

鉄筋コンクリートせん断破壊型柱の 曲げ系置換解析方法の提案

社会システム工学科 中田研究室
学部4年 1070545 明神 並平

1. 研究背景・目的

現在の耐震設計では、せん断破壊が先行する柱を作らないとしているが、過去の大地震後の調査等により、旧基準で設計された建物では、柱にせん断系の被害を受けたものが数多く確認されている。

しかし、市販されている解析プログラムでは、設計が目的とされていることから、せん断破壊が先行する柱の評価をすることができない。

そこで、本研究では、既往の実験データを参照し、せん断破壊が先行する柱の市販解析プログラムによる地震動応答予測法の提案を研究目的とした。

2. 解析方法

a) 下り勾配を実験データより安全側に見積もった モデルから曲げ系モデルへの置き換え

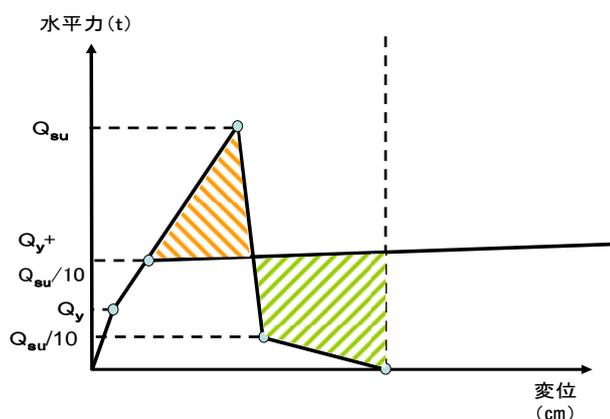


図 2.1 下り勾配を考慮したせん断破壊型柱モデル
曲げ系柱モデルへの置換

図-2.1 は、下り勾配を考慮したせん断破壊型柱モデル（以降 S モデルと記載）を市販解析プログラムで解析するために曲げ系モデル（以降 M モデルと記載）へ置き換える面積部分を表している。

モデル置換の手順は、まず、S モデルを文献 4) から、対象としている柱のパラメータをまとめ、それぞれの値に文献 1)、2) に記載されている式を用いて、ひび割れ時耐力 Q_c とその変位、初期剛性 K を求めて第 1 折点を決定する。

次に柱を曲げ降伏型と仮定し降伏時耐力 Q_y と降伏時剛性 αK を既往の式により求め、両者が重なりあう点から第 1 折点までの直線上の耐力がせん断終局時耐力 Q_{su} となる点を第 2 折点として、決定する。

第 3 折点は、実験データよりも勾配を安全側に考慮したため、第 2 折点から第 3 折点までの勾配を初期剛性の -10 倍とし、その耐力がせん断終局時耐力の $1/10$ となる点として決定した。

そして、第 4 折点を X 軸上で変位を層間変形角 $1/80$ とし、それ以降は、X 軸上に変位が伸びるものとして作成した。

M モデルは、第 1 折点と第 2 折点の勾配までを S モデルと同じものとし、第 2 折点の耐力をひび割れ時耐力 Q_c にせん断終局時耐力 Q_{su} の $1/10$ を足し合わせたものとして第 2 折点を決定した。

それ以降の勾配は初期剛性 K の $1/1000$ として M モデルを作成した。

b) 耐力モデル

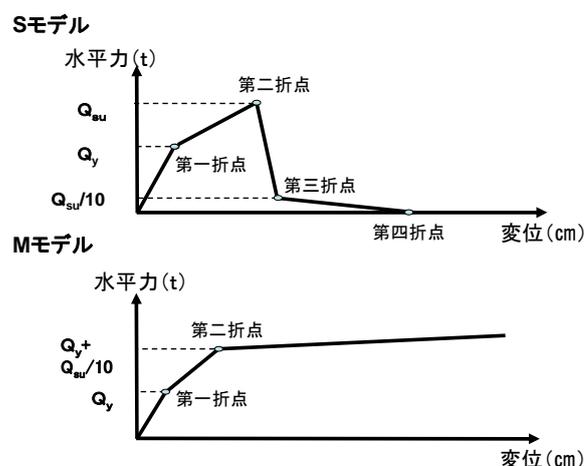


図 2.2 解析対象柱耐力モデル

図-2.2 は、解析時にそれぞれのプログラムに入力した柱の吸収エネルギー現したものであり、上が S モデル、下に M モデルを示す。

c) 解析プログラム

今回動的応答解析に使用した解析プログラムは以下の通りである。

S モデルでは、負勾配を考慮したせん断破壊型柱の動的応答解析プログラムを使用した。

M モデルでは、市販の動的応答解析ソフトを用いた。以下にそれぞれの解析プログラムの概要を示す。

・負勾配を考慮したせん断系解析プログラム

図-2.3 に復元力モデルのスケルトンカーブの概略を示す。同図に実線で描かれている線が、せん断部材のスケルトンカーブとなる。この解析プログラムの復元力モデルは、武田スリップモデルを基本とし、これに最大強度以降の耐力低下を考慮している。また、せん断破壊型復元力特性の特徴を表すために、耐力低下を含む武田スリップモデルに加え以下の修正を施している。ある方向でせん断破壊が生じ耐力が低下した場合、加力反転時に反対方向の最大耐力を指向するのではなく、せん断破壊が起こった方向での最大変形点の原点に対する対称点を指向するように挙動する。

また、この解析プログラムは解析対象のデータを入力する上で第3、4折点を指定する必要がある。

そこで、本研究では2-a) で示すように実験データより安全側に見積もることで2つの点を決定した。

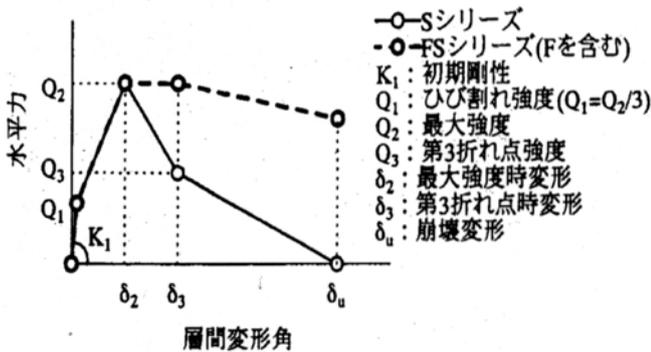


図 2.3 Sモデル解析プログラムのスケルトンカーブ

・市販動的応答解析ソフト

フレームと壁で構成された建築構造物を質点系に置換して、復元力特性を求め、減衰乗数、入力地震波、バネ定数などを入力し、振動解析を行う。

d) 入力地震波

本研究で使用した入力地震波の詳細を以下に示す。

- ・ELCENTRO 1940 NS

最大加速度 341.7gal、最大速度 33.5kine

- ・神戸海洋気象台 NS

最大加速度 818.0gal、最大速度 90.0kine

- ・模擬地震動 BCJ

最大加速度 207.3gal、最大速度 25.0kine

これらの入力地震波の最大速度を25kineに基準化して、その倍率を最大化速度に掛けて解析に使用した。

3. 解析対象柱

図-3.1 は、表-3.1、3.2 に柱の詳細データを示している。

本研究では、図-3.1 の上に記載しているような平面図を持ったせん断柱一種のみで構成された建物を想定し、その中の一本の柱を対象とした。

また、その柱のパラメータは、文献1) の実験で使用された実寸大の1/2スケールでクリアスパン比の違う3種類の柱を選択し、その中の横補強筋比 P_w 、主筋比 P_g 、軸力比 η の異なる Type1~8、計8本を解析に使用した。

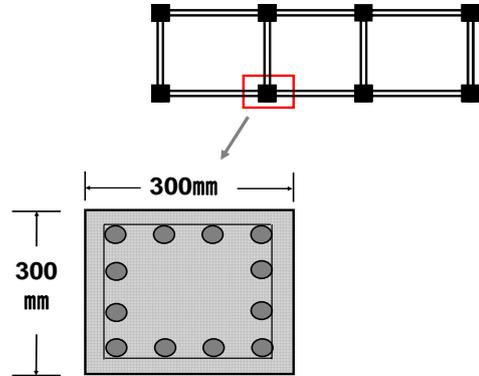


図 3.1 解析対象柱の詳細

表 3.1 柱の変数

柱の変数	Type1~4	Type5・6	Type7・8
部材高	1200	900	600
腰壁・垂壁	262.5	412.5	562.5

表 3.2 各柱のパラメータ

	クリアスパン比	P_w	P_g	η
Type1	4	0.21	2.65	0.20
Type2		0.14	2.65	0.20
Type3		0.11	2.65	0.20
Type4		0.21	2.65	0.30
Type5	3	0.21	2.65	0.18
Type6		0.21	2.65	0.27
Type7	2	0.21	2.65	0.19
Type8		0.21	2.65	0.29

4. 解析結果

a) 対象柱の解析応答結果

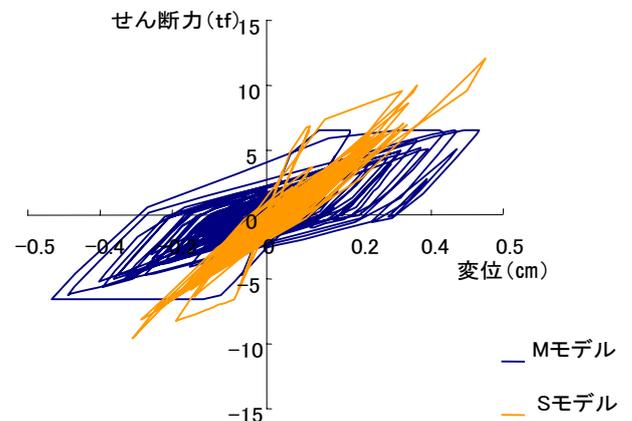


図 4.1 ELCENTRO NS Type1

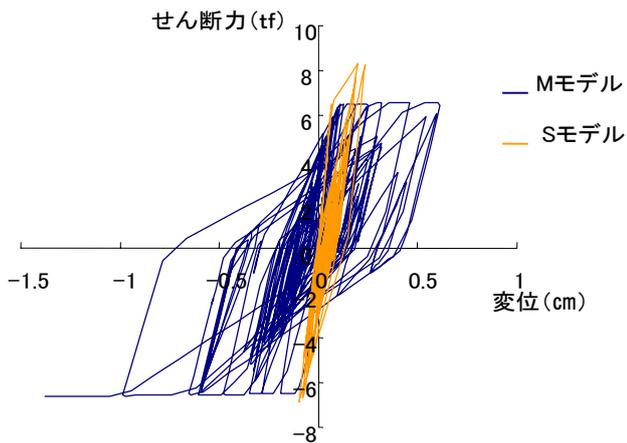


図 4.2 模擬地震波 Type1

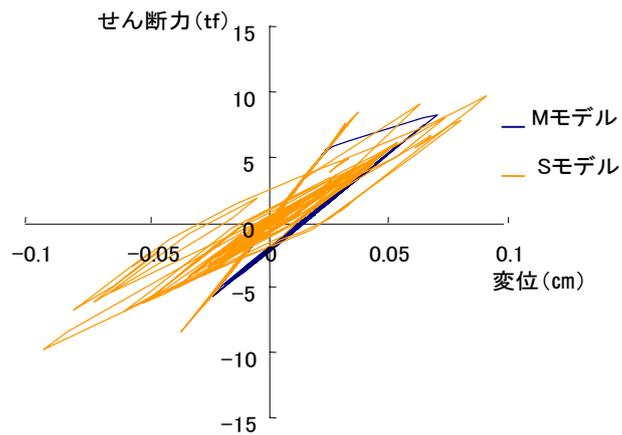


図 4.6 神戸海洋気象台 NS Type5

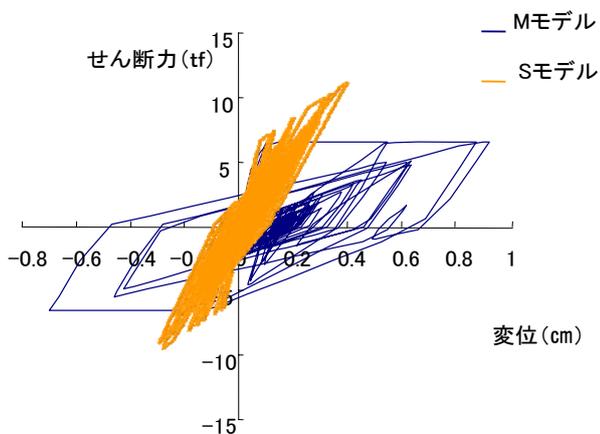


図 4.3 神戸海洋気象台 NS Type1

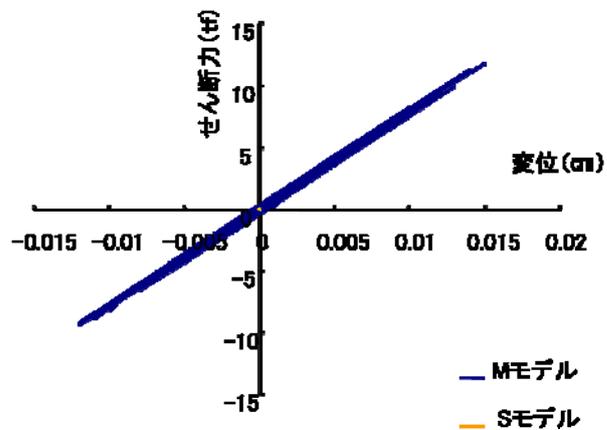


図 4.7 ELCENTRO NS Type7

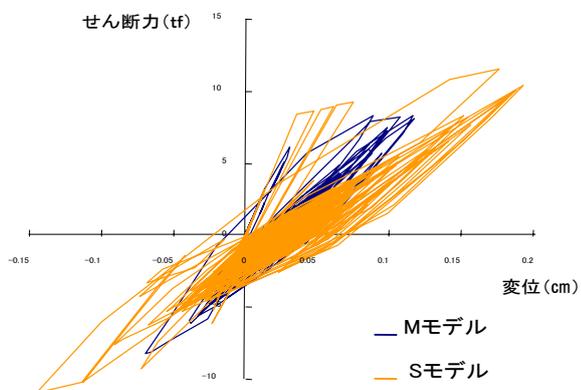


図 4.4 ELCENTRO NS Type5

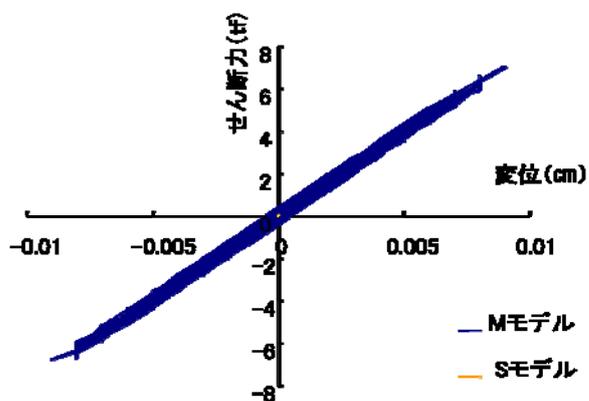


図 4.8 模擬地震波 Type7

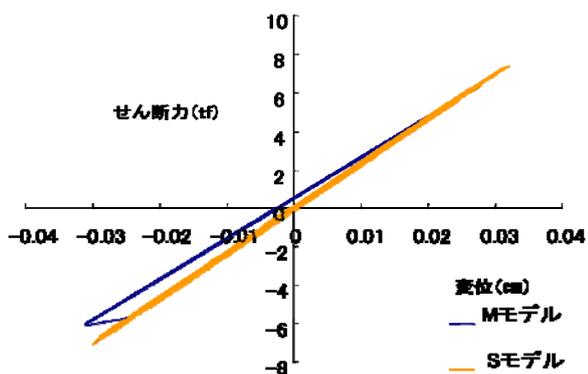


図 4.5 模擬地震波 Type5

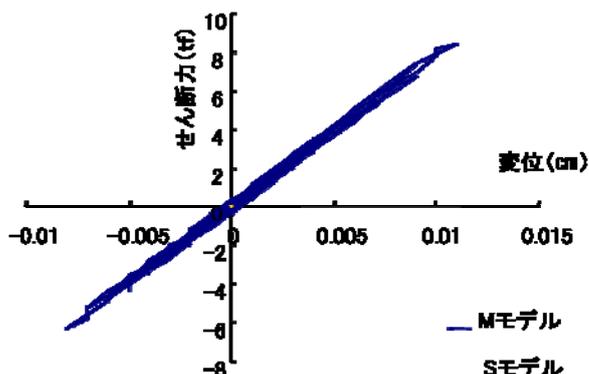


図 4.9 神戸海洋気象台 NS Type7

図-4.1~4.9に解析で得られた応答履歴特性図を、表4.1では、上に type1 下に Type5 の S モデル・M モデルでの応答変位を示す。

概要では、ページの都合により、Type1、Type5、Type7 のクリアスパン比の違う柱の結果のみを記載することとした。

また、図-4.7~4.9にあるように Type7~8 は、動的応答解析の結果が不安定だったことから応答量比の検討からは対象外とした。

表 4.1 最大応答変位 Type1、Type5

入力地震波	解析モデル	
	S モデル	M モデル
ELCENTRO	0.46 cm	0.45 cm
BCJ	0.39 cm	1.38 cm
神戸	0.24 cm	0.92 cm

入力地震波	解析モデル	
	S モデル	M モデル
ELCENTRO	0.19 cm	8.31 cm
BCJ	0.03 cm	0.02 cm
神戸	0.09 cm	0.07 cm

e) 両モデルの応答比較

表 4.2 地震波毎の応答比率

解析対象柱	入力地震波		
	EL	BCJ	神戸
Type1	0.97	3.53	3.94
Type 2	1.12	3.22	0.49
Type 3	0.05	0.14	0.08
Type 4	1.75	3.25	2.99
Type5	43.06	0.71	0.77
Type6	18.60	1.37	3.05

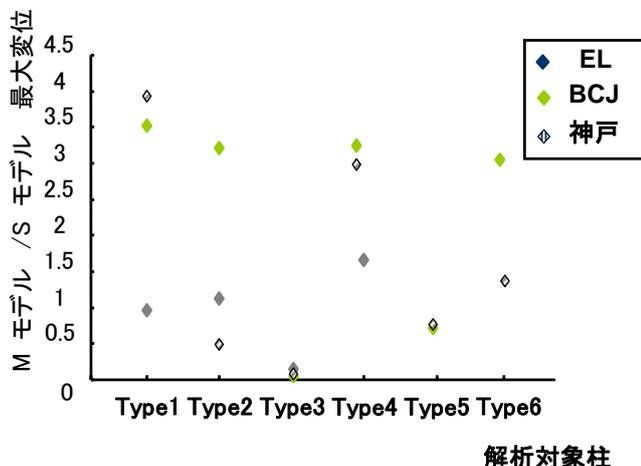


図 4.10 地震波毎での両モデルの応答量比

図-4.10、表-4.2 は、各地震波の解析対象毎の応答量の M モデルと S モデルの比率を表したものである。

解析結果により、S モデルと M モデルの最大応答から比率を出すことによって、本研究の目的であるせん断破壊型柱の動的応答解析での応答変位量を市販動的解析プログラムにより、予測法の検討を行った。

また、この比率の平均値は 1.71 となり、標準偏差は 1.38 となり、比率の平均値からの標準偏差を考慮した安全な範囲は 0.33 から 3.09 となった。

そして、本研究でこの範囲に入る応答変位比の数は、10 であり、全体の約 63% となった。

ただし、この割合は、Type5, 6 での入力地震波 ELCENTRO NS の応答比率が異常に大きかったことから、検討からは外しているための割合である。

5. 結び

1) 本研究で提案したせん断破壊後の下り勾配を実験データより安全側に見積もったモデルによる地震応答とこれに対応させた既往の曲げ降伏型モデルの対応関係を数値的に表すことが出来た。

2) 今後の課題として、地震波毎に試験体の応答量を比較した結果、応答にばらつきが目立ったことから、解析対象を増量と地震波の特性を考慮することによる適応性の拡大の検討を行う。

また、本研究では、計算値からのモデルのみの解析だったことから、実験値との比較を行うことで安全率の検討を行う。

参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート構造物の耐震性能評価指針 (案)・同解説 日本建築学会-2001
- 2) 鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説-許容尾応力度設計法 日本建築学会-1999
- 3) 建築基礎 耐震・振動・制御 共立出版株式会社
- 4) 高稲 宜和：鉄筋コンクリート柱の崩壊に関する研究 首都大学東京
- 5) 竹内 康智：既存耐震診断基準におけるせん断破壊型柱の耐震性能評価方法の一考察 高知工科大学 修士論文
- 6) 榊構造計画研究所 ユーザーマニュアル-2002