



京都大学 防災研究所
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

一般共同研究
26G-10

制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究
Study on Strength Degradation Suppression of
Wooden Houses by Damping Materials

平成28年6月
June, 2016

研 究 代 表 者	那 須 秀 行
Principal Investigator	Hideyuki Nasu

制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究

日本工業大学 那須 秀行*1

京都大学 防災研究所 川瀬 博*2

京都大学 生存圏研究所 五十田 博*3

1. はじめに

近年、地震による建築物への被害を抑えるため、制振構造や免震構造等の技術が盛んに研究されている。しかし、木造住宅においては費用対効果を十分に得ることが難しく、いまだ普及には至っていない。そこで本研究は安価かつ施工性に優れた木造制振耐力壁の開発を目指している。木造耐力壁の面材と梁、柱、土台の間に静的実験の結果から制振効果が期待できる素材(以下、制振素材とする)を絞り込み用いた。本研究は、動的な地震波を実大の耐力壁に与える振動台実験と残存耐力を検証する静加力実験の両方を行い、面材及び耐力壁に挟み込む制振素材の仕様(シリコンコーキング、ゴム系素材)を変えることにより耐力劣化の抑制効果に違いがあるのかについて比較、検証することを目的とする。

2. 実験結果

まず、京都大学防災研究所にて 1P の耐力壁について面内での振動台実験を行った。強震応答実験装置(図 1)を使用し、大地震(JMA 神戸波等)の揺れを与えることで耐力壁に及ぼす影響や挙動を観察し、制振素材がどの程度耐力の劣化を抑制することができるのかを検証した。

その後、京大大学生存圏研究所にて上記のダメージを与えた耐力壁そのものを運び、面内せん断静加力実験(図 2)を行った。大地震の揺れを受けた耐力壁がどの程度の残存耐力を有しているのかを検証した。

3. 試験体

3.1 試験体概要

試験体は横架材芯々2600mm、柱芯々910mm の木造耐力壁とした。本研究では制振素材を用いる面材の違いによる影響を検証するため、合板及び石膏ボードを使用した。

合板仕様は面材を片面だけに施工、石膏ボードについては面材を両面に施工した。面材を留めるビスは合板がコーススレッド W51、石膏ボードは石膏クロスビス RP-28 を使用し、全仕様とも 150mm 間隔とした。ビスの端空き距離を合板は 25mm、石膏ボードは 27mm とした。石膏ボードはビス打ちの間隔 150mm となっているが、ビス打ちの振り分けを中心から外側に向かい行ったため、面材 1 枚に用いたビスの本数が合板仕様よりも各縦材 1 本ずつ、1 試験体では計 3 本多くなった。振動台実験時には木造二階建て住宅を想定し、錘を計 480kg 載荷するため梁を両側に 1m 程延長した。

3.2 制振素材の施工

シリコンコーキングの施工位置(図 3, 4)は、面材を固定するビスと重なる位置に 150mm 間隔でコーキングガンを使用して施工した。このときシリコンコーキングの量は 1 カ所あたりコーキングガン 0.5 握り約 10cc を目安としている。また、シリコンコーキングの養生時間は約 96 時間とした。

ゴム系素材の施工位置(図 3, 4)は、柱が内側から 50mm、土台が上場から 50mm、梁が下場から 90mm とし、面材の重なりとほぼ同じ位置に施工した。また、ゴム系素材の養生時間は約 120 時間とした。

3.3 供試体

柱・土台 105mm×105mm 及び床梁 105mm×180mm : オウシュウアカマツ集成材、間柱 105mm×30mm、構造用合板厚 9mm : JAS 特類 2 級、普通石膏ボード厚 12.5mm : JIS A6901 NM-8619、間柱接合 : 鉄丸釘 N50、柱頭・柱脚金物 : SB2-10A01-03 を使用した。

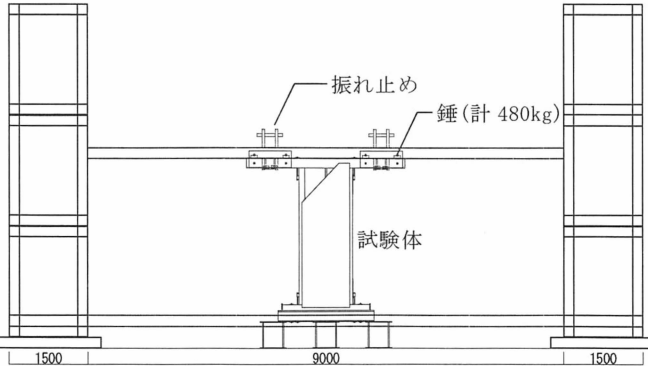


図 1 強震応答実験装置(京都大学防災研究所)

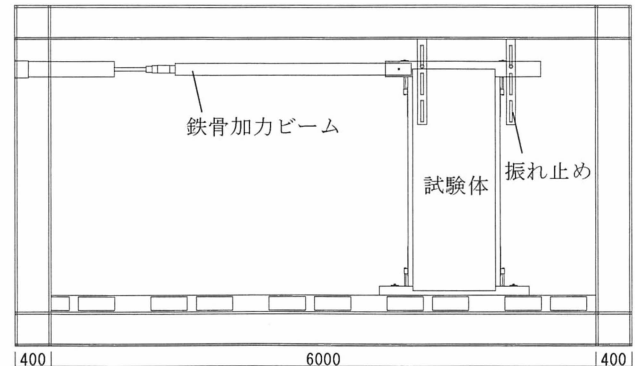


図 2 フレーム試験機(京大大学生存圏研究所)

*1 日本工業大学 工学部 教授・博士(工学)

*2 京都大学 防災研究所 教授・工博

*3 京都大学 生存圏研究所 教授・博士(工学)

Prof., Nippon Institute of Technology, Dr. Eng.

Prof., Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University, Dr. Eng.

Prof., Research Institute for Sustainable Humansphere, Kyoto University, Dr. Eng.

4. 2014 年度

4. 1 試験体のパラメータ

合板壁と石膏ボード壁に制振素材なしの耐力壁(標準仕様)、耐力壁の柱梁と面材の間に発泡ブチルゴム又はシリコンコーキングを施工した耐力壁(ブチルゴム仕様、シリコン仕様)の計 6 タイプ各 1 体(図 4)を用いた。

4. 2 振動台実験

京都大学防災研究所にある強震応答実験装置を用いた。入力地震波には JMA-神戸波 NS 成分を用いた。試験体に対し水平方向の 1 軸加振とし、合板仕様の試験体には 20%、50%、80%、100%、120%、100%の当該波を順に入力した。また、石膏ボード仕様の試験体には 20%、50%、80%、100%、80%、の当該波を順に入力した。加振の前後にスイープ波を入力し、固有振動数の測定も行った。延長した梁の両端を 1 枚 30kg の錘で左右から 4 枚ずつ挟み込むことで試験体には計 480kg の錘を載せた。荷重を算出するための試験体重量は、試験体上部半分の重さに錘分を足した質量とし、合板で 522.95kg、石膏ボードで 536.37kg となった。加速度計は試験体載る架台上、土台上、梁上の 3 箇所に設置した。変位計には CDP-50 と SDP-100 と LK-500 を用い、柱垂直、土台水平、梁水平の 4 箇所に設置した。ホールダウン金物は、全て 70N・m のトルク値で最初の加振直前に 1 度だけ締付けた。許容耐力値は合板片面又は石膏ボード両面仕様の所定の壁倍率に $1.96(\text{kN/m}) \times 0.91(\text{m})$ を乗じて算出した。

4. 3 振動台実験結果

合板仕様では 120%加振時、石膏ボードでは 100%加振時の梁上加速度と試験体重量を用いて算出した荷重と水平方向の層間変位から P-δ 曲線を求めた(図 5, 6)。

合板仕様について、最大変位は標準仕様が一番大きく、シリコン仕様、ブチルゴム仕様の順に小さくなった。標準仕様の試験体に対し、制振素材有りの試験体は梁や柱と合板との一体性が高まったこと、そしてダンピング効果があったことで応答変位が少なくなったのではないかと考えられる。しかし、シリコン仕様と標準仕様の試験体に掛かった荷重はほぼ同じとなった。どの試験体も損傷はほぼ見られなかった(図 7)。

石膏ボードについて、制振素材のない標準仕様は損傷が大きく、ビスがほとんど折れてしまいホールダウン金物のプレート部も変形した(図 8)。ブチルゴム又はシリコンを用いた試験体はコーナーに近いビス周りの石膏ボードに僅かな盛り上がりが見られた。P-δ 曲線では標準仕様の変位と荷重が制振材を用いた他の試験体よりも特に大きいことがわかる。



図 3 制振素材の施工

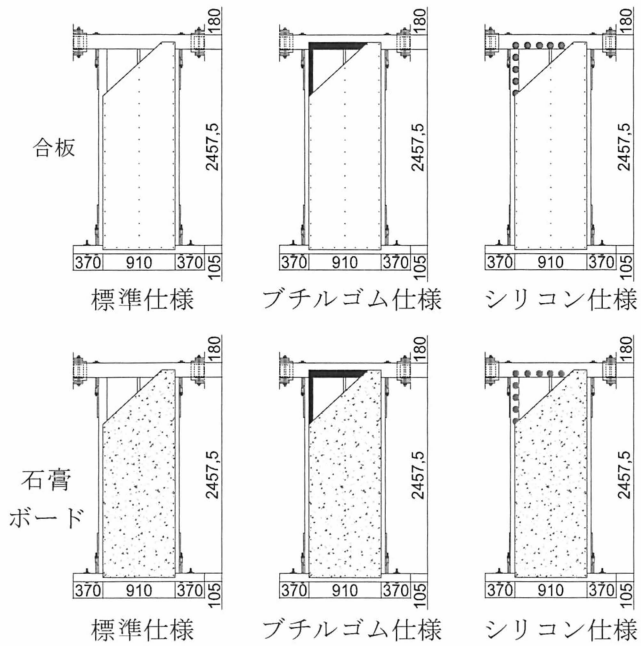


図 4 各試験体図

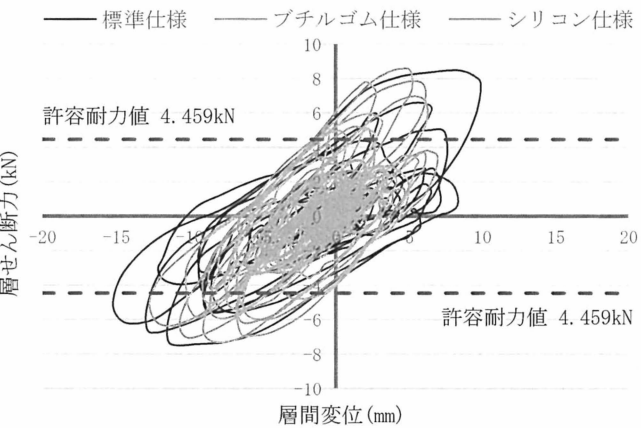


図 5 合板仕様 P-δ グラフの比較

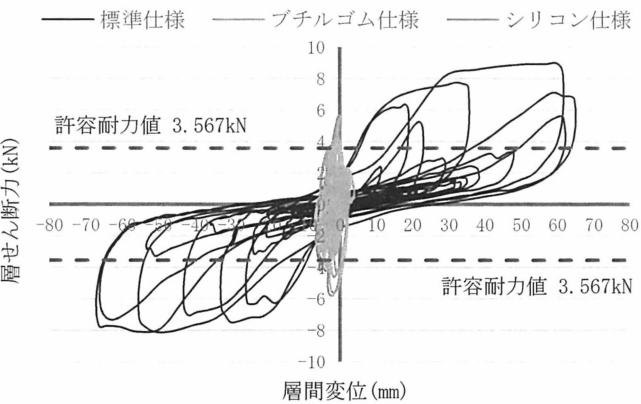


図 6 石膏ボード仕様 P-δ グラフの比較

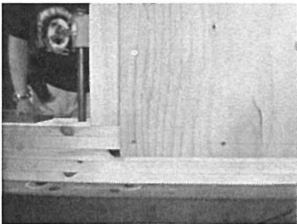


図 7 合板標準仕様

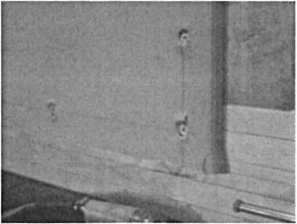


図 8 石膏ボード標準仕様

4.4 静加力実験

京都市大学生存圏研究所にある加力フレーム試験機を用いて、耐力壁の面内せん断静加力実験を行った。加力方法は、木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2008年度版)に則り、柱脚固定式による正負交番繰返し3回加力とした。繰返し1回の層間変形角は 1/450rad. →1/300rad. →1/200rad. →1/150rad. →1/100rad. →1/75rad. →1/50rad. で行い、最終破壊を引き壊しとした。ホールダウン金物の締め付けトルクは振動台実験と同じ 70N・m で緊結した。変位計は CDP-50 及び DO-500E を使い、柱垂直、土台水平、梁水平の変位を測定した。

4.5 静加力実験結果

合板仕様について、初期剛性は標準仕様とブチルゴム仕様がほぼ等しいのに対し、シリコン仕様はやや上昇している(表1, 図9)。シリコンコーキングは時間経過により硬化していくため、合板との接着部がより硬くなったためではないかと考えられる。しかしながら、剛性は上昇したが試験体の粘りが少なくなり、それが結果としてエネルギー吸収量の低下に繋がったと考えられる。ブチルゴムについては、剛性の上昇は見られなかったが、最大耐力とエネルギー吸収能力が大幅に上昇した。ブチルゴムの接着性により接合ビスへの応力低減や合板の面外たわみが抑えられたためビスの破断が遅れ、靱性が上昇したのではないかと考えられる。

片面合板の基準壁倍率 2.5 倍に対し、大地震相当の振動を与えた後に保持していた壁倍率は標準仕様が 2.08 倍、ブチルゴム仕様が 4.82 倍、シリコン仕様は 3.10 倍となった。ブチルゴム、シリコン共に壁倍率そのものが若干向上すると共に、大地震による耐力低下の抑制効果を見込めることが分かった。しかし、ブチルゴムとシリコンの効果は大きく違った。時間経過による硬化や粘着性の影響によりシリコンがブチルゴムよりも低い結果となったと思われる。

石膏ボード仕様について、標準仕様は振動台実験での損傷が大きく、Ds 値、エネルギー吸収量を求めることができなかった。そのため、壁倍率を求めるのに使用した許容せん断耐力には Py から求めた数値を使用した。両面石膏ボードの基準壁倍率 2.0 倍に対して大地震相当の振動を与えた後に保持している壁倍率は、標準仕様が 0.12 倍、ブチルゴム仕様が 3.24 倍、シリコン仕様が 2.50 倍となった(表2)。ブチルゴム仕様とシリコン仕様の違いに着目すると、初期剛性はわずかにシリコン仕様の方が高くなったが合板仕様ほどの違いは見られなかった(図10)。合板あるいは石膏ボードと制振素材との相性(接着性等)が原因ではないかと考えられる。最大耐力とエネルギー吸収量はどちらもブチルゴムの方が高い結果となった。制振素材を用いた石膏ボード仕様の破壊性状はビスのせん断破壊ではなく、石膏ボード自体の割れであった。制振素材なしでは、主にビスがその周りの石膏部分を押し出すことで応力や変位を吸収し面材の形を保った。し

かし、制振素材を用いることで石膏ボードが固定される部分がビスによる点ではなく、制振素材による面となりより一体性が増し変形が抑えられたため、石膏ボード全体で変位を負担したと考えられる。

表1 合板仕様パラメータ比較

合板	標準仕様	ブチルゴム仕様	シリコン仕様
初期剛性 (kN/mm)	0.46	0.47	0.77
Pmax (kN)	11.21	24.13	15.36
EA (kN・mm)	377.61	1989.56	495.96
壁倍率 (倍)	2.08	4.82	3.10

※EA=エネルギー吸収能力

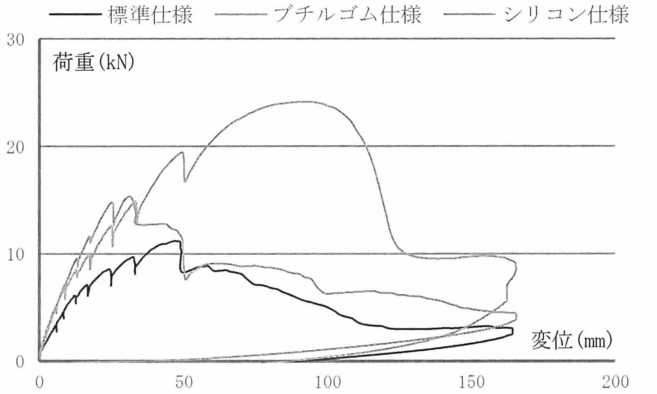


図9 合板仕様 P-δ グラフの比較

表2 石膏ボード仕様パラメータ比較

石膏ボード	標準仕様	ブチルゴム仕様	シリコン仕様
初期剛性 (kN/mm)	0.04	0.94	1.03
Pmax (kN)	6.77	17.72	14.76
EA (kN・mm)	658.82	446.21	242.23
壁倍率 (倍)	0.12	3.24	2.50

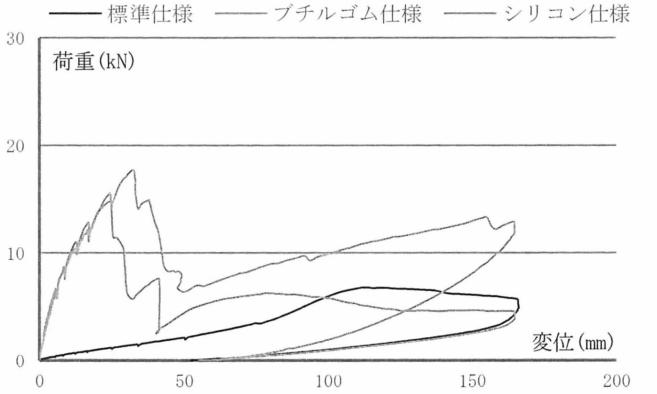


図10 石膏ボード仕様 P-δ グラフの比較

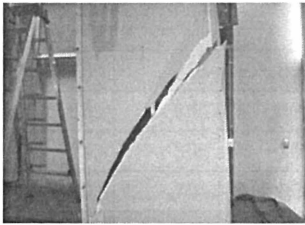


図11 ブチルゴム仕様

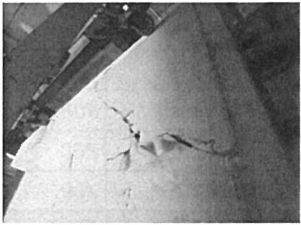


図12 シリコン仕様

5. 2015 年度

5. 1 実験概要

2014 年度の結果より、面材の仕様をより効果の大きい石膏ボードに絞る。そして、季節が違っても(温度条件が異なっても)ブチルゴム及びシリコンコーキングに十分な制振性能が期待できるか検証すると共に、施工性の良いシリコンコーキングを用いた耐力壁については地震波の特性が異なる場合でも十分な性能を保持できるか検証することを目的とした。また、ゴム系の制振素材については、ゴムの仕様を変えることで耐力劣化に対する制振効果の上昇、コストの削減、施工性の向上、耐久性の向上について検証することを目的とした。

5. 2 試験体のパラメータ

温度変化の検証では、夏に行った実験と冬に行った実験でどの程度違いが生じるか検証した。加振する波は全て JMA 神戸波とした。試験体の養生期間の気温変化を表 3、4 に表す。

地震波の違いによる比較の検証では、海溝型と内陸型からそれぞれ特徴の違う地震波を選択した。振動実験でよく用いられている JMA-神戸波、神戸波と同じ地震で観測場所の異なる JR-鷹取波、短周期成分が多く含まれる K-NET 築館波、木造住宅に損傷を与えやすい周波数が多く含まれる K-NET 小千谷波、広い周波数成分を含んでいる JMA-浦河波の計 5 種類を用いた。それらの波を神戸波 100%加振時の最大加速度に合わせ、それらを 5 回に分け徐々に加速度を上昇させ加振を行った。加振波の概要を表 5 に示す。温度変化の検証、地震波の違いによる比較の検証に用いる試験体を表 6 に示す。

ゴムの仕様による比較検証では、エチレンプロピレンゴム 4188(安価で柔らかめ)、エチレンプロピレンゴム 4388(安価でやや硬め)、ニトリルゴム(高耐久性)、未発泡ブチルゴム(安価で硬め)の両面接着仕様とエチレンプロピレンゴム 4188 の片面接着(施工性の向上が主目的)の計 5 種類とした。ゴム仕様の比較検証に用いる試験体を表 7 に示す。

表 3 夏の気温変化(京都大学宇治キャンパス)

夏養生日時	最低気温	最高気温	平均気温
2014 年 8 月 1 日	26.4℃	34.1℃	30.3℃
2014 年 8 月 2 日	26.0℃	29.9℃	27.4℃
2014 年 8 月 3 日	25.3℃	32.3℃	27.5℃
2014 年 8 月 4 日	24.5℃	31.2℃	27.6℃
2014 年 8 月 5 日	26.2℃	35.9℃	30.0℃
2014 年 8 月 6 日	26.3℃	34.0℃	29.6℃

表 5 加振波概要

内陸型	阪神淡路大震災	JMA-神戸波	NS	SW 波	20%	50%	80%	80%	100%	80%	SW 波
内陸型	阪神淡路大震災	JR 鷹取波	EW	SW 波	20%	50%	80%	80%	80%	80%	SW 波
海溝型	東日本大震災	K-NET 築館波	NS	SW 波	5%	20%	30%	35%	35%	30%	SW 波
内陸型	新潟中越地震	K-NET 小千谷波	EW	SW 波	20%	50%	70%	90%	90%	70%	SW 波
海溝型	十勝沖地震	JMA-浦河波	EW	SW 波	60%	120%	180%	240%	240%	180%	SW 波

表 4 冬の気温変化(京都大学宇治キャンパス)

冬養生日時	最低気温	最高気温	平均気温
2014 年 2 月 21 日	-0.3℃	15.1℃	7.2℃
2014 年 2 月 22 日	0.8℃	14.8℃	11.0℃
2014 年 2 月 23 日	8.1℃	15.9℃	11.6℃
2014 年 2 月 24 日	5.1℃	14.5℃	9.1℃
2014 年 2 月 25 日	4.1℃	13.8℃	8.5℃

表 6 パラメータ詳細

実験時期	面材	加振波	使用素材
夏	合板	JMA-神戸波	標準仕様
			シリコン仕様
			ブチルゴム仕様
	石膏ボード		標準仕様
			シリコン仕様
			ブチルゴム仕様
		K-NET 築館波	標準仕様
			シリコン仕様
		K-NET 小千谷波	標準仕様
			シリコン仕様
JMA-浦河波	標準仕様		
	シリコン仕様		
冬		JMA-神戸波	標準仕様
			シリコン仕様
			ブチルゴム仕様
		JR 鷹取波	シリコン仕様

表 7 パラメータ詳細

制振素材	接着面	試験体名
エチレンプロピレンゴム 4188	両面接着	PB-EPM4188-DA
エチレンプロピレンゴム 4388		PB-EPM4388-DA
ニトリルゴム 4112		PB-NBR4112-DA
未発泡ブチルゴム		PB-UBR-DA
エチレンプロピレンゴム 4188	片面接着	PB-EPM4188-SA

5.3 振動台実験結果

温度変化について、実験から得られた $P-\delta$ グラフを図13～16に示す。全ての試験体で夏よりも冬仕様の方が良い結果だった。標準仕様では制振素材を用いていないため、制振素材以外の材料の影響が表れたと思われる。湿度の変化により石膏ボードの含水率が変化し、強度にも影響したと考えられる。温度変化による影響があまり確認できなかったのは、制振素材の温度変化による耐力変動がその他の要因による影響に比べて小さかったためと思われる。ブチルゴム仕様とシリコン仕様では殆ど違いを確認できなかった。

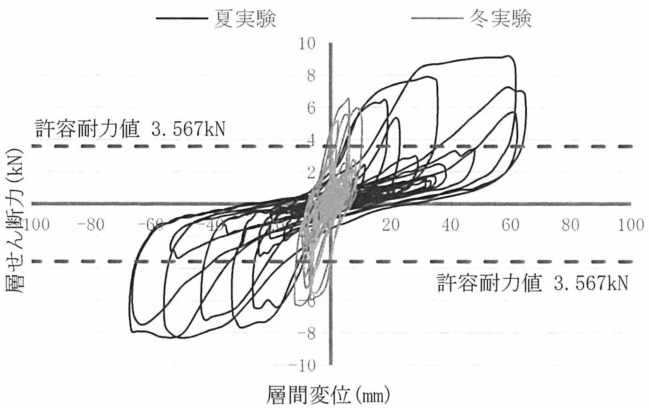


図13 標準仕様の比較

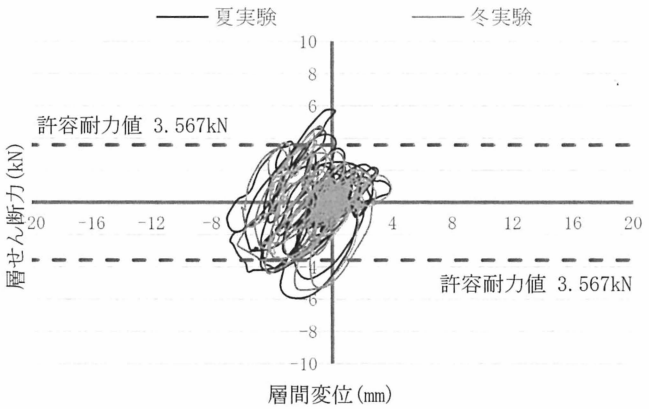


図14 シリコン仕様の比較

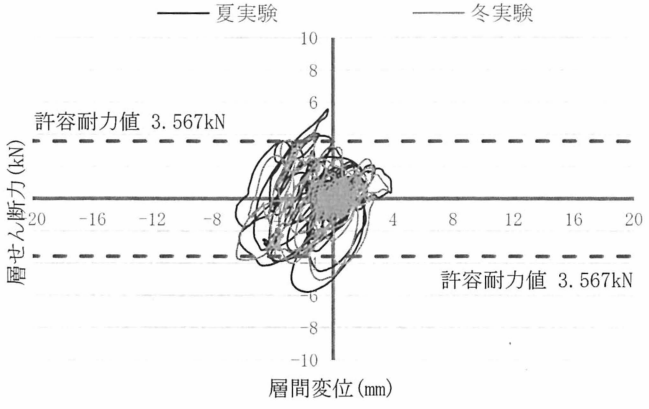


図15 ブチルゴム仕様の比較

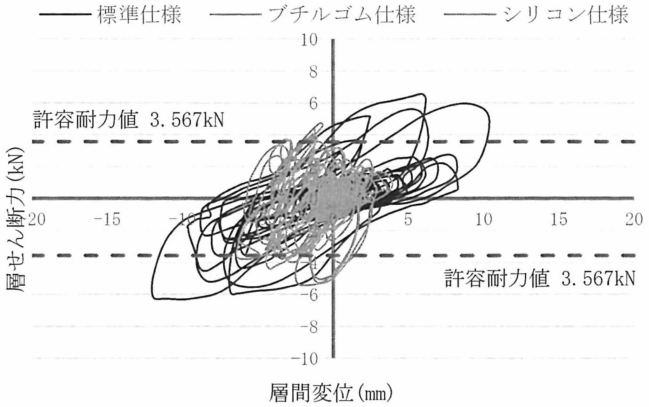


図16 冬仕様の比較

地震波特性の違いについて、実験から得られた $P-\delta$ グラフと各加振時の最大加振時に測定した応答加速度のフーリエスペクトルを図17～22に示す。全ての仕様で標準仕様に比べシリコン仕様の方が変位を抑制できていた。築館波は標準仕様に比べシリコン仕様では層せん断力が大きくなったが、これは築館波に短周期の波が多く含まれており、その成分がシリコン仕様の試験体と共振を起こし、結果として層せん断力が大きくなったと思われる。しかし、層せん断力が增大しても短周期で振動しており、変形は大きくならないため殆ど損傷はなかったと思われる。小千谷波、浦河波では木造住宅に大きな損傷を与える1Hz付近の応答を大幅に抑えることができたと思われるが、ボルトのトルク値がやや大きすぎたためかスweep波の応答スペクトルでは変化が確認出来なかった。

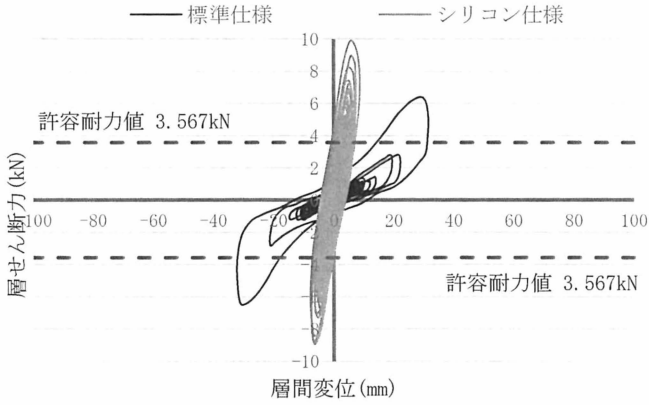


図17 築館波35%加振時の比較

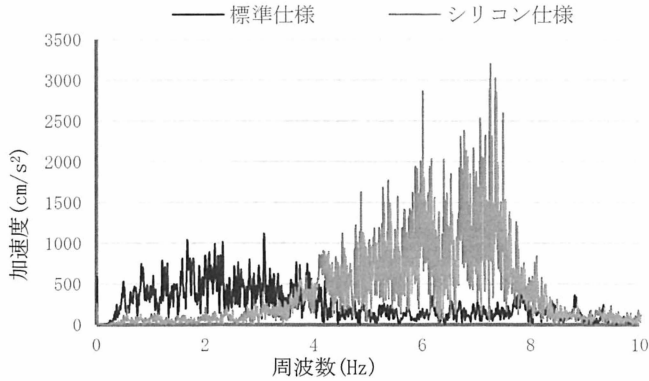


図18 築館波加振時の応答スペクトル比較

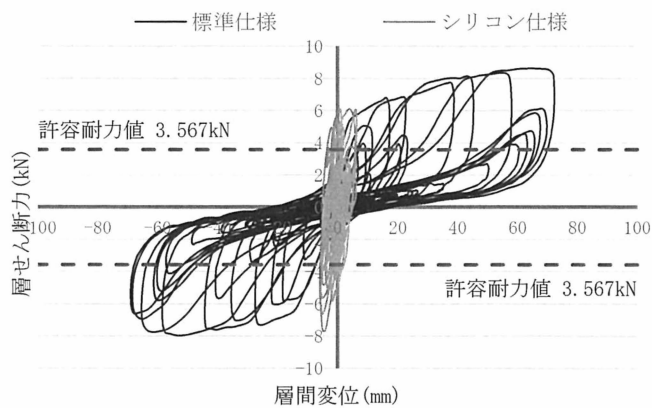


図 19 小千谷波 90%加振時の比較

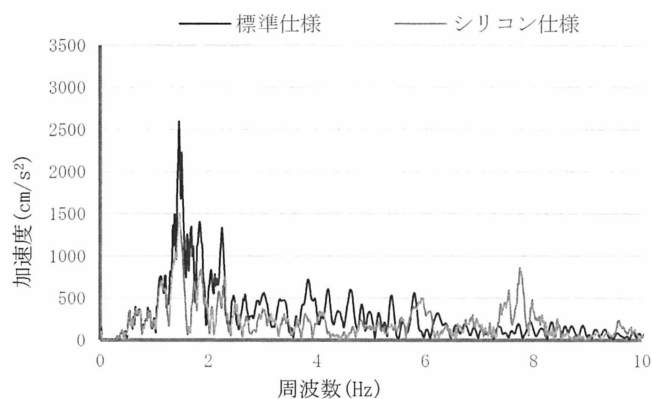


図 20 小千谷波加振時の応答スペクトル比較

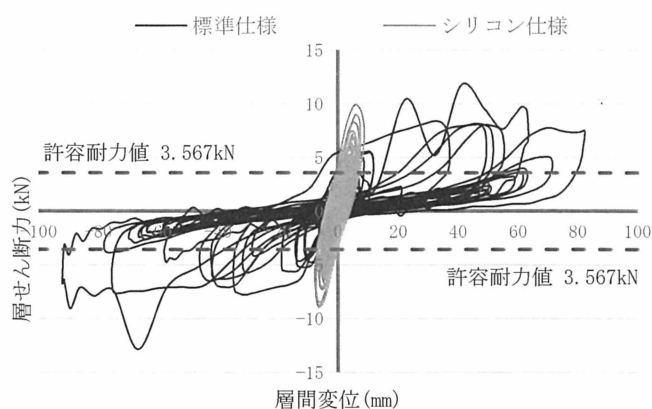


図 21 浦河 240%加振時の比較

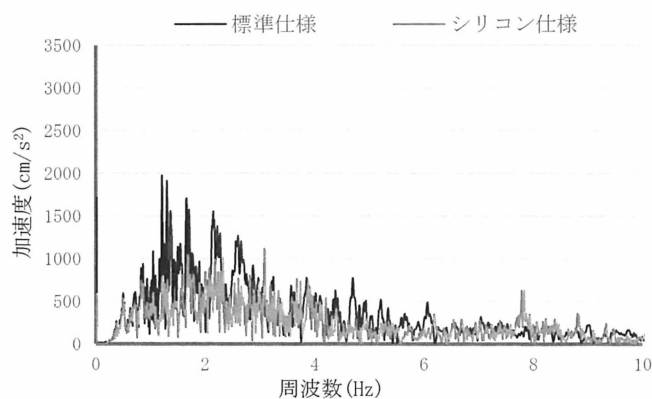


図 22 浦河波加振時の応答スペクトル比較

ゴムの仕様による比較について、実験から得られた P- δ グラフを図 23～26 に示す。両面接着ゴムを用いた試験体では制振素材が違っても結果に大きな差は見られなかった。ゴム素材による効果ではなく、接着の効果が支配的だったため、大きな差は見られなかったと考えられる。片面接着を用いた試験体では層せん断力、層間変位共に両面接着ゴムよりやや大きくなったが、標準仕様と比較すると十分な耐力劣化の抑制効果が確認できた。ゴム系の素材を用いた全試験体において許容耐力値を超える層せん断力までの加振が記録されたため、相応の劣化ダメージを与えられたと考えられる。

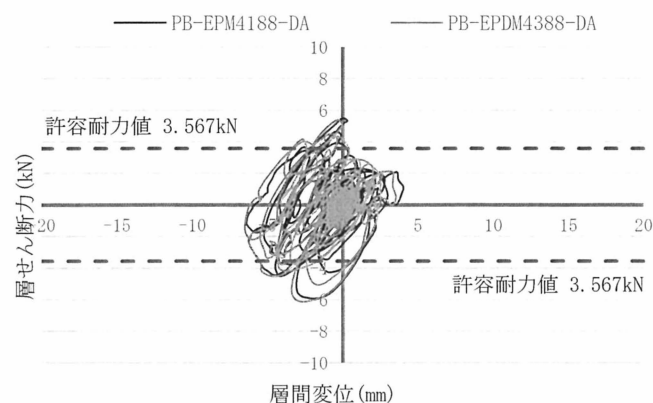


図 23 硬さの違いによる比較

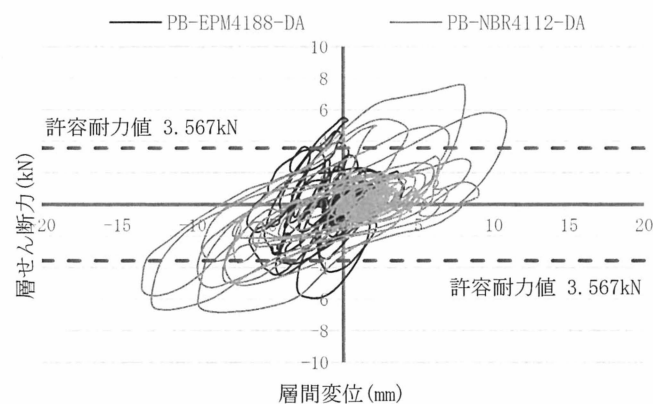


図 24 耐久性の違いによる比較

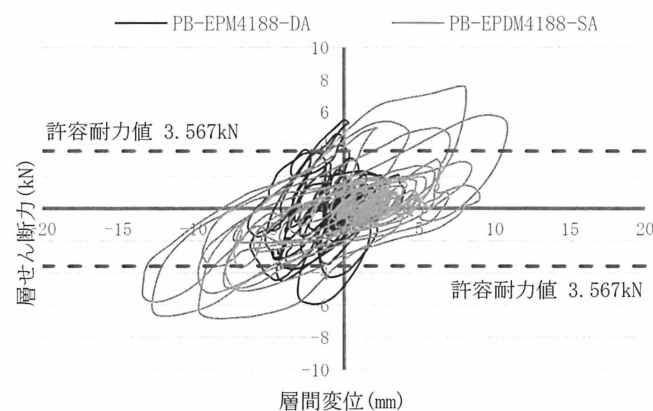


図 25 接着面の違いによる比較

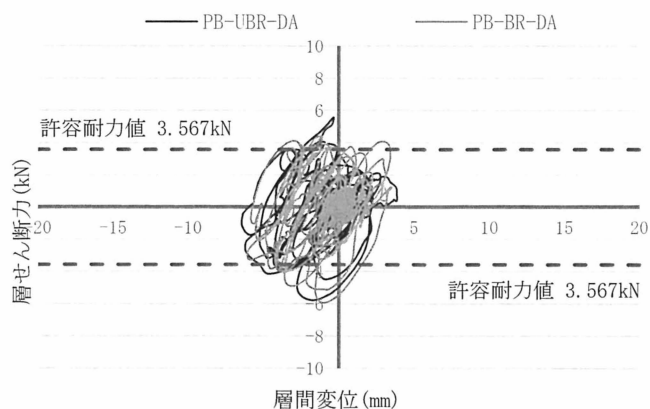


図 26 発泡ゴムと未発泡ゴムとの比較

5. 4 静加力実験結果

温度変化について、実験結果を図 27～30 に示す。全ての仕様で夏よりも冬仕様がよい結果だった。標準仕様の結果が異なるのは石膏ボード等の含水率の違いによるものと思われる。大きな違いがあるように思われるが、実際は加振力が降伏耐力付近だったために生じたわずかな差と考えられる。シリコン仕様とブチルゴム仕様ではシリコン仕様の方が大きな違いが生じている。これは、素材の温度による変化がブチルゴムよりもシリコンコーキングの方が大きいことを示している。

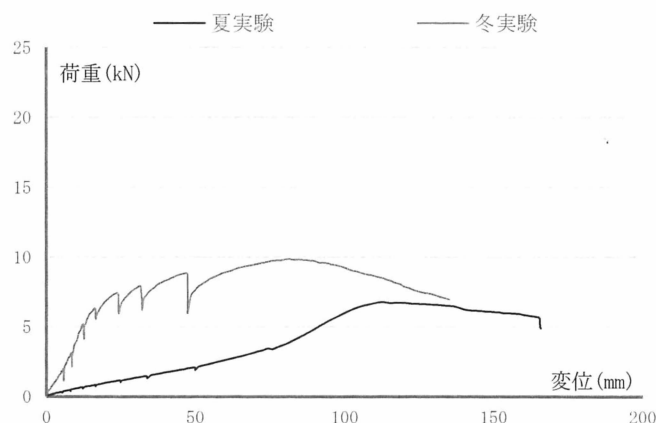


図 27 標準仕様の比較

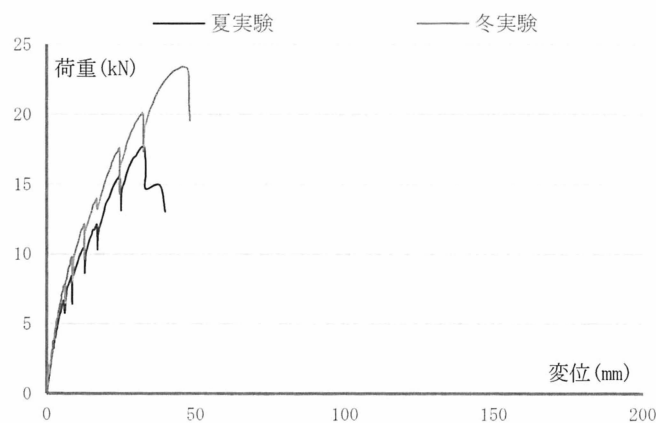


図 28 ブチルゴム仕様の比較

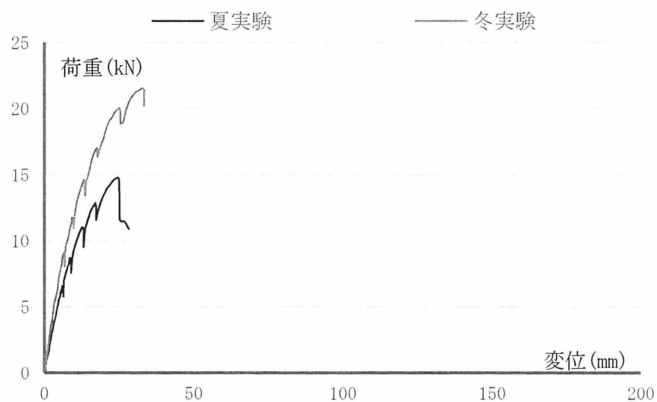


図 29 シリコン仕様の比較

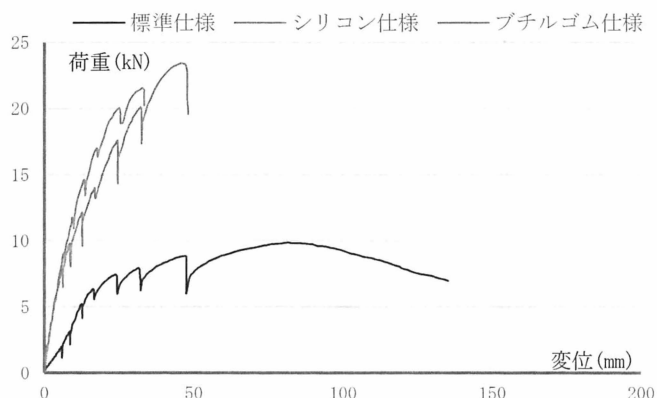


図 30 冬仕様の比較

地震波特性の違いについて、実験結果を図 31～34 に示す。全ての地震波で標準仕様よりもシリコン仕様の方が耐力劣化抑制効果が高い結果だった。シリコン仕様は各加振波を加振した後でも損傷が殆どなかったため、静加力実験の結果比較に殆ど影響しなかったと思われる。シリコン仕様の試験体では、神戸波を加振したものに比べ浦河波を加振した方が最大耐力、エネルギー吸収能力共に高い値を示した。しかし、加振後の損傷には殆ど差が無かったことから、試験体のバラつきと考えられる。また、シリコン仕様の最終破壊がビス回りでなく石膏ボード自体のせん断破壊によるものだった。これは、制振素材により面材の固定度が上昇し、石膏ボード自体のせん断強度を上回った結果と思われる。標準仕様の比較では築館波仕様のみ若干耐力を保持していた。築館波による加振では大変形が生じなかったため損傷が大きくなり、静加力実験で耐力が若干大きく出たと思われる。

ゴムの仕様による比較について、実験結果を図 35～38 に示す。ゴム系素材を用いた試験体では PB-EPM4188-SA 試験体(片面接着)の初期剛性が最も低くなった。これは振動台実験時に最大変位が 13.70mm に達したこと、でこれを超える 1/200rad. まであまり耐力を発揮しなかったためと考えられる。両面接着ゴムを用いた試験体では、PB-UBR-DA 試験体(未発泡ブチルゴム)が初期剛性は高く、エネルギー吸収能力は低い結果となった。他のゴムと比較すると未発泡ブチルゴムは硬い性質であるため、初期での抵抗が大きく、靱性が少なかったと考えられる。

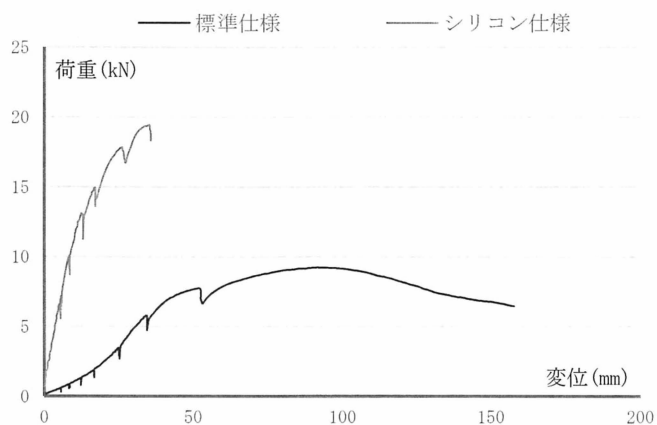


図 31 築館波仕様の比較

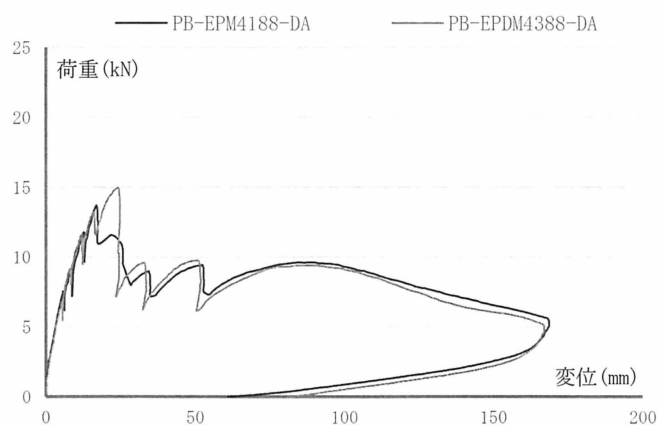


図 35 硬さによる比較

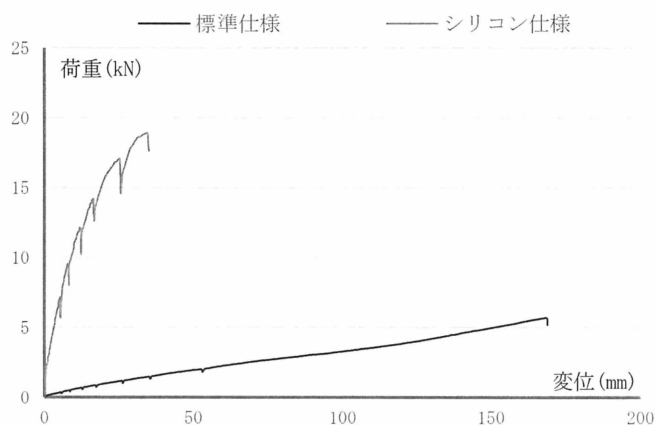


図 32 小千谷波仕様の比較

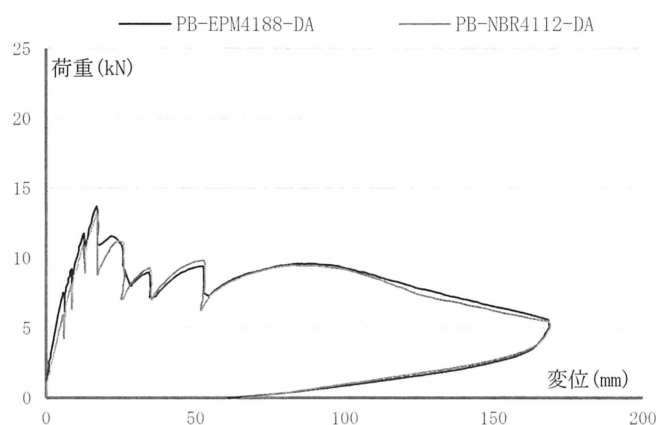


図 36 耐久性による比較

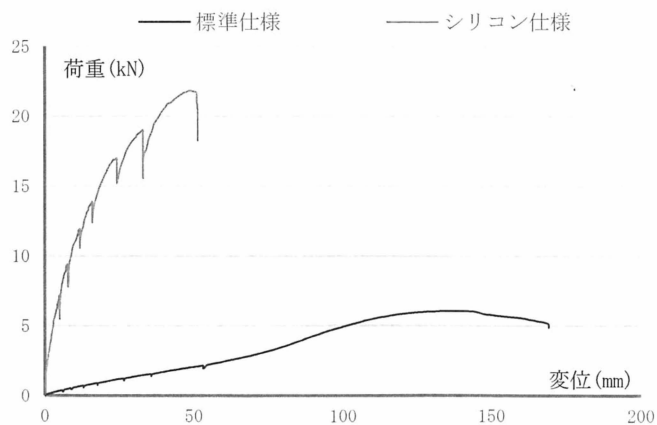


図 33 浦河波仕様の比較

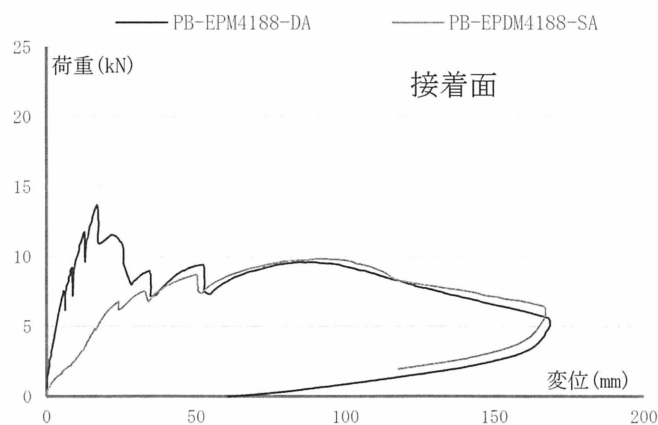


図 37 接着面による比較

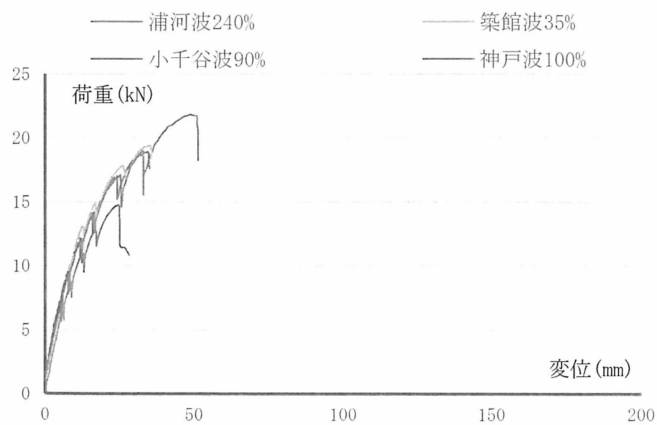


図 34 シリコン仕様の比較

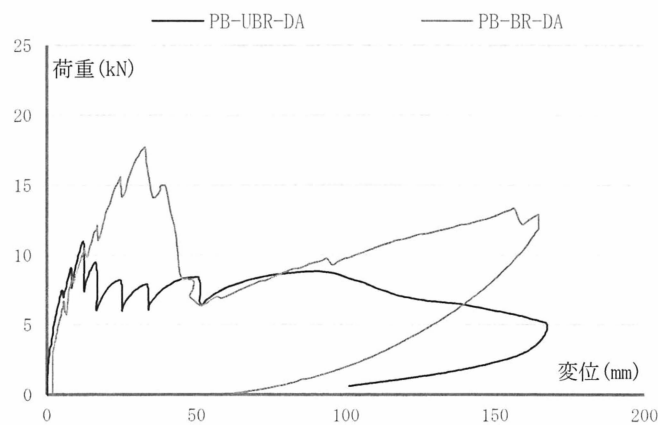


図 38 発泡による比較

5. おわりに

本研究の初年度である 2014 年度の実験から、シリコン、ブチルゴムには振動実験による耐力劣化を抑制する効果があることが確認できた。また面材は合板よりも石膏ボードの方がより大きな効果を得られることが確認できた。

2015 年度の実験から、温度による制振素材への影響は多少あるが、実用上ほぼ違いはないと考えられる。また、地震波特性の違いによる影響は短周期や長周期に関わらずシリコンコーキングを用いた耐力壁ではせん断変形を抑えることができた。

ゴムの仕様による影響については、仕様による差はそれほど大きくないことが確認できた。同一ゴム素材による片面接着は、両面接着には劣るが素材なしと比較すると十分な耐力劣化の抑制効果が見られた。効果が最も高いのはブチルゴムだが、性能面及びコスト面、施工面から考えると柔らかめのエチレン系ゴムの片面接着 (PB-EPM4188-SA) が最も実用性が高いと考えられる。

参考文献

- [1] HideyukiNasu, MasahikoItou, TakatoshiYoshida, KiyotakaTerui, HiroshiKawase: STUDY SUPPRESSION EFFECT AGAINST STRUCTURAL PERFORMANCE DEGRADATION OF WOODEN SHEAR WALLS BY USING DAMPING MATERIALS, World Conference on Timber Engineering, 2016. 8
- [2] Rika Arai, Yuichiro Matsutani, Hideyuki Nasu, Hiroshi Kawase: Study on Dumping Effect of Wooden Bearing Shear Wall, World Conference on Timber Engineering, 2014. 8
- [3] 新井里佳, 松谷雄一郎, 那須秀行: 木質耐力壁の制振効果に関する研究 その 1 小試験体と耐力壁の静加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2013. 7
- [4] 新井里佳, 伊東柁彦, 那須秀行: 木造耐力壁の制振効果に関する研究 その 2 多数回繰返し加力時の耐力劣化抑制に関する検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2014. 9
- [5] 新井里佳, 那須秀行: 木造耐力壁の制振効果に関する研究 その 3 制振素材を用いた耐力壁のせん断耐力算定式に関する検証, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015. 9
- [6] 那須秀行, 吉田貴俊, 伊東柁彦, 新井里佳, 川瀬博, 五十田博, 照井清貴: 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究その 1 試験体概要および実験概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015. 9
- [7] 那須秀行, 吉田貴俊, 伊東柁彦, 新井里佳, 川瀬博, 五十田博, 照井清貴: 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究その 2 振動台実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015. 9

[8] 那須秀行, 吉田貴俊, 伊東柁彦, 新井里佳, 川瀬博, 五十田博, 照井清貴: 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究その 3 静加力実験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2015. 9

[9] 那須秀行, 吉田貴俊, 伊東柁彦, 新井里佳, 川瀬博, 五十田博, 照井清貴: 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究その 4 素材の違いによる影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016. 8

[10] 那須秀行, 吉田貴俊, 伊東柁彦, 新井里佳, 川瀬博, 五十田博, 照井清貴: 制振素材による木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究その 5 温度の違い、地震波の違いによる影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2016. 8

[11] 伊東柁彦: 制振素材を用いた木造耐力壁の構造的な性能について, 日本工業大学大学院 工学研究科 博士前期課程, 2015 年度修士論文

[12] 柳原直也: 制振素材を用いた木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究-制振素材の違いによる耐力劣化抑制効果について-, 日本工業大学工学部, 2015 年度卒業論文

[13] 吉田貴俊: 制振素材を用いた木造住宅の耐力劣化抑制に関する研究-大地震を想定した振動台実験及び静加力実験-, 日本工業大学工学部, 2014 年度卒業論文

[14] 伊東柁彦: 交通振動が木造耐力壁に及ぼす影響について, 日本工業大学工学部, 2013 年度卒業論文

[15] 杉山英男: 木質構造 第 4 版, 共立出版株式会社, 2008. 4

[16] 財団法人 日本住宅・木材技術センター: 木造軸組工法住宅の許容応力度設計, 財団法人 日本住宅・木材技術センター, 2008

謝辞

振動台実験は京都大学防災研究所 一般共同研究 26G-10 により行いました。

静加力実験は京大大学生存圏研究所 木質材料実験棟 共同利用研究 26WM-15, 27WM-18 により行いました。

京都大学防災研究所の山崎 友也様、岡田 達司様、川崎 慎吾様、中川 潤様を初めとした防災研究所の皆様には実験を行うにあたり、振動実験のアドバイスや準備等、振動実験に関する広い範囲でのご協力をいただきましたこと、ここに深く感謝の意を示します。

京大大学生存圏研究所の北守 顕久様、森 拓郎様、堀本 尚弘様をはじめとした生存圏研究所の皆様には、静加力実験を行うにあたり、実験準備やスケジュールの調整等のご助力をいただきました。また、試験体の廃棄等広い範囲でのご協力をいただきましたこと、ここに深く感謝の意を示します。