

ラチス・トラス・チューブ構造の高層建築の連続体類似法
 による性能評価に関する研究

建築構造学分野 上口 真路

Abstract

構造設計の初期段階では、構造物の力学的性状を大掴みに把握することが重要となる。ラチス構造物の力学的性状を把握する方法に連続体的取り扱いによる方法があり、連続体的取り扱いによる方法を用いることで、構造ユニットの形や組み方の異なる構造物全体の力学的性状を把握することができる。本研究では、三方向平面ラチス構造の有効剛性を用いてその有効強度の算出を行い構造特性を把握した。そして外殻にそれらの三方向平面ラチス構造を用いたラチス・トラス・チューブ構造の力学的性状を明らかにした。その際、有効剛性を用いてフレームモデルを連続体モデルへと置換し、その静的挙動、固有振動性状、地震応答性状を把握し連続体モデルの精度についても検討を行った。

1. 序

同じ構造ユニットの繰り返しで組み立てられているラチス構造物の力学的性状を把握する方法に、連続体的取り扱いによる方法がある。連続体的取り扱いによる方法とはラチス構造を巨視的に捉えようとするものであり、構造ユニットの形や組み方によって異なった構造特性を示す。この巨視的に捉えたときの剛性・強度を有効剛性・有効強度と呼ぶ。連続体的取り扱いによる方法を用いることで、構造ユニットの組み方の違いにより異なる構造特性を示す構造物全体の力学的性状を把握することができる。有効剛性については連層耐震壁付ラーメン¹⁾、二層立体トラス平板²⁾等に対して研究がなされている。有効強度についても、個材の弾性座屈で定まる有効強度の一般的な誘導法が日置により示されている³⁾。そこで本研究では、三方向平面ラチス構造を外殻に採用したチューブ構造（ラチス・トラス・チューブ構造）を三方向平面ラチス構造の有効剛性を用いて連続体に置換し、数値解析結果よりその精度を明らかにし、有用性の検討を行うことを目的とする。まず、三方向平面ラチス構造の有効剛性を算出し、その際に有効強度の算出も行う。そして算出し

た有効剛性を用いてラチス・トラス・チューブ構造を連続体に置換し、全部材をモデル化したフレームモデルと連続体モデルの力学的性状を数値解析により明らかにし、比較を行う。

2. 有効剛性及び有効強度

2.1 有効応力と個材軸力の関係式

三方向平面ラチス構造を巨視的にひとつの平板として捉え、シャイブとしての応力を有効応力と呼び、個材軸力と有効応力を図1のように定義すると、三方向平面ラチスの個材軸力と有効剛性は式(1)、(2)で表される。本研究では $\theta = 45^\circ$ 、 60° 、 75° の3種類を取り扱うとし、それぞれの個材軸力と有効応力の関係は

$$T_n = A_n E_n (\epsilon_{11} \cos^2 \theta_n + 2\epsilon_{12} \cos \theta_n \sin \theta_n + \epsilon_{22} \sin^2 \theta_n) \quad (1)$$

$$\begin{Bmatrix} N_x \\ N_{xy} \\ N_y \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} D^{11} & 0 & D^{12} \\ 0 & D^{12} & 0 \\ D^{12} & 0 & D^{22} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \epsilon_x \\ \gamma \\ \epsilon_y \end{Bmatrix} \quad (2)$$

$$D^{11} = \frac{EA_1}{l \sin \theta} + \frac{2EA_2 \cos^4 \theta}{b \sin \theta} \quad D^{12} = \frac{2EA_2}{b} \cos^2 \theta \sin \theta \quad D^{22} = \frac{2EA_2}{b} \sin^3 \theta$$

$$\epsilon_x = \epsilon_{11} \quad \gamma = 2\epsilon_{12} \quad \epsilon_y = \epsilon_{22}$$

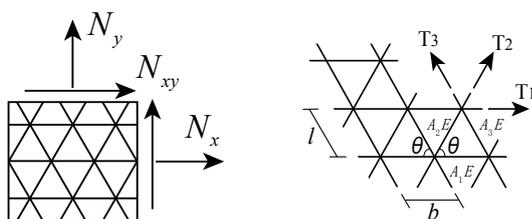


図1 有効応力と個材軸力

$$\begin{matrix} \theta = 45^\circ \text{ の場合} & \theta = 60^\circ \text{ の場合} \\ \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{\sqrt{2}b} \begin{bmatrix} 2\sqrt{2} & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} & \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{3}l} \begin{bmatrix} 4 & 1 & 1 \\ 0 & 3 & 3 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} \end{matrix} \quad (3) \quad (4)$$

$$\theta = 75^\circ \text{ の場合} \\ \begin{Bmatrix} N_x \\ N_y \\ N_{xy} \end{Bmatrix} = \frac{1}{2\sqrt{2}b} \begin{bmatrix} 4\sqrt{2}(2-\sqrt{3}) & 2(3\sqrt{3}-5) & 2(3\sqrt{3}-5) \\ 0 & \sqrt{3}+1 & \sqrt{3}+1 \\ 0 & \sqrt{3}-1 & -(\sqrt{3}-1) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T_1 \\ T_2 \\ T_3 \end{Bmatrix} \quad (5)$$

式(3)-(5)となる。式中ではヤング係数Eはすべて等しい、また斜材は同一断面であり $A_2 = A_3$ 、として扱っている。

2.2 算出手順

有効強度を「全体座屈変形なしに個材の弾性座屈で定まり、かつ境界条件の影響を受けない理想的な一様応力状態における巨視的な強度を連続体形式で表現したもの」と定義する。個材の弾性座屈とは、座屈モードが少数の構造単位に現れる同じ不安定モードユニットの繰り返しで表せるような弾性座屈のことである。また一様応力状態とは、各構造単位がすべて同じ応力状態にあることをいう。具体的な算出手順としては、対象とする構造ユニットが一様応力状態になるように節点荷重を調整し、そのとき生じている個材軸力を式(3)-(5)に代入し、有効応力を算出する。その有効応力を有効強度としてプロットすることで有効強度面を描く。

2.3 解析条件

取り扱う解析モデルを θ により45型、60型、75型とし、形状及び寸法を図2に示す。モデルの中心の三角形6個で構成される六角形を1ユニットとして、その周りに2ユニット目、3ユニット目を囲うように設ける。すべてのモデルで軸力 T_1 の作用する梁材の長

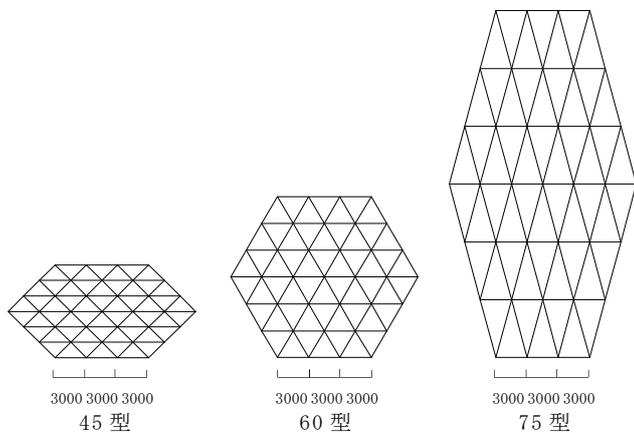


図2 解析モデル形状及び寸法

表1 断面諸元

部材	部材長さ (mm)	断面寸法 (mm)	断面積 (mm ²)	断面2次モーメント (mm ⁴)	ヤング係数 (N/mm ²)	細長比
梁材	3000.0	φ114.3×4.5	1552	234×10 ⁴	2.05×10 ⁵	77.3
斜材	45型 2121.3					54.6
	60型 3000.0					77.3
	75型 5795.6					149.3

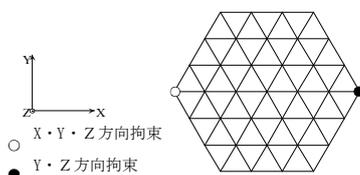


図3 境界条件(60型)

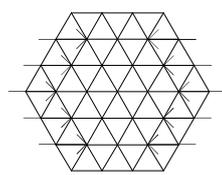


図4 荷重条件(60型)

さを3000mmに揃えている。全モデル同一断面とし、部材の断面諸元を表1に示す。なお接合部の剛性と強度が十分にあるものとし、部材間の接合はすべて剛接合とする。

荷重条件、境界条件を図3、図4に示す。荷重条件は、有効強度の定義では座屈モードは繰り返しモードとなるので、繰り返し状態を再現するため、2ユニットで一様応力状態となるように2ユニット目から載荷する。図中の荷重条件は N_x のみが作用している応力状態を作り出す場合のものである。また有効強度の理論では境界条件のない無限遠を取り扱っているので、解析を行うにあたって境界条件の影響を出来るだけ小さくするため、境界条件は3ユニット目の両端に設ける。両端の一方をピン支持、もう一方をローラー支持とする。残りの全節点を変位はZ方向だけを拘束し、回転はZ軸回り以外を拘束する。

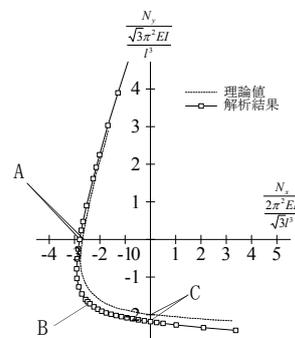


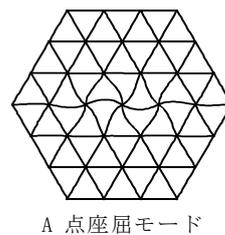
図5 N_x - N_y 強度面(60型)

表2 A点解析値及び理論値

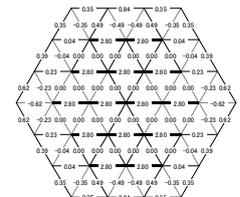
	N_x	N_y
数値解析値	-2.80	0
理論値	-2.69	0
数値解析値/理論値	1.04	

表3 C点解析値及び理論値

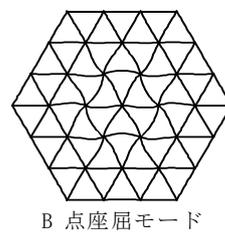
	N_x	N_y
数値解析値	0	-2.18
理論値	0	-2.00
数値解析値/理論値		1.09



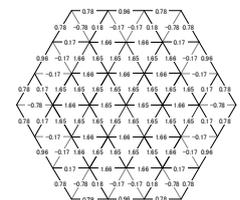
A点座屈モード



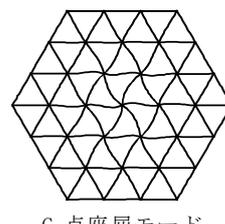
A点オイラー軸力比



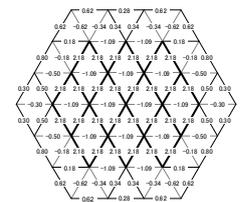
B点座屈モード



B点オイラー軸力比



C点座屈モード



C点オイラー軸力比

図6 座屈モード(×1)

図7 オイラー軸力比

2.4 解析結果

図5及び表2、表3に60型の理論値と解析結果をあわせて示す。また図6、図7に図5中に示すA点、B点、C点の座屈モード及びオイラー軸力比を示す。

N_x に関しては4%、 N_y に関しては9%の誤差で近似できている。誤差の理由は、理論との応力状態の違いと考えられる。理論では各ユニットで無限の繰り返し応力状態を仮定しているが、数値解析では有限の近似繰り返し応力状態となっており、応力が2ユニット目と3ユニット目では繰り返し状態となっておらず、またユニット間でもばらつきがある。これは理論とは違い境界条件が設けられていることも理由と考えられる。

解析結果より得られた各モデルの3つの有効強度面からなる3次元化した有効強度面を図8-10に示す。グラフの3軸は N_x 、 N_y 、 N_{xy} をそれぞれ梁材、斜材、斜材のピン節トラスにおけるオイラー座屈で定まる有効強度で無次元化してあり、モデルにより無次元化係数が異なっている。

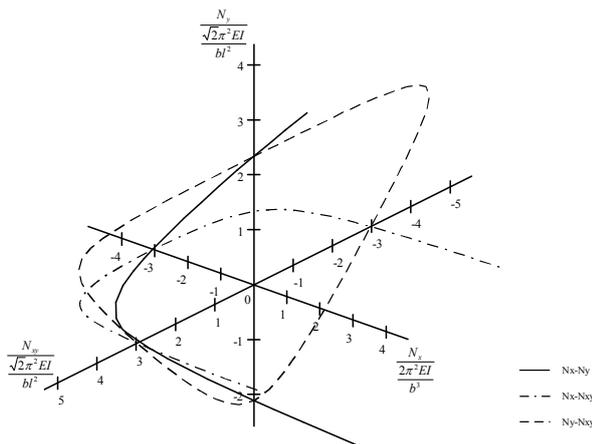


図8 Nx-Ny-Nxy 強度面(45型)

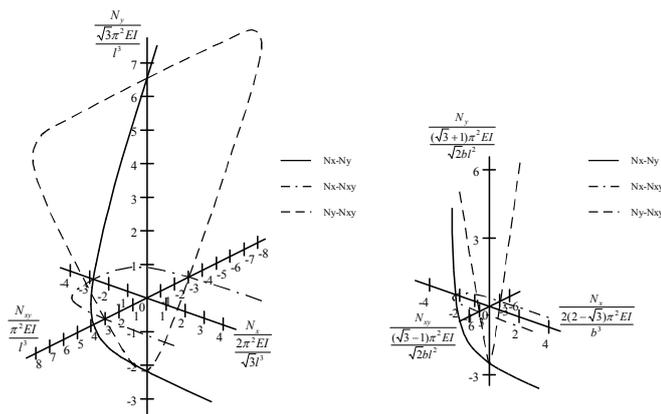


図9 Nx-Ny-Nxy 強度面(60型) 図10 Nx-Ny-Nxy 強度面(75型)

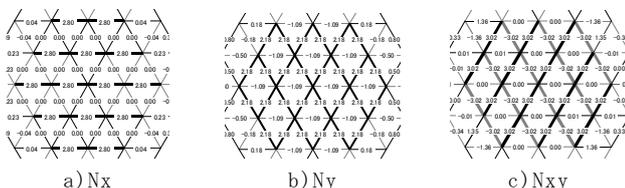


図11 オイラー軸力比(60型)

N_x - N_y 強度面では全モデルで斜材が座屈しているときには相関が弱く、梁材が座屈するときには強い相関が生じている。しかし45型、60型、75型と斜材の角度が立ち上がるにつれて、梁材が座屈するときの N_x と N_y の相関が弱くなっている。これは、 N_y のみを作用させた時は梁材には圧縮軸力が発生しているため N_y が N_x による梁材の座屈を促進する効果があり相関が生じるが、角度が立ち上がるにつれて、 N_y のみを作用させたときに梁材に発生する圧縮軸力の割合が小さくなることにより、 N_y の効果が小さくなり、相関が弱まったと考えられる。図11にそれぞれ N_x のみ、 N_y のみ、 N_{xy} のみを作用させた時の応力状態を示す。 N_y - N_{xy} 強度面では、 N_y と N_{xy} はどちらも斜材に軸力を発生させお互いに斜材の座屈を促進するため相関があるが、角度の立ち上がりによって N_y の影響が大きくなっている。 N_x - N_{xy} 強度面では全モデルに共通して、 N_x と N_{xy} にほとんど相関がないことがわかる。 N_x は梁材にのみ軸力を発生させ、 N_{xy} は斜材にのみ軸力を発生させるので斜材、梁材のどちらが座屈するときも相関が弱いと考えられる。強度面は角度が立ち上がるにつれ N_{xy} 軸に対して薄くなり、 N_y 軸に対して細長く伸びていく傾向にあることがわかる。

3. 解析モデル概要

3.1 フレームモデル

外殻の三方向平面ラチス構造の斜材の角度 θ を45°、60°、75°とした3種類のモデルを取り扱い、それぞれ45f、60f、75fとする。全モデルとも平面形状が約30m×30m、高さを約150mとするアスペクト比が約5の高層建築である。網目形状による比較を容易にするために、三方向平面ラチス構造の3本の部材で囲まれた最小の三角形の面積を同じ値になるように全モデルで揃え、梁材の高さに各階の床があるものとする。その結果、斜材の角度の違いにより階高、階数がモデルごとに異なる。図12に解析モデルの形状及び寸法を示す。

各階に剛な床があり、平面形状が大きく変形しないことを模擬するため各階に剛床仮定を設定する。フレームモデルの斜材と梁材の交点に剛床仮定を設定すると斜材の応力が梁材に流れなくなり、実際の構造の挙動と異なる挙動を示すと考えられるため、交点から内部へ同一長さの梁材を伸ばし、その梁材の先端に剛床仮定を設定する。剛床仮定を設定した節点は、節点間において相対変位がないものとして扱っている。図13に平面寸法及び剛床仮定を設定した節点を●で示す。なお接合部の剛性と強度が十分にあるものとし、部材間の接合はすべて剛接合とする。使用部材は許容応力度設計を行い決定する。部材の断面諸元を表4に示す。

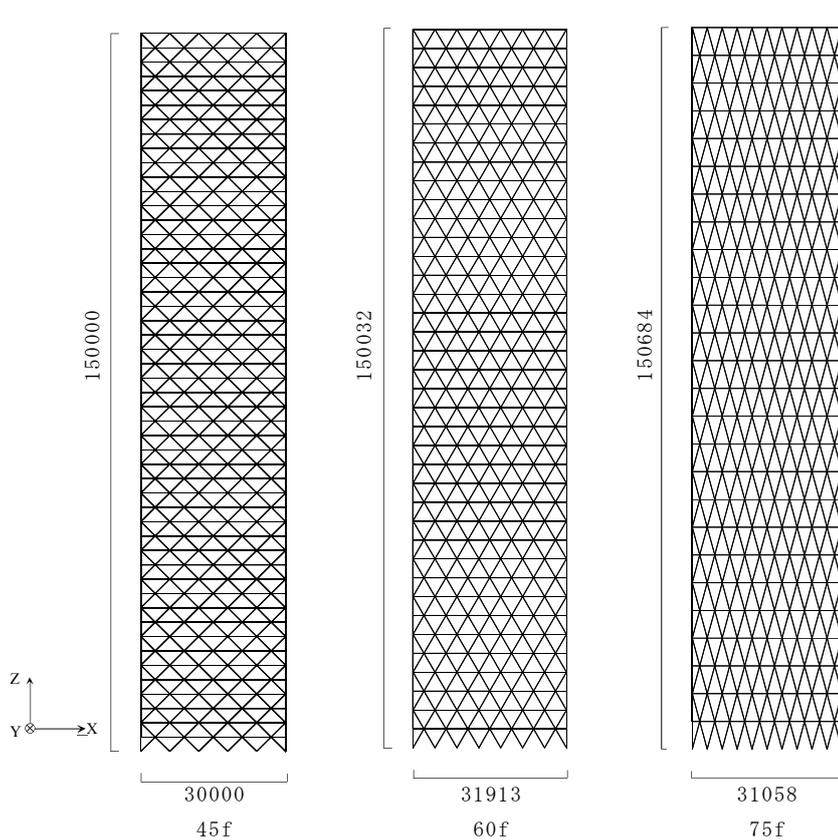


図 12 フレームモデル形状及び寸法

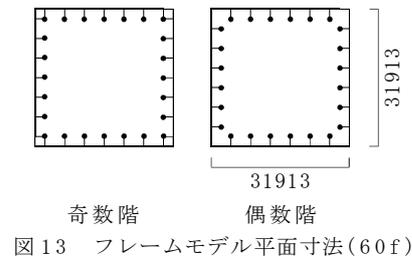


図 13 フレームモデル平面寸法(60f)

表 4 断面諸元

モデル	部材	部材長さ (mm)	断面寸法 (mm)	断面積 (cm ²)	断面2次モーメント (cm ⁴)	細長比
45f	梁材	6000	φ 355.6×9	98.0	1.47×10 ⁴	48.9
			φ 609.6×19	352.5	1.54×10 ⁵	28.7
			φ 914.4×50	1357.8	1.27×10 ⁶	19.6
	斜材	3000	φ 914.4×19	534.5	5.36×10 ⁵	9.5
			φ 914.4×22	616.8	6.14×10 ⁵	9.5
			φ 914.4×25	698.5	6.91×10 ⁵	9.5
φ 914.4×40			1098.8	1.05×10 ⁶	9.7	
φ 914.4×50			1357.8	1.27×10 ⁶	9.8	
60f	梁材	4559	φ 267.4×6	49.3	4.21×10 ³	49.3
			φ 318.5×6	58.9	7.19×10 ³	41.3
			φ 508×19	291.9	8.74×10 ⁴	26.3
	斜材	4559	φ 508×16	247.3	7.49×10 ⁴	26.2
			φ 508×19	291.9	8.74×10 ⁴	26.3
			φ 558.8×19	322.2	1.18×10 ⁵	23.9
φ 558.8×22			371.0	1.34×10 ⁵	24.0	
75f	梁材	3106	φ 190.7×4.5	26.3	1.14×10 ³	47.2
			φ 267.4×6	49.3	4.21×10 ³	33.6
			φ 355.6×9	98.0	1.47×10 ⁴	25.3
	斜材	6000	φ 190.7×6	34.8	1.49×10 ³	91.8
			φ 267.4×6	49.3	4.21×10 ³	64.9
			φ 318.5×8	78.0	9.41×10 ³	54.6
φ 355.6×9			98.0	1.47×10 ⁴	48.9	
			φ 355.6×12	129.5	1.91×10 ⁴	49.4
ヤング係数 E(N/mm ²)				2.05×10 ⁵		
せん断弾性係数 G(N/mm ²)				7.9×10 ⁴		
降伏応力度 σ _y (N/mm ²)				3.25×10 ²		

表 5 45c の剛性

階	断面積 (cm ²)	伸び剛性 (kN)	曲げ剛性 (kN・cm ²)	せん断剛性 (kN)
1-15	19202	3.94E+08	4.43E+14	1.97E+08
16-18	16272	3.34E+08	3.75E+14	1.67E+08
19-25	15539	3.19E+08	3.58E+14	1.59E+08
26	12143	2.49E+08	2.80E+14	1.24E+08
27,28	11011	2.26E+08	2.54E+14	1.13E+08
29-34	9878	2.03E+08	2.28E+14	1.01E+08
35	9647	1.98E+08	2.22E+14	9.89E+07
36	8954	1.84E+08	2.07E+14	9.18E+07
37	8954	1.84E+08	2.07E+14	9.18E+07
38-42	8723	1.79E+08	2.01E+14	8.94E+07
43	7792	1.60E+08	1.80E+14	7.99E+07
44-50	7559	1.55E+08	1.74E+14	7.75E+07

表 6 60c の剛性

階	断面積 (cm ²)	伸び剛性 (kN)	曲げ剛性 (kN・cm ²)	せん断剛性 (kN)
1-7	14531	2.98E+08	3.79E+14	1.49E+08
8	14235	2.92E+08	3.71E+14	1.46E+08
9-10	13939	2.86E+08	3.64E+14	1.43E+08
11	13791	2.83E+08	3.60E+14	1.41E+08
12	13642	2.80E+08	3.56E+14	1.40E+08
13-17	13494	2.77E+08	3.52E+14	1.38E+08
18	12987	2.66E+08	3.39E+14	1.33E+08
19	12480	2.56E+08	3.26E+14	1.28E+08
20	12227	2.51E+08	3.19E+14	1.25E+08
21	11973	2.45E+08	3.12E+14	1.23E+08
22-26	11719	2.40E+08	3.06E+14	1.20E+08
27	11247	2.31E+08	2.94E+14	1.15E+08
28	10932	2.24E+08	2.85E+14	1.12E+08
29-33	10617	2.18E+08	2.77E+14	1.09E+08
34	9690	1.99E+08	2.53E+14	9.93E+07
35	9227	1.89E+08	2.41E+14	9.46E+07
36-38	8995	1.84E+08	2.35E+14	9.22E+07

表 7 75c の剛性

階	断面積 (cm ²)	伸び剛性 (kN)	曲げ剛性 (kN・cm ²)	せん断剛性 (kN)
1-5	9337	1.91E+08	2.31E+14	6.87E+06
6	8882	1.82E+08	2.20E+14	6.54E+06
7	7520	1.54E+08	1.86E+14	5.53E+06
8	7293	1.49E+08	1.80E+14	5.37E+06
9,10	7066	1.45E+08	1.75E+14	5.20E+06
11	6921	1.42E+08	1.71E+14	5.09E+06
12	6489	1.33E+08	1.60E+14	4.78E+06
13	5768	1.18E+08	1.43E+14	4.24E+06
14,15	5624	1.15E+08	1.39E+14	4.14E+06
16	5417	1.11E+08	1.34E+14	3.99E+06
17	5003	1.03E+08	1.24E+14	3.68E+06
18	4382	8.98E+07	1.08E+14	3.22E+06
19-22	3554	7.29E+07	8.79E+13	2.62E+06
23	2614	5.36E+07	6.46E+13	1.92E+06
24-26	2509	5.14E+07	6.20E+13	1.85E+06

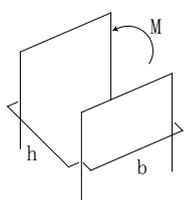


図 14 理想化断面

3.2 連続体モデル

有効剛性を用いて、フレームモデルを連続体モデルへと置換する。その際に、フレームモデルのラチス・トラス・チューブ構造を図 14 に示すように理想化断面とし、4 構面のうち荷重方向に直交する 2 面が曲げに抵抗するフランジ、荷重方向に平行な 2 面がせん断力に抵抗するウェブであると仮定する。式 (6) に示す関係より、フランジの伸び剛性からラチス・トラ

ス・チューブ構造全体の曲げ剛性を算出する。D₂₂ が巨視的に見たフランジの伸び剛性であり、κ、ε はそれぞれ曲げモーメント M を作用させた時の曲率、ひずみである。また、ウェブ 2 構面分のせん断剛性をラチス・トラス・チューブ構造全体のせん断剛性として扱う。各モデルの層ごとに算出した断面積、伸び剛性、曲げ剛性、せん断剛性を表 5-7 に示す。有効剛性は単位幅当たりの値で算出されるので、各モデルの幅を乗じた値を示している。伸び剛性は 4 構面の伸び剛性の合計としている部材の断面積はヤング係数を 2.05 × 10⁵ N/mm² とし、伸び剛性から求める。これらの剛性を用いて各モデルの 1 層を 1 本の部材としてそれぞれ連続体へと置換する。部材長さをフレームモデルの階高

$$EI\kappa = M$$

$$EA\epsilon h = M$$

$$\frac{2\epsilon}{h} = \kappa \quad EA = D_{22}$$

$$EI = \frac{D_{22}h^2}{2} \quad (6)$$

と同じとする。連続体に置換したモデルの名称をそれぞれ45c、60c、75cとする。

3.3 解析手法及び解析条件

教育用構造解析ソフトSPACE(Space frame Analysis package for Civil Engineers, researchers and students)を用いて幾何学的非線形を考慮した数値解析を行う。モデルの自重は部材重量及び各階の床重量を3kN/m²、積載重量を1.8kN/m²として計算し、フレームモデルでは支持節点・剛床仮定とした節点を除く上層の斜材と梁材が接合される全節点に、連続体に置換したモデルでは、支持節点を除く全節点に鉛直下向きに载荷する。質量は各節点の作用荷重を重力加速度(980cm/sec²)で除したものとし、節点集中型の質量として取り扱う。数値解析に使用する部材モデルは接合部を表す剛域、部材を表す梁要素、弾塑性ばねで構成されるモデルとし、数値解析を行う際は、部材中央部に節点を設けており、1部材2要素として取り扱っている。ただし、この節点には荷重及び質量は作用させない。境界条件は全モデルを最下層を固定とする。

4. 解析結果

4.1 静的挙動

図15-17に各モデルに自重とAi分布による地震水平荷重を载荷した際の各階の水平変位を示す。また図18に弾塑性解析の結果としてフレームモデルの最上

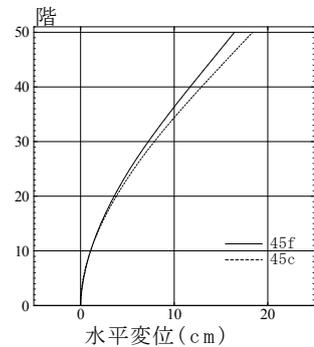


図15 $\theta = 45^\circ$

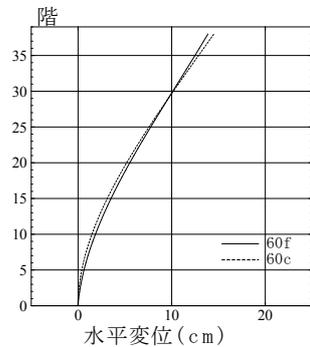


図16 $\theta = 60^\circ$

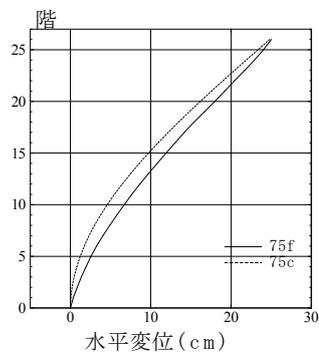


図17 $\theta = 75^\circ$

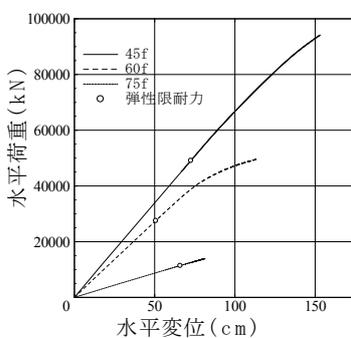


図18 荷重変形関係

表8 水平変位

モデル	フレームモデル δ_f (cm)	連続体モデル δ_c (cm)	δ_c/δ_f
45	16.44	18.38	1.12
60	13.87	14.51	1.05
75	25.03	24.82	0.99

表9 鉛直変位

モデル	フレームモデル δ_f (cm)	連続体モデル δ_c (cm)	δ_c/δ_f
45	7.37	7.24	0.98
60	6.17	6.12	0.99
75	7.52	7.50	1.00

階節点の荷重変形関係を示す。水平剛性は45fが最も高く、60f、75fの順であることがわかる。表8、表9にそれぞれフレームモデルと連続体に置換したモデルの最大水平変位と最上部の鉛直変位を示す。フレームモデルの鉛直変位は最上階の全節点の鉛直変位の平均とする。水平変位は99~112%、鉛直変位は98~100%の精度となっている。

4.2 固有振動性状

非減衰自由振動解析を行った結果、フレームモデルと連続体に置換したモデルのX方向、Z方向の有効質量比の大きいモードの上位5位までの固有周期を表10に示す。出力するモードは20次までとする。

X方向の有効質量比の大きいモードの固有周期は、全モデルで有効質量比が大きいモードほど精度が良い結果となっている。有効質量比の小さい下位のモードになると精度が悪くなり、特に45、60、75と斜材の角度が立ち上がるにつれてその傾向が強いことがわかる。75cは有効質量比1位のモードでは95%の精度だが、有効質量比5位のモードでは21%の精度とかなり短めの値となっている。しかし、Z方向の有効質量比の大きいモードについては、全モデルが全モードで約80%~105%の精度となっている。

表10 固有周期 (s)

モデル	有効質量比順位	X方向			Z方向		
		c	f	c/f	c	f	c/f
45	1	2.750	2.361	1.165	0.469	0.448	1.048
	2	0.530	0.554	0.958	0.185	0.176	1.049
	3	0.197	0.257	0.765	0.102	0.106	0.963
	4	0.111	0.164	0.675	0.062	0.076	0.806
	5	0.080	0.120	0.665	0.051	0.061	0.833
60	1	2.583	2.536	1.019	0.438	0.444	0.989
	2	0.442	0.629	0.703	0.156	0.157	0.996
	3	0.159	0.303	0.526	0.082	0.095	0.866
	4	0.094	0.204	0.461	0.068	0.068	0.991
	5	0.053	0.143	0.369	0.049	-	-
75	1	3.402	3.569	0.953	0.478	0.480	0.998
	2	0.635	1.175	0.540	0.186	0.187	0.997
	3	0.242	0.650	0.372	0.113	-	-
	4	0.124	0.463	0.268	0.082	-	-
	5	0.076	0.356	0.213	0.064	-	-

4.3 地震応答挙動

時刻歴地震応答解析を行う。地震波はEL CENTRO地震波のNS成分とTAFT地震波のEW成分の2種類を採用し、最大加速度を100galとしてX方向に入力する。入力する地震波にはこれらのデータの15秒間を用いる。非減衰自由振動解析の結果、有効質量比の大きい上位2つのモードに対して減衰定数を2%とする。

図19-21にEL CENTRO地震波の解析結果を示す。グラフの縦軸はモデルの階数を示しており、横軸はそれぞれ時刻歴応答解析を行った結果の各層の最大層間変形角、最大層せん断力、最大加速度、最大変位を示している。それぞれの結果は最大値をプロットしているため、生起時刻は同一ではない。表11-14にEL CENTRO地震波及びTAFT地震波の結果を示す。最大層せん断力は最下層、最大層間変形角と最大加速度は誤差が最

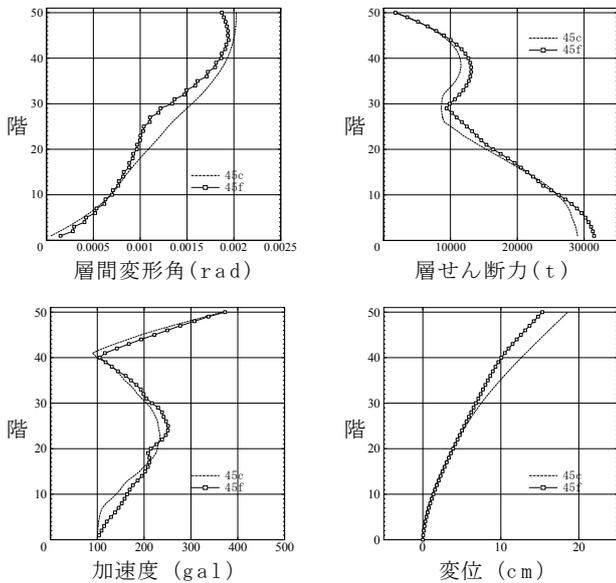


図19 45 動的挙動

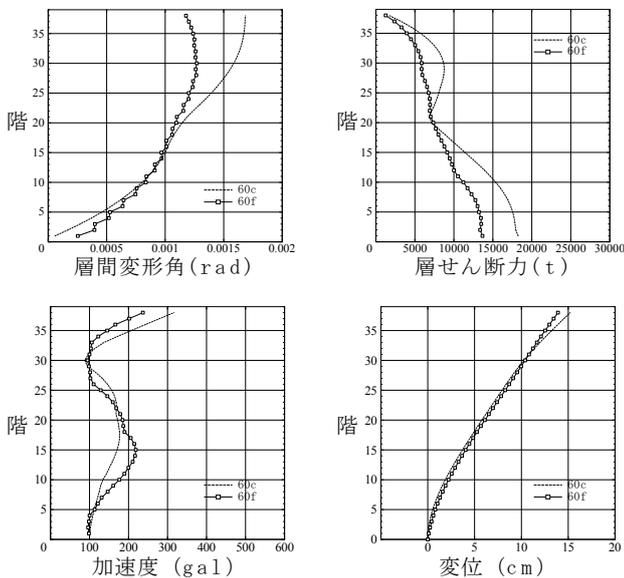


図20 60 動的挙動

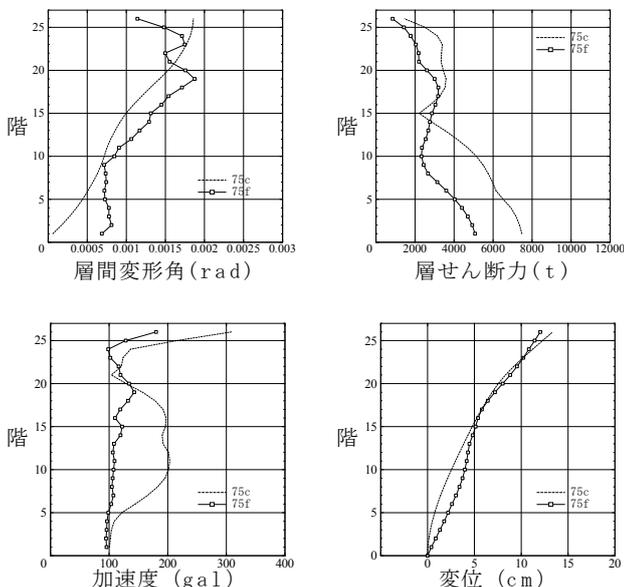


図21 75 動的挙動

表11 最大層間変形角(rad)

モデル	地震波	c	f	c/f
45	EL CENTRO	0.0014	0.0011	1.26
	TAFT	0.0008	0.0007	1.12
60	EL CENTRO	0.0017	0.0012	1.43
	TAFT	0.0014	0.0010	1.45
75	EL CENTRO	0.0018	0.0011	1.58
	TAFT	0.0013	0.0017	0.74

表12 最大層せん断力(t)

モデル	地震波	c	f	c/f
45	EL CENTRO	29017	31489	0.92
	TAFT	18406	20152	0.91
60	EL CENTRO	18244	13663	1.34
	TAFT	26205	15622	1.68
75	EL CENTRO	7478	5077	1.47
	TAFT	7684	4618	1.66

表13 最大加速度(gal)

モデル	地震波	c	f	c/f
45	EL CENTRO	225	209	1.08
	TAFT	176	140	1.26
60	EL CENTRO	243	166	1.46
	TAFT	332	136	2.44
75	EL CENTRO	201	106	1.89
	TAFT	149	100	1.50

表14 最大変位(cm)

モデル	地震波	c	f	c/f
45	EL CENTRO	18.59	15.32	1.21
	TAFT	10.30	9.75	1.06
60	EL CENTRO	15.20	13.90	1.09
	TAFT	9.39	8.67	1.08
75	EL CENTRO	13.36	12.03	1.11
	TAFT	13.25	14.31	0.93

も大きい層、最大変位は最上層の値を示している。変位は各モデルで93～121%の精度となったが、層間変形角などの結果では45cが最も精度が良く、60c、75cの順に精度が下がっている。これは連続体に置換する際にウェブ面の曲げ剛性を無視した為と考えられる。また剛床仮定の有無も精度に影響するのではないかと考えられる。さらに、水平剛性が低いとシアラグが発生するが、今回のように連続体に置換するとシアラグが考慮されないことも注意が必要である。

6. 結

(1) 数値解析により有効強度をNxに関しては4%、Nyに関しては9%の誤差で近似できた。三方向平面ラチスの有効強度面は、角度が立ち上がるにつれNxy軸に対して薄くなり、Ny軸に対して細長く伸びていく傾向にあることがわかる。

(2) フレームモデルの水平剛性は45f、60f、75fの順に高く、時刻歴応答解析の結果、最大加速度、最大層せん断力は斜材の角度が立ち上がるにつれて大きい値となった。

(3) 連続体モデルは静的水平変位は99～112%、静的鉛直変位は98～100%の精度で近似できた。固有振動性状については連続体モデルは有効質量比が大きいモードほど精度が良く、Z方向の有効質量比の大きいモードについては、全モデルが全てのモードで約80%～105%の精度で近似できた。また地震応答性状については45cが最も精度良く挙動を近似できており、60c、75cの順に精度が下がっている。

参考文献

- 1) 日置興一郎, 坂 壽二, 那谷晴一郎, 安岡 章: 高層トラス架構の連続体的弾塑性解析 その1. 有効剛性, 日本建築学会近畿支部研究報告 18, 1978. 5, pp. 341-344
- 2) 日置興一郎, 坂 壽二: 立体トラス平板の解析-その1・有効剛性と方程式-, 日本建築学会論文報告集 157, 1969. 3, pp. 33-39
- 3) 日置興一郎: 個材の弾性座屈で定まる剛節ラチス構造の有効強度, 日本建築学会論文報告集 325, 1983. 3, pp1-8

討 議 等

◆討議 [大内一 教授]

連続体置換の研究のようなのでタイトルの「性能評価に関する～」は「性能評価のための～」の方が良いのでは。

◆回答：ご指摘ありがとうございます。今回の発表では連続体置換を主題としていたので、今後発表の機会があればその旨が伝わるようにしたいと思います。

◆討議 [大内一 教授]

地震応答解析を行っていますが、弾性範囲ですか、塑性域にはいかないのですか。

◆回答：解析は最大入力加速度を 100gal として弾性範囲を対象とし、弾性挙動の精度について検討しています。

◆討議 [谷池義人 教授]

- ①フレームモデルには床は入っていますか。
- ②剛床仮定を設定せずに解析をした方が、精度が良いのでは。
- ③ねじれは考えていますか。

◆回答：①フレームモデルでは各階の床レベルに剛床仮定を設定していますが、床は入っていません。②剛床仮定を設定しない場合は、フレームモデルの平面形状が大きく変形し、実際の構造物の挙動と異なると考えられたため、剛床仮定を設定しました。③連続体モデル、フレームモデルともに2次元解析を行い、ねじれは考慮していません。

◆討議 [吉中進 講師]

45°、60°、75° でモード形状や有効質量比の分布に差異はなかったですか。

◆回答：各モデルでモード形状に大きな差異は見られませんでした。有効質量比については、45°、60°、75° になるにつれ、Z方向の有効質量比の大きいモードが低次モードへと移っていましたが、20次までの有効質量比の合計に大きな差異は見られませんでした。

◆討議 [松村政秀 講師]

弾塑性までを考えると置換の方法は今のままで良いのですか。

◆回答：今回の結果では弾性範囲で誤差がみられたので、まずはその原因を把握したいと考えています。その後、同様の置換方法を用いて弾塑性の検討を行えるのではないかと考えています。

◆討議 [大内一 教授]

解析にかかる時間はどれくらい。今の PC の能力なら置換しなくても良いのでは。

◆回答：地震応答解析にフレームモデルでは1～3時間かかりますが、連続体モデルでは20～30秒間で終了します。解析時間に大きな差があり、連続体に置換する利点があると考えています。