

香川県における土塗壁の強度に関する研究

— その1 壁土圧縮試験 —

四国職業能力開発大学校 宇都宮 直 樹
 山下 世為志
 大塚 泰 夫
 行 武 俊 和

A Study on the Strength of Mud Wall in KAGAWA

Part1 Compression Tests of Wall Clay

Naoki UTSUNOMIYA and Seiji YAMASHITA and Yasuo OOTSUKA and Tosh ikazu YUKUTAKE

要約 日本における住宅における寿命は欧米諸国に比べ極めて短い。このことは温暖化や資源の濫用、廃棄物処理などの環境問題を引き起こす要因ともなっており重要な問題である。

こうしたなか世論調査において国民の約9割が家を建てる際に木造住宅を希望しており、再生産可能な木材を使用して住宅を造り、さらに長期にわたって使用可能な資産価値が高い住宅をストックすることが必要とされ、国土交通省住宅局において平成13年度から超寿命木造住宅推進プロジェクトが実施されてきた。その後平成15年12月の法改正において従来から使用されてきた壁式構造のひとつである土塗壁の耐力性能が従来の基準値の2倍～3倍の評価が得られた。同時に土壁の仕様が細部にわたり規定され、これまで経験的な技術で土壁を造ってきた職人達にとって大変困難なものになった。つまりこの仕様規定を満たす施工法、材料、環境がより簡潔なものにできなければ、今回の施行令の改正は本来の目的とまったく逆の結果を招くことになる。

そこで本試験においては、土塗壁の水平力に対する抵抗メカニズムの一つである「土壁隅角部の圧縮抵抗」に着目し、本県（香川）で使用される壁土の圧縮強度に関する実態を確認できたことから、それについてまとめたものである。

I はじめに

長年、使用されてきている土塗壁は、これまで壁倍率0.5で使用されてきた、平成15年の告示の改正に伴い、これまでの壁倍率の2～3倍の倍率が得られ、同時に材料と構法に関する仕様規定が定められた。

一方では地域に伝わる構法との食い違いなどが生じている。

土塗壁の台風や地震などの外力に対する抵抗メカニズムは、村上他の論文¹⁾によると①土壁隅角部の圧縮抵抗、②貫のこじりによる抵抗、③土壁と軸組間での間渡し竹のダボ的抵抗、④軸組仕口のモーメント抵抗で構成されていると考えることができるとされており、その中でも、土壁隅角部圧縮力による抵抗と貫のこじり抵抗の分担率が高いとされている。

そこで、香川県内で使用されている壁土を壁土採取

地域、壁土種類および施工法を実験パラメーターとして、壁土の強度に関するデータを得ることを本研究の目的としている。

II 試験概要²⁾

1 壁土の仕様規定

平成15年国土交通省告示第1543号に規定された、壁土の仕様を表-1に示す。

表-1 壁土仕様規定

壁土の種類	仕様規定
荒壁用土	100ℓの荒木田土等の砂質粘土+0.4kg 以上 0.6kg 以下のワラスサ
中塗用土	100ℓの荒木田土等の砂質粘土+60ℓ以上 150ℓ 以下の砂+0.4kg 以上 0.8kg 以下のみすさを混 合したもの

2 試験体

試験体は、香川県内で現在使用されている採取地域および調合の違う壁土を壁土業者等（試験体イ〜へ：計6業者）が普段卸している状況で調合したものを使用した。

なお、土壁の施工については香川県内の地域（東讃、高松、中讃、西讃）によって使用する壁土の種類（中塗用土を使用するところを大直用土で代用）、組合せ（土壁として構成する際に一般的な荒壁用土と中塗用土の組合せではなく、荒壁のみ、若しくは荒壁用土と大直用土の組合せ）が異なるが、それについては施工実態に即した状態で試験体の作成を行った。

試験体の作成については、日本住宅・木材技術センターの土塗壁等に関する技術解説書²⁾（以下、技術解説書とする）の「壁土の圧縮試験法」に準じて行った。

まず、壁土を荒壁用土、中塗用土、荒壁土・中塗用土一体の3種に分けて用意し、土壁塗り直前の状態のものを塗装合板で作成した型枠（幅400×長さ600×深さ70mm）に入れて、鍍圧をかけない程度に均し、養生室内にて気乾状態となるまで乾燥させた。気乾状態の確認方法については、試験体質量を計測していき、質量変化が著しく変化しないことで確認を行った。この壁土の試験については、壁土の凝集力による圧縮強度を確認するためのものであり、実際の壁体として構成してある土壁の圧縮試験を行ったものではない。

荒壁土・中塗用土一体タイプの試験体は、荒壁用土を約4〜4.5cm入れ、気乾状態になった後、中塗用土を施工した。試験体の作成については、昇降丸鋸盤にて規定²⁾の形状（幅150mm×高さ150mm×厚さ）に加工した。

表-2に壁土採取地域・試験体調合一覧、図-1に試験体形状を示す。写真-1に試験体製作状況、写真-2に製作された試験体を示す。

今回の試験においては、施工実態に即した壁土を壁土業者から提供してもらっているため、ワラスサの調合割合が告示で規定された範囲を超えているものも存在する。

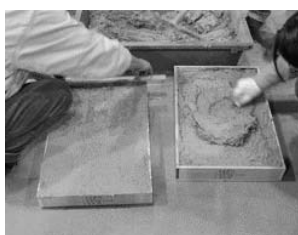


写真-1 試験体製作状況

写真-2 製作された試験体

この試験における壁土施工時期は平成16年12月24日、養生期間は約2ヶ月であった。この養生期間において表-3に示す通り、試験体の厚さ方向の収縮量は4.1〜12.0mm程度であった。

試験体数は試験種類につき各6体と計90体であった。

表-2 試験体調合一覧・試験種類一覧

試験体	塗層	壁土原土採取地域	調合(100リットルあたり)	練土の製造	試験種類
イ	荒壁	香川 西讃地域	粘土 A: 45%+粘土 B: 45%+砂: 10% 海砂を使用 ワラスサ: 0.5kg(6cm)	S 建材	1.荒壁用土単体 2.大直用土単体 3.荒壁用土+大直用土一体
	大直		粘土 A: 10%+粘土 B: 60%+砂: 30% ワラスサ: 0.6kg(6cm)		
ロ	荒壁	香川 東讃地域	ワラスサ: 0.9kg(4cm)	T 建材	4.荒壁用土単体 5.荒壁用土+荒壁用土一体
ハ	荒壁	香川 西讃地域	原土: 67%+花崗土: 33% ワラスサ: 0.6kg(3〜4cm)	H 建材	6.荒壁用土単体 7.中塗用土単体 8.荒壁用土+中塗用土一体
	中塗	市販中塗用土		H 店	
ニ	荒壁	香川 東讃地域	ワラスサ: (3〜4cm)	T 建材	9.荒壁用土単体 10.中塗用土単体 11.荒壁用土+中塗用土一体
	中塗	市販中塗用土		H 店	
ホ	荒壁	香川 西讃地域	ワラスサ: 1.4kg(4〜6cm)	K 建材	12.荒壁用土単体 13.大直用土単体 14.荒壁用土+大直用土一体
	大直		粘土: 62%+花崗土: 37% ワラスサ: 1.4kg(8〜9cm)		
ヘ	中塗	市販中塗用土	施工時直前に中塗用スサを調合した	H 店	15.中塗用土単体

試験体イ、ハ及びホの荒壁用土の採取地域は同一地域である。ハ、二及びへの中塗用土については、市販の中塗用おろし土（煉瓦製造時の土を更に微細にしたもの）を使用している。

3 試験方法

試験は、万能試験機（島津製作所 AUTOGRAPH DSS-10T-S）により一軸圧縮試験を行った。加力は変位制御（加力速度1mm/min）とし、荷重をロードセルで、変位を試験体の左右に設置した2台の変位計（KYOWA DT-20D）により計測した。写真-3に圧縮試験装置を示す。

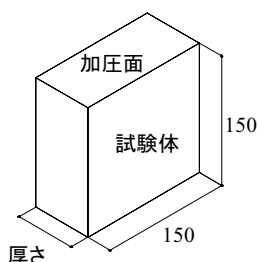


図-1 試験体形状

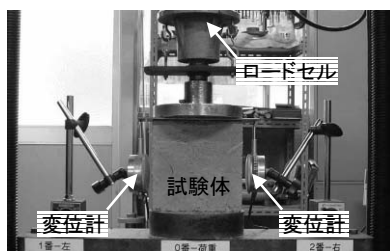


写真-3 圧縮試験装置

III 試験結果

図-2～4に応力度-ひずみ度曲線、表-3に試験結果一覧を示す。

表-3に示す各壁土種類における圧縮応力度の目標値については、技術解説書²⁾で示されており、その壁土の圧縮応力度（以下、圧縮応力度の目標値と略す）は下記の通りである。

荒壁用土：0.30以上 (N/mm²)

中塗用土：0.55以上 (N/mm²)

荒壁用土・中塗用土一体：0.40以上 (N/mm²)

応力度については、(1)式より、ひずみ度については(2)式より、気乾密度については(3)式より算出した。試験体の断面積および試験体高さについては、各方向を3箇所計測し平均して算出した。

また、ひずみ度0.07において応力度の収束が確認できたことより、その時のひずみ度と包絡線及びX軸で囲まれる面積をエネルギー量とした。

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad \dots (1)$$

ここに

σ ：圧縮応力度(N/mm²), P ：荷重(N),
 A ：加圧面積(mm²)

$$\varepsilon = \frac{\Delta h}{h} \quad \dots (2)$$

ここに

ε ：ひずみ度

Δh ：変位量(mm)・・・試験体の左右に設置した変位の測定値の平均値

表-3 試験結果一覧

※は各試験種類6体の平均値を示す。

試験体	荒壁・大直土原土採取地域	試験種類	厚さ方向の収縮量 (mm)	気乾密度※ (g/cm ³)	圧縮応力度※ σ (N/mm ²)	圧縮応力度の目標値に満たなかった試験体数	ひずみ度 0.07 エネルギー量※ ($\times 10^{-3}$ N/mm ²)	備考
イ	香川 西讃	荒壁	9.8	1.40	0.36	0	19.0	
		大直	6.2	1.40	0.42	6	15.5	
		荒壁+大直	-	1.44	0.32	6	16.2	
ロ	香川 東讃	荒壁	5.7	1.26	0.25	6	14.1	ワラスサ量仕様
		荒壁+荒壁	-	1.31	0.23	6	10.7	規定より+0.3kg
ハ	香川 西讃	荒壁	5.9	1.45	0.59	0	20.2	
		中塗	4.1	1.54	0.99	0	25.8	市販おろし土
		荒壁+中塗	-	1.52	0.67	0	19.7	
二	香川 東讃	荒壁	12.0	1.40	0.32	0	14.7	
		中塗	8.4	1.67	0.87	0	26.5	市販おろし土
		荒壁+中塗	-	1.50	0.55	0	16.4	
ホ	香川 西讃	荒壁	10.1	1.49	0.48	0	20.0	
		大直	7.8	1.46	0.55	2	21.9	ワラスサ量仕様 規定より+0.8kg
		荒壁+大直	-	1.46	0.45	0	20.9	ワラスサ量仕様 規定より+0.9kg
へ		中塗	11.8	1.46	0.75	0	32.4	市販おろし土、 中塗り用スサ

h : 試験体高さ(mm)・・・加圧方向の高さ

$$\text{密度} = \frac{W}{V} \dots (3)$$

ここに、

W : 試験体の試験前質量(g)

V : 質量測定時の試験体容積(cm^3)

1 荒壁用土の採取地域の影響 (図-2参照)

荒壁用土における圧縮試験後の代表的な試験体を写真-4に示す。試験開始後、試験体側面より1~2本のひび割れが生じ最大荷重到達後はひび割れ面が拡大していき破壊に至った。

試験体イ、ハ及びホの荒壁用土は、香川県内の西讃地域で採取されており、この地域で採取される土を使用した最大圧縮応力度は、 $0.36\sim 0.59\text{N/mm}^2$ と基準値を1.2倍~2倍の強度を示した。試験体ロで使用された壁土は、東讃地域で採取されており、最大圧縮応力度は、 0.25N/mm^2 と基準値の0.8倍を示した。

採取地により原土の状態での硬さにも違いがあったことから、強度に影響があったものと思われる。

ワラの根元で作られたワラスサは、ストロー状で壁土の中で存在しており、壁土とのなじみも良くないものと思われる。その試験体については、強度が低下した要因の一つになったものと思われる。(写真-5参照)

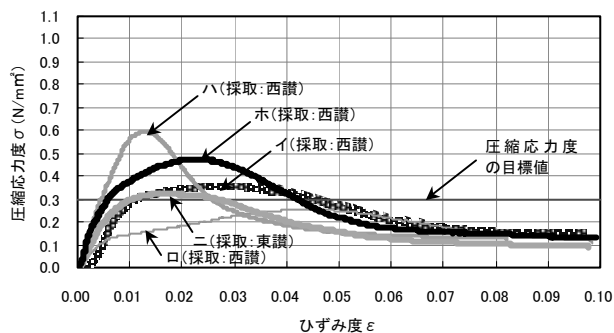


図-2 荒壁用土 応力度-ひずみ度曲線



写真-4 荒壁用土 圧縮試験後 試験体イ



写真-5 荒壁用土 ワラスサ混入状況

2 中塗用土の強度 (図-3参照)

中塗用土における圧縮試験後の試験体を写真-6に示す。試験状況は荒壁用土と同様であった。

試験体ハ、ニ及びヘの中塗用土として使用している土は、煉瓦で使用する土をさらに微細にして使用したもので、この土は非常に強い自硬性をもち、最大圧縮応力度で $0.75\sim 0.99\text{N/mm}^2$ と基準値の1.36~1.8倍であった。また使用しているワラスサは十分に腐敗しておりほぼ芯を残すのみであった。ただし、破壊性状は、最大荷重到達後、荷重の低下は著しく脆性的な破壊を示した。一方、壁土施工前に中塗用スサ(写真-9)を調合した試験体ヘについては最大応力度が他の2社と比較して0.8倍となるが、エネルギー量としては1.2倍を示し最大荷重到達後の荷重の低下も緩やかとなった。

大直用土を中塗用として使用している試験体イは、ワラスサがストロー状で試験体に残っており最大圧縮応力度で 0.42N/mm^2 と基準値の0.79倍を示した。水合わせの期間を把握できていないが、水合わせの期間が短かったものと思われる。大直用土の用途の分類としては、荒壁としての使用が望ましい。

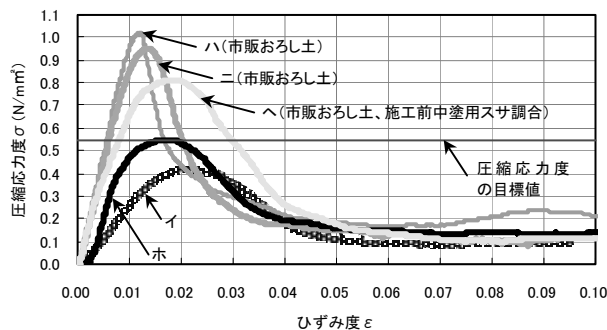


図-3 中塗用土 応力度-ひずみ度曲線



写真-6 中塗用土 圧縮試験後 試験体ハ



写真-7 中塗用土 ワラスサ混入状況

3 荒壁用土・中塗用土一体 (図-4参照)

試験体イ、ハ及びニについては、先塗した荒壁用土と後塗した中塗用土の付着面より亀裂生じ、その後側面に1~2本のひび割れで破壊した。(写真-8参照)下げ葎などを用い下塗りとの密着性を上げなければならな

い。荒壁+荒壁とした試験体口については、単体の試験結果からみても基準強度に達していなかった。包絡線は、荒壁土単体と中塗用土単体の試験体を平均した曲線を示した。

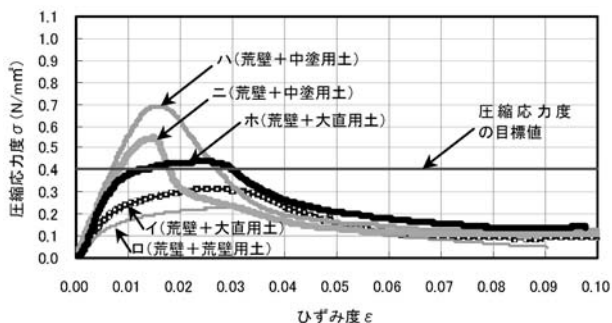


図-4 荒壁用土・中塗用土一体 応力度-ひずみ度曲線



写真-8 荒壁・中塗用土一体 圧縮試験後 試験体イ



写真-9 中塗用スサ

4 圧縮応力度-気乾密度 (図-5 参照)

圧縮応力度と気乾密度の関係については、図-5(相関係数は0.85)に示すように気乾密度が高くなるにつれ、強度の増加が確認できた。このことについては、壁土の粒度分布のバランスの取れた調合のものを使用し、なおかつワラスサ自体による空隙を少なくすることによって、圧縮強度を高めることができることを示唆する。また、荒壁用土で1.4以上、中塗用土で1.5以上、荒壁用土・中塗用土一体で1.45以上の気乾密度がなければ、圧縮応力度の目標値を満足できない。

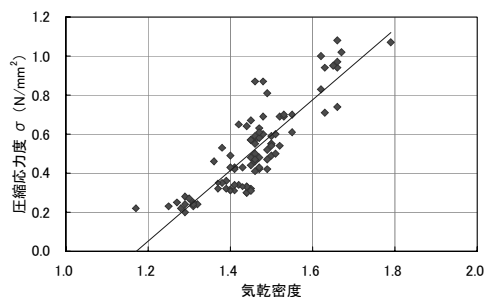


図-5 圧縮応力度-気乾密度

5 圧縮応力度-厚さ方向の収縮比 (図-6参照)

圧縮応力度と試験体の厚さ方向の収縮比の関係を図-6に示す。

微粒分の多い壁土は、乾燥課程では収縮率が大きく、乾燥固化状態では強度および硬度が大きい²⁾とされている。今回の試験においては、その傾向は確認できなかった。これは収縮比を厚さ方向で計測しているためと思われる。

今後の収縮比の計測においては、試験体作成時の長辺方向(600mm) および短辺方向(400mm)の収縮比で検討を行う必要がある。

また、試験体作成時に塗装合板と壁土が密着しているものも確認された。土塗壁は壁土自体の凝集力によって構成されることからこの現象を回避する必要がある。(写真-10参照)

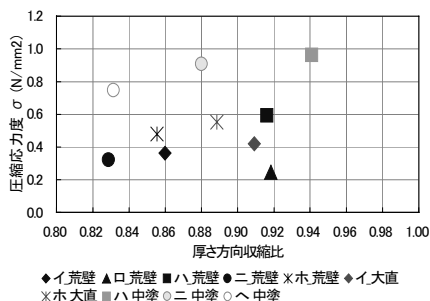


写真-10 壁土と合板の付着

図-6 圧縮応力度-厚さ方向収縮比

IV まとめ

本試験を通して以下のことが確認できた。

- ・西讃地域で採取される荒壁用土は強度特性がよい。
 - ・おろし土を中塗用土で使用すると強度特性がよい。ただし、脆性的な破壊を示すため施工前に中塗用スサ(写真-9参照)を調合すると最大荷重到達後の荷重の低下は緩やかとなる。
 - ・ワラスサのストロー状態ものが多く存在すると壁土となじみが悪くなり強度の低下する要因となる。
 - ・壁土の気乾密度が増加に伴い、圧縮応力度も増加する。
- 今後、以下の項目について明らかにしていきたい。
- ・壁土・ワラスサ等の調合、練り置き期間、ワラスサ長さを変えることによる、強度特性を把握する。
 - ・香川県内で施工されている土塗壁と標準壁との耐力性能の検証実験を通し、工法の違いによる耐力壁としての効果を把握する。
 - ・試験体作成時における壁土と型枠が密着することな

く、壁土の凝集力を測定するための試験体作成法

謝辞

本試験にあたり、壁土を提供して頂きました壁土業者、NPO法人「木と家の会」の方々に多大なるご協力を得ました。深く感謝いたします。

[参考文献]

- 1) 村上雅英他：静的水平加力実験に基づく土壁の耐荷機構の解明 せん断破壊が先行しない土壁の力学挙動, 日本建築学会構造系論文集,第582号,103-108,2004年8月
- 2) 日本住宅・木材技術センター：土塗壁・面合子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書
- 3) 濱崎信子 他：土壁の強度に関する研究 その3 壁土圧縮試験,日本建築学会大会学術梗概集(北海道)構造Ⅲ,399-400,2004
- 4) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS15 左官工事,265-275,