特集

# ニューノーマル時代に備える 建築物に潜むリスク回避術

耐震対策 天井の耐震対策

櫻庭 記彦 株式会社 染野製作所



株式会社建築技術の許可により、月刊建築技術2022年6月号「特集:ニューノーマル時代に備える建築物に潜むリスク回避術」から抜粋したものです。 禁無断転載 ©建築技術





#### 「耐震天井」の位置付け

建築基準法施行令第39条に、「屋根ふき材、内装材、外装材、(中略)は風圧並びに地震その他の振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」とある。

天井は、地震動で落ちてはならない部位である。 落としてしまえば人身災害に直結し、避難経路遮断な どの二次災害を誘発するなど、建築基準法上も明確 に脱落防止を求めている。

この考え方は、国土交通省官庁営繕「官庁施設の総合耐震・津波対策計画基準」<sup>1)</sup>において非常に明確に示されており、建築非構造部材はA類またはB類の2種類しか定義していない。すなわち、A類の大地震動後も機能維持がされているか、B類の人命保護、二次災害防止が図られているか、の2択である。当基準は、国家機関の施設向けに発せられたものであるが、地方公共団体や公共性の高い民間建築物へも活用を推奨している(表1)。

ところが、同じ国土交通省官庁営繕が発出する「公共工事標準仕様書」<sup>2)</sup>では、「天井下地はJIS A

6517による」という記載があるため、実建物での天井の脱落防止対策は混乱を期している。仕様書内で、「耐震性を考慮した補強は特記による」という一文があるため、JIS A 6517材を使用して地震動で天井が脱落した場合、設計者などは特記することを怠った、として善管注意義務違反や不法行為が問われかねないと考えられる。にもかかわらず、「この仕様書に書いてある以上、JIS A 6517材以外の使用を認めない」というような運用・監理が横行していると聞く。本末転倒とも思われる(図1)。「公共工事標準仕様書」によるのであれば、建物発注者、設計者は耐震上の要求水準を明確に特記し、施工者やメーカーなどから有効な耐震天井下地の計画や提案を誘発すべき立ち

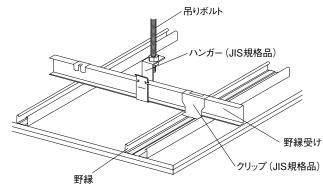


図1 JIS A 6517材 (天井下地)

表1 官庁施設の総合耐震・津波対策計画基準

部位	分類	耐震安全性の目標
構造体	I類	大地震動後、構造体の補修をすることなく建築物を使用できることを目標とし、人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	Ⅱ類	大地震動後,構造体の大きな補修をすることなく,建築物を使用できることを目標とし,人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	Ⅲ類	大地震動により構造体の部分的な損傷は生ずるが、建築物全体の耐力の低下は著しくないことを目標とし、人命の安全確保が図られている。
建築非構造部材	A類	大地震動後,災害応急対策活動や被災者の受け入れの円滑な実施,又は危険物の管理のうえで,支障となる建築非構造部材の 損傷,移動等が発生しないことを目標とし,人命の安全確保に加えて十分な機能確保が図られている。
	B類	大地震動により建築非構造部材の損傷,異動などが発生する場合でも,人命の安全確保と二次災害の防止が図られている。
建築設備	甲類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られていると共に、大きな補修をすることなく、必要な設備機能を相当期 間継続できる。
	乙類	大地震動後の人命の安全確保及び二次災害の防止が図られている。



●JISハンガーの外れによる天井の連鎖崩落(東日本大震災) 位置に居ることを失念してはならないと考える。

対して天井下地メーカーは、前述のような基準が 発出された主旨をよく咀嚼して、ごまかしのない、脱 落防止性能、安全安心性能を実現しうる商材を販売 し、施工者は現場施工後の性能発現に努めなくては ならない。

本稿では、特に東日本大震災でクローズアップされ た非構造材、とりわけ天井の落下防止・耐震対策に ついて、設計のポイントを紹介する。

### 吊り天井の設計のポイント

#### 耐震クライテリア

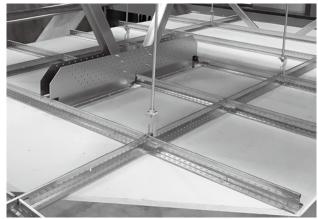
耐震性をもたせる、と聞くと、条件反射的に「○Gに耐えられる構造」と考えがちであるが、耐震設計上最優先で考慮すべきが「脱落しない」という点である。加えて、機能維持性として、設計で想定した地震動に対し弾性挙動を示し、それ以上の地震動の場合は構造架構として安全限界が○G程度で、万一それを超える場合は落下防止対策が施されている、というような設計が必要である。

立地、建物の階別地震応答性状などと、吊り天井の固有値をマトリクスにして、"稀な地震時"に弾性設計をする手法やプロセスは国土交通省告示第791号3)および「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」4)に詳述されている。

地震時に当該の天井に機能維持性を求めない場合であっても、脱落による直接被害や二次被害を防止しなくてはならないのは、文頭で述べたとおりである。

#### ●天井下地 JIS材とその他

JIS A 6517材による天井は、過去の地震でおびた



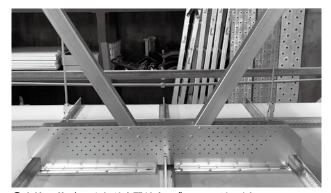
②クリップを排除した新たな下地の例

だしい数の施設で落下している。天井下地として規定されている部材は、仕上げボードなどに直接緊結される野縁と、その直交方向で、開放型接合部材のクリップを介して野縁および仕上げボードなどを吊り上げる野縁受け、その野縁受を建築躯体から吊り下げる吊りボルトと緊結する開放型接合部材のハンガーなどである。再度申し上げるが、この純粋なJIS材での天井下地構成に脱落防止性能がないことは、公知の事実である(写①)。

近年では、天井下地を合理的に耐震化するために、JIS材の潜在的な構造不合理性を解消すべく、新たな天井下地の開発が複数社で行われている。そのうちの一つは、天井の連鎖崩落の主要因であるクリップの使用を排除し、X方向、Y方向とも同じレベルで天井仕上げボードに緊結し、ハンガーは全数ビスで閉鎖する、万一の損傷時にも脱落防止性を発揮する下地である。特段の補強を必要とせず、B類の基準を満足する下地として使用できると考える。当該メーカーだけでなく、大手含む複数社の施工店でも採用可能となっている(写②)。

#### ●耐震要素 ブレース

JIS A 6517材を用いた天井下地にブレースを設けて耐震性を付与する試みは、すでに多くの天井下地専門メーカーで行われている。JIS材ではクリップやハンガーが接触力だけで野縁や野縁受と接合しているため、天井に生じた地震時水平慣性力がすべって伝達できないため、ほとんどのメーカーがクリップやハンガーをJIS A 6517規格外の独自金物で緊結する仕様としている。また、ブレースとJIS天井下地の接点には大きな応力が集中するため、その力を分散できるよう、野縁受の他に別部材を設けるなどして、極力ブレース



❸直接天井ボードと躯体を緊結するブレース工法の例

負担面積を大きくしようとする試みがなされている。

JIS材を用いた場合は、ブレース負担面積が6~8m², 吊り長さ1.0~1.2m程度で、許容耐力3kN内外、剛性で500~600N/mm程度が上限のように思われる。

対して、天井下地を経由せず、石こうボードと構造 躯体を直接緊結する工法が、複数のゼネコンや天井 下地専門メーカーで開発されている。JIS材を経由する という構造不合理を排除することで、想像以上にビス 引抜耐力やせん断耐力に優れた石こうボードの特性を 活用できることが知られてきている。この一例では、 ブレース負担面積25~30㎡、吊り長さ2.0㎡で、許 容耐力12kN、剛性で3,000N/mmをユニット試験で 確認できている(**写③**)。

このように、すでに制定後40年以上が経過しているJIS A 6517にこだわらず、新たな耐震合理性に富んだ下地および耐震性付与機構が具備できる新たな下地の開発が進み、新たなJISの制定などを検討すべき時期に来ていると筆者は考える。

#### ●特定天井とその他の天井

「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」<sup>4)</sup>に、こういった基準に似つかわしくない表現が含まれる。「特定天井以外の天井については、(中略)今回の技術基準を参考とすることができる」と。あえてこの一文を掲載した主旨を推察すると、(1)標準仕様書にはJIS A 6517材を使用しろ、とあるが特定天井以外であっても当基準に従いJIS材または同等以上の剛性、強度をもつ下地材を用いて同基準の計画手法により有効な耐震天井を計画することを推奨している、ということと、(2)そもそも安全上重要な天井として高さ6m超、200m²超の天井を規制の対象としたが、本来はすべての吊り天井を耐震化したかった。

ということではないだろうか。

市場では、①まったく耐震化していないJIS A 6517 による天井、②メーカーの任意の耐震性をうたった天井、③告示第791号に適合する耐震天井、の3種が共存しているように思われる。

筆者は、①のJIS A 6517天井下地は、建築基準法施行令39条に適合しない天井ととらえており、②については落下防止性能が付与されているものは「B類」に適合、③が「A類」の天井を象徴するもの、と考える。

すなわち、「A類」、「B類」に適合するかしないかで天井下地を層別すれば、脱落の危険性のある天井が排除しやすくなり、発注者も設計者も判断しやすくなるのでは?という意見である。

そのためには、③に適合する耐震性に富んだ天井下地には、もっとブレース負担面積が大きくなり設備や構造と共存できること、天井の剛性を明確にし、天井周囲のクリアランスを計算で求め合理的に小さくすること、必要以上に手間をかけず、社会通念上理解されやすいコストで天井下地を構築すること、などが強く求められる。天井耐震化が得意だ、うちに任せろ、と謳うメーカーが多い。ここはメーカーの腕の見せどころではないだろうか。

#### 吊り天井以外の方法で天井を設計する場合

#### ● 2kg/m<sup>2</sup>以下の軽量天井

当初,なぜ告示では2kg/m²以下の天井は規制の対象外となったのか、に戸惑った技術者は多いのではないだろうか。この閾値は、システム天井を示すわけでもなく、いきなり"2kg/m²超"の天井が規制の対象とされた。その意図は何だったのか、は未だ明確な推論がもてないでいる。後述の安全性評価との相関性もなさそうである。

さて、一般的な耐震天井下地は、おおむね2.5kg/m<sup>2</sup>内外の質量である。過当ともいえる競争下にある LGS業界では、下地構成から無駄を徹底的に排除する習慣があるため、ある程度の耐震安全性を発揮するにはこの程度の質量が必須、ということである。

いわゆる "軽量天井" といわれている天井仕上材は, $1 kg/m^2$ 程度の質量のものが多い。告示第791号に示された特定天井判定基準の " $2 kg/m^2$ " 以下とするに



◆軽量天井材を用いた"耐震天井"の例

は、天井下地を残りの1kg/m²以下で構成する必要がある。質量比を考慮したところで、この時点で2kg/m²以下の天井の下地に耐震性や十分な落下防止対策の難易度が非常に高いことがうかがえる。

いかに軽量であって、脱落時に人災リスクが少なく ても、地震時に天井材が落下してしまっては、二次 災害の危険性や、その後の避難所利用、復興作業利 用などができなくなる。

軽量な天井仕上材を使用するのは大賛成である。 ここで、2kg/m²以下という数字にこだわらず、適切 に耐震化、脱落防止対策を行ってはいかがか、と提 案する。天井などは質量が小さいので、比較的容易 に耐震化可能である。そのうえで2kg/m²以下とでき れば、申請作業などの二次経費が合理化できるが、 仮にこれを超えたとしても、特定天井として確認申請 を行うだけのことで、これに必要な作業は建築設計 者でもメーカーでも決して難しいものではない。格段 に地震時安全性および地震後の施設機能維持性が向 上すると確信する(写4)。

#### ●ぶどう棚直貼り(≠準構造)

複雑な形状や,石こうボード2枚張り程度の天井質量を超える重たい天井などでも,比較的容易に耐震化が可能な工法である。詳述は次章に譲るが,3次元CAD,BIMなどの整備,適用が進むことにより,非常に複雑なぶどう棚の構築も,技術的に容易になっていくと思われる。プレファブ化やモデュール化がさらに進み,容易に採用可能な工法となることが期待される。

#### ● 6m以下, 200m<sup>2</sup>以下として規制の対象から外す

この観点は、本誌読者であればナンセンスである ことは説明不要であろう。日本建築学会「天井等の

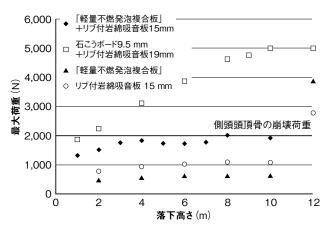


図2 安全性評価試験結果

非構造材の落下に対する安全対策指針・同解説」50において、川口健一東京大学生産技術研究所教授が天井仕上材の安全性評価方法を示されている。石こうボードなどの天井仕上げ汎用材は、2mの高さから落下しても、頭蓋骨陥没骨折につながる衝撃力が生じる、とのことである。基準にあるから、とその規制の閾値を下まわることで、安全性が不十分な天井下地を提供することは、設計者、施工者、メーカーなどは善管注意義務違反に問われてもおかしくないと考える(図2)。

#### ●梁要素による慣性力伝達

例えば、ぶどう棚の下弦材を周囲の構造体や壁に X、Y方向とも緊結すると、地震時の水平慣性力はその下弦材(梁要素)を通じて構造体へ直接的に伝達 される。このような単純な架構は、天井下地として構 成することは決して難しくない。

過去、いくつかの工法が提案され、インフラ重要施設などの使いながらの改修工事で採用されている。 この場合、天井の仕上面に鋼材やケーブルなどを固定し、その端部を周囲の構造体に緊結することで、高い耐震安全性が確保できる他、ネットなどを併用して落下防止対策を施すことも容易である。

このような、改修にも適用できる安全性の高い工法の開発、普及が進むことが期待される(図3)。

#### 「準構造」の定義と設計上の注意点

近年,音響に配慮して複雑な形状を必要とする劇場・ホールなどの天井を設計する際,"準構造"と称して従来のLGSなどによる仕上材の延長で処理する例が散見される。専門メーカー,設計者だけでなく確

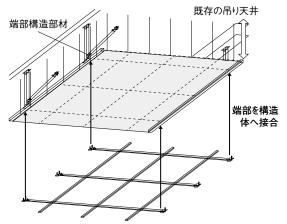


図3 梁要素による天井耐震化工法の例

図4 ぶどう棚直貼りの例

認検査機関や特定行政庁までもがこの用語を間違って使用しているケースが多く見受けられる。

そもそも"準構造"とは、劇場などで音響上大きな質量を必要とする天井などを、仕上材の延長ではなく、PCaなどを用いて「構造」として計画・施工し、主要構造部と同様に耐震安全性を付与することをいう。この定義は、日本建築学会「天井等の非構造材の落下に対する安全対策指針・同解説」5)のなかで、川口健一教授が提唱されたもので、安全性確保のためには「構造材と同様に使用材料の管理、構造設計、構造計算、施工管理、工事監理」がなされるべき、という重要な主旨を含んでおり、「準」にまどわされて「構造」の次に強ければよい、というようなあいまいな定義ではない。

さらに、用語定義者は明確に、「ぶどう棚の下に通常の天井材を設けたものは準構造ではない。あくまでも天井仕上げ面まで構造材として作ったものが準構造」と宣言している。

筆者はぶどう棚直貼りの天井を否定しているのではなく、むしろ強く推進している。天井仕上材の質量や形状、連続性、面剛性などに影響を受けづらく、耐震性や落下防止性が得やすい工法である(図4)。

あえてデメリットを上げるとすれば、設計に建築構造力学的な専門知識が必要となるため、天井下地専門メーカーであっても当該ぶどう棚の設計を敬遠しがちな点である。仕上材直近までのぶどう棚を設計者が設計し、建築工事で施工していただき、そのぶどう棚にいわゆる"束材"を設けて緊結するだけ、の工法をもって"準構造"と呼んで販売しているのが実態である。当工法は、あくまでぶどう棚直貼りであり、告示第791号の示す「吊り天井」ではないだけであっ

て、ぶどう棚を含めた非構造部分においては、建物の地震時応答性状に対し共振しにくい(例えば、固有周期0.1秒以下の"剛"な架構とするなど、建物の応答性状と切り離して共振を避ける)剛性をもたせることが肝要である。

ぶどう棚を構造設計が重量鉄骨を用いて設計する場合,煩雑な設計手間・工数が必要となるため,合理的な設計プロセスの構築が必要と思われる。現在,少数ではあるが,天井下地としてのぶどう棚を机上検討,解析,設計が行える天井専門メーカーもある。天井メーカーによるぶどう棚設計がなされた場合でも,当該の天井下地を施工できる施工店は複数あること,使用する材はLGS市中材が中心であることから,複数社による相見積も可能である。

また、スチールハウスの工法が参照できる「薄型 軽量型鋼造建築物設計の手引き」<sup>6)</sup>などを活用して、 構造合理性の判断も容易に可能である。このような工 法がさらに普及し、さまざまな活用例が生まれること を期待する。

(さくらば ふみひこ)

#### 【参考文献】

- 1) (平成25年制定) 国土交通省大臣官房官庁営繕部 監修:官庁施設の総合耐震・津波対策計画基準 令和3年度版 一般社団法人公共建築協会
- 2) 国土交通省大臣官房官庁営繕部監修「公共工事標準仕様書(建築工事編)」平成31年度版 一般社団法人 公共建築協会
- 3) 平成28年度国交告第791号 平成28年5月31日
- 4)「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 一般社団法人建築性能基準推進協会
- 5) 日本建築学会「天井等の非構造材の落下に対する安全対策指針・ 同解説」第1版 2015年1月
- 6)国土交通省国土技術政策総合研究所 独立行政法人建築研究所監修 「薄板軽量形鋼造建築物設計の手引き」第2版 一般社団法人日本鉄 鋼連盟 2014年3月



耐震性能

沙 以下

天井の固有周期 都度計算により設定

mf每 -ス負担面積 目安 都度計算により設定

周囲のクリアランス 都度計算により設定

施工速度当社試験施工による検討結果

※国交省告示第771号応答スペクトル法を用い、特定天井もその他の 

## 壊れない機能維持性能

SOMENO CEILING CONSULTING SYSTEM

官庁営繕 総合耐震計画基準A類相当 告示第791号簡易スペクトル法 確認申請時には構造計算適合性判定が必要です。

#### ■染野ES耐震天井SSSのユニット試験結果 (天井に対する荷重-変位関係) <u>圧倒的</u> 耐震性能を実現します。 荷重(kN) 13 12 11 固さ 告示技術基準の約4倍 グラフの傾きは、天井の固さ(ゆれにくさ) を表します。告示の技術基準に示された 染野ES耐震天井 値の約 4 倍の固さがあり、容易に固有 周期 0.1 秒以下の天井を実現できます。 SSS ■一方向静的加力試験結果 告示技術基準の約24倍 グラフの高さは、天井の強さ(耐力) を表します。告示の技術基準に示された値の約24倍の強さがあります。 告示第771号で 求めた損傷荷重 18.9kN 200 染野が独自に設定する損傷荷重 0 12kN(3/2P) 500 染野が独自に設定する許容荷重 -03 10 11 12 13 14 15 ■国交省告示第771号の技術基準 国交省告示第771号(政令)の技術基準で 例示された天井ユニット試験結果。





someno.co.jp

本社工場 〒300-1231 茨城県牛久市猪子町648 TEL: 029-872-3151 FAX: 029-873-3330 東京支店 〒144-0051 東京都大田区西蒲田7-60-1 TEL: 03-5480-0025 FAX: 03-5480-0026

