

アルミ材を使用した木造建築物用座屈拘束ブレースの開発

Deployment of Aluminium Buckling Restrained Brace's Performance for Wooden Building

吉田 競人、小林 健

YOSHIDA Keito and KOBAYASHI Ken

1. 序

これまで大規模な地震は関東或いは東海において生じると想定されていたが、先般東北地方太平洋沿岸を襲った大地震は、住宅の耐震性向上の必要性は全国において想定される必要があることを想起させる災害であった。

耐震性能の向上を図る技術としては、耐震工法、免震工法および制震工法が開発され普及が図られてきた。このなかで主として住宅について採用された工法は、費用が安価であるということから耐震工法が主体であったが、今回の地震は耐震工法のみでは地震のエネルギーに対処しきれない可能性を示し、更なる耐震向上の必要であることを示唆したといえる。制震工法は、それに対する有力な耐震技術の一つである。

本報告は、木造建築物の耐震性能を向上させるために行ってきた一連の木造用座屈拘束ブレースの開発^{1), 2)}のひとつであり、今回は芯ブレースに低強度のアルミ材を使用し、エネルギー吸収性能の向上を図ることを目標とした座屈拘束ブレース（以下 BRB と称する。）の実験報告である。

2. BRB 単体履歴特性実験

2. 1 BRB 単体実験概要

本報告で取り扱う BRB の特徴は BRB を構成する補剛材の一部であるモルタルやアンボンド材を使用しないことである。本実験においてはモルタルの代わりにアルミ鋼管を使用し軽量化と施工の効率を図った。芯ブレース材は A5052、引張強度 $\sigma_u=251\text{N/mm}^2$ である。アルミ鋼管の材質は芯ブレース同様 A5052 である。また補剛材に使用した鋼管は配管用炭素鋼鋼管（SGP）（引張強度 $\sigma_u=460\text{N/mm}^2$ 、ヤング係数

$E=177.3\text{E}03\text{ N/mm}^2$ ）である。試験体概要は図 1 に掲げる通りである。

また、試験体数はアンボンド材としてポリエチレンビニール厚さ 0.2mm を芯ブレースに 2 重に巻き付けたもの（BF）と使用しないもの（BN）の 2 体とした。これは、アンボンド材の有無が BRB の履歴特性に与える影響を把握するためである。両者の座屈長さは 806mm である。

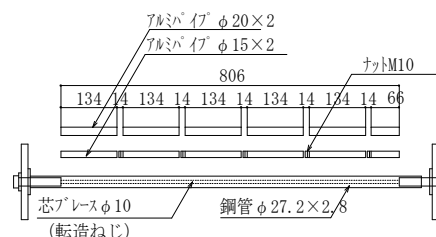


図 1 木造用 BRB 試験体概要

2. 2 BRB 単体実験結果

試験体加力図を写真 1 に示す。試験体取り付け部はプレートを介し試験体治具に取り付けた。制振部材としての BRB 単体試験体の荷重-変形関係を求めるために加力方法は変形制御とし、軸歪を 0.1% から 0.5%、1.0%、1.5%、2.0% まで増大する正負交番繰り返し試験とした。加力サイクルはそれぞれ 3 回である。図 2 と図 3 は試験体 BF（フィルム有）と



写真 1 試験体加力

BN（フィルム無）の荷重－変位曲線の実験結果である。圧縮領域において両者共に荷重の低下が見られた。破壊はBFが2%歪3回目の繰り返し引張時において生じ、BNは2%歪2回目の繰り返し引張時において生じた。

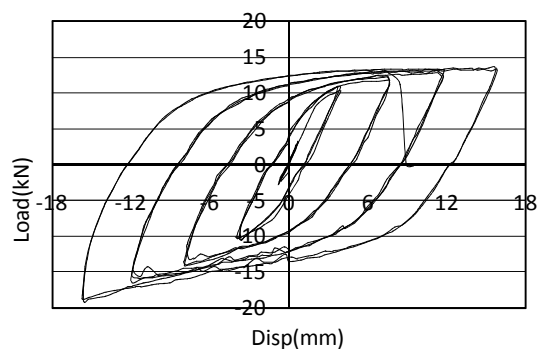


図2 BF（フィルム有）荷重－変形曲線

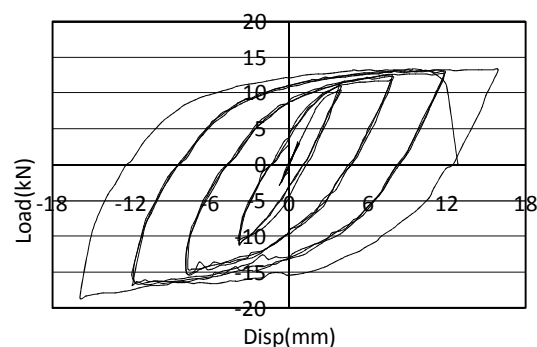


図3 BN（フィルム無）荷重－変形曲線

2. 3 減衰定数および加速度低減率

両試験体の制振効果を検証するために下式により規定される減衰定数と加速度低減率を主要な歪毎に算定した。それぞれの結果を表1と表2に、図示したものを図4と図5に掲げる。

$$h_{eq}(\delta_{\max}) = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{W}{\Delta W} \quad (1)$$

ここで、 W : 履歴吸収エネルギー

ΔW : 等価剛性による弾性エネルギー

$$\Delta W = \frac{1}{2} k_e \delta_{\max}^2 \quad (2)$$

$$k_e(\delta_{\max}) = \frac{Q(\delta_{\max})}{\delta_{\max}} \quad (3)$$

$$F_h = \frac{1.5}{1+10h} \quad (4)$$

表1 軸歪と等価減衰定数結果一覧

軸歪(%)	減衰定数 $h_{eq}(\%)$		BF/BN
	BF	BN	
0.1	10.0	11.0	0.909
0.5	19.3	18.0	1.07
1.0	37.8	35.0	1.08
1.5	43.0	44.0	0.977
2.0	49.8	52.0	0.958

表2 軸歪と加速度低減率結果一覧

軸歪(%)	加速度低減率 F_h		BF/BN
	BF	BN	
0.1	0.71	0.72	0.986
0.5	0.50	0.48	1.04
1.0	0.32	0.32	1.00
1.5	0.26	0.26	1.00
2.0	0.25	0.24	1.04

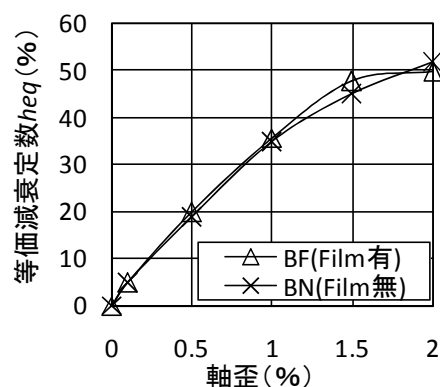


図4 軸歪－減衰定数

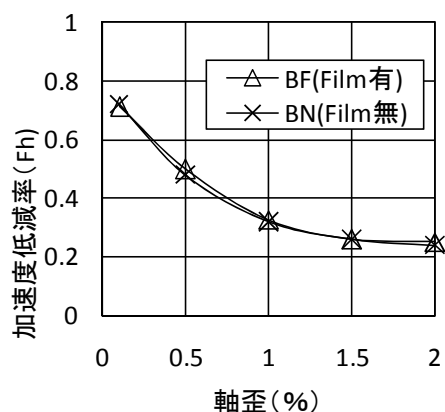


図5 軸歪－加速度低減率

表 1 と表 2、図 4 と図 5 からアンボンド材としてのフィルムによる減衰定数への影響はほとんど見られない。次に強度に及ぼす影響を把握するために歪毎に対する引張時と圧縮時の強度を一覧にしたものが表 3 である。この図からフィルムが強度に及ぼす影響はやはり少ない。

また制振効果は歪度が 0.1%,0.5%,1%,1.5%および 2.0% に対し等価減衰定数はそれぞれ平均で 10.5%, 18.7%,36.4%,43.5%及び 50.9%と高い性能を示した。

表 3 歪毎の試験体最大強度

歪(%)	加力(kN)	BF	BN	BF/BN
0.1	引張	3.14	2.98	1.05
	圧縮	-2.39	-2.89	0.827
0.5	引張	10.29	10.40	0.989
	圧縮	-10.29	-10.49	0.981
1.0	引張	11.75	11.86	0.991
	圧縮	-13.09	-14.53	0.901
1.5	引張	11.84	12.73	0.930
	圧縮	-14.39	-16.53	0.871
2.0	引張	13.22	13.31	0.993
	圧縮	-18.66	-18.55	1.01

2. 4 正負加力方向の荷重

図 2 や図 3 の復元力特性をみると正負同一歪において圧縮加力時の強度が増大する傾向が見られる。正負同一歪にたいする強度を調べるために、歪毎の最大荷重を表 4 および図 6 にまとめた。フィルムの有無にかかわらず、軸歪みの増加と共に、荷重増加率(S)は下式で近似可能である。

$$S=0.235\varepsilon+0.939 \quad (5)$$

表 4 圧縮強度と引張強度の比

歪(%)	種別	引張(kN)	圧縮(kN)	圧縮/引張
0.1	BF	3.14	-2.39	0.76
	BN	2.98	-2.89	0.97
0.5	BF	10.29	-10.29	1.00
	BN	10.40	-10.49	1.01
1.0	BF	11.75	-13.09	1.11
	BN	11.86	-14.53	1.23
1.5	BF	11.84	-14.39	1.22
	BN	12.73	-16.53	1.30
2.0	BF	13.22	-18.66	1.41
	BN	13.31	-18.55	1.39

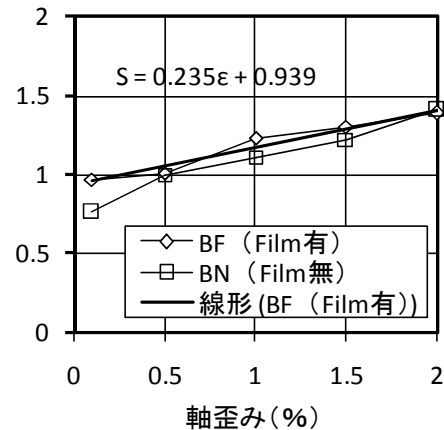


図 6 軸歪－強度増加率

BRB は本来圧縮時剛性と引張時の強度と剛性が等しいものである。しかしこのように圧縮時と引張時におけるブレース強度に相違がみられる場合、この影響を避けるためには圧縮ブレースと引張ブレースを常に一对に配置することに可能である。圧縮時において強度が増大する理由は補剛材と芯ブレースとの間隙が寄与するものと考えられるが詳細は今後の課題である。

3. BRB を組み込んだ木造フレーム加力実験

3. 1 木造フレーム実験概要

フレームの BRB を組み込んだ場合の制振性能を確認するために図 7 のように 1P の木造フレームに BN タイプの BRB を 3 体取り付けて加力実験をおこなった。試験体数は芯ブレースを 8mm とした試験体 (試験体名 M8-1P) 1 体と 10mm とした (試験体名 M10-1P) 1 体の計 2 体とした。M8-1P 試験体の構成は内部アルミ管が φ12×1.5 と φ15×1.0 とし補剛管は φ21.7×2.8 を使用した。試験方法は財建材試験センターが定めた「木造耐力壁及びその倍率の試験・業務方法書」に準拠した。

加力は正負交番繰り返し加力とし、繰り返し履歴は見かけのせん断変形が 1/450, 1/300,1/200,1/150,1/100,1/75,1/50rad の正負変形時に行った。繰り返し加力は、履歴の同一変形段階で 3 回の繰り返し加力を行った。最大荷重に達した後は試験体の見かけの変形角が 1/15rad 以上に達するまで加力した。

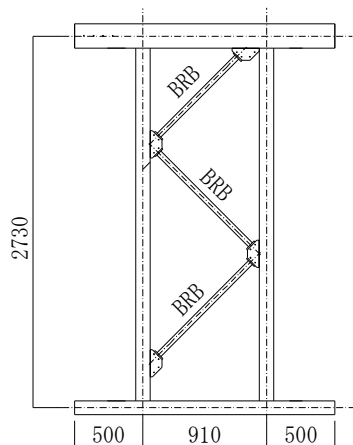


図 7 試験体
(木造フレーム)

3. 2 木造フレーム加力実験結果

実験結果一覧を表 5 に示す。M8-1P と M10-1P の壁倍率はそれぞれ 3.6 と 2.5 を示した。また、それぞれの木造フレーム試験体加力前後の写真を写真 2 から写真 3 に、ブレースの破壊性状を写真 4 と写真 5 に示す。加力最終時の変形状況をみると、木造柱に変形が生じていることがわかる。この理由は、取り付け金物と柱の軸が一致せずに偏心したことにより柱に曲げモーメントが生じたためである。写真 4 と写真 5 に掲げる実験終了後の BRB の変形をみるとアルミ管内部において高次モードの座屈を生じていた。座屈モード次数は M8 径が M10 に比べ高かった。

表 5 木造フレーム実験結果一覧

	試験体	
	M8-1P	M10-1P
壁倍率	2.5	3.6
降伏耐力 $P_y(kN)$	4.5	6.5
終局耐力 $P_u(kN)$	6.3	10.2
120rad 時の $P(kN)$	5.5	6.9
$2/3P_{max}(kN)$	5.7	7.6
初期剛性 $K(kN/mm)$	0.3	0.3
降伏変位 $\sigma_y(mm)$	13.9	19.7
終局変位 $\sigma_u(mm)$	189.7	96.2
塑性率 μ	9.8	3.1
構造特性係数 D_s	0.2	0.4

また、M8-1P と M10-1P の両試験体とも、BRB 芯ブレースに破断が生じた場合においても、取り付け金物を含む接合部には損傷は見られず、

取り付け金物は十分な強度を有することが実験的に判明した。

図 8 と図 9 は、M8-1P と M10-1P 試験体の荷重－変形曲線である。M8-1P は比較的滑らかな紡錘形状を示し、変位が 69.4mm の時中央部に位置するブレースが 8.6kN で破断した。それに対し、M10-1P の試験体は、履歴に幾分スリップ形状を含む紡錘形を示した。変位が 98mm で中央に位置するブレースが破断した。最大荷重は 11.3kN であった。

3. 3 木造フレーム減衰定数と加速度低減率

木造フレームに BRB を取り付けした場合の減衰定数と加速度低減率の一覧をそれぞれ図 10 と 11 に掲げる。

変形角 1/200 で M8-1P、M10-1P 両試験体共に 12%、1/100 では 23% と 16% となった。この時の加速度低減率は変形角 1/200 で両者ともに 0.68、1/100 時点で 0.45 と 0.58 となった。M8 を芯ブレースとして利用した試験体が高い減衰定数を示したのは、取り付け金物と柱の偏心により柱に生じる曲げモーメントに対し柱が十分な曲げ剛性を有していないため、BRB 軸力が大きいと柱変形が増大し、BRB の塑性変形量が増大しにくいためであると考えられる。

4. 結論

降伏強度が鉄と比較して少ないアルミニウム材を芯ブレースとして使用することによりエネルギー吸収の向上を図った BRB の実験を行った結果以下の知見が得られた。

1. アンボンド材としてのフィルムが BRB の強度および減衰定数へ及ぼす影響はほとんどない。
2. 制振効果は、単体は高いがフレームに取り付けると効果が低減される。特に、M8 よりも強度の高い M10 を使用した場合に見られる。
3. 転造ねじを使用した BRB は圧縮時と引張時の強度が異なる傾向がある。

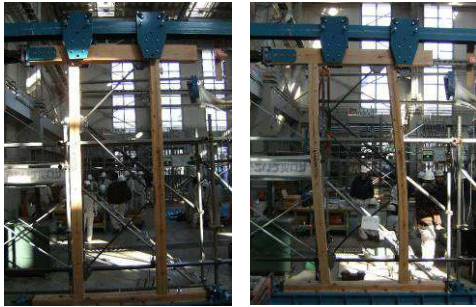


写真 2 M8-1P 試験体
加力前 (左) 加力後 (右)



写真 3 M10-1P 試験体
加力前 (左) 加力後 (右)



写真 4 M8-1P 試験体 (上)
ブレース座屈変形図 (下)



写真 5 M10-1P 試験体 (上)
ブレース座屈変形図 (下)

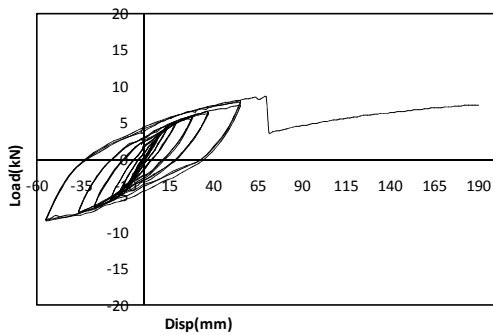


図 8 荷重-変位曲線 (M8-1P)

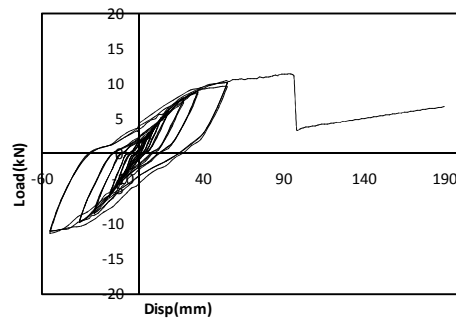


図 9 荷重-変位曲線 (M10-1P)

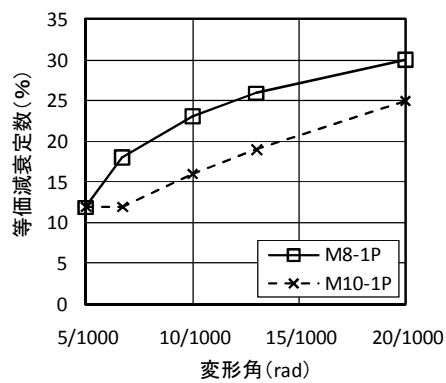


図 10 変形角と減衰定数

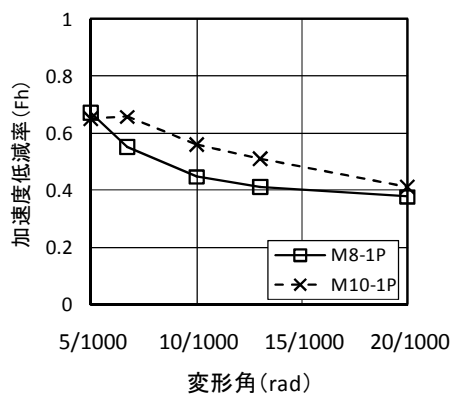


図 11 変形角と加速度低減率

謝辞

本報告は、職業能力開発総合大学校東京校平成 22 年度グループ研究（研究名：「制震を目的とした木造建築物用座屈拘束ブレースの開発」）の成果の一部です。ご協力いただいた関係各位に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉田,栗山,「座屈拘束ブレース (BRB) を使用した木造フレームの耐震補強」,職業能力開発総合大学校東京校紀要第 24 号,PP37-42,2009 年 3 月
- 2) 吉田,栗山,「座屈拘束ブレースを利用した耐震補強方法の開発」,職業能力開発総合大学校東京校紀要第 24 号,PP63-74,2010 年 3 月