

報告 ステンレス鉄筋を継いだモルタル充填式継手の性能

虻川 真大*¹・緒方 努*²・阿瀬 正明*³

要旨：耐食性に優れたステンレス鋼材の特性を活かした「鉄筋コンクリート用ステンレス棒鋼」が JIS 化されたことから、このステンレス鉄筋を「モルタル充填式継手」で継いだ場合の継手性能について、弾性域・塑性域正負繰返し試験ならびに高応力繰返し試験を実施して確認した。SUS304-SD（強度区分 295A）ならびに SUS410-SD（強度区分 295A 相当）鉄筋を継いだモルタル充填式継手の性能は、継手材質を従来の鋳鉄品からステンレス鋼鋳鋼品に変更しても、鉄筋継手性能判定基準¹⁾³⁾に示す A 級以上の性能を有することが確認された。

キーワード：ステンレス鉄筋，耐食性，モルタル充填式継手，ステンレス鋼鋳鋼品，継手性能判定基準

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の長寿命化，メンテナンスの低減が社会的に求められており，耐食性・経済性に優れたステンレス鉄筋へのニーズが高まっている。一方，機械式継手の中でも，作業者の技量や天候に左右されることなく，鉄筋銘柄や節形状を問わずに容易に接合できる「モルタル充填式継手」（図-1 参照）が，品質やコストの観点から急激な普及を示している。

本試験は，継手の材質を鋳鉄品（FCD）ならびにステンレス鋼鋳鋼品（SCS）として作製したモルタル充填式継手（D25用：S8Uスリーブ）を用いて，ステンレス鉄筋および一般鉄筋を接合した継手の諸性能について比較・検討した。

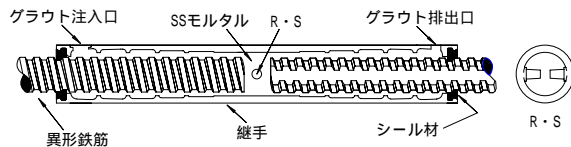


図-1 モルタル充填式継手

2. 試験計画

2.1 試験要因と水準

継手試験の要因と水準は，(1) 継手材質（水準：FCD700，SCS13A），(2) 鉄筋種類（水準：SUS304-SD295A，SUS410-SD:295A 相当，SD345）(3) グラウト圧縮強度（水準：80N/mm²，120 N/mm²）の3要因とした。試験の組合せを表-1に示す。

2.2 試験方法

試験方法を表-2に示す。「鉄筋定着・継手指針（土木学会）2007年版」の3.3項及び「建築物の構造関係技術基準解説書（2007年版）」の3.7.3項（7）鉄筋

継手性能判定基準に示す，弾・塑性域正負繰返し試験（Aシリーズ）と高応力繰返し試験/一方向繰返し試験（Bシリーズ）とした。Aシリーズ試験は，継手材質を鋳鉄品としてSA級の加力サイクルで試験を実施し，Bシリーズ試験では継手材質をステンレス鋼鋳鋼品と鋳鉄品を用いて実施し，併せて継手中央部と鉄筋のひずみも計測した。試験体寸法を表-3，図-2に示す。

表-1 試験の組合せ

シリーズ	継手材質	鉄筋種類	グラウト圧縮強度
Aシリーズ	FCD700	SUS304-SD295A	80N/mm ²
		SUS410-SD295 相当 SD345	120N/mm ² (SD345 除く)
Bシリーズ	SCS13A FCD700	SUS304-SD295A	80N/mm ²
		SUS410-SD295 相当 SD345	120N/mm ² (SD345 除く)

表-2 試験方法

シリーズ	加力サイクル
Aシリーズ	0 (0.95 yo -0.5 yo) 20 回繰返し (2 y -0.5 yo) 4 回繰返し (5 y -0.5 yo) 4 回繰返し (SA級)
Bシリーズ	0 (0.02 yo 0.95 yo) 30 回繰返し

表-3 継手各部の寸法 (mm)

継手	埋込長さ A	継手長 B	検長 C	測定検長 D
S8U	150 ~ 165	330	20	370

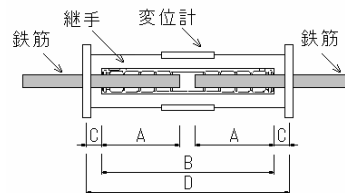


図-2 試験体寸法

*1 日本プライススリーブ(株) 研究部 部長 (正会員)

*2 日本プライススリーブ(株) 施工管理部 工修

*3 日本プライススリーブ(株) 施工管理部

3. 試験結果

3.1 継手試験結果

Aシリーズ、Bシリーズの継手試験結果を表-4、5に、継手の応力度比(接合した鉄筋の断面積:5.067mm²で除し求めた継手の応力度(f_j)を鉄筋の規格降伏点(f_{yn})で除した比率)と歪曲線(変位計で求めた継手

の歪)の代表例を図-3、4に、試験に用いた鉄筋及びグラウト材の試験結果を表-6、7に示す。また、各継手試験体と判定項目の関係を図-6~14に示す。なお、継手試験結果の判定項目の表示は、「鉄筋定着・継手指針(土木学会)2007年版」に準じた。

表-4 Aシリーズの継手試験結果(弾・塑性域正負繰返し試験)

継手材質	鉄筋	グラウト圧縮強度	No.	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	f _j /f _{yn}	剛性(×10 ⁵ N/mm ²) ¹		剛性低下率(20c/1c)	すべり量(mm) ²				伸び能力 ³		破壊形式
							E 1c	E 20c		s(1c)	s(20c)	s(4c)	s(8c)	%	u/ y	
鑄鉄品	SUS304	80 N/mm ²	1	330	561	1.90	2.75	2.09	0.76	0.05	0.06	0.26	0.33	7.5	82.1	鉄筋拔出
			2	329	571	1.94	2.60	2.02	0.78	0.07	0.09	0.26	0.33	8.8	88.0	鉄筋拔出
			3	324	566	1.92	2.54	2.00	0.79	0.07	0.09	0.19	0.29	8.1	72.4	鉄筋拔出
			平均	328	566	1.92	2.63	2.04	0.78	0.06	0.08	0.24	0.32	8.1	80.8	-
		120 N/mm ²	1	330	593	2.01	2.80	2.29	0.82	0.06	0.07	0.14	0.21	9.4	94.0	鉄筋拔出
			2	325	590	2.00	2.86	2.33	0.82	0.03	0.04	0.15	0.22	10.6	106.0	鉄筋拔出
			3	326	585	1.98	2.48	1.97	0.79	0.07	0.09	0.18	0.24	10.0	89.3	鉄筋拔出
			平均	327	589	2.00	2.71	2.20	0.81	0.05	0.07	0.16	0.22	10.0	96.4	-
	SUS410	80 N/mm ²	1	387	587	1.99	2.00	1.58	0.79	0.15	0.19	0.30	0.45	6.8	54.7	母材破断
			2	392	586	1.98	1.97	1.57	0.80	0.15	0.18	0.28	0.47	6.1	44.3	母材破断
			3	396	588	1.99	1.70	1.34	0.79	0.22	0.26	0.26	0.47	7.0	38.2	母材破断
			平均	392	587	1.99	1.89	1.50	0.79	0.17	0.21	0.28	0.46	6.6	45.7	-
		120 N/mm ²	1	407	587	1.99	2.16	1.87	0.87	0.12	0.14	0.11	0.25	7.3	53.1	母材破断
			2	409	590	2.00	2.16	1.89	0.88	0.11	0.12	0.12	0.23	6.9	47.7	母材破断
			3	411	585	1.98	2.40	2.14	0.89	0.07	0.09	0.15	0.23	6.3	48.3	母材破断
			平均	409	587	1.99	2.24	1.97	0.88	0.10	0.12	0.13	0.24	6.8	49.7	-
	SD345	80 N/mm ²	1	388	580	1.68	2.41	2.04	0.85	0.07	0.08	0.20	0.32	7.3	50.9	母材破断
			2	390	580	1.68	2.33	2.15	0.92	0.03	0.04	0.23	0.37	7.6	58.0	母材破断
			3	390	580	1.68	2.41	2.01	0.83	0.07	0.07	0.19	0.30	7.7	53.2	母材破断
			平均	389	580	1.68	2.38	2.07	0.87	0.06	0.06	0.21	0.33	7.5	54.0	-
	性能判定基準		SA級	-	-	1.35	0.9E _s	-	0.85	0.3	0.3	0.3	0.9	4.0	20	-
			A級	-	-	1.35	0.7E _s	-	0.5	0.3	0.3	0.6	-	2.0	10	-

表-5 Bシリーズの継手試験結果(高応力繰返し試験/一方向繰返し試験)

継手材質	鉄筋	グラウト圧縮強度	No.	降伏点(N/mm ²)	引張強さ(N/mm ²)	f _j /f _{yn}	剛性(×10 ⁵ N/mm ²) ¹		剛性低下率(30c/1c)	すべり量(mm) ²		伸び能力 ³		破壊形式	
							E 1c	E 30c		s(1c)	s(30c)	%	u/ y		
ステンレス鋼 鑄鉄品	SUS304	80 N/mm ²	1	304	533	1.81	3.28	2.63	0.80	0.05	0.11	7.7	72.9	鉄筋拔出	
			2	306	537	1.82	2.92	2.58	0.88	0.04	0.09	8.0	69.4	鉄筋拔出	
			3	305	534	1.81	2.42	1.77	0.73	0.11	0.22	8.3	65.4	鉄筋拔出	
			平均	305	535	1.81	2.87	2.33	0.80	0.07	0.14	8.0	69.2	-	
		120 N/mm ²	1	308	540	1.83	2.57	1.73	0.67	0.13	0.26	7.9	48.3	鉄筋拔出	
			2	306	541	1.83	3.34	2.34	0.70	0.04	0.11	8.1	64.1	鉄筋拔出	
			3	312	545	1.85	2.79	2.13	0.76	0.09	0.14	8.1	57.2	鉄筋拔出	
			平均	309	542	1.84	2.90	2.07	0.71	0.09	0.17	8.0	56.5	-	
	SUS410	80 N/mm ²	1	436	579	1.96	1.85	1.56	0.84	0.16	0.25	7.4	35.0	母材破断	
			2	457	580	1.97	2.04	1.63	0.80	0.15	0.23	7.5	38.4	母材破断	
			3	445	576	1.95	1.74	1.42	0.82	0.21	0.30	7.5	32.4	母材破断	
			平均	446	578	1.96	1.88	1.54	0.82	0.17	0.26	7.5	35.3	-	
		120 N/mm ²	1	479	577	1.96	2.19	1.79	0.82	0.13	0.19	7.9	47.1	母材破断	
			2	476	575	1.95	2.14	1.76	0.82	0.14	0.21	8.1	44.0	母材破断	
			3	459	576	1.95	1.91	1.58	0.83	0.20	0.29	7.7	40.9	母材破断	
			平均	471	576	1.95	2.08	1.71	0.82	0.16	0.23	7.9	44.0	-	
	SD345	80 N/mm ²	1	382	563	1.63	2.61	2.44	0.94	0.05	0.05	7.9	45.6	母材破断	
			2	391	562	1.63	2.75	2.42	0.88	0.04	0.06	7.3	46.3	母材破断	
			3	396	563	1.63	3.16	2.85	0.90	0.03	0.03	7.7	48.8	母材破断	
			平均	390	563	1.63	2.84	2.57	0.91	0.04	0.05	7.6	46.9	-	
	鑄鉄品	SD345	80 N/mm ²	1	388	564	1.64	2.57	2.40	0.94	0.03	0.02	7.4	44.1	母材破断
				2	387	565	1.64	2.61	2.40	0.92	0.03	0.05	6.9	42.4	母材破断
				3	387	563	1.63	2.45	2.32	0.95	0.04	0.04	7.5	47.6	母材破断
				平均	387	564	1.64	2.54	2.37	0.94	0.03	0.04	7.3	44.7	-
性能判定基準		SA級	-	-	1.35	0.9E ₀	-	0.85	0.3	0.3	4.0	20	-		
		A級	-	-	1.35	0.7E ₀	-	0.5	0.3	0.3	2.0	10	-		

- 注) 1: 剛性: 継手の静弾性係数
 2: すべり量: 継手のすべり変形
 3: 伸び能力: 継手の終局ひずみ(Aシリーズは破断時またはf_{yn}まで荷重が低下したひずみ、Bシリーズは最大荷重時の計測ひずみ。)
 u/ y: Bシリーズでは、SUS410鉄筋の降伏点が明確ではないことから、yは1.1 yo時の変位とした。
 4: 0.76はA級性能を示す。

表-6 試験に用いた材料（鉄筋）

シリーズ	鉄筋	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び率 (%)	ヤング係数 (× KN/mm ²)
A	SUS410	354	599	26.0	158
	SUS304	336	670	50.5	188
	SD345	392	582	20.9	-
B	SUS410	445	577	27.2	171
	SUS304	311	645	54.6	181
	SD345	387	562	24.3	-

表-7 試験に用いた材料（グラウト材）

グラウト材	圧縮強度 (N/mm ²)	
	Aシリーズ	Bシリーズ
80N級 (SSモルタル)	94.8	97.7
120N級 (SSモルタル120N)	137	139

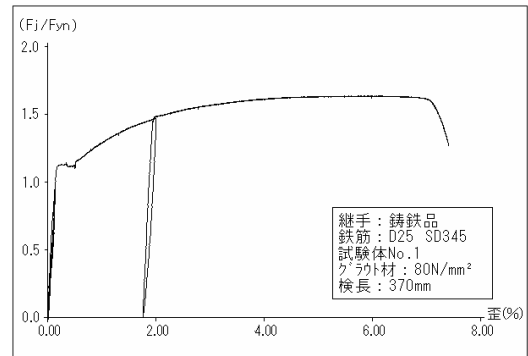
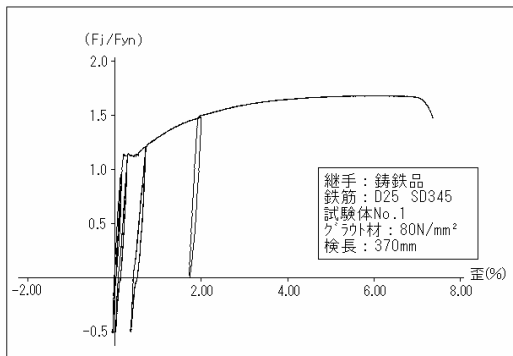
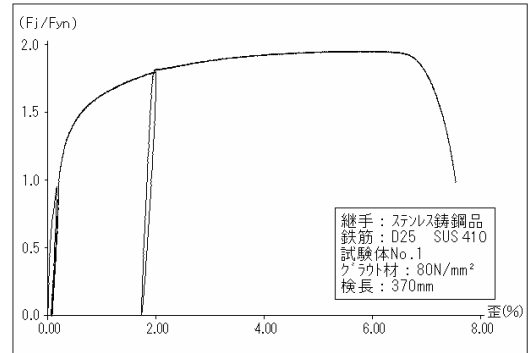
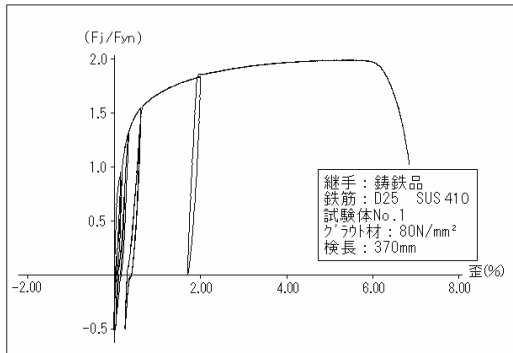
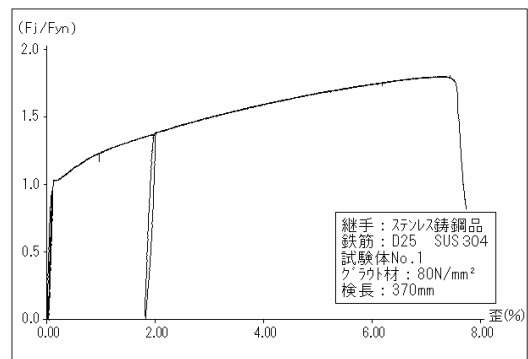
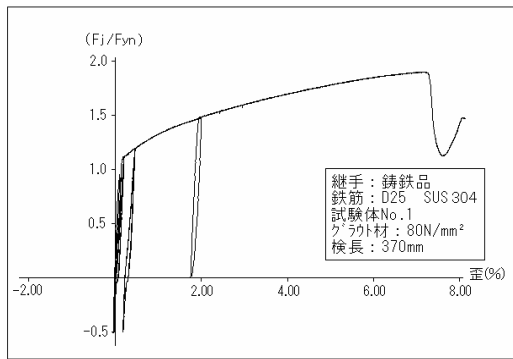


図-3 継手の応力度比 - 歪曲線 (Aシリーズ)

図-4 継手の応力度比 - 歪曲線 (Bシリーズ)

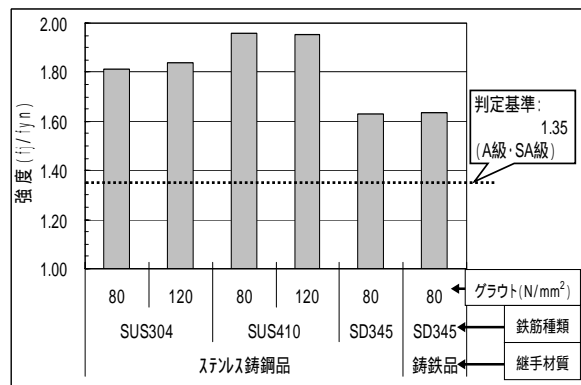
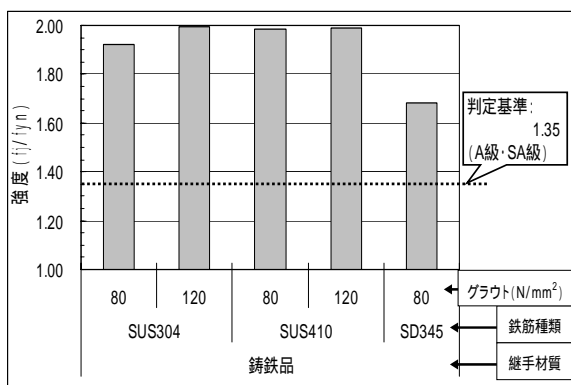


図-5 Aシリーズの各継手試験体と強度の関係

図-6 Bシリーズの各継手試験体と強度の関係

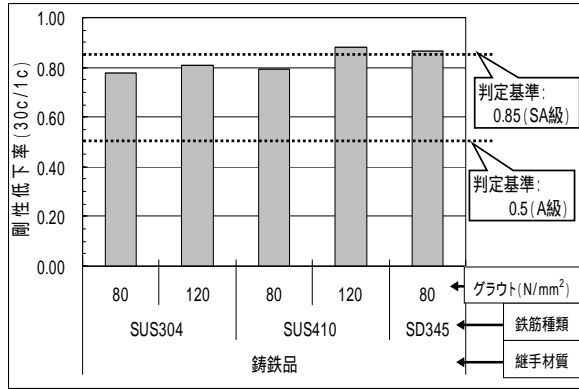


図-7 Aシリーズの各継手試験体と剛性の関係

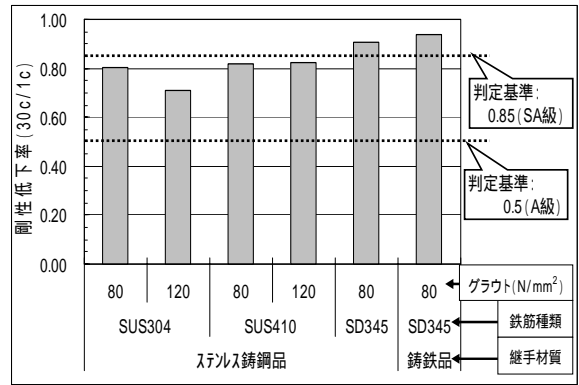


図-8 Bシリーズの各継手試験体と剛性の関係

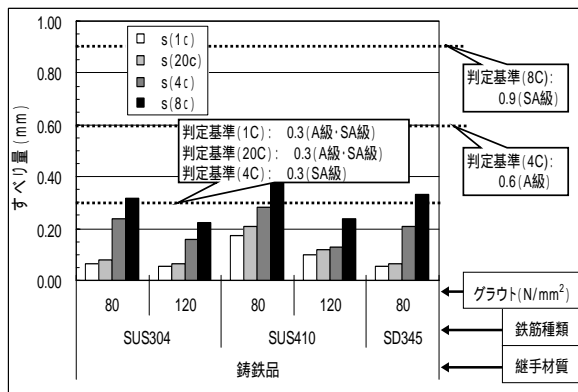


図-9 Aシリーズの各継手試験体とすべり量の関係

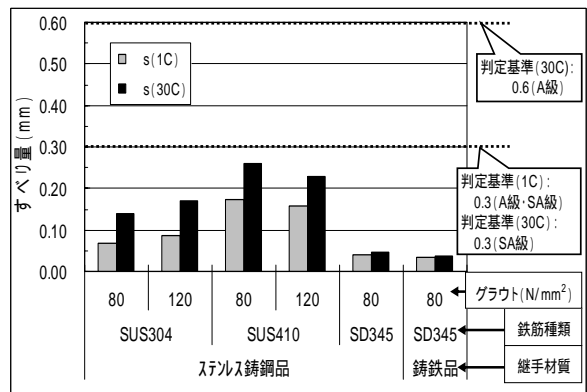


図-10 Bシリーズの各継手試験体とすべり量の関係

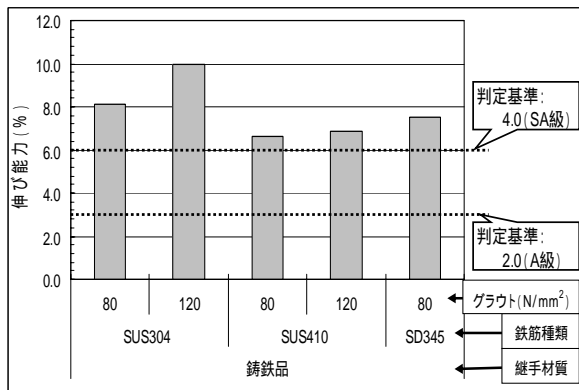


図-11 Aシリーズの各継手試験体と伸び能力の関係

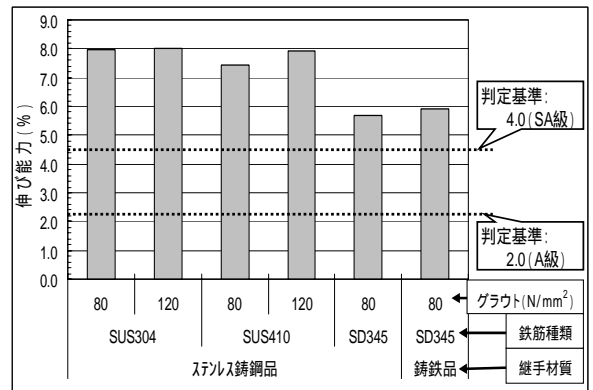


図-12 Bシリーズの各継手試験体と伸び能力の関係

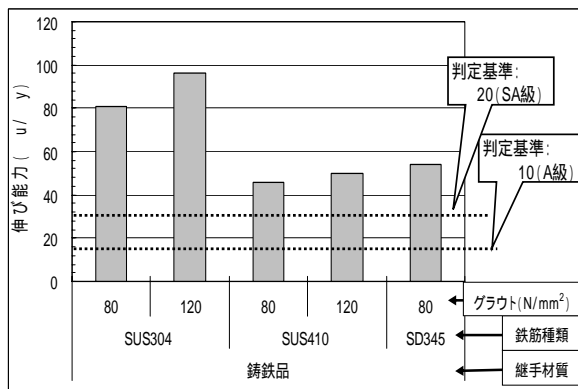


図-13 Aシリーズの各継手試験体と伸び能力の関係

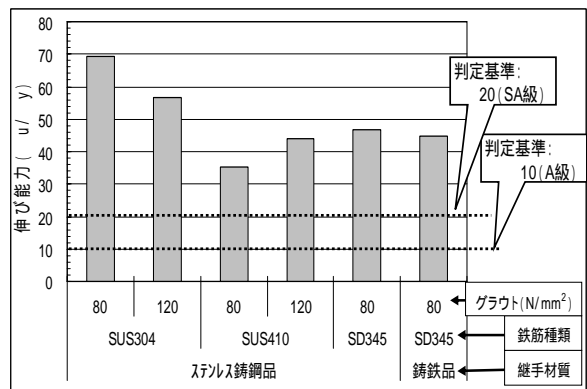


図-14 Bシリーズの各継手試験体と伸び能力の関係

3.2 鉄筋ならびに継手中央部のひずみ

ステンレス鋼スリーブを用いて 80N/mm² 級のグラウト材でステンレス鉄筋を継いだ試験体 (Bシリーズ) の、継手中央部ならびに鉄筋(特定検長区間より、20mm 外の位置) にひずみゲージを貼付して、接合した鉄筋の各応力レベルにおけるひずみを計測し、継手の強度上の安全性について検討した。接合した鉄筋の弾

性域の応力度とひずみの関係を図-15, 16 に、接合した鉄筋の塑性域の応力度とひずみの関係を図-17, 18 に、各ステップ時のひずみの測定結果を表-8 に示す。なお、各ステップ時の 1C, 30C とは公称降伏点の 95% 応力レベルで繰返した 1 サイクルと 30 サイクルのひずみを示し、2% とは、継手の特定検長間における歪が 2% 時を示し、最大時とは計測された最大ひずみを示す。

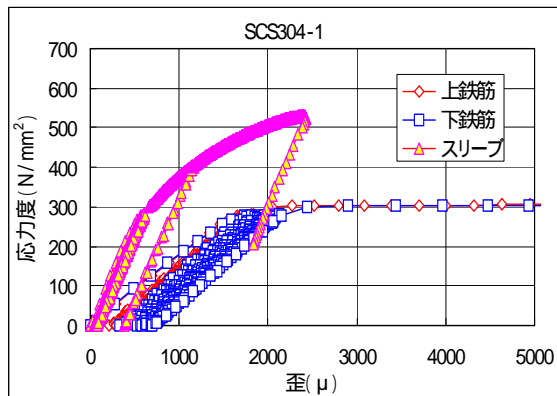


図-15 弾性域の応力度とひずみの関係 (SUS304-1)

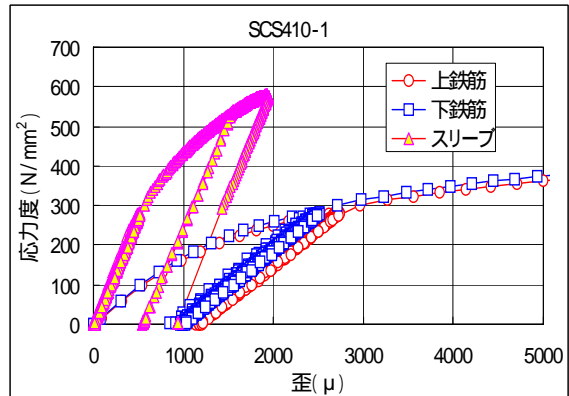


図-16 弾性域の応力度とひずみの関係 (410-1)

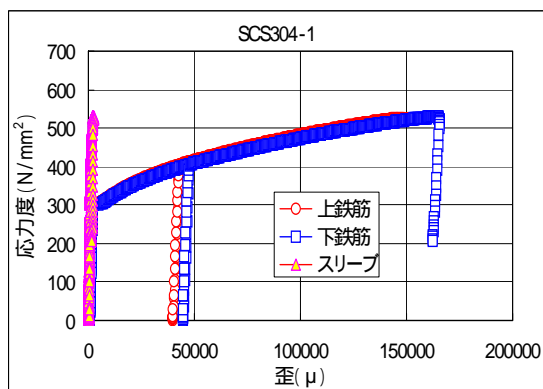


図-17 塑性域の応力度とひずみの関係 (Aシリーズ)

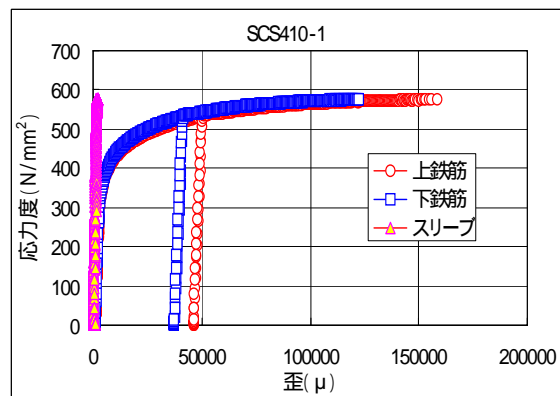


図-18 塑性域の応力度とひずみの関係 (Aシリーズ)

表-8 各ステップ時のひずみの測定結果

鉄筋	ステップ	No.1			No.2			No.3			平均ひずみ	
		鉄筋		スリーブ	鉄筋		スリーブ	鉄筋		スリーブ	鉄筋	スリーブ
		上	下	中央	上	下	中央	上	下	中央	鉄筋	スリーブ
SUS410	1C 時	2394	2209	474	2272	2377	555	2191	2325	-	2295	515
	30C 時	2658	2428	496	2350	2459	556	2455	2603	-	2492	526
	継手歪 2%時	9805	8315	957	7901	8425	1182	7956	8539	-	8490	1070
	最大時	158229	116486	1940	115981	117482	2932	112584	108051	-	121469	2436
SUS304	1C 時	1658	1731	570	1625	1644	543	1636	1736	524	1672	546
	30C 時	1754	2054	575	1865	1855	593	1803	2032	568	1894	579
	継手歪 2%時	8488	10144	738	9310	8993	745	9053	8957	713	9158	732
	最大時	156860	159197	2318	157926	163556	2289	157295	156005	2296	158473	2301

4. 試験結果の考察

4.1 継手試験

継手の材質を鋳鉄品としたAシリーズ(弾・塑性域正負繰返し試験)では,SUS304及びSUS410を用いた継手性能は充填したグラウトの圧縮強度が高い程,強度・剛性・すべり量・伸び能力の性能は向上する傾向を示した。継手の総合評価は,SUS304ではグラウトの圧縮強度に係わらず,強度・すべり量・伸び能力はS A級の性能を有しているが,剛性がA級の性能のため総合評価はA級継手となる。一方,SUS410では,圧縮強度が80N/mm²級ではSUS304同様にA級継手の性能であったが,圧縮強度が120N/mm²級では剛性が顕著に改善されS A級継手の性能が得られた。また,SD345用いた継手性能は圧縮強度が80N/mm²級でS A級継手の性能が得られた。

継手の材質をステンレス鋼鋳鋼品と鋳鉄品としたBシリーズ(高応力繰返し試験/一方向繰返し試験)では,ステンレス鋼鋳鋼品でSUS304及びSUS410を用いた継手性能は充填したグラウトの圧縮強度の差で,強度・剛性・すべり量・伸び能力の性能が明確な差異が認められなかった。継手の総合評価は,SUS304及びSUS410共にグラウトの圧縮強度に係わらず,強度・すべり量・伸び能力はS A級の性能を有しているが,剛性がA級の性能のため総合評価はA級継手となる。また,ステンレス鋼鋳鋼品と鋳鉄品でSD345用いた継手性能は圧縮強度が80N/mm²級でS A級継手の性能が得られた。

ステンレス鉄筋を用いた継手性能は,一般鉄筋を用いた継手性能と比較して剛性・すべり量の性能が劣るものの伸び能力の性能が優っていた。剛性・すべり量は共に接合した鉄筋のずれが大きい程性能が低下するもので,その大きな要因は鉄筋の節形状に起因する。一般的に節ピッチが大きい程・節の付根のアルが大きい程,初期の付着性能が悪いため,剛性・すべり量の性能は低下するが,試験に使用したステンレス鉄筋と一般鉄筋の節形状に明確な差異は見られず,節形状影響はないものと思われる。一方,伸び能力については一般鉄筋に比べステンレス鉄筋の伸びが大きいことが,そのまま継手性能に影響し良好な結果が得られたものと思われる。このことから,継手の破壊形式が拔出しとなっても,一般鉄筋を用い母材破断となった継手以上の伸び能力を有しており,強度・剛性・すべり量はほぼ同等であることから,本継手を構造部材に使用しても,既往の試験結果⁶⁾⁷⁾⁸⁾と同様に,部材の変形性能や耐力に何ら影響はないものと言える。

4.2 鉄筋ならびに継手中央部のひずみ

継手の材質をステンレス鋼鋳鋼品と鋳鉄品とした

ことによる影響を把握するためにBシリーズの一般鉄筋を用いた試験結果で,強度・剛性・すべり量・伸び能力に明確な差異が見られず,継手中央のひずみも約2500 μ と小さいことから,ステンレス鋼で作製した継手本体の強度上の安全性についても,問題がないことが確認できた。

継手の特定検長区間より,20mm外の鉄筋のひずみからステンレス鉄筋は弾性域においてもひずみが増大することが確認された。この事により一般鉄筋を用いた継手に比べ,すべり量が大きく継手の剛性が低下した可能性が高い。

4. まとめ

継手の材質をステンレス鋼鋳鋼品と鋳鉄品とし,ステンレス鉄筋をモルタル充填式継手で接合した場合,A級継手の性能を有することが確認できた。

謝辞

本実験研究の実施にあたり,(社)ステンレス構造建築協会・日本コンクリート技術(株)・新日鐵住金(株)殿のご意見,ご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 鉄筋定着・継手指針(2007年版):コンクリートライブラリー128号,土木学会,pp.213-232,2007.8
- 2) ステンレス鉄筋を用いるコンクリート構造物の設計施工指針(案):コンクリートライブラリー130号,土木学会,pp.13-14,38-40,2008.9
- 3) 建築物の構造関係技術基準解説書(2007年版):国土交通省住宅局建築指導課 他,pp.141-148,2007.
- 4) 篠田 佳男 他:ステンレス鉄筋コンクリート部材の基礎的研究,コンクリート工学年次論文集,Vol.28, No.2,pp.1687-1695,2006.
- 5) 佃 有射 他,水平荷重を受けるステンレス鉄筋を用いたRC柱部材に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文集 Vol.29, No.3,pp.901-906,2007.
- 6) 舟山 勇司 他:継手の有無が部材特性に及ぼす影響(鋼管内充填式継手を有するRC梁部材の挙動に関する研究,その1),日本建築学会大会,pp.147-148,1987.10
- 7) 寺尾 文孝 他:継手の有無が部材特性に及ぼす影響(鋼管内充填式継手を有するRC梁部材の挙動に関する研究,その2),日本建築学会大会,pp.149-150,1987.10
- 8) 和田 浩伸 他:モルタル充填式継手を用いた鉄道プレキャストラーメン高架橋柱の交番載荷実験,コンクリート工学年次論文集,Vol.27, No.2,pp.147-148,1987.10