

太径鉄筋のTS式スリーブジョイント耐力試験

杉田 稔
矢部 喜堂

§ 1. はじめに

昨今、土木および建築を中心に建設工事の大型化に伴い、構造用鉄筋は高張力化、かつ、太径化する傾向を示しており、現在では D41、D51 が順次実用化されてきた。

鉄筋の接合には、従来からガス圧接法が多用されており、これらの太径鉄筋に対しても十分信頼できるガス圧接法が開発されている。しかしながら、近年、十分に熟練したガス圧接工の不足から、大型工事における大量な継手個数に対処できる優秀な圧接工の人員の確保も困難となってきている。また、ガス圧接法は雨風などの天候に左右され易いことなどから、天候条件などに左右されず、あまり熟練を要しないで確実な接合のできるメカニカルジョイント工法が各種開発され、実用に供されて来るようになった。

今回報告するTS式スリーブジョイント工法もそのメカニカルジョイント工法と呼ばれる鉄筋継手工法の一つである。

本工法は戸田建設、佐藤工務店、サトースリーブエンジニアリングと当社との共同開発によるものであって、既にD38までその安全性が確認され、建築センターの認定を得てある。今回さらに太径鉄筋に対してもTS式スリーブジョイント工法を適用可能とするため、本工法を



図-1 縦リブのずれ角度

呼び名	公称直径 d (mm)	公称周長 ℓ (cm)	公称断面積 S (cm ²)	公称重量 (kg/m)	フシの平均間隔の最大値 (mm)	フシの高さ		フシのすきまの和の最大値 (mm)
						最小値 (mm)	最大値 (mm)	
D51	50.8	16.0	20.27	15.9	35.6	2.5	5.0	40.0

表-1 D51の寸法、重量およびフシの許容限度

太径鉄筋に用いた一連の継手性能試験を計画し行なった。

今回その試験結果の一部について、本報を含めて3編の報告をする。

本報告は、太径鉄筋D51を用いた場合の単純引張試験による継手耐力、ならびに各性能について検討した実験結果の報告である。

§ 2. 実験概要

2.1 実験計画

TS式スリーブジョイント工法を、銘柄の異なる太径鉄筋D51に適用し、この継手の単純引張試験を行ない、継手耐力、スリーブの変形量、鉄筋のスリーブからの抜け出し量等について検討した。

本実験では、試験要因として、

- 1) 鉄筋の銘柄に伴うフシ・リブの形状
- 2) 接合する鉄筋相互の縦リブのずれ

を挙げ、銘柄の相違、縦リブのずれが、本工法による継手の性能におよぼす影響について検討した。

上記の試験要因にもとづき、試験の対象銘柄は次の4メーカー品とした。

- 1) 新日本製鉄製 デーコン
- 2) 神戸製鋼製 デーコン
- 3) 住友金属工業製 スミバー
- 4) 川崎製鉄製 リバーコン

また、縦リブのずれ角度は、図-1に示すごとく0°、45°、90°の3種類とした。

なお、継手の引張試験に先立ち、素材の引張試験を行なった。

2.2 供試材

本実験に供した鉄筋D51の材質は、上記4銘柄ともS D35を使用した。



図-2 スリーブ形状寸法

鋼種	JIS番号	降伏点または耐力 (kg/mm ²)	引張強さ (kg/mm ²)
SD 35	G 3112	35 以上	50 以上
STKM 13A	G 3445	22 以上	38 以上

表-2 鉄筋およびスリーブの機械的性質

油圧プレス機呼び名	ダイス幅 (mm)	圧縮力 (ton)
工場用油圧プレス機 SRT-300	35.0	300

表-3 油圧プレス機の機能

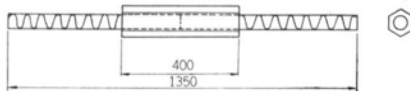


図-3 継手試験体形状寸法

これらの鉄筋 D51 の形状寸法は、JIS G 3112 によれば、表-1 のとおりである。

また、スリーブの材質は、JIS G 3455 (機械構造用炭素鋼鋼管) に規定されている STKM 13A-S である。

スリーブの形状寸法は、図-2 に示すとおりである。

JIS 規格に規定されている鉄筋およびスリーブの機械的性質は、表-2 に示すとおりである。

供試用の鉄筋およびスリーブを写真-1(a)~1(d)に示す。

2.3 施工機械

本工法には、三和テッキ株式会社製の油圧ポンプおよび油圧プレス機を使用する。油圧プレス機には、工場用油圧プレス機と組立用油圧プレス機とがあるが、今回は工場用油圧プレス機を使用した。そのダイス幅・圧縮力は表-3 のとおりである。

油圧ポンプは、最大圧縮力を 300ton にセットされており、常に一定圧力で締付けることが可能である。

写真-2 および写真-3 に、本実験で使用した油圧ポンプおよび油圧プレス機を示す。

2.4 継手試験体の作成

継手試験体は、大略、図-3 に示す形状寸法を目標に作製した。

試験体は、1 銘柄につき 3 体ずつ用意し、先に述べた

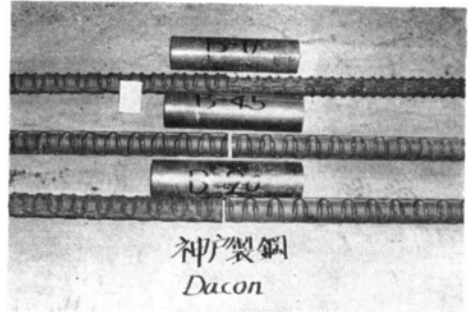


写真-1 (a)



写真-1 (b)

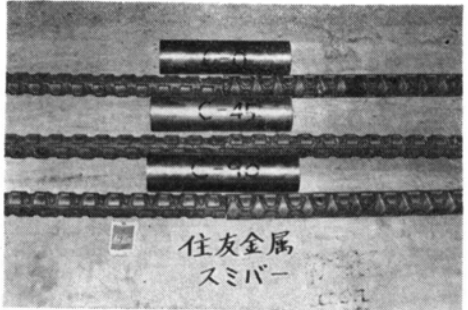


写真-1 (c)

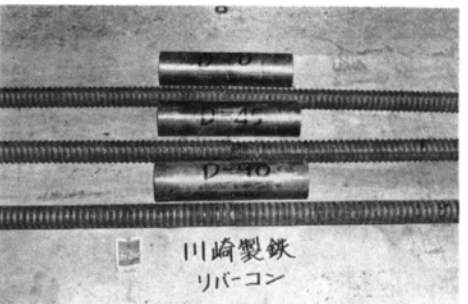
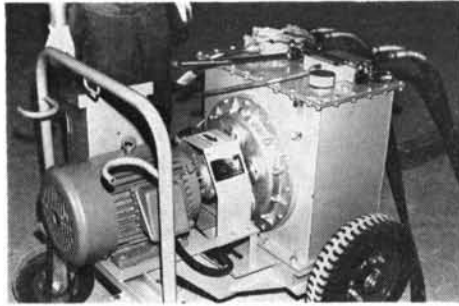


写真-1 (d)

ようにこれらの縦リブのずれ角度をそれぞれ 0°, 45°, 90°とした。

ここで、各試験体の記号は、銘柄および縦リブのずれ角度に対応させて附した。鉄筋銘柄の表示を、前記記載順に A, B, C, D とした。たとえば、新日鉄の鉄筋



写真一2 油圧ポンプ



写真一3 (a) 油圧プレス機



写真一3 (b) 油圧プレス機内部

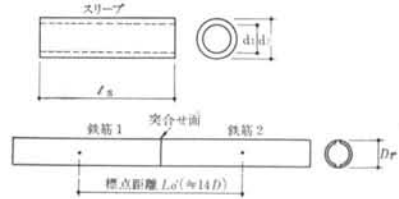
を用いたものに対しては A-0, A-45, A-90 のごとくである。

表一4 には、試験体に供する接合前のスリーブおよび鉄筋の形状寸法を示す。この表において、スリーブの長さは、鉄筋の公称直径 ($D=50.8\text{mm}$) の約 7 倍に設計されており、接合する前に突合せた鉄筋の標点距離は $14D$ をとった。鉄筋リブ間径は、鉄筋の接合部分の縦リブ間寸法の実測値である。今回使用したスミバーの中には、この鉄筋リブ間径がスリーブ内径より大きく、スリーブに挿入することが不可能なため、これらをグラインダーがけして、リブの高さを落して接合した。

表一5 には、接合後の継手形状寸法を示す。この表においてスリーブ外径は、スリーブの両端および中央の 3 カ所について測定し、また、スリーブ長は、6 角面の各面について測定し、各々平均値を表記した。スリーブは

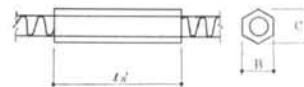
鉄筋メーカー	試験体記号	スリーブ内径 (mm)		スリーブ断面面積 A_s (mm ²)	スリーブ長さ l_s (mm)	突合せ鉄筋標点距離 L_o (mm)	鉄筋リブ間径 D_r (mm)
		内径 d_i	外径 d_o				
新日鉄	A-0	61.55	90.25	34.22	355.0	720	56.0
	A-45	61.40	90.45	34.65	355.0	718.5	55.9
	A-90	61.50	90.35	34.41	355.0	718.5	55.9
神鋼	B-0	61.45	90.30	34.38	354.0	715	58.9
	B-45	61.65	90.45	34.40	354.5	712.5	58.8
	B-90	61.50	90.45	34.55	354.5	714.5	58.9
住金	C-0	61.55	90.40	34.43	354.5	712.5	58.28
	C-45	61.50	90.60	34.76	354.0	715	61.2
	C-90	61.45	90.35	34.46	354.5	715	59.9
川鉄	D-0	62.0	89.4	32.58	355.8	—	54.7
	D-45	62.2	89.5	32.53	357.9	—	55.2
	D-90	61.4	89.3	33.02	357.4	—	54.7

()内はグラインダーがけして削った後の寸法



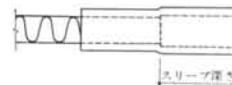
表一4 接合前のスリーブおよび鉄筋の形状寸法

鉄筋メーカー	試験体記号	スリーブ外径 (mm)		スリーブ長さ (mm)	スリーブ断面面積 A_s' (mm ²)	伸率 (%)	鉄筋リブ間径 D_r (mm)	鉄筋リブ間径率 (D_r/D) (%)
		B	C					
新日鉄	A-0	78.3	83.3	355.0	402.7	13.4	729	1.3
	A-45	78.3	84.1	355.0	402.8	13.5	734	2.2
	A-90	77.7	85.1	355.0	401.2	13.0	785	9.2
神鋼	B-0	78.4	85.9	354.0	404.0	14.1	732	2.4
	B-45	—	—	354.5	403.7	13.9	730	2.5
	B-90	78.2	85.8	354.5	405.0	14.2	734	2.7
住金	C-0	78.3	84.9	354.5	404.0	14.0	735	3.2
	C-45	78.3	85.2	354.0	403.8	14.1	738	3.2
	C-90	78.3	85.4	354.5	405.3	14.3	744	4.1
川鉄	D-0	79.0	83.6	355.8	385.7	8.4	—	—
	D-45	78.6	85.5	355.9	386.2	8.5	—	—
	D-90	77.9	84.9	357.4	390.4	9.2	—	—



表一5 接合後の継手形状寸法

鉄筋メーカー	試験体記号	継付所要時間 (min-sec)		ストローク回数	1ストローク所要時間 (sec)	片側継付長さ (mm)
		鉄筋1	鉄筋2			
新日鉄	A-0	3'03"	3'30"	16	20"	178.6
	A-45	3'20"	3'03"	18	17"	178.2
	A-90	3'33"	3'21"	17	19"	187.4
神鋼	B-0	2'23"	2'21"	—	19"	175.0
	B-45	2'10"	2'20"	—	17"	177.8
	B-90	2'28"	2'18"	—	20"	177.0
住金	C-0	—	—	—	—	178.5
	C-45	—	—	—	—	179.4
	C-90	3'00"	2'46"	—	17"	181.7
川鉄	D-0	—	—	—	—	—
	D-45	—	—	—	—	—
	D-90	—	—	—	—	—



表一6 接合時の諸元

締付けによって約 8.4~14% の伸び率を示している。接合前にポンチ打ちしておいた鉄筋の標点距離の伸び率

は、約1~3%とみなすことができる。A-90が特に大きい値を示しているのは、接合時にスリーブ内に鉄筋が十分に挿入されず、接合する鉄筋間にすき間が生じたためである。

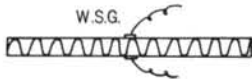
なお、表一六には、接合時の諸元を示す。締付所要時間は、スリーブ内に鉄筋が挿入され、片側の最初の締付けストローク開始時点よりその全ストローク終了時点までの時間を示す。この間、1ストロークごとにスリーブをダイス幅だけ送り込む人的作業が入りこむため、表中データにバラツキが生じているが、概ね片側2分30秒~3分を要する。最初の片側締付けが終了した後に、他の片側の鉄筋端面までのスリーブ深さを測定した。鉄筋はいずれもスリーブの中央で接合されていることが確認される。

2.5 試験方法

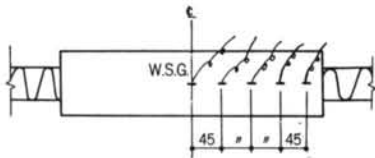
素材引張試験は、リブ・フシ付きのままで行ない、みかけのヤング率を求めるために、試験片の中央部に裏表2枚のワイヤーストレンゲージ(W.S.G.)を貼布した。

継手引張試験では、各鉄筋銘柄につき1体のみ採り出し、スリーブ面にW.S.G.を貼布した。貼布位置は、スリーブ片側とし、図一五に示すように5点とした。

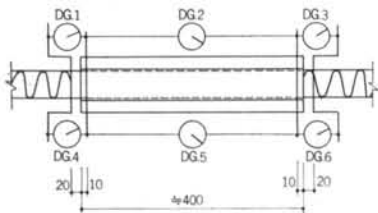
また、継手引張試験では、スリーブの伸びおよび鉄筋のスリーブからの抜け出し量を測定するために、写真一四に示すような測定治具を作製して試験体に装着し、



図一四



図一五



図一六 ダイアルゲージ取付位置

図一六に示す測定点間の変位をダイヤルゲージ(D.G.)にて測定した。

D.G.は、それぞれの測定間について2個ずつセットし、その測定値の平均値をとった。写真一五は、実験中の測定状況を示すものである。

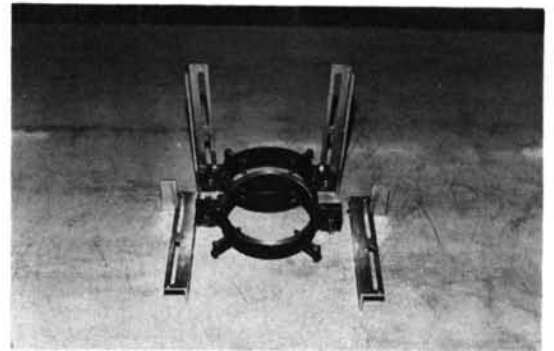
なお、加力には、早稲田大学所有の島津製作所製電子管リレー式200t万能試験機を使用した。(写真一六)

§ 3. 実験結果

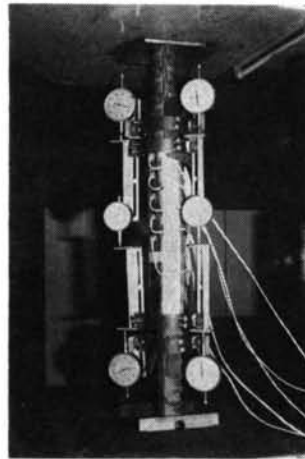
3.1 素材引張試験結果

本試験に供した鉄筋の素材引張試験結果を表一七に示す。この表において、降伏点、引張強さ、破断応力はいずれも荷重値をJIS規格の公称断面積で除して求めたものである。降伏点および引張強さは、各銘柄いずれも十分にJIS規格値を満足している。

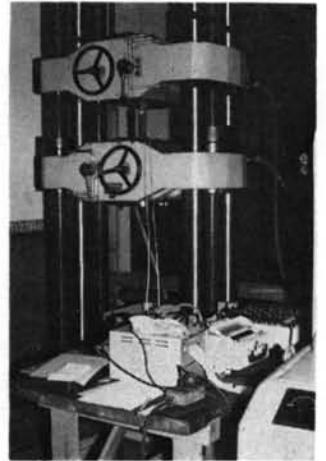
鋼材のヤング率は、 $1.8 \sim 2.1 \times 10^5 \text{ t/cm}^2$ の範囲に収ま



写真一四 測定治具



写真一五



写真一六

るのが一般的である。ここにおけるみかけのヤング率は、フシ・リップ付きのまま鉄筋表面をグライNDERがけて、W.S.G.を貼布し、この歪量で、公称断面としての応力値を除いて求めたものである。いずれの製品も、そのみかけのヤング率は鋼材の通常示されているヤング率から大きくはずれている。特に住金の供試体で高い値を示しているのは、W.S.G.の貼布位置がリップ上であったため、歪量が本体より小さく出てしまい、公称断面にて求めた応力値をこれで除したために、みかけのヤング率が大きく出たものと考えられる。また、新日鉄、神鋼の製品は、逆にフシ・リップの影響により歪が大きく出るために、みかけのヤング率が小さくなったと考えられる。

3.2 継手引張試験結果

表-8に継手引張試験結果を示す。この表においても降伏点、引張強さ、破断応力は、素材試験の場合と同様にJISに定めた公称断面面積に基づいて求めた。これらの各応力は、素材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D-90を除き母材部であり、鉄筋がスリーブから抜け出して終局に至ったD-90については、最大荷重値は母材破断と同等の値を示している。

表-9には、D試験体をのぞく継手試験体の破断後の標点距離伸び率を示す。いずれの試験体も、概ね9~14%の伸び率を示している。破断位置は、1体のみを除けば他は標点距離内に入っているがいずれも標点に近いところにあるため、伸び率は多少低めに出ていることになる。

写真-7(a)~7(d)に引張破断後

鉄筋メーカー	試験体記号	JIS公称断面面積 A_0 (cm ²)	降伏荷重 P_y (t)	降伏点 σ_y (kg/mm ²)	最大荷重 P_{max} (t)	引張強さ σ_{max} (kg/mm ²)	破断荷重 P_F (t)	破断応力 σ_F (kg/mm ²)	みかけのヤング率 $E \times 10^3$ (t/cm ²)
新日鉄	A-T1	20.27	75.8	37.4	115.0	56.7	80	39.5	1.66
	A-T2	20.27	74.8	36.9	116.0	57.2	80	39.5	1.64
	A-T3	20.27	75.6	37.3	115.1	56.8	82	40.5	1.82
神鋼	B-T1	20.27	79.4	39.2	120.0	59.2	85	41.9	1.47
	B-T2	20.27	79.8	39.4	119.6	59.0	86	42.4	1.58
	B-T3	20.27	79.2	39.1	119.0	58.7	87	42.9	1.54
住金	C-T1	20.27	73.0	36.0	109.6	54.1	81	40.0	2.64
	C-T2	20.27	73.0	36.0	109.6	54.1	80	39.5	2.57
	C-T3	20.27	73.2	36.1	109.2	53.9	81.4	40.2	2.61
川鉄	D-T1	20.27	75.7	37.3	115.2	56.8	81	40.0	—
	D-T2	20.27	76.4	37.7	115.2	56.8	81	40.0	—
	D-T3	20.27	74.8	36.9	114.7	56.6	78	38.5	—

表-7 鉄筋SD35, D51の素材引張試験結果

鉄筋メーカー	試験体番号	JIS公称断面面積 A_0 (cm ²)	降伏荷重 P_y (t)	降伏点 σ_y (kg/mm ²)	最大荷重 P_{max} (t)	引張強さ σ_{max} (kg/mm ²)	破断荷重 P_F (t)	破断応力 σ_F (kg/mm ²)	破断位置
新日鉄	A-0	20.27	74.6	36.8	115.3	56.9	81.0	40.0	母材
	A-45	20.27	74.6	36.8	115.4	56.9	80.6	39.8	母材
	A-90	20.27	74.2	36.6	115.5	57.0	81.1	40.0	母材
神鋼	B-0	20.27	78.8	38.9	118.4	58.4	83.0	40.9	母材
	B-45	20.27	79.2	39.1	119.2	58.8	89.6	44.2	母材
	B-90	20.27	78.6	38.8	119.4	58.9	80.4	39.7	母材
住金	C-0	20.27	71.6	35.3	108.6	53.6	75.0	37.0	母材
	C-45	20.27	73.2	36.1	108.9	53.7	82.0	40.5	母材
	C-90	20.27	71.4	35.2	108.0	53.3	77.0	38.0	母材
川鉄	D-0	20.27	74.2	36.6	115.0	56.7	81.0	40.0	母材
	D-45	20.27	74.1	36.6	114.9	56.7	80.0	39.5	母材
	D-90	20.27	74.0	36.5	114.6	56.5	—	—	—

表-8 鉄筋SD35, D51のTS式スリーブ継手引張試験結果

鉄筋メーカー	試験体記号	引張試験前の標点距離 L_0' (mm)	引張試験後の標点距離 L_0'' (mm)	破断後伸び $L_0'' - L_0'$ (mm)	伸び率 $(L_0'' - L_0') / L_0' (%)$	破断位置
新日鉄	A-0	729	815	86	11.8	標点内母材
	A-45	734	803	69	9.4	標点外母材
	A-90	785	—	—	—	標点内母材
神鋼	B-0	732	818	86	11.7	標点内母材
	B-45	730	804	74	10.1	"
	B-90	734	812	78	10.6	"
住金	C-0	735	807	72	9.8	標点内母材
	C-45	738	839	101	13.7	"
	C-90	744	820	76	10.2	"
川鉄	D-0	—	—	—	—	—
	E-45	—	—	—	—	—
	D-90	—	—	—	—	—

表-9 TS式スリーブ継手の引張試験後の標点距離伸び率



写真—7 (a)



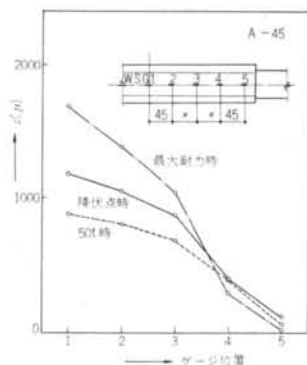
写真—7 (b)



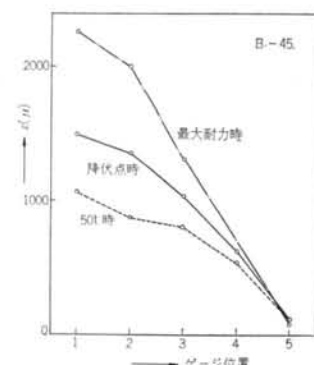
写真—7 (c)



写真—7 (d)



図—7 (a)



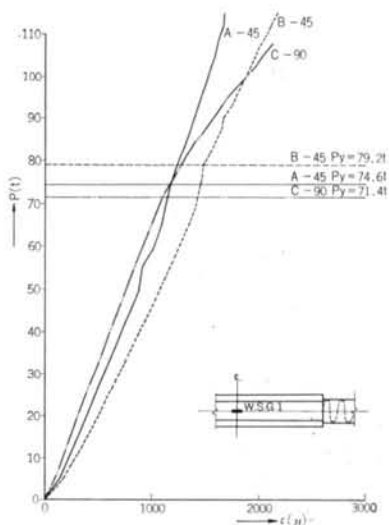
図—7 (b)

の各試験体を示す。

図—7(a)~7(b)には、各鉄筋銘柄別に任意に抽出された継手試験体のスリーブ表面の歪分布の一例を示す。これらは、いずれも $P=50t$ 時、降伏点時および最大耐力時について示している。これによると、スリーブの変形は、中央部分が高く、端部に近い程低くなっている。この傾向は、荷重の増大に伴って顕著になり、最大耐力時には中央部分に歪が集中し、端部ではむしろ減少する方向にある。本実験では、スリーブ中央の最大歪は約 $2,300\mu$ であった。

ここで、スリーブの中央部における荷重・歪曲線求めてみると図—8のとおりである。

試験体の相違により曲線の傾きに多少のばらつきはあ



図—8 スリーブ中央の歪量

るが、最大耐力時までいずれもほぼ線型関係にあるとみなすことができる。したがって、スリーブは継手の最大耐力時まで弾性域内にあると考えられる。

図—9(a)~9(b)に W.S.G. を貼付した位置の各区間におけるスリーブの歪増分の一例を示す。この歪増分は、スリーブが一様に弾性域にあることより、鉄筋からスリーブへの応力伝達の機構を表わすものである。すなわち、歪増分の大きい区間ほど、この区間内における応力伝達

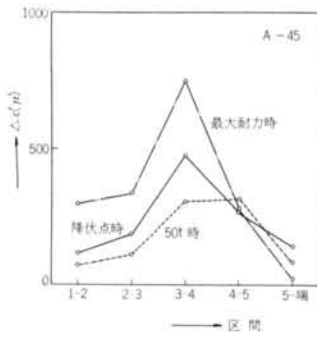


図-9 (a)

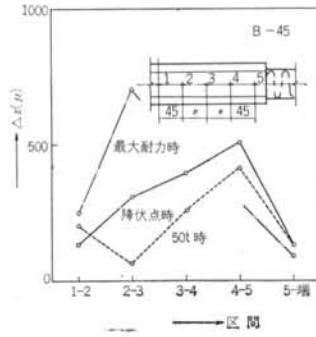


図-9 (b)

の大きいことを意味する。これによると、 $P=50t$ 時では、概ね区間〔4～5〕、すなわち比較的スリーブの端部で応力伝達が行なわれる。しかるに、降伏点時では、区間〔3～4〕での応力伝達も増大し、さらに、最大耐力時では区間〔2～3〕または〔3～4〕と比較的スリーブの中央寄り部分で応力伝達がピークとなる。

図-10 に、スリーブの変形量および鉄筋とスリーブの間の変形量の一例を示す。これらは、前述の標点間にセットした2つのダイヤルゲージの読み値の平均である。

まず、スリーブの変形は、いずれの試験体においても荷重と線型関係にあり、母材が降伏を越えて最大耐力に至るまで直線性を示す。このことは、スリーブ表面に貼布した W.S.G. による歪測定からも確かめられている。

次に鉄筋とスリーブの間の変形量については、スリーブの歪分布からも明らかなようにスリーブの端部の変形はほとんどないと考えられるから、測定値は主として鉄筋のスリーブからの抜け出し量と伸び量と考えることができる。いま、ダイヤルゲージによる測定点間 ($L=30\text{ mm}$) での鉄筋の弾性域における伸び量と比較すれば、図中一・一・線で表わされる。ただし、これは公称ヤング率注) および公称断面積を用いて計算した結果である。弾性域において、この計算値と実験値を比較した場合、後者は前者に対して降伏点付近まで2～3倍の変形量を有するが、顕著な抜け出しは見られない。

さらに、3つの測定間の伸びの単純和を、この測定間と同等な長さ(約440mm)の鉄筋の伸び計算値と比較すれば、図-11 に示した一例のようになる。これから明らかなように、各試験体の3つの測定間伸びの和は、鉄筋の伸び計算値よりも、立上がり剛性が大きい。また、概ね少なくとも降伏点の85%程度までは、それは鉄筋の伸び計算値よりも小さいといえることができる。

注) 公称ヤング率とは、 $2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$ を示す。

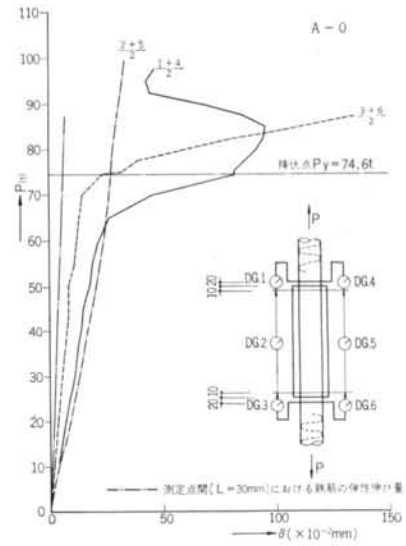


図-10

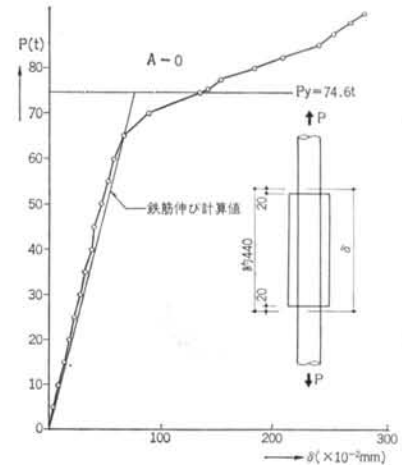


図-11

§ 4. 結 び

本実験結果を要約すると次のようである。

- 1) ST式スリーブジョイント工法によるD51の継手は十分な引張強度を有し、最終破断位置にかかわらず最大荷重値は、鉄筋母材のJISに定めるSD35の引張強さを十分満足している。
- 2) スリーブは、継手の最大耐力に至るまで弾性域内にあると考えられ、伸び量も非常に小さい。
- 3) 鉄筋のスリーブからの抜け出し量は、弾性域ではダイヤルゲージによる測定間の鉄筋の相当伸び量に対し、2～3倍に相当する。
- 4) スリーブをはさむ鉄筋上の測定点間の伸び量は、

概ねこれと当価の鉄筋の伸び量よりも小さい。

- 5) 鉄筋の銘柄による継手性能の相違は認められない。
- 6) 接合する鉄筋相互のリブのずれによる継手性能の相違は認められない。
- 7) 鉄筋からスリーブへの応力伝達は、主として弾性域ではスリーブ端部寄り、降伏以後は中央寄りで行なわれる。
- 8) 本工法は、D51の接合に十分適用可能である。

謝辞

本実験の全般にわたり、早稲田大学工学部教授 谷資信博士の御指導をいただいた。ここに深く感謝の意を表します。

また、本実験での試験体作製にあたり、サトースリーブエンジニアリングの北川専務、他皆様のご協力をいただいた。実験にあたっては、早稲田大学工学部建築学科谷研究室の皆様のご協力をいただいた。ここに皆様にお礼申し上げます。