

## 1.5層スペースフレームの力学特性に関する研究

### Shed Light on the Mechanical Characteristics of the 1.5-Layer Space Frames

九州工業大学 教授 陳 沛山

#### (研究計画ないし研究手法の概略)

1.5層スペースフレームは2層の節点と1層の弦材および斜材によって構成される最新構造システムであり、上弦材があれば下弦材が不要、下弦材があれば上弦材が不要である(図1)。本研究は、1.5層スペースフレームの形状パラメーターと静的・動的力学特性の関係、特に座屈性状及び構造耐力を明らかにし、その構造設計に資する情報を収集する。本研究は下記に示す計画で行った。

- 1) 関連調査研究：日本国内外において文献調査を行う。
- 2) 形状パラメーターと力学特性の関係：グリッド種類や形状寸法をパラメーターとして、応力分布、剛性の評価、構造耐力等の力学特性を分析し、形状設計に資する情報を収集する。構造耐力は、線形及び非線形解析、座屈解析を用いて求める。
- 3) 動的力学特性：グリッド種類や形状寸法パラメーター毎に解析モデルを作成し振動解析を行い、振動特性を把握すると共に実施設計のための地震力算出に資する情報をまとめる。
- 4) 試行設計：幾つの代表構造を選出し、試行設計を行い、その実現可能性や構造設計方法を検証する。
- 5) 研究成果のまとめ公表：貴財団へ報告する他、学術論文や国際会議、報告書や講習会等で公表する。

#### (実験調査によって得られた新しい知見)

##### (1)三方向と六角錐ユニット1.5層スペースフレームの静的力学解析

既往の研究では、1.5層スペースフレームを構成する様々な単位ユニットを提案した。本節では、図1に示すような三方向と六角錐ユニットを用いて構成した1.5層スペースフレームを対象としてその静的力学解析の結果を報告する。解析モデルは、平面、円筒、ドーム形状であり、スパンは30×30mとし、各部材はSS400に相当する鋼管、ヤング係数は $2.05 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ 、部材断面は $\phi 200 \times 6.0$ とした。境界条件としては、平面モデルでは周辺下層節点にX方向を二辺ピン支持、Y方向を二辺ピン支持、4辺ピン支持の3通り、円筒モデルでは周辺上層節点にX方向を桁ピン支持、Y方向を妻ピン支持、4辺ピン支持の3通り、ドームモデルでは周辺上層節点支持、周辺下層節点支持の2通りである。

ライズスパン比とデプスグリッド比を形状パラメーターとし、力学特性との関係を調べた。三方向ユニットでは図2、六角錐ユニットでは図3のような関係を示した。

形状パラメーターと鉛直変位の関係は、三方向と六角錐ユニットで似た関係を示した。ライズスパン比とデプスグリッド比は共に途中から変化が少なくなるため、それぞれ0.13~0.21、0.5~0.75で設計すると有利である。また、妻支持ではライズスパン比を上げると変位が小さくなる。

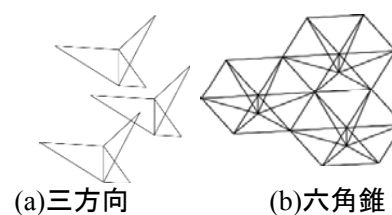


図1 単位ユニット

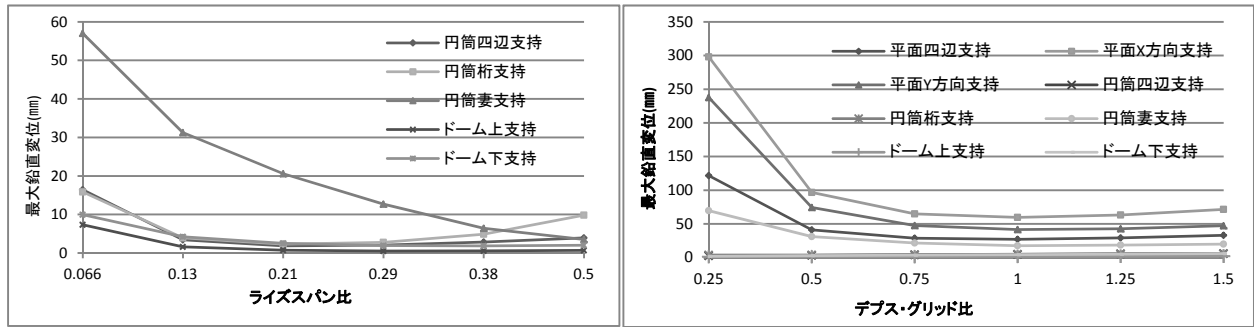


図2 三方向ユニットの形状パラメーターと鉛直変位の関係

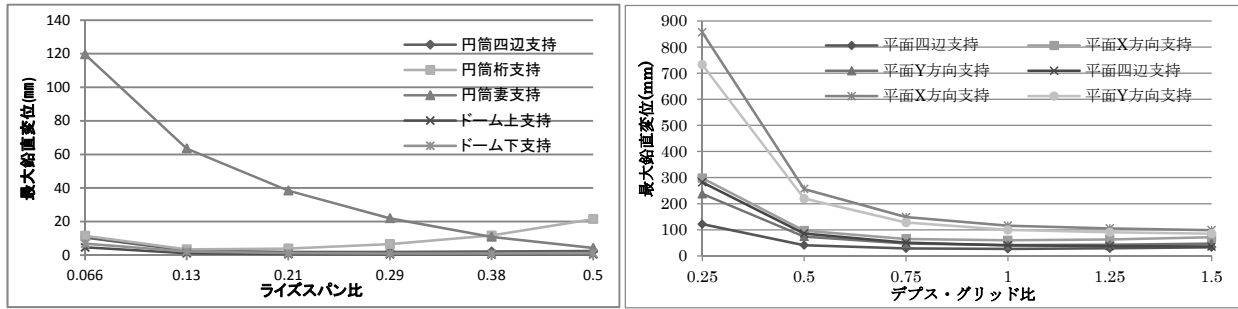


図3 六角錐ユニットの形状パラメーターと鉛直変位の関係

## (2) 交差型円筒形1.5層スペースフレームの動的特性

円筒型交差型1.5層スペースフレームに対して、弾性範囲内での動的解析を行い1.5層スペースフレームの動的特性について考察した。解析モデルは、50m×50mの円筒形交差型1.5層スペースフレームで、ライズスパン比は0.172である。既往の研究により、円筒形モデルについては、震度法を用いて一次設計まで済まされたモデルがあり、また、静的地震荷重の算出に資する情報等を提供するため、それと同一のモデルを用いて、減衰率を2%として弾性時刻歴応答解析を行った。

振動解析の入力波はエルセントロ波、タフト波、八戸波、神戸波の4つを用いた。弾性範囲内の解析のため、入力波の最大加速度は、中小地震のレベルとして、最大速度が25kineとなるように換算したものをを用いた。エルセントロ波を例として、各方向において時刻歴中最大の加速度を生じた方向の加速度分布を図5および図6に示す。また、各方向のモデルの最大加速度を表1に示す。

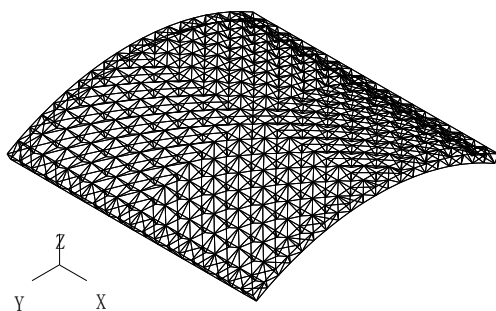
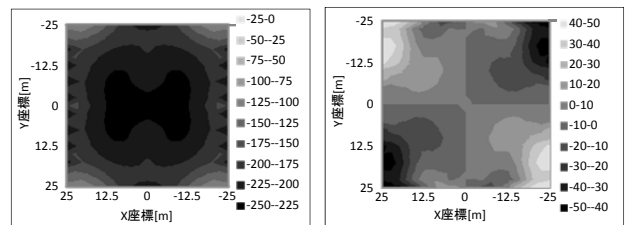
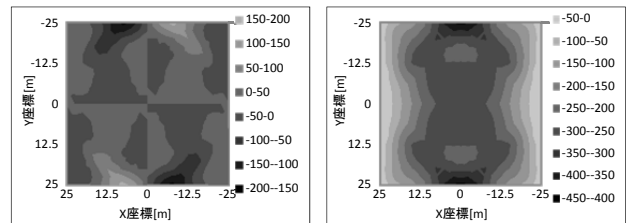


図4 動的解析モデル



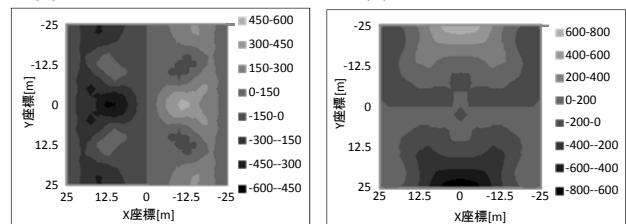
(a)X方向加速度分布

(a)X方向加速度分布



(b)Y方向加速度分布

(b)Y方向加速度分布



(c)Z方向加速度分布

(c)Z方向加速度分布

図5 X方向加振時加速度

図6 Y方向加振時加速度

(単位: gal)

(単位: gal)

鉛直方向の最大加速度は水平加振方向の最大加速度よりも大きい。加速度を980galで除した値を静的地震荷重の震度に相当するものと考え、最大鉛直震度は0.78となり、中小地震に対して用いられる0.35の2倍以上の値となる。また、図5(c)、図6(c)に示した分布から、加速度がモデル中最大以外の点についても同様の換算を用いた場合、0.35を超える点は複数現れることがわかる。

表1 各方向の最大加速度(gal)

	X方向加振	Y方向加振
X方向加速度	236	96
Y方向加速度	168	454
Z方向加速度	503	764

### (3) 交差型円筒形1.5層スペースフレームの座屈耐力について

円筒形1.5層スペースフレームを対象に、開角、束材長さ、グリッド分割数、鋼材太さをパラメーターとして線形・非線形座屈特性を調査した。解析モデルは、図7に示すような交差型円筒形モデルである。使用する鋼管は、ヤング率  $2.05 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$  とし、厚さを6mmで一定とする。支持部は上側とし、節点は支持部も含め全てピン接合とする。

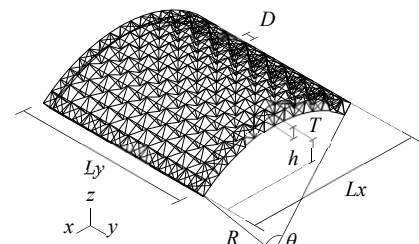


図7 交差型円筒形モデル

線形解析の結果を図8に示す。スパン  $40 \times 40 \text{ m}$ 、グリッド  $2500 \text{ mm}$ 、鋼管太さ  $\phi 100 \text{ mm}$  とし、ライズスパン比

$h/L: 0.02 \sim 0.50$ 、デブスグリッド比  $T/D: 0.1 \sim 1.5$  を形状パラメーターとした。いずれの支持方法においても、座屈耐力は十分に大きな値を示している。桁支持の場合、妻支持よりも5倍程度大きな値を示した。全体的に  $T/D$  と  $h/L$  の値が大きくなると座屈耐力も大きくなる傾向を示すが、桁支持の  $h/L$  に注目するとピーク値は  $h/L=0.29$  (開角  $120^\circ$ ) となり、

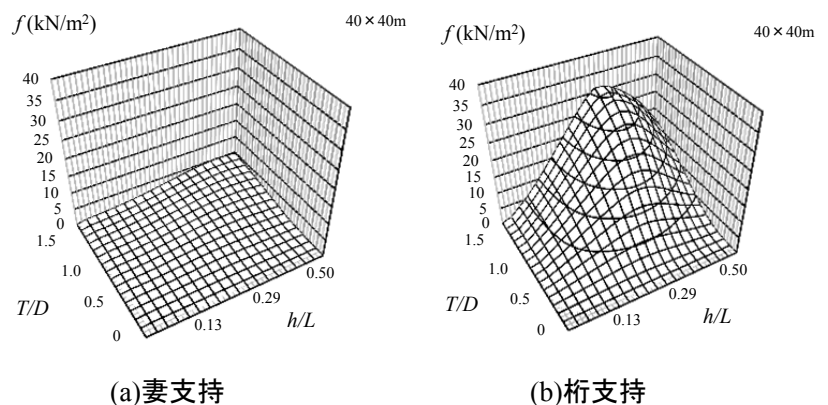


図8 線形座屈荷重係数分布

それ以降は座屈耐力が下がる。

図9はスパン  $40 \times 40 \text{ m}$  で固定し、グリッド分割数を変化させた妻支持の場合の座屈荷重耐力の分布である。分割数が減ると座屈耐力は大きくなる。部材長さを長くすると局部座屈に対して弱くなるが、全体座屈を考慮すると、部材長さを長く、全体の部材数を少なくすることが、座屈耐力の向上に有利に働くものと考えられる。

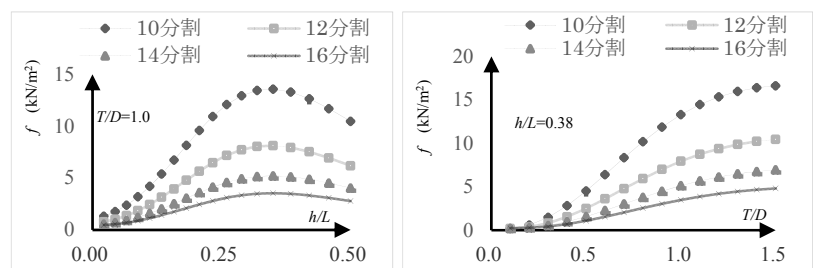


図9 グリッド分割数と座屈耐力関係

#### (4) 正方向交差型とLAP型の1.5層スペースフレームの構造試行設計

50mスパンの交差型とLAP型の1.5層スペースフレームについて1次設計を行った。屋根のみのモデルと柱付きモデルについて、表2、表3に構造設計の結果を示す。また、柱付きのモデルを図10に示す。

正方向の円筒形1.5層スペースフレームについて、スパン50m×50mの場合、いずれの支持条件の場合においても実用されている常通の部材を用いた構造設計が可能であることが示された。

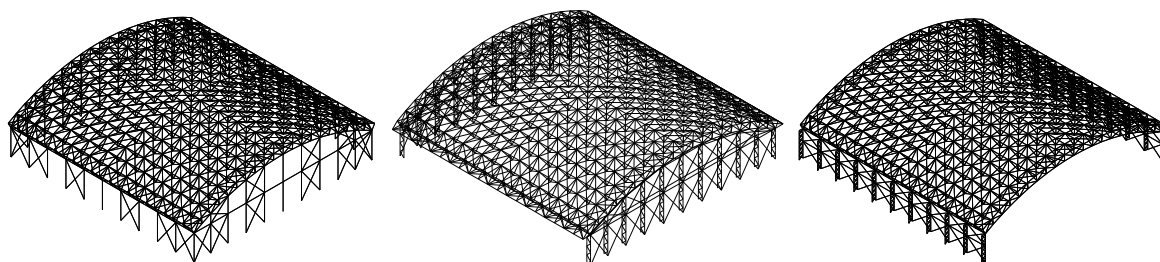


図10 柱付き設計モデル

表2 設計結果(屋根)

		交差型	Lap型
桁支持			
鋼材の固定荷重		126.60N/m <sup>2</sup>	148.80N/m <sup>2</sup>
長期固定荷重		400.00N/m <sup>2</sup>	400.00N/m <sup>2</sup>
最大鉛直変位と スパンの比	長期	1/832	1/769
	短期	1/660	1/664
妻支持			
鋼材の固定荷重		144.14N/m <sup>2</sup>	168.37N/m <sup>2</sup>
長期固定荷重		400.00N/m <sup>2</sup>	400.00N/m <sup>2</sup>
最大鉛直変位と スパンの比	長期	1/635	1/921
	短期	1/495	1/748
四辺支持			
鋼材の固定荷重		129.05N/m <sup>2</sup>	144.58N/m <sup>2</sup>
長期固定荷重		400.00N/m <sup>2</sup>	400.00N/m <sup>2</sup>
最大鉛直変位と スパンの比	長期	1/980	1/985
	短期	1/780	1/816

表3 設計結果(柱付き)

		交差型	Lap型
桁支持			
全架構の固定荷重		133.20N/m <sup>2</sup>	144.79N/m <sup>2</sup>
長期固定荷重		400.00N/m <sup>2</sup>	400.00N/m <sup>2</sup>
最大鉛直変位と スパンの比	長期	1/594	1/499
	短期	1/501	1/402
妻支持			
全架構の固定荷重		156.83N/m <sup>2</sup>	178.02N/m <sup>2</sup>
長期固定荷重		400.00N/m <sup>2</sup>	400.00N/m <sup>2</sup>
最大鉛直変位と スパンの比	長期	1/306	1/408
	短期	1/211	1/313
四辺支持			
全架構の固定荷重		135.82N/m <sup>2</sup>	137.77N/m <sup>2</sup>
長期固定荷重		400.00N/m <sup>2</sup>	400.00N/m <sup>2</sup>
最大鉛直変位と スパンの比	長期	1/444	1/451
	短期	1/356	1/362

#### ( 発 表 論 文 )

- ・ 新宅駿登, 陳沛山, 「三方向と六角錐ユニットの1.5層スペースフレームの静的力学特性に関する基礎研究」, 日本建築学会研究報告 九州支部(CD-ROM), 第56号, No223, 2017
- ・ 奥田直輝, 陳沛山, 「円筒形交差型1.5層スペースフレームの動的特性に関する基礎研究」, 日本建築学会研究報告 九州支部(CD-ROM), 第56号, No224, 2017
- ・ 野口怜, 陳沛山, 「交差型の円筒形1.5層スペースフレームの座屈耐力と幾何学特性の関係に関する基礎研究」, 日本建築学会大会学術講演梗概集(2017)
- ・ 野口怜, 陳沛山, 「正方向の交差型とLAP型の円筒形1.5層スペースフレームの構造設計に関する基礎研究」, 日本建築学会研究報告 九州支部(CD-ROM), 第56号, No225, 2017