

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

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に対しても、ある程度の精度で評価できるようになり、耐震性能評価手法として用いられるようになってきている¹⁾。しかし、有限要素解析の結果は、応答値に対し使用されるのみで、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、限界値には示方書式で定められたせん断耐力式が用いられている。そこで、本研究では、せん断破壊に対する限界値にも有限要素解析の結果を直接使用できるようにすることを目的として、RC 部材のせん断圧縮破壊を評価できる指標の検討を行った。

2. 解析手法

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。構成則には格子等価連続体モデルを用いた。コンクリートの圧縮モデルは、圧縮強度までは Saenz の式を用い、圧縮強度後は応力が直線的に減少するものとした。なお、ひずみ軟化領域には圧縮破壊エネルギーを導入した。

3. 平均化ひずみの適用

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る。著者らは、この有限要素法の特徴を考慮し、

要素寸法に依存しない局所情報を使用した指標として、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提案し、曲げ破壊する RC はりに対して、損傷領域ならびに損傷度を妥当に評価できることを示している²⁾。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 RC はりの曲げ破壊と同様に、コンクリートの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、せん断圧縮破壊する RC はりにも平均化ひずみの概念を適用し、ひずみ破壊基準として用いることにした。なお、2 次元解析に基づく既往の研究では、平均化領域を応力状態によって長径・短径が変化する 2 次元の楕円形（図-1）にすることで、引張・圧縮の両者を統一的に扱えるようにしている。本研究では、3 次元応力状態を考慮した平均化領域として、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。なお、平均化ひずみは、主ひずみを用いて算出した。

4. 解析対象

解析は、山梨大学で実験されたせん断スパン比 1.92 のせん断圧縮破壊する RC はり（No.2, No.4）を対象とした³⁾。供試体の概要を図-2 に示す。解析は、要素寸法の影響を検討するために、60×50×50mm, 20×25×25mm の 2 つの要素寸法に対して行った。主鉄筋はトラス要素を、スターラップは RC 要素を用いることでモデル化した。解析に用いた材料特性は、コンクリートの圧縮強度は 23.0MPa, 引張強度は 2.39MPa, 主鉄筋の降伏強度は 358.0MPa とした。

5. 解析結果

図-3 に実験結果および解析により得られた荷重－変位関係を示す。図中、黒の破線は実験値を、赤線は要素寸

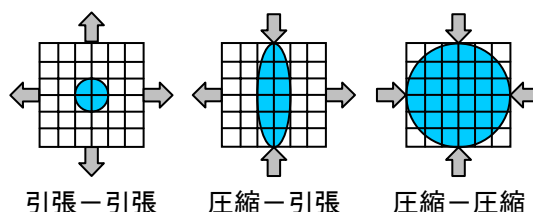
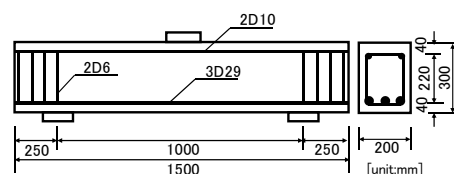
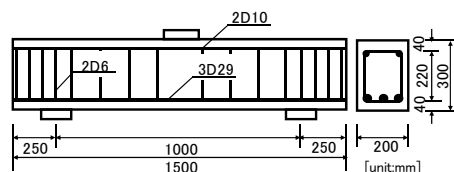


図-1 平均化領域の概念図



(a) 供試体 No. 2



(b) 供試体 No. 4

図-2 供試体概要

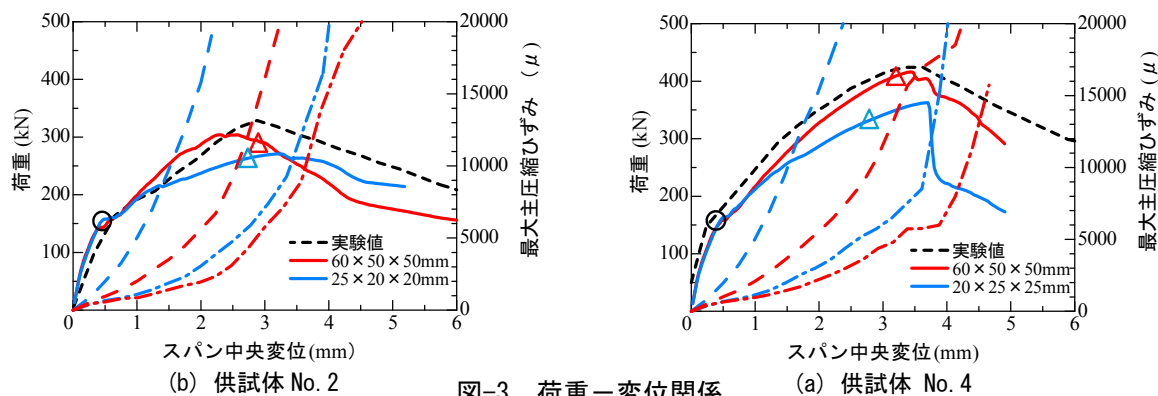


図-3 荷重－変位関係

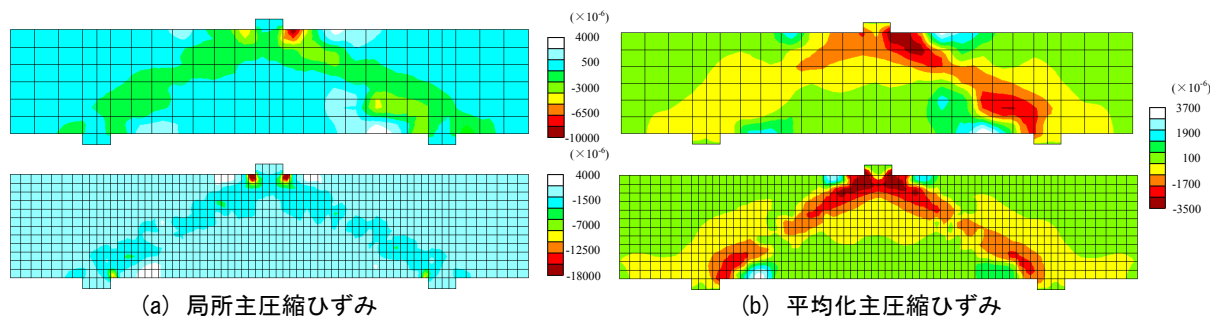


図-4 供試体 No. 2 のひずみ分布

法 $60 \times 50 \times 50 \text{ mm}$, 青線は $20 \times 25 \times 25 \text{ mm}$ の場合の解析値を示す. また, 局所情報であるひずみとの対応付けを行うために, 供試体内での最大の主圧縮ひずみ(局所主圧縮ひずみ)を破線で, 平均化された主圧縮ひずみ(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, アーチ機構の形成以降, 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おり, セン断圧縮破壊する RC はりにおいても平均化主圧縮ひずみは, 損傷指標と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均化主圧縮ひずみの値は, スターラップのない供試体 No.2 では, $5000 \mu \sim 6500 \mu$, スターラップを有する供試体 No.4 では, $5500 \mu \sim 7500 \mu$ となり, ほぼ同様の値となっている. ここで, 図中にそれぞれの解析で平均化主圧縮ひずみが 5000μ となる時点を荷重－変位曲線上に△印で示す. いずれのケースでも解析から得られる最大荷重に概ね対応している. ひずみの値については, 今後, より詳細な検討が必要であるが, セン断圧縮破壊を評価可能なひずみ破壊基準が規定できる可能性が示されている. 図-4 に解析により得られた供試体 No.2 の最大荷重時の局所主圧縮ひずみおよび平均化主圧縮ひずみの分布を示す. 局所主圧縮ひずみ分布では, 載荷板近傍にひずみが局所化し, 要素寸法が小さいほど局所化領域は小さくなっており, 損傷領域を適切に評価できていないことが分かる. 一方, 平均化主圧縮ひずみの分布は, 要素寸法によらないひずみの局所化領域を示しており, 平均化主圧縮ひずみを用いることで, 損傷の拡がりも概ね妥当に評価できていることが分かる.

6. まとめ

セン断圧縮破壊する RC はりを対象とした有限要素解析において, 主圧縮ひずみを要素寸法とは別の寸法により領域平均することで, 要素寸法によらないひずみの値および領域の拡がりを実評価できた. また, 平均化主圧縮ひずみを用いることで, セン断圧縮破壊荷重を実評価できる可能性が示された. 今後は画像計測手法を用いてセン断圧縮破壊する RC はりのひずみ分布を測定することで, 実験的にひずみ値および損傷領域の実評価を行い, ひずみ破壊基準の適用性を検討していく予定である.

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) 河合真樹, 上田尚史, 中村光, 国枝稔: 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., 3) 山谷敦, 中村光, 檜貝勇: 回転ひびわれモデルによる RC 梁のセン断挙動解析, 土木学会論文集, No.620/V-43, pp.187-199, 1999-05.