

SABTEC指針(2025年)検証実験

益尾 潔 ○(一社)建築構造技術支援機構代表理事

はじめに

SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2025年)¹⁾では、685N/mm²級と785N/mm²級高強度せん断補強筋を用いたせん断スパン比 $M/QD=1.5$ と2の円形断面柱実験^{T12,T13}などのSABTEC指針検証実験を基に、10章に場所打ちRC杭のせん断設計を追加している。

本連載第4回では、SABTEC指針検証実験の概要と検討結果について紹介する。

SABTEC指針検証実験の概要

◎ $M/QD=1.5$ と2の実験計画

$M/QD=1.5$ の実験因子^{T12,T13}は、せん断耐力に着目し、横補強筋比 p_w と軸力比 $N/F_c A_c$ とし、 $M/QD=2$ の実験因子^{T12}は、表1に示すように、変形性能に着目し、コンクリ

ート強度 F_c 、横補強筋比 p_w 、軸力比 $N/F_c A_c$ としている。

N : 柱軸力, F_c : コンクリートの目標圧縮強度

A_c : 柱断面積

$M/QD=2$ の円形断面柱試験体を、図1に示す。

表1 $M/QD=2$ の円形断面柱の実験計画

試験体	F_c (N/mm ²)	主筋 (p_g)	横補強筋		$N/F_c A_c$	
			鋼種	p_w (%)		
No.1	30	SD390 12-D16 (2.48%)	MK 785	2-D10 @500	0.10	0.1
No.2				2-D10 @250	0.21	0.3
No.3				2-D10 @250	0.1	0.1
No.4				2-D10 @125	0.41	0.3
No.5				2-D10 @125	0.1	0.1
No.6	45			2-D10 @250	0.21	0.3
No.7				2-D10 @125	0.41	

$D=350$ mm: 柱直径, 内法高さ $H=1,400$ mm, $p_{g0}=a_g/A_c$: 柱主筋比
 a_g : 柱主筋全断面積, $A_c=\pi D^2/4$: 柱断面積, $p_w=a_w/(b \cdot x)$: 横補強筋比
 a_w, x : 横補強筋1組の断面積と間隔, $b=\pi \cdot D/4$: 等価長方形断面幅
 N : 軸力, F_c : コンクリートの目標圧縮強度

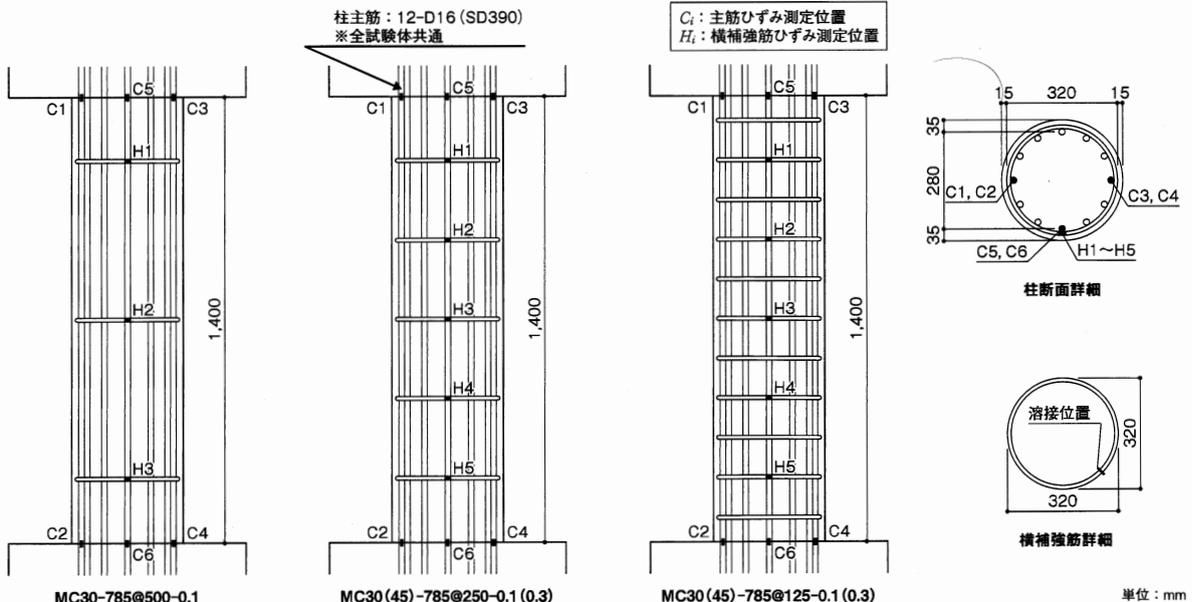


図1 $M/QD=2$ の円形断面柱試験体の形状寸法

◎ $M/QD=1.5$ と2の実験結果

$M/QD=1.5$ の円形断面柱試験体^{T12}の規準化正加力時 Q_c/Q_{fuo} — R 関係包絡線を図2に示す。

Q_c : 柱せん断力, Q_{fuo} : 設計曲げ耐力時せん断力²⁾,
 R : 部材角

同図では, $M/QD=1.5$ の軸力比 $N/F_c A_c=0.1$ と0.3とし, 横補強筋比 p_w に関してせん断耐力安全率 $Q_{max}/Q_{su} \geq 1$ を確認し, 軸力比 $N/F_c A_c=0.1$ で横補強筋比 $p_w=0.41\%$ の場合, 曲げ降伏後の変形性能が期待できることを示している。

次に, $M/QD=2$ の円形断面柱試験体^{T12}の計算耐力と実験値を表2, 規準化正加力時 Q_c/Q_{fuo} — R 関係包絡線を図3に示す。表2中には, 荒川_{mean}式のせん断耐力 Q_{su} を示している。同図によると, $M/QD=2$ の柱軸力比 $\sigma_o/\sigma_B=$

0.1と0.3の場合, 横補強筋比 $p_w=0.10\%$ と0.21%では, $Q_{max}/Q_{fuo} < 1$ となるが, $\sigma_o/\sigma_B=0.3$ のせん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fuo} \geq 1.1$ の場合, 曲げ降伏後, 限界部材角 R_{90} が 15×10^{-3} rad以上となる。 R_{90} は最大耐力 Q_{max} の90%耐力低下時の部材角を示す。

◎ SABTEC 指針検証実験の総括

SABTEC 指針検証実験は, 表3に示すように, 逆対称加力または片持ち加力の①東工大実験(40体)^{T1~T4}, ②東工大以外実験(57体)^{T5~T13}であり, $1,275\text{N/mm}^2$ 級36体, 785N/mm^2 級14体, 685N/mm^2 級11体とし, せん断スパン比 M/QD は1.0~3.0, 横補強筋比 p_w は0.00~0.68%, コンクリート実圧縮強度 σ_B は20.7~53.8N/mm²としている。

SABTEC 指針検証実験では, 685N/mm^2 級と 785N/mm^2 級を検証範囲としている。

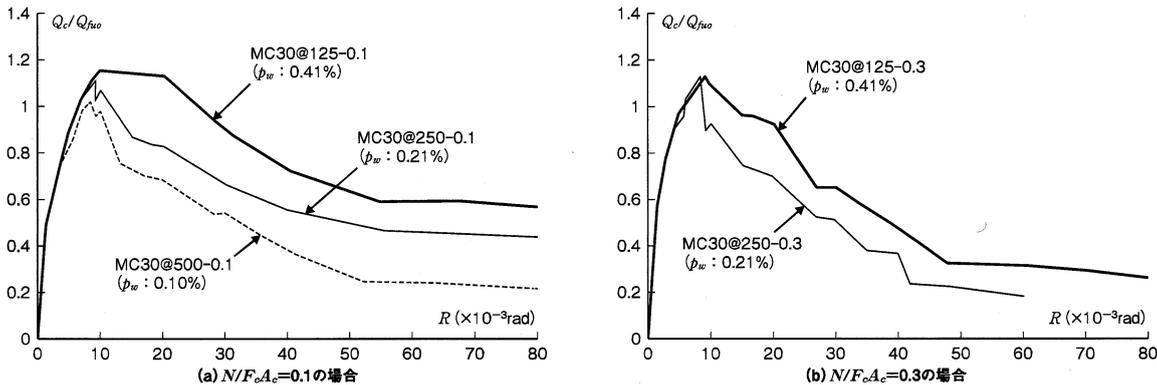


図2 $M/QD=1.5$ の円形断面柱試験体^{T12}の規準化正加力時包絡線 (Q_c/Q_{fuo} — R 関係)

表2 $M/QD=2$ の円形断面柱試験体^{T12}の計算耐力と実験値

試験体	σ_o/σ_B	σ_B (N/mm ²)	p_w (%)	曲げ			荒川 _{mean} 式			実験値				
				Q_{fu} (kN)	Q_{fuo} (kN)	Q_{fu}/Q_{fuo}	Q_{su} (kN)	Q_{su}/Q_{fu}	Q_{su}/Q_{fuo}	Q_{max} (kN)	Q_{max}/Q_{fuo}	Q_{max}/Q_{su}	R_m ($\times 10^{-3}$)	R_{90} ($\times 10^{-3}$)
No. 1	0.10	33.5	0.10	239	200	1.20	187	0.78	0.94	223	1.12	1.19	10.1	10.3
No. 2	0.30	32.9	0.21	275	262	1.05	259	0.94	0.99	261	1.00	1.01	10.0	10.7
No. 3	0.10	32.9	0.21	237	198	1.20	209	0.88	1.06	224	1.13	1.07	13.1	17.8
No. 4	0.30	32.7	0.41	274	261	1.05	293	1.07	1.12	285	1.09	0.97	14.5	21.7
No. 5	0.10	32.7	0.41	237	198	1.20	243	1.03	1.23	250	1.26	1.03	30.2	42.8
No. 6	0.30	51.0	0.21	348	331	1.05	337	0.97	1.02	330	1.00	0.98	8.5	11.9
No. 7	0.30	51.0	0.41	348	331	1.05	371	1.07	1.12	348	1.05	0.94	10.0	20.4

σ_B : コンクリート圧縮強度, σ_o : 軸応力度, $p_w = a_w/(b \cdot x)$: 横補強筋比, b : 等価長方形断面幅
 a_w, x : 横補強筋1組の断面積と間隔, d : 柱断面有効せい, Q_{max} : 最大耐力実験値
 Q_{fu}, Q_{fuo} : 平面保持仮定と設計式による曲げ耐力時せん断力, Q_{su} : 荒川_{mean}式によるせん断耐力
 R_m : 最大耐力 Q_{max} 時部材角, R_{90} : Q_{max} の90%耐力低下時限界部材角

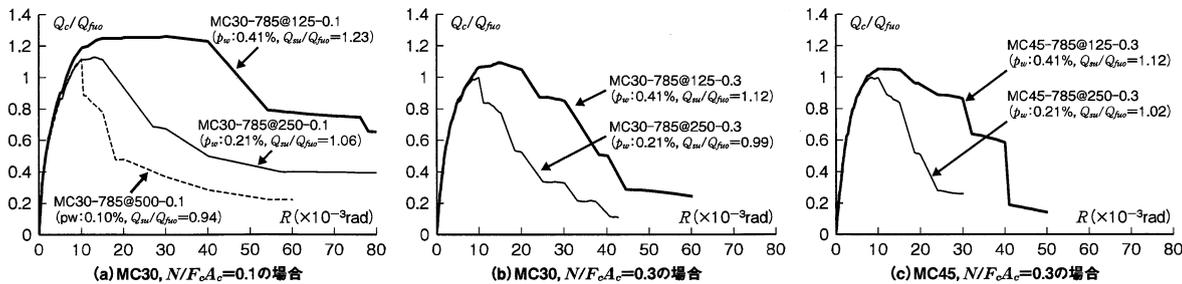


図3 $M/QD=2$ の円形断面柱試験体^{T12}の規準化正加力時包絡線 (Q_c/Q_{fuo} — R 関係)

SABTEC 指針検証実験の検討結果

◎規準化せん断ひび割れ強度

図4は、せん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu0} < 1$ の検証実験(43体)^{T1~T4, T6, T12, T13}の規準化せん断ひび割れ強度について、同図(a)はせん断スパン比 M/QD との関係、(b)は柱軸応力 σ_o との関係、(c)は横補強筋比 p_w との関係を示す。

Q_{su} : 荒川_{min}式または荒川_{mean}式のせん断耐力²⁾

Q_{fu0} : 設計曲げ耐力時せん断力²⁾

同図によると、短期許容せん断力 Q_{A1} はせん断ひび割れ荷重 Q_{cr} の1.7倍以上、短期許容せん断力 Q_{A2} はせん断ひび割れ荷重 Q_{cr} の1.2倍以上となる²⁾。

◎破壊形式の判別

図5は、東工大以外実験^{T5~T13}の終局耐力に関する検討結果であり、同図中、 Q_{max} は最大耐力実験値、 Q_{fu} は平面

保持仮定の曲げ耐力時せん断力、 Q_{fu0} は設計曲げ耐力時せん断力を示し、 Q_{su} は1,275N/mm²級高強度せん断補強筋では荒川_{min}式、普通強度せん断補強筋、685N/mm²級と785N/mm²級高強度せん断補強筋では荒川_{mean}式のせん断耐力としている²⁾。

○は普通強度せん断補強筋、▲△は1,275N/mm²級、◆は685N/mm²級、●●は785N/mm²級高強度せん断補強筋^{T11~T13}、△は1,275N/mm²級高強度せん断補強筋を用いた泥水中コンクリートの実験値^{T4}である。

同図の $Q_{max}/Q_{fu0} - Q_{su}/Q_{fu0}$ 関係は、平面保持仮定の $Q_{max}/Q_{fu} - Q_{su}/Q_{fu}$ 関係と同様、 $Q_{su}/Q_{fu0} = 1$ を境として、せん断破壊型($Q_{su}/Q_{fu0} < 1$)と曲げ破壊型($Q_{su}/Q_{fu0} \geq 1$)に判別できる。また、 $Q_{su}/Q_{fu0} < 1$ のせん断破壊型の場合、せん断耐力安全率($Q_{max}/Q_{su} \geq 1.0$)が確保され、 $Q_{su}/Q_{fu0} \geq 1$ の曲げ破壊型の場合、曲げ耐力安全率($Q_{max}/Q_{fu0} \geq 1.0$)が確保される。

表3 SABTEC指針検証実験

		①文献T1~T4		②文献T5~T13		①+②	
		最小値	最大値	最小値	最大値	最小値	最大値
柱直径	D (mm)	300	700	300	1000	300	1000
せん断スパン比	M/QD	1.0	3.0	1.5	2.5	1.0	3.0
横補強筋比	p_w (%)	0.00	0.68	0.00	0.41	0.00	0.68
軸鉄筋比	ρ_{go} (%)	0.64	3.31	1.80	4.57	0.64	4.57
柱軸力比	σ_o / σ_B	0.00	0.32	0.00	0.99	0.00	0.99
コンクリート実圧縮強度	σ_B (N/mm ²)	23.8	32.3	20.7	53.8	20.7	53.8
せん断余裕度	Q_{su}/Q_{fu}	0.50	1.55	0.48	2.47	0.48	2.47
	Q_{su}/Q_{fu0}	0.40	1.58	0.44	1.88	0.40	1.88
耐力安全率	Q_{max}/Q_{fu0}	0.45	1.36	0.47	1.72	0.45	1.72
	Q_{max}/Q_{su}	0.76	1.99	0.69	1.97	0.69	1.99
試験体数	1275N/mm ² 級	22体		14体		36体	
	785N/mm ² 級	—		14体		14体	
	685N/mm ² 級	—		11体		11体	

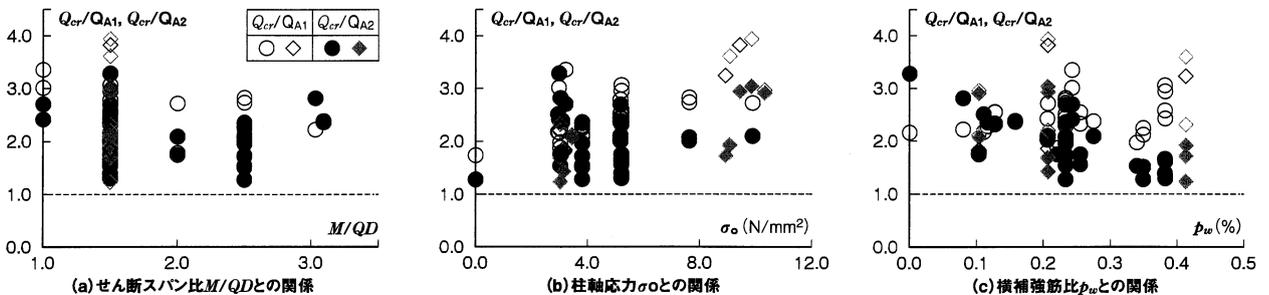


図4 $Q_{su}/Q_{fu0} < 1$ とした検証実験^{T1~T4, T6, T12, T13}の規準化せん断ひび割れ強度

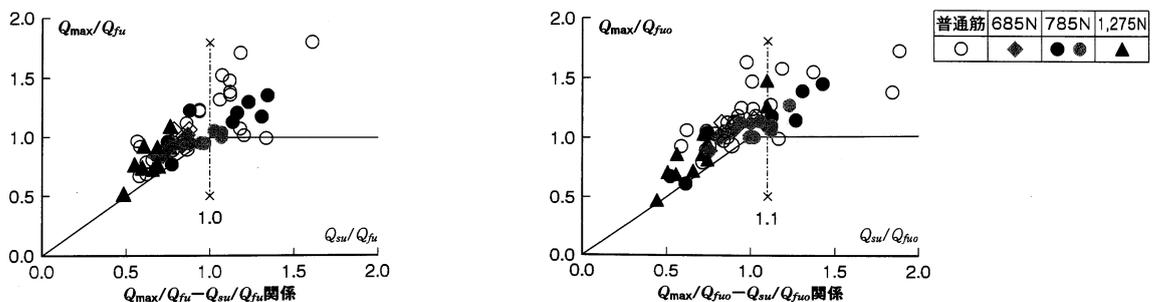


図5 円形断面柱の終局耐力に関する検討結果(東工大以外実験^{T5~T13})

◎ 曲げ耐力安全率 Q_{max}/Q_{fu} , Q_{max}/Q_{fu0} に及ぼす軸応力比 σ_o/σ_B

図6は、東工大以外実験^{T5~T13}の曲げ耐力安全率 Q_{max}/Q_{fu0} —軸応力比 σ_o/σ_B 関係であり、同図の実験値は、せん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu} \geq 0.8$ または $Q_{su}/Q_{fu0} \geq 0.8$ としている。同図によると、軸応力比 $\sigma_o/\sigma_B \leq 1/3$ では、せん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu0} \geq 1$ の場合、曲げ耐力安全率 $Q_{max}/Q_{fu0} \geq 1$ となるので、設計曲げ耐力時せん断力 Q_{fu} は平面保持仮定による曲げ耐力時せん断力 Q_{fu} と遜色なく評価できる。

また、同図 (b) によると、せん断スパン比 $M/QD=2$ の柱軸力比 $\sigma_o/\sigma_B=0.1$ と 0.3 では、横補強筋比 $p_w=0.10\%$ または 0.21% の場合、 $Q_{max}/Q_{fu} < 1$, $Q_{max}/Q_{fu0} < 1$ となる^{T12}。

◎ せん断耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} に及ぼす諸因子

図7では、東工大以外実験^{T5~T13}のせん断耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} に及ぼす横補強筋比 p_w , せん断スパン比 M/QD ,

QD , 軸応力比 σ_o/σ_B , 柱直径 D , コンクリート実圧縮強度 σ_B の影響を示す。

同図によると、各因子ともに、せん断スパン比 $M/QD=2\sim 3$ の曲げ破壊型 ($Q_{su}/Q_{fu} \geq 1$ と $Q_{su}/Q_{fu0} \geq 1$) 以外の場合、せん断耐力安全率 $Q_{max}/Q_{su} \geq 1$ となり、高強度せん断補強筋を用いた泥水中コンクリートの場合^{T4}, せん断耐力安全率 $Q_{max}/Q_{su} \geq 1.0$ となる。

◎ 設計せん断耐力保証条件

図8 (a), (b) は、限界部材角 $R_{90}-M/QD$ 関係と $R_{90}-Q_{su}/Q_{fu0}$ 関係であり、 R_{90} は最大耐力 Q_{max} の 90% 低下時部材角を示す。同図によると、 $M/QD=2$ での柱軸力比 $\sigma_o/\sigma_B=0.3$ の場合、荒川_{mean}式のせん断余裕度 $Q_{su}/Q_{fu0} \geq 1.1$ とすれば、 $R_{90}=15 \times 10^{-3}$ rad の変形性能が確保される。限界部材角 $R_{90}=15 \times 10^{-3}$ rad は、靱性保証型設計指針⁴⁾ に示された降伏ヒンジの終局状態での柱の部材角の目安値と等しい。



図6 円形断面柱の Q_{max}/Q_{fu} , $Q_{max}/Q_{fu0}-\sigma_o/\sigma_B$ 関係 (東工大以外実験^{T5~T13})

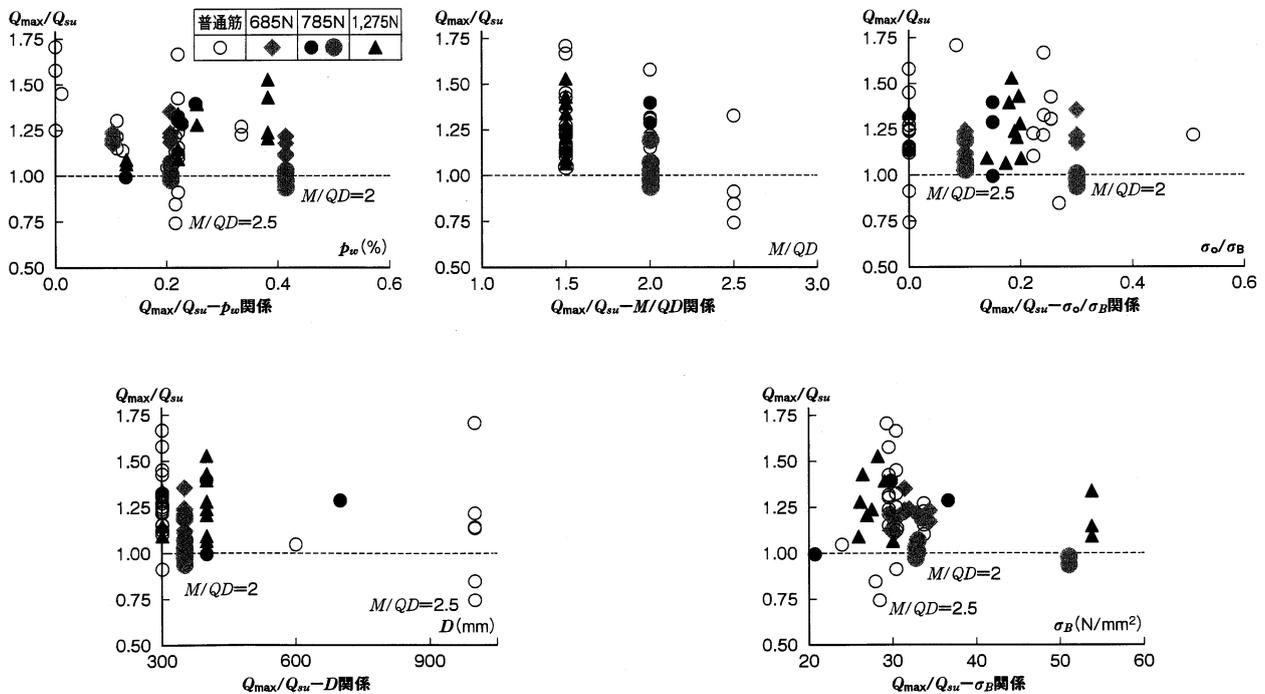


図7 円形断面柱のせん断耐力安全率 Q_{max}/Q_{su} に及ぼす諸因子の影響 (東工大以外実験^{T5~T13})

また、図9に示すように、軸鉄筋比 p_{go} の増加に伴い、せん断余裕度 Q_{su}/Q_{fuo} が減少し、 $p_{go} > 3.0\%$ の場合、 $Q_{su}/Q_{fuo} < 1.0$ の試験体が多くなるので、同図(b)では、 $Q_{su}/Q_{fuo} \geq 1.0$ の実験値をプロットしている。

一方、(付録)に示すように、Chang式⁵⁾による一様周辺地盤で支持された弾性杭体の杭頭部固定とした杭頭部せん断スパン比 $M_o/(Q_o D)$ は、水平方向地盤反力係数 k_h にかかわらず2~2.5程度となる。

これらより、SABTEC指針10章では、685N/mm²級と785N/mm²級高強度せん断補強筋の場合、せん断スパン比 $M/QD=2$ で $Q_{su}/Q_{fuo} \geq 1.1$ とし、軸力比 $\sigma_o/\sigma_B \leq 0.3$ かつ軸鉄筋比 $p_{go} \leq 3.0\%$ とすることで、荒川_{mean}式のせん断耐力を設計せん断耐力としている。

ただし、柱頭部曲げモーメント M とせん断力 Q を精算で求める場合、精算値のせん断スパン比 M/QD より設計曲げ耐力時せん断力 Q_{fuo} を算定し、終局強度設計を行うことにしている。

【円形断面柱のSABTEC指針検証実験】

T1 長江卓也，香取慶一，林静雄：場所打ちコンクリート杭への高強度せん断補強筋の適用に関する考察，コンクリート工学年次論文集，Vol. 21，No. 3，pp.403-

408，1999年

T2 長江卓也，王敬東，香取慶一，林静雄：軸部を細くした場所打ちコンクリート杭のせん断ひび割れと破壊過程，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22，No. 3，pp.619-624，2000年

T3 本庄正樹，長江卓也，柳瀬高人，林静雄：場所打ちコンクリート杭のせん断挙動に及ぼす寸法効果に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 23，No. 3，pp.979-984，2001年

T4 斎藤弘幸，香取慶一，林静雄，村田義行：泥水中打設された場所打ちコンクリート杭のせん断強度に関する実験，コンクリート工学年次論文集，Vol. 27，No. 2，pp.235-240，2005年

T5 白都滋，稲村利男，田村昌仁，勅使川原正臣：実大場所打ちRC杭の実験的研究，コンクリート工学年次論文集，Vol. 20，No. 3，pp.895-900，1998年

T6 是永健好，小林淳，小室努，川端一三：異形PC鋼棒で横補強された場所打ちRC杭のせん断性状，コンクリート工学年次論文集，Vol. 20，No. 3，pp.427-432，1998年

T7 新井元植，吉田誠，山本俊彦，山田和夫，中野秀夫：場所打ち鉄筋コンクリート杭の耐震性能評価に関

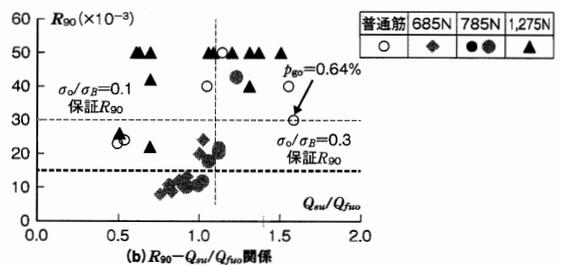
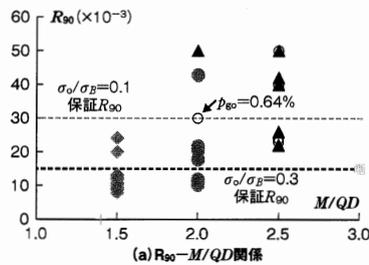


図8 円形断面柱の $R_{90}-M/QD$ 関係と $R_{90}-Q_{su}/Q_{fuo}$ 関係

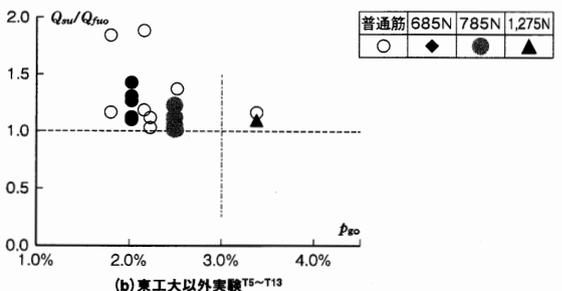
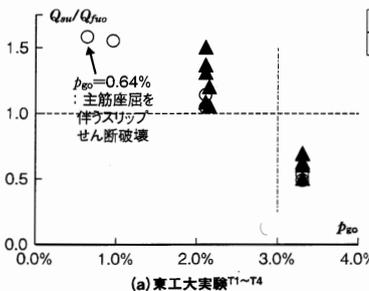


図9 円形断面柱のせん断余裕度 Q_{su}/Q_{fuo} —軸鉄筋比 p_{go} 関係

表4 Chang式による杭頭固定部のせん断スパン比 $M_o/(Q_o D)$ と杭中間部の最大モーメント深さ比 l_m/D の計算例

k_h (kN/m ²)	D (mm)	EI ($\times 10^6$ kN \cdot m ²)	β (1/m)	M_o (kN \cdot m)	$M_o/(Q_o D)$	l_m/D
20,000	800	0.483	0.302	166	2.07	6.51
	1,200	2.443	0.223	225	1.87	5.88
10,000	800	0.483	0.254	197	2.46	7.74
	1,200	2.443	0.187	267	2.23	6.99

k_h : 水平方向地盤反力係数, D : 杭直径, EI : 杭の曲げ剛性 (kN \cdot m²) $M_o/(Q_o D)$: 杭頭部のせん断スパン比, l_m : 最大モーメント M_{max} 深さ $\beta = (k_h D / (4EI))^{(1/4)}$: 基礎の特性係数, M_o : 杭頭部の曲げモーメント (注) $E=24$ kN/mm², $Q_o=100$ kN

する研究(その2), 日本建築学会東海支部研究報告集, pp.293-296, 1999年2月

T8 吉田誠, 新井元植, 山本俊彦, 山田和夫, 矢野信司: 場所打ち鉄筋コンクリート杭の耐震性能評価に関する研究(その4), 日本建築学会東海支部研究報告集, pp.225-228, 2000年2月

T9 新井元植, 山本俊彦, 山田和夫, 矢野信司: 場所打ち鉄筋コンクリート杭の耐震性能評価に関する研究(その7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.627-629, 2000年9月

T10 酒向靖二, 山田和夫, 山本俊彦, 矢野信司: 円形断面を有する鉄筋コンクリート部材のせん断挙動に及ぼす構成素材の影響, コンクリート工学年次論文集, Vol. 23, No. 3, pp.181-186, 2001年

T11 迫田丈志, 酒井祐基, 中野克彦ほか3名: 785N/mm²級の高強度せん断補強筋を用いた場所打ち鉄筋コンクリート杭の実験, その1, その2, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造IV, pp.587-590, 1999年9月

T12 建築構造技術評価報告書: エムケーリング685, エムケーリング785設計施工指針, SABTEC評価24-03R1, (一社)建築構造技術支援機構, 2025年9月

T13 建築構造技術評価報告書: キョウエイリングSD490, キョウエイリング685, キョウエイリング785設計施工指針, SABTEC評価20-01R3, (一社)建築構造技術支援機構, 2025年7月

(付録) Chang式による杭頭固定部でのせん断スパン比 $M_o/(Q_o D)$

Chang式⁵⁾によると, 一様周辺地盤で支持された弾性杭体について, 杭頭固定部にせん断力 Q_o が作用する場合, 杭中間部曲げモーメント M が式(1), 杭頭部せん断スパン M_o/Q_o が式(2), 杭中間部の最大曲げモーメント M_{max} 深さ ℓ_m が式(3)で求まる。

$$M = - \left(\frac{Q_o}{2\beta} \right) \cdot e^{-\beta x} (\sin \beta x - \cos \beta x) \quad (1)$$

$$\frac{M_o}{Q_o} = \frac{1}{(2\beta)} \quad (2)$$

$$\ell_m = \frac{\pi}{2\beta} \quad (3)$$

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{k_h D}{4EI}} : \text{基礎の特性値}$$

EI : 杭の曲げ剛性 (kN・m²), D : 杭径 (m)

k_h : 水平方向地盤反力係数 (kN/m³)

Chang式による杭頭固定部のせん断スパン比 $M_o/(Q_o D)$ と杭中間部の最大モーメント深さ比 ℓ_m/D の計算例を表4に示す。

同表によると, 水平方向地盤反力係数 k_h , 杭径 D にかかわらず, 杭頭部せん断スパン比 $M_o/(Q_o D)$ は2~2.5程度であり, 杭中間部の最大曲げモーメント発生深さ ℓ_m は $(5.9 \sim 7.7) \times D$ となる。

おわりに

本連載第4回では, SABTEC指針(2025年)10章の場所打ちRC杭のせん断設計について, SABTEC指針検証実験の概要と検討結果を紹介した。

一方, 表5にSABTEC評価を取得している高強度せん断補強筋(計14種類)の適用範囲を掲載している。

(ますお きよし)

【参考文献】

- 1) (一社)建築構造技術支援機構: SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2025年), 2025年10月
- 2) 益尾潔: (連載) 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, 第3回 場所打ちRC杭の耐震設計, 建築技術2025年冬号, pp.106-109
- 3) 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
- 4) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説, 1999年
- 5) 日本建築学会: 建築基礎構造設計指針6章 杭基礎, 6.6節 水平抵抗および基礎部材の設計, pp.255-282, 2019年

表5 SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針(2025年)の適用範囲

適用範囲	OT 685 フープ	スーパー フープ		Jフープ 785	パワー リング 685	GTS フープ 685	UHY 685 フープ	キョウエイ リング			アーケ フープ 785	リバー ボン 785	エムケー フープ	
		685	785					SD490	685	785			685	785
基本事項(3章~6章)	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
フック付き重ね継手	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
中段筋基礎梁の設計	○	○		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
中段筋梁の設計	-	○		○	-	○	-	○	○	○	-	○	○	○
場所打ちRC杭の せん断設計	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-	-	○	○

(注) SABTECの高強度せん断補強筋は, SABTEC評価取得の高強度せん断補強筋(計14種類)を示す