

論文

[2144] 外部拘束を受ける RC 壁板圧縮ストラットの圧縮性能に関する実験的研究

正会員○江崎文也(九州共立大学建築学科)

1. 序

耐震壁の壁板周辺のフレームが十分にせん断補強されていれば, 耐震壁の耐震性能は, せん断ひび割れが発生した壁板の膨張に伴う周辺フレームの拘束作用を受ける RC 板要素からなる圧縮ストラットの圧縮性能に大きく依存する[1]. RC 板要素の圧縮性能に関するこれまでの実験的研究では, 壁筋のみによる拘束及び外部からの一定拘束力下での圧縮性能について検討が行われている[2], [3]. 現行の鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針[4]では, これらの研究成果に基づき, コンクリート圧縮強度の有効係数 ν が導入されている. しかし, 耐震壁の壁板は, 壁筋よりもむしろ, ひび割れ発生後生じる壁板の膨張に伴う周辺フレームからより大きな変動拘束力を受けることを考慮すると, 外部からの変動拘束力を受ける壁板コンクリートの圧縮性能を明らかにすることが必要と考えられる.

そこで, 本研究は, ひび割れ発生後の壁板の応力状態をモデル化するため, RC 板要素がストラット方向に圧縮力を受けると同時に, ストラットと直交方向に引張力を受け, 圧縮応力の増加とともに変動する拘束力を受けることが可能な実験装置を開発し, 上記の応力状態にある壁板の圧縮性能を実験的に明らかにしようとするものである.

2. 実験概要

2.1 実験計画および加力装置

壁板にせん断ひび割れが発生した後の耐震壁の水平抵抗機構として, コンクリート壁板と壁筋が水平力を負担し, 付帯ラーメンは拘束力を負担すると仮定する. せん断ひび割れ角度を 45° とし, ひび割れ間のひび割れ方向応力伝達を無視すれば, 壁板のせん断応力 τ および主圧縮応力 σ_c は, 式(1)および式(2)で与えられる. この水平抵抗機構の場合は, 壁板コンクリートと壁筋との付着は完全であると仮定していることになる. 一方, 壁板コンクリートと壁筋との付着が全くないと仮定すると, 壁筋は周辺フレームと同様に, 異方性化した壁板の膨張を拘束する役割を果たすことになる. この抵抗機構を仮定すると, 壁筋は付帯ラーメンとともに拘束力を負担し, コンクリート壁板のみが水平力を負担することになり, 式(3)および式(4)で与えられる(図-1 c, d 参照).

耐震壁の水平抵抗性能が壁板の圧縮性能に支配される場合は, 式(2)または式(4)の σ_c を明らかにする必要がある. そこで, 図-1に

示す壁板圧縮ストラットの応力状態をモデル化するための装置として, 図-2に示す加力装置を考案した. この装置は, 試験体に取り付けた4個の加力ブロックの間にはさまれた4個のくさびを試験機で圧縮することにより, 変動圧縮力と変動引張力を試験体に同時に作用させることが

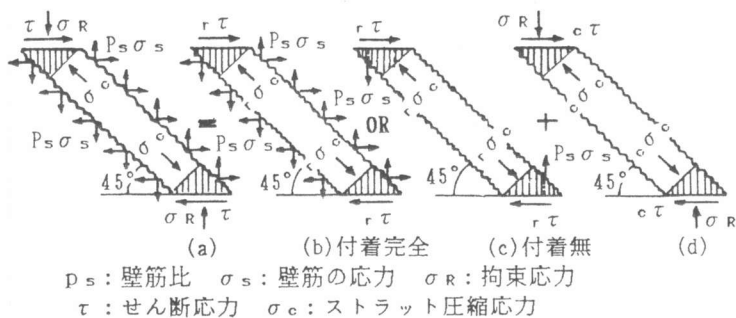


図-1 ひび割れ間の壁板圧縮ストラット応力

できる。壁筋が加力ブロックに定着されているので、左右の引張力は壁筋を介して試験体に伝達される。図-3に、試験機の荷重Pと試験体に作用する力の関係を示す。

$$\tau = r\tau + c\tau = p_s\sigma_s + \sigma_R \quad (1)$$

$$\sigma_c = r\sigma_c + c\sigma_c = p_s\sigma_s + 2\sigma_R \quad (2)$$

$$\tau = r\tau + c\tau = p_s\sigma_s + \sigma_R \quad (3)$$

$$\sigma_c = r\sigma_c + c\sigma_c = 2(p_s\sigma_s + \sigma_R) \quad (4)$$

試験体ストラットの幅 b 、長さ l 、厚さ t とし、ストラットの主圧縮応力 σ_c 、主引張応力 $\sigma_t (= p_s\sigma_s)$ および外部拘束応力 σ_R とすると、これらの応力と荷重(水平力) P との関係が式(5)および式(6)で与えられる。

$$\sigma_c t b = P/2 \quad (5)$$

$$(\sigma_t + \sigma_R) t l = (P/2) \tan \theta \quad (6)$$

終局時には壁筋とコンクリートとの付着はかなり劣化していることが考えられることから、本実験では $l = 80\text{cm}$ 、 $b = 20\text{cm}$ 、 $\tan \theta = 2$ として、式(5)および式(6)より、式(4)と一致する式(7)の関係が得られるようにした。ただし、 θ はくさびの角度である。

$$\sigma_c = 2(\sigma_t + \sigma_R) \quad (7)$$

2.2 試験体

試験体形状および配筋を図-4に、試験体一覧を表-1にそれぞれ示す。壁筋は縦横等量で、ひび割れ角度 45° の理想化した状態を想定しているが、これと相違する場合に生じるひび割れ間のひび割れ方向応力伝達が耐力に及ぼす影響は小さいと考えられる。

表-2に使用材料の力学的性質を示す。

壁板の広がり拘束する方法の相違が壁板の圧縮強度に及ぼす影響を明らかにするため、壁筋比を3種類計画した。最も壁筋比が大きい試験体は、壁板コンクリート圧壊まで壁筋のみで拘束するように計画したものである。壁筋比が小さい残りの試験体は、壁筋降伏後

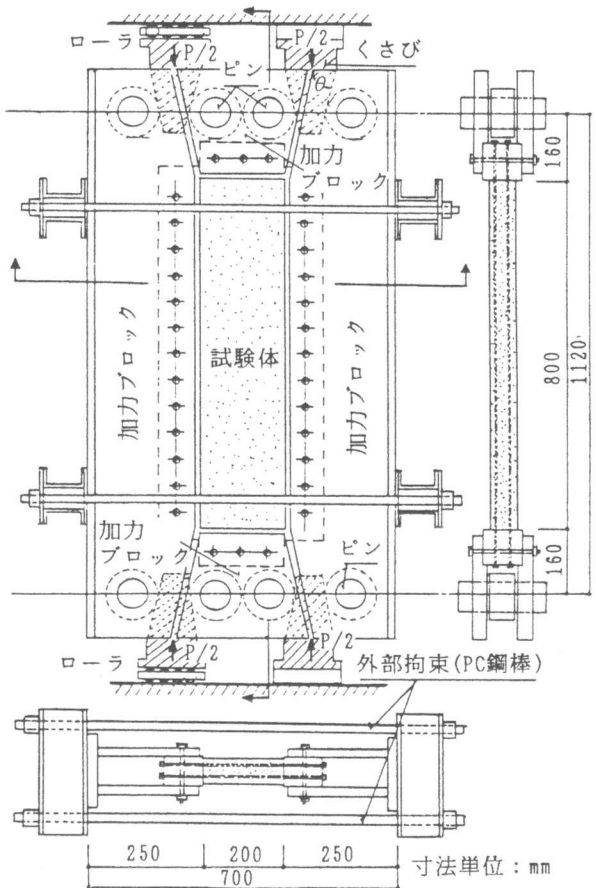


図-2 加力装置

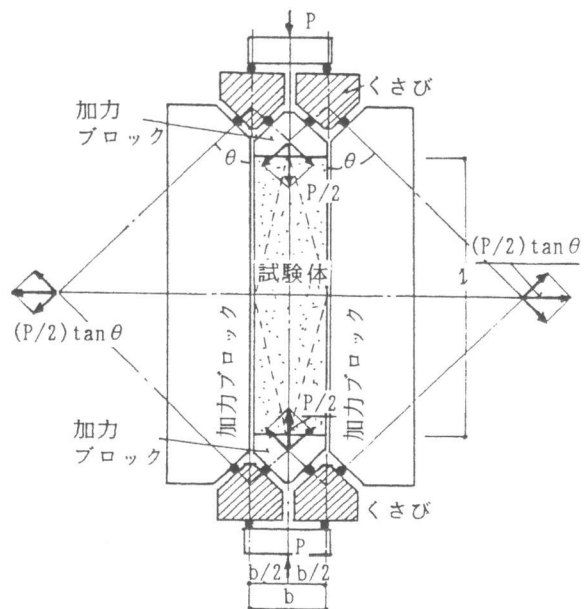


図-3 荷重Pと試験体に作用する力との関係

壁板が圧壊するまで外部から拘束するように計画したものである。また、鉄筋とコンクリートとの付着の影響をみるため、ほぼ等量の丸鋼と異形鉄筋の場合を計画した。

コンクリート強度は2種類で、LCシリーズ250kg/cm²、HCシリーズ450kg/cm²を想定したが、実強度は表-2に示す通りとなった。

2.3 測定装置

圧縮方向及び引張方向の各変形を高感度変位計(1000μ/mm)で測定した(図-5参照)。

また、図-4に示すように、コンクリートおよび鉄筋の各表面にゲージを貼付し、コンクリートストラットのひずみおよび壁筋のひずみを測定した。

2.4 載荷プログラム

漸増単調載荷により実験を行った。壁筋の降伏荷重までは外部拘束力が作用しないように、PC鋼棒のナットをゆるめた状態にし、壁筋の降伏荷重にほぼ達した時点でPC鋼棒のナットを加力ブロックに接触させて、その後の壁板の広がりに対してPC鋼棒による拘束力が試験体に作用するようにした。

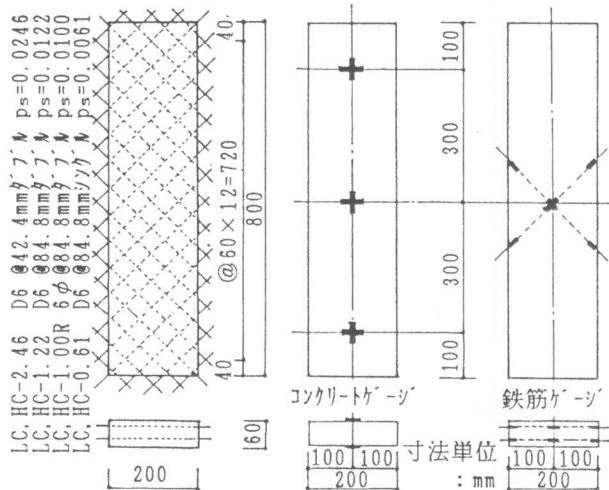


図-4 試験体形状・配筋およびゲージ貼付位置

3. 実験結果とその検討

図-6に壁板圧縮ストラットの圧縮応力 σ_c と圧縮ひずみ ϵ_c および圧縮方向と直交する方向のひずみ ϵ_t との関係の例を、圧壊時のひび割れ状況とともに示す。変位計から求めた平均圧縮

表-1 試験体一覧

試験体名	壁筋配筋	壁筋比 p_s
LC-2.46	D6 @42.4mmダブル	0.0246
LC-1.22	D6 @84.8mmダブル	0.0122
LC-1.00R	6φ@84.8mmダブル	0.0100
LC-0.61	D6 @84.8mmシングル	0.0061
HC-2.46	D6 @42.4mmダブル	0.0246
HC-1.22	D6 @84.8mmダブル	0.0122
HC-1.00R	6φ@84.8mmダブル	0.0100
HC-0.61	D6 @84.8mmシングル	0.0061

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(%)
D6	0.312	4103	5831	1.95	23.4
6φ	0.256	3606	5250	2.08	24.5

a:断面積(cm²), σ_y :降伏点(kgf/cm²),
 σ_u :引張強度(kgf/cm²),
 E_s :ヤング係数(10⁶kgf/cm²)

(2)コンクリート

種別	σ_B	ϵ_B	E_c
LCシリーズ	300	0.00215	2.7
HCシリーズ	437	0.00263	2.8

σ_B :コンクリートシリンダー圧縮強度(kgf/cm²)
 ϵ_B :圧縮強度時ひずみ,
 E_c :ヤング係数(10⁵kgf/cm²)

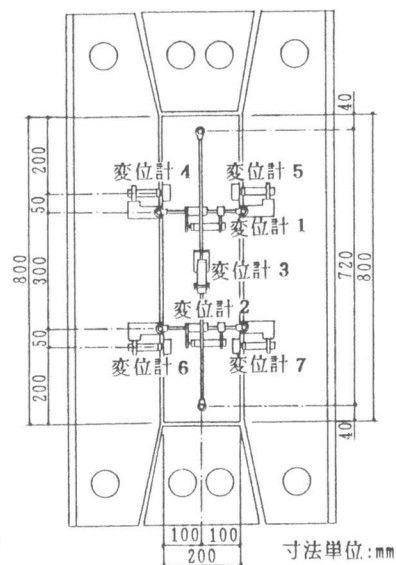


図-5 測定装置

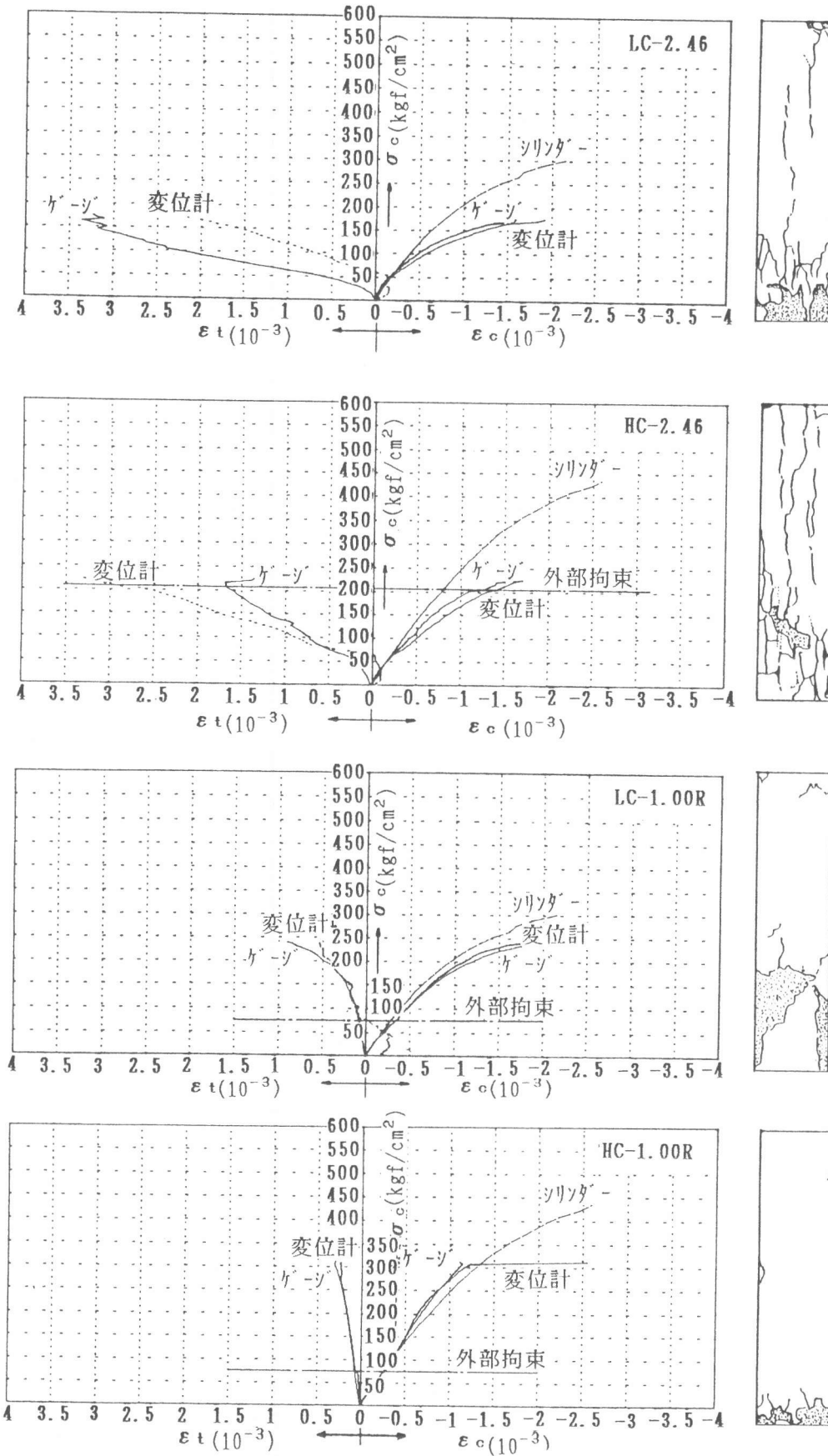


図-6 ストラット圧縮応力 σ_c と圧縮ひずみ ϵ_c および圧縮方向と直交方向のひずみ ϵ_t との関係

ひずみとコンクリートゲージのひずみは、ほぼ同様の傾向を示している。図中には、コンクリートシリンダーの結果および外部拘束力を作用させた点も示している。

既往の研究によれば、壁板コンクリートの主圧縮方向と直交する方向の引張ひずみが大きいほどコンクリートが圧壊するときの圧縮応力が低くなることが指摘されている[2]が、本実験でも同様の傾向が得られた。しかし、圧壊時応力は文献[2]の結果より全般的に低くなる傾向を示した。

壁筋量の大小について比較してみると、LCおよびHCのいずれのシリーズとも壁筋量が多い試験体ほど壁板が圧壊するときの応力が低くなる傾向がある。これは、壁筋量が多いほど壁板コンクリートに伝達される引張力が大きくなり、圧縮方向に平行な引張ひび割れの続発・進展により圧縮方向と直交する方向の引張ひずみが大きくなったことに起因しているものと考えられる。

丸鋼を使用した場合は、LCおよびHCのいずれのシリーズとも他の試験体に比べてコンクリート圧壊時の応力が最も高い。これは、丸鋼の場合、異形鉄筋に比べてコンクリートとの付着が小さいので、鉄筋によってコンクリートに伝達される引張力が異形鉄筋の場合よりも少ないため

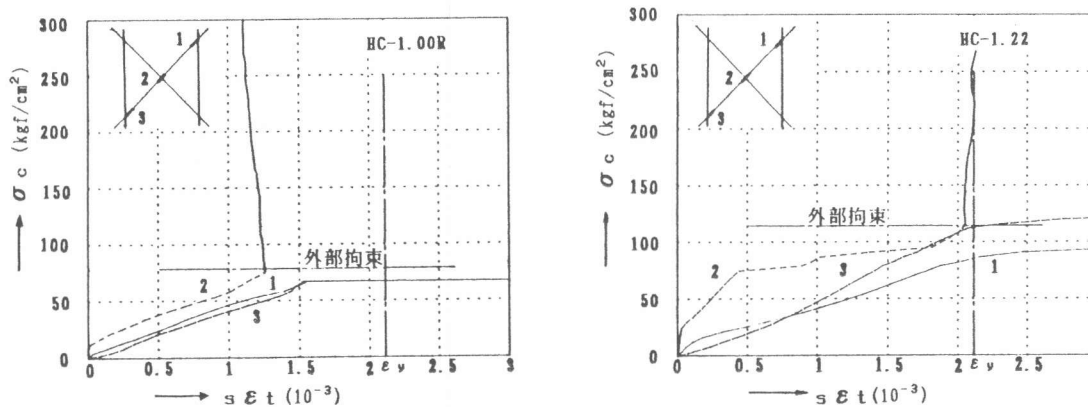


図-7 圧縮ストラットの圧縮応力 σ_c と鉄筋のひずみ $s\epsilon t$ との関係の一例

表-3 壁板圧壊時の圧縮応力度 σ_{cu}

試験体名	σ_{cu} (kgf/cm ²)	σ_{cu}/σ_B
LC-2.46	177	0.59
LC-1.22	167	0.56
LC-1.00R	243	0.81
LC-0.61	221	0.74
HC-2.46	225	0.51
HC-1.22	290	0.66
HC-1.00R	313	0.72
HC-0.61	250	0.57*

*は外部拘束力を作用させる以前に壁筋降伏荷重以上の荷重が急に作用し、降伏ひずみを超える引張ひずみが急激に生じたため、定着部コンクリートの一部の欠損により耐力が低下したものである。

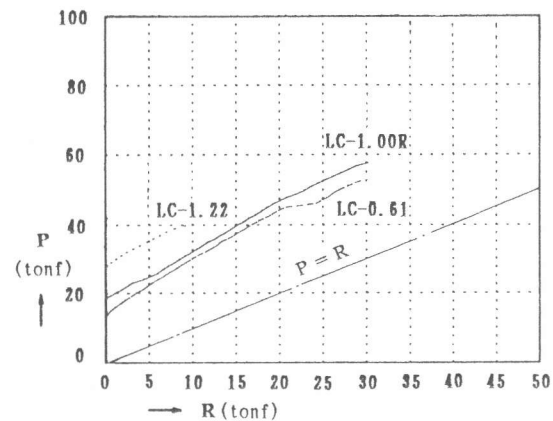


図-8 荷重Pと外部拘束力Rとの関係

と考えられる(図-7参照)。周辺を完全拘束したモルタル壁板のせん断破壊実験によれば、圧壊時の応力はシリンダー圧縮強度の79~62%となることが指摘されている[5]が、丸鋼試験体の場合はこれとほぼ同じ結果となった(表-3参照)。このことは、付着が期待できない丸鋼を壁筋に使用し、周辺フレームなどにより壁筋が降伏を起こす近傍まで壁板の広がり拘束すれば、完全拘束実験から得られた結果とほぼ同様な壁板のせん断強度を期待できることが予測される。一方、

壁筋に異形鉄筋を使用した場合、圧壊時の応力は、壁筋量に影響され、その値はシリンダー強度の5～7割程度となることが予測される。また、壁板のせん断ひび割れにより生じる壁板の膨張を多量の壁筋のみにより拘束する場合の方が、少量の壁筋と外部構造物により拘束する場合に比べて、コンクリート圧壊時応力が低下すると考えられる。

図-7には鉄筋のひずみ測定結果の例を、図-8には外部拘束を表すP C鋼棒の引張力を示す。外部拘束力を与えると鉄筋のひずみの伸びは小さくなり、圧縮力の増大とともに拘束力が増大していることがわかる。また、異形鉄筋の場合は、荷重が初期の段階では付着による応力伝達が行われているが、圧壊時には付着が劣化している傾向がみられる。

4. 結論

圧力場を形成する壁板の応力状態をモデル化するための加力装置を開発し、この装置を用いて変動圧縮力と変動引張力を同時に作用させた45°方向圧縮ストラット壁板の実験を行った結果、以下のことがわかった。

- (1) せん断ひび割れの発生により生じる壁板の膨張を壁筋のみで拘束する場合よりも、壁筋とともに壁板周辺のフレームなどにより外部拘束した場合の方がせん断ひび割れにより形成される壁板コンクリートストラットの圧縮強度が高くなる傾向があること。
- (2) 付着が期待できない丸鋼を壁筋に使用し、壁板周辺フレームなどにより壁筋が降伏を起こす近傍まで壁板の広がりを拘束するような耐震壁の場合、その壁板がせん断破壊を起こして水平耐力に達するときの壁板のせん断強度は、壁板を完全に拘束した場合の実験から得られた壁板コンクリートのせん断強度にほぼ近い値となることが予測されること。
- (3) 壁筋が降伏点近傍の引張応力状態まで拘束されて圧壊を生じる壁板ストラットの圧縮強度は、壁筋量に影響され、その値はコンクリートシリンダー強度の5～7割程度となること。

謝辞

本研究は、平成3年度本校特別研究助成により行われた。実験にあたっては卒論生柏田倫男、桑原喜一郎の両君のお世話になった。加力装置および試験体製作にあたっては技能員栗山哲夫、中島 守、大場文夫の各氏にお世話になった。外部拘束に使用したP C鋼棒は高周波熱錬株式会社より御提供頂いた。ここに、関係各位に対し深く感謝致します。

参考文献

- 1) 富井政英・江崎文也：Expression for Calculating Lateral Shear Capacity of One-Bay One-Story Reinforced Concrete Framed Shear Walls Dominated by Slip Failure 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
- 2) Vecchio F. J. and Collins M. P.: The Modified Compression-Field Theory for Reinforced Concrete Elements Subjected to Shear, ACI Journal, pp.219-231, Mar/Ap. 1986
- 3) 宮原長久・川上泰司・前川宏一：ひびわれを含む鉄筋コンクリート板要素の一軸圧縮応力下における非線形挙動, 土木学会論文集, pp.249-258, 1987.2
- 4) 日本建築学会：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
- 5) 佐治泰次・富井政英・松藤泰典：面積変化を抑制されたせん断試験装置による実験的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.83-84, 1969.8