

## 補強繊維の壁土強度への影響

### Influence of Reinforcing Fiber to Strength of Mud Plasters

山田耕司<sup>1</sup>

Koji Yamada

<sup>1</sup>豊田高専教授 建築学科 (〒471-8525 愛知県豊田市栄生町2-1)

Professor, National Institute of Technology, Toyota College, Dept. of Architecture

In this paper, the influence of reinforcing fiber to the strength of mud plaster is discussed. The kinds of reinforcing fiber are straw, Japanese sliding-screen paper, lavatory paper, Japanese writing paper, newspaper, hemp string, and cotton yarn. Results are as follows : 1) string is better material to reinforce mud plaster than paper. 2) There is the best combination of the string length and mix rate.

**Keywords:** traditional wooden house, mud plaster, reinforcing fiber, compression stress

#### 1. 序

土壁の耐力は壁土の強度特性に依存する。また土壁は壁土から成り、壁土の材料には土と水の他にすさが存在する。すさは壁土に亀裂が生じることを防ぎ、壁土のせん断特性を向上させる。本研究では、一般的に用いられる藁すさの代替として、別の材料を壁土に混入することで壁土の強度を向上させることを目的とする。ただし、その際に用いる繊維材料は環境に配慮し藁すさと同様の自然素材とし、代替となる繊維の配合量および、その長さを調整することで更なる強度の向上を検討する。藁すさの含有量に関する実験は、神品ら<sup>1),2)</sup>、荘所ら<sup>3)</sup>、が行っており、すさ混入率、すさ長さとの関係を検討している。また、越智ら<sup>4)</sup>は、すさ以外に土の細粒分に着目し、圧縮強度との関係を検討している。

#### 2. 実験概要

試験体作成の材料は粘土、砂、すさ類（繊維）とする。試験体は、図1に示す直径50mm、高さ100mmの円柱とし、型枠にはM画紙を使用した。試験体作成手順を以下に示す。

a) 乾燥した壁土を試験体1本に対し400 g 量り採り粉末状になるまで棒等で突く。

b) 壁土にすさ（繊維）を混入した後、成形できる程度に水を加え、混ぜ練り合わせる。

（乾燥工程では、この時加えられた水に相当する水分を除去する）

c) M画紙で作成した型枠に泥状の壁土を型枠の3分の1ずつ詰め、棒で20回付く。

（なお、型枠の変形を防ぐため、コンクリート圧縮強度試験用円柱型枠でM画紙の型枠を支えた）

d) 乾燥工程：定温乾燥機（I社製BL-115S）を用いて、M画紙の型枠を付けた状態で乾燥する。

条件1種につき10体（圧縮試験用5体、割裂試験用5体）を質量比で粘土:砂=1:2として作成した。混練・整形が完了した試験体を定温乾燥器（I社製BL-115S）によって乾燥させる。定温乾燥器の温度は60℃に設定し、乾燥時間は12時間程度とした<sup>5)</sup>。

繊維を混入した壁土の強度特性を検証するため、繊維の混入量および長さを調節し実験を行った。表1に

今回の試験で壁土試験体に繊維種類を記す。

圧縮および割裂試験では、試験時における載荷速度は2mm/minとし、圧縮試験では20mm、割裂試験では10mmの変形が認められた時点で載荷を停止した（図1）。圧縮試験前には、試験体の上下面を削り平らにした。試験にはS社製DTB-100を用いた。

表1 すさ（繊維）種類一覧(混入量は壁土に対する重量比)

		1%	2%	3%
藁すさ		○	○	—
障子紙		○	—	—
トイレットペーパー		○	—	—
麻	1cm	○	○	—
	2cm	○	○	—
綿	1cm	○	○	—
	2cm	○	○	—

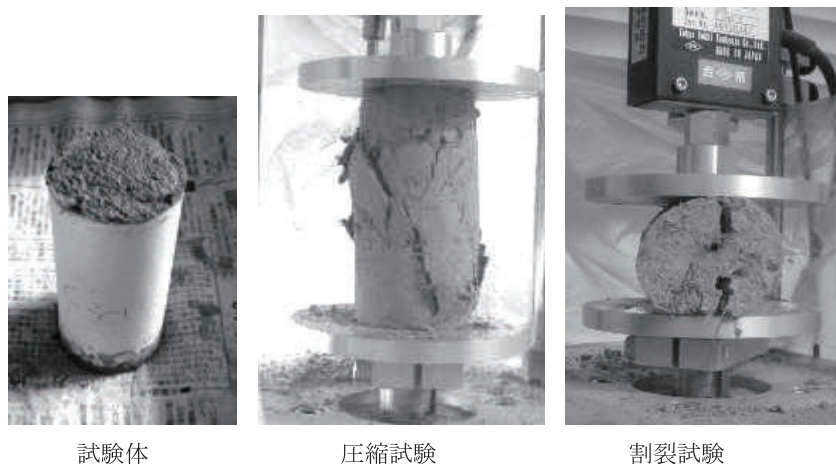


図1 試験体および圧縮試験、割裂試験の状況

### 3. 実験結果および考察

#### (1) 圧縮強度試験結果

圧縮強度試験における応力-歪曲線を図2に示す。なお、5体の試験体の差を明確にするため、図中では線種を変えている。以下にその特性を記述する。

すさ無しの試験体（図2a）は、応力-歪曲線においてあまり共通した性状を示さなかった。最大圧縮強度における歪は試験体ごとに大きく異なり、また、圧縮強度が最大値に到達後すぐに、その2割以下まで低下した。これより、すさを混入しない壁土は安定した強度を見込むことができなると言える。

すさとして藁を混入した場合（図2b,c）は、すさ無しの試験体とは異なり、圧縮試験においては最大強度到達後の強度低下が緩やかになった。これより、すさを混入することで壁土の靱性が増すことが確認できた。藁すさの混入量を増加させた場合、最大強度到達後の強度低下がより緩やかになった。特に、2%混入時では試験終了の歪0.2の点においてもすべての試験体が最大圧縮強度の50%を下回らなかった。ただし、2%の試験体は最大圧縮強度が1%のものをおよそ30%下回ったうえ、そのバラツキも増加した。これより、すさは混入量の増加に伴い靱性が増加するが、最大圧縮強度は逆に低下し、そのバラツキも増加する傾向にあることがわかる。

紙すさを混入した試験体（図2d,e）は、圧縮試験において最大強度到達後に急激な強度低下を示した。これより、紙を混入した試験体はすさ混入時の特性がほとんど現れなかったことがわかる。また、各試験体における最大強度のバラツキが小さかった。加えて、これらの試験体は最大圧縮強度においてすさ無し及び藁1%と大差ななかった。

麻を混入した試験体（図2f,g）は、強度の大きな増加こそ見られないものの、破壊後の強度低下が緩やか

になり、粘り強い挙動を示した。ただし、最大強度の値やそこに到達した時の歪といった値もバラツキが大きく、藁すさに近い性質を示していると考えられる。麻の混入量を増加させた場合、藁すさと同様に、すさ混入量の増加に伴い最大圧縮強度到達後の強度低下が緩やかになるというすさ混入時における応力-歪曲線の特徴がより顕著に現れた。また2%混入時では、一部の試験体において最大強度到達時の歪が極端に大きな値を示した。これらの試験体は最大強度到達までの応力-歪曲線が線形増加を示さず、途中で傾きが変化するという他に見られない特徴を示した。さらに最大圧縮強度の平均値は2%の試験体が1%のものをおよそ10%程度上回り、そのバラツキもある程度小さくなった。これは藁すさとは相反する特性を示しているものの、2%の試験体は最大強度到達点が1%のものに比べ後退していることから、靱性が十分に増加していることがわかる。よって、麻は混入量の増加によりすさとしての効果を増したと考えられる。麻のすさ長さを変化させた場合（図2j）は、応力-歪曲線の変化はほぼ見られなかった。最大圧縮強度についても大きな変化は見られず、1cmの試験体の一部における突出した値を除けばほぼ同様の結果になった。このことから、麻は投入時に長さを変化させたとしても壁土にあまり影響を及ぼさないものと考えられる。

綿の場合（図2h,i）は最大圧縮強度が高い数値を示しており、そのバラツキも小さいものの、破壊後の強度低下は著しかった。これは最大強度の違いはあるものの、紙すさを混入した場合と同様に、靱性に欠ける圧縮強度特性を示したと言える。綿の混入量を増加させた場合、応力-歪曲線の変化はほとんど見られず、最大強度がおよそ25%低下するという結果を示した。最大圧縮強度到達後の強度低下が緩やかになるというすさ投入時に共通する傾向は見られたものの、その効果は僅かであった。このことから、綿は混入量を増加させてもすさとしての効果はあまり見られないと考えられる。綿のすさ長さを変化させた場合（図2k）は、最大圧縮強度の値はほぼ変化しなかったものの、2cmの試験体は1cmのものに比べ強度低下が緩やかになり、靱性の向上が見られた。よって、綿の長さは1cmよりも2cmで混入したほうが壁土の靱性が増すと考えられる。

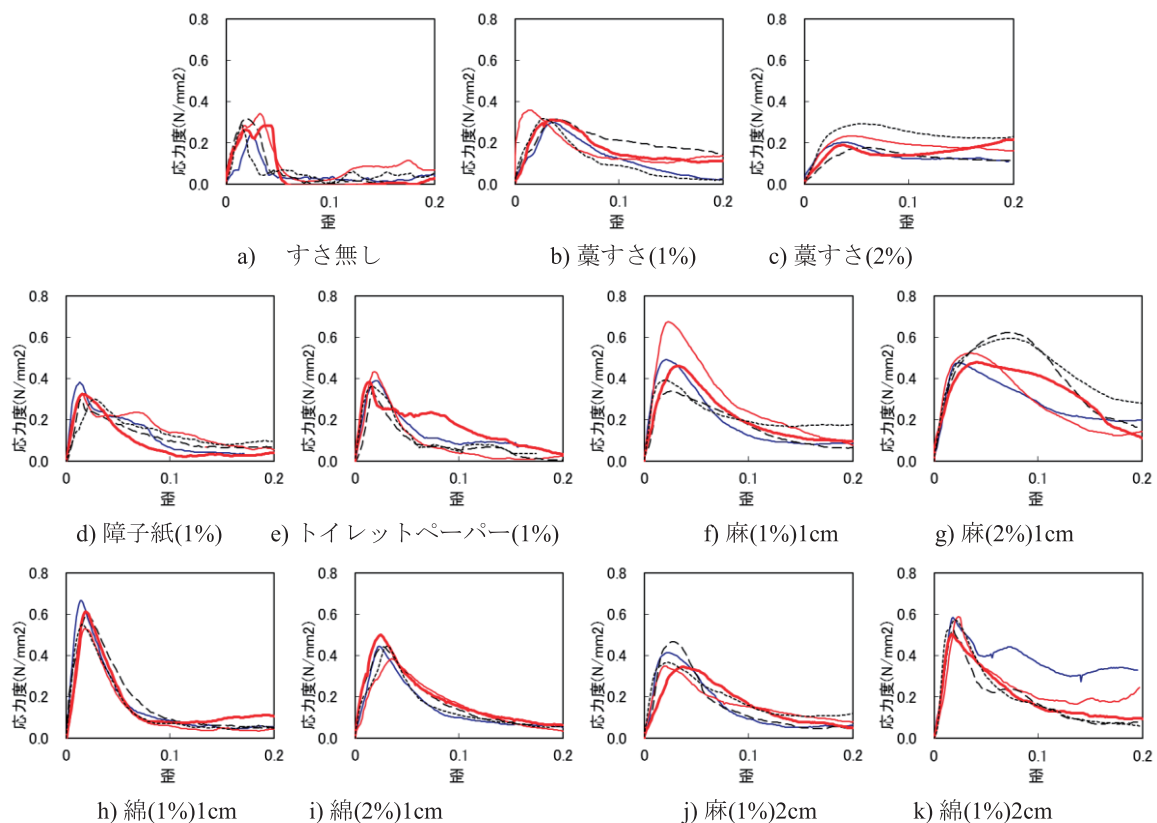


図2 圧縮試験結果

## (2) 最大圧縮強度の比較

最大圧縮強度の平均値および変動係数を図3に示す。図3より、麻および綿を混入した試験体が高い圧縮強度を示した。またすさ混入時の傾向として、藁すさ1%投入時にはすさ無しと比べて最大圧縮強度がわず

かに増加したものの、2%では逆にやや減少した。しかし、麻の場合には混入量の増加に従って圧縮強度が増加し、また綿の場合では藁すさと同様に、混入量の増加に伴って圧縮強度が低下していった。また、変動係数は藁2%および麻1cm1%が他の試験体よりも高い値を示した。よって、これらの試験体は、最大強度のバラツキが大きい傾向にあることがわかる。また、すさ無しおよび麻の試験体は他の試験体よりも全体的に変動係数が大きく、麻は壁土の圧縮強度にバラツキを生じさせやすい混和材であると言える。

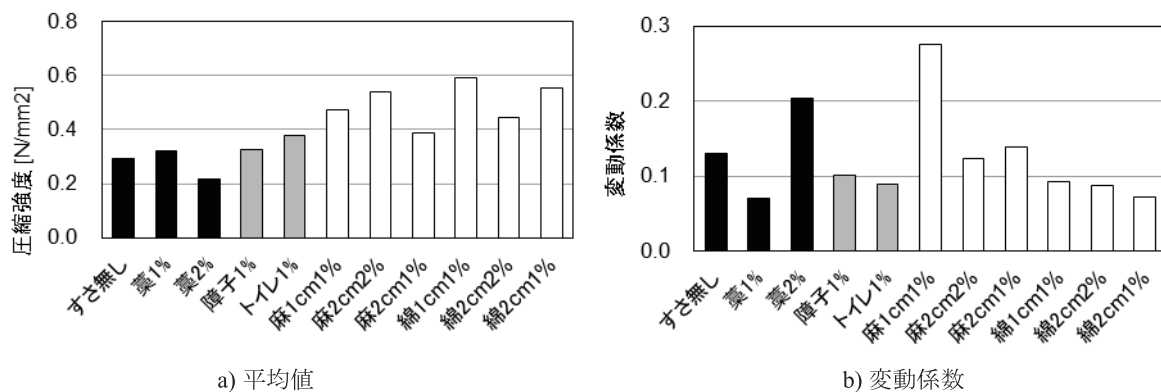


図3 最大圧縮強度の比較

### (3) 最大引張強度の比較

割裂試験による試験体5体の最大引張強度の平均値および変動係数を図4に示す。図4より、麻および綿を混入した試験体が高い引張強度を示した。藁すさ投入時にはすさ混入量の増加に伴い最大引張強度が増加した。これは圧縮試験における結果と真逆の傾向を示しているものの、麻は混入量に伴い最大引張強度が増加し、綿は逆に減少した。よって、麻および綿は圧縮試験と同様の傾向を示したと言える。また、綿の試験体は最大引張強度において他の試験体よりも変動係数が小さくなる傾向が見られる。さらに、綿を混入した試験体の変動係数は繊維の混入量および長さの増大に伴いさらに小さくなる傾向が見られた。このことから、綿は引張強度のバラツキを生じにくい混和材であると言える。

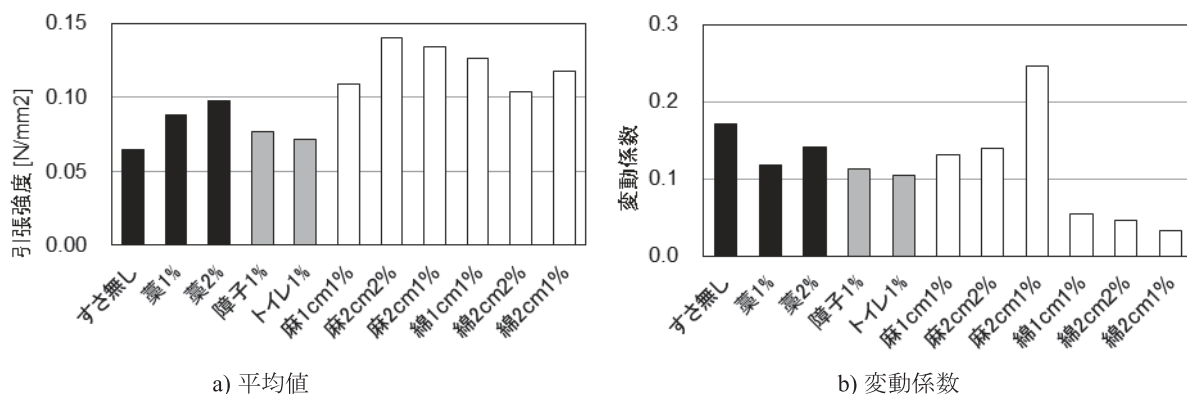


図4 最大引張強度の比較

### (4) 強度低減率

圧縮破壊試験の結果から各試験体の靱性を評価するために、最大圧縮強度と至0.1の点における圧縮強度の比率を1から減じた値を強度低減率と定義する。最大強度到達後の強度低減率を図5に示す。図5より、すさ無しの場合では強度低減率が最も大きいことから、いずれの繊維を混入した場合でも、すさとしての効果が表れていることがわかる。また、藁、麻、綿のいずれもすさ混入量の増加に伴い強度低減率は減少している。これより、繊維混入量を増加させることで壁土の靱性も増加していると言える。しかし、紙すさや綿の試験体などは補強効果が僅かにしか見られない。また、麻は同量の藁すさを混入した試験体とほぼ同様の強度低減率を示しているのに対し、綿は明らかに藁すさに比べ低減率が高い。よって、綿は藁および麻と比べた場合、壁土の靱性にはあまり寄与しない混和材であると言える。

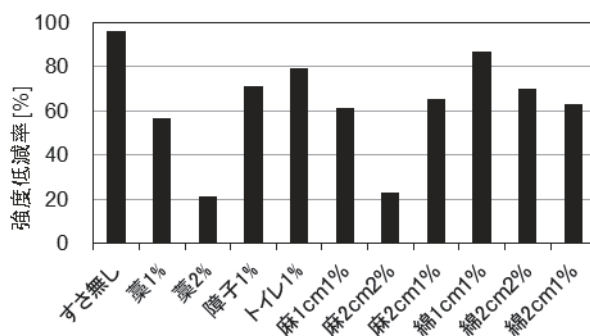


図5 強度低減率

#### (5) 材料費の比較

本項では、壁土に繊維を混入する際に必要となるコストを算出する。土壁は一面につき幅0.8m、高さ2.6m、壁厚0.06mと想定し、これの作成に必要とする材料コストを考えるものとする。

まず、すきを混入しない壁土の体積とその材料コストを求める。なお壁土を構成する材料のうち、すきを除く砂と土の価格は川砂:5000(円/m<sup>3</sup>)、荒壁土:8000(円/m<sup>3</sup>)とする。壁の体積は

$$\text{幅:0.8(m)} \times \text{高さ:2.6(m)} \times \text{壁厚:0.06(m)} = \text{壁の体積:0.1248(m}^3\text{)}$$

となる。壁土を構成する川砂と荒壁土のおおまかな調合比率として体積比 1:1 として計算すると、すきを混入しない壁土の 1 m<sup>3</sup>あたりの土壁単価は両者の平均より 6500(円/m<sup>3</sup>)となる。これに壁の体積を掛けて壁一面の価格を算出すると、壁一面あたりの材料コストは

$$\text{土壁単価:6500(円/m}^3\text{)} \times \text{壁の体積:0.1248(m}^3\text{)} = \text{壁一面の価格:811(円)}$$

となる。次に、土壁の質量を計算し、すさ（繊維）の必要混入量を求める。平均的な試験体質量は350(g)であるから、壁土の比重は以下の通りとなる。

$$\text{試験体質量 350(g)底面積半径 2.5(cm)}^2 \times \pi \times \text{高さ 10(cm)} = \text{壁土の比重: 1.75} \times 10^3\text{(kg/m}^3\text{)}$$

これに壁の体積を掛けて壁一面の重量を算出すると、壁土：すさ（繊維）の重量比 1%あたりのすさの混入量は以下のように算出される。

$$\begin{aligned} \text{壁土の比重:1.75} \times 10^3\text{(kg/m}^3\text{)} \times \text{壁の体積:0.1248(m}^3\text{)} &= \text{壁一面の重量:218.4(kg)} \\ \text{壁一面の重量:218.4(kg)} \times 1\% &= 2.2\text{(kg)} = 2200\text{(g)} \end{aligned}$$

最後に、すさの1gあたりの単価を求める。実験における材料調達時の価格を参考に、すさ（繊維）の単価および投入コストを表2に示す。

#### 4. 結語

本報では、壁土に混入する材料として藁の代替となり得る材料を提案し、それらの補強効果を検討した。今回使用した補強繊維のうち、壁土に混入するのに適している補強繊維は麻または綿であると言える。麻を混入した壁土は最大強度のバラツキが大きくなる傾向が見られるものの、少ない混入量にて十分な靱性が得られていた。また綿を混入した壁土は靱性に欠けるが、最大強度の向上には十分に寄与しており、圧縮・引張ともに最大強度のバラツキが非常に小さくなった。しかし、麻と綿は共に藁スサと比べ多大なコストを要

することから、補強繊維として実用性を求めるのであればより安価な材料を用いる必要があると言える。

表2 すさ（繊維）の単価および投入コスト（混入量1%あたり）

繊維の種類		単価 (円/g)	材料コスト (円)
	藁	0.2	440
紙類	トイレ紙	0.2	440
	障子紙	1.0	2200
ひも類	麻ひも	0.7	1540
	綿ひも	3.89	8558

## 参考文献

- 1) 神品夏葉, 興石 直幸, 山田 宮土理, 佐藤 絢一: 壁土の性質に関する基礎的研究 第18報 中塗土の基本的性質, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (東海), pp.431-432, 2012.9
- 2) 山田宮土理, 興石 直幸, 佐藤 絢一: 壁土の性質に関する基礎的研究 第21報 荒壁の圧縮特性に及ぼす調合の影響, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北海道), pp.889-890, 2013.8
- 3) 荘所 直哉, 早崎 洋一, 三芳紀美子, 大橋 好光: 壁土の圧縮強度特性に与える要因に関する研究 その1 粗粒分含有率・含水比・スサ含有率の影響について, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), pp.787-788, 2015.9
- 4) 越智隆行, 宮本慎宏, 宇都宮直樹, 小林正幸, 山中稔, 松島 学: 壁土の調合が強度特性に及ぼす影響, 日本建築学会技術報告集 第21巻 第48号, pp.461-465, 2015.6
- 5) 山田耕司, 中治弘行, 鈴木祥之: 壁土の配合と強度に関する定性的傾向, 日本地震工学会・大会-2009梗概集, pp 332-333, 2009年