

有限要素解析によるせん断圧縮破壊する RC はりのひずみ破壊基準の検討

名古屋大学大学院 学生会員 ○佐野 理紗

名古屋大学大学院 正会員 中村 光, 国枝 稔, 上田 尚史

1. はじめに

非線形有限要素解析は、RC 構造物のせん断破壊挙動を精度よく評価でき、耐震性能評価手法としても用いられるようになっている¹⁾。しかし、有限要素解析の結果は、応答値に対して使用されるのみであり、せん断破壊に対する照査は、有限要素解析で得られる節点力から断面力を求め、限界値には示方書で定められたせん断耐力度式が用いられているのが現状である。非線形有限要素解析はポストピーク領域まで構造全体挙動を妥当に評価できる手法であるため、応答値のみではなく限界値についても解析結果を利用できることが望ましい。そこで本研究では、有限要素解析を用いた RC 構造物の限界値指標の確立を目的として、せん断圧縮破壊する RC はりの破壊基準の検討を試みた。

2. 実験および解析概要

本研究では、8 節点アイソパラメトリック要素を用いた非線形 3 次元有限要素解析を行った²⁾。解析は、図-1 に示す RC はりのせん断圧縮破壊実験を対象とし、要素寸法 $25 \times 25 \times 25 \text{mm}$, $50 \times 50 \times 50 \text{mm}$ に対して行った。なお、実験は同一諸元のものを 2 体行った。コンクリートの材料特性は、弾性係数 24.0GPa , 圧縮強度 22.0MPa , 引張強度 2.1MPa であった。また、実験では損傷領域の大きさや主ひずみ分布性状を検討するために、供試体に格子状にターゲットを貼付して、画像計測を用いたひずみ計測を行った。

3. 平均化ひずみ算出方法

コンクリートのようなひずみ軟化材料を用いた有限要素解析では、ひずみの局所化等の要素寸法依存性が生じる。有限要素解析では、要素寸法は解析者がある要件を満たす範囲で設定するため、限界値を評価する指標は、要素寸法に依存しないことが条件と考えられる。また、有限要素法の特徴は、ひずみなどの局所情報が得られることであり、せん断圧縮破壊のメカニズムは、斜めひびわれ発生後のアーチ機構の崩壊であることから、指標としては主圧縮ひずみを使用することが妥当であると考えられる。そこで本研究では、局所ひずみを要素寸法とは別の寸法により領域平均して算定される平均化ひずみを用いて評価することとした。平均化領域は 3 次元応力状態を考慮して、着目点のひずみの大きさにより変化する楕円体を用いた(図-2)。また、今回の解析では既往の研究³⁾に基づき、圧縮応力下の平均化長さ 250mm , 引張応力下の平均化長さ 50mm とした。

4. 平均化ひずみを用いた破壊基準の検討

図-3 に実験ならびに解析から得られた荷重-変位関係を破線ならびに実線で示す。解析は要素寸法によらず実験結果を妥当に評価していることが分かる。また、図-3 には解析より得られた最大主圧縮ひずみと変位の関係も示した。赤の実線は要素寸法 $25 \times 25 \times 25 \text{mm}$, 青の実線は $50 \times 50 \times 50 \text{mm}$ の場合の解析値であり、供試体内での最大の局所主圧縮ひずみを破線で、最大の平均化主圧縮ひずみを一点鎖線で示している。図より、○印の斜めひびわれが発生してアーチ機構が形成された後、局所主圧縮ひずみは要素寸法に依存しているのに対し、平均化主圧縮ひずみは要素寸法の影響が低減されていることが分かる。したがって平均化主圧縮ひずみは損傷指標になり得ると考えられる。また、実験における最大荷重時の変位に対応する平

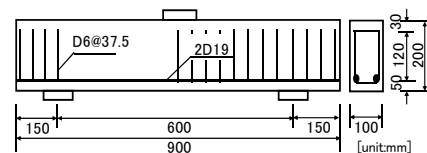


図-1 実験供試体概要

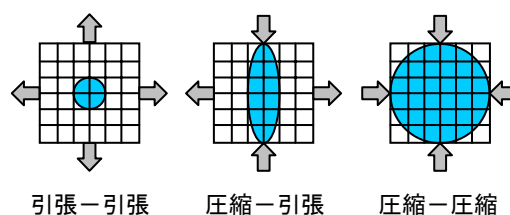


図-2 平均化領域の概念図

キーワード せん断圧縮破壊, 破壊基準, 平均化ひずみ, 画像計測

連絡先 〒464-8603 愛知県名古屋市千種区不老町 工学部 9 号館 526 号室 TEL 052-789-4484

均化主圧縮ひずみの値は、 $5000\mu \sim 7000\mu$ であり、図-3 上に解析で平均化主圧縮ひずみが 5000μ となる時点を△印で示すと、解析より得られる最大荷重に概ね対応している。したがって平均化主圧縮ひずみが 5000μ の時点をせん断圧縮破壊を評価する破壊基準として利用できると考えられる。

図-4 に荷重が急激に低下する直前における画像計測より得られた主圧縮ひずみ分布および解析より得られた平均化主圧縮ひずみ分布を示す。図-4 において、ひずみ分布は 2000μ を超える領域のみを示している。平均化主圧縮ひずみは要素寸法によらず画像計測による主圧縮ひずみの値、損傷の拡がりを概ね妥当に評価できており、損傷領域の評価指標としても適用可能であるといえる。

5. 平均化ひずみの適用性の検討

前章で示した破壊基準が一般的に適用可能であるかを検討するために、図-5 に示す前述の例と異なる諸元を有するせん断スパン比 1.92 のせん断圧縮破壊する RC はり⁴⁾に対して、表-1 に示すように圧縮強度 (f'_c)、せん断スパン比 (a/d)、主鉄筋比 (P_t)、せん断補強筋の有無を変化させた計 8 ケースの解析を行った。解析は要素寸法 $20 \times 25 \times 25\text{mm}$ 、 $60 \times 50 \times 50\text{mm}$ に対して行った。図-6 に平均化主圧縮ひずみが 5000μ の時点に対応する荷重を解析結果より得られた最大荷重で正規化したグラフを赤で、平均化主圧縮ひずみが 5000μ の時点に対応する変位を解析結果より得られた最大荷重時変位で正規化したグラフを青で示す。要素寸法 50mm の場合は、多少ばらつくものの全体的にほぼ 1 となり、本研究で提案したひずみ破壊基準は、諸元の異なる RC はりに対しても要素寸法によらない限界値指標となることが示された。

6. まとめ

せん断圧縮破壊する RC はりに対して、局所ひずみを要素寸法とは別の寸法により領域平均して算出される平均化ひずみは損傷指標となり得ることが認められた。また、せん断圧縮破壊する RC はりに対する破壊基準として平均化主圧縮ひずみが 5000μ の値を提案し、その一般的適用性を示した。

参考文献

- 1) 土木学会：2002 年度制定コンクリート標準示方書耐震性能照査編，2002.，2)伊藤睦ら：格子等価連続体法による鉄筋コンクリート部材の有限要素解析，土木学会論文集，No.767/V-64，pp.115-129，2004.，3) 河合真樹ら：曲げ損傷した RC はりの断面修復後の力学挙動解析に関する基礎的研究，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集第 7 巻，pp.121-128，2007.11.，4) 山谷敦ら：回転ひびわれモデルによる RC 梁のせん断挙動解析，土木学会論文集，No.620/V-43，pp.187-199，1999-05.

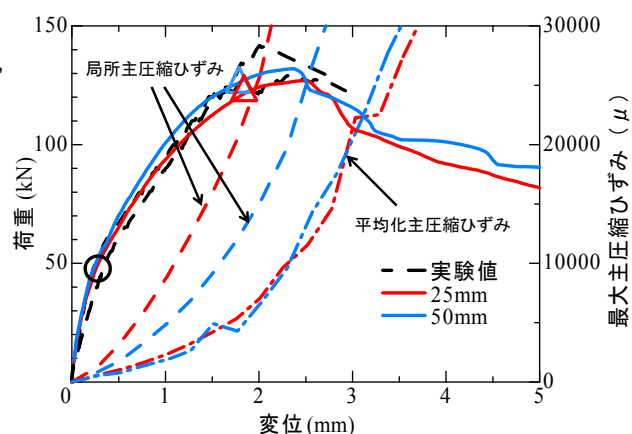


図-3 最大主圧縮ひずみと変位の関係

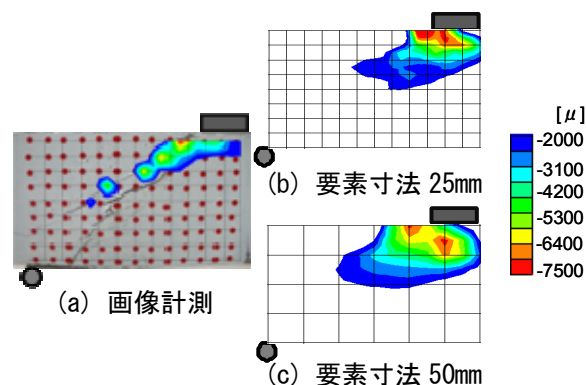


図-4 主圧縮ひずみ分布

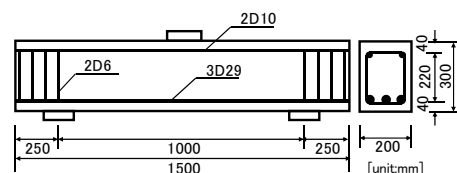


図-5 解析供試体概要

表-1 各解析ケースの条件

ケース	f_c' (MPa)	a/d	P_t (%)	せん断補強筋
1	22.7	1.92	3.71	無
2	18.0			
3	40.0			
4	22.7	1.54	2.23	
5		2.30		
6		1.92	5.51	
7			3.71	
8				有

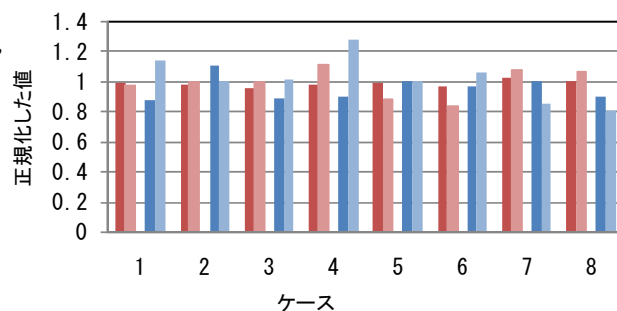


図-6 損傷指標の適用性の検討

(左：要素寸法 25mm，右：要素寸法 50mm)