

# 太径鉄筋TS式スリーブジョイント低サイクル静的繰返し試験

石川 登  
矢部 喜堂  
杉田 稔

## § 1. はじめに

本実験は、太径異形鉄筋に対するTSスリーブジョイント工法を多方面に利用することを考慮して、その継手性能を検討する実験の一環であり、主として地震時を想定した繰返し荷重に対する継手性能を知るため、RPCJ委員会・鉄筋継手性能判定基準第2次案に準じて実験を計画し、高応力の引張一圧縮の両振り低サイクル繰返し試験を実施し、継手の剛性変化・鉄筋のスリーブからの抜け出し等をフシ形状の異なる3銘柄のD51・D41について検討した。なお本実験は、科学技術庁金属材料研究所との共同研究であり、本論文はその一部をまとめたものである。

## § 2. 実験方法

### 2.1 実験計画

本実験では継手性能に影響を及ぼす実験因子として、

1) 鉄筋の銘柄および径の相違に伴うフシ・リップの形状寸法

2) 塑性域での繰返し試験における荷重段階

を挙げた。上記の試験因子にもとづき、供試鉄筋の対象銘柄は次の3メーカー品とした。

- 1) 新日本製鉄製 デーコン
- 2) 住友金属工業製 スミパー
- 3) 川崎製鉄製 リパーコン

本実験は以下に記す各試験から構成されている。

- 1) 素材引張試験——継手繰返し試験の荷重条件を決定するとともに試験結果を検討する資料とする。
- 2) 小型引張試験——異形鉄筋のヤング率を、フシ・リップや公称断面積を使用することによる影響を取り除いて求め、継手試験体の剛性を評価する際の基準とする。
- 3) 継手単調載荷試験——継手の単調引張載荷に対す

る安全性を確認する。

- 4) 継手繰返し試験——継手に  $+0.95P_y \leftrightarrow -0.5P_y$  ( $P_y$ ; 降伏荷重)なる両振り繰返し試験を行なった後に、 $+αP_y \leftrightarrow -0.5P_y$  ( $α > 1$ )の両振り繰返し試験を行ない、継手の繰返し荷重に対する諸性能を検討する。(以下、前者を1次繰返し試験、後者を2次繰返し試験と呼ぶ)。

### 2.2 供試材

本実験に供した鉄筋は、種類SD35、呼び名D51・D41であり、前記3銘柄6種類とした。

また、スリーブの材質はJIS G 3445に規定されたSTKM13Aであり、その形状寸法を図-1に示す。

表-1に本実験に使用した鉄筋の化学成分を製造会社発行のミルシートより転載し、あわせて鉄筋とスリーブのJIS規格値を示す。

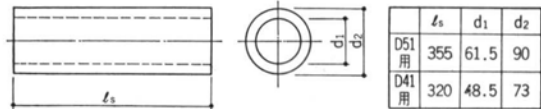


図-1 スリーブ形状寸法

	銘柄	呼び名	化学成分 (%)				
			C	Si	Mn	P	S
			$\times 100$	$\times 100$	$\times 100$	$\times 1000$	$\times 1000$
鉄	JIS規格 SD 35		$\leq 27$		$\leq 160$	$\leq 50$	$\leq 50$
	新日本製鉄	D51	22	43	148	32	14
		デーコン	D41	24	6	156	14
	住友金属工業	D51	24	43	144	19	28
		スミパー	D41	25	43	150	16
	川崎製鉄	D51	23	41	159	19	15
リパーコン		D41	21	42	142	16	16
スリーブ	JIS規格 STKM13A		$\leq 25$	$\leq 35$	30~90	$\leq 40$	$\leq 40$

表-1 供試鉄筋およびスリーブの化学成分

## 2.3 施工機械

本工法による継手作製は三和テッキ機製の油圧ポンプおよび油圧プレス機を使用した。油圧プレス機は、最大油圧力を  $700\text{kg}/\text{cm}^2$  にセットされており、常に一定圧力でスリーブを締めつけることになる。なお、試験体作製にあたっては、スリーブ両端部の1ストロークは  $400\text{kg}/\text{cm}^2$  で締めつけた。

## 2.4 試験体(片)の作成

図-2 に小型引張試験片の形状寸法を示す。これらの試験片は鉄筋とスリーブ素材より切り出し作製した。

図-3 に継手試験体の形状寸法を示す。表-2, 3 に接合前と接合後のスリーブ、鉄筋の各部の寸法を示す。スリーブは締付けにより約11~14%の伸びを示した。

## 2.5 試験方法

### 2.5.1 素材引張試験

鉄筋素材の  $P-\delta$  曲線を得るために、試験体に1対の電気式ダイヤルゲージを取り付け、標点間の変位をX-Yレコーダに記録した。標点間距離はすべて  $370\text{mm}$  とした。加力には当社研究所所有の  $600\text{ton}$  構造物試験機を使用した。

### 2.5.2 小型引張試験

本試験では W.S.G. と電気式ダイヤルゲージを用いて歪と伸びの測定を行なった。

W.S.G. は試験片の中央部に軸をはさんで表裏2枚貼

銘柄	試験体記号	スリーブ径(mm)		スリーブ断面積 $A_s$ ( $\text{cm}^2$ )	スリーブ長 $l_s$ (mm)	鉄筋リブ間径 $D_f$ (mm)	
		内径 $d_1$	外径 $d_2$			鉄筋1	鉄筋2
デーコン D51	A-3-2	61.5	89.2	32.79	357.3	55.7	56.0
	A-3-3	61.4	89.3	33.02	357.4	55.7	56.0
	A-3-4	61.3	89.4	33.26	357.6	55.7	55.9
スミバー D51	B-3-2	61.3	89.2	32.98	357.5	60.5	60.6
	B-3-3	61.5	89.4	33.07	360.0	59.9	60.0
	B-3-4	61.9	89.2	32.40	356.8	60.0	59.9
リバーコン D51	C-3-2	61.4	89.2	32.88	357.4	54.4	54.4
	C-3-3	61.4	89.2	32.88	357.5	54.2	54.3
	C-3-4	61.5	89.2	32.79	357.3	54.3	54.3
デーコン D41	E-3-2	48.4	73.1	23.57	320.3	44.9	44.7
	E-3-3	48.4	73.1	23.57	320.0	44.8	44.7
	E-3-4	48.3	73.2	23.76	320.0	44.6	44.5
スミバー D41	F-3-2	48.2	73.0	23.61	320.1	46.4	46.4
	F-3-3	48.5	73.1	23.49	320.0	47.9	47.9
	F-3-4	48.3	73.1	23.65	320.2	46.3	48.3
リバーコン D41	G-3-2	48.5	73.1	23.49	320.0	46.4	46.4
	G-3-3	48.5	73.2	23.61	320.0	46.3	46.3
	G-3-4	48.5	73.2	23.61	320.0	46.5	46.4

表-2 接合前のスリーブおよび鉄筋の形状寸法

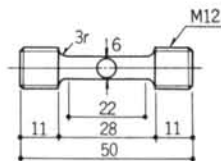


図-2 小型引張試験片形状寸法

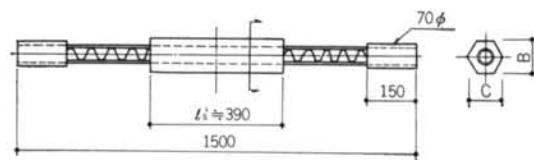


図-3 D51継手試験体標準形状寸法

付し、载荷中の歪を測定した。一方、試験片引張器具間の変位を試験片平行部の伸びとみなして、この変位を2個の電気式ダイヤルゲージにより検出し、X-Yレコーダに記録した。前者の歪測定は弾性範囲内について行ない、後者の変位測定は試験片が破断に至るまで追跡した。

### 2.5.3 継手試験

継手試験は、単調载荷試験、繰返し試験とも以下に示す様式にしたがって、W.S.G. と電気式ダイヤルゲージを用いて測定を行なった。

W.S.G. は図-4 に示すように、鉄筋の縦リブを保有するスリーブ表面に、片面のみ5枚貼付した。また、スリーブの伸び、鉄筋のスリーブからの抜け出し、および全測定長の変位を測定するため図-5 に示す測定点間の変位を電気式ダイヤルゲージ(D.G.)にて測定した。以

銘柄	試験体記号	スリーブ径(mm)		スリーブ長(mm)		スリーブ伸び率 $(l_s'/l_s)$ (%)
		B	C	接合前 $l_s$	接合後 $l_s'$	
デーコン D51	A-3-2	78.8	85.7	357.3	392.1	9.7
	A-3-3	79.3	85.2	357.4	394.5	10.4
	A-3-4	79.2	85.8	357.6	393.6	10.1
スミバー D51	B-3-2	79.7	85.2	357.5	400.5	12.0
	B-3-3	79.6	85.6	360.0	398.0	10.6
	B-3-4	79.4	85.7	356.8	393.7	10.3
リバーコン D51	C-3-2	79.3	85.8	357.4	389.8	9.1
	C-3-3	79.1	85.8	357.5	387.5	8.4
	C-3-4	78.9	85.6	357.3	387.2	8.4
デーコン D41	E-3-2	63.6	70.9	320.3	359.9	12.4
	E-3-3	63.8	71.6	320.0	360.4	12.6
	E-3-4	63.8	71.5	320.0	358.7	12.1
スミバー D41	F-3-2	66.3	72.7	320.0	353.0	10.3
	F-3-3	65.5	72.2	320.0	360.4	12.6
	F-3-4	66.0	72.3	320.0	355.7	11.2
リバーコン D41	G-3-2	63.3	71.6	319.8	362.2	13.3
	G-3-3	63.7	71.3	320.4	359.6	12.2
	G-3-4	63.4	71.3	320.0	360.8	12.8

表-3 接合後の継手形状寸法

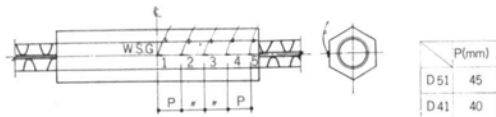


図-4 継手試験体 W.S.G. 貼付位置

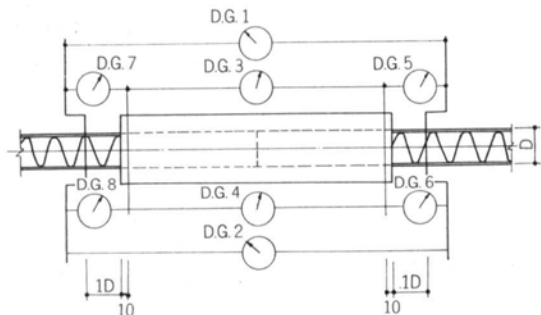


図-5 ダイアルゲージ取付位置

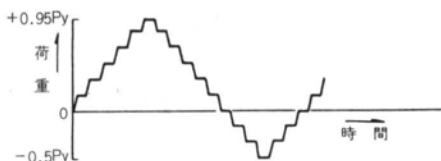


図-6 data-track による荷重制御模式図

下おのおのを  $l_s$ ,  $l_b$ ,  $l_a$  と称し,  $l_a$  を特に特定検長と呼ぶ. D.G はそれぞれの測定間に 2 個ずつセットし, その測定値の平均をとった.

加力には継手単調載荷試験では当研究所所有の島津製作所製 600 ton 構造物試験機を, 継手繰返し試験では科学技術庁金属材料技術研究所所有の鷺宮製作所製油圧サーボ式 200 ton 疲れ試験機を使用した.

#### イ) 継手単調載荷試験

本試験は静的な単調引張荷重に対する継手の諸性能を求め, それを繰返し試験より得られる実験結果を検討する際の資料とするとともに, 継手の単調引張荷重に対する安全性を確認することにある.

加力は D51 では約 10 ton, D41 では約 5 ton ビッチに荷重を保持し, 各測定点間の変位およびスリーブの歪を測定した. この測定を D51 では約 100 ton, D41 では約 70 ton まで行なった後, 測定治具を取り外し, 再度破断に至るまで加力を行なった.

#### ロ) 継手繰返し試験

本試験は, 継手試験体に静的な引張一圧縮両振り繰返し載荷を行ない, 各測定点間の変位・スリーブの歪を測定し, 繰返し荷重に伴う継手の特定検長の伸び率の変化, 鉄筋のスリーブからの抜け出し量等を求めるものである.

繰返し載荷は, 1 次繰返し試験では  $+0.95P_y \leftrightarrow -$

$0.5P_y$  ( $P_y$ : 鉄筋素材の平均降伏荷重) の両振り繰返し荷重を 30 回加え, その後 2 次繰返し試験として  $+aP_y \leftrightarrow -0.5P_y$  ( $a > 1$ ) の繰返し荷重を与えた. なお,  $a$  は 3 段階に変化させ, 塑性域での繰返し荷重の継手におよぼす影響をみた.

本試験の加力はすべて data-track を使用して, 台形波形の荷重による制御を採用した. 図-6 に示すように, 台形波形制御は  $P_{max}$  と  $P_{min}$  を 9 分割し,  $P_{max}$ ,  $P_{min}$  および分割点で D.G. と W.S.G. の測定が可能な適当な時間だけ荷重を保持し, 測定終了後に次の荷重へ移行するように計画されている.

D.G. と W.S.G. の測定は, 1 次繰返し試験では第 1, 2, 3, 20, 30 サイクルのみ全荷重保持時に測定を行ない, 残るサイクルは  $P=0$ ,  $P_{max}$ ,  $P_{min}$  時のみ変形と歪の測定を行なった. また 2 次繰返し試験では第 31, 32, 39, 40 サイクルのみ全荷重保持時に測定を行ない, 残るサイクルは最小の引張荷重保持時,  $P_{max}$ ,  $P_{min}$  時のみ測定を行なった.

## § 3. 実験結果および検討

### 3.1 材料試験

#### 3.1.1 素材引張試験結果

表-4 に素材引張試験結果を示す. 図-7 に各鉄筋の降伏後の荷重-残留伸び率の相関を図示する. この図から D41 スミパーと D41 リパーコンは他の鉄筋に比較して, 荷重が増大しても残留伸び率は増大しない. すなわち, 降伏後の立ち上がり方がゆるやかとなっている. 一方, 同一の対降伏荷重 ( $P/P_y$ ) における残留伸び率は鉄筋により大きく異なり, 残留伸び率が最大の D41 リパー

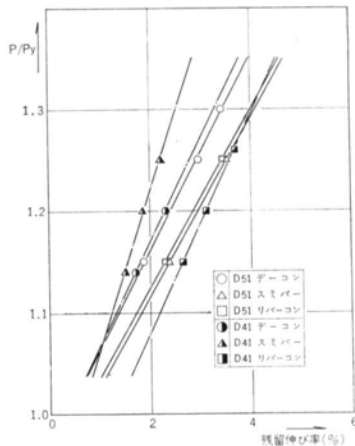


図-7 残留伸び率の変化

銘柄	試験体記号	降伏荷重 $P_y$ (t)	降伏点 $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	最大荷重 $P_{max}$ (t)	引張強さ $\sigma_{max}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び率 $\epsilon$ (%)
D51 デコーン	A-1-1	75.2	37.1	113.3	55.9	18.4
	A-1-2	74.0	36.5	112.9	55.7	24.9
	A-1-3	73.5	36.3	112.7	55.6	25.7
	平均	74.2	36.6	113.0	55.7	—
D51 スミバー	B-1-1	75.5	37.2	114.7	56.6	25.7
	B-1-2	75.0	37.0	114.3	56.4	23.2
	B-1-3	76.0	37.5	114.7	56.6	18.9
	平均	75.5	37.2	114.6	56.5	—
D51 リバーコ	C-1-1	72.3	35.7	111.3	54.9	21.6
	C-1-2	74.5	36.8	114.0	56.2	20.3
	C-1-3	72.2	35.6	110.9	54.7	26.8
	平均	73.0	36.0	112.1	55.3	—
D41 デコーン	E-1-1	55.8	41.6	80.6	60.1	23.8
	E-1-2	56.2	41.9	81.2	60.6	20.3
	E-1-3	56.8	42.4	80.5	60.1	25.1
	平均	56.3	42.0	80.8	60.3	—
D41 スミバー	F-1-1	54.7	40.8	87.4	65.2	24.3
	F-1-2	52.8	39.4	86.4	64.5	17.0
	F-1-3	53.5	39.9	86.0	64.2	17.3
	平均	53.7	40.0	86.6	64.6	—
D41 リバーコ	G-1-1	48.0	35.8	72.3	54.0	38.4
	G-1-2	47.0	35.1	71.3	53.2	24.9
	G-1-3	46.8	34.9	71.2	53.1	28.9
	平均	47.3	35.3	71.6	53.4	—

表一四 素材引張試験結果

鉄筋 メーカー	試験体記号	降伏 荷重 $P_y$ (t)	降伏 応力 $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	最大 荷重 $P_{max}$ (t)	引張 強さ $\sigma_{max}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	破断 荷重 $P_F$ (t)	破断 応力 $\sigma_F$ (kg/mm <sup>2</sup> )	破断 位置
新日鉄	A-3-1	73.3	36.16	113.8	56.14	83.0	40.95	母材
住金	B-3-1	74.6	36.80	115.2	56.83	92.5	45.63	母材
川鉄	C-3-1	73.0	36.01	112.2	55.35	87.5	43.17	母材
新日鉄	E-3-1	55.0	41.04	80.8	60.30	59.0	44.03	母材
住金	F-3-1	53.9	40.22	88.0	65.67	65.5	48.88	母材
川鉄	G-3-1	47.1	35.15	71.7	53.51	50.5	37.69	母材

表一六 継手単調載荷試験結果

コンと最小のスミバーでは約1%程度の差が見られる。これは鉄筋により降伏伸びが大きく異なっており、その影響がそれ以後の残留伸び率にあらわれたものである。

### 3.1.2 小型引張試験結果

表一五に小型引張試験結果を示す。ヤング率は試験片中央部に表裏2枚貼付したW.S.G.の平均歪量で応力値を除いて求めたものである。これらは鋼材のヤング率と

銘柄	試験片 番号	降伏 荷重 $P_y$ (t)	降伏点 $\sigma_y$ (kg/mm <sup>2</sup> )	最大 荷重 $P_{max}$ (t)	引張 強さ $\sigma_{max}$ (kg/mm <sup>2</sup> )	破断 荷重 $P_F$ (t)	破断 応力 $\sigma_F$ (kg/mm <sup>2</sup> )	伸び率 $\epsilon$ (%)	ヤング率 $E$ ( $\times 10^8$ t/cm <sup>2</sup> )
D51 デコーン	A-2-1	1.08	38.20	1.72	60.67	1.34	47.40	25.5	2.20
	A-2-2	1.12	39.19	1.77	61.76	1.42	49.69	26.3	2.19
	A-2-3	1.12	38.32	1.75	59.89	1.59	56.22	24.6	2.11
	平均	1.107	38.57	1.75	60.77	1.45	51.10	25.5	2.17
D51 スミバー	B-2-1	1.17	40.04	1.88	63.31	1.53	52.36	24.0	2.25
	B-2-2	1.14	40.32	1.76	62.25	1.44	50.94	24.1	1.81
	B-2-3	1.02	36.08	1.69	59.78	1.34	47.40	24.9	2.00
	平均	1.11	38.81	1.78	61.78	1.44	50.23	24.5	2.02
D51 リバーコ	C-2-1	1.02	36.08	1.64	58.01	1.29	45.63	29.5	2.05
	C-2-2	1.03	36.04	1.64	57.38	1.25	43.74	31.5	2.05
	C-2-3	1.04	35.59	1.65	56.47	1.29	44.15	31.2	2.18
	平均	1.03	35.90	1.64	57.29	1.28	44.50	30.7	2.09
D51 用スリーブ	S-2-1	0.90	31.84	1.44	50.76	1.08	38.20	23.5	2.32
	S-2-2	0.90	31.84	1.38	48.81	1.07	37.85	26.1	2.56
	S-2-3	0.97	34.31	1.46	51.64	1.18	41.11	24.4	2.39
	平均	0.923	32.66	1.43	50.40	1.10	39.05	24.7	2.42
D41 デコーン	E-2-1	1.21	42.80	1.84	64.91	1.64	58.01	23.0	2.17
	E-2-2	1.22	41.75	1.90	66.48	1.60	55.98	21.9	2.08
	E-2-3	1.25	42.78	1.88	64.33	1.54	52.70	20.9	2.25
	平均	1.227	42.44	1.87	65.24	1.59	55.56	23.3	2.16
D41 スミバー	F-2-1	1.14	39.43	1.92	66.41	1.60	55.34	22.4	2.17
	F-2-2	1.15	39.78	1.93	66.76	1.62	56.04	23.8	2.22
	F-2-3	1.19	41.64	1.93	67.53	1.62	56.68	22.3	2.47
	平均	1.16	40.28	1.93	66.90	1.61	56.02	23.2	2.29
D41 リバーコ	G-2-1	0.99	35.02	1.61	56.95	1.19	42.09	27.9	2.19
	G-2-2	1.05	36.74	1.61	56.33	1.23	43.04	26.3	2.29
	G-2-3	1.05	37.14	1.60	56.60	1.19	42.09	27.9	2.10
	平均	1.03	36.30	1.61	56.63	1.20	42.41	27.4	2.19
D41 用スリーブ	T-2-1	0.74	26.18	1.19	42.09	0.85	30.07	28.3	2.23
	T-2-2	0.72	25.47	1.19	41.92	0.86	30.42	30.4	2.08
	T-2-3	0.74	26.18	1.18	41.74	0.82	29.01	28.4	2.21
	平均	0.73	25.94	1.19	41.91	0.84	29.83	29.0	2.17

表一五 小型引張試験結果

して若干大きめの傾向はあるものの、ほぼ妥当な値と思われる。

### 3.2 継手単調載荷試験結果

表一六に継手単調載荷試験結果を示す。降伏点・引張強さ・破断応力は素材引張試験結果とほぼ同等の値を示している。最終的な破断位置はいずれも母材部であり、鉄筋がスリーブから抜け出した例は皆無であった。

試験体 記号	Pmax—Pmin		最大 荷重 (t)	引張 強さ (kg/mm <sup>2</sup> )	降伏 荷重 (t)	降伏点 (kg/mm <sup>2</sup> )	破断	
	1cycle**30cycle	31cycle**40cycle						
デー コン	A-3-2	74.2×0.95 ×0.49 70.7—36.7	×1.25 ×0.50 92.8—37.3	112.1	55.3	93.5	46.1	引張破断
	A-3-3	×0.95 ×0.49 70.6—36.7	×1.16 ×0.49 86.2—36.9	112.4	55.4	87.5	43.2	引張破断
D 51	A-3-4	×0.95 ×0.49 70.7—36.5	×1.35 ×0.49 99.9—37.0	111.8	55.2	100.0	49.3	引張破断
	B-3-2	75.5×0.95 ×0.49 71.9—37.6	×1.15 ×0.49 86.9—37.5	117.2	57.8	89.0	43.9	引張破断
スミ バー	B-3-3	×0.95 ×0.49 71.8—37.3	×1.25 ×0.50 94.5—38.2	113.9	56.2	95.0	46.8	引張破断
	B-3-4	×0.95 ×0.49 71.8—36.9	×1.35 ×0.49 101.8—37.7	113.9	56.2	100.7	49.7	引張破断
リ バー コン	C-3-2	73×0.95 ×0.49 69.6—36.2	×1.15 ×0.49 84.1—36.2	111.0	54.8	85.0	41.9	抜け出し
	C-3-3	×0.95 ×0.49 69.7—36.0	×1.25 ×0.50 91.2—36.9	110.8	54.7	92.0	45.3	抜け出し
D 51	C-3-4	×0.95 ×0.49 69.4—36.0	×1.35 ×0.50 98.6—36.6	103.0	53.5	99.0	48.8	抜け出し
	E-3-2	56.3×0.91 ×0.47 51.3—26.7	×1.30 ×0.47 67.9—26.9	79.0	58.9	69.0	51.5	引張破断
デー コン	E-3-3	×0.95 ×0.49 53.4—27.7	×1.32 ×0.50 74.6—28.2	—	—	—	—	34サイクル 座屈
	E-3-4	×0.95 ×0.49 53.4—27.7	×1.24 ×0.49 69.9—27.8	—	—	—	—	未破断
スミ バー	F-3-2	53.7×0.94 ×0.49 50.8—26.4	×1.13 ×0.50 61.1—26.8	84.0	62.7	64.0	47.8	引張破断
	F-3-3	×0.95 ×0.49 51.0—26.5	×1.30 ×0.49 64.3—26.4	85.9	64.1	66.4	49.5	引張破断
リ バー コン	F-3-4	×0.94 ×0.49 50.5—26.3	×1.25 ×0.49 67.3—26.7	—	—	—	—	未破断
	G-3-2	47.27×0.94 ×0.49 44.5—23.2	×1.15 ×0.50 54.4—23.8	70.0	52.2	56.5	42.2	引張破断
D 41	G-3-3	×0.95 ×0.50 44.9—23.4	×1.20 ×0.50 56.7—23.6	69.7	52.0	58.2	43.4	引張破断
	G-3-4	×0.95 ×0.49 45.0—23.4	×1.23 ×0.48 58.3—23.0	—	—	—	—	未破断

\* ) 鉄筋素材の平均降伏荷重

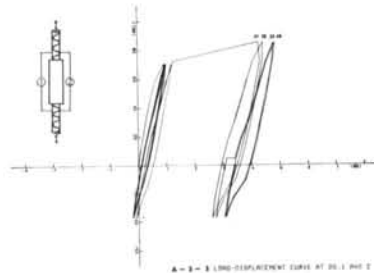
表一七 継手繰返し試験条件および最終破断試験結果

### 3.3 継手繰返し試験結果

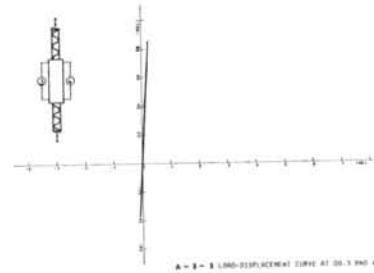
表一七に継手繰返し試験条件と、40サイクル終了後に最終破断に至るまで引張載荷を行なった結果を示す。

1) D51に関しては最終引張載荷でデーコン、スミバーはいずれも鉄筋母材で破断したが、リバーコンは母材破断を起こす前に鉄筋がスリーブから抜け出した。しかしながら、それらが示した最大荷重値は、いずれも JIS に規定された鉄筋の最大荷重の最低保証値 (101.4ton) を上回っていた。D41に関しては、最終引張載荷を実施した試験体はいずれも鉄筋母材で破断した。

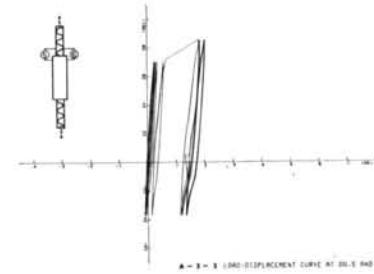
2) 全繰返しサイクルを通しての  $\Delta l_a$ ,  $\Delta l_b$ ,  $\Delta l_s$  の推移の一例を 図一八, 九, 十 に示す。 図一八において  $\Delta l_s$  は荷重と比例関係にあり、したがってスリーブは2次繰返し試験でも弾性域で変形している。



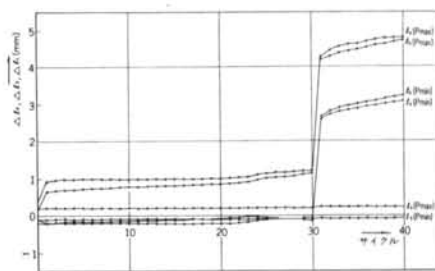
図一八 A-3-3 LOAD-DISPLACEMENT CURVE AT DG. 1 AND 2



図一九 A-3-3 LOAD-DISPLACEMENT CURVE AT DG. 3 AND 4



図一十 A-3-3 LOAD-DISPLACEMENT CURVE AT DG. 5 AND 6



図一十一 繰返しサイクルに伴う  $\Delta l_a$ ,  $\Delta l_b$ ,  $\Delta l_s$  の変化

図一十一に  $P_{max}$  と  $P_{min}$  における繰返しサイクルに伴う  $\Delta l_a$ ,  $\Delta l_b$ ,  $\Delta l_s$  の変化を示す。なお、鉄筋のスリーブからの抜け出しがなく、継手が弾性変形のみを起こした場合の諸値を0サイクルに記した。 図一十一 から、鉄筋の抜け出しに起因する  $\Delta l_a$  の大きな伸びは2~3サイクルで大部分終了し、約20サイクルでいったん収れんする

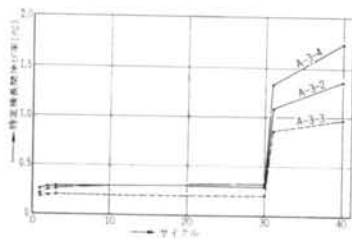


図-12 特定検査間伸び率の変化 (D51デーコン)

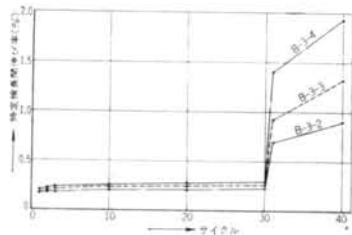


図-13 特定検査間伸び率の変化 (D51スミパー)

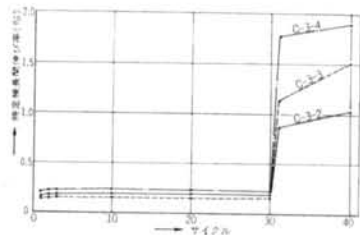


図-14 特定検査間伸び率の変化 (D51リパーコン)

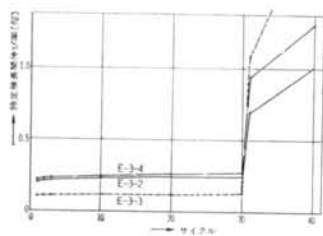


図-15 特定検査間伸び率の変化 (D41デーコン)

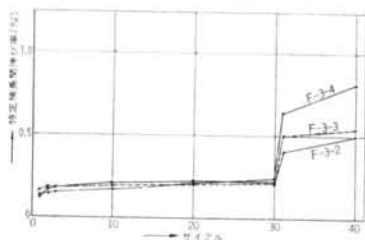


図-16 特定検査間伸び率の変化 (D41スミパー)

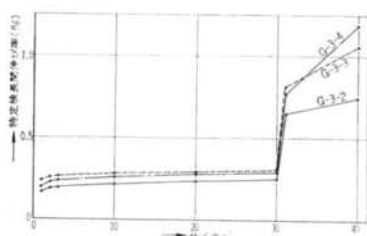


図-17 特定検査間伸び率の変化 (D41リパーコン)

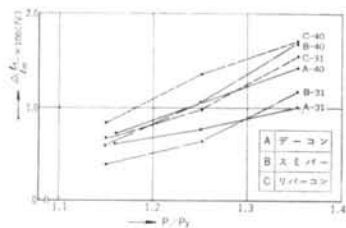


図-18 2次繰返し载荷による  $l_a$  の変化 (D51)

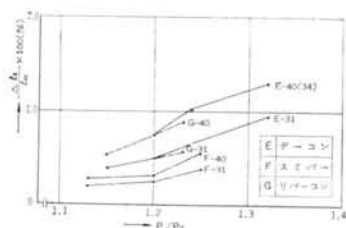


図-19 2次繰返し载荷による  $l_a$  の変化 (D41)

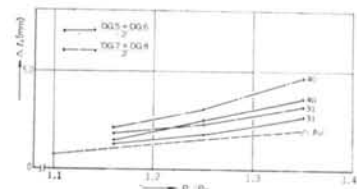


図-20 2次繰返し载荷による  $l_b$  の変化 (D51デーコン)

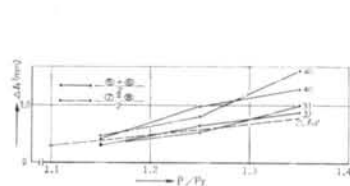


図-21 2次繰返し载荷による  $l_b$  の変化 (D51スミパー)

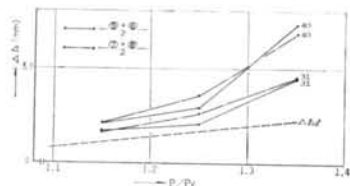


図-22 2次繰返し载荷による  $l_b$  の変化 (D51リパーコン)

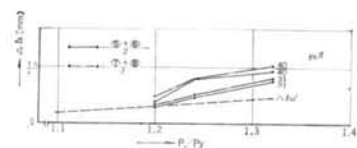


図-23 2次繰返し载荷による  $l_b$  の変化 (D41デーコン)

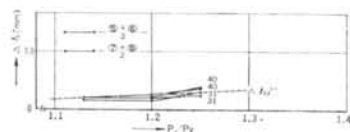


図-24 2次繰返し载荷による  $l_b$  の変化 (D41スミパー)

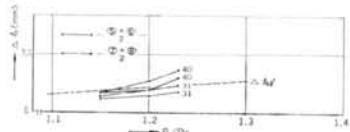


図-25 2次繰返し载荷による  $l_b$  の変化 (D41リパーコン)

様子を示すが、その後また漸増し29, 30サイクルで定常状態に近くなる。

3) 図-12~17に各鉄筋ごとの  $P_{max}$  における  $l_a$  の

伸び率の繰返しサイクルに伴う変化を示す。これらの図より  $l_a$  の伸び率は1次繰返し試験では2~3サイクルでほぼ定常となり、それ以降はわずかな漸増をしめす。ま

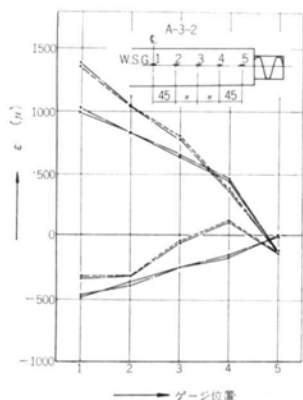


図-26 スリーブ表面の歪分布

た30サイクルにおける  $l_a$  の伸び率は0.2~0.3%となっており、著しく大きな変形を示したものはなかった。

2次繰返し試験では、 $P_{max} > P_y$  であるため、31サイクルで  $\Delta l_a$  は大きく増大し、それ以降40サイクルまで漸増してゆく。その増加傾向は  $P_{max}$  が大きなものほど著しい。

4) 図-18, 19 に2次繰返し試験における  $P_{max}$  と  $l_a$  の伸び率との関係を示す。これらの図で2次繰返し試験に負う  $l_a$  の伸び率を取り出すため、 $l_a$  は30サイクル  $P_{max}$  時の  $l_a$  を差し引いた値より求めた。図中31, 40はそれぞれ31サイクル、40サイクルを意味する。これらの図から、 $P_{max}/P_y$  と伸び率の間にはかなりの直線関係が見られる。また、31サイクルと40サイクルを比較すると40サイクルにおける勾配の方が一般的に大きい。これは  $P_{max}$  が大きいほど繰返しサイクルの伸び率に及ぼす効果が大きいことを示している。

5) 図-20~25 に2次繰返し試験における  $P_{max}$  と  $\Delta l_b$  の関係を示す。4) と同様に  $l_b$  は30サイクル  $P_{max}$  時の  $l_b$  を差し引いた値より求めた。 $l_a$ ,  $l_b$ ,  $l_s$  の間には式(1)の関係がある。また、 $\Delta l_b$  は鉄筋の伸び( $\Delta l_{bs}$ )と鉄筋のスリーブからの抜け出し( $\Delta l_{bs'}$ )とからなっており、式(2)が導出される。

$$l_a = l_s + l_b \quad \dots\dots(1)$$

$$\Delta l_b = \Delta l_{bs} + \Delta l_{bs'}$$

$$\Delta l_a = \Delta l_s + (\Delta l_{bs} + \Delta l_{bs'}) \quad \dots\dots(2)$$

$\Delta l_s$  は図-11 より弾性域で挙動しており、2次繰返し試験では鉄筋の降伏伸びに比較して著しく小さい。したがって継手の変形に対する抵抗性は  $l_b$  の抵抗性によって評価される。 $\Delta l_{bs}$  は鉄筋の材質によって決定される。図中に図-7の鉄筋素材の残留伸び率を本試験の測定長(1D)における残留変形量( $\Delta l_{bs'}$ )に換算して記入した。すなわち、図中において  $\Delta l_b$  の勾配が  $\Delta l_{bs'}$  に

近いほど  $P_{max}$  の増加に伴う  $\Delta l_{bs}$  は小さく、抵抗性が高い。また31サイクルと40サイクルの曲線が近似しているほど、繰返しサイクルの変形抵抗性に及ぼす影響が小さいことを意味する。

以上の観点から結果を検討すると、 $P_{max}$  が増すにつれて  $\Delta l_b$  は見かけ上増大するが、D51リバーコンを除いて、各鉄筋とも  $\Delta l_b$  と  $\Delta l_{bs'}$  の勾配は近似している。このことは本実験に採用した  $P_{max}$  の範囲内では、 $P_{max}$  の増加に伴う  $l_{bs}$  の増加は  $l_{bs}$  の増加に比較して小さく、 $l_b$  の増加は大部分が  $l_{bs}$  の増加に負っていることを示している。D51リバーコンは  $P_{max}/P_y$  が1.15~1.25間では  $\Delta l_b$  と  $\Delta l_{bs'}$  の勾配は近似しており、鉄筋のスリーブからのすべり出しがほとんどないことを示しているが、1.25~1.35間で  $\Delta l_b$  は急激に上昇し、この区間で鉄筋のスリーブからのすべり出しが顕著になり、他の鉄筋に比較し継手の変形抵抗性が小さいことを示している。

31サイクルと40サイクルに関して比較すると、D41では  $\Delta l_b$  の勾配は近似しており、繰返しサイクルの  $l_b$  に及ぼす影響は  $P_{max}$  が変化しても同程度である。一方、D51リバーコンとD51リバーコンは31サイクルの  $\Delta l_b$  の勾配に比較し40サイクルの方が増大しており、 $P_{max}$  が増すにつれて繰返しサイクルの及ぼす影響が大きくなる。すなわち、高荷重下における繰返し荷重に対して継手の変形抵抗性が小さい。

6) 図-26 に継手繰返し試験のスリーブ表面の第1, 30, 31, 40サイクルの  $P_{max}$  と  $P_{min}$  における歪分布の一例を示す。これによるとスリーブの変形は中央部分が高く、端部に近いほど低い。 $P_{max}$  の増す2次繰返し試験は1次繰返し試験に比較して  $P_{max}$  時のスリーブ表面の歪は全体的に増大する。 $P_{min}$  時のスリーブ表面の歪はD51では全体的に減少する傾向にあり、ゲージ位置3と4でその傾向が明瞭に見られる。一方、D41ではスリーブ表面の歪は1次繰返し試験とほぼ同程度であった。

1次繰返し試験・2次繰返し試験とも繰返しサイクルによる顕著な変化は見られなかった。

#### § 4. RPCJ 委員会・鉄筋継手性能判定基準 第2次案に基づく検討

##### 1) 見掛けの剛性変化に関する検討

図-28~33 に各試験体の繰返しサイクルに伴う見掛けの剛性変化を示す。見掛けの剛性は図-27 に示す繰返し  $\sigma$ - $\epsilon$  曲線上の  $\sigma_{max}$  と原点を結ぶ勾配とした。なお、応力の算出には公称断面積を使い、歪は特定検長間

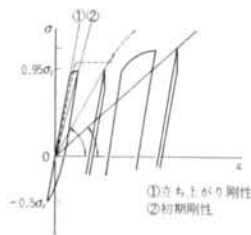


図-27 見かけの剛性

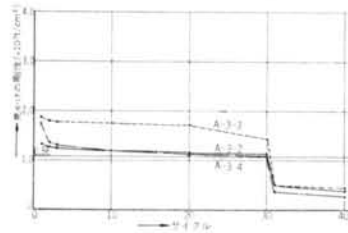


図-28 見かけの剛性変化  
(D51デーコン)

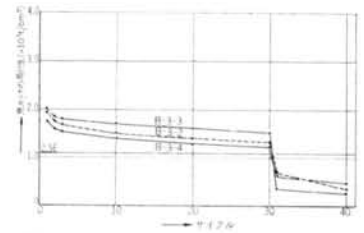


図-29 見かけの剛性変化  
(D51スミバー)

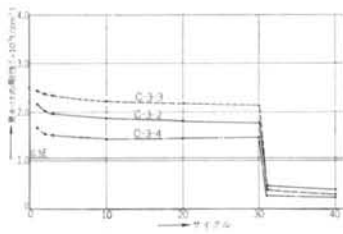


図-30 見かけの剛性変化  
(D51リパーコン)

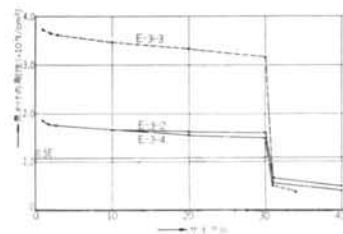


図-31 見かけの剛性変化  
(D41デーコン)

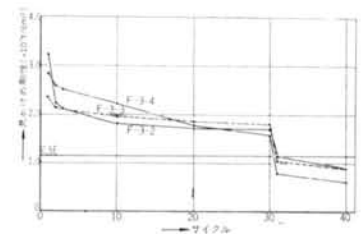


図-32 見かけの剛性変化  
(D41スミバー)

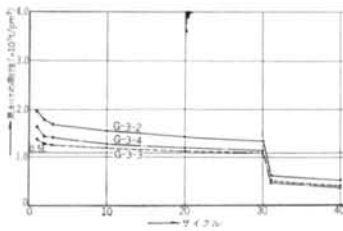


図-33 見かけの剛性変化  
(D41リパーコン)

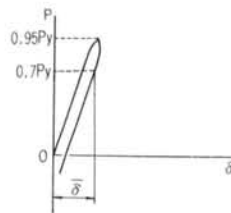


図-34 処女加力時の  
残留変形量

列記する。

この表から、初期剛性は立ち上がり剛性の場合と同様に2体(A-3-2, G-3-3)が基準の $0.7E$ に満たなかったが、その平均値に関してはいずれも $E$ を満足していた。

#### 4) 処女加力時の残留変形量に関する検討

表-9, 図-34 に第1サイクル除荷時の $0.7P_v$ における特定検長( $l_a$ )の残留変形( $\bar{\delta}$ )量および伸び率を示す。

なお、表中に参考として第1サイクル加力時、 $0.7P_v$ 時、および $P_{max}$ 時の伸び率を示す。

の変形量より求めた。図-28~33の図中に記入した $0.5E$ は、鉄筋母材の平均ヤング率(表-5参照)より算出した。

これらの図より、20サイクルまでの見掛けの剛性は、いずれの試験体においても $0.5E$ 以上となっており、基準を満足していた。また、30サイクルでもほぼ $0.5E$ となる試験体もあるが、すべて $0.5E$ 以上となっていた。

#### 2) 立ち上がり剛性に関する検討

表-8 に繰返し試験に供した各試験体の第1サイクルの加力時 $0.7P_v$ 時の見掛けの剛性とその判定の基準となる $E$ を列記する。

この表から、立ち上がり剛性はD51デーコンとD41リパーコンで各1体(A-3-2, G-3-3)が基準の $E$ に満たなかった。しかし、その平均値に関してはいずれも $E$ を満足していた。

#### 3) 初期剛性に関する検討

表-8 に各試験体の第1サイクル $P_{max}(=0.95P_v)$ における見掛けの剛性と、その判定の基準となる $0.7E$ を

## § 5. 結論

太径異径鉄筋(D51・D41)に対するTS式スリーブジョイントの低サイクル静的繰返し試験を行ない次の結果を得た。

1) TS式スリーブジョイント工法による継手は、供試鉄筋の降伏荷重以下の繰返し、およびその後の塑性域での繰返し荷重により、スリーブの破断または鉄筋のスリーブからの抜け出しによる分離は生じなかった。

2) 全繰返し試験終了後に行なった最終破断に至る引張試験では、D51はデーコン、スミバーは鉄筋母材で破断したが、リパーコンはスリーブより抜け出し分離し



銘柄	試験体記号	①立ち上がり剛性 (第1サイクル加力時0.7Py時)		②初期剛性 (第1サイクル0.95Py時)	
		( $\times 10^3 \text{ton/cm}^2$ )	$E'$	( $\times 10^3 \text{ton/cm}^2$ )	0.7E
D 51 デーコン	A-3-2	2.07	2.17	1.33	1.52
	A-3-3	2.45		1.86	
	A-3-4	2.41		1.73	
	平均	2.31		1.64	
D 51 スミバー	B-3-2	2.42	2.02	1.73	1.41
	B-3-3	2.45		1.91	
	B-3-4	2.56		1.99	
	平均	2.48		1.88	
D 51 リバーコン	C-3-2	2.57	2.09	2.16	1.46
	C-3-3	2.87		2.43	
	C-3-4	2.16		1.67	
	平均	2.53		2.09	
D 41 デーコン	E-3-2	2.28	2.16	1.85	1.51
	E-3-3	4.13		3.70	
	E-3-4	2.40		1.84	
	平均	2.94		2.46	
D 41 スミバー	F-3-2	3.63	2.29	3.23	1.60
	F-3-3	3.56		2.36	
	F-3-4	3.66		2.84	
	平均	3.62		2.81	
D 41 リバーコン	G-3-2	2.76	2.19	1.97	1.53
	G-3-3	2.07		1.38	
	G-3-4	2.59		1.65	
	平均	2.47		1.67	

\*) E は 3.1.2 小型引張試験結果より得た鉄筋母材のヤング率の平均値を採用した。

表一八 立ち上がり剛性および初期剛性

た。D41は総て母材で破断した。その際に示した最大荷重は、D51・D41とも総て JIS に規定された鉄筋の引張強さを満足した。

3) 弾性域での繰返しによる  $P_{max}$  時の特定検長間の伸びは、2~3 サイクルで大部分終了する。

4) 塑性域での繰返しによる鉄筋スリーブ間の  $P_{max}$  時における変形は、D51リバーコンを除いてその荷重に伴う鉄筋素材の伸びによって変化し、鉄筋のスリーブからのすべり出しは同一種類の鉄筋に関しては  $P_{max}$  と関係なく同程度である。D51リバーコンは  $P_{max}/P_y$  が 1.25~1.35 の区間で鉄筋のすべり出しが増大し、繰返しサイクルが増すにつれてより顕著となる。

#### <参考文献>

- 1) “太径異形鉄筋D51のTSスリーブジョイント耐力実験報告書” 当研究所報告書 RP74-1719
- 2) “金属便覧” 丸善

銘柄	試験体記号	第1サイクル 加力時0.7Py時 伸び率(%)	第1サイクル 0.95Py時 伸び率(%)	第1サイクル除荷時 0.7Py時	
				変形量 $\bar{\delta}$ (mm)	伸び率 $\bar{\epsilon}$ (%)
D 51 デーコン	A-3-2	0.12	0.26	1.23	0.25
	A-3-3	0.10	0.19	0.82	0.17
	A-3-4	0.11	0.20	1.16	0.23
	平均	0.11	0.22	—	0.22
D 51 スミバー	B-3-2	0.11	0.21	0.97	0.19
	B-3-3	0.11	0.19	0.86	0.17
	B-3-4	0.10	0.18	0.81	0.16
	平均	0.11	0.19	—	0.17
D 51 リバーコン	C-3-2	0.10	0.16	0.70	0.14
	C-3-3	0.09	0.14	0.59	0.12
	C-3-4	0.12	0.21	0.94	0.19
	平均	0.10	0.17	—	0.15
D 41 デーコン	E-3-2	0.13	0.21	0.83	0.19
	E-3-3	0.07	0.11	0.37	0.08
	E-3-4	0.13	0.22	0.83	0.19
	平均	0.11	0.18	—	0.15
D 41 スミバー	F-3-2	0.08	0.12	0.62	0.14
	F-3-3	0.08	0.16	0.66	0.15
	F-3-4	0.08	0.13	0.53	0.12
	平均	0.08	0.14	—	0.14
D 41 リバーコン	G-3-2	0.09	0.17	0.71	0.16
	G-3-3	0.12	0.24	1.02	0.23
	G-3-4	0.10	0.20	0.91	0.20
	平均	0.10	0.20	—	0.20

表一九 処女加力時の変形量

5) スリーブ表面の歪は繰返しサイクルに影響されず、弾性範囲内で挙動する。

6) 第1サイクルの0.95Py時における見かけの剛性(初期剛性)は  $1.3 \times 10^8 \sim 3.7 \times 10^8 \text{ ton/cm}^2$  の間はばらつきを見せていたが、鉄筋種類に関する平均値は 0.7E (E; 鉄筋のヤング率) を満足していた。

#### 謝辞

本実験の遂行に当り、科学技術庁金属材料技術研究所 疲れ試験部第一試験室長 理博 西島 敏氏、ならびに同研究員鎌倉英氏のご指導と多大なご尽力をいただいたことを感謝します。

