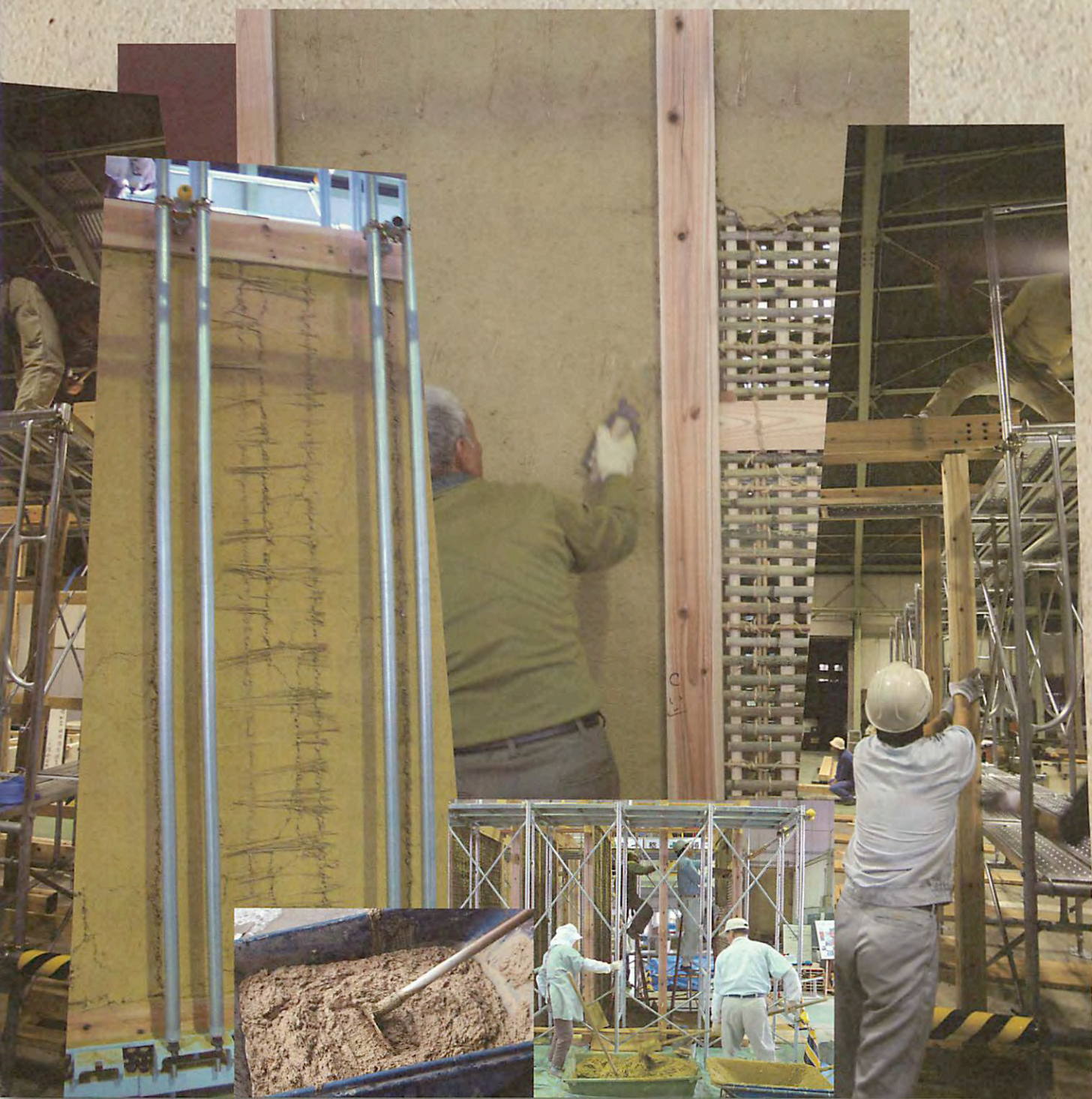


土壁の耐震性向上のための 技術的研究 報告書 概要版





土壁試験の目的と経緯	2
土壁実大面内せん断試験	3
1. 土壁実大面内せん断試験の概要	3
2. 2006年度試験	5
(1) 2006年度試験の概要	5
(2) 試験結果	7
・1間巾の壁の破壊挙動 (試験体A、B)	7
・割竹の間隔がおよぼす影響	9
・3尺壁 (試験体C) との比較 / 軸組寸法の影響、破壊挙動	9
(3) 試験体で確認された施工などにおける問題点	11
3. 2007年度、2008年度試験	13
(1) 大変形後の簡易補修の効果 (試験体B、C)	13

(2) 中塗り厚さ、片面・両面塗りの影響 (試験体D、E)	15
(3) 半柱、間柱、畳寄せ・廻り縁による荒壁の欠損の影響 (試験体F、G)	17
(4) 外壁面砂漆喰補修の効果 (試験体I)	19
(5) 筋かい併用の影響 (試験体K)	21
(6) 垂れ壁、腰壁の耐力 (試験体L、M、N)	23

香川県における壁土の実態調査 25

1. 壁土調査の概要	25
2. 調査結果	25
(1) 粒度分布	25
(2) 藁サ混入量と圧縮応力度	26
(3) 練り置き土と圧縮応力度	27

土壁試験の目的と経緯

土壁ネットワークは、香川県下に受け継がれてきた土壁の[耐力壁としての性能]を検証するため、2006年から三年間、四国職業能力開発大学校との共同研究として土壁の実大試験を行ってきました。この冊子はその実験報告の概要版として作成したものです。

土壁の壁倍率は平成15年12月の建築基準法告示改正により従来の0.5に加え、新たに1.0と1.5が定められました。これに続いて(財)日本住宅・木材技術センターから土塗壁等の壁倍率に係る技術解説書(以下技術解説書という)が発行され、壁土の性能検証の方法や水平力を受けた土壁の抵抗の仕組みが明らかになりました。この二つの出来事は香川県下の職人、材料業者、建築設計者に朗報として受け止められ、新しく定められた壁倍率による建築確認申請が行われるようになりました。しかし、この告示が仕様規定であり、材料と工法に細かな数値が記載されていたため、中間検査に際してその厳密な適用を求める検査機関と従来の施工法に拘る現場との間にトラブルが目立つようになりました。この事態はまだ解決していません。中間検査の義務化に伴いこの問題は各地に広がるものと思われます。土壁ネットワークは土壁の地域性を考慮しながら科学的・工学的検証を行い、その中から良い解決策を見出す必要があると考え四国職業能力開発大学校の協力を得て一連の実大試験を行ってきました。三年間の共同研究を終えた今、我々はその結果を公にするとともに二つの問題を提起します。

1. 告示の運用について(行政と検査機関に向けて)

土壁に使われる材料と工法には地域差があり、背後にはそれを支える生産体制があります。現行の仕様規定によりこれを一律化することは地域の生産体制を無視するものであり、事実上の土壁禁止になりかねません。それは告示改正の主旨を損なうこととなります。仕様規定は運用面で適切な配慮が必要と思われます。

2. 土壁の性能確保について(実務者に向けて)

土壁を耐力壁としてつくる意識はまだ実務者にも十分浸透しておらず、その抵抗メカニズムも理解されているとは言えません。現段階で壁倍率1.0と1.5を用いる場合には、材料および各工程への注意が求められます。また、地域ごとの性能確認体制をつくるなど、耐力壁としての性能確保に向けた取組が必要と思われます。



土壁実大面内せん断試験

1.土壁実大面内せん断試験の概要

2006年度試験

「土壁の基本的な耐力メカニズムを知り、告示仕様と地域仕様における仕様(間渡し竹太さと割竹間隔)の違いによる性能差を調べる試験」として、仕様に別各3体の試験体を製作した。また「香川県内における壁土の実態調査」も同時に実施した。

2007年度および2008年度試験

「現場における様々な場面で知りたいことを確かめる試験」として実施した。傾向を確認するための試験であり試験体は目的別に各1体とした。

〈試験内容の一覧〉

試験年度	目的	試験体名	軸組(mm)		間渡し竹	割竹	壁厚(mm)	中塗(mm)	備考	掲載ページ
2006年度	告示型、地域型で竹の仕様による違いを比較	A-1,2,3	1間、関東間	1820×2730	告示型仕様-1	告示型仕様-3	72	片面、13		5
		B-1,2,3	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	72	片面、16		5
	地域型3尺壁との比較	C-1,2,3	3尺+3尺、四国間	1910×2760	地域型仕様-2	地域型仕様-4	78	片面、19		5
	香川県における壁土の実態調査	—	—	—	—	—	—	—		25
2007年度	大変形後の簡易補修の効果	B-2	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	70	片面、8		13
		B-3	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	70	片面、16		13
		C-2	3尺+3尺、四国間	1910×2760	地域型仕様-2	地域型仕様-4	76	片面、9		13
	中塗り厚さ、片面・両面塗りの影響	D	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	69	片面、10		15
		E	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	74	片面、23		15
	半柱、間柱、畳寄せ、廻り縁による荒壁欠損の影響	F-1	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	69	片面、10		17
		F-2	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	69	片面、10		17
		G	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	68	片面、9		17
軸組の耐力	H-1	1間、関東間	1820×2730	—	—	—	—	竹土無し	—	
2008年度	軸組の耐力	H-2,3	1間、関東間	1820×2730	—	—	—	—	竹土無し	—
	外壁面砂漆喰補修の効果	I	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	73	片面、10 砂漆喰、6		19
	筋かい併用の影響	J	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	—	—	試験機トラブルにより、未掲載	—
		K	3尺、関東間	910×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	65	片面、13		21
	垂れ壁、腰壁の耐力	L	3尺、関東間	910×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	66	片面、12	垂れ壁+腰壁	23
		M	3尺、関東間	910×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	67	片面、12	鴨居・片目地	23
		N	3尺、関東間	910×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	66	片面、10	鴨居・両目地	23
軸組+竹小舞の耐力	O	1間、関東間	1820×2730	地域型仕様-2	地域型仕様-4	—	—	土無し	—	

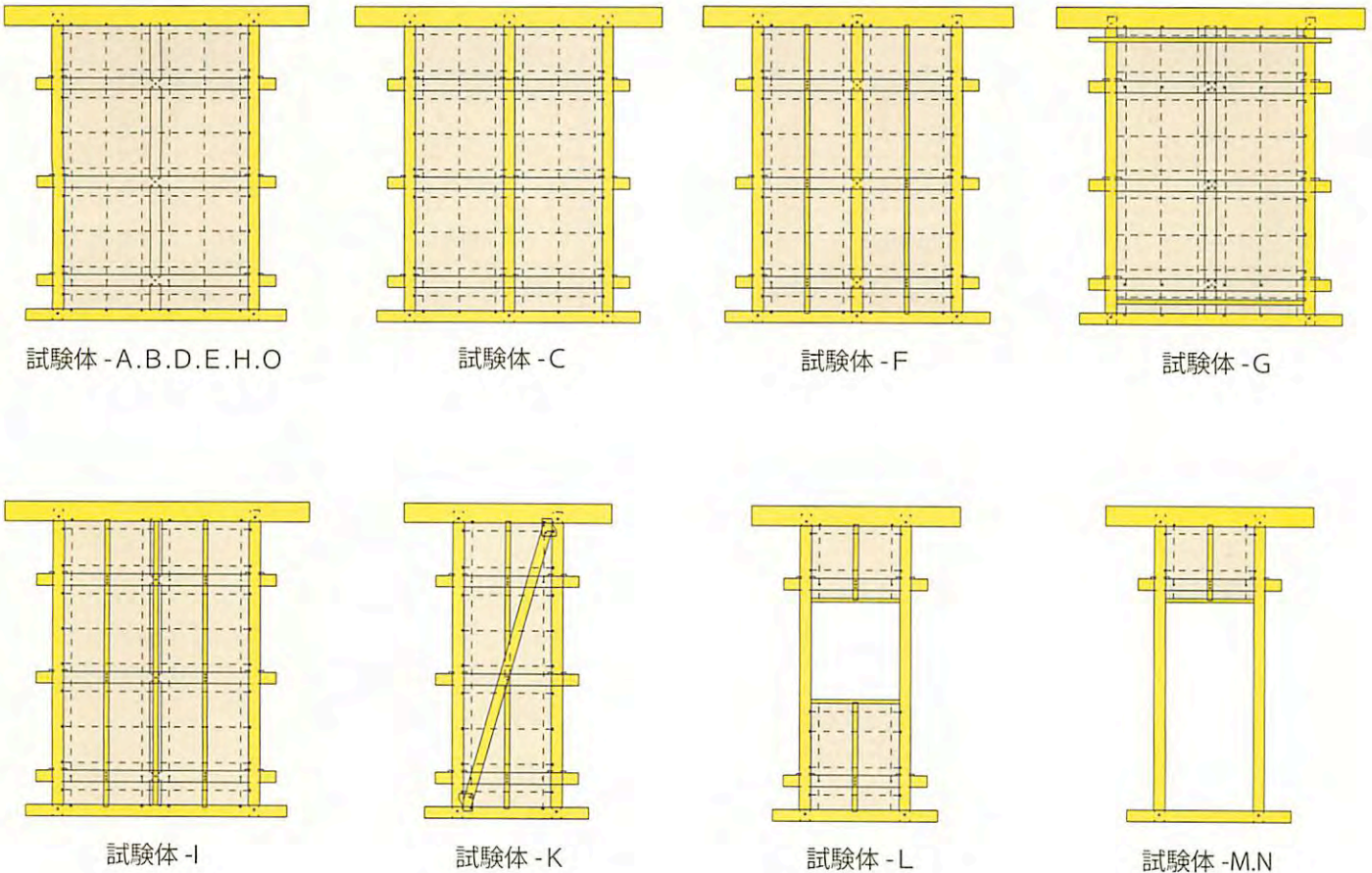
仕様-1: 告示による「間渡し竹」の仕様/末口φ12mm以上

仕様-2: 地域で多く使われている「間渡し竹」の仕様/軸組の差込穴径φ15mmに入るサイズで、末口φ12mm以上には拘らない

仕様-3: 告示による「割竹」の仕様/割竹巾2cm以上、小舞間隔45mm以内(関東間の場合、縦方向は間渡し竹間の本数は7本)

仕様-4: 地域で多く使われている「割竹」の仕様/割竹巾2cm内外、小舞間隔(本数)は関東間の場合に縦方向は間渡し竹間に5本

〈試験体姿図の一覧〉



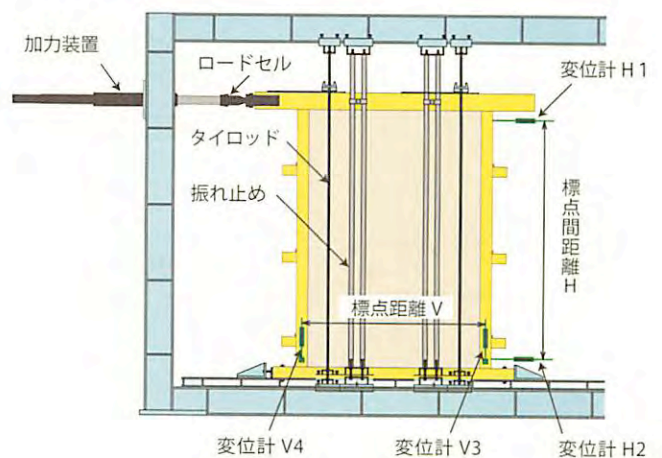
[試験方法]

試験方法はタイロッド方式で行い、試験順序は以下とする。

加力方法は正負交番繰り返し加力とし、繰り返しを真のせん断変形角が $1/600$ 、 $1/450$ 、 $1/300$ 、 $1/200$ 、 $1/150$ 、 $1/100$ 、 $1/75$ 、 $1/50$ 、 $1/30$ radの正負変形時に行い、同一変形段階で3回の繰り返し加力を行った。

最大荷重に達した後、最大荷重の80%の加重に低下するまで加力するか、試験体の変形角が $1/15$ rad以上に達するまで行った。

〈試験装置〉



2.2006 年度試験

(1) 2006 年度試験の概要

試験体	軸組・竹							壁厚 (平均) mm	中塗り(平均)	
	各3体	軸組幅	土台・杉 mm	柱・杉 mm	梁・杉 mm	間渡し竹	割竹幅		割竹間隔 (縦の本数)	場所
A	1間	105×105	105×105@1820	105×180	末口φ12以上	2cm以上	4.5cm以内 (1・7・7・1)	72.0	片面	13.2
B	1間	105×105	105×105@1820	105×180	差込穴φ15に 入るサイズ	2cm内外	4.5cm拘らず (1・5・5・1)	72.3	片面	16.2
C	3尺+3尺	120×120	120×120@955	105×180	差込穴φ15に 入るサイズ	2cm内外	4.5cm拘らず (1・5・5・1)	77.8	片面	18.7
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)										
荒壁: 土(ねばい土60%+さくい土30%) 約90kg+ワラシ 約1.65kg+水 約33kg										0.57
裏返し: 粘土(ねばい土)40%+粘土(さくい土)40%+砂20%、ワラシ荒壁より10%増										—
大直し: 裏返しと同じ										—
中塗り: 中塗り土27kg+砂(海砂)50kg+水20kg+ワラシ0.7kg										0.73

[2006年度試験の目的]

目的1: 香川県の平均的な壁土により製作された土壁の耐力を検証する。

目的2: 竹小舞について、告示に示された仕様と地域で多く使われる一般的な仕様の違いが耐力に及ぼす影響を検証する。

目的3: 地域の伝統的な建物で多く使われる柱間=3尺の土壁の耐力を比較する。

[試験体寸法]

試験体A、B: 技術解説書に示された寸法による。

試験体C: 階高=3000mm、間口=1910mm(四国間)、柱間=955mm

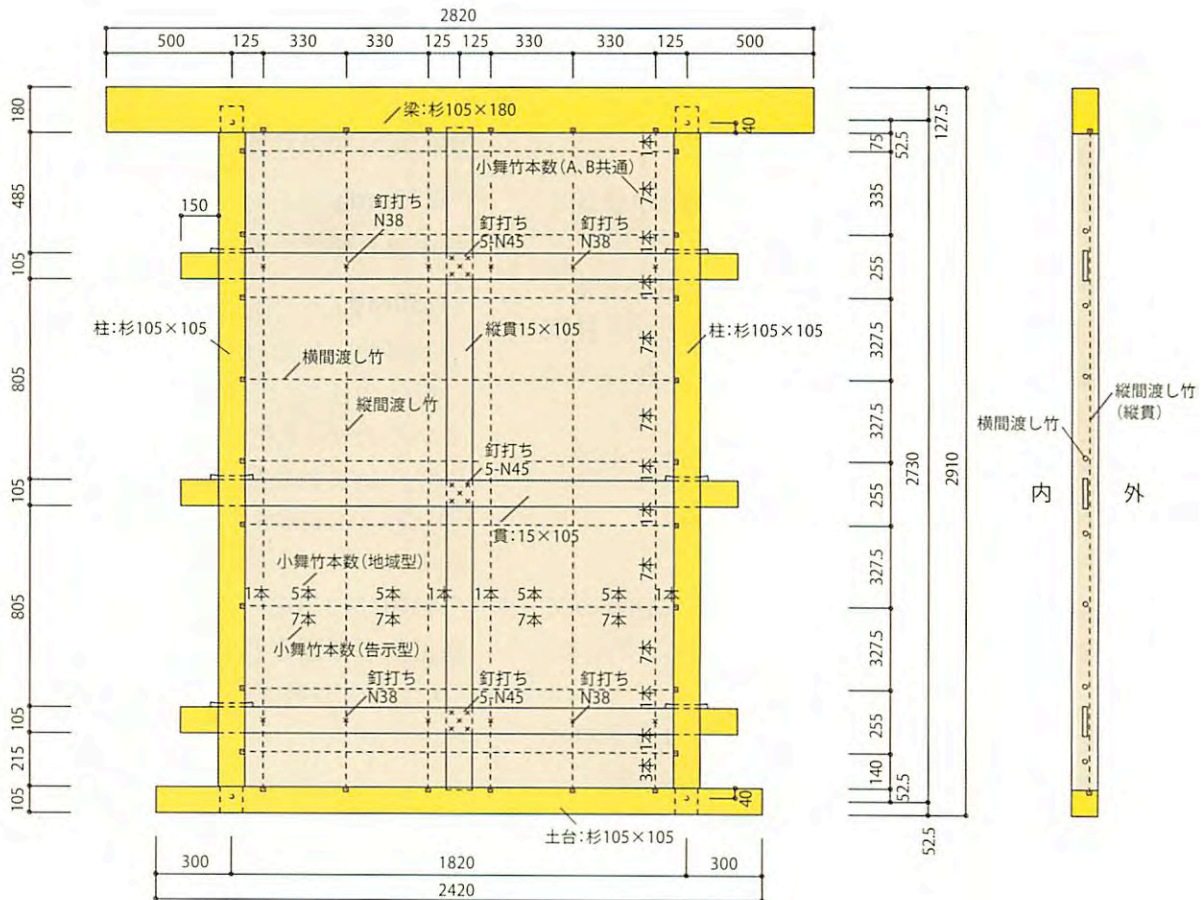
[試験体数]

各試験体×3体

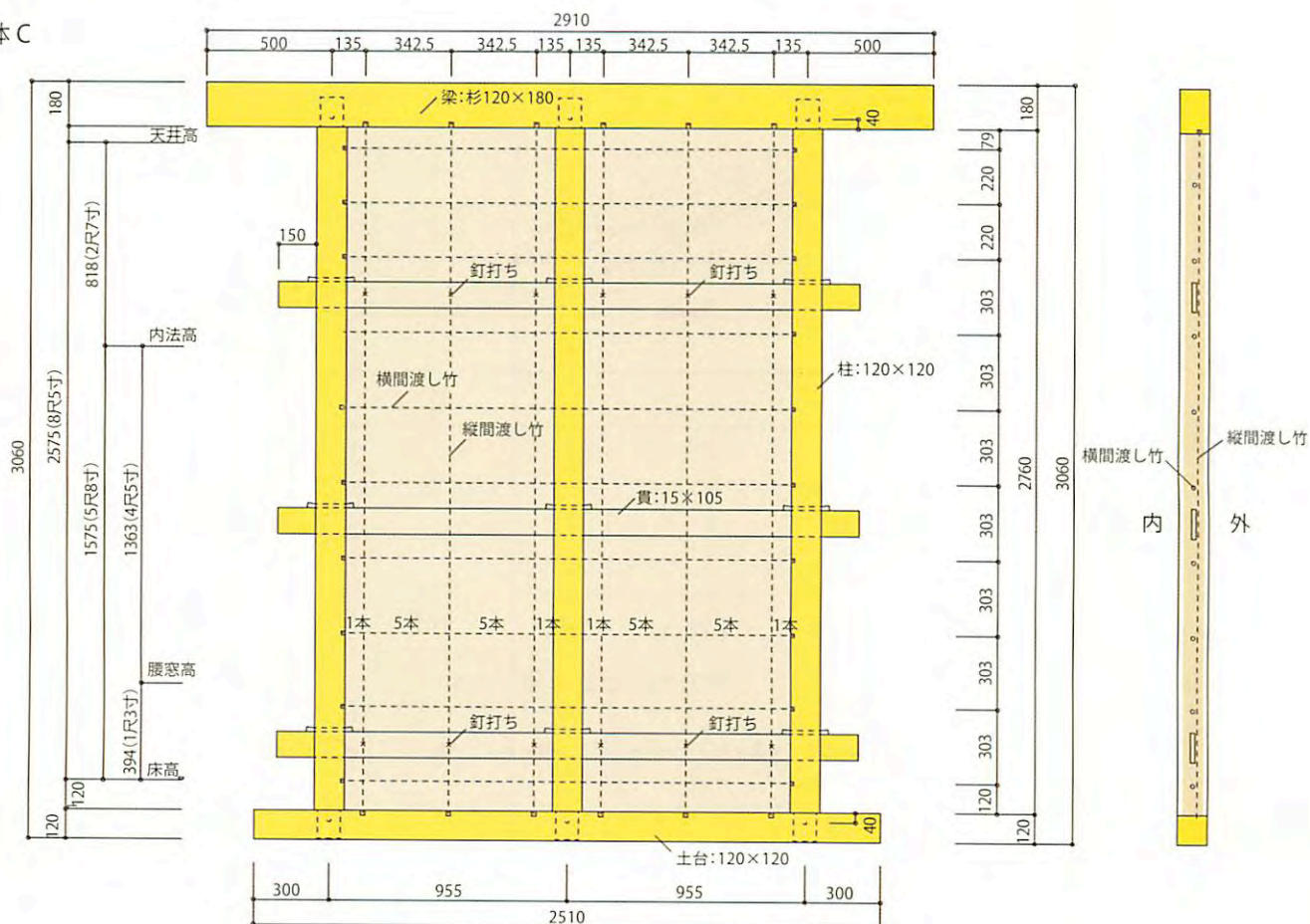
〈竹小舞の仕様について／告示と地域の違い〉

	告示仕様	地域仕様	備考
間渡し竹 (丸竹)の径	小径が1.2cm以上	軸組の差込穴径 15mmに竹の元 が入るサイズ	<ul style="list-style-type: none"> 小径を1.2cm以上とすると縦方向の竹では元径は2cm程にもなり壁厚が過大になり過ぎる恐れがある。 柱間=3尺の場合は竹を曲げて穴に差し込むことができない。
割竹の幅	2cm以上	2cm内外	<ul style="list-style-type: none"> 7分(約2.1cm)に割る道具で製作したものが多く使われるが、割れ方によっては2cmに満たないものも含まれる
割竹の間隔	間隔 4.5cm以内 縦方向の割竹は 「1・7・7・1本」	縦方向の割竹は 「1・5・5・1本」	<ul style="list-style-type: none"> 柱(縦貫)間隔と貫間隔を910mmの場合、内法寸法は縦横ともにほぼ810mmとなり、告示に定められた間隔45mm以下を常に満たすためには、柱(縦貫)間毎に、タテ、ヨコとも18本以上の本数(間渡し竹を含む)が必要となる。 間渡し竹は両端部と中央部に配されるので、小舞竹の本数は偶数になり、告示を厳密に適用すると、間渡し竹3本に加えて、小舞竹はタテ、ヨコとも16本必要となる。 地域の慣習的方法では、タテの間渡し竹間に配される小舞竹は1本、5本、5本、1本、計12本が一般的であり、間渡し竹を加えた本数は15本となる。 上下方向は、地域仕様においても貫間に1本、7本、7本、1本、計16本であり、告示に定められた本数を満たしている。

試験体 A. B



試験体 C



(2) 試験結果

1間巾の壁の破壊挙動(試験体A、B)

「1/300radまで」

○チリ周りで壁土と軸組との隙間(剥離)が確認された。(写真1)

○隙間が生じた反対側(隅角部)では、軸組が土壁を圧縮し、土壁がその圧縮力によって柱内面から柱間中心に向かって破壊が進行していく。(写真2)(技術解説書「①土壁隅角部の圧縮抵抗」参照)

○その後、隅角部の土壁は厚み方向に膨らんでいく。(写真3)

「1/150~1/100rad」

○荒壁面の縦間渡し竹が、柱側から中心に向かってひび割れが生じ(写真4)、縦貫のひび割れとなった。(写真5)

○その後、頭貫、地貫の水平貫に沿ってひび割れが生じた。(写真6)(技術解説書「②貫のこじり抵抗」参照)

○1/100radまでに、せん断ひび割れが中塗り面の中央から発生していった。(写真7)

「1/75rad」

○中塗り面は小舞から剥離が生じた。

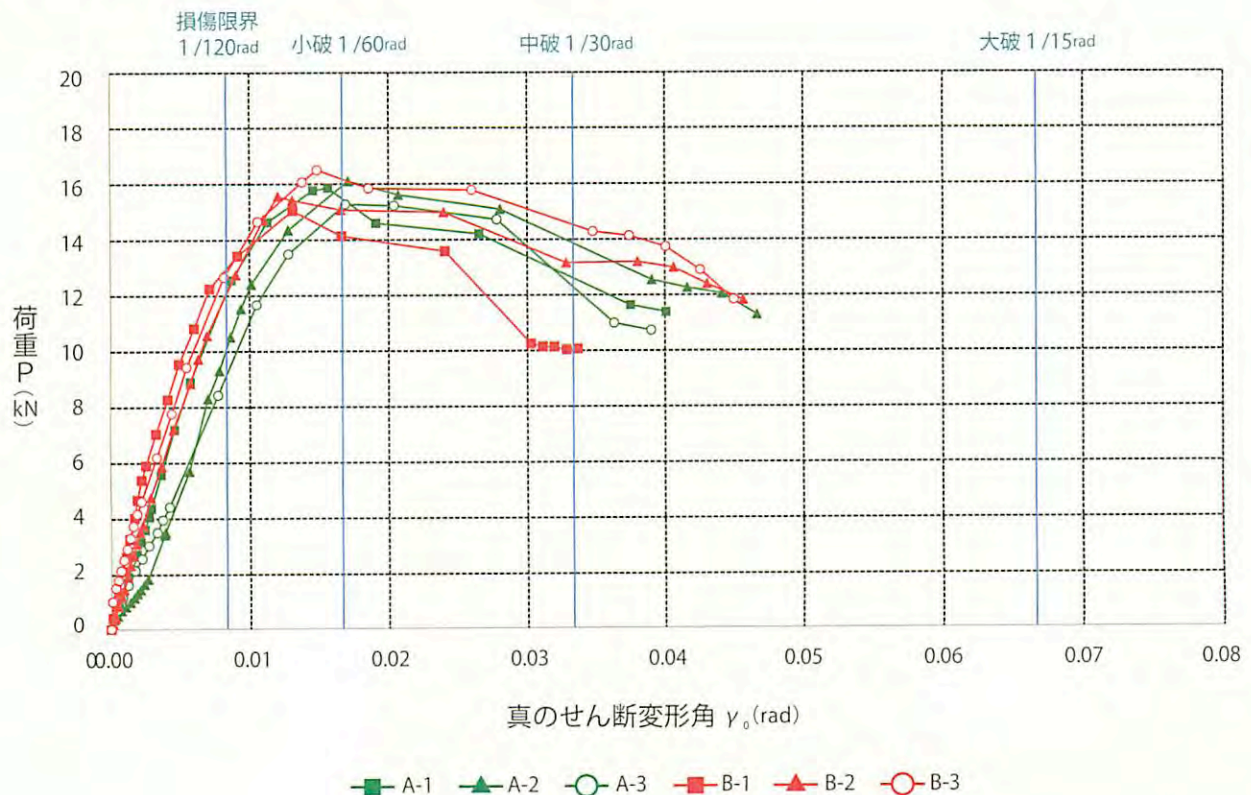
「1/50rad」

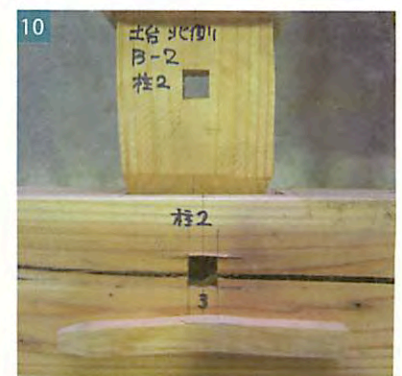
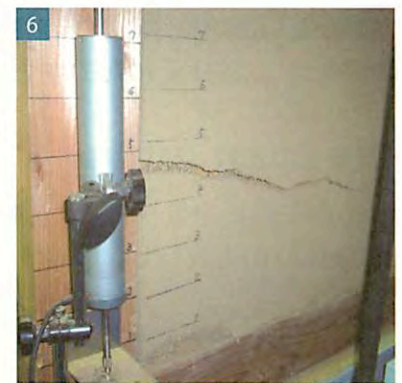
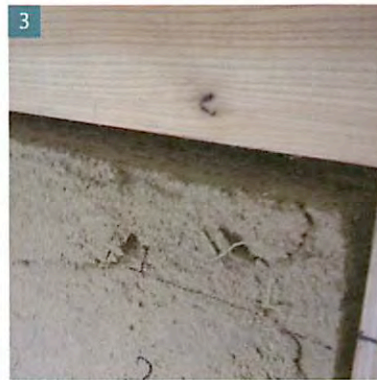
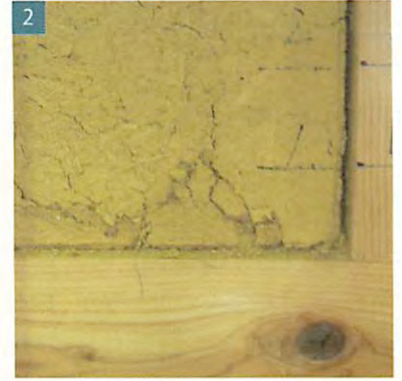
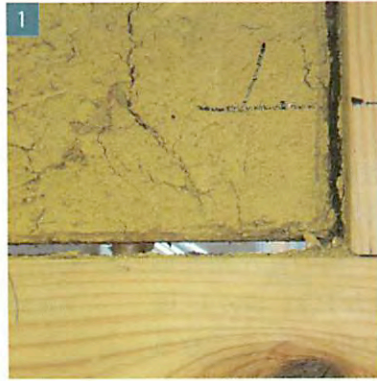
○剥落が生じた。(写真8)

○壁体内部では、間渡し竹が軸組内部に差し込まれているため、土壁と軸組がずれることにより、軸組に差し込まれた間渡し竹がダボ的に抵抗している。(写真9)(技術解説書「③土壁と軸組間での間渡しのダボ的抵抗」参照)

○軸組仕口のモーメントによる抵抗、込み栓のせん断抵抗も確認された。(写真10)(技術解説書「④軸組仕口のモーメント抵抗」参照)

〈TYPE-A、B破壊挙動〉





- ① 土台-土壁の隙間 (試験体A-1)
- ② 圧縮抵抗によるひび割れ (試験体A-1)
- ③ 厚み方向の膨らみ (試験体B-3)
- ④ 間渡し竹に沿ったひび割れ (試験体 A-1)
- ⑤ 縦貫に沿ったひび割れ (試験体 B-2)
- ⑥ 水平貫に沿ったひび割れ (試験体B-1)
- ⑦ 中塗り面のせん断ひび割れ (試験体B-2)
- ⑧ 中塗り剥落直前 (試験体B-2)
- ⑨ ダボ的抵抗 (試験体B-3)
- ⑩ 込み栓せん断抵抗 (試験体B-2)

割竹の間隔がおよぼす影響

○間渡し竹間に割竹が7本の「試験体A」と間渡し竹間に割竹が5本の「試験体B」を比較すると、両試験体とも類似した曲線図(図2.1「荷重P-真のせん断変形角曲線」)を描いているが、降伏耐力 P_y (表2.1「壁倍率算定表」)は「試験体B」の方が0.86倍と低くなっている。しかし、初期剛性は「試験体B」の方が高く、 $1/150\text{rad}$ 時には耐力が1.57倍となった。このことから割竹の間隔は、土壁の接着面に影響し、強度にも関わってくるのがうかがえる。

3尺壁との比較／軸組寸法の影響

○柱間3尺+3尺の軸組「試験体C」と、一間の軸組「試験体B」の比較では、初期剛性と(吸収エネルギー量を示す)面積の差は大きく、「試験体C」は「試験体B」より1.83倍の面積を得た。

○しかし「試験体C」は初期剛性が低く、 $1/150\text{rad}$ 時の耐力は「試験体B」の0.61倍となった。

3尺壁との比較／破壊挙動

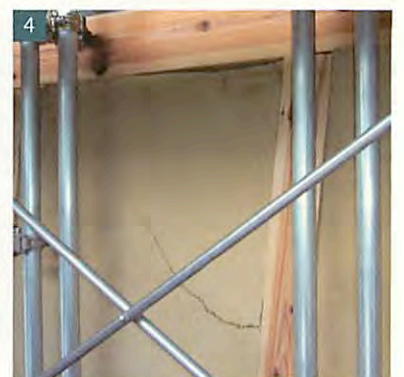
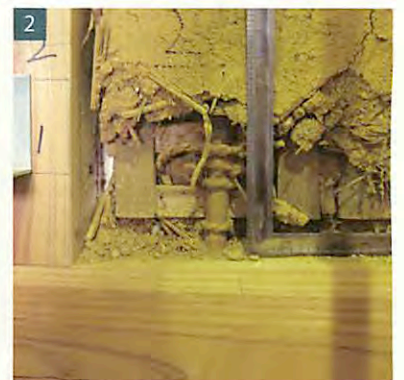
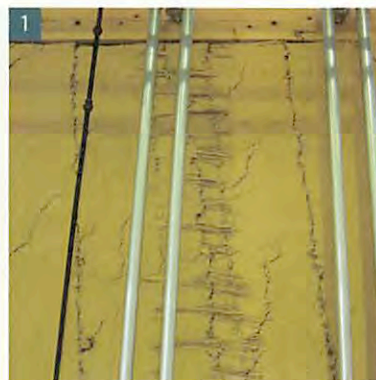
○破壊形式は、中塗り面のせん断破壊が先行する破壊(試験体A・B)と先行しない破壊(試験体C)となった。

壁土に作用するせん断応力度は、壁中央部で最大となる分布を示し、壁中央のせん断応力度が、その部分の壁土のせん断強度を上回ると壁土はせん断破壊する。「試験体C」の場合は半間となるため、土壁隅角部圧縮力による抵抗と貫のこじりによる抵抗に比べ、壁土のせん断耐力は高く土壁はせん断破壊をしない。壁長が1間の「試験体A、B」では、壁中央のせん断応力度は壁長の2乗にほぼ比例するため、壁中央のせん断応力度が壁土のせん断強度を上回り、せん断ひび割れが生じる。(技術解説書より)

○「試験体A、B」では、小舞間隔の違いによる土壁の破壊進行に大きな差は見られなかった。最終引き込み時には、荒壁側では間渡し竹や水平貫・縦貫にひび割れがあり(写真1)、隅角部は圧壊して一部が剥がれ(写真2)、中塗り側ではせん断亀裂が生じて剥がれ落ちた(写真3)。

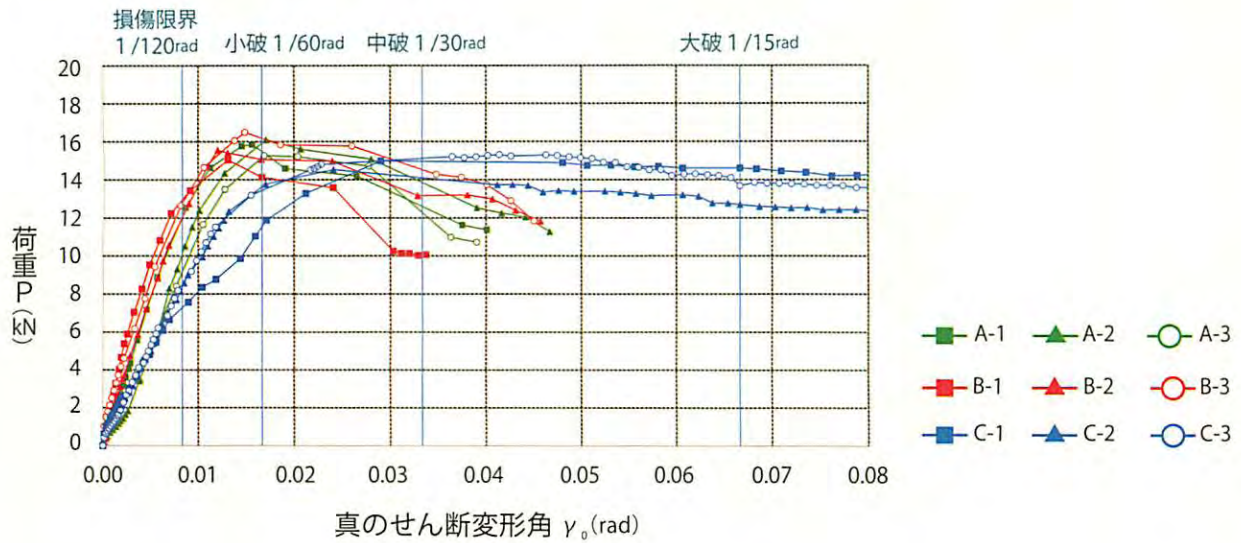
○「試験体C」については、破壊が進行していく様子は同じだがせん断破壊は変形角が大きくなると現れなかった。そのため「試験体A、B」ほど土壁が剥がれ落ちることもなかった(写真4)。

○地域型の「試験体C」は、最大荷重到達後も荷重は低下しにくく、せん断破壊も先行しないことが確認できた。せん断破壊の発生の有無により変形性状は大きく変化するものと考えられる。



- ① 縦貫・間渡し竹のひび割れ
- ② 柱-土台隅角部の圧縮
- ③ 試験体A、Bせん断破壊
- ④ 試験体Cせん断亀裂

〈荷重 P- 真のせん断変形角 γ_0 曲線〉



〈壁倍率算定表〉

仕様	試験体名称	最大耐力 P_{max} (kN)	初期剛性 K (kN/rad)	面積 S (kN/rad)	終局耐力 P_u (kN)	塑性率 μ	構造特性係数 D_s	降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 $P_u \times (0.2/D_s)$ (kN)	最大耐力の2/3 $P_{max} \times 2/3$ (kN)	1/150rad時の耐力 P_{150} (kN)	短期基準せん断耐力 P_0 (kN)	短期基準せん断耐力 P_a (kN)	壁倍率 (倍)
TYPE-A 軸組:告示 小舞:告示	A-1	15.86	2372.62	0.37	14.34	4.72	0.34	10.80	8.33	10.57	13.94	8.09	6.06	1.70
	A-2	16.10	2092.59	0.42	14.81	4.49	0.35	13.33	8.36	10.73	13.64			
	A-3	15.27	2123.34	0.37	14.41	4.27	0.36	11.43	7.92	10.18	12.83			
	平均	15.74	2196.18	0.38	14.52	4.49	0.35	11.85	8.20	10.50	13.47			
	ばらつき係数							0.95	0.99	0.99	0.98			
	P0算定							11.24	8.09	10.36	13.20			
TYPE-B 軸組:告示 小舞:地域	B-1	15.04	2841.59	0.30	13.74	5.07	0.33	8.54	8.31	10.03	13.16	8.75	6.57	1.84
	B-2	15.55	2008.10	0.52	14.12	5.72	0.31	9.74	9.13	10.37	12.23			
	B-3	16.49	2544.14	0.50	15.18	5.98	0.30	10.08	10.06	10.99	13.99			
	平均	15.69	2464.61	0.44	14.35	5.59	0.31	9.45	9.16	10.46	13.12			
	ばらつき係数							0.96	0.96	0.98	0.97			
	P0算定							9.07	8.75	10.23	12.71			
TYPE-C 軸組:地域 小舞:地域	C-1	14.99	1213.49	0.90	14.60	5.54	0.31	9.95	7.90	9.69	8.37	8.36	6.27	1.67
	C-2	14.54	1368.74	0.84	13.53	6.74	0.28	8.67	9.56	9.69	9.06			
	C-3	15.32	1186.47	0.89	14.63	5.41	0.32	10.05	9.17	10.21	8.26			
	平均	14.95	1256.23	0.87	14.25	5.90	0.31	9.56	8.87	9.87	8.56			
	ばらつき係数							0.96	0.95	0.99	0.98			
	P0算定							9.19	8.46	9.73	8.36			

短期許容せん断耐力算定における低減係数 α については0.75としている。

- 間渡し竹および竹小舞の告示仕様との違いが破壊性状に及ぼす影響の差は見られなかった。
- 施工面では、割竹間隔の狭い(タテ1・7・7・1本)試験体Aは、地域型の割竹間隔(タテ1・5・5・1本)試験体B、Cに比べて1.5倍の施工手間を必要として、材料歩留まりも良くない。
- 3尺+3尺壁(試験体C)は、吸収エネルギー面積で1間壁(試験体A、B)の1.9倍と耐震性に優れている。
- 3尺+3尺壁(試験体C)は、壁面が柱で分割されることにより、土壁隅角部圧縮力による抵抗と貫のこじりによる抵抗が土壁面のせん断強度を上回るため、せん断破壊が先行しない。
- 初期剛性、最大耐力、最大耐力となる変位は、1間壁(試験体A、B)が優れている。
- 壁倍率決定要因は、試験体A、Bが「構造特性係数」で、試験体Cは「1/150rad時の耐力」であった。

(3) 告示型試験体で確認された施工などにおける問題点

間渡し竹の径

○タテ間渡し竹(丸竹)を末口 ϕ 1.2cm以上(告示仕様)にした場合、1本の竹で施工するなら元においては ϕ 1.8cmを超え、間渡し竹部分が割竹面より外部に飛び出す形となる。これが荒壁の施工において問題となる。

○柱間隔が3尺の場合、ヨコ間渡し竹の径が大きくなると曲げることができず施工は不可能となる。差込穴に入るように末口 ϕ 1.2cm以上の丸竹を使用するなら、やり送りによる差し込みとなり、間渡し竹のダボ的効果は期待できなくなる。

割竹幅と割竹間隔

(香川県内では、割竹は専用の割道具により割幅7分・約2.1cmで製作されているが、この製造方法で割竹幅2.0cm以上を厳密にまもることは困難である)

○割竹幅2.0cm以上を厳密にまもることによる耐力への影響は考えにくい。

○一般に流通しない割竹幅を使わなければならない仕様の厳密な運用は現実的でない。

(告示に示された割竹間隔4.5cm以内を厳密に適用した場合、100角柱の1間・1820mm/関東間で、間渡し竹間の本数は7本となり、割竹の間の隙間は1.5cm程になる)

○施工手間は、告示仕様では割竹間に指が入りにくいなど、地域仕様(間渡し竹間の本数が5本)に比べて1.5倍以上必要となる。

荒壁施工

(間渡し竹小径 ϕ 1.2cm以上を厳密にまもることによる問題)

○荒壁(裏返し塗り)として必要なかぶり厚を確保するため塗厚が厚くなり、建物総重量の増加を招き、建物耐震性への影響が懸念される。

○タテ間渡し竹部分の塗り厚が周辺より薄くなり、乾燥時には土の痩せにより間渡し竹の箇所が突起し、その箇所は壁土は割れやすくなる。外力を受けた際に壁面破壊の原因になりやすく、建物

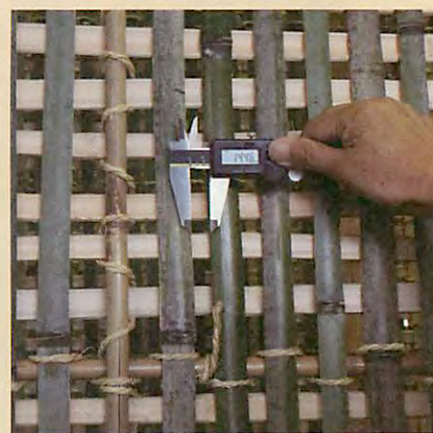
耐震への影響が懸念される。

(割竹間隔が狭くなりすぎることによる問題)

○荒壁土が裏側まではみ出しにくく、土壁の接着面に影響し、土壁の強度への影響が考えられる。



▲ 間渡し竹の径が太いと曲げて差込穴の奥まで入れることができない。



▲ 試験体 A (告示型) は割竹の間は約 15mm

[参考資料]

昭和56年6月1日 建設省告示第1100号

建築基準法施行令第46条第4項表1(一)項から(七)項までに掲げる軸組と同等以上の耐力を有する軸組及び当該軸組に係る倍率の数値を定める件
(平成15年12月9日 国土交通省告示第1543号による改正)

(以下告示文)

五 厚さ一・五センチメートル以上で幅十センチメートル以上の木材を用いて九十一センチメートル以下の間隔で、柱との仕口にくさびを設けた貫(当該貫に継手を設ける場合には、その継手を構造耐力上支障が生じないように柱の部分に設けたものに限る。)を三本以上設け、幅二センチメートル以上の割竹又は小径一・二センチメートル以上の丸竹を用いた間渡し竹を柱及びはり、けた、土台その他の横架材に差し込み、かつ、当該貫にくさび(J I S A 五五〇八—一九九二(鉄丸くさび)に定めるS F N 二五又はこれと同等以上の品質を有するものに限る。)で打ち付け、幅二センチメートル以上の割竹を四・五センチメートル以下の間隔とした小舞竹(柱及びはり、けた、土台その他の横架材との間に著しい隙間がない長さとしたものに限る。以下同じ。)又はこれと同等以上の耐力を有する小舞竹(土と一体の壁を構成する上で支障のないものに限る。)を当該間渡し竹にシュロ縄、パーム縄、わら縄その他これらに類するもので締め付け、荒壁土(百リットルの荒木田土、荒土、京土その他これらに類する粘性のある砂質粘土に対して〇・四キログラム以上〇・六キログラム以下のわらすさを混合したもの又はこれと同等以上の強度を有するものに限る。)を両面から全面に塗り、かつ、中塗り土(百リットルの荒木田土、荒土、京土その他これらに類する粘性のある砂質粘土に対して六十リットル以上百五十リットル以下の砂及び〇・四キログラム以上〇・八キログラムのみみずさを混合したもの又はこれと同等以上の強度を有するものに限る。)を別表第三(い)欄に掲げる方法で全面に塗り、土塗壁の塗り厚(柱の外側にある部分の厚さを除く。)を同表(ろ)欄に掲げる数値とした土塗壁を設けた軸組

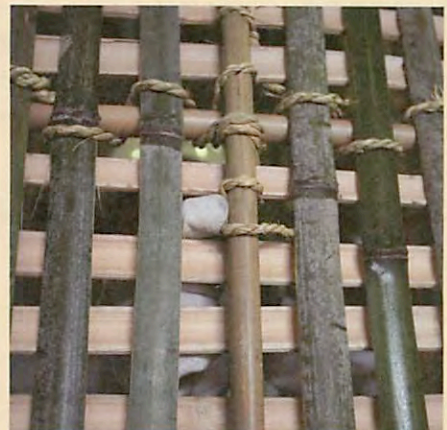
	(い)	(ろ)	(は)
	中塗り土の塗り方	土塗壁の塗り厚	倍率
(一)	両面塗り	七センチメートル以上	一・五
(二)		五・五センチメートル以上	一・〇
(三)	片面塗り		一・〇



▲ 間渡し竹部分等塗り厚が薄い箇所は壊れやすくなる



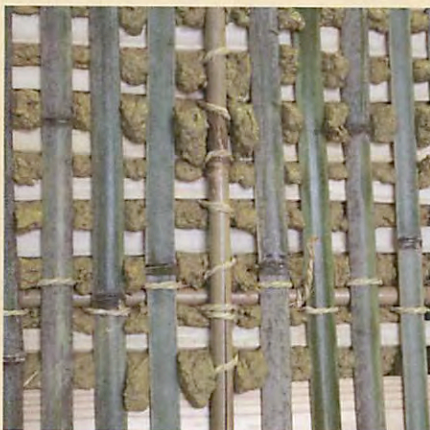
▲ 試験体 A (告示型) は間渡し竹の元は 18mm 近くになる



▲ 間渡し竹間 7 本では指が入りにくく施工が困難



▲ 試験体 B (地域型) は割竹の間は約 37mm



▲ 試験体 A (告示型) は荒壁が裏側まではみ出しにくい

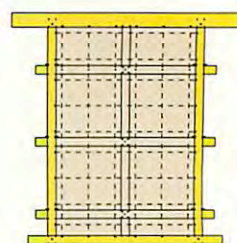


▲ 試験体 B (地域型) は荒壁が裏側まではみ出す

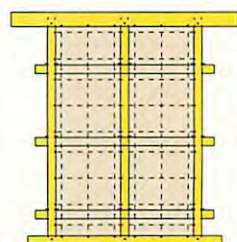
3.2007年度、2008年度試験

(1) 大変形後の簡易補修の効果(試験体B、C)

試験体	軸組(mm)				壁厚(mm)	中塗り	
	軸組幅	縦貫・半柱	間柱	廻縁・畳寄		場所	厚さ(mm)
B-2	1間	貫15×105	—	—	70	片面	8
B-3	1間	貫15×105	—	—	70	片面	16
C-2	3尺+3尺	貫15×105	—	—	76	片面	9
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)						2007年度	参考2006年度
荒壁：土(ねばい土60%+さくい土30%)約90kg+ワスリ約1.65kg+水約33kg						0.36	0.57
裏返し：粘土(ねばい土)40%+粘土(さくい土)40%+砂20%、ワスリ荒壁より10%増						0.44	—
大直し裏返しと同じ						0.52	—
中塗り：中塗り土27kg+砂(海砂)50kg+水20kg+ワスリ0.7kg						1.05	0.73
試験の概要							
<p>一度、せん断試験を行った土壁試験体(1/7.5rad以上の変形)に再度壁土を塗り直すのみの簡易な補修を行い、再使用の可能性・耐震性能の確認を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一度せん断試験を行った軸組と小舞下地を使用した。 ・軸組の柱間は1間(C-2試験体のみ3尺+3尺)で、間渡し竹および割竹寸法は、告示に示されている仕様(間渡し竹小径ϕ12mm以上、割竹幅2cm以上、割竹間隔45mm以内)に拘らない地域の仕様である。 ・簡易補修の程度は、小舞の藁縄の補修のうえ、壁土を再度塗り直すという補修を行っている。なお、構造材の接合部は、殆どが折れているが補修は行っていない。 ・試験方法は、2006年度と同じタイロッド式で行った。 							



試験体 B 姿図



試験体 C 姿図

試験体・B-2(補修):1間壁、中塗り・片面(塗厚8mm)

○中塗り壁土の圧縮強度の差※を配慮して換算すれば、補修後の最大耐力は0.88倍となっている。これは柱-土台、柱-梁接合のホゾのモーメント抵抗の発現がなかったことが起因しているためと推測される。

※中塗で使用した壁土の圧縮強度(1.05N/mm²)が健全な状態の試験体(0.73N/mm²)の1.4倍であったため健全な状態の時と比較すると初期剛性は1.21倍を示している。

試験体・B-3(補修):1間壁、中塗り・片面(塗厚16mm)

○中塗厚さがB-2(補修)試験体より8mm厚いため最大耐力で1.1倍の増加となった。

試験体・C-2(補修):3尺+3尺壁(四間間)、中塗り・片面(塗厚9mm)

○壁倍率は0.16下がっているが、壁倍率1.0は確認できる。

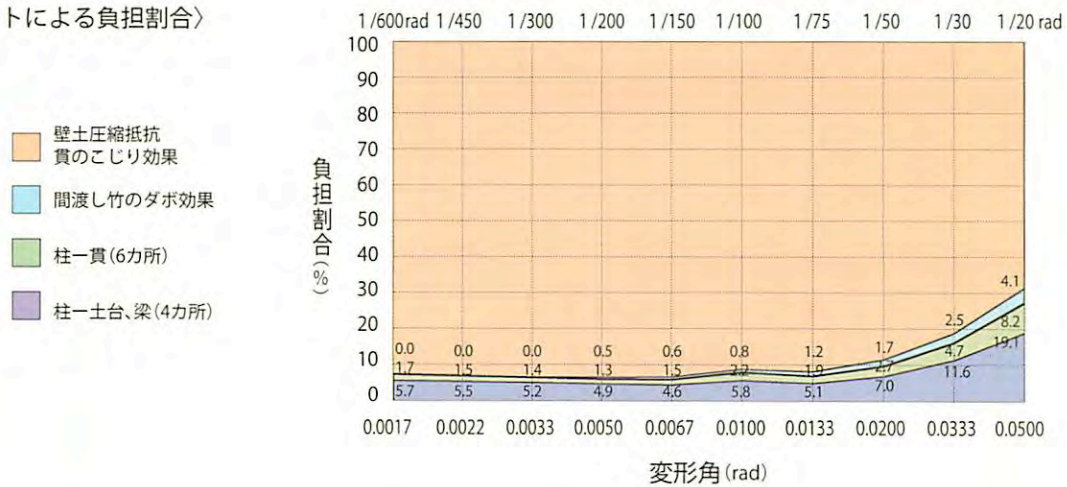
○エネルギー吸収能力を示す面積Sについては、健全な状態の0.65~0.88倍となっており、最大耐力後の荷重低下は健全なものとは比べホゾが折れていることにより進行する。

軸組の抵抗モーメントによる負担割合

○簡易補修を行った3試験体ともホゾが破損した状態であり軸組み仕口のモーメント抵抗はあまり期待できない状況にあり、耐力壁としての性能低下が認められた。

○別途実施した柱-土台、柱-貫の接合部実験(試験体数3体)および軸組+貫試験体(H試験体、2007年度の試験体数は1体)の実大実験より仕口の抵抗モーメントの算出を行った結果(右上グラフ参照)、軸組が負担する割合は、耐力壁の全抵抗モーメントの5~11%程度であることが推測される。

〈抵抗モーメントによる負担割合〉



● 地震などにより大変形した土壁は、竹小舞を編み直し、壁を塗り直すことにより、再使用の可能性がある。

〈試験結果／中塗り厚さ、片面・両面塗りの影響〉

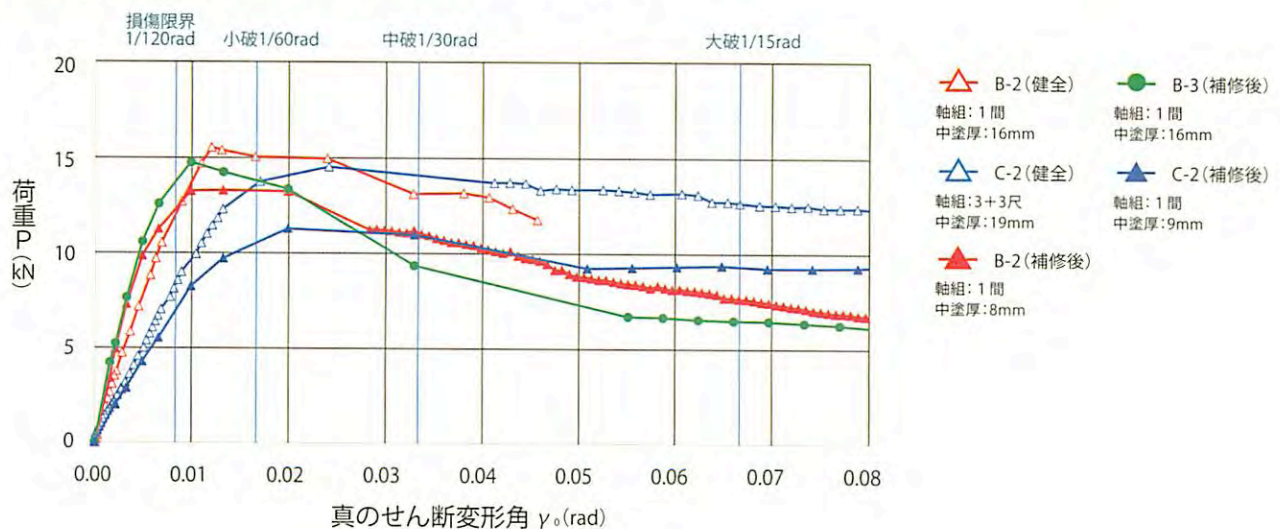
試験体名	最大耐力 P_{max} (kN)	比較係数 = 補修後 / 健全	初期剛性 K (kN/rad)	比較係数 = 補修後 / 健全	面積 $S^{注1)}$ (kN/rad)	比較係数 = 補修後 / 健全	壁倍率
B(健全) ^{注3)} 中塗り16mm	15.69	—	1752.41	—	0.51	—	1.52
B-2(補修後) 中塗り8mm	13.32	0.85 (B-2/B)	2120.15	1.21 (B-2/B)	0.40	0.88 (B-2/B)	1.63 ^{注2)}
B-3(補修後) 中塗り16mm	14.76	0.94 (B-3/B)	2260.88	1.29 (B-3/B)	0.30	0.65 (B-3/B)	1.54 ^{注2)}
C(健全) ^{注3)} 中塗り19mm	14.95	—	928.01	—	0.84	—	1.28
C-2(補修後) 中塗り9mm	11.32	0.76 (C-2/C)	835.15	0.90 (C-2/C)	0.62	0.73 (C-2/C)	1.12 ^{注2)}

注1): 面積は荷重・真のせん断変形角曲線における包絡線と真のせん断変形角の軸と終局変形角で囲まれる面積をいう。

注2): 壁倍率の算定については試験体数が1体であるため、バラツキ係数を乗じていない。

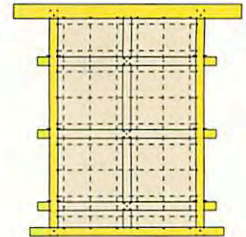
注3): 試験体3体の平均値

〈荷重 P- 真のせん断変形角 γ_0 曲線／大変形後の簡易補修の効果〉



(2) 中塗り厚さ、片面・両面塗りの影響 (試験体 D、E)

試験体	軸組 (mm)				壁厚 (mm)	中塗り	
	軸組幅	縦貫・半柱	間柱	廻縁・畳寄		場所	厚さ (mm)
D	1間	貫15×105	—	—	69	片面	10
E	1間	貫15×105	—	—	74	両面	23
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)						2007年度	参考2006年度
荒壁:土(ねばい土60%+さくい土30%) 約90kg+ワラサ 約1.65kg+水 約33kg						0.36	0.57
裏返し:粘土(ねばい土)40%+粘土(さくい土)40%+砂20%、ワラサ荒壁より10%増						0.44	—
大直し裏返しと同じ						0.52	—
中塗り:中塗り土27kg+砂(海砂)50kg+水20kg+ワラサ0.7kg						1.05	0.73
試験の概要							
<p>告示の土壁の壁倍率算出の根拠となった試験体では、中塗り厚さを1.5cm(工程数2~3)と想定しているが、香川県において中塗りは、1cm以下(通常の工程数1)で施工されるのが一般的である。試験では中塗り厚さの影響、および、中塗りを片面塗り、両面塗りとした場合における影響の確認を行った。</p> <p>・試験体D(片面塗り)と試験体E(両面塗り)を、2006年度に試験を行った試験体B(片面塗り、中塗り厚さ1.5cm程度)と比較して評価を行った。</p>							



試験体D,E姿図

試験体・D: 1間壁、中塗り・片面／塗厚10mm

○最大耐力、初期剛性ともに、健全な状態における試験体B(中塗り厚を16mm)より大きな値になったのは、中塗り土の圧縮強度が1.4倍となっていることが要因と推測される。

○中塗り壁土の圧縮強度は、壁倍率に影響を与えるものと思われる。

試験体・E: 1間壁、中塗り・両面／塗厚計23mm

○試験体Dと比較して、最大耐力で1.35倍、初期剛性で1.73倍、面積で1.20倍となった。

○中塗りを両面にすることにより、前工程(裏返し塗り)の乾燥収縮による軸組と壁土との間の隙間(4~5mm程度)を充填することができる。(写真右参照)

○これにより、初期の変形角において壁土の圧縮抵抗の効果が発現することが可能となり、耐力壁の初期剛性が向上したものと思われる。



▲裏返し塗りと軸組の間に発生した乾燥収縮

- 中塗り土の圧縮強度が強くなれば耐力壁としての性能も高くなる。
- 中塗りを両面塗りにすることで、初期剛性、最大耐力、吸収エネルギー量（面積）の性能が向上する。
- 荒壁土の乾燥収縮に伴う軸組と土壁との隙間の影響については検討の必要がある。

〈試験結果 / 中塗り厚さ、片面・両面塗りの影響〉

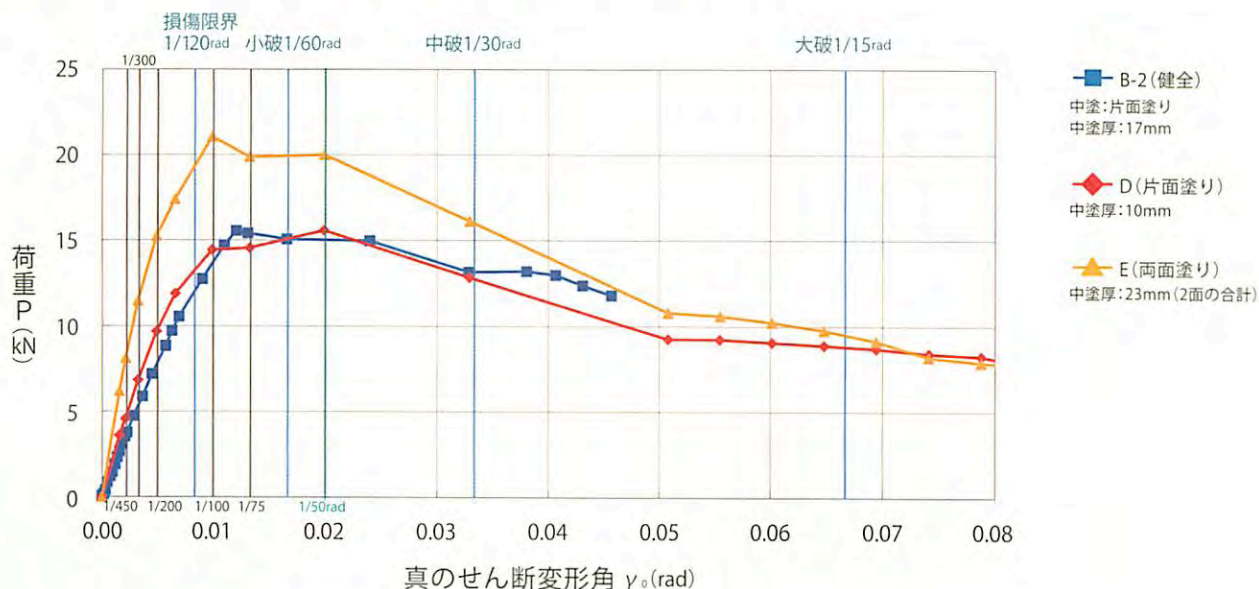
試験体名	最大耐力Pmax (kN)	比較係数	初期剛性K (kN/rad)	比較係数	面積 ^{注2)} S (kN/rad)	比較係数	壁倍率
B(健全) ^{注1)} 中塗り16mm	15.69	—	1752.41	—	0.51	—	1.52
D(片面塗り) 中塗り10mm	15.57	0.99 (D/B)	1981.79	1.33 (D/B)	0.44	0.95 (D/B)	1.76 ^{注3)}
E(両面塗り) 中塗り23mm	21.06	1.35 (E/D)	3425.20	1.73 (E/D)	0.53	1.20 (E/D)	2.53 ^{注3)}

注1): 試験体Bは、バラツキを考慮したもので、2006年度の中塗り厚さ16mmは3体の平均値である。

注2): 面積は、荷重-真のせん断変形角曲線における包絡線と真のせん断変形角の軸と終局変形角で囲まれた面積をいう。

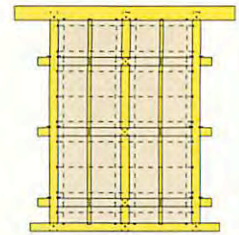
注3): 壁倍率の算定については、試験体が1体であるため、バラツキ係数を乗じていない。

〈荷重 P- 真のせん断変形角 γ_0 曲線 / 中塗り厚さ、片面・両面塗りの影響影響〉

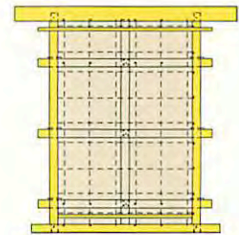


(3) 半柱、間柱、畳寄せ・廻り縁による荒壁の欠損の影響(試験体F、G)

試験体	軸組 (mm)				壁厚 (mm)	中塗り	
	軸組幅	縦貫・半柱	間柱	廻縁・畳寄せ		場所	厚さ(mm)
F-1	1間	半柱45×105 長ほぞ厚30	杉45×45	—	69	片面	10
F-2	1間	半柱75×105 長ほぞ厚30	杉45×45	—	69	片面	10
G	1間	貫15×105	—	杉36×42	68	片面	9
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)						2007年度	参考2006年度
荒壁:土(ねばい土60%+さくい土30%) 約90kg+ワスサ 約1.65kg+水 約33kg						0.36	0.57
裏返し:粘土(ねばい土)40%+粘土(さくい土)40%+砂20%、ワスサ荒壁より10%増						0.44	—
大直し裏返しと同じ						0.52	—
中塗り:中塗り土27kg+砂(海砂)50kg+水20kg+ワスサ0.7kg						1.05	0.73



試験体F姿図



試験体G姿図

試験の概要

土壁の内壁を1間壁として外壁の仕上げを板張り等の大壁仕上げとする場合には、「間柱」および「半柱」が柱間に取り付けられるが、その間柱および半柱によって荒壁は欠損をおこすこととなる。また、和室の場合は「畳寄せ」や「廻り縁」が付くことで、大直し壁および中塗り壁が構造材まで塗り付けられることはない。

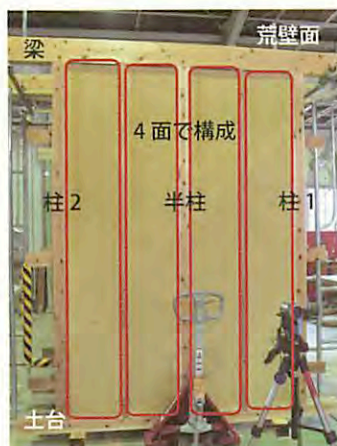
このような壁の欠損による耐力への影響の確認を行った。

- ・半柱の試験体は、半柱の柱寸法45×105mm(試験体F1)と半柱の柱寸法75×105mm(試験体F-2)の2種類を製作した。
- ・試験体F-2は、水平貫を貫通させ、半柱の位置には寒冷紗にて乾燥収縮によるひび割れの抑制を行った。

試験体F1:1間壁、半柱(45×105mm)、間柱、中塗り・片面(塗厚10mm)

○試験体D(1間壁、中塗厚10mm)と比較すると最大耐力で0.87倍、初期剛性で0.92倍、面積で0.61倍となった。

○最大耐力の低下要因としては、間柱および半柱により裏返し塗り面が4分割(写真1)され、壁土の乾燥収縮に伴う部材と壁土の隙間が生じる箇所が多くなり、その部分が躯体に接触するまでは壁土圧縮抵抗が働かなかつたためと推測される。また、土壁を「重ね梁」と見立てた場合にその曲げ剛性に及ぼす影響と同様の現象が考えられる。

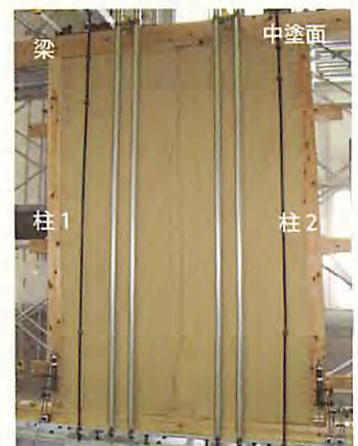


▲写真1:荒壁面

試験体F2:1間壁、半柱・貫が貫通(75×105mm)、間柱、中塗り・片面(塗厚10mm)

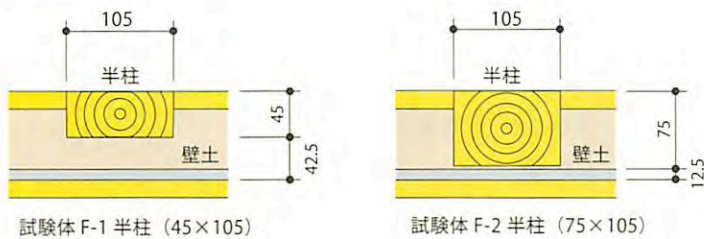
○半柱寸法が大きくなることにより半柱上の壁厚が12mm程度(右項上図)となる。ひび割れ抑制のため半柱の面に寒冷紗を施工しているが、1/200radで半柱に沿ったひび割れが発生し(写真2)耐力が一旦増加しなくなった。最大耐力は「試験体F-1」の0.88倍と低下し、このことが最大耐力に影響していることが理解できる。

○最大耐力到達後の荷重低下は緩やかであり、吸収エネルギー量を示す面積は「試験体D」と同等で、「試験体F-1」の1.7倍となっている。これは貫を通し貫にしていることによる貫の曲げ抵抗の効果であると思われる。



▲写真2:中塗面

〈試験体 F の半柱断面図〉



試験体G: 1間壁、廻り縁、畳寄せ、中塗り・片面(塗厚9mm、廻り縁、畳寄せまで塗り付け)

○「試験体D」と比較して、最大耐力は0.85倍、初期剛性は0.84倍、面積は0.89倍となり、「廻り縁」「畳寄せ」を取り付けることにより性能が低下することが確認できる。

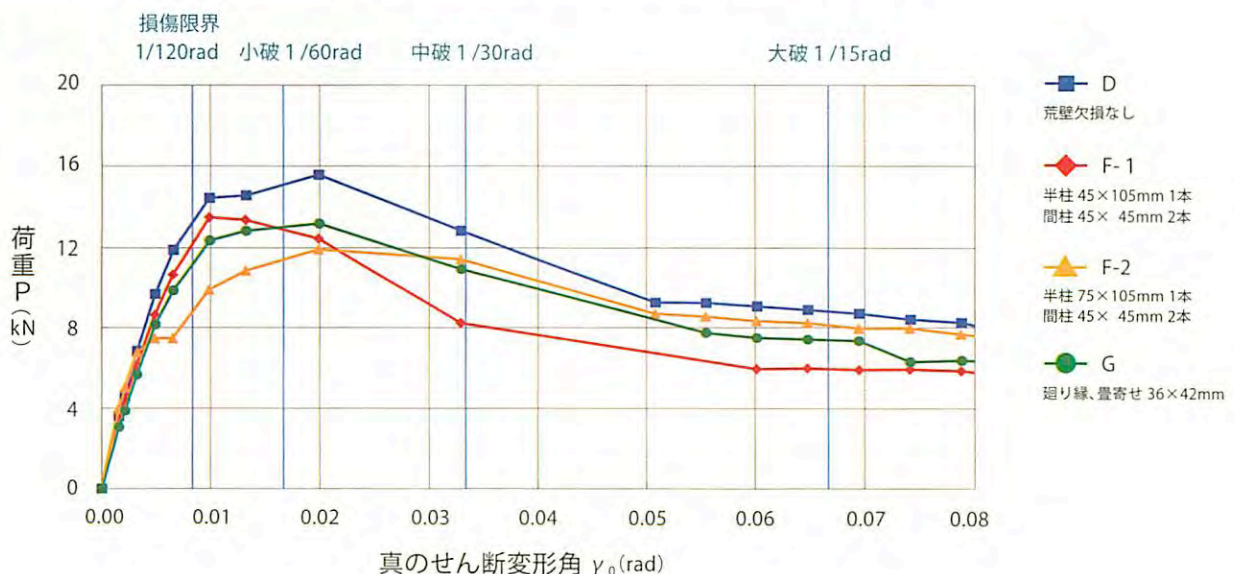
- 半柱、間柱により最大耐力は低下するが、半柱を通し貫にすることで吸収エネルギー量は低下しない。ただし、半柱により壁塗り厚が薄くなる箇所の塗り厚確保もしくは割れ防止方法の再考が必要である。
- 廻り縁、畳寄せにより、最大耐力、初期剛性、エネルギー吸収能力は約15%低下する。

〈試験結果／半柱、間柱、畳寄せ・廻り縁による荒壁の欠損の影響〉

試験体名	最大耐力Pmax (kN)	比較係数	初期剛性K (kN/rad)	比較係数	面積 S ^{注1)} (kN/rad)	比較係数	壁倍率 ^{注2)}
D 1間壁、中塗厚10mm	15.57	—	1981.79	—	0.44	—	1.76
F-1 半柱45×105、中塗厚10mm	13.49	0.87 (F-1/D)	1816.93	0.92 (F-1/D)	0.27	0.61 (F-1/D)	1.32
F-2 半柱75×105、中塗厚10mm	11.93	0.77 (F-2/D)	210.27	1.06 (F-2/D)	0.46	1.05 (F-2/D)	1.36
G 廻り縁、畳寄せ、中塗厚9mm	13.18	0.85 (G/D)	1674.00	0.84 (G/D)	0.39	0.89 (G/D)	1.51

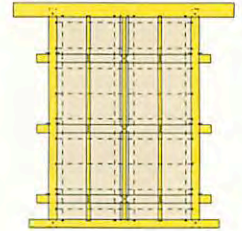
注1): 面積は、荷重-真のせん断変形角曲線における包絡線と真のせん断変形角の軸と終局変形角で囲まれた面積をいう。
注2): 壁倍率の算定については、試験体が1体であるため、バラツキ係数を乗じていない。

〈荷重 P- 真のせん断変形角 γ_0 曲線／半柱、間柱、畳寄せ・廻り縁による荒壁の欠損の影響〉



(4) 外壁面砂漆喰補修の結果(試験体I)

試験体	軸組 (mm)				壁厚 (mm)	中塗、砂漆喰	
	軸組	軸組寸法	タテ貫	間柱		場所	厚さ (mm)
I	1間	1820×2730	15×105	杉45×@455	73	片面・中塗り 片面・砂漆喰	10 6
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)						2008年度	参考 2007年度
荒 壁: 粘土60%+花崗土40%						0.43	0.36
裏返し: 荒壁土と同じ						0.43	0.44
大直し: 粘土60%+花崗土40%						0.49	0.52
中塗り: 中塗り土18kg+海砂50kg+ワラスサ0.5kg						0.78	1.05
砂漆喰: 土佐漆喰:砂=1:5						0.29	—
試験の概要							
<p>香川県内では外壁を大壁仕上げとする場合、外壁面は裏返し塗りまでとするのが一般的で、その際に壁面と軸組の間に土壁の乾燥収縮による隙間が発生する。香川県内の東部や山間部、徳島県や高知県では、工事中の雨がかり等を考慮して砂漆喰が塗られているが、このチリ隙間を補修する工程により圧縮抵抗の向上が期待できるものかどうかを確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・試験体Iの外壁側は、間柱を@455で施工し(4面に分割)裏返し塗りの上に砂漆喰を施工した。 ・2007年度に試験を実施した試験体D(1間壁、片面塗り)、試験体E(1間壁、両面塗り)と比較して評価を行った。 							



試験体I姿図

- 中塗り壁の圧縮強度は、試験体I=0.78N/mm²、試験体D,E=1.05N/mm²と試験体Iが0.78倍低い値であった。
- 砂漆喰の圧縮強度=0.29N/mm²、荒壁=0.43N/mm²よりも小さかった。
- 初期剛性は、チリ周りに隙間のある試験体Dと比較すると、試験体Iを1としたとき試験体Dは0.85であり、隙間を埋めることによる効果が確認できる。また、両面中塗りを施した試験体Eと比較すると、その比較係数は1.47で、壁耐力に与える中塗り壁の強度の影響が大きいことがうかがえる。
- 最大耐力は、チリ周り隙間をなくすることで向上が期待できるが、中塗り土の圧縮強度、間柱で壁面が小さく分割(4分割)されることによる間柱の際からのひび割れ、などの条件が影響することが推測される。
- エネルギー吸収能力(面積S)は、チリ周りの隙間の有無にかかわらず、最大耐力の向上により向上する。



▲1/7.5rad 砂漆喰面・梁部分



▲1/7.5rad 砂漆喰面・土台部分

- 初期剛性は、チリ周りの隙間をなくすることにより向上する。
- 最大耐力もチリ際の隙間をなくすることで向上するが、間柱や中塗り土圧縮強度の影響は大きい。
- エネルギー吸収能力については、チリ周りの隙間の有無は、影響なさそうである

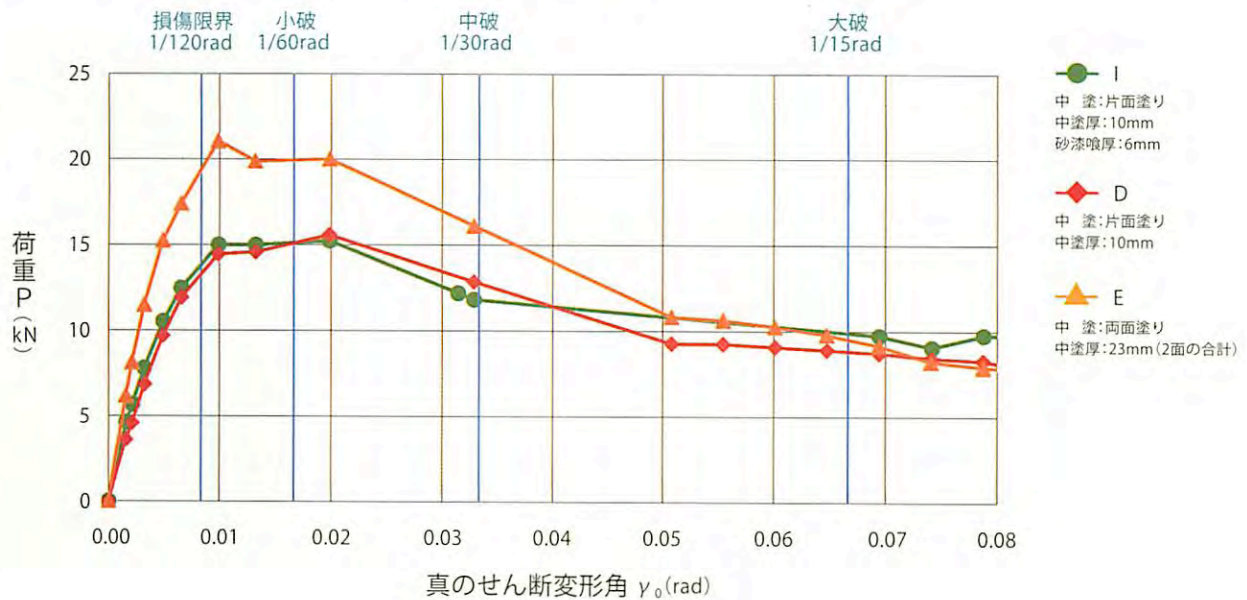
〈試験結果 / 外壁面砂漆喰補修の効果〉

試験体名	最大耐力 P_{max} (kN)	比較係数	初期剛性 K (kN/rad)	比較係数	面積 ^{注1)} S (kN×rad)	比較係数	壁倍率 ^{注2)}	比較係数
I (壁厚 73mm) 中塗り 10mm 砂漆喰塗厚 6mm	15.25	—	2326.34	—	0.40	—	1.80	—
D (壁厚 69mm) 片面・中塗り 10mm	15.57	1.02 (D/I)	1981.79	0.85 (D/I)	0.44	1.10 (D/I)	1.76	0.98 (D/I)
E (壁厚 74mm) 両面・中塗り 23mm	21.06	1.38 (E/I)	3425.20	1.47 (E/I)	0.53	1.33 (E/I)	2.53	1.41 (E/I)

注 1) : 面積は、荷重 - 真のせん断変形角曲線における包絡線と真のせん断変形角の軸と終局変形角で囲まれた面積をいう。

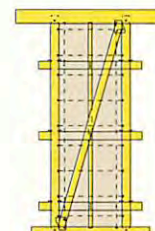
注 2) : 壁倍率の算定については、試験体が 1 体であるため、バラツキ係数を乗じていない。

〈荷重 P- 真のせん断変形角 γ_0 曲線 / 外壁面砂漆喰補修の効果〉



(5) 筋かい併用の影響 (試験体K)

試験体					壁厚 (mm)	中塗、砂漆喰	
	軸組	軸組寸法	間柱	筋かい		場所	厚さ (mm)
K	3尺	910×2730	杉45×@455	圧縮筋筋かい 30×90	65	片面・中塗り	13
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)						2008年度	参考2007年度
荒壁: 粘土60%+花崗土40%						0.43	0.36
裏返し: 荒壁土と同じ						0.43	0.44
大直し: 粘土60%+花崗土40%						0.49	0.52
中塗り: 中塗り土18kg+海砂50kg+ワラスサ0.5kg						0.78	1.05
試験の概要							
<p>建築基準法では土壁は筋かいを併用することで壁倍率を加算することができる。土壁は軸組の内部全体にわたって存在し作用した外力を分散して抵抗するが、筋かいは外力を部材単体で受け接合部又は部材が損傷する。このような異なる抵抗メカニズムを持つ要素を併用した場合の破壊性状を確認した。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・筋かいは突き付けとし、入り隅部の接合は筋かいプレートBPを使用した。 ・筋かい30×90のみを使用する耐力壁の壁倍率は「1.5」である。 ・筋かいないの3尺幅の壁(参考文献による)、巾3尺+3尺の試験体C(2006年度試験)、1間巾の試験体D(2007年度試験)と比較して評価した。 ・試験体J(1間巾、筋かい付)は、試験機のトラブルにより試験データを得ることができなかったため本稿に掲載していない。 							



試験体K 姿図

○筋かいないの3尺壁(参考文献による壁)に比べて、降伏耐力で2.2倍、最大耐力で1.83倍の効果が確認できる。

○エネルギー吸収能力(面積S)は、最大荷重到達後の荷重低下が緩やかで3尺+3尺の試験体Cと似た形状(荷重-真のせん断変形角曲線)を示す。

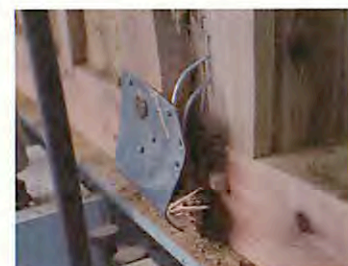
○壁倍率は、試験体Kの仕様による土壁の壁倍率「1.0」と、筋かい(30mm×90mm)を使用した場合の壁倍率「1.5」を加算した数値にはなっておらず、単純に壁倍率を加算できるとは言い難い。(試験結果から求める壁倍率は低減係数0.75を乗じて2.06倍を示している)

○これは、外壁側の裏返し塗り面の壁土は、筋かいと間柱によって4つに分断されるため、1つの面として構成される場合に比べて壁土のせん断力が低下することが原因と考えられる。

○破壊性状は、1/50radで筋かいプレートの変形、地貫に沿って貫のこじり効果によるひび割れが生じ、1/30radで壁対中央部にせん断ひび割れが生じた。最大荷重到達後は、ひび割れは進行するが荷重は緩やかに低下した。



▲1/6.7rad 中塗り面



▲1/6.7rad 土台部の筋かいプレート

- 壁倍率1.0の仕様による土壁と筋かいを併用する場合、土壁の壁倍率1.0に筋かいの壁倍率を加算するには3尺幅の壁の特性を考慮しておく必要がある。(3尺幅の壁の壁倍率決定要因は1/150radである)
- 3尺幅の壁は、せん断破壊が先行しないタイプの壁である試験体C(10p参照)と破壊性状が類似している。

〈試験結果／筋かい併用の影響〉

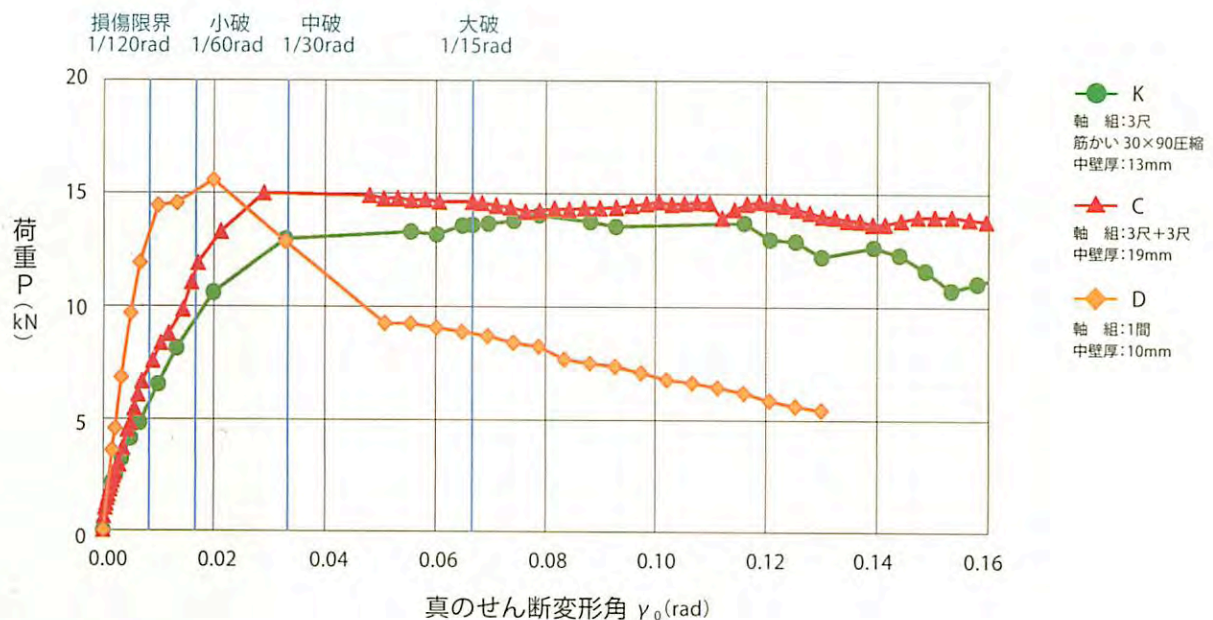
試験体名	最大耐力 P_{max} (kN)	比較係数	降伏耐力 P_y (kN)	比較係数	面積 S (kN×rad)	比較係数	壁倍率 ^{注2)}	比較係数
K 壁厚65mm、中塗厚13mm	14.06	1.83 (K/参考)	8.47	2.20 (K/参考)	0.73	—	2.06 ^{注3)}	1.21 (K/参考)
参考文献 ^{注1)} (筋かい無し) 軸組3尺、貫3本、柱・土台120×120 梁120×180	7.7	—	3.86	—	—	—	1.70	—
C 軸組3尺+3尺、貫3本、壁厚78mm、 片面・中塗厚19mm	14.95	1.06 (C/K)	9.16	1.08 (C/K)	0.84	1.15 (C/K)	1.28	0.62 (C/K)
D 軸組1間、貫3本、壁厚69mm、 片面・中塗厚10mm	15.57	1.10 (D/K)	9.25	1.09 (D/K)	0.44	0.60 (D/K)	1.76	0.85 (D/K)

注1)：参考文献／伊藤淳 他「壁幅の異なる土塗り壁の損傷過程その1 実験概要」2004年度建築学会大会(北海道) 学術講演梗概要集, pp421~422

注2)：壁倍率の算定については、試験体が1体であるため、バラツキ係数を乗じていない。

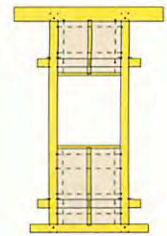
注3)：3尺壁で構成された場合、壁倍率の決定項は筋かいの有無にかかわらず1/150rad時の耐力である。

〈荷重P－真のせん断変形角 γ_0 曲線／筋かい併用の影響〉

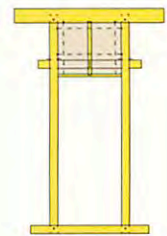


(6) 垂れ壁、腰壁の耐力(試験体L、M、N)

試験体	軸組(mm)				壁厚 (mm)	中塗、壁漆喰	
	軸組	軸組寸法	間柱	壁		場所	厚さ(mm)
L	3尺	910×2730	杉45×@455	垂れ壁+腰壁	66	片面・中塗り	12
M	3尺	910×2730	杉45×@455	垂れ壁 (鴨居・片目地)	67	片面・中塗り	12
N	3尺	910×2730	杉45×@455	垂れ壁 (鴨居・片目地)	66	片面・中塗り	10
土の仕様と圧縮強度 σ_{max} (N/mm ²)						2008年度	参考 2007年度
荒壁：粘土60%+花崗土40%						0.43	0.36
裏返し：荒壁土と同じ						0.43	0.44
大直し：粘土60%+花崗土40%						0.49	0.52
中塗り：中塗り土18kg+海砂50kg+ワラスサ0.5kg						0.78	1.05
試験の概要							
<p>開口部を有する土塗り壁として「垂れ壁と腰壁がある壁」および「垂れ壁のみの壁」の場合の耐震性能を確認した。また、垂れ壁のみの壁については、鴨居の取り付け方法「片目地(鴨居の片側のみホゾ加工)」、「両目地(鴨居の両側をホゾ加工)」の施工方法の違いによる破壊性状や耐力等への影響の確認を行った。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・腰壁の貫は、一般には窓台の下に中貫が入るべきであるが本試験体では入っていない。 ・開口部のない3尺壁(参考文献による)と比較して評価を行った。 							



試験体L 姿図



試験体 M,N 姿図

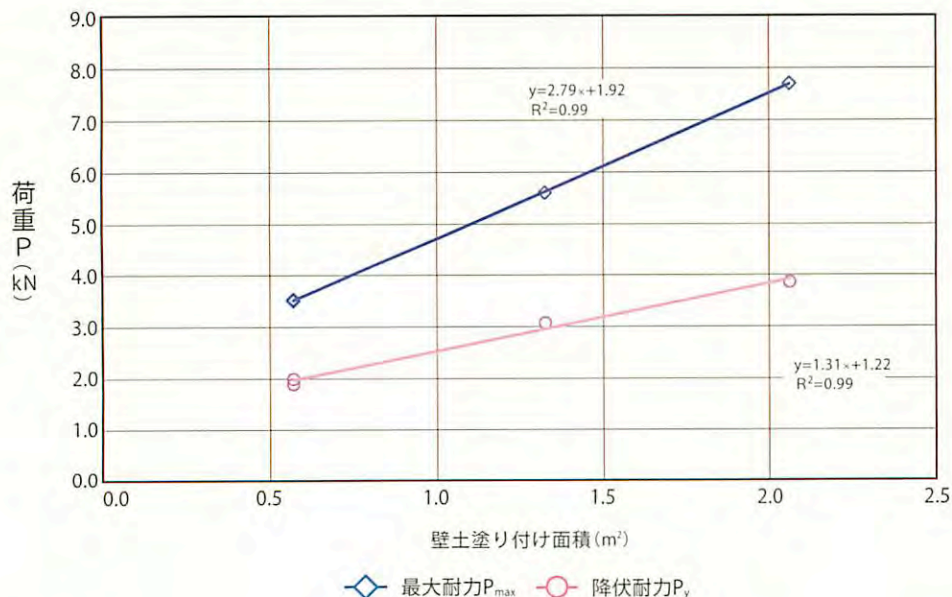
○土壁の塗りつけ面積は、すべてを塗った3尺幅の壁(参考資料)と比較すると、試験体Lで0.64倍、試験体Mおよび試験体Nで0.28倍である。

○最大耐力、降伏耐力、エネルギー吸収能力(面積S)、壁倍率は、土壁の塗りつけ面積と相関関係(一次

式で近似)にあり、塗りつけ面積の減少によりそれぞれの数値も低下する。

○鴨居と柱の接合における「両目地」か「片目地」かの違いによる破壊性状や耐力への影響は確認できなかった。

〈荷重P-真のせん断変形角 γ 。曲線/垂れ壁、腰壁の耐力〉



▲ 1/8.6rad 中塗り面

● 開口部のある土壁の耐力は、壁の塗りつけ面積と相関する。

〈試験結果／垂れ壁、腰壁の耐力〉

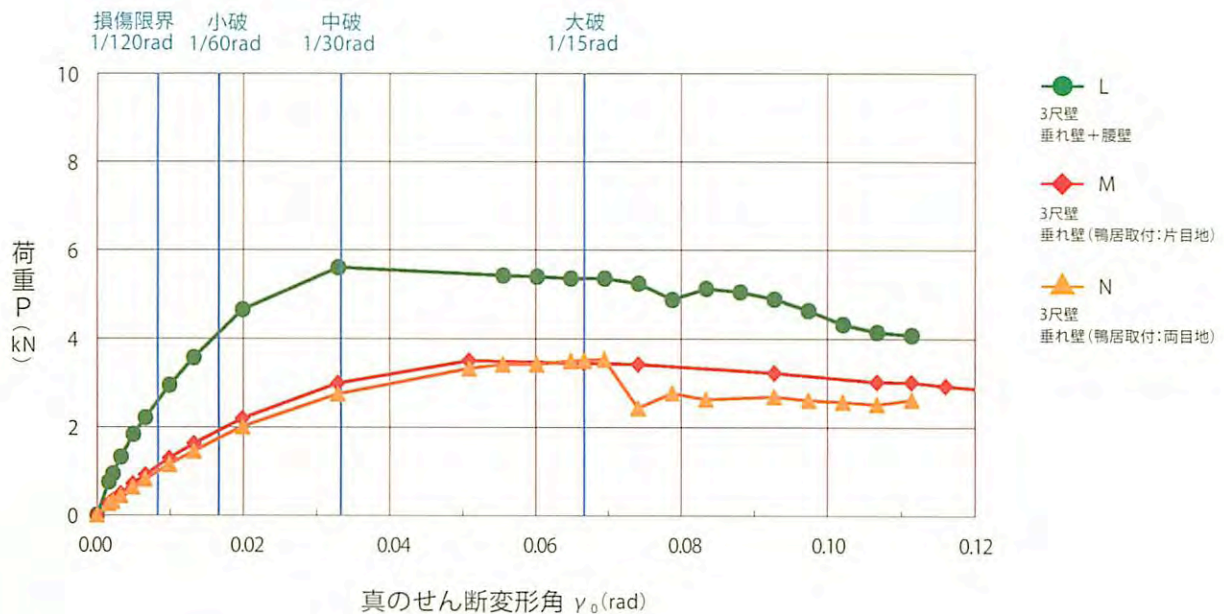
試験体名	壁土塗面積 (㎡)	比較係数	最大耐力 P_{max} (kN)	比較係数	降伏耐力 P_y (kN)	比較係数	面積 $S^{(注3)}$ (kN×rad)	比較係数	壁倍率 ^(注2)	比較係数
L 壁厚66mm 片面・中塗厚12mm	1.32	0.64 (L/参考)	5.61	0.73 (L/参考)	3.07	0.80 (L/参考)	0.31	—	0.93	0.55 (L/参考)
M 片目地、壁厚67mm、 片面・中塗厚12mm	0.57	0.28 (M/参考)	3.51	0.46 (M/参考)	1.89	0.49 (M/参考)	0.13	0.43 (M/L)	0.38	0.22 (M/参考)
N 両目地、壁厚66mm、 片面・中塗厚10mm	0.57	0.28 (N/参考)	3.54	0.46 (N/参考)	1.99	0.51 (N/参考)	0.16	0.53 (N/L)	0.34	0.20 (N/参考)
参考文献 ^(注1) 軸組3尺	2.10	—	7.7	—	3.86	—	—	—	1.70	—

注1): 参考文献／伊藤淳 他「壁幅の異なる土塗り壁の損傷過程その1 実験概要」2004年度建築学会大会(北海道)学術講演梗概要集、pp421～422

注2): 壁倍率の算定については、試験体が1体であるため、バラツキ係数を乗じていない。

注3): 面積は、荷重-真のせん断変形角曲線における包絡線と真のせん断変形角の軸と終局変形角で囲まれる面積をいう。

〈荷重P—真のせん断変形角 γ_0 曲線／垂れ壁、腰壁の耐力〉



香川県における壁土の実態調査

1. 壁土調査の概要

目的

香川県において一般に使用される壁土について、特性および圧縮強度に影響をあたえる要因を把握すること。

試験材料

- ・ 荒壁土は、香川県内6社の壁土製造業者から提供されたものを使用した。
- ・ 中塗り土は、市販のおろし土を使用した。

試験方法

- ・ 「粒度分布」: JIS A 1204:2000 (土の粒度試験方法)
- ・ 「密度試験」: JIS A 1202:1999 (土粒子の密度試験方法)
- ・ 「液性・塑性限界」: JIS A 1205:1999 (土の液性限界・塑性限界試験方法)
- ・ 「ワラスサ混入割合」: 試験体に練り混ぜられているワラスサの量を一定質量の壁土に対する割合で表す。

- ・ 「壁土圧縮試験」: 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

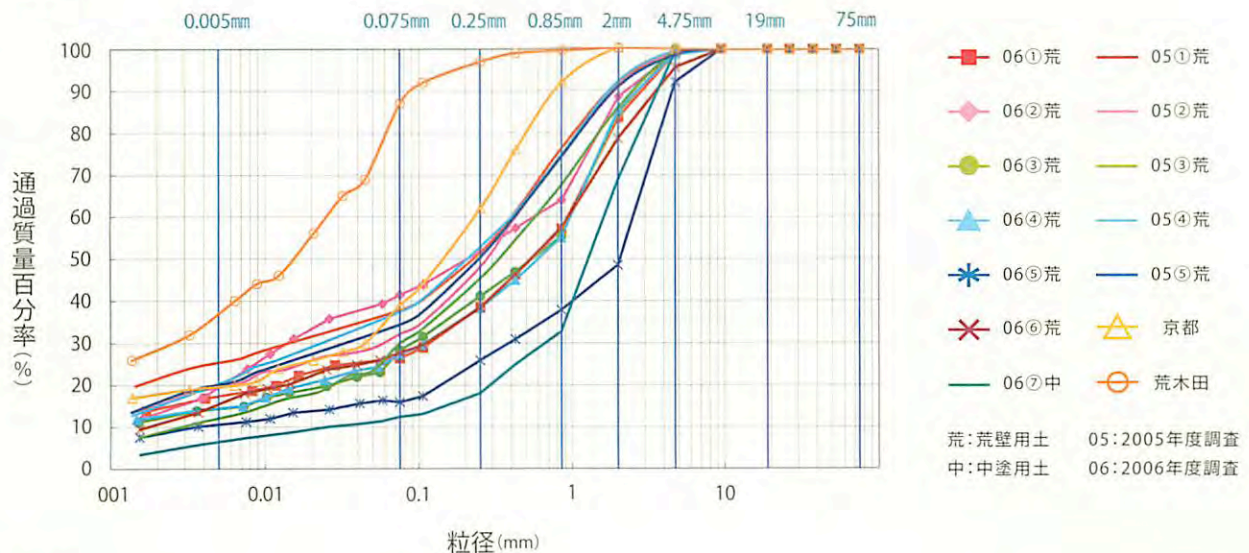
2. 調査結果

(1) 粒度分布

○香川県内で土壁に使用される壁土は、「ねばい土」(粘性度の高い土)と「さくい土」(粘性の低い土)を調合してつくられるが、産出地が異なっても概ね粒度のばらつきは少ない。また、2種類の土(粘性の高い土と低い土)を調合することにより技術解説書に示された品質の要件を満足し、ばらつきを少なくすることが可能である。

○香川県内において産出される荒壁用の土の粒度分布は、施工実績のある壁土(京都産の土・技術解説書113ページ)と同等の微粒分を含む壁土であることが確認できる。

〈粒度加積曲線〉



(図表の見方)

- ・ 線の傾きが大きいほど、その部分での粒径の割合が高いことを示す。
- ・ 曲線が左に寄ると粒径の小さな粒子が多く、右に寄るほど粒径の大きな粒子が多くなる。
- ・ 曲線が全体的になだらかで凹凸が少ないほど、大小様々な粒子が均等に分布し、粒子間にできる隙間をさらに小さな粒子が埋めるという関係が効果的に働くため、バランスの良い粒度分布であることを示す。

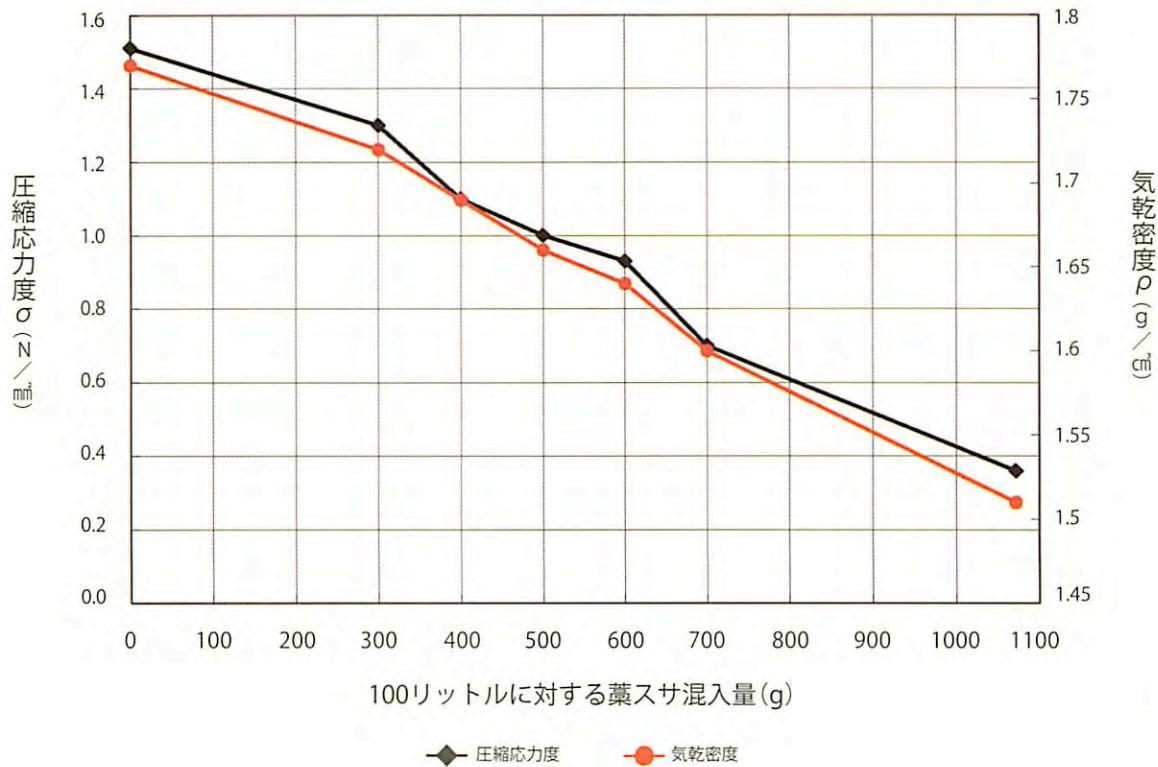
- 香川県内で土壁に使用される壁土は、産出地が異なっても概ね粒度のばらつきは少なく、壁土に必要な品質要件を満足しているといえる。

(2) 藁スサ混入量と圧縮応力度

○藁スサの混入が増加することにより、気乾密度、圧縮応力度ともに減少する。これは藁スサを混入することによって壁土内部に空隙が生じるためである。

○藁スサが混入している状態において、壁土の気乾密度が高くなると壁土強度も増加する傾向にある。

〈圧縮応力度・気乾密度—藁スサ混入量〉



● 藁スサの混入量が増加すると壁土強度は低下する。

壁土の圧縮強度

壁土の圧縮強度は、「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」(25p)で、標準試験方法は確立されていないが、同解説書により例示する試験方法または同等の試験方法により、右の表の数値を満足するものと記述している。

	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

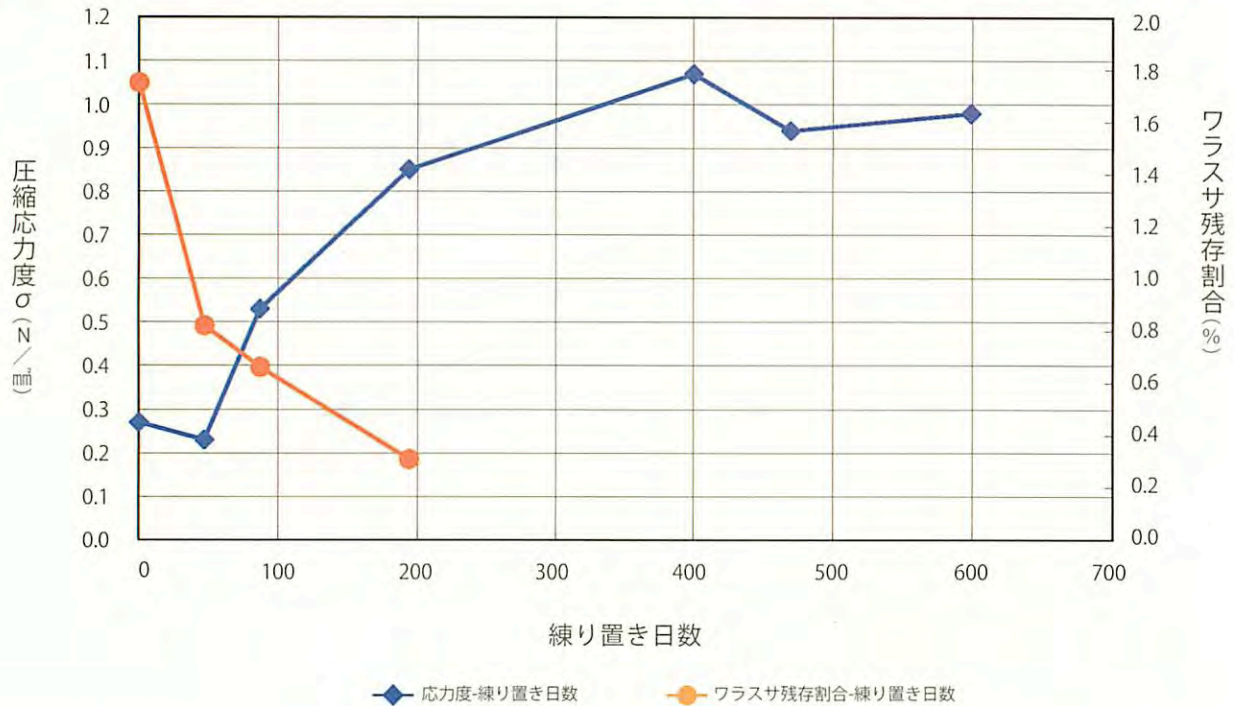
〈参考〉

一般に使われているコンクリートの圧縮強度 210 kg/cm^2 は約「 21 N/mm^2 」で、荒壁に求められる圧縮強度「 0.30 N/mm^2 」の約70倍に相当する。

(3) 練り置き土と圧縮応力度

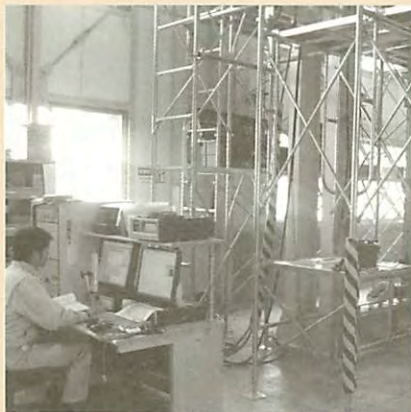
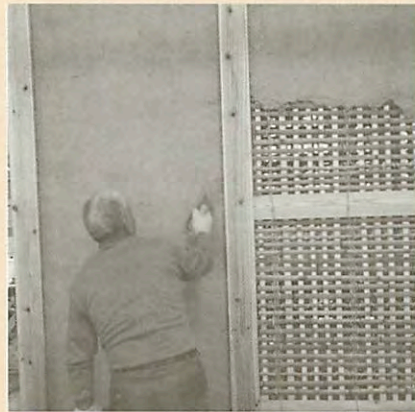
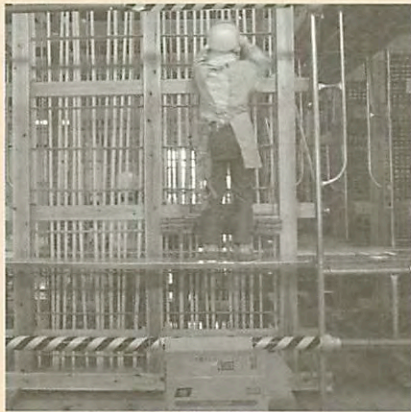
- 練り置き日数の経過に対して気乾密度が上昇し、194日程度でほぼ一定となる。
- 練り置き期間が400日から藁スサが目視で確認できなくなった。
- 練り置くことで圧縮強度の向上が期待できるのは400日程度である。

〈練り置き日数 - 圧縮応力度、藁スサ混入割合〉



- 練り置き土とは、壁土の強度を上げるために藁スサを練り混ぜながら一定期間寝かせた土のことである。練り置くことで藁スサが腐敗し、藁スサの芯の繊維質を残し密度が高くなることで強度が増加するといわれている。
- 0日から47日においては、試験体作成時に型枠にそのまま流し込んだ状態で製作していたが、ひび割れが多く発生し、壁土が本来固まろうとする凝集力に影響を与えたものと思われる。87日以降は試験方法を改善した。
- 試験期間は、2006年4月23日～2007年11月1日
- 試験では、藁スサの追加は行っていない。

- 練り置きを行うことで、藁スサが壁土となじみ強度が増加する。
- 練り置くことで圧縮強度の向上が期待できるのは400日程度である。



実験協力(敬称略)

- ・ 四国職業能力開発大学校 住居環境学科 講師 宇都宮直樹
(2006年度学生) 内藤誠、平田純一、松岡竜二、山田喜之、山上智由、吉村愛美
(2007年度学生) 坂井郁雄、豊嶋和宏、立尾裕晶
(2008年度学生) 谷岡麻美、宮岡知栄、三好佑治、田中悌二、前田徹信
- ・ 試験体製作および試験材料提供等 左官職、大工職、竹小舞職、材料業の方々

「壁土の圧縮強度試験」を受け付けます

四国職業能力開発大学校では「壁土(配合済みの荒壁土、中塗り土)の圧縮強度試験」を受け付けています。材料の搬入方法や費用などの詳細については下記までお問い合わせください。

〈問い合わせ先〉

独立行政法人 雇用・能力開発機構

四国職業能力開発大学校 援助計画課

〒763-0093 香川県丸亀市郡家町3202番地

Phone.0877-24-6290 Fax.0877-24-6291

土壁ネットワーク

〒760-0050 香川県高松市亀井町8-12 (有)田園都市設計内 土壁ネットワーク代表 大西泰弘

Phone.087-831-8662 Fax.087-831-8663

「土壁ネットワーク」は、2006年4月、土壁の存続と普及に寄与することを目的に香川県の左官、大工、小舞職、竹材業、壁土業、建材メーカー、設計者、研究者などが集まってつくった任意団体です。

■ 発行日／2009年3月

■ 編集・発行／土壁ネットワーク

〒760-0050 高松市亀井町8-12(有)田園都市設計内

Phone. 087-831-8662 Fax. 087-831-8663

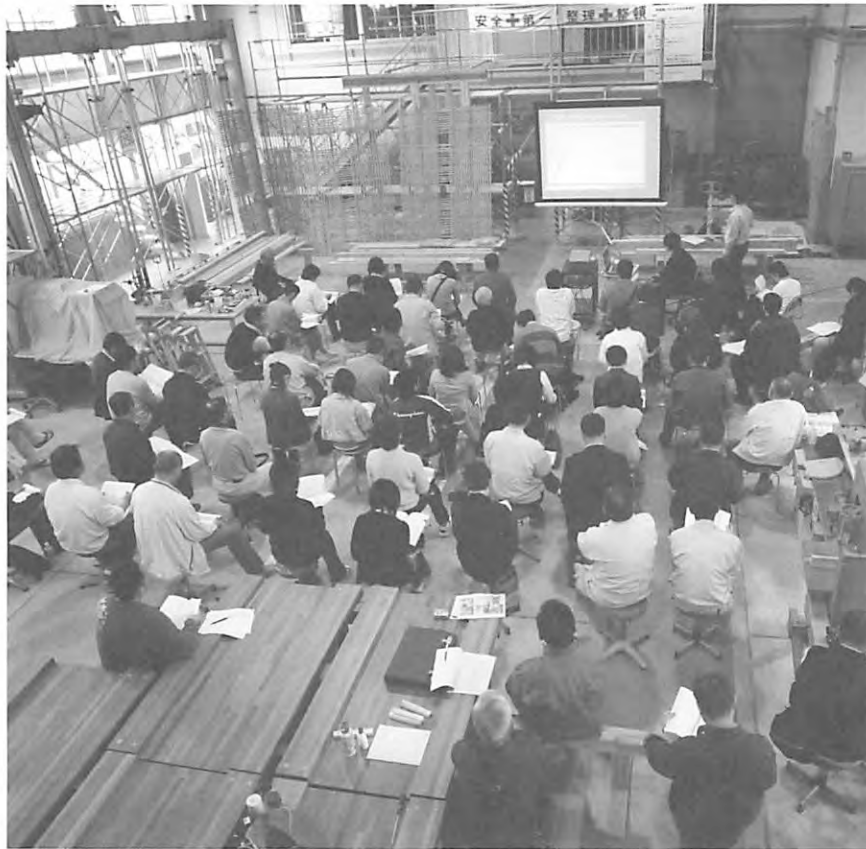
<http://www.tutikabe-net.jp>

■ 編集協力／独立行政法人 雇用・能力開発機構 四国職業能力開発大学校 住居環境学科 講師 宇都宮直樹

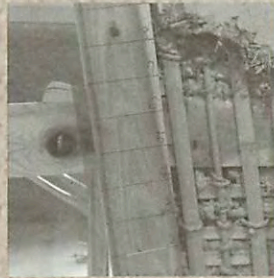
この冊子は「平成20年度地域木造住宅市場活性化推進事業」の支援を受けて制作しました。

※無断転載・複製を禁じます。





本冊子は、2006年～2008年の3年間に土壁ネットワークが四国職業能力開発
大学校とおこなった共同研究成果の概要をまとめたものです。
詳しい試験データなどを記録した試験報告書本編を必要とする方は土壁
ネットワークまでお問い合わせください。



2009年3月
土壁ネットワーク