

論文 一方向高速載荷を受けるRC壁板のせん断性状

黒原貴彦^{*1}・江崎文也^{*2}・小野正行^{*3}・松岡良智^{*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,載荷速度を従来の油圧ジャッキを用いて手動により載荷する場合の載荷速度のおよそ1000倍程度まで変化させたRC壁板要素の単調一方向せん断力載荷実験を実施した。その結果,測定された載荷速度は,計画した速度とほぼ同じであること,載荷速度が速くなるとせん断強度が上昇することなどがわかった。

キーワード:耐震壁,壁板,載荷速度,せん断破壊,せん断強度

1. 序

鉄筋コンクリートの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,著者等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^{1),2)}。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により,載荷速度を変動因子とした実験を行い,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。これらによると,同一試験体間の強度のバラツキ程度は,コンクリートシリ

ンダー圧縮強度のバラツキ程度とほぼ同じであること,また,壁板のせん断強度が載荷速度の影響を受けることなどがわかった。しかし,これらの実験では,試験機の性能上,せん断変形角速度 $v_R=1\%/sec$ 以上の速い速度で載荷することが不可能であったため, $v_R=1\%/sec$ を超えるような場合について検討することができなかった。地震時の載荷速度は $v_R=1\%/sec$ を超える場合も十分予想されることから,ほぼ地震時の載荷速度に相当する $v_R=10\%/sec$ 程度の速さで載荷できるように試験機の改良を行い,高速載荷時のRC壁板のせん断実

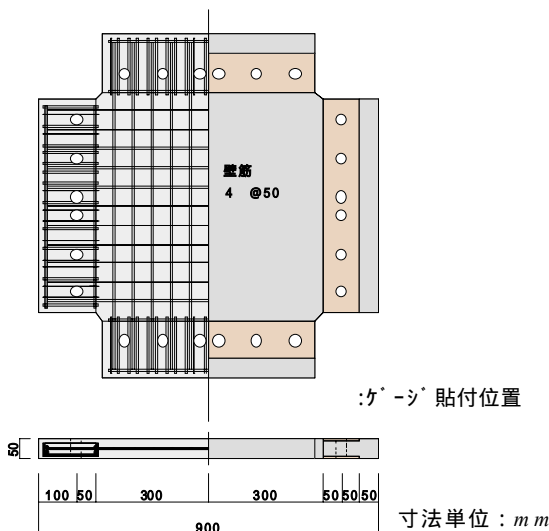


図 - 1 試験体形状・配筋およびゲージ位置

表 - 1 試験体一覧

specimen	section	reinforcement	loading rate (%/sec)
W21-0.52-0.01-M1	600×600	4φ@50single ($p_s=0.52\%$)	0.01
W21-0.52-0.01-M2			1
W21-0.52-1-M1			
W21-0.52-1-M2			
W21-0.52-10-M1			
W21-0.52-10-M2	600×600	4φ@100single ($p_s=0.26\%$)	0.01
W30-0.26-0.01-M1			10
W30-0.26-0.01-M2			
W30-0.26-10-M1			
W30-0.26-10-M2	600×600	4φ@50double ($p_s=1.04\%$)	0.01
W32-1.04-0.01-M1			10
W32-1.04-0.01-M2			
W32-1.04-10-M1			
W32-1.04-10-M2			

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

*1 宮崎市役所 (正会員)

*2 福岡大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

*3 近畿大学教授 産業理工学部建築・デザイン学科 博士 (工博) (正会員)

*4 近畿大学工業高等専門学校助手 建設システム工学科 修士 (工学) (正会員)

験を計画した。また、せん断変形角速度 $v_R=10\%/sec$ に追従できるように荷重フレームおよび測定装置に改良を加えた。本論はこれらの実験結果について述べるものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

図 - 1 に試験体形状および配筋の例を示す。分布せん断力が作用するように、試験体の4辺の加力部の両面に PL-3.2mm の縞鋼板を設けた。表 - 1 に試験体一覧を示す。壁筋比は、日本建築学会鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説に規定されている下限値の 0.26%，その 2 倍の 0.52%，上限値に近い 1.04% の 3 パターンを用意した。試験体には $W a-b-c-M(d)$ の記号を付けている。 W は壁、 a はコンクリー

表 - 2 使用材料の力学的性質

(1) 鉄筋

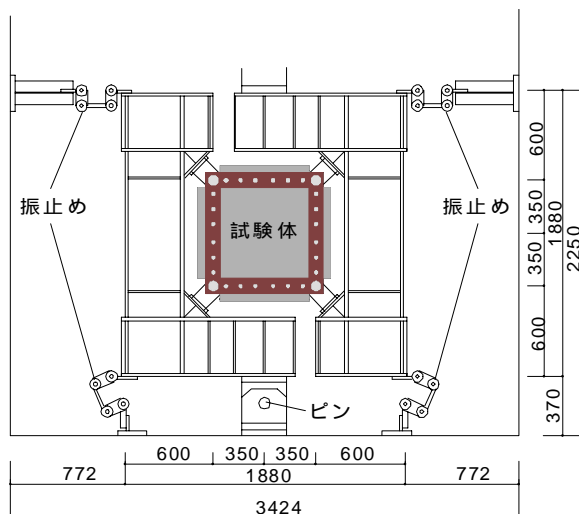
bar	$a(\text{cm}^2)$	$\sigma_y(\text{MPa})$	$\sigma_u(\text{MPa})$	$\epsilon(\%)$
4φ	0.13	185	294	35.8

a : 断面積, σ_y : 降伏点, σ_u : 引張強度, ϵ : 伸び

(2) コンクリート

specimen	$\sigma_B(\text{MPa})$	$E_C(\text{GPa})$
W21-0.52-M	20.8	25.9
W30-0.26-M	29.5	24.1
W32-1.04-M	31.6	23.2

σ_B : シリンダー圧縮強度, E_C : ヤング係数



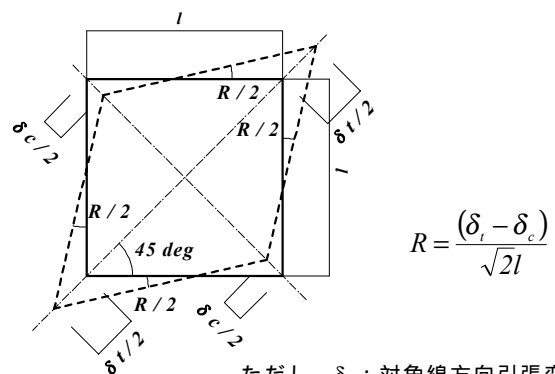
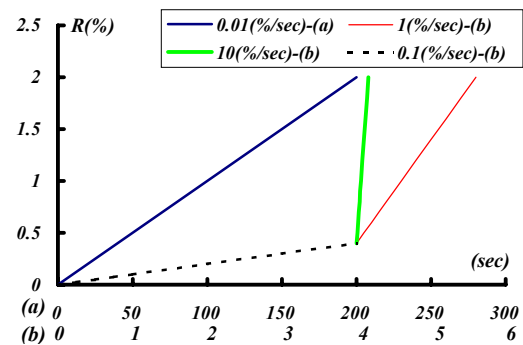
寸法単位: mm

図 - 2 加力装置

ト圧縮強度 (MPa), b は壁筋比 (%), c は荷重速度の値 (%/sec), M は一方向荷重, d は同一試験体を区別する番号をそれぞれ示す。荷重速度は、壁板のせん断変形角 R のおよその速度値を示している。表 - 2 に使用材料の力学的性質を示す。

2.2 荷重方法および荷重プログラム

図 - 2 に、今回改良した荷重フレームを示す。前報までの実験ではフレームの脚部を固定していたが、今回その部分をピンに変えた。また、振れ止めを 4ヶ所に設け、フレームの面外変形を防ぎ、壁板に埋め込んだ測定用ボルトに取り付けた高感度変位計にて測定間の対角線の変位から求めたせん断変形角 R を制御し、一方向単調増加の荷重をした。図 - 3 に、荷重プログラムを示す。高速荷重の場合は、ある程度壁板にせん断ひび割れが生じた後に高速荷重しないと制御ができなかったため、1%/sec, 10%/sec の速度ではスタートから $R=0.4\%$ までを $v_R=0.1\%/sec$ 程度の速度で荷重し、予めひび割れを入れた状態から荷重速度



ただし、 δ_i : 対角線方向引張変位
 δ_c : 対角線方向圧縮変位
 $l=450\text{mm}$

図 - 3 荷重プログラム

をあげる荷重プログラムとした。

2.3 測定方法

図 - 4 に変位測定装置を示す。感度 $200\mu/m$ の高感度変位計により、RC 壁板に埋め込んだボルト間の変形を測定した。壁板破壊時の衝撃による変位計の振動をできるだけ少なくするため、制御用変位計の取り付けボルト

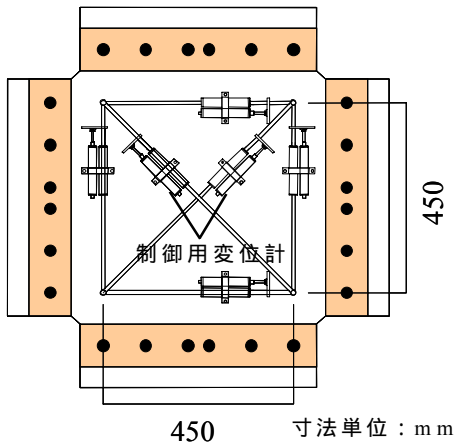


図 - 4 変位測定装置

の剛性を前回の実験の場合よりも大きくした。図 - 1 に示す位置にゲージを貼付して、鉄筋のひずみを測定した。ひび割れおよび破壊状況については、目視およびビデオカメラ等による撮影により記録した。

3. 実験結果

各試験体のコンクリート強度が異なる場合の強度比較のため、各試験体の平均せん断応力度 $\tau (=Q/tl, Q: 水平力, t: 壁厚, l: 壁長)$ をコンクリートシリンダー圧縮強度 σ_B の平方根で除した値 $\tau/\sqrt{\sigma_B}$ とせん断変形角 R との関係および Q と R の時刻歴を、実験終了時の顕著なひび割れの状況とともに図 - 5 に示す。表 - 3 に実験結果の一覧を示す。

測定された R の時刻歴をみると、各試験体ともほぼ計画した速度で荷重されていることがわかる。

初ひび割れはまず壁板の対角線方向にはい

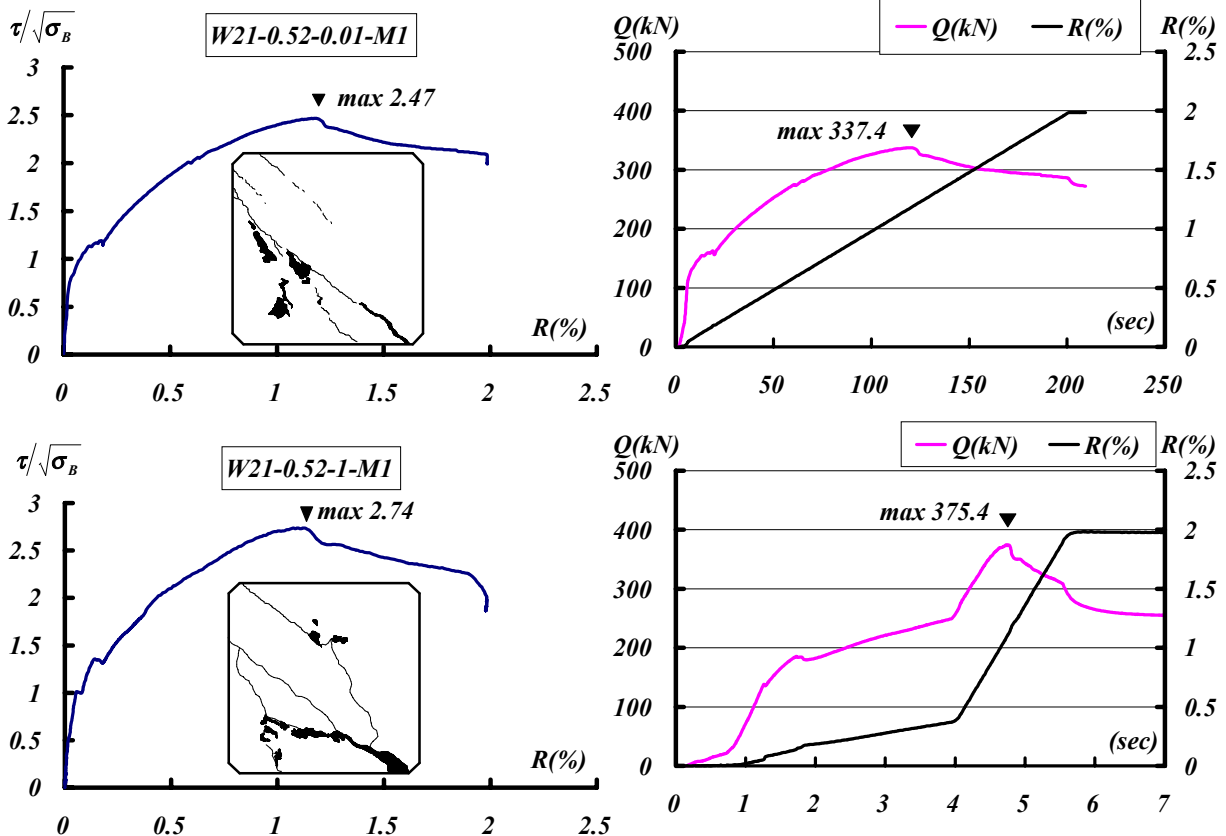


図 - 5 a 各試験体の荷重変形履歴応答，荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ状況

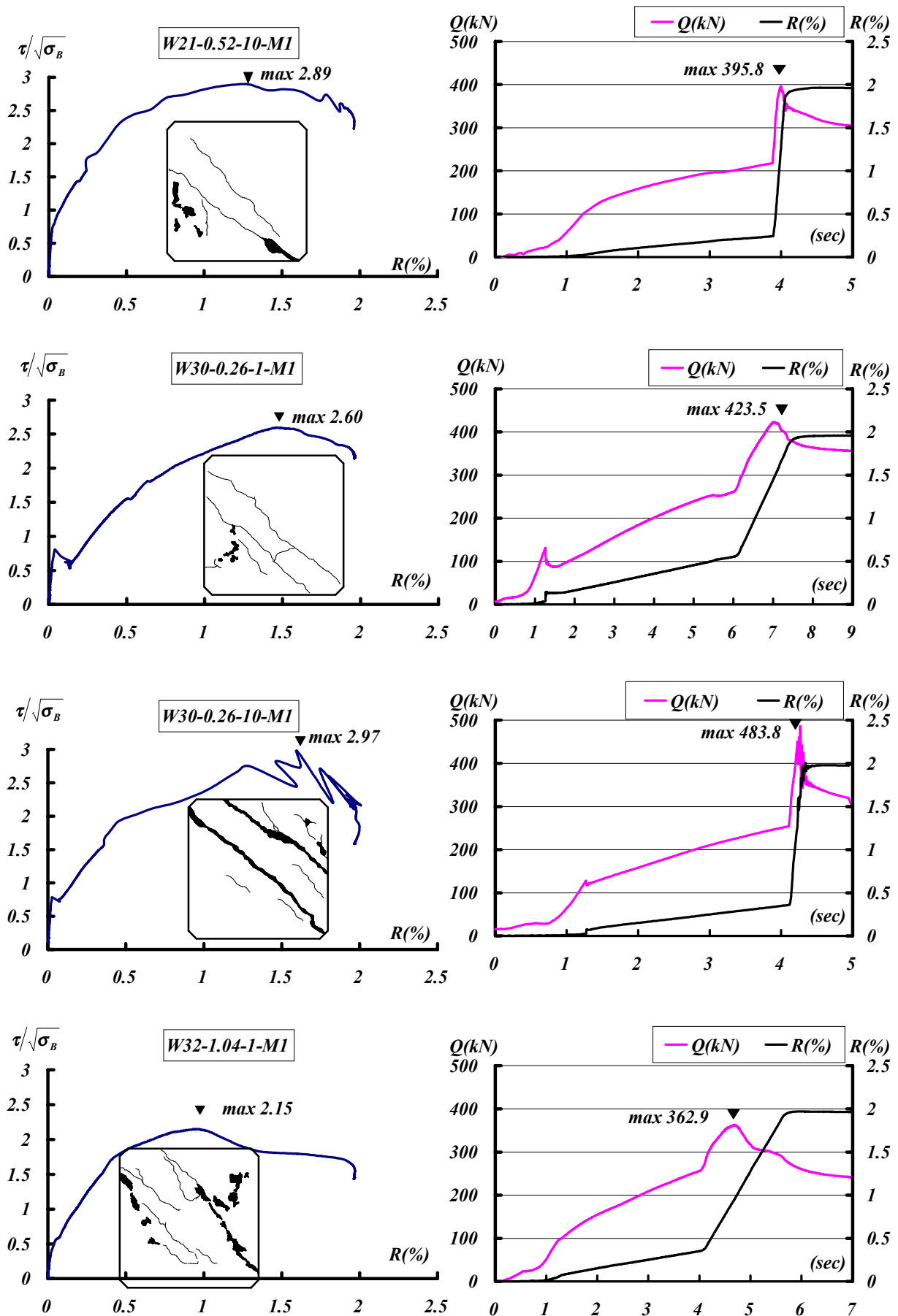


図 - 5 b 各試験体の荷重変形履歴応答，荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ状況

り、それと同時に荷重が一時低下する現象がみられる。その後、 R の増大とともに荷重も上昇し、 R が1%近傍で最大荷重となる傾向が見られた。その後は、 R の増大とともに徐々に荷重が低下するスリップ状のせん断破壊を起こした。また $v_R=1\%/sec, 10\%/sec$ においては、計画した通りに $R=0.4\%$ までの段階でひび割れを発生させることができた。ひび割れの入り方については、壁筋比が大きくなるほどひび割れが分散する傾向にあった。ひび割れの分散化には壁筋量を多くすることが有効なようである。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³⁾よりも多少大きい値となった。これは、本実験においては、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思われる。

壁板のせん断強度は、せん断ひび割れに

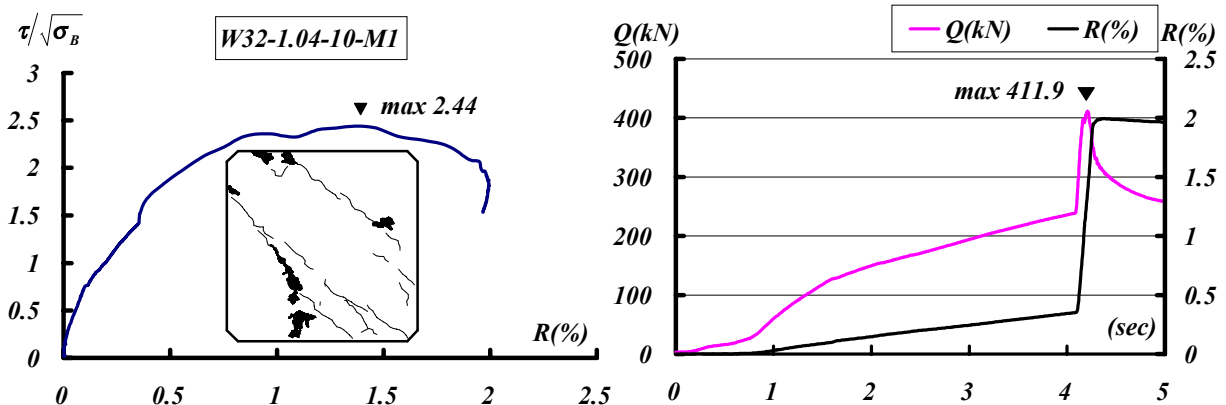


図 - 5 c 各試験体の荷重変形履歴応答、荷重と変形の時刻歴および実験終了時のひび割れ状況

表 - 3 実験結果一覧

specimen	Q (kN)	average (kN)	$\tau/\sqrt{\sigma_B}$	average
W21-0.52-0.01-M1	337.4	329.7	2.47	2.41
W21-0.52-0.01-M2	322.0		2.35	
W21-0.52-1-M1	375.4	361.5	2.74	2.64
W21-0.52-1-M2	347.6		2.54	
W21-0.52-10-M1	395.8	376.0	2.89	2.75
W21-0.52-10-M2	356.1		2.60	
W30-0.26-1-M1	423.5	395.1	2.60	2.42
W30-0.26-1-M2	366.7		2.25	
W30-0.26-10-M1	483.8	433.6	2.97	2.66
W30-0.26-10-M2	383.5		2.35	
W32-1.04-1-M1	362.9	373.5	2.15	2.21
W32-1.04-1-M2	384.2		2.28	
W32-1.04-10-M1	412.0	413.0	2.44	2.45
W32-1.04-10-M2	414.1		2.45	

よって形成される壁板対角線方向のコンクリートストラットの圧縮性能に依存していることから、図 - 6 に載荷速度実験値 ${}_{ex}V_R$ と壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度実験値 ${}_{ex}\dot{\epsilon}$ との関係を示す。 ${}_{ex}\dot{\epsilon}$ は、速度が変わる $R=0.4\%$ 付近とせん断耐力時の各ひずみの時刻歴の値の傾きから求めた。これらによると、 ${}_{ex}V_R$ と ${}_{ex}\dot{\epsilon}$ の倍率が同じになる基準線の傾きといずれもほぼ同じ傾きを示していることから、載荷速度が速くなると、壁板対角線方向圧縮ひずみ速度も同程度の比率で速くなると考えてよいようである。

図 - 7 に壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度実験値 ${}_{ex}\dot{\epsilon}$ とせん断強度増大率実験値 ${}_{ex}\alpha_Q$ (=各載荷速度時のせん断強度 / 各載荷シリーズの最遅速の載荷速度時のせん断強度)との関係を示す。これによると、各試験体とも壁筋比に関係なく載荷速度が速くなるとせん断強度が

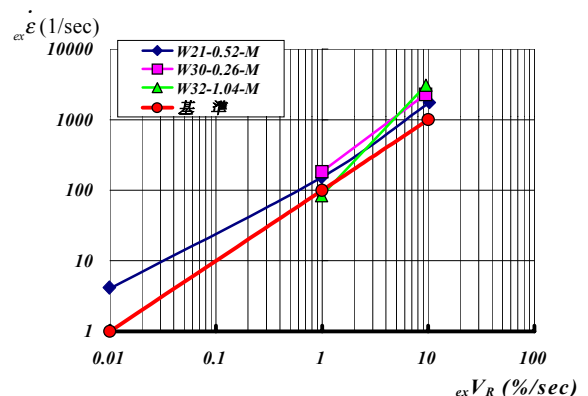


図 - 6 載荷速度実験値 ${}_{ex}V_R$ と壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度 ${}_{ex}\dot{\epsilon}$ との関係

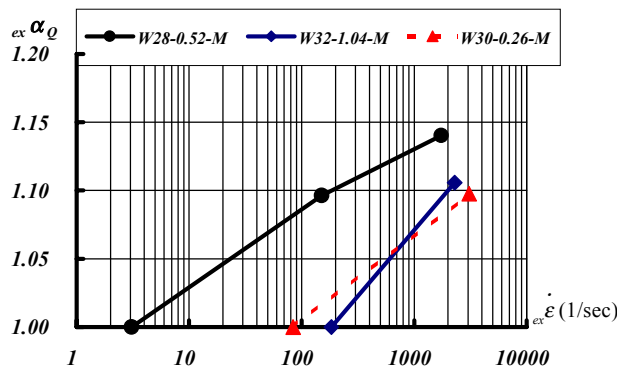


図 - 7 壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度
実験値 $ex\dot{\epsilon}$ (1/sec) とせん断強度増大率
実験値 $ex\alpha_Q$ との関係

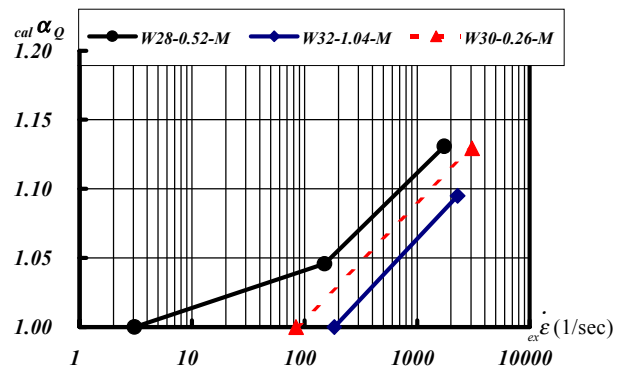


図 - 8 壁板対角線方向平均圧縮ひずみ速度
実験値 $ex\dot{\epsilon}$ (1/sec) とせん断強度増大
率計算値 $cal\alpha_Q$ との関係

増大していることがわかる。この理由は、図 - 6 に示すように載荷速度を速くすると壁板対角線方向の圧縮ひずみ速度が速くなり、その結果、ひび割れによって形成されたコンクリート圧縮ストラットの強度が上昇するため、壁板のせん断強度が増大するものと思われる。そこで、コンクリートシリンダー圧縮強度に及ぼすひずみ速度の影響に関する実験的研究から求められたコンクリート強度増大率算定式⁴⁾に、本実験で得られたひずみ速度実験値 $ex\dot{\epsilon}$ を代入してせん断強度増大率計算値 $cal\alpha_Q$ を求めた結果を、図 - 8 に示す。図 - 7 と図 - 8 を比較すると、実験で得られたひずみ速度とせん断強度増大率の関係は、計算値とほぼ同じ傾向を示していることから、強度上昇の理由は、コンクリートのひずみ速度の上昇に起因していると考えられる。この結果により、壁板のせん断強度に及ぼすひずみ速度の影響が、本実験で行った高速載荷の範囲までコンクリートシリンダー圧縮強度に及ぼすひずみ速度の影響により、およそ評価することができそうである。

4. 結論

載荷速度、壁筋比を実験因子として実験を行った結果、以下のことがわかった。

- 1) 測定された載荷速度は各試験体とも計画した速度とほぼ同程度だった。

- 2) 壁筋比に関係なく載荷速度が速くなると壁板のせん断強度が上昇する。
- 3) 壁板のせん断強度に及ぼすひずみ速度の影響が、本実験で行った高速載荷の範囲までコンクリートシリンダー圧縮強度に及ぼすひずみ速度の影響によりおよそ評価することができそうである。

地震のような正負繰り返し水平力が作用する場合については、本制御方法ではうまくデータが収録できなかったことから、これらについては今後の課題である。

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文集，Vol.23, No.3, pp.427-432, 2001
- 2) 江崎文也，小野正行，福島大徳，黒原貴彦：RC壁板のせん断性状に及ぼすひずみ速度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol.24, No.2, pp.553-558, 2002
- 3) 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
- 4) 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