

非線形有限要素法による RC 梁部材のシミュレーション解析（その2）

北武コンサルタント株式会社 正会員 ○宮本 真一
株式会社ドーコン 正会員 小林 竜太
株式会社ドーコン 正会員 関下 裕太
北武コンサルタント株式会社 正会員 渡辺 忠朋

1. はじめに

コンクリート構造物の実務設計レベルにおいて非線形有限要素法解析コードは多数の設計者が扱うツールとなりつつある。しかしながら、非線形有限要素法による解析結果は材料構成モデルやそれらの組合せ、求解法や収束計算法等、多くの因子に影響を受けるため、解析結果の妥当性評価にはある程度の経験を必要とするが、多くの設計実務者は非線形解析の経験が豊富とはいえないと考えられる。

したがって、解析ツールを有効かつ適正に使用し、解析結果を適切に評価できるようにするためには、必要な訓練を設計実務者に対して効果的に行うことが重要である。

そこで、本検討ではコンクリート構造物を対象とした非線形解析の適切な使用方法を習得することを目的として、設計実務者 3 名がそれぞれ異なる汎用構造解析コードを使用して非線形解析を実施した。なお、解析対象は別途実施した RC 梁部材の静載荷実験供試体(せん断破壊型)とした。

2. 解析対象の概要

図-1には本解析で対象とした梁部材の形状寸法および配筋状況を示す。断面寸法 200×400mm，純スパン長 2,600mm，せん断スパン比 2.86 の複鉄筋矩形 RC 梁である。部材は斜め引張破壊によって終局に至るように断面設計を行い、主鉄筋の定着区間を除いてせん断補強筋は配置していない。なお、設計耐力によるせん断余裕度は 0.50 である。

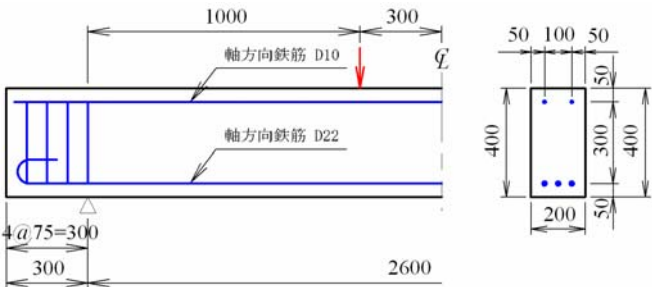


図-1 本解析で対象とした RC 梁部材の諸元

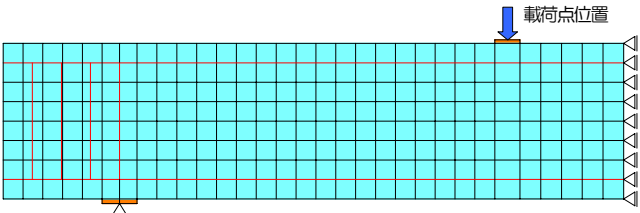


図-2 解析モデルの一例（解析者 A）

3. 数値解析の概要

3.1 各解析者が用いた解析手法の概要

表-1には各解析者が用いた解析手法の概要を一覧にして示している。本解析では、いずれの解析者も非線形有限要素法を採用し、解析対象を平面応力場問題として取り扱った 2 次元解析としている。使用した汎用の有限要素解析コードは、解析者 A は DIANA，解析者 B は MSC.Marc，解析者 C は WCOMD である。図-2には解析モデルの一例として、解析者 A のモデルの要素分割状況を示している。

表-1 各解析者が適用した解析手法の概要

項 目	解析者 A	解析者 B	解析者 C
解析次元	2 次元	2 次元	2 次元
解析手法	非線形有限要素法	非線形有限要素法	非線形有限要素法
解析プログラム	DIANA	MSC. Marc	WCOMD
解析対象範囲	ハーフスパン	ハーフスパン	ハーフスパン
要素タイプ	コンクリート：平面応力要素 鉄 筋：埋め込み鉄筋要素	コンクリート：平面応力要素 鉄 筋：トラス要素	平面応力要素 (鉄筋コンクリート(RC)要素)
境界条件	対称軸：水平方向変位成分を拘束 支点部：鉛直方向変位成分を拘束	対称軸：水平方向変位成分を拘束 支点部：鉛直方向変位成分を拘束	対称軸：水平方向変位成分を拘束 支点部：鉛直方向変位成分を拘束
荷重載荷法	強制変位	強制変位	強制変位
ひび割れモデル	分散ひび割れモデル (固定ひび割れモデル)	分散ひび割れモデル (固定ひび割れモデル)	分散ひび割れモデル (固定ひび割れモデル)
収束計算法	割線剛性法	Newton-Raphson 法	Newton-Raphson 法

キーワード：有限要素法，非線形解析，RC 梁，斜め引張破壊
連 絡 先：〒062-0020 札幌市豊平区月中央通 7 丁目北武第 2 ビル，北武コンサルタント（株），TEL：011-851-3181

3.2 材料構成モデルの概要

図-2に解析者Aが用いたコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。圧縮応力下では圧縮ひずみ $3,500\mu$ まではコンクリート標準示方書¹⁾に基づいて定式化し、それ以後は線形的に軟化するモデルを採用している。引張応力下ではコンクリート標準示方書¹⁾の引張破壊エネルギーを考慮した2直線モデルの Tension Softening を用いている。なお、ひび割れ発生後のせん断剛性は一律1%に低減させた。

図-3に解析者BおよびCが用いたコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。圧縮応力下および引張応力下ともに、コンクリート標準示方書¹⁾の最大応力点を超えた後の軟化領域が考慮されたモデルを採用している。また、引張応力下ではコンクリートと鉄筋の付着効果に伴う Tension Stiffening が考慮されている。但し、解析者A、Bではコンクリートと鉄筋は完全付着を仮定しているため、付着すべりの影響は考慮されていない。なお、ひび割れ発生後のせん断剛性は、解析者Bの場合はひび割れひずみに応じて低減させており、解析者Cの場合には接触密度関数による独自のせん断伝達モデルで評価されている。

一方、鉄筋要素には降伏後の塑性硬化を考慮したバイリニア型の応力-ひずみ関係が採用されている。

4. 解析結果および考察

図-4に載荷点位置における荷重-変位関係を実験結果と比較して示す。図より、解析者B、Cの結果は実験結果を比較的精度良く再現できていることが分かる。一方、解析者Aの結果は他と比較して実験結果の再現性が低く、載荷初期の段階から剛性が小さく評価されていることが分かる。これは、コンクリートの引張応力下のモデルやせん断剛性低減モデルの違いにより、ひび割れ発生後の剛性低下およびひび割れの進展過程が実験と異なっていることに起因しているものと推察される。

図-5にひび割れ分布性状を実験結果と比較して示す。いずれの解析者も梁下面の曲げひび割れやウェブにおける明瞭な斜めひび割れが再現されており、荷重-変位関係には相違が見られたが、ひび割れ性状は類似している。

5. まとめ

斜め引張破壊型の梁部材に対しては、解析者によって結果のバラツキが大きく、特に最大荷重の予測は困難であることが分かった。今後は既往の研究成果を調査した上でせん断破壊解析に対する知見を蓄積していきたいと考えている。なお、本検討結果は北海道土木技術会コンクリート研究委員会に設置された研究会における活動成

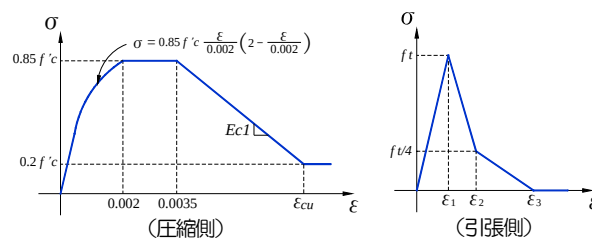


図-2 コンクリートの応力-ひずみ関係 (解析者A)

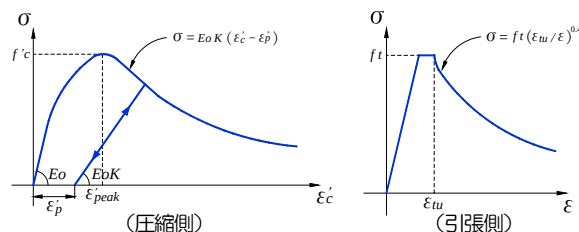


図-3 コンクリートの応力-ひずみ関係 (解析者B, C)

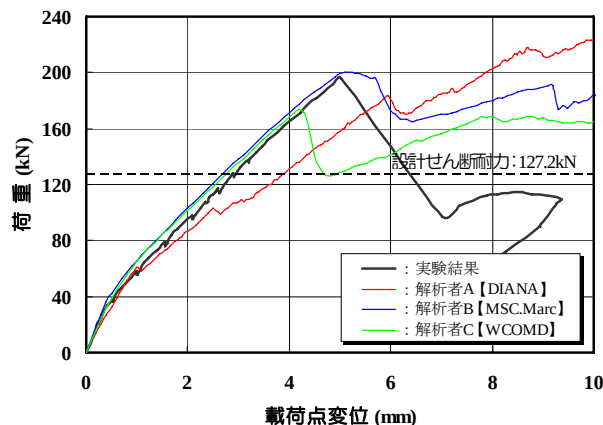


図-4 載荷点位置における荷重-変位関係の比較

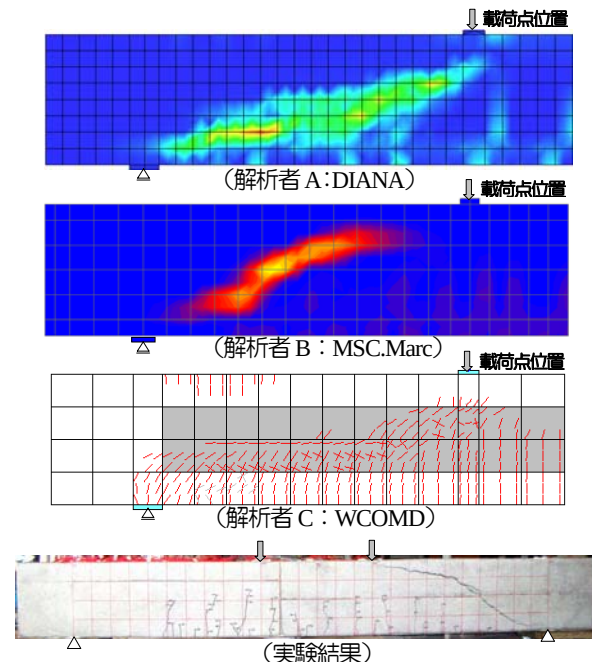


図-5 ひび割れ分布性状に関する実験と解析の比較
果の一部である。北海道大学大学院の佐藤靖彦准教授をはじめ、関係各位からは多くの貴重なアドバイスを頂戴致しました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 2007年制定：コンクリート標準示方書【設計編】，土木学会