

既存吊り天井落下防止措置 設計例 5

Mビル エントランスロビー
(9階建てSRC造 オフィスビル)

設計手法：ワイヤーによる落下防止措置

目次

| | |
|-----------------------------|------|
| § 1 . 落下防止ワイヤー工法の設計概要 | 5-3 |
| 1.1 設計方針 | 5-3 |
| 1.2 建築物概要 | 5-5 |
| 1.3 適用範囲 | 5-6 |
| 1.4 落下防止ワイヤーの設置方法..... | 5-7 |
| § 2 . 落下による衝撃荷重の算定 | 5-8 |
| § 3 . 落下防止ワイヤー工法の設計 | 5-9 |
| 3.1 設計手順 | 5-9 |
| 3.2 落下防止ワイヤー工法の設計例..... | 5-10 |
| A-01 天井伏図・ワイヤー配置図・詳細図 | 5-16 |

§ 1 . 落下防止ワイヤー工法の設計概要

1.1 設計方針

本設計例では、増築に伴い既存建物 1 階に位置するエントランスロビーにおいて、2 階部分が吹き抜けとなっており、天井高さが 6m を超え、かつ水平投影面積が 200m² を超える部分について、建築基準法施行令第 137 条の 2 および平成 17 年国土交通省告示第 566 号第三第 1 項 2 号口に基づき、ワイヤーによる落下防止措置（以下、落下防止ワイヤー工法）を検討する。

図 1.1 に、落下防止措置に関するフローを示す。

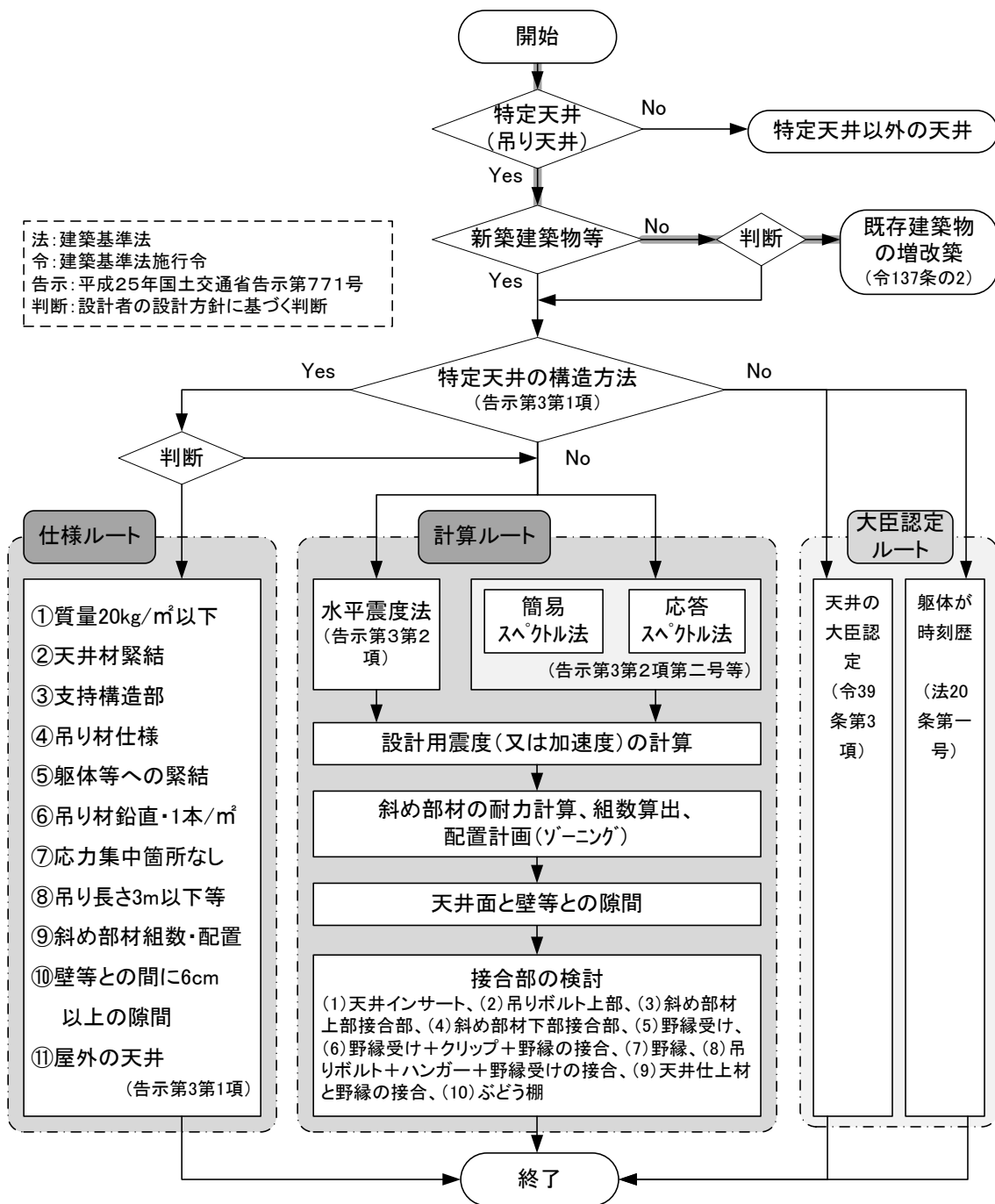


図 1.1 吊り天井の設計フロー

1.2 建築物概要

本設計例は、実在する建物の設計図書をもととした上で、落下防止ワイヤー工法が成立するような天井材を設計したものである。建物概要は以下の通りとなっている。

- ・ 建築場所：東京都内某所
- ・ 用途：事務所
- ・ 階数：地下なし、地上9階、塔屋1階
- ・ 建物高さ：30.35m
- ・ 対象天井：1階見上げ～3階床下に位置するエントランスロビー部分の天井(2階部分が吹き抜けとなっている天井)
一体となっている天井高さが6.0mを超えるため、平成二十五年度国土交通省告示第七百七十一号第二に規定される特定天井に該当する。
- ・ 天井面積：878.7m² (対象天井部分)
- ・ 天井高さ：6.245m
- ・ 天井吊り長さ：800mm
- ・ 柱スパン：6.6m (対象天井部分：X方向)
10.0m (対象天井部分：Y方向)
- ・ 構造種別：鉄骨鉄筋コンクリート造

1.3 適用範囲

本設計例で示す落下防止ワイヤー工法の適用範囲は以下のとおりである。

(1) 天井仕上げ材

天井仕上げ材は金属系スパンドレルを対象とし、単位重量は $100\text{N}/\text{m}^2$ 以下とする。これは、野縁の下側にワイヤーを通す必要があること、および天井材として割れ・欠けが起きない材料が条件となるためである。

また、過去の金属系スパンドレルの天井脱落被害事例から、本設計例では天井板が一体となって脱落することを想定している。よって金属系スパンドレル以外で本設計例を参考とする場合は、天井脱落時の状態を想定した上で、必要な追加検討を行わなければならない。

(2) 天井下地材

天井下地材を構成するクリップは市販品の耐震クリップで補強し、ハンガーは開き止め防止措置を講じる。

(3) 適用規模

平面形状が1辺20m四方に納まる天井を適用規模とする。これは、平成25年国土交通省告示第771号で示されている水平震度を想定した上で、部分実物大天井に対する衝撃試験により、天井の一体性が確認できた規模を適用規模に設定しているためである。なお、これを上回る規模の天井は、1辺20m四方に納まる平面形状となるように天井を分割することで適用可とできる。また、段差や曲面を有する天井には適用できない。

(4) 天井周囲の拘束

(3)で示した適用規模に対し、天井周囲を拘束する措置を講じる。これは、地震時に吊りボルトが大きく水平変形することを低減するためである。

1.4 落下防止ワイヤーの設置方法

- (1) 落下防止ワイヤーは野縁受けに沿う方向に設置し、野縁の下（金属系スパンドレルとの隙間）およびハンガーに通す（図 1.2）。
- (2) ハンガーは開き止め防止措置が取られた耐震ハンガーを使用すると共に、吊りボルトの健全性を事前に確認しておく必要がある。確認の方法としては、目視による劣化状況確認に加えて、既存の吊り元およびハンガーの耐力を計算または現地試験等により、ワイヤーが負担する衝撃荷重 F が鉛直方向に作用した場合にも、十分な強度が確保されていることの確認が必要となる。
- (3) 落下防止ワイヤーの端部は、ワイヤークリップ等を使用して構造躯体または支持構造部に取りつける。
- (4) 落下防止ワイヤーは、初期張力を作用させない程度に、たるませずに張った状態で設置する。
- (5) 金属系スパンドレルは野縁とビス留めされており、ボート系の天井仕上げ材のような割れ・欠けが起きない材料であることから、これらは一体化していると考えられる。そのため、野縁の下側に落下防止ワイヤーを通すことで、「野縁 + 金属系スパンドレル」が落下することを防止する。

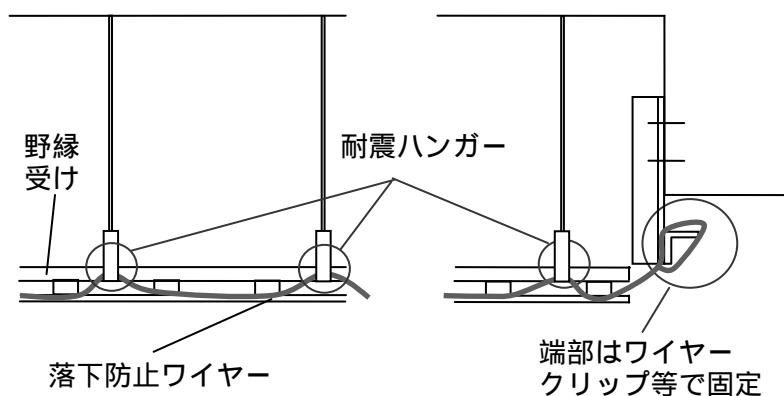


図 1.2 落下防止ワイヤーの設置方法

§ 2 . 落下による衝撃荷重の算定

天井材が落下防止措置部材に接触するまでの位置エネルギーから落下による衝撃荷重を算定する。

ここで、式中の記号は、 g : 重力加速度、 k : 撓み剛性、 m : 天井材質量、 h : 初期撓み量、 x : 落下による変形量、 F : 衝撃荷重とする。

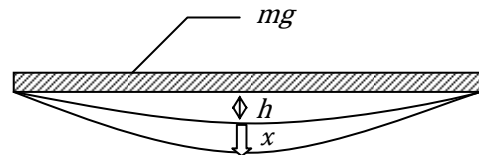
$$\frac{1}{2} kx^2 = mgh + mgx$$

$$(kx)^2 = 2kmgh + 2mgkx$$

$$F^2 = 2kmgh + 2mgF$$

$$F^2 - 2mgF - 2kmgh = 0$$

$$F = mg \left(1 + \sqrt{1 + \frac{2kh}{mg}} \right)$$



衝撃荷重 F の落下変形 x に対する
撓み剛性 k

よって、落下防止ワイヤーをたるませない程度に張った状態で設置する場合は、初期撓み量 h が小さいとみなせ、衝撃荷重は天井材自重のほぼ 2 倍となることから、本設計例では衝撃荷重を天井材自重の 2 倍に設定する。

§ 3 . 落下防止ワイヤー工法の設計

3.1 設計手順

落下防止ワイヤー工法の設計手順は以下のとおりである。

(1) 設計条件を検討する。

設計条件とは、天井材の仕様・ワイヤーの破断強度・ビスの引抜強度・野縁の仕様等がある。

(2) 落下防止ワイヤー工法における最小耐力 P_Y を設定する。

本工法を採用する上で、クリップが損傷して天井材が落下した際に、避けなければならない破壊形式を以下に挙げる。

【破壊形式】 落下防止ワイヤー自身が破断し、天井材が落下する

【破壊形式】 落下防止ワイヤーにかかった荷重に野縁が耐え切れずに天井材が落下する

【破壊形式】 落下防止ワイヤーにより野縁は落下しないが、天井仕上げ材を留めているビスが抜けてしまい、天井材が落下する

破壊形式 ~ を避けなければならないため、

・ 落下防止ワイヤーの破断強度： P_W 【破壊形式】

・ 野縁の強度： P_B 【破壊形式】

・ ビスの引抜強度： P_D 【破壊形式】

の内、最も小さな強度を落下防止ワイヤー工法における最小耐力 P_Y に設定する。

(3) 必要なワイヤーピッチを算出する。

落下防止ワイヤーが負担する衝撃荷重 F が、最小耐力 P_Y 以下となるために必要なワイヤーのピッチを算出する。

$$F < P_Y = \text{Min} (P_W , P_B , P_D)$$

(4) 天井の周囲を拘束する。

1.3 (3) で示す適用規模となるように天井を分割し、周囲を拘束する措置を行う。

(5) 吊り元の耐力を確認する。

1.4 (2) で示すように、既存の吊り元およびハンガーの耐力を計算または現地試験等により、ワイヤーが負担する衝撃荷重 F が鉛直方向に作用した場合にも、十分な強度が確保されていることの確認が必要となる。

3.2 落下防止ワイヤー工法の設計例

(1) 設計条件の検討

天井材の仕様

本工法は、野縁の下側にワイヤーを通す必要があること、および天井材として割れ・欠けが起きない材料が適用範囲となるため、金属系スパンドレルの単位重量を設定する。

本設計例では、天井材の仕様を働き幅 = 300 mm のアルミスパンドレルとし、単位重量は 100N/m^2 を見込む。

ワイヤーの破断強度 P_w

ワイヤーには様々な仕様のものであり、規格で破断強度が設定されている材料もあれば、各メーカーが実験により破断強度を確認している材料もある。設計においては、材料の破断強度をカタログ等から確認する必要がある。

本設計例では、SUS304・7×7 規格・1.5 mm のワイヤーを使用する。破断強度はメーカーの実験値 1862N を参考とし、ばらつき等を考慮して $P_w=1700\text{N}$ とする。

ビスの引抜強度 P_D

ビスが板材から引き抜ける強度については、メーカーの実験値（カタログ等）から設定する。

本設計例では、ねじ径 3.0 mm のビスが板厚 $t=0.5\text{ mm}$ から引き抜けるときの強度 700N を参考とし、ばらつき等を考慮して $P_D=600\text{N}$ とする。

野縁の仕様

野縁の仕様が 19 型・25 型によって、野縁の強度が変わるため、事前に現地確認が必要となる。

(2) 落下防止ワイヤー工法における最小耐力 P_Y の設定

落下防止ワイヤーの破断強度 P_w やビスの引抜強度 P_D は、カタログ等から設定できるが、野縁の強度 P_B はビスのピッチ L_D によって変動する数値となる。ビスのピッチ L_D (= 金属系スパンドレル 1 枚の働き幅) をパラメータに、野縁を単純梁として野縁の強度 P_B を算出する必要がある (図 3.1)

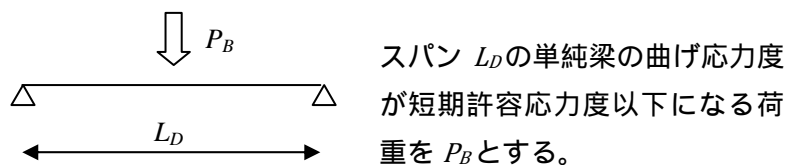


図 3.1 野縁の強度 P_B の算出モデル

落下防止ワイヤー（SUS304、7×7規格、1.5mm）の強度 P_W を 1700N、ビス（ネジ径 3mm）の引抜強度 P_D を 600N とした場合の最小耐力 P_Y とビスのピッチ L_D の関係を図 3.2 に示す。ビスのピッチ L_D が小さい場合は、最小耐力 $P_Y =$ ビスの引抜強度 P_D となり、ビスのピッチ L_D が大きい場合、野縁の強度 P_B で最小耐力 P_Y が決まっている。なお、使用するワイヤーやビスの仕様によって、最小耐力 P_Y の値は変わってくるので注意が必要である。

図 3.2 からビスのピッチ L_D （=金属系スパンドレル 1 枚の働き幅）を決めることで最小耐力 P_Y を設定することができる。本設計例の場合、野縁を 25 型とすると $L_D = 300$ mm より、最小耐力 $P_Y = 530$ N となる。

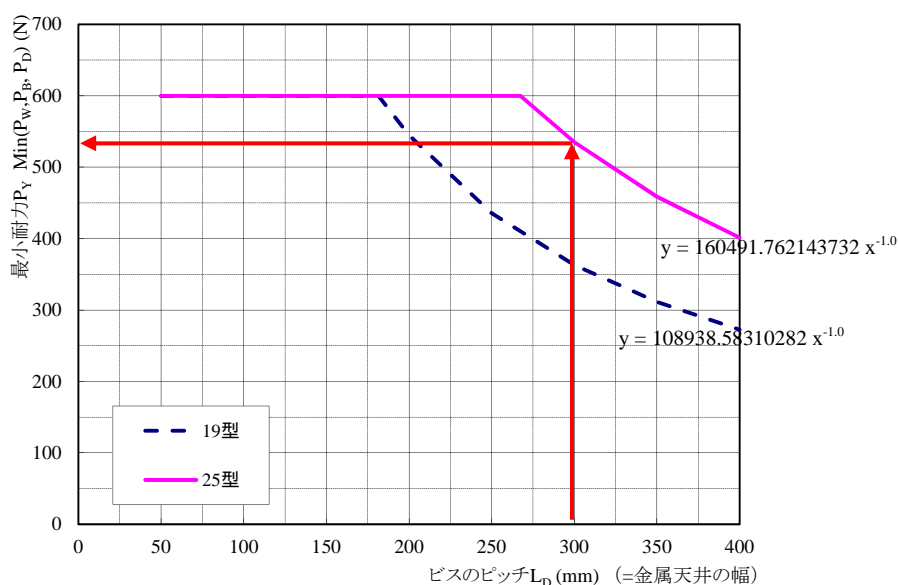


図 3.2 最小耐力 P_Y とビスのピッチ L_D の関係

(3) ワイヤーピッチの算出

ワイヤーピッチ p (m) を算出する上で、改めて設計条件を整理すると以下ようになる。

- ・天井重量 : $W = 100$ (N/m²) (アルミスパンドレル+LGS 下地)
- ・ワイヤーピッチ : $p =$ 未知数 (m)
- ・ビスのピッチ : $L_D = 300$ (mm) (=アルミスパンドレル 1 枚の働き幅)
- ・ワイヤー負担面積 : $S = 0.9 \times p$ (m²)
- ・ワイヤー衝撃荷重 : $F = 2.0 \times W \times S$ (N)
(落下による衝撃力も考慮して天井重量の 2.0 倍)
- ・ワイヤーの強度 : $P_W = 1700$ N (1.5mm の破断荷重)
- ・ビスの強度 : $P_D = 600$ N (引抜強度 : 下地 0.5mm、径 3.0mm)
- ・野縁の強度 : $P_B = 530$ N (L_D により変動する)
- ・野縁の仕様 : 25 型

以上の条件からワイヤーピッチを算出する。

- ・ワイヤーの衝撃荷重 F の算出

$$\begin{aligned} F &= 2.0 \times W \times S \\ &= 2.0 \times 100 \times 0.9 \times p \\ &= 180 \times p \end{aligned}$$

- ・ $F < P_Y$ となるために必要なワイヤーピッチ p (m) の算出

$$\begin{aligned} F &< P_Y \\ 180 \times p &< 530 \text{ (N)} \\ p &< 2.94 \text{ (m)} \end{aligned}$$

- ・吊りボルトは一般的に 0.9m ピッチで設置されていることから、

$$2.94 \div 0.9 = 3.27 \quad 3 \text{ 本}$$

野縁受け 3 本ごとにワイヤーを通す (図 3.3)

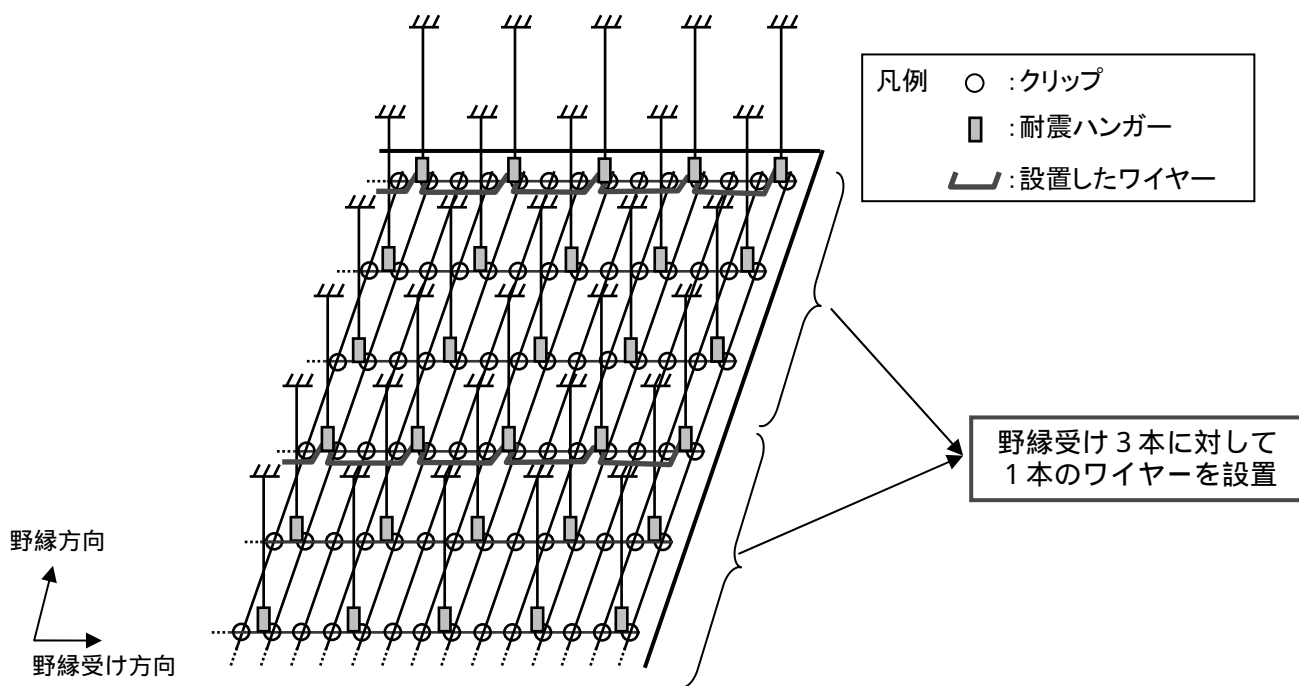


図 3.3 設計例で算出したワイヤーの設置図

(4) 天井周囲の拘束

本設計例において、1.3 (3) で示す適用規模となるように天井を分割した事例を図 3.4 に示す。

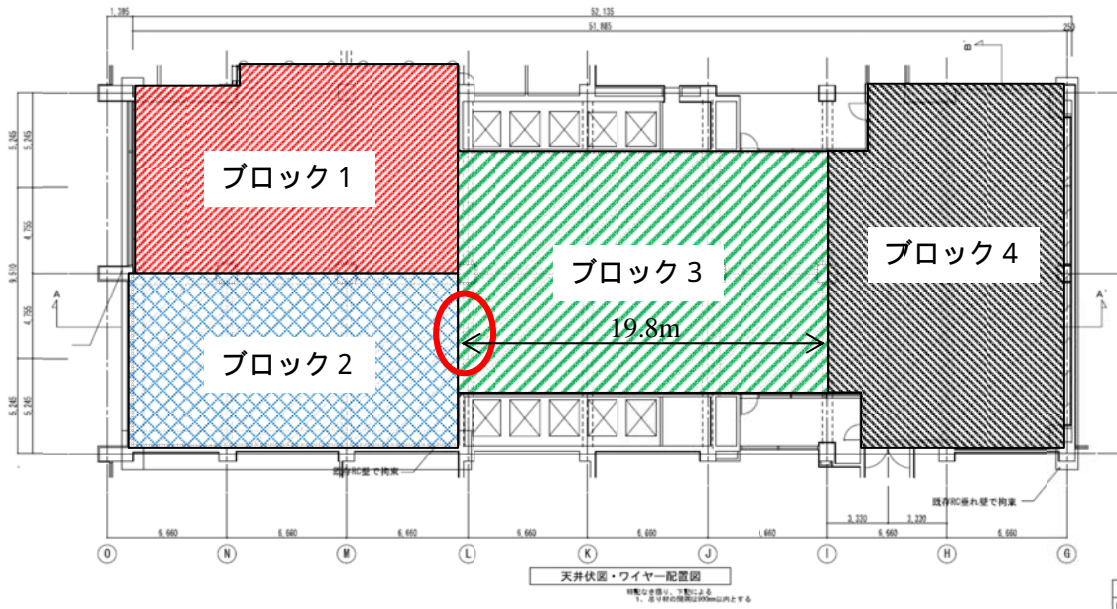


図 3.4 天井分割事例

図 3.4 の丸囲いの部分における天井を拘束する部材の設計例を以下に示す(図 3.5)。本設計例では、既存躯体から下した束材で地震時の天井に作用する慣性力を負担する。その他天井を拘束する方法として、既存壁を活用する方法や、柱間を繋ぐ耐風梁や間仕切り壁を新設するといったやり方が考えられる。天井を拘束する部材は、全て短期許容応力度以下になることを確認する。水平震度は設計例 1-1 と同様に 0.5 を見込む。なお、変形についての検討は省略する。

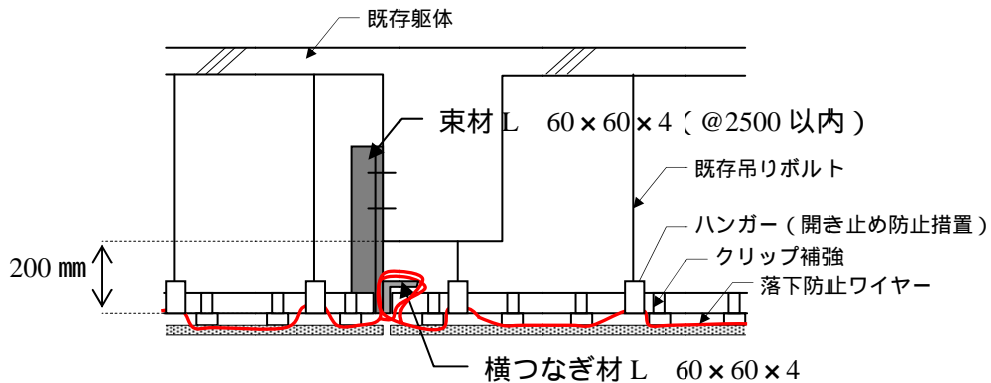


図 3.5 束材による天井の拘束設計事例

天井に作用する慣性力の検討

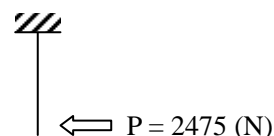
束材を 2.5m ピッチに配置することにより 1 本当たりの束材が負担する慣性力 P は、

$$\begin{aligned} P &= \text{奥行(m)} \times \text{束材ピッチ(m)} \times \text{単位重量(N/m}^2\text{)} \times \text{水平震度} \\ &= 19.8 \times 2.5 \times 100 \times 0.5 \\ &= 2475 \text{ (N)} \end{aligned}$$

束材の検討

束材を長さ 200 mm の片持ち部材と見なして許容応力度設計を行う。

$$\begin{aligned} M &= P \times L \\ &= 2475 \times 0.200 \\ &= 495 \text{ (N}\cdot\text{m)} \end{aligned}$$



使用する部材 L 60 × 60 × 4

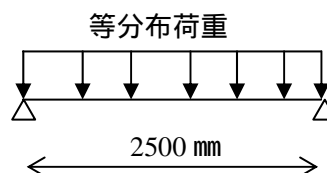
$$\begin{aligned} &= M / Z \\ &= 495 \times 10^3 / 3.66 \times 10^3 \\ &= 135.2 \text{ (N/mm}^2\text{)} < fb = 235 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

頭つなぎ材の検討

束材の位置を支点とした単純梁に等分布荷重が作用している条件で許容応力度設計を行う。

$$= 2475 / 2.5 = 990 \text{ (N/m)}$$

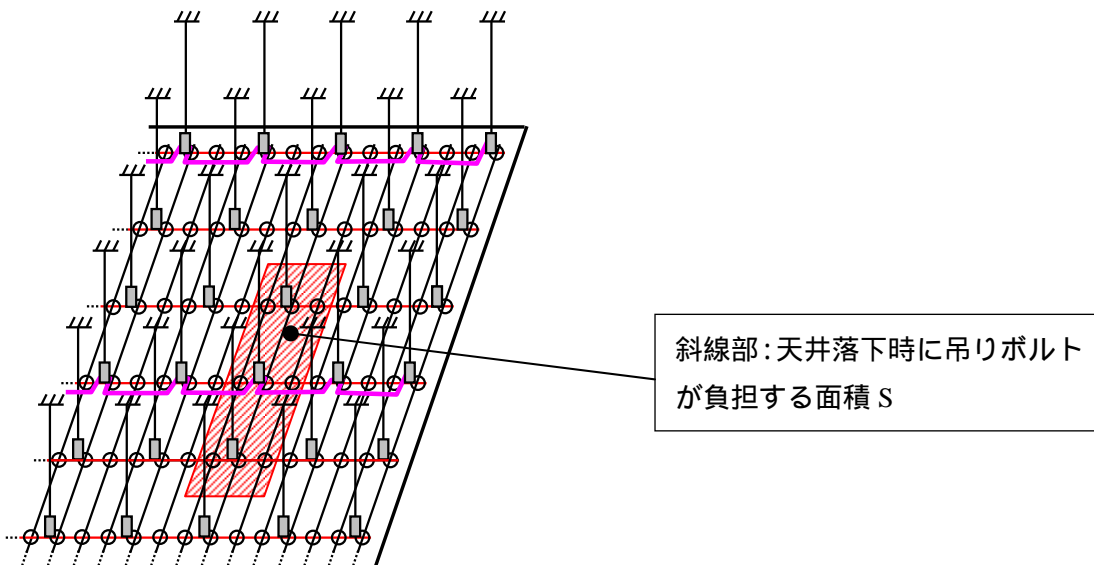
$$\begin{aligned} M &= 1/8 \times L^2 \\ &= 1/8 \times 990 \times 2.5^2 \\ &= 773.44 \end{aligned}$$



使用する部材 L 60 × 60 × 4

$$\begin{aligned} &= M / Z \\ &= 773.44 \times 10^3 / 3.66 \times 10^3 \\ &= 211.3 \text{ (N/mm}^2\text{)} < fb = 235 \text{ (N/mm}^2\text{)} \dots \text{OK} \end{aligned}$$

(5) 吊り元の耐力確認



天井落下時に吊りボルトに作用する鉛直力

$$\begin{aligned} S &= \text{吊りボルトピッチ(m)} \times \text{ワイヤーピッチ(m)} \\ &= 0.9 \times 2.7 \\ &= 2.43 \text{ (m}^2\text{)} \end{aligned}$$

天井落下時に吊りボルトに作用する鉛直力は、

$$\begin{aligned} &\text{負担面積 (m}^2\text{)} \times \text{天井単位重量 (N/m}^2\text{)} \times \text{衝撃係数} \\ &= 2.43 \times 100 \times 2.0 \\ &= 486 \text{ (N)} \end{aligned}$$

本工法において、天井が落下した場合、ワイヤーを経由して吊りボルト 1 本に 486(N) が作用する。これは当該吊りボルトが常時負担している荷重の 6 倍に相当する。

吊りボルトの検討

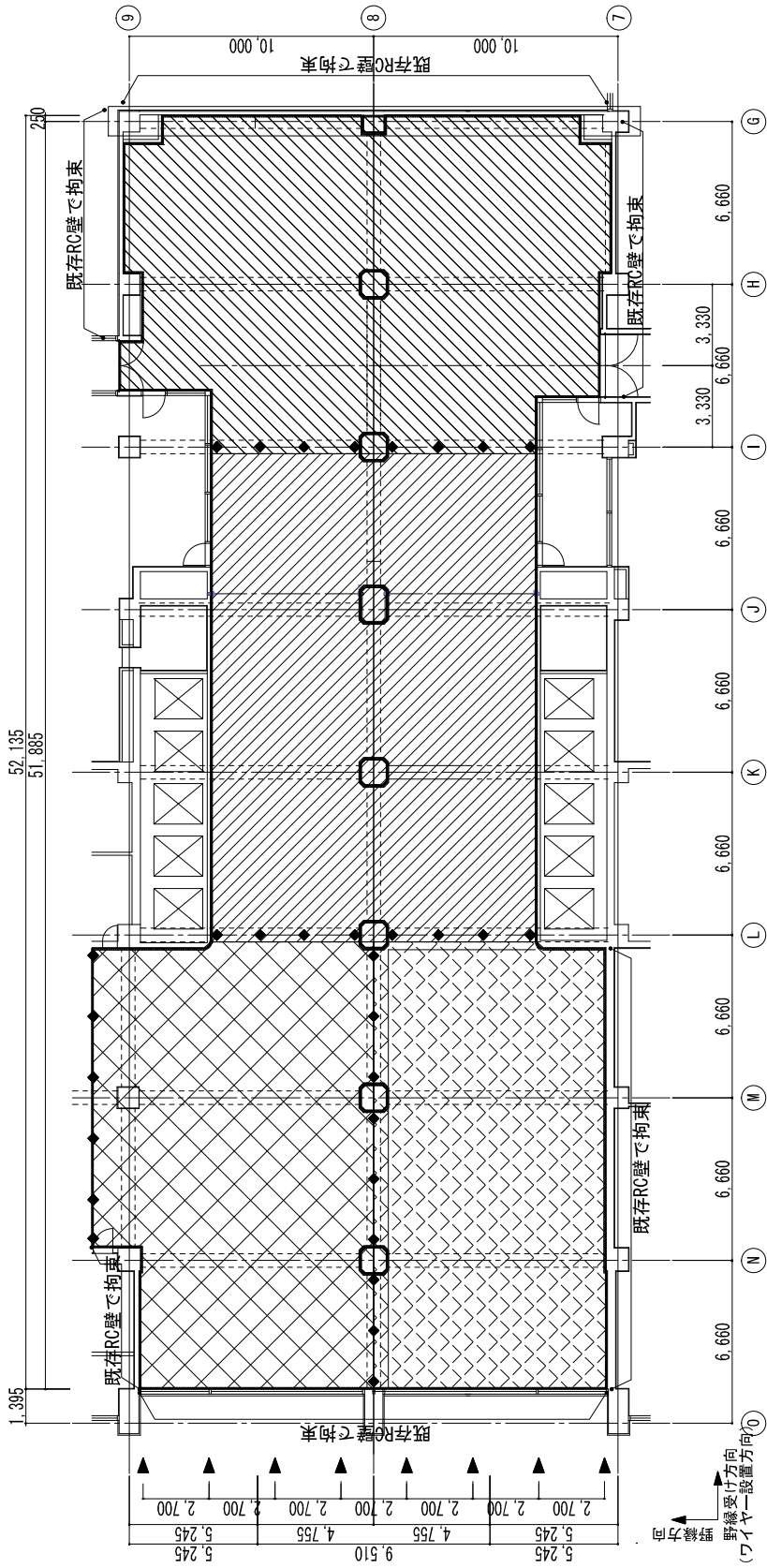
天井落下時に吊りボルトに作用する引張応力度の検討を行う。

$$\begin{aligned} &\text{吊りボルト M8 : 断面積} = 47.5 \text{ mm}^2、\text{ 短期引張許容応力度 } 205 \text{ N/mm}^2 \text{ (SWRM)} \\ &486 \text{ (N)} \div 47.5 \text{ (mm}^2\text{)} = 10.3 \text{ (N/mm}^2\text{)} < 205 \text{ (N/mm}^2\text{)} \text{ ...OK} \end{aligned}$$

インサートの検討

天井落下時に吊りボルトに作用する鉛直力が、メーカーの実験値（カタログ等）で示されるインサートの引抜強度以下になることを確認する。本設計例では、3分ボルト用（W3/8）インサートの引抜強度 13.73kN の 2/3 倍を許容引抜耐力に設定する。

$$\text{インサートの許容引抜耐力} = 13.73 \text{ (kN)} \times 2/3 = 9153 \text{ (N)} > 486 \text{ (N)} \text{ ...OK}$$



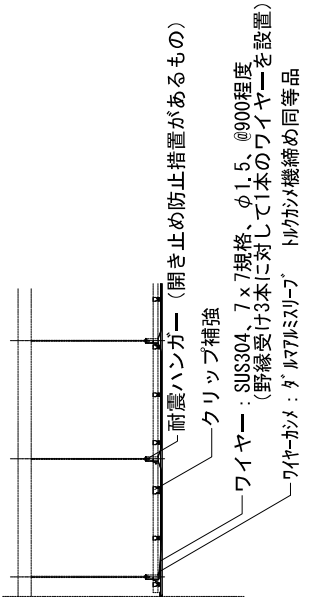
- 凡例
- ◆ 天井拘束用素材
 - ▲ 野縁受けに沿ってワイヤーを設置する位置

- 天井のブロック構成
…1辺20四方に納まる平面形状に分割
- ブロック 1
 - ▨ ブロック 2
 - ▩ ブロック 3
 - ▧ ブロック 4

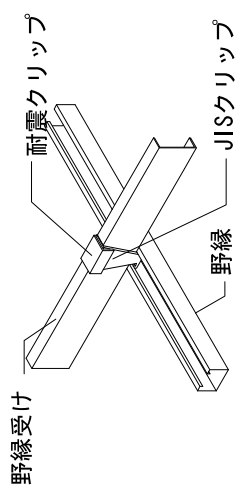
エンドランスホール
IFL+6.245 (RFL+2.295)

- 天井伏図・ワイヤー配置図
特記なき限り、下記による
1. 吊り材の間隔は900mm以内とする
 2. ワイヤー (SUS304、7×7、φ1.5mm) を野縁受け3本ごとに設置する
 3. ワイヤーは弛ませずに設置する
 4. クリップ補強を全面所行う

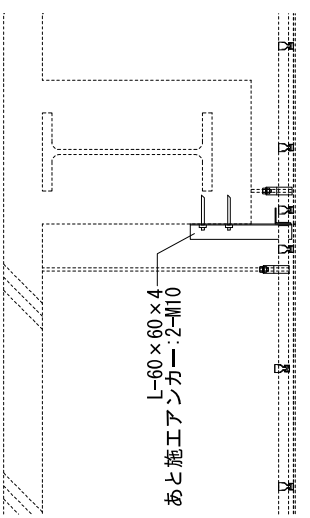
■断面詳細図



■クリップ取付全箇所



■束材による天井拘束措置



| | | | |
|--------------|---------|----------------------|---------|
| 図名 | 図号 | 縮尺 | 図面番号 |
| 天井伏図・ワイヤー配置図 | A-01 | A1:1/700 A3:1/200 | A-01 |
| 図面名称 | 図面番号 | 図面名称 | 図面番号 |
| 天井伏図・ワイヤー配置図 | 2013-09 | 天井伏図・ワイヤー配置図 | 2013-09 |
| 設計者 | 監査者 | 設計者 | 監査者 |
| 作成者 | 承認者 | 作成者 | 承認者 |
| 図面名称 | 図面番号 | 図面名称 | 図面番号 |
| 天井伏図・ワイヤー配置図 | 2013-09 | 天井伏図・ワイヤー配置図 | 2013-09 |

天井脱落対策に係る技術基準解説書編集委員会
委員名簿

(順不同)

| | | |
|------|---|--------------------------------|
| 委員長 | 坂本 功 | 東京大学名誉教授 |
| 委員 | 清家 剛 | 東京大学大学院新領域創成科学研究科准教授 |
| 委員 | 元結正次郎 | 東京工業大学大学院総合理工学研究科教授 |
| 委員 | 福山 洋 | 独立行政法人建築研究所構造研究グループ長 |
| 委員 | 五條 涉 | 独立行政法人建築研究所住宅・都市研究グループ長 |
| 委員 | 長谷川直司 | 独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ長 |
| 委員 | 長谷川 隆 | 独立行政法人建築研究所構造研究グループ主任研究員 |
| 委員 | 喜々津仁密 | 独立行政法人建築研究所構造研究グループ主任研究員 |
| 委員 | 石原 直 | 独立行政法人建築研究所建築生産研究グループ主任研究員 |
| 協力委員 | 石崎 和志 | 国土交通省住宅局建築指導課建築物防災対策室長 |
| 協力委員 | 前田 亮 | 国土交通省住宅局建築指導課企画専門官 |
| 協力委員 | 岩崎 和明 | 国土交通省住宅局建築指導課構造係長 |
| 協力委員 | 森岡 信人 | 国土交通省住宅局建築指導課構造係長 |
| 協力委員 | 向井 昭義 | 同 国土技術政策総合研究所建築研究部長 |
| 協力委員 | 安藤 恒次 | 同 国土技術政策総合研究所建築研究部基準認証システム研究室長 |
| 協力委員 | 脇山 善夫 | 同 国土技術政策総合研究所総合技術政策研究センター主任研究官 |
| 協力委員 | 壁谷澤寿一 | 同 国土技術政策総合研究所総合技術政策研究 |
| 協力委員 | 東條 旭 | 同 国土技術政策総合研究所建築研究部研究官 |
| 事務局 | 一般社団法人新・建築士制度普及協会 一般社団法人建築性能基準推進協会 一般財団法人建材試験センター 株式会社ジェイアール東日本建築設計事務所 | |
| 協力団体 | 日本建築行政会議 一般社団法人日本建設業連合会 一般社団法人日本建築構造技術者協会 | |