

## 招待講演

### 鉄筋コンクリートの非線形解析の現況と耐震性能照査法の構築に向けた今後の取り組み

東京大学大学院教授

前川 宏一

この論文は、鉄筋コンクリート(RC)構造の材料非線形解析の現況を耐震性能照査法の視点から概括し、開発が急がれる技術項目について著者の私見を述べたものである。

RC 構造物の動的応答解析法として、部材自体の非線形挙動をモデルの出発点とする部材モデル(マクロモデル)と、部材を構成している材料の力学的特性をモデルの出発点とする材料モデル(ミクロモデル)がある。従来の耐震設計で必要とされた耐荷力、最大応答変位などの情報を得るためには、部材モデルで十分であるが、地震後に構造物が保有する使用性・復旧性などの残存性能を評価するためには、構成材料の損傷評価が必要となるため、材料モデルを用いる必要があるとの認識から、この論文では、「材料モデルに立脚した(動的)非線形解析」に限定した記述がなされている。関連する技術的課題として、(1)材料モデルを含む非線形応答解析の精度向上、(2)非線形応答解析結果に立脚した、地震後の使用性・復旧性を含む残存性能判定法の開発、の2点が挙げられ、これらの課題に対する研究の現状、研究課題ならびに将来展望が多数の文献の引用とともに明快かつ簡潔に述べられている。

論文の構成は以下のようである。

- (1) はじめに
- (2) RC 材料構成モデル
- (3) RC 材料非線形動的応答解析と検証
- (4) 新設および既設構造物の性能照査法への展開
- (5) まとめと課題

数値解析上からは、柱・はり構造の曲げ破壊のシュミレーションはせん断破壊のそれより難しいこと、偏心圧縮を受ける橋脚が偏心軸と直角方向に繰り返し水平力を受けると偏心方向の残留変位が急速に進展すること、多方向入力を受けると橋脚の残留変位は単方向入力より大きくなること、などは多くの人にとって目新しい知見であろう。

著者は、RC 構造の構成則、非線形数値解析、性能設計などの広範囲な分野で精力的な研究活動をされている日本を代表する研究者である。本論文はそれにふさわしい第一級の Review Paper であり、鋼構造関係者も是非一読されることをお勧めする。

#### [質疑応答]

- Q1 : 説明されたコンクリートの応力-ひずみ関係は、鉄筋を含むコンクリートのある領域の体積積分による平均値として、2次元的な要素を念頭においた有限要素法に導入可能なように誘導されていると理解されたが、最後の部分では、この応力-ひずみ関係を1次元的なファイバーはり要素に持ち込んだ解析が紹介された。ここで紹介された応力-ひずみ関係はファイバーの分割数とかサイズに関わらず用いてよいのか?
- A1 : ひび割れを含む2次元鉄筋コンクリート要素は、一般にひび割れに平行・直交方向に1次元の材料モデルを組み合わせて作られている。そのため、ファイバーはり要素にもそのまま適用が可能と考えている。但し、当初の定義で想定している平均化の領域(体積)とファイバー要素の大きさには、注意が必要である。
- Q2 : 鉄筋コンクリートのせん断強度は梁のサイズの影響を受け、有効高さが大きくなるとせん断強度は低下するという、いわゆる寸法効果の影響があると説明されたが、数値計算で寸法効果はどのように反映されるのか?
- A2 : せん断破壊は斜めひび割れの不安定な進展を伴う。構造寸法が大きくなると、ひび割れ進展に伴って開放される弾性エネルギーが、進展に必要な破壊エネルギーを上回り、早期にせん断ひび割れが発生する。解析では、ひび割れ以後の応力開放を材料モデルに反

映させて、せん断破壊の寸法効果が考慮される。また、鉄筋の配置に合わせて、付着作用が卓越する領域とそれが及ばない領域を、適切に評価することも肝要である。寸法によって両者の割合は異なるからである。それぞれで異なるひび割れ以後の応力開放を考慮することで、正規化されたはりのせん断強度を求めることができる。

[追記]

著者からこのセッションの座長宛に送られてきた私信の一部を紹介したい。

「コンクリートは漸くせん断から曲げモードの変形性能の予測へと議論が移ってきました。ここでの問題は、鉄筋の座屈とかぶりコンクリートの剥離・崩落であり、曲げ圧縮部のコンクリートの（ひび割れに囲まれたコンクリートの）圧縮座屈（コンクリートの圧縮破壊は、実際はせん断型と座屈型があるようですが、ここでは座屈型）になります。対象とする問題は鋼材もコンクリートも、力学の観点から言えば殆ど垣根はなくなったように思います。」

(座長：宇佐美勉)