

地震に強い地域をつくる

29 住宅の土壁の性能を知る

前々項で記述したように、歴史的建造物の主要な耐震要素である土塗壁の仕様は、地域性が高く、さらに土塗壁に用いられる土の強度は産地によって大きく異なることが明らかになっている。そのため、現存する歴史的建造物の耐震性能を適切に評価・把握するためには、当該地区の土塗壁の性能を明らかにする必要がある。そこで、ここでは栃木市周辺の住宅向けの真壁仕様土塗壁のモックアップを製作し、水平載荷実験を行い、構造性能等を明らかにする。

a) 実験概要

水平載荷実験の試験体の形状を図1に、使用材料と仕様を表1に示す。構造性能を検証するために、2タイプの試験体を各3体製作した。Type1は木造民家の真壁に用いられる軸組と貫のみのタイプである。Type2は伝統技法で再現した木造民家の真壁土塗壁である。なお、この仕様は事前の調査²⁾において、建設省告示第1100号³⁾で定める壁倍率 1.5 の仕様(塗壁 70mm)と概ね一致していたことから、告示の仕様に準じている。試験体は、スパン 1,820mm の1スパン、高さ方向の仕口交点間の高さは 2,730mm である。また、一連の耐力壁性能確認実験の試験体全てにおいて、柱と横架材との仕口部は、大変形でも柱の小口が横架材に接触しないようにしている。

試験体に使用する荒壁土と中塗り土は表2を目安に調査した。各試験体の乾燥後の壁厚(硬化後のチリ寸法から評価した平均値)を表3に示す。荒壁土の打込み直後の塗厚は 40mm であったが、乾燥収縮によって 30~35mm となったため、中塗り土は横貫側で 25mm 程度、縦貫側で 18mm 程度を塗った。中塗り土が乾燥することによる壁厚の変化はほとんどなく、最終的な壁厚は 72~73mm 程度となった。

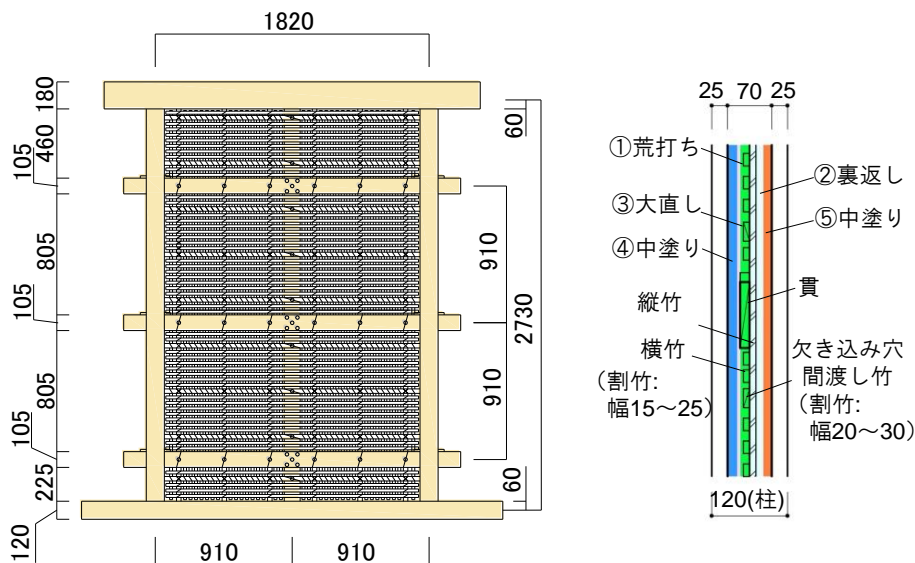


図1 住宅向け真壁仕様土塗壁 (Type2) の試験体形状図

表1 使用材料と仕様

部材		Type1	Type2
軸組	柱・土台	材料	スギ(栃木産)
		寸法	□120mm
	梁	材料	スギ(栃木産)
		寸法	幅120mm × せい180mm
貫	貫	材料	スギ(栃木産)
		寸法	幅15mm × せい105mm
	楔	材料	ヒノキ(栃木産)
	貫伏せ	材料	—
間渡し竹	間渡し竹	材料	真竹(割竹) 栃木産
		寸法	幅20~30mm
	留めつけ	材料	釘*
		寸法	1-N38
小舞竹	小舞竹	材料	真竹(割竹) 栃木産
		寸法	幅20~30mm
	留めつけ	材料	藁縄
		寸法	1.5分
壁土	粘土	産地	栃木県栃木市
	川砂	産地	鬼怒川水系

*釘のとび出ている部分の先端は折り曲げた

表2 使用材料と仕様

荒壁土	粘土1m ³ あたりにわら60~70kg
中塗り土	粘土10kg、砂15kg、すざ300g、水7~8ℓ

表3 壁厚の計測値

	塗厚 [mm]		
	荒壁土	中塗り土	合計
Type2-1	35	38	72
Type2-2	34	38	73
Type2-3	34	38	72
平均値	35	38	72

b) 土塗壁の損傷経過

実験で確認できた主要な損傷経過は、いずれのタイプも試験体3体で共通する傾向であった。各タイプの主要な損傷経過を以下に述べる。

Type1 試験体は、変形角 1/60~1/40rad 時で貫が座屈し面外にはらむ現象が確認できたが、それによって耐力が低下するようなことは無く、最終変形まで耐力が上昇を続ける傾向が見られた。

Type2 試験体は、1/450~1/300rad で隅角部に微細なひび割れが生じ始め、1/150rad ではその剥離や横貫に沿ったひび割れが確認されるようになった。1/100~1/75rad では隅角部を起点に壁脚部もしくは頭部の圧壊が起こり始め、1/60~1/50rad で横貫側にせん断ひび割れが確認できるようになった。また、同じ頃に縦貫に沿ったひび割れが生じ始めた。さらに加力を進めると、それらの損傷が進行し 1/30rad で最大耐力となった。-1/30rad 加力時に横貫を覆うかぶり土の一部が剥落(写真1)し横貫が露出すると、1/20rad 加力時に縦貫側に大きなせん断ひび割れが入り(写真2)、耐力が大きく低下した。

表4には、上述したType2の損傷経過や最大耐力に対する各変形レベル耐力の比、残留変形等を示している。これらは、被災建造物の被災程度や残余耐震性能を把握する上で、非常に有益な資料になると考える。



写真1 横貫に沿ったひび割れ
(Type2-1 -1/30rad 時)

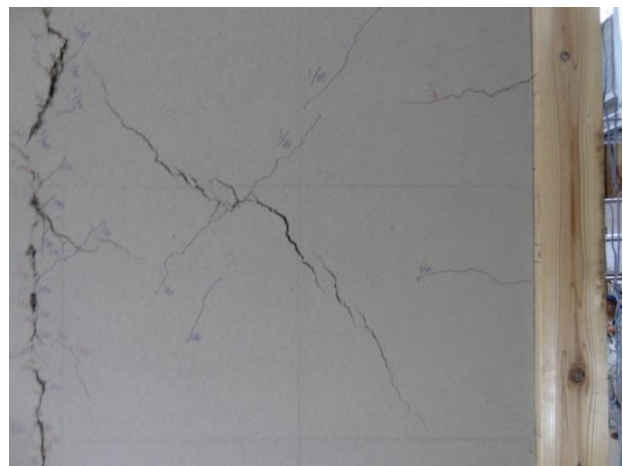


写真2 縦貫に沿ったひび割れ
(Type2-1 -1/20rad 時)

表4 住宅向け真壁仕様土塗壁(Type2)の損傷経過

層間変形角[rad]	1/600	1/450	1/300	1/200	1/150	1/100	1/75	1/60	1/50	1/40	1/30	1/20	最終状況
ひび割れ状況※ (Type2-3)	横貫側												
	縦貫側												
耐力比 [%]	23	28	40	56	66	81	87	92	92	98	100	85	65
残留変形 [$\times 10^{-3}$]	0.7	0.7	1.0	1.6	2.1	3.5	5.2	6.6	7.6	6.7	8.8	13.0	—
破壊現象	隅角部で微細なひび割れが発生 横貫周りにひび割れが発生		隅角部付近の壁土が剥離		壁脚部もしくは頭部の圧壊		壁脚部が土台全域に渡り圧壊		横貫周りのひび割れの幅が1mm以上		横貫端部のかぶり土が剥離		
			横貫側にせん断ひび割れが発生 縦貫周りにひび割れが発生		せん断ひび割れの幅が1mm以上		縦貫周りにひび割れの幅が1mm		縦貫にせん断ひび割れが発生		横貫付近にて壁板がはらむ 壁面が柱面まではらむ		
軸組と壁板のはだ別れ[mm]	3		5		10		20		25~40		—		
楔の抜け量 [mm]	1		2		5		10		—		—		

※黒線は乾燥収縮による初期ひび割れ青線は正加力時に発生したひび割れ、赤線は負加力時に発生したひび割れ、ハッチング部分は壁の剥がれおよび浮き部分を示す。

c) 耐力変形性状と壁倍率の評価

各タイプの荷重変形角関係(水平荷重と見かけのせん断変形角の関係)を図2に、各試験体の包絡曲線の比較を図3に示す。

タイプ別に見ると、履歴性状に大きな差異は見られず、ばらつきの小さい安定した弾塑性挙動が確認できた。Type1 は 1/9rad 以上の大変形に至っても耐力が低下することなく上昇を続けた。Type2 の最大耐力は、19.1~20.7kN ($\tau=0.155\sim 0.169\text{N/mm}^2$)とばらつきが小さく、また、その時の変形は 1/40~1/30rad であった。

Type2 の正加力側の骨格曲線から文献4)に準じて評価した壁倍率を表5に示す。を各試験体の短期許容基準せん断耐力は、全ての試験体で 0.2Pu/Ds が最小となり、壁倍率は Type2 が 2.9~3.1 であった。ばらつき係数をかけた場合でも 0.2Pu/Ds で短期許容せん断耐力が決定し、壁倍率は Type2 で 3.0 となり、低減係数 α を考慮していないが、告示で定める壁倍率 1.5 に対して Type2 で約 2.0 倍の高い数値が得られた。なお、低減係数 $\alpha=0.7$ とすると、壁倍率は 2.1 となった。

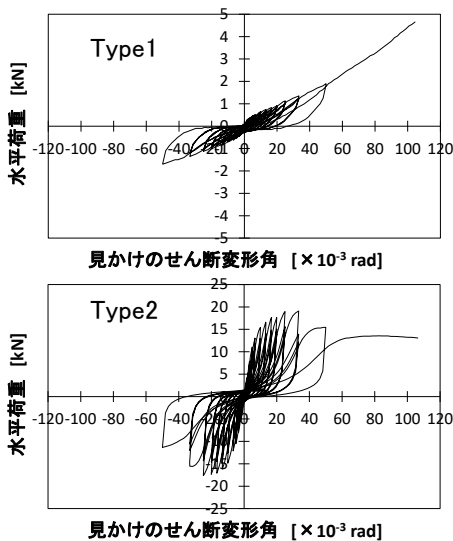


図2 水平荷重—見かけせん断変形角関係

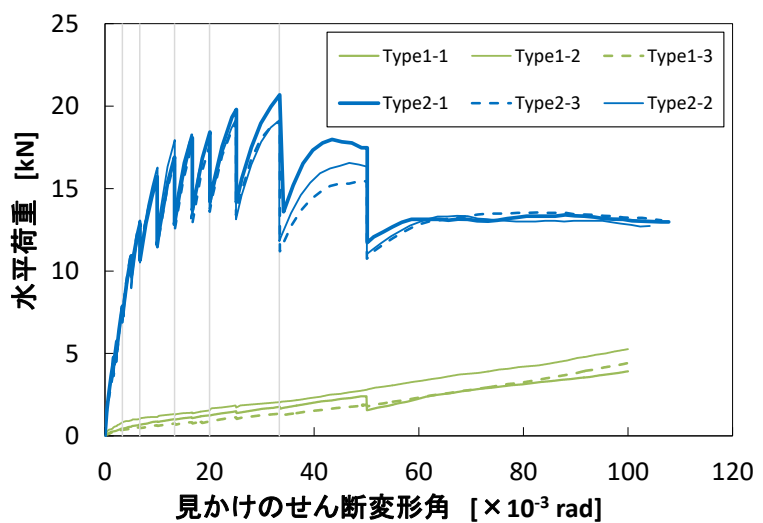


図3 包絡曲線(正加力側)

表5 住宅向け真壁仕様土塗壁(Type2)の特性値

供試体 名称	P_{max} (τ) [kN] ([N/mm ²])	$\delta - P_{max}$ [$\times 10^{-3}$ rad]	K [kN/10 ⁻³ rad]	δy [$\times 10^{-3}$ rad]	δv [$\times 10^{-3}$ rad]	δu [$\times 10^{-3}$ rad]	P_y [kN]	$2/3P_{max}$ [kN]	$0.2P_u/D_s$ [kN]	P_{120} [kN]	壁倍率
Type2-1	20.7 (0.169)	33.5	1.6	8.4	11.3	50.4	13.6	13.8	10.4	13.6	2.9
Type2-2	19.2 (0.155)	25.2	2.0	5.6	8.4	50.4	11.2	12.8	11.4	14.1	3.1
Type2-3	19.1 (0.156)	33.5	2.0	5.9	8.1	50.1	12.0	12.7	11.2	13.9	3.1
平均	19.7 (0.160)		1.88				12.3	13.1	11.0	13.8	
ばらつき係数	0.983 (0.981)		0.954				0.961	0.983	0.982	0.993	
50%下限値	19.32 (0.16)		1.79				11.8	12.9	10.8	13.7	
									低減係数 $\alpha=0.7$		2.1

(*)1)表中の記号を示す

P_{max} : 最大耐力 τ : 平均せん断応力度= $P_{max}/(\text{壁厚} \times \text{柱内法幅})$ $\delta - P_{max}$: 最大耐力時の変形
 K: 初期剛性 δy : 降伏変形 δv : 完全弾塑性モデルの降伏点変形 δu : 終局変形 P_y : 降伏耐力
 P_u : 終局耐力 D_s : 構造特性係数 P_{120} : 見かけのせん断変形角が1/120rad時の耐力

(*)2)壁倍率は下式より算出した

$$\text{壁倍率} = P_a \times (1/1.96) \times (1/L) \times \alpha$$

P_a : 短期許容せん断耐力(網掛け部分は採用した値)[kN]

1.96: 倍率が1を算出する値[kN/m]

L: 壁長さ(一間試験体=1.82m) α : 低減係数($\alpha=1$)

実験耐力を壁板と貫の負担耐力に分解して、壁板と貫のそれぞれの耐力寄与について検討する。ここでは、壁土の強度抵抗の他に、貫のこじり抵抗や間渡し竹のダボ的抵抗も含めて壁板の負担耐力とし、貫と柱におけるモーメント抵抗を貫の負担耐力と称す。ここで、貫の負担耐力は Type1 の3体の骨格曲線の平均とし、壁板の負担耐力は加算則が成立する仮定のもと、Type2 の各試験体の骨格曲線から上述した貫の負担耐力を差し引いて評価した。なお、前報で述べたように、試験体は加力限界変形でも軸組仕口が接触しない形状にしていることから、軸組仕口のモーメント抵抗は無視できる。負担割合と変形角の関係を図4に示す。Type2 の3体に共通して、最大耐力に到達するまでは壁板が 90%以上の耐力を負担し、貫のモーメント抵抗による耐力寄与は小さいことが確認できる。しかし、最大耐力後は、土壁の損傷が進行して剥離等が進展すると、高い靱性能を示す貫のモーメント抵抗が徐々に支配的になる性状が確認できる。

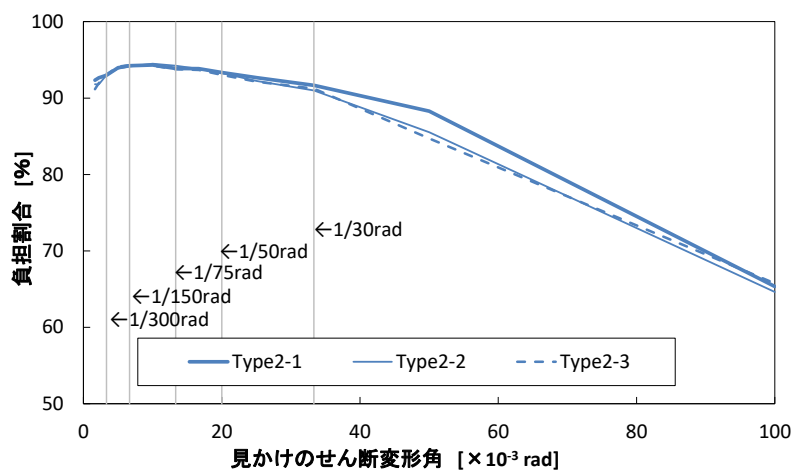


図4 壁板の負担割合

参考文献 (下線の文献は本項に関する発表論文等を示す)

- 1) 横内基,大橋好光ほか:歴史的町並みの地震防災対策に関する研究(その1~3)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.461-466、2013年9月
- 2) 國分直輝,横内基,松岡亘,財津拓三,御田村真毅,大橋好光: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(その6 土塗壁の仕様と壁土の物性)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.149-150、2012年9月
- 3) 土塗壁等告示に係る技術解説書作成編集委員会: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、(財)日本住宅・木材技術センター、2004年2月
- 4) (財)日本住宅・木造技術センター:木造の耐力壁及びその倍率性能評価業務方法書、2008年12月