

第2章 枠組壁工法による長期優良住宅の躯体に 必要な品質・性能に関する検討

第2章 枠組壁工法による長期優良住宅の躯体に必要な品質・性能に関する検討

2.1 はじめに

平成21年度(熊本県産材)から平成22年度(岩手県産材)にかけて、国産スギ材による枠組壁工法耐力壁の性能評価を行うことを目的に、耐力壁の面内せん断試験を実施した。その結果、スギ枠組材のJAS目視等級区分、心材と辺材、密度の高低によらず、すべての試験体において所定の壁倍率を上回っていることが確認された。また、昨年度(H23)は、当該(H22)試験体から性能検証実験直後に採取したスギ枠組材のサンプルの含水率を測定することにより、耐力低減への影響を考慮した耐力壁の性能評価について考察を行い、告示で規定されている壁倍率3倍を上回っていることが確認された。

今年度は埼玉県産のスギ枠組材を使用し、JAS目視等級区分をパラメータとして、甲種3級を含む枠組材で構成された耐力壁の面内せん断耐力試験を実施する。また、JAS規格で枠組材の平均年輪幅が6mm以下という基準が弊害になるので併せて検討した。なお、耐力低減への影響を考慮した耐力壁の性能評価についても考察を行う。

2.2 試験材の製作

2.2.1 供試丸太の径級別本数と製材木取り

試験材の製作に用いたスギ丸太(間伐材)は、埼玉県秩父市内の製材工場(ウッディーコイケ)の貯木場(写真2.2.1)から3mに玉切りされたものを径級別に調達した。末口径14cm以下の小径木は必要本数の20本を全数指定し、その際、小径木丸太の山から黒芯を除き、平均年輪幅が6mmを超えるものを半数とした。中径木(末口径20~22cm)及び大径木(末口径24~26cm)の各々丸太の山から選別条件を指定せずに、40本、20本と必要本数を選定した。それぞれの丸太の山を写真2.2.2、写真2.2.3および写真2.2.4に示す。



写真 2.2.1 製材会社貯木場



写真 2.2.2 小径木丸太の山



写真 2.2.3 中径木丸太の山



写真 2.2.4 大径木丸太の山

以上の選定条件から本事業で用いた供試スギ丸太は 80 本である。

次に、供試丸太からの製材は 204 材のみを試験材として木取りした。小径木からは 204 材 2 本を、中径木は 204 材 4 本を、大径木は 204 材 5 本を各々木取りした。

以下に丸太径級別の試験体木取りの事例を図 2.2.1、図 2.2.2 および図 2.2.3 に示す。204 材の粗挽き寸法は $45 \times 105\text{mm}$ とした。

径級別の製材本数は、小径木が 40 本、中径木が 160 本、大径木が 100 本で、総本数 300 本の試験材が得られた。製材加工機を写真 2.2.5 に示す。

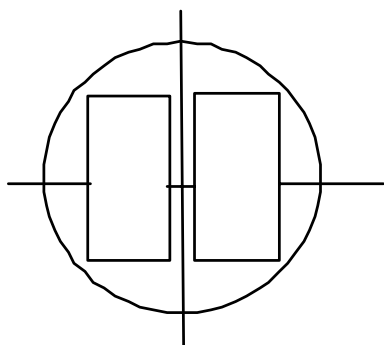


図 2.2.1 小径木からの製材木取り例

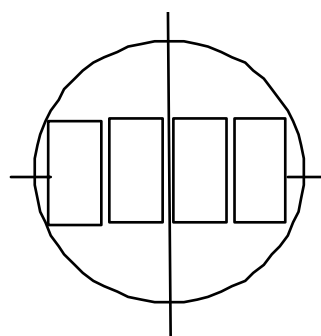


図 2.2.2 中径木からの製材木取り例

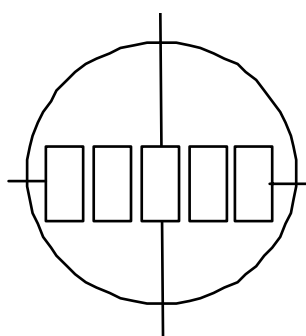


図 2.2.3 大径木からの製材木取り例



写真 2.2.5 製材加工機

2.2.2 試験材の乾燥処理

試験材の乾燥処理は 204 材 $45 \times 105\text{mm}$ の粗挽きの状態で、反り、曲がり、密度の高いもの、など乾燥後に欠点となる材、黒芯を選別し、それを除いた。写真 2.2.6 に製材選別作業を写真 2.2.7 に選別後の製材を示す。



写真 2.2.6 製材選定作業



写真 2.2.7 選定後の製材

その結果、小径木からは 37 本を、中径木は 113 本、大径木は 69 本の総数 219 本について乾燥処理を行った。

乾燥後の仕上がり含水率は 19%以下、15%以上 18%以下を目標に、天乾は行わず、蒸気式乾燥機で中温乾燥 9 日を行った。乾燥は他の板割材と混在させて実施している。実際の乾燥スケジュールを図 2.3.4 に示す。

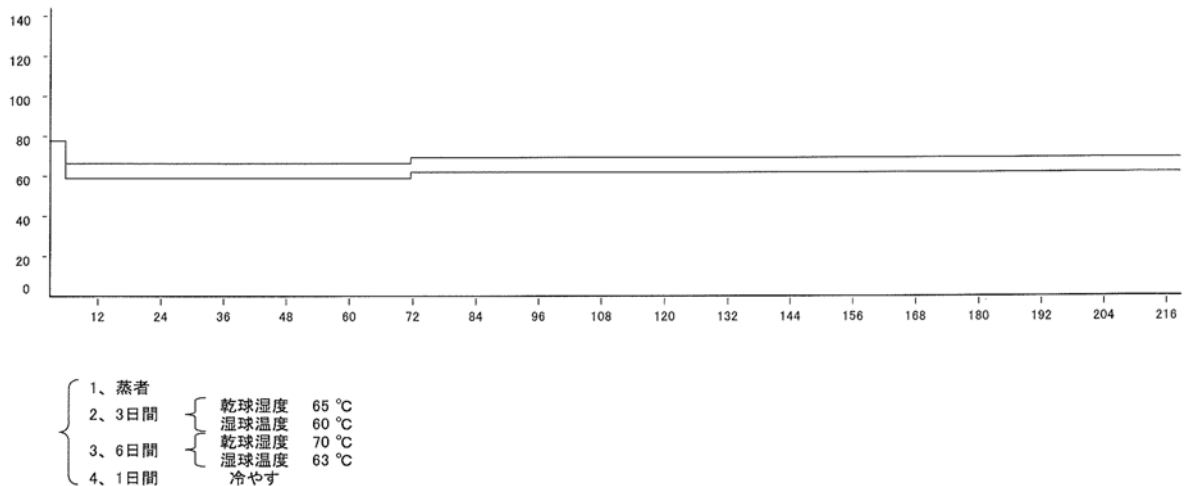


図 2.3.4 乾燥スケジュール

2.2.3 試験材の乾燥処理後の再選別

乾燥処理を終えた 219 本の試験材について、反りや曲がりのためにモルダー加工機に入らないものを選別した。

その結果、小径木からは 33 本を、中径木は 84 本、大径木は 35 本の総数 152 本が得られた。

2.2.4 試験材の等級等級別本数

モルダー加工を終えた 152 本の試験材は、枠組壁工法構造用製材の日本農林規格の目視等級区分に基づきコンポーネント会社（三井ホームコンポーネント）のグレーダー（格付士）が選別を行った。写真 2.2.8 に製材工場から搬入されたモルダー加工済みの試験材を、写真 2.2.9 にグレーダーによる格付作業を示す。

試験材は品質基準により、全材長で品質判定し、丸太の径級（小径木、中径木、大径木）別に特級、1 級、2 級、3 級、規格外に区分し、等級区分が決定した品質を合せて記録した。



写真 2.2.8 モルダー加工済みの試験材



写真 2.2.9 グレーダーによる格付作業

なお、格付は甲種枠組材の規格の節だけに着目した格付けと全ての品質に着目した格付けの二種を行い、結果を表 2.2.1 に示す。

等級別本数の出現率は特級、3級、2級、1級の順に高くなるが、規格外も認められ規格外を含む出現率では3級に続く3番目に規格外が位置する。

特級から1級、1級から2級、2級から3級への等級落ちは、ほとんどは反りが要因であった。

3級から規格外への等級落ちには平均年輪幅が6mmを超えたものが含まれている(表 2.2.2)。

また、甲種枠組材の規格の節だけに着目した格付けでは、ほとんどが特級または1級であった。写真 2.2.10 に製材と試験材を示す。

表 2.2.1 JAS 格付等級別本数

JAS 格付	規格				節 格 付	規格			
	全体	小径木	中径木	大径木		全体	小径木	中径木	大径木
特級	43	20	18	5	特級	114	28	54	32
1級	12	7	3	2	1級	32	4	26	2
2級	25	1	17	7	2級	6	1	4	1
3級	40	4	29	7	3級	0	0	0	0
規格外	32	1	17	14	規格外	0	0	0	0
総数	152	33	84	35	総数	152	33	84	35

表 2.2.2 JAS 格付等級決定品質別本数

等級格下	全体	反り	年輪幅	割れ	穴
特級⇒1級	12	11	-	0	1
1級⇒2級	26	25	-	1	0
2級⇒3級	39	38	-	1	0
3級⇒規格外	32	24	8	0	0
総数	152	98	8	2	1



写真 2.2.10 製材と試験材

2.3 耐力壁試験体

2.3.1 枠組材の選定

面内せん断耐力壁試験で使用する枠組材は、152本の全てに通し番号を付けて格付された試験材とした。

試験材は全て重量測定および基本周波数測定を行い、耐力壁試験体製作前に見かけの密度と動的ヤング率を算出した。

表 2.3.1 に試験材の JAS 格付等級別の材料物性として見かけの密度と動的ヤング率の関係を示す。

見かけの密度は平均値 420 (標準偏差 63) kg/m³ であり、動的ヤング率は平均値 9.5 (標準偏差 2.385) GPa であった。

なお、径級別の見かけの密度と動的ヤング率の関係を図 2.3.1 に示す。

表 2.3.1 JAS 格付等級別の材料物性（耐力壁試験体製作前の測定結果）

JAS 格付	サンプル数 n				材料物性 (平均値)								
	全体	小径木	中径木	大径木	密度 ρ (kg/m ³)				動的ヤング率 E (Gpa)				
					全体	小径木	中径木	大径木	全体	小径木	中径木	大径木	
特級	43	20	18	5	430 (51)	450 (46)	430 (45)	350 (51)	8.7 (1.705)	9.3 (1.594)	8.4 (1.601)	7.7 (1.965)	
1級	12	7	3	2	450 (86)	480 (91)	420 (96)	400 (3)	10.0 (2.326)	10.9 (2.383)	8.8 (1.390)	7.1 (0.791)	
2級	25	1	17	7	420 (66)	420 (0)	440 (68)	380 (41)	9.6 (2.9)	7.5 (0)	9.8 (3.083)	9.3 (2.614)	
3級	40	4	29	7	420 (74)	520 (43)	430 (60)	350 (69)	10.3 (2.526)	12.2 (3.514)	10.3 (2.251)	9.2 (2.811)	
規格外	32	1	17	14	390 (41)	420 (0)	410 (44)	380 (26)	9.4 (2.385)	11.9 (0)	10.2 (2.133)	8.3 (2.287)	
総数	152	33	84	35	420 (63)	460 (61)	430 (57)	370 (42)	9.5 (2.385)	10.0 (2.385)	9.7 (2.364)	8.6 (2.375)	

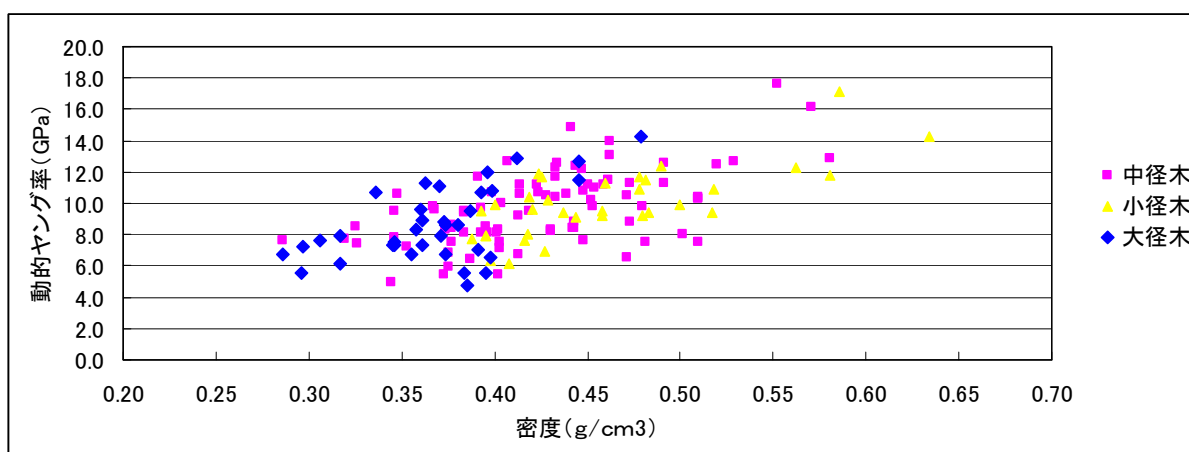


図 2.3.1 径木別の見かけの密度と動的ヤング率の関係

2.3.2 面材の選定

面材は、厚さ9mmのJAS構造用合板(区分等級:特類2級,樹種:国産カラマツ,サイズ:910mm×2,431mm)とし、耐力壁試験体の製作に使用する面材として、当該合板30枚から任意に必要な数量22枚を採用した。

試験面材22枚について、通し番号を付けた上で重量測定を行い、見かけの密度を算出した。見かけの密度の平均値は540(標準偏差34)kg/m³であった。

2.3.3 試験体仕様

枠組材の甲種枠組材の等級区分(特級、2級、3級)をパラメータとした3仕様について、各3体ずつ計9体と、参考データ取得のために1級、規格外を各1体の耐力壁試験体((壁長:1,820mm,壁高:2,450mm)計11体を製作した。

等級区分された試験材の選定方法は、試験体ごとにみかけ密度および動的ヤング率の中央値に近い数値の順とし、試験体で釘打ちされるたて枠5本、上枠1本、下枠1本に充てた。

添えたて枠、頭つなぎはそれ以外の試験材を充てた。

表 2.3.1 に試験体ごとのみかけ密度および動的ヤング率を示す。

表 2.3.1 試験体ごとのみかけ密度および動的ヤング率

		上段：密度 ρ (kg/m ³) 下段：動的ヤング率 E (Gpa)						下枠	平均
		上枠	たて枠 1	たて枠 2	たて枠 3	たて枠 4	たて枠 5		
試験体 1	特級	470	410	350	370	320	360	400	382.86
		7.1	6.2	7.3	6.7	6.2	7.3	6.5	6.79
試験体 2		450	510	400	420	400	400	400	407.61
		7.7	7.5	8.1	8	8	7.9	8.1	8
試験体 3		410	430	440	480	440	480	440	454.28
		9.2	8.3	9.4	9.4	9.1	9.2	8.8	9.15
試験体 4	2級	380	400	480	400	350	350	380	391.9
		6.9	5.5	7.5	5.5	7.5	7.3	6	6.73
試験体 5		510	420	410	420	340	360	480	405
		10.3	11.2	11.2	7.6	10.7	9.6	9.8	9.82
試験体 6		430	450	490	430	450	410	580	470.47
		12.6	11.2	12.5	12.2	11.5	12.9	12.8	12.35
試験体 7	3級	440	400	500	300	310	320	330	355.23
		8.4	8.6	8	7.2	7.6	8	7.4	7.68
試験体 8		380	420	400	500	520	360	450	443.8
		9.4	9.5	10	9.9	9.4	8.9	9.8	9.59
試験体 9		450	350	410	450	490	400	410	430.47
		12.2	10.6	10.6	11	12.4	12	12.7	11.72
試験体 10	1級	510	420	430	430	390	400	440	431.42
		10.4	10.4	10.2	11.7	10.7	6.6	8.4	9.77
試験体 11	規格外	370	470	410	460	390	300	390	398.57
		8.3	10.5	6.7	11.2	7	5.5	8.2	9.1

番付けされた試験枠組材を写真 2.3.1 に、試験体製作状況を写真 2.3.2 に示す。



写真 2.3.1 番付けされた試験枠組材



写真 2.3.2 試験体製作状況

枠組材に面材を留め付ける接合具には、JIS A 5508 太め鉄丸くぎ CNZ50 を使用して、くぎ打ち間隔を外周部 100mm および中間部 200mm として打ち付けることにより、平成 13 年国土交通省告示第 1540 号に規定されている壁倍率 3 の仕様の耐力壁とした。

また、引き寄せ金物として、頂部および脚部に HDB-20 を耐力壁両端部の 2 枚合わせのたて枠に取り付けた。なお、加力桁には対象異等級集成材 89mm×302mm、土台には対象異等級集成材 89mm×89mmを使用した。共通試験体図を図 2.3.2 に示す。

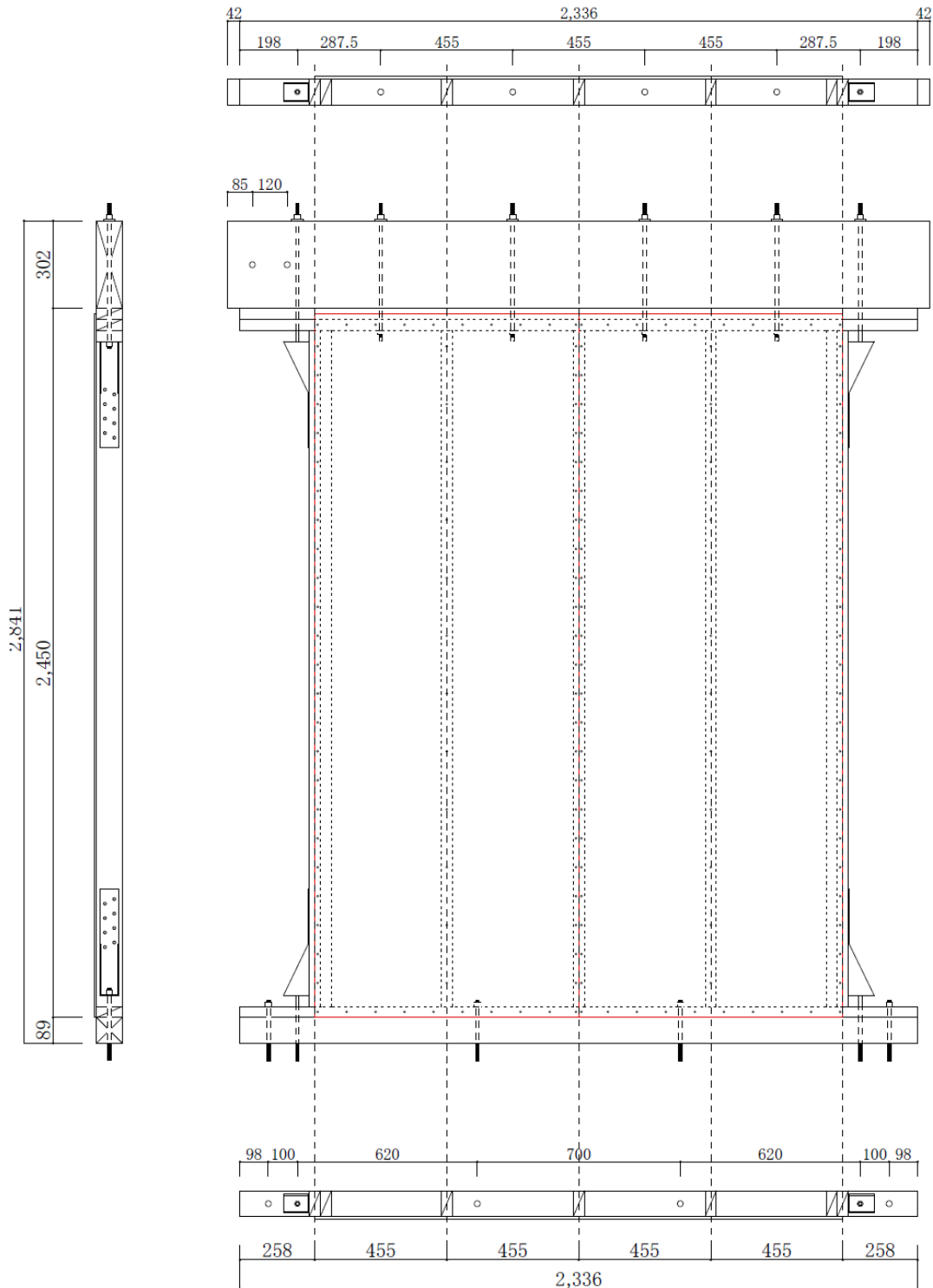


図 2.3.2 共通試験体図

2.4 耐力壁の面内せん断試験

2.4.1 試験方法

耐力壁の面内せん断試験は、指定性能評価試験機関が一般に運用している「枠組壁工法耐力壁及びその倍率の試験評価業務方法書」に示された方法に基づいて実施した。また、耐力壁のせ

ん断性能の評価についても同業務方法書に示された方法に基づいた。なお、本試験は三井ホームコンポーネント千葉工場に設置されている耐力壁せん断試験フレームにおいて実施した。

加力方法は、無載荷式による正負交番繰り返し加力とし、見かけのせん断変形角が正負の特定変形段階(1/450rad, 1/300, 1/200, 1/150, 1/100, 1/75, 1/50(以上各 3 回繰り返し))で繰り返し経歴を組み、最終的に正方向に 1/15rad.の変形角となるまで加力した。

荷重の測定はアクチュエータに内蔵された荷重計にて、変位の測定は 2 台の変位計の設置にて行った。試験体頂部の水平変位の測定には巻込型変位計(東京測器研究所 DP-1000E)を使用した。同様に試験体脚部の水平変位の測定には巻込型変位計(DP-500E)を使用した。

2.4.2 試験結果

表 2.4.1 に壁倍率算定値を示す。図 2.4.1 から図 2.4.9 に各試験体の荷重－変位曲線を示す。また、試験終了時の状況を写真 2.4.1 および写真 2.4.2 に示す。耐力壁の主な破壊性状は、面材へのくぎ頭のめり込み(写真 2.4.3)、隅角部および中たて枠の中間部のくぎ接合による面材の縁切れ(写真 2.4.4、写真 2.4.5)であり、その他にくぎ頭の面材貫通(写真 4.2.6)が散見された。

なお、すべての耐力壁試験体において、壁倍率の算定値(ばらつき係数および低減係数 α を考慮しない数値)が告示第 1540 号に規定されている倍率 3(短期基準せん断耐力 10.7kN に相当)を上回っていた。

表 2.4.1 壁倍率算定値

試験体仕様		(a)	(b)	(c)	(d)	MIN平均値 [*] (a), (b), (c), (d) (kN)	標準 偏差 (kN)	変動係数 CV	ばらつき 係数	短期基準 せん断耐力P0 (kN)	壁倍率
		降伏耐力 Py (kN)	0.2Pu/Ds	2/3Pmax (kN)	P _{1/120} (kN)						
特級	-1	16.6	19.3	20.2	16.6	15.44	1.23	0.081	0.897	13.84	3.87
	-2	14.3	13.8	16.9	18.1						
	-3	14.6	13.2	18.5	17.1						
合計		15.1	15.4	18.5	17.2						
2級	-4	14.7	14.4	17.9	17.2	13.53	0.34	0.019	0.959	12.97	3.63
	-5	15.7	14	17.8	18.4						
	-6	16.8	12.2	18.4	17.1						
合計		15.7	13.5	18	17.5						
3級	-7	14.1	12.3	15.7	16.5	13.63	1.15	0.08	0.951	12.96	3.63
	-8	15.6	14	18.3	18.4						
	-9	17.3	14.6	17.6	19.5						
合計		15.6	13.6	17.2	18.1						

※ 壁倍率は、耐力の低減係数 α を含めずに算定した。

※ 信頼水準 75%の 50%下側許容限界を求める際の K (試験体に依存する定数) は 0.471 (試験体数 3 のとき)。

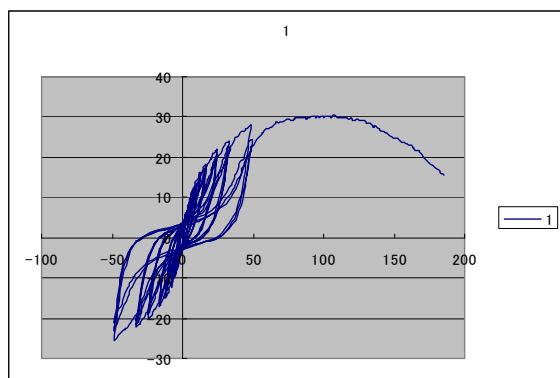


図 2.4.1 荷重－変位曲線(特級-1)

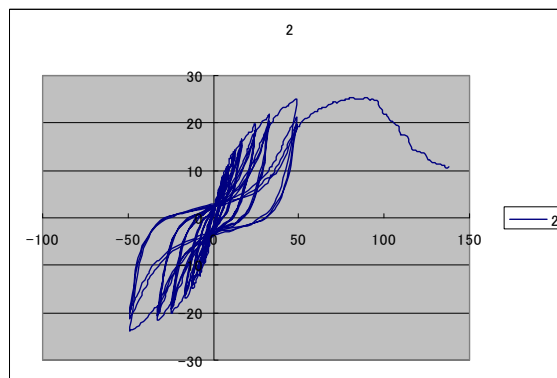


図 2.4.2 荷重－変位曲線(特級-2)

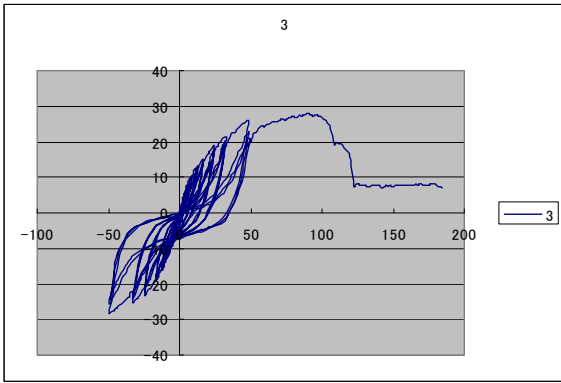


图 2.4.3 荷重—変位曲線(特級-3)

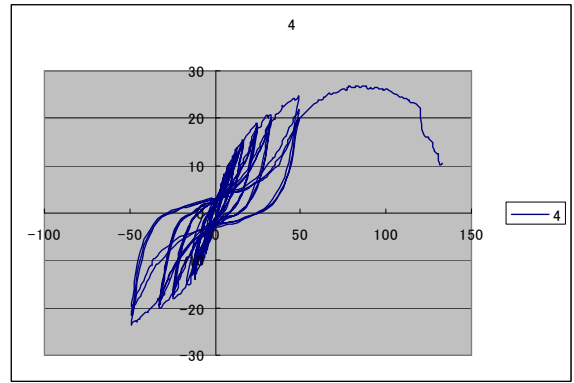


图 2.4.4 荷重—変位曲線(2級-4)

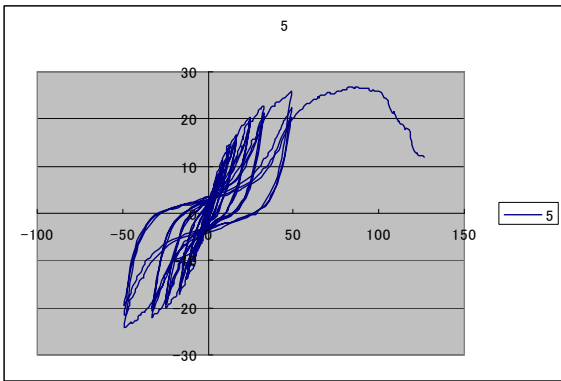


图 2.4.5 荷重—変位曲線(2級-5)

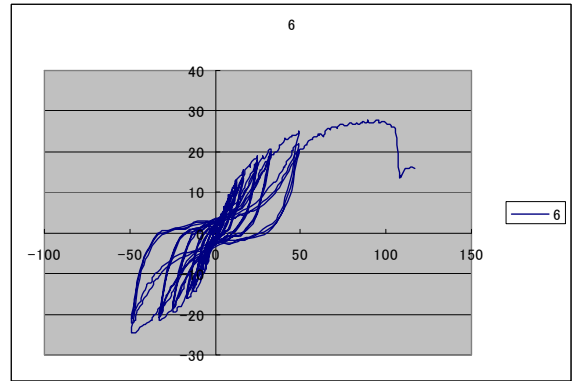


图 2.4.6 荷重—変位曲線(2級-6)

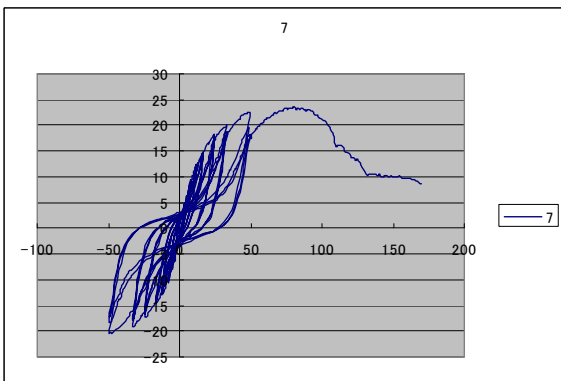


图 2.4.7 荷重—変位曲線(3級-7)

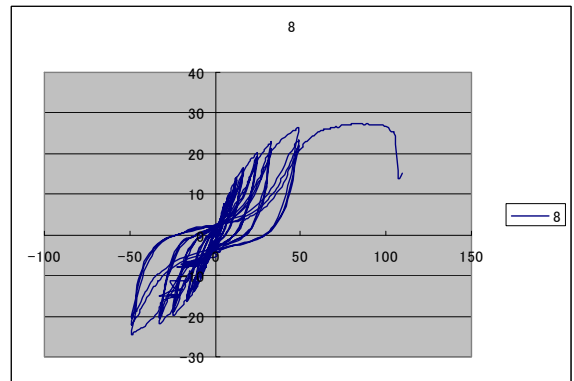


图 2.4.8 荷重—変位曲線(3級-8)

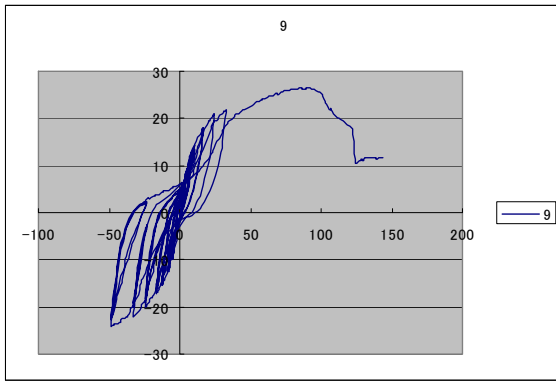


図 2.4.9 荷重－変位曲線(3級-9)



写真 2.4.1 試験終了時の状況((特級-1)



写真 2.4.2 試験終了時の状況((2級-4)



写真 2.4.3 面材へのくぎ頭のめり込み



写真 2.4.4 隅角部の面材の縁切れ



写真 2.4.5 面材の縁切れ(中間部)



写真 4.2.6 くぎ頭の面材貫通

2.5 耐力壁の性能評価

2.5.1 試験材の含水率測定

耐力壁の面内せん断試験終了後の試験体(9体)から、全乾重量法に基づき試験材の中央部付近より $38\text{mm} \times 89\text{mm} \times 10\text{mm}$ の試験片を各2個ずつ、上枠1本、下枠1本、たて枠3本から採取して、計90サンプル採取した(写真2.5.1、写真2.5.2)。試験片の乾燥前の質量、6時間経過後の質量および12時間経過後の質量を測定することにより含水率を算出した(写真2.5.3、写真2.5.4)。



写真 2.5.1 耐力壁から試験片採取状況



写真 2.5.2 試験材から試験片採取状況



写真 2.5.3 試験片の重量測定



写真 2.5.4 試験片の乾燥工程

表 2.5.1 に枠組材 90 サンプルについての密度および含水率の測定値を示す。耐力壁に使用した埼玉県産のスギ枠組材の密度の平均値は 417kg/m³程度、含水率の平均値は 8.94%程度であった。

なお、表 2.5.1 には参考として、曲げデータに対して ASTM D 2915 の規格に基づいて式 2.5.1 および式 2.5.2 を用いた含水率 15%時の値に調整する係数 (K_{m-F}, K_{m-E}) を併記した。

曲げ強さ： $K_{m-F} = 1.25/(1.75-0.0333M)$ ……式 2.5.1

ヤング係数： $K_{m-E} = 1.14/(1.44-0.02M)$ ……式 2.5.2

M：試験時含水率 [%]

表 2.5.1 耐力壁に使用した枠組材の密度と含水率

試験体仕様	サンプル数	密度 (平均値) (kg/m ³)			含水率 (平均値) %	調整係数 (参考)	
		物性測定時	試験片採取時	全乾完了時		K _{m-F}	K _{m-E}
特級	30	418.09	392.93	362.8	9.61	0.874	0.913
2級	30	424.76	372.38	346.27	8.95	0.86	0.904
3級	30	409.04	376.44	353.42	8.28	0.847	0.894
合計	90	417.29	380.58	354.16	8.94	0.86	0.903

2.5.2 耐力壁の性能評価に関する考察

建築基準法施行規則第八条の三の規定に基づく認定に係わる性能評価を行う指定性能評価機関における「枠組壁工法耐力壁及びその倍率 性能試験・評価業務方法書」によると、短期許容せん断耐力 Pa は式 2.5.3 より算出するとされている。また、壁倍率は式 2.5.4 より算出するとされている。

短期許容せん断耐力 Pa = P₀ × α ……式 2.5.3

P₀：実験により決定された耐力壁の短期基準せん断耐力 (kN)

α：考えられる耐力低減の要因を評価する係数で、枠組壁工法耐力壁の

- ①構成材料の耐久性
- ②使用環境の影響
- ③施工性の影響
- ④壁量計算の前提を満たさない場合の影響

等を勘案して定める係数

壁倍率 = Pa × (1/1.96) × (1/L) ……式 2.5.4

Pa：式 2.4.1 より求めた短期許容せん断耐力 (kN)

1.96：壁倍率=1 を算定する数値 (kN/m)

L：試験体の壁の長さ (当該試験体においては 1.82) (m)

当該性能検証実験の試験体のように、耐力壁を構成する枠組材を JAS 枠組壁工法構造用製材、面材を JAS 構造用合板とした場合、通例では耐力の低減係数 α の要因のうち①と②と④は低減なし (1.00)、③は現場でのくぎ打ち施工を考慮して低減 5% (0.95) とされている。

この他の要因として、仮に枠組材の含水率の影響による低減を評価に含めると考えた場合、曲

げデータに対して含水率 15%時の値に調整する係数 (K_{m-F} , K_{m-E}) のうち、含水率の影響がより大きく反映されている曲げ強さの調整係数 K_{m-F} (表 2.5.1) を⑤とする。

本考察では耐力の低減係数 α について、各要因のうち最小値を採用して (MIN{①,②,③,④,⑤}) 式 2.5.3 および式 2.5.4 より壁倍率を算出し、結果を表 2.5.2 に示す。

表 2.5.2 耐力の低減係数 α を考慮した壁倍率

試験体仕様	短期基準 せん断耐力 P_0 (kN)	①	②	③	④	⑤	耐力低減 係数 α	短期基準 せん断耐力 P_0 (kN)	壁倍率
		構成材料の 耐久性	使用環境 の影響	施工性の 影響	壁量計算の 条件影響	含水率の 調整係数 K_{m-F}			
特級	13.8	1	1	0.95	1	0.874	0.874	12.06	3.38
2級	12.9	1	1	0.95	1	0.86	0.86	11.09	3.11
3級	12.9	1	1	0.95	1	0.847	0.847	10.92	3.06
合計	13.2	1	1	0.95	1	0.86	0.86	11.35	3.18

平成 24 年度に実施した埼玉県産のスギ枠組材を使用した耐力壁の性能検証実験結果に適用した結果、耐力の低減係数 α は、0.847 から 0.874 の間の数値となり、各等級ともに所定の壁倍率 3 を上回る結果となった。

2.5.3 規格外等の試験結果および性能評価 (参考値)

耐力壁試験体数が 1 しか得られなかった 1 級と平均年輪幅が 6mm 超えた規格外の試験結果を、参考までに表 2.5.3 に壁倍率算定値を示す。また、図 2.5.5、2.5.6 に各試験体の荷重－変位曲線を示す。

表 2.5.3 壁倍率算定値と耐力の低減係数 α を考慮した壁倍率

等級区分	最大荷重 P_{max} (kN)	$P_{1/120}$ (kN)	降伏耐力 P_y (kN)	終局耐力 P_u (kN)	構造特性 係数 D_s	剛性 K (kN/c m)	$2/3P_{max}$ (kN)	$0.2P_u/D_s$ (kN)	短期基準 せん断耐力 P_0 (kN)	壁倍率	壁倍率 (低減考慮)	
1 級	10	27.8	20.0	15.6	24.8	0.30	15.1	18.5	16.3	15.6	4.3	4.085
規格外	11	30.3	20.3	18.5	27.3	0.33	11.4	20.2	16.3	16.3	4.5	4.275

※ 耐力の低減係数 α は①構成材料の耐久性、②使用環境の影響、③施工性の影響、④壁量計算の前提を満たさない場合の影響の 4 係数で評価した。

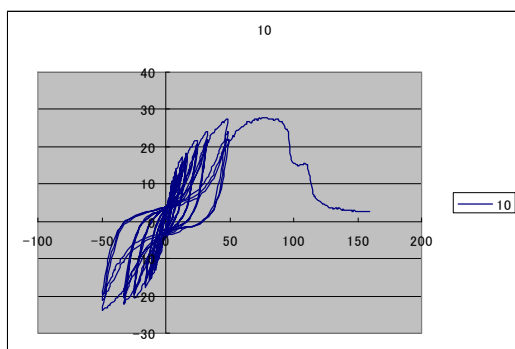


図 2.5.5 荷重－変位曲線(1 級)

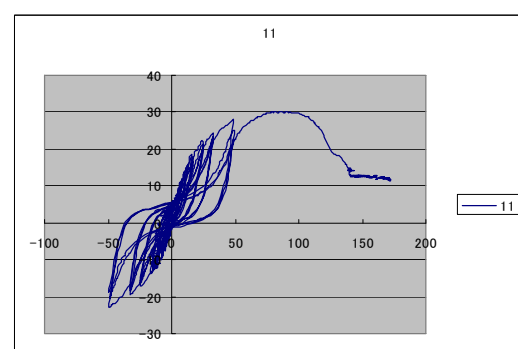


図 2.5.6 荷重－変位曲線(規格外)

2.6 まとめ

本試験材の製作および本試験結果より、埼玉県産のスギ枠組材で構成される耐力壁のせん断性能等について、次のような知見が得られた。

- (1) 等級別本数の出現率は特級、3級、2級、1級の順に高くなるが、規格外も認められ規格外を含む出現率では3級に続く3番目に規格外が位置する。特級から1級、1級から2級、2級から3級への等級落ちは、ほとんどは反りが要因であった。3級から規格外への等級落ちには平均年輪幅が6mmを超えたものが含まれていた。
- (2) 3段階の等級区分（特級、2級、3級）で当該耐力壁の仕様について告示第1540号に規定されている倍率3（短期基準せん断耐力10.7kNに相当）を全て上回っており、等級区分に比例していた。
- (3) 耐力壁の主な破壊性状は、面材へのくぎ頭のめり込み、隅角部および中たて枠の中間部のくぎ接合による面材の縁切れであり、その他にくぎ頭の面材貫通が散見された。
- (4) 含水率の影響による低減を評価に含めると考えた場合、耐力の低減係数 α は、0.847から0.874の間の数値となり、各等級ともに所定の壁倍率3を上回る結果となった。

