

鉄骨を主構造とした杉角材積層構法の考察

会津大学短期大学部

産業情報学科

柴崎 恭秀

鉄骨を主構造とした杉角材積層構法の考察

柴崎 恭秀

平成22年12月10日受付

【要旨】 本研究は、前年に引き続き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。日本は世界的にみても森林資源の豊富な国であり、森林率(森林面積÷国土面積)は64%で、世界規模でみても有数の森林保有国である。そのうち木材利用の人工林が40%、天然林が40%、原生林が20%と言われている。しかし、近年では林業の低迷により森林を維持することができなくなり、管理が放棄された森林では適切な間引きが行われないまま細い木々が過密状態になり、風雪に耐えられない土砂崩れなどの危険な山々が増加している。

福島県の特に県南の東白川郡八溝山系から日光に繋がる森林は、国内でも有数の杉の産地である。前年はこの福島県産の杉間伐材の有効活用を目的として4寸角材と2寸角材を駒返しに積層させたパネルを木造軸組に付加させていく構法を試みた。また、放棄林が増加にある我が国で国産の杉材をより多く利用する目的で、福島県産材の杉間伐材を首都圏にパネル化して搬送し、住宅材料として利用する試作としての位置づけを行った。

本研究では主構造材ではなく壁面材として外壁と内壁を兼ねた積層構法の考察を行っている。現代建築では外壁は、退候性・防火性が高くメンテナンスフリーの建材が多く使用される。外壁側にこのような材料を用い、内壁側に向かって防水層、通気層、断熱層を設けて内壁材で仕上げるのが一般的である。本研究では外壁材、防水層、断熱層、内壁材の4つの要素を全てこの杉角材の積層部分で兼ねる試みを行っている。

1. 研究の目的

我が国の人工林の中では管理が放棄され、適切な間引きが行われないうまま過密状態になっている現状がある。間伐に見合う費用も捻出できない状況も生じており、世界有数の森林保有国でありながら、国内の林業は危機的状況であると言える。また、一方では外国産木材が輸入され、その価格の低さが国内の林業を圧迫する状況にある。近年ではウッドマイレージという考え方が唱えられているが、輸送の際に排出されるCO₂を減少させる上でも国産材へ移行する必要があると言えるだろう。

本研究は国産材の、特に県産の杉間伐材の有効利用を目的として進めている。今回のような木材を積層させる構法は、我が国では古くは正倉院の校倉造が有名である。住宅ではスカンジナビア地方では角材を積層させるログハウスが伝統的につくられており、またカナダなどでは丸太材を積層させるログハウスが知られている。

本研究で試みた構法は校倉造に類似しているが、主構造を鉄骨としている点で大きく異なる。むしろ土木に用いられている土留め擁壁の構法に近いと言える。また、鉄骨柱の間に外壁を落とし込んでいく構法としては被災地仮設住宅の納まりに近似している。今回の構法の検討では、先に北陸・東北地域の被災地仮設住宅を調査した経験も背景にある。また、福島県南の杉間伐材の有効活用を図るため、2006年からアートや休憩施設などのプロジェクトに取り組み、昨年は更なる活用と展開を進めるため住宅の内装パネルとしての利用を試作するに至った。今回はその研究に引き続き県産杉間伐材の有効利用を図ることを主旨としている。

本研究の目的は以下である。

- ① 鉄骨を主構造とした杉角材落とし込み積層構法の検討について
- ② 内外装を兼ねた杉角材壁面デザインの検討について
- ③ 杉角材断面検討について
- ④ 杉角材の再利用方法について

研究については構造計画をAUM構造設計(株)の濱尾博文氏に、設備計画については(有)ZO設計室の柿沼整三氏に検討を依頼した。住宅計画については群馬県吾妻郡で実施する。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。杉角材の断面モックアップと水噴霧試験についても同所で行った。

2. 住宅計画について

住宅の計画敷地は、群馬県吾妻郡長野原町の新興住宅地である。寒冷地であり、特に白根山系からの吹き下ろしの風道になっている場所でもある。建主は高齢の夫婦であり、染色を生業にしていることから、住宅の3分の1はアトリエ(作業場)に当てることとなった。構法の特殊性から外壁と屋根によって囲う空間を大きく単純にし、その中に入れ箱状に居室を設けるといふ、いわゆるボックス・イン・ボックスの構成を試みることにした。アトリエと居間に相当する空間は天井を5.6mと高くし、その中に居室として2階建てのボックスを入れ箱状にレイアウトした。

以下に計画敷地の立地条件を挙げる。

- ・計画地: 群馬県吾妻郡長野原町一本松地区
- ・敷地面積: 310.57 m²
- ・都市計画区域: 市街化区域
- ・用途地域: 指定なし・70%/400%(建蔽率/容積率)

- ・防火地域:指定なし

敷地は傾斜地を切り土にして造成された新興住宅地であり、自然環境に恵まれた地域である。寒冷地であるが積雪は多いときで60cm程度で、凍結深度は40cm程度である。白根山系からの風道になっている谷の中間に位置している。

2-1. 平面計画について

前述のように施主は高齢者2人であり、染色を行うアトリエを有する住宅という点が特徴である。鉄骨の柱間隔を2.7mとし長手に6スパン、短手に2スパンとした16.2m×7.2mの大きさとした。また長手方向に水廻りを集約した下屋を2.7mの3スパン×奥行1.8mで付属させている。建物高さは6.55mとし、大きな空間の中に4.6m×2.8m×高さ4.9mの2階建ての居室が入れ箱状に挿入されている。

平面計画は道路側から1/3の部分がアトリエ、中間の1/3が居間、残りの1/3の部分に居室の入れ箱がレイアウトされている。居室の部分のみ引き戸等によって開放、或いは閉鎖することが可能になっており、それ以外の部分は解放されて繋がっている。(Fig. 2-1)

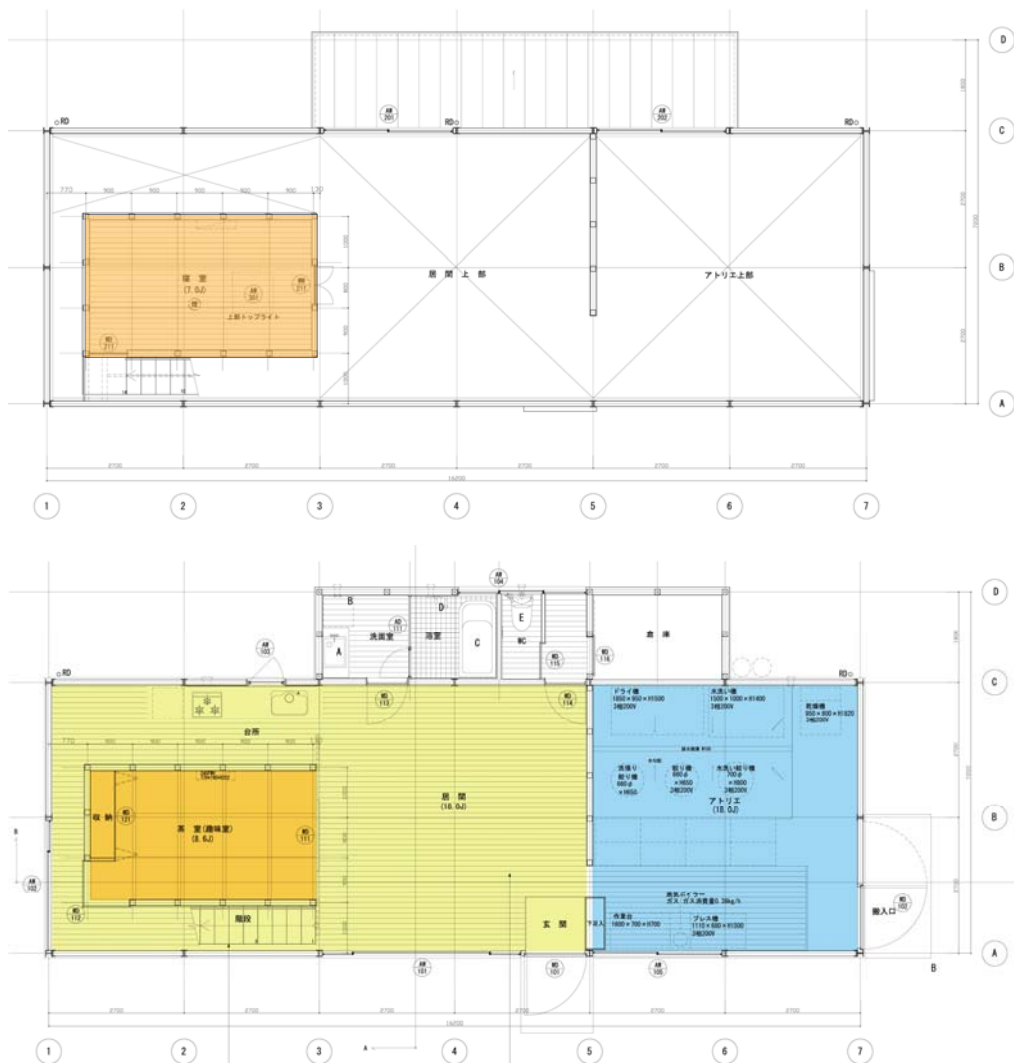


Fig. 2-1: 平面計画 上: 2階平面図/下: 1階平面図 オレンジ部分が入れ箱の居室

入れ箱状の部分に寝室や和室等の居室をまとめて、状況に応じて閉じた空間となるように計画している。住宅としてはアトリエを有していることから大空間となっているため、寒暖の厳しい折は空調の利きのいい居室で過してもらうように平面計画を考えている。また、壁面の杉角材から強風を伴った雨水の浸入も将来的には懸念されることから、それから影響を受けないエリアとして入れ箱の居室を位置づけている。

2-2. 断面計画について

天井が5.5mという住宅では非常に高い天井高さを有する断面計画としている。それは1/3の部分が染色のアトリエであり、科学染料や漂白剤を用いたときには薬品の匂いが多少なり空气中に拡散され、それを軽減するために容積の大きな作業スペースとしている。また、壁面には能力の高い換気設備を設けることで排気を充分行えるようにして作業特性である薬品の臭気を軽減することを目的とした。

居室のある部分は2階建てとし、この部分は空調能力を高める目的で天井高さを2.2mと低く抑えている。入れ箱状に据えていることから開口部が設けにくく、周辺に設けた縁側のような空間を通じて採光や換気を探れるようにしている。また2階部分については機械換気設備と採光、換気、排煙が行えるように開閉式のトップライトを設け、ここから屋根部のメンテナンスを行えるようにしている。(Fig. 2-2-1. 2-2-2)

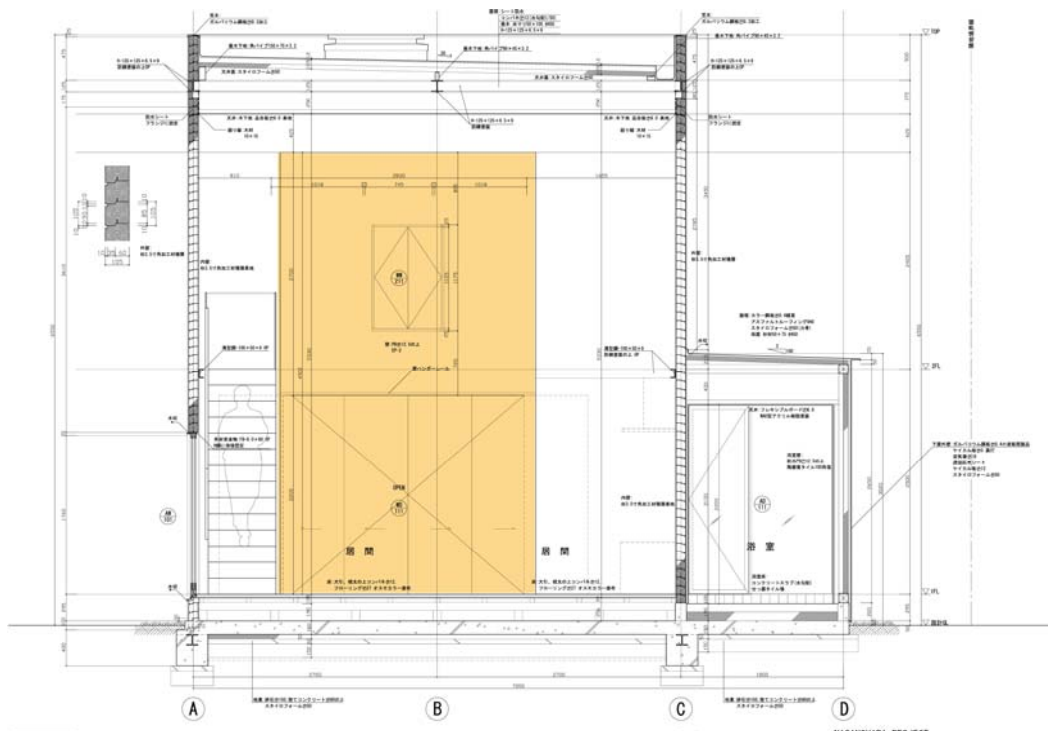


Fig. 2-2-1: 断面計画(短辺方向断面図)

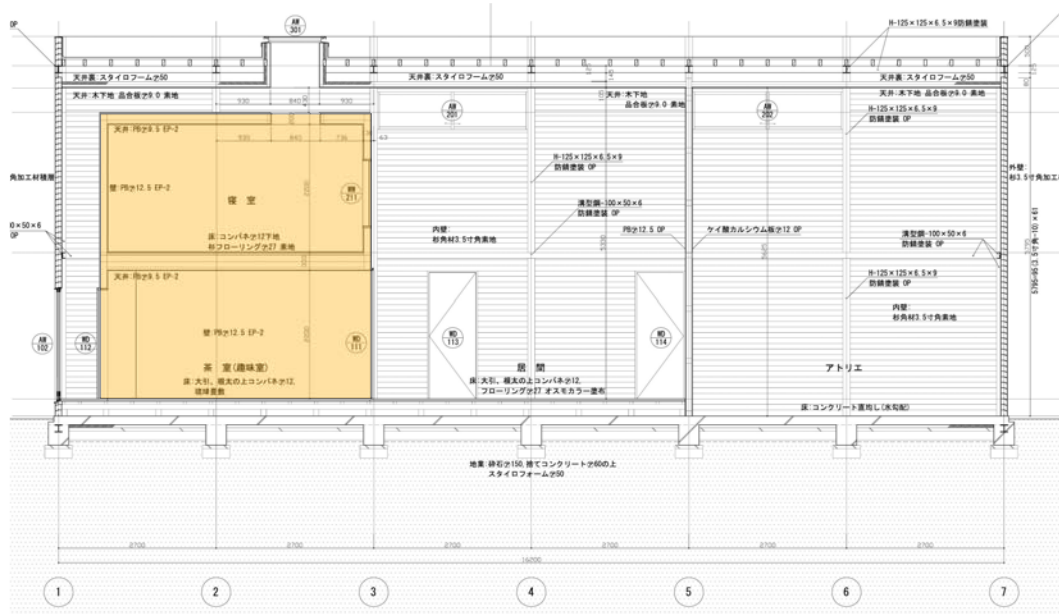


Fig. 2-2-2:断面計画(長辺方向断面図)

3. 構造設計方針と使用材料の検討について

構造計画ではH型鋼鉄骨のフランジの部分に杉角材 3.5 寸角(105×105mm)を積層させることから、H型鋼材のサイズを 125mm の材を使用することとした。鉄骨スパンを杉材の長さ 3m 以内とし、壁面にブレースを設けない計画とした(壁面にブレース材を設けると杉角材の落とし込み時に当たり、施工性が損なわれるためである)。

3.1 構造設計方針

3.1.1 上部構造

- ・本建物は、住宅兼アトリエを用途とした平面・立面ともに整形な鉄骨造平屋建て建物である。
- ・屋根は陸屋根でシート防水、外壁は杉角105落とし込みの仕上げとなっている。
- ・骨組み形式は両方向ともラーメン構造である。
- ・柱、大梁共、一般構造用圧延鋼材 (SS400) H形鋼を使用する。
- ・柱脚は、S B固定柱脚工法 (旧大臣認定工法) を採用する。
- ・大梁継手は柱芯からX方向・Y方向共0.9m程度として高力ボルト接合を用いる。
- ・二次部材の小梁・間柱等はSS400のH形鋼を使用する。
- ・一階床は土間スラブとする。
- ・設計ルートはX・Y方向共にルート1にて解析を行う。

3.1.2 基礎構造

- ・近隣による地質調査報告書を参考として、長期設計地耐力度を 50 kN/m^2 と定め、基礎検討を行う。
- ・基礎形式は、布基礎、S B固定柱脚工法 (旧大臣認定工法) を採用する。

3.1.3 設計上準拠した指針・規準等

設計上準拠する指針・規準等は以下のものである。

- ・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（国土交通省住宅局建築指導課編）
- ・鉄筋コンクリート構造計算基準・同解説
- ・鋼構造設計基準
- ・建築基礎構造設計基準・同解説
- ・鋼構造塑性設計指針
- ・建築耐震設計における保有耐力と変形性能

3.2 構造計算方針

3.2.1 上部構造

- ・屋根勾配もない整形な平屋建て（構造は2層構造）鉄骨架構であり、一貫計算プログラムにて構造解析を行う。
- ・屋根面は水平ブレースにて、剛床仮定を成立させる。
- ・2階床の床剛性の評価は行わない。（剛床条件の解除を行う）
- ・1階床は土間コンとし、剛性、荷重は考慮しない。
- ・基礎梁は、上記サンベース固定柱脚工法を採用し、梁断面は同寸法のRC梁としてモデル化を行うが、SB梁剛性は同工法マニュアルに沿って、剛性低下率等の評価を行う。
- ・建物の内部に独立した木造架構部分があるが、本体構造上に影響は少ないと判断する。
- ・設計ルートはX・Y方向共にルート1にて解析を行う。
- ・外力分布は一次設計時にA_i分布を考慮し、2層構造として外力に対する検討を行う。
- ・解析上、柱脚部は固定節点として設計を行う。

<断面算定>

- ・柱・梁の断面算定位置は、長期、短期はフェース位置での応力を用いて設計を行う。
- ・接合部は、建設省監修の「SCSS-97 鉄骨構造標準接合部H形鋼編」に記載されている標準接合を使用する。
- ・柱・梁の幅厚比、梁の横補剛の計算はSS3の内部計算により行う。
- ・SB柱脚の設計応力は、ベース下端位置の応力とする。
- ・2次部材等の設計は、（有限会社ストラクチャー）RC・Sチャートを用いる。

3.2.2 基礎構造

- ・当建物の基礎形式を選定するに当たり、上部建物重量を確実に地盤に伝達させ、有害な沈下や捻れが生じないよう留意する。地盤の耐力は、建築基準法施行令関連条文および告示1113号に示された算定式、また、学会関連基準書を参考として設計を行う。
- ・近隣ボーリング調査により、標準貫入試験を行った結果、地盤は、シルト、砂、礫層の互層構造となっており、N値は17～50程度である。表層の砂質シルトはややゆるいから中位程度の密度であるが、支持層となる砂礫層はN値23以上の堅固な地盤であり、盛土等の計画もなく安定している地盤と考えられる。
- ・現場状況および工程計画よりSB固定柱脚工法による布基礎（直接基礎形式）を採用する。

・布基礎（SB基礎）により計画を行う。

3.2.3 使用プログラムその他

使用プログラム ユニオンシステム 一貫計算プログラム SuperBuild SS3 ver1.1.1.7

3.2.4 計算ルート

指定ルートX方向：ルート 1-1 Y方向：ルート 1-1

判定条件	X方向					Y方向				
	判定値	ルート				判定値	ルート			
		1-1	1-2	2	3		1-1	1-2	2	3
階数 ≤ 3	2	○				2	○			
階数 ≤ 2	2		○			2		○		
軒の高さ $\leq 9m$	6.050	○	○			6.050	○	○		
スパン $\leq 6m$	5.400	○				5.400	○			
スパン $\leq 12m$	5.400		○			5.400		○		
延べ面積 $\leq 500m^2$	117.4	○	○			117.4	○	○		
高さ(H $\leq 13m$)	6.450	○	○			6.450	○	○		
高さ(H $\leq 31m$)	6.450			○		6.450			○	
塔状比 ≤ 4.00	1.22			○		0.41			○	
層間変形角 $\leq 1/120$	1/86			×	-	1/104			×	-
剛性率 ≥ 0.60	0.900			○		0.622			○	
偏心率 ≤ 0.15	0.009		○	○		0.804	×	×		
Qu/Qu _n ≥ 1.00	-----				-	-----				-
適用の可否		○	○	×	-		○	×	×	-

3.3 使用材料・許容応力度

コンクリート

層	構造形式	種類	Fc[N/mm ²] ()内は材料データ登録を表します。					
			梁	柱	壁	床	小梁	片持ち梁
Z03	S	普通	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
Z02	S	普通	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0
Z01	R C	普通	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0	21.0

【コンクリート登録】

Fc:設計基準強度 fc:許容圧縮応力度 fs:許容せん断応力度 fa, fb:許容付着応力度 [N/mm ²]								
γ:コンクリートの単位容積重量[kN/m ³]								
E:ヤング係数 G:せん断弾性係数 [kN/mm ²] n:ヤング係数比 (長):長期 (短):短期								
No	種類	Fc	fc (長)	fs (長)	fa上(長)	fa他(長)	fb上(長)	fb他(長)
			fc (短)	fs (短)	fa上(短)	fa他(短)	fb上(短)	fb他(短)
			γ	E	G	n		
—	普通	21.0	7.00	0.70	1.40	2.10	0.76	0.95
			14.00	1.05	2.10	3.15	1.14	1.43
			23.0	21.68	9.03	15		

鉄筋

層	構造形式	鉄筋径				上段：最小径、下段：鉄筋種別		
		梁主筋X 柱主筋	梁主筋Y フープ	スラブ' X 壁筋	スラブ' Y スラブ'筋	細物	太物1	太物2
Z01	R C	D22	D22	D10	D10		16	32
		D22	D10	D10	D10	SD295A	SD345	SD390

丸鋼 細物 太物最小径 太物
SR235 16 SR295

鉄筋・許容応力度[N/mm²]
※D29以上:D29以上の太さの鉄筋

種別名	F値	長期		短期		長期 引・圧(D29以上)
		引・圧	せん断	引・圧	せん断	
SD295A	295	195	195	295	295	195
SD345	345	215	195	345	345	195
SD390	390	215	195	390	390	195

鉄骨

層	構造形式	梁		
		左端	中央	右端
Z03	S	SS400	SS400	SS400
Z02	S	SS400	SS400	SS400

階	構造形式	柱			ブレース
		柱頭	柱脚	冷間角形	
M1	S	SS400	SS400		SS400
1	S	SS400	SS400		SS400

鉄骨・材料強度[N/mm²]

種別名	鋼種	F値	
		厚さ40mm以下	厚さ40mm超
SS400		235	215

3.4 建築物の構造設計概要

建築場所 群馬県吾妻郡長野原町一本松地区長13-8

用途 住宅

構造種別 鉄骨造

階数 地下0階/地上2階/塔屋/0階

建築面積 102.06m² 延床面積 117.40m²

建築物高さ 6.550m 軒高さ 6.050m

基礎底深さ 0.670m

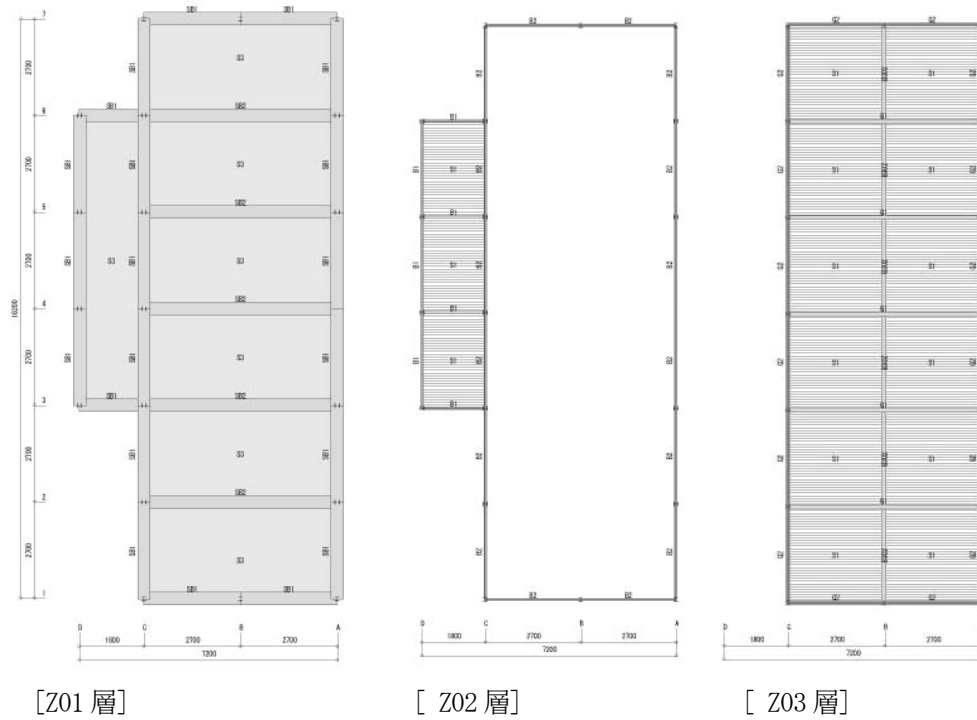
上部構造形式 主要スパン X方向 3スパン Y方向 6スパン

架構形式 X方向 ラーメン形式 Y方向 ラーメン形式

基礎構造形式 サンベース完全固定柱脚工法(旧大臣認定工法)布基礎形式

以下に構造計算で使用した床伏図を挙げる(柱・壁配置図は省略)。

[床伏図]



[Z01層]

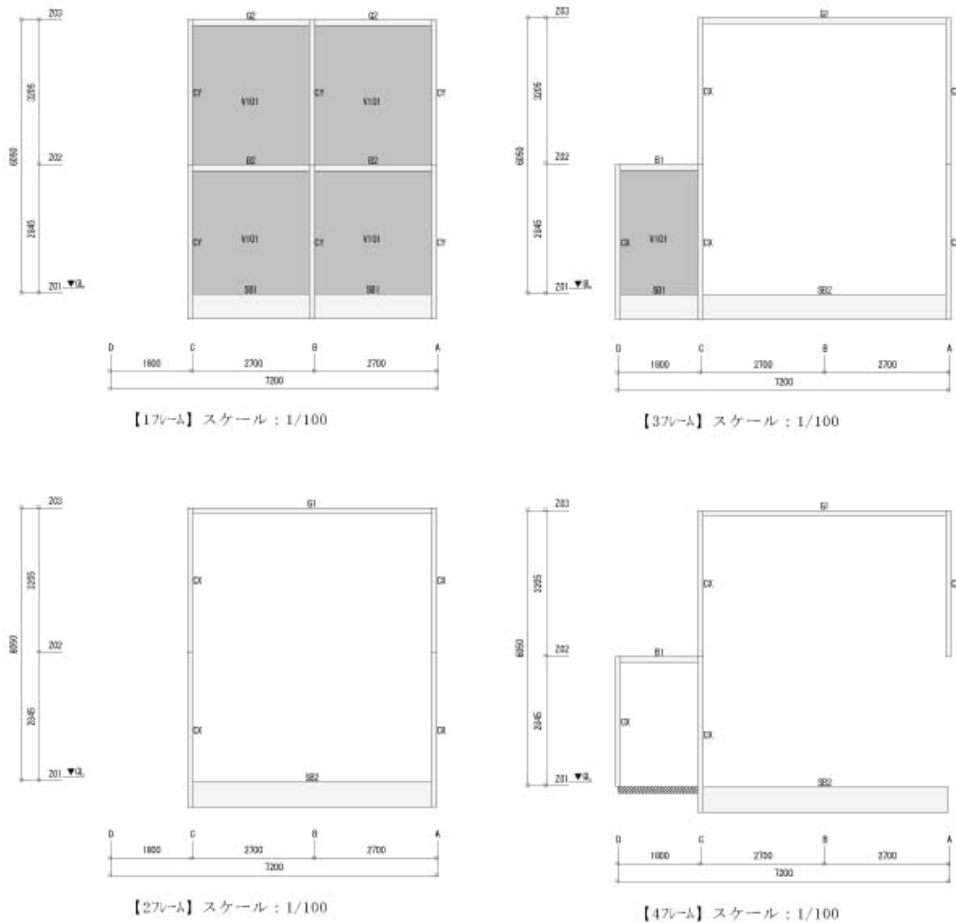
[Z02層]

[Z03層]

(Fig. 3-4-1)

以下に構造計算で使用した略軸組図を挙げる(5・6・7フレーム/Bフレームは省略)。

[略軸組図]

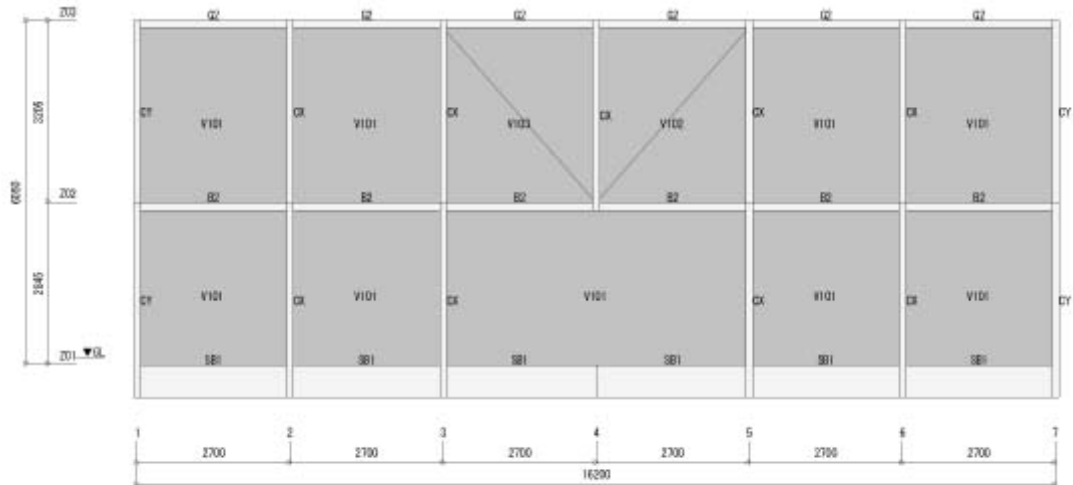


【1フレーム】スケール：1/100

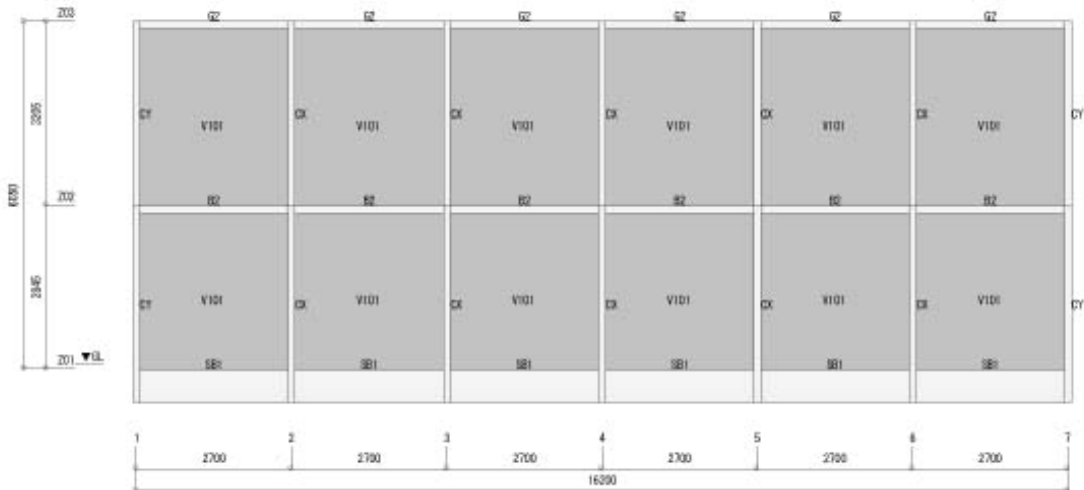
【3フレーム】スケール：1/100

【2フレーム】スケール：1/100

【4フレーム】スケール：1/100



【A7レ-A】スケール：1/100



【C7レ-A】スケール：1/100

(Fig. 3-4-2)

3.5 断面リスト

3.5.1 梁

RC造

B×D：梁の幅とせい[cm] dt：一段目の鉄筋重心位置[cm]

左端・右端：略軸組図で見て左側を左端，右側を右端とする。

符号(層)	項目	左端	中央	右端
SB1 (Z01)	B×D	35×57		
	上端	3D22	3D22	3D22
	下端	3D22	3D22	3D22
	ST	2D10 @200		
SB2 (Z01)	B×D	35×57		
	上端	3D22	3D22	3D22
	下端	3D22	3D22	3D22
	ST	2D10 @200		

S造

左端・右端：略軸組図で見て左側を左端，右側を右端とする。

符号(層)	項目	左端	中央	右端
G1 (Z03)	鉄骨	H-125x125x6.5x9x8		
	種別	SS400		
G2 (Z03)	鉄骨	H-125x125x6.5x9x8		
	種別	SS400		
B1 (Z02)	鉄骨	H-125x60x6x8x8		
	種別	SS400		
B2 (Z02)	鉄骨	H-125x60x6x8x8		
	種別	SS400		

3.5.2 柱

S造

符号(階)	項目	
CX (M1)	鉄骨	H-125x125x6.5x9x8
	種別	SS400
CY (M1)	鉄骨	I-125x125x6.5x9x8
	種別	SS400
CX (L)	鉄骨	H-125x125x6.5x9x8
	種別	SS400
CY (L)	鉄骨	I-125x125x6.5x9x8
	種別	SS400

3.5.3 壁・ブレース

鉄骨ブレース

登録番号	タイプ	Ab[cm ²]	λ または i [cm]
V101	重量のみ	—	$\lambda = 0.0$
V102	右上り	1.00	$\lambda = 999.0$
V103	右下り	1.00	$\lambda = 999.0$

3.5.4 小梁

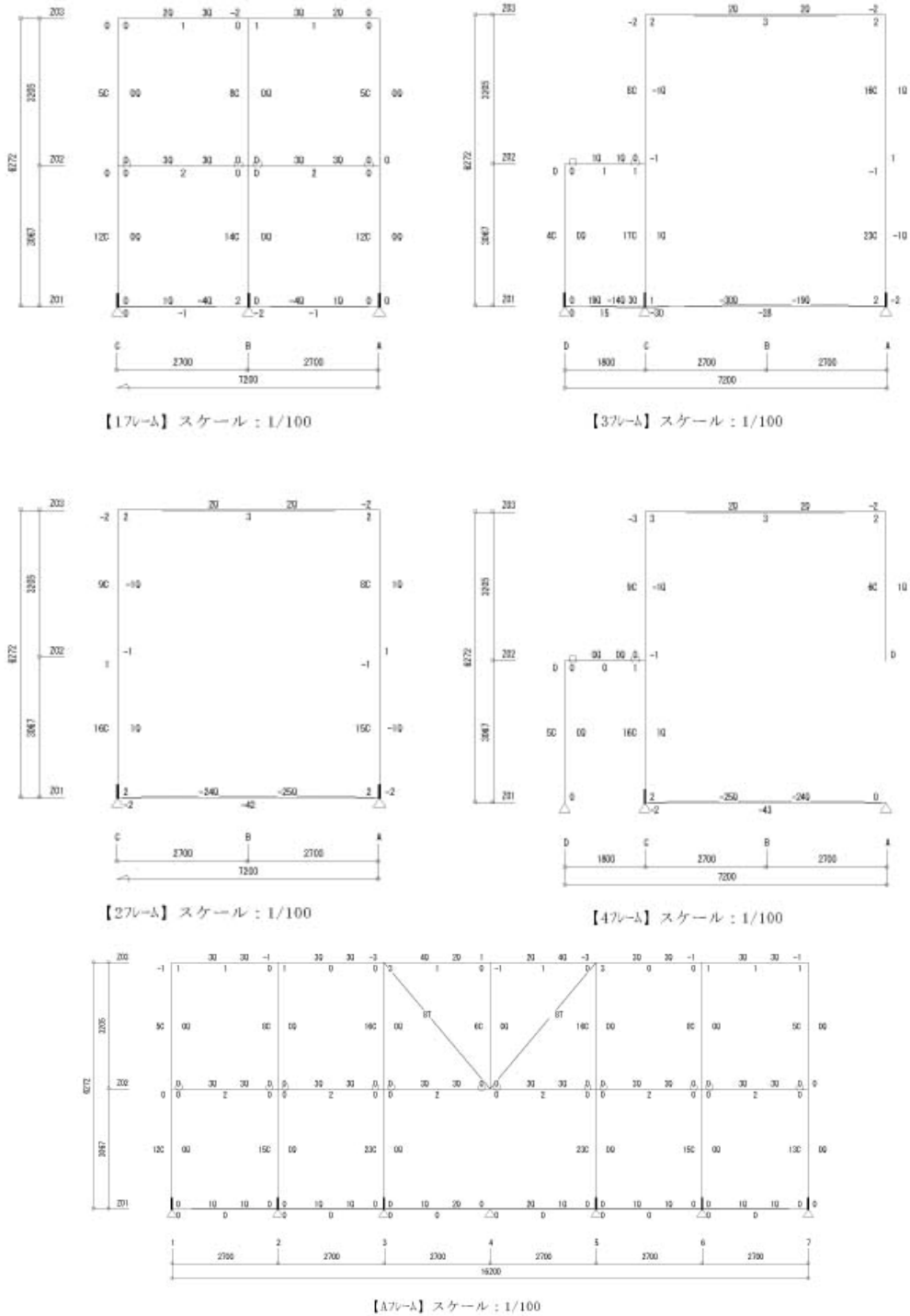
S造

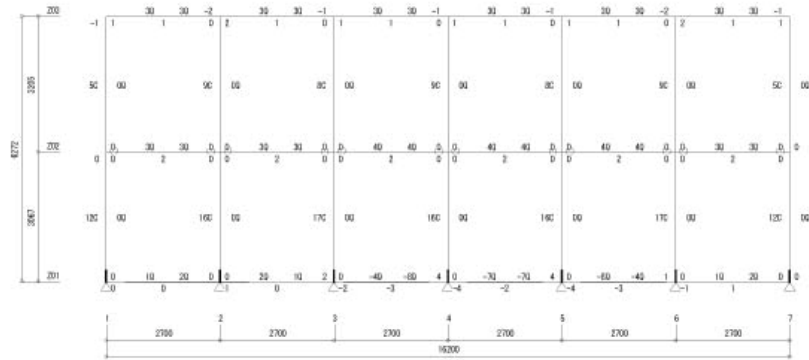
符号	鉄骨
B302	H-125x125x6.5x9x8

3.6 応力解析について

応力解析では鉛直荷重時について固定+積載荷重と積雪荷重をそれぞれ応力図と軸力図で検討し、水平荷重時について地震荷重と風荷重を応力図で検討を行うが、ここでは鉛直荷重時についての固定+積載荷重の応力図を示す。(Fig. 3-6-1)

[応力図<固定+積載荷重>] (5・6・7フレーム/Bフレームは省略)





【C7ル-A】 スケール：1/100

(Fig. 3-6-1)

柱及び梁断面について、基礎をSRC構造(鉄骨鉄筋コンクリート構造)とすることで断面形状を125サイズとすることが可能となった。より強度を増すという観点と施工性、工期短縮、経済性を考慮し、大臣認定工法のSB工法を採用することとした。(Fig. 3-6-2)

長手方向で大きな開口部を有するAフレームの中間部分については、検討の結果壁面にブレースが必要となった。また、最上部のH型鋼125サイズの梁の位置については、杉角材を落とし込む際の障害となるため柱材H型鋼の内側で緊結する予定であったが、応力解析の結果、同面で溶接合する必要があることが解析の結果分かった。



大臣認定工法のSB工法による基礎部分



鉄骨の建て方風景：S B工法の採用により仮設足場を組まずに一気に建て方を行う

(Fig. 3-6-2)

4. 内外装を兼ねた杉角材積層壁面の検討について

4.1 杉角材平面取り合い部ディテールについて

H型鋼材に木の角材を落とし込む構法は、現在までは土木の留め擁壁として用いられてきた構法である。また、H型鋼フランジの間に壁面パネルを落とし込みで構成したものには、被災地の応急仮設住宅や高速道路の遮音・吸音壁がある。このようなシステムを住宅の壁面で採用する際は、H型鋼フランジと角材の間隙からの雨水の浸入が予想される。また、杉角材を積層させた後の経年変化で杉材が乾燥して痩せることが考えられ、積層壁の上部に隙間が発生することが懸念される。よって、H型鋼材と杉角材の取り合い部については施工者と協議して納まりを検討した。

施工者の意見を聞きながら型鋼フランジと杉角材の間隙に断熱材として用いる現場発泡ウレタンを充填し角材の押しえとズレの防止として効かせることとした。これにより端部の雨水浸入と経年変化によって起こる隙間を防ぐことが可能と考えられる。また、これ以外では、H型鋼材が外部の冷気に直接触れて起こるヒートブリッジ現象による結露が考えられ、断熱塗料を施すことで防ぐことができるため内部側に断熱塗装を施すこととした。

(Fig. 4-1)

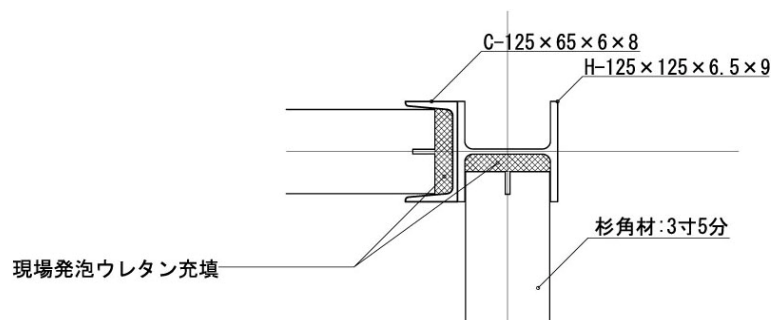


Fig. 4-1: H型鋼フランジと杉角材取り合い部納まり

4.2 杉角材断面ディテールについて

いわゆる角ログと呼ばれるログハウスの構法では、角材の重ね合わせ部に充填材を挟み込んだり、溝切りをして木片を挟んだりするのが一般的であるが、今回は杉角材の総量が1000本を越えるため、施工性と経済性の観点から、断面形状を雁行させて水切りをつくるディテールとした。これにより施工性とコストは抑えられるが、杉角材を積層させた際の平面的なズレと、経年変化による杉角材の痩せによる僅かではあるが間隙が発生する可能性がある。(Fig. 4-2)

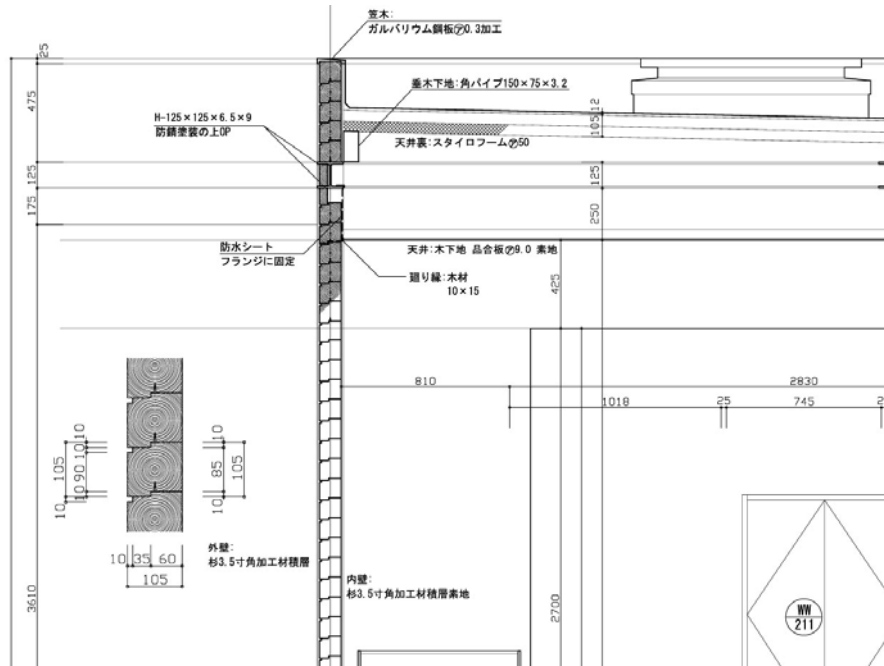


Fig. 4-2: 杉角材断面ディテール

杉角材積層時の施工性も大きく影響することから、事前に噴霧試験を行い、水の浸入について検討することとした。噴霧試験についてはH型鋼材と同材を用い、1m×1m程度の壁試験体を製作し、コンプレッサーによる噴霧試験を10分程度行った。その結果、水の浸入は中央雁行部分で進入が止まり、その部分を伝って端部に流れる傾向があることが分かった。(Fig. 4-3)

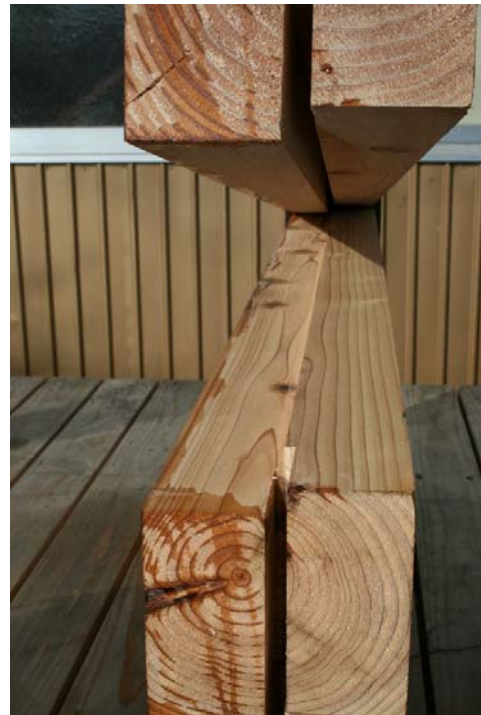
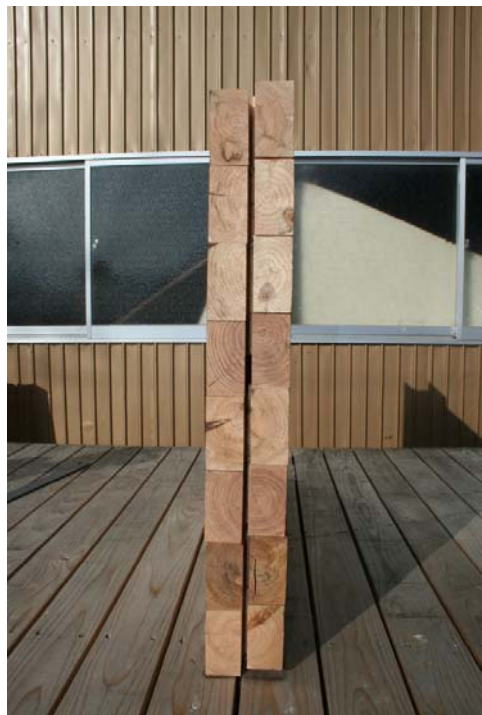


Fig. 4-3: 噴霧試験の様子. 断面的な水の浸入は認められない

5. 結び

本研究は住宅における木材の新たな活用方法を探る意味合いが大きい。加えて木材の持つ能力、例えば断熱性や耐候性といった性能の見直しも多く含んだ研究であるが、メンテナンスフリーの新建材といわれる複合材に比べると、生きものであるが故の扱いの難しさ、納まりの難しさがいつも付きまどっている。しかし、木材は伐採後もCO₂を蓄積してくれるなど地球環境にとって有効であるのもまた事実である。このプロジェクトでは県産材の杉角材を1000本以上使用しているが、木材の低コスト傾向がそれを可能にしている。しかし、木材が安価になればなるほど国内の森林を維持できなくなり、放棄林が増加するという矛盾を抱えているのも事実である。人工林をはじめとした森林を維持していくためには、かつてのような優良木材が相当の価値で流通することと、間伐材等の低コストの木材が多く活用されていく二軸によって達成できると考えられる。何より木の魅力をわれわれが再認識し、身近なところで活用していくことが重要だろう。また、木材は再生材料としても十分に期待できる資源である。このプロジェクトの杉角材は、住宅の壁としての役割を終えた後も容易に取り外し、再利用が可能である。今後の木材の利用については再生方法も合わせて検討していく必要があるだろう。



本研究で積層した杉角材の外観風景



本研究で積層した杉角材の外観風景(全体)



施工中の内観(杉角材は内外装を兼ねている)

