

# 三角形と六角形網目からなる高ライズ二層立体ラチス構造物の 力学的特性と地震応答性状に関する研究

建築構造学分野 幸田 昌之

## 1. 序

近年、数ある大空間構造の中でも特筆すべきものにドーム建築が挙げられる。その形状は比較的扁平なものが多いが、設計により自由な構造形態が求められつつある中で、モンテリオール万博のエキスポドームやイギリス・コーンウォール州のエデン・プロジェクト等、ライズの高いドームも数多く建設されている。

本論はこのような、特に高ライズなドーム状構造物、及び比較のためのシリンダー状構造物に対して、軽快に無柱の大空間を形成することができる三角形と六角形網目からなる二層立体ラチス構造を適用した場合を想定し、数値解析を通じてその力学的特性や地震応答性状を明らかにすることを目的としている。まず、これら高ライズ二層立体ラチスシリンダー及びドームを対象に弾性座屈解析、自由振動解析を行ない、構造物が有する弾性座屈性状、振動性状といった力学的特性を把握する。次に、時刻歴線形地震応答解析によってこれらの地震応答性状を把握すると共に、応答スペクトル法の適用性の検討や、通常の高層建築に採用されている地震層せん断力係数分布の比較・検討により、高ライズ二層立体ラチス構造物の設計手法や耐震性の評価を行なう。

## 2. 解析モデル

本論で取り扱う解析モデルは、三角形と六角形網目からなる半開角90度の二層立体ラチスシリンダー、ドームとし、共に上層が三角形網目 (Triangle Meshes)、下層が六角形網目 (Hexagon Meshes) からなるT-H型、上層が六角形網目、下層が三角形網目からなるH-T型の二

種類とする。表1に解析モデル寸法を、図1に解析モデル形状と寸法、及び本論を通じて共通の境界条件を示す。境界条件は、シリンダーは桁方向境界節点の、ドームは周上節点のそれぞれX、Y、Z方向変位を拘束したピン支持とする。モデル名称は、形状、網目、境界条件をパラメータとし、括弧内が網目を、左下添字はcがシリンダー、dがドームを表し、右下添字はtが上層支持、bが下層支持を表す。

表1 解析モデルの寸法

モデル	上層スパン (m)	下層スパン (m)	ライズ (m)	デプス (m)	表面積 (m <sup>2</sup> )
シリンダー	60.0	57.0	30.0	1.5	4809.8
ドーム	60.0	57.0	30.0	1.5	5654.9

モデルに使用する部材は、雪荷重を考慮した許容応力度設計によって、上弦、下弦、ウェブ材ごとに決定する。応力解析時にモデルに作用させる荷重は、ラチスの部材重量及び屋根面の仕上げ材などを考慮した全載荷重とし、支持節点を除く上層の全節点に、鉛直下向きの等分布荷重 (2.46kN/m<sup>2</sup>) とする。表2に、使用部材と断面諸元及びモデル重量を示す。

表2 使用部材と断面諸元及びモデル重量

部材	断面寸法 (mm)			部材	断面寸法 (mm)		
	外形×肉厚	断面積 (cm <sup>2</sup> )	断面2次モーメント (cm <sup>4</sup> )		外形×肉厚	断面積 (cm <sup>2</sup> )	断面2次モーメント (cm <sup>4</sup> )
A	114.3×3.2	11.17	172.47	H	190.7×5.0	29.17	1258.19
B	114.3×5.6	19.12	283.20	I	190.7×6.0	34.82	1486.18
C	139.8×3.6	15.40	357.44	J	190.7×7.0	40.40	1706.54
D	139.8×4.5	19.13	438.17	K	216.3×6.0	39.64	2193.22
E	139.8×5.6	23.61	532.43	L	216.3×8.0	52.35	2843.60
F	165.2×5.0	25.16	808.05	M	267.4×8.0	65.19	5488.74
G	190.7×4.5	26.32	1141.47				
ヤング係数 (kN/cm <sup>2</sup> )		2.06×10 <sup>4</sup>		せん断弾性係数 (kN/cm <sup>2</sup> )		7.92×10 <sup>3</sup>	

モデル	上弦	下弦	ウェブ	重量 (tf)	モデル	上弦	下弦	ウェブ	重量 (tf)
t(H-T) <sub>c</sub>	F	K	E	26.42	t(H-T) <sub>d</sub>	I	E	E	22.44
b(H-T) <sub>c</sub>	I	M	C	31.49	b(H-T) <sub>d</sub>	A	F	D	17.85
t(T-H) <sub>c</sub>	K	J	G	29.98	t(T-H) <sub>d</sub>	F	C	B	18.33
b(T-H) <sub>c</sub>	L	L	H	36.11	b(T-H) <sub>d</sub>	E	I	F	23.01

## 3. 高ライズ二層立体ラチス構造物の力学的特性

### 3.1 弾性座屈性状

上述の解析モデルに対して弾性座屈解析を行ない、静的荷重作用時の挙動を把握する。解析時の作用荷重は、支持節点を除く上層の全節点に、鉛直下向きの等分布荷重とする。部材のせん断変形、反り変形は無視し、接合部はすべて剛節点とする。表3に、各モデルの弾性座屈荷重、及び座屈荷重を座屈時の最大変位節点における変位で除した割線剛性を示す。また、図2にオイラー軸力比分布図を示す。ここにオイラー軸力比とは、部材両端をピン支持とした時の各部材の軸力のオイラー座屈軸力に対する比である。さらに各モデルのオイラー軸力比最大値を、表3に併せて示す。オイラー軸力比はどのモデ

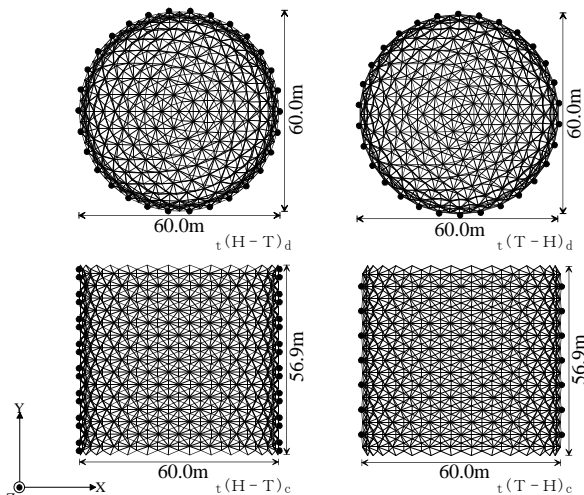


図1 解析モデル形状・寸法と境界条件(上層支持)

ルも三角形面で最大となり、中でもウェブ材が応力を効果的に負担し、三角形面に生じる圧縮力を低減したモデル、 $b(H-T)_c$ には座屈耐力の上昇が認められた。またドームでは、六角形面支持のモデルにおける座屈荷重が、三角形面支持モデルの座屈荷重を大きく上回った。

表3 座屈荷重・割線剛性とオイラー軸力比最大値

モデル	座屈荷重 ( $\times 10^4$ kN)	割線剛性 ( $\times 10^4$ kN/cm)	オイラー軸力比最大値
$t(H-T)_c$	8.09	0.91	3.02(下弦)
$b(H-T)_c$	9.64	0.71	2.51(下弦)
$t(T-H)_c$	8.24	0.86	3.26(上弦)
$b(T-H)_c$	8.24	0.73	3.18(上弦)
$t(H-T)_d$	11.75	7.62	3.08(下弦)
$b(H-T)_d$	8.08	5.35	2.58(下弦)
$t(T-H)_d$	7.03	5.73	2.28(上弦)
$b(T-H)_d$	12.84	5.54	3.57(上弦)

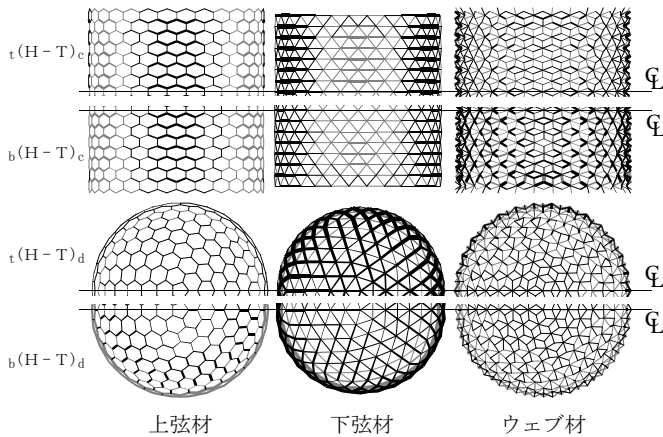


図2 オイラー軸力比分布(H-T網目)

### 3.2 固有振動性状

本節では、高ライズ二層立体ラチス構造物固有の振動性状を把握するため、非減衰自由振動解析を行ない、固有周期や有効質量<sup>2)</sup>等を算出する。ここに有効質量とは式(3.1)で表される、全質量のうちそれぞれのモードに関する質量を表す一義的な確定量であり、これが卓越しているモードにおける振動性状と大きく関係する。有効質量の全モード次数に渡る総和は、系の総和に等しい。

$$M_i = \beta_i \{ \beta_i \}^T [M] \{ \beta_i \} \beta_i \text{ (kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm)} \quad (3.1)$$

$\beta_i$ : i次の刺激係数、 $\{ \beta_i \}$ : i次の固有ベクトル、 $[M]$ : 質量マトリクス境界条件、接合条件とも前節までと同じとし、固有ベクトル等を算出する際の実出力モード数は300モードとする。解析結果として、表4～表7に、H-Tモデルに関する1～5次のモード及びX、Y、Z各方向の有効質量比が上位5位までのモードにおける固有周期と有効質量比、及び各方向別に全300モードの有効質量比合計値を示す。なお、各方向順位の網掛け部分は各方向別の有効質量比上位3位までを表す。ドームはどのモデルも水平両方向の有効質量比の大半が1次と2次で卓越するため、X、Y方向の相関が高く、水平地震動に対する水平方向の応答が大きいことが予想される。鉛直方向に関しては、やや高次のモードに鉛直方向1位が現れる上層支持に比べて、下層支持では水平方向が卓越する1、2次直後の3次モードで鉛直方向1位の有効質量比が現れる。こ

のことから、支持条件の違いが有効質量比の散らばり方に影響を及ぼしていると考えられる。

表4 固有周期と有効質量比:  $t(H-T)_c$

モード次数	固有周期	有効質量比 (%)			各方向順位		
		X方向	Y方向	Z方向	X	Y	Z
1	1.123	75.48	0.05	0.00	1		
2	0.414	0.00	6.22	0.07		3	
3	0.378	0.00	0.02	7.60			3
4	0.243	0.09	0.04	0.00			
5	0.211	4.87	0.12	0.01	2		
10	0.152	0.48	12.71	0.04		2	
11	0.151	0.25	29.16	0.07	1		
15	0.130	0.01	5.67	0.89		5	
23	0.114	0.00	3.84	3.79			5
24	0.112	0.01	6.19	0.04		4	
36	0.078	0.98	0.00	0.31	4		
37	0.076	0.19	0.06	7.50			4
38	0.073	0.00	0.04	12.29			2
39	0.072	0.01	0.00	26.84			1
54	0.056	0.87	0.00	0.01	5		
67	0.046	1.07	0.11	0.00	3		
有効質量比計		93.75	93.51	93.07			

表5 固有周期と有効質量比:  $b(H-T)_c$

モード次数	固有周期	有効質量比 (%)			各方向順位		
		X方向	Y方向	Z方向	X	Y	Z
1	1.124	79.79	0.01	0.00	1		
2	0.481	0.00	12.79	0.01		1	
3	0.389	0.00	0.00	18.09			1
4	0.282	0.00	0.01	0.00			
5	0.227	3.06	0.08	0.02	3		
6	0.218	3.39	0.00	0.03	2		
14	0.155	1.82	1.18	0.21	5		
19	0.138	0.06	5.91	0.04		5	
31	0.124	0.00	7.15	0.00		4	
34	0.114	0.00	0.01	11.13			4
37	0.103	0.00	11.10	0.00			2
41	0.088	0.00	8.33	0.00			3
42	0.082	1.83	0.00	0.00	4		
45	0.073	0.00	0.00	7.10			5
48	0.066	0.00	0.00	14.65			2
68	0.049	0.00	0.00	13.69			3
有効質量比計		97.65	92.37	93.93			

表6 固有周期と有効質量比:  $t(H-T)_d$

モード次数	固有周期	有効質量比 (%)			各方向順位		
		X方向	Y方向	Z方向	X	Y	Z
1	0.132	45.02	31.44	0.01	1	2	
2	0.131	30.21	43.64	0.01	2	1	
3	0.094	0.00	0.00	22.51			3
4	0.083	0.01	0.01	0.09			
5	0.083	0.00	0.00	0.00			
6	0.077	0.16	1.29	0.18			5
7	0.076	1.23	0.05	0.00	4		
12	0.068	0.00	0.00	1.37			5
16	0.062	0.04	0.08	22.96			2
22	0.058	0.00	0.06	25.47			1
39	0.045	1.30	0.18	0.00	3		
44	0.040	0.71	3.52	0.00			3
45	0.039	0.05	1.86	0.00			4
49	0.039	1.20	0.00	0.00	5		
63	0.033	0.00	0.00	8.89			4
有効質量比計		93.09	93.03	89.36			

表7 固有周期と有効質量比:  $b(H-T)_d$

モード次数	固有周期	有効質量比 (%)			各方向順位		
		X方向	Y方向	Z方向	X	Y	Z
1	0.137	59.31	15.59	0.00	1	2	
2	0.137	14.76	57.71	0.03	2	1	
3	0.102	0.00	0.00	32.68			1
4	0.083	0.05	0.00	0.00			
5	0.083	0.01	0.04	0.02			
8	0.077	0.01	0.00	4.21			5
21	0.062	0.00	0.00	5.63			3
37	0.049	0.00	0.00	16.30			2
46	0.044	0.05	1.21	0.18			5
47	0.044	1.25	0.02	0.29	4		
49	0.039	1.87	0.51	0.00	3		
50	0.039	0.16	2.42	0.00			3
59	0.036	0.09	1.36	0.01			4
85	0.030	0.00	0.00	4.26			4
117	0.024	1.19	0.05	0.00	5		
有効質量比計		87.68	87.75	89.83			

## 4. 高ライズ二層立体ラチス構造物の地震応答性状

### 4.1 時刻歴線形地震応答解析

本節で行なう時刻歴線形地震応答解析は、教育用構造解析ソフトSPACE(Space Frame Analysis package for Civil Engineers, researchers and students)<sup>3)</sup>を用いて行なう。時刻歴応答解析法はNewmarkの $\beta$ 法とし、 $\beta=1/4$ (平均加速度法)とする。減衰はレーリー型で、3.2節において水平方向の有効質量が高かった上位2つのモードに対する減衰定数をともに2%としている。入力地震波は1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台データのEW成分( $A_{max}=617\text{gal}$ )、NS成分( $A_{max}=817\text{gal}$ )、UD成分( $A_{max}=332\text{gal}$ )とし、このデータの28秒から43秒の15秒間の地震波をそれぞれX、Y、Z方向に入力する。解析の時間刻みは0.002秒とするが、このデータの測定時間間隔が0.02秒であるため、各地震加速度記録を線形補間したものを用いて入力する。図3、図4に、絶対加速度応答時刻歴(H-T網目上層支持の場合)を、表8に各モデルの最大絶対加速度応答と生起時刻を示す。シリンダーは、高ライズでなおかつY方向境界部がピン支持であるため、X、Z方向の剛性がY方向に比べて極端に低いことが応答の増大に影響し、どのモデルもX、Z方向の応答が極めて大きい。またH-T網目は支持による応答の差が激しく、注意を要する結果といえる。ドームは全体的に応答値は小さいが、全方向とも下層支持の応答が上層支持の応答を上回る。最大応答生起時刻については、シリンダーは全方向とも、六角形網目を支持したモデルの方が早い時刻で最大応答を示している。一方ドームは、水平、鉛直方向が最大応答を示した時刻

の差がはっきりしており、 $b(H-T)_d$  以外は地震波入力後4~5秒で先にZ方向が、その約3~4秒後に水平方向が最大応答を示すという特徴が見られる。

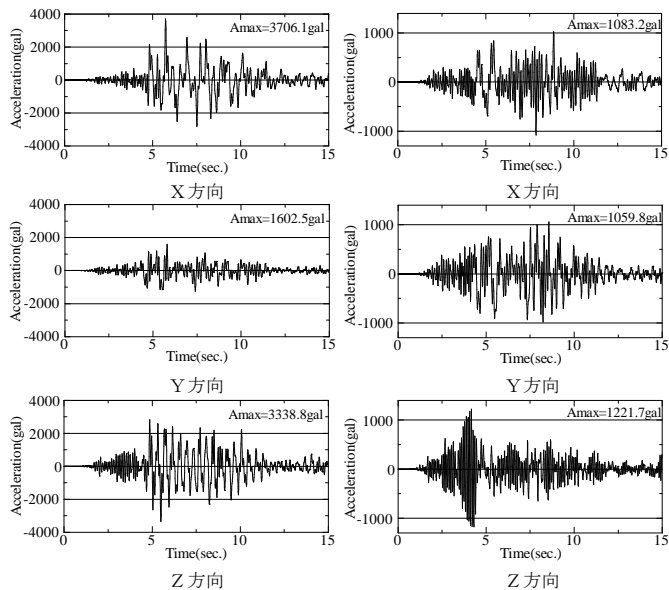


図3 加速度応答時刻歴： $t(H-T)_c$

表8 最大加速度応答と生起時刻

モデル	X方向		Y方向		Z方向	
	加速度(gal)	生起時刻(s)	加速度(gal)	生起時刻(s)	加速度(gal)	生起時刻(s)
$t(H-T)_c$	3706.1	5.73	1602.5	5.80	3338.8	5.50
$b(H-T)_c$	4276.8	8.88	1980.9	6.34	5597.4	7.54
$t(T-H)_c$	3554.9	8.06	1655.9	7.42	4425.1	9.02
$b(T-H)_c$	3348.1	7.10	1658.2	6.37	4688.3	6.18
$t(H-T)_d$	1083.2	7.85	1059.8	8.56	1221.7	4.16
$b(H-T)_d$	1134.2	5.46	1549.7	5.54	1329.6	9.13
$t(T-H)_d$	1102.1	8.86	1284.3	7.91	1143.9	4.60
$b(T-H)_d$	1344.3	8.87	1554.7	5.57	1383.9	4.73

## 4.2 設計手法の検討と耐震性の評価

### 4.2.1 応答スペクトル法の適用性

建物の耐震設計においては、実用的には応答の最大値だけが問題になることが多く<sup>4)</sup>、応答スペクトルを用いて各次応答成分を重ね合わせ、最大応答を略算する手法として、SRSS法はよく用いられる。本節では、SRSS法の考え方を元に各固有振動数の相関を組み込むことによって、モードの相関が高い場合、つまり各モードの振動数が接近しておりかつそれらのモードの有効質量が卓越している場合に良い近似を与えることとされているCQC法(Complete Quadratic Combination)を用いて応答スペクトル解析を行ない、その応答と4.1節の時刻歴応答とを比較することによって、高ライズ二層立体ラチス構造物への応答スペクトル法の適用性を検討する。

入力地震波には4.1節と同様、兵庫県南部地震の神戸海洋気象台データを用い、地震波のEW、NS、UD成分の変位応答スペクトルを0.0008秒ごとに算出し、それぞれX、Y、Z方向に入力する。減衰定数は2%とする。

解析結果として、表9、表10に各モデルの両応答解析による最大変位応答、最大軸応力の比較を、図5、図6に変位応答の散布図(H-T網目上層支持の場合)を示す。表の応答スペクトル解析欄括弧内の数値は、時刻歴応答に対する応答スペクトル解析による応答の比率を表す。

表9 両応答解析による最大変位応答の比較

モデル	時刻歴変位応答(cm)			応答スペクトル解析による変位応答(cm)		
	X方向	Y方向	Z方向	X方向	Y方向	Z方向
$t(H-T)_c$	37.36	4.15	18.66	37.22 (1.00)	3.76 (0.91)	18.99 (1.01)
$b(H-T)_c$	45.93	9.79	27.80	40.68 (0.89)	8.33 (0.85)	22.57 (0.81)
$t(T-H)_c$	35.49	5.48	20.98	35.11 (0.99)	4.47 (0.82)	18.47 (0.88)
$b(T-H)_c$	40.01	8.33	25.60	36.62 (0.92)	7.43 (0.89)	23.05 (0.90)
$t(H-T)_d$	0.50	0.53	0.28	0.56 (1.12)	0.58 (1.09)	0.31 (1.08)
$b(H-T)_d$	0.69	1.04	0.42	0.60 (0.87)	0.77 (0.75)	0.39 (0.93)
$t(T-H)_d$	0.53	0.52	0.32	0.58 (1.08)	0.61 (1.18)	0.35 (1.09)
$b(T-H)_d$	0.69	1.00	0.46	0.79 (1.14)	1.06 (1.06)	0.53 (1.15)

表10 両応答解析による最大軸応力の比較

モデル	時刻歴応答解析		応答スペクトル解析	
	最大軸力(kN)	引張	最大軸力(kN)	力の最大値(kN)
$t(H-T)_c$	698.6	687.3	780.4	(1.12)
$b(H-T)_c$	1145.6	1270.1	1201.5	(0.95)
$t(T-H)_c$	889.6	939.5	912.8	(0.97)
$b(T-H)_c$	1270.1	1293.6	1260.3	(0.97)
$t(H-T)_d$	80.0	93.7	157.7	(1.68)
$b(H-T)_d$	104.3	106.1	114.1	(1.08)
$t(T-H)_d$	60.0	57.1	78.7	(1.31)
$b(T-H)_d$	108.9	130.0	214.6	(1.65)

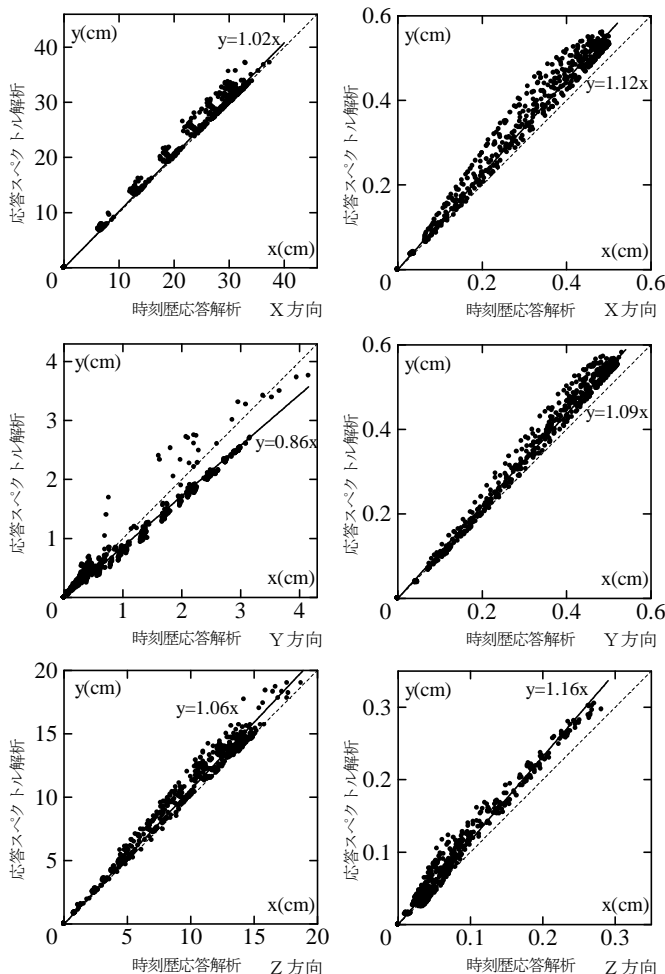


図5 変位応答散布図： $t(H-T)_c$  図6 変位応答散布図： $t(H-T)_d$

上記の結果より、応答スペクトル解析による変位・軸応力等の応答は、シリンダー、ドームともに比較的良い精度で時刻歴応答に近い値を示した。また応答スペクトル法の適用性という点からは、シリンダーモデルの大半で時刻歴応答を下回る危険側の結果を得たが、変位応答が時刻歴応答を下回った $b(H-T)_d$ を除くドームモデルでは非常に高い適用性が認められた。変位、軸応力の比較に加えて、変位量が大きい節点位置の比較も考慮し、高ライズ二層立体ラチス構造物への応答スペクトル法の適用性をまとめると表11のようになる。

#### 4.2.2 水平地震動に対する検討

本節では、耐震性の評価として特に水平地震動に対する検討を行なうため、4.1節、時刻歴線形地震応答解析の結果から、ビル等の多層建物の設計に採用されている地震層せん断力係数分布を算出し、その特色や設計時の留意点等の検討、及び従来の算定式から算出した多層建物の分布との比較を行なう。層せん断力係数 $C_i$ はX、Y方向別々に求める。図7のように、 $C_i$ は*i*層より上部の質点の加速度 $a_j$ に質量 $m_j$ を乗じ、それらを合計したものを*i*層より上部の重量 $w_j$ で除した値とする(式(4.1))。また用いる加速度は、先の時刻歴応答での最大値とする。

$$i\text{層の層せん断力係数 } C_i = \sum_{j>i} m_j \cdot a_j / w_j \quad (4.1)$$

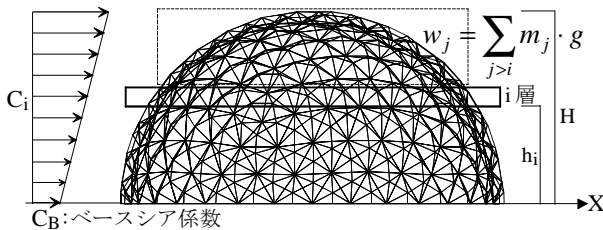


図7 層せん断力係数の算定 (図は $t(H-T)_d$ のX方向の場合)

図8に地震層せん断力係数分布を、表12に各モデルのベースシア係数を示す。図中の点線は式(4.2)から得られる通常の高層建物の分布である。通常の高層建物の層せん断力係数の高さ方向分布係数 $A_i$ は、*i*層より上の建物重量比 $a_i$ と建物の1次固有周期 $T$ を用いて式(4.2)のように与えられている。

$$C_i\text{の高さ方向分布係数 } A_i = 1 + \left( \frac{1}{\sqrt{a_i}} - a_i \right) \frac{2T}{1+3T} \quad (4.2)$$

表12 ベースシア係数

	X方向	Y方向	X方向	Y方向
$t(H-T)_c$	1.13	1.20	$t(H-T)_d$	0.86
$b(H-T)_c$	1.52	1.09	$b(H-T)_d$	0.94
$t(T-H)_c$	1.29	1.22	$t(T-H)_d$	0.89
$b(T-H)_c$	1.32	1.17	$b(T-H)_d$	0.95

シリンダーX方向の層せん断力係数分布は建物重量比 $a_i$ の影響を受け、中～上層部ではベースシア係数 $C_B$ を下回る特異な分布となった。ドームは低層付近が正に膨らむような分布でせん断力の増加が大きい、中～高層にかけては多層建物と同様の逆三角形分布であるため、低層部の設計には十分な注意が必要であるといえる。水平

表11 応答スペクトル法の適用性

モデル	変位								軸応力
	最大変位			節点位置			散布図		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	
$t(H-T)_c$	×							×	
$b(H-T)_c$	×	×	×					×	×
$t(T-H)_c$		×	×					×	
$b(T-H)_c$	×	×	×					×	
$t(H-T)_d$				×					
$b(H-T)_d$	×	×	×					×	×
$t(T-H)_d$				×	×				
$b(T-H)_d$				×					

・最大変位：対時刻歴応答比、1.05以上○、0.96～1.04△  
 ・節点位置：変位量上位5位の節点位置が両解析で一致する数、3つ以上○、2つ△  
 ・散布図：近似直線の傾き、1.03以上○、0.98～1.02△  
 ・軸応力：対時刻歴応答比、1.05以上○、0.96～1.04△

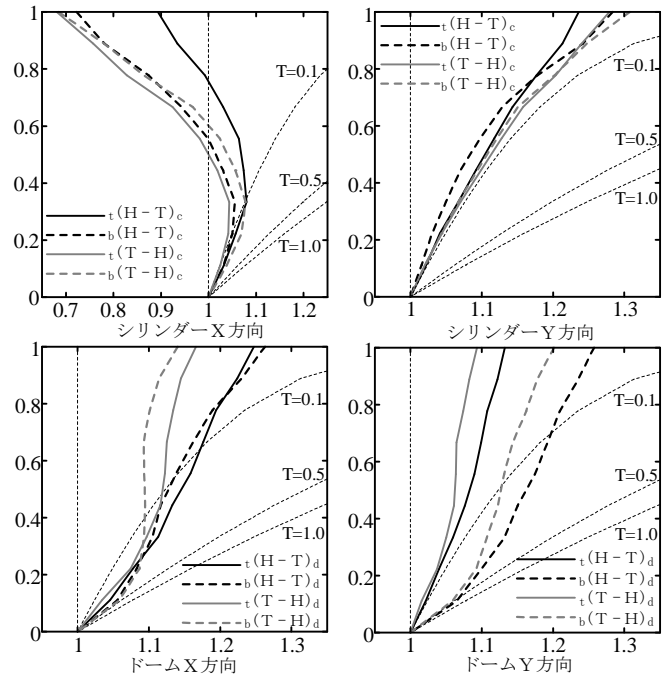


図8 地震層せん断力係数分布(縦軸： $h_i/H$ 、横軸： $C_i/C_B$ )

地震動に対する検討をまとめると、表13のようになる。

#### 5. まとめ

本研究では、高ライズ二層立体ラチス構造物の弾性座屈性状や振動性状といった力学的特性及び地震応答性状を把握した上で、応答スペクトル法の適用性や地震層せん断力係数分布の検討を通じて、この構造物の設計手法や耐震性を評価してきた。得られた結論を以下に示す。

1. 応答スペクトル解析による応答はシリンダー、ドームとも時刻歴応答に近い良い精度の結果を得たが、特に多くの検討項目で時刻歴応答を上回ったドームに、応答スペクトル法の高い適用性が認められた。
2. 水平地震動に対する検討から、上層部重量の大きいシリンダーのX方向に、中～上層部がベースシア係数を下回る特異な $C_i$ 分布がみられた。またドームは低層部で正に膨らむ $C_i$ 分布となる点で設計に注意を要すると考えられ、特にY方向の下層支持でその傾向が顕著であった。

<参考文献>

- 1) 加藤史郎、向山洋一「高ライズラチスドームの地震層せん断力係数に関する研究」日本建築学会構造系論文集第466号 pp87-95 1994.10
- 2) 大崎順彦「建築振動理論」彰国社 1996
- 3) SPACE開発プロジェクトチーム 構造解析ソフト「SPACEVer.2.2」
- 4) 柴田明徳「最新 耐震構造解析」森北出版 2002

表13 水平地震動に対する検討

モデル	建物重量比 $\alpha_i$	$C_i$ 分布の特色・留意点		通常の高層建物との比較	
		X方向	Y方向	X方向	Y方向
		$t(H-T)_c$	低層部から中層部までの重量が均一に小さく、高層部の重量比が比較的大きい。	多層建物に近い逆三角形分布、最上層部の $C_i$ は $C_B$ の1.2～1.3倍程度と小さい。	高さ方向に均一な重量分布となる多層建物に比べ上層部重量が大きいため、形状そのものに $C_i$ を減衰させる効果が見られる。
$b(H-T)_c$	通常の高層建物に近いが、中層部の重量がやや大きい。	どのモデルも低層部で $C_i$ の増加が大きく注意要する。上層支持に比べ下層支持の $C_i$ 増加が顕著である。	巨視的には通常の高層建物と変わらない分布を示すが、低層部で正に膨らむ分布となる点と異なる点で設計時に留意すべき点である。	X方向と同様低層部で正に膨らむ分布となるが、支持条件により違う分布を示す点で注意が必要である。	
$t(T-H)_c$	各層の重量が均一で通常の高層建物に近い。	低層部で $C_i$ 増加後、中～高層にかけてほぼ一定に推移する。			
$b(T-H)_c$					
$t(H-T)_d$					
$b(H-T)_d$					
$t(T-H)_d$					
$b(T-H)_d$					