

タイトル	木造住宅の耐震性能と断熱性能を同時に向上させるための耐力壁の開発：発泡プラスチック断熱材を活用した外張断熱面材耐力壁
著者	植松，武是；Uematsu, Takeyoshi
引用	工学研究：北海学園大学大学院工学研究科紀要(19): 23-28
発行日	2019-09-30

木造住宅の耐震性能と断熱性能を同時に 向上させるための耐力壁の開発 —— 発泡プラスチック断熱材を活用した 外張断熱面材耐力壁 ——

植松 武 是*

Development of load-bearing walls to improve simultaneously the seismic performance
and thermal insulation performance of wooden houses
— Plywood Bearing Wall with Foamed Plastic Outer Insulation Board —

Takeyoshi Uematsu*

1. はじめに

平成 25 年の住宅・土地統計調査¹⁾によると、平成 21 年以降に耐震診断が行われた木造住宅（約 150 万戸）の内、所要の耐震性が確保されていなかった木造住宅の割合は約 22% に上り、昭和 55 年以前に建設されたものの半数以上は耐震性が不十分であったとされている。断熱性能に関しては、昭和 55 年に住宅の省エネルギー基準²⁾（以降、その施行年により「昭和 55 年省エネ基準」等と略記）が施行され、我が国最初の全国的な断熱基準が示されたが、その断熱水準は、外皮平均熱貫流率基準値で比べると、現行基準である平成 28 年省エネ基準の半分程度³⁾であり、昭和 55 年以前に建設されたものについては、耐震性以上に不十分な住宅が多いと考えられる。これらの現状を鑑みて、著者らは、特別な材料や高度な施工技術に頼ること無く、既存木造住宅の耐震性能と断熱性能の両水準を同時に高めるためのいくつかの技術開発に取り組んできた^{4)~8)}。

北海道では、構造用面材仕様の耐力壁と発泡プラスチック断熱材を用いた付加断熱工法が普及している^{9) 10)}。本報では、北海道において普及率の高い両仕様を併用した耐力壁（以降、「外張断熱面材耐力壁」）の断面構成に着眼し、外張断熱部が面材耐力壁の構造耐力の向上に寄与する可能性があると考え、その耐力発現のメカニズムの検証と、

当該部分が面材耐力壁の構造性能に与える影響を把握するために実施した実験結果を報告する。

2. 外張断熱面材耐力壁の概要と構造耐力の発現機構

充填断熱工法とは主にグラスウール等の繊維系断熱材を柱・間柱間に充填する断熱工法であり、外張断熱工法とは柱・間柱等の外壁躯体の外側に断熱層を形成する断熱工法である。両断熱工法を組み合わせたものが付加断熱工法であり、その断面構成は図 1 のようになる。北海道においては、昭和 55 年省エネ基準施行当時から、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、主にグラスウール断熱材による充填断熱のみで満足することが難しかった¹¹⁾ ことから、その基準値に対する不足分を、発泡プラスチック断熱材等を用いた外張断熱で補う付加断熱工法が普及した。現在では、ZEH¹²⁾ への対応等、さらなる高断熱化が求められるようになった背景もあり、付加断熱工法は、木造住宅外壁の高断熱化を図る一般的な断熱技術¹⁰⁾ のひとつとして、広く実施されるようになっている。

発泡プラスチック断熱材を面材耐力壁に外張りする場合は、同図のように、柱・間柱及び横架材に釘で留め付けられた構造用面材の上に、外張断熱材の厚さに応じた長さの外張断熱用木ねじを用

* 北海学園大学大学院工学研究科建設工学専攻（建築系）

Graduate School of Engineering (Architecture and Building Eng.), Hokkai-Gakuen University

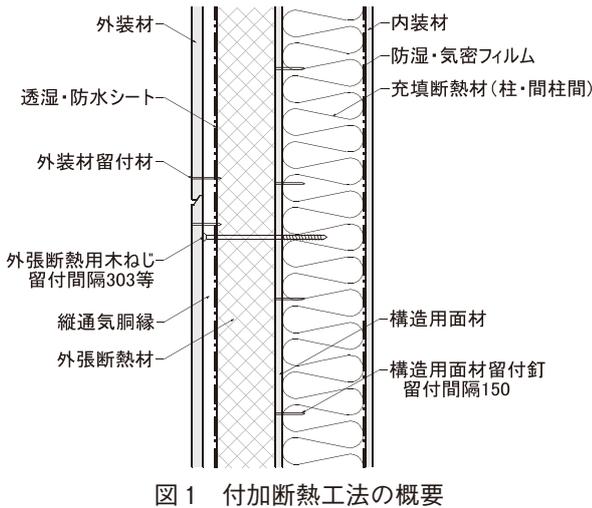


図1 付加断熱工法の概要

いて、外張断熱材と通気胴縁とを柱・間柱等へ留め付ける施工が一般的である。このような構成となる面材耐力壁には、①構造用面材を貫通する外張断熱用木ねじのダウエル効果と、②構造用面材に接する発泡プラスチック断熱材の圧縮応力による構造用面材の面外変形の抑制とによって、外張断熱を施さない面材耐力壁よりも高い構造性能を発揮させることができると考える。なお、上文では説明を省略したが、実際の施工においては、断熱材通気層側の透湿防水シートや室内側の防湿気密フィルム等は適宜設ける必要がある¹⁰⁾。

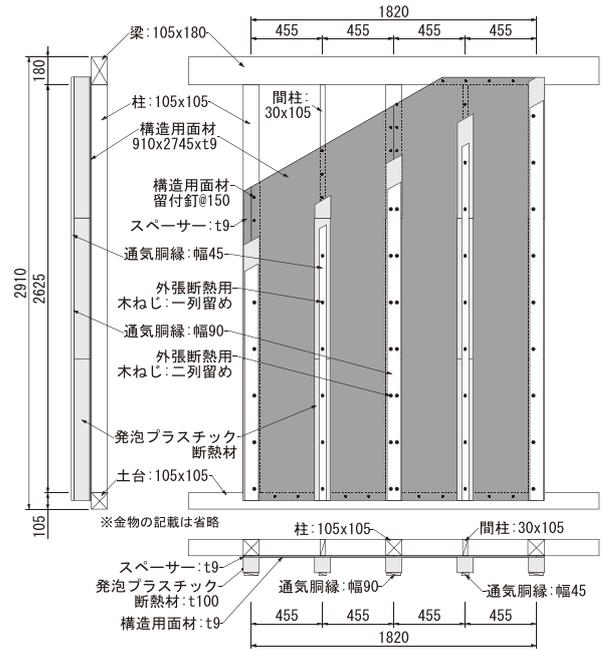


図2 試験体の概要

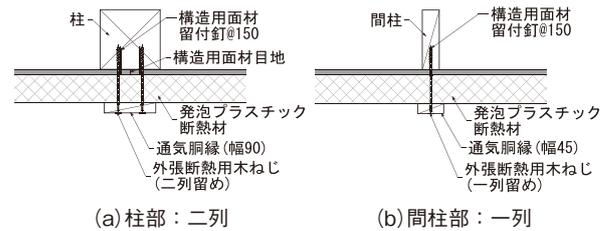


図3 外張断熱用木ねじの配列

3. 外張断熱による構造耐力向上のメカニズム・効果の実験的検証

外張断熱による構造耐力向上のメカニズムとその効果を検証することを目的とし、実大の面材耐力壁の加力実験を実施した。

3.1 壁試験体の仕様と壁耐力試験方法

図2に壁試験体の概要を示す。試験体フレームは在来軸組構造であり、通常、外張断熱材は外壁一面に施工されるが、ここでは構造用面材の変形状況も確認するため、木ねじにより固定される縦通気胴縁部だけに断熱材を施工した。また、構造用面材の縦目地となる柱部では、隣接する両方の構造用面材の縁を外張断熱材と縦通気胴縁とを留め付ける外張断熱用木ねじが貫通するように、幅90mmの縦通気胴縁を用いて木ねじを2列に配置した。柱部及び間柱部の外張断熱用木ねじの配列を図3に示す。

試験体の一覧を表1に掲げる。試験体 A450, A300, A250（以降、一括して「A シリーズ」）は図2と図3に示した仕様の外張断熱面材耐力壁であり、外張断熱材と縦通気胴縁とを躯体へ留め付ける木ねじの留付け間隔が実験パラメーターとなっている。この木ねじの留付け間隔は、150mm モジュールとなる構造用面材用留付け釘の中間付近に木ねじが配置されるように450mm, 300mmとした場合と、より密にした場合の250mmを設定した。

試験体 V450 は、外張断熱材が配置されていないこと以外は試験体 A450 と同じ仕様であり、構造用面材と縦通気胴縁の間に発泡プラスチック断熱材は無く、縦通気胴縁を躯体へ固定する外張断熱用木ねじは構造用面材を貫通しているが、構造用面材用留付け釘以外は構造用面材の面外への変形を拘束しない仕様となっている。

試験体 NA は外張断熱を施さない一般的な面材耐力壁である。

表 1 壁試験体一覧

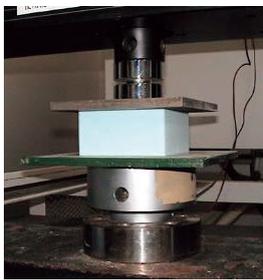
試験体名	木ねじ留付間隔	外張断熱材	備考
A450	450mm	有り	図 2、図 3 の仕様
A300	300mm		
A250	250mm		
V450	450mm	無し	図 2、図 3 の仕様から外張断熱材を撤去
NA	—		

〔備考〕 1) 試験体名の数値は外張断熱用木ねじの留付間隔(mm)。
 2) 外張断熱厚さ：100mm
 3) 試験体数：各仕様 2体。

表 2 壁耐力試験体の使用材料一覧

部材・部位	仕 様
梁	樹種：とどまつ、寸法：180×2,620×105mm
柱	樹種：とどまつ、寸法：2,625×105×105mm
間柱	樹種：とどまつ、寸法：2,625×30×105mm
土台	樹種：とどまつ、寸法：2,620×105×105mm
仕口	短ほぞ差し
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	OSB : JAS 4 級 カナダ 2,745×910×9mm 接合具 : CNS50@150
外張断熱材	押出法ポリスチレンフォーム保温板 3 種 b (XPS) JIS A 9511 「発泡プラスチック断熱材」 適合品
縦通気胴縁	樹種：とどまつ 柱部：幅 90×厚さ 18mm、間柱部：幅 45×厚さ 18mm
外張断熱用木ねじ	呼び径：6mm、長さ：185mm

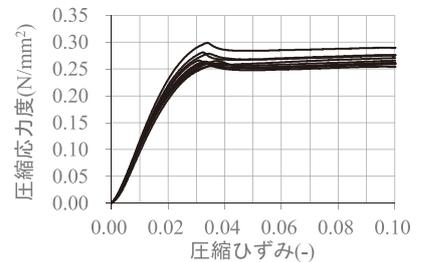
〔備考〕 1) 軸組み材の含水率：平均 11.5%(7.2~14.2%)
 2) OSB の含水率：平均 7.7%(6.5~9.9%)



(a) 試験方法

【各種条件】

- 試験方法 : JIS A 9511 「発泡プラスチック断熱材」 準拠
- 試験速度 : 10mm/分
- 試験体寸法 : 厚50×幅100×長100mm
- 試験体数 : 10体
- 圧縮強さ : JIS A 9511 より、圧縮ひずみが0.1のときの圧縮応力度の平均値を採用
- ヤング係数 : 降伏前の圧縮応力度-ひずみ曲線から得たヤング係数の平均値を採用



(b) 圧縮応力度-ひずみ曲線

図 4 発泡プラスチック断熱材の圧縮試験方法と圧縮応力度-ひずみ曲線

各試験体の使用材料の一覧を表 2 に一括する。試験に使用した発泡プラスチック断熱材は JIS A 9511 「発泡プラスチック断熱材」 適合品であり、外張断熱工法等、住宅用断熱材として一般的に使用されているものである。使用した発泡プラスチック断熱材の圧縮特性を圧縮試験により確認したところ、圧縮強さは 0.26 N/mm²、ヤング係数は 11.5 N/mm²であった。発泡プラスチック断熱材の圧縮試験の状況と圧縮試験時の圧縮応力度-ひずみ曲線とを図 4 に示す。

壁耐力の試験方法は、(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)」に示されている「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¹³⁾とし、壁の回転による耐力壁脚部の浮き上がりを抑えながら正負交番繰り返し加力を行い、最終的には真のせん断変形角が 1/9 に達するまで正方向に加力した。実験方法の概要を図 5 に示す。試験体寸法は横架材間距離 2,625 mm、柱間隔 910 mm の 2P である。

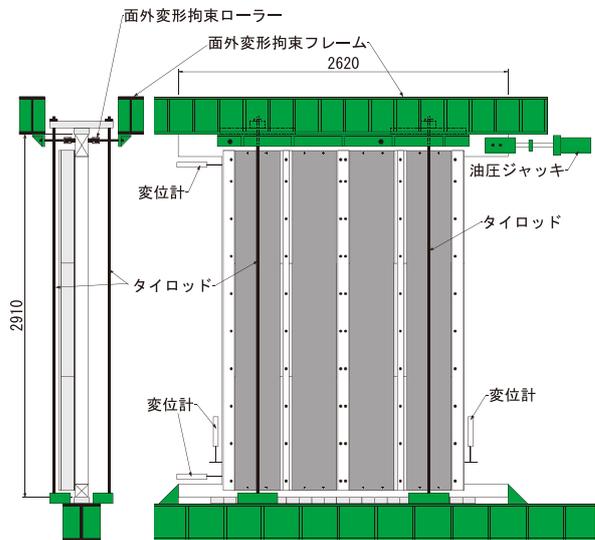


図 5 壁加力試験方法の概要

3.2 外張断熱の有無による破壊形態の相違

写真 1 に試験体 A450 の試験終了時の状況を示す。外張断熱材や縦通気胴縁の剥離・剥落は生じておらず、躯体への固定度は確保されたままであった。写真 2 に試験体 A450 と V450 の試験終了時の壁断面の状況を示す。A450 においては外



写真1 A450の試験終了時の状況
(真のせん断変形角：1/9)

張断熱材によって構造用面材の面外への変形・移動が拘束されているのに対し、V450の構造用面材は躯体の大きなせん断変形に追従できずに面外へ剥離して荷重低下に至った。写真3は、A450とV450を試験終了後に試験装置から取り外して構造用面材の変形状況を横架材側から確認したものであり、木ねじによって躯体に留付けられた外張断熱材と通気縦胴縁とによって構造用面材の面外への変形と移動が抑制されている状況がわかる。一般に普及している外張断熱用の発泡プラスチック断熱材と通気胴縁、及び木ねじによって外張断熱を施すことにより、面材耐力壁が終局状況に至るまでの間、外張部に剥離・剥落は生じず、かつ、構造用面材の面外への変形・移動を拘束できることが確認できた。

3.3 構造性能指標値の比較

図6に試験体A450、V450及びNAの加力実験結果から得られた荷重-変形骨格曲線を示す。また、同曲線より算定した各構造性能指標値を表3に、試験体NAを基準とした各構造性能指標値の



(a) A450：外張断熱材・縦通気胴縁が構造用面材の面外への変形・移動を拘束
(b) V450：構造用面材の釘の頭が引き抜けが発生し構造用面材が面外へ変形・移動

写真2 外張断熱の有無による試験終了時の破壊形態の違い（真のせん断変形角：1/9）



(a) 試験体 A450

(b) 試験体 V450

写真3 外張断熱の有無による試験終了後の構造用合板の残留変形

比率を図7に示す。外張断熱を施すことによって各構造性能指標値が大きく向上することが確認できた。特に、靱性指標値である P_u ($0.2/D_s$) に関しては、他の指標値が2倍程度向上しているのに対し、3倍近くにまで向上していることから、外張断熱は面材耐力壁の保有水平耐力を向上させることに大きく寄与すると言える。

V450においては、写真1に示したとおり、外張断熱材による構造用合板の面外への拘束効果が無いため、A450程に構造性能が向上していない。しかしながら、NAと比較して各性能値は全て向上している。これらの結果は、前章で述べた構造耐力の発現機構の解釈(①木ねじのダウエル効果、②発泡プラスチック断熱材による構造用面材の面外拘束)が適切であったことを示している。

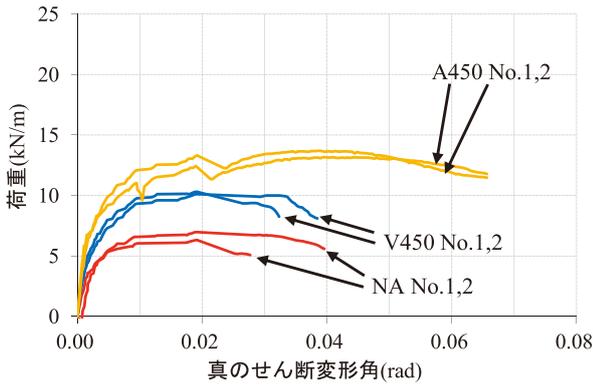


図6 外張断熱材の有無の影響（骨格曲線の比較）

表3 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}
A450	8.6	14.2	9.6	11.2	0.067(1/15)
A300	10.2	14.1	11.0	12.1	〃
A250	9.6	15.8	10.9	12.4	〃
V450	6.0	8.2	7.3	8.3	0.032
NA	4.3	5.3	4.8	6.3	0.030

〔備考〕 1) 各値は2体の平均値（単位：kN/m, γ_{Pu}はrad）
 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）

3.4 外張断熱材を留付ける木ねじの間隔の影響

図8に試験体Aシリーズの加力実験結果から得られた荷重-変形骨格曲線を示す。また、同曲線より算定した各構造性能指標値を表3に、試験体NAを基準とした各構造性能指標値の比率を図7に併記する。留付け間隔が狭くなることにより構造性能値が向上する傾向が見受けられるが、450~250mmの間では大きく変動するとは言えず、本試験体の仕様においては、構造用面材の面外への拘束効果の方が構造耐力の向上に対して支配的であることが確認できた。

4. まとめ

今後更に普及が見込まれる、通常の面材耐力壁に外張断熱を施した耐力壁の構造耐力の発現メカニズムとその効果を実験的に検証した。その結果、外張断熱用木ねじのダウエル効果と、発泡プラスチック系断熱材による構造用面材の面外への変形・移動の拘束効果により、面材耐力壁の構造耐力は2倍以上に向上することを示すことができた。特に、靱性指標値は約3倍近くになることが

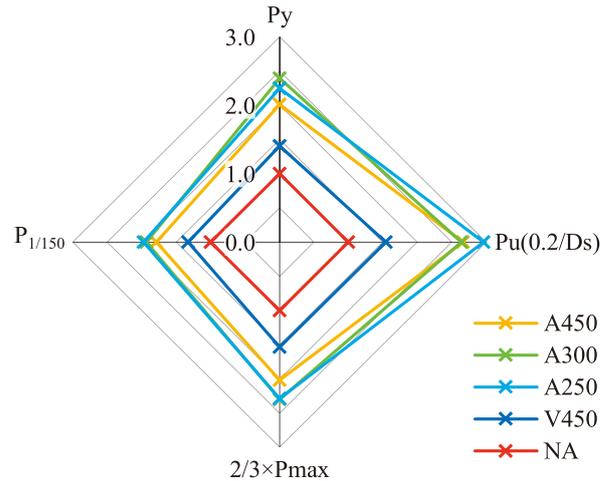


図7 NAを基準とした時の各構造性能指標値の比率

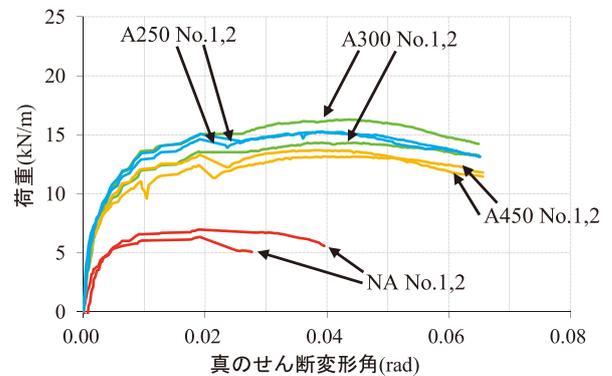


図8 木ねじの留付け間隔の影響（骨格曲線の比較）

確認できたことから、特殊な施工技術を必要とせず、どの地域の施工業者でも実施できる、構造性能と断熱性能を同時に向上させる改修工法として再構築し、本報での検証結果と、別途実施した使用材料のばらつきと構造耐力との関係に係る検証データ等に基づき、（一財）日本建築防災協会の住宅等防災技術評価を取得した¹⁴⁾。既存木造住宅の良質化のための技術としての普及はもとより、一層の一般化が図られて新築木造住宅においても活用できるようになることを期待したい。

謝辞

本研究は、著者が所属していた（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。本原稿の取り纏めに関しては平川秀樹氏（アーキインネクスト合同会社）にご協力頂いた。関係各位に心から謝意を表す。

参考文献

- 1) 総務省統計局：平成25年住宅・土地統計調査結果、<https://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2013/gaiyou.html>, 2019.2.8 閲覧
- 2) 財団法人建築環境・省エネルギー機構：住宅の次世代省エネルギー基準と指針, 1999.11
- 3) 住宅の品質確保の促進等に関する法律：評価方法基準（平成13年国土交通省告示第1347号）、5-1 断熱等性能等級, http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_tk4_000016.html, 2019.2.8 閲覧
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 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
- 9) 十河哲也・西川忠・植松武是：北海道における木造在来構法住宅の耐震性に関する研究：その1 北海道における木造在来構法住宅の構造使用の変遷, 日本建築学会大会学術講演梗概集（関東）, 構造Ⅲ, pp.193-194, 1997.9
- 10) 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
- 11) 社団法人北方圏センター：北海道の住宅および住環境のあり方に関する調査報告書, 1982.3
- 12) 経済産業省 資源エネルギー庁：ZEH（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）に関する情報公開について, https://www.enecho.meti.go.jp/category/saving_and_new/saving/general/housing/index03.html, 2019.3.21 閲覧
- 13) 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
- 14) 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