

# 論文 溶接鉄筋網を用いた鉄筋コンクリート梁の疲労性状

秋山哲治\*<sup>1</sup>・横田 弘\*<sup>2</sup>・三上 晃\*<sup>3</sup>

**要旨：**溶接鉄筋網を鉄筋コンクリート部材に適用した場合およびこれらの主鉄筋の継手方法を変化させた場合の疲労性状について実験的に検討した。その結果、溶接鉄筋網を用いた場合に疲労強度はかなり低下した。また、アーク溶接を採用した場合には抵抗溶接の場合に比べて疲労強度の低下の割合が大きかったが、コンクリート標準示方書での設計疲労強度 50%下限値以上の強度を有していることが確認できた。さらに、主鉄筋同士の重ね継手を行わず、間隔をおいて溶接鉄筋網を配置する方法の採用による疲労強度への影響はほとんど見られなかった。

**キーワード：**溶接鉄筋, 鉄筋コンクリート梁, 応力振幅, 疲労強度

## 1. まえがき

港湾工事の現場作業における合理化・省力化のために、防波堤などに用いられる鉄筋コンクリートケーソンに、溶接鉄筋による組立鉄筋網を用いるユニット化鉄筋工法が提案されている。この工法は、従来から行われている鉄筋の搬入、配置、結束といった配筋作業の工程に代わり、溶接鉄筋網をユニット化して建て込むことにより、配筋作業を大幅に軽減することを目指した工法である。しかし、この溶接鉄筋網はその熱影響により鉄筋の疲労強度の低下が懸念される。また、溶接鉄筋網を使用することに伴い、重ね継手部（以下、接合部と呼ぶ）が存在するが、この接合部では一断面で溶接鉄筋同士が接合されるため、現行の基準類<sup>1)</sup>に適合しない。そこで、溶接鉄筋網を使用した鉄筋コンクリート梁の疲労性状を調べ、溶接による継手および接合部が一断面に存在することの疲労強度への影響を検討した。

一般的に鉄筋同士を点溶接する方法として、抵抗溶接とアーク溶接が用いられている。抵抗溶接を用いた場合の疲労性状については、既に

報告されている<sup>2)</sup>ため、本論文では、溶接鉄筋のうちアーク溶接鉄筋による鉄筋コンクリート梁（以下、RC 梁とする）の疲労試験結果を中心に述べる。

## 2. 疲労試験の概要

### 2.1 試験体の構造

図-1に疲労試験に用いた RC 梁試験体の構造概要を示す。試験体の寸法は、長さ 3500mm、幅 250mm、高さ 250mm で、溶接鉄筋網の主鉄筋（縦筋）および配力鉄筋（横筋）にはすべて SD345-D19 を使用した。また、せん断補強筋は SD345-D10 を 100mm 間隔で配置した。主鉄筋および配力鉄筋に使用した D19 の機械的性質を表-1に示す。コンクリートは、設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>、粗骨材最大寸法 20mm で、疲労試験は長期に亘ったが、試験時の圧縮強度は 26 ~ 27N/mm<sup>2</sup>であった。

各試験体にはそれぞれ所定の方法で鉄筋を配置した。図-2に各試験体の配筋状況の概要（平面図）を示す。

TYPE-N は、通常の配筋方法で結束された鉄

\*1 運輸省港湾技術研究所 構造部 構造強度研究室研修生（若築建設，正会員）

\*2 運輸省港湾技術研究所 構造部 構造強度研究室長 工博（正会員）

\*3 運輸省港湾技術研究所 構造部 構造強度研究室研究官

筋網を用い、かつ接合部のない試験体である。つまり、溶接は行われておらず、溶接鉄筋網を用いた試験体と比較する目的で製作したものである。

TYPE-AN は、鉄筋の交点すべてにアーク溶接を使用したもので、接合部のない試験体である。

さらに、TYPE-AC は、図-2に示したとおり、網状の溶接鉄筋網を配置した後、その反対側から張り出し部のある溶接鉄筋網を重ね合わせた

のち、交差点を溶接接合した試験体である。その際、実際の鉄筋建て込みの省力化を意図して、接合部の主鉄筋同士は少し距離を置いて配置した。すなわち、通常行われている重ね継手は用いていない。

表-1 主鉄筋・配力鉄筋の機械的性質

公称直径 (mm)	上降伏点 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	ヤング率 (kN/mm <sup>2</sup> )
19.1	413	607	25.0	199

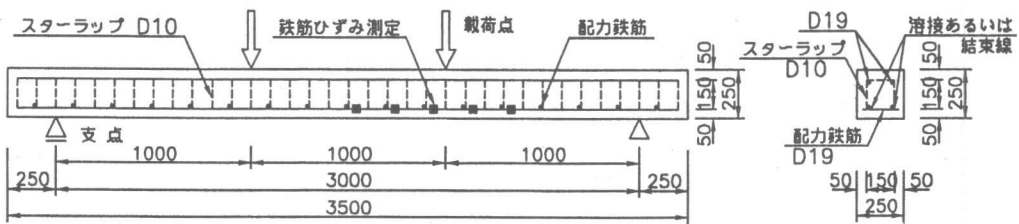
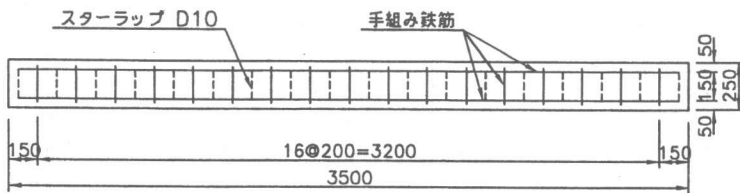
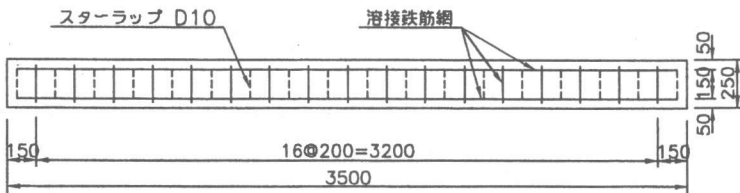
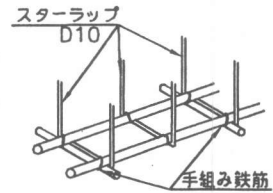


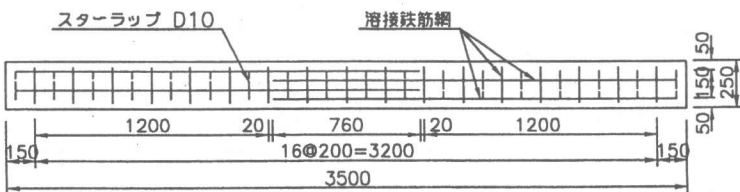
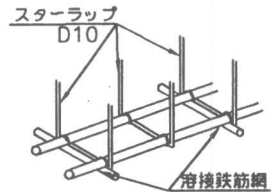
図-1 RC梁試験体の構造概要



(TYPE-N 単位 ; mm)



(TYPE-AN 単位 ; mm)



(TYPE-AC 単位 ; mm)

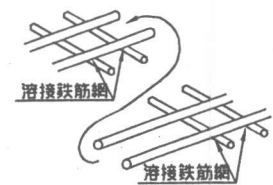


図-2 試験体配筋状況の概要 (平面図)

## 2. 2 溶接方法

本試験では、鉄筋の交点を点溶接する方法として、鋼材の溶接に広く使用されているアーク溶接を使用した。アーク溶接は、溶接棒と鋼材間に電氣的にアークを発生させ、この熱により鋼材や溶接棒（溶接金属）を溶融して鋼材同士を接合する方法である。溶接ワイヤーは MG-50、 $\phi$  12mm を使用した。溶接箇所は鉄筋交点の片側のみで、スポット溶接とした。溶接時間は 3sec、溶接速度は約 150mm/分とした。片側の溶接は、鉄筋にできるだけ熱影響を与えないためと、将来アーク溶接鉄筋網の自動製作化に向け、製作の作業効率や自動化製作ロボットの簡素化を考慮して採用したものである。

## 2. 3 試験方法と計測項目

疲労試験は、能力 200kN 型の疲労試験機を使用して行った。荷重状況は図-1に示したとおり、3 等分点荷重とした。疲労試験における下限荷重は各ケースとも 5kN とした。上限荷重は、初回静的荷重時に計測される鉄筋ひずみの最大値が降伏ひずみに達する荷重 ( $P_y$ ) の 0.9, 0.8, 0.7, 0.6 および 0.5 倍となる荷重を基本とした。繰返し荷重回数が 200 万回に達しても破壊が生じない荷重振幅を確認するため、試験体のタイプによっては上限荷重を  $P_y$  の 0.5 倍以下となるように設定したものもある。

計測項目は、主鉄筋ひずみ、コンクリートひずみ、コンクリートひび割れ幅、試験体の変位および荷重値で、所定の繰返し荷重回数に達した時点で静的荷重を行って測定した。その際、5kN 毎に荷重制御で荷重し、各試験体の上限荷重まで荷重した。

主鉄筋のひずみは、図-1の■で示した 5ヶ所で計測した。各測定点では上面と下面にひずみゲージ（ゲージ長：3mm）を 2 枚貼り付け、この平均値を鉄筋ひずみとした。コンクリートひずみは、試験体圧縮縁の中央部にコンクリートひずみゲージを 1 枚貼り付けて計測した。ひび割れ幅は試験体側面下部において、コンタクトゲージ（測定精度 1/1000mm）で計測した。

## 3. 疲労試験結果と考察

### 3. 1 ひび割れ性状

いずれの試験体においても曲げによるひび割れがほぼ等間隔で分散して発生し、終局時には引張側鉄筋が破断した。また、荷重荷点近傍でコンクリートの圧縮破壊が確認できた。一例として、図-3に上限荷重が 0.9 $P_y$  のケースの最終ひび割れ発生状況を示す。

図-4に TYPE-AC の各ケースにおける上限荷重荷重時の最大ひび割れ幅と繰返し回数の関係を示す。ひび割れ幅は繰返し荷重回数の増加に伴い、少しではあるが増加する傾向が見られた。また、測定はされていないが、破壊直前では、ひび割れ幅が大きくなったことが確認できている。これらの傾向は、他のタイプについても同様であった。

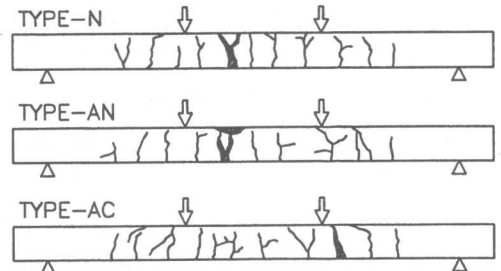


図-3 ひび割れ発生状況図 (0.9 $P_y$ )

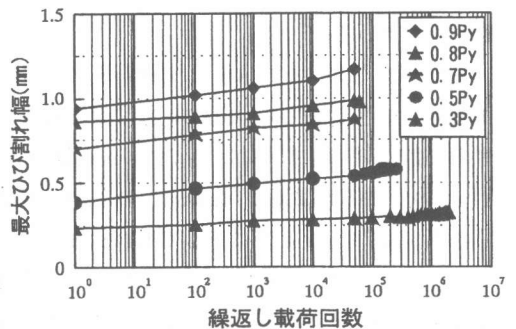


図-4 最大ひび割れ幅と繰返し回数 (TYPE-AC)

### 3. 2 疲労性状

主鉄筋の応力振幅と試験体破壊時の繰返し荷重回数の関係を図-5に示す。ここで、応力振幅は上限荷重時の鉄筋ひずみと下限荷重時の鉄筋

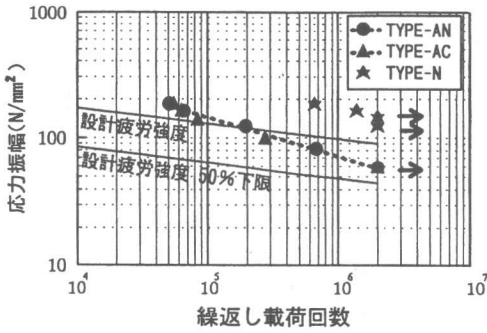


図-5 RC 梁の疲労試験結果（アーク溶接）

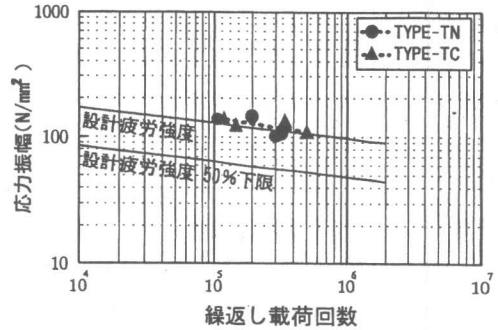


図-7 RC 梁の疲労試験結果（抵抗溶接）<sup>2)</sup>

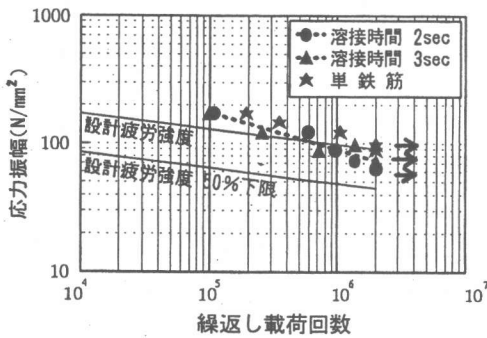


図-6 鉄筋の疲労試験結果（アーク溶接）

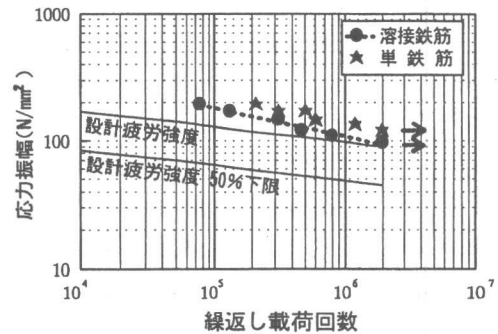


図-8 鉄筋の疲労試験結果（抵抗溶接）

ひずみとの差にヤング係数を乗じた値（応力の範囲）の 1/2 と定義した。また、図中の破線は溶接鉄筋網を使用した RC 梁（図-5, 7）のデータ、溶接鉄筋網のみ（図-6, 8）のデータによる回帰直線を示している。

接合部のない TYPE-AN と主鉄筋同士を少し距離を置いて配置した TYPE-AC は同程度の疲労強度を有していた。TYPE-AN および TYPE-AC で応力振幅が  $60\text{N/mm}^2$  の場合、繰返し载荷回数が 200 万回に達しても試験体は疲労破壊しなかった。接合部のない手組み鉄筋を使用した TYPE-N は、応力振幅が  $145\text{N/mm}^2$  以下の場合には、繰返し载荷回数が 200 万回に達しても破壊しなかった。手組み鉄筋の TYPE-N に比べて TYPE-AN と TYPE-AC は、载荷回数 200 万回時に疲労強度が約半分程度に低下したものの、コンクリート標準示方書<sup>2)</sup>に従って求めた設計疲労強度 50% 下限値と比較するとそれでも

25%程度大きくなっていた。

アーク溶接により作製した鉄筋網のみの疲労試験の結果<sup>4)</sup>を図-6に示す。溶接時間が 2sec と 3sec の場合、応力振幅が  $105\text{N/mm}^2$  以下の領域では前述の設計疲労強度より繰返し回数が下回った。溶接部のない 1 本ものの鉄筋（本文では単鉄筋という）と比較した場合、アーク溶接鉄筋は最大で 20 ~ 30%程度疲労強度が低下した。

参考に、抵抗溶接鉄筋を使用した場合の RC 梁の疲労試験の結果を図-7<sup>2)</sup>に示す。接合部のない TYPE-TN と主鉄筋同士を距離を置いて配置した TYPE-TC はほぼ同程度の疲労強度を有していた。接合部のない TYPE-TN は応力振幅が  $110\text{N/mm}^2$  以下の範囲で、繰返し回数が設計疲労強度を下回った。

また、抵抗溶接鉄筋網のみの疲労強度の試験結果を図-8に示す。いずれの応力振幅でも試験結果は設計疲労強度を上回り、応力振幅が 100

～ 125N/mm<sup>2</sup> の範囲で、設計疲労強度とほぼ同じ強度を示した。また溶接部のない単鉄筋と比較した場合、抵抗溶接鉄筋は最大で約 20%ほど疲労強度が低下した。

全体を通してみると、鉄筋のみの場合、RC 梁の場合とも、アーク溶接の方が抵抗溶接より疲労強度が小さかった。これは、抵抗溶接では主鉄筋と配力鉄筋の鉄筋交差部の溶接部に空隙が存在しないが、アーク溶接では、鉄筋交差部に施工の善し悪しにもよるがわずかな空隙が存在し、その部分に応力集中がおきるため、同じ応力振幅でも繰返し回数の小さい段階で鉄筋が破断し、抵抗溶接より疲労強度が小さくなっているものと思われる。また、熱影響が残留している場合には溶接強度が低下するという報告<sup>9)</sup>もあり、今回の結果もこれと同様の傾向を示していた。疲労強度は低下したにもかかわらず、溶接鉄筋の疲労強度はすべてのケースについて、設計疲労強度 50%下限以上の強度を有していた。

RC 梁の結果に関しては、抵抗溶接、アーク溶接とも、接合部のないタイプと主鉄筋同士を少し距離を置いて配置したタイプは、同様な疲労強度特性を示した。したがって、継手の有無による疲労強度の変化はないと思われる。

溶接鉄筋のみと溶接鉄筋を配置した RC 梁の疲労強度を比較すると、回帰直線は両者ともほぼ同様な傾きを示した。

### 3. 3 鉄筋の破断位置

図-9に示すように、鉄筋の破断位置は、手組み鉄筋の TYPE-N については、配力鉄筋との交差部とは無関係の梁中央部で破断しており、アーク溶接の TYPE-AN と TYPE-AC については、梁中央付近の溶接交点近傍で破断していた。このように、溶接鉄筋では、すべて溶接影響の受けている部分で破断していた。また、TYPE-AC については、すべて重ね継手部の外側の溶接交点の近傍にて破断していた。これは、荷重点付近の主鉄筋量が減少している箇所で、継手部より大きな鉄筋応力が発生したためであると思われる。

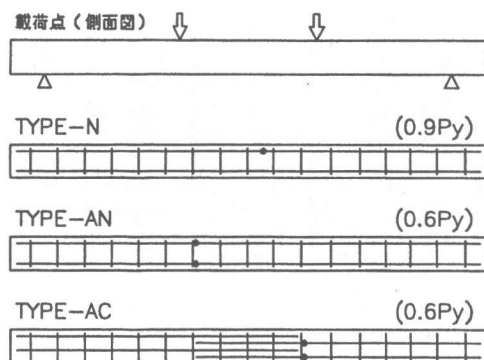


図-9 鉄筋の破断位置 (平面図)

### 3. 4 たわみ性状

図-10に TYPE-AC の上限荷重載荷時の梁中央でのたわみ量と繰返し載荷回数の関係を示す。どの応力振幅比であっても繰返し回数の増加とともに、たわみ量が増加しており、試験体の断面剛性が徐々に低下しているのが分かる。また、破壊直前には、たわみ量も急増加しており、他のタイプについても同様の結果であった。

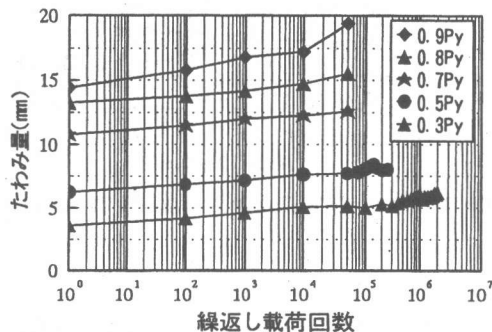


図-10 たわみ量と繰返し回数 (TYPE-AC)

### 3. 5 ひずみ性状

図-11に TYPE-AC について、上限荷重載荷時の鉄筋ひずみと繰返し回数の関係を示す。図中の鉄筋ひずみは、引張鉄筋に貼り付けてある鉄筋ひずみゲージのうち最大値を示したものを整理したものである。鉄筋ひずみは試験体の種類によって異なるが、疲労破壊時までほとんどひずみの増加が見られなかった。つまり、破断が急激に生じたものと思われる。

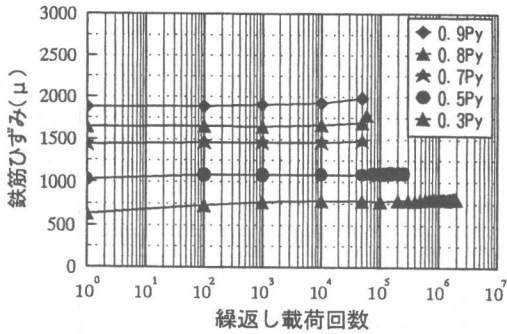


図-11 鉄筋ひずみと繰返し回数 (TYPE-AC)

図-12に TYPE-AN の上限荷重載荷時のコンクリートひずみ量と繰返し載荷回数の関係を示す。コンクリートひずみ量は、ひび割れ幅の進展が著しくなる回数(例えば 0.4Py では繰返し回数が 45 万回)以降で増大した。

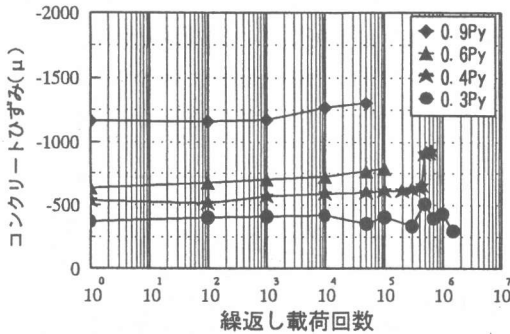


図-12 コンクリートひずみと繰返し回数 (TYPE-AN)

#### 4. まとめ

今回行った疲労試験から得られた主要な結論は以下のとおりである。

- (1) アーク溶接鉄筋は手組み鉄筋に比べ疲労強度がかなり低下した。しかし、設計疲労強度 50% 下限以上の強度を有していることが確認された。
- (2) 鉄筋の破断位置については、手組み鉄筋 RC 梁が鉄筋交差部とは無関係の梁中央部で破断した。しかし、アーク溶接鉄筋では、溶接部あるいは溶接部交点近傍のように溶接による熱影響を受けている部分で破断した。
- (3) 抵抗溶接とアーク溶接の比較では、抵抗溶

接の方が大きな疲労強度を有していた。

- (4) 溶接鉄筋網を使用した接合部のないもので、主鉄筋同士を少し距離を置いて配置した場合は、溶接方法の相違や、継手の有無に関係なく、疲労強度の変化はなかった。

#### 5. あとがき

今回までの気中疲労試験の結果によると、溶接により鉄筋および RC 梁の疲労寿命は低下したが、現行の疲労強度算定式が適用可能であることが分かった。しかし、水中での疲労強度は、気中に比べ約 20% 小さくなると言われており<sup>6)</sup>、水中での疲労性状を調べるため実験を実施中である。また、これと併せて溶接鉄筋の疲労強度算定式について考察を行っている。

最後に、疲労試験を行うにあたり、試験の全般的な計画を立案した早稲田大学清宮理教授(前港湾技術研究所)および試験実施のご協力を頂いた藤澤孝夫氏(前港湾技術研究所)、堀之内尚志氏、清水由貴夫氏(以上、若築建設株式会社)に感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：鉄筋継手指針，コンクリート・ライブラリー，第 49 号，1982
- 2) 清宮理，藤澤孝夫，石原弘一：ワールドメッシュ鉄筋（溶接鉄筋網）の基本的な力学性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.17-22，1995
- 3) 土木学会：平成 8 年度制定 コンクリート標準示方書（設計編），pp.35-36
- 4) 藤澤孝夫，清宮理：溶接鉄筋の物理試験と溶接鉄筋網を用いたコンクリート梁接合部材の力学特性，港湾技研資料，No.847，1996.9
- 5) 平城弘一，松井繁之：溶接鉄筋の橋梁床版への適用に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.19，No.2，pp.813-818，1997
- 6) 西林新蔵ほか：海水中における RC はりの疲労性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.14，No.2，pp.279-284，1992