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1)

株式会社ドーコン

株式会社ドーコン

1. はじめに

コンクリート構造物の非線形解析は、材料構成モデルや それらの組合せ、非線形解析特有の求解法や収束計算法等、 解析結果が多くの因子に影響を受ける。そのため、多くの 解析コードが開発・普及される中で、解析結果の妥当性は 未だ個々の技術者の判断に委ねられているのが実状である。

その一方で,近年では実務レベルにおいても非線形解析 が適用されるケースが増加し,多数の技術者が扱うツール となりつつある。そのため,解析ツールを有効かつ適正に 使用することは勿論のこと,得られた解析結果の妥当性を 評価するための十分な訓練を行う必要があると考えられる。

このような背景より、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正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 析コードを利用して非線形解析を試みた。なお、本検討で は別途実施した RC 梁部材の静載荷実験を解析対象とした。

2. 解析対象の概要

図-1には本解析で対象とした RC 梁部材の形状寸法お よび配筋状況を示している。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 であり,等曲げ区間にはせん断補強筋を配置していない。 なお,梁部材は曲げ引張破壊によって終局に至るように断 面設計を行い,設計耐力によるせん断余裕度は 2.52 である。

<	1000	-> < ³⁰⁰ >	50 100 50
軸方向鉄創	<u> </u>		
	<u> </u>		400
△ 4@75=300	125=1000	6	200
300		2600	
図—1	本解析で対象と	とした RC 梁	部材の諸元

北武コンサルタント株式会社 正会員

北武コンサルタント株式会社 正会員

正会員 〇関下 裕太

小林 竜太

宮本 真一

渡辺 忠朋

正会員

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が用いた有限要素モデルを示している。

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	

表-1 各解析者が適用した解析手法の概要

キーワード : 有限要素法, 非線形解析, RC 梁, 曲げ引張破壊

連絡先:〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5丁目4番1号,株式会社ドーコン【構造部】, TEL:011-801-1540

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 μ 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。

図-3に解析者 B および解析者 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が採用されてい 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 C のモデルでは鉄筋の付着効果が及ばない領域は無筋 コンクリート要素を用いてモデル化を行っているため、 その領域では Tension Softening のみが考慮される。なお、 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。

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には載荷点位置における荷重-変位関係を実験 結果と解析結果で比較して示している。図より、いずれ の解析者も鉄筋降伏時までの挙動は実験結果を概ね再現 できていることが分かる。しかしながら、解析者Aの結 果ではひび割れ発生後の剛性が他の結果に比較して若干 小さく評価されている。また、鉄筋降伏後は解析者Cの 結果が変位25mm近傍で荷重が急激に低下しているが、 他の解析者の結果ではこのような傾向は見られない。

図-5にはひび割れ分布性状を実験と解析で比較して 示している。図より、いずれの解析者もスパン方向に分 散した曲げひび割れが再現されており、実験で確認され たひび割れの定性的な特徴は捉えていることが分かる。

5. まとめ

曲げ引張破壊型の梁部材に対しては、いずれの解析者 も鉄筋降伏までの挙動は実用可能な精度で予測可能であ ると考えられるが、終局荷重や終局変位の予測は現段階 では相当に困難な状況にある。今後は特に材料構成モデ ルに着目した検討を行い、継続的に取り組んでいきたい 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 成果の一部である。北海道大学大学院の佐藤靖彦准教授



図-5 ひび割れ分布性状に関する実験と解析の比較 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