

# 鉄筋コンクリート部材のひび割れ量進展過程に関する実験的研究

## その3 実験結果

○高橋絵里<sup>1)</sup>・高橋典之<sup>2)</sup>・中埜良昭<sup>3)</sup>

- 1) 学生会員 東京大学大学院工学系研究科, 東京都目黒区駒場4-6-1, e-tkhs@iis.u-tokyo.ac.jp  
 2) 正会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場4-6-1, ntaka@iis.u-tokyo.ac.jp  
 3) 正会員 東京大学生産技術研究所, 東京都目黒区駒場4-6-1, iisnak@iis.u-tokyo.ac.jp

### 1. はじめに

鉄筋コンクリート部材のひび割れ量（ひび割れ幅、ひび割れ長さ、ひび割れ本数など）の進展過程についての基礎的なデータ収集を目的として、簡易な鉄筋コンクリート造部材の静的破壊実験を実施し、4種類の測定手法によりひび割れ幅を計測した。既報その1・その2<sup>1)</sup>では試験体概要および载荷方法、ひび割れ量計測方法について報告した。本報では実験結果概要を報告する。

### 2. 実験計画概要

本実験計画の詳細は文献1で報告しているため、本報では概略のみを紹介する。

#### 2.1 試験体

表1に試験体諸元を示す。試験体は、曲げひび割れの進展過程に着目した曲げ破壊試験体（F-1試験体）とせん断ひび割れの進展過程に着目したせん断破壊試験体（S-0およびS-1試験体）である。各試験体の断面、配筋間隔、かぶり厚など幾何学的形状は同一とし、材料強度により破壊形式が異なるよう計画した。

#### 2.2 载荷方法

図1に载荷履歴を示す。载荷方法は水平一方向正負交番载荷を基本とするが、除荷後に直前のピークとは逆方向への小振幅を経験させることで残留変位がほぼゼロ（以下、原点近傍）になる場合を含むように载荷履歴を計画した。

#### 2.3 ひび割れ計測方法

ひび割れの計測は、载荷ピーク時および除荷時においては载荷方向で生じたひび割れを、原点近傍時においては正負両载荷方向で生じた全ひび割れを計測対象とした。ひび割れ幅の計測手法には、①クラックスケール（測定者3名）、②デジタルノギス（測定者1名）、③デジタルカメラ、④スキャナ、の4通りの方法を用いた。なお、①では測定者による計測のばらつきを検討するため3名により測定し結果を比較検討し

表1 試験体諸元

試験体名	部材断面 [mm]	試験区間 高さ [mm]	コンクリート 強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	主筋・ 引張鉄筋比	主筋降伏 強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	せん断補強筋・ せん断補強筋比	せん断補強筋 降伏強度 [N/mm <sup>2</sup> ]
F-1 試験体	240 30 180 30	683	30 (35)	8-D13	295 (351)	D4@60	295 (385)
S-0, S-1 試験体	200		18 (26)	0.0121	785 (902)		0.0022

た。①、②の手法については、ひび割れ計測位置に関するルールを図2のように定めた。

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊性状および荷重変形関係

S-0試験体とS-1試験体は全く同じ設計のため、本報では、F-1試験体とS-1試験体の2体について結果を記す。図3に両試験体の荷重－変形関係および±1/25サイクル終了時の破壊状況を示す。

##### [F-1試験体]

+1/500サイクル载荷途中で曲げひび割れが確認され初期剛性が低下した。その後、試験体脚部を中心に曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れが伸展した。図3(a)中で試験体上部に見られるひび割れの多くは試験体製作時に生じた乾燥収縮ひび割れであり、载荷過程で伸展することはなかった。+1/100サイクル载荷途中で引張側主筋が降伏し、剛性低下した。曲げ降伏後も耐力低下の小さい安定した紡錘形のループを描いたが、2回目の-1/50サイクル载荷途中でせん断補強筋が降伏してからスリップ性状が表れ始めた。

##### [S-1試験体]

+1/500サイクル载荷途中で曲げひび割れが確認され初期剛性が低下した。+1/100サイクルピーク時に試験体中央に明瞭なせん断ひび割れが発生し、その後せん断ひび割れが伸展した。-1/75サイクル载荷途中でせん断補強筋が降伏するまでは除荷時残留変位が極めて小さい原点指向型の履歴を示し、せん断補強筋降

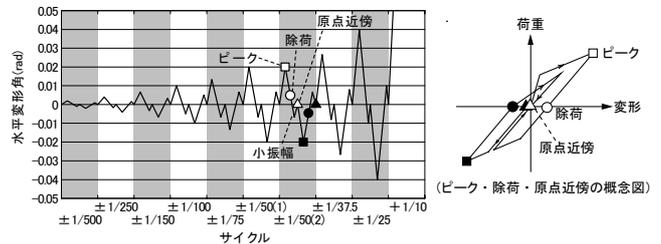


図1 载荷履歴

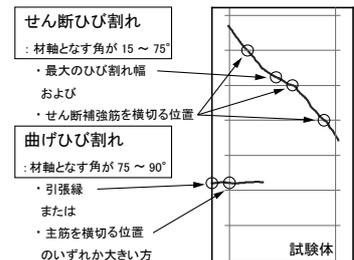


図2 ひび割れ計測位置

( )内は材料試験結果を示す。

伏後は力の向きが反転すると同時に大きくスリップする履歴を示した。+1/37.5サイクル以降、せん断ひび割れから付着割裂ひび割れが試験体全域へと伸展した。高強度鉄筋を使用した主筋は明瞭な降伏を示さず、最大耐力を示した±1/37.5のサイクル以降は、耐力が徐々に低下した。

### 3.2 ひび割れ幅の推移

図4に①クラックスケールで計測したひび割れ幅の推移を示す。各計測点において、計測された曲げひび割れおよびせん断ひび割れのうち最大ひび割れ幅のみをそれぞれプロットしている。

F-1試験体は終始曲げひび割れが支配的であり、曲げ降伏した±1/100サイクルで曲げひび割れ幅が急増している。S-1試験体は、明瞭なせん断ひび割れが表

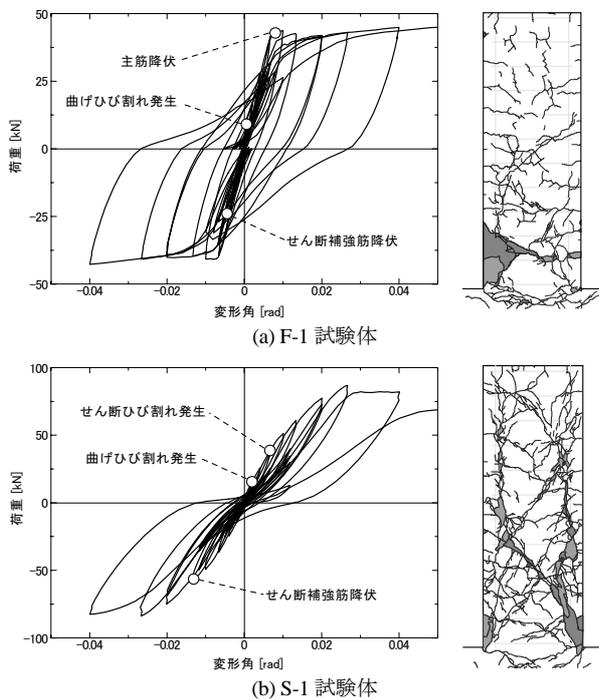


図3 荷重-変形関係・±1/25サイクル終了時の破壊状況

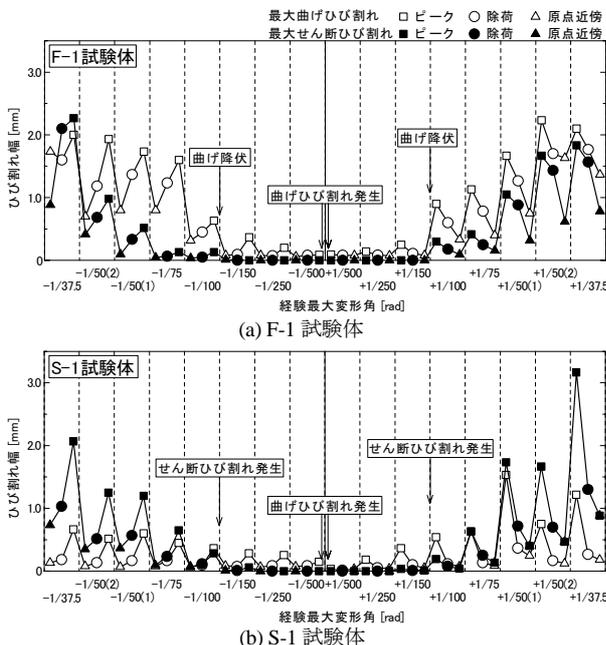


図4 最大ひび割れ幅の推移

出した±1/100サイクル以降、せん断ひび割れ幅の増大が顕著である。

同一サイクルのピーク時・除荷時・原点近傍時を比較すると、ピーク時のひび割れ幅が最大となり、以下除荷時のひび割れ幅、原点近傍時のひび割れ幅の順に小さくなるのが分かる。特にF-1試験体では、部材が曲げ降伏する±1/100サイクル以降、除荷時のひび割れ幅が原点近傍時に大きく減少している。一方、S-1試験体は除荷時残留変位が小さく、除荷時でひび割れが急激に閉じるため、原点近傍時と除荷時のひび割れ幅に大きな差はなかった。具体的に、同一サイクルで除荷時と原点近傍時のひび割れ幅の差が最大となる

ときの値を示すと、

[F-1試験体: () 内はサイクルを表す]

$$\max\{\max W_{f,UNLOAD} - \max W_{f,ZERO}\} = 0.57\text{mm} \quad (-1/50(1))$$

$$\max\{\max W_{s,UNLOAD} - \max W_{s,ZERO}\} = 1.22\text{mm} \quad (-1/37.5)$$

[S-1試験体: () 内はサイクルを表す]

$$\max\{\max W_{f,UNLOAD} - \max W_{f,ZERO}\} = 0.12\text{mm} \quad (+1/50(1))$$

$$\max\{\max W_{s,UNLOAD} - \max W_{s,ZERO}\} = 0.42\text{mm} \quad (+1/37.5)$$

であった。ここで、 $\max W_f$ : 最大曲げひび割れ,  $\max W_s$ : 最大せん断ひび割れ, PEAK: ピーク時, UNLOAD: 除荷時, ZERO: 原点近傍時を表す。また、ひび割れ進展に特徴が現れ始める±1/100サイクル以降、同一サイクルのピーク時・除荷時・原点近傍時のひび割れ幅の比には一定の傾向がみられ、次のとおり表せる。

[F-1試験体]  $\max W_{f,PEAK} = 1.2 \max W_{f,UNLOAD} = 1.8 \max W_{f,ZERO}$

$$\max W_{s,PEAK} = 1.4 \max W_{s,UNLOAD} = 2.8 \max W_{s,ZERO}$$

[S-1試験体]  $\max W_{f,PEAK} = 3.7 \max W_{f,UNLOAD} = 5.9 \max W_{f,ZERO}$

$$\max W_{s,PEAK} = 2.2 \max W_{s,UNLOAD} = 3.8 \max W_{s,ZERO}$$

ただし本実験では軸力を導入しておらず、軸力を導入した実験を行った場合、既往の研究結果<sup>2)</sup>から示されているように除荷時と原点近傍時のひび割れ幅にあまり差が生じなくなる可能性がある。

## 4. まとめ

試験体の幾何学的形状が同一で破壊形式が異なる鉄筋コンクリート部材の静的荷重実験を行った。

(1) 曲げ破壊先行型試験体は、試験体脚部に曲げひび割れおよび曲げせん断ひび割れが集中し、曲げ降伏後も大変形まで耐力の低下が見られなかった。せん断破壊先行型試験体は、せん断ひび割れから付着割裂ひび割れが伸展し、耐力が低下した。

(2) 最大ひび割れ幅はピーク時、除荷時、原点近傍時の順に小さくなり、大変形(±1/100サイクル以降)時では、同一サイクルのピーク時・除荷時・原点近傍時のひび割れ幅の比には一定の傾向があった。

### 参考文献

- 1) 高橋典之ほか: 鉄筋コンクリート部材のひび割れ量進展過程に関する実験的研究(その1およびその2), 日本建築学会学術講演梗概集, C-2, pp.499-502, 2008.9
- 2) 康大彦ほか: サブストラクチャー擬似動的実験による震災RC造建築物の残存耐震性能の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol. 24, No.2, pp.1093-1098, 2002.6