

## (19) 合成構造の添接継手の試験

—異形鉄筋とスタッドによる—

宇都宮大学 ○阿部英彦、中島章典

## 1. 研究の目的と概要

RC構造と鋼構造とを接合する方法については種々考えられるが、本研究はその一形式として、鋼板にスタッドを溶植し、これを異形鉄筋と共にコンクリートで包み込み、鋼板に作用する力をスタッドとコンクリートを介して、RCの鉄筋に伝達させる方式の継手の基礎的研究であり、静的試験に併せて疲労試験を行った。適当なコンクリート強度と鉄筋の埋込み長さが確保されていれば、静的にも疲労的にも附着に顕著な変状はなく、鉄筋そのものの強度が発揮されることがわかった。

鋼部材とＲＣ部材の接合で、ＲＣの鉄筋を鋼部材に直接溶接する方法がしばしば採用されるが、そのような方法では静的強度は低下しないとしても、繰返し荷重に対しては溶接部の応力集中により、鉄筋の疲労強度が相当低下する可能性がある。本方式では疲労強度の低下も余り見られず、また、現場での施工が容易で組立て誤差も比較的大きく許容し得ることなどから合理的な継手型式であると考えられる。

## 2. 試験体

試験体の形状を図1に示す。異形鉄筋のコンクリート中の埋込み長さやコンクリート強度を変化させた。使用鋼材を表1に、また、コンクリート配合および強度をそれぞれ表2および表3に示す。

静的試験体の場合、コンクリート強度が予想より高くなり、また、高強度と低強度の差が小さくなった。コンクリート打ちの方向はスタッドが水平になる様な状態で横打ちとした。静的試験の低強度用のみ生コンクリートを使用し、他は現場練りのものを使用した。なお、鋼板とコンクリートとの間の付着が小さくなるようにコンクリート打設前に鋼板の表面には油を塗った。

|      | l    | b   | A   |
|------|------|-----|-----|
| SL-1 | 960  | 80  | 480 |
| SL-2 | 1080 | 100 | 540 |
| SL-3 | 1200 | 120 | 600 |
| SH-1 | 960  | 80  | 480 |
| SH-2 | 1080 | 100 | 540 |

|      | L    | I   | A   |
|------|------|-----|-----|
| SL-1 | 960  | 80  | 480 |
| SL-2 | 1080 | 100 | 540 |
| SL-3 | 1200 | 120 | 600 |
| SH-1 | 960  | 80  | 480 |
| SH-2 | 1080 | 100 | 540 |
| SH-3 | 1200 | 120 | 600 |

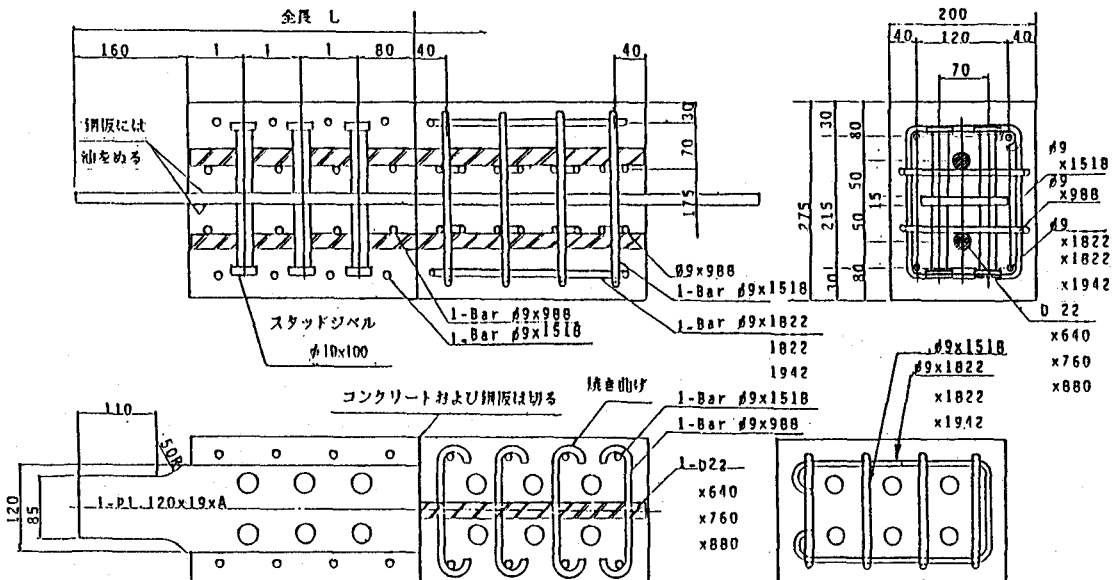


図1 試験体の形状

表1 使用鋼材

| 鋼材の種類 |    | 断面寸法<br>(mm) | 規 格   | 降伏点<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(kg/mm <sup>2</sup> ) | 伸び<br>(%) |
|-------|----|--------------|-------|------------------------------|-------------------------------|-----------|
| 鋼 板   |    | 120 x 15     | SS 41 | 31                           | 46                            | 29        |
| 異形鉄筋  | 静的 | φ 22         | SD 40 | 33                           | 51                            | 16        |
|       | 疲労 |              | SD 30 | 38                           | 58                            | 22        |

表2 コンクリート配合

| 試験の<br>種類  | 強 度  | w/c<br>(%) | s/a<br>(%) | コンクリート1m <sup>3</sup> に用いる材料 |           |           |            |            | 試験体      |
|------------|------|------------|------------|------------------------------|-----------|-----------|------------|------------|----------|
|            |      |            |            | セメント<br>(kg)                 | 水<br>(kg) | 砂<br>(kg) | 砂利<br>(kg) | AE剤<br>(g) |          |
| 静的試験       | 低強度* | —          | —          | —                            | —         | —         | —          | —          | SL-1,2,3 |
|            | 高強度  | 50.7       | 39.5       | 300                          | 152       | 745       | 1158       | 25.5       | SH-1,2,3 |
| **<br>疲労試験 | 低強度  | 56.0       | 40.0       | 259                          | 145       | 770       | 1172       | 9          | SL-1,2,3 |
|            | 高強度  | 49.3       | 39.0       | 300                          | 148       | 734       | 1165       | 9          | SH-1,2,3 |

\* 低強度の静的試験体には小野田生コンクリートを用いた。

\*\* 疲労試験体のAE剤にはピンゾールを用いた。

表3 コンクリートの圧縮強度(kg/cm<sup>2</sup>)

| 試験の<br>種類 | 試験体      | 設計基準<br>強度 | 材令 7日   | 材令21日   | 材令60日 |
|-----------|----------|------------|---------|---------|-------|
| 静的試験      | SL-1,2,3 | 200        | 312     | 357     | —     |
|           | SH-1,2,3 | 300        | 288/321 | 405/413 | —     |
| 疲労試験      | SL-1,2,3 | 150        | —       | —       | 140   |
|           | SH-1,2,3 | 300        | —       | —       | 280   |

### 3. 試験方法

静的試験には50tの万能試験機を用い、引張試験中、数回ゼロにもどして荷重を増加した。ダイヤルゲージで、コンクリートブロック間の離れを測定した。なお、偏心の影響を知るために4隅で計測した。

疲労試験にはローゼンハウゼン型の疲労試験機を使用し、1分間 366回で速度で荷重を繰り返した。最小荷重を2tとして一定振幅の荷重を10万回程度繰り返し、顕著な変化が無い場合には2tづつ荷重を増して続行し、ブロック間隔が著しく大きくなった時、試験を終了した。測定は静的試験の場合と同様、4箇所について行ったが、焼青銅型の変位計を用い、動的にも計れるようにした。

#### 4. 試験結果

##### 4.1 静的試験

荷重とコンクリートブロック間の離れの関係を図2にまとめて示す。なお、各供試体の曲線は4箇所の測定値の平均である。全試験体とも鉄筋の破断までには付着が切れたが、ある時点で急激に間隔が増加し始めた。試験体は外観的には12~14 tあたりから縦にひびが入り始め、終局においてはこれが著しくなる。写真1にその例を示す。なお、表4に静的試験および疲労試験の主な損傷箇所を示す。

##### 4.2 疲労試験

コンクリートブロック間の離れと荷重の繰返し回数との関係の例を図3（付着破壊）および図4（鉄筋破断）に示す。荷重漸増方式で行ったので、荷重増加の時点で間隔がある程度急増するのは当然であるが、各定荷重の繰返し中にも間隔が漸増しており、ある段階で急増する傾向がある。

外観的には、荷重の繰返しと共にコンクリートブロックの亀裂が増加するが、鋼板の掴み部に近い方の端から中央にかけて縦に板厚方向に亀裂が入る傾向があり、また、中央のブロック同志の接触部近辺では横にも亀裂が生じる傾向がある（写真2）。なお、写真3は実験終了後、コンクリートを取り除いて、鉄筋の破断状況を示したものである。

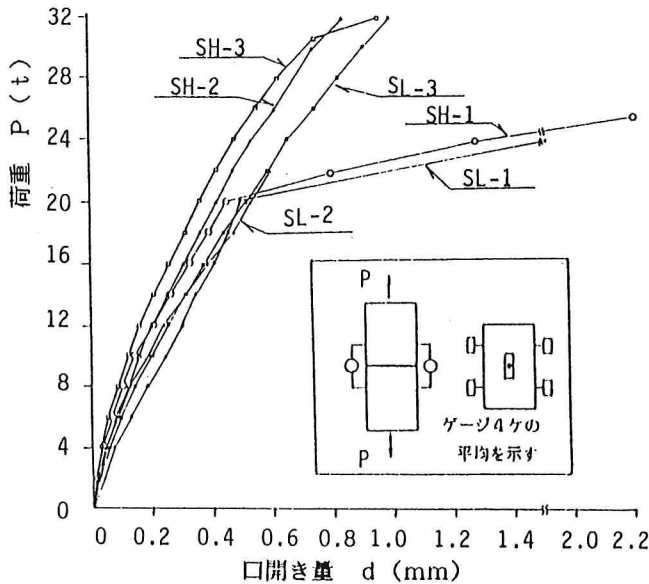


図2 荷重-口開き曲線（全試験体比較）

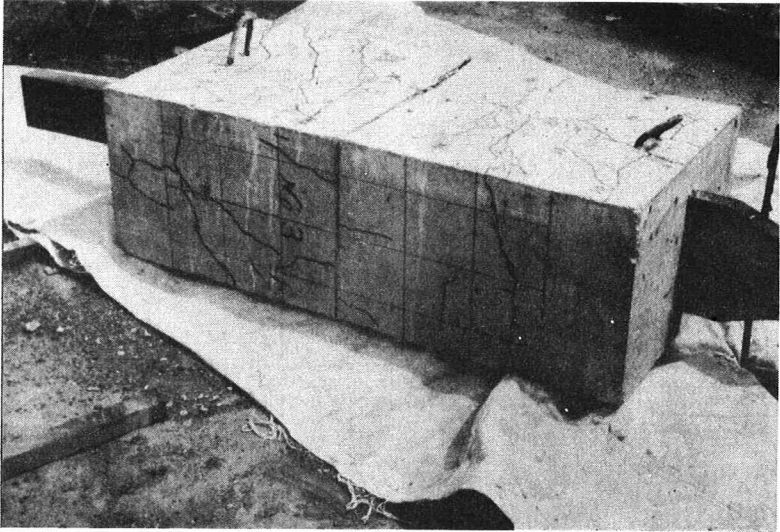


写真1 試験体のひびわれ状況

表4 試験体の主な損傷箇所

| 試験体  | 静 的  | 疲 労  |
|------|------|------|
| SL-1 | 付着破壊 | 付着** |
| SL-2 | 鉄筋降伏 | 付着** |
| SL-3 | 鉄筋降伏 | 付着** |
| SH-1 | 付着破壊 | 鉄筋破断 |
| SH-2 | 鉄筋降伏 | 鉄筋破断 |
| SH-3 | 鉄筋降伏 | 鉄筋破断 |

\*\* 3mmずれ

## 5. 考察

以下に、静的試験と疲労試験について考察を加える。

(1) 静的試験を行った6種類の試験体の挙動を比較する。図2に見られる様に変化はコンクリートブロック間の口開きに端的に現れる。荷重の増加と口開きの増加との関係を示す線はいずれも直線ではなく、コンクリートの応力～ひずみの関係の曲線に似て傾斜が次第に緩くなる。

この線の傾きは継手の剛度を示すと考えられるが、20t程度まではSH-3、SH-2、SH-1、SL-2、SL-3、SL-1の順に減少する傾向がある。即ち、多少のばらつきはあるが、傾向として、やはり、コンクリート強度の高いグループは低いグループより剛度が高く、また、試験体が長い方が、即ち、鉄筋の埋込み長さの大きい方が剛度が高い。

(2) SH-1およびSL-1は鉄筋長640mmで最も短いものであるが、共に20tで急に口開きが大きくなり、荷重が増さなくなった。これらの破壊型式は鉄筋の付着が破壊して滑ったものであると考えられる。この時の平均付着応力は、

$20000/2.2 \times \pi \times 64 = 45.2 \text{ kg/mm}^2$  で、通常の異形鉄筋の付着強度の範囲に入っている。因みにこの時の鉄筋の応力は  $26.3 \text{ kg/mm}^2$  で  $\sigma_y$  よりも充分小さい。

SH-1とSL-1とはほとんど等しい値であり、コンクリート強度による差が認められなかった理由は明らかでないが、予想よりもコンクリート強度の差が小さかったのか、あるいは製作上の関係であろう。

(3) 12~14tあたりから縦にひびわれが入り始め、終局においてはこれが著しくなる。フープ鉄筋の量やフープ鉄筋の中間の拘束などはコンクリートのひび割れの入り始めの荷重には直接影響を及ぼさないが、この量はひび割れの増大や鉄筋の付着強度、スタッドのずれ剛度や

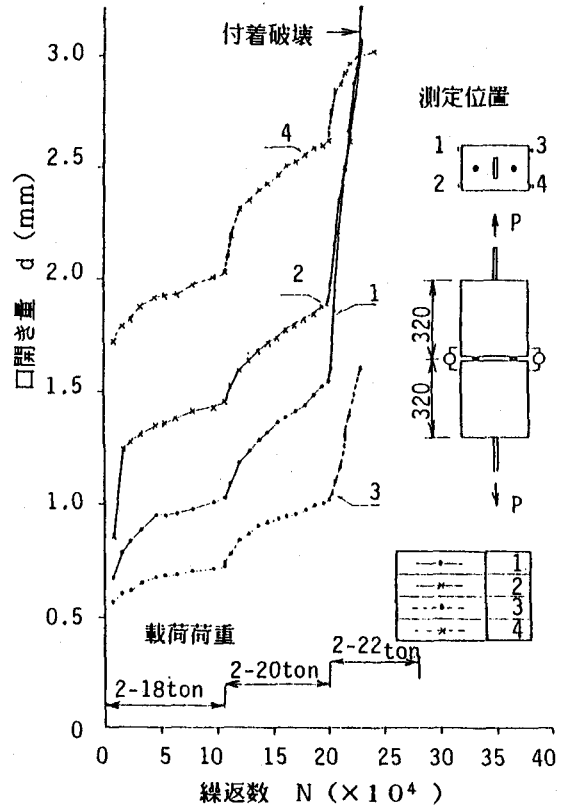


図3 口開き量の変化 (SL-1試験体)

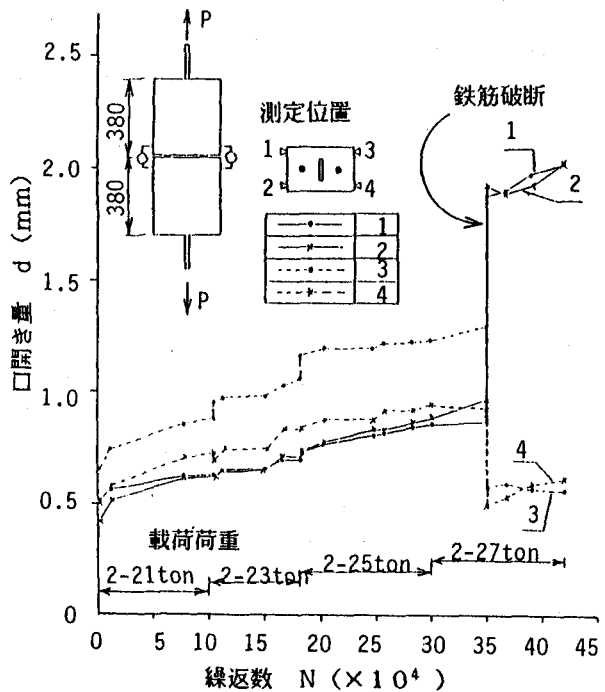


図4 口開き量の変化 (SH-2試験体)

耐力には影響を及ぼすと考えられるので、今後、フープ鉄筋の効果をも更に研究する必要がある。

(4) 疲労試験に用いた試験体の種類は静的試験との比較の意味もあって、それぞれこれと全く等しい寸法とした。しかしコンクリート強度については静的試験の場合よりも高低の差が顕著になる様に注意した。その結果は疲労性状にも反映された。

(5) 疲労試験では原則として約10万回一定振幅の荷重を繰返した後、2 t づつ増す方法を採った。荷重増の度にずれが段階的に増すのは当然であるが、一定荷重の繰返し中にも口開き量が漸増するのは鉄筋の付着やスタッド前面のコンクリートの支圧の疲労損傷の進行によるものと思われる。この傾向はSHシリーズに比べてSLシリーズの方が明らかに著しい。

(6) 口開き量が一応、3mm となったら荷重を中止したが、ある程度以上、荷重を増すと静的にも鉄筋の付着が持たなくなる可能性がある。SLシリーズ、即ち $\sigma_c=150\text{Kg/cm}^2$  のものは3本とも鉄筋が破断する前に口開き量が3mmに達している。SL-1では22t、SL-2では23t

になると急増しているが、これは静的に見ても付着強度の限界に達したと考えられる。

(7) SHシリーズ、即ち、高強度のコンクリートの場合には一定荷重繰返し中の変位の増加程度は少なく、ある荷重段階の繰返しで一方の鉄筋が疲労破断して終局となっている。

SLシリーズのものでも更に荷重を繰返せば、あるいは鉄筋が破断するものがあつたかも知れないが、一般に付着作用の劣化も、ある荷重段階で顕著になる傾向があり、実用上、口開きの量が使用限界を決定すると考えてよい。



写真2 試験体のひびわれ状況

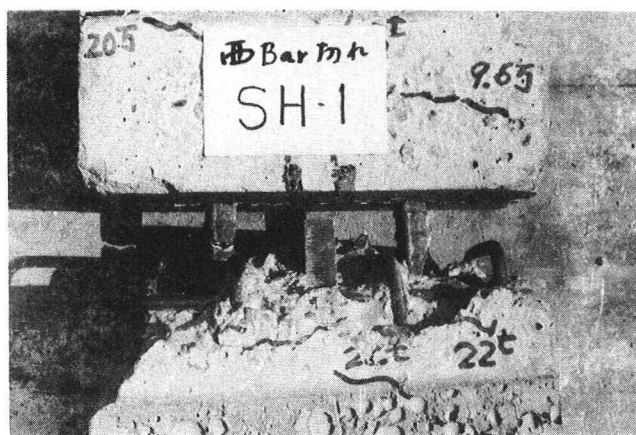


写真3 鉄筋の破断状況

(8) これらの鉄筋の疲労強度を他の実験の結果と比較する。図5の異形鉄筋の0～引張りの疲労強度の平均線は参考文献(1)によるもので、約800試験体の結果の平均である。今回の荷重の加え方は段階的に荷重を増したので、各試験体とも上記の平均線の傾き( $k=-0.146$ )で破断時の応力振幅に換算した。

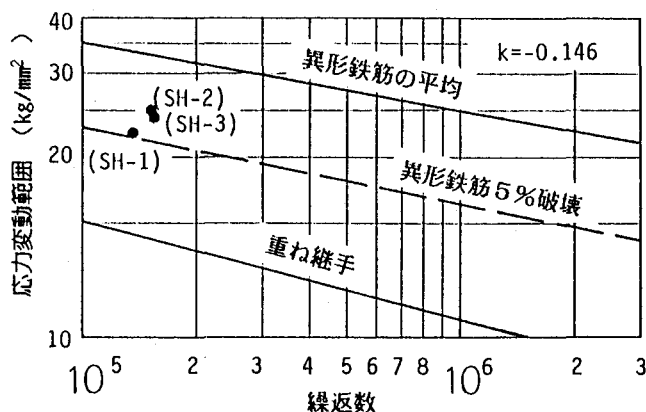


図5 異形鉄筋の疲労強度比較

SH-1の場合、

$(16/22)^{-1/k} + (18/22)^{-1/k} + (20/22)^{-1/k} + 0.50 = 0.113 + 0.253 + 0.520 + 0.500 = 1.39$  即ち、 $2 \sim 24t (=0 \sim 22t)$ を $1.39 \times 10^5$ 回、受けたことになる。

SH-2の場合、 $(19/25)^{-1/k} + (21/25)^{-1/k} + (23/25)^{-1/k} + 0.50 = 0.153 + 0.303 + 0.565 + 0.500 = 1.52$  即ち、 $2 \sim 27t (=0 \sim 25t)$ を $1.52 \times 10^5$ 回、受けたことになる。

SH-3の場合、 $(22/24)^{-1/k} + 1.00 = 0.551 + 1.00 = 1.55$  即ち、 $2 \sim 26t (=0 \sim 24t)$ を $1.55 \times 10^5$ 回、受けたことになる。

これらの結果を図5の中にプロットするといずれも95%破壊確率の中には入っているが、平均線よりは相当下っていることがわかる。換算の仕方にも問題はあろうが、今回の継手で鉄筋が破断した箇所はいずれもコンクリートブロックの境目であり、偏心の影響などがここに集中して現れたことなどが強度低下の理由であると思われる。

図の中に参考文献(2)に基き異形鉄筋の重ね溶接したものの疲労の線も記入したが、3点ともこれよりは相当高い値となっている。即ち、合成構造で鉄筋を鉄骨に溶接するとその疲労強度は低下するが、今回の型式の継手は耐疲労的に見ても、より好ましいものであると言える。

(9) 静的試験と疲労試験の主な損傷箇所を比べると表4のようになるが、今回扱った継手について静的にはSH-2あるいはSH-3程度、また、疲労的にはSH-1程度のプロポーションで良いと考えられる。

## 6. 結論

この継手の力の伝達は基板—スタッド—コンクリート—異形鉄筋—コンクリート—スタッド—基板という径路をたどっているが、実構造では一般に強度のバラツキの少ない鉄筋や基板が継手の強度を支配する様なプロポーションにするのが良い。即ち、継手としては全強となる様にする事が望ましい。

本方式の継手により、現場の寸法誤差が比較的大きく吸収でき、急速施工にも適し、また、繰返し荷重がかかる場合、鉄骨に鉄筋を直接溶接した鋼・コンクリート継手よりも疲労に対して強い継手が得られることが今回の実験により把握され、実用可能であることが示唆された。場合により鋼部材同志の接合にも応用できると考えられる。なお、現在、理論解析やフープ鉄筋などの影響を調べるための実験を継続中である。

### 《参考文献》

- (1) 石橋忠良他、「コンクリート構造物の疲労設計(1)」、構造物設計資料、No.70、日本鉄道施設協会、1982年6月
- (2) W.W. Sanders, Jr. "Progress Report of the Investigation of the Behavior of Welded Highway Structures", University of Illinois, October, 1962