

地震に強い地域をつくる

27 北関東の壁土の特性

土塗壁の仕様には地域性が高く、さらに、土塗壁に用いられる土の強度は産地によって大きく異なることが明らかになっている²⁾。そこで、栃木市周辺および真壁地区周辺の土塗壁に用いられる壁土や各産地の壁土を対象に粒度や流動性、圧縮強度を把握するための材料試験を行い、それらの材料特性を把握する。

a) 壁土の粒度分布とコンシステンシー

■試験概要

現存する建造物に用いられている壁土や各産地の土の粒度分布や流動性を把握することを目的に、表1に全19サンプルに対して、粒度とコンシステンシー（流動性）を把握する試験を実施する。ここで、粒度分布についてはJIS A 1204「土の粒度試験方法」に、コンシステンシーについてはJIS A 1205「土の液性限界・塑性限界試験方法」の液性限界試験にそれぞれ準拠して実施する。

現存する建造物に用いられる壁土は、栃木市周辺の土蔵2棟、桜川市真壁地区周辺の土蔵3棟から荒壁土と中塗り土を採取した。粘土については、栃木市で採取した試料だけでなく、比較のために埼玉県深谷産の荒木田土と京都府京都産の京土を用意した。さらに、深谷産と栃木産の粘土を用いて、熟練左官工が新たに練り上げた荒壁土と中塗り土も用意している。その際の荒壁土と中塗り土の調合は表2に示す通りである。

■粒度分布

土の粒度分布を把握する図として、一般的に図1に示すような粒径加積曲線が使われる。この曲線が図中①のような傾向を示すと土の中に微粒分が多く含まれていることがわかり、図中②のような傾向だと粒径の粗い砂質分が多く含む土と判断できる。また、曲線が全体的になだらかで凹凸が少ない程、大小様々な粒子が

表1 壁土の試験サンプル一覧

産地もしくは建造物	種類(略記)	備考
土蔵O	荒壁土(荒)	元治元年創建 栃木市嘉右衛門地区内に所在 解体直前の土蔵から入手
	中塗り土(中)	
土蔵K	荒壁土(荒)	明治45年創建 栃木市嘉右衛門地区内に所在 土塗壁が一部崩落している土蔵から入手
	中塗り土(中)	
土蔵S	荒壁土(荒)	桜川市真壁地区に所在
	中塗り土(中)	
土蔵M	荒壁土(荒)	桜川市真壁地区に所在
	中塗り土(中)	
土蔵T	荒壁土(荒)	桜川市真壁地区に所在
	中塗り土(中)	
栃木	荒壁土(荒)	熟練左官工が練った土
	中塗り土(中)	
深谷	荒壁土(荒)	熟練左官工が練った土
	中塗り土(中)	
真壁	荒壁土(荒)	熟練左官工が練った土 粘土は真壁地区周辺から採取
	中塗り土(中)	
栃木	粘土	栃木市内の田圃から採取
深谷		市販されている荒木田土
京都		市販されている京土

表2 荒壁土と中塗り土の調合

土種	共通	粘土1m ³ あたりにわら60~70kg
中塗り土	栃木産	粘土10kg, 砂15~17kg, すさ300g, 水7~8ℓ
	深谷産	粘土10kg, 砂12~13kg, すさ300g, 水7~8ℓ

※砂は、川砂(鬼怒川産)

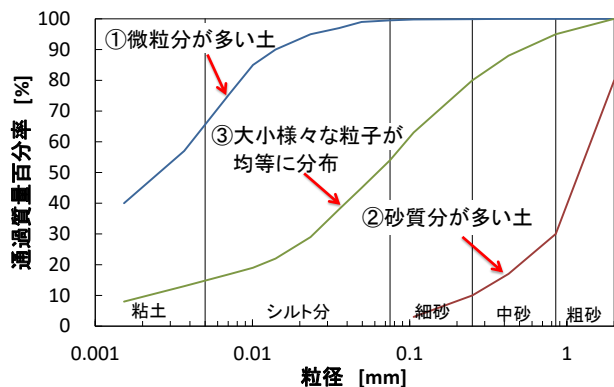


図1 粒径加積曲線の概念図

均等に分布し、粒子間にできる隙間をさらに微小な粒子が埋めるという関係が効果的に働いたため、バランスの良い粒度分布であることを示す。

■各産地の粘土の比較

図2には、各産地の粘土について比較した粒径加積曲線を示している。既往の報告³⁾によると、関東地方で採取できる荒木田土は微粒分が多く、京都地方で採取できる京土は荒木田土に比べてもととの砂質分が多いと言われている。今回実施した結果においても同様の結果が見られ、栃木産や深谷産の粘土(荒木田土)は京都産(京土)に比べて、微粒分の含有量が多く、粘性の高い土であることがわかった。

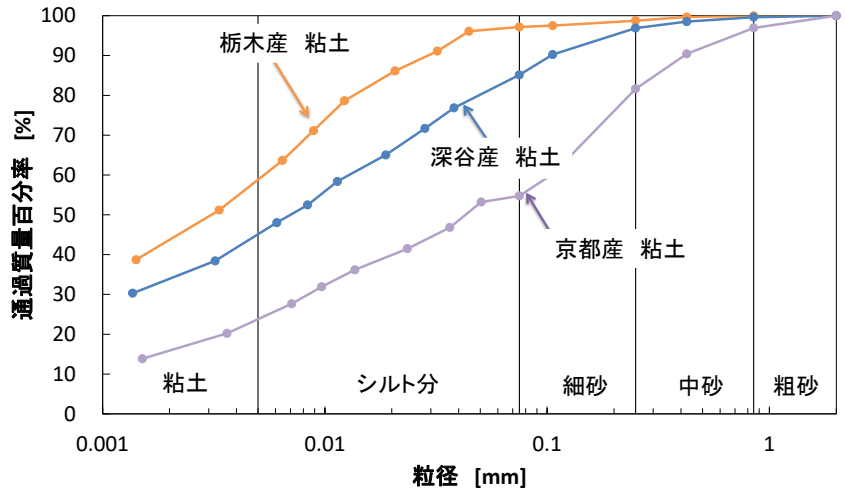


図2 各産地の粘土の粒径加積曲線

■建造物もしくは産地ごとの荒壁土と中塗り土の比較

次に、建造物もしくは産地ごとに荒壁土と中塗り土の粒度を比較して図3に示す。荒壁土と中塗り土の傾向を比べると、明らかな差異が確認できる。荒壁土は微粒分が多いのに対して、中塗り土は砂を加えるために砂質分の含有量が多くなっている。土蔵Oや土蔵Kは、100~150年前に施工されたものであるが、その当時から中塗り土には粘土に砂質分を適度に調合していたことがわかる。この傾向は、真壁地区で採取した土蔵Sや土蔵M、土蔵Tについても同様であった。

このことより、栃木市に限らず北関東に残る建造物に用いられている壁土は概ね同様な傾向がみられると推察される。

また、新たに練り混ぜた栃木産と深谷産の両者は、荒壁土も中塗り土についても概ね似た分布傾向を示している。しかし、現存する建造物の荒壁土について比べて微粒分の含有量が多く見られた。これは、次項で述べるように砂質分を適度に調合した土は流動性が改善されるため、先人は荒壁土にも適度に砂を加えて流動性(施工性)を高めていたことや、既存壁土を再利用して建物が維持・修繕されてきたことがうかがえる。

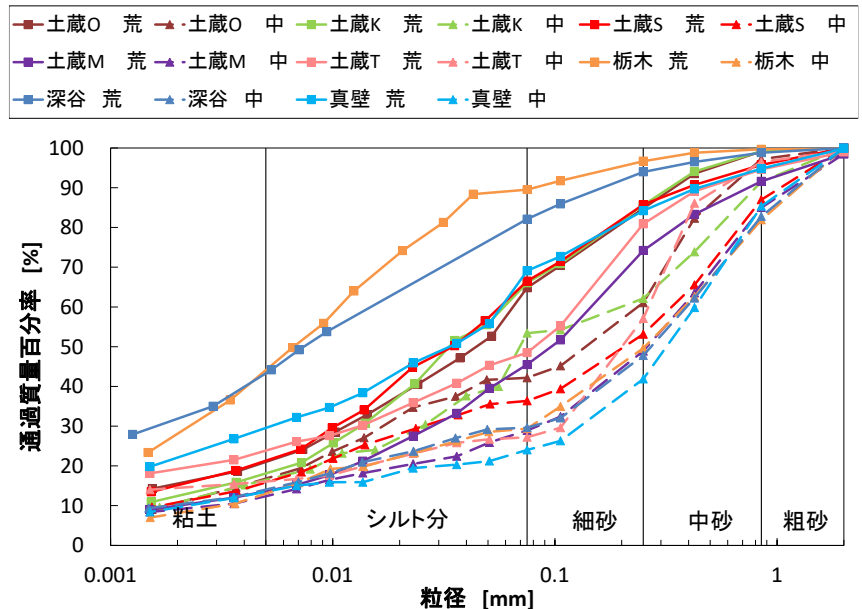


図3 建造物もしくは産地ごとの荒壁土と中塗り土の粒径加積曲線

■コンシステンシー(流動性)

コンシステンシーとは主に水量に起因する粘性体の流動性を表すものであり、壁土のコンシステンシーは、荒壁土および中塗り土を塗りつける際の鏝塗りの作業性に密接な関係がある。コンシステンシー曲線(液性限界試験による含水率と落下回数との関係)を図4に示す。図中の下方に線が表れる土は、より少ない水量で流動性が確保できる特性であると判断できる。

落下回数が同じ時の含水率について、産地や建造物ごとに荒壁土と中塗り土の傾向を比べると、いずれの産地ならびに建造物においても荒壁土に比べて中塗り土の方が小さい。さらに、栃木産や深谷産の粘土に比べて、砂質分を多く含んでいる京都産の粘土の含水率が小さいことがわかる。これらの結果より、砂を加えることによって、少ない水量で流動性が確保されることが確認できた。

粘土やシルトの微粒分を多く含む壁土では、未固化の状態での粘性や保水性が高く、乾燥収縮の増大や施工性の劣化を招きやすいという一般的特徴がある。それに対して、砂を加えて砂質分を適度に含む壁土にすることは、流動性の改善と乾燥収縮の抑制に効果を発揮している。

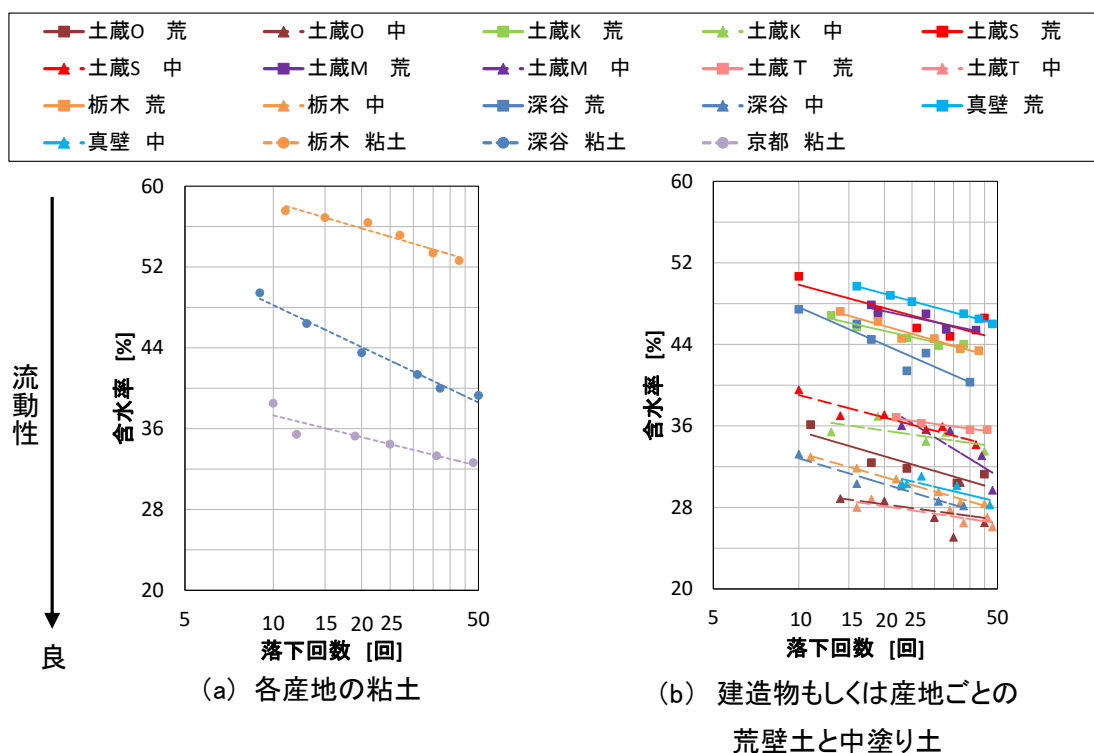


図4 コンシステンシー曲線

以上の結果より、北関東に残る建造物に用いられている壁土は、粒度分布とコンシステンシーともに概ね同様な性質を示していることがわかり、真壁地区周辺の土塗壁の構造性能についてもこれまでにやってきた加力実験の結果⁴⁾と概ね同様の性能を有することが推察できる。

b) 壁土の圧縮強度

壁土の圧縮強度は、土塗壁のせん断耐力を左右する重要な要素の一つであることから、技術解説書³⁾では、荒壁土ならびに中塗り土の所要性能として、最大圧縮強度が表3を満たすことを要求している。そこで、同解説書の壁土の圧縮試験法に準拠して圧縮強度試験を実施した。ここでは、現存する建造物から供試体を抜き出すことが困難であったため、上述した表2の調合で新たに練り上げた栃木産と深谷産の荒壁土と中塗り土について、供試体を製作し、圧縮強度を確認することとした。

圧縮強度試験結果一覧を表4に、応力度—ひずみ曲線(供試体6体を平均した曲線)を図5に示す。荒壁土ならびに中塗り土のそれぞれ6体の応力度とひずみの関係や破壊性状は似た性状を示し、最大圧縮強度はいずれも所要性能を満足する結果であった。また、荒壁土と中塗り土とで最大強度や最大強度到達後の軟化性状に明瞭な差異を確認した。中塗り土は、最大強度が荒壁土に対して栃木産で2.0倍に、深谷産で1.4倍に上昇し、最大強度到達後は荒壁土に比べて極めて脆性的な軟化性状を示すことがわかった。産地による違いを見ると、荒壁土と中塗り土ともに深谷産は栃木産よりも圧縮強度が大きいことが確認できた。

表5には、ふるい分け試験にて粒径 75 μm 以上の目視で確認できる粒径 850, 425, 75 μm の栃木産と深谷産、土蔵O、土蔵Mの荒壁土の様子を示している。深谷産の土は栃木産の土に比べて白色の土を多く含んでいる。また、建造物による違いを見ると、土蔵Oは黒色と白色の土がほぼ均等の割合で含まれているものの、土蔵Mは白色の土を多く含み、ガラス質のような光沢のある土を含んでいる。したがって、土粒子は地域によって組成が違うことがわかる。

つまり、土の粒度分布やコンシステンシーだけでなく、土の組成も圧縮強度に影響を及ぼしていることも考えられる。

参考文献 (下線の文献は本項に関する発表論文等を示す)

- 1) 國分直輝,横内基,松岡亘,財津拓三,御田村真毅,大橋好光: 栃木市に現存する伝統的建造物の地震被害および耐震性に関する研究(その6 土塗壁の仕様と壁土の物性)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.149-150、2012年9月
- 2) 岩崎博ほか: 土壁設計仕様標準化に関する研究(湿式構法土壁の基礎的性質による壁土の分類)、日本大学工学部紀要第41巻第2号、p.33、2000年3月
- 3) 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、2004年2月
- 4) 横内基,大橋好光ほか: 歴史的町並みの地震防災対策に関する研究(その1~6)、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造Ⅲ、pp.461-466、2013年9月、pp.277-278、2014年9月、pp.491-494、2015年9月

表3 壁土の所要性能

	最大圧縮強度 [N/mm ²]
荒壁土	0.30以上
中塗り土	0.55以上

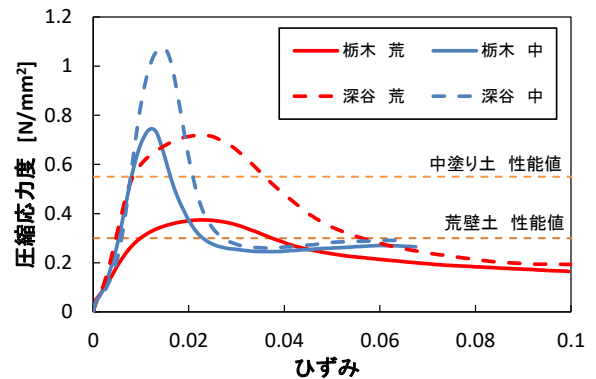


図5 応力度—ひずみ曲線

表4 圧縮強度試験結果一覧

供試体		塗厚 [mm]	試験体数	最大圧縮強度[N/mm ²]			密度 [g/cm ³]
産地	種別			最小	最大	平均	
栃木	荒壁土	70	6	0.371	0.391	0.378	1.30
	中塗り土	70	6	0.700	0.801	0.758	1.62
深谷	荒壁土	70	6	0.655	0.825	0.729	1.39
	中塗り土	70	6	0.957	1.138	1.077	1.56

表5 土粒子の様子

試験体名称	粒径 [μm]		
	850	425	75
栃木 荒			
深谷 荒			
土蔵O 荒			
土蔵M 荒			