

## 既存吊り天井落下防止措置 設計例 4

### N 体育館

設計手法：ネットによる落下防止措置

## 目次

§ 1. ネットによる天井落下防止措置の設計方針 .....	4-3
1.1 建築物概要 .....	4-3
1.2 天井落下防止ネット設計方針 .....	4-5
1.3 既存吊り天井概要図 .....	4-10
1.4 落下防止措置部材 設計図 .....	4-11
§ 2. 使用材料及び許容応力度 .....	4-12
2.1 鋼材 .....	4-12
2.2 溶接 .....	4-12
2.3 高力ボルト .....	4-12
2.4 ケーブル .....	4-13
2.5 ネット .....	4-13
2.6 ネット定着部 .....	4-14
§ 3. 設計荷重 .....	4-16
3.1 固定荷重 .....	4-16
3.2 衝撃荷重 .....	4-16
3.3 テンション材の初期張力 .....	4-16
3.4 各部材の設計荷重 .....	4-17
§ 4. 各部材の設計 .....	4-18
4.1 天井落下防止ネットと端部定着部の設計 .....	4-18
4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計 .....	4-19
4.3 Y12、Y16 通りの曲げ材 (B1 材) の設計 .....	4-21
4.4 Y13-Y14、Y14-Y15 通り間の曲げ材 (B2 材) の設計 .....	4-22
4.5 X3、X10 通りの曲げ材 (B3 材) の設計 .....	4-26
4.6 レーシングバーの設計 .....	4-27
4.7 支持ケーブル端部固定部の設計 .....	4-29
4.8 吊り材及び控え材の設計 .....	4-30
4.9 柱及び梁との定着部の設計 .....	4-33
【一般的なガセットプレート取り合いの為、本書での検討は省く】	

## § 1. ネットによる天井落下防止措置の設計方針

### 1.1 建築物概要

本設計例は、設計例3をもとにした、脱落する恐れのある吊り天井を受け止めるためにネットによる天井落下防止措置を講ずる設計事例である。

以下、『天井落下防止ネット』と呼ぶ。

図 1.1 に、落下防止措置に関するフローを示す。

- ・ 建築場所：都内某所
- ・ 用途：学校施設（体育館）
- ・ 階数：地下なし、地上 1 階、塔屋 なし
- ・ 建築高さ：11.5m
- ・ 対象天井：体育館（1 階建て）の天井  
⇒平成 17 年国土交通省告示第 566 号により天井落下防止措置を講ずる。
- ・ 天井面積：679.5 m<sup>2</sup>（見付面積）
  - A1、A3 部分 238.5m<sup>2</sup>
  - A2 部分 202.5 m<sup>2</sup>
- ・ 天井高さ：
  - A1、A3 部分 6,200mm～9,000mm
  - A2 部分 8,600mm
- ・ 天井吊り長さ（吊りボルト鉛直方向長さ）：
  - A1、A3 部分 1,200mm
  - A2 部分 1,900～2,950mm
- ・ 柱スパン：
  - 5.0m（対象天井部分：X 方向）
  - 20.0m（対象天井部分：Y 方向）
- ・ 構造種別：
  - 上部—鉄骨造
  - 下部—鉄筋コンクリート造

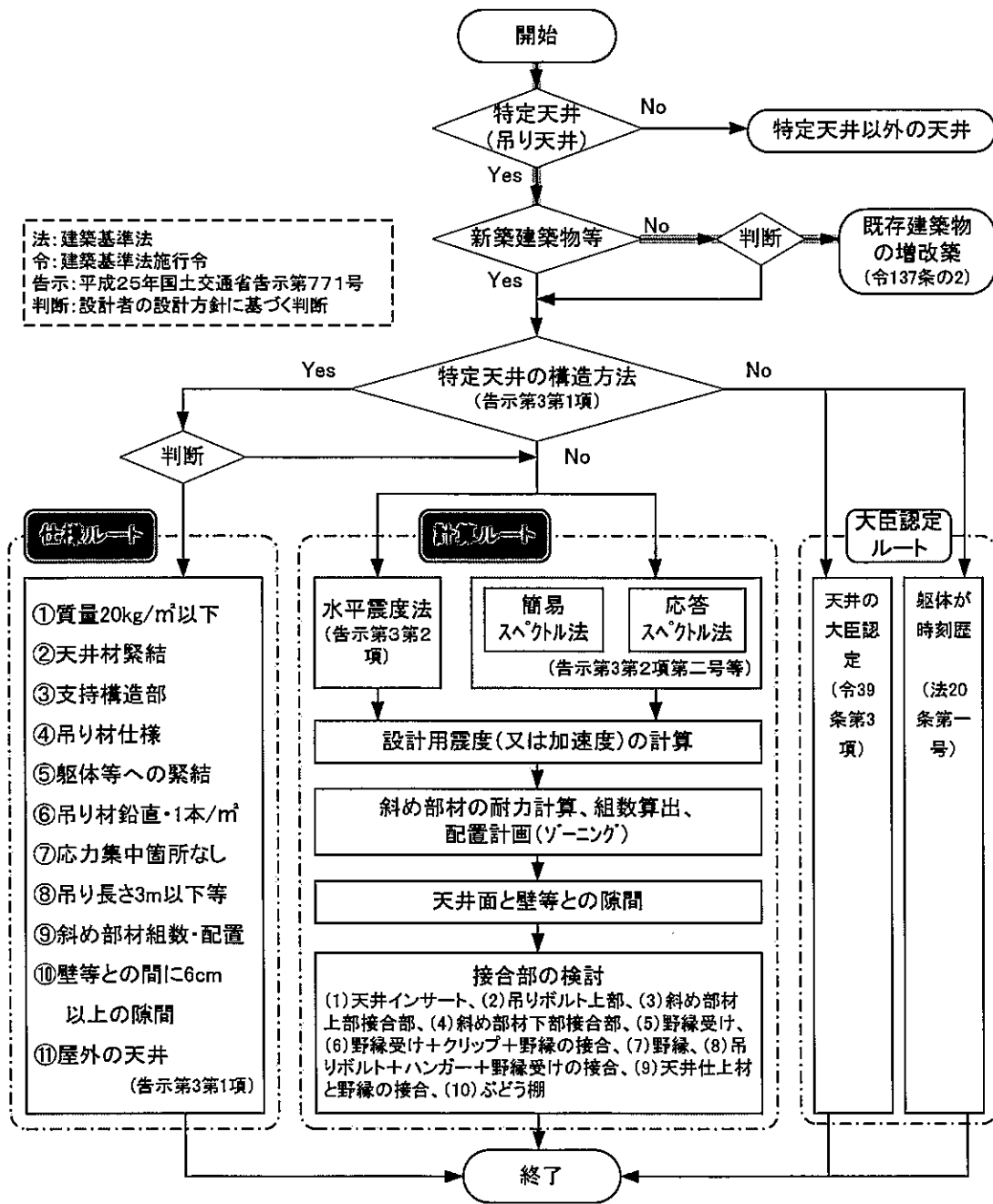


図 1.1 吊り天井の設計フロー

## 1.2 天井落下防止ネット設計方針

(1) ネット支持材の構成について (図 1.2 参照)

- 1) 図 1.3 に示すように、周部 X3、X10、Y12、Y16 通りに、曲げに有効な材 (B3: □-125×125×4.5:、又は B1: □-175×175×6.0) を配置し、天井面勾配が切り替わる部分 (Y13-Y14、Y14-Y15 通り間) にも曲げ材 (B2: □-175×175×9.0) を設け、プレート、ボルト等で柱に、吊り材、控え材を梁に取り付ける。
- 2) 支持ケーブル(CB: φ10 JIS 規格 (G 種))はピッチ 1.25m で短辺方向 (Y 方向) に台形状に設置し、長辺方向 (X 方向) Y12、Y16 通りの曲げ材: B1、Y13-Y14、Y14-Y15 通り間の曲げ材: B2 に定着する。
- 3) 天井落下防止ネットは、短辺方向 X3、X10 通りは図 1.2 のようにレーシングバーを介して直接曲げ材に、それ以外の X3~X10 間は支持ケーブルに直接レーシングロープを編み込んで定着する。  
また長辺方向 Y12、Y16 通り、Y13-Y14、Y14-Y15 通り間もレーシングバーを介して曲げ材に直接定着する。

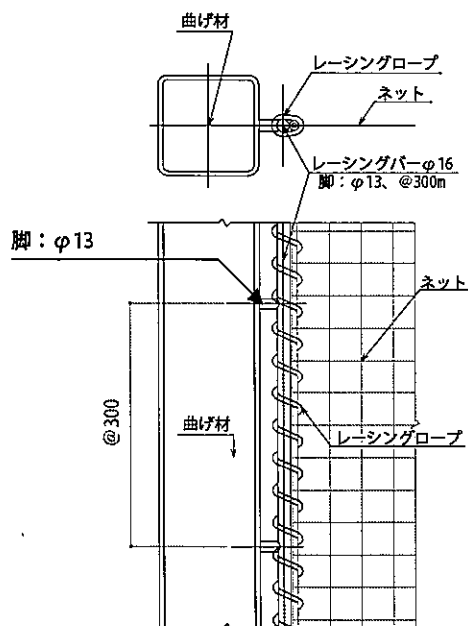


図 1.2 ネット・レーシングバー・レーシングロープ 詳細図

- 4) ネット面が傾斜している Y12-Y13、Y15-Y16 通りの間に、落下した天井材が滑り落ち荷重が一箇所に集中するのを避ける為に、落下物滑り止めワイヤーを 2 列傾斜方向と直交に設置する。

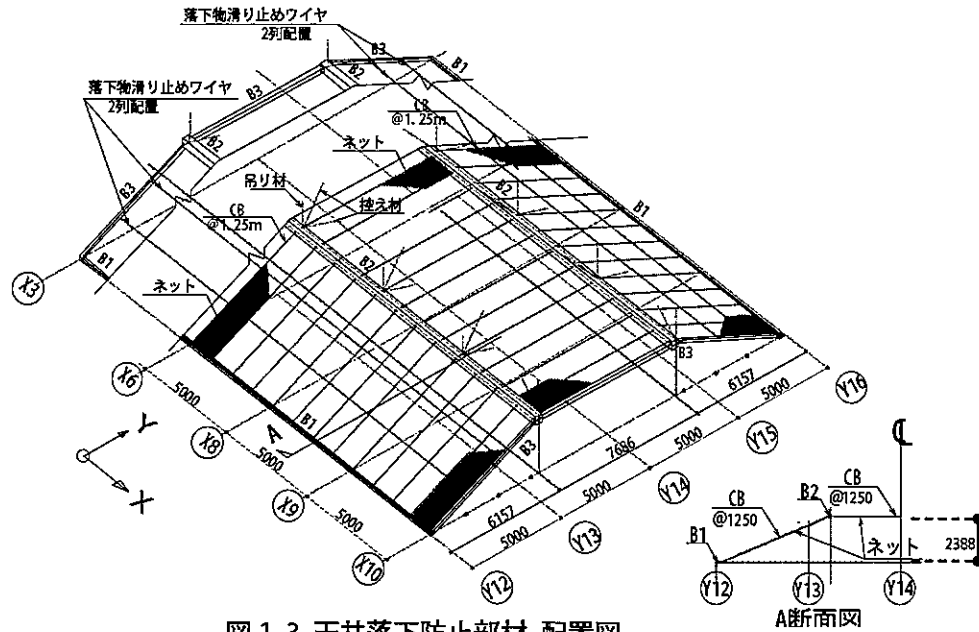


図 1.3 天井落下防止部材 配置図

表 1-1 部材リスト

曲げ材	B1 : □-175×175×6.0 (STKR400)、PL-6.0 (SS400) レーシングバー : φ16 (SS400)
	B2 : □-175×175×9.0 (STKR400)、吊り材 : □-75×75×3.2 (SS400) 方杖材 : □-75×75×3.2 (STKR400) G-PL-6.0 (SS400) レーシングバー : φ16 (SS400)
	B3 : □-125×125×4.5 (STKR400)、PL-6.0 (SS400) レーシングバー : φ16 (SS400)
テンション材	CB : (6×37) φ10 JIS規格 (G種)
	落下物滑り止めワイヤ : (6×37) φ10 JIS規格 (G種)
	ネット : 難燃性高強度繊維素材ネット8×40

【用語の説明】

テンション材とは、ネット材、及びケーブル材のように引張力のみで抵抗する部材を言う。

曲げ材とは、角鋼管のように曲げ応力、軸力（圧縮、引張）、及びせん断力に抵抗する部材を言う。

支持ケーブルとは、ネットの端部および中央部をレーシングロープで編み込み、脱落した天井をネットで受け、発生した応力を曲げ材に伝達するテンション材である。

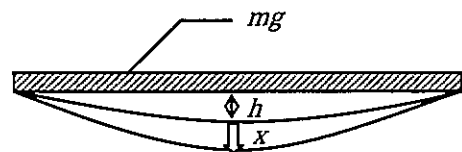
(2) 設計荷重について

1) 衝撃荷重の設定 (3.2 参照)

天井材が落下防止措置部材に接触するまでの距離  $h$  及び接触後の落下防止措置部材の変形  $x$  から天井材が中央部に集中荷重として作用した場合の落下による衝撃荷重  $F$  を算定する。なお、ここでは天井材が落下防止措置部材の位置エネルギーが衝撃力に置換されるものとし、撓み剛性  $k$  は弾性と仮定する。図 1.4 に衝撃荷重の算定方法の模式図を示す。

ここで、式中の記号は、 $g$ ：重力加速度、 $k$ ：支持ケーブルの撓み剛性、 $m$ ：天井材質量、 $\omega$ ：天井落下防止措置部材の質量、 $h$ ：支持ケーブルの初期撓み量、 $x$ ：落下による変形量、 $F$ ：衝撃荷重、とする。

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}kx^2 &= mgh + mgx + \omega gx \\ (kx)^2 &= 2kmgh + 2(m + \omega)gkx \\ F^2 &= 2kmgh + 2(m + \omega)gF \\ F^2 - 2(m + \omega)gF - 2kmgh &= 0 \\ F &< (m + \omega)g \left( 1 + \sqrt{1 + \frac{2kh}{(m + \omega)g}} \right) \end{aligned} \quad (1)$$



衝撃荷重  $F$  の落下変形  $x$  に対する撓み剛性  $k$

図 1.4 模式図

中央位置の単位集中荷重に対する変形量  $\delta$  は式(2)から落下防止措置部材の剛性  $E$  および断面積  $A$  と撓み剛性  $k$  の関係を導出すると式(4)となる。また、落下防止措置部材の自重  $\alpha g$  による中央撓み量  $h$  は式(2)の  $F$  に  $\alpha g$ 、 $\Delta_1$  を  $\Delta_2$  に置き換えて変形すると式(5)となる。式(1)の  $k$  および  $h$  を代入すると衝撃力関数  $\phi$  は式(6)となる ( $k$ ,  $h$  は過大評価すれば安全側なので  $(h + \Delta_2) / (h + \Delta_1) = 1$  とする)。

( $N_0$ ：鉛直下向き方向の単位荷重を与えたときの支持ケーブルの張力、 $N$ ：鉛直下向き方向の衝撃荷重を与えたときの支持ケーブルの張力、 $\Delta_1$ ：衝撃荷重を与えたときの支持ケーブルの伸び変形、 $\Delta_2$ ：落下防止措置部材の自重による支持ケーブルの伸び変形、 $\alpha$ ：衝撃荷重の天井材重量(落下防止措置部材含む)2倍に対する比率)

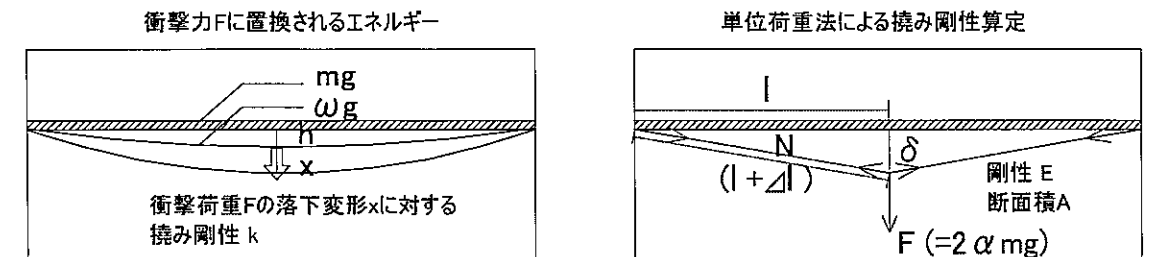


図 1.5 衝撃荷重の算定方法

$$\delta = \sum \frac{N_0 N}{EA} l = \frac{(Fl/2\delta)(l/2\delta)}{EA} \times 2(l + \Delta l_1) = \frac{(F^3 l/2\delta)(l/2\delta)}{EA(2\alpha(m + \omega)g)^2} \times 2(l + \Delta l_1) \quad (2)$$

$$F = 2\alpha(m + \omega)g \quad (3)$$

$$\delta^3 = \frac{F^3 l^2 (l + \Delta l_1)}{8EA(\alpha(m + \omega)g)^2} \Leftrightarrow k = 2\sqrt[3]{\frac{EA(\alpha(m + \omega)g)^2}{l^2 (l + \Delta l_1)}} \quad (4)$$

$$h = \sqrt[3]{\frac{\omega g}{2EA} l^2 (l + \Delta l_2)} \quad (5)$$

ここで

$$\phi = \frac{2hk}{(m + \omega)g} = 4\sqrt[3]{\frac{\alpha^2 \omega}{2(m + \omega)}} \quad (6)$$

とすると

$$\alpha = (1 + \sqrt{1 + \phi})/2 \quad (7)$$

これらの検討結果から衝撃力については天井材質量  $m$  と天井落下防止措置部材質量  $\omega$  の比に依存する。本式によると式(6)における 3 乗根の中身が 1 に近づけば(落下防止措置部材質量が天井材質量よりやや小さい程度)、衝撃荷重は天井材質量の 3.3 倍以下となる。3 乗根の中身が無視できれば(落下防止措置部材質量が天井材質量に比べて極めて小さい)衝撃荷重は 2.0 倍となる。実際の衝撃荷重は天井材質量の 2~3.3 倍になると考えられるため、本検討では衝撃荷重を天井材質量(落下防止措置部材質量を含む)の 3.3 倍とする。

例えば、実存吊り天井の自重を  $W_a$ 、ネット及びケーブルの自重を  $W_{1d}$  とすると衝撃荷重は、 $F = 3.3(W_a + W_{1d})$  となる。

## 2) 荷重の算定方法 (3.1 参照)

- ネット及びケーブル材料部分の自重： $W_{1d}$  を算出する。  
ネット材料部分の設計荷重 (短期荷重)： $F = 3.3(W_a + W_{1d})$  とする。
- ネット支持部材の自重： $W_{2d}$  を算出する。  
ネット支持部材の設計荷重 (短期荷重)： $W_2 = F + W_{2d}$  とする。

## (3) 応力伝達方法

- 1) 落下した天井材をネットで受け、ネットの反力はケーブル、曲げ材に伝達されるように設計する。



最終的に曲げ材から既存建築物の柱、または壁に伝達されるものとする。

- 2) 天井落下防止ネットをより安全側に考え、天井材がネットの中央部に集中した場合について検討すれば良い。

尚、ここでは等分布荷重でも検討する。

その他の部材については、実況に応じて等分布、集中または不等分布の荷重分布を仮定して検討を行う。(§ 4 参照)

- 3) 上記の設計応力が既存建築物の構造体(柱・壁等)に安全に応力を伝達できるように各部の設計を行う。(吊り材の設計は 4.8 に示す、以下省略する。)

(4) テンション材(ネット、支持ケーブル材)の応力計算方法

日本膜構造協会『膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説』<sup>1)</sup>の P-129～P-132 の計算方法を用いて応力を算出する。図 1.6 にネットの反力の分布を示す。

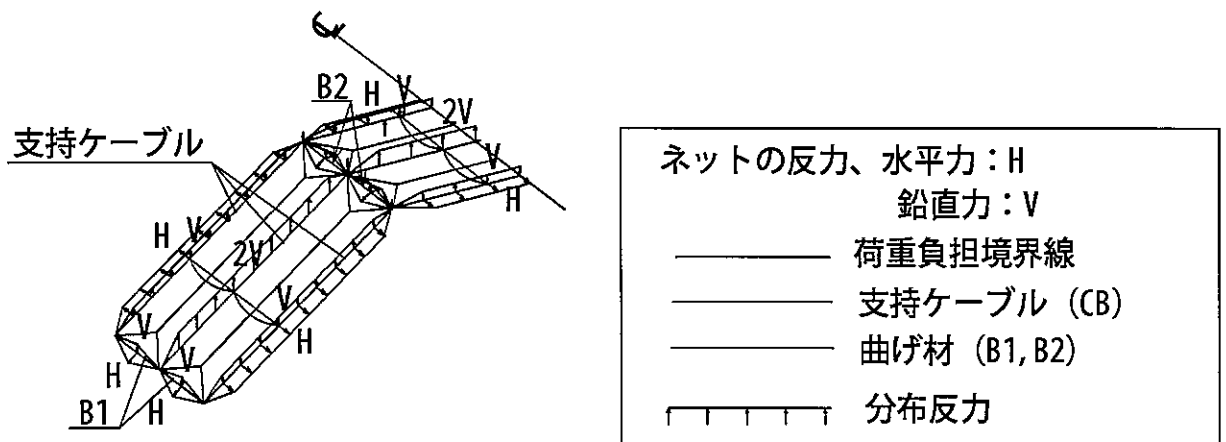


図 1.6 ネットの反力分布

### 1.3 既存吊り天井概要図

図 1.7 に既存の吊り天井の概要図を示す。

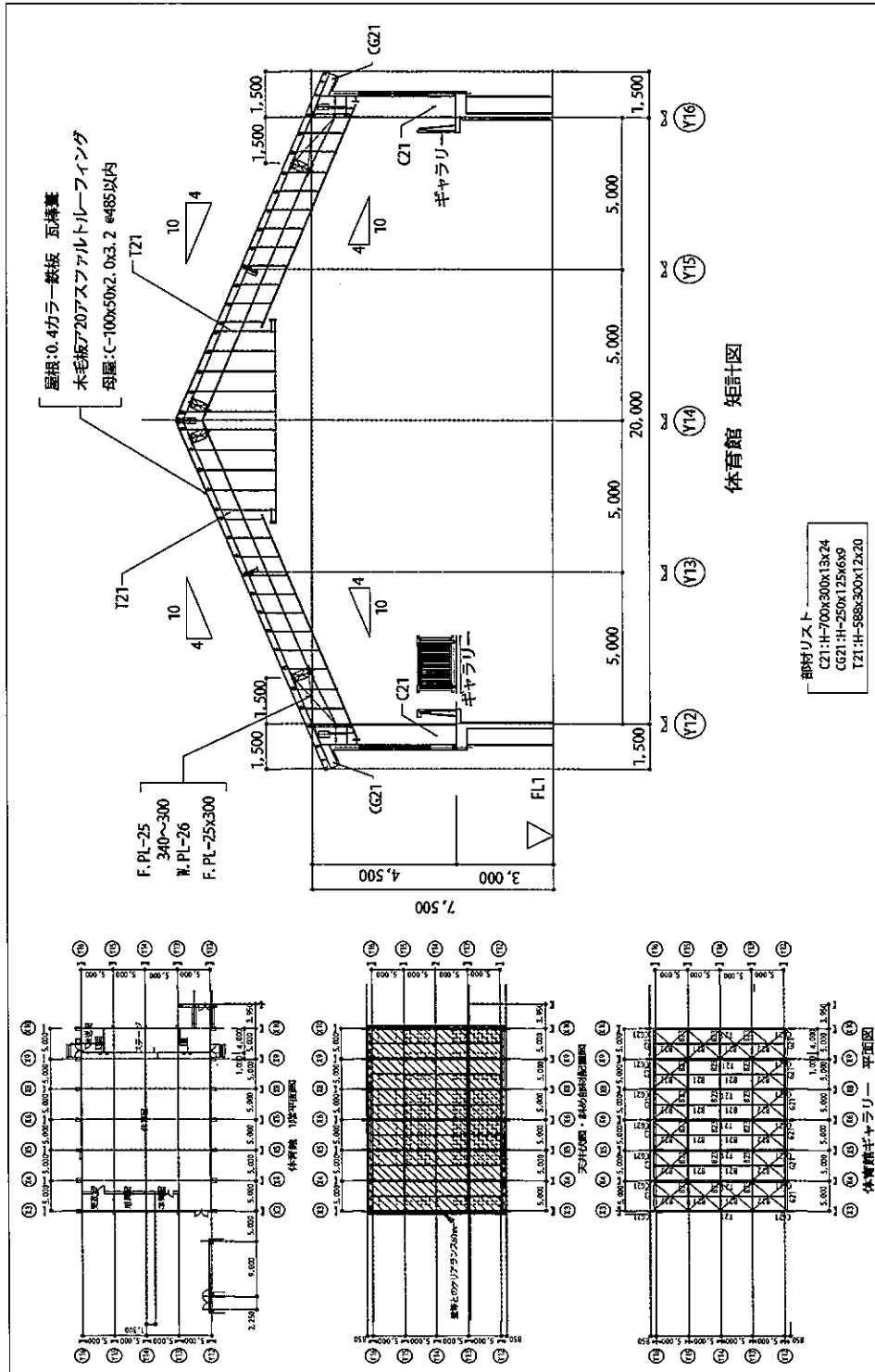


図 1.7 既存吊り天井 概要図

### 1.4 落下防止措置部材 設計図

図 1.8 に、落下防止措置部材の設計図を示す。

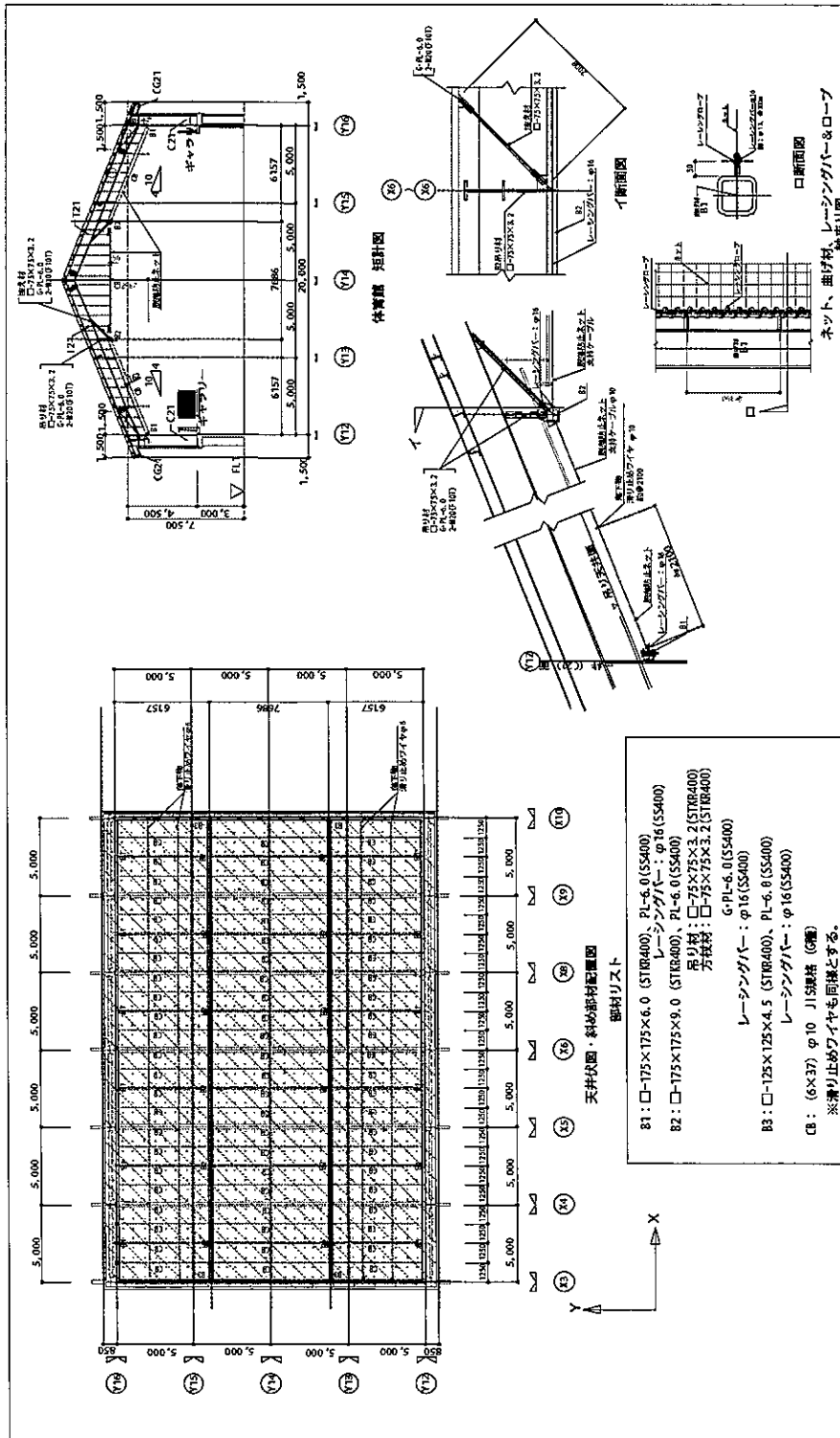


図 1.8 落下防止措置部材 設計図

## § 2. 使用材料及び許容応力度

### 2.1 鋼材

表 2.1 鋼材強度

単位：(N/mm<sup>2</sup>)

材料名 又は 規格	基準強度 $F$	長 期			短 期
		引張	圧縮	せん断	
SS400 STK400 STKR400	235	156.7	156.7	90.5	長期×1.5

※板厚 40mm 以下とする。

※許容圧縮応力度、許容曲げ応力度は、座屈耐力の小さい部材については、日本建築学会『鋼構造設計基準』<sup>2)</sup>に準拠して低減する。

### 2.2 溶接

表 2.2 溶接部強度

単位：(N/mm<sup>2</sup>)

材料名 又は 規格	基準強度 $F$	長 期			短 期
		突合せ		隅 肉	
		圧縮・引張・曲げ	せん断		
SS400 STK400 STKR400	235	157	90	90	長期×1.5

### 2.3 高力ボルト

表 2.3 高力ボルト強度

単位(kN/本)

材料名 及び 規格		長 期			短 期		
		せん断		引張	せん断		引張
		一面	二面		一面	二面	
高力 ボルト (F10T)	M12	17.0	33.9	35.1	25.4	50.9	52.6
	M16	30.2	60.3	62.3	45.2	90.5	93.5
	M20	47.1	94.2	97.4	70.7	141	146
	M22	57.0	114	118	85.5	171	177
	M24	67.9	136	140	102	204	210

## 2.4 ケーブル

表 2.4 ケーブル強度

単位：(kN/本)

規 格	引張剛性 $EA$	破断荷重	許容引張耐力 (kN/本)	
			長期	短期
(6×37) φ6 JIS 規格 (G 種)	1110	17.8	5.9	8.9
(6×37) φ8 JIS 規格 (G 種)	1980	31.6	10.5	15.8
(6×37) φ9 JIS 規格 (G 種)	2500	40.0	13.3	20.0
(6×37) φ10 JIS 規格 (G 種)	3090	49.4	16.5	24.7
(6×37) φ12 JIS 規格 (G 種)	4440	71.1	23.7	35.6

ケーブルの基準強度  $F$  は日本膜構造協会『膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説』<sup>1)</sup>を参考として破断荷重（メーカーカタログ値を参照）の 1/2 とし、令 90 条に基づき長期許容引張耐力を  $F/1.5$ 、短期許容引張耐力を  $F$  とする。

引張剛性： $EA = 78.5 \text{ kN/mm}^2$ （メーカーカタログ値を参照）×断面積（ $\text{mm}^2$ ）

## 2.5 ネット

使用材料名：難燃性高強度繊維素材ネット 8×40

1 目幅 = 40 mm

破断強度：2440 N/2 本（メーカーカタログ値を参照）

m 幅当たりの破断強度： $F_n$

$F_n = 2440 \times 1000 / (2 \text{ 本} \times 40) = 30500 \text{ N/m}$

表 2.5 ネット強度

(単位：kN/m)

材料名	破断強度 $F_n$	許容引張耐力	
		長期	短期
ネット(8×40)	30.5	3.81	7.63

上記の長期許容引張耐力は平成 14 年国土交通省告示第 666 号第 6 に規定する膜材料の引張りの許容応力度の設定に準じて  $F_n/8$  とし、短期については長期の 2 倍とする。

タテ・ヨコとも引張剛性： $Et = 640 \text{ kN/m}$

日本膜構造協会『(社)日本膜構造協会試験法標準 膜材料弾性定数試験法 (MSAJ/M-02-1995)』<sup>3)</sup>に準じて算出。

## 2.6 ネット定着部

ネット端部定着部の実験結果よりの許容耐力は表 2-7 とする。

表 2.6 ネット端部定着部強度

(単位：kN/m)

材料名	基準強度 $F_n$	許容引張耐力	
		長期	短期
難燃性高強度繊維 維素材ネット 8×40	13.770	2.29	4.59

上記の長期引張許容耐力は平成 14 年国土交通省告示第 666 号第 6 に規定する膜面の定着部の許容応力度の設定に準じて  $F_n/6$  とし、短期については長期の 2 倍とする。

### <参考> ネット定着部の試験例

#### (1) 試験体及び試験方法

ネット材料名： 難燃性高強度繊維維素材ネット 8×40

1 目幅 = 40 mm

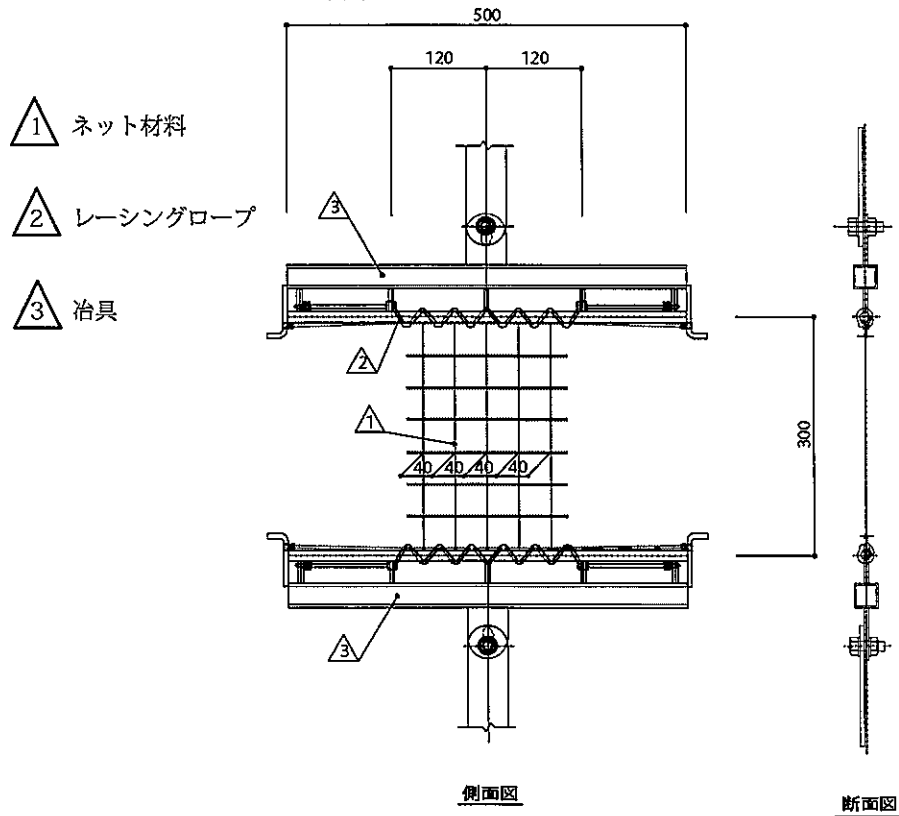


図 2.1 ネット端部定着部試験体模式図

(2) ネット端部定着部の実験結果例

表 2.7 実験結果例

試験片 No	引張強度 (kN/5 本)
1	3.025
2	2.410
3	2.825
平均	2.753

m 幅当たりの基準強度： $F_n$

$$F_n = 2.753 \times 1000 / (5 \text{ 本} \times 40) = 13.765 \text{ kN/m}$$

### § 3. 設計荷重

#### 3.1 固定荷重

##### (1) 実存吊り天井の自重

石膏ボード t=9.5mm.....	6.2kg/m <sup>2</sup>
岩綿吸音板 t=12.0mm.....	3.8kg/m <sup>2</sup>
天井面構成部材以外の天井材.....	3.4kg/m <sup>2</sup>
その他（設備等）.....	2.0kg/m <sup>2</sup>
合計	15.4kg/m <sup>2</sup> ⇒151N/m <sup>2</sup> (W <sub>d</sub> )

##### (2) 天井落下防止措置部材の重量

ネット材及びレーシングロープ等.....	0.20kg/m <sup>2</sup>	} =1.02kg/m <sup>2</sup> ⇒10.0N/m <sup>2</sup> (W <sub>1d</sub> )
支持及横補強ケーブル等.....	0.82kg/m <sup>2</sup>	
ネット下地鉄骨及び金物等.....	8.7kg/m <sup>2</sup> ⇒ 90.0N/m <sup>2</sup> (W <sub>2d</sub> )	

##### 【W<sub>2d</sub>ネット下地鉄骨及び金物等の内訳】

B1---□-175×175×6.0--31.1kg/m×30.00m×2 箇所	=	1899.0 kg
B2---□-175×175×9.0--45.3kg/m×30.00m×2 箇所	=	2718.0 kg
B3---□-125×125×4.5--16.6kg/m×20.84m×2 箇所	=	690.9 kg
レ-シングバー：φ16、脚：φ13		
1.8kg/m×(30.0m+30.0m+20.84m)×2 箇所	=	291.0 kg
小計		5565.9 kg
G・PL、その他---（鉄骨重量×5%仮定する。）		278.3 kg
合計 W=		5844.2 kg

天井投影面積：A = 669.8 m<sup>2</sup>

ネット下地の鉄骨の単位重量 W/A = 8.7 kg/m<sup>2</sup>

#### 3.2 衝撃荷重

既存吊り天井の落下した場合の衝撃荷重：F

$$F = (W_d + W_{1d}) \times 3.3 \text{ 倍} = (151 + 10) \times 3.3 \text{ 倍} = 531 \text{ N/m}^2$$

#### 3.3 テンション材の初期張力

##### (1) ネット材

$${}_n T_i = 0 \text{ kN/m とする。}$$

##### (2) 支持ケーブル材

$${}_c T_i = 0 \text{ kN/m とする。}$$



### 3.4 各部材の設計荷重

- (1) ネット及び支持ケーブルの設計荷重 (短期)

$$W_1 = F = 531 \text{ N/m}^2$$

- (2) ネット下地鉄骨(吊り材も含む)の設計荷重(短期)

$$W_2 = F + W_{2d} = 621 \text{ N/m}^2$$

## § 4. 各部材の設計

### 4.1 天井落下防止ネットと端部定着部の設計（「膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説」の pp129～134 参照）」

(1) 設計荷重と存在応力度

$$W_1 = 531 \text{ N/m}^2$$

$$l = 1.25 \text{ m}$$

$$E_t = 640 \text{ kN/m}$$

1) 等分布荷重： $W$ として

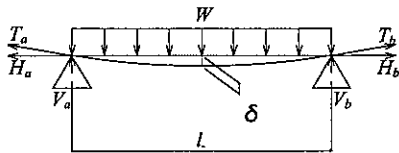


図 4.1 等分布荷重時のネット模式図

$$W = 0.531 \text{ kN/m}^2$$

伸びを考慮して

$$H = H_a = H_b = \sqrt[3]{\frac{E_t W^2 l^2}{24}} = 2.27 \text{ kN/m}$$

$$V = V_a = V_b = \frac{1}{2} W \cdot l = 0.33 \text{ kN/m}$$

$$T_a = T_b = \sqrt{H^2 + V^2} = 2.3 \text{ kN/m}$$

ネットの変形量： $\delta$

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{3Wl^4}{64E_t}} = 0.05 \text{ m}$$

2) 集中荷重： $P$ として

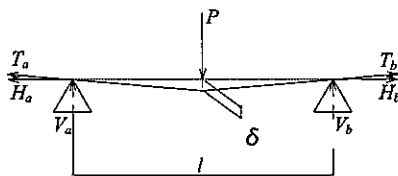


図 4.2 集中荷重時のネット模式図

$$P = W_1 \cdot l = 0.664 \text{ kN/m}$$

伸びを考慮して

$$H = H_a = H_b = \sqrt[3]{\frac{E_t P^2}{8}} = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$V = V_a = V_b = P/2 = 0.33 \text{ kN/m}$$

$$T_a = T_b = \sqrt{H^2 + V^2} = 3.30 \text{ kN/m}$$

ネットの変形量： $\delta$

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{Pl^3}{8E_t}} = 0.06 \text{ m}$$

ネットの初期張力： ${}_n T_i = 0.00 \text{ kN/m}$

ゆえに、 $T = \text{Max}(T_1, T_2) + {}_n T_i = 3.30 \text{ kN/m}$

(2) 使用材料の許容耐力

1) 天井落下防止ネット --- 難燃性高強度繊維素材ネット 8 × 40

短期許容引張耐力： $f_{t1} = 7.63 \text{ kN/m}$

2) 端部定着部

短期許容引張耐力： $f_{t2} = 4.59 \text{ kN/m}$

ゆえに、 $f_t = \text{Min}(f_{t1}, f_{t2}) = 4.59 \text{ kN/m}$

(3) 判定

$$T/f_t = 3.30 / 4.59 = 0.72 < 1.0 \text{ --- OK}$$

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計 (「膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説」の pp129~134 参照)

(1) 両端 (傾斜) 部の支持ケーブルについて

1) 設計荷重

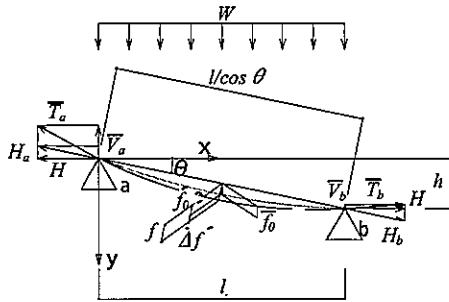


図 4.3 不等高支持点のケーブル模式図

$$W_1 = 531 \text{ N/m}^2$$

$$l = 6.16 \text{ m}$$

$$\text{負担幅} : B = 1.25 \text{ m}$$

$$\text{高差} : h = 2.39 \text{ m}$$

$$\text{支持ケーブルの引張剛性} : E = 3090 \text{ kN/本}$$

$$\theta = \arctan (2.39/6.16) = 21.2^\circ$$

$$l / \cos \theta = 6.61 \text{ m} = l'$$

$$\text{初期サグ} : f_0 = l'/100 = 0.066 \text{ m}$$

$$L_0 = l \left( 1 + \frac{8f_0^2}{3l^2} + \frac{h^2}{2l^2} \left( 1 - 8\frac{f_0^2}{l^2} \right) \right)$$

$$= 6.63 \text{ m}$$

負担幅を 1.25m としているため、

等分布荷重  $W$  は単位幅 1.00m に対して割増す。

$$W = W_1 \cdot B/1.00 = 0.664 \text{ kN/m}^2$$

$$D = \frac{W^2 l^3}{12} = 8.59$$

水平力

$$H^3 + (L_0 - l') \frac{E}{L_0} H^2 - \frac{DE}{2L_0} = 0$$

各数値を代入すると  $H^3 + 9.32H^2 - 2000 = 0$

$H$  を上式より求めると  $H = 10.1 \text{ kN}$  (負担幅 1.25m 当たり)

$$H_a = H_b = \frac{H}{\cos \theta} = 10.8 \text{ kN}$$

鉛直力

$$V = V_a = V_b = \frac{Wl}{2} = 2.05 \text{ kN} \text{ (負担幅 1.25m 当たり)}$$

$$\bar{V}_a = V_a + H_a \tan \theta = 6.24 \text{ kN}$$

$$\bar{V}_b = V_b - H_b \tan \theta = -2.14 \text{ kN}$$

引張応力： $T$

$$T_a = \sqrt{H_a^2 + \bar{V}_a^2} = 12.5 \text{ kN}$$

$$T_b = \sqrt{H_b^2 + \bar{V}_b^2} = 11.0 \text{ kN}$$

支持ケーブルの初期張力： $cT_i = 0.00 \text{ kN}$

$$\text{ゆえに、} T = \text{Max}(T_a, T_b) + cT_i = 12.5 \text{ kN}$$

2) 使用材料

支持ケーブル (6×37) φ10 JIS 規格 (G 種)

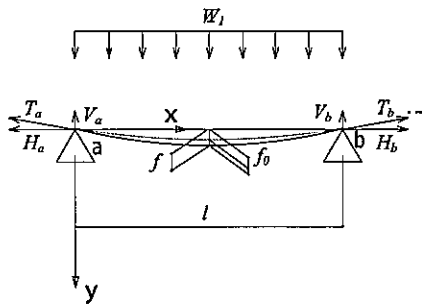
短期許容引張耐力： $F_t = 24.7 \text{ kN/本}$

3) 判定  $T/F_t = 12.5 / 24.7 = 0.51 < 1.0$  ---- OK

(2) 中央 (水平) 部の支持ケーブルについて

1) 設計荷重

$$W_1 = 531 \text{ N/m}^2$$



$$l = 7.69 \text{ m}$$

$$\text{負担幅：} B = 1.25 \text{ m}$$

$$\text{高差：} h = 0.000 \text{ m}$$

支持ケーブルの引張剛性： $E = 3090 \text{ kN/本}$

$$\text{初期サグ：} f_0 = l / 100 = 0.077 \text{ m}$$

初期長さ： $L_0$

$$L_0 = l \left( 1 + \frac{8f_0^2}{3l^2} + \frac{h^2}{2l^2} \left( 1 - 8\frac{f_0^2}{l^2} \right) \right) = 7.69 \text{ m}$$

図 4.4 等高支持点のケーブル模式図

負担幅を 1.25m としているため、

等分布荷重  $W$  は単位幅 1.00m に対して割増す。

$$W = W_1 \cdot B / 1.00 = 0.664 \text{ kN/m}^2$$

$$D = \frac{W^2 l^3}{12} = 16.7$$

水平力

$$H^3 + (L_0 - l) \frac{E}{L_0} H^2 - \frac{DE}{2L_0} = 0$$

各数値を代入すると  $H^3 - 3350 = 0$

$H$  を上式より求めると  $H = 15.0 \text{ kN}$  (負担幅 1.25m 当たり)

鉛直力

$$V = V_a = V_b = \frac{Wl}{2} = 2.55 \text{ kN} \text{ (負担幅 1.25m 当たり)}$$

$$V_a = 2.55 \text{ kN}$$

$$V_b = 2.55 \text{ kN}$$

引張応力： $T$

$$T_a = \sqrt{H^2 + V_a^2} = 15.2 \text{ kN}$$

$$T_b = \sqrt{H^2 + V_b^2} = 15.2 \text{ kN}$$

支持ケーブルの初期張力： ${}_cT_i = 0.00 \text{ kN}$

ゆえに、 $T = \text{Max}(T_a, T_b) + {}_cT_i = 15.2 \text{ kN}$

## 2) 使用材料

支持ケーブル (6×37) φ10 JIS 規格 (G 種)

短期許容引張耐力： $F_t = 24.7 \text{ kN/本}$

## 3) 判定

$$T/F_t = 15.2 / 24.7 = 0.62 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

## 4.3 Y12、Y16 通りの曲げ材 (B1 材) の設計

### (1) 設計荷重

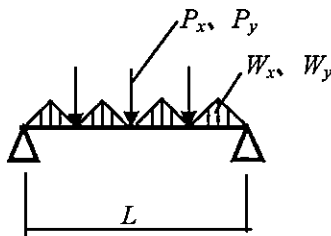


図 4.5 曲げ材の模式図

支点間距離： $L = 5.00 \text{ m}$

ネット下地鉄骨単位重量： $W_0 = 90.0 \text{ N/m}^2$

負担幅： $B = 6.16/2 = 3.08 \text{ m}$

自重による曲げモーメント  $M_0$

$$M_0 = W_0 \cdot B \cdot \frac{L^2}{8} = 0.866 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計より

集中荷重  $H$ 、 $V_b$  を  $P_x$ 、 $P_y$  とする。

$$P_x = H = 10.1 \text{ kN}$$

$$P_y = V_b = 2.14 \text{ kN}$$

支持ケーブルによる水平方向の曲げモーメント  $M_{px}$

$$M_{px} = P_x \cdot \frac{L}{2} = 25.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

支持ケーブルによる鉛直方向の曲げモーメント  $M_{py}$

$$M_{py} = P_y \cdot \frac{L}{2} = 5.35 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.1 天井落下防止ネット材と端部定着部の設計より

分布荷重  $H$ 、 $V$  を  $W_x$ 、 $W_y$  とする。

$$W_x = H = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$W_y = V = 0.33 \text{ kN/m}$$

ネット材による水平方向の曲げモーメント  $M_{wx}$

$$M_{wx} = W_x \cdot \frac{L^2}{16} = 5.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ネット材による鉛直方向の曲げモーメント  $M_{wy}$

$$M_{wy} = W_y \cdot \frac{L^2}{16} = 0.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

水平方向の曲げモーメント  $M_x$

$$M_x = M_{px} + M_{wx} = 30.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

鉛直方向の曲げモーメント  $M_y$

$$M_y = M_0 + M_{py} + M_{wy} = 6.74 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 使用材料 □-175×175×6.0 (STKR400)

$$A = 3.96 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = Z_y = 2.13 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

(3) 存在応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = 143 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = 31.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} = 143 + 31.6 = 175 \text{ N/mm}^2$$

(4) 判定

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 175 / 235 = 0.74 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

#### 4.4 Y13-Y14、Y14-Y15 通り間の曲げ材 (B2 材) の設計

① 水平部と傾斜部の天井が同時に脱落した場合

(1) 設計荷重

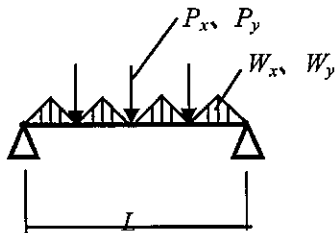


図 4.6 曲げ材の模式図

支点間距離： $L = 5.00 \text{ m}$

ネット下地鉄骨単位重量： $W_0 = 90.0 \text{ N/m}^2$

負担幅： $B = (6.16 + 7.69) / 2 = 6.93 \text{ m}$

自重による曲げモーメント  $M_0$

$$M_0 = W_0 \cdot B \cdot \frac{L^2}{8} = 1.95 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計より集中荷重  $H$ 、 $V_a$  を  $P_x$ 、 $P_y$  とする。

(1) より、 $H = 10.1 \text{ kN} = H_1$

$$V_a = 6.24 \text{ kN} = V_1 \text{ と置く}$$

(2) より、 $H = 15.0 \text{ kN} = H_2$

$$V = V_a = V_b = 2.55 \text{ kN} = V_2 \text{ と置く}$$

$$P_x = -H_1 + H_2 = -10.1 + 15.0 = 4.9 \text{ kN}$$

$$P_y = V_1 + V_2 = 6.24 + 2.55 = 8.79 \text{ kN}$$

支持ケーブルによる水平方向の曲げモーメント  $M_{px}$

$$M_{px} = P_x \cdot \frac{L}{2} = 12.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

支持ケーブルによる鉛直方向の曲げモーメント  $M_{py}$

$$M_{py} = P_y \cdot \frac{L}{2} = 22.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.1 天井落下防止ネット材と端部定着部の設計より分布荷重  $H$ 、 $V$  を  $W_x$ 、 $W_y$  とする。

$$H = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$V = 0.33 \text{ kN/m}$$

$$W_x = H - H = 0.00 \text{ kN/m}$$

⇒ (傾斜側 (端部) と水平側 (中央部) の  $H$  は同じ)

$$W_y = 2V = 0.66 \text{ kN/m}$$

ネット材による水平方向の曲げモーメント  $M_{wx}$

$$M_{wx} = W_x \cdot \frac{L^2}{16} = 0.00 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ネット材による鉛直方向の曲げモーメント  $M_{wy}$

$$M_{wy} = W_y \cdot \frac{L^2}{16} = 1.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_x = M_{px} + M_{wx} = 12.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = M_0 + M_{py} + M_{wy} = 25.0 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 使用材料 □-175×175×9.0 (STKR400)

$$A = 5.77 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = Z_y = 2.97 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

(3) 存在応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = 41.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = 84.2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} = 41.4 + 84.2 = 126 \text{ N/mm}^2$$

(4) 判定

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 126 / 235 = 0.54 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

②傾斜部の天井のみ脱落した場合

(1) 設計荷重

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計より集中荷重  $H$ 、 $V_a$  を  $P_x$ 、 $P_y$  とする。

(1) より、 $H = 10.1 \text{ kN} = H_1$

$$V_a = 6.24 \text{ kN} = V_1 \text{ と置く}$$

$$P_x = H_1 = 10.1 \text{ kN}$$

$$P_y = V_1 = 6.24 \text{ kN}$$

支持ケーブルによる水平方向の曲げモーメント  $M_{px}$

$$M_{px} = P_x \cdot \frac{L}{2} = 25.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

支持ケーブルによる鉛直方向の曲げモーメント  $M_{py}$

$$M_{py} = P_y \cdot \frac{L}{2} = 15.6 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.1 天井落下防止ネット材と端部定着部の設計より分布荷重  $H$ 、 $V$  を  $W_x$ 、 $W_y$  とする。

$$W_x = H = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$W_y = V = 0.33 \text{ kN/m}$$

ネット材による水平方向の曲げモーメント  $M_{wx}$

$$M_{wx} = W_x \cdot \frac{L^2}{16} = 5.13 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

ネット材による鉛直方向の曲げモーメント  $M_{wy}$

$$M_{wy} = W_y \cdot \frac{L^2}{16} = 0.52 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_x = M_{px} + M_{wx} = 30.4 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = M_0 + M_{py} + M_{wy} = 18.1 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 使用材料 □-175×175×9.0 (STKR400)

$$A = 5.77 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = Z_y = 2.97 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

(3) 存在応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = 102 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = 60.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} = 102 + 60.9 = 163 \text{ N/mm}^2$$

(4) 判定



$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 163 / 235 = 0.69 < 1.0 \text{ --- OK}$$

③水平部の天井のみ脱落した場合

(1) 設計荷重

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計より集中荷重  $H$ 、 $V_a$  を  $P_x$ 、 $P_y$  とする。

(2) より、 $H = 15.0 \text{ kN} = H_2$

$$V = V_a = V_b = 2.55 \text{ kN} = V_2 \text{ と置く}$$

$$P_x = H_2 = 15.0 \text{ kN}$$

$$P_y = V_2 = 2.55 \text{ kN}$$

支持ケーブルによる水平方向の曲げモーメント  $M_{px}$

$$M_{px} = P_x \cdot \frac{L}{2} = 37.5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

支持ケーブルによる鉛直方向の曲げモーメント  $M_{py}$

$$M_{py} = P_y \cdot \frac{L}{2} = 6.38 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.1 天井落下防止ネット材と端部定着部の設計より分布荷重  $H$ 、 $V$  を  $W_x$ 、 $W_y$  とする。

$$W_x = H = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$W_y = V = 0.33 \text{ kN/m}$$

ネット材による水平方向の曲げモーメント  $M_{wx}$

$$M_{wx} = W_x \cdot \frac{L^2}{16} = 5.13 \text{ kNm}$$

ネット材による鉛直方向の曲げモーメント  $M_{wy}$

$$M_{wy} = W_y \cdot \frac{L^2}{16} = 0.52 \text{ kNm}$$

$$M_x = M_{px2} + M_{wx2} = 42.6 \text{ kNm}$$

$$M_y = M_0 + M_{py2} + M_{wy2} = 8.85 \text{ kNm}$$

(2) 使用材料 □-175×175×9.0 (STKR400)

$$A = 5.77 \times 10^4 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = Z_y = 2.97 \times 10^5 \text{ mm}^3$$

(3) 存在応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = 143 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = 29.8 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} = 143 + 29.8 = 173 \text{ N/mm}^2$$

(4) 判定

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 173 / 235 = 0.74 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

#### 4.5 X3、X10 通りの曲げ材 (B3 材) の設計

(1) 設計荷重

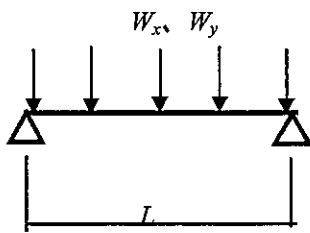


図 4.7 曲げ材の模式図

支点間距離： $L = 5.00\text{m}$

ネット下地鉄骨単位重量： $W_0 = 90.0 \text{ N/m}^2$

負担幅： $B = 1.25 / 2 = 0.625 \text{ m}$

自重による曲げモーメント  $M_0$

$$M_0 = W_0 \cdot B \cdot \frac{L^2}{8} = 0.175 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

4.1 天井落下防止ネット材と端部定着部の設計より  
分布荷重  $H$ 、 $V$  を  $W_x$ 、 $W_y$  とする。

$$W_x = H = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$W_y = V = 0.33 \text{ kN/m}$$

支持ケーブルによる水平方向の曲げモーメント  $M_{wx}$

$$M_{wx} = W_x \cdot \frac{L^2}{8} = 10.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

支持ケーブルによる鉛直方向の曲げモーメント  $M_{wy}$

$$M_{wy} = W_y \cdot \frac{L^2}{8} = 1.03 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

水平方向の曲げモーメント  $M_x$

$$M_x = M_{wx} = 10.3 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

鉛直方向の曲げモーメント  $M_y$

$$M_y = M_0 + M_{wy} = 1.18 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

(2) 使用部材 □-125×125×4.5 (STKR400)

$$A = 2.12 \times 10^3 \text{ mm}^2$$

$$Z_x = Z_y = 8.09 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

(3) 存在応力度

$$\sigma_{bx} = \frac{M_x}{Z_x} = 127 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{by} = \frac{M_y}{Z_y} = 14.6 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \sigma_{bx} + \sigma_{by} = 142 \text{ N/mm}^2$$

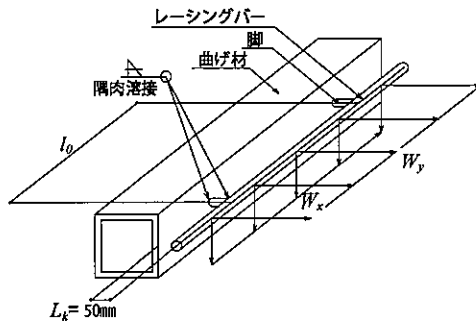
(4) 判定

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 142 / 235 = 0.60 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

#### 4.6 レーシングバーの設計

(1) 設計応力

最大応力は Y13-Y14、Y14-Y15 通り間のレーシングバーと考えられる。



4.1 天井落下防止ネット材と端部定着部の設計より  
ネットからの応力  $H, V$  は

$$H = 3.28 \text{ kN/m}$$

$$V = 0.33 \text{ kN/m}$$

— 2) より

天井勾配: 4/10  $\Rightarrow \theta = 21.8^\circ$

$H, V$  を座標変換して  $W_x, W_y$  を求める。

$$W_x = H \cdot \cos\theta - V \cdot \sin\theta = 2.92 \text{ kN/m}$$

$$W_y = H \cdot \sin\theta + V \cdot \cos\theta = 1.52 \text{ kN/m}$$

負担幅:  $l_0 = 0.3 \text{ m}$

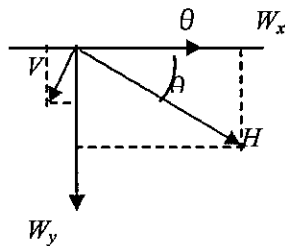


図 4.8 レーシングバー模式図

1) レーシングバーの応力

$$M_x = W_x \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0.0329 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$M_y = W_y \cdot \frac{l_0^2}{8} = 0.0171 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$\text{ゆえに、} M_1 = \sqrt{M_x^2 + M_y^2} = 0.0371 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2) 脚及び脚溶接部の応力

$$N_2 = W_x \cdot l_0 = 0.876 \text{ kN (引張力)}$$

$$M_2 = W_y \cdot l_0 \cdot L_k = 0.0228 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$Q_2 = W_y \cdot l_0 = 0.456 \text{ kN}$$

(2) 使用部材

1) 丸鋼  $\phi 16$  (SS400)

$$\text{断面性能 } Z_1 = \pi \cdot \frac{d^3}{32} = 402 \text{ mm}^3$$

2) 丸鋼  $\phi 13$  (SS400)

断面性能  $A_2 = \pi \cdot \frac{d^2}{4} = 133 \text{ mm}^2$

$$Z_2 = \pi \cdot \frac{d^3}{32} = 216 \text{ mm}^3$$

3) 隅肉溶接

断面性能 サイズ:  $S = 4.0 \text{ mm}$  (仮定) のど厚:  $a = 0.7 \times S = 2.8 \text{ cm}$

$$A_3 = (\varphi + 2a)^2 \cdot \frac{\pi}{4} - A_2 = 139 \text{ mm}^2$$

$$Z_3 = (\varphi + 2a)^3 \cdot \frac{\pi}{32} - Z_2 = 410 \text{ mm}^3$$

3) 存在応力度及び判定

1)  $\phi 16$  について

$$\sigma_b = \frac{M_1}{Z_1} = 92.3 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 92.3 / 235 = 0.39 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

2)  $\phi 13$  について

$$\sigma_t = \frac{N_2}{A_2} = 6.59 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_2}{Z_2} = 106 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_t}{f_t} + \frac{\sigma_b}{f_b} = 6.59/235 + 106/235 = 0.48 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

3) 隅肉溶接について

$$\sigma_t = \frac{N_2}{A_3} = 6.30 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_2}{Z_3} = 55.6 \text{ N/mm}^2$$

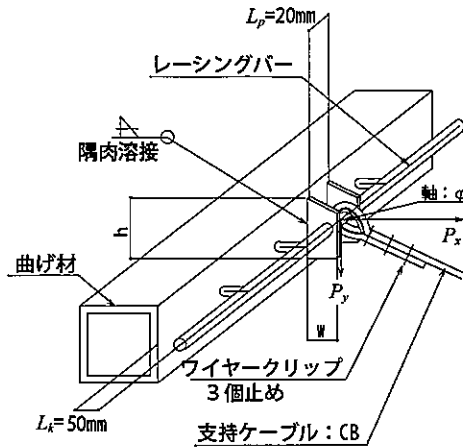
$$\sigma_s = \frac{Q_2}{A_3} = 3.28 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \sigma_s^2} = 62.0 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma}{f_s} = 62.0 / 135 = 0.46 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

## 4.7 支持ケーブル端部固定部の設計

### (1) 設計応力



4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計より  $H_a, \bar{V}_a$  を左図の  $P_x, P_y$  とすると

$$P_x = H_a = 10.8 \text{ kN}$$

$$P_y = \bar{V}_a = 6.24 \text{ kN}$$

$$T = T_a = \sqrt{H_a^2 + \bar{V}_a^2} = 12.5 \text{ kN}$$

1) 軸に生じる曲げ応力

$$M_1 = T \cdot \frac{L_p}{4} = 0.0625 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

2) プレート及び隅肉溶接部に生じる応力 (プレート 1 枚当たりの応力)

$$M_2 = \frac{P_y}{2} \cdot L_k = 0.156 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

$$N_2 = \frac{P_x}{2} = 5.54 \text{ kN (引張力)}$$

$$Q_2 = \frac{P_y}{2} = 3.17 \text{ kN}$$

図 4.9 支持ケーブル端部固定部模式図

### (2) 使用材料

1) 軸:  $\phi 16$

$$\text{断面性能 } Z_1 = \pi \cdot \frac{d^3}{32} = 402 \text{ mm}^3$$

2) PL-6.0t (SS400)

サイズは、幅:  $W=70\text{mm}$ 、高さ:  $h=80\text{mm}$

$$\text{断面性能 } A_2 = 80 \times 6 = 480 \text{ mm}^2$$

$$Z_2 = 6 \times 80^2 / 6 = 6.4 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

3) 隅肉溶接

断面性能 サイズ:  $S=6.0 \text{ mm} \Rightarrow$  のど厚:  $a=0.7 \times S = 4.2 \text{ mm}$

$$A_3 = 2 \times (80 - 2 \times 4.2) \times 4.2 = 601 \text{ mm}^2$$

$$Z_3 = 2 \times 4.2 \times (80 - 2 \times 4.2)^2 / 6 = 7.18 \times 10^3 \text{ mm}^3$$

### (3) 存在応力度及び判定

1) 軸について

$$\sigma_b = \frac{M_1}{Z_1} = 155 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_b}{f_b} = 155 / 235 = 0.66 < 1.0 \text{ --- OK}$$

2) PL-0.6 について

$$\sigma_t = \frac{N_2}{A_2} = 11.5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{M_2}{Z_2} = 24.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{(\sigma_t + \sigma_b)}{f_t} = (11.5 + 24.4) / 235 = 0.15 < 1.0 \text{ --- OK}$$

3) 隅肉溶接について

$$\sigma_t = \frac{N_2}{A_3} = 9.22$$

$$\sigma_s = \frac{Q_2}{A_3} = 5.27$$

$$\sigma_b = \frac{M_2}{Z_3} = 21.7$$

$$\frac{\sqrt{(\sigma_t + \sigma_b)^2 + \sigma_s^2}}{f_s} = \frac{\sqrt{(9.22 + 21.7)^2 + 5.27^2}}{135} = 0.23 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

#### 4.8 吊り材及び控え材の設計

(1) 吊り材部分の詳細

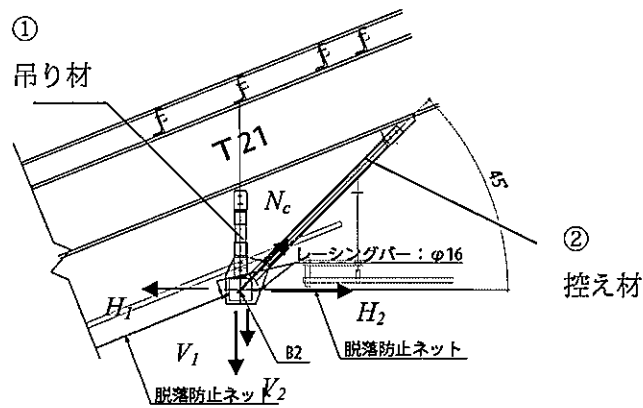


図 4.10 吊り材・控え材の模式図

(2) 設計応力

吊り材・控え材のピッチ： $l_1 = 5.00 \text{ m}$

ネット下地鉄骨単位重量： $W_{2d} = 90.0 \text{ N/m}^2$

負担幅： $B = (6.16 + 7.69) / 2 = 6.93 \text{ m}$

$V_0 = W_{2d} \cdot B \cdot l_1 = 3.12 \text{ kN}$

支持ケーブル (@1.25m) 反力から

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計の 1) より

$$H_a = 10.8 \text{ kN} \Rightarrow H_1$$

$$\bar{V}_a = 6.24 \text{ kN} \Rightarrow V_1$$

4.2 支持ケーブル (CB 材) の設計の 2) より

$$H = 15.0 \text{ kN} \Rightarrow H_2$$

$$V = 2.55 \text{ kN} \Rightarrow V_2$$

(3) 使用部材 ①、②部材とも □-75×75×3.2 (STKR400)

$$\text{断面性能 } A = 8.93 \times 10^2 \text{ mm}^2$$

$$Z = 2.01 \times 10^4 \text{ mm}^3$$

$$i = 20.1 \text{ mm}$$

$$L_{1c} = 0.77 \text{ m} \Rightarrow \text{圧縮材の①部材の座屈長さ}$$

$$L_{2c} = 1.80 \text{ m} \Rightarrow \text{圧縮材の②部材の座屈長さ}$$

許容圧縮応力度

$$\lambda_1 = \frac{L_{1c}}{i} = 0.77 / 20.1 \times 10^3 = 38.3 \square \quad f_{1c} = 144 \times 1.5 = 216 \text{ N/mm}^2$$

$$\lambda_2 = \frac{L_{2c}}{i} = 1.80 / 20.1 \times 10^3 = 89.6 \square \quad f_{2c} = 97.4 \times 1.5 = 146 \text{ N/mm}^2$$

①水平部と傾斜部の天井が同時に脱落した場合

(A) 存在応力度

1) ①吊り材の応力

$$H_b = (H_2 - H_1) \cdot \frac{l_1}{1.25} = 16.8 \text{ kN}$$

$$N_1 = (V_2 + V_1) \cdot \frac{l_1}{1.25} + V_0 + H_b \cdot \tan(45^\circ) = 55.1 \text{ kN (引張力)}$$

2) ②控え材

上記の $H_b$ より

$$N_2 = \frac{H_b}{\cos(45^\circ)} = 23.8 \text{ kN (圧縮力)}$$

(B) 判定

1) ①部材について

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A} = 61.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_1}{f_t} = 61.7 / 235 = 0.26 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

2) ②部材について

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A} = 26.7 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_2}{f_{2c}} = 26.7 / 146 = 0.18 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

※ボルト：2-M20、(F10T) (共通) について

許容せん断耐力:  $F_b = 70.7$  kN/本 (短期、一面摩擦)

最大せん断応力:  $Q = \frac{N_1}{2 \text{本}} = 55.1 / 2 = 27.6$  kN/本

よって、 $\frac{Q}{F_b} = 0.39 < 1.0$  ---- OK

## ②傾斜部の天井のみ脱落した場合

### (A) 存在応力度

1) ①吊り材の応力

$$H_b = -H_1 \cdot \frac{l_1}{1.25} = -43.2 \text{ kN}$$

$$N_1 = V_1 \cdot \frac{l_1}{1.25} + V_0 + \sum H \cdot \tan(45^\circ) = -15.1 \text{ kN} \quad (\text{圧縮力})$$

2) ②控え材

上記の $H_b$ より

$$N_2 = \frac{H_b}{\cos(45^\circ)} = 61.1 \text{ kN} \quad (\text{引張力})$$

### (B) 判定

1) ①部材について

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A} = 16.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_1}{f_{1c}} = 16.9 / 216 = 0.08 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

2) ②部材について

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A} = 68.4 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_2}{f_t} = 68.4 / 235 = 0.29 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

※ボルト：2-M20、(F10T) (共通) について

許容せん断耐力:  $F_b = 70.7$  kN/本 (短期、一面摩擦)

最大せん断応力:  $Q = \frac{N_2}{2 \text{本}} = 61.1 / 2 = 30.6$  kN/本

よって、 $\frac{Q}{F_b} = 0.43 < 1.0$  ---- OK

## ③水平部の天井のみ脱落した場合

### (A) 存在応力度

1) ①吊り材の応力



$$H_b = H_2 \cdot \frac{l_1}{1.25} = 60.0 \text{ kN}$$

$$N_1 = V_2 \cdot \frac{l_1}{1.25} + V_0 + \sum H \cdot \tan(45^\circ) = 73.3 \text{ kN} \quad (\text{引張力})$$

2) ②控え材

上記の $H_b$ より

$$N_2 = \frac{H_b}{\cos(45^\circ)} = 84.9 \text{ kN} \quad (\text{圧縮力})$$

(B) 判定

1) ①部材について

$$\sigma_1 = \frac{N_1}{A} = 82.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_1}{f_t} = 82.1 / 235 = 0.35 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

2) ②部材について

$$\sigma_2 = \frac{N_2}{A} = 95.1 \text{ N/mm}^2$$

$$\frac{\sigma_2}{f_{2c}} = 95.1 / 146 = 0.65 < 1.0 \text{ ---- OK}$$

※ボルト：2-M20、(F10T) (共通) について

許容せん断耐力:  $F_b = 70.7 \text{ kN/本}$  (短期、一面摩擦)

最大せん断応力:  $Q = \frac{N_2}{2 \text{本}} = 84.9 / 2 = 42.5 \text{ kN/本}$

よって、 $\frac{Q}{F_b} = 0.60 < 1.0 \text{ ---- OK}$

#### 4.9 柱及び梁との定着部の設計

【一般的なガセットプレート取り合いの為、本書での検討は省く】

<参考文献>

- 1) 膜構造の建築物・膜材料等の技術基準及び同解説, (社)日本膜構造協会, 2003.8
- 2) 鋼構造設計規準, (社)日本建築学会, 2005.9
- 3) (社)日本膜構造協会試験法標準 膜材料弾性定数試験法(MSAJ/M-02-1995), (社)日本膜構造協会, 1995

## 1. 「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」(平成25年10月版)の公開について

### 一般社団法人 建築性能基準推進協会

平成23年3月に発生した東日本大震災においては、体育館、音楽ホール等の多数の建築物において天井が脱落し、かつてない規模で甚大な被害が生じました。これらの被害を踏まえ、国土交通省において天井の脱落対策に係る基準が新たに定められ、新築建築物等への適合を義務付けすることとする建築基準法施行令及び関連省令の改正(平成25年7月12日公布)並びに関連告示の制定・改正(平成25年8月5日公布)が行われ、平成26年4月1日より施行されております。

当協会では、平成25年10月版のデータを下記の通り公開しておりますので、ご活用いただければ幸いです。

### 説明会テキスト「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」(平成25年10月版)

はじめに		241KB
第Ⅰ編	建築物における天井脱落対策に係る技術基準の逐条解説	1.58MB
第Ⅱ編	天井及びその部材・接合部の耐力・剛性の設定方法	596KB
第Ⅲ編	特定天井の設計例	105KB
	設計例1(9階建てSRC造オフィスビルのエントランスロビー)	
	設計例1-1:仕様ルート	1.91MB
	設計例1-2:計算ルート(水平震度法)	1.99MB
	設計例1-3:計算ルート(簡易スペクトル法)	2.06MB
	設計例2(10階建てオフィスビル最上階大会議室)	2.15MB
	設計例3(平屋建てで下部RC上部S造の体育館)	3.75MB
	<b>設計例4 ネットによる落下防止措置の例(設計例3の体育館)</b>	369KB
	設計例5 ワイヤーによる落下防止措置の例(設計例1のエントランスホール)	582KB
正誤表	※平成26年3月31日に正誤表を追加しました。	

#### (注)

本解説のうち、第Ⅰ編及び第Ⅱ編の作成は、国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所が行い、第Ⅲ編の作成に必要な基礎資料の提供、第Ⅲ編の作成及び解説の全体のとりまとめは、国土交通省住宅局の補助事業により一般社団法人 新・建築士制度普及協会が行っています。

## 建築物における天井脱落対策の全体像

### ■ 建築基準法の天井脱落に係る規定

- 建築基準法では、天井について、風圧並びに地震その他の震動及び衝撃によって脱落しないようにしなければならない旨規定【建築基準法施行令第39条】



### ■ 建築基準法に基づく天井脱落対策の規制強化

- 天井脱落対策に係る基準を定め、建築基準法に基づき、新築建築物等への適合を義務付け

対象：6m超の高さにある200㎡超の吊り天井

基準：吊りボルト等を増やす、接合金物の強度を上げるなど

※ 建築基準法施行令等は平成25年7月12日公布、関連告示は平成25年8月5日公布

(平成26年4月1日施行)

※ 今後汎用性の高い設計法が開発された場合等には告示への位置付けを検討

### ■ 既存建築物への対応

- ネットやワイヤの設置の基準について、増改築時に適用できる基準として位置付け
- 防災拠点施設など特に早急に改善すべき建築物\*について改修を行政指導

\* ア. 災害応急対策の実施拠点となる庁舎、避難場所に指定されている体育館等の防災拠点施設

イ. 固定された客席を有する劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場

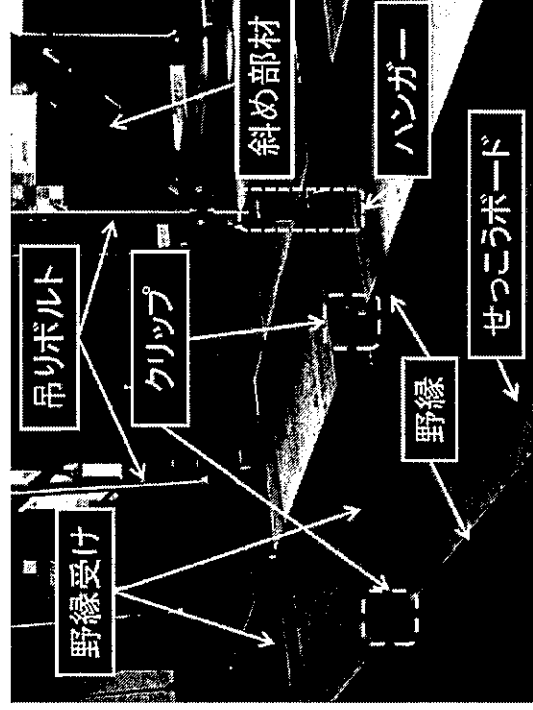
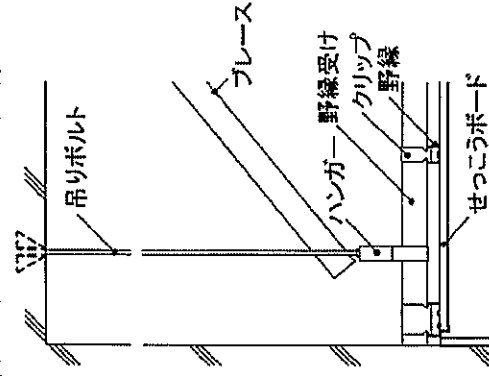
- 定期報告制度の活用による状況把握
- 社会資本整備総合交付金、防災・安全交付金の活用による改修費用への支援  
(天井のみの耐震改修を交付対象に追加【平成25年度当初予算】)

# 天井脱落対策に係る基準

## ■ 天井脱落対策に係る基準

	現状	基準(仕様ルート)
クリップ、ハンガー等の接合金物	引っ掛け式等で地震時に滑ったり外れるおそれ	ねじ留め等により緊結
吊りボルト、斜め部材等の配置	設計により様々	密に配置 (吊りボルト 1本/m <sup>2</sup> 強化した斜め部材 基準に従って算定される組数)
吊り長さ	設計により様々	3m以下で、概ね均一
設計用地震力(水平方向)	実態上、1G程度	最大2.2G
クリアランス	実態上、明確に設けられていない	原則、6cm以上

## ■ 現状の在来工法による天井の構成例



# 天井脱落対策の対象となる天井と検証ルート

## 新築建築物等

## 既存建築物

### 特定天井(脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある天井)

〔 6m超の高さにある、面積200㎡超、質量2kg/㎡超の吊り天井で人が日常利用する場所に設置されているもの 〕

#### ※その他の天井

- 吊り天井以外の天井
- 人に重大な危害を与えるおそれの低いもの。
  - ・高さ6m以下
  - ・面積200㎡以下
  - ・天井の質量が2kg/㎡以下
- 人に危害を与えらるおそれがない場所に設置されているもの。
  - ・居室、廊下その他の人が日常利用する場所に設けられるもの以外の天井

(設計者の判断により安全を確保)

### ○以下のいずれかのルートを適用し検証。

中地震で天井が損傷しないことを検証  
(これにより、中地震を超える一定の地震においても脱落の低減を図る。)

#### 仕様ルート

耐震性等を考慮した天井の仕様に適合することで検証  
(天井の質量2kg/㎡超20kg/㎡以下)

#### 計算ルート

天井の耐震性等を告示で定める計算で検証

#### 大臣認定ルート

構造躯体の特性を時刻歴応答解析で検証する建築物について天井の耐震性等を検証

水平方向の地震力に対し斜め部材等を配置し、周辺にクリアランスを確保

その他の方法によるもの  
・仕様ルート・計算ルートの追加(告示)により対応を検討

複雑な天井等仕様ルート及び計算ルートに適合しない天井の耐震性等を、実験及び数値計算で検証

### 既存の天井

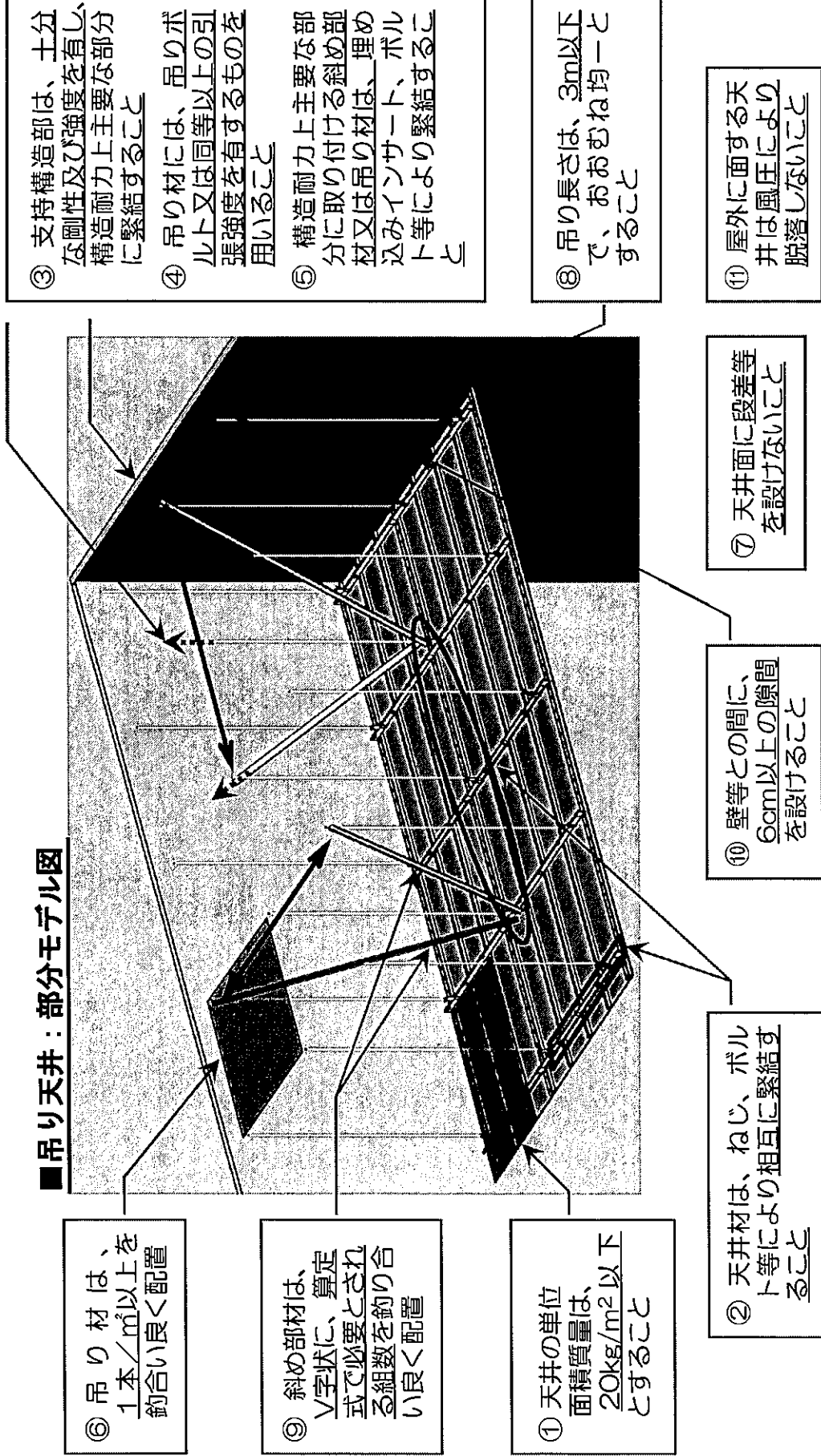
○新築時の基準または落下防止措置

- 天井が損傷しても落下しないような措置がなされているもの
  - ・ ネットの設置
  - ・ 天井をワイヤー等で吊る構造

※増改築時に適用できる基準として位置付け

# 天井脱落対策に係る技術基準の概要 【告示\*第三第1項：仕様ルートを(2~20kg/m<sup>2</sup>)の場合】

\* 「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件」(平成25年国土交通省告示第771号)



※規定の概要を示したものであり、規定の内容の詳細については告示を参照されたい。