



構造調査コンサルティング協会(Strec)は
既存建造物の総合耐震化を目指します

天井耐震改修

東日本大震災における天井落下等の被害を受け、国土交通省は、
建築物における天井脱落対策に係る技術基準(平成26年4月施行)を制定、

天井脱落対策が義務付けられました。

構造調査コンサルティング協会は、建築構造調査士(Strec認定)、
天井耐震診断士(日本耐震天井施工協同組合(JACCA)認定)のプロフェッショナルを育成し、

天井の耐震化に取り組んでいます。



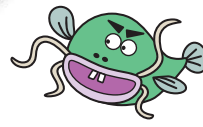
こうゾウくん



ちよウサちゃん



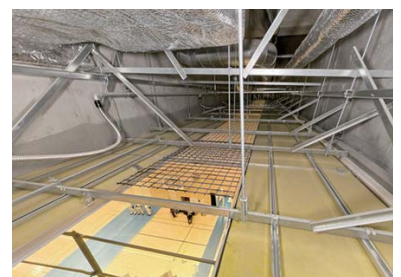
天井聖人 **st.rec**



なますん



1 天井パノラマ動画撮影時の足場



2 天井パノラマ内部動画写真



3 天井パノラマ内部動画写真



立体カメラ写真

天 井 調 査

天 井 診 断 ・ 設 計

天 井 評 定

一般社団法人構造調査コンサルティング協会

東日本大震災における甚大な被害

2011年3月11日に発生した東日本大震災においては、構造躯体に被害が無いにもかかわらず、非構造部材に被害を被った建物が多数出ました。中でも大規模空間を有する建物の天井について、比較的新しい建築物も含め、脱落する被害が多く見られました。天井脱落等による人的被害は、死者5名負傷者72名以上、被害件数は約2,000件にも及びました。首都圏でも多くの天井被害が報じられました。

建築基準法に基づく天井脱落対策の規制強化

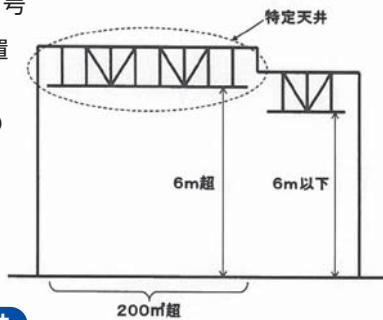
天井脱落防止措置による建築物等の安全性の確保を目的として、「建築基準法施行令の一部を改正する政令(平成25年政令第217号)」、「特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件(平成25年国土交通省告示第771号)」等が平成26年4月1日に施行され、「特定天井」は技術基準に従って脱落防止対策を講ずる等が必要になりました。

平成28年国土交通省告示第791号が公布・施行され、天井と周囲の壁等との間に隙間を設けない仕様について、新たな特定天井の技術基準が定められました。(平成28年5月31日公布、同年6月1日施行)

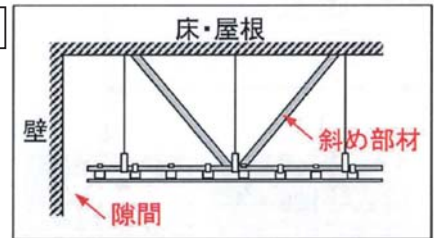
特定天井とは 告示771号

人が日常立ち入る場所に設置されている**吊り天井**で、以下の3つの条件に該当するものをいいます。

- ①天井の高さが6m超
- ②面積が200㎡超
- ③質量が2kg/㎡超



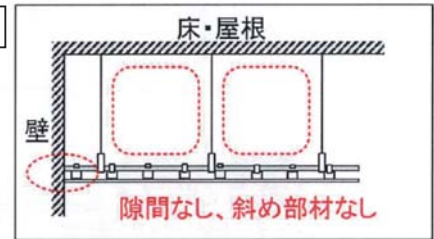
告示771号



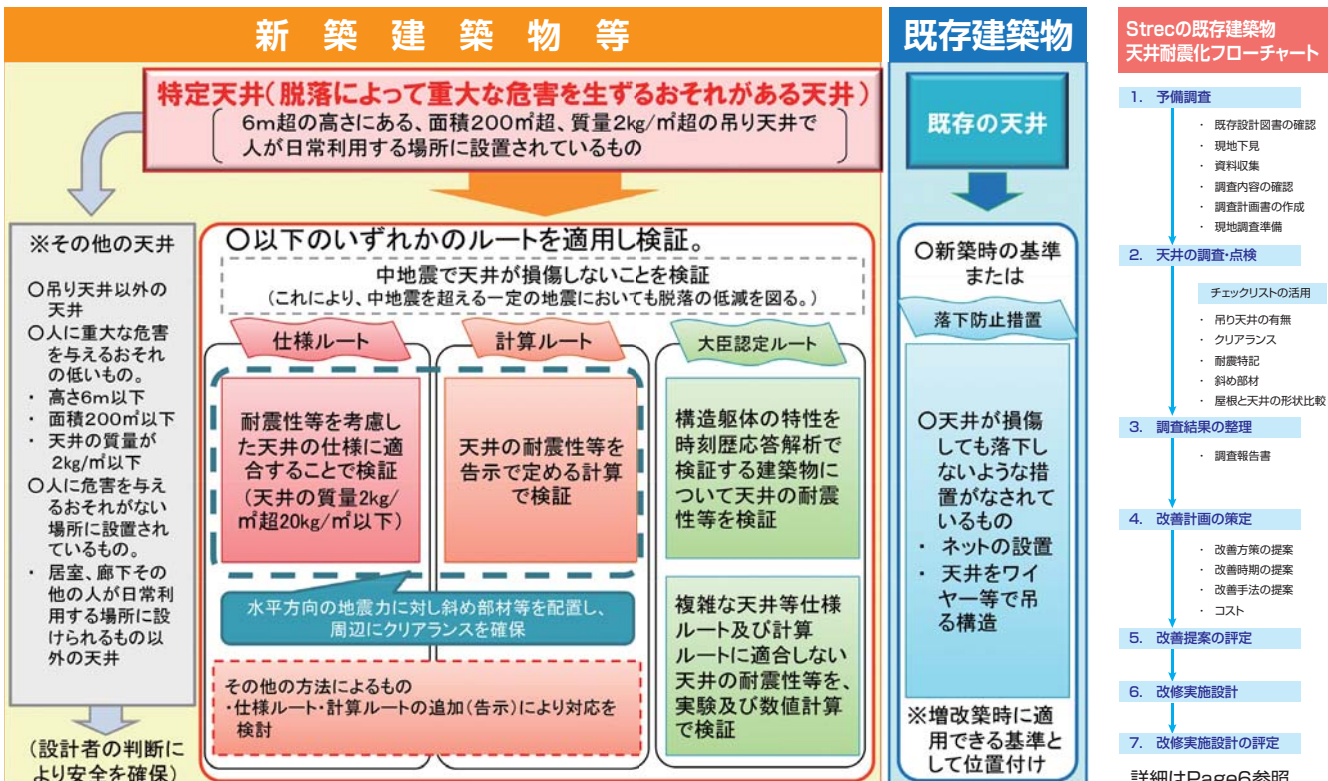
地震で揺れやすい吊り天井

建築物に多く用いられる「吊り天井」は、梁やスラブといった部分から天井版を吊り下げる事で天井面を構成しています。このため、地震時には水平方向や鉛直方向に揺れやすいという特徴があります。また、湿気により錆や腐食など部材が劣化しやすいこと、金具止めのネジやボルトに緩みが生ずることもあり、留意が必要です。

告示791号

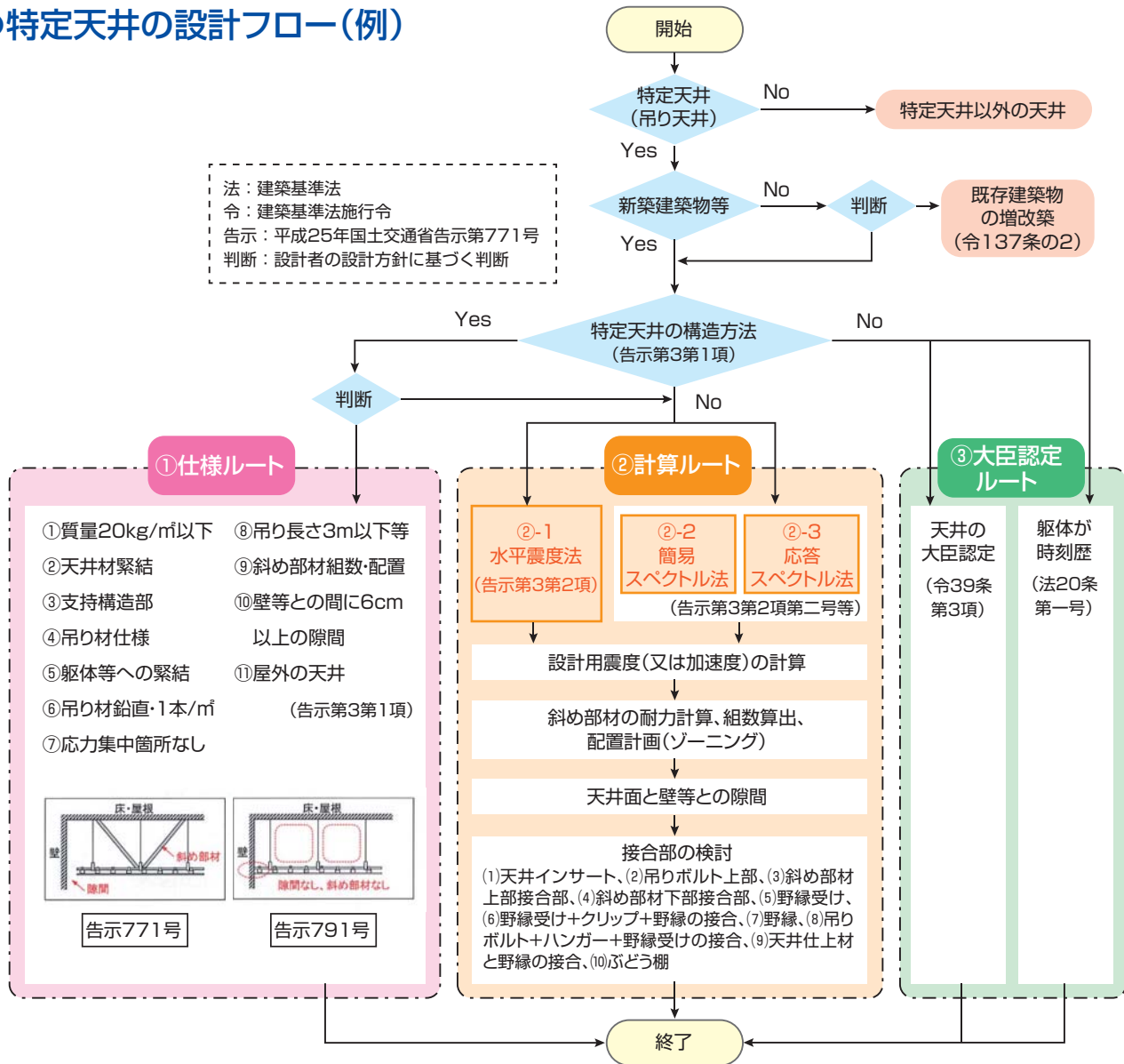


●天井脱落対策の対象となる天井と検証ルート



出典：国土交通省「建築基準法施行令の一部を改正する政令について（平成26年4月施行）」www.mlit.go.jp/common/001009501.pdf

●特定天井の設計フロー(例)

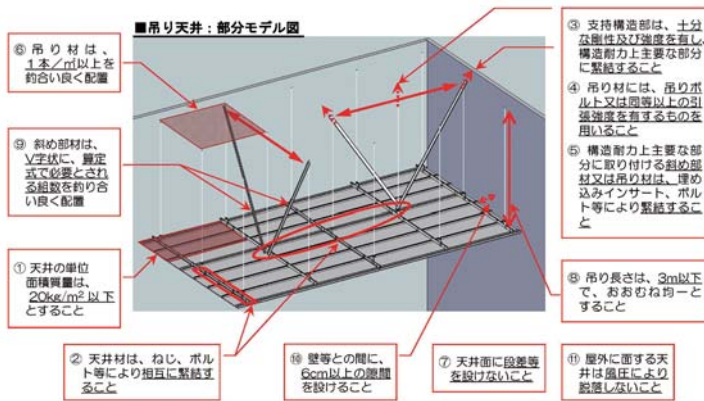


出典：建築性能基準推進協会「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」www.seinokyo.jp/tenjou/top/

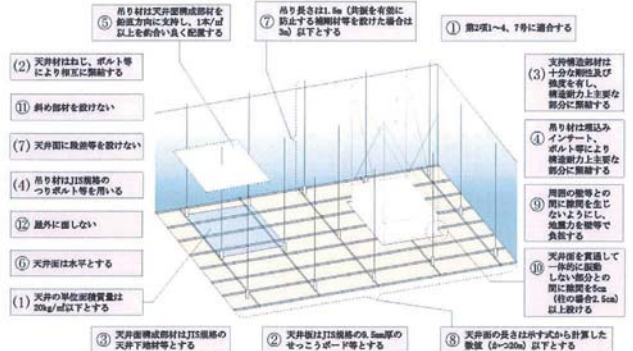
①仕様ルート

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(2~20kg/m²)の場合】

告示771号による仕様規定



告示791号仕様規定の追加 隙間なし天井



*「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。

出典：国土交通省「建築基準法施行令の一部を改正する政令について(平成26年4月施行)」www.mlit.go.jp/common/001009501.pdf

②計算ルート

天井の設計:中地震時を想定

天井脱落対策に係る技術基準としては、本来、極めて稀な地震動の発生時(大地震時)においても脱落しないことを目標とすべきではあるが、現在の技術的知見では、大地震時における構造躯体に吊られている天井の性状を明らかにすることは困難であるため、今回の技

術基準については、天井の性状をある程度想定することが可能な稀な地震動の発生時(中地震時)において天井の損傷を防止することにより、中地震を超える一定の地震時においても天井の脱落の低減を図ることを目標として検討がなされている。

②-1 水平震度法 (参考資料抜粋)

	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	2.2rZ
(二)	(一)及び(三)以外の階	1.3rZ
(三)	0.11(2N+1)を超えない整数の階から最下階までの階	0.5

この表において、N、r及びZは、それぞれ次の数値を表すものとする。

N 地上部分の階数

r 次に定める式によって計算した数値

$$r = \min \left[\frac{1 + 0.125(N-1)}{1.5}, 1.0 \right]$$

Z 建築基準法施行令(昭和25年政令第338号)第88条第1項に規定するZの数値

	1階建	2階建	3階建	4階建	5階建	6階建	7階建	8階建	9階建	10階建	11階建	12階建	13階建	14階建	15階建	16階建	17階建	18階建	19階建	20階建
20階																				2.20
19階																			2.20	2.20
18階																	2.20	2.20	2.20	2.20
17階																2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
16階															2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
15階														2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
14階													2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
13階												2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
12階										2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
11階									2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
10階								2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
9階							2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
8階						2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
7階					2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
6階				2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
5階			2.02	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
4階		1.84	2.02	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20	2.20
3階			1.65	1.09	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
2階			0.98	1.09	1.20	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
1階	1.47				0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50	0.50
	0.667	0.750	0.834	0.917																
																				1.000

凡例
■ 上層階
■ 中層階
■ 下層階

②-2 簡易スペクトル法 (参考資料抜粋)

表 3.1 簡易スペクトル法に用いる水平震度

設置階		周期帯		階数 ^{注3)}
		1次共振 ^{注1)}	2次共振 ^{注2)}	
上層階 ^{注5)}	$T_1 \leq T_0$	2.2rZ	1.1r ₂ Z	0.50
	$T_0 < T_1$	2.2(T ₀ /T ₁)Z		
中間階 ^{注6)}	$T_1 \leq T_0$	1.3rZ	0.66Z	
	$T_0 < T_1$	1.3(T ₀ /T ₁)Z		
下層階 ^{注7)}			0.50	

表 3.1 における Z は令第 88 条第 1 項に規定する数値、r₁及び r₂は次式に示す数値 (N は地上部分の階数) とする。

$$r_1 = \min \left(\frac{1 + 0.125(N-1)}{1.5}, 1.0 \right)$$

$$r_2 = \min(0.2N, 1.0)$$

注 1) 1次共振とは、 $T_1 - 0.1 \leq T_{cell,A}$ の場合とする。ここで、T₁は構造躯体の1次固有周期(単位 s)で、固有値解析により算定するか、又は設計用1次固有周期(昭和55年建設省告示第1793号第2)による。T_{cell,A}は吊り天井の水平方向の固有周期(単位 s)。

注 2) 2次共振とは、 $\max(T_2 - 0.1, 0.1) \leq T_{cell,A} \leq T_2 + 0.1$ の場合とする。ここで、T₂は構造躯体の2次固有周期(単位 s)で、固有値解析により算定するか、又は T₂ = T₁/3 とする。

注 3) 剛とは、T_{cell,A} ≤ 0.1 の場合とする。

注 4) TG は加速度一定領域と速度一定領域の境界周期。(2種地盤: TG=0.864(s))

注 5) 「上層階」とは最上階から次式を満たす階 i の1つ上の階までとする。なお、N=1 のときは「上層階」を適用する。
 $i < 0.3(2N+1)$

注 6) 「中間階」とは「上層階」又は「下層階」に分類される階以外の階とする。

注 7) 「下層階」とは次式を満たす階 i からの階とする。
 $i < 0.11(2N+1)$

②-3 応答スペクトル法 (参考資料抜粋)

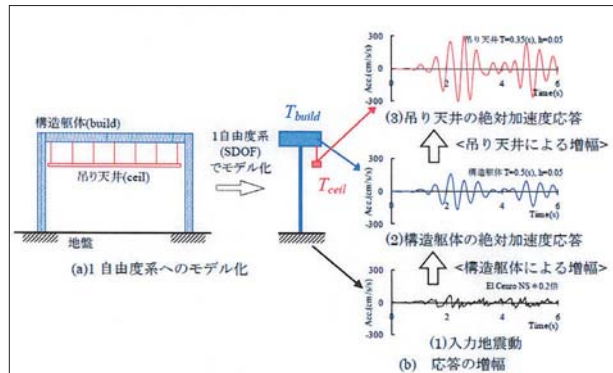


図 3.3 構造躯体及び吊り天井のモデル化と応答の増幅

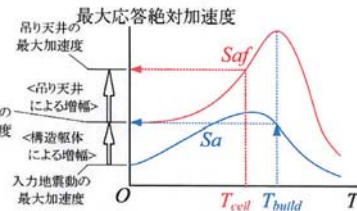


図 3.4 応答スペクトル法の概念図

地震動に対する安全性の検証

令第82条の5第三号の地震力を考慮して、天井が取り付け部分に生ずる水平方向の加速度(計算しようとする方向の柱の相互の間隔が十五メートルを超える場合にあっては、水平方向及び鉛直方向の加速度)によって天井面に作用する力を求め、当該力により天井に生ずる力が当該天井の許容耐力(繰り返し载荷試験その他の試験又は計

算によって確認した損傷耐力(天井材の損傷又は接合部分の滑り若しくは外れが生ずる力に対する耐力をいう。)に3分の2以下の数値を乗じた値をいう。)を超えないことを確かめること、ただし、特別な調査又は研究の結果に基づいて天井面に作用する力を算出する場合においては、当該算出によることができるものとする。

③大臣認定ルート

(制震工法(時刻歴応答解析)で耐震改修された建築物の、天井改修例 参考資料抜粋)

参考平面図

参考立面図

入力地震動

設計用入力地震動は、日本建築センターから提供されている実記録波形の中から、代表的な観測波として EL CENTRO 1940 NS 成分波、HACHINOHE 1968 NS 成分波、TAPT 1952 EW 成分波の3波を地域係数が0.9であることを考慮し、「45cm/secに基準化」(=50cm/sec×0.9)して用いた。また、模擬地震波として告示波3波を採用し、地域係数を考慮し原波×0.9入力として用いた。

地震動波形名	実記録			45cm/sec相当 最大加速度 (cm/s ²)	継続 時間 (sec)
	最大速度 (m/s)	最大加速度 (m/s ²)	継続時間 (sec)		
EL CENTRO 1940 NS (50セント) NS	33.45	341.70	459.7	459.7	53.76
HACHINOHE 1968 NS (ハチノヘ) NS	34.08	225.00	297.1	297.1	51.00
TAPT 1952 EW (タフト) EW	17.71	175.95	447.1	447.1	54.40

地震動波形名	最大速度 (m/s)	最大加速度 (m/s ²)	継続時間 (sec)
告示地震波1 (JMA 99F NS 位相)	39.5	345.5	70.00
告示地震波2 (JMA NS 位相)	44.2	330.2	120.00
告示地震波3 (乱数位相)	48.1	323.5	120.00

建築物の固有値解析

6-3.2.2 固有値解析
6-3.2.2.1 固有値解析結果
構造スリット・壁・柱補強のみの建物固有振動

モード	X方向固有周期 (秒)	モード	Y方向固有周期 (秒)
1次	0.661	1次	0.445
2次	0.281	2次	0.272
3次	0.197	3次	0.196

エネルギー計算X方向

スリット補強
塑性によるエネルギー負担率
≒22500/29000=78%

制震ブレース設置
制震ブレース補強
エネルギー計算 (塑性)
塑性エネルギー負担率
≒14000/32000=44%

塑性によるエネルギー負担率≒14000/32000=44%
78%⇒44% ダンパーにより塑性エネルギー比率は下がり、建物の揺れを抑える効果がある。

建築物への応答解析 エルセントロ X方向

層間変形角

層間変形角: 1/200, 1/100, 3/200, 1/30 (rad)

層間変形角: 1/200, 400, 800, 800, 1000 (μrad)

応答加速度: 入力地震波 (2.00g/40Hz)

X方向8F 極めて稀に発生する地震(大地震に対して)の天井加速度応答スペクトル

8FL ≒ 1300 < 許容1500gal OK

天井の固有周期、減衰定数はメーカー仕様による。

天井の減衰定数について

2004 天井の耐震性に関する研究
小林俊夫 他

斜め材の新工法「レ形工法」

凡例: / ブレース | 吊りボルト補強 | 設備機器

ハの字, Vの字, 逆ハの字

斜め部材が分離できるレ形工法

補強角パイプ, 吊りボルト補強, レ形ブレース

野縁受方向単調加力試験後

野縁受方向単調加力試験装置図

兼用クロスクリップ

構造調査コンサルティング協会ホームページ参照
この設計例は大臣認定の一例として示したものです

出典: 日本建築学会2008年9月「天井の耐震性に関する研究」
株式会社桐井製作所 小林俊夫 他

既存建築物の天井耐震化フローチャート

1. 予備調査

- ・ 既存設計図書の確認
- ・ 現地下見
- ・ 資料収集
- ・ 調査内容の確認
- ・ 調査計画書の作成
- ・ 現地調査準備

2. 天井の調査・点検・診断・試験

チェックリストの活用

- ・ 吊り天井の有無
- ・ クリアランス
- ・ 耐震特記
- ・ 斜め部材
- ・ 屋根と天井の形状比較

各種試験

- ・ 吊りボルト耐力(現場試験を含む)
- ・ 天井部材耐力

3. 調査結果の整理

- ・ 調査報告書
- ・ 各種試験の報告書

4. 改善計画の策定

- ・ 改善方策の提案
- ・ 改善時期の提案
- ・ 改善手法の提案
- ・ コスト

5. 改善提案の評定

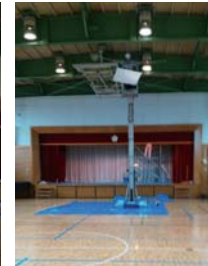
6. 改修実施設計

7. 改修実施設計の評定

事例：天井耐震診断チェックリスト

■天井耐震診断チェックリスト例

JACCA天井耐震診断チェックリスト



[参考] 足場リフトの利用

足場リフトでの作業

軽量天井材落下実験

事例：天井耐震調査報告書例



事例：改善提案書例

- ・ 仕様ルート
- ・ 計算ルート
- ・ 大臣ルート
等による提案

事例：改修実施設計



Strecは天井調査、天井診断・設計、天井評定を行います。

天井調査

1. 目視による調査

- ・天井部材の吊りボルト、野縁等のピッチ、天井クリアランス等の測定
- ・部材の腐食、緩み、外れ、欠損、たわみ等の状況を調査し、チェックリストの活用等で適合性の診断を行います。

2. 天井パノラマ撮影による調査

- ・360度の四面体展開写真を撮影し、水平方向、上下方向などあらゆる角度とUP画面でストリートビュー的な表示をしています。
- ・天井内が照明撮影されている様な高画質です。
- ・静止画により写真のように編集できます。

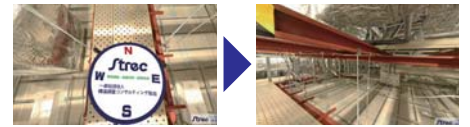
3. 3Dレーザースキャナによる調査

- ・3Dレーザースキャナとは、対象物の空間位置情報を離れた位置から非接触、ノンプリズムで3次元の大量点群データが取得できる計測技術です。
- ・分解能は、最大10m先で1.5mmピッチのポイントデータを計測することができます。
- ・状況に合わせて分解能を荒くして計測時間を短縮することも可能です。
- ・数方向から計測することにより、点群が立体画像のようになりパソコン内で好きな方向や好きな角度から見るすることができます。
- ・計測した3次元データは、平面、立面、断面などの図面作成が可能です。

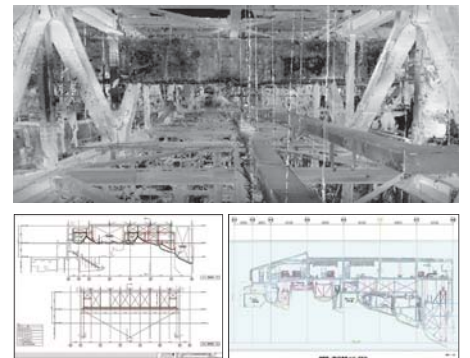
4. A I 打音チェッカーによる調査

- ・モルタルの浮き、コンクリートの空洞が人間の耳だけに頼るのではなく、A I 打音チェッカーが波形で判断します。

2. 天井パノラマ撮影による調査



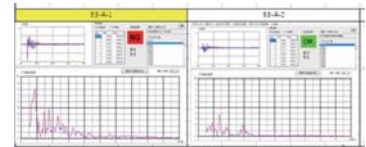
3. 3Dレーザースキャナによる調査



4. A I 打音チェッカーによる調査



A I 打音によるグラフ



左図は空洞有の波形、右図は正常の波形

天井診断・設計

天井調査に基づき、天井耐震診断チェックリストに沿って、診断・設計をします。

- ① 「公共建築工事標準仕様書 平成25年版」との適合性
 - ② 「国土交通省平成25年告示第771号等」との適合性
 - ③ 「文部科学省学校施設における天井等落下防止対策のための手引」との適合性
- その他、参考資料「JACCA耐震天井仕様」との整合性

天井評定

長年にわたり既存構造物の耐震改修事業の品質確保に貢献してきた当協会の「構造物評定委員会」において、既存建築物の天井耐震化に関する評定を行います。

- ① 既存天井の調査診断、改善提案、改修実施設計などに関する評定を行います。
- ② 学識経験者と協会委員（実務経験者）からなる天井評定担当を設置して、多角的な審査を行います。
- ③ 構造体と天井ほか非構造材を含めた総合耐震も扱います。
- ④ 無料技術相談も受付けています。

現場における吊りボルトアンカー引抜試験

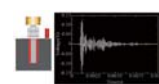
天井改修工事において、現状のアンカー強度を把握することで、軽い天井に設計変更することにより現状の吊りボルトを生かすことができます。

例 設計荷重25kg/m² → 5 kg/m²



吊り天井ボルト専用検査治具

リアルタイムデジタル画面表示



受信波形の一例
(充填率 100%)



吊りボルト引抜試験
(引張荷重：473N)

超軽量天井システムにおける耐震工法の評価について

評定委員会に申請がありました技術名称「かるてんを用いた超軽量天井システムにおける耐震工法」について評価致しました。この超軽量天井は、単位面積質量が2Kg/m²以下で平成25年 国土交通省告示771号の特定天井には該当しませんが、特定天井に要求されている耐震安全性を有していることなど工法特徴があります。右は斜め部材新工法「レ形工法」の評定 (P5を参照下さい)



天井耐震化の評定を行います



■ 構造物評定委員会

1995年に施行された「建築物の耐震改修の促進に関する法律(平成25年11月改正 法律第123号)」を機に、耐震診断・改修ニーズに対する社会的要請に応え、建築構造各分野の学識経験者で組織された『構造物評定委員会』を設置し運営しております。これまで、首都圏をはじめ全国の学校、体育館、公共施設、事務所ビル、工場、共同住宅等の耐震診断・耐震補強計画に関する評定を行い、豊富な実績と高い信頼性で耐震化事業の品質確保に貢献しています。耐震改修の効果は東日本大震災においても実証されています。

評定では、構造種別・形式を問わず、特殊補強や総合耐震も扱うこととしています。耐震改修促進法も改正され、耐震診断の義務付けなど、耐震化施策の加速に貢献するため、このたび委員会体制の強化を図り、利用しやすい迅速な評定運営を目指しておりますので、ぜひご利用ください。

* 既存建築物耐震診断・改修等推進全国ネットワーク委員会

○ **構造物評定委員会** 学識経験者・協会委員および専門委員で構成されています。2018年6月現在

委員長	松崎 育弘 (東京理科大学名誉教授)	
副委員長	玉松 健一郎 (構造調査コンサルティング協会 名誉会長)	
顧問	廣澤 雅也 (工学院大学名誉教授)	横谷 英次 (関東学院大学名誉教授)
委員	石橋 一彦 (千葉工業大学名誉教授)	市橋 重勝 (元 日本工業大学教授)
	宇田川 邦明 (東京電機大学名誉教授)	小野里 憲一 (工学院大学建築学部建築学科教授)
	北嶋 圭二 (日本大学理工学部海洋建築工学科教授)	衣笠 秀行 (東京理科大学理工学部建築学科教授)
	近藤 龍哉 (工学院大学建築学部建築学科准教授)	坂田 弘安 (東京工業大学環境・社会理工学院建築系教授)
	清水 泰 (日本大学講師)	寺本 隆幸 (東京理科大学名誉教授)
	永坂 具也 (東海大学名誉教授)	中野 克彦 (千葉工業大学工学部建築都市環境学科教授)
	宮澤 健二 (工学院大学名誉教授)	山本 泰稔 (芝浦工業大学名誉教授)
非構造材 (天井他) 担当協会委員		
	玉松 健一郎 (構造調査コンサルティング協会 名誉会長)	
	小林 俊夫 (日本耐震天井施行協同組合 技術顧問)	
	尾崎 猛美 (構造調査コンサルティング協会 副会長兼専務理事)	
	中村 幸悦 (株式会社織本構造設計)	對比地 健一 (株式会社東京建築研究所)
	花井 勉 (株式会社えびす建築研究所)	

■ 天井評定実績・評定中

天井工法：実績3件・評定中1件
市民会館ホール・劇場ホールなど：
実績6件・評定中6件
学校体育館：実績5件
学校プール・区民プールなど
実績4件・評定中2件

■ 天井設計実績・設計中

学校体育館：実績5件
学校プール・区民プールなど
実績4件・設計中2件

■ 天井調査実績・調査中(天井数)

市民会館ホール・劇場ホールなど：
実績3件・調査中1件
学校体育館：実績38件
学校プール・区民プールなど
実績6件・調査中2件
2018年6月現在

○ 協会案内図



Strec
ストレック

Structural Research Consulting Association

一般社団法人
構造調査コンサルティング協会

〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-12 山萬ビル
TEL: (03)3254-8078 FAX: (03)3254-8091
URL: <http://www.strec.org>
E-mail: strec-a@trust.ocn.ne.jp

ホームページは クリック

一般社団法人 構造調査コンサルティング協会 一級建築士事務所 東京都知事登録第59537号