非線形 FEM 解析による RC 部材の損傷評価 (その 2)新たな損傷指標の提案 Damage Evaluation of RC Members by Non-Linear Finite Element Analysis (Part2) Proposal for a New Damage Index

○ 赤井冬来 1, 田嶋和樹 2, 長沼一洋 2 *Fuyuki Akai¹, Kazuki Tajima², Kazuhiro Naganuma²

Abstract: A damage index for compressive failure type of reinforced concrete columns is proposed for the finite element analysis. The index is defined based on cumulative strain energy of each element weighting by the minimum principal strain and volume of the element. For columns with the concrete strength from 20 MPa up to 100 MPa and axial compression force ratios of 0.0, 0.3 and 0.6, the proposed damage index evaluates well the maximum load point.

1. はじめに

前報では RC 造柱の解析モデルに対して,既往の損 傷指標の適用性を検討した結果,危険側の判定となる 場合があることが確認された.本報では前報で構築し た解析モデルを用いて,それらの問題点を解決する新 たな損傷指標を提案する.

2. 新たな損傷指標の提案

2.1. 最小主ひずみで重み付け

新たに提案する損傷指標は、部材全体で一つの値と 定義する.これは、構造物内において補修補強の対象 部材を判定するために用いる.負担応力が大きく耐荷 機構を形成している要素に着目し、式(1)で定義する各 要素の累加ひずみエネルギー W_n を要素の体積と最小 主応力で重み付けした損傷指標を考えた.しかし、最 小主応力で重み付けした場合に最大耐力後において破 壊は進展しているにも関わらず損傷指標が低下し、破 壊の進展と損傷指標が対応しないことから、式(2)で定 義する最小主応力に代わり最小主ひずみで重み付けし た損傷指標 $W_n(\varepsilon_{min})$ とした.

$$W_n = \sum_{k=1}^n \left(\sigma_{ij} \cdot d\varepsilon_{ij}\right)^{(k)} \tag{1}$$

$$W_n(\varepsilon_{min}) = \frac{\sum_V W_n \cdot \varepsilon_{min} \cdot dV}{\sum_V \varepsilon_{min} \cdot dV}$$
(2)

ここで、 ε_{min} は各要素の最小主ひずみ、Vは要素の体積である.本研究では第一段階として、圧縮損傷に着目するため、最小主ひずみが圧縮となる要素に関してのみ計算する.

Fig.1 に前報で解析対象とした柱試験体の*W_n(ε_{min})* および実験・解析のせん断力(**Q**)と水平部材角(**R**)の関 係を示す.最大耐力に近づくにつれて,顕著に増大していることが分かる.また,コンクリートの破壊が生じ始めるときの値 $W_n(\varepsilon_{min})$ がほぼ 0.04 となることから,この値を W_{np} として,解析で W_{np} に達する時の変形角を破線で図中に示す.

3. コンクリート強度を変化させた検討

前述の試験体で軸力比を 0.3 で一定とし, コンクリ ート強度を 20~100MPa まで変化させた解析を実施し た. Fig.2 に得られた $W_n(\varepsilon_{min})$ -R 関係を示す. Fig.3 に Q-R 関係を示す. 図中には, W_{np} および前報で算出した 最大耐力点を評価するための既往の損傷指標の限界値 を併せて示す.







^{1:}日大理工・院(前)・建築 2:日大理工・教員・建築



Fig.3 Q-R Relationship

既往の損傷指標では超高強度コンクリートにおいて 危険側の判定となったが、本提案の損傷指標では最大 耐力点を概ね良好に評価した.

4. 軸力比を変化させた検討

同様に前述の試験体でコンクリート強度を 40.6MPa で一定として、軸力比を変化させた解析を実施した. Fig.4 に $W_n(\varepsilon_{min})$ -R 関係を示す.図中には、 W_{np} を併せ て示す.Fig.5 に Q-R 関係上に W_{np} に達した点をプロッ トしたものを示す.図中には、実験結果の包絡線を点 線で示す.軸力比 0.3 および 0.6 では最大耐力点を良好 に評価したが、軸力比 0.0 では最大耐力後において W_{np} に達しており危険側の判定となった.全体的に軸力比 が高くなるにつれ、最大耐力点に対してより早期に W_{np} に達する傾向がある.この点に関しては今後の研 究課題である.

5. 要素寸法が異なる場合の検討

コンクリート強度 40.6MPa, 軸力比 0.3 で, 要素寸 法を変化させた解析を実施した. Fig.6 に基準寸法を 18.75mm, 37.5mm, 56.25mm とした要素分割図をそ れぞれ示す. Fig.7 に $W_n(\varepsilon_{min})$ -R 関係を示す. 図中に は W_{np} を併せて示す. Fig.8 に Q-R 関係上に W_{np} に達し た点をプロットしたものを示す. W_{np} は最大耐力点を 良好に評価している. ただし, Q-R 関係の最大耐力近 傍では要素寸法依存性が現れており, 粗い要素分割で は耐力を過大評価している. 要素寸法の選定には注意 が必要である.

6. まとめ

各要素の累加ひずみエネルギーを要素の体積および 最小主ひずみで重み付けした損傷指標により, コンク リート強度や軸力比に依らず, 最大耐力点を概ね評価 できる可能性を示した. さらに, 要素寸法を変えても 本指標により最大耐力点を評価できることが分かった.

今後の課題として、本研究で提案した損傷指標の適 用性を様々な条件下で確認するとともに、せん断破壊 型も含めて、引張損傷の評価手法を検討する必要があ る.

