

# 鋼材溶接部の疲れ強さに関する研究 (I)

## 溶接継手を持つ鉄筋の疲れ強さに関する研究

尾 形 素 臣

### Fatigue Strength of High Strength Deformed Bar with Welded Joint

Motoomi OGATA

鉄筋コンクリート構造における鉄筋溶接部の疲れ強さに関する研究であり、各種継手形状の $2 \times 10^6$ 回における疲れ強さを実験的に検討したものである。

#### 1. 序

通常、材料および構造物は繰返し応力を受ける場合、その応力がある極限値を越えると、疲れのため静的応力よりはるかに低応力で破壊する。構造物の場合、その破壊がただちに崩壊を招くことは少なく、局部的な破壊に留って、なお、引続きある期間くり返し応力に耐える場合が多い。静荷重による破壊と疲れ破壊との相異は一般に次のようにいわれている。前者による破壊はそれが延性、脆性破壊とにかかわらず常に破壊には部材の全断面が影響するが、後者では、ある荷重の繰返し後、一部に微細なクラックを生じ、そこに応力が集中し、その後の荷重の繰返しによりクラックが進展し、部材の断面が減少し、最終的には残りの断面が静荷重による破壊応力に達した時に、瞬間的に破壊する。したがって、疲れ破面は一般にクラックの進展によって生じた部分と静的荷重によって生じた破面との両者よりなっている。

以上のような疲れ破壊は部材の極めて小さな部分の応力によって決定される一種の脆性破壊であるため、それに影響を与える因子も局部的でありながら複雑で、原因究明を困難にしている。しかし、疲れ破壊の主因は局部的に塑性変形を起す応力集中であろうといわれている。このような部分は、材料の内部欠陥、形状の不連続部などと考えられる。溶接構造物では溶接部が応力集中の主因となる場合が多い。鉄筋コンクリート構造において、

このような疲れ破壊が発生するのは、引張鉄筋の接合部と考えられる。鉄筋の接合部の疲れ強さはガス圧接継手が多く研究されてきたが、アーク溶接継手、機械的接合法などの研究は少ない。本研究は鉄筋の接合法としてアーク溶接を使用した場合についてその疲れ強さを実験によって検討したものである。

#### 2. 試験体および試験条件

##### 2.1 使用鉄筋の静的引張試験結果

使用鉄筋はSR24-32 $\phi$ 、SD30-D32、SD35-D32、SD40-D32とした。表-1にこれらの静的引張試験結果を示す。これらの試験結果はJISG3112(鉄筋コンクリート用棒鋼)の規格値を満すものである。

表-1 鉄筋の静的引張試験結果

鉄筋の種類	降伏点 kg/mm <sup>2</sup>	引張強さ kg/mm <sup>2</sup>	伸び率 %	曲げ試験 結果
SR24-32 $\phi$	2 8.5	4 2.6	4 1	good
SD30-D32	3 4.1	5 3.4	3 2	"
SD35-D32	3 7.5	5 4.0	3 7	"
SD40-D32-1*	4 4.9	6 4.2	3 2	"
SD40-D32-2**	4 0.1	6 0.1	2 7	"

\* DACON 40, \*\* RIVERCON 40

##### 2.2 溶接条件

アーク手溶接で溶接を行った。溶接棒はSR24に対してD4301-4 $\phi$ 、SD30、SD35にはD5016-4 $\phi$ 、SD

40にはD6016-4φとした。溶接電流は150~170Aとした。その他の条件は使用機器に対する最適条件で行った。

### 2.3 試験体の種類

試験体は母材試験体と、図-1に示す5種類の溶接試験体である。

#### 1) 鉄筋のまま

継手の疲れ試験の基準となるものとして行った。

#### 2) ショートビード溶接

約15mmの溶接ビードを一層だけ置いたものであり、溶接ビードによる応力集中と疲れ強さの関係をいくらか明らかにするためのものである。

#### 3) 交点溶接

鉄筋コンクリート構造における床配の配筋や、主筋とあばら筋との接合モデルとして製作されたものである。溶接部は主筋と直角に交差する12φの丸鋼をいわゆる点付け溶接で溶接したものであり、付加物による主筋の疲れ強さを明らかにするためのものである。

#### 4) 突合せ溶接

主筋の接合法として、V開先（開先角度60°）、X開先（開先角度60°）の2種について試験を行った。予備試験において、これらの溶接継手の疲れ強さがかなり低かったため、一部の試験体は溶接肉盛端部の応力集中を除去するため、グラインダーにより表面をやや平滑に仕上げた。

#### 5) エンクローズ溶接

高効率の突合せ溶接で、溶接の際に開先周囲を銅製治具で覆い内部でアーク溶接を行なうもので、形状も機械的性質も良好な継手が得られる。なお、横向溶接の場合は鉄筋軸と30°~45°をなすI開先となる。

#### 6) フレアグループ溶接

鉄筋を重ね合せ、合せ溝を溶接するもので、簡便な溶接法であるが、溶接部に欠陥が生じやすく、応力集中も大きく、疲れ強さに対しては良好な継手とはいえない。

以上の溶接継手試験体は溶接が適切であれば静的引張試験において母材と同等な強さを示す。ただし、フレアグループ溶接継手は降伏点強度までの変形が他に比べ大きい欠点を持っている。

### 2.4 試験条件

使用試験機は50tアムスラー型疲労試験機で、繰返し数は400回/分、試験体の下限応力度を3~4kg/mm<sup>2</sup>とした片振疲れ試験とした。繰返し数は、建築、土木構造物を対象としたため2×10<sup>6</sup>回迄とした。

## 3. 試験結果

### 3.1 母材の疲れ試験結果

図-2に母材の疲れ試験結果を示す。丸鋼および異形

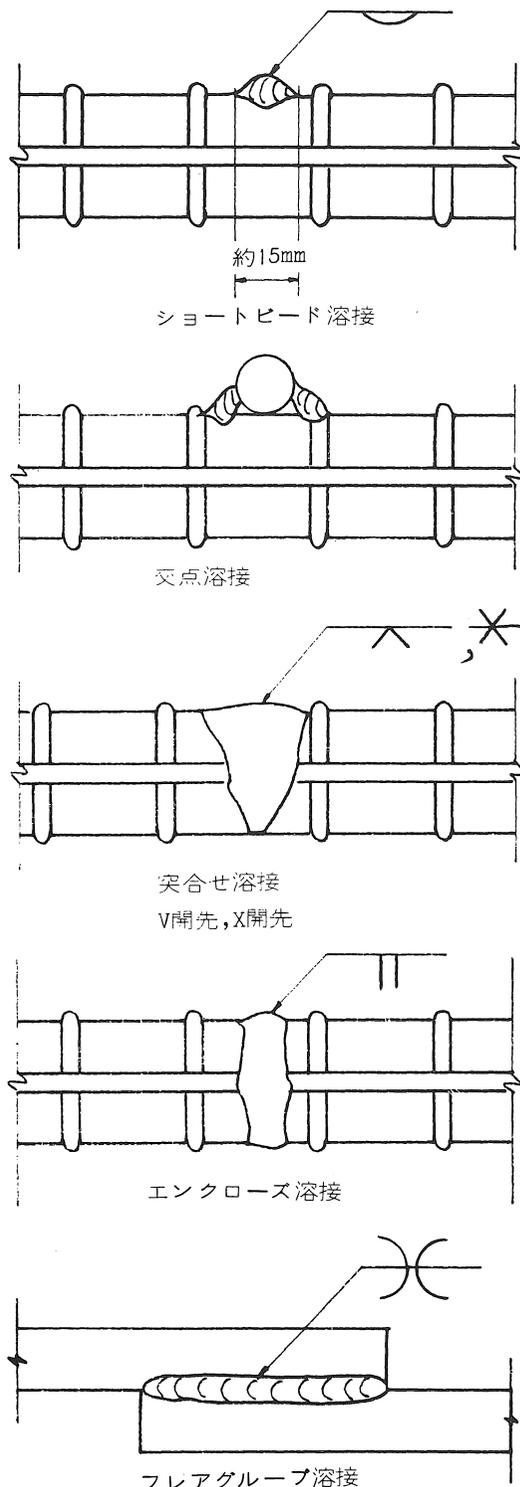


図-1 試験体溶接部

鉄筋の疲れ強さに関する研究はかなり多く行なわれており、これらの結果と本研究の結果はほぼ同等なものである。疲れ強さは丸鋼であるSR24が最も高く、リブやフシを持つ異形鉄筋であるSD30, SD35, SD40はかなり低くなっている。2 × 10<sup>6</sup> 回の疲れ強さはSR24が26~28kg/mm<sup>2</sup>, SD30, SD35, SD40は鋼種に関係なく18~23kg/mm<sup>2</sup>となった。異形鉄筋は試験結果のばらつきが大きく、必ずしも、静的強さの高いものが疲れ強さが高くなるわけではなく、リブやフシのような応力集中を生じる部分の影響が大きく現れる。これは鋼板とはかなり異なる。

3.2 ショートビード溶接の疲れ試験結果

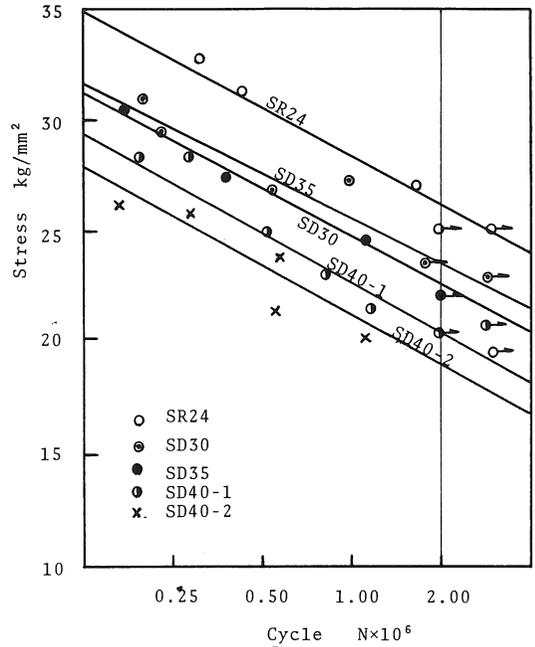
図一3にショートビード溶接の疲れ試験結果例を示す。約15mmのショートビードであるが、疲れ強さは局所的な応力集中で決定されるため、2 × 10<sup>6</sup> 回でSR24が16~19kg/mm<sup>2</sup>, SD30, SD35, SD40が11~18kg/mm<sup>2</sup>と溶接ビードのないものに比べて大巾に低下している。クラックの発生位置はビード端部でこの部分の角度が、疲れ強さに大きく影響する。角度の大小は異形鉄筋のリブやフシの形状と溶接の状態により異なり試験結果もばらつきが大きくなる。

3.3 交点溶接の疲れ試験結果

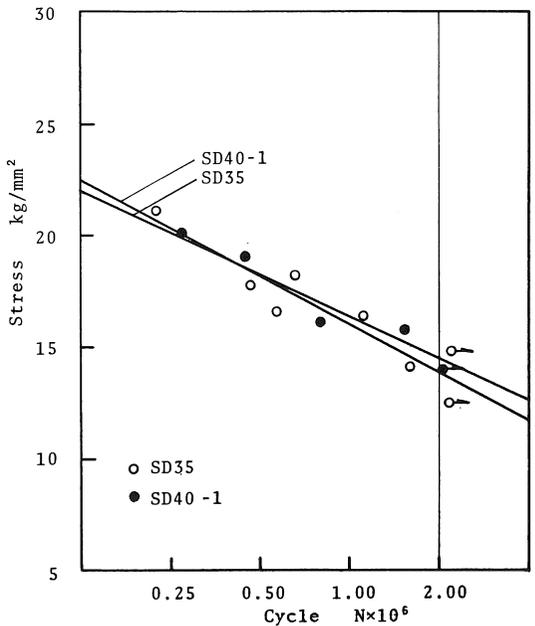
交点溶接の試験結果例を図一4に示す。溶接部の形状としてはショートビード溶接であるからそれと同様な結果が得られた。溶接部の形状がやや複雑なため、結果のばらつきが大きく2 × 10<sup>6</sup> 回の疲れ強さでSR24で15~19kg/mm<sup>2</sup>, SD30, SD35, SD40で10~17kg/mm<sup>2</sup>である。クラックの発生位置はビード端部で破断の状態もショートビード溶接とほぼ同様である。

3.4 突合せ溶接の疲れ試験結果

突合せ溶接の試験結果例を図一5に示す。開先形状はV開先, X開先の2種であるが、V開先は裏板を当てて溶接するため、こと板の仮付部よりクラックが入るものが多かった。また、裏はつりを行っていないため、ルート部の不溶着が原因となるクラックもあった。X開先ではルート部の不溶着によるクラックと、溶接肉盛端部よりの2種があった。2 × 10<sup>6</sup> 回の疲れ強さは7~15kg/mm<sup>2</sup>と極めてばらつきが大きくなっている。これに対して、溶接をグラインダー仕上げしたものは疲れ強さは極めて高くなり、破断部は溶接部以外 (SR24は溶接部) となった。異形鉄筋ではリブやフシによる応力集中は溶接部を仕上げた部分より大きいと考えられるので、このような結果が得られたものであろう。この場合の、疲れ強さは母材と同等であった。



図一2 各種鉄筋の疲れ試験結果



図一3 ショートビード溶接疲れ試験結果例

3.5 エンクローズ溶接の疲れ試験結果

図一6にエンクローズ溶接の試験結果例を示す。溶接部の形状は凸凹が少なく、応力集中が少ないため、結果のばらつきも少ない。2 × 10<sup>6</sup> 回の疲れ強さでSR24の場合17~19kg/mm<sup>2</sup> (下向溶接), 15~18kg/mm<sup>2</sup> (横向溶接) SD30, SD35, SD40で12~15kg/mm<sup>2</sup> (下向溶接) 10~14kg/mm<sup>2</sup> (横向溶接) となっている。これもグラインダー

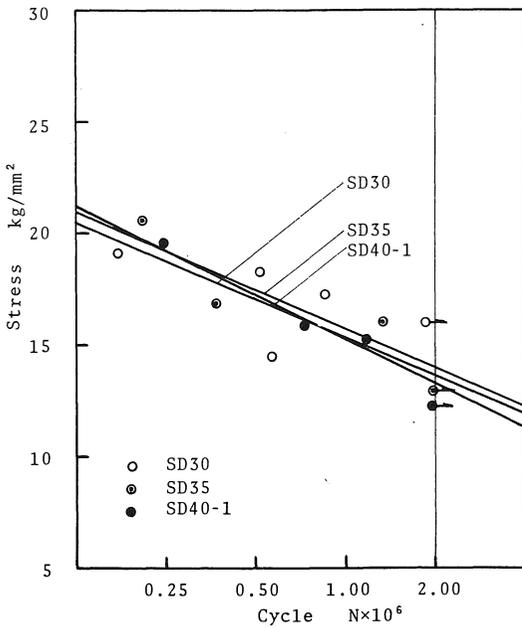


図-4 交点溶接の疲れ試験結果例

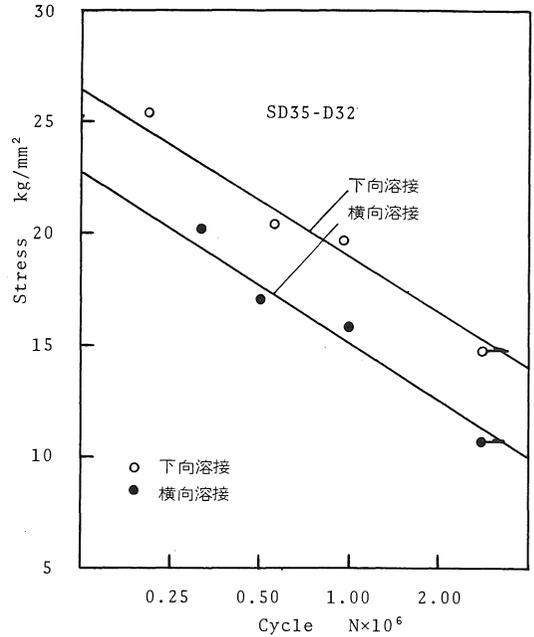


図-6 エンクローズ溶接継手の疲れ試験結果例

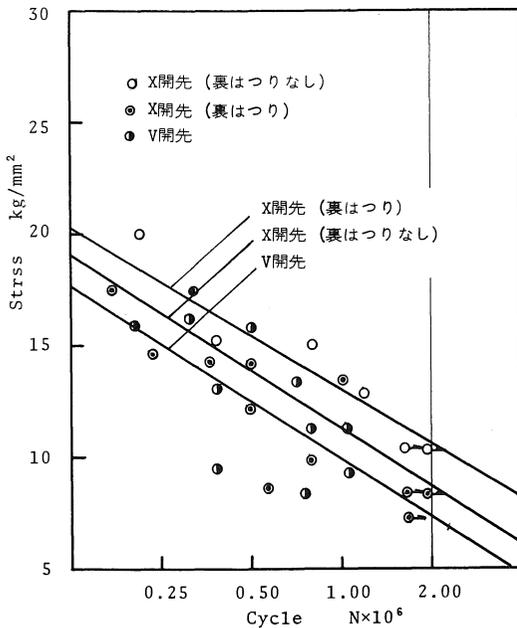


図-5 突合せ溶接継手の疲れ試験結果例  
(鋼種による結果の相異は認められ  
なかつたので同一図面内に示した.)

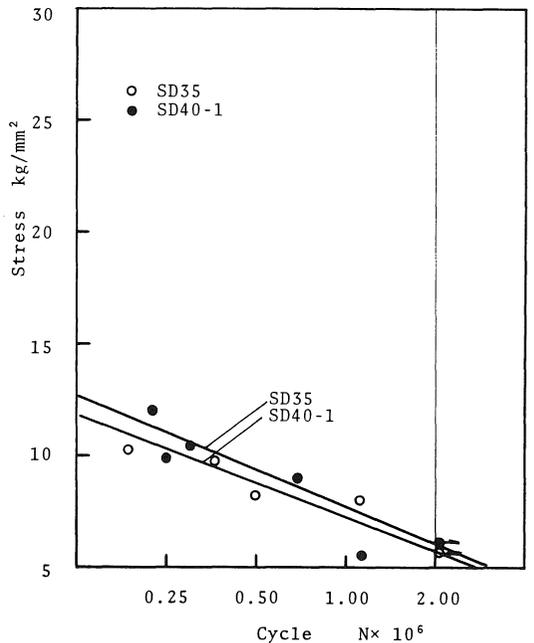


図-7 フレアグループ溶接継手の疲れ試験結果例

4. 考 察

仕上により疲れ強さは向上し、破断位置も母材部となった。

3.6 フレアグループ溶接の疲れ試験結果

図-7 にフレアグループ溶接の疲れ強さ結果例を示す。溶接部の応力集中が大きく、 $2 \times 10^6$  回の疲れ強さは S R24, SD30, SD35, SD40 共に  $5 \sim 10 \text{ kg/mm}^2$  で極めて低くなっている。

異形鉄筋の母材の  $2 \times 10^6$  回疲れ強さは引張強さに関係なく  $18 \sim 23 \text{ kg/mm}^2$  である。溶接部の疲れ強さは母材より大巾に低下し、母材の引張強さに関係なく  $7 \sim 17 \text{ kg/mm}^2$  でその形状により大巾に異なる。一般に仕上をしていない溶接部は形状が不均一で局部的な応力集中の程度を定量的に捉えることは困難であり、かつ、溶接部の形状

は継手の種類ばかりでなく、溶接工の技量にも大きく左右されるため、これらの結果は必ずしも異形鉄筋の溶接継手疲れ強さとして一般性を持つとは言い難い面もある。しかし、設計のある程度の指針となりうると考えられる。図-9に母材、溶接による各種接合部の实用疲れ限度とそれぞれの材料の降伏点との関係を示した。この中で繰返し荷重に対して使用が可能と思われるのは、M、A、B程度であろう。Mは母材 (SR24) であるから、溶接接合部では、溶接部をグラインダー仕上げした突合せ溶接継手、特に形状の良好な突合せ溶接継手、エンクローズ溶接継手を使用可能である、これらは  $2 \times 10^6$  回の疲れ強さで約  $15 \text{ kg/mm}^2$  は確保できるとみられる。一般の溶接部はCであり、 $2 \times 10^6$  回の疲れ強さが  $10 \text{ kg/mm}^2$  以上となるので、繰返し応力が少ない部分にのみ使用できるといえる。同じ溶接継手でも、フレアグループ溶接継手は鉄筋軸が接合される相互の鉄筋で一致せず、このための曲げ応力と、応力集中により、繰返し荷重には使用できない。

4) 富田, 他, 「異形丸鋼の疲れ強さ」, 尼崎製鉄技報 6号, 1962年10月

以上はすべて継手のみの疲れ強さであり、鉄筋コンクリート中にある場合はいくらか条件が異なるが、疲れに対する基本的資料として重要であろう。今後の研究課題としては、最近、太径鉄筋の接合法として注目されているスリーブ継手などの疲れ強度の解明が必要と思われる。なお、本研究は試験体の製作のため、新日本製鉄 (株)、(株)神戸製鋼所の協力を得た。ここに謝意を表したい。

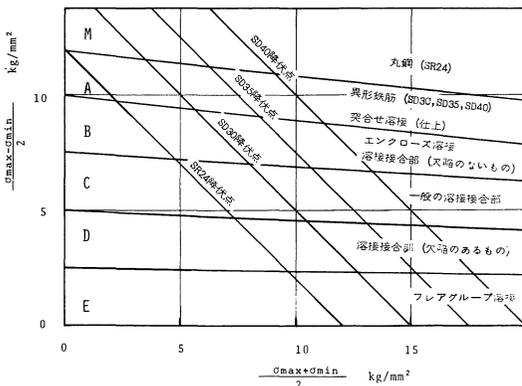


図-8  $2 \times 10^6$  回实用疲れ限度

参考文献

- 1) 鶴田明, 尾形素臣「高張力異形鉄筋のアーク溶接に関する研究」, 日本建築学会大会梗概集, 1969年
- 2) 尾形素臣「異形鉄筋の疲れ強さについて」, 溶接学会, F. S. 委員会 F. S. 45, 1970年4月
- 3) 河野, 他, 「異形鉄筋の疲れ強さに関する研究」コンクリートライブラリー第2号, 1962年12月