

平成 30 年 6 月 25 日現在

機関番号：54501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18164

研究課題名(和文) 壁土の圧縮強度を混練時に推定する調合設計法の確立

研究課題名(英文) Establishment of mixture proportion method of compressive strength about wall clay in mixing work

研究代表者

荘所 直哉 (Shojo, Naoya)

明石工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号：50413810

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：壁土に使用する各種材料特性から混練時に圧縮強度特性を推定する調合設計法を確立することを目的とした。各種地域の壁土の分析を行い、粗粒分含有率、含水比、スサ含有率をパラメータとした壁土の一軸圧縮実験を行った。それらの結果を回帰分析した結果、単位体積重量、含水比、粗粒分含有率を用いて圧縮強度を推定する場合は最も相関係数が高い回帰式となり、十分な精度で材料特性から圧縮強度を推定することが可能となった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study is establishment of mixture proportion method of compressive strength about wall clay in mixing work. I analyzed wall clays of various regions and carried out unconfined compression test of the wall clay with parameters of coarse fraction content, water content and fibers for plastering content. As a result of regression analysis of these test results, the regression equation with the highest correlation coefficient was to estimate the compressive strength from unit weight, water content and coarse fraction content. It is possible to estimate the compressive strength from material properties with sufficient accuracy.

研究分野：建築学

キーワード：土塗壁 壁土 調合設計

1. 研究開始当初の背景

日本の住宅政策は近年、「長期優良住宅」をキーワードに、住宅のストック価値を高め、長期間住まい続ける発想に転換しつつある。日本の伝統的木造住宅の構造は、長期間住まい続けるために歴史を重ねて改良され、現在の姿に落ち着いている。本研究に係る土塗壁は使用材料はすべて自然素材(粘土・砂・水・竹等)のため、環境負荷の小さい構法として注目されている。

土塗壁に関する研究は、土壁の構造耐力性能や防耐火性能に関する内容が主で、これらの性能は明らかになりつつある。現行の土塗壁の技術解説書では、土塗壁に塗られる壁土の圧縮強度と塗り厚によって土塗壁の性能(壁倍率;建築基準法で定められた耐力壁の強さを表す指標)が分類されている。しかし、土塗壁の性能に大きな影響を与えている壁土の強度特性に注目した研究は少ない。よって、現時点では壁土混練時に圧縮強度を工学的に保証できない状況にあり、土塗壁の壁倍率を安全側に運用している。土塗壁を用いた建築物の耐震設計が精度の高い設計になっていない状況にある。

2. 研究の目的

本研究では、壁土の圧縮強度特性と壁土に用いられ、乾燥後の単位体積重量に影響すると考えられる土の粒度分布、スサ(藁などの繊維質材料)の含有率、混練時の含水比などの材料特性との関係を明らかにし、壁土混練時に圧縮強度を工学的に保証できる壁土の調合設計法を構築することを目的とする。土壁は複層構造になっているが、研究対象は荒壁塗りの部分とする。この関係が明らかになると、土の練り混ぜ後に乾燥させて強度実験をすることなく、混練調合によって強度が推定できると考えられる。これにより圧縮強度を把握するための煩雑な作業の軽減が図られ、土壁に関する技術の向上および構造設計における信頼性の向上を図ることができる。

3. 研究の方法

(1) 左官工による調合割合の実態調査

壁土の調合割合の実態調査を行うため、左官工に協力を仰ぎ、現場で利用されている壁土の提供を受けた。提供いただいた壁土は兵庫県淡路産、山口県産、埼玉県産の粘土をベースとした壁土である。なお、砂質土は川砂である。壁土の調合や混練は左官職人が通常通りの作業手順と分量で行っていただいた。提供をいただいた壁土は材料特性分析用と圧縮実験用の試験体に分けて乾燥させた。乾燥後に各種材料分析と圧縮実験を実施した。

(2) 調合を変化させた壁土の一軸圧縮試験

圧縮強度特性に影響が大きいと想定される種々の材料特性をパラメトリックに変化させた試験体を作成し、圧縮実験を実施して圧縮強度特性を把握した。

試験体の壁土には、関東産の市販の荒木田土を、砂は川砂、スサはワラスサを用いる。予め、荒木田土に含まれる水分量と粗粒分含有率(粒径0.075mm以上)を計測して以下に示す各種試験体の調合計算に用いた。

試験体は粗粒分含有率(30%, 40%, 50%, 60%), 含水比(40%, 50%), スサ含有率(1.0%, 1.5%)を変化させた試験体とした。3つのパラメータを組合せた試験体16種類を各5体、計80体作成した。なお、粗粒分含有率とは粘土と砂を混ぜた時に含まれている粗粒分(粒径0.075mm~75mm)の割合であり、含水比は混練時に含まれている水と絶乾状態の土粒子の質量比、スサ含有率はスサと絶乾状態の土粒子の質量比のことである。

表1 試験体一覧

試験体記号	粗粒分含有率 (%)	含水比 (%)	スサ含有率 (%)
30-40-1.0	30	40	1.0
30-40-1.5			1.5
30-45-1.0		45	1.0
30-45-1.5			1.5
40-40-1.0	40	40	1.0
40-40-1.5			1.5
40-45-1.0		45	1.0
40-45-1.5			1.5
50-40-1.0	50	40	1.0
50-40-1.5			1.5
50-45-1.0		45	1.0
50-45-1.5			1.5
60-40-1.0	60	40	1.0
60-40-1.5			1.5
60-45-1.0		45	1.0
60-45-1.5			1.5

(3) 材料特性と圧縮強度特性の統計的検討

一軸圧縮実験を行った壁土試験体の材料特性の分析や上記(2)で実施した壁土の粗粒分含有率、含水比、スサ含有率等をパラメトリックに変化させた壁土試験体の材料特性の把握と圧縮強度特性の結果を用いて各種材料特性から圧縮強度特性を推定できる回帰分析を行った。

4. 研究成果

(1) 左官工による調合割合の実態調査

混練された壁土から各種材料特性を求めた。混練時含水比は混練時の壁土とそれを絶乾状態にした試験体の重量から求めた。粗粒分含有率(粒径0.075mm以上)はふるい分け試験によって測定した。スサ含有率は壁土のスサと試験体全体の重量から求める。含水率は加力後の試験体(気乾状態)とそれらを絶乾状態にした試験体の重量から求めた。

表2 材料特性の算出結果

混練時含水比 (%)	53.4
スサ含有率 (%)	0.17
粗粒分含有率 (%)	11.6
含水率 (%)	4.33
密度 (g/cm <sup>3</sup> )	1.57

(2) 調合を変化させた壁土の一軸圧縮試験  
試験体の質量が一定になった段階で試験体の寸法計測および質量を測定して単位体積質量を算出した。その結果の一例を図 1 に示す。比較した結果、粗粒分含有率に関係なく、含水比やスサ含有率が低いと単位体積質量は高かった。水やスサの量が増加すると乾燥後の試験体内部の空隙が増加することで単位体積質量に影響を与えていると考えられる。

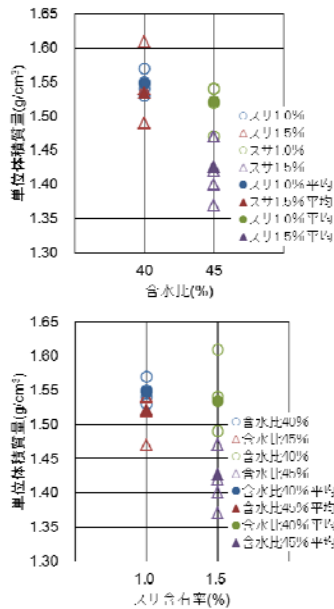


図 1 単位体積質量の比較  
(粗粒分含有率 40% の場合)  
(上：含水比比較，下：スサ含有率比較)

圧縮応力度-ひずみ度関係を図 2 に示す。スサ含有率で比較すると、スサ含有率が低いと最大圧縮応力度は高いが、最大圧縮応力度後の応力度の低下が顕著であった。また、各試験体種類の最大圧縮応力度の平均値を表 3 に示す。

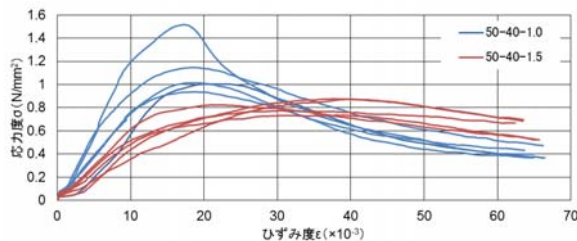


図 2 圧縮応力度-ひずみ度関係  
(粗粒分含有率 50% の場合)

・含水比かスサ含有率を一定とした時の比較  
含水比またはスサ含有率を一定とした場合の最大圧縮応力度の比較を図 3 に示す。粗粒分含有率が 30% から 40% に増えると含水比やスサ含有率に関係なく、最大圧縮応力度は高くなる傾向にある。しかし、粗粒分含有率が 40% より増えると、最大圧縮応力度は低下

表 3 最大圧縮応力度の結果 (平均値)

試験体記号	最大圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )	試験体記号	最大圧縮応力度(N/mm <sup>2</sup> )
30-40-1.0	1.45	50-40-1.0	1.12
30-40-1.5	1.04	50-40-1.5	0.82
30-45-1.0	1.49	50-45-1.0	0.70
30-45-1.5	1.11	50-45-1.5	0.57
40-40-1.0	1.50	60-40-1.0	0.66
40-40-1.5	1.20	60-40-1.5	0.52
40-45-1.0	1.03	60-45-1.0	0.40
40-45-1.5	0.75	60-45-1.5	0.35

した。また、含水比が高い方が最大圧縮応力度のばらつきは少ない傾向にある。

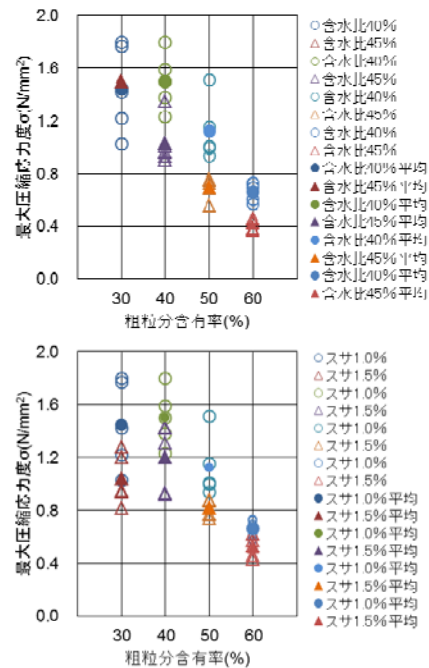


図 3 最大圧縮応力度の比較  
(上：スサ含有率を一定，下：含水比を一定)

・粗粒分含有率を一定とした時の比較  
粗粒分含有率 (40%) が一定の場合、含水比やスサ含有率が低い方が最大圧縮応力度は高い傾向にあった (図 4 参照)。これはすべての粗粒分含有率について同様であった。

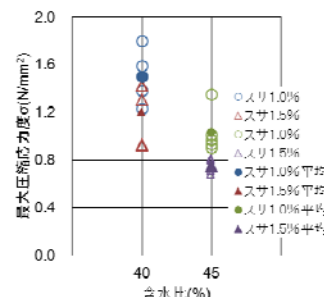


図 4 粗粒分含有率を一定とした時の最大圧縮応力度の比較

(3) 材料特性と圧縮強度特性の統計的検討  
各種材料特性 (密度, 含水比, スサ含有率, 粗粒分含有率) から最大圧縮強度を推定する

回帰式の検討を行った。検討は 2 種類あり、各種材料特性から直接的に圧縮強度特性を求める場合と各種材料特性から密度を推定し、推定密度から最大圧縮応力度を求める場合である。後者の検討は壁土混練時に圧縮強度を推定できるようにするためである。

・材料特性から圧縮強度を推定

各種材料特性(密度, 含水比, スサ含有率, 粗粒分含有率)から圧縮強度を推定する回帰分析を行う。回帰分析を行った結果, 下式の回帰式が得られた。

$$y = 4.04x_1 + 0.270x_2 - 0.161x_3 - 0.0143x_4 - 5.44$$

(重決定係数  $R^2$ : 0.815)

ここで, 圧縮強度  $y$ , 密度  $x_1$ , 含水比  $x_2$ , スサ含有率  $x_3$ , 粗粒分含有率  $x_4$  である。回帰式より得られる推定値と実測値の比較を図 2 に示す。なお, 図中の点線は推定値を 1.2 倍した直線と 0.8 倍した直線である。

重決定係数が高い結果となり, 各種材料特性から圧縮強度を高い精度で推定できると考えられる。しかし推定値よりも実測値が低い場合が散見され, 推定値の 0.8 倍よりも低い結果もある。

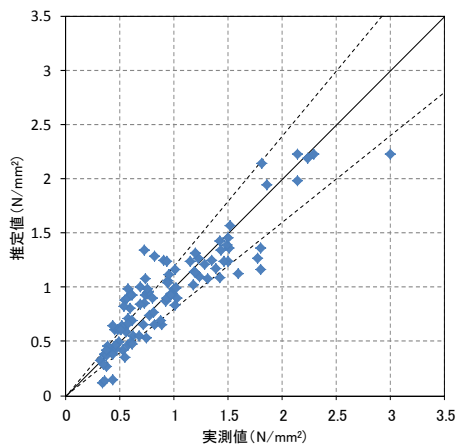


図 5 回帰式による推定値と実測値の関係

・材料特性から密度を介して圧縮強度を推定  
含水比, スサ含有率, 粗粒分含有率の材料特性から密度を算出し, その密度から圧縮強度を推定する回帰分析を行った結果, 下式の回帰式が得られた。

$$x_1 = -0.000817x_2 - 0.117x_3 + 0.000624x_4 + 1.63$$

(重決定係数  $R^2$ : 0.318)

$$y = 4.97x_1 - 6.43$$

(重決定係数  $R^2$ : 0.446)

ここで, 各変数は上記で示したものと同一である。回帰式より得られる推定値と実測値の比較を図 6 に示す。

2 段階で圧縮強度を推定したが, それぞれの段階でやや決定係数が低いため, 圧縮強度の推定値と実測値の相関がやや低い結果と

なっている。今回の検討ではすべての材料特性を説明変数としているが必要に応じて説明変数を選択する必要があると考えられる。

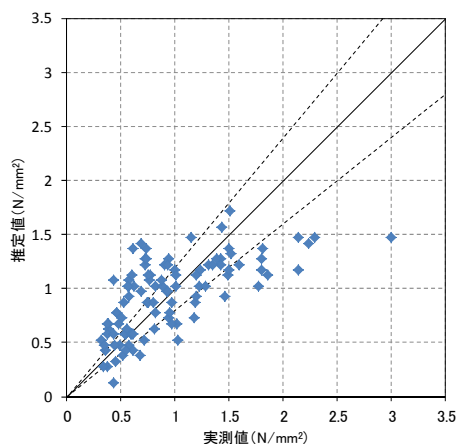


図 6 回帰式による推定値と実測値の関係

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① 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, 日本建築学会学術講演梗概集, 材料施工, pp.787-788, 2015 年 9 月
- ② 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 2 回帰分析による圧縮強度特性の推定, 日本建築学会学術講演梗概集, 材料施工, pp.1079-1080, 2017 年 9 月
- ③ 松尾 瑠菜, 荘所 直哉, 早崎 洋一, 三芳 紀美子, 大橋 好光: 荒木田土による圧縮強度の異なる壁土を用いた壁土の面内せん断性能に関する研究, 国立高専機構第 3 ブロック専攻科研究フォーラム講演梗概集, pp.OB-5, 2018 年 3 月

[学会発表] (計 3 件)

- ① 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, 2015 年
- ② 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 2 回帰分析による圧縮強度特性の推定, 日本建築学会, 2017 年
- ③ 松尾 瑠菜, 荘所 直哉, 早崎 洋一, 三芳 紀美子, 大橋 好光: 荒木田土による圧縮強度の異なる壁土を用いた壁土の面内せん断性能に関する研究, 国立高専機構第 3 ブロック専攻科研究フォーラム, 2018 年

6. 研究組織

(1) 研究代表者

莊所 直哉 (SHOJO Naoya)

明石工業高等専門学校・建築学科・准教授

研究者番号：50413810