

I - A 48 材料特性の違いや空間的ばらつきが構造系全体の破壊挙動に与える影響に関する基礎的研究

東京大学大学院 学生員 齋藤 康裕

東京大学生産技術研究所 正会員 目黒 公郎

1. はじめに: 鉄筋コンクリート(RC)はコンクリートと鉄筋から構成される複合材料であり, 打設時の環境, 配筋のずれや経年変化等により, 局所的な材料強度のばらつきや強度劣化が発生することは現実問題として避けることができない。しかし実際の構造解析や設計においては, 材料特性をすべて一定として扱うことがほとんどである。すなわち, 材料特性の違いや空間的なばらつきが構造系全体の破壊に与える影響は考慮されておらず, それらに対する検討は十分ではない。そこで本研究では, コンクリートと鉄筋の材料特性とその空間的な分布を変えたシミュレーションによって構造系全体の破壊挙動がどの様に変化するかを分析した。その際に, 梁の曲げ破壊試験や短柱のせん断破壊試験などの荷重条件による違いや鉄筋位置のずれなどによる影響も同時に調査した。本報告では紙面の関係からその一部を紹介する。

2. 解析方法

(1)解析理論: 本研究では, Meguro and Hatemが開発した新しい破壊解析法(応用要素法:AEM)¹⁾を用いている。従来 RC 構造の解析手法としては一般的には有限要素法(FEM)が用いられているが, FEM ではクラックが発生する場合, ジョイント要素や特異要素を用いることで非連続性を表現し, 節点の連続性を保持している。しかしこの手法では計算が複雑化すると共にクラックの発生, 進展方向を解析前に仮定する必要がある。そこでこれらの問題を解決するためにさまざまな解析法が提案されているが, その中でも, モデルの簡便さ, 解析結果の精度, 汎用性などの点において AEM は大きな可能性を有する解析法と期待される。この手法では, 解析対象は仮想的に要素に分割され, 各要素は接線方向, 法線方向の 2 種類の分布バネによって連結されている。要素同士は節点において常に連続しているという制約はなく, クラックは接線・法線方向の 2 種類のバネが代表する領域の材料が, その領域に作用する応力に耐え得るかどうかで自然と発生する。またクラックの発生による応力変動は周囲の他のバネに自動的に再分配されるため, あるクラックの発生が次のクラックを生む「進行性破壊」も特別な仮定を必要とせずに追跡することができる。

RC などの複合材料を扱う際にもコンクリートと鉄筋の応力-ひずみ関係は互いに独立に定義するため, 任意の鉄筋比の RC 構造物を扱えるなど汎用性が高い。また鉄筋の配置は配筋図に対応して忠実に考慮することができるなどの長所を有する。

(2)解析モデル: 解析対象としては $0.76 \text{ m} \times 3.5 \text{ m} \times 0.254 \text{ m}$ の RC 梁供試体を採用し, 仮想的に縦 20 x 横 92 のメッシュ(1 メッシュのサイズは $3.8 \text{ cm} \times 3.8 \text{ cm}$)に分割した。荷重条件は梁中央部への集中荷重載荷であり, これを変位制御で与えている(図1)。まずコンクリートの材料特性の空間的なばらつきが構造系全体の破壊挙動に与える影響を検討する。本解析では, 各要素 1 辺において 10 組の接線・法線方向バネを設定しているため, 1 組のバネが代表する領域は $0.38 \text{ cm} \times 3.8 \text{ cm}$ となり, これがばらつきを考慮する最小単位となる。本報告では 1 要素をばらつきの単位とした例を示す。空間的な分布はランダム配置とし, コンクリートの材料特性としては剛性と終局強度を取り上げた。両者を独立として変化させた場合, 実際に近い相関を持たせた場合などの解析を行ったが, ここでは, 剛性と終局強度が共に一定である「ケース A」, 各要素に対し, 剛性のみ, 終局強度のみをばらつかせた場合(それぞれ「ケース B」, 「ケース C」)を紹介する。材料特性のばらつきの分布としては, 供試体の各メッシュに対し $N(\mu, \sigma^2)$ に従う正規乱数を作成し, 変動係数 C_v が 10%, 20%, 25% (B/C-1, B/C-2, B/C-3 に対応)になる確率分布を与えている。

次に鉄筋の材料特性の違いが構造系全体の破壊挙動に与える影響を検討する。材料特性としては剛性と降伏強度を取り上げ, それぞれ独立に変化させた 2 ケース(ケース I とケース J)とした。鉄筋の材料特性は「ケース A~C」で用いた鉄筋の材料特性を基本ケースとし, それに対して 0.5, 1.5 倍(I/J-1, I/J-2 に対応)の値を用いている。

3. 解析結果: ケース A と B の結果を荷重-変位曲線(図2)を用いて比較する。これを見ると, 変動係数 25%のばらつきを与えたとしても構造系全体への影響は小さいことが分かる。ケース A とケース C を比較した時においても同様の結果が得られるが, これは本研究において用いた荷重条

キーワード: 応用要素法, 材料特性, 鉄筋コンクリート, 破壊解析, 破壊試験

〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1 東京大学生産技術研究所 C 棟 Tel: 03-3485-7624 (内) 7602 Fax: 03-3485-7796

件が曲げ引張り破壊を起こす条件であるため、鉄筋が主に荷重を負担する事から構造系全体の挙動が鉄筋によって支配されていると思われる。しかし破壊したコンクリートパネの材料特性を図 3 に示すような破壊パネの分布図を用いて表現すると、剛性と終局強度にはそれぞれ特徴的な傾向があることが分かる。剛性をばらつかせた場合、剛性が大きいパネほど早期に破壊しやすく、終局強度をばらつかせた場合には終局強度が小さいパネほど早期に破壊する傾向がある。この傾向は、それぞれの材料特性のパネの中で破壊してしまったパネの比率を求めて比較することにより顕著に見られる(図 3 下)。

次に鉄筋の剛性を変化させた場合の荷重-変位曲線を図 4 に示す。コンクリートが破壊する以前はコンクリートと鉄筋は一体となって外力に抵抗するが、コンクリートの破壊開始後、引張り側では主に鉄筋が荷重を負担するため鉄筋の材料特性の違いが構造系全体の挙動に大きな影響を与えることが分かる。これは降伏強度についても同様である。図 5 に破壊したパネの空間分布を示す。それぞれを比較すると、剛性を通常の 1.5 倍にしたものに比べ半分にしたものは破壊が広い範囲まで進展していることが見て取れる。これは鉄筋の剛性を小さくすることにより鉄筋の荷重負担が小さくなる分代わりにコンクリートが荷重を多く負担し、変形が大きくなるためコンクリートの破壊が広い範囲に及ぶものと思われる。

4. おわりに: 本研究では RC 供試体を構成するコンクリートと鉄筋の材料特性の違いやその空間的ばらつきが構造系全体の破壊挙動に与える影響を検討した。これらの検討を続けることにより、より現実に近い破壊現象の追及が可能となるとともに破壊現象を考慮に入れた設計がなされるようになるであろう。

参考文献

- 1) Meguro K. and Tagel-Din H.: A new technique for fracture analysis of structures, Bulletin of Earthquake Resistant structure, IIS, University of Tokyo, No. 30, pp. 103-116, 1997.

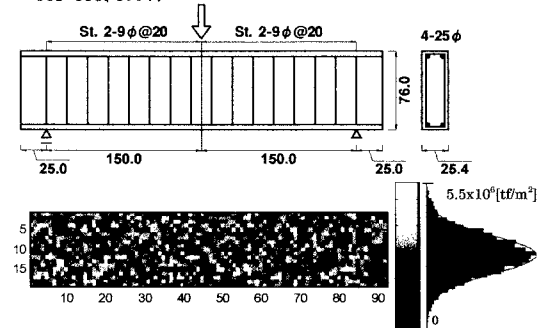


図 1 供試体の配筋図と材料特性の空間分布 Case B-3

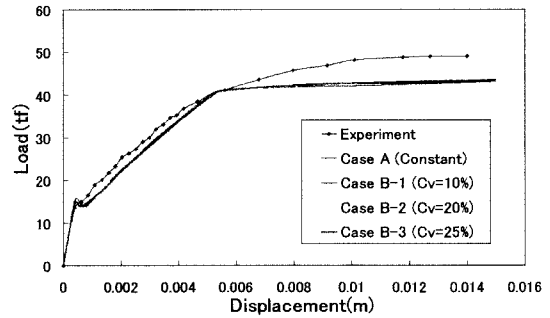


図 2 荷重-変位曲線(コンクリートの剛性をばらつかせた場合)

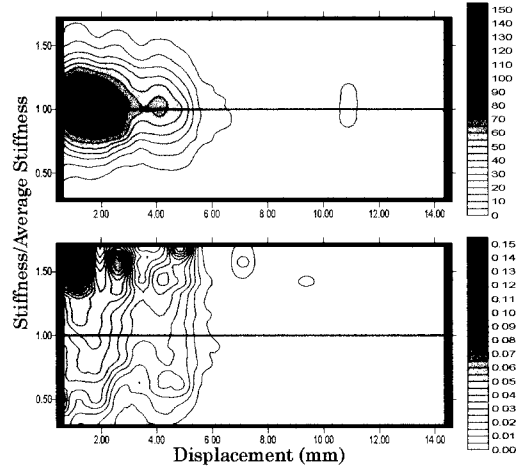


図 3 材料特性(剛性)別の破壊したパネの数(上)と発生比率図(下) (コンクリートの剛性をばらつかせた場合, Case B-2)

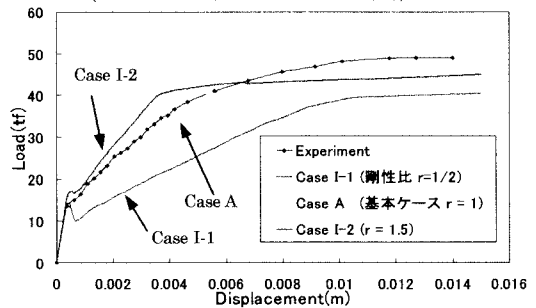


図 4 荷重-変位曲線(鉄筋の剛性を変化させた場合)

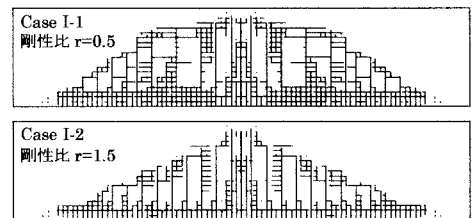


図 5 破壊したコンクリートパネの空間分布図 (鉄筋の剛性を変化させた場合, 変位 = 0.015 m の状態)