

T 形 RC はりのせん断破壊挙動の非線形有限要素法による再現解析

土木研究所寒地土木研究所

正会員 ○中村 拓郎

東京工業大学

学生会員 小林 研太, Devin GUNAWAN

東京工業大学

フェロー 二羽 淳一郎

1. はじめに

圧縮フランジの存在が T 形 RC はりのせん断耐力に影響することが、多くの既往研究において実験的に確認されている。T 形 RC はりのせん断耐力の評価方法を検討する上で、3 次元的な損傷領域や損傷程度の定量的な評価も必要となることから、応力やひずみを可視化できる非線形有限要素解析の活用が期待される。非線形有限要素解析によるコンクリートの損傷指標として、斉藤ら¹⁾は、引張損傷を表現する偏差ひずみの第 2 不変量 $\sqrt{J_2}'$ と圧縮損傷を表現する正規化累加ひずみエネルギー W_n をある領域内で重みつき平均をとる手法を提案しており、コンクリート標準示方書【設計編】には材料の損傷に基づく破壊の照査指標として、それぞれの限界値が示されている²⁾。

本研究では、既往研究における T 形 RC はりのせん断破壊挙動の非線形有限要素法による再現解析を試みるとともに、矩形と T 形断面の RC はりのせん断破壊挙動における損傷指標の推移に関する比較を行った。

2. 実験および解析概要

再現解析の対象とした試験体一覧を表-1 に、試験体概要図を図-1 に示す。試験体は、圧縮フランジ幅 b_f と厚さ h_f の異なる 4 断面とし、それぞれの断面で $a/d=2.5$, 3.5 となる計 8 体の RC はりとした。すべての試験体で、はりの有効高さ d は 300mm、ウェブ幅 b_w は 150mm である。せん断スパン a は、せん断スパン比 a/d が 2.5, 3.5 の試験体で、それぞれ 750mm と 1050mm である。また、引張鉄筋比 p_w は 1.69%であり、せん断補強鉄筋比は 0.28%である。コンクリートの目標圧縮強度は 40MPa である。使用材料及び実験結果等の詳細については、参考文献 3), 4)を参照されたい。

3 次元非線形有限要素解析には、DIANA10.2 を用いた。要素分割図を図-2 に示す。コンクリートおよび載荷板と支圧板の鋼材には 8 節点の構造ソリッド要素を、鉄筋には埋め込み鉄筋要素を使用した。コンクリート

のひび割れモデルは、直交固定ひび割れモデルを用いており、コンクリートの引張挙動には Hordijk モデルを、圧縮挙動には放物線モデルを、横方向ひび割れによる圧縮強度低減には Vecchio & Collins モデルを用いた。せん断伝達特性には Al-Mahaidi のせん断伝達モデルを採用した。なお、コンクリートの各損傷指標における平均化領域の半径は 150mm とした。鉄筋の応力-ひずみ関係はバイリニアモデルとし、降伏後のヤング係数は 1/100 とした。コンクリートと鉄筋の要素間は完全付着とした。載荷板と支圧板の鋼材は弾性要素とし、ヤング係数を 200kN/mm²、ポアソン比を 0.3 とした。

表-1 試験体諸元

試験体名	a/d	b_f (mm)	h_f (mm)	b_w (mm)	d (mm)
R150-2.5	2.5	-	-	150	300
R150-3.5	3.5				
T450-2.5	2.5	450	75		
T450-3.5	3.5				
T600-2.5	2.5	600			
T600-3.5	3.5				
T450t-2.5	2.5	450	150		
T450t-3.5	3.5				

a : せん断スパン, d : 有効高さ, b_f : 圧縮フランジ幅, h_f : 圧縮フランジ厚さ, b_w : ウェブ幅

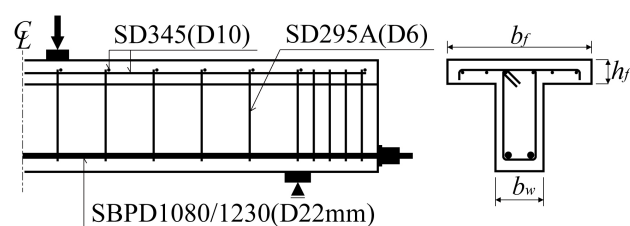
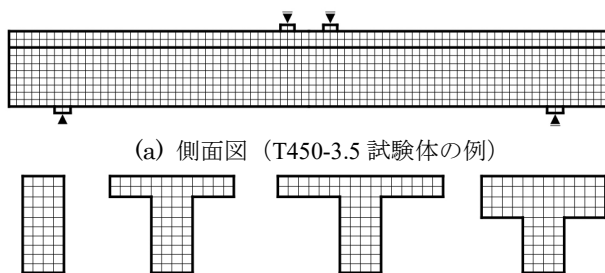


図-1 試験体概要図 (T450-2.5 試験体の例)



(b) 断面図 (左から R150, T450, T600, T450t)

図-2 要素分割図

キーワード T 形 RC はり, せん断耐力, 損傷指標, 非線形有限要素解析

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 TEL 011-841-1698

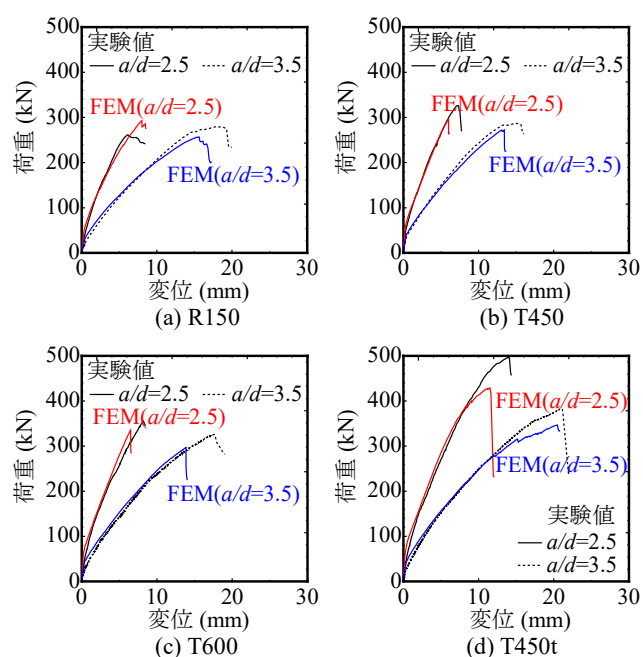


図-3 荷重－変位関係

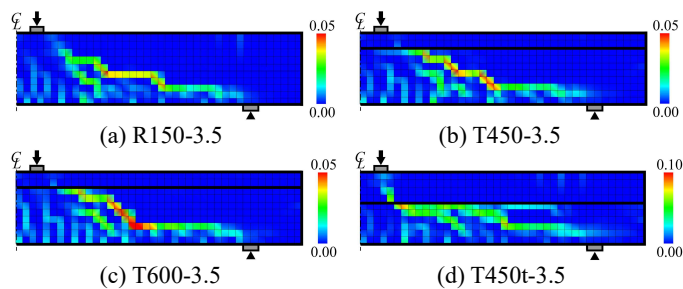


図-4 最大荷重時の最小主ひずみ分布

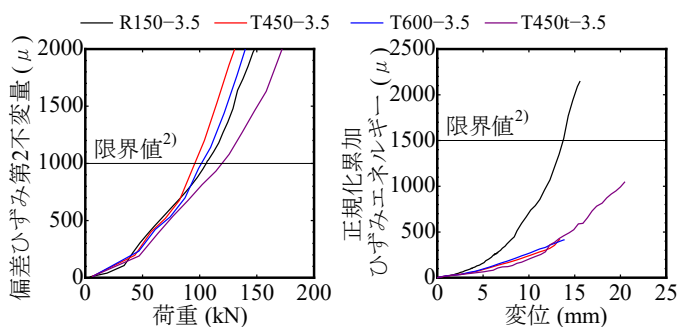


図-5 損傷指標

3. 解析結果

各試験体の荷重－変位関係の実験値および解析値を図-3に示す。いずれの試験体においても、曲げひび割れおよびせん断補強鉄筋の降伏にともなう剛性の変化が再現できている。最大荷重については、解析値が実験値よりもやや小さくなる傾向となっているが、実験結果と同様に、圧縮フランジ幅や厚さが大きいほどせん断耐力が大きくなるという結果が得られている。

$a/d=3.5$ の試験体の最大荷重時における最大主ひずみの分布を図-4に示す。T形RCはりでは、斜めひび割れが圧縮フランジ下面を横切った後に、圧縮フランジ側面に進展して破壊に至ることが実験的に確認されている。解析においても、圧縮フランジとの接合部に沿うように最大主ひずみが進展しており、解析上の最大荷重までは実験時の挙動を概ね再現できていると考えられる。なお、 $a/d=2.5$ の試験体においても同様の最大主ひずみ分布を示すことを確認している。

次に、 $a/d=3.5$ の試験体における損傷指標 $\sqrt{J_2}'$ と W_n の推移を図-5に示す。 $\sqrt{J_2}'$ は斜めひび割れ発生荷重近傍を、 W_n は最大荷重までを図化している。なお、各指標値は、試験体内の最大値であり、その位置は変位とともに変化している。斜めひび割れの発生に対する限界値は 1000μ とされており²⁾、各試験体において実験時にせん断補強鉄筋ひずみが大きく増加し始める荷重(約100kN～150kN)を概ね評価できている。なお、いずれの試験体においても最大荷重の直後には $\sqrt{J_2}'$ が急増することを確認しており、これは、斜めひび割れの開口と

とともに荷重が低下する実験時のひび割れ性状と一致する。また、圧縮損傷に対応する W_n について、T形断面のRCはりでは、矩形断面に比べて変位に対するひずみエネルギーの増加量が小さく、最大荷重時にも限界値とされている $1500\mu^2$ を大きく下回っている。 $a/d=2.5$ の試験体においても同様の傾向を示しており、実験時の破壊形態が斜め引張破壊であることと一致する。

4. おわりに

- (1) 非線形有限要素解析においても圧縮フランジ幅や厚さによるせん断耐力の増加が認められた。
- (2) 実験時のせん断破壊挙動と数値解析上の損傷指標の推移の傾向が概ね一致することを確認した。

謝辞 本研究は、科学研究費助成事業(課題番号: 16K1818)および吉田研究奨励賞の助成を得て実施されたものであり、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 斉藤 成彦ほか: 非線形有限要素解析によるRCはり部材の損傷評価, 土木学会論文集 E2, Vol.67, No.2, pp.166-188, 2011.
- 2) 土木学会: 2017年制定コンクリート標準示方書[設計編], pp.507-513, 2018.
- 3) 中村 麻美ほか: せん断スパン比とせん断補強鉄筋比の異なるT形RCはりのせん断耐荷機構, 土木学会論文集 E2, 73巻, 3号, pp.337-347, 2017.
- 4) K. Kobayashi *et al.*: The Influence of Flange Width and Thickness on Shear Failure of RC T-Beams, 8th International Conference of Asian Concrete Federation, pp.973-981, 2018.