産学官共同研究

「福井の土壁塗の木造軸組の耐震性能評価」

（研究報告書）

平成２４年３月

財団法人 福井県建設技術公社

序　文

(財)福井県建設技術公社は，県および市町村の建設技術向上と建設事業の効率的な推進を図るため，建設に関する受託・研修等の諸事業を行い，良質な社会資本の整備に寄与することを目的として平成６年４月に設立されました。

産学官共同研究支援事業は平成１２年度より，大学と民間企業および県が対等の立場で共通の課題に取組み，建設技術の高度化を図ることを目的として始まりました。当公社はこの共同研究のコーディネートや研究成果の普及啓発を行っています。

平成２４年４月からは公益財団法人となりますが，公益目的事業の一つとして引き続き産学官共同研究支援事業を展開します。本報告書はその第一弾で，福井県の伝統的な建築技術を広く普及するための礎となるものです。

本研究では伝統的壁下地構法として『ウグイスを用いた構法』に着目し，その耐震性能について検証しました。その結果，土塗壁の力学的特性を明らかにし，耐震性能を評価することができました。これは，土塗壁という自然素材を使用し人にも地球環境にも優しい伝統的構法が，耐震性能も確保する安全・安心な住まいづくりに活かされることを示すものです。ですから，この技術を広くまた後世に伝えていくことは，我々の使命だと考えます。

本報告書が建築確認をされる役所や民間検査機関，設計をされる建築士，土塗壁を施工される左官の方々の手にわたり，伝統的木造建築の発展に寄与できることを願っています。

最後に、本研究の成功にご尽力いただいた関係各位に、心から敬意と謝意を表します。

平成 24 年 3 月

財団法人 福井県建設技術公社

理事長　　近 藤　幸 次

まえがき

土塗壁は，地域の特色ある文化を形成してきた伝統的な軸組構法の民家や日本各地の在来構法の木造住宅などに用いられてきた。また，昨今の自然素材志向や地球環境保全が叫ばれるなかで再び注目されてきている。気候・風土・生活習慣によって各地域に使用される土塗壁の材料やその施工方法が異なり，土塗壁は低い耐震性能しか認められていなかった。このため伝統的民家の再生などにおいて多くの壁が必要となるなどその建物の特徴が損なわれつつある。しかし，近年，土壁塗木造軸組は大地震において倒壊しにくいなどの優れた点も多いことから，一定の仕様の土塗壁は大きな壁倍率を用いることができることとなり，見直されている。ところが，反面，その仕様の土塗壁は地域性を除外し，画一化されることになりかねない危険性を有している。例えば，北陸・信越地域で一般的な，壁下地の間渡し竹と柱・梁などの緊結部分にウグイス（竹釘）を用いる構法の土塗壁が消滅することもあり得る。また，この伝統的壁下地構法（“ウグイスを用いた構法”）による壁土を用いた土塗壁の耐震性については，何も把握されていない。このような現状から福井県の伝統的建物に用いられる伝統的な土塗壁が無くなるのではと，大きな危機感を抱いた。

そこで，福井県下の伝統的木造建築の設計に携わっている設計者，伝統的民家技能者，構造・木材研究者などで研究会を立ち上げ，福井県の伝統的な民家や町家などを建築・維持していくために必要な土塗壁の耐震性の確認とその普及を図ることとした。

研究会では，福井の土塗壁の実態調査により使用材料や構法などを明らかにした上で，実大の土壁塗木造軸組試験体を製作して，その正負繰返し水平加力試験を行い，現状の土壁塗の力学挙動や壁倍率を実験的に評価した。

次に，いろいろな配合割合の材料による壁土の施工・確性試験により，強度，施工性，乾燥収縮の観点から最適な壁土を見出すことを試みた。この結果をふまえて各種土塗壁を製作し，正負繰返し水平加力試験により改善された土塗壁の力学挙動と壁倍率を評価した。

これらの一連の試験により，福井県における現状の壁土強度と土塗壁の耐震性能及びその問題点が明らかとなり，壁倍率 1.5 の耐震性能を有する福井の伝統的構法による土塗壁を提案できたといえる。しかし，福井県における土塗壁の生産体制の改善・維持と壁土の品質確保が前提条件であり，今後は人材教育，材料強度の確認システムを早急に構築する必要がある。

最後に，この研究会の成果が環境負荷低減に向けた福井県の木造建築の発展に繋がることを期待している。

平成 24 年 3 月

福井工業大学建築学科　辻岡静雄

産官学共同研究

（研究会構成メンバー）

平成 22 年度

辻岡静雄	福井工業大学　教授
永野康行	福井工業大学　准教授
国京克巳	若越建築文化研究所　代表
池田　実	福井県総合グリーンセンター　統括研究員
和多田浩樹	福井県総合グリーンセンター
磯野　勇	福井県左官工業組合
島田宰任	福井県左官工業組合
山本直広	福井県左官工業組合
畑　宣雄	畑建築
岡崎汐里	福井工業大学　大学院生
宗澤公夫	財団法人福井県建設技術公社
原田昭彦	財団法人福井県建設技術公社

平成 23 年度

辻岡静雄	福井工業大学　教授
国京克巳	若越建築文化研究所　代表
野村　崇	福井県総合グリーンセンター　研究員
和多田浩樹	福井県総合グリーンセンター
磯野　勇	福井県左官工業組合
島田宰任	福井県左官工業組合
山本直広	福井県左官工業組合
近藤秋仁	コンドー住建
岡崎夕里	福井工業大学　大学院生
宗澤公夫	財団法人福井県建設技術公社
原田昭彦	財団法人福井県建設技術公社

目　次

第１章　序　1
1.1　研究目的　1
1.2　研究概要　1

第２章　福井県の土塗壁の実態調査　2
2.1　調査概要　2
2.2　調査結果　4

第３章　福井県の代表的壁土の圧縮強度　5
3.1　はじめに　5
3.2　壁土試験体と圧縮強度　5
3.2.1　試験体の製作方法と試験方法　5
3.2.2　試験結果と考察　8
3.3　中塗り土の圧縮強度　10
3.3.1　既往の壁土調合と使用材料　10
3.3.2　試験体と調合　10
3.3.3　試験結果と考察　11

第４章　土壁塗木造軸組試験体の水平加力試験　13
4.1　はじめに　13
4.2　試験体の概要　13
4.3　構造材(スギ材)の物性　15
4.3.1　含水率　15
4.3.2　曲げヤング係数　16
4.4　試験体の施工　17
4.4.1　大工工事　17
4.4.2　小舞工事　18
4.4.3　左官工事　19
4.5　試験体の計測　21
4.5.1　木造軸組　21
4.5.2　小舞下地　22
4.5.3　荒壁厚と土塗壁厚　22
4.6　荒壁土と中塗り土の圧縮強度　23
4.7　試験体の製作工程と補修　24
4.7.1　製作工程　24
4.7.2　補修後の土塗壁　25
4.8　試験方法　26
4.9　測定方法　26
4.9.1　荷重と変位　26
4.9.2　せん断変形角　26
4.10　土塗壁の耐力，靭性と壁倍率　28
4.10.1　包絡曲線　28
4.10.2　降伏耐力，終局耐力，構造特性係数　28
4.10.3　土塗壁の短期基準せん断耐力　29

4.10.4　短期許容せん断耐力　29
4.10.5　壁倍率の算定　29
4.11　実験結果と考察　30
4.11.1　変形性状と破壊状況　30
4.11.2　荷重−真のせん断変形角曲線と包絡曲線　33
4.11.3　短期基準せん断耐力と壁倍率　34

第５章　福井県の壁土の品質と圧縮強度　35
5.1　はじめに　35
5.2　荒壁土の品質と圧縮強度　35
5.2.1　調査とふるい分析　35
5.2.2　荒壁土の配合　37
5.2.3　変化率，圧縮強度結果と考察　37
5.3　中塗り土の品質と圧縮強度　39
5.3.1　試験体と試験概要　39
5.3.2　変化率，圧縮強度結果と考察　39

第６章　各種土壁塗木造軸組の水平加力試験　42
6.1　はじめに　42
6.2　試験体の製作とその概要　42
6.2.1　ウグイス構法の竹小舞下地　42
6.2.2　張り竹構法の竹小舞下地　43
6.3　荒壁土と中塗り土の圧縮強度　44
6.4　構造材(スギ材)の含水率と曲げヤング係数　45
6.5　試験体の計測　47
6.5.1　木造軸組　47
6.5.2　小舞下地　48
6.5.3　荒壁厚と土塗壁厚　48
6.6　試験方法　50
6.7　実験結果と考察　52
6.7.1　変形性状と破壊状況　52
6.7.2　荷重-真のせん断変形角曲線と包絡曲線　55
6.7.3　短期基準せん断耐力と壁倍率　56
6.7.4　張り竹構法とウグイス構法との差異　57
6.7.5　再使用軸組と新規軸組との差異　57

第７章　まとめ　59

謝辞

参考文献

付録　1. 木造軸組の荷重−真のせん断変形角曲線
2. 土塗壁の復元力特性
3. 他地域の土塗壁との比較

第 1 章　序

1.1　研究目的

1995 年の兵庫県南部地震で木造建築は甚大な被害を受け，その倒壊が多くの死傷者を出す原因となり，木造建築物の耐震性能の確保・向上は重要な課題である。しかし，全国一律的な基準の建築基準法・同施工令・告示等には，気候・風土・生活習慣によって地域の特色ある木造文化を形成してきた伝統軸組構法は反映されていない。特に，日本の木造建築は構造形式においては，雪の多い地域・台風の多い地域など自然災害に対応した仕口･継手や構造材料を含めた各地域独特の構法が生み出され現在に至っているが，このような地域性ある伝統的な軸組構法については，適切な耐震性能の評価が出来ていないのが現状である。

この中で土塗壁は伝統的な民家などを維持していくためには必要な構法であり，また，日本各地の木造住宅に用いられ，歴史の中で各地域の材料と技術で作れられてきた。技術的に未解明な部分も多く，低い耐震性しか認められてこなかったが，大きな変形に耐えるなど優れた点も多い構法であることから，平成 15 年には，一定の仕様の土塗壁については一般のものより高い耐震性が認められた [1)]。

土塗壁の壁下地においては，張り竹といって柱に鑿で穴をあけ，そこに先をとがらせた丸竹あるいは大割した竹をさしこむ構法が全国的に用いられている。一方，北陸・信越地域では，土塗壁の壁下地において間渡し竹と柱の緊結部分にウグイス（先をとがらせた竹釘）を用いる構法 [2)]，即ち，ウグイスを柱に打ちつけ，間渡し竹とを縄で緊結するというものがある。

張り竹を用いた構法では，既往の実験である程度の耐震性能が検討されているが，福井県の伝統的構法である“ウグイスを用いた構法”については土塗壁の性状や強度にどう影響するかは不明である。

本研究では，福井県で行われている土塗壁の耐震性を確認して福井にふさわしい耐震要素として土塗壁の木造軸組の普及を図ることを目的としている。すなわち，福井県の土塗壁の木造軸組試験体を製作して正負繰り返し水平加力試験を行うことで，終局耐力，終局変形，壁倍率を求め，耐震性能を評価するものである。

1.2　研究概要

本研究では，前節の目的のため，平成 22 年度～23 年度にわたって次の課題について検証した。

＜平成 22 年度の研究課題＞

（1）土塗壁の実態調査

（2）告示に準拠したウグイスを用いた構法の実物大土壁塗木造軸組の製作とその面内せん断試験

＜平成 23 年度の研究課題＞

（1）壁土の強度改善

（2）補修された被災土塗壁の力学特性

（3）ウグイスの使用が土塗壁の力学性状等に及ぼす影響

本報告の第 2 章以降ではこれらの課題に対する研究概要を述べている。

第 2 章では，土塗壁の形態調査の内容とアンケート結果を報告する。

第 3 章では，福井県下の壁土の圧縮試験により，壁土の調合と壁土強度の関係を報告する。

第 4 章では，福井県の土壁塗の木造軸組試験体の製作に至る過程，木材の強度，土塗壁試験体の概要とその諸元寸法の計測，実大土塗壁試験体の水平加力試験の概要とその結果について報告する。

第 5 章では，壁土の強度改善を行うために福井県の壁土の実態を調べ，その圧縮試験により，品質と変化率，強度との関係を報告する。

第 6 章では，前章で得られた適正品質の壁土を用いて各種実物大土壁塗木造軸組を製作し，その水平加力試験の結果について報告する。

第 7 章では，各章で得られた事柄の要約を報告し，まとめを行う。

第２章　土塗壁の実態調査

2.1　調査概要

土塗壁は構法が多様で，また，技能者の技量や使用材料によって，その性能は大きく異なる。北陸地方での一般的な構法である竹小舞下地の間渡し竹を固定するウグイスの使用等について調査を行う。

福井県全域について，小舞下地の材料や構法についてのアンケート用紙を用いて，福井県伝統的民家技能者（左官）を対象として実施する。

アンケート内容を表 2-1a～c に示す。

表 2-1a　アンケートの項目と内容（一般）

1	**氏名**
1- i	**年齢**
1- ii	**左官経験**
2	**住所**
3-①	**小舞下地の土壁の経験がありますか**　　a. 有　　b. 無
3-②	**それはどのような建物ですか（複数可）**　　a. 一般住宅　　b. 土蔵　　c. 両方 **今までに何棟くらいされましたか**
4	**施工地域は何所ですか（複数可）** a. 福井市　b. 奥越　c. 旧坂井郡　d. 越前市及び鯖江市周辺 d. 敦賀市周辺　f. 小浜市周辺　g. 県外
5	**施工された時期はいつですか（複数可）** a. 戦前　b. 戦後～昭和 30 年代　c. 昭和 40 年代～平成 11 年　d. 平成 12 年～
6	**壁下地にウグイス（竹釘）を使用した小舞下地の経験がありますか（複数可）** a. 使用した　b. しない　c. 補修で経験した
7	**ウグイス（竹釘）を使用した小舞下地は誰がつくりましたか（複数可）** a. 自分で　b. 車力　c. 施主など
8	**ウグイス（竹釘）を使用するようになった理由は・・・** a. 親方よりならった　b. 同僚よりならった　c. その他
9	**現在も土壁下地にウグイス（竹釘）を使用していますか** a. 使用している　　b. しない　　c. 両方ある
10	**張り竹の小舞下地を経験した人にお聞きします。ウグイス（竹釘）と張り竹のどちらが多いですか。** a. 張り竹のみ　b. 張り竹が多い　c. ウグイス（竹釘）が多い　d. 半々
11	**張り竹の小舞下地は誰がつくりましたか（複数可）** a. 自分で　b. 車力　c. 施主など
12	**張り竹を使用するようになった理由は** a. 親方よりならった　b. 同僚よりならった　c. その他
13	**現在も土壁下地に張り竹を使用していますか** a. 使用している　　b. しない　　c. 両方ある

表 2-1b　アンケートの項目と内容（材料）

材料	以下はウグイス（竹釘）・張り竹にこだわらず，普段おこなっている土壁の材料や工法の内容をお聞きします
14-①	荒壁土はどのように入手していますか（複数可）　多い方に丸印を付ける a. 自前で　b. 施主あるいは大工が段取り　c. 荒壁の販売業者 購入先会社名（　　）
14-②	荒壁の土質は a. 近隣の田畑土　b. その他（x. 山土　y. 瓦粘土の残り土　z. 市販品なので不明）
14-③	荒壁に藁スサはどれくらいいれますか（書き方は自由で２トン車に藁何束入れるでも結構です）　a. 100 リットルに対して 0.4～0.5 キロ　b. 市販品で不明
14-④	荒壁はどれ位ねかせていますか a. 購入土で不明　b. １週間　c. １ヶ月　d. ３ヶ月以上
14-⑤	荒壁を１ヶ月以上ねかせている人にお聞きします。　塗るまでに何回練り返しますか a. ねかせるだけ　b. １回　c. ２回　d. ３回以上
14-⑤- i	練り返しの時に藁スサをいれますか，その量はどれくらいですか a 入れない　b. その都度　c. 最後のみ
14-⑥	中塗土はどのように入手していますか。 a.自前　b.自前と市販品　c.市販品 中塗土の砂・荒壁土・スサの混合割合はどのようですか
14-⑦	間渡竹・小舞竹はどのように入手していますか　a. 自前で b. 自前と市販品
14-⑧	間渡竹は？　a. 丸竹使用　b. 割竹使用
14-⑨	小舞竹は？　a. 割竹使用　b. その他
14-⑩	あみ縄は？　a. シュロ・麻縄　b. ビニール縄　c. ワラ縄　d. その他
14-⑫	張り竹の先端はどうしますか(張り竹使用の人) a. 先を尖らす　b. そのまま　c. その他

表 2-1c　アンケートの項目と内容（構法）

15	構法
15-①	荒壁の総厚さはどれくらいですか（cm）
15-①- i	それは柱の太さと関係ありますか　a. 有　b. 無 ある場合はどのような関係ですか。
15-②	荒壁の裏返しは壁がどれ位の時におこないますか　（裏面に鏝なでをしてから） a. 十分乾燥してから　b. やや堅くなってから（数日）　c. １週間　d. その他
15-③	間渡竹相互の間隔はどれくらいですか a. １尺前後　b. １尺以下　c. １尺より広い　d. その他
15-④	間渡竹と柱や横材（土台・梁）の間隔はどれくらいですか１本目が柱面より a. 10 ㎝以内　b. 10 ㎝以上　c. 場合による
15-⑤	小舞竹の間隔（中心間）はどれくらいですか a. １.5 寸前後　b. 1.5 寸以下　c. １.5 寸以上
15-⑥	間渡竹と小舞竹のあみ方　a. 千鳥掛け　b. 螺旋掛け
15-⑦	ウグイス（竹釘）はどのように取り付けますか　（ウグイスの人）
15-⑦-a	a. 金鎚で（　　）　㎝程入る程度に叩く
15-⑦-b	b. 下穴をドリルなどで（　　）　㎝程入る程度あける
15-⑦-c	c. 堅木（欅）などの時に下穴をドリルなどであける
15-⑧	張り竹の穴（エツリ穴）はどのようにつくりますか　（張り竹の人）
15-⑧-a	a. 打込みで穴を（　　）　㎝程入る程度に叩く
15-⑧-b	b. 下穴をドリル（径　㎝）などで（　　）　㎝程入る程度あける
15-⑧-c	c. 大工が穴を掘る
15-⑨	間渡竹と貫はどのように緊結しますか　a. 釘留め　b. ビス留め
15-⑩	貫に布着せなどの処置をおこないますか a. 張りワラをする　b. シュロあるいは寒冷紗を当てる
15-⑪	荒壁は内部の間仕切りでは，天井裏も梁などの横材まで塗り上げますか。 a. しない（天井裏の３～４寸まで）　b. 梁等の構造となる横材まで塗る
15-⑫	中塗りはどれくらいの厚さ塗りますか（cm）
15-⑬	中塗りは天井裏にも塗りますか。　a. 塗る　b. 塗らない　c. その他
15-⑭	壁の塗り厚の確認はしていますか　a. する　b. しない　c. その他

2.2　調査結果

福井県伝統的民家技能者（左官）としての登録者 40 名中 31 名から回答を得た。回答率は約 78%である。地域別で分類すると，福井市・坂井市 5 人，敦賀市・小浜市・美浜町 9 人，大野市・勝山市・鯖江市 13 人，越前市 4 人である。

土塗壁についてのアンケート結果は全体と地域別の 2 種類の方法でまとめ，得られた構法等の実態を表 2-2 に示す。

表 2-2　アンケート結果

			全体（31 人）	地域別			
				福井市，坂井市（5 人）	敦賀市，小浜市 美浜町（9 人）	大野市，勝山市 鯖江市（13 人）	越前市（4 人）
ウグイス(竹釘)経験			有 24 人	有 3 人，無 1 人	有 4 人，無 2 人 補修で有り 1 人	有 12 人 補修で有 1 人	有 4 人
張り竹経験			有 19 人	ウグイスが多 半々各 2 人，	張竹が多 ウグイスが多 半々 各 1 人	張竹が多 7 人 ウグイスが多 3 人	回答なし
材料	荒壁	入手方法	市販品が多い	販売業者から（A 社）	販売業者から（B 社，C 社）	販売業者から（A 社）	販売業者から（B 社，D 社）
材料	中塗り	入手方法	ほとんどが市販品	市販品	自前:1 人 市販品:7 人	自前:3 人 市販品:10 人 自前と市品:1 人	自前:1 人 市販品 3 人
材料	間渡し竹	入手方法	ほとんどが市販品	市販品	市販品	市販品	市販品
材料	間渡し竹	間渡し竹	ほとんどが割竹	割竹:2 人	丸竹:2 人 割竹:6 人	丸竹:5 人 割竹:8 人	割竹:4 人
材料	小舞竹		ほとんどが割竹	割竹:2 人	割竹:8 人	割竹:10 人	割竹:4 人
材料	あみ縄		ワラ縄が中心	ワラ縄:1 人 ビニール縄:1 人	ワラ縄:8 人 シュロ・麻縄 ビニール縄:1 人	ワラ縄:11 人 シュロ・麻縄:3 人	ワラ縄:3 人 シュロ・麻縄 ビニール縄:1 人
材料	ウグイス(竹釘)の大きさ		竹が多い 長 10cm 以上 厚 1cm 弱	竹:2 人 長 12，15cm 厚 1cm	竹:2 人 長 8～15cm 厚 0.5～0.6cm	竹:9 人 長 7～15cm 厚 0.5～0.7cm	竹:4 人
構法	荒壁	総厚	4～5cm 程度	3～5cm が多い	4～7.5cm	2.5～6, 20～30cm	3～10cm
構法	荒壁	裏返し	十分乾燥して 20 人 やや固くなって 5 人	十分乾燥して多数	十分乾燥して多数	十分乾燥して多数	十分乾燥して多数
構法	中塗り厚		1～3cm 程度	1.5～2cm	0.6～2cm	0.5～3cm, 10cm，15cm	1.5～2cm
構法	間渡し竹の間隔		1 尺前後が一般	1 尺前後が多数	1 尺前後:3 人 1 尺より広い 4 人	1 尺前後:9 人	1 尺前後が多数
構法	小舞竹の間隔		1.5 寸程度以下が多い	1.5 寸前後 1.5 寸以下 1.5 寸以上 共に 1 人	1.5 寸前後 6 人	1.5 寸前後 5 人 1.5 寸以下 6 人	1.5 寸前後 4 人
構法	間渡し竹と小舞竹の編み方		千鳥掛けが多数	千鳥掛けが多数	千鳥掛けが多数	千鳥掛けが多数	千鳥掛け:2 人 螺旋掛け:1 人
構法	緊結		釘留めが多数	釘留めが多数	ビス留め:3 人	釘留めが多数	釘留め

第 3 章　福井県の代表的壁土の圧縮強度

3.1　はじめに

本章では，福井県下の壁土が国土交通省告示[1)]の壁土の仕様規定を満足することを確認するために，県下の壁土の圧縮強度を検討する。

国土交通省告示に明示されている壁倍率 1.5 の壁土とは表 3.1 に準じるもので，また，最大圧縮強度が，荒壁土 0.30N/mm^2 以上，中塗り土 0.55N/mm^2 以上，荒壁土・中塗り土一体 0.40N/mm^2 以上のものである（表 3.2）。

前章のアンケート調査結果によれば，福井県下の荒壁土はほとんどが市販品を使用しており，鯖江瓦あるいは大村ドロコンの 2 社から土を購入していると答えた人が多い。また，中塗り土も卸土，砂，すさの各市販品を調合しているが，仕入れ先は不明である。

表 3.1　壁土仕様

荒壁土	100ℓの荒木田土等の砂質粘土＋0.4 kg以上 0.6 kg以下のわらすさ
中塗り土	100ℓの荒木田土等の砂質粘土＋60ℓ以上 150ℓ以下の砂＋0.4 kg以上 0.8 kg以下のもみすさを混合したもの
塗り厚	7 ㎝以上

表 3.2　壁土の最大圧縮強度

	最大圧縮強度（N/mm^2）
荒壁土	0.30 以上
中塗り土	0.55 以上
荒壁土・中塗り土一体	0.40 以上

3.2　壁土試験体と圧縮強度

3.2.1　試験体の製作方法

（1）試験体概要

福井県内の代表的壁土についての圧縮強度試験を行うに当り，試験体は壁厚 70mm とし，荒壁土，中塗り土の組み合わせで 8 種類とする。バット一覧を表 3.3 に示す。

ここに，荒壁土は A 社， B 社の 2 種類とする。また，中塗り土は，アンケートの結果によれば一般には次の調合程度で行われているので，この計画調合に準じることとする。

・調合Ⅰ・・・中塗り土 20 kg，砂 8～9 杯，あくぬきわらすさ 0.5 kg

・調合Ⅱ・・・中塗り土 20 kg，砂 8～9 杯，わらすさ 0.6 kg

なお，打設時の中塗り土の重量比は以下の様である。

・調合Ⅰ・・・中塗り用土 17 kg（15ℓ），砂 36 kg（30ℓ）＋5 kg，あくぬきすさ 0.450 kg，水 14ℓ

・調合Ⅱ・・・中塗り用土 17 kg（15ℓ），砂 35 kg（30ℓ）＋5 kg，すさ 0.510 kg，水 13ℓ

表 3.3　バッド一覧

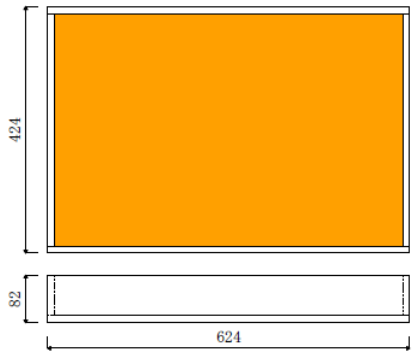
バット番号	壁土構成	荒壁用土		中塗り用土	
		材料	厚さ（mm）	施工	厚さ（mm）
1	荒壁用土	A	70	-	-
2	荒壁用土	B	70	-	-
3	荒壁用土＋中塗り用土	A	40	Ⅰ	30
4	荒壁用土＋中塗り用土	A	40	Ⅱ	30
5	荒壁用土＋中塗り用土	B	40	Ⅰ	30
6	荒壁用土＋中塗り用土	B	40	Ⅱ	30
7	中塗り用土	-	-	Ⅰ	70
8	中塗り用土	-	-	Ⅱ	70

※ 中塗り用土，砂は同一のものを使用，バケツ１杯=15ℓ
※ A：A 社，B：B 社，Ⅰ：S 左官，Ⅱ：I 左官

（2）試験体の製作方法と試験方法

型枠用合板で荒壁土，中塗り土用のバット（幅 400x 長さ 600x 深さ 70，剥離剤を塗布）を製作する。バットに各壁土を打設して十分乾燥（約 1 ヶ月）させ，試験体を 150 角で切り出す。図 3.1 に壁土試験用型枠（バット状型枠）を示す。

加力は，100t アムスラー型万能試験機（2t レンジ）で，1mm/分程度の加力速度で単調加力する。また，加力時には，荷重 P を試験機付属のロードセルにて測定する。鉛直の変位も併せて測定する。



≪仕様≫
- 内法寸法：400x600x70
- 材料：コンクリート型枠用合板（表面塗装）
- その他：組立はビス或いは釘

図 3.1　壁土試験用型枠（バット）

次に各試験体個々の製作方法を述べる。

・荒壁土試験体

以下の工程で製作する。その概要を写真 3.1 に示す。

① 型枠用合板でバット（幅 400x 長さ 600x 深さ 70，剥離剤を塗布）を製作。
② バットに壁土を入れ，十分乾燥させて作成（約 1 ヶ月）。
③ 壁土を入れるときの鏝ならしは表面を平滑にする程度とすること（鏝圧を加えないこと）。
④ 乾燥促進のため微風を当ててもよいが，乾燥の途中でひび割れを生じるものは乾燥した後ひび割れを埋めるだけの後塗を行う。埋める壁土は概ね最初のものと同等のものとし，厚みをつけないこと。
⑤ 十分乾燥した後，各バットから 150 角の試験体 6 体（厚みは乾燥により 70 ㎜より薄くなる）をノコギリ等で切り出し作成（バットの周辺部分は使用しない）。寸法計測を実施。

・荒壁土と中塗り土を一体とする試験体

① 型枠用合板でバット（幅 400x 長さ 600x 深さ 70，剥離剤を塗布）を製作。

② バット（幅 400x 長さ 600x 深さ 70）に荒壁土（厚さ 40）を入れ，十分乾燥させて下地壁を作成（約 1 ヶ月）。その後，市販品に砂，すさを混合させた中塗土を 30mm 打設し，十分乾燥させて厚さ 70mm の中塗り仕上げ壁土を作成。（約 1 ヶ月，市販品のメーカーと調合は左官さんに委任）

③ 壁土を入れるときの鏝ならしは表面を平滑にする程度とすること。（鏝圧を加えないこと）。

④ 乾燥促進のため微風を当ててもよい。乾燥の途中でひび割れを生じるものは乾燥した後後塗りとして中塗りを代用する。また，中塗りの乾燥の途中でひび割れを生じるものは乾燥した後ひび割れを埋めるだけの後塗を行う。埋める壁土は概ね最初の中塗りと同等のものとし，厚みをつけないこと。

⑤ 十分乾燥した後，各バットから 150 角の試験体 6 体（厚みは乾燥により 70 より薄くなる）をノコギリ等で切り出し作成（バットの周辺部分は使用しない）。

・中塗り土試験体

① 型枠用合板でバット（幅 400x 長さ 600x 深さ 70，剥離剤を塗布）を製作。

② バット（幅 400x 長さ 600x 深さ 70）に中塗壁土を入れる。中塗り土は市販品に砂，すさを混合させて作成（市販品のメーカーと調合は左官屋さんに委任）。

③ 打設時期は荒壁土と中塗り土を一体とする試験体の中塗り時。十分乾燥させて作成（約 1 ヶ月）。

④ 壁土を入れるときの鏝ならしは表面を平滑にする程度とする。（鏝圧を加えないこと）。

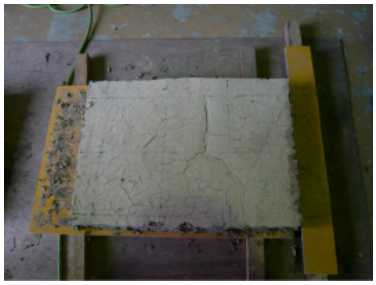
⑤ 乾燥促進のため微風を当ててもよいが，乾燥の途中でひび割れを生じるものは乾燥した後ひび割れを埋めるだけの後塗を行う。埋める壁土は概ね最初のものと同等のものとし，厚みをつけないこと。

⑥ 十分乾燥した後，各バットから 150 角の試験体 6 体（厚みは乾燥により 70 より薄くなる）をノコギリ等で切り出し作成（バットの周辺部分は使用しない）。

（a）荒壁土（A 社）

（b）荒壁土打設

（c）仕上げ終了後



（d）乾燥後の荒壁土

（e）荒壁土の切断

（f）切断後の荒壁土

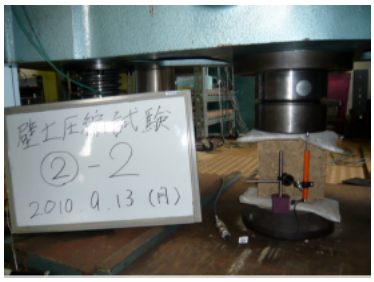
写真 3.1　圧縮試験体の製作状況

3.2.2　試験結果と考察

荷重は断面積当たりの応力に，鉛直変位は平均ひずみに変換する。写真 3.2 に試験状況と破壊後の試験体を，表 3.4 に最大圧縮応力度・平均歪を示す。また，図 3.2 に応力度－歪度関係を示す。

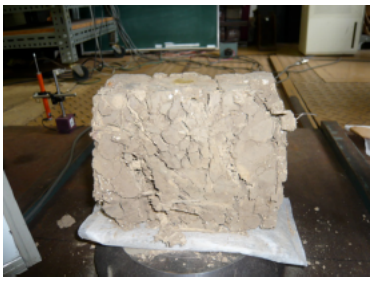
荒壁土の No.1 と No.2 の実験結果を比較すると，材料 A を使用している No.1 のほうが，最大圧縮応力度 σ_u が高くなる。中塗り土の No.7 と No.8 の実験結果を比較すると，施工 I を使用している No.7 のほうが σ_u は高くなる。また，No.1，No.7，No.8 は，強度は高いが粘りがなく，No.2 は，強度はあまり高くないが粘りがある。以上のことから，荒壁土には No.1，中塗り土には No.7 が好ましいと言える。

次に，荒壁土と中塗り土の組み合わせの No.3～6 の試験結果を比較する。No.3 は材料 A と施工 I を組み合わせたもので，σ_u は 0.366N/mm^2 となる。No.4 は材料 A と施工 II を組み合わせたもので，σ_u は 0.325N/mm^2 となる。No.5 は材料 B と施工 II を組み合わせたもので，σ_u は 0.288N/mm^2 となる。No.6 は材料 B と施工 II を組み合わせたもので，σ_u は 0.225N/mm^2 となる。荒壁土と中塗り土を組み合わせた場合は，No.3 が最大圧縮応力度が一番高く，No.6 が一番低い。No.4，No.5 はこの間にある。この結果は No.1，No.2 の荒壁土や，No.7，No.8 の中塗り土の実験結果をよく反映している。また，告示に明示されている最大圧縮強度を満足するのは，荒壁土の No.1 だけである。



（a）　加力時

（b）　最大荷重時



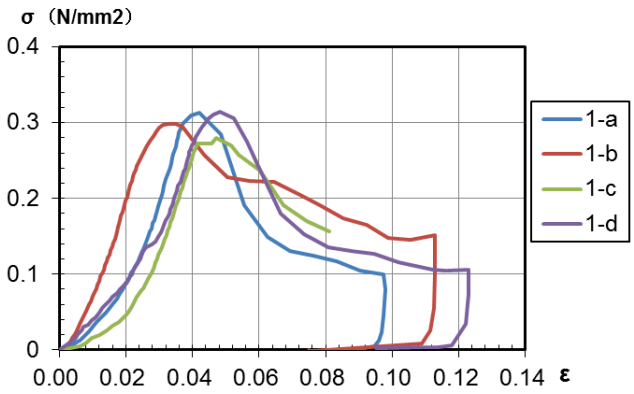
（c）　試験終了後

（d）　破壊状況

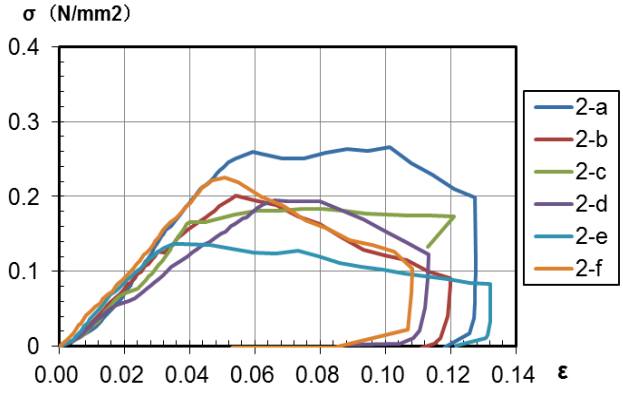
写真 3.2　圧縮試験概要

表 3.4　最大圧縮応力度・平均歪

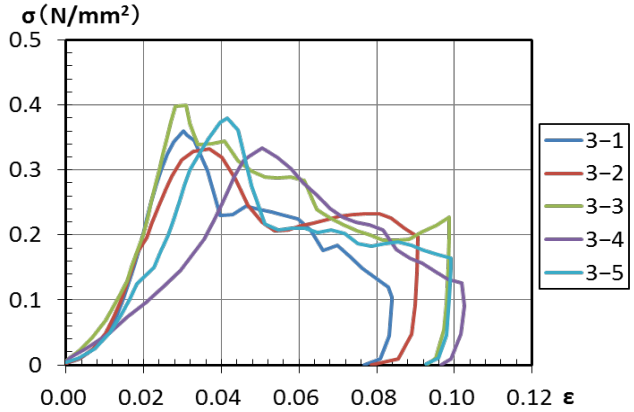
No.	数量（本）	最大圧縮応力度（N/mm^2）		平均歪	単位容積重量（g/cm^3）
		範囲	平均値		
1	4	0.279～0.315	0.300	0.0417	1.79
2	6	0.136～0.266	0.197	0.0509	1.46
3	5	0.333～0.399	0.366	0.0381	1.67
4	6	0.292～0.359	0.325	0.0318	1.63
5	6	0.240～0.330	0.288	0.0418	1.56
6	6	0.167～0.298	0.225	0.0406	1.47
7	6	0.431～0.519	0.473	0.0307	1.71
8	4	0.333～0.482	0.422	0.0399	1.73



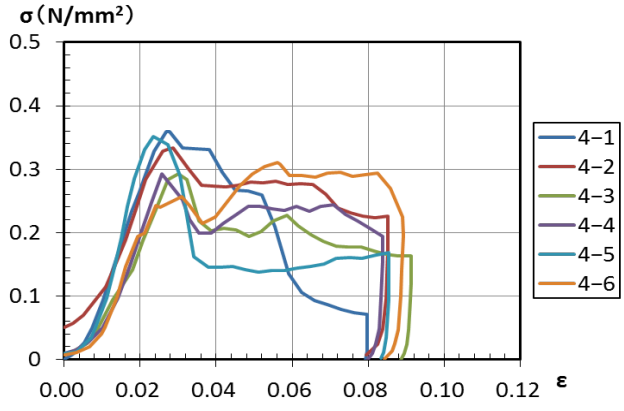
（a） No.1



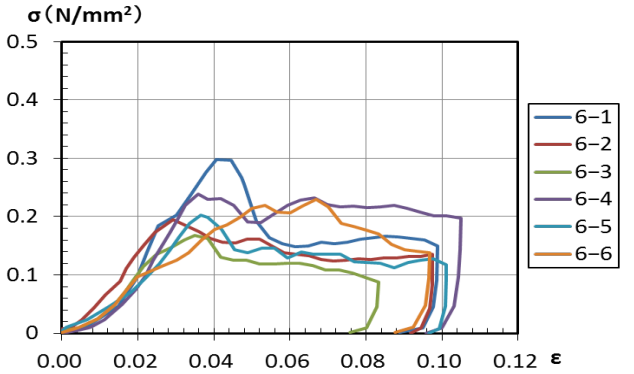
（b） No.2



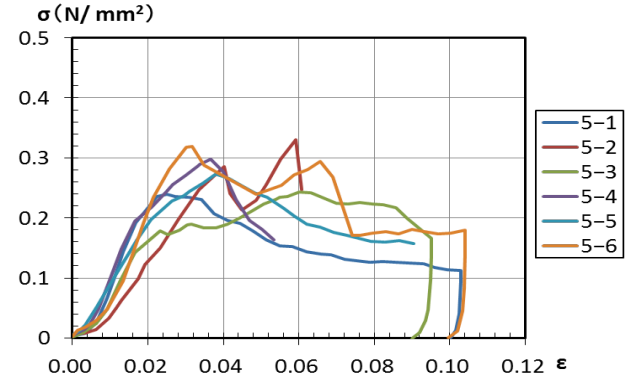
（c） No.3



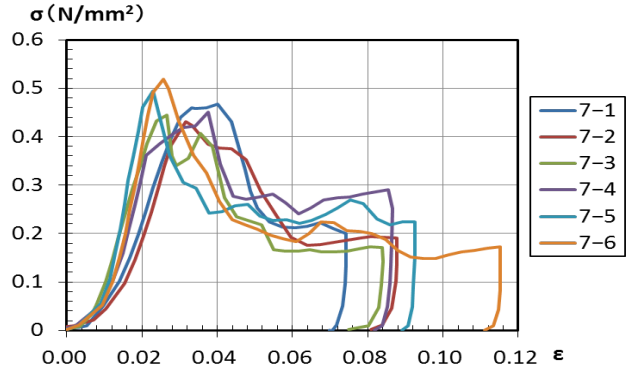
（d） No.4



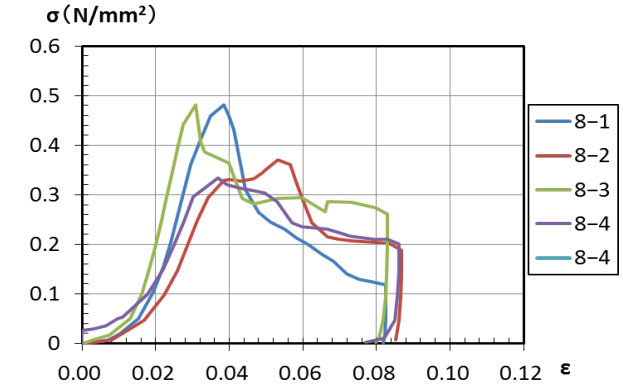
（e） No.5



（f） No.6



（g） No.7



（h） No.8

図 3.2　応力度－歪度関係

3.3　中塗り壁土の圧縮強度

3.3.1　既往の壁土調合と使用材料

既往の圧縮試験結果（香川県[3]，金沢工大[4]，福井，熊本[5]）での中塗り壁土の調合を検討する。既往の研究における壁土の調合の重量比を表 3.5 に示す。

表 3.5　壁土調合の重量比

	土	砂	水	すさ
香川	1	1.85	0.74	0.026
金沢工大	1	1.47	0.55	0.007
福井（S 左官）	1	2.41	0.82	0.026
熊本	1	1.00	0.30	0.022

中塗り用土は市販のものを使用し，砂は足羽川沿いの田んぼ砂を 2mm のふるいに通して使用する。また，すさには市販の“あくぬきすさ”を使用した。これらの土と砂の単位容積重量は各々1.29，1.21g/cm^3 である。写真 3.3 に各材料を示す。

写真 3.3　中塗り材料（S 左官）

3.3.2　試験体と調合

型枠用合板で製作したバット（幅 200x 長さ 600x 深さ 70，剥離剤を塗布）に壁土を打設する（所要量は 10ℓ）。十分乾燥（約 1 ヶ月）させた後，150 角の試験体を各 3 体コンクリートカッターで切り出す。写真 3.4 に中塗り土の撹拌状況と施工状況を示す。

各バットの調合表を表 3.6 に示す。No.1～4 の調合は表 3.5 に対応する。No.1~2 は各々香川県，金沢工大の研究結果に対応し，No.3 は前節の試験の No.7 に対応する。また，No.4 はすさの影響をみるため，No.3 に対してすさの量を倍にしている。

参考として前節の試験終了後の試験体を練りなおしたものについても圧縮試験を行うこととする。No.5 は前節の試験終了後の試験体（No.1：荒壁土）を，水に溶かした後に壁土を沈殿させ，水をぬき，再度練っている。No.6 も同様に試験終了後の試験体（No.7：中塗り土）を，水に溶かした後に壁土を沈殿させ，水をぬき，再度練っている。

（a）土撹拌作業

（b）中塗り土の施工状況

写真 3.4　中塗り土撹拌・施工作業

表 3.6　壁土調合（10ℓ）と強度

No.1	土　kg	砂　kg	水　kg	すさ　kg	最大圧縮応力度（N/mm^2）
1	5.5（1）	10.50（1.90）	3.48（0.63）	0.17（0.03）	0.550
2	6.5（1）	9.47（1.45）	3.48（0.54）	0.20（0.03）	0.626
3	4.7（1）	11.30（2.40）	3.56（0.76）	0.14（0.03）	0.492
4	4.7（1）	11.30（2.40）	4.26（0.91）	0.28（0.06）	0.451

※（）内は重量比

3.3.3　試験結果と考察

荷重は断面積当たりの応力に，鉛直変位は平均ひずみに変換し，応力度－歪度関係を求める。写真 3.5 に試験状況を，最大圧縮応力度・平均歪を表 3.7 に示す。また，応力度－歪度関係を図 3.3 に示す。

中塗り土の圧縮強度は 0.45～0.63N/mm^2 となり，0.55N/mm^2 となるには砂と土の重量比を 1.45～1.9 とする必要があること，福井県で常用される砂/土の重量比 2.4 の調合では前節と同様必要値を満足しないこと，すさが多くなると圧縮強度が低下することが得られる。また，再練りの荒壁土，中塗り土は 0.75N/mm^2 と非常に大きくなるが，これは水に溶かしたため空隙が埋まり緻密になるためと考えられる。

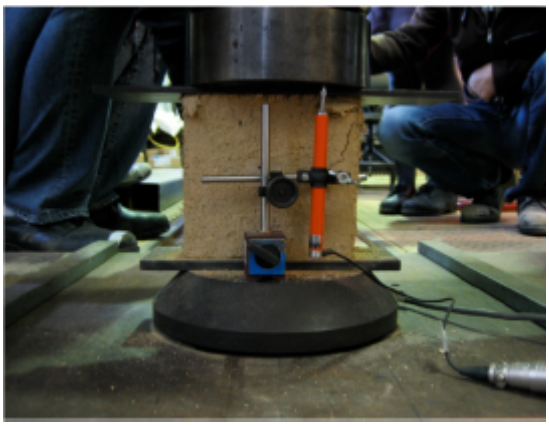


写真 3.5　圧縮試験概要（中塗り土）

表 3.7　圧縮試験結果（中塗り土）

試験体 No.	試験体数	最大圧縮応力度　（N/mm^2）		平均歪	単位容積重量（g/cm^3）
		範囲	平均値		
1	4	0.488～0.601	0.550	0.1728	1.64
2	6	0.543～0.668	0.626	0.0204	1.67
3	5	0.440～0.553	0.492	0.0258	1.65
4	6	0.406～0.496	0.451	0.0230	1.51
5	6	0.698～0.811	0.745	0.0276	1.80
6	6	0.636～0.785	0.745	0.0220	1.73

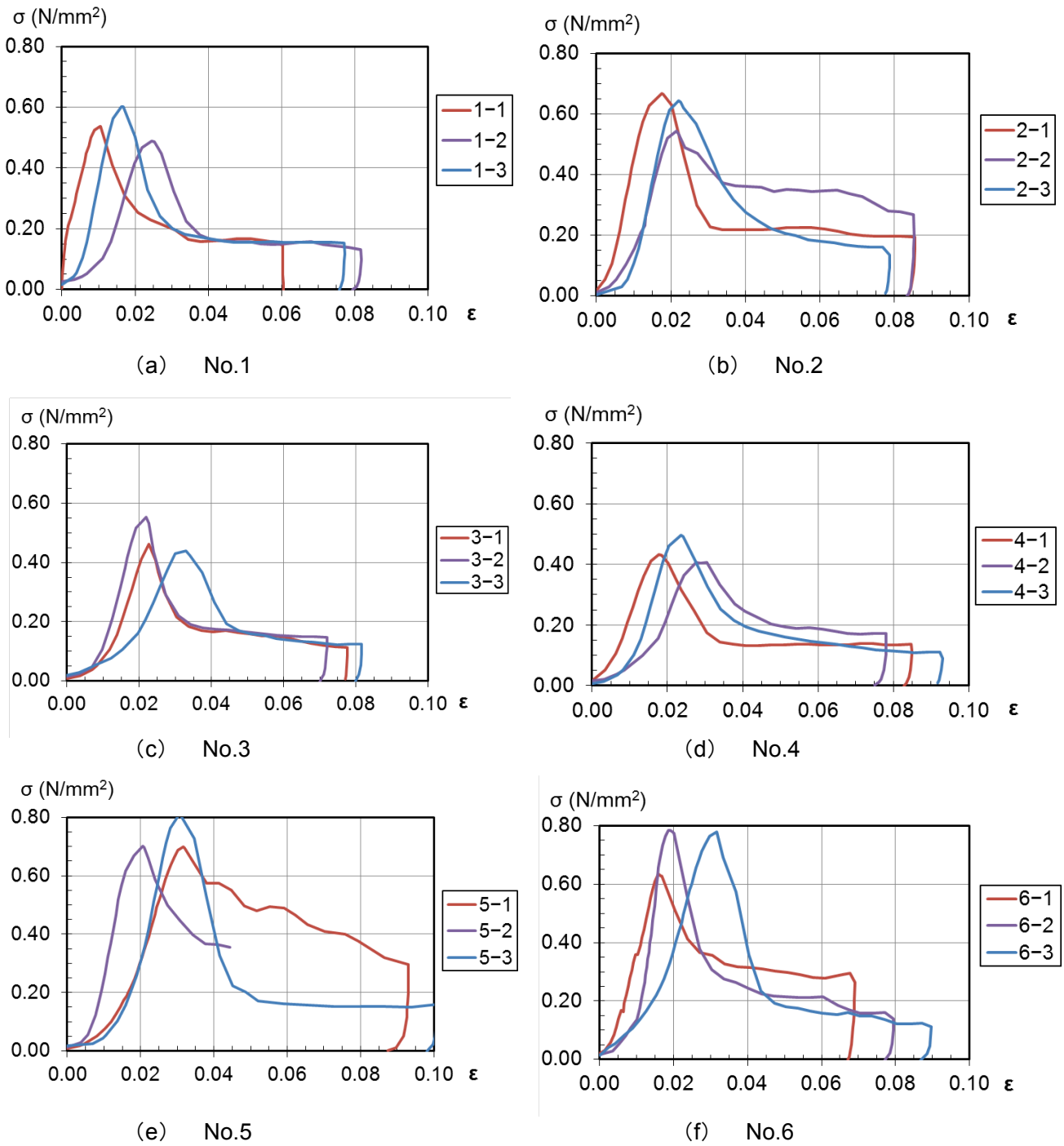

σ (N/mm²)
0.80
0.60
0.40
0.20
0.00
0.00 0.02 0.04 0.06 0.08 0.10 ε
1−1
1−2
1−3
(a) No.1
2−1
2−2
2−3
(b) No.2
3−1
3−2
3−3
(c) No.3
4−1
4−2
4−3
(d) No.4
5−1
5−2
5−3
(e) No.5
6−1
6−2
6−3
(f) No.6

図 3.3　応力度－歪度関係

第 4 章　土塗壁木造軸組試験体の水平加力試験

4.1　はじめに

本章では，壁下地において間渡し竹と柱の緊結部分に「ウグイス」を用いた土塗壁について，構造材としての木材の物性を報告し，土塗壁木造軸組の製作・施工過程を述べる。また，土塗壁木造軸組の諸元寸法の計測，土塗壁の荒壁土，中塗り土の強度確認も行い，福井県の代表的な壁土を用いたウグイス構法による土塗耐力壁の実大面内せん断試験の概要とその試験結果を述べる。

4.2　試験体の概要

試験体は，福井県内では一般的な竹小舞下地の幅 1.82m 高さ 2.73m の木造軸組 3 体で，図 4.1 に試験体軸組，表 4.1 に試験体仕様を示す。軸組の木材は県産のスギ材を使用し，柱と土台は 120 角，貫は 15×120，梁は 120×180，仕口形式は長ほぞ差し込み栓打ちとする。なお，接合部金物は使用していない。

壁の竹小舞下地（写真 4.1）になる間渡し竹と小舞竹には割竹を使用する。間渡し竹は，幅 20～30mm，厚さ 5～10mm の孟宗竹で，小舞竹は幅 20～24mm，厚さ 5～10mm の真竹である。間渡し竹と小舞竹を編む縄にはわら縄（径：3mm）を使用する，竹釘（ウグイス）は，長さ 150mm である。

土壁の総厚 70mm，荒壁厚は 40mm で中塗り厚は 15mm の両面塗りである。間渡し竹の間隔は 1 尺（約 300mm）で，1 本目は柱より 100mm 以内とする。小舞の間隔は 1.5 寸（約 450mm）で，間渡し竹と小舞竹の編み方は，千鳥掛けで編んでいく。竹釘（ウグイス）の取り付け方は，金槌で 20～30mm 程度打ちこむ。縦貫と横貫の交点には釘を 5 本打ち込み緊結する。また，縦貫のみ偏平加工（両端をやや細めに加工）を施し，その後に切り込みを入れる。間渡し竹と貫の緊結は釘 2 本で留める。貫伏せについては適宜行う。

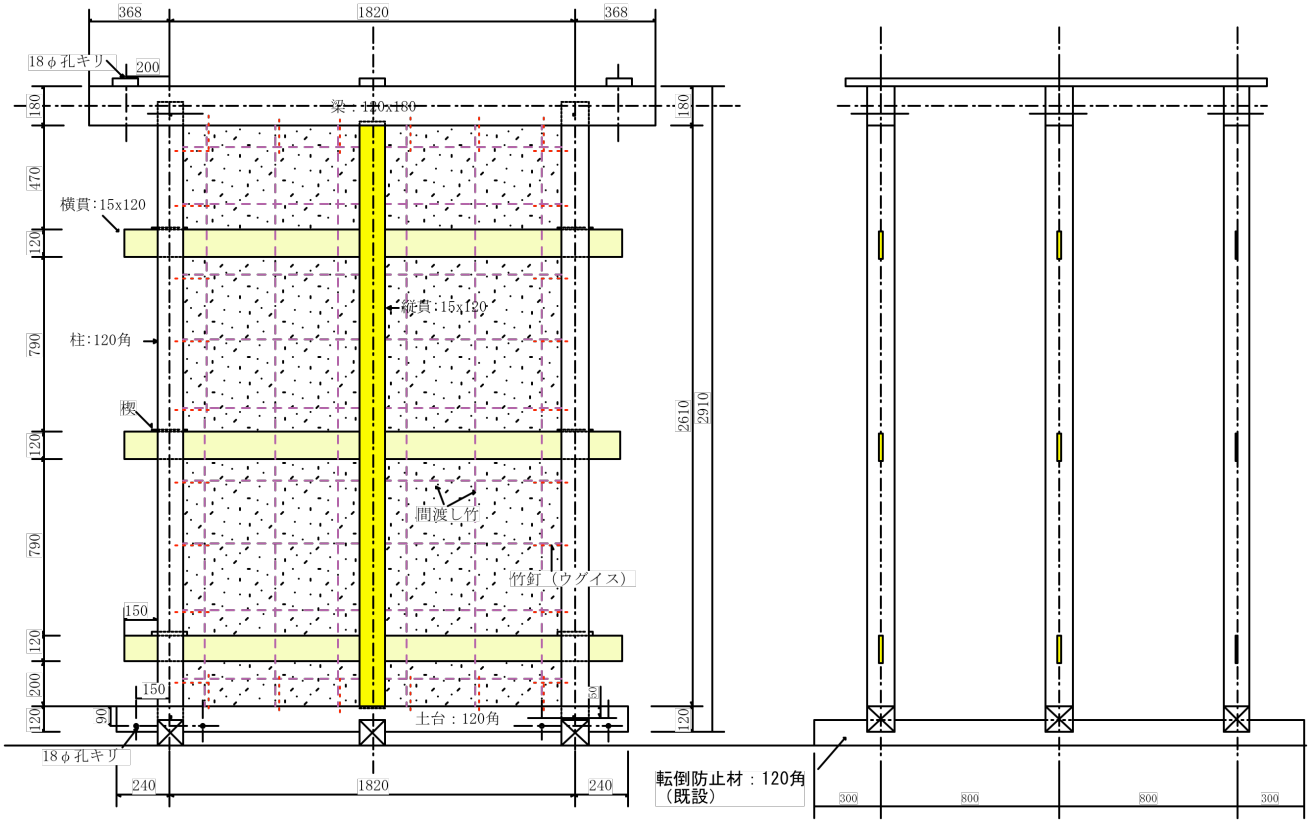


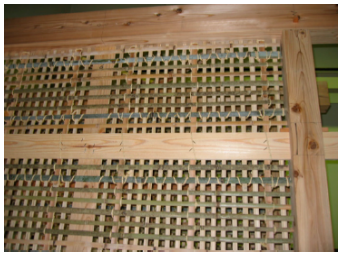
図 4.1　試験体軸組（3 体）

表 4.1　試験体概要

			試験体仕様	備考（標準土塗壁の仕様）
軸組	柱		120×120　杉（県産材）	105×105　杉
	土台		120×120　杉（県産材）	105×105　杉
	貫		120×15　杉（県産材）	105×15　杉
	梁		120×180　杉（県産材）	105×180　杉
	楔		欅（県産材）	欅
材料	間渡り竹	入手方法	市販品	—
		間渡し竹	割竹使用 （幅 20～30mm，厚 5～10mm）	割竹（幅：20mm 以上）
	小舞竹		割竹使用 （幅 20～24mm，厚 5～10mm）	割竹（幅：20mm 以上）
	あみ縄		ワラ縄（径：3～7mm）	ワラ縄
	ウグイス（竹釘）の大きさ		竹（長さ：150mm）	—
	張竹の先端		—	—
工法	壁	総厚	70mm	70mm
		総厚と柱との関係	無し	—
	荒壁	厚	40mm	40mm
		裏返し	半乾燥	半乾燥
	中塗り厚		15mm	15mm
	間渡し竹	相互関係	1 尺	300mm
		柱や機材（土台・梁）関係が 1 本目の柱より	10cm 以内	10mm
	小舞の間隔		1.5 寸	45mm
	間渡し竹と小舞竹の編み方		千鳥掛け	千鳥掛け
	ウグイス（竹釘）の取り付け方		金槌で 20mm 程度打ち込む	—
	間渡り竹と貫の緊結		釘留め	釘留め
	貫の処置		・縦　偏平加工後に切り込み処理 ・横　処置無し	シュロなど

(a) 間渡し竹と竹釘

(b) 表面



(c) 裏面

写真 4.1　小舞壁

4.3　構造材（スギ材）の物性

4.3.1　含水率

構造材の物性を調べるために，各スギ材（仕上げ材）の重さ，寸法（長さ・幅・厚さ），密度を測定し，含水率，ヤング係数を求める。

木材に含まれる水分の量を表す含水率の測定は各部材（梁材，土台，柱材）ごとに行い，角材の4面で各3ヶ所の計12ヶ所を測定する。測定は携帯型高周波木材分水計で行う。写真4.2に測定状況を示す。含水率の測定結果と平均値を表4.2に示す。ここに，含水率（%）とは木材含水率の乾量基準によって決められているものである。

含水率（%）＝（木材の乾燥前の重さ－全乾材の重さ）/ 全乾材の重さ×100　　(1)

写真4.2　含水率測定

表4.2　木材の含水率（%）

部材	番号	A面				B面				C面				D面				総平均
		元口～50cm	材中央	末口～50cm	平均	元口～50cm	材中央	末口～50cm	平均	元口～50cm	材中央	末口～50cm	平均	元口～50cm	材中央	末口～50cm	平均	
梁	2	16.5	14.5	12.5	14.5	15.5	14.0	11.0	13.5	12.0	10.5	10.0	10.8	13.5	11.0	12.0	12.2	12.8
梁	4	10.5	9.5	18.5	12.8	11.0	9.5	13.5	11.3	14.5	10.0	15.0	13.2	10.5	9.5	16.5	12.2	12.4
梁	6	10.5	11.0	15.0	12.2	14.0	18.0	17.0	16.3	11.0	16.0	15.0	14.0	14.5	17.5	17.0	16.3	14.7
柱	2	10.0	9.5	10.0	9.8	10.0	10.0	10.5	10.2	10.0	9.5	10.5	10.0	10.0	10.0	10.0	10	10
柱	4	10.0	10.0	13.5	11.2	9.5	10.0	11.5	10.3	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	11.5	10.5	10.5
柱	5	10.5	10.5	11.0	10.7	10.5	10.0	12.5	11	10.0	9.5	10.5	10.0	10.0	9.5	11.0	10.2	10.5
柱	6	10.0	10.5	19.0	13.2	10.5	10.5	18.0	13	11.0	10.5	12.0	11.2	10.5	11.0	18.5	13.3	12.7
柱	9	10.5	12.0	10.0	10.8	10.0	16.5	17.0	14.5	10.5	19.0	10.5	13.3	10.0	10.5	9.5	10	12.2
柱	11	9.5	10.0	9.5	9.7	10.0	10.0	10.0	10	10.5	10.0	10.5	10.3	10.0	10.0	11.0	10.3	10.1
柱	12	10.5	10.5	11.0	10.7	10.5	11.0	11.0	10.8	10.0	10.5	11.5	10.7	10.0	10.5	12.5	11	10.8
柱	13	12.0	10.5	13.0	11.8	10.5	10.5	12.5	11.2	10.0	10.0	10.5	10.2	10.5	10.0	12.0	10.8	11
柱	16	10.0	10.5	11.0	10.5	9.5	10.5	14.0	11.3	11.0	14.0	15.0	13.3	12.0	10.0	11.0	11	11.5
柱	18	10.0	15.0	15.0	13.3	10.5	11.0	13.0	11.5	10.0	10.0	11.0	10.3	9.5	10.5	14.0	11.3	11.6
柱	20	10.0	11.0	10.0	10.3	10.0	10.5	10.0	10.2	10.0	10.5	9.5	10.0	10.0	11.0	10.5	10.5	10.3
柱	22	10.0	9.5	10.0	9.8	9.5	9.5	9.0	9.3	10.0	9.5	9.5	9.7	9.5	9.5	9.5	9.5	9.6

4.3.2　曲げヤング係数

縦振動法によりヤング係数を測定する。曲げヤング係数は，木材の曲げ試験により算出されるが，縦振動ヤング係数と曲げヤング係数の値は，ほぼ等しいことが既往の試験でわかっており，縦振動法による計測から曲げヤング係数を求める。写真 4.3 にヤング係数測定状況を示す。

本方法は木材の重量と体積を求め，密度を算出する。次に，木材の片木口を打撃し，自由振動させた場合の固有振動数を測定し，密度と固有振動数から縦ヤング係数を求める。測定結果を表 4.3 に示す。

写真 4.3　縦振動法によるヤング係数の測定

表 4.3　縦ヤング係数の測定結果

部材	番号	重さ (kg)	周波数 (Hz)	寸法			密度 (kg/m^3)	縦ヤング (kN/mm^2)	備　　考
				材長(cm)	幅(mm)	成(mm)			
梁	2	33.96	515	409.1	119.56	179.62	387	6.87	含水率 12.8%，E70
梁	4	35.68	460	413.8	119.87	180.01	400	5.80	含水率 12.4%，E50
梁	6	39.16	550	409.5	119.85	179.68	444	9.01	含水率 14.7%，*E90*
柱	2	18.06	730	316.6	120.04	120.08	396	8.46	含水率 10.0%，*E90*
柱	4	18.48	720	315.5	120.10	120.21	406	8.38	含水率 10.5%，*E90*
柱	5	17.58	690	312.7	120.01	120.13	390	7.26	含水率 10.5%，E70
柱	6	19.18	635	322.7	120.10	120.23	412	6.92	含水率 12.7%，E70
柱	9	18.80	540	317.9	119.99	120.15	410	4.83	含水率 12.2%，E50
柱	11	17.36	690	315.6	119.97	120.18	382	7.25	含水率 10.1%，E70
柱	12	19.22	660	313.7	120.12	120.25	424	7.27	含水率 10.8%，E70
柱	13	17.98	655	317.5	120.05	120.11	393	6.80	含水率 11.0%，E70
柱	16	18.94	650	317.0	119.63	120.08	416	7.06	含水率 11.5%，E70
柱	18	17.16	665	316.0	119.68	120.03	378	6.68	含水率 11.6%，E70
柱	20	18.82	715	318.2	119.78	120.18	411	8.51	含水率 10.3%，*E90*
柱	22	15.30	675	317.1	120.11	120.08	335	6.14	含水率 9.6%，E70

4.4　試験体の施工

本節では，大工工事，小舞工事，左官工事の各施工法について述べる。

4.4.1　大工工事

軸組の加工

柱及び横架材は，一般的な軸組構法のそれと同じである。各試験体における使用部材の組み合わせは，各部材の含水率，ヤング係数の結果を基に決定する（表 4.4 参照）。

表 4.4　試験体軸組一覧

軸組	梁	柱	土台
試験体 1	2	6，13	2
試験体 2	4	16，18	4
試験体 3	6	5，11	20

貫

貫の材種は，スギ材とし，強度の小さいものは避ける。縦貫は横架材の欠き込みにはめ込むだけとしている。横架材の縦貫用欠き込みの寸法は，深さは，梁下部 20mm，土台上部 10mm を目安とする。

横貫は，柱の貫穴に貫通させて柱の両側から 18mm 角の欅で楔留めする（写真 4.4）。このとき，横貫は板目による反りで転ばないように貫の表と裏を交互に配置し，縦貫に釘止め（5 本，N50）をする。突出した釘の先端は曲げておく。

写真 4.4　楔留め

組み立て

柱，梁及び貫の組み立て状況を写真 4.5 に示す。

写真 4.5　軸組組み立て

4.4.2　小舞工事

大工工事が終わると，小舞（えつり）の工事を行う。小舞（えつり）工事とは，軸組に固定する間渡し竹を縦横に組み，それに小舞竹を縄で縛り付け，格子状の下地にする作業をいう。

小舞作業

間渡し竹には孟宗竹を用い，縦竹と横竹の内側を向かい合わせにし，貫と交差する場所には釘打ちをする。釘の先端が反対側に出た場合は先端を曲げる。間渡し竹の位置にて柱，ウグイス（長さ150 ㎜）を打ち込み（写真 4.6），間渡し竹を藁縄にて固定する。

小舞竹には真竹を用い，柱と横架材に直接当たらないように両端約 5～10mm 開け，縦竹と横竹の内側を向かい合わせにして，縄で間渡し竹に横竹，縦竹の順に堅固に掻いていく。縄は藁縄を使用する。また，掻き方には千鳥掛けを用いる（写真 4.7）。

縦間渡し竹を横貫に釘で打ち付け，横間渡し竹を打つ時にウグイスの上に横間渡し竹が乗るようにうぐいすを打ち付ける。上から下に，竹小舞を縦貫に近いところで 1 本だけ編んでいき，半分くらいまで編んだら残りの竹小舞を同じように半分まで編んでいく。半分から下も上の方で編んでいた中心に近い 1 本を下まで編んでいき，残りを同じように編んでいく。

縦貫も縄を巻きつけていく，縦小舞竹を横小舞竹と同様に編み，中心から外に編んでいく。

写真 4.6　ウグイス

写真 4.7　小舞作業

4.4.3 左官工事

左官工事は次の工程で行う。

①荒壁土練り→②荒壁塗り→③裏返し塗り→④むら直し→⑤ちり廻り塗り→⑥中塗り

荒壁土土練り

土練りは，一般的にはふるった土に切った藁すさを加え，よく練り混ぜる。福井県では，市販の荒壁用土に藁すさと水を加え，壁土として塗りやすい堅さまで練り混ぜる。

荒壁塗り

軸組に塗厚の目となる墨を打ち，小舞下地の片面に荒壁土を塗る（これを「荒壁塗り」という）（写真 4.8)。このときラインのやや内側に養生テープを貼ってから塗る。

表面（縦竹の面）から塗り，壁が均一に塗られるように墨打ちしたところから塗っていく。小舞下地の反対側に出てきた土は，乾燥したときに小舞下地に引っかかるように鏝撫でしておく（これを「裏撫で」という)。荒壁塗りが最も乾燥期間を要するので，扇風機等である程度乾燥させ，その後は自然乾燥させる。

写真 4.8　荒壁塗り

裏返し塗り

荒壁塗りが半乾燥状態になったら，反対側の面にも荒壁土を塗る（これを「裏返し塗り」という）（写真 4.9)。半乾燥状態で裏面を塗った方が土どうしの接着が強くなり，土が剥がれにくくなる。横貫部分については，貫の幅より大きく切った化学繊維のネットを貫部分に鏝で伏せ込む（貫伏せ）（写真 4.10)。

写真 4.9　裏返し塗り

写真 4.10　貫伏せ

むら直し

荒壁土が完全に乾燥したら，収縮ひびやちりの隙間を荒壁用土で埋め，表面のでこぼこを無くす（これを「むら直し」という）。塗り方は，まず，刷毛で軽く荒壁に水を与える（写真 4.11）。そして，乾かないうちに，ひび割れているでこぼこのある部分を鏝で削りながら，ひびを埋めるように薄く 1mm ほど塗りつける（写真 4.12）。

写真 4.11　刷毛塗り

写真 4.12　むら直し

ちり廻り塗り

柱と壁との間に隙間ができないように，柱際にちり廻り土を断面が三角形になるように塗る（写真 4.13）。乾燥により隙間が開き，そこから光や風など入らないように塗る意味もある。中塗り土を使う。

写真 4.13　ちり廻り塗り

中塗り

中塗りは，中塗り土を 2 回にわけて塗る（写真 4.14）。塗り厚 15mm を 2 回に分けて塗り，1 回目は大まかに塗りつけ，1 日空けて，2 回目は押さえつけずに丁寧に塗り，貫部には荒壁塗りのときと同様に貫伏せを施す。

写真 4.14　中塗り

4.5　試験体の計測

4.5.1　木造軸組

木造軸組の各部の寸法は，多少の誤差はあるもののほぼ仕様を満足する結果である。諸元寸法の計測結果を表 4.5 に示す。

表 4.5　木造軸組の各部寸法（mm）

				試験体 1	試験体 2	試験体 3
軸組	軒高		(南)	2911	2909	2910
			(北)			
	柱内法		上	1701	1700	1697
			下			
	横貫上面		上	2136	2134	2135
			中	1225	1224	1226
			下	325	323	324
	縦貫内法		南	799	800	793
	貫間		梁貫	474	474	474
			貫貫	794	793	793
			貫貫	785	785	784
			貫土台	200	198	199
梁	梁 2		成	179	179	179
			幅	120	120	119
柱	南柱 13		成	120	120	120
			幅	120	120	120
	北柱 6		成	120	120	120
			幅	120	120	120
貫	横貫	上	成	116	117	117
			幅	15	15	17
		中	成	116	117	117
			幅	16	15	16
		下	成	126	125	126
			幅	16	16	16
	縦貫		幅	102	102	107
土台	柱 2		成	120	120	120
			幅	120	120	120
楔	上		成	15	15	15
			幅	18	18	18
	中		成	17	17	17
			幅	18	18	18
	下		成	17	17	17
			幅	18	18	18

4.5.2　小舞下地

小舞竹の間隔は試験体仕様に示されているように，450mm 以内に 1 本配置する。ただし，この間隔は狭すぎないようにする必要がある。小舞竹の本数を以下の表 4.6 に示す。試験体では，小舞竹は梁及び土台，貫と間渡し竹の間にはほとんどが 1 本だけである。間渡し竹との間は，ほぼ 6 本で，多くても 7 本である。間渡し竹の間隔が 300mm なので，全ての小舞竹が仕様を満足するよう配置されている。

表 4.6　小舞竹本数

試験体		No.1	No.2	No.3
縦小舞竹（本）	梁−間渡し竹	1	1	1
	間渡し竹−間渡し竹	5	5	5
	間渡し竹−上貫	1	1	1
	上貫−間渡し竹	1	1	1
	間渡し竹−間渡し竹	6	6	6
	間渡し竹−間渡し竹	6	6	5
	間渡し竹−中貫	1	1	1
	中貫−間渡し竹	1	1	1
	間渡し竹−間渡し竹	6	7	6
	間渡し竹−間渡し竹	6	6	5
	間渡し竹−下貫	1	1	1
	下貫−間渡し竹	2	2	2
	間渡し竹−土台	1	1	1
横小舞竹（本）	柱−間渡し竹	1	1	1
	間渡し竹−間渡し竹	6	6	6
	間渡し竹−間渡し竹	6	6	6
	間渡し竹−縦貫	1	1	1

4.5.3　荒壁厚と土塗壁厚

荒壁厚は試験体仕様に示されているように，塗り厚 40mm で施工する。荒壁厚の計測を表 4.7 に示す。実際の塗り厚は，縦貫位置では平均値 34～40mm，小舞部分では平均値 31～34mm，間渡し竹部分では平均値 34～37mm，柱際では平均値 34～40mm である。

中塗り乾燥後に土塗壁（両面塗り）の総厚を計測。試験体仕様に示されているように，総厚 70mm，中塗り厚は表と裏ともに，15mm で施工する。表 4.8 に土塗壁厚の計測結果を示す。実際の塗り厚は，縦貫位置では平均値 65～67mm，小舞・間渡し竹部分では平均値 64～68mm，柱際では平均値 68～76mm となる。柱際での壁厚が大きくなるのは，壁際で反って，柱との間に隙間が生じているからである。

表 4.7　荒壁厚（mm）

試験体	No1		No.2		No.3	
部位	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
縦貫位置	30-36	34	39-40	40	34-37	36
小舞	28-33	31	30-37	34	29-37	32
間渡し竹	31-36	34	32-40	37	32-40	35
柱際	32-36	34	37-45	40	36-43	40

表 4.8　土塗壁厚（mm）

試験体	No1		No.2		No.3	
部位	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
縦貫位置	64-65	65	66-67	67	64-65	65
小舞・間渡し竹	64-68	66	65-71	68	61-66	64
柱際	69-78	72	72-83	76	64-71	68

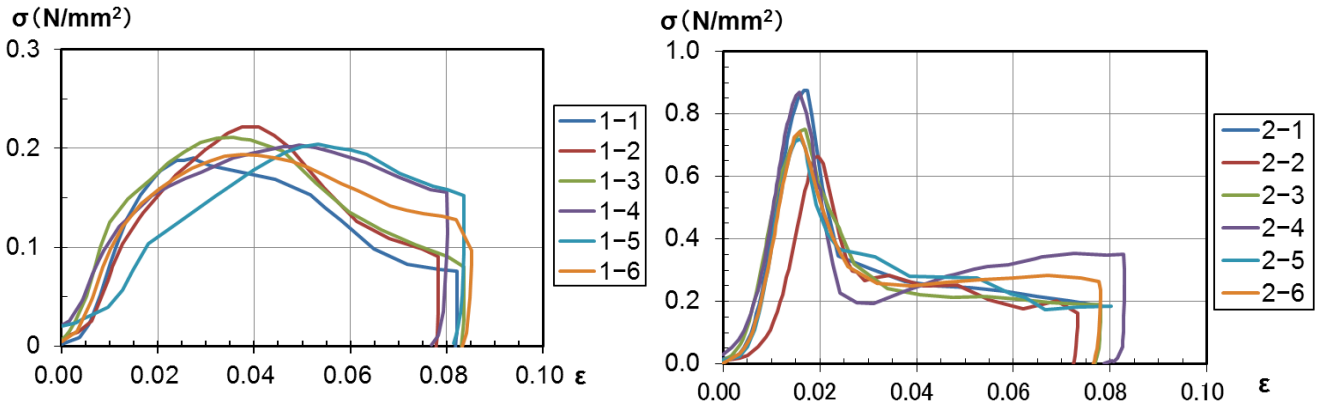
4.6　荒壁土と中塗り土の圧縮強度

3.4 節の結果に基づき荒壁土，中塗り土をバット状の型枠に打設した後，28℃の室温で乾燥させ，150 角，厚さ 70mm の形状にコンクリートカッターで切り出し，圧縮試験をする。加力は 100 t の万能型圧縮試験機（レンジ 2 t ）で行う。

荷重は断面積当たりの応力に，鉛直変位は平均歪に変換し，応力度－歪度関係を求める（図 4.2）。表 4.9 に最大圧縮応力度・平均歪を示す。荒壁土の圧縮強度の平均値は 0.204N/mm^2 で，告示に明示されている最大圧縮強度 0.3N/mm^2 を満足することは出来ない。写真 4.15 に荒壁土圧縮試験状況を示す。中塗り土の圧縮強度の平均値は 0.778 N/mm^2 で，告示の最大圧縮強度 0.55N/mm^2 を満足している。

表 4.9　最大圧縮応力度・平均歪

壁土	数量（本）	最大圧縮応力度（N/mm^2）		平 均 歪	平均密度（g/cm^3）	
		範囲	平均値		範囲	平均値
荒壁土	6	0.190～0.222	0.204	0.0404	1.47～1.54	1.51
中塗り土	6	0.674～0.871	0.778	0.0168	0.674～0.871	1.73



（a）　荒壁土　　（b）　中塗り土

図 4.2　応力度－歪度関係

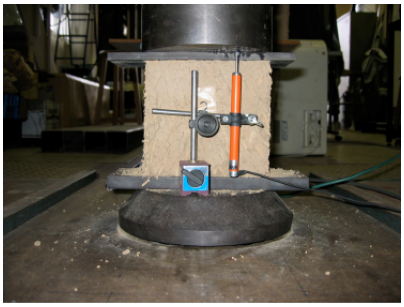


写真 4.15　中塗り土圧縮試験

4.7　試験体の製作工程と補修

4.7.1　製作工程

本節では，土塗壁試験体の製作工程と壁土の乾燥収縮に伴うひび割れや隙間の補修および試験前の試験体の壁土の状況について述べる。

- 2010/10/13：未仕上げ材の含水率測定と仕上げ加工依頼（(有）ニューチップコーポレーション）
- 2010/10/15：木材（仕上げ材）納入（福井県総合グリーンセンター）
- 2010/10/26：仕上げ材のヤング係数測定（福井県総合グリーンセンター）
- 2010/10/29～11/10：軸組試験体作成（畑建築加工場）
- 2010/11/11：軸組試験体組立（福井工業大学構造実験室）
- 2010/11/14～11/19：小舞掻き（福井工業大学構造実験室）
- 2010/11/15～11/19：荒壁塗り（福井工業大学構造実験室）
  ※除湿機 2 台を稼働。大型扇風機 2 台も引き続き使用
- 2010/11/19：荒壁土 1 バッド打設，28℃にて養生（福井工業大学構造実験室）
- 2010/11/19～11/22：裏返し塗り，貫伏有り（マイクロファイン使用）（福井工業大学構造実験室）
- 2010/12/9　：むら直し
- 2010/12/9　：ちり廻り塗り
- 2010/12/17：中塗り（表），塗り厚 15mm を２回に分けて施工
- 2010/12/17：中塗り土 1 バッド打設，28℃にて養生（福井工業大学構造実験室）
- 2010/12/17：本試験荒壁の圧縮強度確認（福井工業大学構造実験室）
- 2010/12/18：中塗り（表）の縦貫位置に縦割れ発生（写真 4.16 a）
  片側（表面）に 15mm（2 回に分けるも 1 日で施工）の中塗りを行ったことにより，横貫が含浸して壁が膨らみ出したと考えられる。また，縦貫に貫伏（ネット）を行わなかったことも一因。割れ幅は 2～3mm。
- 2010/12/20：中塗り（表）の補修：
  片側（表面）の中塗りの表層をそり落とす。また，横貫位置は 400 ㎜幅で中塗りを全て落とす。この処理により縦貫上の荒壁がはがれ，縦貫が露となる（写真 4.16 b）。
- 2010/12/23：荒壁の補修塗り（写真 4.16 c）
- 2010/12/26：表面の中塗り仕上げ（縦貫の貫伏有り）。表面の中塗りの下塗り（横貫の貫伏有り）。
- 2010/12/27：裏面の中塗り仕上げ
- 2010/12/28：大型扇風機 2 台，除湿機 2 台始動
- 2011/1/5　：No.1，No.3 試験体の表面の貫伏の縁にて亀裂確認（写真 4.16 d, 4.16 e）
- 2011/1/7　：No.1，No.3 試験体の表面の亀裂変化無し。裏面の柱際の肌隙 4mm 程度（写真 4.16 f）
- 2011/1/17　：本試験中塗り土の圧縮強度確認（福井工業大学構造実験室）
- 2011/1/24　：表面のひび割れ，柱と壁との肌隙の補修（写真 4.16 g，4.16 h）
- 2011/2/5～2/10　：No.3 試験体の水平加力試験
- 2011/3/28～3/29：No.2 試験体の水平加力試験
- 2011/4/8～4/15　：No.1 試験体の水平加力試験

(a)　(b)　(c)　(d)

(e)　(f)　(g)　(h)

写真 4.16　土塗壁のひび割れと補修

4.7.2　補修後の土塗壁

試験前の壁土の状況について写真 4.17 に示すが，いずれの試験体も，表面，裏面に微細なひび割れが観察され，表面では貫伏の縁にてひび割れ（補修後発生）がわずかに見られる。また，柱と 0.5mm 程度の肌隙が生じている。

写真 4.17　補修後の土塗壁の目視状況

4.8　試験方法

試験装置の概要を図 4.3 に示す。試験方法は，標準的な試験方法[1)]に準拠してタイロッド式（試験構面の枠組先行破壊防止を，部材の外側から桁−土台間の広がりを拘束する方法）で行う。

加力方法は正負交番繰返し加力とする。繰返し履歴は，見掛けのせん断変形角が 1/600，1/450，1/300，1/200，1/150，1/100，1/75，1/50，1/30rad.の正負変形時において，各 3 回の繰返しとする。その後，一方向に加力するが，最大荷重に達した後に，復元力が最大荷重の 80%の荷重に低下するまで加力するか，あるいは試験体の変形角が 1/15rad.以上に達するまで行う（図 4.4）

4.9　測定方法

4.9.1　荷重と変位

加力は,手動型油圧ポンプ（理研：P-7C）を油圧ジャッキ（理研：D2-200,ストローク 200mm，最大加力 200kN）に接続し，人力で加力する。

荷重の計測はロードセル（㈱東京測器：TCLP-30KNB，容量 30kN）を，変位の計測は変位計を用いる。ロードセル及び変位計は，デジタルひずみ測定器（㈱東京測器：TDS-303）に接続し，デジタルひずみ測定器とパソコン（Mac mini）を,イサーネットケーブルを用いて接続する。

荷重及び各部の変位データの取り込みには, パソコンにインストールしている静的計測ソフトウェア （東京測器：TOS-7810X）を使用する。

変位測定は，図 4.3，写真 4.18 のように，巻込型変位計（㈱東京測器：DP-500E,容量 500mm）で梁材の水平方向変位 δ_1（δ_2）を，DG 型変位計（㈱東京測器製：DDP-30A,容量 30mm）で土台の水平方向変位 δ_3（δ_4）を，DG 型変位計（㈱東京測器製：DDP-50A,容量 50mm）で各柱の脚部の鉛直方向変位 δ_5（δ_6）及び δ_7（δ_8）を測定する。測定は，柱，梁，土台とも軸芯で行う。

4.9.2　せん断変形角

見掛けのせん断変形角（γ_0），脚部のせん断変形角（θ）及び真のせん断変形角（γ）は，次式で算出する。

$$\gamma_0=((\delta_1+\delta_2/2-(\delta_3+\delta_4)/2))/H \quad (2)$$

$$\theta=((\delta_5+\delta_6/2-(\delta_7+\delta_8)/2))/V \quad (3)$$

$$\gamma=\gamma_0-\theta \quad (4)$$

ここで，γ_0　：見かけのせん断変形角（rad.）

γ　：真のせん断変形角（rad.）

δ_1，δ_2：試験体頂部の水平変位（mm）

δ_3，δ_4：試験体脚部の水平変位（mm）

θ　：脚部のせん断変形角（rad.）

δ_5，δ_6：試験体風上側柱脚部の鉛直方向変位（mm）

δ_7，δ_8：試験体風下側柱脚部の鉛直方向変位（mm）

H　：土台 と梁 の標点間距離（=2,760 mm）

V　：風上側柱と風下側柱の標点間距離（=1820 mm）

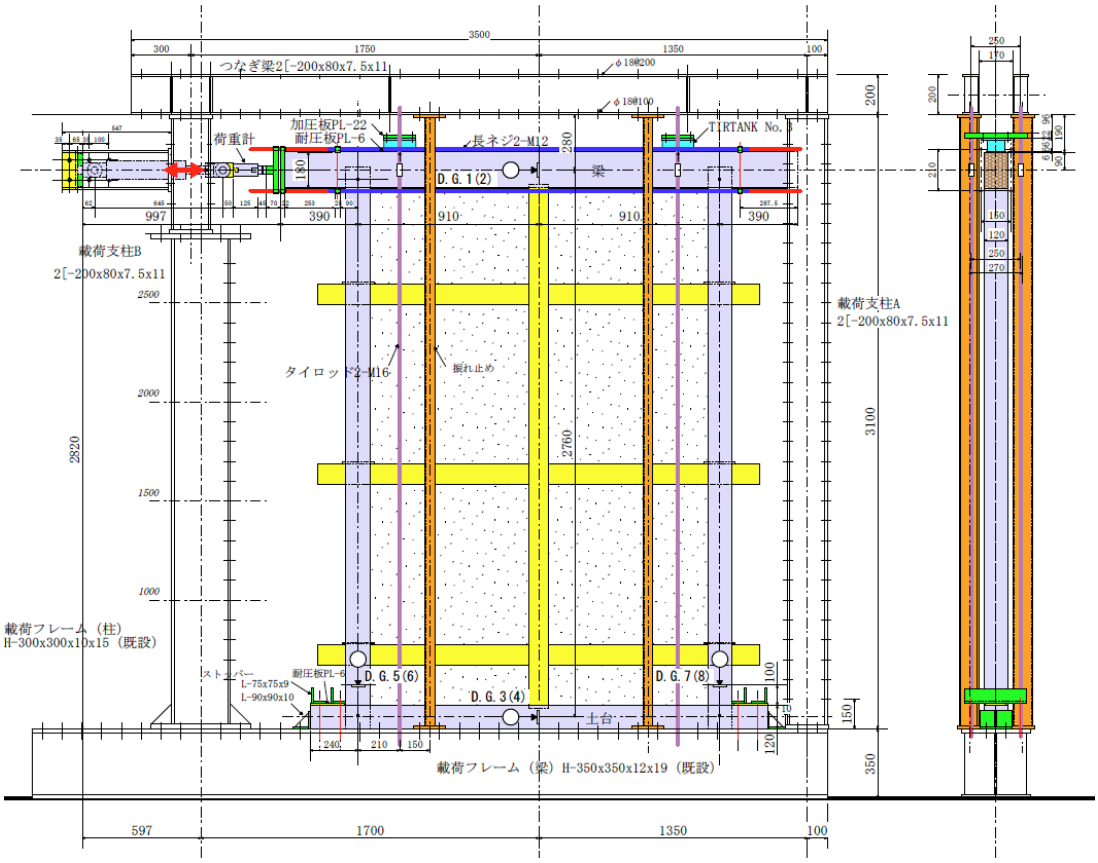


図 4.3　土塗壁試験体と試験装置概要

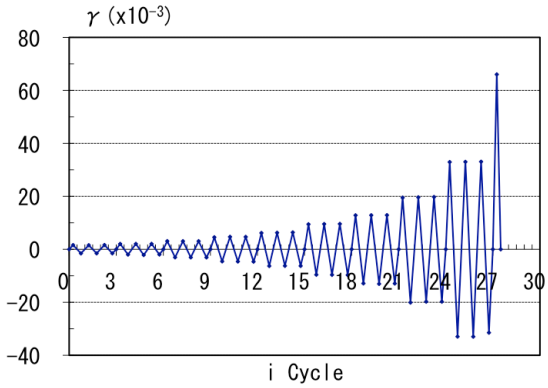


図 4.4　加力履歴

写真 4.18　変位計の設置状況

4.10　土塗壁の耐力，靭性と壁倍率

4.10.1　包絡曲線

実験で得られた繰返し荷重－真のせん断変形角曲線から正側（押し側）と負側（引き側）の各繰返し変形角時の最大荷重を平均し，それらを直線で結ぶことで包絡曲線を算出する。

4.10.2　降伏耐力，終局耐力，構造特性係数

実験で得られた包絡曲線から，下記の手順により完全弾塑性モデルを作成する（図 4.5）。

a）包絡曲線上の $0.1P_{max}$ と $0.4P_{max}$ を結ぶ直線を第 I 直線とする。

b）包絡曲線上の $0.4P_{max}$ と $0.9P_{max}$ を結ぶ直線を第Ⅱ直線とする。

c）第Ⅱ直線を包絡曲線に接するまで平行移動し，これを第Ⅲ直線とする。

d）第 I 直線と第Ⅲ直線との交点の荷重を降伏耐力（P_y）とし，この点から X 軸に平行な直線を第Ⅳ直線とする。

e）第Ⅳ直線と包絡曲線との交点の変位を降伏変位（δ_y）とする。

f）原点と（δ_y，P_y）を結ぶ直線を第Ⅴ直線として，これを初期剛性（K）とする。

g）最大荷重後の 0.8Pmax 荷重低下域の包絡曲線上の変位を終局変位（δ_u）とする。

h）包絡曲線，X 軸及び δ_u で囲まれる面積を S とする。

i）第Ⅴ直線，X 軸，δ_u 及び X 軸と平行な直線で囲まれる台形の面積が S と等しくなるような X 軸に平行な直線を第Ⅵ直線とする。

j）第Ⅴ直線と第Ⅵ直線との交点を完全弾塑性モデルの終局耐力（P_u）とし，その時の変位を完全弾塑性モデルの降伏点変位（δ_v）とする。

k）構造特性係数 Ds は，塑性率 μ（$=\delta_u/\delta_v$）を用いて，$D_s=1/\sqrt{(2\mu-1)}$ とする。

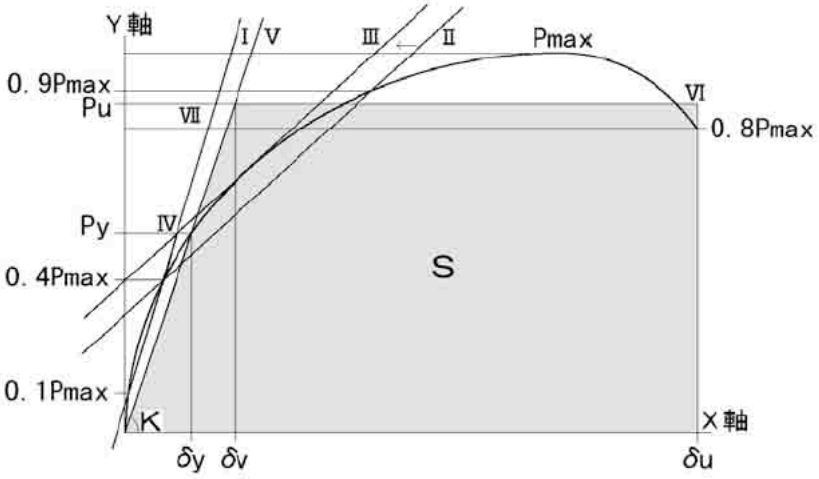


図 4.5　完全弾塑性モデルによる耐力の求め方

4.10.3　土塗壁の短期基準せん断耐力

土塗壁の短期基準せん断耐力（P_o）は，①降伏耐力 P_y，②終局耐力 P_u×（0.2/D_s），③最大荷重の 2/3，④特定変形時の耐力 P_{150} で求めた各試験荷重[注)] の平均値に，各々のばらつき係数を乗じて求めた値の最小値とする。なお，ばらつき係数は，母集団の分布形を正規分布とみなし，統計的処理に基づく信頼水準 75%の 50%下側許容限界値をもとに次式で求める。

ばらつき係数= 1- CV×k　　(5)

ただし，CV：変動係数=（標準偏差/平均値）×100,

k　：試験体数に依存する定数（n=3 の場合 0.471）

4.10.4　短期許容せん断耐力

土塗壁の短期許容せん断耐力（P_a）は次式により算定する。

$P_a = P_o \times \alpha$　　(6)

ここで，α は耐力に影響を及ぼす係数で，土塗壁の構成材料の耐久性・使用環境，施工性の影響，壁量計算の前提条件を満たさない場合の影響等を勘案して定める係数。ここでは 1.0 とする。

4.10.5　倍率の算定

土塗壁の倍率（n）　は上述の土塗壁の短期許容せん断耐力（P_a）から，次式により算定する。

$n = P_a[kN] \times (1/1.96[kN/m]) \times (1/L[m])$　　(7)

ここに，L：壁の長さ（=1.82m）

注）

① 降伏耐力 P_y：

包絡曲線より完全弾塑性モデルによる方法で求めた降伏耐力（P_y）の値。

② 終局耐力（P_u）×（0.2/D_s）：

土塗壁の終局時までの入力エネルギーの大きさを評価するための値で，完全弾塑性応答と弾性応答との間に地震入力エネルギー一定則が成立することを前提として，２次設計に対する１次設計の層せん断力係数比を完全弾塑性グラフ面積に乗じることにより，許容応力度設計に反映させるようにしたもの。

③ 最大荷重の 2/3：

最大荷重を安全率 1.5 で除した値。

④ 特定変形時の耐力 P_{150}：

土塗壁のせん断変形角が基準変形に達したときの荷重で示す。ここでの基準変形は，真のせん断変形角（γ）1/150rad.時とし，その時点の荷重レベル。

4.11　実験結果と考察

4.11.1　変形性状と破壊状況

福井県のウグイスを用いた竹小舞下地の土塗壁の変形挙動を，各サイクル毎に纏めて以下に示す。

<u>No. 1 試験体</u>

- 1/600～1/200 : 風上側での壁の隅角部での最大 2mm 程度の浮き上がりが，風下側の圧縮による損傷がみられる（写真 4.19 a)。
- 1/150 : 隙間や隅角部での圧縮損傷も大きくなり，補修部分と柱の間にひび割れ発生（写真 4.19 b)
- 1/100 : 表面の壁中央部での縦貫の位置に縦ひび割れ，裏面では斜めひび割れが入る（写真 4.19 c,d)。また，壁と軸組との隙間や隅角部での損傷が大きくなる（写真 4.19 e)。
- 1/75　: 表面の貫伏縁に縦ひび割れが，柱近傍の横貫の位置に横ひび割れが生じ，裏面の斜めひび割れが進展（写真 4.19 f)。隅角部での隙間，圧縮破壊と膨らみが見られる（写真 4.19 g)。
- 1/50　: 横ひび割れの進展，隅角部での膨らみの増大，縦ひび割れや斜めひび割れが著しくなる（写真 4.19 h～j)。その結果，表面は縦貫位置に 3 本の縦ひび割れが，裏面は下部と上部に X 形の斜めひび割れが生じる結果となる。
- 1/30　: 隅角部の膨らみ，縦ひび割れや斜めひび割れの割れ幅の増大とともに，各面の中央部の膨らみが生じる（写真 4.19 k～l)。また，壁全体の膨らみが生じて裏面は横貫位置の横ひび割れのつながりにより壁が 3 分割され，3 回目の繰返し時に壁中央部分が剥離落下（写真 4.19 m)。
- 1/15　: 貫位置のひび割れが著しくなり，壁全体の膨らみや剥離，柱との大きな隙間が見られ，裏面壁中央部は面外に大きくはらみ出す（写真 4.19 n～o)。このサイクルでは音も発生。

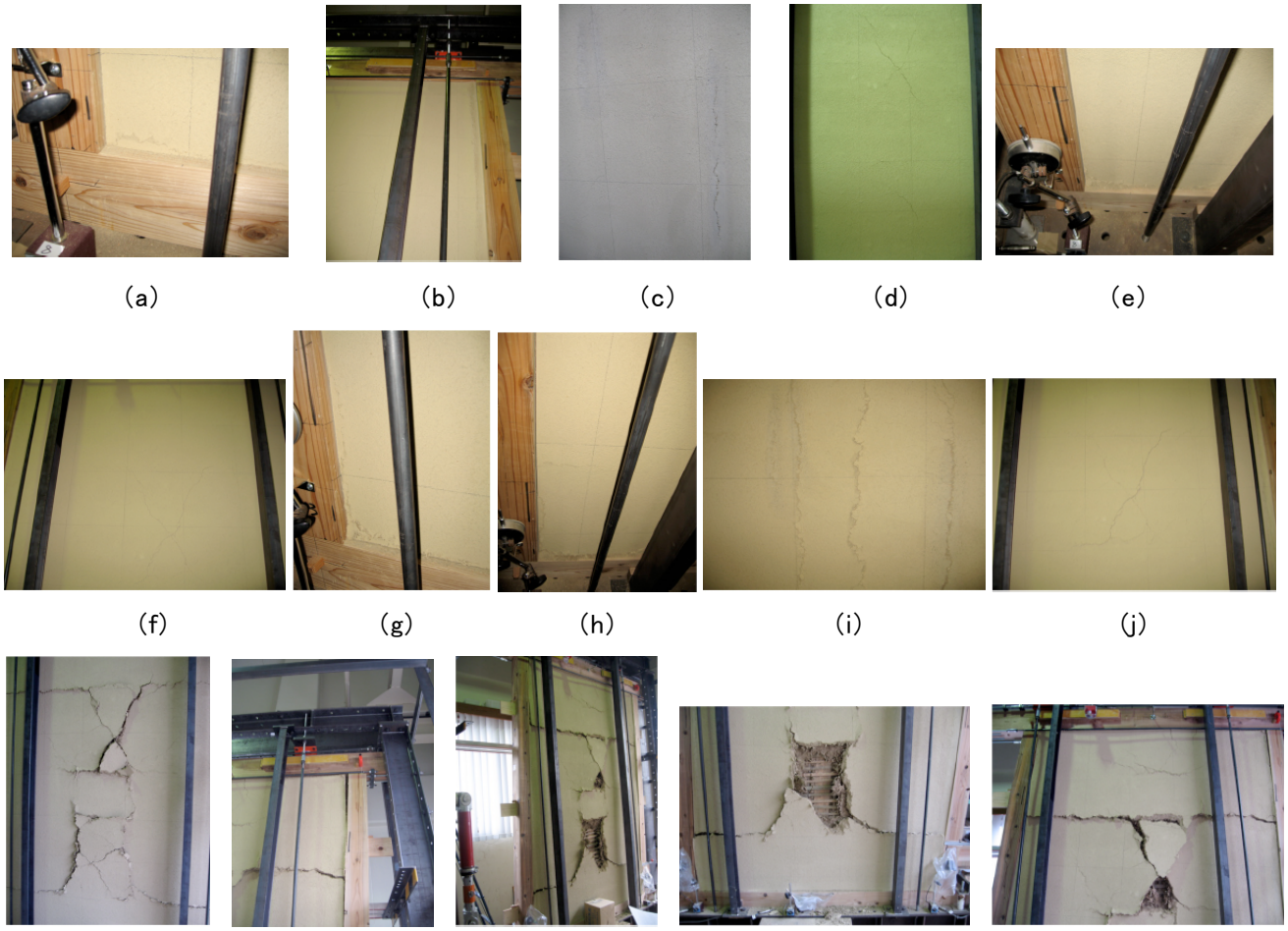


写真 4.19　No.1 試験体の試験経過

No. 2 試験体

- 1/600～1/450：風上側での柱とのちり周りでのひび割れ，壁の隅角部での浮き上がりがみられる。
- 1/300～1/150：割れ幅，隙間も大きくなり，隅角部での圧縮損傷もみられる（写真 4.20 a，b）。
- 1/100：裏面での斜めひび割れが発生し繰返しとともに進展する（写真 4.20 c）。また，隅角部での損傷が著しくなり，圧壊と厚さ方向の膨らみが散見される（写真 4.20 d）。さらに，柱近傍の横貫の位置に横ひび割れがみられる。
- 1/75 ：裏面の斜めひび割れの進展，柱との隙間や隅角部での膨らみの増大が見られる（写真 4.20 e,f）。表面の壁中央部での縦ひび割れの発生。
- 1/50 ：柱との隙間と隅角部での膨らみの更なる増大，斜めひび割れ幅の進展と割れ幅の拡大が見られる（写真 4.20 g，h）。表面は縦ひび割れが繋がるとともに縦貫の貫伏縁に縦ひび割れが生じる（写真 4.20 i）。裏面は横貫間での X 形の斜めひび割れが生じる（写真 4.20 j）。
- 1/30 ：各面の柱際や隅角部の膨らみが大きくなると同時に裏面中央部の剥離とひび割れ幅の拡大が生じる（写真 4.20 k～m）。3 回目の繰返し時に縦貫上部の剥離（写真 4.20 n），横ひび割れの著しい進展がみられ，壁上部の一部が崩落する。
- 1/15 ：軸組との大きな隙間，各ひび割れ幅や壁の膨らみが著しくなり，表面は縦貫位置に 3 本の大きな縦ひび割れと間渡し竹位置でのひび割れが，裏面では 2 ヶ所の X 形のひび割れ部分が面外に飛び出し，部分的に剥落する結果となる（写真 4.20 o～s）。

写真 4.20　No.2 試験体の試験経過

No. 3 試験体

- 1/600～1/200：風上側での壁の隅角部での浮き上がりがみられ，最大 3mm 程度（写真 4.21 a)。
- 1/150：風上側脚部での浮き上がりが大きくなり（5～6mm 程度)，風下側脚部の隅角部での圧縮損傷も発現（写真 4.21 b）
- 1/100：隅角部での損傷が著しくなる。表面の壁中央部での縦ひび割れ，裏面での斜めひび割れが発生（写真 4.21 c)。また，柱近傍の横貫の位置に横ひび割れがみられる。
- 1/75 ：表面の縦ひび割れがつながり，裏面の斜めひび割れや横貫位置での横ひび割れが進展。隅角部での圧縮破壊と厚さ方向の膨らみが見られる（写真 4.121d)。
- 1/50 ：横ひび割れの進展，隅角部での浮き上がりと膨らみの増大，縦や斜めひび割れ幅の拡大が見られる（写真 4.21 e～g)。表面は縦貫の貫伏縁に 2 本の縦ひび割れが，裏面は横貫位置での横ひび割れと横貫間での X 形の斜めひび割れが生じる結果となる(写真 4.21 h～i)。
- 1/30 ：横ひび割れ，縦ひび割れや斜めひび割れの割れ幅，隅角部の膨らみが大きくなると同時に各面の中央部の膨らみ（中塗りの剥離）が生じる（写真 4.21 j～l)。また，3 回目の繰返し時に壁中央部の一部が崩落（写真 4.21 m)。
- 1/15 ：各ひび割れ幅が著しくなり，壁全体の膨らみ，柱との大きな隙間が見られ，裏面壁中央部は面外に飛び出す結果となる（写真 4.21 n～p)。また，仕口での音も発生。

試験後，壁の一部を剥がして，ウグイスの状態を確認し，ウグイスや間渡し竹の破損はないが，一部の固定のわら縄の破断が見られる。

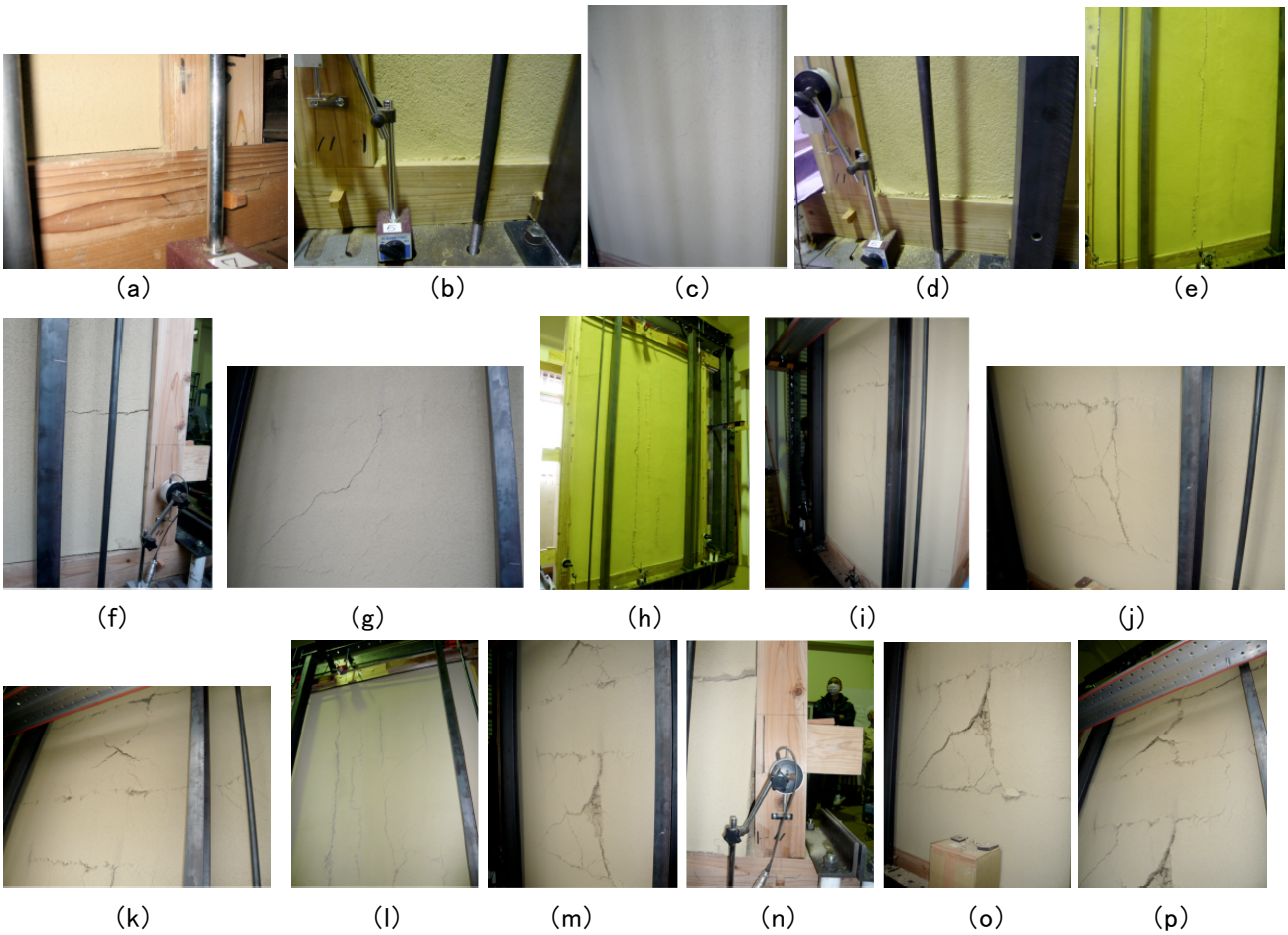


写真 4.21　No.3 試験体の試験経過

4.11.2　荷重−真のせん断変形角曲線と包絡曲線

荷重-真のせん断変形角曲線と壁面の破壊状況を図 4.6 に，包絡曲線を纏めて図 4.7 に示す。

履歴曲線については 1/300rad.程度までは弾性挙動で, 1/200～1/100rad.程度では弾性勾配を有するスリップ形（逆 S 字形）を呈する。また，1/75～1/30rad.では弾性勾配が著しく低下したスリップ形となっている。いずれの繰返し振幅において繰返しによる耐力劣化が認められる。

一方, 包絡曲線からはいずれの試験体も最大荷重は大きいものの靭性が少ないことが判る。また，ほぼ同じ力学性状を呈する。すなわち，10kN 前後で剛性低下が大きくなり，振幅 1/100rad.で耐力一定，1/50rad.前後で最大荷重を示す。その後耐力低下を示し，1/15rad.程度で耐力一定，ほぼ最大荷重の半分程度となる。

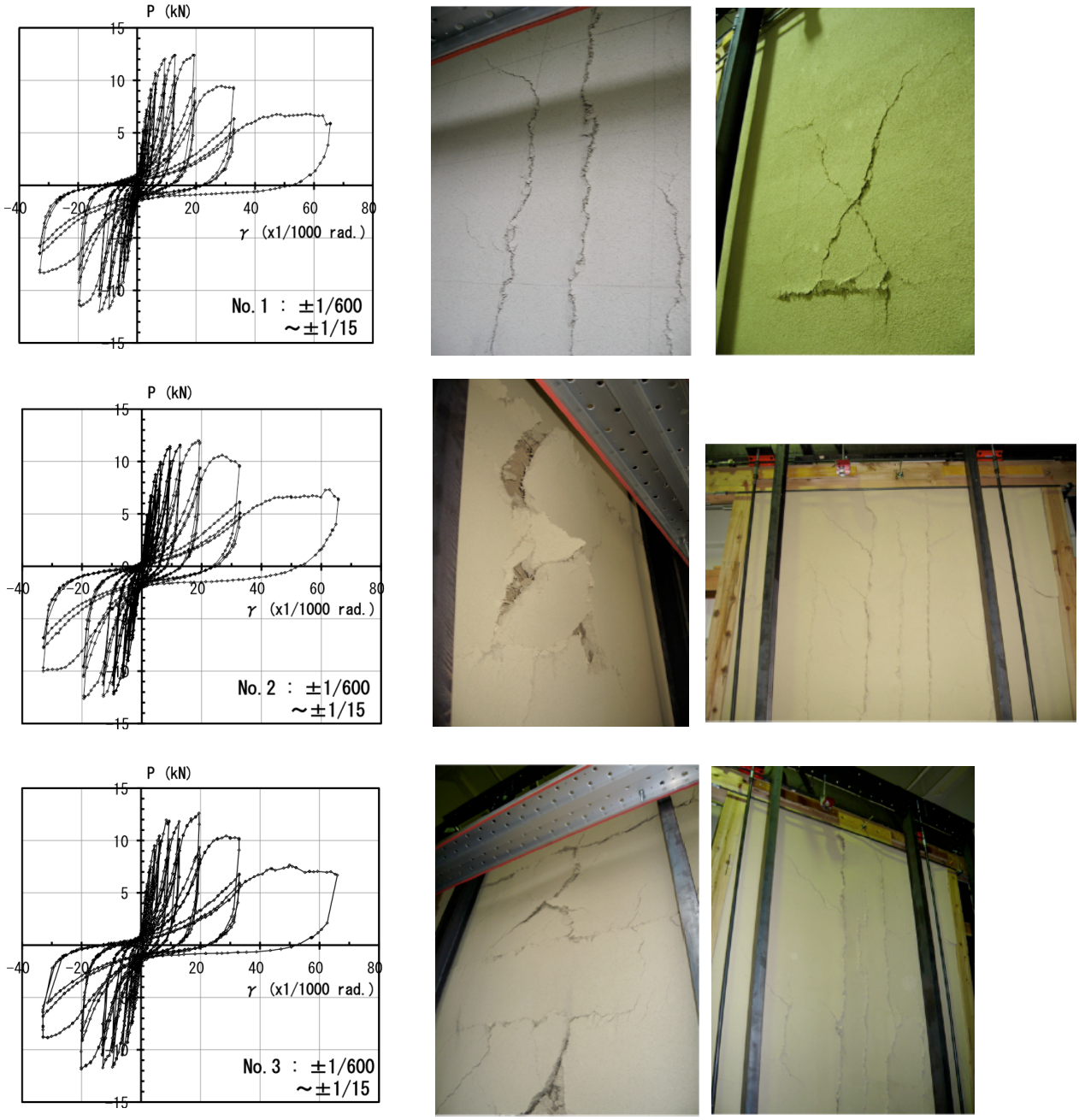


図 4.6　荷重−真のせん断変形角曲線

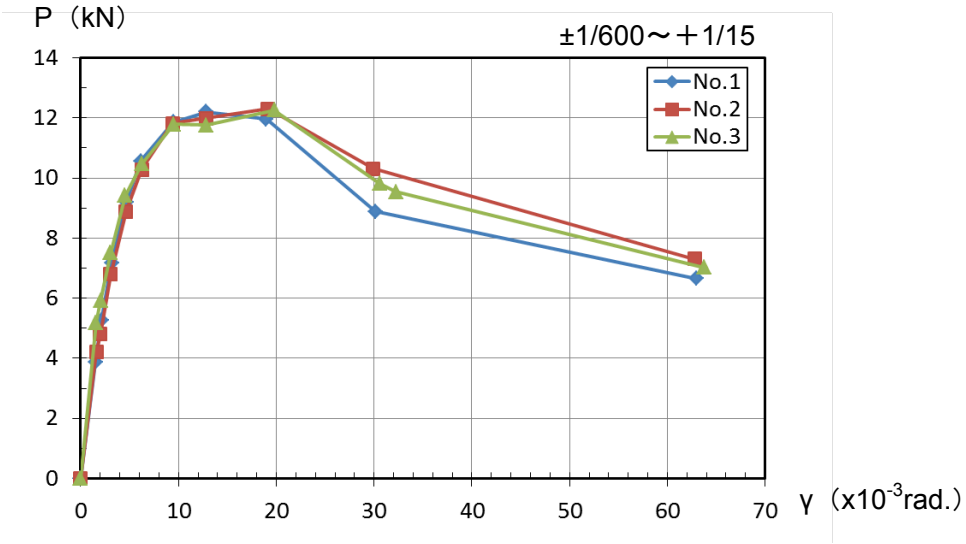


図 4.7　包絡曲線

4.11.3　短期基準せん断耐力と壁倍率

表 4.10 に土塗壁の特性値，短期基準せん断耐力 P_o，壁倍率 n をまとめて示す。

当該の土塗壁について，降伏耐力から求めた短期基準せん断耐力が最小値となる。また，耐力についてのばらつきは小さくばらつき係数は 0.98～0.99 となる。得られた壁倍率は 1.93 で，告示の壁倍率 1.5 とほぼ同等と考えられる。

表 4.10　土塗壁の力学特性，短期基準せん断耐力と壁倍率

No.	1	2	3	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	平均値×ばらつき係数
K（×10³kN）	2.25	2.24	2.52	2.34	0.129	0.055	0.974	2.28
P_{max}（kN）	12.41	12	12.62	12.34	0.255	0.021	0.99	12.22
P_u	11.42	10.88	10.38	10.89	0.422	0.039	0.982	10.69
δ_y（×10³kN）	2.87	2.93	2.88	2.9	0.027	0.009	0.996	2.88
δ_v（×10³kN）	5.06	4.85	4.11	4.68	0.407	0.087	0.959	4.48
δ_u（×10³kN）	30.08	31.68	32.94	31.56	1.173	0.037	0.983	31.01
μ	5.94	6.53	8.01	6.83	0.869	0.127	0.94	6.42
D_s	0.303	0.288	0.258	0.283	0.019	0.066	0.969	0.274
P_y（kN）	7.29	6.58	7.27	7.05	0.328	0.047	0.978	*6.89*
$0.2P_u/D_s$（kN）	7.53	7.56	8.05	7.71	0.236	0.031	0.986	*7.6*
$2/3P_{max}$（kN）	8.27	8	8.41	8.23	0.17	0.021	0.99	*8.15*
P_{150}（kN）	10.83	10.11	10.51	10.48	0.294	0.028	0.987	*10.35*
短期基準せん断耐力 P_0（$=P_a$）（kN）	7.29	6.58	7.27	7.049	0.3281	0.047	0.978	**6.89**
壁倍率：n	2.04	1.85	2.04	1.98	0.092	0.047	0.978	**1.93**

第 5 章　福井県の壁土の品質と圧縮強度

5.1　はじめに

本章では，荒壁用土の品質としては粘性を有することが特に必要であるので，その粒度分布を求め標準的な各地の壁土，例えば，荒木田土[1)]や京土[1)]と比較するとともに，荒壁土の配合状況と圧縮強度の関係を検討する。また，中塗り土の品質については，種々の配合の壁土の圧縮試験を行い，中塗り土の配合状況と圧縮強度の関係を検討し，強度（壁の圧縮強度），施工性（鏝離れ），乾燥収縮（壁亀裂と肌隙）の観点から最適な壁土調合（砂／土の重量比，すさ量）を見出すこととする。

5.2　荒壁土の品質と圧縮強度

5.2.1　調査とふるい分析

県内の 2 業者（鯖江瓦，大村ドロコン）の実態調査を行った。

各社とも，粘性度の高い土（ねばい土）と粘性度の低い土（さくい土）と稲わら（切りわら）を練り混ぜて製作している。ねばい土（土 A）として砂利採取時のシルト・粘土分あるいは田んぼ土（写真 5.1），さくい土（土 B）として瓦の粉砕した土あるいは山土（赤土）が用いられ，土 A と約 1/3 の土Ｂおよびその同容量のわらを配合し，水を加えて練り混ぜている（写真 5.2）。十分な寝かせ期間がとれる場合には同容量のわらを加えて 3 回程度の切返しを行うとのことである。

写真 5.1　砂利採取後の残土と瓦粉砕再生土

写真 5.2　練り混ぜ機と荒壁土（切返し後）

各業者から得た土 A，土 B を実験室内の電気乾燥器内（写真 5.3）にて絶乾状態にした後，土 A，土 B を 3：1 の比率で混合して 400cc の壁土（藁なし）2 試料を製作する。その重量は，A 社（砂利採取時のシルト・粘土分＋瓦の粉砕した再生土）402g，B 社（田んぼ土＋山土）396g となり，比重はいずれも 1.0 前後となる。

次に，各々400c の壁土を 0.075mm のふるい上にて洗浄（写真 5.4）。0.075mm より小さな粒径のシルトや粘土分は残留しないことになる。残土（粗粒分）を乾燥器にて一昼夜乾燥させ全乾状態にする。

この粗粒分について，ふるい分析を行い，0.075mm~2mm の各ふるいに留まる試料の質量を測定する。ふるいに留まる質量を全体の質量で割れば，各ふるいの残留率が求められ，それらを上から足していけば加積残留率が得られる。現状の壁土の通過質量配分率を表 5.1 に，又，ふるい網目で得られる粒径との関係（粒径加積曲線）を片対数図として図 5.1 に示す。

これらより，次の事柄が得られる。

1) 2 業者のシルト･粘土分の細粒分は，各々71.1,76.6%となり，粒度分布曲線に大きな違いはない。
2) 福井県の荒壁土は細粒分が多いことから，荒木田に近く，40%程度の京都産の土や香川県の土と大きく異なる[1)]。

写真 5.3　電気乾燥器

写真 5.4　0.075 ㎜ふるいでの洗浄

写真 5.5　ふるい分析

表 5.1　通過質量配分率

		A 社：402g/400cc			B 社：396g/400cc		
	粒径（㎜）	g	Σg	通過質量百分率（%）	g	Σg	通過質量百分率（%）
ふるい分析	0.075	286	286	71.1	308	308	76.6
	0.106	6	292	72.6	12	320	79.6
	0.250	14	306	76.1	24	344	85.6
	0.425	12	318	79.1	8	352	87.6
	0.850	24	342	85.1	6	358	89.1
	2	38	380	94.5	6	364	90.5
	4.75	20	400	99.5	10	374	93.0
	9.50	2	402	100.0	22	396	98.5

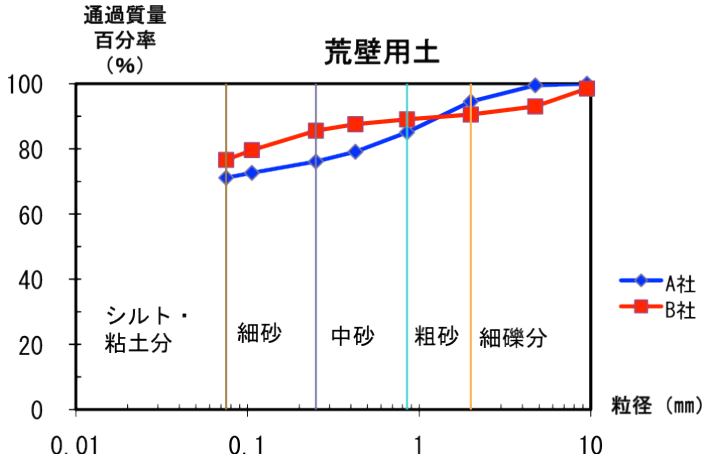


図 5.1　粒径分布曲線

5.2.2　荒壁土の配合

荒壁土は 2 種類の土（粘性の高い土と粘性の低い土）を配合することで得られているので，その品質と圧縮強度の関係を求め，適正な配合比（重量比あるいは容積比）を提案することを試みる。

鯖江瓦の土を使用することとし，田んぼ土（土 A），瓦を紛砕した再生土（土 B）を，容積比で，1：1，2：1，3：1 の配合比率で練り混ぜ、3 種類の壁土を計画する（表 5.2）。ここに，わら量は混合土に対し容積比で 1/3 とする。

寝かした荒壁土（市販されている壁土）についても合わせて圧縮試験を行うこととする。バット 4，5 は，各々第 3 章の土塗壁用の荒壁土材料 A の残土，　5 ヶ月寝かした住宅用荒壁土を打設したものである。特に、バット 5 は 4 回の練り切りを行い，その都度同量のわらを加えている.

試験体については，土 A と土 B をわらと共に練り混ぜて 24ℓの各壁土を作成し，型枠用合板で製作したバット（幅 200x 長さ 600x 深さ 70，剥離剤を塗布）に打設する（写真 5.6），十分乾燥（約 1 ヶ月）させた後，150×150 角の平板 6 体をコンクリートカッターで切り出す。

表 5.2　配合計画（24ℓ）

試験体 No.	土 A(ℓ)	土 B(ℓ)	わら（ℓ)	配合比率
1	12	12	8	1：1
2	16	8	8	2：1
3	18	6	8	3：1

写真 5.6　使用材料と練り混ぜ状況

5.2.3　変化率，圧縮強度結果と考察

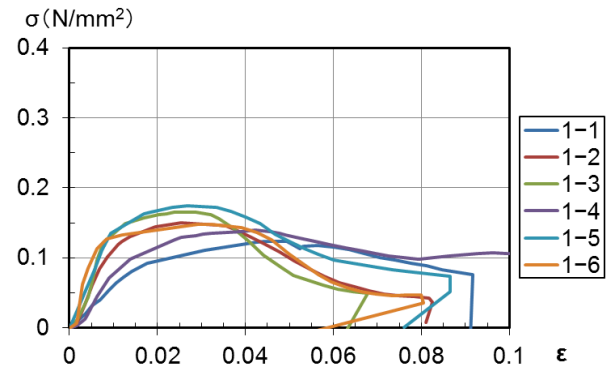
荷重は断面積当たりの応力に，鉛直変位は平均歪に変換し，応力度－歪度関係を求め，図 5.2 に示す。また，表 5.3 に形状寸法の変化率，最大圧縮応力度・平均歪を示す。ここに，変化率は縮み量をもとの長さで除して算出する。

No.1～3 の荒壁土の圧縮強度は 0.150～0.233N/mm^2 となり，0.3N/mm^2 とすることは配合比率を変えてもできないこと，福井県での現状の配合比 3：1 の調合で最大値を示すことが得られる。また，寝かした荒壁土は各々0.704，0.343N/mm^2 と大きくなるが，これは各々充填密度が大きくなり，土の凝集力が増したためと考えられる。

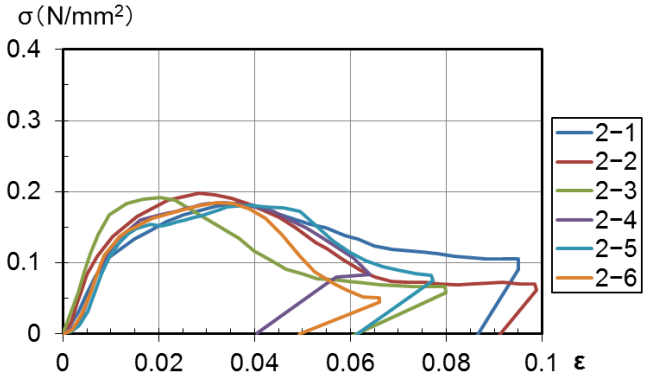
変化率については、土 A の配合比率が大きいほど長さと幅の変化率は大きくなる傾向にある。また，十分に水合わせ期間を取り，切返しを行った場合変化率は非常に小さくなること，十分に水合わせ期間を取った場合充填密度が大きくなるが，変化率には変化がないことが得られる。

表 5.3　圧縮試験結果

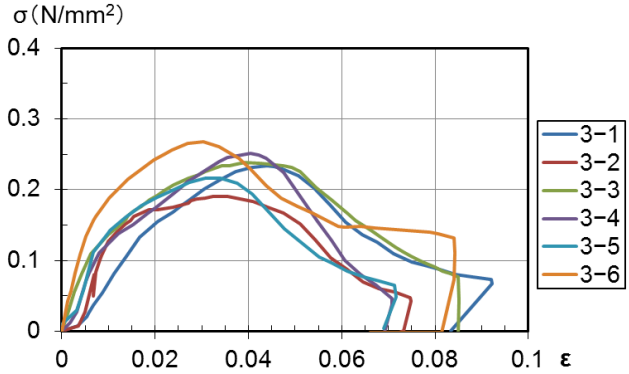
No.	変化率（%）			単位容積重量 (g/cm^3)	最大応力度（N/mm^2）		平均歪	備考
	長さ	幅	厚さ		範囲	平均値		
1	2.5	3.7	14.1	1.35	0.123～0.174	0.150	0.0327	配合比率 1：1
2	3.2	4.2	14.4	1.41	0.181～0.198	0.187	0.0315	配合比率 2：1
3	5.0	6.3	13.9	1.46	0.191～0.267	0.233	0.0364	配合比率 3：1
4	5.7	7.9	10.7	1.81	0.577～0.904	0.704	0.0282	水合わせ期間 8 ヶ月
5	0.8	0.7	6.4	1.38	0.306～0.376	0.342	0.0278	水合わせ期間 5 ヶ月



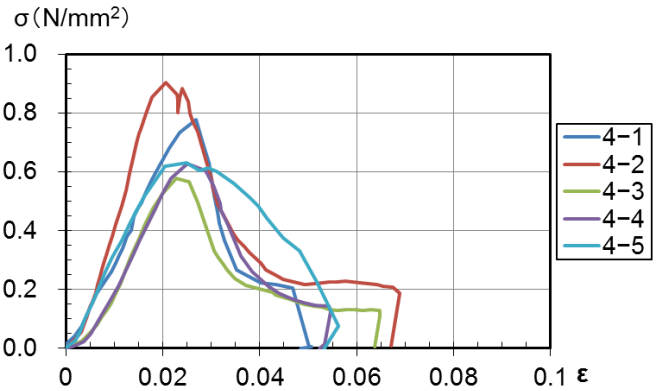
（a）No.1（配合比率 1：1）



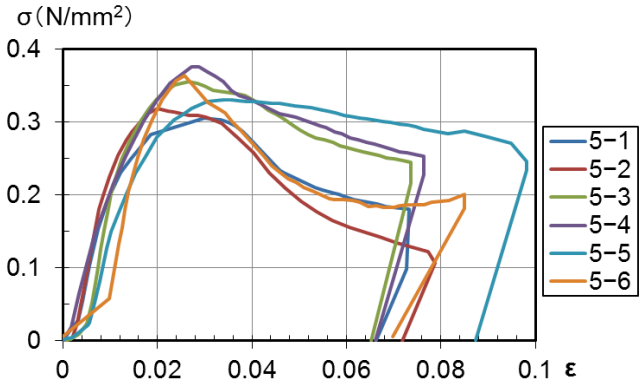
（b）No.2（配合比率 2：1）



（c）No.3（配合比率 3：1）



（d）No.4（第 3 章　材料 A の壁土）



（e）No.5（住宅用荒壁土）

図 5.2　応力度－歪度関係

5.3　中塗り土

5.3.1　試験体と試験概要

中塗り土は，土（卸土），田んぼ砂（粒径 2mm 以下），すさを混合させる。1/2 バット（幅 400/2×長さ 600×深さ 70，約 8.5ℓ）に中塗り土を打設し，乾燥させて作成する。それぞれの計画重量比を表 5.4，表 5.5 に示す。十分乾燥した後，角バットから 150 角の試験体 3 体を切り出す。

加力は，100t アムスラー型万能試験機（2t レンジ）で単調加力する。また，加力時には，荷重 P を試験機付属のロードセルにて測定する。

表 5.4　試験体（バット）一覧（重量比）

No.	土	砂	水	すさ
1（6）	1	2.4	0.8	0.03（0.06）
2（7）	1	2.0	0.67	0.03（0.06）
3（8）	1	1.7	0.57	0.03（0.06）
4（9）	1	1.4	0.47	0.03（0.06）
5（10）	1	1.0	0.33	0.03（0.06）

表 5.5　試験体（バット）一覧（10ℓ）

No.	土 kg	砂 kg	水 kg	すさ kg	単位容積重量（g/cm^3）
1	4.70	11.30	4.57	0.14	1.61
2	5.33	10.67	3.56	0.16	1.62
3	5.93	10.07	4.36	0.18	1.62
4	6.67	9.33	4.61	0.20	1.62
5	8.00	8.00	5.47	0.24	1.62
6	4.70	11.30	5.27	0.28	1.63
7	5.33	10.67	4.86	0.32	1.63
8	5.93	10.07	4.86	0.36	1.64
9	6.67	9.33	5.61	0.40	1.64
10	8.00	8.00	6.17	0.48	1.65

5.3.2　変化率，圧縮強度結果と考察

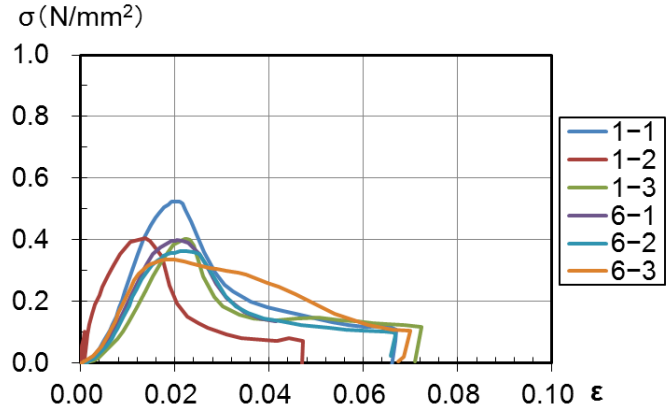
荷重は断面積当たりの応力に，鉛直変位は平均歪に変換し，応力度－歪度関係を求め，図 5.4 に示す。また，形状寸法の変化率，最大圧縮応力度・平均歪の結果を表 5.6 に，重量比との関係を図 5.5 に示す。ここに，変化率は縮み量をもとの長さで除して算出する。

得られた結果を次に示す。

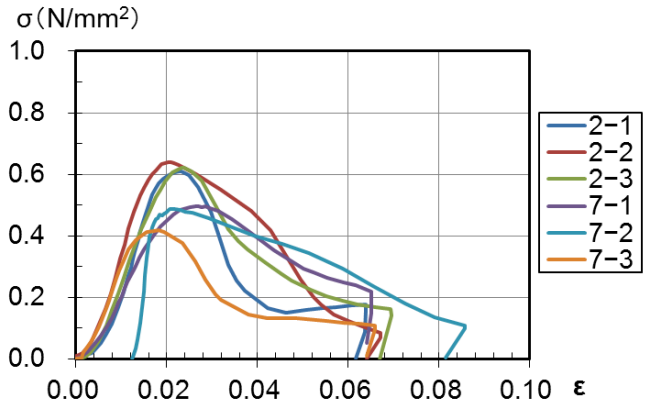
1）変化率について，砂/土の重量比が小さくなるにつれ，長さ，幅の変化率ともに大きくなる。厚さでの変化率は著しいものではない。一方，すさが倍になっても変化率の傾向は変わらない。

2）単位容積重量については，砂/土の重量比が変化しても単位容積重量にはあまり変化が見られず，影響はないと考えられる。また，すさ/土が倍になると単位容積重量は小さくなる傾向がある。

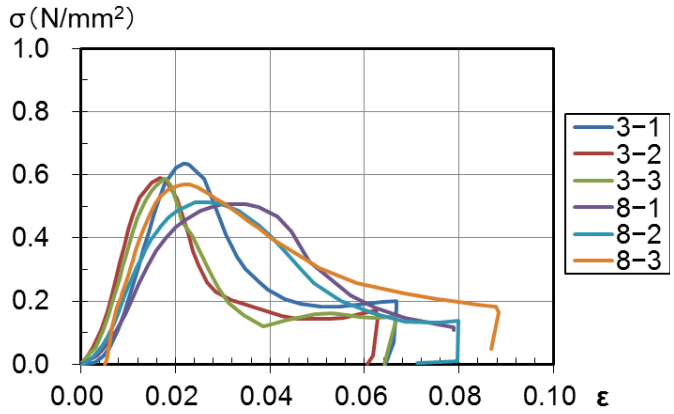
3）最大応力度と平均歪については，砂/土の重量比が 1.0～2.4 の範囲では，応力度は 0.444～0.826N/mm^2 になる。重量比が大きくなるにつれ応力度は小さくなる。歪はすさ/土の重量比関係なく 0.02 程度になる。



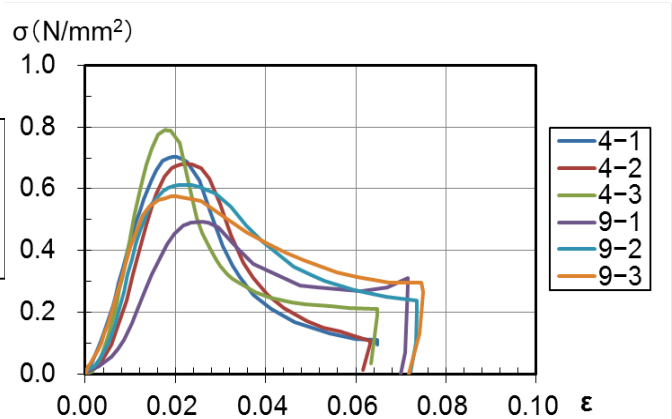
（a） No.1， 6



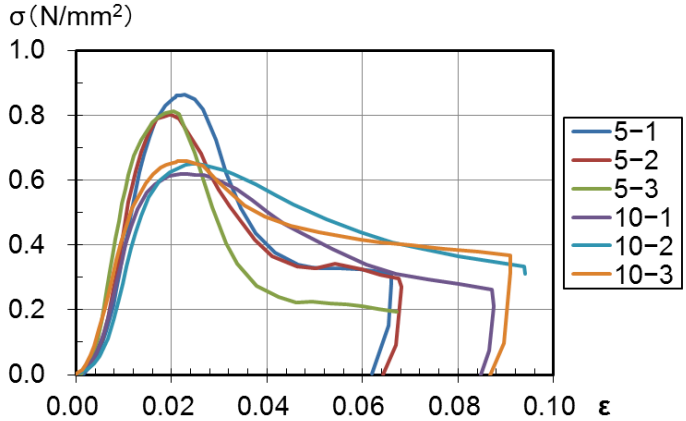
（b） No.2， 7



（c） No.3， 8



（d） No.4， 9



（e） No.5， 10

図 5.4　応力度－歪度関係

表 5.6　圧縮試験結果

No.	重量比		変化率（%）			単位容積重量	最大応力度（N/mm^2）		平均歪
	砂/土	すさ/土	長さ	幅	厚さ	(g/cm^3)	範囲	平均値	
1	2.4	0.03	2.67	4.63	7.38	1.690	0.404～0.523	0.444	0.0189
2	2.0	0.03	3.33	5.92	7.10	1.734	0.611～0.639	0.624	0.0223
3	1.7	0.03	3.50	6.25	8.39	1.710	0.587～0.635	0.603	0.0190
4	1.4	0.03	4.28	8.45	9.90	1.767	0.681～0.791	0.725	0.0199
5	1.0	0.03	5.38	9.74	10.29	1.777	0.802～0.863	0.826	0.0210
6	2.4	0.06	1.38	4.46	9.86	1.602	0.337～0.399	0.366	0.0208
7	2.0	0.06	2.45	5.50	9.10	1.610	0.418～0.495	0.467	0.0223
8	1.7	0.06	2.55	7.07	8.14	1.627	0.508～0.569	0.530	0.0273
9	1.4	0.06	3.28	7.45	9.90	1.593	0.494～0.612	0.560	0.0224
10	1.0	0.06	3.50	7.49	12.76	1.593	0.618～0.659	0.643	0.0239

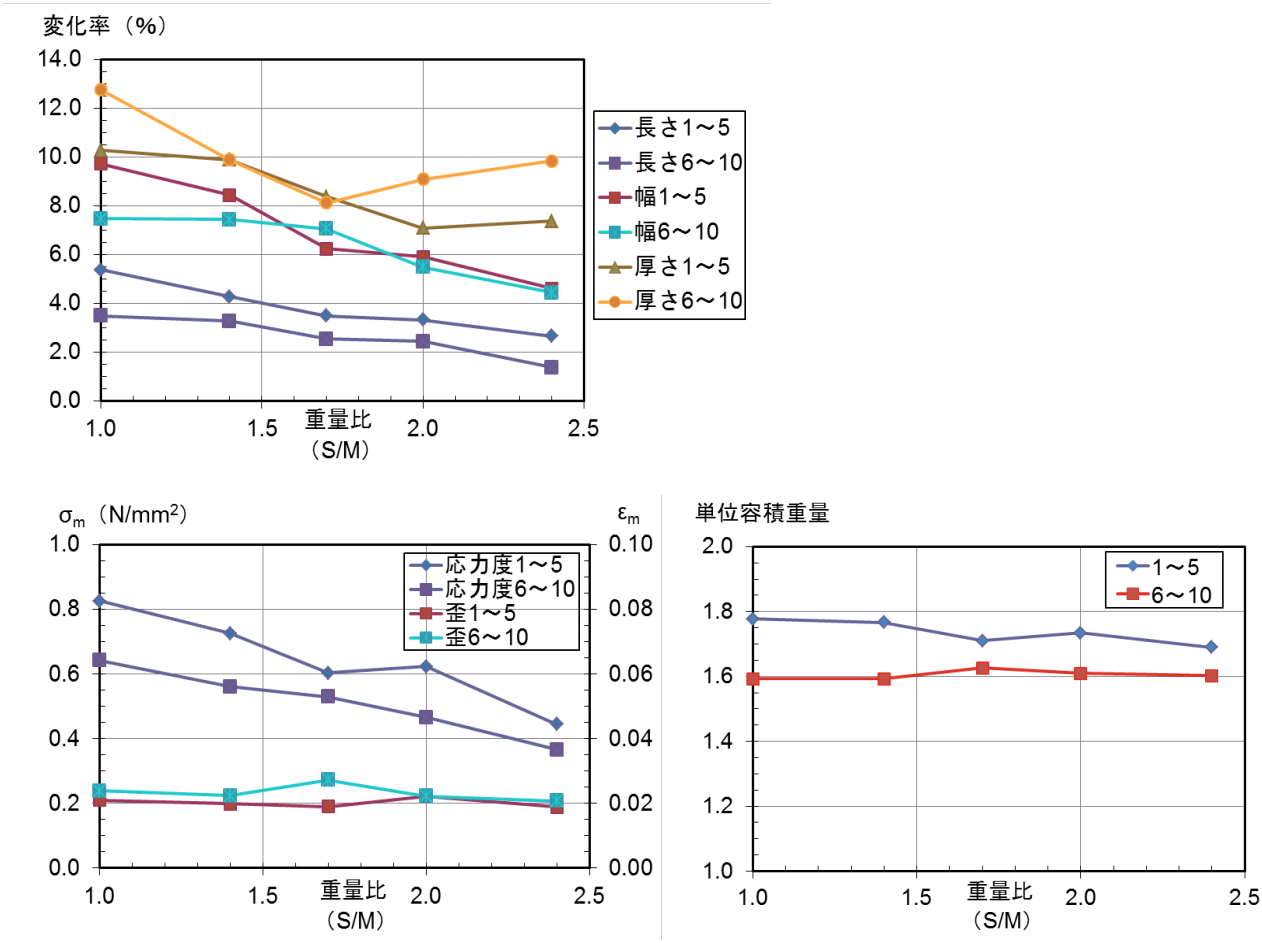


図 5.5　変化率，応力度，単位容積重量

第 6 章　各種土壁塗木造軸組の水平加力試験

6.1　はじめに

本章では，第 4 章の実物大土壁塗木造軸組の水平加力試験において提起された問題点等を解明するために，福井県の代表的な壁土を用いたウグイス構法と張り竹構法による土塗壁及び補修されたウグイス構法下地土塗壁の正負繰り返し水平加力試験を行い，その結果を述べる。

6.2　試験体の製作とその概要

試験体は 3 体（No.4～No.6）あり，各々，次の仕様である。

- No.4　軸組と壁下地（ウグイス構法）は第 4 章の試験体（No.2）を再利用，壁土は新規調合。
- No.5　軸組と壁下地は新規製作（壁下地はウグイス構法），壁土は新規調合。
- No.6　軸組と壁下地は新規製作（壁下地は張り竹構法），壁土は新規調合。

新規軸組には県産のスギ材を使用し，柱と土台は 120 角，貫は 15×120，梁は 120×180 とする。スギ材のヤング係数は等級 E70 以上，柱・梁仕口は長ほぞ差し込み栓打ちとする。

6.2.1　ウグイス構法の竹小舞下地

壁の竹小舞下地になる間渡し竹と小舞竹は割竹を使用する。間渡し竹は，幅 20～30mm，厚さ 5～10mm の孟宗竹で，小舞竹は幅 20～24mm，厚さ 5～10mm の真竹である。間渡し竹と小舞竹を編む縄には，わら縄（径：3mm）を用い，ウグイス（竹釘）は，長さ 150mm のものを使用する。

間渡し竹の間隔は 1 尺（約 300mm）で，1 本目は柱より 100mm 以内とする。小舞の間隔は 1.5 寸（約 45mm）で，間渡し竹と小舞竹の編み方は，千鳥掛けで編んでいく。ウグイス（竹釘）は，金槌で 20～30mm 程度打ちこむ（写真 6.1）。縦貫と横貫の交点には釘を 5 本打ち込み緊結する。また，縦貫のみ偏平加工を施し，加工後に切り込みを入れる。ただし，No.4 試験体については，縦貫にわら縄は巻き付けていないが，No.5，6 については，わら縄が巻き付けてある（写真 6.2）。間渡し竹と貫の緊結は釘 2 本で留める。

写真 6.1　ウグイス構法の竹小舞下地

写真 6.2　縦貫と竹小舞

6.2.2　張り竹構法の竹小舞下地

柱及び横架材には，間渡し竹を差し込むためのφ16 ㎜の欠き込みを設ける（写真 6.3）。間渡し竹や小舞竹については，ウグイス構法と同じ割り竹のものを使用，間隔についても同じ間隔である。

張り竹の取付け方は，一人が張り竹をもって，もう一人が張り竹の長さを調整し，1 本づつ欠き込みに収める方法である（写真 6.4）。

小舞竹の編み方は，初めに縦小舞竹を取付け，横一列に間渡し竹と共に編む。その時，横貫の上の横間渡し竹から編む。次に真中縦一列に横小舞竹を上から編む。その次に，縦貫を上から巻いていく。最後に間渡し竹と貫とが交差する箇所に釘打ちを行う（写真 6.5，6.6）。

写真 6.3　欠き込み作業写真

写真 6.4　張り竹の取付け

写真 6.5　張り竹構法の竹小舞下地

写真 6.6　張り竹の差し込み状況

6.3　荒壁土と中塗り土の圧縮強度

荒壁土の調合は田んぼ土/再生土が 3：1 の配合で 5 ヶ月寝かしたもので，中塗り土はすさ/土の重量比を 0.04，砂/土の重量比を 1.9 とする。荒壁土，中塗り土をバット状の型枠に打設後，28℃の室温で約 1 ヶ月乾燥させ，150 角，厚さ 70 ㎜の形状にコンクリートカッターで切り出す。

荷重は断面積当たりの応力に，鉛直変位は平均歪に変換し，応力度－歪度関係を求める（図 6.1）。表 6.3 に最大圧縮応力度・平均歪を，写真 6.7 に圧縮試験状況を示す。

荒壁土の圧縮強度は 0.221N/mm^2 で，告示の最大圧縮強度を満足しない，一方，中塗り土の圧縮強は 0.601 N/mm^2 で，告示に示されている最大圧縮強度を満足する。

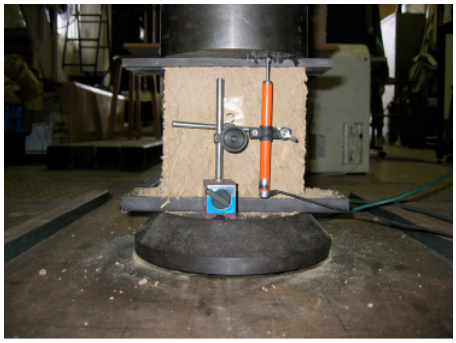
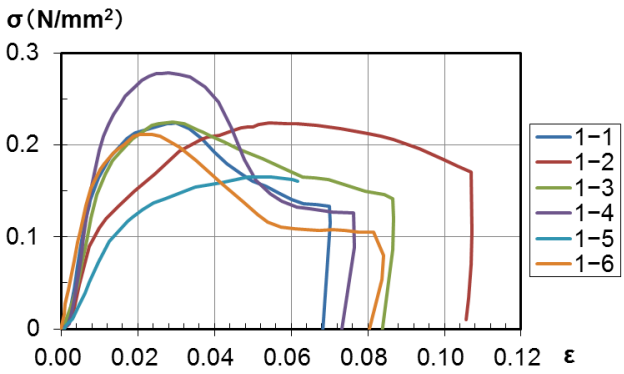


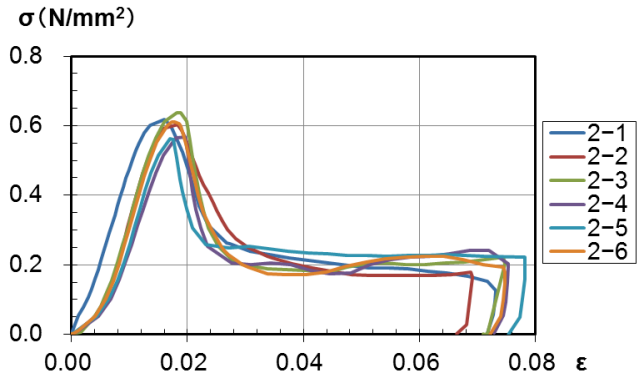
写真 6.7　圧縮試験

表 6.3　荒壁土・中塗り土の圧縮強度結果

試験体	変化率（%）			単位容積重量（g/cm^3）	最大応力度（N/mm^2）		平均歪
	長さ	幅	厚さ		範囲	平均値	
荒壁土	1.8	2.5	3.3	1.24	0.165～0.278	0.221	0.0367
中塗り土	3.8	4.8	7.1	1.71	0.564～0.638	0.601	0.0178



（a）　荒壁土



（b）　中塗り土

図 6.1　応力度－歪度関係

6.4　構造材（スギ材）の含水率と曲げヤング係数

構造材（写真 6.6）の物性（含水率，ヤング係数）を調べるために，各スギ材（仕上げ材）の重量，寸法（材長・幅・成），密度を測定する。

含水率の測定は各部材（梁材，土台，柱材）ごとに行い，角材の 1 面，3 ヶ所を測定し，その平均値を採用する。測定は携帯型高周波木材分水計で行う。写真 6.7 に測定状況を示す。

ヤング係数は縦振動法により測定する。写真 6.8 に縦振動法による計測状況を示す。得られた測定結果を表 6.1 と表 6.2 に示す。

写真 6.6　木造軸組

写真 6.7　含水率測定

写真 6.8　縦振動法による計測

表 6.1　縦ヤング係数の計測結果　（平成 22 年度:No.4）

部材名	重量 (kg)	中央幅 (mm)	成 (mm)	材長 (mm)	材積 (m^3)	密度 (kg/m^3)	f (Hz)	縦振動 (kN/mm^2)	E	含水率 (%)	備考
柱 (土台)	18.1	120.04	120.08	316.6	0.046	393	730	8.40	90	10	*
	18.5	120.10	120.21	315.5	0.046	402	720	8.30	90	11	*
	17.6	120.01	120.13	312.7	0.045	391	690	7.28	70	11	
	19.2	120.10	120.23	322.7	0.047	408	635	6.85	70	13	
	18.8	119.99	120.15	317.9	0.046	409	540	4.82	50	12	
	17.4	119.97	120.18	315.6	0.046	377	690	7.15	70	10	
	19.2	120.12	120.25	313.7	0.045	427	660	7.32	70	11	
	18.0	120.05	120.11	317.5	0.046	391	655	6.76	70	11	
	18.9	119.63	120.08	317.0	0.046	412	650	7.00	70	12	
	17.2	119.68	120.03	316.0	0.045	381	665	6.73	70	12	
	18.8	119.78	120.18	318.2	0.046	409	715	8.47	90	10	*
	15.3	120.11	120.08	317.1	0.046	333	675	6.10	70	10	
梁	34.0	119.56	179.62	409.1	0.088	386	515	6.85	70	13	
	35.7	119.87	180.01	413.8	0.089	401	460	5.81	50	12	
	39.2	119.85	179.68	409.5	0.088	445	550	9.03	90	15	*

注）＊印は使用スギ材

表 6.2　縦ヤング係数の計測結果　（平成 23 年度:No.5.6）

部材名	重量 (kg)	中央幅 (mm)	成 (mm)	材長 (mm)	材積 (m^3)	密度 (kg/m^3)	f (Hz)	縦振動 (kN/mm^2)	E	含水率 (%)	備考
柱（土台）	24.0	136.03	137.23	317.1	0.059	406	680	7.55	70	13	*
	23.8	137.02	139.06	311.3	0.059	403	750	8.79	90	15	
	37.1	138.82	140.11	310.1	0.060	618	535	6.80	70	26	
	34.6	140.25	141.16	322.9	0.064	541	595	7.99	90	25	
	28.1	139.17	138.75	311.2	0.060	468	640	7.43	70	17	*
	24.8	137.40	137.62	317.4	0.060	414	715	8.53	90	13	
	40.8	138.21	138.96	322.0	0.062	658	580	9.18	90	27	
	24.9	137.26	136.83	306.7	0.058	429	625	6.31	70	12	*
	30.3	138.27	138.07	311.6	0.059	514	655	8.56	90	15	
	26.9	137.32	138.42	316.4	0.060	448	670	8.05	90	19	
	20.3	135.92	136.61	296.4	0.055	370	620	5.00	50	15	
	19.3	138.14	137.65	297.1	0.056	344	735	6.56	70	11	*
	22.3	136.18	138.05	309.8	0.058	385	625	5.77	50	13	
	23.9	138.18	136.84	299.5	0.057	419	520	4.07	50	24	
	35.1	139.43	138.71	334.0	0.065	540	665	10.66	110	26	
	31.8	139.28	138.92	306.0	0.059	540	635	8.16	90	27	
	24.9	136.46	135.81	327.6	0.061	408	625	6.84	70	20	*
	23.7	136.38	136.45	332.0	0.062	382	660	7.34	70	18	*
梁	40.8	142.17	201.28	310.6	0.089	458	710	8.91	90	20	
	43.0	147.98	200.65	307.5	0.091	473	700	8.77	90	21	
	39.1	138.77	196.85	323.3	0.088	444	690	8.84	90	13	
	38.3	137.60	198.62	339.4	0.093	412	635	7.65	70	13	*
	34.1	142.37	200.57	318.1	0.091	374	710	7.63	70	13	*

注）＊印は使用スギ材

6.5 試験体の計測

6.5.1　木造軸組

表 6.4 に木造軸組の各部寸法の計測寸法を示す。木造軸組は 3 体ともに技術解説書[1)] の仕様を満足する値になる。縦貫の形状はかまぼこ型である。再使用試験体の No.4 に比べて新規試験体の No.5・No.6 では縦貫の巾を 120mm とした。試験体 3 体とも縦貫にキザミが入っている。

表 6.4　木造軸組の各部寸法（mm）

				試験体 4	試験体 5	試験体 6
軸組	軒高		平均	2909	2908	2909
	柱内法		平均	1700	1700	1699
	横軒上面		上	2134	2138	2139
			中	1224	1229	1228
			下	323	319	318
	縦貫内法		南（下）	800	790	790
	貫間（南）		梁貫	474	471	470
			貫貫	793	790	790
			貫貫	785	790	792
			貫土台	198	199	199
梁	梁（南）		成	179	180	180
			幅	120	120	119
柱	南柱（上）		成	120	120	120
			幅	120	120	120
	北柱（上）		成	120	120	120
			幅	120	120	120
貫	横貫（南）	上	成	117	121	120
			幅	15	15	15
		中	成	117	121	118
			幅	15	15	15
		下	成	125	121	121
			幅	16	15	15
	縦貫（南）		幅	102	120	121
土台	柱（南）		成	120	119	120
			幅	120	119	120
楔	上（南）		成	15	14	15
			幅	18	18	19
	中（南）		成	17	15	15
			幅	18	19	18
	下（南）		成	17	14	15
			幅	18	19	19
込み栓	上（南）		幅	18	18	18
			成	18	18	18
	下（南）		幅	18	18	18
			成	18	18	18

6.5.2　小舞下地

小舞竹の間隔は 45mm 以内に 1 本配置する。表 6.5 に小舞竹の本数を示す。小舞竹は梁及び土台，貫と間渡し竹の間にはほとんどが 1 本だけである。間渡し竹との間は，ほぼ 6 本である。間渡し竹の間隔は 300mm なので，すべての小舞竹が仕様を満足している。

表 6.5　小舞竹の本数

試験体		No.4	No.5	No.6
縦小舞竹	梁ー間渡し竹	1 本	1 本	1 本
	間渡し竹ー間渡し竹	5 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー頭貫	1 本	1 本	1 本
	頭貫ー間渡し竹	1 本	1 本	1 本
	間渡し竹ー間渡し竹	6 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー間渡し竹	6 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー中貫	1 本	1 本	1 本
	中貫ー間渡し竹	1 本	1 本	1 本
	間渡し竹ー間渡し竹	7 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー間渡し竹	6 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー地貫	1 本	1 本	1 本
	地貫ー間渡し竹	2 本	1 本	1 本
	間渡し竹ー土台	1 本	1 本	1 本
横小舞竹	柱ー間渡し竹	1 本	1 本	1 本
	間渡し竹ー間渡し竹	6 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー間渡し竹	6 本	6 本	6 本
	間渡し竹ー縦貫	1 本	1 本	1 本

6.5.3　荒壁厚と土塗壁

荒壁厚は塗り厚 40mm で施工する。荒壁厚の計測結果を表 6.6 に示す。実際の塗り厚は，縦貫位置で平均 48～53mm，小舞竹部分では平均 46～48mm，間渡し竹部分では 47～49mm である。第 4 章の（No.2 試験体）と比べるといずれも 10mm ほど厚めである。

次に，中塗り乾燥後に土塗壁（両面塗り）の総壁厚を計測する。表 6.7 に土塗壁厚の計測結果を示す。No.4 と No.5 は第 4 章の No.2 とほぼ同じ厚さである。No.6 は他の試験体と比べて，5mm ほど厚めである。

表 6.6　荒壁厚（mm）

試験体	No.4		No.5		No.6	
部位	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
縦貫位置	47-48	48	51-52	51	53-54	53
小舞竹	43-50	46	44-48	46	44-54	48
間渡し竹	45-49	47	45-50	47	45-54	49

表 6.7　土塗壁厚（mm）

試験体	No.4		No.5		No.6	
部位	範囲	平均	範囲	平均	範囲	平均
縦貫位置	66-67	67	65-69	67	73-75	73
小舞竹	66-69	67	65-70	67	68-76	72
間渡し竹	66-69	67	64-69	67	68-78	72

本試験では軸組の芯と土塗壁芯との差異（芯ずれ）について検討する。表 6.8 に土塗壁の芯ずれの計測結果を示す。

荒壁施工後の No.6 の中貫位置の中央で軸組の芯から 9.5mm 表面にずれている。また，地貫位置でも 17mm 膨らんでいる。一方，No.4 と No.5 では，ほぼ一様に 5.5～8.5mm 表面にずれている。

次に，中塗り施工後の土塗壁の芯ずれについても表 6.9 に示す。中塗り施工後の No.6 の中貫位置の中央で 9mm 表面にずれている。また，地貫位置でも中央で 15.5mm 表面にずれている。よって，張り竹の場合（荒壁）下地自体が表面に元々ずれていたためと考えられる。

No.4 と No.5 も荒壁施工時と同じく，ほぼ同じくらい一様に表面にずれている。よって，ウグイス構法は荒壁の段階の芯ずれで表面にずれたと考えられる。

表 6.8　荒壁の芯ずれ（mm）

部位		x(mm)	No.4	No.5	No.6
中貫位置（北～南）	1	750	7	5.5	2.5
	2	600	4.5	4	5
	3	450	4.5	4.5	8
	4	300	3.5	4.5	8
	5	150	4	3.5	9.5
	6	0	4.5	4.5	9.5
	7	-150	4	4	9.25
	8	-300	3.5	3.5	9.5
	9	-450	3	4	7.75
	10	-600	3	3.5	4.75
	11	-750	3.5	3.5	3.5
地貫位置（北～南）	1	750	7.5	6.5	4.5
	2	600	7	5	7.5
	3	450	7	5.5	12.5
	4	300	7	5.5	15
	5	150	8	4.5	16
	6	0	8	6	17
	7	-150	7.5	6.5	16
	8	-300	8.5	6	16
	9	-450	8.5	5.5	12.8
	10	-600	7	4.5	10.5
	11	-750	7.5	4.5	6.5

※）黄色が間渡し位置，青色が縦貫の位置での計測

表 6.9　中塗り壁の芯ずれ（mm）

部位		x(mm)	No.4	No.5	No.6
中貫位置（北～南）	1	750	5	3.5	5.5
	2	600	4	3	6
	3	450	4	3	7.5
	4	300	4.5	2.5	9
	5	150	4	3	9
	6	0	4	2.5	8.5
	7	-150	3.5	3	8.5
	8	-300	4.5	3	7.5
	9	-450	5	4.5	6.5
	10	-600	4.5	4.5	4
	11	-750	4.5	4.5	3.5
地貫位置（北～南）	1	750	6.5	5	5
	2	600	7.5	4.5	7.5
	3	450	8	6.5	12.5
	4	300	8.5	7.5	15
	5	150	8	7	15
	6	0	6.5	6.5	15.5
	7	-150	6.5	6.5	14.5
	8	-300	6.5	6.5	13.5
	9	-450	6.5	6.5	12.5
	10	-600	6	6	9
	11	-750	5	7	5

※）黄色が間渡し位置，青色が縦貫の位置での計測

6.6　試験方法

試験装置の概要を図 6.2 に示す。試験は，標準的な試験方法に準拠してタイロッド式（部材の外側から桁−土台間隔の広がりを拘束することで試験構面の枠組先行破壊防止を行う方法）で行う。

加力方法は正負交番繰返し加力とする。繰返し履歴は，見掛けのせん断変形角が 1/600，1/450，1/300，1/200，1/150，1/100，1/75，1/50，1/30rad. の正負変形時において，各 3 回の繰返し加力とする（図 6.3）。その後，一方向加力を行うが，最大荷重に達した後に，復元力が最大荷重の 80%の荷重に低下するまで加力するか，あるいは試験体の変形角が 1/15rad. 以上に達するまで行う。

加力は手動型油圧ポンプ（理研：P-7C）を油圧ジャッキ（理研：D2-200，ストローク 200mm，最大加力 200kN）　に接続し行う。

荷重の計測はロードセル（㈱東京測器：TCLP-30KNB）を，変位の計測は変位計を用いる。ロードセル及び変位計は，デジタルひずみ測定器（㈱東京測器）に接続し，デジタルひずみ測定器とパソコン（Mac mini）を，イサーネットケーブルを用いて接続する。

荷重及び各部の変位データの取り込みには，パソコンにインストールしている静的計測ソフトウェア（東京測器：TOS-7810X）を使用する。

変位測定は，図 6.2，写真 6.10 のように，巻込型変位計（㈱東京測器：DP-500E）で梁材の水平方向変位 δ_1（δ_2）を，DG 型変位計（㈱東京測器：DDP-30A）で土台の水平方向変位 δ_3（δ_4）を，DG 型変位計（㈱東京測器：DDP-50A）で各柱の脚部の鉛直方向変位 δ_5（δ_6）及び δ_7（δ_8）を測定する。測定は，柱，梁，土台とも軸芯で行う。

また，各繰返し正側の変形角時の壁中央の面外たわみおよび壁の表面の間渡し位置での梁・土台・柱と土壁とのずれも記録する。

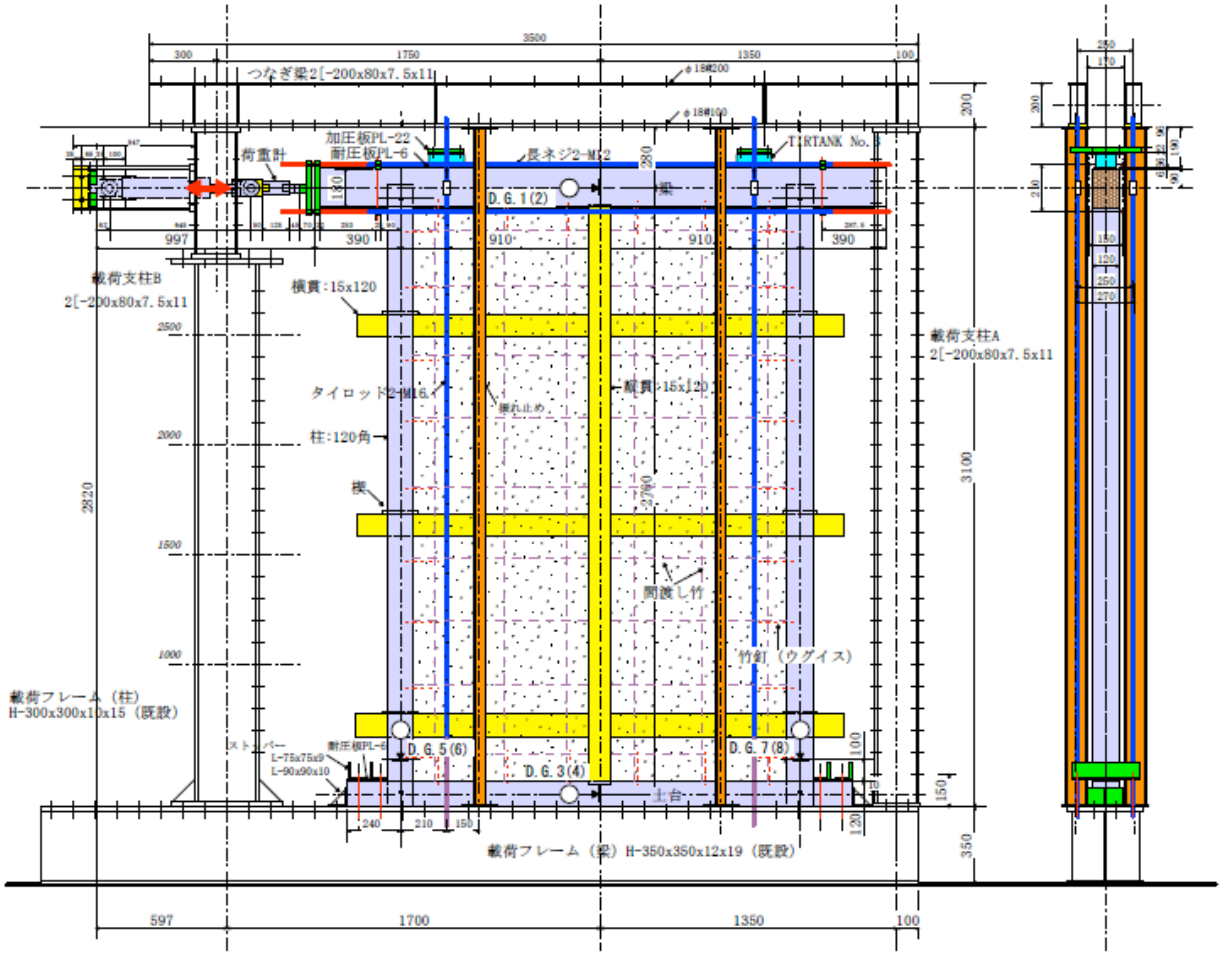


図 6.2　土塗壁試験体と試験装置概要

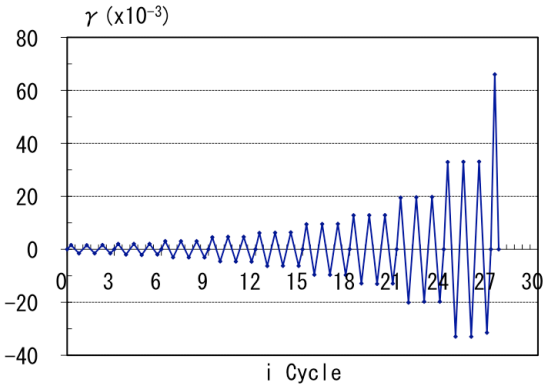


図 6.3　加力履歴

写真 6.10　変位計の設置状況

6.7　実験結果とその考察

6.7.1　変形性状と破壊状況

福井県のウグイスを用いた竹小舞下地の土塗壁と張り竹を用いた竹小舞下地の土塗壁の変形挙動を，各サイクル毎に纏めて以下に示す。

<u>No. 4 試験体</u>

・1/600～1/200：壁の隅角部で最大 2mm 程度の浮き上がりがみられる（写真 6.11 a)。

・1/150：裏面の北側下隅角部で圧壊（写真 6.11 b)。壁の隅角部で最大 3mm 程度浮き上がる。

・1/100：壁の隅角部で最大 5mm 程度の浮き上がりが，表面と裏面ともに微細のひび割れが縦間渡し竹の位置に生じる（写真 6.11 c,d)。

・1/75　：表面は壁中央部の間渡し竹位置で，縦にひび割れが起こっており,ひび割れが盛り上がっている（写真 6-11.e)。裏面は貫と貫の間で斜めにひび割れが生じている（写真 6.11 f)。裏面の南側の地貫の上に亀裂が生じる（写真 6.11 g)。

・1/50　：表面の縦間渡し竹位置に沿って 1 本の縦ひび割れが繋がる（写真 6.11 h)。また，表面のひび割れが盛り上がっているのが進展する（写真 6.11 i)。裏面は貫と貫の間で X 型にひび割れが生じる。両面とも貫の上下にひび割れが進展（写真 6.11 j)。

・1/30　：表面の縦間渡し竹位置に沿ってもう 1 本の縦ひび割れが繋がる（写真 6.11 k)。亀裂の盛り上がり，浮き上がりが著しくなる（写真 6.11 l)。裏面の貫の上下のひび割れがさらに進展（写真 6.11 m)。裏面で剥離した部分がある。

・1/15　：表面の縦間渡し位置に沿って更に 2 本の縦ひび割れが繋がる（写真 6.11 n)。裏面のひび割れが著しくなり，剥離部分が増える（写真 6.11 o)。

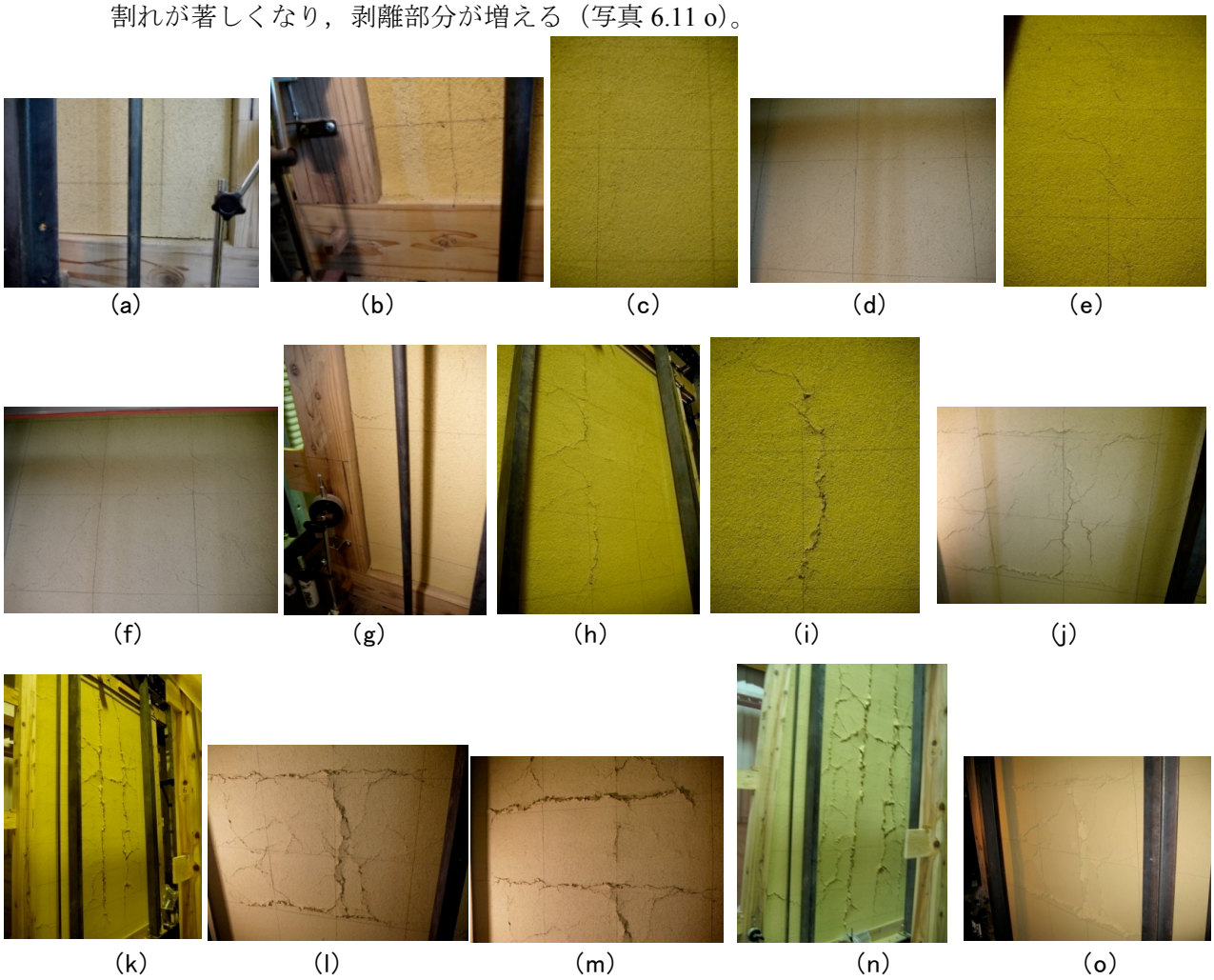


写真 6.11　No.4 の試験経過

No. 5 試験体

・1/600～1/200：壁の隅角部で最大 2mm 程度の浮き上がりみられる。表面に微細な亀裂が生じる（写真 6.12 a）

・1/150：壁の隅角部で最大 3mm 程度の浮き上がりがみられる（写真 6.12 b）。

・1/100：壁の隅角部で最大 5mm 程度浮き上がり，両面に細かいひび割れが発生（写真 6.12 c,d）。

・1/75 ：地貫の上のひび割れが進展（写真 6.12 e）。表面の南隅角部が圧壊（写真 6.12 f），間渡し竹の位置に沿って亀裂が発生（写真 6.12 g）。裏面に細かいひび割れが発生（写真 6.12 h）。

・1/50 ：表面の縦貫の左右のひび割れが進展（写真 6.12 i）。裏面の地貫の上のひび割れと斜めに入っていたひび割れが進展する（写真 6.12 j）。

・1/30 ：表面の縦間渡し竹位置に沿って 2 本の縦ひび割れが生じる（写真 6.12 k）。裏面の開口部が広がり盛り上がりが生じる。裏面の地貫の上でひび割れが進展（写真 6.12 l）。75kN で裏面から一部剥離落下（写真 6.12 m）。

・1/15 ：100kN でも剥離落下あり（写真 6.12 n）。表面の縦間渡し竹位置のひび割れが著しくなり，盛り上がる（写真 6.12 o）。

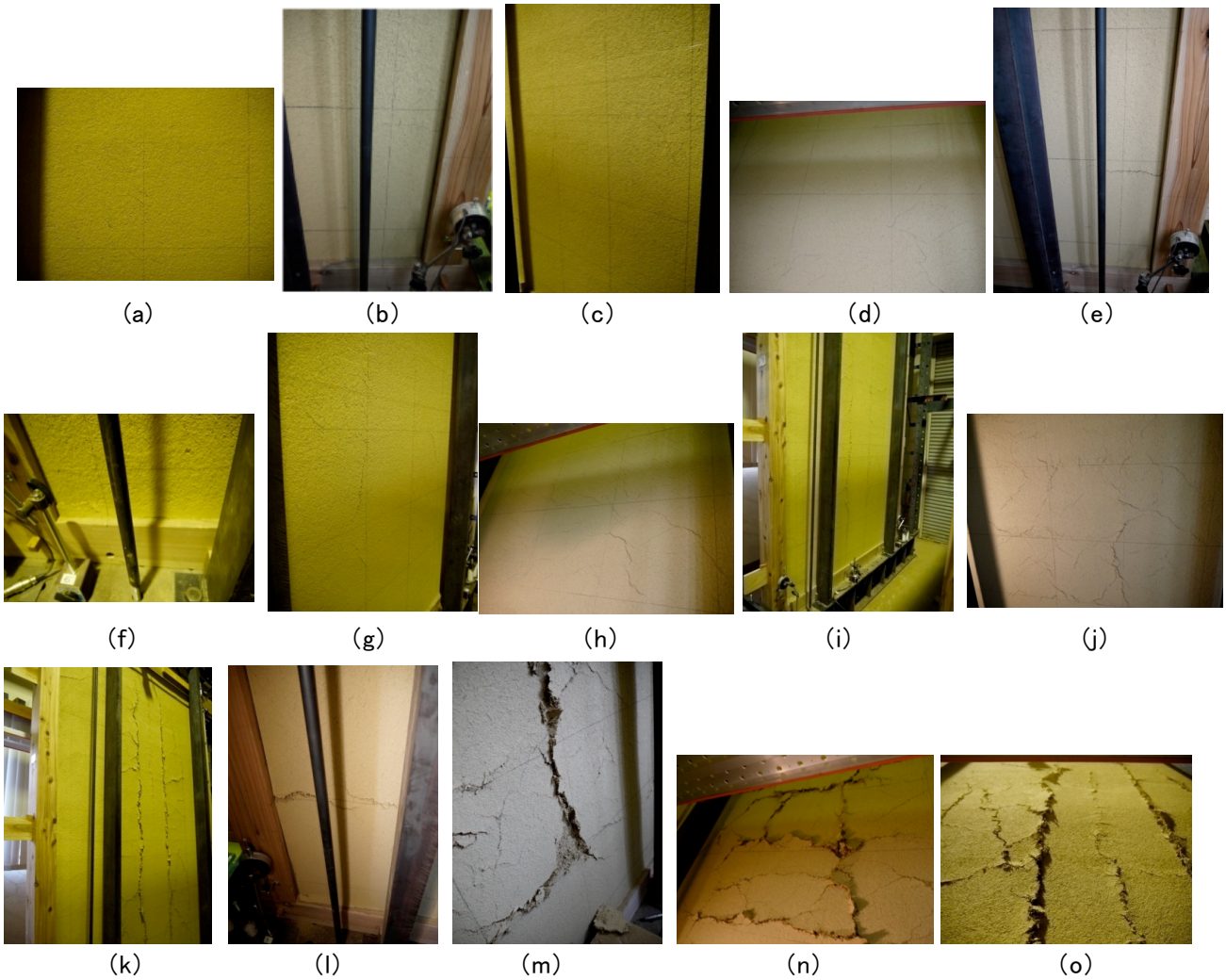


写真 6.12　No.5 の試験経過

No. 6 試験体

・1/600~1/150：南側壁の隅角部で最大 3mm 程度の浮き上が，裏面の中央部に斜めの亀裂が生じる（写真 6.13 a）。

・1/100：表面の隅角部近くの縦間渡し竹位置で縦ひび割れが発生（写真 6.13 b）。表面と裏面の隅角部で圧壊が生じる（写真 6.13 c）。裏面のひび割れ進展（写真 6.13 d），大きな開口になりつつある。風上側壁の隅角部で最大 4.5mm 程度の浮き上が生じる。

・1/75 ：裏面の頭貫の下ひび割れが発生。裏面の地貫の上の亀裂進展（写真 6.13 e）。裏面の貫と貫の間の斜めのひび割れ進展（写真 6.13 f）。風上側壁の隅角部で最大 5.5mm 程度の浮き上が生じる。

・1/50 ：風上側壁の隅角部で最大 8.5mm 程度の浮き上が，表面中央の間渡し位置の 2 本の縦ひび割れに浮き上がりが生じる（写真 6.13 g）。また，縦貫の上にもひび割れが発生（写真 6.13 h）。裏面の頭貫と中貫の真ん中の間渡し位置での横ひび割れが進展し，開口になりつつある（写真 3-3.i）。裏面の頭貫の上下にひび割れ発生。

・1/30 ：裏面の間渡し竹位置の縦ひび割れがさらに 2 本繋がる（写真 6.13 j）。裏面のひび割れが進展し，一部落下あり（写真 6.13 k）。

・1/15 ：変位が 148mm で音が，178mm でも鳴った。裏面の縦間渡し竹位置の縦ひび割れは 4 本同じくらいのひび割れになる（6.13 l）。裏面の貫と貫の間の横間渡し竹位置の開口が進展（写真 6.13 m）。裏面のひび割れの長さが長い（写真 6.13 n）。壁の上隅角部の隙間は反対側が見えるくらい，広くなる（写真 6.13 o）。

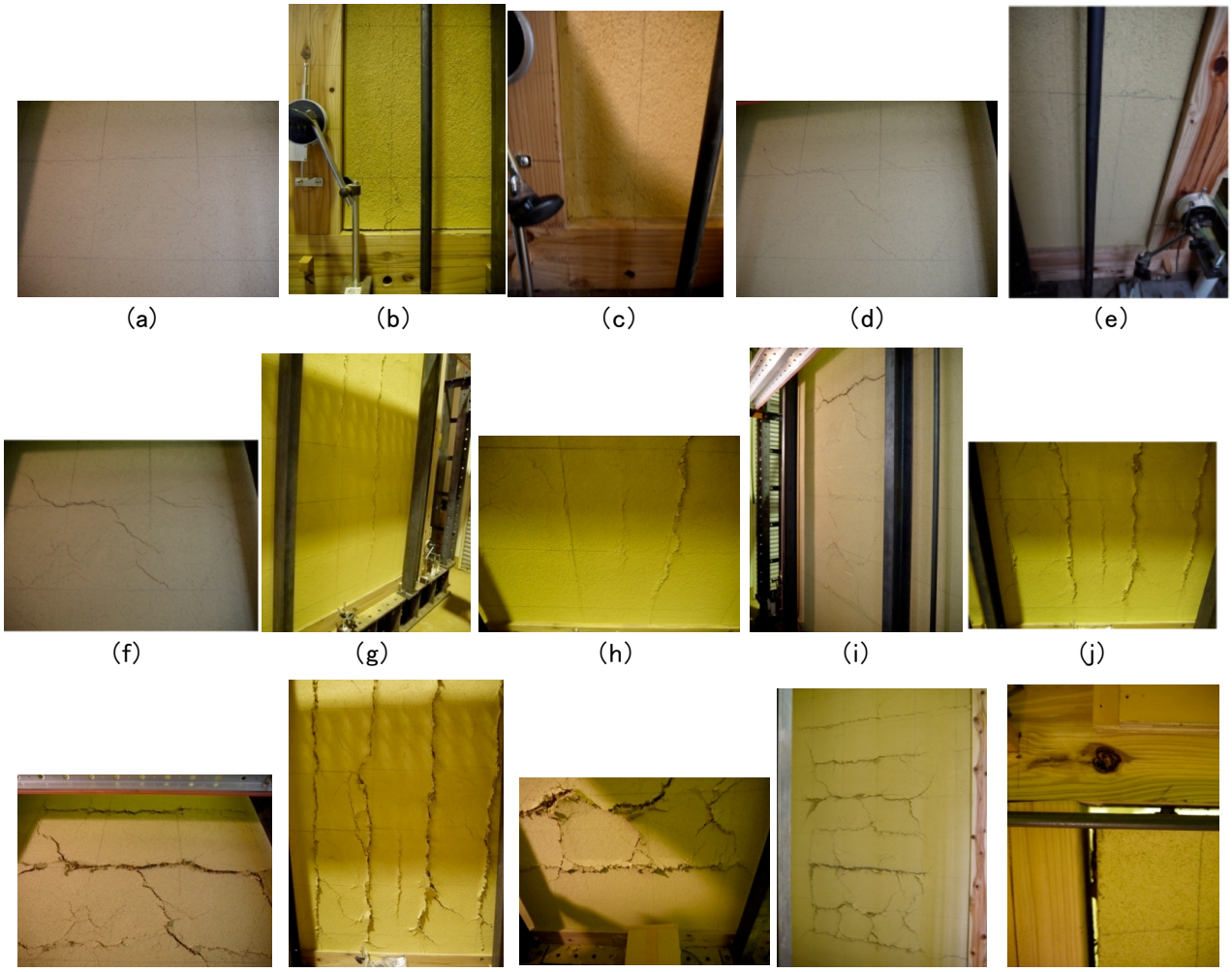


写真 6.13　No.6 の試験経過

6.7.2　荷重・真のせん断変形角曲線と包絡曲線

荷重・真のせん断変形角曲線と壁面の破壊状況を図 6.4 に，包絡曲線を図 6.5 に示す。

履歴曲線については 1/300rad.までは弾性挙動で，1/200~1/100rad.程度では弾性勾配を有するスリップ形（逆 S 字形）を呈す。また，1/75~1/30rad.では弾性勾配がゆっくりと低下したスリップ形となっている。いずれの繰返し振幅においても繰返しによる耐力劣化が認められる。

一方，包絡曲線からは， 3 体とも最大荷重と靭性ともに改善され，3 体の試験体はほぼ同じ力学性状を呈する。即ち，1/100rad.で緩やかな上昇になり，1/50rad.で最大荷重を示す。その後，緩やかに耐力低下する。

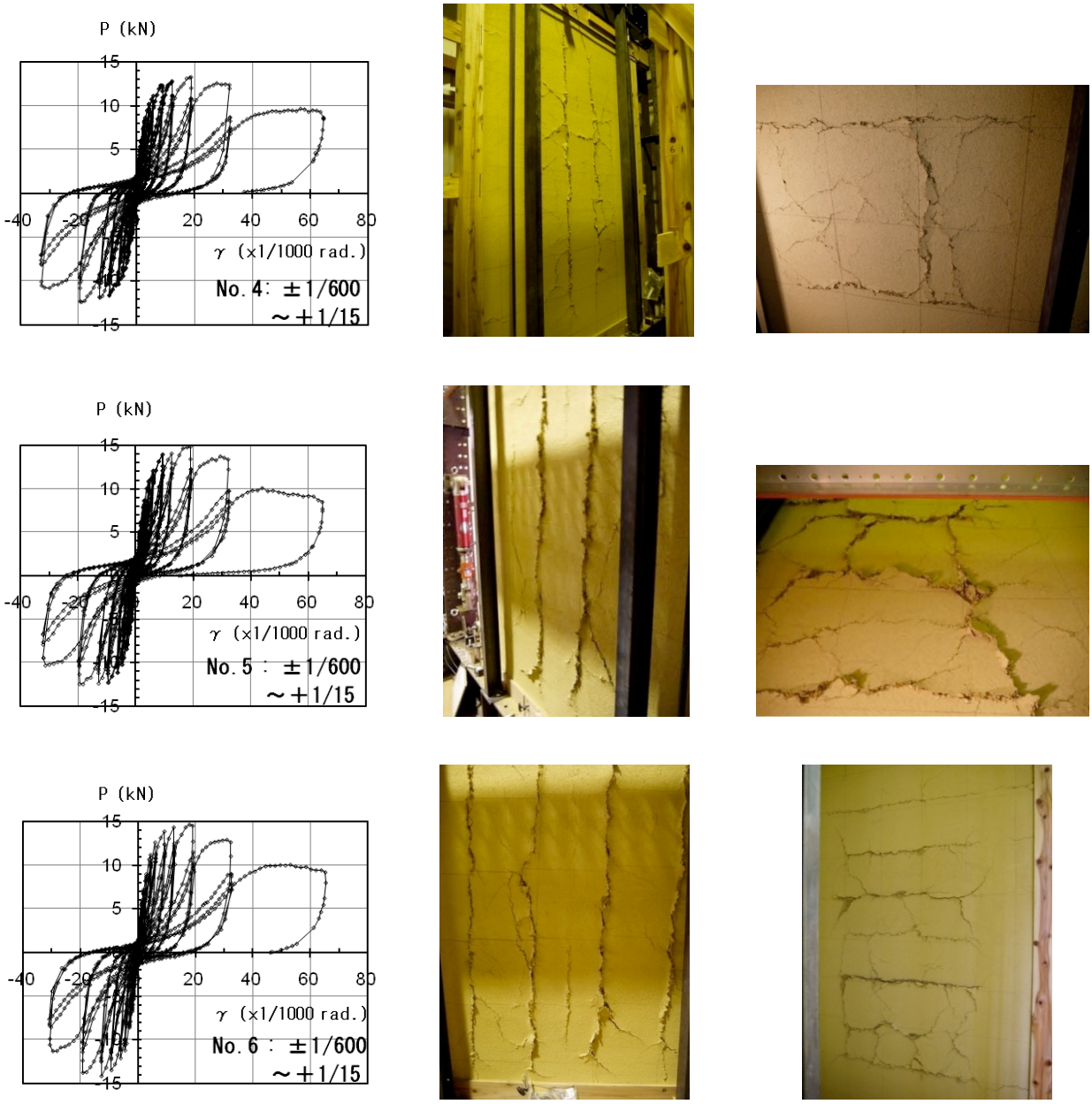


図 6.4　荷重-真のせん断変形角曲線

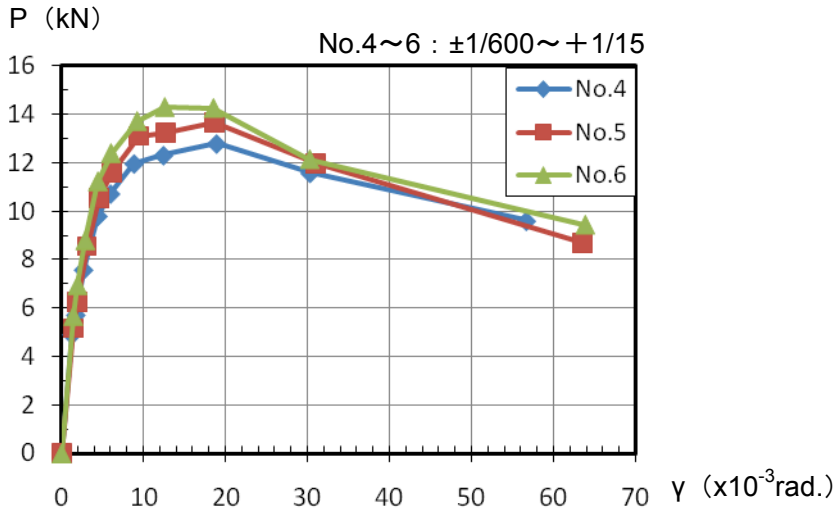


図 6.5 包絡曲線

6.7.3 短期基準せん断耐力と壁倍率

表 6.10 に土塗壁の特性値，短期基準せん断耐力 P_0 を示す。ここで，No.4～No.6 は壁下地構法や軸組は同一ではないが壁土は同じ材料で，特性値に大きな違いはないので，同一の土塗壁とみなして短期基準せん断耐力を算出する。当該の土塗壁について，短期基準せん断耐力は降伏耐力から求めた値が最小値となる。また，耐力についてのばらつきは小さくばらつき係数は 0.96～0.99 となり，得られた壁倍率は 2.15 と得られる。

表 6.10 土塗壁の特性値,短期基準せん断耐力

No.	4	5	6	平均値	標準偏差	変動係数	ばらつき係数	平均値×ばらつき係数
K（×10³kN）	2.9	2.87	3.16	2.98	0.159	0.054	0.975	2.90
P_{max}（kN）	12.80	13.65	14.28	13.58	0.745	0.055	0.974	13.22
P_u	11.63	12.42	13.1	12.38	0.736	0.059	0.972	12.04
δ_y（×10³kN）	2.5	2.86	2.65	2.67	0.181	0.068	0.968	2.58
δ_v（×10³kN）	4.54	4.49	4.15	4.39	0.212	0.048	0.977	4.29
δ_u（×10³kN）	47.2	40.86	36.6	41.55	5.334	0.128	0.940	39.04
μ	10.4	9.1	8.82	9.44	0.843	0.089	0.958	9.04
D_s	0.225	0.241	0.245	0.24	0.011	0.045	0.979	0.23
P_y（kN）	7.25	8.22	8.37	7.95	0.608	0.077	0.964	7.66
$0.2P_u/D_s$（kN）	10.34	10.307	10.69	10.45	0.212	0.020	0.990	10.35
$2/3P_{max}$（kN）	8.53	9.1	9.49	9.04	0.483	0.053	0.975	8.81
P_{150}（kN）	10.73	11.59	12.38	11.57	0.825	0.071	0.966	11.18
短期基準せん断耐力 P_0（=Pa）（kN）	7.25	8.22	8.37	7.95	0.608	0.077	0.964	7.66
壁倍率：n	2.03	2.30	2.35	2.23	0.17	0.02	0.270	2.15

6.7.4　張り竹構法とウグイス構法との差異

竹小舞下地の差異による影響についてひび割れ，土壁のはらみ出し，ずれの点から検討する。

（1）土塗壁のひび割れ状況

張り竹構法の壁の破壊状況は，表面の縦間渡し竹の位置に縦ひび割れ 4 本が均等に生じており，ひび割れ部分が盛り上がり少し剥離している。また，壁の表面の左右下隅角部の近くの縦間渡し位置に縦のひび割れが発生し，下隅角部は両側ともはらみ出している。上隅角部には，著しい隙間が見られる。ウグイス構法と比べると裏面の横間渡し竹の位置でのひび割れの長さやひび割れ巾は著しく，中貫の下にある横間渡し竹位置のひび割れ直下の中塗り壁は荒壁から剥離している。

ウグイス構法の壁の破壊状況は，表面の縦貫の左右にある間渡し竹位置の縦ひび割れ 2 本が著しい。下隅角部は両側とも張り竹構法と同程度はらみ出している。裏面は貫と貫の間で X 型にひび割れが生じ，裏面も縦貫の左右の位置の縦間渡し位置に沿って縦ひび割れが生じている部分がある。張り竹構法と比べると縦貫の回りに細かいひび割れが集中している。

（2）土塗壁の面外たわみ

1/75rad.以前の振幅では，壁中央の面外変形はほとんど零である。降伏荷重である 1/75rad.を超えると面外たわみが徐々に増加する。これはひび割れの細かいものが繋がり始めたころである。最大荷重後は表面の縦ひび割れが進展し，裏面は貫の上下の横ひび割れが大きく進展する。1/15rad.での面外たわみは No.5 は 3mm，No.6 では 9.5mm となる。この様に降伏後は壁の亀裂等の進展や壁の剥離等により見掛け上壁が膨らんだものと考えられる。

（3）土塗壁と軸組とのずれ

表面の間渡し位置での梁・土台・柱と土壁とのずれの代表例を表 6. 11 に示す。

No.6 の 1/75rad.以前の正側変位振幅では，風上側柱と土台は＋側に，風下側柱と梁は－側にわずかにずれが，降伏荷重の 1/75rad.で徐々にずれが増大し始める。最大荷重の 1/50rad.では柱・梁，土台で 3～8mm のずれが生じる。1/15rad.では著しくずれ，梁で-16mm，土台では 10mm のずれとなる。また，風上側の柱では 15～21mm，風下側の柱で-15～−23mm と大きくずれる。

No.5 においては 1/15rad.では No.6 と比較してずれの最大値は梁では 2mm，土台では 7mm と小さい。また，風下側の柱で-12mm，風上側の柱で 5mm と小さくなる。

6.7.5　再使用軸組と新規軸組との差異

ウグイス構法下地の破壊状況は，新規軸組では裏面で一部落下個所が見られるが，それ以外では，ほぼ同じである。また，包絡曲線の形状もほぼ同じであるが，再使用軸組は新規軸組と比較して P_{max} では 93.8%，P_y では 88.2%，P_{150} では 92.6%となる。従って，大破に相当する被災を受けた木造軸組における柱・梁仕口や柱・貫仕口の損傷はそれ程大きく影響しないといえる。

表 6.11　土壁と軸組のずれ（mm）

位置	No.6								No.5	
	1/100rad.		1/50rad.		1/30rad.		1/15rad.		1/15rad.	
x(mm)	梁	土台	梁	土台	梁	土台	梁	土台	梁	土台
−750	−2	2	−5	4	−8	*	−14	*	*	*
−450	−2	1	−5	3	−8	5	−16	10	2	7
−150	−2	2	−5	4	−9	6	−16	10	−2	4
150	−3	2	−6	4	−10	8	−16	10	−1	2
450	−3	1	−5	3	−9	5	−12	10	*	4
750	−2	0	−5	*	−9	*	−13	*	*	*
y(mm)	風上側柱	風下側柱	風上側柱	風下側柱	風上側柱	風下側柱	風上側柱	風下側柱	風上側柱	風下側柱
2500	3	−4	5	−8	8	−10	15	−17	−1	−10
2200	4	−3	7	−6	10	−9	16	−15	5	−12
1900	4	−3	7	−6	12	−9	20	−16	5	−7
1600	3	−5	8	−8	13	−12	20	−22	3	−8
1300	5	−3	7	−6	13	−12	20	−21	5	−8
1000	3	−1	8	−5	13	−11	20	−21	3	−9
700	5	−5	9	−8	15	−13	21	−23	2	−8
400	3	−3	7	−5	11	−10	19	−19	−1	−8
100	3	0	5	−3	7	−5	10	−15	0	*

注）・梁, 土台より壁が押し側へ，柱より壁が上側ずれる場合を＋
　　・座標の原点は壁中央土台縁で，押し側，上向きを＋

第７章　まとめ

本研究では，福井県で行われている土塗壁の耐震性を確認し，福井にふさわしい耐震要素として土塗壁の木造軸組の普及を図ることを目的としている。福井県の土塗壁の木造軸組試験体を製作して正負繰り返し水平加力試験を行うことで，終局耐力，終局変形，壁倍率を求め，耐震性能を評価した。

平成 22 年度には，次の 2 研究課題を実施した。

（1）土塗壁の実態調査

（2）告示に準拠したウグイスを用いた構法の実物大土壁塗木造軸組の製作とその面内せん断試験

得られた結果を以下に示す

1）土塗壁の調査では，張り竹よりウグイスの経験が多く，小舞下地や壁土は殆ど市販品である。

2）中塗り土の圧縮強度を 0.55N/mm^2 とするには，砂/土の重量比を 1.45～1.9 とする必要がある。

3）軸組試験体の荒壁土の圧縮強度は告示を満足しないが，砂/土の重量比を 1.7 とした中塗り土は告示を満足する。

4）壁の破壊モードとして，表面は壁中央と縦貫の貫伏縁で縦ひび割れが，裏面は下部と上部の横貫間での X 形の斜めひび割れが生じる。

5）履歴曲線は，1/300rad.程度までは弾性，1/200～1/100rad.程度では弾性勾配を有するスリップ形（逆 S 字形），1/75～1/30rad.では弾性勾配が著しく低下したスリップ形で，各繰返し振幅において繰返しによる耐力劣化が生じる。

6）最大荷重は大きいものの靭性が少ない包絡曲線を呈して，短期基準せん断耐力は降伏耐力に依存し，得られた壁倍率は 1.93 となる。

平成 23 年度には，次の 3 研究課題を実施した。

（1）壁土の強度改善

（2）補修された被災土塗壁の力学特性

（3）ウグイスの使用が土塗壁の力学性状等に及ぼす影響

得られた結果を以下に示す。

1）各配合比の荒壁土では圧縮強度は 0.150～0.233N/mm^2 となり，福井県での現状の配合比 3：1 の調合で最大値を示す。中塗り土では砂/土の重量比が 1.0～2.4 の範囲では，圧縮強度は 0.444～0.826N/mm^2 になる。

2）張り竹構法の壁の破壊モードは，表面には隅角部近くの間渡し竹位置で縦ひび割れが左右で発生し，縦間渡し竹位置の縦ひび割れが生じる。裏面は横貫付近の横間渡し竹の位置の横ひび割れが生じ，その長さはウグイス構法と比べると長い。

3）ウグイス構法の壁の破壊モードは，表面は縦貫に沿って縦間渡し竹の位置に縦ひび割れが生じる。裏面は貫と貫の間で縦ひび割れと横ひび割れが繋がっている。新規軸組と再生軸組破壊モードはほぼ同じである。

4）各土塗壁とも，履歴曲線については 1/300rad.までは弾性挙動で，1/200~1/100rad.程度では弾性勾配を有するスリップ形(逆 S 字形)を呈す。また，1/75~1/30rad.では弾性勾配がゆっくりと低下したスリップ形となる。いずれの繰返し振幅において繰返しによる耐力劣化が認められる。

5）砂/土，すさ/土の重量比が 1.9，0.04 の土壁は，靭性の高いものとなり，最大荷重も高くなる。短期基準せん断耐力は降伏耐力に依存し，その壁倍率は 2.15 となる。

以上から，福井での現状の壁土強度と土塗壁の耐震性能に関する問題点を明らかにしたうえで施工性と耐震性の観点から壁土を規定し，壁倍率 1.5 の耐震性能を有する福井の土塗壁を提案することができたと考えられる。

[謝辞]
本研究の調査に当たっては福井県伝統的民家技能者（左官）の方々，実験においてご協力頂いた福井県左官工業組合，若越建築文化研究所，福井県総合グリーンセンター，畑建築，コンドー住建，福井工業大学辻岡研究室平成 22，23 年度卒研生の諸氏に謝意を表します。また，本研究にご協力頂いた全ての方々に感謝いたします。

[参考文献]

1） 日本住宅・木材技術センター：土塗壁・面格子壁・落とし込み板壁倍率に係る技術解説書，2004
2） 福井宇洋，平山育男：北陸・信越地方における特色ある土壁の構法について　その 5 福井県，日本建築学会北陸支部研究報告集，第 52 号，pp.463‐464，2009.7
3） 土壁ネットワーク：土壁の耐震性向上のための技術的研究報告書　概要版，2009.3
4） 浦　憲親他 4 名:壁土の試験法に関する基礎研究, 日本建築学会技術報告書, 第 24 号, 35‐38, 2006.12
5） 三芳 紀美子，大橋 好光：土壁の強度に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ，北陸，2002，p.207-208
6） 中田欣作：土塗り壁の水平加力試験，奈良県森林技術センター研究報告,第 39 号，2010.4

付録

付録 1　木造軸組の荷重-真のせん断変形角曲線　付 1
付録 2　土塗壁の復元力特性　付 3
付録 3　他地域の土塗壁との比較　付 4

付録 1　木造軸組の荷重−真のせん断変形角曲線

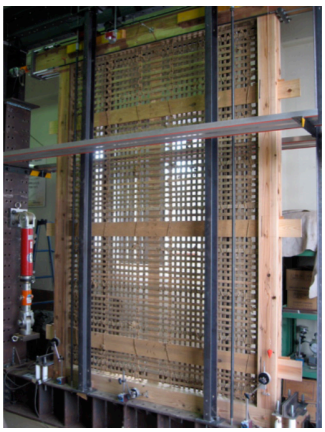
No.1 試験体について実験終了後，破損した壁土を全面的に取り除き，木造軸組＋貫＋竹小舞下地の状態で繰返し加力を行い，竹小舞下地木造軸組の力学特性を検討する。

1）試験体

試験体は通し貫 3 段の長ほぞ仕口の（込み栓有）木造軸組でウグイス構法の竹小舞下地である。土塗壁として大破後（層間変形角 1/15rad.）の試験体であるので，竹小舞下地や通し貫の仕口の状況とその損傷を観察する。付写真 1.1 に竹小舞下地の試験体全容と仕口近傍を示す。

竹小舞，貫の折れや割れ等の破損はなく，また，わら縄のゆるみはあるものの破断はほとんどない。ウグイスの抜けやゆるみは全てに見られ，特に，柱の箇所での抜出し量は 4〜5mm である。通し貫の仕口では，くさびのゆるみや抜け出し，貫のめり込みが見られる。

従って，下地全体としては軽微な損傷にとどまり，ウグイスやくさびの再打ち込み，わら縄の締め直しや破断部分の補修等で再使用可能と考えられる。



(a)全容

(b)通し貫仕口とウグイス

付写真 1.1　竹小舞下地と仕口

一方，柱梁仕口（ほぞ仕口）においては，土台のめり込み跡が，ほぞの込み栓孔からのせん断破壊による割れが実験終了後の解体時に観察できる（付写真 1.2）。特に，柱脚部に損傷は集中している。

(a)柱のめり込み

(b)込み栓からの割れ

付写真 1.2　ほぞ差し柱脚部の破壊性状

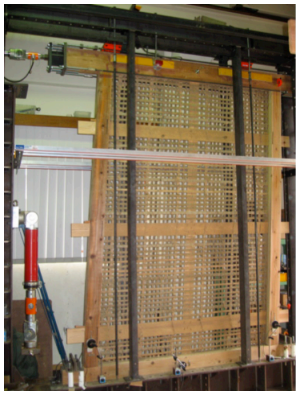
2）試験方法

加力方法は正負交番繰返し加力で，その繰返し履歴は，見掛けのせん断変形角が 1/100，1/50，1/30rad.の正負変形時において，各 1 回の繰返し加力とする。その後，一方向加力を 1/15rad.以上に達するまで行う。

3）荷重-真のせん断変形角曲線

木造軸組の変形状況を付写真 1.3 に，荷重-真のせん断変形角曲線を付図 1.1 に土壁塗木造軸組の結果と合わせて示す。

履歴曲線は，負荷時は弾性で，除荷時は耐力零となる挙動を示す。これは，柱と梁のほぞ仕口や通し貫仕口が 1/15rad.の大変形を受けたことにより損傷を受けたためと考えられる。一方，土壁塗木造軸組との比較では，小変位から大変位振幅では土壁耐力に，1/20 rad.以上の大変位振幅では土壁＋木造軸組の耐力に依存していると言える。



(a)最大変形時の状況

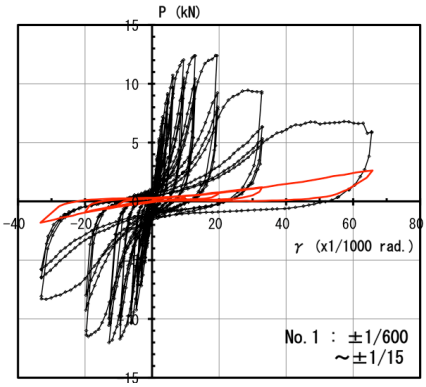
(b)通し貫仕口

(c) 楔と貫のめり込み跡

(d)柱の浮き上がり

(e)縦貫と横貫の交差部

付写真 1.3　No.1 試験体の変形状況

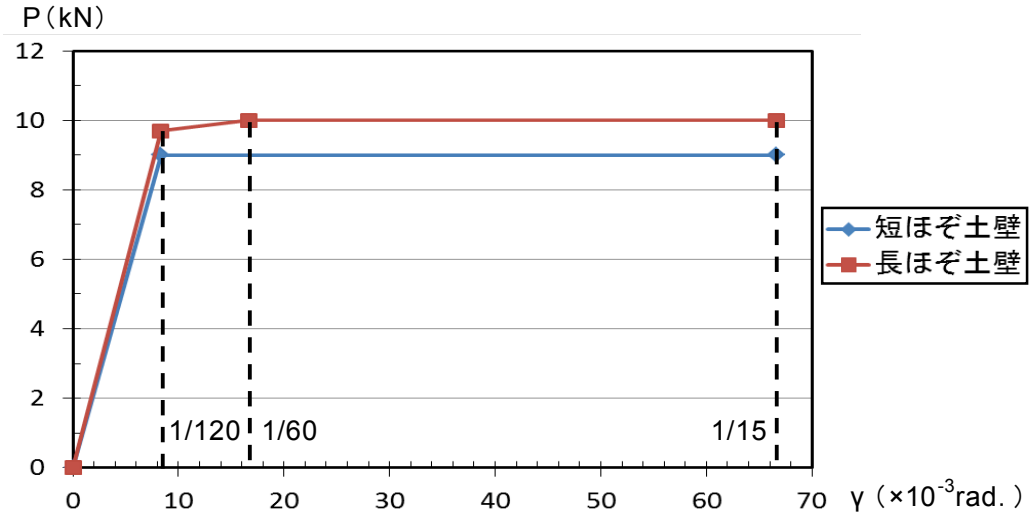


付図 1.1　荷重－真のせん断変形角曲線

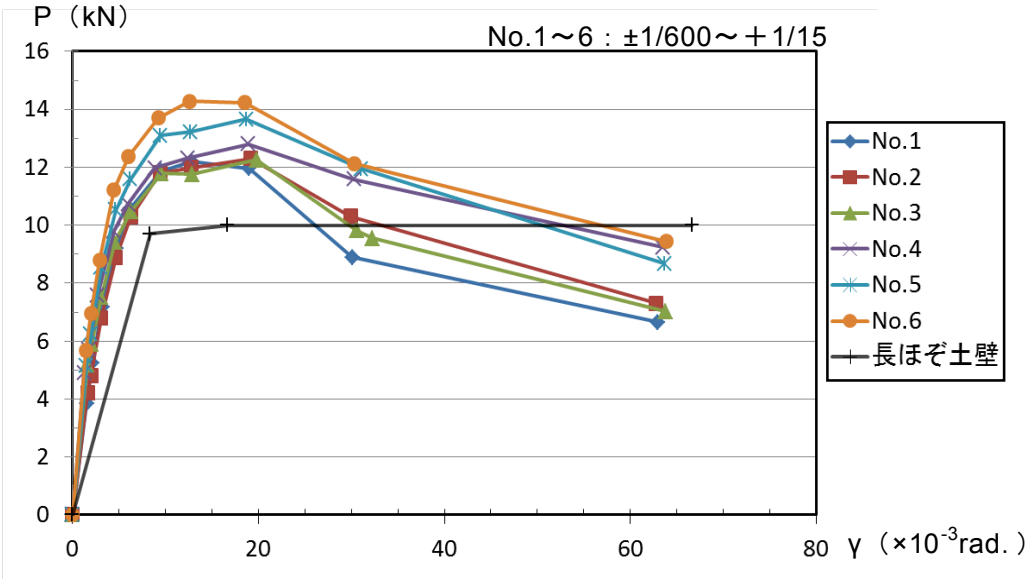
付録２　土塗壁の復元力特性

限界耐力計算法による耐震評価手法において，今日までに耐震要素を有する単位フレームの大変形領域を含んだ実験結果を基に耐力－変位関係（復元力特性）が設定されている[1)]。土塗壁の耐力と変形，エネルギー吸収等の構造特性を設計に反映させるモデルとして，付図 2.1 の復元力モデルが得られている。

本実験の試験体の包絡曲線との比較を付図 2.2 に掲げる。



付図 2.1　土壁の復元力特性



付図 2.2　包絡曲線

[参考文献]

1）樫原健一，河村　廣：木造住宅の耐震設計-リカレントな建築をめざして-，技報堂出版，2007

付録 3　他地域の土塗壁との比較

付表 3.1 に他地域の両面土塗壁の仕様と強度性能の比較を示す[1~5]。

福井県の土塗壁の壁倍率は，他地域と比較すると奈良県，秋田県より高いが，熊本県，京都府および香川県より小さいと言える。また，福井県の土塗壁の壁耐力は，短期基準せん断耐力が降伏耐力で決定しているが，他地域の土塗壁と異なっている。

付表 3.1　他地域の土塗壁との比較

	奈良県[1]	熊本県[2]	京都府[3]	秋田県[3]	京都府[4]	香川県[5]	福井 平成 22 年度	福井 平成 23 年度
試験体数	1	1	3	2	3	1	3	3
柱 （mm）	檜 105×105	杉 105×105	杉 105×105	杉 118×118	杉 105×105	杉 105×105	杉 120×120	杉 120×120
土台 （mm）	檜 105×105	杉 105×105	杉 105×105	杉 118×118	檜 120×120	杉 105×105	杉 120×120	杉 120×120
縦貫 （mm）	檜 105×105	杉 15×105	杉 15×105	－	杉 15×105	杉 15×105	杉 15×105	杉 15×120
横貫 （mm）	檜 15×100 4 段	杉 15×105 3 段	杉 15×105 3 段	杉 27×118 3 段	杉 15×105 3 段	杉 15×105 3 段	杉 15×120 3 段	杉 15×120 3 段
梁 （mm）	檜 105×180	杉 105×180	杉 105×180	杉 118×118	檜 120×120	杉 105×180	杉 105×180	杉 105×180
間渡し竹 （mm）	25～27×5	30	21～24×3	杉 24×9	30	Φ15	20～30× 5～10	20～30× 5～10
小舞竹 （mm）	25～27×5	20	18～21×3	杉 21×9	12	20	20～24× 5～10	20～24× 5～10
荒壁 （mm）	45	40	35～40	50～60	42	51	40	40
中塗り （mm）	15×2	15×2	10～15	15～20	9×2	23	15×2	15×2
塗り厚 （mm）	75	73	60	90	60	74	70	70
壁の高さ （mm）	2,843	2,730	2,720	2,730	2,500	2,730	2,730	2,730
壁の幅 （mm）	1,820	1,820	1,820	1,820	1,960	1,820	1,820	1,820
$2/3P_{max}$ （kN）	9.6	11.4	11.7	5.9	9.8*	14.0	8.15*	8.81*
Py （kN）	9.7	11.7	11.0	5.3	9.1*	12.2	6.89*	7.66*
Pu× 0.2/Ds （kN）	8.3	8.1	8.9	4.9	10.9*	12.0	7.6*	10.35*
P_{150} （kN）	6.8	12.0	14.3	7.5	7.6*	17.5	10.35*	11.18*
壁倍率	1.9	2.27	2.5	1.3	2.0*	2.53	1.93*	2.15*

注）*印は信頼水準 75%における 50%下側許容限界値，その他は平均値あるいは実験値

[参考文献]

1) 中田欣作：土塗り壁の水平加力試験，奈良県森林技術センター研究報告，2010
2) 三芳 紀美子，大橋 好光：土壁の強度に関する研究，日本建築学会大会学術講演梗概集 C-1 構造Ⅲ，北陸，2002，p.207-208
3) 岡本 滋史，澤田 圭，村上 雅英，鈴木 有，稲山 正弘：部分壁体試験に基づく土壁のせん断力-変形角関係および壁倍率の推定方法と検証，日本建築学会構造系論文集，621，2007，p.103-110
4) 田淵 敦士，北守 顕久，森 拓郎，小松 幸平：京町屋型土壁の水平せん断性能，日本建築学会構造系論文，605，2006，p.143-150
5) 土壁ネットワーク：“土壁の耐震性向上のための技術的研究報告書”，高松，土壁ネットワーク，p.1-154，2009