

土壁の構造・材料性能に関する検討

システム科学技術学部 建築環境システム学科

2年 鈴木 里佳

2年 小林 咲月

2年 佐々木 彩乃

指導教員 建築環境システム学科

助教 大塚亜希子

助教 櫻井 真人

助教 李 雪

教授 菅野 秀人

1. 研究の背景と目的

建築材料として代表的なものは木材やコンクリートなどである。しかし、歴史を遡っていくと「土」が主な建築材料として使われており、約 1300 年の長い歴史と、場所によらず手に入れやすい材料であることから日本各地に広まっていった。

土壁は左官職人により作られ、建物により完成度が異なるものであり、昔から住宅や蔵などの材料として用いられてきた。自社仏閣の構造やデザインにはもともと興味はあったが、授業を通じて古くより使用されている「土壁」に興味をもつようになった。そこで、構法、工法、材料、構造、デザインなど様々な方面からのアプローチによって「土壁」に対する理解を深めたいと考え、土壁に興味を持ったため実験の対象として適切だと考えた。

近年、世界全体に占める日本の災害発生割合は、マグニチュード 6 以上の地震回数 20.8% (1996 年から 2005 年の合計) となっており、世界の 0.25% の国土面積に比して非常に高くなっている。四季折々の美しい自然豊かな日本であるからこそ、その分自然災害が多い。このように、昔と現在とでは遥かに環境が違うことがわかる。

したがって、本研究では土壁の材料性能と構造性能に焦点を当て、日本各地の代表的な土を使用し、強度に違いが生まれるか調査するものである。

2. 研究の進め方

本研究では「土壁」の構造・材料に対する知見を得るために、以下の工程で研究を行う。

第 1 ステップ：県内の「土壁」を使用した建築の見学に赴き、土壁の使用例と使用方法について情報収集を行う

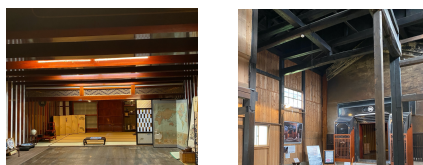


図 1 見学場所：秋田県横手市増田町「増田の蔵」

第 2 ステップ：材料・構法・工法の検討を行い、実際の隅角部を再現した「土壁」の要素試験体を作製する

第 3 ステップ：第 2 ステップにて作製した試験体に対して構造性能について要素試験を行い、「土壁」の構造性能について検討を行う。

3. 土壁について

土壁とは、土を用いて作られた壁、もしくは日本の伝統工法によって作られた壁の両方の意味があり、土壁は茶室の壁としても有名で、かの千利休は土壁が持つ独特の風合いや情緒深い佇まいを好んで、積極的に取り入れられていた。土壁とひとくちに言っても種類は豊富で、京都で造られる土壁を京壁と言い、他には原料の土に砂や鉄といった素材を混ぜて独自の風合いを表現した聚楽壁、大津壁、錆壁などがある。土壁のメリットとしては木造建築よりも火事が広がりにくい耐火性があること。さらに、壁としての強度もあり生産が容易であったことから、火事が多かった江戸の町では広く使用されていたと言われている。他にも調湿作用や脱臭作用も期待されている。

(1) 土の地域差-傾向

土の地域差や傾向を見るため、関東「荒木田土」と関西「淡路真砂土」を比較する。「荒木田土」は自然から生まれ、心落ち着く風格のある土壁であり、防火性や蓄熱性、遮音性、調湿性にも優れている。乾燥したものは、グラウンドやテニスコート、園芸など幅広く使用されている。比べて、「淡路真砂土」は兵庫県淡路島で採れる山土で、適度に砂利や砂が入った土である。色が濃く粘土分が多い。このことから、土壁に使用されている土と言っても様々な性能や色味があり、一概には言えないことがわかる。

(2) 土壁の作り方

土壁は完成するまでに 2~3 ヶ月ほど費やされることもあり、土壁の強度や見た目は、職人さんの技術力に大きく影響すると言われている。

第1段階：竹小舞

竹を縄で編んだ格子状の面で、土をつける下地となる

第2段階：荒壁

土にスサを入れてこねたものを小舞に塗り、平にならす

第3段階：中塗り

荒壁の上に塗る

第4段階：仕上げ

漆喰などで表面を仕上げ、左官職人の腕の見せ所でもある

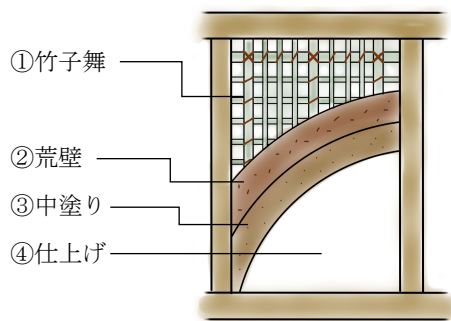


図2:土壁の作り方

4. 材料実験

(1)土のふるいわけ試験

—実験方法

1. 目の粗いふるいから順番にかける

使用したふるい：150・212・300・425・600・850 μ m

2. それぞれのふるいに残った試料の質量を測り、まとめる

3. 1分間に各ふるいを通過するものが、全試料質量の0.1%以下となるまで行う

[実験でを使用した土：日の丸酒造の土]



図3:850 μ mを境に分けたもの

(2)土の圧縮試験

—試験体作製

直径60mm・高さ200mmの円柱

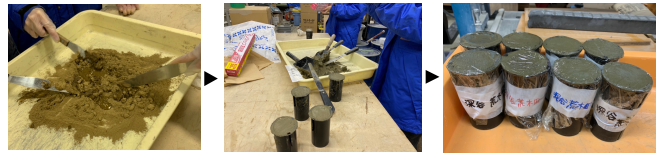


図4:試験体作製過程

表1:土の粒

粒径による 分類	砂		シルト	粘土
	粗砂	細砂		
粒子の直径 (μ m)	421~ 2000以下	420 以下	6~75以下	5以下

—圧縮試験方法

1. 作成した試験体を加圧する機械に設置

2. 次に载荷スピード5mm/minで圧力かける

3. この時の壊れ方をそれぞれの試験体ごとに記録しグラフを作成

—圧縮試験結果

図6に4種類（深谷荒木田/淡路荒壁土=淡路の土/淡路中塗り/淡路聚楽土）全ての応力-ひずみの関係を示す。加力中および加力終了後の破壊性状を観察すると、いずれの土も比例関係を示すが、強度で比較すると、強い順に深谷荒木田、深谷聚楽土、淡路中塗り、淡路真砂土となる。

結果をもとに要素実験で使用する土を決定することとする（表2を参照）。



図5:圧縮試験

表2:材料実験データ

試験体名 土種類	試験体No	サイズ					質量		密度		含水率 (%)	最大荷重 (kN)	圧縮強度 (N/mm ²)	断面積 (mm ²)
		高さ(mm)	径①(mm)	径②(mm)	半径(mm)	容積(mm ³)	全乾(g)	気乾(g)	気乾(g/cm ³)	全乾(g/cm ³)				
深谷荒木田	りか2	90.14	49.93	44.81	23.7	158779.3	257.74	248.6	1.62	1.57	3.68	8.4	4.8	1761.5
	さつき1	90.03	44.15	44.8	22.2	139794.1	253.87	244.54	1.82	1.75	3.82	7.9	5.1	1552.8
	さつき2	91.6	44.68	44.48	22.3	142904.3	261.32	251.78	1.83	1.76	3.79	9.0	5.8	1560.1
	のべ1	90.54	44.64	44.64	22.3	141631.1	260.05	250.3	1.84	1.77	3.90	9.4	6.0	1564.3
	のべ2	89.8	44.01	44.89	22.2	139280.2	253.54	244.17	1.82	1.75	3.84	8.0	5.1	1551.0
	のべ3	91.47	44.24	44.73	22.2	142093.9	261.79	252.47	1.84	1.78	3.69	8.0	5.2	1553.4
淡路土	のべ1	98.31	47.71	48.98	24.2	1834.733	297.43	294.04	1.65	1.63	1.15	1.5	0.8	1834.7
	のべ2	98.4	47.69	47.55	23.8	1780.117	297.86	296.83	1.70	1.70	0.35	1.4	0.8	1780.1
	りか1	97.26	47.36	47.99	23.8	1784.231	295.12	294.47	1.70	1.70	0.22	1.9	1.1	1784.2
	りか2	98.59	48	47.59	23.9	1793.224	295.09	294.4	1.67	1.67	0.23	1.6	0.9	1793.2
	りか3	98.81	47.76	47.84	23.9	1793.599	296.96	296.42	1.68	1.67	0.18	1.6	0.9	1793.6
	さつき1	98.92	47.53	47.43	23.7	1769.665	301.89	298.62	1.73	1.71	1.10	1.7	1.0	1769.7
淡路中塗り	さつき2	98.47	47.5	47.59	23.8	1774.514	302.48	301.15	1.78	1.72	0.44	1.4	0.8	1774.5
	のべ	96.95	47.41	47.52	23.7	171511.3	287.45	287.22	1.68	1.68	8.01	1.6	0.9	1769.1
	さつき	96.61	47.82	47.69	23.9	173077.8	288.44	283.47	1.67	1.64	1.75	1.7	0.9	1791.5
深谷聚楽土	りか	98.41	47.59	47.56	23.8	174975.9	286.91	286.33	1.64	1.64	0.20	1.4	0.8	1778.0
	のべ	94.41	45.98	46.43	23.1	158268	264.41	263.56	1.67	1.67	0.32	3.5	2.1	1676.4
	さつき	92.97	46.59	46.03	23.2	156664.7	268.82	268.21	1.72	1.71	0.23	4.9	2.9	1685.1

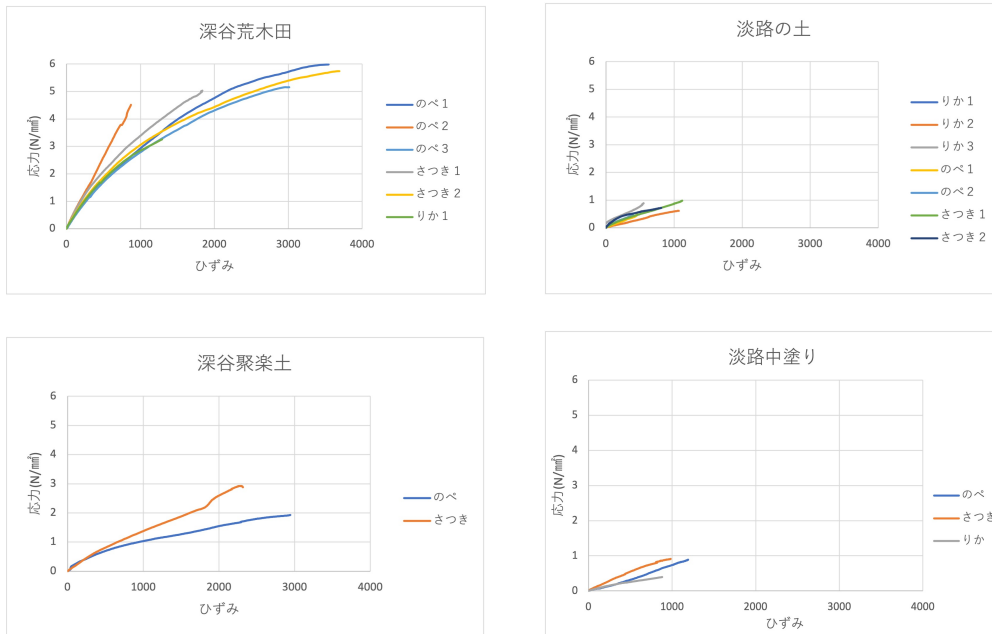


図 6: 応力-ひずみ関係

5. 要素実験

—試験体作製方法

1. 試験体は300mm四方(フレームは除く)で、間渡竹を縦横それぞれ2本ずつ小舞竹は3本ずつとする
2. フレームから間渡竹までは105mm、小舞竹の間隔は25mm(裏表両方)
3. 小舞竹の先端からフレームまでは20mm(裏表両方)

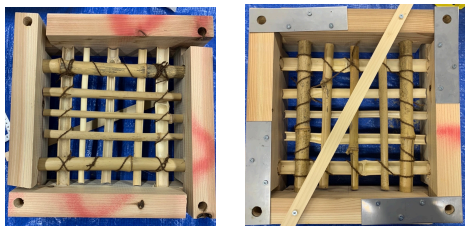


図 7: 試験体裏表

[試験体の種類]

表3に試験体の種類を示す。中塗りの土は3体とも同様の土を使用し、荒塗りの土を深谷荒木田と深谷荒壁土の2種類を使用する。さらに、1・3は縦塗りで、2は横塗りとする合計3体の試験体を作製した。縦塗りは縦竹側から塗ること、横塗りは縦竹側から塗ることを指す。

表3: 試験体の種類

試験体	中塗り	荒塗り
1 (りか)	深谷聚楽土	深谷荒木田
2 (さつき)	深谷聚楽土	深谷荒木田
3 (のべ)	深谷聚楽土	淡路荒壁土

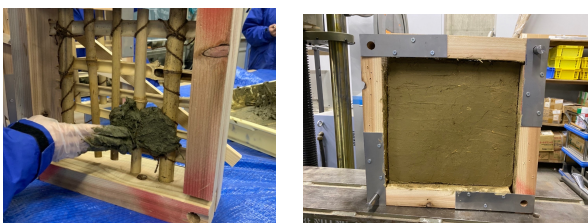


図 8: 試験体作製

—要素実験

1. 作成した試験体を対角に加圧する機械に設置
2. 载荷スピード5mm/minで圧力かける
3. この時の壊れ方をそれぞれの試験体ごとに記録し、グラフを作成する。

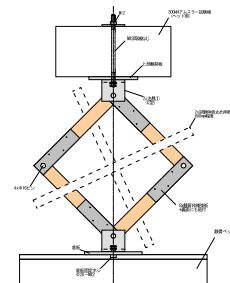


図 9: 加力方法

—要素実験予想

試験体の種類が3種類ある中で、材料として性能が良い深谷荒木田の土を荒塗りとして使用し、縦塗りにした「試験体1」が最も頑丈な試験体になると考える。

—要素実験結果

図10に3種類の試験体の荷重-変形関係を示す。

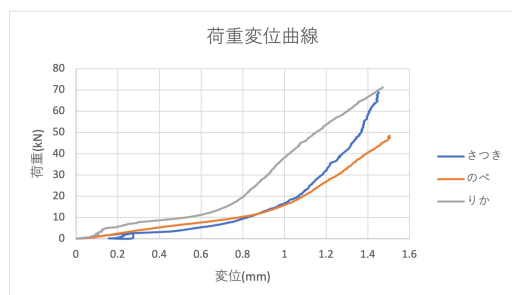
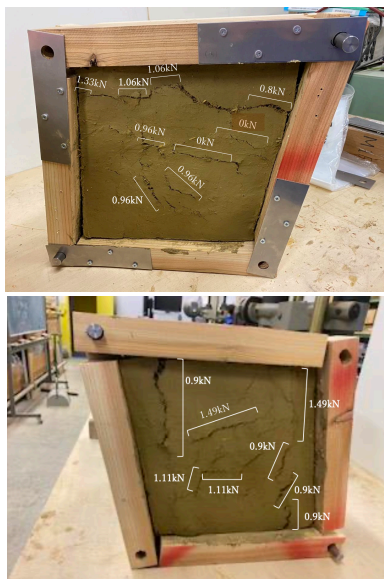


図 10: 荷重-変形関係

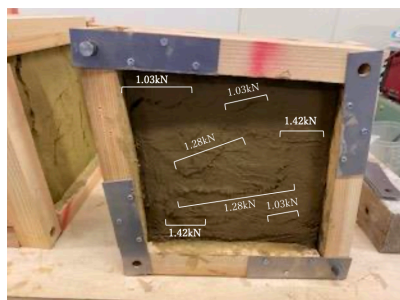
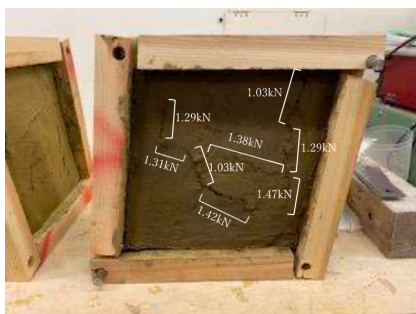
図10から3つの試験体の荷重-変形関係を比較すると、試験体1の[中塗り:深谷聚楽土/荒塗り:深谷荒木田/縦塗り]という組み合わせが3試験体の中で、最も強度が高い試験体であることが確認できた。試験体2の[中塗り:深谷聚楽土/荒塗り:深谷荒木田/横塗り]についても最終的な強度は上がっているが、こちらは木材フレームがロッキングされたことによる影響が考えられる。

また、全ての試験体で共通して最大荷重点を迎え、変形が大きくなると、いずれの試験体も発生したひび割れが進展して荷重は低下した(表4・図11を参照)。

材料実験で述べたように、中塗りや荒塗りにおいて、強く粘り強い土を使用することは、土壁の強さに関係することが明らかとなった。



(1) 試験体 1



(2) 試験体 3

図 11: 荷重によるひび割れ状況 (両面)

表4: 最大荷重

試験体	速度(mm/min)	最大荷重(KN)
1 (りか)	5.00	1.49
2 (さつき)	5.00	1.03
3 (のぺ)	5.00	1.47

6. まとめ

本研究では土壁の材料性能と構造性能に焦点を当て、日本各地の代表的な土を使用し検討を行った。土による材料性能や、短縮した小型試験体の水平加力実験を行い、構造性能を調査した結果、以下のことが明らかとなった。

(1) 材料試験から土壁を構成する土の種類により、性質にばらつきがあることが分かった。また、4種類の土を比較することにより、それぞれの土の強さや粘り強さに違いが生まれることが分かった。

(2) 要素実験から、土壁を構成する土の種類や塗り方の方向変え、それぞれの試験体を比較することによって、固さや粘り強さに違いが生まれることが分かった。

本研究では、要素性能を把握するにとどまり、土壁の壁全体の性能は調べられなかった。今後研究する機会があれば、構造実験までを行い、部位性能を調べたい。また、日本各地の土を取り寄せることで土の性能を調査したが、現地で採取した土を使うことや、実際に建てられていた建物、もしくは現在も建てられている建物から採取した土壁を使った研究も面白い結果が得られるのではないかと考える。

<参考文献>

- 1) 山田宮土理他: 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-日本建築学会構造系論文集2017.4
- 2) 興石直幸他: 壁土の性質に関する基礎的研究 第9報 湿式成形した壁土の一軸圧縮強度に影響を及ぼす要因-日本建築学会大会学術講演梗概集 2008.9 (中国)
- 3) 三浦しおり他: 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) 日本建築学会大会学術講演梗概集 2016.8 (九州)