

壁土の改良方法に関する基礎研究

Fundamental study on stability improvement of the structural performance of the Wall Clay

須田 達¹・鈴木 祥之²

Tatsuru SUDA and Yoshiyuki SUZUKI

¹金沢工業大学准教授 建築学部 建築学科 (〒921-8501 石川県野々市市扇が丘7-1)

Associate Professor, Kanazawa Institute of Technology, Dept. of Architecture

²立命館大学教授 衣笠総合研究機構 (〒603-8341 京都市北区小松原北町58)

Professor, Ritsumeikan University, Kinugasa Research Organization

Improving the performance of the coated wall with mud is an important issue to reduce earthquake damage for traditional wooden buildings. This study proposes a method of incorporating additives to improve the performance of the mud wall. The fundamental material properties of the improved mud walls and their effect are clarified by experiments. Experiments were conducted on three admixtures. Specimens were prepared with a mixing amount of 0 to 5% as a parameter. Freshness characteristics were grasped by sensory test. Further, improvement of each stress was confirmed by material experiment.

Keywords: Flow test, Material strength test, Sensory evaluation, Freshness characteristics, Stress, Additive

1. はじめに

従来の土塗り壁は大変形領域において剥離などの損傷をすることで耐力低下を生じており、土塗り壁を主要な構造要素とする伝統的建築物の倒壊要因の一つと言える。このような土塗り壁の剥離や耐力低下は、壁土の付着やねばり強さ等の材料性能が影響すると考えられる。土塗り壁の性能を改良することは伝統的建築物の耐震性向上に大きく寄与し、地震被害軽減のための重要課題である。壁土の改良案として、硬化剤などを混入することが考えられる。今回、セメダイン株式会社の協力を得て、グラウト材補修用として開発された充填剤など、土の硬化に実績のある数種類の添加剤が選定された。

そこで本研究は壁土の改良方法として添加剤の混入を提案し、基本的な材料特性を把握すると共に、その効果を強度実験によって検証する。

2. 使用材料と供試体

使用する材料は原土、砂、水、添加剤である。原土は京都産、砂は手取川産の7号(最大2.5 mm)を用いた。添加剤はセメダイン社によって開発されたGJ-001、EM473、EMX-8701とし、それぞれ石垣などの注入補修剤、紙等の接着剤、セメントモルタルなどの接着増強剤に用いられている。

供試体は型枠の寸法を40×40×160 mm、中心のくぼみを40 mmとした70×40×160 mmの2種類とし、木製三連型枠を用いることで、1調合において3体を作製した。表1に使用材料、図1に型枠、図2に供試体を示す。

試料の調合は、既往の文献りに基づいて水土比を63.5%、砂原土比を85%、施工軟度(以下、フロー値)を170±10 mmとし、添加剤の量を土に対して0から5%とした。表2に基本調合を示す。

表1 使用材料

材料	記号	種類・成分	用例
原土	C	京都産	—
砂	S	手取川産 7号 最大寸法2.5mm以下	—
水	W	学内水道水	—
GJ-001 (添加剤A)	Ad _A	シラン化合物	注入補修剤
EM473 (添加剤B)	Ad _B	エチレン酢酸ビニル	紙等の接着剤
EMX-8701 (添加剤C)	Ad _C	エチレン酢酸ビニル	モルタル等の 接着増強剤

表2 基本調合

材料	質量(g)
C	1800
S	1530
W	1143.4
S/C(%)	85
W/C(%)	63.5
W/(C+S)(%)	34.3
目標フロー値(mm)	170±10



図1 木製三連型枠

図2 供試体

作製方法として、練り混ぜは10 Lのオムニミキサーを用いて、オムニミキサー胴内に砂1/2、原土、砂の残り、水の順に投入し、回転数を380 r/minで30秒ずつ3回で行った。添加剤は計量カップで予め水と混ぜて投入した。打設は型枠に試料を二層に分けて詰め、突き棒で各層5回を突き、仕上げは上端を鍍でならし成形した。その際に引張試験用の供試体には長さ70 mm～90 mmのスサを一層目中央部に1本入れた。図3に練り混ぜおよび打設の状況をそれぞれ示し、表3に供試体一覧を示す。



図3 練り混ぜおよび打設

表3 供試体一覧

供試体	添加剤	添加剤含有率	他
N-1	なし	なし	予備実験として含有率 0、0.2、0.6、1.0、1.6、 2.0、3.0、4.0、6.0、8.0、 10.0%を実施
A-1	A	0.3	
A-2		2	
A-3		5	
B-1	B	0.3	
B-2		2	
B-3		5	
C-1	C	0.3	
C-2		2	
C-3		5	

3. 改良壁土供試体の実験方法

(1) 乾燥試験

乾燥は乾燥過程における質量の変化によって確認することとし、質量の測定はA&D社製の電子天秤（最小目盛り0.1 g）を用いて、供試体を作製した日を0日目として0、1、2、3、5、7、21、28日目に計量し、質量が安定するまで室内で気中養生を行った。なお養生にあたって室内調整は行わず、およそ気温20～30℃、湿度70%程度であった。なお乾燥実験については添加剤の含有率を0、0.2、0.6、1.0、1.6、2.0、3.0、4.0、6.0、8.0、10.0%とした小試験片による予備試験を実施しており、フレッシュ性状についてこれを含めて考察する。

(2) フロー試験

フロー試験はJIS R 5201²⁾に準じており、練り混ぜた土をフローコーンに2層に分けて流し込み、突き棒で各層を15回突いて気泡が無くなったことを確認し、最後に上面をコテでならして仕上げた。試料を乱さないようにフローコーンを取り除いて、フロー試験機で15秒間で15回の落下運動で行い、試料の最大の広がりとその直角方向をノギスで測定し、平均してフロー値を求めた。その後、フロー値が目標値170±10 mmを満たさない場合は、試料をオムニキサー内に戻し、目標フロー値になるまで50 mlずつ加水した。ただし後述する官能試験は最初の調合において実施した。



図4 フロー試験

(3) 官能試験

フレッシュ性状はフローの他に、表面の湿潤状態、粘度、におい等について、添加剤が含まれていない壁土を規準とした評価尺度を定めて比較して評価した。評価尺度は表面の湿潤状態と粘度について、規準を0として4段階で設定した。においの評価は添加剤のにおいの有無とした。

試験の方法は、フロー試験後のフローテーブル上で目視と触感によって表面の湿潤状態およびにおいを嗅いで確認し、さらにその後、試料の一部をプラスチック製のボウルに移して匙で3分間かき混ぜて粘度を確認した。

湿潤状態の評価尺度を図5、試験時の状況を図6に示し、同様に粘度についてそれぞれ図7、8に示す。

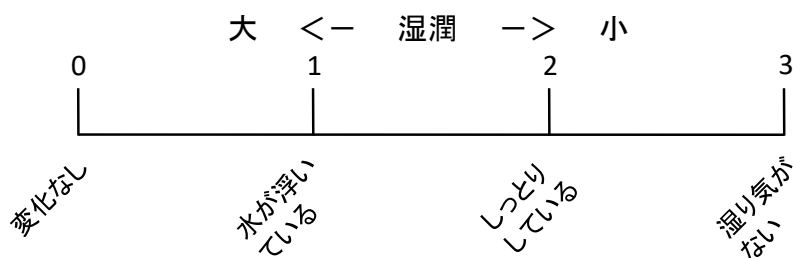


図5 表面湿度の評価尺度



図6 湿潤およびにおい試験の状況

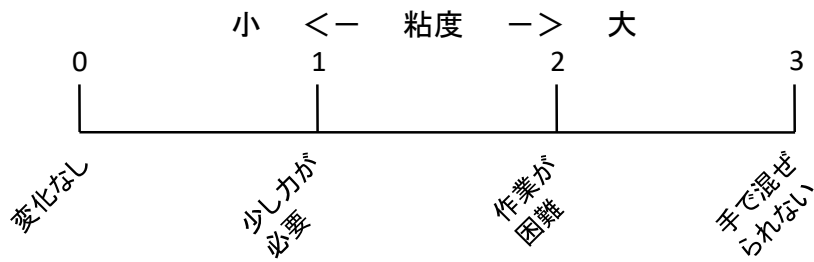


図7 粘度の評価尺度



図8 粘度試験の状況

(4) 強度試験

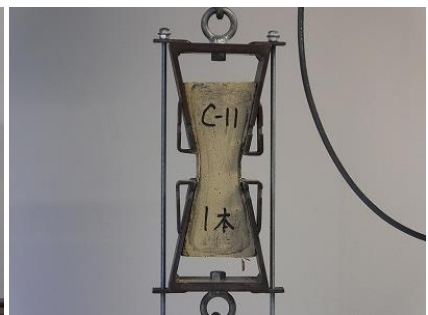
強度試験は島津製万能試験機（AGS-K、容量1000kN）を用いて、圧縮、曲げ、引張試験を実施した。各試験は、載荷速度を2 mm/min、最大荷重より約2割減少または破断を確認して載荷終了とした。曲げ試験は支点間距離を100 mmとする3点曲げ試験とし、圧縮試験は曲げ試験後の供試体を用いて全面圧縮試験、引張試験は供試体形状に合わせた鋼製治具を用いて治具端部に固定されたアイボルトにフックを引っかけて載荷し、それぞれ荷重と変位を計測した。図9に各強度試験の状況を示す。



(a) 圧縮試験



(b) 曲げ試験



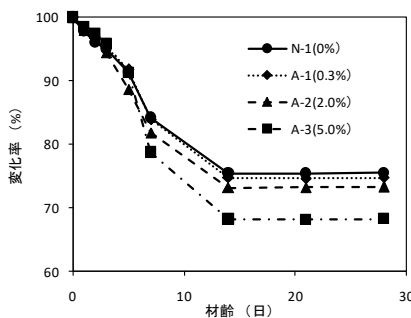
(c) 引張試験

図9 強度試験

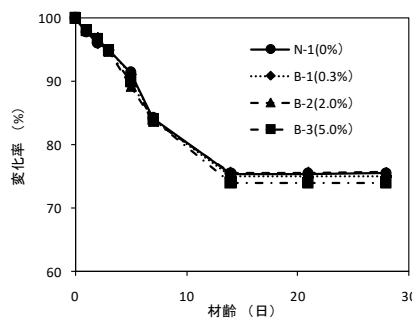
4. 添加剤による改良壁土の物理的性質

(1) フレッシュ性状

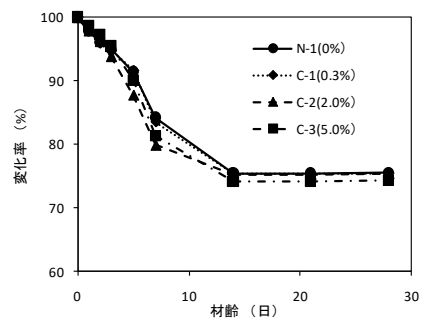
添加剤A、B、Cの材齢と乾燥による質量変化率の関係を図10に示す。質量変化は0日目を基準とすると28日目では添加剤なし(0%)で24.5%減少に対して、添加剤Aの場合は含有率0.3%、2%、5%でそれぞれ25.2%、26.7%、31.7%減少した。同様に添加剤Bはそれぞれ、24.9%、24.3%、26.0%減少、添加剤Cはそれぞれ、24.6%、24.6%、25.7%減少した。質量変化率は添加剤Aの5%において材齢7日までに比較的大きな減少を示したものの、添加剤の種類・混入量にかかわらず、おおむね約25%減少した。また材齢14日までで緩慢に減少し、それ以降の変化は±0.1%程度となり乾燥が終了した。



(a) 添加剤A



(b) 添加剤B



(c) 添加剤C

図10 材齢と乾燥による質量変化率の関係

表面の湿潤状態は添加剤の種類によって違いは無く、添加剤の含有量によって段階的に変化があった。含有率 0.5 %以下ではほとんど変化はなく、水を含んだなめらかな泥状であった。含有率 1 から 3 %では表面や試料とフローテーブルとの境界に水分が浮いているのが確認でき、含有率 5 %では水分の浮きは確認されず、試料表面がしっとりとしている程度であった。粘度についても湿潤状態と同様に種類による違いはあまり無く、含有率 1~3 %では添加剤なしと比べて混ぜる際に抵抗を感じる程度、5 %は強い抵抗を感じて3分間を混ぜることができない程度であった。なおについては、含有率 1 %を超えると感じられ、添加剤 Cは少ない含有率においても感じられた。また含有率の増加とともにはっきりとおいを感じたが、刺激の強いおいでは無い。表 4 に官能試験結果を示す。

表4 官能試験の結果

	含有率(%)	A	B	C
湿潤	0.1~0.5	0	0	0
	1.0~3.0	1	1	1
	5	2	2	2
粘度	0.1~0.5	0	0	0
	1.0~3.0	1	1	1
	5	2	2	2
におい	0.1~0.5	無	無	有
	1.0~3.0	有	有	有
	5	有	有	有

(2) 強度特性

図11に添加剤の含有率と各種応力度との関係を示す。曲げ応力度は添加剤なしでは0.75 N/mm²で、添加剤 Aの場合は含有率0.3、2、5 %でそれぞれ0.65、0.49、0.56 N/mm²となり、添加剤Bではそれぞれ0.82、0.93、1.38 N/mm²となり、添加剤Cでは0.77、0.79、0.91 N/mm²となった。同様に、圧縮応力度は添加剤なしで1.35 N/mm²で、添加剤Aの場合でそれぞれ1.21、0.81、0.95 N/mm²、添加剤Bでそれぞれ1.35、1.59、2.30 N/mm²、添加剤Cでそれぞれ1.58、1.14、1.72 N/mm²となり、引張応力度は添加剤なしで0.36 N/mm²で、添加剤Aでそれぞれ0.22、0.21 N/mm²、添加剤Bでそれぞれ0.29、0.31、0.53 N/mm²、添加剤Cで0.40、0.30、0.35 N/mm²となった。なお添加剤Aの含有率5 %の供試体は養生期間に割れを生じて作製できなかったため試験を行っていない。

含有率と各応力度との関係について、添加剤Bはいずれも高い相関性を示し、含有率に比例して曲げ応力度も増加する傾向であった。添加剤Cは各応力度とも僅かな増加傾向を示したが、曲げ応力度においては高い相関性を示すものの、圧縮応力度では相関性が低く、引張応力度では極めて低い相関性であった。添加剤Aは、含有率との相関性もあまり高くないが、含有率が増えるほど応力度は低下する結果となった。

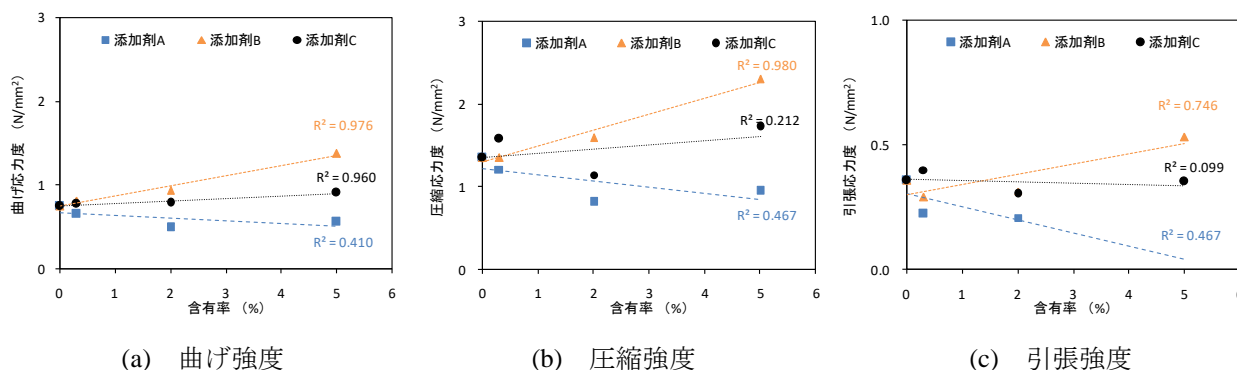


図11 添加剤の含有率と強度の関係

5. まとめ

本報では壁土の構造性能の向上方法として添加剤の混入を提案し、基本的な材料特性を把握するために、フレッシュ性状として乾燥、フロー、湿潤、粘度、におい、強度性能として曲げ、圧縮、引張について試験を行った。得られた結果を以下の1)~4)に示す。

- 1) 質量変化率は、添加剤の種類・混入量にかかわらず、約25 %減少する。また、14日までは緩慢に減少しているが、それ以降はほぼ一定となる。今回使用した添加剤の種類において、混入量0~5 %の範囲では乾燥時間に及ぼす影響はほとんどない。
- 2) 添加剤を水に含めて調合したため僅かであるが相対的に水は減少し、含有率が増加すると粘度も上がるためフロー値は大きく低下する。そのため添加剤は水の代用にはならず、むしろ作業性を確保するために水を多く必要とする。
- 3) フレッシュ性状は、においに若干の違いはあるものの、添加剤の種類による差はほとんどなく、含有率が増加することで、表面は乾燥しやすく、粘度は大きくなる。
- 4) 添加剤を用いることで壁土の強度を向上させることはできる。ただし添加剤Aについては実績はあるものの、本試験ではその効果を確認することはできず、供試体の製作方法、試験方法について検討を要する。また壁土の性能が土塗り壁に及ぼす効果については未解明であり検証する必要がある。

謝辞：研究を進めるにあたり、セメダイン株式会社の秋本雅人様、倉内晴久様、西村香奈様には、試料の提供とその化学的性質に関して多くの助言を頂きました。また試験実施にあたって金沢工業大学建築学科のダカナイジョナタン氏（現：鴻池組）、荻野祥氏（現：名工建設）、佐藤駿氏（現：植木組）に協力を頂いた。

参考文献

- 1) 蒲田幸江・浦憲親・高山誠：壁土の品質に関する基礎実験 その1 壁土試験の提案、日本建築学会大会 学術講演梗概集（東北）、pp.7-8、2005
- 2) JIS R 5201, セメント物理試験方法（2015）