

# 壁土の練り置きが圧縮強度に与える影響

— 微生物の活動と壁土の関係 —

Effects of “Nerioki” on the Compressive Strength Characteristics of Wall Mud:  
The Relationship between Microorganism Activity and Wall Mud

齊 藤 美 月\* 江 尻 憲 泰\*\*

Mizuki SAITO

Norihiro EJIRI

**要 約** 本研究では土壁の製造工程である練り置きが強度に与える影響を明らかにすることを目的とし、練り置き長さ、その過程で行われる代謝が強度に与える影響を微生物の観点から分析した。荒壁用壁土を対象に、練り置きをしない試験体、4ヶ月間ひと月ごとに練り置いた試験体、藁無混入で練り混ぜ時と4ヶ月後の試験体計7条件用意し圧縮試験を行った。また、藁、土をそれぞれ滅菌処理し練り置きに影響が出るか検証した。練り置き期間の長さで比較すると、練り置くほど藁が分解され繊維状になり、乾燥収縮によるひび割れが減少した。また、1ヶ月練り置きと4ヶ月練り置きを比較すると圧縮応力度が2倍近く上昇するというデータが得られた。無菌操作を行った試験体では、藁を滅菌した試験体では代謝が行われず土壌を滅菌した試験体で代謝がみられた。これにより土壌中の微生物などが代謝を行っていることが判明し、土壁の強度に影響を与えていると推測される。

**キーワード**：土壁、圧縮強度、練り置き、代謝、無菌試験

**Abstract** The purpose of this study was to ascertain the effects of kneading in water and straw (means “Nerioki”) on the strength of mud walls and to analyze the effects of intervals when water and straw were kneaded in and the effects of microorganism metabolism during “Nerioki” on strength. Compression tests were conducted under the following conditions: no kneading in of water and straw, kneading in water and straw every month for 4 months, kneading in water but not straw, and kneading in of water but not straw after 4 months. Straw and soil were sterilized to see if they affected the “Nerioki”. The longer the interval of “Nerioki”, the more the straw decomposed and became fibrous and the less cracking that occurred due to drying shrinkage. When “Nerioki” was compared at 1 and 4 months, compressive stress increased nearly two-fold. Metabolism was observed in the sterile specimens but not in the specimens with sterilized straw. This indicates metabolism by the microorganisms in the soil, and this presumably affected the strength of the mud wall.

**Key words** : Mud wall, Compressive strength, Kneading and Placing, Metabolic, Asepsis test

## 1. はじめに

土壁は日本の伝統的な工法であり寺院建築から茶室建築、一般住宅にまで普及した。近年ではサステナブルな建材として再注目され平成15年の国土交通省告示第1543号の改正によって壁倍率が見直されるなど建築法規上の評価も徐々に向上している。

---

\* 家政学研究科住居学専攻  
Graduate School of Home Economics,  
Division of Housing and Architecture  
\*\* 住居学科  
Department of Housing and Architecture

壁土の強度を増加させる工程として土壁の材料である、土・藁・水を混ぜ合わせ定期的に繰り返す「練り置き」が広く知られており、職人は練り置きで起こる材料変化を「発酵」と呼ぶ。ただ、ここでの発酵は微生物が藁を分解することを意味し、生化学でいう発酵とは意味合いが異なるため本論文では「代謝」と呼ぶことにする。土壁は構造特性や材料特性、機能に関して様々な観点から研究がなされているが、練り置きによる代謝の原理がどのように強度に影響を与えているかを明らかにしている論文は無い。

本論文では荒壁土において練り置きが材料変化と壁強度に与える力学的特性を明らかにするとともに、練り置きの過程による材料変化を微生物の観点から分析することを目的とする。

## 2. 既往研究

平野ら<sup>1)</sup>は壁土の練り置き期間に生じる変化が材料特性に与える影響について実験的研究を行い、練り置くほど土が変色し、また、藁は分解され繊維状に変化したと報告している。また圧縮強度は練り置き3～11週に比べ34週練り置くと約3倍に強度が増加したと報告している。含水率と強度の関係について、含水率は圧縮強度に影響し含水率が低いほど強度は増加するが、その程度は藁さの有無、練り置き期間によって異なると報告している。

宇都宮ら<sup>2)</sup>は藁スサを混合した壁土の力学的性質に関する実験研究を行い、土質力学に基づいて、一軸圧縮試験結果により粘着力、せん断抵抗角を求め、壁土のせん断強度を求めることが可能であると報告している。また、藁スサの混合は、藁スサが空洞状になっていることから壁土内部の隙間が増加し、藁スサ混合量を一定量以上とすると、粘着力、せん断抵抗角および強度特性の各性能は低下し、変形性能は藁スサの繊維補強効果によって向上すると報告している。

濱崎ら<sup>3)</sup>は土壁の強度に関する研究として各条件で圧縮試験を行い、土の産地によって性能に大きな差が見られること、藁スサの量と長さは壁土の強度や靱性に影響する、練り置きを行うと強度は増すがより脆性的に破壊する、砂の量が多くなるほど強度や剛性が上昇するとは限らない、古土を混ぜることで強度は多少増加するが、含まれる砂の影響などさらに実験を重ねる必要があると報告している。

既往研究には、練り置きに関する研究論文はあるが代謝の原理による壁土の性能を微生物の観点から明確に検証しているものは無い。

## 3. 実験概要

本研究では藁の役割と練り置きにおける強度特性を明らかにするために練り置き・無菌実験・菌の培養といった3つの実験を行った。

### 3.1 壁土の練り置き期間が強度に与える影響

#### 3.1.1 目的

練り置きの長さが土壁の強度に与える影響を明らかにすることを目的とし、練り置き長さを変化させ圧縮実験を行った。また、藁がどのような役割を果たしているかを明らかにするために藁の有無による練り置きの実験も行った。

#### 3.1.2 使用材料

荒壁用壁土には土塗壁技術解説書<sup>4)</sup>(以下技術解説書)に記載されている粘性の高い川越産の荒木田土を園芸店で購入し使用した。荒木田土は10mmふるいに通し枝や草などの不純物のある程度取り除いてから、残留分の大きな粘土塊を潰しふるい通過分を荒壁用壁土とした。

静岡県三島市産の藁を5cm～6cm程度にカットし用いた。また、壁土に混ぜ合わせる際に茎と稲穂の部位に偏りが出ないように混ぜ合わせてから用いた。

練り混ぜ用の水は水道水を用いた。

#### 3.1.3 配合

試験体の各条件をTable 1に示す。荒木田土と藁の配合率は技術解説書に則り、土100Lに対し藁材0.6kgの割合で配合した。練り置き無し、練り置き1ヶ月、2ヶ月、3ヶ月、4ヶ月の試験体を用意し、

Table 1 Conditions for the composition of each specimen

	練り置き 条件	試験 体数(個)	土(L)	藁(g)
N1	1ヶ月	3	12	72
N2	2ヶ月	3	12	72
N3	3ヶ月	3	12	72
N4	4ヶ月	3	18	108
N5	毎月藁追加	3	18	432
N6	0ヶ月	2	12	72
N7	藁無4ヶ月	2	5	

さらに藁材を混合せず原土のみを4ヶ月練り置いたものと、1ヶ月ごとに藁材を投入した試験体を用意しN1～N7とした。試験体はプラ舟で作成し、土壌表面にうすく水が張る程度として湿潤状態を保つようにした。

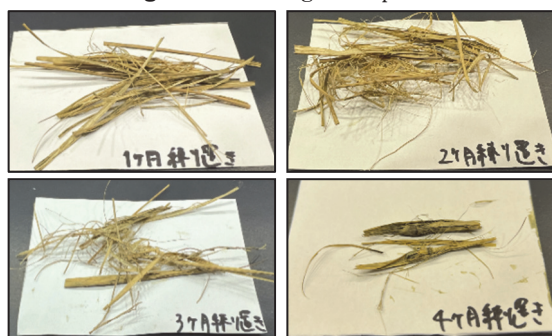
### 3.1.4 土の養生

強度試験を行う時期を合わせるために逆算して練り置きを開始し、週に一度程度練り返しを行い経過観察を行った。土（試験体）の養生として初めの1か月間は室外の屋根のない場所でプラ舟（建設現場で使われる大きな容器）にブルーシートをかけて保管していたが、ブルーシートをかけていても雨水が入り込んだため2か月目から半屋内に移動させ、乾燥しないようにブルーシートをかけて保管した。そのためN4とN5の試験体には雨水が混入した。

### 3.1.5 練り置き

藁を混合した試験体は1ヶ月を過ぎるとかき混ぜた際に中の土が灰色に変色し代謝がおこなわれる様子がみられ泥臭いにおいを発した。練り置き期間が長くなるにつれて藁が細かく分解され繊維質になり、N4の試験体では藁がほぼ分解され、節の部分のみが残っているものがほとんどであった（Fig.1）。一方で藁を混合していないN7試験体は4ヶ月後も灰色に変色する様子は見られなかった。

Fig.1 Straw being decomposed

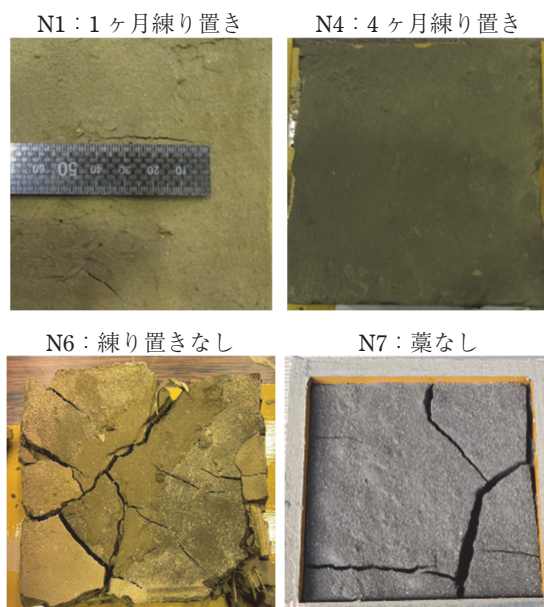


### 3.1.6 乾燥状態

1ヶ月練り置きから4ヶ月練り置きの試験体の乾燥状態を比較すると、乾燥収縮によるひび割れが最も多かったのがN1の1ヶ月練り置き試験体であり、細かいひび割れが全体的に生じていた。また、練り置き期間が長くなるにつれてひび割れは減少し、N4の4ヶ月練り置き試験体では全くひび割れが生じていなかった。一方で毎月藁を追加したN5試験

体ではN1よりも多くひび割れが生じていた。またN6の練り置きを行わなかった試験体、N7の藁無し試験体では試験体が大きく割れた。Fig.2に乾燥後の様子を示す。

Fig.2 Desiccation



### 3.1.7 実験方法

コンパネ合板で150 mm×150 mm×70 mmの木枠容器を作成し（Fig.3）そこに壁土を流し入れ試験体を乾燥させた。圧縮部分に凹凸が目立ち傾きも見られたため圧縮両端をモルタルで固めて圧縮させることとした。

加力は1000 kN 万能試験機（島津製作所）を用いて3 mm/分の加力速度で単調加力し変位が30 mmになったところで加力をストップした（Fig.4）。N6、

Fig.3 Formwork drawing

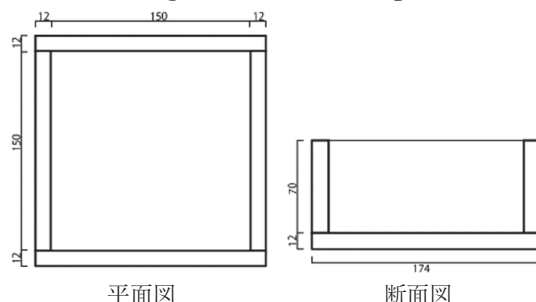


Fig.4 Testing method

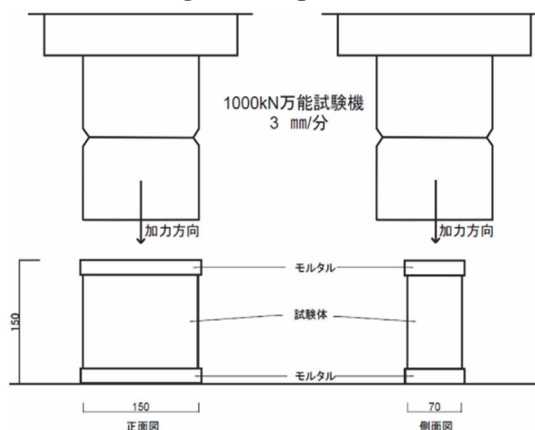


Table 2 Mean maximum compressive stress

N1	1.14
N2	1.30
N3	1.84
N4	2.12
N5	0.66

N7 に関してはひび割れが著しく加力時に試験体としての形を保つことができなかったため強度の参考にはしない。

### 3.1.8 実験結果

圧縮試験結果を Table 2, Fig.5 に示す。

圧縮応力度は以下の式より算出した。

$$\text{圧縮応力度(N/mm}^2\text{)} = \text{圧縮荷重(N)} / \text{断面積(mm}^2\text{)}$$

実験で得られた荷重—変位曲線には多くの場合初期のガタが含まれているため、Fig.5 のグラフは、技術解説書<sup>4)</sup>に則り圧縮応力度が0.025 N/mm<sup>2</sup>、ひずみ0.005を通るように曲線を平行移動させている。

3ヶ月練り置きを境に強度が増加し、練り置きが進むにつれて最大圧縮応力度が増加していることが分かる。N1とN4を比較すると2倍近く強度が増加した。また、N5が最も靱性的な破壊となっているが強度は著しく低下している。

N1, N2, N3, N5は加力するにつれて表面の土がバラバラと細かく剥がれ落ちる様子がみられた。また、ひび割れしている部分やワラ材が突出している部分から破壊がおこなわれていた。さらにN1, N2, N5は土が小さな塊で崩れるのに対し、N3やN4では脆性破壊で比較的大きな塊で崩れていた。

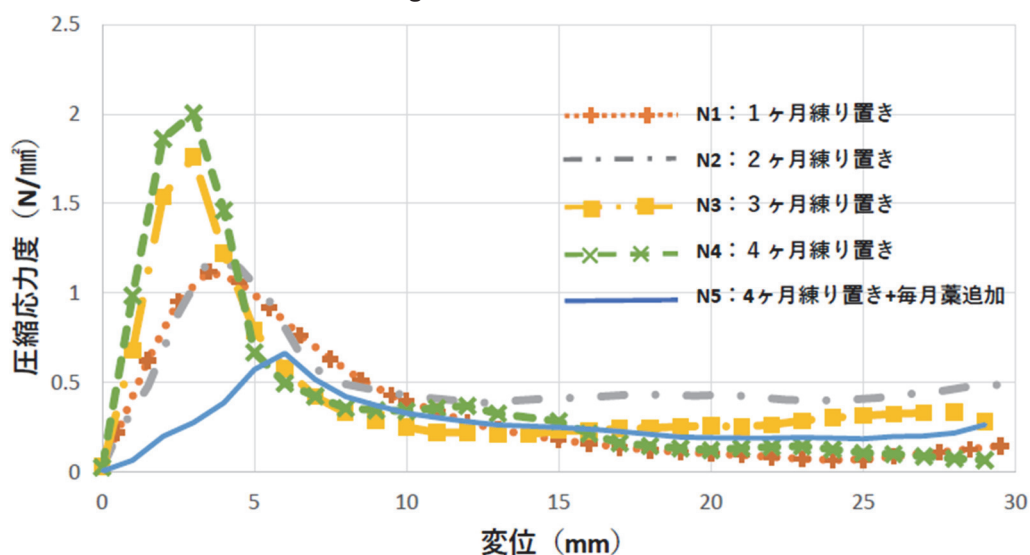
### 3.1.9 まとめ

異なる練り置き期間の長さや藁の有無を比較し以下のことが得られた。

- ・練り置き期間が長くなるほどひび割れが減少し強度が増加する
- ・藁はひび割れの抑制、つなぎの役割を果たし靱性を高める

以上により練り置くほど強度が増加することから練り置き過程で材料に何かしらの変化が起きていることが分かる。

Fig. 5 Stress-strain curve





## 3.2 無菌操作が材料変化に及ぼす影響

### 3.2.1 目的

菌が土壁に与える影響を明らかにすることを目的に各材料を滅菌したのちに練り置き、材料変化を観察する。

納豆を作る際の伝統的な手法として煮沸した稲わらに煮た大豆を包んで粉状の枯草菌をまぶし発酵させる手法があるが、土に藁を入れて製作する土壁でも同様の原理が適用されていると予想する。納豆は芽胞の、乾燥状態や真空状態、 $-100^{\circ}\text{C} \sim +100^{\circ}\text{C}$ の環境にも耐えることができるという性質を利用した作り方である。煮沸することで枯草菌以外の雑菌が死滅し納豆が作られる。一方で枯草菌全てが納豆に適している訳ではなく、枯草菌の種類によって「粘り具合」や「味」、「におい」に違いが現れ、納豆の風味に大きな影響を与える<sup>5)</sup>。そこで枯草菌によって納豆の美味しさを左右するように、土壁でも同様に菌によって強度や粘りに影響するのではないかと考えた。

### 3.2.2 実験方法

土、藁それぞれを滅菌し3週間ほど練り置き菌の働きを観察した。滅菌条件を Table 3 に示す。

使用材料は練り置き実験時と同様の産地の材料を使用した。

予めコンパネ合板で作成した  $150\text{mm} \times 150\text{mm} \times 100\text{mm}$  の木枠容器に滅菌する材料を入れ練り置き前と同様の状態にした後、アルミホイルで蓋をしてから滅菌操作を行った。滅菌操作には高圧蒸気滅菌（平山製作所製 HL-42）を用いて  $121^{\circ}\text{C}$  で 20 分間滅菌を行った (Fig.6)。なお本研究では傾向を確認する目的のため、完全な密閉状態とはしていない。

Table 3 Sterile conditions for each specimen

滅菌操作の有無	藁	土	水	木枠容器
N1：完全滅菌	○	○	○	○
N2：土滅菌	×	○	○	○
N3：藁滅菌	○	×	×	×
N4：滅菌無し	×	×	×	×

○：滅菌操作あり    ×：滅菌操作なし

### 3.2.3 かき混ぜ

週に一度、菌が侵入しないよう安全キャビネット内でかき混ぜをおこなった (Fig.7)。安全キャビネットは排気を滅菌するだけでなく、吸気も滅菌

フィルター（HEPA フィルター）を通してている。

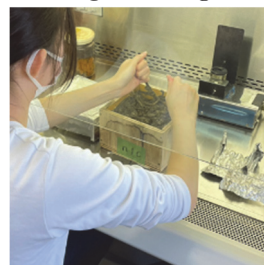
まず安全キャビネット内と安全キャビネット内に入れるもの全てをアルコール消毒し試験体を安全キャビネット内に入れた。試験体は空気中の菌が入らないよう、必ず安全キャビネット内でアルミホイルの蓋を外すようにした。かき混ぜにはオートクレーブ（高圧蒸気滅菌のこと）をした葉さじを用いて慎重にかき混ぜた。かき混ぜ後はもう一度アルミホイルの蓋を被せかき混ぜ作業を終了した。これを週に一度繰り返し3週間ほど練り置いた。

試験体は室内で保管しその後乾燥させた。

Fig.6 Autoclave



Fig.7 Mixing



### 3.2.4 練り置き結果

3 週間の練り置きを通して、代謝が行われた試験体と代謝が行われなかった試験体とで差が現れた。土壌を滅菌した試験体では代謝が行われず、藁を滅菌した試験体で代謝が行われた。納豆の製造原理により、当初は藁に付着している枯草菌が優位に働くことで N2 の試験体で代謝が行われると考えていたが、今回の練り置きでは代謝というのは土壌中の微生物などが働き藁を分解し代謝が行われていることが分かった。さらに練り置き2週間目から土が灰色に変色する様子がみられ、2週間以上は練り置くべきだと考える。一方でこの土の変色が枯草菌によるものかあるいは土壌中の微生物によるものなのか、どの過程で変色が起こるのかは特定できていない。よって今後の研究では菌の同定試験や厳密な無菌状態での実験を行う必要がある。

また、練り置き過程で糸状菌という糸状のカビが発生した (Fig.8)。発酵と糸状菌の有無を Table 4 に表す。全ての試験体で糸状菌の繁殖はみられたが、特に N3 と N4 の試験体で顕著にみられた。糸状菌というのは土壌中に多く存在するとされていることから、土壌を滅菌しなかった試験体で糸状菌の繁殖が多く見られたのは外部から侵入する糸状菌よりも

土壌中に存在する糸状菌の方が圧倒的に多いからだと考えられる。藁材の断面から繁殖した糸状菌 (Fig.9) は栄養分である有機物 (藁) が豊富にあったため太くしっかりとした糸状菌が繁殖したのだと考える。

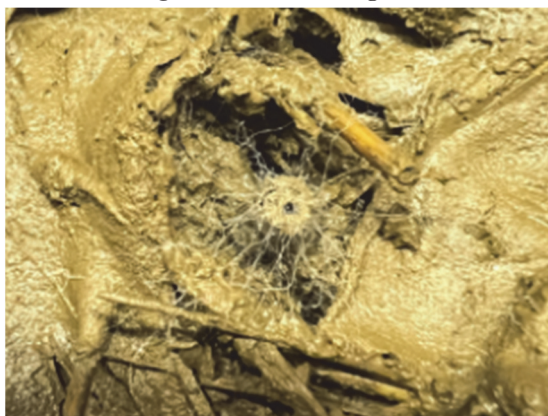
**Table 4** Presence of filamentous fungi and fermentation

	N1	N2	N3	N4
発酵	×	×	○	○
糸状菌	○	○	○	○

**Fig.8** Filamentous fungus 1



**Fig.9** Filamentous fungus 2



### 3.2.5 練り置き考察

これまで行った実験より現時点での考察を以下にまとめる。練り置きの実験で藁材の変化について考察したが、練り置くにつれて藁材の繊維がほぐれて練り置き4ヶ月の時点で藁材の節の部分しか残っていなかったことから藁材が分解されていることは明白である。藁材が何によって分解されているのだが、

枯草菌や土壌中の微生物によって分解されていると考察した。

藁はセルロース (植物の細胞壁および繊維の主成分) やリグニンで構成されており、枯草菌が付着している。枯草菌はセルラーゼ (セルロース分解酵素) を持っている。また、土壌中にはリグニン分解酵素を持つ白色腐朽菌とセルロースを分解する褐色腐朽菌が存在する。藁を土と水に混ぜた時、枯草菌の繁殖条件を満たすことから枯草菌が繁殖し、さらに土壌中に存在する白色腐朽菌によって藁材が分解されているのではないかと<sup>6)7)8)</sup>。一方で発酵による土の色の変化は見られたものの、それが直接強度に影響を与えるかはまだ判明していないため研究を進める必要がある。

さらに納豆菌の既往研究によると<sup>9)</sup> 納豆の粘質物の主成分である $\gamma$ -ポリグルタミン酸は納豆の発酵後期の枯草菌の増殖が止まった定常期に合成が開始されることを報告している。よって練り置きの実験で4ヶ月練り置いた試験体で藁がほとんど分解されていたことから、枯草菌の増殖が止まり $\gamma$ -ポリグルタミン酸の合成が開始され粘りが出ているのではないかと予想する。

### 3.2.6 まとめ

土壌を滅菌した試験体では代謝が行われず藁を滅菌した試験体で代謝が行われたことから、主に土壌中の微生物が代謝を行っていることが分かった。また、練り置きの過程で働く微生物が変化し強度に影響を与えている微生物が存在していると推測する。

## 3.3 各地域の土壌中の菌の培養実験

### 3.3.1 目的

既往研究によると土の種類によって粒度分布が異なることから土によって強度が変化することが指摘されている。地域によって土壌中の菌が変化している可能性があることから、本研究では埼玉・新潟 (長岡)・愛知 (小牧) の土壌を採取し、寒天培地 (以下培地) に菌を培養させることで地域の菌の違いを分析する。

### 3.3.2 使用材料

使用材料を Table 5 に示す。荒木田土は練り置き実験の土と同様の土を使用した。小牧の土はヒアリングを行った京都の左官職人が使用している土として愛知県小牧市の土を用いた。長岡の土に関しては土壌を採取してから実験をおこなうまで時間があつ

たため冷凍保存をし、使用する際に解凍をして土壌サンプルとした。

**Table 5** Soil quantity at each site

地域	重量 (g)
A: 埼玉 (荒木田土)	0.024
B: 長岡	0.034
C: 小牧	0.021

### 3.3.3 実験方法

細菌を優先的に生やす LB 培地と真菌用の Czapek-Dox 培地 (以下 CD 培地) を用意した。

(1) サンプルのプレート塗布

各材料の実験条件を Table 6 に示す。

土壌サンプルを 0.01 g-0.03 g 程度秤量し、これを 5 mL のイオン交換水を入れて滅菌した試験管に加え、激しくボルテックスした。安全キャビネット内でこれをろ過したのちにろ液 100  $\mu$ L をマイクロチューブにとり、滅菌イオン交換水 900  $\mu$ L 加え転倒混和した。これを 2 回繰り返し、等倍・10 倍希釈・100 倍希釈サンプルを作成した。寒天培地に作成した希釈サンプルをそれぞれ塗布し、数日間観察した。LB 培地・CD 培地それぞれ 3 種類の希釈サンプルを 2 枚ずつ、計 36 試験体を作成した。

**Table 6** Test conditions

地域	培地/希釈	試験体数
A: 埼玉	LB, CD	各 2
	等倍, 10 倍, 100 倍	
B: 長岡	LB, CD	各 2
	等倍, 10 倍, 100 倍	
C: 小牧	LB, CD	各 2
	等倍, 10 倍, 100 倍	

### 3.3.4 結果

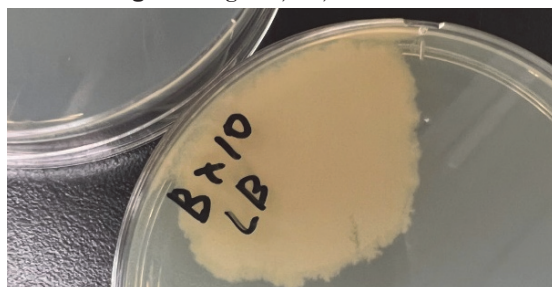
サンプル塗布から 95 時間後の培地の様子を Fig.10 に示す。地域によって大きく異なる結果が得られた。顕著にコロニー (同一種の生物が形成する集団) が見られたのは A: 荒木田土であり、次いで B: 長岡の土、C: 小牧の土壌に至ってはほとんどコロニーは見られなかった。サンプル塗布から 95 時間後のコロニー様子を Fig.11~Fig.13 に示す。培地には色や形状の異なるコロニーが存在しているこ

とから土壌中には様々な微生物が存在していることが分かった。なお、土壌中全ての微生物が培地に現れるわけではなく繁殖力の強い微生物やたまたまそこに存在していた微生物もコロニーとして現れている可能性があり、培地に現れなかった微生物も土壌中に存在していると考えられる。また、見た目だけでは微生物を同定することは不可能である。

**Fig.11** Tokyo, LB



**Fig.12** Nagaoka, LB, 1:10 dilution

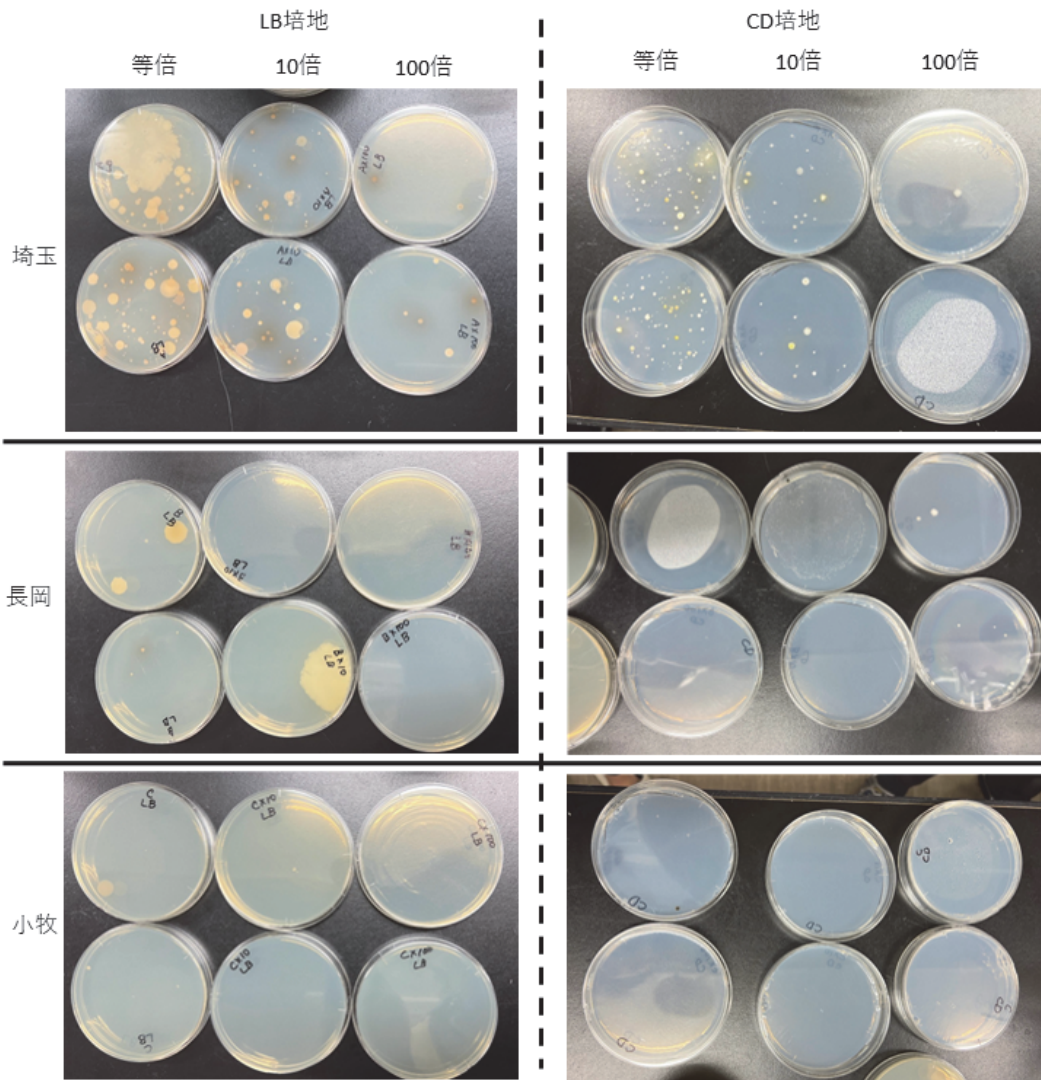


**Fig.13** Komaki, CD





Fig.10 Comparison of colonies



### 3.3.5 考察

長岡と小牧ではほとんどコロニーが見られなかったことから、貧栄養の土壌であると考えられる。練り置きに関して微生物が関わっていることから、地域別の練り置きによる強度を検証した場合、最もコロニーが出現した荒木田土が高い強度になるのではないかと予想する。一方で既往研究<sup>3)</sup>より京都の土で最も高い強度が得られたことから、微生物だけではなく土そのものが強度に影響を与えている可能性もある。

### 4. まとめ

土を無菌にして3週間練り置くと代謝が行われず、菌を無菌にすると代謝が進んだことから、微生物が練り置き土の変化（代謝）に携わっていることが分かった。また、練り置き実験結果より、文献<sup>10)</sup>に記載されていた、寝かす（養生期間が長い）ほど強い壁ができるという職人の経験は理にかなっていることが分かった。

代謝では枯草菌の働きによって納豆の粘質物の主成分である $\gamma$ -ポリグルタミン酸が合成され粘りが



出たと推測し練り置きの時期によって異なる微生物が働いていると考えられる。さらに土の産地によって微生物の数が増えることから微生物だけでなく土によっても強度が増えると推測する。

## 5. おわりに

今回の研究により種類の特定にまでは至らなかったが、微生物の影響が大きいことが明らかになった。

発酵は日本独自の発達を遂げ、味噌や酒、納豆など馴染み深いものに利用されているが、似た文化が建築にも活用されていたことが分かった。サステナブルな建材として再注目されている土壁を微生物の観点から解析し、十分な強度が得られることと昔の職人達の勘と経験を数値化したことで地球環境に優しいだけでなく、構造物としての活用の可能性を再認識した。今後より詳細な研究を重ねることで微生物の特性を明らかにし、微生物を建築で利用する可能性が広がることを期待する。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、実験において多大なご協力賜りました本学理学部の菅野靖史教授、長岡技術科学大学の小笠原渉教授・中村彰宏助教授、左官職人の浅原一郎氏、また参考論文の提供をしていただいた文化庁の西岡聡氏に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 平野陽子, 有馬孝禮, 信田聡: 壁土の練り置き期間に生じる変化が材料特性に与える影響, 日

本建築仕上学会論文報告集・第 10 巻, 第 1 号 (2003)

- 2) 宇都宮直樹, 松島学: 藁スサを混合した壁土の力学的性質に関する実験的研究, 日本建築学会構造計系論文集第 75 巻第 649 号, pp593-599, (2010.3)
- 3) 濱崎信子, 三芳紀美子, 大橋好光: 土壁の強度試験に関する研究その 3 壁土圧縮試験, 日本建築学会大会学術講演梗概集, (2004.8)
- 4) 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・木材技術センター発行, p20, (2004.2)
- 5) 小泉武夫: 納豆菌とは, みんなの発酵 BLEND, [https://www.hakko-blend.com/study/b\\_05.html](https://www.hakko-blend.com/study/b_05.html) (2023.10.24 閲覧)
- 6) 農芸化学に学ぶ ーくらしにいきるバイオサイエンス・バイオテクノロジー: フェニルプロパノイドの機能(1), 日本農芸化学会, (2006)
- 7) 研究.net: 研究用語辞典セルロース, <http://www.kenq.net/dic/56.html> (2023.10.24 閲覧)
- 8) ULTRABEM-MADE BY DOCTORS: フェノール性高分子化合物 リグニン: 構造と特徴, [http://ultrabem.com/other\\_metabolites/aromatic/lignin](http://ultrabem.com/other_metabolites/aromatic/lignin) (2023.10.24 閲覧)
- 9) 木村啓太郎: 納豆菌の粘質物生産機構, 微生物利用研究領域 発酵細菌ユニット, 食糧その科学と技術 No.45, p61 (2007)
- 10) 西岡常一, 高田好胤・青山茂: 蘇る薬師寺西塔, 株式会社草思社, pp.139-141 (1981)