

論文 型枠コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす ブロックユニットの影響

田中昭洋*1・菊池健児*2・吉村浩二*3

要旨: 型枠状コンクリートブロックユニットの壁体内部における存在が、型枠コンクリートブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、曲げ補強筋およびせん断補強筋量をパラメータとした型枠コンクリートブロック造およびRC造の耐力壁試験体8体を用いて、一定軸力のもとで繰返し水平加力実験を行い、各試験体の耐震性能について比較検討を行った。その結果、ブロックユニットは少なくとも最大耐力までは有効に耐力に寄与しており、型枠コンクリートブロック造耐力壁試験体は同じ壁厚を有するRC造耐力壁試験体とほぼ同等の耐震性能を有していることがわかった。

キーワード: 型枠コンクリートブロック造, 耐力壁, ブロックユニット, フェイスシェル

1. はじめに

型枠コンクリートブロック造(以下、型枠ブロック造という)建物は、型枠状コンクリートブロックユニット(以下、ブロックユニットという)を耐力壁の型枠として用いた壁式構造の建物である。本構造耐力壁の主要な構成材料であるブロックユニットは本構造の耐震性能に大きな影響を及ぼすものと考えられる。これまでブロックユニットの壁体内部における存在が本構造耐力壁の耐震性能に及ぼす影響が検討されている研究はいくつかあるが^{1), 2)}、いまだ不明確な点が多く残されている。そこで本研究では、

ブロックユニットが耐震性能に及ぼす影響を実験的に把握することを目的とし、曲げおよびせん断補強筋量をパラメータとした、型枠ブロック造およびRC造の耐力壁試験体計8体を用いた繰返し水平加力実験を行い、各試験体の耐震性能および変形成分について比較検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 試験体

表-1に試験体一覧を示し、図-1に試験体の形状・配筋詳細、および図-2に試験体に使用したブロックユニットの形状・寸法を示す。試験体

表-1 試験体一覧

| 試験体名 | 壁厚 t (cm) | 曲げ補強筋 | | 水平方向せん断補強筋 | | 軸力 P (kN) | 軸方向応力度 σ_o (MPa) |
|-----------------|----------------|------------------------------------|---------------------------------|------------|-------------------|----------------|----------------------------|
| | | $\langle a_t, \text{cm}^2 \rangle$ | p_t^{*1} (%) | | p_{wh}^{*2} (%) | | |
| A-series 試験体 | A-GM | 19.0 | 2-D22 $\langle 7.74 \rangle$ | 0.52 | D13 @400 | 118 | 0.78 |
| | A-RC-190 | | | | | | |
| | A-RC-125 | 12.5 | 0.78 | 0.17 | | | |
| | A-GM-F | | | 0.25 | | | |
| B-series 試験体 | B-GM | 19.0 | 2-D16 $\langle 3.98 \rangle$ | 0.27 | D13 @200 | 118 | 0.78 |
| | B-RC-190 | | | | | | |
| | B-RC-125 | 12.5 | 0.40 | 0.33 | | | |
| | B-GM-F | | | 0.51 | | | |

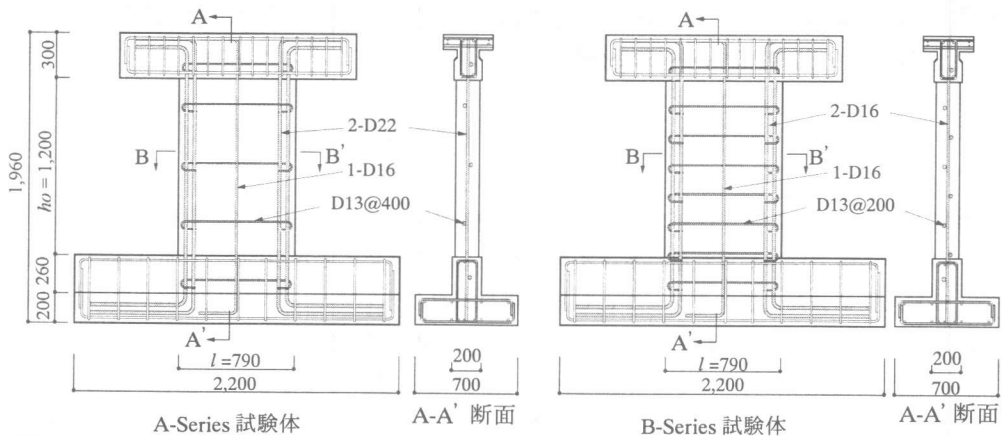
*1 p_t = 引張鉄筋比 = a_t / tl , ここに a_t : 引張鉄筋断面積, t : 壁厚, l : 壁長

*2 p_{wh} = 水平方向せん断補強筋比 = a_{wh} / tho , ここに a_{wh} : 水平方向せん断補強筋全断面積, t : 壁厚, ho : 耐力壁内法高さ

*1 梅林建設(株) 建築部設計課, 大分大学大学院工学研究科環境工学専攻 工修(正会員)

*2 大分大学助教授 工学部建設工学科 工博(正会員)

*3 大分大学教授 工学部建設工学科 工博(正会員)



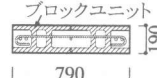
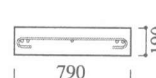
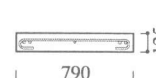

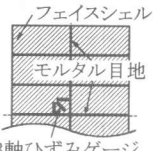
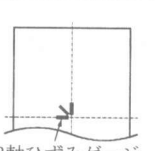
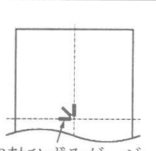
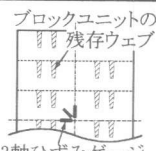
| 試験体タイプ | GM | RC-190 | RC-125 | GM-F |
|---------|---|---|---|--|
| B-B' 断面 |  |  |  |  |
| 壁体立面 |  |  |  |  |

図-1 試験体の形状・配筋詳細

(単位: mm)

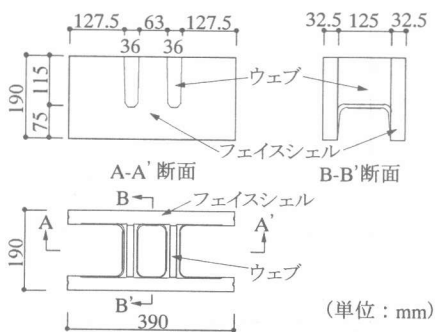


図-2 ブロックユニットの形状・寸法

表-2 コンクリート、目地モルタル、ブロックユニットおよびプリズムの圧縮強度

| 試験体名 | コンクリート (MPa) | 目地モルタル (MPa) | ブロックユニット (MPa) [正味断面] | プリズム (MPa) | |
|--------------|--------------|--------------|-----------------------|------------|------|
| A-series 試験体 | A-GM | 34.0 | 45.8 | 50.8 | 33.4 |
| | A-RC-190 | 32.4 | - | - | - |
| | A-RC-125 | 34.3 | - | - | - |
| | A-GM-F | 32.9 | 45.8 | 50.8 | 23.4 |
| B-series 試験体 | B-GM | 33.0 | 48.7 | 50.8 | 29.2 |
| | B-RC-190 | 32.4 | - | - | - |
| | B-RC-125 | 31.3 | - | - | - |
| | B-GM-F | 31.8 | 48.7 | 50.8 | 26.7 |

表-3 鉄筋の力学的性質

| 試験体 | 呼び名 | 降伏点強度 (MPa) | 引張強さ (MPa) | 破断伸び (%) |
|--------------|-----|-------------|------------|----------|
| A-series 試験体 | D22 | 373 | 547 | 24 |
| | D16 | 367 | 547 | 22 |
| | D13 | 351 | 488 | 21 |
| B-series 試験体 | D16 | 353 | 504 | 20 |
| | D13 | 347 | 496 | 15 |

は、(a)型枠ブロック造耐力壁試験体(GMタイプ)、(b)型枠ブロック造耐力壁試験体と同じ壁厚を有するRC造耐力壁試験体(RC-190タイプ)、(c)型枠ブロック造耐力壁試験体の充填コンクリート部分と同じ壁厚を有するRC造耐力壁試験体(RC-125タイプ)、および(d)型枠ブロック造耐力壁のフェイスシェルを充填コンクリート打設4週間後に剥取った試験体(GM-Fタイプ)の4タイプがある。さらに各タイプの試験体は、曲げおよびせん断補強筋量の違いによりA・Bシ

リーズの2シリーズに分けられている。

GMタイプ試験体は、基礎梁の上にブロックユニットをウェブのえぐりが無い面を上面として組積し、ブロックユニット内部にコンクリートを全充填した。GM-Fタイプ試験体は、フェイスシェルを剥取り易くするため、あらかじめブ

ロックユニットに切目を入れてGMタイプ試験体と同様に試験体製作を行い、充填コンクリート打設4週間後に全フェイスシェルを剥取った。

表-2にコンクリート、目地モルタル、ブロックユニットおよびプリズム供試体の圧縮強度を、表-3に鉄筋の力学的性質を示す。なお、プリズム供試体は、型枠ブロックを半切にしたものを3段積みし、中空部にコンクリートを充填したもので、GM-Fタイプに対応するプリズム供試体は壁体と同様にフェイスシェルを除去している。

2. 2 実験方法

加力装置を図-3に示す。静的漸増繰り返し水平荷重を、基礎梁上面から測って耐力壁内法高さ(h_0)の55%の高さ(本構造5階建集合住宅の構

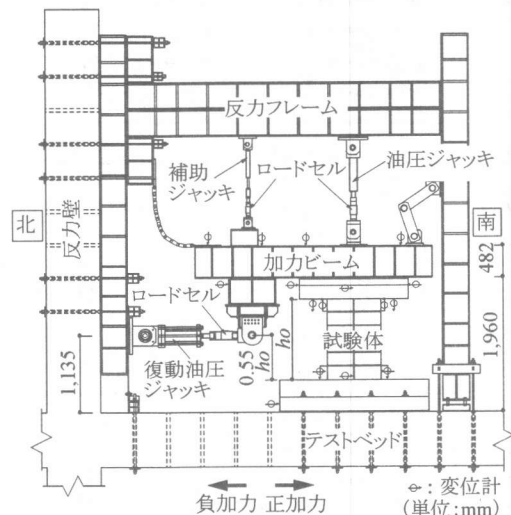


図-3 加力装置

造解析により得られた1階部分耐力壁における最小の反曲点高さ)³⁾に載荷し、軸力は全試験体共通で一定軸力118kNを作用させた。また、図-3に示す位置の変位を変位計により、耐力壁各補強筋のひずみをひずみゲージにより測定した。

3. 実験結果および考察

3. 1 実験経過

各試験体の曲げ終局耐力時のせん断力(以下、曲げ耐力と略す)の理論値 Q_{mu} とせん断終局耐力の理論値 Q_{su} および実験時の最大耐力 Q_{max} を表-4に示す。型枠ブロック造およびRC造耐力壁の終局耐力の理論値は参考文献4)を参照して算定した。なお、GM-Fタイプのせん断終局耐力の理論値は、耐力壁の水平断面積からウェブ断面積を差し引いた面積を壁長(l)で除して求めた有効壁厚(10.3cm)を有するRC造耐力壁とした理論値(Case1)および厚さ12.5cmの型枠ブロック造耐力壁とした理論値(Case2)の2通りを示している。図-4に各試験体の水平荷重(Q)と層間変形角(R)の関係を示す。なお、層間変形角は、試験体頂部の水平変位を基礎梁上面からの試験体高さ150cmで除した値と定義している。図中の破線および点線は各試験体の曲げ耐力およびせん断終局耐力の理論値をそれぞれ示している。

AシリーズではA-GM, A-RC-190およびA-RC-125はせん断破壊し急激な耐力の低下を示し

表-4 各試験体の終局耐力の理論値と実験結果

| 試験体名 | | 理論値 | | | 実験結果 | | | | |
|-----------------|----------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------|----------------|-----|--|---------------------|---|
| | | 終局耐力 | | 予想される破壊モード ^{*3} | 最大耐力 | | 初期剛性 K_0 ($\times 10^2$ kN/rad) | 破壊モード ^{*3} | |
| | | Q_{mu} ^{*1} (kN) | Q_{su} ^{*2} (kN) | | Q_{max} (kN) | | | | |
| A-series 試験体 | A-GM | 417 | 337 | S | 375 | 364 | 5010 | S | |
| | A-RC-190 | | 332 | S | 268 | 304 | 4170 | S | |
| | A-RC-125 | | 257 | S | 267 | 260 | 5020 | S | |
| | A-GM-F | | Case1 ^{*4} | 220 | S | 209 | 202 | 3590 | S |
| | | | Case2 ^{*5} | 218 | | | | | |
| B-series 試験体 | B-GM | 254 | 315 | F | 255 | 247 | 4430 | F→S | |
| | B-RC-190 | | 328 | F | 248 | 248 | 5140 | F→S | |
| | B-RC-125 | | 247 | S or F | 237 | 233 | 2740 | FS | |
| | B-GM-F | | Case1 ^{*4} | 219 | S or F | 214 | 209 | 1450 | S |
| | | | Case2 ^{*5} | 232 | | | | | |

*1 Q_{mu} : 曲げ終局耐力時のせん断力, *2 Q_{su} : せん断終局耐力

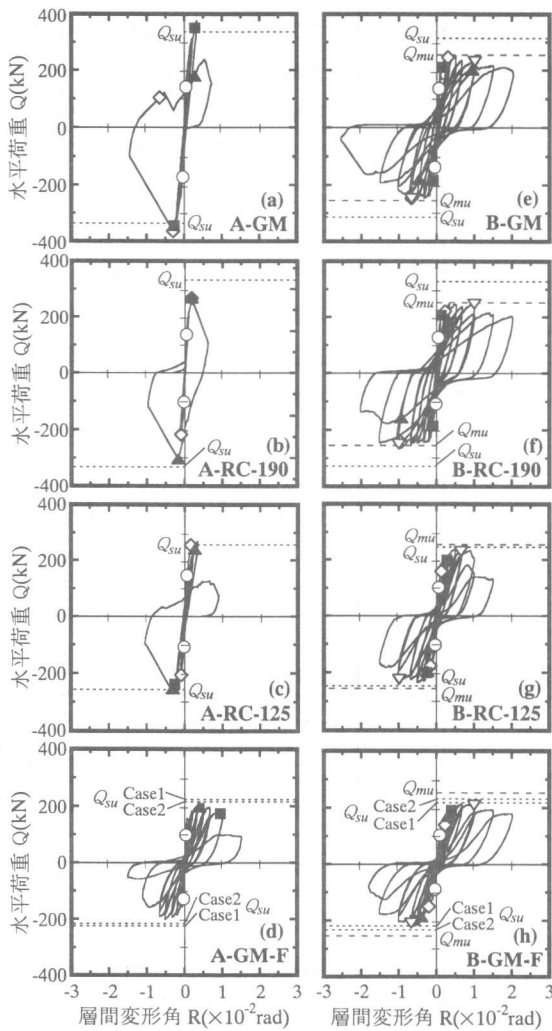
*3 F: 曲げ破壊, S: せん断破壊, FS: 曲げ破壊とせん断破壊のほぼ同時発生, F→S: 曲げ破壊後のせん断破壊

*4 Case1: 壁厚10.3cmを有するRC造耐力壁とした場合, *5 Case2: 壁厚12.5cmを有する型枠ブロック造とした場合

たが、A-GM-Fは最大耐力に達した後徐々に耐力の低下を示し、最終的に対角線方向のせん断ひび割れ幅が大きくなった。一方、Bシリーズでは、B-GMおよびB-RC-190は曲げ降伏し最大耐力となり、その後徐々に耐力の低下を示し、最終的にせん断破壊して顕著な耐力の低下を示した。B-RC-125は曲げ降伏し最大耐力となり、その後間もなくせん断破壊し、耐力の低下を示した。B-GM-Fは曲げ降伏しないまま最大耐力に達し、その後徐々に耐力の低下を示し最終的にせん断破壊した。

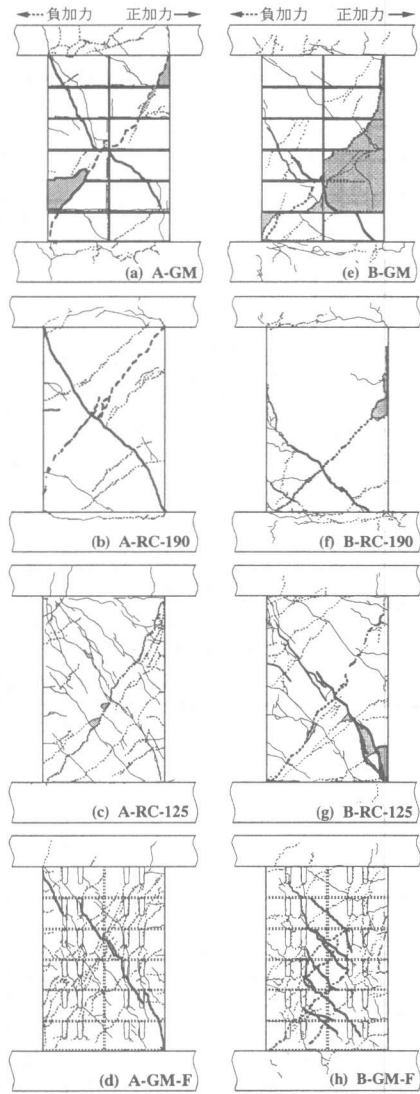
3. 2 ひび割れ状況

図-5に最終ひび割れ状況を示す。A・B両シリーズともGM-Fタイプは他のタイプと比較して細かいひび割れが多数発生している。GMタイプでは、最大耐力以前の層間変形角 $R=0.2 \times 10^{-2} \text{rad}$ までに曲げによる横目地とブロックユニットとの間の離間や、横目地や縦目地に沿ったわずかなずれが観察されたが、その後の変形領域では充填コンクリートの主なひび割れはフェイスシェル表面に生じたひび割れとほぼ対応し、RC-190タイプと同程度のひび割れが発生している。



○: 曲げひび割れ発生 ◇: せん断ひび割れ発生
 ■: 曲げ補強筋降伏 ▲: 水平方向せん断補強筋降伏
 ▽: 限界変形点

図-4 水平荷重(Q) - 層間変形角(R) 関係



A シリーズ B シリーズ
 図-5 最終ひび割れ状況(西面)

3. 3 耐力および変形性能

図-6、図-7にそれぞれ各試験体のQ-R関係および $\bar{\tau}$ (平均せん断応力度)-R関係の包絡線(正加力時と負加力時の平均)を示す。GMタイプの最大耐力はA・B両シリーズにおいてRC-125およびGM-Fタイプより高く、また、AシリーズではA-RC-190より高く、BシリーズではB-RC-190とほぼ同程度の耐力を示している。また、GMタイプの最大平均せん断応力度($\bar{\tau}$)は、AシリーズにおいてはA-RC-125と、BシリーズにおいてはB-RC-190とほぼ同程度の値を示している。これらのことから、型枠ブロック造耐力壁内部のブロックユニットは充填コンクリートと同様にせん断力を負担して耐力に有効に寄与していること、および型枠ブロック造耐力壁はRC造耐力壁とほぼ同じ耐力を有していることがわかる。また、A・B両シリーズにおいてGM-Fタイプの最大耐力はRC-125タイプより低い値を示しており、このことからブロックユニットのウェブ

がフェイスシェルから切り離されて充填コンクリート中に存在すると耐力壁の最大耐力が低下することがわかる。

3. 4 変形成分

Bシリーズの実験では、図-8に示す位置の変位を高感度変位計により測定し、変形分離を行った。変形分離は、耐力壁を鉛直方向に2区間に分け、各区間の鉛直方向伸縮量から平均曲率を求め、この曲率分布を積分したものを曲げ変形量とし、また、各区間の対角線方向伸縮量から、曲げ変形および水平方向のはらみによって生じる対角線伸縮量を差し引くことによってせん断変形のみによる対角線伸縮量を求め、これから算出される水平変位をせん断変形量としている。

図-9にBシリーズ試験体の全変形に対するせん断変形の割合と層間変形角の関係を示す。本実験においては前述の方法により求めた曲げ変形とせん断変形の和が全変形とほぼ等しく、各試験体の折れ線を境に下部がせん断変形量を、

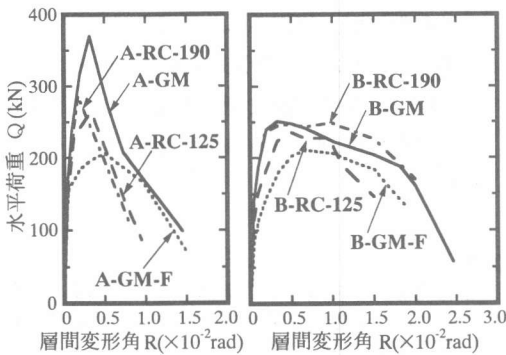


図-6 水平荷重-層間変形角関係の包絡線

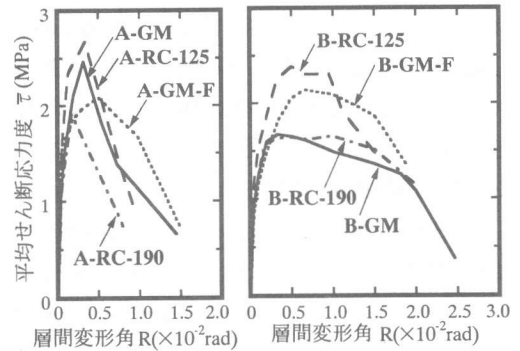


図-7 平均せん断応力度-層間変形角関係の包絡線

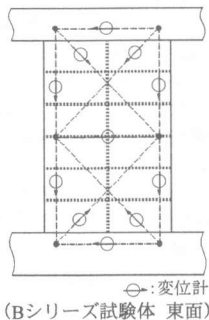


図-8 変形分離用変位計位置図

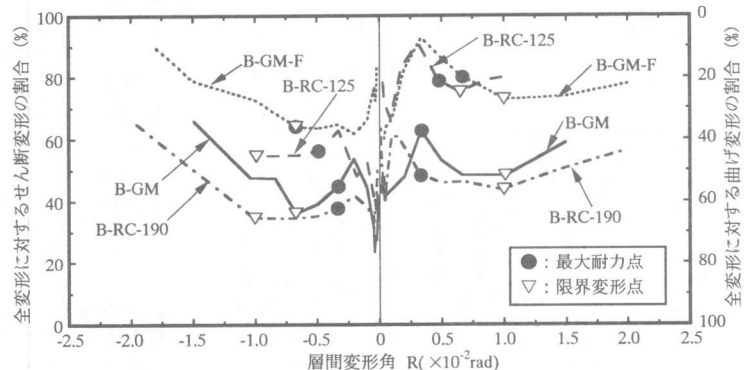


図-9 全変形に対するせん断変形の割合

上部がほぼ曲げ変形量を示していることになる。本実験では、せん断破壊する点をせん断変形の割合が終局状態まで増加し続け始める点と定義し、この点を限界変形と呼び、図中に▽で示している。これらの点と対応する点を図-4のQ-R関係(Bシリーズ)の図中にもプロットしているが、顕著な耐力の低下を示す点にほぼ対応していることがわかる。また、図-9には各試験体の最大耐力時に対応する点を●で示している。B-GMおよびB-RC-190に対してB-RC-125およびB-GM-Fのせん断変形量が全体的に多い。このことは前者が曲げ破壊先行型であるのに対して後者が曲げ降伏直後のせん断破壊またはせん断破壊先行型であることによるものと思われる。また、曲げ降伏した試験体B-GM、B-RC-190およびB-RC-125のせん断変形の割合は、実験開始直後 $R = -0.1 \times 10^{-2} \text{rad}$ 付近まで初期の曲げひび割れの発生により一旦減少し、その後せん断ひび割れの発生により増加に転じ、最大耐力付近で曲げ降伏することにより、これを境に再度減少し、変形が進行し最終的にせん断破壊し増加し続けることがわかる。型枠ブロック造試験体B-GMのせん断変形量は相対的に同じ壁厚のRC造試験体B-RC-190より若干多くなっている。

3. 5 壁体表面のひずみ

図-10にA-GMおよびA-RC-190の壁体表面中央部(図-1参照)における最大耐力時までの主ひずみの履歴を示す。A-GMのフェイスシェルに生じた主ひずみは同じ水平荷重時におけるA-RC-190の主ひずみよりやや小さいものの、A-RC-190と同様に水平荷重とほぼ線形関係にある。このことよりフェイスシェルは少なくとも最大耐

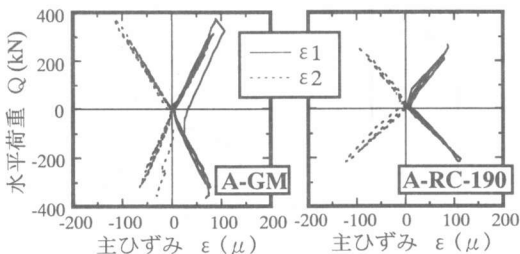


図-10 壁体中央部の主ひずみ

力までは充填コンクリートと同様にせん断力を負担していることがわかる。また、ひび割れ状況を加味すると、ブロックユニットは、フェイスシェルとウェブが一体である場合には充填コンクリートを拘束する効果があると考えられる。

4. まとめ

ブロックユニットの存在が型枠ブロック造耐力壁の耐震性能に及ぼす影響を実験的に検討を行った結果、次のことが明らかとなった。

- (1) 型枠ブロック造耐力壁試験体は、同じ壁厚を有するRC造耐力壁試験体とほぼ同等の耐震性能(最大耐力、変形性能、および破壊モード)を有している。
- (2) 型枠ブロック造耐力壁試験体の変形成分は、同じ壁厚を有するRC造耐力壁試験体よりせん断変形量が若干多いものの、変形の増加に伴う各変形量の割合の増減はほぼ同じ傾向がある。
- (3) ブロックユニットは少なくとも最大耐力までは有効に耐力に寄与している。
- (4) ブロックユニットのウェブはフェイスシェルと切り離されて耐力壁内に独立に配置された場合には、耐力壁の剛性・耐力の低下を引起す要因となる。

謝辞

本研究の試験体の製作にあたり、九州JISコンクリートブロック協会に御協力を頂いた。ここに記して、深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 上之園隆志 ほか: 組積造に関する日米共同大型耐震実験研究(6), 日本建築学会大会学術講演梗概集C(構造II), pp.1091-1092, 1985.10
- 2) 別所佐登志・岡本公夫・田中久雄・北原昭男: 型枠コンクリートブロック造耐震壁に関する実験的研究(第2次), 日本建築学会大会学術講演梗概集C(構造II), pp.763-764, 1987.10
- 3) 小宮優一・吉村浩二・菊池健児・馬崎穰治: 型枠コンクリートブロック造建物の中層化に関する開発研究(その5), 日本建築学会大会学術講演梗概集C-2(構造IV), pp.1051-1052, 1995.8
- 4) 日本建築学会: 建築耐震設計における保有耐力と変形性能-1990年版-, 壁構造, pp.605-606 式(3.3), (3.4), pp.620-621 式(4.5), (4.6), 1990