

共同研究を通じた他機関との連携

—伝統的建造物に用いられる栃木仕様耐力壁要素の性能評価—

関東職業能力開発大学校 建築施工システム技術科

小山工業高等専門学校 建築学科

関東職業能力開発大学校 建築科

山之内 隆志

横内 基

鶴田 暁

財津 拓三

1. はじめに

栃木県栃木市や茨城県桜川市真壁など東日本にある歴史的町並みでは、現在でも見世蔵（店舗兼住宅として使うことを目的とした土蔵塗りの建造物）や土蔵をはじめとする建造物が並び、歴史的風景を残している。また、これらの地域は重要伝統的建造物群保存地区（以下、伝建地区）に選定されているが、平成23年に起きた東日本大震災によってそれらの建造物にも甚大な被害が生じている。

それを受けて同年から小山工業高等専門学校（以下「小山高専」という）ならびに民間企業で組織される「とちぎ蔵の街職人塾」らとの共同研究により、土塗壁の耐力壁の水平抵抗要素の性能を把握するために、栃木県で主に使用されている土の物性試験、土の圧縮試験、木造民家用真壁の壁せん断試験など構造的要素について検証してきた。

この取り組みは平成24年より3年計画で科学技術振興機構（JST）戦略的創造研究推進事業（社会技術研究開発）の事業として、小山高専横内氏が研究代表者を務める「伝統的建造物群保存地区における総合防災事業の開発」（以下「伝建地区防災研究」という）の設計技術開発の一部である。本報告では、共同体制と平成25年度の成果の一部を紹介する。

2. 共同体制

伝建地区防災研究は「とちぎ蔵の街職人塾」をはじめとする民間企業団体や栃木市、桜川市といった

行政、さらには小山高専をはじめとした教育・研究機関によるメンバーで構成されている。最終的な目標は地域の方々を中心とした自主防災体制の構築、持続可能な社会・施策の創造、修理・修景の設計技術体系の構築、建造物の災害回復力の強化である。3年間のスケジュールは自主防災、持続社会、設計技術、災害回復力の大きく4つの目標から構成され、その中の設計技術目標の土塗壁の性能確認、土塗り壁の補修・補強工法の開発と効果に関する大半の検証は関東職業能力開発大学校（以下「関東能開大」という）の設備を使用して実施している。

土塗壁の耐力は壁の長さ・下地材や土の性質などから構成されており、施工される地域によりその仕様はさまざまである。（公財）日本住宅・木材技術センター（以下「住木センター」という）の「土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書」に大まかな仕様が示されているが、実情は施工する職人の経験則に基づき施工される部分が多く、強度的性能を定量的に示すことは困難である。また、土蔵壁については知見が少なく、さらにその修復方法に対する強度性能評価は、ほとんどなされていない。

共同研究において強度的評価を関東能開大で実施してきた理由として、実験機器の充実があげられる。関東能開大居住系では壁の面内せん断試験機（図1）、接合部試験機（図2）、土粒子密度試験などの土の各種物性試験器具（図3）、土の圧縮試験（図4）など強度性能評価に必要な各種試験機器が整備されている。

2階建て以下の木造住宅の構造設計手法として慣

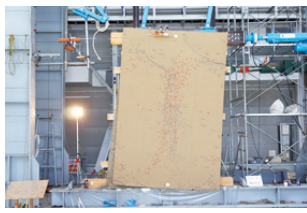


図1 面内せん断試験機

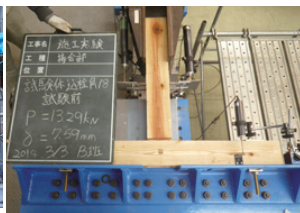


図2 接合部引張試験機



図3 土粒子密度試験器具

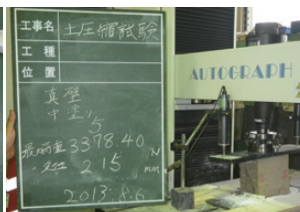


図4 土の圧縮試験風景

用されている、いわゆる“壁量設計”では、建築基準法施行令もしくは告示で規定された仕様の耐力壁を建物の規模に合わせて適切に配置することで成り立っている。しかし、告示等はすべての壁を網羅しておらず、告示以外の壁は壁のせん断試験の結果により、強度的性能を証明しなければ耐力壁として構造設計に盛り込むことができない。そのため伝統的な構造物のみならず、新たな工法等においても、民間企業を中心に精力的に強度性能評価が実施されている。

本共同研究においても、「とちぎ蔵の街職人塾」を中心とした民間企業が、関東北部を中心に施工している伝統的な構造物に用いられる各種施工方法について強度的性能評価を行っている。本研究以外にも、これまで関東能開大ではさまざまな企業の依頼により構造的な実験を実施してきた。平成26年度も面材を用いた耐力壁の性能評価について実験協力を行い、各種試験機を活用している。

共同研究による学生間の連携は、伝建地区防災研究開始当初は主体的に小山高専が全体のとりまとめを行い、実験を計画してきた。2年目より関東能開大専門課程2年生が実験をサポートし、3年目以降は関東能開大応用課程の2年生も実験に本格的に参加することになった。そして、平成26年度は関東能開大応用課程2年生6名が中心となって実験を実行し、小山高専5年生および関東能開大専門課程2年生4名が実験を補助する形を取っている。各年度当初は他大学や民間企業と学生とのつながりを深める

ために伝統家屋の修復にボランティア（図5，6）で参加するなどの取り組みも実施している。このように他大学や学内での連携，さらには民間企業との共同研究により，学生は課題解決提案力，リーダーシップ力，チームワーク力，コミュニケーション力といったヒューマンコンセプチュアルスキルの習得力向上につながっていると考える。



図5 小舞掻き



図6 土壁荒塗り

さらに関東能開大においては、前述したように専門課程の2年生が総制作実習の一環として応用課程2年生と共に実験に取り組むため、応用課程2年生に指導や相談を受けることで学生自身の専門性の開拓にも結び付く場合があり、応用課程に進学した際に継続して本研究に取り組む学生も少なくない。

3. これまでの成果

3.1 試験の種類

土塗壁の構造的な性能評価を行うには、系統立てた実験による評価が必要である。土塗壁を構成する主な要素は大きく以下の3つに大別できる（図7）。

1. 塗っている土自体の強度
2. 柱や梁等の接合部の構造
3. 間渡し竹や小舞など下地材の構成

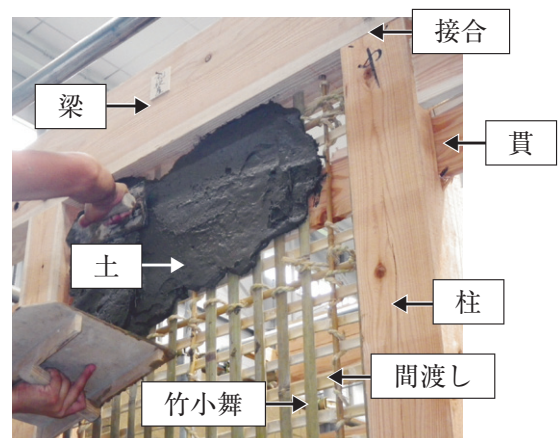


図7 土壁の構造

1つ目の土の強度は土の粒度分布やコンシステンシーといった土自体の物性を把握することと、圧縮試験体を作成して圧縮強度試験を行うことで一定の評価ができる。2つ目の接合部の構造的評価に関しては接合部の引張り試験により接合部倍率を算出し、定量的に評価できる。3つ目の下地材の構成は実際の壁を作成し壁のせん断試験を実施し、壁倍率を算出することで定量的に評価できる。

3.2 物性試験

これまで本研究において、関東北部で使用される土のいくつかに対して物性試験を行い、おおよそ土壁の基準に適していることを確認¹⁾してきた。平成25年度はさらに茨城県桜川市真壁地区から採取した土、真壁地区に実在したT邸、M醸造で土塗壁として使われていた土をそれぞれ中塗土、荒塗土について計6種類の物性試験を行った。コンシステンシー図(図8)と粒径加積曲線(図9)を以下に示す。

コンシステンシーとは主に水量に起因する粘性体の流動性を表しており、土壁を施工する際の鍍塗りの施工性に密接に関係している。荒塗りに使用する土に対して中塗りの土は少ない水分で流動性が確保されることがわかる。

3.3 圧縮試験

土塗壁に使用される土は、それぞれ基準強度²⁾が定められている。埼玉県深谷産、栃木県栃木市産茨城県真壁産の3カ所の採取地と塗り工程により分類した合計57体の試験を実施した。試験状況を図10、試験結果を図11、12、13に示す。

荒塗りに関してはすべて基準を満たしたが、中塗りおよび中塗りと荒塗りの併用タイプは深谷産以外すべて基準値を下回る結果となったため、今後壁のせん断試験と共に採取地等のさまざまな検証が必要である。この関係は土の粒度に大きく影響され、砂質分が多い土ほどコンシステンシーにおける含水率が低く、中塗り用の土に適度な砂を加えて作業性を確保していることがわかる。また、粒径加積曲線から粘土分、シルト分の粒度分布に差が出ていることがわかる。粘土分やシルト分が多く含まれると乾燥

時間が長期化し、施工性が悪くなる傾向があり採取した土によって施工性に差が生じることが推察できる。

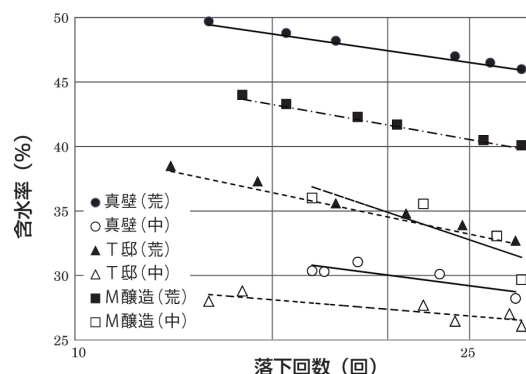


図8 コンシステンシー図

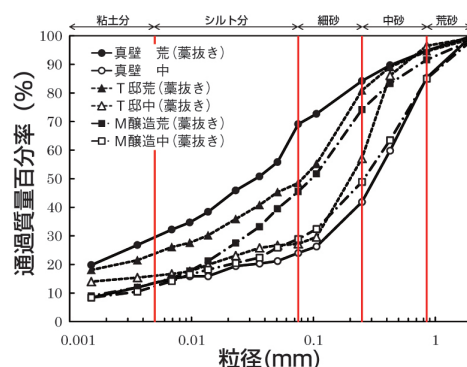


図9 粒径加積曲線

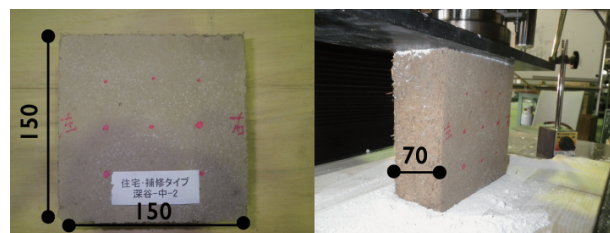


図10 土の圧縮試験

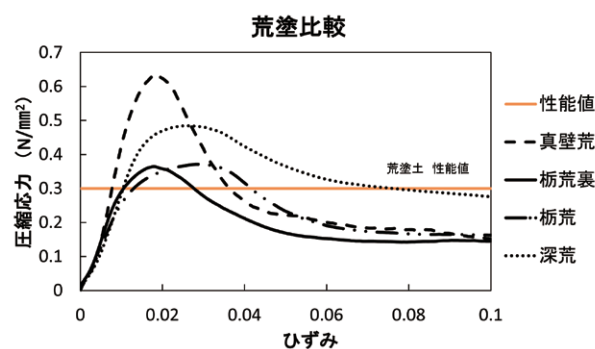


図11 荒塗リ圧縮試験結果

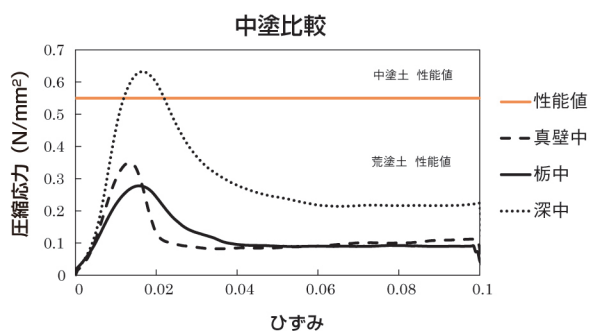


図12 中塗り圧縮試験結果

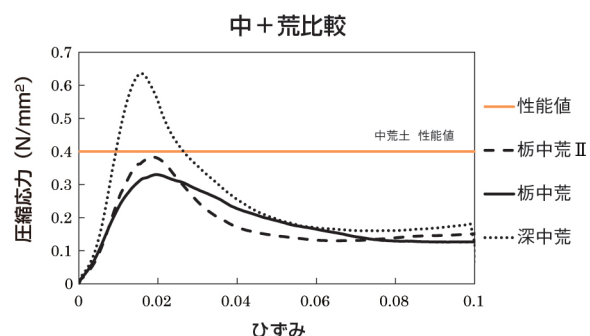


図13 中・荒塗り圧縮試験結果

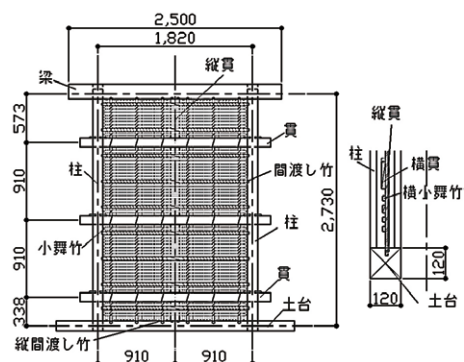


図14 真壁試験体概略図

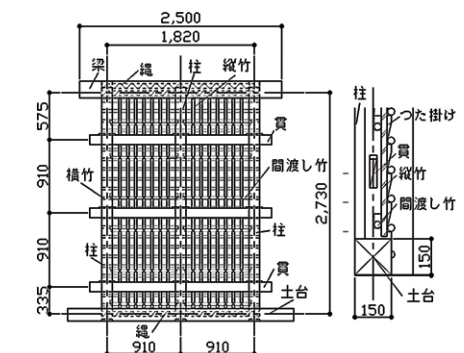


図15 大壁試験体概略図

3.4 壁せん断試験

壁せん断試験は民家タイプと土蔵タイプに大別し、既存建築物の性能ならびに修復効果の性能について検証している。平成24年度までに民家タイプの既存建築物の性能について検証した^{3), 4), 5)}。平成25年度は木造民家の既存の真壁ならびに修復後の真壁(図14)の比較検証と既存の土蔵用の大壁(図15)、さらに補修方法の提案として、構造用合板の上に下地に新材を用いた下塗り材の上に漆喰を施工した壁(図16)の壁せん断試験を行った。

試験方法は木造軸組工法住宅の許容応力度設計⁶⁾に記されている柱脚固定式を採用し、見かけのせん断変形角を1/600rad～1/30radまでの同一変形角を3回繰り返す正負交番繰り返し加力を行った後、1/20radを1回繰り返し、最後に1/10rad程度を目安に引き切りとした。

評価方法については完全弾塑性モデルを用いて各種データの算出を行った。完全弾塑性モデルとは壁のせん断力をエネルギー量に置き換えてそれぞれの壁を比較する木質構造耐力壁の評価方法としては一般的な指標である。

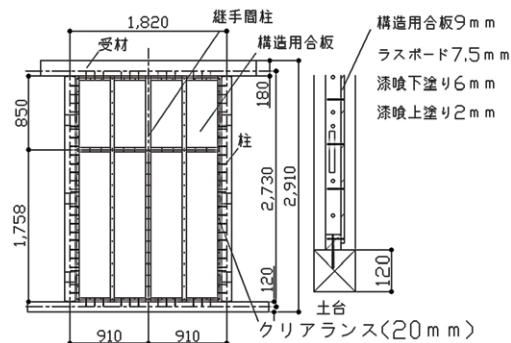


図16 補修壁試験体概略図

表1に試験結果の詳細を示す。また、図17にバイリニアを用いたエネルギー量の比較結果を示す。試験結果から、既存の真壁については建築基準法告示で示される1.5倍を大きく超える壁倍率となった。また、真壁の修復壁に関しても告示の値を十分に上回っており、修復方法についても安全性が証明された。土蔵壁についても、ばらつきはあるが、設計に使用されている壁倍率を大きく上回る構造的性能を持っていることが証明された。土蔵壁の構造的性能を評価した研究は全国的にも大変希少である。今後土

表1 壁せん断試験

試験体名称		最大荷重	降伏耐力	降伏変位	終局耐力	終局変位	初期剛性	塑性率	構造特性係数	Energy	告示壁倍率	壁倍率
		Pmax(kN)	Py(kN)	δ_y (mm)	Pu(kN)	δ_u (mm)	K(kN/mm)	μ	Ds	N・rad		
木造民家用 2a 真壁 【栃木】	1	20.68	13.63	8.40	18.35	50.41	1.62	4.46	0.36	834.63	1.5	3.03
	2	19.20	11.18	5.62	16.72	50.38	1.99	5.99	0.30	805.11		
	3	19.10	11.96	5.90	16.46	50.14	2.03	6.18	0.30	774.94		
木造民家用 2b 真壁(補修) 【深谷】	1	20.31	11.73	7.26	17.81	33.38	1.62	3.03	0.44	498.83	1.5	2.34
	2	16.87	9.66	4.56	14.56	50.03	2.12	7.29	0.27	678.35		
	3	20.45	13.39	8.65	19.16	33.38	1.55	2.70	0.48	520.91		
土蔵用大壁 3a 真壁 【栃木】	1	37.09	23.47	22.78	32.36	379.91	1.03	12.09	0.21	11785.90	1.5	4.91
	2	46.22	27.92	22.44	40.38	136.38	1.24	4.20	0.37	4851.78		
	3	30.92	16.30	13.49	26.01	54.51	1.21	2.53	0.50	1137.71		
漆喰塗り + 構造用合板 5a	1	28.09	14.64	3.75	24.46	10.02	3.91	1.60	0.67	168.59	2.5	2.42
	2	27.69	15.15	3.37	25.80	13.37	4.50	2.33	0.52	270.90		
	3	30.03	16.86	3.89	27.66	15.95	4.34	2.50	0.50	353.07		
構造用合板 5b	1	15.81	8.56	5.22	14.54	25.02	1.64	2.82	0.46	299.37	2.5	2.20
	2	18.05	11.12	7.54	15.61	50.04	1.47	4.73	0.34	698.49		
	3	17.97	10.07	6.44	16.41	63.84	1.56	6.09	0.30	961.44		

【】内は土塗り壁に使用した土の産地を表す

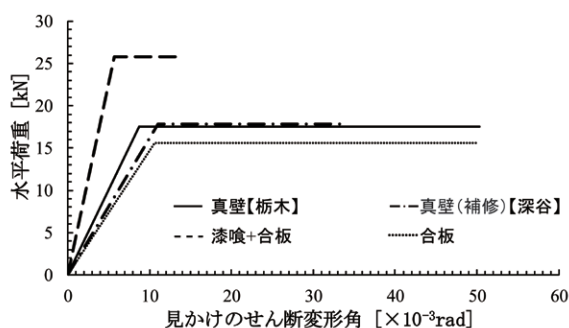


図17 バイリニアモデルの比較

蔵壁については修復後の評価を実施したいと考える。合板を使用した補修壁については告示に示される面材の壁倍率としては若干小さな値となっている。この結果は、通常面材は柱、梁、土台の間に隙間なく施工されるが、本研究においてはめり込みの影響を検討するために面材と柱、梁、土台の間に約2cmの隙間を設けたため、圧縮筋かい効果を得られなかったためである。

4. おわりに

本報告において、共同研究を通じた伝統建築物の維持保全に関する産学官の取り組みについて紹介した。関東能開大居住系では構造的な検証において、施設をほかの学校や民間企業に有効利用していただいている。また、その利用を通して学生のヒューマンコンセプトスキルの育成に大きくつながっていると考える。さらに、専門課程と応用課程を通じた実験への取り組みで学生の専門性が育成され、

応用課程へ進学した際に高度な課題への取り組みにつながるケースもある。また、「とちぎ蔵の街職人塾」の参加企業様には平成25年度においては関東能開大応用課程学生の企業実習にもご協力いただいた。今後、学生の就職等で技能者の育成の観点など地域に根付いた大学校として社会貢献したいと考える。

5. 謝辞

「とちぎ蔵の街職人塾」代表の山本様ならびに試験体の製作に携わったすべての方々に、さまざまな点でご助力いただき感謝申し上げます。また、実験に際し、ご協力をいただいた学生の方々に深く感謝の意を表します。

<参考文献>

- 1) 日本建築学会学術講演「栃木市に現存する伝統的建造物の地震被害および耐震性に関する研究」pp.149-150, 2012
- 2) (財)日本住宅・木材技術センター「土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書」p.25, 2004
- 3) 日本建築学会学術講演「歴史的町並みの地震防災対策に関する研究：その3 土塗壁（木造民家真壁タイプ）の損傷評価とエネルギー吸収性能」pp.465-466, 2013
- 4) 日本建築学会学術講演「歴史的町並みの地震防災対策に関する研究：その1 研究目的と土塗壁の構造的な検証実験計画」pp. 461-462, 2013
- 5) 日本建築学会学術講演「歴史的町並みの地震防災対策に関する研究：その2 土塗壁（木造民家真壁タイプ）の実験方法および耐力評価」pp.463-464, 2013
- 6) (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」pp.565-578, 2008