

電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書

— 2023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リサイクル産業で、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。

当工業会では、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1984年に発足し、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。前回（2018年）の調査委員会では、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、既往の文献調査等を実施して最新の知見を収集した報告書を作成しました。前回の報告以降、2020年にはJIS G 3112 「鉄筋コンクリート用 棒 鋼」の改定により、SD490を超える SD590A、SD590B、SD685A、SD685B、SD685R、SD785Rの種類の記号が新たに追加されました。今回の調査報告では、従来の定例報告に加え、電炉メーカーが国土交通大臣の認定を受けて製造し、市場に供給されている高強度鉄筋の品質等を調査した結果を報告します。さらに、高強度鉄筋の8割の生産量である、せん断補強筋用の鉄筋の付着性能およびひび割れ性状に関して、損傷評価のための基礎データを取り込みましたので、一部を紹介します。

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。

2023 年 10 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	阿部 康晴	(東京鐵鋼株)
委 員	飯野 雅之	(株伊藤製鐵所)
	大江 一之	(共英製鋼株)
	田口 聡二	(合同製鐵株)
	佐藤 真	(JFE 条鋼株)
	前原 真	(北越メタル株)
	秋葉 潤	(株向山工場)
事務局	内藤 敏幸	(普通鋼電炉工業会)
	糸野 徳一	(普通鋼電炉工業会)
	鈴木 誠	(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	48
4. 単位質量の調査結果	71
5. 節形状の調査結果	79

「高強度鉄筋の現状」及び付着特性について：特別調査編

1. はじめに	
1.1 高強度鉄筋の開発背景	92
1.2 高強度鉄筋に求められる性能	93
1.2.1 主筋	93
1.2.2 セン断補強筋	93
2. JIS G 3112：2020 で追加された高強度鉄筋の規格	
3. 高強度鉄筋の調査	94
3.1 調査方法	94
3.2 生産量	95
3.3 化学成分	96
3.3.1 SD590 級	97
3.3.2 SD685 級	97
3.3.3 SD685R 級	97
3.3.4 SD785R 級	98
3.4 機械的性質	98
3.4.1 SD590 級	99
3.4.2 SD685 級	99
3.4.3 SD685R 級	100
3.4.4 SD785R 級	100

3.5	単位質量、節高さ、節の平均間隔	100
3.5.1	SD590 級、SD685 級	101
3.5.2	SD685R 級、SD785R 級	101
4.	高強度鉄筋とコンクリート間の付着応力について	102
4.1	実験概要	102
4.2	実験結果および考察	110
4.3	実験の総括	124

あとがき

参考資料：電炉鉄筋棒鋼メーカーの表示マークと鋼種ごとの製造可能サイズの目安

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31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、2021年4月から翌2022年3月の期間とし、この間で製造したSD295 (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（2016年7月～2017年6月）に行った調査結果との比較を行った。

2. 化学成分調査結果

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に示す。

またトランプエレメント（Cu, Cr, Sn, Mo）が地域によって差異があるかどうか調査を行い、SD295 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 SD295 （一般鉄筋）

- (1) C量は平均で0.18%と前回より0.01%低下した。最大値はJIS規格0.27%以下を満足している。
- (2) Si量は平均で0.16%と前回とほぼ同様の実績であった。最大値はJIS規格0.55%以下を満足している。
- (3) Mn量については平均で0.64%と前回より0.02%上昇した。最大値はJIS規格1.50%を満足している。
- (4) P量は平均値で0.027%と前回より0.001%上昇した。最大値はJIS規格0.050%以下を満足している。
- (5) S量は平均が0.030～0.031%と前回より0.002%程低下した。最大値はJIS規格0.050%以下を満足している。
- (6) Cu量は平均が0.30%で0.02%の上昇、Cr量は平均が0.24%で0.03%の上昇、Sn量は平均が0.018%と0.002%の上昇、Mo量は今回初集計で0.024%となった。トランプエレメントは前回実績より若干の上昇傾向が見られる
- (7) 新JISによりC, Si, Mnの上限値が設定されたが、最大値がオーバーする実績は見られなかった。

2.2 SD345 （一般鉄筋）

- (1) C量は平均値が0.23%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0.27%以下を満足している。
- (2) Si量は平均値が0.19～0.22%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0.55%以下を十分に満足している。
- (3) Mn量は平均値が0.83～0.93%と前回と比較して0.02%ほど上昇している。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1.60%以下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0.040%以下を満たしている。
- (5) Cu量は平均値が0.28～0.32%と前回調査より0.02%ほど上昇している。また、Cr量は平均値が0.18～0.22%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。Mo量は今回初集計で0.024～0.028%となった。
- (6) V量は平均値が0.010%と前回より0.002%ほど減少している。
- (7) 新JISにより炭素当量は $C+Mn/6$ から C_{eq} に評価方法が変更になっており上限値は0.10%引き上げられている。 C_{eq} は $C+Mn/6$ に対して0.06%程度高い値になっており、上限値の設定は妥当であったと思われる。

2.3 SD390 （一般鉄筋）

- (1) C量の平均値は0.24～0.26%と、前回調査と差異はなかった。サイズによる差異もなかった。最大値は0.29%とJIS規格0.29%以下を満たしている。
- (2) Si量は平均値が0.21～0.28%と前回より0.04%上昇している。サイズによる差異は見られなかった。最大値は0.47%とJIS規格0.55%以下を満たしている。
- (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。最大値は1.41%とJIS規格1.80%以下を満たしている。
- (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0.04%以下を満たしている。
- (5) Cu量は0.30～0.32%と前回より0.05%上昇している。Cr量は0.19%と前回より0.02%の低下、Sn量は平均値が0.017%と前回より0.001%上昇してい

- る。Mo 量は今回初集計で 0.020～0.026%となった。
- (6) V 量は平均値が 0.017～0.023%と前回より 0.002%低下している。また、D51 サイズと他サイズの差異は低減されている。
- (7) 新 JIS により炭素当量は C+Mn/6 から Ceq に評価方法が変更になっており上限値は 0.10%引き上げられている。Ceq は C+Mn/6 に対して 0.06%程度高い値になっており、上限値の設定は妥当であったと思われる。

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 0.32%を満たしている。
- (2) Si 量の平均値は 0.26～0.29%と前回と同程度であった。最大値は 0.53%と JIS 規格 0.55%以下を満たしている。
- (3) Mn 量の平均値は 1.32～1.40%となっており、前回より 0.03%上昇している。最大値は 1.61%と JIS 規格 1.80%以下を満たしている。
- (4) P 量の平均値は 0.025%で前回調査とはほぼ同程度だった。S 量の平均値は 0.021～0.024%と前回に比べやや上昇している。最大値はともに JIS 規格 0.040%以下を満たしている。
- (8) Cu 量の平均値は 0.24～0.29%と前回と比べ 0.03%増加している、Cr 量の平均値は 0.17～0.20%と 0.02%の上昇、Sn 量の平均値は、0.012～0.015%と前回と差異は無かった。Mo 量は今回初集計で 0.019～0.026%となった。
- (5) V 量の平均値は 0.046%であるが、サイズによって 0.035～0.075%と幅広くなっており、前回より 0.027%の大幅低下となった。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。
- (6) 新 JIS により炭素当量は C+Mn/6 から Ceq に評価方法が変更になっており上限値は 0.10%引き上げられている。Ceq は C+Mn/6 に対して 0.06%程度高い値になっており、上限値の設定は妥当であったと思われる。

2.5 一般鉄筋とねじ鉄筋の比較

- (1) SD295 では、ねじ鉄筋の方が一般鉄筋より Mn 量、P 量および V 量は若干高くなっている。Cu 量および Cr 量はねじ鉄筋の方が若干低くなっている。
- (2) SD345 では一般鉄筋よりねじ鉄筋の方が、Cu 量が低くなっていた。
- (3) SD390 ではねじ鉄筋の方が一般鉄筋より Cu 量、Mo 量が低く、Cr 量が高い傾向にあった。

- (4) SD490 ではねじ鉄筋の方が一般鉄筋より Si 量、Cr 量および V 量が高く、Cu 量および Mo 量が低い。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, Mo)

- (1) Cu 量は相対的に関西・中国地区で低下し、東北・上越・中部地区で上昇がみられた。全国的には上昇傾向が見える。
- (2) Cr 量は中部地区で大きな上昇傾向がみられる。
- (3) Sn 量は関西、中国・中部地方で大きな上昇傾向がみられる。
- (4) Mo 量は関西、中国地区および九州、沖縄地区が他地区より若干高い傾向がある。

2.7 まとめ

- (1) 前回 SD295A から今回 SD295 に集計鋼種が変わっているが成分値を比較しても大きな変化はみられなかった。
- (2) 新 JIS により炭素当量が C+Mn/6 から Ceq へ変更になっているが、Ceq の上限値を超えている事例はなく設定は妥当であったと思われる。
- (3) トランプエレメント地域比較では、関西・中国地方の値に変化が見られた。また全国的に Cu 量は上昇傾向にあった。
- (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：SD295

		前回(2017年)						今回(2022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	0.11	0.29	0.185	—	—	—	0.12	0.26	0.178	—	—	—	0.27以下
	D13	0.11	0.30	0.185	0.15	0.24	0.192	0.10	0.27	0.177	0.15	0.25	0.190	
	D16	0.12	0.30	0.187	0.15	0.22	0.187	0.13	0.26	0.179	0.15	0.25	0.191	
Si (%)	D10	0.01	0.29	0.158	—	—	—	0.07	0.33	0.163	—	—	—	0.55以下
	D13	0.01	0.31	0.157	0.12	0.18	0.143	0.06	0.35	0.161	0.12	0.24	0.150	
	D16	0.07	0.32	0.162	0.12	0.20	0.152	0.08	0.32	0.166	0.12	0.20	0.149	
Mn (%)	D10	0.42	0.97	0.622	—	—	—	0.44	0.99	0.650	—	—	—	1.50以下
	D13	0.08	1.00	0.618	0.65	0.81	0.710	0.42	1.00	0.638	0.52	0.79	0.696	
	D16	0.43	1.04	0.619	0.52	0.76	0.687	0.45	1.03	0.635	0.50	0.78	0.691	
P (%)	D10	0.011	0.049	0.0260	—	—	—	0.012	0.049	0.0269	—	—	—	0.050以下
	D13	0.011	0.049	0.0259	0.022	0.034	0.0284	0.011	0.049	0.0265	0.020	0.040	0.0303	
	D16	0.012	0.047	0.0261	0.025	0.033	0.0286	0.012	0.047	0.0266	0.018	0.043	0.0300	
S (%)	D10	0.002	0.050	0.0304	—	—	—	0.007	0.050	0.0309	—	—	—	0.050以下
	D13	0.005	0.050	0.0305	0.018	0.044	0.0310	0.009	0.050	0.0303	0.023	0.041	0.0289	
	D16	0.006	0.049	0.0296	0.016	0.041	0.0317	0.009	0.048	0.0287	0.023	0.034	0.0279	
Cu (%)	D10	0.09	0.70	0.277	—	—	—	0.11	0.78	0.296	—	—	—	—
	D13	0.09	0.89	0.274	0.18	0.33	0.230	0.10	0.74	0.295	0.19	0.44	0.258	
	D16	0.10	0.80	0.279	0.19	0.33	0.245	0.10	0.74	0.299	0.22	0.38	0.281	
Cr (%)	D10	0.05	0.57	0.214	—	—	—	0.03	0.78	0.249	—	—	—	—
	D13	0.05	0.61	0.216	0.13	0.31	0.206	0.04	0.60	0.245	0.08	0.33	0.203	
	D16	0.05	0.68	0.210	0.09	0.26	0.183	0.05	0.58	0.230	0.07	0.35	0.208	
Sn (%)	D10	0.002	0.110	0.0158	—	—	—	0.000	0.084	0.0178	—	—	—	—
	D13	0.001	0.130	0.0159	0.010	0.024	0.0140	0.000	0.093	0.0172	0.010	0.046	0.0136	
	D16	0.002	0.089	0.0159	0.008	0.021	0.0138	0.000	0.240	0.0183	0.010	0.044	0.0236	
Mo (%)	D10	—	—	—	—	—	—	0.008	0.236	0.0247	—	—	—	—
	D13	—	—	—	—	—	—	0.008	0.097	0.0244	0.010	0.030	0.0160	
	D16	—	—	—	—	—	—	0.009	0.081	0.0242	0.013	0.038	0.0180	
V (%)	D10	0.001	0.025	0.0045	—	—	—	0.001	0.030	0.0038	—	—	—	—
	D13	0.001	0.027	0.0047	0.004	0.009	0.0070	0.001	0.033	0.0043	0.000	0.011	0.0068	
	D16	0.001	0.028	0.0043	0.003	0.009	0.0061	0.001	0.023	0.0041	0.000	0.013	0.0067	
Ceq (%)	D10	—	—	—	—	—	—	0.25	0.50	0.352	—	—	—	—
	D13	—	—	—	—	—	—	0.03	0.48	0.349	0.30	0.42	0.359	
	D16	—	—	—	—	—	—	0.26	0.47	0.334	0.30	0.40	0.361	
C+Mn/6 (%)	D10	0.22	0.41	0.274	—	—	—	—	—	0.286	—	—	—	—
	D13	0.14	0.42	0.269	0.26	0.36	0.310	—	—	0.284	—	—	0.306	
	D16	0.21	0.42	0.282	0.26	0.34	0.302	—	—	0.285	—	—	0.306	

表2.2-1 化学成分の調査結果：SD345

		前回(2017年)						今回(2022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	0.27	0.226	—	—	—	0.16	0.27	0.231	—	—	—	0.27以下
	D13	0.18	0.27	0.234	0.22	0.25	0.239	0.16	0.27	0.227	0.22	0.27	0.243	
	D16	0.18	0.27	0.219	0.22	0.26	0.237	0.17	0.27	0.229	0.23	0.26	0.247	
	D19	0.18	0.27	0.237	0.21	0.27	0.233	0.18	0.27	0.231	0.21	0.27	0.243	
	D22	0.17	0.27	0.238	0.20	0.27	0.233	0.17	0.27	0.232	0.20	0.27	0.236	
	D25	0.16	0.27	0.239	0.20	0.27	0.231	0.17	0.27	0.233	0.20	0.27	0.238	
	D29	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.234	0.19	0.27	0.237	0.20	0.27	0.240	
	D32	0.18	0.27	0.240	0.20	0.27	0.238	0.18	0.27	0.238	0.22	0.26	0.244	
	D35	0.18	0.27	0.239	0.21	0.27	0.238	0.16	0.27	0.236	0.21	0.26	0.242	
	D38	0.19	0.27	0.240	0.19	0.27	0.236	0.16	0.27	0.233	0.20	0.27	0.243	
D41	0.20	0.27	0.240	0.21	0.27	0.241	0.19	0.27	0.239	0.21	0.26	0.243		
D51	0.19	0.27	0.237	0.20	0.27	0.234	0.18	0.27	0.239	0.20	0.27	0.237		
Si (%)	D10	0.09	0.26	0.176	—	—	—	0.12	0.27	0.188	—	—	—	0.55以下
	D13	0.10	0.40	0.187	0.14	0.23	0.186	0.10	0.42	0.201	0.16	0.23	0.198	
	D16	0.11	0.41	0.174	0.12	0.24	0.195	0.10	0.40	0.195	0.16	0.24	0.198	
	D19	0.11	0.42	0.195	0.11	0.26	0.181	0.09	0.42	0.201	0.12	0.35	0.199	
	D22	0.11	0.44	0.197	0.12	0.33	0.189	0.09	0.44	0.201	0.13	0.30	0.206	
	D25	0.11	0.44	0.197	0.11	0.30	0.176	0.02	0.44	0.200	0.12	0.33	0.207	
	D29	0.12	0.45	0.200	0.13	0.25	0.182	0.09	0.44	0.204	0.15	0.33	0.216	
	D32	0.11	0.41	0.191	0.13	0.26	0.192	0.11	0.42	0.202	0.15	0.27	0.216	
	D35	0.12	0.41	0.192	0.15	0.27	0.201	0.11	0.45	0.209	0.15	0.32	0.222	
	D38	0.12	0.45	0.192	0.15	0.26	0.201	0.12	0.45	0.203	0.14	0.29	0.220	
D41	0.13	0.28	0.197	0.16	0.26	0.206	0.14	0.29	0.217	0.14	0.31	0.229		
D51	0.14	0.29	0.217	0.16	0.31	0.226	0.13	0.29	0.217	0.15	0.31	0.234		
Mn (%)	D10	0.57	1.12	0.788	—	—	—	0.55	1.04	0.844	—	—	—	1.60以下
	D13	0.55	1.14	0.812	0.69	0.83	0.781	0.64	1.08	0.833	0.80	1.00	0.902	
	D16	0.56	1.12	0.765	0.68	0.92	0.817	0.64	1.10	0.837	0.71	0.99	0.907	
	D19	0.67	1.18	0.876	0.72	1.09	0.926	0.63	1.14	0.877	0.73	1.02	0.885	
	D22	0.70	1.19	0.891	0.72	1.07	0.914	0.64	1.14	0.878	0.72	1.06	0.860	
	D25	0.70	1.22	0.899	0.70	1.08	0.934	0.65	1.28	0.891	0.74	1.06	0.864	
	D29	0.71	1.17	0.888	0.72	1.05	0.924	0.69	1.17	0.890	0.73	1.03	0.859	
	D32	0.70	1.20	0.888	0.77	1.02	0.914	0.70	1.15	0.894	0.78	1.03	0.888	
	D35	0.75	1.14	0.891	0.76	1.10	0.926	0.74	1.38	0.904	0.73	1.04	0.884	
	D38	0.75	1.26	0.879	0.76	1.07	0.926	0.74	1.38	0.911	0.78	1.07	0.917	
D41	0.79	1.25	0.913	0.79	1.06	0.923	0.79	1.06	0.890	0.79	1.03	0.907		
D51	0.79	1.12	0.940	0.79	1.11	0.948	0.80	1.13	0.926	0.79	1.14	0.918		
P (%)	D10	0.017	0.036	0.0266	—	—	—	0.017	0.037	0.0280	—	—	—	0.040以下
	D13	0.012	0.040	0.0258	0.024	0.034	0.0299	0.015	0.039	0.0263	0.023	0.034	0.0288	
	D16	0.014	0.039	0.0244	0.024	0.036	0.0299	0.014	0.038	0.0268	0.012	0.037	0.0274	
	D19	0.014	0.040	0.0271	0.014	0.036	0.0274	0.014	0.040	0.0273	0.009	0.039	0.0269	
	D22	0.013	0.039	0.0271	0.018	0.036	0.0274	0.014	0.040	0.0274	0.009	0.039	0.0265	
	D25	0.014	0.040	0.0273	0.015	0.038	0.0267	0.014	0.040	0.0276	0.012	0.038	0.0269	
	D29	0.015	0.039	0.0273	0.018	0.035	0.0274	0.015	0.040	0.0278	0.016	0.039	0.0266	
	D32	0.013	0.038	0.0273	0.016	0.038	0.0278	0.015	0.039	0.0279	0.016	0.040	0.0279	
	D35	0.011	0.040	0.0275	0.017	0.036	0.0278	0.008	0.038	0.0275	0.016	0.036	0.0269	
	D38	0.012	0.040	0.0275	0.011	0.038	0.0275	0.015	0.038	0.0281	0.015	0.037	0.0268	
D41	0.016	0.039	0.0280	0.019	0.037	0.0283	0.018	0.038	0.0289	0.012	0.040	0.0256		
D51	0.014	0.039	0.0274	0.014	0.038	0.0274	0.017	0.037	0.0280	0.013	0.040	0.0261		
S (%)	D10	0.015	0.040	0.0277	—	—	—	0.008	0.039	0.0299	—	—	—	0.040以下
	D13	0.005	0.040	0.0281	0.027	0.038	0.0321	0.010	0.040	0.0276	0.025	0.034	0.0301	
	D16	0.005	0.040	0.0261	0.019	0.037	0.0311	0.010	0.040	0.0269	0.016	0.035	0.0299	
	D19	0.003	0.040	0.0287	0.017	0.040	0.0301	0.004	0.040	0.0273	0.015	0.039	0.0283	
	D22	0.003	0.040	0.0288	0.008	0.039	0.0303	0.005	0.040	0.0274	0.017	0.037	0.0266	
	D25	0.003	0.040	0.0289	0.017	0.040	0.0310	0.005	0.040	0.0273	0.017	0.036	0.0262	
	D29	0.005	0.040	0.0286	0.016	0.039	0.0294	0.007	0.040	0.0266	0.018	0.035	0.0266	
	D32	0.005	0.040	0.0285	0.015	0.040	0.0296	0.007	0.040	0.0266	0.020	0.036	0.0277	
	D35	0.009	0.040	0.0286	0.019	0.039	0.0290	0.007	0.039	0.0257	0.021	0.280	0.1215	
	D38	0.007	0.040	0.0291	0.019	0.039	0.0294	0.007	0.039	0.0262	0.021	0.036	0.0273	
D41	0.013	0.040	0.0282	0.019	0.038	0.0281	0.013	0.039	0.0264	0.020	0.035	0.0264		
D51	0.015	0.039	0.0289	0.013	0.038	0.0277	0.017	0.040	0.0277	0.018	0.036	0.0269		

表2.2-2 化学成分の調査結果：SD345

		前回(2017年)						今回(2022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	0.12	0.40	0.269	-	-	-	0.13	0.41	0.275	-	-	-	-
	D13	0.10	0.52	0.273	0.19	0.32	0.255	0.11	0.60	0.294	0.22	0.36	0.307	
	D16	0.10	0.52	0.253	0.17	0.34	0.241	0.12	0.56	0.300	0.19	0.38	0.262	
	D19	0.13	0.59	0.282	0.12	0.43	0.209	0.10	0.57	0.307	0.14	0.40	0.259	
	D22	0.14	0.61	0.284	0.14	0.44	0.217	0.10	0.62	0.308	0.13	0.46	0.247	
	D25	0.13	0.61	0.284	0.14	0.44	0.213	0.10	0.62	0.311	0.15	0.43	0.245	
	D29	0.07	0.55	0.285	0.15	0.39	0.218	0.12	0.52	0.307	0.16	0.44	0.258	
	D32	0.15	0.50	0.281	0.13	0.43	0.232	0.13	0.56	0.306	0.14	0.43	0.268	
	D35	0.13	0.52	0.283	0.14	0.40	0.231	0.13	0.62	0.306	0.16	0.40	0.269	
	D38	0.15	0.52	0.282	0.14	0.41	0.226	0.14	0.62	0.306	0.14	0.40	0.281	
D41	0.14	0.43	0.284	0.13	0.40	0.245	0.22	0.62	0.322	0.14	0.40	0.261		
D51	0.13	0.40	0.275	0.13	0.36	0.227	0.15	0.44	0.308	0.14	0.44	0.270		
Cr (%)	D10	0.07	0.38	0.225	-	-	-	0.08	0.40	0.251	-	-	-	-
	D13	0.06	0.51	0.200	0.08	0.27	0.169	0.05	0.43	0.209	0.07	0.38	0.164	
	D16	0.05	0.43	0.179	0.09	0.25	0.168	0.05	0.56	0.207	0.06	0.27	0.160	
	D19	0.05	0.59	0.205	0.07	0.46	0.243	0.05	0.62	0.210	0.06	0.41	0.206	
	D22	0.03	0.45	0.204	0.06	0.41	0.218	0.05	0.50	0.217	0.05	0.47	0.236	
	D25	0.05	0.57	0.206	0.06	0.43	0.268	0.05	0.49	0.216	0.05	0.46	0.282	
	D29	0.06	0.43	0.193	0.08	0.45	0.244	0.05	0.40	0.192	0.06	0.43	0.253	
	D32	0.06	0.45	0.203	0.07	0.44	0.223	0.06	0.45	0.179	0.07	0.43	0.224	
	D35	0.06	0.43	0.197	0.08	0.49	0.227	0.05	0.50	0.197	0.06	0.47	0.224	
	D38	0.07	0.38	0.195	0.08	0.45	0.234	0.06	0.45	0.207	0.07	0.47	0.199	
D41	0.06	0.38	0.181	0.06	0.37	0.188	0.06	0.43	0.181	0.07	0.41	0.248		
D51	0.07	0.35	0.179	0.07	0.36	0.204	0.06	0.41	0.184	0.05	0.42	0.202		
Sn (%)	D10	0.004	0.057	0.0155	-	-	-	0.007	0.037	0.0163	-	-	-	-
	D13	0.002	0.084	0.0153	0.009	0.025	0.0143	0.000	0.062	0.0157	0.013	0.122	0.0424	
	D16	0.001	0.090	0.0146	0.007	0.026	0.0147	0.000	0.062	0.0158	0.010	0.040	0.0270	
	D19	0.002	0.060	0.0170	0.005	0.046	0.0147	0.006	0.050	0.0235	0.005	0.055	0.0183	
	D22	0.003	0.156	0.0174	0.003	0.069	0.0148	0.006	0.057	0.0161	0.006	0.037	0.0194	
	D25	0.005	0.156	0.0174	0.007	0.044	0.0150	0.000	0.090	0.0162	0.007	0.040	0.0185	
	D29	0.007	0.068	0.0164	0.007	0.030	0.0145	0.008	0.049	0.0159	0.006	0.036	0.0236	
	D32	0.007	0.080	0.0159	0.007	0.048	0.0154	0.008	0.200	0.0232	0.007	0.040	0.0282	
	D35	0.007	0.080	0.0169	0.008	0.027	0.0149	0.008	0.040	0.0158	0.006	0.030	0.0219	
	D38	0.007	0.080	0.0161	0.008	0.031	0.0144	0.008	0.040	0.0143	0.007	0.040	0.0242	
D41	0.008	0.070	0.0173	0.007	0.026	0.0137	0.008	0.040	0.0161	0.007	0.050	0.0147		
D51	0.010	0.050	0.0170	0.008	0.049	0.0161	0.008	0.050	0.0181	0.007	0.051	0.0151		
Mo (%)	D10	-	-	-	-	-	-	0.012	0.074	0.0264	-	-	-	-
	D13	-	-	-	-	-	-	0.007	0.068	0.0239	0.012	0.046	0.0216	
	D16	-	-	-	-	-	-	0.007	0.070	0.0246	0.012	0.042	0.0204	
	D19	-	-	-	-	-	-	0.007	0.074	0.0241	0.011	0.051	0.0206	
	D22	-	-	-	-	-	-	0.009	0.070	0.0244	0.009	0.060	0.0205	
	D25	-	-	-	-	-	-	0.009	0.080	0.0243	0.011	0.070	0.0196	
	D29	-	-	-	-	-	-	0.010	0.073	0.0265	0.011	0.042	0.0201	
	D32	-	-	-	-	-	-	0.010	0.084	0.0261	0.010	0.044	0.0216	
	D35	-	-	-	-	-	-	0.010	0.084	0.0271	0.010	0.084	0.0226	
	D38	-	-	-	-	-	-	0.010	0.080	0.0265	0.010	0.052	0.0236	
D41	-	-	-	-	-	-	0.013	0.058	0.0281	0.011	0.040	0.0217		
D51	-	-	-	-	-	-	0.010	0.053	0.0254	0.009	0.064	0.0236		
V (%)	D10	0.001	0.021	0.0073	-	-	-	0.001	0.014	0.0043	-	-	-	-
	D13	0.001	0.021	0.0087	0.010	0.019	0.0134	0.001	0.025	0.0074	0.000	0.014	0.0078	
	D16	0.000	0.024	0.0080	0.011	0.022	0.0146	0.001	0.024	0.0072	0.000	0.020	0.0090	
	D19	0.001	0.023	0.0109	0.010	0.022	0.0127	0.001	0.024	0.0090	0.001	0.023	0.0113	
	D22	0.001	0.025	0.0121	0.010	0.023	0.0132	0.001	0.024	0.0101	0.001	0.024	0.0126	
	D25	0.001	0.024	0.0114	0.010	0.022	0.0127	0.001	0.025	0.0100	0.001	0.024	0.0143	
	D29	0.001	0.028	0.0133	0.006	0.023	0.0169	0.001	0.025	0.0104	0.001	0.025	0.0135	
	D32	0.001	0.025	0.0137	0.004	0.023	0.0161	0.001	0.023	0.0112	0.001	0.025	0.0147	
	D35	0.002	0.034	0.0149	0.004	0.022	0.0177	0.001	0.025	0.0109	0.001	0.025	0.0134	
	D38	0.002	0.025	0.0153	0.005	0.026	0.0177	0.001	0.026	0.0123	0.001	0.027	0.0155	
D41	0.002	0.029	0.0138	0.013	0.025	0.0180	0.001	0.025	0.0111	0.001	0.027	0.0158		
D51	0.011	0.038	0.0190	0.014	0.039	0.0264	0.001	0.032	0.0110	0.001	0.039	0.0209		
Ceq (%)	D10	-	-	-	-	-	-	0.41	0.52	0.439	-	-	-	0.60以下
	D13	-	-	-	-	-	-	0.35	0.52	0.424	0.40	0.48	0.442	
	D16	-	-	-	-	-	-	0.37	0.50	0.427	0.41	0.47	0.445	
	D19	-	-	-	-	-	-	0.38	0.51	0.436	0.41	0.51	0.448	
	D22	-	-	-	-	-	-	0.38	0.53	0.439	0.41	0.49	0.442	
	D25	-	-	-	-	-	-	0.38	0.53	0.441	0.41	0.50	0.455	
	D29	-	-	-	-	-	-	0.39	0.51	0.442	0.41	0.48	0.448	
	D32	-	-	-	-	-	-	0.39	0.50	0.441	0.42	0.49	0.452	
	D35	-	-	-	-	-	-	0.40	0.50	0.444	0.42	0.50	0.450	
	D38	-	-	-	-	-	-	0.40	0.51	0.444	0.42	0.49	0.453	
D41	-	-	-	-	-	-	0.40	0.48	0.440	0.43	0.50	0.460		
D51	-	-	-	-	-	-	0.40	0.51	0.446	0.42	0.49	0.448		
C+Mn/6 (%)	D10	0.31	0.41	0.358	-	-	-	-	-	0.372	-	-	-	0.50以下
	D13	0.29	0.44	0.369	0.35	0.39	0.369	-	-	0.365	-	-	0.394	
	D16	0.28	0.43	0.347	0.34	0.39	0.373	-	-	0.368	-	-	0.398	
	D19	0.32	0.45	0.383	0.36	0.41	0.387	-	-	0.377	-	-	0.391	
	D22	0.31	0.46	0.387	0.34	0.41	0.386	-	-	0.378	-	-	0.379	
	D25	0.31	0.46	0.389	0.34	0.42	0.387	-	-	0.381	-	-	0.382	
	D29	0.32	0.46	0.387	0.36	0.42	0.388	-	-	0.386	-	-	0.383	
	D32	0.32	0.45	0.388	0.36	0.43	0.391	-	-	0.387	-	-	0.392	
	D35	0.33	0.45	0.387	0.36	0.44	0.392	-	-	0.387	-	-	0.390	
	D38	0.34	0.48	0.386	0.34	0.43	0.390	-	-	0.385	-	-	0.396	
D41	0.35	0.47	0.393	0.36	0.43	0.395	-	-	0.388	-	-	0.394		
D51	0.35	0.44	0.394	0.36	0.43	0.392	-	-	0.393	-	-	0.390		

表2.3-1 化学成分の調査結果：SD390

		前回(2017年)						今回(2022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	0.24	0.26	0.253	—	—	—	0.17	0.29	0.235	—	—	—	0.29以下
	D13	0.23	0.29	0.262	—	—	—	0.17	0.29	0.243	0.27	0.27	0.270	
	D16	0.23	0.29	0.253	0.25	0.26	0.255	0.21	0.29	0.254	0.24	0.27	0.263	
	D19	0.22	0.28	0.253	0.26	0.28	0.269	0.19	0.28	0.247	0.24	0.27	0.252	
	D22	0.22	0.28	0.260	—	—	—	0.20	0.29	0.248	0.23	0.25	0.239	
	D25	0.22	0.28	0.259	0.25	0.28	0.267	0.20	0.29	0.243	0.23	0.27	0.250	
	D29	0.21	0.29	0.258	0.22	0.29	0.244	0.19	0.29	0.251	0.22	0.29	0.246	
	D32	0.22	0.29	0.258	0.22	0.29	0.244	0.20	0.29	0.253	0.22	0.29	0.245	
	D35	0.22	0.29	0.259	0.22	0.29	0.245	0.19	0.29	0.252	0.22	0.29	0.249	
	D38	0.22	0.29	0.257	0.22	0.29	0.245	0.16	0.29	0.254	0.22	0.29	0.248	
	D41	0.23	0.29	0.254	0.23	0.29	0.248	0.22	0.29	0.260	0.22	0.29	0.258	
	D51	0.24	0.29	0.251	0.22	0.28	0.258	0.24	0.28	0.260	0.22	0.29	0.255	
Si (%)	D10	0.14	0.21	0.170	—	—	—	0.16	0.43	0.285	—	—	—	0.55以下
	D13	0.14	0.26	0.219	—	—	—	0.12	0.43	0.234	0.16	0.16	0.160	
	D16	0.13	0.39	0.202	0.22	0.23	0.222	0.11	0.42	0.248	0.14	0.25	0.186	
	D19	0.13	0.26	0.189	0.20	0.25	0.231	0.14	0.45	0.286	0.18	0.32	0.237	
	D22	0.12	0.38	0.199	—	—	—	0.12	0.45	0.288	0.17	0.31	0.227	
	D25	0.13	0.38	0.204	0.20	0.25	0.228	0.10	0.45	0.211	0.20	0.30	0.229	
	D29	0.12	0.38	0.216	0.12	0.28	0.192	0.10	0.42	0.222	0.13	0.35	0.218	
	D32	0.12	0.45	0.216	0.10	0.35	0.192	0.10	0.47	0.220	0.13	0.33	0.218	
	D35	0.12	0.45	0.219	0.15	0.30	0.212	0.09	0.49	0.218	0.16	0.34	0.237	
	D38	0.12	0.55	0.217	0.12	0.29	0.210	0.10	0.47	0.217	0.18	0.32	0.238	
	D41	0.16	0.45	0.208	0.16	0.34	0.216	0.17	0.42	0.251	0.15	0.31	0.234	
	D51	0.17	0.25	0.211	0.18	0.28	0.231	0.17	0.32	0.235	0.15	0.37	0.254	
Mn (%)	D10	1.05	1.08	1.063	—	—	—	0.78	1.20	1.022	—	—	—	1.80以下
	D13	0.76	1.22	1.017	—	—	—	0.81	1.20	1.006	1.01	1.01	1.010	
	D16	0.82	1.24	1.012	0.84	0.88	0.858	0.80	1.31	1.057	1.01	1.10	1.031	
	D19	0.82	1.24	1.003	1.00	1.05	1.028	0.81	1.28	1.063	0.98	1.16	1.066	
	D22	0.82	1.24	1.021	—	—	—	0.80	1.33	1.063	0.94	1.09	1.000	
	D25	0.85	1.24	1.056	1.02	1.14	1.064	0.82	1.33	1.141	0.96	1.15	1.034	
	D29	0.78	1.35	1.062	0.98	1.25	1.119	0.80	1.40	1.083	0.96	1.27	1.119	
	D32	0.79	1.38	1.060	0.81	1.26	1.112	0.80	1.38	1.077	1.00	1.29	1.122	
	D35	0.79	1.38	1.077	0.99	1.34	1.148	0.74	1.41	1.087	0.95	1.32	1.161	
	D38	0.79	1.36	1.088	0.81	1.29	1.136	0.80	1.41	1.089	0.80	1.31	1.162	
	D41	0.93	1.26	1.140	1.01	1.31	1.169	0.94	1.33	1.110	0.94	1.31	1.110	
	D51	1.01	1.27	1.140	1.01	1.27	1.112	0.97	1.22	1.106	0.90	1.35	1.133	
P (%)	D10	0.026	0.030	0.0280	—	—	—	0.015	0.040	0.0278	—	—	—	0.040以下
	D13	0.017	0.032	0.0265	—	—	—	0.016	0.035	0.0275	0.030	0.030	0.0300	
	D16	0.017	0.035	0.0266	0.029	0.030	0.0293	0.016	0.037	0.0280	0.022	0.028	0.0249	
	D19	0.018	0.035	0.0264	0.026	0.032	0.0294	0.016	0.039	0.0275	0.021	0.037	0.0277	
	D22	0.015	0.036	0.0262	—	—	—	0.016	0.037	0.0275	0.023	0.028	0.0257	
	D25	0.015	0.036	0.0272	0.020	0.032	0.0265	0.017	0.037	0.0275	0.022	0.033	0.0259	
	D29	0.013	0.035	0.0279	0.017	0.037	0.0271	0.014	0.037	0.0281	0.011	0.040	0.0269	
	D32	0.014	0.040	0.0275	0.018	0.038	0.0278	0.014	0.040	0.0280	0.013	0.040	0.0269	
	D35	0.015	0.040	0.0274	0.018	0.037	0.0273	0.014	0.039	0.0279	0.012	0.039	0.0268	
	D38	0.016	0.039	0.0275	0.014	0.036	0.0279	0.014	0.040	0.0282	0.012	0.037	0.0259	
	D41	0.012	0.036	0.0262	0.021	0.035	0.0285	0.019	0.038	0.0277	0.015	0.037	0.0271	
	D51	0.026	0.038	0.0297	0.021	0.035	0.0298	0.022	0.035	0.0301	0.016	0.040	0.0261	
S (%)	D10	0.011	0.039	0.0266	—	—	—	0.015	0.040	0.0305	—	—	—	0.040以下
	D13	0.017	0.037	0.0289	—	—	—	0.013	0.040	0.0263	0.031	0.031	0.0310	
	D16	0.011	0.040	0.0277	0.025	0.033	0.0286	0.012	0.040	0.0275	0.031	0.032	0.0313	
	D19	0.012	0.039	0.0268	0.032	0.038	0.0348	0.004	0.040	0.0296	0.025	0.033	0.0296	
	D22	0.015	0.039	0.0283	—	—	—	0.014	0.040	0.0302	0.024	0.027	0.0253	
	D25	0.012	0.040	0.0280	0.016	0.038	0.0298	0.006	0.038	0.0225	0.022	0.030	0.0263	
	D29	0.005	0.040	0.0288	0.011	0.040	0.0302	0.006	0.040	0.0268	0.018	0.037	0.0275	
	D32	0.005	0.040	0.0285	0.015	0.040	0.0305	0.006	0.040	0.0267	0.016	0.037	0.0271	
	D35	0.007	0.040	0.0286	0.015	0.040	0.0298	0.006	0.040	0.0264	0.018	0.037	0.0277	
	D38	0.005	0.040	0.0290	0.015	0.040	0.0300	0.006	0.040	0.0263	0.016	0.036	0.0269	
	D41	0.012	0.040	0.0297	0.016	0.037	0.0284	0.014	0.039	0.0278	0.021	0.036	0.0274	
	D51	0.020	0.038	0.0279	0.017	0.039	0.0311	0.015	0.039	0.0282	0.017	0.036	0.0271	

表2.3-2 化学成分の調査結果：SD390

		前回(2017年)						今回(2022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	0.18	0.26	0.210	-	-	-	0.12	0.52	0.323	-	-	-	-
	D13	0.13	0.34	0.252	-	-	-	0.14	0.51	0.300	0.26	0.26	0.260	
	D16	0.16	0.38	0.275	0.27	0.27	0.271	0.15	0.50	0.296	0.21	0.30	0.255	
	D19	0.15	0.42	0.282	0.27	0.34	0.301	0.15	0.81	0.334	0.19	0.38	0.290	
	D22	0.14	0.45	0.294	-	-	-	0.12	0.52	0.309	0.19	0.23	0.213	
	D25	0.15	0.45	0.292	0.25	0.36	0.300	0.13	0.52	0.322	0.15	0.36	0.228	
	D29	0.15	0.45	0.280	0.13	0.45	0.216	0.12	0.77	0.313	0.14	0.43	0.249	
	D32	0.15	0.57	0.280	0.14	0.45	0.220	0.12	0.73	0.329	0.16	0.41	0.248	
	D35	0.13	0.49	0.278	0.13	0.41	0.208	0.12	0.68	0.314	0.13	0.47	0.255	
	D38	0.14	0.47	0.276	0.13	0.38	0.209	0.14	0.57	0.310	0.14	0.39	0.247	
Cr (%)	D41	0.06	0.38	0.224	0.14	0.32	0.214	0.10	0.49	0.326	0.16	0.39	0.277	-
	D51	0.21	0.44	0.274	0.15	0.35	0.244	0.21	0.39	0.302	0.16	0.37	0.250	
	D10	0.14	0.28	0.200	-	-	-	0.05	0.39	0.187	-	-	-	
	D13	0.09	0.29	0.193	-	-	-	0.06	0.41	0.228	0.21	0.21	0.210	
	D16	0.07	0.46	0.223	0.07	0.08	0.075	0.06	0.34	0.194	0.10	0.24	0.179	
	D19	0.07	0.40	0.243	0.11	0.21	0.139	0.06	0.36	0.168	0.08	0.41	0.227	
	D22	0.07	0.41	0.214	-	-	-	0.06	0.40	0.191	0.26	0.37	0.309	
	D25	0.06	0.41	0.200	0.09	0.22	0.142	0.05	0.40	0.146	0.15	0.44	0.276	
	D29	0.06	0.41	0.208	0.05	0.46	0.250	0.05	0.33	0.214	0.06	0.47	0.269	
	D32	0.05	0.57	0.210	0.06	0.41	0.250	0.05	0.50	0.213	0.06	0.48	0.278	
Sn (%)	D35	0.06	0.41	0.205	0.06	0.47	0.261	0.05	0.48	0.209	0.06	0.44	0.251	-
	D38	0.05	0.43	0.204	0.06	0.53	0.256	0.05	0.45	0.200	0.06	0.50	0.263	
	D41	0.06	0.41	0.204	0.08	0.41	0.239	0.06	0.39	0.151	0.07	0.75	0.233	
	D51	0.08	0.39	0.203	0.05	0.28	0.170	0.07	0.28	0.124	0.06	0.34	0.193	
	D10	0.011	0.014	0.0127	-	-	-	0.007	0.046	0.0174	-	-	-	
	D13	0.010	0.033	0.0168	-	-	-	0.009	0.067	0.0155	0.010	0.010	0.0100	
	D16	0.008	0.023	0.0149	0.016	0.018	0.0169	0.008	0.050	0.0165	0.010	0.029	0.0150	
	D19	0.009	0.050	0.0155	0.018	0.023	0.0197	0.008	0.035	0.0160	0.010	0.027	0.0177	
	D22	0.007	0.030	0.0165	-	-	-	0.008	0.046	0.0163	0.009	0.014	0.0106	
	D25	0.006	0.030	0.0160	0.010	0.020	0.0176	0.010	0.046	0.0178	0.010	0.020	0.0128	
Mo (%)	D29	0.005	0.040	0.0170	0.006	0.037	0.0159	0.007	0.034	0.0158	0.006	0.078	0.0167	-
	D32	0.005	0.080	0.0168	0.005	0.040	0.0151	0.007	0.100	0.0150	0.006	0.040	0.0172	
	D35	0.007	0.140	0.0169	0.005	0.032	0.0153	0.007	0.060	0.0165	0.006	0.046	0.0165	
	D38	0.008	0.050	0.0174	0.005	0.035	0.0154	0.007	0.050	0.0174	0.007	0.040	0.0163	
	D41	0.009	0.040	0.0167	0.009	0.024	0.0135	0.007	0.033	0.0170	0.007	0.030	0.0152	
	D51	0.008	0.049	0.0142	0.005	0.025	0.0138	0.010	0.042	0.0213	0.008	0.027	0.0151	
	D10	-	-	-	-	-	-	0.009	0.040	0.0203	-	-	-	
	D13	-	-	-	-	-	-	0.009	0.100	0.0219	0.014	0.014	0.0140	
	D16	-	-	-	-	-	-	0.008	0.059	0.0239	0.015	0.031	0.0209	
	D19	-	-	-	-	-	-	0.013	0.054	0.0256	0.013	0.034	0.0242	
V (%)	D22	-	-	-	-	-	-	0.012	0.048	0.0247	0.013	0.019	0.0157	-
	D25	-	-	-	-	-	-	0.010	0.048	0.0263	0.010	0.030	0.0189	
	D29	-	-	-	-	-	-	0.009	0.040	0.0240	0.012	0.050	0.0190	
	D32	-	-	-	-	-	-	0.009	0.070	0.0242	0.011	0.050	0.0190	
	D35	-	-	-	-	-	-	0.009	0.080	0.0259	0.010	0.050	0.0196	
	D38	-	-	-	-	-	-	0.010	0.060	0.0247	0.011	0.047	0.0189	
	D41	-	-	-	-	-	-	0.010	0.050	0.0239	0.011	0.058	0.0226	
	D51	-	-	-	-	-	-	0.014	0.070	0.0250	0.008	0.070	0.0204	
	D10	0.022	0.026	0.0243	-	-	-	0.006	0.040	0.0239	-	-	-	
	D13	0.006	0.031	0.0207	-	-	-	0.002	0.036	0.0225	0.026	0.026	0.0260	
Ceq (%)	D16	0.013	0.034	0.0213	0.022	0.024	0.0230	0.002	0.036	0.0204	0.002	0.027	0.0215	0.65以下
	D19	0.015	0.034	0.0221	0.016	0.032	0.0272	0.002	0.033	0.0224	0.002	0.032	0.0168	
	D22	0.013	0.034	0.0207	-	-	-	0.002	0.033	0.0235	0.022	0.030	0.0249	
	D25	0.013	0.034	0.0212	0.016	0.032	0.0231	0.002	0.033	0.0224	0.002	0.030	0.0211	
	D29	0.010	0.034	0.0227	0.016	0.036	0.0269	0.002	0.035	0.0196	0.002	0.037	0.0243	
	D32	0.012	0.036	0.0230	0.015	0.035	0.0267	0.002	0.041	0.0198	0.002	0.037	0.0240	
	D35	0.012	0.036	0.0235	0.016	0.036	0.0276	0.002	0.037	0.0202	0.002	0.040	0.0234	
	D38	0.013	0.047	0.0239	0.015	0.036	0.0280	0.002	0.047	0.0218	0.002	0.041	0.0230	
	D41	0.013	0.039	0.0253	0.016	0.033	0.0268	0.002	0.039	0.0177	0.002	0.047	0.0178	
	D51	0.017	0.031	0.0248	0.017	0.047	0.0306	0.002	0.036	0.0208	0.002	0.062	0.0275	
C+Mn/6 (%)	D10	-	-	-	-	-	-	0.40	0.53	0.466	-	-	-	0.55以下
	D13	-	-	-	-	-	-	0.41	0.53	0.465	0.49	0.49	0.490	
	D16	-	-	-	-	-	-	0.44	0.55	0.489	0.47	0.50	0.485	
	D19	-	-	-	-	-	-	0.43	0.53	0.481	0.46	0.51	0.490	
	D22	-	-	-	-	-	-	0.44	0.54	0.487	0.48	0.50	0.484	
	D25	-	-	-	-	-	-	0.44	0.54	0.480	0.48	0.52	0.493	
	D29	-	-	-	-	-	-	0.41	0.53	0.494	0.46	0.54	0.503	
	D32	-	-	-	-	-	-	0.43	0.57	0.494	0.46	0.55	0.503	
	D35	-	-	-	-	-	-	0.44	0.56	0.494	0.46	0.57	0.511	
	D38	-	-	-	-	-	-	0.44	0.57	0.495	0.46	0.56	0.512	
C+Mn/6 (%)	D41	-	-	-	-	-	-	0.44	0.57	0.494	0.47	0.57	0.504	0.55以下
	D51	-	-	-	-	-	-	0.47	0.51	0.488	0.43	0.56	0.500	
	D10	0.42	0.44	0.432	-	-	-	-	-	0.405	-	-	-	
	D13	0.38	0.47	0.432	-	-	-	-	-	0.411	-	-	0.438	
	D16	0.38	0.48	0.422	0.39	0.40	0.398	-	-	0.430	-	-	0.435	
	D19	0.38	0.47	0.421	0.43	0.45	0.440	-	-	0.424	-	-	0.429	
	D22	0.36	0.47	0.430	-	-	-	-	-	0.425	-	-	0.406	
	D25	0.38	0.47	0.435	0.43	0.45	0.444	-	-	0.433	-	-	0.422	
	D29	0.37	0.48	0.435	0.40	0.47	0.430	-	-	0.432	-	-	0.432	
	D32	0.38	0.50	0.435	0.39	0.47	0.430	-	-	0.433	-	-	0.432	
C+Mn/6 (%)	D35	0.38	0.50	0.438	0.40	0.50	0.436	-	-	0.433	-	-	0.443	0.55以下
	D38	0.38	0.50	0.439	0.40	0.48	0.434	-	-	0.435	-	-	0.442	
	D41	0.41	0.48	0.444	0.42	0.48	0.443	-	-	0.445	-	-	0.443	
	D51	0.41	0.46	0.442	0.40	0.48	0.443	-	-	0.444	-	-	0.444	
	D10	0.42	0.44	0.432	-	-	-	-	-	0.405	-	-	-	
	D13	0.38	0.47	0.432	-	-	-	-	-	0.411	-	-	0.438	
	D16	0.38	0.48	0.422	0.39	0.40	0.398	-	-	0.430	-	-	0.435	
	D19	0.38	0.47	0.421	0.43	0.45	0.440	-	-	0.424	-	-	0.429	
	D22	0.36	0.47	0.430	-	-	-	-	-	0.425	-	-	0.406	
	D25	0.38	0.47	0.435	0.43	0.45	0.444	-	-	0.433	-	-	0.422	
C+Mn/6 (%)	D29	0.37	0.48	0.435	0.40	0.47	0.430	-	-	0.432	-	-	0.432	0.55以下
	D32	0.38	0.50	0.435	0.39	0.47	0.430	-	-	0.433	-	-	0.432	
	D35	0.38	0.50	0.438	0.40	0.50	0.436	-	-	0.433	-	-	0.443	
	D38	0.38	0.50	0.439	0.40	0.48	0.434	-	-	0.435	-	-	0.442	
	D41	0.41	0.48	0.444	0.42	0.48	0.443	-	-	0.445	-	-	0.443	
	D51	0.41	0.46	0.442	0.40	0.48	0.443	-	-	0.444	-	-	0.444	
	D10	0.42	0.44	0.432	-	-	-	-	-	0.405	-	-	-	
	D13	0.38	0.47	0.432	-	-	-	-	-	0.411	-	-	0.438	
	D16	0.38	0.48	0.422	0.39	0.40	0.398	-	-	0.430	-	-	0.435	
	D19	0.38	0.47	0.421	0.43	0.45	0.440	-	-	0.424	-	-	0.429	
C+Mn/6 (%)	D22	0.36	0.47	0.430	-	-	-	-	-	0.425	-	-	0.406	0.55以下
	D25	0.38	0.47	0.435	0.43	0.45	0.444	-	-	0.433	-	-	0.422	
	D29	0.37	0.48	0.435	0.4									

表2.4-1 化学成分の調査結果：SD490

		前回(2017年)						今回(2022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	0.20	0.30	0.267	0.24	0.26	0.246	0.20	0.31	0.259	0.22	0.27	0.247	0.32以下
	D29	0.22	0.30	0.263	0.20	0.28	0.236	0.21	0.30	0.264	0.22	0.29	0.253	
	D32	0.22	0.32	0.259	0.21	0.29	0.243	0.21	0.31	0.267	0.20	0.28	0.245	
	D35	0.21	0.31	0.266	0.21	0.31	0.245	0.19	0.31	0.255	0.19	0.31	0.241	
	D38	0.22	0.31	0.268	0.21	0.31	0.242	0.21	0.32	0.262	0.20	0.30	0.247	
	D41	0.22	0.32	0.272	0.22	0.30	0.255	0.21	0.32	0.267	0.21	0.31	0.250	
Si (%)	D51	0.22	0.30	0.267	0.21	0.31	0.270	0.21	0.30	0.261	0.21	0.31	0.253	0.55以下
	D25	0.17	0.44	0.263	0.35	0.39	0.367	0.23	0.35	0.265	0.25	0.40	0.314	
	D29	0.23	0.38	0.276	0.24	0.36	0.318	0.21	0.33	0.260	0.27	0.35	0.306	
	D32	0.18	0.47	0.267	0.20	0.40	0.274	0.20	0.53	0.265	0.22	0.40	0.299	
	D35	0.18	0.50	0.281	0.20	0.42	0.293	0.21	0.53	0.289	0.21	0.41	0.299	
	D38	0.16	0.51	0.279	0.20	0.42	0.288	0.19	0.47	0.274	0.20	0.42	0.302	
Mn (%)	D41	0.18	0.48	0.265	0.20	0.43	0.267	0.18	0.47	0.280	0.19	0.48	0.304	1.80以下
	D51	0.21	0.50	0.325	0.21	0.41	0.301	0.20	0.33	0.259	0.17	0.44	0.307	
	D25	1.13	1.38	1.244	1.37	1.49	1.426	1.06	1.61	1.329	1.20	1.44	1.310	
	D29	1.20	1.50	1.326	1.31	1.37	1.349	1.26	1.49	1.391	1.16	1.45	1.280	
	D32	1.20	1.54	1.310	1.27	1.50	1.368	1.07	1.52	1.385	1.19	1.46	1.337	
	D35	1.13	1.61	1.341	1.26	1.52	1.376	1.13	1.55	1.346	1.11	1.46	1.341	
P (%)	D38	1.13	1.59	1.348	1.23	1.50	1.374	1.23	1.61	1.387	1.15	1.52	1.360	0.040以下
	D41	1.24	1.66	1.364	1.26	1.59	1.379	1.25	1.61	1.400	1.08	1.48	1.369	
	D51	1.30	1.49	1.363	1.21	1.49	1.392	1.12	1.49	1.309	0.98	1.53	1.366	
	D25	0.013	0.040	0.0236	0.030	0.034	0.0319	0.018	0.038	0.0256	0.021	0.031	0.0263	
	D29	0.019	0.031	0.0242	0.014	0.034	0.0238	0.013	0.032	0.0245	0.014	0.036	0.0225	
	D32	0.016	0.036	0.0220	0.014	0.040	0.0265	0.014	0.034	0.0244	0.011	0.035	0.0200	
S (%)	D35	0.016	0.037	0.0256	0.015	0.038	0.0267	0.015	0.038	0.0256	0.009	0.038	0.0222	0.040以下
	D38	0.016	0.037	0.0257	0.014	0.037	0.0262	0.016	0.038	0.0249	0.007	0.039	0.0217	
	D41	0.018	0.038	0.0262	0.017	0.038	0.0271	0.017	0.038	0.0245	0.010	0.038	0.0208	
	D51	0.019	0.035	0.0265	0.018	0.037	0.0283	0.017	0.034	0.0253	0.008	0.039	0.0196	
	D25	0.009	0.032	0.0216	0.024	0.030	0.0267	0.011	0.029	0.0214	0.016	0.034	0.0292	
	D29	0.011	0.036	0.0211	0.014	0.034	0.0238	0.014	0.039	0.0225	0.013	0.034	0.0238	
	D32	0.013	0.040	0.0240	0.008	0.038	0.0211	0.011	0.036	0.0235	0.017	0.038	0.0263	
	D35	0.004	0.036	0.0237	0.008	0.038	0.0237	0.008	0.037	0.0228	0.015	0.038	0.0264	
	D38	0.004	0.037	0.0234	0.007	0.037	0.0225	0.005	0.038	0.0213	0.015	0.038	0.0261	
	D41	0.011	0.036	0.0248	0.007	0.038	0.0215	0.007	0.038	0.0219	0.018	0.038	0.0266	
	D51	0.014	0.035	0.0269	0.007	0.038	0.0252	0.007	0.035	0.0226	0.018	0.036	0.0261	

表2.4-2 化学成分の調査結果：SD490

		前回(2017年)						今回(2022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	0.14	0.36	0.202	0.23	0.27	0.246	0.21	0.40	0.294	0.19	0.33	0.259	-
	D29	0.08	0.33	0.207	0.17	0.27	0.204	0.17	0.40	0.266	0.17	0.27	0.205	
	D32	0.09	0.37	0.216	0.11	0.34	0.188	0.09	0.40	0.241	0.11	0.38	0.215	
	D35	0.07	0.39	0.238	0.11	0.38	0.208	0.09	0.43	0.274	0.13	0.41	0.242	
	D38	0.07	0.42	0.240	0.13	0.35	0.203	0.08	0.43	0.252	0.13	0.42	0.230	
	D41	0.11	0.39	0.241	0.12	0.36	0.186	0.07	0.42	0.236	0.13	0.41	0.220	
Cr (%)	D51	0.16	0.41	0.258	0.13	0.38	0.230	0.08	0.43	0.284	0.11	0.41	0.232	-
	D25	0.06	0.27	0.137	0.15	0.21	0.179	0.09	0.35	0.200	0.06	0.29	0.163	
	D29	0.06	0.30	0.146	0.07	0.23	0.149	0.10	0.23	0.170	0.08	0.30	0.188	
	D32	0.05	0.33	0.150	0.08	0.37	0.213	0.06	0.43	0.169	0.07	0.36	0.237	
	D35	0.06	0.30	0.175	0.07	0.37	0.192	0.07	0.43	0.191	0.06	0.36	0.199	
	D38	0.06	0.37	0.170	0.07	0.36	0.201	0.06	0.42	0.183	0.06	0.52	0.217	
Sn (%)	D41	0.07	0.42	0.178	0.07	0.42	0.234	0.07	0.36	0.172	0.06	0.38	0.233	-
	D51	0.09	0.24	0.156	0.08	0.33	0.195	0.07	0.35	0.175	0.05	0.33	0.219	
	D25	0.009	0.037	0.0172	0.014	0.014	0.0140	0.010	0.020	0.0134	0.010	0.026	0.0148	
	D29	0.009	0.030	0.0144	0.010	0.020	0.0136	0.010	0.021	0.0148	0.008	0.016	0.0108	
	D32	0.009	0.040	0.0130	0.009	0.028	0.0149	0.000	0.030	0.0131	0.006	0.027	0.0143	
	D35	0.008	0.037	0.0148	0.005	0.025	0.0131	0.009	0.030	0.0131	0.006	0.043	0.0219	
Mo (%)	D38	0.007	0.040	0.0144	0.003	0.034	0.0143	0.004	0.030	0.0127	0.006	0.037	0.0147	-
	D41	0.009	0.040	0.0142	0.008	0.042	0.0146	0.007	0.040	0.0143	0.006	0.057	0.0120	
	D51	0.009	0.040	0.0152	0.006	0.040	0.0139	0.000	0.040	0.0148	0.005	0.048	0.0117	
	D25	-	-	-	-	-	-	0.015	0.038	0.0232	0.010	0.034	0.0228	
	D29	-	-	-	-	-	-	0.010	0.030	0.0192	0.011	0.030	0.0184	
	D32	-	-	-	-	-	-	0.010	0.047	0.0212	0.008	0.039	0.0145	
V (%)	D35	-	-	-	-	-	-	0.010	0.050	0.0233	0.008	0.040	0.0190	-
	D38	-	-	-	-	-	-	0.000	0.050	0.0225	0.009	0.050	0.0178	
	D41	-	-	-	-	-	-	0.010	0.070	0.0255	0.008	0.060	0.0158	
	D51	-	-	-	-	-	-	0.010	0.040	0.0206	0.008	0.063	0.0201	
	D25	0.036	0.140	0.1078	0.055	0.056	0.0554	0.008	0.060	0.0347	0.008	0.061	0.0517	
	D29	0.036	0.131	0.0682	0.063	0.104	0.0766	0.008	0.107	0.0400	0.008	0.124	0.0589	
Ceq (%)	D32	0.036	0.106	0.0644	0.041	0.103	0.0681	0.008	0.125	0.0465	0.008	0.126	0.0654	0.70以下
	D35	0.033	0.116	0.0652	0.037	0.107	0.0717	0.008	0.112	0.0412	0.008	0.600	0.0557	
	D38	0.035	0.107	0.0645	0.036	0.108	0.0721	0.008	0.104	0.0437	0.008	0.131	0.0604	
	D41	0.034	0.089	0.0607	0.035	0.107	0.0712	0.008	0.082	0.0408	0.008	0.140	0.0667	
	D51	0.053	0.106	0.0791	0.063	0.107	0.0850	0.008	0.124	0.0748	0.008	0.186	0.0735	
	D25	-	-	-	-	-	-	0.45	0.63	0.540	0.47	0.55	0.522	
C+Mn/6 (%)	D29	-	-	-	-	-	-	0.46	0.60	0.547	0.46	0.56	0.525	0.60以下
	D32	-	-	-	-	-	-	0.47	0.63	0.564	0.47	0.59	0.537	
	D35	-	-	-	-	-	-	0.46	0.63	0.539	0.47	0.59	0.522	
	D38	-	-	-	-	-	-	0.47	0.63	0.554	0.46	0.63	0.538	
	D41	-	-	-	-	-	-	0.47	0.63	0.556	0.46	0.60	0.546	
	D51	-	-	-	-	-	-	0.48	0.58	0.537	0.47	0.61	0.547	
C+Mn/6 (%)	D25	0.42	0.52	0.474	0.48	0.48	0.484	-	-	0.481	-	-	0.465	0.60以下
	D29	0.44	0.53	0.483	0.42	0.50	0.459	-	-	0.496	-	-	0.466	
	D32	0.44	0.56	0.478	0.44	0.52	0.471	-	-	0.498	-	-	0.468	
	D35	0.44	0.55	0.489	0.44	0.53	0.474	-	-	0.480	-	-	0.464	
	D38	0.44	0.56	0.493	0.44	0.53	0.472	-	-	0.493	-	-	0.474	
	D41	0.44	0.59	0.499	0.44	0.54	0.484	-	-	0.501	-	-	0.478	
	D51	0.44	0.53	0.493	0.44	0.53	0.502	-	-	0.479	-	-	0.481	

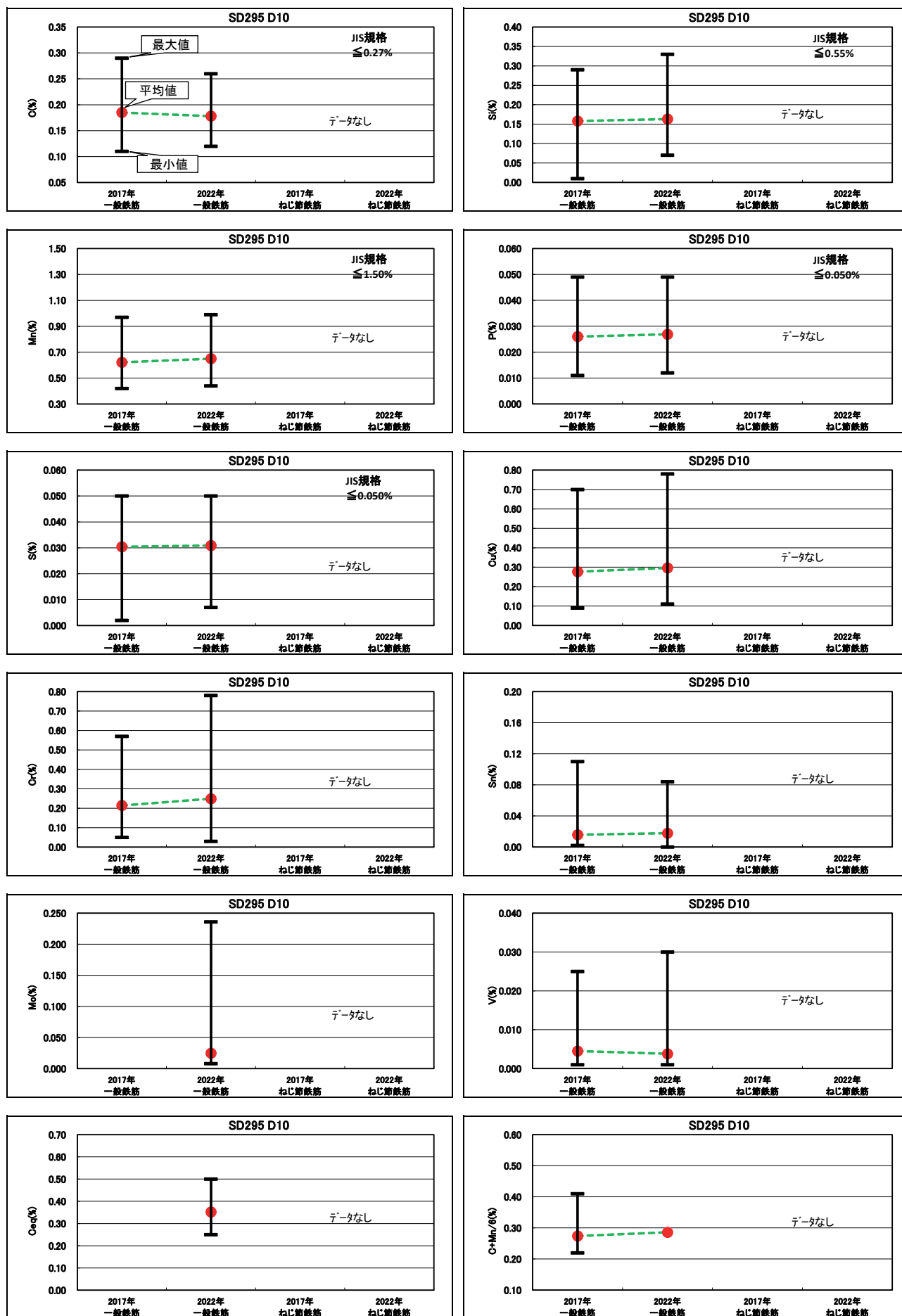


図2.1-1 化学成分:SD295 D10

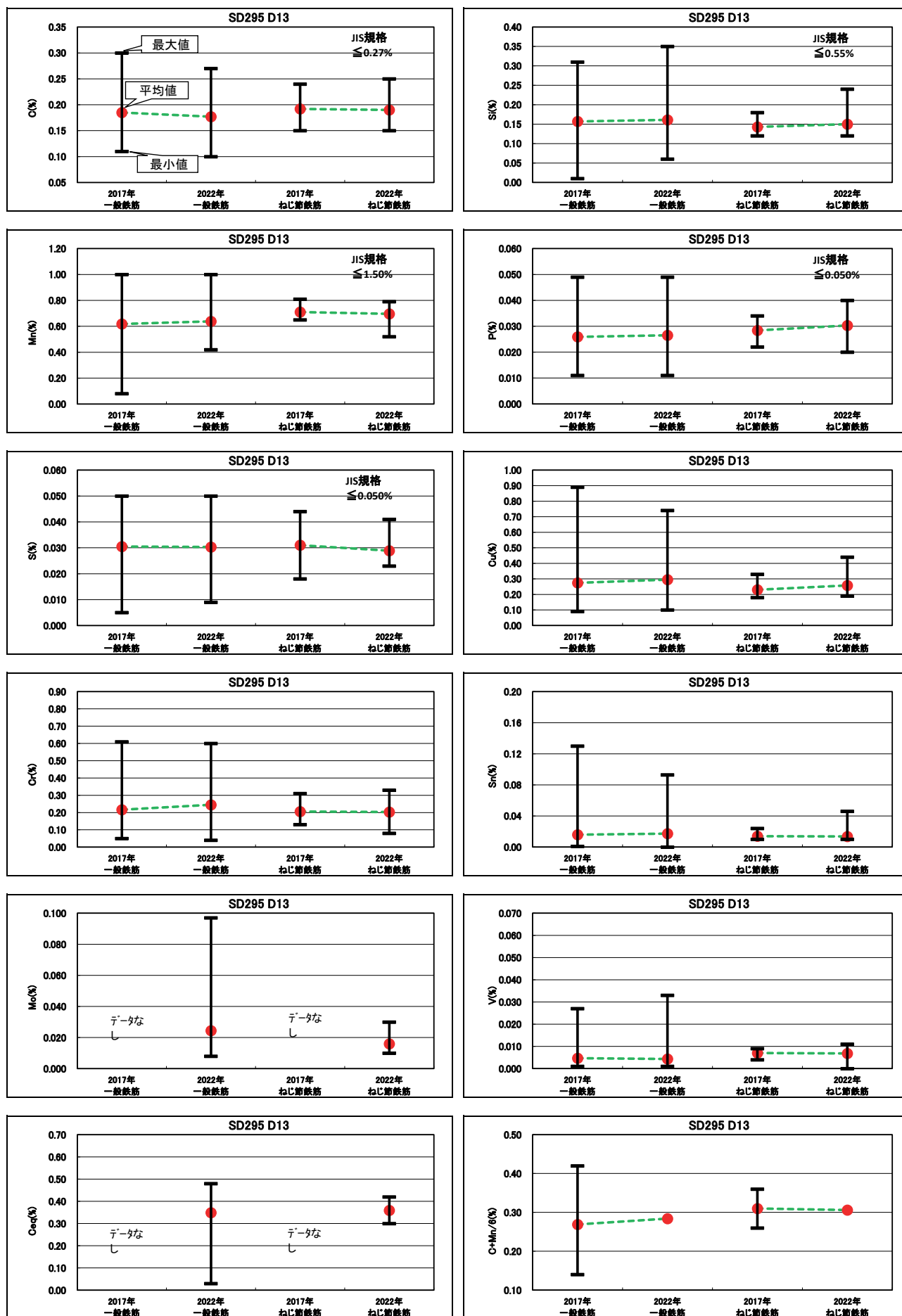


図2.1-2 化学成分:SD295 D13

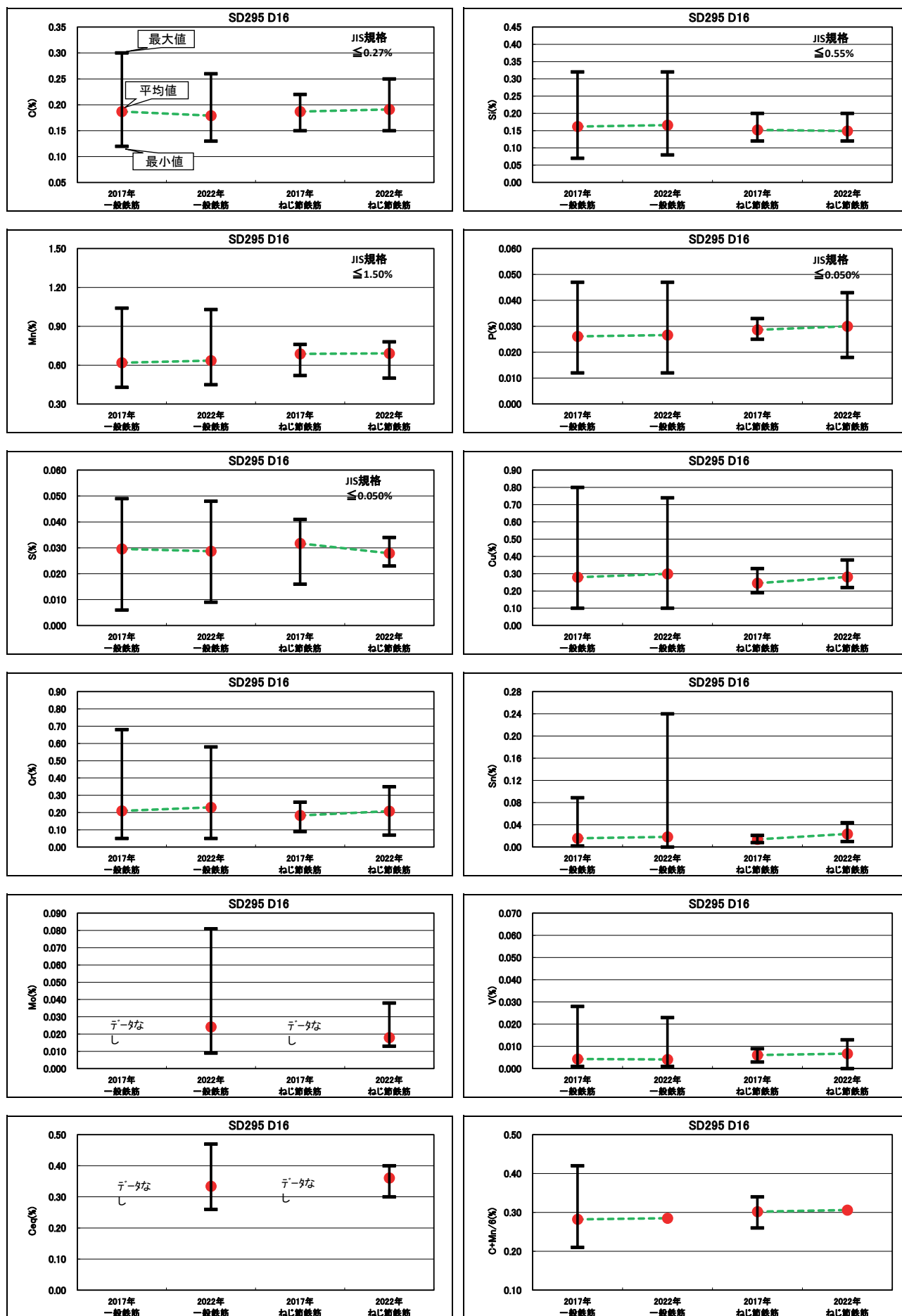


図2.1-3 化学成分:SD295 D16

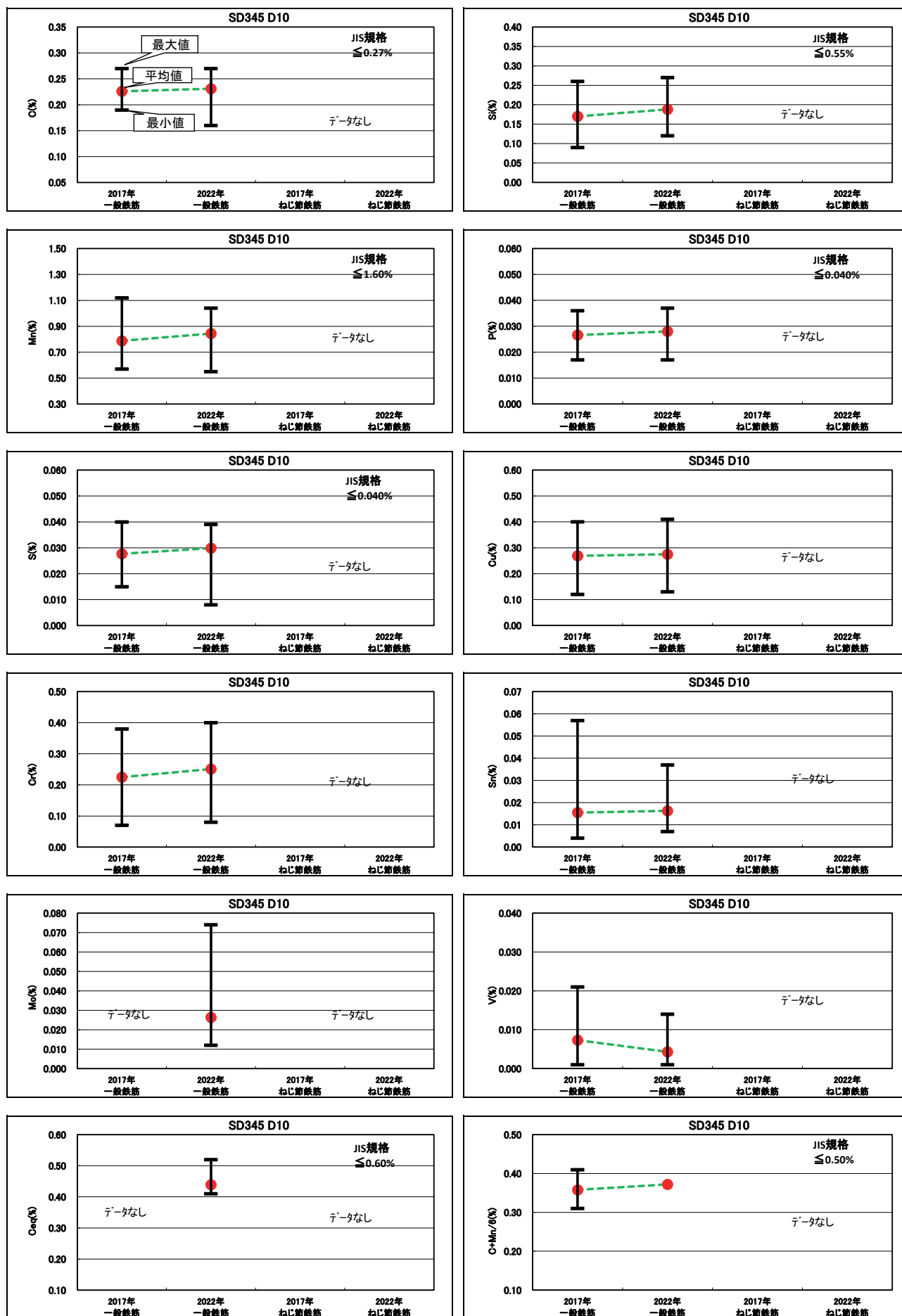


図2.2-1 化学成分:SD345 D10

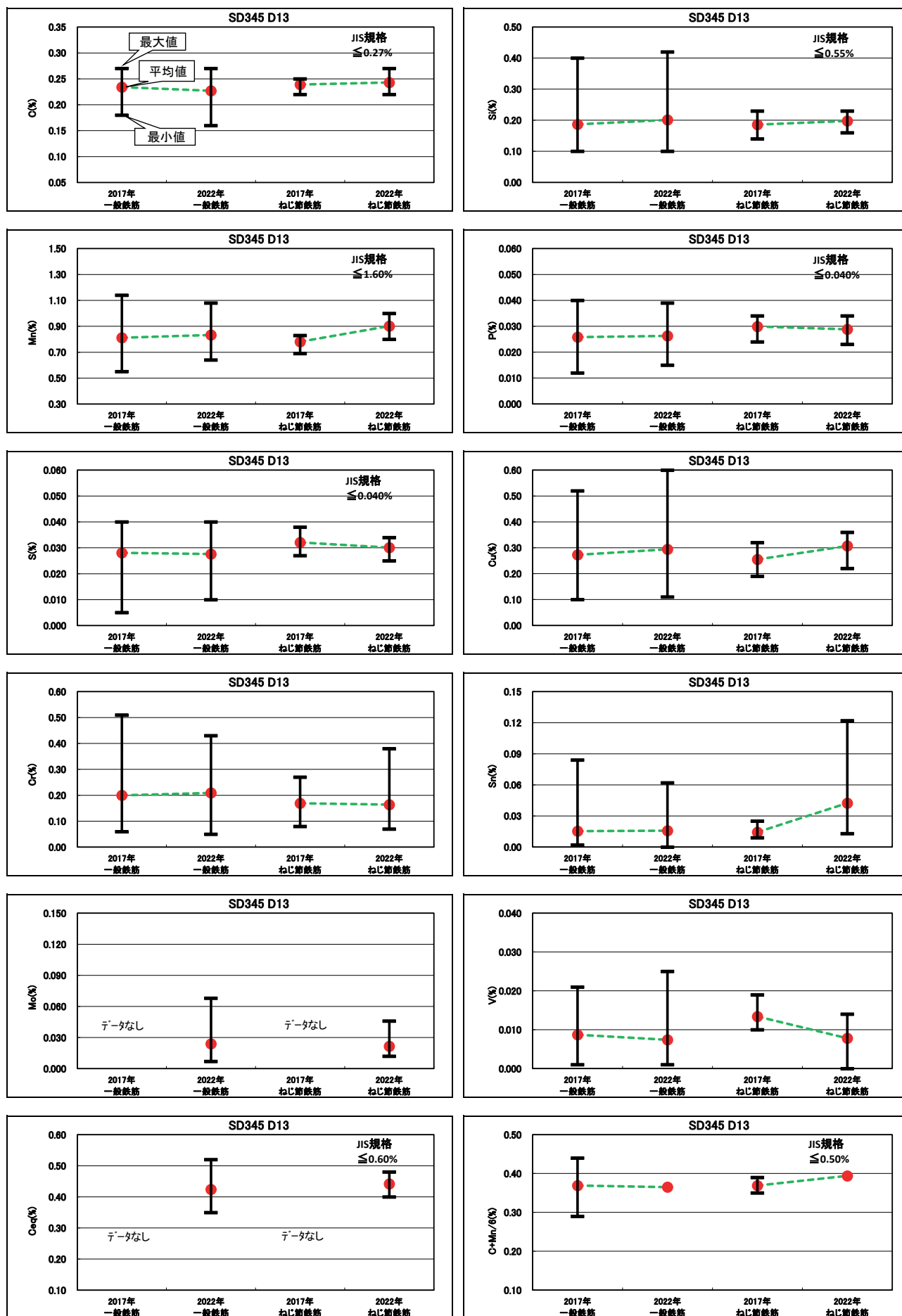


図2.2-2 化学成分:SD345 D13

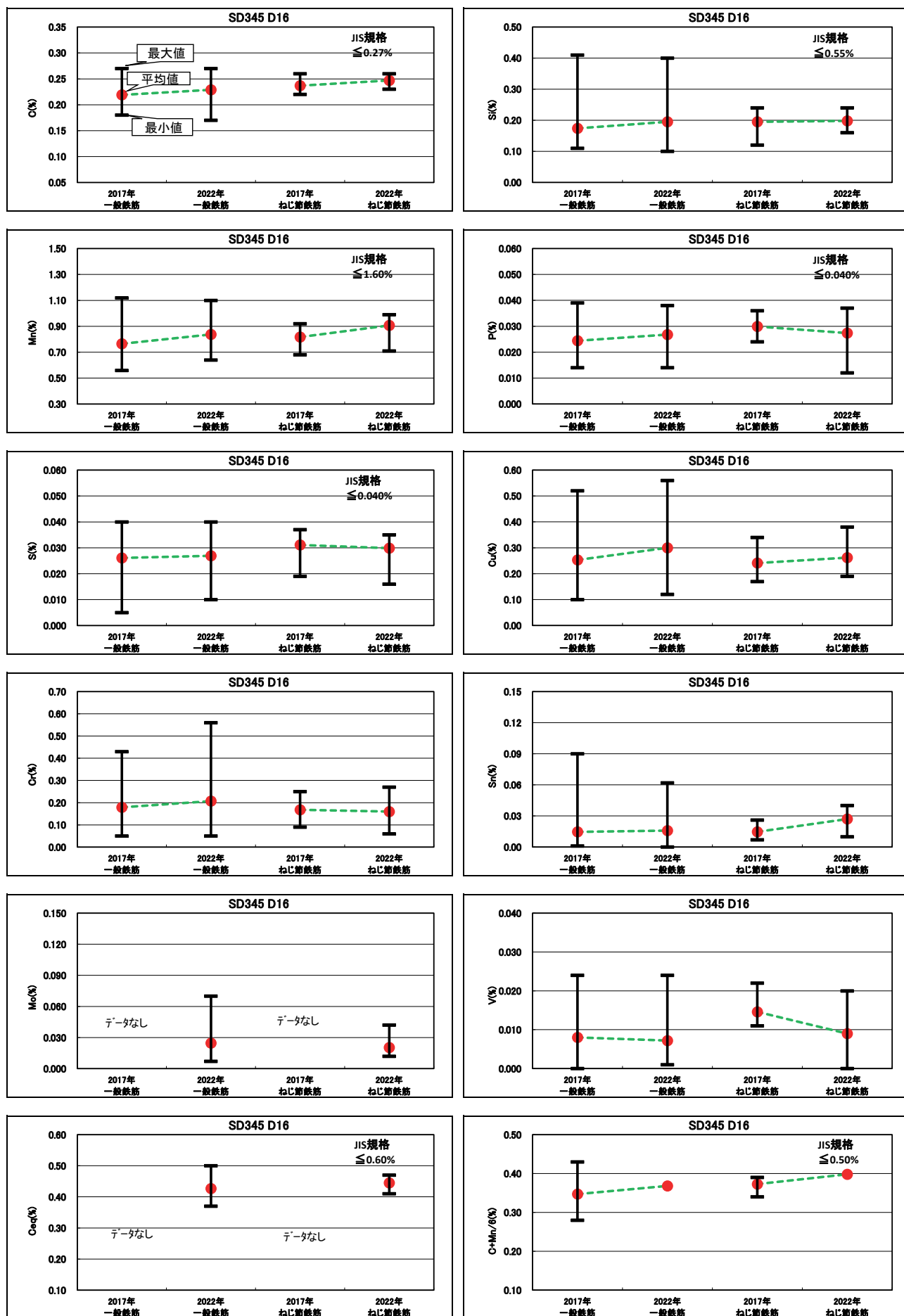


図2.2-3 化学成分:SD345 D16

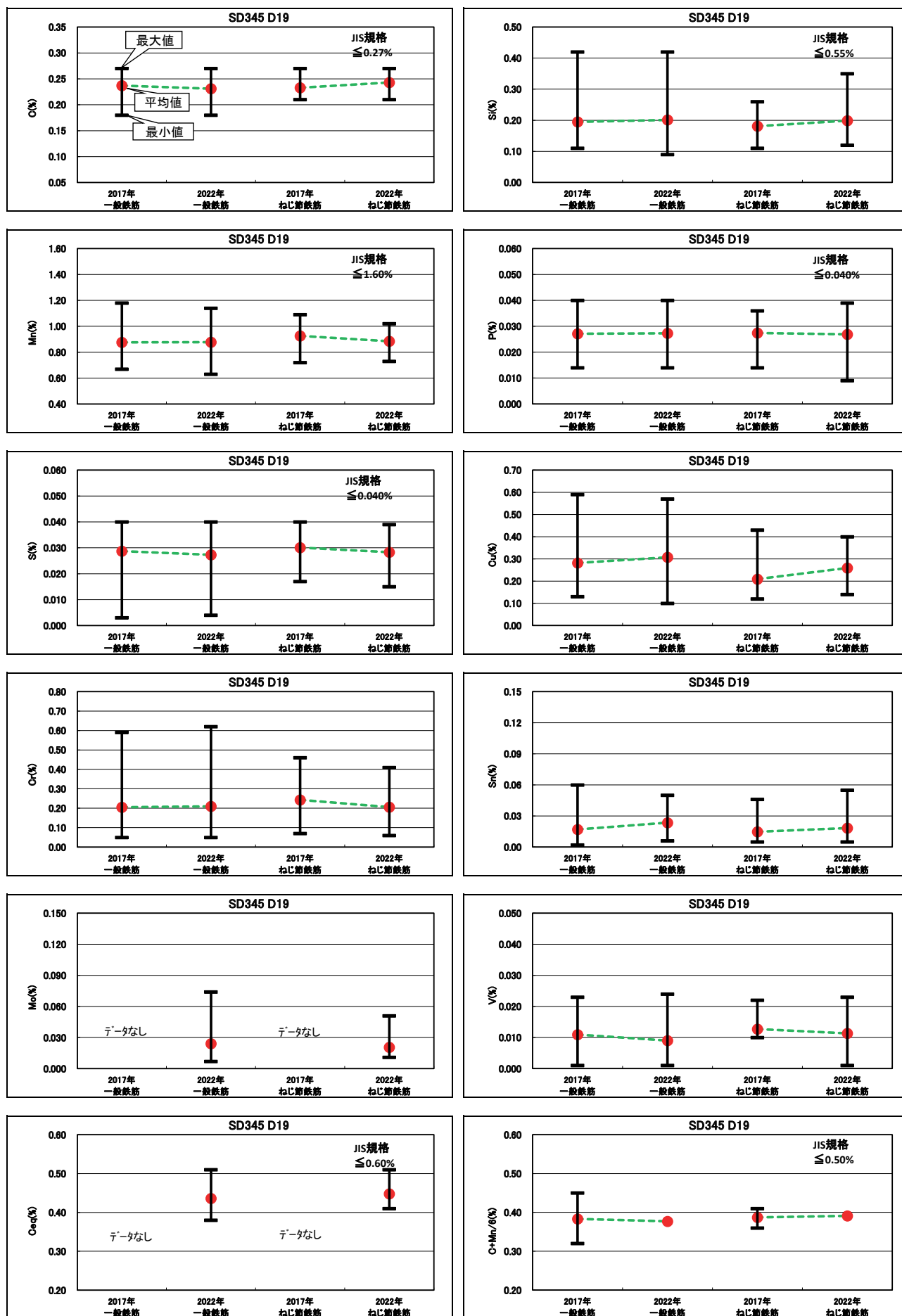


図2.2-4 化学成分:SD345 D19

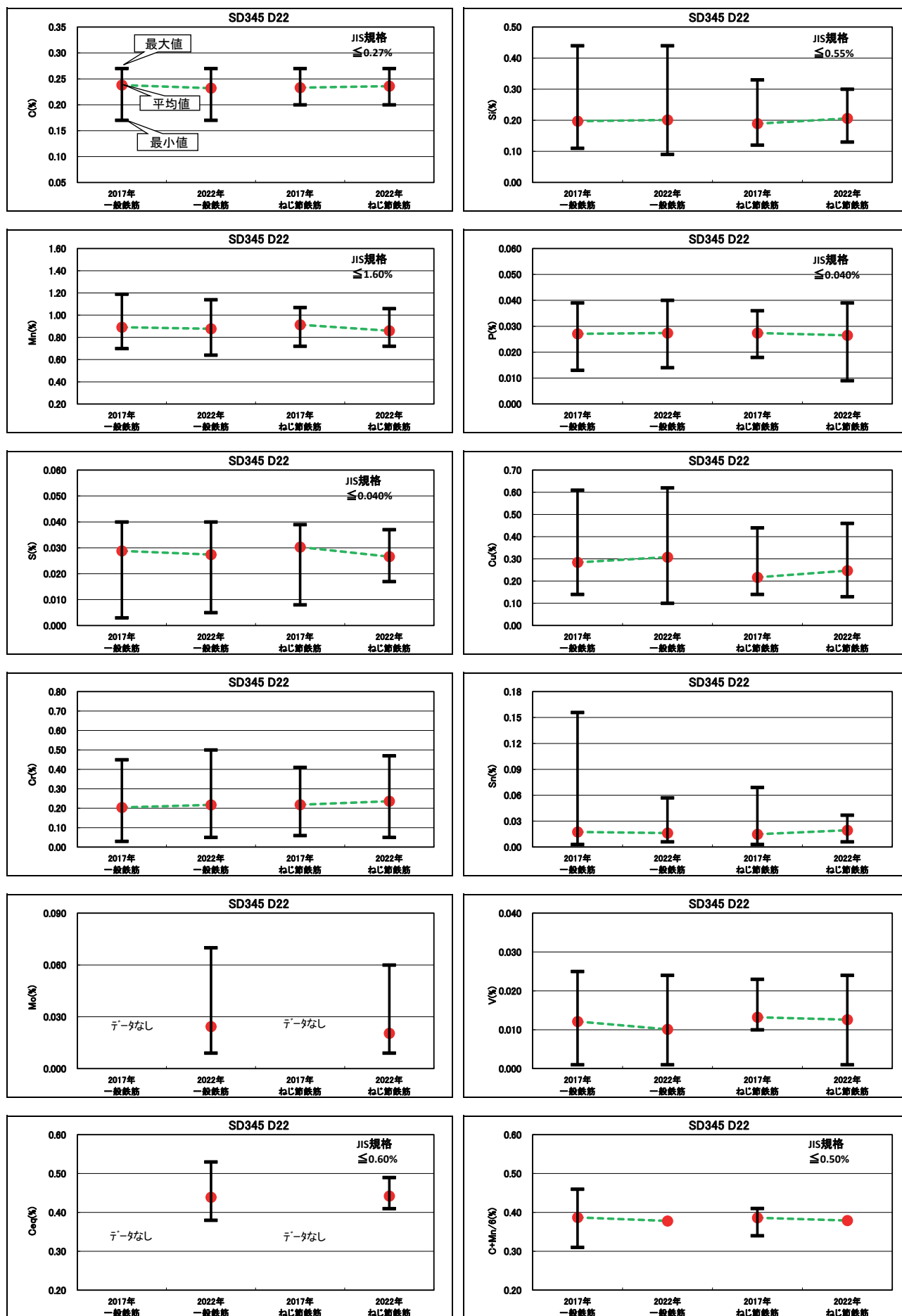


図2.2-5 化学成分:SD345 D22

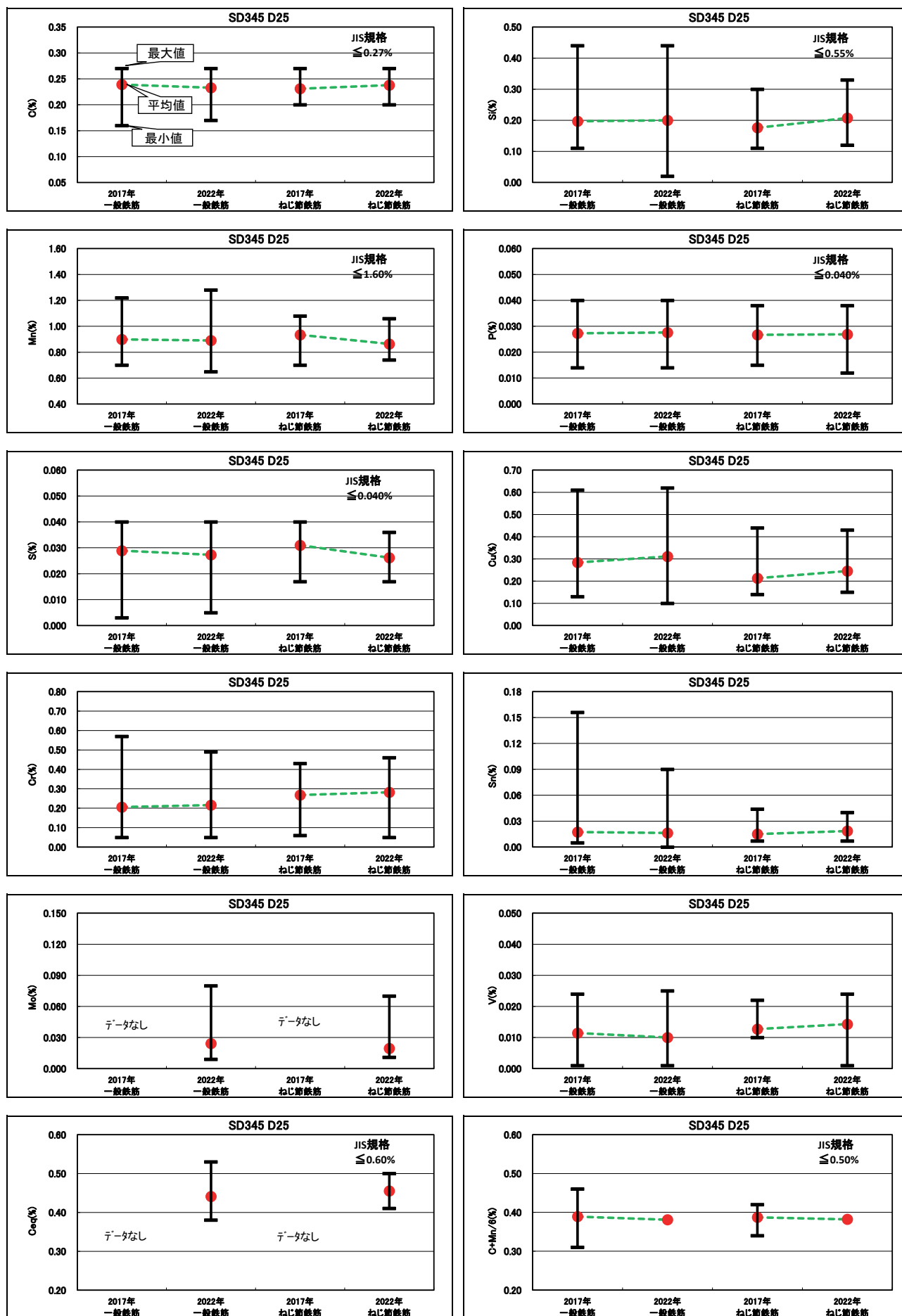


図2.2-6 化学成分:SD345 D25

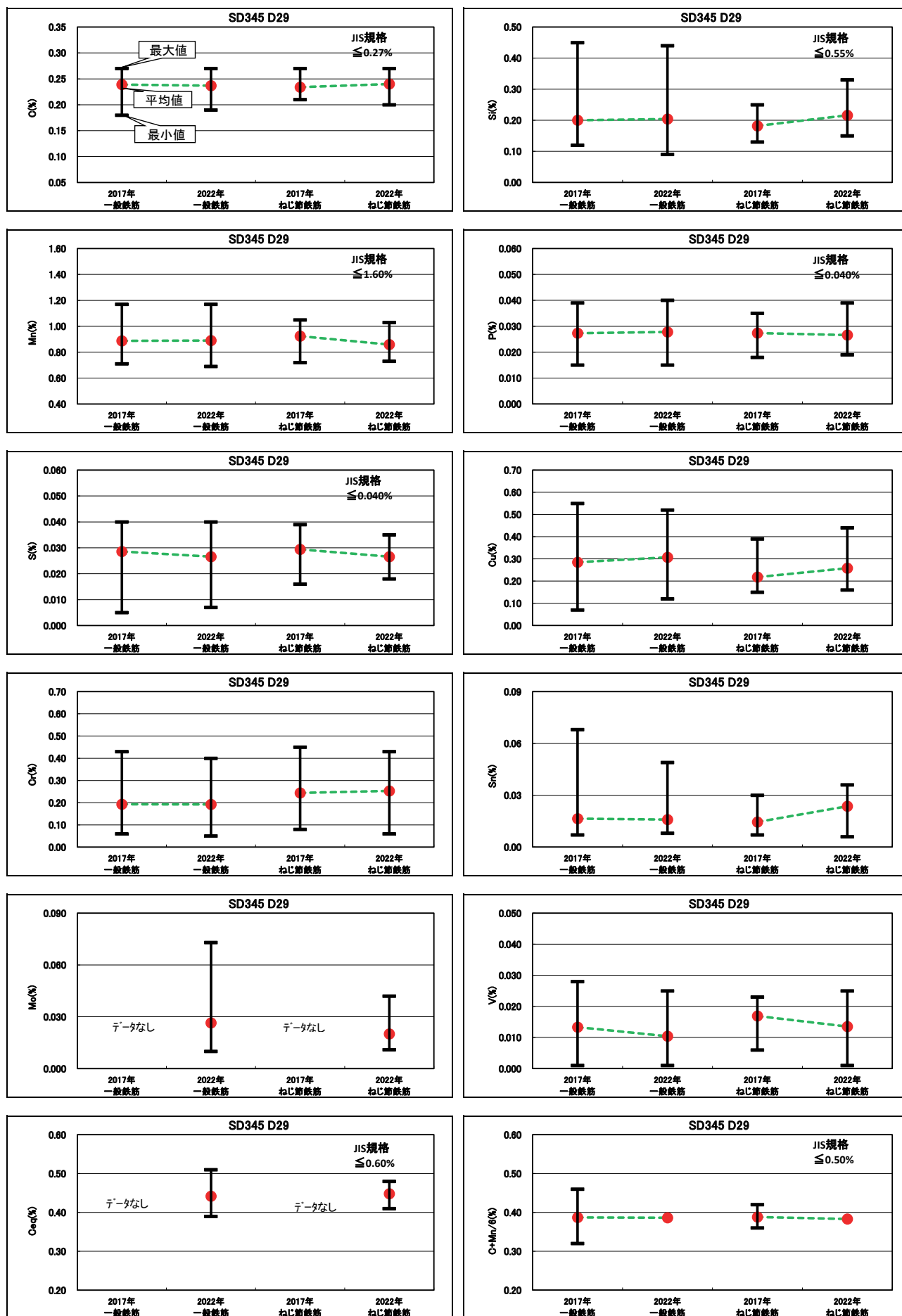


図2.2-7 化学成分:SD345 D29

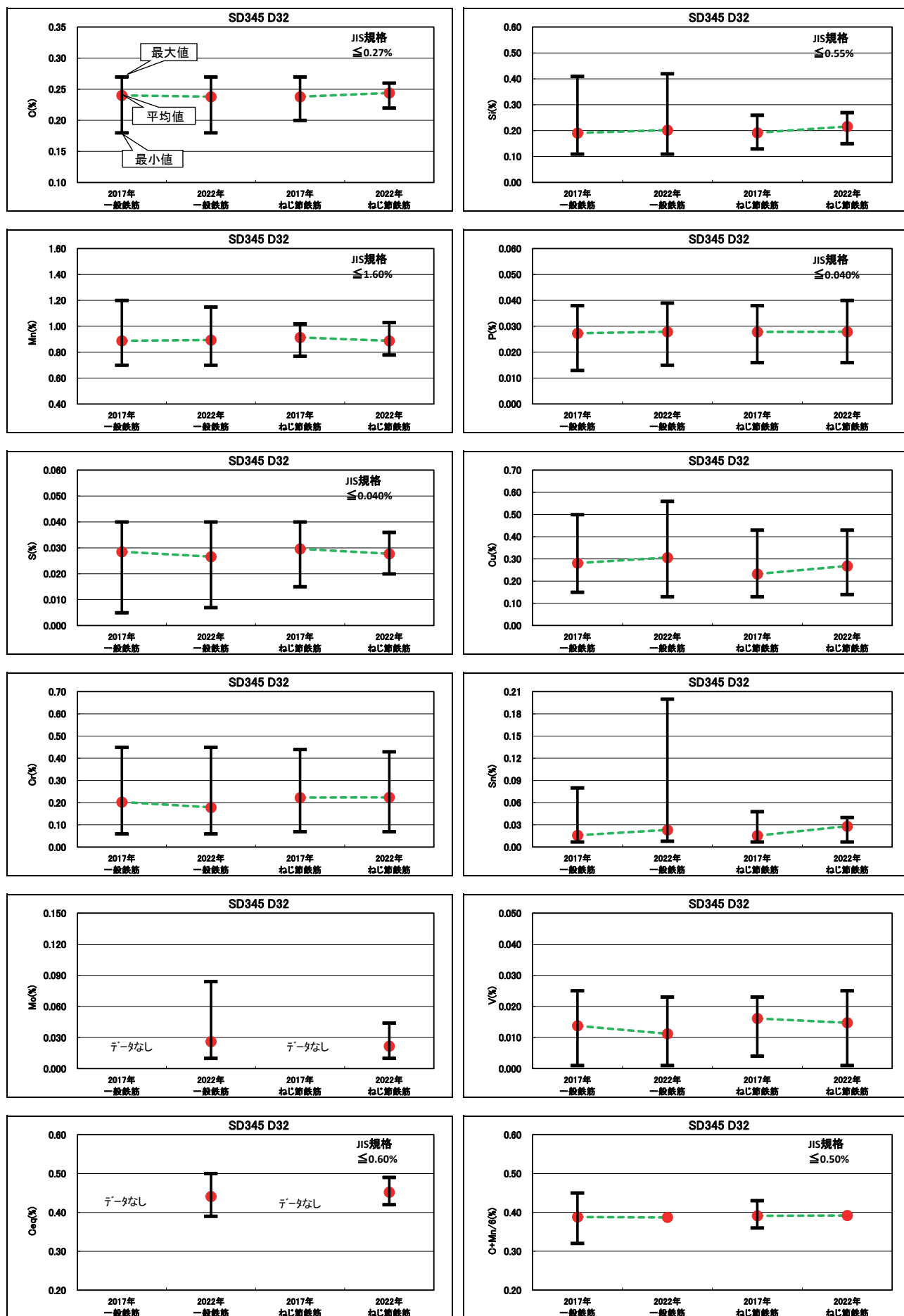


図2.2-8 化学成分:SD345 D32

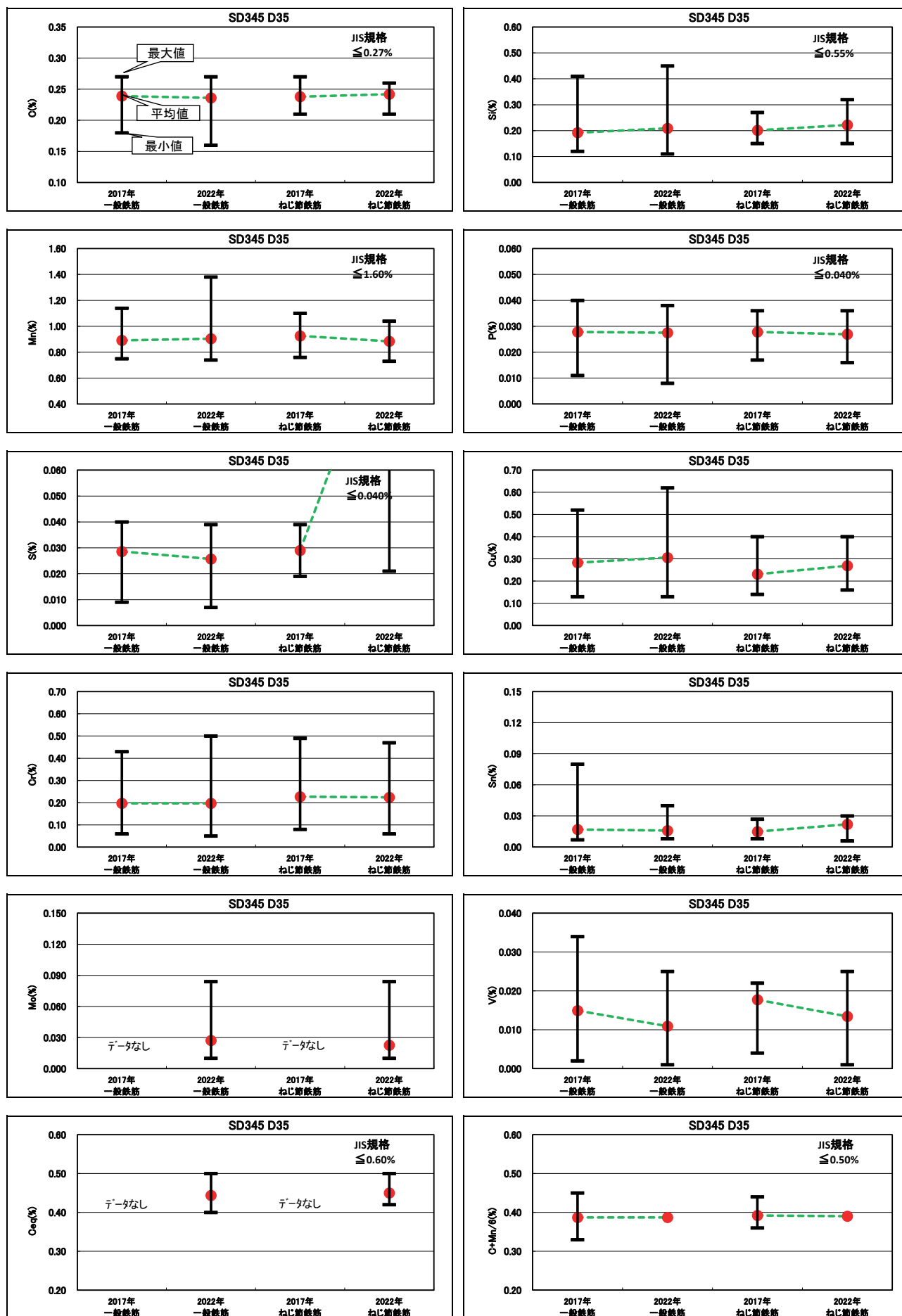


図2.2-9 化学成分:SD345 D35

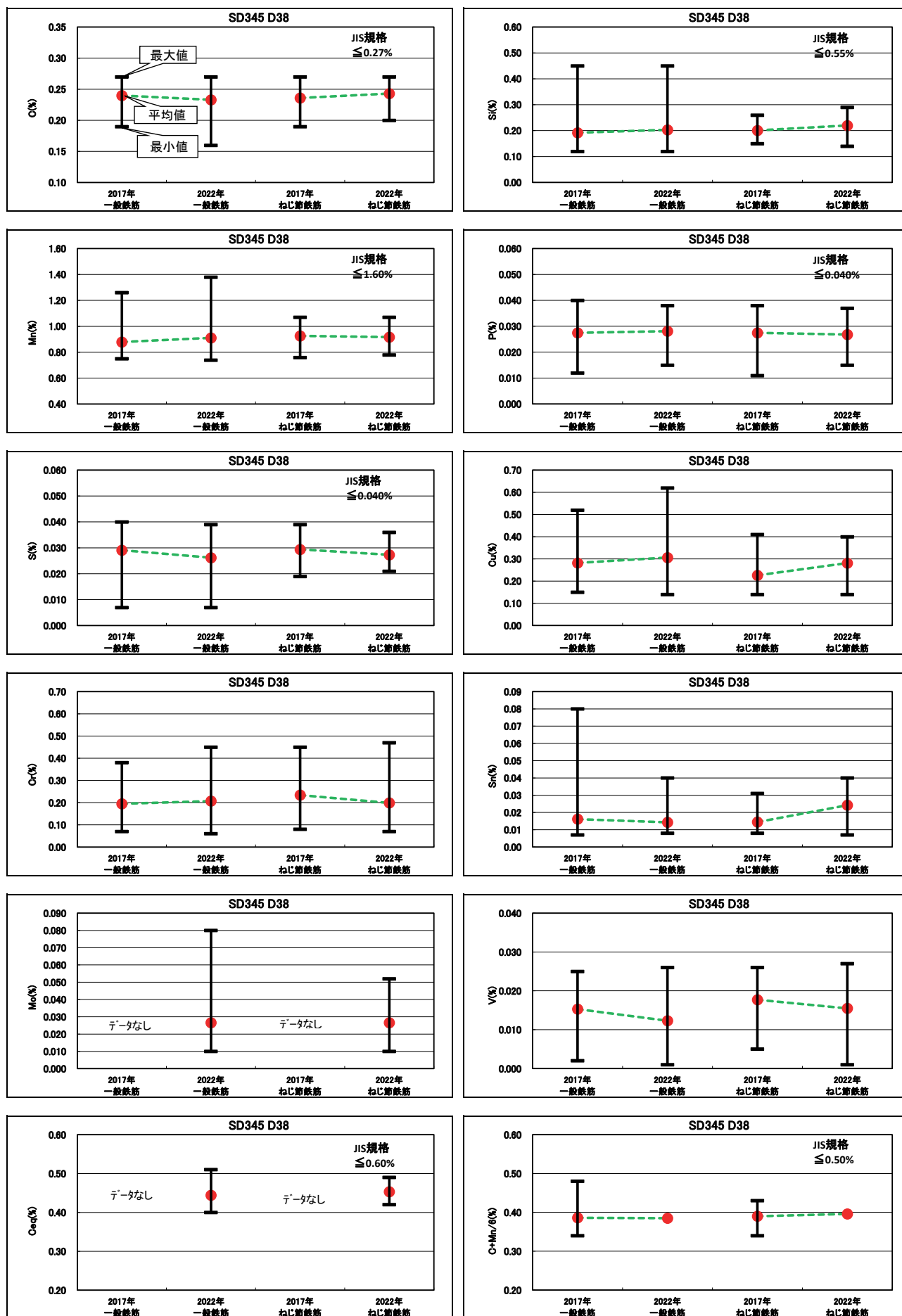


図2.2-10 化学成分:SD345 D38

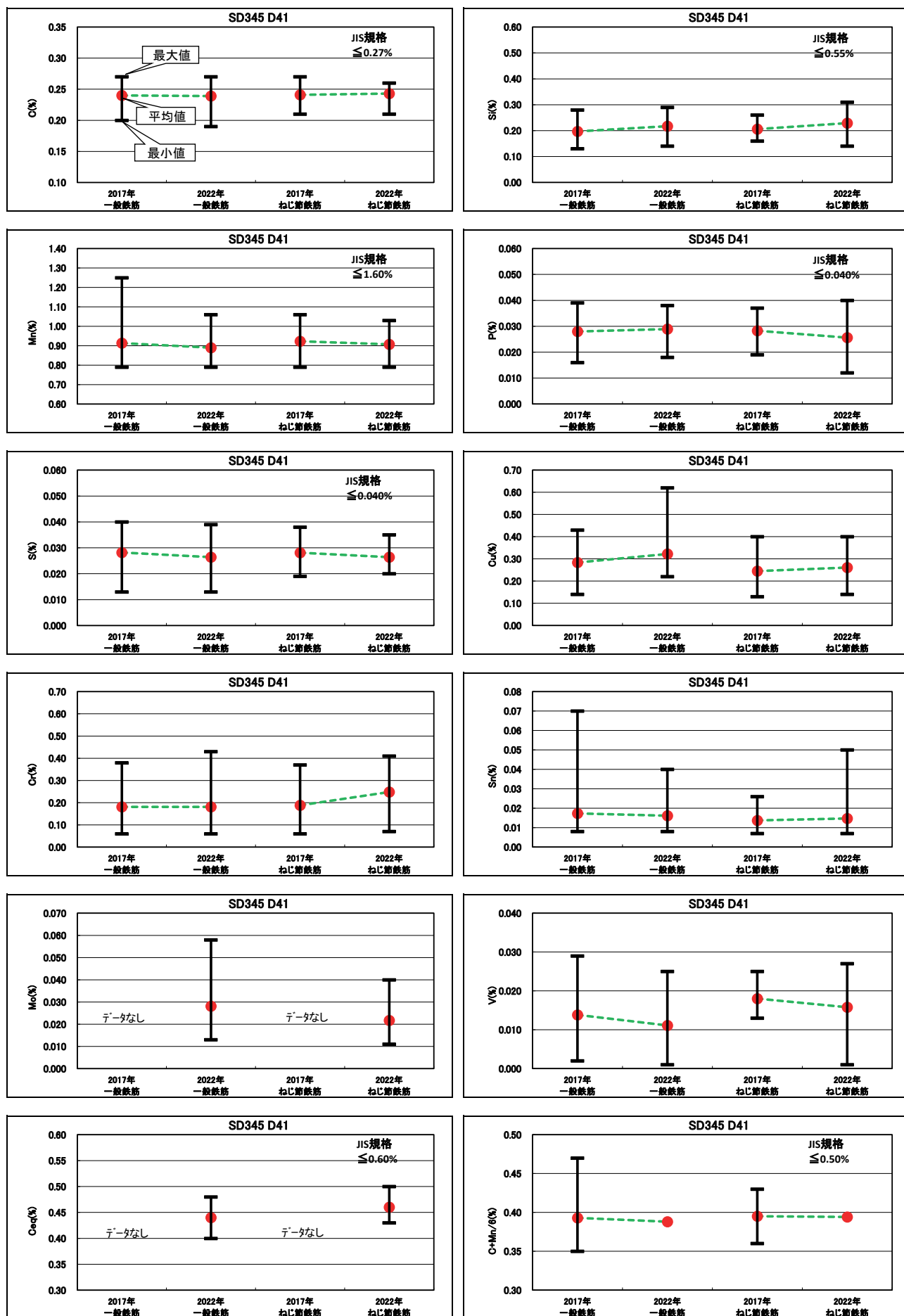


図2.2-11 化学成分:SD345 D41

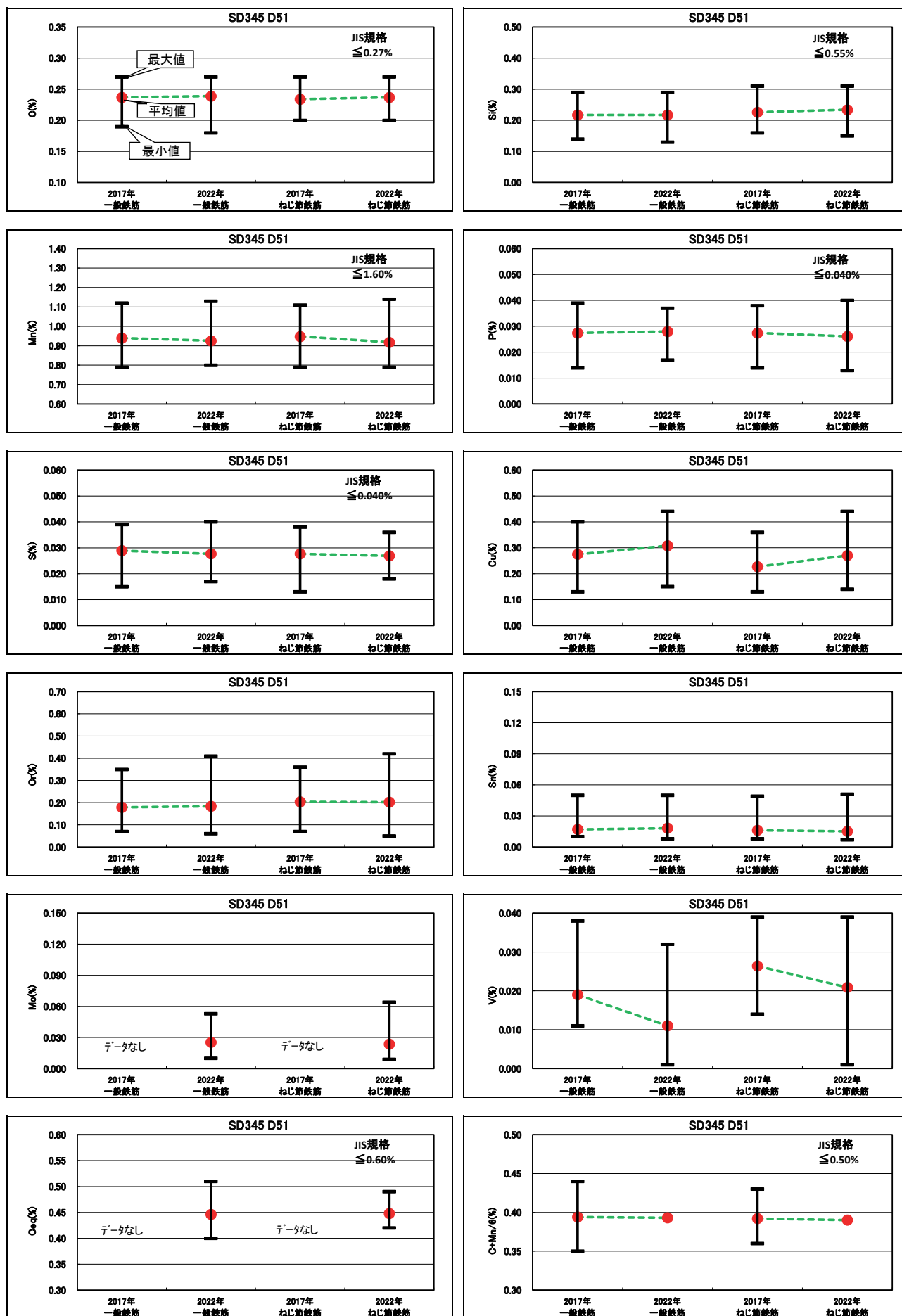


図2.2-12 化学成分:SD345 D51

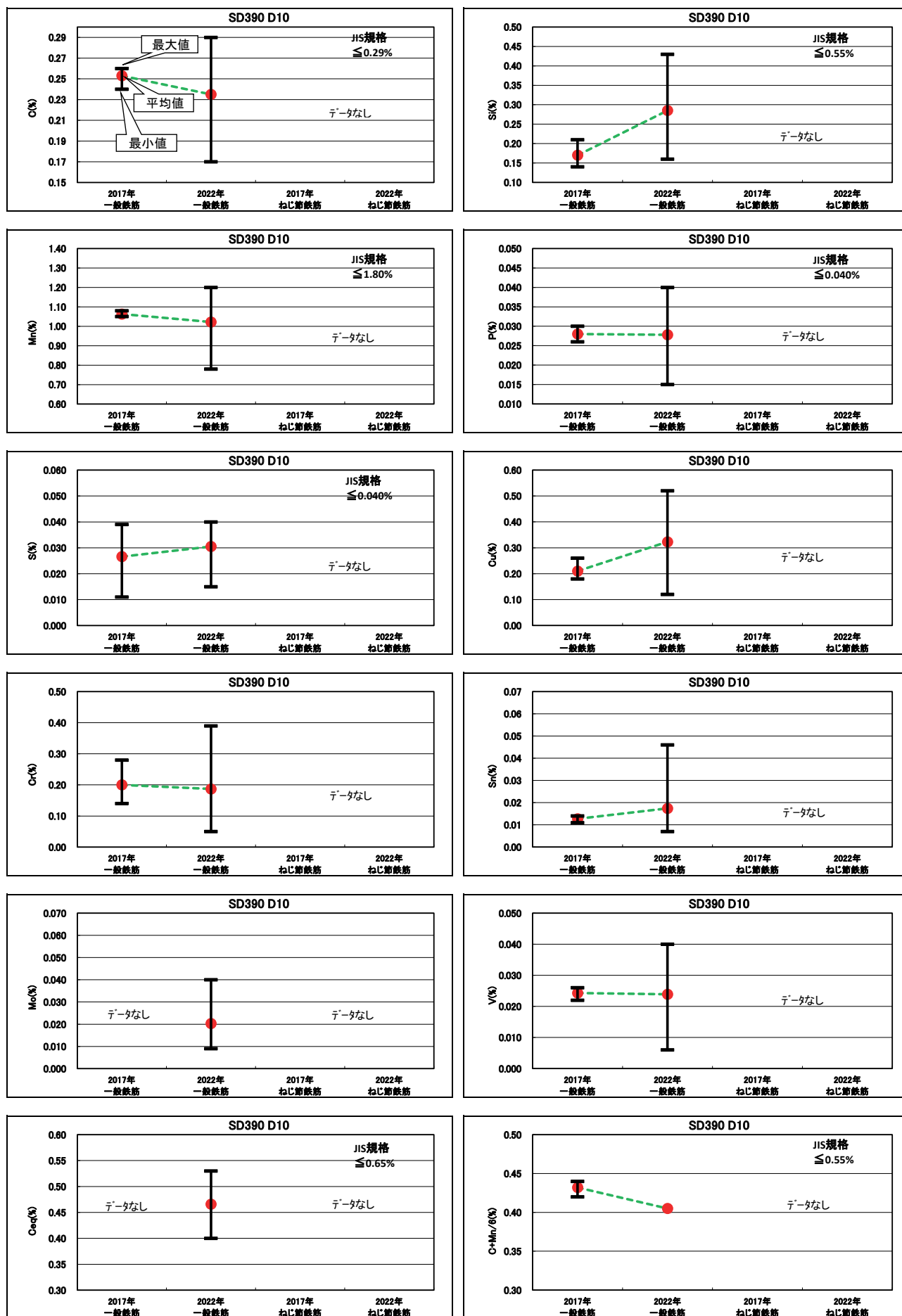


図2.3-1 化学成分:SD390 D10

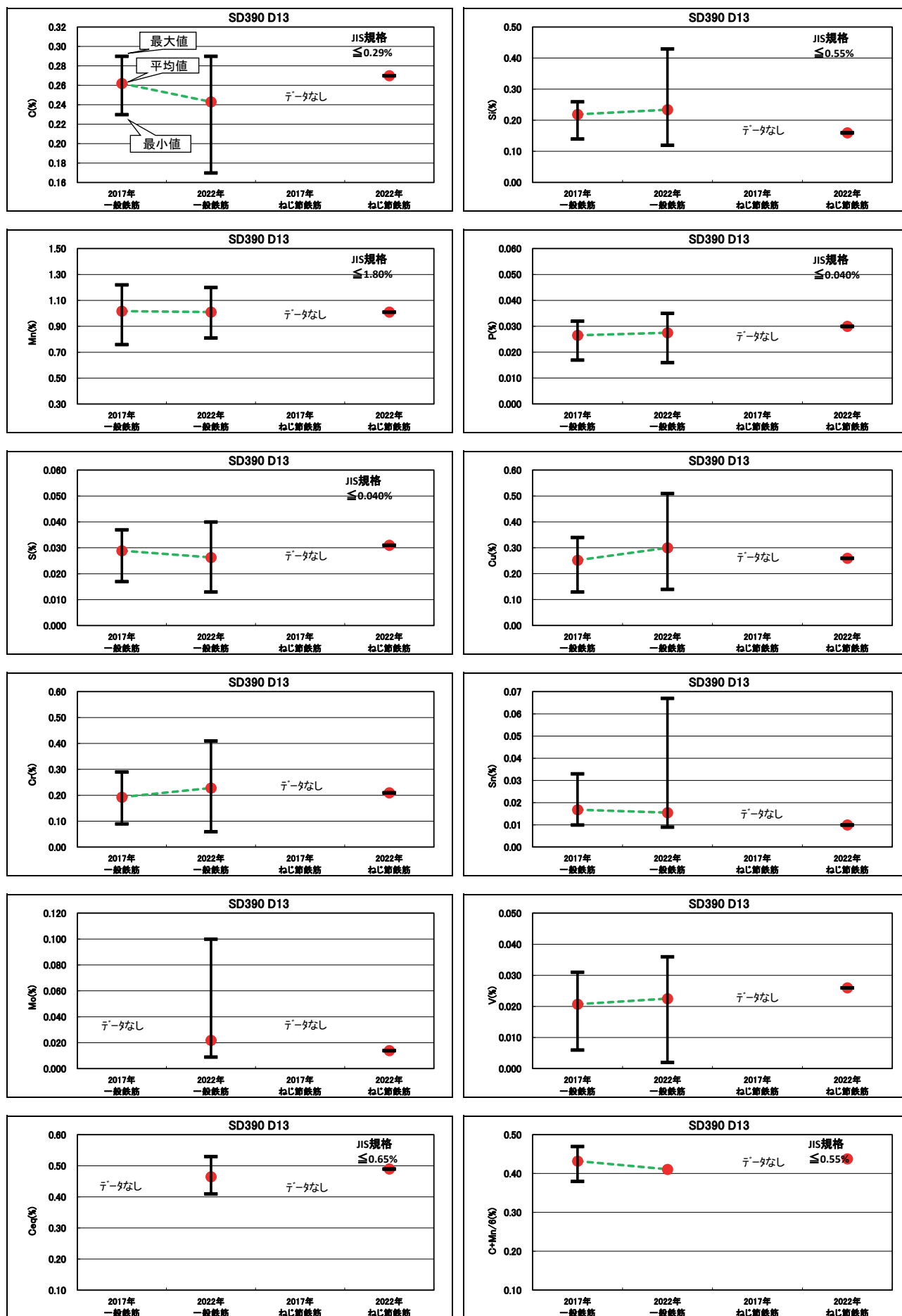


図2.3-2 化学成分:SD390 D13

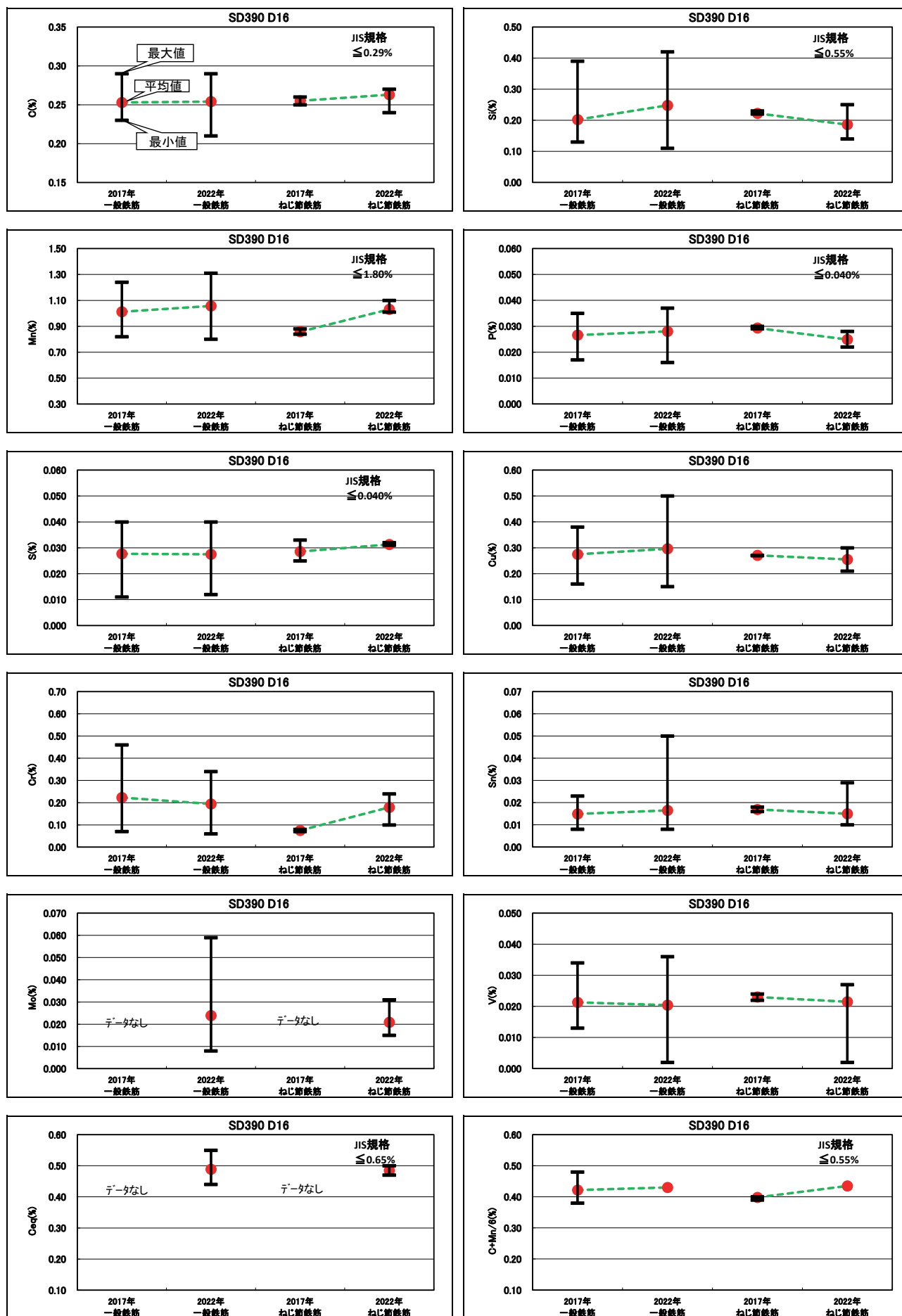


図2.3-3 化学成分:SD390 D16

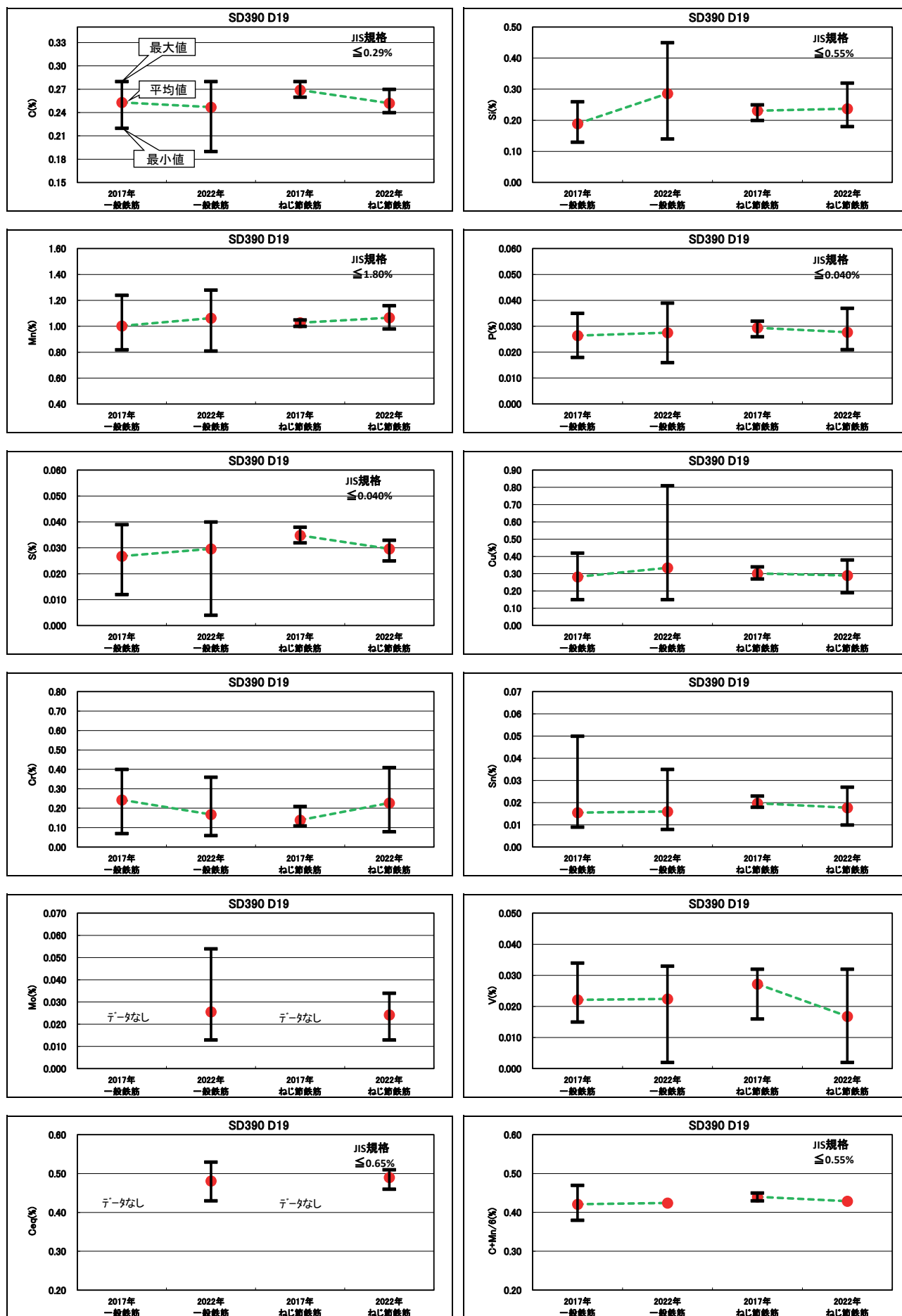


図2.3-4 化学成分:SD390 D19

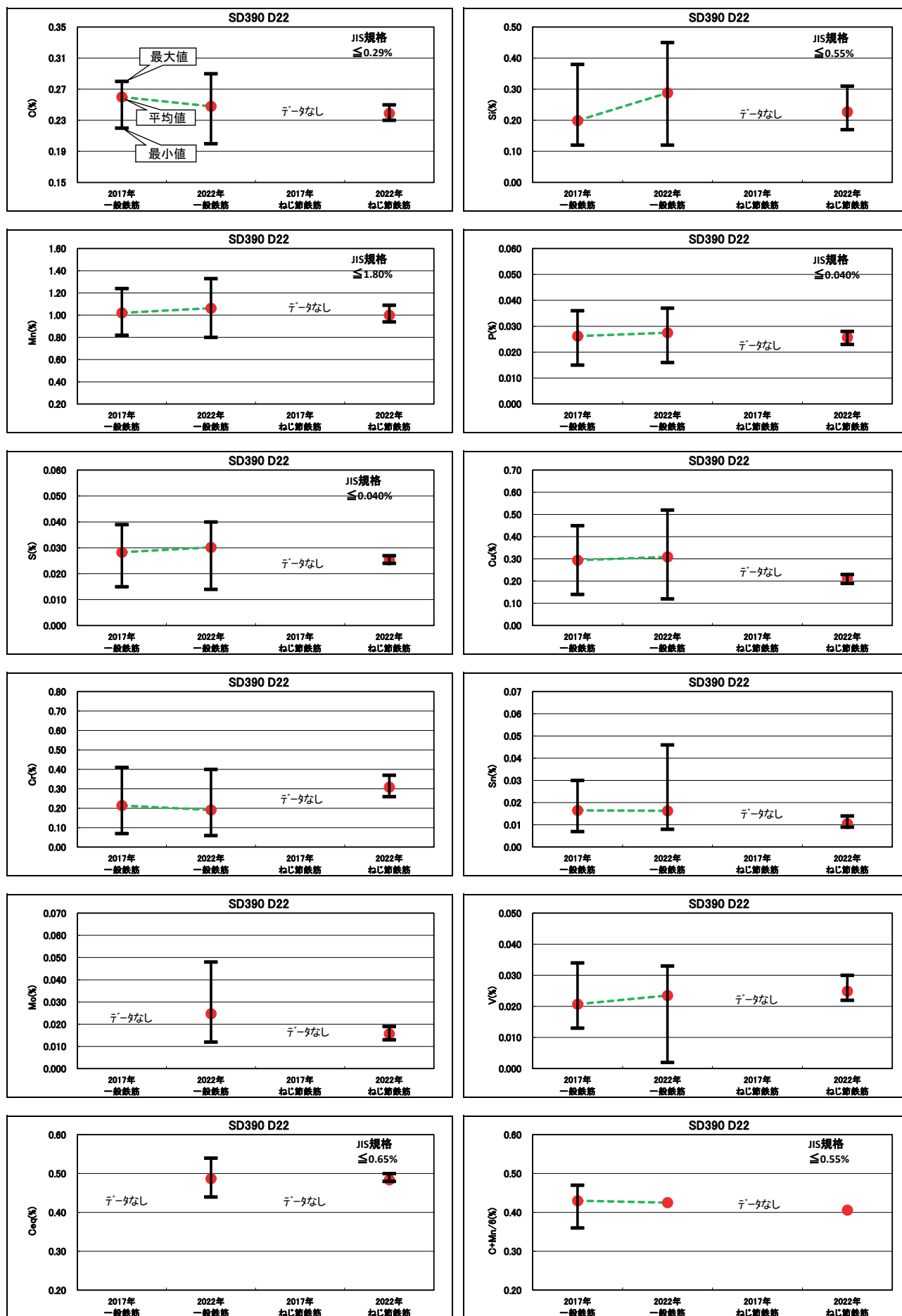


図2.3-5 化学成分:SD390 D22

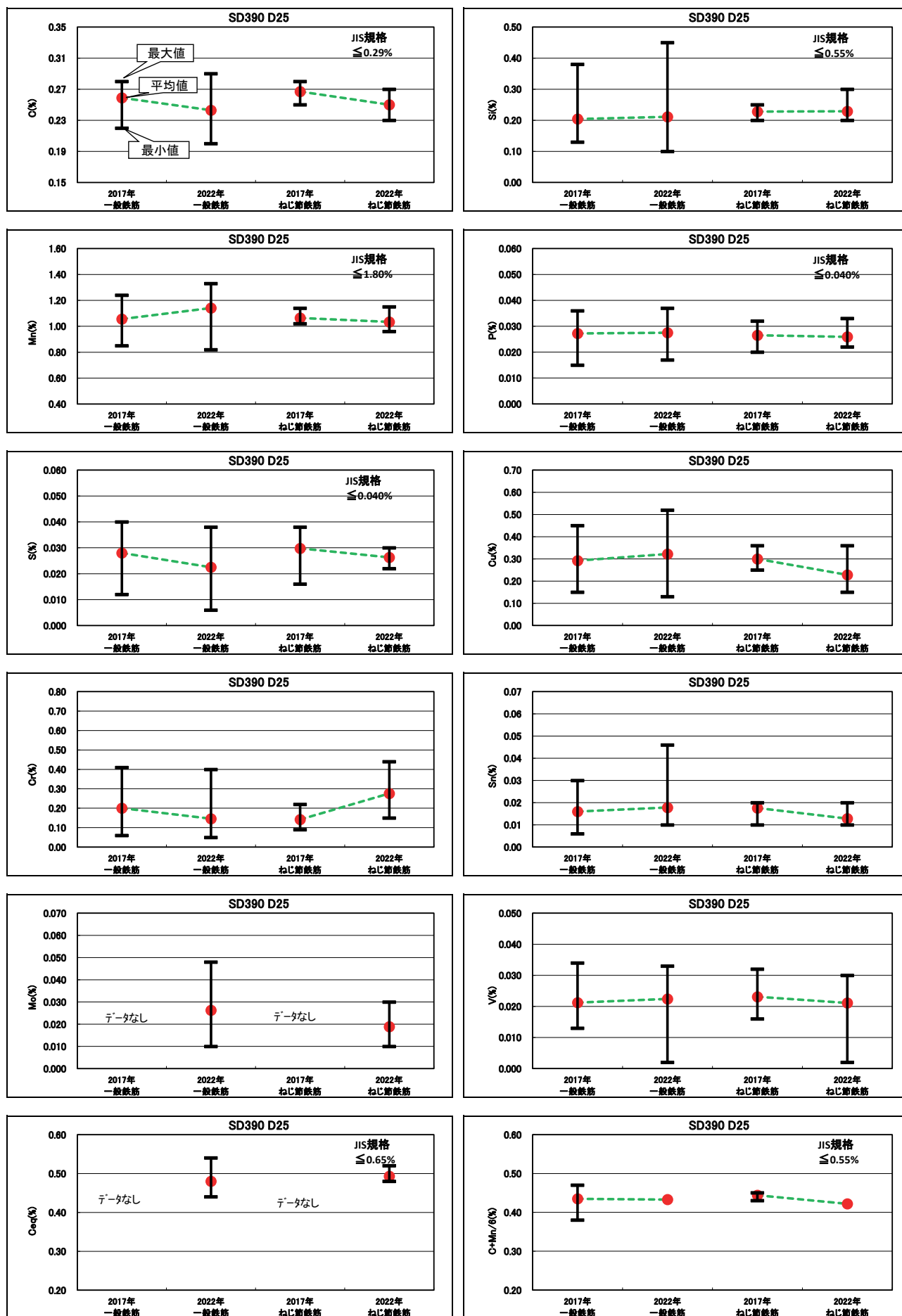


図2.3-6 化学成分:SD390 D25

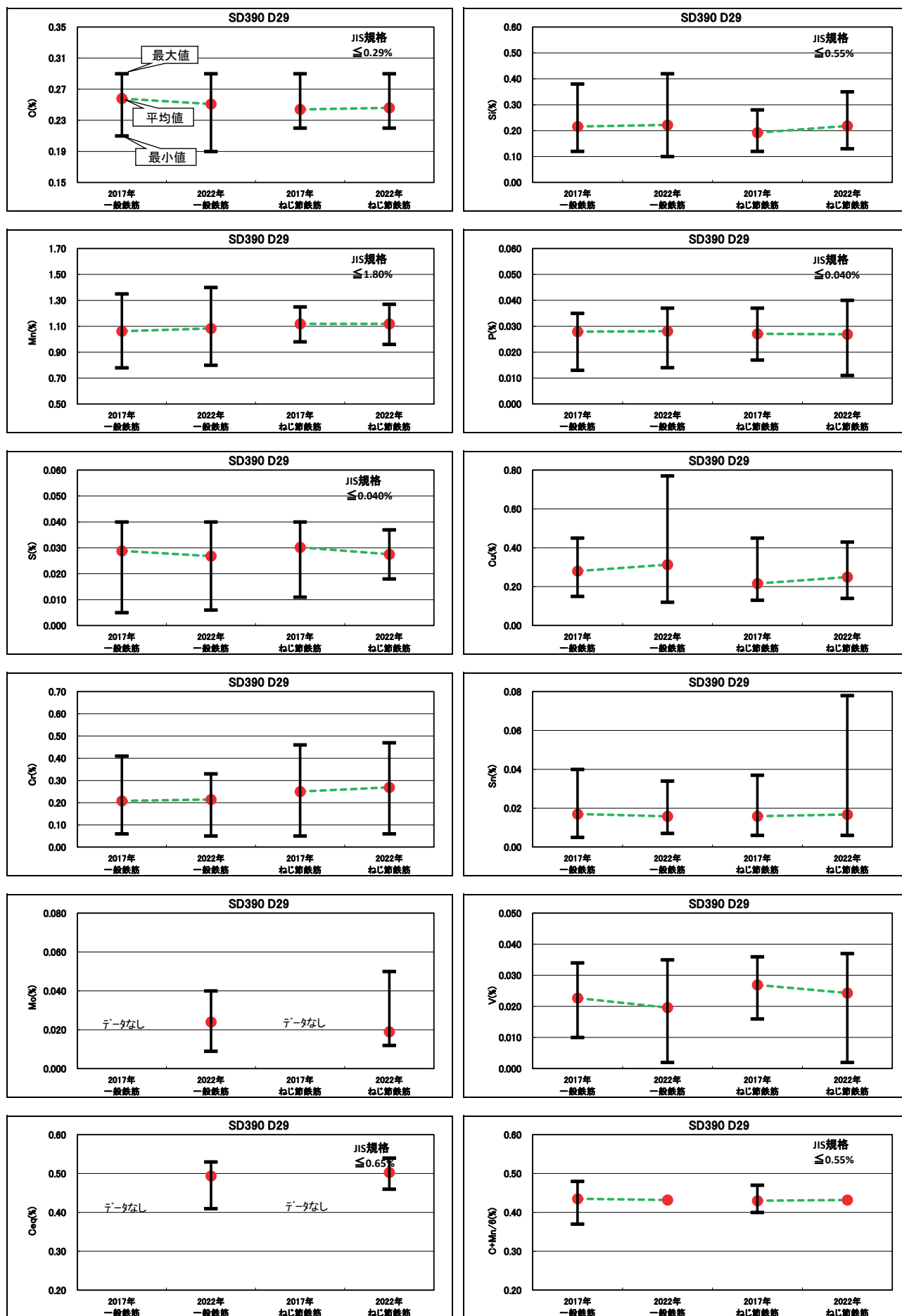


図2.3-7 化学成分:SD390 D29

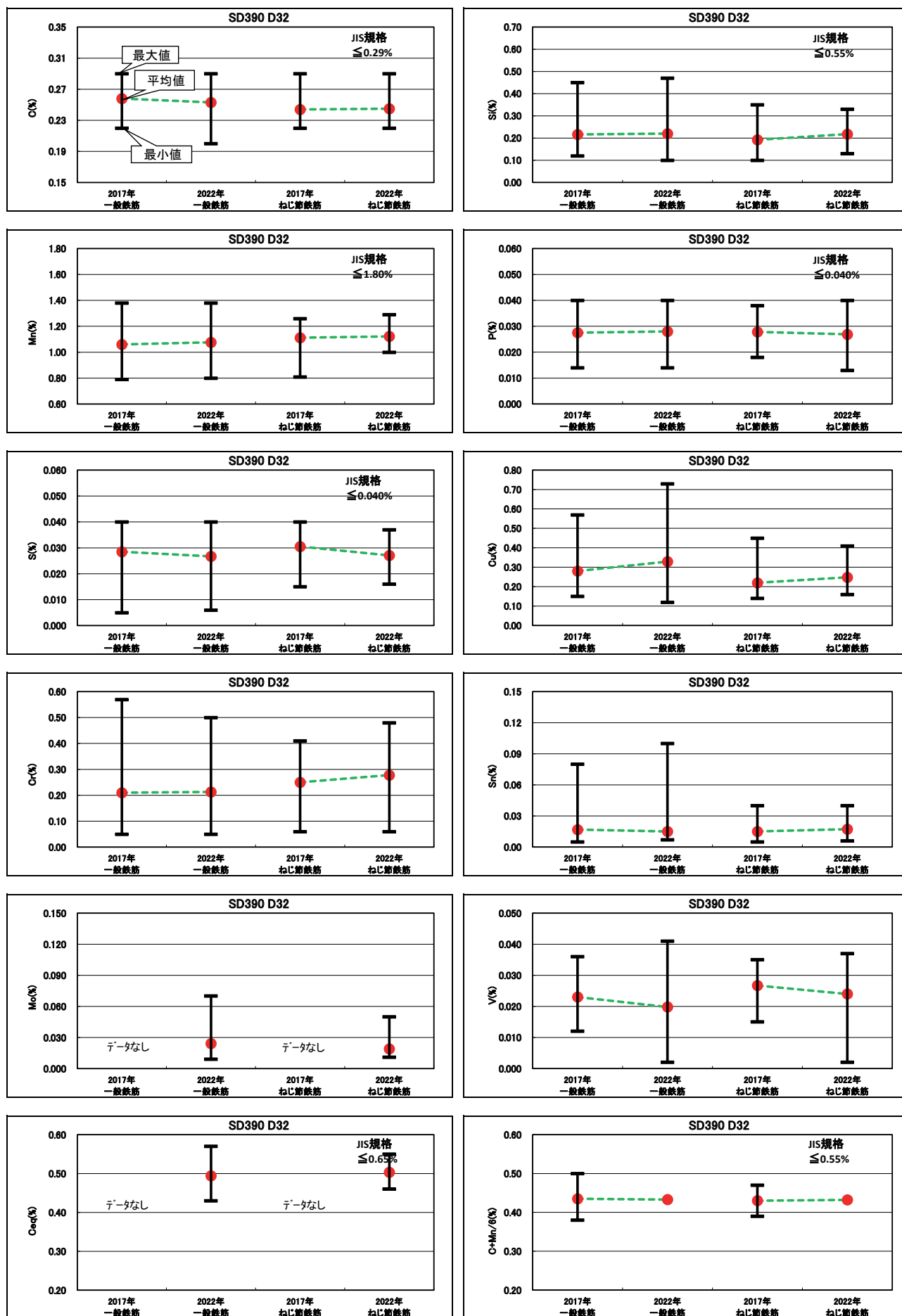


図2.3-8 化学成分:SD390 D32

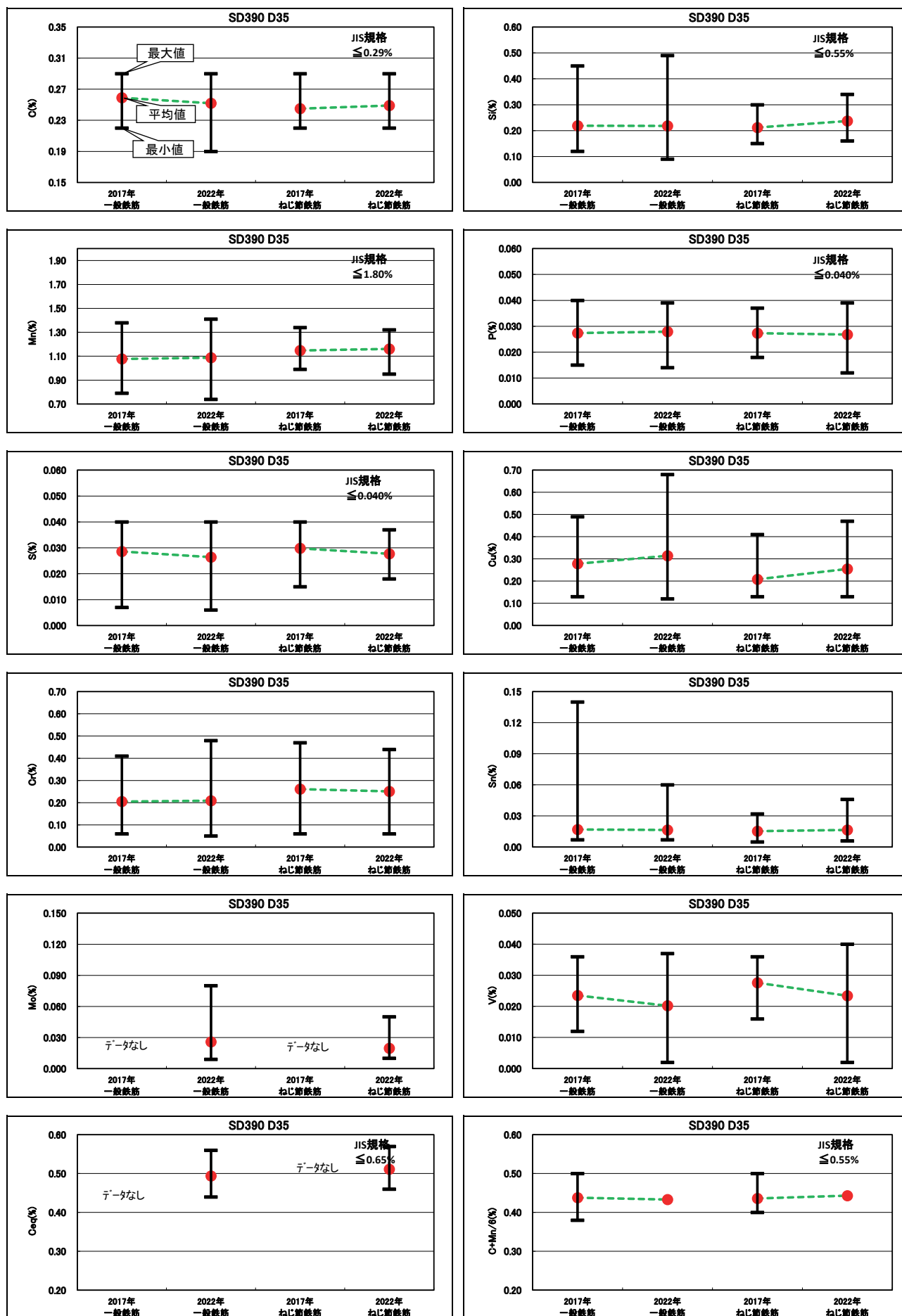


図2.3-9 化学成分:SD390 D35

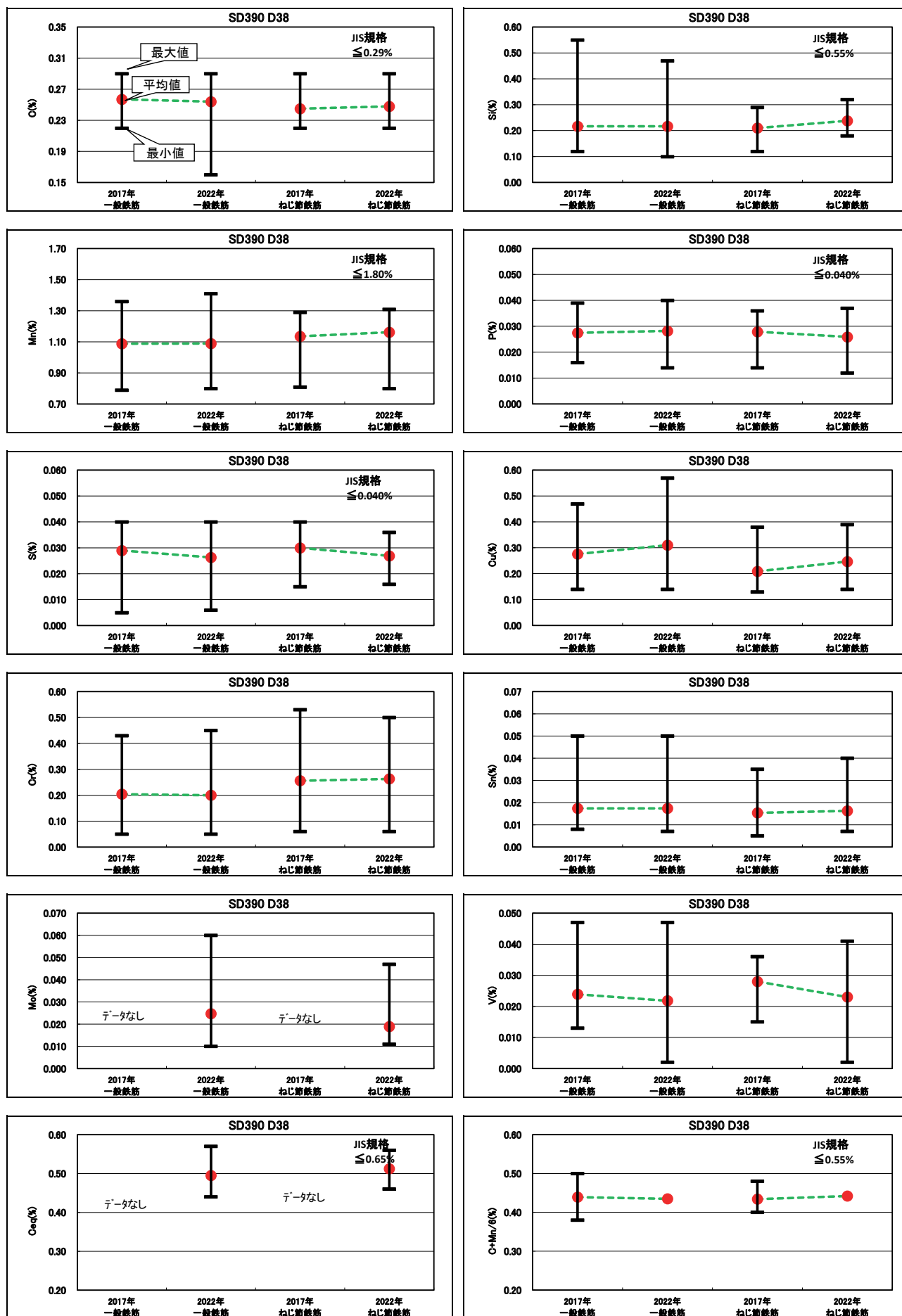


図2.3-10 化学成分:SD390 D38

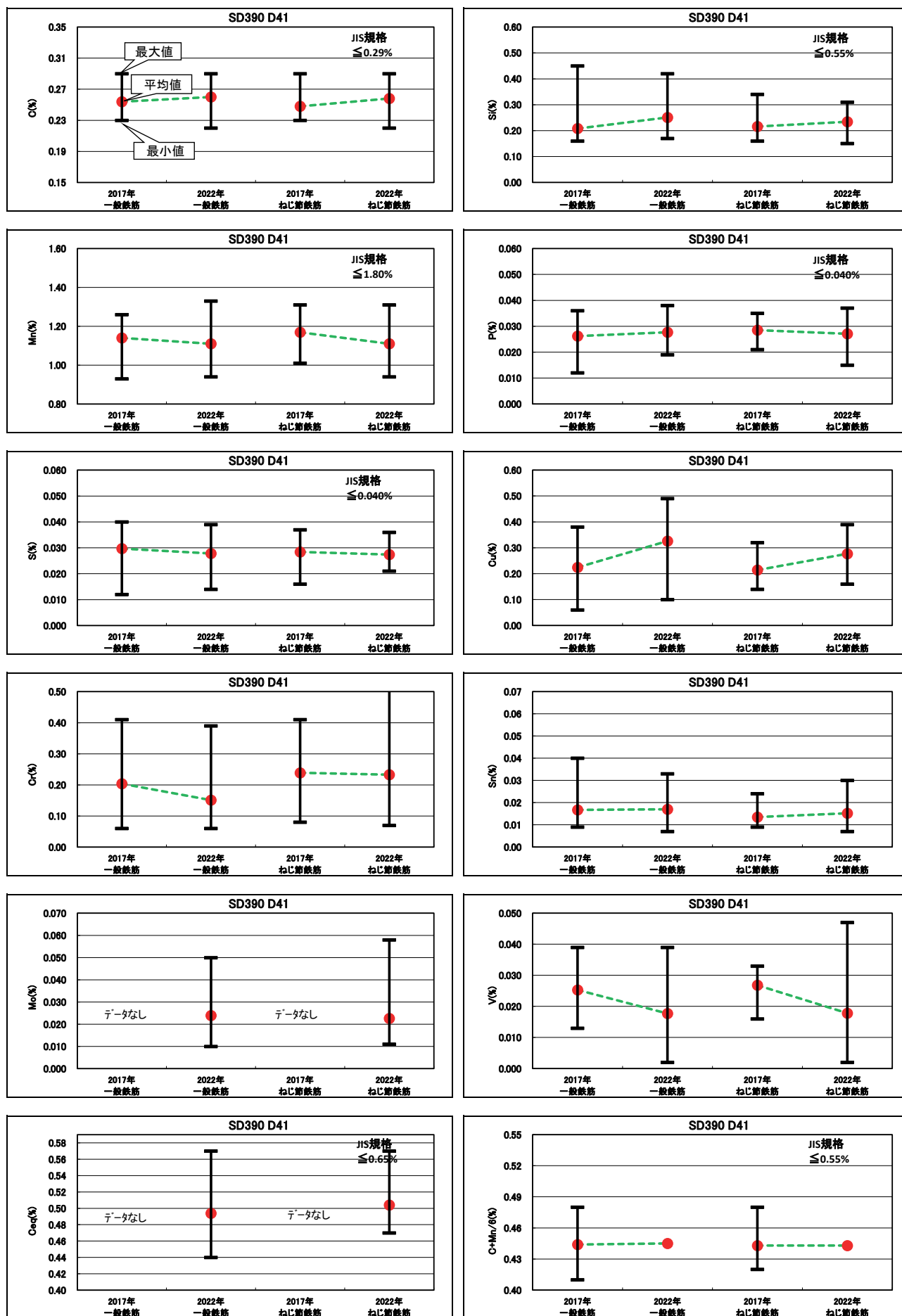


図2.3-11 化学成分:SD390 D41

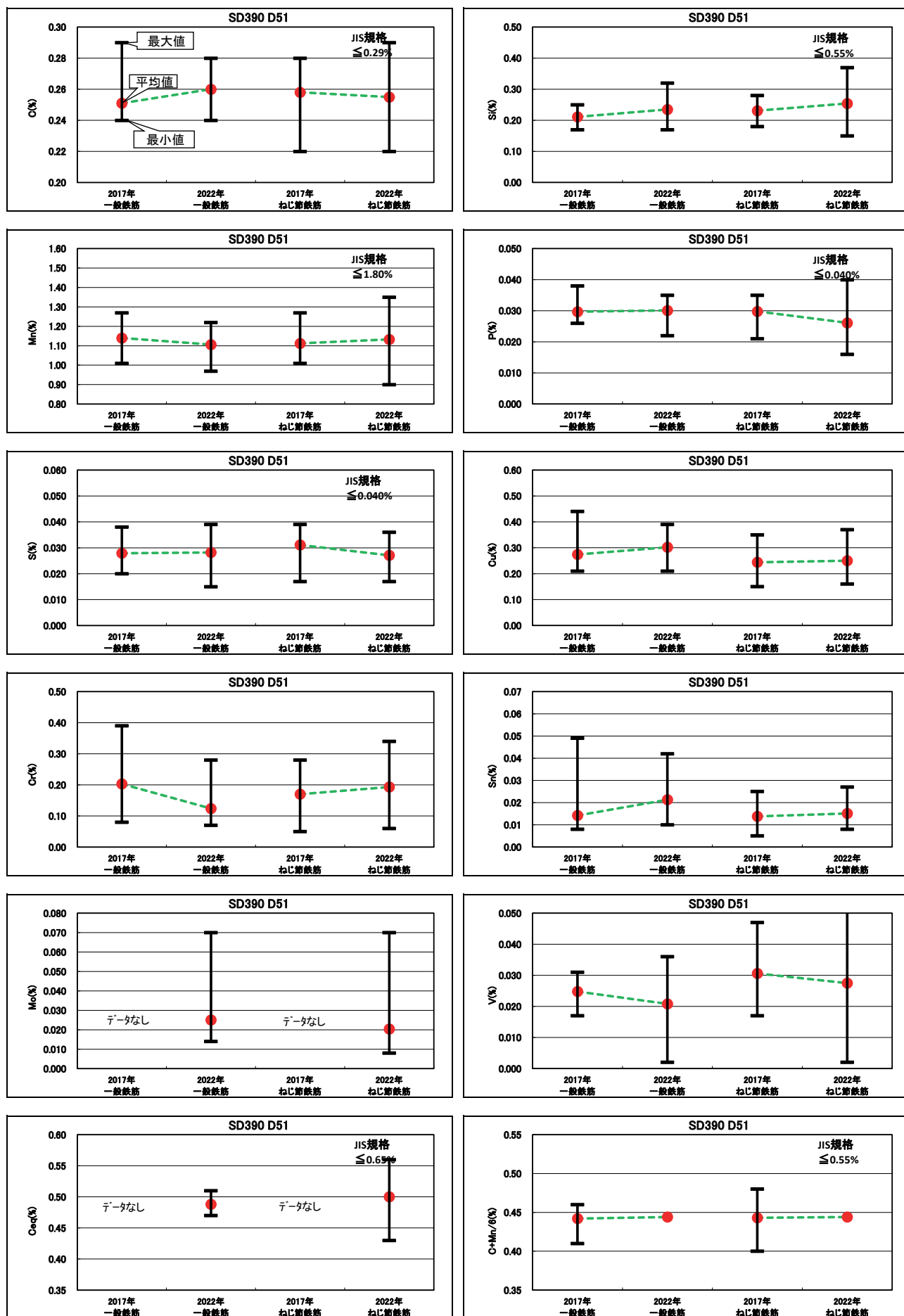


図2.3-12 化学成分:SD390 D51

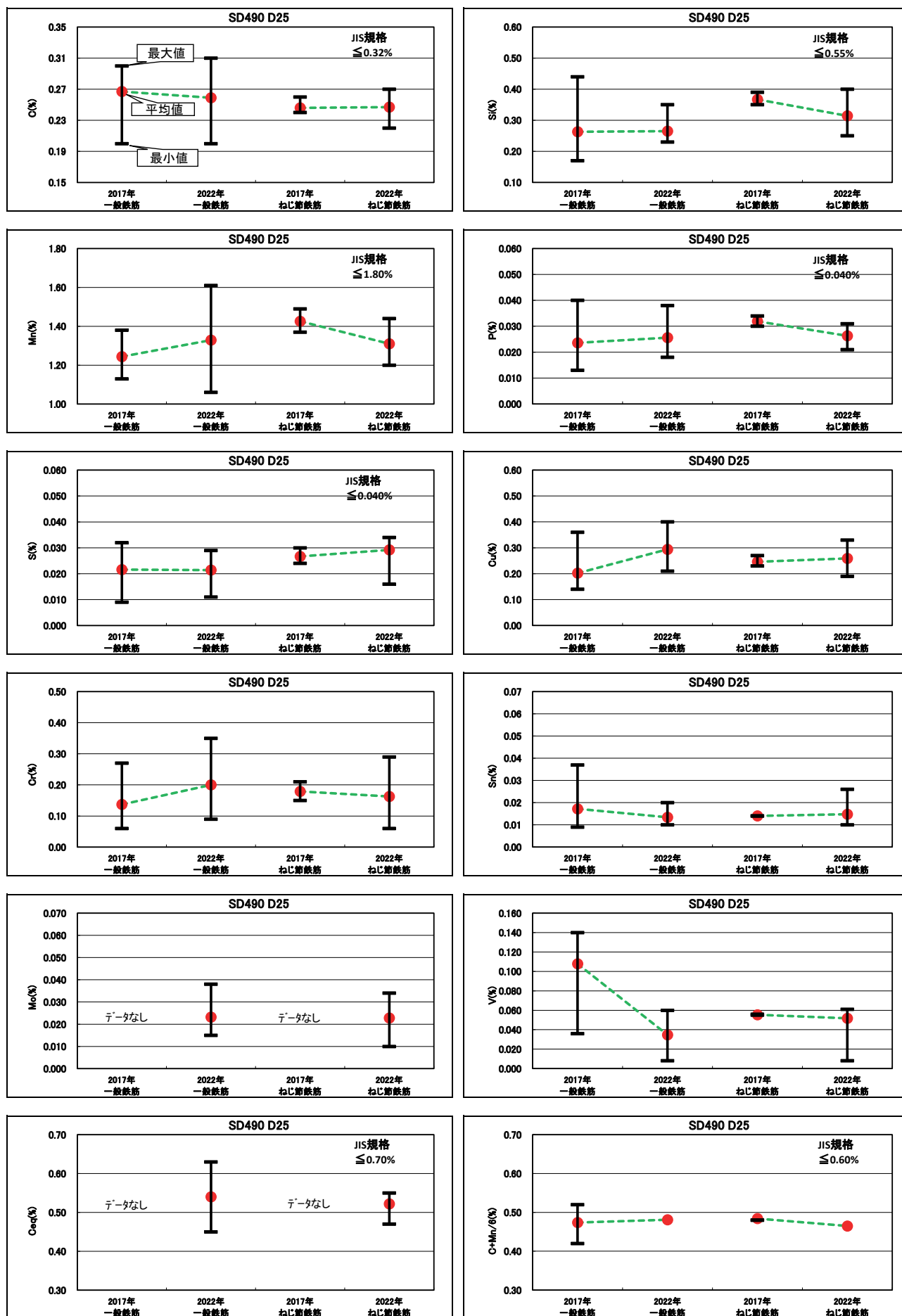


図2.4-1 化学成分:SD490 D25

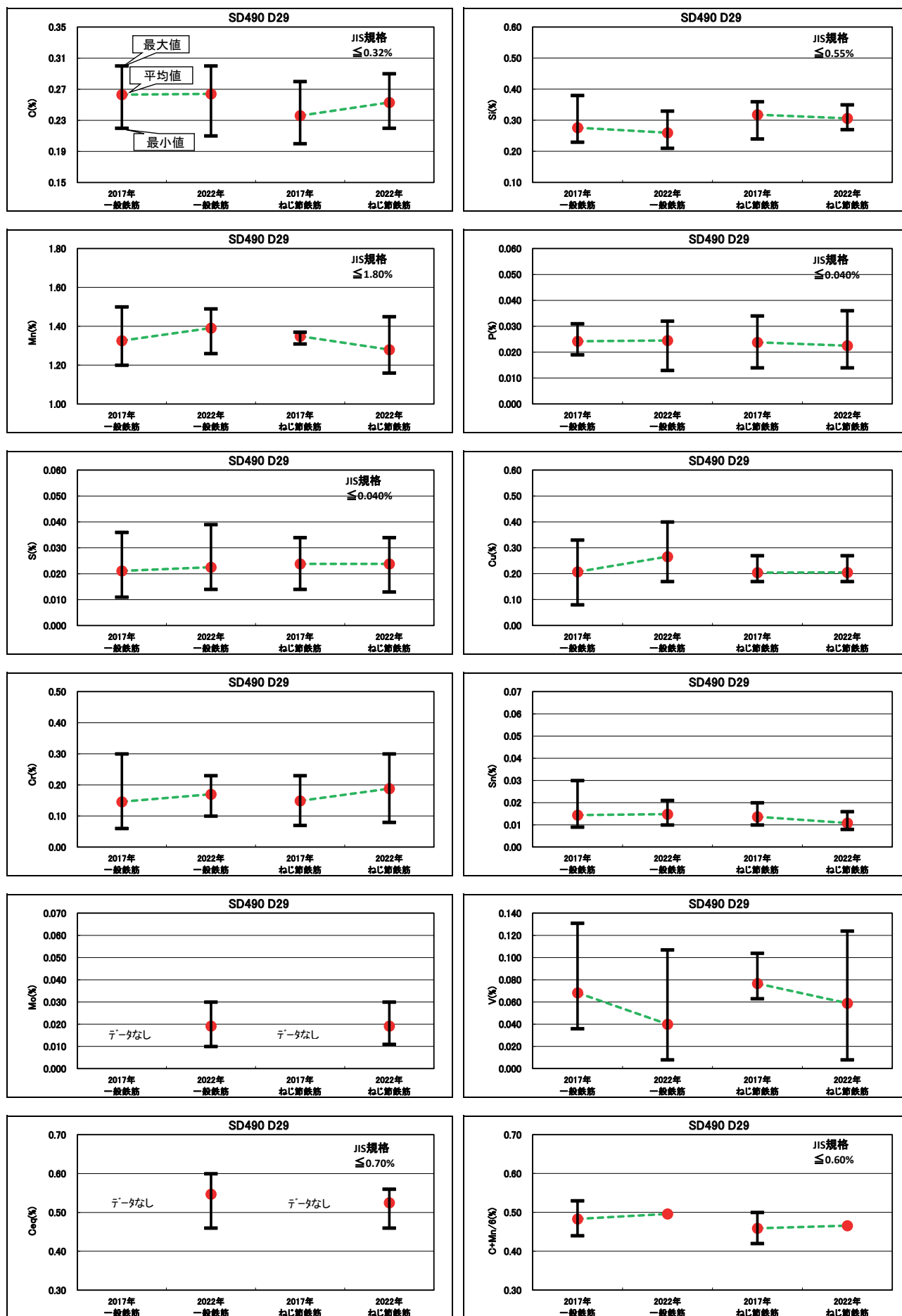


図2.4-2 化学成分:SD490 D29

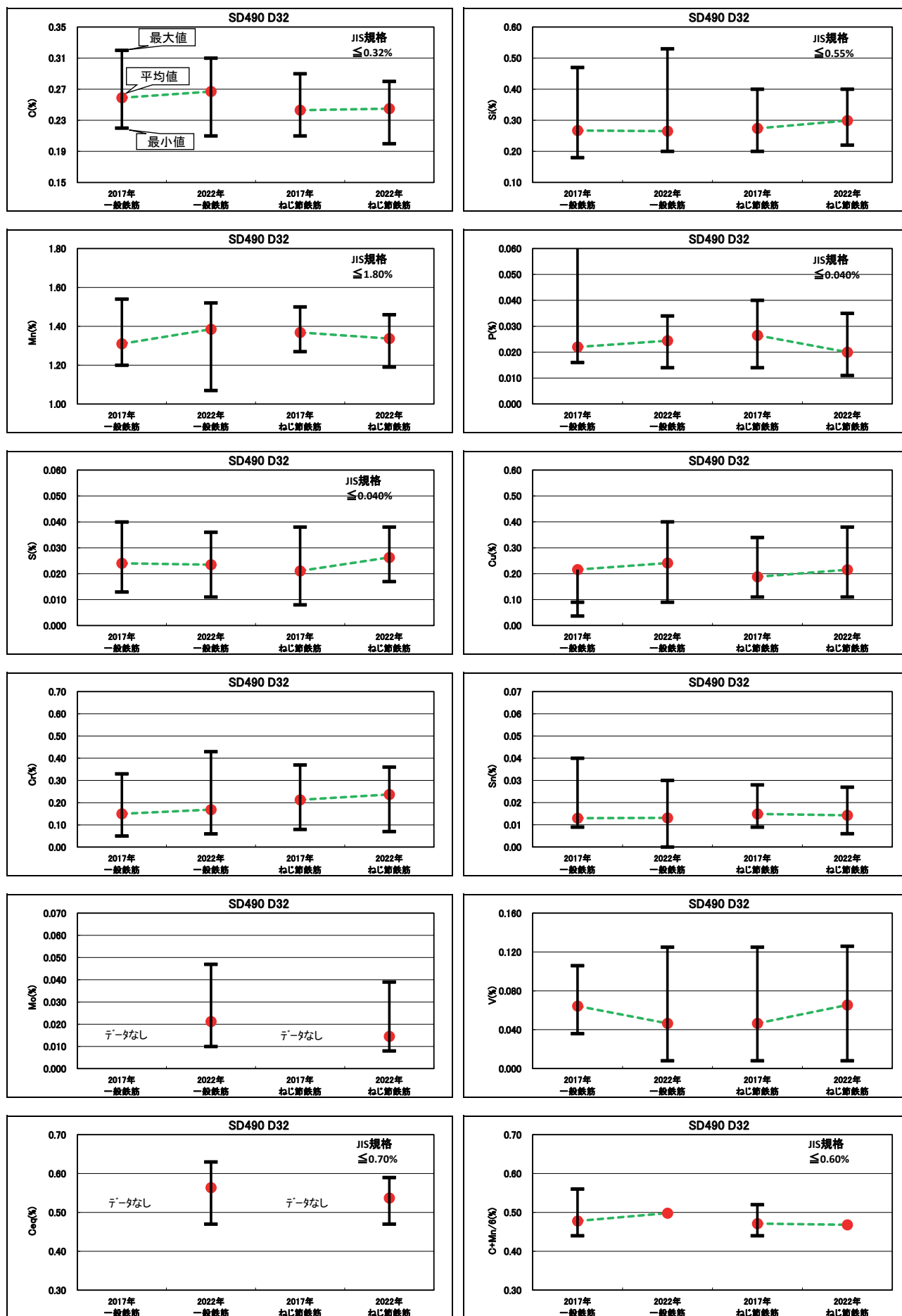


図2.4-3 化学成分:SD490 D32

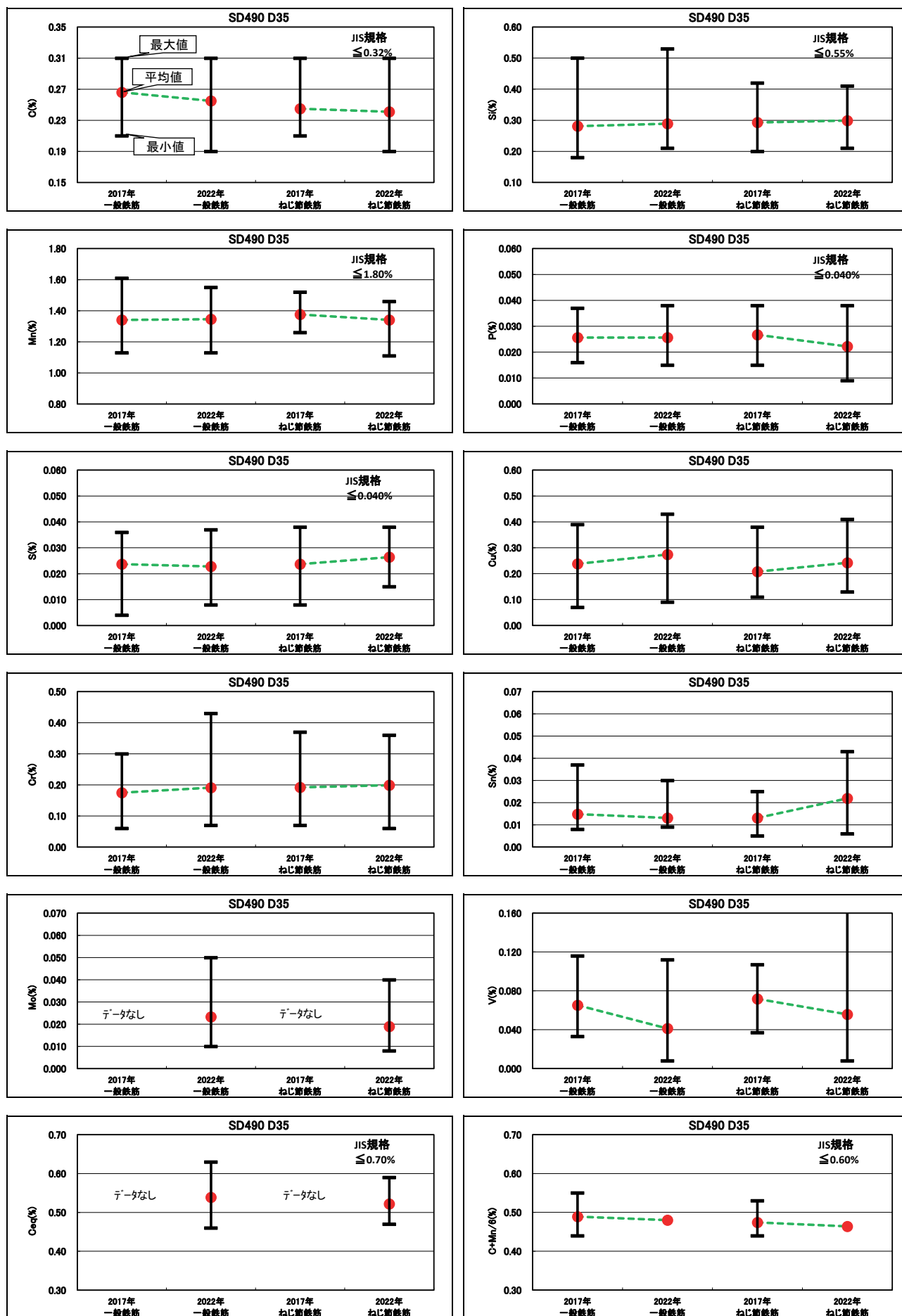


図2.4-4 化学成分:SD490 D35

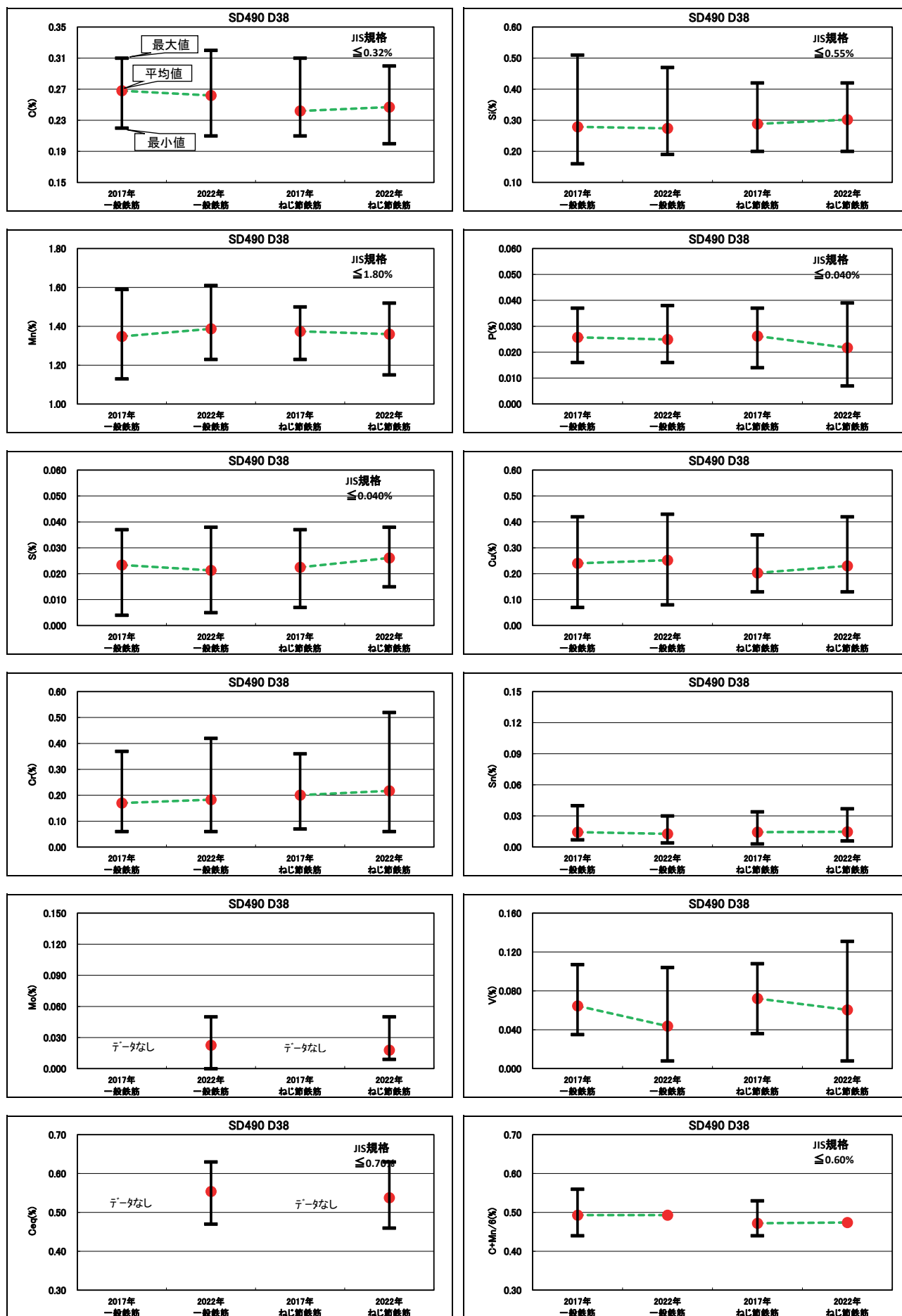


図2.4-5 化学成分:SD490 D38

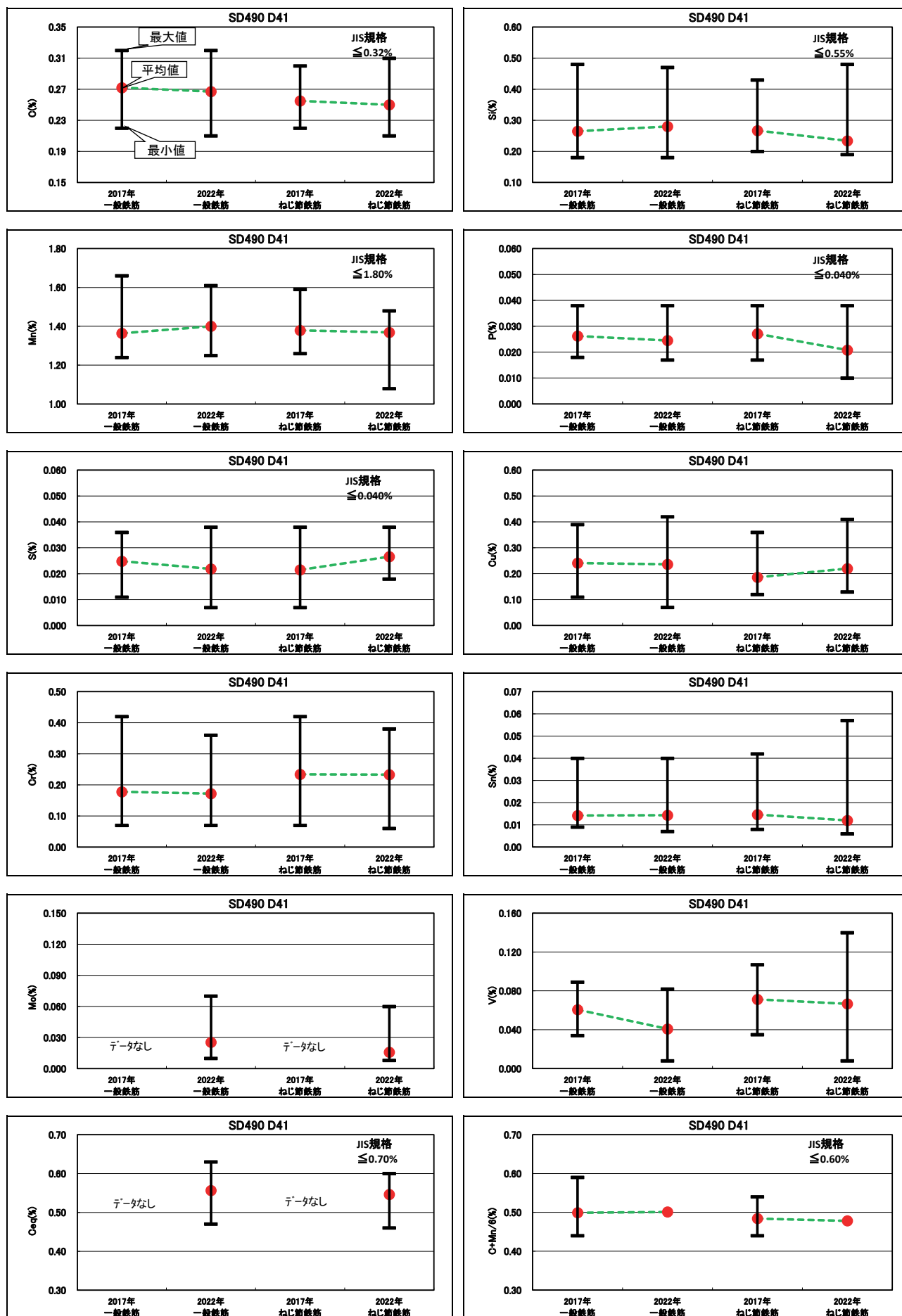


図2.4-6 化学成分:SD490 D41

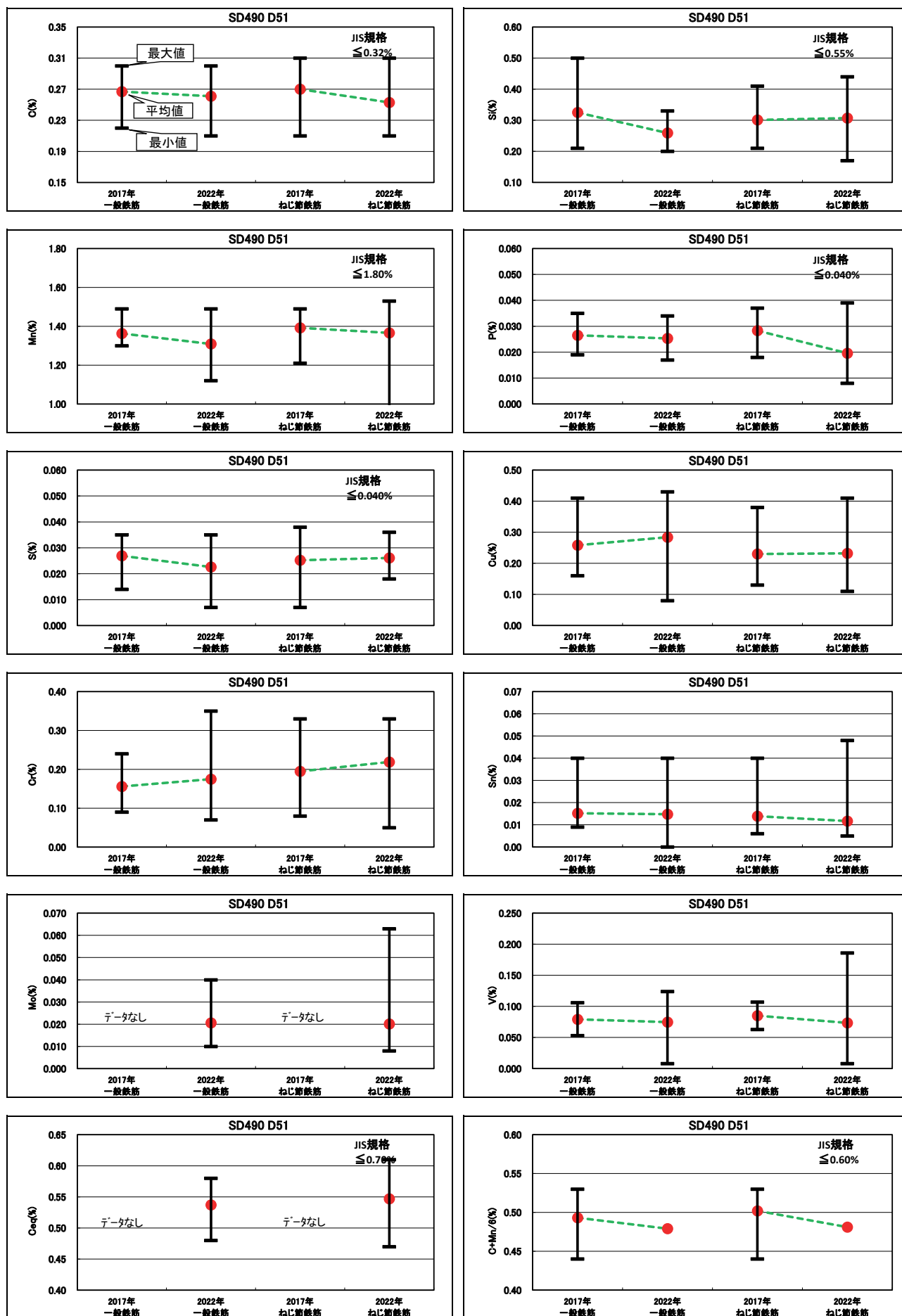


図2.4-7 化学成分:SD490 D51

表2.5 一般鉄筋のトランプエレメント(Cu、Cr、Sn、Mo)の地域比較

地域	Cuの平均値(%)							
	SD295 D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)
北海道	0.286	0.297	0.286	0.290	0.278	0.284	－	－
東北	0.235	0.364	0.235	0.316	0.231	0.291	－	－
関東	0.272	0.287	0.287	0.286	0.272	0.283	0.191	0.264
上越	0.292	0.323	0.285	0.340	0.281	0.348	0.231	0.285
中部	0.297	0.348	0.286	0.366	0.279	0.361	0.150	0.226
関西、中国	0.255	0.245	0.267	0.172	0.264	0.173	0.273	0.166
九州、沖縄	0.315	0.284	0.299	0.282	0.297	0.278	0.199	0.278
全国	0.274	0.295	0.284	0.311	0.280	0.313	0.240	0.252

地域	Crの平均値(%)							
	SD295 D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)
北海道	0.238	0.210	0.239	0.203	0.234	0.208	－	－
東北	0.186	0.109	0.190	0.216	0.191	0.222	－	－
関東	0.217	0.230	0.200	0.191	0.215	0.188	0.148	0.182
上越	0.243	0.256	0.237	0.236	0.229	0.239	0.189	0.166
中部	0.177	0.213	0.125	0.220	0.146	0.224	0.070	0.160
関西、中国	0.157	0.255	0.185	0.116	0.186	0.126	0.183	0.199
九州、沖縄	0.225	0.208	0.219	0.247	0.216	0.236	0.164	0.220
全国	0.216	0.245	0.206	0.216	0.208	0.214	0.170	0.183

地域	Snの平均値(%)							
	SD295 D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)
北海道	0.016	0.018	0.017	0.017	0.017	0.016	－	－
東北	0.016	0.017	0.017	0.017	0.018	0.017	－	－
関東	0.018	0.017	0.022	0.015	0.021	0.016	0.014	0.015
上越	0.015	0.016	0.015	0.017	0.015	0.017	0.011	0.012
中部	0.016	0.016	0.016	0.023	0.016	0.023	0.010	0.017
関西、中国	0.013	0.020	0.014	0.021	0.013	0.021	0.014	0.014
九州、沖縄	0.017	0.014	0.015	0.014	0.015	0.014	0.011	0.011
全国	0.016	0.017	0.017	0.016	0.017	0.016	0.014	0.013

地域	Moの平均値(%)							
	SD295 D13		SD345 D25		SD390 D29		SD490 D38	
	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)	前回 (2017年)	今回 (2022年)
北海道	－	0.023	－	0.023	－	0.022	－	－
東北	－	0.014	－	0.018	－	0.018	－	－
関東	－	0.023	－	0.025	－	0.025	－	0.022
上越	－	0.024	－	0.022	－	0.022	－	0.029
中部	－	0.022	－	0.019	－	0.020	－	0.018
関西、中国	－	0.031	－	0.030	－	0.031	－	0.021
九州、沖縄	－	0.029	－	0.030	－	0.026	－	0.023
全国	－	0.024	－	0.024	－	0.024	－	0.022



図2.5 一般鉄筋のトランプ元素の地域比較

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、「鉄筋コンクリート用棒鋼 JIS G3112」が 2020 年 4 月 20 日に改正され、この調査の対象範囲での変更点は、以下の 2 点となっている。

(1) 降伏比

前回は参考データとして集計していたが、SD345～SD490 については 80%以下と規定されている。

(2) 種類の記号

「SD295A」から「SD295」に変更された。ただし、機械的性質の変更はない。
今回の調査結果概要は、以下の通りである。

3.1 SD295

- (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、354～375 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、501～515 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、25～27%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。
- (6) 降伏比（参考値）について呼び名毎の平均値を見ると、0.69～0.74 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・降伏比は、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・降伏比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、391～402 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、560～579 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、18～25%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、0.68～0.71 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・降伏比は、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・降伏比の平均値は、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、441～460 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、609～646 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、17～22%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、0.71～0.76 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・降伏比は、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、537～552 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、703～736 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。
- (5) 伸びについて呼び名毎の平均値を見ると、14～20%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。

- (6) 降伏比について呼び名毎の平均値を見ると、0.74～0.77 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。

3.5 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、伸び及び降伏比は JIS 規格を満足している事が確認された。
- (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)	降伏比 (%)	呼び名	伸び (%) (注)	試験片
SD295	295 以上	440～600	—	≤ D22	≥ 16	2 号
				≥ D25	≥ 17	14A 号
SD345	345～440	490 以上	80 以下	≤ D22	≥ 18	2 号
				≥ D25	≥ 19	14A 号
SD390	390～510	560 以上	80 以下	≤ D22	≥ 16	2 号
				≥ D25	≥ 17	14A 号
SD490	490～625	620 以上	80 以下	≤ D22	≥ 12	2 号
				≥ 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 を減じる。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ならないと規定されている。

表3.2 機械的性質調査結果：SD295

	呼び名	前回（2017年）						今回（2022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	322	433	372.7	—	—	—	304	461	374.9	—	—	—	295以上
	D13	312	429	365.8	340	388	359.0	308	440	366.2	327	388	357.3	
	D16	311	414	362.5	335	397	361.0	313	442	363.0	318	370	354.2	
引張強さ (N/mm ²)	D10	450	589	507.3	—	—	—	460	586	507.4	—	—	—	440 ～600
	D13	444	600	502.6	484	556	510.7	452	598	500.9	473	543	512.4	
	D16	449	582	502.8	478	580	519.4	452	599	501.9	467	544	515.0	
伸び（％）	D10	16	39	26.4	—	—	—	17	36	26.6	—	—	—	16以上
	D13	17	41	25.7	20	29	25.0	17	35	26.0	20	31	24.6	
	D16	17	34	25.0	21	30	25.6	16	38	25.3	21	30	25.4	
降伏比	D10	0.60	0.82	0.735	—	—	—	0.63	0.81	0.739	—	—	—	—
	D13	0.63	0.80	0.728	0.68	0.72	0.703	0.60	0.82	0.731	0.67	0.73	0.698	
	D16	0.61	0.80	0.721	0.66	0.72	0.695	0.61	0.80	0.724	0.67	0.73	0.688	

表3.3 機械的性質調査結果：SD345

	呼び名	前回（2017年）						今回（2022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	358	439	395.3	—	—	—	361	439	397.8	—	—	—	345 ～440
	D13	356	438	397.7	384	408	397.1	355	433	396.4	372	418	391.1	
	D16	357	439	395.4	378	424	400.5	365	434	395.6	371	419	394.7	
	D19	352	437	396.6	359	429	397.5	354	436	396.7	370	429	400.8	
	D22	359	437	398.0	363	434	405.0	356	435	395.2	369	431	393.6	
	D25	355	436	395.3	366	428	396.7	354	428	394.5	372	428	399.8	
	D29	360	439	397.6	367	428	392.6	366	427	396.9	364	431	396.0	
	D32	365	440	396.6	363	428	396.7	355	430	396.2	372	428	394.1	
	D35	364	438	398.9	365	430	393.1	369	435	397.8	371	434	400.3	
	D38	365	438	398.4	375	423	395.2	366	426	396.9	370	433	399.4	
	D41	365	435	398.7	374	426	394.7	365	426	397.7	376	425	402.0	
D51	380	436	403.5	372	428	399.7	375	432	399.5	371	430	398.1		
引張強さ (N/mm ²)	D10	521	624	560.5	—	—	—	516	624	562.1	—	—	—	490以上
	D13	502	631	559.1	545	579	566.1	508	630	560.0	557	598	575.6	
	D16	500	628	561.5	540	609	572.8	512	631	563.3	560	607	575.0	
	D19	503	628	563.7	538	626	567.7	508	636	563.5	531	616	575.2	
	D22	503	631	565.3	524	616	573.8	512	644	563.5	527	620	572.6	
	D25	521	632	564.6	526	610	565.6	506	639	563.5	539	622	573.0	
	D29	531	637	569.3	545	593	568.8	530	630	570.2	535	606	572.7	
	D32	524	630	568.1	533	614	570.7	531	631	569.3	543	602	573.3	
	D35	528	618	569.5	531	613	567.4	524	630	570.0	547	610	577.4	
	D38	530	657	570.2	537	610	568.4	526	631	571.6	549	614	576.6	
	D41	528	618	574.0	538	599	568.3	535	622	570.6	551	611	579.0	
D51	541	620	578.6	535	600	571.7	541	611	576.9	541	626	572.5		
伸び（％）	D10	18	30	24.4	—	—	—	18	31	24.9	—	—	—	18以上
	D13	18	30	23.4	19	26	23.0	18	34	23.7	19	26	22.6	
	D16	18	31	23.0	19	26	23.3	18	31	23.0	19	26	22.6	
	D19	18	29	21.7	18	25	21.7	18	30	22.0	18	27	21.5	
	D22	18	29	21.4	18	26	21.4	18	29	21.6	18	26	21.5	
	D25	19	32	23.0	19	29	23.1	19	32	23.1	19	30	23.0	19以上
	D29	19	34	22.8	19	28	22.5	19	31	23.0	19	34	24.2	
	D32	19	30	22.5	19	29	22.2	19	34	22.4	19	28	22.9	17以上
	D35	17	30	22.0	17	26	22.3	17	31	21.9	17	27	21.5	
	D38	15	28	21.1	15	28	20.7	15	36	21.3	15	27	21.0	
	D41	15	28	20.9	15	26	20.4	16	28	20.8	15	26	20.3	
D51	15	26	19.8	15	25	18.8	15	28	20.1	15	26	18.0		
降伏比	D10	0.58	0.76	0.706	—	—	—	0.62	0.78	0.708	—	—	—	0.80 以下
	D13	0.60	0.78	0.711	0.68	0.73	0.702	0.61	0.78	0.709	0.64	0.71	0.680	
	D16	0.59	0.77	0.704	0.67	0.72	0.699	0.62	0.76	0.703	0.65	0.72	0.686	
	D19	0.60	0.76	0.704	0.63	0.75	0.700	0.60	0.77	0.705	0.65	0.75	0.697	
	D22	0.63	0.75	0.704	0.66	0.75	0.705	0.60	0.76	0.702	0.65	0.75	0.688	
	D25	0.63	0.75	0.700	0.66	0.74	0.701	0.60	0.76	0.701	0.65	0.75	0.698	
	D29	0.64	0.74	0.699	0.65	0.75	0.691	0.60	0.75	0.696	0.65	0.73	0.691	
	D32	0.64	0.75	0.698	0.65	0.74	0.695	0.63	0.75	0.696	0.66	0.74	0.688	
	D35	0.65	0.74	0.701	0.66	0.73	0.693	0.62	0.75	0.698	0.65	0.74	0.693	
	D38	0.64	0.74	0.699	0.67	0.74	0.696	0.63	0.74	0.695	0.65	0.72	0.693	
	D41	0.65	0.73	0.695	0.66	0.72	0.695	0.65	0.73	0.697	0.67	0.72	0.694	
D51	0.65	0.73	0.698	0.64	0.73	0.699	0.66	0.73	0.693	0.66	0.73	0.696		

表3.4 機械的性質調査結果：SD390

	呼び名	前回（2017年）						今回（2022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	443	471	457.7	—	—	—	401	509	458.4	—	—	—	390 ～510
	D13	410	499	454.5	—	—	—	410	508	460.4	454	455	454.5	
	D16	414	503	456.2	419	441	430.0	414	504	456.8	445	472	458.3	
	D19	414	501	455.2	432	481	453.6	409	509	455.5	427	485	454.0	
	D22	421	510	452.5	—	—	—	404	498	452.1	442	483	459.4	
	D25	411	488	450.5	439	466	450.9	417	497	447.5	424	456	444.1	
	D29	411	506	455.1	425	486	453.9	397	505	453.0	417	483	450.0	
	D32	411	506	453.2	413	485	447.5	405	504	452.1	420	486	447.2	
	D35	404	498	454.3	410	484	452.4	404	507	454.0	414	485	446.7	
	D38	404	510	455.2	421	479	448.0	410	498	454.3	418	479	444.6	
	D41	415	479	447.5	433	480	452.3	417	498	452.2	411	472	442.1	
D51	416	481	444.7	417	476	442.9	417	471	445.8	416	482	441.4		
引張強さ (N/mm ²)	D10	573	667	618.8	—	—	—	571	758	639.5	—	—	—	560以上
	D13	593	673	633.5	—	—	—	565	693	631.9	620	622	621.0	
	D16	581	701	626.4	580	595	587.5	586	726	634.8	617	674	645.9	
	D19	574	692	622.1	589	646	619.5	591	692	630.3	597	654	630.8	
	D22	592	696	621.2	—	—	—	579	690	627.4	592	635	608.7	
	D25	581	669	618.4	608	625	618.4	582	687	620.3	594	641	624.8	
	D29	574	700	628.6	579	686	629.3	575	700	630.4	587	680	627.3	
	D32	576	701	626.3	584	680	621.5	574	705	627.5	589	664	623.1	
	D35	578	705	628.0	583	673	625.3	571	710	629.7	587	673	629.0	
	D38	574	734	629.5	587	672	619.5	581	708	631.1	593	672	624.0	
	D41	585	666	621.6	601	665	629.6	583	709	629.6	592	654	623.4	
D51	594	665	621.9	585	655	615.5	601	663	626.2	596	671	619.5		
伸び（％）	D10	18	28	22.6	—	—	—	16	27	20.8	—	—	—	16以上
	D13	16	25	21.3	—	—	—	16	27	20.9	21	22	21.7	
	D16	16	27	21.1	23	23	23.0	16	27	20.8	16	21	19.4	
	D19	16	26	20.0	19	22	20.4	16	25	20.2	16	23	19.3	
	D22	16	26	20.0	—	—	—	16	26	19.5	19	22	20.6	
	D25	17	26	21.5	20	24	21.8	17	29	22.0	20	25	22.0	17以上
	D29	17	29	20.4	17	26	20.5	17	30	20.4	17	27	20.4	
	D32	17	27	20.1	17	26	20.0	17	28	19.8	17	26	20.0	15以上
	D35	15	27	19.3	15	29	19.5	15	26	19.1	15	25	19.1	
	D38	13	27	18.8	13	28	18.6	13	28	18.4	13	27	18.9	
	D41	13	27	19.1	14	22	18.5	13	24	19.3	13	29	18.9	
D51	15	27	19.1	13	22	16.4	14	24	18.8	14	22	17.1		
降伏比	D10	0.70	0.78	0.742	—	—	—	0.58	0.80	0.717	—	—	—	0.80 以下
	D13	0.61	0.77	0.719	—	—	—	0.61	0.79	0.730	1	1	0.7	
	D16	0.65	0.77	0.729	0.72	0.74	0.732	0.62	0.78	0.720	0.69	0.74	0.712	
	D19	0.66	0.78	0.732	0.71	0.75	0.733	0.66	0.79	0.723	0.68	0.76	0.720	
	D22	0.67	0.78	0.729	—	—	—	0.62	0.76	0.721	1	1	0.8	
	D25	0.67	0.78	0.729	0.71	0.75	0.730	0.64	0.77	0.722	0.68	0.75	0.711	
	D29	0.65	0.78	0.724	0.68	0.77	0.722	0.64	0.80	0.720	0.67	0.76	0.718	
	D32	0.65	0.81	0.724	0.67	0.76	0.720	0.66	0.79	0.722	0.68	0.76	0.718	
	D35	0.65	0.77	0.724	0.68	0.78	0.724	0.64	0.77	0.722	0.66	0.76	0.710	
	D38	0.65	0.78	0.723	0.69	0.76	0.724	0.67	0.76	0.722	0.68	0.75	0.712	
	D41	0.66	0.76	0.720	0.67	0.75	0.718	0.69	0.75	0.719	0.67	0.74	0.709	
D51	0.64	0.76	0.715	0.69	0.76	0.720	0.69	0.73	0.712	0.68	0.75	0.712		

表3.5 機械的性質調査結果：SD490

	呼び名	前回（2017年）						今回（2022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	507	574	548.5	528	562	545.8	502	603	547.6	532	559	540.9	490 ~625
	D29	503	596	552.5	514	573	541.7	520	577	550.6	530	571	549.2	
	D32	508	590	548.6	511	563	539.6	514	602	551.5	513	569	538.9	
	D35	502	588	547.2	508	578	535.2	514	589	545.8	503	570	536.7	
	D38	508	613	546.5	505	561	535.6	509	594	546.9	504	568	537.4	
	D41	502	598	544.2	507	568	538.9	502	587	545.3	498	568	537.0	
D51	514	579	545.6	502	587	544.0	514	603	549.4	507	577	544.3		
引張強さ (N/mm ²)	D25	650	747	718.3	707	733	724.3	667	799	736.2	674	760	703.4	620以上
	D29	676	770	722.9	661	750	704.2	660	778	726.8	677	752	719.1	
	D32	671	783	718.8	659	755	708.5	666	777	724.0	657	747	707.6	
	D35	661	772	717.7	659	782	711.7	663	766	722.1	655	764	705.0	
	D38	646	788	719.0	658	751	711.0	659	779	723.3	651	753	710.4	
	D41	647	783	717.2	659	780	717.9	656	796	721.3	653	761	715.2	
D51	657	770	710.4	651	786	723.0	656	801	725.5	653	780	722.0		
伸び（%）	D25	13	27	19.1	17	22	19.4	14	23	18.2	17	21	19.6	13以上
	D29	14	26	19.5	14	26	20.5	14	23	18.5	15	23	18.7	
	D32	13	25	18.4	14	26	19.2	13	25	18.5	13	23	17.9	
	D35	12	25	18.4	13	25	18.5	11	24	17.6	12	25	17.2	11以上
	D38	10	25	18.0	13	25	17.1	9	24	17.0	11	24	16.5	9以上
	D41	9	24	17.3	13	25	16.9	9	24	16.3	11	23	16.3	
D51	11	23	17.2	9	24	15.1	10	21	15.9	9	20	14.5		
降伏比	D25	—	—	—	—	—	—	0.71	0.78	0.744	0.71	0.79	0.769	0.80 以下
	D29	—	—	—	—	—	—	0.72	0.79	0.758	0.74	0.79	0.764	
	D32	—	—	—	—	—	—	0.71	0.80	0.762	0.72	0.79	0.762	
	D35	—	—	—	—	—	—	0.71	0.80	0.756	0.72	0.80	0.762	
	D38	—	—	—	—	—	—	0.70	0.80	0.757	0.71	0.80	0.757	
	D41	—	—	—	—	—	—	0.70	0.79	0.757	0.71	0.80	0.751	
	D51	—	—	—	—	—	—	0.68	0.80	0.758	0.71	0.80	0.755	

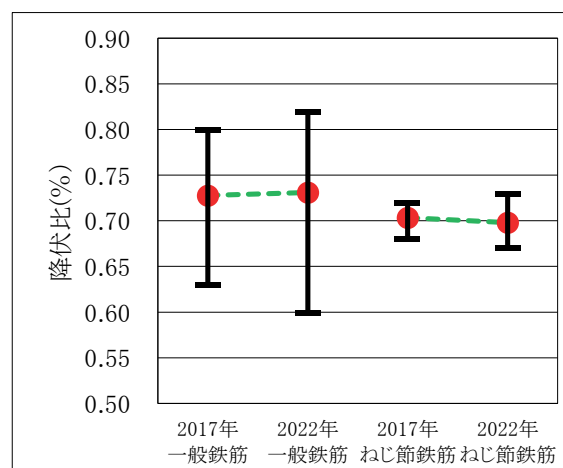
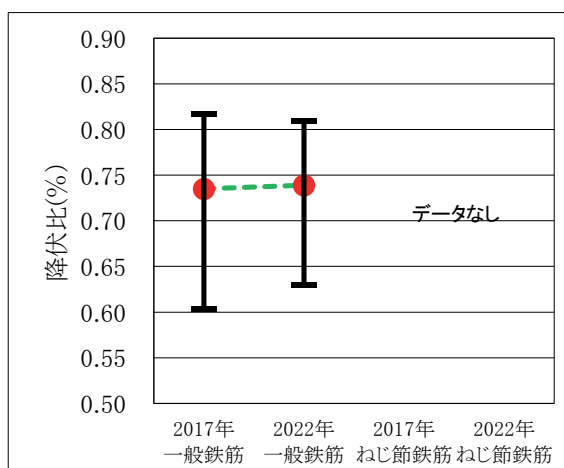
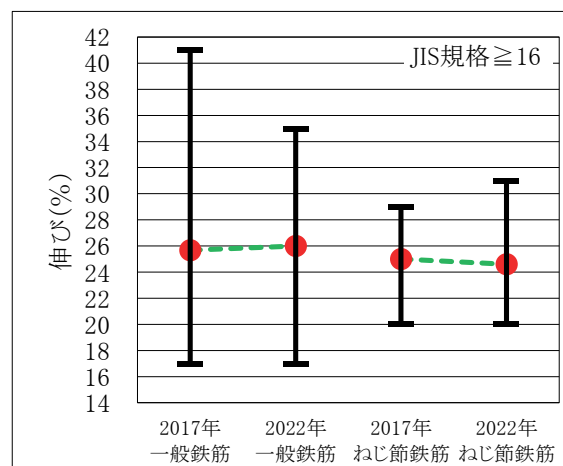
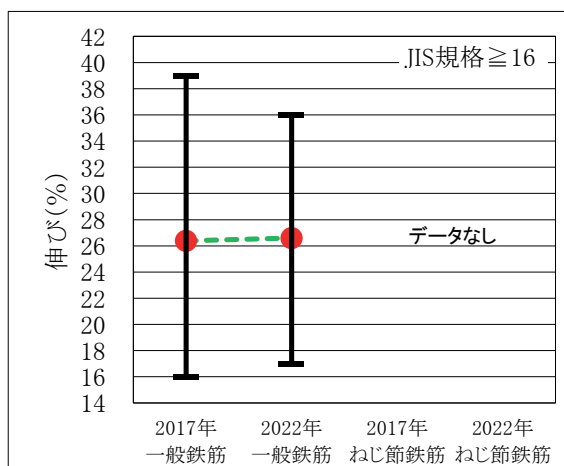
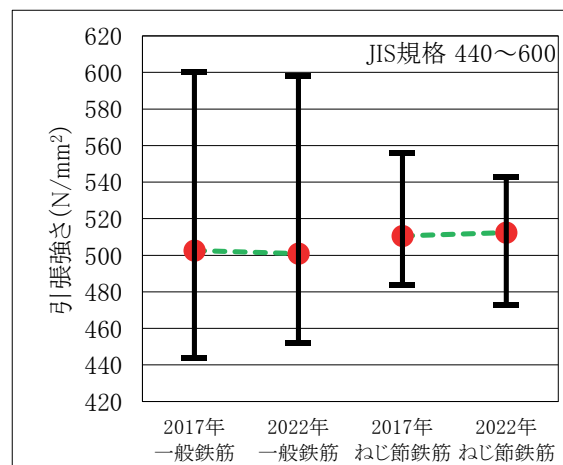
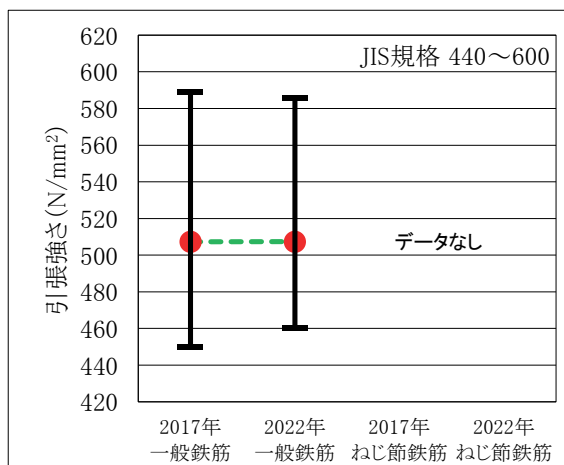
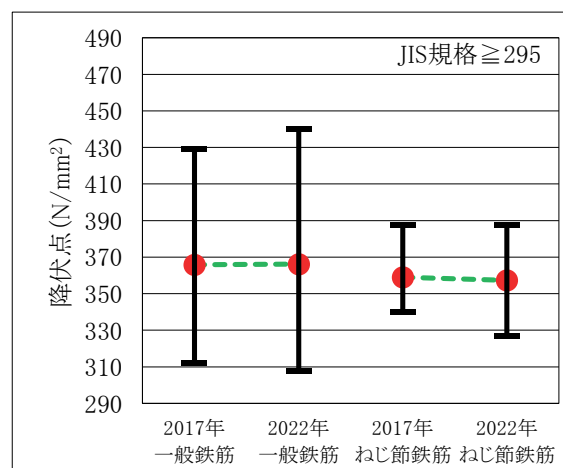
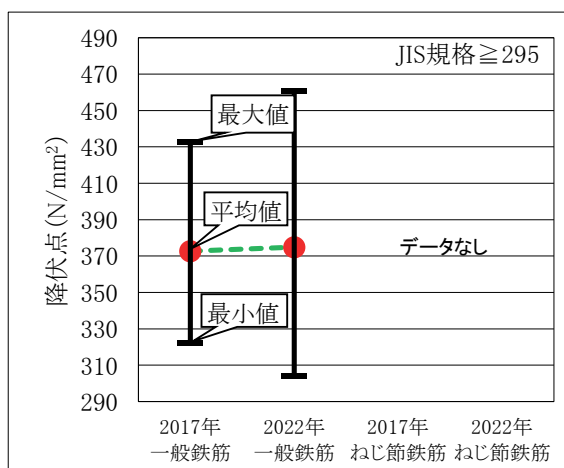


圖3.1-1 機械的性質：SD295 D10

圖3.1-2 機械的性質：SD295 D13

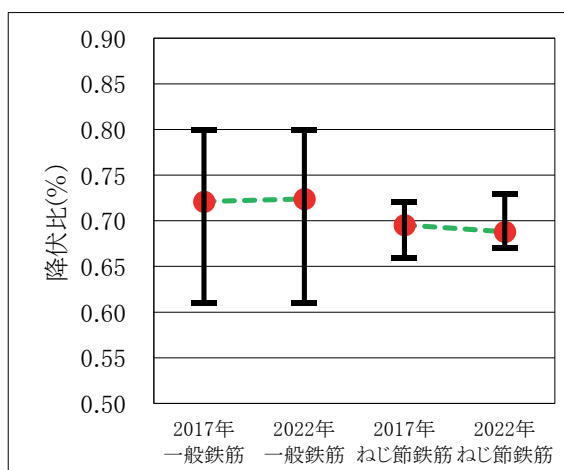
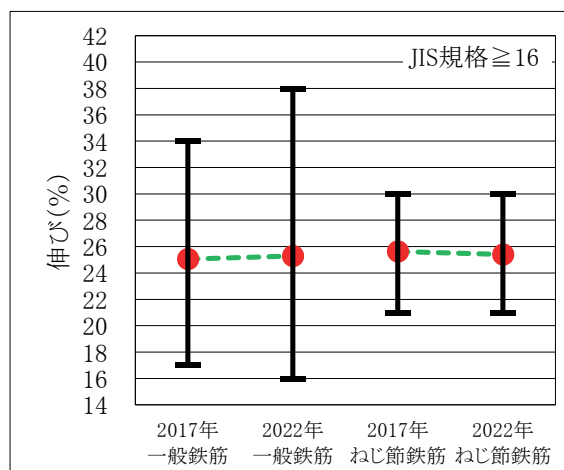
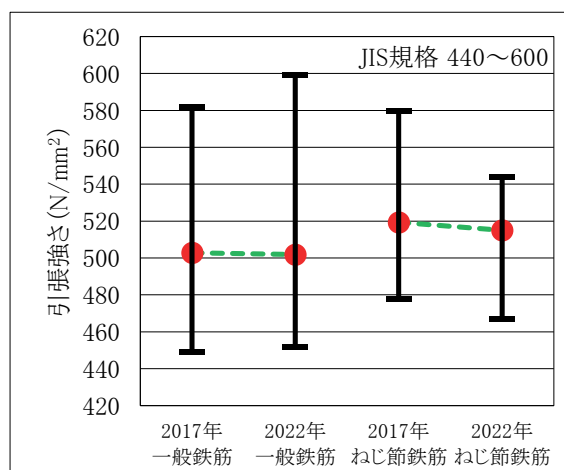
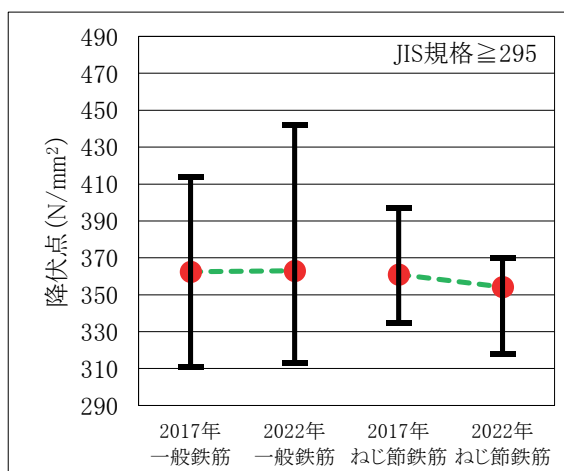


図3.1-3 機械的性質 : SD295 D16

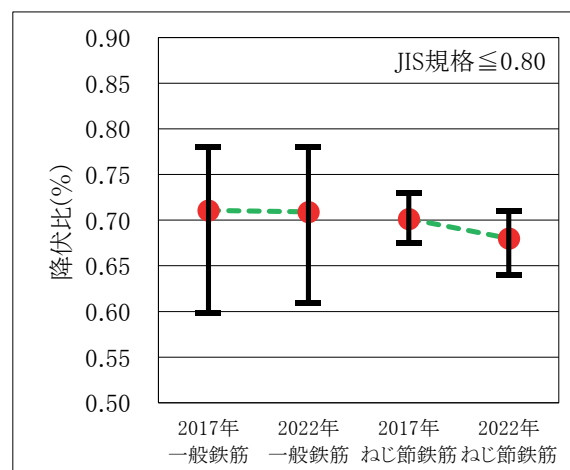
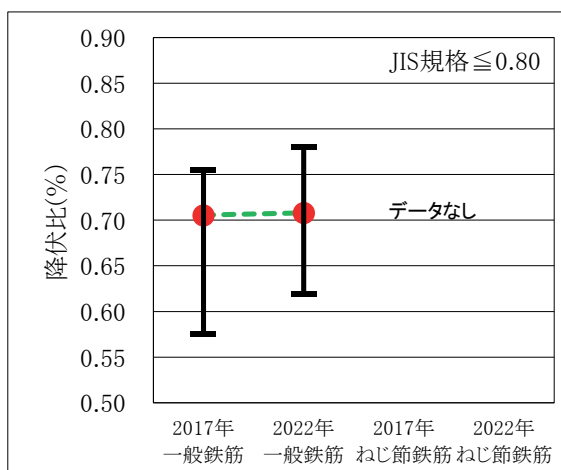
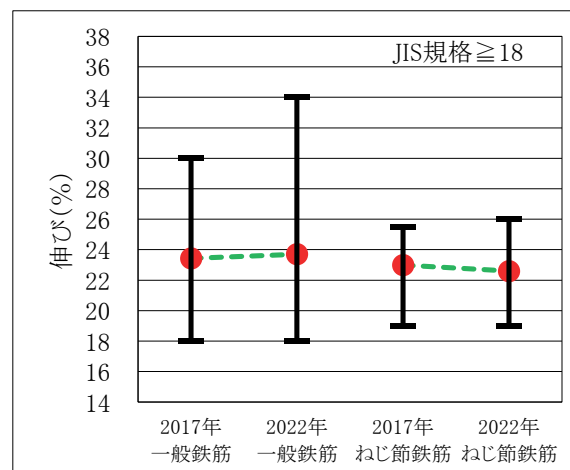
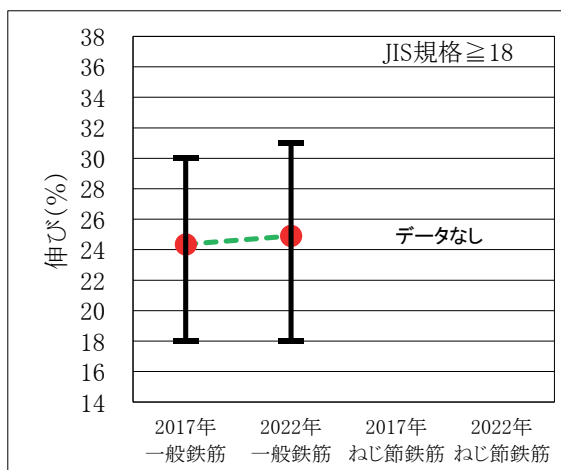
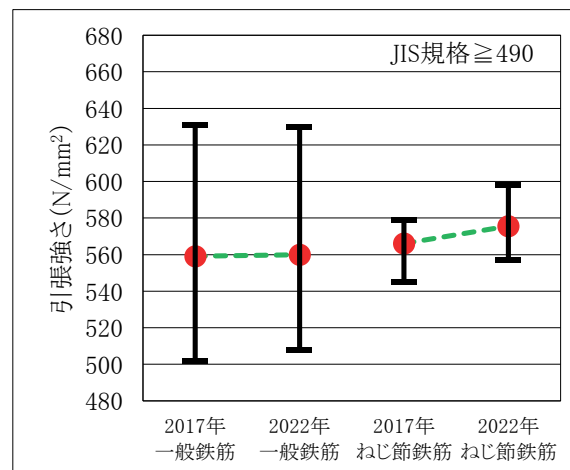
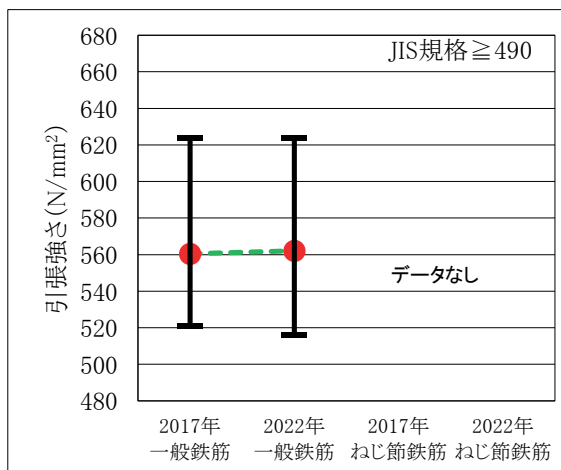
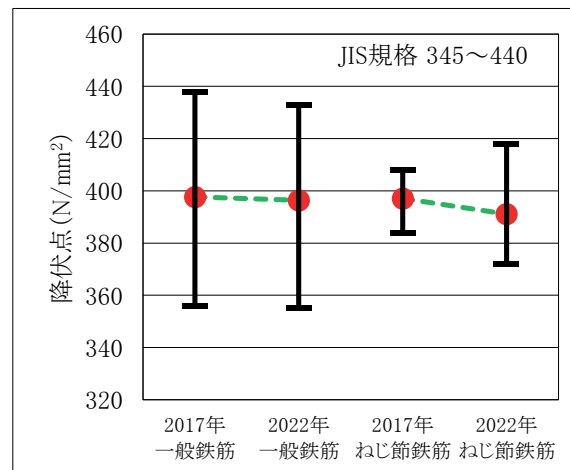
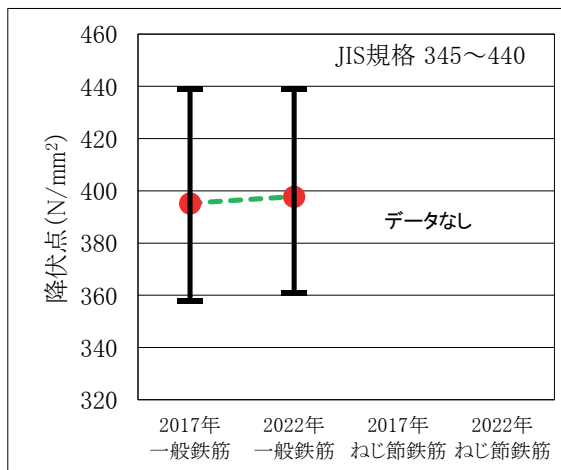


図3.2-1 機械的性質 : SD345 D10

図3.2-2 機械的性質 : SD345 D13

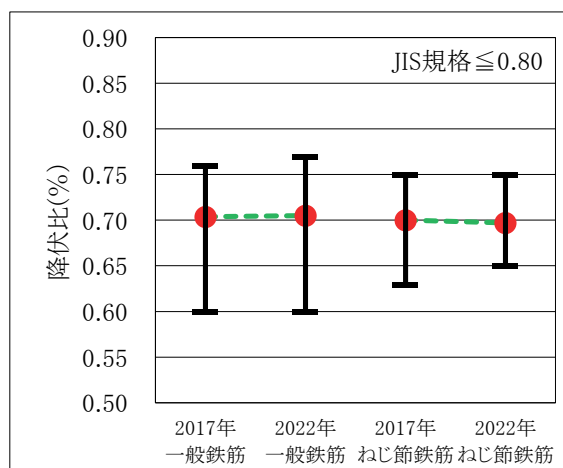
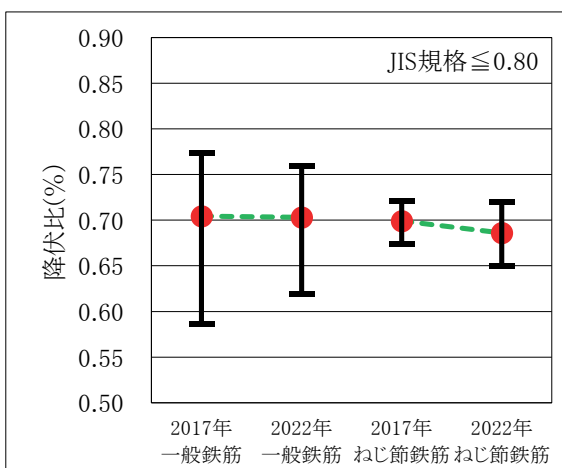
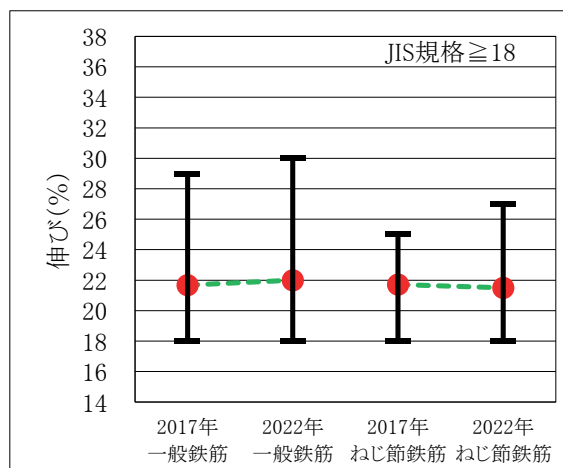
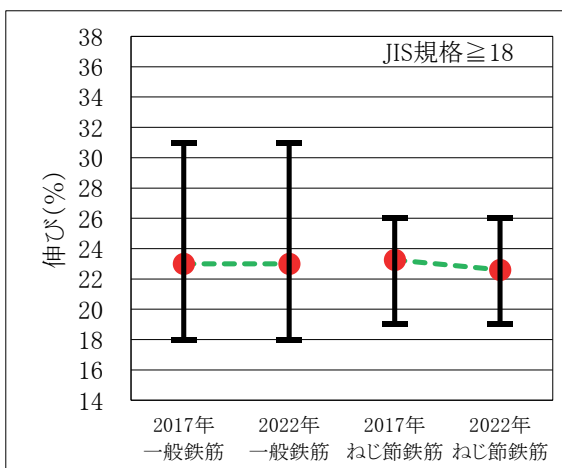
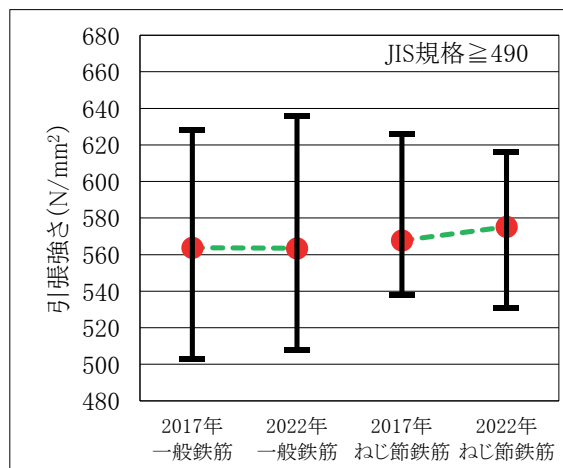
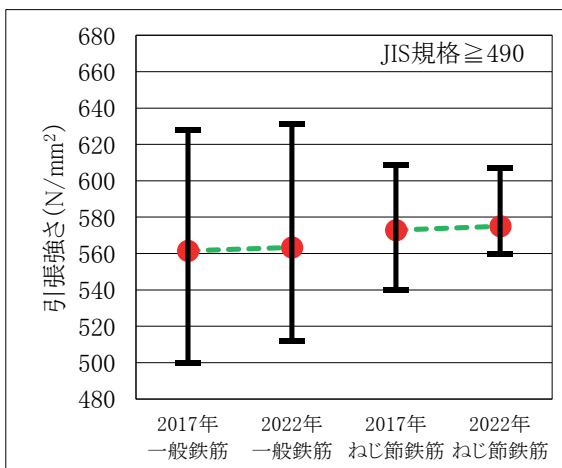
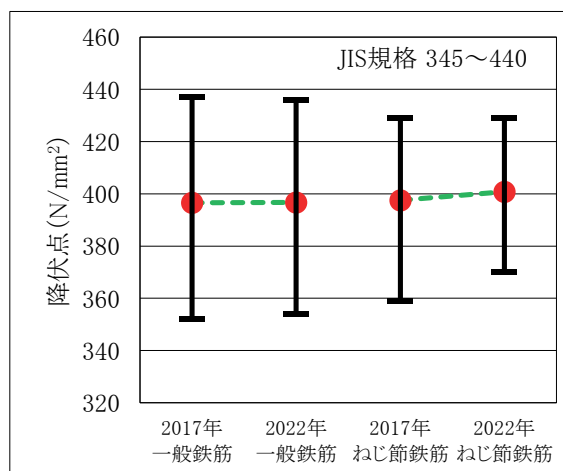
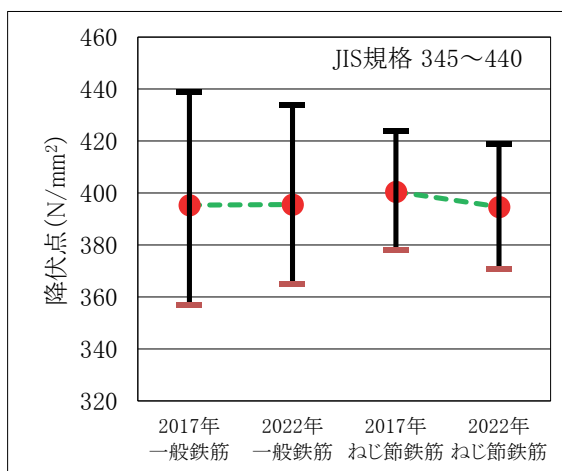


図3.2-3 機械的性質：SD345 D16

図3.2-4 機械的性質：SD345 D19

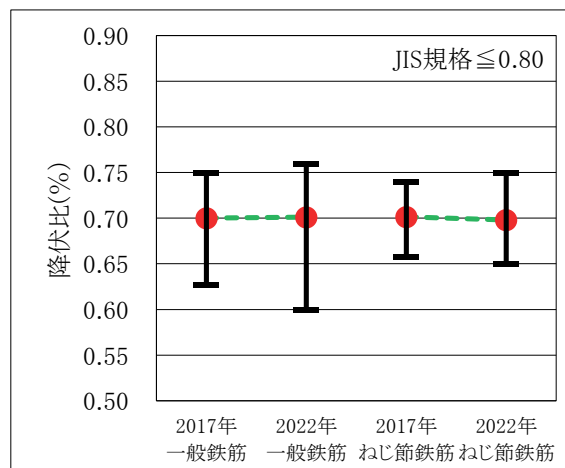
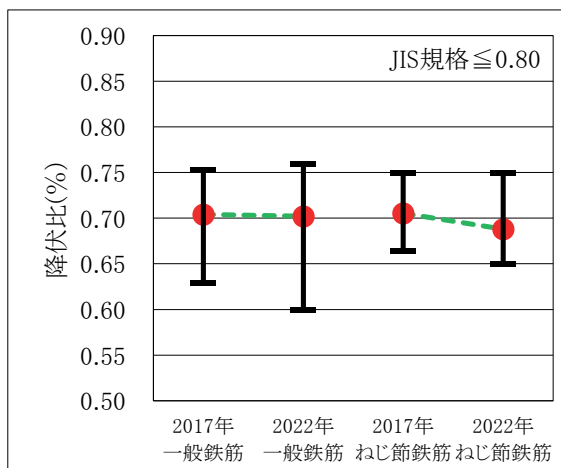
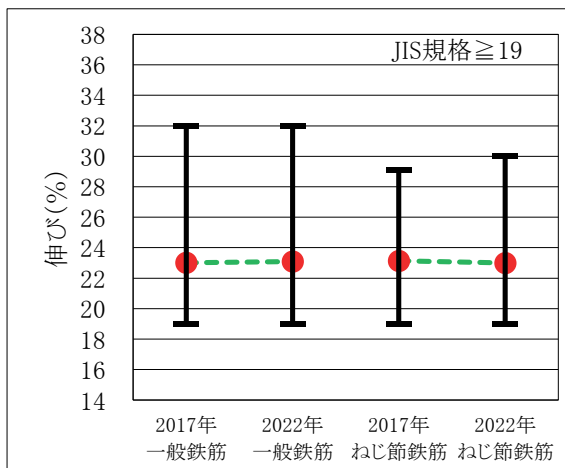
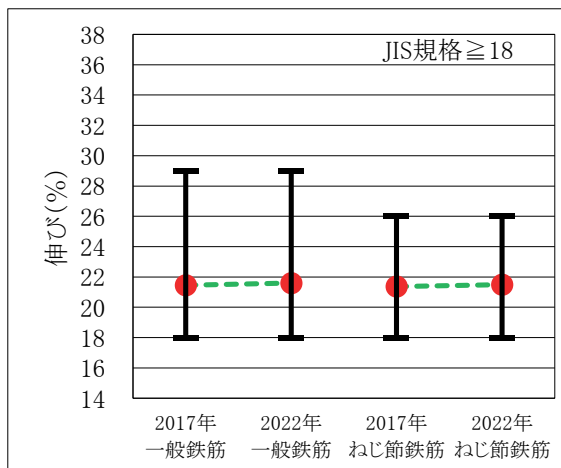
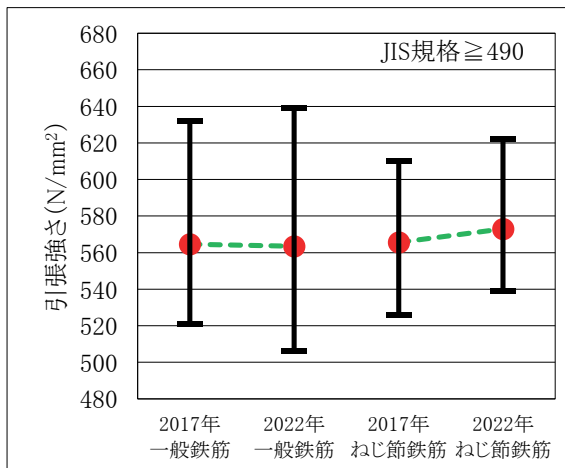
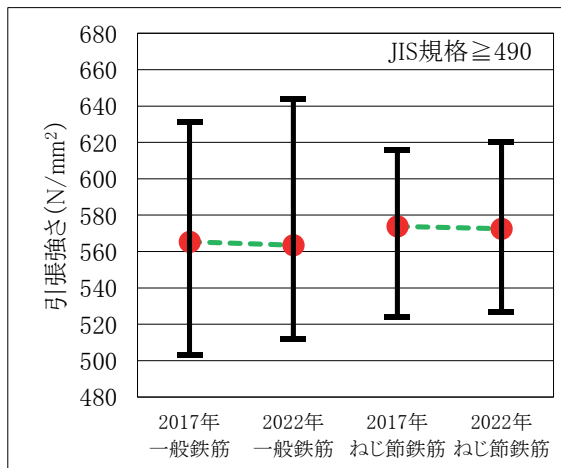
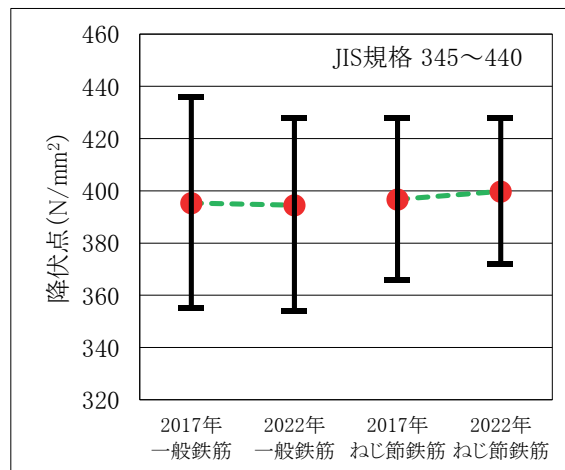
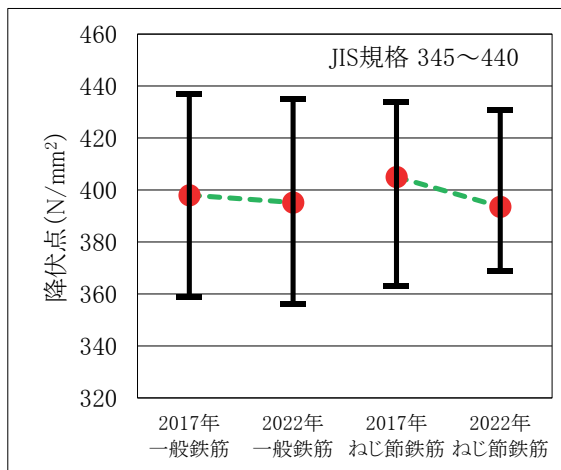


図3.2-5 機械的性質：SD345 D22

図3.2-6 機械的性質：SD345 D25

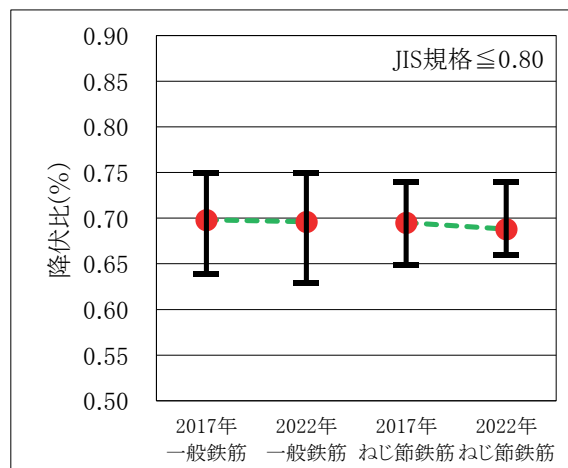
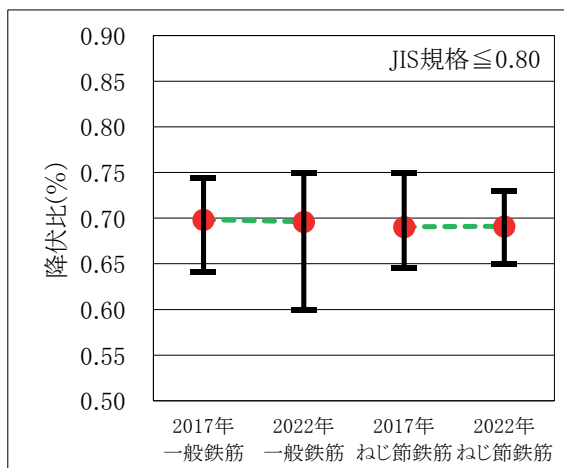
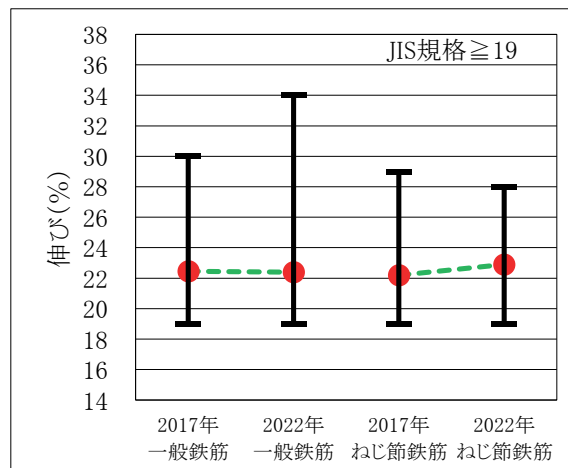
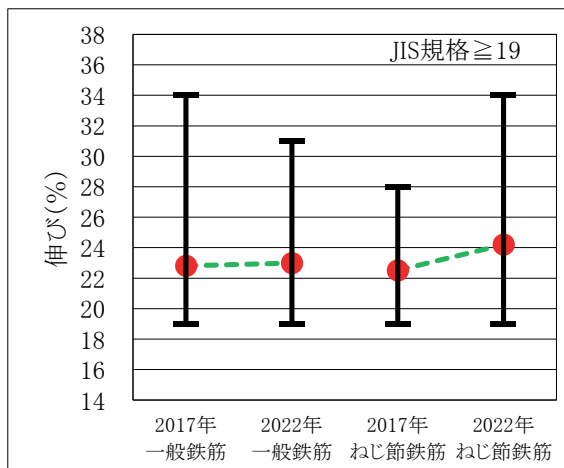
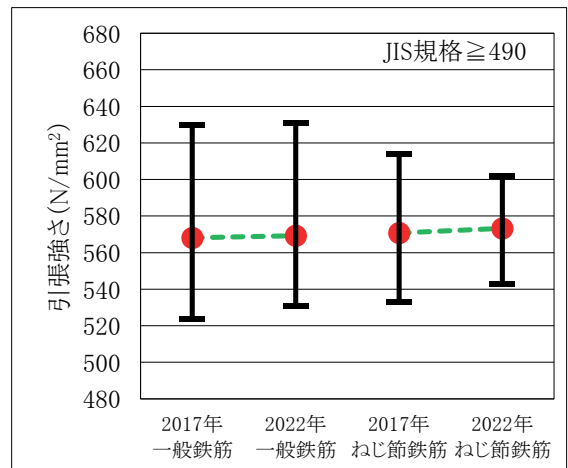
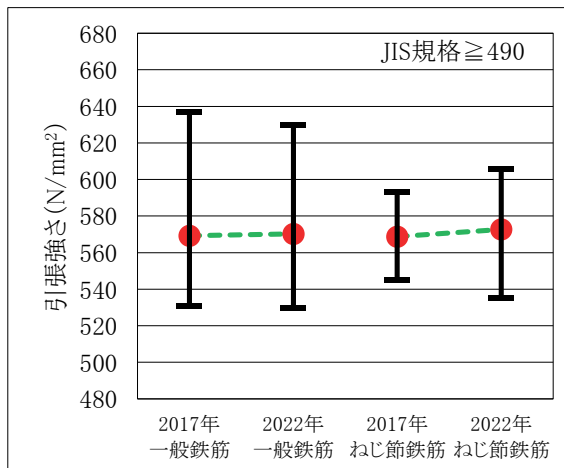
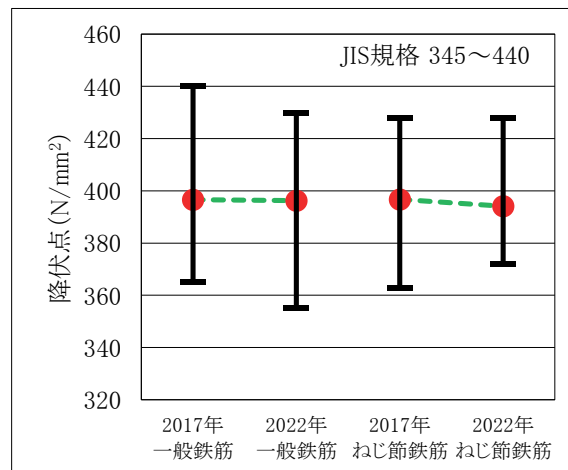
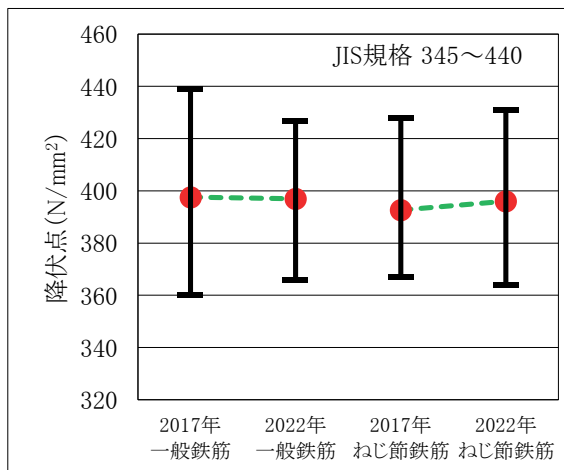


図3.2-7 機械的性質：SD345 D29

図3.2-8 機械的性質：SD345 D32

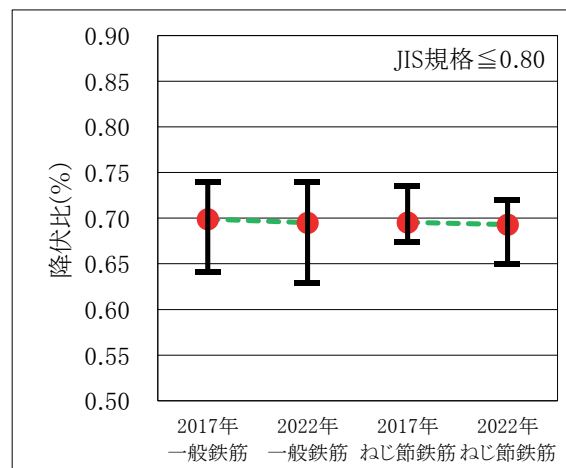
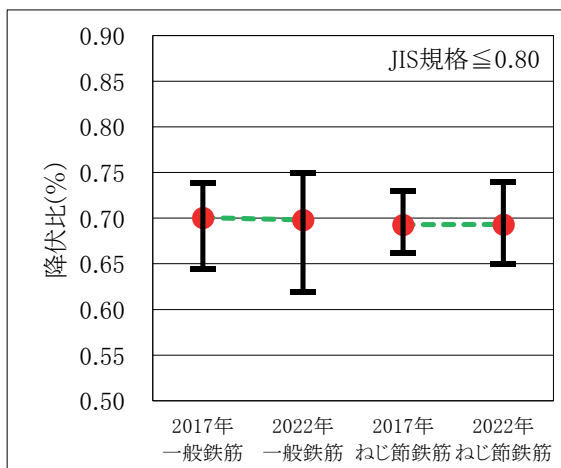
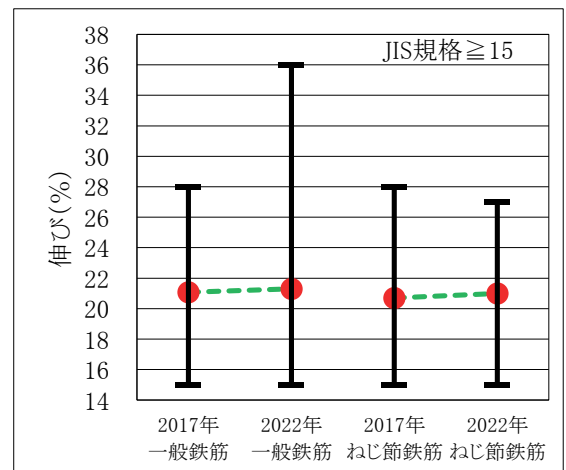
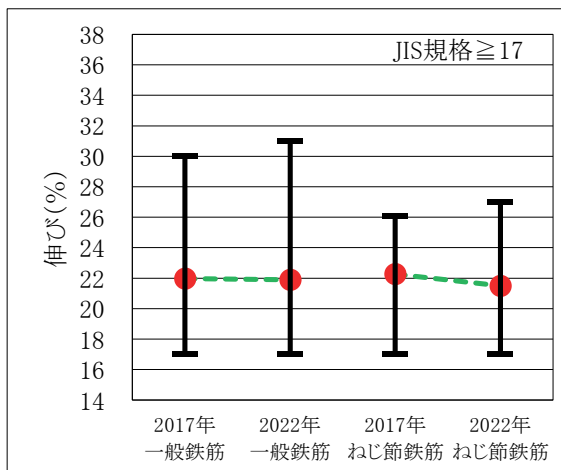
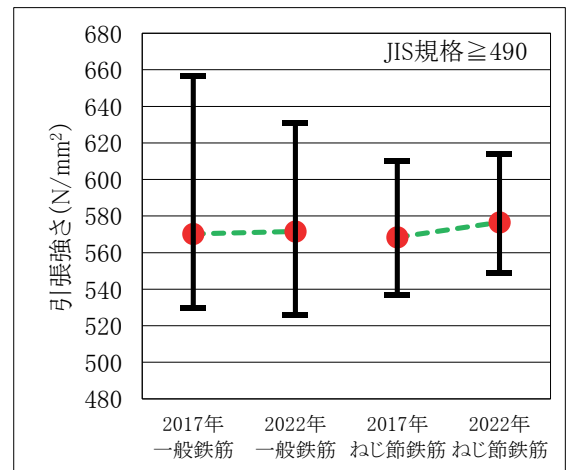
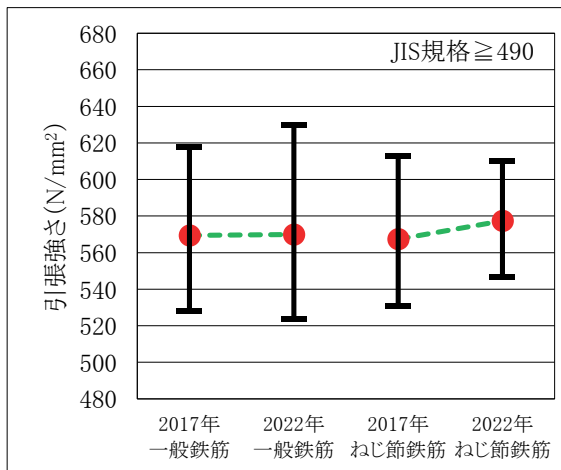
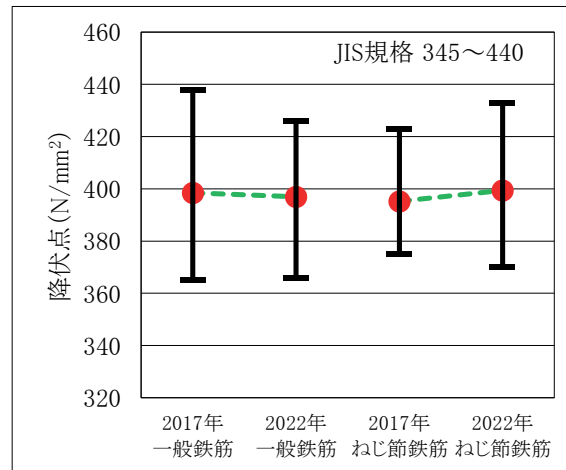
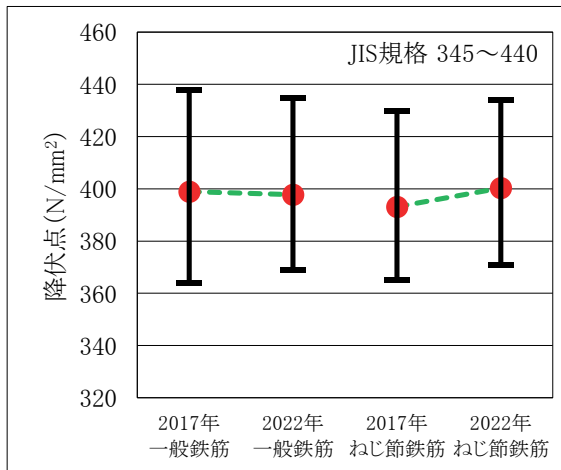


図3.2-9 機械的性質：SD345 D35

図3.2-10 機械的性質：SD345 D38

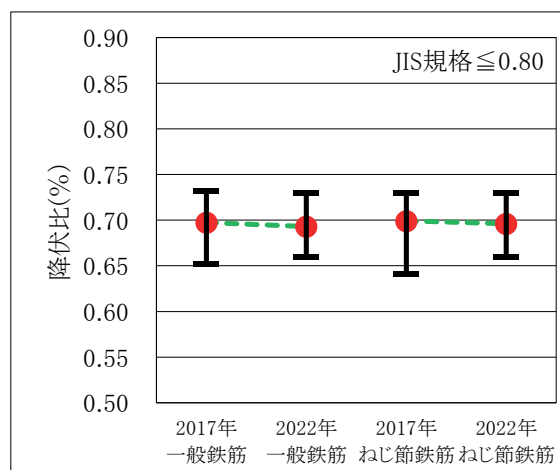
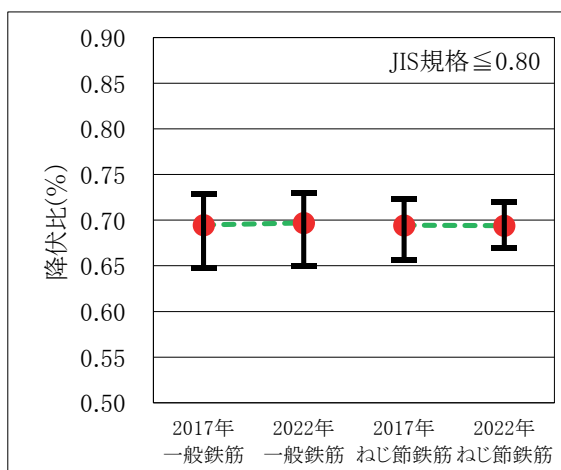
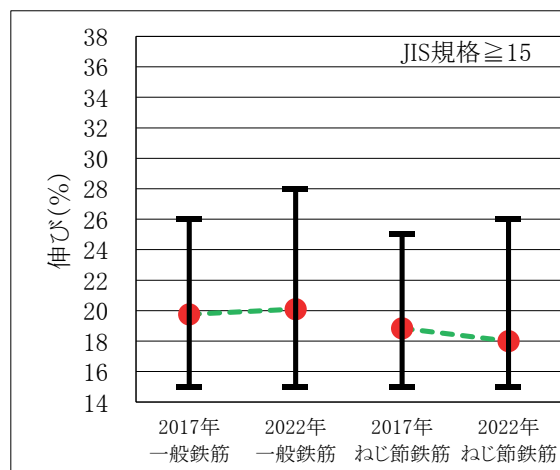
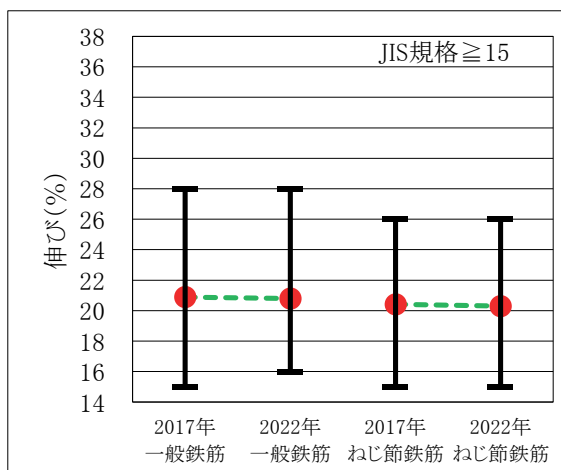
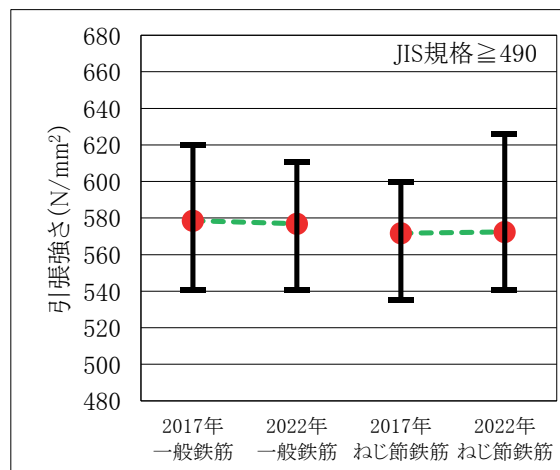
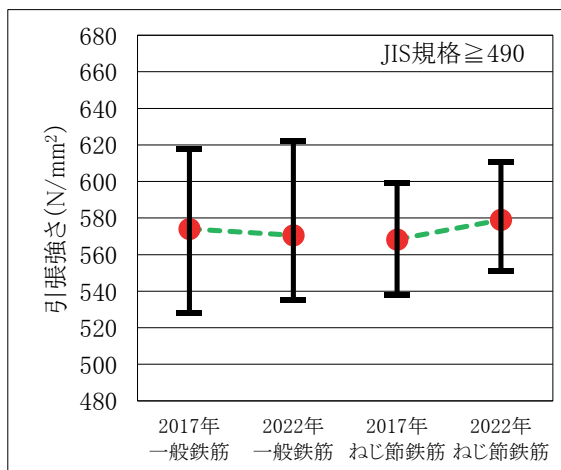
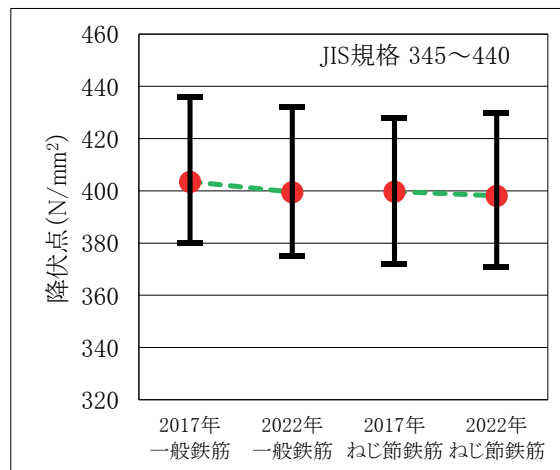
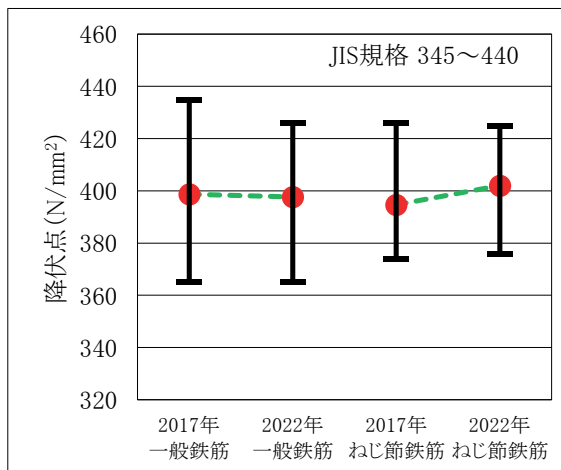


図3.2-11 機械的性質：SD345 D41

図3.2-12 機械的性質：SD345 D51

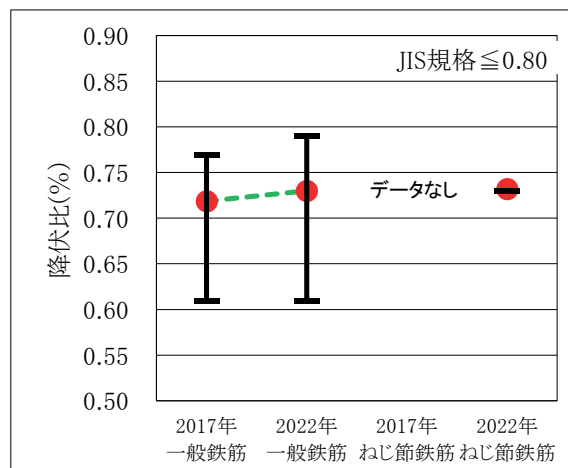
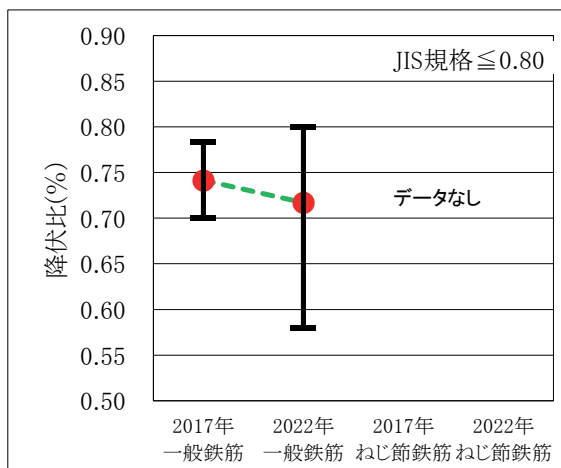
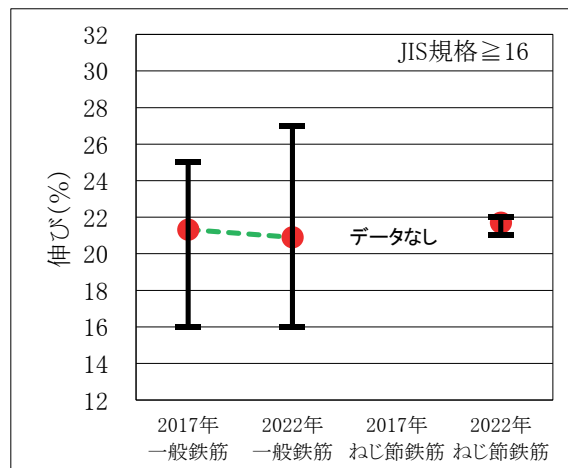
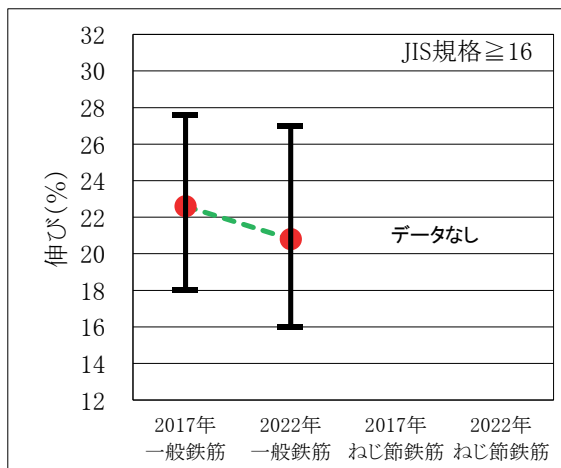
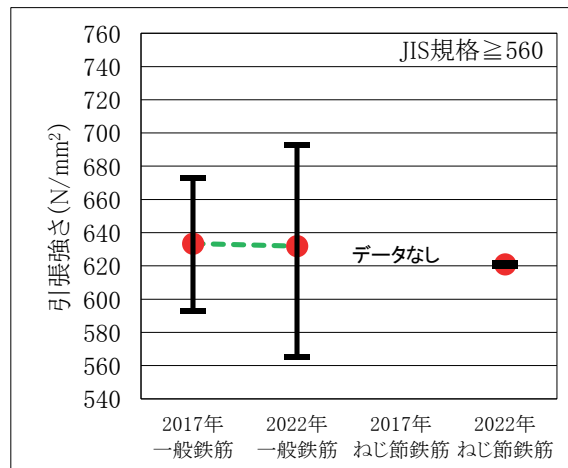
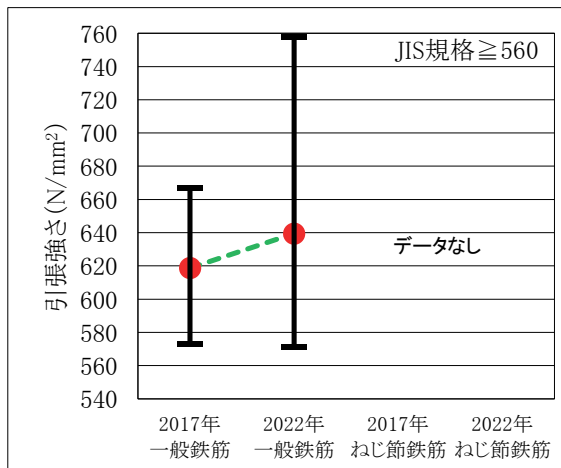
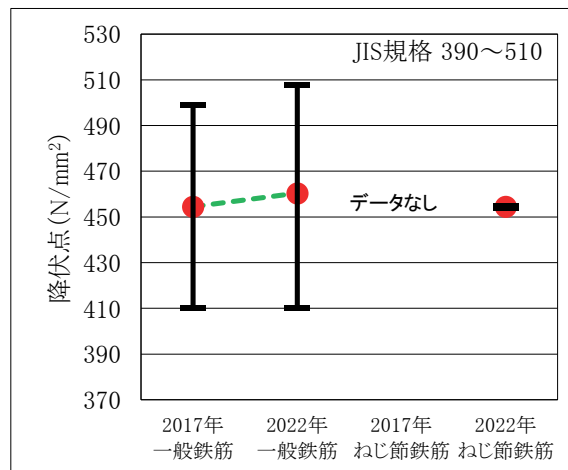
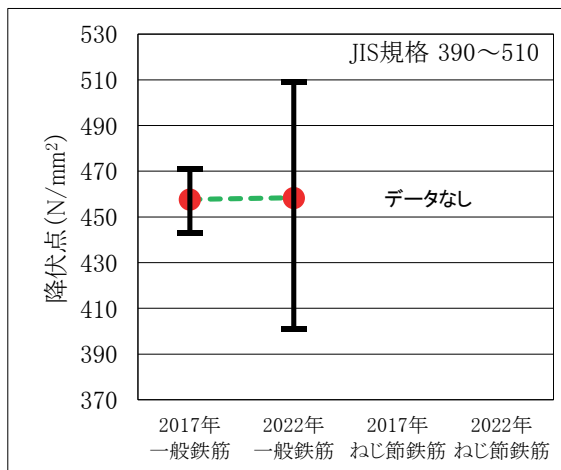


図3.3-1 機械的性質：SD390 D10

図3.3-2 機械的性質：SD390 D13

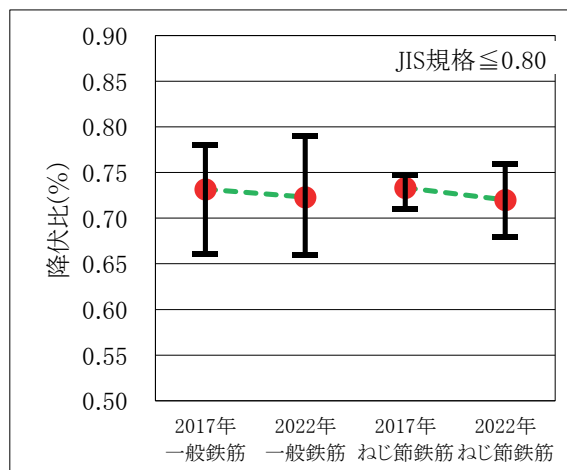
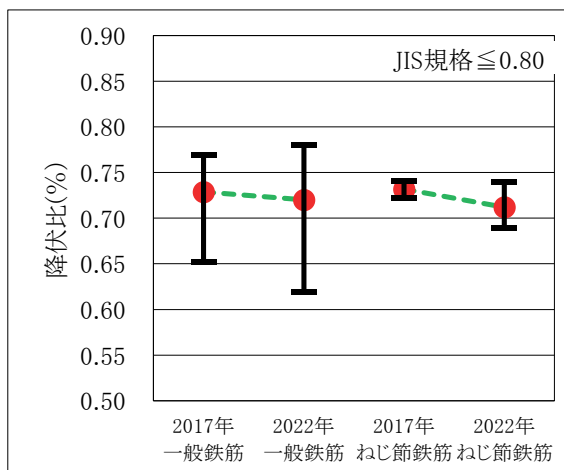
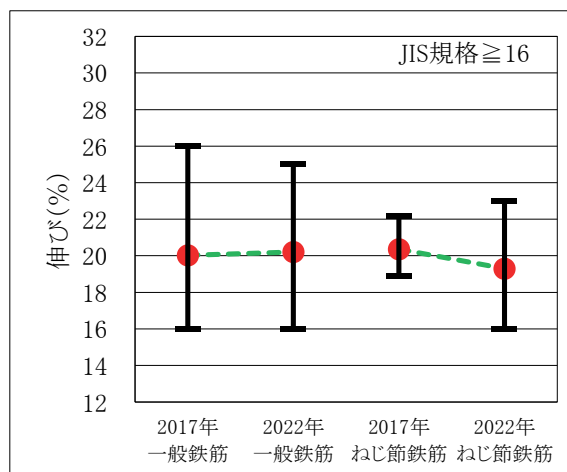
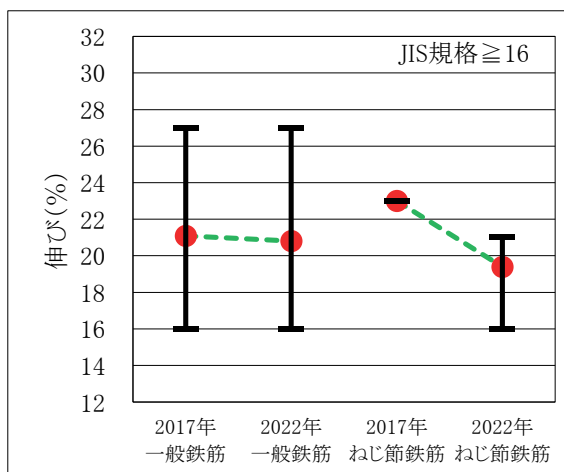
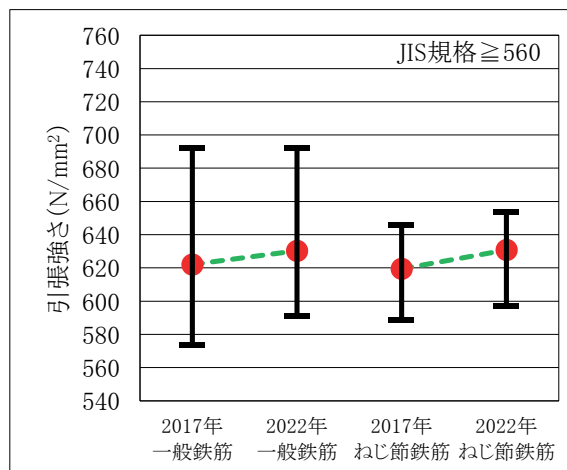
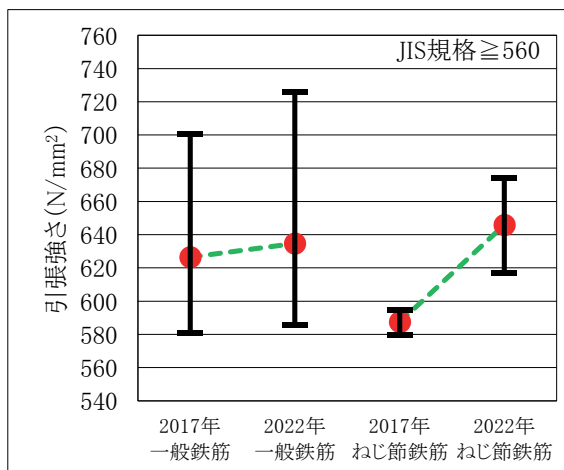
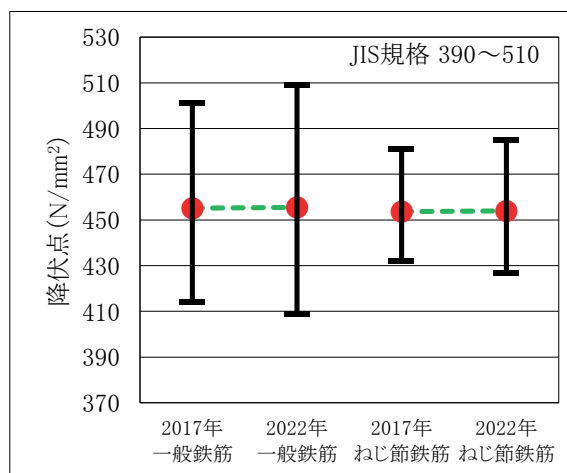
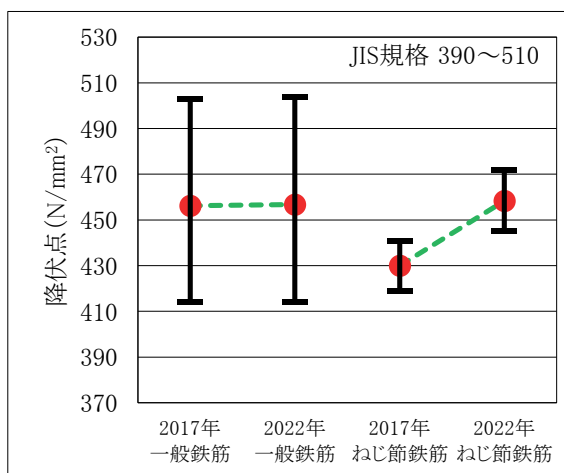


図3.3-3 機械的性質：SD390 D16

図3.3-4 機械的性質：SD390 D19

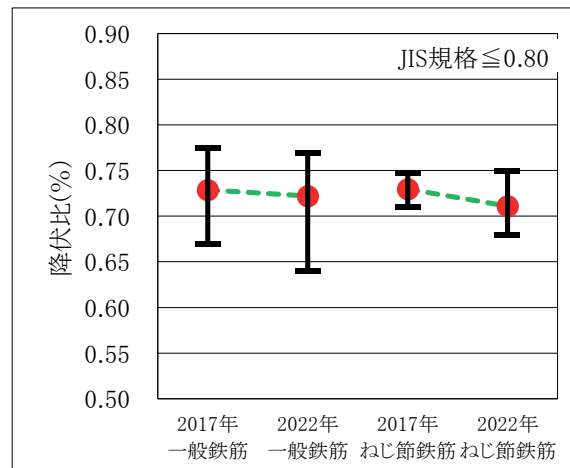
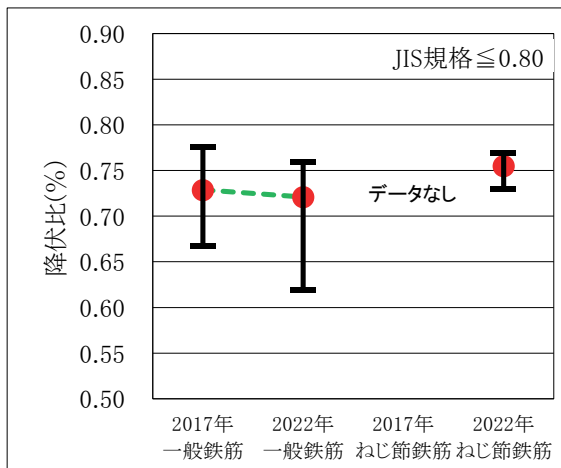
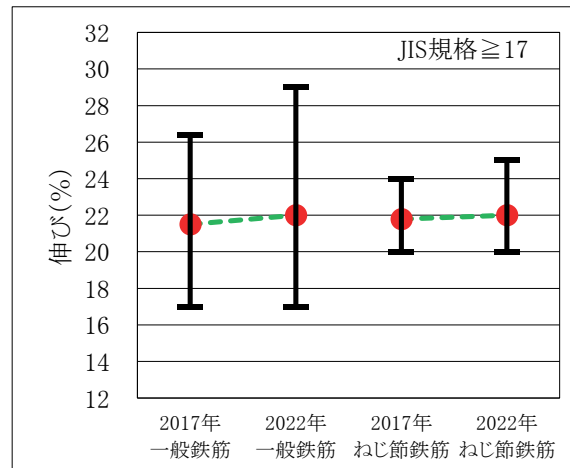
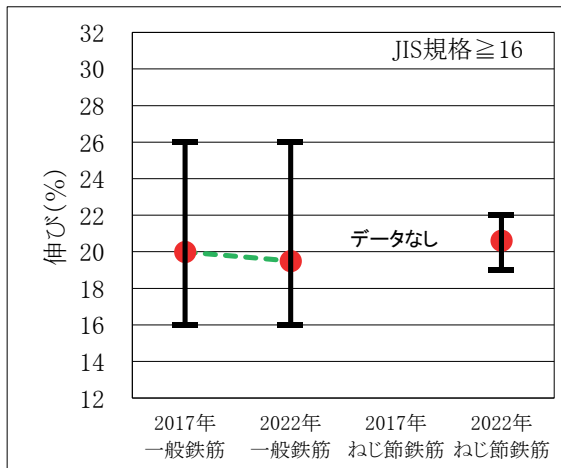
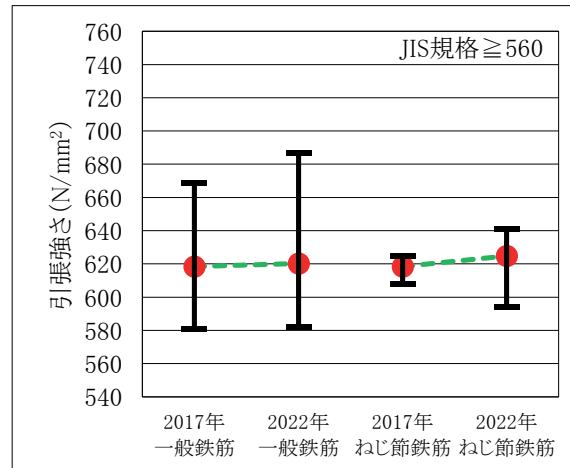
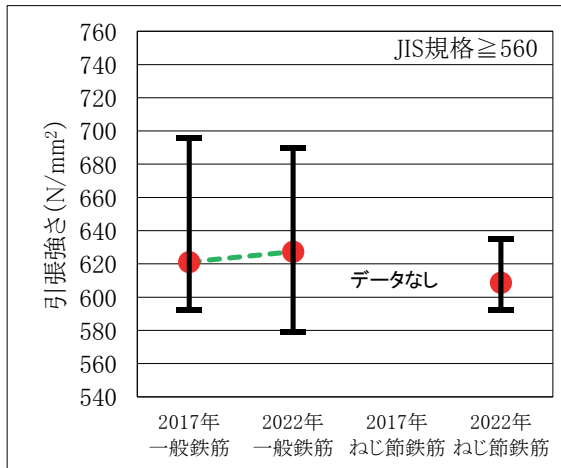
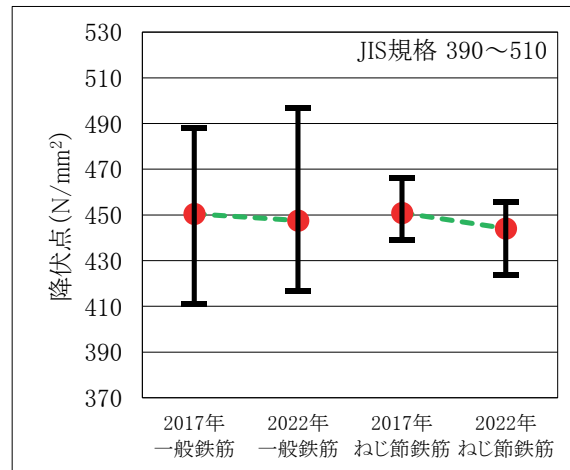
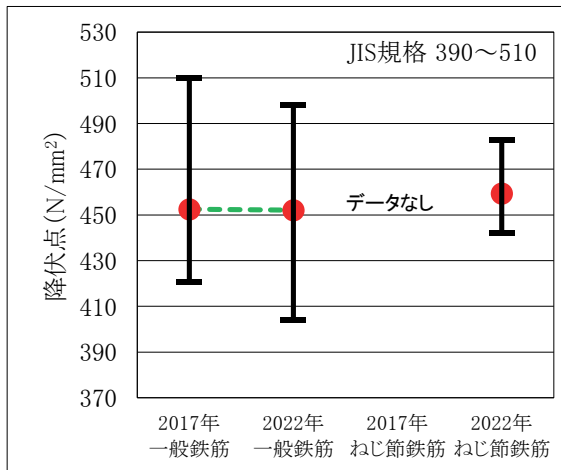


図3.3-5 機械的性質：SD390 D22

図3.3-6 機械的性質：SD390 D25

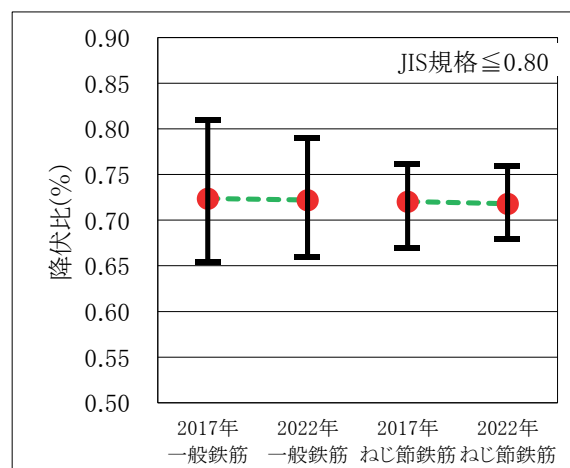
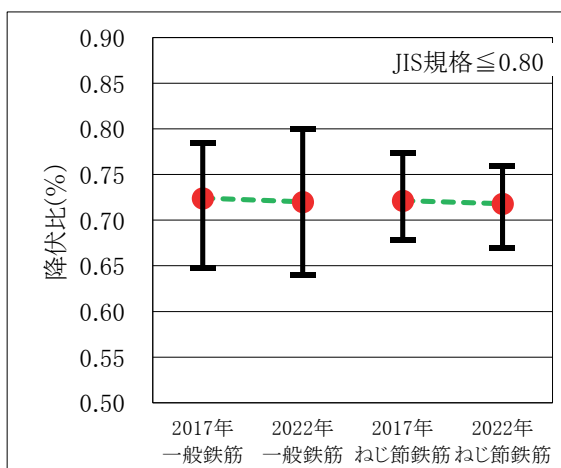
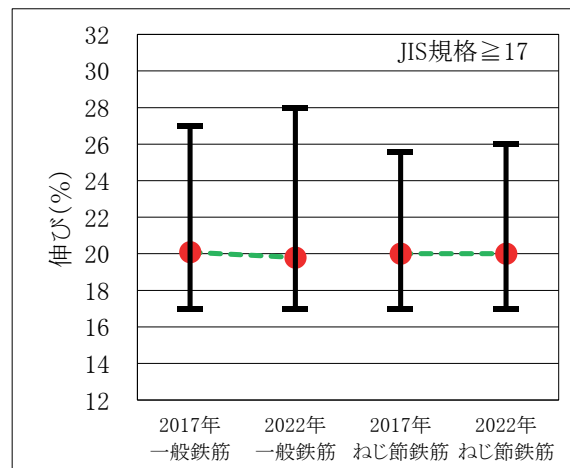
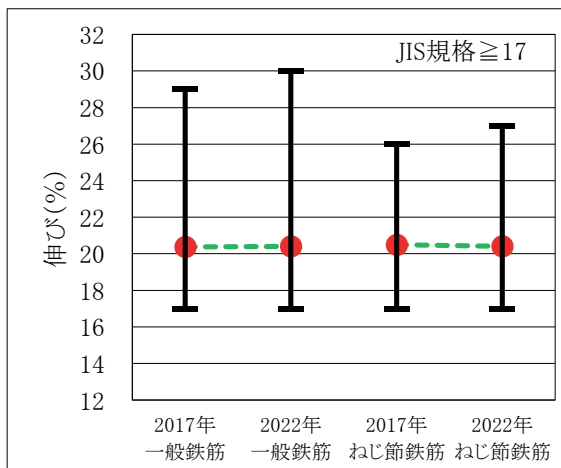
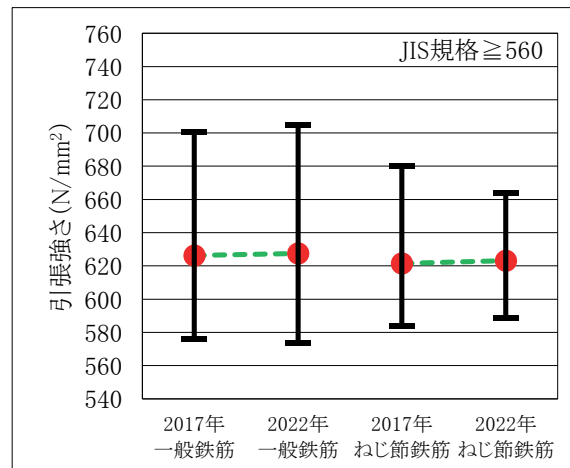
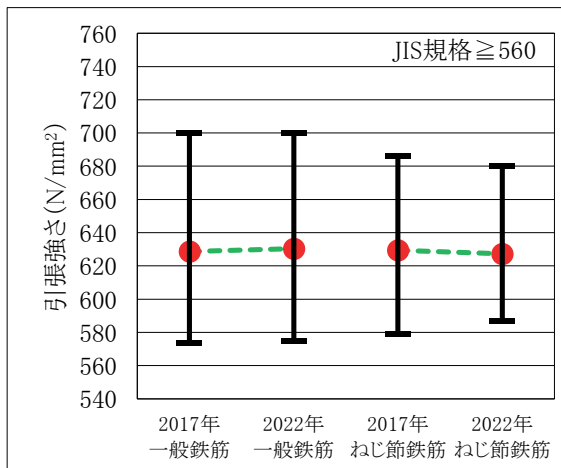
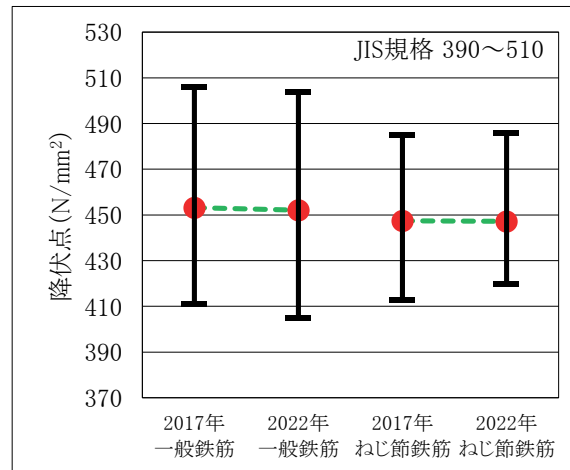
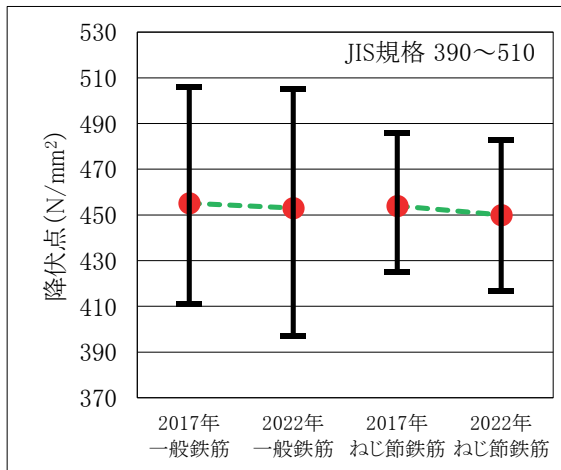


図3.3-7 機械的性質：SD390 D29

図3.3-8 機械的性質：SD390 D32

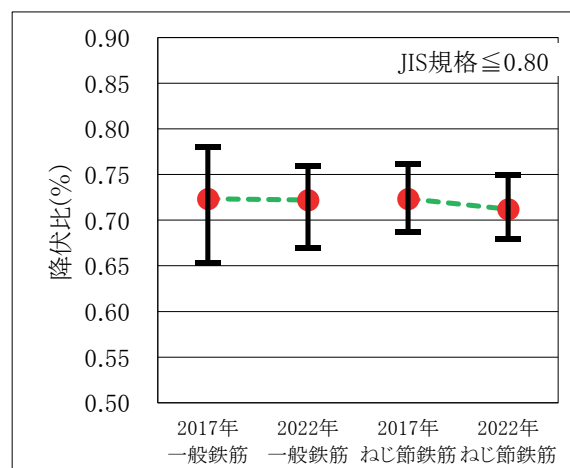
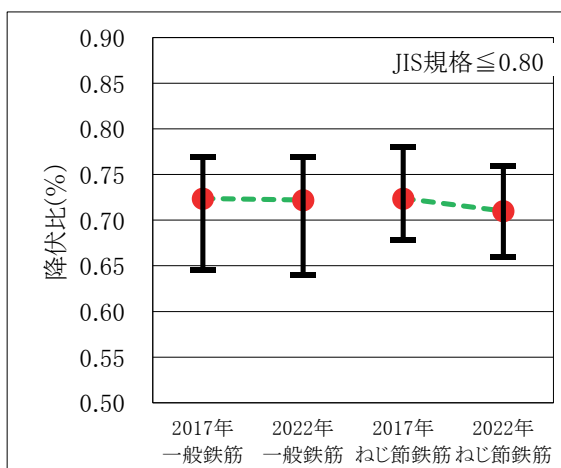
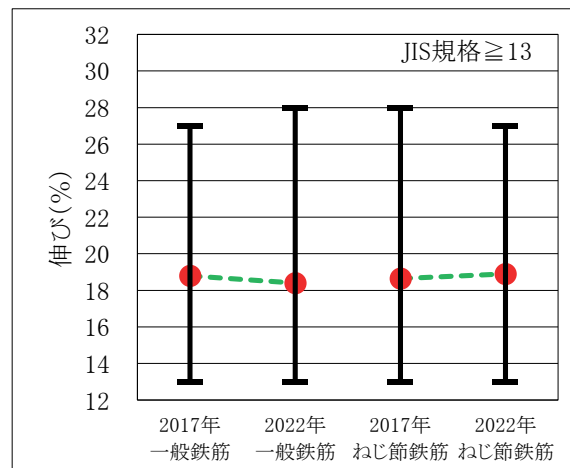
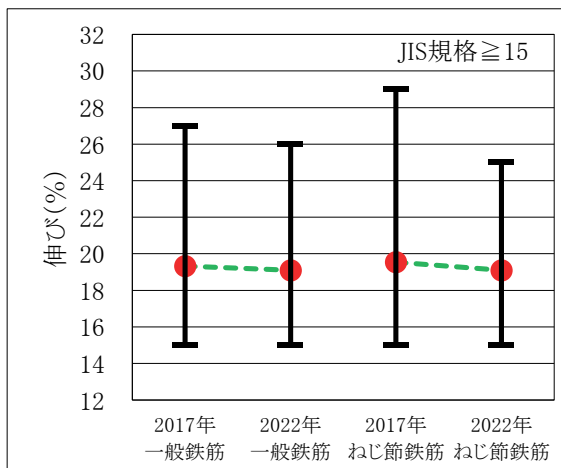
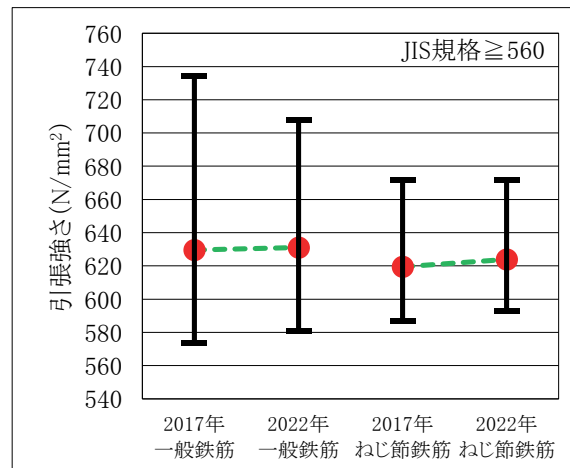
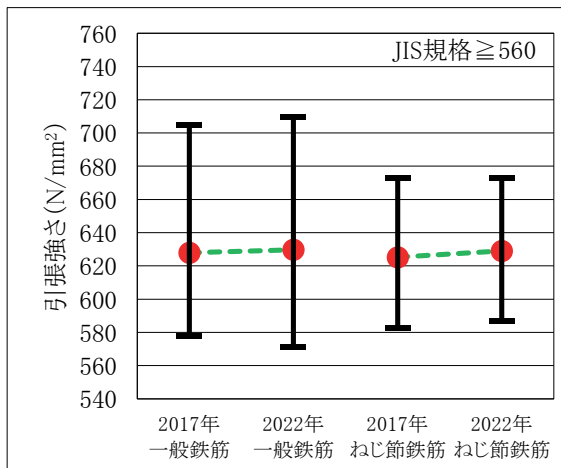
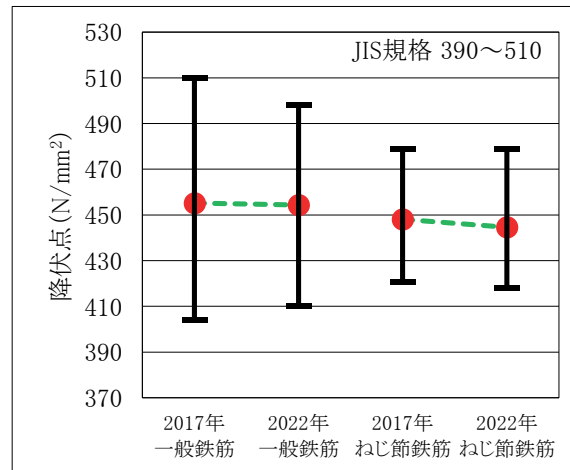
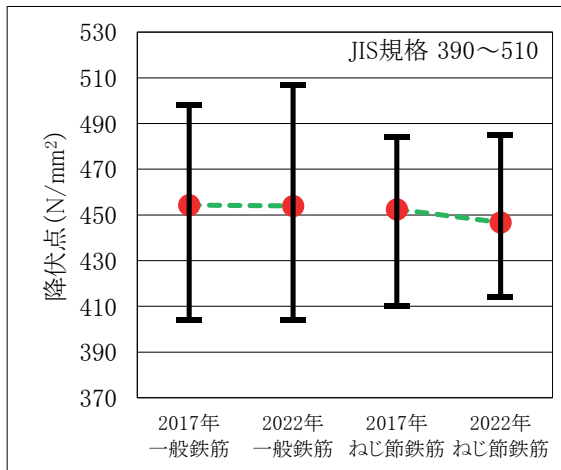


図3.3-9 機械的性質：SD390 D35

図3.3-10 機械的性質：SD390 D38

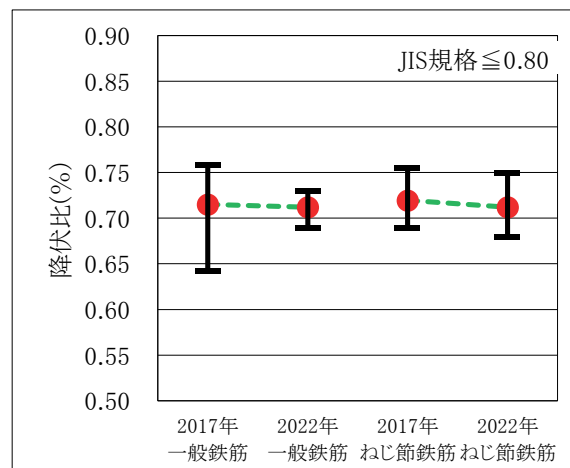
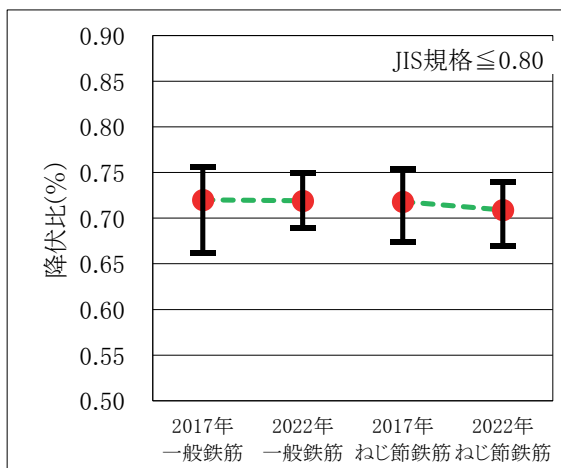
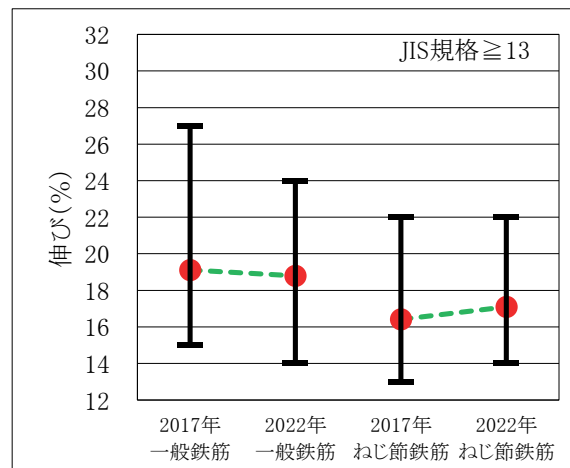
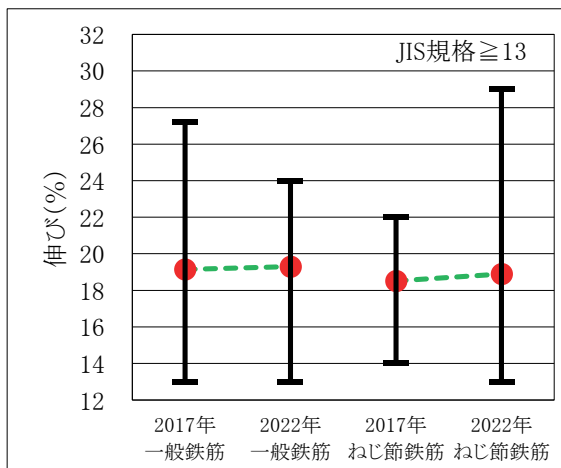
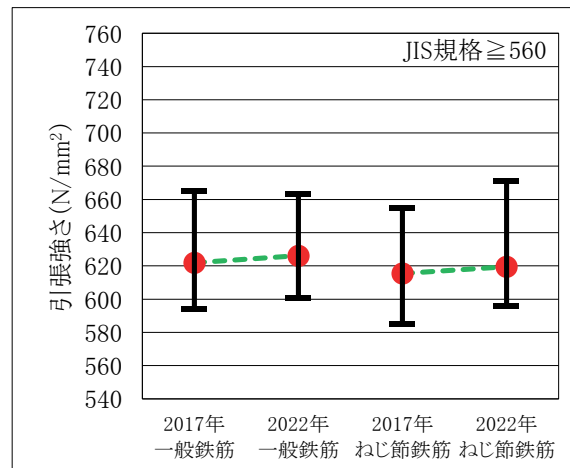
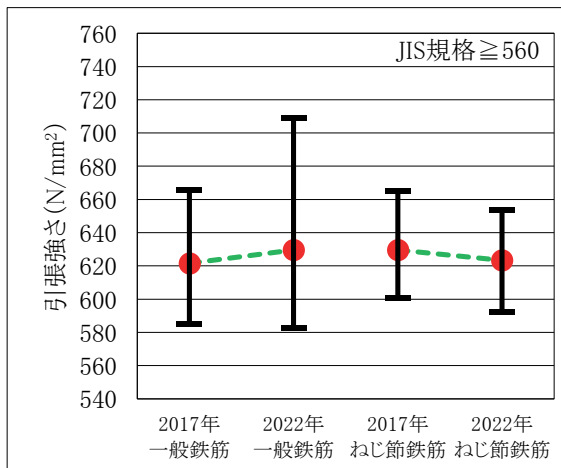
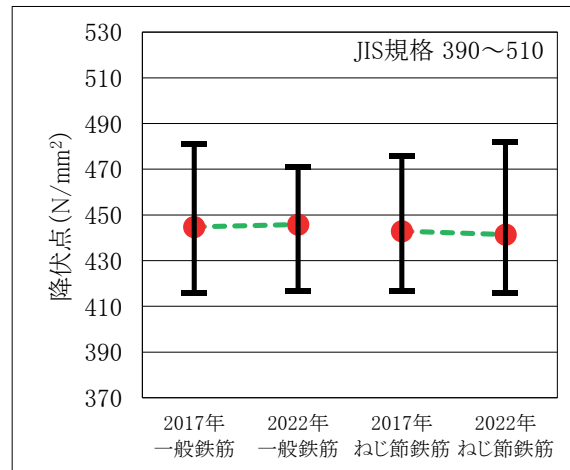
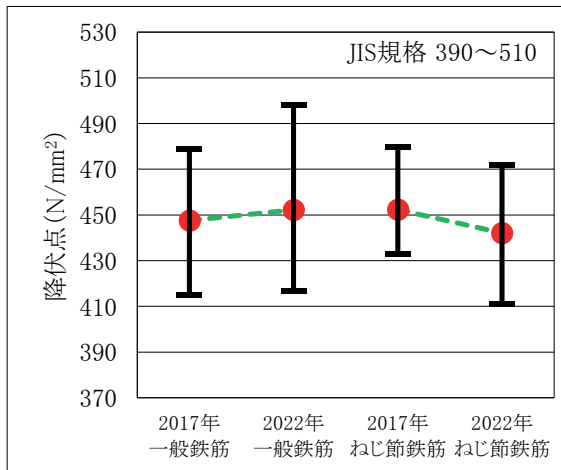


図3.3-11 機械的性質：SD390 D41

図3.3-12 機械的性質：SD390 D51

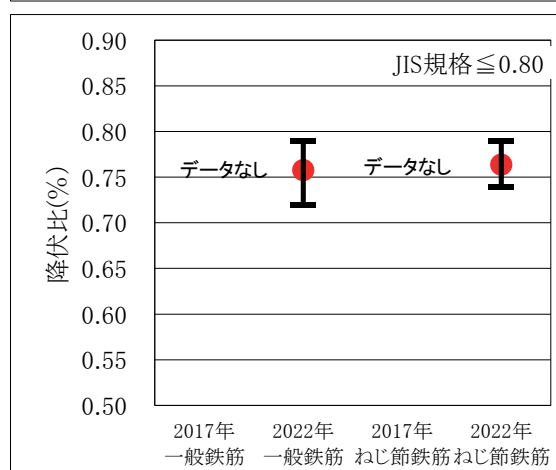
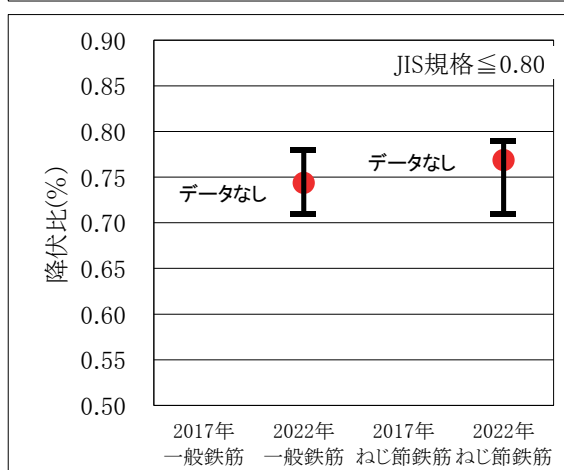
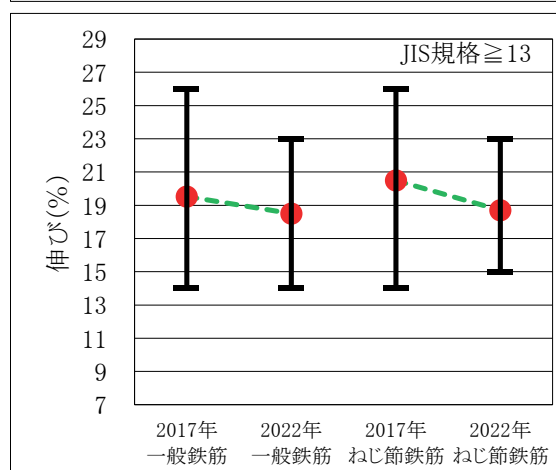
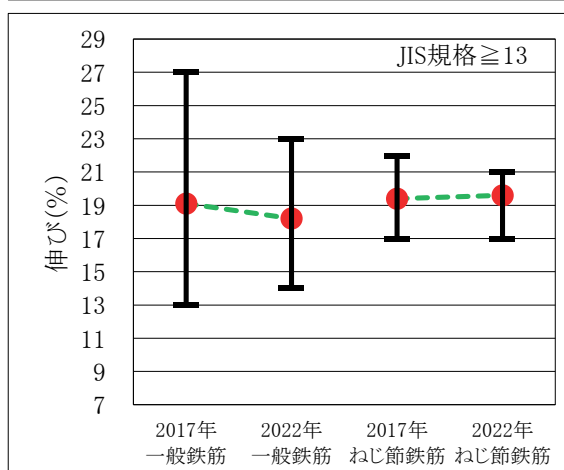
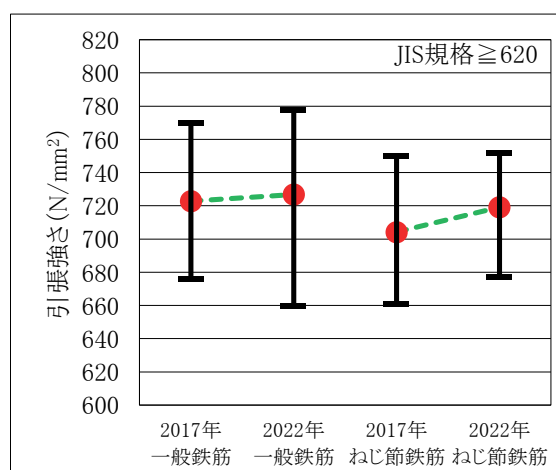
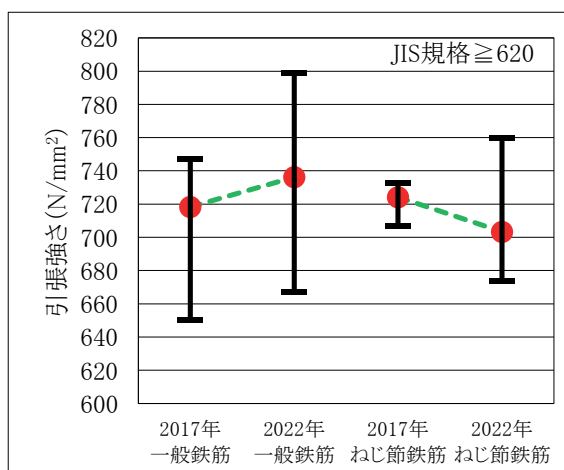
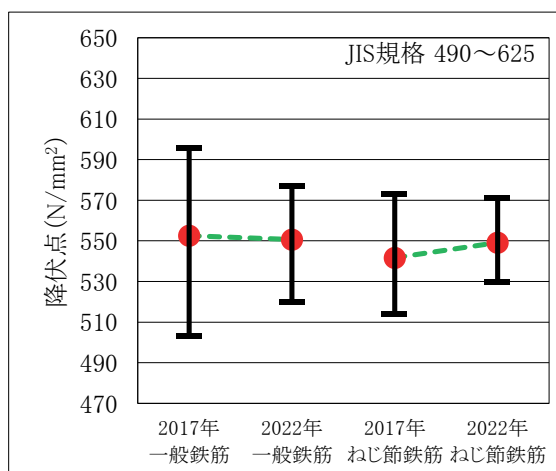
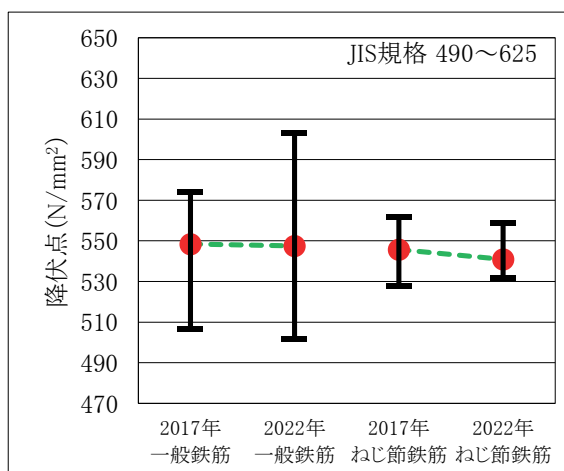


図3.4-1 機械的性質：SD490 D25

図3.4-2 機械的性質：SD490 D29

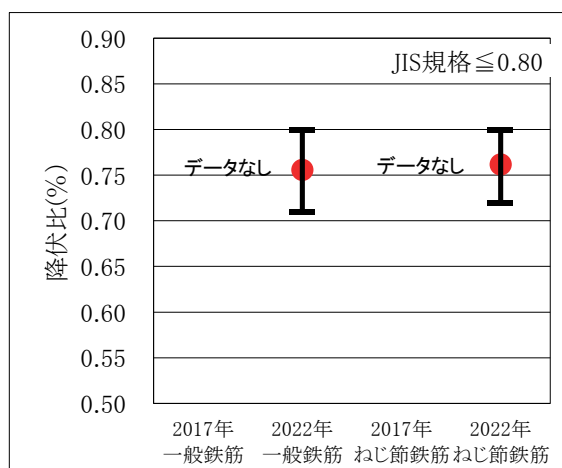
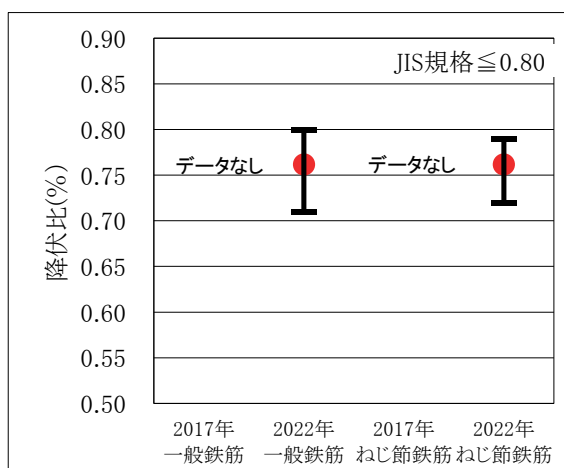
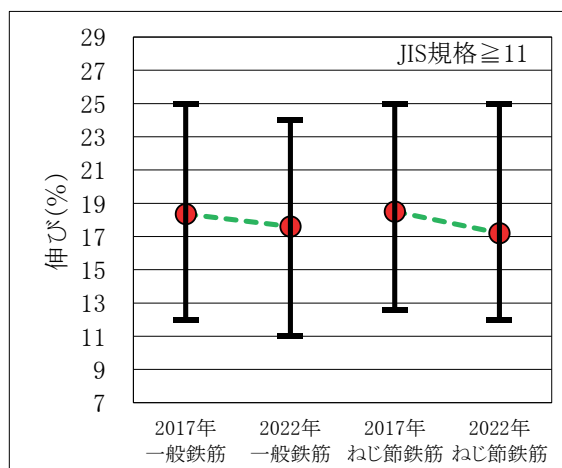
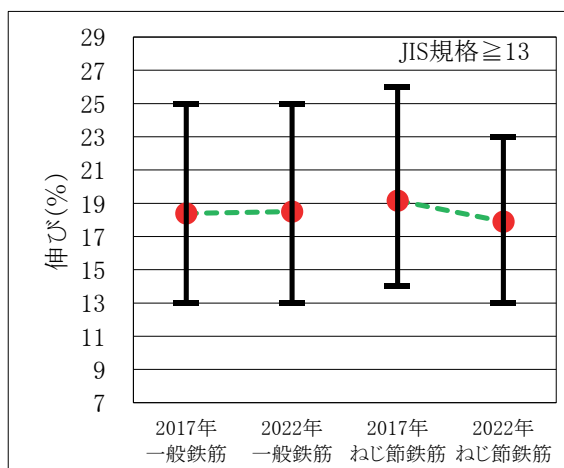
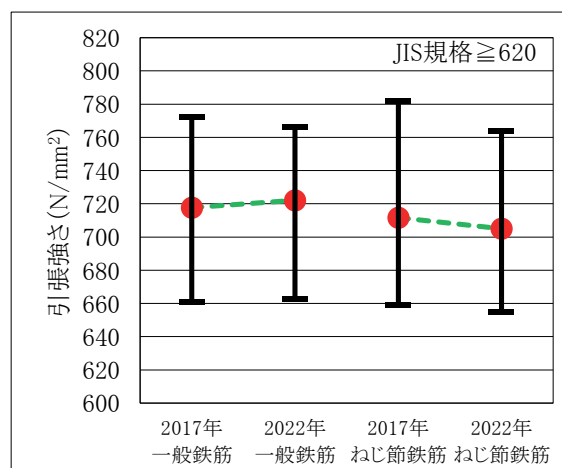
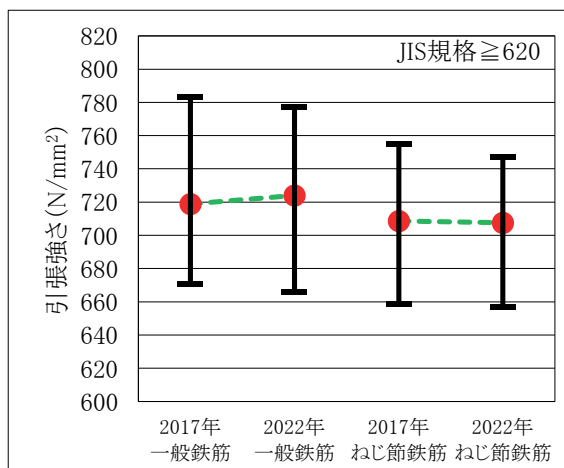
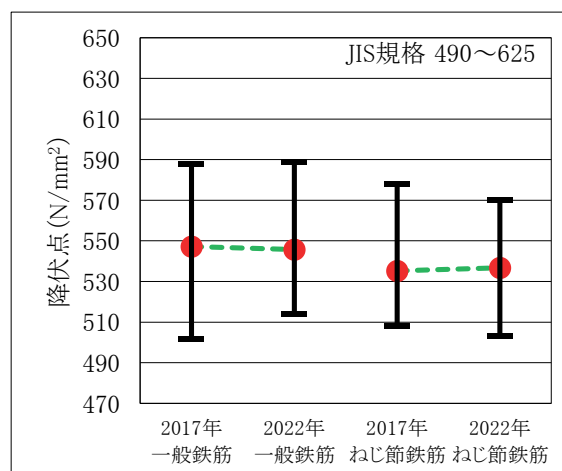
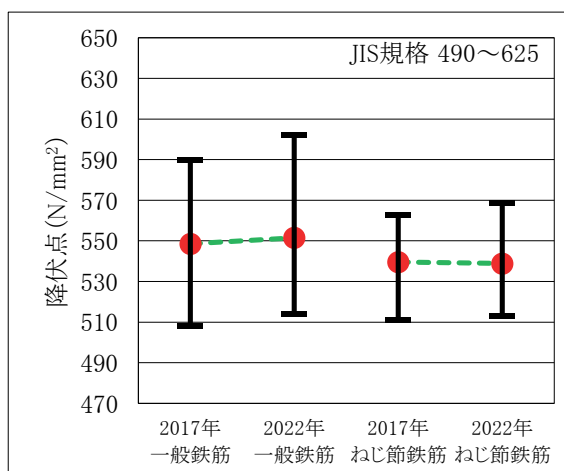


図3.4-3 機械的性質：SD490 D32

図3.4-4 機械的性質：SD490 D35

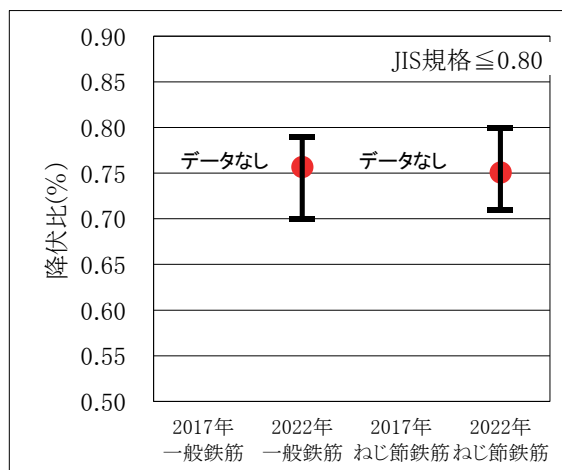
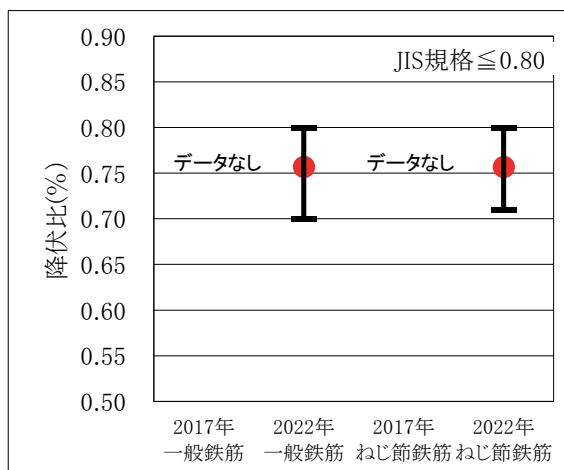
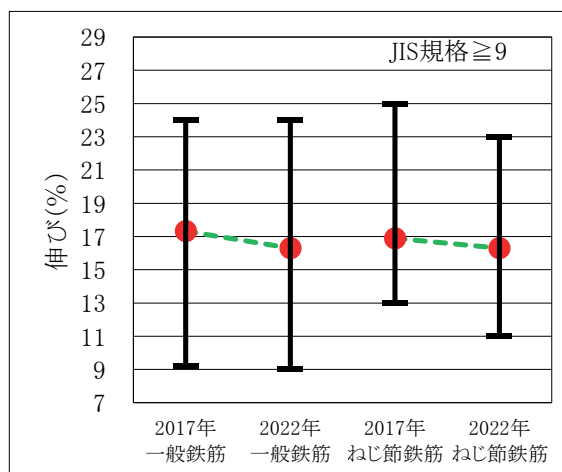
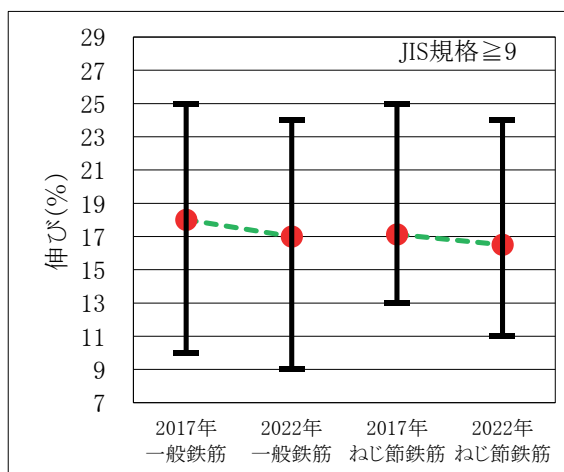
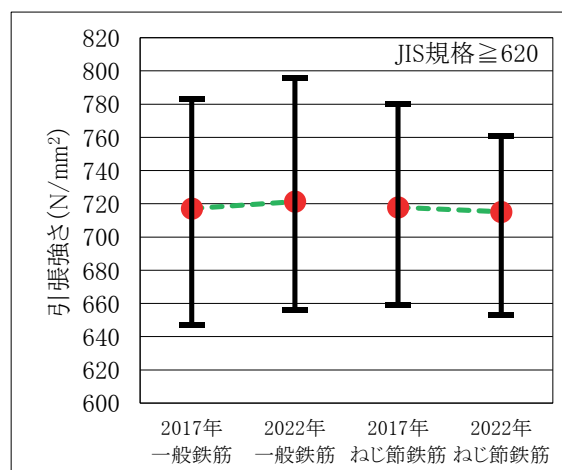
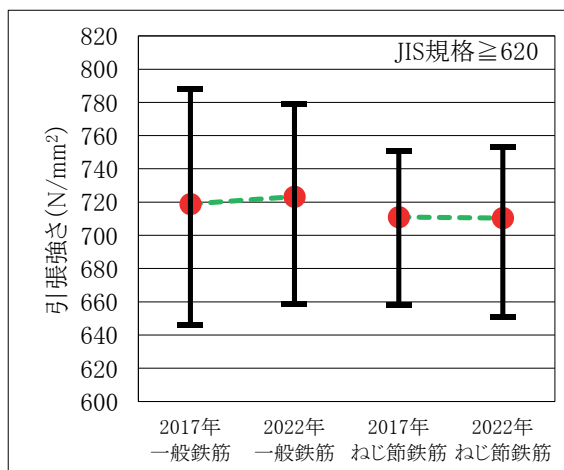
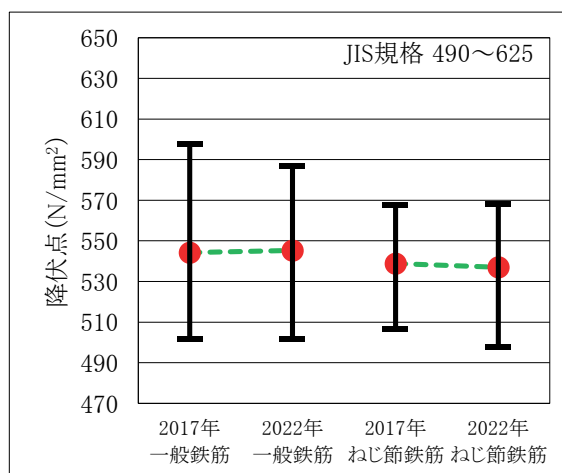
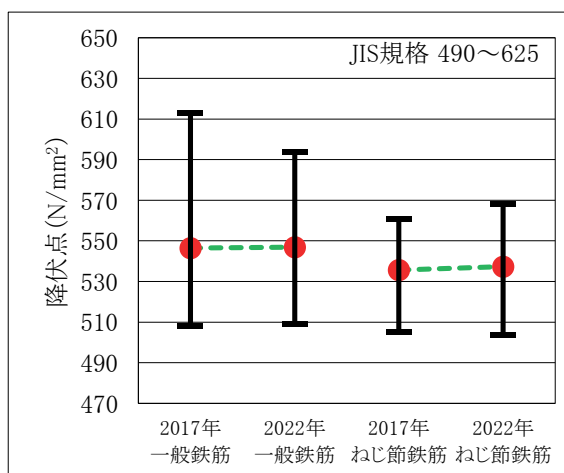


図3.4-5 機械的性質：SD490 D38

図3.4-6 機械的性質：SD490 D41

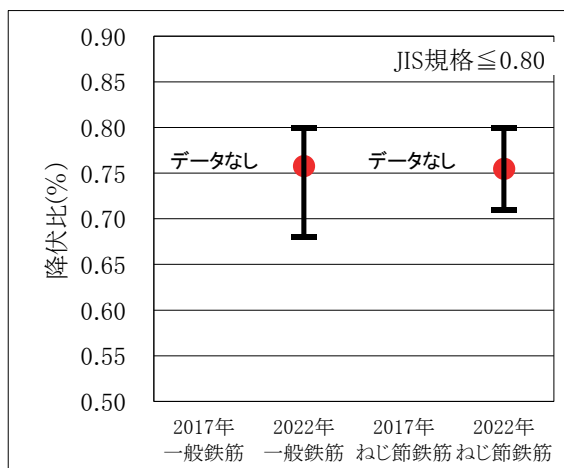
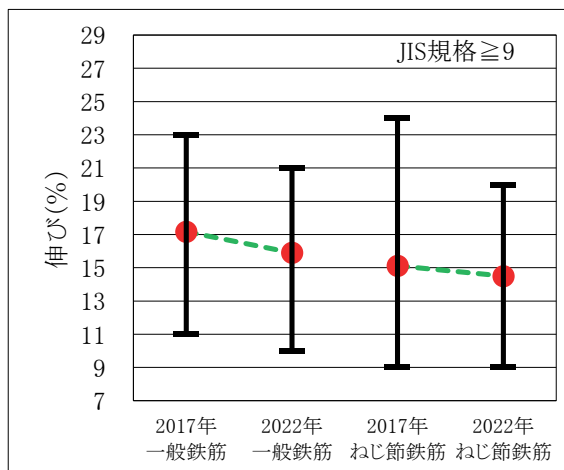
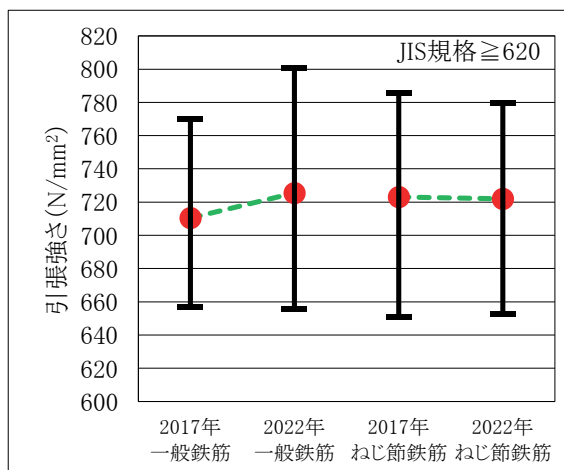
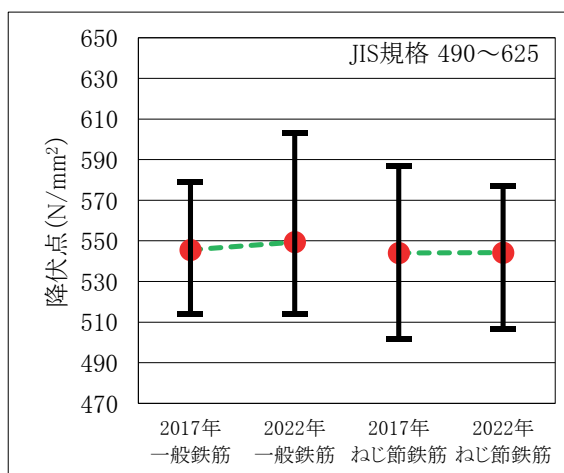


図3.4-7 機械的性質：SD490 D51

4. 単位質量調査結果

収集したデータの単位質量調査結果比較を表 4.1 に、2017 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 SD295・SD345 は前回より 0.1～0.2%重くなっているが、SD390 については 0.3～0.5%軽くなっている。
- (2) D19～D29 においては前回と比較すると平均値でほぼ同様に 0～0.2%重くなっているが SD390・D22 のみ 0.6%軽くなっている。
- (3) D32～D51 は平均値で前回と比較すると 0～0.4%重くなっているが SD390、SD490・D51 において平均値が軽くなった。

4.2 ねじ節鉄筋

- (1) D10 の製造実績は前回同様無く、今回調査では SD390・D13 が製造されている。D13・D16 の平均値で比較すると、前回より 0～0.5%重くなっている。また最大・最少の幅が前回に比べ狭くなっている。
- (2) D19～D29 は平均値で前回と比較すると前回より 0.1～1.2%重くなっている。SD390・D19 は 0.8%、SD490・D29 は 0.1%重くなっている。今回調査では前回にはなかった SD390・D13、D22 が製造されている。
- (3) D32～D51 においても平均値で前回と比較すると前回より 0.1～0.8%重くなっている。SD345・D32～D38 は 0～0.2%軽くなった。また、最大・最小値も前回と比べると重くなった傾向にある。

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にあり一般鉄筋よりねじ節鉄筋の方が重めに管理されている。
- (3) D32～D51 でも、マイナス管理傾向は変わらない。一般鉄筋よりもねじ節鉄筋の方が重めに管理されている。
又、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管理されている傾向にあるが、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 (SD295)

(単位: %)

呼び名	前回（2017年）						今回（2022年）						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ節鉄筋			一般鉄筋			ねじ節鉄筋			
	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	3	-4.5	-	-	-	-6	4	-4.2	-	-	-	±6
D13	-6	1	-4.8	-6	-1	-4.1	-6	1	-4.7	-5	-1	-3.6	±6
D16	-5	2	-3.7	-4	0	-2.4	-5	1	-3.6	-4	-1	-2.4	±5

単位質量調査結果 (SD345)

(単位: %)

呼び名	前回 (2017年)						今回 (2022年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ節鉄筋			一般鉄筋			ねじ節鉄筋			
	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	0	-3.7	-	-	-	±6
D13	-6	3	-4.7	-6	-3	-4.4	-6	3	-4.6	-5	-3	-4.2	±6
D16	-5	1	-3.7	-4	0	-2.5	-5	1	-3.5	-4	-1	-2.3	±5
D19	-5	3	-3.7	-5	0	-2.3	-5	0	-3.7	-4	3	-1.7	±5
D22	-5	4	-3.9	-4	1	-2.5	-5	5	-3.9	-4	1	-2.4	±5
D25	-5	0	-3.9	-5	-1	-3.0	-5	3	-3.8	-5	1	-2.3	±5
D29	-4	2	-2.7	-4	0	-2.7	-4	1	-2.7	-4	0	-2.5	±4
D32	-4	4	-2.7	-4	0	-2.5	-4	0	-2.7	-4	0	-2.7	±4
D35	-4	2	-2.4	-4	0	-2.1	-4	1	-2.3	-4	1	-2.1	±4
D38	-4	2	-2.2	-4	0	-1.8	-4	2	-2.1	-3	0	-1.9	±4
D41	-4	1	-1.6	-3	0	-1.6	-3	1	-1.7	-3	2	-0.8	±4
D51	-4	2	-1.7	-4	1	-1.5	-3	1	-1.3	-3	1	-1.2	±4

単位質量調査結果 (SD390)

(単位: %)

単位質量調査結果 (kg/m)														単位: mm
呼び名	前回 (2017年)						今回 (2022年)						JIS 規格値	
	一般鉄筋			ねじ節鉄筋			一般鉄筋			ねじ節鉄筋				
	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	-3.3	-	-	-	-6	-1	-3.6	-	-	-	±6	
D13	-6	1	-3.9	-	-	-	-6	0	-4.4	-5	-5	-4.6	±6	
D16	-5	1	-3.0	-2	-2	-2.2	-5	0	-3.3	-3	0	-1.5	±5	
D19	-5	0	-3.5	-2	-1	-1.4	-5	-1	-3.4	-4	-1	-2.2	±5	
D22	-5	5	-3.2	-	-	-	-5	-2	-3.8	-4	-4	-3.8	±5	
D25	-5	0	-3.6	-4	-1	-2.4	-5	-2	-3.4	-4	1	-2.1	±5	
D29	-4	1	-2.8	-4	0	-2.6	-4	0	-2.7	-4	0	-2.2	±4	
D32	-4	2	-2.8	-4	0	-2.4	-4	3	-2.8	-4	0	-2.4	±4	
D35	-4	0	-2.5	-4	0	-2.1	-4	3	-2.3	-3	1	-2.0	±4	
D38	-4	2	-2.3	-4	0	-2.0	-4	1	-2.1	-3	0	-1.7	±4	
D41	-4	1	-1.9	-3	0	-1.6	-4	1	-1.8	-2	0	-1.3	±4	
D51	-3	1	-1.4	-4	1	-1.4	-3	0	-2.1	-3	1	-1.2	±4	

単位質量調査結果 (SD490)

(単位: %)

呼び名	前回 (2017年)						今回 (2022年)						JIS 規格値
	一般鉄筋			ねじ節鉄筋			一般鉄筋			ねじ節鉄筋			
	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	-5	1	-3.2	-4	-2	-3.2	-4	0	-3.0	-4	0	-2.0	±5
D29	-4	1	-2.4	-3	1	-2.0	-4	0	-2.3	-4	1	-2.1	±4
D32	-4	0	-2.4	-4	1	-2.5	-4	2	-2.4	-4	1	-2.1	±4
D35	-4	-1	-2.3	-4	0	-2.2	-4	1	-2.0	-3	1	-1.9	±4
D38	-4	3	-2.2	-4	0	-2.0	-4	1	-2.0	-3	1	-1.8	±4
D41	-4	2	-1.6	-4	0	-1.4	-3	1	-1.5	-3	1	-1.4	±4
D51	-3	1	-1.0	-4	1	-1.6	-3	1	-1.4	-3	1	-1.5	±4

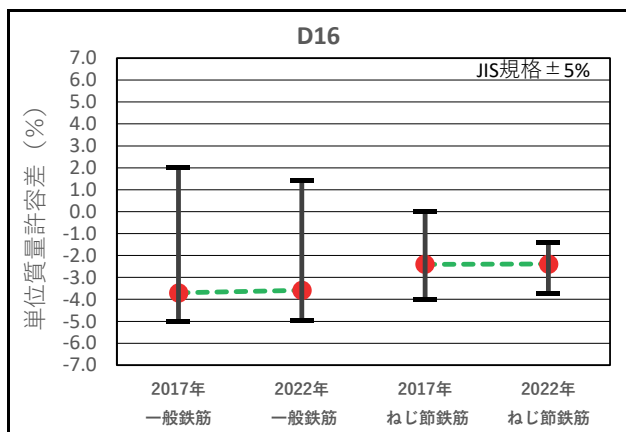
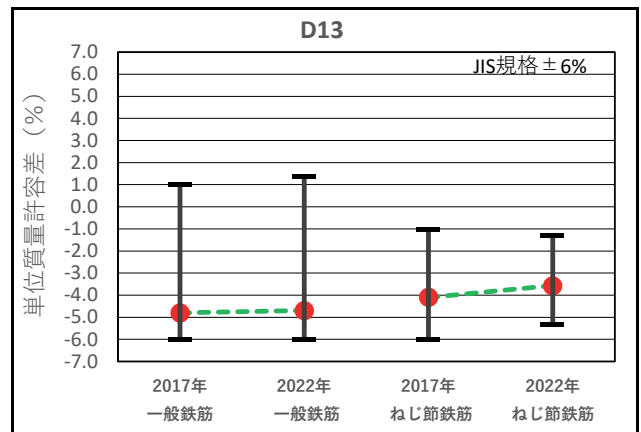
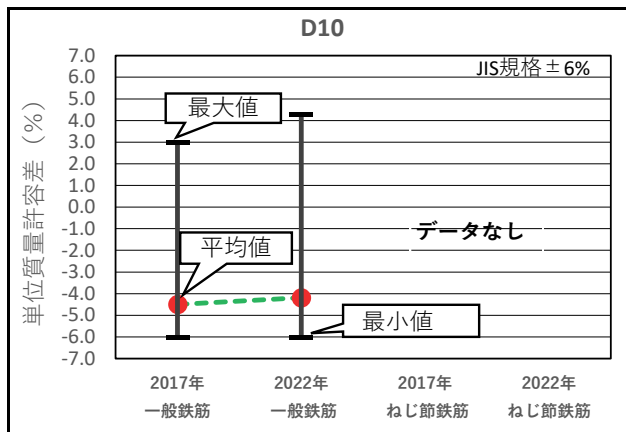


図4. 1-1 単位質量許容差 : SD295 (D10~D16)

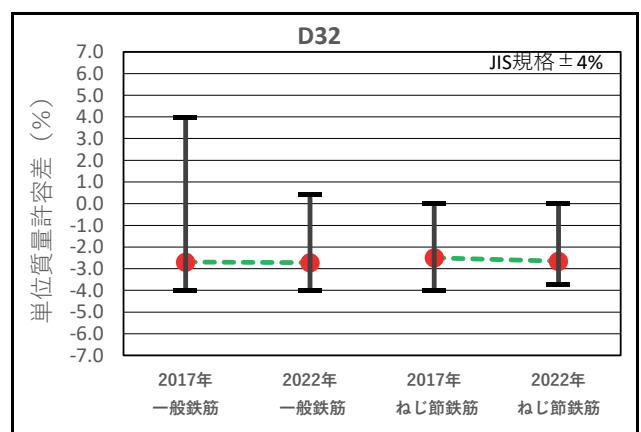
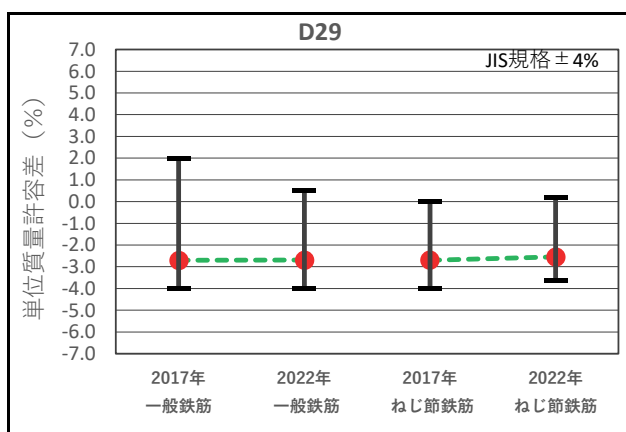
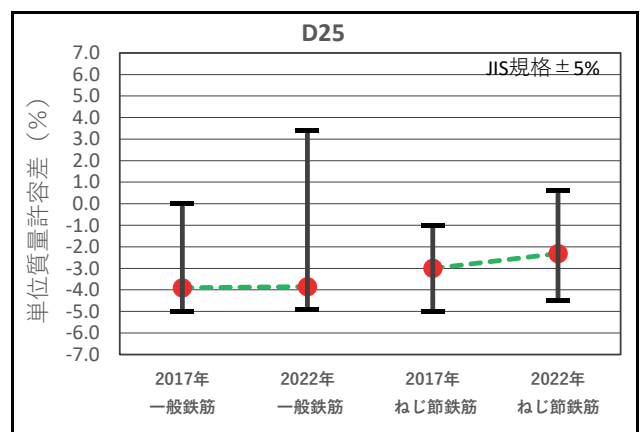
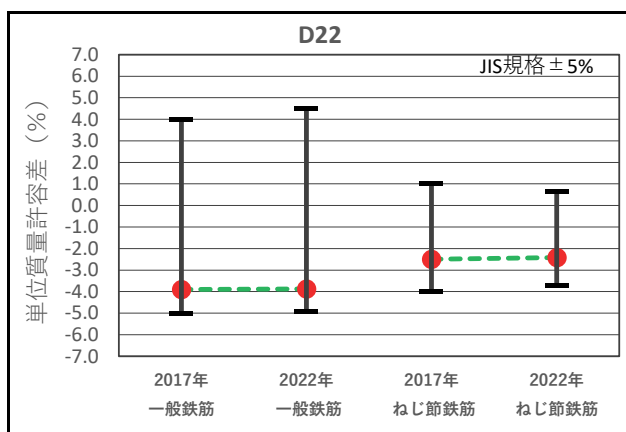
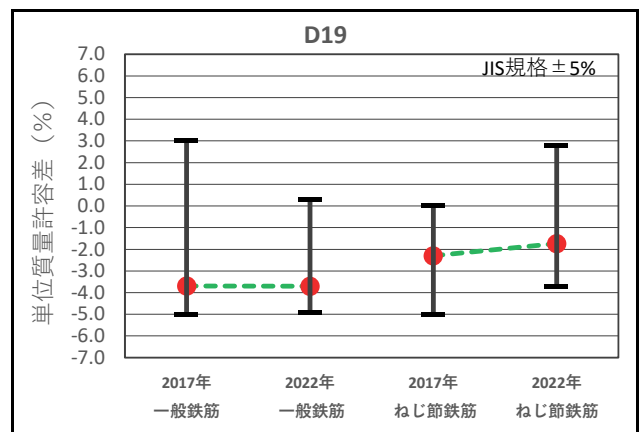
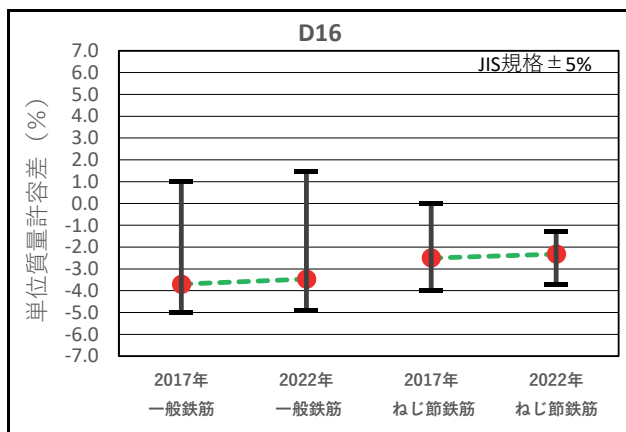
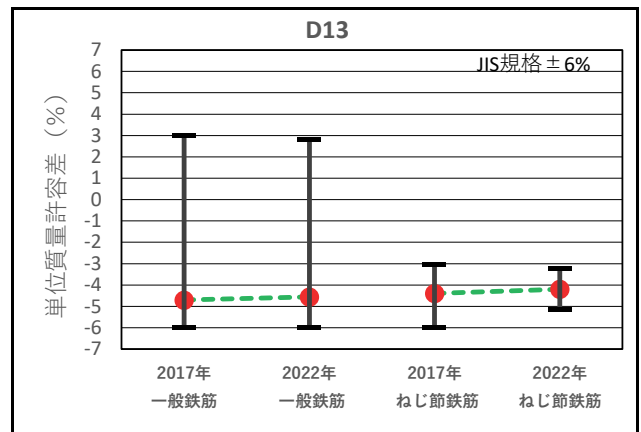
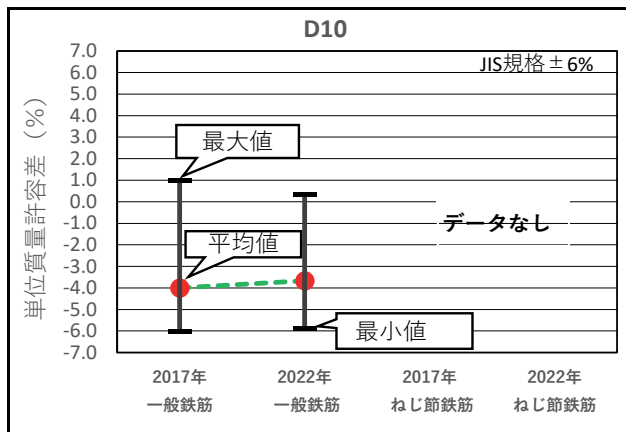


図4. 2-1 単位質量許容差 : SD345 (D10~D32)

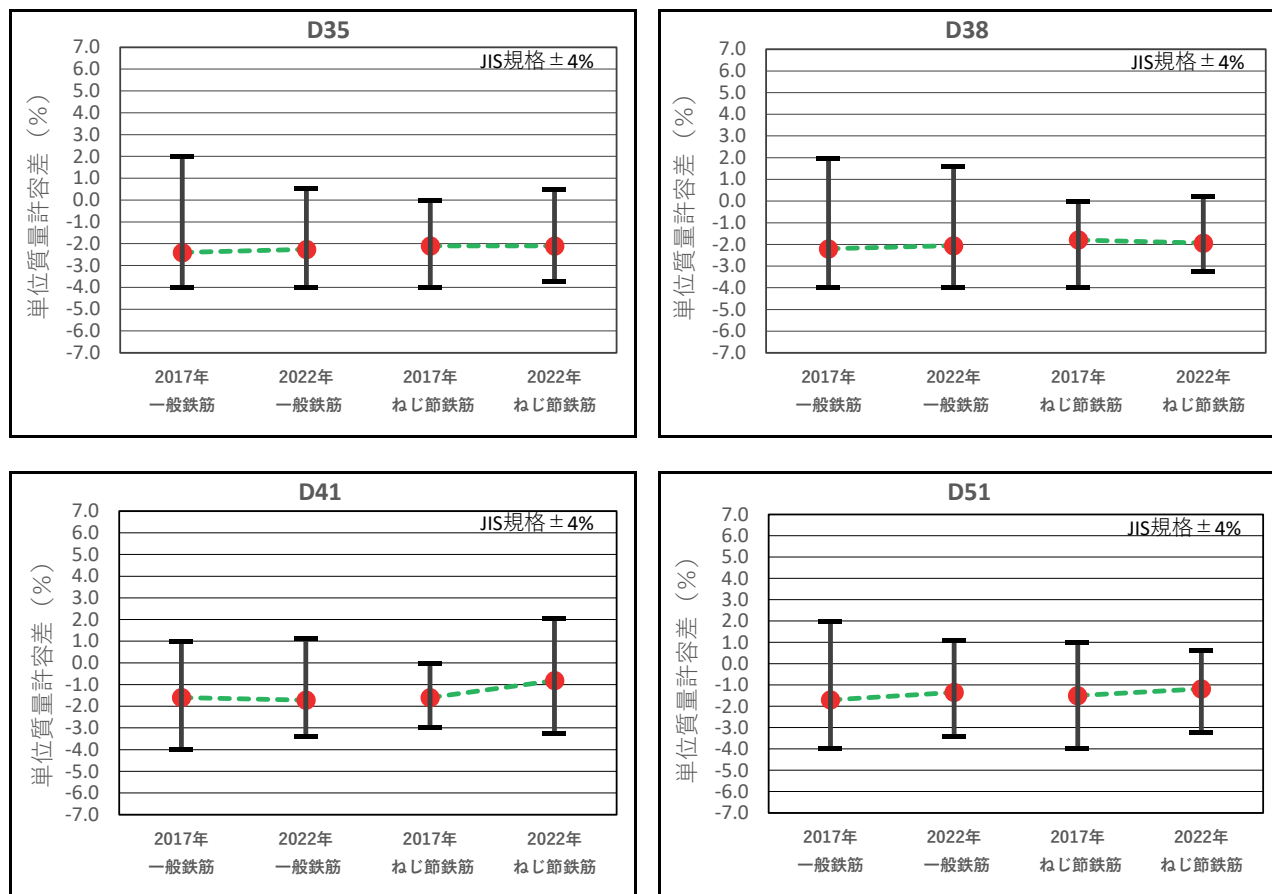


図4.2-2 単位質量許容差：SD345（D35～D51）

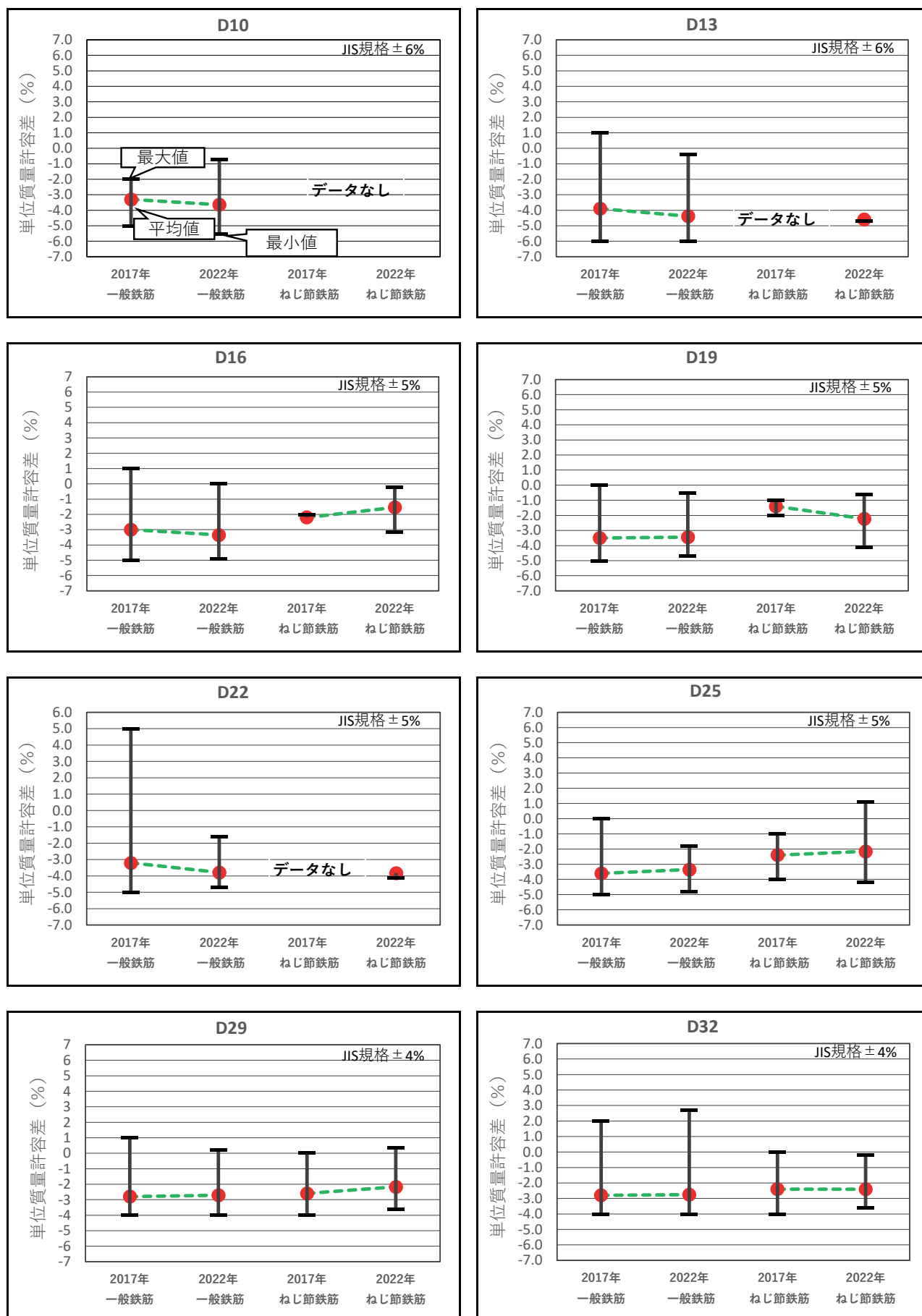


図4. 3-1 単位質量許容差 : SD390 (D10~D32)

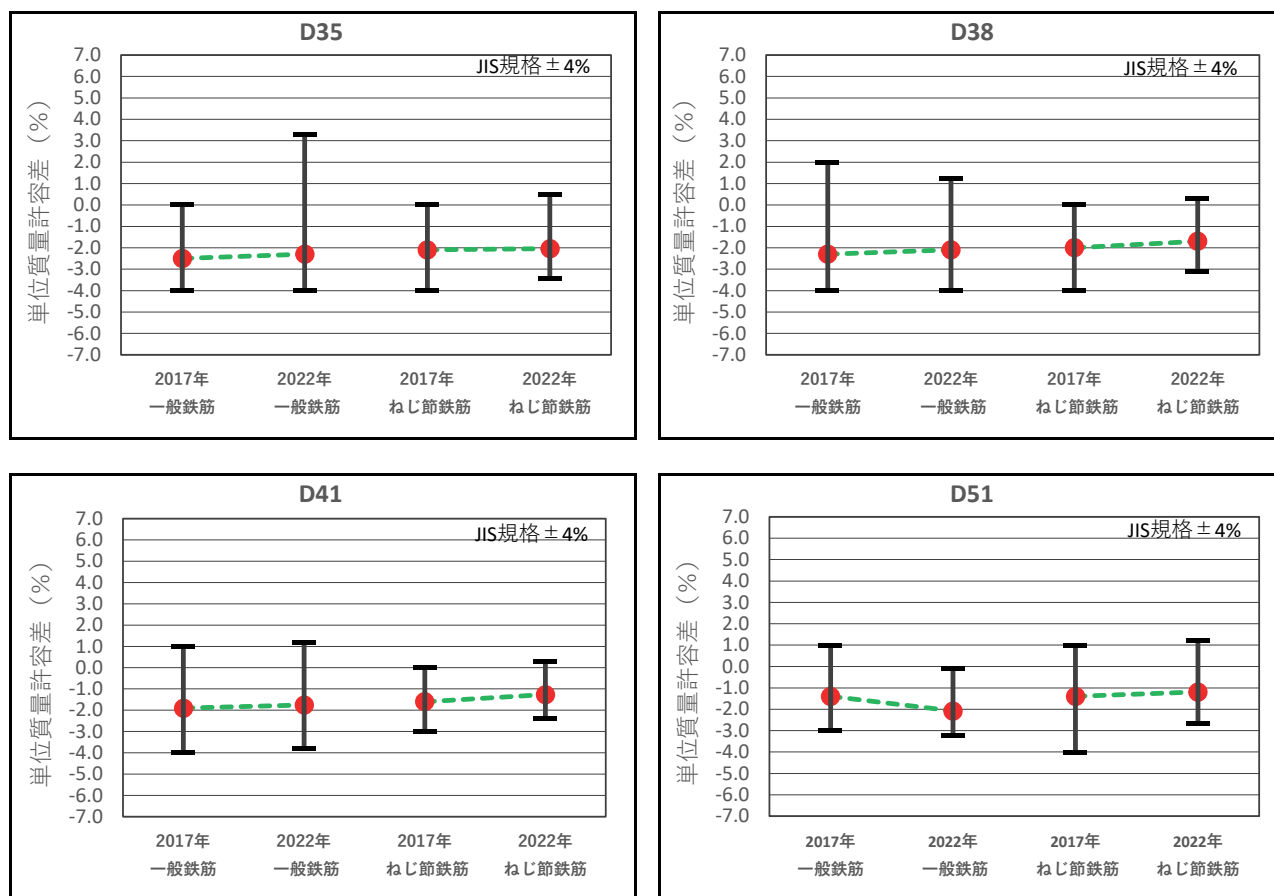


図4.3-2 単位質量許容差：SD390（D35～D51）

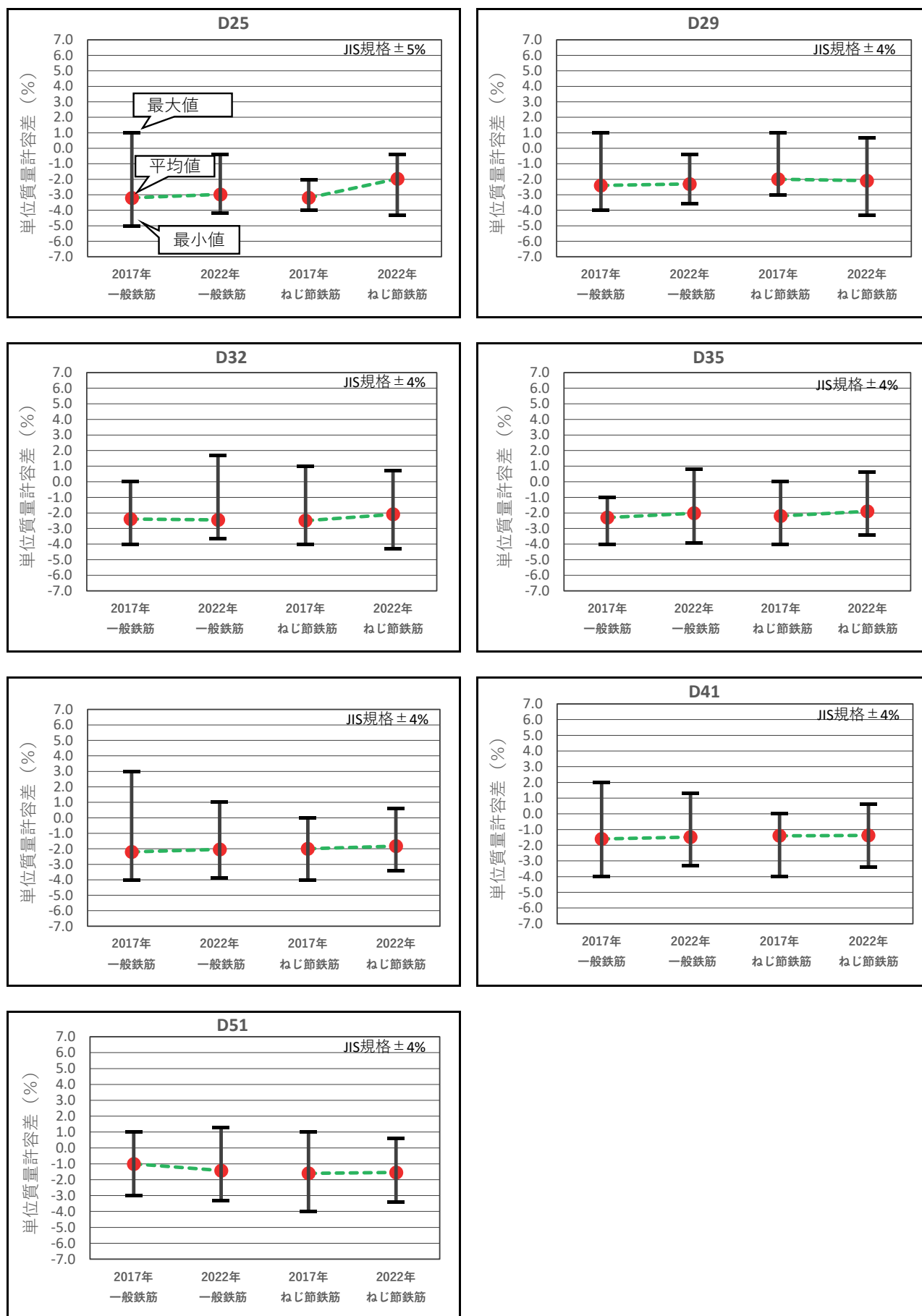


図4. 4-1 単位質量許容差：SD490（D25～D51）

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。
- (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、サイズによって前回調査から小さくなったサイズ・大きくなったサイズ両方あるが、細かくデータを見ると製造メーカーによる差異が大きいことが分かった。どちらにしろ全て規格値内であり問題ない。
- (4) ねじ節鉄筋の平均値も、一般鉄筋同様前回調査と大きな差は認められない。
また、全サイズとも一般鉄筋よりも大きな値となる傾向であることも前回同様の結果となった。
- (5) ねじ節鉄筋の最小値は、D16 のような例外はあるが、全体的に上昇しており、それにより最大値との差（ばらつき）は小さくなった。
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は製造メーカー間の差が大きく、集計上のばらつき（最大値と最小値の差）は非常に大きい。
- (2) 平均値に関しては D10～D32 では前回と同レベルであるが、D35 以上の太物になるにつれ前回よりも広がっている傾向があることが分かった。D51 では前回よりも 1.5 mm 広がっている。
- (3) 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 の平均値が前回調査とほぼ変わらず公称直径の 66%、範囲は 59%～70%、D51 の平均値は前回調査時公称直径の 51% から公称直径の 55% へ、範囲は 32%～69% であった。
- (4) ねじ節鉄筋についてはその性格上、一般鉄筋との比較で、ばらつき（最大値と最小値の差）は小さく。製造メーカーによる差異も小さい。
平均値に関しても前回調査との差も小さく、各メーカーで狭い範囲で管理されていることが分かる結果となった。
- (5) ねじ節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 の平均値は前回調査

結果とほぼ変わらず公称直径の 55% であって、範囲も前回調査時とほぼ変わらず 54%～56% であった。また D51 に於いても前回調査時とほぼ変わらず平均値は 39% であって、範囲も前回調査時とほぼ変わらず 37%～40% 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。

特にねじ節鉄筋においては、一般鉄筋の節形状に対してより高水準で JIS 規格を満足していることが再度確認され、数値自体も前回調査時とほぼ変わらない結果となった。

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 節の高さの調査結果

(単位:mm)

呼び名	前回(2017年)						今回(2022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	0.57	—	—	—	0.4	0.8	0.57	—	—	—	0.4～0.8
D13	0.5	1.0	0.70	0.8	1.0	0.92	0.5	1.0	0.69	0.7	1.0	0.88	0.5～1.0
D16	0.7	1.3	1.01	1.1	1.4	1.28	0.7	1.4	1.00	0.8	1.3	1.17	0.7～1.4
D19	1.0	1.6	1.30	1.2	1.9	1.66	1.0	1.9	1.30	1.3	1.8	1.62	1.0～2.0
D22	1.1	2.0	1.44	1.3	2.1	1.76	1.1	1.9	1.44	1.5	2.1	1.80	1.1～2.2
D25	1.3	2.0	1.64	1.5	2.5	2.02	1.3	2.3	1.63	1.7	2.5	2.04	1.3～2.6
D29	1.4	2.5	1.82	1.9	2.8	2.27	1.4	2.4	1.84	1.8	2.7	2.25	1.4～2.8
D32	1.6	2.8	1.99	1.9	3.0	2.43	1.6	2.7	2.03	1.9	3.1	2.44	1.6～3.2
D35	1.7	3.2	2.17	2.2	3.3	2.69	1.7	2.8	2.21	2.4	3.3	2.79	1.7～3.4
D38	1.9	3.0	2.37	2.3	3.6	2.96	2.0	3.3	2.47	2.6	3.4	3.00	1.9～3.8
D41	2.1	3.3	2.58	2.4	3.8	3.20	2.2	3.6	2.78	2.9	3.8	3.27	2.1～4.2
D51	2.6	4.2	3.05	3.5	4.8	4.05	2.5	3.7	3.11	3.5	4.9	4.14	2.5～5.0

表5.2 節の平均間隔の調査結果

(単位:mm)

呼び名	前回(2017年)						今回(2022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	5.4	6.7	6.28	—	—	—	5.6	6.7	6.25	—	—	—	6.7以下
D13	5.2	8.9	8.26	6.9	7.1	6.98	5.6	8.9	8.17	6.9	7.1	7.00	8.9以下
D16	7.0	11.0	10.28	7.9	8.1	8.04	5.9	11.0	10.29	7.9	8.1	8.02	11.1以下
D19	9.2	13.3	12.25	7.9	9.1	8.21	6.4	13.4	12.20	7.9	9.0	8.16	13.4以下
D22	11.6	15.3	13.97	8.9	11.0	9.56	12.2	15.4	14.12	8.9	11.1	9.43	15.5以下
D25	12.6	17.7	15.65	9.9	12.1	10.86	13.1	17.7	15.88	9.0	12.1	10.85	17.8以下
D29	13.5	19.8	17.55	11.6	14.0	12.68	13.6	19.8	17.57	11.9	14.1	12.87	20.0以下
D32	14.6	22.1	19.17	12.6	16.1	13.83	14.4	22.1	19.24	12.8	16.1	13.98	22.3以下
D35	13.7	24.4	20.65	13.8	17.0	14.91	13.8	24.4	21.01	13.9	17.0	14.72	24.4以下
D38	15.4	26.2	22.42	14.9	17.0	15.53	18.2	26.2	23.13	14.9	17.1	15.44	26.7以下
D41	15.7	28.4	23.28	15.9	17.0	16.32	16.3	28.4	23.87	15.9	17.1	16.27	28.9以下
D51	15.3	34.7	26.89	18.9	20.2	19.70	16.3	34.8	28.42	18.9	20.2	19.85	35.6以下

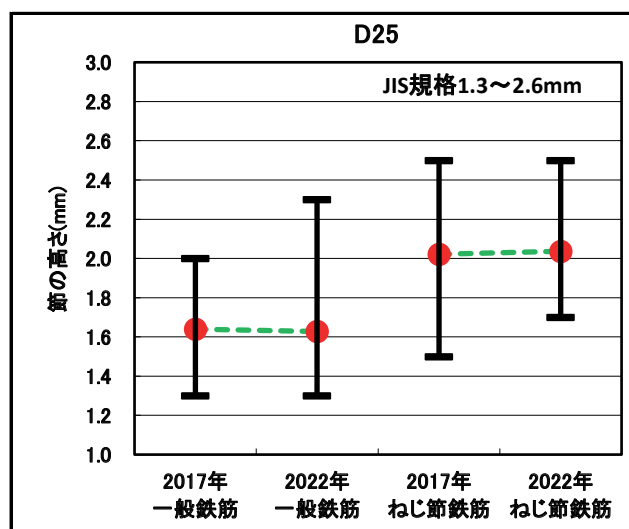
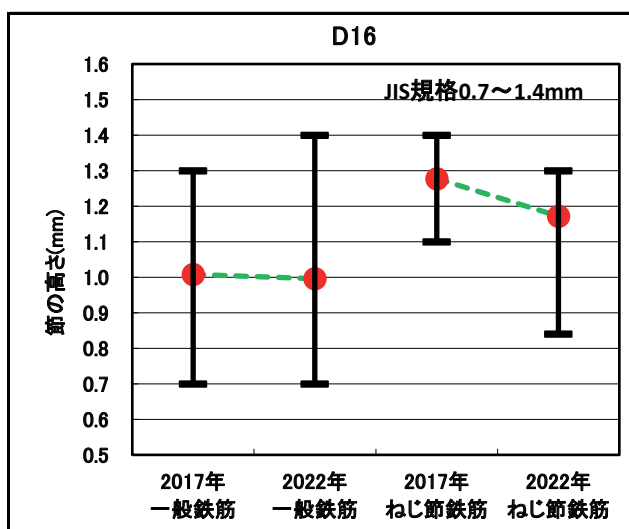
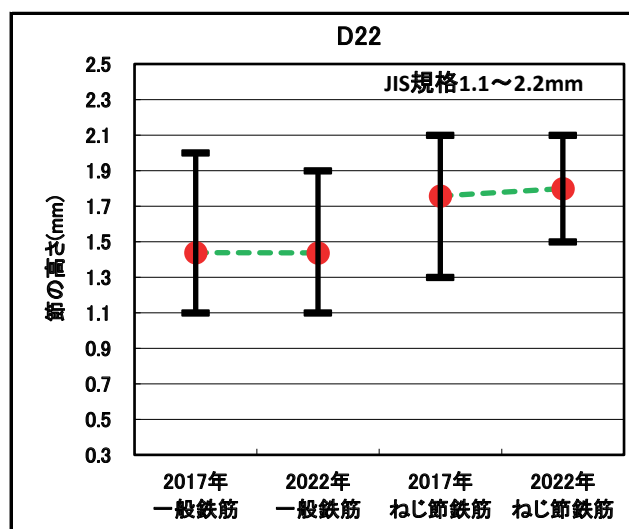
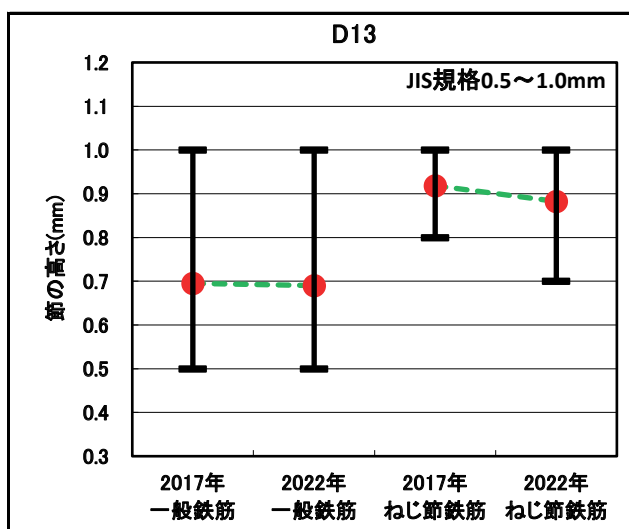
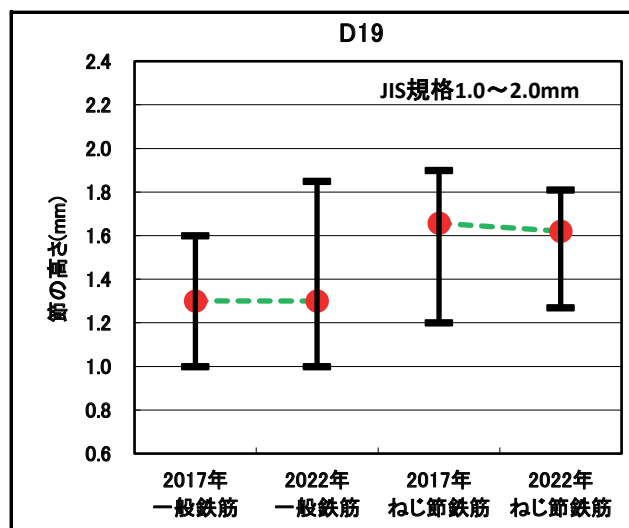
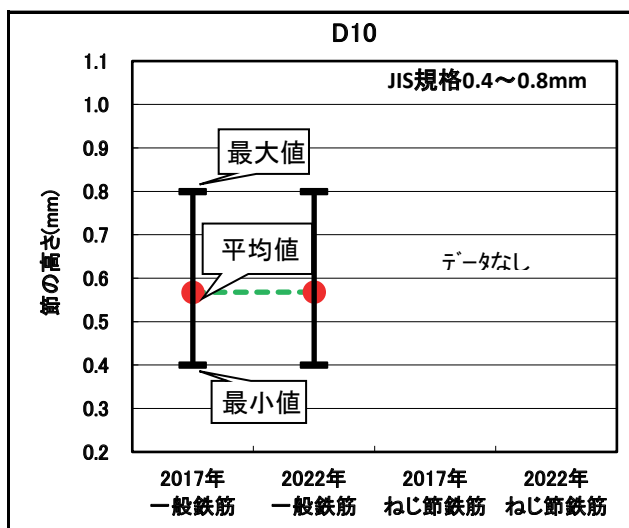


図5.1-1 節の高さ(D10～D25)

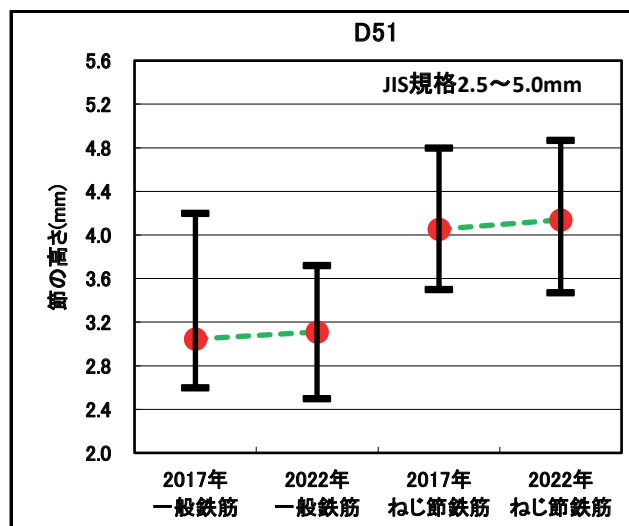
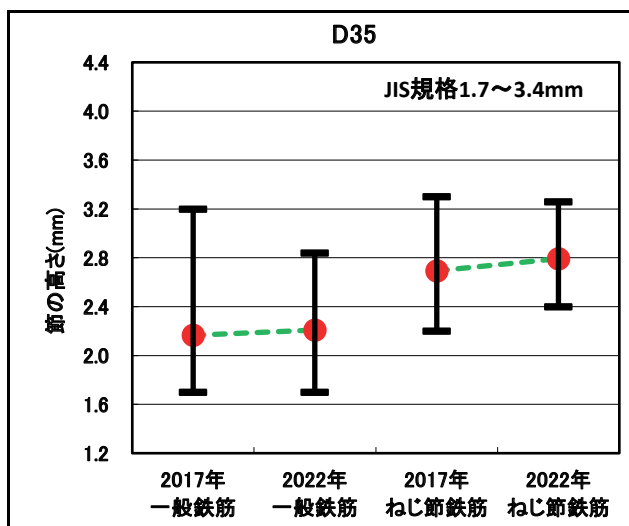
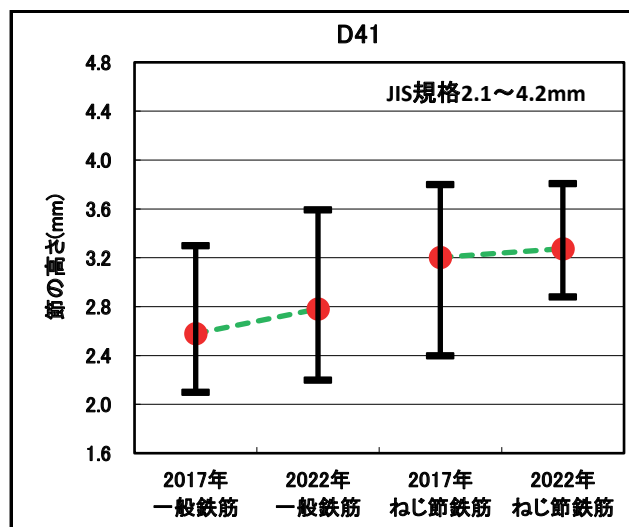
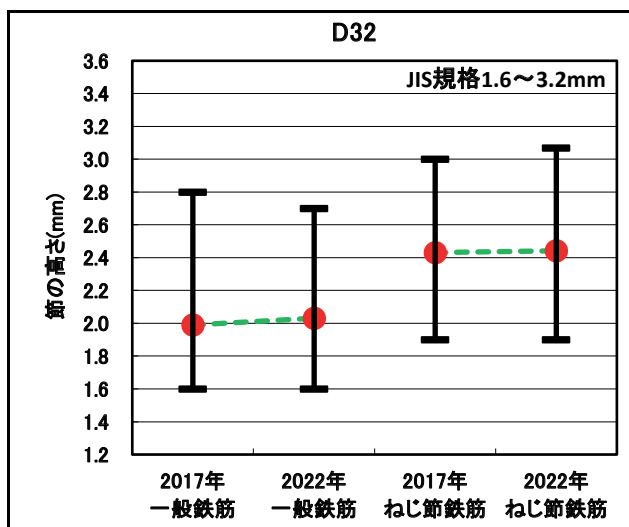
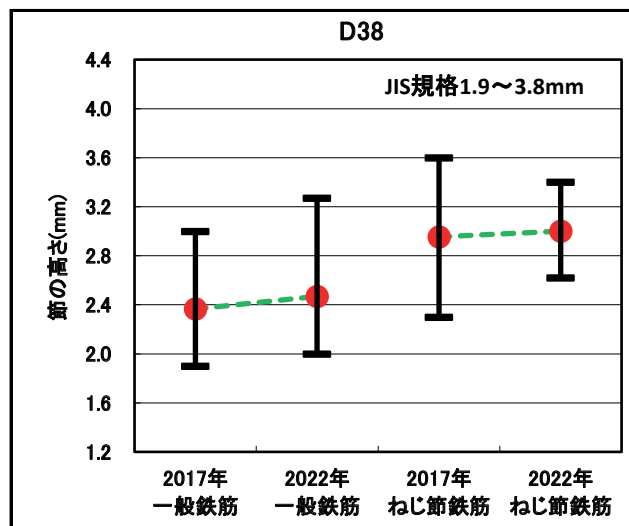
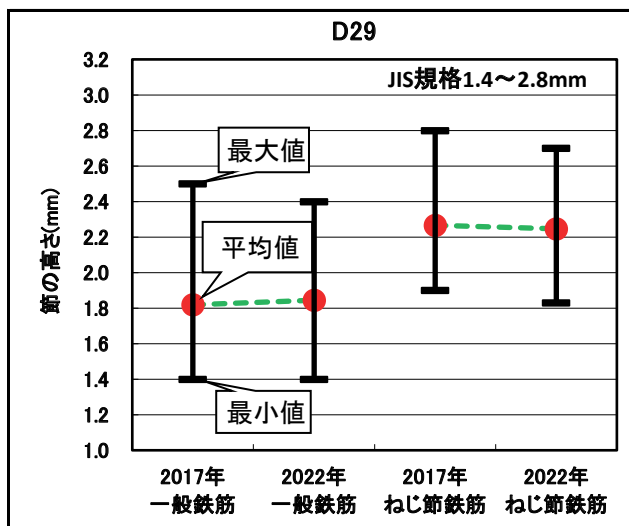


図5.1-2 節の高さ(D29～D51)

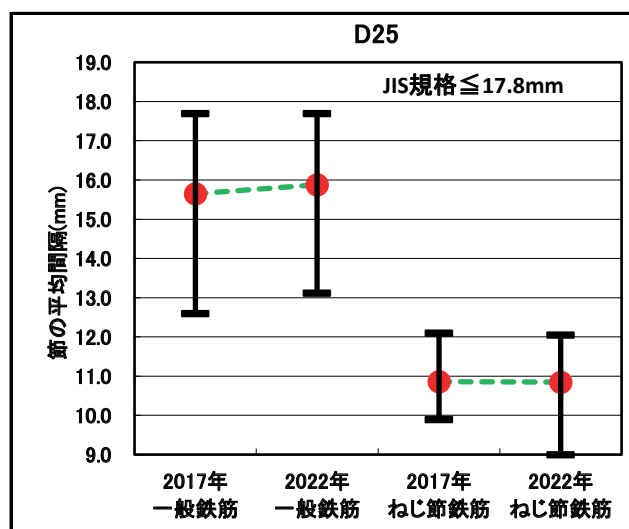
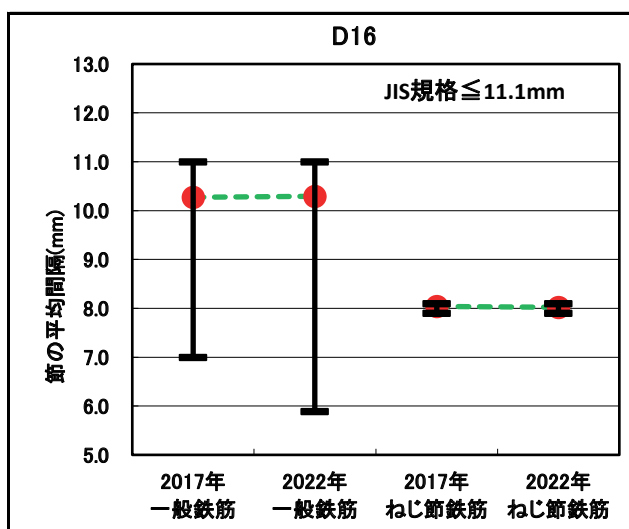
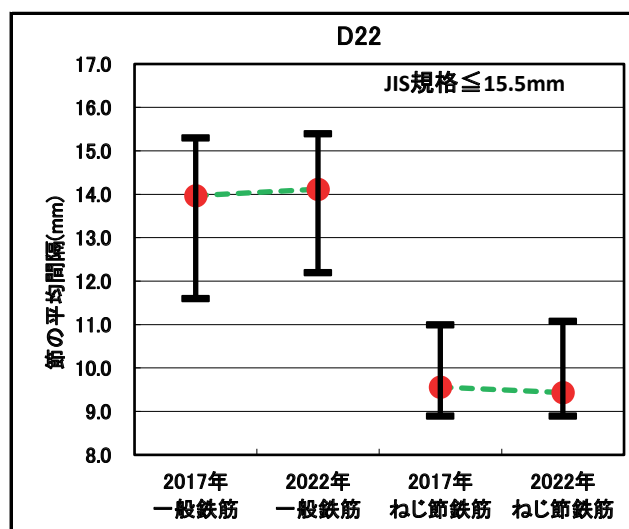
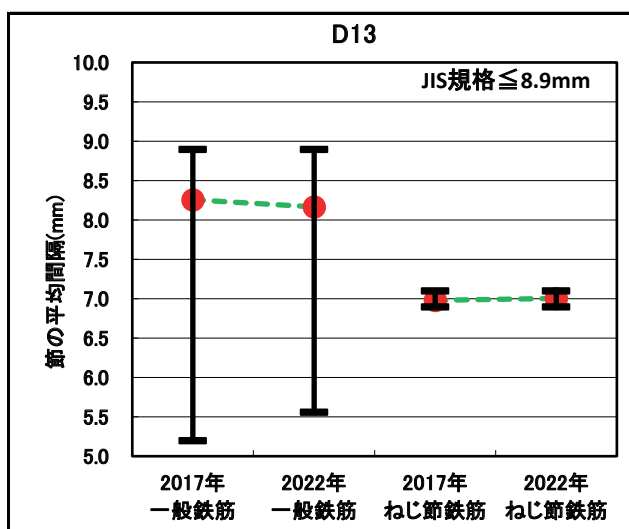
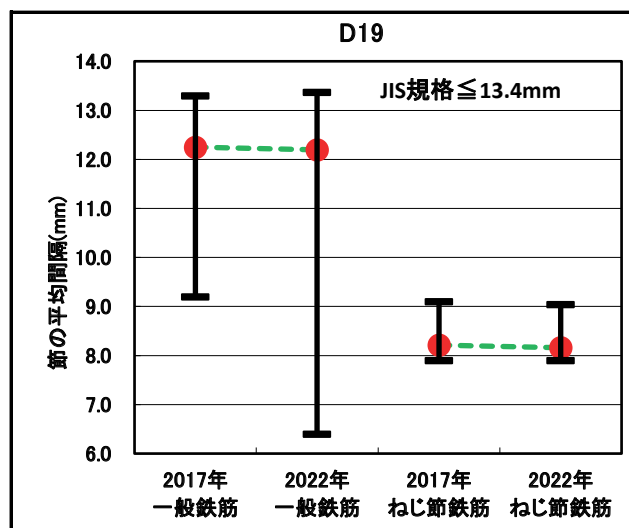
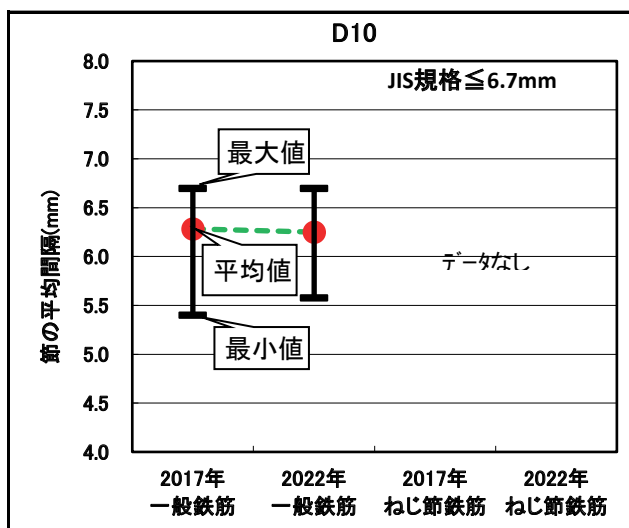


図5.2-1 節の平均間隔(D10～D25)

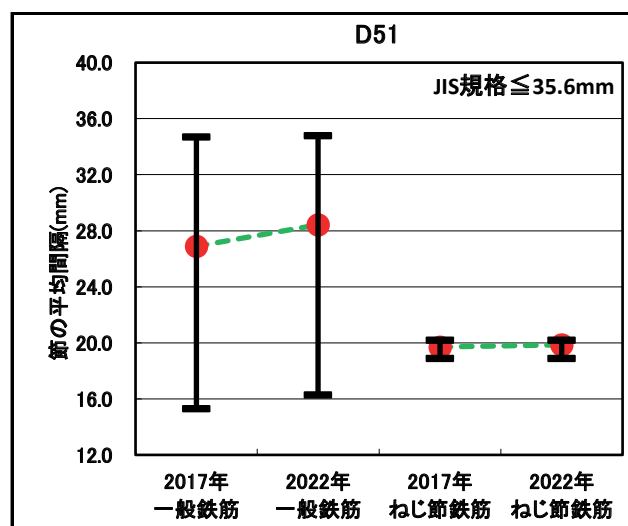
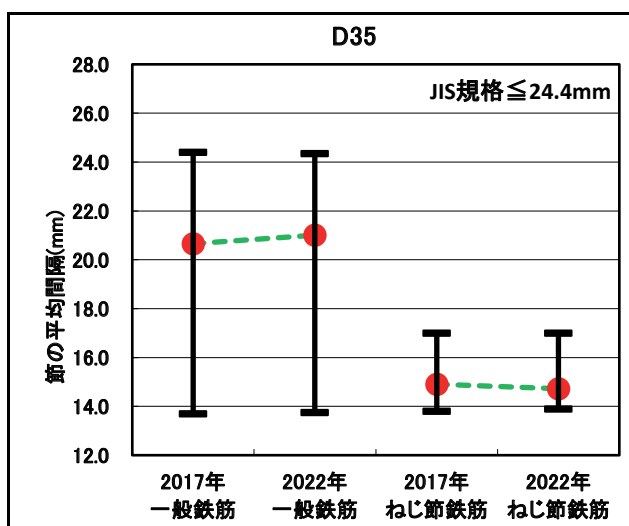
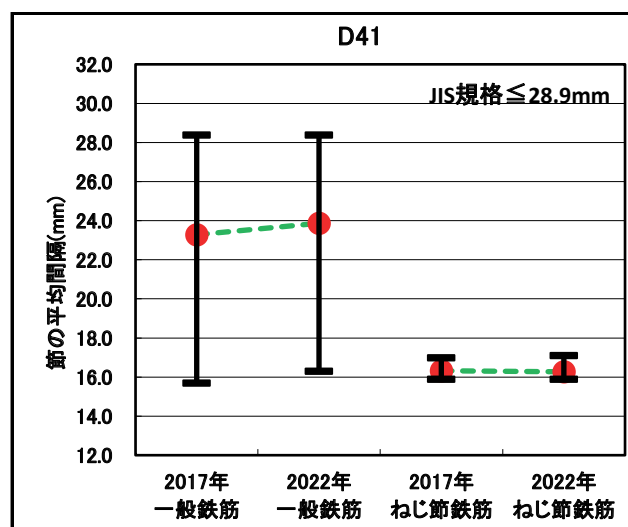
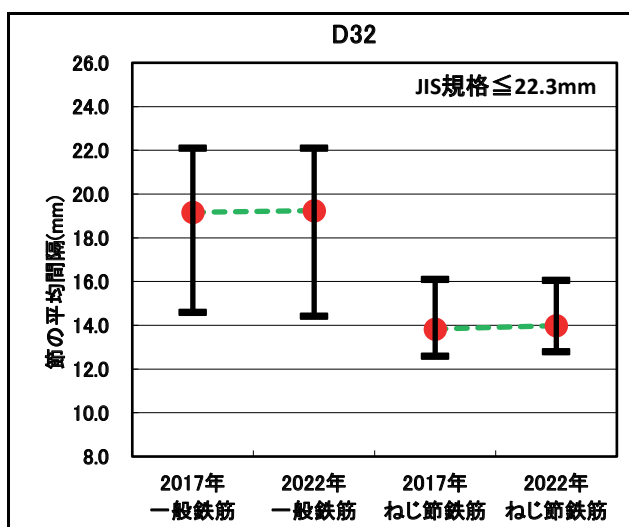
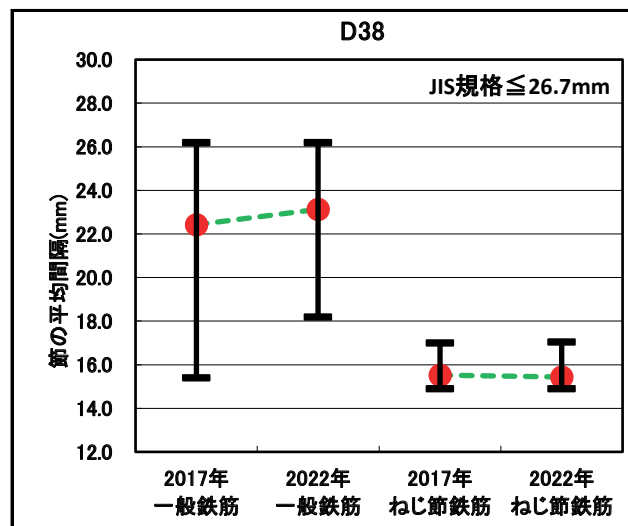
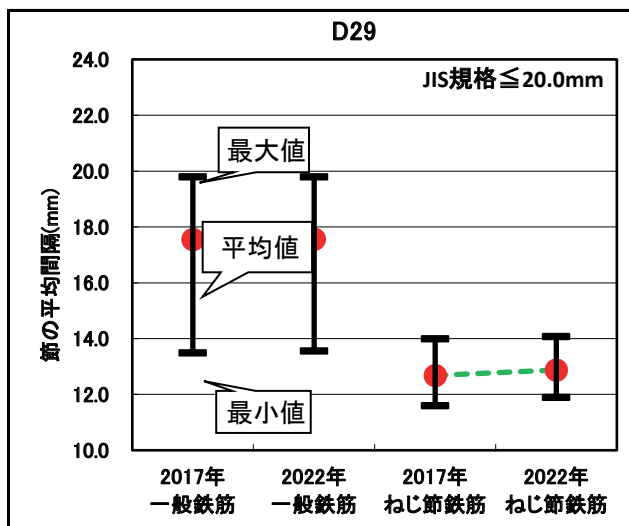


図5.2-2 節の平均間隔(D29～D51)

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	大谷製鐵(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	合同製鐵(株)	大阪製造所
14	JFE 条鋼(株)	豊平製造所
15	JFE 条鋼(株)	鹿島製造所
16	JFE 条鋼(株)	東部製造所
17	JFE 条鋼(株)	水島製造所
18	三興製鋼(株)	
19	清水鋼鐵(株)	苫小牧製鋼所
20	(株)城南製鋼所	
21	拓南製鐵(株)	本社・中部事業所
22	千代田鋼鉄工業(株)	綾瀬工場
23	(株)トーカイ	
24	東京鐵鋼(株)	本社工場
25	東京鐵鋼(株)	八戸工場
26	トピー工業(株)	豊橋製造所
27	中山鋼業(株)	
28	北越メタル(株)	長岡工場
29	三星金属工業(株)	
30	(株)向山工場	久喜工場
31	山口鋼業(株)	

23 社 31 事業所

「高強度鉄筋の現状」及び付着特性 について

－特別調査編－

1. はじめに

鉄筋コンクリートに用いる棒鋼は、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に要求される化学成分や機械的性質が規定されている。当該 JIS は 2020 年の改定により SD490 を超える SD590A、SD590B、SD685A、SD685B、SD685R、SD785R の種類の記号が新たに追加された。

しかし、SD490 を超える鉄筋は、上記の種類の記号が追加される以前より、鉄筋メーカー各社が各々国土交通大臣の認定を受けて製造し、市場へ供給されている。JIS G 3112 改定後に、これらの鉄筋を JIS 品に切り替えるメーカーは今のところ見られていない。

本調査は、「高強度鉄筋」を「鉄筋メーカー各社が大臣認定を受けて製造する、降伏点が 590N/mm^2 級および 685N/mm^2 級の主筋用鉄筋ならびに降伏点が 685N/mm^2 級および 785N/mm^2 級のせん断補強筋」と定義し、その品質等の現状を調査するものである。

「大臣認定品の鉄筋」と「JIS 鉄筋」

鉄筋は建築基準法第 37 条に定められる、建物の主要な構造部などに使用する「指定建築材料」である。その品質は国土交通大臣の指定する日本産業規格に適合するものとされている。

ここで、鉄筋が適合すべき日本産業規格は告示第 1446 号「建築物の基礎、主要構造部等に使用する建築材料並びにこれらの建築材料が適合すべき日本工業規格又は日本農林規格及び品質に関する技術的基準を定める件」により JIS G 3112-1987 と定められている。同 JIS には異形棒鋼の種類の記号として SD295A、SD295B、SD345、SD390、SD490 までが定められているため、2020 年版で追加された SD590A 以上の規格は存在しない。

また、建築基準法施行令第 90 条および平 12 告示第 2464 号「鋼材等及び溶接部の許容応力度並びに材料強度の基準強度を定める件」により、鉄筋の許容応力度、材料強度の基準強度が定められており、SD295A、SD295B、SD345、SD390 について基準強度が定められている。SD490 については、平 13 告示第 1024 号「特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件」にて基準強度が定められている。SD490 を超えた SD590A 以上の JIS 鉄筋についてはこれらの強度が未指定のため、JIS で製造した高強度鉄筋は建築では使用できない。このため、建築物に用いるためには製造者・製造工場ごとに建築基準法第 37 条第二に基づき、国土交通大臣の認定を受け、許容応力度や材料強度の指定を受けて使用されているのが現状である。

一方、土木分野において高強度鉄筋は、建築のような法律上の縛りはなく、発注者や設計者の判断で用いられている。設計の拠り所としては土木学会のコンクリート標準示方書や鉄道総研の鉄道標準に高強度鉄筋に関する記述があり、いずれも JIS G 3112：2020 改定を反映した内容となっている。しかし、使用実績はないと推察される。

1.1 高強度鉄筋の開発背景

1980 年代半ばから、高さ 60m を超える超高層の鉄筋コンクリート建築物が施工されるようになった。これに伴い、高強度コンクリートの使用、鉄筋の太径化、高強度化の傾向が現れてきた。このような状況の中で、高強度コンクリートを構造材料として活用する建築物の設計にあたって高強度コンクリートのポテンシャル性能を最大限に利用する方法として鉄筋の高強度化が考えられた。

建設省(当時)において、昭和 63 年度から平成 4 年度までの 5 か年計画で、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超軽量・超高層化技術の開発」¹⁾ (以下 New RC 総プロ) が実施され、そこに設置された高強度鉄筋分科会において、USD685 等の高強度鉄筋の品質規格等が策定された。

1990 年代半ばから鉄筋メーカー各社は NewRC 総プロの品質規格に準じた降伏点 685N/mm² 級の鉄筋を開発し、大臣認定を取得したうえで製造販売が行われた。その後、2000 年代半ばに、NewRC 総プロの規格にない降伏点が 590N/mm² 級の鉄筋が開発された。これは 685N/mm² 級鉄筋と既存の SD490 鉄筋の降伏強度の差が大きいため、これを補間するニーズを捉え、開発されたものと考えられる。

一方、せん断補強筋の 785N/mm² 級鉄筋は NewRC 総プロに先だって実用化されており、主筋同様に製造者毎に大臣認定を受け、溶接閉鎖型せん断補強筋としての部材実験等を行い、設計施工指針を策定した上で市場に供給されている。また、2000 年代半ばから New RC 総プロの規格にはない 685N/mm² 級のせん断補強筋が開発された。685N/mm² 級せん断補強筋は、短期許容応力度が 785N/mm² 級と同等であり、コストパフォーマンスに優れる高強度せん断補強筋として市場に供給されている。

普電工会員会社における高強度鉄筋の大臣認定取得は 2022 年では主筋用で 8 社 29 件、せん断補強筋用で 12 社 23 件となっている。

普電工会員会社の高強度鉄筋の大臣認定取得件数を図 1 に示す。

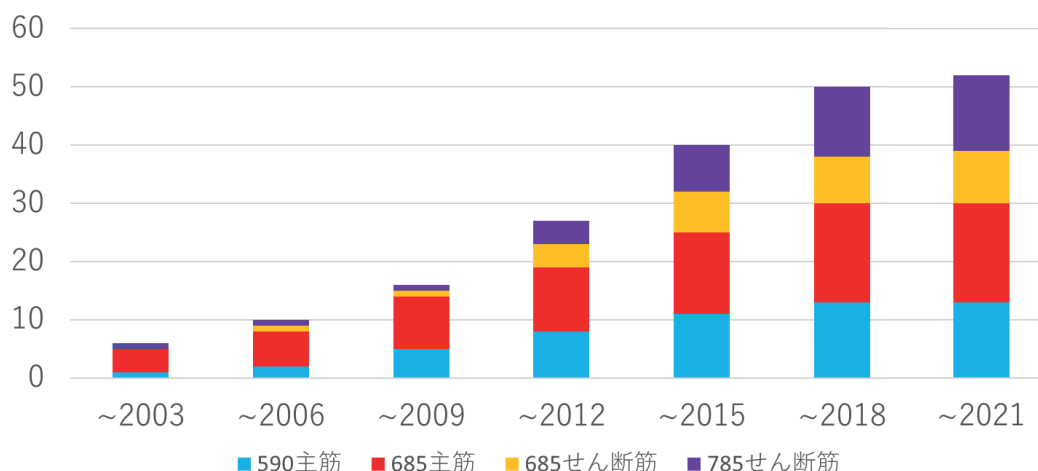


図 1. 普電工会員会社の大臣認定取得件数

1.2 高強度鉄筋に求められる性能

高強度鉄筋には、下記の性能が要求されている。その項目と求められる理由を下記に解説する。

1.2.1 主筋

① 降伏点（上限値・下限値）

降伏点が規格降伏点以上で、かつ、規格降伏点の 1.1 倍以下であること。

⇒部材の曲げ降伏荷重を精度よく保証するために上下限值が要求される（例：設計者の意図しないせん断破壊等を防止する）。

② 降伏棚のひずみ度

ひずみが 1.4%になるまで応力は降伏点の上限値以下であること。

⇒鉄筋にある程度の長さの降伏棚を持たせることで、巨大地震時にも部材が急激な耐力低下を起こさずに変形する性能を持たせるために要求される。

③ 降伏比

（降伏点／引張強さ）が規定値（0.80 または 0.85）以下であること。

⇒曲げ降伏する梁端などで、変形が局部に集中せず、部材の降伏領域が適度に広がることを期待するため要求される。

④ 伸び

破断時の伸びが 10%以上であること。

⇒所要の曲げ加工ができるようにすること、かつ、そこに大きな力が作用しても破断しないようにするため要求される。

1.2.2 せん断補強筋

① 降伏点

降伏点が規格降伏点以上であること。

⇒保証強度を確保するために要求される。

② 伸び

破断時の伸びが規定値以上であること。

⇒所要の曲げ加工ができるようにすること、かつ、そこに大きな力が作用しても破断しないようにするため要求される。

2. JIS G 3112：2020 で追加された高強度鉄筋の規格

2020 年の JIS 改定により追加された SD490 を超える鉄筋の化学成分の規格を表 2.1、機械的性質の規格を表 2.2 に示す。

表 2.1 化学成分

種類の記号	C	Si	Mn	P	S	炭素等量
SD590A	0.45 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.80 以下
SD590B	0.45 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.80 以下
SD685A	0.50 以下	2.00 以下	2.00 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.85 以下
SD685B	0.50 以下	2.00 以下	2.00 以下	0.035 以下	0.035 以下	0.85 以下
SD685R	0.40 以下	1.00 以下	1.50 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.80 以下
SD785R	0.45 以下	1.00 以下	2.00 以下	0.040 以下	0.040 以下	0.80 以下

表 2.2 機械的性質

種類の記号	降伏点 又は耐力 N/mm ²	引張強さ N/mm ²	降伏比 %	引張試験片	伸び ^{a)} %	曲げ性	
						曲げ 角度	内側半径
SD590A	590～679 ^{c)}	695 以上	85 以下	2 号に準じるもの	10 以上	90°	公称直径の 2 倍
SD590B	590～650 ^{c)}	738 以上	80 以下	14A 号に準じるもの	10 以上	90°	公称直径の 2 倍
SD685A	685～785 ^{c)}	806 以上	85 以下	の	10 以上	90°	公称直径の 2 倍
SD685B	685～755 ^{c)}	857 以上	80 以下		10 以上	90°	公称直径の 2 倍
SD685R	685～890	806 以上	—		8 以上	90° ^{b)}	公称直径の 1.5 倍 ^{b)}
SD785R	785 以上	924 以上	—		8 以上	90° ^{b)}	公称直径の 1.5 倍 ^{b)}

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。

^{b)} 受渡当事者間の協定によって、曲げ角度・内側半径を他の値に変更して良い。

^{c)} 降伏棚のひずみ度は 1.4% 以上とする。

3. 高強度鉄筋の調査

3.1 調査方法

今回の調査は、普通鋼電炉工業会会員会社の内、高強度鉄筋を生産している全国 14 社から、5 か年度の生産量および品質データを収集した。本調査における「高強度鉄筋」とは普通鋼電炉工業会の会員各社が国土交通省の大臣認定を取得した「降伏点が 590N/mm² 級の主筋（以下 SD590 級と称す）」及び「685N/mm² 級の主筋（以下 SD685 級）」並びに「降伏点が 685N/mm² 級のせん断補強筋（以下 SD685R 級）」及び「785N/mm² 級のせん断補強筋（以下 SD785R 級）」を指すものとする。

データ収集は 2017 年 4 月から 2022 年 3 月の期間とし、この間で製造した主筋（D35、D38、D41）、せん断補強筋（D10、D13、D16）の 12 品種について、生産量、化学成分、機械的性質、寸法の品質データをアンケート方式で収集した。

3.2 生産量

高強度鉄筋の生産量を表 3.1 および図 3.1 に全体の鉄筋生産量と合わせて示す。主筋及びせん断補強筋を合わせた高強度鉄筋の生産量は平均約 78 千トン／年で、全ての鉄筋生産量の約 1%であった。高強度鉄筋の用途としては主筋用が 2 割、せん断補強筋用が 8 割の比率であった。種類の記号（鋼種）の比率は、SD590 級 13.5%、SD685 級 3.0%、SD685R 級 17.7%、SD785R 級 65.8%であり、高強度鉄筋のおよそ 2/3 を SD785R 級鉄筋が占めていた（図 3.2）。

表 3.1 高強度鉄筋の生産量

単位：鉄筋生産量は千トン、その他はトン

年度	2017	2018	2019	2020	2021	合計	平均
主筋用	9,526	9,891	14,529	16,601	13,993	64,540	12,908
補強筋用	57,135	74,260	65,389	64,897	63,676	325,357	65,071
高強度合計	66,661	84,151	79,918	81,498	77,669	389,897	77,979
鉄筋生産量	7,964	8,094	7,557	7,197	7,309	38,121	7,624

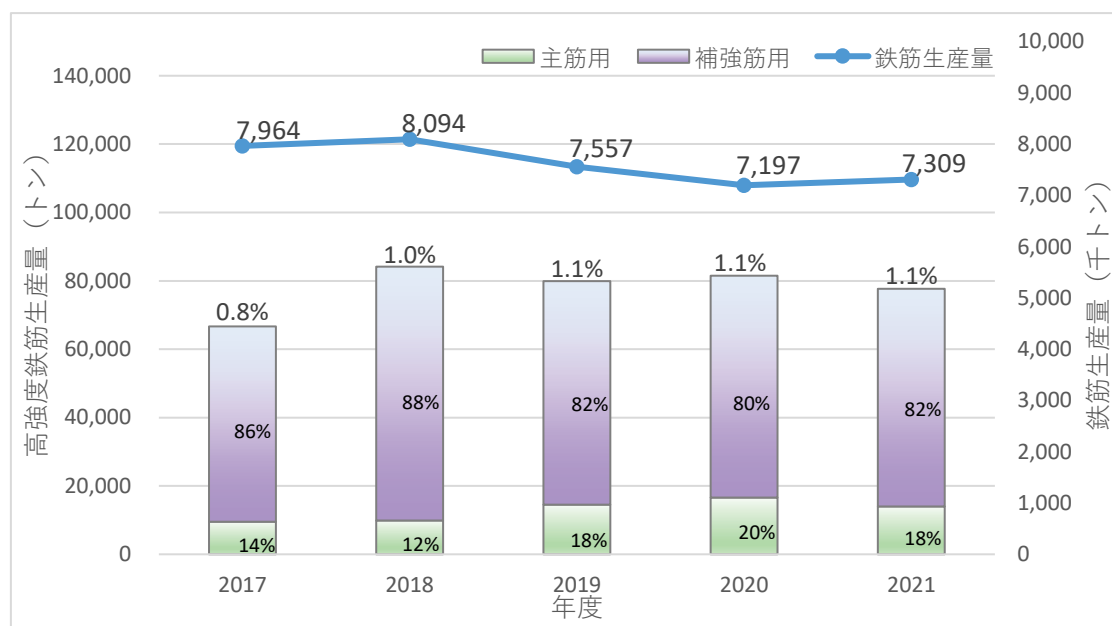


図 3.1 高強度鉄筋の生産量推移

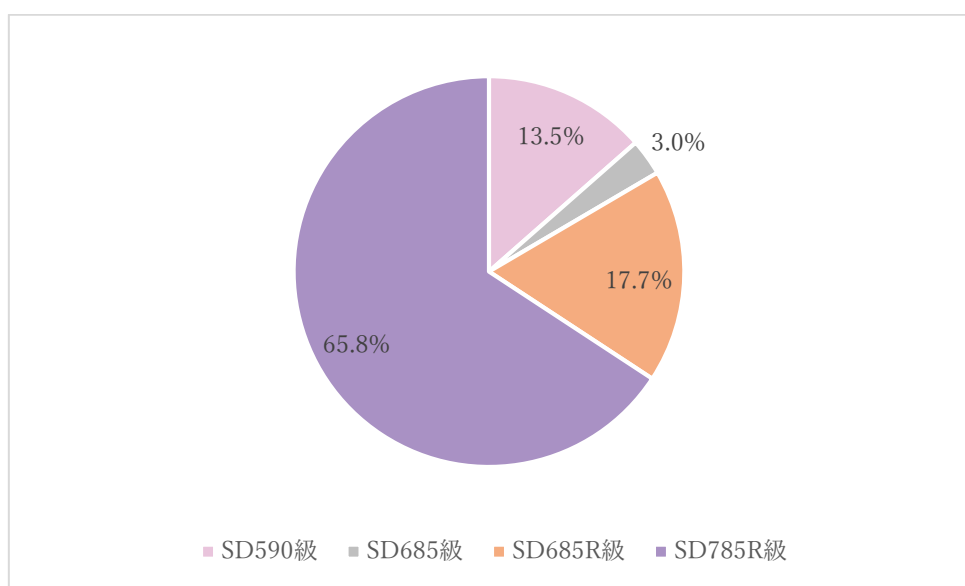


図 3.2 高強度鉄筋の生産量における種類の記号の比率

3.3 化学成分

化学成分の調査結果を表 3.2、表 3.3 に示す。調査結果の概要は次のとおりである。

表 3.2 SD590 級、SD685 級の化学成分の調査結果

		SD590級				SD685級			
		最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
C (%)	D35	—	—	—	0.45以下	0.33	0.33	0.330	0.50以下
	D38	0.26	0.27	0.268		—	—	—	
	D41	0.23	0.31	0.263		0.30	0.36	0.336	
Si (%)	D35	—	—	—	1.00以下	0.49	0.49	0.490	2.00以下
	D38	0.50	0.55	0.512		—	—	—	
	D41	0.29	0.62	0.479		0.33	0.58	0.502	
Mn (%)	D35	—	—	—	2.00以下	1.22	1.22	1.220	2.00以下
	D38	1.18	1.23	1.204		—	—	—	
	D41	0.96	1.37	1.237		1.19	1.33	1.253	
P (%)	D35	—	—	—	0.040以下	0.023	0.023	0.0230	0.035以下
	D38	0.021	0.026	0.0248		—	—	—	
	D41	0.011	0.026	0.0206		0.012	0.027	0.020	
S (%)	D35	—	—	—	0.040以下	0.013	0.013	0.0130	0.035以下
	D38	0.010	0.019	0.0152		—	—	—	
	D41	0.004	0.023	0.0118		0.005	0.020	0.0114	

表 3.3 SD685R 級、SD785R 級の化学成分の調査結果

		SD685R級				SD785R級			
		最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
C (%)	D10	0.30	0.36	0.327	0.40以下	0.32	0.40	0.344	0.45以下
	D13	0.28	0.36	0.309		0.32	0.40	0.352	
	D16	0.29	0.38	0.321		0.32	0.40	0.355	
Si (%)	D10	0.17	0.26	0.231	1.00以下	0.20	0.28	0.236	1.00以下
	D13	0.16	0.78	0.235		0.11	0.34	0.240	
	D16	0.17	0.28	0.233		0.20	0.31	0.240	
Mn (%)	D10	0.93	1.07	1.010	1.50以下	0.98	1.18	1.077	2.00以下
	D13	0.87	1.48	1.052		1.01	1.29	1.101	
	D16	0.91	1.19	1.054		1.04	1.25	1.131	
P (%)	D10	0.013	0.027	0.0205	0.040以下	0.013	0.030	0.0239	0.040以下
	D13	0.010	0.031	0.0225		0.013	0.037	0.0235	
	D16	0.010	0.029	0.0222		0.013	0.033	0.0240	
S (%)	D10	0.009	0.026	0.0150	0.040以下	0.009	0.029	0.0176	0.040以下
	D13	0.007	0.030	0.0159		0.006	0.030	0.0182	
	D16	0.007	0.031	0.0150		0.006	0.030	0.0120	

3.3.1 SD590 級

SD590 級の C、Si、Mn、P、S の値はすべて JIS の範囲内であった。

- (1) C 量の平均値は 0.26～0.27%、最大値は 0.31%であった。
- (2) Si 量の平均値は 0.48～0.51%、最大値は 0.62%であった。
- (3) Mn 量の平均値は 1.20～1.24%、最大値は 1.37%であった。
- (4) P 量の平均値は 0.021～0.025%、最大値は 0.026%であった。
- (5) S 量の平均値は 0.012～0.015%、最大値は 0.023%であった。

3.3.2 SD685 級

SD685 級の C、Si、Mn、P、S の値はすべて JIS の範囲内であった。

- (1) C 量の平均値は 0.33～0.34%、最大値は 0.36%であった。
- (2) Si 量の平均値は 0.49～0.50%、最大値は 0.58%であった。
- (3) Mn 量の平均値は 1.22～1.25%、最大値は 1.33%であった。
- (4) P 量の平均値は 0.020～0.023%、最大値は 0.027%であった。
- (5) S 量の平均値は 0.011～0.013%、最大値は 0.020%であった。

3.3.3 SD685R 級

SD685R 級の C、Si、Mn、P、S の値はすべて JIS の範囲内であった。

- (1) C 量の平均値は 0.31～0.33%、最大値は 0.38%であった。
- (2) Si 量の平均値は 0.23～0.24%、最大値は 0.78%であった。
- (3) Mn 量の平均値は 1.01～1.05%、最大値は 1.48%であった。
- (4) P 量の平均値は 0.021～0.023%、最大値は 0.031%であった。
- (5) S 量の平均値は 0.015～0.016%、最大値は 0.031%であった。

3.3.4 SD785R 級

SD785R 級の C、Si、Mn、P、S の値はすべて JIS の範囲内であった。

- (1) C 量の平均値は 0.34～0.36%、最大値は 0.40%であった。
- (2) Si 量の平均値は 0.24%、最大値は 0.34%であった。
- (3) Mn 量の平均値は 1.08～1.13%、最大値は 1.29%であった。
- (4) P 量の平均値は 0.024%、最大値は 0.037%であった。
- (5) S 量の平均値は 0.012～0.018%、最大値は 0.030%であった。

3.4 機械的性質

機械的性質の調査結果を表 3.4、表 3.5 に示す。調査結果の概要は下記のとおりである。

表 3.4 SD590 級、SD685 級の機械的性質の調査結果

		SD590級				SD685級			
		最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
降伏点 (N/mm ²)	D35	—	—	—	A:590~679 B:590~650	720	720	720.0	A:685~785 B:685~755
	D38	616	622	619.0		—	—	—	
	D41	600	642	623.0		701	735	713.6	
引張強さ (N/mm ²)	D35	—	—	—	A:695以上 B:738以上	924	924	924.0	A:806以上 B:857以上
	D38	795	799	796.6		—	—	—	
	D41	773	826	800.8		891	943	914.4	
降伏比 (N/mm ²)	D35	—	—	—	A:85以下 B:80以下	0.78	0.78	0.780	A:85以下 B:80以下
	D38	0.78	0.78	0.780		—	—	—	
	D41	0.76	0.79	0.778		0.77	0.80	0.780	
降伏棚の ひずみ度 (%)	D35	—	—	—	1.4以上	1.66	1.66	1.660	1.4以上
	D38	1.76	1.93	1.880		—	—	—	
	D41	1.4	2.44	1.806		1.44	2.30	1.856	
伸び (N/mm ²)	D35	—	—	—	10以上	15	15	15.0	10以上
	D38	16	20	15.0		—	—	—	
	D41	12	14	16.4		10	18	15.0	

表 3.5 SD685R 級、SD785R 級の機械的性質の調査結果

		SD685R級				SD785R級			
		最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
降伏点 (N/mm ²)	D10	692	847	759.8	685~890	792	937	861.0	785以上
	D13	686	836	750.7		801	947	853.8	
	D16	704	829	754.6		803	948	851.2	
引張強さ (N/mm ²)	D10	880	1098	943.5	806以上	953	1150	1038.5	924以上
	D13	866	1080	921.1		971	1196	1034.3	
	D16	865	1021	921.8		983	1152	1037.1	
降伏比 (N/mm ²)	D10	0.70	0.84	0.808	—	0.80	0.87	0.831	—
	D13	0.69	0.85	0.813		0.71	0.87	0.814	
	D16	0.78	0.84	0.811		0.78	0.85	0.813	
伸び (N/mm ²)	D10	9.1	19.1	15.8800	8以上	10.0	28.7	14.5	8以上
	D13	7.500	19.000	14.1300		7.8	18.1	13.4	
	D16	10.0	18.0	13.7		9.6	18.1	13.2	

3.4.1 SD590 級

- (1) D35～D41 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・降伏比・降伏棚のひずみ度、伸びは JIS の範囲内であった。
- (2) 降伏点の平均値は 619～623N/mm² であり、規格降伏点の 1.05 倍程度であった。
- (3) 引張強さの平均値は 797～801N/mm² であった。
- (4) 降伏比の平均値は 0.78 であり、最大値は 0.79 と SD590B 規格の上限である 0.8 以下の範囲に適合していた。
- (5) 降伏棚のひずみ度の平均値は 1.81～1.88% であった。最小値は規格値下限の 1.4%、最大値は 2.44% と製造ロットによる差異が生じていた。
- (6) 伸びの平均値は 15～16% であり、最小値は 12% であった。

3.4.2 SD685 級

- (1) D35～D41 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・降伏比・降伏棚のひずみ度、伸びは JIS の範囲内であった。
- (2) 降伏点の平均値は 714～720N/mm² であり、規格降伏点の 1.05 倍程度であった。
- (3) 引張強さの平均値は 915～924N/mm² であった。
- (4) 降伏比の平均値は 0.78 であり、最大値は SD685B 規格の上限である 0.8 であった。
- (5) 降伏棚のひずみ度の平均値は 1.66～1.86% であった。最小値は 1.44%、最大値は 2.3% と製造ロットによる差異が生じていた。
- (6) 伸びの平均値は 15% であったが、最小値は規格下限の 10% であった。

3.4.3 SD685R 級

- (1) D10～D16 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・伸びは JIS の範囲内であった。
- (2) 降伏点の平均値は 751～760N/mm²であった。
- (3) 引張強さの平均値は 921～944N/mm²であった。
- (4) 降伏比の平均値は 0.81 であった。
- (5) 伸びの平均値は 14～16%であった。

3.4.4 SD785R 級

- (1) D10～D16 の全調査データにおいて、降伏点・引張強さ・伸びは JIS の範囲内であった。
- (2) 降伏点の平均値は 851～861N/mm²であった。
- (3) 引張強さの平均値は 1034～1039N/mm²であった。
- (4) 降伏比の平均値は 0.81～0.83 であった。
- (5) 伸びの平均値は 13～15%であった。

3.5 単位質量、節高さ、節の平均間隔

単位質量、節高さ、節の平均間隔の調査結果を表 3.6～3.11 に示す。調査結果の概要は以下のとおりである。

表 3.6 SD590 級、SD685 級の単位質量(許容差)の調査結果 (%)

呼び名	SD590級				SD685級			
	最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
D35	—	—	—	±4	-3.0	-3.0	-3.0	±4
D38	-2.9	-2.8	-2.81	±4	—	—	—	±4
D41	-2.0	2.1	-0.78	±4	-2.2	1.7	-0.97	±4

表 3.7 SD685R 級、SD785R 級の単位質量(許容差)の調査結果 (%)

呼び名	SD685R級				SD785R級			
	最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
D10	-2.5	3.6	1.42	±6	-5.0	3.8	-0.41	±6
D13	-4.5	4.9	-0.84	±6	-3.8	4.1	-1.69	±6
D16	-3.2	3.8	-0.58	±5	-1.6	4.0	0.10	±5

表 3.8 SD590 級、SD685 級の節高さの調査結果 (mm)

呼び名	SD590級				SD685級			
	最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
D35	—	—	—	1.7～3.4	2.7	2.7	2.7	1.7～3.4
D38	2.9	3.0	2.92	1.9～3.8	—	—	—	1.9～3.8
D41	2.6	3.2	3.02	2.1～4.2	2.8	3.3	3.05	2.1～4.2

表 3.9 SD685R 級、SD785R 級の節高さの調査結果 (mm)

呼び名	SD685R級				SD785R級			
	最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
D10	0.2	0.6	0.32	0.4~0.8	0.1	0.4	0.25	0.4~0.8
D13	0.3	0.8	0.41	0.5~1.0	0.2	0.6	0.34	0.5~1.0
D16	0.4	0.6	0.52	0.7~1.4	0.2	0.5	0.40	0.7~1.4

表 3.10 SD590 級、SD685 級の節の平均間隔の調査結果 (mm)

呼び名	SD590級				SD685級			
	最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
D35	—	—	—	24.4以下	14.0	14.0	14.00	24.4以下
D38	14.9	15.0	14.98	26.7以下	—	—	—	26.7以下
D41	15.9	17.0	16.19	28.9以下	15.9	17.0	16.06	28.9以下

表 3.11 SD685R 級、SD785R 級の節の平均間隔の調査結果 (mm)

呼び名	SD685R級				SD785R級			
	最小値	最大値	平均値	JIS規格値	最小値	最大値	平均値	JIS規格値
D10	5.8	6.5	6.27	6.7以下	5.7	6.5	6.07	6.7以下
D13	7.6	9.4	8.34	8.9以下	7.0	8.8	8.09	8.9以下
D16	9.7	10.9	10.37	11.1以下	9.0	10.7	10.10	11.1以下

3.5.1 SD590 級、SD685 級

- (1) D35~D41 の全調査データにおいて、単位質量は±4%であり JIS の範囲内であった。
- (2) D35~D41 の全調査データにおいて、節高さおよび節の平均間隔は JIS の範囲内であった

3.5.2 SD685R 級、SD785R 級

- (1) D10~D16 の全調査データにおいて、単位質量は D10 および D13 は±6%、D16 は±5%であり、JIS の範囲内であった。
- (2) D10~D16 の全調査データにおいて、一部の節高さが JIS の範囲外となった。
しかし、JIS G 3112 : 2020 には「せん断補強筋に用いる場合に受け渡し当事者間の協定によって節の許容限度を変更してもよい。」とされており、JIS 不適合ではない。
- (3) D10~D16 の全調査データにおいて、節の平均間隔は JIS の範囲内であった。

4. 高強度鉄筋とコンクリート間の付着応力について

本工業会の「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)にて発刊された第1回の調査研究報告書(1987年3月)には、鉄筋棒鋼とコンクリートの付着性に関して市販電炉鉄筋の付着性を検討すると共に、既往の知見も併せ、異形鉄筋の適正な表面形状について論じている。

前章で記述したように、2020年の改定により、JIS G 3112「鉄筋コンクリート用棒鋼」に SD490を超える SD590A、SD590B、SD685A、SD685B、SD685R、SD785R の種類の高強度鉄筋が新たに追加された。3.2節の「生産量」で報告されているように、2020年度以降の高強度鉄筋の用途は、主筋用が 2 割、せん断補強筋用が 8 割の比率であり、SD685R 級 17.7%、SD785R 級 65.8%を占めている。

一方、鉄筋コンクリート建物の損傷評価として、ひび割れ幅は修繕の必要性・再使用の可能性を検討する重要な指標であり、今日まで様々な実験的研究が行われてきている。せん断補強筋に要求される性能は、耐力だけではなく、コンクリートに対する付着特性、ひび割れ間隔・ひび割れ幅に及ぼす影響を把握する必要がある。

本特別調査においては、各鉄筋メーカーが国土交通大臣の認定を受けたせん断補強筋用のSD685R級およびSD785R級高強度鉄筋を用いた付着性能、および、ひび割れ性状(ひび割れ間隔・ひび割れ幅)を把握するための実験を行ったので、ここでは実験結果の一部を報告する。

表4.1.1に、本特別調査でヒアリングした各社が取得しているせん断補強用鉄筋の大臣認定製品における節高さ(h)と平均節間隔(ℓ)を示す。改訂されたJIS G 3112では、「SD685R及びSD785RのD10, D13及びD16は、せん断補強筋に用いる場合に受渡当事者間の協定によって節の許容限度を変更してもよい。」と規定されている項目である。これによると、各社ともに平均ひび割れ間隔においてはJISの規格範囲内に設定されているが、せん断補強筋の曲げ加工上の問題から、節高さにおいては規定値よりも低く設定されている。本実験では、コンクリートに対する付着特性に大きな影響を及ぼすと考えられる ℓ/h に焦点をおき、D16の最大値である $\ell/h=34.6$ 、最小値である $\ell/h=17.4$ 、中間値である $\ell/h=22.0$ に相当する異形鉄筋を実験対象とした。

4.1 実験概要

鉄筋コンクリート部材のたわみやひび割れ幅は、コンクリートと鉄筋間のすべりによって増大する。鉄筋の拔出しは鉄筋とコンクリート間の付着応力(τ)－すべり(s)関係に依存しており、その付着特性を把握することが重要である。本研究は、高強度鉄筋を用いた引抜き実験により、高強度鉄筋(SD685R級)のコンクリートへの定着性能に関する基礎データを得ることを目的とするものである。実験は2シリーズからなり、シリーズ1が高強度鉄筋とコンクリート強度とのバランス、シリーズ2が異形鉄筋の節形状を主な要因としている。高強度異形鉄筋の付着特性を把握するために、コンクリート強度および節形状を主な実験要因にRCプリズム片引き試験体および両引き試験体の単調載荷試験を行い、 $\tau-s$ 関係およびひび割れ分散性への影響を調べる。

(1) 試験体の種類と形状

シリーズ1の試験体形状を図4.1.1、シリーズ2の試験体配筋状況を図4.1.2、シリーズ1の1A、1Bの試験体種類を表4.1.2、表4.1.3に、シリーズ2の2A、2Bの試験体種類を表4.1.4、表4.1.5に、シリーズ1の実験1Cの試験体および実験結果一覧を表4.2.1、シリーズ2の実験2Cの試験体および実験結果一覧を表4.2.2に示す。

シリーズ1はD19ねじ節鉄筋（SD345, SD685）とコンクリート強度を組み合わせた実験計画であり、実験の主要因はコンクリートの圧縮強度3水準（ F_c 21, 60, 100）、異形鉄筋の強度（SD345, SD685）の2要因である。シリーズ2は節形状の異なるD16異形鉄筋（SD785級、SD785R級、SD685R級）とコンクリート強度を組み合わせた実験計画であり、実験の主要因は鉄筋の節形状4種類とコンクリートの圧縮強度2水準（ F_c 36, 80）である。

各実験シリーズでは3つの実験種類（A, B, C）があり、実験1A、2AではRC部材のひび割れ間隔、実験1B、2Bでは鉄筋のひずみ分布を求め、実験1C、2Cでは付着強度を確認した。実験1A、1B、2A、2Bの試験体は各1体であり、実験1C、2Cの試験体は各3体とした。

実験1A、2Aの試験体形状は、断面100×100mm、長さ1400mm（両端から100mmは付着絶縁区間）のRC角柱試験体であり、両端部から200mmの区間に ϕ 6mmのスパイラル筋を30mm間隔で配置した。

実験1B、2Bの試験体形状は、1Bで断面180×180mm、2Bで断面150×150mm、長さはともに800mm（両端から100mmは付着絶縁区間）のRC角柱試験体であり、試験体全区間に ϕ 6mmのスパイラル筋を30mm間隔で配置した。

実験1C、2Cの試験体形状は、1Cで180×180×180mm、2Cで150×150×150mmのRC立方体試験体であり、試験体全区間に ϕ 6mmのスパイラル筋を30mm間隔で配置した。付着長さを鉄筋径の7倍とし、残りの区間は載荷側に ϕ 32の座掘りによる付着絶縁区間を設けた。

(2) 使用材料

表4.1.6に異形鉄筋の材料試験結果（降伏強度、降伏ひずみ、引張強度、ヤング係数、伸び）を示す。なお、コンクリートの材料試験結果は、実験時の圧縮強度、割裂強度およびヤング係数（1/3圧縮強度時の割線剛性）を各実験の試験体一覧（表4.1.2～表4.1.6、表4.2.1、表4.2.2）に示した。

(3) 載荷および測定方法

図4.1.3に実験1A、2Aの加力状況、図4.1.4に実験1B、2Bの加力状況、図4.1.5に実験1C、2Cの加力状況を示す。

実験A、Bは図に示すような加力フレーム内に両引き試験体をセットし、センターホールジャッキにより鉄筋降伏まで単調載荷を行った。

実験Aでは、試験体表面に π ゲージを100mm間隔で設置することによりひび割れ幅および試験体の軸方向変形を測定し、変位計により試験体端部からの鉄筋の伸出し・拔出し量を測定した。角柱試験体の両端から50mmの異形鉄筋部分に各2箇所の変形ゲージを表裏に貼付し、鉄筋の歪み度を測定した。

実験Bでは、異形鉄筋にひずみゲージを100mm間隔に7箇所（角柱試験体内では、

左端から100, 200, 300, 400, 500, 600, 700mmの位置に7箇所（図4,1,1参照），角柱試験体の両端から50mmの鉄筋部分に2箇所）貼付し、鉄筋の歪み度を測定した。変位計により，試験体端部からの鉄筋の伸出し・拔出し量を測定した。

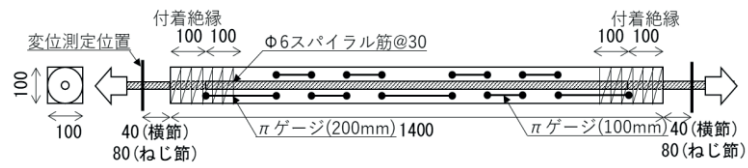
実験Cは，試験体上部に設置したセンターホールジャッキにより鉄筋に引張力を作用させた。試験体上面・下面に設置した変位計により、鉄筋のすべり量を測定した。試験体の両端から50mmの鉄筋部分に2箇所の歪みゲージを表裏に貼付し、鉄筋の歪み度を測定した。

表4.1.1 大臣認定品の節の高さと節の平均間隔

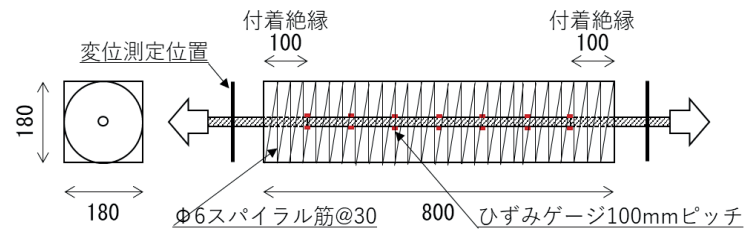
製品		節の高さ h (mm)	JIS 規定で の h (mm)	節の平均間隔 ℓ (mm)	JIS 規定で の ℓ (mm)	ℓ/h
㉔	685R (D10)	0.280	0.4～0.8	6.23	6.7 以下	22.3
	685R (D13)	0.370	0.5～1.0	8.18	8.9 以下	22.1
	685R (D16)	0.480	0.7～1.4	10.03	11.1 以下	20.9
	785R (D10)	0.280	0.4～0.8	6.23	6.7 以下	22.3
	785R (D13)	0.390	0.5～1.0	8.23	8.9 以下	21.1
	785R (D16)	0.470	0.7～1.4	10.34	11.1 以下	22.0
㉕	785R (D10)	0.185	0.4～0.8	5.880	6.7 以下	31.8
	785R (D13)	0.245	0.5～1.0	7.966	8.9 以下	32.5
	785R (D16)	0.282	0.7～1.4	9.753	11.1 以下	34.6
㉖	685R (D10)	0.461	0.4～0.8	6.010	6.7 以下	13.0
	685R (D13)	0.553	0.5～1.0	8.001	8.9 以下	14.5
㉗	785R (D10)	0.278	0.4～0.8	6.033	6.7 以下	21.7
	785R (D13)	0.325	0.5～1.0	7.449	8.9 以下	22.9
	785R (D16)	0.313	0.7～1.4	9.068	11.1 以下	29.0
㉘	685R (D10)	0.24	0.4～0.8	6.42	6.7 以下	26.8
	685R (D13)	0.34	0.5～1.0	8.46	8.9 以下	24.9
	685R (D16)	0.48	0.7～1.4	10.51	11.1 以下	21.9
㉙	785R (D10)	0.311	0.4～0.8	6.033	6.7 以下	19.4
	785R (D13)	0.364	0.5～1.0	7.474	8.9 以下	20.5
	785R (D16)	0.362	0.7～1.4	9.046	11.1 以下	25.0
㉚	685R (D10)	0.32	0.4～0.8	6.48	6.7 以下	20.3
	685R (D13)	0.47	0.5～1.0	8.44	8.9 以下	18.0
	685R (D16)	0.6	0.7～1.4	10.43	11.1 以下	17.4
	785R (D10)	0.303	0.4～0.8	5.994	6.7 以下	19.8
	785R (D13)	0.309	0.5～1.0	7.483	8.9 以下	24.2
㉛	785R (D16)	0.312	0.7～1.4	9.013	11.1 以下	28.9
	685R (D10)	0.31	0.4～0.8	6.09	6.7 以下	16.9
	685R (D13)	0.36	0.5～1.0	7.97	8.9 以下	22.1
	685R (D16)	0.51	0.7～1.4	10.17	11.1 以下	21.8
㉜	685R (D13)	0.673	0.5～1.0	8.973	8.9 以下	13.3

【実験対象とした鉄筋】

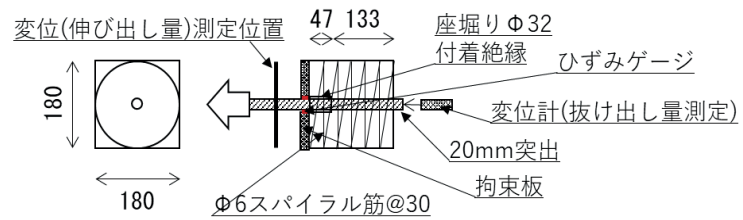
- ・ 製品㉚： $h=0.6\text{mm}$, $\ell=10.43\text{mm}$, $\ell/h=17.4$
- ・ 製品㉕： $h=0.282\text{mm}$, $\ell=9.753\text{mm}$, $\ell/h=36.4$
- ・ 製品㉔： $h=0.470\text{mm}$, $\ell=10.34\text{mm}$, $\ell/h=22.0$



(a) A実験

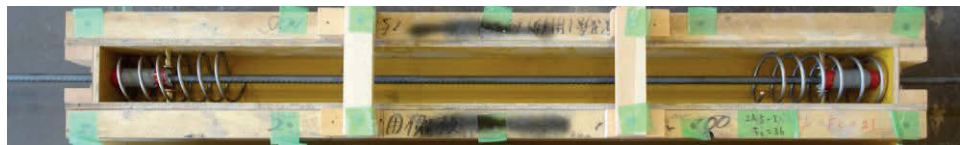


(b) B実験



(c) C実験

図4.1.1 シリーズ1の試験体形状



(a) A実験



(b) B実験



(c) C実験

図4.1.2 シリーズ2の試験体配筋状況

表 4.1.2 試験体一覧 (実験1A)

No.	ひび割れ 試験体	鉄筋	F_c N/mm ²	節形状	実験日	コンクリート 試験日	σ_B N/mm ²	σ_t N/mm ²	E_c N/mm ²
1	1A-1	D19 (SD345)	21	ねじ節	3/23	3/20	26.5	1.96	27400
2	1A-2	D19 (SD345)	60	ねじ節	4/6	3/29	64.2	2.59	37900
3	1A-3	D19 (SD345)	100	ねじ節	4/7	3/30	96.0	3.12	46700
4	1A-4	D19 (SD685)	21	ねじ節	3/24	3/20	26.5	1.96	27400
5	1A-5	D19 (SD685)	60	ねじ節	3/30	3/29	64.2	2.59	37900
6	1A-6	D19 (SD685)	100	ねじ節	3/31	3/30	96.0	3.12	46700
7	1A-7	D19 (SD345)	21	横節	4/3	3/20	26.5	1.96	27400
8	1A-8	D16 (SD345)	21	横節	4/5	3/20	26.5	1.96	27400

※ 節高さ (h) と節の平均間隔 (ℓ) , d は鉄筋の呼び径。 (実測値)

No.1~6 : $h=2.08\text{mm}$, $\ell=7.97\text{mm}$, $\ell/h=3.83$, $h/d=10.9\%$

No.7 : $h=1.38\text{mm}$, $\ell=14.2\text{mm}$, $\ell/h=10.3$, $h/d=7.26\%$

No.8 : $h=1.07\text{mm}$, $\ell=11.9\text{mm}$, $\ell/h=11.2$, $h/d=6.69\%$

表 4.1.3 試験体一覧 (実験1B)

No.	ひび割れ 試験体	鉄筋	F_c N/mm ²	節形状	実験日	コンクリート 試験日	σ_B N/mm ²	σ_t N/mm ²	E_c N/mm ²
1	1B-1	D19 (SD345)	21	ねじ節	8/28	8/3	31.4	—	27500
2	1B-2	D19 (SD345)	60	ねじ節	7/24	8/3	68.1	—	42400
3	1B-3	D19 (SD345)	100	ねじ節	7/18	8/9	109.5	—	49800
4	1B-4	D19 (SD685)	21	ねじ節	5/26	6/1	29.2	—	27200
5	1B-5	D19 (SD685)	60	ねじ節	6/6	6/1	65.3	—	39900
6	1B-6	D19 (SD685)	100	ねじ節	7/18	8/9	109.5	—	49800
7	1B-7	D19 (SD345)	21	横節	7/25	8/3	31.4	—	27500
8	1B-8	D16 (SD345)	21	横節	7/26	8/3	31.4	—	27500

※ 節高さ (h) と節の平均間隔 (ℓ) , d は鉄筋の呼び径。 (実測値)

No.1~6 : $h=2.08\text{mm}$, $\ell=7.97\text{mm}$, $\ell/h=3.83$, $h/d=10.9\%$

No.7 : $h=1.38\text{mm}$, $\ell=14.2\text{mm}$, $\ell/h=10.3$, $h/d=7.26\%$

No.8 : $h=1.07\text{mm}$, $\ell=11.9\text{mm}$, $\ell/h=11.2$, $h/d=6.69\%$

表4.1.4 試験体一覧（実験2A）

No.	ひび割れ 試験体	鉄筋	F_c N/mm ²	節形状*1	実験日	コンクリート 試験日	σ_B N/mm ²	σ_t N/mm ²	E_c N/mm ²
1	2A-1	D16 (SD685R)	36	節① $\ell/h=17.4$	8/8	7/31	34.6	—	31700
2	2A-2	D16 (SD685R)	80	節① $\ell/h=17.4$	8/25	8/22	85.5	2.69	48200
3	2A-3	D16 (SD785R)	36	節② $\ell/h=22.0$	8/22	8/22	37.6	2.82	33400
4	2A-4	D16 (SD785R)	80	節② $\ell/h=22.0$	8/26	8/22	85.5	2.69	48200
5	2A-5	D16 (SD785R)	36	節③ $\ell/h=34.6$	8/23	8/22	37.6	2.82	33400
6	2A-6	D16 (SD785R)	80	節③ $\ell/h=34.6$	8/29	8/22	85.5	2.69	48200
7	2A-7	D16 (SD785)	36	節④横節	8/9	7/31	34.6	—	31700
8	2A-8	D16 (SD785)	80	節④横節	8/24	8/22	85.5	2.69	48200

*1 : No.7, 8はJIS 形状の横節形状を有する SD785 材（特注）， d は鉄筋の呼び径。（実測値）

節①（No.1, 2） : $h=0.55\text{mm}$, $\ell=10.7\text{mm}$, $\ell/h=19.5$, $h/d=3.44\%$

節②（No.3, 4） : $h=0.45\text{mm}$, $\ell=10.5\text{mm}$, $\ell/h=23.3$, $h/d=2.81\%$

節③（No.5, 6） : $h=0.33\text{mm}$, $\ell=9.86\text{mm}$, $\ell/h=29.9$, $h/d=2.06\%$

横節（No.7, 8） : $h=1.13\text{mm}$, $\ell=9.32\text{mm}$, $\ell/h=8.25$, $h/d=7.06\%$

表4.1.5 試験体一覧（実験2B）

No.	ひび割れ 試験体	鉄筋	F_c N/mm ²	節形状*1	実験日	コンクリート 試験日	σ_B N/mm ²	σ_t N/mm ²	E_c N/mm ²
1	2B-1	D16 (SD685R)	36	節① $\ell/h=17.4$	10/4	8/22	37.6	2.82	33400
2	2B-2	D16 (SD685R)	80	節① $\ell/h=17.4$	10/11	8/22	85.5	2.69	48200
3	2B-3	D16 (SD785R)	36	節② $\ell/h=22.0$	10/7	8/22	37.6	2.82	33400
4	2B-4	D16 (SD785R)	80	節② $\ell/h=22.0$	10/7	8/22	85.5	2.69	48200
5	2B-5	D16 (SD785R)	36	節③ $\ell/h=34.6$	9/30	8/22	37.6	2.82	33400
6	2B-6	D16 (SD785R)	80	節③ $\ell/h=34.6$	10/9	8/22	85.5	2.69	48200
7	2B-7	D16 (SD785)	36	節④横節	9/30	8/22	37.6	2.82	33400
8	2B-8	D16 (SD785)	80	節④横節	10/12	8/22	85.5	2.69	48200

*1 : No.7, 8はJIS 形状の横節形状を有する SD785 材（特注）， d は鉄筋の呼び径。（実測値）

節①（No.1, 2） : $h=0.55\text{mm}$, $\ell=10.7\text{mm}$, $\ell/h=19.5$, $h/d=3.44\%$

節②（No.3, 4） : $h=0.45\text{mm}$, $\ell=10.5\text{mm}$, $\ell/h=23.3$, $h/d=2.81\%$

節③（No.5, 6） : $h=0.33\text{mm}$, $\ell=9.86\text{mm}$, $\ell/h=29.9$, $h/d=2.06\%$

横節（No.7, 8） : $h=1.13\text{mm}$, $\ell=9.32\text{mm}$, $\ell/h=8.25$, $h/d=7.06\%$

表4.1.6 鉄筋材料試験結果

	降伏強度 【N/mm ² 】	降伏ひずみ 【μ】	ヤング係数 【N/mm ² 】	引張強度 【N/mm ² 】	伸び 【%】
ねじ節 D19(SD345)	380	2018	1.88×10^5	569	18.3
ねじ節 D19(SD685)	700	3528	1.99×10^5	874	9.2
横節 D19(SD345)	388	1930	2.01×10^5	580	19.6
横節 D16(SD345)	393	2040	1.93×10^5	576	21.6
横節 D16(SD785)	807	4140	1.95×10^5	994	11.8
節③ D16(SD785R)	895	4330	2.07×10^5	1091	11.9
節② D16(SD785R)	821	3850	2.13×10^5	1013	13.5
節① D16(SD685R)	762	3680	2.07×10^5	936	13.0



図 4.1.3 ひび割れ性状を調べるための両引き試験の加力状況（シリーズ 1A, 2A）

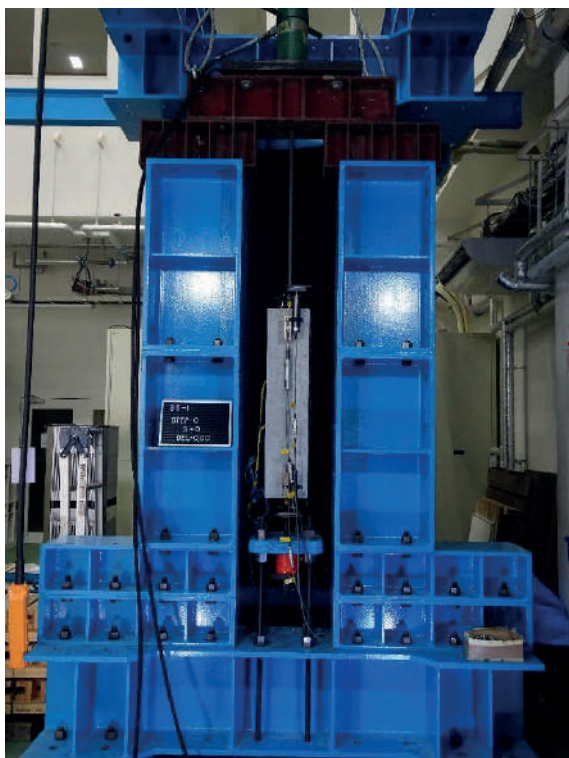


図 4.1.4 鉄筋の歪み分布を調べるための両引き試験の加力状況（シリーズ 1B, 2B）



(1) シリーズ1C



(2) シリーズ2C

図 4.1.5 付着性能を調べるための引抜き試験の加力状況（シリーズ 1C, 2C）

4.2 実験結果および考察

(1) 付着性能

実験1C、実験2Cの実験結果一覧を表4.2.1、表4.2.2に、引抜き後の破壊状況の一例を図4.2.1、図4.2.2に示す。実験1Cの軸応力度および付着応力度と抜け出し量の関係を図4.2.3～図4.2.6に、実験2Cの軸応力度および付着応力度と抜け出し量の関係を図4.2.7、図4.2.8に示す。なお、付着強度は最大耐力を付着面積で除した値とした。

最初に、主筋に用いられているD19の異形鉄筋を用いた場合の実験結果を報告する。本実験で用いた異形鉄筋の節高さ (h) と平均節間隔 (ℓ) は、ねじ節で $h=2.08\text{mm}$, $\ell=7.97\text{mm}$, $\ell/h=3.83$, $h/d=10.9\%$ 、横節で $h=1.38\text{mm}$, $\ell=14.2\text{mm}$, $\ell/h=10.3$, $h/d=7.26\%$ であり (d : 公称直径)、何れもJIS G 3112の規格範囲内にある。

表4.2.1、図4.2.1、図4.2.3～図4.2.6より、D19 ねじ節鉄筋においては、コンクリート強度が $\sigma_B=26.5, 64.2, 96.0\text{N/mm}^2$ と増加するとともに、付着強度の平均値は $\tau_b=6.23, 17.8, 24.4\text{N/mm}^2$ と増加し、付着強度時の抜け出し量の平均値は $\delta_{slip}=0.623, 0.479, 0.082\text{mm}$ と小さくなっている。いわゆる付着剛性が高くなっている。図4.2.1より、最終的な破壊モードは節間のコンクリートのせん断面の破壊 (図4.2.9参照) の様相を呈している。

F_{c21} でねじ節と横節の比較を行うと、 τ_b の平均値は、ねじ節で 6.23N/mm^2 、横節で 10.3N/mm^2 、 δ_{slip} の平均値はねじ節で 0.082mm 、横節で 1.42mm となっている。図4.2.6より、抜け出しが生じてからの付着剛性はほぼ等しくなっている。これは、ねじ節の ℓ/h が 3.83、横節の ℓ/h が 10.3であることから、ねじ節では節間のコンクリートのせん断面の破壊が早期に生じ、横節では節の支圧面でのコンクリートが部分圧縮破壊してから、節間のコンクリートのせん断破壊が生じていると思われる (図4.2.9参照)。

次に、高強度のせん断補強筋として用いられている大臣認定品であるD16の異形鉄筋を用いた場合の実験結果を報告する。本実験で用いた異形鉄筋の節高さ (h) と平均節間隔 (ℓ) は下記の3種類であり、比較のためJIS G 3112の規格範囲内にある特注の鉄筋を含めて4種類である (d : 公称直径)。以下の値は計測値である。

- ・ 節① : $h=0.55\text{mm}$, $\ell=10.7\text{mm}$, $\ell/h=19.5$, $h/d=3.44\%$
- ・ 節② : $h=0.45\text{mm}$, $\ell=10.5\text{mm}$, $\ell/h=23.3$, $h/d=2.81\%$
- ・ 節③ : $h=0.33\text{mm}$, $\ell=9.86\text{mm}$, $\ell/h=29.9$, $h/d=2.06\%$
- ・ 横節 : $h=1.13\text{mm}$, $\ell=9.32\text{mm}$, $\ell/h=8.25$, $h/d=7.06\%$

表4.2.2、図4.2.2、図4.2.7、図4.2.8より、 $\sigma_B=34.6\text{N/mm}^2$ の付着強度と付着強度時の抜け出し量は、横節が平均値で $\tau_b=12.1\text{N/mm}^2$, $\delta_{slip}=0.813\text{mm}$ である。一方、節①, 節②, 節③の順に平均値は $\tau_b=9.74, 7.92, 6.44\text{N/mm}^2$, $\delta_{slip}=1.44, 2.93, 1.78\text{mm}$ となっている。 $\sigma_B=82.7\text{N/mm}^2$ の付着強度と付着強度時の抜け出し量は、横節, 節①, 節②, 節③の順に $\tau_b=27.4, 24.8, 19.7, 16.7\text{N/mm}^2$, $\delta_{slip}=0.267, 1.16, 3.68, 3.27\text{mm}$ となっている。節形状の違いによらず、 σ_B が増加するとともに τ_b および付着剛性が増加している。しかし、節高さの鉄筋径に対する比率が小さい節②および③においては節の凹凸が少ないため、コンクリートとの固着 (摩擦抵抗) が切れると以降の耐力上昇が緩慢になり、すべり量のみが増大している。

図4.2.2からは、最終的な破壊モードは明確ではないが、図4.2.8の付着応力度と拔出量の関係から、 ℓ/h が8.25の横節では、D19で見られた節の支圧面でのコンクリートの部分圧縮後の節間のコンクリートのせん断破壊、 ℓ/h が19.5の節①では節の支圧面でのコンクリートの部分圧縮破壊、 ℓ/h が23.3, 29.90 および h/d が2.81%, 2.06%の節②, 節③では丸鋼で見られる摩擦力の喪失による破壊であると思われる。

図4.2.10に実験1Cおよび実験2Cから得られた付着強度とコンクリート圧縮強度との関係を示す。節形状の違いによらず、コンクリート圧縮強度が増加するにしたがい付着強度が増加しているが、破壊モードの違いにより付着強度の上昇率に違いが見られる。本実験範囲内では、節間のコンクリートのせん断破壊および摩擦力の喪失による破壊に比べて、支圧面でのコンクリートの部分圧縮破壊の鉄筋における付着強度の上昇率が大きくなる傾向が見られた。

表 4.2.1 試験体および実験結果一覧（実験1C）

No.	試験体名	鉄筋	σ_B (N/mm ²)*1	付着強度(N/mm ²) / 拔出し量(mm)				平均値
1	1-1C- 1, 2, 3	SD685	26.5	τ_b	6.33	6.04	6.31	6.23
		D19 ねじ節	2.74×10^4	δ_{slip}	0.412	0.796	0.681	0.623
2	1-2C- 1, 2, 3	SD685	64.2	τ_b	16.5	19.7	17.1	17.8
		D19 ねじ節	3.79×10^4	δ_{slip}	0.292	0.650	0.494	0.479
3	1-3C- 1, 2, 3	SD685	96.0	τ_b	24.0	25.0	24.3	24.4
		D19 ねじ節	4.67×10^4	δ_{slip}	0.110	0.070	0.066	0.082
4	1-7C- 1, 2, 3	SD345	26.5	τ_b	9.89	10.8	10.1	10.3
		D19 横節	2.74×10^4	δ_{slip}	1.18	1.87	1.22	1.42

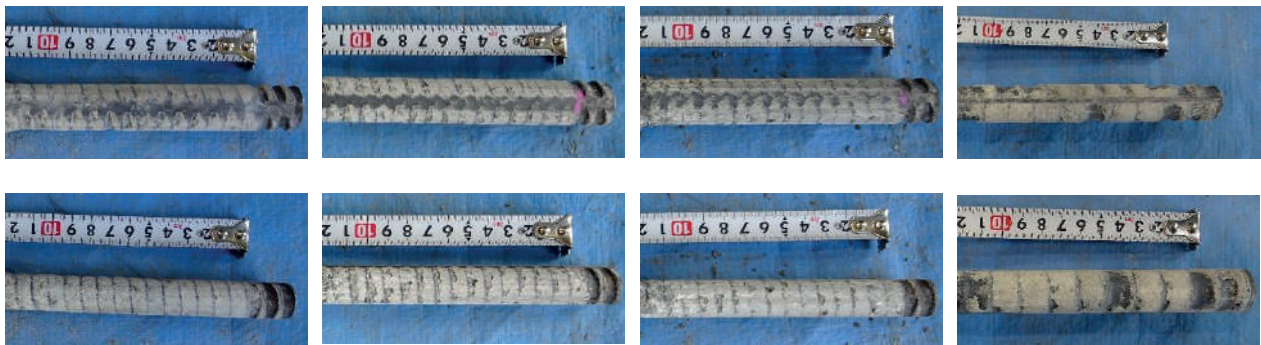
*1 σ_B : 実験時のコンクリート圧縮強度, 下段は1/3 σ_B 時の割線剛性

表 4.2.2 試験体および実験結果一覧（実験2C）

No.	試験体名	鉄筋	σ_B (N/mm ²)*1	付着強度(N/mm ²) / 拔出し量(mm)				平均値
1	2C1- 1, 2, 3	SD685R, F_c36	34.6	τ_{max}	8.51	9.29	11.41	9.74
		D16 節①	3.18×10^4	δ_{slip}	1.48	1.39	1.46	1.44
2	2C2- 1, 2, 3	SD685R, F_c80	82.7	τ_{max}	26.0	23.9	24.5	24.8
		D16 節①	4.81×10^4	δ_{slip}	1.25	1.15	1.09	1.16
3	2C3- 1, 2, 3	SD785R, F_c36	34.6	τ_{max}	7.61	8.12	8.03	7.92
		D16 節②	3.18×10^4	δ_{slip}	3.17	2.03	3.58	2.93
4	2C4- 1, 2, 3	SD785R, F_c80	82.7	τ_{max}	18.9	19.1	21.1	19.7
		D16 節②	4.81×10^4	δ_{slip}	12.7*1	8.54*2	3.68	3.68*3
5	2C5- 1, 2, 3	SD785R, F_c36	34.6	τ_{max}	6.00	7.49	5.82	6.44
		D16 節③	3.18×10^4	δ_{slip}	1.95	1.79	1.59	1.78
6	2C6- 1, 2, 3	SD785R, F_c80	82.7	τ_{max}	17.6	15.3	17.1	16.7
		D16 節③	4.81×10^4	δ_{slip}	3.39	2.90	3.52	3.27
7	2C7- 1, 2, 3	SD785, F_c36	34.6	τ_{max}	12.2	12.1	12.1	12.1
		D16 節④横節	3.18×10^4	δ_{slip}	0.736	0.836	0.866	0.813
8	2C8- 1, 2, 3	SD785, F_c80	82.7	τ_{max}	28.8	28.8	24.5	27.4
		D16 節④横節	4.81×10^4	δ_{slip}	0.282	0.276	0.242	0.267

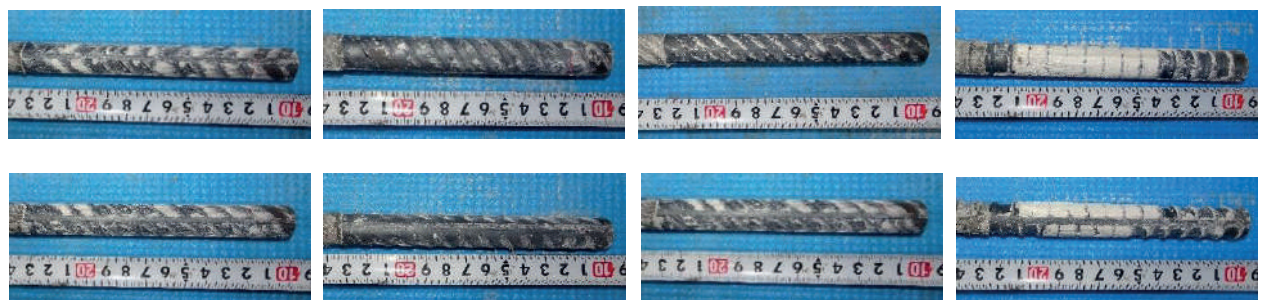
*1 σ_B : 実験時のコンクリート圧縮強度, 下段は1/3 σ_B 時の割線剛性

*2 拔出し量の測定に不備有り, *3 不備なデータを除いた平均値



(1) ねじ節 F_c21 (2) ねじ節 F_c60 (3) ねじ節 F_c100 (4) 横節 F_c21

図4.2.1 引抜き後の破壊状況の一例 (実験1C)

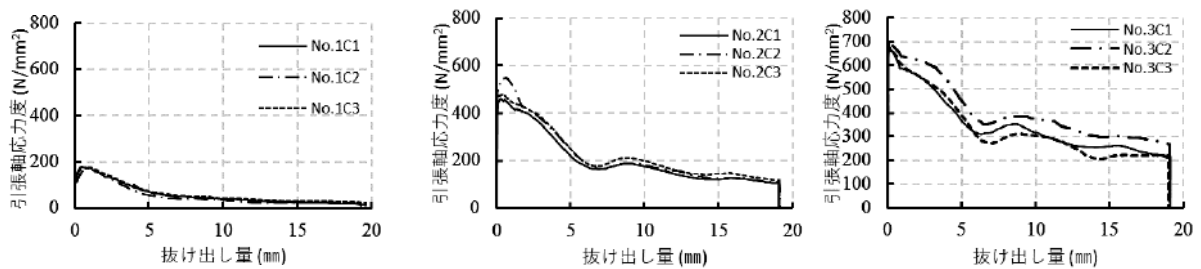


(1) 節①- F_c36 (2) 節②- F_c36 (3) 節③- F_c36 (4) 節④- F_c36



(5) 節①- F_c80 (6) 節②- F_c80 (7) 節③- F_c80 (8) 節④- F_c80

図4.2.2 引抜き後の破壊状況の一例 (シリーズ 2C)



(a) 1C1~3 F_c21

(b) 2C1~3 F_c60

(c) 3C1~3 F_c100

図4.2.3 軸応力度と抜け出し量の関係(ねじ節鉄筋, F_c の影響)

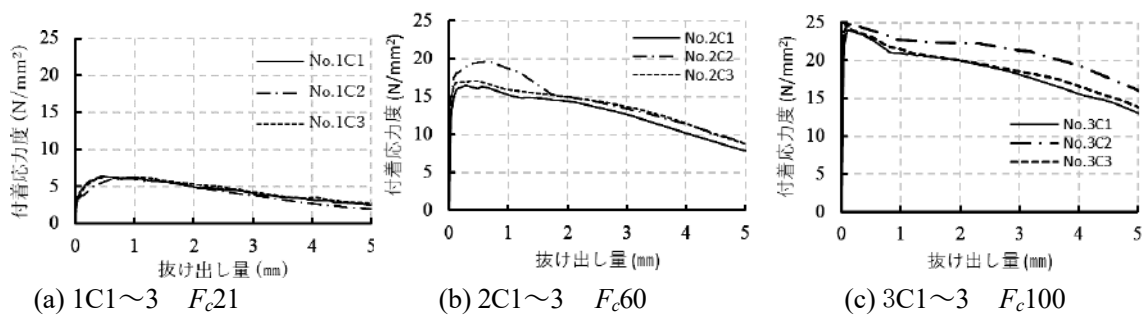


図4.2.4 付着応力度と抜け出し量の関係(ねじ節鉄筋, F_c の影響)

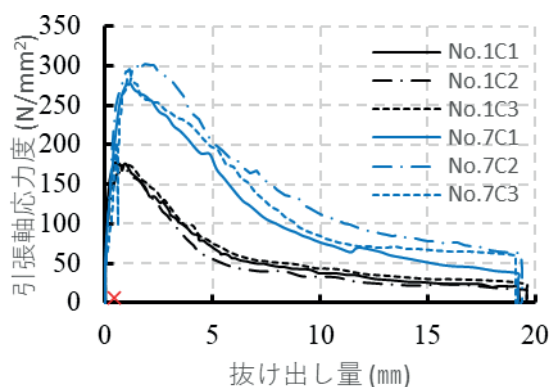


図4.2.5 軸応力度と抜け出し量の関係
(ねじ節と横節の違い)

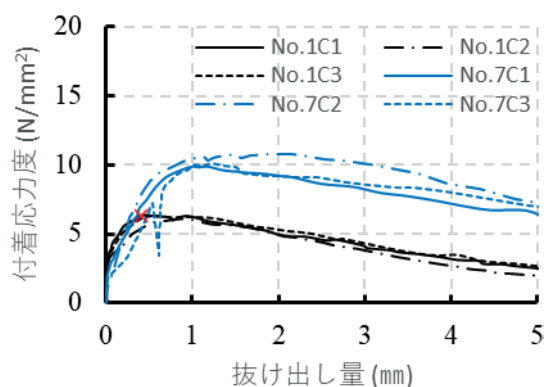
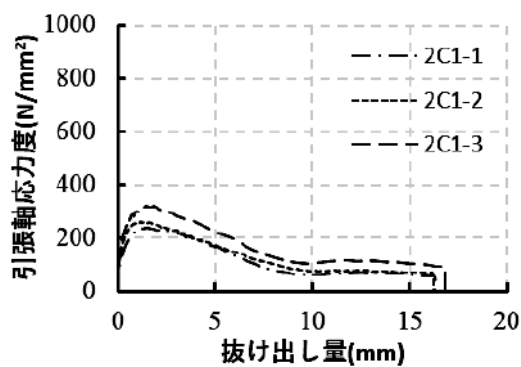
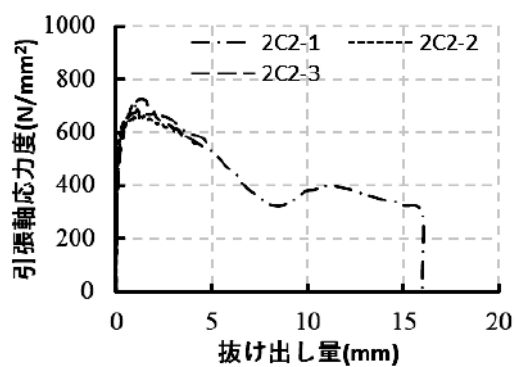


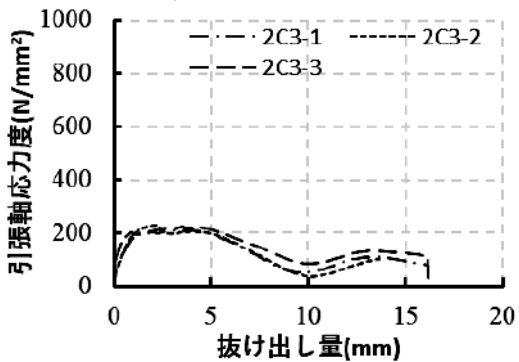
図4.2.6 付着応力度と抜け出し量の関係
(ねじ節と横節の違い)



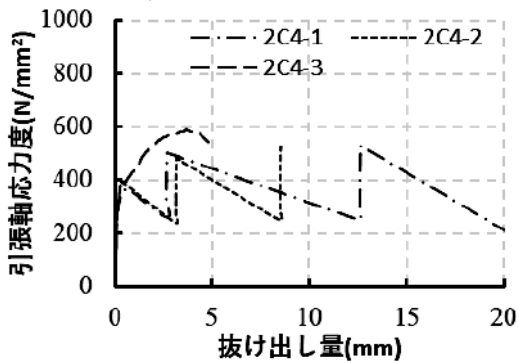
(1) 節①, F_c36



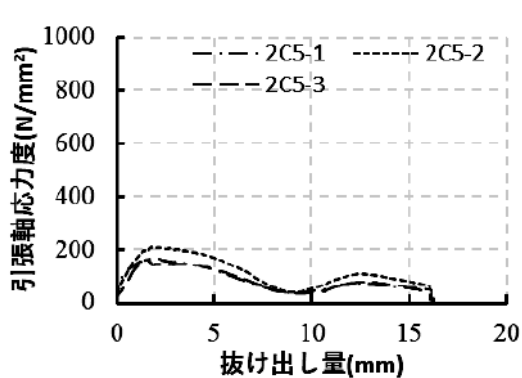
(2) 節①, F_c80



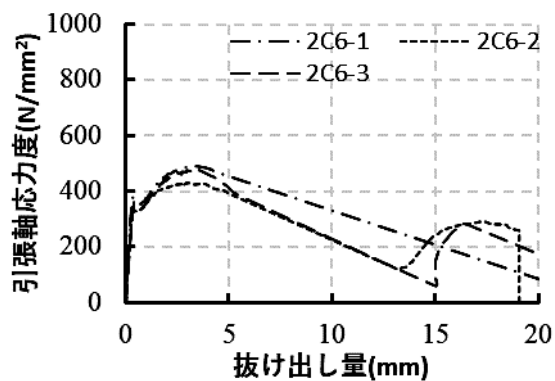
(3) 節②, F_c36



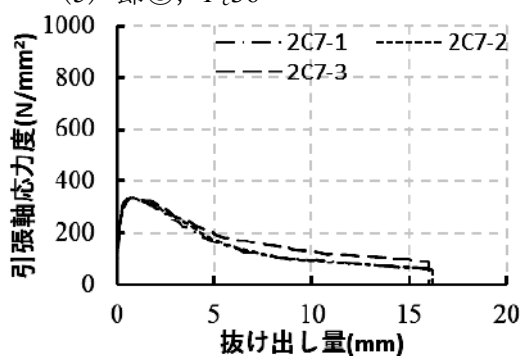
(4) 節②, F_c80



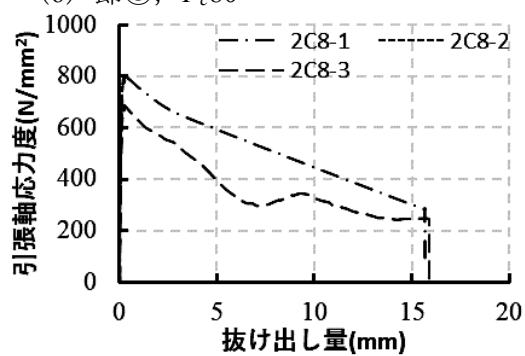
(5) 節③, F_c36



(6) 節③, F_c80

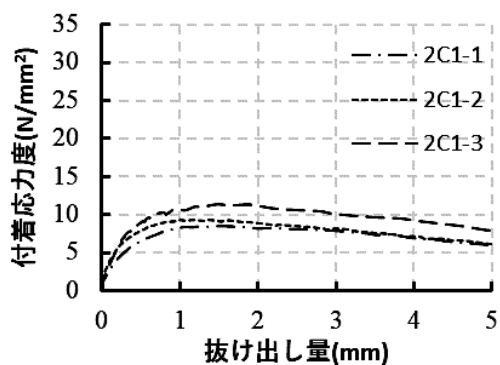


(7) 節④, F_c36

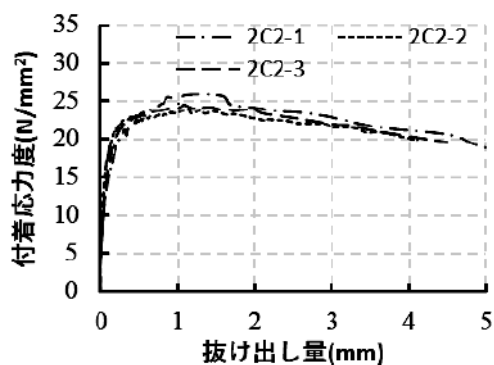


(8) 節④, F_c80

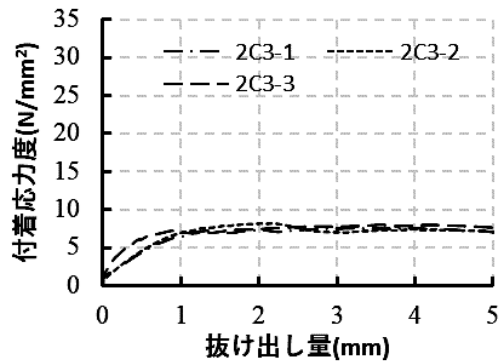
図4.2.7 軸応力度と抜け出し量の関係（節形状と F_c の影響）



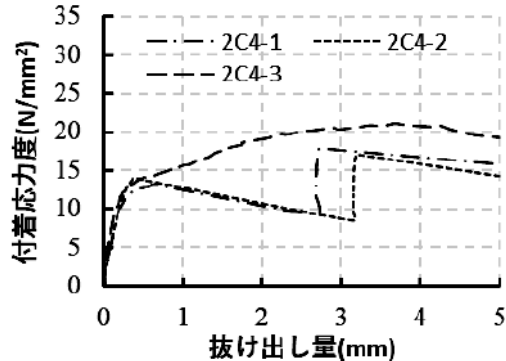
(1) 節①, F_c36



(2) 節①, F_c80



(3) 節②, F_c36



(4) 節②, F_c80

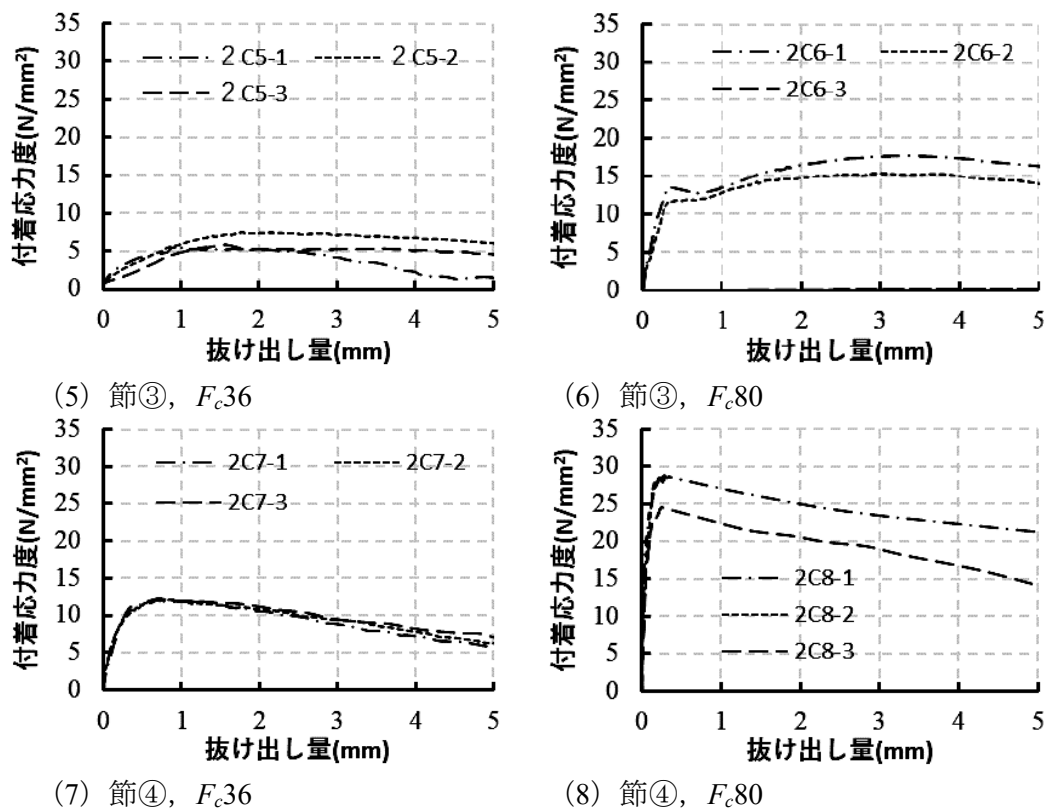


図4.2.8 付着応力度と抜け出し量の関係（節形状と F_c の影響）

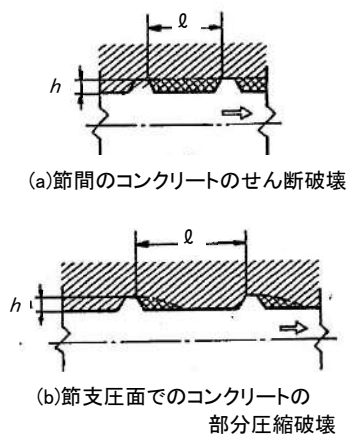


図4.2.9 節によるコンクリートの破壊モード

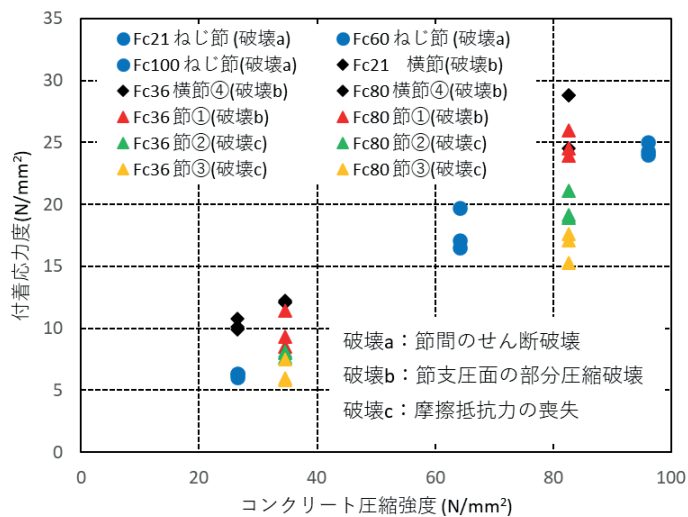


図 4.2.10 付着強度とコンクリート圧縮強度の関係

(2) ひび割れ間隔およびひび割れ幅

実験1A, 実験2Aに関して、図4.2.11、図4.2.12に実験終了後のひび割れ状況（4面の展開図）、図4.2.13、図4.2.14に引張荷重から求めた試験体端部の鉄筋応力とひび割れ間隔・ひび割れ幅の実測値を示す。ひび割れ本数は、ひび割れ長さの総和を試験体周長で除することで求めた。ひび割れ間隔は、試験体の長さを $n-1$ （ n : ひび割れ本数）で除することで求め、ひび割れ幅は、図4.2.11中に示した π ゲージで測定した総ひび割れ幅をひび割れ本数で除することで求めた。ひび割れの状況では、SD345の長期許容引張応力度の 215N/mm^2 までに発生したひび割れ（黒色）、長期から短期許容引張応力度の 345N/mm^2 までに発生したひび割れ（青色）、短期許容引張応力度以降に発生したひび割れ（緑色）を区別して示した。

D19ねじ節鉄筋の平均ひび割れ間隔は、SD345、SD685ともにコンクリート強度が高いほど小さくなり、1本当たりのひび割れ幅も小さくなる傾向が見られた。また、 F_{c21} の試験体では、平均ひび割れ間隔はねじ節鉄筋が横節鉄筋よりも小さくなる傾向が見られた。SD345鉄筋の短期許容引張応力度（ 345N/mm^2 ）時で、 F_{c21} （1A-1）、 F_{c60} （1A-2）、 F_{c100} （1A-3）の平均ひび割れ間隔は156mm, 156mm, 140mm、ひび割れ幅は0.263mm, 0.273mm, 0.223mmであった。SD685鉄筋ではSD345の短期許容応力度時に多少のひび割れが発生し、高強度鉄筋の短期許容応力度（ 590N/mm^2 ）時で、 F_{c21} （1A-4）、 F_{c60} （1A-5）、 F_{c100} （1A-6）の平均ひび割れ間隔は117mm, 117mm, 100mm、ひび割れ幅は0.328mm, 0.313mm, 0.286mmであった。また、 F_{c21} のD19横節鉄筋(1A-7)では、SD345鉄筋の短期許容引張応力度時で、平均ひび割れ間隔は200mm、ひび割れ幅は0.269mmであった。

せん断補強筋用の高強度D16鉄筋の平均ひび割れ間隔は、節形状（付着性能）の違いにより大きな影響を受けている。 F_{c36} の節①（2A-1）、節②（2A-3）、節③（2A-5）、横節（2A-7）では、SD345鉄筋の短期許容引張応力度（ 345N/mm^2 ）時で、平均ひび割れ間隔は114mm, 200mm, 267mm, 133mm、ひび割れ幅は0.270mm, 0.338mm, 0.233mm, 0.261mmであった。高強度鉄筋の短期許容応力度（ 590N/mm^2 ）時で、平均ひび割れ間隔は89mm, 200mm, 267mm, 114mm、ひび割れ幅は0.374mm, 0.601mm, 0.519mm, 0.413mmであった。また、 F_{c80} の節①（2A-2）、節②（2A-4）、節③（2A-6）、横節（2A-8）では、SD345鉄筋の短期許容引張応力度（ 345N/mm^2 ）時で、平均ひび割れ間隔は133mm, 160mm, 200mm, 133mm、ひび割れ幅は0.256mm, 0.267mm, 0.322mm, 0.273mmであった。高強度鉄筋の短期許容応力度（ 590N/mm^2 ）時で、平均ひび割れ間隔は100mm, 160mm, 200mm, 114mm、ひび割れ幅は0.345mm, 0.518mm, 0.604mm, 0.343mmであった。

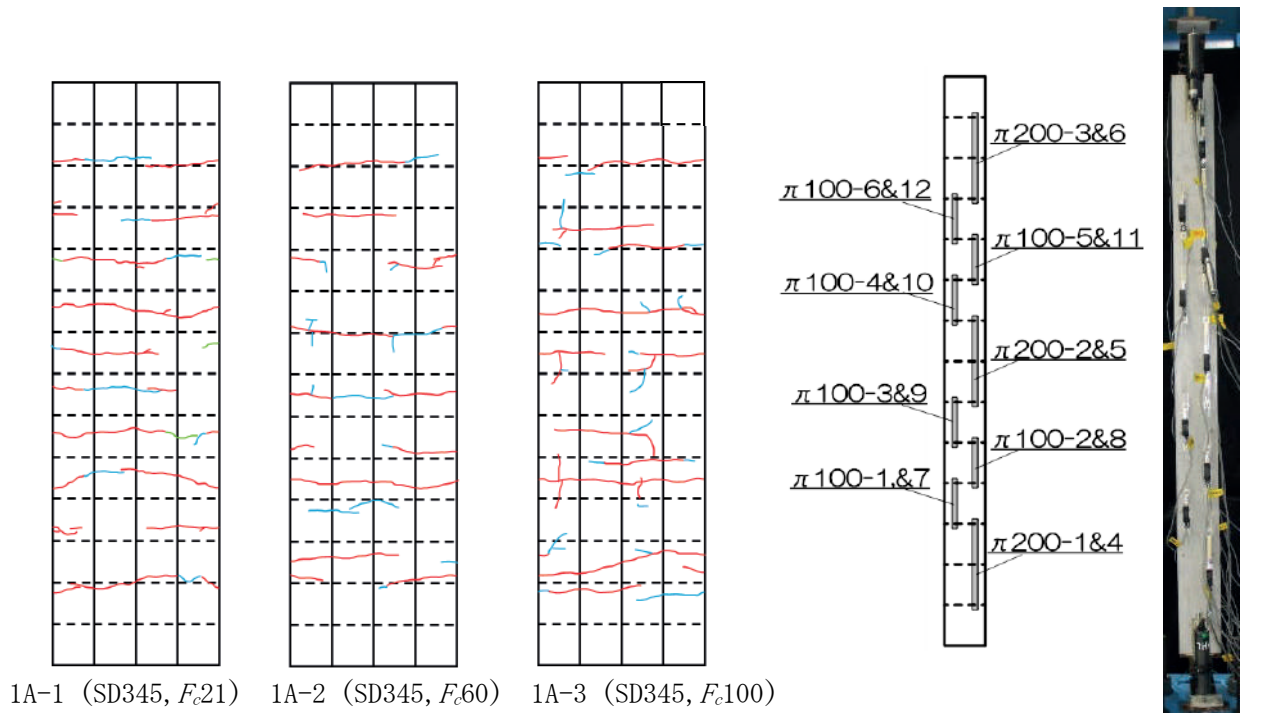
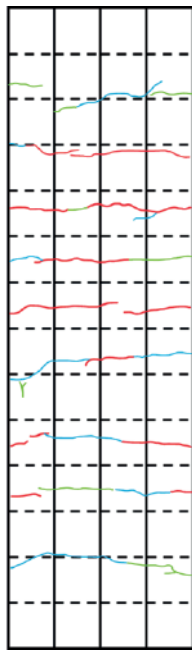
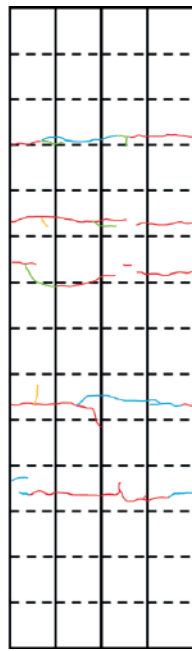


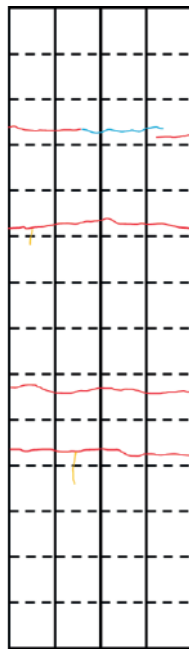
図4.2.11 実験1Aのひび割れ発生状況



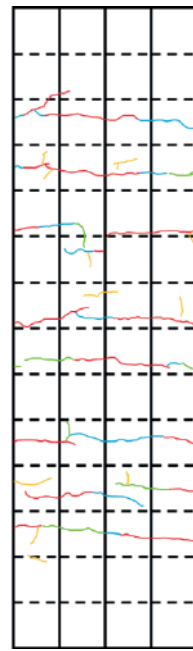
2A-1 (節①, F_{c36})



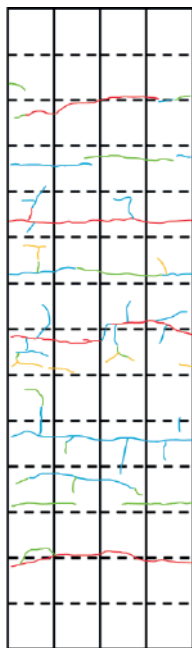
2A-3 (節②, F_{c36})



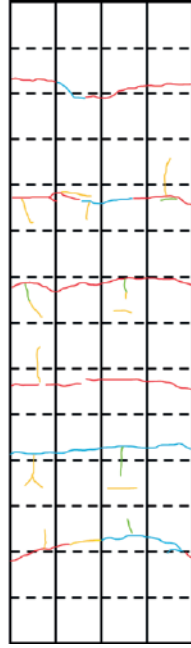
2A-5 (節③, F_{c36})



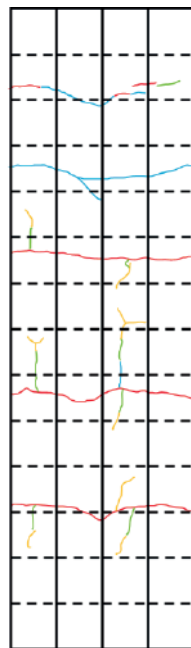
2A-7 (横節, F_{c36})



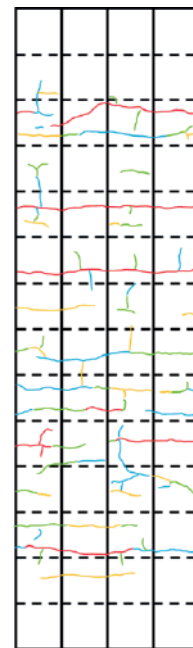
2A-2 (節①, F_{c80})



2A-4 (節②, F_{c80})



2A-6 (節③, F_{c80})



2A-8 (横節, F_{c80})

初ひび割れ～鉄筋(SD345)の長期許容応力度(215N/mm^2)
 ～降伏応力度(345N/mm^2)
 ～最大耐力

図4.2.12 実験2Aのひび割れ発生状況

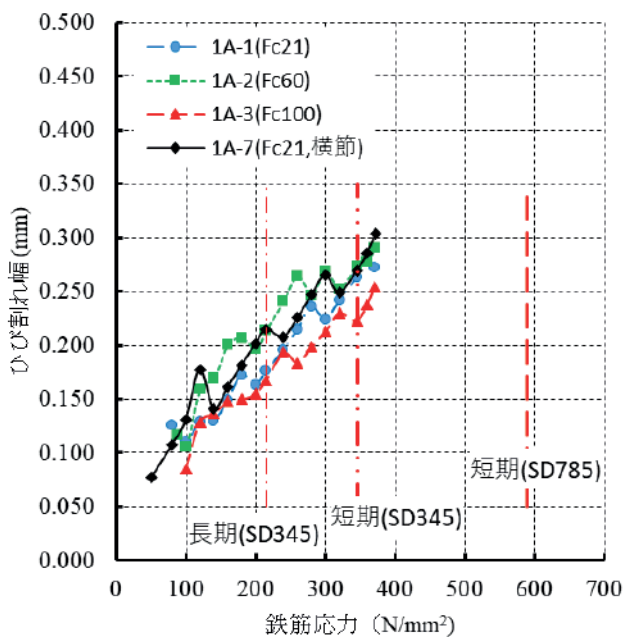
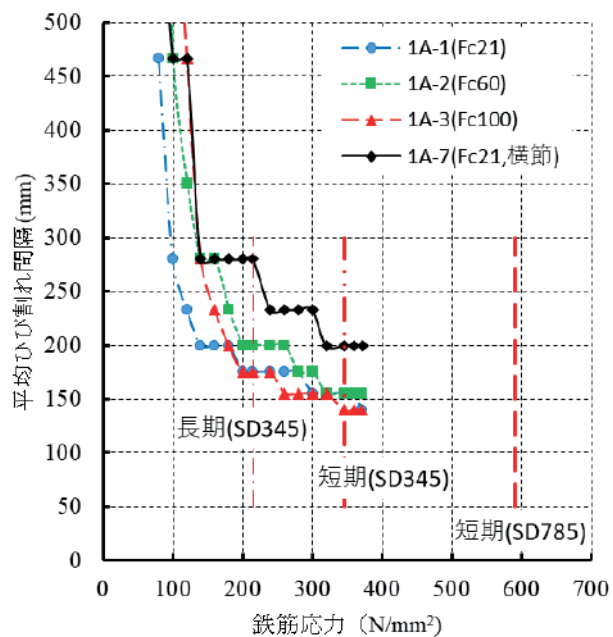


図4. 2. 13 実験1Aのひび割れ間隔とひび割れ幅 (SD345 F_c の影響)

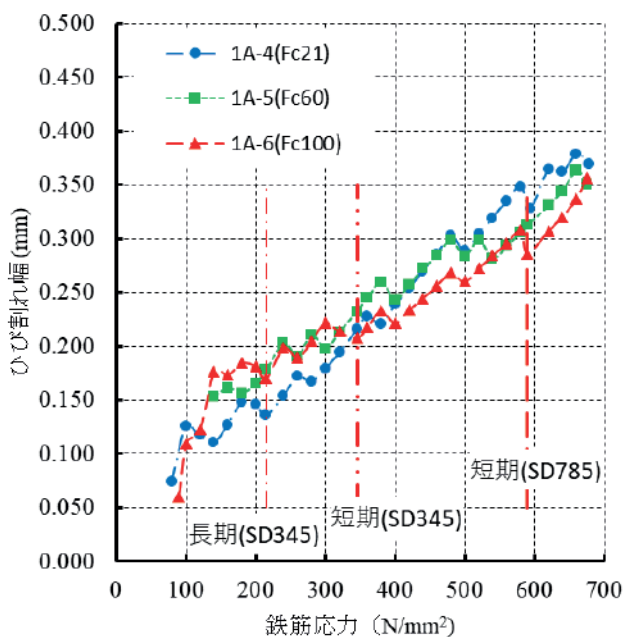
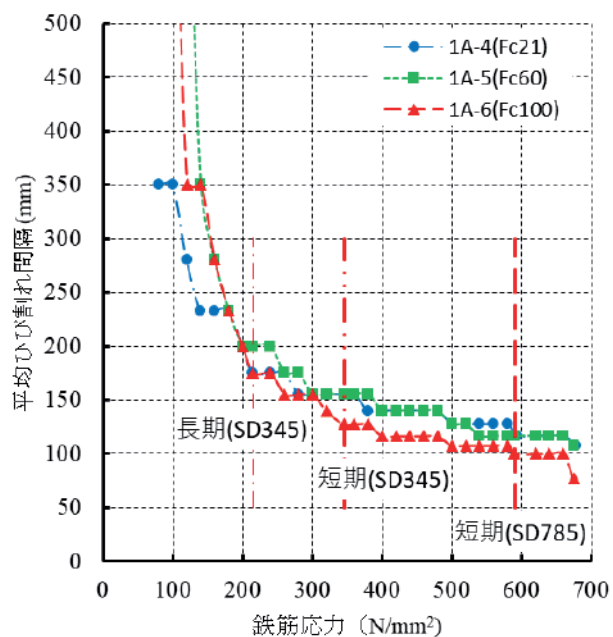


図 4. 2. 14 実験1Aのひび割れ間隔とひび割れ幅 (SD685 F_c の影響)

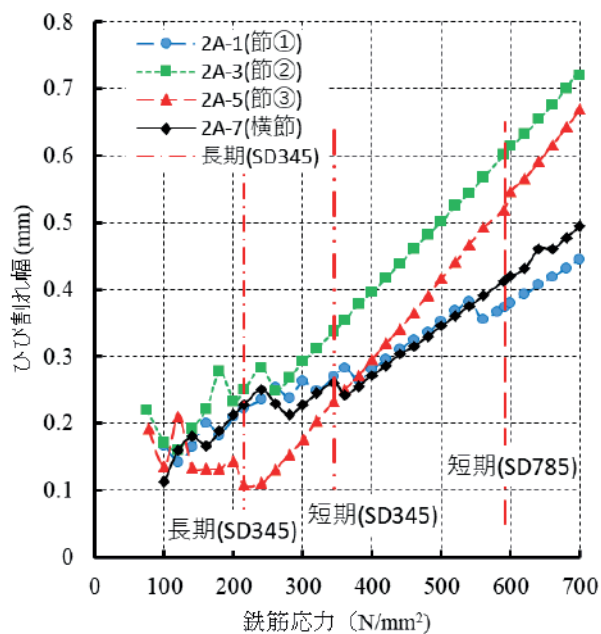
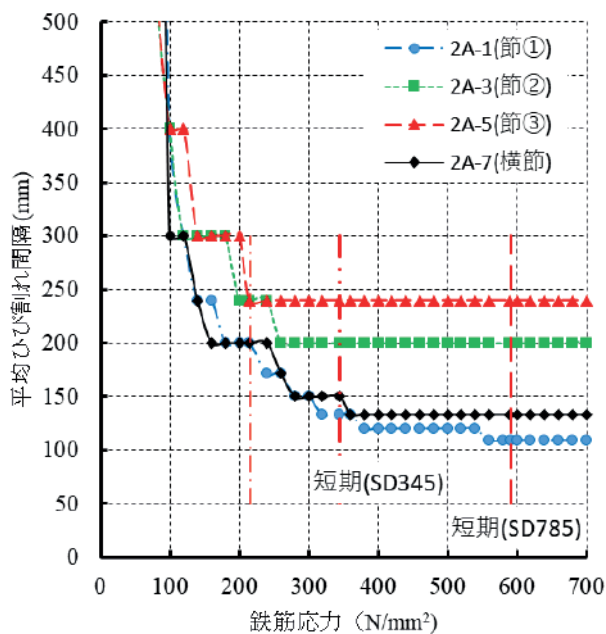


図4. 2. 15 実験2Aのひび割れ間隔とひび割れ幅 (F_{36} 節形状の影響)

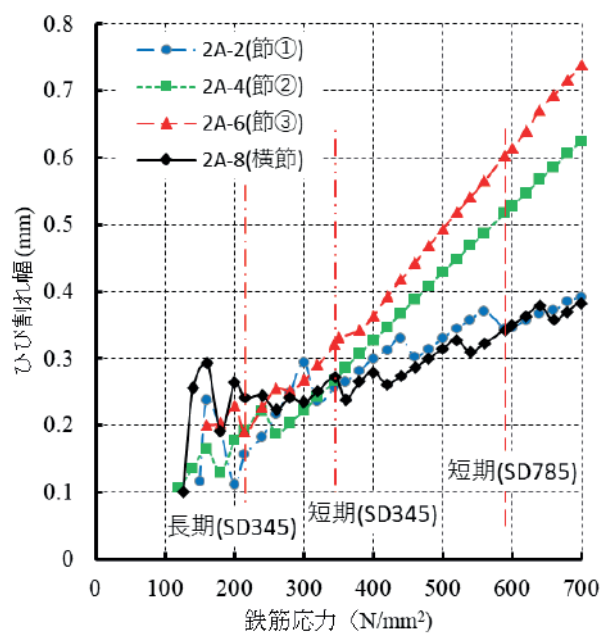
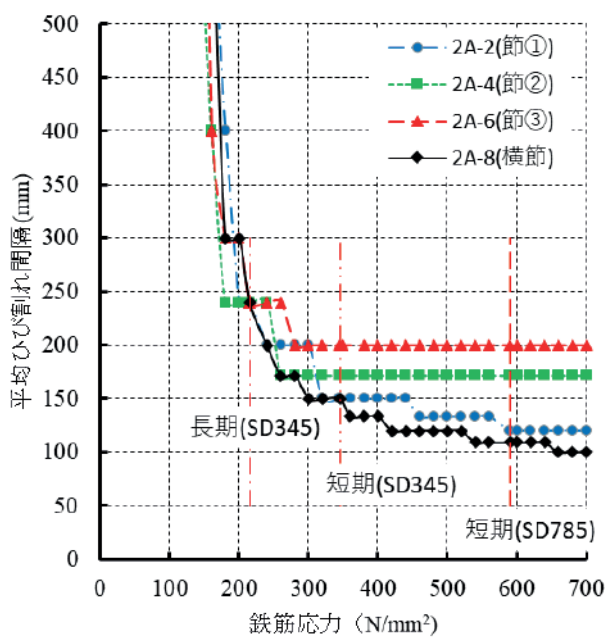


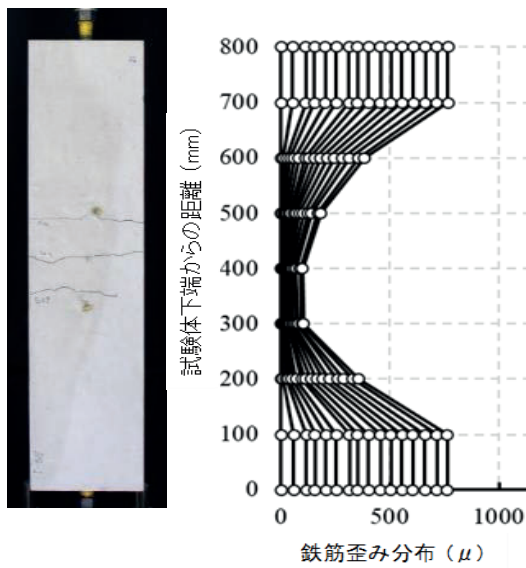
図4. 2. 16 実験2Aのひび割れ間隔とひび割れ幅 (F_{80} 節形状の影響)

(3) 両引き試験（歪み度分布）

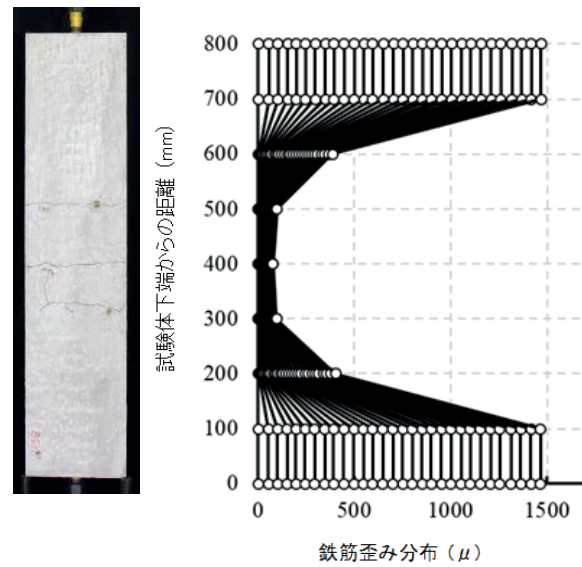
実験1B, 実験2B試験体の鉄筋歪み度分布の一例を図4.2.17、図4.2.18に示す。鉄筋の歪み度分布は、ひび割れ発生直前の引張応力が生じている状態のものである。ただし、実験2Bの節②および節③の試験体は鉄筋降伏時までひび割れが発生しなかったため、鉄筋両端の歪み度が 2000μ 程度までの歪み度分布を示している。各試験体とも、鉄筋の軸方向歪み度は鉄筋端部から試験体の中央部に向かって徐々に減少しており、鉄筋の引張力がコンクリートへ伝達されている状況が良く把握できる。

図4.2.17には、コンクリート圧縮強度を要因としたSD685のD19ねじ節鉄筋である1B-4 (F_{c21}) , 1B-5 (F_{c60}) , 1B-6 (F_{c100}) と、D19横節鉄筋である1B-7 (SD345, F_{c21}) の歪み度分布を示した。D19ねじ節鉄筋の歪み度分布はコンクリート圧縮強度が高くなるほど、鉄筋端部からの応力伝達長さが小さくなり集中していることがわかる。また、横節鉄筋の方が付着強度は高いが、応力伝達長さは付着剛性の高いねじ節鉄筋の方が小さくなっている。ひび割れは1B-4, 1B-5, 1B-6, 1B-7で鉄筋の応力が 164N/mm^2 , 290N/mm^2 , 280N/mm^2 , 159N/mm^2 で発生した。

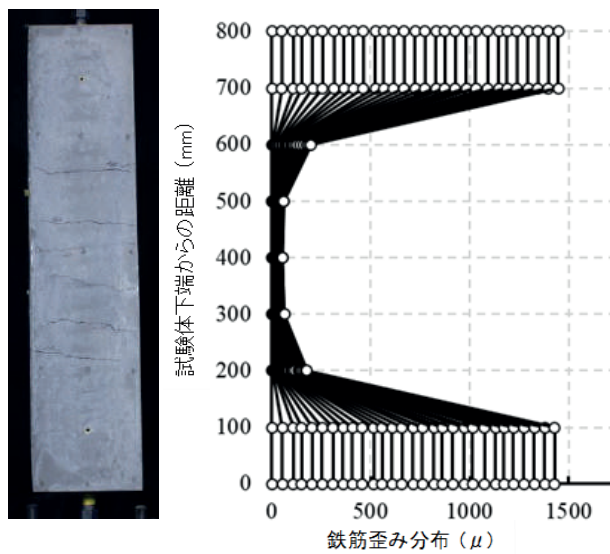
図4.2.18には、 F_{c36} で鉄筋の節形状を要因とした2B-1（節①）, 2B-3（節②）, 2B-5（節③）, 2B-7（横節）の歪み度分布を示した。D16せん断補強筋用の鉄筋の歪み度分布は節形状による違いが顕著であり、前述の（1）付着性能で示した破壊モードごとに応力伝達が異なっている。節間のコンクリートのせん断破壊を示した2B-7（横節）の試験体のひずみ度分布は、図4.2.17で示したD19ねじ節鉄筋と同様な歪み度分布の性状を示しており、鉄筋端部からの応力伝達長さが小さく集中している。節の支圧によるコンクリートの部分圧縮を示した2B-1（節①）の試験体の歪み度分布は、加力初期から試験区間全体（鉄筋端部から試験体中央部まで）で鉄筋応力が伝達されている。鉄筋とコンクリートの摩擦抵抗により応力が伝達されている2B-3（節②）および2B-5（節③）の試験体の歪み度分布は、節①と同様に加力初期から試験体全体で応力が伝達されているが、鉄筋降伏時付近までひび割れが発生するまでの応力は伝達されなかった。ひび割れは2B-1, 2B-3, 2B-5, 2B-7で鉄筋の応力が 251N/mm^2 , 543N/mm^2 , —（発生せず）, 200N/mm^2 で発生した。



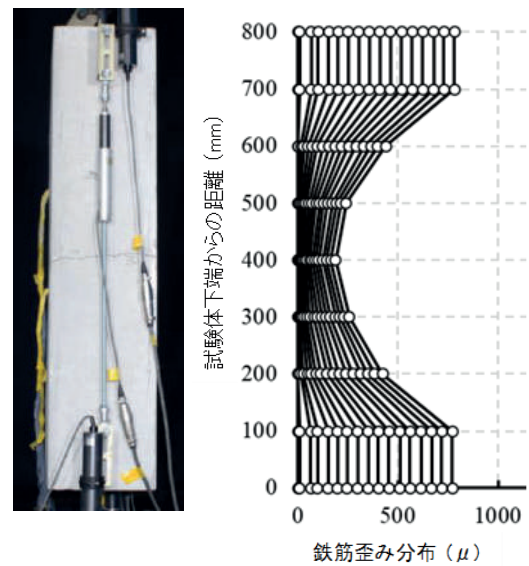
(a) ねじ節 SD685 F_c21 (1B-4)



(b) ねじ節 SD685 F_c60 (1B-5)

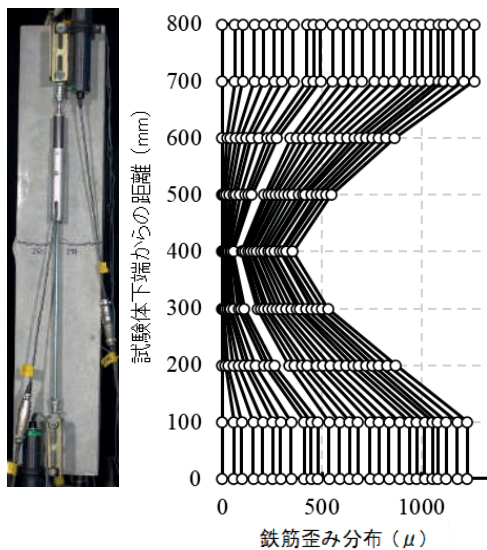


(c) ねじ節 SD685 F_c100 (1B-6)

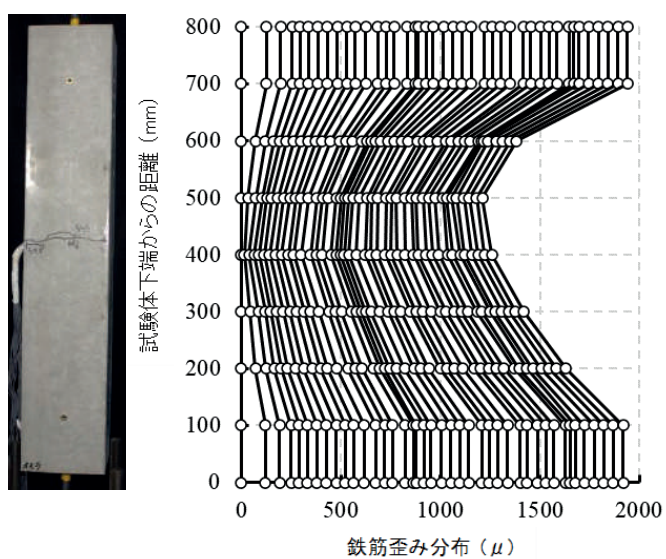


(d) D19 横節 SD345 F_c21 (1B-7)

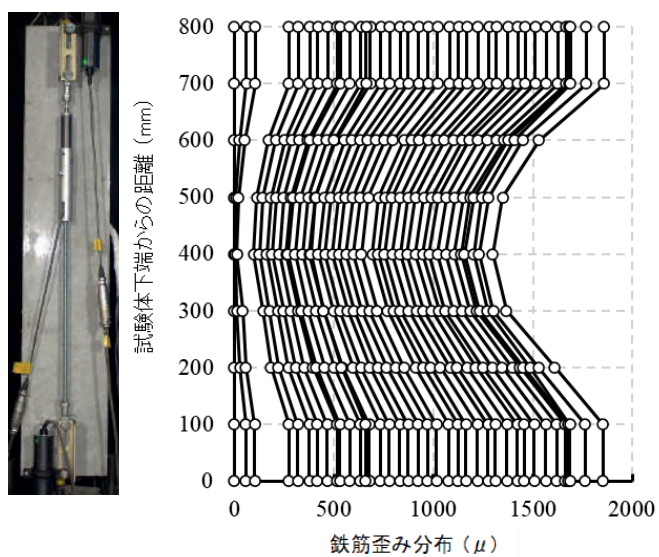
図 4.2.17 実験1Bの歪み度分布



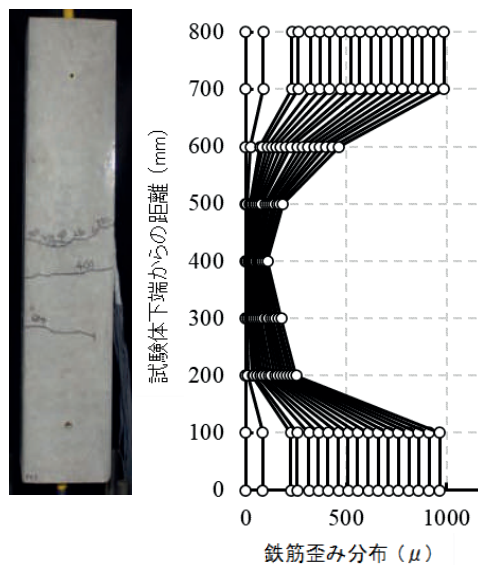
(a) D16 節① SD685R F_c36 (2B-1)



(b) D16 節② SD785R F_c36 (2B-3)



(c) D16 節③ SD785R F_c36 (2B-5)



(b) D16 横節 SD785 F_c36 (2B-7)

図 4.2.18 実験2Bの歪み度分布

4.3 実験の総括

(1) 引抜き試験による付着性能

- ・ 今回用いた節形状の異なる異形鉄筋の破壊状況は、①節間のコンクリートのせん断破壊、②節の支圧面での部分圧縮破壊、③鉄筋とコンクリート界面の摩擦抵抗力の喪失の3種類の破壊モードが観察された。
- ・ 破壊モードの違いは、節間隔/節高さの比、節高さ/直径の比等で決定されると思われる。破壊モードによる付着強度、付着剛性の違いが顕著である。
- ・ 破壊モードの違いによらず、コンクリート圧縮強度の増加とともに付着強度は増加しているが、各破壊モードごとの付着強度の増加率は異なっており、コンクリートの圧縮強度で付着強度が決定する節の支圧面での部分圧縮破壊する場合の増加率が、コンクリートの割裂引張強度で付着強度が決定する節間のコンクリートのせん断破壊、および摩擦抵抗力の喪失による破壊よりも大きくなっている。

(2) 両引き試験によるひび割れ拡散傾向

- ・ 異形鉄筋の付着性能の違いが、ひび割れ間隔およびひび割れ幅に大きな影響を及ぼしている。
- ・ 節間隔/節高さの比が小さいねじ節鉄筋は、横節鉄筋に比べてひび割れ間隔が小さくなることによりひび割れ本数が増加し、1本あたりのひび割れ幅が小さくなる傾向がみられる。
- ・ 節高さ/直径の比が小さいせん断補強筋用の鉄筋は、横節鉄筋に比べてひび割れ間隔が大きくなることによりひび割れ本数が減少し、1本あたりのひび割れ幅が大きくなる傾向が見られる。
- ・ コンクリート強度が増加することにより、ひび割れ間隔が小さくなり、1本あたりのひび割れ幅が小さくなる傾向が見られる。

(3) 両引き試験による鉄筋の歪み分布

- ・ 異形鉄筋の付着性能の違いが、鉄筋の付着力によるコンクリートへの応力伝達に大きな影響を及ぼしている。
- ・ 節間隔/節高さの比が小さいねじ節鉄筋は、付着剛性が高く、横節鉄筋に比べて応力を伝達する長さが短くなる傾向が見られる。
- ・ 節高さ/直径の比が小さいせん断補強筋用の鉄筋は、付着剛性が低く、横節鉄筋に比べて応力を伝達する長さが長くなる傾向が見られる。
- ・ コンクリート強度が増加することにより、付着剛性が高くなり、応力を伝達する長さが短くなる傾向が見られる。

以上

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 10 回目の品質調査として、2022 年 10 月に調査を開始し、データの分析や基礎的な実験を行い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 31 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、会員各社が国土交通大臣の認定を受けて製造している「高強度鉄筋」についての現状調査を行い、JIS G 3112 : 2020 への適合等を調査しました。加えて、高強度せん断補強筋の付着特性に関する実験を行い、知見を取りまとめました。これらのデータ等が「高強度鉄筋」の普及促進の一助となればと考えております。

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。

2023 年 10 月

鉄筋棒鋼品質調査委員会幹事
(鉄筋棒鋼技術委員長)

阿部 康晴

【参考資料】

電炉鉄筋棒鋼メーカーの表示マークと鋼種ごとの製造可能サイズの目安

会 社 名	工場 所在地	表示マーク	鋼種ごとの製造可能サイズの目安（注1）〔 上段：一般鉄筋 下段：ねじ節鉄筋 〕							
			SD295	SD345	SD390	SD490	SD590級	SD685級		SD785級
							主筋	主筋	せん断補強筋	せん断補強筋
朝日工業(株)	埼玉		D13～D51 D13～D51	D13～D51 D13～D51	D13～D51 D13～D51	D13～D51 D13～D51	D19～D51	D19～D51		
(株)伊藤製鐵所	茨城、宮城		D10～D16 D13～D16	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D13～D51 D19～D51				
大阪製鐵(株)	熊本		D10～D16	D10～D51	D10～D51	D19～D51				
大谷製鉄(株)	富山		D10～D38 D13～D38	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51			D10～D16	
関東スチール(株)	茨城		D10～D19	D10～D19	D10～D19	D10～D19				
岸和田製鋼(株)	大阪		D10～D41	D10～D41	D10～D41	D16～D41			K10～K16	K10～K16
九州製鋼(株)	福岡		D10～D13	D10～D13	D10～D13					
共英製鋼(株)	大阪、愛知、 山口		D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D19～D51	D35～D41 D35～D41	D19～D51 D19～D51	D10～D13	
合同製鐵(株)	大阪、千葉		D6～D19	D6～D51	D10～D51	D16～D51	D35～D41	D35～D41	D10～D16	
三興製鋼(株)	神奈川		D10～D38	D10～D38	D10～D38	D10～D38				
JFE条鋼(株)	北海道、 茨城、 埼玉、岡山		D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D10～D51 D13～D51	D32～D41 D32～D41	D32～D41 D32～D41		D10～D16
清水鋼鐵(株)	北海道		D10～D16 D13～D16	D10～D41 D13～D41	D10～D41 D13～D41	D10～D41 D13～D41				T10～T16
(株)城南製鋼所	埼玉		D10～D16	D10～D16	D10～D16					
拓南製鐵(株)	沖縄		D6～D51 D10～D51	D6～D51 D10～D51	D6～D51 D10～D51	D6～D51 D10～D51	D35～D41		TA10～TA16	T10～T16
千代田鋼鉄工業(株)	東京		D10～D16	D10～D16	D10～D16	D10～D16				
(株)トーカイ	福岡		D13～D16	D13～D51	D13～D51	D13～D51				
東京鐵鋼(株)	青森、栃木		D10～D51 D10～D51	D10～D51 D10～D51	D10～D51 D10～D51	D10～D51 D10～D51	D19～D41	D19～D41	TA10～TA16	T10～T16
トビー工業(株)	愛知		D10～D16	D10～D38	D22～D38	D25～D38				
中山鋼業(株)	大阪		D16	D16～D51 D19～D51	D16～D51 D19～D51	D16～D51 D19～D51	D51			
北越メタル(株)	新潟		D6～D16	D10～D51	D10～D51	D19～D51			D10～D16	
三星金属工業(株)	新潟		D10～D16	D10～D41	D10～D41	D10～D41				
(株)向山工場	埼玉		D10～D16	D10～D16	D10～D16	D10～D16				D10～D16
山口鋼業(株)	岐阜		D10～D16	D10～D16	D10～D16	D10～D16				Y10～Y16

注1: 本表は鋼種ごとの製造可能サイズの目安であり、発注等に際しては必ず各社連絡先等に確認のこと（製造鋼種・サイズは社単位で整理したので、1工場では必ずしも一致しない）。

注2: SD590級～SD785級の製造可能サイズの目安については大臣認定品を含みます。

注3: 機械式継手等は、各社のホームページ等でご確認下さい。

注4: 各社のホームページURL、電話番号等については普電工ホームページもご参照ください（http://www.fudenkou.jp/member_01.html）。

出所: 普通鋼電炉工業会 2023年10月調べ

電炉鉄筋棒鋼品質調査報告書

2023 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.fudenkou.jp>

* 無断複写・転写を禁ず