

露出柱脚編による検定計算例集

益尾 潔◎(一社)建築構造技術支援機構 代表理事

本検定計算例集の概要

本検定計算例集³⁾では、既製品露出柱脚(ベースパック、ハイベース、NCベース)を用い、現実に即した検討対象の検定計算結果を示している。

露出柱脚編²⁾による検定計算では、図1の検定計算フローに示すように、柱型部配筋詳細図の基本事項を確認したうえで、各部構造規定検定の後、保有耐力接合の適否を判別する。保有耐力接合の場合、1階鉄骨柱ヒンジの形成を想定しているため、アンカーボルト定着検定および柱型部せん断検定を省略できる(露出柱脚編4.1節3)参照)。

一方、非保有耐力接合の場合には、アンカーボルト定着検定後、杭基礎の場合、ト形、十字形柱型部せん断検定を行い、直接基礎の場合、L形、T形柱型部せん断検定を行う。ただし、既製品露出柱脚の場合、アンカーボルト定着耐力に係わる標準仕様を定めているため、アンカーボルト定着検定を省略してもよいとしている(露出柱脚編4.1節2)参照)。

露出柱脚編では、既製品露出柱脚ならびに技術基準解説書および鋼構造接合部設計指針に従い、設計された露出柱脚の検定計算を行うことができる。

既製品露出柱脚の適用柱サイズおよび製品記号

ベースパック、ハイベースNEO工法、NCベースの角形鋼管適用柱サイズ一覧を、表1～3に示す。

同表は、それぞれの設計ハンドブック(HP公開資料)を基に作成されている。ハイベースNEO工法Gタイプの場合、表2の製品以外に□-1,200×1,200サイズまでの製品、NCベースの場合、表3の製品以外に8本タイプでは□-900×900サイズまで、12本タイ

プでは□-1,000×1,000サイズまでの製品が示されている。

各製品ともに、製品記号ごとに適用柱サイズ、アンカーボルトの呼び名と本数が定められている。検定計算例集³⁾の巻末(付録1)には、検定計算で用いる既製品露出柱脚寸法諸元を示している。

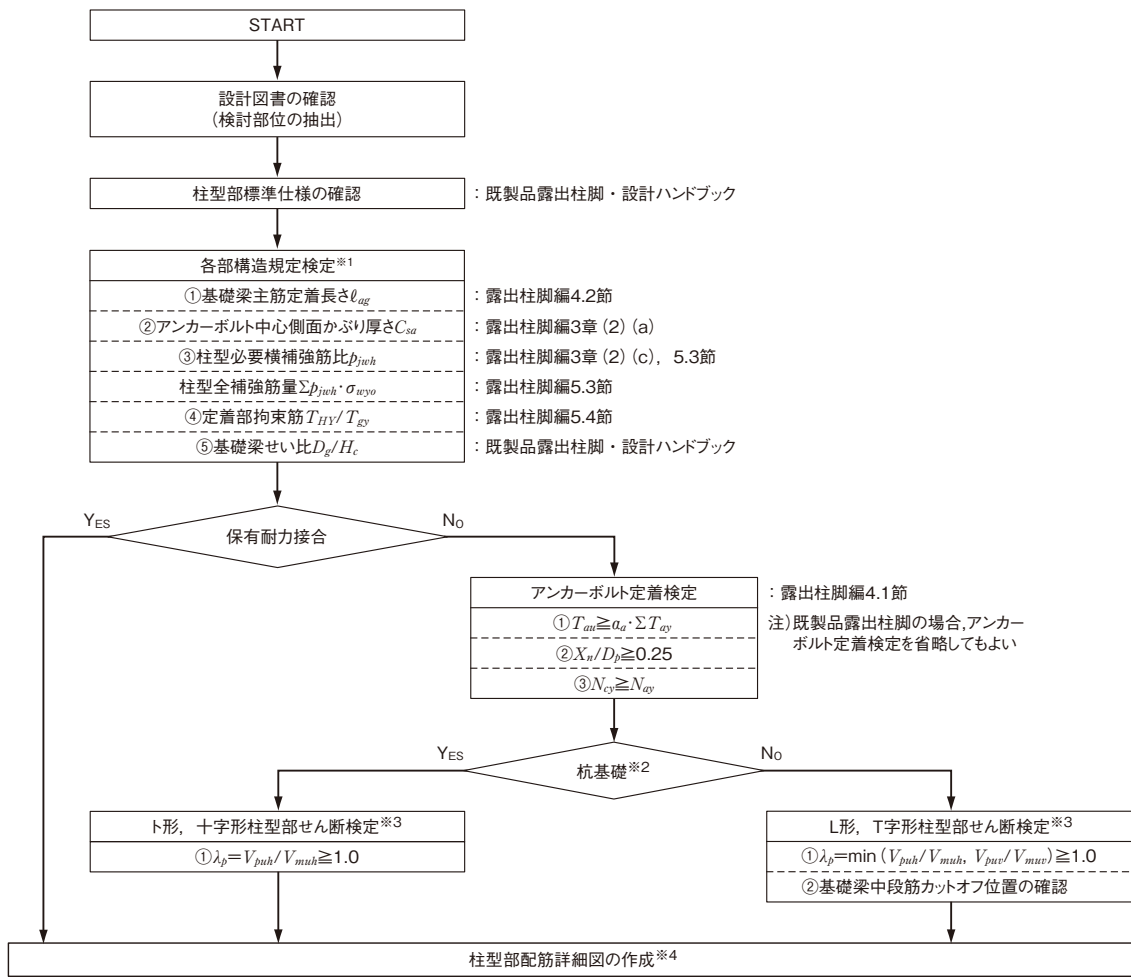
検討建物の検定計算例

◎検討建物の概要

検討建物は図2～4のA建物、B建物、C建物の3棟であり、検討建物の概要を表4に示す。同図では本検定計算例集の検討部位を示し、表4では、検定計算の確認事項として既製品露出柱脚種別および保有耐力接合の適否を記載している(図1)。

◎検定計算の注意事項

- 1) 一般事項
 - ①基礎梁主筋定着は、主として隅、側柱の柱型部内で行われ、左右材端部で基礎梁主筋本数が異なる中柱の柱型部内でも行われる。
 - ②露出柱脚の検定に係わる1階鉄骨柱内法高さ h_{o1} は、1階構造階高 h_1 、基礎梁せい D_{g1} 、2層目鉄骨梁せい D_{g2} より、 $h_{o1}=h_1-(D_{g1}+D_{g2})/2$ として算出される(露出柱脚編5.1節参照)。
- 2) 各種構造規定の確認
 - ①図1の検定計算フロー中「各部構造規定検定」の基礎梁主筋定着長さ l_{ag} の場合、露出柱脚編4.2節「基礎梁主筋定着部」の規定 $l_{ag} \geq \max(l_{ao}, 16d_b, L_{ag})$ かつ $l_{ao} \leq 25d_b$ を満足することを確認する。 l_{ao} はRC構造設計指針¹⁾・式(8.1)の必要定着長さ、 d_b は基礎梁主筋呼び名の値、 $L_{ag}=(D_c+j_{ta})/2$ 、 D_c は柱型部せい、 j_{ta} は最外縁アンカーボルト中心間隔である。



- ※1 検討部位ごとに各部構造規定の可否を検定する
- ※2 検討部位の基礎種別 (直接基礎、杭基礎) を確認する
- ※3 柱型部せん断検定は、露出柱脚編3章(3)、5.1節、5.2節による
- ※4 柱型部配筋詳細図は、本検定例集5章を基に作成する

図1 露出柱脚編による検定計算フロー²⁾

表1 ベースバックの角形鋼管適用柱サイズ一覧

適用柱サイズ													
□150	□175	□200	□250	□300	□350	□400	□450	□500	□550	□600	□650	□700	□750
I型 (保有耐力総合タイプ)				II型 (保有耐力接合タイプ)				—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	FX3 (保有耐力総合タイプ)									
—	—	—	—	S3 (柱脚ヒンジタイプ)									

表2 ハイベースNEO工法の角形鋼管適用柱サイズ一覧

適用柱サイズ													
□150	□175	□200	□250	□300	□350	□400	□450	□500	□550	□600	□650	□700	□750
エコタイプ (鋼製ベースプレート)										—	—	—	—
—	—	—	—	Gタイプ (鋳鋼製ベースプレート)									

表3 NCベースの角形鋼管適用柱サイズ一覧

適用柱サイズ													
□150	□175	□200	□250	□300	□350	□400	□450	□500	□550	□600	□650	□700	□750
4本タイプ								—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	8本タイプ								
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	12本タイプ

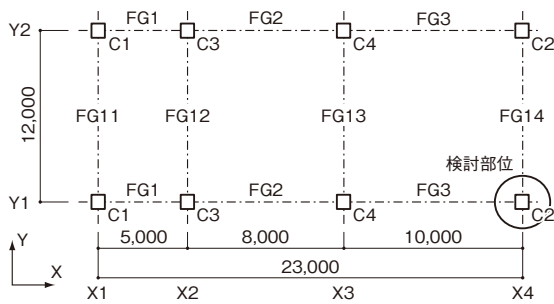


図2 A建物の柱型部・基礎梁伏図

その他の注意点を以下に示す。

① □-350×350mm サイズ以上の既製品露出柱脚の場合、 $l_{ag} \geq L_{ag}$ の条件より、基礎梁主筋定着長さ l_{ag} は $0.8D_c$ 前後の値になる。この場合、基礎梁主筋定着部とアンカーボルトとの干渉など、柱型部内の納まりに注意が必要である。

② 特に、柱型部と基礎梁側面の外面合せなどで j_{ia} 区間外となる基礎梁上端筋と下端筋定着部は、柱型部内の納まりが難しい（露出柱脚編4.2節2）。

③ SD490の基礎梁主筋を用い、コンクリート設計基準強度 F_c が 30N/mm^2 未満の場合、 l_{ao} の上限が $25d_b$ を超えることがあるので、注意が必要である。

④ 基礎梁主筋と関連し、露出柱脚編5.1節(3)基礎梁曲げ終局耐力 M_{gu} 、 M'_{gu} の算定時には、基礎梁上端筋と下端筋断面積のどちらか大きい方を用い、5.4節「定着部拘束筋」の検定時には基礎梁下端筋の断面積と降伏強度を用いる。

② 柱型必要横補強筋比は、柱型最小横補強筋比 = 0.3% であるので、 $p_{juh} = \max(0.3\%, p_w)$ として算出する（露出柱脚編3章(2)(c)）。 p_w は、既製品露出柱脚の標準仕様による柱型帯筋比を示す。

3) 露出柱脚の保有耐力接合の判定

露出柱脚編4.1節「アンカーボルト定着部」では、保有耐力接合を満足する場合、3章(3)の柱型部せん断検定および4.1節のアンカーボルト定着部検定を省略してもよいとしている。

ベースパックの場合、保有耐力接合と非保有耐力接合の製品記号を区別しているため、両者の違いは製品記号で判別できる。一方、ハイベースNEO工法とNCベース工法の場合、解析結果による柱脚部の設計応力を用い、設計者が保有耐力接合と非保有耐力接合を選定するので、いずれの接合かを設計者に確認する必要がある。

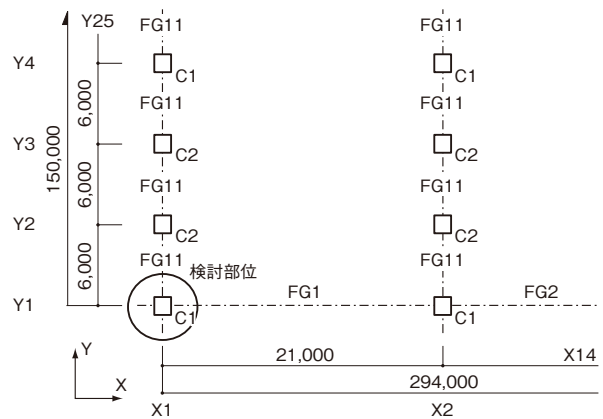


図3 B建物の柱型部・基礎梁伏図

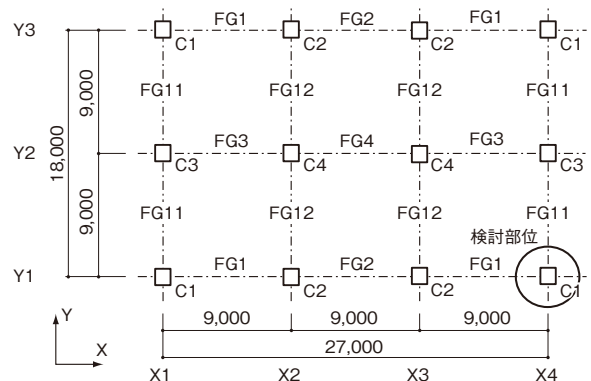


図4 C建物の柱型部・基礎梁伏図

◎ 検討建物の検定結果

1) A建物

A建物では、ベースパックII型（保有耐力接合）を採用している。入力諸元を表5、検定結果を表6に示す。この場合、各部構造規定検定①～⑤を行っている。同表では、検討部位C2のほかC1の検定結果を示している。

2) B建物

B建物では、ハイベースNEO/Gタイプ（保有耐力接合）を採用し、各部構造規定検定①～⑤と柱型部せん断検定結果⑥を行っている。

3) C建物

C建物では、NCベースNEO/8本タイプ（非保有耐力接合）を採用している。入力諸元を表7、検定結果を表8に示す。この場合、非保有耐力接合であるが、保有耐力接合として、各部構造規定検定①～⑤と柱型部せん断検定結果⑥を行っている。

表6、表8では、それぞれ柱型部配筋詳細に必要な柱型横補強筋・必要組数を示している。

表4 検討建物の概要

物件名		A建物	B建物	C建物
用途		倉庫	工場	事務所
規模	桁行 (X)	3スパン	13スパン	3スパン
	梁間 (Y)	1スパン	24スパン	2スパン
階数		3階	2階(中2階)	14階
塔屋		1階	—	—
最高高さ		15.9m	19.05m	57.95m
1階構造階高 h_1		6.64m	12.8m	7.085m
基礎種別		抗基礎 (SC杭)	抗基礎 (PHC杭)	抗基礎 (場所打ち杭)
杭直径 D_p		600mm	700mm	1,800mm
基礎コンクリート F_c		24N/mm ²	24N/mm ²	36N/mm ²
鉄筋	D10~D16	SD295A	SD295A	SD295A
	D19~D25	SD345	SD345	SD345
	D29以上	SD390	SD390	SD390, SD490
既製品露出柱脚		ベースバックII型	ハイベースNEO (Gタイプ)	NCベースP (8本タイプ)
1階鉄骨柱		□-400×400×22 □-500×500×22	□-750×750×28 □-600×600×28	□-700×700×32 □-700×700×28
角形鋼管材質		BCR295	BCP325	BCP325
2層目鉄骨梁せい		(X, Y) 800mm	(X) 1,200mm, (Y) 700mm	(X, Y) 800mm
柱脚製品記号		40-22R 50-22R	GB750-12-48 GB600-12-48	PK-700-8X-64 PK-700-8L-56
保有耐力接合の適否		保有耐力接合	保有耐力接合	非保有耐力接合
備考		—	X方向中間柱基礎：2本打ち杭	鉄骨柱：CFT柱

注) 1階構造階高 h_1 ：基礎梁中心と2層目鉄骨梁中心間距離，2層目鉄骨梁せい：1階内法高さ h_{o1} の算出に用いる値

表5 A建物の入力諸元

柱記号	C1	C2	C2	
基礎梁記号	FG11	FG3	FG14	
アンカーボルトの種類 (既製品, 非既製品)	既製品	既製品	既製品	
設計区分 (II, I)	II	II	II	
直交梁の種類 (両側, 片側, 無)	片側	片側	片側	
コンクリート設計基準強度 F_c (N/mm ²)	24	24	24	
基礎梁せい D_g (mm)	1,500	1,500	2,800	
梁上1段筋中心のかぶり厚さ d_{1T} (mm)	140	140	140	
梁下1段筋中心のかぶり厚さ d_{1B} (mm)	90	90	90	
1段筋と2段筋の中心間距離 P_{12} (mm)	105	105	105	
(基礎梁主筋) 鋼種	SD390	SD390	SD390	
呼び名 (d_o)	D29	D29	D29	
上端1段筋本数 $n_{1上}$	5	6	6	
上端2段筋本数 $n_{2上}$	4	3	3	
下端1段筋本数 $n_{1下}$	4	6	5	
下端2段筋本数 $n_{2下}$	4	3	3	
基礎梁主筋定着長さ (入力値) l_{ag} (mm)	735	870	870	
柱型幅 B_c (mm)	900	1,050	1,050	
柱型せい D_c (mm)	900	1,050	1,050	
柱型最小高さ H_c (mm)	800	850	850	
柱型横補強筋	鋼種	SD295	SD295	SD295
	呼び名	D13	D16	D16
	1組の本数	2	2	2
定着部拘束筋	間隔 X (mm)	90	100	100
	1組の本数	2	2	2
(アンカーボルト)	組数 n_H	4	3	3
	軸径 d_a (mm)	38	41	41
最外縁アンカーボルト中心間距離 j_{ia1} (mm)	570	690	690	

検討建物の柱型部配筋詳細図

基礎梁主筋位置は，基礎梁主筋定着長さ $l_{ag} \geq \max(l_{ao}, 16d_b, L_{ag})$ かつ $l_{ao} \leq 25d_b$ を満足するように定め

表6 A建物の検定結果

基礎梁主筋定着長さ比	l_{ag}/d_b	25.3	30.0	30.0
	l_{ag}/D_c	0.82	0.83	0.83
基礎梁主筋必要定着長さ比	l_{ao}/d_b	18.8	18.6	23.2
	$\max\{l_{ao}/d_b, 16\}$	18.8	18.6	23.2
$L_{ag} = (D_c + j_{ia1})/2$ (mm)		735	870	870
判定① ($l_{ag} \geq \max\{l_{ao}, 16d_b, L_{ag}\}$ かつ $l_{ao}/d_b \leq 25$)		OK	OK	OK
アンカーボルト中心かぶり厚さ C_{sa} (mm)		165	180	180
C_{sa}/d_a		4.3	4.4	4.4
判定② ($C_{sa}/d_a \geq 4$)		OK	OK	OK
柱型帯筋比 $\rho_w = a_w/(B_c \cdot X)$ (%)		0.31%	0.38%	0.38%
柱型必要横補強筋比 $\rho_{wh} = \max\{0.3\%, \rho_w\}$ (%)		0.31%	0.38%	0.38%
柱型横補強筋・必要組数		16	14	27
柱型全補強筋量 (設計値) $\Sigma \rho_{wh} \cdot \sigma_{wy}$ (N/mm ²)		1.28	1.49	1.36
$\Sigma \rho_j \cdot \sigma_y = \{(\phi_s \cdot R_{uD}/R_{Us}) - \alpha_{wo}\} F_c / \beta_w$ (N/mm ²)		0.93	0.93	0.93
判定③ ($\rho_w \geq \rho_{wh}$ かつ $\Sigma \rho_{wh} \cdot \sigma_{wy} \geq \Sigma \rho_j \cdot \sigma_y$)		OK	OK	OK
定着部拘束筋引張耐力 $T_{HY} = A_H \cdot \sigma_{wyH}$ (kN)		300	352	352
引張力伝達係数 T_{HY}/T_{GY}		0.14	0.14	0.16
判定④ ($T_{HY}/T_{GY} \geq 0.1$)		OK	OK	OK
基礎梁せい比 D_g/H_c		1.88	1.76	3.29
判定⑤ ($D_g/H_c \geq 1.0$)		OK	OK	OK

ている。その際，最外縁アンカーボルト中心間距離 j_{ia1} 区間の基礎梁主筋平均間隔 X_g を JASS 5 の鉄筋間隔以上としている (図5)。

既製品露出柱脚の場合，アンカーボルト位置は各製品で定められているので，JASS 5 の鉄筋間隔を確

表7 C建物の入力諸元

柱記号	C1	C1	
基礎梁記号	FG1	FG11	
アンカーボルトの種類 (既製品, 非既製品)	既製品	既製品	
設計区分 (II, I)	II	II	
直交梁の種類 (両側, 片側, 無)	片側	片側	
コンクリート設計基準強度 F_c (N/mm ²)	36	36	
1階・構造階高 h_1 (mm)	7,085	7,085	
スパン長 l (mm)	9,000	9,000	
2層目鉄骨梁せい D_{sg} (mm)	800	800	
基礎梁幅 B_g (mm)	1,000	1,000	
基礎梁せい D_g (mm)	2,500	2,500	
梁上1段筋中心のかぶり厚さ d_{IT} (mm)	165	165	
梁下1段筋中心のかぶり厚さ d_{IB} (mm)	125	125	
1段筋と2段筋の中心間距離 P_{12} (mm)	135	135	
(基礎梁主筋) 鋼種	SD490	SD490	
呼び名	D38	D38	
上端1段筋本数 $n_{1上}$	8	8	
上端2段筋本数 $n_{2上}$	6	4	
上端3段筋本数 $n_{3上}$	0	0	
下端1段筋本数 $n_{1下}$	6	6	
下端2段筋本数 $n_{2下}$	4	4	
下端3段筋本数 $n_{3下}$	0	0	
基礎梁主筋定着長さ (入力値) l_{ag} (mm)	1,140	1,140	
柱型幅 B_c (mm)	1,400	1,400	
柱型せい D_c (mm)	1,400	1,400	
柱型最小高さ H_c (mm)	1,487	1,487	
(柱型主筋) 鋼種	SD390	SD390	
呼び名	D32	D32	
柱型主筋全本数 n_c (本)	40	40	
柱型部横補強筋	鋼種	SD295	SD295
	呼び名	D16	D16
	1組の本数	4	4
定着部拘束筋	間隔 X (mm)	150	150
	1組の本数	4	4
(アンカーボルト)	組数 n_H	4	4
	軸径 d_a (mm)	64	64
最外縁アンカーボルト中心間距離 j_{la1} (mm)	875	875	
杭直径 D_p (mm)	1,800	1,800	
フーチング寸法 Δh_2 (mm)	400	400	

保したうえで、柱型部内でのアンカーボルト、柱型主筋、基礎梁主筋が干渉しないように、柱型主筋位置を決定する必要がある。

C建物の柱型部配筋詳細を、図6に示す。C建物の場合、FG1、FG11の基礎梁上下主筋ともに2段筋で、XY両方向の柱型横補強筋は中子筋併用の4-D16-16組としているので、基礎梁上下1段筋中心かぶり厚さ d_{IT} 、 d_{IB} 、および1段筋と2段筋の中心間距離 P_{12} を通常よりも大きくしている。

おわりに

近年、角形鋼管サイズおよび露出柱脚の大型化に伴い、基礎梁主筋が太径化し、柱型部配筋の納まりが難しいことが顕在化している。機械式定着工法によ

表8 C建物の検定結果

基礎梁主筋定着長さ比	l_{ag}/d_b	30.0	30.0
	l_{ag}/D_c	0.81	0.81
必要定着長さ比	l_{ao}/d_b	21.2	21.3
	$\max\{l_{ao}/d_b, 16\}$	21.2	21.3
	$L_{ag} = (D_c + j_{la})/2$ (mm)	1,138	1,138
判定① ($l_{ag} \geq \max\{l_{ao}, 16d_b, L_{ag}\}$ かつ $l_{ao}/d_b \geq 25$)		OK	OK
アンカーボルト中心かぶり厚さ C_{sa} (mm)		262.5	262.5
	C_{sa}/d_a	4.1	4.1
判定② ($C_{sa}/d_a \geq 4$)		OK	OK
柱型帯筋比 $\rho_w = a_w/(B_c \cdot X)$ (%)		0.38%	0.38%
柱型必要横補強筋比 $\rho_{wh} = \max\{0.3\%, \rho_w\}$ (%)		0.38%	0.38%
柱型横補強筋・必要組数		16	16
柱型全補強筋量 (設計値) $\Sigma \rho_{wh} \cdot \sigma_{wy}$ (N/mm ²)		1.53	1.53
$\Sigma \rho_l \cdot \sigma_y = 1(\phi_s \cdot R_{ud}/R_{ua}) - \alpha_{wol} F_c/\beta_w$ (N/mm ²)		0.64	0.38
判定③ ($\rho_w \geq \rho_{wh}$ かつ $\Sigma \rho_{wh} \cdot \sigma_{wy} \geq \Sigma \rho_l \cdot \sigma_y$)		OK	OK
定着部拘束筋引張耐力 $T_{HY} = A_H \cdot \sigma_{wyH}$ (kN)		939	939
引張力伝達係数 T_{HY}/T_{gy}		0.17	0.17
判定④ ($T_{HY}/T_{gy} \geq 0.1$)		OK	OK
柱型最小寸法比 D_g/H_c		1.68	1.68
判定⑤ ($D_g/H_c \geq 1.0$)		OK	OK
柱型部設計せん断力 $V_{muh} = \xi_n \cdot Q_{cu}$ (kN)		5,615	4,789
柱型部せん断終局耐力 $V_{puh} = \kappa_u \cdot \phi \cdot F_j \cdot b_j \cdot D_{jh}$ (kN)		8,000	8,000
柱型部せん断余裕度 $\lambda_p = V_{puh}/V_{muh}$		1.42	1.67
判定⑥ ($\lambda_p \geq 1.0$)		OK	OK

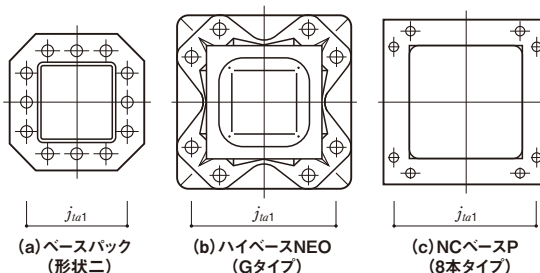


図5 既製品露出柱脚の j_{la1} 区間 (例)

る基礎梁主筋定着部は、それらの解決策となる。

本稿では、2018年発刊予定の露出柱脚編(2018年)に準拠した機械式定着工法による基礎梁主筋定着部に係る検定計算例について概説した。本検定計算例集の詳細は、当機構HP³⁾でご確認いただきたい。

当機構では、現在、機械式定着工法の普及・促進を意図し、ユニオンシステムに委託し、一貫構造計算プログラムSS7の露出柱脚編組込プログラムを作成している。本組込プログラムは、図7に示すように、SS7の別途計算機能を用い、既存組込プログラムの追加プログラムとして作成される。また、既存のRC接合部を対象とした組込プログラム⁴⁾も、RC構造設計指針(2017年)¹⁾に準拠するように改定を予定している。

(ますお きよし)

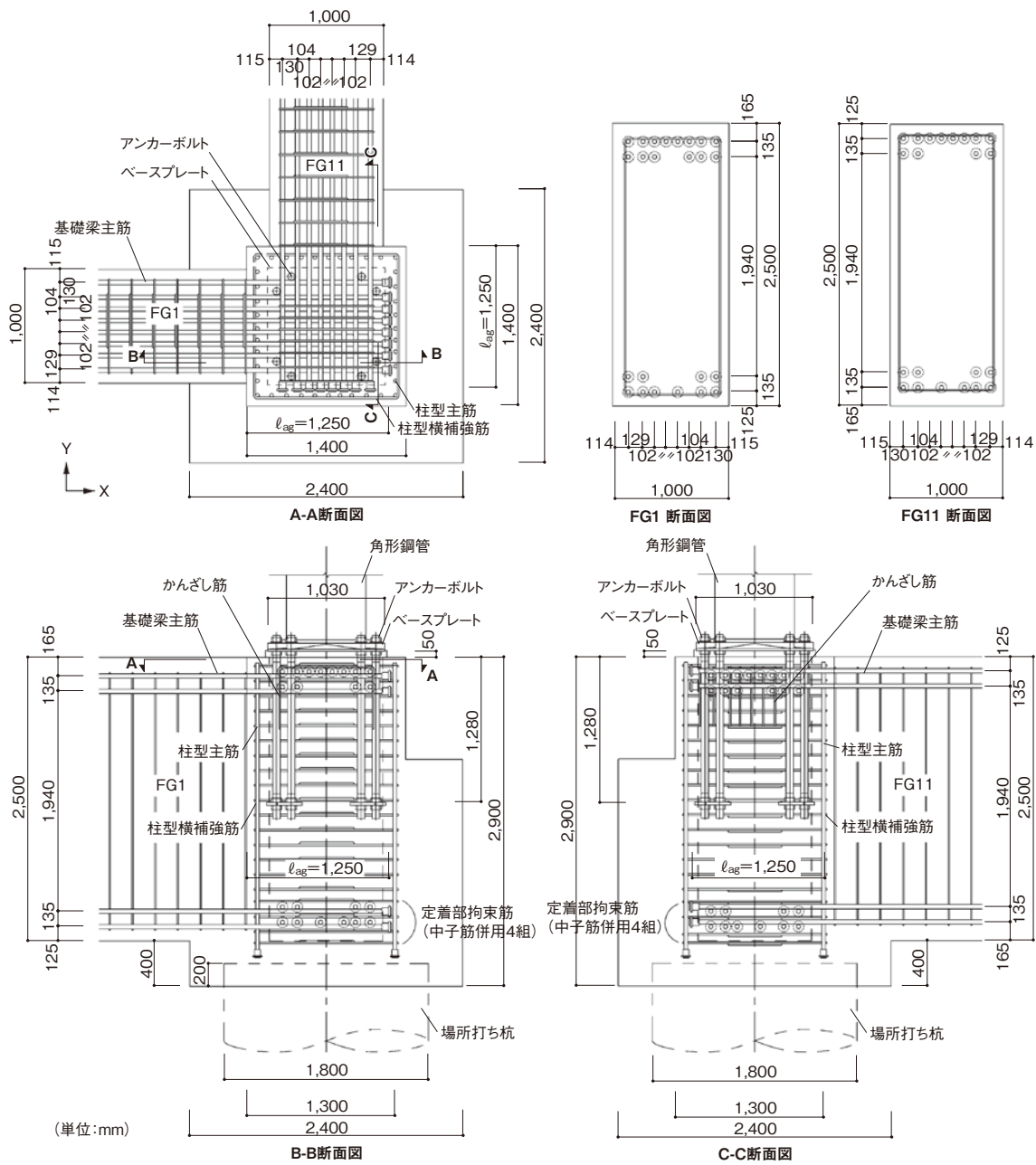


図6 C建物の柱型部配筋詳細 (NCベース (8本タイプ))

【参考文献】

- 1) (一社) 建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法RC構造設計指針 (2017年)，2017年10月
- 2) (一社) 建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法RCS混合構造設計指針 (2017年)，2017年10月
- 3) (一社) 建築構造技術支援機構HP (https://sabtec.or.jp/sabtec_design_manual.php)：SABTEC機械式定着工法鉄骨露出柱脚・基礎梁主筋定着部編による検定計算例集
- 4) (一社) 建築構造技術支援機構HP (<https://sabtec.or.jp/program1.php>)：SABTECプログラムのご紹介 機械式定着工法

既存	1. RC接合部 1.1 データ入力 1.2 検定結果 1.3 出力指定
追加	2. 露出柱脚基礎梁主筋定着の検討 2.1 データ入力 2.1.1 対象結果の選択 2.1.2 標準使用材料と計算条件 2.1.3 基礎柱横補強筋比ほか 2.2 検定結果 2.3 出力指定

図7 SS7別途計算機能による機械式定着の検定