

# 論文 高速・繰返し荷重をうける曲げ破壊モードの無開口耐震壁の劣化性状

杉山洋一郎<sup>\*1</sup>・亀川隆史<sup>\*2</sup>・兼平雄吉<sup>\*3</sup>・望月洵<sup>\*4</sup>

**要旨**：地震荷重を想定して、曲げ破壊モードの無開口耐震壁に、荷重速度 20~40cm/sec, 繰返し回数 2~15 の水平加力実験を行った。実験結果から、1)最大強度は静的加力実験に基づいた簡略強度式の工学的精度の範囲内にある、2)強度低下率と劣化率は荷重速度と繰返し回数の影響をうける、3)曲げ破壊モードで終わる試験体は高速・繰返し荷重をうけると曲げ・せん断破壊モード、さらにせん断破壊モードに移行する、などが捉えられた。

**キーワード**：高速・繰返し荷重, 無開口耐震壁, 最大強度, 強度低下率, 劣化率

## 1. はじめに

先に、筆者らは地震時における RC 構造物の耐震性能を捉えるために、地震荷重の動的特性として、高速性および繰返し性を考慮した開口耐震壁の劣化性状<sup>1)</sup>について報告した。本研究は、この報告と同じ立場で、高速・繰返し荷重をうける無開口耐震壁の劣化性状を捉えるために実験的検討を行ったものである。既往の高速荷重または繰返し荷重をうける無開口耐震壁の研究で、特記できるまとめは次のようである。

- 1) 志賀ら<sup>2)</sup>は、30 回程度の繰返し荷重によって最大強度時から 30%程度までの強度に劣化する、としている。
- 2) 水野ら<sup>3)</sup>は、一方向の 10cm/sec~100cm/sec の高速荷重によって最大強度は静的強度の 1.3~1.5 倍程度に増大する、としている。
- 3) 室井ら<sup>4)</sup>は、20cm/sec 程度の一方向の高速荷重のもとで最大強度に至るまでのスケルトンカーブは増大する、としている。

これらの研究はいずれも繰返し性と高速性を独立に扱ったものである。本研究では、高速・繰返し荷重として、その複合効果を扱っている。

## 2. 実験計画

\*1 工学院大学大学院 工学研究科建築学専攻(正会員)

\*2 工学院大学大学院 工学研究科建築学専攻

\*3 工学院大学 (正会員)

\*4 工学院大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

## 2.1 試験体

試験体は 8 体で、すべて静的荷重のもとで曲げ破壊モードで終わると予測されるものである。破壊モードの定義は文献<sup>5)</sup>によった。試験体のパラメータは荷重速度  $v$  と繰返し回数  $N$  である。静的荷重は  $v=0.4\text{cm/sec}$ , 動的荷重は  $v=20\text{cm/sec}$  と  $v=40\text{cm/sec}$  とし、繰返し回数は  $N=2, 5$ , および 15 とした。試験体の名称はこれらのパラメータを示す。例えば、99/00・SWF・S/D<sub>2</sub>/D・2/5/15・C・-1/2 は、99/00：99 シリーズ/00 シリーズ, SWF：曲げ破壊モードの無開口耐震壁, S/D<sub>2</sub>/D：荷重速度  $v=0.4/20/40$ , 2/5/15：繰返し回数  $N$ , C：高帯筋比, -1/2：同じパラメータの試験体の通し番号を示す。表-1 に試験体の諸性質を、図-1 に試験体の形状と配筋を示す。

## 2.2 加力と計測の方法

荷重は動的アクチュエータ(最大能力：245kN, 最大荷重速度：50cm/sec, 最大ストローク：±20cm)を使用し、試験体の上梁中心に所定の荷重速度をもつ正弦波の繰返し力を加えた。荷重速度は、上梁のゼロ変位近傍の水平変位速度と定義した。図-2 に  $v=20\text{cm/sec}$  と  $40\text{cm/sec}$  の荷重速度と層間変形角の関係を示す。層間変形角



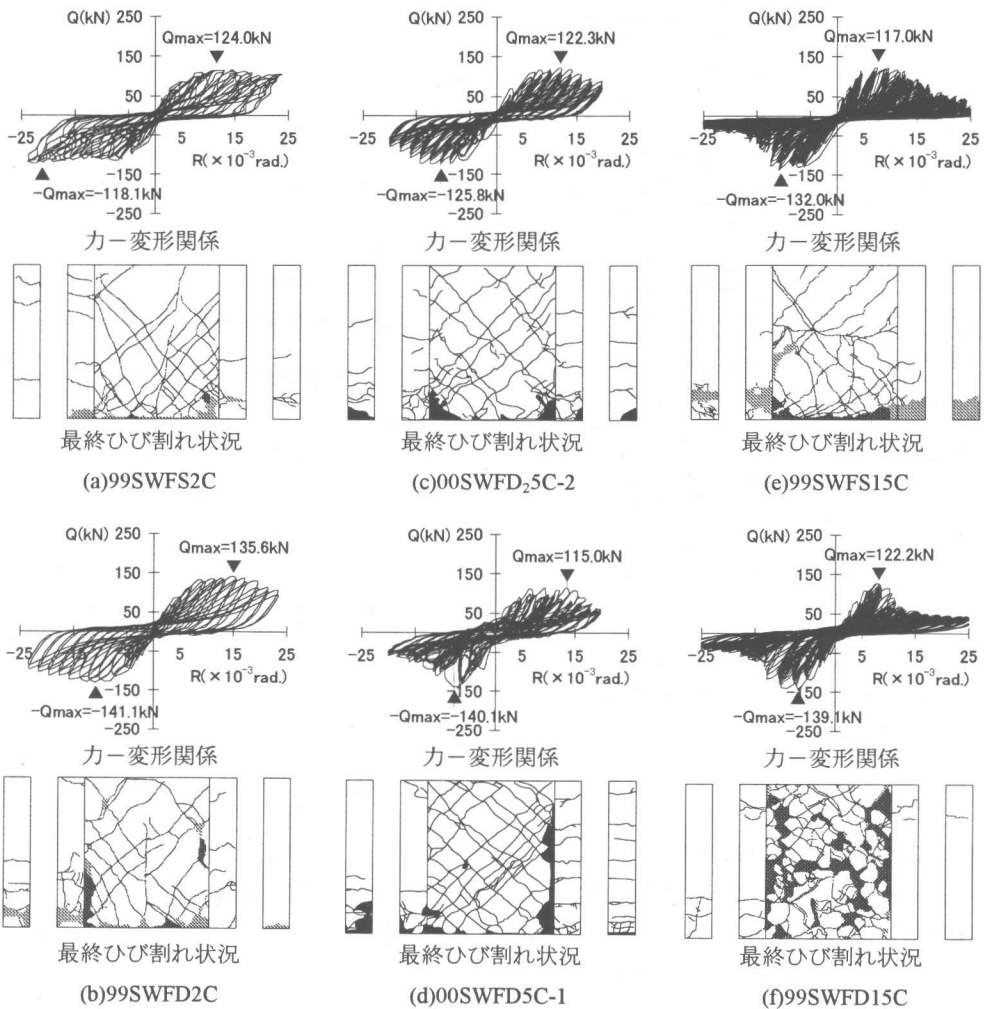


図-3 破壊性状

加力域で強度の急激な低下が生じた。この試験体では、圧縮柱下端の圧壊が顕著であった。

i), ii)の試験体の破壊経過に多少の差はあるが、最終ひび割れ状況は、ほぼ同じである。

### 3.2 最大強度

最大強度は、繰返し回数が初回  $n=1$  のスケルトンカーブの最大値である。表-2に最大強度の実験値  $Q_{exp}$  と最大強度の解析値  $Q_{sim}$  を示す。ここで、 $Q_{exp}$  はロードセルの計測値で、振幅による慣性力はたかだか  $2\sim 4\text{kN}$  と算定されたため考慮していない。 $Q_{sim}$  の算定は文献<sup>9)</sup>による

簡略強度式を用いた。表と図からは、最大強度は荷重速度と繰返し回数の影響をほとんどうけていないことが認められる。多くの試験体で実験値が解析値に比べて小さめであるが、2例を除いて  $Q_{exp}/Q_{sim}$  の比が  $0.8\sim 1.03$  の範囲にあり、最大強度は静的加力実験に基づいた簡略強度式の工学的精度の範囲内にあるといえる。

### 3.3 強度低下率

強度低下率を、 $n=1$  のスケルトンカーブの強度に対する同一層間変形角における  $n=n$  のスケルトンカーブの強度の比と定義した。図-5に強

表-2 最大強度

番号	試験体	正負	Qexp (kN)	Qsim (kN)	Qexp/Qsim
1	99SWFS2C	+	124.0	151.7	0.82
		-	118.1	151.7	0.78
2	99SWFD2C	+	135.6	141.0	0.96
		-	141.1	141.0	1.00
3	00SWFD <sub>2</sub> 5C-1	+	113.3	134.2	0.84
		-	128.8	134.2	0.96
4	00SWFD <sub>2</sub> 5C-2	+	122.3	136.6	0.90
		-	125.8	136.6	0.92
5	00SWFD5C-1	+	115.0	136.1	0.85
		-	140.1	136.1	1.03
6	00SWFD5C-2	+	106.5	137.0	0.78
		-	122.2	137.0	0.89
7	99SWFS15C	+	117.0	142.3	0.82
		-	132.0	142.3	0.93
8	99SWFD15C	+	122.2	137.3	0.89
		-	139.1	137.3	1.01

度低下率を示す。図中の記号は、○：n=1(1回目)、●：n=2(2回目)、◇：n=3、◆：n=5、△：n=10、▲：n=15を表し、折線は図中の記号に対応するスケルトンカーブを表している。n=1は実線で示している。

i) N=2 : 99SWFS2C, 99SWFD2C

v=0.4cm/sec の場合、最大強度以降の強度低下率は約 0.9 である。v=40cm/sec の場合、v=0.4cm/sec とほぼ同じで強度低下率は約 0.9 である。

ii) N=5 : 00SWFD<sub>2</sub>5C-2, 00SWFD5C-1

v=20cm/sec の場合、最大強度以降の強度低下率は約 0.8~0.7 まで低下している。v=40cm/sec の場合、v=20cm/sec とほぼ同じで約 0.7 まで低下している。

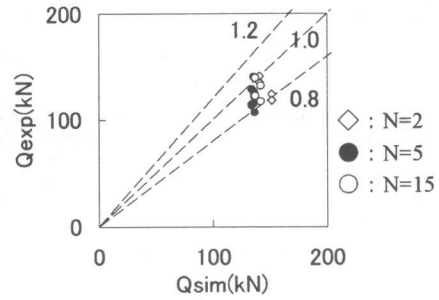


図-4 実験値と解析値の比較

iii) N=15 : 99SWFS15C, 99SWFD15C

v=0.4cm/sec の場合、最大強度に至るまでは約 0.8 で最大強度以降は約 0.6 まで低下している。v=40cm/sec の場合、v=0.4cm/sec とほぼ同じで、約 0.7~0.6 まで低下している。

これらの結果から、強度低下率が荷重速度よりも繰返し回数に影響をうける度合いがたかいたいえる。

3.4 劣化率

劣化率を、n=1 のスケルトンカーブの最大強度に対する最大強度以降の n=1, ..., N の各スケルトンカーブの強度の比と定義した。図-6 に劣化率を示す。図は正側と負側の劣化率を層間変形角を横軸に、まとめて描いたものである。白抜き記号は n=1(1回目)、塗りつぶした記号は n=N(N回目)を、三角記号は正側、丸記号は負側

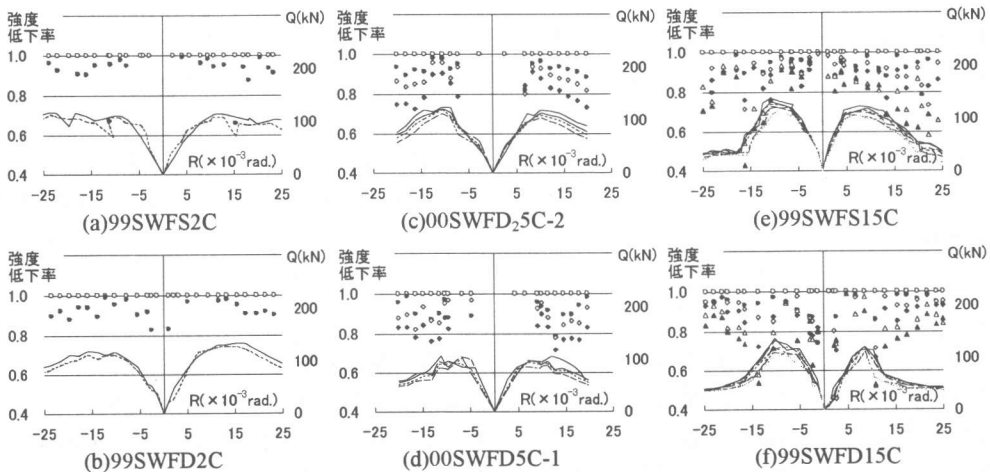


図-5 強度低下率

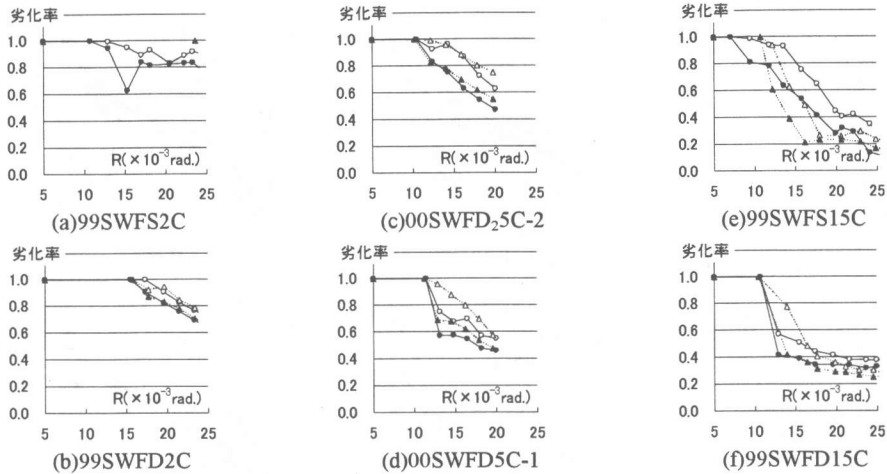


図-6 劣化率

を表している。

**i) N=2 : 99SWFS2C, 99SWFD2C**

$v=0.4\text{cm/sec}$  では、劣化率は緩やかな傾斜角で減じ、 $R=20$  で約 0.8 まで低下している。  
 $v=40\text{cm/sec}$  では、 $v=0.4\text{cm/sec}$  と比べて低下の傾斜角は大きく、 $R=15$  から  $R=20$  で約 0.7 まで低下している。

**ii) N=5 : 00SWFD<sub>2.5</sub>C-2, 00SWFD5C-1**

$v=20\text{cm/sec}$  では、 $R=10$  付近から低下が始まり、 $R=20$  で劣化率は約 0.5 である。 $v=40\text{cm/sec}$  では、 $v=20\text{cm/sec}$  と比べて  $R=10$  から  $R=15$  の間で低下の傾斜角は大きい。 $R=20$  で劣化率は約 0.5 である。

**iii) N=15 : 99SWFS15C, 99SWFD15C**

$v=0.4\text{cm/sec}$  では、 $R=10$  から  $R=15$  にかけて急激に低下している。 $R=20$  からの低下の傾斜角は小さい。 $R=20$  で約 0.3~0.2 まで低下している。  
 $v=40\text{cm/sec}$  では、 $v=0.4\text{cm/sec}$  と比べて  $R=15$  までの低下の傾斜角は大きい。 $R=20$  で約 0.3 まで低下している。

これらの結果から、劣化率は荷重速度と繰返し回数の影響をうける。特に、後者の影響が大きい。静的荷重のもとで曲げ破壊モードで終わる試験体は、一般的にその劣化率が 0.9 程度の平滑なスケルトンカーブを描く。これらを考慮すると、以上の結果は高速荷重になるほど、ま

た繰返し回数が多くなるほど、曲げ・せん断破壊モードへ、さらにせん断破壊モードに移行することを示している。

**3.5 固有ループ**

固有ループは、 $R=5$  と  $R=20$  付近のカー変形関係を各ループでの最大値で除して、無次元化したものである。 $R=5$  と  $R=20$  を図-7 に示す。共通して、 $R=5$  付近での固有ループが安定していないのは、計測間隔に起因している。図は、 $R=20$  で安定した固有ループの存在を示している。 $R=10\sim 15$  においても、同様に固有ループは安定していた。また、荷重速度の違いによる固有ループの形状に大きな差はなかった。

**4. まとめ**

無開口耐震壁に荷重速度と繰返し回数をパラメータにした実験を行った結果、以下の結論を得た。

- 1) 最大強度は、静的加力実験に基づいた簡略強度式の工学的精度の範囲内にある。
- 2) 強度低下率は、荷重速度よりも繰返し回数に影響をうける度合いがたかい。
- 3) 劣化率は、荷重速度と繰返し回数の影響をうけるが、特に後者の影響が大きい。
- 4) 固有ループは荷重速度の影響はうけない。

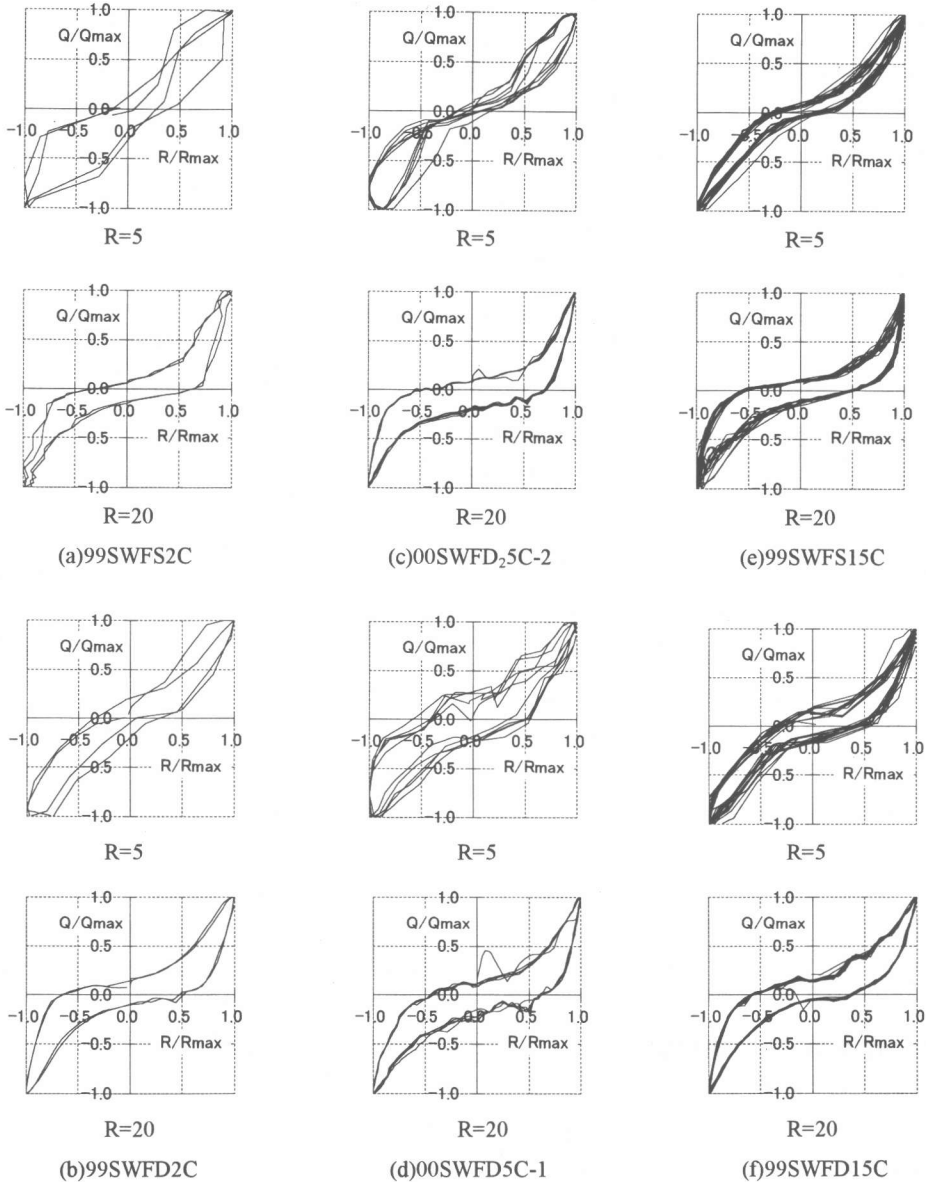


図-7 固有ループ

5) 曲げ破壊モードで終わる試験体は、高速・繰返し荷重をうけると曲げ・せん断破壊モード、さらにせん断破壊モードに移行する。

参考文献

- 1) 望月ほか：高速・繰返し荷重を受ける開口耐震壁の劣化性状，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.22，No.3，2000，pp.457～462
- 2) 志賀ほか：鉄筋コンクリート耐震壁の動的特性に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集(近畿)，昭和

46年11月，pp.579～580

- 3) 水野ほか：鉄筋コンクリート構造物の挙動における載荷速度の影響に関する研究，鉄筋コンクリート壁要素の高速せん断載荷実験(その4)，日本建築学会大会学術講演梗概集(九州)1998年9月，pp.879～880
- 4) 室井ほか：原子炉建屋耐震壁の動的復元力特性，日本建築学会構造系論文集，第498号，75-81，1997年8月
- 5) 望月ほか：連層耐震壁の破壊モードの判別式，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.13，No.2，1991，pp.559～564
- 6) 望月ほか：連層耐震壁の簡略化最大せん断強度式，第8回日本地震工学シンポジウム，1990，pp.1425～1429