

博士論文概要

論文題目

プレファブ土壁の静的・動的加力下における
構造特性に関する研究

Structural Performance of Prefabricated Mud - Shear Wall
under Static and Dynamic Loadings

申請者

脇田	健裕
Takehiro	WAKITA

2013年12月

土壁は、古来より木造建築物の主要な内外装の仕上げかつ、構造要素の一つとして広く使われ、その左官技術は芸術とも言われるまでに発達した、我が国独特の建築構法である。長い年月を経て培われた土壁文化であったが、戦後の住宅構法の変化に伴い、現在では寺院等の一部の特殊な建築物を除き、大きく衰退してしまっている。戦後に住宅構法が変化した第一の原因は1950年の建築基準法の制定と、住宅金融公庫の融資の開始に伴う仕様書の普及であると言われている。この中で土壁は耐震性の低い壁であるとされ、住宅の耐震性を確保するためには筋交いを入れることが推奨された。また、高度経済成長に伴う日本社会の近代化は、あらゆる面での合理化を要求し、非効率な湿式構法による土壁はあっという間にボード類を用いた乾式構法へとその地位を奪われることとなった。

以上の背景を踏まえ、本論文において著者は、土壁の建材としての特性を保持しつつ、現代的な建築生産への適応性を高める方法としてプレファブ土壁を提案した。そして、プレファブ土壁を建築物の構造要素として活用するため、その力学的特性を、静的・動的試験を用いて検討した。さらに、その力学的特性を予測する解析手法を構築することで、プレファブ土壁を耐力壁として用いた建築物を計画する際の、構造設計法への適用性を明らかにした。本論文は第6章から構成されており、各章の概要は以下の通りである。

第1章は序論で、本研究の背景、既往の研究、研究の目的、本論文の構成を記した。

第2章では、プレファブ土壁に用いる単体ユニットの、基本的な力学的特性に関する検討を行った。

プレファブ土壁の実大壁は単体ユニットの集合体であるため、その力学的特性は単体ユニットの力学的特性に依存し、かつそのせん断抵抗力の大部分は、壁土の対角線圧縮抵抗によるものであると考えられる。

まず、本研究の試験体に用いた壁土材の圧縮加力試験を行い、壁土材の圧縮力に対する基本的な力学的特性を検討している。壁土材は乾燥が進むに従い含水率が低下し、これに応じて剛性及び強度が向上することが分かった。

次に、単体ユニットのせん断加力試験を行い、その力学的特性について検討している。単体ユニットのせん断抵抗力は初期剛性が低いものの、繰り返しの加力に対する耐力の低下は少なく、かつ高い靱性を有していることが分かった。また、単体ユニットの枠材を周辺フレームにビス等を用いて固定することで、初期剛性及び最大耐力が向上することが明らかとなった。

本試験ではユニット壁土部のせん断加力に伴う損傷を定量的に評価する方法として、超音波伝播時間の測定法の適用を試みている。測定結果から、各加力による単体ユニットのせん断変形角の増加が、壁土部の超音波伝播時間の測定値の増

加と相関性が高いことが示された。これにより、試験前後の超音波伝播時間の増加率を用いて、当該部分の損傷度合いを評価可能であると判断した。また本測定結果から、単体ユニットのせん断変形角の増加に伴い、ユニットの隅角部近傍の壁土部から、その損傷が進行していく過程が明らかとなった。

第3章では、第2章で示した単体ユニットの集合体である、プレファブ土壁の実大全面壁について、その静的な力学的特性をせん断加力試験により検討すると共に、伝統的構法による土壁及び構造用合板を面材とした耐力壁と、その特性を比較した。

プレファブ土壁の初期剛性は伝統的土壁や合板耐力壁と比べて低く、終局変形角に至るまで耐力は上昇した。また、現行の壁倍率評価法に則った設計用特性値による評価では、プレファブ土壁は初期剛性と塑性率が低いため、伝統的土壁及び合板耐力壁の半分以下の壁倍率となることが分かった。

プレファブ土壁の超音波伝播時間の測定では、試験体のせん断変形角と、各単体ユニット壁土部の伝播時間増加率と損傷度との相関が明らかとなった。

超音波伝播時間測定の実務上の利用方法としては、プレファブ土壁を適用した建物が地震を経験した後に本測定を実施し、損傷の激しい単体ユニットの判別を行い、該当する単体ユニットのみを交換することで、建物の耐震性能を復旧に役立たせるといった運用が考えられる。

一方で、伝統的土壁の超音波伝播時間の測定では 1/120rad. 加力後の測定で、大半の測定箇所が測定不能となった。内部に貫を有する伝統的土壁では、土壁内部の剥離により早期に測定不可となるため、損傷度の評価に超音波伝播時間測定を用いるのは現状では困難であることが分かった。

第4章では、プレファブ土壁による各種開口形状を持つ実大壁の、動的な力学的特性を振動台実験により検討すると共に、第3章の静的加力試験による結果と比較した。

プレファブ土壁の非損傷状態の試験体の等価剛性は、単体ユニットの設置数が多くなるほど増大し、また振幅レベルの小さい試験結果の方が低い値となることが分かった。

また、分離推定法を用いた自由振動波形の減衰同定では、プレファブ土壁は単体ユニットの設置数が増加するほど、粘性減衰、摩擦減衰共に増加することが分かった。

プレファブ土壁の動的特性は単体ユニットの設置数及び、設置形状によって異なるため、振動に対する応答を検討する場合には、これらを考慮する必要がある。

各試験体の神戸波加振時の荷重変形関係による検討では、復元力特性の特徴は概ね静的加力試験結果に準ずるが、静的よりも動的の方が剛性、耐力共に若干低

い結果となった。これは、地震波加振による繰り返し振動の影響により、単体ユニットとフレーム間に生じた隙が増大したためであると考えた。

神戸波加振前後の超音波伝播時間の測定による損傷評価では、全面壁では各ユニットの隅角部にほぼ均等に損傷が発生したのに対し、開口のある試験体では、開口部横のユニットに損傷が集中することが明らかとなった。

第5章では、プレファブ土壁の力学的特性を予測する解析手法の構築と、その検証を行った。また、本解析手法を用いて、各種プレファブ土壁の静的及び動的な力学的特性について検討した。

まず、第2章で検討したプレファブ土壁単体ユニットの力学的特性を、拡張 NCL モデルを用いたせん断ばねによりモデル化する。次に、このせん断ばねと各要素の部材モデルを組み合わせた簡単なフレームモデルにより、プレファブ土壁の解析モデルを構築した。本モデルを用いて解析を行った結果は、第3章の実大全面壁の実験結果と非常に良く対応しており、本解析手法の妥当性を示すことが出来た。

次に、本解析手法を用いて、プレファブ土壁の開口形状の違いが、壁の力学特性に与える影響について検討した。この結果、開口形状の大きいモデルの方が剛性、耐力は低く、また塑性率も低い値となることが分かった。また、開口部横のユニットはせん断変形角が大きくなり、損傷が集中することを示しており、第4章の超音波伝播時間の測定結果と一致した。

単体ユニットの周辺フレームへの固定の有無による比較では、固定有りの試験体は固定無しに比べ、全面壁では壁倍率で2倍程度高い値となるが、開口が大きいモデルではこの倍率は低下することが明らかとなった。

最後に、第4章で行った各種開口形状を持つプレファブ土壁の、振動台実験を模擬した動的解析を行い、その結果を実験結果と比較した。実験結果と解析結果の応答は概ねよく対応しており、動的解析における本モデルを用いた解析の妥当性を示した。

第6章は、結論である。第2章から第5章までの検討から得られた知見を総括した。

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 脇田 健裕 印

(2013年12月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
○論文	プレファブ土壁の静的・動的試験による耐力特性評価と超音波測定を用いた損傷推定、日本建築学会構造系論文集、第690号、pp.1469-1476、2013年8月、脇田健裕、北守顕久、鄭基浩、森拓郎、小松幸平、片岡靖夫、曾田五月也、宋成彬
論文	超音波伝播速度測定による土塗壁の損傷評価 塑性的挙動と超音波伝播速度の相関関係、日本建築学会技術報告集、第40号、pp.895-900、2012年10月、鄭基浩、北守顕久、小松幸平、脇田健裕、片岡靖夫
○論文	スチールハウス耐力壁の減衰性能向上に関する実験的検討、日本建築学会技術報告集、第38号、pp.47-50、2012年2月、脇田健裕、片岡靖夫、曾田五月也
論文	気象庁緊急地震速報（警報）を利用した自動設置耐震装置の開発—自動設置耐震システムの概要と中小規模建築用装置の製作（その1）—、日本建築学会技術報告集、第38号、pp.47-50、2012年2月、片岡靖夫、脇田健裕、白井健介、小松幸平、曾田五月也、三城繁信
論文	中国トン族の杉による伝統木造建造物の研究(第2報)貫構造による各種建造物の構築システムと木割り、日本建築学会構造系論文集、第664号、pp.1101-1108、2011年6月、片岡靖夫、北守顕久、越智弘幸、小松幸平、脇田健裕
論文	Development of Earthquake-proof Fittings of Traditional Wooden Frame Structures、Journal of Indonesian Wood Research Society、Volume 2、Number 1、pp.62-68、2011年4月、Takehiro Wakita、Fuyuki Konuta、Akihisa Kitamori、Yasuo Kataoka
論文	サイズが異なる構造物間における減衰特性の評価法および適用性、日本建築学会構造系論文集、第644号、pp.1731-1739、2009年10月、脇田英治、脇田健裕
紀要	滑り基礎構造による伝統的木造架構の応答抑制効果に関する実験的研究、中部大学工学部紀要、第47巻、pp.63-66、2012年2月、脇田健裕、井上節子、片岡靖夫、福谷弘正、曾田五月也
紀要	伝統木造建築の新しい耐震建具の研究開発 その2 耐震性能を有する和障子の研究開発、総合工学研究所紀要、第23巻、pp.46-53、2011年3月、片岡靖夫、小澤弘承、後藤誠、寺村圭剛、小岱冬樹、脇田健裕
紀要	スチールハウス耐力壁の静的・動的特性の比較とハイブリッド型制振装置の開発、総合工学研究所紀要、第23巻、pp.46-53、2011年3月、脇田健裕、片岡靖夫、曾田五月也 木造住宅用制振装置の開発に関する基礎実験、中部大学工学部紀要、46号、pp.37-40、2011年2月、脇田健裕、安達旭宏、片岡靖夫
紀要	高性能ハイブリッド型スチールハウスの開発、中部大学工学部紀要、45号、pp.45-52、2009年12月、脇田健裕、安達旭宏 中国少数民族トン族の伝統木造建築の構築システムの解明 —短竹尺と長竹尺の記号情報—、中部大学工学部紀要、45号、pp.39-44、2009年12月、片岡靖夫、北守顕久、越智弘幸、小松幸平、脇田健裕
講演	Research and Development of the Various Steel Damper Devices for Wooden Houses、The 4th International Symposium of IWoRS "Greening the Earth to Continue the Wonderful Use of Wood for Secure Life"、2012年11月、Chikara Watanabe、Takehiro Wakita、Yasuo Kataoka、Keiji Yamamoto
講演	振動台実験によるスチールハウス構造の動的特性評価とその向上に関する研究、「鋼構造研究、教育助成事業」研究発表会、2012年10月、脇田健裕、曾田五月也
講演	微細な気孔を有する保水性モルタルの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集（東海）、pp.875-876、2012年9月、高橋陸矢、鳥井元将司、脇田健裕、渡辺健治

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	Dynamic Properties of a Traditional Complex Bracket Sets in an Oriental Temple、World Conference on Timber Engineering 2012、Vol.5、pp. 460-463、2012年7月、Chang、W.-S.、Wakita、T.、Kitamori、A.、Komatsu、K.、Kataoka、Y. and Hsu、M.-F.
講演	自然素材活用型住宅における耐力要素の改良と動的・静的構造特性の比較検証、第197回生存圏シンポジウム 生存圏ミッションシンポジウム、pp.121-122、2012年3月、脇田健裕
講演	廃棄物紙片を混合したポーラスコンクリートの保水性能、日本建築学会東海支部研究発表会、第50巻、pp.57-60、2012年2月、高橋陸矢、鳥井元将司、脇田健裕、渡辺健治
講演	Experimental Study On The Dynamic Characteristic Of The Traditional Wooden Frame On Sliding Base、The 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF IWoRS 2011 UNIVERSITY CLUB、YOGYAKARTA - INDONESIA、2011年11月、Takehiro Wakita、Yasuo Kataoka、Hiromasa Fukutani、Yoshinobu Moichizuki、Satsuya Soda
講演	Developmenet Of Automatic Earthquake-Proof Device Utilized Earthquake Early Warnings Of The Meteorological Agency、The 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF IWoRS 2011 UNIVERSITY CLUB、YOGYAKARTA - INDONESIA、2011年11月、Kensuke Shirai、Yasuo Kataoka、Takehiro Wakita、Kohei Komatsu、Satsuya Soda、Sigenobu Sanjo
講演	Research And Development Of The Various Dampers For Wooden Houses、The 3rd INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF IWoRS 2011 UNIVERSITY CLUB、YOGYAKARTA - INDONESIA、査読無、2011年11月、2011年11月、Kazuki Suzuki、Takehiro Wakita、Yasuo Kataoka、Chikara Watanabe
講演	木造建築用制振装置の開発と耐震補強についての設計的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp.485-486、2011年9月、鈴木一輝、脇田健裕、片岡靖夫、渡邊力
講演	伝統木造建築の耐震性向上のための改修補強法の研究 その5 耐震障子の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp.453-454、2011年9月、小岱冬樹、片岡靖夫、脇田健裕、望月義伸
講演	木造建築用自動設置耐震装置の開発 気象庁地震速報と連動した耐震システムの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp.487-488、2011年9月、白井健介、片岡靖夫、水谷敏和、三城繁伸、脇田健裕、小岱冬樹
講演	廃棄物を利用したポーラスコンクリートの吸放水特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp.197-198、2011年9月、高橋陸矢、鳥井元将司、加藤大喜、脇田健裕、渡辺健治
講演	薄板軽量形鋼造の復元力特性と地震応答に関する研究、第13回日本地震工学シンポジウム、2010年11月、曾田五月也、佐藤和哉、居谷圭祐、脇田健裕
講演	Development of Damping Devices for Wooden Frame Structures、The 2nd International Symposium of IWoRS、Bali Indonesia、2010年11月、Naoaki Yamamoto Takehiro Wakita、Akihiro Adachi、Yasuo Kataoka
講演	Development of Earthquake-Proof Fittings of Traditional Wooden Frame Structure、The 2nd International Symposium of IWoRS、Bali Indonesia、2010年11月、Takehiro Wakita、Fuyuki Konuta、Yasuo Kataoka
講演	薄板鋼材を用いた高機能建築システムの開発、中部大学 in2010 上海国際博覧会「DEVNET 国際交流館」研究シーズ発表プログラム、2010年9月、脇田健裕
講演	薄板鋼材を用いたねじれ柱の構造性能に関する実験的研究 その1 ねじれ柱の基本特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.237-238、2010年9月、鈴木一輝、山本直明、片岡靖夫、脇田健裕
講演	薄板鋼材を用いたねじれ柱の構造性能に関する実験的研究 その2 ねじれ柱の建築物への適用、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.239-240、2010年9月、鈴木一輝、山本直明、片岡靖夫、脇田健裕

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演	木造住宅用耐震装置の開発に関する基礎実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 549-550、2010年9月、安達旭宏、脇田健裕、片岡靖夫
講演	粗骨材相を持たない高吸水性コンクリート、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 1101-1102、2010年9月、稲垣敬太、加藤大喜、渡邊知良、脇田健裕、江口清、渡辺健治
講演	伝統木造建築の新しい耐震建具の研究開発 その2 可採光耐震建具の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 573-574、2010年9月、白井健介、片岡靖夫、小岱冬樹、脇田健裕、望月義伸
講演	伝統木造建築の耐震性向上のための改修補強法の研究 その3 両開き耐震建具の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 575-576、2010年9月小岱冬樹、片岡靖夫、白井健介、脇田健裕、望月義伸
講演	伝統木造建築の耐震性能向上のための改修補強法の研究 その4. ダブルスキン耐震小壁の提案、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 577-576、2010年9月、片岡靖夫、小岱冬樹、脇田健裕、岸本学、飯田喜四郎、野村俊也
講演	高性能ハイブリッド型スチールハウスの開発に関する実験 その1. 各種スチールハウス用耐力壁の比較、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 839-840、2009年9月、脇田健裕、安達旭宏、曾田五月也
講演	無機面材を用いた薄板軽量形鋼造の制振に関する研究 その1. 圧効きオイルダンパを設置した耐力壁を用いた薄板軽量形鋼造フレームの実大振動台実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 533-534、2009年9月、佐藤和哉、曾田五月也、居谷圭祐、脇田健裕
講演	無機面材を用いた薄板軽量形鋼造の制振に関する研究 その2. 圧効きオイルダンパを用いた薄板軽量形鋼造の制振に関する解析的検討、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 535-536、2009年9月、居谷圭祐、曾田五月也、佐藤和哉、脇田健裕
講演	伝統木造建築における貫仕口の原型と構築システム、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 511-512、2009年9月、片岡靖夫、越智弘幸、脇田健裕
講演	細目骨材のみを骨材相に用いた高吸水性コンクリートの開発、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 821-822、2009年9月、小嶋丈士、渡邊知良、脇田健裕、渡辺健治
講演	薄板軽量形鋼造(スチールハウス)の制振化に関する研究、第4回粘性系ダンパーによる既存建物の制振補強に関するシンポジウム、2009年6月、脇田健裕 他5名1番目
講演	寸法効果を考慮した減衰係数設定法に関する研究(その1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 199-200、2008年9月、脇田健裕、脇田英治
講演	寸法効果を考慮した減衰係数設定法に関する研究(その2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 201-202、2008年9月、脇田英治、脇田健裕
講演	デッキパネルを面材に用いたスチールハウス用耐力壁に関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-1、pp. 953-954、2007年9月、古田卓也、脇田健裕、曾田五月也
講演	無機面材耐力壁によるハイブリッドスチールハウス工法に関する研究、日本建築学会東海支部研究発表会、2007年2月、脇田健裕、古田卓也、松永裕樹、曾田五月也
講演	戸建住宅を対象とした汎用免震システムの開発に関する研究(その1. 免震プラットフォーム概要及び解析的検討)、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 789-790、2005年9月、小松靖之、脇田健裕、曾田五月也
講演	戸建住宅を対象とした汎用免震システムの開発に関する研究(その2. 免震プラットフォーム実大単体ユニットの性能検証実験)、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp. 791-792、2005年9月、脇田健裕、小松靖之、曾田五月也