

モノコック構法住宅におけるリブフレームの 水平耐力特性について

鎌田 輝男*

福代 亮**

Horizontal Bearing Capacity of Rib Frames used in Monocoque Houses

Teruo KAMADA* and Ryo FUKUSHIRO**

ABSTRACT

Rib frame is the timber frame strengthened by the L shaped steel plate at the four each corner. They are connected in place by steel angles and covered with plywood panels, and make a semi-monocoque house the load of which are shared with rib frame and panels. In this report, strength characteristics of three types of rib frames for horizontal load are examined by the statical loading test. Standard type rib frame has sufficient strength and resists more than 5kN horizontal force at the 1/20 frame deformation angle and the efficiency of rib frame structure is strongly shown.

キーワード：リブフレーム，モノコックユニット構造，静的実験，耐震性能

Keywords: Rib Frame, Monocoque Unit Structure, Static Loading Test, Earthquake-Proof Performance

1. はじめに

枠組みを一定間隔に配列したもので、リブフレームに外壁を張り合わせたものをモノコックユニット構造という。これを建築物に応用した場合、図-1に示すような枠組みすなわちリブフレームを一定間隔に配列し、それに外壁を張り合わせることで、モノコック構造を実現することができる。モノコック構造は、リブと呼ばれる補強材と応力皮膜となる薄板から構成される構造で、飛行機や船のボディに多く用いられており、軽量でありながら風力や波力などの外力にきわめて強い抵抗を示す。リブフレームの組み合わせ次第で、さまざまな生活空間を創造することができ、戸建住宅やマンション、ホテルなどへの適応が考えられている¹⁾。

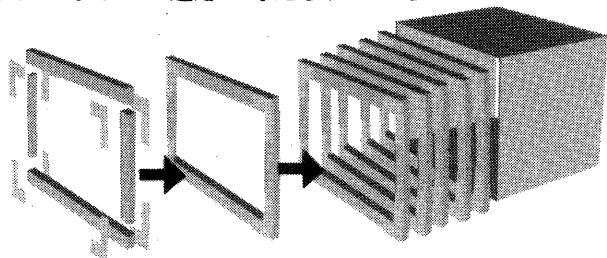


図-1 モノコックユニット構造の製作手順

2. 研究目的

木造モノコックユニット構法において、間口方向の耐震要素はリブフレームのみとなるので、その構造特性がユニットの安全性を決定することになるので、リブフレームの復元力特性を調べるため、軸力を考慮した水平載荷実験を行なった²⁾。

3. 試験概要

3.1 試験体概要

試験体は心々寸法で、高さ2,820 mm、柱間3,780 mmである。試験体はA type, B type および C type の3 type を4体ずつ、新たに追加したD type の試験体を2体、計14体を使用し、表-1に試験体パラメータを、図-2, 図-3, 図-4に試験体概要を、図-5, 図-6, 図-7に隅角部詳細を示す。A type および B type の柱、梁および土台は、180 mm × 38 mmの板材(ベイマツ)2枚を釘打ちとした。A type の隅角部分は、L字に切り出した厚さ2.3 mmの鋼板を2枚の板材ではさみ両側から釘打ちをし一体化した。B type はA type の補強型で、内側の鋼板に加え同サイズの厚さ0.8 mmのL字に切り出した鋼板を外側に添え同様に釘打ちとした。C type は、隅角部分にL字

*福山大学工学部 教授・工博, **福山大学工学部学生

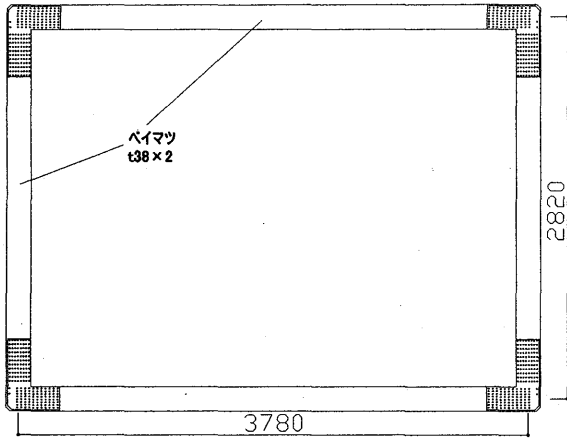


図-2 A type, B type 試験体概要

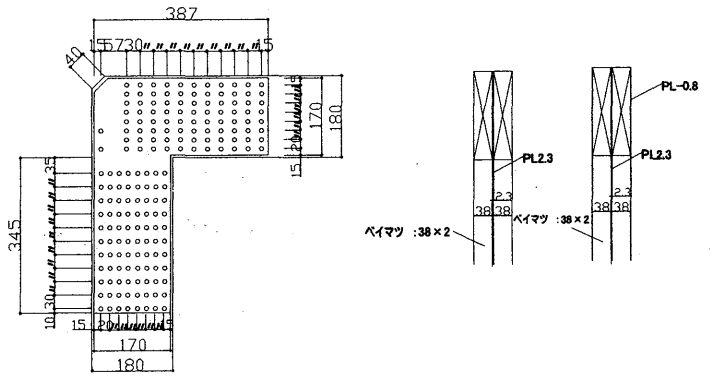


図-5 A type, B type 詳細図

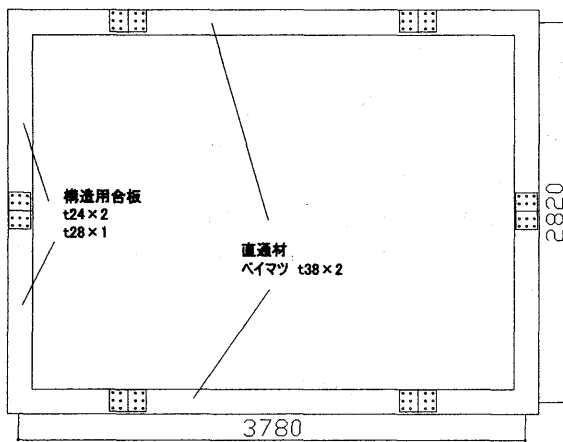


図-3 C type 試験体概要

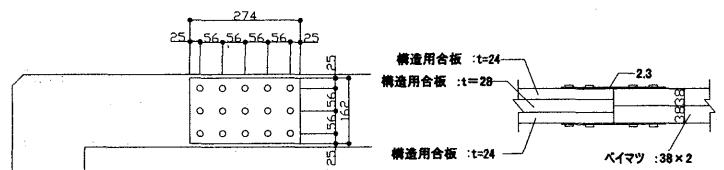


図-6 C type 詳細図

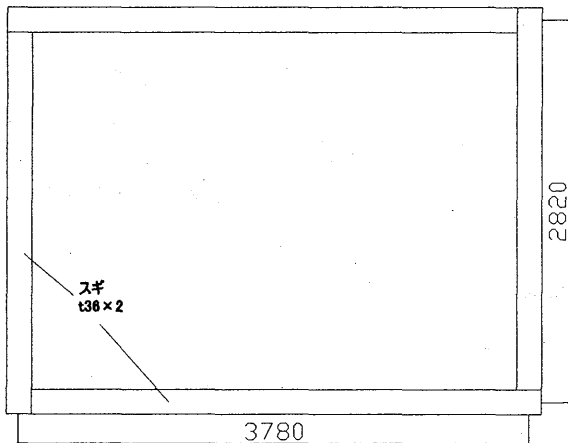


図-4 D type 試験体概要

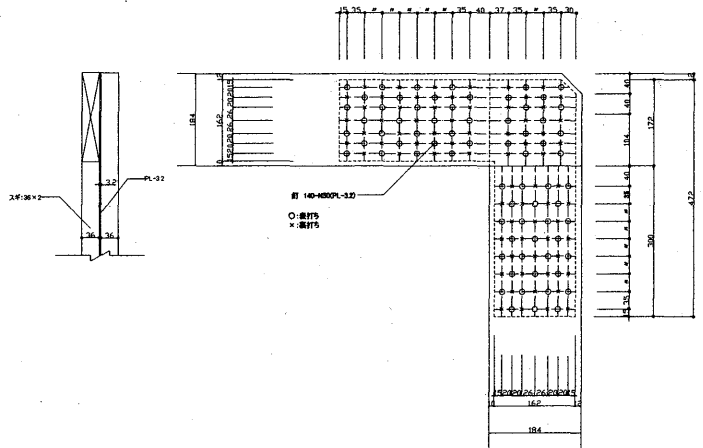


図-7 D type 詳細図

表-1 試験体パラメータ

試験体	直通部材	隅角部部材	隅角部鋼板		接合プレート
A type	バイマツ t38 x 2	バイマツ	PL2.3 x 1	釘 N60	-
B type		t38 x 2	PL2.3 x 1		
C type		構造用合板 t24 x 2 t28 x 1	PL0.8 x 2		
D type	スギ t36 x 2	スギ t36 x 2	PL3.2 x 1	釘 N50	6-M8

に切り出した構造用合板を使用し、梁および土台の直通材はA type およびB type と同材、同サイズの製材を使用した。隅角部と通直材の連結部分は、厚さ2.3 mmの鋼板ではさみボルト接合とした。D type は、隅角部に厚さ3.2 mmの鋼板を2枚の板材(スギ)ではさみ、接合部分は互い違いに組んで両側から釘打ちを一体化した。

3.2 実験方法

実験は、福山大学30号館ハイテクリサーチセンターに設置されている木造軸組試験架台を使用し、A type, B type およびC type は最大加力10t(98kN), 最大スト

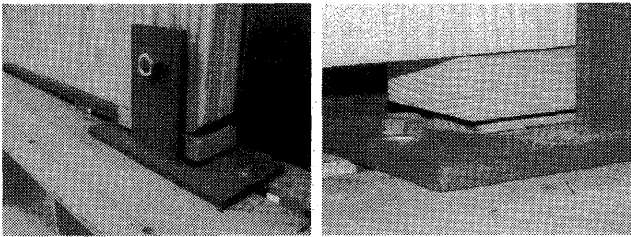


写真-1 実験装置

ローク500 mmの加力機(モートルシリンダ)を用い、D type は最大加力10t(98kN), 最大ストローク630 mmの加力機(モートルシリンダ)を用いて図-8に示す加力スケジュールに従って、柱1本当たり2.0kNおよび8.0kNの鉛直荷重を与えた状態で加力機により正負3回の交番繰り返し載荷を行った。A1, B1 およびC1に限り、試験体の土台(下辺材)4ヶ所にφ15のボルトを用いて土台と固定しているが、その他の試験体は写真-1の実験装置に示すように、ピン支持とし試験体と試験架台の隙間にあて木をすることにした。D type は、D1の試験体の柱頭お

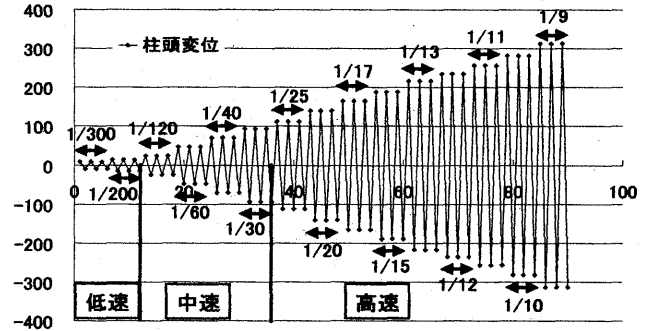


図-8 加力スケジュール

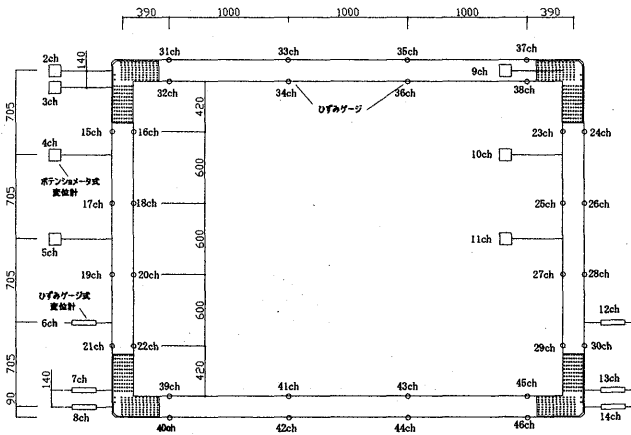


図-9 A type, B type 計測点

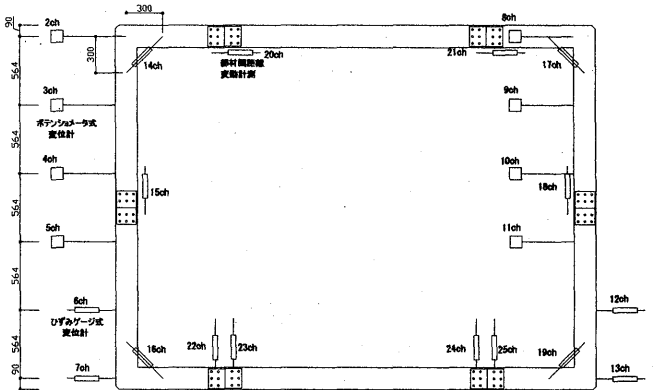


図-10 C type 計測点

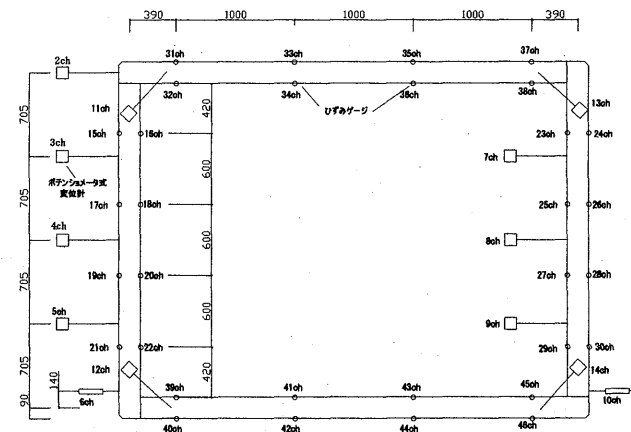


図-11 D type 計測点

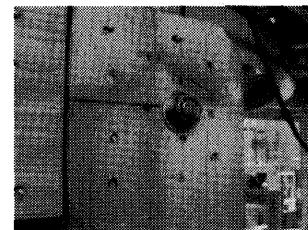


写真-2 柱頭部ボルト締め

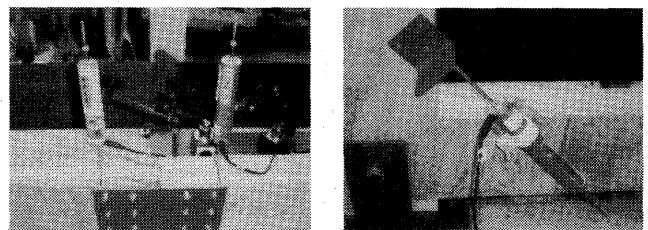


写真-3 計測器設置方法

よび柱脚の接合部分が鋼板の変形により大きく広がったため、写真-2のようにD2の試験体の柱頭はボルト締めをし、柱脚は治具と試験体の隙間にワッシャーを挿入して広がりを抑えた。タイプ別試験体の計測点を図-9、図-10、図-11にC typeの計測器設置方法を写真-3に示す。

4. 実験結果

図-12にタイプ別復元力特性を、表-2に最大耐力を

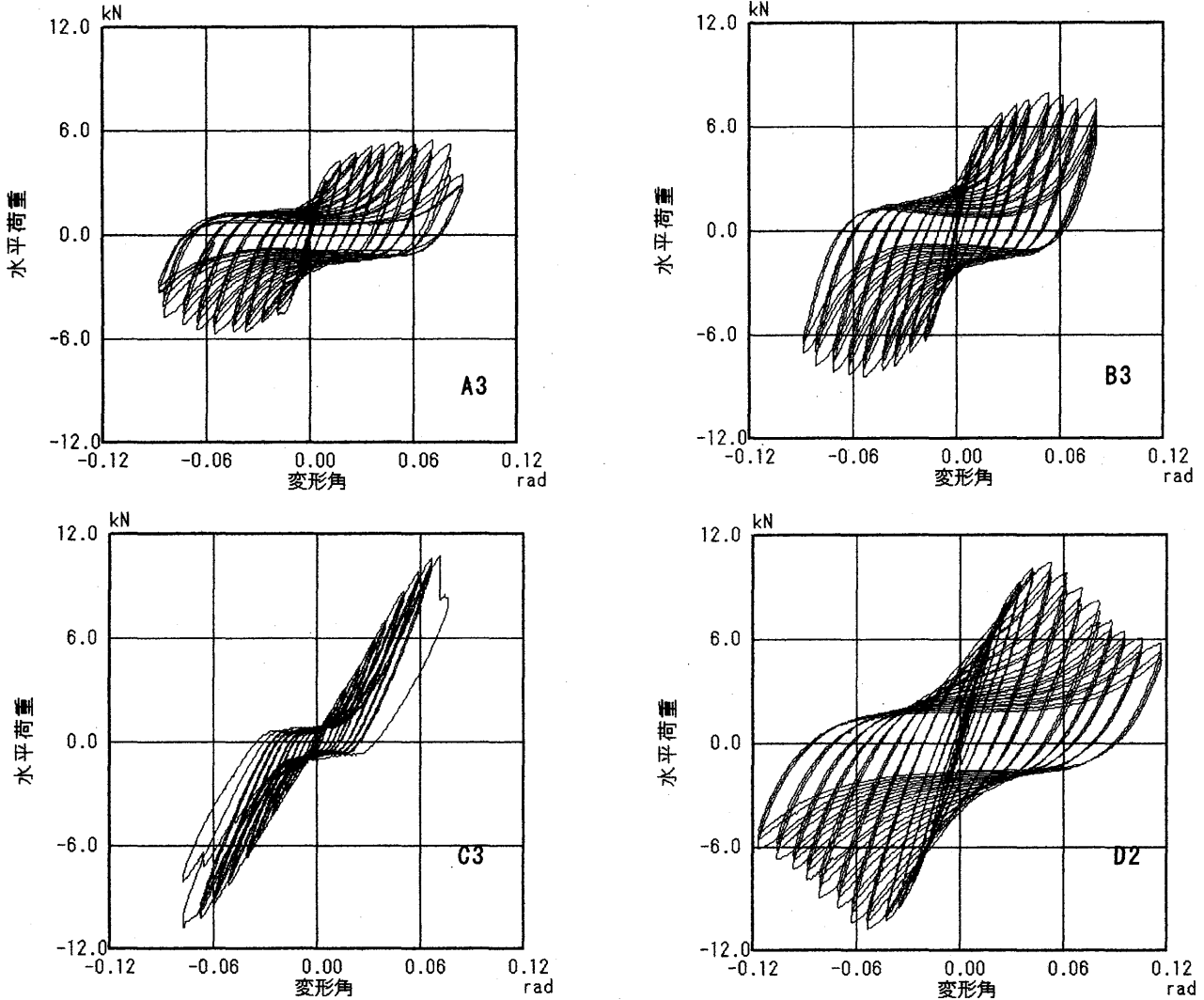


図-12 タイプ別復元力特性

表-2 最大耐力

試験体	2.0kN(土台固定)	2.0kN(ピン支持)	8.0kN(ピン支持)	8.0kN(ピン支持)
A type	A1	A2	A3	A4
	6.8kN	7.0kN	5.7kN	5.8kN
B type	B1	B2	B3	B4
	8.4kN	8.8kN	8.5kN	8.0kN
C type	C1	C2	C3	C4
	11.3kN	11.2kN	10.8kN	10.0kN
D type			D1	D2
			11.0kN	10.8kN

とにより、他の試験体よりも耐力の向上を見ることができた。A type および B type は、 $1/60\text{rad}$ まで紡錘型の復元力特性が見られたが、 $1/40\text{rad}$ から逆 S 字の復元力特性が見られ、D type は、 $1/20\text{rad}$ まで紡錘型の復元力特性が見られたが $1/17\text{rad}$ から逆 S 字の復元力特性が見られた。

C type は、ボルト接合のためボルトとボルト穴の隙間による滑りが復元力特性から見る事ができた。

5. 破壊性状

A type は、4 体とも $1/60\text{rad}$ から柱の回転により中の鋼板が変形し、 $1/20\text{rad}$ で土台に柱のめり込みを確認することができた。A2 は、写真-4 に示すように $1/40\text{rad}$ で右柱頭の隅角部が割れ、 $1/20\text{rad}$ で左柱が土台にめり込み鋼板に亀裂が生じ、 $1/15\text{rad}$ で鋼板が切れたことを確認した。A3 は、 $1/25\text{rad}$ で右柱が土台にめり込んだことを確認し、左右柱脚の釘が抜けた。 $1/15\text{rad}$ で鋼板に亀裂が生じ、 $1/13\text{rad}$ で鋼板が切れたことを確認した。A4 は、A3 とほぼ同じ破壊性状を示した。

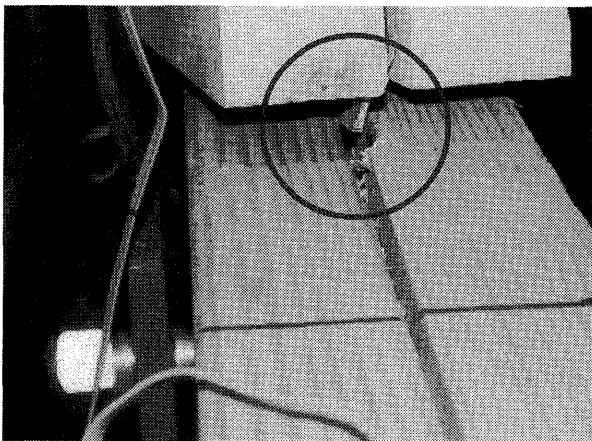


写真-4 A type 破壊性状

B type は、写真-5 に示すように 4 体ともに $1/120\text{rad}$ で試験体のせん断変形により外側の補強鋼板に変形が生じ、 $1/60\text{rad}$ で柱の回転により中の鋼板が変形した。B2 は、 $1/20\text{rad}$ で右柱脚の外側の鋼板の隅角部に亀裂が生じ $1/15\text{rad}$ で鋼板が切れたことを確認した。B3 および B4 は、 $1/15\text{rad}$ の 1 回目の引きで右柱脚の外側の補強鋼板の隅角部に亀裂が生じ、3 回目の押しで左柱脚の中の鋼板が切れたことを確認した。

C type は、4 体とも $1/60\text{rad}$ で直通材と隅角部を連結するボルト接合部に隙間が生じた。C1 は、荷重 10.3kN 、変形角 $1/20\text{rad}$ で左柱脚の隅角部に亀裂が生じ耐力の低下を確認できた。荷重 9.1kN 、変形角 $1/17\text{rad}$ で右柱脚の隅角部に亀裂が生じ荷重 5.3kN 、変形角 $1/15\text{rad}$ で左柱脚の隅角部が破損し急激に耐力が低下したため載荷実験を終了した。C2 は、荷重 10.7kN 、変形角 $1/13\text{rad}$ で左柱頭の隅角部に亀裂が生じ耐力の低下を確認することができた。C3 は、荷重 7.2kN 、変形角 $1/13\text{rad}$ の 2 回目の押しで左柱頭に亀裂が生じ、荷重 10.8kN 、変形角 $1/13\text{rad}$ の 3 回目の押しで割れが大きくなり急激な耐力

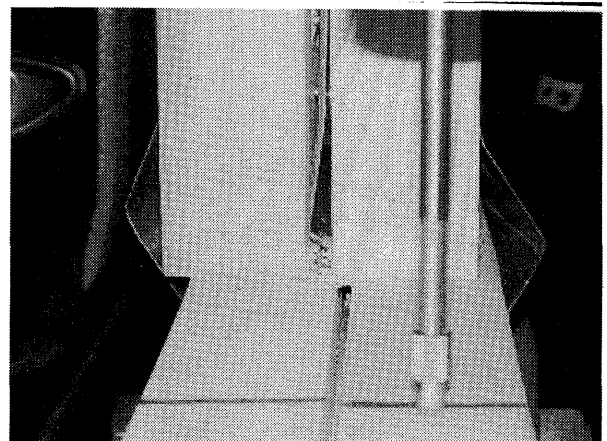


写真-5 B type 破壊性状

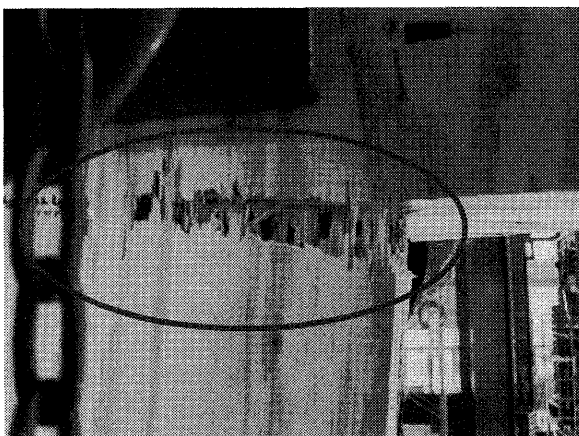


写真-6 C type 破壊性状



写真-7 D type 破壊性状

の低下が見られたため載荷実験を終了した。C4は、写真-6に示すように荷重9.8kN、変形角1/15radの2回目の引きで右柱頭の隅角部、左柱脚の隅角部に亀裂が生じわずかに耐力が低下した。荷重10kN、変形角1/13radで左柱頭の隅角部が破損し急激に耐力が低下したため実験を終了した。

D typeの試験体において、D1およびD2は、1/25radで柱の回転による鋼板の変形が生じた。D1は、1/20radで中の鋼板に亀裂が生じ、写真-7に示すように1/13radで柱脚部の接合部分が鋼板の変形により大きく広がり1/10radで土台に割れが生じた。実験終了後、柱頭の接合部分が鋼板の変形により釘が抜けた。また、柱脚部分は接合部分の土台に割れが生じていることを確認することができた。D2は、1/15radで中の鋼板に亀裂が生じ、1/11radで右柱脚部の釘打ち面に割れを確認でき、1/9radで右柱下部が割れた。実験終了後、右柱脚部の釘が抜け、釘打ち面の割れを確認した。試験体の柱頭はボルト締めをし、柱脚は治具と試験体の隙間にワッシャーを挿入し広がりを抑えることができたが耐力の差は見ら

れなかった。

6. リブフレームの耐力性能

6.1 耐力特性

図-13のタイプ別耐力特性に示すように、A typeは、他の試験体に比べ柱1本当たり2.0kNの鉛直荷重を与えた状態の試験体に比べ、8.0kNの鉛直荷重を与えた状態の試験体に耐力の低下が見られた。B typeは、隅角部を3枚の鋼板で補強することにより、隅角部を1枚の鋼板で補強しているA typeに比べ耐力の向上が見られる。C typeは、正負3回の繰り返し載荷を行うと1/10radで隅角部に亀裂が生じ、わずかに耐力の低下が見られた。さらに載荷を続けると隅角部が破損することにより急激な耐力の低下が見られた。D typeは、スギ材を使用しているが、隅角部の接合部分の組み方を換えることにより柱の回転による鋼板の変形を小さくすることができ、他の試験体に比べ耐力が向上したことがわかる。1/20radから柱の回転が大きくなり鋼板に変形が生じることにより耐力が低下していることがわかる。

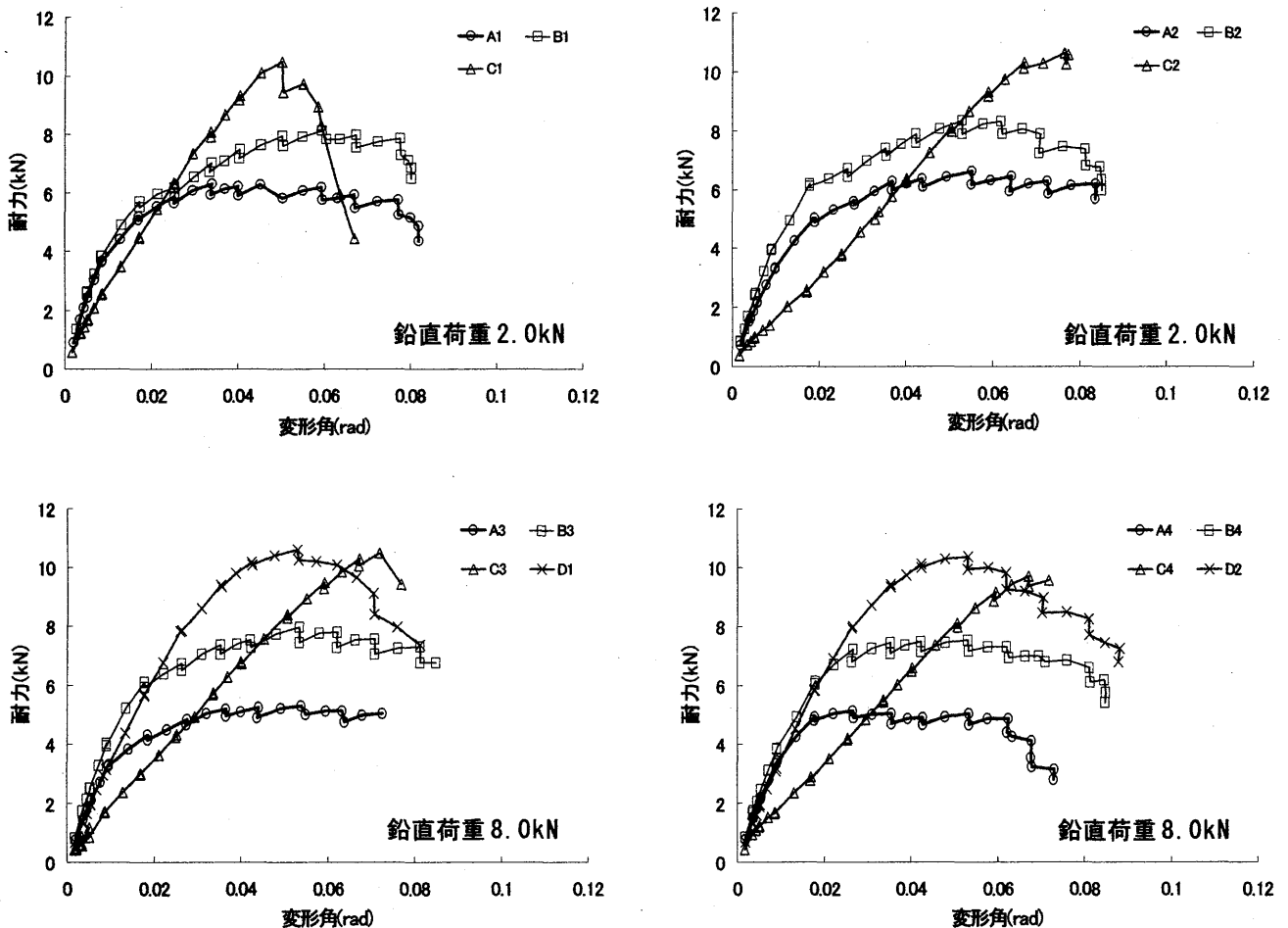


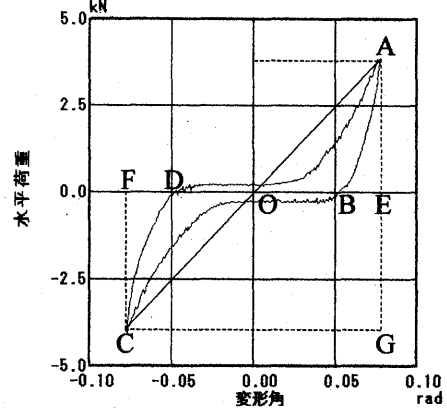
図-13 タイプ別耐力特性

6.2 等価剛性および等価減衰比

図-14に履歴ループから評価される等価剛性および等価減衰比の求め方を示す。

等価剛性は、図-15、図-16のタイプ別等価剛性および等価減衰比に示すように、B typeは、A typeに比べ隅角部の鋼板の枚数が多いため変形角が増加しても等価剛性が高いことがわかる。C typeは、ボルトとボルト穴に空きがあるためにボルトとボルト穴が接触するまで、他の試験体に比べると等価剛性が低く、1/60rad程度から変形角に対してほぼ比例した耐力の上昇が見られるため等価剛性はあまり減衰しない。C1は、試験体下辺を試験架台に固定したため、変形角1/20radで右柱脚部の隅角部に亀裂が生じ変形角1/15radで左柱脚部の隅角部が破損したため、急激に等価剛性が低下していることがわかる。D typeでは、載荷時の等価剛性はA typeおよびB typeに比べ低いですが、接合部の組み方を換えることにより、柱の回転ずれを小さくすることができ、鋼板の変形が抑えられたため、B typeの等価剛性とほぼ同じ値を通った。

等価減衰比は、図-15、図-16のタイプ別等価剛性および等価減衰比に示すように、柱1本当たり2.0kNの鉛直荷重を与えた状態のA typeおよびB typeの試験体で



$$\text{等価剛性 } K_{eq} = AG/CG$$

$$\text{等価減衰比 } h_{eq} = \Delta W / 2 \pi W$$

$$\Delta W: \text{ループ } ABCDA \text{ の面積} \quad W: \Delta OAE + \Delta OCF$$

図-14 等価剛性および等価減衰比の求め方³⁾

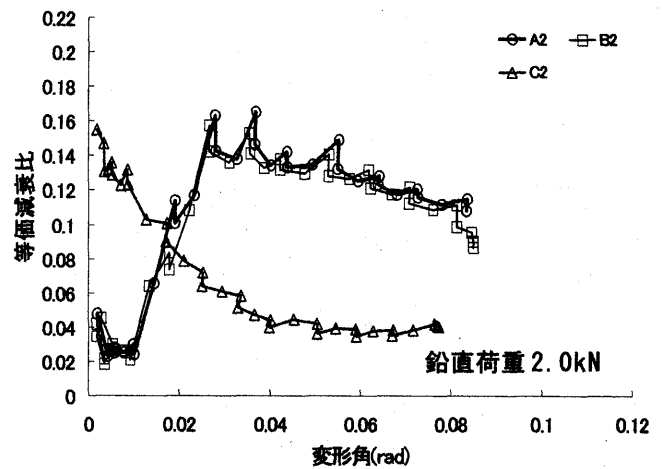
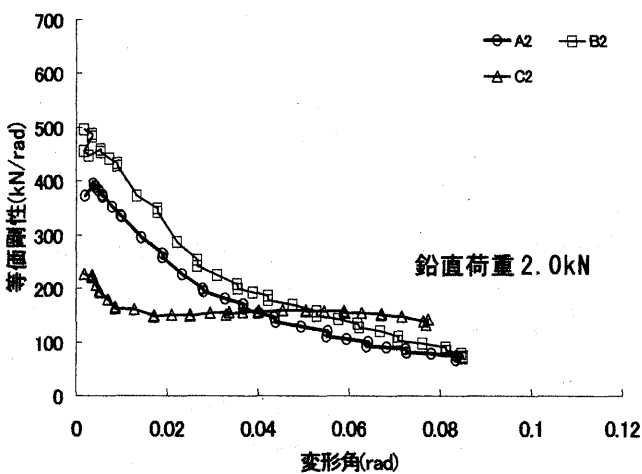
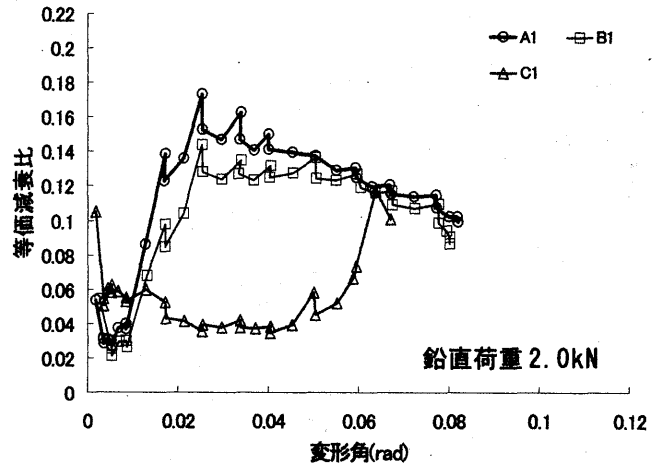
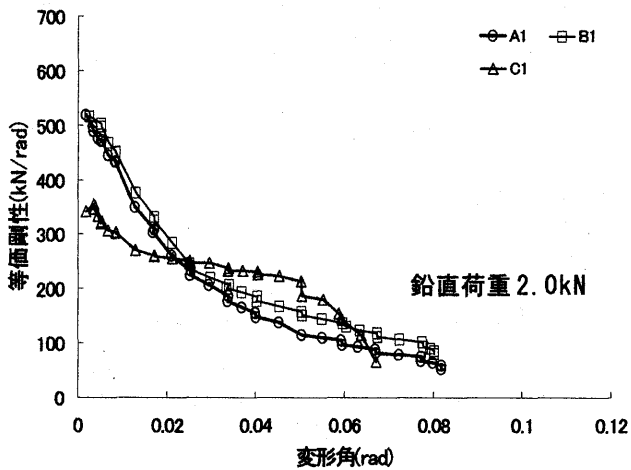


図-15 タイプ別等価剛性および等価減衰比

は、ほぼループ面積は等しく、等価剛性もほぼ等しいため等価減衰比に差が見られなかった。

7. まとめ

A type および B type は、 $1/12\text{rad}$ の変形に耐える。C type は $1/13\text{rad}$ の変形に耐える。D type は、最大加力 10t (98kN) 最大ストローク 630mm の加力機(モートルシリンダ)に換えて実験を行ったこともあり、 $1/9\text{rad}$ の変形に耐えた。B type は、A type に比べ隅角部を3枚の鋼板で補強することにより耐力が向上した。C type は、耐力は高いが隅角部の破損により急激に耐力低下した。D type は、スギ材を使用しているが接合部の組み方を換えることにより耐力が向上した。B type は A type の補強型のため等価剛性が高い。C type は、ボルトとボルト穴に空きがあるためにボルトとボルト穴が接触するまでは他の試験体に比べると等価剛性が低く、 $1/60\text{rad}$ 程度から変形角に対してほぼ比例した耐力の上昇を見ることが出来るため、等価剛性の変化は少なかった。

謝辞

実験は、株式会社鴻池組、有限会社桃李舎およびトリミス集成材株式会社の方々にご協力を頂きました。ここに深く感謝の意を表します。また実験に際しては、福山大学工学部建築学科鎌田研究室、三谷隆之、村田悟、赤坂絵美、天野裕介、栗元美幸、藤坂直樹の各々にご協力をあおぎました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 株式会社鴻池組: Engineering Topics, 2005. 8
- 2) 桑島由美子, 鎌田輝男: モノコックユニット構造の開発 その2 構造実験 日本建築学会 2005 年度大会(近畿) 2005. 9. 1
- 3) 若林實: 耐震建築の設計, 彰国社, pp. 82-84, (1988. 5)

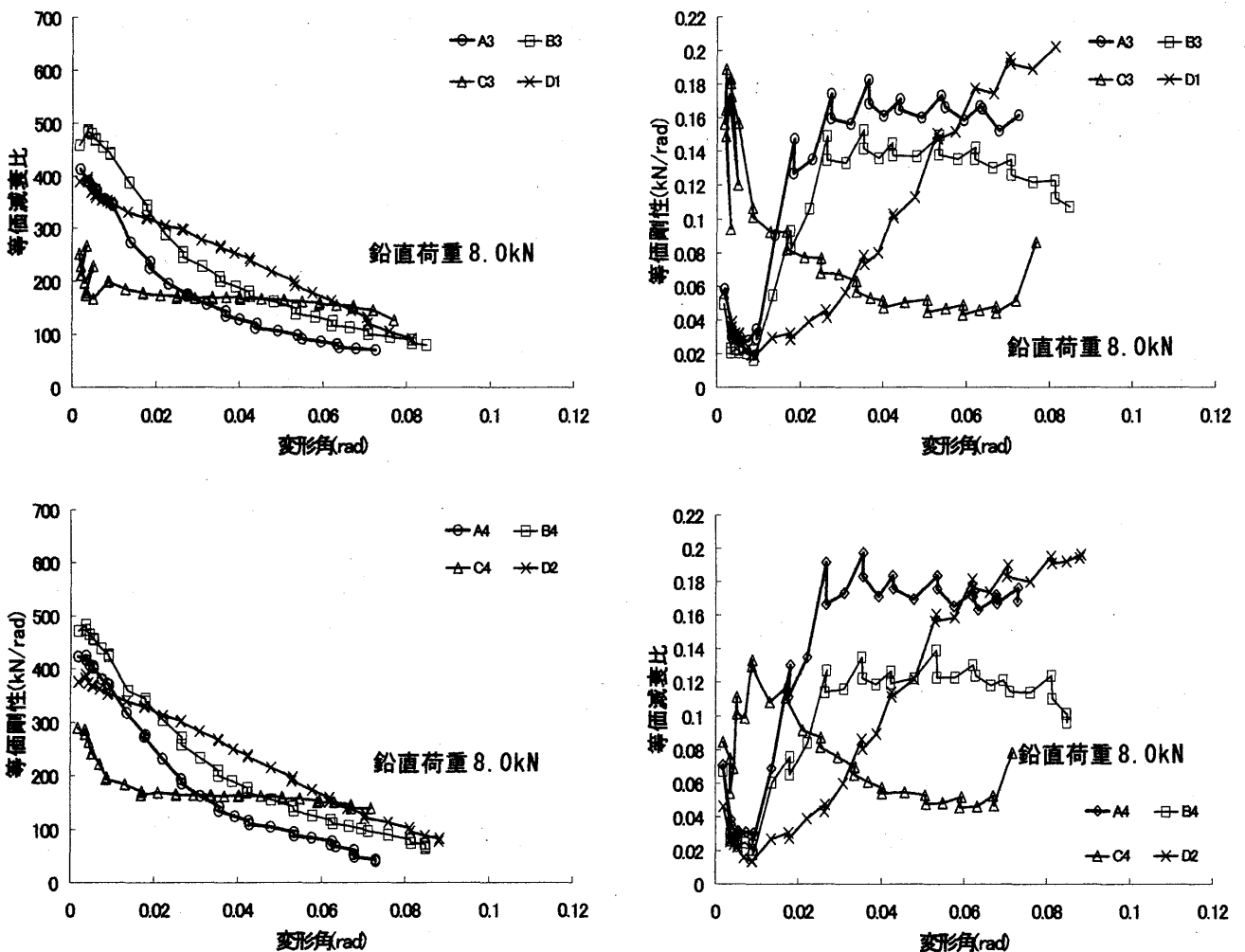


図-16 タイプ別等価剛性・等価減衰比