

# 特定天井基準の技術的背景と設計上の要点

建築生産研究グループ 主任研究員 石原 直

## 目次

I はじめに
II 特定天井基準の技術的背景
1) 水平震度設定の背景：建築物と天井の共振
2) 耐える地震動レベル
3) 目標と手段
III 設計上の要点
1) 斜め部材の配置
2) 2次部材の設置
3) 外力算定
4) 部材構成
5) 線形応答の前提
6) 層間変形角
7) 軒天風圧
IV 関連動向
1) クリアランスのない天井
2) 基準を超えるレベルの地震動に対応した地震力の検討
V おわりに
謝辞
参考文献

## I はじめに

4年前の東日本大震災では、脱落等の天井の被害（写真1、写真2）が多数発生した。国土交通省の発表によれば、人的被害は死者5名、負傷者72名以上、被害件数は2000件以上であった<sup>1)</sup>。2000年以降に限っても地震の際に度々天井脱落被害が報告されており（表1）、国土交通省からは技術的助言が示されるなど、注意喚起がなされていたものの、具体的な耐震基準や設計方法などは必ずしも十分には整えられていない状況の中で東日本大震災を迎えてしまった。平成23年度（2011年度）建築基準整備促進事業の1つとして天井脱落対策が挙げられ<sup>2)</sup>、具体的な基準作成に向けた検討が震災直後に開始された。建築研究所では東日本大震災での被害状況を把握するために現地調査等を実施する<sup>3)</sup>と

もに、当該事業との共同研究（一部は技術指導）として対策の検討に関わってきた。検討を踏まえ、国土交通省から2012年7月末に「試案」が示され、同年9月中旬にかけて意見募集が行われた<sup>4)</sup>。並行して実施されていた平成24年度（2012年度）建築基準整備促進事業<sup>4)</sup>や国土交通省で進められた基準化への作業を経て、2013年2月27日に建築基準法施行令及び関連告示の改正・制定の案が示された<sup>5)</sup>。その後、2013年7月に建築基準法施行令が改正され<sup>6)</sup>、関連告示は同年8月に公布された<sup>7)</sup>。基準の解説書や設計例も整えられ<sup>8)</sup>、新たな基準は2014年4月1日から施行されている。以上が震災後の国土交通省を中心とした動きであり、建築研究所はこれらの検討に対して技術的なサポートを実施してきた。経緯等は別の機会にまとめたことがある<sup>9)10)</sup>ので、適宜参照



写真 1 空港での天井脱落被害



写真 2 体育館での天井脱落被害

表 1 地震時の天井脱落等の被害の例

年	地震	主な被災建築物
平成 13 年 (2000 年)	芸予地震	体育館、武道場
平成 15 年 (2003 年)	十勝沖地震	空港ターミナルビル
平成 16 年 (2004 年)	新潟県中越地震	体育館
平成 17 年 (2005 年)	宮城県沖を震源とする地震	温水プール
平成 19 年 (2007 年)	能登半島地震	体育館
平成 23 年 (2011 年)	東北地方太平洋沖地震	ホール、体育館、空港ターミナルビル

していただきたい。上述の建築基準法施行令の改正と関連告示により追加された天井関係の基準を総称して、本稿では「特定天井基準」と呼ぶ。

その他に、東日本大震災後の天井脱落対策に関する動きとしては日本建築学会の活動や防災科学技術研究所の検討等を挙げることができる。建築学会では特別調査委員会が設けられ、その成果はガイドライン<sup>11)</sup>として公開された後、指針<sup>12)</sup>としてまとめられている。また防災科学技術研究所は新基準に適合する天井等を対象としてE-Defenseを利用した大規模な震動台実験を実施した<sup>13)</sup>。

本稿では、新たに制定された特定天井基準の技術的背景を解説するとともに、設計上の要点をいくつか挙げる。また関連動向として建築研究所で実施している検討を紹介する。なお、本稿で示す見解は筆者によるもので、必ずしも所属機関や関係者の総意ではないことを予めお断りしておく。

## II 特定天井基準の技術的背景

### 1) 水平震度設定の背景：建築物と天井の共振

東日本大震災での天井脱落被害の中には構造躯体との「共振」によって吊り天井の応答が増幅されたと考えられるものもあった<sup>14)15)</sup>。図 1 に耐震性評価に関して考慮すべき事項と与条件を示す。考慮すべき事項として「加速度」(慣性力<sup>16)</sup>)と「変位」(強制変形角<sup>16)</sup>)が挙げられるが、吊り天井等の応答倍率が大きくなりうるものについてはこれらを増幅する構造躯体との「共振」を考慮すべきである。

図 2 に共振の概念図を示す。入力地震動は構造躯体で増幅され、吊り天井はそれ自体の揺れによってさらに大きな加速度を生じる。この共振や応答の増幅といった現象を簡潔に示したものが、左下の床応答スペクトルである。専門的になるが、床応答スペクトルには共振の程度が表現されており、時刻歴応答解析を行わないような一般の建築物であっても床応答スペクトルの性質を取り入れた地震力を設定することで共振の程度を表現できる。しかし、非構造部材等の設計用地震力<sup>10)17)</sup>には実用性や簡易さが重視されているためか、床応答スペクトルの性質が必ずしも十分に反映されず、特別な場合を除けば慣行として 1G 程度の地震力を見込んで設計することが多い。研究レベルでは図 1 の与条件を反映した床応答スペクトルの評価法について検討がなされていた(例えば 18)19)20)のもの、パラメータの多さや評価式の複雑さ等が実用の面からは課題と思われた。

震災直後の平成 23 年度建築基準整備促進事業で、大規模な天井(現在の特定天井<sup>7)</sup>)に設定すべき外力(地震力)の検討がおこなわれた際には、既存の指針類<sup>10)17)</sup>にとらわれることなく、既往の研究成果<sup>18)19)20)</sup>も踏まえながら、床応答スペクトルの簡易評価法を改めて詰めていった。検討の前提として、議論の末に次の

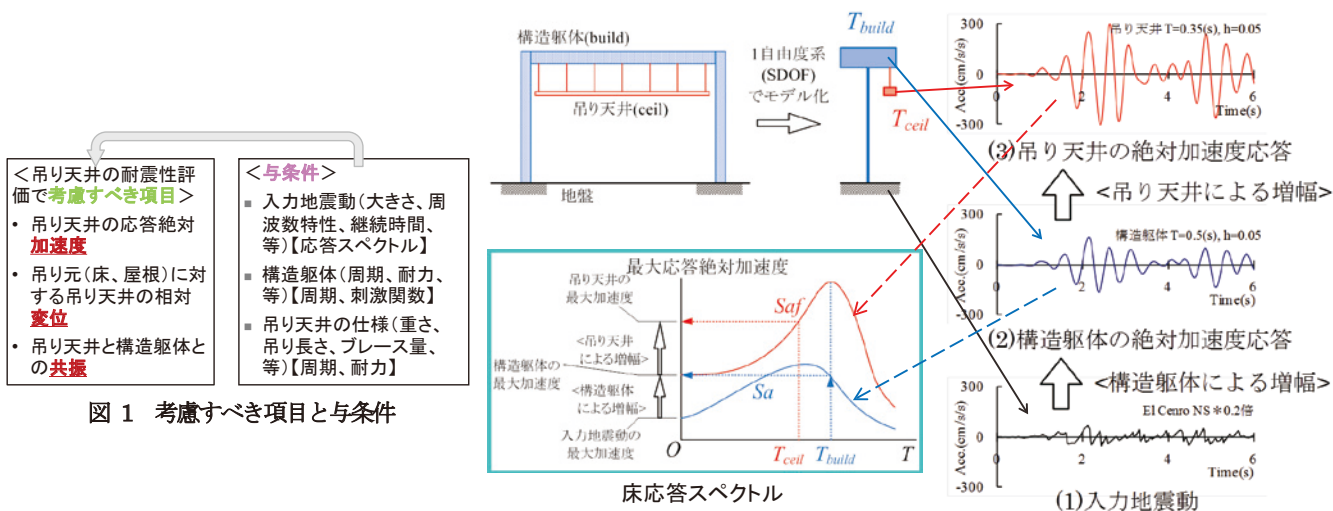


図 1 考慮すべき項目と与条件

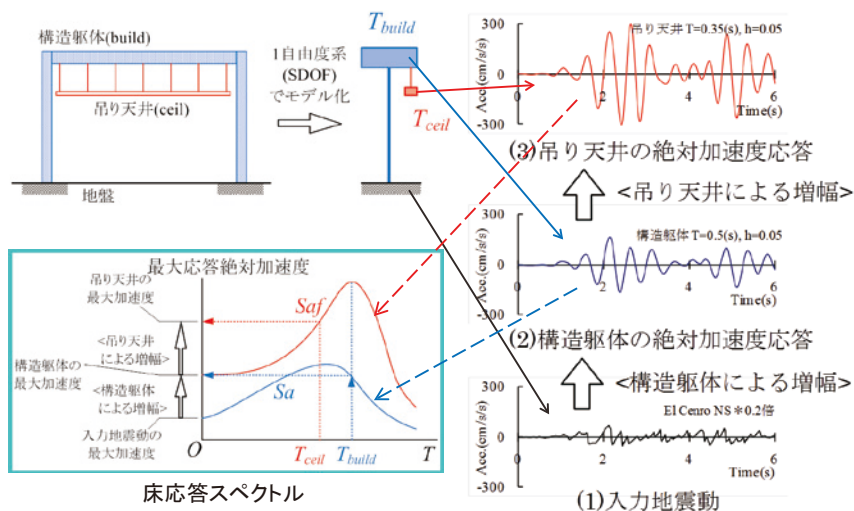


図 2 共振(応答の増幅)の概念図

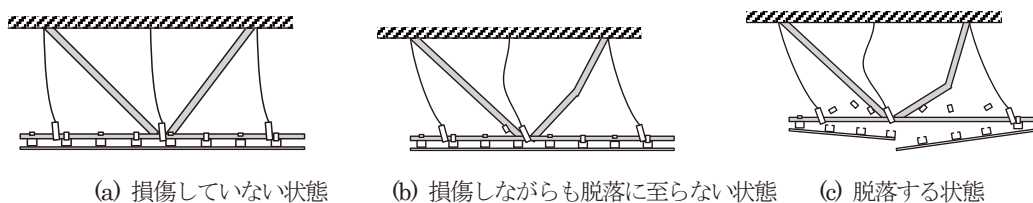


図 3 損傷から脱落に至る状態

2点が決められた。

- [1] 損傷しながらも脱落には至らないという状態を設計の目標とするのは困難であるため、天井が損傷しないことを目標とする。
- [2] 建築基準法における他の非構造部材との並びも考慮して外力レベルとしては稀に発生する地震動(中地震動)を対象とする。

[1]は、既往の小規模な振動台実験等では損傷しながらも脱落に至らない状態(図3)も確認されていたが、実際の大規模な天井を対象として定量的な評価が行える状況にはないという判断があった。[2]は、場合によっては人命にかかわるため極めて稀に発生する地震動(大地震動)を対象とすべきとの意見もあったが、構造躯体にひび割れや塑性化が生じる状況でそれに取り付く天井の状態を予測することや大地震動に対する一般的な外力を設定することは短期間の検討では困難と考えられたことから、中地震動を前提とすることとなった。

上記2点の前提の下で、床応答スペクトルの簡易評価法は実用性を意識してさらにいくつかの仮定をおいて検討を行った。応答

倍率に相当する部分では東日本大震災を含む地震観測記録を用いた時刻歴応答解析結果から、経験則としてやや大胆に倍率を決定した。非構造部材の倍率は最大でも「2.0以上」とするものもある<sup>10)</sup>のに対して、この検討で決めた倍率は共振することで最大6倍になるものとした。この倍率の大きさによって、中地震動を対象としながらも水平震度は最大で2.2という大きな値となった。

## 2) 耐える地震動レベル

上記[1][2]を元にと考えると、中地震動を少しでも超えるレベルでは脱落してしまうのではないかと心配されるかもしれないが、基準でいう「許容耐力」は「損傷耐力」の「2/3以下」とする、つまり安全率として1.5倍以上をとることとされており、「中地震動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」<sup>9)</sup>ことが意図されている。特定天井基準に従った天井を試験体としたE-Defenseでの大規模実験では、震度6強というかなり大きな地震動レベルでも損傷は生じるものの脱落は生じなかった<sup>13)</sup>。「許容耐力」を求めめるための試験法・評価法が整理されることでそれに基づいたメーカーでの開発が進められるとともに、設計例等を通じて留意点がまとめられた<sup>8)</sup>ことも耐力確保に貢献していると

考えられる。一方で構造躯体との共振という観点からは限られた範囲の実験結果を一般論として述べることはできないが、様々な点に配慮することを条件にすれば、従来から用いられてきた下地材等を基本にしたものであっても中地震動の1.5倍を超える地震動レベルに対しても重大な人的被害は回避しうると考えられる。

### 3) 目標と手段

上述のように、特定天井の基準では損傷しないことを目標としており、計算ルートでは下地材や接合部等についていわゆる許容応力度設計を行うことになる<sup>8)</sup>。構造躯体の耐震基準における1次設計と2次設計からの類推なのか、「損傷しないこと」や「許容応力度設計」というと機能維持や継続使用という状態と結びつけてとらえられることもあるが、そうではない。許容応力度設計は1つの手段であって、機能維持という目標と必ずしもリンクさせる必要はない。基準でいう「特定天井」とは「脱落によって重大な危害を生ずるおそれがある」天井のことである<sup>9)</sup>。天井高や面積のほか「居室、廊下その他の人が日常立ち入る場所に設けられるもの」であることが特定天井の要件となっている<sup>7)</sup>ことから分かるように、基準の目標は人的被害の抑制と考えられる。上記の「重大な危害」とは人への危害と解すべきであろう。もしそうであれば天井が脱落して人に当たることなどがなければよいことになるが、1)の前提[1]で示したように、損傷し始めてから脱落に至るまでの途中段階を設計のクライテリアとすることは難しいという判断があるために、1つの手段として「許容応力度設計」を行っている<sup>8)</sup>と解釈できる。

図4は目標と手段との関係を示したものである。図の上目標を書き、下に手段を書いている。人的被害の抑制は人命保護や安全性に関するもので、具体化すれば、「脱落するものがない」か、「脱落しても安全上問題がない」か、「脱落しない」のいずれかに

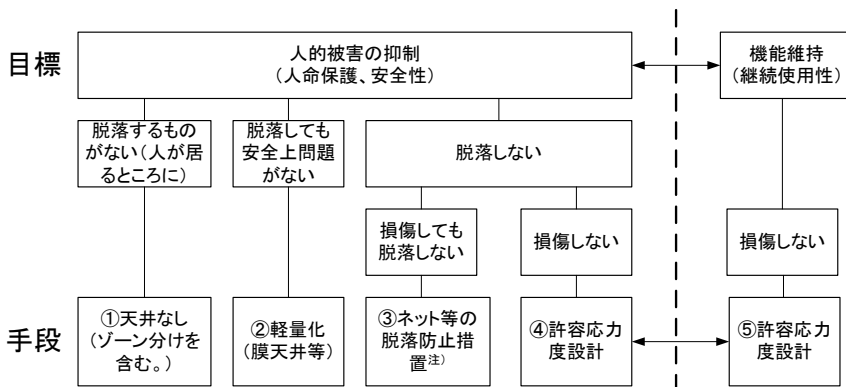
なるだろう。「脱落するものがない」とは「①天井なし」を選択することになる。「脱落しても安全上問題がない」とは「②軽量化」を選ぶことになる。①はそもそも規制対象がないということになり、②は2kg/m<sup>2</sup>以下が規制対象外とされている<sup>7)</sup>。「脱落しない」をさらに大別すると「損傷しても脱落しない」と「損傷しない」になる。「損傷しても脱落しない」とは、構造躯体では塑性変形能力に期待した保有水平耐力計算などがあるが、非構造部材にも同様の考え方を適用できる状況にはないと考えられるため、手段としては「③ネット等の脱落防止措置」を別に加えることになる。基準上は既存に対して適用可能な手段である。「損傷しない」状態であれば落ちることもないので手段として「④許容応力度設計」が挙げられる。一方で機能維持を目標とする場合、具体化すれば「損傷しない」ことを目指すことになり、手段として「⑤許容応力度設計」となる。④と⑤で手段は同じだが、特定天井基準の考え方としては④の許容応力度設計であって、人的被害の抑制が目標になっている。

### III 設計上の要点

特定天井の設計におけるいくつかの要点を挙げてみたい。なお、基準やここで示す要点は、天井高が低いことや小規模であることにより特定天井に該当しない場合も含めて、天井の耐震性等を高める上で参考になると考えられる。

#### 1) 斜め部材の配置

図5に示すように、特定天井基準では天井裏にブレース(斜め部材)を入れて揺れにくくするとともに、天井自体の揺れによる変位と構造躯体の変形による変位を吸収できるよう、周囲に十分なクリアランス(隙間)を設けることとしている。このような対策は基本的に過去の技術的助言やガイドライン<sup>20)</sup>を踏襲したも



注) 現状の構法や生産体制では、天井の弾塑性挙動を期待するのは難しい。

図4 目標と手段

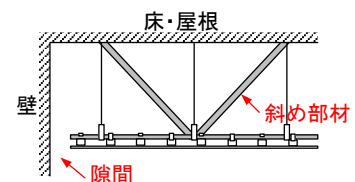


図5 特定天井基準の概要(壁際の断面図)



のである。

当然のことであるが、単に斜め部材の断面を大きくしてもその接合部の剛性・耐力を確保しなければ耐力は上がらない。接合部に用いられる金物類は施工性への配慮などから剛性・耐力をさほど大きくできない場合も多いようであるため、接合部に見合った斜め部材を組合せるとともに、可能な限り多くの斜め部材を分散させて配置することが基本になるだろう。この際、天井裏にあるダクト等の設備類と干渉することもあるので、設計の早い段階から設備との関係を把握しておく必要がある。

また解説書<sup>9)</sup>では特に触れられていないが、照明や空調を設置するための天井面の開口との関係を無視して安易に配置された斜め部材では効果が薄れるだけでなく、場合によっては天井面の局所的な破壊を誘発するので注意すべきである。

図6に示すように開口の間に斜め部材を配置した場合、地震力が作用した時に天井面の局所的な変形によって斜め部材に力が伝達されにくい。また応力集中が生じやすい開口の隅角部等を起点として天井面の局所的な破壊が生じるおそれもある。開発されている工法の中には天井面の開口に配慮したものも出てきているが<sup>22)</sup>、必ずしも十分な技術的資料が整えられていない事項でもあり、今後の研究開発に期待される面もある。

なお、斜め部材と呼ぶように、ブレース形式で天井の剛性・耐力を確保しなければならないのは仕様ルートの原則に従う場合である。仕様ルートのただし書き、計算ルートや大臣認定ルートでは必ずしもブレース形式とする必要はない。設備類との干渉を回避しやすくするには例えばラーメン形式の部材で地震力を負担することなどが考えられる。この点も今後の研究開発が期待される。

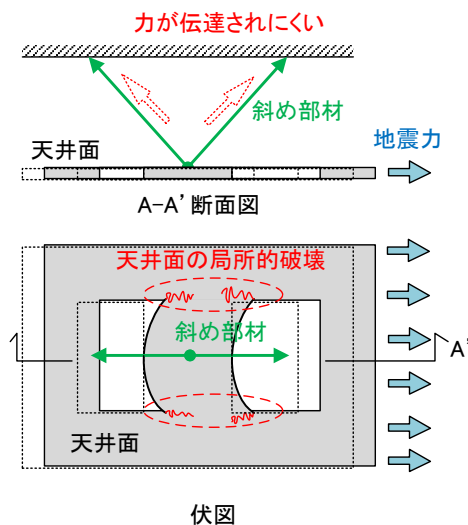


図6 開口の間に設置された斜め部材

## 2) 2次部材の設置

天井面の慣性力(地震力)は分散配置した多数の斜め部材を通じて吊元となる床や屋根に伝達される。最大で2.2という大きな水平震度を想定することに対応して、特に斜め部材の上端が接合される部材は十分な剛性と強度を有するものとする必要がある。屋根ふき材として用いられる鋼板製屋根折板に金物を付けて天井を吊ることは避け、特定天井では支持構造部として小梁等の2次部材を適宜配置することが必要である。

なお、力の伝達経路には多数の接合部が存在するため、特に斜め部材周辺では接合部の強度等を確保することが肝要となる。

## 3) 外力算定

基準での地震力(水平震度)は、経験則としての増幅度合を表す関数と、構造躯体の揺れの特性(専門的には刺激関数)の掛け算で決められている。後者の特性には、いわゆる耐震構造の範囲で代表的と思われる値を設定することで地震力を決めている。なお、計算ルートのうち応答スペクトル法では対象とする建築物の特性を計算に反映することができる。基準上はどんな建築物であっても仕様ルートや計算ルートの水平震度法を適用できることになっているが、前提とした特性とは異なるものに適用することは技術的には無理があるため、注意を要する。中間層免震のような特殊な構造方法を採用する場合には、構造躯体に関しても時刻歴応答解析を実施することが多いと思われるので、当該解析結果を考慮した適切な地震力を設定すべきである。

## 4) 部材構成

以前から指摘されていることであるが、天井下地材の部材構成について注意点を述べておきたい。

写真3に示すような従来から用いられている一般的な天井の下地材(JISA 6517)は溝形(コの字形)の断面形状をもつこと等から、力を受けた際に部材のねじれを生じやすい。またハンガーやクリップといった接合部に用いられる金物類にも偏心して取り付くものが多く、力が作用すると曲がったりねじれたりしやすいものである。現在はメーカー等において色々と開発が進められているが、従前の下地材を基本とした仕様では、ねじれ等を完全に防ぐことは難しい。計算で確かめる場合には部材や接合部のねじれ等を適宜考慮するとともに、実験結果を踏まえた適切な剛性・耐力の設定が重要になると考えられる。また、いわゆるワンタッチクリップは施工性に優れるが、写真4に示すように水平力を受けた場合には容易に外れることがあるため、特定天井では耐震性に配慮したクリップを使用することを基本としている<sup>9)</sup>。

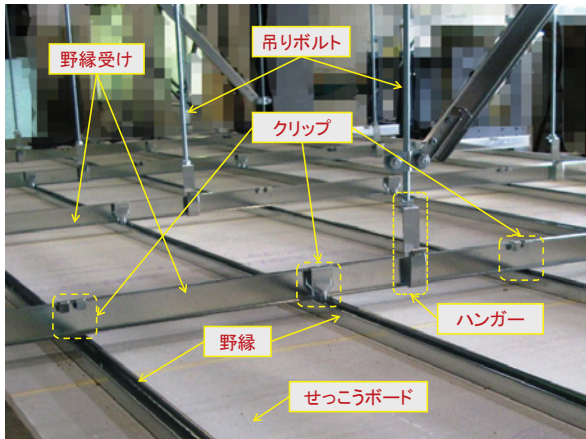


写真3 一般的な天井 (JISA 6517の鋼製下地を用いた天井)

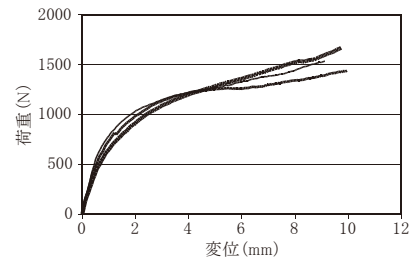


写真4 クリップの外れ

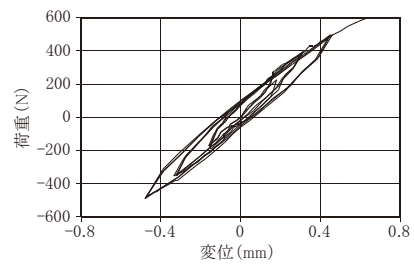
また、段差部等の下地材に補強を施すことがあるが、従来からの部材を利用する場合には溝形断面の組合せとなることなどから部材構成が立体的で複雑になる場合がある。特に既存天井の改修で補強部材を追加する場合などでは補強部材の構成・配置を事前に綿密に検討することが必要になると考えられる。

### 5) 線形応答の前提

基準では上述のように「損傷しないこと」を確かめることとして、各部材や接合部が概ね線形範囲であることを前提とした検証方法が定められている。対応して、解説書では天井を組み上げたもの(天井ユニット)や接合部を対象とした試験と評価の方法が示されている<sup>8)</sup>。図7に例示するように、試験における荷重変位曲線では比較的小さな荷重レベルから非線形性が現れたり、繰返し加力では履歴ループや除荷時の残留変形が見られたりする。特に接合部を対象とする場合には非線形性や履歴ループ等が顕著に見られる場合がある。接合部が小さいために測定方法にも限界があり、場合によっては変位の中に治具等の緩みやずれや含まれてしまうことも考えられるが、非線形性等が顕著になることは基準での検証方法の前提から外れていくことを意味するので、望ましくない。解説書<sup>8)</sup>では初期剛性に基いた評価法が示されているが、その他の評価法を明確に禁じているわけでもないため、評価機関やメーカーの中には独自の判断基準で評価を行っているところも出てきている<sup>23)</sup>。現状では設計者の判断に任されている面があるが、公平な判断を容易にするためには評価法に関してさらなる



(a) 一方向加力



(b) 正負繰返し加力

図7 クリップ接合部の試験の結果例(野縁受け方向)<sup>8)</sup>

検討を行うとともに、運用に関して何らかの合意形成がなされることが望ましいと考えられる。

### 6) 層間変形角

特定天井基準では周囲の壁等との間に十分なクリアランス(隙間)を設けることとされている。これは天井自体の揺れによる変位に加えて、層間変形によって構造躯体が天井に近づくことによる相対変位を考慮したものである。

注意したいのは、天井を吊る又は直張りとするために設けられるぶどう棚(特定天井基準の用語では支持構造部)についても構造躯体の層間変形が関係するということである。ぶどう棚は構造躯体と一体となるようにブレース等を配置して剛性を高めるようにすることが多いと思われる。ぶどう棚は天井やぶどう棚自体の地震力を受けるほか、周囲の壁と接続すると層間変形による強制変形を受ける。図8に強制変形による損傷をやや強調して示す。壁が離れる側(図の左側)ではぶどう棚は引張力を受け、部材の降伏等が発生するか、壁とぶどう棚との接合部が弱ければ接合部が破断する。壁が近づく側(図の右側)ではぶどう棚が圧縮力を受けることになり部材の座屈等が生じる。壁とぶどう棚を接続していない場合であっても、層間変形に見合うだけのクリアランスを取らなければ、ぶどう棚は圧縮力を受けてしまう。図では相対的にぶどう棚が弱いとしてぶどう棚が壊れる場合を描いているが、必ずしも剛強な壁や柱が連続しているとは限らないので、層間変形を生じることでぶどう棚が壁側の2次部材等を破壊してしまう

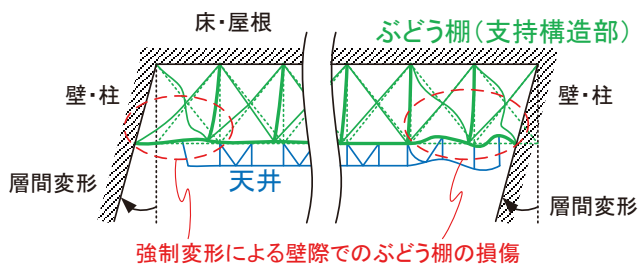


図 8 強制変形によるぶどう棚の損傷

ことも考えられる。このような損傷を回避するためには、まずは層間変形を常に意識するようにして、強制変形を生じてもぶどう棚が損傷しないことを確認することである。損傷の可能性がある場合には、天井と同様にぶどう棚にも周囲に適切な大きさのクリアランスを設けることで壁等と干渉しないようにするか、強制変形へ追従するようにぶどう棚の構成等を工夫することが必要となる。分かり易くするために柱のない大空間を想定して留意点を述べたが、室内に独立した柱がある場合にも同様の配慮が必要になると考えられる。

#### 7) 軒天風圧

特定天井は屋内のみならず、屋外も対象とされている。従来から軒の天井等のために耐風圧仕様のものが準備されている。必要に応じて座屈しないように吊りボルトに角パイプ等の補剛材を添える場合がある。しかし、近年の研究によれば、吊りボルトを補剛してもその下部に取り付けるハンガーやその周辺の変形によって補剛効果は頭打ちとなることが報告され<sup>20)</sup>、建築学会の指針でも取り上げられている<sup>12)</sup>。屋外で大きな風圧を受ける場合にはハンガー等の金物類にも配慮する必要がある。

### IV 関連動向

特定天井基準は施行され運用段階に入っているが、関連して引き続き建築研究所で実施している検討を紹介する。

#### 1) クリアランスのない天井

上述のとおり、特定天井基準では周囲の壁等との間に一定の大きさのクリアランス（隙間）を設けることとされている（図 5）が、室の用途等によっては大きな隙間を設けにくい場合もある。試案に対しては「クリアランスを原則とする必要はないのではないか」といった意見もあった<sup>5)の参考資料2</sup>が、基準を作成できるほどの技術資料は整えられていない状況であった。そこで、平成 25 年度建築基準整備促進事業において、「周囲の壁等との間に隙間のない吊り天井の耐震性に関する技術資料の整備」が挙げられた<sup>25)</sup>。

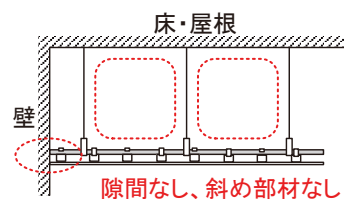
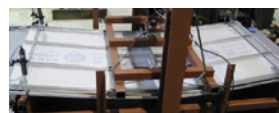
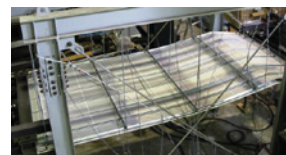


図 9 クリアランス（隙間）のない天井の概要（壁際の断面図）

#### 耐力の評価



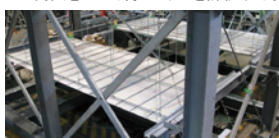
曲げ実験



面内圧縮実験

#### 外力の評価

※クリアランスなしだが、施工等の理由から不可避免的に生じる隙間により壁等と衝突を生じる際の外力を評価する。



振動台実験



大規模加振実験

図 10 実験概要（平成 25 年度建築基準整備促進事業）

建築研究所は共同研究として関わり、1 年間であったが多数の実験を実施するとともに、解析法・評価法の適用性も検討した。その内容はこれまでも公表してきている<sup>26)~33)</sup>が、ここで簡単に紹介しておきたい。

図 9 にクリアランス（隙間）のない天井の概要を示す。特定天井基準の概要（図 5）と比較して見ていただきたい。壁際にクリアランスを設けないことと同時に、層間変形による強制変形に追従するように、斜め部材は設けないこととした。天井裏を通る部材は基本的に吊りボルトのみとなり、設備等との干渉を避けやすくなることも利点となる。

クリアランスのない天井では、地震力は天井面の剛性・耐力を頼りに周囲の壁等まで伝達される。よって、現行の特定天井基準にも増して、天井面の剛性・耐力を確保することが重要になる。また、意図的なクリアランスをなくしたとしても、施工誤差や壁等の地震時の変形によって不可避免的に生じる隙間（ギャップ<sup>11)12)</sup>に起因して、衝突が発生することで衝撃的な力が作用する可能性がある。よって、当該事業では大きく分けて、静的な実験による耐力の評価と、動的な実験による外力の評価を行った（図 10）。

また、解析法の適用性の検討として、図 11 に示す 1 自由度系での時刻歴応答解析を行った。単純なモデルであるが、実験結果



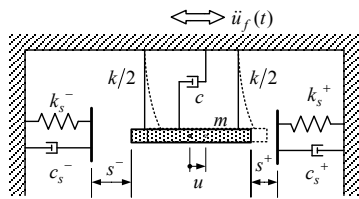
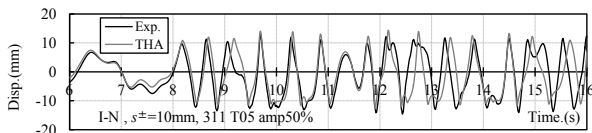
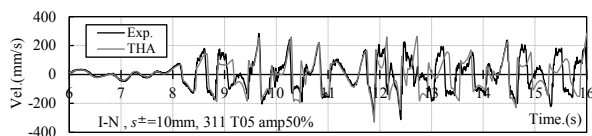


図 11 壁等との衝突を考慮した1自由度系モデル



(a) 相対変位



(b) 相対速度

図 12 比較例 (Exp.: 実験, THA: 時刻歴応答解析) 29)

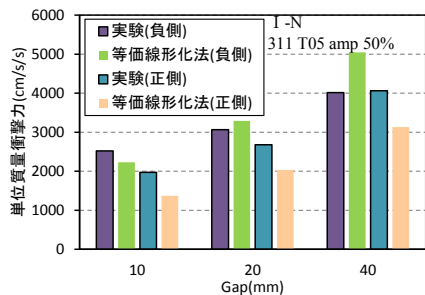


図 13 実験と等価線形化法による衝撃力の比較の例

(横軸はギャップの大きさ、縦軸は最大衝撃力を天井の全質量で除した値)

と比較すると応答時刻歴としてもよい対応を示すこと (図 12) や、ギャップによる衝撃力も概ね予測可能であることが確かめられた。

さらに、衝撃力の評価法として、図 11 の 1 自由度系を対象とした既往の等価線形化による評価法<sup>30)</sup>の適用性も検討した。いくつかのパラメータを設定することで、瞬間的な現象で生じる衝撃力の最大値を概ね推定可能であることを確認した (図 13)。なお、評価式は複雑であり、実務での活用を考える場合にはさらなる簡素化等が必要と考えられるが、等価周期や等価減衰といった考え方は入力波の特性との関係を把握する上で有用と考えられる。

動的な実験では基準を上まわるような大きなレベルでも加振を行い、動的な破壊形態も確認した。JIS のクリップ (いわゆるワンタッチクリップ、前出の写真 4) を用いた場合では、衝撃力によってクリップが弾け飛ぶようにして外れてしまい、最終的には



写真 5 クリップの外れによる天井面の落下 (実験結果)



写真 6 面材 (せっこうボード) の落下 (実験結果)

野縁とともに天井面が落下した (写真 5)。外れにくいものとして軒天等に使用されている耐風圧クリップを用いた場合には、野縁と野縁受けが外れることはなくなり、最終的には下地に留め付けているビスの部分が抜けてしまうこと (いわゆるビス抜け) によって面材のみが落下した (写真 6)。ピッチを細かくすることによってビス抜けを生じにくくすることも可能と考えられるので、耐風圧クリップを用いることが推奨される。

実験を行った印象としては、重量や平面規模がさほど大きくない在来工法天井の場合には、比較的大きな地震動レベルでも十分に耐えるように感じた。なお、実験では周囲の壁に相当する部分に剛な部材を配置して天井を受け止めた。現実クリアランスなしとして設計するならば周囲の壁等の検証も必要となり、天井を受け止める十分な剛性と耐力を有する追加部材を流すなどの対応が求められる。また衝撃力が発生するので、天井面に設置される照明等が破損しないような配慮も必要になるとと思われる。

## 2) 基準を超えるレベルの地震動に対応した地震力の検討

II 1) で説明したように、特定天井基準の地震力は中地震動レベルに対応したものである。中地震動を超えるレベルでは構造躯体に塑性化が生じるため、一般的な外力設定は難しくなると考え



られる。しかし、天井脱落は人的被害にかかわることであるため、最低の基準としての建築基準法を満足するのは当然として、より大きなレベルの地震動に対して想定すべき地震力の目安を示しておくことも大切であると考え。

建築研究所では今年度から 2 年間の基盤研究として、基準を超えるレベルの地震動に対する天井等の地震力を、床応答スペクトルの略算法という形で示すことを目指して検討しているところである。いくつかの例を通じて検討したところ、構造躯体が塑性化する場合であっても、弾性に留まる中地震動レベルのように、成分に分解したり合成したりする操作が近似的に可能となることが分かりつつある。図 14 に略算の例を示す。検討中の例のため、縦軸の加速度の大きさは必ずしも現実的な建築物と対応しないが、破線等で表される略算成分を合成することで得た赤線が時刻歴応答解析から求められる青線と概ね対応することが見て取れる。検討の中ではこれほど対応がよくない例も把握されており、一般論として述べるにはまだまだ検討が足りないことを認識しているが、一定の目安となるような資料を提供できるよう引き続き検討を行っていく予定である。

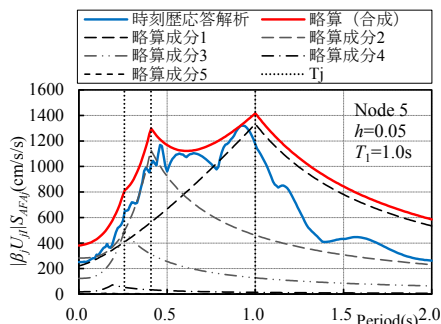


図 14 床応答スペクトルの近似評価例  
(5 階建ての屋根、入力地震動 El Centro NS)

## V おわりに

本稿では新たに制定された特定天井基準の技術的背景を解説するとともに、設計上の要点となるいくつかの事項を示した。また関連動向として建築研究所で実施しているクリアランスなしの天井の耐震性に関する検討や基準を超えるレベルでの地震力に関する検討を紹介した。

特定天井基準は整えられたものの、解決すべき課題はまだ多く残されていると思われる。例えば、既存改修の問題である。南海トラフや首都直下などの地震が予想される中で対策が急がれるが、既存の場合には個々の状況が大きく異なるため、一律の対応が難しい面がある。また、本稿でも紹介した建築基準整備促進事業や

民間での研究開発等によって一般的な天井に関する技術資料は増加しているが、音響に配慮する必要があるホール等では重量のある複雑な形状の天井が用いられることが多く、一般的な天井とは事情が異なっている。個別の設計で対応されている状況だと思うが、事例の収集・整理なども有用ではないかと思われる。

新たな特定天井基準が設けられたことにより、施工性が優先された従来の天井を高所・大空間にそのまま用いることはできず、また場合によっては天井を吊る構造躯体側にも 2 次部材等を追加して補強する必要が生じている。当面は実務上の混乱もあるかと思うが、技術開発や研究が進められることにより、様々な選択肢が出てくることを期待したい。今回の基準は追加であって、建築基準法施行令第 39 条第 1 項にあるように「落ちないようにしなければならない」ことには変わりはない。そう遠くない将来に「この程度の地震で天井が落ちていた時代もあった」という昔話になることを願いたい。

## 謝辞

本稿で紹介した内容は建築基準整備促進事業（平成 23 年度、24 年度、25 年度）、国土技術政策総合研究所に設置された建築構造基準検討委員会及び天井 STG、解説書<sup>8)</sup>の編集委員会、等で検討されたものを含んでいる。関係各位に謝意を表す。

## 参考文献

- 1) 国土交通省住宅局建築指導課、ほか：「建築物における天井脱落対策試案」に関するご意見募集について、2012 年 7 月  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000332.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000332.html)
- 2) 国土交通省住宅局建築指導課、ほか：平成 23 年度建築基準整備促進事業募集要領、2011 年 4 月  
<http://www.mlit.go.jp/common/000141286.pdf>
- 3) (独)建築研究所：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震関係特設ページ  
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/20110311/index.html>
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課、ほか：平成 24 年度建築基準整備促進事業募集要領、2012 年 4 月  
<http://www.mlit.go.jp/common/000208344.pdf>
- 5) 国土交通省住宅局建築指導課：建築基準法施行令及び関連省令並びに関連告示の制定・一部改正案に関するご意見募集について、2013 年 2 月  
[http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000387.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000387.html)
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課：建築基準法施行令の一部を改正する政令について、2013 年 7 月

- [http://www.mlit.go.jp/report/press/house05\\_hh\\_000414.html](http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000414.html)
- 7) 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)、ほか、官報号外第170号、2013年8月5日
  - 8) 国土交通省国土技術政策総合研究所、ほか：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説、2013年  
<http://www.seinokyo.jp/tenjou/top/>
  - 9) 石原直：天井脱落対策に係る技術基準の制定に至る経緯と解説書の概要、建築の研究、No.221、pp.1-5、2014年2月
  - 10) 地震に耐える天井、えびすとら、Vol.66、(独)建築研究所、2014年7月  
<http://www.kenken.go.jp/japanese/contents/publications/epistura/pdf/66.pdf>
  - 11) 日本建築学会 非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会：天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン、2013年3月4日版  
<http://www.aij.or.jp/scripts/request/document/20130304.pdf>
  - 12) 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、2015年1月
  - 13) 佐々木智大、青井淳、田川浩之、梶原浩一：大規模空間に設置された吊り天井の脱落被害再現実験、建築技術、No.773、pp.142-145、2014年6月
  - 14) 日経アーキテクチャー編：天井大全、pp.86-92、2012年
  - 15) (財)日本建築防災協会：川崎シンフォニーホール震災被害調査報告書、pp.11-2~11-4、2012年3月  
<http://www.city.kawasaki.jp/250/page/0000020109.html>
  - 16) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領、2003年
  - 17) 日本建築センター：建築設備耐震設計・施工指針2005年版、2005年
  - 18) 安井謙、吉原醇一、宮本明倫：床応答スペクトルの直接計算法について、その1、その2、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.757-760、1985年10月
  - 19) 安井謙、宮本明倫、清水明、沢田貞章：床応答スペクトルの直接計算法について、その3、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.961-962、1986年8月
  - 20) 国土交通省国土技術政策総合研究所：高強度鋼等の革新的構造材料を用いた新構造建築物の性能評価手法の開発、参考資料4-J、天井の耐震性能評価、国総研プロジェクト研究報告、第32号、pp.195-206、2010年2月
  - 21) 日本建築センター：体育館等の天井の耐震設計ガイドライン、2002年3月
  - 22) 森田仁彦、佐々木晴夫、尾方大輔、杉山智昭、岩下裕樹：特定天井等における天井脱落対策「T-Ceiling V-brace 工法」、ビルディングレター、pp.1-5、2015年1月
  - 23) 例えば、特定天井の接合部の試験・評価について、GBRC、Vol.39, No.3, pp.25-29, 2014年7月
  - 24) 荒井智一、藤井孝晏、安齋将城、相原正史：鋼製下地材の強度、剛性に関する研究、(その2)吊りボルトの圧縮強度試験、日本建築学会大会学術講演梗概集、講演番号21645、pp.1289-1290、2012年9月
  - 25) 国土交通省住宅局建築指導課、ほか：平成25年度建築基準整備促進事業募集要領、2013年5月  
<http://www.mlit.go.jp/common/000996772.pdf>
  - 26) 稲井慎介、石原直、渡壁守正、森田泰弘：周囲にクリアランスのない吊り天井の耐震性に関する実験、日本建築学会関東支部研究報告集、日本建築学会関東支部I, pp.449-452、2014年2月
  - 27) 石原直：クリアランスなしの天井仕様、建築技術、No.773、pp.140-141、2014年6月
  - 28) 石原直、稲井慎介、森田泰弘、渡壁守正、脇山善夫、喜々津仁密：周囲の壁等に慣性力を負担させる水平な在来工法天井の耐震性に関する実験的研究 その1~その5、日本建築学会大会学術講演梗概集、構造I、pp.977-986、2014年9月
  - 29) 石原直、稲井慎介、森田泰弘、渡壁守正、脇山善夫：壁等と衝突する天井の地震時挙動に関する非線形時刻歴解析及び等価線形化解析の適用性、第63回理論応用力学講演会講演論文集、日本建築学会、OS02-02、2014年9月
  - 30) 渡壁守正、石原直、脇山善夫：吊り天井の耐震設計に係る基準の高度化に資する検討、ビルディングレター、(一財)日本建築センター、pp.8-22、2014年10月
  - 31) 森田泰弘、石原直、稲井慎介、渡壁守正、脇山善夫、喜々津仁密：鋼製下地吊り天井の静的面内圧縮に関する力学特性、第14回日本地震工学シンポジウム論文集、日本地震工学会、pp.2563-2571、2014年12月
  - 32) 稲井慎介、石原直、渡壁守正、森田泰弘、脇山善夫、喜々津仁密：周囲の壁等に慣性力を負担させる鋼製下地吊り天井の地震時衝撃力に関する振動台実験、第14回日本地震工学シンポジウム論文集、日本地震工学会、pp.2572-2581、2014年12月
  - 33) 石原直、稲井慎介、森田泰弘、渡壁守正、脇山善夫、喜々津仁密：鋼製下地吊り天井の天井面の曲げに関する力学特性、日本建築学会技術報告集、第21巻、第47号、pp.45-48、2014年2月
  - 34) 笠井和彦、チャン タン ビン：Spectrum-based prediction rule for peak structural responses due to seismic pounding (Part 1 sdof systems pounding against rigid structures)、日本建築学会構造系論文集、第610号、pp.65-74、2006年12月