短期連載　SABTEC機械式定着工法　SS3組込プログラム　第2回

試設計建物の梁，柱主筋定着検定例

益尾 潔◉一般社団法人建築構造技術支援機構 代表理事

はじめに

SABTEC機械式定着工法SS3組込プログラムでは，SS3本体で接合部せん断検定後，SABTEC指針10章[1]の置換え方式による梁，柱主筋定着検定が行われる。本連載の第1回では，本プログラム[3]の概要として，下記の5項目について記述した。

- プログラム構成および特徴
- 定着検定と結果出力
- 入力の内容
- 特殊形状の扱い
- 出力内容

第2回の本稿では，試設計建物の梁，柱主筋検定例として，①基本事項，②検定対象架構，③検定結果について記述する。

基本事項

①検定架構は，SABTEC機械式定着工法デザインマニュアル（2014年）[2]で示した試設計12階板状共同住宅の接合部せん断検定架構とする（**図1**）。

②本検定では，XY方向ともに，**表1**の限界層間変形角に対して増分解析を行い，SS3本体で設計ルート3の接合部せん断検定後，接合部内の梁，柱主筋の定着検定を行う。

③梁，柱主筋定着検定では，XY方向各接合部内の梁，柱主筋定着部の配筋状況を把握し，接合部ごとに，それぞれ梁，柱主筋定着検定を行う。

表1　増分解析の限界層間変形角

方向	保有水平耐力時	D_S算定時
X方向	1/100	1/50
Y方向	—※	1/50

※：耐震壁のせん断破壊時（最大層間変形角1/342）

④図1のように，検定架構Y方向の耐震壁架構は，梁，柱主筋定着検定では，純ラーメン架構として扱う。

検定対象架構

◉材料諸元

材料諸元を**表2**に示す。桁行（X）方向梁，柱主筋

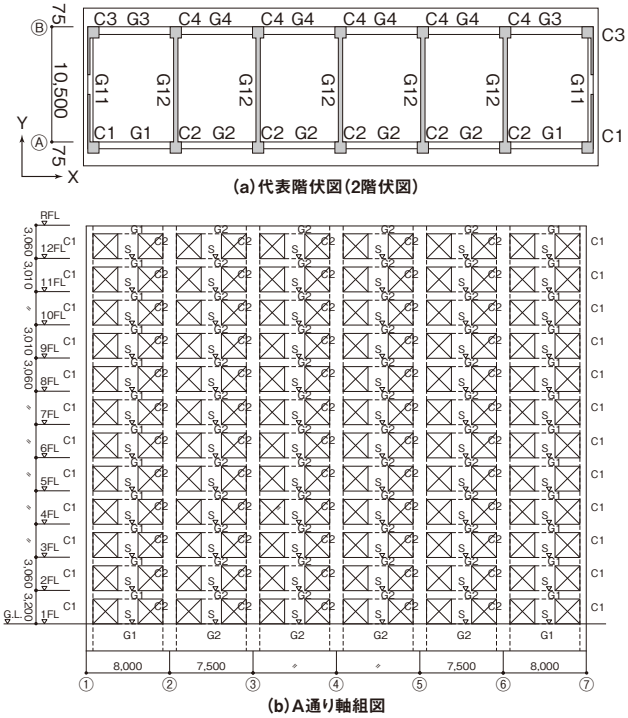


図1　検定架構

表2　材料諸元

(a) 各層のコンクリートの設計基準強度

R	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
F_c27	F_c30		F_c33		F_c36		F_c42		F_c48			F_c42

(b) 鉄筋の鋼種と呼び名

部位	鋼種	呼び名
柱，梁 主筋	SD345	D22
	SD390	D29
	SD490	D32，D35，D38
柱，梁，接合部 横補強筋	SD295A	D10，D13
	785N/mm²級	S13

の鋼種はSD390（D29）とSD490（D32，D35，D38）であり，上記の鉄筋鋼種を適用できるSABTEC評価取得の機械式定着金物であれば，いずれも本稿の梁，柱主筋定着検定結果を用いることができる。

表3　梁断面リスト

(a) 桁行（X）方向梁

層	F_c (N/mm^2)	位置	G1，G3			G2，G4	
			外端	中央	内端	端部	中央
R	27	$b\times D$(mm)	600×850			600×850	
		上端筋	3-D29	3-D29	4-D29	4-D29	3-D29
		下端筋	3-D29	3-D29	3-D29	3-D29	3-D29
12	30	$b\times D$(mm)	600×850			600×850	
		上端筋	4-D32	3-D32	4-D32	4-D32	3-D32
		下端筋	3-D32	3-D32	4-D32	4-D32	3-D32
11	30	$b\times D$(mm)	600×850			600×850	
		上端筋	4+1-D32	4-D32	4+1-D32	4+1-D32	3-D32
		下端筋	4-D32	3-D32	4-D32	4-D32	3-D32
10	33	$b\times D$(mm)	600×850			600×850	
		上端筋	4+2-D32	4-D32	4+2-D32	4+2-D32	4-D32
		下端筋	4-D32	4-D32	4-D32	4+1-D32	4-D32
9	33	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+1-D35	4-D35	5+1-D35	5+2-D35	4-D35
		下端筋	5-D35	4-D35	5-D35	5+1-D35	4-D35
8	36	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+1-D35	4-D35	5+1-D35	5+2-D35	4-D35
		下端筋	5-D35	4-D35	5-D35	5+1-D35	4-D35
7	36	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+2-D35	4-D35	5+2-D35	5+2-D35	4-D35
		下端筋	5-D35	4-D35	5-D35	5+1-D35	4-D35
6	42	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+2-D38	4-D38	5+2-D38	5+2-D38	4-D38
		下端筋	5-D38	4-D38	5-D38	5+1-D38	4-D38
5	42	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+2-D38	4-D38	5+2-D38	5+2-D38	4-D38
		下端筋	5-D38	4-D38	5+1-D38	5+2-D38	4-D38
4	48	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+2-D38	5-D38	5+3-D38	5+3-D38	5-D38
		下端筋	5+2-D38	5-D38	5+3-D38	5+3-D38	5-D38
3	48	$b\times D$(mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+3-D38	5-D38	5+3-D38	5+3-D38	5-D38
		下端筋	5+3-D38	5-D38	5+3-D38	5+3-D38	5-D38
2	48	$b\times D$(mm)	700×1,000			700×1,000	
		上端筋	5+3-D38	5-D38	5+4-D38	5+4-D38	5-D38
		下端筋	5+3-D38	5-D38	5+3-D38	5+3-D38	5-D38
1	42	$b\times D$(mm)	700×2,500			700×2,500	
		上端筋	5-D32	5-D32	5-D32	5-D32	5-D32
		下端筋	5-D32	5-D32	5-D32	5-D32	5-D32

(b) 張間（Y）方向梁

層	位置	G11，G12	
		端部	中央
R	$b\times D$(mm)	400×700	
	上端筋	3-D22	3-D22
	下端筋	3-D22	3-D22
12～2	$b\times D$(mm)	400×600	
	上端筋	3-D22	3-D22
	下端筋	3-D22	3-D22
1	$b\times D$(mm)	600×1,500	
	上端筋	4-D32	4-D32
	下端筋	4-D32	4-D32

⦿梁断面リスト

梁断面リストを**表3**に示す。桁行（X）方向の梁主筋定着は，R層と1層L形接合部内，2～12層ト形接合部内および5～10層十字形接合部内で行われる。

すなわち，G1，G3内端とG2，G4端部の梁主筋本数が異なる2，6通りの5～10層十字形接合部内では，梁主筋定着部が配置される。

⦿柱断面リスト

柱断面リストを**表4**に示す。柱主筋定着は，R層と1層L形，T形接合部内および11層と9層ト形，十字形接合部内で行われる。すなわち，柱梁接合部の柱主筋本数が異なる11層と9層ト形，十字形接合部内では，柱主筋定着部が配置される。

⦿増分解析概要

①桁行（X）方向の純ラーメンA，B通り架構では，1階柱脚部および2層梁端部に降伏ヒンジが発生するとし，D_S値＝0.3を直接入力し，必要保有水平耐力を算定した。

また，保有水平耐力計算の危険断面位置は柱面および梁面とした。

②D_S値算定時のA通り架構ヒンジ図を，**図2**に示す。この場合，3～10階梁端部で，おおむね降伏ヒンジが発生したことで，桁行（X）方向の保有水平耐力が決定し，保有水平耐力/必要保有水平耐力は1.00となった。

表4　柱断面リスト

階	F_c (N/mm^2)	位置	C1，C3	C2，C4
12	27	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×650	
		主筋	12-D29	12-D29
11	30	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×650	
		主筋	12-D29	12-D29
10	30	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×850	
		主筋	14-D29	14-D29
9	33	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×850	
		主筋	14-D32	14-D32
8	33	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D32	16-D32
7	36	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D32	16-D32
6	36	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D35	16-D35
5	42	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D35	16-D35
4	42	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D35	16-D35
3 2	48	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D35	16-D35
1	48	$D_x\times D_y$ (mm)	1,000×1,000	
		主筋	16-D35	16-D35

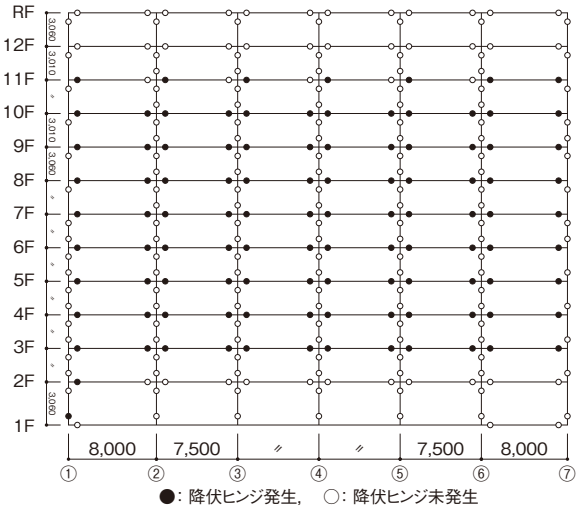


図2　D_S値算定時のA通り架構ヒンジ図（左加力）

また，桁行（X）方向梁，柱横補強筋は，すべて785N/mm²級高強度せん断補強筋とし，D_S値＝0.3到達まで，梁，柱および柱梁接合部は，それぞれせん断破壊を起こさないことを確認した。

なお，A，B通り架構1階と2階柱断面は，同柱が接続する十字形接合部のせん断検定で決定した。

③張間（Y）方向は，各通りともに耐震壁架構であり，せん断破壊型としてD_S値＝0.55を直接入力し，必要保有水平耐力を算定した。また，保有水平耐力/必要保有水平耐力は1.28となることを確認した。

検定結果

⦿X方向A，B通り架構接合部内の梁主筋定着

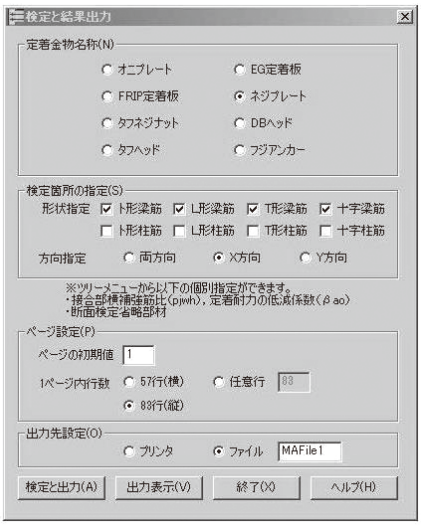
【検定例1】

X方向A，B通り架構接合部内の梁主筋定着は，前述のように，R層と1層L形接合部内，2～12層ト形接合部内およびG1，G3内端とG2，G4端部の梁主筋本数が異なる5～10層の2通りと6通りの十字形接合部内で行われる。

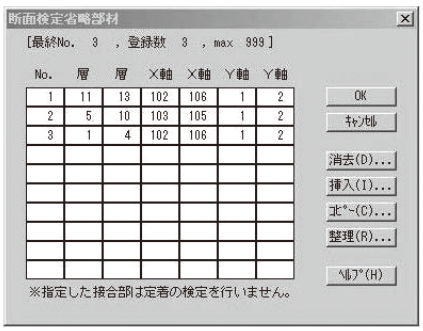
この場合，**図3(a)**の「検定と結果出力」画面で検定箇所の指定（形状指定と方向指定）を行い，**図3(b)**の「断面検定省略部材」を指定すると，**図4**の検定結果が得られる。これによると，X方向A，B通り架構の梁主筋定着部は，

「不足：0　不適：0　不可：0　要形状確認：0」であり，すべて判定条件を満足する。

表5に，X方向A，B通り架構L形，ト形接合部内



(a)「検定と結果出力」画面



(b)「断面検定省略部材」画面

図3　検定例1の検定条件

の梁主筋定着検定のEXCELによる検算結果を示す。本検定例では，梁主筋定着長さl_{ag}はすべて（3/4）D_cで決まる。D_cは柱せいを示す。同表中の梁上下主筋の重心間距離j_{tg}は，SS3本体の梁上下主筋の位置データを用い，本プログラム内で計算される。また，同表中，基礎梁と接続する最下層（1層）L形接合部の接合部横補強筋比p_{jwh}は，SABTEC指針14.1節[1)]に従い0.2%としている。

なお，図3（b）の「断面検定省略部材」の位置情報は，SS3の表記方法に従い記載されている。

⦿X方向A，B通り架構接合部内の柱主筋定着

【検定例2】

X方向A，B通り架構接合部内の柱主筋定着は，前述のように，R層と1層L形，T形接合部内および11層と9層ト形，十字形接合部内で行われる。

この場合，**図5(a)**の「検定と結果出力」画面で検定箇所の指定（形状指定と方向指定）を行い，**図5(b)**の「断面検定省略部材」を指定すると，検定結果が

(梁判定結果の集計)
不足：0　不適：0　不可：0　要形状確認：0

層	Y軸	X軸	F_c	方向	形状		梁符号		σ_{sy}	d_b	p_{jwh}	被覆率	β_{ao}	D_{jg}	l_{ao}	C_b	l_{ag}	D_c	判定	n_h
RF	A	1	27.0	〈X〉	L形	右側	13G1L	上端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	6
								下端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	
RF	A	7	27.0	〈X〉	L形	左側	13G1R	上端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	6
								下端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	
RF	B	1	27.0	〈X〉	L形	右側	13G3L	上端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	6
								下端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	
RF	B	7	27.0	〈X〉	L形	右側	13G3R	上端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	6
								下端	429	29	0.30%	33%	0.8	50	385	87	750	1,000	○	
12F	A	1	30.0	〈X〉	ト形	右側	12G1L	上端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	4
								下端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	
12F	A	7	30.0	〈X〉	ト形	左側	12G1R	上端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	4
								下端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	
12F	B	1	30.0	〈X〉	ト形	右側	12G3L	上端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	4
								下端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	
12F	B	7	30.0	〈X〉	ト形	左側	12G3R	上端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	4
								下端	490	32	0.20%	28%	0.8	47	548	96	750	1,000	○	

図4　検定例1の検定結果（抜粋）

表5　検定例1の梁主筋検定のEXCELによる検算結果

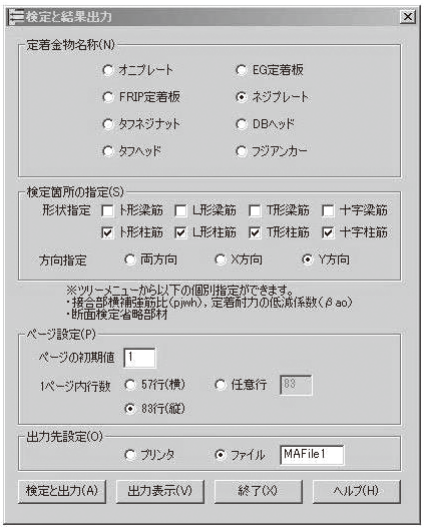
層	形状	D_g (mm)	D_c (mm)	F_c (N/mm²)	σ_{sy} (N/mm²)	d_b (mm)	p_{jwh}	β_{ao}	j_{tg} (mm)	D_{jg}	k_5	k_6	σ_{auo} (N/mm²)	S_a	l_{ao} (mm)	nd_b (mm)	(3/4) D_c (mm)	l_{ag} (mm)	C_b (mm)	判定
R	L形	850	1,000	27	429	29	0.30%	0.8	655	50	0.94	0.95	102.5	−33.5	385	464	750	750	87	○
12	ト形	850	1,000	30	490	32	0.20%	0.8	640	47	0.93	0.91	106.5	−47.9	548	384	750	750	96	○
11	ト形	850	1,000	30	490	32	0.20%	0.8	623	47	0.93	0.91	106.5	−47.9	540	384	750	750	96	○
10	ト形	850	1,000	33	490	32	0.20%	0.8	612	46	0.93	0.96	110.1	−39.6	453	384	750	750	96	○
3	ト形	900	1,000	48	490	38	0.20%	0.8	600	42	0.93	1.00	124.5	−24.8	319	456	750	750	114	○
2	ト形	1,000	1,000	48	490	38	0.20%	0.8	700	46	0.93	1.00	124.5	−24.8	347	456	750	750	114	○
1	L形	2,500	1,000	42	490	32	0.20%	0.8	2,270	107	0.93	1.00	119.4	−28.3	555	512	750	750	96	○

D_g：梁せい，D_c：柱せい，F_c：コンクリート設計基準強度，σ_{sy}：主筋降伏強度，d_b：呼び名の値
p_{jwh}：接合部横強筋比，β_{ao}：定着耐力の低減係数，j_{tg}：梁上下主筋の重心間距離
n：鉄筋径倍数，（L形接合部）$n=16$，（ト形接合部）$n=12$

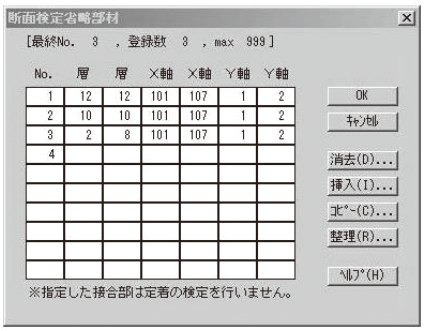
$$D_{jg}=1.17(j_{tg}/d_b)+24,\quad k_5=0.9+12.5p_{jwh}\leqq 1,\quad k_6=\min(1.31-0.0125d_b,1)\cdot\max(0.49+0.017F_c,1)\leqq 1$$

$$\sigma_{auo}=\beta_{ao}\cdot(31.2F_c^{-0.5}-1.26)\cdot F_c,\quad S_a=56-19\sigma_{sy}/(k_5\cdot k_6\cdot\sigma_{auo}),\quad l_{ao}=(\sqrt{D_{jg}^2-2(j_{tg}/d_b)\cdot S_a}-D_{jg})\cdot d_b$$

（梁主筋定着長さ）ト形接合部：$l_{ag}=\max(l_{ao},12d_b,(3/4)D_c)$，L形接合部（上端筋）：$l_{ag}=\max(l_{ao},16d_b,(3/4)D_c)$
（背面かぶり厚さ）$C_b=4d_b$（$l_{ag}<15d_b$の場合），$3d_b$（$l_{ag}\geqq 15d_b$の場合）　（判定条件）$D_c\geqq C_b+l_{ag}$



(a)「検定と結果出力」画面



(b)「断面検定省略部材」画面

図5　検定例2の検定条件

得られる。これによると，X方向A，B通り架構の柱主筋定着部は，

「不足：0　不適：0　不可：0　要形状確認：0」であり，すべて判定条件を満足する。

⊙Y方向①～⑦通り架構L形，ト形接合部内柱主筋定着【検定例3】

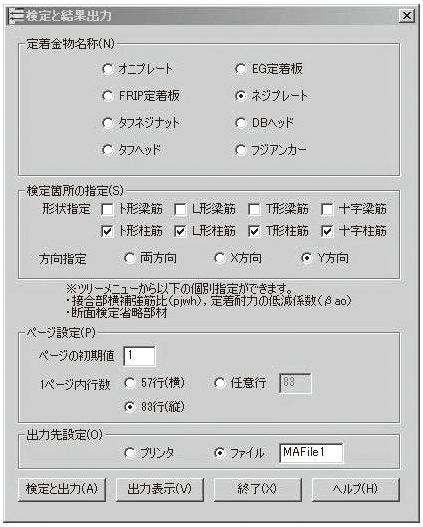
表3(b)のように，Y方向耐震壁架構のR～2層付帯梁主筋（D22）定着の検定結果は，すべて判定条件を満足する。

一方，Y方向1～7通り架構のR層と1層L形接合部内および2～12層ト形接合部内柱主筋定着の場合，**図6(a)**の「検定と結果出力」画面で検定箇所の指定（形状指定と方向指定）を行い，**図6(b)**の「断面検定

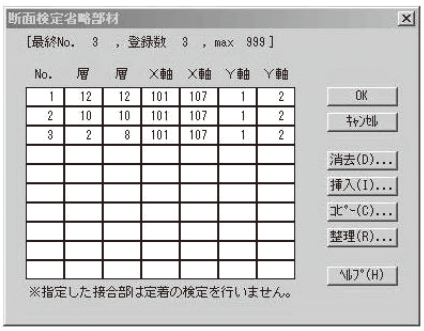
省略部材」を指定すると，**図7**の検定結果が得られる。これによると，

「不足：14　不適：0　不可：0　要形状確認：0」となり，9層ト形接合部内柱主筋定着がすべて判定条件を満足しない。

これは，9層Y方向梁せい（600mm）がX方向梁せい（900mm）よりも小さいこと，ならびにY方向耐震壁架構の柱梁接合部内柱主筋定着について，SABTEC指針8.2節[1]の緩和規定を考慮せず検定を行っていることに起因すると考えられる。



(a)「検定と結果出力」画面



(b)「断面検定省略部材」画面

図6　検定例3の検定条件

柱主筋定着長さl_{ac}は，緩和規定なしでは$16d_b$以上，緩和規定ありでは$12d_b$以上としている。d_bは柱主筋呼び名の値（直径）を示す。

ただし，1，7通り外側架構のト形接合部は片側直交梁付き（$\beta_{ao}=0.8$），2～6通り内側架構のト形接合部は両側直交梁付き（$\beta_{ao}=1.0$）であるので，緩和規定ありとしても，柱主筋定着長さl_{ac}は判定条件を満足しない。β_{ao}は，両側直交梁の有無による定着耐力の低減係数を示す。

上記の点を解消するためには，SABTEC指針[1]に基づき，柱梁接合部全体が接合部コアを形成するように配筋詳細設計を行い，柱主筋定着耐力を高める必要がある。

あとがき

本稿では，機械式定着工法の検定計算の省力化を意図して開発されたSABTEC機械式定着工法SS3組込プログラムを用いた試設計建物の梁，柱主筋検定例について紹介した。

今後，本プログラムの適用事例を増やすとともに，本プログラムの使い勝手の観点からの改善点についても検討したい。

（ますお　きよし）

【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 設計指針（2014年），2014年6月

2)（一社）建築構造技術支援機構：SABTEC機械式定着工法 デザインマニュアル（2014年），2014年6月

3) 益尾潔：建築技術連載SABTEC機械式定着工法SS3組込プログラム第1回プログラム概要，建築技術2015年12月号，pp.50-54

（柱判定結果の集計）
不足：14　不適：0　不可：0　要形状確認：0

層	Y軸	X軸	F_c	方向	形状	柱符号	e	σ_{sy}	d_b	p_{jweh}	被覆率	β_{ao}	D_{jc}	l_{ao}	C_b	l_{ac}	D_g	判定	n_h
RF	A	1	27.0	Y	L形	12C1	0	429	29	0.30%	92%	0.8	43	361	87	525	700	○	7
RF	A	2	27.0	Y	L形	12C2	0	429	29	0.20%	92%	1.0	43	191	87	525	700	○	5
RF	A	3	27.0	Y	L形	12C2	0	429	29	0.20%	92%	1.0	43	191	87	525	700	○	5
RF	A	4	27.0	Y	L形	12C2	0	429	29	0.20%	92%	1.0	43	191	87	525	700	○	5
RF	A	5	27.0	Y	L形	12C2	0	429	29	0.20%	92%	1.0	43	191	87	525	700	○	5
9F	A	1	33.0	Y	ト形	8C1	150	490	32	0.20%	82%	0.8	54	556	96	556	600	不足	－
9F	A	2	33.0	Y	ト形	8C2	150	490	32	0.20%	82%	1.0	54	316	96	512	600	不足	－
9F	A	3	33.0	Y	ト形	8C2	150	490	32	0.20%	82%	1.0	54	316	96	512	600	不足	－
9F	A	4	33.0	Y	ト形	8C2	150	490	32	0.20%	82%	1.0	54	316	96	512	600	不足	－

図7　検定例3の検定結果（抜粋）