

県産杉間伐材を用いた積層パネル構法の考察

会津大学短期大学部

産業情報学科

柴崎 恭秀

県産杉間伐材を用いた積層パネル構法の考察

柴崎 恭秀

平成 21 年 12 月 20 日受付

【要旨】本研究は、福島県産の杉間伐材の有効活用を目的としたものである。杉間伐材の有効利用が叫ばれてから既に 20 余年が過ぎている。杉間伐材の利用はそれ自体の利用を促進することも重要であるが、本来は手入れの滞っている我が国の森林の問題であり、国土の実に 66 パーセントが森林である我が国ではその在り方の問題にまで発展してしまっている。手の入らなくなった森林をどのように導くかは急務であると同時に、その活用の仕方を経済も含めて考えていくときがきているのである。

一方、本県の南部に位置する八溝山系から日光に繋がる山林は、優良な木材資源の宝庫として知られている。県南地域ではこの地の利と、高速道路によって繋がる東北エリアの材木の集約、また関東圏に製材した木材を卸しやすいという更なる地の利があることから、大手の製材会社が存在するに至った。本研究の主たる目的である積層パネル構法の開発は、もともとは県産材の杉間伐材の有効活用を目的としている。現在まで筆者はアートや国道休憩施設のベンチ等でその有効活用の模索と対外的なアピールを行ってきた。今回の開発は、県産杉間伐材の有効活用の幅を広げる目的で住宅の内装材としての利用を考察している。構法の開発に当たっては以下の点を考慮した。杉間伐材を板材として用いるのではなく校倉造のように木材を積層させることによって、住宅の内装としての意匠性を高める、木造在来軸組工法の筋交いに相当する耐力壁としての効果を探る、木材自体の厚みによる断熱効果を高める等である。

1. 研究の目的

前述のように我が国における森林の継続可能な維持と活用は急務であり、そのひとつとして間伐材の有効活用が挙げられる。日本の国土における森林面積は66パーセントでありフィンランドに次ぐ割合である。そのなかにあって福島県南は八溝山系から日光に繋がる国内有数の森林資源を有している。この県南の杉間伐材の有効活用を図るため、2006年から様々なプロジェクトに取り組んできた。現在までのプロジェクトで取り組んだ内容は、主にアートや休憩施設などであったが、更なる活用と展開を図るため住宅の内装材としての利用を考察する。研究の目的は以下である。

杉材積層パネルによる耐力壁の検討について

杉材積層パネルによる壁面デザインの検討について

杉材積層パネルによる断熱作用の検討について

研究については構造計画を工学院大学の小野里構造研究室に、設備計画については(有)Z0設計室に検討を依頼した。住宅計画については東京都世田谷区で実施する。木材については福島県東白川郡塙町の協和木材(株)で製材された杉材を使用する。杉材積層パネルのモックアップについても同所で制作を試みることにする。

本研究では依頼のあった住宅設計で依頼者に内容を理解してもらい実施に結び付けることができた。しかし、施工場所が東京都世田谷区の準防火地域の極小敷地であることから建築基準法等様々な規制を受けることとなった。また、2005年の耐震偽装以来、数度にわたる法改正がなされ建築許可のプロセスも大幅に変更されたことから、研究目的に挙げる の検討に大きな影響が出たことをここで特記しておきたい。

2. 住宅計画について

住宅の計画敷地は駒沢大学の深沢キャンパスに近い東京都世田谷区深沢3丁目である。依頼者は計画敷地の近くに在住し十数年間鉄筋コンクリート造の住宅に居住している。鉄筋コンクリート造の建物の特徴のひとつには躯体蓄熱の効果が挙げられるが、その特性から気温や日照による、温まりにくくて冷めにくい特徴がある。この特性を上手に利用すれば、快適な住宅の計画も可能であるが、一般的には人の体への負荷が大きいと考えられる。依頼者は長期間このような住宅に居住した経験から鉄筋コンクリート造の住宅に体が馴染まないことをよく知っていて、木造住宅計画の依頼を筆者にした。筆者は福島における杉間伐材等の利用活動を伝え今回の研究を実施するに至った。

以下に計画敷地の立地条件を挙げる。

- ・ 計画地:東京都世田谷区深沢3丁目
- ・ 敷地面積:59.59 m²
- ・ 都市計画区域:市街化区域
- ・ 用途地域:第1種住居地域・60%/200%(建蔽率/容積率)
- ・ 防火地域:準防火地域・第2種高度地区

敷地は間口が4.5m、奥行が13mで、いわゆる極小敷地である。安藤忠雄設計の「住吉の長屋」の敷地に近似している。住吉の長屋が鉄筋コンクリート造壁式構造の中庭型2階建てを選択しているのに対して、本研究案は木造在来工法3階建ての中庭型を選択した。

2-1. 平面計画について

前述のように計画敷地は極小住宅である。車庫を含め住宅機能を充足するために3階建てとした。中央に配した中庭を軸に1階は屋内型の車庫と中庭を挟んで玄関、水廻りとした。

2階は、壁面杉積層パネルを利用した階段を上って道路側にLDKを、中庭を挟んで客室を設けている。LDKから客室までは屋内の通路を通るが、安藤忠雄設計の「住吉の長屋」はこの通路部分が屋外であることがひとつの特徴となっている。

3階は1階から2階に上がる階段同様の直階段で、やはり壁面杉積層パネルを利用した階段になっている。3階は道路側が寝室で、中庭を挟んだ反対側が予備室である。(Fig.1)

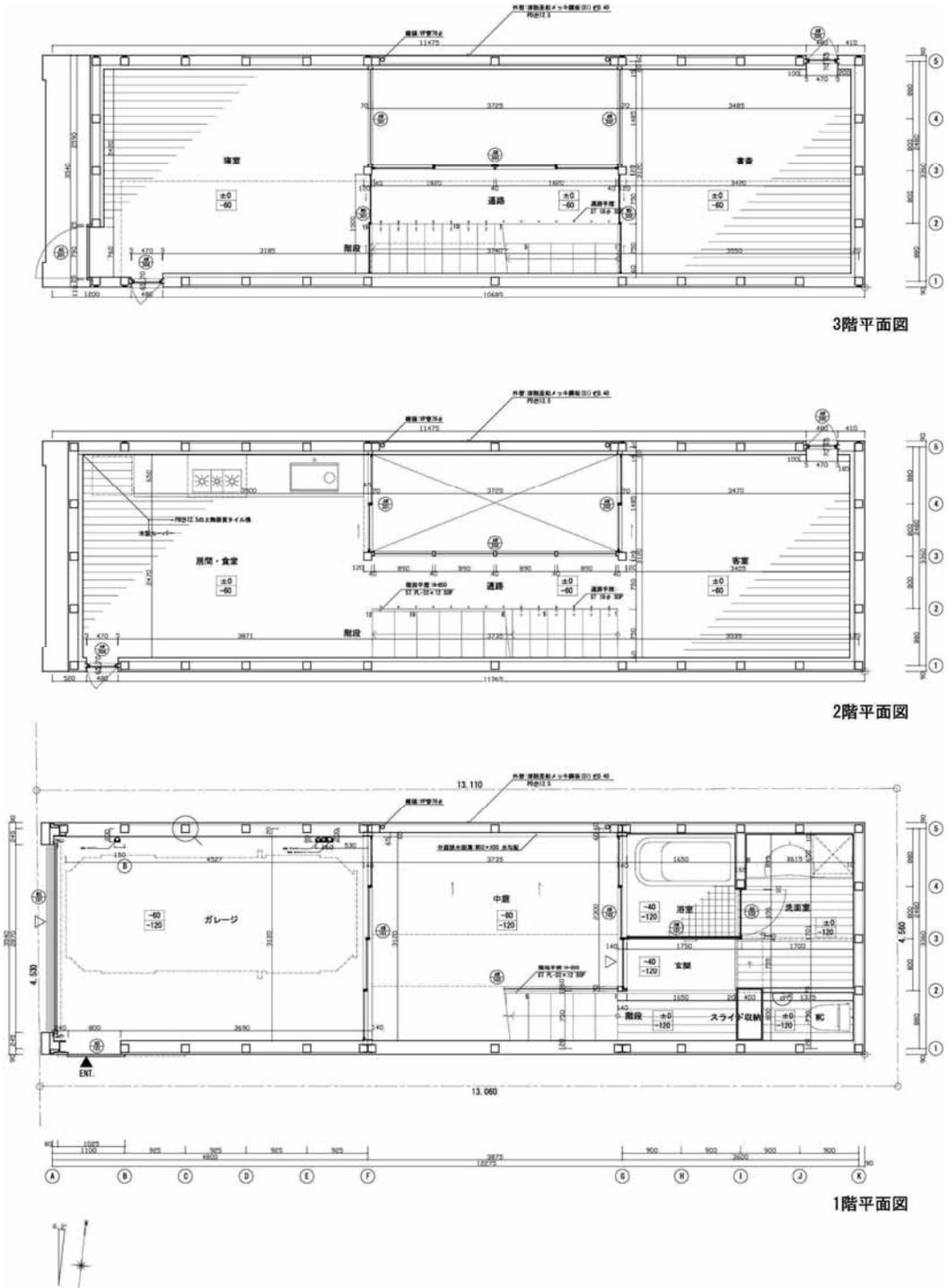


Fig.1: 平面計画(平面図)

平面計画では間仕切り壁がないため木造在来工法の耐震要素を確保しにくい計画となった。このため床の剛性を外壁に伝えて耐震強度を確保せざるを得なくなり、構造解析の結果、床の面剛性を構造用合板の定着によって確保し、壁に伝える方針とした。

2-2.断面計画について

計画敷地は第2種高度地区のため敷地北側の建物高さの制限を受ける。また前面道路幅員が6mと狭いため道路斜線の規制を受ける。ゆえに建物が建設可能な高さが北側で約5mから南側で10mの傾斜となるため、この与件内で3階建てを計画しなければならない。よって1階の階高を2160mmに設定することで2階の階高を2700mmとし、さらに断面的には三角形状であるが3階と小屋裏部分を設けている。

準防火地域内で木造3階建てを建設する場合は建築基準法により制限を受ける。特に柱と梁を露出して用いる場合は防火上の特殊な与件が付加される。また軒高が9mを超える場合、建築確認審査機関の構造計算適合判定を受ける必要がある。この適合判定についてはルート1以上の計算や構造設計一級建築士が計画を行う必要がある等、さまざまな条件が付加されるため、断面計画については軒高9m以下に抑える工夫が必要となった。(Fig.2)

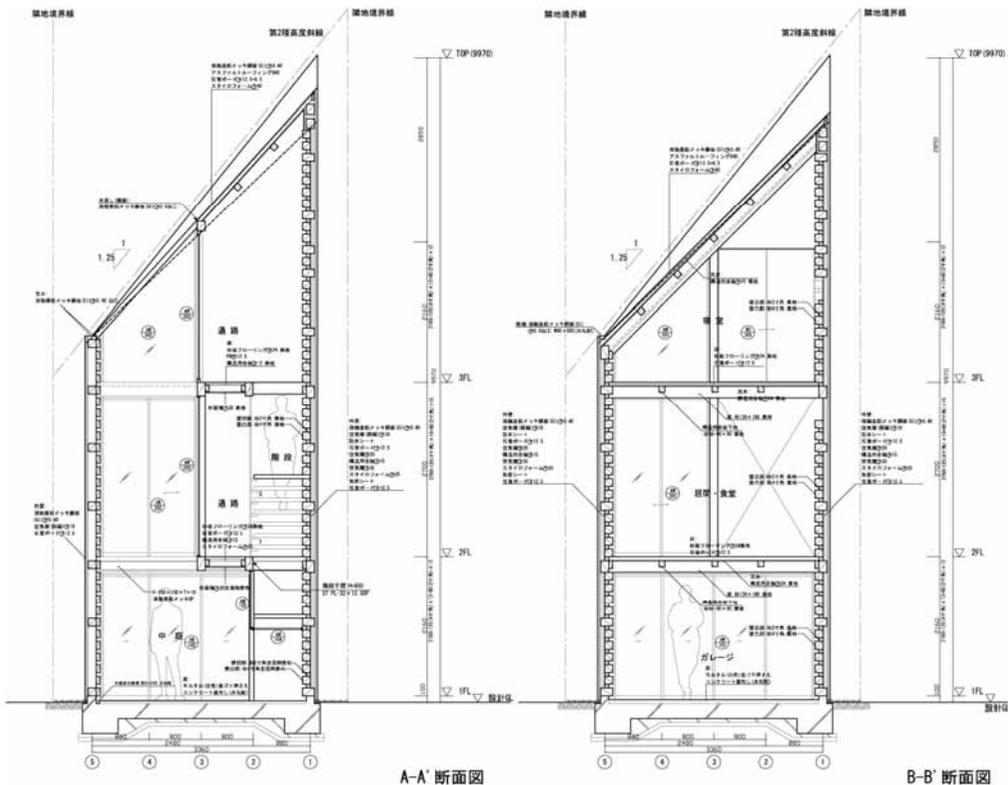


Fig.2-1:断面計画(短辺方向断面図)

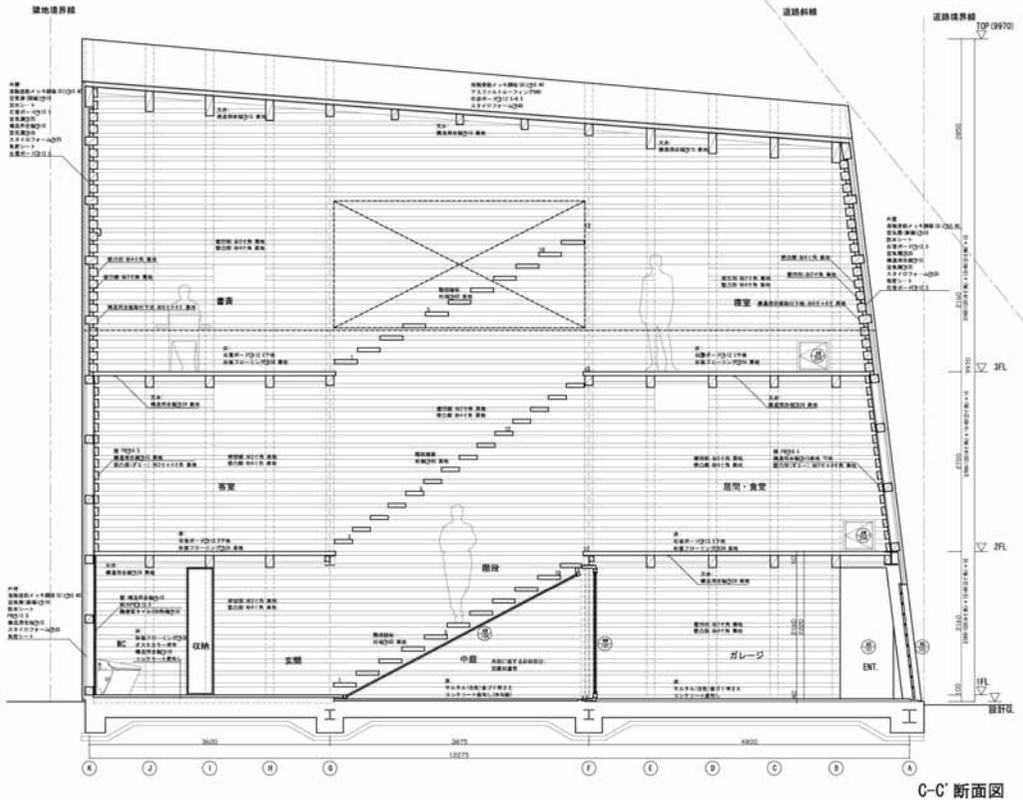


Fig.2-2:断面計画(長辺方向断面図)

3. 杉材積層パネルによる耐力壁の検討について

本研究の構造計画は、工学院大学建築都市デザイン学科小野里構造研究室に解析を依頼した。計画当初は杉材積層パネルのモックアップを製作して耐力実験を行う予定であったが、工程と建築確認申請の手続きが大幅に変更になったことから、解析は計算により求めることとした。

構造計算に当たっては建築基準法・同施行令及び関係告示並びに「建築物の構造関係技術基準解説書(2001年度版)」に基づいて行うこととした。また、建築施行令第46条第2項に基づく国交省告示第1899号の規定による構造耐力上の安全確認を行っていくこととした。

建物高さが13m以下かつ軒の高さ9m以下のため $C0=0.2$ として許容応力度計算を行うこととした。但し、1階Y方向は鉄骨架構を併用したため、その部分の地震力を $C0=0.3$ として設計している。

設計上準拠した指針・基準等は以下である。

- ・ 建築基準法・同施行令・告示等
- ・ 建築物の構造関係技術基準解説書(2001年度版)

- ・木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2002 年度版)
- ・木質構造設計基準・同解説(2002 年度版)
- ・鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説(1999 年度版)
- ・各種合成構造設計指針・同解説(1985 年度版)
- ・鋼構造設計規準(2005 年度版)
- ・建築基礎構造設計指針・同解説(2001 年度版)

また、壁量の計算に際しては、X 方向・Y 方向の壁量に対して必要壁量を「地震力」、「風圧力」、「充足率」以下のように設定した。(Fig.3)

階	床面積 m ²	令46表2 の値	必要壁量 cm			
3	32.5	18	585			
2	33.6	34	1144			
1	34.7	46	1597			
方向	階	面積 m ²	令46表3 の値	必要壁量 cm		
X	3	6.18	50	309		
	2	14.64	50	732		
	1	23.17	50	1159		
Y	3	42.12	50	2106		
	2	71.14	50	3557		
	1	100.83	50	5042		
方向	階	必要壁量 cm	存在壁量 cm	充足率		
X	3	585	858	1.47		
	2	1144	2573	2.25		
	1	1597	4956	3.10		
Y	3	2106	2983	1.42		
	2	3557	4704	1.32		
	1	5042	9422	1.87		
通り	階	実壁長さ m	壁倍率	壁量 m		
1	3	5.48	2.35	12.87		
	2	7.30	2.35	17.16		
	1	7.30	4.44	32.40		
5	3	3.65	2.35	8.58		
	2	3.65	2.35	8.58		
	1	7.30	2.35	17.16		
通り	階	実壁長さ m	壁倍率	壁量 m		
A	3	3.36	4.44	14.91		
	2	3.36	7.00	23.52		
K	3	3.36	4.44	14.91		
	2	3.36	7.00	23.52		
	1	3.36	7.00	23.52		
通り	階	許容耐力 kN	剛性 kN/mm	耐力に基づく 概算壁量	剛性に基づく 概算壁量	有効壁量 m
A	1	91.42	8.04	46.64	62.86	46.64
F	1	24.32	2.50	12.41	19.54	12.41
G	1	22.83	2.50	11.65	19.54	11.65

Fig.3:必要壁量に対する地震力・風圧力・充足率

3-1. 水平荷重時の検討について

水平力の計算に当たっては各階の水平力を以下とし、ゾーニングの考え方は下図とした。耐震部材の負担水平力は下図に示すゾーニングにより振り分けるものとした。(Fig.4)

(1)各階水平力

単位kN

方向	階	風圧力Q	地震力Q	最大水平力Q	P	H(m)	M(kNm)
x	L	1.00	7.62	7.62	7.62	2.85	21.7
	3	7.30	25.50	25.50	17.88	2.16	76.8
	2	16.35	46.25	46.25	20.75	2.71	202.1
	1	23.96	62.07	62.07	15.82	2.15	335.6
y	L	14.10	7.62	14.10	14.10	2.85	40.2
	3	54.34	25.50	54.34	40.24	2.16	157.6
	2	86.90	46.25	86.90	32.56	2.71	393.0
	1	113.37	93.10	113.37	26.47	2.15	636.8

C0=0.3とした地震力

(2)ゾーニング

耐震部材の負担水平力は下記に示すゾーニングにより振り分けるものとする。
<X方向加力>

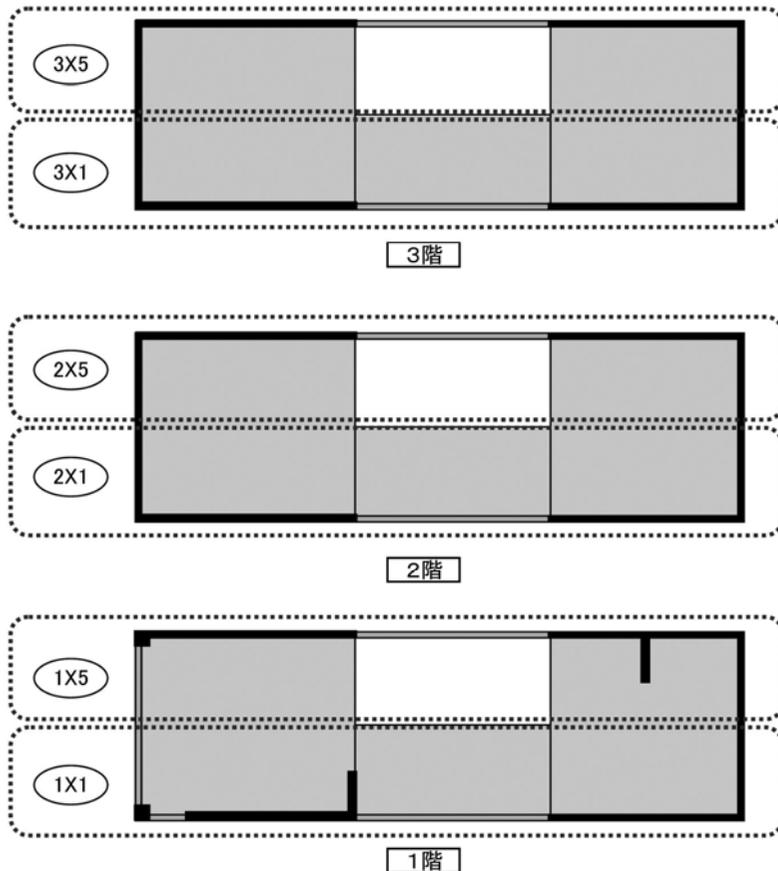


Fig.4-1:X 方向負担水平力ゾーニング

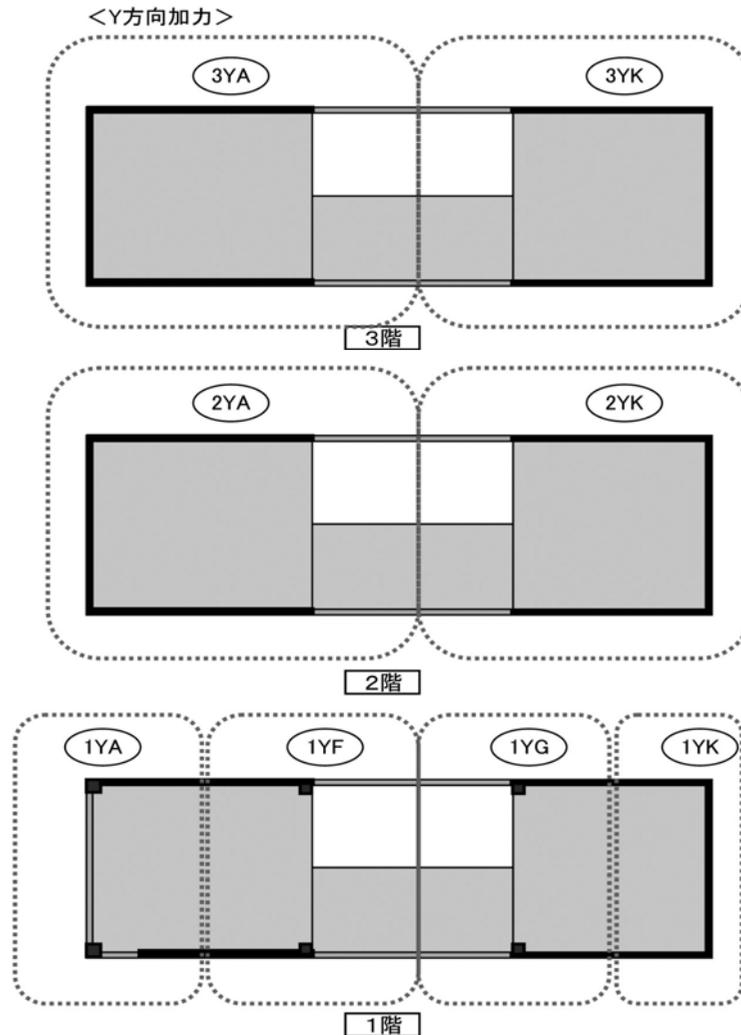


Fig.4-2:Y方向負担水平力ゾーニング

計画建物は都市型極小敷地であるという計画地の特性から、中央に吹抜け空間を有してその前後に空間ヴォリュームを配した構成を選択している。また、中庭のヴォイドをライトウェル(光庭)として位置づけていることから、室内側に間仕切壁はなく、木造在来軸組工法上の耐震壁が計画しにくいという特徴がある。したがって床梁を構造用合板によって張り合わせることで剛性を高め、外周部のコの字型壁に地震力を伝えて耐震性を高める方針とした。

また X 方向水平力は地震力で決定し(Fig.5)、Y 方向水平力は主に風圧力で決定する方針とした(Fig.6)。

(1) X方向水平力 【X方向は地震力で決定】

①ゾーン毎の建物重量 単位 (kN:m)

方向	階	ゾーン	項目	単位重量	長さ又は面積	w		W			
						w	W				
X	3	3X1	屋根	0.50		30.07	15.04	25.3			
			壁	0.90		11.37	10.23				
									0.00		
	3	3X1	屋根	0.50				0.00	51.1		
			壁	0.90		36.85	33.17				
			ロフト	1.10		14.87	16.36				
			階段	0.95		1.10	1.05				
			窓	0.25	1.1 × 1.9		0.53				
								0.83			
		3X5	屋根	0.50		16.00	8.00	10.6			
			壁	0.90		2.01	1.81				
			ロフト	1.10		0.00	0.00				
			階段	0.95		0.00	0.00				
			窓	0.25	1.1 × 3.0		0.83				
										0.00	
	2	2X1	屋根	0.50			0.00	57.8			
			壁	0.90		37.60	33.84				
			床	1.25		16.14	20.18				
			階段	0.95		2.79	2.65				
			窓	0.25	2.44 × 1.9		1.18				
									0.00		
		2X5	屋根	0.50		5.01	2.51		50.8		
			壁	0.90		32.04	28.84				
			床	1.25		13.00	16.25				
			階段	0.95		0.00	0.00				
			窓	0.25	2.44 × 5.3		3.22				
										0.00	
			1X1	屋根	0.50					0.00	58.4
				壁	0.90		36.77			33.09	
				床	1.25		16.69			20.86	
階段	0.95			3.37	3.20						
窓	0.25	2.48 × 1.9			1.20						
						0.00					
1X5	屋根	0.50			0.00	56.1					
	壁	0.90	1.075 × 2.0	37.51	35.69						
	床	1.25		13.56	16.95						
	階段	0.95			0.00						
	窓	0.25	2.48 × 5.3	0.74	3.46						

②ゾーン毎の地震力P X

方向	階	W	ΣW	Ci	Q	
X	X1	R	25.3	25.3	0.442	11.2
		3	51.1	76.4	0.293	22.4
		2	57.8	134.2	0.236	31.7
		1	58.4	192.6	0.200	38.5
		3	10.6	10.6	0.293	3.1
	X5	2	50.8	61.4	0.236	14.5
		1	56.1	117.6	0.200	23.5

(2) Y方向 【Y方向は風圧力で決定】

①ゾーン毎の風圧力P

$$q = 1025 \text{ N/m}^2$$

単位 (kN:m)

方向	階	C	Aw	P	Q	
Y	YA	R	1.30	3.40	4.53	4.53
		L	1.24	15.11	19.28	23.81
		2	1.09	15.43	17.31	41.12
		1	0.87	5.71	5.09	46.21
	YK	R	1.30	6.54	8.71	8.71
		L	1.24	13.99	17.85	26.56
		2	1.09	13.60	15.26	41.82
		1	0.87	4.49	4.00	45.82
	YF	1	0.87	10.41	9.28	9.28
	YG	1	0.87	9.08	8.09	8.09

Fig.5・6:X及びY方向水平力

3-2. 耐力壁の許容せん断耐力と剛性について

今回の研究では、杉材積層パネルによる耐力壁の検討が主題のひとつであったが、過去の同様の検討結果から構成したパネルは圧縮方向についての耐力は期待できるが、引張方向の耐力については弱く、木造在来軸組工法の貫(ヌキ)に相当するディテール(納まり)の検討が必要になってくることが分かった。また、この工法によって実際に建物を建設する場合には、実験によるデータをもとに国交省の個別認定を受ける必要があり、工程と費用の面で杉材積層パネルのみでの耐力壁については断念せざるを得ない状況となった。よって構造用合板を併用した合板耐力壁の検討を行う方針とした。

ここでは「木造軸組工法住宅の許容応力度設計(2002年度版)」の4.4.3に基づき壁倍率7の確認を行った。(合板耐力壁の構造計算については割愛し、耐力壁架構検定図(Fig.7-1)と耐力壁架構応力図(Fig.7-2)を示すこととする。)

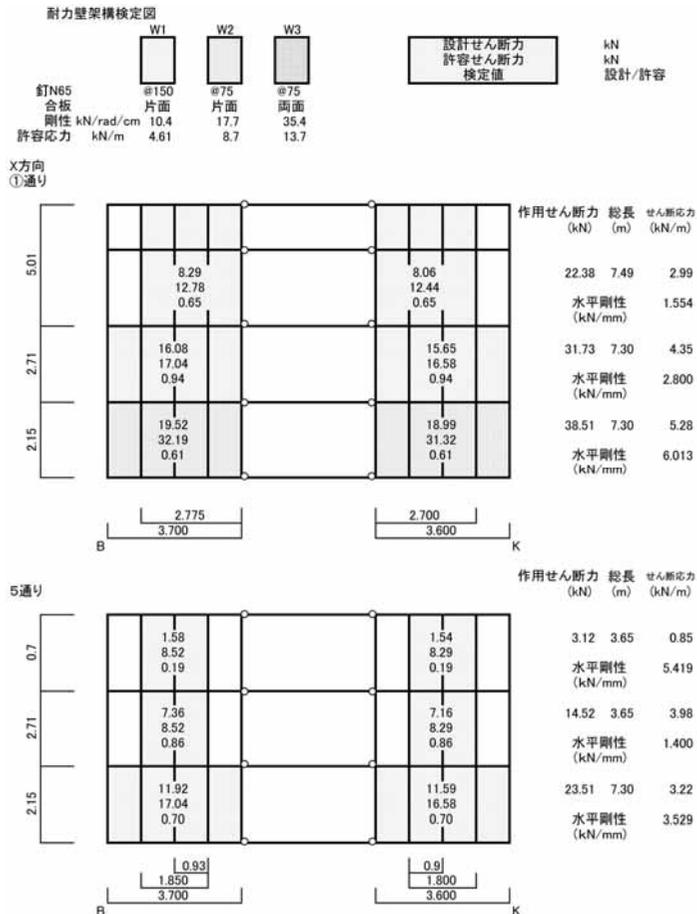


Fig.7-1: 耐力壁架構検定図(長辺方向)

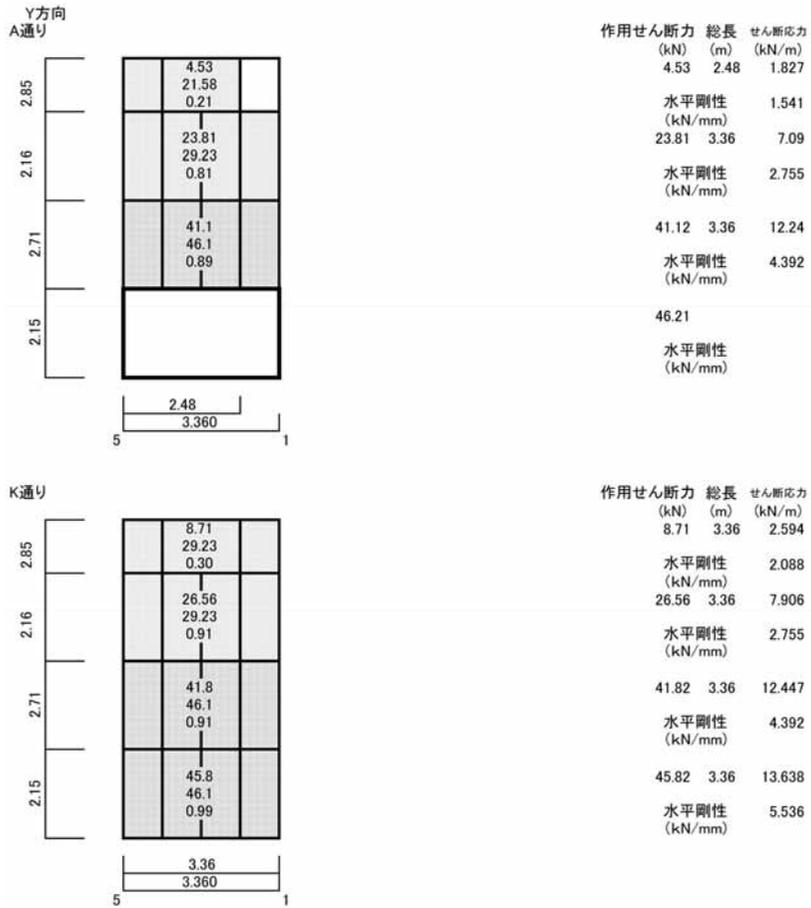


Fig.7-2:耐力壁架構検定図(短辺方向)

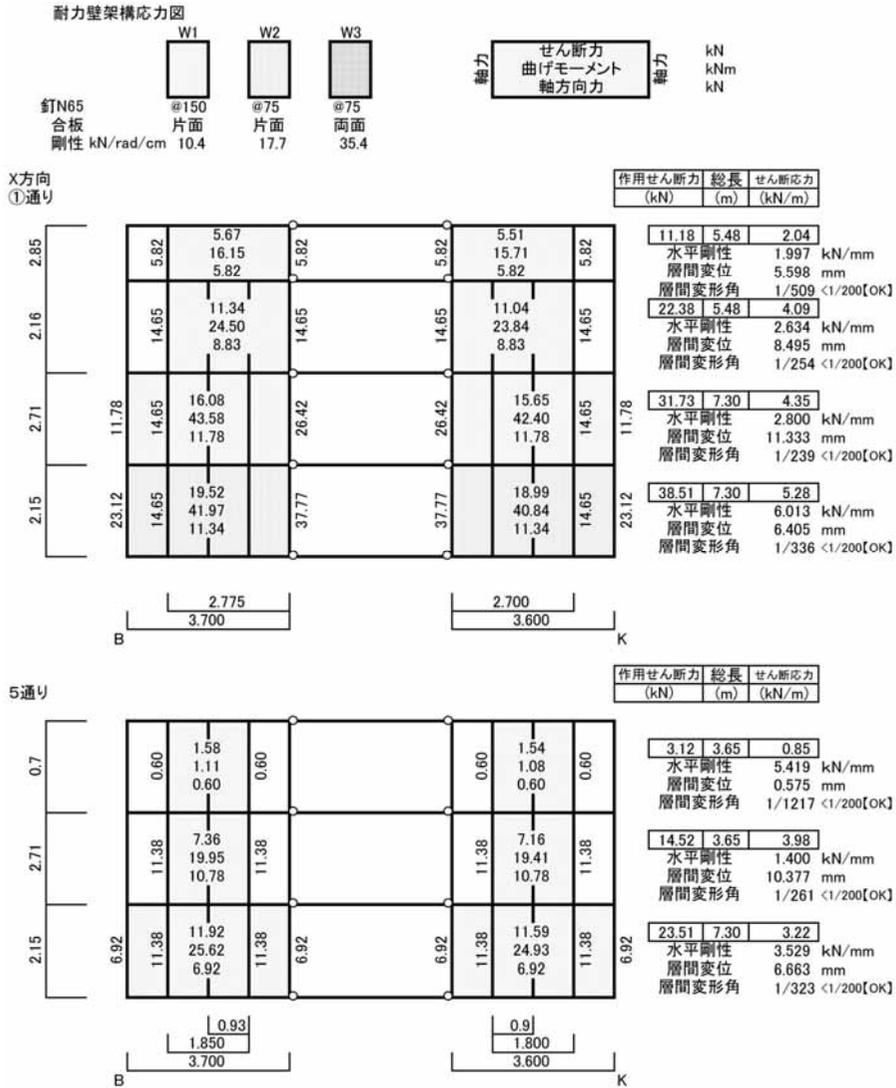


Fig.7-3:耐力壁架構応力図(長辺方向)

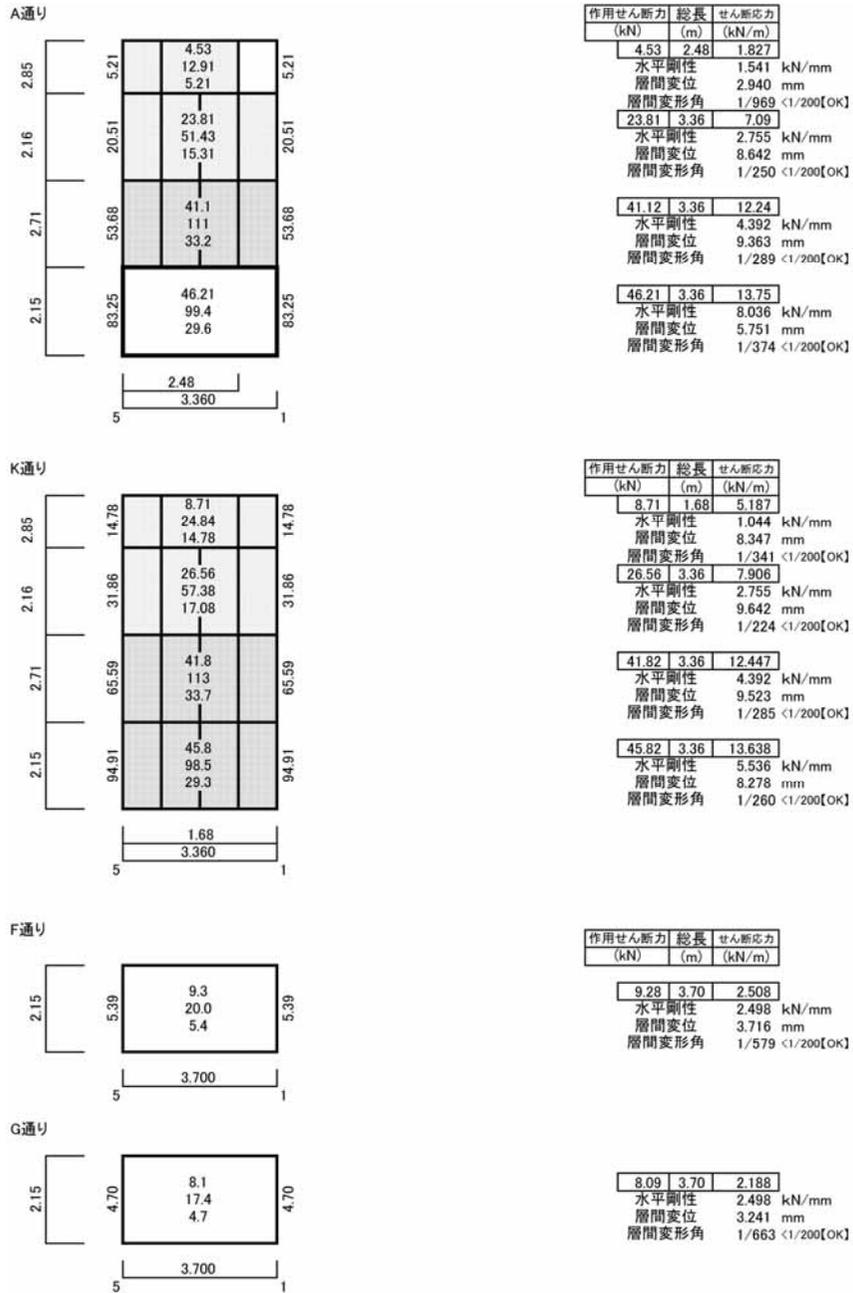


Fig.7-4:耐力壁架構造応力図(短辺方向)

4. 杉材積層パネルによる壁面デザインの検討について

杉材には調湿効果のほか、断熱、吸音、遮音、抗菌効果等があることが以前から知られている。また杉の芳香作用は神経などの鎮静効果があるとも言われているが、県産材である杉間伐材の利点を活用する目的でこれらの効果を促す杉間伐材の内装材を検討することになった。

現在までは柱間に厚みのある杉板材を積層させる工法や角材をそのまま積層させる角ログと呼ばれる工法等試されているが、本研究では杉材の表面積を最大確保する目的で、杉角材の4寸角(120mm×120mm)と2寸角(60mm×60mm)を駒返し(交互)にして積層させるデザイン検討を行った (Fig.8)。

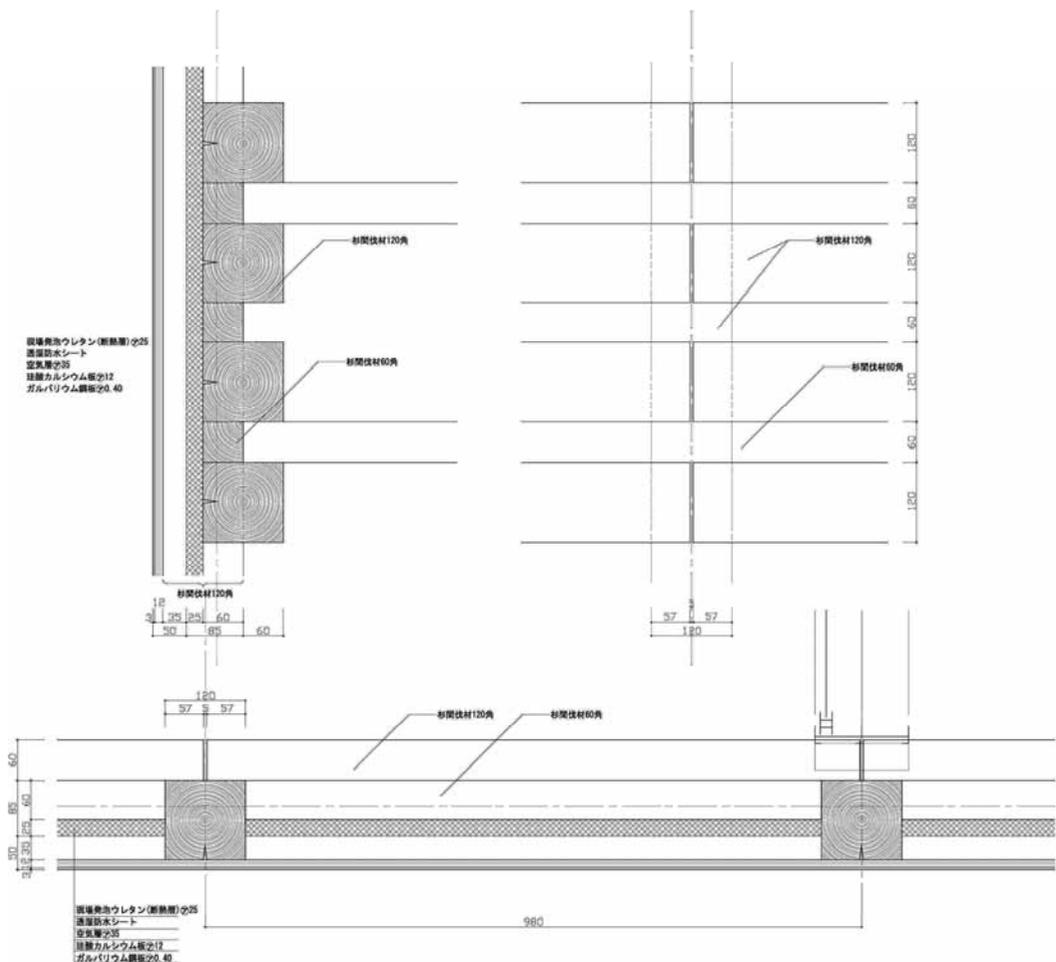


Fig.8: 杉材積層パネル詳細図

杉材の表面積の比較をすると、4寸角を単純に積層させるのと、4寸角と2寸角を駒返しに積層させるのとでは、後者のほうの表面積が1.5倍になり、断熱以外の効果は一層期待できるといえる。

また、意匠上の単調さが解消できると同時に凹凸がつくる陰影によって重厚感が高まるといえる。さらにはこの凹凸のモジュール(機能単位)として家具や棚、階段等の取付け部位にも利用できることから、可変性も含めた様々な展開的活用に結びつくことが期待できる。

杉材積層パネルについては、福島県東白川郡塙町の協和木材(株)の協力でモックアップの制作を行っている(Fig.9)。壁面としてのデザイン性や階段の取付けについて、このモックアップで検討した後、同所で杉材積層パネルを制作して住宅建設地の据付を行った(Fig.10)。



Fig.9-1:杉材積層パネルモックアップ



Fig.9-2:杉材積層パネルに階段部固定検討



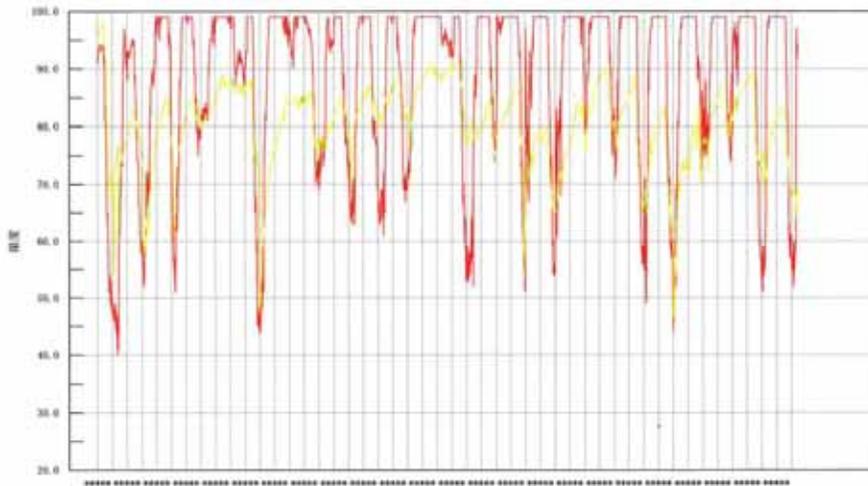
Fig.10: 杉材積層パネル据付風景(開口部は階段取付け部分)

5. 杉材積層パネルによる断熱作用の検討について

木材自体を断熱材とみなす考え方はあまりされていないが、板厚 40mm 程度の落とし板壁工法住宅のデータを見ると板壁自体に断熱性が備わっていることが分かる。板厚が 60mm を超えるとほぼログハウスの室内環境に近づくと言われているが、福島県南に建設した杉 4 寸角積層の校倉式住宅 (Fig.11) のデータを見ると、6 月の梅雨期に外気湿度がほぼ 100 パーセントの環境であっても室内湿度は 60 ~ 80 度程度を推移していることが分かる (Fig.12)。これは杉自体に調湿効果があることを示しているが、また冬季の温度の推移を比較すると、外気温に対して室内温度では空調しない状態で温度が 4 ~ 5 度高く、室内環境として安定していることが分かる (Fig.13)。これにより一定以上の厚みのある木材の積層パネルは断熱性に優れていると言える。このモデル住宅は室容積が小さいことと、比較的開口部が大きい点で断熱条件としては不利に働いていると考えられるが、これが一般的な住宅の容積と開口率になればさらに断熱性が上がると考えられる。



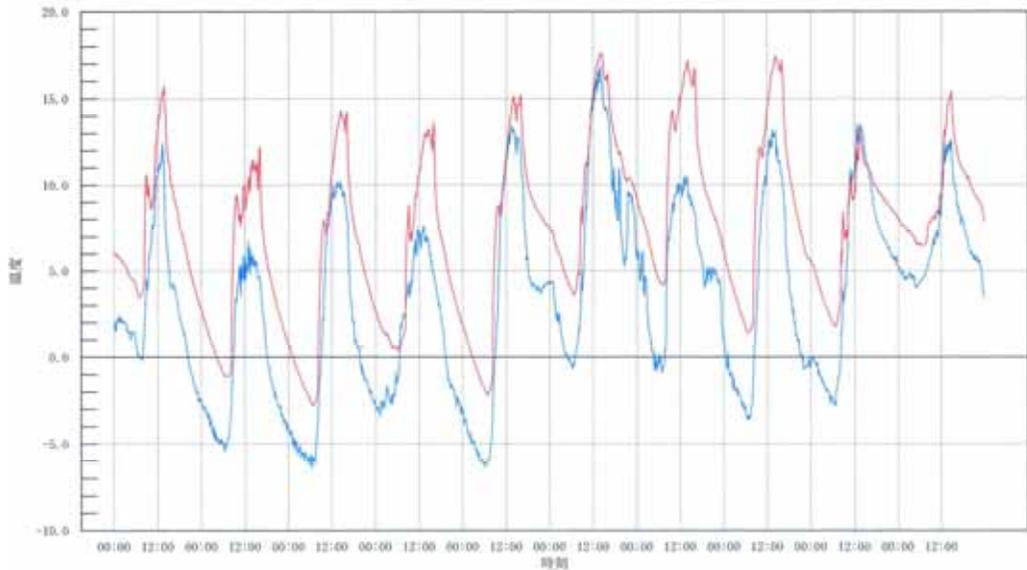
Fig.11: 湿度データ採取を行った校倉造モデル住宅



室外 室内

期間:6月5日~6月28日 湿度比較

Fig.12: 室内外湿度データ(データ提供:高信碩文)



室外 室内

期間:2月1日~2月10日 温度比較

Fig.13:室内外温度データ(データ提供:高信碩文)

5. 結び

本研究では、実際に都内で建設される住宅の、特に福島県産材である杉間伐材を用いた積層パネルの有効活用について考察した。

杉材積層パネルによる耐力壁の検討については、検証する期間と費用的な制約から、耐力実験までに及ばず解析による検証を行ったが、パネル自体に圧縮力を負担させることは今後十分考えられることが分かった。また地震力に対して壁が崩壊しないためにはパネルの一部分を貫(ヌキ)として効かせる必要があることが分かった。これについては今後、耐力実験によって検証していきたい。

杉材積層パネルによる壁面デザインの検討については、凹凸が生むデザイン性に種々の効果があることが分かった。本研究で実施した住宅の完成を待って様々な視点から今後検証していく予定である。

また杉材積層パネルによる断熱作用の検討については、モデル住宅では断熱性が高いことが明らかになっている。本研究で実施した住宅でさらにデータを採取していきたい。