

超高強度材料を用いた RC 柱部材の繰り返し曲げ載荷実験に対する三次元 FE 解析

九州大学大学院 学生会員 ○牟田 諒平
 (株) 大塚社会基盤総合研究所 フェロー 大塚 久哲

(株) エスイー 正会員 野澤 忠明
 九州大学大学院 正会員 崔 準祐

1. はじめに

近年、部材断面の縮小による死荷重の低減、施工の省力化、建設・維持管理コストの削減が期待されている超高強度繊維補強コンクリート（以下、‘PVA-UFC’ と表記）の使用実績が増加している。こうした超高強度材料を構造物に適用するにあたっては、超高強度材料の力学的特性や超高強度材料を用いた部材の耐力確認実験等を行う必要があるが、実験事例が少なく、その設計手法が確立されていない現状である。本研究では、過去に実施した超高強度材料を用いた RC 柱部材の正負交番載荷実験¹⁾に対し、RC 柱部材の履歴モデルとして広く使用されている材料構成則を用いて三次元 FE 解析を実施し、荷重-変位履歴、ひび割れ状況、鉄筋降伏状況について再現性を検討した。

2. 供試体及び解析の概要

図-1 に解析モデルを示す。解析ソフトは、非線形有限要素解析ソフト FINAL (ver.11.2) を利用した。コンクリートはソリッド要素、主鉄筋および帯鉄筋は線材要素としてモデル化した。各検討ケースおよび材料試験結果を表-1 に示しており、解析でも同様の材料特性を用いている。実験では、初期軸力として軸応力 1.0N/mm^2 を与え、主鉄筋ひずみが初めて降伏ひずみを超えたときの変位を δy とし、 $1\delta y$ および $2\delta y$ は 3 回、 $3\delta y$ および $4\delta y$ は 2 回、 $5\delta y$ 以降は 1 回ずつの繰り返し載荷を行っており、本解析では実験

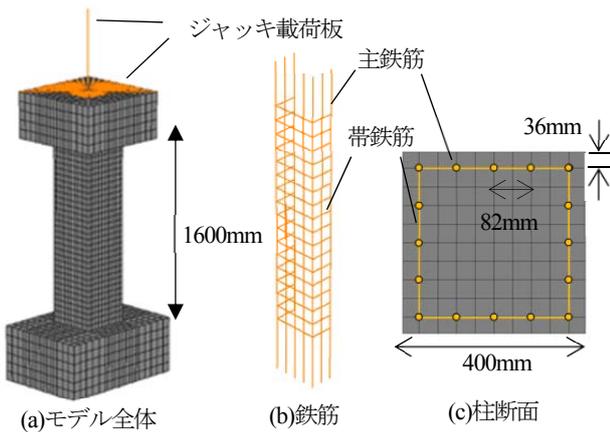


図-1 解析モデル

表-1 各検討ケースおよび材料試験結果

	No.1	No.2	No.3	No.4	
コンクリート	種類	普通	PVA-UFC	普通	PVA-UFC
	圧縮強度 (N/mm^2)	41.2	143.9	36.3	154.0
	ヤング係数 (N/mm^2)	32100	48000	33000	49500
主鉄筋	種類	SD345	SD345	USD685	USD685
	降伏強度 (N/mm^2)	392.0	405.0	716.0	760.5
	ヤング係数 (N/mm^2)	200000	198000	200000	200000
帯鉄筋	種類	SD345			
	降伏強度 (N/mm^2)	399.0	395.0	395.0	399.0
	ヤング係数 (N/mm^2)	200000	195000	195000	200000

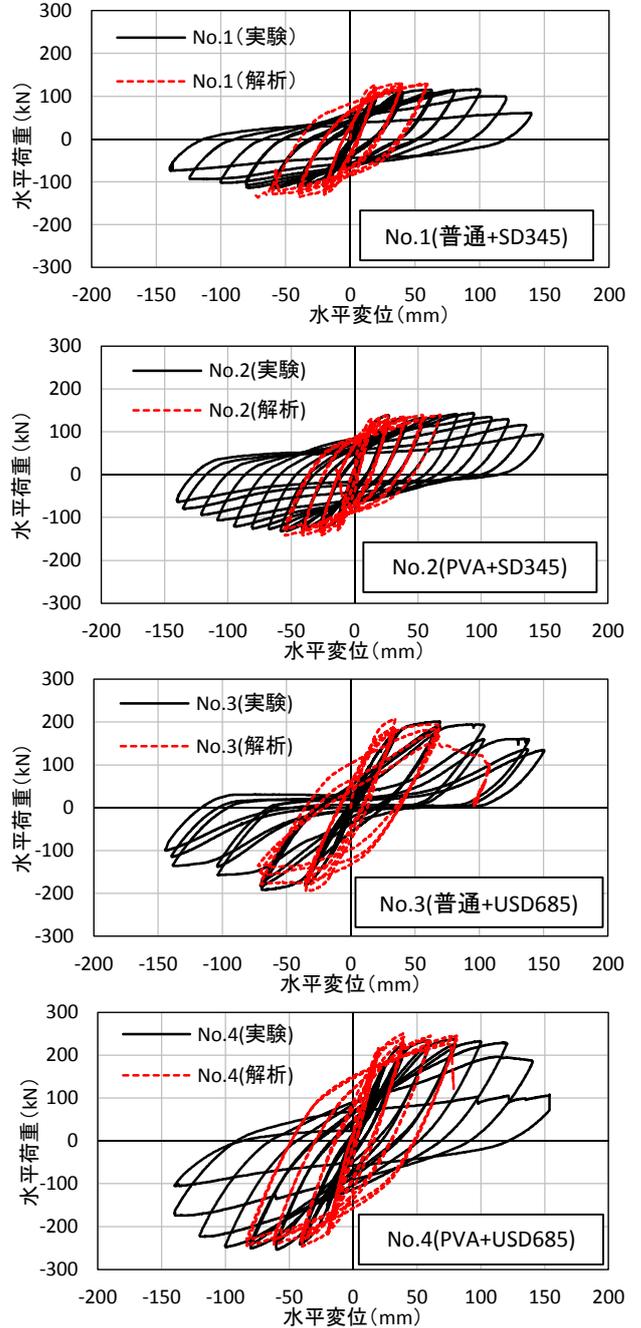


図-2 荷重-変位履歴の比較

表-2 $1\delta y$ 、降伏点剛性、降伏耐力、最大耐力

	No.1	No.2	No.3	No.4	
$1\delta y$ (mm)					
降伏点剛性 (kN/mm)	実験	5.19	8.36	5.07	7.11
	解析	6.38	9.67	5.98	10.85
降伏耐力 (kN)	実験	100.4	113.3	175.4	174.9
	解析	126.8	130.3	207.1	216.5
最大耐力 (kN)	実験	115.9	143.8	201.8	236.9
	解析	130.4	140.5	207.1	251.4

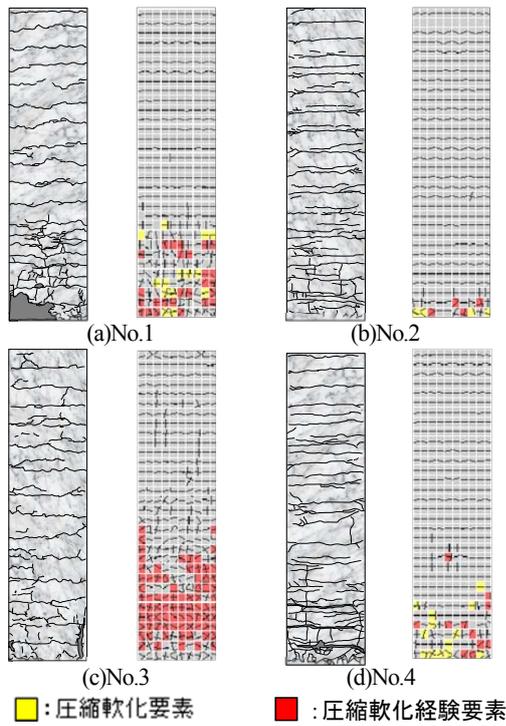


図-3 最大耐力時におけるひび割れ分布状況の比較

と同様な載荷条件を与えた。

材料構成則については、普通の強度を有する RC 柱部材に対して広く用いられているものを採用することとし、コンクリートの圧縮応力とひずみの関係および圧縮軟化特性は修正 Ahmad モデルを用い、コンクリートの引張応力とひずみの関係は出雲らのモデル ($c=0.8$) を用いた。また、コンクリートのひび割れ後のせん断伝達特性は長沼モデルを考慮してモデル化を行った。鉄筋については、Ciampi により提案された修正 Menegotto-Pinto モデルを使用した。

3. 解析結果

3.1 荷重-変位関係

各検討ケースにおいて解析により得られた荷重-変位履歴応答と実験で得られた履歴応答を比較した結果を図-2 に示す。また、表-2 には No.1~No.4 の $1\delta y$ 、降伏点剛性、降伏耐力、最大耐力を示す。ここで、降伏点剛性は原点と $1\delta y$ 点を結んだ線の勾配とした。

表-2 より全てのケースにおいて、解析の降伏点剛性および降伏耐力が実験値を上回る結果となったが、最大耐力値については比較的精度良く再現できた。解析の降伏点剛性および降伏耐力が実験値より大きくなったのは、実験の変位測定における誤差や、解析ではコンクリートと鉄筋が完全付着であると仮定してモデル化していたため、実験より剛な挙動を示していたことが原因と考えられる。

3.2 損傷状況

図-3 に No.1~No.4 の最大耐力時におけるひび割れ分布状況の比較を示す。ここで左図が実験時でのひび割れ、右図が解析でのひび割れ分布である。全ての解析ケースにおいて、水平方向のひび割れおよび基部付近の鉛直方向のひび割れを概ね再現できていると思われる。一方、No.3 においては、基部から柱の中央部に至るまでの損傷個所が実験

表-3 各ケースの鉄筋降伏荷重

	鉄筋降伏荷重 (kN)			
	実験		解析	
	C断面	D断面	C断面	D断面
No.1	98.3	99.3	105.5	95.81
No.2	110.7	101.4	109.8	108.4
No.3	160.9	157.8	167.1	164.7
No.4	174.9	168.7	187.4	186.5

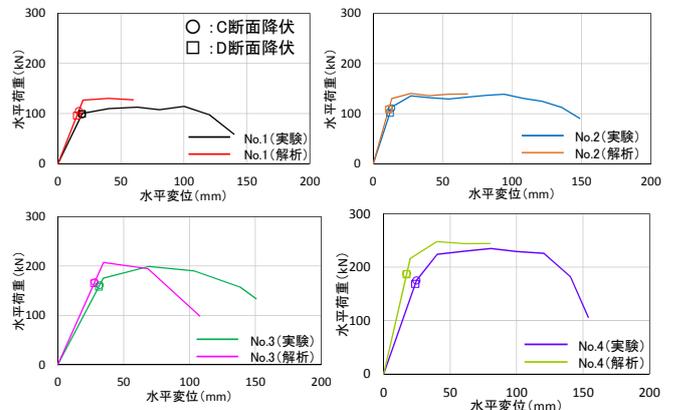


図-4 実験と解析の包絡線と各断面の鉄筋降伏

に比べ解析の方で多く現れており、再現性が乏しい。

3.3 鉄筋降伏時および鉄筋降伏後の状況

表-3 に基部から 150mm 離れた断面 (C 断面) と、基部から 50mm 離れた断面 (D 断面) における鉄筋降伏時の荷重を示す。実験と解析の鉄筋降伏時の荷重を比較すると、全てのケースにおいて各断面の鉄筋降伏時の荷重を概ね再現できた。また、図-4 に実験と解析の包絡線と各断面の鉄筋降伏を示す。普通コンクリートを使用した No.1 と No.3 においては、実験では鉄筋降伏後すぐに降伏荷重を迎えるのに対し、解析では鉄筋降伏後しばらく耐力が上昇してから降伏した。また、PVA-UFC を用いた No.2 と No.4 においても鉄筋降伏後の実験と解析の骨格曲線が異なっており、こうした両者の違いは鉄筋の付着性やコンクリートの材料構成則の影響によるものと考えられる。また、No.3 の解析では、降伏後に靱性が乏しく、実験に比べ剛性低下が早くなっており、上述した No.3 の損傷状況の違いはこうした鉄筋降伏後の両者の挙動が異なっていたためと考えられる。

4. まとめ

本研究では、超高強度材料を用いた RC 柱部材の正負交番載荷実験の 3 次元 FE 解析による再現性を調査した。荷重-変位履歴を比較すると、全てのケースにおいて解析の降伏点剛性および降伏耐力が実験値を上回る結果となったが、最大耐力については比較的精度良く再現できた。一方、損傷状況および鉄筋降伏後の履歴においては、実験と解析で差が見られており、今後鉄筋の付着性やコンクリートの材料構成則に着目し更なる検討を行う予定である。

参考文献

- 1) 崔準祐, 牟田諒平, 野澤忠明, 大塚久哲: 超高強度材料を使用した RC 柱部材の耐力および変形性能確認実験, コンクリート工学年次論文集, Vol.37, No.2, 2015