

# 論文 RC 壁板のせん断性状に及ぼすひずみ速度の影響

福島大徳\*1・江崎文也\*2・小野正行\*3・黒原貴彦\*4

**要旨**：実際の地震時における耐震壁の力学的性状を検討するため、載荷速度を変化させた RC 壁板のせん断力載荷実験を実施した。実験結果によれば、同一試験体3体間でのせん断強度のバラツキは、コンクリートシリンダー強度のバラツキ程度であること、測定された載荷速度は、ほぼ計画した速度と同じであること、載荷速度が速くなるとせん断強度が上昇する傾向があること、一方向載荷に比べて正負繰返し載荷を受けるとせん断強度が低下することなどがわかった。

**キーワード**：耐震壁、壁板、載荷速度、履歴パス、せん断破壊、せん断強度

## 1. 序

鉄筋コンクリート耐震壁の地震時における力学的性状を明らかにするため、著者らは、壁板部分の力学的性状に及ぼすひずみ速度の影響について検討している<sup>1)</sup>。

既に、一定速度の載荷を受ける RC 壁板のせん断力載荷実験を行い、壁板のせん断性状に及ぼす載荷速度の影響について検討を行った。この実験では、RC 壁板のせん断変形角速度を一定に保持しながら荷重を載荷できるように、パソコンで荷重を制御し、載荷中連続的に荷重や変位等を記録する方法で行った。載荷速度、壁筋比および履歴パスを変動因子として実験を行ったが、一方向載荷実験および正負繰返し載荷実験とも壁板のせん断強度に及ぼす載荷速度の影響を明確にすることはできなかった<sup>1)</sup>。その理由の1つとして、試験体が1体ずつのみの比較であったことが考えられる。そこで、RC 壁板の力学的性状に及ぼすひずみ速度の影響を定量的に比較するためには、同一試験体間のバラツキを考慮する必要があるものと考え、載荷速度を変動因子とした同一試験体3体による一方向載荷実験および正負繰返し載荷実験を計画した。また、壁筋比の異なる実験シリーズを計画するとともに、既存不適格 RC 建築物を検討す

るため、比較的低強度なコンクリートの実験シリーズを計画した。

本論は、これらの実験より、RC 壁板のせん断強度に及ぼす載荷速度の影響について述べるものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体形状および加力方法

**図-1**に試験体形状および配筋の例を、**表-1**に試験体一覧を示す。**表-2**には、使用した材料の力学的性質を示す。同一試験体間の強度バラツキ程度を検討する同一試験体実験シリーズ、壁筋比を2倍にした壁筋比実験シリーズおよびコンクリート強度を低強度とした低強度実験シリーズの3実験シリーズを計画した。試験体には、Wa-b-c-dの記号を付けている。aはコンクリート圧縮強度の値(MPa)、bは壁筋比の値(%), cは壁板のせん断変形角 $R$ のおよその速度(%/sec)の値、dは載荷履歴(M:一方向載荷, CR:正負繰返し載荷)を、それぞれ示している。

### 2.2 載荷方法および載荷プログラム

文献1)に示す加力装置を用いて、**図-2**に示すように、測定間の対角線の変位から求めたせん断変形角 $R$ を、**図-2**に示す載荷プログラ

\*1 株式会社穴吹工務店 (正会員)

\*2 九州共立大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

\*3 近畿大学教授 九州工学部建築学科 博士 (工学) (正会員)

\*4 九州共立大学大学院生 (正会員)

ムのように変位を漸増させ、一方向単調載荷および制御変位で1回の正負繰返し載荷とした。

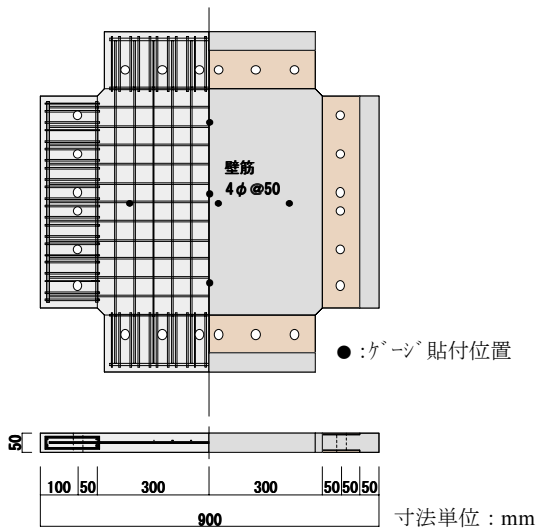
### 2.3 測定方法

文献1)に示す測定装置を用いて、RC壁板に予め埋め込んだボルト間の変形を、感度500 $\mu$ /mmの高感度変位計にて測定した。また、**図-1**に示す位置の壁筋の表面にゲージを貼付し、鉄筋のひずみを測定した。測定のサンプリング間隔は、載荷速度の遅いほうから、0.2sec、0.002secである。

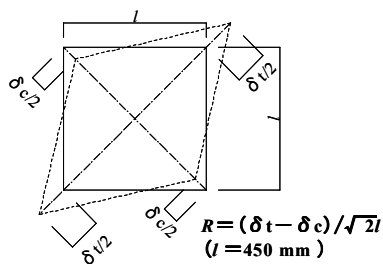
## 3. 実験結果

### 3.1 破壊性状

**図-3**に、同一試験体実験シリーズ試験体のうちの一例について、平均せん断応力度 $\tau$ ( $=Q/tl$ ,  $Q$ :水平力,  $t$ :壁厚,  $l$ :壁長)をコンクリートシリンダー圧縮強度 $\sigma_B$ の平方根で除した値 $\tau/\sqrt{\sigma_B}$ とせん断変形角 $R$ との関係およ

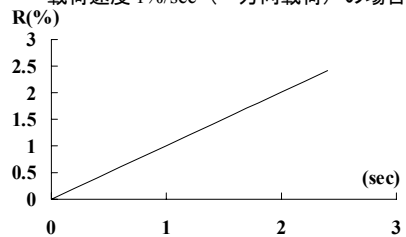


**図-1 試験体形状・配筋およびゲージ貼付位置**

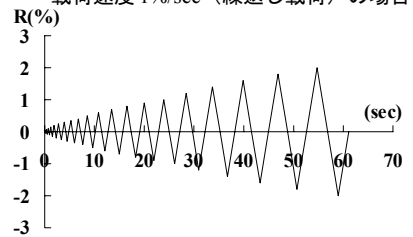


せん断変形角  $R$

載荷速度 1%/sec (一方向載荷) の場合



載荷速度 1%/sec (繰返し載荷) の場合



載荷プログラム

**図-2 せん断変形角および載荷プログラム**

び  $\tau/\sqrt{\sigma_B}$  と  $R$  の時刻歴を、実験終了時のひび割れ状況とともに示す。各試験体のコンクリート

**表-1 試験体一覧**

specimen	section	reinforcement	strain rate (%/sec)	
W18-0.26-0.01-CR1	600×600	4 100single ( $p_s=0.26\%$ )	0.01	
W18-0.26-0.01-CR2				
W18-0.26-0.01-CR3				
W18-0.26-1-CR1			1	
W18-0.26-1-CR2				
W18-0.26-1-CR3				
W23-0.26-0.01-M1			0.01	
W23-0.26-0.01-M2				
W23-0.26-0.01-M3				
W23-0.26-1-M1				1
W23-0.26-1-M2				
W23-0.26-1-M3				
W19-0.52-0.01-CR	600×600	4 50single ( $p_s=0.52\%$ )	0.01	
W19-0.52-1-CR			1	
W19-0.52-0.01-M			0.01	
W19-0.52-1-M			1	
W13-0.52-0.01-CR			0.01	
W13-0.52-1-CR			1	

**表-2 使用材料の力学的性質**

#### (1) 鉄筋

bar	a (cm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$E_s$ (GPa)	$\epsilon$ (%)
$\phi 4$	0.13	160	301	131	37.7

$a$ : 断面積,  $\sigma_y$ : 降伏点,  $\sigma_u$ : 引張強度,  $E_s$ : ヤング係数,  $\epsilon$ : 伸び

#### (2) コンクリート

specimen	$\sigma_B$ (MPa)	$E_c$ (GPa)
W18-0.26-0.01-CR1	17.9	14.5
W18-0.26-0.01-CR2		
W18-0.26-0.01-CR3		
W18-0.26-1-CR1		
W18-0.26-1-CR2		
W18-0.26-1-CR3		
W23-0.26-0.01-M1	23.0	17.1
W23-0.26-0.01-M2		
W23-0.26-0.01-M3		
W23-0.26-1-M1		
W23-0.26-1-M2		
W23-0.26-1-M3		
W19-0.52-0.01-CR	19.3	15.6
W19-0.52-1-CR		
W19-0.52-0.01-M		
W19-0.52-1-M		
W13-0.52-0.01-CR	13.1	11.6
W13-0.52-1-CR		

$\sigma_B$ : シリンダー圧縮強度,  $E_c$ : ヤング係数

強度が異なる場合の壁板せん断強度を比較するため、せん断強度を $\sqrt{\sigma_B}$ で表すと適切に評価できるとの報告<sup>2)</sup>もあることを考慮し、せん断応力度を $\sqrt{\sigma_B}$ で除した値で示した。これらの図によれば、測定された $R$ の時刻歴により、計画した速度で荷重が載荷されていることがわかる。

いずれの試験体とも、壁板の初ひび割れは、壁板中央部近傍の対角線方向に発生し、初ひび割れの発生と同時に荷重が急に低下する現象が観察された。しかし、その後 $R$ の増大とともに、徐々に荷重は増大した。 $R$ を増大すると、対角線方向のひび割れが続発・進展したが、壁筋が少ないことから初ひび割れの上下に1~2本程度ずつ生じたのみで、初ひび割れの幅が徐々に拡大する傾向を示した。破壊モードは、いずれのシリーズとも壁板のスリップ状のせん断破壊である。

**表-3**には、せん断強度の実験結果の一覧を示す。また、**表-4**に、コンクリートシリンダー圧縮強度のバラツキ程度を示す。**表-3**に示す同一試験体3体間のせん断強度のバラツキ程度は、載荷速度および載荷方法に関わりなく、およそコンクリートシリンダー圧縮強度のバラツキ程度であることがわかった。

本実験から得られた壁板のせん断強度は、載荷速度に関わりなく、一方向載荷の場合の方が正負繰返し載荷の場合よりも大きい。壁板コンクリートのせん断抵抗により水平力の大部分を負担する耐震壁の場合でも同様な傾向<sup>3)</sup>にあり、せん断破壊を起こす耐震壁の正負繰返し載

荷によるせん断強度の低下傾向は、壁板のみの強度低下傾向とほぼ同じと考えてよいと思われる。また、本実験による壁板のせん断強度は、壁板の圧縮ストラットの実験から得られたせん断強度<sup>4)</sup>よりも多少大きい値となった。これは、本実験の場合、壁板の周辺に鉄板を設けているため、壁板周辺からの拘束が大きくなったためと考えられる。

**図-4**に、壁筋比が同一試験体実験シリーズの場合の2倍とした壁筋比実験シリーズの荷重変形関係を示す。正負繰返し載荷の場合、いずれの試験体とも、壁板の初ひび割れは、1~2サイクル目の繰返し時に壁板中央部近傍の対角線方向に発生し、初ひび割れの発生と同時に荷重が急に低下する現象が観察された。しかし、その後 $R$ の増大とともに、徐々に荷重が増大した。 $R$ がほぼ1%近傍になると荷重が最大となり、その後の変形の増加とともに壁板の圧壊が徐々に進行するにつれて荷重も徐々に低下した。 $R$ を増大すると、対角線方向のひび割れが続発・進展し、初ひび割れの上下に数本のひび割れが生じ、同一試験体実験シリーズ試験体の場合よりもひび割れが分散する傾向を示した。これは、壁筋量が2倍であるためと考えられ、ひび割れの分散には壁筋量を多くすることが効果的であることがわかる。

一方向載荷の場合、初ひび割れの発生位置は、正負繰返し載荷の場合と同様である。初ひび割れ後、変形の増大とともにひび割れが続発・進展し、同一試験体実験シリーズの場合よ

**表-3 同一試験体シリーズ実験結果一覧**

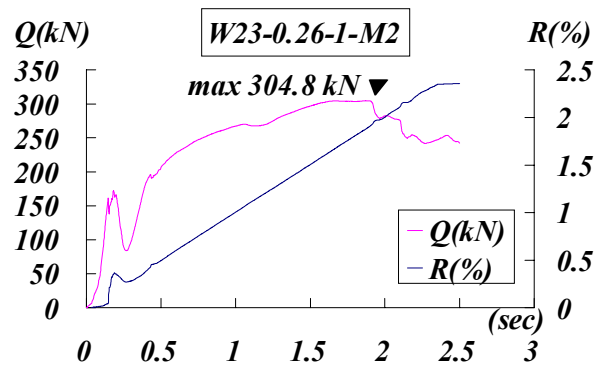
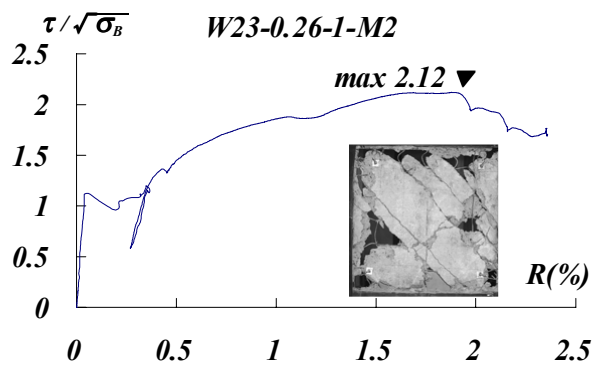
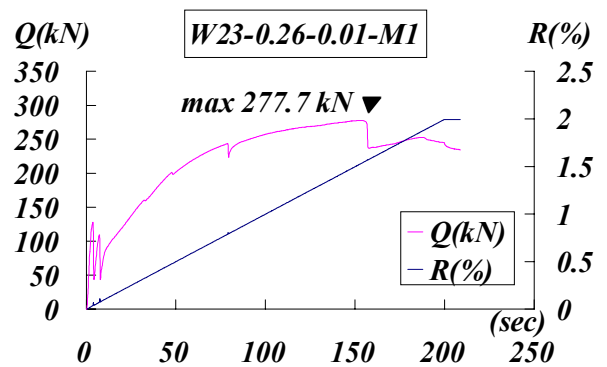
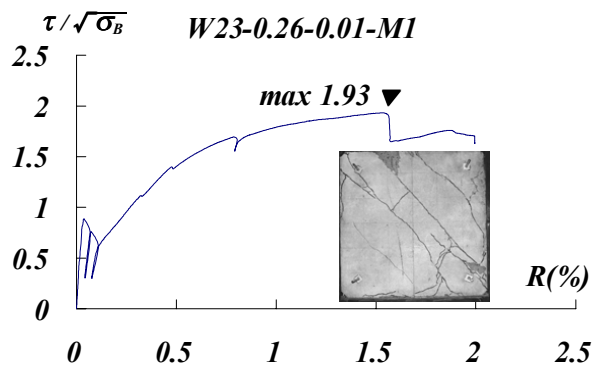
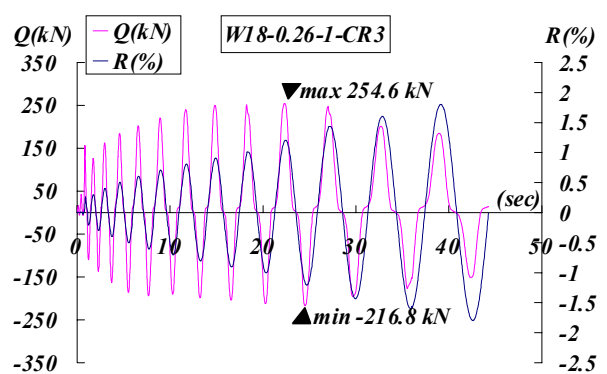
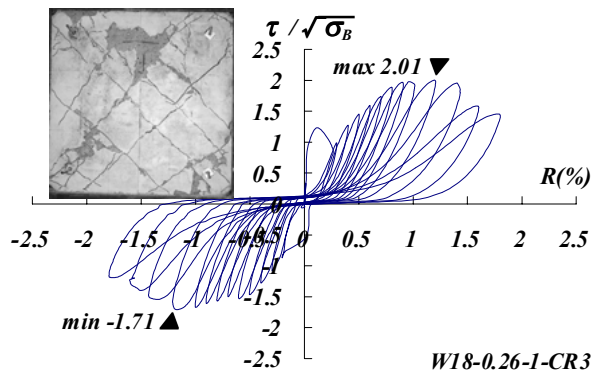
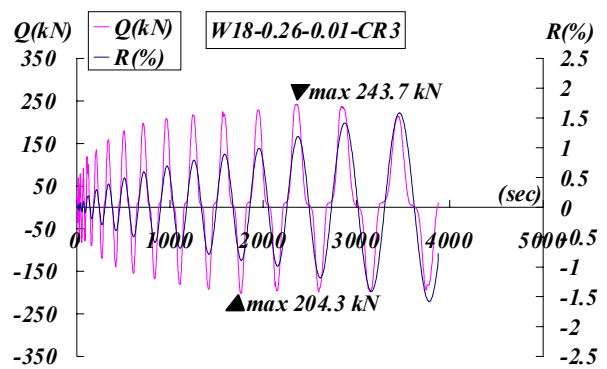
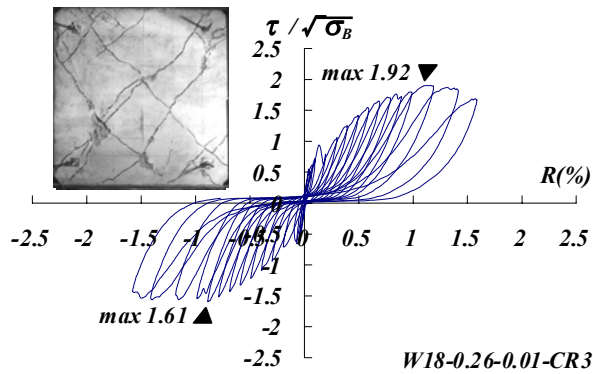
specimen	$Q(kN)$	$\sigma/\sqrt{\sigma_B}$	average (kN)	standard deviation	coefficient of variation
W18-0.26-0.01-CR1	248	1.95	249	6.53	0.026
W18-0.26-0.01-CR2	257	2.02			
W18-0.26-0.01-CR3	244	1.92			
W18-0.26-1-CR1	256	2.02	257	2.65	0.01
W18-0.26-1-CR2	260	2.05			
W18-0.26-1-CR3	255	2.01			
W23-0.26-0.01-M1	278	1.93	289	13.99	0.048
W23-0.26-0.01-M2	285	1.98			
W23-0.26-0.01-M3	305	2.12			
W23-0.26-1-M1	316	2.2	319	16.79	0.053
W23-0.26-1-M2	305	2.12			
W23-0.26-1-M3	338	2.35			

**表-4 コンクリートシリンダー強度一覧**

specimen	age (days)	$\sigma_B$ (MPa)	average (MPa)	standard deviation	coefficient of variation
H13.7.12(1)	76	17.6	17.9	0.716	0.04
H13.7.12(2)		17.4			
H13.7.12(3)		18.7			
H13.7.19(1)	69	23.5	23	0.478	0.021
H13.7.19(2)		22.7			
H13.7.19(3)		22.7			
H13.7.26(1)	62	18.8	19.3	0.454	0.023
H13.7.26(2)		19.4			
H13.7.26(3)		19.7			
H13.8.2(1)	97	13.4	13.1	0.78	0.06
H13.8.2(2)		12.2			
H13.8.2(3)		13.6			

りもひび割れ数が多くなったのは、繰返し载荷の場合と同様である。最大荷重以後は、壁板コンクリートの圧壊が徐々に進行するとともに、

荷重が徐々に低下するスリップ状のせん断破壊を起こした。この実験シリーズでも、一方向载荷の場合のせん断強度は、正負繰返し载荷の場



図－3 同一試験体実験シリーズの荷重変形関係、荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ・破壊状況の一例

合のそれよりも大きくなった。

図-5に、低強度実験シリーズの荷重変形関係を示す。これらの結果は、壁筋比シリーズとほぼ同じ傾向を示した。

図-6に、壁板対角線方向の平均圧縮ひずみ速度増大率  $\alpha_e$  (=各載荷速度時のひずみ速度/基準載荷速度0.01%/sec時のひずみ速度) とせん断強度増大率  $\alpha_q$  (=各載荷速度時のせん断強度/基準載荷速度0.01%/sec時のせん断強

度) との関係を示す。これらによれば、一方向載荷および正負繰返し載荷実験のいずれも載荷速度が速くなるとせん断強度が増大していることがわかる。本実験で行った範囲の壁筋比およびコンクリート強度の変化に対して、コンクリート対角線方向の圧縮ひずみ速度が速くなれば、ほぼ同じ程度の壁板せん断強度の上昇が生じると考えてよいようである。(1)式は、コンクリートシリンダーの動的載荷実験から得られた

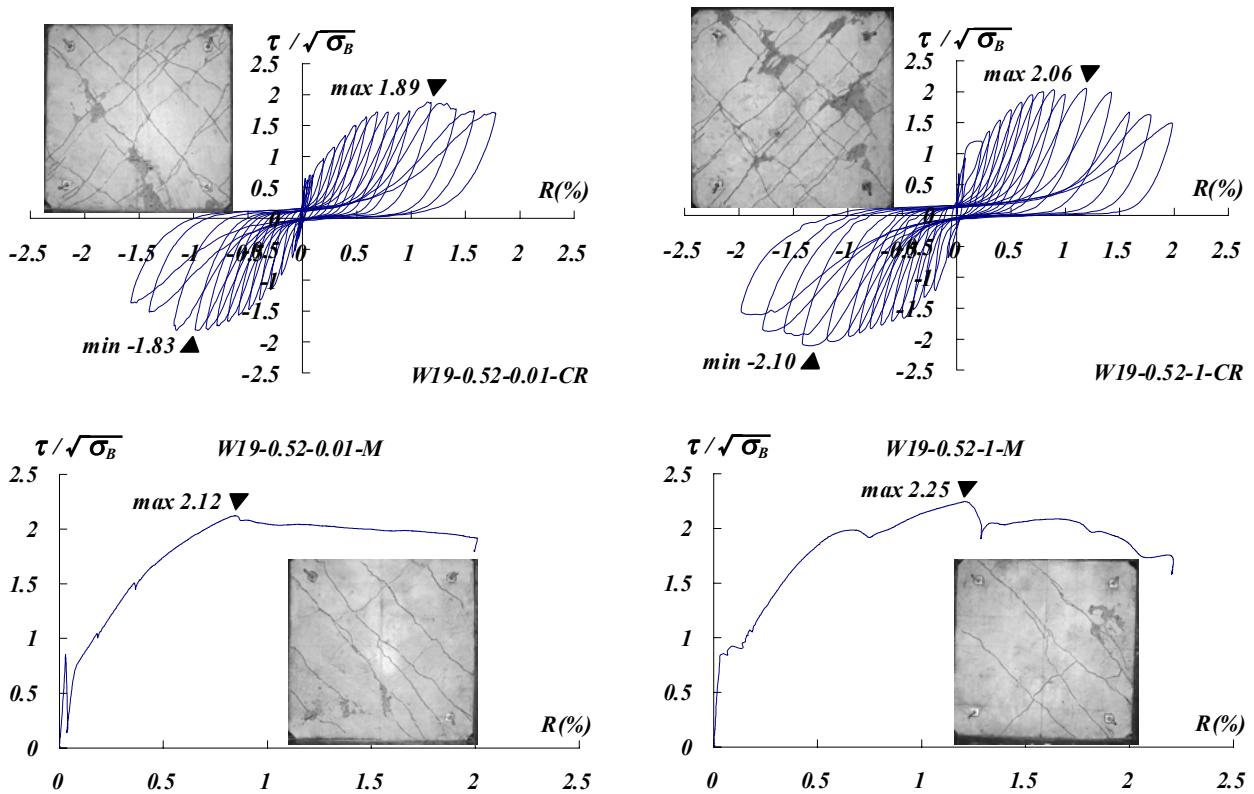


図-4 壁筋比実験シリーズ試験体の荷重変形関係、荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ・破壊状況

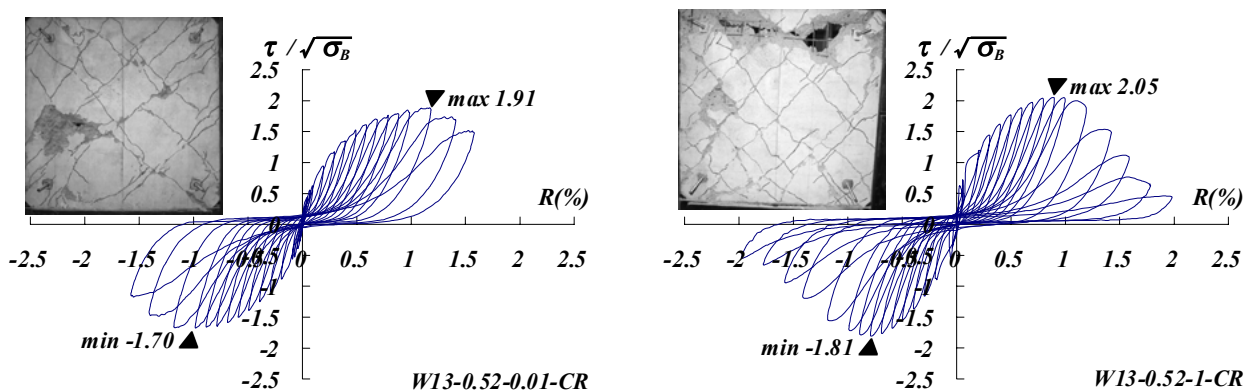


図-5 低強度実験シリーズ試験体の荷重変形関係、荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ・破壊状況

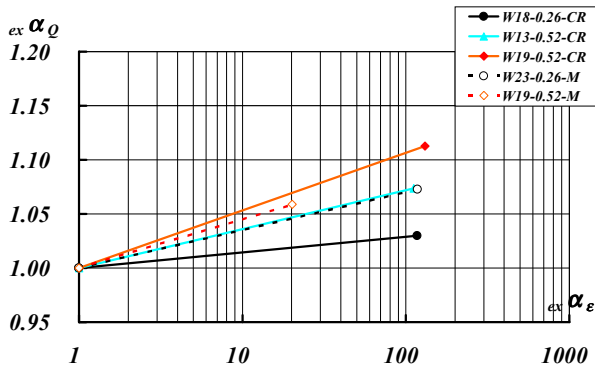


図-6 壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度増大率実験値  $\alpha_{\epsilon}$  とせん断強度増大率実験値  $\alpha_Q$  との関係

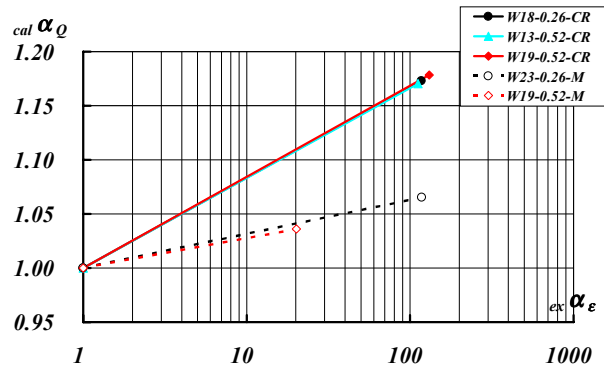


図-7 壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度増大率実験値  $\alpha_{\epsilon}$  とせん断強度増大率計算値  $\alpha_Q$  との関係

コンクリート圧縮強度とひずみ速度との関係である<sup>5)</sup>。本実験から得られた対角線方向平均圧縮ひずみ速度を(1)式に代入して強度増大率を求めた結果を、図-7に示す。

図-6と比較すると実験で得られたせん断強度増大率は一方向載荷実験の場合、ほぼ同程度となったが、繰返し載荷実験の場合は計算値ほどの強度上昇はなかった。しかし、これらの結果から判断すると、壁板のせん断強度に及ぼすひずみ速度の影響がコンクリート圧縮強度に及ぼすひずみ速度の影響によりおよそ評価できることを示していることがわかる。

$$\frac{D\sigma_c}{s\sigma_c} = 1.59 + 0.224 \log \dot{\epsilon} + 0.021 (\log \dot{\epsilon})^2 \quad (1)$$

ここで、

- $\dot{\epsilon}$  : ひずみ速度
- $D\sigma_c$  :  $\dot{\epsilon}$  時の圧縮強度
- $s\sigma_c$  : 静的載荷時の圧縮強度

#### 4. 結論

RC壁板の一定速度せん断力載荷実験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 測定された載荷速度は、いずれの試験体とも計画した速度とほぼ同じであった。
- 2) 同一試験体間のせん断強度は、コンクリートシリンダー圧縮強度のバラツキ程度であった。
- 3) 壁筋比およびコンクリート強度が異なっ

ても、正負繰返し載荷および一方向載荷のいずれの場合とも、載荷速度が速くなると壁板のせん断強度が上昇した。強度増大率は、一方向載荷については、コンクリートひずみ速度とコンクリート圧縮強度増大率の関係から求めた値とほぼ同程度となったが、正負繰返し載荷の場合は小さい結果となった。

- 4) 壁板のせん断強度は、一方向載荷の場合が正負繰返し載荷の場合より高くなった。

#### 参考文献

- 1) 江崎文也, 小野正行, 福島大徳: 一定速度載荷を受けるRC壁板のせん断性状に関する実験的研究, コンクリート工学年次論集, Vol.23, No.3, PP.427-432, 2001
- 2) 富井政英, 江崎文也: Expression for calculating lateral shear capacity of one-bay one-story reinforced concrete framed shear wall failing in slip shear of their infilled wall panel, 日本建築学会構造系論文報告集, 第366号, PP.142-154, 1986.8
- 3) 松岡良智, 江崎文也, 小野正行: 耐震壁の履歴性状に及ぼす載荷速度の影響に関する実験的研究, 日本コンクリート工学年次論文報告集, Vol.23, No.3, PP.433-438, 2001
- 4) 江崎文也: 周辺フレームから拘束を受けるRC壁板のせん断破壊強度, 日本建築学会構造系論文集, 第526号, PP.147-152, 1999.12
- 5) 中村和行他: 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, その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, PP.787-788, 1997.9