

## RC ループ継手の力学挙動に関する実験および解析的検討

## Experimental and Analytical Studies on Structural Behavior of the Loop Splice Joint

中村 定明\* 三浦 尚\*\*

Sada-aki NAKAMURA, Takashi MIURA

\* 工修 ピーシー橋梁株式会社 本社技術部 (〒105-0004 東京都港区新橋 6-17-19)

\*\* 工博 東北大学大学院 教授 工学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 06)

The RC loop splice joint is one of the most effective joint systems for precast concrete slab. However, the structural behavior and design criteria are not distinct. The tensile strength tests using reinforcing bars with buried straightgates have been carried out. Through the experiment, important structural behaviors, such as steel strain distribution and bearing force of the joint system were revealed. Moreover, in this study, non-linear 3D-FEM analyses were conducted and compared with experimental results. Some important factors to determine the structural behavior of the joint system were distinct through the analysis.

**Key Words:** loop splice joint, reinforcing bar with buried straightgates, non-linear 3D-FEM analysis

## 1. はじめに

近年、車両の大型化や交通量の増大によって既設道路橋の鉄筋コンクリート床版（以下、RC 床版）の損傷事例が報告されている<sup>1)</sup>。損傷を受けた RC 床版の補修・補強工法の1つにプレキャスト床版による床版取換工法が考えられる。プレキャスト床版による取換工法は、施工中の車線に対して、部分的な交通開放が可能であり、場所打ち施工に比べて工期が短く出来るなど多くの利点があり、今後ますます増加していくことが予想される。プレキャスト床版は、床版構造の弱点となりやすい接合部を合理的に設計・施工することが重要となる。特に、プレキャスト床版間の接合は現場施工となり、交通開放を行いながらの施工では急速施工が要求される。それ故、プレキャスト床版の接合部は、出来る限り小さくすることが望まれる。RC ループ継手（以下、ループ継手）は、直線部の付着力と曲線部の支圧力で鉄筋からの引張力をコンクリートに伝えるため、一般の重ね継手より継手長さを小さくすることができる。しかし、現状ではループ継手の合理的な設計に関する明確な設計法に関する研究は、ほとんど見られない。著者らは、ループ継手の合理的設計法の提案を行うため、半割したループ鉄筋内部にひずみゲージを貼付した割裂ループ鉄筋を用いた引張試験を実施し、その継手内部に作用する支圧力を求め、ループ継手の合理的な設計法の提案を行っている<sup>2)</sup>。本論では、ループ継手部の挙動を非線形FEM解析により数値解析し、実験結果との比較から、ループ継手の力学的挙動の把握および数値解析モデルの妥当性について検討を行うものである。

## 2. RC ループ継手の力学的挙動に関する実験的検討

## 2. 1 概要

海外におけるループ鉄筋の設計基準としては、ドイツのDIN1045がある。この基準の中で、ループ継手は重ね継手部分の付着力と曲線部分の支圧力の両方で鉄筋から伝達される引張力に抵抗するため、重ね継手長を短くできると説明している。しかし、DIN1045においても、ループ継手内部に作用する支圧力の大きさを規定する項目はなく、ループ鉄筋の重ね継手長の項目に支圧力の有効性を認めていない<sup>3)</sup>。ここでは、ループ継手の支圧力を直接求めるために、著者らが実施した割裂ループ鉄筋によるループ継手の引張試験結果について報告する。

## 2. 2 実験方法

## (1) 使用材料の力学的性質

試験供試体を使用したコンクリートの圧縮強度の目標値は、載荷試験時で  $40\text{N/mm}^2$  とした。表-1 にコンクリートの配合表、表-2 に載荷試験時（材齢5日）のコンクリートの強度試験結果を示す。鉄筋はSD345を使用し、ループ鉄筋にはD19、横方向鉄筋にはD16の鉄筋を用いた。鉄筋の実断面積は長さと重量を測定し断面積を測定した。割裂ループ鉄筋は、鉄筋内部に幅5mm×深さ2mmの溝加工を施したため、実断面積は  $258.1\text{mm}^2$  であった。鉄筋の諸元および引張試験結果を表-3に、割裂ループ鉄筋とひずみゲージの貼付状況を写真-1に示す。

## (2) 試験要因

表-4に試験要因の組合せを示す。本論文では、特に重ね継手長の違いをパラメータとして、検討を行うもので

ある。試験要因の基本ケース(Case-1)は、重ね継手長 300mm、継手間隔 75mm および横方向鉄筋量 D16-6 本とした。Case-2 は、重ね継手長を 200mm としたケースで、Case-3 は重ね継手長を 150mm とし、他の条件は同一とした。ただし、Case-3 は、ループ内の重ね継手長が短く、横方向鉄筋を 6 本配置できないため、2 本とした。ここで、各供試体とも割裂ループ鉄筋は、4 本のループ鉄筋のうち、内側および外側の各 1 本ずつに使用した。

表-1 コンクリートの配合表

| 水セメント<br>比 W/C<br>(%) | 細骨<br>材率<br>s/a<br>(%) | 単位量(kg/m <sup>3</sup> ) |           |              |              |               |
|-----------------------|------------------------|-------------------------|-----------|--------------|--------------|---------------|
|                       |                        | 水<br>W                  | セメント<br>C | 細骨<br>材<br>S | 粗骨<br>材<br>G | 混和<br>剤<br>SP |
| 35.0                  | 40.0                   | 145                     | 414       | 714          | 1078         | 2.14          |

表-2 コンクリートの強度試験結果

| 供試体数    | 圧縮強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | 割裂引張強度<br>(N/mm <sup>2</sup> ) | ヤング係数<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) |
|---------|------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 36(18)* | 44.0                         | 2.89                           | 29.5                           |

\*)圧縮強度は 36 体の平均,その他は 18 体の平均を示す。

表-3 鉄筋の引張試験結果

| 呼び<br>名 | 公称断<br>面積          | 実断面<br>積           | 降伏点   | 引張強度  | ヤング係数 |
|---------|--------------------|--------------------|-------|-------|-------|
|         | (mm <sup>2</sup> ) | (mm <sup>2</sup> ) |       |       |       |
| D19     | 286.5              | 273.7<br>(258.1)   | 383.8 | 557.2 | 195   |
| D16     | 198.6              | 191.4              | 387.3 | 561.8 | 194   |

\*) ( ) は、割裂ループ鉄筋の値を示す。

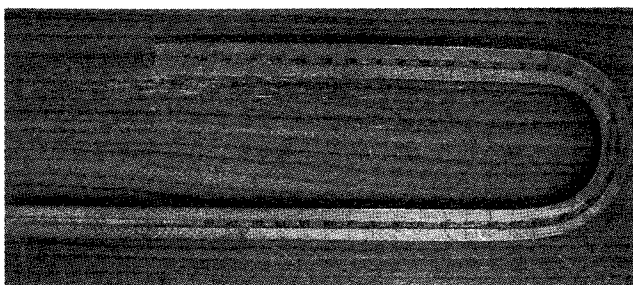


写真-1 割裂ループ鉄筋

表-4 試験要因の組合せ

| 供試体 番号 |          | 重ね継手<br>長<br>a (mm) | 継手間隔<br>b (mm) | 横方向<br>鉄筋量 c |
|--------|----------|---------------------|----------------|--------------|
| Case-1 | 300-75-6 | 300                 | 75             | D16-6 本      |
| Case-2 | 200-75-6 | 200                 | 75             | D16-6 本      |
| Case-3 | 150-75-2 | 150                 | 75             | D16-2 本      |

### (3) 試験供試体

図-1 に、供試体 300-75-6 の寸法を示す。供試体の厚さは、道路橋床版を対象とすることからループ鉄筋の最小曲げ半径( $d_{min}=4\phi=80\text{mm}$ ,  $\phi$ :鉄筋の公称直径)およびかぶり 30mm から 180mm とした。供試体端部からループ鉄筋端部までの距離は、鉄筋応力度  $140\text{N/mm}^2$  に対して、最大ひび割れ幅以上となるように定めた。この値は、三浦・瀬本の研究結果<sup>4)</sup>を参照し、鉄筋比 4.1%の鉄筋コンクリート部材に対する計算結果より 280mm とした。供試体幅は、ループ継手外での直角方向ひび割れを防止するため、横方向鉄筋の定着長を確保できる 800mm とした。

### (4) 試験方法

載荷は、図-2 に示すように、載荷フレーム上端に設置した 500kN 用センターホールジャッキを用い載荷治具を介して、供試体端部のループ鉄筋を緊張して引張力を与えた。荷重ステップは 5kN とし、引張鉄筋が降伏強度に達するか、ループ継手の破壊により耐力低下が生じるまで漸増載荷を行った。

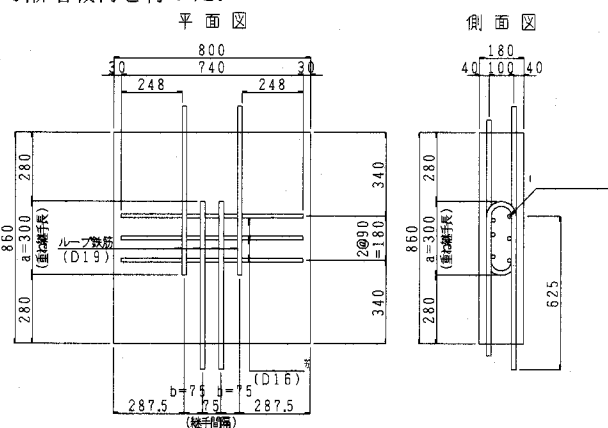


図-1 供試体寸法(300-75-6)

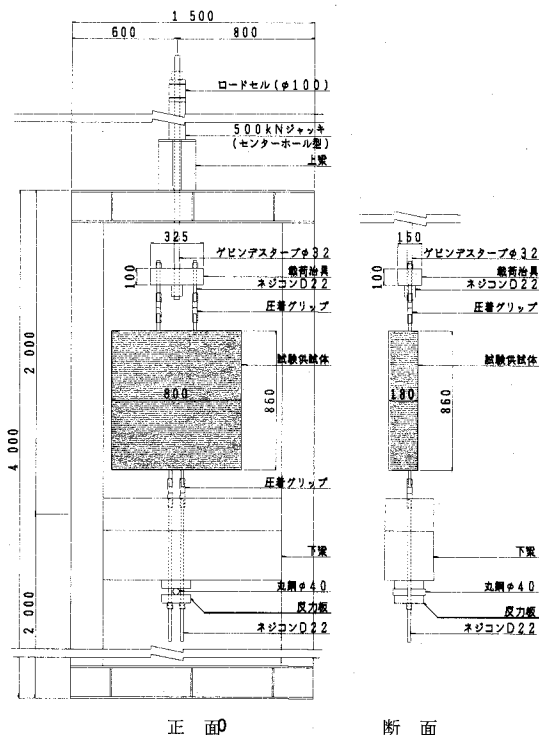


図-2 載荷フレームおよび載荷装置

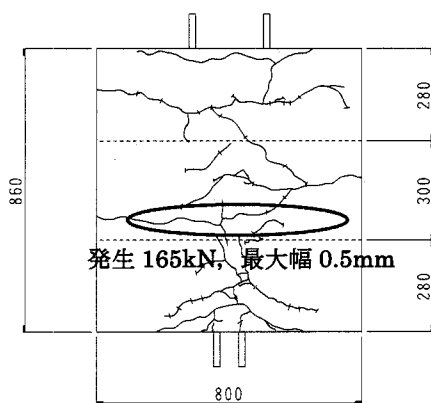
緊張方法について、参考文献3)ではループ上下の鉄筋がほぼ同じ引張力となることを前提として支圧力を求めているが、本研究では、床版に曲げモーメントの作用により引張側鉄筋に発生する引張応力によるループ継手の挙動を検討するため、片側の鉄筋にのみ緊張力を与えた。

## 2. 3 破壊形式および破壊荷重

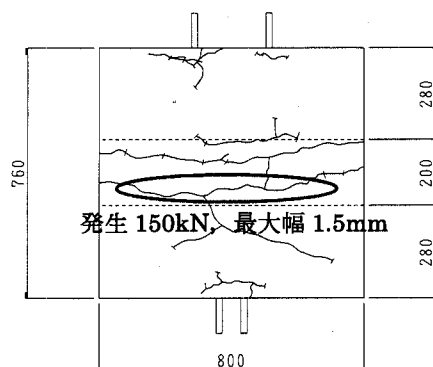
### (1) 破壊形式

各供試体の破壊形状を図-3に示す。この破壊形状から、破壊形式を以下の3つのパターンに分ける。

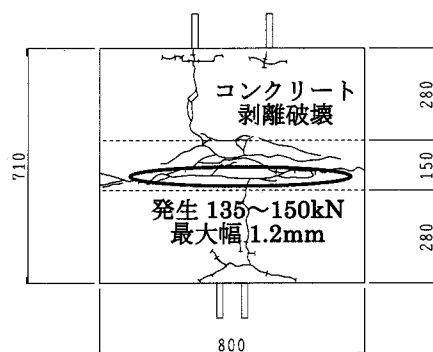
パターン①は、供試体 300-75-6 のケースで、載荷荷重 165kN でループ継手外側に水平方向のひび割れが発生した。その後荷重の増加とともにひび割れ幅が増加するがループ継手の耐力は維持され、最終的に引張鉄筋が降伏に至るケースである。鉄筋の降伏直前の最大ひび割れ幅



(a) 供試体 300-75-6 の破壊形状 (パターン①)



(b) 供試体 200-75-6 の破壊形状 (パターン②)



(c) 供試体 150-75-2 の破壊形状 (パターン③)

図-3 各供試体の破壊形状

は、約 0.5mm であった。パターン②は、供試体 200-75-6 のケースで、載荷荷重 150kN でパターン①より明らかに大きなひび割れ (幅 1mm 程度) が発生する。荷重増加によるひび割れ幅の増加速度もパターン①より大きい。ループ継手の耐力は維持され、最終的には引張鉄筋が降伏に至るケースである。鉄筋の降伏直前の最大ひび割れ幅は、1.4mm に達していた。パターン③は、供試体 150-75-2 のケースで、載荷荷重 155kN (1 体目は 135kN) でループ継手内に、幅 1.2mm 以上の最大ひび割れが発生し、その後荷重増加なくかぶりコンクリートが剥落して破壊に至った。

図-4 にひび割れ幅と引張鉄筋応力度 (載荷荷重/実断面積) の関係を示す。パターン②は、鉄筋降伏により終局状態に至るパターン①の破壊形式であるが、図-4 の関係からは、むしろパターン③に近い形になっている。つまり、供試体 200-75-6 の破壊形式はパターン①と③の境界付近に位置する破壊形式であると考察される。また、縦ひび割れについては、横方向鉄筋の影響を受けるが、詳細は参考文献2)で詳細に論じているので参照されたい。

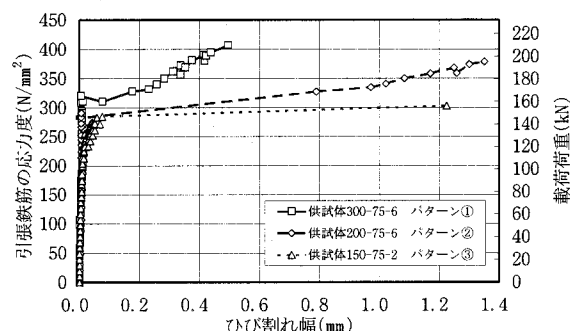


図-4 ひび割れ幅と引張鉄筋応力度の関係

### (2) 破壊荷重

表-5 に各供試体の破壊荷重を示す。表中の ( ) は、供試体が破壊荷重に達する前に除荷したため参考値とした。計算上の降伏荷重は、表-2 の鉄筋の引張試験結果から、 $P_y = \sigma_{sy} \times A_s \times 2 = 383.8 \times 258.1 \times 2 = 198\text{kN}$  である。ここで、鉄筋断面積は割裂ループ鉄筋の実断面積 (258.1mm<sup>2</sup>) を使用している。

重ね継手長が、300mm および 200mm の供試体は、引張鉄筋が降伏応力に達したのに対し、重ね継手長が 150mm の供試体は引張鉄筋が降伏前にループ継手内のコンクリートが完全に剥離して破壊した。この理由としては、図-5 に示すように、ループ継手に作用する力は、重ね継手部の付着力と曲線部の支圧力で、重ね継手長が十分長い場合は付着力が大きいため支圧力が小さくなる。しかし、重ね継手長が短い場合は支圧力が大きくループ継手内部のコンクリートに応力集中が生じ、その箇所のコンクリートが圧壊して鉄筋の定着が不十分となり、破壊に至ると考えられる。従って、本実験結果からは、継手長 200mm 以下の場合には、引張鉄筋の降伏前にループ継手部が破壊に至ることも考えられ、設計的な配慮が必要であると考えられる。

表-5 破壊荷重および破壊形式

| 供試体番号    | 1体目(kN) | 2体目(kN) | 破壊形式  |
|----------|---------|---------|-------|
| 300-75-6 | (177.4) | 209.9   | パターン① |
| 200-75-6 | (171.4) | 195.4   | パターン② |
| 150-75-2 | 136.5   | 156.0   | パターン③ |

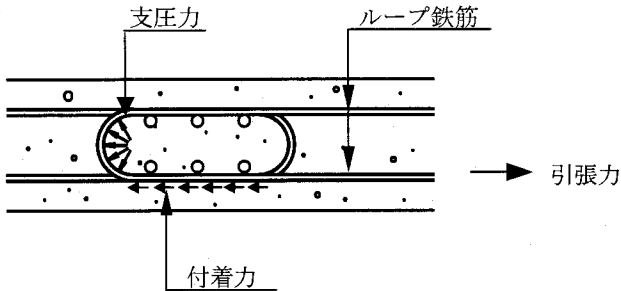


図-5 ループ継手の耐荷機構

## 2. 4 鉄筋ひずみ分布

図-6 および図-7 に重ね継手長 300mm と 150mm の各荷重状態における割裂ループ鉄筋のひずみ分布を示す。これらの図から明らかなように、供試体 300-75-6 は、載荷荷重 200kN でも直線部の付着力によって曲線部曲げ上げ点での鉄筋ひずみは  $500 \times 10^{-6}$  以下である。一方、供試体 150-75-2 は、載荷荷重 155kN 時で、曲線部曲げ上げ点において  $1000 \times 10^{-6}$  程度の鉄筋ひずみが計測された。これらから、明らかに重ね継手長が短い場合、高い支圧力が発生することが確認された。

## 2. 5 支圧力の計算

式(1)は、割裂ループ鉄筋のひずみ分布から曲線部に作用する支圧力の算出式である。

$$P_b = (\varepsilon_{s1} + \varepsilon_{s2}) \times E_s \times A_s \times 2 \quad (1)$$

ここで、

$P_b$  : ループ鉄筋 2 本当たりの支圧力で、内側ループおよび外側ループの平均値 (kN)

$\varepsilon_{s1}$  : 曲線部の曲げ上げ位置での鉄筋ひずみの測定値で、内側および外側ループ鉄筋の平均値 (図-6 中のゲージ No.S23)

$\varepsilon_{s2}$  : 曲線部の終点位置での鉄筋ひずみの測定値で、内側および外側ループ鉄筋の平均値 (図-6 中のゲージ No.S31)

図-8 に、式(1)で求めた支圧力と載荷荷重との関係を示す。各供試体とも 150kN から 160kN 付近で支圧力が急激に増加することが分かる。これは、150kN から 160kN 付近で図-3 示すループ継手部の水平方向のひび割れが生じたため曲線部の鉄筋応力度が増加し、支圧力の増加が生じたと考えられる。ひび割れ発生後、重ね継手長の短い供試体ほど支圧力の増加が大きく、供試体 150-75-2 では、載荷荷重約 160kN に対して、支圧力が 140kN(88%)

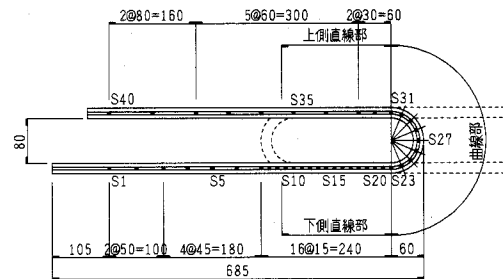
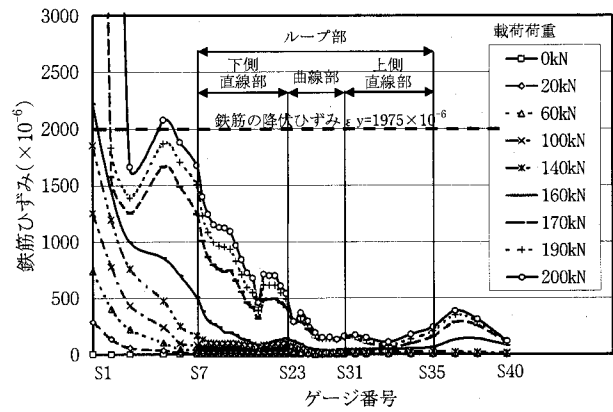


図-6 鉄筋ひずみ分布  
(供試体 300-75-6)

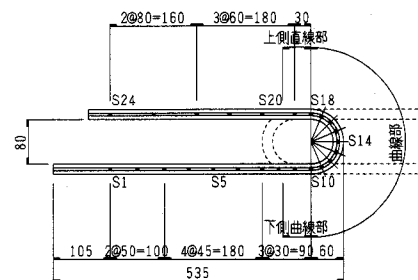
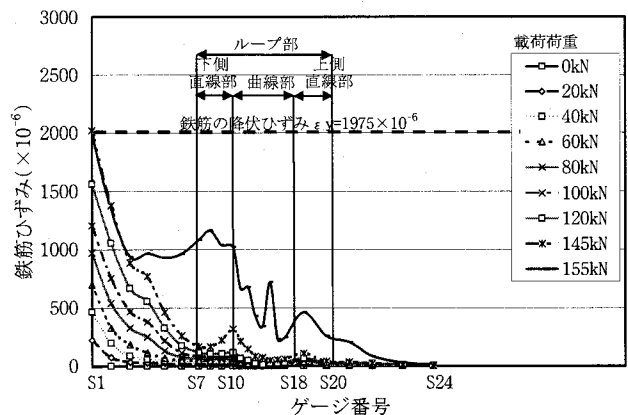


図-7 鉄筋ひずみ分布  
(供試体 150-75-2)

にも達していることがわかる。一方、供試体 300-75-6 では、載荷荷重 210kN に対して、支圧力は約 70kN(33%) であった。このように、重ね継手長が短い供試体では、ループ継手部のひび割れ発生とほぼ同時に大きな支圧力が生じ、その結果コンクリートの応力集中による局部的な圧壊から鉄筋の定着が不十分となり、破壊に至ったも

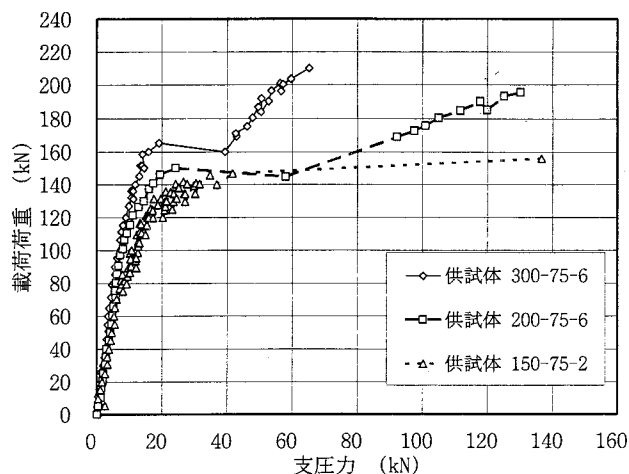


図-8 載荷荷重と支圧力との関係

のと考えられる。ここで、供試体 150-75-2 は、横方向鉄筋を 2 本としたためコンクリートの内部拘束効果が低下した影響とも考えられるが、参考文献 2) で横方向鉄筋を変化させた実験では、横方向鉄筋の影響も若干認められるが、重ね継手長の影響が最も支配的であるとの結果を得ている。

### 3. 非線形 FEM 解析によるシミュレーション

#### 3. 1 概要

ループ継手の力学的挙動を非線形 FEM 解析によりシミュレーションし、実験結果と比較することで、解析モデルの検証および今後の課題について検討する。

#### 3. 2 数値解析モデル

##### (1) 数値解析条件

本解析では、3 次元非線形 FEM 解析プログラム「ADINA」を使用した。主な解析条件を以下に示す。

- ①コンクリート要素：8 節点 3 次元ソリッド要素
- ②コンクリートの破壊条件：Kupfer モデル
- ③ひび割れモデル：分布ひび割れモデル
- ④コンクリートの応力ひずみ関係

図-9 にコンクリートの 1 軸応力状態における応力ひずみ関係を示す。また、コンクリートの特性値については、以下の値を使用した。

|           |                                       |
|-----------|---------------------------------------|
| 圧縮強度      | $f_{ck}=44.0 \text{ N/mm}^2$          |
| ヤング係数     | $E_c=29.5 \text{ kN/mm}^2$            |
| 引張り強度     | $f_t=2.89 \text{ N/mm}^2$             |
| ひび割れ時のひずみ | $\epsilon_t=98 \times 10^{-6}$        |
| 引張軟化特性    | $\epsilon_t * 8.0=784 \times 10^{-6}$ |

##### ⑤鉄筋の応力ひずみ関係

割裂ループ鉄筋の応力ひずみ関係を図-10 に、使用した鉄筋の特性値を以下に示す。

|        |                            |
|--------|----------------------------|
| ヤング係数  | $E_s=195 \text{ kN/mm}^2$  |
| 降伏強度   | $f_y=383.8 \text{ N/mm}^2$ |
| 降伏時ひずみ | $\epsilon_y=0.00198$       |
| 実断面積   | $A_s=258.1 \text{ mm}^2$   |

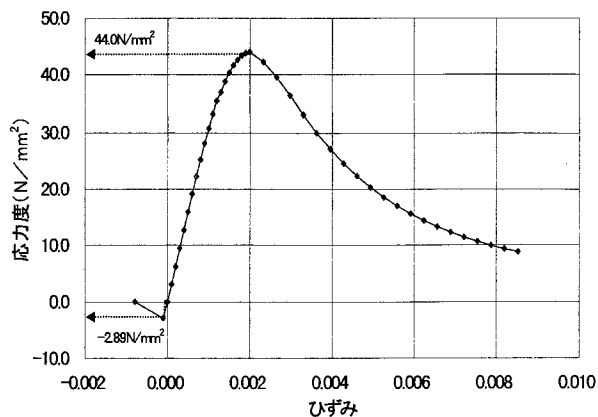


図-9 コンクリートの応力ひずみ関係

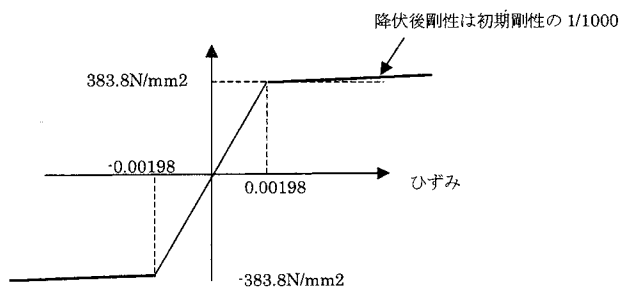


図-10 鉄筋の応力ひずみ関係

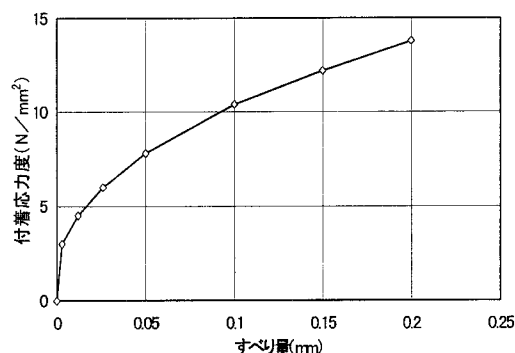


図-11 鉄筋とコンクリートの付着特性<sup>3)</sup>

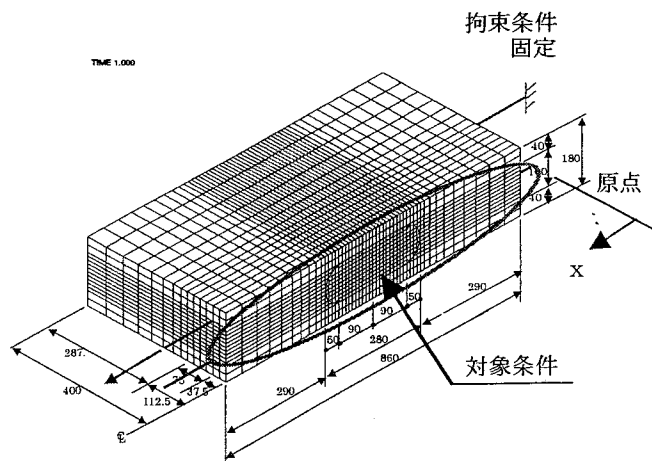


図-12 解析モデル図 (継手長 300mm モデル)

##### ⑥鉄筋とコンクリートの付着特性

鉄筋とコンクリート要素の付着特性は、三浦・瀬本の研究成果<sup>3)</sup>を参照して、図-11 に示す関係を用いた。ここで、今回の検討範囲では、0.2mm 以上のすべり量は発生しなかったため、解析上は 0.2mm 以降も付着応

力が保持されるとして解析を行った。

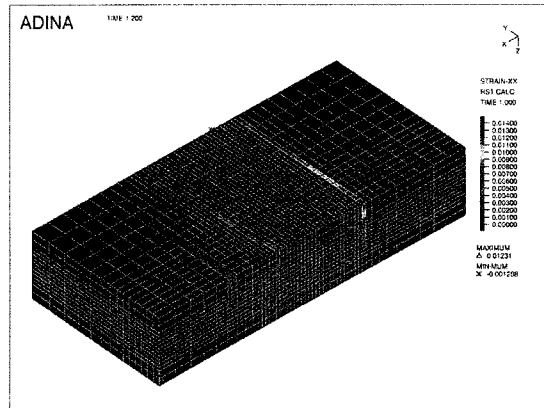
## (2) 数値解析モデル

図-12 に代表的な供試体 300-75-6 の数値解析モデル図を示す。解析モデルは、対象性を考慮して 1/2 モデルとした。外側ループ鉄筋の端部を固定し、内側ループ鉄筋に引張荷重を与えた。

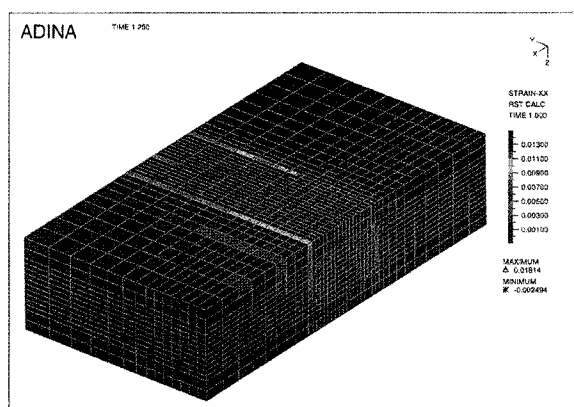
## 3. 3 解析結果および考察

### (1) コンクリートひずみ分布

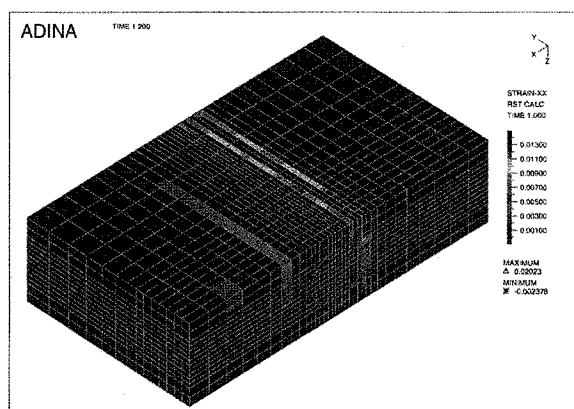
図-13 に載荷荷重 220kN 時での各供試体の X 方向(軸方向)のコンクリートひずみのコンター図を、図-14 には



(a) 継手長 300mm モデル

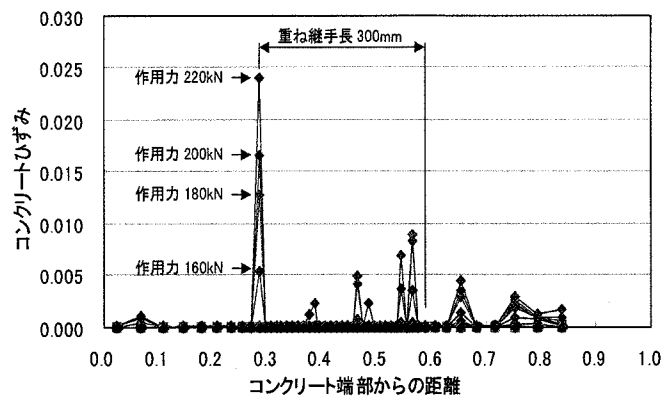


(b) 継手長 200mm モデル

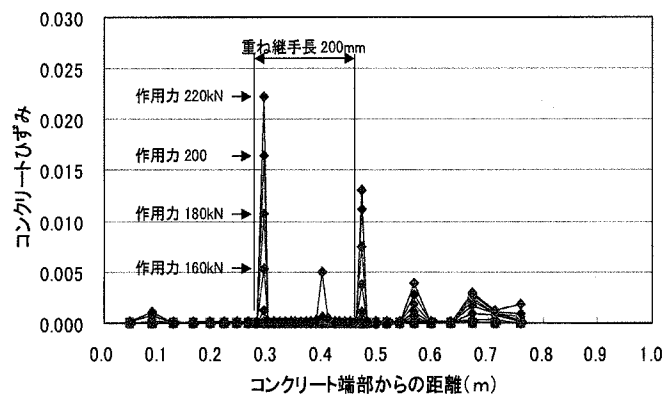


(c) 継手長 150mm モデル

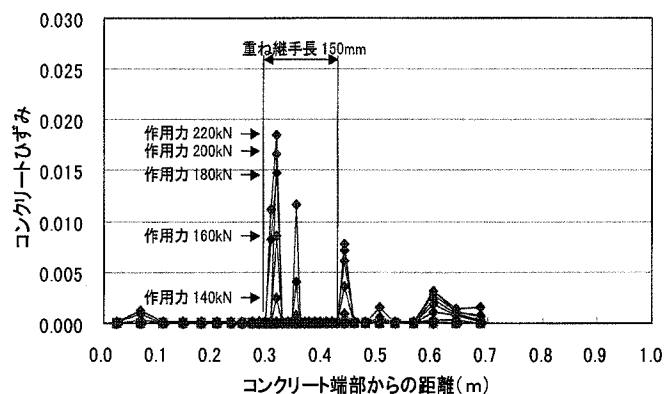
図-13 コンクリート表面のひずみ分布



(a) 継手長 300mm

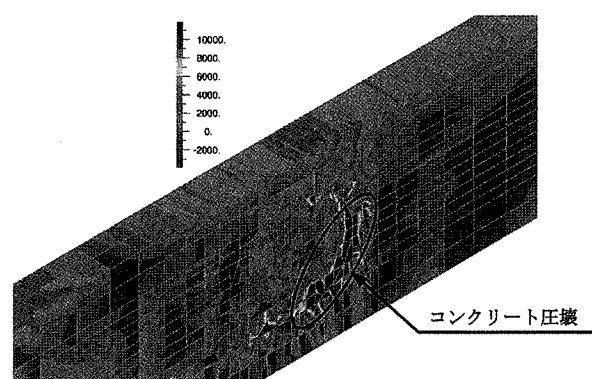


(b) 継手長 200mm



(c) 継手長 150mm

図-14 コンクリート表面のひずみ分布



220kN 作用時：ループ継手内コンクリート圧壊

図-15 コンクリート内部のひずみ分布  
(継手長 150mm モデル)

各荷重状態での X 方向のコンクリートひずみ値を示す。ここで、コンクリート端部からの距離は、図-12 に示す原点側のコンクリート端面からの水平距離を表す。図-13 に見られるように、全ての供試体ともループ継手内に大きな引張ひずみが生じるが、重ね継手長 300mm のモデルは重ね継手の端部に引張ひずみが集中しているのに対し、重ね継手長 150mm のモデルはループ継手内部にも大きな引張ひずみが発生している。これは、重ね継手長が短いほどループ内部の支圧力が大きくなり、コンクリート表面には逆に大きな引張応力が発生するため、図-14 に示される位置にひずみのピーク値が生じると考えられる。また、ループ継手に発生する引張ひずみのピークの初期値は、継手長 300mm では約 160kN、継手長 150mm では約 140kN で生じており、実験により確認されたひび割れ発生荷重と近い値であった。図-15 は、継手長 150mm の

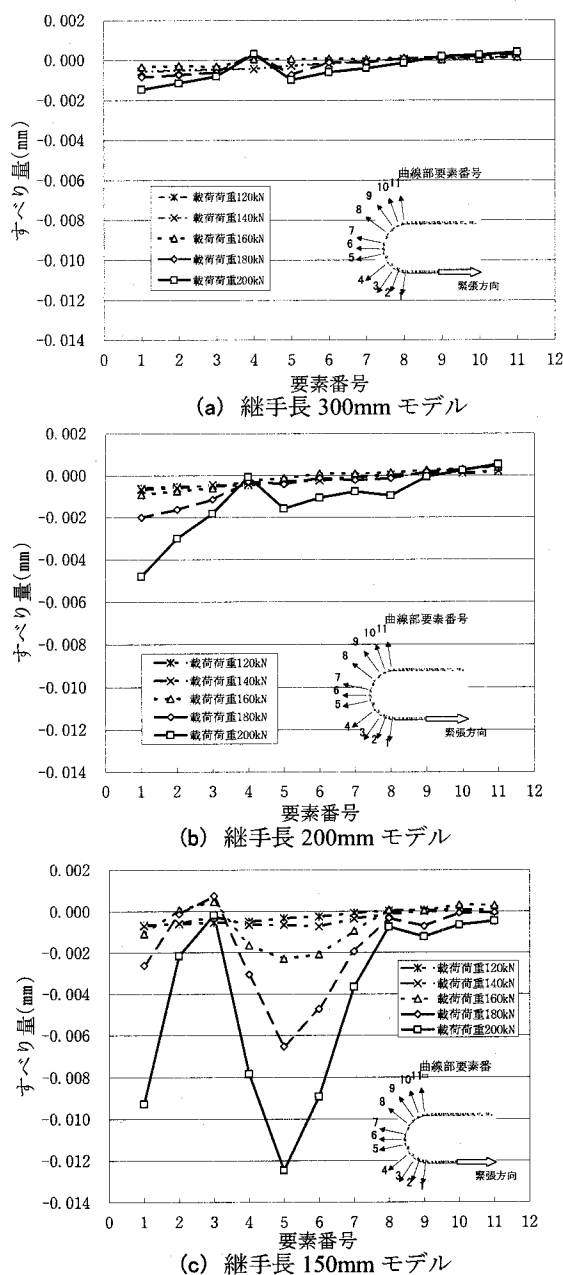


図-16 ループ鉄筋のすべり量

ループ継手内部のコンクリート応力度を示している。この図から、曲線部の支圧力によるコンクリートの応力集中によりコンクリートが局部的に圧縮強度に達していることが解析上からも確認された。尚、継手長 200mm および 300mm のケースでは、ループ内部のコンクリート応力度は、圧縮強度に達していなかった。

## (2) 鉄筋のすべり量

参考文献 3)には、ループ鉄筋は継手曲線部の応力集中によりコンクリートが圧縮強度に達するとループ鉄筋の定着が不十分となり継手内部のすべりが生じると記述されている。図-16 に各荷重状態におけるループ鉄筋のすべり量を示す。この図から、重ね継手長が 300mm の解析モデルでは、曲線部にほとんどすべりが発生していないが、重ね継手長が短くなる程すべり量が大きくなっている。図-15 には、継手長 150mm のループ内のコンクリートが圧縮強度に達しており、この位置でループ鉄筋のすべりが生じている現象と一致している。しかし、現状ではすべり量とループ継手破壊との関係を定量的に求めるには至っていないため今後の課題である。

## 3. 4 実験値との比較

### (1) ひび割れ発生荷重

図-14 から、継手長 300mm および継手長 200 の供試体では作用力 160kN、継手長 150mm の供試体では 140kN で、ループ継手部のコンクリート表面に引張ひずみの発生が見られる。このひずみ量は、コンクリートの表面にひび割れを発生させるのに十分な大きさである。

一方、実験による鉄筋ひずみ分布を示す図-6 を見ると、継手長 300mm では作用力が 160kN から 170kN の間に大きなひずみの増加が見られ、ひび割れがこの荷重付近で入ったものと考えられる。同様に、図-9 の継手長 150mm では 145kN から 155kN の間にひび割れが発生したものと考えられる。これらの結果から判断して、ひび割れ発生荷重については、FEM 解析は実験結果を比較的精度良く表していると考えられる

### (2) 破壊形式

今回の数値解析では、継手長 150mm モデルの場合も載荷荷重 200kN にて、引張鉄筋が降伏して破壊に至る破壊形式であった。これは、現状の数値解析モデルが、ひび割れ発生後の挙動および破壊形式を再現できていないことを示している。今後、以下の項目について検討を行うものとする。

- ・ ひび割れ後のコンクリートと鉄筋との付着モデルの関係
- ・ ループ継手内部の支圧力と破壊条件との関係
- ・ ループ継手の曲線部のずれ量とループ継手の破壊との関係

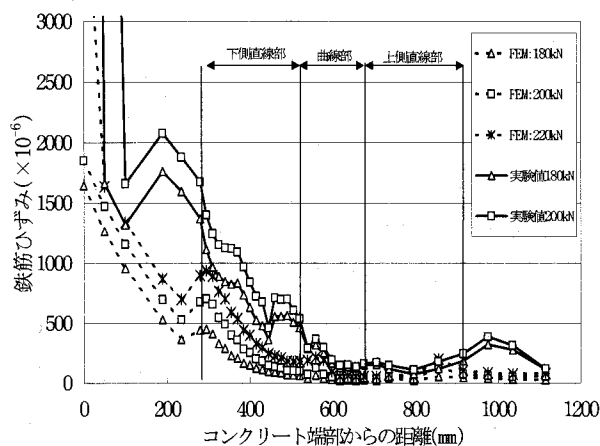
### (3) 鉄筋ひずみ

図-17 に継手長 300mm および 150mm の鉄筋ひずみの解析値と実験値との比較を示す。これらから、実験値と

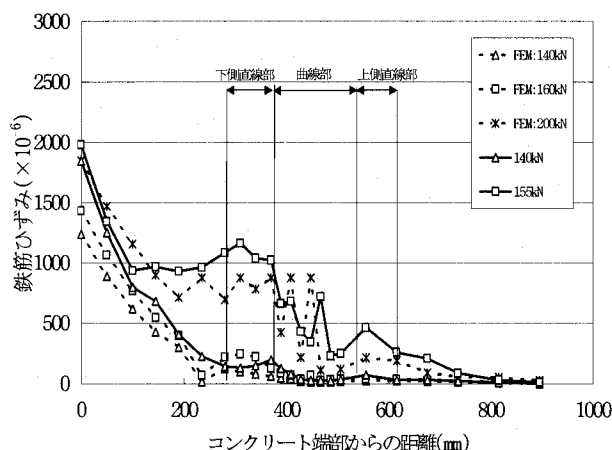
解析値のひずみ分布は、ほぼ同様な傾向を示すものの、同一ひずみに達するまでの荷重は、解析値が実験値より明らかに大きな値を示す。この原因としては、ひび割れ発生後のコンクリートと鉄筋との付着のモデル化に課題があると考えられ今後の課題である。

#### (4) 支圧力

図-18 に継手長 300mm, 200mm および 150mm の支圧力に対する FEM 解析値と実験値との比較を示す。この図から、載荷荷重が 80kN までは、継手長 300mm, 200mm および 150mm とも実験値と FEM 解析値は良く一致している。その後、実験による継手長 150mm の供試体 A-2 の傾きが小さくなり、継手長 200mm の供試体 A-1 は 120kN および継手長 300mm の供試体 Base は 160kN で傾きが急



(a) 継手長 300mm モデル



(b) 継手長 150mm モデル

図-17 実験値と解析値との比較 (鉄筋ひずみ)

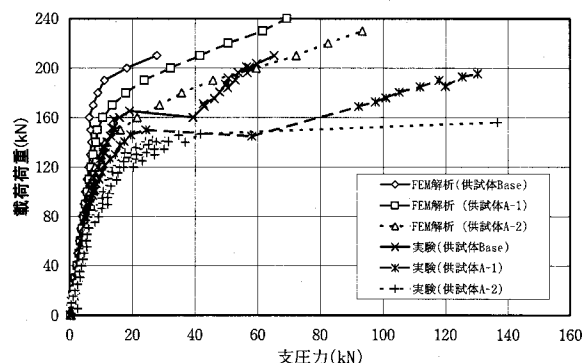


図-18 実験値と FEM 解析値との比較 (支圧力)

激に減少している。一方、FEM 解析の結果も同様に、継手長が短いほど小さい載荷荷重で傾きが減少する傾向にあるが、実験値ほど顕著に表れていない。この結果から、現状の数値解析では、他のデータと同様にループ継手部でのひび割れ発生までは支圧力の推定も比較的精度良く表されるものの、ひび割れ発生後の挙動については更に精度を上げるための検討を行う必要がある。特に、実験結果では、継手長に関係なく各供試体とも、ひび割れ発生後載荷荷重の増加なしに急激に支圧力が増加している部分 (傾きがほとんど水平の箇所) が認められるが、この現象についての説明が当面の課題と考える。

#### 4. 結論

ループ継手の力学的挙動を明らかにすることを目的として、割裂ループ鉄筋を用いた実験的検討および 3 次元非線形 FEM 解析による検討を行った。得られた知見を以下に示す。

- (1) ループ継手の破壊性状は、重ね継手長によって異なる。重ね継手長が 200mm 以下では引張鉄筋の降伏より前にループ継手部の破壊が生じる可能性があるため、設計的な配慮が必要である。
- (2) 重ね継手長の短いループ継手は、曲線部の支圧力が大きくなりコンクリートの圧壊により、ループ継手の定着が不足し、破壊に至ることと考えられる。また、継手長 150mm の供試体では、支圧力が全荷重の 90% 近くに至ることもあったことが分かった。
- (3) 数値解析結果は、継手長が短いモデルでは、ループ継手内部にも大きなコンクリートひずみの発生があることを示した。数値解析によるひび割れ発生荷重は、ほぼ実験値に近い値であった。また、継手長が 150mm のモデルでは、継手内部のコンクリートが圧縮強度に達しており、この部分の鉄筋の定着が不十分となり破壊に至るモードをシミュレーションできた。
- (4) 解析値と実験値との比較では、破壊形式、鉄筋ひずみ分布および支圧力において、整合しない部分が認められる。今後、解析精度を向上させるため、誤差原因について更なる調査検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) 建設省土木研究所：土木研究所資料 橋梁損傷事例写真集，土木研究所資料第 2652 号，pp.70-80，1988。
- 2) 中村定明，三浦尚：RC ループ継手の力学挙動に関する基礎的研究，土木学会論文集，投稿中。
- 3) F・レオンハルト，E・メニッヒ (著)，横道英雄 (監訳)：鉄筋コンクリートの配筋，鹿島出版会，pp.41-45 および pp.68-79，1985。
- 4) 三浦尚，瀬本浩史：RC 及び SRC 部材に発生する最大ひび割れ幅に関する研究，コンクリート工学年次論文報告集，pp.165-170，1989。

(2003. 9. 12 受付)