

キョウエイリングSD490～785組込 プログラムと溶接せん断補強筋

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

本連載第3回では、SABTEC指針（2023年）¹⁾の適用範囲SD490、685N/mm²級、785N/mm²級高強度せん断補強筋に準拠したキョウエイリングSD490～785組込プログラムがリリースされたことより、本組込プログラムの概要について紹介するとともに、高強度せん断補強筋に係わる溶接せん断補強筋のA級継手性能に関するSABTEC技術評価²⁾について紹介する。

◎SD490せん断補強筋を用いた梁、柱の諸性能

1) 梁の損傷短期許容せん断耐力

SABTEC指針（2023年）¹⁾関連資料1では、キョウエイリングSD490を横補強筋としたRC梁の損傷短期許容せん断力については、685N/mm²級および

表1 キョウエイリングSD490を用いた梁の実験計画¹⁾

試験体	F _c (N/mm ²)	梁主筋		横補強筋			
		主筋 (ρ _t)	鋼種	配筋	ρ _w (%)	鋼種	形式
KB490-30-H	30	4+2-D19 (1.44%)	SD 390	2-D10 @100	0.47	SD 490	135°フック
KB490-30-C							キャップタイ
KB490-60-H	60		SD 490				135°フック
KB490-60-C							キャップタイ

(部材寸法) 内法スパン長L=1,200mm (L/D=3.0)、梁幅、せいB×D=300mm×400mm、F_c:コンクリートの目標圧縮強度、ρ_t:横補強筋比、ρ_w:横補強筋比、キャップタイ:両側スラブ付き

表2 キョウエイリングSD490と785N/mm²級横補強筋を用いた長方形断面柱の実験計画¹⁾

試験体	F _c (N/mm ²)	N/ σ _b bD	横補強筋				鋼種			
			配筋	ρ _{wx} (%)	ρ _{wy} (%)	ρ _s (%)				
KC490-4+2	30	0.5	4+2-D10@80	1.18		0.44	1.89	SD 490		
KC490-4+3			4+3-D10@80						0.67	2.14
KC490-4+4			4+4-D10@80						0.89	2.39
KC785-4+2			4+2-D10@80					0.44	1.89	785 級
KC785-4+3			4+3-D10@80					0.67	2.14	
KC785-4+4			4+4-D10@80					0.89	2.39	

F_c:コンクリートの目標圧縮強度、σ_b:コンクリートの実圧縮強度、N:軸力、ρ_{wx}、ρ_{wy}:加力平行方向および直交方向の横補強筋比、ρ_s:横補強筋体積比、(全試験体共通)柱断面b×D=300mm×400mm、内法高さH=1,200mm(H/D=3)、柱主筋:14-D19(SD345)、柱主筋比:ρ_g=3.35%、b:柱幅、D:柱せい

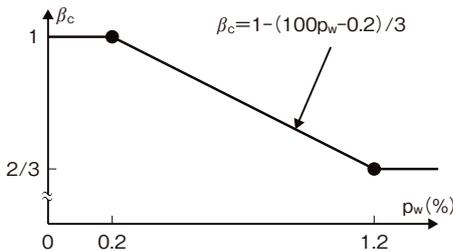


図1 梁横補強筋の補正係数β_c¹⁾

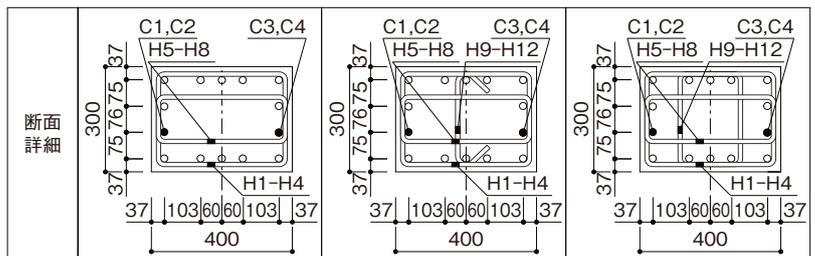


図2 長方形断面柱の形状寸法¹⁾

785N/mm²級高強度せん断補強筋と同様、SABTEC指針（2023年）4.2.2短期許容せん断力による梁横補強筋の補正係数β_c（図1）を用いた設計式の妥当性、ならびに表1の実験によって短期許容引張応力度を490N/mm²とすることの妥当性を確認している。

2) 高圧縮軸力下の長方形断面柱の曲げ変形性能

SABTEC指針（2023年）¹⁾関連資料2では、表2および図2の実験によって、SD490と785N/mm²級横補強筋の直交方向中子筋本数が高圧縮軸力下での曲げ降伏後の変形性能に及ぼす影響を確認している。

正負繰返し荷重によるQ_c/Q_{fu}-R関係正加力時包絡線を図3に示す。Q_cは作用せん断力、Q_{fu}は平面保持假定による曲げ終局耐力時せん断力である。

同図によると、SD490、785N/mm²級横補強筋ともに、最大耐力以降、横補強筋配置を4+2と4+3とした試験体では材端部かぶりコンクリートの剥落に伴い、横補強筋で拘束されない柱主筋が湾曲し始めるのに対し、4+4とした試験体では、実験終了まで材端部かぶりコンクリートの顕著な剥落や柱主筋の湾曲が観察されず、変形性能が向上した。

◎キョウエイリングSD490～785組込プログラム

1) SABTEC技術評価取得の組込プログラム

本連載第1回³⁾で紹介したSABTEC技術評価取得組込プログラムは、8社開発高強度せん断補強筋11種類を適用対象としている。その中で、キョウエイリングSD490～785組込プログラムは、NBUS-7(構造システム)が2023年11月リリース、BUILD.一貫VI(構造ソフト)が2024年3月リリース、SS7(ユニオンシステム)が2024年9月リリース予定である。

2) 適用例

本組込プログラムの適用例では、SABTEC機械式定着工法BUILD.一貫VI組込プログラム取扱説明書(2022年)⁴⁾の適用例と同じ図4の12階板状共同住宅・ラーメン架構を適用架構とし、材料諸元を表3に示している。

X方向梁主筋定着は、A、B通架構各層外端接合部内および5層～10層の左右端部で主筋本数が異なる十字形接合部内で行われ、Y方向梁主筋定着は、1、3、5、7通架構各層外端接合部内で行われる。また、柱主筋定着は、R層と1層L形、T形接合部

内および上下階で主筋本数が異なる11層、9層と4層のT形、十字形接合部内で行われる。

3) 検討結果

D_s 算定用のA通架構ヒンジ図を図5、A通架構の増分解析による層せん断力 Q —各層重心位置の層間変形角 R 関係を図6に示す。

図5のヒンジ図と図6の Q — R 関係は685N/mm²級高強度せん断補強筋を用いた場合であり、弾塑性増分解析では、各架構の柱面と梁面を保有水平耐力計算での危険断面位置とし、X方向A通、B通架構では1F柱脚部と2F梁端部に降伏ヒンジの発生を仮定し、 $D_s=0.3$ を直接入力が必要保有水平耐力を決定している。

解析結果では、おおむね3層～11層梁端部の降伏ヒンジの発生で、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1.04となった。

ここで、X方向梁断面リストを表4、柱断面リストを表5、X方向梁(G2、G4)およびX方向柱(C2、C4)の横補強筋比 p_w 分布を図7に示す。

表4のX方向梁断面リストによると、6層目より最上

表3 柱、梁の材料諸元

(a) コンクリート設計基準強度

R	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
F_c	27	30	33	36	36	42						48

(b) 主筋の鋼種と呼び名

部位	鋼種	呼び名
柱、梁主筋	SD345	D22
	SD390	D29
	SD490	D32,D35,D38

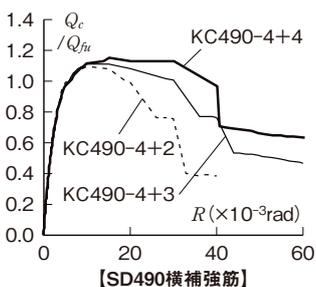
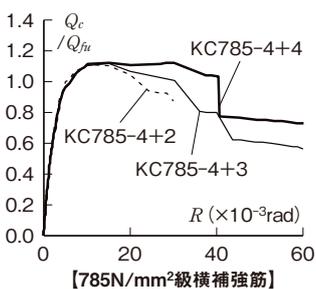


図3 SD490と785N/mm²級横補強筋の Q_c/Q_{fu} - R 関係正加力時包絡線¹⁾

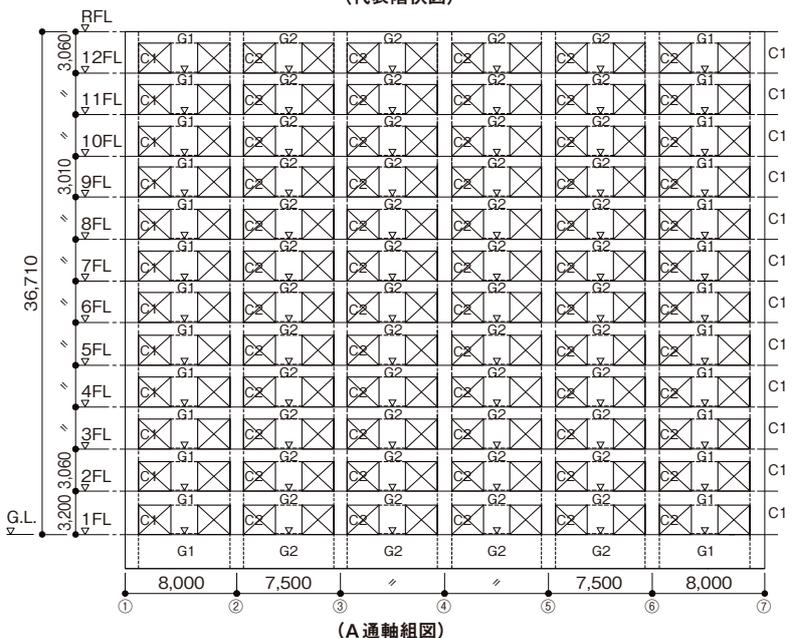
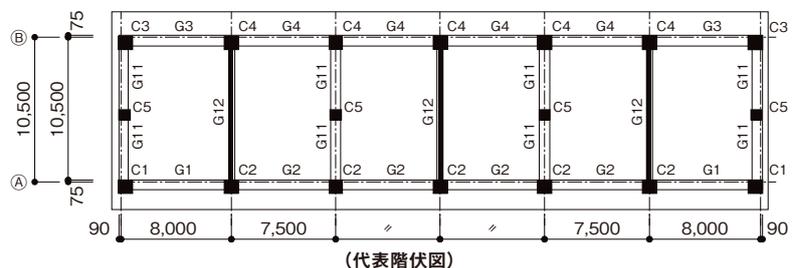


図4 適用架構

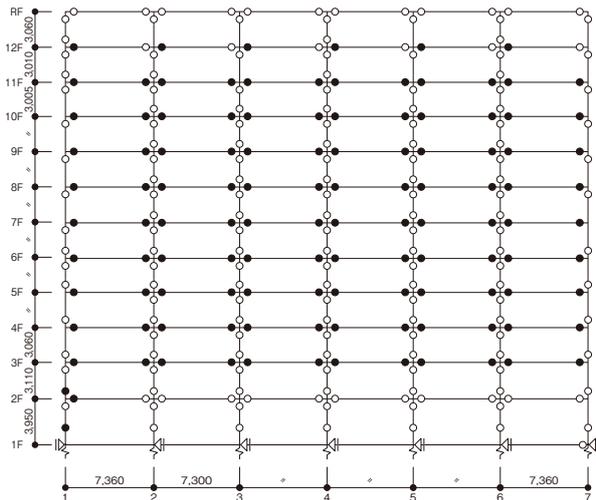


図5 D_s算定用のA通架構ヒンジ図 (X方向正加力)

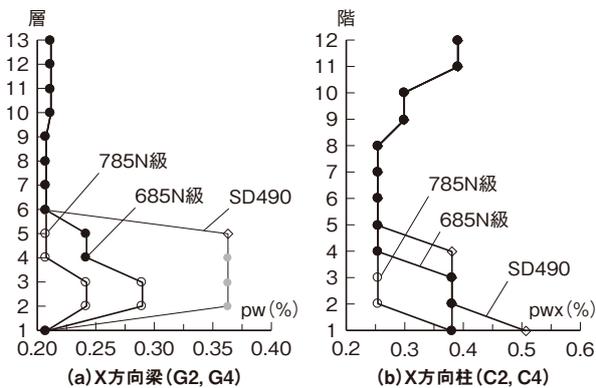


図7 横補強筋比 p_w 分布

層側ではせん断耐力に余裕があるため、図7 (a) に示すように、SD490、685N級、785N級ともに、X方向梁 (G2、G4) の横補強筋比 p_w は0.2%となっている。また、表5の柱断面リストによると、9階～12階では、柱幅を下階柱よりも絞り、横補強筋間隔を100mmとしているため、図7 (b) に示すように、SD490、685N級、785N級ともに、X方向柱 (C2、C4) の横補強筋比 p_w は、0.25～0.4%に増加している。

これらの点を考慮し、断面諸元に応じた適切な鋼種の横補強筋を選択することで、梁、柱の横補強筋量をバランスよく配置することができる。

◎溶接せん断補強筋のSABTEC技術評価

SABTEC技術評価²⁾では、表6の溶接せん断補強筋 (共通) 標準製造要領書を基に、溶接せん断補強筋の製造条件を踏まえ、告示 (平12建告第1463号) による判定基準^{注1)}と照らし合わせ、溶接せん断補強筋のA級鉄筋継手性能を判定している。SABTEC技術評価を取得した溶接せん断補強筋を表7に示す。

溶接せん断補強筋の基本事項として、本要領書11.4節では、図8に示すように、基本検知試験とする

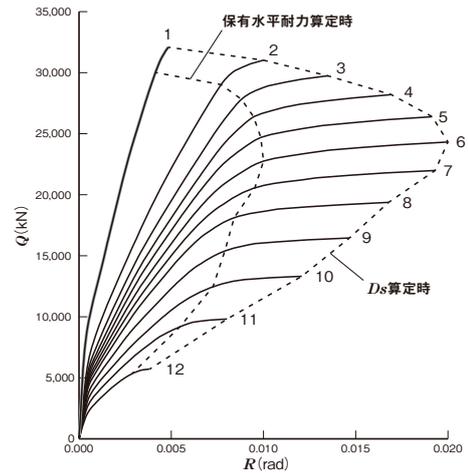


図6 A通架構の増分解析による層せん断力 Q —各層重心位置の層間変形角関係 (X方向正加力)

か、または既往溶接条件を基に標準溶接条件を変更する場合、簡易検知試験を行うことにしている。同図中、○は周辺溶接条件、●は標準溶接条件であり、周辺溶接条件、標準溶接条件ともに、A級継手判定条件を満足しなければならない。なお、同図の横方向と縦方向の制御因子は、溶接機によって異なる。

当機構では、本要領書11.3節の溶接条件確認試験に際し、試験データ整理EXCELプログラムを申込者に提供し、EXCELプログラムに入力した試験データを提出してもらっている。このEXCELプログラムによると、表8に示すように、溶接せん断補強筋の統計値が即座に表示される。

表8は、SD345溶接せん断補強筋D13の基本検知試験結果例であり、1号機から4号機の溶接機4台で製造した溶接せん断補強筋の降伏点、引張強さ、伸び、アプセット溶接膨らみ径 ϕ 、溶接点からの破断位置 l_t の統計値を示している。その結果、試験データが判定基準を満足するか、否かを判別できる。もし、入力ミスなどによって試験データに異常値があれば判別でき、的確に試験データを検証することができる。

◎おわりに

本連載第3回では、SABTEC指針 (2023年)¹⁾に準拠したキョウエイリングSD490～785組込プログラムの概要について紹介した。本組込プログラムによると、高強度せん断補強筋を用いたせん断設計の自由度が向上する。また、高強度せん断補強筋に係わる溶接せん断補強筋のA級継手性能に関するSABTEC技術評価²⁾について紹介した。

(ますお きよし)

表5 柱断面リスト

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

表6 溶接せん断補強筋 (共通) 標準製造要領書・目次

1章 総則	5章 結束・表示・出荷
2章 品質管理	6章 製造・検査・試験記録の保管
2.1 品質保証	7章 報告
2.2 技術講習	8章 苦情処理
2.3 定期監査	9章 溶接せん断補強筋標準製造工程
2.4 品質管理記録の保管	10章 溶接機一覧
3章 製品規格	11章 溶接せん断補強筋検証試験要領
3.1 材料	11.1 総則
3.2 製品寸法および許容差	11.2 基本事項
3.3 溶接部の規格	11.3 溶接条件確認試験
4章 製造・検査・試験	11.4 溶接せん断補強筋の溶接条件
4.1 材料受入れ	(1) 検知試験の溶接条件パターン
4.2 切断加工	(a) 基本検知試験
4.3 曲げ加工	(b) 簡易検知試験
4.4 溶接加工	(2) 標準溶接条件の中央値
4.5 溶接強度試験	(3) 検知試験・溶接条件の上下限値
4.6 製品検査	

表7 SABTEC 技術評価取得の溶接せん断補強筋

商品名	申込者・工場	鋼種	評価番号	評価日
キョウエイリング 295~490	共英加工販売	SD295~SD490	SABTEC評価23-03	2024年3月28日
キョウエイリング785	共英加工販売	785N/mm ² 級	SABTEC評価23-01	2023年7月31日
リバーボン785	JFE条鋼・豊平製造所 北豊鋼材	785N/mm ² 級	SABTEC評価22-01	2022年6月24日
TSリング	北豊鋼材	SD295,SD345	SABTEC評価21-03	2022年3月11日
HKリング490	共英製鋼 共英加工販売 長谷工コーポレーション	SD490	SABTEC評価21-02	2021年10月8日
キョウエイリング685	共英加工販売	685N/mm ² 級	SABTEC評価20-02	2021年1月22日
TWリング	富田興業	SD295,SD345	SABTEC評価18-02	2019年3月29日
Jフープ785	JFE条鋼 藤工業	785N/mm ² 級	SABTEC評価16-08	2016年12月2日
パワーリング685	東京鉄鋼 清水鋼鐵	685N/mm ² 級	SABTEC評価16-03	2016年7月26日
パワーリング685	東京鉄鋼 エスパーフープ工業会	685N/mm ² 級	SABTEC評価16-01	2016年6月2日
パワーリング685	東京鉄鋼 OEM工場	685N/mm ² 級	SABTEC評価15-05	2016年3月31日
Jフープ785	JFE条鋼 富田興業	785N/mm ² 級	SABTEC評価15-04R1	2023年9月22日

【参考文献】

- (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 (2023年)，(関連資料1) 電炉・高強度せん断補強筋を用いたRC梁の損傷短期許容せん断力時せん断ひび割れ幅，(関連資料2) SD490，685N/mm²，785N/mm²級横補強筋を用いた高圧縮軸力下の

表4 X方向梁断面リスト

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×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×D (mm)	600×850			600×850	
		上端筋	3-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×D (mm)	600×850			600×850	
		上端筋	4-D32	3-D32	4+1-D32	4+1-D32	3-D32
		下端筋	4-D32	4-D32	4-D32	4-D32	3-D32
10	33	b×D (mm)	600×850			600×850	
		上端筋	4+1-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×D (mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5-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×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×D (mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+1-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×D (mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+1-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×D (mm)	700×900			700×900	
		上端筋	5+1-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×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×D (mm)	700×900			700×900	
		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+4-D38	5+3-D38	5-D38
2	48	b×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×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

強加圧時間	熱制御目盛						強加圧時間	熱制御目盛					
	下限2		下限1		上限2			下限2		下限1		上限1	
	下	上	下	上	下	上		下	上	下	上	下	上
下限2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
下限1	○	●	○	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
中央値	○	●	●	●	○	○	○	○	○	○	○	○	
上限1	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
上限2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	

(a) 基本検知試験

(b) 簡易検知試験

図8 検知試験の溶接条件パターン

表8 SD345溶接せん断補強筋D13の基本検知試験結果例

溶接機	試験片数	降伏点 (N/mm ²)			引張強さ (N/mm ²)			伸び (%)		φ s/d		Lt/d (A,B,C破断)	
		max	min	COV	max	min	COV	max	min	max	min		
1号機	125	381	362	1.0%	539	530	0.3%	-	-	1.9	1.7	9.3	6.0
2号機	125	384	363	1.0%	539	533	0.3%	-	-	1.9	1.7	8.9	5.5
3号機	125	384	357	1.0%	539	531	0.3%	-	-	1.9	1.7	8.2	5.3
4号機	125	382	365	1.0%	538	531	0.3%	26.0	26.0	1.9	1.8	8.2	4.9
判定基準		345~440			490以上			18以上		1.4~2.2		1.0以上	

RC長方形断面柱の曲げ変形性能，2023年8月

2) (一社) 建築構造技術支援機構HP：新工法のご紹介「溶接せん断補強筋」

https://sabtec.or.jp/method_welding.php

3) 益尾潔：(連載) SABTEC高強度せん断補強筋設計施工指針 (2023年) 第1回 SABTEC指針 (2023年) の概要，建築技術2024年1月号，pp.48~49

4) 益尾潔：(連載) SABTEC機械式定着工法 BUILD. 一貫VI組込プログラム (2022年)，第2回接合部せん断力検定と接合部横補強筋比検定およびプログラム適用例，建築技術2023年3月号，pp.50~53

【注】

1) 2020年版建築物の構造関係技術基準解説書に記載の建設省告示第1463号 (平成12年5月31日) に基づくA級継手性能