

RC 部材の靱性に関する解析

木更津工業高等専門学校 学生会員 ○田中慎治
木更津工業高等専門学校 正会員 石田博樹

1. はじめに

1995 年 1 月 17 日未明に起きた兵庫県南部地震では、鉄筋コンクリート橋脚や RC 構造物の多くがせん断破壊による被害を受けたほか、大被害を免れた構造躯体についても人命は保全されたものの、構造部材のひび割れや非構造部材の損傷によって居住できなくなった RC 構造物が多数発生した^[1]。その主な理由は靱性の評価を直接行わなかったことで、大地震によって大きく塑性域に入った骨組みの変形能力としての挙動が計算等によって把握されていなかったためである。このような背景から RC 構造物の耐震性能の向上を目的とした多くの実験が行われてきた^{[2]・[3]・[4]・[5]・[6]・[7]}。

一方、コンピュータ技術の発展により、近年では数値シミュレーションを用いた研究も盛んに行われている^[8]。

本研究では、東京大学コンクリート研究室で開発された RC 構造の非線形動的解析ソフト UC-Win/WCOMD(FORUM8 製品)を用い、有限要素解析を行い、実験データと比較・検討し耐震性能評価の検討を行う。また、その結果として解析ソフトの有効な利用方法と適用範囲の整理を目的とした。

2. 靱性

2. 1 靱性について

靱性とは材料が降伏してから破壊に至るまでの粘り強さであり、材料特性における強度とは別の表現で示される。構造物の脆性的な破壊は危険を伴うため延性的破壊が望まれる。RC 構造物は降伏後さらに変形する場合、残留変形や大きなひび割れを生じ、構造物としての機能が著しく低下する。このことに

関して過去の地震時における被災例や実験等を参照し、構造物の地震時における最大応答変位と被災の程度との関係を分類すると次のようになる。

(地震時最大応答変位)	(被災の程度)
1 δ_y ・ ・ ・ ・ ・	健全維持
2 δ_y ・ ・ ・ ・ ・	軽微な損傷
3 δ_y ・ ・ ・ ・ ・	中程度の損傷
4 δ_y ・ ・ ・ ・ ・	かなりの損傷

一般的に構造物の損傷が想定以上となった場合においても破壊に至り兼ねない甚大な被害を避けるためには 4 δ_y 程度の最大変位の交番繰り返し作用に対して残存耐力を有する必要がある。

上記のような靱性を構造物に保持させるためには、鉄筋が降伏してから部材が破壊に至るまでの変形能力の保持が重要な条件となる。

2. 2 靱性率について

耐震性能の基準である靱性を定量的に評価するために、靱性率が一般的に用いられている。靱性率は次式で表される。

$$\mu = \delta_u / \delta_y \quad \cdots \cdots (1)$$

ここで μ : 靱性率
 δ_u : 終局変位
 δ_y : 降伏変位

本研究の終局変位は、図-1 に示すように「荷重-変位曲線の包絡線における最大荷重が降伏荷重を下回った直前の荷重変位」と定義した。

キーワード 有限要素解析, 靱性, 靱性率, エネルギー吸収容量

連絡先 〒292-0041 千葉県木更津市清見台東 2-11-1 (独) 木更津工業高等専門学校 TEL 0438-30-4000

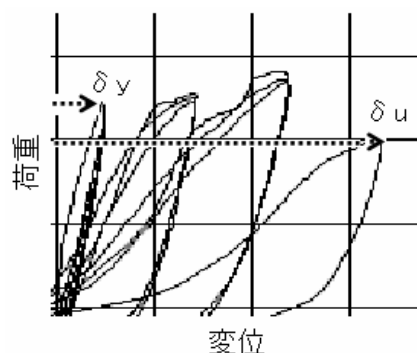


図-1 降伏変位・終局変位

2. 3 エネルギー吸収容量について

1 サイクルあたりの載荷で、部材に吸収されるエネルギー量は、図-2 に示すように荷重-変位曲線によって囲まれる面積から求められる。

本研究では、載荷開始後からある時点までの吸収エネルギーの総和を累積吸収エネルギーと定義し、終局までの累積吸収エネルギーをエネルギー吸収容量とする。

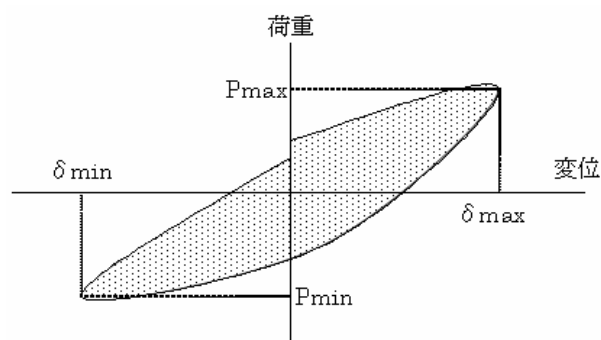


図-2 1 サイクルあたりの履歴吸収エネルギー

3. 解析方法

3. 1 解析ソフト

本研究で使用する有限要素法解析ソフトは、東京大学コンクリート研究室で開発された UC-Win/WCOMD(FORUM8 製品)を使用する。

3. 2 解析モデル

図-3 に解析供試体の形状・寸法を示す。また、解析供試体は図-4、図-5 に示すようなメッシュの切り方が違う Type1 と Type2 の二つを用い、解析を行う。

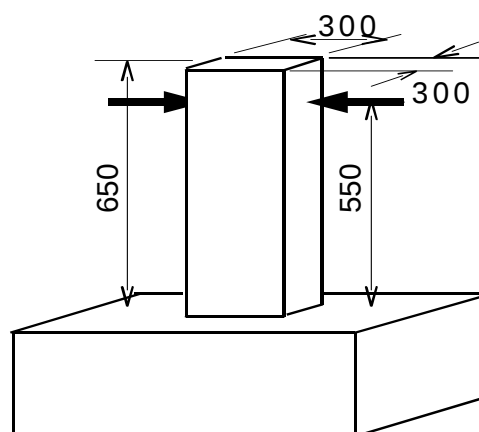


図-3 解析供試体の形状・寸法 (単位:mm)

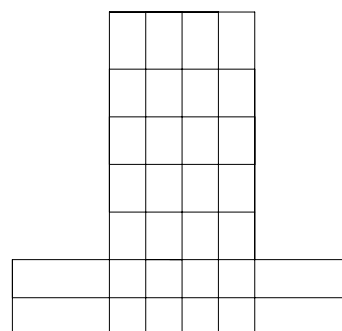


図-4 解析供試体 Type1

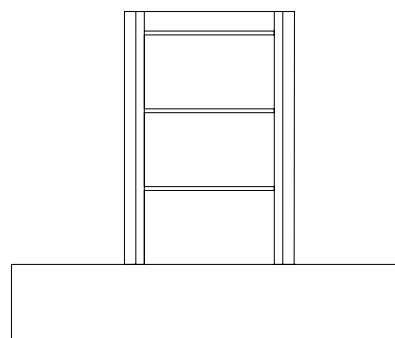


図-5 解析供試体 Type2

3. 3 解析条件

使用材料の力学的性質を表-1 に示す。軸方向鉄筋比は 1.10%，帯鉄筋比は 0.24% である。せん断スパン比 (a/d) は 2.1 である。これらの解析条件は過去の実験と同じ値とした。

表-1 使用材料の力学的性質

	鉄筋		コンクリート	
	主鉄筋	帯鉄筋		
品種・寸法	SD295 D16	SD295 D10	圧縮強度	26.5 N/mm ²
降伏点	353 N/mm ²	366 N/mm ²	引張強度	2.64 N/mm ²

4. 結果, 考察

4. 1 実験結果

図-6 に過去に行った正負交番繰り返し載荷試験より得られた荷重-変位曲線を示す。降伏変位は 3.57mm, $5\delta y$ の 2 サイクル目で包絡線の最大荷重が降伏荷重を下回ったため、この時点を終局とし終局変位は 17.85mm であった。また、 $2\delta y$ までは膨錘型の挙動を示しているが、終局時においては除荷勾配が緩やかになり、逆 S 字型の挙動へと変化している。これは、繰り返し載荷による供試体の耐力低下が原因であると考えられる。

4. 2 解析結果 (Type1)

図-7 に解析供試体 Type1 より得られた荷重-変位曲線を示す。荷重-変位曲線の挙動が紡錘型を描いていることがわかる。解析供試体において $6\delta y$ の 3 サイクルまで解析を行ったが、荷重-変位曲線の包絡線における最大荷重が降伏荷重を下回ることなく終局には至らなかった。この原因として、RC 部材を有限要素にモデル化する方法として、本解析ソフトでは鉄筋要素とコンクリート要素を統合し、単一の RC 複合要素としてモデル化する分布鉄筋モデルを用いており、配筋方法を鉄筋比入力のみで行うために実際の配筋を忠実に再現することができず、配筋詳細や付着-すべり (梁-柱接合部) などの影響を直接考慮できていないためと考えられる。

4. 3 解析結果 (Type2)

図-8 に解析供試体 Type2 より得られた荷重-変位曲線を示す。 $5\delta y$ の 2 サイクル目において包絡線の最大荷重が降伏荷重を下回った。降伏変位は 3.60mm, 終局変位は 19.90mm であった。荷重-変位曲線より挙動が紡錘型から逆 S 字型へ変化してい

ることがわかる。

4. 4 靱性率およびエネルギー吸収容量

実験および解析供試体 Type2 における解析より得られた靱性率、エネルギー吸収容量を表-2 に示す。これより、終局変位と降伏変位の比で表される靱性率は近似した値であるが、エネルギー吸収容量は解析結果が実験結果に比べ、約 2.4 倍と大きな値となった。

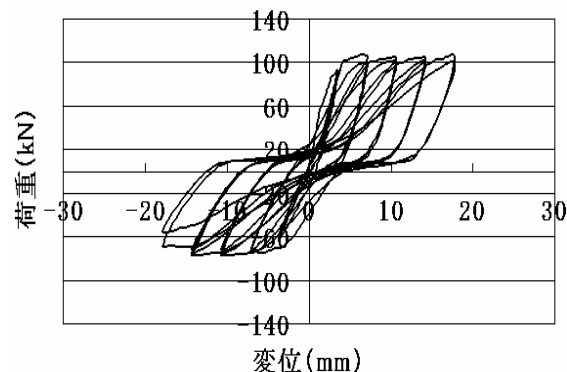


図-6 荷重-変位曲線 (実験)

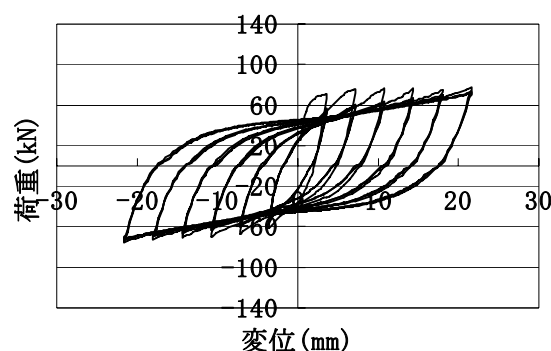


図-7 荷重-変位曲線 (解析 Type1)

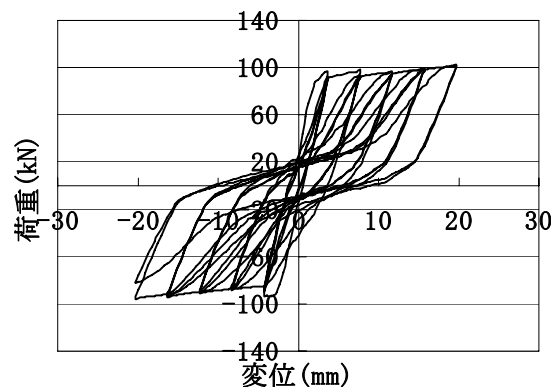


図-8 荷重-変位曲線 (解析 Type2)

表-2 靱性率およびエネルギー吸収容量

	靱性率	エネルギー吸収容量 (kJ)
実験結果	5.00	10.40
解析結果 (Type2)	5.52	24.80

表-3 に帯鉄筋比 0.24%における各変位振幅のエネルギー吸収容量を示す。これより、解析により得られたエネルギー吸収容量は $1\delta y$ を除くどの変位振幅においても実験値の約 2~2.5 倍であることがわかる。

表-3 各変位振幅におけるエネルギー吸収容量

	エネルギー吸収容量(kJ)				
	$1\delta y$	$2\delta y$	$3\delta y$	$4\delta y$	$5\delta y$
実験値	0.1	1.8	2.7	3.1	2.7
解析値	2.2	4.1	5.7	7.1	5.6

5. まとめ

今回、解析供試体 Type1 で解析を行った結果、荷重-変位曲線が紡錘型を描き、終局に至らなかった。そのため、実際の配筋に近づけるためメッシュを解析供試体 Type2 のように作成し、配筋箇所には RC 要素を、コンクリート箇所にはコンクリート要素を使用し解析を行った。その結果、実験より得られた荷重-変位曲線と同様に紡錘型から逆 S の字型の挙動へと変化し、実験結果と近似した靱性率を得ることができた。しかし、エネルギー吸収容量は実験値と比べ大きく算定された。

今後の課題として、実験および解析を進めることでデータ数を増やし、Type2 のようなメッシュによる解析方法について検討するとともに、解析ソフトの有効な利用方法と適用範囲の整理を進めていく必要がある。

参考文献

- [1] 日本コンクリート工学協会：「塑性域の繰り返し劣化性状」に関するシンポジウム—過大地震入力による構造物の崩壊防止をめざして— 委員会報告書・論文集，1998，pp.1-23
- [2] 丸山久一：耐震基準の変遷：土木コンクリート構造物，コンクリート工学 第 41 巻 5 号，2003，pp.4-16
- [3] 幸左賢二・小林和夫・村山八洲雄・吉澤義男：大型 RC 橋脚模型試験体による塑性変形挙動に関する実験的研究，土木学会論文集 V No.538，1996，pp.47-56
- [4] 幸左賢二・大塚久哲・星隈順一・佐々木協一・新保弘：RC 橋脚の変形性能向上に関する実験的研究，土木学会論文集 V No.578，1997，pp.43-56
- [5] 渡辺博志・河野広隆：正負交番荷重が作用する RC 部材のせん断強度低下機構の検討，土木学会論文集 V No.613，1999，pp.85-102
- [6] 日本建築学会：鉄筋コンクリート終局強度設計に関する資料，1987，pp.62-85
- [7] 鈴木計夫・中塚侑・岸本一蔵：RC 柱部材の曲げ靱性確保のための横補強筋量に関する解析的考察，コンクリート構造物の靱性と配筋方法に関するシンポジウム論文集，1990，pp.139-146
- [8] 岡村甫・前川宏一：鉄筋コンクリートの非線形解析と構成則，1991，pp.2-25