

論文 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

福島大徳*1・江崎文也*2・小野正行*3

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、一定速度の載荷を受ける RC 壁板のせん断力載荷実験を実施した。実験変動因子は、載荷速度、履歴パスおよび壁筋比である。実験結果によれば、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、せん断強度に及ぼす壁筋比の影響は少ないこと、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、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

RC 造耐震壁の復元力特性、破壊性状および強度性状等の力学的性状は、従来から行われている静的正負繰返し載荷実験に基づいて評価されている。しかし、実際の地震時では静的載荷実験の場合よりも大きなひずみ速度で変形していると考えられ、静的載荷実験で得られた挙動と異なる場合があることが十分予測される。従来の実験では、水平力載荷を手動で行う場合が一般的であり、そのため、一定速度での連続的な載荷による実験は極めて少ないのが現状であると考えられる。また、試験体のひずみ、変位および荷重等は、制御変位で載荷を一時停止して測定しているのが一般的であるため、このような実験で得られた荷重変形履歴性状のみでは実際の地震時における耐震壁の実挙動の解明には不十分と考えられる。つまり、実際の地震時の挙動を明らかにするためには、種々のひずみ速度を受ける場合の挙動を明らかにする必要があるものと考えられる。そのため、一定の速度で載荷が可能な装置を用いて、載荷時の挙動を連続的に測定し、その性状を把握する必要があるものと思われる。

RC 部材の力学挙動に及ぼす載荷速度の影響に関する既往の研究は少なくないが、耐震壁のような面部材に関する実験的研究は極めて少ないのが

現状である。そこで、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には、主として水平力を負担する壁板の性状を明らかにする必要があるものと考えられることから、一定速度の載荷を受ける RC 壁板のみのせん断力載荷実験を計画した。

本研究の目的は、載荷速度を一定に保持しながら荷重を載荷し、連続的に荷重や変位等を測定できる装置を用いて RC 壁板のせん断力載荷実験を行い、RC 壁板のせん断性状に及ぼす載荷速度や履歴パスの影響について検討を行うものである。

本論は、載荷速度、履歴パスおよび壁筋比を実験変動因子とした RC 壁板のせん断実験から、RC 壁板のせん断性状に及ぼす上記の各因子の影響について、実験的に検討を行ったものである。

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一例を、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。実験変動因子は、載荷速度、履歴パスおよび壁筋比である。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

*1 近畿大学大学院 産業技術研究科造形学専攻 (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)

値, d は荷重履歴 (M: 単調荷重, CR: 正負繰返し荷重) を, それぞれ示している。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

図-2 に示す加力装置を用いて, 図-3 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-3 に示す荷重プログラムのように変位を漸増させ, 一方向単調荷重および制御変位で 1 回の正負繰返し荷重とした。

表-1 試験体一覧

試験体名	壁筋配筋	荷重速度(%/sec)
W25-0.26-0.01-CR	4φ100シングル	0.01
W25-0.26-1-CR	($P_s=0.26\%$)	1
W20-0.52-0.01-CR	4φ50シングル	0.01
W18-0.52-0.1-CR	($P_s=0.52\%$)	0.1
W20-0.52-1-CR		1
W25-1.04-0.01-CR	4φ50ダブル	0.01
W25-1.04-1-CR	($P_s=1.04\%$)	1
W25-0.26-0.01-M	4φ100シングル	0.01
W25-0.26-1-M	($P_s=0.26\%$)	1
W20-0.52-0.01-M	4φ50シングル	0.01
W20-0.52-1-M	($P_s=0.52\%$)	1
W25-1.04-0.01-M	4φ50ダブル	0.01
W25-1.04-1-M	($P_s=1.04\%$)	1
W18-0.52-0.01-M	4φ50シングル	0.01
W18-0.52-0.1-M	($P_s=0.52\%$)	0.1
W18-0.52-1-M		1

p_s : 壁筋比 ($= a_s / (tx)$), a_s : 壁筋断面積, t : 壁厚, x : 壁筋間隔)

表-2 使用材料の力学的性質

(1) 鉄筋

種別	a	σ_y	σ_u	E_s	伸び(%)
4φ	0.13	160	301	131	37.7

a : 断面積(cm^2), σ_y : 降伏点(MPa), σ_u : 引張強度(MPa),

E_s : ヤング係数(GPa)

(2) コンクリート

試験体名	σ_B	ε_B	E_c
W25-0.26-0.01-CR	24.9	1.06	23.6
W25-0.26-1-CR			
W20-0.52-0.01-CR	19.8	0.92	21.5
W20-0.52-1-CR			
W25-1.04-0.01-CR	24.9	1.06	23.6
W25-1.04-1-CR			
W18-0.52-0.1-CR	18.2	0.97	18.8
W25-0.26-0.01-M			
W25-0.26-1-M	24.9	1.06	23.6
W25-1.04-0.01-M			
W25-1.04-1-M			
W20-0.52-0.01-M	19.8	0.92	21.5
W20-0.52-1-M			
W18-0.52-0.01-M	18.2	0.97	18.8
W18-0.52-0.1-M			
W18-0.52-1-M			

σ_B : シリンダー圧縮強度(MPa), ε_B : 圧縮強度時ひずみ(10^{-3}),

E_c : ヤング係数(GPa)

2.3 測定方法

図-4 に測定装置を示す。RC壁板に予め埋め込んだボルト間の変形を, 感度 $500\mu/\text{mm}$ 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, ひずみを測定した。測定のサンプリング間隔は, 荷重速度の遅いほうから, 0.2sec, 0.02sec, 0.002sec である。

3. 実験結果

3.1 破壊性状

図-5 に, 各試験体の荷重とせん断変形角 R との関係, 実験終了時のひび割れ状況とともに示す。荷重については, 各試験体のコンクリート圧縮強度が異なること, また, 終局強度がコンクリートのせん断破壊で支配される場合, せん断強度がコンクリート圧縮強度の平方根に比例するとの報告がある

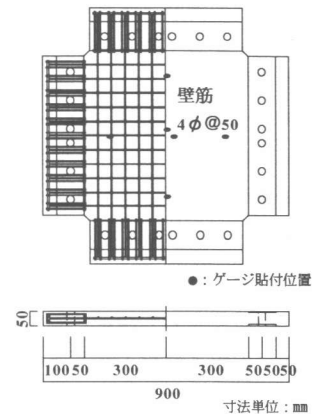


図-1 試験体形状・配筋およびゲージ貼付位置

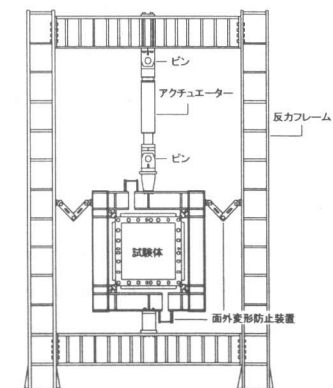


図-2 加力装置

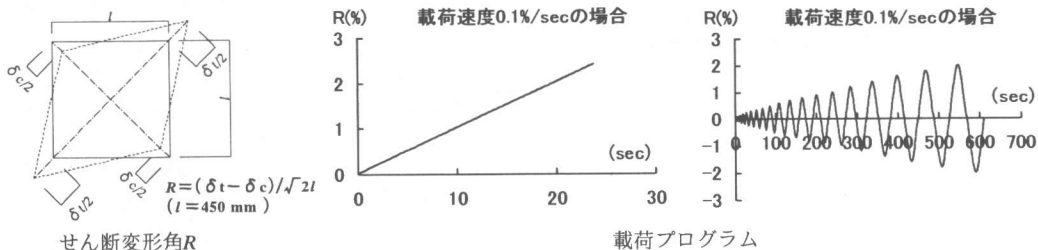


図-3 せん断変形角および載荷プログラム

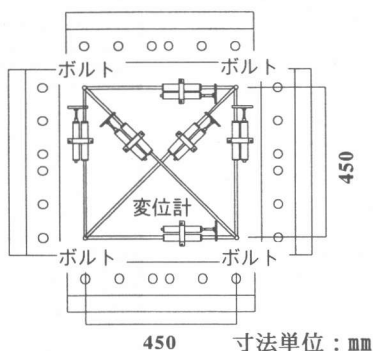


図-4 測定装置

ことを考慮し、平均せん断応力度 $\tau (=Q/tl, Q: \text{水平力}, t: \text{壁厚}, l: \text{壁長})$ をコンクリートシリンダー圧縮強度 σ_b の平方根で除した値 $\tau/\sqrt{\sigma_b}$ で示した。表-3に、実験結果の一覧を示す。

一方向単調載荷の場合、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する。ひび割れの発生と同時に荷重が一時低下するが、その後のせん断変形角の増大とともに、対角線方向のひび割れが続発・進展し、荷重が徐々に増大する。壁筋比が大きい試験体の場合は、ひび割れの数が多くなる傾向がみられた。しかし、壁板コンクリートの最終的な破壊状況は、いずれの壁筋比の試験体ともスリップ状のせん断破壊である。また、壁筋比が少ない試験体のなかには、壁板中央部に生じた対角線方向のひび割れ幅が他のひび割れよりも大きく拡幅した。このようなひび割れ性状を示す場合、荷重が最大となる以前に一時荷重が低下し、その後のせん断変形角の増大とともに徐々に荷重が増加して最大耐力に達する履歴性状を示し、ひび割れの発生状況によっては異なる履歴性状を示す可能性があることがわかった。一方、正負繰返し載荷の場合、

いずれの試験体とも、1～2サイクル目の載荷時に壁板中央部近傍の対角線方向にひび割れが発生した。壁筋比が少ない0.26%および0.52%の試験体の場合は、ひび割れの発生と同時に荷重が一時低下するが、その後のせん断変形角 R の増大とともに、対角線方向のひび割れが続発・進展し、荷重が徐々に増大する。壁筋比が大きい試験体の場合は、初ひび割れ後の荷重低下はほとんどなく、ひび割れの数も多くなる傾向がみられた。壁板の最終的な破壊状況は、いずれの試験体ともスリップ状のせん断破壊である。破壊状況に及ぼす載荷速度の影響については、載荷速度が速くなるほどコンクリートの圧壊・剥離現象が激しくなった。そのため、せん断強度に達した後の耐力低下が大きくなる傾向がある。

初期剛性は、載荷速度に関わりなくほぼ同程度となった。また、載荷速度が速くなると小さいせん断変形角で最大耐力に達する傾向があるが、前述したように、壁板中央部に生じた対角線方向のひび割れ幅がほかのひび割れよりも大きく拡幅した試験体については、最大耐力に達する変形が大きくなる傾向がみられ、ひび割れの発生状況により異なる結果となる可能性があることがわかった。これらについては、今後、同一条件で数体の試験体の実験により検討する必要があると思われる。

正負繰返し載荷の荷重変形履歴曲線の包絡線と一方向載荷の荷重変形曲線とを比較してみると、いずれの試験体とも繰返し載荷のほうが耐力が小さい結果となった。その傾向は、載荷速度が速くなるほど大きい。これは、壁板の場合は、柱および梁のように帯筋やあばら筋でコンクリートを拘束できないため、載荷速度の速い正負繰返し載荷によりコンクリートの圧壊・剥離が激しくなり、より大きく耐力

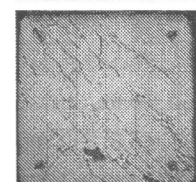
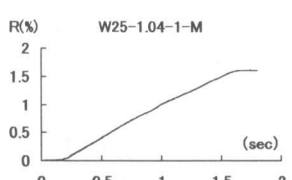
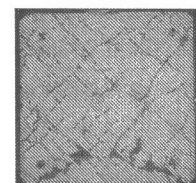
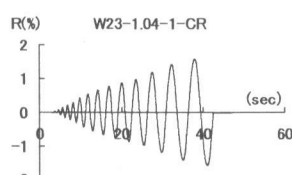
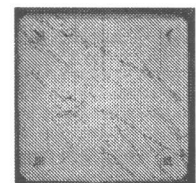
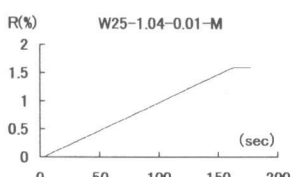
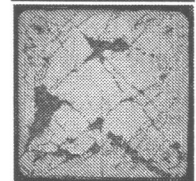
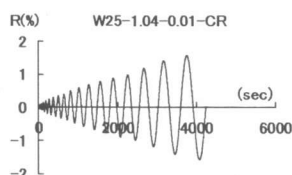
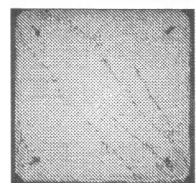
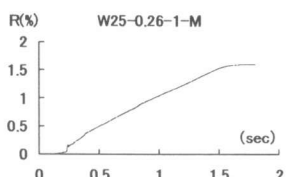
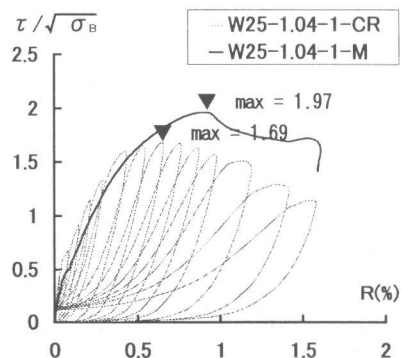
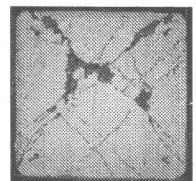
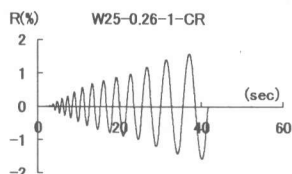
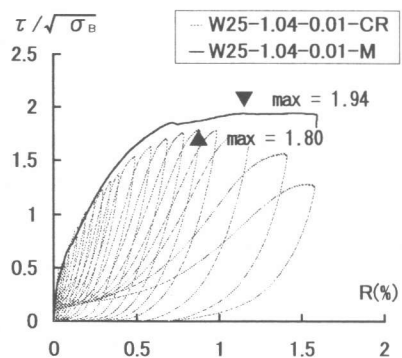
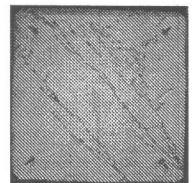
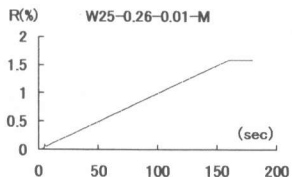
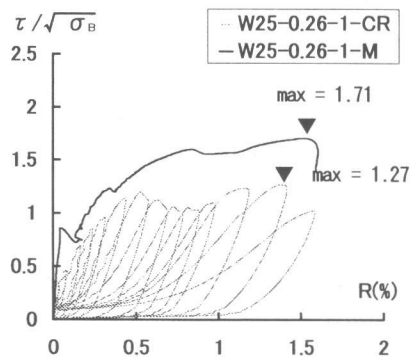
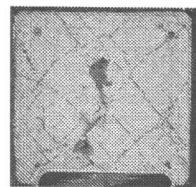
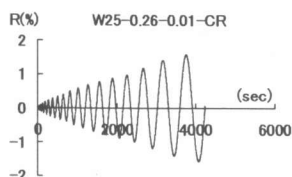
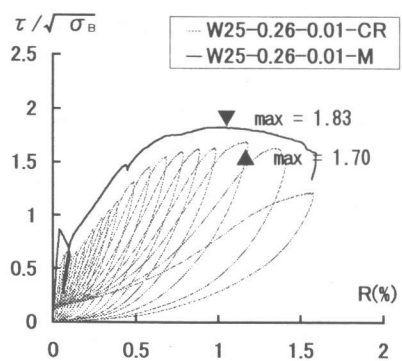


図-5 a 試験体の荷重変形関係, 荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ・破壊状況

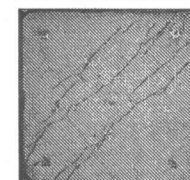
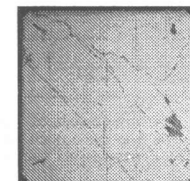
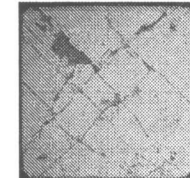
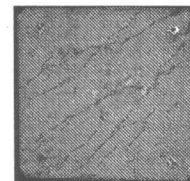
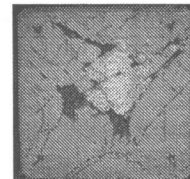
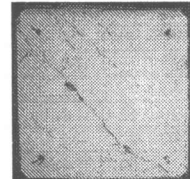
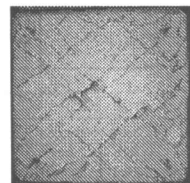
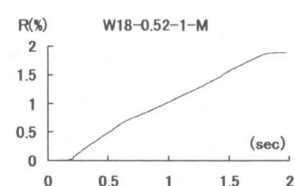
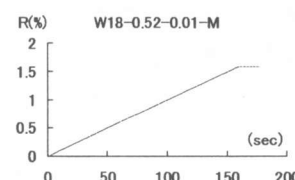
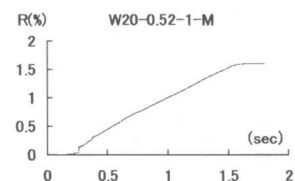
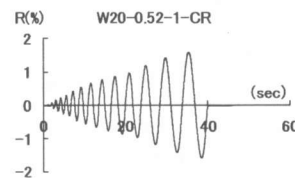
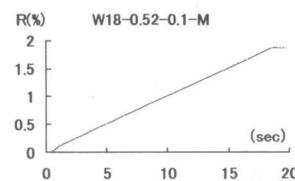
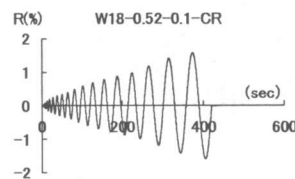
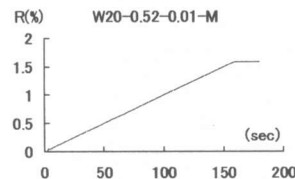
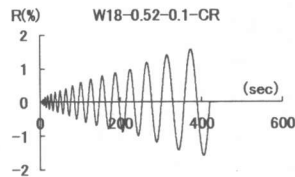
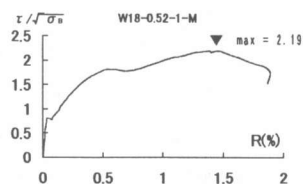
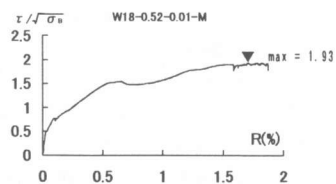
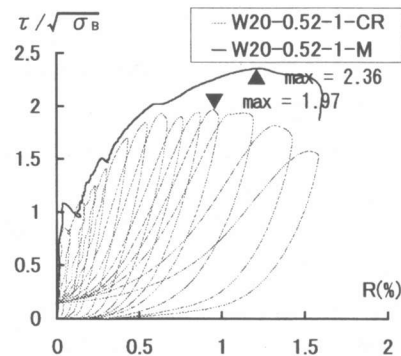
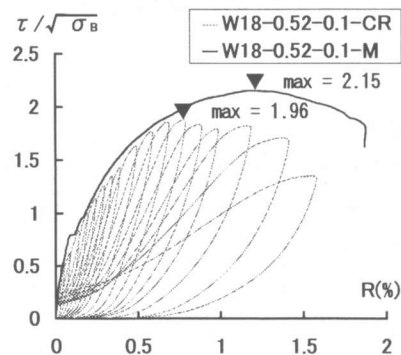
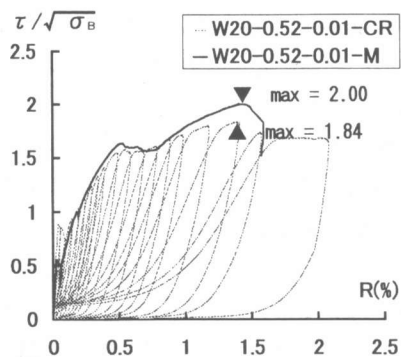


図-5 b 試験体の荷重変形関係、荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ・破壊状況

表-3 実験結果一覧

試験体名	実験値		
	Q_u (kN)	R_u (10^2)	$d\epsilon_c/dt$
W25-0.26-0.01-CR	254	1.16	0.00005273
W25-0.26-1-CR	191	1.38	0.00560394
W20-0.52-0.01-CR	246	1.39	0.00004948
W18-0.52-0.1-CR	251	0.77	0.00051139
W20-0.52-1-CR	263	0.95	0.0053294
W25-1.04-0.01-CR	269	0.87	0.00004807
W25-1.04-1-CR	253	0.65	0.00506129
W25-0.26-0.01-M	274	1.03	0.00001858
W25-0.26-1-M	256	1.51	0.00162935
W20-0.52-0.01-M	267	1.41	0.00002
W20-0.52-1-M	315	1.22	0.00121602
W25-1.04-0.01-M	291	1.41	0.00001836
W25-1.04-1-M	295	0.88	0.00124938
W18-0.52-0.01-M	247	1.78	0.00001489
W18-0.52-0.1-M	276	1.18	0.00014533
W18-0.52-1-M	281	1.44	0.0012713

Q_u : 水平耐力実験値、 R_u : 水平耐力時部材角実験値

$d\epsilon_c/dt$: 対角線方向平均圧縮ひずみ速度

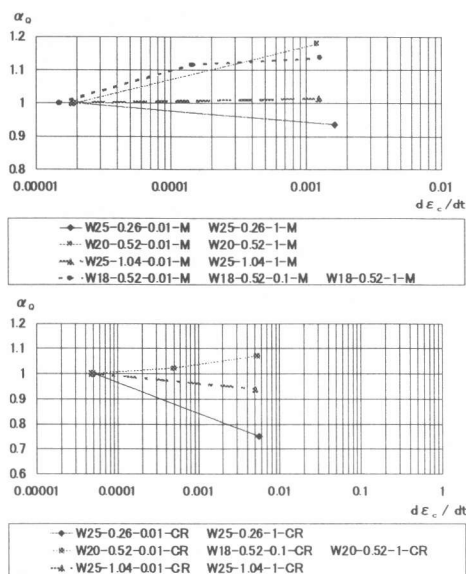


図-6 壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度 $d\epsilon_c/dt$ とせん断強度増大率 α_0

が低下するものと考えられる。

3.2 強度性状

図-6に、壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度とせん断強度増大率 α_0 (=各載荷速度時の最大耐力/基準載荷速度0.01%/sec時の最大耐力)との関係を示す。載荷速度が速くなると最大耐力が増大する傾向があるが、壁筋比が0.26%の試験体および1.04%の

試験体の場合は、載荷速度に関わりなくほぼ同程度となった。繰返し載荷の場合は、逆の傾向を示す試験体があり、今後、更に検討する必要がある。壁板のせん断強度($=\tau_u/\sqrt{\sigma_p}$)は、壁筋比に関わらずほぼ同じ値を示した。これは、壁板周囲が比較的剛な鋼板で拘束されているためと考えられる。本実験で得られたせん断強度は、一方向載荷の場合は、壁板の圧縮ストラットから得られた強度¹⁾($\tau_u=1.85\sqrt{\sigma_p}$)とほぼ同程度かそれより大きくなったが、正負繰返し載荷の場合は、それより多少小さい。これは、ストラットの実験が一方向単調載荷実験であるためと考えられる。

4. 結論

一定変形速度載荷を受けるRC壁板の一方向単調載荷および正負繰返し載荷実験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 測定された変形速度は、計画した速度とほぼ一致した。
- 2) 載荷速度が速くなると、せん断強度が上昇する場合がある。
- 3) 繰返し載荷の場合は、一方向載荷の場合より壁板のせん断強度が低下した。
- 3) 一方向載荷時のせん断強度は、壁筋比にかかわらず、壁板圧縮ストラットから得られた強度とほぼ同程度かそれより大きくなったが、繰返し載荷時は、多少小さくなった。

今後実験資料を増やし、せん断強度に及ぼす載荷速度の影響について検討する予定である。

謝辞

本研究は、平成12年度文部省科学研究費(基盤研究C、課題番号12650590、研究代表者:小野正行)の助成を受けた。試験体製作および実験の実施にあたっては、平成12年度の九州共立大学工学部建築学科江崎研究室および近畿大学九州工学部建築学科小野研究室の卒論生の協力を得た。加力装置の鉄骨フレーム製作および試験体型枠の製作では、九州共立大学工学部建築学科技能員花田憲一、高田一俊および青木 治の各氏にお世話になったここに、関係各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 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, 1999.12, pp.147-152