

RC 柱の非線形解析における鉄筋のモデル化に関する検討

八戸工業大学大学院 学生会員 ○阿里甫江 夏木西
八戸工業大学 正会員 長谷川明

1. はじめに

現在、非線形解析ソフトとして多くの研究者が利用している ADINA による鉄筋コンクリート (RC) 構造解析では、多くの場合、利便性から REBAR 要素モデル (REBAR モデル) を使用している。REBAR モデルは、ADINA で鉄筋をシミュレートする際の専用要素と言える。しかし、REBAR モデルを使って RC 構造を解析すると、RC の荷重-変位曲線はコンクリートのそれに似ているが、最大荷重以降の荷重-変位曲線は、実験結果と大きく異なっている。これは、少なくとも荷重-変位曲線に鉄筋の影響を反映していないことを意味する。

そこで、本論文では、円筒形断面を有する RC 柱を例に、コンクリートおよび RC 柱の軸圧縮試験と、BEAM 要素モデル (BEAM モデル) および REBAR 要素モデルの解析結果と比較考察した。

2. 軸圧縮試験

2.1 試験体概要

数値解析に比較基準を提供するために、コンクリートおよび RC 柱の軸圧縮試験が実行された。すべての試験体の外径と高さは 150mm と、それぞれ 450mm で、コンクリートの強度は 40MPa だった。試験体は 2 つグループに分けられて、各グループで 3 つ同じ試験体が準備された。試験体の詳細情報を表-1 に示す。

2.2 試験結果

数値解析と比較するために、軸圧縮試験から得られた重要なデータを表-2 に示す。

表-1 試験体の詳細情報

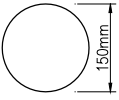
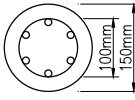
グループ名	コンクリート	RC
試験体名	C-T-(1, 2, 3)	RC-T-(1, 2, 3)
横断面		
主鉄筋	-	数量: 6 材料: SD295 直径: 6.0mm
フープ鉄筋	-	材料: SS400 直径: 3.0mm 間隔: 30mm

表-2 最大荷重および対応変位

グループ名	コンクリート			RC		
試験体名	C-T-1	C-T-2	C-T-3	RC-T-1	RC-T-2	RC-T-3
最大荷重 (kN)	619.3	568.3	677.5	599.7	527.1	656.0
平均 最大荷重 (kN)	621.7			594.3		
対応変位 (mm)	1.28	1.34	1.34	1.36	2.61	1.33
平均 対応変位 (mm)	1.32			1.77		

3. 非線形解析モデル

3.1 コンクリートの材料モデル

図 1 のように、コンクリートの材料モデルは ADINA から提供された材料モデルを採用する。この分析で: $\sigma_c=38.4\text{Mpa}$ (試験による)、 $\varepsilon_c=0.003$ 、 $\sigma_u=34.0\text{Mpa}$ ($\sigma_u=0.8\sigma_c$)、 $\varepsilon_u=0.006$ ($1.2\varepsilon_c \leq \varepsilon_u \leq 11\varepsilon_c$)、 $\sigma_t=2.6\text{Mpa}$ 、($\sigma_t=0.23(\sigma_c)^{2/3}$)、 $E_{ct}=2.9 \times 10^4 \text{Mpa}$ ($E_{ct}=4,700\sqrt{\sigma_c} \text{MPa}$)、 $\sigma_p=0$ 。

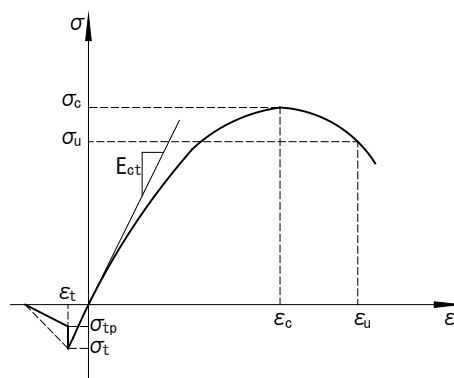


図-1 コンクリートの応力-ひずみ関係

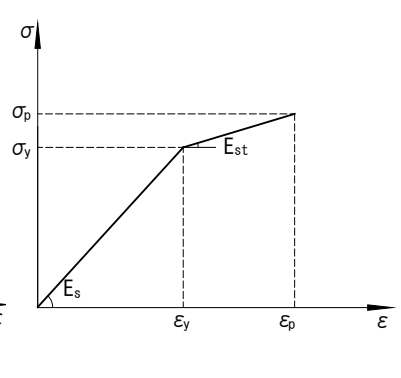


図-2 鉄筋の応力-ひずみ関係

キーワード: 鉄筋; RC 構造; ADINA; 非線形解析; 荷重-変位曲線

連絡先: 〒031-8501 青森県八戸市妙字大開 88-1 TEL:0178-25-3111

3.2 鉄筋の材料モデル

図 2 のように、鉄筋の材料モデルは ADINA から提供されたバイリニア材料モデルを採用する。この分析で：
 $\sigma_y=295\text{Mpa}$ 、 $E_s=2.0\times10^5\text{Mpa}$ 、 $E_{st}=2000\text{Mpa}(E_{st}=0.01\sim0.0125E_s)$ 。

4. 非線形解析および検討

圧縮試験に対応して、3 種類の柱を解析した。その際、10 ノード、3 次元ソリッド要素を使って解析した。

- 1) コンクリート柱：名称 C-A
- 2) 鉄筋コンクリート柱 (REBAR モデル)：名称 RC-R-A
- 3) 鉄筋コンクリート柱 (BEAM モデル)：名称 RC-B-A

解析後、代表的な試験体 (C-T-3 と RC-T-1) の結果と、非線形解析の結果を比較した。これを、表-3、図-3、図-4 に示す。これらから、次のことが言える：

(1) 表-3 によると、最大荷重とそれに対応する変位の結果は、REBAR モデル (RC-R-A) を使用すると、実験値と大きな差が生じることを示している。

(2) 図-3 によると、REBAR モデル (RC-R-A) の非線形解析曲線はコンクリート (C-T-3) の曲線に似ている、また、試験の曲線 (RC-T-1) と比べると大きい差がある。これに反して、BEAM モデル (RC-B-A) ではコンクリート (C-T-3) の曲線と異なり、実験の曲線 (RC-T-1) とよく一致する。

(3) 図-4 によると、柱は最大荷重に到着する時、REBAR モデル (RC-R-A) の鉄筋には大きな変形がないのに、BEAM モデル (RC-B-A) の鉄筋に大きな変形を明らかに観察できる。これは、BEAM モデル (RC-B-A) が REBAR モデルより実際の状態に近づいていることを意味する。

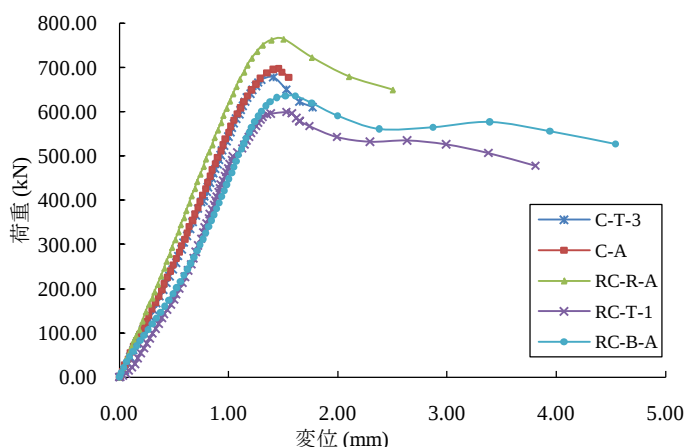


図-3 荷重-変位曲線

表-3 最大荷重および対応変位

名称		試験	解析	誤差
コンクリート (C-T-3 と C-A)	最大荷重 (kN)	677.50	697.60	2.88%
	変位 (mm)	1.34	1.46	8.22%
REBAR モデル (RC-T-1 と RC-R-A)	最大荷重 (kN)	599.70	764.70	21.58%
	変位 (mm)	1.40	1.65	15.15%
BEAM モデル (RC-T-1 と RC-B-A)	最大荷重 (kN)	599.70	636.00	5.71%
	変位 (mm)	1.40	1.52	7.89%

表-4 REBAR モデルと BEAM モデルの比較

比較項目	REBAR モデル	BEAM モデル
要素タイプ	truss	beam
断面力	N	N、V、M
収束性	G	NG
計算速度(秒)	G(0.34)	NG(0.51)
メモリ使用量(MB)	G(65.6)	NG(75.3)
精度	NG	G

*G=good, NG=not good

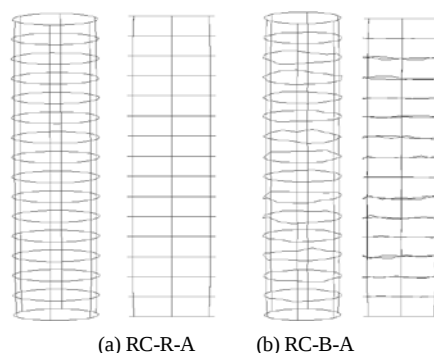


図-4 鉄筋ケージの変形 (最大荷重時)

REBAR モデル (RC-R-A) と BEAM モデル (RC-B-A) の違いを表-4 に示す。REBAR モデルでは、シミュレートする時、鉄筋をトラスとして取り扱うのに対し、BEAM モデルでは、鉄筋を梁材として取り扱っている。したがって、BEAM モデルでは軸力、せん断力および曲げモーメントが生じるが、REBAR モデルでは軸力のみが評価されている。これが、BEAM モデルが REBAR モデルより、実態に近く鉄筋をシミュレートすることができる要因と考えている。

5. まとめ

ADINA で RC 構造を解析する時、BEAM モデルは REBAR モデルより鉄筋をもっと良くシミュレートすることができる。また、モデリング操作の点から考えても、BEAM モデルは REBAR モデルよりもっと簡単に操作できることがある。しかし、解の収束から考えると、REBAR モデルは BEAM モデルより収束しやすい。非線形解析を実行する時に、解の収束は顕著な問題であり、要素の型、メッシュのサイズ、収束条件、積載方法、材料特性などと関係がある。今後、解の収束性、計算時間、モデリングなどの研究が必要である。