

## Cage System 構造耐力検討書

アルミトラス応力解析/断面検定  
(全長:28.54m/主材トラス4808@ 案)

2021年8月23日



日本セイフティー株式会社

- ・ 本資料は、参考資料として作成しております。
- ・ 使用の際は、内容の確認の上ご使用いただけますようお願いいたします。

## Cage system 主材検討

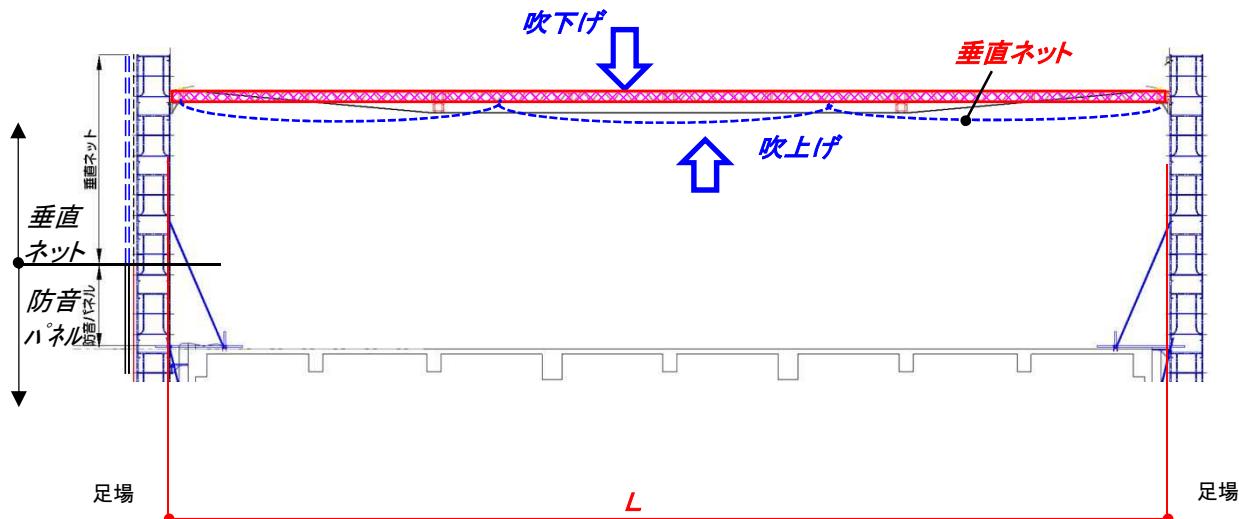
### 検討概要

Cage system について

本システムは建物最上部解体時におけるガラなどの飛散防止ネットを設置するための屋根部フレーム材となり、足場ブラケットにCage systemの主材であるトラスを載せるようにして設置します。

そのため、屋根部に生じる吹き下げ・吹き上げの風荷重に対し Cage system (アルミトラス) の耐力を確認します。

### Cage system 風荷重伝達概要図



- ・ Cage system は現場外周部に設置される足場にブラケットを設け、そのブラケットに □300アルミ トラスを載せて設置します。
- ・ Cage system は足場と水平方向のクリアがある事、ブラケットに載せるように設置される事より 水平方向の風荷重は足場にて負担し、鉛直方向の風荷重(吹上・吹下)を負担します。

∴ 上記内容について、Cage system 本体の耐力確認を実証試験など通して確認し、  
限界長さ  $L = 28.54m$  で耐力確保できる事を検証いたします。  
(長さ  $L$  については、28.54mとする事が困難な場合、実証試験などを通して部材耐力を  
見極め、限界長さ  $L$  を設定いたします。)

### 目次

(1).目標とする荷重値	p.1
(2).入力モデル	p.5
(3).応力解析結果	p.10
(4).断面検定	p.13
常時加力時断面検定(抜粋)	p.18
風圧吹上時加力時断面検定(抜粋)	p.26
風圧吹下時加力時断面検定(抜粋)	p.34

\*. 卷末の断面検定表について、全部材を出力すると、100頁／ケースとなるため、抜粋しております。  
なお、断面耐力確認は全部材行い、耐力不足していない事を確認しております。

## (1).目標とする荷重値

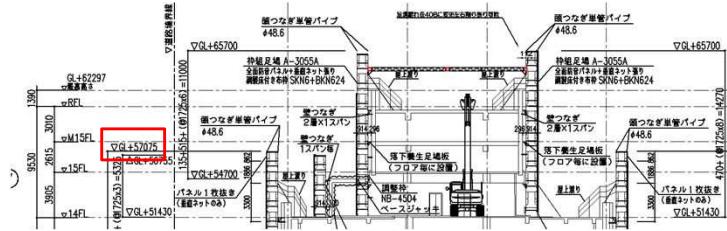
### ※準拠する基準

- ・(改訂) 風荷重に対する足場の安全技術指針
  - …解体工事中の仮設足場に対する検討である事から、上記基準に則り、荷重を算出いたします。
- ・検討するケース
  - 本案件において、もっとも高層建築となる”本館”をモデルケースとして、諸係数を算出いたします。

### (1)-1. 受風面積

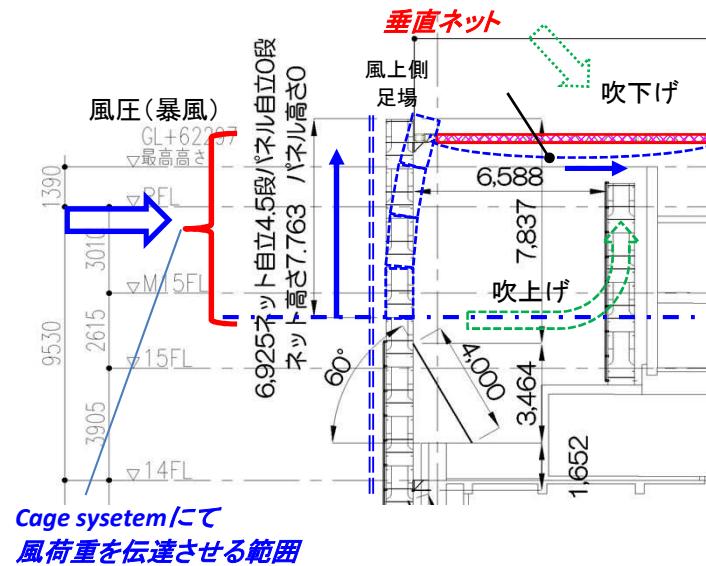
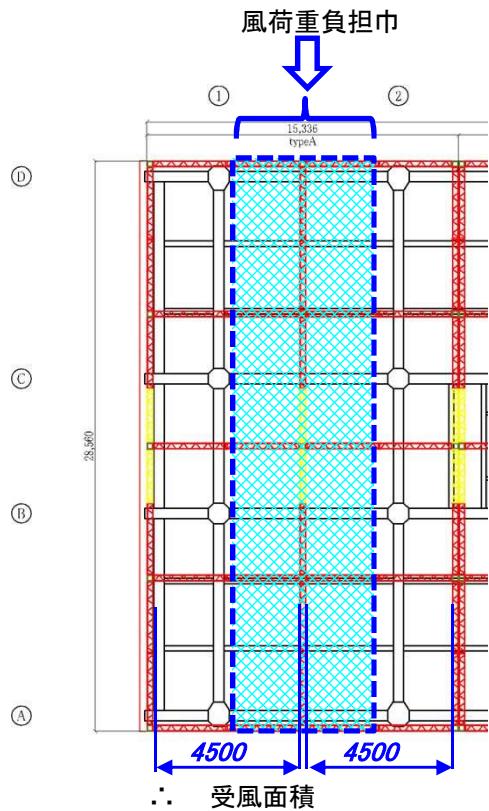
#### a. 建物/足場高さ

客先様資料の解体計画に  
「GL+57075」と記載あるため  
地上高さ  $Z = 57.1m$ として  
風荷重算出を行います。  
(塔屋解体後屋上部足場に設置と想定)



#### b. 想定される受風面積

…本館解体計画におけるCage systemの平面図より、中央部フレームが負担する範囲とします。  
また、高さ方向については現場様にて足場にヤラズを設置頂く物と仮定し以下のように考えます。



- ・水平方向風荷重について、Cage system と足場は接合部にスキマ(水平方向のクリア)があるため、基本的には負担しませんが、安全を考慮し以下に示す受け風面積を考慮して水平力(軸力)を算出します。

$$\text{負担巾: } B = 4500 : \text{Cage system桁行スパン}/1+308 = 4808 \text{ mm} \Rightarrow 4.81 \text{ m}$$

$$\text{負担高: } H = 1725 : \text{足場高さ} \times 4.5 : \text{段数} = 7762.5 \text{ mm} \Rightarrow 7.8 \text{ m}$$

$$\text{検討用:受風面積 } S = 4.81 \times 7.8 = 37.518 \text{ m}^2$$

### (1)-2. 風圧力

⇒「管理風速 : 17m/s」とする。

#### ・設計係数

「改訂 風荷重に対する足場の安全技術指針」による風速

$$V_o = 10 \text{ m/s}$$

$$k_e = 1$$

$$S = 1.31 \cdots Z = 57.075 : \text{大都市市街地として}$$

$$E_B = 1.3 \cdots \text{近接構造物有}$$

設計風速

$$V_z = 17.03 \text{ m/s}$$

## ・風力係数

$$C = (0.11 + 0.09 \gamma + 0.945 \cdot C_0 \cdot R) \cdot F$$

$$\phi_1 = 0.210 \quad \cdots \text{屋根用}$$

$$\phi_2 = 0.240 \quad \cdots \text{水平力用}$$

…水平力用(安全を考慮し、通常の垂直ネット充実率とした。)

$$\gamma_1 = 1 - \phi_1 = 0.790 \quad \cdots \text{屋根用}$$

$$\gamma_2 = 1 - \phi_2 = 0.760 \quad \cdots \text{水平力用}$$

$$C_{01} = 0.330 \quad \cdots \phi = 0.21 \text{より}$$

$$C_{02} = 0.390 \quad \cdots \phi = 0.24 \text{より}$$

$$R = 0.605 \quad \cdots \text{囲いが地上から立つ場合: } 2H/B = 2 \cdot 57.1 / 62.6 = 1.824 \text{ より}$$

$$F = 1.000 \quad \cdots \text{屋上突出部として}$$

$$C_1 = 0.370 \quad \cdots \text{風力係数: 地上設置の独立した壁として算出(屋根用)}$$

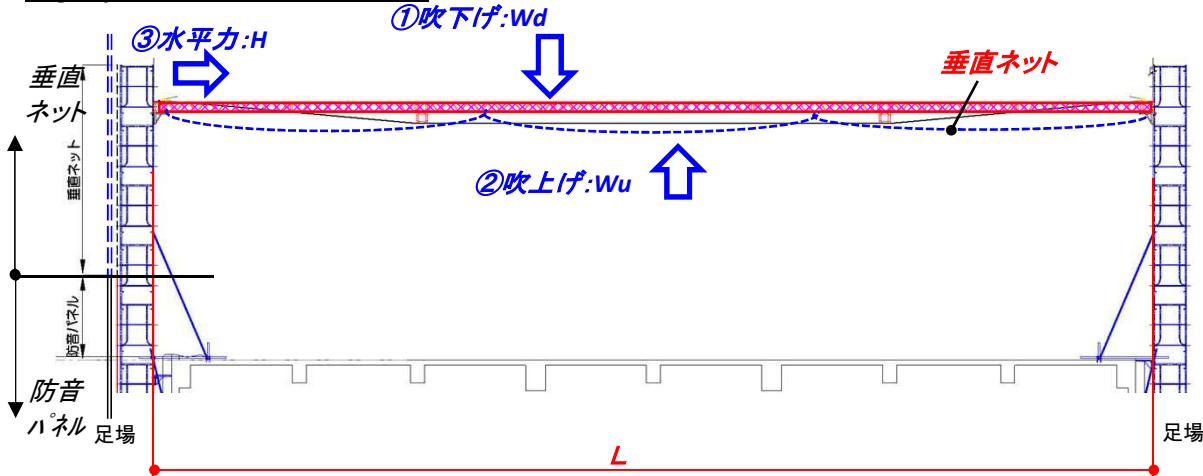
$$C_2 = 0.410 \quad \cdots \text{風力係数: 地上設置の独立した壁として算出(水平力用)}$$

## ∴ 風圧力

$$\text{吹上・吹下用風圧力: } pw_{ud} = 5/8 \cdot V_z^2 \cdot C_1 = 5/8 \cdot 17.03^2 \cdot 0.37 = 68 \text{ N/m}^2$$

$$\text{水平力用風圧力: } pw' = 5/8 \cdot V_z^2 \cdot C_2 = 5/8 \cdot 17.03^2 \cdot 0.41 = 75 \text{ N/m}^2$$

## Cage system 風荷重伝達概要図



## Cage system負担吹上、吹き下げ荷重:

### ①,② Cage system負担吹上、吹き下げ荷重:

※ 吹上吹下荷重は、水平方向風荷重の 13%を負担する物と想定します。(負担率はご指定値)

水平風荷重に対する吹上・吹下荷重比率:  $\alpha = 0.130$

$$\text{ネット重量: } m = 1.0 \text{ N/m}^2$$

$$\text{風荷重負担巾: } 4.8 \text{ m}$$

$$\text{吹上荷重: } Wu = (68-m) \cdot \alpha \cdot 4.81 : \text{負担巾} = 42 \text{ N/m} \Rightarrow 5 \text{ kg/m}$$

$$\text{吹下荷重: } Wd = (68+m) \cdot \alpha \cdot 4.81 : \text{負担巾} = 44 \text{ N/m} \Rightarrow 5 \text{ kg/m}$$

$$\text{③ Cage system負担用軸力: } H = 75 \cdot 37.518 \cdot 1 / 1000 = 2.9 \text{ kN} \Rightarrow 0.30 \text{ t}$$

## 4.1 足場の風力係数

足場の風力係数は、式(2.4)によって求めるものとする。

$$C = (0.11 + 0.09 \gamma + 0.945 C_0 \cdot R) \cdot F \quad (2.4)^*$$

ここに、 $C$ : 足場の風力係数

$\gamma$ : 第2構面風力低減係数で、 $\gamma = 1 - \phi$ とする。なお、第1構面のみ構成される足場においては、 $\gamma = 0$ とする。

$C_0$ : シート及びネットの充実率

$R$ : シート、ネットおよび防音パネル等の基本風力係数で、4.2項により求める。

$F$ : シート、ネットおよび防音パネルの植換比( $f_s$ 、 $f_n$ 、 $f_r$ 、 $f_f$ )による形状補正係数で、4.3項により求める。

$\phi$ : 建築物に併設された足場の設置位置による補正係数で、4.4項により求める。

### (1)-3. 自重など

○分布荷重 W

アルミトラス重量: 13.5 kg (3.6m材)

10.5 kg (2.7m材)

1mあたり重量:  $13.5\text{kg} / 3.6\text{m} = 3.75\text{kg/m}$

$10.5\text{kg} / 2.7\text{m} = 3.89\text{kg/m}$

自重:  $W_j = 3.75\text{kg/m} \cdot 1.05 \cdot 9.8 = 39 \Rightarrow 39 \text{ N/m}$

$3.89\text{kg/m} \cdot 1.05 \cdot 9.8 = 40 \Rightarrow 41 \text{ N/m}$

(BOLT等副資材考慮し、重量を1.05倍する)

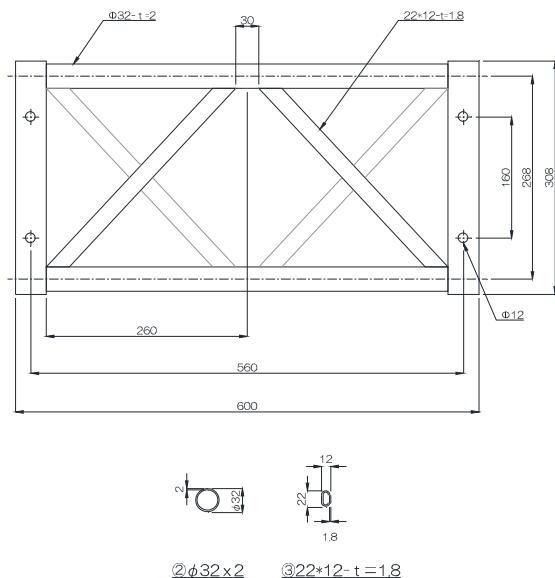
小梁(サブフレーム): 材長 = 4.5m のため 0.9m材+3.6m材の組合せと仮定し、

$W_{j,sub} = (13.5\text{kg} + 4.7\text{kg}) / (3.6\text{m} + 0.9\text{m}) \cdot 1.05 \cdot 9.8 = 42\text{N/m}$

$W_{j,sub} \cdot 4.5: \text{材長} \times 4.5 = 42 \cdot 4.5 = 189 \text{ N}$

※サブフレーム接続部サイド自重は別途考慮

### (1)-4. 入力荷重値



前述の荷重はトラス弦材に分布荷重として入力する。

弦材サイズ

Φ-32 × 2 (A6061-T6)

断面積  $A = 188.4 \text{ mm}^2$

断面係数  $Z = 1331.2 \text{ mm}^3$

断面2次モーメント  $I = 21299.9 \text{ mm}^4$

断面2次半径  $i = 10.6 \text{ mm}$

ラチスサイズ

Φ-12 × 22 × 1.8 (A6061-T6)

断面積  $A = 93.6 \text{ mm}^2$

#### A. 自重

…トラス主材は4本で構成されるため、荷重値を4分割入力する。(サイド重量: 5kgと仮定)

$$(3.6\text{m材})W_j = (39 + 1 \cdot 4.81) / 4 = 11 \text{ N/m} \rightarrow 0.11 \text{ N/cm} \quad \cdots \text{自重(ネット含む)}$$

$$(2.7\text{m材})W_j = (41 + 1 \cdot 4.81) / 4 = 11.5 \text{ N/m} \rightarrow 0.12 \text{ N/cm} \quad \cdots \text{自重(ネット含む)}$$

$$W_{jb} = 189 / 4 + 5 \cdot 9.8 / 4 = 60 \text{ N} \quad \cdots \text{小梁重量(集中荷重、接続部サイド含む)}$$

$$W_{jb1} = 189 / 4 + 5 \cdot 9.8 / 2 = 72 \text{ N} \quad \cdots \text{小梁重量(集中荷重、接続部サイド含む)} \\ \text{ワイヤー接続サイド部}$$

$$W_{jb2} = 5 \cdot 9.8 / 4 = 13 \text{ N}$$

#### B. 吹き上げ・下げ

…トラス主材は4本で構成されるため、荷重値を4分割入力する。

$$W_u = -68 \cdot 4.81 \cdot 0.13 / 4 = -11 \text{ N/m} \rightarrow -0.11 \text{ N/cm(鉛直上向き)}$$

$$W_d = 68 \cdot 4.81 \cdot 0.13 / 4 = 11 \text{ N/m} \rightarrow 0.11 \text{ N/cm(鉛直下向き)}$$

(ネット重量は別途考慮する)

#### C. 水平軸力

…トラス主材は4本で構成されるため、荷重値を4分割入力する。

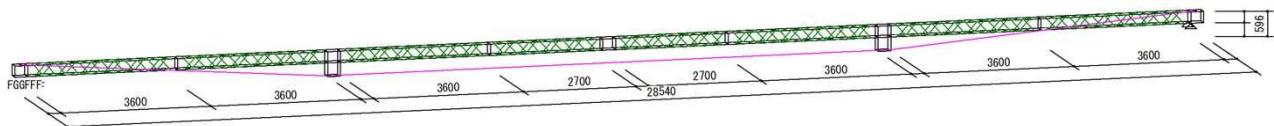
$$H_t = 2.9 \cdot 1000 / 4 = 725 \text{ N}$$

## (2).入力モデル

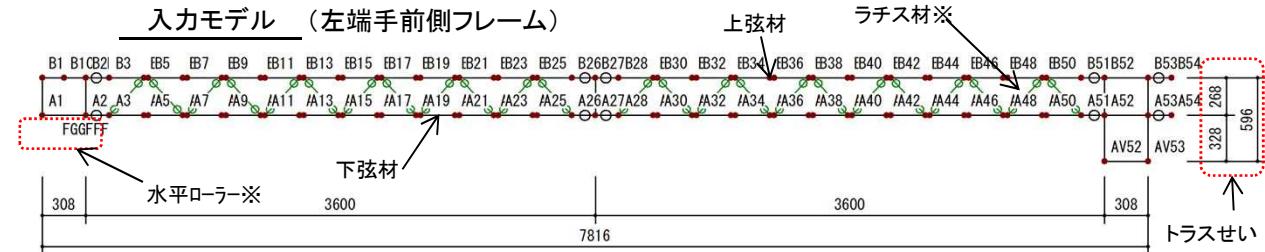
### (2)-1.モデル

…本件トラスはラチス材・ワイヤーが含まれた形状となるため、  
「任意形状立体フレーム弾性応力解析プログラム FAP-3」(構造システム社)  
を使用して応力解析を行い、耐力確認・挙動を確認します。

#### 入力モデル(全体)



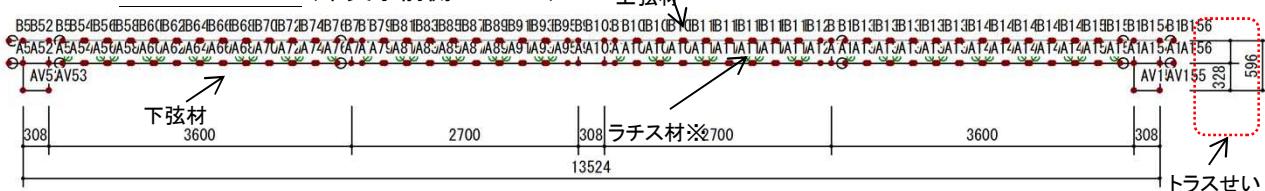
#### 入力モデル (左端手前側フレーム)



上弦材節点No. 左端:B1～右端:B54

下弦材節点No. 左端:A1～右端:A54

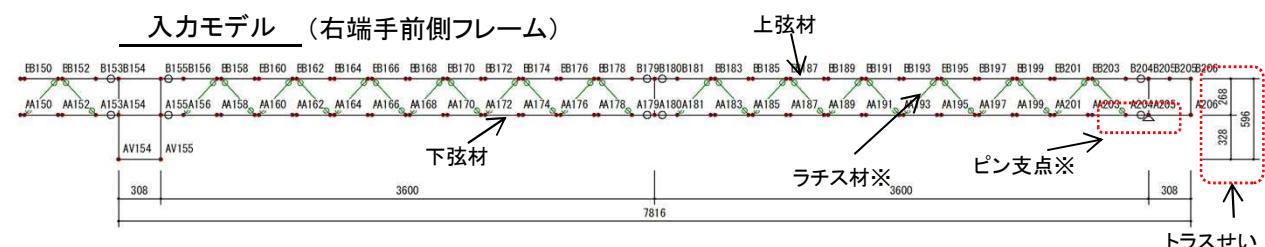
#### 入力モデル (中央手前側フレーム)



上弦材節点No. 左端:B51～右端:B156

下弦材節点No. 左端:A51～右端:A156

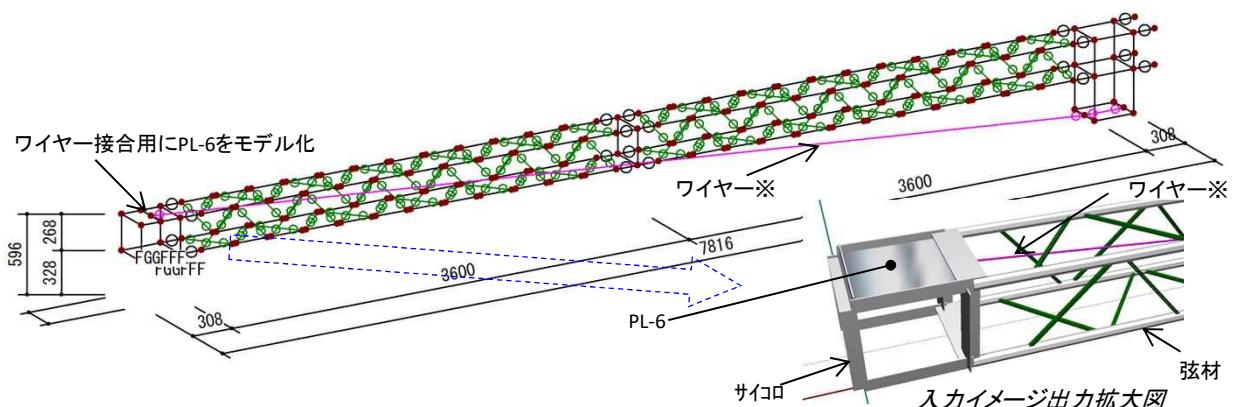
#### 入力モデル (右端手前側フレーム)



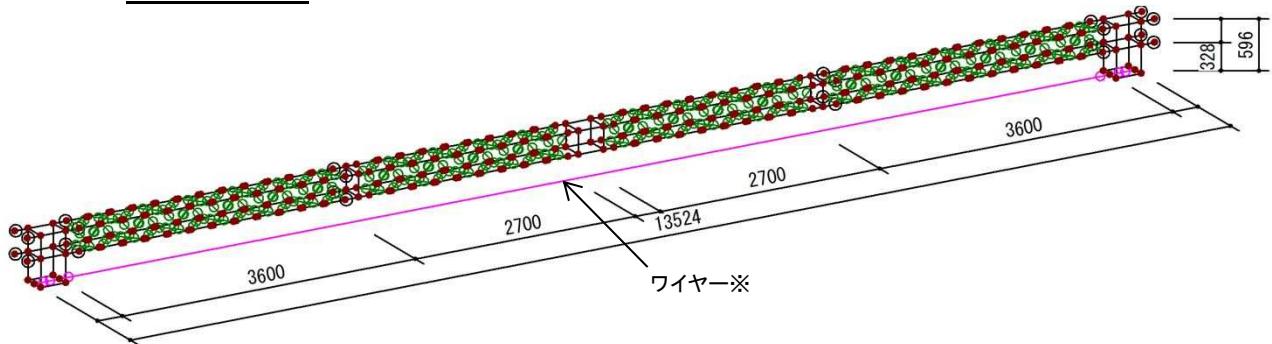
上弦材節点No. 左端:B152～右端:B206

下弦材節点No. 左端:A152～右端:A206

#### 入力モデル (左端フレーム…ワイヤー部)

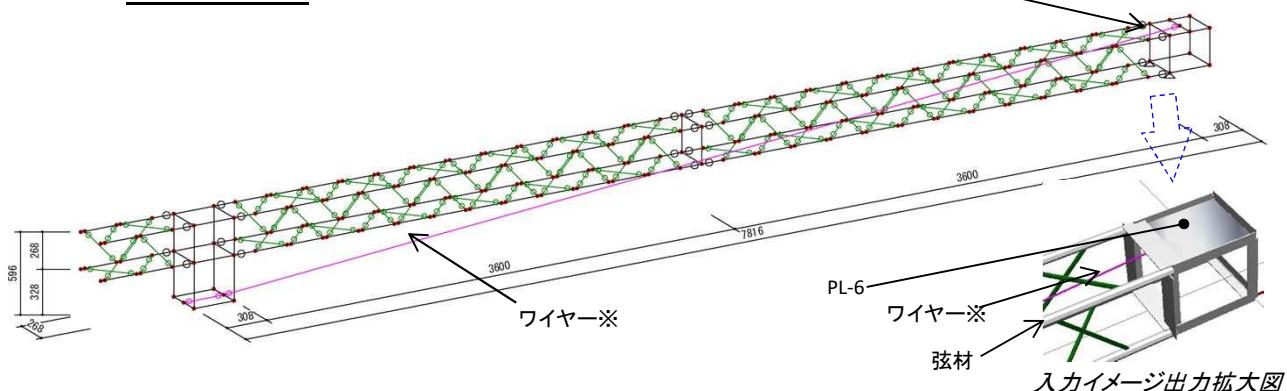


## 入力モデル（中央フレーム…ワイヤ一部）



入力モデル (右端フレーム…ワイヤ一部)

ワイヤー接合用にPL-6をモデル化



## 入力モデル（左端奥側フレーム）

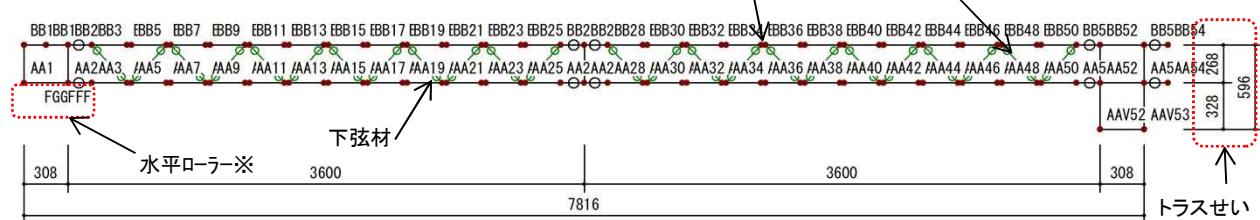
上弦材

ラチス材※

1

ワイ

## 入力イメージ出力拡大図

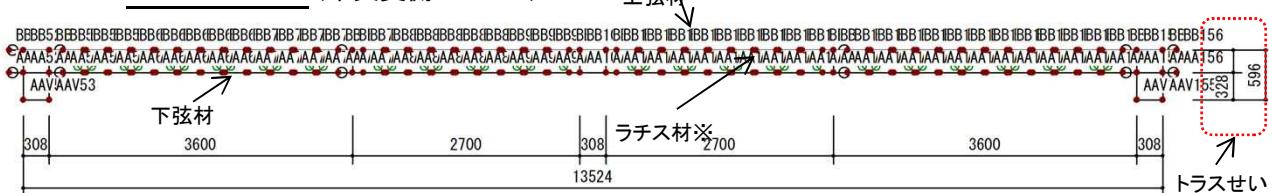


上弦材節点No. 左端:BB1～右端:BB54

下弦材節点No. 左端:AA1～右端:AA54

## 入力モデル (中央奥側フレーム)

上弦村

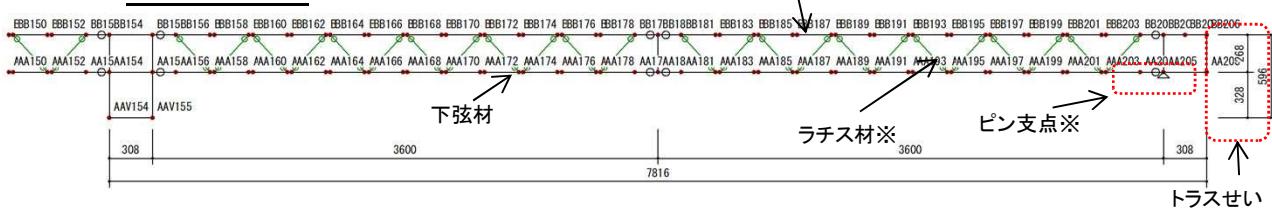


上弦材節点No. 左端:BB51～右端:BB156

下弦材節点No. 左端:AA51～右端:AA156

### 入力モデル (右端奥側フレーム)

## 上弦材



上弦材節点No. 左端:BB152～右端:BB206

下弦材節点No. 左端:AA152～右端:AA206

## モデル化について-1

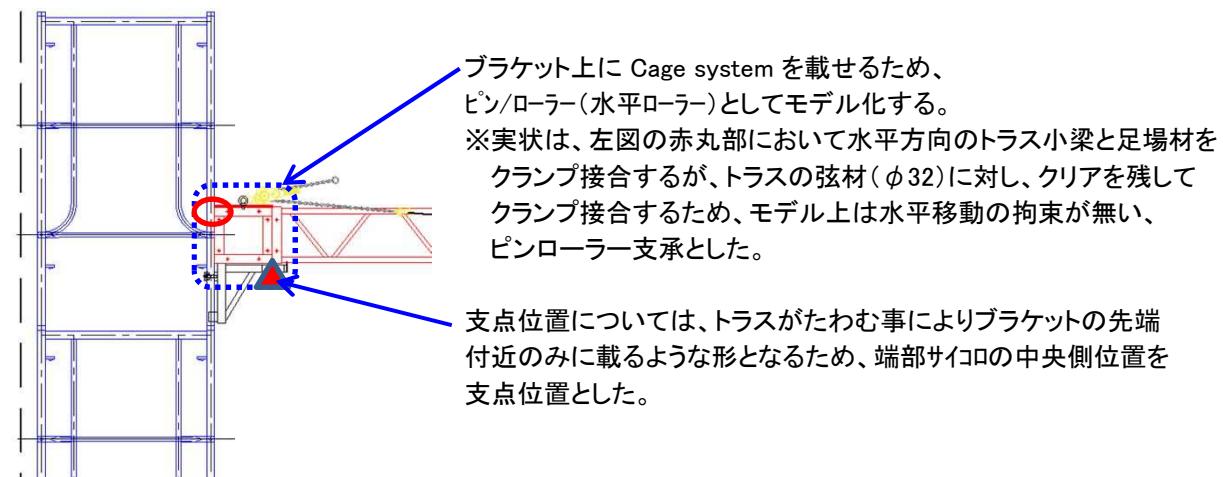
部材: 上下弦材  $\phi-32 \times 2$  (A6061-T6)  
ラチス材  $\phi-12 \times 22 \times 1.8$  (A6061-T6)  
ワイヤー  $6 \times 24-9 \phi$

断面積:  $188.4 \text{ mm}^2$   
断面積:  $93.6 \text{ mm}^2$   
断面積:  $28.1 \text{ mm}^2$

- ※ ワイヤーは1本トラス中央に配置し、引張のみ有効プレースとしてモデル化する。
- 中間部の下部サイロ材との接触部はピン接合としてモデル化する。
- ※ ラチス材は水平構面にも設置している。また、手前側と奥側で設置向きが上下反転する。  
接合部はピンとしてモデル化
- ※ トラスせいは、上下弦材の中心間距離(構造芯)をとり、268mmとした。  
下部ワイヤー受け接合位置はサイロ材せい端部下端とし、弦材芯からの距離を考慮して  
 $308+(308-268)/2 = 308+20 = 328\text{mm}$ とした。

## モデル化について-2

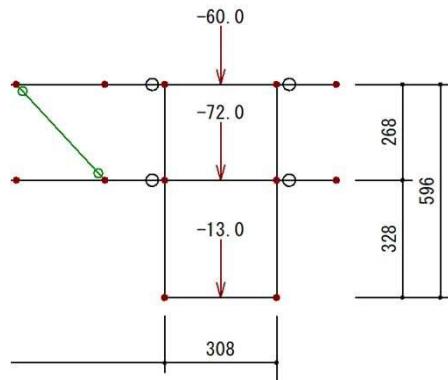
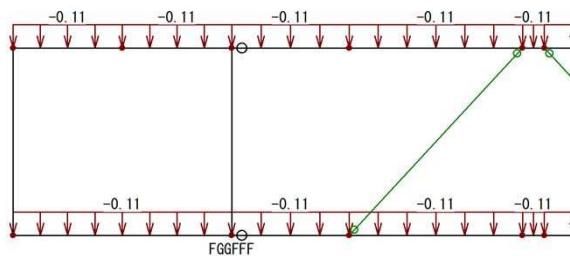
- ※ 端部支点はブラケットに載せる形状であるため、鉛直ピン/水平ローラー支点としモデル化した。  
(ただし、接合部の摩擦などによりある程度の水平力が入る事が予測される事から、水平力を  
軸力として評価／検定するため、左端側の支点はピン支点として検討を行う。)



## (2)-2.荷重入力

(モデルが大きく、入力値が見えないので、拡大表示する)

自重 :0.11N/cm 全スパンにわたり設置  
:0.12N/cm 2.7m材部のみ適用

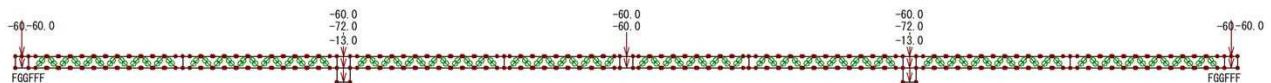


サイコロ自重 :60N …小梁重量(集中荷重、接続部サイコロ含)

:72N

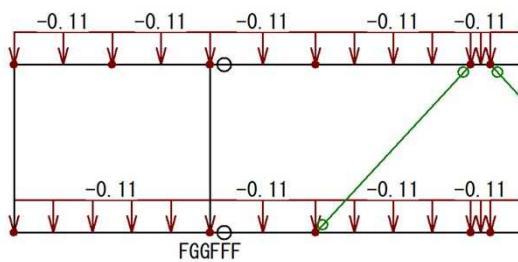
ワイヤー接続サイコロ部 …小梁重量(集中荷重、接続部サイコロ含)

:13N サイコロのみ

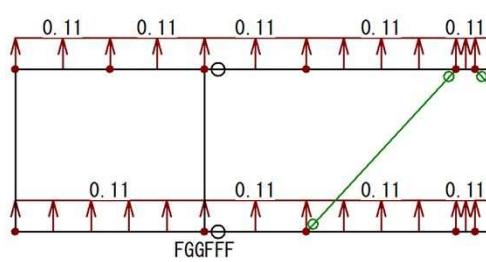


吹き上げ・下げ :−0.11N/cm(鉛直上向き) 手前・奥の弦材 全スパンにわたり設置

:0.11N/cm(鉛直下向き) 手前・奥の弦材 全スパンにわたり設置

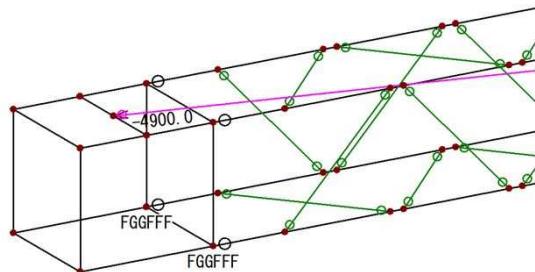


入力モデル (吹下)



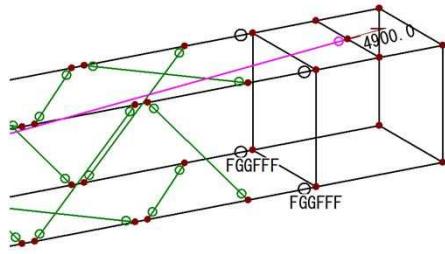
入力モデル (吹上)

ワイヤーテンション荷重 :500kg → 4900N



左端部

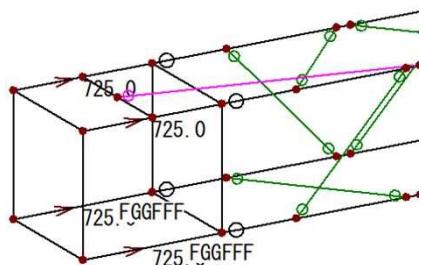
…両端部のワイヤー材入力



右端部

…トラス負担水平力

(軸力として考慮するため、弦材端部の4点に分割入力)



左端部

## (2)-3. 入力部材

### 5. 断面性能

断面名称	断面積			断面2次モーメント		
	A (mm <sup>2</sup> )	Asy (mm <sup>2</sup> )	Asz (mm <sup>2</sup> )	Ix (mm <sup>4</sup> )	Iy (mm <sup>4</sup> )	Iz (mm <sup>4</sup> )
Φ32	1.8850e+002	9.4248e+001	9.4248e+001	4.2600e+004	2.1300e+004	2.1300e+004
Φ12	9.3600e+001	2.8840e+001	2.8840e+001	1.5470e+003	7.7348e+002	7.7348e+002
L40	3.0400e+002	1.3595e+002	1.3595e+002	1.6213e+003	4.6081e+004	4.6081e+004
2L40	6.0800e+002	2.7190e+002	2.7190e+002	5.9666e+003	9.2162e+004	1.7220e+005
ワイヤ624	2.8086e+001	2.4895e+001	2.4895e+001	1.2555e+002	6.2773e+001	6.2773e+001
2L40V	6.0800e+002	2.7190e+002	2.7190e+002	5.9666e+003	9.2162e+004	1.7220e+005
PL6	1.8480e+003	1.5702e+003	1.5702e+003	2.1904e+004	5.5440e+003	1.4609e+007

上下弦材  $\phi -32 \times 2$  (A6061-T6) →  $\phi 32$   
 ラチス材  $\phi -12 \times 22 \times 1.8$  (A6061-T6) →  $\phi 12$   
 ワイヤー 6 × 24-9  $\phi$  → ワイヤ624  
 サイクロ L-40×40×4 → L40  
 トラス端部 L-40×40×5 → 2L40, 2L40V

### ヤング係数など

#### 1.5.1 材料の定数

##### A. 構造材料

表 1.1 構造材料の定数

材 料	ヤング係数 E (N/mm <sup>2</sup> ) ((kgf/cm <sup>2</sup> ))	せん断弾性係数 G (N/mm <sup>2</sup> ) ((kgf/cm <sup>2</sup> ))	ボアソン比 v	線膨張係数 α (1/°C)	比 重
鉄 骨	$2.05 \times 10^5 \text{ e+1}$ ( $2.1 \times 10^5$ )	79,400 (810,000)	0.3	$1 \times 10^{-5} \text{ e+1}$	7.85
鉄 筋	$2.05 \times 10^5 \text{ e+1}$ ( $2.1 \times 10^5$ )	79,400 (810,000)	0.3	$1 \times 10^{-5} \text{ e+1}$	7.85
普通コンクリート [軽量コンクリート] [( $F_c/60$ ) <sup>1/2</sup> × $(2.1 \times 10^5 \times (\gamma/2.3)^{1/2}$ $\times \sqrt{(F_c/200)}$ ]	$3.35 \times 10^4 \times (\gamma/24)^{1/2} \times$ $(F_c/60)^{1/2} \times$ $(2.1 \times 10^5 \times (\gamma/2.3)^{1/2})^{1/2} \times \sqrt{(F_c/200)}$	$\frac{1}{2.4} E$	0.2 <sup>1/2</sup>	$1 \times 10^{-5} \text{ e+1}$	[1.55 ~ 2.1]
アルミニウム合金	68,600 (700,000)	26,500 (270,000)	0.3	$2.4 \times 10^{-5}$	2.7

構成記号	炭素鋼ワイヤロープの引張弾性係数(新品時の標準値)		(N/mm <sup>2</sup> ) ×
	(kgf/mm <sup>2</sup> )		
6×7	10,000		98,100
6×19	8,000		78,500
6×24	6,500		63,700
6×37	7,500		73,500
6×Fi(29)	9,000		88,300
IWRG 6xFi(29)	10,000		98,100

### 3.3 材料定数

材料定数 名称	種別	ヤング係数E	せん断弾性係数G	熱線膨張係数Th	単位容積質量
		N/cm <sup>2</sup>	N/cm <sup>2</sup>	1/100000 °C	N/cm <sup>3</sup>
アルミ	その他	6860000.00	2650000.00	2.400	0.03
S	S	20500000.00	7900000.00	1.200	0.08
ワイヤー	その他	6370000.00	7900000.00	1.200	0.10

## (2)-4. 許容応力度

…仮設工業会発行「改訂 風荷重に関する足場の安全技術指針」により算出

使用材: A6061-T6 (アルミ)

ヤング係数:  $E = 68600 \text{ N/mm}^2$   ft/fb =  $\min(T_u \cdot 3/4, F) \cdot 2/3$

引張強さ:  $T_u = 260 \text{ N/mm}^2$    $= \min(260 \cdot 3/4, 210) \cdot 2/3 = 130 \text{ N/mm}^2$

降伏点:  $F = 210 \text{ N/mm}^2$    $f_s = 57/100 \cdot ft = 57/100 \cdot 130 = 74 \text{ N/mm}^2$

限界細長比:  $\Lambda = \sqrt{(\pi^2 \cdot E)/(0.6 \cdot F)}$

= 73

### (3).応力解析結果

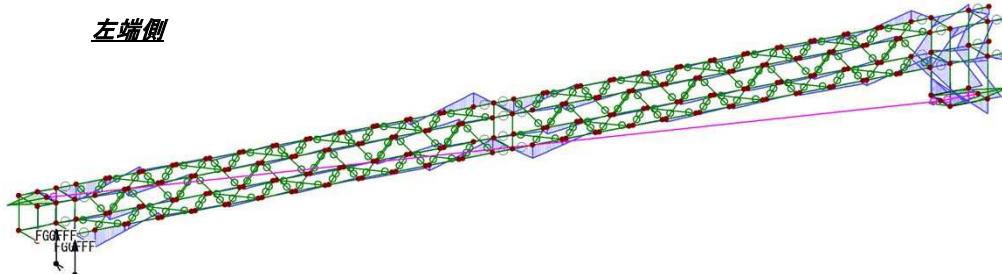
…解析結果を以下に示す。

部材が大きいため、詳細な応力値は別途拡大表示する。

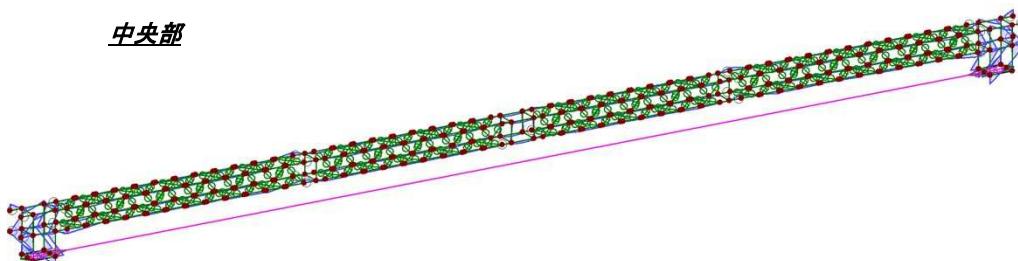
#### (3)-1.常時応力図(ワイヤーテンション考慮)

##### モーメント図

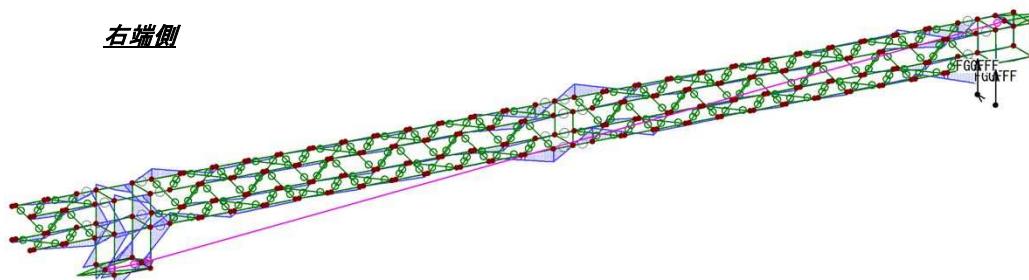
左端側



中央部

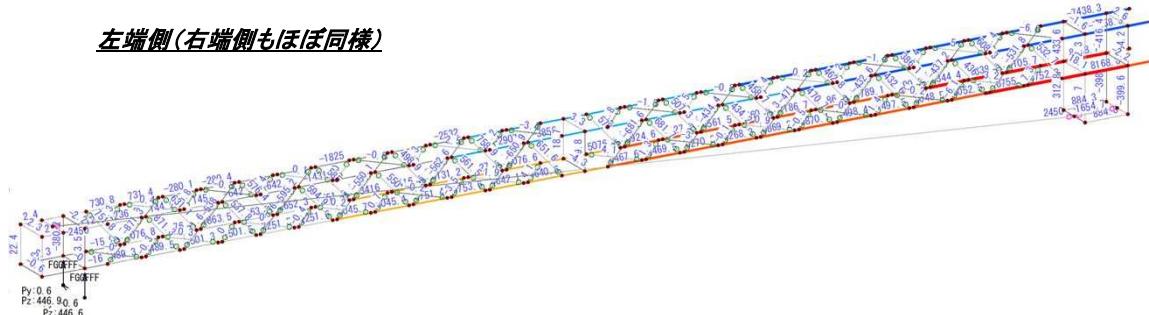


右端側

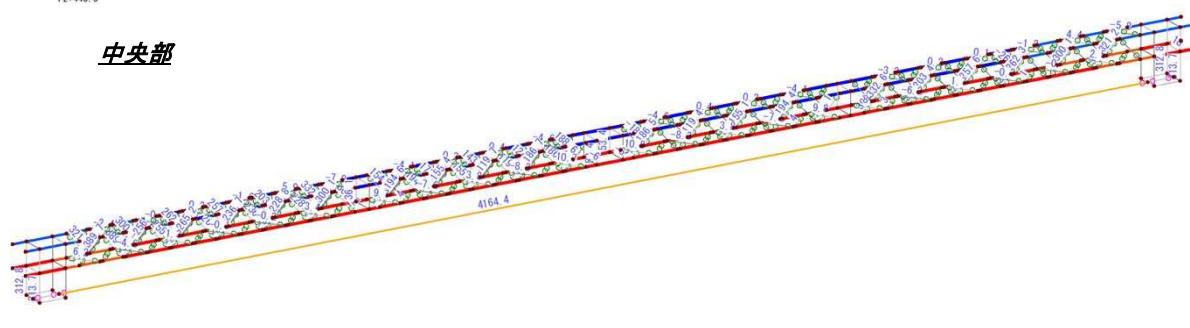


軸力図

左端側(右端側もほぼ同様)



中央部



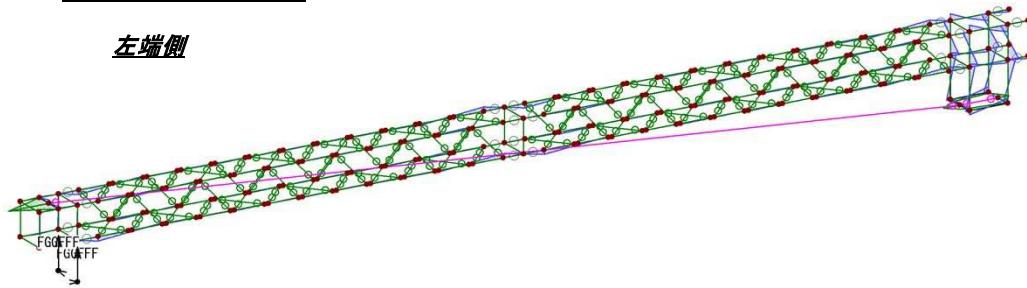
変位図

※ トランク中央部たわみは  $\delta = 473\text{mm}$  (たわみ角 1/59)

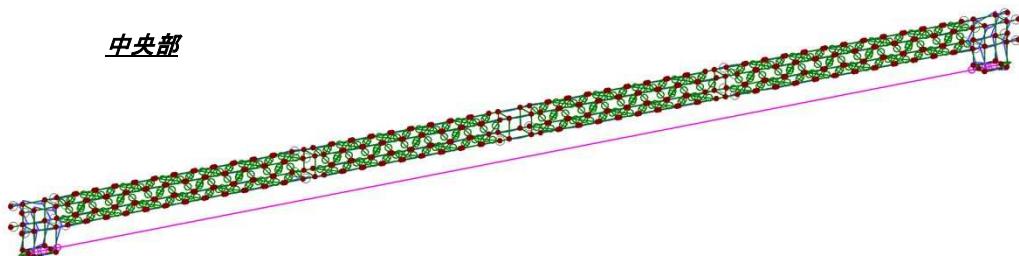
(3)-2.吹上時応力図(ワイヤーテンション考慮)

モーメント図

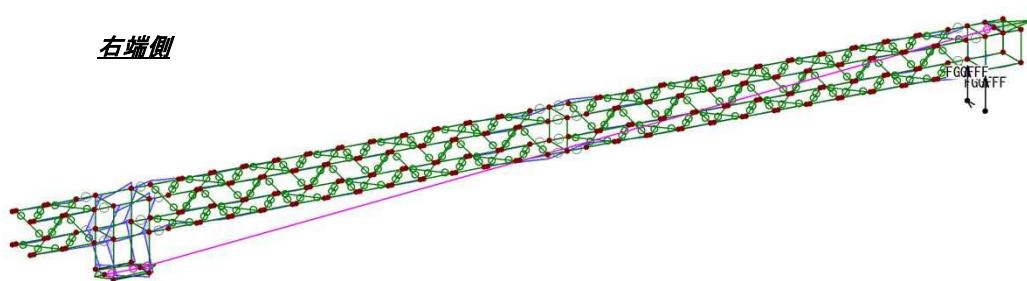
左端側



中央部

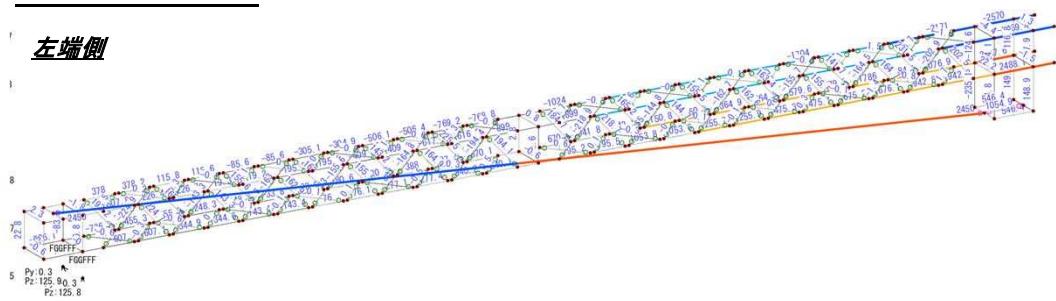


右端側

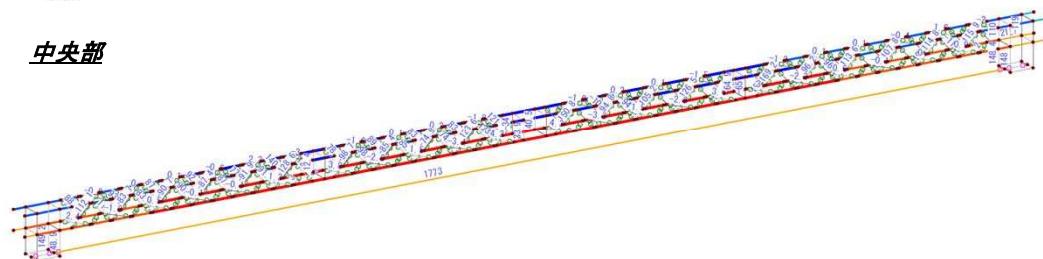


軸力図

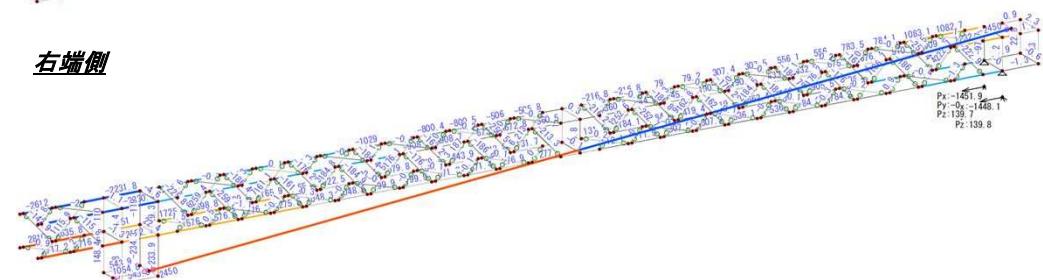
左端側



中央部



右端側



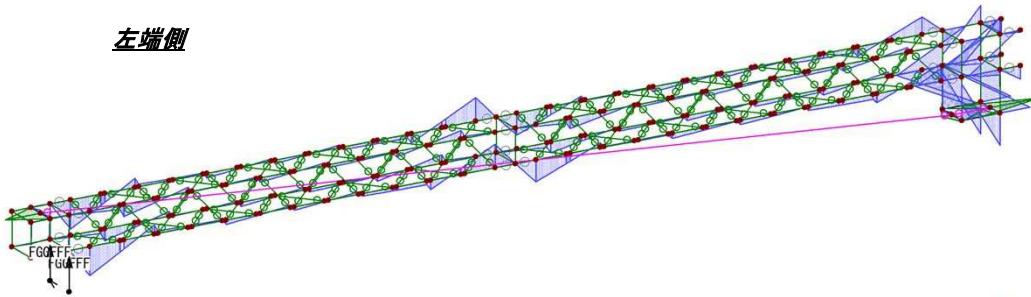
変位図

※ ト拉斯中央部たわみは  $\delta = 177\text{mm}$  (たわみ角  
1/157)

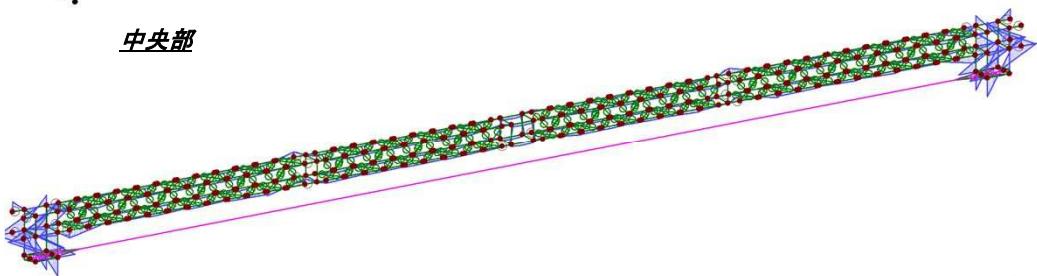
### (3)-3. 吹下時応力図(ワイヤーテンション考慮)

## モーメント図

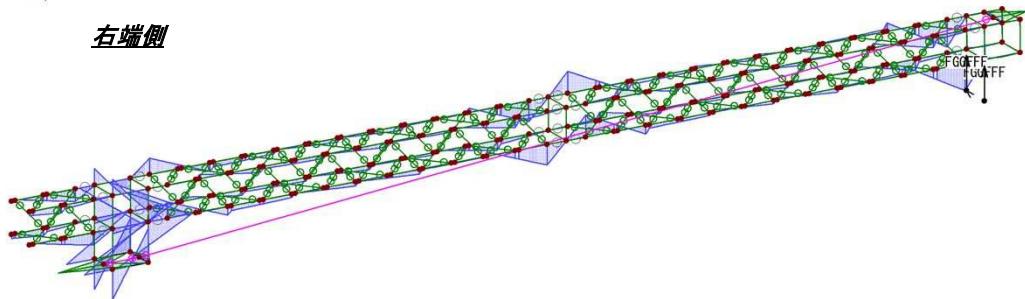
左端側



中央部

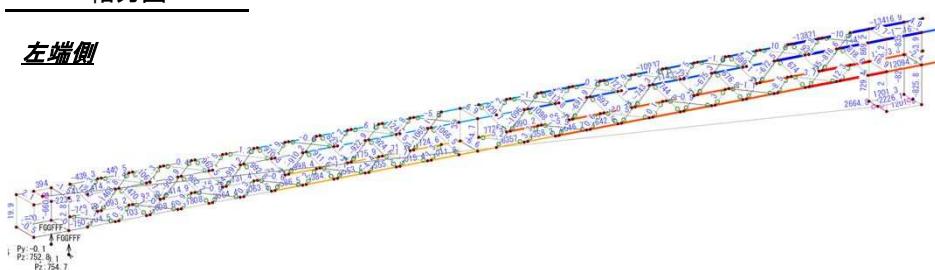


右端側

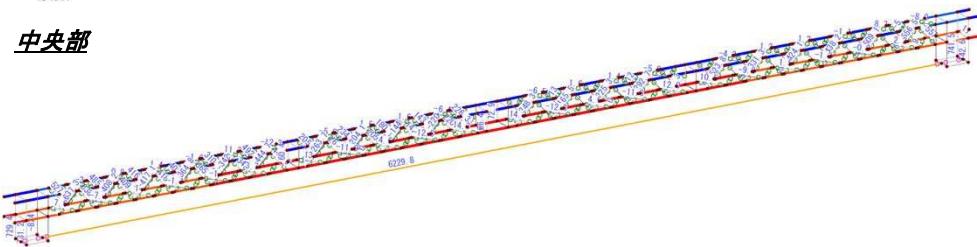


軸力図

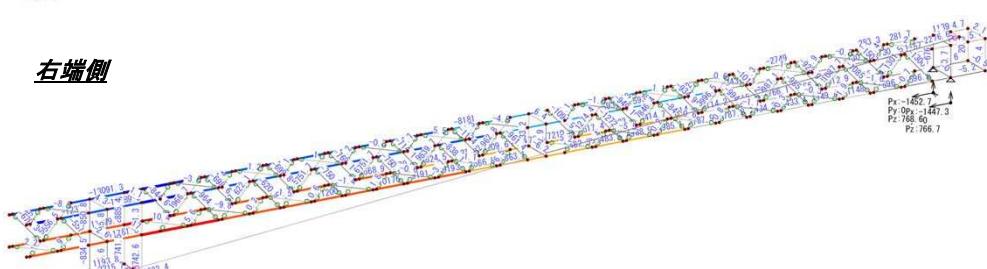
左端側



中央部



右端側



変位図

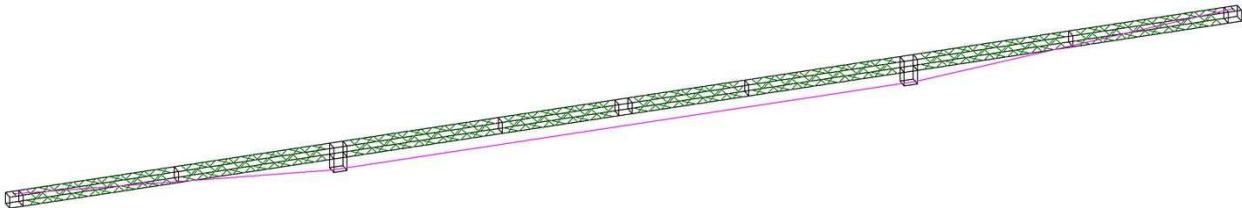
※トラス中央部たわみは  $\delta = 752\text{mm}$  (たわみ角  
1/37)

#### (4).断面検定

耐力不足箇所(赤線部分)

…なし

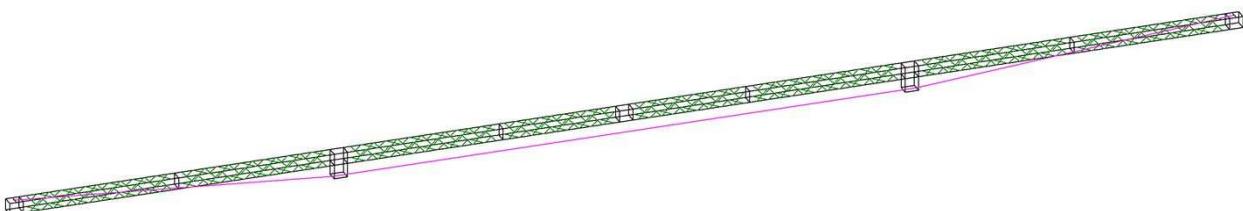
・常時



検定値一覧

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| ・ 上下弦材 $\phi -32 \times 2$ (A6061-T6)             | 最大検定値: $0.68 \leq 1$ OK |
| ・ ラチス材 $\phi -12 \times 22 \times 1.8$ (A6061-T6) | 最大検定値: $0.28 \leq 1$ OK |
| ・ サイクロ L-40x40x4                                  | 最大検定値: $0.60 \leq 1$ OK |
| ・ ワイヤー 6 × 24-9 $\phi$                            | 最大検定値: $0.11 \leq 1$ OK |

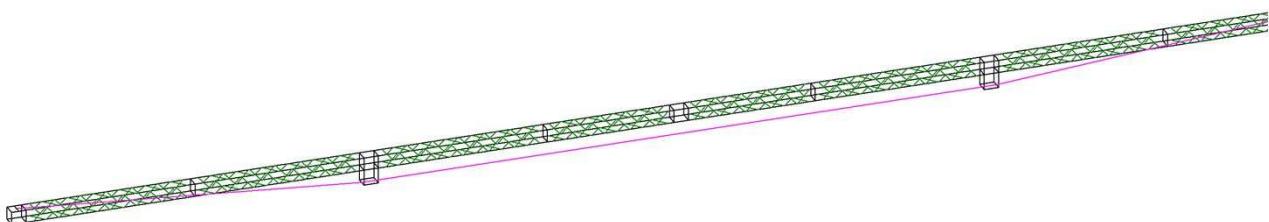
・吹上時



検定値一覧

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| ・ 上下弦材 $\phi -32 \times 2$ (A6061-T6)             | 最大検定値: $0.22 \leq 1$ OK |
| ・ ラチス材 $\phi -12 \times 22 \times 1.8$ (A6061-T6) | 最大検定値: $0.06 \leq 1$ OK |
| ・ サイクロ L-40x40x4                                  | 最大検定値: $0.30 \leq 1$ OK |
| ・ ワイヤー 6 × 24-9 $\phi$                            | 最大検定値: $0.11 \leq 1$ OK |

・吹下時



検定値一覧

- |   |                         |
|---|-------------------------|
| ・ 上下弦材 $\phi -32 \times 2$ (A6061-T6)             | 最大検定値: $0.90 \leq 1$ OK |
| ・ ラチス材 $\phi -12 \times 22 \times 1.8$ (A6061-T6) | 最大検定値: $0.37 \leq 1$ OK |
| ・ サイクロ L-40x40x4                                  | 最大検定値: $0.77 \leq 1$ OK |
| ・ ワイヤー 6 × 24-9 $\phi$                            | 最大検定値: $0.17 \leq 1$ OK |

使用材: A6061-T6 (アルミ)

ヤング係数  $E = 6860000 \text{ N/cm}^2$

$f_{t,fb} = 13000 \text{ N/cm}^2$

設計基準強度  $F = 21000 \text{ N/cm}^2$

$f_s = 7400 \text{ N/cm}^2$

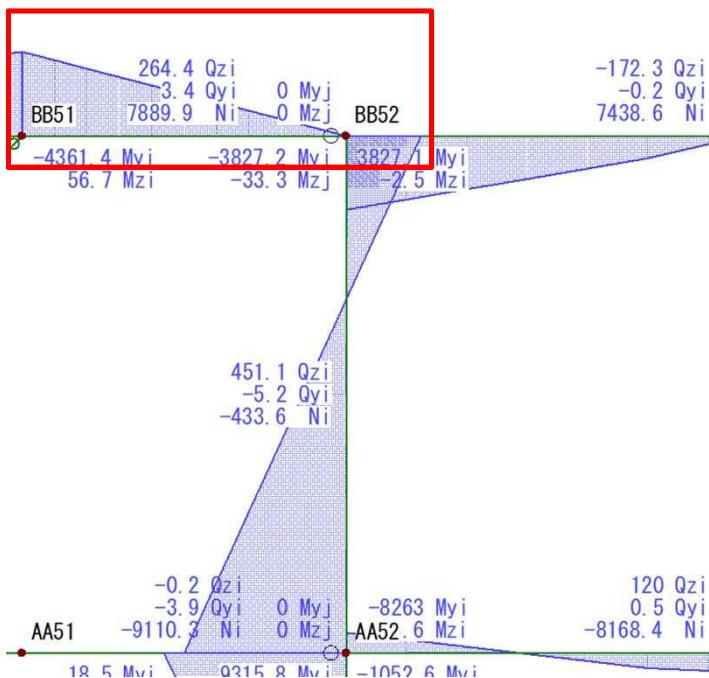
限界細長比  $\Lambda = \sqrt{(\pi^2 \cdot E) / (0.6 \cdot F)} = 73$

#### (4)-1.弦材

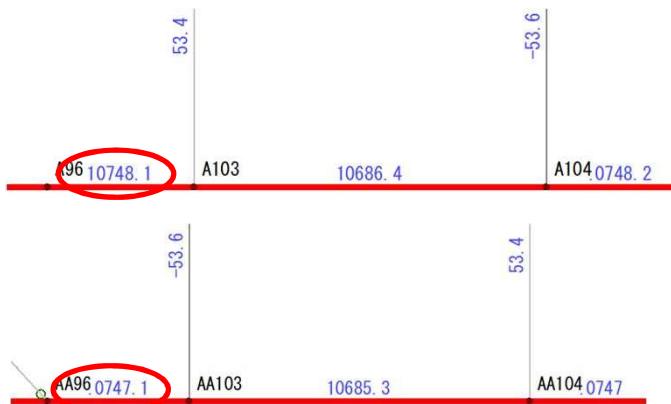
##### ①常時加力時断面検定(抜粋)

use $\phi -32 \times 2$ (A6061-T6)	断面積 $A = 1.884 \text{ cm}^2$	$L_k = 51.9 \text{ cm}$
	断面係数 $Z = 1.331 \text{ cm}^3$	$\lambda = 49$
	断面二次半径 $i = 1.060 \text{ cm}$	$f_c = 9799 \text{ N/cm}^2$
	せん断力分布係数: $\kappa = 2$	

拡大応力図(節点:BB51～BB52)



※ 弦材接合ボルト



$$\tau = 107 / (80.2 \times 4) = 0.3 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \sigma_t / f_s = 0.34 / 120 = 0.01 \leq 1.0 \text{ OK}$$

$$\sigma_t = 21495.2 / (80.2 \times 4) = 67.0 \text{ N/mm}^3 \rightarrow \sigma_t / f_t = 67.01 / 160 = 0.42 \leq 1.0 \text{ OK}$$

##### ・発生応力

$$\begin{aligned} \text{軸力} N &= 7889.9 \text{ N} \\ \text{鉛直曲げ} M_y &= 4361.4 \text{ N}\cdot\text{cm} \\ \text{水平曲げ} M_z &= 56.7 \text{ N}\cdot\text{cm} \\ \text{水平せん断} Q_y &= 3.4 \text{ N} \\ \text{鉛直せん断} Q_z &= 264.4 \text{ N} \end{aligned}$$

##### ・応力度

$$\begin{aligned} \sigma_c = N/A &= 4187.8 \text{ N/cm}^2 \\ \sigma_b = \sqrt{(M_y^2 + M_z^2)/Z} &= 3277.1 \text{ N/cm}^2 \\ \tau = \sqrt{(Q_y^2 + Q_z^2)} \cdot \kappa / A &= 280.7 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

##### ・検定

$$\begin{aligned} \sigma_b/f_b + \sigma_c/f_c &= 3277.1 / 13000 + 4187.8 / 9799 \\ &= 0.68 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \tau / f_s &= 280.7 / 7400 \\ &= 0.04 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2) / ft} &= \sqrt{(3277.1 + 4187.8)^2 + 3 \cdot 280.7^2 / 13000} \\ &= 0.58 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

…接合部ボルトに発生する最大引張応力は下弦材中央部となるため、手前側・奥側弦材軸力合計値に対し、検定する。  
(せん断力についても同様)

$$\begin{aligned} \sum T &= 10748.1 + 10747.1 = 21495.2 \text{ N} \\ \sum Q &= 53.4 + 53.6 = 107 \text{ N} \end{aligned}$$

use 4 - M12 (強度区分: 4.8)  $A = 80.2 \text{ mm}^2$

$$\begin{aligned} f_{t0} &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ f_{ts} &= 223 \text{ N/mm}^2 \\ f_s &= 120 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

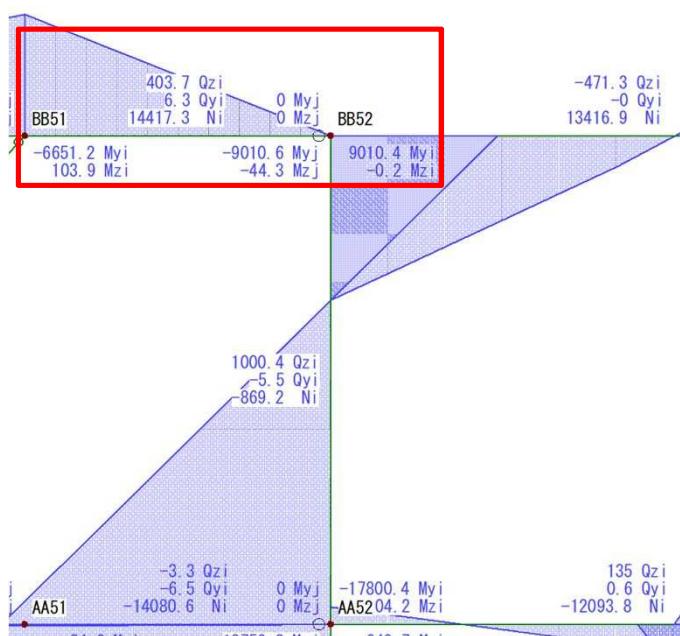
$$ft = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau / f_s &= 0.34 / 120 = 0.01 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \sigma_t / ft &= 67.01 / 160 = 0.42 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

②風圧吹下時加力時断面検定(抜粋)※吹上時は応力小さくなるため、検討省略する。

use $\phi-32 \times 2$ (A6061-T6)	断面積 A = 1.884 cm <sup>2</sup>	Lk = 51.9 cm
	断面係数 Z = 1.331 cm <sup>3</sup>	$\lambda = 49$
	断面二次半径 i = 1.060 cm	f <sub>c</sub> = 9799 N/cm <sup>2</sup>
せん断力分布係数: $\kappa = 2$		

拡大応力図(節点:BB51～BB52)



#### ・発生応力

$$\begin{aligned} \text{軸力N} &= 14417.3 \text{ N} \\ \text{鉛直曲げMy} &= 6651.2 \text{ N·cm} \\ \text{水平曲げMz} &= 103.9 \text{ N·cm} \\ \text{水平せん断Qy} &= 6.3 \text{ N} \\ \text{鉛直せん断Qz} &= 403.7 \text{ N} \end{aligned}$$

#### ・応力度

$$\begin{aligned} \sigma_c &= N/A = 7652.5 \text{ N/cm}^2 \\ \sigma_b &= \sqrt{(My^2 + Mz^2)/Z} \\ &= 4997.8 \text{ N/cm}^2 \\ \tau &= \sqrt{(Qy^2 + Qz^2) \cdot \kappa / A} \\ &= 428.6 \text{ N/cm}^2 \end{aligned}$$

#### ・検定

※風圧時検定のため許容応力度を1.3倍する。

$$\begin{aligned} \sigma_b/f_b + \sigma_c/f_c &= 4997.8/(13000 \cdot 1.3) + 7652.5/(9799 \cdot 1.3) \\ &= 0.90 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \tau/f_s &= 428.6/(7400 \cdot 1.3) \\ &= 0.04 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \sqrt{(\sigma^2 + \tau^2)/ft} &= \sqrt{(4997.8 + 7652.5)^2 + 3 \cdot 428.6^2}/(13000 \cdot 1.3) \\ &= 0.75 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

#### ※ 弦材接合ボルト



…接合部ボルトに発生する最大引張応力は下弦材中央部となるため、手前側・奥側弦材軸力合計値に対し、検定する。  
(せん断力についても同様)

$$\sum T = 15364.5 + 15363.2 + 725 \cdot 2 \approx 32177.7 \text{ N}$$

※水平力が本トラスに生じ場合、ボルトにかかる軸力が大きくなるため、下弦材負担水平軸力を相殺して検討する。

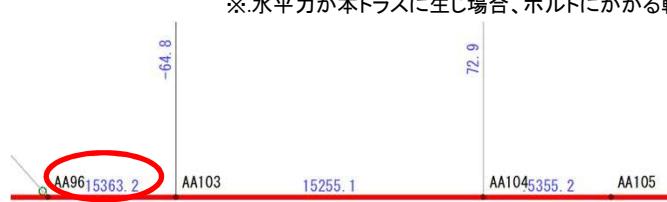
$$\sum Q = 66.4 + 64.8 = 131.2 \text{ N}$$

use 4 - M12 (強度区分: 4.8) A = 80.2 mm<sup>2</sup>

$$\begin{aligned} ft_0 &= 160 \text{ N/mm}^2 \\ f_{ts} &= 223 \text{ N/mm}^2 \\ f_s &= 120 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$ft = 160 \text{ N/mm}^2$$

$$\begin{aligned} \tau &= 131.2 / (80.2 \times 4) = 0.4 \text{ N/mm}^2 \rightarrow \tau/f_s = 0.41 / (120 \cdot 1.3) = 0.01 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \sigma_t &= 32177.7 / (80.2 \times 4) = 100.3 \text{ N/mm}^3 \rightarrow \sigma_t/ft = 100.31 / (160 \cdot 1.3) = 0.49 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

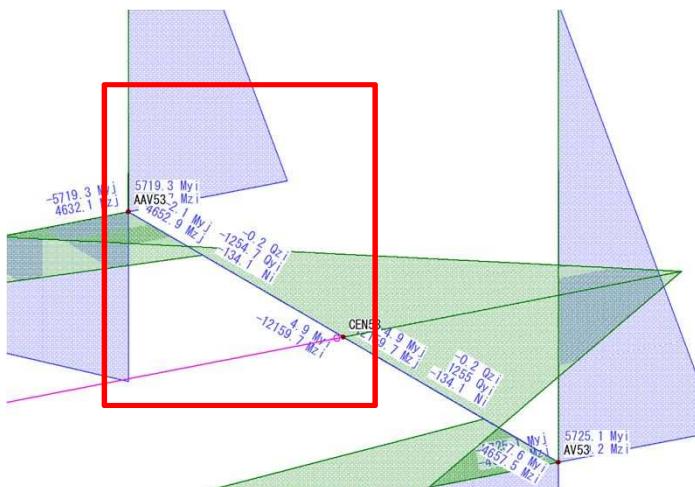


#### (4)-2.接合部山形鋼金物(サイロ)

##### ①常時加力時断面検定(抜粋)

use L-40 × 40 × 4 (A6061-T6)	断面積 A =	3.066 cm <sup>2</sup>	Lk =	30.8 cm
	せん断面積 As =	1.409 cm <sup>2</sup>		
	断面係数 Z =	1.590 cm <sup>3</sup>	$\lambda$ =	26
	断面二次半径 i =	1.220 cm	f <sub>c</sub> =	12678 N/cm <sup>2</sup>
	せん断力分布係数: $\kappa$ =	1		

拡大応力図(節点:AV53～CEN53 …ワイヤー受けサイロ水平材中央部)



##### ・発生応力

軸力N =	134.1 N
鉛直曲げMy =	4.9 N·cm
水平曲げMz =	12159.7 N·cm
水平せん断Qy =	1255.0 N
鉛直せん断Qz =	0.2 N

##### ・応力度

$\sigma_c = N/A =$	43.7 N/cm <sup>2</sup>
$\sigma_b = (My+Mz)/Z$	= 7650.7 N/cm <sup>2</sup>
$\tau = \sqrt{(Qy^2+Qz^2) \cdot \kappa / As}$	= 890.7 N/cm <sup>2</sup>

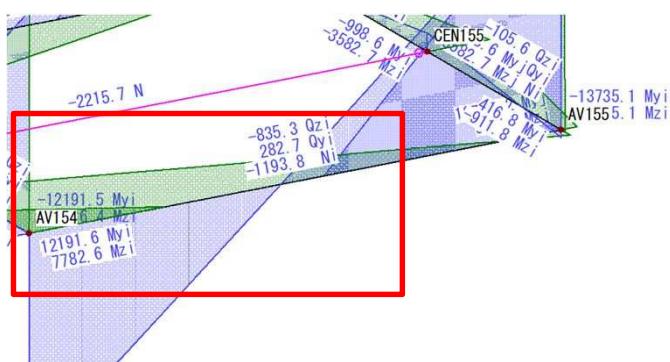
##### ・検定

$$\begin{aligned} \sigma_b/f_b + \sigma_c/f_c &= 7650.7/13000 + 43.7/12678 = 0.59 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \tau/f_s &= 890.7/7400 = 0.12 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)/ft} &= \sqrt{(7650.7 + 43.7)^2 + 3 \cdot 890.7^2 / 13000} = 0.60 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

##### ②風圧吹下時加力時断面検定(抜粋)※吹上時は応力小さくなるため、検討省略する。

use L-40 × 40 × 4 (A6061-T6)	断面積 A =	3.066 cm <sup>2</sup>	Lk =	30.8 cm
	せん断面積 As =	1.409 cm <sup>2</sup>		
	断面係数 Z =	1.590 cm <sup>3</sup>	$\lambda$ =	26
	断面二次半径 i =	1.220 cm	f <sub>c</sub> =	12678 N/cm <sup>2</sup>
	せん断力分布係数: $\kappa$ =	1		

拡大応力図(節点:AV154～AV155)



##### ・発生応力

軸力N =	1193.8 N
鉛直曲げMy =	12191.6 N·cm
水平曲げMz =	7782.6 N·cm
水平せん断Qy =	282.7 N
鉛直せん断Qz =	835.3 N

##### ・応力度

$\sigma_c = N/A =$	389.4 N/cm <sup>2</sup>
$\sigma_b = (My+Mz)/Z$	= 12562.4 N/cm <sup>2</sup>
$\tau = \sqrt{(Qy^2+Qz^2) \cdot \kappa / As}$	= 625.9 N/cm <sup>2</sup>

##### ・検定 ※風圧時検定のため許容応力度を1.3倍する。

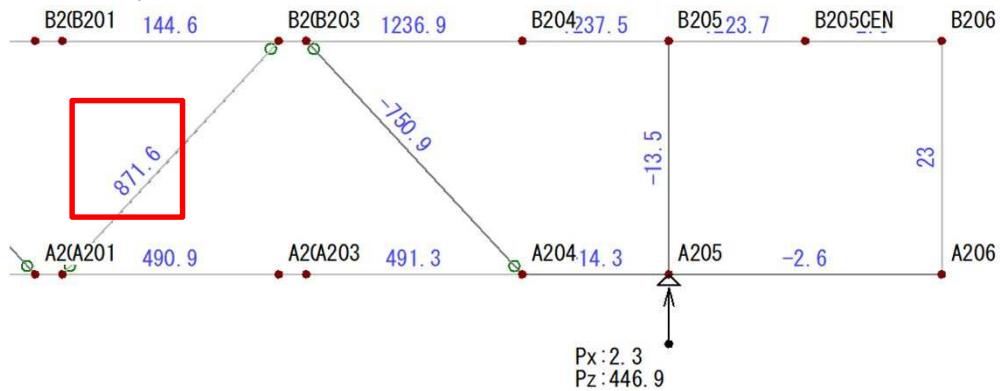
$$\begin{aligned} \sigma_b/f_b + \sigma_c/f_c &= 12562.4/(13000 \cdot 1.3) + 389.4/(12678 \cdot 1.3) = 0.77 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \tau/f_s &= 625.9/(7400 \cdot 1.3) = 0.07 \leq 1.0 \text{ OK} \\ \sqrt{(\sigma^2 + 3 \cdot \tau^2)/ft} &= \sqrt{(12562.4 + 389.4)^2 + 3 \cdot 625.9^2 / (13000 \cdot 1.3)} = 0.77 \leq 1.0 \text{ OK} \end{aligned}$$

#### (4)-3. ラチス材

##### ①常時加力時断面検定(抜粋)

use  $\phi-12 \times 22 \times 1.8$  (A6061-T6) 断面積  $A = 0.936 \text{ cm}^2$   $L_k = 36.2 \text{ cm}$   
 断面係数  $Z = - \text{cm}^3$   $\lambda = 99$   
 断面二次半径  $i = 0.366 \text{ cm}$   $f_c = 3311 \text{ N/cm}^2$   
 せん断力分布係数:  $\kappa = 2$

拡大応力図(節点:A201～B202)



##### ・発生応力

$$\text{軸力N=} 871.6 \text{ N}$$

##### ・応力度

$$\sigma_c = N/A = 931.2 \text{ N/cm}^2$$

##### ・検定

$$\sigma_c/f_c$$

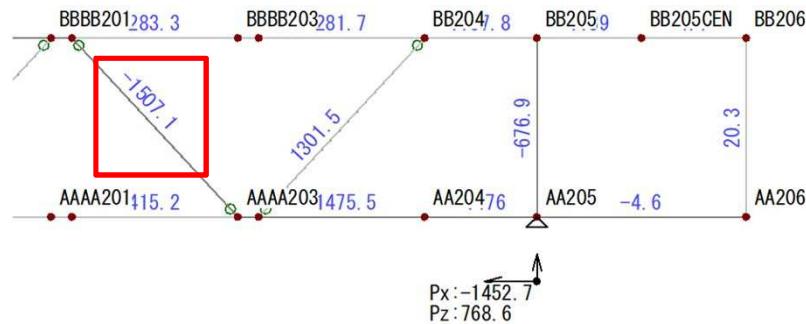
$$= 931.2/3311$$

$$= 0.28 \leq 1.0 \text{ OK}$$

##### ②風圧吹下時加力時断面検定(抜粋)

use  $\phi-12 \times 22 \times 1.8$  (A6061-T6) 断面積  $A = 0.936 \text{ cm}^2$   $L_k = 36.2 \text{ cm}$   
 断面係数  $Z = - \text{cm}^3$   $\lambda = 99$   
 断面二次半径  $i = 0.366 \text{ cm}$   $f_c = 3311 \text{ N/cm}^2$   
 せん断力分布係数:  $\kappa = 2$

拡大応力図(節点:BB201～AA202)



##### ・発生応力

$$\text{軸力N=} 1507.1 \text{ N}$$

##### ・応力度

$$\sigma_c = N/A = 1610.1 \text{ N/cm}^2$$

##### ・検定

※吹上時は応力小さくなるため、検討省略する。

$$\sigma_c/f_c = 1610.1/(3311 \cdot 1.3)$$

$$= 0.37 \leq 1.0 \text{ OK}$$

## 常時加力時断面検定(抜粋)

各部材の断面性能

ヤング係数 E=	6860000 N/cm <sup>2</sup>
設計基準強度 F=	21000 N/cm <sup>2</sup>
ft,fb=	13000 N/cm <sup>2</sup>
fs=	7400 N/cm <sup>2</sup>

$$\text{限界細長比 } \Lambda = \sqrt{(\pi^2 \cdot E) / (0.6 \cdot F)} = 73$$

φ-32 × 2 (A6061-T6)

断面積 A=	1.884 cm <sup>2</sup>	Lk=	51.9 cm
断面係数 Z=	1.331 cm <sup>3</sup>	λ=	49
断面二次半径 i=	1.06 cm	fc=	9799 N/cm <sup>2</sup>

φ-12 × 22 × 1.8 (A6061-T6)

断面積 A=	0.936 cm <sup>2</sup>	Lk=	36.2 cm
断面係数 Z=	- cm <sup>3</sup>	λ=	99
断面二次半径 i=	0.366 cm	fc=	3311 N/cm <sup>2</sup>

L-40 × 40 × 4 (A6061-T6)

断面積 A=	3.066 cm <sup>2</sup>	Lk=	30.8 cm
せん断面積 As=	1.409 cm <sup>2</sup>	λ=	26
断面係数 Z=	1.59 cm <sup>3</sup>	fc=	12678 N/cm <sup>2</sup>

断面二次半径 i= 1.22 cm

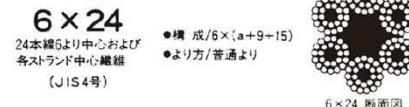
ワイヤー 6 × 24-9 φ

船舶・漁業関係・土木建築や玉掛け索に使われる、扱いやすい6×24ロープ。

破断荷重

$$Tu= 37.1 \text{ kN}$$

$$= 37100 \text{ N}$$



### ■JIS規格

ロープ径 mm	上層 索線径 mm	断面積 mm <sup>2</sup>	破断荷重 kN		(参考) 概算単位 質量 kg/m
			めっき G種	裸 A種	
6	0.34	12.5	16.5	17.7	0.120
8	0.44	22.2	29.3	31.6	0.212
9	0.50	28.1	37.1	39.9	0.269
10	0.56	34.8	45.8	49.3	0.332

Fap-3 応力解析結果CSV出力引用 断面検定表 ※着色部は引張応力( $\sigma_t/ft$ )として検定)/断面検定箇所は青字太線斜体で記載

荷重ケース	部材	N	My(鉛直)	Mz(水平)	Qy(水平)	Qz(鉛直)	$\sigma_c/fc$	$\sigma_c/fb$	$\tau/fs$	組合せ		判定
		(N)	(N.cm)	(N.cm)	(N)	(N)				(M+N)	(M+N+Q)	
L+T	A2	16.0	0.0	0.0	0.1	394.6	0.00	0.00	0.06	0.00	0.06	0.06 ≤1 OK
Φ32	A3	-16.0	-6515.0	1.6	-0.1	-392.7	0.00	0.38	0.06	0.38	0.38	0.38 ≤1 OK
L+T	A3	-489.3	6515.0	-1.6	0.1	-162.3	0.03	0.38	0.02	0.40	0.40	0.40 ≤1 OK
Φ32	A4	489.3	-2521.2	3.9	-0.1	165.0	0.03	0.15	0.02	0.17	0.17	0.17 ≤1 OK
L+T	A4	-489.4	2521.2	-3.9	0.1	-165.0	0.02	0.15	0.02	0.17	0.17	0.17 ≤1 OK
Φ32	A5	489.4	-2009.1	4.2	-0.1	165.4	0.02	0.12	0.02	0.14	0.14	0.14 ≤1 OK
L+T	A50	-8752.6	-1255.0	162.2	4.0	-126.3	0.36	0.07	0.02	0.43	0.43	0.43 ≤1 OK
Φ32	A51	8752.6	4369.3	-65.6	-4.0	129.0	0.36	0.25	0.02	0.61	0.61	0.61 ≤1 OK
L+T	A51	-9111.2	-4369.3	65.6	4.0	264.9	0.37	0.25	0.04	0.62	0.63	0.63 ≤1 OK
Φ32	A52	9111.2	0.0	0.0	-4.0	-263.1	0.37	0.00	0.04	0.37	0.37	0.37 ≤1 OK
L+T	A53	-7521.6	0.0	0.0	-3.2	181.3	0.31	0.00	0.03	0.31	0.31	0.31 ≤1 OK
Φ32	A54	7521.6	-2985.0	-52.5	3.2	-179.5	0.31	0.17	0.03	0.48	0.48	0.48 ≤1 OK
L+T	A54	-7737.8	2985.0	52.5	-3.2	-58.0	0.32	0.17	0.01	0.49	0.49	0.49 ≤1 OK
Φ32	A55	7737.8	-1536.1	-129.9	3.2	60.7	0.32	0.09	0.01	0.41	0.41	0.41 ≤1 OK
L+T	A55	-7742.0	1536.1	129.9	1.4	-60.7	0.32	0.09	0.01	0.41	0.41	0.41 ≤1 OK
Φ32	A56	7742.0	-1347.3	-125.5	-1.4	61.1	0.32	0.08	0.01	0.39	0.39	0.39 ≤1 OK
L+T	A94	-10614.4	368.9	26.1	-1.9	121.6	0.43	0.02	0.02	0.45	0.46	0.46 ≤1 OK
Φ32	A95	10614.4	-745.2	-31.9	1.9	-121.2	0.43	0.04	0.02	0.48	0.48	0.48 ≤1 OK
L+T	A95	-10740.9	745.2	31.9	-1.9	-17.8	0.44	0.04	0.00	0.48	0.48	0.48 ≤1 OK
Φ32	A96	10740.9	-275.2	-77.7	1.9	20.7	0.44	0.02	0.00	0.46	0.46	0.46 ≤1 OK
L+T	A96	-10748.1	275.2	77.7	6.1	-20.7	0.44	0.02	0.00	0.46	0.46	0.46 ≤1 OK
Φ32	A103	10748.1	0.0	0.0	-6.1	22.3	0.44	0.00	0.00	0.44	0.44	0.44 ≤1 OK
L+T	A104	-10748.2	0.0	0.0	-6.0	-86.2	0.44	0.00	0.01	0.44	0.44	0.44 ≤1 OK
Φ32	A105	10748.2	1113.6	-76.6	6.0	87.8	0.44	0.06	0.01	0.50	0.50	0.50 ≤1 OK
L+T	A105	-10621.2	-1113.6	76.6	-6.0	51.7	0.43	0.06	0.01	0.50	0.50	0.50 ≤1 OK