

16. 畑の土とおがくずを用いた立体木摺土壁の千客万来芋松への実装

Implementation of 3D lath clay wall using field soil and sawdust in Toyosu-Senkyakubanrai IMOMATSU

福原 ほの花*1

要 旨

本報では、吸放湿性や資源循環性を有する環境配慮型材料である土に着目し、ReQuality 事業の一環として、「立体木摺土壁」を豊洲千客万来施設内の青果仲卸「芋松」が運営する店舗内装材として実装するため、材料の性質に関する実験的検討と構法に関する検討を行った。実験により機能向上に寄与することを確認できたおがくず等 6 種類の材料を、野菜が育った畑の土に混合し、木材と組み合わせて土に荷重を負担させない構法とした。その結果、高さ 2m の壁を 5.5 時間で施工することができ、軽量化や工期短縮を実現することができた。また、材料実験結果に基づく調合の決定により、運搬や施工による欠けが少なく、意匠性の高い壁を構築することができた。

キーワード：土／環境配慮／内装材／壁／資源循環

1. はじめに

近年 SDGs が謳われ、建築業界においても自然素材が積極的に用いられ始めている。浅沼組では ReQuality 事業において、吸放湿性や資源循環性を有する土に着目し、名古屋支店の改修等で土の建築への活用方法について検討してきた。土は環境配慮型材料であるとともに、古来より茶室や土蔵などに用いられてきたことから、日本の気候風土に適した材料であると言える。一方で、鏝の扱いに高度な技術を要する、乾燥期間を要するため工期が長い、強度が劣る、重いといった課題も内在している。これらの課題を解決可能な土の活用方法を研究開発することで、SDGs に貢献しながら、快適な環境を創り出すことが可能となる。また、建設業界では建設発生土の処分問題もあり、各地の建設発生土を有効に活用する方法を提案していくことに意義があると考えられる。

筆者らは、前述の土の持つ課題を解決するため、施工の簡易化や軽量化を図った土壁として、写真-1 に示す「立体木摺土壁」(特許出願中)を開発した。本報では、立体木摺土壁を、豊洲千客万来施設内の青果仲卸「芋松」が運営する店舗内装材として実装することを目的に、土壁材料の性質に関する実験的検討と、立体木摺土壁の構法に関する検討の結果について報告する。



写真-1 立体木摺土壁の外観

2. 概要

2.1 立体木摺土壁の概要

立体木摺土壁とは、写真-2 のような日本の伝統構法である木摺を 90 度倒し、土と木を立体的に積層した壁である。立体木摺土壁は、写真-3 のような立体木摺土壁板(以下、壁板という)を積層した壁であり、壁板は土を主な材料とする土部と、木材をビスで固定した木部とで構成されている。ここでは、この立体木摺土壁を開発するために行った材料実験および構法検討の概要を述べる。

*1 技術研究所 建築材料研究グループ / GOOD CYCLE DESIGN グループ

2.2 材料実験の概要

立体木摺土壁に使用する材料の調合決定ならびに基礎物性把握のため、土の性質に関する実験と、壁板の材料物性に関する実験を行った。土の性質に関する実験では、採取した畑の土を用いて、粒度試験、強熱減量試験および液性限界試験を実施した。材料物性に関する実験では、混練した材料のフロー試験、作製した供試体の質量、かさ密度および体積収縮率の測定、動弾性係数試験、曲げ・圧縮強度試験および含水率測定を実施した。これらの実験結果に基づき、壁板に使用する材料の調合を決定した。

2.3 構法検討概要

立体木摺土壁を店舗内装材として実装するため、壁板の寸法や形状、作製方法に関する検討を行った。また、立体木摺土壁の構法および施工方法に関する検討を行い、検討事項の効果を確認するために実装の際の工期や欠けの有無、意匠性等について検証した。



写真-2 木摺

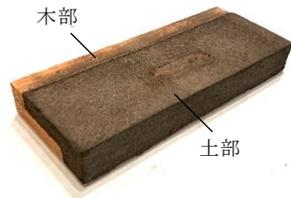


写真-3 壁板

粒度分布の範囲¹⁾についても併記している。

表-1 および図-1 より、採取した土は細粒分が 42.2% と多く、比較的細粒であった。このことから、乾燥後の体積収縮をある程度抑制する必要があると考えられる。また、粒度分布は日干し煉瓦（土を型枠に充填して即時脱型し、自然乾燥させた土煉瓦²⁾）に適した範囲の中央付近であったため、壁板を施工する際、日干し煉瓦と類似した工法を選択すると良いと言える。



写真-4 採取した土

表-1 粒度・強熱減量および液性限界試験結果

透過質量百分率 (%)		強熱減量 (%)	液性限界 (%)
礫分	9.7	8.2 (2h)	31.2
砂分	48.1		
細粒分	42.2		

3. 畑の土の性質に関する実験

3.1 実験目的

壁に付加価値を付与するため、壁板の土部には、野菜が育った畑の土と、野菜運搬時の緩衝材であるおがくずを使用することとした。特に土は、採取した土地によって性質が異なるため、採取した畑の土の性質を把握するための実験を行った。

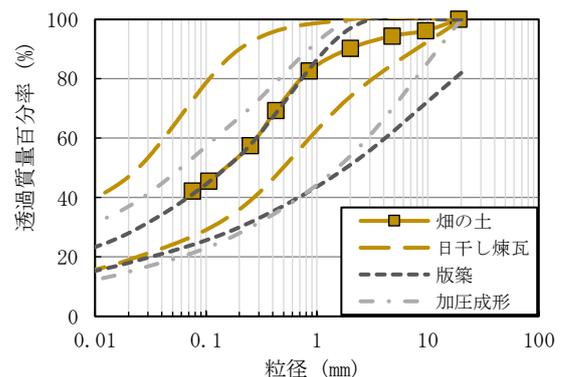
3.2 使用材料および実験方法

写真-4 のような濃い茶色の土を、神奈川県大磯町の畑から採取した。採取した土を用いて、土の粒度試験 (JIS A 1204)、土の強熱減量試験 (JIS A 1226) および土の液性限界試験 (JIS A 1205) を JIS に準じて行った。

3.3 実験結果

(1) 粒度

粒度試験、強熱減量試験および液性限界試験の結果を表-1 に、粒径加積曲線を図-1 に示す。なお、図-1 には日干し煉瓦、版築および加圧成形に適するとされる



※) 日干し煉瓦、版築および加圧成形は文献 1) により適するとされる粒度分布の範囲を示す

図-1 粒径加積曲線

(2) 強熱減量

強熱減量は、表-1 に示すように 2 時間で 8.2%と比較的高い値となったことから、有機物を多く含む、肥沃な土であることがわかった。

(3) 液性限界

液性限界は、表-1 に示すように 31.2%であり、採取した土は土質材料の工学的分類体系³⁾で低液性限界の有機質粘土 (OL) に分類されることがわかった。

4. 壁板土部の材料物性に関する実験

4.1 実験目的

日干し煉瓦のような、土を多量の水と練り合わせて成形する工法は、素人施工が可能で比較的工期が短い反面、版築のように加圧しないため強度が劣る、体積収縮が大きくなるという恐れがある。壁板を日干し煉瓦と類似した工法で施工するに当たり、強度増進や収縮抑制等の機能向上に寄与する材料の混合を想定した実験を行った。

4.2 使用材料

使用材料を表-2 の左側に示す。土のほかに、砂 (流動性向上・収縮低減)、酸化マグネシウム系の土壌硬化材 (強度増進)、藁スサ・おがくず (軽量化)、樹脂 (強度増進)、膠墨汁 (彩度調整) の混合を想定した 15 水準とした。

No.2~3 は No.1 に砂や硬化材を混合したもの、No.4~7 は No.3 に各材料を混合したもの、No.8 は全材料を

用いたもの、No.9~15 は No.8 を基準に硬化材、樹脂、膠墨汁の割合を変化させたものである。No.1~8 については、各材料を計量し混練したバージン供試体 (以下、バージン (V)) だけでなく、再利用性確認のため、粉碎した実験後の供試体に水のみを添加し混練したりサイクル供試体 (以下、リサイクル (R)) も作製した。

4.4 実験結果および考察

(1) 砂の効果

実験結果を表-2 の右側に、No.1~8 の 15 打フローおよび体積収縮率を図-2 に、圧縮強度およびかさ密度を図-3 に示す。砂 (No.2) を混合すると土単体 (No.1) に比べて 15 打フローが増加し体積収縮率が減少しており、流動性向上効果および収縮低減効果を確認できた。一方で、砂の混合により圧縮強度も低下することがわかった。

(2) 藁スサおよびおがくずの効果

図-3 より、藁スサ (No.4) やおがくず (No.5) を混合すると、混合しない場合 (No.3) と比べてかさ密度が低下しており、軽量化に寄与していることが確認できた。かさ密度は、No.1~8 の中で全ての材料を用いた No.8 が最も小さかった。

(3) 硬化材、樹脂および膠墨汁の効果

硬化材 (No.8~11)、樹脂 (No.8,12,13) および膠墨汁 (No.8,14,15) の、(土+砂) に対する割合と、圧縮強度との関係を図-4 に、動弾性係数との関係を図-5 に示す。樹脂の割合が高くなると圧縮強度は大きく、動弾性

表-2 使用材料および実験結果

No.	使用材料							実験結果																			
	土	砂 ¹⁾	硬化材 ²⁾	藁スサ ²⁾	おがくず ²⁾	樹脂 ²⁾	膠墨汁 ²⁾	混練時含水比		0打フロー (cm)		15打フロー (cm)		質量 (g)		かさ密度 (g/cm ³)		体積収縮率 (%)		みかけの動弾性係数 E+04(N/mm ²)		曲げ強度 (N/mm ²)		圧縮強度 (N/mm ²)		気乾含水率 (%)	
								V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R	V	R
1	1	0	0	0	0	0	0	0.4	0.6	99	98	104	110	338	353	1.6	1.6	16.2	13.2	7.3	7.1	0.2	0.2	2.4	2.5	6.7	6.3
2	1	3	0	0	0	0	0	0.2	0.2	99	104	117	129	451	458	1.8	1.9	3.0	5.1	9.5	9.6	0.2	0.1	0.7	0.5	1.5	1.6
3	1	3	8.5	0	0	0	0	0.2	0.3	101	105	132	147	477	419	1.9	-	0.4	-	9.5	-	0.2	-	0.8	0.1	4.4	2.9
4	1	3	8.5	1	0	0	0	0.2	0.6	101	105	123	144	462	421	1.8	1.7	0.5	4.4	9.1	8.7	0.2	0.1	0.9	0.2	4.6	2.6
5	1	3	8.5	0	2.5	0	0	0.2	0.4	101	105	110	139	426	354	1.7	-	0.1	-	8.4	-	0.1	-	0.6	0.0	5.1	2.8
6	1	3	8.5	0	0	6	0	0.2	0.4	102	96	108	113	465	330	1.8	-	0.0	-	8.9	-	0.6	-	2.4	0.3	5.1	2.3
7	1	3	8.5	0	0	0	10	0.2	0.3	103	102	129	130	473	444	1.9	1.8	0.2	3.6	9.4	9.1	0.1	0.0	1.2	0.3	4.9	3.5
8	1	3	8.5	1	2.5	6	10	0.2	0.7	103	102	117	117	383	323	1.5	1.4	1.2	7.1	7.6	6.7	0.3	0.1	1.4	0.4	5.5	3.9
9	1	3	10	1	2.5	6	10	0.1	-	101	-	118	-	440	-	1.6	-	1.6	-	8.4	-	1.5	-	4.8	-	2.6	-
10	1	3	5	1	2.5	6	10	0.2	-	102	-	118	-	387	-	1.6	-	2.3	-	8.2	-	0.7	-	2.8	-	3.6	-
11	1	3	0	1	2.5	6	10	0.2	-	102	-	124	-	412	-	1.5	-	6.4	-	7.7	-	1.1	-	3.5	-	3.0	-
12	1	3	8.5	1	2.5	3	10	0.2	-	101	-	120	-	398	-	1.6	-	2.3	-	8.1	-	0.4	-	1.7	-	4.2	-
13	1	3	8.5	1	2.5	0	10	0.2	-	99	-	113	-	350	-	1.7	-	1.5	-	9.1	-	0.2	-	0.5	-	5.5	-
14	1	3	8.5	1	2.5	6	5	0.2	-	104	-	132	-	394	-	1.5	-	7.1	-	7.2	-	0.4	-	2.9	-	3.7	-
15	1	3	8.5	1	2.5	6	0	0.2	-	104	-	117	-	426	-	1.5	-	2.4	-	7.7	-	0.5	-	2.5	-	3.5	-

注1) -: データなし 注2) V: バージン供試体/R: リサイクル供試体 1) 土に対する質量比 2) 土と砂に対する割合 (%)

係数は小さくなる傾向が認められた。また、硬化材を混合すると動弾性係数が向上し、膠墨汁を混合すると圧縮強度が低下する傾向が見られた。これらの結果から、樹脂は圧縮強度の増進に、硬化材は動弾性係数の向上に寄与することが明らかとなった。

(4) かさ密度と動弾性係数との関係

かさ密度と動弾性係数との関係を示した図-6より、バージン、リサイクルともにかさ密度と動弾性係数との間には正の相関が認められた。

(5) 再利用性

再利用供試体の混練時含水比と15打フローとの関係を図-7に、圧縮強度および動弾性係数を図-8に示す。

図-7より、バージンに比べ、リサイクルは水量を多く必要とし、混練時含水比が高くなったが、フローはほぼ同値であった。図-8より、圧縮強度は、土のみの場合(No.1)を除いてバージンよりもリサイクルの方が低くなったが、動弾性係数はほぼ同様の値となった。リサイクルのうち、土のみ(No.1)が最も圧縮強度が高く、樹脂入(No.5)は脆性的で圧縮強度が最も低い結果となった。

以上の結果から、全ての材料が機能向上に寄与することを確認したため、飲食店への実装であることも考慮し、No.8の調合を立体木摺土壁に採用することとした。なお、再利用性を重視する場合は、バージンとリ

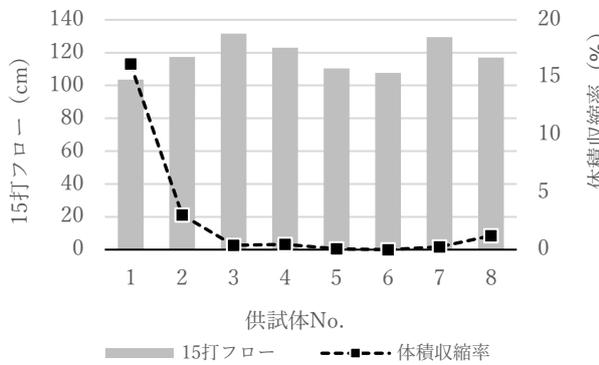


図-2 15打フローおよび体積収縮率 (No.1~)

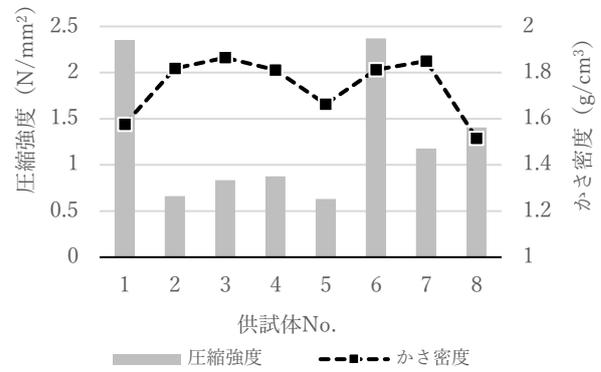


図-3 圧縮強度およびかさ密度 (No.1~8)

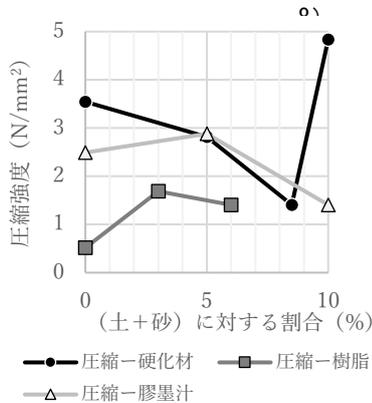


図-4 (土+砂)に対する割合と圧縮強度との関係 (No.8~)

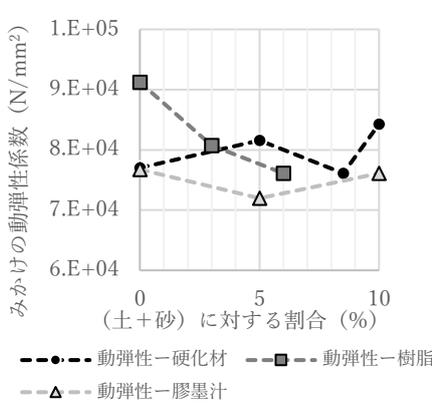


図-5 (土+砂)に対する割合と動弾性係数との関係 (No.8~)

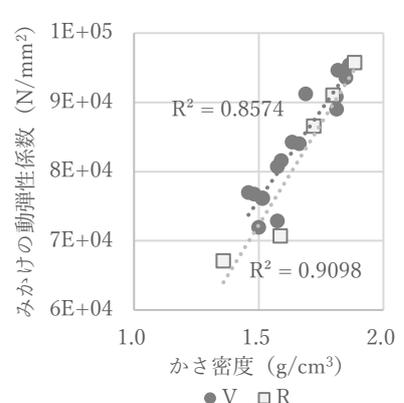


図-6 かさ密度と動弾性係数との関係 (No.1~15)

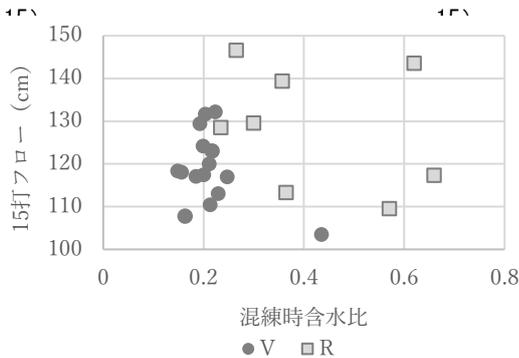


図-7 混練時含水比と15打フローとの関係 (No.1~15)

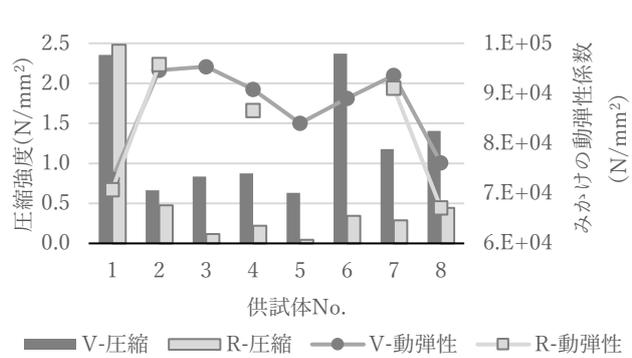


図-8 圧縮強度および動弾性係数 (No.1~8)

サイクルの圧縮強度の差が小さい土のみ (No.1) や土と砂 (No.2) を使用すると良い。

5. 立体木摺土壁の構法に関する検討

5.1 壁板の寸法および形状

壁板の寸法および形状を図-9 に示す。全体寸法は厚さ 39mm, 奥行 120mm とし, 幅は 300, 600, 900, 1200mm の 4 種類とした。

壁板は, 厚さ 3mm のベニヤ板に厚さ 18mm, 奥行 100mm の木板と, 厚さ 18mm, 奥行 20mm の木板を留め付けた木部に, 第 4 章で調合した土部を載せる形状とした。土部は木部に比べて強度が劣るため, 木部のみで自立可能となるよう幅 300mm に 1 ヶ所程度の間隔で, 幅 90mm 奥行 20mm の木片を配置した。

写真-5 のように幅が大きくなるほど土部の膠墨汁の混合割合を増やし, 壁全体で色味や目地の位置がランダムな配置となるような, 彩度を落とした意匠とした。

5.2 壁板の作製方法

壁板作製時の様子を写真-6 に示す。木部は供用後解体可能とするためビス留めによる乾式施工とした。土部は日干し煉瓦に倣い, 比較的水分を多く含んだ材料をコの字の型枠を設けた木部に手で充填し, 表面を軽く鍍で撫でて平滑にした後, 即時脱型した。なお, 幅 1200mm の壁板は 1 人で脱型することが困難であった。

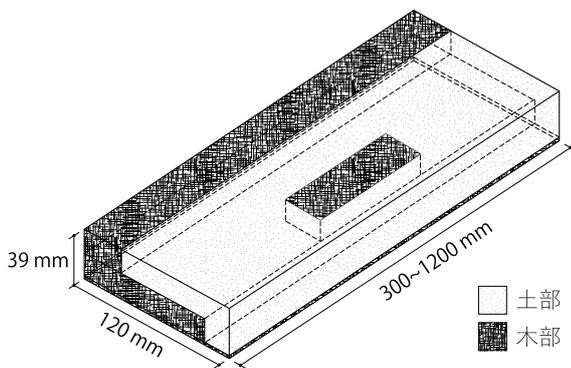


図-9 壁板のアイソメ図

脱型した壁板は 1~2 週間程度, 室内で乾燥し固化させた。

5.3 立体木摺土壁の構法および施工方法

立体木摺土壁は, 写真-7 のような下地となる合板に沿って壁板を下から順に積み上げるように施工した。段ごとに不陸を調整しながら, 写真-8 のように壁板木部の上部を合板にビスで斜めに留め付けた。木部を固定していくことで土部に上部荷重を支持させず, 壁の安定性を確保したとともに, 乾式化により短工期化を, 木と土の組み合わせにより軽量化を図った。

5.4 実装の結果

千客万来芋松では, 高さ 2m, 幅約 6m の立体木摺土壁を僅か 5.5 時間で施工することができ, 軽量化・工期短縮を実現することができた。また, 硬化材や樹脂の混合により壁板土部の強度を向上させたため, 運搬や施工で欠けが生じたものが 373 枚中 2 枚と非常に少なく, 膠墨汁による色味調整で意匠性も向上した。土部が上部荷重を負担しない構法としたため, 今回のように廃棄物を混合したり, 各地の土を用いたりすることが可能となった。また, 日干し煉瓦に適した粒度分布の範囲は版築に比べて広いため, 版築に適さない細粒分の多いロームなどの土でも扱い易い。

一方で, 30m² でコストが 33 万円/m² (土壁左官工法は 1 万円/m²) であることや壁板製造にかかる工期



写真-5 壁板の 4 段階の色味



写真-6 壁板作製時の様子



写真-7 下地の合板



写真-8 立体木摺土壁施工時の様子

が長いこと、寸法精度等には課題が残る。しかしながら、今回のようにオーナーや設計者と共創する体制を取ることで、同コストであっても付加価値の付与に大きく貢献することができる。また、壁板製造工程のワークショップ化により、これらの問題の解決を図ることも可能である。

その他に、今回は飲食店への実装であることを考慮して樹脂を混合したが、環境に配慮して樹脂を混合しない調合や工法の検討や、今回は間仕切り壁としての使用を想定したが、下地を必要としない構法の検討についても取り組んでいきたい。

本報告は、社内の第17回技術発表会において発表された内容を編集したものです。

6. おわりに

本研究では、施工の簡易化や軽量化を図った土壁として「立体木摺土壁」を開発し、店舗内装材として実装するため、土壁材料の性質に関する実験的検討と、立体木摺土壁の構法に関する検討を行った。以下に、本報で述べた結果をまとめる。

- (1) 土の性質に関する実験の結果、畑の土は土質材料の工学的分類体系で低液性限界の有機質粘土に分類されることがわかった。
- (2) 材料物性試験の結果、砂は流動性向上および収縮低減に、藁スサおよびおがくずは軽量化に、樹脂は圧縮強度増進に、硬化材は動弾性係数の向上に寄与することが確認できた。
- (3) 壁板は日干し煉瓦に倣い、比較的含水比の高い材料を型枠に充填して鏝で均し、即時脱型して乾燥固化させる工法とし、立体木摺土壁は、軽量化や工期短縮等を目的に、木材のみで自立可能な構法とした。
- (4) 立体木摺土壁の実装の結果、軽量化・工期短縮を実現でき、欠けが少なく意匠性の高い壁を構築することができた。

【参考文献】

- 1) Hugo Houben, Hubert Guillaud: EARTH CONSTRUCTION, pp.111-117, 1993
- 2) Patrice Doat, Hugo Houben, Henri Van Damme: Bâtir en terre, p.45, 2013
- 3) 地盤工学会「土質試験の方法と解説」改訂編集委員会：土質試験の方法と解説, p.217, 2000