

非線形FEM解析による高強度RC柱の損傷評価

Damage Evaluation of High Strength RC Columns Using Nonlinear Finite Element Analysis

○ 鷲巢光宏¹, 長沼一洋², 田嶋和樹²

Mitsuhiro Washizu¹, *Kazuhiro Naganuma², Kazuki Tajima²

Abstract: High-strength reinforced concrete columns were analyzed to investigate the applicability of damage indices for concrete and steel proposed in the past study. It is found that the damage index of concrete becomes large with the increase of compressive degradation and the index reaches 1.0 in the vicinity of the maximum load point of high strength reinforced concrete columns.

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート (RC) 構造の詳細な損傷評価を目的として、FEM 解析により材料レベルの損傷状態に着目した評価が試みられている。赤井ら^[1]は塑性ひずみエネルギーに基づくコンクリートと鋼材の損傷指標を提案しているが、その適用性はまだ十分確認されていない。本研究では高強度鉄筋コンクリート柱の解析を行い、高強度部材に対する損傷指標の適用性を調べた。

2. 既往の損傷指標

赤井らはコンクリートの損傷指標 $Di(c)$ を、

$$Di(c) = \frac{\sum(Di(c)_{elm} \cdot \epsilon_{cmin} \cdot V_{elm})}{\sum(\epsilon_{cmin} \cdot V_{elm})} \quad (1)$$

$$Di(c)_{elm} = W_{epc}/W_{c0} \quad (2)$$

と定義した。ここで、 $Di(c)_{elm}$ は要素の損傷指標で、 W_{epc} はコンクリート要素の塑性ひずみエネルギー、 W_{c0} はコンクリートの一軸圧縮強度到達時の塑性ひずみエネルギーである。 $Di(c)_{elm}$ は最小主ひずみ ϵ_{cmin} と要素の体積 V_{elm} で重み付け平均化を行い、全体損傷指標 $Di(c)$ を求めている。本研究では ϵ_{cmin} の2乗で重み付けする方法も検討した。赤井らはコンクリートの圧縮破壊により最大耐力が決定する場合、 $Di(c)$ がほぼ 1.0 に到達することを示している^[1]。

さらに赤井らは鋼材の損傷指標 $Di(s)$ を、

$$Di(s) = \frac{\sum(Di(s)_{elm} \cdot J'_2 \cdot V_{elm})}{\sum(J'_2 \cdot V_{elm})} \quad (3)$$

$$Di(s)_{elm} = W_{eps}/W_{s0} \quad (4)$$

と定義した。ここで、 W_{eps} は鋼材要素の塑性ひずみエネルギー、 W_{s0} は相当塑性ひずみ 1.0%到達時の塑性ひずみエネルギー、 J'_2 は偏差ひずみの第二不変量である。赤井らは鉄筋の降伏により剛性低下が顕著になる点で $Di(s)$ がほぼ 1.0 に到達することを示している^[1]。

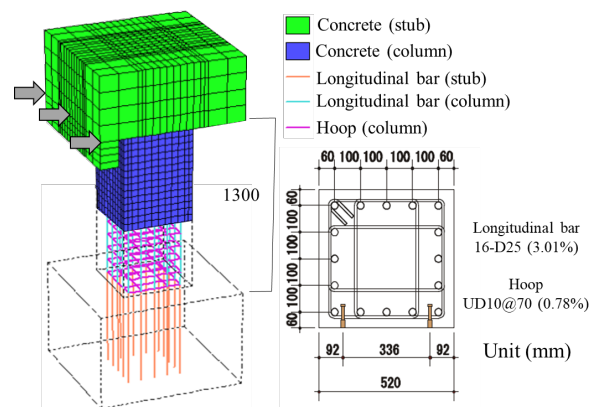


Fig.1 Specimen Size^[2] and Finite Element Mesh

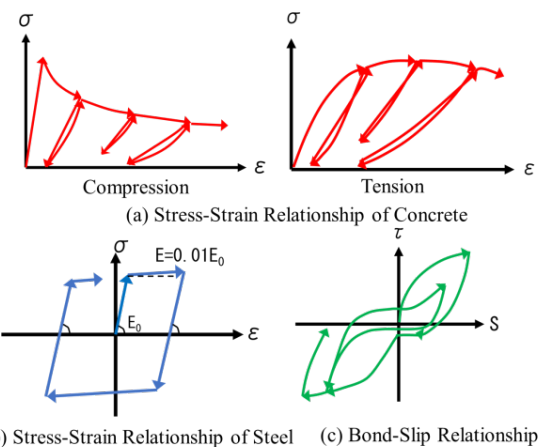


Fig.2 Hysteretic Models for Stress Reversal

3. 解析対象と解析方法

鈴木ら^[2]によって行われた実験を解析対象とした。Fig.1に要素分割および試験体の寸法、配筋を示す。試験体はM80, M130, M180の3体で、コンクリートの圧縮強度はそれぞれ65.5, 131, 168 (N/mm²)、ヤング係数は3.62, 4.31, 4.57 (×10⁴ N/mm²)である。主筋D25と帯筋UD10の降伏強度はそれぞれ729と920 (N/mm²)、ヤング係数は1.96と2.01 (×10⁵ N/mm²)である。

実験では上スタブに鉛直定軸力(軸力比0.3)と水平力が正負繰返して載荷されたが解析は単調載荷とした。

1 : 日本大学大学院理工学研究科建築学専攻 Dept. of Architecture, Nihon Univ.

2 : 日本大学理工学部建築学科 教授・博士(工学) Prof., Nihon Univ., Dr. Eng.

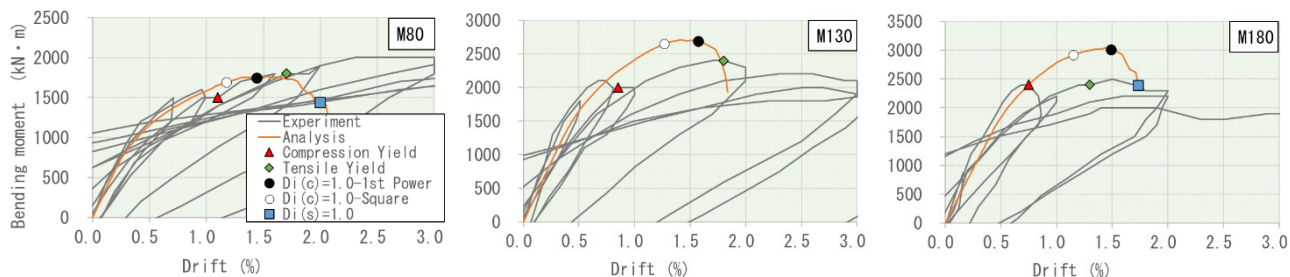


Fig.3 Bending Moment - Drift Angle Relationships

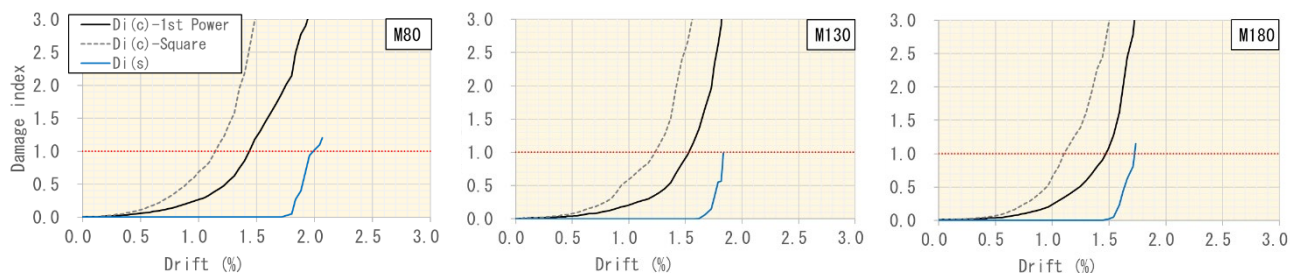


Fig.4 Damage Index - Drift Angle Relationships

コンクリートは六面体要素，鉄筋はトラス要素でモデル化し，スタブは弾性体とした．主筋とコンクリートの間には接合要素を配置し，付着すべりを考慮した．付着強度は M80, M130, M180 でそれぞれ 8.40, 9.98, 10.96 (N/mm²)，付着強度時のすべり量を 1.0 mm とした．コンクリートと鉄筋の応力～ひずみ関係および付着応力～すべり関係を Fig.2 に示す．

4. 解析結果

Fig.3 に実験および解析の荷重～変形角関係，Fig.4 に解析による損傷指標～変形角関係，Fig.5 に M180 のひび割れ図および $Di(c)_{elm}$ 分布図を示す．Fig.3 より，実験と解析の対応性は途中までは良好であるが，最大耐力に至るループの対応性には課題が残る．

Fig.4 より，損傷指標はいずれも同様の傾向を示し，最小主ひずみの 1 乗で重み付けした $Di(c)_{1.0}$ 到達点は解析の最大耐力点か，その直後である．一方，最小主ひずみの 2 乗で重み付けした場合は $Di(c)_{1.0}$ 到達点が最大耐力の少し手前となった．

$Di(s)$ は最大耐力到達後，実験の引張降伏時変形角に対応して増加し始め，その後の耐力低下に伴って急激に増加し， $Di(s)_{1.0}$ 到達点は最大耐力の約 80% まで低下した点となった．

以上より，赤井らの損傷指標は高強度コンクリートを用いた RC 柱に関しても最大耐力点やその後の耐力低下の評価に適用可能といえる．また，最小主ひずみの 1 乗より 2 乗で重み付けした方が最大耐力点を安全側に評価することがわかった．

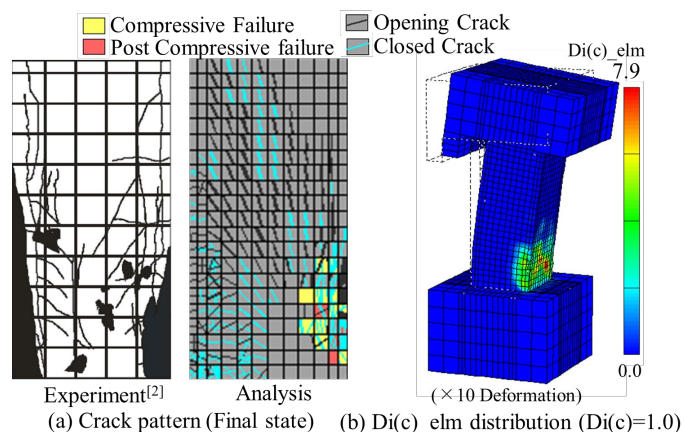


Fig.5 Analysis Results of Specimen M180

5. まとめ

既往の損傷指標の適用性を検討するため，高強度鉄筋コンクリートを用いた RC 柱の解析を行った結果，コンクリートの損傷指標 $Di(c)$ はコンクリート強度の違いに拘わらず，解析による最大耐力点の評価に適用できることがわかった．正負交番繰り返し载荷への適用性に関しては今後，検討を進める予定である．

参考文献

[1] 赤井冬来ほか：「塑性ひずみエネルギーに基づくコンクリート構造物の損傷指標」，日本建築学会構造系論文集，Vol.82， No.742， pp.1925-1933， 2017.12
 [2] 鈴木紀雄ほか：「高強度材料を用いた鉄筋コンクリート柱の曲げ耐力における寸法効果」，日本建築学会大会学術講演梗概集構造系， C2， pp. 521-522， 2008.09