

RC造柱の地震後の残存軸耐力に関する研究  
- (その4) せん断破壊曲面の評価

正会員 ○島崎和司 1\*  
正会員 岩松 2\*\*

鉄筋コンクリート構造 柱 損傷レベル  
せん断スパン比 残存軸耐力

1 はじめに

近年東京などの首都圏に起こるであろうと言われている首都直下地震における既存建物のリスク評価のためには、建物の倒壊危険度の評価が必要である。そのために地震時に損傷を受けた柱部材の鉛直支持能力を評価することを目的とした研究が行われている。地震時の柱の軸力保持能力は水平力との複合応力であり、複雑となる。解析におけるモデル化としては、図1に示したような材端に曲げばね、中央に剛塑性の軸力せん断相関ばねを設け、それぞれが軸力と相関性を持つ破壊曲面で設定するのが簡易であろう。芳村ら<sup>1)</sup>は、せん断破壊した柱の非線形特性を塑性論に基づき、初期の破壊局面を2次曲線で表し、図2に示したように、これと相似形の縮小破壊曲面で説明することができるとし、せん断破壊後のせん断力-水平変形関係の軟化領域をモデル化して、せん断力と軸力の相関を示している。このせん断破壊縮小曲面は、損傷後の軸耐力低減率(図2の縦軸)が部材パラメータにより設定できれば、容易にモデル化可能となり、解析プログラムにより倒壊の解析が可能となる。

本研究では、損傷を受けた柱の残存軸耐力を、実験結果を整理して求め、損傷後の破壊曲面を設定する簡易な手法を検討する。

2 実験データ

用いた実験データは、著者等の実験と、水平加力により損傷を受けた試験体の残存軸耐力を直接求めている表1に示した主筋に異形鉄筋を用いた22体のデータとした。これらは部材寸法 200~300mm の縮小試験体であるが、引張鉄筋比 0.52~0.82%、せん断補強筋比 0.1~0.6%、せん断スパン比  $M/Qd=0.85\sim 2.3$  であり、倒壊の恐れのある構造物の範囲をおおむねカバーしていると考えられる。

試験体は、一定軸力で、ある損傷レベル(層間変形角)水平繰り返し実験を行い、その後、鉛直方向の残存軸耐力を確認するための加力を行っている。代表的な試験体の水平、鉛直加力終了時の損傷状況を写真1,2に示す。

3 縮小せん断破壊曲面

芳村らの提案による2次曲線で表したせん断破壊曲面を定義するには、3点を決める必要がある。これを、芳村に習い、次式による水平力を受けない正負の軸耐力

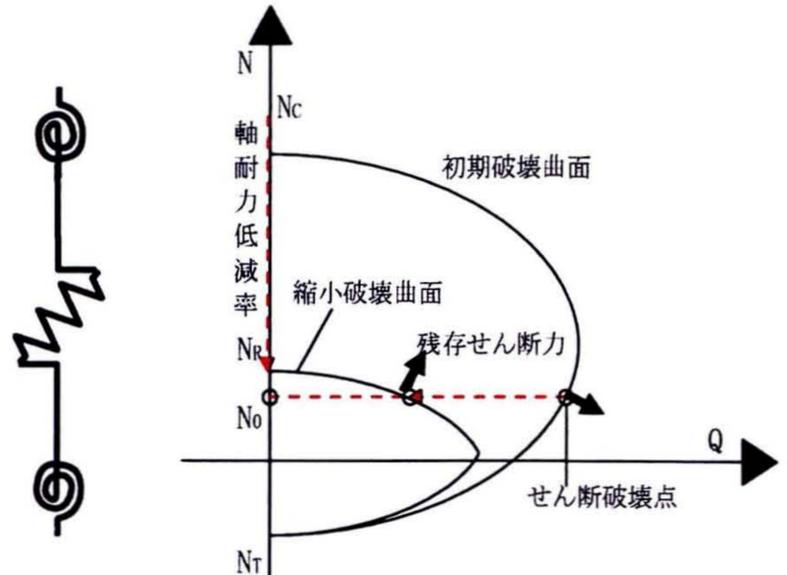


図1 解析モデル 図2 縮小破壊面の模式

表1 実験データ一覧

No.	断面寸法 (mm)	幅	有効せい	応力中心距離	コンクリート		鉄筋			せん断スパン比	軸力比	参考文献
					圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張鉄筋比 P <sub>t</sub> (%)	せん断補強筋降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	帯筋比 P <sub>w</sub> (%)				
1	1	200	175	153	22.4	0.82	477	0.10	2.29	0.15	2	
2	2	200	175	153	22.4	0.82	477	0.10	2.29	0.15		
3	3	200	175	153	22.4	0.82	477	0.10	2.29	0.15		
4	4	200	175	153	22.4	0.82	477	0.10	2.29	0.15		
5	5	200	175	153	22.4	0.82	477	0.30	2.29	0.15		
6	6	200	175	153	22.4	0.82	477	0.30	2.29	0.15		
7	7	200	175	153	22.0	0.82	477	0.10	2.29	0.15	3	
8	8	200	175	153	22.0	0.82	477	0.10	2.29	0.15		
9	9	200	175	153	22.0	0.82	477	0.30	2.29	0.15		
10	10	200	175	153	22.0	0.82	477	0.30	2.29	0.15		
11	11	200	175	153	22.0	0.82	477	0.10	1.14	0.15		
12	12	200	175	153	22.0	0.82	477	0.10	1.14	0.15		
13	13	200	175	153	22.0	0.82	477	0.30	1.14	0.15		
14	14	200	175	153	22.0	0.82	477	0.30	1.14	0.15		
15	a9	300	300	270	25.1	0.74	335	0.6	1.67	0.20	4	
16	a10	300	300	270	25.1	0.74	335	0.6	1.67	0.20		
17	a11	300	300	270	25.1	0.74	335	0.6	1.67	0.20		
18	a12	300	300	270	25.1	0.74	335	0.6	1.67	0.20		
19	No.2	250	250	220	17.7	0.52	379	0.192	0.85	0.20	5	
20	No.4	250	250	220	16.8	0.52	379	0.192	1.14	0.18		
21	No.1	250	250	220	17.7	0.52	379	0.192	0.85	0.20		
22	No.3	250	250	220	16.8	0.52	379	0.192	1.14	0.18		

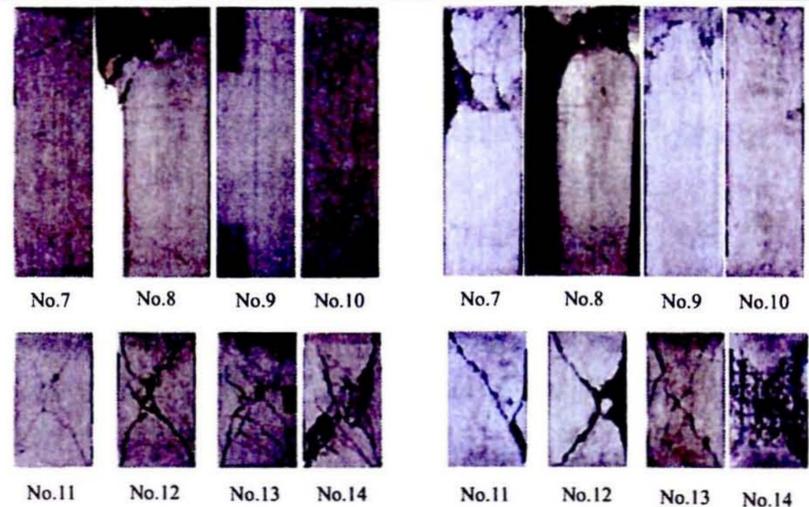


写真1 水平加力後のひび割れ 写真2 鉛直加力後のひび割れ

( $N_T, N_C$ )、および、長期軸力時のせん断耐力  $Q_u$  を通る 2 次曲線として定義する。

$$\begin{aligned} N_T &= a_g \sigma_y \\ N_C &= a_g \sigma_y + bDFc \end{aligned} \quad (1)$$

$$Q_{su} = \left\{ \frac{0.053 p_t^{0.23} (18 + Fc)}{M/(Qd) + 0.12} + 0.85 \sqrt{p_w \sigma_{wy}} + 0.1 \sigma_0 \right\} bj$$

表 2 に各試験体の残存軸耐力  $N_R$  を示した。この  $N_R$  を用い図 1 の縮小破壊曲面における縮小率  $r$  を次式により求めた。

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

この縮小率  $r$  が、せん断余裕度と損傷レベルの関係で求まると仮定し、線形重回帰分析を行った。損傷レベルは部材角と変形量を部材せいで除した最大変形比  $R$  との両者を比較したが、後者のほうが相関がよかった。せん断余裕度は、長期軸力時の値とし、柱の曲げ耐力は次の略算式とした。

$$Mu = 0.8 a_g \sigma_y D + 0.5 ND \left( 1 - \frac{N}{bDFc} \right) \quad (3)$$

表 3 に重回帰解析結果を示す。相関性の高い結果となっている。これより縮小率  $r$  は、せん断余裕度  $m$  と、変形比  $R$  (%) の関数として次式で与えられる。

$$r = -0.70 + 1.91m - 6.3R \quad (>0.3) \quad \dots(4)$$

縮小率  $r$  は主筋の効果を考慮して、0.3 を下回らないものとした。図 3 に推定値と実験値との比較を示す。図中には加藤らの結果<sup>6)</sup>も合わせて示したが、推定値は実験値と対応している。

4 式により、破壊面の縮小率が与えられる場合、部材の断面が決まれば、せん断余裕度は一定値となるので、せん断破壊後の破壊面は、水平変形量に比例して縮小していくことになる。これにより、水平変形に伴い、せん断耐力が減少し、縮小率が作用軸力まで達したときに軸耐力を失うことになる。これは、軸力変動を伴う部材においてもそのまま適用可能である。

#### 4 まとめ

せん断破壊後の軸力保持能力について、芳村らの提案したせん断破壊面の縮小による説明を簡易に応用するため、せん断破壊面の縮小率を残存軸耐力の実験結果から、せん断余裕度と水平変形量の関数として導いた。

この適合性についてはその 5 で検討する。

#### 参考文献

1) 芳村学、高稲宜和: 崩壊変形を含む鉄筋コンクリート柱の荷重低下域にお

表 2 残存軸耐力

No.	せん断余裕度	最大変形比 (%)	残存軸耐力 $N_R$ (KN)	軸耐力 $N_C$ (KN)	縮小率 $r$	
1	1	0.8658	0.0200	1144	1222	0.95
2	2	0.8658	0.0400	1125	1222	0.94
3	3	0.8658	0.0800	243	1222	0.37
4	4	0.8658	0.0004	1162	1222	0.96
5	5	1.0249	0.0400	1183	1222	0.97
6	6	1.0249	0.0800	1047	1222	0.89
7	7	0.8707	0.0400	953	1200	0.84
8	8	0.8707	0.0800	250	1200	0.37
9	9	1.0321	0.0400	1058	1200	0.91
10	10	1.0321	0.0800	942	1200	0.83
11	11	0.6606	0.0200	469	1200	0.52
12	12	0.6606	0.0400	200	1200	0.34
13	13	0.7413	0.0400	475	1200	0.52
14	14	0.7413	0.0800	220	1200	0.36
15	a9	0.9562	0.1140	932	2856	0.44
16	a10	0.9562	0.0618	1726	2856	0.67
17	a11	0.9562	0.0405	2932	2856	1.02
18	a12	0.9562	0.0786	1471	2856	0.60
19	No.2	0.6889	0.0161	474	1408	0.45
20	No.4	0.8165	0.0266	432	1352	0.44
21	No.1	0.6889	0.0320	221	1408	0.31
22	No.3	0.8165	0.0640	189	1352	0.30

表 3  $r$  に関する線形重回帰分析結果

	係数	標準誤差	t	回帰統計
切片	-6.97E-01	1.92E-01	-3.64	重相関 $R$ 0.89
せん断余裕度	1.91E+00	2.39E-01	8.02	重決定 $R^2$ 0.79
最大変形角	-6.30E+00	1.07E+00	-5.87	補正 $R^2$ 0.77
				標準誤差 0.13

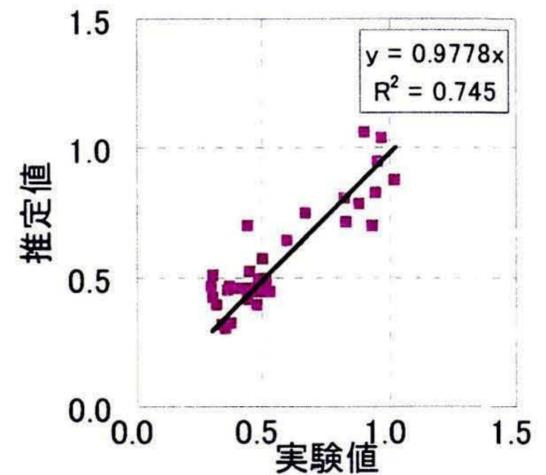


図 3 推定値と実験値の対応

ける挙動の定式化 日本建築学会構造系論文集 第 587 号 pp163-171 2005 年 1 月

2) 岩松、島崎和司: RC 造柱の地震後の残存軸耐力に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp.655-656、2006 年 9 月

3) 岩松、五十嵐泉、島崎和司: RC 造柱の地震後の残存軸耐力に関する研究 その 2 繰り返し載荷とせん断スパン比の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.313-314、2007 年 8 月

4) 渡辺篤史、田才晃: 柱のせん断劣化過程における残存軸耐力と損傷修復性 コンクリート工学年次論文報告集、2000

5) 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耐力の検証 (その 1 から 3) 日本建築学会大会学術講演梗概集 2005 年 9 月

6) 加藤 大介、李 柱振、中村 友紀子、本多 良政: RC 造柱の残存軸耐力に関する実験と考察、日本建築学会構造系論文集 第 619 号 pp127-132 2007 年 9 月

\* 神奈川大学 工学部 建築学科 教授 博士 (工学)

\* Professor, Kanagawa University, Dr. Eng.

\*\* ジョンソンコントロールズ (株) 東京支店システム統括部

\*\* Johnson Controls, Inc.