

隙間なし天井 設計例 2

オフィスビルエントランスホール吹抜け空間

(9階建て S造)

設計手法：仕様ルート

目 次

1 隙間なし天井の耐震設計概要	
1.1 建物概要	89
1.2 設計方針	90
1.3.1 チェックシート	90
1.3.2 推奨する天井と壁の納まり要領	92
1.4 使用材料と許容応力度	93
2 水平震度等の算定	
2.1 水平震度の算定	94
2.2 天井質量の算定	94
2.3 天井の長さの算定	95
3 周辺壁等の設計例	
3.1 設計条件	95
3.2 部位 E(天井端部：内壁側)	96

1 隙間なし天井の耐震設計概要

1.1 建物概要

本設計例は、実在する建物の設計図書を基本に、周辺壁等との間に隙間のない特定天井（吊り天井）の耐震設計が成立するような架構を設計したものである。対象とした建物概要は以下による。

- ・ 建築場所 : 東京都内
- ・ 用途 : 1階エントランスホールに吹抜け空間を有するオフィスビル
- ・ 階数 : 地下なし、地上9階、塔屋1階
- ・ 建物高さ : 49.72 m
- ・ 対象天井 : 平成25年国土交通省告示第771号第3第3項（平成28年国土交通省告示第791号により追加）に規定される構造方法による隙間なし天井に該当

1階見上げ～3階床下（1～2階）のエントランス吹抜け空間に設置される天井

- ・ 天井面積 : $15\text{ m} \times 15\text{ m} = 225\text{ m}^2$ （隙間なし天井部分）
（詳細納まりの関係で実際の天井面積は少し異なるが、計算条件は上記とする）
- ・ 天井高さ : 9.5 m（隙間なし天井部分）
- ・ 天井吊り長さ : 1.35 m（隙間なし天井）
- ・ 柱スパン : $7.5\text{ m} \times 15\text{ m}$
- ・ 構造種別 : 鉄骨造

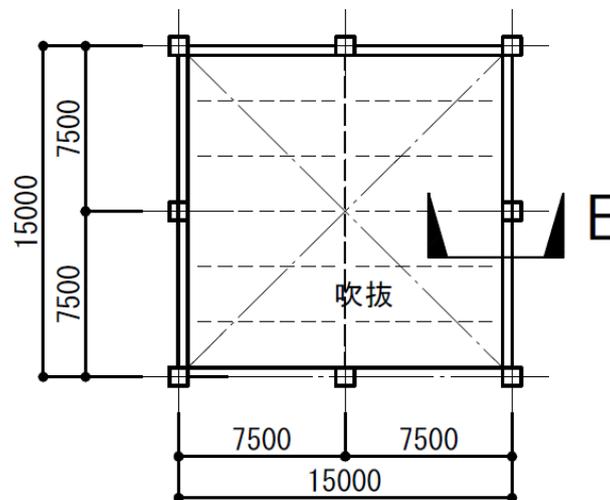


図 1.1 天井伏図と納まり検討部位 (E)

1.2 設計方針

本設計例では、9階建てのうち1階から2階にかけてエントランス吹抜け空間を有するオフィスビルを想定し、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検討を行う。

対象とする隙間なし天井は(1.1 建物概要)に示すように全体で225m²とし、設計例1とは異なり、周辺壁部分に天井からの外力を受ける目的での特別な鋼材等は設置せず、耐火間仕切壁の下地鋼材(スタッド)を密に設置することで、このスタッドが天井からの外力を受ける納まりとする。したがって、スタッドは施工精度を考慮して十分な余裕を持たせる。

部位の納まり概要および検討内容を以下に示す。

表 1.1 納まり概要と検討内容

部位 (図面番号)	納まり概要	検討内容
E (天井端部：内壁側) (参考図面番号) A-9	天井からの外力を、耐火間仕切壁の強化せっこうボードを介して下地鋼材(2C型 JIS スタッド)にて受け、スタッドの頂部・脚部に設置した山形鋼を通じて、構造躯体に伝達させる納まり。(スタッドを施工するための上下ランナーは構造材としては使用しない。)	・強化せっこうボード壁の断面検定 ・壁下地鋼材スタッドの断面検定 ・水平変形制限の確認 ・スタッド頂部・下部の山形鋼およびボルトは余裕度が大きいため検討省略

1.3.1 チェックシート

仕様ルートを満足するよう、与条件に対し設計した内容をまとめたものを次ページ(表 1.2)に示す。

表 1.2 チェックシート

隙間なし特定天井		与条件	設計	計算書 ページ	図面 番号
1	天井の種類	斜め部材を設けない吊り天井であり、地震時に天井面に加わる外力を、天井面構成部材および周囲の壁等を介して、構造躯体に伝達する形態であること	斜め部材がなく、天井に加わる外力を周辺壁に伝達する形態	-	
2	天井の設置場所	居室、廊下その他、人が日常的に立ち入る場所であること	オフィスビルエントランスホール	89	
3	天井の規模	高さ6mを超える天井の部分であること	高さ9.5m	89	
		水平投影面積が200m ² を超える部分を含むこと、また、天井面の長さがその許容耐力に応じた最大値L _{max} (最大20m)以下であること	面積225m ² X方向長さ15.0m < L _{max} 20.0m Y方向長さ15.0m < L _{max} 20.0m	89,95	
4	天井の質量	天井面構成部材等の単位面積質量(天井面1m ² あたりの質量)が2kgを超え20kg以下であること	下地鋼材 : 2.7 kg/m ² 石膏ボード12.5mm : 8.5 kg/m ² 岩綿吸音板12.0mm : 3.8 kg/m ² 照明器具等 : 5.0 kg/m ² 合計 : 20kg/m ²	94	
5	方向別適用基準	検討する方向ごとに異なる基準を適用していないこと(X方向、Y方向がいずれも上記1の種類に当てはまること)	両方向とも隙間なし天井の形態	89	
判断	隙間なし特定天井の判断	上記の5つの与条件に対し、いずれにも当てはまること	上記5つのいずれにも当てはまるため、隙間なし特定天井の規定を適用すべきと判断する		
6	天井材の緊結	天井材は、ボルト接合、ねじ接合その他これらに類する接合方法により相互に緊結すること(定められた試験方法により性能が確認されたクリップを使用し、天井板と野縁のビスは公共標仕の仕様と同等以上であること)	性能が確認されたクリップ(耐風圧クリップ相当の緊結度合を持つクリップ)を用いて下地鋼材相互を緊結し、天井板と野縁間のビスは公共標仕の仕様と同一で設置	-	
7	支持構造部の仕様	天井吊り材の支持構造部は十分な剛性および強度を有するものとし、吊り材は建築物の構造耐力上主要な部分に緊結すること	天井吊り材は全て上部の躯体(梁または床)に緊結	-	
8	吊り材の規格	JIS A6517-2010に定める吊りボルトの規定に適合するもの、又はこれと同等以上の引張強度を有するものを用いること	JIS規格品吊りボルトを使用	-	
9	天井面の段差等と斜め部材	天井面構成部材に天井面の段差その他の、地震時に有害な応力集中が生じるおそれのある部分を設けないこと、かつ、天井内に斜め部材を設けないこと	段差なし、また、斜め材は使用していない	-	
10	天井面の開口	天井面に開口を設ける場合は、地震時に有害な応力集中が生じないように、釣り合いよく配置すること	照明器具およびスリッパ等(幅開口率20%未満)を釣り合いよく配置	95	
11	天井板	天井板は、JIS A6901-2014に定める厚さ9.5mmせっこうボード(GB-F)またはこれと同等以上の剛性および強度を有すること(野縁が密な化粧せっこうボードを含む)	厚さ12.5mmのせっこうボード(GB-F)を使用(上張りとして、岩綿吸音板を設置)	94	
12	天井面構成部材の規格	天井面構成部材は、JIS A6517-2010に定める天井下地材の規定に適合するもの、又はこれと同等以上の剛性および強度を有するものを用いること	JIS規格品を使用	-	
13	吊り材の緊結と配置	吊り材は埋込みインサートを用いた接合、ボルト接合およびこれらに類する接合方法により構造耐力上主要な部分に緊結し、天井面構成部材を鉛直方向に支持し、かつ天井面の面積が1m ² あたり1本以上として、釣り合いよく配置すること	吊り材は、性能が確認できるインサートを用いて上部の床に緊結し、1m ² あたり1本以上設置している	-	
14	壁際端部の吊ボルトからのね出し長さ	はね出し長さは150mm以下を原則とし、最大300mm程度以下とする	はね出し長さ最大80mm	-	
15	天井面の形状	天井面は水平であること	天井面は水平	-	
16	吊り長さ	吊り長さは1.5m以下を原則とし、補剛材等を用いた場合は最大3.0m以下とする、また、短い吊り材に関しては有害な応力集中が生じないよう、層間変位による強制変位よりも当該吊り材の許容変位の方が大きいこと	吊り長さは全て1.35m以下で、短い吊り材は無し	89	
17	天井周囲の壁等	天井面の周囲には、壁等を天井面の端部との間に隙間が生じないように設けること(ただし、施工誤差程度の隙間は許容)	壁または鋼材を、天井面の端部と平行に隙間がないよう配置(施工誤差は許容)	92,96,97	
18	天井周囲の壁等の地震時変形制限および損傷防止	水平方向の地震力を加えたときの天井周囲の壁等の変形は、水平材のδが1/500以下かつ2cm以下、さらに、壁も含めた限界変位Δlim以下とし、また、各部材は短期許容応力度以内であること	水平材なしで周辺壁の壁面および下地スタッドで受け止める納まりとし、壁面の地震力による変形も含めた限界変位Δlimは0.7cm以下、また、各部材は短期許容応力度以内	97	
19	固定された設備等(柱を含む)とのクリアランス	固定された設備等との間には5cm(柱の場合は2.5cm)以上の隙間を設けること	当該天井内に固定された設備および柱は無し	-	
20	天井面の設置場所	屋外に面しない天井であること	屋内仕様	-	
耐久性関連規定		与条件	設計		
天井の耐久性(令第36条第1項、令第39条第4項)		天井で特に腐食、腐朽その他劣化の恐れのあるものは、腐食、腐朽その他の劣化を生じにくい材料又は有効なさび止め、腐食その他の有効な劣化防止のための措置をした材料とする	腐食、腐朽その他劣化の恐れがない天井とする		

1.3.2 推奨する天井と壁の納まり要領

前述のチェックシート 17 (天井周囲の壁等) の規定を満足させるために推奨する納まりは、天井面構成部材のうち、チェックシート 10 に示すせつこうボード等により天井外力を伝達させる (下記○印、×印は不適) とし、設計例 2 では四角囲いの納まりを用いる。

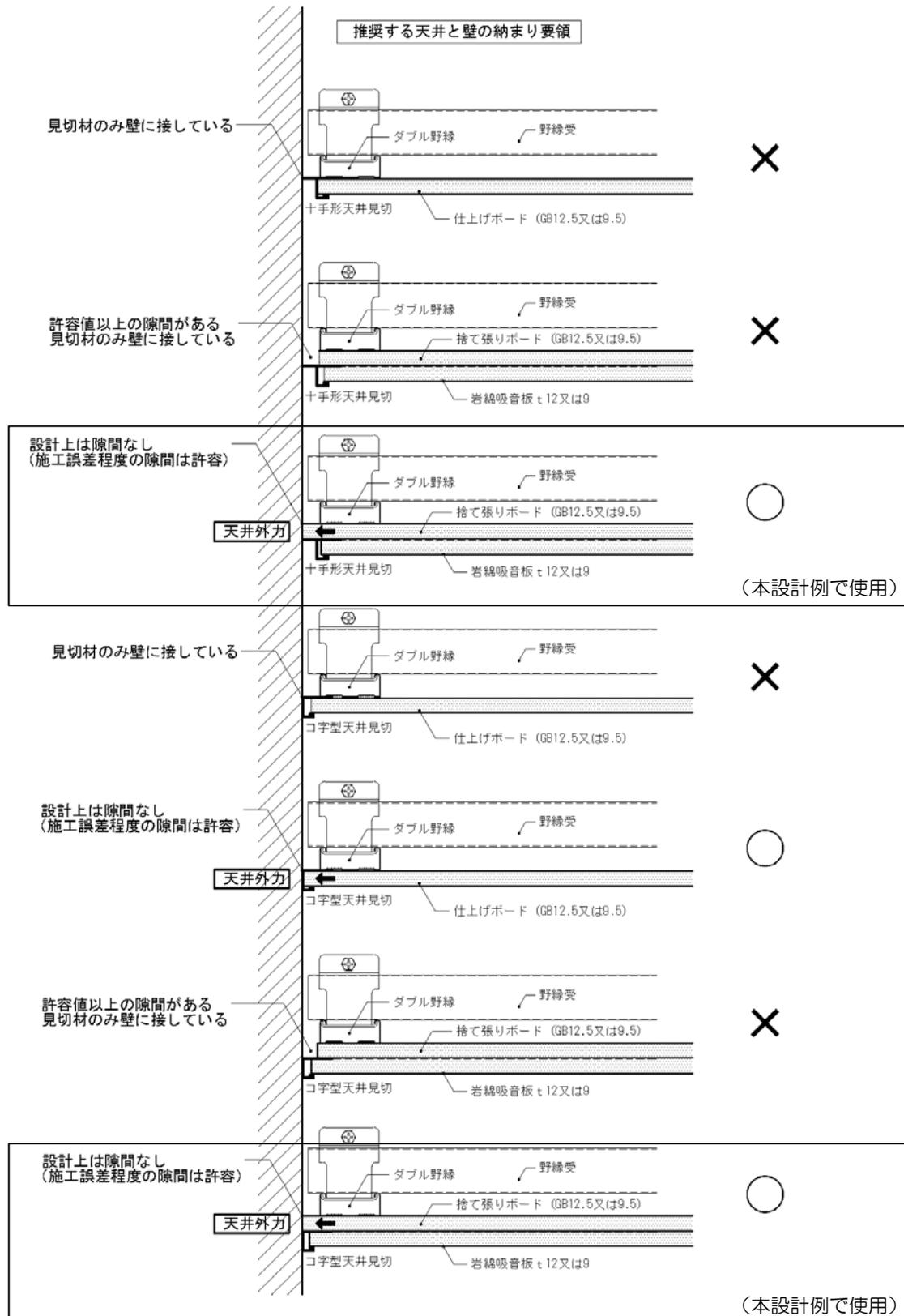


図 1.2 推奨納まり要領 (上記○印)

1.4 使用材料と許容応力度

鋼材と天井下地・壁下地鋼材、せっこうボードの許容応力度を表 1.3 に示す。なお、本設計例において許容応力度設計を行うための基準強度は、JIS による「降伏点」の値を用いることとするが、SGCC 及び SGHC 材には、JIS にて降伏点の参考値しか記載がないため、その参考値を記載する。また、天井の周辺壁（1 時間耐火間仕切壁）に使用する強化せっこうボード（GB-F）は JIS にて曲げ破壊荷重の定義しかないため、曲げ許容応力度は（曲げ破壊応力度）× 2/3 と定義する。

表 1.3 使用材料と許容応力度・許容耐力

(1) 鋼材

部材	使用材料	基準強度 (N/mm ²)	長期許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)		備考
			圧縮 引張 曲げ	せん断	圧縮 引張 曲げ	せん断	
鋼材	SS400	235	156	90	235	135	T ≤ 40

(2) 天井下地・壁下地材鋼材

部材	使用材料	基準強度 (N/mm ²)	長期許容応力度 (N/mm ²)		短期許容応力度 (N/mm ²)		備考
			圧縮 引張 曲げ	せん断	圧縮 引張 曲げ	せん断	
天井下地 壁下地	SGCC SGHC	(205)	136	78	205	118	JIS G 3302

() 内の値は、JIS における降伏点の参考値を示す。

(3) 強化せっこうボード（耐火間仕切壁）GB-F

部材	板厚 t (mm)	曲げ破壊荷重 (N)	曲げ破壊応力度 (N/mm ²)	曲げ許容応力度 (N/mm ²)	備考
耐火 間仕切壁 (1 時間)	12.5	長さ方向 : 500	5.60	(3.73)	JIS A 6901 -2014
		幅方向 : 180	2.02	(1.34)	
	15.0	長さ方向 : 650	5.06	(3.37)	
		幅方向 : 220	1.71	(1.14)	
	21.0	長さ方向 : 850	3.37	(2.25)	
		幅方向 : 320	1.27	(0.85)	

曲げ破壊荷重は JIS A 6901 に示される試験方法（幅 300mm、スパン 350mm の試験片に対し、スパン中央の全幅に集中荷重を与える）による値。応力度に置き換える場合は下式による。

$$\text{曲げ破壊応力度} = M / Z = (1/4 \times P \times L) / (B \times t^2 / 6) = (3 \times P \times 350) / (2 \times 300 \times t^2)$$

2 水平震度等の算定

2.1 水平震度の算定

検討に用いる水平震度は、平成 25 年国土交通省告示第 771 号第 3 第 3 項（平成 28 年国土交通省告示第 791 号により追加）に規定される水平震度 k を用いる。

k : 設計用水平震度

	天井を設ける階	水平震度
(一)	0.3(2N+1)を超えない整数に 1 を加えた階から最上階までの階	3.0r
(二)	(一) 及び (二) 以外の階	1.7r
(三)	0.11(2N+1)を超えない整数の階から最下階までの階	0.7
<p>この表において N 及び r は、それぞれ次の数値を表すものとする。</p> <p>N 地上部分の階数</p> <p>r 次に定める式によって計算した値</p> $r = \min \left[\frac{1 + 0.125(N - 1)}{1.5}, 1.0 \right]$		

上記表にて、本設計例では $N=9$ 、 $r=1.0$

(四) $0.3(2N+1)=0.3 \times (2 \times 9 + 1) = 5.7$ を超えない整数 5 に 1 を加えた階から最上階

→ 地上 6 階から 9 階

(五) (一) または (三) 以外の階

→ 地上 3 階から 5 階

(六) $0.11(2N+1)=0.11 \times (2 \times 9 + 1) = 2.1$ を超えない整数 2 の階から最下階までの階

→ 地上 1 階、2 階

本設計例にて対象とする隙間なし特定天井は、2 階に設ける天井とみなし (三) の「水平震度 $k=0.7$ 」を採用する。

2.2 天井質量の算定

(1) 天井面の諸条件

・天井面積 : $15 \text{ m} \times 15 \text{ m} = 225 \text{ m}^2$ (隙間なし天井部分) $> 200 \text{ m}^2$

・天井高さ : 9.5 m (隙間なし天井部分) $> 6.0 \text{ m}$

・天井吊り長さ : 1.35 m (隙間なし天井) $\leq 1.5 \text{ m}$

・柱スパン : $7.5 \text{ m} \times 15 \text{ m}$

・単位面積当たりの質量

下地鋼材 (CC-19-@303, CW19-@1,820) 2.7 kg/m^2

せっこうボード (GB-R) $t=12.5 \text{ mm}$ 8.5 kg/m^2

岩綿吸音板 $t=12.0 \text{ mm}$ 3.8 kg/m^2

照明器具等 5.0 kg/m^2

合計 $\Sigma = 20 \text{ kg/m}^2 \leq 20 \text{ kg/m}^2$ O.K.

(2) 地震時に天井面に加わる外力

天井面長さ 15 m 、水平震度 $k=0.7$ 、単位面積重量 196 N/m^2 ($=20 \text{ kg/m}^2 \times G$) であるため天井面から周辺壁等の加わる外力は単位幅当たり $P = 196 \times 15 \times 0.7 = 2,058 \text{ N/m}$

2.3 天井の長さの算定

天井面の長さは、平成 25 年国土交通省告示第 771 号第 3 第 3 項（平成 28 年国土交通省告示第 791 号により追加）に規定される構造方法による最大値

L_{\max} （最大 20 m）以下とする。

$$L_{\max} = P_a / (kw)$$

ここで、

$$P_a = P_{cr} \times R_{HL} \times R_o / 1.5$$

P_{cr} （天井面の単位幅当たりの損傷耐力） = 10 (kN/m) : せっこうボード $t=12.5\text{mm}$

R_{HL} （吊り長さに応じた低減係数） = 1.0 : 吊り長さ 1.35m < 試験時吊り長さ 1.5m

R_o （天井に設ける開口率に応じた低減率） = 1.0 : 照明器具等による幅開口率 20%未滿

$$k=0.7, w=0.196 \text{ kN/m}^2$$

したがって

$$L_{\max} = P_a / (kw) = 10 \times 1.0 \times 1.0 / 1.5 / (0.7 \times 0.196) = 48.6 \rightarrow \max 20\text{m} > (\text{天井面長さ}) 15\text{m} \quad \text{O.K.}$$

3 周辺壁等の設計例

3.1 設計条件

設計条件は以下とする。

- ・天井面の長さ、質量、水平震度：長さ 15m、質量 20 kg/m^2 、 $k=0.7$
- ・周辺壁の設定：1 時間耐火性能を有する強化せっこうボード ($t=21\text{mm}$) 2 枚 片面張り方式
- ・周辺壁の質量と地震時の設計用水平震度：質量 40.8 kg/m^2 、 $k=0.5$
- ・周辺壁を支持するスタッドは JIS 規格品(2C-100×45×0.8 : 重量 13 N/m)を用い、ダブル使い@227.5 mm、長さ $L=4,605 \text{ mm}$ とする。
- ・建物の階高： $H=5.5 \text{ m}$
- ・地震時に天井面に生じる外力は、天井せっこうボードを介して周辺壁等（水平鋼材なしで周辺壁の壁面および下地スタッド）に応力伝達できる納まりとする（1-3-2 参照）。
- ・水平方向の地震力を加えたときの天井周囲の壁等の変形は、壁面の地震力による変形も含めた限界変位 $\Delta_{\text{lim}}=0.7 \text{ cm}$ 以下とし、各部材は短期許容応力度以内とする。
- ・その他、平成 25 年国土交通省告示第 771 号第 3 第 3 項（平成 28 年国土交通省告示第 791 号により追加）に規定される構造方法の諸条件を満足。

3.2 部位 E (天井端部：内壁側)：納まり参考図面は A-9 に示す。

(1) 壁ボードの検討

本設計例では、地震時に天井から受ける外力を、図面に示すように強化せっこうボード (GB-F) による耐火間仕切壁 (1 時間耐火：スタッドに対して $t=21.0\text{mm}\times 2$ の片面張り) を介して、壁の下地鋼材 (2C 型 JIS スタッド) に伝達する納まりを検討対象としている。

このような納まりでは、壁面の強化せっこうボード (GB-F) 2 枚をスタッドに取りける際、下張りを横張り (長さ方向がスタッドと直交) とし、上張りを縦張り (長さ方向がスタッドと平行) とするのが一般的で、下張りとは上張り目地位置もずらす等の配慮がなされている。さらに、今回は地震時に天井から周辺壁に作用する外力を受け止めるため、スタッドの間隔も通常よりも密 (@227.5) にして天井面せっこうボード側の応力集中を避けるなどの配慮を行っている。

これらを鑑み、以下を仮定して検討を行う。

- ・スタッドには通常、高さ方向に @600 でスペーサーが設置されているが、必ずしも天井面レベルと一致するとは限らないため、その効果は無視し、背中合わせとしたスタッドウェブ部分を支点と仮定して、隣接スタッド間をスパン 227.5mm とした連続梁として壁板の応力を検討する。ここで、壁面の強化せっこうボード (GB-F) が 2 枚張りであることから、検討用応力は 1.0C (C: 固定端モーメント) とする。(これに対し、1 枚張りを用いる事例の場合は 1.3~1.5C となるので注意を要する。)

- ・天井から受ける外力に対し、壁は 2 枚分の厚みを考慮した有効高さ (図 3.1) を用いるが、応力は下張りの 1 枚 (横張り：長さ方向に曲げ応力が生じる強化せっこうボード 21mm) のみで処理する。(なお、上張りが下張りとは一体的に挙動するような接合を用いる場合は、この限りではない。)

地震時に天井から周辺壁に作用する外力 $w=2,058\text{ N/m}$

スタッド間を連続梁とした場合の最大モーメント

$M=1.0\times C$ (固定端モーメント)

$$=1.0\times(1/12\times w\times L^2)$$

$$=1.0\times(1/12\times 2,058\times 0.2275^2)$$

$$=8.88\text{ N}\cdot\text{m}$$

強化せっこうボードの天井反力受け有効高さ (図 3.1)

$$h=10.5+21+12.5+21+10.5=75.5\text{ mm}$$

強化せっこうボード 1 枚の断面係数

$$Z=h\times t^2/6=75.5\times 21^2/6=5,549\text{ mm}^3$$

$$\sigma_b=M/Z=8.88\times 1,000/5,549=1.60\text{ N/mm}^2$$

強化せっこうボード ($t=21\text{mm}$) の長さ方向曲げ許容応力度 $sfb=2.25\text{ N/mm}^2$

したがって $\sigma_b/sfb=1.60/2.25=0.71 < 1.0$ O.K.

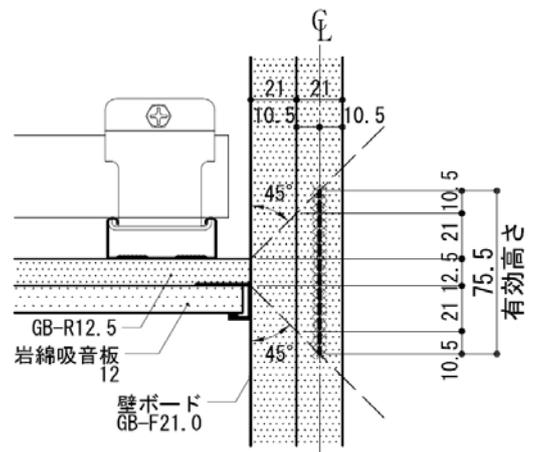


図 3.1 天井と壁の詳細図

地震時に天井から作用する外力は、強化せっこうボード壁を用いて隣接するスタッドまで応力伝達可能である。

(2) 壁スタッドの検討

本設計例では、地震時に天井から受ける外力を確実に強化せつこうボード (GB-F) の下地鋼材 (2C型 JIS スタッド) に伝達させるため、スタッドは通常@455 の半ピッチ (@227.5) としたうえで、さらに背中合わせダブル使いを用いる。(スタッドの厚さがせつこうボードに比べて $t=0.8\text{mm}$ と薄いため、施工精度に配慮してシングル使いを避け、十分な余裕を持たせる。)

また、スタッド (SGCC 材) はボード壁にビス止めされており、全体のねじれ (横座屈) は生じないことから、断面検討は強軸で行い短期許容曲げ応力度は $s_f_b=205\text{ N/mm}^2$ とする。

なお、天井からの外力が加わらない壁面の面内方向 (スタッド弱軸方向) の検討は別途行うものとし、ここでは、天井からの外力を受ける壁面の面外方向 (スタッド強軸方向) のみ検討を行う。

JIS スタッド(C-100×45×0.8) 1本の断面性能は以下による。

$A=172\text{mm}^2$ 、 I (強軸) $=281,000\text{mm}^4$ 、 Z (強軸) $=5,620\text{mm}^3$ 、 i (強軸) $=40\text{mm}$ 、重量 13N/m
ヤング係数： $E=205,000\text{ N/mm}^2$

(スタッドの断面算定)

スタッド長さ $L=4,605\text{mm}$ (今回は頂部から 587mm の位置に天井外力が作用すると仮定する。)

スタッド1本当たりに加わる天井からの外力 (集中荷重)

$$P=2,058 \times 0.2275 / 2 = 234.1\text{ N}$$

壁およびスタッドの自重によりスタッド1本に加わる外力 (等分布荷重)

$$w=(40.8 \times 9.8 \times 0.2275 / 2 + 13) \times 0.5 = 29.2\text{ N/m}$$

天井面位置のスタッドに生じる曲げモーメント

$$M=234.1 \times 0.587 \times 4.018 / 4.605 + 29.2 \times 0.587 / 2 \times (4.605 - 0.587) = 120.0 + 34.4 \\ = 154.4\text{ N} \cdot \text{m}$$

$$\sigma_b = M / Z = 154.4 \times 1,000 / 5,620 = 27.5\text{ N/mm}^2$$

スタッド1本にかかる長期軸力 (壁+自重)

$$N=(40.8 \times 9.8 \times 0.2275 / 2 + 13) \times 4.605 = 269.3\text{ N}$$

$$\sigma_c = N / A = 269.3 / 172 = 1.57\text{ N/mm}^2$$

$$\lambda = 1,500 / (\sqrt{(205 / 1.5)}) = 128 \quad \lambda = L / i = 4,605 / 40 = 115$$

したがって $\lambda \leq \lambda$ ($\lambda / \lambda = 0.898$)

$$\text{短期許容圧縮応力度 } s_f_c = 1.5 \times 205 \times ((1 - 2 / 5 \times 0.898^2) / (3 / 2 + 2 / 3 \times 0.898)) = 102\text{ N/mm}^2$$

したがって $\sigma_b / s_f_b + \sigma_c / s_f_c = 27.5 / 205 + 1.57 / 102 = 0.15 < 1.0$ O.K

(天井面における壁変形量の算定)

天井からの集中荷重および壁自身の变形による、天井位置における水平変形 δ

$$\delta = (234.1 \times 587^2 \times 4,018^2) / (3 \times 205,000 \times 281,000 \times 4,605) \\ + (29.2 / 1,000 \times 587) / (24 \times 205,000 \times 281,000) \times (4,605^3 - 2 \times 4,605 \times 587^2 + 587^3) \\ = 1.64 + 1.17 = 2.81\text{ mm} < \Delta_{\text{lim}} = 7.0\text{ mm (0.7 cm)} \quad \text{O.K}$$

