繊維系断熱材による外張断熱を 施す面材耐力壁の構造耐力向上 のための実験的検討

EXPERIMENTAL STUDY ON SEISMIC PERFORMANCE OF WOODEN FRAME BEARING WALL WITH STRUCTURAL BOARD APPLIED FIBER MATERIAL EXTERNAL INSULATION

平川秀樹 ——— * 1 植松武是 ——— * 2

Hideki HIRAKAWA ——— * 1 Takeyoshi UEMATSU — * 2

キーワード：

木造軸組構法, 構造用面材, 外張断熱工法, 繊維系断熱材, 耐震改修, 断熱改修

Keywords:

Wooden frame structure, Structural board, External insulation system, Fiber material insulation, Seismic retrofit, Thermal insulation retrofit

In the previous paper, we presented a mechanism to improve the seismic performance of external thermal insulation wall with cellular plastic foam for wooden houses. In this paper, we present the test results of the wall with fiber insulation instead of the cellular plastic foam. The external thermal insulation wall with fiber insulation usually have furring strips for the exterior, because fiber material does not have compressive strength to keep the exterior on it. We propose some installation patterns of furring strips, and the test results describe the vertical strips bring more toughness for the wall than the horizontal strips.

1. はじめに

木造住宅外壁の付加断熱工法は、図1(a)及び(b)に示すように、柱・間柱間に施工する充填断熱のみでは熱貫流率基準値等に対して断熱厚が不足する場合に、その不足分を軸組の外側に施す外張断熱で補う断熱工法である。北海道においては、昭和55年住宅の省エネルギー基準が施行された当時から、三寸五分の軸組が一般的であった外壁の熱貫流率基準値を、図1(c)に示すような100mm程度の充填断熱のみでは満足することが難しかったことから付加断熱工法の普及が進み、現在では一般的な断熱工法の一つ¹⁾となっている。

著者らは、北海道内の既存及び新築木造住宅の耐震化及び省エネルギー化の推進に寄与することを目的とし、各種実験や工法の開発等を行ってきた²⁻⁶⁾。既報⁷⁾では発泡プラスチック断熱材を外張断熱に用いた面材耐力壁(図1(a))を対象とし、特別な材料や高度な施工技術に頼ること無く、耐震性能と断熱性能の両水準を同時に高める技術を提案し、実用化を図った⁸⁾。本報では繊維系断熱材を外張断熱に用いる場合(図1(b))を想定し、面材耐力壁の構造性能を向上させ

るために検討した仕様と、それらの構造性能を把握するために実施した実験結果について報告する。

2. 構造仕様のバリエーションと構造および熱性能上の特徴

既報⁷⁾において示した外張断熱面材耐力壁の耐力発現機構の一つに、縦通気胴縁と構造用面材の間に介在する発泡プラスチック断熱材による構造用面材の面外変形の抑制効果があるが、繊維系断熱材には構造用面材の面外変形を抑制するほどの圧縮強さを期待できない。このため本報では、通気胴縁の下地となる胴縁によって直接、構造用面材の面外変形を抑制する仕様を検討した。

本報において検討した外張断熱耐力壁の試験体の、下地胴縁の仕様を表1に一括して掲げる。縦下地胴縁間隔を910mmとした仕様がType A、同間隔を1,820mmとした仕様がType Bであり、外張断熱厚さは両Type共に45mmと105mmの2仕様を考えた。Type AとType Bの水平断面図をそれぞれ図2、3に示す。横下地胴縁の間隔は910mm(構造用面材長手寸法2,730mmの三分割)、682.5mm(同四分

(a) 発泡プラスチック断熱材を用いた付加断熱工法 (b) 繊維系断熱材を用いた付加断熱工法 (c) 充填断熱工法

図1 付加断熱工法の外壁と充填断熱工法の外壁

¹⁾ アーキインネクト合同会社 博士(工学)
(〒064-0807 札幌市中央区南7条西1丁目)
²⁾ 北海学園大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

¹⁾ ArchiInnext LLC, Dr. Eng.

²⁾ Prof., Dept. of Architecture and Building Engineering, Faculty of Engineering, Hokkai-Gakuen Univ., Dr. Eng.

割), 455mm (同六分割) の3仕様とした。各 Type の下地胴縁の配置図をそれぞれ図4, 5に示す (Type B は三分割のみ例示)。

構造用面材の面外変形を抑制する縦横の下地胴縁を増すことで構造性能の向上が期待できる反面, 施工手間は増えることになる。Type B は, Type A よりも構造性能は期待できないが, 施工手間は軽減できる上, 図6に示すような熱橋部分が, 外張断熱厚さ 45mm の場合は25%ほど減少するので熱性能的にも有利となる。

3. 構造性能の確認実験

前章で示した下地胴縁構成を有する面材耐力壁の構造耐力を, 実大試験により, それぞれ確認した。各試験体の試験体名と部材構成は表1と図2~5に示した通りである。

3.1 試験体の概要と壁耐力試験方法

壁耐力試験体の仕様材料を表2に掲げる。縦下地胴縁は, 長さ90mm の木ねじを用い, 構造用面材の上から柱部分へ留め付けた。そ

表1 下地胴縁の構成一覧

Type	縦下地胴縁		横下地胴縁		試験体名
	間隔 (mm)	幅×厚 (mm)	間隔 (mm)	幅×厚 (mm)	
A	910	105×45	910 (三分割)	45×45	A3-45-450
				45×105	A3-45-300
			682.5 (四分割)	45×45	A4-45-450
				45×105	A4-105-450
			455 (六分割)	45×45	A6-45-300
B	1,820	105×45	910 (三分割)	45×45	B3-45-450
				45×105	B3-105-450
			682.5 (四分割)	45×45	B4-45-450
				45×105	B4-105-450

〔備考〕 1) 試験体は全て縦胴縁勝ち。2) 縦下地胴縁は柱位置に配置。3) 試験体名の凡例は以下の通り。

横下地胴縁間隔
3: 三分割
4: 四分割
6: 六分割

外張断熱厚
Type A 3 45 450
Type B 45 450

縦下地胴縁留付材 (木ねじ) 間隔

(a) 外張断熱厚 45mm

(b) 外張断熱厚 105mm

図2 Type A の水平断面図

(a) 外張断熱厚 45mm

(b) 外張断熱厚 105mm

図3 Type B の水平断面図

(a) 横下地胴縁間隔 910mm (三分割)

(b) 横下地胴縁間隔 682.5mm (四分割)

(c) 横下地胴縁間隔 455mm (六分割)

図4 Type A の下地胴縁の配置

図5 Type B の下地胴縁の配置
横下地胴縁間隔 910mm (三分割)

① 外張断熱厚 45mm ② 外張断熱厚 105mm ① 外張断熱厚 45mm ② 外張断熱厚 105mm

(a) Type A

(b) Type B

図6 熱橋となる部分 (赤で示した部分)

表2 壁耐力試験体の使用材料一覧

部材・部位	仕 様
梁	とどまつ:180×2, 620×105mm
柱	とどまつ:2,625×105×105mm
間柱	とどまつ:2,625×30×105mm
土台	とどまつ:2,620×105×105mm
仕口	短ぼぞ差し
仕口補強金物	VP (Z マーク山形プレート), 留付:ZN90
構造用面材	針葉樹合板: JAS 特類 2 級 C-D 2,730×910×9mm 接合具: CN50@150
縦下地胴縁	とどまつ 幅 105×厚 45mm
横下地胴縁	とどまつ ①外張断熱厚 45mm の試験体: 幅 45×厚 45mm ②外張断熱厚 105mm の試験体: 幅 45×厚 105mm
下地胴縁接合具	①縦下地胴縁 ・木ねじ(長さ 90mm)* ②横下地胴縁 a) 柱・間柱部 ・外張断熱厚 45mm の試験体: 木ねじ(長さ 90mm)* ・外張断熱厚 105mm の試験体: 木ねじ(長さ 185mm)* b) 一般部 ・壁内側から構造用面材を介して釘打ち(CN50@150)

〔備考〕 1) 軸組み材・胴縁材の含水率: 平均 10.1%(5.7~13.1%)
2) 針葉樹合板の含水率: 平均 7.2%(6.5~8.3%)
3) *東日本パワーファスニング社(当時)製「パネリド II (呼び径 6mm)」

の留付間隔は 450mm と 300mm の 2 水準を設定した。横下地胴縁は、外張断熱厚さに応じた長さの木ねじ(表 2 参照)を用いて柱・間柱材(端部は横架材)へ留め付け、さらに一般部は、構造用面材側から CN50 釘を用いて補強した。試験体数は各 1 体である。

比較用試験体である、発泡プラスチック断熱材 (EPS16kg 品) を外張断熱に用いた試験体 (試験体名「EPS16」) の概要と水平断面図を図 7 及び図 8 に、使用材料を表 3 に示す。この試験体 EPS16 は、発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱面材耐力壁の住宅等防災技術評価⁸⁾の取得時に、その構造性能を定めるために用いた試験体である。

壁耐力の試験方法は既報⁷⁾と同様であり、(財) 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 (2008 年版)」に示される「6.3 鉛直構面及び水平構面の剛性と許容せん断耐力を算定するための試験」に準拠したタイロッド式の面内せん断試験⁹⁾とした。

3.2 実験結果と考察

加力実験結果より算出した構造性能指標値を表 4 に一括して掲げる。同表には、比較用として、先述の試験体 EPS16 と、既報⁷⁾で示した構造用面材のみの耐力壁 (試験体名「NA」) の構造性能指標値も併せて示した。

(1) 横下地胴縁間隔と縦下地胴縁の固定度の影響

試験体 A3_45_450 と A3_45_300 (いずれも横下地胴縁間隔 910mm)、および A6_45_300 (同 455mm) の加力実験から得た骨格曲線を図 9 (a)に、試験体 NA を基準とした各構造性能指標値の比率を図 9 (b)に示す。縦下地胴縁の木ねじの留付間隔が 300mm である試験体 (A3_45_300 と A6_45_300) においては横下地胴縁の仕様の違いによる影響は小さかったが、同留付間隔が 450mm (A3_45_450) になることによって全ての構造性能指標値は低下したことから、Type A と類似する試験体の構造性能においては、縦下地胴縁の柱への固定度の方が、横下地胴縁よりも支配的であると判断できる。

図7 試験体 EPS16 の概要

図8 試験体 EPS16 の水平断面図

表3 試験体 EPS16 の使用材料一覧

部材・部位	仕 様
外張断熱材	試験用に製造した密度 16kg/m ³ のビーズ法ポリスチレンフォーム (EPS16kg 品) 厚さ: 50mm
横下地胴縁	とどまつ 幅 45×厚 50mm
縦通気胴縁	とどまつ 柱部: 幅 90×厚 18mm 間柱部: 幅 45×厚 18mm
横下地胴縁及び縦通気胴縁留付材	外張断熱用木ねじ 長さ 120mm 留付間隔: 縦通気胴縁@300, 横下地胴縁@455

〔備考〕 その他の使用材料は表 2 と同様。

表4 各試験体の構造性能指標値一覧

試験体名	Py	Pu(0.2/Ds)	2/3×Pmax	P _{1/150}	γ _{Pu}
A3-45-450	11.5	11.6	12.3	16.9	0.067
A3-45-300	16.0	11.3	17.7	21.9	0.053
A3-105-450	10.4	10.2	10.9	12.4	0.067
A4-45-450	12.0	12.1	12.4	17.0	0.067
A4-105-450	11.0	11.9	12.1	14.8	0.067
A6-45-300	15.2	15.0	16.9	20.1	0.067
B3-45-450	10.5	9.1	9.4	14.0	0.067
B3-105-450	10.5	10.0	10.1	12.0	0.067
B4-45-450	9.8	10.5	10.1	14.4	0.067
B4-105-450	10.2	9.8	10.8	14.5	0.067
EPS16	10.3	10.9	11.5	10.4	0.067
NA	4.3	5.3	4.8	6.3	0.030

〔備考〕 1) 単位: γ_{Pu} は rad, その他は kN/m

2) Py : 降伏荷重

3) Pu : 終局耐力

4) Ds : 構造特性係数

5) Pmax : 最大荷重

6) P_{1/150} : 真のせん断変形角 1/150rad に対応する荷重。

7) γ_{Pu} : Pu 時の真のせん断変形角 (終局変形角)。0, 067 rad は 1/15 rad と同等。

8) EPS16 の各値は 3 体の平均値, NA は同 2 体の平均値, その他は 1 体の値。

(2) 外張断熱厚さ 45mm 時の横下地胴縁間隔と縦下地胴縁間隔の影響

外張断熱厚さが 45mm, かつ、縦下地胴縁の木ねじの留付間隔が 450mm である試験体 (A3_45_450, A4_45_450, B3_45_450, B4_45_450) の加力実験結果から得た骨格曲線を図 10 (a)に、試験体 NA を基準とした各構造性能指標値の比率を図 10 (b)に示す。縦下地胴縁間隔が 910mm である Type A においては、横下地胴縁の仕様の違いによる影響はほとんど無かった。縦下地胴縁間隔が 1,820mm である Type

(a) 骨格曲線の比較（凡例は下図に同じ）

(b) NAを基準とした各構造性能指標値の比率
図9 横下地胴縁間隔と縦下地胴縁留付材
間隔の影響

(a) 骨格曲線の比較（凡例は下図に同じ）

(b) NAを基準とした各構造性能指標値の比率
図10 外張断熱厚さ45mm時の縦下地胴
縁間隔の影響

(a) 骨格曲線の比較（凡例は下図に同じ）

(b) NAを基準とした各構造性能指標値の比率
図11 外張断熱厚さ105mm時の縦下地胴
縁間隔の影響

Bにおいては、試験体の変形が進むのに従い、B3_45_450の方が、B4_45_450よりも構造耐力の低下が大きくなる傾向が見られるが、縦下地胴縁の少ないType Bの方が横下地胴縁の影響を受けやすいことによると考えられる。これらの結果は、縦下地胴縁の固定度の方が支配的であるとした(1)における考察と整合する。写真1に、Type A試験体を代表してA4_45_450の試験終了時の状況を示す。いずれのType A試験体においても、下地胴縁の剥離・剥落は生じず、躯体への固定度は確保されたままであった。写真2に、Type B試験体を代表してB3_45_450の試験終了時の状況を示す。試験体中央柱部分の構造用面材が面外へ変形しており、これがType B試験体の方がType A試験体よりも構造性能が劣る傾向を示す主要因と考える。

(3) 外張断熱厚さ105mm時の横下地胴縁間隔と縦下地胴縁間隔の影響

外張断熱厚さが105mm、かつ、縦下地胴縁を留付ける木ねじの間隔が450mmである試験体(A3_105_450, A4_105_450, B3_105_450, B4_105_450)の加力実験結果から得た骨格曲線を図11(a)に、試験体NAを基準とした各構造性能指標値の比率を図11(b)に示す。Type A、Type Bともに、(2)の結果と概ね同様の傾向を示したが、それらの仕様の違いによる構造性能の差は、(2)の時ほど顕著に表れなかった。これは、横下地胴縁厚さが105mmになったことにより曲げ剛性が増したことや、それを留め付ける木ねじの埋め込み長さが35mm増えたことなどの影響と考えられるが、さらに試験体数を増やしての考察が必要となる。

(4) 発泡プラスチック断熱材(EPS16kg品)を外張断熱に用いた面材耐力壁との比較

図9～11には、試験体EPS16の骨格曲線や構造性能指標値を併記してあるが、そのEPS16と、Type A及びType Bの構造性能を比較

写真1 A4_45_450の試験終了時の状況
(真のせん断変形角：1/9)

写真2 B3_45_450の試験終了時の状況
(真のせん断変形角：1/9)

する。Type B においては EPS16 より若干性能が劣る傾向が見られるが、Type A においては EPS16 と同等以上の性能確保が見込めること、更には縦下地胴縁の留め付け間隔を 300mm とすることで、EPS16 を上回る構造性能を見込めることが確認できた。

4. まとめ

繊維系断熱材を外張断熱に用いる場合に設けられる縦通気胴縁の下地胴縁を活用した面材耐力壁の仕様の検討と、それらの構造性能を把握するための実験を行った。その結果を以下にまとめる。

- 1) 縦下地胴縁を構造用面材の上から直に柱材等へ留め付けることで、構造性能が向上することが確認できた。
- 2) 検討した仕様においては、横下地胴縁の構造性能に与える影響は小さく、縦下地胴縁の固定度の方が支配的であった。
- 3) 検討した仕様においては、縦下地胴縁を留付ける木ねじの留付間隔を 450mm とすることで、住宅等防災技術評価⁹⁾を取得した発泡プラスチック断熱材を用いた外張断熱面材耐力壁と同等程度の、同留付間隔を 300mm とすることで、それを上回る構造性能を確保できると考えられる。

本報で示した下地仕様とすることで、面材耐力壁を構造要素とする木造住宅の構造性能の向上を図ることが可能となるが、比較的大きな構造性能が得られることから、実際の施工においては、その性能に見合った柱脚などの接合部の補強は必須となる。また、設計あるいは性能評価に対応するためには試験体数を増やし、信頼性を検証することが課題となる。

謝辞

本研究は、(地独)北海道立総合研究機構建築研究本部北方建築総合研究、発泡プラスチック外張断熱協会(当時)、ガラス繊維協会、ロックウール工業会、NPO 法人住宅外装テクニカルセンター、日本金属サイディング工業会、若井ホールディング株式会社(当時:若井産業株式会社)、シネジック株式会社(当時:東日本パワーファスニング株式会社)の共同研究成果の一つである。また、実験に際しては北海道科学大学千葉隆弘研究室の協力を得た。ご協力頂いた関係各位に心から謝意を表す。

参考文献

- 1) 一般社団法人北海道建築技術協会: 北方型住宅の熱環境計画 2010 年版, 2010.1
- 2) 植松武是, 平川秀樹, 千葉隆弘, 片山大輔, 佐々木智和, 苔米地司, 平井卓郎, 戸田正彦, 野田康信: 外張断熱による面材耐力壁の耐震改修効果, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 構造Ⅲ, pp.299-300, 2009.8
- 3) 植松武是, 鎌田 紀彦, 片山大輔, 佐々木智和, 千葉隆弘: 外張り付加断熱耐力壁の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集(北陸), pp.321-322, 2010.9
- 4) 渡部大地, 植松武是, 千葉隆弘, 苔米地司: 外張り断熱耐力壁による木造住宅の耐震補強効果に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.467-468, 2011.8
- 5) 植松武是, 片山大輔, 佐々木智和, 千葉隆弘, 平川秀樹, 苔米地司: 横胴縁仕様の外張断熱耐力壁の開発, 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), 構造Ⅲ, pp.43-44, 2011.8
- 6) 植松武是, 中村拓郎, 平川秀樹, 千葉隆弘: 横胴縁を併用した発泡プラスチック断熱材による外張断熱時の面材耐力壁の構造耐力, 日本建築学会大

会学術講演梗概集(北海道), 構造Ⅲ, pp.261-262, 2013.8

- 7) 平川秀樹, 植松武是: 発泡プラスチック外張断熱を施した面材耐力壁の構造耐力に関する実験的検討, 日本建築学会技術報告集, 第 62 巻, 第 62 号, pp.115~118, 2020.2.
- 8) 一般財団法人日本建築防災協会住宅等防災技術評価制度: 構造用合板と発泡プラスチック断熱材を用いた耐震改修工法(申請者:一般社団法人発泡プラスチック建築技術協会), 評価番号 DPA-住技-74, 2018.12.3
- 9) 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 2008 年版, 2008.12

[2019 年 10 月 1 日原稿受理 2019 年 11 月 27 日採用決定]