木質接着パネル構法における勾配屋根の振動特性に関する研究

A STUDY ON VIBRATIONAL CHARACTERISTICS OF A FULL SCALE SLOPED ROOF BY WOODEN PANELS CONSTRUCTION

梶川 久光^{*1}, 野口 弘行^{*2}, 高岡 繭子^{*3}

Hisamitsu KAJIKAWA, Hiroyuki NOGUCHI and Mayuko TAKAOKA

The report describes about the effects of slope on vibrational characteristics of a roof by wooden panels construction. The full scale roofs were flat size of a 10.92m-long by 3.64m-wide and four types slopes of flat, 18-degree, 27-degree, and 45-degree. The forcing shaking test by an exciter, and free vibration test by an impulse hammer were carried out on these roofs. The dynamic shaking test showed that mode shapes were similar regardless of rise and fall of roof's slope and that natural frequencies became smaller along with roof's slope rising. Within lower degree, the observed values agreed with the frequencies based on the shearing vibration theory, but within higher mode degree, these were lower. The frequencies from eigenvalue analysis based on the shearing vibration type were a little lower than the observed values. The mode shapes were similar to sine-curves of vibration mode of the simple beam. In time history response analysis, response displacements were bigger along with roof's sloped rising, because of fall of horizontal stiffness. The effect of slope's degree was susceptible to weight.

Keywords: Full Scale Vibration Test, Sloped Roof, Horizontal Diaphragm, Shearing Behavior, Eigenvalue Analysis, Time History Response Analysis

実大振動実験, 勾配屋根, 水平構面, せん断挙動, 固有値解析, 時刻歴応答解析

1 研究目的

これまで水平力に対して高いせん断剛性と強度を有する水平構面として、木質ダイヤフラムの研究が数多くなされてきたが、そのほとんど全てがダイヤフラムの静的性状を対象としたものである。しかし、本来、ダイヤフラムに作用する面内力は地震力や風圧力など動的な荷重によるものである。従って、建物全体の動的挙動を踏まえた力学的性状を検討する上で、ダイヤフラムの振動特性を明らかにすることは必要不可欠であると考えられる。また、既往の研究では屋根の勾配の差異に関する研究がほとんどないのが現状である。しかし、屋根は勾配により3次元的になることから、動的荷重を受けた際、無勾配の場合には見られない挙動（屋根面が面外に振動するなど）も含んでいると考えられる。

そこで、本研究では、図1に示すように、平面寸法 10,920mm × 3,640mm の実大屋根の勾配を、0°、18°、27°、45°の4タイプに変化させ、静的水平加力実験、起振機加振実験、自由振動実験及びインパルスハンマー加振実験という様々な振動実験を行うことにより、屋根の勾配による影響を実験の観点から把握する。そして、静的加力実験から得られた実験値により固有値解析及び梁振動理論による計算を行い、振動実験の実験結果と比較検討する。さらに、実地震波による時刻歴応答解析を行うことにより、屋根勾

配の影響を考慮した振動特性について、総合的に解明することを目的とする。

図1 実験概要図

^{*1} 明治大学大学院 博士後期課程・工修
(ミサワホーム構造技術グループ)
^{*2} 明治大学理工学部建築学科 教授・工博
^{*3} 明治大学大学院 博士前期課程

Graduate Student, Dept. of Architecture Graduate School of Science Technology, Meiji Univ., M. Eng.
Prof., Dept. of Architecture School of Science Technology, Meiji Univ., Dr. Eng.
Graduate Student, Dept. of Architecture Graduate School of Science Technology, Meiji Univ.

2 実大勾配屋根の動的水平加振実験

実験の概要を図1に示した。実験はミサワホーム松本実験センターにて行われ、2001年に0°、18°、27°の3体^{12)~14)}、2002年に0°、45°の2体^{16)~18)}の動的加振実験を行ったが、0°については2001年と2002年で重複しているため、検討には2002年のデータを用いた。

2.1 試験体等

2.1.1 座標軸の設定

図1と図3に座標軸の設定を示す。座標軸はモジュールを910mmとし、桁行き方向をX軸、梁間方向をY軸、鉛直方向をZ軸と設定した。

2.1.2 試験体

試験体図を図3に示す。試験体は木質接着複合パネルにより構成される平面寸法 10,920mm × 3,640mm の実大勾配屋根である。試験体の構成は鉄骨架台の上にローラーを介してLVL材^{#1} (90mm × 303mm) をL型鋼板を介してラグスクリューで固定し組み立てた。その上に屋切パネル^{#2} を建てウレタン系接着剤と釘により接合した。次に屋切パネルの棟位置に鋼製梁をかけた。その上に屋根パネル^{#2} を敷き並べ、釘のみで接合した。また、屋根パネルの周囲には、曲げモーメントに抵抗する部材として廻し材^{#3} (枠組壁工法における鼻隠し、破風板、棟木に相当する⁸⁾) を接着剤及び釘により取り付けた。試験体はX0通り及びX12通りで水平方向(Y方向)に固定し、X0、X3、X6、X9、X12通りの両端は鉛直方向を固定し浮き上がりを防止した。

次に試験体一覧を表1に示す。屋根勾配は0°、18°、27°、45°の4種類であり、モデル形状は棟位置で屋根構面が分割されていないモデルを一枚割り(SNG)、棟位置で屋根構面が二つに分割されているモデルを二枚割り(DBL)とした2種類であり、合板厚は9mmの1種類である。積載については無積載タイプと有積載タイプがあり、有積載タイプの場合は、重さ約2.73kN/枚、厚さ約40mmの鉄板8枚(総重量約21.84kN)を、屋根パネルに配置し、受け材を打ち付けて固定した。従って、試験体は形状の異なるもので4種類、積載の有無で計7種類となる。

#1: JAS 構造用単板積層材 140E-1 級
#2: 合板-JAS 構造用合板 1 級、芯材-JAS 針葉樹構造用製材の甲種構造材 2 級 (スプルース)
#3: JAS 針葉樹構造用製材の甲種構造材 2 級 (スプルース)

2.1.3 試験体名

試験体名の設定を図2に示す。試験体名の左から、モデル形状、合板厚、屋根勾配、積載の有無、加振位置を表す。

図2 試験体名の設定

図3 試験体図

表1 試験体一覧

試験体名	勾配	モデル形状	試験体図	積載
SNG09-D00	0°	一枚割り		有
				無
DBL09-D18	18°	二枚割り		有
				無
DBL09-D27	27°	二枚割り		無
DBL09-D45	45°	二枚割り		有
				無

2.2 実験方法

実験は起振機加振実験、自由振動実験及びインパルスハンマー加振実験の3種類を行った。振動モードを明確に捉えるために、加振位置をX6通り(中央加振)及びX9通り(右側加振)の位置で2通りの加振を行った。

2.2.1 起振機加振実験

《目的》起振機加振実験はスイープ加振により共振曲線を描き、共振時の変形図、固有振動数及び減衰定数を求めるために行った。

《加振方法》加振は、LVL材及び合板の補助部材により構成される起振機台(図5、図6)に設置した起振機(株式会社サンエス)(重量約343N)により行った。加振制御は、最大加速度500galの正弦波を1.0Hz~50.0Hzの範囲において1.0Hz刻みで行い、共振点と思われる付近においては0.05Hz刻みで行った。

《測定方法》一例として試験体DBL09-D18Rにおける測定位置図を図4に示す。測定はX0、X3、X6、X9、X12通り及びその中間部の屋根パネル上の端部(ch1~ch9)、起振機付近の起振機台上(ch10)及び起振機上(ch11)に加速度計(リオン株式会社)を設置し、加振方向(Y方向)の加速度を測定した。また、X3、X6、X9通り及びその中間部(ch12~ch16)にはレーザー変位計(株式会社キーエンス)を設置し、変位を測定した。データは起振機の波形が安定してから、デジタル動ひずみ測定器(東京測器研究所)をパソコンで制御し、サンプリング周波数500Hzで5秒間収録した。

図 4 起振機加振実験測定位置図 (例: DBL09-D18R)

図 5 起振機台概要図

図 6 起振機台断面詳細図

2.2.2 自由振動実験

《目的》自由振動実験は固有振動数及び減衰定数を求めるために行った。

《加振方法》自由振動実験は起振機により共振点と思われる振動数で試験体を揺らし、一気に加振を停止させる方法で自由振動を起こし、加速度及び変位を測定した。

《測定方法》測定位置については起振機加振実験と同様である。測定方法は起振機による加振が安定してから測定を開始し、一気に加振を停止させて試験体の振動が停止するまで測定した。データ収録は起振機加振実験と同様である。

2.2.3 インパルスハンマー加振実験

《目的》インパルスハンマー加振実験は、伝達関数を測定し、その値を用いてモード解析を行い、固有振動数、固有モード及び各モードにおける減衰定数を得ることを目的とした。

《加振方法》インパルスハンマー加振実験は、図 1 に示す加振位置 (X6、X9) の加力桁をインパルスハンマー (PCB 社) で一定間隔で打撃加振し、数回の平均化処理を施した。

図 7 インパルスハンマー加振実験測定位置図 (例: DBL09-D18C)

《測定方法》試験体 DBL09-D18C における測定位置図を図 7 に示す。圧電式加速度計 (リオン株式会社) を測定点に設置したアングルに磁力で固定して、各点の伝達関数を測定した。測定は多チャンネル分析処理器 (リオン株式会社) をパソコン制御し行った。また、伝達関数の信頼性はコヒーレンス関数により確認した。

2.3 実験結果の整理

起振機加振実験、自由振動実験、インパルスハンマー加振実験の実験結果を共振曲線、固有振動数、減衰定数及び固有モードについて次ページ、表 2 に示す。なお、データが得られなかったものについては、表示を－としてある。

2.3.1 共振曲線

共振曲線は、横軸が起振機上の加速度計 (ch11) の振動数、縦軸が ch1～ch9 までの応答加速度の平均値を起振機の平均加速度 (ch11 - ch10) で除した加速度応答倍率である。なお、共振曲線上の数値はモード次数を表している。

2.3.2 固有振動数

起振機加振実験の固有振動数は描いた共振曲線のピーク位置より求め、自由振動実験では 1 次～4 次モードの加速度時刻歴波形の山と山 (谷と谷) の間隔 (時間) の逆数の平均値として求めた。インパルスハンマー加振実験は、測定した伝達関数を用いて、実験モード解析ソフトウェア (VIBRANT: 丸紅ソリューション株式会社) により固有振動数を求めた。

2.3.3 減衰定数

起振機加振実験では共振曲線からハーフパワー法を用いて、自由振動実験では 1 次～4 次モードの加速度時刻歴波形から対数減衰率により、減衰定数を求めた。インパルスハンマー加振実験では固有振動数と同様、モード解析により求めた。

2.3.4 固有モード

起振機加振実験では 1 次～4 次モードで加速度応答倍率が最大になる点と同時刻の応答加速度を 2 階積分して変位を算出し、(レーザー変位計によって測定された変位と整合させつつ) 変形図 (固有モード) を描いた。インパルスハンマー加振実験においては、前述の実験モード解析ソフトウェアを用いて、各固有モードをアニメーション表示した。

表 2 結果一覧; 左

試験体名	起震機加振実験									
	共振曲線		モード 次数	固有振動数 f [Hz]		減衰定数 h [%]		固有モード		
	中央加振	右側加振		中央 加振	右側 加振	中央 加振	右側 加振	中央加振	右側加振	
SNG09-D00N			1次	15.90	16.10	5.17	4.77			
			2次	—	30.80	—	1.89	—	—	
			(2次)'	—	34.40	—	1.69	—	—	
			3次	46.00	46.00	2.51	2.16			
SNG09-D00W			1次	10.80	10.90	3.13	3.83			
			2次	—	22.80	—	3.13	—	—	
			3次	34.00	34.10	2.98	3.06			
			4次	—	—	—	—	—	—	
DBL09-D18N			1次	12.10	12.40	3.01	8.12			
			2次	—	28.75	—	1.01	—	—	
			3次	37.00	36.75	1.33	1.79			
			4次	—	41.00	—	2.63	—		
DBL09-D18W			1次	9.60	9.75	2.79	3.13			
			2次	—	24.25	—	3.55	—	—	
			3次	34.00	34.50	1.93	1.76			
			4次	—	—	—	—	—	—	
DBL09-D27N			1次	11.30	11.70	2.86	6.28			
			2次	—	23.10	—	2.02	—	—	
			3次	32.30	32.60	2.69	1.53			
			4次	—	37.10	—	1.72	—		
DBL09-D45N			1次	9.20	9.30	4.88	4.57			
			2次	—	17.40	—	3.71	—	—	
			3次	22.20	22.50	3.11	2.30			
			(3次)'	26.20	26.00	3.42	3.51			
DBL09-D45W			1次	6.25	6.13	2.68	3.07			
			(1次)' 面外	—	8.25	—	1.15	—	—	
			(1次)'' 面外	11.30	11.30	3.65	3.43			
			2次	—	16.80	—	4.24	—		
			3次	24.20	23.70	1.81	3.98			
			4次	—	32.00	—	4.88	—		

表 2 結果一覧; 右

自由振動実験				インパルスハンマー加振実験								固有値解析					梁理論	
固有振動数 f [Hz]		減衰定数 h [%]		卓越振動数 f [Hz]		減衰定数 h [%]		固有モード		固有振動数 f [Hz]				固有モード [16分割]	固有振動数 f [Hz]			
中央 加振	右側 加振	中央 加振	右側 加振	中央 加振	右側 加振	中央 加振	右側 加振	中央加振	右側加振	4分割	8分割	16分割	48分割		せん断型	曲げ型		
15.67	16.74	4.93	4.14	16.08	16.06	3.66	3.87			15.65	15.91	15.97	16.23		18.02	63.38		
—	31.25	—	2.96	—	31.42	—	2.23	—		29.89	31.84	32.32	32.93		36.05	253.5		
—	35.14	—	4.66	36.24	37.59	0.83	1.20			—	—	—	—	—	—	—		
47.92	46.94	3.25	3.07	47.56	46.18	2.68	4.91			38.81	44.77	46.35	47.50		54.07	570.4		
11.13	10.88	3.57	4.48	11.57	11.72	3.60	3.41			10.35	10.53	10.57	10.74		12.07	42.43		
—	22.91	—	5.81	23.56	22.63	2.18	4.04			19.53	20.90	21.23	21.62		24.13	169.7		
34.89	34.99	2.84	3.29	33.57	33.57	4.10	3.48			25.65	30.19	31.32	32.10		36.20	381.9		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	41.78	44.48	45.89		48.26	678.9		
12.61	12.76	6.76	3.37	11.90	11.95	3.32	7.85			11.47	11.66	11.70	11.90		13.70	60.33		
—	27.36	—	2.43	—	26.60	—	5.48	—		22.27	23.69	24.05	24.52		27.39	241.3		
36.29	36.23	4.81	1.67	36.40	36.24	4.05	2.02			28.46	32.25	33.29	34.10		41.09	543.0		
—	—	—	—	41.20	44.56	2.74	3.20			—	56.57	60.52	62.52		54.79	965.3		
—	9.43	—	2.52	—	9.59	—	4.03	—		7.89	8.04	8.07	8.21		9.42	41.48		
—	22.90	—	2.45	—	22.98	—	4.89	—		14.98	16.09	16.36	16.69		18.83	165.9		
—	33.51	—	2.11	—	32.88	—	2.55	—		19.40	22.82	23.72	24.34		28.25	373.3		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	32.93	35.31	36.49		37.67	663.7		
11.71	11.95	4.67	4.48	12.09	12.46	4.08	4.29			10.59	10.77	10.81	11.00		12.98	56.85		
—	22.73	—	3.93	—	23.68	—	6.32	—		20.45	21.81	22.15	22.58		25.97	227.4		
32.43	32.61	2.61	3.18	33.23	33.54	5.57	3.48			26.19	29.88	30.89	31.65		38.95	511.7		
—	—	—	—	38.15	38.23	0.98	0.55			—	50.58	54.36	56.18		51.94	909.7		
9.07	—	4.21	—	9.57	9.61	5.15	5.51			8.71	8.86	8.90	9.06		11.92	51.71		
—	17.33	—	3.42	17.87	17.91	6.12	1.17			16.70	17.85	18.14	18.50		23.85	208.9		
22.28	22.69	3.32	3.86	22.33	21.69	2.17	2.69			21.42	24.63	25.51	26.16		35.77	465.4		
26.51	25.62	2.90	6.30	24.92	26.21	8.18	2.11			—	—	—	—	—	—	—		
6.62	6.30	2.86	4.58	6.54	6.96	4.00	5.04			6.44	6.57	6.60	6.72		8.84	38.34		
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—		
11.75	11.58	3.19	3.58	11.83	11.99	2.97	3.48			—	—	—	—	—	—	—		
—	16.95	—	6.86	—	17.86	—	3.06	—		12.18	13.10	13.33	13.60		17.68	153.3		
—	—	—	—	24.01	23.81	3.43	3.91			15.78	18.61	19.37	19.98		26.52	345.0		
—	—	—	—	32.92	31.77	6.76	1.69			—	26.74	28.75	29.77		35.36	613.4		

3 固有値解析

3.1 解析モデル

解析モデル¹¹⁾は図8に示したようなせん断変形型モデルとし、4分割、8分割、16分割、48分割で行った。壁構面パネは無限大(完全剛体)とした。解析モデルの種類は実験を行った勾配を0°、18°、27°、45°の4種類に、積載の有無による合計8種類である。

入力データとして各試験体の総重量及びせん断弾性係数を表3に示す。重量は静的加力実験¹²⁾¹⁶⁾でロードセルにより測定した重量を用いた。静的加力実験で得られた荷重-変位関係を図9に示す。せん断弾性係数 G [N/mm] (合板厚を無次元化) は、静的加力実験から得られた荷重-変位関係の初期剛性を用いて算出した。

図8 解析モデル

図9 荷重-変位関係 (静的加力実験)

表3 解析入力データ

試験体名	勾配	重量 [kN]	せん断弾性係数 [N/mm]
SNG09-D00N	0°	17.76	5719.0
SNG09-D00W	0°	39.62	5719.0
DBL09-D18N	18°	19.60	3460.0
DBL09-D18W	18°	41.46	3460.0
DBL09-D27N	27°	22.07	3302.9
DBL09-D27W	27°	43.93	3302.9
DBL09-D45N	45°	26.68	2662.9
DBL09-D45W	45°	48.54	2662.9

3.2 解析結果

固有値解析における固有振動数、固有モードを実験結果と合わせて表2に示す。固有モードは、どの分割数のモデルにおいても1次～4次モードの形状が変わらないため16分割のものを示した。

4 梁理論による検証

無勾配の水平構面の面内せん断性状は、連続体のせん断振動に類似していることが報告されている。¹⁰⁾ここでは、実験値と梁理論による計算値と比較することにより、有勾配の水平構面の場合でも梁理論を用いることが有効であるのかを検討する。

4.1 梁理論概要

一般に、両端をピン支持された連続体(単純梁)の固有振動数はせん断振動(以下せん断型)の場合には式(1)、曲げ振動(同、曲げ型)の場合には式(2)と表される。²⁾⁴⁾¹⁰⁾表2にせん断型と曲げ型の梁理論による計算値を示した。

$$f_n = \frac{n}{2} \sqrt{\frac{G \cdot A / \kappa'}{W / g \cdot l}} \quad \dots (1)$$

$$f_n = \frac{n^2 \pi}{2} \sqrt{\frac{EI}{(W / g) \cdot l^3}} \quad \dots (2)$$

f_n : n 次の固有振動数
 n : モード次数
 G : せん断弾性係数
 A : 断面積
 κ' : 形状係数
 EI : 曲げ剛性
 W : 試験体総重量
 g : 重力加速度
 l : 試験体スパン

4.2 実験値と梁理論による計算値との比較及び考察

図10に起振機加振実験の固有振動数とせん断型及び曲げ型の梁理論による固有振動数を示す。実験結果はせん断型に類似しているが、曲げ型とはかけ離れている。1次については実験値とせん断型はよく一致している。無勾配のSNG09-D00においては、実験値は直線的であり、せん断型の性状を表している。また、有勾配の有積載タイプにおいても、実験値は直線的であり、せん断型の性状を表している。一方、有勾配の無積載タイプにおいては、モード次数が高くなると実験値がせん断型よりも低くなり曲線になっている。

図10 固有振動数とモード次数の関係

5 表 2 結果一覧について考察と検討

5.1 共振曲線

共振曲線では、中央加振で 2 次の共振点が見られないが、これは加振位置が節に当たり励起されないためである。屋根勾配が大きくなると水平剛性が低下するため、また、無積載から有積載になると屋根重量が増加することにより、ピークの山が左に移っている（固有振動数が低下する）。実験結果のみで見られることであるが、有積載タイプで DBL09-D45W 以外は 1 次～3 次のピークの山がそれぞれ一つに対し、無積載タイプはすべて、2 次ないしは 3 次でピークの山が二つに割れる傾向にある。

5.2 固有振動数

起震機加振実験、自由振動実験及びインパルスハンマー加振実験における固有振動数は、実験の種類に関係なくほぼ近い値となっているが、DBL09-D18 以外は起震機加振実験よりインパルスハンマー加振実験の方が若干高めに出る傾向にある。これは加振方法の違いにより振動している変位量が異なるためである。中央加振と右側加振では、ほぼ同じ値となっている。屋根勾配が大きくなると固有振動数は低下しており、具体的には無積載タイプでは無勾配の SNG09-D00 が 15.90Hz であり、屋根勾配が 45° の DBL09-D45 で 9.20Hz まで低下する。さらに、有積載タイプでは同じく 10.80Hz から 6.25Hz まで低下する。これは水平剛性が低下したためと、屋根重量が増加した結果である。

実験値と梁理論による計算値を比較すると、1 次において若干せん断型の方が高めに出ているが実験値と近い値となっている。一方、曲げ型は実験値とはかけ離れている。固有値解析による固有振動数は分割数が多いほど、だんだん高くなりつつ実験値に近づく。

5.3 固有モード

起震機加振実験、インパルスハンマー加振実験及び固有値解析における固有モードは、屋根勾配の大きさ、積載重量の有無、加振位置に関係なく、おおむね連続体のせん断振動の振動形（単純梁の規準振動形）と同じ傾向にある。

屋根勾配が大きく有積載の DBL09-D45W では、①'①" のように屋根構面のパネルが面外に振動している。これは、屋根勾配が大きくなると屋根構面の面外方向にも慣性力が働き、その方向へパネルの変形が誘発されやすくなるためである。

また、無積載タイプで見られるピークの山が二つに割れることに関しては、無積載の SNG09-D00N の②と②'や DBL09-D45N の③と③'の固有モードによると、外形は連続体のせん断振動の振動形に近いが、パネル個々の変形状態が異なっている。

5.4 減衰定数

減衰定数については、起震機加振実験、自由振動実験及びインパルスハンマー加振実験の結果から 1 次については無積載タイプより有積載タイプの方が若干低い傾向にあるが、全体的に見ると、屋根勾配の大きさ、実験の種類、加振位置に関係なく、おおむね 3～6 % の値となっている。

6 時刻歴応答解析

6.1 解析概要

時刻歴応答解析¹¹⁾は、実地震波が勾配屋根の面内振動に与える影響を把握するために行った。

解析モデル及び試験体の種類は 3.1 と同様とし、16 分割で行った。重量及び剛性配分も 3.1 と同様にし、粘性減衰定数は 5.4 の起震機加振実験、自由振動実験及びインパルスハンマー加振実験の実験結果から、一律 5.00 % とした。入力地震波は EL-Centro、HACHINOHE、TAFT の 3 波とし、最大速度が Level2 相当の 50[kein] となるように加工し、使用した。

6.2 解析結果及び検討

図 11 に横軸を屋根勾配にして、試験体 X6 通りの最大応答変位をプロットしたものを示す。また、EL-Centro 波入力による最大応答時（X6 通り）の変形図を表 4 に示す。

地震波による応答は、1 次モードが卓越した変形となっている。屋根勾配が大きくなるにつれて応答変位は大きくなっており、積載の有無については有積載タイプの方が応答変位が大きい。地震波の種類による影響では、3～4Hz の振動数成分を多く含んでいる EL-Centro、2～3Hz の TAFT、1～2Hz の HACHINOHE の 3 波に対して、特に EL-Centro で大きな応答を示した。

図 11 最大応答値

表 4 最大応答変形図 (EL-Centro)

試験体名	無積載	有積載
SNG09-D00		
DBL09-D18		
DBL09-D27		
DBL09-D45		

7 まとめ

本研究では屋根勾配による影響について、振動特性の観点から以下のように結論付ける。

共振曲線

- ・屋根勾配が大きくなるほど、また、屋根重量が増加するほどピークの山が左に移る（固有振動数が低下する）。
- ・無積載タイプでは、2 次ないし 3 次でピークの山が二つに割れる。この点のメカニズムの解明については今後の課題として取り組みたい。

固有振動数

- ・無積載タイプでは SNG09-D00 の 15.90Hz から DBL09-D45 の 9.20Hz まで低下する。さらに、屋根重量が増加すると同じく 10.80Hz から 6.25Hz まで低下する。
- ・勾配屋根においては、せん断型の計算値は実験値と近い（1 次モードにおいて）が、曲げ型はかけ離れる。
- ・固有値解析による固有振動数は分割数が多いほど、だんだん高くなりつつ実験値に近づく。

固有モード

- ・固有振動モードはおおむね連続体のせん断振動の振動形（単純梁の規準振動形）と同じ傾向になる。
- ・屋根勾配が 45° のように大きくなると、屋根構面が面外に振動する固有モードが出現する。この点については、屋根構面の面外振動を考慮した振動モデルを確立することを今後の課題として取り組みたい。

減衰定数

- ・1 次については無積載タイプより有積載タイプの方が若干低い傾向にあるが、おおむね 3～6 % の値となっている。

時刻歴応答解析

- ・1 次モードが卓越しており、屋根勾配が大きくなるほど、また、屋根重量が大きいほど応答変位が大きくなる。特に EL-Centro 地震波で大きな応答となった。

8 問題点と今後の課題

本研究では、屋根勾配が大きくなるほど、また、屋根重量が増加するほど固有振動数の大幅な低下が見られた。さらに、屋根重量の重い瓦屋根などを想定すると、数 Hz 低下すると予測され、建物の水平固有振動数と近くなる。そのため、建物の振動性状において水平構面の面内振動が影響してくると思われる。この点の検討についてさらに研究を進めることが課題として挙げられる。

なお、本研究の一部は、平成 10 年～14 年度の文部省学術フロンティア推進事業の重点研究費：「激震動を受ける建築構造物及び機器・装置の耐震性能の向上化」（研究代表者：洪忠憲）及び平成 12 年度よりの文部科学省科学研究費補助金（基盤研究 A）：「直下地震に対する部材、架構の耐震性能向上に関する研究」（研究代表者：野口弘行）によった。

謝辞 本研究の実験実施にあたり、明治大学理工学部建築学科木質構造研究室の 2001 年度及び 2002 年度の卒業生諸氏に感謝します。特に、中心的に活動して頂いた同研究室 2001 年度修了の伊藤修一氏、2002 年度修了の大浦和香子氏、福岡崇博氏、ミサワホーム（株）の三津橋歩氏に多大なる感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 杉山英男：建築構造学大系 木構造、彰国社、1966
- 2) 志賀敏男：構造物の振動、共立出版株式会社、1976
- 3) 日本建築学会：木質構造計算ノート、丸善株式会社、1995

- 4) 大崎順彦：建築振動理論、森北出版株式会社、1996
- 5) 杉山英男：木質構造 第 3 版、共立出版株式会社、2001
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課、国土交通省住宅局木造住宅振興室：木造軸組工法住宅の許容応力度設計、日本住宅・木材技術センター、2001
- 7) 日本建築学会：木質構造計算基準・同解説、丸善株式会社、2002
- 8) 日本ツーバイフォー建築協会：2002 年枠組壁工法建築物構造計算指針、株式会社工業調査会、2002
- 9) 野口弘行、鈴木秀三、神谷文夫、河合誠、木上浩、杉本健一、那須秀行、黒岩保彦、岡田圭一郎、落海一哉、沼川次郎：木質系ダイアフラムの研究（1）～（9）、日本建築学会学術講演梗概集、pp.97～114、1992.8
- 10) 鈴木秀三、藤野栄一、野口弘行：木質ダイアフラムの面内振動特性に関する研究（第 1 報）、日本建築学会構造系論文集 No.468、pp.119～126、1995.2
- 11) 野口弘行、梶川久光：木質半剛接ラーメン構造の振動性状に関する研究（第 1 報） 水平構面の面内剛性の影響について、日本建築学会構造系論文集 No.488、pp.117～126、1996.10
- 12) 岩崎誠司、梶川久光、福岡崇博、小川春彦、三津橋歩、千原勝幸、平田俊次、野口弘行：屋根勾配（水平構面）の面内せん断挙動に関する研究 ～その 1・実験的検証～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.171～172、2002.8
- 13) 小川春彦、梶川久光、福岡崇博、岩崎誠司、三津橋歩、鶴田修、平田俊次、野口弘行：勾配屋根（水平構面）の面内せん断挙動に関する研究 ～その 2・解析～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.173～174、2002.8
- 14) 大浦和香子、野口弘行、梶川久光、伊藤修一、三津橋歩、千原勝幸：水平構面（屋根）の振動特性に関する研究 ～その 1・実験的研究～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.425～426、2002.8
- 15) 梶川久光、野口弘行、大浦和香子、高岡蒨子、鶴田修、平田俊次：水平構面（屋根）の振動特性に関する研究 ～その 2・固有値解析～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.423～424、2002.8
- 16) 梶川久光、小川春彦、高岡蒨子、三津橋歩、野口弘行：木質接着パネル構法における有勾配屋根の水平挙動に関する研究 ～その 1・研究概要～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.231～232、2003.9
- 17) 小川春彦、梶川久光、高岡蒨子、三津橋歩、野口弘行：木質接着パネル構法における有勾配屋根の水平挙動に関する研究 ～その 2・水平加力実験及び検討～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.233～234、2003.9
- 18) 高岡蒨子、梶川久光、小川春彦、三津橋歩、野口弘行：木質接着パネル構法における有勾配屋根の水平挙動に関する研究 ～その 3・動的加振実験及び解析による振動特性に関する検討～、日本建築学会学術講演梗概集、pp.235～236、2003.9

（2003 年 5 月 9 日原稿受理、2003 年 9 月 8 日採用決定）