

# 吊り天井の耐震設計に係る基準 の高度化に資する検討

平成25年 4月15日

一般社団法人 建築性能基準推進協会

## 調査の目的 募集要領より

耐力等に関する試験法や形状等に応じた仕様、またシステム天井に係る資料など、耐震設計にあたり不足している知見を整備し、基準の高度化に資するよう技術資料の整備を行う。

## 調査の内容

- (イ) システム天井の耐震基準に係る調査
- (ロ) 吊り天井の基準に関する設計上の実務的課題に関する検討

# 検討体制

- 独立行政法人建築研究所との共同研究で実施
- 調査実施にあたり建築性能基準推進協会において以下の検討会を組織した。

## 地震による天井脱落対策の実務的な課題に関する検討会

主査 清家 剛 東京大学大学院准教授

委員 元結正次郎 東京工業大学大学院 教授

独立行政法人建築研究所

長谷川直司・五條 渉・福山 洋・喜々津仁密・石原 直

協力委員

国土交通省 住宅局 建築指導課

石崎 和志・前田 亮・岡野 大志・岩崎 和明

国土交通省 国土技術政策総合研究所

向井 昭義・深井 敦夫・脇山 善夫・横田 圭洋

(2013年3月現在)<sup>3</sup>

# 検討内容

- ① システム天井に係る調査
- ② 設計上の実務的課題に関する検討
- ③ 建築分野における重量天井の実態調査
- ④ 今後の課題

# ① システム天井に係る調査

1.1 システム天井の耐震基準に係る資料の調査と技術的知見の整理検討

1.2 海外の基規準の概要

1.3 海外の研究の例

# 1.1 システム天井の耐震基準に係る資料の調査と 技術的知見の整理検討

## 1) システム天井の耐震基準に係る技術的知見:

### システム天井の工法

#### ラインタイプ

- 天井単位面積質量: 10kg/m<sup>2</sup>程度
- 吊りボルトの配置間隔: 最大で1,400×1,500 程度
- 斜め部材の配置基準: ブレースの材料は、C38×12×1.2 以上  
間隔は1,600mm以内

## 2) システム天井の耐震基準に係る技術的知見:

### システム天井の工法

#### クロスタイプ

- 天井単位面積質量: 8~9kg/m<sup>2</sup>程度
- 吊りボルトの配置間隔: 1,200×1,200mm、  
1,280×1,280mm、  
1,600×1,600mm
- 斜め部材の配置基準: ブレースの材料は、 C38×12×1.2 以上  
間隔は2,600mm以内

## 1.2 海外の基規準の概要

### 米国

モデルコードの内容が、州政府によって各州の建築コードに取り入れられている。

一般建築物の設計に関するモデルコードの耐震設計に関する第16章1613節では、**ASCE7-10**(Minimum design loads for buildings and other structures, 2010)が引用されている。

#### ASCE7-10 非構造部材に関する規定の概要

- (1) 適用の範囲
- (2) 性能検証法の種類
- (3) 設計用地震力の設定
- (4) 非構造部材の技術基準
- (5) 吊り天井suspended ceiling の技術基準

## 1.2 海外の基規準の概要

### ニュージーランド

NZS 1170.5:2004 (Structural Design Actions Part 5: Earthquake actions – New Zealand)では、第8節に非構造部材を含む建築物の部分に関する耐震上の設計要件が定められている。具体的に、ここで対象とする建築物の部分とは、建築部材(取付け部を含む)と構造躯体に取付く設備等とされている。

NZS 1170.5:2004 規定の概要

- (1) 適用の範囲
- (2) 設計用地震力の設定
- (3) 吊り天井suspended ceiling の技術基準



## ②設計上の実務的課題に関する検討

- 2.1 各構成要素の耐力等に関する既往の試験方法の調査
- 2.2 山形の天井など水平以外の天井の耐震性の検討
- 2.3 設備機器との取り合い等で吊りボルト等を所定の位置に設けられない場合の調査
- 2.4 周囲にクリアランスをとらない在来工法天井に関する検討
- 2.5 緊結仕様の事例調査
- 2.6 外力設定等に関する検討
- 2.7 計算例による課題の抽出
- 2.8 落下防止措置に関する調査

## 2.1 各構成要素の耐力等に関する既往の試験方法の調査

在来工法天井を対象として、製造業者及び専門工事業者が現時点で実施している計算・試験方法をアンケート及びヒアリングにより調査した。計算対象には業者によりばらつきがあり、計算は行わないが試験等で検証するというスタンスをとる業者も見られた。各社で行われている試験方法及び評価方法が現状ではばらばらであるため統一的な評価が望まれる。

	材料		留め方	計算				試験			備考
	材料	接合部		長期荷重 (自重)	垂直荷重 水平荷重	短期荷重 水平荷重	その他	長期荷重 (自重)	短期荷重 圧縮	短期荷重 引張	
単体 または 2部材	床スラブ	a. スラブ版									
		b. スラブ筋	a & b								
		c. スラブコンクリート	b & c								
	吊りボルト類	d. 全ねじボルト	c & d								
		e. ハンダ	d & e								
	野縁受け	f. 野縁受け	e & f								
		g. 野縁ジョイント	e & g								
		h. クリップ	f & h								
		i. 野縁	e & i								
		j. 野縁ジョイント	e & j								
部分 組立	天井材	k. 天井材(下地)	g & h								
		l. 天井材(仕上げ張り)	h & l								
	ブレース	m. 鋼管	上部金物								
		n. プレート	下部金物								
	立体組										
	立体組										

### 調査項目

#### I : 計算

I - 1 : 部材(単体)の垂直荷重

I - 2 : 部材(単体)の水平荷重

I - 3 : 2 部材(接合部)の垂直荷重

I - 4 : 2 部材(接合部)の水平荷重

#### II : 試験

II - 1 : 部材(単体)の静的引張試験

II - 2 : 2 部材(接合部)の静的引張試験

II - 3 : モデル組動的試験

等

# 2.1 各構成要素の耐力等に関する既往の試験方法の調査

## 調査結果: 計算

### 部材(単体)の垂直荷重

	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	ブレース	天井下地	計
A社	○	○	○	○	○	○	○	7
B社								0
C社	○		○		○			3
D社	○						○	2
計	3	1	2	1	2	1	2	

### 部材(単体)の水平荷重

	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	ブレース	天井下地	計
A社			○		○	○		3
B社						○		1
C社	○		○		○	○		4
D社						○		1
計	1	0	2	0	2	4	0	

### 部材(接合部)の垂直荷重

	a	b	c	d	e	f(j)	g	h	i	計
	スラブ	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	全ねじボルト	野縁受け	野縁	
	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	野縁受け	ブレース上部	ブレース下部	天井材	
A社			○	○	○		○	○	○	6
B社										0
C社										0
D社			○	○	○					3
計	0	0	2	2	2	0	1	1	1	

### 部材(接合部)の水平荷重

	a	b	c	d	e	f(j)	g	h	i	計
	スラブ	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	全ねじボルト	野縁受け	野縁	
	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	野縁受け	ブレース上部	ブレース下部	天井材	
A社							○	○		2
B社										0
C社										0
D社							○	○		2
計	0	0	0	0	0	0	2	2	0	11

○は、計算実施を示す。

# 2.1 各構成要素の耐力等に関する既往の試験方法の調査

## 調査結果: 試験

### 部材(単体)の静的引張試験

	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	ブレース	計
A社							0
B社							0
C社	○	○		○	○	○	5
D社	○						1
計	2	1	0	1	1	1	

### 2部材(接合部)の静的引張試験

	a	b	c	d	e	f(j)	g	h	i	計
	スラブ	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	全ねじボルト	野縁受け	野縁	
	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	野縁	野縁受け	ブレース上部	ブレース下部	天井材	
A社			○		○		○	○	○	5
B社	○	○	○	○	○		○	○		7
C社			○	○		○	○	○	○	6
D社			○	○	○		○	○	○	6
計	1	1	4	3	3	1	4	4	3	

### 部材(部分モデル組)の静的引張試験

○は、試験実施を示す。

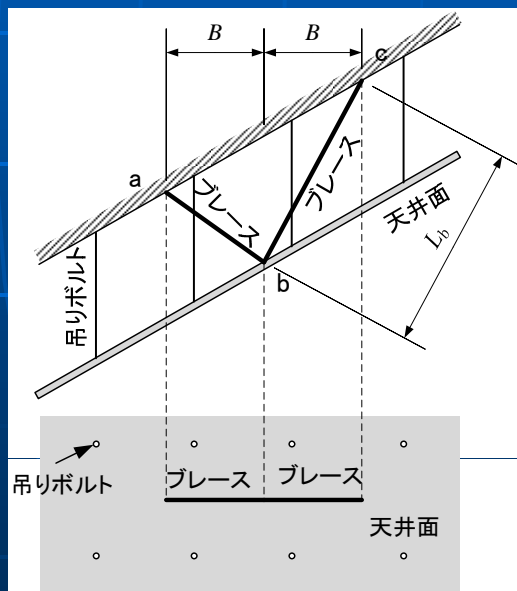
	全ねじボルト	ハンガー	野縁受け	クリップ	(クリップ補強)	野縁	天井下地材	天井仕上材	ブレース
A社									
B社									
C社									
C社									
C社									
D社									

■は、試験実施部位を示す。

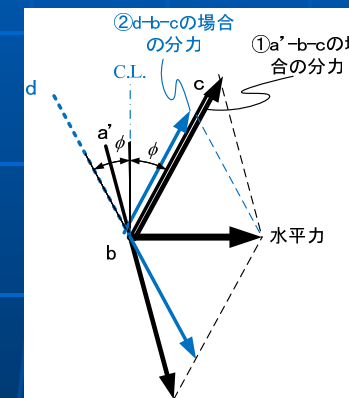
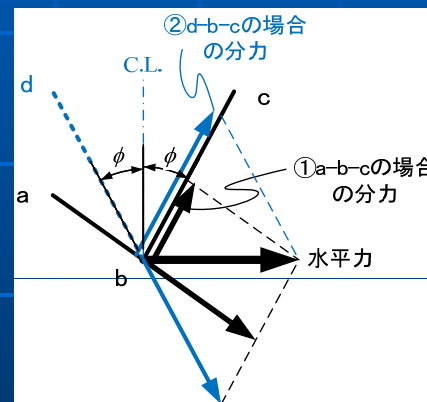
## 2.2 山形の天井など水平以外の天井の耐震性の検討

### 斜め天井に関する検討

一定の勾配を有する斜め天井を取り挙げて、ブレースの耐力や吊りボルトの応力等を検討し、ブレース量の斜め天井の場合への適用性を検討した。



斜め天井のV字ブレース

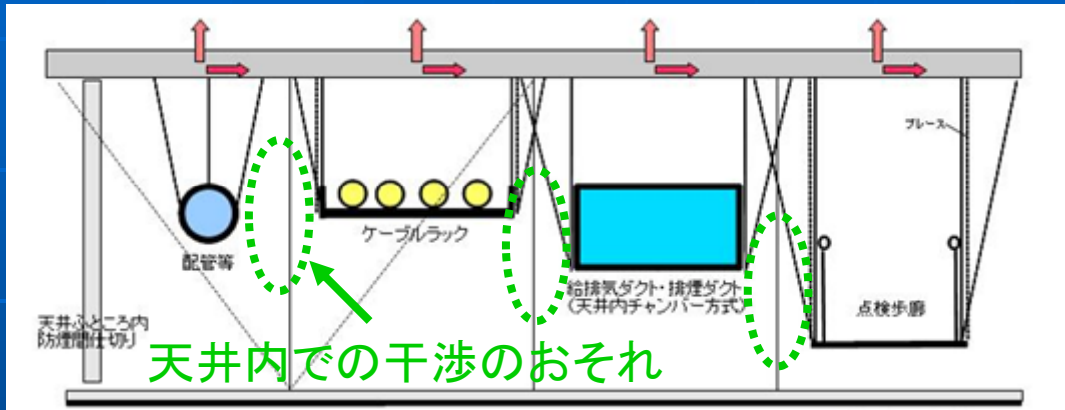


長いブレースより短いブレースの仰角が小さい場合には、仕様規定のブレース量は安全側の評価となる。

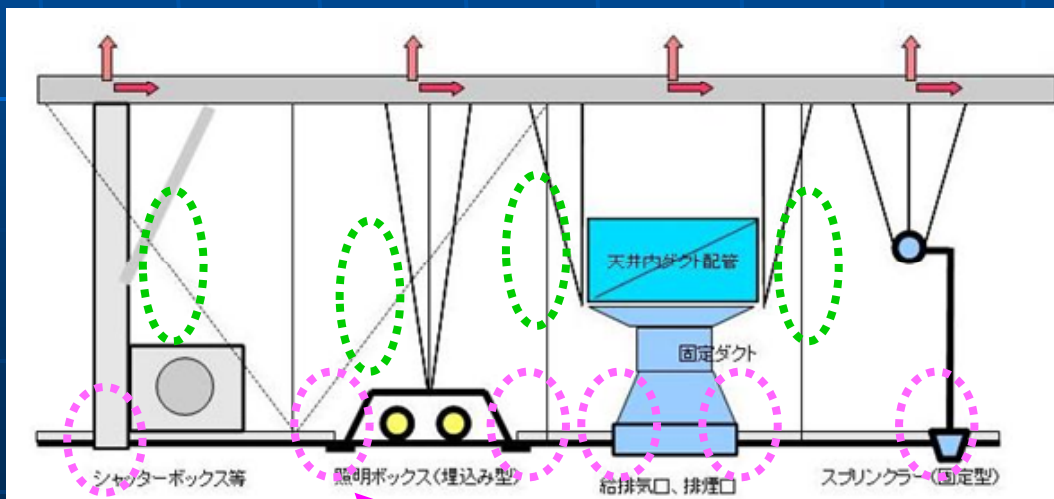
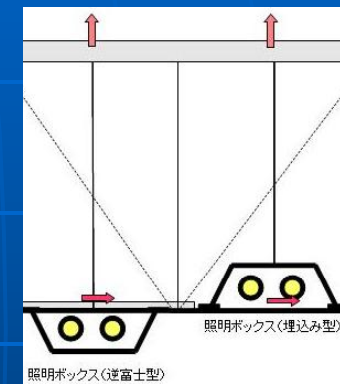
# 2.3 設備機器との取り合い等で吊りボルト等を所定の位置に 設けられない場合の調査

## 天井面と設備機器との取合い及び耐震対応の分類

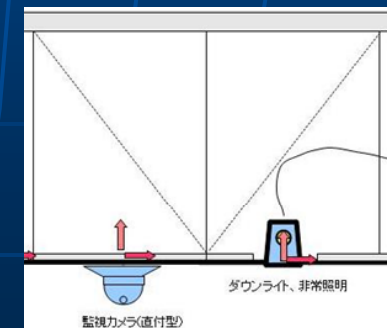
タイプA: 垂直荷重 & 水平荷重 ⇒ 床スラブ



タイプB: 垂直荷重: 床スラブ  
& 水平荷重 ⇒ 天井面



タイプC: 垂直荷重 & 水平荷  
重 ⇒ 天井面



天井面での干渉のおそれ

## 2.4 周囲にクリアランスをとらない 在来工法天井に関する検討

クリアランスなしの在来工法天井の耐震設計のために必要な項目・留意点は次のとおり。

### 【1】設計外力

【1.1】 天井吊元に作用する地震力

【1.2】 天井面に作用する地震力

### 【2】各部位に発生する内力(水平かつ平面の天井のみ)

【2.1】 天井面に発生する内力

【2.2】 天井面に局部的に発生する衝撃力

【2.3】 吊りボルトに発生する軸力

【2.4】 周辺構造要素に発生する内力

### 【3】各部位の許容耐力

【3.1】 天井面の圧縮耐力

【3.2】 天井面のせん断耐力

【3.3】 ハンガーおよびクリップの鉛直方向耐力

【3.4】 LGS仕様等の内壁の耐力

なお、今年度は【1.2】、【2.1】、【2.2】、【2.3】、【3.1】を検討した。

今後、実験等による検討や確認を行うとともに不足する耐力値等の技術資料を整備することが望まれる。

## 2.5 緊結仕様の事例調査

天井下地部材の接合部仕様について市場の既成部材を調査した

				はめ込み	ビス(ネジ)		はめ込み	ビス(ネジ)	はめ込み	はめ込み
						ボルト+ナット	ビス(ネジ)	ビス(ネジ)	ボルト+ナット	ボルト+ナット
a	接合部	スラブ	吊りボルト	0	5	2	0	0	0	0
b	接合部	吊りボルト	ハンガー	0	0	7	0	0	0	0
c	ハンガー			2	5	3	0	0	0	0
d	クリップ			3	1	3	1	0	0	0
e	クリップ			3	2	2	1	0	0	0
f	接合部	野縁受け	野縁受け	2	6	0	0	0	0	0
g	接合部	ブレース上部	吊りボルト	0	3	0	5	1	0	0
h	接合部	ブレース下部	野縁 等	0	7	2	0	0	0	1
i	接合部	野縁	天井仕上げ	0	8	0	0	0	0	0
j	接合部	野縁	野縁	7	0	0	0	0	0	0
ch1	接合部			2	2	1	0	1	0	0
ch2	接合部			2	2	1	0	1	0	0
その他	接合部	吊りボルト	水平補剛材	0	3	0	0	0	0	0

接合方式「はめ込み」「ビス」「ボルト」に着眼し、接合部位ごとに分類した結果、緊結方法のタイプがいくつかのタイプに分散する結果となった。



## 2.6 外力設定等に関する検討

昨年度(H23 年度)の基準整備における検討では、基準化に向けて必要なことを含めた今後の課題が残されていた。ここでは、次の項目について検討した。

### 1) 「上層階」等の区別の明確化

#### a) 上層階

構造躯体の1次との共振を考える。1次刺激関数の値が「中間階」の震度決定に用いた代表値0.9より大きくなる階を「上層階」とみなす。

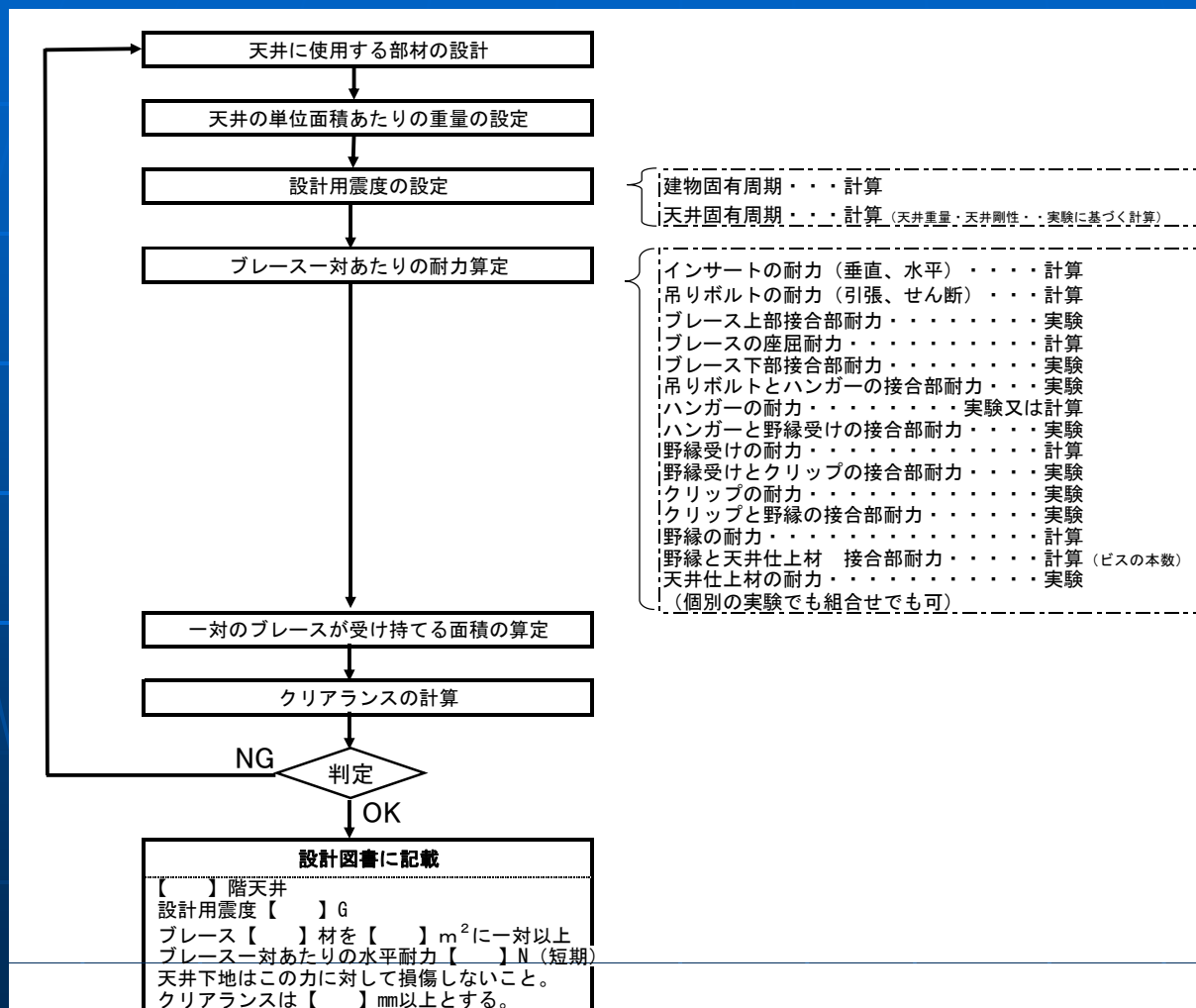
### 2) 低層の場合の低減係数

### 3) スペクトル法に用いる関数 $R$ の修正

これらの一部は既に技術基準原案及び告示(案)に反映されている。

## 2.7 計算例による課題の抽出

計算例の作成過程から、天井の計算における現状での課題の抽出した。



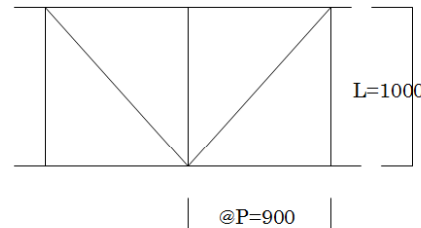
## 2.7 計算例による課題の抽出

計算例は「水平天井」と「斜め天井」の2事例について実施した。

### 事例1: 水平天井

(1) 設計概要

- ・構造形式 : S造
- ・階数 : 5階建て
- ・軒高 :  $h=24$  m
- ・階高 : 5階 8000  
1階~4階 4000
- ・スパン : 12000 (上下動考慮しない。)
- ・天井懐 :  $L=1000$  mm
- ・吊りボルト : M8、 $d_2=7.8$  mm、 $I=181.70$  mm<sup>4</sup>  
ピッチ@P=900 mm
- ・ブレース : C-25×19×5×1.0、上部は金物で吊りボルトに、下部はビスで野縁受けに接合。  
 $A_b=66.42$  mm<sup>2</sup>、 $I_b=3032$  mm<sup>4</sup>
- ・天井重量 :  $W_{\text{ceil}}=120$  N/m<sup>2</sup> (質量 12.24 kg/m<sup>2</sup>)



### 課題の一例

- ・天井周期を求めるためにブレースの負担面積を仮定する必要がある。
- ・一対のブレースが受け持てる仮面積の設定方法
- ・天井インサートの安全率の設定方法
- ・ブレース付き吊りボルト(上側)・野縁受けは、短期許容応力度を用いてよいか。1.5の安全率を考えないで良いか。
- ・ブレース上部下部接合部の許容耐力は、各製品部材の試験結果に基づくことになる。

## 2.7 計算例による課題の抽出

### 事例2: 斜め天井

(1) 設計概要

屋根スパン 18 m

屋根勾配 30度 (1/1.732, 0.5774/1)

地震時 水平動±2.2G、上下動±1.0G

天井重量 20kg/m<sup>2</sup> = 196 N/m<sup>2</sup>

水平投影面積あたり 196 × 1.155 = 226 N/m<sup>2</sup>

吊りボルト長さ L=1200mm

吊りボルトピッチ @P=900mm

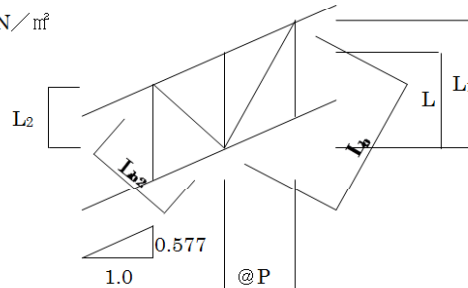
ブレース長さ  $L_b = \sqrt{(900^2 + 1720^2)}$   
= 1941mm

ブレース C25×25×5×1.0

断面積  $A_b = 81 \text{ mm}^2$

断面2次モーメント  $I_b = 6700 \text{ mm}^4$

断面2次半径  $i_b = 9.1 \text{ mm}$



### 課題の一例

- ・斜め天井吊りボルトの検討において、自重が上下動で相殺されるため、水平力分吊りボルトの圧縮を考慮しないと成り立たない事項があげられる。

## 2.8 落下防止措置に関する調査

落下防止措置としてネットを考える場合に参考となりそうな文献として、安全ネット指針や落石防護柵に関する文献を調査した。構造、素材、試験方法、使用基準（許容落下高さ、ネットの支持間隔、等）が示されており、天井の落下防止を考える上で参考になると考えられる。

### (1) 文献調査

#### ・安全ネット指針

建設業等での高所作業における墜落災害防止のための安全ネットについて、構造上、強度上、使用上の注意点等を内容とした技術指針。建築学会の指針でも紹介されている。

#### ・PE ネットを用いた簡易型落石防護柵

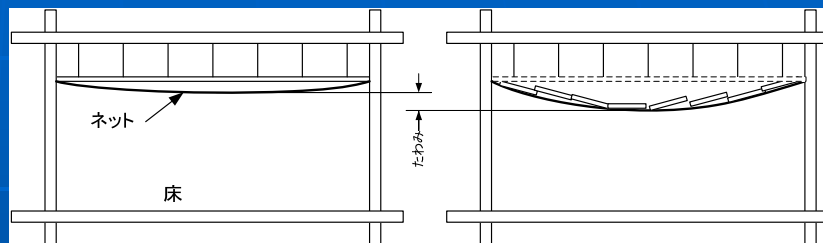
落石防護柵に使用される金網やワイヤーロープなどの金属材料を、安価で軽量のポリエチレン製ネット（PE ネット）で代用することを考え、静的載荷試験、落錘衝撃載荷試験、防護柵の重錘衝突実験を実施し、捕捉できる落石エネルギーを評価するとともに支持ロープへの緩衝装置の適用の効果を検証している。

## 2.8 落下防止措置に関する調査

文献をもとに計算等の方針を検討し、状態や荷重・外力の設定(ネットに沿って滑り落ちることによる偏荷重を含む。)等の考慮すべき点を挙げた。

### (2) 計算等の方針(案)

- 1) 地震動レベルの前提
- 2) 状態の設定
- 3) 荷重・外力の設定
- 4) 落下防止措置の種類・・・ワイヤー(天井裏)、ネット(天井下面)、膜(天井下面、改修か)、その他の落下防止措置(格子状の支持部材を配置する、等)
- 5) 天井の種類・・・在来(、システム)  
一緒に落下すると想定されるもの(照明等)の重量を考慮する。
- 6) 落下防止措置の許容耐力の例
- 7) 計算の方針(部分、全体)  
ネット・・・ネットの単位で検討。全体的に落下する場合を基本とする。  
ワイヤー・・・各ワイヤーで検討
- 8) 仕様での注意点  
躯体変形への追従性



概念図

## ③ 建築分野における重量天井の実態調査

笹子トンネルにおける天井落下事故を受けて、建築分野における重量天井の実態調査を行った。

調査は、GRC パネルとPC パネルの天井を対象とし、日本GRC工業会(A社、B社)とプレコンシステム協会へ、ヒアリング調査を行った。

### 3.1 天井としての使用実績

日本GRC工業会の2社で約320件の実績があった。

プレコンシステム協会の3社で約31件の実績があった。

## 3.2 天井に使う場合の取り付け方法

### GRC(ガラス繊維強化セメント／グラスファイバー補強コンクリート)パネル

以前は吊りボルトを用いることが多かったが、最近では、構造躯体から固定したブラケットにファスナー金物等で取り付けられることが多い。RC 造建築物に天井を取り付ける場合、あと施工アンカー(機械式)を用いることもあるが、その場合は原則、せん断で負担できるように検討している。

### PC(プレキャストコンクリート)パネル

鉄骨造の建築物に用いられ、構造躯体から固定したブラケットにファスナー金物等で取り付けられることが多い。PC パネル側に埋め込むボルトについては、実験に基づき、耐力を検討している。PC パネルは、単位面積当たりの重量も重く、RC 造建築物に適用された例もないため、あと施工アンカーで天井に施工した実績はなかった。



## ④ 今後の課題

### 2.1 各構成要素の耐力等に関する既往の試験方法の調査

- ・妥当性の検証を含めた試験方法及び許容耐力の評価方法の明確化

### 2.2 山形の天井など水平以外の天井の耐震性の検討

- ・上下震度が大きくなる場合や斜め天井の場合に耐震的に有利となるブレースの配置等についてのより具体的な検討

### 2.3 設備機器との取り合い等で吊りボルト等を所定の位置に設けられない場合の調査

- ・下地と設備機器類との間の隙間の必要性和その大きさを明確にする。一般論としては難しいが、用途を絞れば設備機器の種類が限定されてくる場合もあるため、用途を限定して検討する。

## ④ 今後の課題

### 2.4 周囲にクリアランスをとらない在来工法天井に関する検討

- ・今後、新たな設計法を確立するために、実験的検証や不足する耐力値等の技術資料を整備する。

### 2.5 緊結仕様の事例調査

- ・告示(案)に適合する緊結仕様について整理する。

### 2.6 外力設定等に関する検討

- ・吹き抜け等の場合の「階」の判断や構造躯体の振動特性を反映した天井の外力設定方法(スペクトル法)の具体的な手順と留意点などを整理する。

## ④ 今後の課題

### 2.7 計算例による課題の抽出

- ・天井の周期算定方法、安全率の設定、業者の試験結果の扱い等、今回の検討で抽出した課題の検討を行う。

### 2.8 落下防止措置に関する調査

- ・許容される状態を明確化し、実務上必要な情報を整理する。

## 3. 建築分野における重量天井の実態調査

- ・個別物件ごとに設計された鉄骨の2次部材に取り付けられることが多く、いわゆる在来工法天井に比べて強固な下地が使用されていることを確認した。

今年度は、昨年度の検討を補足・充実させる形で種々の検討を実施したが、技術情報の収集や基本的な考え方の提示に留まった部分も多い。新たな基準の運用等のためには、試験・評価方法の確立や具体的な仕様例の提示などの課題が残されている。