

(77) 鉄筋継手の違いによるRC床版の動的挙動の比較

川田建設(株)開発部 正会員 大澤 浩二  
 同 上 正会員 ○ 劉 新元  
 同 上 正会員 渡部 寛文  
 同 上 正会員 新井 達夫

1. はじめに

道路橋における床版分割施工の省力化を目的として、川田建設では鉄筋のプレハブ化を進めてきた。また、プレハブ鉄筋による施工の合理化として継手構造の簡略化を図っている。継手構造の挙動と耐力性能を調べるため、過去に、継手構造の違いによる4タイプの床版試験体を製作し、静的曲げ載荷試験<sup>1)</sup>を行った。その結果、提案した半ラップずらし継手を使用した部材の耐力と変形性能は、従来法とほぼ同等の性能を有することがわかった。

今回は、継手構造の違いによるRC床版の疲労に対する耐久性能を確認するため、定点繰り返し載荷試験を行ったので、その試験内容と検討結果について報告する。

2. 実験概要

(1) 試験体の概要

試験体の形状寸法を図-1に示す。試験体は長さ4.0m(支間3.6m)、断面を70×31cmの床版モデルとした。配筋は軸方向筋(D19, SD345)を取り囲む形にスターラップ筋(D10, SD295)を10cm間隔に配置した。試験で用いた各タイプの重ね継手構造を図-2に示す。RC床版の鉄筋継手構造の違いについて検討することを意図して半ラップ継手、従来法継手、継手なしの3タイプの試験体を製作した。ここで、半ラップ継手(T1)はラップ長を従来通り(30d)とし、ずらし長をラップ長の半分とした重ね継手である。従来法継手(T2)は重ねた部分の端部同士を25dずらした従来の継手形式である。継手なし(T3)は継手を設けない通し筋である。

(2) 使用材料

使用した材料は各タイプとも共通とし、コンクリートは最大骨材寸法20mm、スランプ8cm、目標圧縮強度35N/mm<sup>2</sup>の早強コンクリートである。試験体と円柱供試体は、打設後から載荷試験日まで気乾(現場)養生を行った。試験期間中のコンクリートの材令は約1~3カ月である。試験開始時におけるコンクリートの圧縮強度は円柱供試体により確認することとし、その結果を表-1に示す。

(3) 測定項目および試験方法

測定項目は、コンクリートと鉄筋のひずみおよびたわみとした。

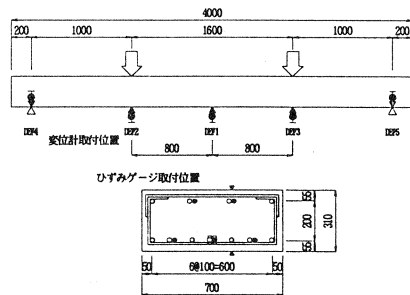


図-1 試験体形状

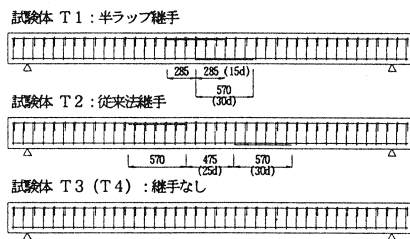


図-2 試験体タイプによる鉄筋重ね継手の比較

表-1 材料試験結果

| コンクリート     |     | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾塑性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|------------|-----|------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| T 3        | 45日 | 32.2                         | 3.0                          | 28.1                           |
| T 2        | 67日 | 34.3                         | —                            | 26.9                           |
| T 4        | 82日 | 33.6                         | 3.1                          | 26.6                           |
| T 1        | 86日 | 34.5                         | —                            | 26.5                           |
| 平均         |     | 33.7                         | 3.1                          | 27.0                           |
| 鉄筋         |     | 降伏強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 引張強さ<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 弾塑性係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
| SD345(D19) |     | 403.1                        | 555.1                        | 212.2                          |

写真-1に載荷状況を示す。試験は曲げスパンを160cm、せん断スパンを100cmとして2点載荷で行った。疲労試験は正弦波繰返し荷重を3Hzの載荷速度で行った。繰返しの上限荷重は、床版の設計荷重に相当する荷重として試験体自重を考慮した実載荷荷重73kNとした。ここで、設計荷重とはRC床版試験体にB活荷重が載荷された時の橋軸方向曲げモーメントより求めたものである。下限荷重は実載荷荷重13kNとした。繰返し荷重による剛性低下を測るため、疲労試験開始後載荷回数が、1, 3, 10, 30, 10<sup>2</sup>, 3×10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup>, 3×10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup>, 3×10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup>, 3×10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup>, 2×10<sup>6</sup>、に達した時に試験機の運転を停止し、上限荷重まで静的載荷してコンクリートと鉄筋のひずみ、床版のたわみの測定を行った。また、200万回繰返し載荷に達しても破壊しないものについて静的載荷による疲労残留耐力試験を行った。なお、疲労載荷後の残留耐力と比較するため、継手なしタイプ試験体(T4)を無疲労状態で静的単調載荷を行った。

### 3. 実験結果および考察

#### (1) ひびわれ性状

図-3に200万回後の各試験体のひびわれ性状を示す。ひびわれは繰返し載荷に伴い圧縮縁に向かってほぼまっすぐに進展した。進展状況については、継手の無い試験体では均等に伸びたのに対し継手を有する試験体においては非継手部に比して継手部での伸び小さく、継手端部付近の伸びが大きかった。純曲げ区間に発生したひびわれ本数について着目すると、半ラップ継手と継手なしの両タイプのひびわれ発生本数が若干多いことがわかった。ひびわれの分散性に関しては、継手の有無により顕著な相違が見られなかった。しかし、継手を有する試験体においては、継手部のひびわれ本数が非継手部に比べて若干少なく、また、ひびわれ間隔が僅かに大きくなる傾向が認められた。これは、継手部分の鉄筋量が大きく剛性が高いことと継手端部に応力が集中することに起因すると考えられる。この継手部以外の一般部については、継手の無い試験体とひびわれ間隔はほぼ等しく、継手の影響は認められなかった。

#### (2) 変位性状

200万回載荷に達しても各試験体とも疲労破壊には至らなかった。初回および200万回後に行った静的載荷結果を表-2に示す。変位は引張側無視とした計算値と比べて上限荷重時でやや小さいが、下限荷重時にはその2~3倍大きい値を示した。また、変位振幅は引張側無視とした計算値の約30~40%であった。なお、ここで変位振幅とは上限荷重と下限荷重での変位差を、残留変位は初回の変位量に対する差分(下限荷重時)を示している。

スパン中央の上限, 下限荷重時の変位、変位振幅、残留変位と載荷回数との関係を図-4に示す。a) 各試験

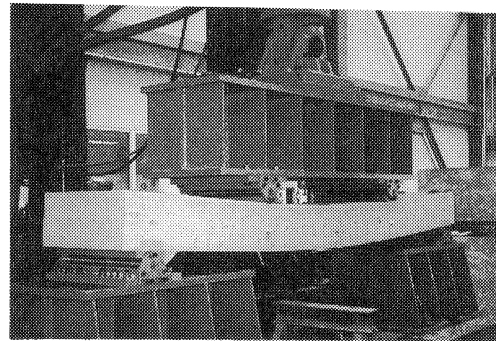


写真-1 載荷状況

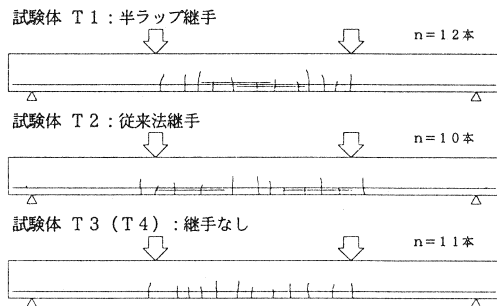


図-3 試験体のひびわれ状況

表-2 疲労試験結果一覧表

|           |       | 実 験 値      |           |            | 理 論 値     |           |
|-----------|-------|------------|-----------|------------|-----------|-----------|
|           |       | 半ラップ<br>T1 | 従来法<br>T2 | 継手なし<br>T3 | 全断面<br>有効 | 引張側<br>無視 |
| 疲労破壊      |       | なし         | なし        | なし         | —         |           |
| 上限荷重時変位   | 初回    | 1.54       | 1.23      | 1.33       | 0.97      | 3.46      |
|           | 200万回 | 3.26       | 2.31      | 2.83       |           |           |
| 下限荷重時変位   | 初回    | 0.71       | 0.65      | 0.61       | 0.17      | 0.62      |
|           | 200万回 | 2.10       | 1.36      | 1.64       |           |           |
| 変位振幅      | 初回    | 0.83       | 0.58      | 0.72       | 0.80      | 2.84      |
|           | 200万回 | 1.16       | 0.95      | 1.19       |           |           |
| 下限荷重時残留変位 |       | 1.39       | 0.71      | 1.03       | —         |           |

単位:(mm)

体とも載荷に伴い変位が増加する傾向にあった。b)変位振幅は各タイプの試験体がほぼ同様な傾向を示し、初回載荷で全断面有効値を若干上回った後、繰返し載荷に伴う顕著な増加がなくほとんど水平に推移した。今回の設計荷重による疲労試験では荷重レベルが低いため、変位振幅にはっきりした変化がなく、変位振幅による断面剛性の低下を確認することができなかった。しかし、c)残留変位が増加することから、繰返し載荷に伴い試験体が徐々に剛性が低下したことが推測でき、特に30万回以降の勾配が若干変わった様子からでも剛性低下することが伺える。

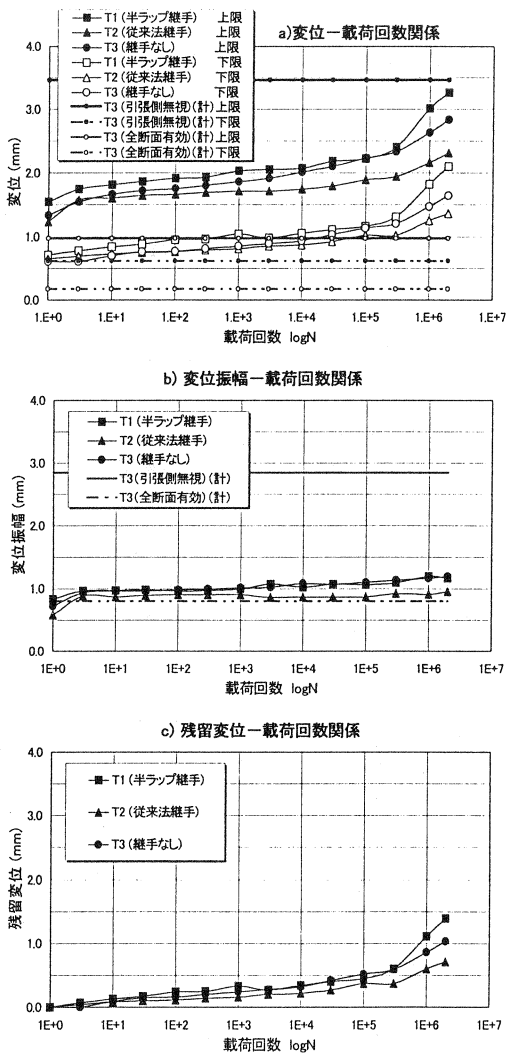


図-4 疲労載荷に伴う各試験体の変位性状

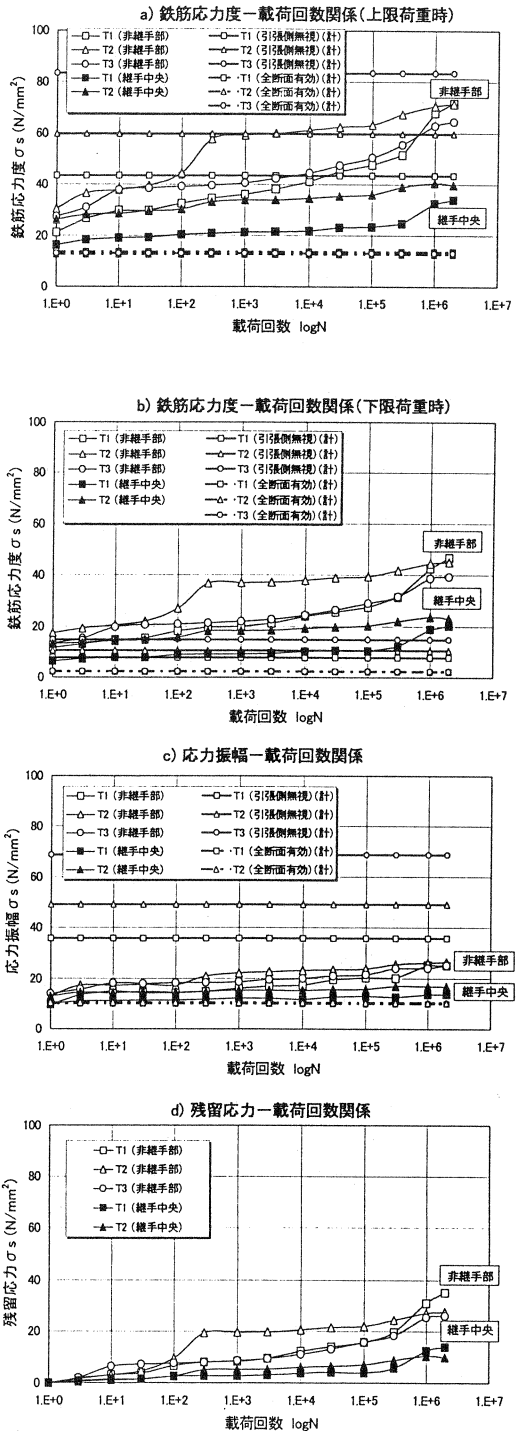


図-5 疲労載荷に伴う鉄筋応力変化

表-3 疲労载荷後の継手部付近鉄筋応力度

単位:(N/mm<sup>2</sup>)

|           |       | 半ラップ継手タイプ(T1) |              |           |           | 従来法継手タイプ(T2) |              |           |           | 継手なしタイプ(T3) |           |           |
|-----------|-------|---------------|--------------|-----------|-----------|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|
|           |       | 実 験 値         |              | 計算値(継手中央) |           | 実 験 値        |              | 計算値(継手中央) |           | 実験値         | 計算値       |           |
|           |       | 非継手<br>部      | 継手<br>中<br>央 | 全断面<br>有効 | 引張側<br>無視 | 非継手<br>部     | 継手<br>中<br>央 | 全断面<br>有効 | 引張側<br>無視 | 非継手<br>部    | 全断面<br>有効 | 引張側<br>無視 |
| 上限荷重時応力   | 初 回   | 21            | 16           | 12        | 43        | 30           | 26           | 13        | 60        | 24          | 13        | 83        |
|           | 200万回 | 72            | 34           |           |           | 71           | 40           |           |           | 64          |           |           |
| 下限荷重時応力   | 初 回   | 12            | 6            | 2         | 8         | 17           | 13           | 2         | 11        | 13          | 2         | 15        |
|           | 200万回 | 47            | 20           |           |           | 45           | 23           |           |           | 39          |           |           |
| 応 力 振 幅   | 初 回   | 10            | 10           | 10        | 36        | 13           | 13           | 10        | 49        | 14          | 11        | 69        |
|           | 200万回 | 25            | 14           |           |           | 26           | 17           |           |           | 25          |           |           |
| 下限荷重時残留応力 |       | 35            | 14           | —         |           | 28           | 10           | —         |           | 26          | —         |           |

(3) 応力分布

表-3は、疲労载荷後の継手中央と継手端部母材鉄筋（以下非継手部とする）でのひずみ実測値から求めた鉄筋応力度を示したものである。応力度は非継手部より継手部が小さい値である。これは、継手部の見掛け上の鉄筋増量により断面剛性が高くなり、同じ純曲げ区間内において非継手部よりひずみが小さくなるからである。同じ理由で、従来法継手より半ラップ継手の方は若干小さいのがわかった。また、引張側無視とした計算値に比べて継手部と非継手部とも、上限荷重時で若干小さい約70~80%となったが、下限荷重時ではその2~3倍の値を示す。応力振幅は引張側無視とした計算値の約1/3程度である。残留応力は、非継手部で 30N/mm<sup>2</sup>前後、継手部で10N/mm<sup>2</sup>前後である。

図-5は、継手付近における上限、下限荷重時の鉄筋応力度、応力振幅、残留応力と载荷回数との関係を示したものである。各試験体とも同様な傾向を示している。c)応力振幅は非継手部で僅かながら増加する傾向より疲労耐力が若干低下したこと、また、継手部でほとんど変化がなく、ほぼ水平に推移したことより疲労耐力低下はほとんどしないと見える。よって、非継手部における挙動について各タイプ間では顕著な差が認めなかった。部材に半ラップ継手または従来法継手を配置しても疲労耐力低下に与える影響がほとんどなく応力伝達上では継手を有しない非継手部に遜色なく健全であることがわかった。

d)残留応力については継手部が非継手部の約1/3程度であり、半ラップ継手が僅かに大きい、どのタイプもほぼ同程度である。また、非継手部では継手を有しないタイプを含めほぼ同程度であることより、継手の配置が継手端部の残留応力度に与える影響はわずかであり問題にならない程度であると思われる。

(4) 継手部の挙動

図-6は、半ラップ継手と従来法継手の各载荷回数における上限荷重による重ね継手部付近のひずみ分布と鉄筋張力分布を示したものである。ここで、鉄筋張力は各部鉄筋ひずみ平均値から求めたものである。a)b)継手部各断面における鉄筋1と鉄筋2のひずみがほとんど同じ値を示すことから、継手部鉄筋が一体となって抵抗していることがわかった。

荷重の増加に伴い、途中からひずみが減少または増加していない箇所 (a) 半ラップ継手の断面3、b)重ね継手の断面5)で、局部的に付着が損なわれていることが推測できるものの、同時に、同一箇所にある他方の鉄筋のひずみが急に増加することで、応力が確実に伝達されていることがわかった。また、継手部内各断面におけるひずみの平均値はほぼ一定であり、それを鉄筋張力分布図 c)d)でみると、継手部内ではほぼ一定であることから判るように、継手端部に部分的に付着が切れても継手の機能を損なうことはなく、継手部全体としての応力伝達機能はまだ健全であるといえる。

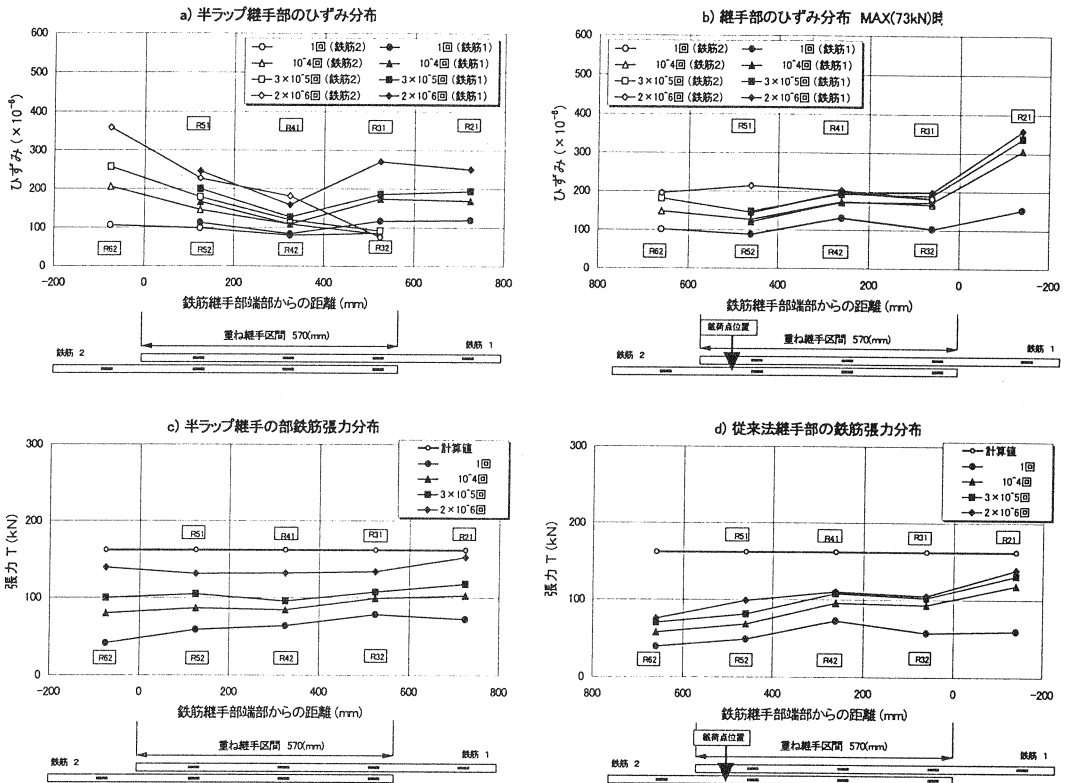


図-6 継手におけるひずみおよび鉄筋張力分布

表-4 残留耐力試験 (疲労後) 一覧表

|            | 実 験 値      |           |            |            | 計算値 |
|------------|------------|-----------|------------|------------|-----|
|            | 疲労試験体      |           | 無疲労        |            |     |
|            | 半ラップ<br>T1 | 従来法<br>T2 | 継手なし<br>T3 | 継手なし<br>T4 |     |
| 部材降伏荷重(kN) | 382        | 374       | 368        | 377        | 358 |
| 部材終局荷重(kN) | 475        | 417       | 442        | 426        | 371 |
| 部材破壊荷重(kN) | 505        | 457       | 478        | 482        | —   |

(5) 疲労残留耐力

表-4に、200万回疲労載荷後の残留耐力試験における各試験体の降伏および終局荷重を示す。ここで終局荷重とは部材コンクリート上縁圧縮ひずみが3500 $\mu$ に達した時の耐力である。残留耐力試験における各試験体の破壊形態は、いずれも引張鉄筋が降伏した後に上縁コンクリートが圧壊する、いわゆる曲げ引張破壊であった。各疲労試験体の降伏および終局耐力がほぼ同程度であり、継手の違いによる疲労残留耐力の差が

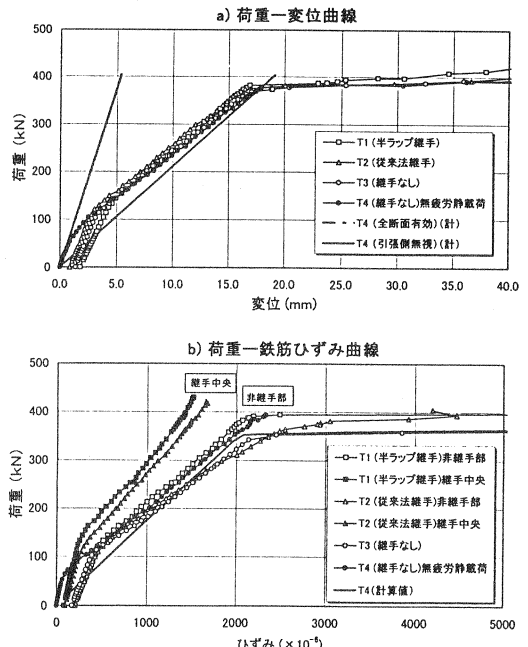


図-7 残留耐力試験の変位およびひずみ曲線

見られなかった。また、無疲労载荷の試験体(T4)と比べても耐力低下がなく、疲労载荷による耐力低下の影響がほとんどないと思われる。

疲労载荷試験体と無疲労試験体の荷重-変位曲線、荷重-鉄筋ひずみ曲線を図-7に示した。疲労载荷で部材に残留変位の差が生じたが、残留耐力静载荷では無疲労試験体を含めて、荷重変位曲線の勾配も部材の降伏耐力も引張側無視とした計算値とほとんど一致している。また、疲労载荷後の継手部には残量応力が生じたが耐力的には全く問題なく非継手部が降伏に至っても重ね継手部の付着破壊による割裂破壊が生じなく健全であった。よって、設計荷重レベルの疲労载荷では、半ラップ継手と従来法継手の存在による部材の耐力低下に及ぼす影響がないと思われる。

#### 4. まとめ

以上の試験結果から、次のことが確認できた。

- 1) 本実験で用いた半ラップ継手方式では、設計荷重による200万回疲労载荷において疲労破壊せず、耐力的にも従来法継手に劣ることはなく、継手の無い試験体と同等であった。
- 2) 疲労载荷による剛性低下について半ラップ継手の存在による顕著な相違は認められず、残留変位については若干大きくなることが認められたものの、疲労耐力に及ぼす影響はなく、十分な耐力を保有していた。
- 3) 各試験体タイプ間での疲労耐力に関して有意な差は認められず、ほぼ同様な疲労特性を示した。また、無疲労载荷試験体とほぼ同様の降伏荷重および剛性が得られた。
- 4) 疲労残留耐力载荷においては半ラップ継手試験体の耐力は継手を有しない無疲労試験体と同等であり、200万回疲労载荷の影響は無く、変形性能も従来法継手に比べて特に劣ることはなかった。

#### 参考文献

- 1) 高橋・三戸・新井・北野：ホロナイ川橋（鋼2径間連続2主桁橋）P R C床版の設計・計画その2，PC技術協会第5回シンポジウム論文集，1995.10
- 2) 道路示方書・同解説 I 共通編 IIIコンクリート橋，日本道路協会，H6.2
- 3) コンクリート標準示方書～設計編～，土木学会，平成8年度版
- 4) レオンハルト：レオンハルトのコンクリート講座③「鉄筋コンクリートの配筋」，鹿島出版社
- 5) 西澤・岸谷・他：鋼・コンクリート構造物の耐久性シリーズ疲労，技報堂，1987.9