

せん断破壊する RC 造柱の地震後の残存軸耐力に関する研究

—せん断破壊曲面縮小率式の検証—

正会員  
同

○小野 泰伸 \*1  
島崎 和司 \*2

RC 構造 破壊曲面 縮小率  
残存軸耐力 せん断破壊

1. はじめに

大地震における既存建物のリスク評価のためには、崩壊危険度の評価が重要である。建物の崩壊は、柱のせん断破壊後の水平変形量の増大により、鉛直支持能力が低下し長期作用軸力に耐えられなくなることが主な原因である。特に建築基準法改正された1971年以前のRC造建物は、柱が脆性破壊しやすいため、最大荷重後の挙動を想定して解析を行うことが重要である。そのため、芳村<sup>1)</sup>や島崎<sup>2,3)</sup>らは柱の地震後の残存軸耐力に関する実験的研究を行い、解析モデルの構築を行っている。また、島崎は柱の残存軸耐力を算定するために、それらのパラメータから破壊曲面縮小の概念<sup>1)</sup>に基づき、縮小率式(せん断破壊型と曲げ破壊型)を定式化した。<sup>2,3)</sup>

しかし、島崎が定式化したせん断破壊型<sup>2)</sup>のモデルには、曲げヒンジ部で破壊した試験体のデータが含まれていた。本論では、曲げ破壊型のデータを除いたデータにより、そのせん断破壊型の破壊曲面縮小率式の検証を行う。

2. 破壊曲面縮小の概念<sup>1)</sup>

図1に示すように、せん断破壊直後の破壊曲面は、正負の軸耐力( $N_c$ 、 $N_t$ ：本論では、圧縮が正)と長期荷重( $N_0$ )時のせん断耐力  $Q_{su}$  の3点を通る2次曲線で表わせると仮定する。せん断破壊直後の破壊曲面は以下の(1)式で示す。

$$Q = -\frac{Q_{su}}{(N_c - N_0)(N_0 - N_t)} \left( N - \frac{N_c + N_t}{2} \right)^2 + \frac{(N_c - N_t)^2 Q_{su}}{4(N_c - N_0)(N_0 - N_t)} \quad (1)$$

せん断破壊後に水平変形量が増大すると、それに伴い引張軸耐力が不変のまま相似形で縮小すると考える。このときの縮小率は、図で示す曲線の辺の比として(2)式で表わす。

$$r = \frac{(N_R - N_T)}{(N_C - N_T)} \quad (2)$$

この(2)式により、縮小破壊曲面は(3)式で与えられる。

$$Q = -\frac{Q_{su}}{r(N_c - N_0)(N_0 - N_t)} \left( N - \frac{rN_c + (2-r)N_t}{2} \right)^2 + \frac{r(N_c - N_t)^2 Q_{su}}{4(N_c - N_0)(N_0 - N_t)} \quad (3)$$

島崎<sup>2)</sup>が実験データを回帰分析し、最も相関の良かった部材パラメータの組み合わせをもとに、定式化したものが

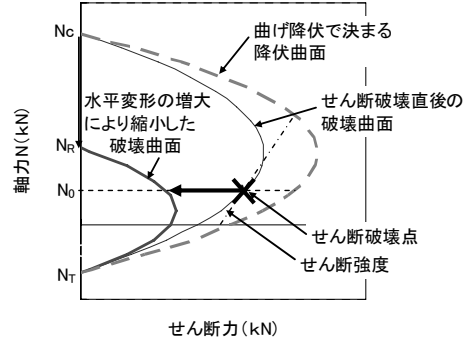


図1 破壊曲面縮小の模式図

表1 実験データ

No.	断面寸法[mm]			コンクリート		鉄筋			せん断スパン比	軸力比	参考文献
	幅	有効せい	応力中心距離	圧縮強度 [N/mm <sup>2</sup> ]	引張鉄筋比 $p_t$ [%]	せん断補強筋 $\sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	帯筋比 $p_w$ [%]				
1	1	200	200	153	22.4	0.81	391	0.100	2.29	0.12	5
2	2	200	200	153	22.4	0.81	391	0.100	2.29	0.12	
3	4	200	200	153	22.4	0.81	391	0.100	2.29	0.12	
4	5	200	200	153	22.4	0.81	391	0.300	2.29	0.12	
5	7	200	200	153	22.0	0.81	477	0.100	2.29	0.12	6
6	9	200	200	153	22.0	0.81	477	0.300	2.29	0.12	
7	11	200	200	153	22.0	0.81	477	0.100	1.14	0.12	
8	12	200	200	153	22.0	0.81	477	0.100	1.14	0.12	
9	13	200	200	153	22.0	0.81	477	0.300	1.14	0.12	
10	14	200	200	153	22.0	0.81	477	0.300	1.14	0.12	
11	2	250	250	220	17.7	0.52	379	0.192	0.85	0.20	7
12	4	250	250	220	16.8	0.52	379	0.192	1.14	0.18	
13	1	250	250	220	17.7	0.52	379	0.192	0.85	0.20	
14	3	250	250	220	16.8	0.52	379	0.192	1.14	0.18	

表2 実験データの縮小率

No.	せん断余裕度	最大変形比 [%]	主筋 $p_g \sigma_y$ [N/mm <sup>2</sup> ]	せん断補強筋 $p_w \sigma_{wy}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	水平加力破壊形式	残存軸耐力 $N_R$ [kN]	軸耐力 $N_C$ [kN]	縮小率 $r$	
1	1	0.8606	0.0200	8.16	39.10	-	1144	1222	0.95
2	2	0.8606	0.0400	8.16	39.10	-	1125	1222	0.94
3	4	0.8606	0.0004	8.16	39.10	-	1162	1222	0.96
4	5	1.0377	0.0400	8.16	117.30	-	1183	1222	0.97
5	7	0.8938	0.0400	7.99	47.70	-	953	1200	0.84
6	9	1.0924	0.0400	7.99	143.10	-	1058	1200	0.91
7	11	0.6722	0.0200	7.99	47.70	せん断	469	1200	0.52
8	12	0.6722	0.0400	7.99	47.70	せん断	200	1200	0.34
9	13	0.7715	0.0400	7.99	143.10	せん断	475	1200	0.52
10	14	0.7715	0.0800	7.99	143.10	せん断	220	1200	0.36
11	2	0.6889	0.0161	4.83	72.77	せん断	474	1408	0.45
12	4	0.8165	0.0266	4.83	72.77	せん断	432	1352	0.44
13	1	0.6889	0.0320	4.83	72.77	せん断	221	1408	0.31
14	3	0.8165	0.0640	4.83	72.77	せん断	189	1352	0.30

次式である。(主筋の効果を考慮し、 $1.0 \geq r \geq 0.3$ の範囲とする。)

$$r = -0.89 + 0.061 p_g \sigma_y + 1.56m - 6.6R \quad (4)$$

ここで、 $p_g \sigma_y$ ：主筋強度[N/mm<sup>2</sup>]、 $m$ ：せん断余裕度、 $R$ ：最大変形比

せん断余裕度は、曲げ強度が材端に作用する曲げモーメントとした時のせん断力と、せん断耐力との比で表し、最大変形比は、クラック幅に関連する変形量を部材せいで除したもので表わす。

### 3. 検証

島崎が使用した実験データのうち、曲げ破壊型のデータを除いたものを表1,2に示す。その実験データを用いて回帰分析を行い、縮小率と相関のよかったものを表3に示す。この結果のうち、係数が小さくt値の絶対値が2.0を下回る $p_w$ は縮小率との関連性が低いと考えられる。また $p_w \sigma_y$ も、係数が小さくt値の絶対値が2.0に近いので、関連性が低いと考えられる。したがって、これらのパラメータを使用している表3の(b),(c)の組み合わせは相関係数は高いが、縮小率を求める関数として、適切ではないと言える。

(a)の組み合わせは、どれもt値の絶対値が2.0を超えており、縮小率を求める関数として適切と考えられる。そこで、主筋強度 $p_g \sigma_y$ 、せん断余裕度 $m$ 、最大変形比 $R$ を使用した縮小率式を次式に示す。(主筋の効果を考慮し、 $1.0 \geq r \geq 0.3$ の範囲とする。)

$$r = -0.82 + 0.073 p_g \sigma_y + 1.40m - 6.1R \quad (5)$$

(4)式と(5)式との比較のため、それぞれの縮小率式から求めた縮小率と表2にある実験データの縮小率とをプロットしたグラフが図2である。(5)式の方が傾きが1.0に近い。回帰分析結果を比較すると(表3(a)と表4)、決定係数 $R^2$ が(5)式の方が良い値を示した。また、図3に双方の式から求めた縮小率と実験データの縮小率を用いて縮小破壊曲面を描いた比較を示す。No.5のように(5)式の方が実験値に近いものや、No.9のように(4)式の方が実験値に近いものがあり、全体的に見ると精度にあまり差がなかった。

### 4. まとめ

縮小率式の精度を比較した所、(4)式と(5)式とであまり差がなかったため、(4)式を今後もせん断破壊型として使用しても問題ないと思われる。精度的には(5)式の方が良い値を示していたため、(5)式を用いる方がより望ましいと言える。

#### 【参考文献】

- 1) 芳村学、高稲宜和:破壊曲面縮小の概念に基づくせん断破壊型鉄筋コンクリート柱の鉛直変形評価に関する研究、日本建築学会構造系論文集 2009.3 他
- 2) 島崎和司:RC造柱の地震後の残存軸耐力に関する研究、日本建築学会構造系論文集 2009.3
- 3) 島崎和司:曲げヒンジ部で破壊するRC造柱の地震後の残存軸耐力、日本建築学会構造系論集 2010.10
- 4) 黒木光博、榎本将弘、山崎和弘、田才晃:耐震診断基準における残存軸耐力の検証(その1から3)

表3 回帰分析結果

(a) 3パラメータ

	係数	標準誤差	t	回帰統計
切片	-8.17E-01	2.01E-01	-4.07E+00	重相関 R 0.95
$p_g \sigma_y$	7.28E-02	2.02E-02	3.61E+00	重決定 $R^2$ 0.90
せん断余裕度	1.40E+00	2.39E-01	5.85E+00	補正 $R^2$ 0.86
最大変形角	-6.14E+00	1.44E+00	-4.28E+00	標準誤差 0.10

(b) 4パラメータ①

	係数	標準誤差	t	回帰統計
切片	-8.69E-01	1.76E-01	-4.94E+00	重相関 R 0.96
$p_w \sigma_y$	-1.59E-03	7.67E-04	-2.07E+00	重決定 $R^2$ 0.93
$p_g \sigma_y$	7.06E-02	1.75E-02	4.03E+00	補正 $R^2$ 0.9
せん断余裕度	1.56E+00	2.21E-01	7.04E+00	標準誤差 0.09
最大変形角	-4.48E+00	1.49E+00	-3.01E+00	

(c) 4パラメータ②

	係数	標準誤差	t	回帰統計
切片	-8.30E-01	1.80E-01	-4.53E+00	重相関 R 0.96
$p_w$	-6.75E-01	3.88E-01	-1.74E+00	重決定 $R^2$ 0.92
$p_g \sigma_y$	6.39E-02	1.91E-02	3.34E+00	補正 $R^2$ 0.89
せん断余裕度	1.58E+00	2.42E-01	6.53E+00	標準誤差 0.09
最大変形角	-4.78E+00	1.50E+00	-3.11E+00	

表4 島崎の回帰分析結果

	係数	標準誤差	t	回帰統計
切片	-8.87E-01	1.91E-01	-4.63E+00	重相関 R 0.92
$p_g \sigma_y$	6.10E-02	2.18E-02	2.80E+00	重決定 $R^2$ 0.85
$p_w \sigma_y$	5.75E-04	5.39E-04	1.07E+00	補正 $R^2$ 0.82
せん断余裕度	1.56E+00	2.49E-01	6.24E+00	標準誤差 0.11
最大変形角	-6.61E+00	1.04E+00	-6.38E+00	

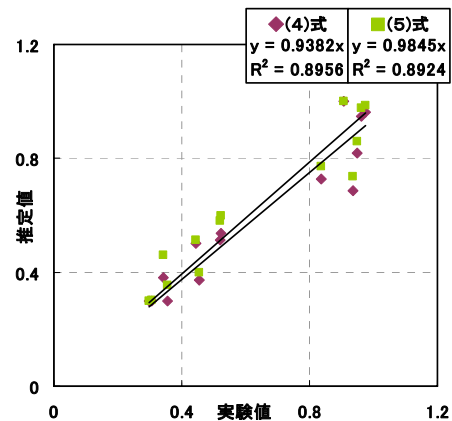


図2 縮小率の比較

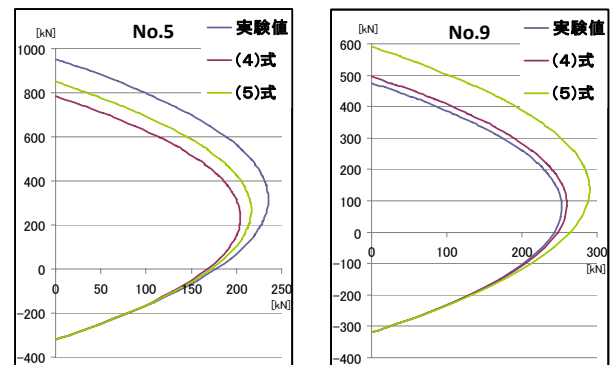


図3 破壊曲面での比較

\*1 神奈川大学大学院 工学研究科 建築学専攻

\*2 神奈川大学 工学部 建築学科 教授 博士(工学)

\*1 Graduate Student, Kanagawa University

\*2 Professor, Kanagawa University, Dr. Eng.