

電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書

— 2018年 —

普通鋼電炉工業会

電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会

まえがき

我が国の電炉業は鉄スクラップを主原料とする典型的なりサイクル産業で、小資源国における鉄スクラップ有効利用は、今や社会性と経済性の高い循環型社会形成の象徴的なシンボルと考えられます。加えて省エネルギーや二酸化炭素低減にも有効な製鋼法を有しています。

鉄筋についての調査研究は、従来から電炉メーカーにより地道に行われてきました。ただ、その調査研究成果が公表されることが少なかったこともあり、当時の電炉鉄筋は、品質に対する信頼度がやや低かった経緯にあります。

こうした中1984年に、鉄筋コンクリートの研究者たちから、電炉鉄筋の品質を世に問うための研究会の発足が提案され、日本鉄鋼連盟と普通鋼電炉工業会が主体となって学識研究者、ユーザー及びメーカーが一体となった「電炉鉄筋棒鋼研究委員会」（委員長：小倉弘一郎・明治大学教授）が発足しました。

その結果、電炉鉄筋棒鋼の化学成分、機械的性質、曲げ性、圧接性、溶接性、疲労特性、コンクリートとの付着特性等について調査研究が行われ、1987年3月に報告書が取り纏められ公表されました。この報告書は電炉鉄筋の基本的特性に関する新知見として高く評価され、電炉鉄筋の健全な利用と発展に大きく寄与してきております。

そしてこれを契機として、普通鋼電炉工業会では「電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会」を設置し、定期的に電炉メーカーの製造する鉄筋棒鋼の化学成分・機械的性質・形状・質量等の実態調査結果を電炉鋼材フォーラムで報告するとともに、関係方面に公表しております。このたび、第1回目の調査研究報告書が発表されてから30余年あまり経過していることから、2017年より改めて文献調査等を実施して最新の知見を収集することといたしました。

この報告書に盛られた最新の諸情報が、設計、施工技術者等のユーザーほか関係各位に広く読まれ、的確な認識のもと活用されますことを所望致します。また、不純物を含み、成分ばらつきの多い鉄スクラップから、可能な限り高品質の鉄筋を造るための努力が各社で積み重ねられております。普通鋼電炉工業会の会員メーカーに於かれては、従来の品質に奢ることなく一層の品質改善に取り組まれることを期待します。

最後に本報告書刊行に当たり、討議に参加された委員各位、執筆にご協力いただいた関係団体等の皆様、ならびに事務局には、多大なるご尽力を賜りましたことを心より感謝致します。

2018年3月

電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会
委員長 中野 克彦

電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会 構成 (敬称略)

委員長	中野 克彦	(千葉工業大学)
幹事	大橋 茂信	(東京鐵鋼株)
委員	飯野 雅之	(株伊藤製鐵所)
	池田 寛之	(JFE 条鋼株)
	久保田 智	(共英製鋼株)
	田口 聡二	(合同製鐵株)
	西原 浩	(北越メタル株)
	春山 政義	(株向山工場)
執筆協力	岡崎 照夫	(日鉄住金総研株)
	務川 進	(日鉄住金総研株)
	矢部 喜堂	(公益社団法人 日本鉄筋継手協会)
	前澤 澄夫	(公益社団法人 日本鉄筋継手協会)
	武富 義和	(一般社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会)
	渡会 竹志	(一般社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会)
	今野 貴史	(一般社団法人 日本溶融亜鉛鍍金協会)
	森口 敏宏	(安治川鉄工株)
	上久保 通夫	(安治川鉄工株)
事務局	田村 一之	(普通鋼電炉工業会)
	北村 健治	(普通鋼電炉工業会)

目 次

まえがき

電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会 構成

電炉鉄筋棒鋼の現状について：定例調査編(実態調査)

1. 定例調査の実施方法	3
2. 化学成分の調査結果	3
3. 機械的性質の調査結果	16
4. 単位質量の調査結果	21
5. 節形状の調査結果	23

電炉鉄筋棒鋼の現状について：特別調査編(文献調査)

1. 鉄筋棒鋼の現状	
1.1 鉄筋棒鋼の生産状況	31
2. 鉄筋棒鋼の製造	
2.1 鋼の基本的性質	32
2.1.1 鋼の成分	32
2.1.2 鋼の状態図	32
2.1.3 鋼の強度	32
2.1.4 鋼の成分と機械的性質	32
2.1.5 結晶粒度と強度との関係	33
2.2 鉄筋棒鋼の製造	35
2.2.1 製造フロー	35
2.2.2 主要原料	35
2.3 品質管理	35
3. 鉄筋棒鋼の種類と JIS 規格	36
4. 鉄筋棒鋼の特徴と既往の研究	
4.1 応力-ひずみ曲線	39
4.2 付着性	39
4.2.1 材料特性としての付着性状	39
4.2.2 異形棒鋼の形状、寸法と付着性状	41
4.2.3 付着試験法	41

4.2.4	定着付着と曲げ付着	43
4.2.5	コンクリート割り裂きによる付着強度の低下	45
4.3	曲げ・曲げ戻し性	46
4.3.1	異形棒鋼の曲げ性	46
4.3.2	曲げおよび曲げ戻しの検討	47
4.4	耐疲労性	48
4.4.1	異形棒鋼の耐疲労性	48
5.	New RCにおける超高強度化の研究	
5.1	New RCにおける超高強度の材料開発	51
5.2	New RCの鉄筋の機械的性質	51
5.3	USD685鉄筋の化学成分	52
5.4	構造性能に関する研究	52
5.5	SD490鉄筋への影響	52
5.6	New RC鉄筋の普及状況	53
6.	設計・施工における要点	
6.1	鉄筋の品質に関する法令	54
6.2	構造計算基規準類の材料の適用範囲	54
6.3	鉄筋加工や配筋施工	54
6.4	土木分野における規定	54
7.	鉄筋棒鋼の継手	
7.1	鉄筋棒鋼の継手の概要	
7.1.1	鉄筋継手の種類	55
7.1.2	鉄筋継手の性能等級と法的位置づけ	55
7.1.3	各種鉄筋継手の施工実績の推移	55
7.2	ガス圧接継手	
7.2.1	ガス圧接の接合原理	56
7.2.2	ガス圧接継手工法の種類と特徴	56
7.2.3	ガス圧接性の評価	56
7.2.4	ガス圧接継手の性能	58
7.2.5	電炉鉄筋のガス圧接性の検証	58
7.2.6	ガス圧接継手の品質確保の要点	59
7.3	溶接継手	
7.3.1	アーク溶接の接合原理	59
7.3.2	溶接継手の種類と特徴	60
7.3.3	溶接性の評価	60
7.3.4	溶接継手の性能	61
7.3.5	電炉鉄筋の溶接性の検証	62
7.3.6	溶接継手の品質確保の要点	62
7.4	機械式継手	
7.4.1	機械式継手の接合原理	62
7.4.2	機械式継手の種類と特徴	63
7.4.3	機械式継手の性能	63

7.4.4	機械式継手の品質確保の要点	64
8.	鉄筋棒鋼の防錆処理	
8.1	溶融亜鉛めっき鉄筋	
8.1.1	はじめに	66
8.1.2	めっき鉄筋の特徴	66
8.1.3	コンクリート中におけるめっき鉄筋の特徴	67
8.1.4	めっき鉄筋設計施工指針改訂作業	67
8.1.5	おわりに	68
8.2	エポキシ樹脂塗装鉄筋	
8.2.1	概要	68
8.2.2	エポキシ樹脂塗装鉄筋の製造方法と品質	69
8.2.3	エポキシ樹脂塗装鉄筋の特徴と注意点	69
8.2.4	エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリート構造物の耐久性について	70
8.2.5	最近の使用実績	70

あとがき

参考資料：電炉鉄筋棒鋼メーカー 一覧

電炉鉄筋棒鋼の現状について

— 一定例調査編(実態調査) —

1. 定例調査の実施方法

今回の品質調査は現在流通している電炉鉄筋棒鋼の実態を把握するため、鉄筋棒鋼を製造している普通鋼電炉工業会会員会社の内、鉄筋棒鋼を生産している全国23社30製造所から、1ヵ年分の品質データを収集した。

品質データ収集は、2016年7月から翌2017年6月の期間とし、この間で製造したSD295A (D10~D16)、SD345 (D10~D51)、SD390 (D10~D51)、SD490 (D25~D51)の34品種について、化学成分、機械的性質、質量、寸法の品質データ(最小値、最大値、平均値)をアンケート方式で収集した。収集したデータは各々の品質ごとにJIS規格に基づき、最小値、最大値、平均値を求めると共に過去(2012年1月~12月)に行った調査結果との比較を行った。

2. 化学成分の調査結果

収集したデータの化学成分の今回調査と前回調査との対照表を表2.1~表2.4に示した。

さらに、トランプエレメント(Cu, Cr, Sn)が地域によって差異があるかどうか調査を行い、SD295A D13、SD345 D25、SD390 D29の3品種について各メーカーのトランプエレメントの平均値を地域ごとに平均化し、その結果を表2.5、図2.5に示した。

2.1 SD295A (一般鉄筋)

- (1) C量は平均で0.19%と前回より0.01ポイント低下した。
- (2) Si量は平均で0.16%~0.17%であり、前回とほぼ同様の実績であった。
- (3) Mn量については平均で0.62%と前回より0.01ポイント低下した。
- (4) P量は平均値で0.026%と前回より0.001ポイント低下した。また、最大値はJIS規格を満足している。
- (5) S量は平均が0.030~0.031%と前回より0.002ポイント程低下した。また、最大値はJIS規格を満足している。
- (6) Cu量は平均が0.28%、Cr量は平均が0.20%で、ほぼ前回と同様の実績であった。Sn量は平均が0.016%と前回実績より0.002%ほど低下している。

2.2 SD345 (一般鉄筋)

- (1) C量は平均値が0.24%で、前回調査と大差がなかった。また、前回同様、サイズの違いによる差異もなかった。最大値は、いずれのサイズも0.27%でJIS規格を満足している。
- (2) Si量は平均値が0.18%~0.22%と前回とほぼ同

程度の実績であった。また、最大値はJIS規格を十分に満足している。

- (3) Mn量は平均値が0.77%~0.94%と前回と比較して0.02ポイントほど低減している。また、サイズが太くなるにつれ、Mn量が増えている。最大値は、JIS規格を十分に満たしている。
- (4) P量、S量ともほぼ前回調査と同様の実績であった。両者ともサイズによる差異もなく、最大値はいずれもJIS規格を満たしている。
- (5) Cu量は平均値が0.25%~0.28%と前回調査より0.02ポイントほど低下している。また、Cr量は平均値が0.18%~0.23%と前回とほぼ同様の実績であった。いずれもサイズによる差異はなかった。Sn量は平均が0.017%とほぼ前回と同様の実績であった。
- (6) V量は平均値が0.012%と前回調査とほぼ差異はなかった。また、前回調査と同様、サイズが太くなるにつれて増加し、特にD51のみ他サイズより0.005ポイントほど高い値となっている。

2.3 SD390 (一般鉄筋)

- (1) C量の平均値は0.25%~0.26%と、前回調査と差異はなかった。サイズによる差異はなかった。最大値は0.29%とJIS規格を満たしている。
- (2) Si量は平均値が0.17~0.22%と前回とほとんど変わらなかった。サイズによる差異は見られなかった。また、最大値は0.55%とJIS規格を満たしている。
- (3) Mn量は平均値が1.00%~1.14%と前回とほとんど変わらない。サイズが太くなるにつれ、Mn量は増加している。
- (4) P量、S量は前回調査とほぼ同程度の結果になった。また、P量、S量とも最大値は0.040%とJIS規格を満たしている。
- (5) Cu量は前回調査とほとんど変わらないが、D51サイズは前回より0.07ポイント上昇している。Cr量も前回調査とほとんど変わらなかった。Sn量は平均値が0.016%と前回調査より0.003ポイント低下している。
- (6) V量は平均値が0.023%と前回より0.001ポイント低減されている。また、D51サイズと他サイズの差異は低減されている。

2.4 SD490 (一般鉄筋)

- (1) C量の平均値は0.26%~0.27%と前回と同程度であった。最大値は0.32%とJIS規格を満たしている。
- (2) Si量の平均値は0.26%~0.33%と前回と同程度であった。最大値は0.51%とJIS規格を満たして

いる。

- (3) Mn 量の平均値は 1.24%~1.36%となっており、前回と同程度であった。最大値は 1.66%と JIS 規格を満たしている。
- (4) P 量の平均値は 0.022%~0.027%、S 量の平均値は 0.021%~0.027%と前回に比べやや上昇している。P 量はサイズが大きくなるにつれ、やや増加傾向にある。最大値はともに JIS 規格を満たしている。
- (5) Cu 量の平均値は 0.20%~0.26%と前回と比べ 0.03 ポイント増加している、Cr 量の平均値は 0.14%~0.18%、Sn 量の平均値は、0.013%~0.017%と前回と大きな差異は無かった。サイズが大きくなるにつれ、Cu は増加傾向にある。
- (6) V 量の平均値は 0.061%~0.108%となっており、前回と大きな差異は無かった。D25 と D51 サイズは他のサイズに比べて一段高い V 量となっている。

2.5 一般鉄筋とねじ鉄筋の比較

- (1) SD295A では、ねじ鉄筋の方が一般鉄筋より Mn 量が若干高く、P 量、S 量はねじ鉄筋の方が若干高くなっている。Cu 量、Cr 量及び Sn 量はねじ鉄筋の方が若干低くなっている。V 量はねじ鉄筋の方が、高くなっている。
- (2) SD345 では一般鉄筋よりねじ鉄筋の方が Mn 量、S 量及び V 量が高く、Cu 量が少なかった。
- (3) SD390 ではねじ鉄筋の方が一般鉄筋より S 量、Cu 量が少なく、Mn 量、Cr 量及び V 量はねじ鉄筋の方が多かった。
- (4) SD490 ではねじ鉄筋の方が一般鉄筋より C 量がやや低く、Cr 量及び V 量など強度を上昇させる元素が若干多い。V 量についてはねじ鉄筋では、サイズが大きくなるにつれ増加している。

2.6 トランプエレメントの地域比較 (Cu, Cr, Sn)

- (1) Cu 量は相対的に東北地区で低下し、前回調査では低位であった中部、関西・中国地区が増加した。全国的には微減した。
- (2) Cr 量は Cu 量とは逆に東北地区で増加し、他地区についてもサイズによるが微増している。
- (3) Sn 量は全国的に低減している。

2.7 まとめ

- (1) SD295A 及び SD345 は前回と比較して Mn 量の低減が見られたが、総じて同様の結果となった
- (2) SD490 は前回と比較して P 量、S 量及び Cu 量が増加し、他鋼種との差別化が緩やかになっている。
- (3) トランプエレメント地域比較では、東北地区に変

化があった。

- (4) 全鋼種、全サイズにおいて JIS 規格を満たしていることが確認された。

表2.1 化学成分の調査結果：SD295A

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
C (%)	D10	0.07	0.28	0.196	-	-	-	0.11	0.29	0.185	-	-	-	-
	D13	0.12	0.30	0.198	0.20	0.26	0.219	0.11	0.30	0.185	0.15	0.24	0.192	
	D16	0.12	0.29	0.205	0.20	0.26	0.215	0.12	0.30	0.187	0.15	0.22	0.187	
Si (%)	D10	0.07	0.34	0.163	-	-	-	0.01	0.29	0.158	-	-	-	-
	D13	0.06	0.35	0.162	0.12	0.18	0.154	0.01	0.31	0.157	0.12	0.18	0.143	
	D16	0.08	0.35	0.171	0.12	0.19	0.148	0.07	0.32	0.162	0.12	0.20	0.152	
Mn (%)	D10	0.39	0.92	0.629	-	-	-	0.42	0.97	0.622	-	-	-	-
	D13	0.42	0.94	0.628	0.50	0.69	0.619	0.43	1.00	0.618	0.65	0.81	0.710	
	D16	0.46	0.99	0.638	0.49	0.67	0.626	0.43	1.04	0.619	0.52	0.76	0.687	
P (%)	D10	0.011	0.048	0.0270	-	-	-	0.011	0.049	0.0260	-	-	-	0.050以下
	D13	0.010	0.050	0.0270	0.021	0.031	0.0284	0.011	0.049	0.0259	0.022	0.034	0.0284	
	D16	0.012	0.049	0.0262	0.019	0.031	0.0279	0.012	0.047	0.0261	0.025	0.033	0.0286	
S (%)	D10	0.006	0.050	0.0325	-	-	-	0.002	0.050	0.0304	-	-	-	0.050以下
	D13	0.003	0.050	0.0323	0.017	0.041	0.0311	0.005	0.050	0.0305	0.018	0.044	0.0310	
	D16	0.005	0.050	0.0307	0.021	0.048	0.0331	0.006	0.049	0.0296	0.016	0.041	0.0317	
Cu (%)	D10	0.01	0.68	0.279	-	-	-	0.09	0.70	0.277	-	-	-	-
	D13	0.01	0.68	0.278	0.21	0.34	0.271	0.09	0.89	0.274	0.18	0.33	0.230	
	D16	0.01	0.66	0.281	0.21	0.31	0.256	0.10	0.80	0.279	0.19	0.33	0.245	
Cr (%)	D10	0.03	0.67	0.206	-	-	-	0.05	0.57	0.214	-	-	-	-
	D13	0.02	0.78	0.208	0.10	0.26	0.174	0.05	0.61	0.216	0.13	0.31	0.206	
	D16	0.02	0.84	0.199	0.09	0.32	0.189	0.05	0.68	0.210	0.09	0.26	0.183	
Sn (%)	D10	0.00	0.10	0.017	-	-	-	0.00	0.11	0.016	-	-	-	-
	D13	0.00	0.11	0.018	0.01	0.02	0.017	0.00	0.13	0.016	0.01	0.02	0.014	
	D16	0.00	0.13	0.020	0.01	0.02	0.017	0.00	0.09	0.016	0.01	0.02	0.014	
V (%)	D10	0.000	0.052	0.0052	-	-	-	0.001	0.025	0.0045	-	-	-	-
	D13	0.000	0.064	0.0056	0.006	0.010	0.0075	0.001	0.027	0.0047	0.004	0.009	0.0070	
	D16	0.001	0.044	0.0045	0.001	0.020	0.0158	0.001	0.028	0.0043	0.003	0.009	0.0061	
C+Mn/6 (%)	D10	0.17	0.42	0.300	-	-	-	0.22	0.41	0.274	-	-	-	-
	D13	0.23	0.42	0.302	0.30	0.35	0.323	0.14	0.42	0.269	0.26	0.36	0.310	
	D16	0.11	0.42	0.312	0.30	0.35	0.319	0.21	0.42	0.282	0.26	0.34	0.302	

表2.2-1 化学成分の調査結果：SD345

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
C (%)	D10	0.19	0.26	0.224	-	-	-	0.19	0.27	0.226	-	-	-	0.27以下
	D13	0.18	0.27	0.235	0.23	0.25	0.241	0.18	0.27	0.234	0.22	0.25	0.239	
	D16	0.18	0.27	0.236	0.21	0.27	0.243	0.18	0.27	0.219	0.22	0.26	0.237	
	D19	0.17	0.27	0.239	0.21	0.27	0.244	0.18	0.27	0.237	0.21	0.27	0.233	
	D22	0.16	0.27	0.240	0.22	0.27	0.245	0.17	0.27	0.238	0.20	0.27	0.233	
	D25	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.246	0.16	0.27	0.239	0.20	0.27	0.231	
	D29	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.249	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.234	
	D32	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.246	0.18	0.27	0.240	0.20	0.27	0.238	
	D35	0.19	0.27	0.236	0.21	0.27	0.247	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.238	
	D38	0.19	0.27	0.236	0.21	0.27	0.246	0.19	0.27	0.240	0.19	0.27	0.236	
D41	0.20	0.27	0.242	0.22	0.27	0.247	0.20	0.27	0.240	0.21	0.27	0.241		
D51	0.19	0.27	0.237	0.20	0.27	0.234	0.19	0.27	0.237	0.20	0.27	0.234		
Si (%)	D10	0.10	0.27	0.176	-	-	-	0.09	0.26	0.176	-	-	-	0.55以下
	D13	0.10	0.37	0.183	0.13	0.25	0.175	0.10	0.40	0.187	0.14	0.23	0.186	
	D16	0.10	0.39	0.187	0.13	0.27	0.181	0.11	0.41	0.174	0.12	0.24	0.195	
	D19	0.11	0.41	0.189	0.13	0.27	0.188	0.11	0.42	0.195	0.11	0.26	0.181	
	D22	0.11	0.43	0.193	0.13	0.28	0.187	0.11	0.44	0.197	0.12	0.33	0.189	
	D25	0.11	0.42	0.193	0.12	0.28	0.185	0.11	0.44	0.197	0.11	0.30	0.176	
	D29	0.11	0.42	0.197	0.12	0.28	0.210	0.12	0.45	0.200	0.13	0.25	0.182	
	D32	0.12	0.45	0.184	0.14	0.28	0.212	0.11	0.41	0.191	0.13	0.26	0.192	
	D35	0.12	0.41	0.196	0.16	0.27	0.222	0.12	0.41	0.192	0.15	0.27	0.201	
	D38	0.12	0.45	0.200	0.13	0.27	0.218	0.12	0.45	0.192	0.15	0.26	0.201	
D41	0.12	0.40	0.209	0.16	0.37	0.224	0.13	0.28	0.197	0.16	0.26	0.206		
D51	0.13	0.29	0.208	0.15	0.33	0.228	0.14	0.29	0.217	0.16	0.31	0.226		
Mn (%)	D10	0.56	1.06	0.798	-	-	-	0.57	1.12	0.788	-	-	-	1.60以下
	D13	0.56	1.24	0.822	0.63	0.86	0.740	0.55	1.14	0.812	0.69	0.83	0.781	
	D16	0.53	1.24	0.842	0.60	0.89	0.790	0.56	1.12	0.765	0.68	0.92	0.817	
	D19	0.54	1.38	0.873	0.79	1.09	0.934	0.67	1.18	0.876	0.72	1.09	0.926	
	D22	0.65	1.34	0.903	0.78	1.08	0.943	0.70	1.19	0.891	0.72	1.07	0.914	
	D25	0.66	1.34	0.913	0.71	1.10	0.948	0.70	1.22	0.899	0.70	1.08	0.934	
	D29	0.68	1.35	0.918	0.70	1.07	0.889	0.71	1.17	0.888	0.72	1.05	0.924	
	D32	0.66	1.32	0.910	0.81	1.08	0.889	0.70	1.20	0.888	0.77	1.02	0.914	
	D35	0.68	1.33	0.924	0.80	1.05	0.903	0.75	1.14	0.891	0.76	1.10	0.926	
	D38	0.77	1.33	0.923	0.82	1.07	0.900	0.75	1.26	0.879	0.76	1.07	0.926	
D41	0.83	1.12	0.943	0.83	1.02	0.910	0.79	1.25	0.913	0.79	1.06	0.923		
D51	0.73	1.12	0.947	0.82	1.29	0.942	0.79	1.12	0.940	0.79	1.11	0.948		
P (%)	D10	0.016	0.040	0.0284	-	-	-	0.017	0.036	0.0266	-	-	-	0.040以下
	D13	0.012	0.040	0.0270	0.022	0.034	0.0279	0.012	0.040	0.0258	0.024	0.034	0.0299	
	D16	0.013	0.040	0.0270	0.021	0.035	0.0284	0.014	0.039	0.0244	0.024	0.036	0.0299	
	D19	0.013	0.040	0.0269	0.016	0.035	0.0247	0.014	0.040	0.0271	0.014	0.036	0.0274	
	D22	0.012	0.040	0.0270	0.018	0.033	0.0248	0.013	0.039	0.0271	0.018	0.036	0.0274	
	D25	0.013	0.040	0.0271	0.017	0.038	0.0247	0.014	0.040	0.0273	0.015	0.038	0.0267	
	D29	0.016	0.039	0.0271	0.014	0.039	0.0240	0.015	0.039	0.0273	0.018	0.035	0.0274	
	D32	0.014	0.039	0.0275	0.014	0.035	0.0254	0.013	0.038	0.0273	0.016	0.038	0.0278	
	D35	0.015	0.038	0.0275	0.017	0.038	0.0241	0.011	0.040	0.0275	0.017	0.036	0.0278	
	D38	0.014	0.038	0.0268	0.019	0.035	0.0259	0.012	0.040	0.0275	0.011	0.038	0.0275	
D41	0.018	0.037	0.0264	0.016	0.030	0.0245	0.016	0.039	0.0280	0.019	0.037	0.0283		
D51	0.019	0.037	0.0270	0.016	0.038	0.0257	0.014	0.039	0.0274	0.014	0.038	0.0274		
S (%)	D10	0.010	0.040	0.0306	-	-	-	0.015	0.040	0.0277	-	-	-	0.040以下
	D13	0.005	0.040	0.0298	0.020	0.037	0.0293	0.005	0.040	0.0281	0.027	0.038	0.0321	
	D16	0.008	0.040	0.0292	0.020	0.039	0.0298	0.005	0.040	0.0261	0.019	0.037	0.0311	
	D19	0.005	0.040	0.0292	0.013	0.040	0.0326	0.003	0.040	0.0287	0.017	0.040	0.0301	
	D22	0.008	0.040	0.0299	0.019	0.040	0.0327	0.003	0.040	0.0288	0.008	0.039	0.0303	
	D25	0.003	0.040	0.0299	0.012	0.040	0.0329	0.003	0.040	0.0289	0.017	0.040	0.0310	
	D29	0.006	0.040	0.0293	0.012	0.039	0.0322	0.005	0.040	0.0286	0.016	0.039	0.0294	
	D32	0.007	0.040	0.0291	0.015	0.040	0.0326	0.005	0.040	0.0285	0.015	0.040	0.0296	
	D35	0.010	0.040	0.0282	0.017	0.039	0.0313	0.009	0.040	0.0286	0.019	0.039	0.0290	
	D38	0.012	0.040	0.0271	0.015	0.040	0.0324	0.007	0.040	0.0291	0.019	0.039	0.0294	
D41	0.012	0.038	0.0281	0.015	0.039	0.0325	0.013	0.040	0.0282	0.019	0.038	0.0281		
D51	0.009	0.040	0.0281	0.014	0.039	0.0298	0.015	0.039	0.0289	0.013	0.038	0.0277		

表2.2-2 化学成分の調査結果：SD345

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
Cu (%)	D10	0.17	0.47	0.279	-	-	-	0.12	0.40	0.269	-	-	-	-
	D13	0.01	0.55	0.276	0.21	0.40	0.279	0.10	0.52	0.273	0.19	0.32	0.255	
	D16	0.01	0.53	0.281	0.21	0.41	0.283	0.10	0.52	0.253	0.17	0.34	0.241	
	D19	0.01	0.54	0.284	0.14	0.42	0.244	0.13	0.59	0.282	0.12	0.43	0.209	
	D22	0.01	0.67	0.286	0.13	0.45	0.244	0.14	0.61	0.284	0.14	0.44	0.217	
	D25	0.01	0.54	0.289	0.12	0.45	0.242	0.13	0.61	0.284	0.14	0.44	0.213	
	D29	0.01	0.58	0.285	0.16	0.56	0.255	0.07	0.55	0.285	0.15	0.39	0.218	
	D32	0.01	0.50	0.265	0.16	0.44	0.266	0.15	0.50	0.281	0.13	0.43	0.232	
	D35	0.02	0.48	0.294	0.13	0.38	0.245	0.13	0.52	0.283	0.14	0.40	0.231	
	D38	0.02	0.44	0.294	0.17	0.45	0.267	0.15	0.52	0.282	0.14	0.41	0.226	
D41	0.17	0.44	0.307	0.14	0.35	0.232	0.14	0.43	0.284	0.13	0.40	0.245		
D51	0.14	0.48	0.280	0.14	0.48	0.264	0.13	0.40	0.275	0.13	0.36	0.227		
Cr (%)	D10	0.06	0.37	0.212	-	-	-	0.07	0.38	0.225	-	-	-	-
	D13	0.02	0.54	0.201	0.08	0.31	0.166	0.06	0.51	0.200	0.08	0.27	0.169	
	D16	0.02	0.63	0.199	0.07	0.31	0.182	0.05	0.43	0.179	0.09	0.25	0.168	
	D19	0.03	0.71	0.191	0.07	0.45	0.229	0.05	0.59	0.205	0.07	0.46	0.243	
	D22	0.02	0.59	0.197	0.07	0.40	0.222	0.03	0.45	0.204	0.06	0.41	0.218	
	D25	0.03	0.54	0.200	0.07	0.46	0.232	0.05	0.57	0.206	0.06	0.43	0.268	
	D29	0.04	0.52	0.193	0.07	0.36	0.196	0.06	0.43	0.193	0.08	0.45	0.244	
	D32	0.04	0.56	0.205	0.06	0.35	0.193	0.06	0.45	0.203	0.07	0.44	0.223	
	D35	0.05	0.55	0.196	0.08	0.41	0.205	0.06	0.43	0.197	0.08	0.49	0.227	
	D38	0.05	0.48	0.214	0.08	0.40	0.205	0.07	0.38	0.195	0.08	0.45	0.234	
D41	0.07	0.48	0.193	0.08	0.36	0.215	0.06	0.38	0.181	0.06	0.37	0.188		
D51	0.08	0.45	0.197	0.07	0.40	0.174	0.07	0.35	0.179	0.07	0.36	0.204		
Sn (%)	D10	0.01	0.04	0.017	-	-	-	0.00	0.06	0.016	-	-	-	-
	D13	0.00	0.12	0.017	0.01	0.05	0.018	0.00	0.08	0.015	0.01	0.03	0.014	
	D16	0.00	0.10	0.017	0.01	0.08	0.019	0.00	0.09	0.015	0.01	0.03	0.015	
	D19	0.01	0.11	0.018	0.01	0.05	0.017	0.00	0.06	0.017	0.01	0.05	0.015	
	D22	0.01	0.11	0.019	0.01	0.04	0.017	0.00	0.16	0.017	0.00	0.07	0.015	
	D25	0.01	0.10	0.019	0.01	0.08	0.017	0.01	0.16	0.017	0.01	0.04	0.015	
	D29	0.01	0.12	0.018	0.01	0.05	0.017	0.01	0.07	0.016	0.01	0.03	0.015	
	D32	0.01	0.07	0.017	0.01	0.05	0.018	0.01	0.08	0.016	0.01	0.05	0.015	
	D35	0.01	0.11	0.019	0.01	0.03	0.016	0.01	0.08	0.017	0.01	0.03	0.015	
	D38	0.01	0.06	0.018	0.01	0.06	0.018	0.01	0.08	0.016	0.01	0.03	0.014	
D41	0.01	0.04	0.018	0.01	0.04	0.017	0.01	0.07	0.017	0.01	0.03	0.014		
D51	0.01	0.04	0.019	0.01	0.08	0.020	0.01	0.05	0.017	0.01	0.05	0.016		
V (%)	D10	0.001	0.017	0.0067	-	-	-	0.001	0.021	0.0073	-	-	-	-
	D13	0.001	0.026	0.0083	0.006	0.021	0.0142	0.001	0.021	0.0087	0.010	0.019	0.0134	
	D16	0.002	0.023	0.0082	0.006	0.022	0.0120	0.000	0.024	0.0080	0.011	0.022	0.0146	
	D19	0.002	0.027	0.0106	0.010	0.019	0.0129	0.001	0.023	0.0109	0.010	0.022	0.0127	
	D22	0.002	0.026	0.0112	0.004	0.023	0.0128	0.001	0.025	0.0121	0.010	0.023	0.0132	
	D25	0.001	0.035	0.0107	0.004	0.021	0.0129	0.001	0.024	0.0114	0.010	0.022	0.0127	
	D29	0.001	0.026	0.0117	0.014	0.023	0.0173	0.001	0.028	0.0133	0.006	0.023	0.0169	
	D32	0.001	0.025	0.0129	0.005	0.022	0.0175	0.001	0.025	0.0137	0.004	0.023	0.0161	
	D35	0.001	0.026	0.0124	0.003	0.028	0.0175	0.002	0.034	0.0149	0.004	0.022	0.0177	
	D38	0.002	0.025	0.0146	0.003	0.028	0.0173	0.002	0.025	0.0153	0.005	0.026	0.0177	
D41	0.001	0.024	0.0134	0.015	0.022	0.0180	0.002	0.029	0.0138	0.013	0.025	0.0180		
D51	0.003	0.037	0.0278	0.016	0.041	0.0248	0.011	0.038	0.0190	0.014	0.039	0.0264		
C+Mn/6 (%)	D10	0.31	0.43	0.358	-	-	-	0.31	0.41	0.358	-	-	-	0.50以下
	D13	0.31	0.45	0.372	0.35	0.38	0.364	0.29	0.44	0.369	0.35	0.39	0.369	
	D16	0.27	0.45	0.376	0.31	0.41	0.374	0.28	0.43	0.347	0.34	0.39	0.373	
	D19	0.32	0.50	0.384	0.36	0.43	0.400	0.32	0.45	0.383	0.36	0.41	0.387	
	D22	0.32	0.48	0.390	0.36	0.44	0.402	0.31	0.46	0.387	0.34	0.41	0.386	
	D25	0.32	0.48	0.391	0.36	0.43	0.403	0.31	0.46	0.389	0.34	0.42	0.387	
	D29	0.33	0.48	0.381	0.36	0.42	0.398	0.32	0.46	0.387	0.36	0.42	0.388	
	D32	0.33	0.47	0.391	0.36	0.44	0.395	0.32	0.45	0.388	0.36	0.43	0.391	
	D35	0.34	0.46	0.390	0.36	0.43	0.398	0.33	0.45	0.387	0.36	0.44	0.392	
	D38	0.35	0.47	0.390	0.37	0.42	0.396	0.34	0.48	0.386	0.34	0.43	0.390	
D41	0.36	0.43	0.397	0.38	0.42	0.399	0.35	0.47	0.393	0.36	0.43	0.395		
D51	0.35	0.44	0.395	0.34	0.45	0.391	0.35	0.44	0.394	0.36	0.43	0.392		

表2.3-1 化学成分の調査結果：SD390

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
C (%)	D10	0.23	0.28	0.250	-	-	-	0.24	0.26	0.253	-	-	-	0.29以下
	D13	0.22	0.29	0.250	-	-	-	0.23	0.29	0.262	-	-	-	
	D16	0.21	0.29	0.253	0.24	0.26	0.250	0.23	0.29	0.253	0.25	0.26	0.255	
	D19	0.22	0.28	0.256	0.23	0.28	0.264	0.22	0.28	0.253	0.26	0.28	0.269	
	D22	0.20	0.29	0.259	0.23	0.28	0.269	0.22	0.28	0.260	-	-	-	
	D25	0.22	0.29	0.260	0.26	0.28	0.270	0.22	0.28	0.259	0.25	0.28	0.267	
	D29	0.20	0.29	0.259	0.23	0.28	0.270	0.21	0.29	0.258	0.22	0.29	0.244	
	D32	0.20	0.29	0.258	0.24	0.29	0.269	0.22	0.29	0.258	0.22	0.29	0.244	
	D35	0.20	0.29	0.257	0.23	0.29	0.271	0.22	0.29	0.259	0.22	0.29	0.245	
	D38	0.20	0.29	0.258	0.24	0.29	0.271	0.22	0.29	0.257	0.22	0.29	0.245	
D41	0.24	0.29	0.256	0.23	0.29	0.270	0.23	0.29	0.254	0.23	0.29	0.248		
D51	0.24	0.27	0.259	0.25	0.29	0.265	0.24	0.29	0.251	0.22	0.28	0.258		
Si (%)	D10	0.15	0.26	0.200	-	-	-	0.14	0.21	0.170	-	-	-	0.55以下
	D13	0.13	0.29	0.212	-	-	-	0.14	0.26	0.219	-	-	-	
	D16	0.14	0.30	0.185	0.20	0.24	0.220	0.13	0.39	0.202	0.22	0.23	0.222	
	D19	0.13	0.29	0.181	0.14	0.27	0.211	0.13	0.26	0.189	0.20	0.25	0.231	
	D22	0.13	0.29	0.197	0.16	0.28	0.238	0.12	0.38	0.199	-	-	-	
	D25	0.13	0.29	0.200	0.15	0.28	0.249	0.13	0.38	0.204	0.20	0.25	0.228	
	D29	0.11	0.45	0.218	0.13	0.29	0.202	0.12	0.38	0.216	0.12	0.28	0.192	
	D32	0.13	0.53	0.217	0.11	0.39	0.197	0.12	0.45	0.216	0.10	0.35	0.192	
	D35	0.12	0.45	0.220	0.15	0.39	0.224	0.12	0.45	0.219	0.15	0.30	0.212	
	D38	0.13	0.44	0.223	0.15	0.32	0.220	0.12	0.55	0.217	0.12	0.29	0.210	
D41	0.17	0.42	0.210	0.15	0.29	0.227	0.16	0.45	0.208	0.16	0.34	0.216		
D51	0.17	0.29	0.225	0.20	0.30	0.243	0.17	0.25	0.211	0.18	0.28	0.231		
Mn (%)	D10	0.80	1.08	0.961	-	-	-	1.05	1.08	1.063	-	-	-	1.80以下
	D13	0.77	1.16	1.031	-	-	-	0.76	1.22	1.017	-	-	-	
	D16	0.70	1.19	1.016	0.84	0.97	0.884	0.82	1.24	1.012	0.84	0.88	0.858	
	D19	0.86	1.20	1.022	0.95	1.10	1.012	0.82	1.24	1.003	1.00	1.05	1.028	
	D22	0.83	1.17	1.034	0.92	1.13	0.988	0.82	1.24	1.021	-	-	-	
	D25	0.86	1.17	1.048	0.95	1.13	1.046	0.85	1.24	1.056	1.02	1.14	1.064	
	D29	0.84	1.52	1.088	0.93	1.12	1.082	0.78	1.35	1.062	0.98	1.25	1.119	
	D32	0.84	1.53	1.092	0.92	1.30	1.075	0.79	1.38	1.060	0.81	1.26	1.112	
	D35	0.89	1.55	1.096	0.92	1.36	1.121	0.79	1.38	1.077	0.99	1.34	1.148	
	D38	0.91	1.52	1.091	0.93	1.38	1.115	0.79	1.36	1.088	0.81	1.29	1.136	
D41	0.99	1.41	1.134	0.91	1.21	1.069	0.93	1.26	1.140	1.01	1.31	1.169		
D51	0.84	1.32	1.141	0.95	1.22	1.061	1.01	1.27	1.140	1.01	1.27	1.112		
P (%)	D10	0.028	0.032	0.0295	-	-	-	0.026	0.030	0.0280	-	-	-	0.040以下
	D13	0.017	0.033	0.0270	-	-	-	0.017	0.032	0.0265	-	-	-	
	D16	0.018	0.039	0.0276	0.022	0.039	0.0279	0.017	0.035	0.0266	0.029	0.030	0.0293	
	D19	0.021	0.039	0.0286	0.020	0.029	0.0252	0.018	0.035	0.0264	0.026	0.032	0.0294	
	D22	0.020	0.036	0.0288	0.023	0.035	0.0277	0.015	0.036	0.0262	-	-	-	
	D25	0.017	0.036	0.0273	0.018	0.035	0.0234	0.015	0.036	0.0272	0.020	0.032	0.0265	
	D29	0.015	0.039	0.0274	0.017	0.031	0.0256	0.013	0.035	0.0279	0.017	0.037	0.0271	
	D32	0.015	0.040	0.0278	0.018	0.037	0.0257	0.014	0.040	0.0275	0.018	0.038	0.0278	
	D35	0.017	0.040	0.0280	0.018	0.037	0.0253	0.015	0.040	0.0274	0.018	0.037	0.0273	
	D38	0.018	0.040	0.0280	0.017	0.039	0.0256	0.016	0.039	0.0275	0.014	0.036	0.0279	
D41	0.021	0.037	0.0282	0.018	0.039	0.0262	0.012	0.036	0.0262	0.021	0.035	0.0285		
D51	0.022	0.032	0.0257	0.020	0.036	0.0269	0.026	0.038	0.0297	0.021	0.035	0.0298		
S (%)	D10	0.016	0.032	0.0277	-	-	-	0.011	0.039	0.0266	-	-	-	0.040以下
	D13	0.012	0.038	0.0212	-	-	-	0.017	0.037	0.0289	-	-	-	
	D16	0.011	0.037	0.0265	0.024	0.037	0.0313	0.011	0.040	0.0277	0.025	0.033	0.0286	
	D19	0.015	0.039	0.0271	0.019	0.038	0.0303	0.012	0.039	0.0268	0.032	0.038	0.0348	
	D22	0.011	0.040	0.0284	0.019	0.039	0.0315	0.015	0.039	0.0283	-	-	-	
	D25	0.009	0.040	0.0280	0.021	0.038	0.0320	0.012	0.040	0.0280	0.016	0.038	0.0298	
	D29	0.004	0.040	0.0294	0.015	0.040	0.0331	0.005	0.040	0.0288	0.011	0.040	0.0302	
	D32	0.004	0.040	0.0293	0.018	0.040	0.0332	0.005	0.040	0.0285	0.015	0.040	0.0305	
	D35	0.007	0.040	0.0290	0.012	0.040	0.0324	0.007	0.040	0.0286	0.015	0.040	0.0298	
	D38	0.005	0.040	0.0282	0.015	0.040	0.0357	0.005	0.040	0.0290	0.015	0.040	0.0300	
D41	0.016	0.040	0.0273	0.015	0.040	0.0309	0.012	0.040	0.0297	0.016	0.037	0.0284		
D51	0.016	0.034	0.0278	0.020	0.039	0.0311	0.020	0.038	0.0279	0.017	0.039	0.0311		

表2.3-2 化学成分の調査結果：SD390

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
Cu (%)	D10	0.22	0.36	0.267	-	-	-	0.18	0.26	0.210	-	-	-	-
	D13	0.20	0.44	0.273	-	-	-	0.13	0.34	0.252	-	-	-	
	D16	0.19	0.43	0.282	0.23	0.40	0.326	0.16	0.38	0.275	0.27	0.27	0.271	
	D19	0.21	0.43	0.292	0.16	0.37	0.251	0.15	0.42	0.282	0.27	0.34	0.301	
	D22	0.18	0.53	0.280	0.17	0.37	0.298	0.14	0.45	0.294	-	-	-	
	D25	0.01	0.53	0.285	0.17	0.37	0.289	0.15	0.45	0.292	0.25	0.36	0.300	
	D29	0.01	0.44	0.285	0.15	0.37	0.240	0.15	0.45	0.280	0.13	0.45	0.216	
	D32	0.01	0.53	0.281	0.15	0.46	0.243	0.15	0.57	0.280	0.14	0.45	0.220	
	D35	0.01	0.58	0.285	0.15	0.46	0.234	0.13	0.49	0.278	0.13	0.41	0.208	
	D38	0.01	0.43	0.286	0.14	0.40	0.229	0.14	0.47	0.276	0.13	0.38	0.209	
D41	0.21	0.38	0.303	0.15	0.46	0.255	0.06	0.38	0.224	0.14	0.32	0.214		
D51	0.13	0.40	0.201	0.13	0.34	0.255	0.21	0.44	0.274	0.15	0.35	0.244		
Cr (%)	D10	0.15	0.30	0.225	-	-	-	0.14	0.28	0.200	-	-	-	-
	D13	0.06	0.41	0.196	-	-	-	0.09	0.29	0.193	-	-	-	
	D16	0.07	0.40	0.203	0.09	0.20	0.118	0.07	0.46	0.223	0.07	0.08	0.075	
	D19	0.09	0.40	0.208	0.07	0.41	0.197	0.07	0.40	0.243	0.11	0.21	0.139	
	D22	0.10	0.39	0.201	0.08	0.28	0.152	0.07	0.41	0.214	-	-	-	
	D25	0.04	0.39	0.205	0.08	0.28	0.130	0.06	0.41	0.200	0.09	0.22	0.142	
	D29	0.03	0.46	0.201	0.06	0.33	0.229	0.06	0.41	0.208	0.05	0.46	0.250	
	D32	0.03	0.49	0.206	0.07	0.42	0.243	0.05	0.57	0.210	0.06	0.41	0.250	
	D35	0.03	0.49	0.210	0.06	0.42	0.245	0.06	0.41	0.205	0.06	0.47	0.261	
	D38	0.04	0.46	0.204	0.07	0.44	0.246	0.05	0.43	0.204	0.06	0.53	0.256	
D41	0.09	0.35	0.220	0.06	0.41	0.214	0.06	0.41	0.204	0.08	0.41	0.239		
D51	0.11	0.34	0.247	0.08	0.34	0.178	0.08	0.39	0.203	0.05	0.28	0.170		
Sn (%)	D10	0.016	0.023	0.0189	-	-	-	0.011	0.014	0.0127	-	-	-	-
	D13	0.009	0.030	0.0170	-	-	-	0.010	0.033	0.0168	-	-	-	
	D16	0.010	0.053	0.0179	0.017	0.040	0.0218	0.008	0.023	0.0149	0.016	0.018	0.0169	
	D19	0.009	0.040	0.0173	0.011	0.025	0.0156	0.009	0.050	0.0155	0.018	0.023	0.0197	
	D22	0.010	0.043	0.0188	0.011	0.033	0.0187	0.007	0.030	0.0165	-	-	-	
	D25	0.009	0.043	0.0189	0.010	0.033	0.0210	0.006	0.030	0.0160	0.010	0.020	0.0176	
	D29	0.007	0.048	0.0198	0.010	0.040	0.0171	0.005	0.040	0.0170	0.006	0.037	0.0159	
	D32	0.006	0.080	0.0184	0.010	0.050	0.0175	0.005	0.080	0.0168	0.005	0.040	0.0151	
	D35	0.007	0.080	0.0178	0.007	0.050	0.0166	0.007	0.140	0.0169	0.005	0.032	0.0153	
	D38	0.007	0.066	0.0192	0.010	0.043	0.0170	0.008	0.050	0.0174	0.005	0.035	0.0154	
D41	0.010	0.052	0.0218	0.010	0.042	0.0171	0.009	0.040	0.0167	0.009	0.024	0.0135		
D51	0.011	0.043	0.0163	0.011	0.050	0.0193	0.008	0.049	0.0142	0.005	0.025	0.0138		
V (%)	D10	0.022	0.028	0.0251	-	-	-	0.022	0.026	0.0243	-	-	-	-
	D13	0.011	0.034	0.0213	-	-	-	0.006	0.031	0.0207	-	-	-	
	D16	0.007	0.033	0.0230	0.023	0.025	0.0239	0.013	0.034	0.0213	0.022	0.024	0.0230	
	D19	0.013	0.035	0.0232	0.024	0.030	0.0272	0.015	0.034	0.0221	0.016	0.032	0.0272	
	D22	0.011	0.032	0.0225	0.025	0.031	0.0276	0.013	0.034	0.0207	-	-	-	
	D25	0.011	0.032	0.0217	0.016	0.031	0.0230	0.013	0.034	0.0212	0.016	0.032	0.0231	
	D29	0.009	0.034	0.0220	0.015	0.030	0.0267	0.010	0.034	0.0227	0.016	0.036	0.0269	
	D32	0.011	0.036	0.0220	0.015	0.041	0.0272	0.012	0.036	0.0230	0.015	0.035	0.0267	
	D35	0.011	0.036	0.0231	0.015	0.040	0.0277	0.012	0.036	0.0235	0.016	0.036	0.0276	
	D38	0.011	0.035	0.0231	0.015	0.041	0.0281	0.013	0.047	0.0239	0.015	0.036	0.0280	
D41	0.012	0.032	0.0238	0.017	0.035	0.0280	0.013	0.039	0.0253	0.016	0.033	0.0268		
D51	0.017	0.039	0.0340	0.025	0.037	0.0302	0.017	0.031	0.0248	0.017	0.047	0.0306		
C+Mn/6 (%)	D10	0.40	0.42	0.410	-	-	-	0.42	0.44	0.432	-	-	-	0.55以下
	D13	0.39	0.47	0.421	-	-	-	0.38	0.47	0.432	-	-	-	
	D16	0.39	0.47	0.423	0.39	0.41	0.397	0.38	0.48	0.422	0.39	0.40	0.398	
	D19	0.39	0.46	0.426	0.41	0.45	0.432	0.38	0.47	0.421	0.43	0.45	0.440	
	D22	0.37	0.47	0.432	0.41	0.46	0.433	0.36	0.47	0.430	-	-	-	
	D25	0.38	0.47	0.435	0.42	0.46	0.444	0.38	0.47	0.435	0.43	0.45	0.444	
	D29	0.37	0.54	0.440	0.41	0.46	0.450	0.37	0.48	0.435	0.40	0.47	0.430	
	D32	0.37	0.54	0.440	0.41	0.48	0.448	0.38	0.50	0.435	0.39	0.47	0.430	
	D35	0.37	0.54	0.440	0.40	0.49	0.457	0.38	0.50	0.438	0.40	0.50	0.436	
	D38	0.37	0.53	0.440	0.41	0.50	0.457	0.38	0.50	0.439	0.40	0.48	0.434	
D41	0.41	0.52	0.446	0.40	0.48	0.447	0.41	0.48	0.444	0.42	0.48	0.443		
D51	0.40	0.47	0.449	0.42	0.47	0.442	0.41	0.46	0.442	0.40	0.48	0.443		

表2.4-1 化学成分の調査結果：SD490

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS 規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
C (%)	D25	0.22	0.29	0.238	0.27	0.29	0.277	0.20	0.30	0.267	0.24	0.26	0.246	0.32以下
	D29	0.22	0.31	0.251	0.25	0.28	0.267	0.22	0.30	0.263	0.20	0.28	0.236	
	D32	0.22	0.31	0.258	0.22	0.29	0.259	0.22	0.32	0.259	0.21	0.29	0.243	
	D35	0.22	0.31	0.259	0.22	0.29	0.254	0.21	0.31	0.266	0.21	0.31	0.245	
	D38	0.21	0.31	0.263	0.21	0.31	0.261	0.22	0.31	0.268	0.21	0.31	0.242	
	D41	0.23	0.30	0.266	0.22	0.30	0.267	0.22	0.32	0.272	0.22	0.30	0.255	
Si (%)	D25	0.23	0.29	0.274	0.22	0.31	0.272	0.22	0.30	0.267	0.21	0.31	0.270	0.55以下
	D29	0.24	0.41	0.325	0.34	0.39	0.358	0.17	0.44	0.263	0.35	0.39	0.367	
	D32	0.24	0.41	0.312	0.21	0.39	0.265	0.23	0.38	0.276	0.24	0.36	0.318	
	D35	0.21	0.42	0.301	0.21	0.41	0.287	0.18	0.47	0.267	0.20	0.40	0.274	
	D38	0.18	0.42	0.272	0.20	0.42	0.312	0.18	0.50	0.281	0.20	0.42	0.293	
	D41	0.21	0.52	0.297	0.21	0.44	0.289	0.16	0.51	0.279	0.20	0.42	0.288	
Mn (%)	D25	0.20	0.50	0.269	0.20	0.43	0.272	0.18	0.48	0.265	0.20	0.43	0.267	1.80以下
	D29	0.22	0.38	0.261	0.24	0.44	0.372	0.21	0.50	0.325	0.21	0.41	0.301	
	D32	1.21	1.40	1.306	1.28	1.35	1.299	1.13	1.38	1.244	1.37	1.49	1.426	
	D35	1.16	1.49	1.345	1.28	1.45	1.358	1.20	1.50	1.326	1.31	1.37	1.349	
	D38	1.07	1.49	1.328	1.26	1.44	1.376	1.20	1.54	1.310	1.27	1.50	1.368	
	D41	0.96	1.45	1.328	1.09	1.50	1.381	1.13	1.61	1.341	1.26	1.52	1.376	
P (%)	D25	1.21	1.48	1.358	1.07	1.46	1.385	1.13	1.59	1.348	1.23	1.50	1.374	0.040以下
	D29	1.18	1.47	1.347	1.26	1.49	1.398	1.24	1.66	1.364	1.26	1.59	1.379	
	D32	1.11	1.39	1.321	1.04	1.46	1.386	1.30	1.49	1.363	1.21	1.49	1.392	
	D35	0.014	0.025	0.0202	0.018	0.031	0.0274	0.013	0.040	0.0236	0.030	0.034	0.0319	
	D38	0.014	0.036	0.0226	0.022	0.031	0.0254	0.019	0.031	0.0242	0.014	0.034	0.0238	
	D41	0.013	0.039	0.0236	0.015	0.036	0.0225	0.016	0.036	0.0220	0.014	0.040	0.0265	
S (%)	D25	0.014	0.035	0.0246	0.012	0.037	0.0222	0.016	0.037	0.0256	0.015	0.038	0.0267	0.040以下
	D29	0.014	0.036	0.0244	0.013	0.035	0.0233	0.016	0.037	0.0257	0.014	0.037	0.0262	
	D32	0.015	0.038	0.0250	0.013	0.038	0.0241	0.018	0.038	0.0262	0.017	0.038	0.0271	
	D35	0.021	0.030	0.0256	0.014	0.035	0.0233	0.019	0.035	0.0265	0.018	0.037	0.0283	
	D38	0.014	0.029	0.0218	0.027	0.038	0.0325	0.009	0.032	0.0216	0.024	0.030	0.0267	
	D41	0.017	0.034	0.0229	0.014	0.035	0.0222	0.011	0.036	0.0211	0.014	0.034	0.0238	
S (%)	D25	0.014	0.034	0.0242	0.012	0.035	0.0221	0.013	0.040	0.0240	0.008	0.038	0.0211	0.040以下
	D29	0.003	0.035	0.0216	0.010	0.037	0.0225	0.004	0.036	0.0237	0.008	0.038	0.0237	
	D32	0.007	0.035	0.0221	0.009	0.038	0.0221	0.004	0.037	0.0234	0.007	0.037	0.0225	
	D35	0.007	0.035	0.0221	0.009	0.038	0.0221	0.004	0.037	0.0234	0.007	0.037	0.0225	
	D38	0.010	0.035	0.0218	0.008	0.038	0.0213	0.011	0.036	0.0248	0.007	0.038	0.0215	
	D41	0.017	0.023	0.0208	0.010	0.039	0.0262	0.014	0.035	0.0269	0.007	0.038	0.0252	

表2.4-2 化学成分の調査結果：SD490

		前回(2012年)						今回(2017年)						JIS 規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
Cu (%)	D25	0.10	0.28	0.156	0.29	0.34	0.303	0.14	0.36	0.202	0.23	0.27	0.246	-
	D29	0.05	0.38	0.192	0.14	0.31	0.206	0.08	0.33	0.207	0.17	0.27	0.204	
	D32	0.06	0.37	0.197	0.10	0.37	0.172	0.09	0.37	0.216	0.11	0.34	0.188	
	D35	0.10	0.37	0.211	0.10	0.37	0.177	0.07	0.39	0.238	0.11	0.38	0.208	
	D38	0.05	0.43	0.199	0.10	0.39	0.185	0.07	0.42	0.240	0.13	0.35	0.203	
	D41	0.06	0.36	0.227	0.10	0.38	0.180	0.11	0.39	0.241	0.12	0.36	0.186	
D51	0.06	0.28	0.214	0.07	0.42	0.210	0.16	0.41	0.258	0.13	0.38	0.230		
Cr (%)	D25	0.08	0.26	0.125	0.11	0.24	0.169	0.06	0.27	0.137	0.15	0.21	0.179	-
	D29	0.07	0.29	0.141	0.11	0.35	0.227	0.06	0.30	0.146	0.07	0.23	0.149	
	D32	0.06	0.42	0.170	0.07	0.52	0.214	0.05	0.33	0.150	0.08	0.37	0.213	
	D35	0.08	0.44	0.162	0.07	0.40	0.179	0.06	0.30	0.175	0.07	0.37	0.192	
	D38	0.06	0.43	0.151	0.06	0.36	0.199	0.06	0.37	0.170	0.07	0.36	0.201	
	D41	0.07	0.43	0.177	0.06	0.39	0.218	0.07	0.42	0.178	0.07	0.42	0.234	
D51	0.06	0.23	0.131	0.07	0.32	0.138	0.09	0.24	0.156	0.08	0.33	0.195		
Sn (%)	D25	0.010	0.020	0.0121	0.014	0.025	0.0198	0.009	0.037	0.0172	0.014	0.014	0.0140	-
	D29	0.010	0.025	0.0132	0.011	0.022	0.0148	0.009	0.030	0.0144	0.010	0.020	0.0136	
	D32	0.010	0.030	0.0148	0.009	0.029	0.0142	0.009	0.040	0.0130	0.009	0.028	0.0149	
	D35	0.010	0.040	0.0157	0.008	0.051	0.0138	0.008	0.037	0.0148	0.005	0.025	0.0131	
	D38	0.010	0.112	0.0182	0.009	0.040	0.0146	0.007	0.040	0.0144	0.003	0.034	0.0143	
	D41	0.010	0.071	0.0158	0.009	0.041	0.0150	0.009	0.040	0.0142	0.008	0.042	0.0146	
D51	0.010	0.040	0.0184	0.009	0.046	0.0166	0.009	0.040	0.0152	0.006	0.040	0.0139		
V (%)	D25	0.043	0.090	0.0728	0.054	0.055	0.0543	0.036	0.140	0.1078	0.055	0.056	0.0554	-
	D29	0.034	0.099	0.0668	0.053	0.073	0.0639	0.036	0.131	0.0682	0.063	0.104	0.0766	
	D32	0.031	0.152	0.0678	0.053	0.098	0.0723	0.036	0.106	0.0644	0.041	0.103	0.0681	
	D35	0.031	0.090	0.0795	0.052	0.159	0.0771	0.033	0.116	0.0652	0.037	0.107	0.0717	
	D38	0.031	0.098	0.0655	0.046	0.139	0.0785	0.035	0.107	0.0645	0.036	0.108	0.0721	
	D41	0.039	0.099	0.0669	0.052	0.106	0.0804	0.034	0.089	0.0607	0.035	0.107	0.0712	
D51	0.078	0.139	0.0861	0.063	0.208	0.0793	0.053	0.106	0.0791	0.063	0.107	0.0850		
C+Mn/6 (%)	D25	0.44	0.51	0.455	0.48	0.51	0.494	0.42	0.52	0.474	0.48	0.48	0.484	0.60以下
	D29	0.44	0.53	0.475	0.48	0.51	0.493	0.44	0.53	0.483	0.42	0.50	0.459	
	D32	0.44	0.55	0.479	0.44	0.53	0.488	0.44	0.56	0.478	0.44	0.52	0.471	
	D35	0.42	0.53	0.480	0.44	0.53	0.484	0.44	0.55	0.489	0.44	0.53	0.474	
	D38	0.44	0.54	0.490	0.44	0.52	0.492	0.44	0.56	0.493	0.44	0.53	0.472	
	D41	0.46	0.54	0.490	0.45	0.53	0.499	0.44	0.59	0.499	0.44	0.54	0.484	
D51	0.46	0.52	0.495	0.45	0.54	0.503	0.44	0.53	0.493	0.44	0.53	0.502		

表2.5 一般鉄筋のトランプエレメント(Cu、Cr、Sn)の地域比較

地域	Cuの平均値(%)							
	SD295A D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)
北海道	0.299	0.286	0.299	0.286	0.291	0.278	-	-
東北	0.279	0.235	0.275	0.235	0.273	0.231	-	-
関東	0.294	0.272	0.298	0.287	0.293	0.272	0.181	0.191
上越	0.281	0.292	0.278	0.285	0.278	0.281	0.231	0.231
中部	0.258	0.297	0.275	0.286	0.254	0.279	-	0.150
関西、中国	0.257	0.255	0.252	0.267	0.254	0.264	0.257	0.273
九州、沖縄	0.310	0.315	0.329	0.299	0.310	0.297	-	0.199
全国	0.278	0.274	0.289	0.284	0.285	0.280	0.199	0.240

地域	Crの平均値(%)							
	SD295A D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)
北海道	0.244	0.238	0.231	0.239	0.231	0.234	-	-
東北	0.166	0.186	0.162	0.190	0.169	0.191	-	-
関東	0.223	0.217	0.227	0.200	0.225	0.215	0.165	0.148
上越	0.232	0.243	0.228	0.237	0.223	0.229	0.194	0.189
中部	0.168	0.177	0.186	0.125	0.131	0.146	-	0.070
関西、中国	0.182	0.157	0.172	0.185	0.166	0.186	0.190	0.183
九州、沖縄	0.226	0.225	0.206	0.219	0.228	0.216	-	0.164
全国	0.208	0.216	0.200	0.206	0.201	0.208	0.151	0.170

地域	Snの平均値(%)							
	SD295A D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)
北海道	0.018	0.016	0.018	0.017	0.019	0.017	-	-
東北	0.019	0.016	0.019	0.017	0.020	0.018	-	-
関東	0.022	0.018	0.022	0.022	0.022	0.021	0.017	0.014
上越	0.016	0.015	0.017	0.015	0.017	0.015	0.016	0.011
中部	0.016	0.016	0.016	0.016	0.017	0.016	-	0.010
関西、中国	0.014	0.013	0.016	0.014	0.017	0.013	0.022	0.014
九州、沖縄	0.016	0.017	0.016	0.015	0.018	0.015	-	0.011
全国	0.018	0.016	0.019	0.017	0.020	0.017	0.018	0.014

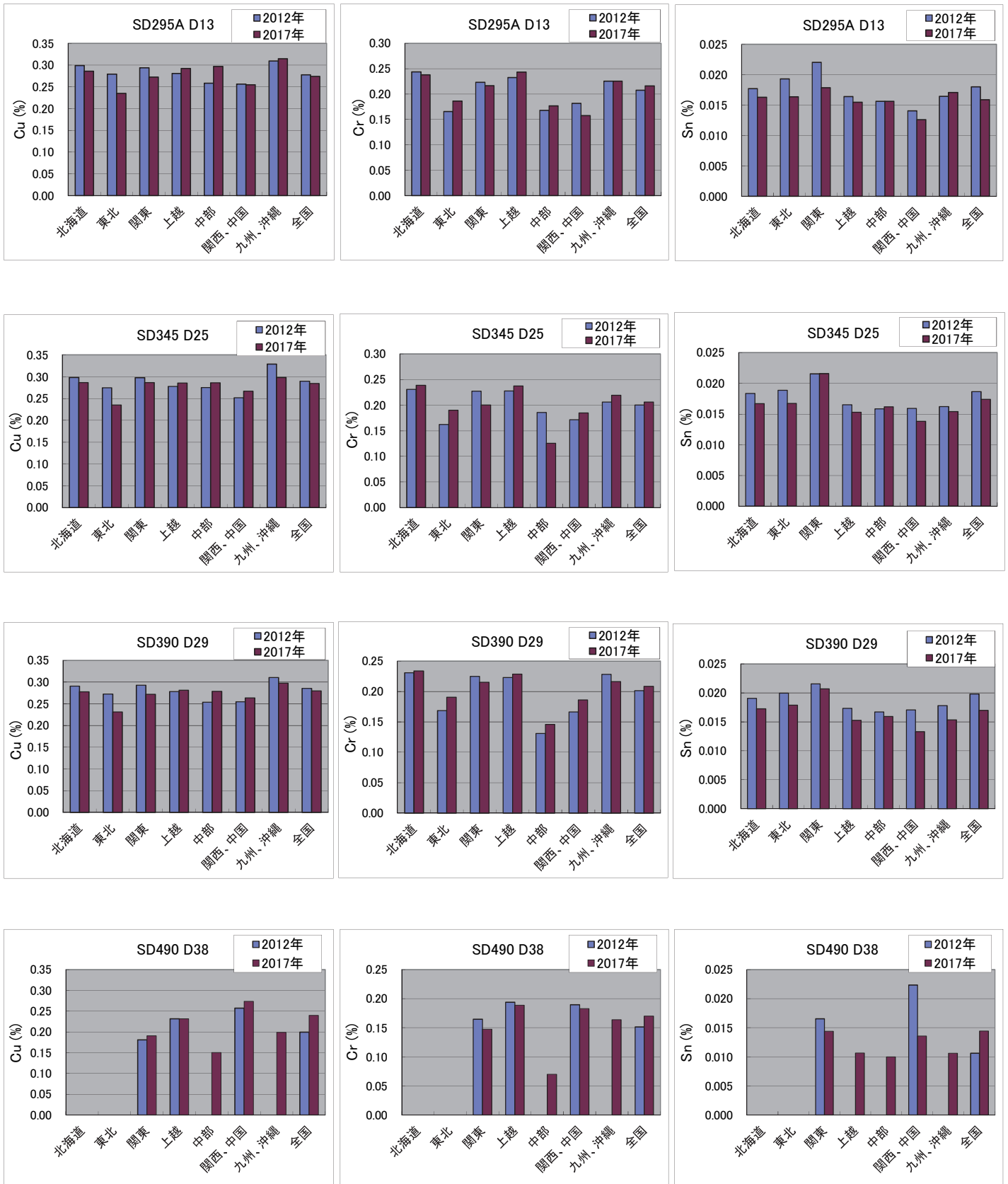


図2.5 一般鉄筋のトランプ元素の地域比較

表2.6 ねじ鉄筋のトランプエレメント(Cu、Cr、Sn)の地域比較

地域	Cuの平均値(%)							
	SD295A D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)
北海道	-	-	-	0.250	-	0.251	-	-
東北	0.269	0.224	-	-	-	0.273	-	-
関東	0.315	-	0.247	0.242	0.265	0.239	0.146	0.212
上越	-	-	-	-	-	-	-	-
中部	-	0.270	0.323	0.242	0.313	0.246	0.280	0.257
関西、中国	-	-	0.264	0.246	0.247	0.233	0.250	0.238
九州、沖縄	-	-	0.321	0.372	0.334	0.354	0.230	0.194
全国	0.271	0.230	0.242	0.213	0.240	0.216	0.185	0.203

地域	Crの平均値(%)							
	SD295A D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)
北海道	-	-	-	0.253	-	0.306	-	-
東北	0.177	0.213	-	-	-	0.211	-	-
関東	0.100	-	0.195	0.214	0.210	0.209	0.165	0.185
上越	-	-	-	-	-	-	-	-
中部	-	0.154	0.133	0.146	0.136	0.137	0.133	0.138
関西、中国	-	-	0.188	0.228	0.198	0.195	0.148	0.188
九州、沖縄	-	-	0.074	0.103	0.128	0.114	0.088	0.111
全国	0.174	0.206	0.232	0.268	0.229	0.250	0.199	0.201

地域	Snの平均値(%)							
	SD295A D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)	前回 (2012年)	今回 (2017年)
北海道	-	-	-	0.020	-	0.019	-	-
東北	0.017	0.014	-	-	-	0.015	-	-
関東	0.020	-	0.027	0.016	0.022	0.016	0.014	0.013
上越	-	-	-	-	-	-	-	-
中部	-	0.015	0.019	0.015	0.020	0.014	0.018	0.015
関西、中国	-	-	0.016	0.014	0.022	0.015	0.015	0.013
九州、沖縄	-	-	0.026	0.019	0.020	0.021	0.014	0.012
全国	0.017	0.014	0.017	0.015	0.017	0.016	0.015	0.014

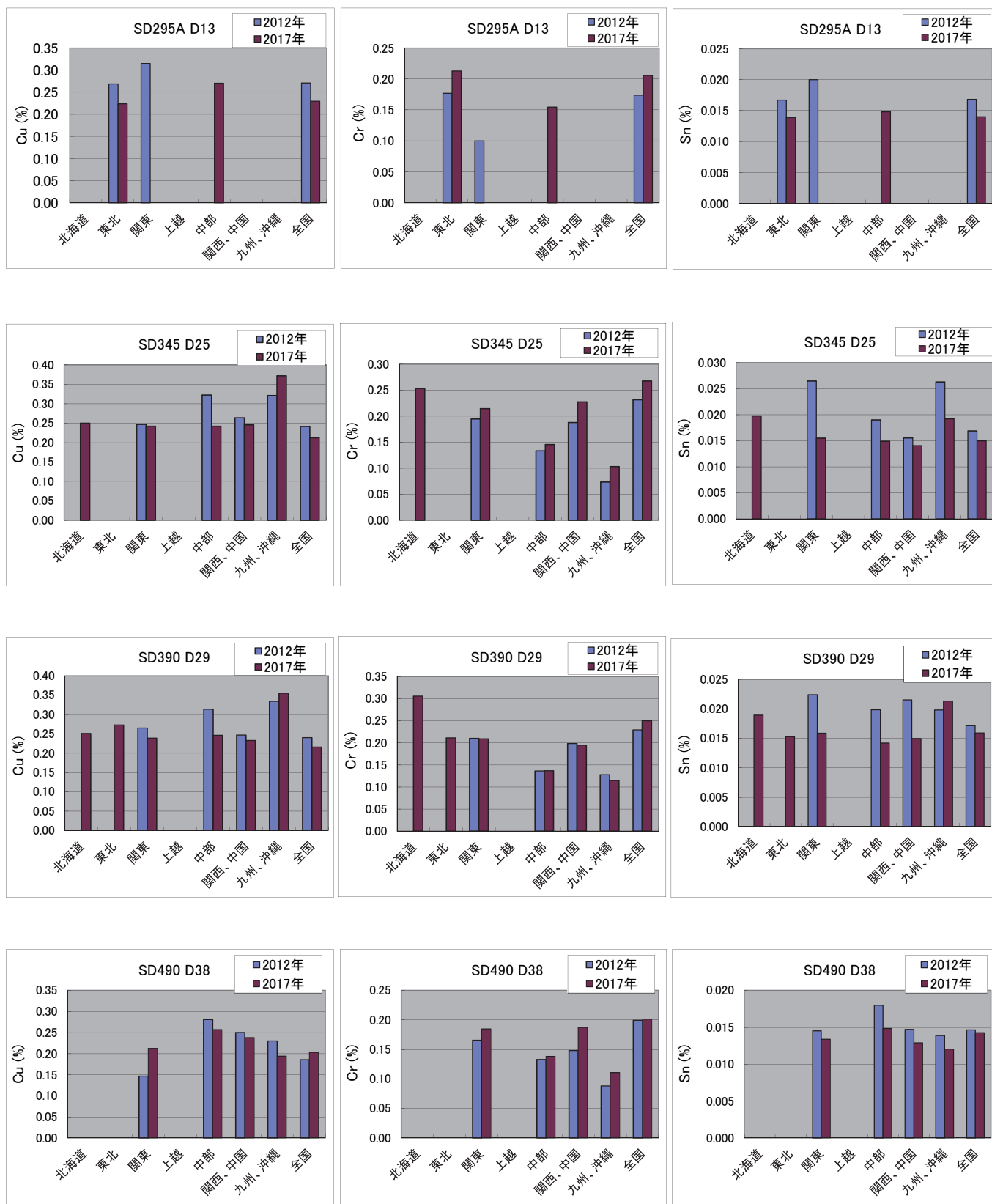


図2.6 ねじ鉄筋のトランプエレメントの地域比較

3. 機械的性質の調査結果

製品の機械的性質に関する今回の調査結果及び前回の調査結果を表 3.2～表 3.5 に示す。また、調査項目に降伏比(3.5 章参照)を参考データとして記載している。調査結果の概要は、以下の通りである。

3.1 SD295A

- (1) D10 から D16 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・伸びは、JIS 規格を満足している。(表中の「-」は製造実績無しを表す)
- (2) 呼び名毎の降伏点・引張強さ・伸びの平均値は前回の調査と比べほぼ同じレベルで推移している。
- (3) 降伏点について呼び名毎の平均値を見ると、359～373 N/mm² の範囲であって、D10 が他の呼び名と比べ若干高めであるが、その他の呼び名・節形状では大きな差は見られない。
- (4) 引張強さについて呼び名毎の平均値を見ると、503～519 N/mm² の範囲であって、ねじ節が若干高めであるが、呼び名では大きな差は見られない。
- (5) 伸びについて呼び名毎の平均値を見ると、25～26% の範囲であって、D10 が他の呼び名と比べ若干高めであるが、その他の呼び名・節形状では大きな差は見られない。
- (6) 降伏比について呼び名毎の平均値を見ると、0.70～0.74 の範囲であって、呼び名が太くなるにつれて若干低くなる傾向が見られる。また、ねじ節の方がやや低くなっている。

3.2 SD345

- (1) D10 から D51 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・伸びは、JIS 規格を満足している。
- (2) 呼び名毎の降伏点・引張強さ・伸びの平均値は前回の調査と比べほぼ同じレベルで推移している。
- (3) 降伏点について呼び名毎の平均値を見ると、393～405 N/mm² の範囲であって、呼び名・節形状では大きな差は見られない。
- (4) 引張強さについて呼び名毎の平均値を見ると、559～579 N/mm² の範囲であって、呼び名・節形状では大きな差は見られない。
- (5) 伸びについて呼び名毎の平均値を見ると、19～24% の範囲であって、呼び名が太くなるにつれて若干低くなる傾向が見られるが、伸びの JIS 規格下限値は、呼び名により異なることから特に材質的な違いがあるわけではない。また、節形状では大きな差は見られない。
- (6) 降伏比について呼び名毎の平均値を見ると、

0.69～0.71 の範囲であって、呼び名・節形状では大きな差は見られない。

3.3 SD390

- (1) D10～D51 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・伸びは、JIS 規格を満足している。
- (2) 呼び名毎の降伏点・引張強さ・伸びの平均値は、前回の調査と比べほぼ同じレベルで推移している。
- (3) 降伏点について呼び名毎の平均値を見ると、430～458 N/mm² の範囲であって、呼び名・節形状では大きな差は見られない。
- (4) 引張強さについて呼び名毎の平均値を見ると、588～634 N/mm² の範囲であって、ねじ節 D16 がやや低くなっているが特に問題はなく、その他の呼び名・節形状では大きな差は見られない。ねじ節 D16 は製造ロット数が非常に少ないことから、参考データと考えて問題ない。
- (5) 伸びについて呼び名毎の平均値を見ると、16～23% の範囲であって、呼び名が太くなるにつれて若干低くなる傾向が見られるが、他の種類と同様に伸びの JIS 規格下限値は、呼び名により異なることから特に材質的な違いがあるわけではない。また、節形状では大きな差は見られない。
- (6) 降伏比について呼び名毎の平均値を見ると、0.72～0.74 の範囲であって、呼び名が太くなるにつれて若干低くなる傾向が見られるが、節形状では大きな差は見られない。

3.4 SD490

- (1) D25～D51 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・伸びは、JIS 規格を満足している。
- (2) 呼び名毎の降伏点・引張強さ・伸びの平均値は前回の調査と比べほぼ同じレベルで推移している。
- (3) 降伏点について呼び名毎の平均値を見ると、535～552 N/mm² の範囲であって、ねじ節は若干低めだが、呼び名では大きな差は見られない。
- (4) 引張強さについて呼び名毎の平均値を見ると、704～724 N/mm² の範囲であって、呼び名・節形状では大きな差は見られない。
- (5) 伸びについて呼び名毎の平均値を見ると、15～20% の範囲であって、呼び名が太くなるにつれて若干低くなる傾向が見られるが、他の種類と同様に伸びの JIS 規格下限値は、呼び名により異なることから特に材質的な違いがあるわけではない。また、節形状では大きな差は見られない。

3.5 降伏比

降伏比については、JIS G3112：2010 の附属書に以下のように記述されている。

受渡当事者間の協定によって、丸鋼及び異形棒鋼に、次の降伏比¹⁾の適用を指定することができる。ただし、SD490 を除く。

降伏比 ≤ 0.80

注¹⁾ 降伏比は、降伏点又は耐力と引張強さとの比(降伏点又は耐力を、引張強さで 除したもの)で表す。

この事から降伏比については、全ての JIS 製品に適用されているものではないため、参考データ

として記載した。

3.6 まとめ

- (1) 今回調査対象にした全種類、全呼び名の製造実績において、降伏点、引張強さ及る事が確認された。
- (2) 前回の調査結果との比較では、降伏点・引張強さ・伸び共に平均値の変動は少なく、同じレベルで推移している。
- (3) 一般鉄筋とねじ鉄筋との比較では、降伏点・引張強さ・伸び・降伏比という基本的な材質において、大きな違いは見られない。

表 3.1 JIS G 3112 鉄筋コンクリート用棒鋼（機械的性質）

種類の記号	降伏点 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	呼び名	伸び (%) (注)	試験片
SD295A	295 以上	440~600	$\leq D22$	≥ 16	2号
			$\geq D25$	≥ 17	14A号
SD345	345~440	490 以上	$\leq D22$	≥ 18	2号
			$\geq D25$	≥ 19	14A号
SD390	390~510	560 以上	$\leq D22$	≥ 16	2号
			$\geq D25$	≥ 17	14A号
SD490	490~625	620 以上	$\leq D22$	≥ 12	2号
			$\geq D25$	≥ 13	14A号

(注) 異形棒鋼で、寸法が呼び名 D32 を超えるものについては、呼び名 3 を増すごとに上表の伸びの値からそれぞれ 2 減じる。ただし、減じる限度は 4 とする。

備考 試験片はいずれも製品のままで、機械仕上を行ってはいけないと規定されている。

表3.2 機械的性質調査結果：SD295A

	呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
降伏点 (N/mm ²)	D10	301	445	375.7	—	—	—	322	433	372.7	—	—	—	295以上
	D13	308	440	367.7	339	385	365.7	312	429	365.8	340	388	359.0	
	D16	315	415	365.9	332	374	357.0	311	414	362.5	335	397	361.0	
引張強さ (N/mm ²)	D10	455	594	515.2	—	—	—	450	589	507.3	—	—	—	440 ~600
	D13	445	588	509.9	493	543	521.9	444	600	502.6	484	556	510.7	
	D16	453	588	512.9	500	535	519.1	449	582	502.8	478	580	519.4	
伸び (%)	D10	17	36	26.4	—	—	—	16	39	26.4	—	—	—	16以上
	D13	16	36	25.6	21	28	25.5	17	41	25.7	20	29	25.0	
	D16	17	34	25.0	22	31	26.1	17	34	25.0	21	30	25.6	
降伏比	D10	0.60	0.82	0.729	—	—	—	0.60	0.82	0.735	—	—	—	0.80 以下
	D13	0.60	0.84	0.721	0.67	0.72	0.700	0.63	0.80	0.728	0.68	0.72	0.703	
	D16	0.63	0.78	0.714	0.66	0.71	0.688	0.61	0.80	0.721	0.66	0.72	0.695	

表3.3 機械的性質調査結果：SD345

	呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
降伏点 (N/mm ²)	D10	359	421	389.5	—	—	—	358	439	395.3	—	—	—	345 ~440
	D13	352	436	394.0	370	405	384.0	356	438	397.7	384	408	397.1	
	D16	351	436	393.5	374	425	402.8	357	439	395.4	378	424	400.5	
	D19	349	438	394.3	364	427	391.4	352	437	396.6	359	429	397.5	
	D22	355	438	394.7	368	429	396.5	359	437	398.0	363	434	405.0	
	D25	347	438	391.9	372	425	393.8	355	436	395.3	366	428	396.7	
	D29	354	438	395.3	364	428	392.2	360	439	397.6	367	428	392.6	
	D32	351	439	393.3	366	419	397.1	365	440	396.6	363	428	396.7	
	D35	360	434	394.2	369	431	397.8	364	438	398.9	365	430	393.1	
	D38	365	439	396.4	367	423	391.1	365	438	398.4	375	423	395.2	
	D41	365	426	396.8	364	410	392.3	365	435	398.7	374	426	394.7	
D51	354	435	397.3	370	426	393.1	380	436	403.5	372	428	399.7		
引張強さ (N/mm ²)	D10	515	609	555.8	—	—	—	521	624	560.5	—	—	—	490以上
	D13	505	677	560.6	532	567	551.3	502	631	559.1	545	579	566.1	
	D16	504	637	564.5	549	589	570.7	500	628	561.5	540	609	572.8	
	D19	504	643	565.0	530	604	564.9	503	628	563.7	538	626	567.7	
	D22	506	643	566.4	532	611	570.9	503	631	565.3	524	616	573.8	
	D25	509	639	564.8	536	622	570.9	521	632	564.6	526	610	565.6	
	D29	520	647	568.4	524	628	568.5	531	637	569.3	545	593	568.8	
	D32	517	642	568.0	525	608	572.8	524	630	568.1	533	614	570.7	
	D35	526	630	567.5	535	617	576.3	528	618	569.5	531	613	567.4	
	D38	525	631	573.3	537	599	569.6	530	657	570.2	537	610	568.4	
	D41	544	623	570.7	527	594	565.5	528	618	574.0	538	599	568.3	
D51	524	625	579.0	532	612	568.2	541	620	578.6	535	600	571.7		
伸び (%)	D10	19	32	25.0	—	—	—	18	30	24.4	—	—	—	18以上
	D13	18	30	23.9	20	26	23.1	18	30	23.4	19	26	23.0	
	D16	18	31	23.3	19	33	24.1	18	31	23.0	19	26	23.3	
	D19	18	29	22.3	18	27	22.5	18	29	21.7	18	25	21.7	
	19以上	D22	18	30	21.9	18	28	22.1	18	29	21.4	18	26	21.4
		D25	19	33	23.6	19	29	24.2	19	32	23.0	19	29	23.1
		D29	19	31	23.2	19	28	23.6	19	34	22.8	19	28	22.5
		D32	19	30	22.7	19	28	23.2	19	30	22.5	19	29	22.2
		D35	17	30	22.2	17	27	22.7	17	30	22.0	17	26	22.3
		17以上	D38	15	29	22.0	15	27	21.9	15	28	21.1	15	28
D41	15		29	21.0	15	26	21.5	15	28	20.9	15	26	20.4	
15以上	D51		15	27	20.4	15	27	20.7	15	26	19.8	15	25	18.8
降伏比	D10		0.63	0.74	0.701	—	—	—	0.58	0.76	0.706	—	—	—
	D13	0.57	0.76	0.703	0.69	0.72	0.696	0.60	0.78	0.711	0.68	0.73	0.702	
	D16	0.60	0.75	0.698	0.67	0.73	0.706	0.59	0.77	0.704	0.67	0.72	0.699	
	D19	0.57	0.77	0.698	0.66	0.74	0.693	0.60	0.76	0.704	0.63	0.75	0.700	
	D22	0.61	0.78	0.697	0.66	0.74	0.699	0.63	0.75	0.704	0.66	0.75	0.705	
	D25	0.61	0.76	0.694	0.65	0.73	0.687	0.63	0.75	0.700	0.66	0.74	0.701	
	D29	0.62	0.76	0.696	0.65	0.73	0.690	0.64	0.74	0.699	0.65	0.75	0.691	
	D32	0.62	0.77	0.693	0.66	0.74	0.693	0.64	0.75	0.698	0.65	0.74	0.695	
	D35	0.64	0.75	0.695	0.64	0.74	0.691	0.65	0.74	0.701	0.66	0.73	0.693	
	D38	0.66	0.74	0.693	0.65	0.73	0.687	0.64	0.74	0.699	0.67	0.74	0.696	
	D41	0.65	0.73	0.694	0.66	0.72	0.695	0.65	0.73	0.695	0.66	0.72	0.695	
D51	0.65	0.72	0.688	0.65	0.73	0.697	0.65	0.73	0.698	0.64	0.73	0.699		

表3.4 機械的性質調査結果：SD390

	呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
降伏点 (N/mm ²)	D10	451	482	460.2	—	—	—	443	471	457.7	—	—	—	390 ~510
	D13	410	501	451.5	—	—	—	410	499	454.5	—	—	—	
	D16	405	497	454.6	426	455	437.4	414	503	456.2	419	441	430.0	
	D19	405	491	456.8	434	482	449.1	414	501	455.2	432	481	453.6	
	D22	412	486	451.8	428	482	453.5	421	510	452.5	—	—	—	
	D25	397	510	444.8	412	478	455.3	411	488	450.5	439	466	450.9	
	D29	393	505	450.1	410	494	451.6	411	506	455.1	425	486	453.9	
	D32	391	503	447.1	409	487	451.7	411	506	453.2	413	485	447.5	
	D35	400	499	452.0	423	487	452.7	404	498	454.3	410	484	452.4	
	D38	407	501	449.3	405	484	447.8	404	510	455.2	421	479	448.0	
D41	415	485	445.4	420	479	444.6	415	479	447.5	433	480	452.3		
D51	426	471	442.3	418	470	439.9	416	481	444.7	417	476	442.9		
引張強さ (N/mm ²)	D10	611	658	633.1	—	—	—	573	667	618.8	—	—	—	560以上
	D13	587	715	624.1	—	—	—	593	673	633.5	—	—	—	
	D16	587	701	628.3	571	616	589.4	581	701	626.4	580	595	587.5	
	D19	582	694	625.5	589	649	618.2	574	692	622.1	589	646	619.5	
	D22	572	667	626.6	609	648	624.8	592	696	621.2	—	—	—	
	D25	584	688	620.5	599	658	628.8	581	669	618.4	608	625	618.4	
	D29	560	700	625.7	589	674	630.1	574	700	628.6	579	686	629.3	
	D32	566	695	624.0	574	670	623.4	576	701	626.3	584	680	621.5	
	D35	562	697	626.8	577	700	629.3	578	705	628.0	583	673	625.3	
	D38	579	699	628.0	578	683	622.9	574	734	629.5	587	672	619.5	
D41	597	699	636.1	572	665	617.2	585	666	621.6	601	665	629.6		
D51	603	655	629.4	584	638	611.1	594	665	621.9	585	655	615.5		
伸び (%)	D10	21	24	21.9	—	—	—	18	28	22.6	—	—	—	16以上
	D13	16	26	21.5	—	—	—	16	25	21.3	—	—	—	
	D16	16	26	21.1	21	23	22.6	16	27	21.1	23	23	23.0	
	D19	16	26	20.7	17	23	19.9	16	26	20.0	19	22	20.4	
	D22	16	24	19.9	16	21	18.5	16	26	20.0	—	—	—	17以上
	D25	17	27	22.4	17	26	22.0	17	26	21.5	20	24	21.8	
	D29	17	28	20.8	17	27	21.2	17	29	20.4	17	26	20.5	15以上
	D32	17	28	20.4	17	26	20.8	17	27	20.1	17	26	20.0	
	D35	15	28	20.1	15	28	20.8	15	27	19.3	15	29	19.5	13以上
	D38	13	28	19.3	13	26	19.4	13	27	18.8	13	28	18.6	
D41	14	26	20.3	13	26	19.0	13	27	19.1	14	22	18.5		
D51	13	26	20.9	13	24	16.6	15	27	19.1	13	22	16.4		
降伏比	D10	0.70	0.77	0.728	—	—	—	0.70	0.78	0.742	—	—	—	0.80 以下
	D13	0.67	0.79	0.724	—	—	—	0.61	0.77	0.719	—	—	—	
	D16	0.65	0.77	0.724	0.72	0.76	0.742	0.65	0.77	0.729	0.72	0.74	0.732	
	D19	0.70	0.78	0.731	0.71	0.75	0.726	0.66	0.78	0.732	0.71	0.75	0.733	
	D22	0.69	0.77	0.722	0.69	0.76	0.726	0.67	0.78	0.729	—	—	—	
	D25	0.64	0.79	0.717	0.67	0.75	0.724	0.67	0.78	0.729	0.71	0.75	0.730	
	D29	0.64	0.79	0.719	0.66	0.78	0.717	0.65	0.78	0.724	0.68	0.77	0.722	
	D32	0.64	0.78	0.717	0.67	0.78	0.725	0.65	0.81	0.724	0.67	0.76	0.720	
	D35	0.65	0.78	0.721	0.68	0.76	0.718	0.65	0.77	0.724	0.68	0.78	0.724	
	D38	0.64	0.78	0.715	0.65	0.76	0.719	0.65	0.78	0.723	0.69	0.76	0.724	
D41	0.64	0.75	0.701	0.69	0.76	0.721	0.66	0.76	0.720	0.67	0.75	0.718		
D51	0.69	0.72	0.703	0.69	0.75	0.720	0.64	0.76	0.715	0.69	0.76	0.720		

表3.5 機械的性質調査結果：SD490

	呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
		一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
		最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
降伏点 (N/mm ²)	D25	523	563	548.3	531	558	543.3	507	574	548.5	528	562	545.8	490 ~625
	D29	512	583	547.6	523	561	543.3	503	596	552.5	514	573	541.7	
	D32	509	590	543.8	512	562	531.9	508	590	548.6	511	563	539.6	
	D35	507	588	544.2	505	560	536.1	502	588	547.2	508	578	535.2	
	D38	502	590	540.2	505	564	537.4	508	613	546.5	505	561	535.6	
	D41	507	596	547.9	507	560	535.8	502	598	544.2	507	568	538.9	
引張強さ (N/mm ²)	D25	671	734	706.3	715	735	727.5	650	747	718.3	707	733	724.3	620以上
	D29	673	778	713.1	700	751	719.6	676	770	722.9	661	750	704.2	
	D32	666	774	716.3	660	742	703.5	671	783	718.8	659	755	708.5	
	D35	654	786	716.5	659	761	707.7	661	772	717.7	659	782	711.7	
	D38	657	774	712.4	653	760	705.2	646	788	719.0	658	751	711.0	
	D41	649	813	727.8	666	750	706.6	647	783	717.2	659	780	717.9	
伸び (%)	D25	17	24	20.6	20	22	20.8	13	27	19.1	17	22	19.4	13以上
	D29	17	24	20.0	14	21	19.3	14	26	19.5	14	26	20.5	
	D32	14	24	18.8	13	25	19.6	13	25	18.4	14	26	19.2	
	D35	11	24	18.5	13	24	18.6	12	25	18.4	13	25	18.5	11以上
	D38	10	24	18.0	12	25	17.5	10	25	18.0	13	25	17.1	9以上
	D41	13	22	17.3	12	23	17.4	9	24	17.3	13	25	16.9	
D51	12	20	17.2	10	22	15.4	11	23	17.2	9	24	15.1		

4. 単位質量の調査結果

収集したデータの単位質量調査結果比較を表 4.1 に、2012 年に調査した結果を含めて示した。その結果概要は次の通りである。

4.1 一般鉄筋

- (1) D10・D13・D16 は平均値で前回と比較するとマイナス 0.2～マイナス 0.5 となっているが、いずれも JIS 規格内である。
- (2) D19～D29 においては前回と比較すると平均値で 0～マイナス 0.4、最大値でもマイナス傾向が多くなっているが、いずれも JIS 規格内である。
- (3) D32～D51 は前回と比較すると平均値でマイナス 0.1～プラス 0.3、最大値ではプラスの傾向が高いが、いずれも JIS 規格内である。

4.2 ねじ節鉄筋

- (1) D10 の製造実績は無い、D13・D16 の平均値と比較すると、ほぼ同値で、最大・最少の幅が前回 2.8%～3.6%から今回 3.9%～4.6%と大きくなっている。
- (2) D19～D29 は平均値で前回と比較すると D29 でマイナス 0.3、D19～D25 ではプラス 0.1～0.6 で D29 以外では重くなっている傾向が見られる。
- (3) D32～D51 では D19～D29 とは逆に平均値で見るとマイナスが多く軽くなっている傾向が見られる。

4.3 一般鉄筋とねじ節鉄筋の比較

- (1) D10・D13・D16 では、一般鉄筋、ねじ節鉄筋共にマイナス側での管理がされている傾向が見られるが、ねじ節鉄筋の方が数値幅が小さい。
- (2) D19～D29 でも、マイナス側で管理されている傾向は変わらず、ねじ節鉄筋でのマイナス幅が一般鉄筋比で小さい。
- (3) D32～D51 では、マイナス管理傾向は変わらないが、一般鉄筋とねじ節鉄筋の平均値差が小さい。径が太くなるにつれマイナス幅が小さくなっている。

4.4 まとめ

一般鉄筋、ねじ節鉄筋共に、各サイズとも質量許容差のマイナス側ではあるが、全て JIS 規格を満足している。ねじ節鉄筋は一般鉄筋と比較すると最大値と最少値の幅が小さく、質量許容差のマイナス側数値も小さい。前回調査同様、ねじ節特有の管理がなされていると思われる。

表4.1 単位質量調査結果

単位質量調査結果 (SD295A)

(単位: %)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	-6	1	-4.0	-	-	-	-6	3	-4.5	-	-	-	±6
D13	-6	2	-4.6	-6	-3	-4.1	-6	1	-4.8	-6	-1	-4.1	±6
D16	-5	3	-3.5	-4	0	-2.3	-5	2	-3.7	-4	0	-2.4	±5

単位質量調査結果 (SD345)

(単位: %)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	-6	-2	-4.1	-	-	-	-6	1	-4.0	-	-	-	±6
D13	-6	2	-4.5	-6	-3	-4.6	-6	3	-4.7	-6	-3	-4.4	±6
D16	-5	2	-3.6	-4	0	-2.0	-5	1	-3.7	-4	0	-2.5	±5
D19	-5	0	-3.7	-4	0	-2.9	-5	3	-3.7	-5	0	-2.3	±5
D22	-5	3	-3.5	-4	0	-2.6	-5	4	-3.9	-4	1	-2.5	±5
D25	-5	1	-3.5	-5	0	-3.2	-5	0	-3.9	-5	-1	-3.0	±5
D29	-4	2	-2.7	-4	1	-2.4	-4	2	-2.7	-4	0	-2.7	±4
D32	-4	2	-2.5	-4	1	-2.2	-4	4	-2.7	-4	0	-2.5	±4
D35	-4	1	-2.3	-4	2	-2.0	-4	2	-2.4	-4	0	-2.1	±4
D38	-4	1	-2.2	-4	1	-1.9	-4	2	-2.2	-4	0	-1.8	±4
D41	-4	1	-1.9	-4	1	-1.5	-4	1	-1.6	-3	0	-1.6	±4
D51	-4	3	-1.2	-3	2	-1.3	-4	2	-1.7	-4	1	-1.5	±4

単位質量調査結果 (SD390)

(単位: %)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	-4	-1	-3.6	-	-	-	-5	-2	-3.3	-	-	-	±6
D13	-6	-3	-4.3	-	-	-	-6	1	-3.9	-	-	-	±6
D16	-5	0	-3.2	-3	-2	-2.5	-5	1	-3.0	-2	-2	-2.2	±5
D19	-5	-1	-3.5	-4	-3	-3.5	-5	0	-3.5	-2	-1	-1.4	±5
D22	-5	3	-3.1	-4	-2	-3.2	-5	5	-3.2	-	-	-	±5
D25	-5	-1	-3.6	-5	-1	-2.5	-5	0	-3.6	-4	-1	-2.4	±5
D29	-4	2	-2.8	-4	0	-2.3	-4	1	-2.8	-4	0	-2.6	±4
D32	-4	2	-2.8	-4	0	-2.1	-4	2	-2.8	-4	0	-2.4	±4
D35	-4	2	-2.4	-4	0	-2.0	-4	0	-2.5	-4	0	-2.1	±4
D38	-4	0	-2.2	-4	0	-1.9	-4	2	-2.3	-4	0	-2.0	±4
D41	-4	1	-2.0	-3	0	-1.6	-4	1	-1.9	-3	0	-1.6	±4
D51	-3	0	-1.5	-3	1	-1.4	-3	1	-1.4	-4	1	-1.4	±4

単位質量調査結果 (SD490)

(単位: %)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D25	-4	-2	-2.9	-4	-4	-4.1	-5	1	-3.2	-4	-2	-3.2	±5
D29	-4	-1	-2.6	-4	-2	-3.0	-4	1	-2.4	-3	1	-2.0	±4
D32	-4	2	-2.1	-4	1	-2.1	-4	0	-2.4	-4	1	-2.5	±4
D35	-4	1	-2.1	-4	1	-1.8	-4	-1	-2.3	-4	0	-2.2	±4
D38	-4	1	-2.2	-3	1	-2.0	-4	3	-2.2	-4	0	-2.0	±4
D41	-4	1	-1.9	-4	1	-1.5	-4	2	-1.6	-4	0	-1.4	±4
D51	-2	1	-0.8	-3	1	-1.3	-3	1	-1.0	-4	1	-1.6	±4

5. 節形状の調査結果

製品の節の高さの調査結果を表 5.1 に、節の平均間隔の調査結果を表 5.2 に示す。調査結果の概要は、次のとおりである。

5.1 節の高さ

- (1) 一般鉄筋の D10～D51 の節高さの平均値は、前回調査と大きな差は認められない。
今回の平均値は D10 が 0.57 mm、D13 が 0.70 mm、D51 は 3.10 mm の実績である。
- (2) 一般鉄筋の最小値は、各サイズとも前回調査とほぼ同様の実績であり、全て JIS 規格を満足している。
- (3) 一般鉄筋の最大値は、前回調査より減少しているサイズが多いが規格値内であり問題ない。最小値、最大値共に JIS 規格は全て満足している。
*前回調査比で D19 マイナス 0.4 mm、D25 マイナス 0.5 mm、D41 マイナス 0.6 mm
- (4) ねじ鉄筋の平均値は、全サイズとも一般鉄筋よりも上回っており、D13 が 0.92 mm、D51 は 4.09 mm の実績である。
- (5) ねじ鉄筋の最小値は、一般鉄筋より 0.2 mm～0.9 mm 高くなっており、最大値でも各サイズとも一般鉄筋より高い値の実績である。
全て JIS 規格は満足している。

5.2 節の平均間隔

- (1) 一般鉄筋の節平均間隔の平均値は、D10～D22 が前回調査より 0.03 mm～0.19 mm 上昇し、D29～D38 は前回調査より 0.22 mm～0.81 mm と更に数値が上昇、D51 については 1.39 mm 数値が上昇した。D25 は 0.07 mm、D41 は 0.24 mm 数値が下降した。
今回の平均値は D10 が 6.26 mm、D51 が 26.07 mm の実績であった。
- (2) 一般鉄筋の最小値は、全サイズにおいて前回調査同様にばらつきが見られ、マイナス 1.8 mm～プラス 2.6 mm の範囲で変動した。
- (3) 一般鉄筋の最大値は、D51 が前回調査より 2.0 mm 上昇した。
その他のサイズは前回調査とほぼ同様の値となっている。
- (4) 今回の調査において、一般鉄筋の節平均間隔 (JIS 規格：公称直径の 70%以下) の公称直径に対する比率は、D10 の平均値が公称直径の 66%、範囲は 57%～70%、D51 の平均値は公称直径の 51%、範囲は 30%～68% であった。
- (5) ねじ鉄筋については、一般鉄筋との比較で、D16～D51 の最小値でマイナス 0.1 mm～3.6 mm、D13

ではプラス 1.7 mm に対し、最大値はマイナス 1.8 mm～マイナス 14.5 mm と変動幅が大きい。

これは、ねじ鉄筋の方が、一般鉄筋よりも節平均間隔が狭く、かつ、最大値と最小値の幅も小さくなっていることを示している。

- (6) ねじ鉄筋についても一般鉄筋と同様に節平均間隔 (JIS 規格：公称直径の 70%以下) の公称直径に対する比率を求めると、D13 の平均値は公称直径の 55% であって、JIS 規格の 54%～56% の範囲内であった。また D51 の平均値は 39% であって、JIS 規格の 37%～40% 内と狭い範囲で寸法管理が成されている。

5.3 まとめ

今回の節形状調査結果は、節の高さ及び節の平均間隔共に前回と同様に JIS 規格を満足した結果であった。

特にねじ鉄筋においては、一般鉄筋の節形状に対してより高水準値で JIS 規格を満足していることが再度確認された。

これは、ねじの性格上、一般鉄筋の節形状精度以上にねじ山の精度が要求され、各メーカーは JIS 規格を遵守しつつ、メーカー独自で管理体制を構築してきた成果と推察される。

表5.1 節の高さ調査結果

節の高さ調査結果(SD295A)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	0.4	0.8	0.56	-	-	-	0.4	0.8	0.57	-	-	-	0.4~0.8
D13	0.5	1.0	0.70	0.9	1.0	0.95	0.5	1.0	0.70	0.8	1.0	0.92	0.5~1.0
D16	0.7	1.3	0.99	1.1	1.4	1.22	0.7	1.3	1.01	1.1	1.4	1.25	0.7~1.4

節の高さ調査結果(SD345)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	0.4	0.7	0.55	-	-	-	0.4	0.7	0.56	-	-	-	0.4~0.8
D13	0.5	1.0	0.69	0.9	1.0	0.95	0.5	1.0	0.69	0.8	1.0	0.92	0.5~1.0
D16	0.7	1.3	0.97	1.1	1.4	1.22	0.8	1.3	1.00	1.2	1.4	1.28	0.7~1.4
D19	1.0	2.0	1.32	1.5	1.9	1.69	1.0	1.6	1.30	1.2	1.9	1.62	1.0~2.0
D22	1.1	2.1	1.48	1.5	2.2	1.75	1.1	2.0	1.43	1.3	2.1	1.76	1.1~2.2
D25	1.3	2.5	1.67	1.6	2.5	2.02	1.3	2.0	1.61	1.5	2.5	1.98	1.3~2.6
D29	1.4	2.5	1.84	1.9	2.7	2.24	1.4	2.4	1.83	1.9	2.7	2.26	1.4~2.8
D32	1.6	2.9	2.02	2.0	3.0	2.52	1.6	2.6	2.00	1.9	3.0	2.46	1.6~3.2
D35	1.8	3.1	2.23	2.2	3.3	2.81	1.8	2.8	2.19	2.2	3.3	2.73	1.7~3.4
D38	2.0	3.2	2.44	2.4	3.5	2.98	2.0	2.9	2.39	2.3	3.6	2.98	1.9~3.8
D41	2.1	3.8	2.61	2.8	3.5	3.10	2.1	3.2	2.58	2.4	3.7	3.21	2.1~4.2
D51	2.5	4.2	3.10	3.4	4.8	4.11	2.6	4.2	3.10	3.5	4.8	4.09	2.5~5.0

節の高さ調査結果(SD390)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	0.5	0.6	0.57	-	-	-	0.5	0.6	0.56	-	-	-	0.4~0.8
D13	0.6	0.9	0.71	-	-	-	0.5	0.9	0.70	-	-	-	0.5~1.0
D16	0.8	1.3	1.00	1.3	1.4	1.35	0.8	1.3	1.03	1.3	1.4	1.36	0.7~1.4
D19	1.0	1.6	1.29	1.2	1.7	1.49	1.1	1.6	1.30	1.6	1.8	1.71	1.0~2.0
D22	1.2	1.8	1.44	1.5	1.8	1.61	1.2	1.8	1.45	-	-	-	1.1~2.2
D25	1.3	1.9	1.60	1.9	2.4	2.11	1.3	2.0	1.66	1.8	2.4	2.05	1.3~2.6
D29	1.4	2.4	1.79	1.9	2.7	2.24	1.4	2.5	1.82	1.9	2.7	2.24	1.4~2.8
D32	1.6	2.7	1.96	2.0	3.0	2.52	1.6	2.8	1.99	1.9	3.0	2.43	1.6~3.2
D35	1.7	2.8	2.14	2.2	3.3	2.81	1.7	3.2	2.17	2.2	3.2	2.69	1.7~3.4
D38	1.9	3.2	2.36	2.5	3.6	2.97	1.9	3.0	2.38	2.4	3.5	2.92	1.9~3.8
D41	2.3	3.0	2.54	2.8	3.5	3.11	2.1	3.3	2.57	2.4	3.8	3.20	2.1~4.2
D51	2.6	4.3	3.36	4.0	4.4	4.17	2.6	3.6	3.00	3.5	4.5	4.01	2.5~5.0

節の高さ調査結果(SD490)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D25	1.4	1.8	1.62	1.9	2.1	2.04	1.4	1.9	1.67	1.8	2.3	2.12	1.3~2.6
D29	1.5	2.0	1.79	2.0	2.2	2.10	1.4	2.2	1.79	2.1	2.8	2.32	1.4~2.8
D32	1.6	2.4	1.96	2.2	3.0	2.58	1.6	2.4	1.97	2.0	2.9	2.40	1.6~3.2
D35	1.8	2.8	2.20	2.5	3.3	2.87	1.8	2.6	2.13	2.2	3.2	2.66	1.7~3.4
D38	2.0	3.0	2.44	2.4	3.5	2.98	2.0	3.0	2.33	2.4	3.6	2.96	1.9~3.8
D41	2.1	4.2	2.58	2.8	3.5	3.11	2.2	3.1	2.59	2.7	3.8	3.20	2.1~4.2
D51	2.7	3.4	2.99	3.4	4.8	4.11	2.6	4.1	2.99	3.5	4.6	4.06	2.5~5.0

表5.2 節の平均間隔調査結果

節の平均間隔調査結果 (SD295A)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	5.2	6.7	6.23	-	-	-	5.4	6.7	6.26	-	-	-	6.7以下
D13	7.0	8.9	8.18	6.9	7.0	6.98	5.2	8.9	8.22	6.9	7.1	6.99	8.9以下
D16	8.0	11.1	10.19	8.0	8.1	8.03	8.1	11.0	10.30	8.0	8.1	8.04	11.1以下

節の平均間隔調査結果 (SD345)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	5.7	6.6	6.26	-	-	-	5.4	6.7	6.31	-	-	-	6.7以下
D13	7.1	8.9	8.20	6.9	7.0	6.98	7.0	8.9	8.22	6.9	7.0	6.97	8.9以下
D16	9.1	11.1	10.33	8.0	8.1	8.03	7.0	11.0	10.28	7.9	8.1	8.05	11.1以下
D19	7.9	13.3	11.99	7.9	9.1	8.20	9.2	13.3	12.18	7.9	9.1	8.18	13.4以下
D22	9.0	15.3	13.78	8.9	11.0	9.55	11.6	15.3	13.92	8.9	11.0	9.56	15.5以下
D25	11.9	17.7	15.65	10.0	12.1	11.02	12.6	17.7	15.58	9.9	12.1	10.73	17.8以下
D29	13.5	19.9	17.35	11.7	14.0	12.78	13.5	19.8	17.57	11.6	14.0	12.72	20.0以下
D32	13.7	22.2	18.96	12.8	16.1	13.67	14.6	22.1	19.25	12.6	16.1	13.86	22.3以下
D35	13.5	24.0	19.90	13.8	17.0	15.02	13.7	24.4	20.71	13.8	17.0	14.87	24.4以下
D38	15.2	26.2	21.78	14.9	17.0	15.69	15.6	26.2	22.21	14.9	17.0	15.50	26.7以下
D41	16.5	28.2	22.91	15.9	17.0	16.18	15.7	28.4	22.67	16.0	17.0	16.31	28.9以下
D51	15.3	32.7	24.68	19.0	20.1	19.81	15.3	34.7	26.07	18.9	20.2	19.73	35.6以下

節の平均間隔調査結果 (SD390)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D10	5.8	6.4	6.13	-	-	-	6.2	6.4	6.30	-	-	-	6.7以下
D13	7.1	8.8	8.14	-	-	-	7.8	8.9	8.42	-	-	-	8.9以下
D16	9.4	11.0	10.36	8.0	8.1	8.02	8.9	11.0	10.21	7.9	8.1	8.02	11.1以下
D19	10.6	13.3	12.21	8.0	8.0	7.99	11.0	13.3	12.38	8.0	9.0	8.26	13.4以下
D22	11.5	15.3	14.02	9.0	11.0	9.64	12.3	15.3	14.03	-	-	-	15.5以下
D25	13.2	17.7	15.91	10.0	12.1	11.24	13.2	17.7	15.75	10.0	12.0	10.78	17.8以下
D29	11.9	19.8	17.49	11.7	14.0	12.78	13.5	19.8	17.62	11.6	14.0	12.60	20.0以下
D32	13.7	22.3	19.37	12.8	16.1	13.67	14.6	22.0	19.28	12.6	16.1	13.76	22.3以下
D35	13.5	24.0	20.62	13.8	17.0	15.02	13.8	24.4	20.65	13.8	17.0	15.01	24.4以下
D38	13.5	26.1	22.16	14.9	17.0	15.56	15.4	26.2	22.57	14.9	17.0	15.58	26.7以下
D41	18.5	28.0	23.99	15.9	17.0	16.17	16.0	28.4	24.06	15.9	17.0	16.38	28.9以下
D51	25.4	33.3	28.88	19.0	20.1	19.69	16.4	34.5	27.07	18.9	20.2	19.68	35.6以下

節の平均間隔調査結果 (SD490)

(単位: mm)

呼び名	前回 (2012年)						今回 (2017年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ鉄筋			一般鉄筋			ねじ鉄筋			
	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	最小値	最大値	平均値	
D25	15.4	17.5	16.46	12.0	12.0	12.00	13.2	17.5	15.60	10.9	12.0	11.46	17.8以下
D29	14.2	19.7	17.43	11.7	14.0	12.55	13.5	19.8	17.38	12.0	14.0	12.76	20.0以下
D32	14.4	21.8	18.68	12.8	16.1	13.93	15.1	21.9	18.90	12.8	16.1	13.88	22.3以下
D35	13.5	23.7	20.33	13.8	17.0	15.01	13.7	24.1	20.59	13.8	17.0	14.86	24.4以下
D38	15.2	25.5	22.08	14.9	17.0	15.68	15.4	26.2	22.48	14.9	17.0	15.51	26.7以下
D41	18.5	26.8	24.02	15.9	17.0	16.18	16.4	28.3	23.41	15.9	17.0	16.29	28.9以下
D51	17.4	33.8	26.50	19.0	20.1	19.81	16.4	34.7	28.38	18.9	20.2	19.69	35.6以下

鉄筋棒鋼品質調査 定例調査協力事業所 一覧

1	朝日工業(株)	埼玉工場
2	(株)伊藤製鐵所	石巻工場
3	(株)伊藤製鐵所	筑波工場
4	大阪製鐵(株)	西日本熊本工場
5	大谷製鉄(株)	
6	関東スチール(株)	
7	岸和田製鋼(株)	
8	九州製鋼(株)	
9	共英製鋼(株)	名古屋事業所
10	共英製鋼(株)	枚方事業所
11	共英製鋼(株)	山口事業所
12	合同製鐵(株)	船橋製造所
13	JFE 条鋼(株)	豊平製造所
14	JFE 条鋼(株)	鹿島製造所
15	JFE 条鋼(株)	東部製造所
16	JFE 条鋼(株)	水島製造所
17	三興製鋼(株)	
18	清水鋼鐵(株)	苫小牧製鋼所
19	(株)城南製鋼所	
20	拓南製鐵(株)	新中城工場
21	千代田鋼鉄工業(株)	綾瀬工場
22	(株)トーカイ	
23	東京鐵鋼(株)	本社工場
24	東京鐵鋼(株)	八戸工場
25	トピー工業(株)	豊橋製造所
26	中山鋼業(株)	
27	北越メタル(株)	長岡工場
28	三星金属工業(株)	
29	(株)向山工場	久喜工場
30	山口鋼業(株)	

23 社 30 事業所

電炉鉄筋棒鋼の現状について

－特別調査編(文献調査)－

1. 鉄筋棒鋼の現状

1.1 鉄筋棒鋼の生産状況

世界の粗鋼生産量は1985年には7億1,700万トンであったが、2015年に15億9,200万トンとなり翌2016年には16億1,000万トンで推移している。

我が国の製法別粗鋼生産量は図1.1で見ると、電気炉による生産量は最近では約2,400万トン前後を維持している（粗鋼全体の22%以上）。鋼材生産量は普通鋼鋼材約7,200万トン、特殊鋼鋼材1,800万トンで、このうち内需は約5,000万トンである。

鉄筋を含む小型棒鋼の生産を業態別に見ると、全国の生産量約850万トンのうち普通鋼電炉メーカーによるものが97%を占め、残りを高炉、伸鉄メーカー等が生産している。従って建設向け鉄筋棒鋼の大半が電炉製品となっている。

鉄筋棒鋼の過去からの生産推移について見ると、図1.2に示すように、石油ショックの影響で極度の不況に陥った1975年の843万トンからその後の回復につれバブル景気の1990年前後には1300万トン台の生産をあげた。2009年にリーマン・ショック、2011年東日本大震災が起り、生産量は再び低迷し2016年には788万トンであった。今後は少子高齢化社会の到来により、需要の先細り等が懸念される。

なお、鉄筋棒鋼の輸出は、1970年～80年代が最盛期で、200万トンを超える年もあった。輸出先は中近東から、東南アジア、中国その後は韓国へとシフトしてきている。最近4年間は主に韓国向け中心に概ね20～40万トン台で推移している。

我が国の電炉鉄筋棒鋼の製造メーカーは24社あり、生産能力は各工場とも1万トン/月以上で、電気炉、連続铸造機、連続圧延機等を備えたJIS認証取得工場となっている。この他に鋼片を購入して製造する単圧メーカーや、切断鋼材等を購入して圧延する再生（伸鉄）棒鋼会社が存在する。

鉄筋棒鋼は丸鋼と異形棒鋼があり、図1.3に示すように、異形棒鋼では表面に竹節状の節を有する一般的な鉄筋の他に、節がネジ状でねじ締めが可能なねじ鉄筋がある。この他にも国土交通大臣の認定を取得したSD590、SD685、SD785等の高強度鉄筋や、高強度せん断補強筋等が注目されている。

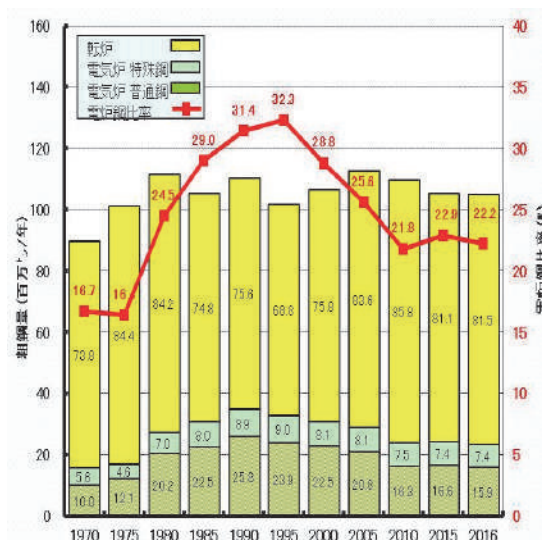


図 1.1 製法別粗鋼生産量の推移

出所：鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報

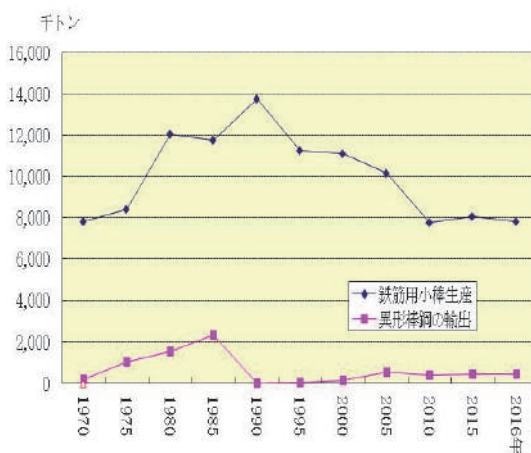


図 1.2 鉄筋棒鋼生産と輸出推移

出所：鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報

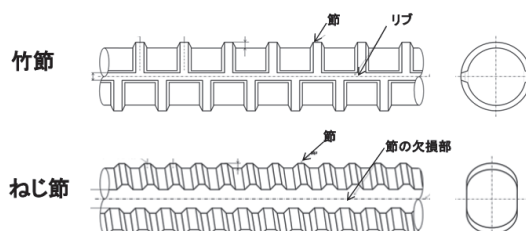


図 1.3 異形棒鋼の節形状の例（竹節、ねじ節）

2. 鉄筋棒鋼の製造

2.1 鋼の基本的性質

2.1.1 鋼の成分

通常使用する鋼材には少量ではあるが、鉄以外の元素を含んでおり、特にC, Si, Mn, P, Sは最も一般的であり5元素と言われている。炭素の含有量によって鉄の性質は大きく異なるが、一般的に炭素を約0.04~2.0%含む鉄を鋼と呼んでいる^{2.1)}。特殊な用途では炭素を高くしたり、Ni, Mo, Crなどの合金元素を加えることがありこれらを特殊鋼と呼び合金含有量レベルで低合金鋼、高合金鋼などと呼ぶ。成分を主体とした鋼の分類を表2.1に示す。

2.1.2 鋼の状態図

鋼の機械的性質は金属組織や成分などで決まる。C=0.8%以下(図2.5 Fe-C状態図における共析点C=0.765%)の鋼は、通常、フェライトとセメンタイトと称する2つの金属組織より成り立っている。鋼には、C, Si, Mn, P, Sの他、Ni, Cr, Cu, Sn等の元素を微量に含みこれらも、機械的性質に影響を与えるが、一般的にはフェライトとセメンタイトの量及びその分布が支配的である。フェライトはFeを主体とし少量のC(図2.5 Fe-C状態図においてC=0.02%以下)等を固溶し、低温域(図2.5 Fe-C状態図において約910°C以下)では、結晶は体心立方構造(稠密構造ではない)でありそれより高い温度域では結晶構造としては稠密である面心立方構造(オーステナイト)である。そこから冷却する場合、体積膨張が生じる。セメンタイトは炭化鉄(Fe₃C)の金属組織学上の名称であり、硬くもろい性質を持っている。C=0.8%以下の鋼ではセメンタイトはフェライトと層状の組織として現われこれをパーライトと称している。この炭素領域の炭素鋼の金属組織は原則的にはフェライトとパーライトの量が増減する。

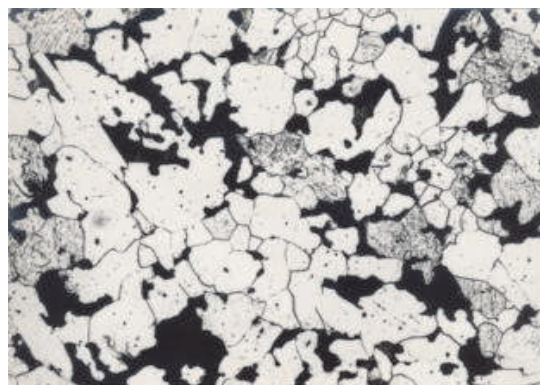
2.1.3 鋼の強度

鋼の強度は、次の要素から成り立っている。

- ・固溶強化：フェライトを形成する固溶体にC, Si, Mn等を固溶させ強化する。
- ・析出強化：フェライト中に固溶した元素が温度変化等で結晶粒界に析出し、あるいは炭化物と結合して強化に寄与する。Nb, V等はこの役割を担う。
- ・変態組織強化：図2.5に示すように、鋼は温度によって結晶格子構造が変化する。これを利用して強化を行う。鋼の焼き入れ、焼き戻し等はこの例である。
- ・結晶粒の細粒化：結晶粒の大きさによって強度、特に降伏点は変化する。

表2.1 含有成分による鋼の種類と製品の例^{2.2)}

鋼の種類	成分特長	製品の例	
炭素鋼	極軟鋼	C 0.12%以下	自動車、冷蔵庫、洗濯機などの薄鉄板、ブリキ板、トタン板
	軟鋼	C 0.12%~0.30%	船舶、建物、客車、鉄橋などの薄鋼、形鋼、鋼板、ガス、水道の管、針金、釘
	硬鋼	C 0.30%~0.50%	汽車、電車の車輪、レール、ワイヤーロープ、ばね
	最硬鋼	C 0.50%~0.90%	かみそりの刃、刃物類、やすり、バイト、ゼンマイ、ペン先、さく岩機の刃先
	炭素工具鋼	C 0.60%~1.5%	モーター、トランス
低合金鋼	珪素鋼	Si 0.5%~5%	機関車の車輪、貴社、電車の車、車軸、歯車などの機械部品、ばね
	構造用合金鋼	Ni 0.4%~3.5% Cr 0.4%~3.7% Mo 0.15%~0.7%	ボルト、ナット、軸、歯車、タービン翼
	合金工具鋼	Cr 1.5%以下 W 5.0%以下 Ni 2.0%以下	バイト、ダイス、ポンチ、ヤスリ、タガネ、帯鋼
	軸受鋼	Cr 0.9%~1.6%	軸受、ベアリング
	高張力鋼	Cu Ni 各1%以下 Cr	建築、橋梁、船舶、鉄道、鉱山
合金鋼	ステンレス鋼	Ni 8.0%~16% Cr 11.0%~20%	食器、家具、化学工業機械部品
	耐熱鋼	Ni 13.0%~22% Cr 8.0%~26%	特殊エンジン
	高速度鋼	W V 6.0%~22% Co	強力バイト、ドリル



白い部分=フェライト 黒い部分=パーライト

図2.1 金属組織の一例

以上のようなメカニズムによる強度の具体的な影響を図2.2及び図2.3に示す。Mn=1.0%の鋼でCが増すと、パーライトの割合が増え、強度が上がる。また、C=0.15%の鋼でMnが増すと固溶強化、パーライトの増加によって強度が上がる。

2.1.4 鋼の成分と機械的性質

鋼の機械的性質は、C含有量によって大きく変化する。C%を高めれば強度は大きくなるが硬化性も大き

くなる事から溶接性が悪くなる。強度を上げるためにはC%を適当に抑え、その代わりにMn, V, Nb等を添加する。これは、固溶体中に入り込み固溶強化を起こしたり、結晶粒界に析出して強化作用をなし、あるいは変態組織強化によって強度を上昇させるためである。

不純成分であるP, Sを製鋼過程で完全に除去することはできず製品に残留する。

Pはフェライトの中に固溶し強度を増すが多量に含有すると伸びと靱性を害するので、規格上限値(JIS G3112においては、SR235, SR295, SD295A=0.050%以下、SD295B, SD345, SD390, SD490=0.040%以下)を持つ。SはFeと化合してFeSとなり凝固中にオーステナイト粒界に集まり熱間加工性を害するが、Mnと化合してMnSを作りやすいのでMnがある程度あればSの害を減少することができる(MnはSの3~5倍あることが望ましい)。

元素の影響の一覧表は、表2.2を参照。表中のマルテンサイト(martensite)とは、Fe-C系合金を安定なオーステナイトから急冷する事によって得られる組織である。図2.4にマルテンサイトの組織の一例を示す。

化学成分と強度との関係でみると、降伏点、引張強さ、伸びは化学成分に影響されるが、この関係を定量的に表したものに機械的性質に関する炭素等量(Ceq)がある。たとえば、

$$\text{降伏点} = a \times \text{Ceq} + b$$

ここで、Ceqは降伏点に関する炭素等量、a, bは定数で実験的に定める炭素等量は種々の値があるが、Rienebolt Harrisの関係式を修正した式として以下の式が提唱されている。(C, Mn等は重量%)

降伏点

$$C_T = C + Mn/5 + Si/7 + Cu/7 + Ni/20 + Mo/2 + 1.1V$$

引張強さ

$$C_T = C + Mn/5 + Si/7 + Cu/7 + Ni/20 + Cr/9 + Mo/2 + V/2$$

伸び

$$C_E = C + Mn/9 + Si/12 + Cu/10 + Ni/20 + Cr/4 + 0.4Mo + 0.8V$$

鉄筋棒鋼は、特別な用途を要求される場合には、製造者と使用者の間で用途に応じた品質特性に関する情報交換等のコミュニケーションが必要となる。

2.1.5 結晶粒度と強度との関係

鉄筋棒鋼は曲げなどの塑性加工を受ける場合があるが、鋼材の塑性加工の特徴は他の金属加工に比べて

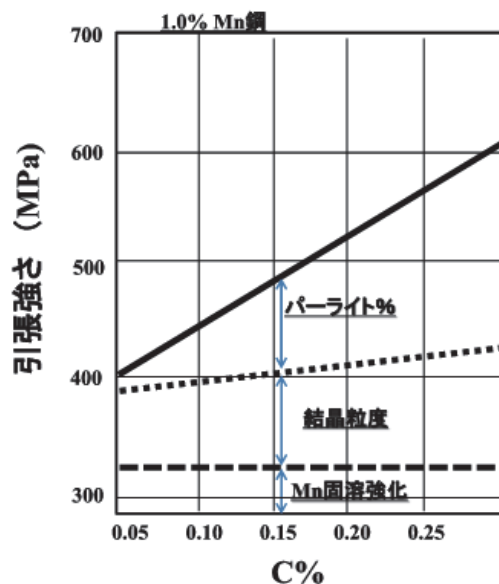


図2.2 炭素量と引張強さの関係^{2,2)}

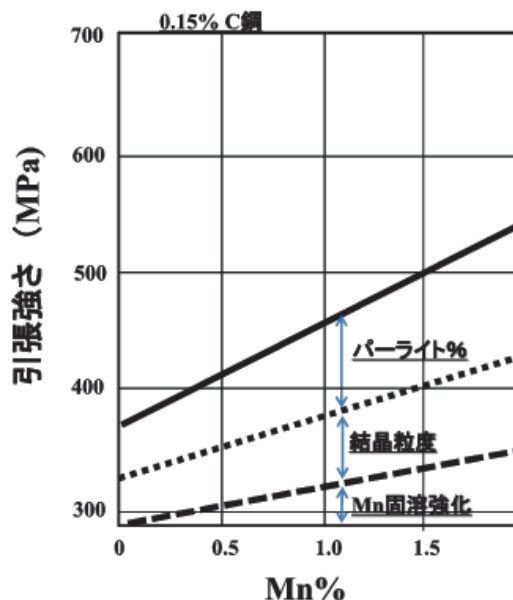


図2.3 Mn量と引張強さの関係^{2,2)}



図2.4 マルテンサイトの一例

表 2.2 鋼の性質に及ぼす主要元素の影響 2.2)

元素	強化作用				熱間加工性	冷間加工性	特記事項
	細粒強化	固溶強化	析出強化	変態組織強化			
C	-	○	○	○	強度の増大に伴い低下	同左	パーライトの分率増加による強化
Si	-	○	-	-	同上	同左	0.2%以下のSiはフェライトの中に完全に固溶し、伸びを減少なく強度を増す
Mn	○	○	-	○	MnSとなりSの害を除く	深絞り加工性に好ましくない	鋼には重要な元素、韌性を向上させる効果もある
Cu	-	○	○	-	0.25%超で熱間加工性害するがNi添加で防止	-	0.3%以上で耐食性大となる、0.5%以上で析出強化が期待できる
Cr	-	○	-	○	2.0%までは影響ない	深絞り加工性に好ましくない(0.5%以上)	フェライトに固溶し強化、パーライト分率増加、焼き入れ性増加
Ni	-	○	-	○	1.0%までは影響ない	深絞り加工性に好ましくない	低温における韌性強化
Mo	-	○	-	○	-	-	焼き入れ性向上に有効、耐熱鋼に使用
Nb	○	-	○	-	-	-	結晶粒細粒化、強化、韌性の向上
V	○	-	○	-	-	-	同上
N	-	○	○	-	-	深絞り加工性に好ましくない	フェライトに固溶、時効性あり、Al, Ti添加によりNの影響軽減

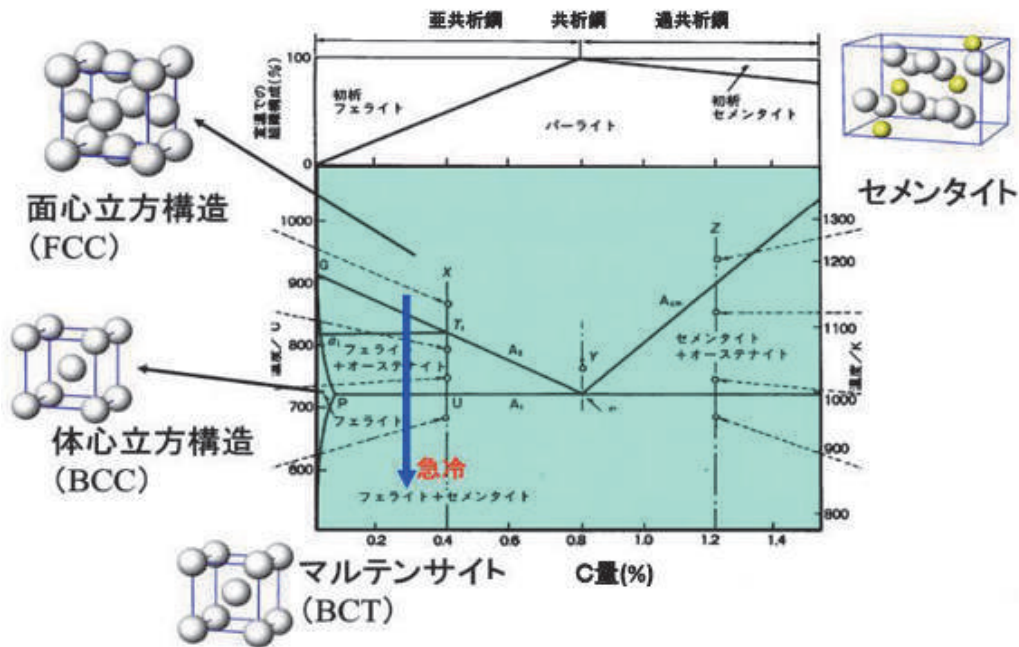


図 2.5 Fe-C 状態図と結晶構造の特徴 2.3)2.4)

加工工程において材質が変化することにある。降伏応力 σ は、結晶粒度の影響を受け (特に、熱間加工における結晶粒度制御など行った結果の材質変化は、一般に単相金属の降伏応力で見ると)、ホールペッチの式で表記できる。

$$\sigma = \sigma_0 + kd^{-1/2}$$

ここで、 σ_0 は転位の摩擦力、 d は結晶粒径、 k は定数である。即ち結晶粒径が小さくなるほど降伏応力 σ は大きくなり、強度が上昇する。熱間加工では、加工度や速度、加工温度や冷却速度などを制御して結晶粒度を制御することが可能である。冷間加工を行うと、まず転位密度が上昇しこれによって加工硬化が生じ強度が増す一方、伸びや絞りなど変形能が減少する。Fe 原子と大きさの異なる異種元素が固溶され、Fe 原

子と置換されるか Fe-Fe 原子間に侵入すると、変形時のすべり面がひずみ転位が移動するのに要する力が大きくなる。また、析出物、分散物、第 2 相の存在は転位の移動を妨げ強度が増す。酸化物や硫化物は鋼材の延性、韌性、耐疲労性、耐食性などに悪影響を及ぼすため、快削鋼など特殊な用途を除き、非金属介在物は少ないことが望ましい。鋼中析出物のうち、炭化物、窒化物は侵入型化合物が多い。セメント (Fe₃C) は鋼中に生成するもっとも一般的な炭化物である。地金に多量の異元素を固溶させるともろくなるので焼き戻しなどで適切に析出させて韌性を与えることが可能である。鋼は、炭素含有量の増加とともに一般的に韌性は低下する。また、P, S, N, H, O などは結晶粒界に微小偏析するので韌性が低下する。

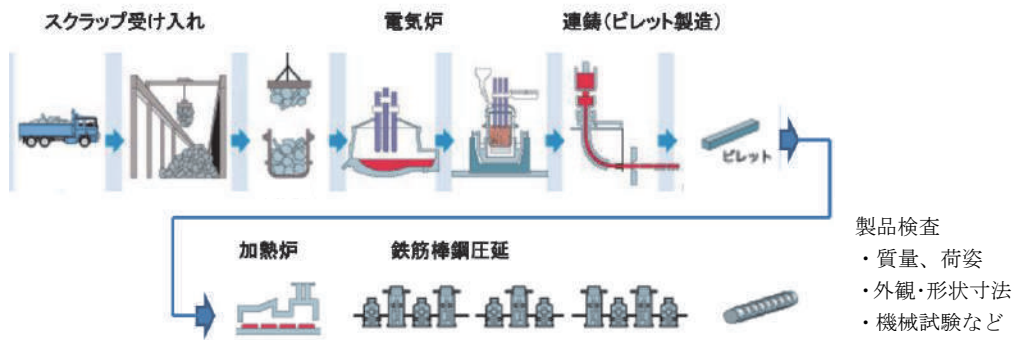


図 2.6 鉄筋棒鋼製造プロセスフローの事例

2.2 鉄筋棒鋼の製造

2.2.1 製造フロー

鋼材の製造フローを図 2.6 に示す。鉄源の製造方法は、高炉・転炉法、スクラップ電炉が一般的であるが、これ以外に還元鉄を活用する方法などもあるが、いずれの場合も、熔融した鋼を製造するルートの差であり、それを冷却して凝固させる casting プロセス以降は、圧延などそれ以降のプロセスを含めて基本的に共通である。

2.2.2 主要原料

主要な原料である、鉄スクラップは、表 2.3 のように分類される。主として外観形状で分類され、鉄スクラップの中に含まれる合金成分のうち、通常の製鋼工程で除去しにくく、鋼材の優れた特性である繰り返しリサイクルの活用にて徐々に、蓄積され得る Cu、Cr、Sn などはトランプエレメント（さまよえる元素の意味）と呼ばれている。

2.3 品質管理

鉄筋棒鋼に要求される機能と品質特性としては、表 2.4 に示すように、強度および伸び、付着性、耐疲労性、曲げ特性、曲げ戻し特性などが挙げられる (JIS G3112)。

それぞれの要求される機能に対して、降伏点など品質特性値等が対応している。この要求にこたえるために、製造者においては、その原料購入、製鋼圧延、検査、出荷の一連の流れに沿って一貫した工程・品質管理(図 2.6)が行われている。

また、特に主原料となるスクラップの購入に当たっては、スクラップの受け入れ管理(受け入れ時の鉄くず検収統一規格)、Cu など微量元素考慮したスクラップ配合、化学成分分析、溶鋼温度測定、ロール組み替え基準等製造基準に沿って製造・出荷を行っている。

【参考文献】

2.1) ISO 4948-1、Steel Classification Part1、1982 年

表 2.3 鉄スクラップの品種分類

品種	等級	寸法(mm)		単重(kg)
		厚さ	幅or高さ x長さ	
一階	HS	6以上	500以下x700以下	600以下
	H1	6以上	500以下x1200以下	1000以下
	H2	3以上~6未満	" "	"
	H3	1以上~3未満	" "	"
	H4	1未満	" "	"
プレス階	A	3辺の総和1800以下、最大辺800以下		
	B	" "		
	CS	上限寸法は同上、下限は3辺総和600以上		
シュレダー階	AS			
	A			
	B			
新断面階	プレスA	3辺の総和1800以下、最大辺800以下		
	プレスB	" "		
	バラA			
	バラB			
鋼ダライ粉	A			
	B			
	プレス	3辺の総和1800以下、最大辺800以下		

表 2.4 異形棒鋼の要求機能及び品質特性²⁾

JIS規格における特性関連事項	品質特性	備考
JIS G3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)による	強度及び伸び	
	曲げ戻し特性	JIS G3112 9.2項及び解説9.2項。曲げ戻しの試験と実作業とのマッチングは難しい。したがって異形棒鋼についてやむを得ず曲げ戻しを行う場合はこれを考慮して曲げ半径を予め決めておく
JIS G3112及び解説に記載した外観形状に適合していること	コンクリート付着性	JIS G3112 7.2項及び解説7.2.1項。別に必要とする場合は目的に適合する付着試験で確かめる
	耐疲労性	JIS G3112 7.2項及び解説7.2.1項。別に必要とする場合は目的に適合する疲労試験で確かめる

2.2) 普電工：電炉鉄筋棒鋼の研究、1987年3月

2.3) 牧正志：鉄鋼の組織制御その原理と方法、内田老鶴圃、p44、2015年12月

2.4) 牧正志：ミクロの世界から見た鉄鋼材料の魅力、ふえらむ、Vol.13、2008年No8

3. 鉄筋棒鋼の種類と JIS 規格

JIS G 3112:2010「鉄筋コンクリート用棒鋼」には、鉄筋の種類として丸鋼の SR235、SR295 と異形棒鋼の SD295A、SD295B、SD345、SD390、SD490 が定められている。

JIS G 3112:1987 は、建築基準法第 37 条の規定に基づく鉄筋として適合すべき国土交通大臣指定の日本工業規格に指定されている。

JIS G 3112 は 1987 年の改正以降、2004 年、2010 年に改正されており、2018 年現在では、JIS G 3112:2010 が最新となっている。

また、JIS 規格を超える超高強度の主筋やせん断補強筋も使用されており、こちらは製造各社が個別に国土交通大臣の認定を受けて、製造、販売している。

鉄筋棒鋼に関連する JIS 規格には以下のようなものがある。

- JIS G 0320:2015 鋼材の溶鋼分析方法
- JIS G 0404:2014 鋼材の一般受渡し条件
- JIS G 0415:2014 鋼及び鋼製品一検査文書
- JIS G 3117:2017 鉄筋コンクリート用再生棒鋼
- JIS G 3191:2012 熱間圧延棒鋼とバーインコイルの形状、寸法及び質量並びにその許容差
- JIS Z 2241:2011 金属材料引張試験方法
- JIS Z 2248:2014 金属材料曲げ試験方法
- JIS Z 8401:1999 数値の丸め方

鉄筋棒鋼の化学成分は、SR235～SD295A に関しては、P、S について規定しており、SD295B～SD490 については、P、S に加え、C、Si、Mn も規定されている。また、炭素等量（ここでの定義は、C+Mn/6）については SD345～SD490 に関して規定している。

現在流通している鉄筋棒鋼の化学成分及び機械的性質については、普通鋼電炉工業会・電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会によって定期的な実態調査を行っている。直近の調査データでみても、十分に規格値を満足

していることがわかる。

JIS G 3112:2010 における、

- 化学成分に関する規定を表 3.1 に示す。
- 機械的性質に関する規定を表 3.2 に示す。
- 寸法、単位質量及び節の許容限度に関する規定を表 3.3、表 3.4 に示す。
- 1 本ごとの表示に関する規定を表 3.5 に示す。
- 外観に関する規定は、「丸鋼及び異形棒鋼には、使用上有害なきずがあってはならない」と記載されている。

JIS G 3112:2010 において、表示は次の様に規定している。

(1) 1 本ごとの表示

丸鋼及び 1 本ごとの表示は次による。ただし、丸鋼のコイル及び寸法が呼び名 D4、D5、D6、D8 の異形棒鋼のコイルの表示は、1 結束ごとの表示とする。

- 丸鋼及び異形棒鋼は表 3.5 によって、種類を区別する表示を行う。ただし、異形棒鋼の種類を区別する表示は、SD295A を除き圧延マークによることとし、寸法が呼び名 D4、D5、D6、D8 の異形棒鋼及びねじ状の節を持った異形棒鋼は、色別塗色としても良い。
- 異形棒鋼は圧延マークによって製造業者名又はその略号による表示を行う。但し、寸法が呼び名 D4、D5、D6、D8（コイルを除く）の異形棒鋼及び異形表面の形状によって製造業者名が明確な異形棒鋼に限り、この表示を省略してもよい。

(2) 1 結束ごとの表示

丸鋼及び異形棒鋼の 1 結束ごとの表示は、次の項目を適切な方法で行う。

- 種類の記号
- 溶鋼番号または検査番号
- 径、公称直径または呼び名
- 製造業者名又はその略号

表 3.1 鉄筋棒鋼の化学成分 (JIS G 3112:2010 鉄筋コンクリート用棒鋼、表 2 化学成分値から抜粋)

種類の記号	単位 %					
	C	Si	Mn	P	S	$C + \frac{Mn}{6}$
SD295A	—	—	—	0.050 以下	0.050 以下	—
SD345	0.27 以下	0.55 以下	1.60 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.50 以下
SD390	0.29 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.55 以下
SD490	0.32 以下	0.55 以下	1.80 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.60 以下

注^{a)} 必要に応じて、この表以外の合金元素を添加してもよい。

表 3.2 鉄筋棒鋼の機械的性質 (JIS G 3112: 2010 表 3 機械的性質から抜粋)

種類の 記号	降伏点 又は 耐力 N/mm ²	引張 強さ N/mm ²	引張試験片	伸び ^{a)} %	曲げ性		
					曲げ 角度	内側半径	
SD295A	295 以上	440～ 600	2号に準じるもの	16以上	180°	呼び名 D16 以下	公称直径の 1.5 倍
			14A号に準じるもの	17以上		呼び名 D16 超え	公称直径の 2 倍
SD345	345～ 440	490 以上	2号に準じるもの	18以上	180°	呼び名 D16 以下	公称直径の 1.5 倍
			14A号に準じるもの	19以上		呼び名 D16 超え	公称直径の 2 倍
						呼び名 D41 以下	公称直径の 2.5 倍
SD390	390～ 510	560 以上	2号に準じるもの	16以上	180°	公称直径の 2.5 倍	
			14A号に準じるもの	17以上		公称直径の 2.5 倍	
SD490	490～ 625	620 以上	2号に準じるもの	12以上	90°	呼び名 D25 以下	公称直径の 2.5 倍
			14A号に準じるもの	13以上		呼び名 D25 超え	公称直径の 3 倍

注記 1 N/mm² = 1 MPa
 注^{a)} 異形棒鋼で、寸法が呼び名 D32 を超えるものについては、呼び名 3 を増すごとにこの表の伸びの値からそれぞれ 2 を減じる。ただし、減じる限度は 4 とする。

表 3.3 異形棒鋼の寸法、単位質量及び節の許容限度 (JIS G 3112: 2010 表 4 から抜粋)

呼び名	公称直径 (d) mm	公称周長 ^{a)} (l) cm	公称断面積 ^{a)} (S) cm ²	単位質量 ^{a)} kg/m	節の平均間 隔の最大値 ^{b)} mm	節の高さ ^{c)}		節のすき間 の合計の最 大値 ^{d)} mm	節と軸 線との 角度
						最小値 mm	最大値 mm		
D10	9.53	3.0	0.713 3	0.560	6.7	0.4	0.8	7.5	45° 以上
D13	12.7	4.0	1.267	0.995	8.9	0.5	1.0	10.0	
D16	15.9	5.0	1.986	1.56	11.1	0.7	1.4	12.5	
D19	19.1	6.0	2.865	2.25	13.4	1.0	2.0	15.0	
D22	22.2	7.0	3.871	3.04	15.5	1.1	2.2	17.5	
D25	25.4	8.0	5.067	3.98	17.8	1.3	2.6	20.0	
D29	28.6	9.0	6.424	5.04	20.0	1.4	2.8	22.5	
D32	31.8	10.0	7.942	6.23	22.3	1.6	3.2	25.0	
D35	34.9	11.0	9.566	7.51	24.4	1.7	3.4	27.5	
D38	38.1	12.0	11.40	8.95	26.7	1.9	3.8	30.0	
D41	41.3	13.0	13.40	10.5	28.9	2.1	4.2	32.5	
D51	50.8	16.0	20.27	15.9	35.6	2.5	5.0	40.0	

注^{a)}～注^{d)} における数値の丸め方は、JIS Z 8401 の規則 A による。
 注^{a)} 公称断面積、公称周長、及び単位質量の算出方法は、次による。
 なお、公称断面積 (S) は有効数字 4 けたに丸め、公称周長 (l) は小数点以下 1 けたに丸め、単位質量は有効数字 3 けたに丸める。

$$\text{公称断面積 (S)} = \frac{0.785 4 \times d^2}{100}$$

$$\text{公称周長 (l)} = 0.314 2 \times d$$

$$\text{単位質量} = 0.785 \times S$$
 b) 節の平均間隔の最大値は、その公称直径 (d) の 70% とし、算出した値を小数点以下 1 けたに丸める。
 c) 節の高さは、表 5 によるものとし、算出値を小数点以下 1 けたに丸める。
 d) 節のすき間の合計の最大値は、ミリメートルで表した公称周長 (l) の 25% とし、算出した値を小数点以下 1 けたに丸める。ここでリブと節とが離れている場合、及びリブがない場合には節の欠損部の幅を、また、節とリブとが接続している場合にはリブの幅を、それぞれ節のすき間とする。

表 3.4 異形棒鋼の1本の質量許容差 (JIS G 3112: 2010 表 8 から抜粋)

呼び名	許容差	
D10 未満	+規定しない -8%	1本の質量を測定する場合の供試体の採り方は、同一形状・同一寸法のもの1ロールごとに長さ0.5m以上のものを1個採取する。ただし、コイルの場合は、常温で矯正してから採取する。 質量許容差の算出方法は、表-3.3の単位質量に長さを乗じて求めた計算質量と計量による実測質量との差を計算質量で除して百分率で表す
D10 以上 D16 未満	±6%	
D16 以上 D29 未満	±5%	
D29 以上	±4%	

表 3.5 種類を区別する表示方法 (JIS G 3112: 2010 表 10 から抜粋)

種類の記号	種類を区別する表示方法	
	圧延マークによる表示	色別塗色による表示
SD295A	圧延マークなし	適用しない
SD345	突起の数1個 (・)	黄 (片断面)
SD390	突起の数2個 (・・)	緑 (片断面)
SD490	突起の数3個 (・・・)	青 (片断面)

4. 異形棒鋼の特徴と既往の研究

異形棒鋼は、コンクリート付着性は圧倒的に有利になる反面、鉄筋の節に応力が集中することで、曲げ・曲げ戻し性や耐疲労性の低下を招くことが懸念され、各種の研究が行われてきた。

本章では、鉄筋の節の影響を強くうける付着性、曲げ曲げ戻し性、耐疲労性などに関する既往の研究を紹介し、これら研究の成果が鉄筋コンクリート構造物の設計・施工の各種規準類にどのように反映されてきたかをまとめる。

4.1 応力-ひずみ曲線

図 4.1 に異形棒鋼の応力-ひずみ関係の特徴を示す。異形棒鋼の応力-ひずみ関係については、鉄筋の引張試験を行うと、ひずみの増加とともに線形に応力が増加（この傾きをヤング係数と呼ぶ）して弾性限界に達し降伏点を経て、ひずみ硬化を伴い破断に至るのが一般的である。図 4.1 にある上降伏点（降伏点または 0.2%耐力）を単に降伏点と呼んでもよい。紛らわしくないときには、上降伏点を単に降伏点ということがある。図中 B 点を破断伸び（または単に伸び）と呼ぶ。

文献 1 では、部材の降伏後のねばり（靱性、ダクティリティ）などの検討に対しては、鉄筋降伏後の応力-ひずみ関係に関する資料を収集するために、5%程度のひずみまで測定して応力-ひずみ関係を得るべく実験を行っている。結果として、下記の考察を述べている。

- ・異形棒鋼の引張試験の応力-ひずみ関係は、一般の炭素鋼材の同様の形を示しているが、降伏点が高い異形棒鋼ほど早い時点でひずみ硬化が始まるような傾向が示されている。設計上は、降伏点で折れ曲がるバイリニア形の応力-ひずみ関係が用いられ、耐力を算出する場合は問題ないが、部材のねばりなどの検討において、これがどのような影響を与えるのかを検討する必要があると思われる。
- ・異形棒鋼引張試験の応力度の算出には、通常、公称断面積を用いて計算するので実際の有効断面積に対して応力度とは異なった値となるのが普通であるが、節付きの場合の応力を公称直径から算出したものと重量を計り断面積を計算して算出したものとほとんど差は見られない。また、節付きの場合は節を削除したものに対して同一ひずみにおける応力は約 5%低く出ている。
- ・異形棒鋼のヤング係数は、計算上 $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ であるが、節付きの異形棒鋼が実際に用いられるので、たわみ、ねばり等の影響では若干小さめの値を用いるのがよいと思われる。

4.2 付着性

4.2.1 材料特性としての付着性状

鉄筋コンクリート構造部材の鉄筋に異形棒鋼が使用されるのは、節の形状が適切であればコンクリートとの付着性がよくなり、耐久性から長期荷重時に生じるコンクリートのひび割れの幅を大きくしないことと、短期荷重時の鉄筋の定着や重ね継手を簡易化することができるからである。

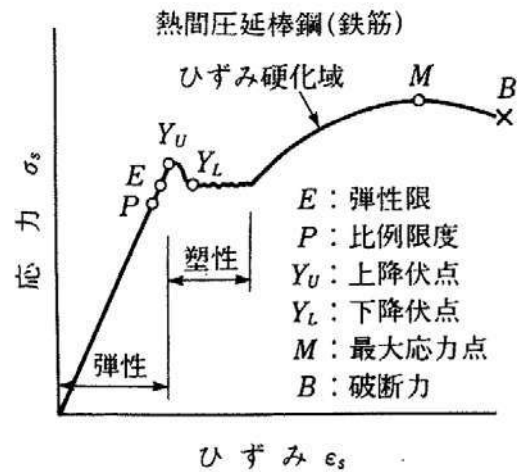


図 4.1 応力-ひずみ関係の特徴

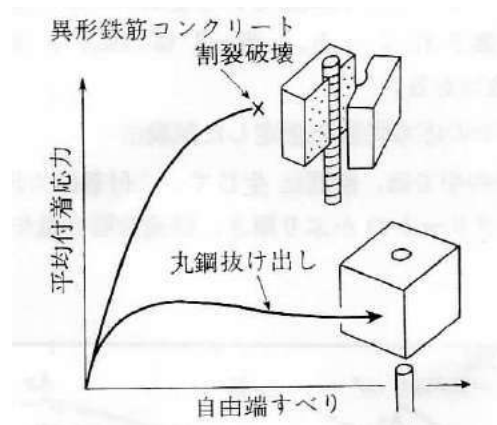


図 4.2 引抜付着試験の破壊モード^{4.2)}

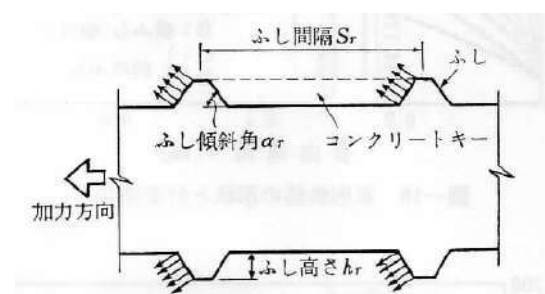


図 4.3 異形鉄筋の付着機構^{4.2)}

異形棒鋼とコンクリートとの付着を確保するため、異形棒鋼の表面形状について、節の高さ、間隔、すきま、軸線となす角度などが JIS G3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に規定されている（3. 鉄筋棒鋼の種類と JIS 規格表 3.3 参照）。例えば、呼び名 D19 の場合、節の高さは最小値が 1.0mm(公称直径の 5%)，最大値が最小値の 2 倍，節の平均間隔の最大値は 13.4 mm(公称直径の 70%) などとなっている。節の形状は、鉄筋が大きい荷重の繰返しを受ける構造物に用いられることも考慮して、耐疲労性を損なわないようなものにする必要がある。耐疲労性を高めるには、節側面の傾斜角を小さくしたり、応力集中の少ない形状、つまり節の付け根に丸みを付けた形状にする必要がある。しかし、このようにすれば一般に付着強度は低減する傾向がある。耐疲労性を損なわないようにした異形鉄筋が良好な付着性能を保っているかどうかは適切な付着強度試験方法で評価する必要がある。

図 4.2 に異形棒鋼と丸鋼の引抜き試験による平均付着応力と自由端すべりの定性的な関係、図 4.3 に異形棒鋼の付着機構を示す。異形棒鋼では高い付着強度が得られるが、破壊は周囲のコンクリートが割れ裂かれることによって生じる。したがって、この割れ裂きに対する抵抗力は、コンクリートのかぶり厚さと横補強筋の量が多くなるほど付着強度は大きくなる。一方、丸鋼では摩擦抵抗に依存しており、破壊は健全なコンクリートから鉄筋が抜け出てくる現象となる。また、異形棒鋼では降伏点を越えた塑性ひずみ領域においても付着抵抗は残存し、埋込み長さが十分であれば降伏点を越えてひずみ硬化域での応力をコンクリートに伝達できる。一方、丸鋼では塑性ひずみによる断面の縮小によって、降伏点以上の鉄筋応力をコンクリートに伝達することはできない。したがって、丸鋼の定着では、鉄筋端にフックを設ける等の措置が必要となる。図 4.3 に示すように、異形棒鋼の付着機構は、横ふしの側面からコンクリートを押す支圧応力が付着抵抗の大半を担っており、コンクリートを押し抜けるようなくさび作用が発生する。この作用によって周囲のコンクリートは鉄筋軸の方向に割れ裂かれる。柱やはりの中では、断面内の鉄筋によって図 4.4 に示すような、種々のパターンの割れ裂きひび割れが発生し、横補強筋がなければ、このようなひび割れが進展した瞬間に急激な耐力低下を生じる。鉄筋の周囲のコンクリートには図 4.5 に示すように、各ふしの先端から斜めひび割れが生じる。これはふし側面から局部圧縮応力が作用するためである。かぶりが薄い場合や、鉄筋間のあきが小さい場合には、横補強筋が配置されていても、この斜めひび割れが連続して付着破壊に至る。かぶりが厚く、横補強筋も有効で縦ひび割れが生じない、図 4.5 の斜めひび割れも鉄筋周辺だけの内部ひび割れに限定される場合には、図 4.5 に示すようにふしの先端を連ねるラインでコンクリートのかみ合い部分（コンクリートキー）が

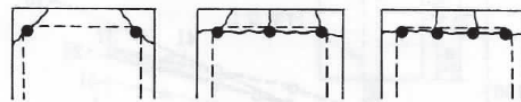


図 4.4 割れ裂きひび割れパターン^{4.2)}

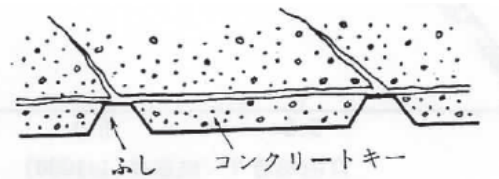


図 4.5 鉄筋周囲の内部ひび割れ^{4.2)}

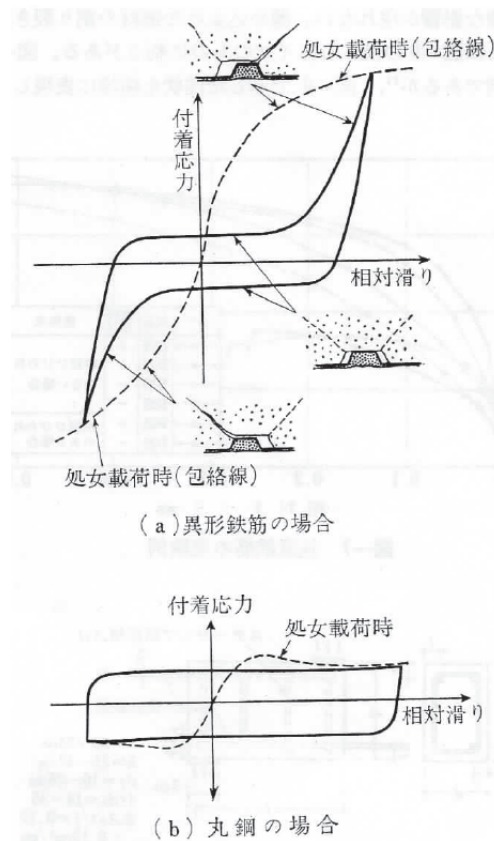


図 4.6 正負繰返し荷重下の τ - s 曲線と付着機構^{4.2)}

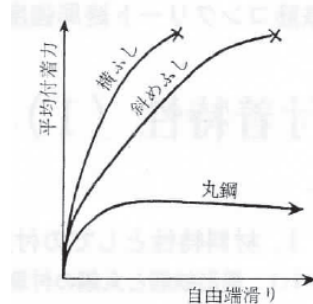


図 4.7 鉄筋形状と付着性状^{4.2)}

せん断でもぎとられて付着破壊する。これに対して、丸鋼の場合は、鋼とコンクリートの表面接着力と、それが界面内でせん断破壊してからの摩擦作用によって付着抵抗が与えられる。したがって異形棒鋼の場合のようにコンクリートを割り裂く作用はない。このような付着機構の差異は正負の繰返し付着応力を受けた場合に顕著になる。図 4.6 は正負の繰返し相対滑りを与えた場合の付着応力と相対滑りの関係を定性的に示したものである。異形棒鋼の場合でも先に経験した最大の滑り以内の範囲では、摩擦的な機構しか働かず付着応力は激減する。しかし最大滑りに近づくと付着抵抗を急激に回復する。それに対して丸鋼は滑りの大きさに拘らず、一定の付着応力を示す。

4.2.2 異形棒鋼の形状、寸法と付着性状

異形棒鋼の形状は、内外を通じて多くの種類が市販されている。わが国の JIS 規格の異形棒鋼はアメリカの規格にも適合していて、ふしの突起はかなり著しい部類に入る。ヨーロッパ諸国に多用される冷間ねじり加工した、らせん状ふしのものは、わが国の異形にくらべて、丸鋼との中間的な性状を示す。しかし、構造物中で実際に利用し得る付着強度は割り裂き抵抗によって決まるもので、異形棒鋼の形状による差異は少なくなる。また、形状による滑り量の大小も異形棒鋼を用いる限り、鉄筋コンクリート部材の性能の段階では明確な影響が現れない。埋込まれた部材の割り裂き抵抗が極めて大きい場合には図 4.7 の横ふしタイプのものに利点がある。

4.2.3 付着試験法

鉄筋コンクリート構造部材における鉄筋とコンクリートとの付着性状は多岐にわたり、単一の試験方法では的確に付着特性を評価することが難しい。供試体の形状寸法、横補強筋の配置、載荷方法等によって同じ鉄筋、同じコンクリートを用いて実験しても、結果が著しく異なるものであるから、実験結果と試験法の対応を重視しなければならない。文献 1 で紹介されている付着試験方法を表 4.1、4.2 に示す。

(1) 引抜き試験 (表 4.1)

この試験法から得られた実験結果を、構造物設計用の直接的な資料とするには制約が多いが、鉄筋相互の付着性状の相対比較には利用できること、横補強筋の無い場合はコンクリートの付着割裂強度の試験でもあることなどの効用が広く認められている。それぞれ利用目的には特色があるが、材料試験法として引抜き試験法を規格化している例が多い。

(2) はり試験 (表 4.2)

鉄筋周囲のコンクリートの応力状態が鉄筋コンクリート部材中での応力状態に、なるべく近くなる試験法という要求からはり型供試体を用いた試験法が多く提案されている。

(3) 部材中での応力状態を想定した試験法 (図 4.8)

実際の構造物の中では、鉄筋に生じている付着応力状態、鉄筋の断面内での配置、コンクリートのかぶり厚さ、横補強筋の量や配置などの付着性状に直接影響を与える要因は複雑多岐である。(1)、(2)で示した標準的な方法で得られた結果から、このような種々の条件下での付着強度を推定できるようなデータを得ることは限界がある。そこで、なるべく構造部材中での条件を類似化できて、影響要因を変数として実験計画中に取り入れることのできる試験法が数多く行われている。(a)、(b)、(f)は部材クリヤースパン内での付着を、(b)、(e)は定着域の付着を、(c)はひび割れに挟まれた部分の付着を調べるのを主目的とする。(f)は直接には付着試験を目的とするものではないが、鉄筋コンクリートにおける付着性状を調べるのに適した方法である。

なお、文献 1 では異形棒鋼の付着性能を試験するために、従来からいろいろ提案されている内外の試験方法の特徴を把握し、異形棒鋼の付着破壊の性状に類似させた割裂き引抜き試験、曲げ部材の引張鉄筋の終局付着強度を目的とした偏心引抜き試験および鉄筋の定着や重ね継手に関連する付着強度を比較するためのらせん鉄筋補強供試体による引抜き試験を行い、市販電炉鉄筋の付着性を検討するとともに、既往の知見をも併せ、異形棒鋼の適正な表面形状について以下のように論じている。

- 異形鉄筋の付着強度は、くさび作用による鉄筋周囲のコンクリートの割り裂きに起因する。すなわち、かぶり厚と鉄筋直径との比が一定である場合、割り裂き付着強度は理論上節側面の傾斜角が大になると支圧によって、押し固められた節全面のモルタルが緩い斜面をもつ仮装の節を形成するため、傾斜角が 45 度程度以上では、割り裂き強度は一定値を示す傾向がある。従って、節側面の傾斜角は 45 度程度とするのが望ましいが、本実験結果によると少なくとも 30 度以上とすることが望ましい。
- 割り裂き強度は、節間隔が鉄筋直径以下の範囲では節間隔に関わらずほぼ一定値を示すが、これを超えると次第に低下する。また、節高さが鉄筋直径の 7~8%以下の範囲では、割り裂き付着強度は節高さに比例していくぶん増加する。
- 終局付着強度は、節間隔が鉄筋直径の約 2.5 倍までは節間隔が増すほどに直線的に増大する。節高さの影響については、鉄筋直径の 8%程度以下の範囲では節高さが高いほど大となる。
- らせん鉄筋補強供試体による引抜き試験からの最大平均付着強度は各試験体とも $100 \sim 120 \text{ kg/cm}^2$ ($9.8 \sim 11.8 \text{ N/mm}^2$) であり、最大付着応力度に達するまでの平均付着応力度は節高さと節間隔の比が大きい方がいくらか大きい値を示している。

表 4.1 付着強度試験方法 (引抜き試験) 4.1)

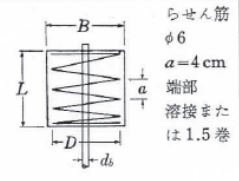
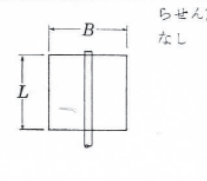
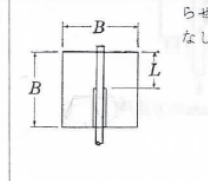
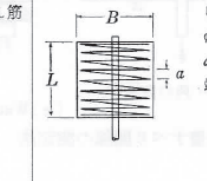
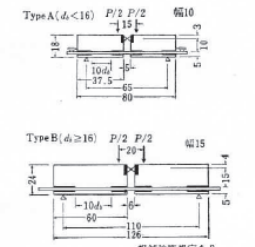
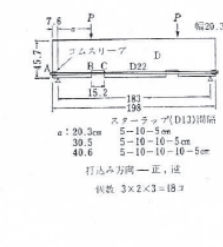
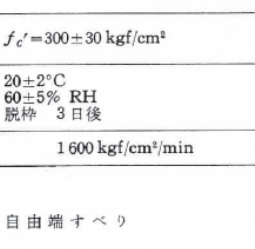
規格	日本コンクリート工学協会 引抜き試験方法案	ASTM C 234	RILEM	CP 110																																				
項目	異形鉄筋の付着性能比較	コンクリートの特性が付着強度に与える影響	異種の異形鉄筋の付着性能の比較	異種の異形鉄筋の付着性能の比較																																				
目的																																								
供試体寸法																																								
	<table border="1"> <tr><th>$d_b \sim$</th><th>B cm</th><th>L cm</th><th>D cm</th></tr> <tr><td>$d_b < 16$ mm</td><td>10×10</td><td>10</td><td>8~10</td></tr> <tr><td>$19 < d_b < 29$</td><td>15×15</td><td>15</td><td>12~15</td></tr> <tr><td>$d_b > 32$</td><td>20×20</td><td>20</td><td>16~20</td></tr> </table>	$d_b \sim$	B cm	L cm	D cm	$d_b < 16$ mm	10×10	10	8~10	$19 < d_b < 29$	15×15	15	12~15	$d_b > 32$	20×20	20	16~20	<table border="1"> <tr><th>B cm</th><th>L cm</th></tr> <tr><td>D 19</td><td>15×15</td><td>15</td></tr> </table>	B cm	L cm	D 19	15×15	15	<table border="1"> <tr><th>B cm</th><th>L cm</th></tr> <tr><td>$10 d_b$</td><td>$5 d_b$</td></tr> </table>	B cm	L cm	$10 d_b$	$5 d_b$	<table border="1"> <tr><th>B cm</th><th>L cm</th><th>D cm</th></tr> <tr><td>$d_b \leq 20$</td><td>15×15</td><td>$f_y d_b$</td><td>14.5</td></tr> <tr><td>$d_b > 20$</td><td>25×25</td><td>28</td><td>24.5</td></tr> </table>	B cm	L cm	D cm	$d_b \leq 20$	15×15	$f_y d_b$	14.5	$d_b > 20$	25×25	28	24.5
	$d_b \sim$	B cm	L cm	D cm																																				
	$d_b < 16$ mm	10×10	10	8~10																																				
$19 < d_b < 29$	15×15	15	12~15																																					
$d_b > 32$	20×20	20	16~20																																					
B cm	L cm																																							
D 19	15×15	15																																						
B cm	L cm																																							
$10 d_b$	$5 d_b$																																							
B cm	L cm	D cm																																						
$d_b \leq 20$	15×15	$f_y d_b$	14.5																																					
$d_b > 20$	25×25	28	24.5																																					
コンクリートの品質	$f_c' = 300 \pm 30$ kgf/cm ² スランプ = 8 ± 2 cm	—	$f_c' = 300 \pm 30$ kgf/cm ²	$f_{cH} = 300 \sim 375$ kgf/cm ² (立方体強度)																																				
養生	21±3°C 水中養生	23±1.7°C 湿潤状態	20°C 60% RH	—																																				
材令	28 日	28 日	28 日	—																																				
個数	3 個	3 個	1 表面形状に対して大中小3種の径について25個。同一条件で5個	6 個																																				
荷重速度	3 t/min 以下	2.3 t/min 以下	$5 d_b^2$ kgf/sec	0.5 fy/min																																				
加圧板穴径	10×10×10.....2.5 cm 15×15×15.....4.0 cm 20×20×20.....5.5 cm	—	$2 d_b$	—																																				
測定事項 結果の報告	自由端すべり 基準すべり量 0.05, 0.10, 0.25 mm において基準鉄筋に対する付着応力比を示す。	自由端すべり、荷重端すべり 荷重端すべり量 0.25 mm 以下で等間隔5点の平均付着応力により評価	自由端すべり $\tau = 0.0637 \frac{P}{d_b^2} \frac{300}{f_c'}$	自由端すべり																																				
鉄筋位置	水平筋	鉛直筋 加圧面にキャッピング 水平筋	水平筋	鉛直筋 加圧面にゴム板または合板																																				

表 4.2 付着強度試験方法 (はり試験) 4.1)

規格	RILEM	ACI Committee 208
項目	鉄筋の付着特性を調べる	異種の異形鉄筋の付着性能比較
目的		
供試体寸法		
		
コンクリートの品質	$f_c' = 300 \pm 30$ kgf/cm ²	$f_c' = 245 \pm 21$ kgf/cm ² スランプ = 12.5~15.2 cm
養生	20±2°C 60±5% RH 脱枠 3日後	18~24°C 標準養室中 脱枠 5日後
荷重速度	1 600 kgf/cm ² /min	907 kgf/min 以下
測定事項	自由端すべり	A 自由端すべり B 荷重端すべり C 鉄筋の伸び D たわみ
荷重端鉄筋応力度	$P = \frac{A_s \cdot \sigma_s}{1.25}$ Type A ($d_b < 16$ mm) $P = \frac{A_s \cdot \sigma_s}{1.50}$ Type B ($d_b \geq 16$ mm)	ノッチ部で測定
結果の報告	荷重すべり曲線 最大平均付着応力度	荷重すべり曲線、荷重-たわみ曲線、最大平均付着応力度

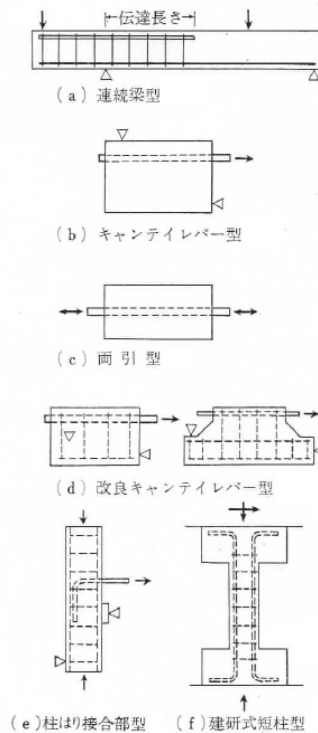


図 4.8 種々の付着・定着試験法 4.2)

4.2.4 定着付着と曲げ付着

設計において付着破壊の検討を必要とする付着応力状態は、大別して定着付着と曲げ付着に分けられる。図 4.12 のような片持ばりを例にとると、定着付着とは固定端における鉄筋応力を定着長さ L_1 の区間でコンクリートに伝えるときの付着応力である。したがって L_1 における平均付着応力は (4.1) 式である。

$$\tau_1 = \frac{A_s \sigma_s}{L_1 \Sigma \phi} \quad (4.1)$$

実際の付着応力の分布は (4.1) 式で表されるような一様な分布ではないが、同じ定着耐力を与える一様分布に置き換えて、(4.1) 式の τ_1 を制限するのが定着付着に対する設計である。

一方、曲げ付着は、部材軸方向の曲げ補強筋の応力変化を可能とするための付着応力で一般に次式で表される。

$$\tau_2 = \frac{Q}{j \Sigma \phi} \quad (4.2)$$

τ_2 は個々の断面について必要な付着力であるから局部付着 (local bond) ともいわれる。したがって部材のせん断力 Q の分布に従って分布する性質のものであり、図 4.12 に示すように、はりの固定端断面の鉄筋応力が等しくなるような外力に対して、荷重分布に応じて τ_2 の分布は著しく異なる。集中荷重の場合は付着応力分布が一様となるから、(4.2) 式から求めた曲げ付着応力と (4.1) 式で L_1 を L_2 に代えて求めた定着付着応力は一致する。図 4.12 のはり固定端付近では等分布荷重時の τ_2 は集中荷重時の τ_2 の 2 倍となるが、はり先端近くでは逆に小さくなる。したがって τ_2 の最大値をある値以下に制限するように設計すると等分布荷重時のような場合には局部的に非常に厳しい要求となる。このため (4.2) 式の τ_2 を制限するようなタイプ的设计式では、一般に τ_1 より大きい値を許すのが各国の規準での共通点である。すなわち局部的に過応力を許して分布の一様化を期待していることになる。

実際の部材では、特に破壊近くの荷重レベルでは、鉄筋応力の分布は曲げモーメントの分布に一致するとは限らない。それよりも、 L_2 区間での平均付着応力の大きさを制限する方が付着破壊の検討法として合理的であると考えられる。すなわち、付着を定着付着と曲げ付着と分離して別々のスタイルで設計するより、ある危険断面における鉄筋応力をコンクリートに伝達するに要する“伝達長さ” (図 4.12 に示す慣用の定義による定着長さ L_1 と概念的に区別するために別のよび方をとった。RC 規準解説では“必要延長長さ”と表現してある) を原則的には断面力分布に拘わらず危険断面から両側へ確保する設計法の方が適当である。

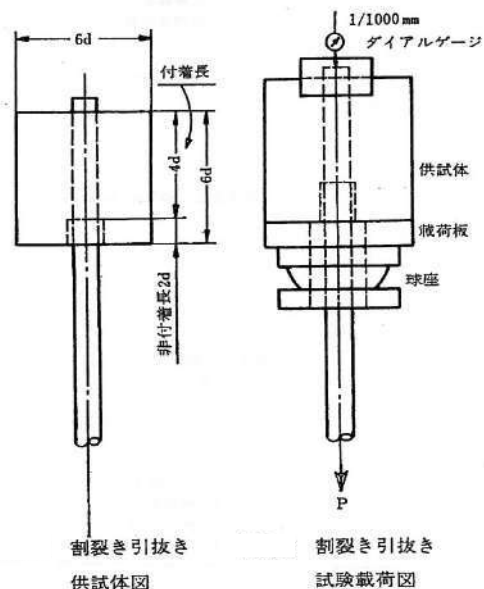


図 4.9 割裂き引抜き試験^{4.1)}

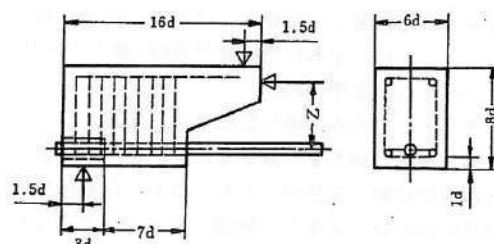


図 4.10 偏心引抜き試験^{4.1)}

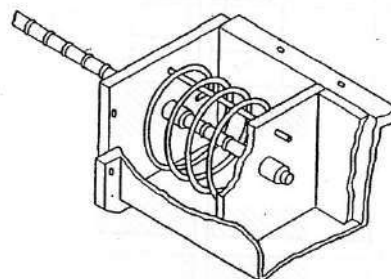


図 4.11 偏心引抜き試験^{4.1)}

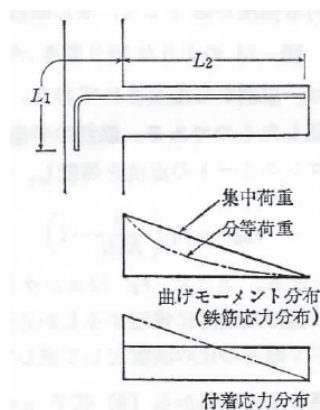


図 4.12 曲げ付着の分布^{4.2)}

RC 規準^{4.3)}各年版における、曲げ材の引張鉄筋の付着応力度の検討方法について、以下に紹介する。

(1) 1991 年版

付着割裂破壊に対する検討は盛り込まれておらず、曲げ付着応力度の検定として(4.3)式、平均付着応力度に基づく検定として(4.4)式が示されている。

[曲げ材の引張鉄筋の付着応力度]

$$\tau_a = \frac{Q}{\phi j} \leq f_a \quad (4.3)$$

ここで、 Q ：設計用せん断力

j ：曲げ材の応力中心間距離で $(7/8)d$ とすることができる。

ϕ ：引張鉄筋周長の総和

f_a ：許容付着応力度

(4.3)式で与えられる付着応力度は曲げ付着応力度と呼ばれ、曲げ応力の変化する部分（せん断力の作用する部分）で平面保持仮定のもとで必ず生じる局部的な付着応力度である。

[曲げ材の引張鉄筋の算定断面位置よりスパン途中での鉄筋端までの距離]

$$l_a = \frac{\sigma_t a}{0.8 f_a \phi} + j \quad (4.4)$$

ここで、 l_a ：算定断面位置から鉄筋端までの長さ

σ_t ：曲げ材引張鉄筋の算定断面位置における引張応力度。ただし、鉄筋端にフックを設ける場合には、その値の 2/3 とすることができる

a ：同上の鉄筋の断面積

ϕ ：同上の鉄筋の周長

(4.3)式を満たす場合は(4.4)式の検定不要、逆に(4.4)式による検定が行われていれば部材の耐力は確保されるので(4.3)式による検定は不要である。一般に軸方向力が作用する部材は設計用せん断力が大きくなり、(4.3)式による付着の検定が厳しくなる。これは軸力の大きさにかかわらず j を一定とする簡易化に起因している矛盾であって、応力伝達機構を反映しているものではない。

(2) 1999 年版

以下の理由により 1991 年版の曲げ付着応力による検定方法が採用されなかった。

- ・せん断力の大きな部材では平面保持が成立しない。高荷重レベルでは鉄筋応力分布が必ずしも曲げモーメント分布に一致するとは限らない。
- ・軸方向力が作用する部材には適用が難しい。
- ・部材の終局強度を対象とした学会の各設計指針などにも平均付着強度に基づいた検定方法が示されている。曲げ鉄筋の付着割裂破壊およびそれに起因した曲げ、せん断破壊の防止（短期）、割裂ひび割れ、スパン内での鉄筋の過大なすべり防止（長期）を目的として(4.5)、(4.6)式が示された。付着抵抗に有効な長さ

に対する平均付着応力度が許容値以下であることを確認するに等しい。

[曲げ材の引張鉄筋の付着検定断面からの付着長さ]

$$l_a = l_{ab} + d \quad (4.5)$$

ここで、 l_{ab} ：必要付着長さ

d ：部材有効せい

$$l_a = \frac{\sigma_t A_s}{K f_b \phi} \quad (4.6)$$

ここで、 σ_t ：付着検定断面位置における短期、長期荷重時の鉄筋存在応力度とし、鉄筋端に標準フックを設ける場合にはその値の 2/3 とすることができる

A_s ：当該鉄筋の断面積

ϕ ：当該鉄筋の周長

f_b ：許容付着応力度。多段配筋の一段目

（断面外側）以外の鉄筋に対してはさらに 0.6 を乗じる

K ：鉄筋配置と横補強筋による以下の修正係数で 2.5 以下とする

$$\text{長期荷重時} : K = 0.3 \frac{C}{d_b} + 0.4 \quad (4.7)$$

$$\text{短期荷重時} : K = 0.3 \left(\frac{C+W}{d_b} \right) + 0.4 \quad (4.8)$$

ここで、 C ：鉄筋間のあき、もしくは最少かぶり厚さの 3 倍のうち小さいほうで、鉄筋径の 5 倍を超える値としてはならない

d_b ：曲げ補強筋径

W ：付着割裂面を横切る横補強筋効果を表す換算長さで、(4.9)式により与えられる

$$W = 80 \frac{A_{st}}{sN} \quad (4.9)$$

ここで、 A_{st} ：当該鉄筋列の想定される付着割裂面を横切る 1 組の横補強筋全断面積

s ：1 組の横補強筋（断面積 A_{st} ）の間隔

N ：当該鉄筋列の想定される付着割裂面における鉄筋本数

(3) 2010 年版

1999 年版の設計法は、基本的には終局状態を対象とした付着割裂強度式から導かれているので、付着割裂破壊を防止して安全性を確保するためには妥当である。しかし、短期荷重に対して付着割裂破壊が生じるおそれのない曲げ材（スラブや小梁などの長期荷重が支配的な部材など）にこの設計法を適用すると過剰設計になる場合があることや、現行の建築基準法令で規定される許容付着応力度と整合しておらず実務上、無用の混乱が生じていたことから、1)長期の使用性確保と短期の損傷制御のための検討法には 1991 年版の設計法を再採用し、2)大地震動に対する安全性確保のための検討法には 1999 年版の付着割裂強度に基づく設計法を採用した。

[長期荷重に対する使用性確保のための検討。下記2式のうちいずれかを満足すればよい]

$$\tau_{a1} = \frac{Q_L}{\Sigma\phi \cdot j} \leq Lfa \quad (4.10)$$

$$\tau_{a2} = \frac{L\sigma_t \cdot d_b}{4(l_d - d)} \leq 0.8 Lfa \quad (4.11)$$

[短期荷重に対する損傷制御のための検討。下記2式のうちいずれかを満足すればよい]

$$\tau_{a1} = \frac{Q_L + Q_E}{\Sigma\phi \cdot j} \leq sfa \quad (4.12)$$

$$\tau_{a2} = \frac{L\sigma_t \cdot d_b}{4(l_d - d)} \leq 0.8 sfa \quad (4.13)$$

[大地震に対する安全性確保のための検討]

$$\tau_y = \frac{\sigma_y \cdot d_b}{4(l_d - d)} \leq K \cdot f_b \quad (4.14)$$

$$K = 0.3 \left(\frac{C+W}{d_b} \right) + 0.4 \leq 2.5 \quad (4.15)$$

$$W = 80 \frac{A_{st}}{sN} \quad (4.16)$$

τ_{a1} : 引張鉄筋の曲げ付着応力度

τ_{a2} : 引張鉄筋の平均付着応力度

τ_y : 引張鉄筋の降伏時の平均付着応力度

Q_L, Q_E : 長期荷重時、水平荷重時せん断力

ϕ : 引張鉄筋の周長

l_d : 引張鉄筋の付着長さで(4.13), (4.14),

(4.15)の各式においては、対象とする荷重の作用によりせん断ひび割れを生じないことが確かめられた場合には、式中の l_d を l_d としてよい。

$L, \sigma_t, \sigma_b, \sigma_y$: 付着検定断面位置における長期、短期荷重時の鉄筋存在応力度及び鉄筋の降伏強度で、鉄筋端に標準フックを設ける場合にはその値の2/3とすることができる。

Lfa, sfa : 長期許容付着応力度、

短期許容付着応力度

f_b : 付着割裂の基準となる強度。

K : 鉄筋配置と横補強筋による修正係数で、2.5以下。

C : 付着検定断面における鉄筋間のあき、または最少かぶり厚さの3倍のうちの小さいほうの数値で、5cm以下とする。

W : 付着割裂面を横切る横補強筋効果を表す換算長さで、 $2.5d_b$ 以下とする。

A_{st} : 当該鉄筋列の想定される付着割裂面を横切る一組の横補強筋全断面積。

s : 1組の横補強筋 (断面積 A_{st})の間隔

N : 当該鉄筋列の想定される付着割裂面における鉄筋本数

d_b : 曲げ補強筋径

(4.10)、(4.12)式は1991年の(4.3)式と同じである。

(4.13)、(4.15)式は1991年版の(4.4)式と同等であるが、テンションフト分を j と見るか d と見るかの違いがある。(4.14)式は1999年版の(4.5)と(4.6)を合体、変形したものである。

4.2.5 コンクリート割り裂きによる付着強度の低下

異形棒鋼の付着強度は、対象断面でのコンクリートのかぶり厚さ、断面内の鉄筋の配列、横補強筋の配置などによって大きく左右される性質のものである。図4.13に示すように、鉄筋が多数本並べて配列された場合に、鉄筋列を結ぶ線で割り裂かれて著しく付着強度を低下する現象が生じる。付着設計において周長合計 $\Sigma\phi$ を増すほど耐力は増加するという通念が通用しないことになる。RC規準では、異形鉄筋の付着割裂パターンとし

表 4.3 付着割裂強度算定式^{4.3)}

$\tau_{bu} = \tau_{co} + \tau_{st}$ <p>水平上端筋以外の鉄筋に対しては1.22を乗じる。</p> $\tau_{co} = (0.307b_i + 0.427)\sqrt{\sigma_B}$ $\tau_{st} = 24.9 \frac{kA_{st}}{sNd_b} \sqrt{\sigma_B} \quad (\leq 0.87\sqrt{\sigma_B})$ $b_i = \min [b_{vi}, b_{ci}, b_{si}]$ $b_{vi} = \sqrt{3} \left(\frac{2C_{\min}}{d_b} + 1 \right)$ $b_{ci} = \sqrt{2} \left(\frac{C_s + C_b}{d_b} + 1 \right) - 1$ $b_{si} = \frac{b}{Nd_b} - 1$ <p>k: $b_i = b_{vi}$ の時 $k = 0$ $b_i = b_{ci}$ の時 $k = \sqrt{2}$ (ただし $N=2$) $b_i = b_{si}$ の時 $k = 1$</p>	<p>τ_{bu}: 付着割裂強度 (kgf/cm²)</p> <p>τ_{co}: 横補強筋のない場合の付着強度</p> <p>τ_{st}: 横補強筋による付着強度増分</p> <p>b_i: 鉄筋配置、かぶりの効果を表す係数</p> <p>C_s: 側面かぶり厚さ</p> <p>C_b: 底面かぶり厚さ</p> <p>d_b: 主筋径</p> <p>b: はり幅</p> <p>s: 横補強筋間隔</p> <p>C_{\min}: 最小かぶり厚さ (cm)</p> <p>A_{st}: 1組の横補強筋全断面積 (cm²)</p> <p>N: 割裂面に配された主筋本数</p> <p>σ_B: コンクリート圧縮強度 (kgf/cm²)</p> <p>k: 横補強筋拘束効果の違いを表す係数</p>
--	---

て、図 4.14 に示す 3 種類に分類し、付着強度の特性を以下のようにまとめており、設計式の原式^{4.4)}を表 4.3 に示している。

- ・ 割裂面の長さ（鉄筋のあき、かぶり厚さ）が大きいほど付着強度が大きい。
- ・ 割裂面を横切る横補強筋量が多いほど付着強度が上昇し、割裂後の付着劣化が抑制される。
- ・ 横補強筋降伏点の増大は必ずしも付着強度の上昇につながらない。
- ・ 同一補強筋比でも外周のみの場合よりも副帯筋（中子筋）を配して足数を増し、直接拘束された鉄筋が多いほど部材の付着強度改善効果が大きい。
- ・ 付着割裂強度は、本規準の扱う 60N/mm²以下のコンクリート設計基準強度の範囲ではほぼ圧縮強度の平方根に比例する。
- ・ 付着割裂強度は鉄筋位置によって異なり、特に軟練りとしなないコンクリートでは水平上端筋のそれ以外の鉄筋に対する付着強度比は 0.8（圧縮強度 30N/mm²以下の場合）程度である。

4.3 曲げ・曲げ戻し性

4.3.1 異形棒鋼の曲げ性

異形棒鋼はコンクリートとの付着性向上を考慮して節があり、このため応力集中が起こり曲げ性はよくないことが知られている。しかし、実際の施工に際しては曲げ加工も必要であり、異形棒鋼のフックなど予め曲げておく場合はベンダーなどで施工基準通り行うことで大きな問題はないようである。しかし、図 4.15 に曲げ加工性の要因を示すが、異形棒鋼の曲げ方によっては曲げの内側の節がつぶれこれを曲げ戻すとき、そこから破損することがある。加工の便宜上曲げた後に曲げ戻すことや、建築構造物で将来の増築を考え、鉄筋の先端をコンクリート外へ出し、それを曲げておき、のちに曲げ戻して増築時に重ね継手として使用することがある。

主筋の曲げ戻しは、配筋の乱れを直す台直しばかりではなく、はり主筋の U 字形定着、地下階から 1 階で柱丈が変わる部分、柱・はり主筋の X 形配筋などで曲げて使われ、地震時には、曲げた部分で引張られながら曲げ戻されるために、曲げ戻しに対する性能が要求される。また、施工時に曲げられていない鉄筋でも曲げ補強鉄筋の破断、その他の実験での主筋の破断、兵庫県南部地震での主筋（鋼板）の脆性破断など鉄筋（鋼板）の曲げ戻しによると思われる脆性破断現象が見られる。この現象は、図 4.16 に示すような状況で発生したと考えられるとしている。すなわち、鉄筋が引張力負担時に引張降伏して塑性ひずみを残し、次に、外力が反転した時には、鉄筋が圧縮ひずみになるまで鉄筋だけが力を負担するために座屈を起こすという現象の繰返しにより鉄筋が脆性破断したと考えられる。したがって、施工時には曲げられてい

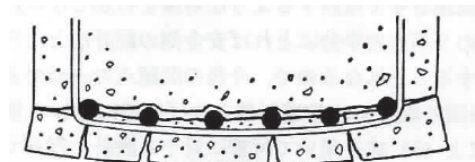


図 4.13 割り裂き付着破壊^{4.2)}

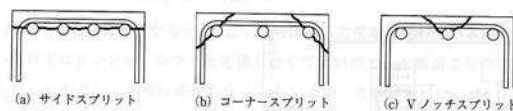


図 4.14 異形鉄筋の付着割裂パターン^{4.3)}

なくても、塑性ヒンジが想定される部分での鉄筋には、U 字形定着、柱主筋の絞り、X 形主筋などの最初から曲げて使われる鉄筋と同等以上の曲げ戻し性が要求される。

横補強筋は曲げて使われるのが一般的で、地震時には曲げ引張力が作用する。高強度横補強筋の開発研究時に行った柱の実験では、高強度横補強筋が曲げ部で脆性的に破断する事象が観察された。したがって、横補強筋の曲げ戻し性能として、その曲げ部を想定した引張試験によって、母材と同等以上の性能を確認することが要求される。

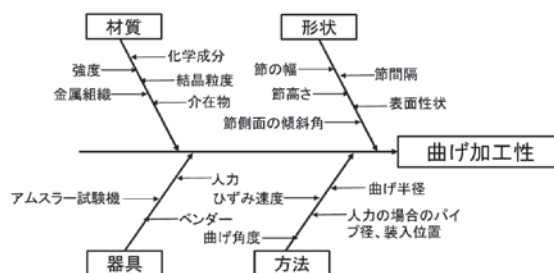


図 4.15 曲げ加工性の要因^{4.1)}

表 4.4 曲げ戻しの規格^{4.1)}

規格	種類	試験条件と判定						
BS-4449 (1978、ベース) (ADM-3/1984)	250	45度曲げ⇒時効(100℃×30分)⇒空冷⇒23度戻し (1)曲げ直径: 250は2d, 450は5d (荷重速度: 3t/min) (2)折損がないこと						
	450							
DIN-488/1 (1984)	BSI420S	90度曲げ⇒時効(150℃×30分)⇒空冷⇒20度戻し (1)曲げ直径(BSI420S, BSI500S共通) ・径6~12mmの場合曲げ半径5d ・径14~16mm " " " 6d ・径20~28mm " " " 8d (2)折損および初期ひび割れがないこと						
	BSI500S							
ISO (TC17/N215) (1985)	K400S	90度曲げ⇒時効(200℃×30分)⇒空冷⇒20度戻し (1)曲げ直径						
			K500S					
				寸法 (mm)	8	10	12	16
	K400S	40	50	63	100	150	200	250
	K500S	50	63	80	125	200	250	300
			(2)折損またはひび割れがないこと					

4.3.2 曲げおよび曲げ戻しの検討

主要な異形棒鋼の規格には、通常、曲げ試験の規定がある。曲げ試験では曲げ半径と角度が試験の要因として重要であり、実際の曲げ加工に対し曲げ試験は一つの目安となるが、曲げ加工では曲げの部分の材料の変形、治具のあり方、ひずみ速度、その他の多くの要素がからみ簡単な曲げ試験だけで曲げ加工性を評価できない。曲げ性能は、引張試験の伸びだけでその良否を評価することはできない。曲げの場合、破断には局所的な伸びが特に重要であるが、異形棒鋼には応力集中を起こす節が存在し、さらに曲げ外側の伸びよりも内側の圧縮変形が苛酷な条件となるという問題がある。

海外の規格で曲げの他、曲げ戻しを規定しているものに英国のBS規格などがあるが、ドイツのDIN規格には曲げ戻しのみを規定している。BS規格では、45度曲げ、23度曲げ戻しで規定されている(表4.4)。欧州で曲げ戻しを規定するのは、高強度異形棒鋼の製造に、冷間加工によるツイストバーがかなり広く使われているので、このために曲げ戻し試験を行って品質チェックをするニーズがあると推察される。JIS G3112では、特に必要がある場合は、曲げ試験の代わりに曲げ戻し試験を行うことができることになっているが、試料の採取方法、判定基準などについては、あらかじめ注文者と製造者との間で十分協議することとされている。

図4.17は、曲げ半径が、鉄筋径程度(1d)の拘束曲げの場合であり、局所的に厳しい変形を受けていることがわかる。メーカーは、これまで節形状改善、成分設計による対応などに取り組んでいる。

曲げおよび曲げ戻し試験に関するこれまでの電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書における主要な内容について以下に示す。

鉄筋コンクリート工事において、施工上の都合から、いったん鉄筋を曲げておき、次の配筋時に元に戻す、いわゆる曲げ戻し作業が行われる場合がある。このような加工を受けると鉄筋は材質変化(加工硬化)により、屈曲部に亀裂や折損を起こす例がある。この報告書において、これらの使用上のケースを想定して、曲げ戻し加工

性の実態調査(SD295A, SD345それぞれD16~D32に関して300本強)を行っている。加工条件において、温度の影響を調査するため、常温(約20℃)と低温(-5℃)で試験を行っている。曲げ戻し試験(報告書^{4.1)}での試験方法は90°曲げ加工⇒100℃・1時間時効処理⇒自然冷却⇒曲げ戻し)には判定基準の取り決めがないことから、亀裂材(低温加工ケースで5本亀裂が確認された)については、曲げ戻し状態で引張試験を行い、母材との引張強度の対比を行った。引張試験の結果、いずれも屈曲部以外で破断しており、全体では母材と同等の強度を有していることを確認した。亀裂発生率も低いことなどから、曲げ加工性向上のために、節形状の改良、また高強度化を避けるなど品質上の配慮がなされていることが推察される。ただし、曲げ戻しは一般的に鉄筋の材質を損なう恐れがあることは変わらず、特に曲げ直径が小さいほど、また低温になるほど、危険性が増すことから、曲げ戻し加工を行う場合には、できるだけ大きい曲げ直径で戻すこと、低温時の加工を避けるなどの配慮が必要である。なお、曲げ戻しの実際的な加工方法は、「土木学会コンクリート標準示方書」(施工編)を参照されたい。SD295A(D10~D25), SD345(D19~D41), SD390(D29~D41)に関して曲げ試験(常温、曲げ半径はD16以下で1.5D、D19以上で2.0D、曲げ角度は180°、曲げ方法はJIS Z2248による押曲げ法)を行い、折損または亀裂の発生はなかった(試験本数は総計519本)。曲げ戻し試験(試験温度は20°、-5°、曲げ半径2D、曲げ角度90°曲げ1回戻し、時効処理は100℃1時間)は、SD295A(D19~D25), SD345(D19~D32), SD390(D29~D32)に関して行い、折損または亀裂の発生はなかった(試験本数は総計201本)。

鉄筋コンクリート構造物の高耐久化と設計・施工技術の向上に伴って、鉄筋の太径・高強度・過密配筋化が進み鉄筋のこう配筋施工に、より高度な加工精度が求められる。加工業者はより高い品質要求を受けているのが実情で、特に曲げ加工において小さな曲げ半径に加工せざるを得ない場合もある模様である。この状況の中で、

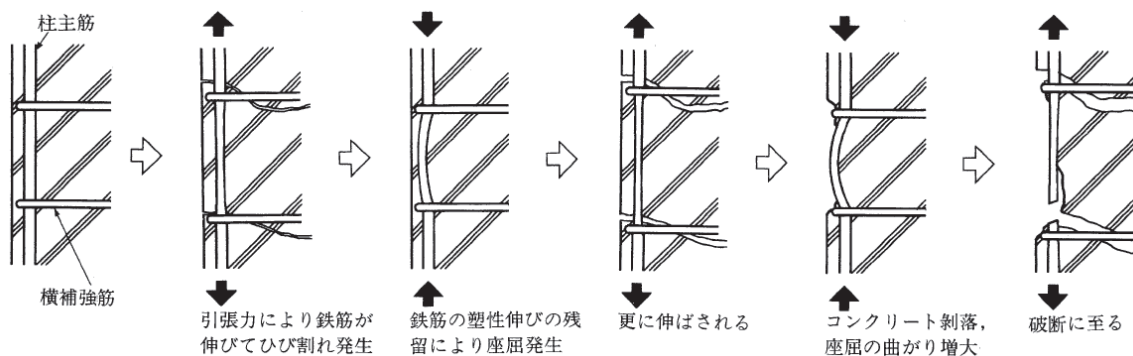


図4.16 塑性域での座屈による鉄筋脆性破断発生の様式図^{4.5)}

鉄筋メーカーはこの鉄筋加工上の諸問題について技術的かつ経済的な対応が求められている。この報告書の中では、鉄筋曲げ加工時に発生する事故要因をまとめ、加工業者に対して鉄筋が保持すべき基本性能を提供する物である。鉄筋加工時の折損事故に影響を与える要因としては、以下のものが挙げられる。

- ・鉄筋曲げ加工半径
- ・鉄筋曲げ加工時の鉄筋温度
- ・鉄筋曲げ加工機
- ・鉄筋の節形状
- ・鉄筋硬さ

鉄筋の試験評価において使用する試験片は、化学成分・機械的性質・形状寸法及び質量において JIS 規格値範囲内であることの確認を行った。試験用鉄筋は、全国 32 事業所からサンプリングを行い、SD295A(D13～D16)、SD345(D13～D32)、SD390(D13～D41)、SD490(D38～D41) に関して曲げ試験(常温及び-5℃、SD295A 及び SD345 については曲げ半径は D16 以下で 1.5D、D16 超で 2.0D、SD390 では 2.5D、SD490 では 3D、曲げ角度は SD490 で 90° それ以外は 180°、曲げ方法は JIS Z2248 によるベンダー曲げ加工機を用いた巻き付け法)を行った。試験本数は、合計で 1045 本で全数が合格となった。

4.4 耐疲労性

4.4.1 異形棒鋼の耐疲労性

道路橋、鉄道橋、海洋構造物など、繰り返し荷重を受ける構造物の設計においては、耐疲労性に対する検討が必要である。鉄筋コンクリート部材の疲労耐力は通常使用する鉄筋の疲労特性によって定まるから、従来土木学会等でも許容応力度設計法においては疲労強度から定まる鉄筋の許容引張応力度を示しており、限界状態設計法については鉄筋の疲労強度特性値の算定式を示している。異形鉄筋の疲労特性に影響要因として、鉄筋の直径、表面形状(節の間隔、節側面の傾斜角、節付け根の円弧の曲率半径)、応力振幅と最小応力等が考えられる。

文献 1 においては、3 種類の節形状を選択して試験を行い、試験結果を修正 GOODMAN 線図を用いて完全片振り時の疲労強度に換算し、疲労限度線図(S-N線図)を示している。

材料に繰り返し応力が加わると、その応力が静的な強度を下回った状態であっても、材料が突然損傷あるいは破壊することがある。これを一般的に疲労損傷あるいは疲労破壊という。コンクリートと鋼材の複合材料について部材の疲労損傷を考える場合、コンクリートの疲労、鋼材の疲労、コンクリートと鋼材の付着部分の疲労と分けて考える必要がある。ここでは、特に鉄筋の疲労および付着疲労を中心に扱う。

(1) 鉄筋の疲労

- ・疲労強度： 応力振幅、最大又は最小応力の影響を受

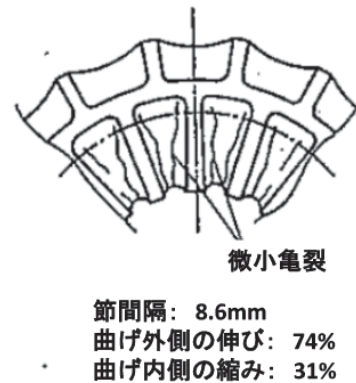


図 4.17 D16 曲部スケッチ (90 度拘束曲げ) ^{4.1)}

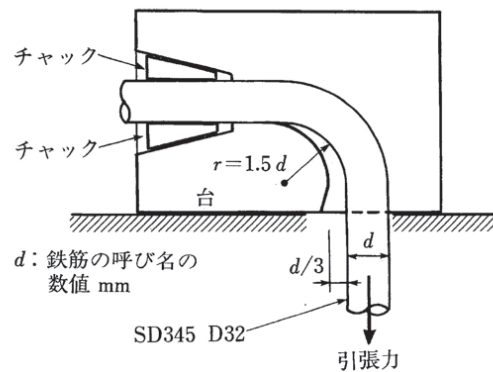


図 4.18 SD345 D32 鉄筋の曲げ戻し試験(例) ^{4.5)}

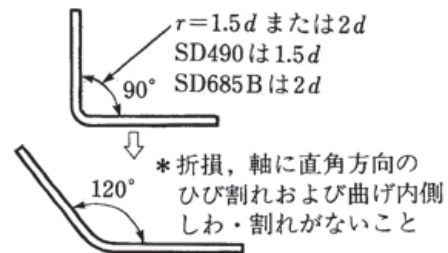


図 4.19 异形棒鋼の 90° 曲げ、120° 曲げ戻し試験 ^{4.5)}

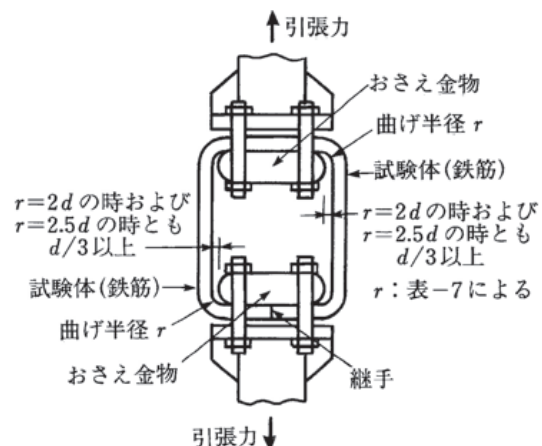


図 4.20 横補強鉄筋の曲げ戻し性試験 ^{4.5)}

けるものの、その影響はコンクリートの場合よりも小さく、設計に用いる疲労強度は、永久荷重作用による応力を含んだものが提案されている。

- ・疲労強度に及ぼす鉄筋表面形状の影響： D25 以下では節の立ち上げ部の形状による応力集中が支配的であり、適当な曲率を設けて応力集中を緩和することにより疲労強度が改善される。D51 では径に比例して節間隔を広くすれば、鉄筋に付加される応力大きくなり疲労強度は低下する。節間隔を狭くすると鉄筋の応力集中によって鉄筋の疲労破断が起こりやすいため、間隔を適正にすることが必要である。
- ・疲労強度に及ぼす鉄筋径の影響： 鉄筋の疲労強度は、直径が大きくなるにつれて次第に低下する。要因は明確ではないが、材質の不均一性後その一要因と推測される。
- ・疲労強度に及ぼす鉄筋曲げ加工の影響： 曲げ加工を行った部分の疲労強度は著しく低下し、引張破断は曲げの内側を起点として発生する。鉄筋曲げ部には局部的な応力集中により鉄筋全体に作用する応力振幅の 2 倍以上の応力振幅が作用することが主因である。

(2) コンクリートと鉄筋の付着疲労

- ・コンクリートと鉄筋の間には付着力が作用しているため、引張力に対して鉄筋とともにコンクリートも抵抗する。繰り返し荷重で、コンクリートと鉄筋との間の付着力が低下した場合、コンクリートが力を分散しなくなることから耐力が低下し、鉄筋単体の疲労寿命も短くなることが予想される。
- ・付着疲労メカニズム： 付着の悪化は、鉄筋に接するコンクリートのひずみの累積によって進行し、次第に鉄筋とコンクリートとの相対すべりが増大し、ひび割れを生じさせることによって破壊に至る。
- ・付着疲労に及ぼす鉄筋表面形状の影響： 節と鉄筋軸のなす角度が小さいこと、節取り付け部などが滑らか、

節の高さが低いなどの鉄筋を用いた場合、はりのひび割れ幅は載荷回数の増加に伴い著しく増大し、その部分で鉄筋が疲労破断しやすい。

- ・プレストレスを導入することにより疲労特性は変化するが、その定量的な評価の報告は現時点では少ない。
- ・ひび割れ自己治癒技術(コンクリート技術の開発)などにも期待がかかる。

異形棒鋼の疲労強度は一般的に S-N 線で表されるが、 2.0×10^6 回を超える高繰返し回数の領域では疲労試験データの不足から安全側の設計式が用いられている。異形棒鋼の設計引張疲労強度は、疲労寿命(繰返し負荷の回数 N)、鉄筋の応力負荷条件、鉄筋の材料係数などの関数として表記されている。ただし $N > 200$ 万回については十分なデータがないことから、この文献の中では、 $N \leq 200$ 万回の式を適用して S-N 線は直線で表現されている。

異形棒鋼の疲労特性に影響を及ぼす因子として、作用する応力振幅、最小応力、鉄筋の径、表面形状、圧接等による熱影響、及び鉄筋の加工状態等があげられる。研究の蓄積に基づき設計面においても疲労強度設計式が提案されており、土木学会の「コンクリート構造の限界状態設計法指針(案)」には、応力振幅に及ぼす最小応力の影響を考慮した疲労強度の特性値の算定式が規定されている。この特性値の算定式は、多くの疲労試験における作用応力振幅を修正 Goodman 線図を用いて完全片振り時の疲労強度に換算し、これと繰返し回数との関係を両対数グラフ上で直線に回帰させ収集したデータより S-N 直線の勾配を決定し、データを安全側に包含する位置まで S-N 直線を移動させたものである。

ただし、これには鉄筋径や鉄筋の表面形状等の影響は考慮されていない。二羽ら^{4,6)}は、鉄筋棒鋼の径、ふし根元の円弧の有無、ふしと鉄筋軸のなす角度及び圧接による熱影響の有無について影響度を定量化して疲労強度算定式を提案している。

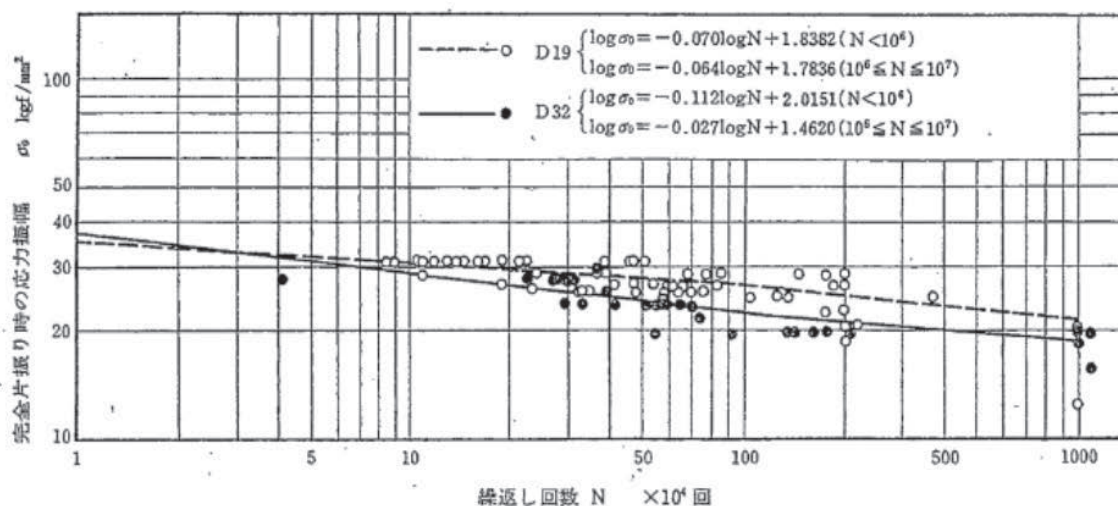


図 4.21 異形棒鋼の S-N 線図^{4,1)}

試験鉄筋は、市販電炉鉄筋棒鋼で、材質及び鉄筋径は、SD35(当時の呼称)のD19とD32である。表面形状が重要であり、節付け根部の半径、節間間隔、節の高さ、節側面の傾斜角で水準を変えたものを選定している。

試験方法は、疲労試験機(電気油圧式サーボパルサー、クロスヘッド型材料試験機、荷重切り換え及びサイクル切り替え装置)を用い、試験鉄筋の端部補強法などを適切に行って実施した。載荷方法は下限応力を一定にして上限値は水準を変えて評価し、載荷速度は8.3Hzとした。

試験結果及び考察を以下に述べる。

- ① S-N線図で 10^6 で曲がる傾向、 10^6 、 10^7 疲労強度 (10^6 強度の85~90%程度) (図 4.21)
- ② 節付け根部の半径が疲労強度に及ぼす影響は試験内では認められなかった(応力集中の少ない形状としていることから)
- ③ 土木学会コンクリート標準示方書(昭和61年版)、疲労強度特性値の算定式を規定(鉄筋棒鋼の設計疲労強度と繰返し数、鉄筋の設計引張強度などとの関係式)、本試験での電炉鉄筋の特性はこの標準示方書で規定している鉄筋棒鋼の疲労強度特性値を十分満足している

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{1 - \sigma_{min}/f_{su}} \quad (4.17)$$

ここに、 σ_0 : 完全片振り時の応力 (kgf/mm²)

σ_{max} : 作用最大応力 (kgf/cm²)

σ_{min} : 作用最小応力 (kgf/cm²)

f_{su} : 鉄筋の引張強度 (kgf/cm²)

土木学会コンクリート標準示方書(昭和61年版)では、応力振幅に及ぼす最小応力の影響を考慮した疲労強度特性値の算定式は、下記のように規定されている。

$$f_{srd} = 1900 \frac{10^\alpha}{N^k} \left(1 - \frac{\sigma_{sp}}{f_{ud}}\right) / \gamma_s \quad (4.18)$$

ここで、 f_{srd} : 鉄筋棒鋼の設計疲労強度 (kgf/cm²)

N : 繰返し数

α 、 k : 材料定数、試験により定めるのを原則とする

σ_{sp} : 永久荷重による断面力 S_p によって生じる鉄筋応力度の増加量 (kgf/cm²)

f_{ud} : 鉄筋の設計引張強度 (kgf/cm²)

γ_s : 鉄筋の材料係数

【参考文献】

- 4.1) 日本鉄鋼連盟, 普通鋼電炉工業会: 電炉鉄筋棒鋼の研究, 1987年3月
- 4.2) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料, 1987年9月
- 4.3) 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説 2010, 2010年2月
- 4.4) 藤井栄, 森田司郎: 異形鉄筋の付着割裂強度に関する研究, 第1報, 第2報, 日本建築学会論文報告集, 第319号, pp.47-55, 1982年9月, 第324号, pp.45-52, 1983年2月
- 4.5) 宇佐美滋: 鉄筋コンクリート造柱・はり用高強度鉄筋に要求される機械的性能、コンクリート工学、Vol38, No.10, 2000年10月
- 4.6) 二羽淳一郎、前田詔一、岡村甫: 異形鉄筋の疲労強度算定式、土木学会論文集第354号/V-2, 1985年2月

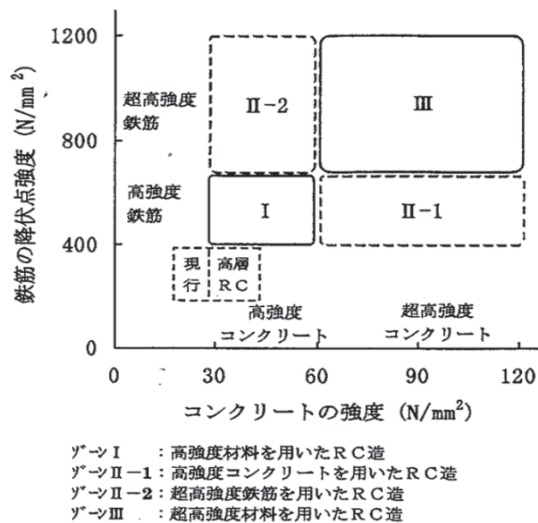
5. New RCにおける超高強度化の研究

5.1 New RCにおける超高強度の材料開発

鉄筋の超高強度化は、1988年から5ヶ年計画でスタートした「鉄筋コンクリート造建築物の超軽量・超高層化技術の開発」（通称、New RCプロジェクト）によって大きく進展した。

New RCプロジェクトは、建設省主導の下で、大学研究者、構造設計者、施工管理者、コンクリートや鉄筋メーカーなどRC構造物に関係する業界全体を巻き込んでRC構造物の超高層化を目指したこれまでに例のない国家プロジェクトであった。

New RCで開発を目指した材料強度の範囲を図5.1に示す。



ゾーンⅠ：高強度材料を用いたRC造
ゾーンⅡ-Ⅰ：高強度コンクリートを用いたRC造
ゾーンⅡ-Ⅱ：超高強度鉄筋を用いたRC造
ゾーンⅢ：超高強度材料を用いたRC造

図5.1 New RCの材料強度の範囲^{5.1)}

5.2 New RCの鉄筋の機械的性質

高強度の鋼材としては、これ以前にも各種のPC鋼材がJIS規格化されていたが、図5.2に示すように鋼材は高強度になるほど降伏棚が短くなり破断伸びも小さくなる傾向があり、一般的な鉄筋コンクリート構造物の主筋としては使用されていなかった。

このためNew RCにおいては、構造設計者からRC構造物の主筋として使用できる一定の降伏棚や破断伸びを有する鉄筋が求められ、表5.1及び図5.3に示すような降伏点が685 N/mm²級のアズロールの鉄筋が開発された。

また、同時に降伏点が980 N/mm²級の熱処理による主筋用の鉄筋や、降伏点が785及び1275 N/mm²級のせん断補強筋用の鉄筋も開発・規格化された。

これらの中で、主筋用の鉄筋として新たに開発されたUSD685規格の特徴とその意味合いを以下に解説する。

- 降伏点の範囲：降伏点の上限値が、USD685Aは規格降伏点の1.15倍、USD685Bは1.1倍に規定されている。これは構造物の降伏機構を確実にするために設けられたものである。
- 降伏棚のひずみ度：規格降伏点の上限値を通過するときの鉄筋のひずみ度で、この規定により一定の降伏棚を有することが保証される。これは鉄筋が降伏してもある程度小さな変形の範囲ではひずみ硬化による部材の強度上昇が起こらないよう設けられたものである。
- 降伏比：鉄筋の実降伏点と実引張強さの比で、この規定により鉄筋の降伏後の強度上昇が保証される。これは降伏比が1.0に近くなると曲げ降伏するヒンジ部分で曲げ降伏後鉄筋に応力集中が起り鉄筋破断の恐れがあるために設けられたものである。

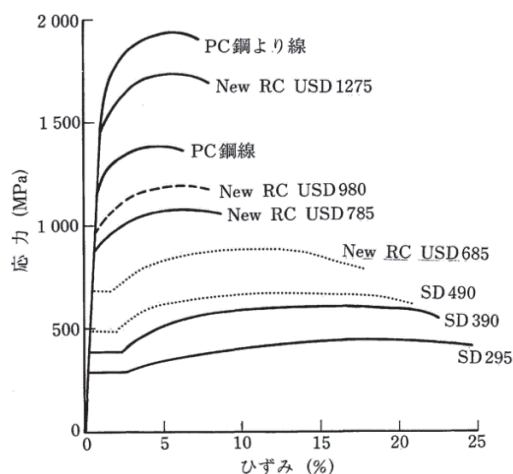


図5.2 各種鋼材の応力—ひずみ関係曲線^{5.2)}

表5.1 USD685鉄筋の機械的性質^{5.1)}

種類の記号	降伏点 又は 0.2%耐力 (N/mm ²)	降伏比 ^{注1)} (%)	伸び		曲げ性		
			降伏棚の ひずみ度 ^{注2)}	試験片 伸び (%)	曲げ 角度	内側 半径	
USD 685A	685 ~785	85 以下	1.4 以上	≦D22	10	90°	公称 直径 の 2倍
				≧D25			
USD 685B	685 ~755	80 以下	1.4 以上	≦D22	10	90°	公称 直径 の 2倍
				≧D25			

注 1)降伏比は実降伏点を実引張強さで除した値を百分率で表したもの
2)降伏棚のひずみ度は鉄筋応力が規格降伏点の上限値に達したときのひずみ度

- 伸び：高強度化や太径化により伸びが低下する傾向があるため、現実的に可能な伸びを規定したもの。
- 曲げ性：高強度化や太径化により曲げ性も低下するが、配筋納まりの関係で使用者側から強い要望があり JIS の SD490 規格よりも小さい曲げ半径で規定されている。

5.3 USD685 鉄筋の化学成分

アズロールで生産される主筋用の USD685 鉄筋の化学成分の規格は表 5.2 のようなものである。しかし、実際の生産においては他に V や Nb など特殊成分を添加して靱性を確保するなど、各鉄筋メーカーにてそれぞれ独自に製造方法を確立している。

5.4 構造性能に関する研究

New RC における研究では、鉄筋やコンクリートの材料開発と並行して、開発した材料を用いた部材の構造性能に関する多くの研究が実施された。

これらの研究成果によって部材耐力や付着強度などの各種計算式も提案され、その後の超高層 RC 建築物の構造設計の指針となった。

5.5 SD490 鉄筋への影響

New RC の超高強度鉄筋の開発は、従来から JIS 規格化されていた SD490 の高強度鉄筋にも大きな影響を及ぼしてきた。

具体的には、SD490 の鉄筋に JIS 規格への適合だけでなく、使用者側のゼネコンなどから New RC の考え方に沿った以下のような性能が追加要求され、これがデファクトスタンダード化した。

- 狭い降伏点の範囲：構造物の降伏機構を確実にするために、降伏点の上限值が規格降伏点の 1.1 倍または 1.15 倍とされている。
- 降伏比の上限值：曲げ降伏するヒンジ部分で曲げ降伏後鉄筋に応力集中が起り鉄筋破断することがないように、降伏比の上限值が 80%以下とされている。
- 降伏棚の長さ：ある程度小さな変形の範囲ではひずみ硬化による部材の強度上昇が起こらないよう、降伏棚の長さ $3\epsilon_y$ 以上とされている。

これに関連し、2001 年 3 月に普通鋼電炉工業会の電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会が、SD490 鉄筋の実態を調査し報告を取りまとめている。

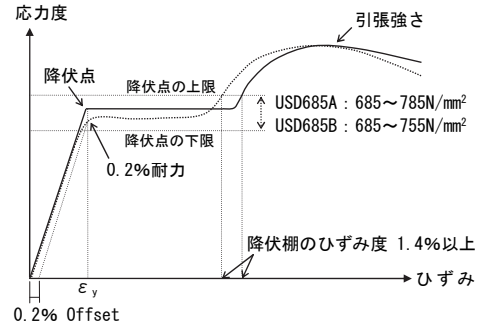


図 5.3 USD685 鉄筋の応力-ひずみ曲線^{5.1)}

表 5.2 USD685 鉄筋の化学成分^{5.1)}

種類の記号	化学成分(%)					
	C	Si	Mn	P	S	Cu
USD685A USD685B	0.50 以下	1.50 以下	1.80 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.05 以下

表 5.3 使用者側の SD490 への要求性能の例^{5.3)}

規格	種類の記号	降伏点 又は 0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	降伏比 (%)	伸び		曲げ性		
					降伏棚のひずみ度	試験片 伸び ^{注2)} (%)	曲げ 角度	内側 半径	
要求特性の例 ^{注1)}	SD490	490 ~564	620 以上	80 以下	1.4 以上	D35を 超える もの	14 以上	90°	2d
JIS G 3112	SD490	490 ~625	620 以上	-	-		10 以上	90°	3d

注 1) この表は使用者側からの要求性能の一例を示したもので、使用者によって要求性能は異なる
 2) 伸びの値は、JIS G 3112(1987)の3号に準じた引張試験片によるもので、14Aに準じた引張試験片によるものとは値が異なる

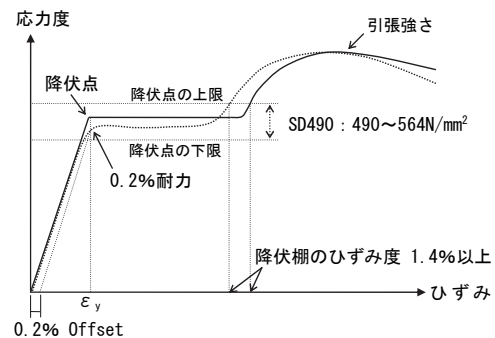


図 5.4 SD490 の降伏点および降伏棚のひずみ度^{5.3)}

この調査は5事業所から D38 と D41 のサンプル採取し、その化学成分や機械的性質を JIS 規格に基づき調査したものであるが、使用者側から JIS 規格以外の表 5.3 や図 5.4 に示されるような性能を追加要求されていることを考慮して、これらへの適合性も調査している。

その結果、5 事業所の鉄筋は表 5.3 に示す顧客仕様をほぼ満足しており、SD490 鉄筋が実際には New RC の考え方を反映した使用者側の仕様で生産されていることが分った。

5.6 New RC 鉄筋の普及状況

USD685 が最初に使われたのは、1992 年名古屋市に建設されたザ・シーン城北（45 階）の柱芯鉄筋といわれている。

2000 年頃からは鉄筋メーカー各社による USD685 鉄筋の製造販売への参入が本格化して、現在は建築基準法第 37 条の規定に基づく国土交通大臣の認定を取得するメーカーは 10 社を数えるまでになっている。

これにより、超高層 RC 建築物等における超高強度鉄筋の使用も一般化してきている。

また、土木分野においても土木構造物の高耐久化を目的に高強度材料の利用技術や設計法の開発が行われており、実物件でも道路橋脚に SD490, USD685 の D51 クラスが使われるなど鉄筋の高強度化、太径化が進んでいる。

【参考文献】

- 5.1) 建設省総合技術開発プロジェクト「鉄筋コンクリート造建築物の開発：高強度鉄筋分科会報告書」
1993 年 3 月
- 5.2) 日本鉄鋼協会西山記念技術講座、永井義視「ニュー RC 用高強度鉄筋の最近の動向」1990 年 5 月
- 5.3) 普通鋼電炉工業会「電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書」
2001 年 3 月

6. 設計・施工における要点

6.1 鉄筋の品質に関する法令

建築分野では、「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」に構造関係の建築基準法法令の規定とその解説が取りまとめられ広く参照されている。

鉄筋の品質に直接関係する法令として、建築材料の品質に関する建築基準法第37条がある。

法第37条を受けた告示 平12建告第1446号の別表第一で、鉄筋が適合すべき日本工業規格はJIS G 3112 (1987)であることが定められている。

また、建築基準法施行令第90条に鉄筋の許容応力度が、同第96条に材料強度が定められ、その基準強度が告示 平12建告第2464号の第1及び第3に定められている。ただしSD490鉄筋については告示 平13国交告第1024号で定められている。

このため、JIS G 3112(1987)の規格にない主筋用のUSD685 やせん断補強筋用のUSD785の鉄筋などは、法第37条第2号に基づき国土交通大臣の認定を受けるとともに、許容応力度ならびに材料強度の基準強度の指定を受けなければならない。

6.2 構造計算基規準類の材料の適用範囲

建築物の構造安全性は、政令で定める技術的基準に適合する各種の構造計算によって確認される。

RC構造物に関する具体的な構造計算方法については、RC規準などに示されているが、これら計算規準類ではJIS規格鉄筋の使用が前提になっている。

USD685などの鉄筋は、これら計算基規準類の適用範囲に含まれていないため、特別な調査又は研究に基づいた構造設計法の妥当性が求められる。

6.3 鉄筋加工や配筋施工

鉄筋の切断・加工や組付けに関しては、JASS5や配筋指針の規定が基本となっている。

ただし、JIS規格外となる超高強度の主筋やせん断補強筋に関しては、各社の大臣認定の中で鉄筋の加工や配筋施工に関する規定が設けられており、この規定を守る必要がある。

なお、普通鋼電炉工業会では、2013年10月の電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書において鉄筋棒鋼の使用上の注意事項を取りまとめて、ユーザー等に注意喚起をしている。

6.4 土木分野における規定

土木分野では、建築基準法のような法令はなく、道路、鉄道、港湾などの各分野ごとに、RC構造物の設計・施工の仕様が定められている。

土木学会では、各分野に共通する標準的な設計・施工での仕様書として「コンクリート標準示方書」を定めている。また、国土交通省の発注物件では、「道路橋示方書・同解説」による設計・施工が基本となっている。

これらの示方書は、いずれもJIS G 3112に適合した鉄筋の使用が標準とされている。

また、鉄筋の曲げ加工に関しても、JIS規格の曲げ半径以上で加工することが定められている。

【参考文献】

- 6.1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、国立研究開発法人建築研究所監修：2015年版建築物の構造関係技術基準解説書、2015年6月
- 6.2) 一般社団法人日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010年2月
- 6.3) 一般社団法人日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2015、2015年7月
- 6.4) 一般社団法人日本建築学会：鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説、2010年11月
- 6.5) 公益社団法人 土木学会：2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】、2018年3月
- 6.6) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 I 共通編、2017年11月
- 6.7) 公益社団法人 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋・コンクリート部材編、2017年11月

7. 鉄筋棒鋼の継手

7.1 鉄筋棒鋼の継手の概要

我が国では、土木・建築構造物の多くが鉄筋コンクリート構造（RC造）で造られる。RC造は、コンクリートと鉄筋で構成され、その構成要素の一つである鉄筋棒鋼は、定尺の工場製品であるため、その建設工事においては必ず継手が必要となる。

鉄筋棒鋼の継手、すなわち鉄筋継手は、以前はコンクリートとの付着力を利用して力を伝達する重ね継手が主であったが、構造物が大規模化するにつれて太径鉄筋が使用されるようになり、重ね継手になると鉄筋が込み合ってコンクリートが充填し難くなるため、鉄筋を直接継ぐ工法が要求されるようになった。

このような背景から、1950年代には鉄道レールのガス圧接技術を応用して鉄筋のガス圧接継手が開発され、その優れた実用性から急速に建設工事に使用されるようになった。

一方、1970年代に、建設工事の合理化を目的としたプレキャスト工法や鉄筋先組み工法などの構工法に適用される溶接継手、機械式継手など種々の新しい継手工法が開発された。1990年代には、RC構造物がさらに大規模化、高層化することにより、太径、高強度鉄筋を用いる設計が多くなり、鉄筋メーカー主導で新たな機械式継手の開発が行われ、現在に至っている。

7.1.1 鉄筋継手の種類

図7.1.1に、主な鉄筋継手の分類を示す。この中で、現在柱・梁などの主筋に多用されている継手を囲みで示す。

各継手の特徴から、重ね継手は主として壁筋やスラブ筋など細径鉄筋の継手に用いられ、ガス圧接継手は在来工法や鉄筋先組み工法、溶接継手と機械式継手は鉄筋先組み工法、プレキャスト工法、逆打ち工法などにおける主筋の継手に用いられる。

7.1.2 鉄筋継手の性能等級と法的位置づけ

建築構造物における鉄筋継手に要求される性能には、強度、剛性、靱性の3要素がある。「2015年版 建築物の構造関係技術基準解説書」^{7.1)}では、鉄筋継手の性能に関して、次の4種類の等級が規定されている。

SA級：強度、剛性、靱性などに関してほぼ母材並みの継手

A級：強度と剛性に関してほぼ母材並みであるが、その他に関しては母材よりもやや劣る継手

B級：強度に関してはほぼ母材並みであるが、その他に関しては母材よりもやや劣る継手

C級：強度、剛性に関して母材よりもやや劣る継手

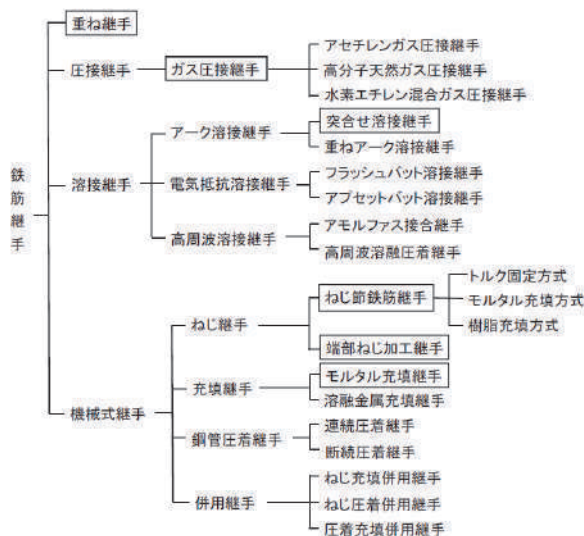


図7.1.1 主な鉄筋継手の分類

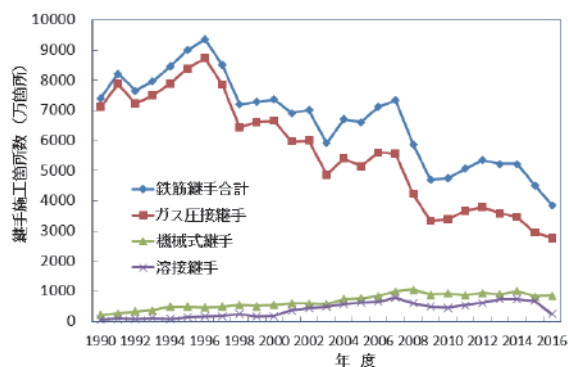


図7.1.2 各種鉄筋継手の施工実績の推移

一方、2000年建設省告示第1463号（鉄筋の継手の構造方法を定める件）で、継手を引張力の最も小さい部分に設ける場合のガス圧接継手、溶接継手、機械式継手の構造方法（仕様）が規定されている。また、同告示のただし書きにより、加力実験によって継手が接合する鉄筋母材と同等以上の性能を有することが確認された場合には、仕様規定によらないで、引張力の最も小さい部分以外の部分に設けることができると規定されている。

この告示の運用において、引張力の最も小さい部分以外の部分に設ける継手については、指定性能評価機関等から認定又は評定された継手工法が用いられている。柱・梁の主筋の継手工法は、ガス圧接継手及び溶接継手の場合A級継手、機械式継手の場合SA級継手又はA級継手の性能が確認されたものである。

7.1.3 各種鉄筋継手の施工実績の推移

図7.1.2は、1990年から2016年までの27年間の重ね継手以外の鉄筋継手工法別施工実績の推移^{7.2)}を示したものである。継手全体の推移は建設投資の動向にリンクしている。各継手の割合は、以前は、ガス圧

接継手がほとんどを占めていたが、近年、建設工事の工期短縮、生産性向上を目的とした構工法の多様ななどによって、機械式継手や溶接継手の割合が増えている。

7.2 ガス圧接継手

7.2.1 ガス圧接の接合原理

鉄筋のガス圧接法は、接合する鉄筋の端面同士を突き合わせ、軸方向に圧縮力を加えながらガス炎で突き合わせ部を加熱し、端面を溶かすことなく赤熱状態でふくらみを形成して接合する方法である。このときの接合面の加熱温度は 1,200~1,300℃が適当であるとされている。図 7.2.1 にガス圧接の工程を示す。

図 7.2.2 は接合のメカニズムを示したもので、両側の鉄筋の原子が接合面を通して拡散し、金属結合して一体化するとされている。また、このように接合するためには次の 4 つの条件が満たされなければならない。

- ① 接合面：平滑・清浄な金属表面で、金属同士が接触できる。
- ② 加熱：金属の変形抵抗を減じ、原子の動きを活発にして拡散現象を促進する。
- ③ 加圧：鉄筋の両端面の原子間距離を近づけ、金属結合を促進する。
- ④ 圧接時間：圧接端面の原子がすべて金属結合する時間を確保する。

7.2.2 ガス圧接継手工法の種類と特徴

鉄筋のガス圧接継手は、従来、酸素・アセチレン炎を用いたアセチレンガス圧接継手工法が一般的である。圧接端面が密着してすきまが閉じるまでは、圧接面の酸化を防ぐために、酸素とアセチレンガスの混合割合が 1:1.3 の還元炎で加熱し、すきまが閉じた後は 1:1 の中性炎に切り替えて加熱し、接合面の中心部まで所要の圧接温度に保持しふくらみを形成して完了となる。

このアセチレンガス圧接継手工法には、継手品質の安定性、検査の効率化等の要件から圧接作業方法が異なる手動ガス圧接、自動ガス圧接、熱間押抜ガス圧接の 3 方法がある。これらの圧接方法については、(公社)日本鉄筋継手協会（以下、継手協会という。）が制定する「鉄筋継手工事標準仕様書 ガス圧接継手工事（2017 年）」^{7.4)} に規定され、広く採用されている。

近年、アセチレンガスの高騰やCO₂削減の理由から、燃焼ガスとして天然ガスを用いた高分子天然ガス圧接継手工法や、水素ガスを用いた水素エチレン混合ガス圧接継手工法が開発され、いずれも継手協会によってその継手性能が確認され、工法ごとに標準仕様書^{7.5) . 7.6)} が制定され、実用されている。

7.2.3 ガス圧接性の評価

(1) フラット破面率

鉄筋のガス圧接性は、圧接面の接合の健全性によって評価される。圧接面の接合の健全性は、ガス圧接部の破面試験における破面観察によって確認すること

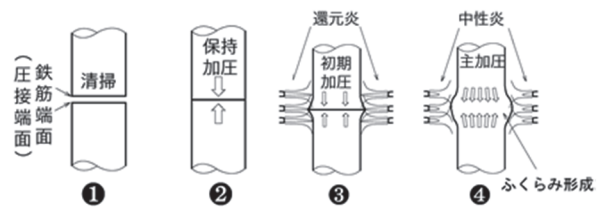


図 7.2.1 ガス圧接の工程^{7.3)}

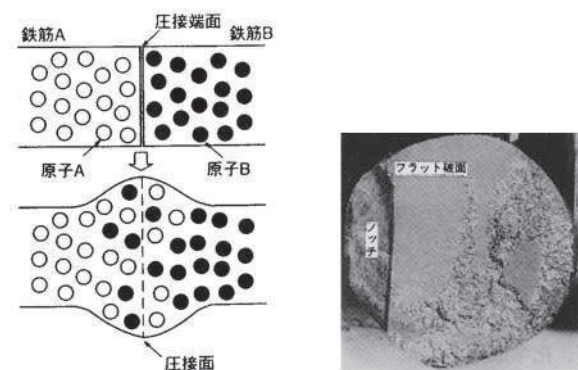


図 7.2.2 接合のメカニズム 写真 7.2.1 フラット破面^{7.4)}

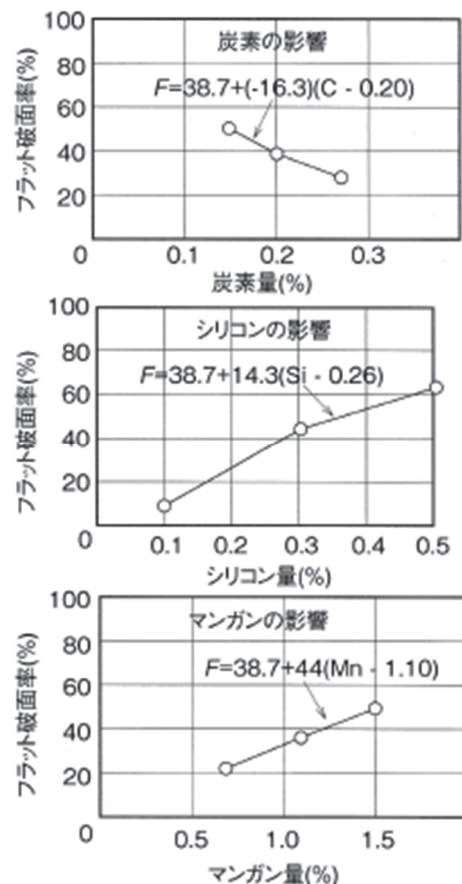


図 7.2.3 鉄筋の化学成分とフラット破面率の関係^{7.3)}

ができる。破面試験とは、圧接面にバンドソーでノッチを入れて曲げ破断させ、その破断面における灰白色の平坦な破面（フラット破面と呼ぶ。）の生成の有無を調べるものである（写真 7.2.1）。

このフラット破面が破断面全体に占める割合をフラット破面率といい、この破面率が大きくなると継手の引張強度が低下するようになる。したがって、フラット破面率がガス圧接継手の健全性の評価の一指標として用いられる。

(2) フラット破面の生成に及ぼす化学成分の影響

前述のとおり、ガス圧接継手の性能は、圧接面の接合の健全性に依存する。健全性の指標となるフラット破面率は、一義的には鉄筋の化学成分に依存することが知られている^{7.7)}。

図 7.2.3 は、鉄筋の化学成分である炭素 (C)、シリコン (Si)、マンガン (Mn) がフラット破面の生成に及ぼす影響を示したものである。C の増加はフラット破面の生成を減少させ、Si、Mn の増加は逆にフラット破面を増加させる傾向がある。

この 3 元素の他に、バナジウム (V)、アルミニウム (Al) はフラット破面の生成を減少させ、逆にクロム (Cr) はフラット破面の生成を助長する方向に働き、銅 (Cu) の影響は少ないことが知られている

(3) フラット破面の生成に及ぼすガス圧接条件の影響

フラット破面の生成に及ぼす影響因子は多岐にわたり、その特定は容易ではない。フラット破面の生成に及ぼす圧接条件の影響に関する既往の知見は、以下のとおりである。

1) ガス炎

金属面を加熱すると大気中の酸素によって容易に酸化する。アセチレンガス圧接継手工法における還元炎は、圧接部の昇温と圧接端面の酸化を防ぐ役割を果たす。端面同士が密着するまでは、還元炎が突き合わせた端面位置から外れることのないように加熱する必要がある。

2) 圧接温度

固相接合として、鉄筋のガス圧接が容易に可能となる接合面の適正圧接温度は 1,200~1,300℃であり、接合面の中心部までこの圧接温度に保持するように加熱する必要がある。

3) 圧縮量 (アプセット量)

図 7.2.4 は、圧接面の面積拡大度・圧接温度とフラット破面の有無の関係を示したものである。面積拡大度とは、元の鉄筋の断面積に対する圧接後に拡大した圧接面の面積の比であり、圧縮量 (アプセット量ともいう。) が多いほど大きい値となる。図に示すように、圧接温度が高ければ面積拡大度が小さくてもフラット破面は発生し難い傾向にあるが、逆に圧接温度が

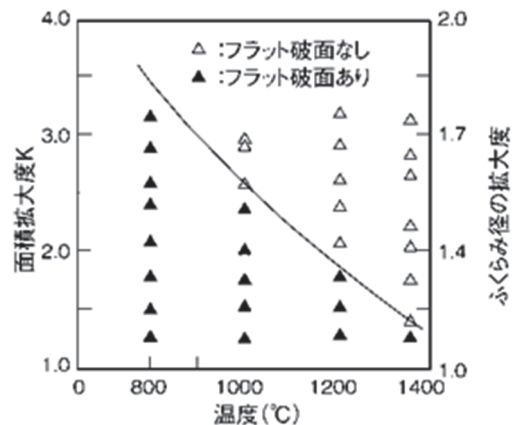


図 7.2.4 圧接面の面積拡大度・圧接温度とフラット破面の有無の関係^{7.3)}

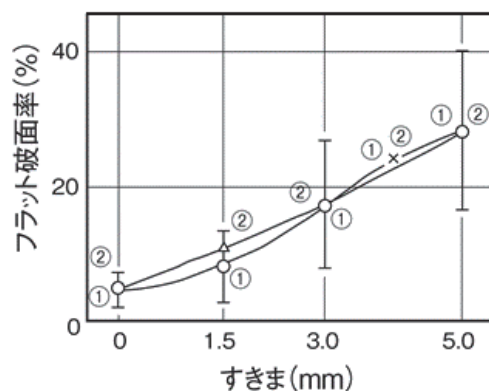


図 7.2.5 圧接端面間のすきまとフラット破面率の関係^{7.7)}

高過ぎると圧接部の焼き割れや金属組織の粗大化による脆化を招くおそれがある。前述のように適正圧接温度 1,200~1,300℃のときフラット破面が生じないようにするためには面積拡大度を 2.0 以上、すなわちふくらみの直径が鉄筋径の 1.4 倍以上となるようにふくらみを形成する必要がある。

4) 圧接端面のすきま

鉄筋同士が金属結合するためには、端面同士が十分に接触することが必要である。図 7.2.5 に、圧接端面間のすきまとフラット破面率との関係を示す。図中①と②は化学成分が異なる鉄筋 D25 で、いずれもすきまが大きくなるとフラット破面率が大きくなる傾向が見られる。

(4) フラット破面の生成の及ぼす諸因子の影響の総合的評価

フラット破面の生成に及ぼす諸因子の影響は、鉄筋の化学成分や各種の圧接条件が付加されて複雑となる。

(社) 日本圧接協会で開催された既往の電炉鉄筋のガス圧接実験資料を基に、化学成分 8 元素 (C、Si、Mn、P、S、Cu、Cr、Sn) と圧接条件 7 因子 (すきま、

アプセット量、加圧力、還元加熱時間、全加熱時間、ふくらみの径、ふくらみの長さ)を取り上げ、各因子がフラット破面の生成に及ぼす影響度について重回帰分析を行った結果、以下のような知見が得られ、既往の知見が総合的に検証された^{7.8) 7.9)}。

- ①Si、Mn が増加するに伴ってフラット破面が多くなり、Cr もフラット破面の生成を助長させる。
- ②十分なアプセットを行いふくらみ径を大きくすることによりフラット破面の生成を抑制できる。

7.2.4 ガス圧接継手の性能

(1) 引張性能

鉄筋コンクリート部材中の鉄筋は主として引張力を負担することを期待して配置されるため、ここでは引張力に対するガス圧接継手の性能について述べる。

JIS Z 3120 (鉄筋コンクリート用棒鋼ガス圧接継手の試験方法及び判定基準)では、引張試験の判定基準として、「全ての試験片の引張強さが JIS G 3112 の規定に適合した場合を合格とする。」と規定されている。また、日本鉄筋継手協会規格 JRJS 0008 (A級継手性能評価基準)では、A級ガス圧接継手の性能が規定されている。

図 7.2.6 は、ガス圧接継手の性能確認試験のうち、一方向繰返し試験結果の一例である。適切に施工されたガス圧接継手は、最終的に母材破断となり良好な性能を示す。

(2) 曲げ性能

曲げ試験は、引張試験に比べて厳しい試験であり、しばしば引張試験の代替として行われる。JIS Z 3120 (鉄筋コンクリート用棒鋼ガス圧接継手の試験方法及び判定基準)では、圧接のままで曲げ試験を行い、曲げ角度 45° まで圧接面で破断しないことが規定されている。

7.2.5 電炉鉄筋のガス圧接性の検証

(1) 普通強度鉄筋

SD345、SD390 などの普通強度の鉄筋のガス圧接性については、これまでに (社) 日本圧接協会が実施した鉄筋メーカーからの受託研究、及び (社) 日本圧接協会と普通鋼電炉工業会の共同研究^{7.11)}、(社) 日本鉄鋼連盟と普通鋼電炉工業会の共同研究^{7.12)} など多くの調査研究がある。これらの研究結果により、普通強度鉄筋のガス圧接性が検証され、現在の圧接技術のベースとなっている。

(2) 高強度鉄筋

構造物の大型化に伴い、鉄筋も次第に太径化・高強度化してきた。高強度鉄筋 SD490 の場合、強度を上げるためにC量を多くし、曲げ性をよくするためにSi、Mn などが添加される。C量が多いために圧接面の接合性はよくなるが、炭素当量が高いために熱影響部の硬さは高くなり、靱性は低下する。

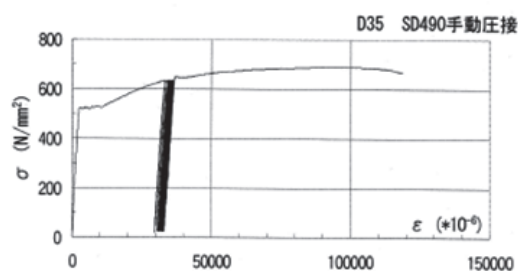


図 7.2.6 ガス圧接継手の一方向繰返し試験結果^{7.10)}

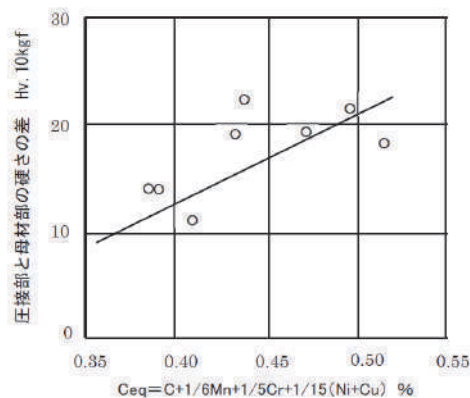


図 7.2.7 圧接部の硬さと炭素当量の関係^{7.12)}

図 7.2.7 は、圧接部の硬さ (母材との差) と炭素当量の関係を示したものである。炭素当量が高くなるにつれて熱影響部の硬さが高くなる。そのため、引張試験又は曲げ試験において熱影響部破断が生じやすくなる。

高強度鉄筋では、熱影響部破断を防止するために、普通強度鉄筋とは若干圧接施工条件を変える必要がある。すなわち、加圧力に上限圧及び下限圧を設定して入熱過多を防ぐなどの工夫が必要である^{7.13)}。

(3) ねじ節鉄筋

近年、ねじ節鉄筋を用いた機械式定着工法の増加に伴い、主筋も同一のねじ節鉄筋が使用され、ねじ節鉄筋をガス圧接する事例が多くなっている。

ねじ節鉄筋は、高強度であるとともに、一般の竹節鉄筋に比べて節の高さが高いために、熱影響部の節間の縮みによって底部のノッチ効果が厳しくなり、熱影響部破断が生じやすくなる。

このようなねじ節鉄筋のガス圧接継手の熱影響部破断を防止するためには、以下のことに留意する必要がある^{7.14)}。

- ①圧接の加圧力の上限圧は 50MPa 程度とし、下限圧は上限圧の 50~70%程度とする。
- ②圧接の幅焼きは、圧接面から片側 1.5~2 d 程度の範囲とする。
- ③圧接部のふくらみ形状は、ふくらみの直径 $D \geq 1.5 d$ 、ふくらみの長さ $l \geq 1.5 d$ とする (d : 鉄筋径)。

7.2.6 ガス圧接継手の品質確保の要点^{7.4)}

(1) ガス圧接技量資格者

ガス圧接継手の品質は、圧接作業者の技量に依存する。このため、継手協会では、JIS Z 3881（鉄筋のガス圧接技術検定における試験方法及び判定基準）に基づいて、「ガス圧接技量検定規定」によってガス圧接技量資格者を認証している。

手動ガス圧接の場合、技量資格の種別は圧接する鉄筋径に応じて1種から4種に分かれている。また、SD490の場合、圧接条件がSD345やSD390と異なるため、SD490の圧接可能な技量資格は3種及び4種に限定されている。

(2) 鉄筋端部の切断・加工

鉄筋のガス圧接継手の品質を左右する重要な因子は、第一義的に圧接端面の平坦度である。

鉄筋製造工場や鉄筋加工工場で平刃シャー切断された切断端面には、写真7.2.3に示すように、端曲がりが生じる。このような端面を施工現場でディスクグラインダーを用いて端面加工を行っても、ガス圧接に適する直角かつ平滑な端面に修正することは困難である。したがって、ガス圧接継手工事における圧接端面の切断は、鉄筋冷間直角切断機を用いて行う必要がある^{7.15)}。

(3) 工程検査

多用されているアセチレンガス圧接継手の品質を確保するための圧接工程における重要なポイントは、圧接端面、還元炎加熱、ふくらみ形状の確認である。

圧接前には、鉄筋の端面が直角かつ平滑であること、さらに、突き合わせた鉄筋の端面間にすきまが無いことを確認する。

圧接中には、加熱初期の加熱炎が還元炎となっていることを確認する。

圧接後には、圧接部のふくらみの大きさが規定値以上であることを確認する。特にSD490の圧接継手の場合には、なだらかな形状であることが望ましい。

(4) 受入検査

受入検査は、工程検査の他に、継手施工が確実に行われていることを確認するために、発注者側である施工者が外観検査と超音波探傷検査を行う必要がある。

ガス圧接継手の超音波探傷検査は、JIS Z 3062（鉄筋コンクリート棒鋼ガス圧接部の超音波探傷試験方法及び判定基準）に基づいて行われる。

7.3 溶接継手

7.3.1 アーク溶接の接合原理

鉄筋の溶接継手は、アーク熱によって鉄筋の端部を溶接金属と共に溶融して接合する方法で、ガスシールドアーク半自動溶接（エンクローズ溶接）によって行われる。



写真 7.2.2 平刃シャー切断機による切断面の例^{7.4)}

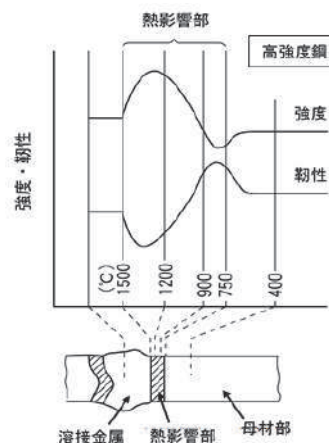


図 7.3.1 溶接部の名称と強度・靱性の分布（模式図）^{7.3)}

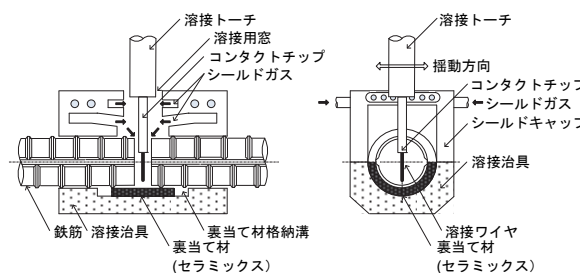


図 7.3.2 治具内シールド方式の例^{7.16)}

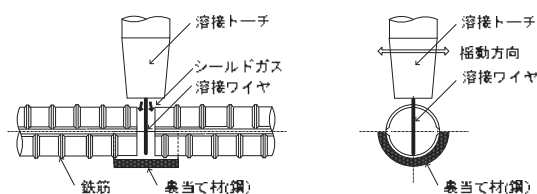


図 7.3.3 トーチシールド方式の例^{7.16)}

一般に、溶接部は、同じ材質の母材同士を接合しても一様な材質にはならず、図 7.3.1 に示すように、溶接金属、熱影響部、熱影響を受けない母材部といった材質の異なる金属の連続的な集合体となる。

溶接金属は、継手の開先の間を充填する溶接材料と母材が約 1,500℃の高温で溶融し急冷され凝固した部分で、いわゆる鑄造金属の組織及び機械的性質を有している。

熱影響部（HAZ）は、溶接金属に隣接した母材部で、熱伝導により局部的に急熱・急冷の熱サイクルを受け、その組織及び機械的性質が変化した部分で、位置によって変化の程度は異なる。

通常、溶接金属は、母材よりもやや高強度であるが、靱性は低くなる。一方、熱影響部は、溶接金属に近い部分では強度は高くなるが、靱性が低くなるため、溶接継手部の脆性破壊特性に大きな影響を及ぼす。

7.3.2 溶接継手の種類と特徴

鉄筋のガスシールドアーク半自動溶接工法は、ガスシールド方式の種類と、裏当て方式の種類によって分類される。

(1) ガスシールド方式の種類

溶接時に開先部のアーク及び溶融金属を大気から遮断（シールド）するために、炭酸ガスや炭酸ガスとアルゴンの混合ガスなどのシールドガスが開先部に送給される。この方法として、治具内にシールドガスを充満してシールドする工法（治具内シールド方式）（図 7.3.2）と、トーチの先端から炭酸ガスを噴射してシールドする工法（トーチシールド方式）（図 7.3.3）がある。

治具内シールド方式では、防風治具で溶接部を囲むため、耐風性に優れ、通常の状態では5~6m/secの風速まで適用可能である。

一方、トーチシールド方式は、風の影響を受けやすいので、通常の状態では2~3m/secの風速まで適用可能である。

(2) 裏当て方式の種類

溶接時の溶着金属の溶落ちを防止するため、開先部に半円形状の裏当て材を取り付ける。この裏当て材には、鋼製、セラミックス製、銅製などのものが使用される（写真 7.3.1）。

銅製、セラミックス製の裏当て材は溶接後に撤去できるが、鋼製の裏当て材は溶接金属と一体となり溶接後に撤去できないため、裏当て材に覆われた溶接部分は外観検査ができないという難点がある。

現在、ガスシールド方式、裏当て材の種類・形状を変えた多くの鉄筋溶接継手工法がある。しかし、鉄筋棒鋼の溶接方法の基本は同じである。継手協会では、溶接継手の一般化工法として、防風フード、アルミ箔付きセラミックス製裏当て材を用いたトーチシールド方式による「JRJI 鉄筋溶接継手工法」を研究開発し、これを推奨している。

7.3.3 溶接性の評価

一般に鋼材の溶接性が良いということは、溶接部周辺に溶接施工上の欠陥が生じず、溶接後の継手性能が構造物の使用性能上問題がないことを意味する。鋼材の溶接では、溶接金属近傍の母材は、アーク熱によって高温になり、加熱冷却されて金属組織が変化する。そのため、母材の一部が硬化又は脆化して溶接部の強度、靱性などの性能が変化する。

(1) 溶接部の温度変化と硬さ

図 7.3.4 は、一般の鋼材の溶接部の加熱冷却の熱サイクルと鉄-炭素系平衡状態図の関係を示したもので

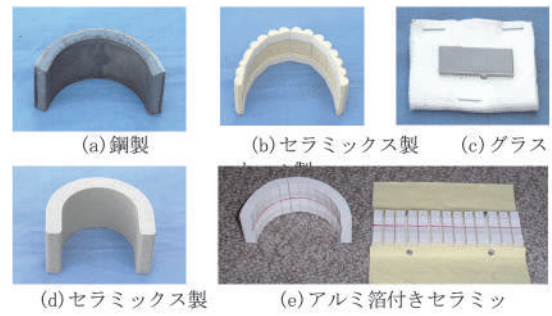


写真 7.3.1 裏当て材の例^{7.17)}

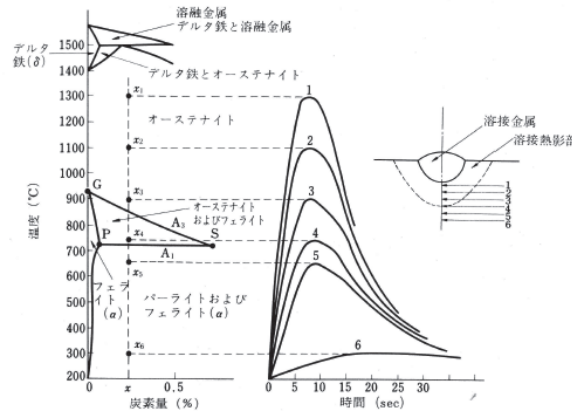


図 7.3.4 溶接熱サイクルと平衡状態図の関係^{7.18)}

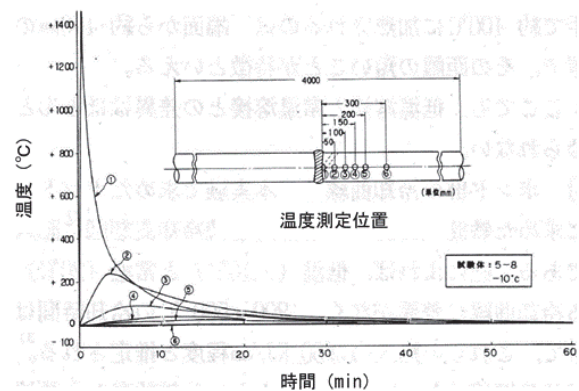


図 7.3.5 鉄筋の溶接部近傍の加熱冷却曲線^{7.19)}

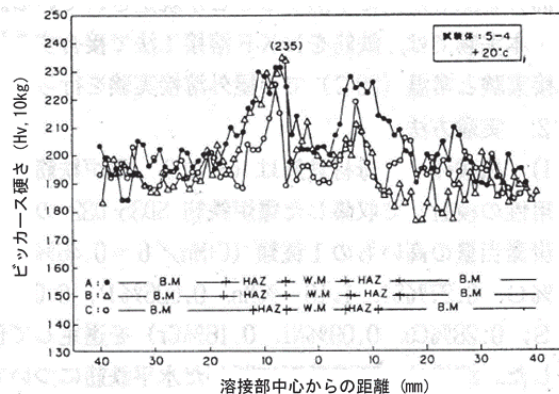


図 7.3.6 鉄筋の溶接部の硬さ分布^{7.19)}

ある。熱影響部位置 1, 2, 3 のように A_3 変態点以上に加熱された場合には、組織はオーステナイトに変態し、冷却過程で再結晶し、最高加熱温度に応じて粗粒又は細粒組織となる。位置 4 では、 A_1 と A_3 点間の温度に加熱され、パーライトのみがオーステナイトに変態し、直ちに冷却されて微細な球状パーライトに変態する。位置 5 では、 A_1 点直下に加熱され、組織的には変化は無いが、脆化を示すことがある。位置 6 の 300°C 以下では、熱影響を受けない母材原質である。溶接部周辺の割れや脆化などの欠陥の発生は、この部分の溶接熱影響による硬化の程度に支配される^{7.18)}。

図 7.3.5 に、鉄筋 SD345 D32、ルートギャップ 9.5mm の溶接部近傍の加熱冷却曲線の一例を示す。加熱温度が 800°C 以上になっている部分は開先面近傍の狭い範囲であり、開先面から約 50mm の位置では、約 200°C にとどまっている。

図 7.3.6 に、同じく鉄筋 SD345 D32 の溶接部の硬さ分布の一例を示す^{7.19)}。この場合の最高硬さはボンド部付近に見られ 235Hv であり、母材の硬さより約 50 Hv 程度高くなっている。

(2) 最高硬さに及ぼす化学成分の影響

一般に鋼材の溶接性を評価する尺度の一つとして最高硬さがあるが、これに及ぼす化学成分の影響を各成分の効果を炭素含有量の効果に換算した炭素当量 (Ceq) で見る事ができる。

一般的な Ceq の式は、以下のよう示される (JIS Z 3106)。

$$\text{Ceq} = \text{C} + \text{Mn}/6 + \text{Si}/24 + \text{Ni}/40 + \text{Cr}/5 + \text{Mo}/4 + \text{V}/14 \quad (\%)$$

図 7.3.7 は、鋼板に一層ビードの溶接を行った場合の熱影響部の最高硬さと炭素当量の関係を示したものである。Ceq が高くなると最高硬さが高くなる。最高硬さが Hv350 以下であれば割れなどの欠陥は発生しにくいとされている。

現在電炉鉄筋は、鉄スクラップを主原料として製造されるため、鉄スクラップから Cu、Cr、Sn などの特殊元素が製品に残留し、強度の発現は主として C に依存しているが、同時に溶接性や靱性を確保するためには、C 量及び Ceq を抑える必要がある。

7.3.4 溶接継手の性能

(1) 引張性能

継手協会の「鉄筋継手工事標準仕様書 溶接継手工事 (2017 年)」では、溶接継手の性能として、「(1) 溶接継手の引張強度は、鉄筋母材の引張強さの規格値以上であること。(2) 溶接継手が引張力を受けて破断する場合は、母材部分で破断すること。」としている。

溶接継手の A 級性能評価は、日本鉄筋継手協会規格 JRJS 0008 (A 級継手性能評価基準) 又は「2015 年版

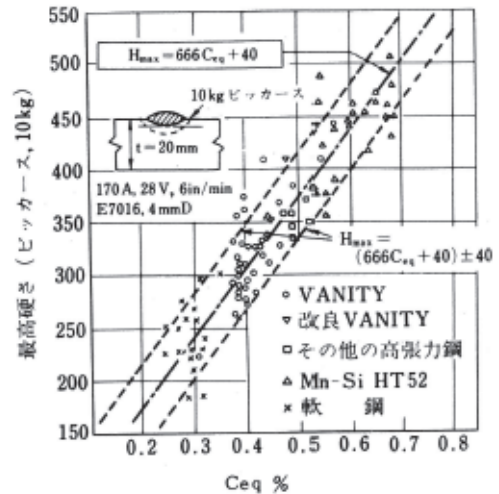


図 7.3.7 熱影響部の最高硬さと炭素当量の関係^{7.18)}

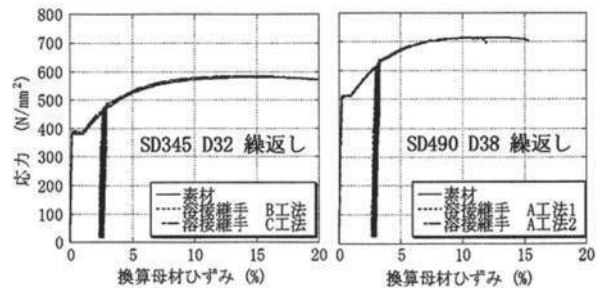


図 7.3.8 溶接継手の一方向繰返し試験結果^{7.20)}

表 7.3.1 鉄筋の種類と溶接ワイヤの組み合わせ^{7.17)}

	鉄筋の種類			
	SR235, SR295 SD295A, SD295B	SD345	SD390	SD490
ワイヤの種類	YGW11	YGW18	590N/mm ² 級鋼用	690N/mm ² 級鋼用

建築物の構造関係技術基準解説書」に記載された鉄筋継手性能判定基準によって行われる。

図 7.3.8 に、溶接継手の一方向繰返し試験結果の一例を示す。同一母材を用いて異なる工法による溶接継手と母材の繰返し試験結果を重ねたものであるが、溶接継手は母材と同等の性能を示すことが分る。

(2) 曲げ性能

また、溶接継手の性能の評価に曲げ試験が要求されることがある。JRJS 0008 では、曲げ試験は溶接のままで行い、SD390 以下の鉄筋の場合は曲げ角度 90° まで、SD490 の場合は 45° まで溶接部で破断又は割れが生じないことが要求されている。

(3) 溶接ワイヤの性能

溶接継手の強度は、溶接ワイヤの強度に依存する。溶接継手の強度が保証されるために、溶接に使用するワイヤは JIS Z 3312 (軟鋼、高張力鋼及び低温用鋼用のマグ溶接及びミグ溶接ソリッドワイヤ) に適合す

るもので、接合される鉄筋の強度以上のものを使用する必要がある(表 7.3.1)。

7.3.5 電炉鉄筋の溶接性の検証

表 7.3.2 に、現状の電炉鉄筋の化学成分組成を示す。主要 5 元素を見ると、C、P、S は一般の溶接用鋼板に比べて高い値となっている。また、炭素当量(C+Mn/6)は鉄筋の強度が高くなるほど増加し、SD390、SD490 では鋼板の溶接性の目安とされる 0.40 を超えているのが実態である。

文献 7.22) では、炭素当量が 0.40~0.47% の範囲にある市販の電炉鉄筋 SD345 D32 を用いて拘束溶接割れ試験を行った結果、鉄筋の降伏点に達するような拘束応力が生じた状態においても溶接割れ等の欠陥は認められなかったことが報告されている。

図 7.3.9 は、鉄筋の溶接継手の熱影響部破断率と炭素当量の関係の一例を示したものである。Ceq が 0.57% 以上になると熱影響部破断率が多くなることが分る。

7.3.6 溶接継手の品質確保の要点^{7.17)}

(1) 鉄筋溶接技量資格者

これまで指定性能評価機関等によって認定(又は評定)された溶接継手施工会社が、溶接作業員に対して社内資格として溶接作業員資格証を発行してきたが、溶接作業員の技量に大きなばらつきが認められた^{7.24)}。このため、2017 年に JIS Z 3882 (鉄筋の突合せ溶接技術検定における試験方法及び判定基準)が制定された。継手協会は、この JIS に基づいて第三者認証機関として溶接継手工法ごとの鉄筋溶接技量資格者を認証している。

(2) 鉄筋の切断・加工

溶接継手の品質を確保するためには、適正な開先形状とルート間隔を確保することがきわめて重要である。ガス圧接継手と同様に、平刃シャー切断機で切断された鉄筋の端部は、鉄筋冷間直角切断機等によって直角に切断する必要がある。

(3) 工程検査

溶接施工前には、鉄筋溶接技量資格、溶接ワイヤ・裏当て材等が適切であるか確認する。A 級継手を施工する場合には、施工前試験を行う必要がある。

溶接施工中には、鉄筋の切断方法、開先形状・ルート間隔の確認が重要である。また、2m/s 以上の風速下で溶接作業を行う場合には、シールドガス流量を増加させる、防風養生を行うなどの対策が必要である^{7.25)}。

溶接施工後には、溶接施工会社の自主検査が行われていることを確認する。

(4) 受入検査

溶接継手の受入検査は、原則として外観検査と超音波探傷検査が行われる。A 級継手の場合、外観検査及

表 7.3.2 現状の電炉鉄筋の化学成分組成^{7.21)}

鉄筋の種類	節形状	化学成分(全平均)(%)					炭素当量 C+Mn/6
		C	Si	Mn	P	S	
SD295A	普通鉄筋	0.200	0.165	0.632	0.027	0.032	0.305
	ねじ鉄筋	0.213	0.151	0.623	0.026	0.032	0.317
SD345	普通鉄筋	0.237	0.193	0.893	0.027	0.029	0.386
	ねじ鉄筋	0.244	0.203	0.890	0.025	0.032	0.393
SD390	普通鉄筋	0.258	0.207	1.063	0.028	0.027	0.436
	ねじ鉄筋	0.266	0.223	1.046	0.026	0.032	0.441
SD490	普通鉄筋	0.258	0.291	1.333	0.024	0.023	0.481
	ねじ鉄筋	0.264	0.307	1.369	0.024	0.024	0.493

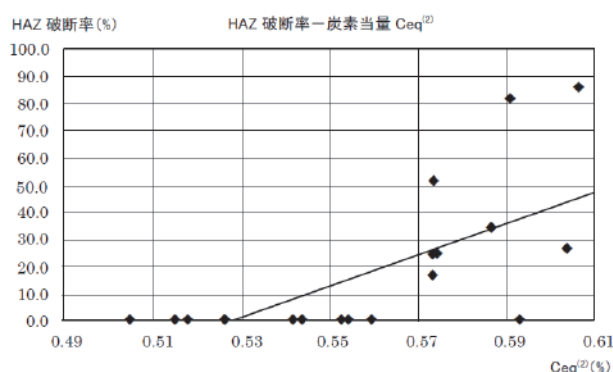


図 7.3.9 熱影響部破断率と炭素当量の関係^{7.23)}

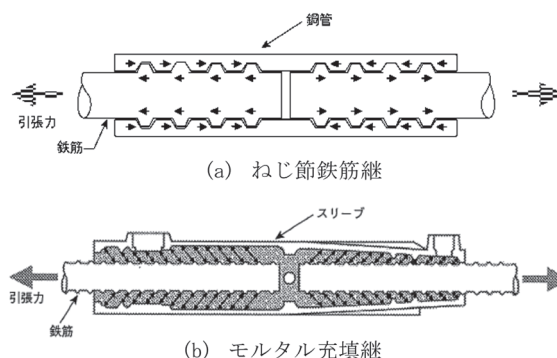


図 7.4.1 機械式継手の応力伝達メカニズム^{7.3)}

び超音波探傷検査の他に、特記により引張試験による検査が行われることがある。いずれにおいても、溶接継手の超音波探傷検査は、JRJS 0005 (鉄筋コンクリート用棒鋼溶接部の超音波探傷試験方法及び判定基準)に基づいて行われる。

7.4 機械式継手

7.4.1 機械式継手の接合原理

機械式継手は、鉄筋を直接接合するのではなく、異形鉄筋の節と周辺のカプラーの機械的な嵌め合い、あるいは異形鉄筋と周辺のスリーブの高強度モルタルの付着・せん断を利用して接合する方法である。

ねじ継手は、図 7.4.1(a)に示すように、一方の鉄筋の軸方向力を異形鉄筋の節部のせん断と支圧によ

ってカプラーに伝達し、カプラーから他方の鉄筋に伝達するというメカニズムである。

モルタル充填継手は、図 7.4.1(b)に示すように、スリーブと鉄筋との間に充填した高強度モルタルの付着とせん断によって応力を伝達するというメカニズムである。

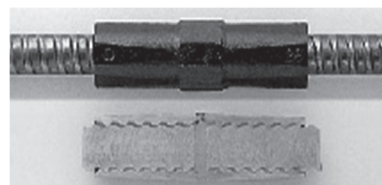


写真 7.4.1 ねじ節鉄筋継手

7.4.2 機械式継手の種類と特徴

現在使用されている主な機械式継手は、ねじ節鉄筋継手、端部ねじ加工継手、モルタル充填継手である。これらの継手の特徴を以下に述べる。

(1) ねじ節鉄筋継手

ねじ節鉄筋継手は、鉄筋の圧延工程において節形状をねじ状に形成して製造された鉄筋に、内筒を雌ねじ状に形成されたカプラーを装着して接合する工法である。カプラーへの鉄筋の挿入長さを確保することによって応力が確実に伝達される。

この継手は、カプラーと鉄筋の間に緩みがあるので、この緩みを解消する方法として、グラウト材を注入して固定するグラウト固定方式とロックナットを締め付けて固定するトルク方式がある。

グラウト固定方式には、無機系グラウト材を注入する無機グラウト方式と、エポキシ樹脂を注入する有機グラウト方式がある。無機グラウト方式は、養生ナットを使用する工法と養生ナットを使用しない工法がある。養生ナットを使用しないグラウト方式の場合には、グラウト充填後、グラウト材が硬化するまで静置する必要がある。

(2) 端部ねじ加工継手

端部ねじ加工継手は、異形鉄筋の端部を鍛圧してねじを機械加工するか、又は、加工したねじ部品を鉄筋端部に摩擦圧接で取り付け、長ナットを用いて接合する工法である。

この継手は、加工工場においてねじ部品を取り付けるため、加工発注時に予め設計図書に基づいた長さの設定が必要となる。

(3) モルタル充填継手

モルタル充填継手は、スリーブと異形鉄筋の間に無収縮モルタルを充填して、異形鉄筋の節からモルタルへ、モルタルからスリーブへと応力を伝達する工法である。

軸方向力の伝達はスリーブへの鉄筋の挿入長さとともにモルタルの強度と充填状態に影響される。

この継手は、当初からプレキャスト部材に内蔵された鉄筋の接合用に開発された工法である。複数の鉄筋を同時に挿入できるように鉄筋とスリーブの間のクリアランスが大きく設定されているため、他の機械式継手と比較してスリーブの径や長さがやや大きい。

先組み鉄筋の接合用に開発されたモルタル充填継手もある。この継手は、鉄筋単体に装着するため、ク

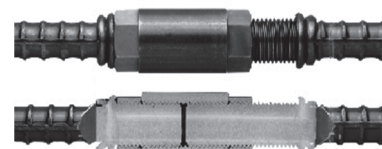


写真 7.4.2 端部ねじ加工継手

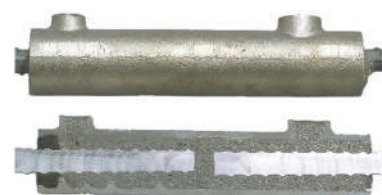


写真 7.4.3 モルタル充填継手

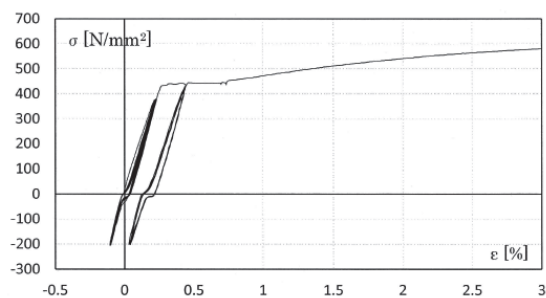


図 7.4.2 ねじ節鉄筋継手の弾塑性正負繰返し試験における応力-ひずみ関係^{7.27)}

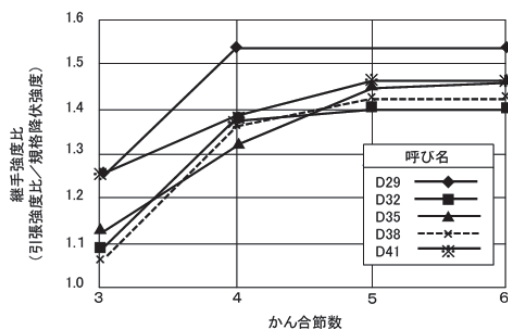


図 7.4.3 ねじ節鉄筋の嵌合節数と継手強度比の関係 (SD490)^{7.28)}

リアランスが小さくてもよく、プレキャスト内蔵用と比較してスリーブ外形はかなり小さくなっている。

充填するモルタルは、無機系の無収縮モルタルで、圧縮強度は 70~100N/mm² である。

7.4.3 機械式継手の性能

機械式継手は、ガス圧接継手や溶接継手とは応力伝

達のメカニズムが異なり、引張強度は鉄筋母材強度と同等であるが、継手部にすべりが生じるもの、引張強度は規格降伏点以上であるが鉄筋母材の引張強さに達する前に鉄筋が抜け出すものなど、種々の継手がある。このため、1982年に「鉄筋継手性能判定基準」(以下、性能判定基準と略記)が制定され、1983年以降はこの性能判定基準に基づいてすべての機械式継手について性能確認試験が行われている。

継手協会で規定している JRJS 0008 (A級継手性能評価基準)の中のA級機械式継手の評価基準については上記の性能判定基準と同等である。

図 7.4.2 に、鉄筋 SD390 のねじ鉄筋継手 (6 節嵌合)の弾塑性正負繰返し試験における応力-ひずみ関係の一例を示す。試験結果は性能判定基準を満足し、A級継手の性能を有する。

図 7.4.3 に、鉄筋 SD490 のねじ鉄筋継手の嵌合節数と継手強度比の関係の一例を示す。鉄筋径によって差異があるが概ねねじ節がカプラーに 5 節以上嵌合していれば、軸方向力を伝達できることが分る。

図 7.4.4 に、鉄筋 SD390 のモルタル充填継手の鉄筋挿入長さと継手強度比の関係の一例を示す。鉄筋の挿入長さが鉄筋径の 5 倍以上であれば、鉄筋の軸方向力を伝達できることが分る。

また、図 7.4.5 に、同じく鉄筋 SD390 のモルタル充填継手におけるモルタル圧縮強度と継手強度比の関係の一例を示す。モルタル圧縮強度が $60\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であれば、軸方向力を伝達できることが分る。

モルタル充填継手の性能は、モルタルの強度、接合する鉄筋の節形状、挿入長さによって異なることに留意する必要がある。

7.4.4 機械式継手の品質確保の要点 ^{7.26)}

(1) 機械式継手作業資格者

機械式継手において、カプラーやスリーブの装着、養生ナットの締付け、充填材の練混ぜ及び注入などは機械式継手の品質を左右する重要な作業である。したがって、機械式継手の作業者は、機械式継手に関する十分な知識を有する者であることが必要である。

指定性能評価機関等から認定又は評定を取得した機械式継手工法では、工法開発会社が行う技術講習を受講して継手作業資格証を有する者が機械式継手の施工に当たらなければならない。

また、機械式継手の作業責任者として、継手協会が認証する「機械式継手主任技能者」が機械式継手の施工の作業班に必ず 1 名以上配置される必要があることが同協会の鉄筋継手工事標準仕様書において規定されている。

(2) 鉄筋の切断・加工

ねじ鉄筋継手の場合、接合する鉄筋の端部に曲がりや断面変形があるとカプラーに鉄筋が入らず

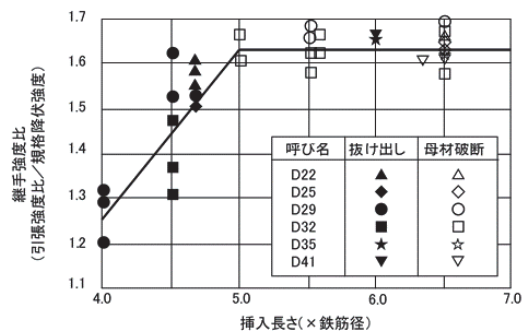


図 7.4.4 モルタル充填継手の鉄筋挿入長さと継手強度比の関係 (SD390) ^{7.29)}

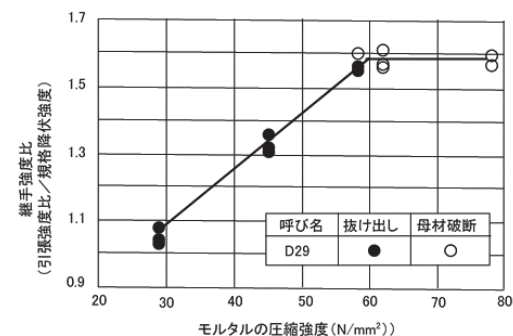


図 7.4.5 モルタル圧縮強度と継手強度比の関係 (SD390) ^{7.29)}

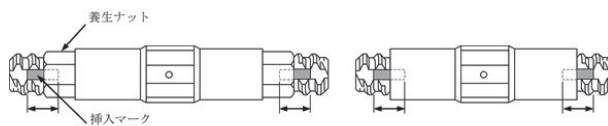


図 7.4.6 ねじ鉄筋の挿入マークとカプラー端の範囲 ^{7.26)}

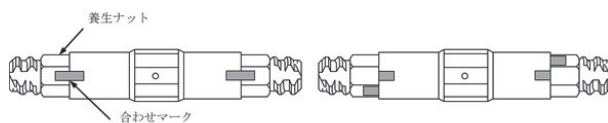


図 7.4.7 合わせマークの例 ^{7.26)}

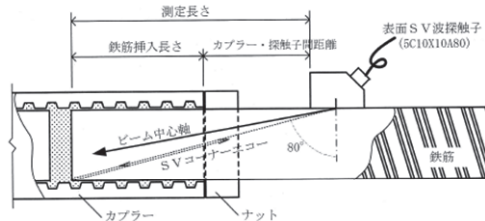


図 7.4.8 SV コーナーエコー法を用いた挿入長さの超音波測定方法の概要 ^{7.26)}

接合できない。鉄筋の端部は、必ず丸刃シャー切断機又はバンドソー切断機によって切断する必要がある。

一方、モルタル充填継手の場合、鉄筋端部に多少の曲がりがあってもスリーブに鉄筋を挿入できる。しかし、施工管理及び検査を含めた品質管理上、端曲がりがなく直角であることが望ましい。

(3) 工程検査

機械式継手は、工事開始前に、鉄筋の種類や呼び名ごとに規定された本数の継手供試体を作製し、工事監理者立会のもとで継手単体の引張試験を行い、所定の強度を有し、破断位置が母材部であることを確認する。

施工工程においては、施工前、施工中、施工後の工程検査が確実に行われることが重要である。ねじ節鉄筋継手の場合は、以下のとおりである。

施工前には、鉄筋について、種類、数量及び寸法、端部の状況、挿入長さを示す挿入マークの位置などを、また、カプラーについて、有害な浮錆びや汚れ、傷の有無などを確認する。

施工中には、カプラーに鉄筋を挿入（嵌合）した後にカプラーの両端が鉄筋に施された挿入マーク（図 7.4.6）の範囲内にあることを継手全数について確認し、記録する。

施工後には、養生ナットがある場合は、仮締め時に施した合わせマーク（図 7.4.7）がずれていることを確認する。グラウト方式の場合には、カプラー中央の注入孔から注入したグラウト材がカプラー両端から溢れ出ていることを継手全数について確認し、記録する。

(4) 受入検査

受入検査は、工程検査の他に、継手施工が確実に行われたことを確認するために、発注者側である施工者が外観検査と超音波測定検査を行う必要がある。

外観検査は、各継手手法によって異なる。超音波測定検査は、日本鉄筋継手協会規格 JRJS 0003（機械式継手の鉄筋挿入長さの超音波測定方法及び判定基準）によって行われる。

【参考・引用文献】

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所・国立研究開発法人建築研究所監修：2015年版建築物の構造関係技術基準解説書、2015年6月
- 2) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手統計調査報告書（1996年度～2016年度）、2017年5月
- 3) 日本圧接協会：鉄筋継手マニュアル、2005年10月
- 4) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手工事標準仕様書 ガス圧接継手工事（2017年）、2017年8月
- 5) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手工事標準仕様書 高分子天然ガス圧接継手工事（2018年）、2018年3月
- 6) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手工事標準仕様書 水

素エチレン混合ガス圧接継手工事（案）（2016年）、2016年3月

- 7.7) 日本圧接協会：圧接工学ハンドブック、1984年5月
- 7.8) 矢部喜堂・小早川恵実：鉄筋のガス圧接性に影響を及ぼす諸因子に関する重回帰分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、1985年10月
- 7.9) 矢部喜堂：電炉鉄筋の諸性質とガス圧接性、コンクリート工学、Vol. 24、No4、1986年4月
- 7.10) 日本圧接協会：鉄筋のガス圧接継手性能評価に関する調査研究、2004年5月
- 7.11) 日本圧接協会・普通鋼電炉工業会：電炉製異形棒鋼のガス圧接に関する研究報告書、1981年4月
- 7.12) 日本鉄鋼連盟・普通鋼電炉工業会：電炉鉄筋棒鋼の研究、1987年3月
- 7.13) 日本圧接協会：高強度鉄筋 SD490 のガス圧接に関する研究報告書、1999年5月
- 7.14) 日本鉄筋継手協会：ねじ節鉄筋 SD490 D51 のガス圧接施工要領に関する調査研究、2016年11月
- 7.15) 日本鉄筋継手協会：ガス圧接継手性能確保のための圧接端面加工精度に関する調査研究、2012年5月
- 7.16) 日本鉄筋継手協会：溶接継手監（管）理の手引き、2013年1月
- 7.17) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手工事標準仕様書 溶接継手工事（2017年）、2017年8月
- 7.18) 日本溶接協会：鋼構造溶接工作法通論、1993年3月
- 7.19) 藤本盛久・高見順一・矢部喜堂・原沢秀明・森三郎：鉄筋半自動エンクローズ溶接（NKE）の継手性能に関する研究（その5 低温（-10℃）で溶接した場合の影響）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1987年10月
- 7.20) 高橋良奈・青木幸次郎・堀田久人：鉄筋溶接継手の一方向単調引張試験及び一方向引張試験に関する実験的研究（その2 実験結果-1）、日本建築学会大会学術講演梗概集、2012年9月
- 7.21) 普通鋼電炉工業会：電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書、2013年10月
- 7.22) 藤本盛久・高見順一・矢部喜堂・姫野洋一・原沢秀明・森三郎：鉄筋半自動エンクローズ溶接（NKE）の継手性能に関する研究（その2 電炉鉄筋への適用性の検討）、日本建築学会大会学術講演梗概集、1987年10月
- 7.23) 吉津利洋・尾形素臣：鉄筋溶接継手に関する溶接性の研究、日本建築学会構造系論文集、第565号、2003年3月
- 7.24) 日本鉄筋継手協会：鉄筋溶接継手の品質性能に関する調査研究、2008年10月
- 7.25) 日本鉄筋継手協会：鉄筋溶接継手の品質に及ぼす風の影響に関する調査研究、2012年5月
- 7.26) 日本鉄筋継手協会：鉄筋継手工事標準仕様書 機械式継手工事（2017年）、2017年8月
- 7.27) 日本鉄筋継手協会：機械式継手の性能に関する調査研究、2016年5月
- 7.28) 日本鉄筋継手協会：機械式継手技術講習会テキスト、2011年10月
- 7.29) 中野克彦・松崎育弘・阿瀬正明・虻川真大：モルタル充填式鉄筋継手を用いたプレキャスト部材の構造性能評価に関する研究 その1. 各構造因子の統計的調査および曲げ耐力、日本建築学会学術講演梗概集、C-2、構造 IV、1995年8月

8. 鉄筋棒鋼の防錆処理

8.1 溶融亜鉛めっき鉄筋

8.1.1 はじめに

海外では ISO14657 (コンクリート補強用めっき鋼材) をはじめ、欧米諸国、台湾、インドにおいて溶融亜鉛めっき鉄筋 (以下、めっき鉄筋) 規格が整備されている。代表的な建造物としては、豪州シドニーのオペラハウスやニュージーランドの国会議事堂があり、最近では米国ニューヨーク州のハドソン川に架かるタッパンジ―橋の建て替え工事 (2018 年春完成: 総工費 4500 億円、全長 5 km, 8 車線) にめっき鉄筋が使用されている。

我が国においては、高度成長期にコンクリートに海砂を使用したことによる鉄筋腐食でコンクリートが破壊するというコンクリートクライシスを経験した。その解決策の一つとして、コンクリートに海砂を使う前提でのめっき鉄筋活用が検討され、1975 年代に日本建築学会及び土木学会から設計施工指針 (案) 8.1) 8.2) が策定されたが、コンクリート中の塩分規制見直しもあり、めっき鉄筋が活用されることはなかった。

近年、我が国の社会資本は、更新時期を迎え長寿命化が課題となっている。(一社) 日本溶融亜鉛鍍金協会は、めっき鉄筋がこのような社会情勢の変化に対応し、社会資本の耐久性向上に貢献していくと考えている。

係る観点から、ここでは、めっき鉄筋の特性と市場アクセスへの取り組み状況について紹介する。

8.1.2 めっき鉄筋の特徴

(1) 亜鉛めっき層の組織

普通鉄筋を、溶融した液体金属亜鉛 (約 450°C) 浴に一定時間浸漬することにより、亜鉛めっき鉄筋が製造される (図 8.1, 図 8.2)。

亜鉛めっき鉄筋と液体金属亜鉛との界面は、合金化反応 (素材中の鉄成分と液体亜鉛の拡散反応) で、 Γ 層 ($\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$)、 δ_1 層 (FeZn_{10})、 ζ 層 (FeZn_{13}) が発達し、コンクリート界面には η 層 (Zn) で構成された素材との密着力が高い溶融亜鉛めっき層が形成される (図 8.3)。なお、 Γ 層 ($\text{Fe}_5\text{Zn}_{21}$)、 δ_1 層 (FeZn_{10})、 ζ 層 (FeZn_{13}) の合金層は、亜鉛めっき浴温度及び素材の浸漬時間に比例し増減する。

(2) 亜鉛めっき鉄筋の施工特性

めっき鉄筋は、被覆が施されていない通常の普通鉄筋と比べ、塩化物に対する耐食性能が高く、腐食電位が鉄より低い (卑) 亜鉛金属で覆われているため、犠牲防食作用が働くという特性を持つ。その他、コンクリートとの密着性、施工性などについては普通鉄筋と比較しても



図 8.1 溶融亜鉛めっき浴からの鉄筋の引上げ



図 8.2 亜鉛めっき鉄筋

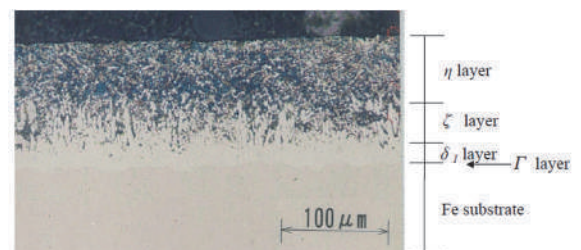


図 8.3 溶融亜鉛めっき層の組織断面

表 8.1 亜鉛めっき鉄筋の施工特性

項目	施工特性
コンクリートとの密着性	良好
施工性	良好
紫外線による劣化	なし
オーバーラップの長さ	普通鉄筋と同様
ピンホール対応	なし
犠牲防食作用	あり
耐摩耗性	良好
施工時の温度条件	なし
補修	高濃度亜鉛末塗料

遜色はない (表 8.1)。

(3) めっき鉄筋の機械的性能

国土交通省が所管する建築基準法施行令に基づく、鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに鋼材等及び溶接部の材料強度の基準強度に係る告示では、加工後の当該鋼材等の機械的性質、化学成分その他の品質が加工前の当該鋼材等の機械的性質、化学成分その他の品質と同等以上であることを確かめなければならないが、摂氏 500 度以下の加熱を行うときはこの限りではないとしている。換言すれば、めっき鉄筋は 440 度から 460 度の亜鉛浴で製造されるため、機械的性能への影響はないと言える。

日本大学生産学部での研究^{8.3)}をはじめ、(一社)日本溶融亜鉛鍍金協会においても、これを検証するため、JIS Z 2241 に準拠し、めっきを施した SD295A, SD345 の引張試験を行った。結果は、降伏点および引張強さについては原材料の値よりも増加傾向を示し、伸びは殆ど変化せず、ヤング率の値は、めっき加工を施しても殆ど変わらない値を示した(表 8.2, 表 8.3)^{8.4)}。

8.1.3 コンクリート中におけるめっき鉄筋の特徴

(1) コンクリート中における耐食性能

コンクリートが打設された初期段階は、コンクリートが pH12.5~13 と強アルカリ性のため、両性金属である亜鉛は水素を発生しながら溶解する。しかしながら数時間でめっき鉄筋表面が不動態化し亜鉛の溶解反応はほぼ停止する^{8.5)}。これは、溶解した亜鉛がコンクリート中の水酸化カルシウムと反応し、コンクリートとの界面に亜鉛、カルシウム、酸素、水素で構成されるヒドロキシ亜鉛酸カルシウムを生成し、保護皮膜として作用したことによるものと考えられている^{8.6) 8.7)}。

耐食性能については、鹿児島大学が精力的にコンクリート中におけるめっき鉄筋の耐食性能に係る研究^{8.8) 8.9) 8.10)}を行っている。

海外事例として、米国ノースカロライナ州の東方約千 km の北西大西洋に位置し過酷な海洋環境にあるバミューダ諸島において、1953 年から 1968 年にかけて橋梁の床板と海洋構造物にめっき鉄筋が採用されている。官庁により構造物の劣化度調査が数回実施されているが、そのうち建設後 42 年経過した橋梁の床板中のめっき鉄筋の調査結果として、コンクリート中の塩化物イオン濃度が極めて高いにも係わらず腐食の痕跡がなかったという報告がある^{8.11)}。

(2) コンクリートとの付着性能

(一社)日本溶融亜鉛鍍金協会傘下の会員 17 社は、めっき鉄筋のコンクリートとの付着強度が JIS G 3112 で定められた鉄筋と同等であるという特別評定を(一財)建材試験センターから取得する際、JSTM C 2101:1999 「引抜き試験による鉄筋とコンクリートとの付着強さ試験方法」に基づく試験を行っている。その結果として、コンクリートとめっき鉄筋とのすべり量 0.002D 時の付着応力度は、最低でも 4.5N/mm²以上

表 8.2 SD295A (D10, D16) の引張試験結果

めっき加工条件 () 内供試体数	めっき条件 (規格値) →	引張試験結果		
		降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %
		295 以上	440 ~ 600	16 以上
440°C×120 秒 (n=5)	平均値	363	520	26
	標準偏差	3	2	1
460°C×90 秒 (n=5)	平均値	365	522	27
	標準偏差	2	1	0
470°C×240 秒 (n=5)	平均値	369	523	25
	標準偏差	2	3	2

表 8.3 SD345 (D16, D19, D25) の引張試験結果

めっき加工条件 () 内供試体数	めっき条件 (規格値) →	引張試験結果		
		降伏点 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	伸び %
		345~ 440	490 以上	18 以上
440°C×120 秒 (n=5)	平均値	418	611	22
	標準偏差	4	1	2
460°C×90 秒 (n=3)	平均値	425	611	22
	標準偏差	4	3	2
470°C×240 秒 (n=7)	平均値	430	617	20
	標準偏差	5	2	2

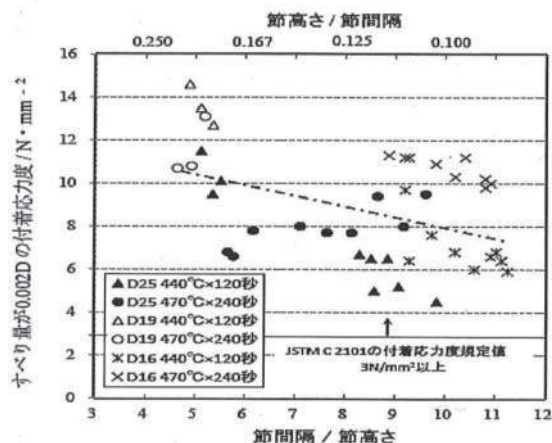


図 8.4 普通鉄筋とめっき鉄筋の付着応力度と「節間隔/節高さ」の関係

であり、SD295A, SD345 の平均付着応力度は共に 8.8N/mm²と全てのめっき鉄筋において JSTM C 2101 の付着判定基準である 3 N/mm²以上の付着応力度を満足し、付着応力度と節間隔 / 節高さの比率との関係も普通鉄筋と同様の傾向であることを確認した(図 8.4)^{8.4)}。

これに加え、基礎研究的観点から、金沢工業大学、工学院大学ではコンクリート中における溶融亜鉛めっき鉄筋の腐食性と付着の評価に関する実験が進められている。

8.1.4 めっき鉄筋設計施工指針改訂作業

(1) 土木分野

土木学会では、コンクリート委員会の下に鹿児島大学、九州大学、金沢工業大学、京都大学、北海道大学をはじめとする土木系、材料系の 19 大学、土木研究所、鉄道

総合技術研究所，電力中央研究所等研究機関，スーパーゼネコン，PC 建設工事，道路，電炉，セメント並びに溶融亜鉛めっきで構成される小委員会並びに基本性能評価 WG，試験方法・規格調査 WG，事例調査分析 WG，指針作成 WG を設置し，構造的照査及び耐久性照査で評価した亜鉛めっき鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針改訂作業を実施している。

小委員会で作成された改定案は上部機関であるコンクリート委員会での審議を経た後，2018 年秋までには公表されることを期待している。指針改訂後，土木学会では全国で当該指針に係る講習会を実施することとしている。

(2) 建築分野

(一社) 建築振興研究協会に東京大学，東京理科大学をはじめとする 6 大学，国土交通省国土技術政策総合研究所，建築研究所，スーパーゼネコン並びに溶融亜鉛めっきで構成される委員会を設置し，大学・研究所による塩化物イオンによる鉄筋腐食試験，めっきした鋼材の腐食とコンクリートの付着強度に関する試験，亜鉛めっき鉄筋を用いた RC 造部材の曲げ剪断試験，実構造物におけるめっき鉄筋劣化度調査などを行い，亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造の設計施工指針改訂に向けた作業を行っている。

平成 2018 年春からは，日本建築学会内に当該設計施工指針改訂に対応した委員会を立ち上げ，2019 年 3 月末までに改訂を行うこととしている。

8.1.5 おわりに

溶融亜鉛めっきは，古くから鉄を錆から守るという面で産業の下支えをしてきた。一方，めっき鉄筋は，従来型のめっき利用とは異なり，鉄筋コンクリートを長寿命化する一つの切り札として検討が進んでいる。人と同じようにインフラも健全で長寿命化するためには必要な技術であり，その活用が切に望まれる。

また，土木，建築設計での材料選択は，費用，品質，性能という従来からの評価に加え，環境にやさしい材料が求められている。溶融亜鉛めっきは鉄鋼製品の寿命を長く保ち，鉄素材とともに回収され再利用される環境にやさしい循環型材料であり，循環型社会に貢献していくと考えている。

8.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋

8.2.1 概要

鉄筋コンクリート構造物の弱点の一つに塩害による鉄筋の腐食が挙げられる。塩害については海洋構造物であること以外に凍結防止剤の使用などの原因があり，防錆対策が要望されてきた。鉄筋の防錆方法には当初かぶり厚の増加のほかに鉄筋を塩分から遮断する方法，さびが発生しない材料の使用，コンクリート表面の塗装，電気防食などが検討された。

この中で鉄筋を塩分から遮断する技術は米国で開発された。米国では内陸部で冬季に散布される凍結防止剤によって高速道路の床版に早期劣化が認められたために 1970 年初期に FHWA (米国連邦道路局) が道路橋に適切な鉄筋防食法を検討した^{8,12)}。この検討では，塗装の下地処理から塗料の形態 (溶剤タイプか粉体)，塗料の樹脂の種類など多岐にわたるもので，鉄筋を防食する上で要望される性能ごとに実施された。検討の結果，エポキシ樹脂粉体塗料を静電粉体塗装したものが最も優れていることが報告された。その成果は鉄筋への塗膜の密着性，耐食性，曲げ加工性，耐衝撃性，耐薬品性などに及び，1981 年には塗装鉄筋の規格 (ASTM A-775)^{8,13)} が制定された。

米国の塗装鉄筋に対し国内では旧建設省土木研究所や各大学で検討が進められた。1983 年には日本コンクリート工学会より「海洋コンクリート構造物の防食指針 (案)」が，1984 年には日本道路協会の「道路橋の塩害対策指針 (案)・同解説」に塗装鉄筋が取り入れられた。

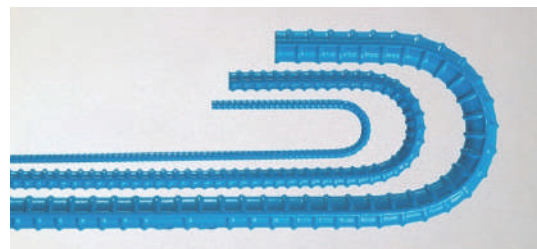


図 8.5 エポキシ樹脂塗装鉄筋

表 8.4 塗装工程

工程	内容
素地調整	ブラスト処理 除錆度 SIS Sa2 1/2, 表面粗度 30~80 μm
予 熱	エポキシ樹脂を溶解する温度に加熱
静電粉体塗装	専用のエポキシ樹脂粉体塗料を静電スプレー法で塗装
冷 却	硬化完了後に水冷
検 査	外観・膜厚・ピンホール・曲げ加工性・耐衝撃性・硬化性

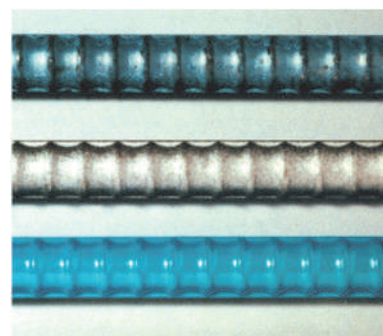


図 8.6 ブラスト前後および塗装後の状態

表 8.5 エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格

品質項目	要求されている品質	期待される性能
外 観	塗膜が均一でたれ、突起、異物の付着の著しいものがないこと	耐久性
ピンホール	D19 以下 5 個/m以下 D22 以上 8 個/m以下	同 上
塗膜厚	220±40 μ mで、かつその範囲を越える頻度が 10%以下	同 上
耐衝撃性	撃芯が直接当たった部分の周囲で塗膜の破砕、割れ、はく離および浮きのないこと	施工性
曲げ加工性	20℃および 5℃で 5 本曲げ加工後、クラックの発生率が 20%以下	同 上
付着強度	塗装鉄筋の最大付着応力度が無塗装鉄筋の 85%以上	設 計
耐食性	平均発せい面積率が 0.5%以下	耐久性
硬化度	鉛筆硬度 F で塗膜に傷がつかないこと	同 上

表 8.6 調査構造物の概要

No.	構造物の種類	部位	構造物の名称	竣工時期	供用期間	管理者	場所	鉄筋径
1	道路橋	高欄	大森大橋	1984 年	19 年	北海道開発局	北海道	D13
2	栈橋車道橋	床版	LNG 受入栈橋	1985 年	17 年	東京ガス(株)	千葉県	D16, D19
3	道路橋	高欄	親不知高架橋	1983 年	19 年	日本道路公団	新潟県	D13, D16
4	道路橋	PC 桁	源河橋	1991 年	12 年	沖縄総合事務局	沖縄県	D13, D16
5	供試体	—	なうら橋	1991 年	12 年	沖縄総合事務局	沖縄県	D13, D19

1986 年には土木学会の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)」^{8.14)}に規準化された。この指針には塗装鉄筋の品質規格だけではなく、エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した構造物の設計・施工の様子が詳細に盛り込まれた。

同じ時期に米国フロリダ州では施工後 10 年程度で発生した著しい劣化が報告された^{8.15)}。原因には仕様の不十分な理解による粗雑な下地処理や施工時の乱暴な取り扱いによる塗膜損傷などが指摘され、これを是正する対策が取られた。

国内ではすでに土木学会の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案)」で設計・施工に対する留意点が抽出されており、対策が取られていた。また、星野らは 15 年間の海洋暴露実験によって、エポキシ樹脂塗装鉄筋が優れた耐食性を示したことを明らかにし、我が国のエポキシ樹脂塗装鉄筋の品質に問題がないことを示した^{8.16)}。

その後、1991 年には日本コンクリート工学会より「海洋コンクリート構造物の防食指針(案)改訂版」が、2003 年には土木学会より「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]」^{8.17)}(以下、エポキシ鉄筋設計施工指針と略記)として規準化された。なお、欧州では 1990 年に BS 規格が、1999 年には ISO 規格が制定された。

8.2.2 エポキシ樹脂塗装鉄筋の製造方法と品質

エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗装は品質を確保しながら生産性に優れた方法を用いる必要がある。このため、一

般的に連続塗装ラインで塗装される。塗装はブラスト処理でミルスケールを除去した鉄筋に予熱を行い、静電粉体塗装を行う。塗装工程を表 8.4 にブラスト処理前後および塗装後の鉄筋を図 8.6 に示す。

塗膜の素地調整には密着性に優れたブラスト処理を行う。予熱は粉体塗料を溶かし、硬化させるための熱量を鉄筋側から供給させるために行う。静電粉体塗装は凹凸のある鉄筋に対して均一な膜厚の塗膜を形成させるために使用する。塗装後は外観・ピンホール・膜厚・曲げ加工性・耐衝撃性・硬化性検査を行う。

エポキシ樹脂塗装鉄筋に求められる性能はコンクリートに侵入してくる塩化物イオンと鉄筋とを長期間、環境遮断することである。このためにエポキシ塗膜や鉄筋素地に様々な品質が要求される。この品質の内容を土木学会の「エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版]資料編の 2 章に示されている、エポキシ樹脂塗装鉄筋の品質規格(p.77 表 2-1)を改変して表 8.5 に示す。

8.2.3 エポキシ樹脂塗装鉄筋の特徴と注意点

エポキシ樹脂塗装鉄筋の特徴は優れた耐食性であり、その塗膜が塩化物イオンの侵入を遮断することによる。エポキシ樹脂塗装鉄筋の耐食性を活用して設計を行う場合、構造物の耐久性は塩化物イオンの侵入によって発生する鋼材腐食に関する照査によって確認する必要が生じる。

コンクリート中で鉄筋の腐食が開始される時期は鋼材表面での塩化物イオン濃度が鋼材の腐食発生限界塩化物イオン濃度を超えた時点であるのでエポキシ樹脂

塗装鉄筋を使用した場合には塗膜中を塩化物イオンが移動し、塗膜の下の鉄筋素地に達した時となる。もちろんこの照査で使用する塗膜内の塩化物イオンの拡散係数(Depd=2.0×10⁻⁶cm²/年)はエポキシ塗膜が紫外線などで劣化すること、品質規格で1mあたり5個以下のピンホールを許容していること、有害な損傷が確実に補修されることが保証されないことを前提にしたものであるため、まったく欠陥のない塗膜の場合にはさらに小さいものとなる。この塩化物イオンの拡散係数を用いての照査例はエポキシ鉄筋設計施工指針の6章に示されているが、無塗装鉄筋の代わりにエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いることでかぶり厚を3~4割に低減することができることを示している^{8.17)}。

エポキシ樹脂粉体塗装鉄筋を用いた設計上の注意点は、無塗装の異形鉄筋と比較してコンクリートとの付着強度が低下することである。コンクリートとの付着強度は規格で無塗装鉄筋の場合の85%とされているため、付着強度の低下を考慮して定着長さを長くとる必要がある。

なお、エポキシ樹脂塗装鉄筋の塗膜は出荷後から施工時に損傷が避けられないので慎重な取り扱いが求められる。具体的な留意点はエポキシ鉄筋設計施工指針の資料編7章に示されている。

8.2.4 エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリート構造物の耐久性について

エポキシ鉄筋設計施工指針の13章に示されているエポキシ樹脂塗装鉄筋を用いたコンクリート構造物の調査構造物を表8.6に示す。

2003年の指針改定に向けて実構造物の解体調査が行われ、コンクリート内のエポキシ樹脂塗装鉄筋の外観観察と鉄筋位置における塩化物イオン濃度測定を中心に実施された。

No.3の親不知高架橋では最大で7.7kg/m³の塩化物イオン濃度が検出されたが、塗膜は健全であることが報告されている。また、他の調査構造物では塩化物イオン濃度は1.2kg/m³以下でエポキシ樹脂塗装鉄筋は劣化が認められず、健全な塗膜が確認されている^{8.17)}。

8.2.5 最近の使用実績

図8.7に最近(2011~2016年)の年度ごとの使用実績を、図8.8には使用目的別実績を示す。年度ごとに増減はあるものの使用実績としては増加傾向にある。また使用目的としては、一部にかぶり部分に配置される組み立て鉄筋及び次の施工までに時間があくときの打継筋等に使用されている事例があるものの採用実績のほとんどが塩害対策として使用されている。

次に図8.9にはエポキシ樹脂塗装鉄筋の構造物種類ごとの総使用実績を示す。

エポキシ鉄筋設計施工指針の資料(12章 我が国における工事例)では構造物種別使用実績では橋梁上部工



図 8.7 最近(2011~2016年)の年度ごとの使用実績

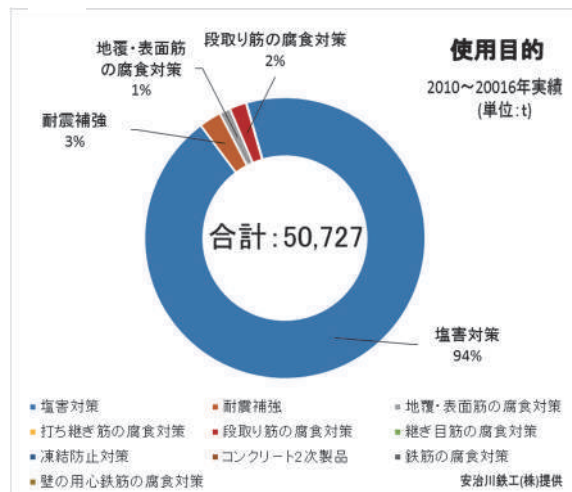


図 8.8 使用目的別実績

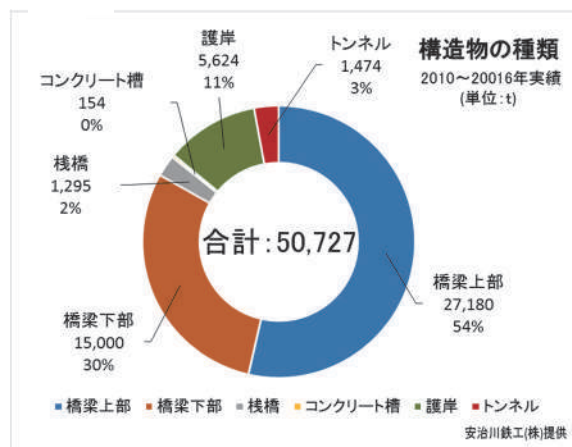


図 8.9 構造物種類ごとの総使用実績

が50%以上を占め下部工については30%以下となっていたが、図8.9より最近の傾向としては橋梁においては下部工の採用実績も増加傾向(30%以上)にある事がわかる。

今後の需要としては、2017年7月に国土交通省において「橋、高架の道路等の技術標準」^{8.18)}が改定され、改定のポイントとして橋が良好な状態を維持する期間(設計供用期間)として100年を標準とすることを規定していることから、更なる需要が期待される。

【参考文献】

- 8.1) 日本建築学会：亜鉛めっき鉄筋を用いた鉄筋コンクリート造の設計施工指針（案），1974.12
- 8.2) 土木学会：亜鉛めっき鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案），1975.4
- 8.3) 神田亮，今野貴史，渡会竹志，盛永康文他：亜鉛メッキ鉄筋の機械性能及びコンクリートとの付着性能に関する研究，日本大学工学部第46回学術講演会講演概要（2013.12-7），p.71～72
- 8.4) 今野貴史，渡会竹志，盛永康文他：溶融亜鉛めっき鉄筋とコンクリートの付着性能について，第34回防錆防食技術発表大会講演予稿集，2014.7.10
- 8.5) 西方篤：コンクリート中における溶融亜鉛めっき鉄筋の初期腐食挙動，一般財団法人日本鋳業振興会助成研究成果報告書，p.101～106，2016.11.11
- 8.6) 村上和美，兼松秀行他：溶融亜鉛めっきとコンクリートとの付着特性について，亜鉛と鉛，第229号，p.38～43，2003.1
- 8.7) 沖猛雄：コンクリート中の溶融亜鉛めっき鋼材の挙動，亜鉛と鉛，第234号，p.1～10，2004.3
- 8.8) 竹下麗華，武若耕司，山口明伸，審良善和他：高アルカリ性環境下における亜鉛めっき鉄筋の防食性能，コンクリート工学年次論文集，p.967～972，Vol.39，No.1，2017
- 8.9) 山本乾雄，武若耕司，山口明伸，審良善和他：塩害を受けるコンクリート中亜鉛めっき鉄筋の耐食性について，土木学会第72回年次学術講演会，p.1119～1120，2017.9
- 8.10) 武若耕司：溶融亜鉛めっき鉄筋を使用したコンクリート部材の塩害抵抗性の定量評価，一般財団法人日本鋳業振興会助成研究成果報告書，p.67～73，2017.11.10
- 8.11) Stephen R. Yeomans: Galvanized Steel Reinforcement in Concrete, ELSEVIER, p.203～206, 2004
- 8.12) J.R.Clifton, H.F.Beeghly, R.G.Mathey : Nonmetallic coatings for concrete reinforcing bars, Final Report, No. FHWA-RD-74-18, Feb. 1974
- 8.13) Standard Specification for Epoxy-Coated Steel Reinforcing Bars
- 8.14) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針(案),コンクリートライブラリーNo.58, 1986.2
- 8.15) 田中良樹・河野広隆・渡辺博志：北米における実構造物コンクリート中のエポキシ樹脂塗装鉄筋の性能、土木学会論文集 E Vol.62 No.4,739-756,2006.11



図 8.10 エポキシ樹脂塗装鉄筋の施工例

- 8.16) 星野富夫・魚本健人・小林一輔：15年間の海洋暴露実験を行ったエポキシ樹脂塗装鉄筋コンクリート梁の耐久性と防食効果、土木学会論文集，No.592/V39，pp.107～120，1985.5
- 8.17) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針[改訂版],コンクリートライブラリーNo.112，2003.11
- 8.18)道路橋示方書・同解説 III コンクリート橋編(2017)

あとがき

電炉鉄筋棒鋼の品質調査は、電炉鉄筋の品質向上とユーザーへの周知と理解を目的として 1987 年に開始して以来、各種の調査活動を実施してきました。この間、ゼネコン、設計会社等のユーザー、官公庁をはじめ関係諸団体から種々の意見を聞き、鉄筋棒鋼メーカーにフィードバックすることにより、顧客満足度の向上等に繋げてまいりました。

今回は第 9 回目の品質調査として、2017 年 10 月に調査を開始し、文献調査やデータの分析等を重ねここに報告するに到ったものです。

まずは、定例調査として普通鋼電炉工業会会員のうち鉄筋棒鋼を生産する全国 23 社 30 事業所から、化学成分、機械的性質、寸法、質量について、最近 1 カ年分の実績データを収集しバラツキ分析等統計的に品質解析調査を行いました。

そして、今回の特別調査においては、かつての第 1 回調査報告書「電炉鉄筋棒鋼の研究」(1987 年版)が学術的資料となっていることから、これをベースに新たに文献調査を実施し、最新の知見等を収集・取りまとめて教科書的に活用出来る資料を作成することといたしました。更には今回調査で得られた課題等は、次のステージとして実証実験等へ繋げていく所存です。

今後本報告が、鉄筋コンクリート造の設計者、鉄筋加工業者、及び使用者各位に広くご活用いただければ幸いです。最後に、本調査研究を進めるにあたりご助言、ご協力をいただいた関係各位に深謝申し上げます。

2018 年 3 月

鉄筋棒鋼品質調査委員会幹事
(鉄筋棒鋼技術委員長)

大橋 茂信

【参考資料】

電炉鉄筋棒鋼メーカー一覧

JISG3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)取得の普通鋼電炉工業会会員メーカー

会社名	所在地 (本社)	電 話 FAX番号	所在地 (工場)	表示マーク	SD295A	SD295B	SD345	SD390	SD490
					〔 上段:一般鉄筋 下段:ねじ鉄筋 〕				
朝日工業(株)	〒170-0013東京都豊島区東池袋 3-23-5 Daiwa東池袋ビル3.4階	03-3987-2161 03-3987-5326	埼玉		D13-51 D13-51		D13-51 D13-51	D13-51 D13-51	D13-51 D13-51
(株)伊藤製鐵所	〒101-0032東京都千代田区岩本町 3-2-4 岩本町ビル7階	03-5829-4630 03-5829-4632	茨城、宮城		D10-16 D13-16		D10-51 D13-51	D10-51 D13-51	D10-51 D19-51
大阪製鐵(株)	〒541-0045大阪府大阪市中央区 道修町3-6-1京阪神御堂筋ビル13階	06-6204-0300 06-6204-0171	熊本		D10-51	D10-51	D10-51	D10-51	D10-51
大谷製鐵(株)	〒934-8567富山県射水市 奈呉の江8番地の4	0766-84-6151 0766-84-1999	富山		D10-38		D10-51	D10-51	D10-51
関東スチール(株)	〒300-4111茨城県土浦市大畑580	029-862-5111 029-862-5115	茨城		D10-19		D10-19	D10-19	D10-19
岸和田製鋼(株)	〒596-0013大阪府岸和田市 臨海町20	072-438-0015 072-437-4750	大阪		D10-41		D10-41	D10-41	D16-41
九州製鋼(株)	〒811-2501福岡県糟屋郡久山町大字 久原字原2920	092-976-1677 092-976-2806	福岡		D10-13		D10-13	D10-13	
共英製鋼(株)	〒530-0004大阪府大阪市北区堂島 浜1-4-16 アクア堂島西館18階	06-6346-5221 06-6346-5210	大阪、愛知、 山口		D10-51 D13-51		D10-51 D13-51	D10-51 D13-51	D10-51 D19-51
合同製鐵(株)	〒530-0004大阪府大阪市北区堂島 浜2-2-8 東洋紡ビル8階	06-6343-7600 06-6343-7676	大阪、千葉		D6-16	D6-16	D6-51	D6-51	D6-51
三興製鋼(株)	〒254-0801神奈川県平塚市久領堤 2-19	0463-22-1750 0463-22-1755	神奈川		D10-35	D10-35	D10-35	D10-35	D10-35
JFE条鋼(株)	〒105-0004東京都港区新橋 5-11-3 新橋住友ビル5階	03-5777-3811 03-3577-3800	北海道、 茨城、 埼玉、岡山		D10-51 D19-51		D10-51 D19-51	D10-51 D19-51	D10-51 D19-51
清水鋼鐵(株)	〒279-0024千葉県浦安市港54	047-351-2112 047-351-1721	北海道		D10-41	D10-41	D10-41	D10-41	D10-41
(株)城南製鋼所	〒332-0004埼玉県川口市領家 5-13-35	048-223-3116 048-224-7607	埼玉		D10-16		D10-16	D10-16	
拓南製鐵(株)	〒900-0025沖縄県那覇市壺川 3-2-4 拓南ビル3階	098-832-0588 098-832-0586	沖縄		D6-51 D10-51	D6-51 D10-51	D6-51 D10-51	D6-51 D10-51	D6-51 D10-51
千代田鋼鉄工業(株)	〒120-0005東京都足立区綾瀬 6-10-6	03-3605-2191 03-5673-2133	東京		D10-16	D10-16	D10-16	D10-16	
(株)トーカイ	〒808-0022福岡県北九州市若松区 大字安瀬1	093-752-1611 093-752-1231	福岡		D13-16		D13-41	D13-41	D13-41
東京鐵鋼(株)	〒102-0071東京都千代田区富士見 2-7-2ステージビルディング10-12階	03-5276-9700 03-5276-9711	青森、栃木		D10-51 D10-51	D10-51 D10-51	D10-51 D10-51	D10-51 D10-51	D10-51 D10-51
トピー工業(株)	〒141-8634東京都品川区大崎1-2-2 アートガイレッジ大崎セントラルタワー7階	03-3493-0125 03-3493-0351	愛知		D10-38	D10-38	D10-38	D10-38	D10-38
中山鋼業(株)	〒555-0042大阪府大阪市西淀川区 西島1-2-133	06-6471-5881 06-6471-6582	大阪		D16-19 D19		D16-51 D19-51	D16-51 D19-51	D16-51 D19-51
北越メタル(株)	〒940-0028新潟県長岡市蔵王 3-3-1	0258-24-5111 0258-21-2000	新潟		D6-16		D10-51	D10-51	D19-38
三星金属工業(株)	〒959-1286新潟県燕市小関736	0256-61-1000 0256-61-1012	新潟		D10-16		D10-41	D10-41	D10-41
(株)向山工場	〒332-0016埼玉県川口市幸町 3-9-1	048-255-8021 048-253-6321	埼玉		D10-16	D10-16	D10-16	D10-16	D10-16
山口鋼業(株)	〒500-8364岐阜県岐阜市 本荘仲ノ町5-8	058-271-0111 058-273-9402	岐阜		D10-16		D10-16	D10-16	D10-16

注1: 製造鋼種・呼び名は各1社で対応しているもので、1工場では必ずしも一致しない。在庫は各社に要確認のこと。

注2: 機械式継手は、各社のHP等でご確認下さい。

出所: 普通鋼電炉工業会 2018年3月調べ

Box1 : 建築基準法

(建築材料の品質)

第三十七条 建築物の基礎、主要構造部その他安全上、防火上又は衛生上重要である政令で定める部分に使用する木材、鋼材、コンクリートその他の建築材料として国土交通大臣が定めるもの（以下この条において「指定建築材料」という。）は、次の各号の一に該当するものでなければならない。

- 一 その品質が、指定建築材料ごとに国土交通大臣の指定する日本工業規格又は日本農林規格に適合するもの
- 二 前号に掲げるもののほか、指定建築材料ごとに国土交通大臣が定める安全上、防火上又は衛生上必要な品質に関する技術的基準に適合するものであることについて国土交通大臣の認定を受けたもの

Box2 : 「コンクリート標準示方書」

土木学会(コンクリート委員会)が発刊、コンクリート構造物の計画・設計・施工・維持管理する際の実務の規範を示したもの。1931年に制定された「鉄筋コンクリート標準示方書」が前身で、技術の進歩に対応して改訂(1996年の耐震設計編、2012年施工標準では最近の新材料や新工法で一般的に使われているものを取り入れるなどの改訂)。

Box3 : 「鉄筋コンクリート造配筋指針・同解説」

1979年日本建築学会から刊行された。この配筋指針は、「鉄筋コンクリート構造計算規準(日本建築学会)」と「建築工事標準仕様書 JASS5 鉄筋コンクリート工事(日本建築学会)」との橋渡しの役割を目的として刊行された。適用範囲は、在来工法による柱・壁・スラブなどにより構成されるRC造ラーメン構造を対象としており、壁式RC造や鉄鋼⇄鉄筋コンクリート造は対象外である。

Box4 : ISO 4948-1; 1982 STEEL CLASSIFICATION PART1 抜粋

1 Scope and field of application

This part of ISO 4948 lays down a classification of steels into unalloyed and alloy steels based on chemical composition. Part 2 lays down the classification of unalloyed and alloy steels according to main quality classes and main property or application characteristics.

2 Definition

For the purpose of this International Standard, the following definition applies :

steel : A material with iron as the predominant element, having a carbon content generally less than 2,0 % and containing other elements. A limited number of chromium steels may have more than 2,0 % carbon, but 2,0 % is the usual dividing line between steel and cast iron.

電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書

2018年10月発行

編集者 普通鋼電炉工業会
電炉鉄筋棒鋼品質調査委員会

発行者 普通鋼電炉工業会
〒103-0025 東京都中央区日本橋茅場町 3-2-10
鉄鋼会館 3階

TEL 03-5640-1122 FAX03-5640-1125

ホームページ <http://www.fiderkco.jp>

* 無断複写・転写を禁ず

