

## せん断破壊する鉄筋コンクリート梁の非線形 FEM 解析

伊藤忠テクノソリューションズ(株) 正会員 三井 雅一, 秋山 伸一, 酒井 新吉  
 武蔵工業大学 正会員 吉川 弘道

## 1. はじめに

鉄筋コンクリート構造物の破壊形態は,せん断破壊,曲げせん断破壊及び曲げ破壊の3つに大別することができるが,せん断破壊及び曲げせん断破壊は,せん断耐力以上の外力が作用すると破壊が急激に進展し脆性的な破壊となる.このような脆性的な破壊形態となるせん断破壊の力学的挙動を,連続体を基本とする有限要素法にてシミュレーションするためには,使用するコンクリートの構成則が大きなせん断変形についても十分な適用性があることが必要である.本研究では,前川らにより提案されている鉄筋コンクリートの構成則[1]のうち,せん断伝達モデルを基本に,大きなせん断ひずみまで対応できるせん断破壊モデルを提案するとともに,静的な梁の曲げ試験をシミュレーションし,その適用性について検証を行う.

## 2. 曲げ試験の概要

鉄筋コンクリート梁の試験体の概要を図-1に示す[2].試験体は,断面 $150 \times 200\text{mm}$ ,部材長 $1400\text{mm}$ ,支持スパン長 $1200\text{mm}$ の鉄筋コンクリート梁であり,図-1に示すように試験体中央から右側のせん断スパン内でせん断破壊が生じるように設計を行った.本研究では,図-2に示す2種類の試験体について検証を行う.両者は,主筋比は $4.81\%$ と同値であり,せん断領域が異なり試験体V-400は,せん断スパン比 $a/d$ が $2.31$ ,試験体V-550は $3.18$ である.

## 3. せん断破壊モデル

図-3に解析モデルを示す.図に示すようにシェル要素にてモデル化を行い,載荷点及び支点位置には弾性要素を配置した.主筋及びせん断補強筋は,実際に配置されている近傍の要素に分布させた.解析に使用した鉄筋コンクリートの構成則は,前川らにより提案されている構成則を基本とした.前川らは,大きなせん断ひずみ領域では,終局せん断ひずみ $\epsilon_{cu}$ に達するまでは一定せん断応力 $(=G \cdot \epsilon)$ を保持し, $\epsilon_{cu}$ を超えた時点で低下曲線 $(=G \cdot (\epsilon/\epsilon_{cu})^c)$ を提案している[1].本研究では,図-4に示すように $\epsilon_{cu}$ を超えた時点で低い剛性の弾性特性へ変更するせん断破壊モデルを提案する.このモデルの特長の一つは,せん断破壊のシミュレーションのように強い非線形性が生じる場合,終局せん断ひずみ以降は弾性挙動に変更することで安定して解を得られることである.本研究では,終局せん断ひずみ $\epsilon_{cu}$ を $2000 \mu$ , $3000 \mu$ , $4000 \mu$ そして $\epsilon_{cu}$ を設定しな

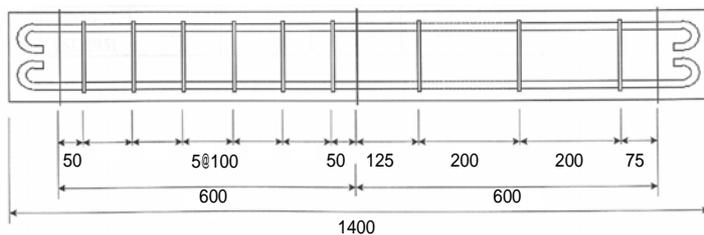


図-1 梁試験体の概要 (mm)

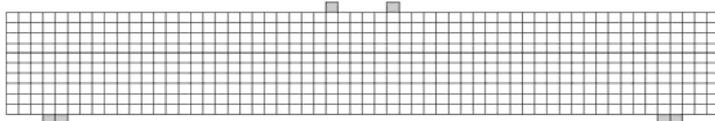


図-3 解析モデル (V-550)

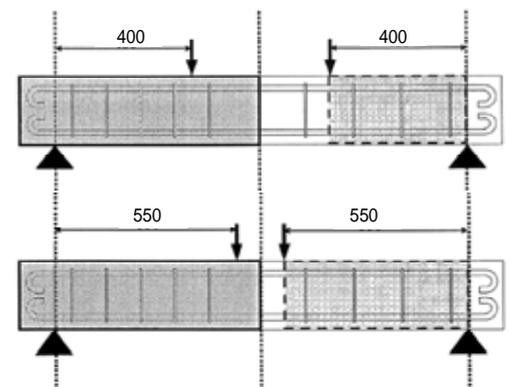


図-2 せん断スパン長

(上: V-400, 下: V-550 (mm))

キーワード せん断破壊, 非線形 FEM 解析, せん断破壊モデル, ひび割れ進展, JANIS

連絡先 〒100-6080 東京都千代田区霞が関 3-2-5 霞が関ビル TEL 03-6203-7407 E-mail masakazu.mitsui@ctc-g.co.jp

い場合について検討を行う。また、剛性の低減は、一律、初期のコンクリートの弾性係数に対して 1/100 とした。解析は、防災科学技術研究所で開発された非線形解析コード JANIS を使用した。

4. 解析結果

図-5 に梁に生じるひび割れ状況を実験及び解析結果を比較する。実験では、いずれの試験体もひび割れは、せん断スパン中央部に曲げせん断ひび割れが発生し、その後、ひび割れが進展しせん断破壊に至った。解析についても、実験と同様なひび割れ進展となり、図-5 に示す終局状態にて比較して分かるように、解析は実験結果を再現できる。

図-6 に載荷荷重と鉛直変位量との関係を示す。図に示すように、終局せん断ひずみ  $u$  の設定により大きく影響を受けることが分かる。 $u$  を無設定にする場合、つまりせん断ひずみ  $u$  が大きくなってせん断応力は低下せず一定値を保つ場合、最大荷重以降、荷重の低下が無く変形が増加する。つまり、曲げせん断ひび割れが進展し、耐力低下を伴う急激なせん断破壊を表すことが出来ない。それに対し、終局せん断ひずみ  $u$  を設定すると最大荷重以降の荷重の低下挙動を表すことが出来る。とくに、 $u$  を 2000  $\mu$  に設定した場合、試験体 V-400 及び V-550 とともに実験結果に近い挙動となる。

5. まとめ

本研究では、大きいせん断ひずみが生じる力学的挙動のシミュレーションを行うため、終局せん断ひずみを設定し、その後は低剛性の弾性特性に変更するせん断破壊モデルの適用性を検証した。その結果、せん断破壊に至る鉄筋コンクリート梁に現れる挙動を表すことができることを確認した。今後、剛性の低減率による影響やプレーンコンクリートに対して異なる終局せん断ひずみを用いる場合の影響さらに、動的問題に対する適用性も検討していく。

参考文献

[1] Maekawa, K., Pimanmas, A. and Okamura, H : *Nonlinear Mechanics of Reinforced Concrete*, 2003.  
 [2] 依田宏之: RC 単純梁のせん断スパンにおける非線形挙動に関する実験的・解析的研究, 武蔵工業大学修士学位論文, 2006.

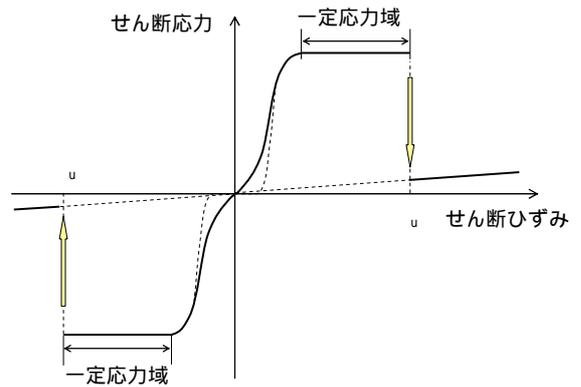
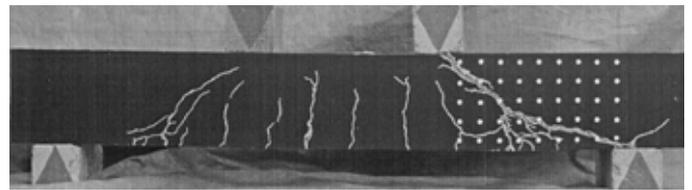
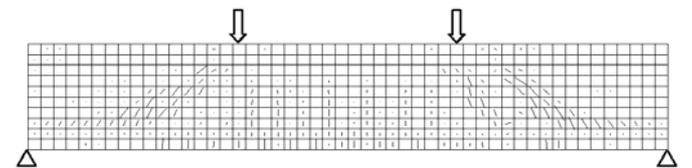


図-4 せん断破壊モデル



(a) 実験結果



(b) 解析結果

図-5 ひび割れ状況 (V-400,  $u=2000 \mu$ , 終局状態)

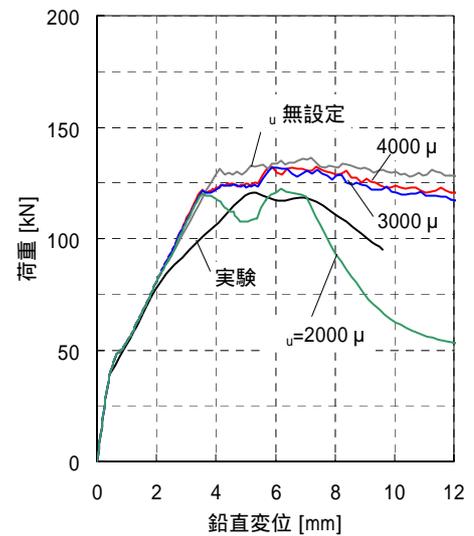
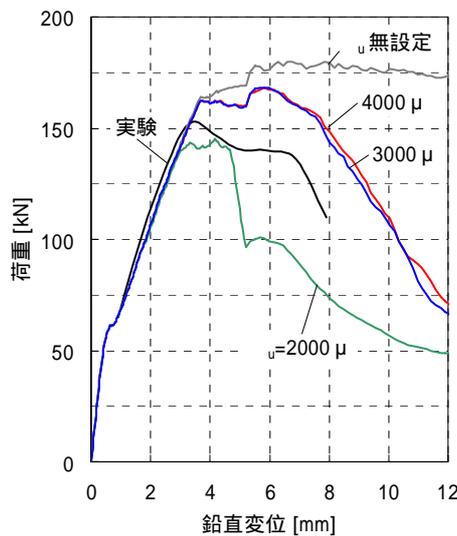


図-6 荷重-変位曲線 (左: V-400, 右: V-550)