 杭頭埋込部下面位置における
杭側面てこ作用による終局てこ曲げモーメント

M_{Hu0} : 杭頭埋込部下面位置における
杭頭定着筋等による終局定着曲げモーメント

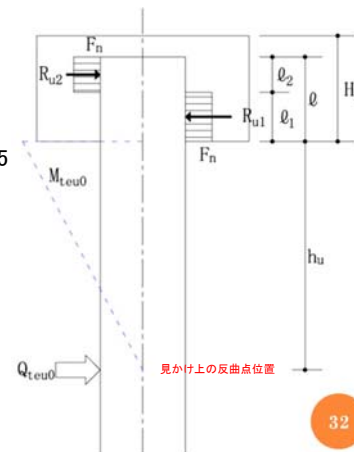


31

終局てこ曲げモーメント

$$M_{teu0} = \xi \alpha_u (-\lambda - 2\alpha_u + \sqrt{2} \sqrt{(\alpha_u + \lambda)^2 + \alpha_u^2}) D^3 F_n$$

- D: 杭径
- F_n : コンクリートの支圧強度
 $F_n = \beta_{te} F_c$
- β_{te} : てこ作用における支圧応力度係数 $\beta_{te} = 1.5$
- ℓ : 杭の杭頭埋込部への埋込み長さ $\ell \geq 0.5D$
- λ : 埋込み長さ比 $\lambda = \ell/D$
- h_u : 終局荷重時のせん断スパン
 $h_u = M_0/Q_0$
- α_u : 短期荷重時のせん断スパン比
 $\alpha_u = h_u/D$
- ξ_u : 終局反力による低減係数 $\xi_u = \frac{T_u}{R_{u1}} \leq 1.0$
- R_{u1} : てこ押し出し力
- T_u : 水平筋による終局反力



32

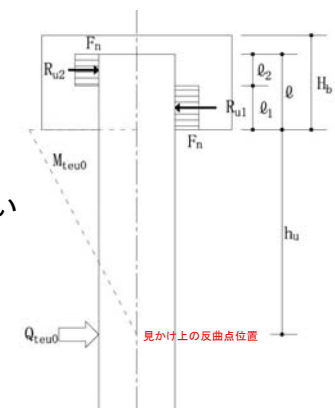
終局てこ曲げモーメント 算定仮定

てこ押し出し力 R_{u1} 、てこ蹴り上げ R_{u2} 、
終局てこせん断力 $Q_{teu0}(=M_{teu0}/h_u)$ の力のつり合い

杭頭埋込部のコンクリートの応力度が
コンクリートの支圧強度 F_n に達した時

算定仮定

- ① 支圧応力度分布は、矩形分布
合力 R_{u1} と R_{u2} 間の距離は $\ell/2$
- ② 押し出し力および蹴り上げ力の支圧応力度の大きさは同じ
- ③ コンクリート支圧応力度は、杭幅Dに様に生じている
- ④ コンクリートのてこ作用における支圧応力度係数 β_{te} を設定
- ⑤ 杭体の付着強度を無視、てこ作用には軸力は関係しない



33

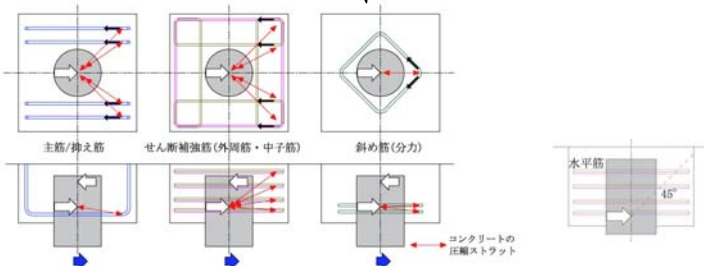
終局でこ曲げモーメント

てこ反力 R_{u1} の反力 T_u をとるため水平筋を配筋する

$$\text{低減係数 } \xi_u = \frac{T_u}{R_{u1}}$$

$$R_{u1} = Q_{te0}(\xi=1) \frac{h_u + l - l_2/2}{l/2}$$

$$\text{蹴上げ区間長さ } l_2 = (h_u + l) - \sqrt{\{(h_u + l)^2 + h_u^2\}/2}$$



水平筋の有効範囲

水平筋による終局反力

$$T_u = 1.1m_p n_p a_p F_{py} + 1.1m_w n_w a_w F_{wy} + 1.1m_h n_h a_h F_{hy} + 1.1m_r n_r a_r F_{ry} \cos 45^\circ$$

p, w, h, r: 主筋、外周筋、中子筋、斜め筋

m, n, a, F_y: 有効段数、有効本数、断面積、基準強度

34

杭頭定着筋による終局曲げモーメント

$$M_{Hu0} = \frac{h_u}{h_u + l} M_{Hu1}$$

M_{Hu0} : 杭頭埋込部下面位置における終局定着曲げモーメント

M_{Hu1} : 杭頭面位置における終局定着曲げモーメント

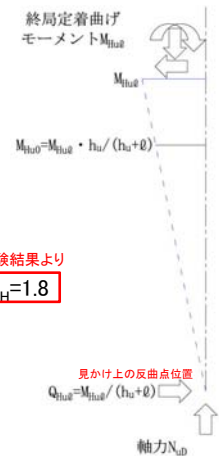
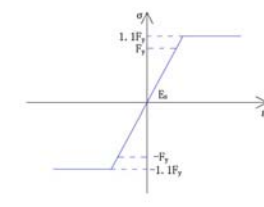
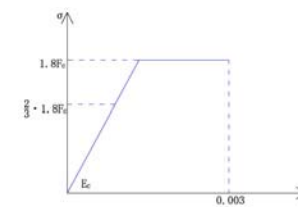
M_{Hu0} の算定

平面保持が成立するものとし、断面分割法を用いて算定

圧縮縁コンクリートのひずみが0.3%に達した時の曲げモーメント

1) 仮想円形断面は杭径 $D+200\text{mm}$

2) コンクリートの抗压強度は $\beta_H \times \sigma_{cb}$ 定着部の抗压係数 $\beta_H=1.8$ (実験結果より)



35

4.2 基礎梁下面の終局曲げ設計

$$M \leq M_{pu1}$$

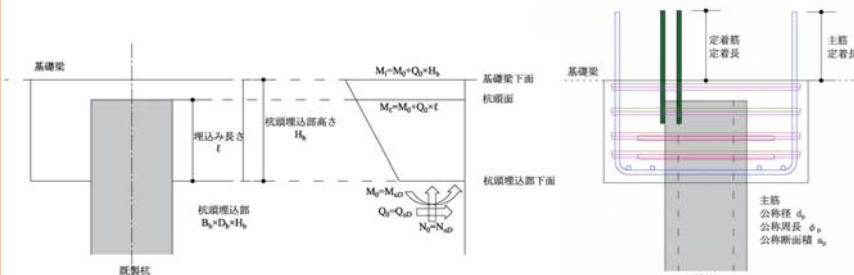
M: 設計用曲げモーメント

M_{pu1} : 主筋が負担する終局定着曲げモーメント

$$M = M_1 - M_{Hu1}$$

M_1 : 基礎梁下面に作用する設計用曲げモーメント $M_1 = M_0 + Q_0 \times H_b$

M_{Hu1} : 杭頭面位置における杭頭終局定着曲げモーメント

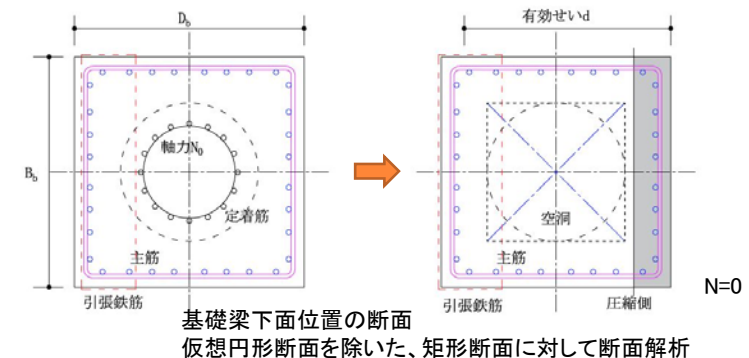


基礎梁下面の曲げモーメント

主筋と定着筋の定着

主筋が負担する終局曲げモーメント M_{pu1}

基礎梁下面位置の断面において、断面分割法より算定する。



安全側に評価できる略算式を用いて算定

$$M_{pu1} = 0.9a_{pt1} 1.1F_{py}d + 0.45a_{pt2} 1.1F_{py}D_b$$

第一項は0.0~0.25 D_b 範囲内の主筋耐力

第二項は0.25~0.75 D_b 範囲内の主筋耐力

a_{pt1} , a_{pt2} : 引張側主筋の全断面積

(a_{pt1} : 0.0~0.25 D_b 範囲内主筋断面積、 a_{pt2} : 0.25~0.75 D_b 範囲内主筋断面積)

F_{py} : 主筋の基準強度 d : 有効せい $d=0.9D_b$

37

4.3 杭頭埋込部の終局せん断設計

建築学会「各種合成構造設計指針・同解説」第4編 各種アンカーボルト設計指針
(へりあきが小さい場合のコーン状水平破壊強度の準じて算定)

$$Q \leq Q_{csu}$$

Q : 設計用せん断力

Q_{csu} : 終局コーンせん断力

$$Q = Q_0 - M_{Hu0}/h_u$$

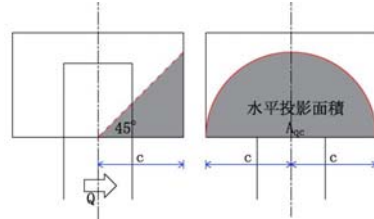
Q_0 : 杭頭埋込部下面に作用する設計用せん断力

M_{Hu0} : 杭頭埋込部下面位置における終局定着曲げモーメント

$$Q_{csu} = \sigma_{ct} A_{qc}$$

σ_{ct} : コンクリート引張強度 $\sigma_{ct} = 0.31\sqrt{F_c}$

A_{qc} : 水平有効投影面積 $A_{qc} = 0.5\pi c^2$ $c = \min(D_b, B_b)$



38

補足資料

補足4. Lev-Pile構法の設計式(二次設計)

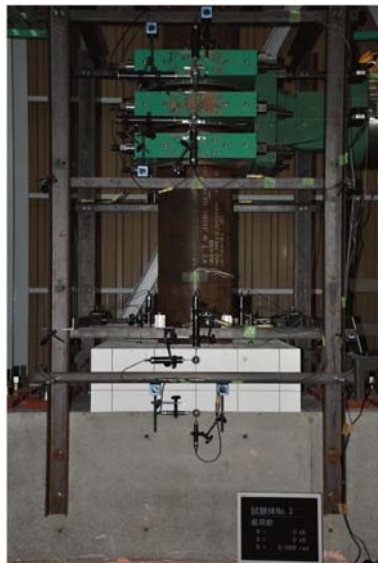
- 4.1 杭頭埋込部の曲げ設計
- 4.2 基礎梁下面の曲げ設計
- 4.3 杭頭埋込部のせん断設計

補足5. 杭頭曲げせん断実験の実験結果

- 5.1 杭頭実験fase1 (定着部支圧係数)
- 5.2 杭頭実験fase2 (てこ支圧係数)

39

曲げせん断実験の状況 (繰り返し加力)



正面(加力直行方向)



左側面(加力方向)

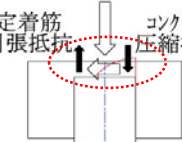
40

実験によって抵抗機構の検証

“杭頭面の支圧強度”
の評価が重要

定着筋
引張抵抗

コンクリート
圧縮抵抗



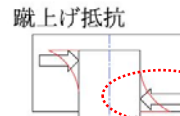
杭頭定着筋
による曲げ抵抗

fase1
あえて杭頭部を
埋め込まない実験で検証

蹴上げ抵抗

“杭側面の支圧強度”
の評価が重要

押出し抵抗



杭側面のでこ作用
による曲げ抵抗

fase2
杭頭部を
埋め込んだ実験で検証

41

5. 1 杭頭実験fase1（定着部支圧係数）

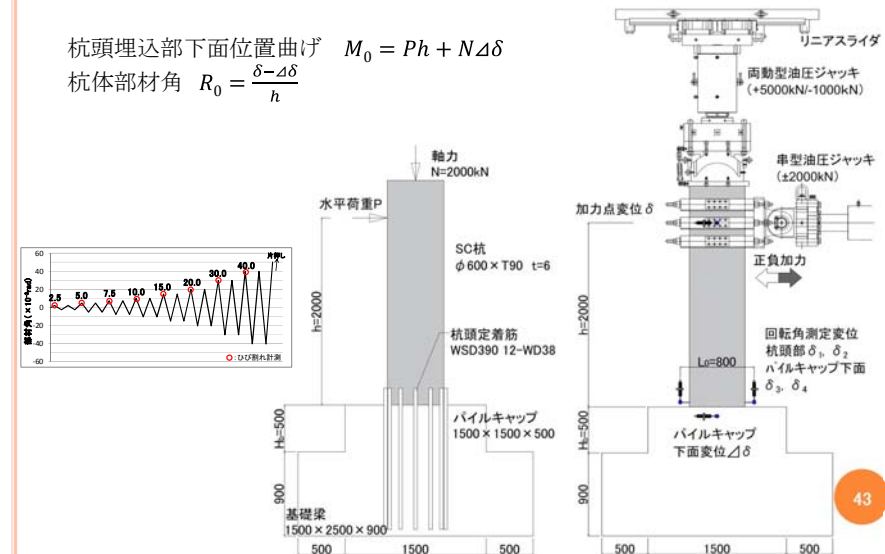
杭頭定着筋による曲げ抵抗

- 杭頭面のコンクリート曲げ抵抗は、既製杭がパイルキャップに対して高強度であること、および杭頭面の面積に対してパイルキャップ面積が大きいことから、支圧として抵抗できるため、実際の曲げせん断試験から杭頭面の支圧強度を定める。
- 杭頭面（杭頭定着筋）の曲げ抵抗におけるコンクリートの支圧強度を調べるために、あえて杭体を埋め込まないで曲げせん断試験を実施。

42

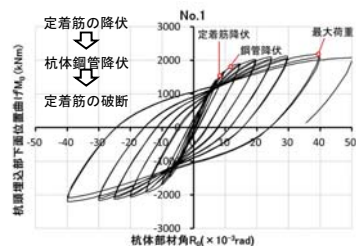
試験体の形状 加力および変位測定概要

杭頭埋込部下面位置曲げ $M_0 = Ph + N\Delta\delta$
 杭体部材角 $R_0 = \frac{\delta - \Delta\delta}{h}$

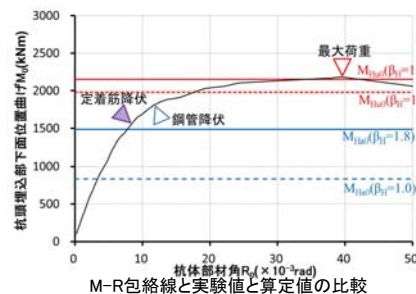


43

実験結果との比較



曲げモーメントMと部材角Rの関係



M-R包絡線と実験値と算定値の比較

支圧強度係数 βH による算定値と実験値/算定値（杭径D+200mmの中実断面として算定）

定着部曲げ降伏							
MHa0 (kNm)	exMy /MHa0	MHa0 (kNm)	exMy /MHa0	MHa0 (kNm)	exMy /MHa0	MHa0 (kNm)	exMy /MHa0
833.4	1.85	1240.5	1.24	1486.4	1.04	1642.2	0.94
$\beta H=1.0$		$\beta H=1.5$		$\beta H=1.8$		$\beta H=2.0$	
定着部最大曲げ							
MHu0 (kNm)	exMu /MHu0	MHu0 (kNm)	exMu /MHu0	MHu0 (kNm)	exMu /MHu0	MHu0 (kNm)	exMu /MHu0
1976.7	1.10	2111.3	1.03	2152.1	1.01	2166.4	1.01



44

定着筋破断による最大曲げ強度のため、最大支圧強度の確認に至っていないが、仮想外径D+200とすれば、支圧強度は1.8 σ_c 以上であることが確認できた。

5. 2 杭頭実験fase2（てこ支圧係数）

てこ作用による曲げ抵抗

- てこ作用による曲げ抵抗は、杭幅に対してパイルキャップ幅が大きいことから、支圧的に抵抗できるため、杭頭面と同様に、実際の曲げせん断試験から杭側面の支圧強度を定める。
- てこ作用による曲げ抵抗における、コンクリートの支圧強度を調べるために、杭体を埋め込んだ曲げせん断試験を実施。

45

支圧強度の大きさは？ (既往の支圧応力度算定式)

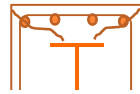
AIJ 2011

“鋼コンクリート接合部の応力伝達と抵抗機構”
“直列的接合部”

プレストレスト構造 $F_B = \min \left(\sqrt{\frac{A_c}{A}} F_c, 2F_c \right)$

各種合成構造 $F_B = \min \left(\sqrt{\frac{A_c}{A}} F_c, 6F_c \right)$

SRC構造 $F_B = \min \left(\sqrt{\frac{b_c}{b_e}} F_c, 12F_c \right)$



柱RC梁Sの接合部 $F_B = (0.35 \sim 3.0) F_c$

埋込み柱脚 $F_B = (0.85) F_c$

46

黒正他のSC杭の実験結果 (N=0)

毛井崇博：杭頭埋込部にて終局強度
～軸力ゼロの既往の実験結果の検討～
建築学会九州支部2018年3月、pp689-692

SRC標準

$$\sqrt{\frac{b_c}{b_e}} = \sqrt{\frac{\text{基礎幅}}{\text{杭径}}} = \sqrt{\frac{1500}{318.5}} = 2.17$$

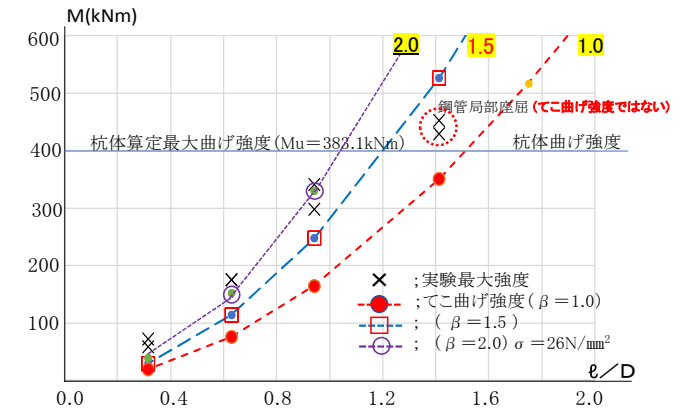


図4 曲げ強度の比較 (SC杭、N=0.0)

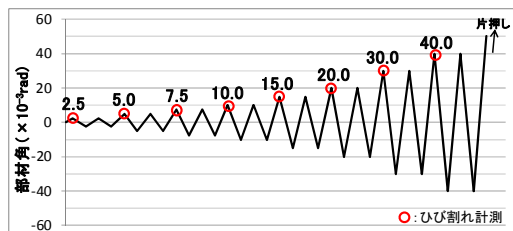
SRC標準の支圧係数は実験結果と概ね対応が良さそう

47

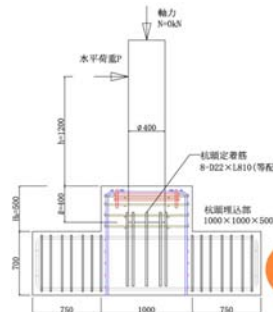
実験概要

パラメータ：軸力・せん断スパン比・埋込み長さ

試験体名	加力スパン h (mm)	せん断 スパン比	埋込み長さ l (mm)	軸力 N (kN)	杭頭定着筋	埋込部高さ Hb (mm)	[共通]
Case1	1200	3.0	400 (1.0D)	0	8-D22 (SD345)	500	SC杭 400×65 コンクリートFc105 鋼管 400×19 (SKK490) 埋込部 Bb×Db=1000×1000
Case2	800	2.0	400 (1.0D)		8-D22 (SD345)	500	
Case3	1200	3.0	200 (0.5D)		16-D22 (SD345)	300	
Case4	800	2.0	200 (0.5D)		16-D22 (SD345)	300	
Case5	1200	3.0	600 (1.5D)		無し	700	
Case6	1200	3.0	200 (0.5D)	-1000	16-D22 (SD345)	300	
Case7			400 (1.0D)	-1000	16-D22 (SD345)	500	
Case8			200 (0.5D)	3000	16-D22 (SD345)	300	
Case9			400 (1.0D)	3000	無し	500	



加力条件



試験体Case1概略図

48

最大てこ曲げ強度と算定値との比較

支圧強度係数 $\beta_{te} = 1.5$

$$\beta_{te} = \sqrt{B_b/D} = \sqrt{2.5 \cdot D/D} = 1.58 \approx 1.5$$

表2 最大荷重の算定値と実験値の比較

試験体名	定着筋曲げ抵抗			てこ抵抗		実験値の比較	
	杭頭面曲げ MHu0 (kNm)	曲げ MHu0 (kNm)	exMu /MHu0	せん断力 Qteu0 (kN)	曲げ Mteu0 (kNm)	Mu0= MHu0+Mteu0 (kNm)	exMu /Mu0
Case3	521.0	446.6	1.47	142.9	171.4	618.0	1.06
Case4	521.0	416.8	1.49	206.0	164.8	581.6	1.07
Case1	290.6	217.9	3.57	343.9	412.7	630.6	1.23
Case2	290.6	193.7	3.76	467.0	373.6	567.3	1.29
Case5	---	---	---	525.0	630.0	630.0	1.46
Case6	319.9	274.2	1.76	106.0	127.2	401.4	1.20
Case7	319.9	239.9	3.33	343.9	412.7	652.6	1.22
Case8	844.4	723.8	1.34	106.0	127.2	851.0	1.14
Case9	555.0	416.3	2.27	343.9	412.7	829.0	1.14

定着部コンクリート支圧強度

$$F_n = \beta_{HFc} = 1.8 F_c$$

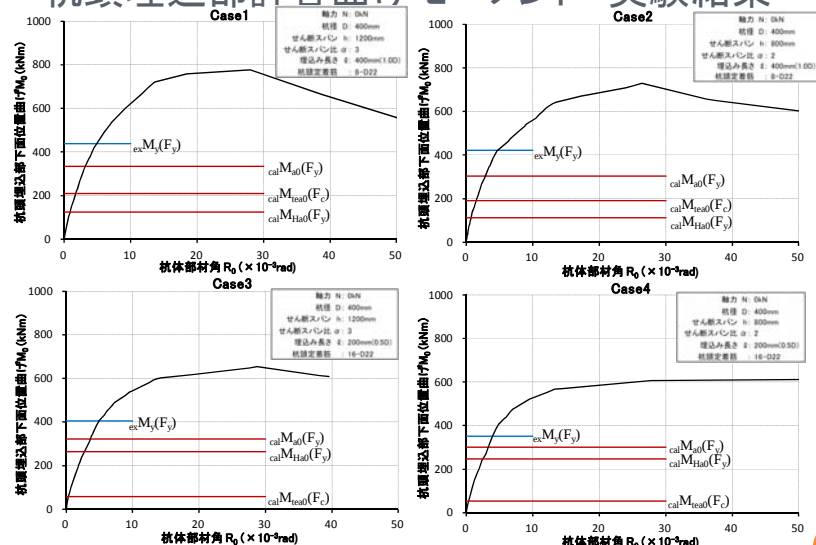
てこコンクリート支圧強度

$$F_n = \beta_{te} F_c = 1.5 F_c$$

$$exMu/Mu0 = 1.06 \sim 1.46$$

49

杭頭埋込部許容曲げモーメント 実験結果

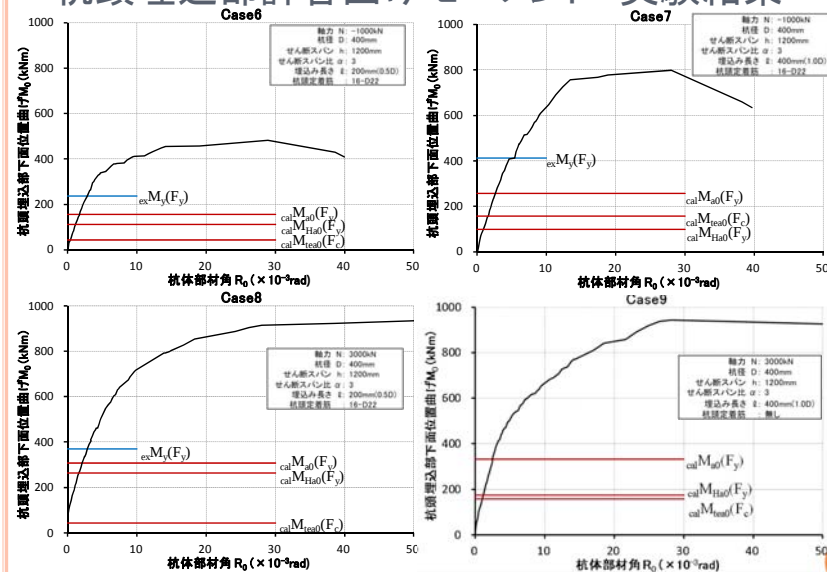


50

定着筋降伏時曲げ $exM_y \geq$ 杭頭埋込部許容曲げ $calMa0$
 $\beta te=1.5$ で実験結果を安全側に評価できている

$calM_{u0}(F_y)$: 杭頭埋込部短期許容曲げモーメント
 $calM_{tu0}(F_y)$: 短期許容てこ曲げモーメント
 $calM_{tu0}(F_c)$: 短期許容定着曲げモーメント
 $exM_y(F_y)$: 杭頭定着筋降伏時曲げモーメント

杭頭埋込部許容曲げモーメント 実験結果

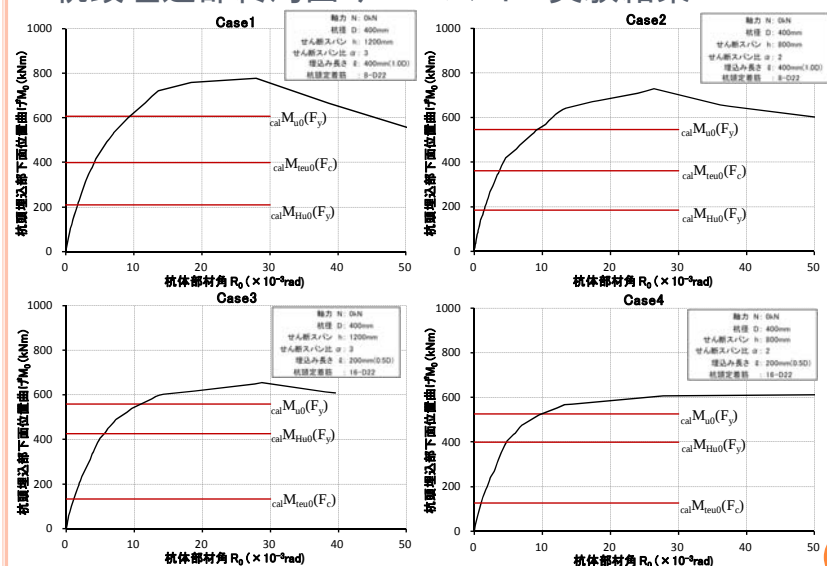


51

定着筋降伏時曲げ $exM_y \geq$ 杭頭埋込部許容曲げ $calMa0$
 $\beta te=1.5$ で実験結果を安全側に評価できている

$calM_{u0}(F_y)$: 杭頭埋込部短期許容曲げモーメント
 $calM_{tu0}(F_y)$: 短期許容てこ曲げモーメント
 $calM_{tu0}(F_c)$: 短期許容定着曲げモーメント
 $exM_y(F_y)$: 杭頭定着筋降伏時曲げモーメント

杭頭埋込部終局曲げモーメント 実験結果

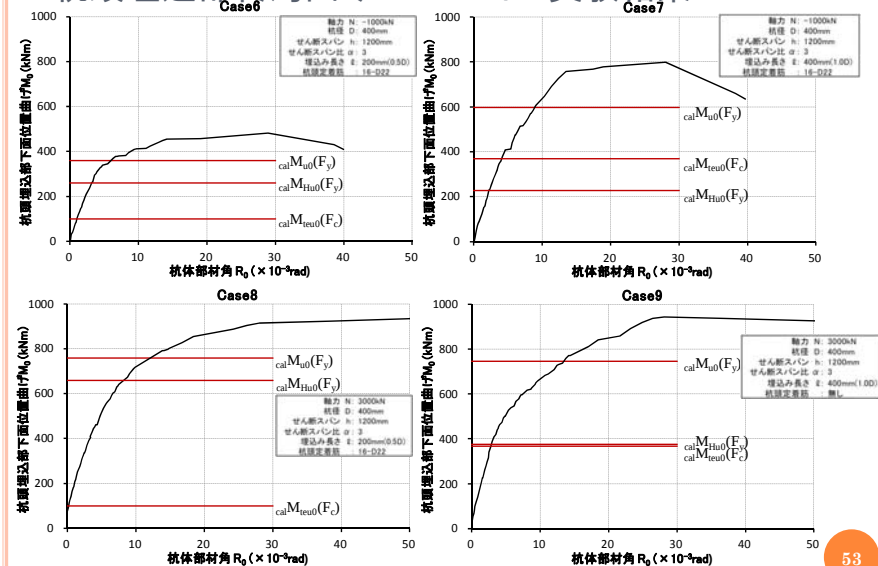


52

最大曲げ $\geq$ 杭頭埋込部終局曲げ $calMa0$
 実験結果を安全側に評価できている

$calM_{u0}(F_y)$: 杭頭埋込部終局曲げモーメント(設計強度)
 $calM_{tu0}(F_y)$: 終局てこ曲げモーメント(設計強度)
 $calM_{tu0}(F_c)$: 終局定着曲げモーメント(設計強度)

杭頭埋込部終局曲げモーメント 実験結果



53

最大曲げ $\geq$ 杭頭埋込部終局曲げ $calMa0$
 実験結果を安全側に評価できている

$calM_{u0}(F_y)$: 杭頭埋込部終局曲げモーメント(設計強度)
 $calM_{tu0}(F_y)$: 終局てこ曲げモーメント(設計強度)
 $calM_{tu0}(F_c)$: 終局定着曲げモーメント(設計強度)