

「地震・強風被害で顕在化した非構造部材の被害防止技術の開発—大規模空間天井と鋼板製屋根の構造安全性—」（平成18年度～平成20年度）評価書（事後）

平成21年 7月 1日（水）

建築研究所研究評価委員会

委員長 松尾 陽

1. 研究課題の概要

（1）背景及び目的・必要性

平成16年には10個の台風が上陸し、各地で建築物や工作物の強風被害が多数発生した。とくに鋼板製屋根の被害では、周辺の建築物等には目立った強風被害がない中で発生したものが多かった。一方、過去の中規模地震のたびに屋内大規模空間天井の脱落被害が報告されており、平成17年宮城県沖の地震の際には、他の建築物における被害が比較的軽度であった中で竣工間もない屋内温水プールの天井がほぼ全面脱落し利用者が重傷を負った。このように周辺の建築物等に目立った被害が少ない中で、その非構造部材だけに破損・脱落等の被害が顕在化している。

また、屋内大規模空間天井に関しては、現在までの研究では天井が落下に至るメカニズムは明らかになっておらず、天井の設計にあたって設計者が参照できる情報は現状では多くない。鋼板製屋根では温度伸縮の問題が20数年前から指摘されていたが、温度伸縮の課題に関して明確なガイドラインがないのが現状である。さらに非構造部材の構造安全性に関しては、設計者や施工者と建材メーカーとの間でそれぞれの業務範囲やその責任関係が明確になっていない場合がある。

そこで本研究では、中小の地震や風を想定した荷重に対する被害の防止に資する技術開発を行うことを目的とし、屋内大規模空間天井・鋼板製屋根を研究課題として取り上げる。これらの部位で最近発生した被害は比較的新しく建設された建築物におけるものであり、現在の技術及び生産体制等について何らかの改善の余地があると考えられる。

まずこれらの設計・生産・施工プロセスにおいて「何がどのように決められているのか？」を調査し、設計・生産・施工プロセスを可視化する必要がある。また、これらの大半が製品化されたものであるため同様の構造・形式の製品が全国に数多く存在し、上記のような被害がその建築物だけに限定されたものではなく、今後も同様の被害が発生する可能性が考えられる。

以上のように、これらの研究課題は緊急性の高いものでありその研究成果の波及効果も大きいと考える。

（2）研究開発の概要

中小の地震や風を想定した荷重に対する大規模空間天井や鋼板製屋根の被害を防止する目的で、天井や鋼板製屋根に関する基規準・指針等や関連研究の調査を行う。大規模空間天井や鋼板製屋根の設計・生産・施工過程の可視化・モデル化をすることにより、設計・生産・施工過程での課題を抽出する。

大規模空間天井の構造安全性に関しては、平成13年に実施した天井加振実験等を参考に、在来工法およびシステム天井を対象として構造実験等を実施する。天井の長さ、形状（段差・傾斜）、振れ止めの有無等を条件として、天井の振動性状を把握する。また、天井落下のメカニズムの解明を目的として天井の壁への衝突を再現する。

鋼板製屋根の構造安全性に関しては、1）鋼板製屋根に作用する温度荷重の評価方法がこれまで確立されていないこと、2）長尺の鋼板製屋根の強風被害原因で温度荷重による固定金物の疲労損傷が指摘されていること、3）鋼板製屋根に作用する温度荷重を対象とした研究事例が少ないこと、等の理由により、鋼板製屋根に作用する温度荷重の評価方法に研究課題を絞る。さらに、上下折板で温度差が最も大きくなる断熱二重折板屋根を対象として温度伸縮実験や水平加力試験等を実施し、その実験結果をもとに断熱二重折板屋根の温度伸縮による評価法・設計法を提案する。

中小の地震や風に対する構造安全性の向上を指向した大規模空間天井や鋼板製屋根の設計・施工に関する技術資料を纏める。

(3) 達成すべき目標



1. 体育館等の天井の耐震設計ガイドライン（日本建築センター）・天井設計マニュアルを拡充・補完する技術資料を纏める。建築関連法規改正、JIS 等規準・標準設計仕様へ反映させる。
2. 鋼板製屋根構法標準 SSR92（日本金属屋根協会・日本鋼構造協会：改定作業中）はユーザーにとって判りにくいという意見もあり、より判りやすいマニュアルを取り纏める必要がある。研究成果の一部を鋼板製屋根構法標準 SSR2007 に反映させる。

(4) 達成状況

1. 屋内大規模空間天井を対象とした合理的な設計・施工技術の構築

大規模空間天井を想定した試験体（在来工法による天井3体、システム天井3体）に中地震程度の外力による水平加振実験を行う。天井の基本的な振動特性を把握すると共に、天井と周囲とのクリアランスを充分確保することの重要性、在来工法による天井でクリップの損傷による連続脱落の危険性等について知見を得た。学校体育館2棟について振動特性の実測・解析を行い、地震で脱落した天井の上部の構造体の応答が他より相当程度大きいなどの知見を得た。天井工法の現況調査を行い、材料メーカー・ゼネコン等による天井の耐震性に関する検討状況を調べた。天井の耐震性について設計・施工プロセスで検討すべき課題について知見を得た。

ガイドラインを補完・拡充する技術資料等とするためには、地震時の構造体の応答による天井への影響について検討する必要がある。さらに、脱落防止対策、脱落時のフェイルセーフの方法などの耐震対策を総合的に検討することも重要である。そのため、本研究成果を引き継いで、新規個別課題「災害後の建築物の機能維持・早期回復を目指した技術開発」（平成21年度～平成22年度）において検討を進め、設計・施工に活用される技術資料をとりまとめる。

年度	18	19	20
	既往研究・地震被害等に関する文献調査。 天井実大振動実験のための実験装置・天井試験体の検討。	天井実大振動実験のための関係者打ち合わせ。 実験実施 在来工法天井 6～7月 システム天井 1～2月 	学校体育館2棟についての構造体の振動特性の実測・解析。 
		天井工法の現況調査(工法、設計・施工プロセス検討の課題)	

2 鋼板製屋根を対象とした合理的な設計・施工技術の構築

鋼板製屋根の温度伸縮に関して提案した試験法・評価法・設計法については、鋼板製屋根構法標準 SSR2007（日本金属屋根協会・日本鋼構造協会 平成20年1月出版）に反映された。鋼板製屋根構法標準 SSR2007 への反映にあたっては、読み手に内容が理解されるように、日本金属屋根協会とも十分に意見交換を行い、用語や表現および図や写真の使用等に十分注意を払った。

鋼板製屋根の設計・施工プロセスについても、本研究での議論を踏まえて、鋼板製屋根構法標準 SSR2007 の編集ワーキング（主査：喜々津仁密）においてワークフロー図を作成し、設計・施工プロセスを可視化した。平成19年6月に建築基準法施行規則が改正され、建築確認時に施行令第82条の4（屋根ふき材等の構造計算）に関する構造計算書等を提出することが義務付けられた。業界へのヒヤリングによると、鋼板製屋根の設計施工に対する設計者や施工者の意識が少しは変わってきているが、まだまだ不十分であることが分かった。

各年度の調査や研究開発の状況を以下に示す。

年度	17	18	19	20
二重折板屋根の温度伸縮	<p>二重折板屋根の熱照射試験（参考資料） 二重折板屋根の温度伸縮の基本性状の把握</p>  <p>二重折板屋根の温度荷重評価方法の検討</p>	<p>二重折板の水平方向加力試験（参考資料） 断熱金具等の水平方向の荷重-変位関係の把握</p>  <p>二重折板屋根の温度荷重評価方法の検討</p>	<p>二重折板屋根の水平方向の繰り返し加力試験+鉛直方向引揚試験</p>  <p>二重折板屋根の温度伸縮により繰り返し荷重を受ける断熱金具等の試験法と評価法の提案 鋼板製屋根構法標準SSR2007に反映 各構法（固定構法・スライド構法等）で同一の評価法</p>	<p>建築研究資料等への取り纏め 現在取り纏め中</p> <p>成果の普及に関する調査 評価基準に合格するような新しい構法の開発と工夫</p>
設計・施工プロセス		<p>ワークフロー図について検討 非構造部材の設計施工プロセスを可視化する</p> <p>鋼板製屋根の設計・施工にかかわる主体にヒヤリング 現状と望まれる状況について調査</p>	<p>改正建築基準法施行（平成19年6月） 屋根の設計者、施工者、建材製造者等の役割分担の明確化</p> <p>鋼板製屋根の生産・設計・施工プロセスの可視化 鋼板製屋根構法標準SSR2007</p>	<p>建築研究資料等への取り纏め 現在取り纏め中</p> <p>屋根の生産・設計・施工プロセスの変化に関する調査 設計者や施工者に意識の変化があるが、十分には認識されていない</p>

2. 研究評価委員会（分科会）の所見とその対応（担当分科会名：構造分科会、建築生産分科会）

（1）所見

大規模空間天井

所見①

- ・地震時の天井の落下の問題は解決すべき非常に重要な課題である。新築のための天井の工法だけでなく、既存建築の天井落下防止の対策法も合わせて提案しなければならない。（構造分科会）

所見②

- ・天井に関しては、天井試験体の振動実験や体育館の構造体のモード解析を行い、研究としての成果は認められる。（構造分科会）

所見③

- ・構造特性係数Dsが0.25のような鉄骨構造と0.55の壁式構造のような構造体の変形量を考える場合、天井の構造に求められる性能をはっきりさせなくてはならない。構造物本体が倒壊を防げば良いという最低条件で作られているときに天井が無傷である必要はない。ただし、人のいるところに絶対にはならない。（構造分科会）

所見④

- ・かつて地震時のプレキャストコンクリート板による外壁の脱落が問題視されたが現在は解決している。天井脱落も同じように原因を明らかにすれば解決の方法が見出しうる問題である。本研究では在来工法による天井について地震時に連続脱落する危険性が残っていることを示しているが、ほとんどの脱落原因は施工性を重視したクリップの弱さにあると思われる。この部分を番線で縛るか、落ちても人のいるところまで落ちないフェイルセーフの方法などの使える技術を、天井部材の製造者や施工業者とも連携し、提案して欲しい。（構造分科会）

所見⑤

- ・天井については、そのあり方（意匠、材料等）も含めて、今後、広めに考える必要がある。（生産分科会）

所見⑥

- ・今回の検討対象とは異なる天井として膜天井もあり、建築物の振動と独立な天井の揺れを拘束するために建築物本体と一体化する天井工法も考えられる。天井の耐震性を確保するための簡易で確実な工法を提案して普及をはかる必要がある。（構造分科会）

所見⑦

- ・建築物における天井の役割は、例えば学校校舎、体育館、病院、空港、ホテル、音楽ホールなど建築の用途によって異なり、美観、照明、音や光の反射など多くの役割を持っている。地震時に人のいるところに落ちてこないようにすることは最低の条件であるが、これ以上の性能を求める建築物もあり得る。研究を進める前に、このあたりを明確にする必要がある。(構造分科会)

鋼板製屋根

所見⑧

- ・天井と同じようにこの問題は、原因を明らかにすれば、解決の方法が見出しうる問題である。(構造分科会)

所見⑨

- ・屋根葺き材に関しては、最近の大風に対する破壊原因が、温度応力による止め付けボルトの疲労破壊によるものと特定ができ、それを回避できる対策が、止め付け詳細の改良と改良後の適用限界が数値として示されており、この研究成果が普及することを期待する。(構造分科会)

所見⑩

- ・鋼板製屋根について研究結果が業界標準に反映されるなど、評価できる。研究成果の発表状況、外部機関との連携等についても、問題はない。堅実な成果をあげたものと評価できる。(生産分科会)

所見⑪

- ・温度変形について、非構造部材のこの種の問題は耐久性との関連で各所で問題提起がなされている。建築構造の一つのテーマとして、継続的な取り組みが望まれる。(生産分科会)

所見⑫

- ・成果として評価式が提案されているが、実際に工事に関わる技術者に対するものとしてはあまり適切であるとは思えない。λなどの記号が含まれた式は見直すべき。このような折板屋根の被害は海外でもあると思われるが、海外での対策はどうなっているのか。(構造分科会)

(2) 対応内容

大規模空間天井

所見①に対する回答

- ・地震時の天井脱落の問題は新築同様に既存建築についても重要と考えているので、既存建築について施工性・経済性等を踏まえ総合的に天井落下防止対策を検討する。

所見②に対する回答

- ・中小地震で顕在化した大規模空間天井の被害を防止する目的で、天井試験体の振動実験や体育館の振動特性の実測等を行った。研究として、吊り天井の振動特性、在来工法による天井で多数のクリップの外れが連続脱落につながる事、地震時に天井に作用する外力等について知見を得ることが出来たと考える。

所見③に対する回答

- ・Ds が 0.25 の鉄骨構造はDs が 0.55 の壁式構造に比べて地震時に建物の変形量がより大きくなる可能性があるため、大地震に対して天井を無傷にすることは難しい。少なくとも、落下防止対策、天井の軽量化などを含めた、人命の安全確保の対策を検討する必要がある。Ds が 0.55 の壁式構造はDs が 0.25 の鉄骨構造より変形量は小さいから、周辺の構造物と天井を一体化する方法も使えると考える。しかし、短周期での加速度が大きくなる可能性があり、天井に生じる慣性力に対して天井下地に十分な耐力を持たせる必要がある。この場合でも、人命の安全確保の対策が必要である。

所見④に対する回答

- ・大規模試験体の振動実験では天井脱落が発生する一連のメカニズムの解明には至っていないが、多数のクリップの外れが在来工法による天井の連続脱落につながる要因であることを確認した。今後、構造体の振動特性も含めて天井脱落が発生するメカニズムを検討するとともに、クリップ部分の改良や天井落下を防ぐフェイルセーフの方法も含めて大規模空間天井の被害防止対策を早急に検討する。これらの成果を、天井部材の製造者、施工業者、関係機関と連携して実用的な脱落対策を開発し普及を

考えていく。

所見⑤、⑥に対する回答

- ・大規模空間天井は、膜天井も含め、意匠や材料等について様々なものが採用されている。今後行う天井脱落の問題やフェイルセーフ手法などの検討成果を、新しい天井工法の耐震対策にも活かすよう検討する。

所見⑦に対する回答

- ・学校校舎、体育館、病院、空港、ホテル、音楽ホール、いずれの建物においても地震時に人命の安全確保は最低限必要である。さらに、大地震後に救護施設となる病院や避難所として位置付けられる学校校舎、体育館は支障なく使用できることが求められる。一方、中小地震に対しては建物を継続して使用できるよう、音楽ホールなどにおいてもその使用性を維持することが求められる。建物用途や室用途により天井に求められる性能が異なることを認識し、今後天井の耐震対策の検討を進める。

鋼板製屋根

所見⑧、⑨、⑩に対する回答

- ・鋼板製屋根の剥離被害については、その被害原因が屋根の温度伸縮であることが特定されていたので、研究課題のターゲットを絞り、屋根の温度伸縮に対する評価法として纏めることができた。日本金属屋根協会に対するヒヤリングでは、現時点で提案した評価式に対する問題点等の指摘はなく、評価式をクリアするように工法の改良や開発を行っていると聞いている。今後も日本金属屋根協会と連携し、研究成果の普及に努めたい。

所見⑪に対する回答

- ・鋼板製屋根の温度伸縮については、今回取り上げた断熱二重折板屋根だけでなく他の工法でも問題になる場合があるかと予想される。今後も建築構造のテーマとして日本金属屋根協会と連携し取り組んでいきたい。また、非構造部材の温度伸縮の問題についても、必要に応じて建築研究所の研究課題として取り組みたい。

所見⑫に対する回答

- ・鋼板製屋根の評価式での記号については、分かり易い表現を検討したい。また、海外の事例については調査し、事例があれば技術資料に含めたい。

3. 全体委員会における所見

鋼板製屋根については、業界と協力して非常に成果が上がっている。しかし、大規模天井については、落下原因の究明を研究として行っているが、まずは人に被害がでないための取り組みをしてほしかった。このため、目標を概ね達成できたという分科会の評価を、全体委員会の評価とする。

今後は、天井落下の解決に向けてさらに研究を進められたい。

4. 評価結果

- A 本研究で目指した目標を達成できた。
- B 本研究で目指した目標を概ね達成できた。
- C 本研究で目指した目標を達成できなかった。