

6. まとめと今後の課題

6. 1 まとめ

各章において検討した内容について、それぞれ以下にまとめる。

- (1) 2章では、東日本大震災と過去の地震における天井の脱落被害について、アンケート調査、文献調査、現地被害調査により検討した。現地調査を行った事例の被害状況等を踏まえて、耐震対策を考える上で着目すべき項目として以下を抽出した。

天井の形状：山形架構の屋根に平行な天井

天井の箇所：端部、段差部・折れ曲がり部、エキスパンションジョイント部

下地の構成・配置：斜め部材の配置のバランスと量、接合部（金物、溶接）の外れ、ダクト等による吊りボルトの不足

部材単体：クリップの外れ、ハンガーの開き

なお、アンケート調査では無被害のものまで調査していないため技術的助言の効果を十分に確認できていないことと、現地調査では対象数が限られ統計的に意味のある結果は得られないことから、調査範囲では技術的助言への対応と地震被害との明確な関係は確認されなかった。

- (2) 3章では、天井の耐震対策の適用範囲について検討した。検討にあたっては、脱落した天井が人身に与える危害を重視し、天井単位質量、面積（室面積、天井面積）、天井高さ、の3つの指標を用いた。また、室面積と天井高さを指標として用い、空間の具体的な利用のイメージも含めて適用範囲の閾値を検討した。閾値の設定方法として4つの方法を検討した中で、天井高さ、室面積について単一の閾値を設定する方法が設計活動の中で適用する際の容易さという点でも最も実用的な適用範囲の設定方法である。室面積については200 m²以上から500 m²以上の間、天井高さについては6m以上から10m以上の間でそれぞれ閾値を設けるのが適当と考えられる。

- (3) 4章では、天井の耐震的な仕様について在来工法による天井（天井単位面積質量が20kg/m²以下のもの）を対象に、耐久性に関する仕様、長期荷重、地震荷重に対する仕様（鉛直方向の荷重の負担、水平方向の慣性力の負担、天井の縁切り）、フェイルセーフの仕様について検討した。基準に反映するにあたっては今後検討すべき点が残っており、それらを整理して次節で示す。

(4) 5章では、吊り天井の耐震性に関する計算方法を検討した。5.1節では多層建築物（ビルもの）や体育館等を対象に、吊り元の揺れを比較的簡易に評価する方法を提案した。5.2節では許容応力度設計を想定して、在来工法天井の固有周期や許容耐力を検討した。これらの検討は大きな地震動下における吊り天井の安全性を直接的に保証するものではないが、許容耐力を超えた後の地震時挙動を5.3節で補足的に検討した。成果をまとめると次のようになる。

1) 吊り天井の許容応力度設計を前提とし、構造躯体が弾性に留まることを条件として、特に躯体と吊り天井との共振に配慮した吊り元の揺れ（床応答スペクトル）の評価方法として次の(a)～(c)を提案した。

(a)スペクトル法：固有値解析の利用を前提として、構造躯体の形状等によらず、上下応答を含む揺れを評価できる方法

(b)簡易スペクトル法：多層建築物の代表的な振動特性を予め設定することにより、(a)の水平の揺れを簡易に評価できる方法

(c)震度法：(b)をさらに簡略化した水平震度による方法

建築基準法の稀に発生する地震動（稀地震動）を入力としてこれらの方法を適用すると、構造躯体との共振が起こりうる場合には、吊り天井の水平震度は最大で2.2程度となることを示した。

2) 在来工法天井を対象として、計算に用いる周期と耐力について検討した。吊りボルト間にブレースを設ける場合には、周期は0.2～0.6秒程度となり、クリップの滑りで決定される許容耐力は水平震度で1前後が上限になることを示した。1)による吊り元の揺れを考慮すれば、構造躯体との共振のおそれがある場合には、ブレース周辺のクリップを強化するような金具等を使うか、ブレースの下側を天井面等に取り付ける工夫が必要になることを指摘した。

3) 構造躯体が塑性化しうるような大きな地震動レベルの下で、許容耐力を超える吊り天井の地震時挙動を補足的に検討した。数値解析結果によれば、構造躯体の1次固有周期よりも短い周期を持つ吊り天井について、著しい損傷を防ぐためには、稀地震動を基に(1)により要求される耐力よりもやや大きめ耐力を付与すべきであることが示唆された。また、既往の吊り天井の実験結果によれば、許容耐力に比べ最大耐力はかなり大きくなることや、一定の非線形繰り返し挙動には耐えられることから、稀地震動を超えるレベルの地震動に対して弾性限を超えても即座に落下するわけではなく、一定の安全性は担保されうると考えられた。

今後の課題については、次節に示す。

6. 2 今後の課題^{註)}

4章で検討した天井の耐震的な仕様に関しては、次の表に示すような課題が残されている。

表 6-1 天井の耐震的な仕様に関する今後の課題

	基準化に向けて必要なこと (行政判断を含む、さらなる整理や微修正を必要とするもの)	基準の運用に向けて必要なこと (技術的検討を要するもの)	今後の研究課題として取り組むべきもの (相当の技術的検討を要するもの)
①対象とする範囲	<ul style="list-style-type: none"> システム天井の扱い 対象とする範囲より重い天井の扱い 		
②耐久性			
③吊り天井の仕様 (仕様1)	吊り天井の鉛直方向の荷重の負担(長期荷重に対して)	<ul style="list-style-type: none"> JIS A6517に規定する材料以外の材料の扱い 在来工法による天井以外の吊りボルト設置間隔 	<ul style="list-style-type: none"> 水平な天井以外の仕様の検討 ダクト等で吊りボルトを設置できない場合の補剛
	吊り天井の鉛直方向の荷重の負担(地震荷重に対して)		<ul style="list-style-type: none"> 水平な天井以外の仕様の検討 実験による耐力確認方法の検討 上下振動が無視できない場合の仕様の考え方
	地震時の水平方向の慣性力の負担	<ul style="list-style-type: none"> 建物の高さ方向の中での位置(何階か)により異なる仕様の設定の有無と程度 	<ul style="list-style-type: none"> 水平な天井以外の仕様の検討 斜め部材について例示する仕様の追加 斜め部材接合部の耐力の確認 耐力要素としての水平振れ止めの仕様の検討
天井の縁切り	<ul style="list-style-type: none"> 設備機器と取り合う箇所の耐震に関する考え方の整理(例:許容される損傷の整理) 	<ul style="list-style-type: none"> 水平な天井以外の仕様の検討 天井周辺部、段差部、設備機器周辺等の衝撃、変位を受ける箇所の剛性の確認方法の検討 	<ul style="list-style-type: none"> 大きな天井等を切り分ける面積(質量)の閾値の検討
④フェイルセーフ (仕様2)		<ul style="list-style-type: none"> 仕様の例示 	<ul style="list-style-type: none"> 実験による耐力確認方法の検討
その他	<ul style="list-style-type: none"> 周囲との衝突・損傷 	<ul style="list-style-type: none"> 壁に慣性力を負担させる場合の検討 	

註)本項「今後の課題」は平成23年度時点で抽出された課題である。その後の技術的検討・行政判断等については「6. 3 追補」を参照されたい。

5章で検討した計算方法に関しては、次の表に示すような課題が残されている。

表 6.2 計算に関する今後の課題

		基準化に向けて必要なこと（行政的判断を含む、さらなる整理や微修正を必要とするもの）	基準の運用に向けて必要なこと（技術的検討を要するもの）	今後の研究課題として取り組むべきもの（相当の技術的検討を要するもの）
① 吊り元の揺れの評価	(a) スペクトル法	<ul style="list-style-type: none"> 関数 R のピーク付近に周期幅（±0.1 秒）を設定 	<ul style="list-style-type: none"> 経験式として得た関数 R の理論的補足説明（共振曲線との比較等） 	
	(b) 簡易スペクトル法	<ul style="list-style-type: none"> 長周期側の設定 「上層階」等の区分の明確化（吹き抜けの場合を含む。） 低層（短周期）の場合の周期帯及び低減係数設定 		<ul style="list-style-type: none"> 上下応答
	(c) 震度法			<ul style="list-style-type: none"> 上下応答
	(d) その他全般	<ul style="list-style-type: none"> 外力の小さい短周期側や下層階の判断（下限値の設定など） 躯体（構造種別等）や天井の周期の計算精度を考えた調整 上下振動が無視できない場合の計算方法等の指定 他の基規準との外力の比較（BCJ ガイドライン、AIJ 非構造、設備耐震、懸垂物指針、海外の関連基規準、など） 躯体の構造計算とのバランス検討（構造計算と(a)~(c)の組合せ） 	<ul style="list-style-type: none"> 上下振動が無視できない場合の判断基準 クリアランス・衝突関係の考え方の整理 告示免震（AIJ 指針を参照） 	<ul style="list-style-type: none"> 仕様規定で求めるクリアランスとの対応（計算方法の検討） クリアランス・衝突関係の計算方法 地震動の継続時間と多数繰返し応答
② 天井の周期・耐力	<ul style="list-style-type: none"> 許容耐力の位置付けの整理（実験的検討の余地） 	<ul style="list-style-type: none"> 斜め勾配屋根に平行な吊り天井でブレースや吊りボルトの座屈で決まる耐力の評価 不静定となる組み方や施工手順に対応した初期軸力の影響 吊り長さが長い場合の周期や耐力 クリアランス、衝突関係の考え方の整理 	<ul style="list-style-type: none"> 許容耐力を決定するための試験法の整備 吊り元の上下応答に対する周期や耐力 地震動の継続時間と多数繰返し応答に対する耐力 システム天井（面内剛性のない吊り天井）のモデル化及びクライテリアの設定 クリアランス・衝突関係の許容耐力の設定 	
③ 全体のまとめ	<ul style="list-style-type: none"> 常時（長期）荷重の位置付け 計算の前提条件を満足するために必要な規定の整理 例題（事例）の作成（設計手順が分かるように。Sd=一定としての設計を含む。） システム天井の考え方の整理 時刻歴の大臣認定、告示免震、エネルギー法での要求内容 	<ul style="list-style-type: none"> 被害例との対応 既往の実験結果等による妥当性の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 剛性率・偏心率等による構造躯体（及び天井）の不整形の考慮 多点入力 	

4章で行った天井の耐震的な仕様の検討と5章で行った吊り天井の耐震性に関する計算方法を踏まえて天井の耐震対策の検討を行うことを考えた場合、共通の課題として以下のようなものも挙げられる。

- ・現在使われている仕様、設計・施工・製造等の関係主体の役割分担や実務の実態、関係団体等の意見等を把握し、それらを踏まえて今回検討した内容をレビューし、必要に応じて内容を追記する必要がある。
- ・吊り天井の耐震性の検討において、特殊検証ルート的位置付け等を明確にする必要がある。
- ・今後新たに開発・提案される仕様に対しては、必要に応じて技術的検討を行い、適宜内容を追加する必要がある。また、新たな仕様を基準の中でどのように扱うか（基準改正で取り込む、ただし書きで運用する、計算・特殊検証ルートで扱う等）について考え方を整理する必要もある。

6. 3 追補

本資料を踏まえた技術検討等の展開と成果

本資料は、平成 23 年度建築基準整備促進事業での検討¹⁾の内容を記録として残して共有するため、当該事業の報告書を基にまとめたものである。報告書はこれまでも国土交通省等で技術的資料として活用されてきたほか、平成 24 年以降にも基準化に向けた様々な検討が実施され、本資料 6 章で記載されていた平成 23 年度末時点での課題の多くは技術的・行政的な追加検討を経て²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾、対処がなされた¹⁰⁾¹¹⁾。

本資料が上記基準等の策定の背景を理解する一助になると共に、今後の天井の耐震性を検討する上での参考資料となることを期待する。

参考文献・URL（平成 30 年度時点での関係基準等）

- 1) 平成 23 年度建築基準整備促進事業 成果概要一覧 41 地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討、平成 24 年 4 月
http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_house_fr_000047.html
- 2) 建築構造基準委員会 第 4 回、第 5 回、第 6 回
<http://www.nilim.go.jp/lab/hbg/iinkai/iinkai.htm>
- 3) 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、平成 24 年 7 月
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000332.html
- 4) 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、平成 25 年 2 月
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000387.html
- 5) 建築基準法施行令及び関係省令の一部改正案に関するパブリックコメントの募集の結果について（e-Gov ウェブサイト (<https://www.e-gov.go.jp/>))、平成 25 年 7 月
<http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155130705&Mode=2>
（平成 31 年 3 月 26 日に閲覧）
- 6) 安全上重要である天井及び天井の構造耐力上安全な構造方法を定める件等を制定・一部改正する告示案に関するパブリックコメントの募集の結果について（e-Gov ウェブサイト (<https://www.e-gov.go.jp/>))、平成 25 年 8 月
<http://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155130706&Mode=2>
（平成 31 年 3 月 26 日に閲覧）
- 7) 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、平成 25 年 7 月
http://www.mlit.go.jp/report/press/house05_hh_000414.html
- 8) 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の一部を改正する告示案に関する意見募集について（e-Gov ウェブサイト (<https://www.e-gov.go.jp/>))、平成 28 年 3 月
<https://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155160714&Mode=0&fromPCMMSTDETAIL=true>（平成 31 年 3 月 26 日に閲覧）
- 9) 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の一部を改正する告示案に関するパブリックコメントの募集の結果について（e-Gov ウェブサイト (<https://www.e-gov.go.jp/>))、

平成 28 年 5 月

<https://search.e-gov.go.jp/servlet/Public?CLASSNAME=PCMMSTDETAIL&id=155160714&Mode=2>

(平成 31 年 3 月 26 日に閲覧)

- 10) 平成 25 年国土交通省告示第 771 号：特定天井及び特定天井の構造耐力上安全な構造方法等を定める件、平成 25 年 8 月（制定）、平成 28 年 5 月（一部改正）
- 11) 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、平成 25 年 10 月、平成 28 年 7 月（追加）

<https://www.seinokyo.jp/tenjou/mokuji/>

6. まとめと今後の課題