

論文 耐震壁中間部材要素のせん断強度

姜 優子*1・江崎 文也*2・小野 正行*3

要旨：せん断破壊の恐れがある耐震壁中間部材の応力状態を近似した要素実験を行い，中間部材のせん断強度に及ぼす主筋，部材軸方向力および断面形状の影響を検討した。実験結果によれば，部材断面形状に関わらず主筋強度が増大すると，最大耐力も増大する傾向が見られ，軸方向力が増大すると，耐力が上昇する傾向が見られた。一方向載荷と同様に繰返し載荷実験でも，中間部材のせん断強度には，主筋量や軸方向力などの影響が大きいことがわかった。また，耐震壁中間部材に関しては，終局強度式の適用法も含め，新たな評価法を検討する必要があることがわかった。

キーワード：連層耐震壁，中間部材，せん断破壊，せん断強度

1. 序

耐震壁の中間部材は，単独の柱や梁と異なり，壁板からのせん断応力のほかせん断ひび割れに伴う壁板の膨張による拘束応力が作用する。せん断ひび割れが発生した後の壁板を直交異方性弾性板と仮定した耐震壁に関する応力解析によれば，中間部材には側部材でみられるようなせん断ひび割れの進展・続発によって生じるせん断力の集中はない。ひび割れの進展・続発による異方性が進行しても中間部材のせん断力は，壁板に生じる単位長さ当たりのせん断力とほぼ同じ程度のせん断力が生じることが指摘されている¹⁾。しかし，中間部材は，壁筋と同様にせん断ひび割れの発生に伴う壁板の膨張を拘束する役目をしていることから，中間部材には主として拘束反力による大きな軸方向引張力が生じる。

耐震壁付帯ラーメン中間部材の応力が再現できる要素試験体を用いて行ったせん断実験によれば，中間部材のせん断強度は，主筋強度に最も影響を受け，あばら筋には主筋ほどの効果が見られず，せん断強度を大きくするには主筋強度 ($=a_g\sigma_{yg}$, a_g : 主筋総断面積, σ_{yg} : 主筋降伏点強度) を増大することが最も効果的であること

がわかった^{2),3)}。また，主筋強度を増大すれば，部材幅が壁厚と同じであってもせん断強度が増大するし，部材幅の影響はほとんど見られないことも明らかとなった⁴⁾。しかし，中間部材は地震時には交差したひび割れが生じる。昨年度までの実験は一方向単調載荷であり，実際の地震時とは載荷条件が異なる。このため，せん断強度に及ぼす繰返しの影響を検討する必要があると考え，中間部材の繰返しせん断力載荷実験を行った。本論文は，これらの実験の結果について述べるものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は，図 - 1 に示すような連層・連スパン耐震壁のせん断破壊の恐れが大きい部分の中間部材に着目し，実物の約1/3縮尺モデルの要素試験体とした。図 - 2 に試験体形状を，表 - 1 に試験体一覧を示す。試験体の壁筋比は，いずれの試験体とも 0.32% であり，壁板が先に破壊しないように壁厚を 100mm とした。試験体には I(IW)a-b-c-d の記号を付けている。I は部材幅が壁厚の 2 倍，IW は部材幅が壁厚と同じ，a はコ

*1 近畿大学大学院 産業技術研究科造形学専攻学生 修士(工学)(正会員)

*2 福岡大学 工学部建築学科教授 工博(正会員)

*3 近畿大学 産業理工学部建築・デザイン学科教授 博士(工学)(正会員)

コンクリートシリンダー圧縮強度の値 (MPa), b は主筋比の値 (%), c はせん断補強筋比の値 (%), d は軸方向応力度の値 (MPa), CR は正負繰返し載荷をそれぞれ示している。主筋比およびせん断補強筋比は, それぞれ0.8%および0.2%を基準とした。実験は, 主筋および部材断面形状を変動因子としたシリーズ, 主筋および部材

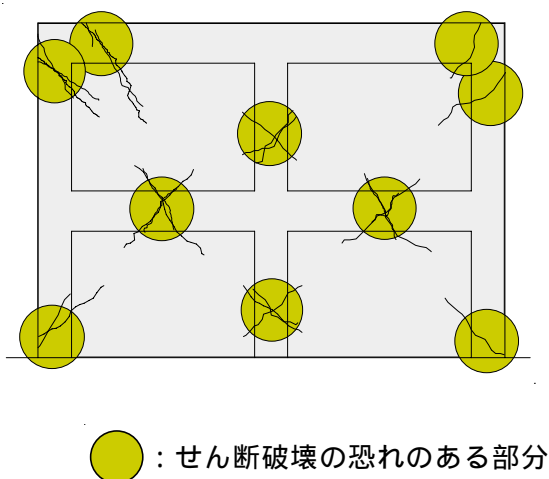
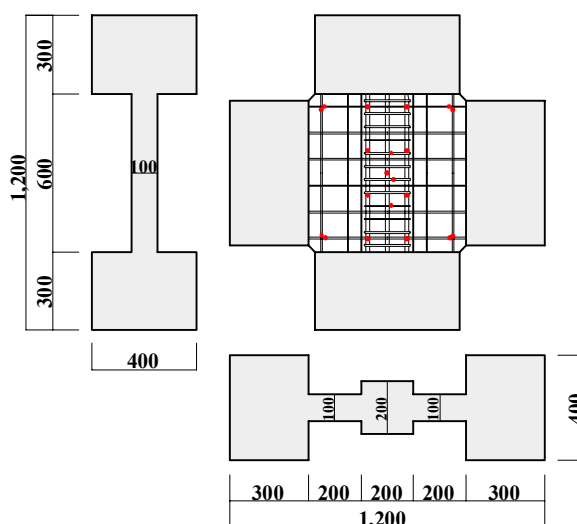


図 - 1 せん断破壊の恐れがある付帯ラーメン部分

軸方向力を変動因子としたシリーズを計画した。表 - 2 に, 使用した材料の力学的性質を示す。

2.2 加力方法

加力方法は図 - 3 に示すような方法とした。図 - 3 に示すように, 試験機により剛梁に部材軸方向力を載荷した。その後, 加力装置に設置した2台の油圧ジャッキ (引き最大 245kN, 押



● : ゲージ貼付位置
(寸法単位 : mm)

図 - 2 試験体形状およびゲージ貼付位置

表 - 1 試験体一覧

Specimen	Intermediate Member			Wall		axial load (MPa)
	Section (mmxmm)	Longitudinal Reinforcement	Transversal Reinforcement	Thickness (mm)	Reinforcement	
IW27-2.4-0.6-0CR	100x200	4-D13 ($p_g=2.4\%$)	D6@100mm ($p_w=0.64\%$)	100	D6@100mm ($p_s=0.32\%$) single layer	0
IW27-4.0-0.6-0CR		6-D13 ($p_g=4.0\%$)				
I21-3-0.6-0CR	200x200	10-D13 ($p_g=3.2\%$)	D6@50mm ($p_w=0.64\%$)			
I28-1-0.6-0CR		6-D10 ($p_g=1.1\%$)				
I28-1-0.6-2CR						

p_g = 主筋比, p_w = 帯筋比, p_s = 壁筋比

表 - 2 材料の力学的性質

(1) コンクリート

Specimen	σ_B	E_C
IW27-2.4(4.0)-0.6-0CR	26.9	28.4
I21-3-0.6-0CR	20.8	25.9
I28-1-0.6-0(2)CR	28.4	28.1

σ_B : シリンダー圧縮強度 (MPa)

E_c : ヤング係数 (GPa)

(2) 鉄筋

Bar	a	σ_y	σ_u	ϵ
D6	0.32	429	522	19.9
D10	0.71	375	528	21.6
D13	1.27	360	502	18.9

a : 断面積 (cm^2), σ_y : 降伏点強度 (MPa)

σ_u : 引張強度 (MPa), ϵ : 伸び (%)

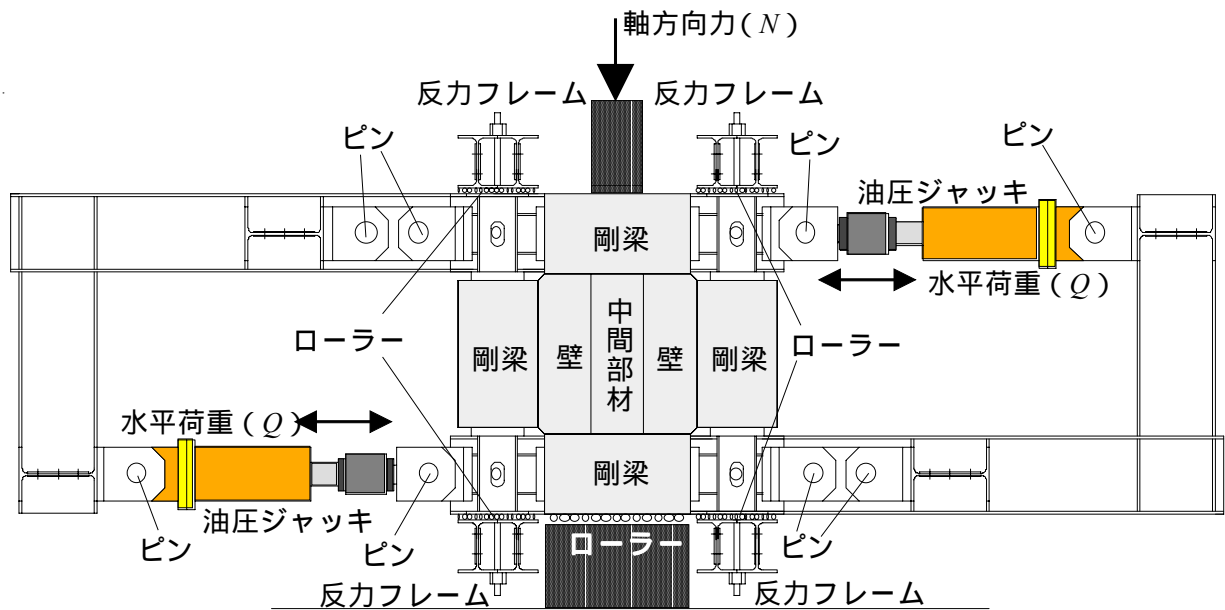


図 - 3 載荷装置

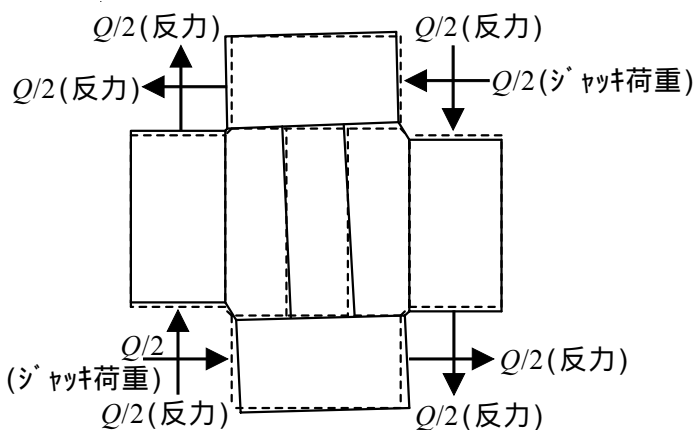


図 - 4 作用荷重と変形状況

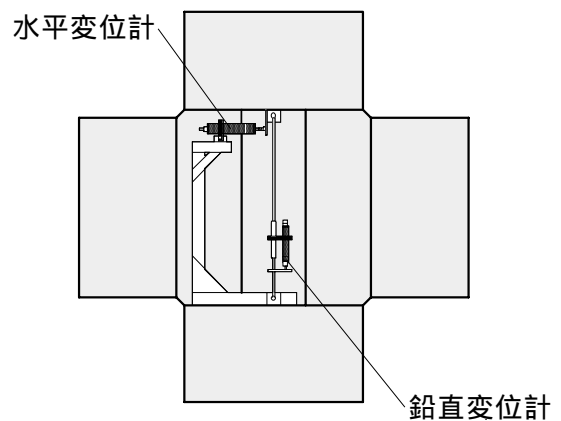


図 - 5 測定装置

し最大 490kN) にて手動により水平荷重を載荷し、図 - 4 に示す反力の作用により、試験体に逆対称の力を作用させた。本実験では、壁板の引張破壊で耐力が決まらないように中間部材方向の剛梁とそれに直交する方向の剛梁とは中間部材方向をルーズホールにしたピン接合で、中間部材方向の伸びを拘束せずそれと直交方向を拘束する方法を採用した。そのため本実験では、図 - 4 のような変形となり、中間部材と直交方向の伸びが拘束された場合を対象としたものとなっている。

2.3 測定方法

測定方法は図 - 5 に示す高感度変位計により、中間部材の水平（材軸と直角方向）および鉛直

（材軸方向）の各変形を測定した。また、図 - 2 に示すように、想定破壊線位置にゲージを貼付して、鉄筋のひずみを測定した。荷重、変形および鉄筋のひずみの測定は、ひずみ測定器によりパソコンに記録した。また、破壊状況については、目視および写真撮影により記録した。

3. 実験結果

図 - 6 に、各試験体の水平荷重 Q （= 左右ジャッキの載荷荷重の和）と中間部材の部材角 R （= 材軸と直角方向変位 / 柱内法高さ）との関係、中間部材の軸方向平均ひずみ ϵ_v と R との関係および実験終了時の破壊状況を示す。

荷重を徐々に載荷していくと、壁板に斜め 45

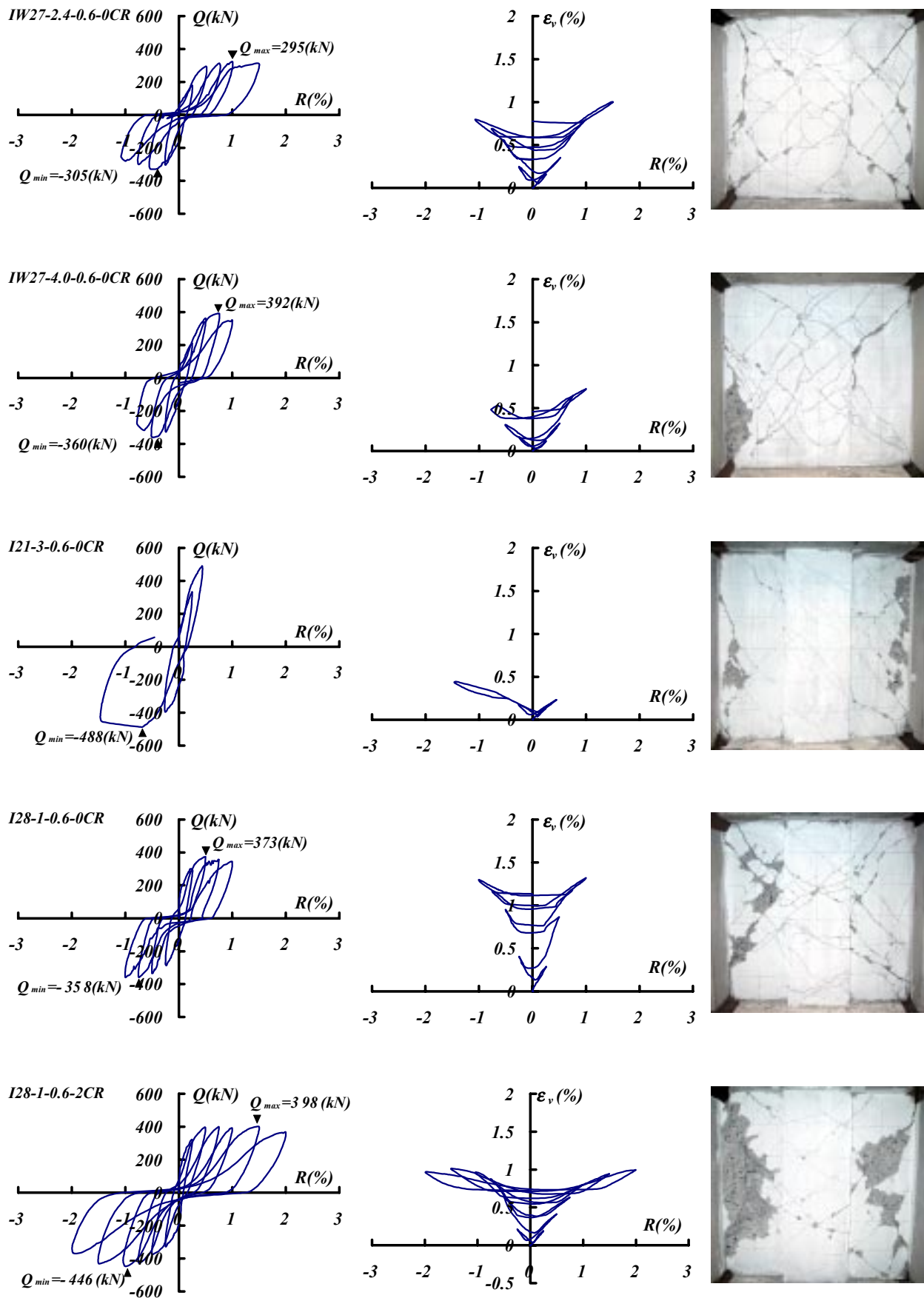
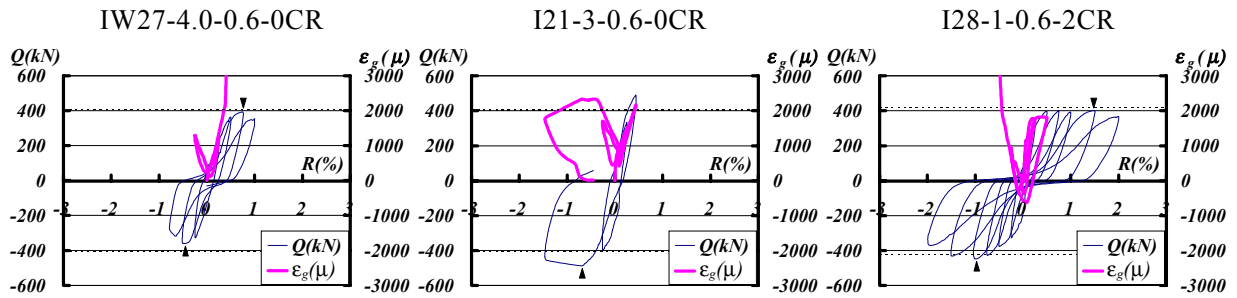
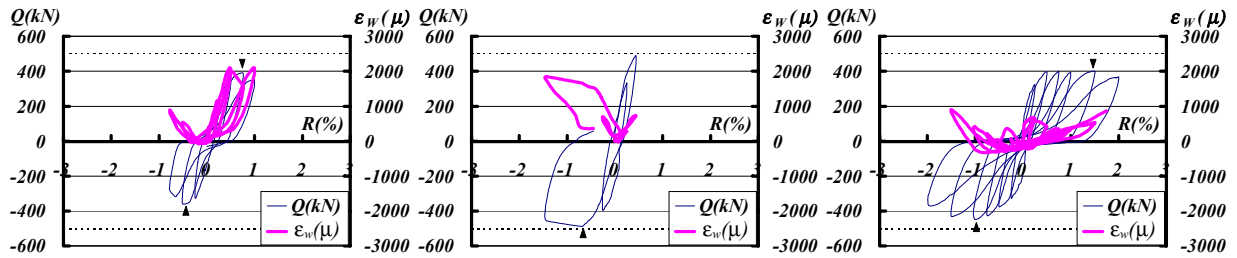


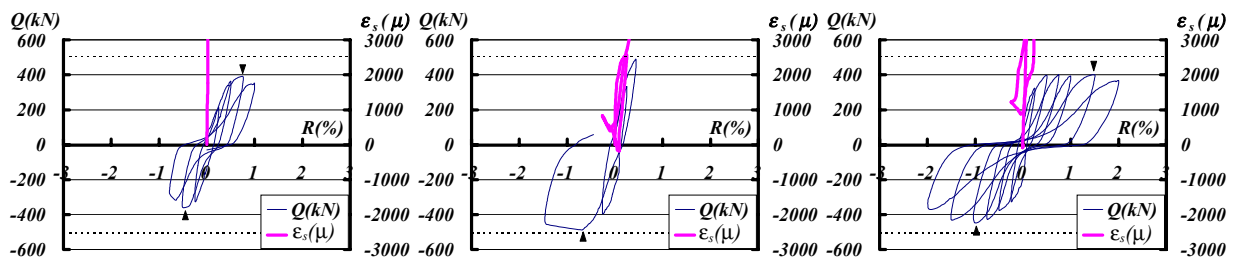
図 - 6 各試験体の水平荷重 Q と中間部材の部材角 R との関係，中間部材の軸方向平均ひずみ ϵ_v と R との関係および実験終了時の破壊状況



Longitudinal Reinforcement (ϵ_g :主筋ひずみ)



Transversal Reinforcement (ϵ_w :帯筋ひずみ)



Horizontal Wall Reinforcement (ϵ_s :壁筋ひずみ)

----- : 降伏ひずみ : 最大荷重

図 - 7 中間部材の部材角 R と各補強筋のひずみ $\epsilon_g, \epsilon_w, \epsilon_s$ との関係の一例

度方向のせん断ひび割れが発生するが、そのひび割れの進展は中間部材の境界部または部材の主筋位置で一旦止まった。その後、柱にせん断ひび割れが発生し、壁板および柱にひび割れが連続することにより最大耐力に達した。主筋比が3%の試験体に関しては、試験機の性能以上の耐力となってしまったため正側の最大耐力の測定ができなかった。梁断面形状に関わらず主筋比が増大すると、最大耐力も増大する傾向が見られた。また、軸方向力が増大すると、耐力が上昇する傾向が見られた。中間部材軸方向平均ひずみ ϵ_v と R との関係によると、所定の軸方向力を載荷した試験体では、軸方向力載荷後に軸方向圧縮ひずみが生じている。その後の水平力の載荷により、中間部材に変動軸力が作用する

ため、徐々に伸びひずみが増加するが、中間部材にせん断ひび割れが生じると、急激な伸びひずみが生じていることから、中間部材の主筋量や軸方向力などの影響が大きいことが伺える。

図 - 7 に中間部材の部材角 R と各補強筋のひずみ $\epsilon_g, \epsilon_w, \epsilon_s$ との関係の一例を示す。これらによると、最大荷重以前に主筋が降伏していることから、主筋の能力が十分に発揮されていることがわかる。また、壁横筋は、ひび割れ直後急激に降伏しているのに対し、帯筋は降伏ひずみまでは達しておらず、その能力はまだ十分発揮されていない。部材に軸方向力が載荷されている場合については、帯筋の伸びが少なくなる傾向がみられた。このことから、中間部材の主筋量や軸方向力などの影響が大きいことが伺える。

表 - 3 実験結果一覧

Specimens	Experiment							Analysis	
	First crack		Maximum		Minimum		Wall Rein.	Q_{cu}	$cal Q_{cu}$
	Q_{cr}	R_{cr}	Q_u	R_u	Q_u	R_u	$a_s \sigma_{ys}$		
IW27-2.4-0.6-0CR	71	0.03	295	0.50	-305	-0.25	82	213	162
IW27-4.0-0.6-0CR	60	0.02	392	0.75	-360	-0.50	82	278	162
I21-3-0.6-0CR	120	0.03	-	-	-488	-0.70	82	406	302
I28-1-0.6-0CR	129	0.01	373	0.50	-358	-0.75	82	276	328
I28-1-0.6-2CR	140	0.02	398	1.50	-446	-1.00	82	316	328

Q_{cr} :初期ひび割れ荷重(kN), R_{cr} :初期ひび割れ部材角(%)

Q_u :最大水平荷重(kN), R_u :最大荷重時の部材角(%)

$a_s \sigma_{ys}$:壁横筋降伏強度(kN), Q_{cu} :中間部材最大水平荷重実験値(kN)($=Q_u - a_s \sigma_{ys}$)

$cal Q_{cu}$:終局強度算定式⁵⁾による中間部材せん断強度算定値(kN)

また,表-3に実験結果一覧を示す。中間部材の最大水平荷重実験値 Q_{cu} は,壁横筋が最大水平荷重に達する以前に降伏していることから,最大水平荷重 Q_u の小さいほうから壁筋の引張強度 $a_s \sigma_{ys}$ (a_s :壁横筋全断面積, σ_{ys} :壁横筋の降伏強度)を差し引いて求めたものである。現在のところ,耐震壁に挟まれている中間部材のせん断強度を適切に評価する方法が確立されていないため,本研究では終局強度算定式⁵⁾により中間部材の算定値 $cal Q_{cu}$ を求めた。これらによれば,中間部材のせん断強度の評価には,主筋強度や軸力の影響を取り入れる必要があると思われる。

4. 結論

中間部材の正負繰返し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) 梁断面形状に関わらず主筋比が増大すると,最大耐力も増大する傾向が見られた。
- 2) 軸方向力が増大すると,耐力が上昇する傾向が見られた。
- 3) 一方向載荷と同様に繰返し載荷実験でも,中間部材のせん断強度には,主筋量や軸方向力などの影響が大きく,せん断強度の評価にはこれらの影響を考慮する必要がある。

なお,中間部材と直交方向の伸びが拘束されない場合については今後の課題である。

謝辞

試験体製作および実験の実施にあたっては,九州共立大学技師 高田一俊,米原義則および永岡忠光の各氏,また,平成15年度九州共立大学工学部建築学科江崎研究室,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。ここに,関係者各位に感謝致します。

参考文献

- 1) 江崎文也,船本憲治,富井政英:せん断ひび割れ以後の1層連スパン耐震壁の力学的性状に関する理論的研究,日本建築学会九州支部研究報告,第27号,pp.225-228,1983
- 2) 姜優子,江崎文也,小野正行:軸力が作用しない中間柱のせん断強度に関する実験的研究,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.23, No.3, pp.457-462,2001.7
- 3) 姜優子,江崎文也,小野正行:耐震壁中間柱のせん断強度に及ぼす補強筋強度の影響,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.24, No.2, pp.541-546,2002.6
- 4) 姜優子,江崎文也,小野正行:耐震壁中間梁のせん断強度に及ぼす梁断面形状の影響,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.25, No.2, pp.583-588,2003.7
- 5) 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説,日本建築学会,1990