

平成 29 年 5 月 11 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420565

研究課題名(和文)小舞土壁の構造特性向上のための下地の仕様、壁土材料および施工方法に関する研究

研究課題名(英文) Influence of Lath Configurations, Mix Proportions and Plastering Methods on structural characteristics of Japanese traditional clay wall on bamboo lathing

研究代表者

輿石 直幸 (KOSHIISHI, NAUYUKI)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：00257213

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,400,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、日本の伝統的な小舞土壁の戸建住宅等への採用を容易にするため、土壁の構造特性を向上する小舞下地の仕様、壁土材料の調合および施工方法を明らかにした。まず、300mm角の要素試験体のせん断加力実験により多数の要因の影響を検討した。次に、要素実験の結果に基づき要因を選定し、壁試験体の水平加力実験を行った。

結果を総括すると、小舞土壁の抵抗要素に存在する隙間を小さくすると初期剛性は向上するが、土壁層内部にはく離を生じさせる危険性が高まることがわかった。また、塗付け層の組合せや塗付け方法によって、塗付け各層の一体性を向上する方法が明らかとなった。

研究成果の概要(英文)：This study clarified the influence of lath configurations, mix proportions and plastering methods on structural characteristics of Japanese traditional clay wall on bamboo lathing, so that they can be used widely and safely. First, a variety of small element specimens was manufactured and tested to clarify the influence of many factors on the mechanical properties. Secondly, the loading of horizontal force onto the specimens had the same cross-sectional dimensions of framework members as those used in real buildings. The results indicated that clay walls of high initial stiffness can be achieved by avoiding gaps around the resistance elements. However, such walls tend to develop the delamination at the interface of layers. Furthermore, we clarified the combination of layers and plastering method to avoid delamination.

研究分野：工学

キーワード：建築材料 建築工法 小舞壁 左官材料 壁土

1. 研究開始当初の背景

小舞土壁構法は原材料に木、竹、土、藁などの天然素材を用いた日本の伝統構法である。木造の軸組に、竹などを格子状に編んだ小舞下地を取り付け、土と藁スサを練り混ぜた材料を塗り重ねてつくられる。近年、環境負荷の少ないこの構法が見直されている。

一方、高い品質・性能の求められる現代において土壁を採用するには、構造耐力などの安全性の確保が必要である。しかし、土壁は天然素材を用いていることに加え、施工方法は左官工の経験によって培われてきたため、地域によって実現可能な構造耐力の格差が大きい。また、土壁の構造耐力に及ぼす壁土材料の影響が明らかでないため、構造耐力を低めに評価せざるを得ない。

2. 研究の目的

本研究では、土壁の構造特性を向上する小舞下地の仕様、壁土材料の調合および施工方法を明らかにすることを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では以下の2つの実験を行った。

(1)小舞下地の仕様、壁土材料の調合、および塗付け層の層厚が力学特性に及ぼす影響

先行研究では、300mm 角の要素試験体のせん断加力実験を行い、小舞下地を構成する間渡竹端部と軸組に設けた欠き込み穴とのゆるみの寸法、荒壁土および中塗土の調合、ならびに壁厚 70mm を構成する荒壁層と中塗層の層厚比、などについて検討した。

本実験では、断面寸法は実大で高さを短縮した壁試験体を用いて水平加力実験を行い、上記の要因の影響を検証した。試験体の種類を表1に、水平加力実験の方法を図1に示す。

表1 試験体の種類

試験体 No.	試験体の仕様						
	貫の厚さ	間渡竹と欠き込みのゆるみ	練り土の調合		層厚		ちり廻り塗り
			荒壁土	中塗土	荒壁層	中塗層	
15	有	スサ多	細粒	50	10	無	
				40	15		
10	無	スサ少	粗粒	30	20	有	

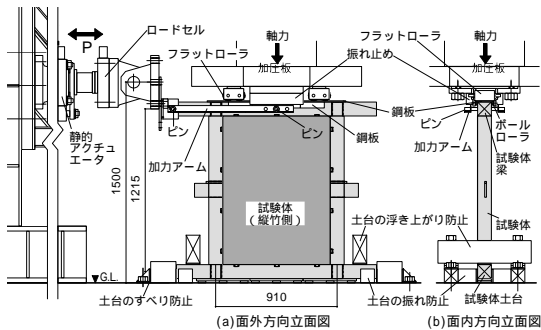


図1 水平加力実験の方法

(2)塗付け各層の組合せ、および塗付け方法が力学特性に及ぼす影響

要素実験による検討

300mm 角の要素試験体のせん断加力実験を行い、(1)で未検討であった要因について検討した。検討した要因は、地域や職人によって異なる塗付け方法であり、荒壁土を小舞下地の横竹側・縦竹側のどちらから塗り付けるか、おもて塗り層がどの程度の乾燥状態でうら返し塗りをを行うのか、などである。京都府産および埼玉県産の原土を用いた試験体で検討を行った。

表2に試験体の種類を、図2に要素試験体の対角を加力するせん断実験の方法を示す。

なお、加力中の土壁層内部にはく離状況を把握するため、超音波伝搬時間の測定を行った。土壁層の内部にはく離を生じると、空洞を迂回して超音波が伝播するため、伝播時間が増大する。測定の方法を図3に示す。

表2 試験体の種類

試験体 No.	間渡竹と欠き込みのゆるみ	練土の性質			塗付け方法		
		荒壁土の調合		中塗土の調合	荒壁土を塗り付ける順番	うら返し塗り時のおもて塗り層の乾燥状態	
		おもて塗り土の調合	うら返し塗り土の調合				
1	有	京都	スサ 2.0%	スサ 2.0%	スサ 2.0%	横竹側	乾燥
2						縦竹側	湿潤
3						横竹側	湿潤
4	無	京都	スサ 2.0%	スサ 2.0%	スサ 2.0%	横竹側	乾燥
5						縦竹側	乾燥
6						横竹側	湿潤
7	有	埼玉	スサ 0.5%	スサ 0.5%	スサ 0.5% + 砂	横竹側	乾燥
8						縦竹側	湿潤
9				横竹側	乾燥		

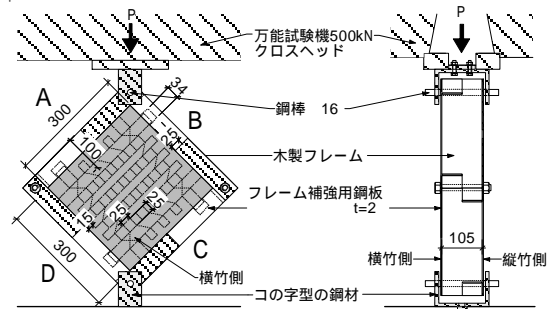


図2 要素試験体のせん断加力実験の方法

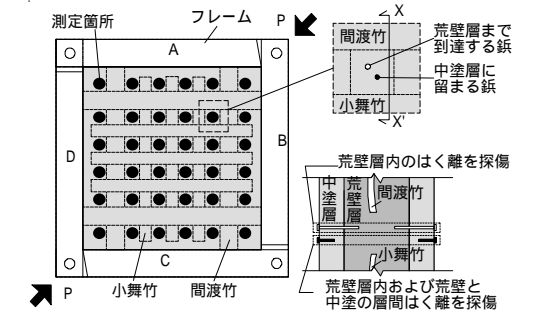


図3 はく離探傷箇所および探傷方法

壁試験体の水平加力実験による検討

先行研究では、小舞土壁に用いる荒壁土と中塗土の性質の組合せが、地域によって異なる

ることを明らかにした。本実験では、各地の一般的な仕様の土壁試験体を用いて、塗付け層の組合せの影響を検討した。また、で検討した塗付け方法に関する要因を組み合わせ、荷重 - 変形関係および破壊性状に及ぼす影響を検証した。

試験体の種類を表3に、試験体の断面構成の例を図4に示す。加力方法は(1)と同様である(図1を参照)。なお、加力中の土壁層内部のはく離状況を把握するため、土壁層の面外方向へのはらみ寸法を測定した。

表3 試験体の種類

試験体 No.	小舞下地の形状・寸法(mm)				練り土の条件		塗付け方法	
	間渡竹の形状・寸法	間渡竹と欠込み穴のゆりみ ¹⁾	小舞竹の形状・寸法	小舞竹と軸組のクリアランス ²⁾	原土の産地	うら返し塗り土の砂の混合	荒壁土を最初に塗り付ける側	うら返し塗り時のおもて塗り層の乾燥状態
京1		3.2		4.9	京都	無	縦竹側	乾燥
京2	割竹	1.7	割竹	4.4			横竹側	
京3	W21	3.0	W18	4.0			縦竹側	
京4		2.7		3.9			縦竹側	
滋1	割竹	3.4	割竹	4.6	滋賀	無	横竹側	乾燥
滋2	W30	3.8	W18	5.5			横竹側	湿潤
滋3		5.2		15			有	乾燥
埼1	丸竹	2.4	割竹	1.7	埼玉	無	横竹側	湿潤
埼2	12	2.8	W16	2.9			有	乾燥

【注】 1)軸組に設けた欠込み穴の見付縦寸法と、間渡竹の幅との隙間寸法 2)小舞竹端部と軸組との隙間寸法 1) 2)とも、試験体作製後に実測した値の平均値で示す

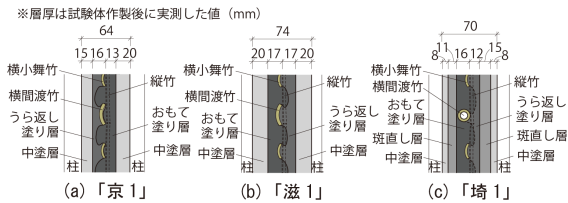


図4 試験体の断面構成の例

4. 研究成果

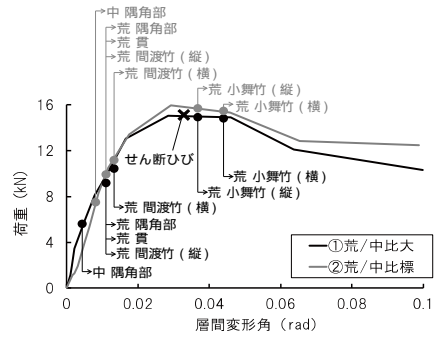
(1)小舞下地の仕様、壁土材料の調査、および塗付け層の層厚が力学特性に及ぼす影響

図5は、水平加力実験における骨格曲線を要因ごとに比較したものである。破壊性状の分析により水平力に対する抵抗要素を確認し、各要素に存在する隙間寸法より抵抗開始の変形角を算出した。同図には、抵抗要素が抵抗を開始する点と、破壊性状をプロットした。

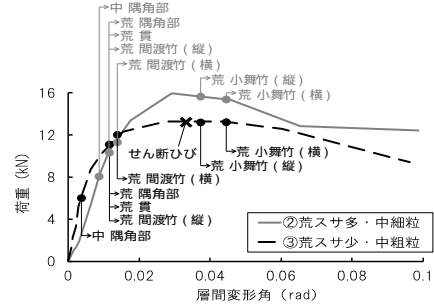
図5より、荷重 - 変形関係および破壊性状と、抵抗機構との関係を分析した。結果を総括すると、以下のことが明らかとなった。

()塗付け各層によって内在する抵抗要素が異なるため、各要素が抵抗すると挙動差によって、荒壁層内部、もしくは荒壁層と中塗層の層間において損傷が生じることがわかった。

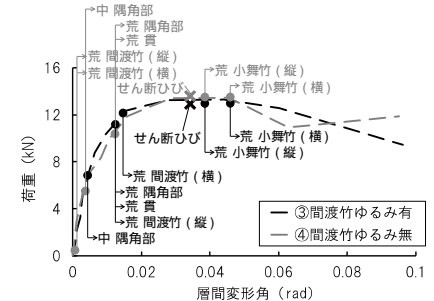
()塗付け各層の抵抗要素に存在する隙間を小さくして、各要素を微小変形時から抵抗させると、小舞土壁の初期剛性は向上することがわかった。一方で、間渡竹と軸組に設けた欠込み穴とのゆりみの無い場合には、荒壁層の表裏にはく離を生じさせる危険性が高いことがわかった。



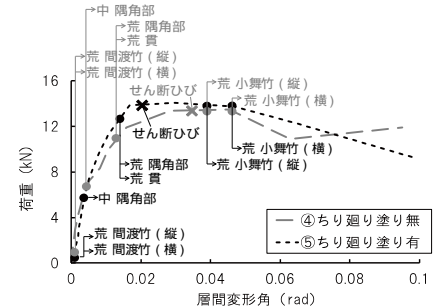
(a) 荒壁層と中塗層の層厚比の影響 (吸収エネルギーの大きい壁土の場合)



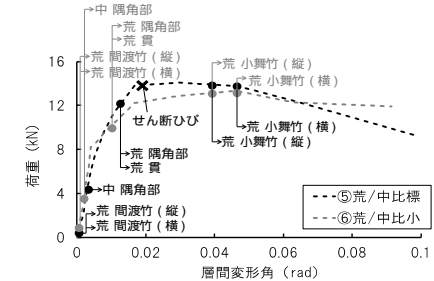
(b) 荒壁土および中塗土の割合の影響



(c) 間渡竹と欠き込みのゆりみの影響



(d) ちり廻り塗りの有無の影響



(e) 荒壁層と中塗層の層厚比の影響 (弾性係数・圧縮強度の大きい壁土の場合)

図5 骨格曲線と抵抗要素の抵抗開始点

(2)塗付け各層の組合せ、および塗付け方法が力学特性に及ぼす影響

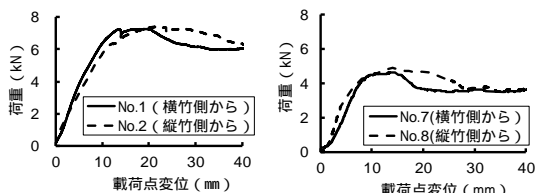
要素実験による検討

図6に荒壁土を最初に塗り付ける側(横竹

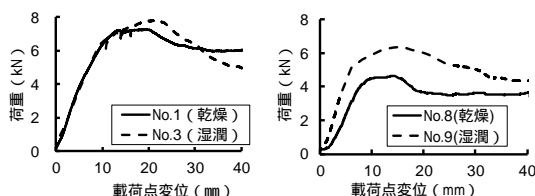
側、縦竹側)の異なる試験体を、図7にうら返し塗り時のおもて塗り層の乾燥状態の異なる試験体の荷重 - 変形関係を比較した。また、表4は、土壁層内部のはく離状況を把握するために測定した超音波伝播時間の測定結果の例である。荷重 - 変形関係および内部のはく離状況を分析した結果、以下のことが明らかとなった。

() 荒壁土を最初に塗り付ける側(横竹側・縦竹側)は、京都府産および埼玉県産のいずれの壁土を用いても、縦竹側からのほうが、荷重が大きく、荒壁層の表裏が一体化しやすい傾向が明らかになった。

() うら返し塗りを行う際のおもて塗り層の乾燥状態は、乾燥収縮量の小さい京都府産の壁土を用いた場合、おもて塗り層の乾燥後にうら返し塗りを行ったほうが、最大荷重は小さいものの最大荷重点後の荷重低下は緩慢であり、大変形時に荒壁層の表裏にはく離が生じにくかった。一方、乾燥収縮量の大きい埼玉県産の場合では、うら返し塗り層の乾燥収縮によって荒壁層の表裏が一体化しにくいいため、湿潤な状態のうちに行ったほうが、荷重は大きくなることわかった。



(a) 京都府産の場合 (b) 埼玉県産の場合
図6 荒壁土を最初に塗り付ける側の影響



(a) 京都府産の場合 (b) 埼玉県産の場合
図7 うら返し塗り時のおもて塗り層の乾燥状態の影響

表4 超音波伝搬時間の測定結果

試験体No.	載荷点変位 (mm)			
	0	12	18	25
No.7				
No.8				
No.9				
No.10				

カラースケール: 30 200 (μs)

壁試験体の水平加力実験による検討

図8に、要因ごとに比較した骨格曲線を示す。また、表5には、加力中の面外方向のはらみ量と、ひび割れおよびはく落の状況を示す。これらの結果を分析したところ、以下のことが明らかとなった。

() 極端に異質な荒壁土と中塗土を塗り重ねると、両者の層間ではく離が生じやすい。() 塗付け層数を増すと、塗付け各層が一体化しやすくなる。

() 荒壁土を小舞下地の横竹側から塗り付けるよりも縦竹側から塗り付けたほうが、荒壁層の表裏が一体化しやすい。

() うら返し塗りを、おもて塗り層の湿潤なうちに行うと、変形が小さいうちは荒壁層の表裏が一体化しやすいが、一旦はく離が生じると、おもて・うらの両面が小舞下地から脱落しやすい。

以上のように、水平力を受けた小舞土壁の塗付け各層の一体性に対する影響が明らかとなった。

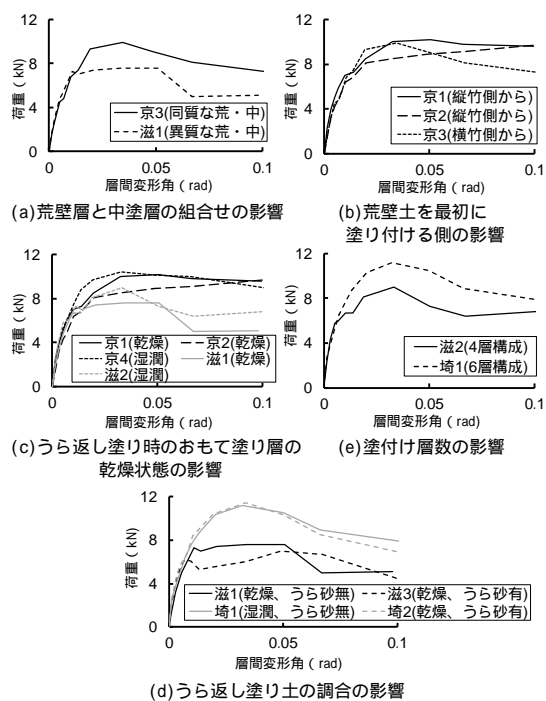


図8 骨格曲線

表5 (1) はらみ量およびひび割れ性状(京都府)

試験体No.	はらみ量					ひび割れ性状					
	1/50	1/30	1/20	1/15	1/10	1/50	1/30	1/20	1/15	1/10	
京1	横竹側										
	縦竹側										
京3	横竹側										
	縦竹側										
京4	横竹側										
	縦竹側										

表 5 (2) はらみ量およびひび割れ性状
(滋賀県・埼玉県)

試験 体No.	はらみ量					ひび割れ性状					
	1/50	1/30	1/20	1/15	1/10	1/50	1/30	1/20	1/15	1/10	
滋 1	横竹側										
	縦竹側										
滋 2	横竹側										
	縦竹側										
滋 3	横竹側										
	縦竹側										
埼 1	横竹側										
	縦竹側										
埼 2	横竹側										
	縦竹側										

【注】 はらみ量のカラースケール 0 10mm
【凡例】 : 荒壁層の表裏を境界にはく落
 : 荒壁層と中塗層の層間を境界にはく落

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計1件)

山田宮土理、奥石直幸：塗付け各層の抵抗要素が力学特性および破壊性状に及ぼす影響 小舞土壁に用いる壁土に関する研究 その4、日本建築学会構造系論文集、査読有、第82巻、pp.503-512、2017.4

〔学会発表〕(計7件)

三浦しおり、山田宮土理、奥石直幸、今里容子：壁土の性質に関する基礎的研究 第28報 荒壁土の塗付け方法が力学特性に及ぼす影響(埼玉県産の壁土を用いた場合) 日本建築学会大会、2016年8月24日、福岡大学(福岡県福岡市)

今里容子、山田宮土理、奥石直幸、三浦しおり：壁土の性質に関する基礎的研究 第27報 荒壁土の塗付け方法が力学特性に及ぼす影響(京都府産の壁土を用いた場合) 日本建築学会大会、2016年8月24日、福岡大学(福岡県福岡市)

山田宮土理、奥石直幸、三浦しおり、今里容子：壁土の性質に関する基礎的研究 第26報 水平加力実験における小舞土壁の荷重-変形関係に影響を及ぼす要因、日本建築学会大会、2015年9月4日、東海大学(神奈川県平塚市)

三浦しおり、山田宮土理、奥石直幸、今里容子：壁土の性質に関する基礎的研究 第25報 水平加力実験における小舞土壁の破壊性状に影響を及ぼす要因、日本建築学会大会、2015年9月4日、東海

大学(神奈川県平塚市)

今里容子、山田宮土理、奥石直幸、三浦しおり：壁土の性質に関する基礎的研究 第24報 水平加力実験における小舞土壁の力学特性、日本建築学会大会、2015年9月4日、東海大学(神奈川県平塚市)

6 . 研究組織

(1)研究代表者

奥石 直幸 (KOSHI ISHI, Naoyuki)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：00257213