

太径鉄筋リバーコン D51 を用いた現場継手の強度試験

Experimental Studies on Joints of Large-Diameter
Deformed Bar RIVER CON D51

佐藤 政勝*

Masakatsu Sato

村木 幸春**

Yukiharu Muraki

Synopsis :

In jointing large diameter deformed bar at construction site, it is particularly important to judge the most appropriate method in accordance with the practical condition.

In order to satisfy this requirement, load-elongation curves and fatigue stress ranges at two million cycles have been measured not only on a conventional gas butt welded joint but also on such recently developed mechanical joints as Grip Joint, TS-type Sleeve Joint and Cad Weld splice.

Some available data for design specification were obtained from these measurements.

1. ま え が き

太径鉄筋D51を鉄筋コンクリート構造物へ使用することは、数量的にもまた用途的にも拡大の傾向にあるが、一方で鉄筋の接続、いわゆる現場継手の分野に未解決の問題が数多く残されており、これが設計・施工の両面で重要な検討項目となっている。

現場継手として太径鉄筋D51に用いられているのは、細径鉄筋に通常供されている重ね継手とガス圧接継手のほか、太径鉄筋の継手として優れた特性を発揮することから近時注目を集めている、機械的な方法によって接続されるスリーブ継手である。この中で重ね継手とガス圧接継手は素材の研究と並行して早くから検討されてきたが、スリーブ継手は最近になって開発された工法であるた

め、基礎的な問題を含めて未解決なものが多く、各方面で実用化への研究が進められている。

スリーブ継手は、油圧によってスリーブを鉄筋に圧着したり、スリーブ内に溶融金属やモルタルを注入充てんして接続するもので、鉄筋の応力がスリーブを介して伝達される工法である。このため、スリーブからの鉄筋の抜け出しを含めた継手部における疲労特性を解明することは、設計・施工にあたっての必須要件である。ところが現在までスリーブ継手に関する研究は、単純引張試験や50回程度の繰返し試験等のみで疲労に関する研究が行われていないため、特に低サイクルから高サイクル域における継手部の挙動、すなわち作用応力と繰返し回数との関係や繰返し回数とスリーブからの鉄筋の抜け出し量については明らかにされていない。このような状況の中で、スリーブ継手の性能判定基準(案)¹⁾が作成されつつあるが、

* エンジニアリングセンター建設開発部鋼構造研究所・工博

** エンジニアリングセンター建設開発部土木開発室

静的試験の結果にもとづく基準であるため動的荷重を受ける構造物に対しては不十分なものとなっている。

当社では、太径鉄筋リバーコン D51 の実用化にあたり、素材の研究²⁻⁴⁾と並行して重ね継手、ガス圧接継手、スリーブ継手について各種の試験を行ってきたが、いずれの継手についても静的試験のみで疲労に関する研究を行っていなかった。今回ガス圧接継手と、スリーブ継手のうちグリップジョイント、TS 式スリーブジョイント、カドウェルドスプライスについて、200 万回疲労強度振幅、繰返し回数と鉄筋の抜け出し量との関係を含めた疲労特性を調査するため、高サイクル疲労試験を行ったので、静的試験の結果と合わせて報告する。

なお、以下の説明中、素材は独立した鉄筋を、母材は継手における鉄筋部分のみを示すものとする。

2. 鉄筋および継手

静的試験および疲労試験に用いたリバーコン D51 の形状寸法を Fig. 1, Table 1 に示す。

グリップジョイント^{2,5)}ならびに TS 式スリーブジョイント⁶⁾は、鉄筋の継手部をスリーブで包み、油圧器で冷間圧着し、ふし内にスリーブをく

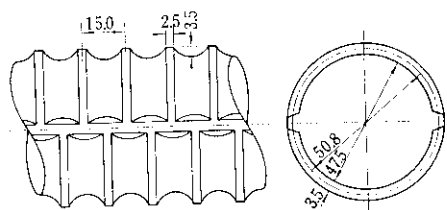


Fig. 1 Shape of RIVER CON D51 (mm)

Table 1 Dimension of RIVER CON D 51

Designation	Unit weight (kg/m)	Nominal size			Lug spacing*	Lug height		Gap of lug** (mm)
		Dia. (mm)	Cross sectional area (cm ²)	Perimeter (cm)		Min. (mm)	Max. (mm)	
D51	15.9	50.8	20.27	16.0	15.0	2.5	5.0	14.4

*: Standard value for average spacing

** : Standard value for the sum of gap

い込ませることにより、くい込み肉とふしとのせん断力で応力を伝達する工法である。圧着する際の 1 回あたりの締付幅は、D51 用の場合グリップジョイントが約 45mm, TS 式スリーブジョイントが約 35mm 程度であり、両者とも油圧によって圧着する同一の工法であるが、締付ダイスの断面形状が、グリップジョイントは円形²⁾、TS 式スリーブジョイントは六角形となっている (Fig. 2, Photo. 1 参照)。

カドウェルドスプライス⁷⁾は、Fig. 3 に示す

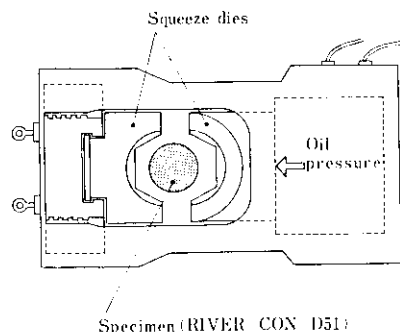


Fig. 2 Squeezing machine for TS-type Sleeve Joint

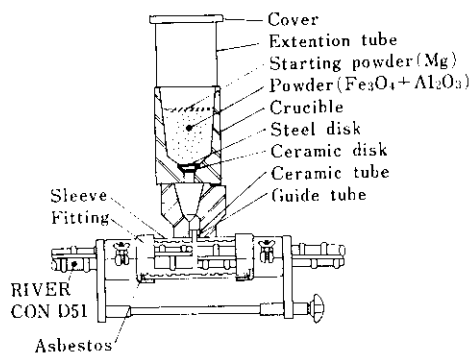


Fig. 3 Equipment for Cad Weld splice

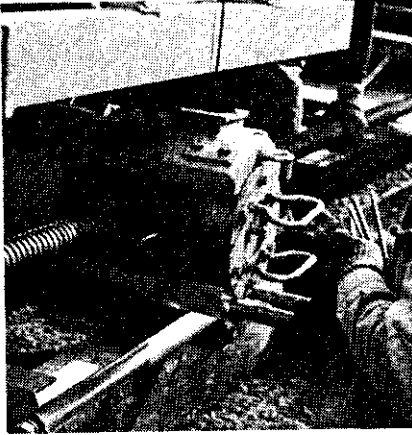


Photo. 1 TS-type Sleeve Joint

ように内面に溝を有するスリーブを鉄筋の継手部にセットし、スリーブ内に溶融金属を流し込んで接合するものであり、主として溶け込み金属とふしとのせん断力により応力を伝達する工法である。本継手は、2本の鉄筋を所定位置にセットしたままで接合できるため、先組み工法や狭い場所での施工に非常に優れた工法である。

3. 静的試験

3-1 供試体および試験方法

一部継手についてはすでに報告している²⁾が、新たにTS式スリーブジョイントを用いて単純引張試験を行ったので、グリップジョイントについて行った繰返し載荷試験、クリープ試験、カドウェルドスプライスについて行った単純引張試験の結果と合わせて報告する。

使用した鉄筋はいずれもSD35の太径鉄筋リバーコンD51で、カドウェルドスプライスの場合は

接続前に鉄筋に200°Cの予熱を与えている。スリーブの諸元をTable 2に示す。

いずれの継手も200t万能試験機を用いて引張試験を行い、破断状況のほか特定検長における荷重と伸びの関係について調査した。

3-2 試験結果

3-2-1 カドウェルドスプライス

カドウェルドスプライスの単純引張試験の結果をFig. 4, 5に示す。両図とも検長300mmにおける荷重と伸びの関係であるが、Fig. 4はスリ

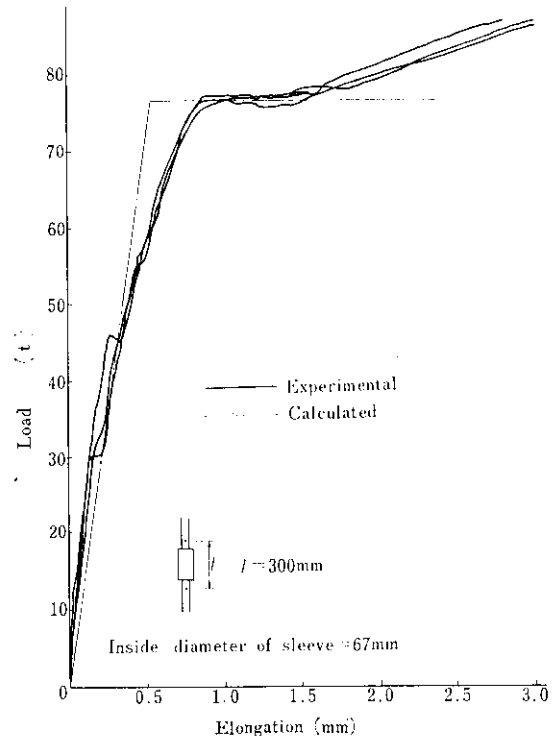


Fig. 4 Load-elongation curves for Cad Weld splice

Table 2 Dimension of tested sleeves

Type	Test	Notation	Outside diameter (mm)	Wall thickness (mm)	Length (mm)
Grip Joint	Cyclic loading	STKM13A	85.5	15.5	125, 200, 250
"	Creep	"	"	"	250
TS-type Sleeve Joint	Tensile	"	89.1	14.0	270
Cad Weld splice	"	STKM13C	95.5	12.7	230
			"	14.2	230

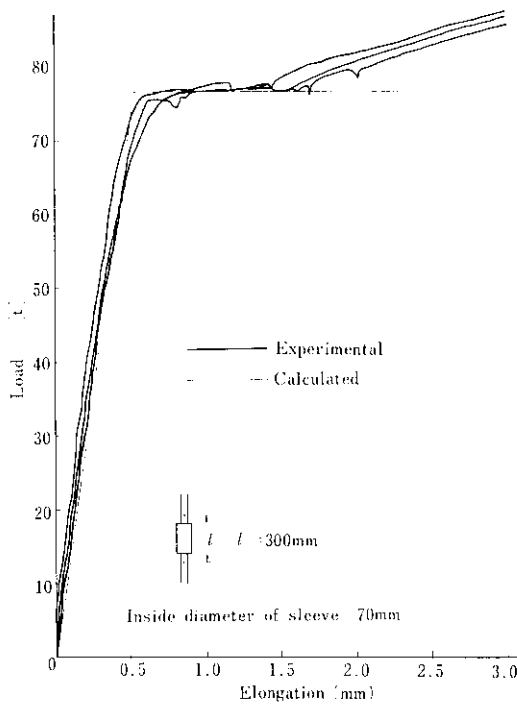


Fig. 5 Load-elongation curves for Cad Weld splice

ープ内径 67mm, Fig. 5 は 70mm である。

試験の結果はすべて母材破断であったが、Fig. 4 から明らかなように弾性域においても変形が急に大きくなる現象が見受けられる。これは鉄筋突合せ面における溶着金属の破壊によるすべりからきたものと思われる。Fig. 5 においてこ

の現象が見られないのは、溶着金属量の増加により応力の分散化がなされ、溶着金属層の破壊が高荷重域までは生じないためと考えられる。

3.2.2 グリップジョイント

グリップジョイントを用いた繰返し試験とクリープ試験の結果を Table 3, Table 4 に示す。

繰返し試験は、最大荷重を鉄筋の規格降伏点の 0.8 倍 ($P_{max}=56t$)、最小荷重を $P_{min}=5t$ として部分片振りの引張力を作用させ、350~500 回繰返ししたあと破断試験を行ったものであるが、Table 3 に示すとおりスリーブ長が 125mm の場合、母材は破断試験においてスリーブから抜け出している。単純引張試験では、スリーブ長 125mm で引き抜けなかった²⁾ ことから判断して、グリップジョイントでリバーコンD51を接続する場合、繰返し荷重が作用する場所ではスリーブ長に注意する必要がある。

クリープ試験は、鉄筋の規格降伏点の 0.6 倍、0.8 倍、1.0 倍の引張応力を作用させたまま 100~200 h の持続時間におけるクリープ量を測定したものであるが、Fig. 6 に示すとおり検長 300mm におけるクリープは 100 h を超すとほぼ一定となり、荷重 70 t のときで最大 0.034mm、42 t のときで 0.015mm となった。

3.2.3 TS 式スリーブジョイント

TS 式スリーブジョイントの単純引張試験の結

Table 3 Cyclic loading and successive tensile test results of Grip Joint

No.	Cyclic loading test			Tensile test	
	Sleeve length (mm)	Number of cycles	Elongation Δl (mm)	Fracture load (t)	Remark
1	125	450	0.083	107.0	Slip out
2	"	350	0.030	109.0	Parent bar
3	200	500	0.054	109.0	"
4	"	"	0.049	109.4	"
5	250	"	0.004	109.8	"
6	"	"	0.030	109.9	"
7	—	500	—	109.8	—
8	—	"	—	111.9	—

Gauge length $l=300mm$

Table 4 Creep test results of Grip Joint

No.	Gauge length l_2 (mm)	Load (t)	Time (h)	δ_2 (mm)		δ_1 (mm)		$\delta = \delta_2 - \delta_1$ (mm)	
				Δl_2	δ_2	Δl_1	δ_1	Δl	δ
1	296.6	70	0	1.660		0.114		1.546	
			100	1.693	0.033	"	0	1.579	0.033
			237	1.695	0.035	0.115	0.001	1.580	0.034
2	304.1	56	0	0.354		0.087		0.267	
			100	0.364	0.010	0.086	-0.001	0.278	0.011
			261	0.362	0.008	0.087	0	0.275	0.008
3	299.5	42	0	0.256		0.063		0.193	
			96	0.268	0.012	0.060	-0.003	0.208	0.015

l_1 : Sleeve length (262mm)
 l_2 : Gauge length

$\Delta l_1, \Delta l_2$: Elongation of sleeve or gauge length
 δ_1, δ_2 : Creep of sleeve or gauge length

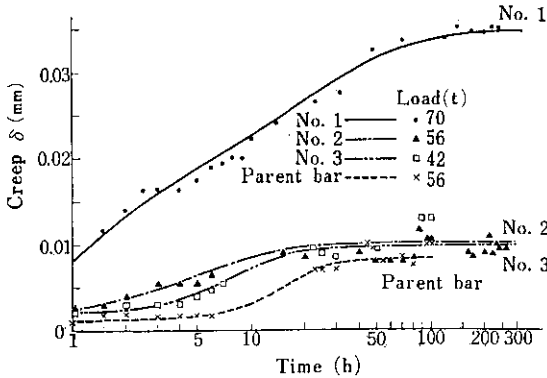
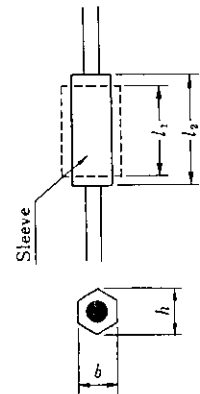


Fig. 6 Time-creep curves for Grip Joint and a parent bar

果を Table 5 に示す。本試験ではスリーブからの母材の抜け出しは測定しなかったが、リバーコンD51ではスリーブ長が 270mm あれば静的強度は十分であることを見出した。ただし、スリーブの伸びは締付圧力 600kg/cm² に対して最大9.6%であり、他社の鉄筋⁹⁾ に比べるとやや小さい値となっている。これは鉄筋外径に比しスリーブ内径が大きすぎて締付が十分でなかったためと考えられる。ただし、後述する疲労試験の結果が良好であるところから、弾性域内では何ら問題ないと言えるが、降伏点を超して繰返し応力が作用する場合は抜け出すことも想定されるため、最適スリー

Table 5 Tensile test results of TS-type Sleeve Joint

No.	Dimension of sleeve					σ_{max} (kg/mm ²)	Remark
	l_1 (mm)	l_2 (mm)	Δl (%)	h (mm)	b (mm)		
1	272	298	9.6	84.2	77.9	59	Parent bar
2	"	296	8.8	84.8	78.6	"	"
3	"	298	9.6	84.7	"	"	"
4	"	296	8.8	84.9	78.3	"	"
5	"	"	"	85.3	78.7	"	"



$\Delta l = (l_2 - l_1) / l_1$ l_1, l_2 : Sleeve length before and after squeezing
 Pressure force : 600kg/cm²

ブの選定に際しては、スリーブ長のみでなく、鉄筋外径に対するスリーブの内径、締付圧力などを含めた総合的な検討が必要であろう。

4. 疲労試験

4.1 供試体および試験方法

疲労試験に用いた太径鉄筋リバーコンD51は、静的試験に用いたSD35と同一である。試験体はガス圧接継手を東亜圧接機が、スリーブ継手は各施工会社が各社の施工基準にしたがって製作した。

カドウェルドスプライスとグリップジョイントの疲労試験は、サーボ型電気油圧式疲労試験機⁹⁾で繰返し速度を180~240cpmとして、またガス圧接継手とTS式スリーブジョイントについては、ローゼンハウゼン型パルセータ付疲労試験機⁹⁾を用い、繰返し速度を300~400cpmとして行った。

載荷荷重は公称応力（作用荷重を鉄筋の公称断面積で除した値）で下限を2.0kg/mm²とし、上限を12~34kg/mm²まで変化させた。また応力振幅（ここでは $\sigma_r = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$ とする）と繰返

し破断回数との関係からS-N曲線を求め、200万回疲労強度振幅を推定した。スリーブ継手については、初期載荷と特定の繰返し載荷後動的または静的載荷試験下で、スリーブをはさむ検長の変位を電気差動変位計と $1/100$ ダイヤルゲージを用いて測定した(Photo. 2 参照)。

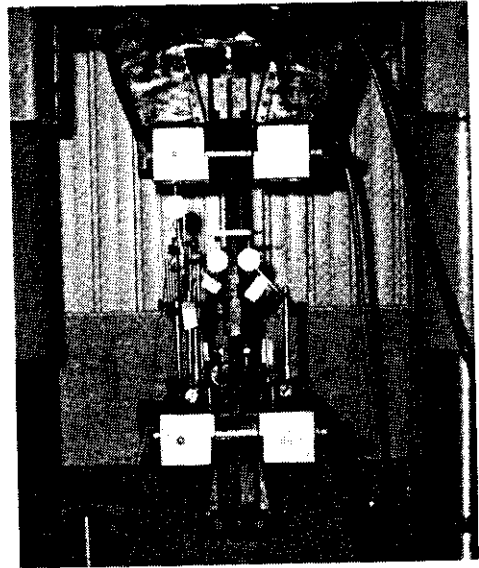


Photo. 2 Fatigue test set up

Table 6 Results of fatigue test for gas butt welded joint

Load (t)		Stress (kg/mm ²)			Test piece notation	Cycles to failure ($\times 10^4$)	Remark
P_{\max}	P_{\min}	σ_{\max}	σ_{\min}	σ_r ($\sigma_{\max} - \sigma_{\min}$)			
69.5	4.1	34	2	32	GB1	2.3	Contact to rib
61.3	"	30	"	28	" 2	3.7	"
57.2	"	28	"	26	" 3	3.6	"
53.1	"	26	"	24	" 4	9.2	"
44.9	"	22	"	20	" 5	23	"
"	"	"	"	"	" 6	20	"
40.8	"	20	"	18	" 7	32	"
36.7	"	18	"	16	" 8	30	"
32.7	"	16	"	14	" 9	80	"
"	"	"	"	"	" 10	111	"
30.6	"	15	"	13	" 11	>230	No failure
28.6	"	14	"	12	" 12	>220	"
24.5	"	12	"	10	" 13	>230	"

4.2 試験結果と考察

4.2.1 ガス圧接継手

ガス圧接継手の疲労試験の結果を Table 6 に、両対数表示したものを Fig. 7 に示す。ここで実線は、試験結果を最小 2 乗法を用いて直線回帰したときの値を示す。この結果、ガス圧接継手の 200 万回疲労強度振幅は 13.0kg/mm² と推定され、素材⁴⁾ (20.1kg/mm²) の約 65% であった。疲労亀裂の発生点は、Photo. 3 に示すように熱影響部のふしとリブの付け根である。

4.2.2 カドウェルドスプライス

カドウェルドスプライスの疲労試験の結果を Table 7 に、両対数表示したものを Fig. 8 に示す。図中最小 2 乗法による回帰線を実線で示す。

スリーブ中央部の疲労亀裂発生点は、溶融金属の注入口あるいは Photo. 4 に矢印で示すように溶け込み部にあたりして一定でなく、試験結果にばらつきが大きい。最小 2 乗法から求めた 200 万回疲労強度振幅は 12.2kg/mm² と推定され、素材の 60% 強であった。

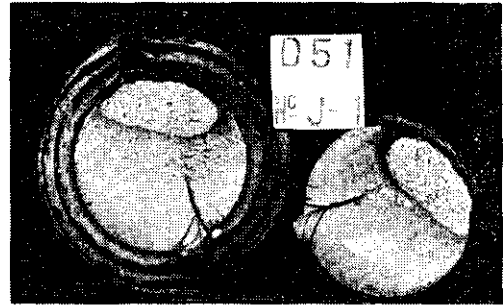


Photo. 3 Typical fracture surface of gas butt welded joint

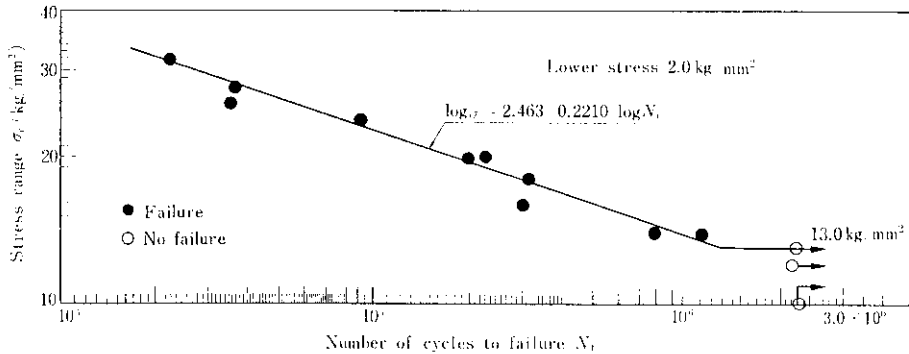


Fig. 7 S-N curve for gas butt welded joint

Table 7 Fatigue test results for Cad Weld splice and Grip Joint

Stress (kg/mm ²)			Cad Weld splice			Grip Joint (l=250mm, P _f =750kg/cm ²)		
σ _{max}	σ _{min}	σ _r (σ _{max} -σ _{rmin})	Test piece notation	Cycles to failure (×10 ⁴)	Remark	Test piece notation	Cycles to failure (×10 ⁴)	Remark
34.0	2.0	32.0				GJ259	4.0	Machine grip
30.0	〃	28.0	CW308	7.0	Sleeve center	〃 258	10.4	〃
26.0	〃	24.0				〃 257	16.0	〃
22.0	〃	20.0	CW306	4.8	Sleeve center	〃 256	37.0	P.B.E.C
20.0	〃	18.0	〃 305	29.4	P.B.E.C	〃 255	54.1	〃
18.0	〃	16.0	〃 304	79.0	Sleeve center	〃 254	163.5	〃
16.0	〃	14.0	〃 303	44.8	〃			
14.0	〃	12.0	〃 302	97.4	〃	GJ252	>200.0	No failure

l: Sleeve length P_f: Pressure force
P.B.E.C: Parent bar affected by connections

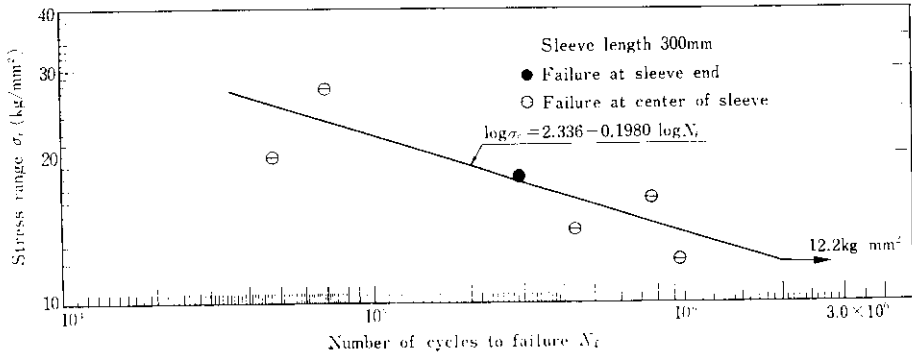


Fig. 8 S-N curve for Cad Weld splice

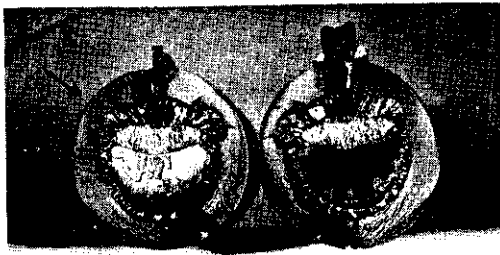


Photo. 4 Fracture surface of Cad Weld splice (CW303)

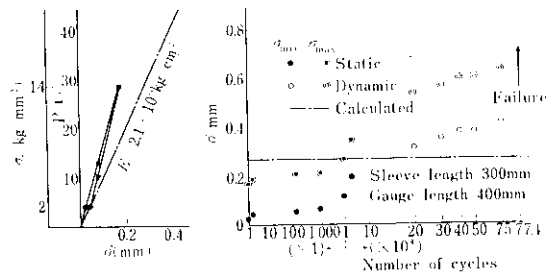


Fig. 9 Displacement amplitude of Cad Weld splice (CW302)

また Fig. 9 にスリーブをはさむ検長 400mm における変位振幅と繰返し回数との関係を示す。スリーブからの抜け出しを含めた検長の伸び量は、鉄筋の上限応力が 14.0kg/mm² と比較的低い場合でも、繰返し回数が 1000 回を超すとスリーブから母材の抜け出しが生じ、弾性係数を 2.1 × 10⁶ kg/cm² として求めた素材の伸び量以上となり、それ以降は破断まで単調に増加することが認めら

れる。この抜け出しは上限応力を高くするとより少ない繰返し回数で発生し、その量も多くなる傾向が認められた。

4.2.3 グリップジョイント

締付圧力 750kg/cm²、スリーブ長 250mm のグリップジョイントの疲労試験結果を Table 7 に、対数表示したものを Fig. 10 に示す。こ

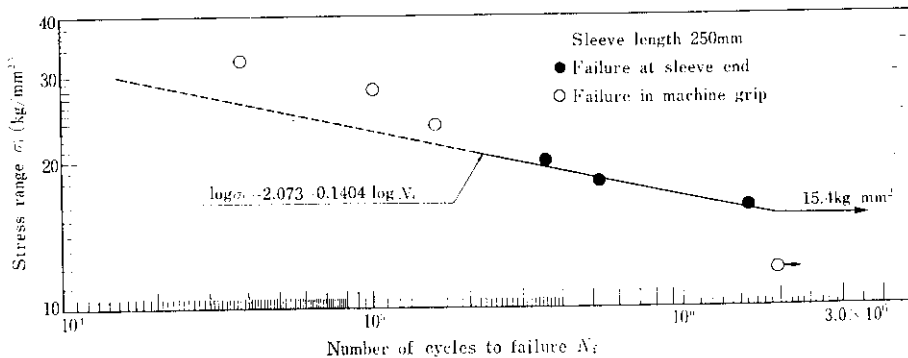


Fig. 10 S-N curve for Grip Joint

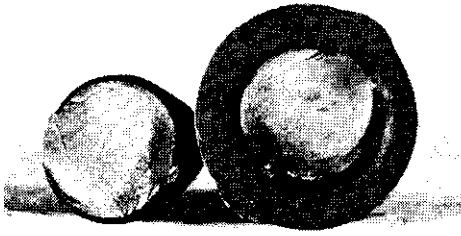


Photo. 5 Fracture surface of Grip Joint (GJ254)

でスリーブ端近傍の母材が破断したものを一例として Photo. 5 に示す。繰返し破断回数 20 万回以上の試験結果から求めた 200 万回疲労強度振幅は 15.4kg/mm² と推定され、素材の 75% 強であった。

スリーブをはさむ検長 370mm における変位振幅と繰返し回数の関係を Fig. 11 に示す。上限応

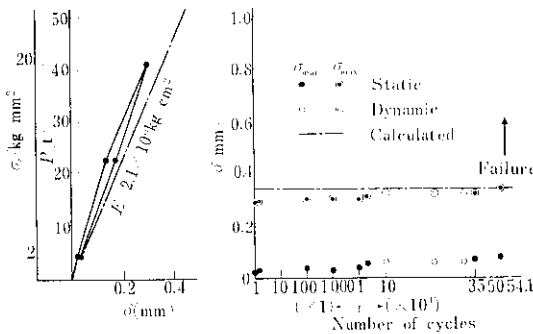


Fig. 11 Displacement amplitude of Grip Joint (GJ255)

力 20kg/mm² ($\sigma_r=18\text{kg/mm}^2$) に対する母材の抜け出しは若干生じるが、上限応力 20kg/mm² 程度までは母材の抜け出しを考慮する必要はないものと思われる。ただし Fig. 12 に示すように、上限応力が 22kg/mm² 以上の場合では繰返し回数が 1 000 回を超すと抜け出しが生じ、ほぼ破断まで増加する傾向が認められた。

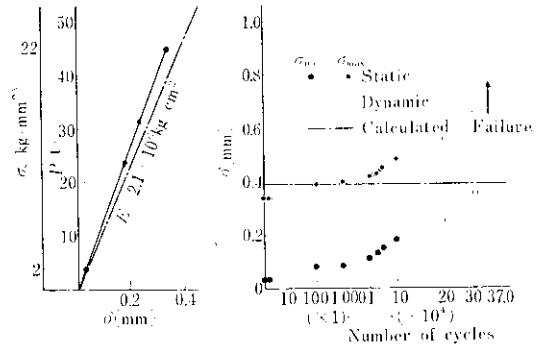


Fig. 12 Displacement amplitude of Grip Joint (GJ256)

4.2.4 TS式スリーブジョイント

TS 式スリーブジョイントの疲労試験結果を Table 8 に示す。このうち、グリップジョイントと同じ条件 (スリーブ長 250mm, 締付圧力 750 kg/cm²) のものを Fig. 13 に、スリーブ長 270mm, 締付圧力 400kg/cm² のものを Fig. 14 に示す。

繰返し破断回数 10 万回以上の試験結果から、最

Table 8 Fatigue test results for TS-type Sleeve Joint

Stress (kg/mm ²)		$l=250\text{mm}, P_t=750\text{kg/cm}^2$				$l=270\text{mm}, P_t=400\text{kg/cm}^2$		
σ_{\max}	σ_{\min}	σ_r ($\sigma_{\max}-\sigma_{\min}$)	Test piece notation	Cycles to failure ($\times 10^4$)	Remark	Test piece notation	Cycles to failure ($\times 10^4$)	Remark
34.0	2.0	32.0	TS259	6.2	P.B.E.C			
30.0	"	28.0	" 258	9.5	"	TS278	8.7	Machine grip
26.0	"	24.0	" 257	13.8	"	" 277	17.4	P.B.E.C
22.0	"	20.0	" 256	48.7	"	" 276	43.9	"
20.0	"	18.0	" 255	77.8	Machine grip			
18.0	"	16.0	" 254	139.1	P.B.E.C	TS274	88.0	P.B.E.C
16.0	"	14.0	" 253	>210.0	No failure	" 273	157.7	"
14.0	"	12.0				" 272	419.7	Sleeve center

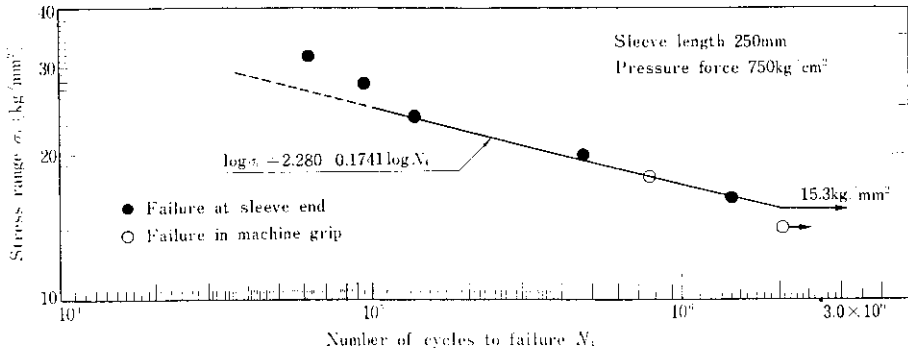


Fig. 13 S-N curve for TS-type Sleeve Joint

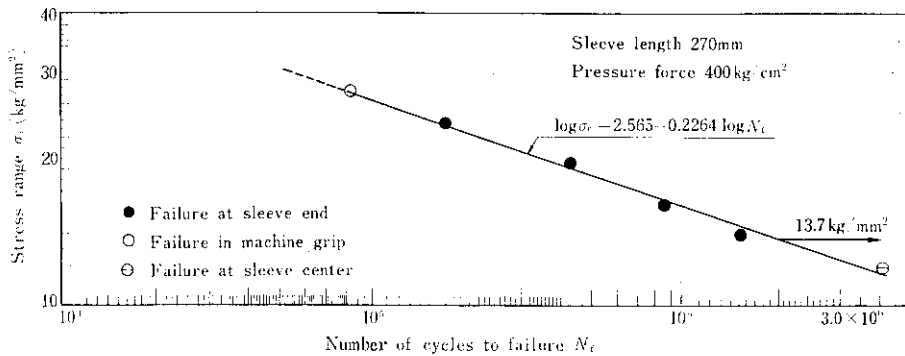


Fig. 14 S-N curve for TS-type Sleeve Joint

小2乗法により200万回疲労強度振幅を求めると、縮付圧力 750kg/cm^2 のものはグリップジョイントとほぼ等しい 15.3kg/mm^2 と推定され素材の75%強であったが、縮付圧力 400kg/cm^2 のものは 13.7kg/mm^2 で、前者と比較すると10%程度低めであった。また縮付圧力 750kg/cm^2 の破断の多くは、グリップジョイントと同じようにスリーブ端近傍内側の母材であったが、後者の 400kg/cm^2 のものはスリーブ端から2ふし程度内側の母材が破断したもの (Photo. 6 参照) が

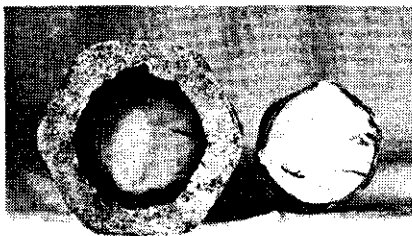


Photo. 6 Fracture surface of TS-type Sleeve Joint (TS276)

過半数あった。これらの実験結果から、スリーブの縮付圧力は、母材とスリーブの応力伝達機構に影響を及ぼすことが確認できた。

5. まとめ

太径鉄筋リバーコン D51 に用いたグリップジョイント、TS式スリーブジョイント、カドウェルドスプラインの静的試験および疲労試験ならびにガス圧接継手の疲労試験結果から、以下のような諸点が明らかになった。

- (1) スリーブ長 270mm で縮付圧力が 600kg/cm^2 の TS 式スリーブジョイントとスリーブ長 230mm のカドウェルドスプラインは、母材の最終破断まで十分な引張強度を有し、静的な力学的要求を満たす継手であることを確認した。
- (2) ガス圧接継手の200万回疲労強度振幅は 13.0kg/mm^2 と推定でき、素材の約65%であ

- る。
- (3) スリーブ長 300mm のカドウェルドスプラインの200万回疲労強度振幅は 12.2kg/mm^2 と推定でき、素材の60%強である。
- (4) スリーブ長 250mm, 締付圧力 750kg/cm^2 のグリップジョイントの200万回疲労強度振幅は 15.4kg/mm^2 と推定でき、素材の75%強である。また上限応力 20kg/mm^2 までは、繰返し载荷によるスリーブからの母材の抜け出しは素材の伸びと比較して無視できる程度である。
- (5) スリーブ長 250mm, 締付圧力 750kg/cm^2 のTS式スリーブジョイントの200万回疲労強度振幅は 15.3kg/mm^2 と推定でき、素材の75%程度である。また締付圧力を 400kg/cm^2 にした場合、疲労強度振幅は 13.7kg/mm^2 で前者より10%程度低めである。

(6) スリーブからの母材の抜け出しは、上限応力を高くした場合繰返し回数とともに漸増する傾向がある。

スリーブ継手などでは、破壊現象だけでなく繰返し応力によるスリーブからの母材の抜け出しなども検討する必要がある。特に繰返し回数が多く作用応力も高い構造物にスリーブ継手が用いられる場合は、十分注意して設計しなければならない。その意味で、本実験が設計・施工にあたっての1資料となれば幸いである。

なお本報に引続いてスライズジョイント¹¹⁾についても疲労試験を行っているので別の機会に報告する予定である。

本研究にご協力いただいた岡部(株)研究所、(株)大林組技術研究所、同機械部、清水建設(株)研究所、同土木技術部等関係者の方々に謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 日本建築センター RPCJ 委員会：鉄筋継手の性能判定基準案，ビルディングレター，(1974) 12, 1~5
- 2) 嶋，松岡，浅川，佐々木，村木：太径異形棒鋼リバーコンD51について，川崎製鉄技報，6 (1974) 3, 149~162
- 3) 後藤，嶋，大塚：太径異形鉄筋の付着特性に関する研究，川崎製鉄技報，7 (1975) 1, 82~96
- 4) 山崎，佐藤：疲労強度におよぼす異形鉄筋の径並び形状に関する研究，第22回構造工学シンポジウム講演概要集，(1976)
- 5) 西川：異形鉄筋の新しい継手工法，建築技術，(1973) 7, 137~147
- 6) 佐藤：TS式スリーブジョイント工法，施工管理，15 (1973) 11, 55~64
- 7) 亀田，岩井，宇佐美，小黒：テルミット反応を利用した太径鉄筋継手に関する研究，鹿島建設技術研究所年報，(1973) 22, 241~250
- 8) 杉田，矢部，石川：太径鉄筋 D51 の TS 式スリーブジョイント性能試験 (その1)，日本建築学会大会学術講演梗概集<構造系>，(1975)，1 301~1 302
- 9) 山崎，滝沢，高橋：鋼構造研究所の疲労振動実験設備について，川崎製鉄技報，6 (1974) 3, 124~141
- 10) 佐藤，石渡，高塚：太径鉄筋 (横ぶし D51) を用いた大型 RC 梁の疲労試験，土木学会第30回年次学術講演概要集第5部，(1975)
- 11) 岩井，山口：スライズジョイントとその応用，建築技術，(1974) 9, 153~164