

2008 年度 土塗り壁の実大面内せん断試験

1 目的

本研究における目的を下記に示す。

1. 壁土の乾燥収縮にちり周りの隙間の影響

香川県内の土塗り壁は、外壁を板張り等の大壁仕様とした場合に外壁側の壁土塗りは裏返し塗りまでとされる。その際に裏返し塗りと軸組みとの間のちり際では写真1に見られる隙間が壁土の乾燥収縮により発生する。これにより地震や台風等の水平外力を受けた際の初期変形段階時に壁土と軸組み隅角部の圧縮抵抗が期待できない。そこで徳島県や高知県に見られる雨がかりを考慮し壁土が流れ落ちないように砂漆喰を塗りつけることを行うが、この工程を行うことにより

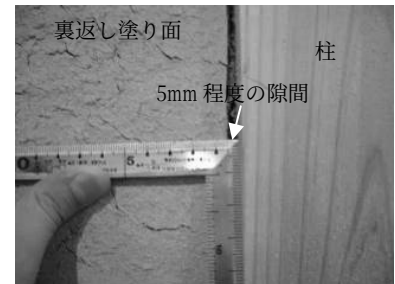


写真1 軸組と壁土の隙間

ちり際の隙間もなくなり壁土の圧縮抵抗が期待できる。本実験においては、2007 年度に実施したちり周りの隙間をそのままとした試験体 D と壁土両面に中塗りを塗り付けてちり周りの隙間をなくした試験体 E を比較対象とした。

2. 筋かい併用の効果

水平外力に対し土塗り壁は、壁土の圧縮抵抗、貫のこじり効果、間渡し竹のダボ的效果、軸組み仕口のモーメント抵抗など外力を各抵抗要素が分散して抵抗する。筋かいを使用した場合は、外力を筋かい部材単体で受け、接合部または部材が損傷する。本実験においては、その異なる抵抗機構を持つ要素を配置したときの破壊性状の確認を行った。

3. 腰壁・垂れ壁（片目地・両目地）の影響

開口部を有する土塗り壁の耐震性の把握を目的に、垂れ壁と腰壁形また垂れ壁のみで、鴨居の取り付け部分をそれぞれ片目地・両目地とした場合の実験とし、その影響の確認を行った。

2 試験概要

2.1 試験体

試験体数は、項目ごとに1体とした。試験体一覧を表2.1に、使用した壁土の圧縮強度を表2.2、試験体軸組図を図2.1～4に示す。なお、試験体D,Eについては2007年度に実施したものである。

表 2.1 試験体仕様一覧 (mm)

目的とモデル種別	番号	軸組				壁土厚	中塗り		砂漆喰 厚さ
		軸組	縦貫	間柱	筋かい		場所	厚さ	
壁土の乾燥収縮に伴う ちり周りの隙間の影響	I	1 間	杉 15×105	杉 45×45 3 本	—	73	片面	10	6
	D	1 間	杉 15×105	—	—	69	片面	10	—
	E	1 間	杉 15×105	—	—	74	両面	23	—
筋かい併用の効果	K	3 尺	—	杉 45×45 1 本	杉 30×90 圧縮筋かい	65	片面	13	—
腰壁・垂れ壁 (片目地・ 両目地) の影響	L	3 尺	—	杉 45×45 1 本	—	66	片面	12	—
	M	3 尺	—	杉 45×45 1 本	—	67	片面	12	—
	N	3 尺	—	杉 45×45 1 本	—	66	片面	10	—

表 2.2 壁土圧縮強度

塗層	圧縮強度 σ_{max} (N/mm^2)	参考:2007 年度 圧縮強度 σ_{max} (N/mm^2)
荒壁	0.43	0.36
裏返し	荒壁と同じ壁土 を使用	0.44
大直し	0.49	0.52
砂漆喰	0.29	-
中塗り	0.78	1.05

試験体軸組図 (I試験体)

縮尺 1 : 20

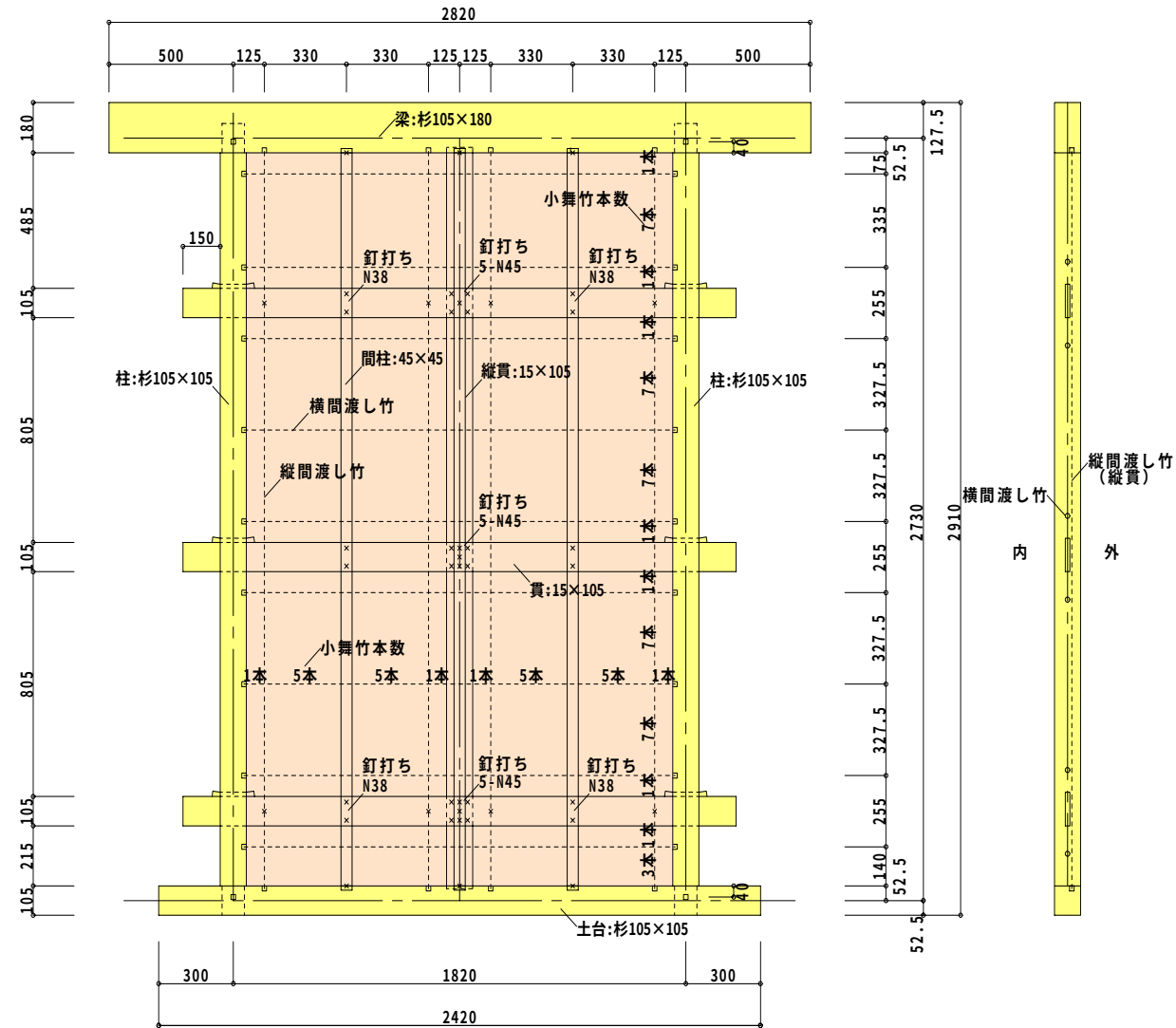


図 2.1 試験体I 軸組図

縮尺1:20



試験体軸組図 (L)

縮尺1:20

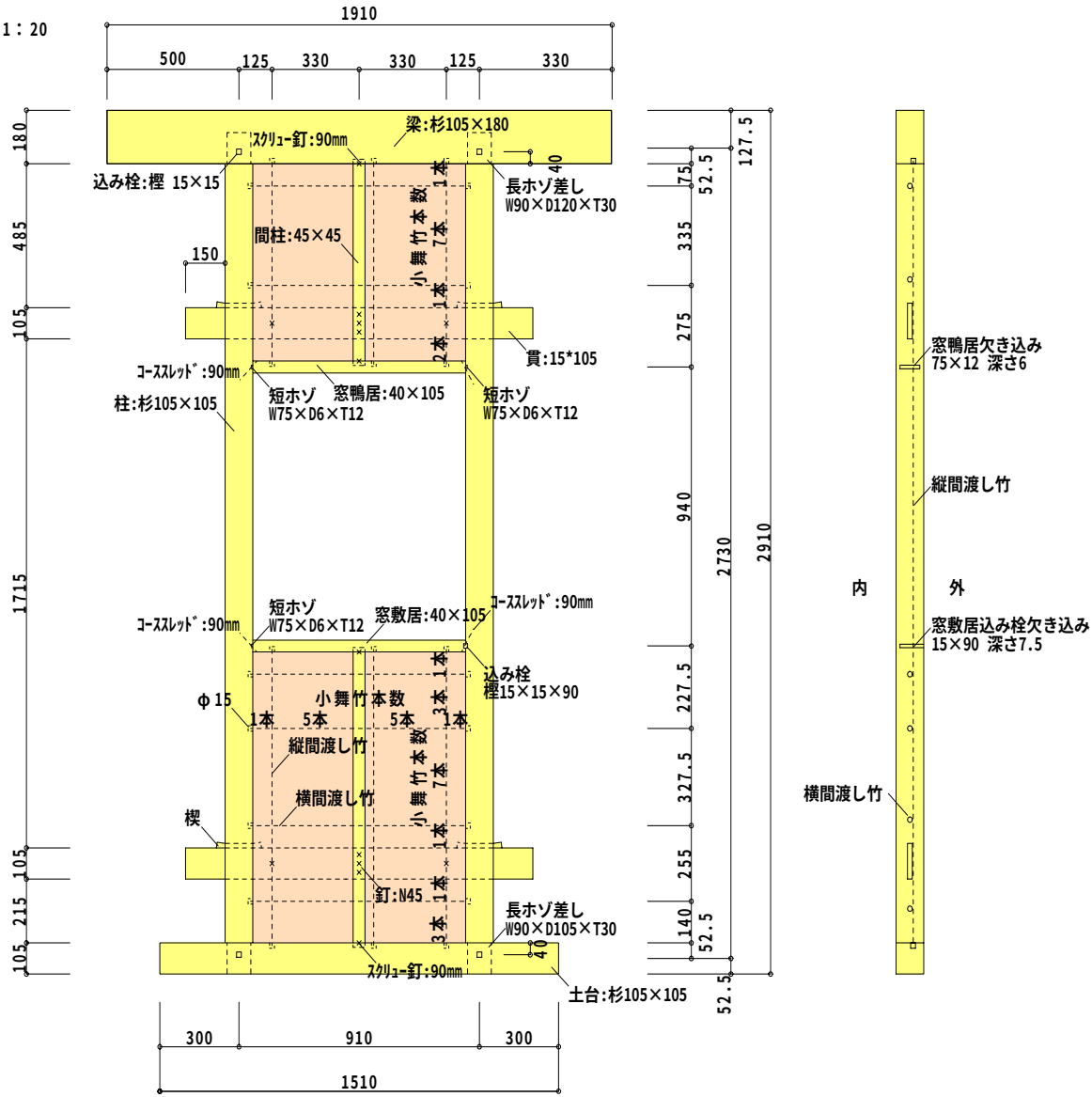


図 2.3 試験体 L 軸組図

試験体軸組図 (M)

縮尺 1 : 20

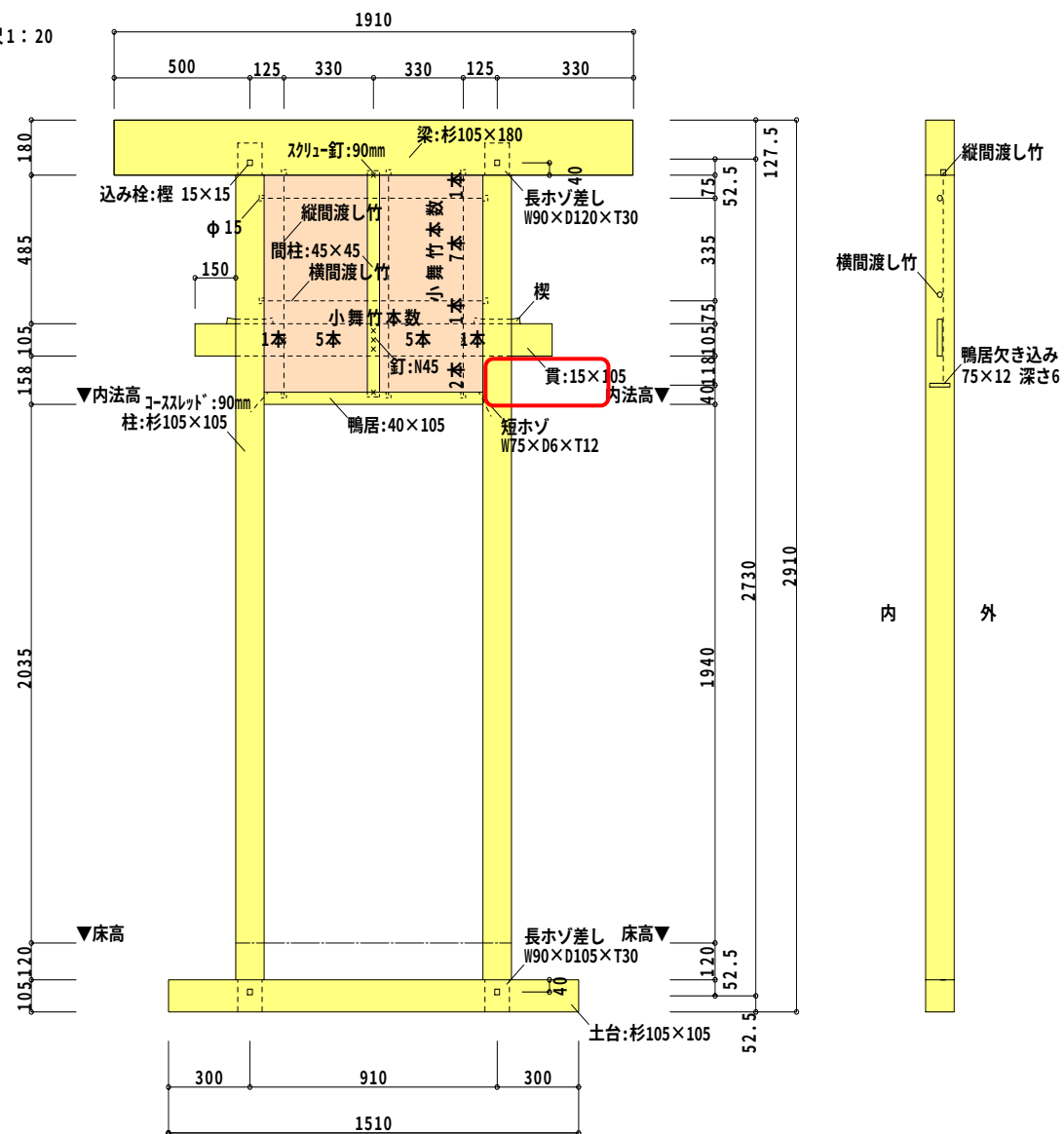


図 2.4 試験体 M (鴨居:片目地) 軸組図

縮尺 1 : 20



3 試験結果

3.1 荷重-真のせん断変形角曲線

図3.1に荷重-真のせん断変形角曲線を示す。

3.2 壁倍率算定

表 3.2 に壁倍率算定表を示す。

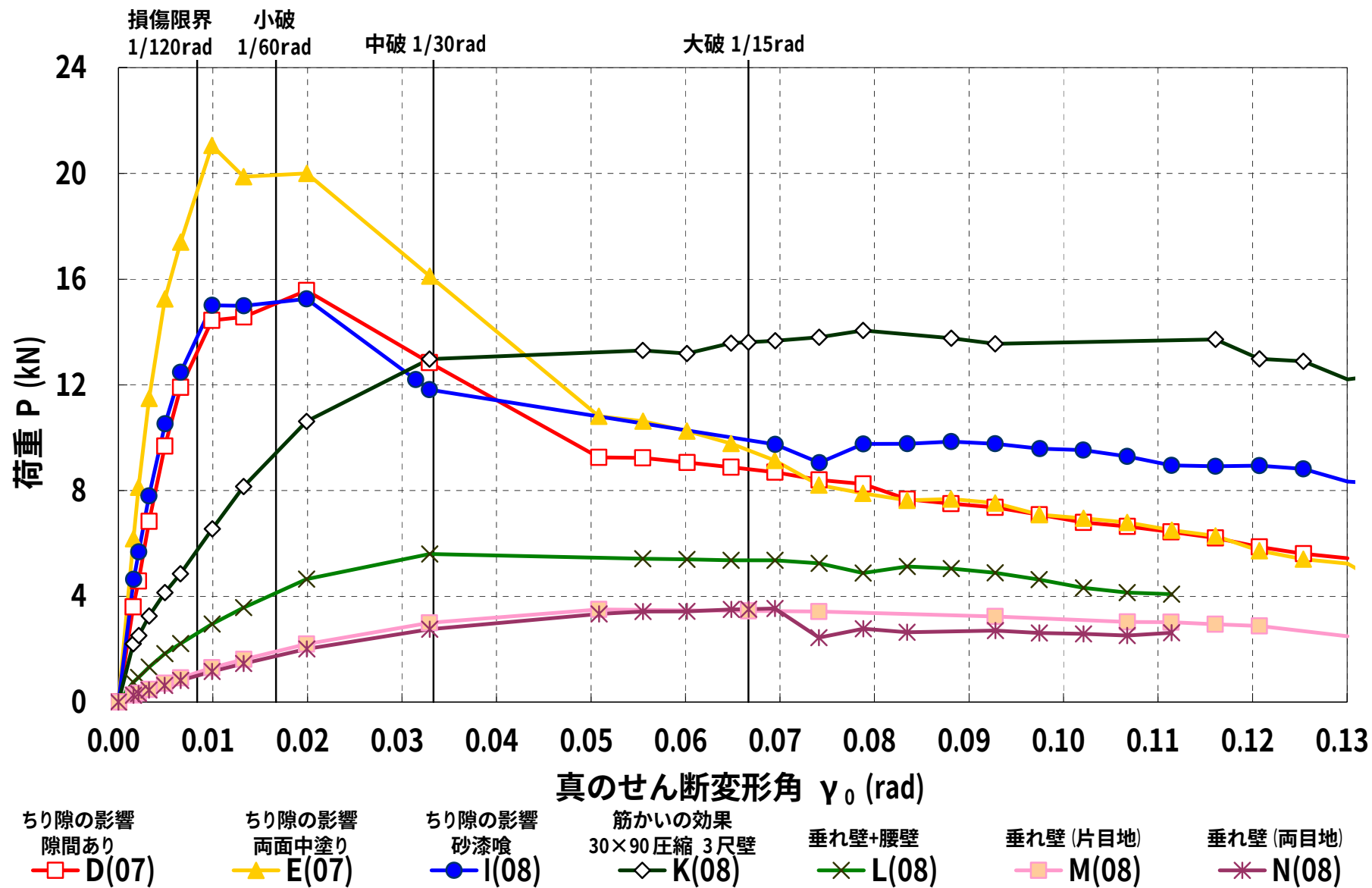


図 3.1 荷重 P -真のせん断変形角 γ_0 曲線

表 3.2 壁倍率算定表

仕様		試験体名称	最大耐力	降伏耐力時の変形	降伏点変形	最大耐力時の変形	終局変形	初期剛性	面積	終局耐力	塑性率	構造特性係数	降伏耐力	終局耐力	最大耐力の2/3	1/150rad時の耐力	短期基準せん断耐力	短期許容せん断耐力	壁倍率
			P_{max}	δ_y	δ_v	δ_{Pmax}	δ_u	K	S	P_u	μ	D_s	P_y	$P_u \times (0.2/D_s)$	$P_{max} \times 2/3$	P_{150}	P_0	P_a 注1	注2
			(kN)	($\times 10^{-3}$ rad)	($\times 10^{-3}$ rad)	($\times 10^{-3}$ rad)	($\times 10^{-3}$ rad)	(kN/rad)	(kN・rad)	(kN)			(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(kN)	(倍)
中塗 (片面・両面)・地域仕様の影響	軸組:1 間、告示 小舞:地域(割竹数 1551) 中塗厚:10mm 地域、片面 壁仕上厚:69mm	D	15.57	4.67	7.18	19.90	34.85	1981.79	0.44	14.24	4.85	0.34	9.25	8.40	10.38	11.96	8.40	6.30	1.76
	軸組:1 間、告示 小舞:地域(割竹数 1551) 中塗厚:23mm 地域、両面 壁仕上厚:74mm	E	21.06	3.55	5.58	9.90	30.47	3425.20	0.53	19.11	5.46	0.32	12.17	12.04	14.04	17.50	12.04	9.03	2.53
ちり周りの隙間の影響	軸組:1 間、地域 小舞:地域(割竹数 1551) 片面:中塗厚 10mm 片面:砂漆喰 6mm 壁仕上厚:73mm	I	15.25	3.69	6.12	19.92	31.50	2326.34	0.40	14.23	5.15	0.33	8.59	8.68	10.16	12.52	8.59	6.44	1.80
筋かい併用の効果	軸組:3 尺、地域 小舞:地域(割竹数 1551) 中塗厚 13mm 壁仕上厚:65mm 圧縮筋かい:30×90	K	14.06	14.10	21.48	78.81	66.67	601.04	0.73	12.91	3.10	0.44	8.47	5.89	9.37	4.90	4.90	3.68	2.06
腰壁、垂れ壁の影響	軸組:3 尺、地域 小舞:地域(割竹数 1551) 中塗厚 12mm 壁仕上厚:66mm	L	5.61	10.56	18.31	32.93	66.67	291.19	0.31	5.33	3.64	0.40	3.07	2.67	3.74	2.23	2.23	1.67	0.93
垂れ壁の影響 鴨居:片目地	軸組:3 尺、地域 小舞:地域(割竹数 1551) 中塗厚 12mm 壁仕上厚:67mm	M	3.51	16.34	21.95	50.84	66.67	115.48	0.13	2.53	3.04	0.44	1.89	1.14	2.34	0.92	0.92	0.69	0.38
垂れ壁の影響 鴨居:両目地	軸組:3 尺、地域 小舞:地域(割竹数 1551) 中塗厚 10mm 壁仕上厚:66mm	N	3.54	19.63	31.36	69.48	66.70	101.23	0.16	3.17	2.13	0.55	1.99	1.15	2.36	0.82	0.82	0.62	0.34

注 1：Pa 算出する際の耐力低減係数は①事故的な水かかり、②施工性によるばらつき、③地域性によるばらつき、④建物重量への影響を考慮し、0.75 とした。

注 2：試験体数 1 体であるため、バラツキ係数を考慮していない。

3.3 壁土の乾燥収縮に伴うちり周りの隙間の影響 試験体I 破壊挙動

図 3.3 に荷重 P-真のせん断変形角 γ_0 曲線、写真 3.3.1～11 に各試験体の破壊状況を示す。

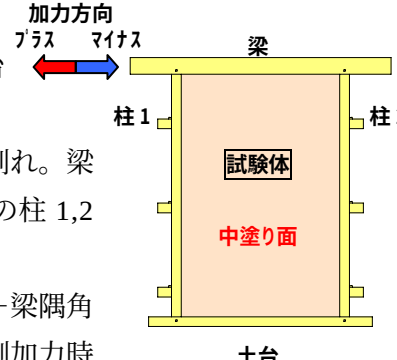
- 
- 1/600rad：砂漆喰面および中塗り面で梁－柱隅角部および土台－柱隅角部においてちり切れ。
- 1/300rad：砂漆喰面の梁－柱 1 の隅角部が幅 7 cmに渡りひび割れ。梁－柱 2 の隅角部が幅 25 cmに渡りひび割れ。中塗り面の柱 1,2－梁の隅角部にひび割れ。
- 1/200rad：砂漆喰面のちり切れ長さが壁体中心まで到達。柱 2－梁隅角部のひび割れ長さ 13 cmに拡大。中塗り面において一側加力時に、土台に幅 45 cmに渡りちり切れ。＋側加力時、柱 2 のちり切れ長さが 40 cmまで拡大、柱 1－梁の隅角部のひび割れ長さは 35 cmまで拡大。(写真 3.3.1,2)
- 3 サイクル時：中塗り面において一側加力時、柱 2 の土台側のちり切れ長さ 55 cm。柱 1,2－梁の隅角部のひび割れ長さはともに 55 cmまで拡大。(中)
- 1/150rad：中塗り面の柱 1, 2 の土台・梁側ともに、隅角部のひび割れが拡大。(写真 3.3.3)
- 1/100rad：砂漆喰面において梁隅角部にひび割れ。(写真 3.3.4)中塗り面において壁中央に間柱に沿ったひび割れ発生。(写真 3.3.5)3 サイクル時に砂漆喰面および中塗り面に地貫に沿ったひび割れ。(写真 3.3.6)
- 1/75rad 各部のひび割れが拡大。
- 1/50rad 各部のひび割れが拡大。(写真 3.3.7)
- 1/30rad：砂漆喰面の頭貫に沿ったひび割れ。各部ひび割れ拡大(写真 3.3.8)
- 1/8.6rad：砂漆喰面の壁土の一部が剥落。
- 1/7.5rad：中塗り面の壁土の柱 1 側半分が剥落。(写真 3.3.9,10,11)



写真 3.3.1 1/200rad 中塗り面



写真 3.3.2 1/200rad 中塗り面



写真 3.3.3 1/150rad 中塗り面



写真 3.3.4 1/100rad 砂漆喰面

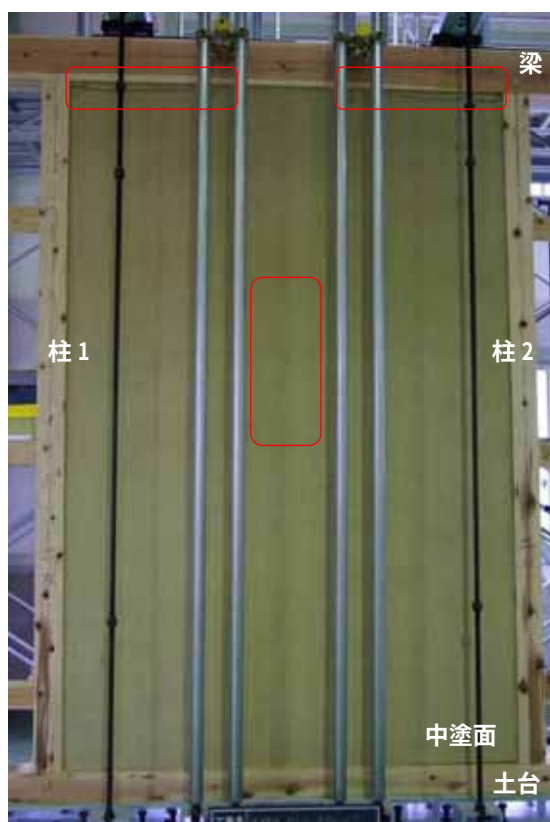


写真 3.3.5 1/100rad 中塗り面



写真 3.3.6 1/100rad 砂漆喰面



写真 3.3.7 1/50rad 中塗り面



写真 3.3.8 1/30rad 中塗り面



写真 3.3.9 1/7.5rad 中塗り面



写真 3.3.10 1/7.5rad 砂漆喰面



写真 3.3.11 1/7.5rad 砂漆喰面

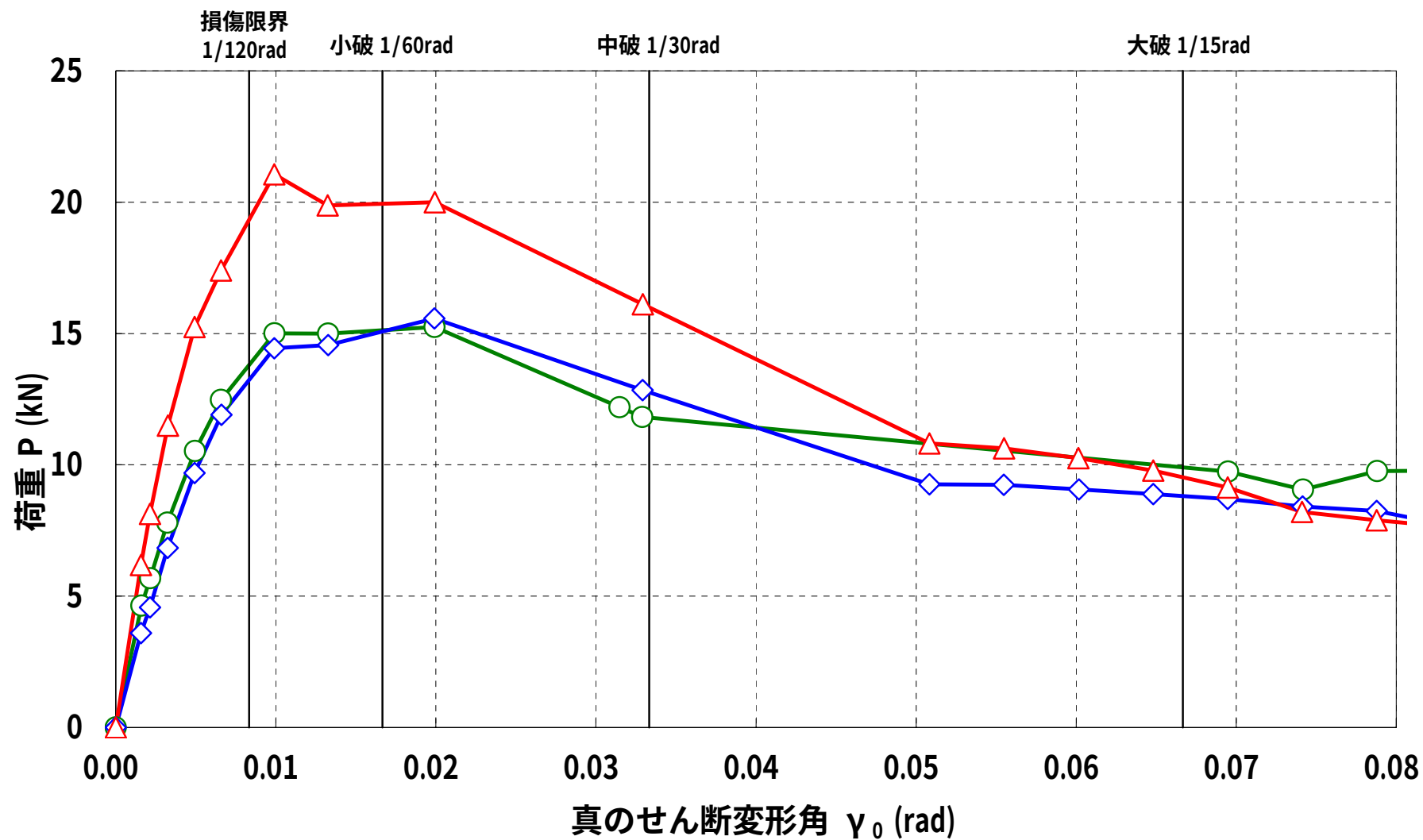


図 3.3 壁土の乾燥収縮に伴うちり隙の影響 荷重 P -真のせん断変形角 γ_0 曲

3.4 筋かい併用の効果 試験体 K 破壊挙動

図 3.4 に荷重 P-真のせん断変形角 γ_0 曲線、写真 3.4.1～9 に各試験体の破壊状況を示す。

1/600rad：中塗り面でちり切れ。

1/200rad：中塗り面で隅角部ひび割れ(写真 3.4.1)

1/50rad：中塗り面に地貫に沿ったひび割れ。(写真 3.4.2)、裏返し塗り面の筋かいプレートの変形を確認。

1/30rad：中塗り面にせん断ひび割れが中央部に 20cm のひび割れ長さで発生。

柱 1 の頭貫に沿ったひび割れ。(写真 3.4.3,4 写真は 1/25rad 時)

最終加力時：筋かいは面内方向に曲がり、土台側の筋かいプレート端部が脱落していった。(写真 3.4.5,6,7,8,9)

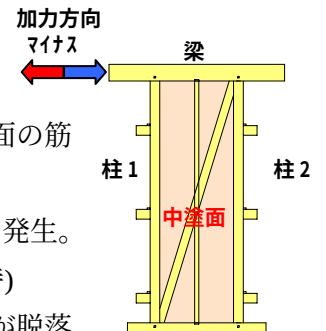


写真 3.4.1 1/200rad 中塗り面



写真 3.4.2 1/50rad 中塗り面

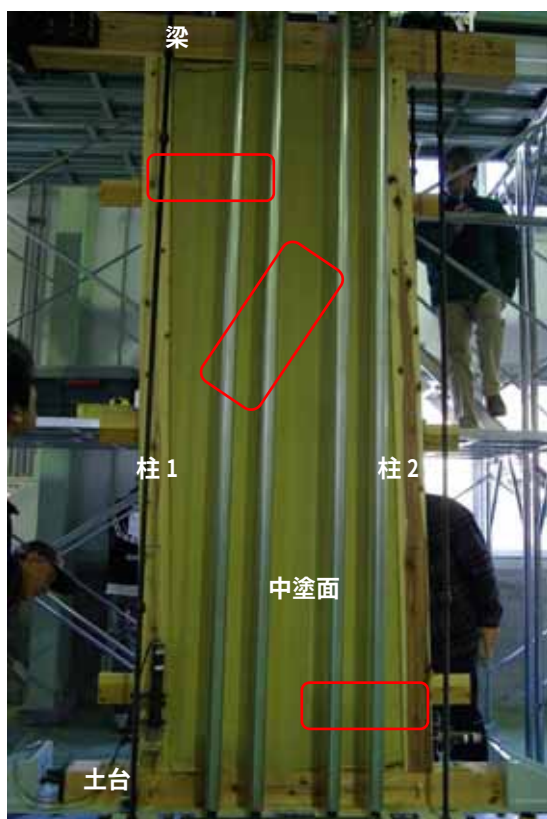


写真 3.4.5 1/25rad 中塗り面

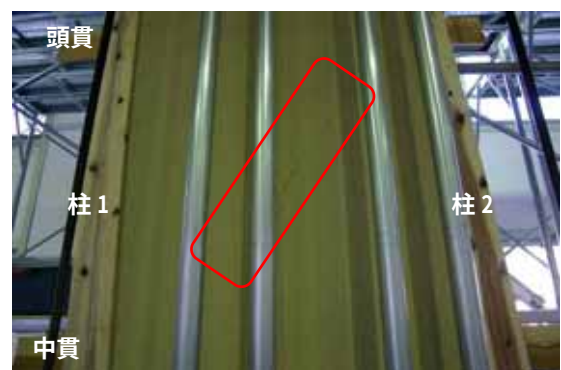


写真 3.4.4 1/25rad 中塗り面

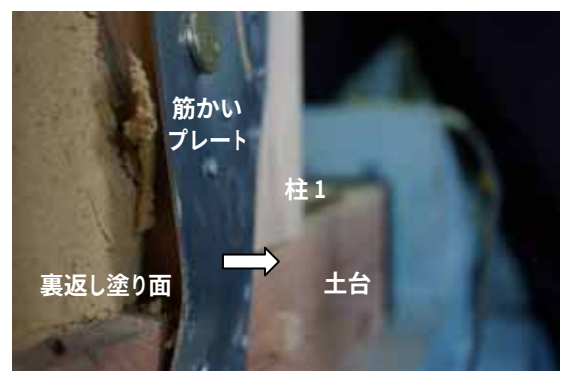


写真 3.4.6 1/17rad 裏返し塗り面



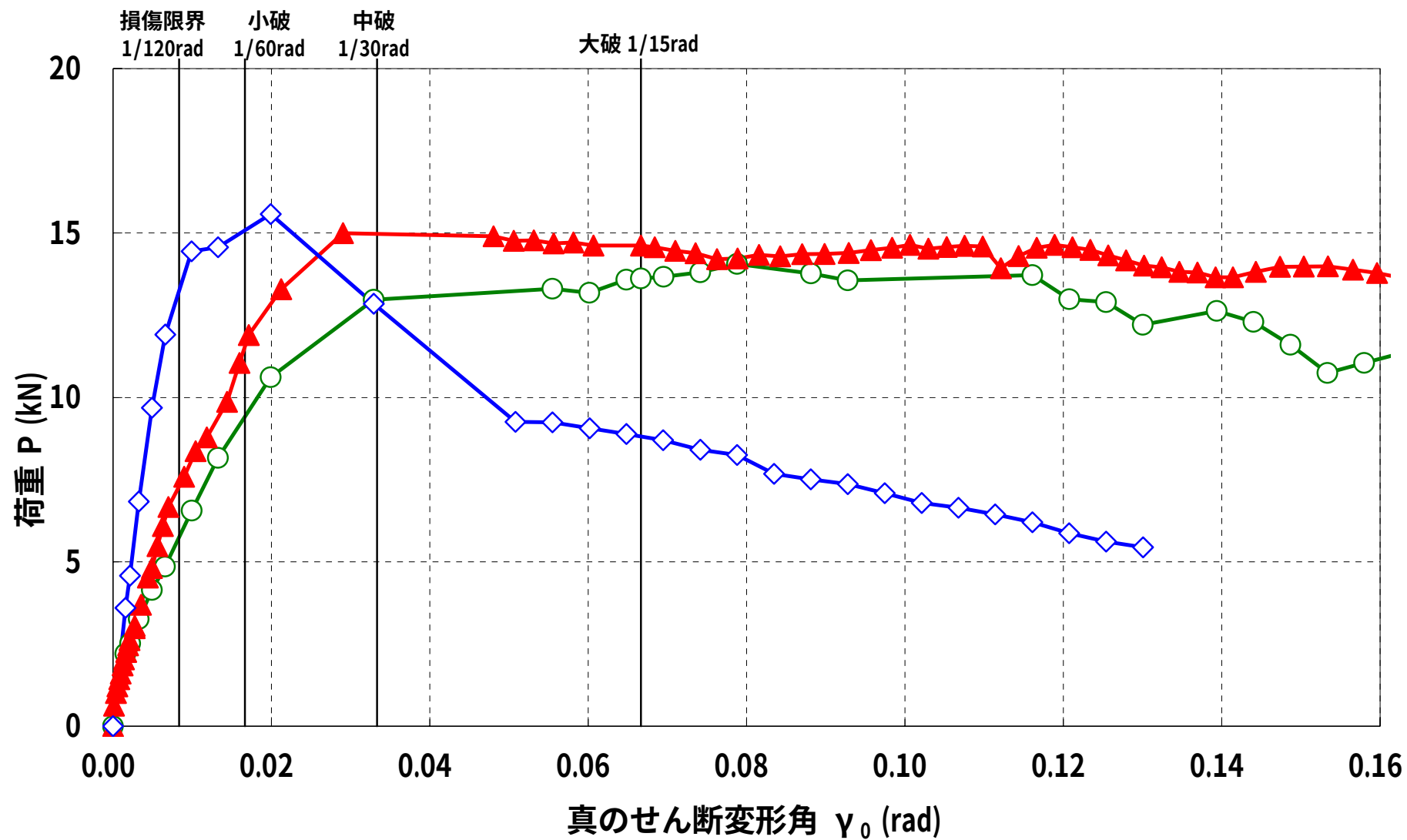
写真 3.4.7 1/6.7rad 裏返し塗り面



写真 3.4.8 1/6.7rad 裏返し塗り面



写真 3.4.9 1/6.7rad 中塗り面



○— K ▲— C ◇— D
 軸組: 3 尺 軸組: 3 尺+3 尺 軸組: 1 間
 筋かい 30×90 圧縮 中塗厚: 19mm 中塗厚: 10mm
 中塗厚: 13mm

図 3.4 筋かい併用の効果荷重 P -真のせん断変形角 γ_0 曲線

3.5 腰壁・垂れ壁 (片目地・両目地) の影響 試験体 L,M,N 破壊挙動

図 3.5 に荷重 P-真のせん断変形角 γ_0 曲線、写真 3.5.1～に各試験体の破壊状況を示す。

試験体 L 破壊挙動 (垂れ壁+腰壁)

1/200rad : 1 サイクル時に中塗り面にてちり切れ。窓敷居下端は右 13cm を残して後は全てちり切れ。柱 1 の腰壁の窓敷居隅角部にひび割れ。

1/150rad : 腰壁の柱 2 との隅角部にひび割れ。

1/50rad : 裏返し塗り面の柱 1-窓敷居の込み栓によって窓敷居が割裂(写真 3.5.1)

1/30rad : 中塗り面の腰壁の中央にせん断ひび割れ発生。(写真 3.5.2,3)裏返し塗り面の頭貫に沿ってひび割れ。

最終加力時 : 中塗り面において、腰壁のせん断ひび割れの拡大、垂れ壁のちり周りのひび割れ。

(写真 3.5.4,5)裏返し塗り面では、縦間渡し竹に沿ったひび割れ。(写真 3.5.6,7)

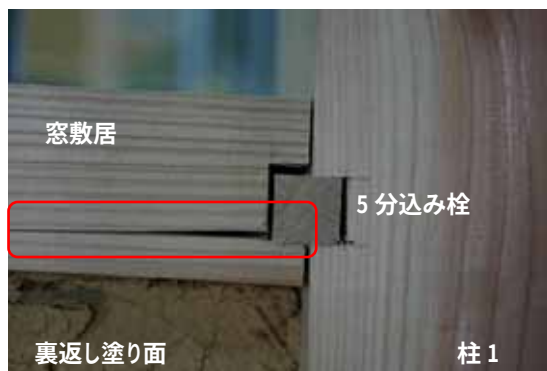


写真 3.5.1 1/50rad 裏返し塗り面

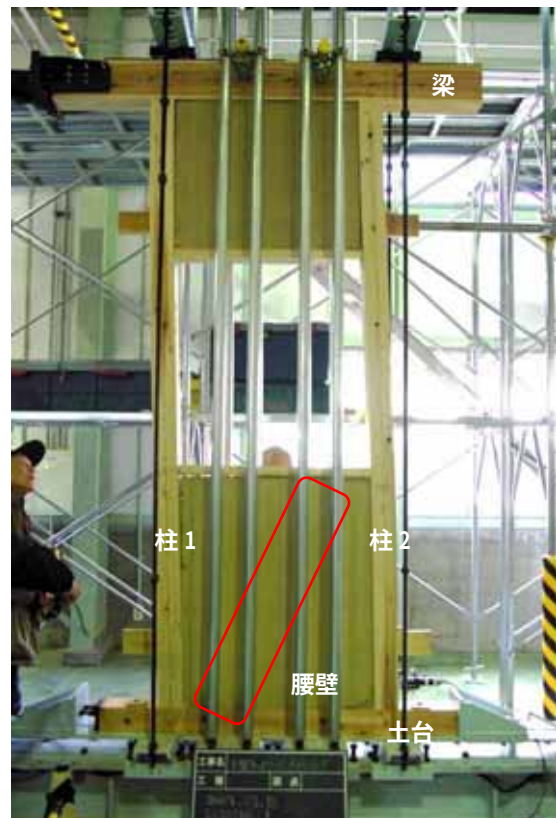


写真 3.5.2 1/30rad 中塗り面

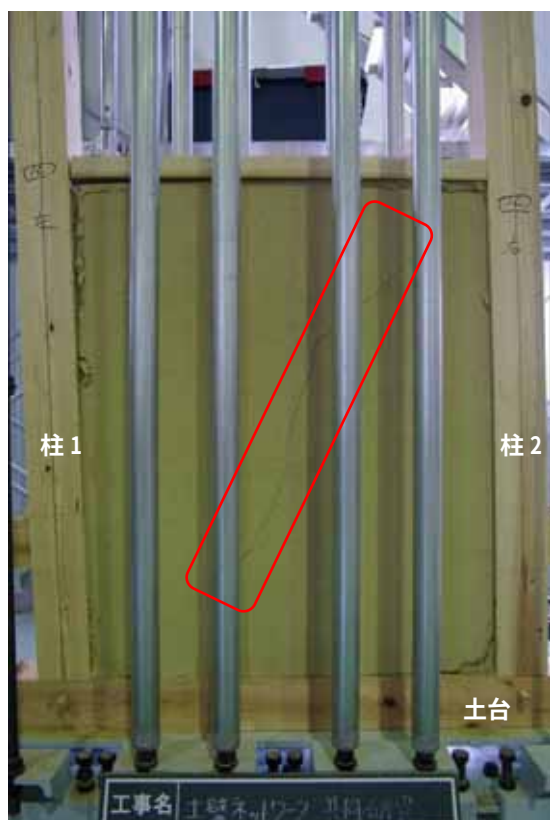


写真 3.5.3 1/30rad 中塗り面



写真 3.5.4 1/15rad 中塗り面



写真 3.5.5 1/8.6rad 中塗り面



写真 3.5.6 1/10rad 裏返し塗り面 腰壁



写真 3.5.7 1/8.6rad 裏返し塗り面 垂れ壁

試験体 M 破壊挙動 (垂れ壁、鴨居・片目地)

1/450rad：中塗り面の鴨居側中央部がちり切れ。

1/300rad：中塗り面の柱 2—鴨居側の隅角部のちり切れ。

1/150rad：中塗り面の柱 1—鴨居側の隅角部のひび割れ。

1/100rad：中塗り面の柱 2—鴨居側の隅角部のひび割れ。1/100rad 以降中塗り面は隅角部のひび割れが拡大(写真 3.5.8,9)

最終加力時：1/18rad 柱 2 の土台との接合部の折損。裏返し塗り面では、縦間渡し竹に沿ったひび割れ、せん断ひび割れ。

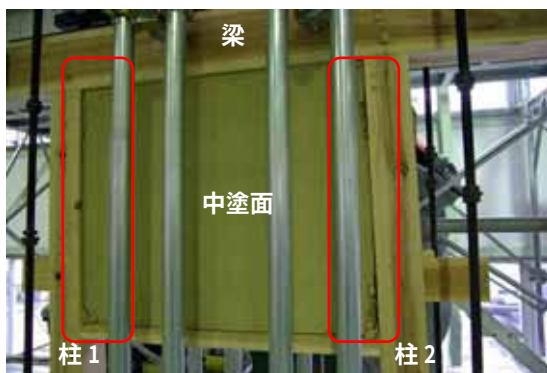


写真 3.5.8 1/30rad 中塗り面



写真 3.5.9 1/8.6rad 中塗り面



写真 3.5.10 1/8.6rad 中塗り面

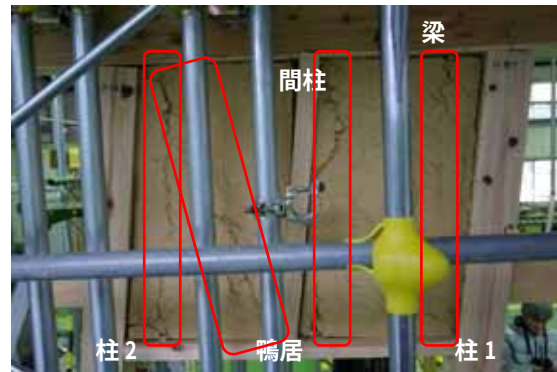


写真 3.5.11 1/8.6rad 裏返し塗り面 垂れ壁

試験体N 破壊挙動(垂れ壁、鴨居・両目地)

1/150rad：中塗り面の柱2の鴨居側が柱に沿って縦のひび割れ。

1/100rad：中塗り面の各隅角部にひび割れ。中塗り面は、これ以降隅角部のひび割れが拡大。(写真 3.5.11,12,16,17)

1/30rad：裏返し塗り面で縦間渡し竹に沿ったひび割れ。(写真 3.5.13 写真は 1/20rad)

最終加力時 1/18rad 柱2の折損により耐力が低下。(写真 3.5.14)裏返し塗り面においてせん断ひび割れ。(写真 3.5.15)



写真 3.5.11 1/30rad 中塗り面



写真 3.5.12 1/30rad 中塗り面

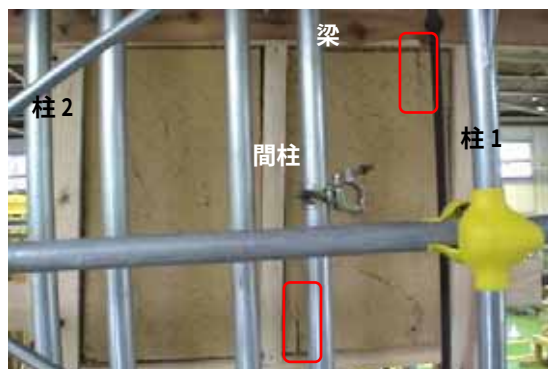


写真 3.5.13 1/20rad 裏返し塗り面



写真 3.5.14 1/18rad 柱2 ほとりの折損

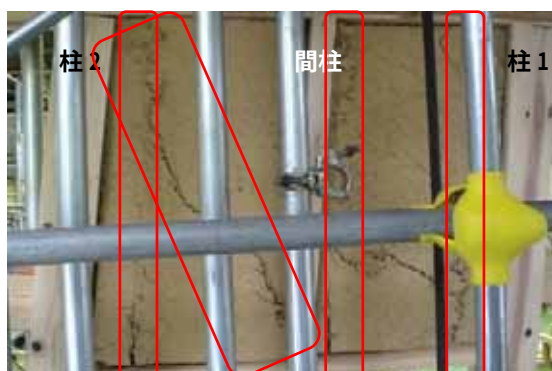


写真 3.5.15 1/8.6rad 裏返し塗り面



写真 3.5.16 1/8.6rad 中塗り面



写真 3.5.17 1/8.6rad 中塗り面

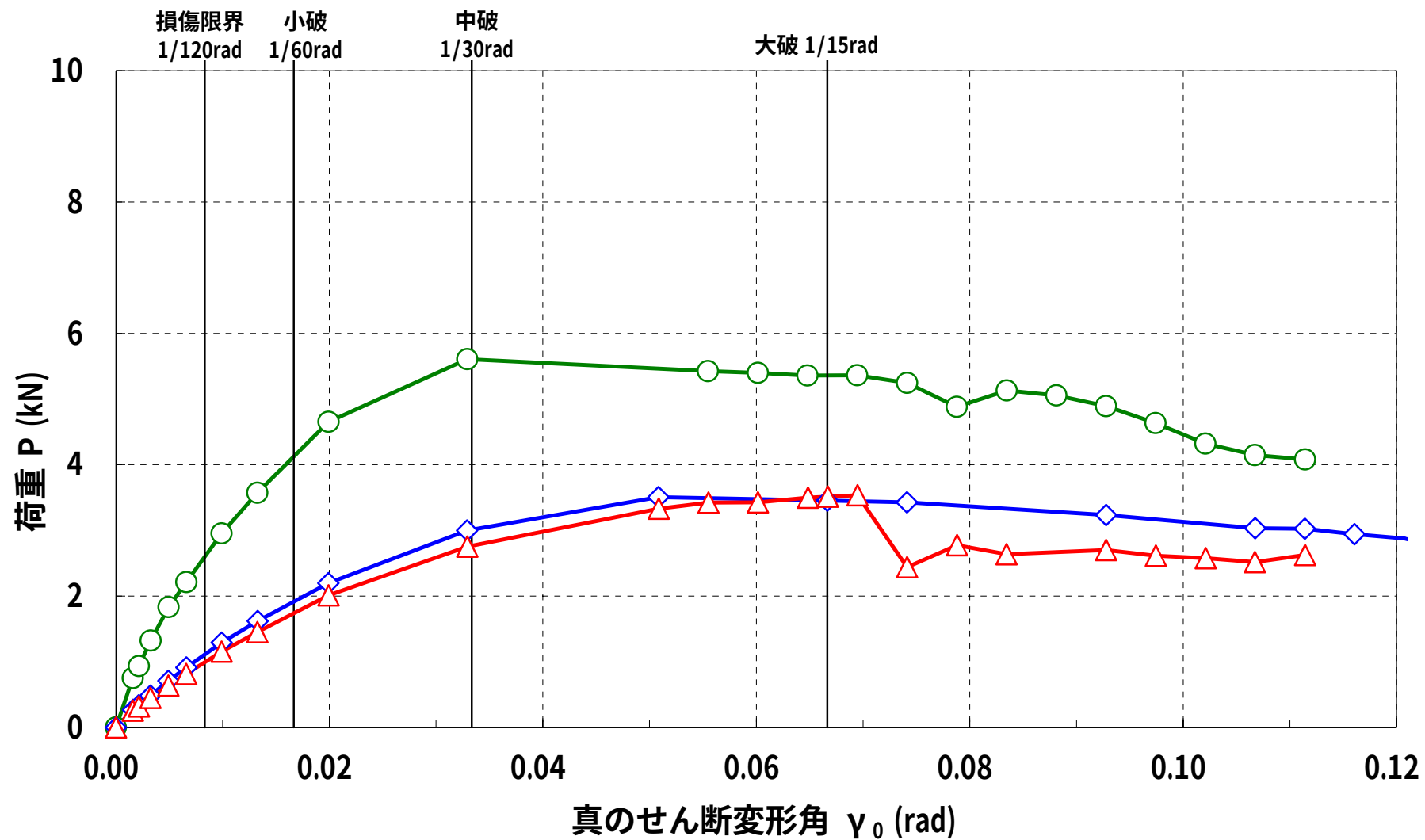


図 3.5 半柱・間柱による荒壁の欠損, 畳寄せ・廻り縁の影響 荷重 P-真のせん断変形角 γ_0 曲線

4 考察

4.1 壁土の乾燥収縮に伴うちり周りの隙間の影響

表 4.1.1 に試験結果一覧を示す。

ちり周りの隙間があることにより、まず初期剛性に影響を与える。裏返し塗り面の軸組と壁土の隙間に砂漆喰を塗りつけることによりちり隙をなくした試験体 I は、中塗り土の圧縮強度(試験体 I : 0.78N/mm^2)が試験体 D, E (1.05N/mm^2)と比較すると 0.74 倍と低いものの、初期剛性は、ちり隙がある(試験体 D)と 0.85 倍を示す。ちり周りの隙間をなくし両面中塗り(試験体 E)とすると、1.47 倍となる。これより軸組と壁土の隙間をなくすことの効果を確認できた。また、初期剛性は、中塗り土の強度による影響も大きいことが分かる。

最大耐力は、ちり周りの隙間を無くすことにより耐力の向上が期待できるが、これも中塗り土の強度が試験体 D, E の 0.74 倍であること。壁全体の塗り厚が、試験体 D よりも 4mm 大きくなっているが、砂漆喰の圧縮強度(0.29N/mm^2)が荒壁(0.43N/mm^2)より小さいこと。試験体の砂漆喰塗り付け面に、断面寸法 $45\times 45\text{mm}$ の間柱を等間隔に配置しており、その取付箇所から中塗り面がひび割れたため、同等の結果になったと推測される。

エネルギー吸収能力を示す面積 S については、荷重-真のせん断変形角曲線がちり周りの隙間の有無に関わらず同じ形状の曲線となっており、最大耐力が向上することによってエネルギー吸収量も向上する。

表 4.1.1 壁土の乾燥収縮に伴うちり周りの隙間の影響 試験結果

試験体名	仕様	最大耐力 P_{max}		初期剛性 K		面積 S		壁倍率 注 2	
		(kN)	試験体/D	(kN/rad)	試験体/D	(kN・rad)	試験体/D	(倍)	試験体/D
I	ちり周りの隙間:なし 片面:中塗厚 10mm 片面:砂漆喰 6mm 壁仕上厚:73mm	15.25	-	2326.34	-	0.40	0.91	1.80	-
D	ちり周りの隙間:あり 中塗厚:10mm、片面塗り 壁仕上厚:69mm	15.57	1.02	1981.79	0.85	0.44	1.00	1.76	0.98
E	ちり周りの隙間:なし 中塗厚:23mm、両面塗り 壁仕上厚:74mm	21.06	1.38	3425.20	1.47	0.53	1.19	2.53	1.41

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。

4.2 筋かい併用の効果

表 4.2.1 に試験結果を示す。

筋かいを取り付けることにより、筋かいのない 3 尺壁と比較して降伏耐力で 2.20 倍、最大耐力で 1.83 倍の効果を確認できる。エネルギー吸収能力を示す面積 S については、最大荷重到達後の荷重低下が緩やかであり、3 尺壁を直列に並べた試験体 C と荷重－真のせん断変形角曲線の形状が同様の形状を示し試験体 C の 0.86 倍、1 間壁の試験体 D の 1.65 倍となる。

壁倍率について、建築基準法施行令 46 条の厚さ 30mm×幅 90mm の木材のみを使用した場合は 1.5 倍となる。試験体 K はこれに土塗り壁の壁倍率の仕様を 1.0 倍で施工をしている。この異なる抵抗機構を加算すると 2.5 倍となるが、試験結果より低減係数 0.75 を乗じて 2.06 倍を示しており、単純に壁倍率を加算できるとは言い難い。これは、土塗り壁の裏返し塗り面(外壁側)の壁土が筋かいと間柱によって図 4.2.1 に示すように 4 つに分断されるため 1 つの面として構成した時とよりも、壁土によるせん断耐力が低下することが原因と考えられる。なお、壁倍率の決定項は筋かいの有無によらず 3 尺壁で構成した場合は 1/150rad 時の耐力である。

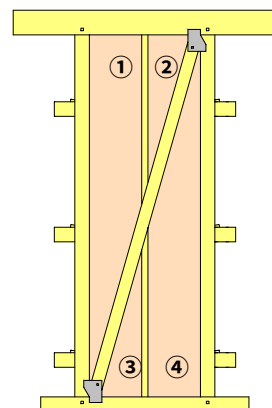


表 4.2.1 筋かい併用の効果 試験結果

試験体名	仕様	最大耐力 P_{max}		降伏耐力 P_y		面積 S		壁倍率 ^{注2}	
		(kN)		(kN)		(kN・rad)		(倍)	
K	軸組:3 尺 水平貫本数:3 本 中塗厚:13mm 壁仕上厚:65mm 圧縮筋かい:30×90	14.06	1.83 K/参考	8.47	2.20 K/参考	0.73	-	2.06 ^{注2}	1.21 K/参考
参考文献	軸組:3 尺 水平貫本数:3 本 柱・土台断面寸法:120×120mm 梁断面寸法:120×180mm 筋かい:なし	7.7	-	3.86	-	-	-	1.70	-
C	軸組:3 尺+3 尺 水平貫本数:3 本 中塗厚:19mm 壁仕上厚:78mm	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 水平貫本数:3 本 中塗厚:10mm、片面塗り 壁仕上厚:69mm	15.57	1.10 D/K	9.25	1.09 D/K	0.44	0.60 D/K	1.76	0.85 D/K

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)学術講演梗概集,pp421-422

注1: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。

4.3 腰壁・垂れ壁(鴨居・片目地・両目地)の影響

表 4.3.1 に試験結果、図 4.3.1 に塗り付け面積と最大荷重，降伏耐力の関係を示す。

土塗り壁の塗り付け面積は、軸組内をすべて塗りつけた参考文献の試験体と比較すると、垂れ壁と腰壁の試験体 L で 0.64 倍、垂れ壁のみの試験体 M，N で 0.28 倍となる。

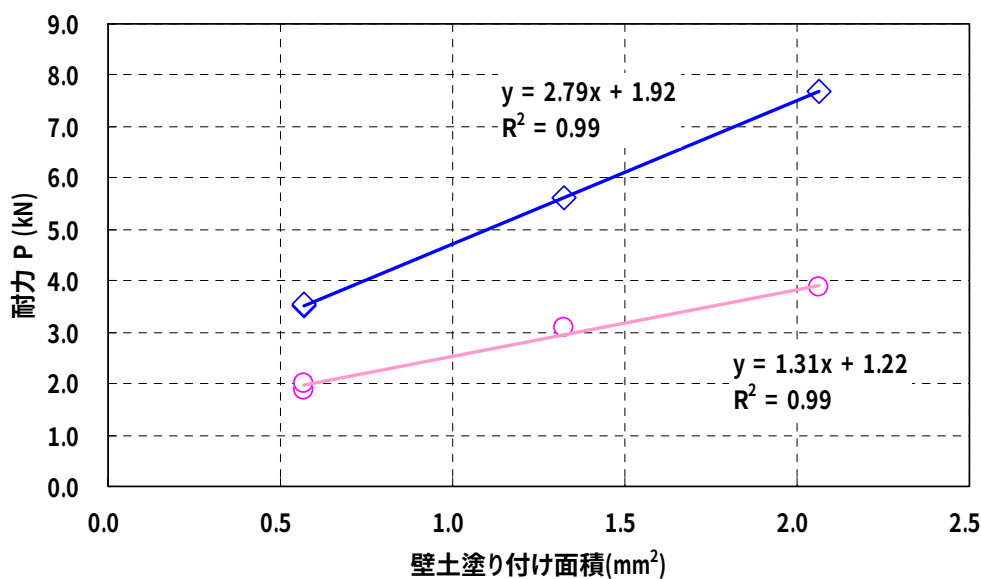
この塗り付け面積の減少による影響は、最大耐力、降伏耐力、吸収エネルギー量を示す面積の各性能が低下し、壁倍率も低下する。また図 4.3.1 に示すように塗り付け面積と最大耐力、降伏耐力は相関があり 1 次式で近似できる。

鴨居と柱の接合部において、鴨居を片目地と両目地にする違いは確認できない。

表 4.3.1 腰壁・垂れ壁(片目地・両目地)の影響 試験結果

試験体名	仕様	壁土塗り面積		最大耐力 P_{max}		降伏耐力 P_v		面積 S		壁倍率 ^{注2}	
		(m^2)	試験体/参考	(kN)	試験体/参考	(kN)	試験体/参考	($kN \cdot rad$)	試験体/L	(倍)	試験体/参考
L	垂れ壁+腰壁 軸組:3 尺 中塗厚 12mm 壁仕上厚:66mm	1.32	0.64	5.61	0.73	3.07	0.80	0.31	-	0.93	0.55
M	垂れ壁(鴨居:片目地) 軸組:3 尺 中塗厚 12mm 壁仕上厚:67mm	0.57	0.28	3.51	0.46	1.89	0.49	0.13	0.43	0.38	0.22
N	垂れ壁(鴨居:両目地) 軸組:3 尺 中塗厚 10mm 壁仕上厚:66mm	0.57	0.28	3.54	0.46	1.99	0.51	0.16	0.53	0.34	0.20
参考文献	全壁 軸組:3 尺	2.1	-	7.7	-	3.86	-	-	-	1.70	-

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。
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)学術講演梗概集,pp421-422



◇ 最大耐力 P_{max} ○ 降伏耐力 P_y

図 4.3.1 壁土塗り付け面積－最大耐力，降伏耐力の関係

5 まとめ

本研究を通して以下のことが明らかとなった。

- ①ちり周りの隙間を無くすことにより、初期剛性は向上する。塗り付ける壁土の圧縮強度も影響し強度が多きものほど最大耐力、初期剛性の性能は向上する。
- ②筋かいを取り付けることにより、筋かいのない3尺壁と比較して降伏耐力で2.20倍、最大耐力で1.83倍となる。壁倍率について、土塗り壁と圧縮筋かい(断面寸法：30mm×90mm)を併用した耐力壁は2.0倍となる。
- ③垂れ壁および腰壁の土塗り壁は、最大耐力および降伏耐力が塗り付け面積との相関関係にあり、塗り付け面積が減少すると性能は低下する。鴨居と柱の接合部において、鴨居を片目地と両目地にする違いは確認できない。
- ④2006～08年年度の実験を通して、香川県内の土塗り壁の耐震性能に対し、壁土の圧縮強度が土塗り壁の耐力に影響する。1間壁は、3尺壁と比べ初期剛性は高いが、最大耐力到達後の低下は著しい、3尺壁の組み合わせとすると初期剛性は低いが最大荷重は1間壁と同等であり、かつ最大荷重到達後の荷重低下は緩やかである。土塗り壁に生ずるひび割れは、半柱や間柱を取り付けた箇所の壁土の厚みが薄くなるところから生じやすい。

参考文献

- 日本住宅・木材技術センター：土塗り壁・面格子壁・落とし込み板壁の壁倍率に係る技術解説書
- 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)学術講演梗概集,pp421-422

砂漆喰の影響_試験体

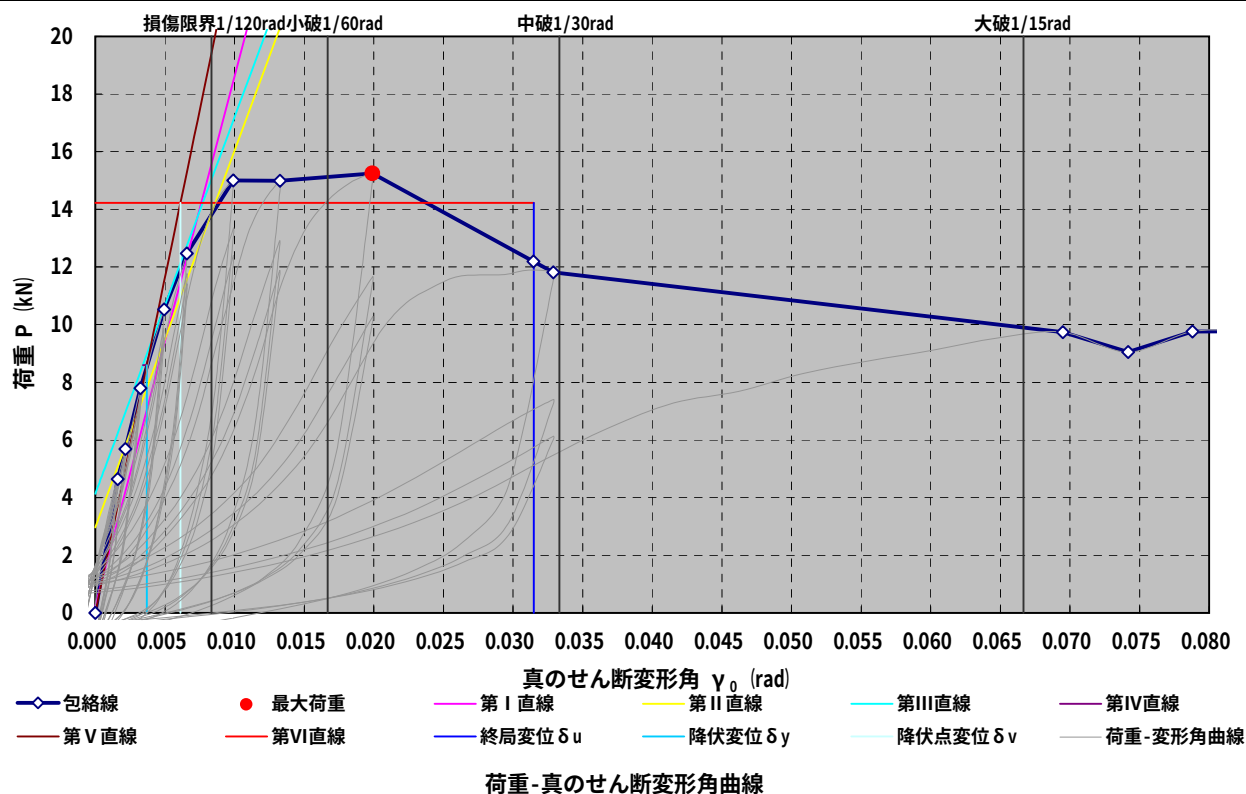
試験条件	
試験日	2008.12.13
室温 (°C)	16.5
湿度 (%)	44.0

試験体仕様	
小舞(割り竹)	地域型(1551)
壁土仕上厚	73mm
中塗り厚	10mm
砂漆喰塗り厚	6mm

※小舞:表中の数は柱および縦間渡竹間に存在する割竹の数

測定結果		
最大耐力 P_{max}	(kN)	15.25
最大耐力時の変形 δ_{Pmax}	($\times 10^{-3}$ rad)	19.92
降伏耐力 P_y	(kN)	8.59
降伏耐力時の変形 δ_y	($\times 10^{-3}$ rad)	3.69
初期剛性 K	(kN/rad)	2326.34
1/150(rad)時の耐力 P_{150}	(kN)	12.52
終局変形 δ_u	($\times 10^{-3}$ rad)	31.50
面積 S	(kN·rad)	0.40
終局耐力 P_u	(kN)	14.23
降伏点変形 δ_v	($\times 10^{-3}$ rad)	6.12
塑性率 μ		5.15
構造特性係数 D_s		0.33

項目	横架材	柱1	柱2	土台	中柱	間柱	貫	楔	込み栓	小舞	荒壁+裏返+大直	中塗	砂漆喰
樹種 等級	甲2	乙2	乙2	乙2		-	-	-	-	-	-	-	-
含水率 (%)	21.4	15.7	16.7	25.8		-	-	-	-	-	-	-	-
年輪密度 (本/cm)	2	2	4	2		-	-	-	-	-	-	-	-
密度 (g/cm ³)	0.39	0.50	0.50	0.47		0.62	-	-	-	-	-	-	-
重量 (kg)	22.23	13.38	14.28	13.44		6.34	4.39	0.10	0.23	13.20	443.43		
総重量 (kg)	451.59												
平均塗厚 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	57	10	6



軸組・土塗壁破壊状況



図1.1 砂漆喰側



図1.2 砂漆喰側



図1.6 砂漆喰側



図1.7 砂漆喰側



図1.9 砂漆喰側

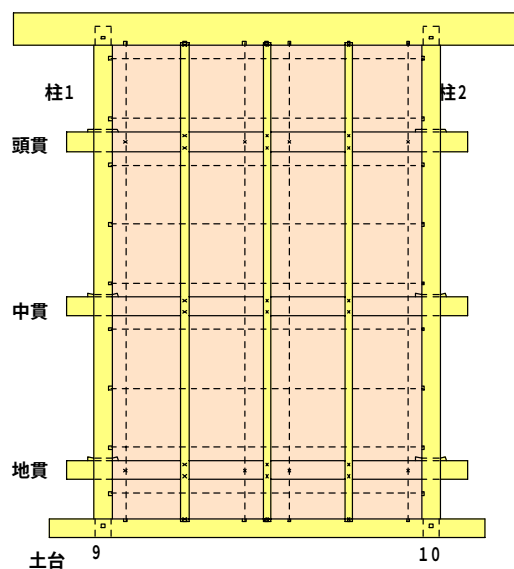


図1.2 砂漆喰側



図1.4 砂漆喰側



図1.6 砂漆喰側



図1.8 砂漆喰側



図1.10 砂漆喰側

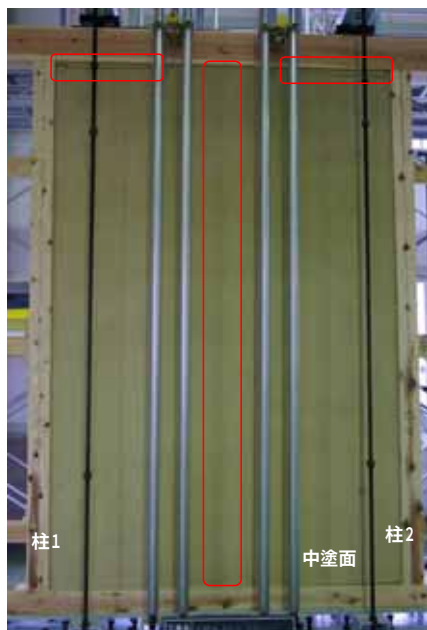


図1.1 中塗側 1/100rad 中央間柱にひび割れ、隅角部圧壊



図1.2 砂漆喰側 1/100rad 隅角部圧壊

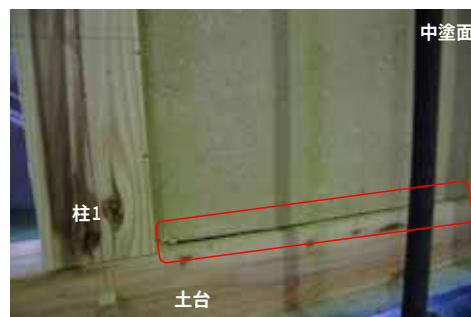


図1.3 中塗側 1/100rad ちりきれ



図1.4 砂漆喰側 1/100rad 地貫のこじり効果と間柱と土台によるひび割れ

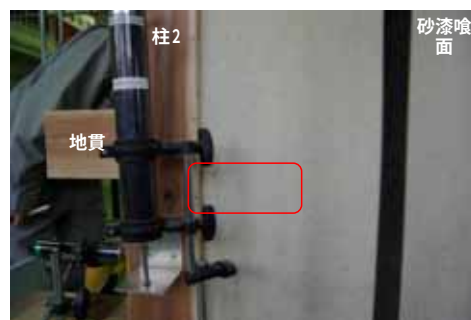


図1.5 砂漆喰側 1/100rad 地貫のこじり効果によるひび割れ



図1.6 中塗側 1/75rad 中央間柱のひび割れ拡大、隅角部圧壊の拡大

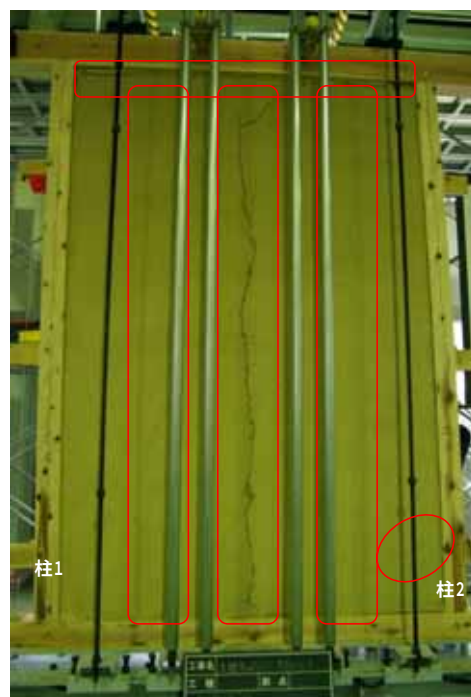


図1.7 中塗側 1/50rad 中央間柱のひび割れ拡大、柱側の間柱のひび割れ、隅角部圧壊の拡大、地貫のこじり効果と柱と土台によるひび割れ



図I.8 中塗側 1/30rad 間柱のひび割れ拡大、貫のこじり効果により壁土が面外に膨らむ



図I.11 中塗側 1/7.5rad 中塗面壁土の崩落



図I.9 砂漆喰側 1/30rad 間柱と土台による砂漆喰のせん断ひび割れの拡大



図I.10 中塗側 1/7.5rad 間渡し竹のダボ的效果壁土が存在することによって生ずる



図I.12 中塗側 1/7.5rad 間渡し竹の折損



図I.13 砂漆喰側 1/7.5rad せん断ひび割れ



図I.14 砂漆喰側 1/7.5rad せん断ひび割れ

中塗+筋かい30×90 (圧縮) 3尺壁_K試験体

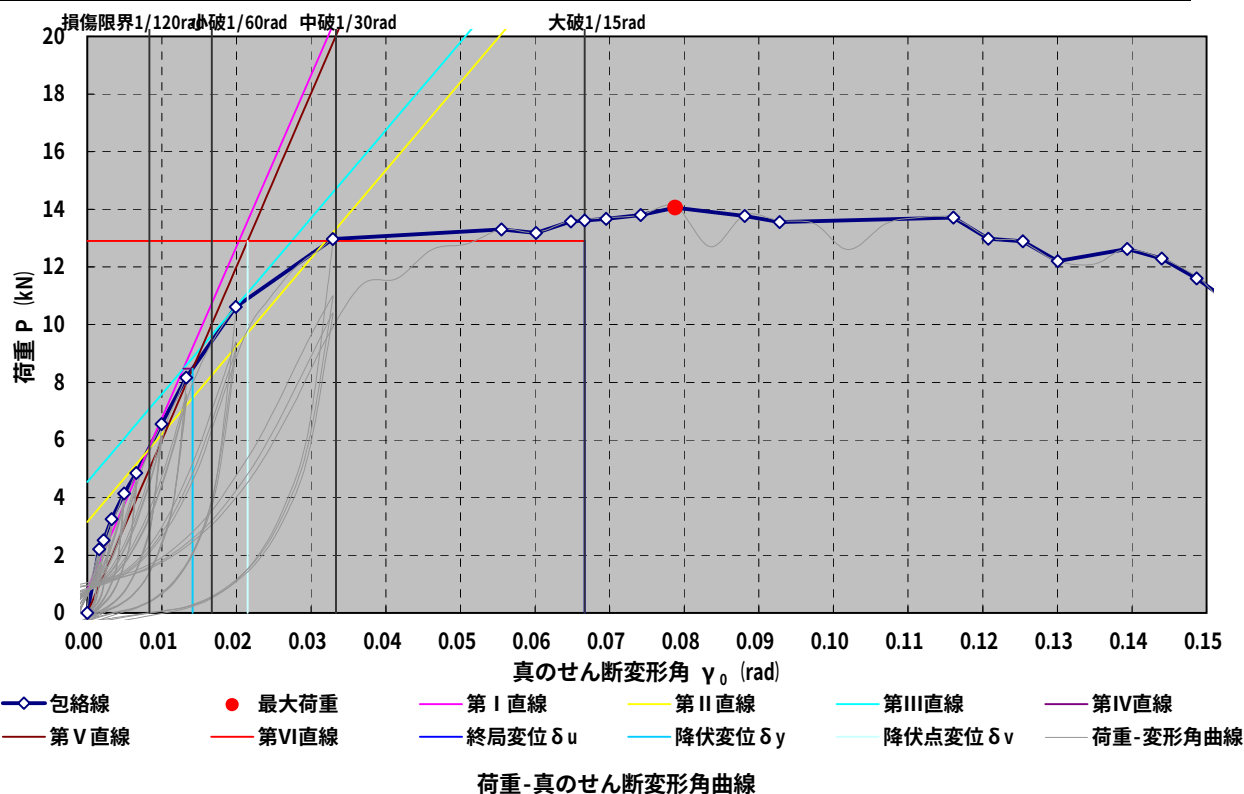
試験条件	
試験日	2008.12.22
室温 (°C)	15.3
湿度 (%)	43.0

試験体仕様	
小舞(割り竹)	地域型(1551)
壁土仕上厚	65mm
中塗り厚	13mm

※小舞:表中の数は柱および縦間渡竹間に存在する割竹の数

測定結果	
最大耐力 P_{max}	(kN) 14.06
最大耐力時の変形 δ_{Pmax}	($\times 10^{-3}$ rad) 78.81
降伏耐力 P_y	(kN) 8.47
降伏耐力時の変形 δ_y	($\times 10^{-3}$ rad) 14.10
初期剛性 K	(kN/rad) 601.04
1/150(rad)時の耐力 P_{150}	(kN) 4.90
終局変形 δ_u	($\times 10^{-3}$ rad) 66.67
面積 S	(kN·rad) 0.73
終局耐力 P_u	(kN) 12.91
降伏点変形 δ_v	($\times 10^{-3}$ rad) 21.48
塑性率 μ	3.10
構造特性係数 D_s	0.44

項目	横架材	柱1	柱2	土台	筋かい	間柱	貫	楔	込み栓	小舞	荒壁+裏返+大直	中塗
樹種 等級	甲2	乙2	乙2	乙2	-	-	-	-	-	-	-	-
含水率 (%)	20.6	20.7	20.4	19.5	14.7	-	-	-	-	-	-	-
年輪密度 (本/cm)	2	2	2	2	5	-	-	-	-	-	-	-
密度 (g/cm ³)	0.31	0.43	0.50	0.42	0.38	-	-	-	-	-	-	-
重量 (kg)	12.89	12.55	14.40	6.96	2.82	2.25	2.39	0.11	0.13	6.56	179.37	-
総重量 (kg)	240.43											
平均塗厚 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	52	13



軸組・土塗壁破壊状況



図K_1 筋かい側



図K_3 筋かい側



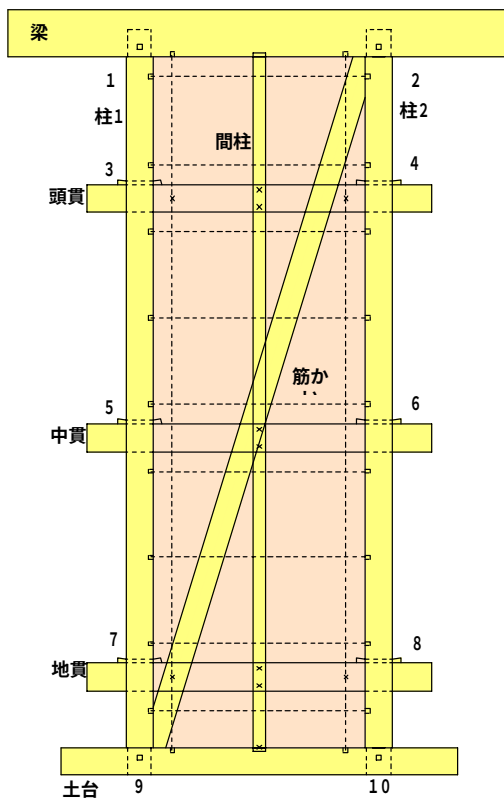
図K_5 筋かい側



図K_7 筋かい側



図K_9 筋かい側



図K_2 筋かい側



図K_4 筋かい側



図K_6 筋かい側



図K_8 筋かい側



図K_10 筋かい側

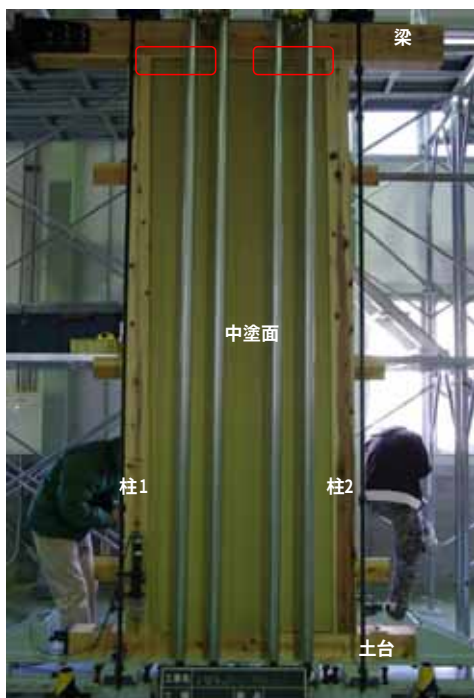


図 K_1 中塗側 1/75rad 全体 隅角部圧壊が拡大

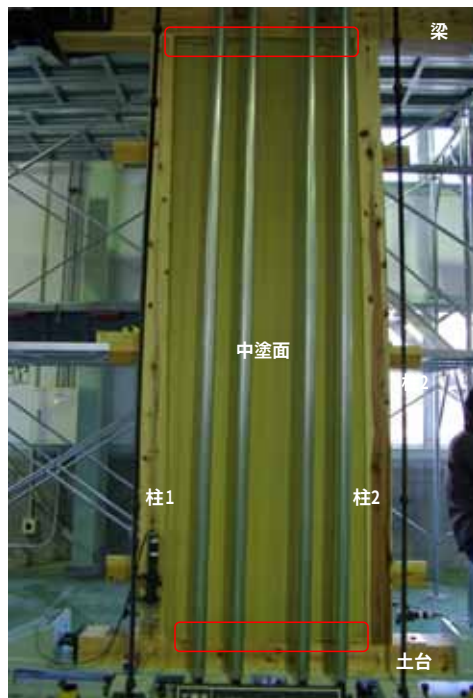


図 K_2 中塗側 1/50rad 全体 隅角部圧壊が拡大



図 K_3 中塗側 1/50rad ちりきれ、隅角部圧壊が拡大、地貫に沿ったひび割れ

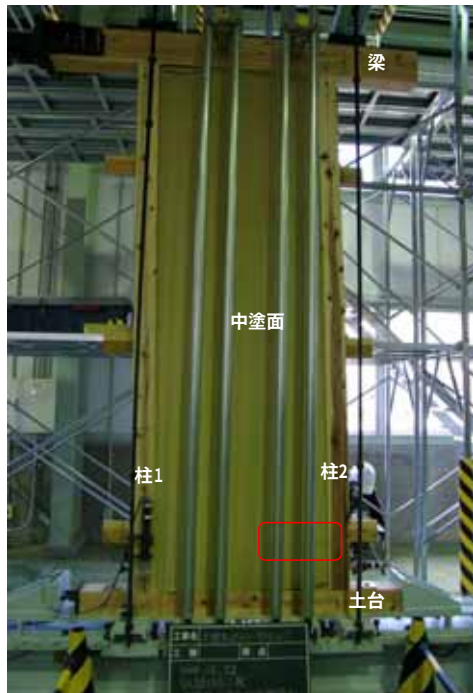


図 K_4 中塗側 1/30rad 全体 地貫のこじり効果によるひび割れ拡大

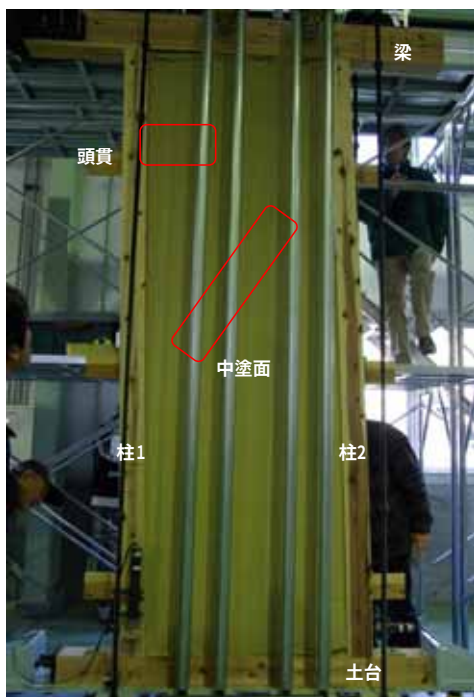


図 K_5 中塗り側 1/25rad セン断ひび割れ、頭貫に沿ったひび割れ



図 K_6 中塗り側 1/25rad セン断ひび割れ

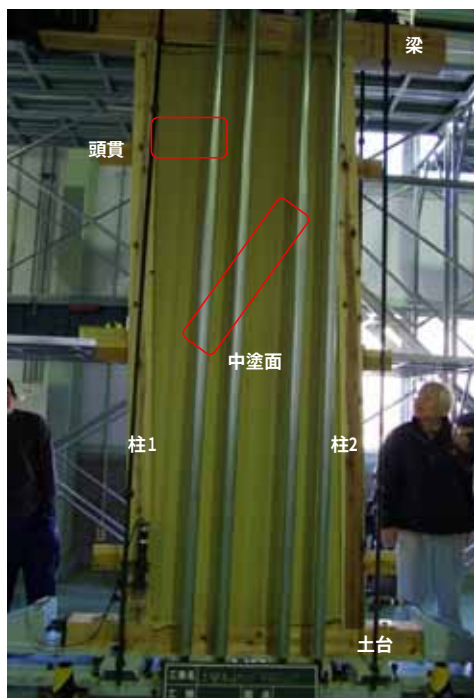


図 K_7 中塗り側 1/25rad セン断ひび割れ、頭貫に沿ったひび割れ



図 K_8 裏返し塗り側 1/17rad 土台筋かいプレートの変形



図 K_9 試験終了後 柱2側 筋かいプレートの変形



図 K_11 試験終了後 柱1側 筋かいの脱落と筋かいプレートの変形

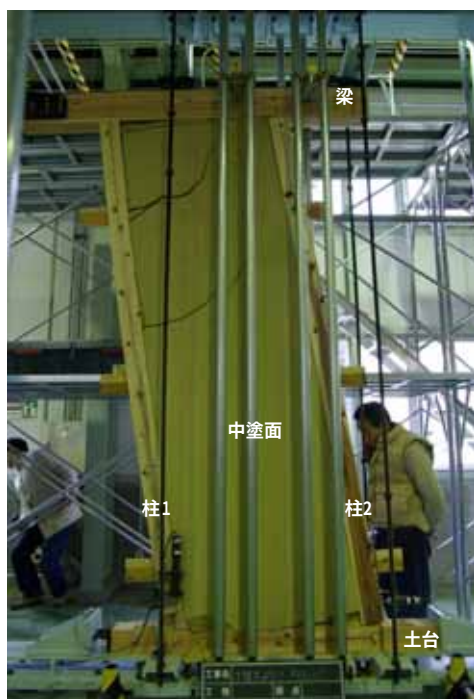


図 K_10 試験終了後 中塗り面 全体 ひび割れの拡大

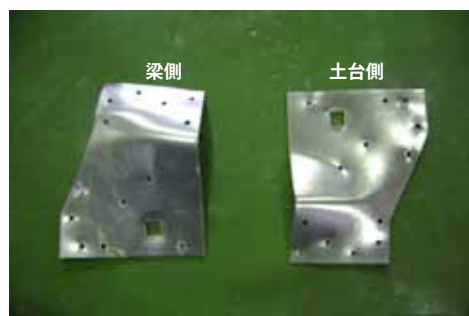


図 K_12 変形した筋かいプレート



図 K_13 梁側筋かいプレートの変形 (30mm)



図 K_14 土台側筋かいプレートの変形 (20mm)

腰壁、垂れ壁の影響_3尺壁_L試験体

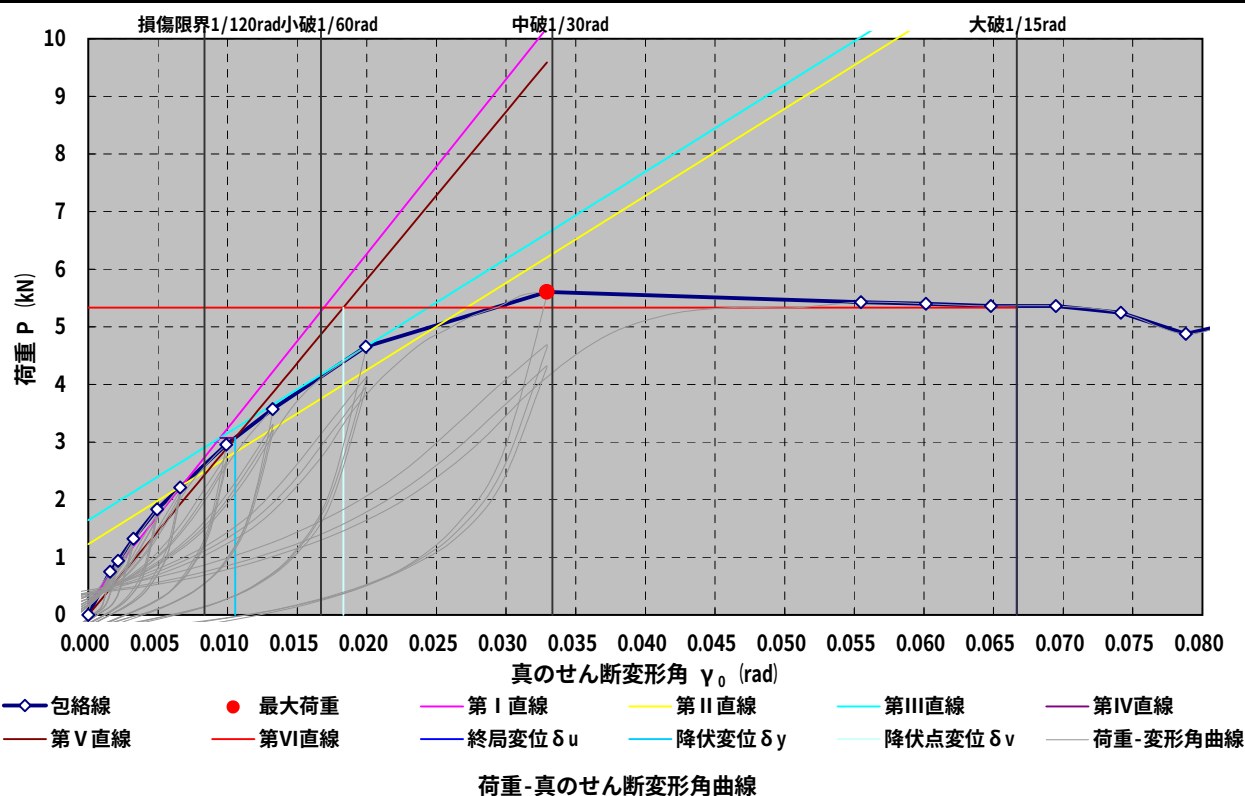
試験条件	
試験日	2009.1.15
室温 (°C)	12.2
湿度 (%)	36.0

試験体仕様	
小舞(割り竹)	地域型(1551)
壁土仕上厚	67mm
中塗り厚	12mm

測定結果		
最大耐力 P_{max}	(kN)	5.61
最大耐力時の変形 δ_{Pmax}	($\times 10^{-3}$ rad)	32.93
降伏耐力 P_y	(kN)	3.07
降伏耐力時の変形 δ_y	($\times 10^{-3}$ rad)	10.56
初期剛性 K	(kN/rad)	291.19
1/150(rad)時の耐力 P_{150}	(kN)	2.23
終局変形 δ_u	($\times 10^{-3}$ rad)	66.67
面積 S	(kN·rad)	0.31
終局耐力 P_u	(kN)	5.33
降伏点変形 δ_v	($\times 10^{-3}$ rad)	18.31
塑性率 μ		3.64
構造特性係数 D_s		0.40

※小舞:表中の数は柱および縦間渡竹間に存在する割竹の数

項目	横架材	柱1	柱2	土台	窓鴨居・数居	間柱	貫	楔	込み栓	小舞	荒壁+裏返+大直	中塗
樹種 等級	甲2	乙2	乙2	乙2	-	-	-	-	-	-	-	-
含水率 (%)	22.6	13.0	11.6	14.2	11.6	-	-	-	-	-	-	-
年輪密度 (本/cm)	2	2	2	4	4	-	-	-	-	-	-	-
密度 (g/cm ³)	0.37	0.39	0.38	0.42	-	0.39	-	-	-	-	-	-
重量 (kg)	13.07	11.57	11.17	6.82	2.37	1.34	1.77	0.08	0.13	3.76	118.29	-
総重量 (kg)	170.37											
平均塗厚 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	12



軸組・土塗壁破壊状況



図L_1 裏返し塗り側



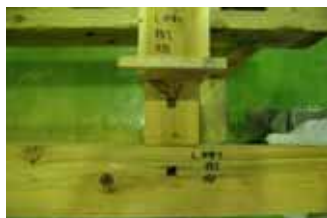
図L_3 裏返し塗り側



図L_5 裏返し塗り側



図L_7 裏返し塗り側



図L_9 裏返し塗り側



図L_2 裏返し塗り側



図L_4 裏返し塗り側



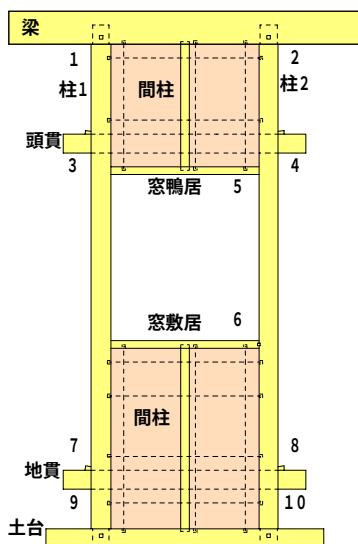
図L_6 裏返し塗り側



図L_8 裏返し塗り側



図L_10 裏返し塗り側



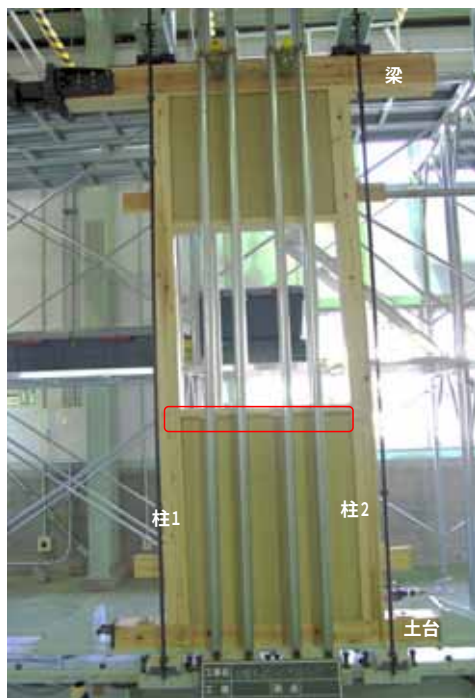


図 1.1 中塗側 1/75rad 窓敷居と腰壁との隙間

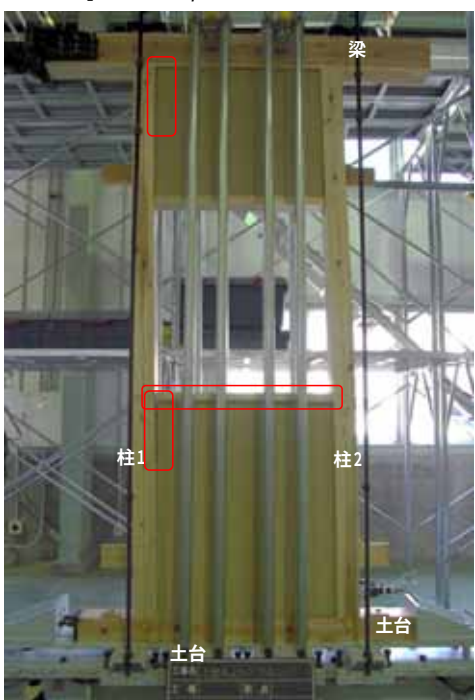


図 1.2 中塗側 1/50rad 垂れ壁・腰壁の軸組みとのひび割れ拡大

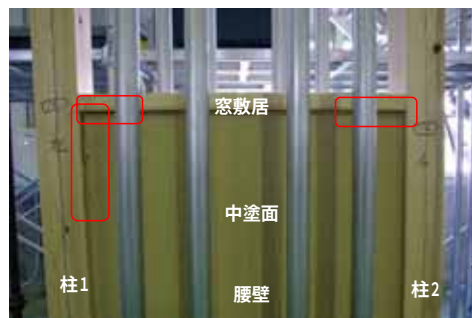


図 1.3 中塗側 1/75rad 窓敷居・柱周りのひび割れ

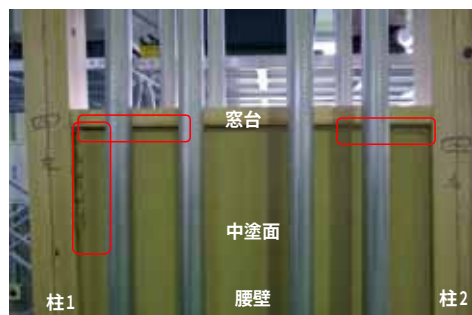


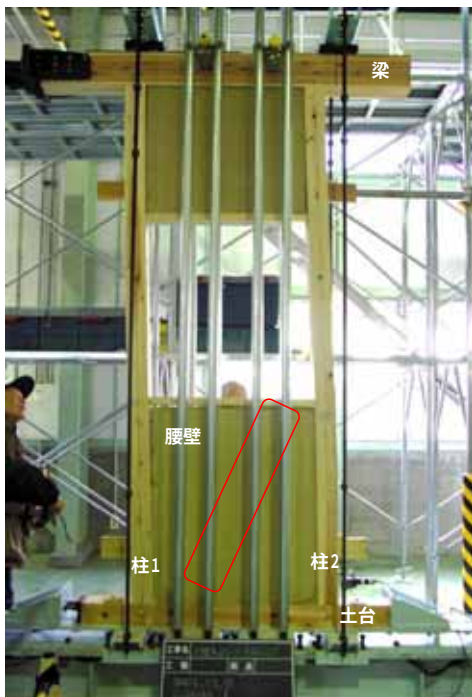
図 1.4 中塗側 1/50rad 窓敷居・柱周りのひび割れ



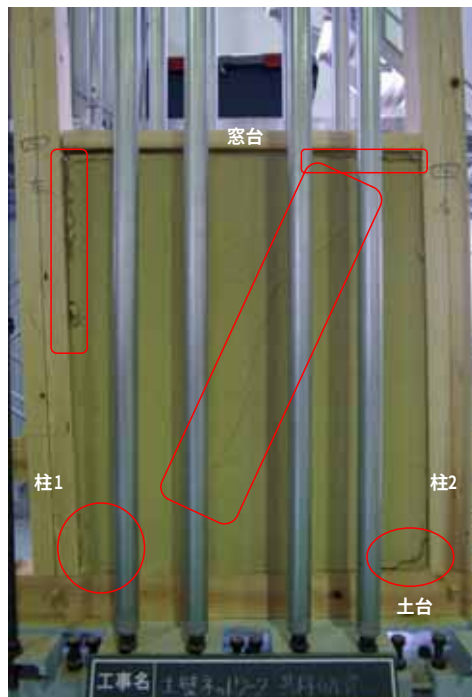
図 1.5 裏返し側 1/50rad 込み栓による窓敷居のせん断力によるひび割れ



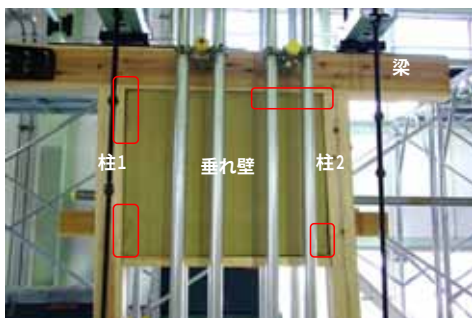
図 1.6 中塗側 1/50rad 柱2-土台隅角部のひび割れ



図I.7 中塗側 1/30rad 腰壁にせん断ひび割れ



図I.8 中塗側 1/30rad 腰壁のせん断ひび割れ、隅角部ひび割れ拡大



図I.9 中塗側 1/30rad 垂れ壁と軸組によるチリ周りのひび割れ



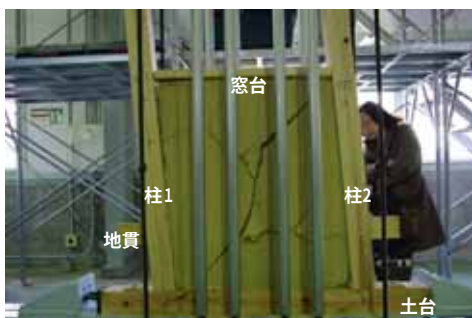
図I.10 中塗側 1/30rad 一方方向加力時の腰壁のせん断ひび割れ



図I.11 中塗側 最終加力時1/30rad せん断ひび割れ拡大、地貫のこじり効果によるひび割れ



図I.12 中塗側 最終加力時1/15rad ひび割れ拡大



図I_13 中塗り側 最終加力時1/15rad ひび割れ拡大



図I_15 裏返し側 最終加力時1/10rad 腰壁せん断ひび割れ



図I_14 中塗り側 最終加力時1/10rad



図I_17 中塗り側 最終加力時1/8.6rad



図I_16 裏返し側 最終加力時1/8.6rad 垂れ壁ひび割れ

垂れ壁の影響(片目地)_3尺壁_M試験体

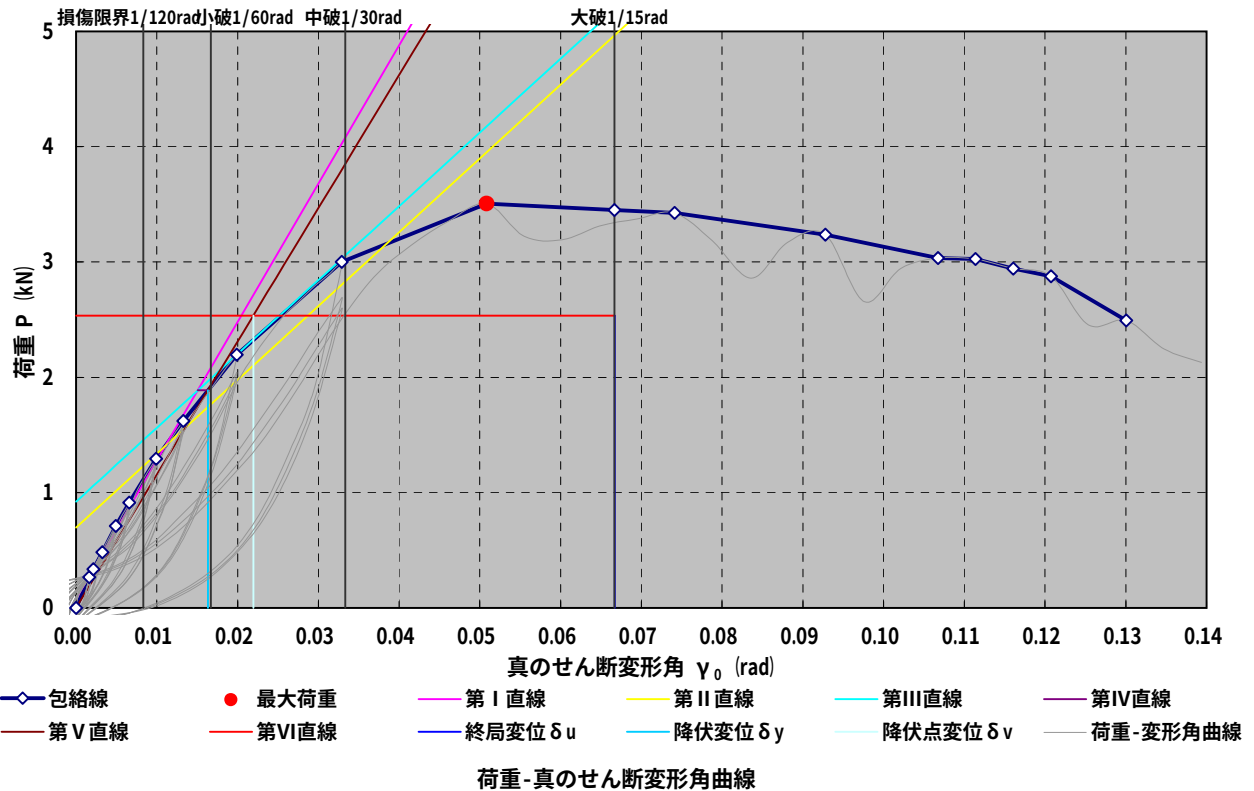
試験条件	
試験日	2009.1.22
室温 (°C)	11.7
湿度 (%)	54.0

試験体仕様	
小舞(割り竹)	地域型(1551)
壁土仕上厚	67mm
中塗り厚	12mm

測定結果	
最大耐力 P_{max}	(kN) 3.51
最大耐力時の変形 δ_{Pmax}	($\times 10^{-3}$ rad) 50.84
降伏耐力 P_y	(kN) 1.89
降伏耐力時の変形 δ_y	($\times 10^{-3}$ rad) 16.34
初期剛性 K	(kN/rad) 115.48
1/150(rad)時の耐力 P_{150}	(kN) 0.92
終局変形 δ_u	($\times 10^{-3}$ rad) 66.70
面積 S	(kN·rad) 0.13
終局耐力 P_u	(kN) 2.53
降伏点変形 δ_v	($\times 10^{-3}$ rad) 21.95
塑性率 μ	3.04
構造特性係数 D_s	0.44

※小舞:表中の数は柱および縦間渡竹間に存在する割竹の数

項目	横架材	柱1	柱2	土台	鴨居	間柱	貫	楔	込み栓	小舞	荒壁+裏返+大直	中塗
樹種 等級	甲2	乙2	乙2	乙2	-	-	-	-	-	-	-	-
含水率 (%)	20.8	11.9	15.5	18.9	14.7	-	-	-	-	-	-	-
年輪密度 (本/cm)	1	3	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-
密度 (g/cm ³)	0.25	0.44	0.39	0.22	-	0.05	-	-	-	-	-	-
重量 (kg)	14.19	11.80	11.19	6.21	1.24	0.51	0.71	0.04	0.14	1.46	48.43	-
総重量 (kg)	170.37											
平均塗厚 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	12



軸組・土塗壁破壊状況



図M_1 裏返し塗り側



図M_3 裏返し塗り側



図M_6 裏返し塗り側



図M_2 裏返し塗り側



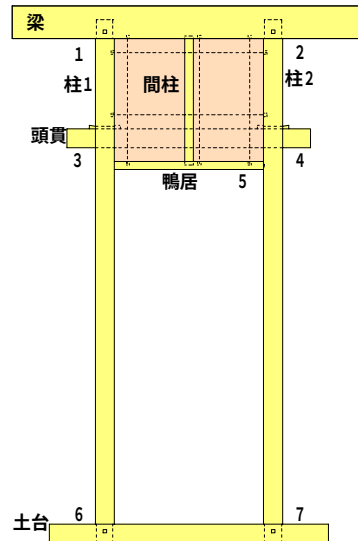
図M_4 裏返し塗り側

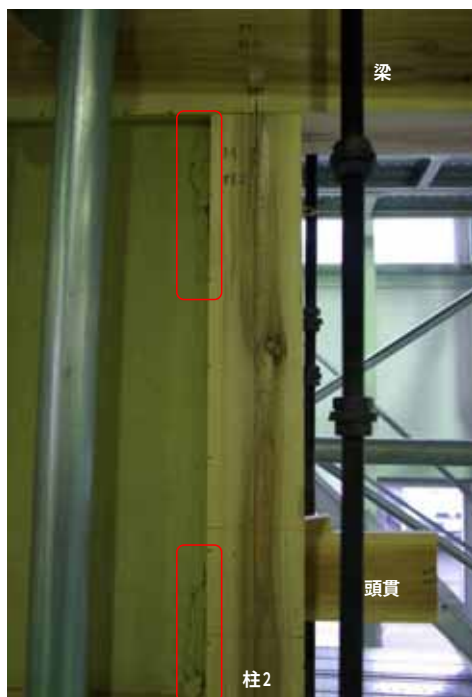


図M_5 裏返し塗り側



図M_7 裏返し塗り側

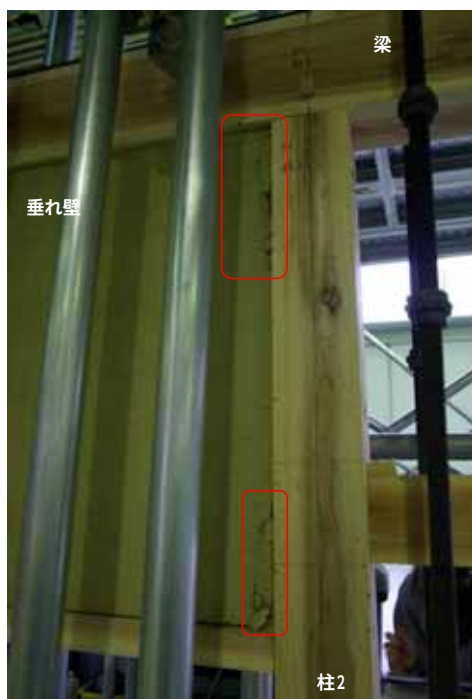




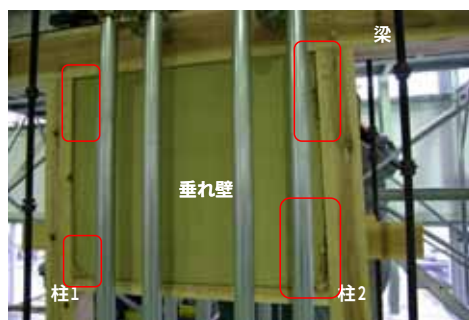
図M_1 中塗側 1/50rad 隅角部ひび割れ



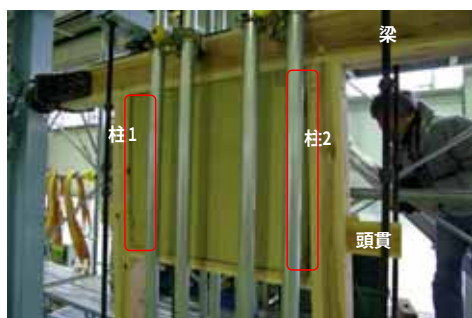
図M_2 中塗側 1/30rad 全体



図M_3 中塗側 1/30rad 隅角部のひび割れ拡大



図M_3 中塗側 1/30rad 隅角部のひび割れ拡大



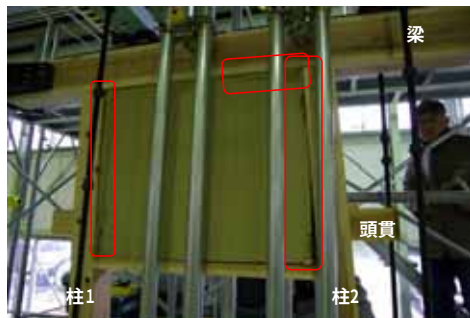
図M_4 中塗側 1/20rad ひび割れの拡大



図M_5 中塗側 1/20rad



図M_6 中塗り側 1/15rad ひび割れの拡大



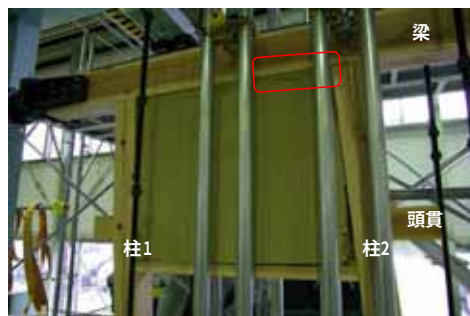
図M_7 中塗り側 最終加力時頂点変位200mm ひび割れ



図M_8 裏返し塗り側 1/15rad 縦間渡し竹に沿ったひび割れ



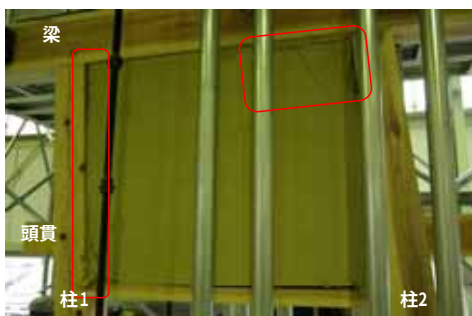
図M_9 中塗り側 1/12rad 全体



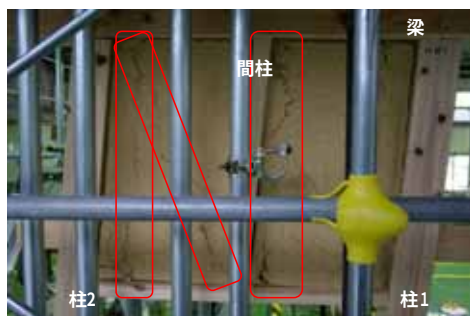
図M_24 中塗り側 最終加力時頂点変位250mm ひび割れの拡大



図M_10 裏返し塗り側 1/12rad 縦間渡し竹に沿ったひび割れの拡大



図M_11 中塗り側 1/10rad 垂れ壁 ひび割れ拡大



図M_12 裏返し塗り側 1/10rad 縦間渡し竹に沿ったひび割れ拡大、せん断ひび割れ



図M_13 中塗り側 最終加力時1/10rad ひび割れ拡大



図M_14 中塗り側 最終加力時1/8.6rad ひび割れ拡大



図M_15 中塗り側 最終加力時1/8.6rad ひび割れ拡大



図M_16 裏返し塗り側 最終加力時1/8.6rad ひび割れ拡大

垂れ壁の影響(両目地)_3尺壁_N試験体

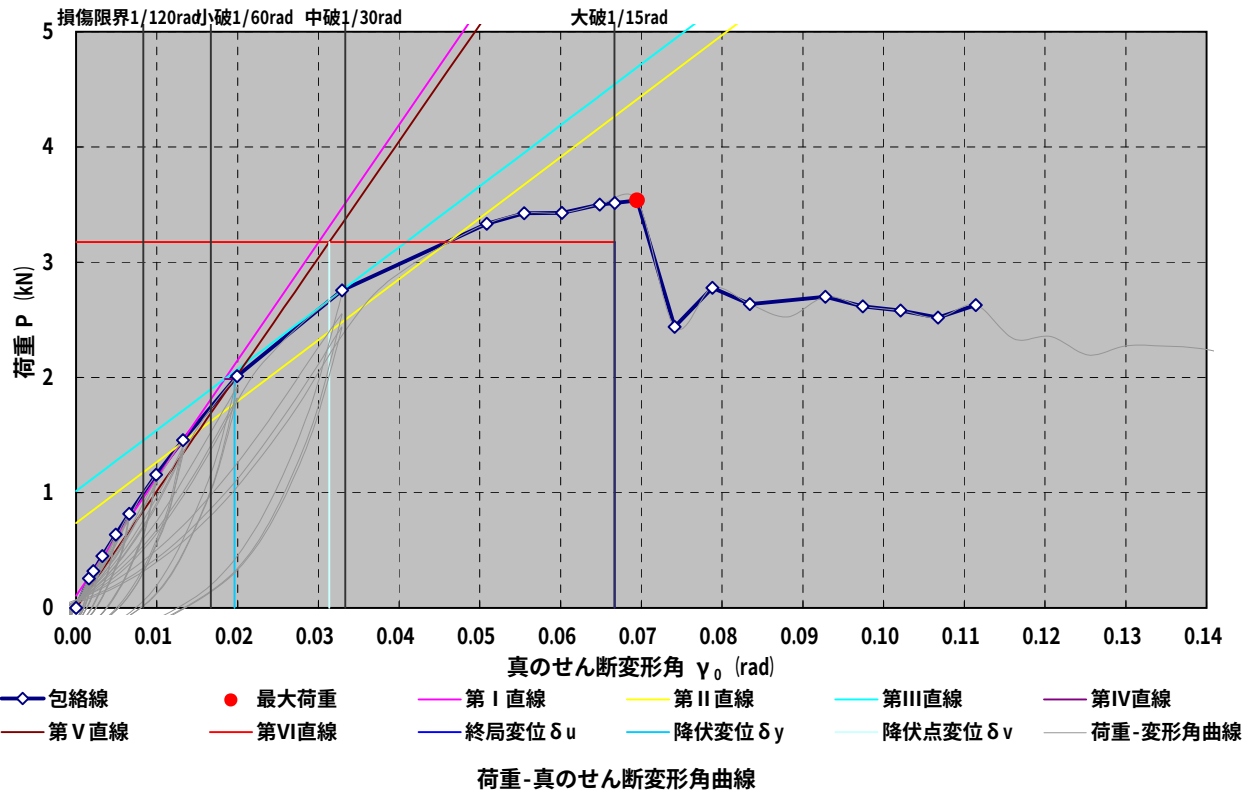
試験条件	
試験日	2009.1.29
室温 (°C)	
湿度 (%)	

試験体仕様	
小舞(割り竹)	地域型(1551)
壁土仕上厚	65mm
中塗り厚	10mm

測定結果		
最大耐力 P_{max}	(kN)	3.54
最大耐力時の変形 δ_{Pmax}	($\times 10^{-3}$ rad)	69.48
降伏耐力 P_y	(kN)	1.99
降伏耐力時の変形 δ_y	($\times 10^{-3}$ rad)	19.63
初期剛性 K	(kN/rad)	101.23
1/150(rad)時の耐力 P_{150}	(kN)	0.82
終局変形 δ_u	($\times 10^{-3}$ rad)	66.70
面積 S	(kN·rad)	0.16
終局耐力 P_u	(kN)	3.17
降伏点変形 δ_v	($\times 10^{-3}$ rad)	31.36
塑性率 μ		2.13
構造特性係数 D_s		0.55

※小舞:表中の数は柱および縦間渡竹間に存在する割竹の数

項目	横架材	柱1	柱2	土台	鴨居	間柱	貫	楔	込み栓	小舞	荒壁+裏返+大直	中塗
樹種 等級	甲2	乙2	乙2	乙2	-	-	-	-	-	-	-	-
含水率 (%)	15.7	17.8	16.9	15.7	16.5	-	-	-	-	-	-	-
年輪密度 (本/cm)	1	4	3	2	4	-	-	-	-	-	-	-
密度 (g/cm ³)	0.26	0.49	0.41	0.22		0.05	-	-	-	-	-	-
重量 (kg)	14.95	13.10	11.61	6.18	1.25	0.56	0.87	0.04	0.13	1.59		
総重量 (kg)												
平均塗厚 (mm)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	10



軸組・土塗壁破壊状況



図N_1 裏返し塗り側



図N_3 大直し側



図N_5 裏返し塗り側



図N_7 裏返し塗り側



図N_2 裏返し塗り側



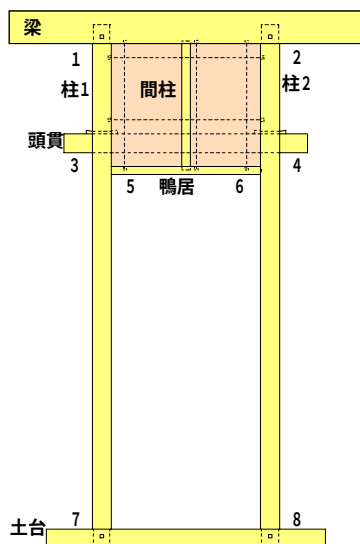
図N_4 大直し側



図N_6 裏返し塗り側



図N_8 裏返し塗り側





図N_1 中塗側 1/50rad 全体



図 N_2 中塗側 1/30rad 全体



図 M_3 中塗側 1/30rad 隅角部のひび割れ

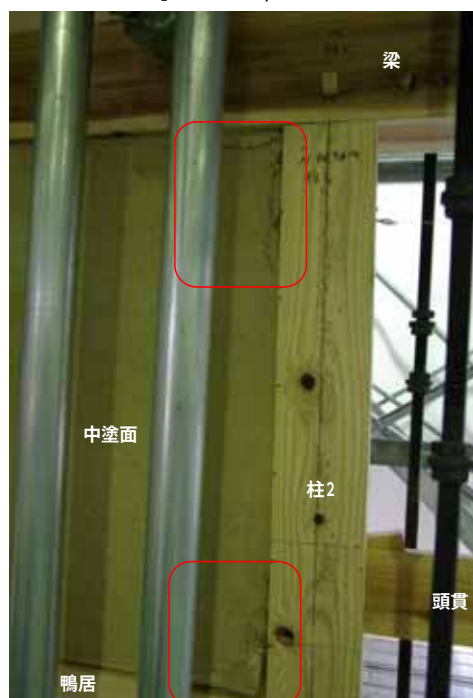


図 M_4 中塗側 1/30rad 隅角部のひび割れ



図N_5 中塗り側 1/30rad 隅角部ひび割れの拡大

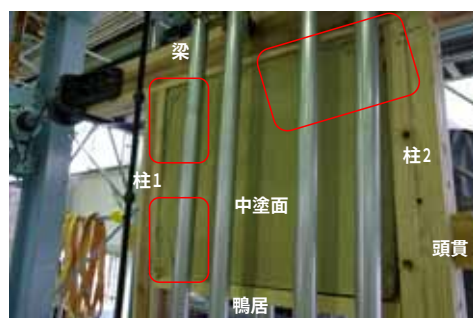


図 N_6 中塗り側 最終加力時1/20rad 隅角部のひび割れ



図N_7 裏返し塗り側 1/20rad 縦間渡し竹に沿ったひび割れ



図N_8 中塗り側 1/12rad 隅角部のひび割れ拡大



図N_9 中塗り側 1/12rad 全体



図N_10 中塗り側 1/12rad 柱2-土台接合部のホゾの折損



図N_11 裏返し塗り側 1/12rad ひび割れ拡大



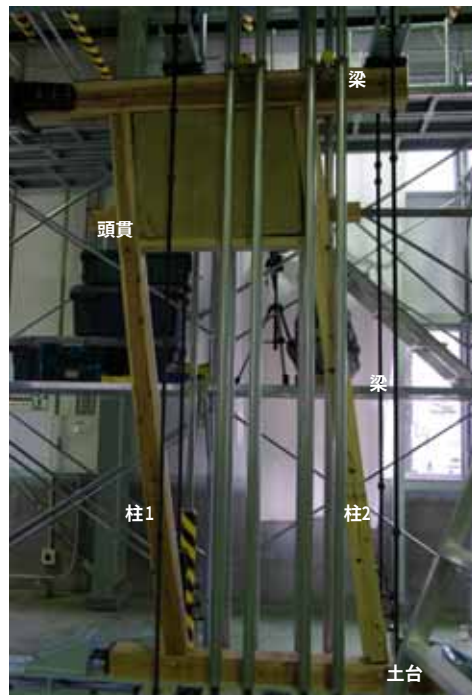
図N_12 中塗り側 1/10rad ひび割れ拡大



図N_13 裏返し塗り側 1/10rad ひび割れ拡大



図N_14 中塗り側 1/10rad



図N_15 中塗り側 1/8.6rad



図N_16 中塗り側 1/8.6rad 垂れ壁ひび割れの拡大



図N_17 裏返し塗り側 1/8.6rad 垂れ壁ひび割れの拡大