

## 場所打ちRC杭の 耐震設計

益尾 潔 ● (一社) 建築構造技術支援機構 代表理事

本連載第3回では、第1回と第2回で明らかにした685N/mm<sup>2</sup>級と785N/mm<sup>2</sup>級高強度せん断補強筋を用いた円形断面柱の知見<sup>4)</sup>を踏まえ、参考文献<sup>1)</sup>に準拠した場所打ちRC杭の耐震設計について紹介する。

### ◎場所打ちRC杭の耐震設計に関する基本事項

図1に示すように、基礎部材は基礎梁、基礎スラブ、パイルキャップと杭で構成され、場所打ちRC杭では、損傷限界設計と安全限界設計が行われる<sup>1)</sup>。

- ・損傷限界：上部構造または基礎部材に補修・補強を必要とする損傷が生じない限界
- ・安全限界：上部構造が破壊に至らない限界、あるいは基礎部材に補強が困難にならない限界

### ◎場所打ちRC杭の材料

#### 1) コンクリートの仕様

耐震設計設計指針(案)<sup>1)</sup>では、コンクリートの材料強度(圧縮)は設計基準強度 $F_c$ に施工品質管理に関わる低減係数 $\xi$ を乗じた値とし、低減係数 $\xi$ は通常の場合0.75以下としている。

ただし、損傷限界圧縮応力度は、RC計算規準<sup>2)</sup>と同様、材料強度(圧縮)を安全率3で除した使用限界圧縮応力度に2を乗じた値としている。

一方、平成13年国土交通省告示第1113号では、場所

打ちコンクリートぐいに用いるコンクリートの短期許容圧縮応力度は、ぐい体の打設方法に応じ、設計基準強度 $F_c$ を安全率4または4.5で除した長期許容圧縮応力度に1.5を乗じた値としている。

以下に、JASS 4「3.3材料」<sup>3)</sup>によるコンクリートの仕様を列挙する。

- ①水セメント比は60%以下とし、コンクリートの所要スランプは21cm以下とする。
- ②単位セメント量は、空気中で打込む場合270kg/m<sup>3</sup>以上、安定液や泥水、清水など水中で打設する場合330kg/m<sup>3</sup>以上とし、単位水量の最大値は200kg/m<sup>3</sup>、所要空気量は4.5%を標準とする。

#### 2) コンクリートの設計基準強度

コンクリートは普通コンクリートとし、設計基準強度は耐震設計設計指針(案)<sup>1)</sup>と同様、21N/mm<sup>2</sup>以上、40N/mm<sup>2</sup>以下とする。

#### 3) 鉄筋の仕様

##### ①軸鉄筋

- ・軸鉄筋の鋼種はSD345、SD390、SD490とし、呼び名はD19～D41とする。
- ・短期許容応力度は、RC計算規準<sup>2)</sup>による。
- ・材料強度は、SD345、SD390では $1.1 \times \sigma_{y0}$ 、SD490では $\sigma_{y0}$ とする。 $\sigma_{y0}$ ：規格降伏点

##### ②高強度せん断補強筋

685N/mm<sup>2</sup>級の降伏強度は685N/mm<sup>2</sup>、785N/mm<sup>2</sup>級の降伏強度は785N/mm<sup>2</sup>とし、せん断補強用短期許容応力度はいずれも590N/mm<sup>2</sup>とする。

#### 4) 鉄筋とコンクリートの材料定数

鉄筋とコンクリートの材料定数は、表1による。

### ◎耐震設計の原則

場所打ちRC杭の耐震設計は、耐震設計指針(案)<sup>1)</sup>に準拠し、表2の要求性能レベルに応じ、レベル1荷重に対しては損傷限界設計を行い、レベル2荷重に対しては安全限界設計を行う。

建築基準法施行令第93条(地盤及び基礎杭)による短期許容応力度設計は、レベル1荷重に対する要求性能レベルⅢでの損傷限界設計に該当する。

レベル1荷重は建物の供用期間中に1回から数回遭遇する稀に発生する地震動、レベル2荷重は数百年に1回程度発生する可能性のある極めて稀に発生する地震動としている<sup>1)</sup>。

場所打ちRC杭の損傷限界設計と安全限界設計では、上部構造および基礎構造の崩壊モードと塑性化部位に応じて、設計カテゴリーと地盤解析モデルを選定し、線形解

表1 鉄筋とコンクリートの材料定数<sup>1)</sup>

材料	ヤング係数 (N/mm <sup>2</sup> )	ポアソン比	線膨張係数 (1/°C)
鉄筋	$2.05 \times 10^5$	0.3	$1 \times 10^{-5}$
コンクリート	$3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^2 \times (\xi \cdot F_c/60)^{1/3}$	0.2	$1 \times 10^{-5}$

(注)  $\gamma$  : コンクリートの気乾単位体積重量 (kN/m<sup>3</sup>) で、RC構造計算規準による。  
 $F_c$  : コンクリートの設計基準強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
 $\xi$  : 施工品質管理に関わる係数で、通常の施工品質管理を行う場合には0.75以下の値、  
 高品質な施工品質管理を行う場合には1.0以下の値とする

表2 基礎構造の要求性能レベル<sup>1)</sup>

要求性能レベル	基礎構造の要求性能	基礎構造設計用地震力
I	基礎構造が先行して破壊しない	上部構造の保有水平耐力に基づく数値以上
II	地上部の必要保有水平耐力以上、あるいは地上部の必要保有水平耐力の担保	上部構造の必要保有水平耐力に基づく数値以上
III	設計者の設定した目標値以上の耐力確保	基礎構造の耐震目標性能に基づく数値以上

析または非線形解析で基礎構造の設計用応答値を求めることにしている。

### ◎耐震設計の判定条件

耐震設計（損傷限界設計，安全限界設計）の判定条件は式（1）によとし，同式中の耐震設計の応力割増し係数 $n$ を1.1以上とする。また，設計限界値 $R_d$ は，式（2）のように，場所打ちRC杭の限界値 $R_n$ と低減係数 $\beta$ の積とし，式（3）の設計応答値 $S_d$ の算定に用いる割増し係数 $\phi$ は，解析モデルに応じて，設計応答値に対する不確定性を考慮して決定する。

$$R_d \geq n \cdot S_d \quad (1)$$

$$R_d = \beta \cdot R_n \quad (2)$$

$$S_d = \phi \cdot S_r \quad (3)$$

$R_d$  : 設計限界値（強度，変形）， $S_d$  : 設計応答値（強度，変形）， $n$  : 耐震設計の応力割増し係数， $\beta$  : 設計限界値の低減係数， $R_n$  : 場所打ちRC杭の限界値（強度，変形）， $\phi$  : 設計応答値の割増し係数， $S_r$  : 静的非線形解析による応答値（応力，変形）

### ◎損傷限界設計

#### 1) 損傷限界曲げ耐力

損傷限界曲げ耐力 $M_a$ は式（4）で算定する<sup>1)</sup>。通常，一貫構造計算プログラムの断面算定で求められ，損傷限界曲げ耐力時せん断力 $Q_{fa}$ は，杭頭部曲げモーメント $M$ を杭頭部せん断力 $Q$ で除したせん断スパン長 $a$ を用い，式（5）で算定する。

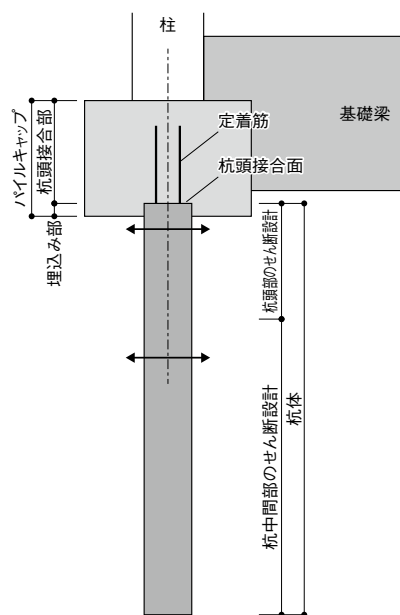
$$M_a = \beta \cdot \min(M_{a1}, M_{a2}, M_{a3}) \quad (4)$$

$$Q_{fa} = M_a / a \quad (5)$$

$M_{a1}$ ,  $M_{a2}$ ,  $M_{a3}$  : ①圧縮縁コンクリートの損傷限界圧縮強度 $(2/3)\xi \cdot F_c$ 到達時，②圧縮側鉄筋の短期許容圧縮応力度到達時，③引張側鉄筋の短期許容引張応力度到達時曲げモーメント

【低減係数 $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ 】

設計式の信頼性に基づく低減係数 $\beta_1$  : 1.0以下の値  
 変形性能・軸力保持能力に基づく低減係数 $\beta_2$

図1 基礎部材の構成<sup>1)</sup>

$\sigma_o \leq (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合 : 1.0以下の値

$\sigma_o > (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合 : 0.65以下の値

$\sigma_o = N/A_c$  : 軸応力度， $N$  : 軸力， $A_c$  : 杭断面積

#### 2) 損傷限界せん断耐力

損傷限界せん断耐力は耐震設計指針（案）<sup>1)</sup>に準拠し，式（6）の $Q_{A1}$ とするか，建築基準法施行令第93条（地盤及び基礎杭）の短期許容せん断応力度 $f_{s2}$ を考慮した式（7）の短期許容せん断力 $Q_{A2}$ とする。

$$Q_{A1} = \beta \cdot f_{s1} \cdot A_c / \kappa \quad (6)$$

$$Q_{A2} = \{f_{s2} + 0.5w_t \cdot (p_w - 0.001)\} \cdot b \cdot j \quad (7)$$

$f_{s1} = 1.5 \times \xi \cdot \min(F_c/30, 0.49 + F_c/100)$  : コンクリートの短期許容せん断応力度

$f_{s2}$  : 平成13年国交省告示第1113号第8第一号の杭体コンクリートの短期許容せん断応力度

$F_c$  : コンクリート設計基準強度

$A_c$  : 杭断面積， $\kappa = 4/3$  : 円形断面の形状係数

$w_t$  : せん断補強用短期許容応力度 (590N/mm<sup>2</sup>)

$p_w = a_w / (b \cdot x)$  : 横補強筋比

$a_w$  : 横補強筋1組の断面積， $x$  : 横補強筋間隔

$b = \pi D/4$  : 等価長方形断面幅

$d = D - d_t$  : 有効せい， $j = (7/8)d$

$D$  : 杭直径， $d_t$  : 杭主筋中心かぶり厚さ

【低減係数 $\beta = \beta_1 \cdot \beta_2$ 】

設計式の信頼性に基づく低減係数 $\beta_1$  : 0.9以下の値

変形性能・軸力保持能力に基づく低減係数 $\beta_2$

$\sigma_o \leq (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合 : 0.75以下の値

$\sigma_o > (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合 : 0.65以下の値

後述の安全限界設計の計算例と同計算諸元とした表3では，短期許容曲げ耐力時せん断力 $Q_a$ ，ならびに $\beta =$

表3 短期許容曲げ耐力と短期許容せん断力の計算例

部材記号	a/D	短期許容曲げ耐力				短期許容せん断力			
		$\sigma_o$ (N/mm <sup>2</sup> )	$Ma/bd^2$ (N/mm <sup>2</sup> )	$M_u$ (kN・m)	$Q_u$ (kN)	$Q_{A1}$ (kN)	$Q_{A2}$ (kN)	$Q_{A2}/Q_{A1}$	$Q_{A2}/Q_u$
1.5-32-0.3	1.5	6.75	2.75	4,178	2,142	1,062	1,483	1.40	0.69
1.5-32-0.2		4.50	2.84	4,319	2,215	1,062	1,483	1.40	0.67
1.5-32-0.1		2.25	2.72	4,132	2,119	1,062	1,483	1.40	0.70
1.5-28-0.3		6.75	2.63	3,997	2,050	1,062	1,483	1.40	0.72
1.5-28-0.2		4.50	2.69	4,086	2,096	1,062	1,483	1.40	0.71
1.5-28-0.1		2.25	2.51	3,813	1,955	1,062	1,483	1.40	0.76
2.0-32-0.3	2.0	6.75	2.75	4,178	1,607	1,062	1,483	1.40	0.92
2.0-32-0.2		4.50	2.84	4,319	1,661	1,062	1,483	1.40	0.89
2.0-32-0.1		2.25	2.72	4,132	1,589	1,062	1,483	1.40	0.93
2.0-28-0.3		6.75	2.63	3,997	1,537	1,062	1,483	1.40	0.96
2.0-28-0.2		4.50	2.69	4,086	1,572	1,062	1,483	1.40	0.94
2.0-28-0.1		2.25	2.51	3,813	1,466	1,062	1,483	1.40	1.01

$\beta_1=1.0$ とした式(6)の短期許容せん断力 $Q_{A1}$ と式(7)の $Q_{A2}$ を示している。同表では、 $a/D=1.5, 2.0$ ともに、式(7)の短期許容せん断力 $Q_{A2}$ は、軸応力比 $\sigma_o/F_c$ にかかわらず、おおむね、損傷限界曲げ耐力時せん断力 $Q_u$ よりも小さく、損傷限界設計は短期許容せん断力 $Q_{A2}$ で決定する。

#### ◎安全限界設計

##### 1) 安全限界曲げ耐力

安全限界曲げ耐力の場合、主筋全断面積 $a_g$ の1/4を引張鉄筋断面積 $a_t$ とした等価長方形断面柱<sup>1)</sup>の設計曲げ耐力 $M_{uD}$ を式(8)で算定し、設計曲げ耐力 $M_{uD}$ と低減係数 $\beta_o$ の積として、安全限界曲げ耐力 $M_u$ を式(9)で算定する。また、安全限界設計時の杭頭部曲げモーメント $M$ を杭頭部せん断力 $Q$ で除した杭頭部のせん断スパン長 $a$ を用い、安全限界曲げ耐力時せん断力 $Q_{fu0}$ を式(10)で算定する。

$$M_{uD} = \min(M_{uo}, M_{u\max}) \quad (8)$$

$$M_{uo} = a_t \cdot \sigma_{sy} \cdot d + (\xi_n \cdot a_n \cdot \sigma_{sy} + N) \cdot d_n$$

$$M_{u\max} = a_t \cdot \sigma_{sy} \cdot d + (\xi_n \cdot a_n \cdot \sigma_{sy} + n_{co} \cdot \xi \cdot F_c \cdot A_c) \cdot d_n$$

$$M_u = \beta_o \cdot M_{uD} \quad (9)$$

$$Q_{fu0} = M_u / a \quad (10)$$

$M_{uo}$ ：基本曲げ耐力， $M_{u\max}$ ：最大曲げ耐力， $\xi_n$ ：中段筋有効係数， $n_{co}$ ：境界点軸力比， $a_t$ ：引張鉄筋断面積( $a_t = a_g/4$ )， $a_g$ ：軸鉄筋全断面積， $a_n = a_g - 2a_t$ ：中段筋の断面積， $d = D - d_t$ ：杭断面有効せい， $D$ ：杭直径， $d_t$ ：杭主筋中心かぶり厚さ， $d_n = D/2 - d_t$ ：杭断面中心有効せい， $\sigma_{sy}$ ：軸鉄筋の降伏強度， $N$ ：軸力， $A_c$ ：杭断面積， $\xi$ ：施工品質管理に関わる低減係数。

式(8)中の中段筋の有効係数 $\xi_n$ と境界点軸力比 $n_{co}$ は、円形断面柱<sup>4)</sup>と同様、以下の値とする。

$$p_{go} \leq 2.5\% \text{ の時, } \xi_n = 0.2, n_{co} = 0.2$$

$$p_{go} > 2.5\% \text{ の時, } \xi_n = 0.15, n_{co} = 0.15$$

表4 現場打ちRC杭の計算諸元

部材記号	$F_c$ (N/mm <sup>2</sup> )	$a$ (mm)	主筋	$p_{go}$ (%)	$\sigma_o/\xi \cdot F_c$
1.5-32-0.3	30	1,950	32-D35	2.31	0.3
1.5-32-0.2	30	1,950	32-D35	2.31	0.2
1.5-32-0.1	30	1,950	32-D35	2.31	0.1
1.5-28-0.3	30	1,950	28-D35	2.02	0.3
1.5-28-0.2	30	1,950	28-D35	2.02	0.2
1.5-28-0.1	30	1,950	28-D35	2.02	0.1
2.0-32-0.3	30	2,600	32-D35	2.31	0.3
2.0-32-0.2	30	2,600	32-D35	2.31	0.2
2.0-32-0.1	30	2,600	32-D35	2.31	0.1
2.0-28-0.3	30	2,600	28-D35	2.02	0.3
2.0-28-0.2	30	2,600	28-D35	2.02	0.2
2.0-28-0.1	30	2,600	28-D35	2.02	0.1

$F_c$ ：コンクリートの設計基準強度， $a$ ：せん断スパン長  
 $D=1,300\text{mm}$ ：杭直径， $p_{go}=a_g/A_c$ ：軸鉄筋比， $A_c$ ：杭断面積  
 $a_g$ ：杭主筋全断面積， $d_t=80\text{mm}$ ：杭主筋中心かぶり厚さ  
 主筋鋼種：SD390，横補強筋鋼種：685N/mm<sup>2</sup>級  
 横補強筋：D16@150， $p_w=0.26\%$ ：横補強筋比， $\sigma_o/\xi \cdot F_c$ ：軸応力比

#### 【低減係数 $\beta_o = \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3$ 】

##### 設計式の信頼性に基づく低減係数 $\beta_1$

$\sigma_o = N/A_c \leq (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合：0.95以下の値

$\sigma_o = N/A_c > (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合：0.8以下の値

##### 変形性能・軸力保持能力に基づく低減係数 $\beta_2$

$\sigma_o = N/A_c \leq (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合：1.0以下の値

$\sigma_o = N/A_c > (1/3)\xi \cdot F_c$  の場合：0.65以下の値

##### 寸法効果の低減係数 $\beta_3$ <sup>1)</sup>

杭径1m以下の場合 $\beta_3 = 1.0$

杭径1m超えの場合 $\beta_3 = 0.9$

##### 2) 安全限界せん断耐力

安全限界せん断耐力 $Q_{su}$ は、主筋全断面積 $a_g$ の1/4を引張鉄筋断面積 $a_t$ とする等価長方形断面柱とし、1,275N/mm<sup>2</sup>級高強度せん断補強筋の場合は式(11)の $(Q_{su})_{\min}$ 、685N/mm<sup>2</sup>級と785N/mm<sup>2</sup>級高強度せん断補強筋の場合は式(12)の $(Q_{su})_{\text{mean}}$ とする。

$$(Q_{su})_{\min} = \{0.053p_t^{0.23} (\xi \cdot F_c + 18) / [(M/Qd) 0.12] + 0.85\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1\sigma_o\} \cdot b \cdot j \quad (11)$$

$$(Q_{su})_{\text{mean}} = \{0.068p_t^{0.23} (\xi \cdot F_c + 18) / (M/Qd) + 0.12\} + 0.85\sqrt{p_w \cdot \sigma_{wy}} + 0.1\sigma_o\} \cdot b \cdot j \quad (12)$$

$M/Qd$ ：せん断スパン比

ただし、 $1 \leq M/Qd \leq 3$ とする。

$p_t = 100a_t / (b \cdot d)$ ：引張鉄筋比(%)， $a_t = a_g/4$ ：引張鉄筋断面積， $a_g$ ：杭主筋全断面積， $p_w = a_w / (b \cdot x)$ ：横補強筋比， $a_w$ ， $x$ ：横補強筋1組の断面積および間隔， $b = \pi D/4$ ：等価長方形断面幅<sup>1)</sup>， $D$ ：杭直径， $j$ ：応力中心距離( $j=7d/8$ )， $d = D - d_t$ ：有効せい， $d_t$ ：杭主筋中心かぶり厚さ， $\sigma_{wy}$ ：せん断補強筋の降伏強度(N/mm<sup>2</sup>)

(685N/mm<sup>2</sup>級)  $\sigma_{wy} = 685\text{N/mm}^2$

(785N/mm<sup>2</sup>級)  $\sigma_{wy} = 785\text{N/mm}^2$

表5 低減係数を考慮していない杭頭部計算耐力

部材記号	$a/D$	$M_{uo}$ (kN・m)	$M_{u\max}$ (kN・m)	$M_{uD}$ (kN・m)	$Q_{fu0}$ (kN)	$\tau_{u1}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\tau_{u3}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$Q_{su}$ (kN)	$Q_{su}/Q_{fu0}$
1.5-32-0.3	1.5	9,863	7,413	7,413	3,801	1.43	0.68	3,534	0.93
1.5-32-0.2		8,160	7,413	7,413	3,801	1.43	0.45	3,288	0.87
1.5-32-0.1		6,458	7,413	6,458	3,312	1.43	0.23	3,043	0.92
1.5-28-0.3		9,268	6,912	6,912	3,545	1.39	0.68	3,486	0.98
1.5-28-0.2		7,566	6,912	6,912	3,545	1.39	0.45	3,241	0.91
1.5-28-0.1		5,864	6,912	5,864	3,007	1.39	0.23	2,996	1.00
2.0-32-0.3	2.0	9,863	7,413	7,413	2,851	1.09	0.68	3,164	1.11
2.0-32-0.2		8,160	7,413	7,413	2,851	1.09	0.45	2,919	1.02
2.0-32-0.1		6,458	7,413	6,458	2,484	1.09	0.23	2,673	1.08
2.0-28-0.3		9,268	6,912	6,912	2,658	1.06	0.68	3,128	1.18
2.0-28-0.2		7,566	6,912	6,912	2,658	1.06	0.45	2,883	1.08
2.0-28-0.1		5,864	6,912	5,864	2,255	1.06	0.23	2,637	1.17

$M_{uo}$ : 基本曲げ耐力,  $M_{u\max}$ : 最大曲げ耐力,  $M_{uD}=\min(M_{uo}, M_{u\max})$ ,  $Q_{fu0}=M_{uD}/a$

$\tau_{u1}=0.068\rho_l^{0.23}\cdot(\xi\cdot F_c+18)/(a/d+0.12)$ ,  $\tau_{u3}=0.1\sigma_o$

$\tau_{u2}=0.85\sqrt{\rho_w\sigma_{wy}}=1.13\text{N/mm}^2$ ,  $Q_{su}=(\tau_{u1}+\tau_{u2}+\tau_{u3})\cdot b\cdot j$

$b$ : 等価長方形断面幅,  $j$ : 応力中心距離

$\sigma_o=N/A_c$ : 軸圧縮応力度, ただし,  $\sigma_o\leq 0.4F_c$ ,  $N$ : 軸力,  $A_c$ : 杭断面積,  $F_c$ : コンクリートの設計基準強度(N/mm<sup>2</sup>),  $\xi$ : 場所打ちRC杭の施工品質にかかわる係数設計式の信頼性に基づく低減係数 $\beta_1$ : 0.8以下の値

変形性能・軸力保持能力に基づく低減係数 $\beta_2$

$\sigma_o\leq (1/3)\xi\cdot F_c$ の場合: 0.75以下の値

$\sigma_o>(1/3)\xi\cdot F_c$ 場合: 0.65以下の値

寸法効果の低減係数 $\beta_3$ <sup>1)</sup>

杭径1m以下の場合 $\beta_3=1.0$ ,

杭径1m超えの場合 $\beta_3=0.9$

#### ◎場所打ちRC杭の変形性能保証条件

本連載第4回のSABTEC指針(2025年)検証実験によると, せん断スパン比 $M/QD=2$ の円形断面柱の場合, 荒川mean式(式(12))のせん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu0}\geq 1.1$ とし, 軸力比 $\sigma_o/\xi\cdot F_c\leq 0.3$ , かつ, 軸鉄筋比 $p_{go}\leq 3.0\%$ とすることで, 変形性能を確保するとしている。

ただし, 柱頭部曲げモーメント $M$ とせん断力 $Q$ を精算する場合, 精算値のせん断スパン比 $M/QD$ を用い, 式(10)の設計曲げ耐力時せん断力 $Q_{fu0}$ を算定するとしている。

これらより, 場所打ちRC杭の杭頭部は式(13)の規準化せん断耐力を規定するとともに, 構造規定1)と2)を満足すれば, 限界部材角 $R_{90}=15\times 10^{-3}\text{rad}$ 以上の変形性能が確保されるとしている。

$$q_{su}=\beta_o\cdot(Q_{su})_{\text{mean}}/Q_{fu0}\geq 1.1 \quad (13)$$

$(Q_{su})_{\text{mean}}$ : 式(12)のせん断耐力

$Q_{fu0}=M_u/a$ : 式(10)の曲げ耐力 $M_u$ 時せん断力

低減係数 $\beta_o=\beta_1\cdot\beta_2\cdot\beta_3$

#### 【変形性能確保のための構造規定】

1) 軸鉄筋比 $p_{go}=a_g/A_c$ の場合, 最小軸鉄筋比と $p_{go}\leq 3.0\%$ を規定する。

$a_g$ : 杭主筋全断面積,  $A_c$ : 杭断面積

表6 杭頭部必要横補強筋

部材記号	$q_{su}$	$\Delta q_{su}$	$\Delta Q_{su}$ (kN)	$\Delta \tau_{su}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\Delta \rho_w\cdot\sigma_{wy}$ (N/mm <sup>2</sup> )	$\Delta \rho_w$ (%)	$\rho_{wD}$ (%)
1.5-32-0.3	0.67	0.43	1,637	1.50	3.12	0.46	0.72
1.5-32-0.2	0.62	0.48	1,814	1.66	3.83	0.56	0.82
1.5-32-0.1	0.66	0.44	1,452	1.33	2.46	0.36	0.62
1.5-28-0.3	0.71	0.39	1,389	1.27	2.25	0.33	0.59
1.5-28-0.2	0.66	0.44	1,565	1.44	2.85	0.42	0.68
1.5-28-0.1	0.72	0.38	1,151	1.06	1.54	0.23	0.49
2.0-32-0.3	0.80	0.30	858	0.79	0.86	0.13	0.39
2.0-32-0.2	0.74	0.36	1,035	0.95	1.25	0.18	0.44
2.0-32-0.1	0.77	0.33	807	0.74	0.76	0.11	0.37
2.0-28-0.3	0.85	0.25	672	0.62	0.53	0.08	0.34
2.0-28-0.2	0.78	0.32	849	0.78	0.84	0.12	0.38
2.0-28-0.1	0.84	0.26	582	0.53	0.39	0.06	0.32

$\beta_o=\beta_1\cdot\beta_2\cdot\beta_3$ ,  $q_{su}=\beta_o\cdot Q_{su}/Q_{fu0}$ ,  $\Delta q_{su}=1.1-q_{su}$ ,  $\Delta Q_{su}=\Delta q_{su}\cdot Q_{fu0}$

$\Delta \tau_{su}=\Delta Q_{su}/(b\cdot j)$ ,  $\Delta \rho_w\cdot\sigma_{wy}=(\Delta \tau_{su}/0.85)^2$

$\Delta \rho_w=\Delta \rho_w\cdot\sigma_{wy}/\sigma_{wy}$ ,  $\rho_{wD}=\rho_w+\Delta \rho_w$

2) 杭頭部では, 横補強筋比 $p_w\geq 0.2\%$ , 横補強筋間隔 $x$ を150mm以下とし, 杭中間部では, 横補強筋比 $p_w\geq 0.1$ , 低減係数を乗じた規準化せん断耐力 $q_{sd}\geq 2$ の場合, 横補強筋間隔 $x$ を300mm以下とすることができる。

#### 【杭頭部必要横補強筋比の計算例】

表4の計算例では, せん断スパン比 $a/D$ (1.5, 2.0), 軸鉄筋比 $p_{go}$ (2.3%, 2.0%), 軸応力度比 $\sigma_o/\xi\cdot F_c$ (0.3, 0.2, 0.1)とし, 設計式の信頼性に基づく低減係数 $\beta_1=0.8$ , 変形性能に基づく低減係数 $\beta_2=1.0$ として求めた杭頭部計算耐力を表5に示した。

表5では, 低減係数を考慮せず,  $a/D=1.5$ とした場合, おおむね, 規準化せん断耐力 $Q_{su}/Q_{fu0}\leq 1.0$ であり,  $a/D=2.0$ とした場合,  $Q_{su}/Q_{fu0}$ は1.0を上まわった。

ただし, 低減係数 $\beta_1=0.8$ ,  $\beta_2=1.0$ ,  $\beta_3=0.9$ ,  $\beta_o=\beta_1\cdot\beta_2\cdot\beta_3$ の場合, 表6に示すように, 低減係数 $\beta_o$ を乗じた規準化せん断耐力 $q_{su}\geq 1.1$ とするためには, 追加横補強筋比 $\Delta \rho_w$ を考慮した設計横補強筋比 $p_{wD}$ を確保する必要がある。

#### ◎おわりに

本連載第3回では, 場所打ちRC杭の耐震設計に関する基本事項, 損傷限界設計と安全限界設計の設計耐力, ならびに場所打ちRC杭の変形性能保証条件と変形性能確保のための計算例について紹介した。

(ますお きよし)

#### 【参考文献】

- 1) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート基礎構造部材の耐震設計指針(案)・同解説, 5.4場所打ちコンクリート杭5.4.1場所打ち鉄筋コンクリート杭, pp.152-175, 2017年
- 2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説, 2024年
- 3) 日本建築学会: 建築工事標準仕様書・同解説JASS 4 杭および基礎工事(改訂7版), 2022年
- 4) 益尾潔: SABTEC高強度せん断補強筋を用いた円形断面柱, 第1回円形断面柱の設計耐力とMK685柱実験, 建築技術2025年春号, pp.14-17, 第2回円形断面柱の既往実験, 建築技術2025年夏号, pp.14-17