

「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 (中間)

平成20年2月27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の天井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。鋼板製屋根では熱伸縮の問題が20数年前から指摘されていたが、熱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、まず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と同時に、大規模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た熱伸縮実験を実施し、その実験結果をもとに断熱二重折板屋根の熱伸縮評価法を提案す

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

「鋼板製屋根に関する研究」は平成17年度より開始しており、平成18年度に「大規模空間天井に関する研究」と合わせて、「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」として実施することになった。

1. 大規模空間天井に関する研究

（平成18年度）

大規模空間天井については基礎的資料の収集として既往研究・地震被害等のレビューを行った。本年度の研究対象である在来工法天井について大規模空間天井を想定し、従来は5m程度である試験体を長手方向に最大18mに設定した。平成13年度に建築研究所で行われた天井実験で用いられたものをベースに、加振スケジュールに対応した加振フレームを設定した。

能登半島地震での体育館等の大規模空間天井被害を調査した。

（平成19年度）

関連業界団体と共同研究及び振動実験に関する打ち合わせを行い、実大構造物実験棟に天井振動実験のための鉄骨加振フレームを設置して、在来工法による天井の振動実験を6月～7月に実施した。7月12日に行った関係者への公開実験には約70名の見学者があった。

新潟県中越沖地震での体育館等の大規模空間天井の被害を調査した。

1月よりシステム天井についての振動実験を予定している。実験については関係協会との打合せを進めており、在来工法による天井と同様に関係者への公開実験を予定する。

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。 平成19年能登半島地震における天井脱落被害の調査。	天井実大振動実験のための関係者打合せ。 実験実施（平成19年6月～7月：在来工法による天井、平成20年1月～2月：システム天井）。 平成19年中越沖地震、三重県中部の地震における天井脱落被害の調査。	天井構成部材・部位に関する加力実験。 天井の設計・施工プロセスに関する調査。 技術的資料のとりまとめ。

2. 鋼板製屋根に関する研究

（平成18年度）

（社）日本金属屋根協会との共同研究を締結した。鋼板製屋根の温度荷重の評価方法について検討し、（社）日本金属屋根協会に提案した。鋼板製屋根の設計・施工プロセスに関し、（社）日本金属屋根協会にヒヤリングを実施した。（社）日本建築学会や（社）日本金属屋根協会等を通じ、鋼板製屋根に関する既往研究・被害事例等の収集をした。

平成17年度の実験（二重折板屋根の熱照射実験）結果等をもとに、折板屋根の固定金物に作用する温度

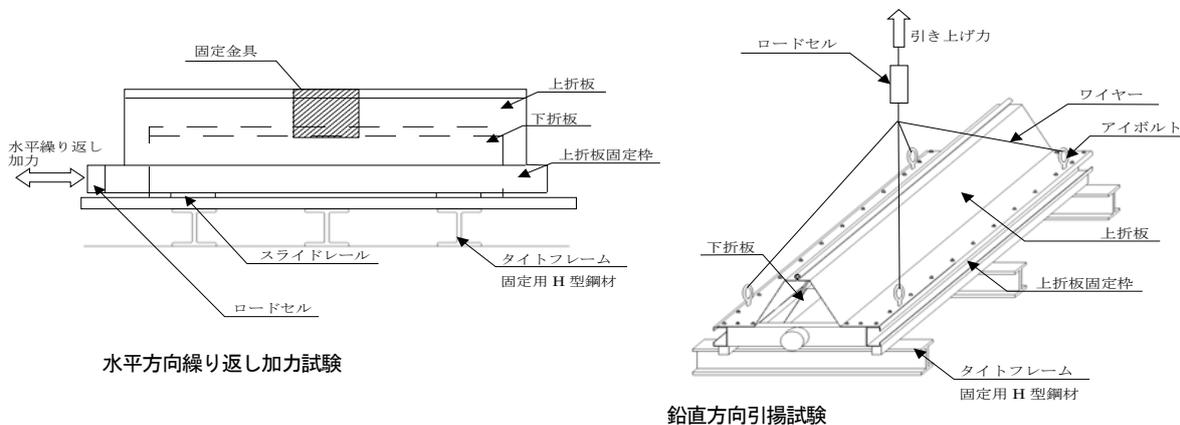
荷重の評価方法を纏めた。鋼板製屋根の温度荷重に関して「断熱二重折板の温度応力に関する検討 その1 理論解析・その2 実験結果」を日本建築学会大会梗概集に投稿した。

(平成 19 年度)

(社) 日本金属屋根協会との共同研究により、二重折板屋根の断熱金具等について水平方向の繰り返し加力試験と鉛直方向引揚試験を 7~8 月に実施した。試験体は、二重折板屋根では一般的な工法である重ね形折板、はげ締め形折板、かん合式工形折板をそれぞれ 4 体用意した。水平方向の繰り返し加力試験では一定変位量で繰り返し加力を行った。繰り返し回数は 1 日一回の伸縮、供用年数を 30 年として 10^4 回とした。

それらの試験結果をもとに、「二重折板屋根の熱伸縮による繰り返し荷重を考慮した断熱金具等の試験法および評価方法、二重折板屋根の設計法」を取り纏めた。この試験法・評価法は、二重折板屋根の熱伸縮を対象として、実際の折板の熱伸縮を水平方向の加力試験で再現し、接合部等の損傷の有無を確認するものである。この試験法で求めた二重折板屋根の水平方向の許容変位差から折板の最大流れ寸法(折板一枚の長さ)を規定することができる。

ただし、本研究成果を当初予定の折板の熱伸縮を考慮した鋼板製屋根の設計マニュアルを纏めるまでには至らなかった。マニュアルの取り纏めに関しては平成 20 年に建築研究資料のような形で纏めたいと考えている。



鋼板製屋根の熱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 2008.1 出版) に反映した。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。

これまでの研究の進捗状況を以下の表に纏めた。

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</p>	<p>建築研究資料等に纏める(予定)</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>鋼板製屋根の設計施工プロセスの可視化 鋼板製屋根構法標準SSR2007</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

- 1) テーマ及び目標が比較的明確なこともあって、実験その他、順調な進捗状況と判断できる。成果発表も精力的になされており、評価できる。大規模空間天井についても鋼板製屋根とともに進捗状況を表示することで、比較・対照しつつ進行することが望まれる。（建築生産分科会）
- 2) 今後研究内容を説明する場合、または最終報告においては、課題名で表される研究範囲と、本研究で具体的にを行った研究範囲の関係・位置づけについて、明確に伝わるように説明・記述することが望ましい。（建築生産分科会）
- 3) 強風、熱の変化に対する屋根の技術については順調と考える。鋼製屋根は設計指針的なものは有用である。屋根については、日本の気候風土を考慮した長寿命かつ強風に強い工法の提案を期待する。（構造分科会）
- 4) 仕様規定に反映させるなど、成果としての技術的資料の具体的な展開を考えてほしい。鋼板屋根はターゲットが絞れていて明快である。天井については様々なケースがあり対策方法が異なるので注意したい。（構造分科会）
- 5) 天井については、構造物の耐震設計レベルと釣り合いの取れたクライテリアの設定から考え直して、新しい工法の開発に取り組んで欲しい。大規模天井は設計マニュアルができたからといって、種々の落下パターンがあり難しいと思う。システム天井系は落下防止機能を取り付けるべきではないか。（構造分科会）
- 6) 大地震時に構造物本体の大きな塑性変形を許している現状で、天井の施工法に過大な要求をすることは無理である。天井板が人のいるところに落下しないことが重要なクライテリアであり、アルミのフレームから落ちないことを目指す必要はない。揺れない天井面、落下しても床まで落ちないフェイルセーフ・システム、天井板の落下が進行性崩壊になり難いように、必要以上に天井版全体を一体化せずに分散支持する工夫などを考えて欲しい。（構造分科会）
- 7) 天井の耐震対策は、周囲の壁等と縁切りした場合に主眼が置かれ行われている。天井は意匠性や気密性等の機能の点で、縁切りは採用しがたい要因がある。それとともに、天井耐震性は周囲の壁等と一体的に形成した方がよい成果をあげる可能性が高いので、周囲一体型も研究すべきである。あわせて、天井各部の詳細において耐震上吊り材等は問題ないが、天井パネルが容易に脱落・落下する詳細となっている点が問題である。この観点からの研究も重要である。（構造分科会）

②対応内容

- 1) 本評価書の中に、屋根及び天井に関する各年度の実施内容を表として追加しました。
- 2) 本研究開発課題は地震・強風被害で顕在化した非構造部材の被害を防止するために、鋼板製屋根については温度応力に焦点を絞って、大規模空間天井については広く採用されている在来工法による天井とシステム天井を取り上げております。とりまとめる際には、これら研究範囲・対象について明確に伝わるように説明・記述することと致します。
- 3) 鋼板製屋根に関する研究成果は業界指針に反映されました。折板の熱伸縮に関する問題は30年前の業界指針でも指摘されていましたが、折板の熱伸縮の影響を具体的に評価する手法が示されていませんでした。また業界では、折板の長尺化に伴って折板の熱伸縮による接合部の疲労損傷や音鳴り等を防止する目的でスライド機構を組み込んだ工法の開発がなされていますが、その性能を評価する手法もありませんでした。今回提案した試験法と評価法は、このようなスライド機構を組み込んだ工法の性能評価も含めて、折板の熱伸縮による影響を評価し折板の最大流れ寸法を規定するものです。
- 4) 設計マニュアル等を検討するにあたっては、ご指摘のように推奨すべき仕様を含めた具体的な検討を行う必要があると考えます。天井については工法を含めて様々なものがありますので、耐震対策の検討を行うにあたっては適用範囲に留意するように致します。

5, 6, 7) 所見においてご示唆もありますように、天井に要求されるクライテリアは中地震動を受けた場合と大地震動を受けた場合では異なるものであり、過大な要求とならないように設定する必要があります。中地震動に対しては、意匠性や機能等と調和させながら、軽微な損傷は許容しても脱落しないように天井の耐震対策を検討する必要があります。大地震動に対しては、大きな塑性変形を許容される構造物本体のクライテリアと釣り合いをとりながら、人命の安全確保を図るよう天井の耐震対策を検討する必要があります。天井脱落の被害には種々のパターンがあり難しいものですが、天井パネルの脱落、連続的崩壊（大きな面となつての脱落）、床まで落ちないフェイルセーフ等への対応について、地震動に対する天井のクライテリアを踏まえて検討するように致します。

3. 全体委員会における所見

近年の強風や災害での天井落下等が問題になっており、非常に重要なテーマである。非構造部材の被害軽減のため、分科会及び全体委員会での意見に留意し、研究を進めて欲しい。

4. 評価結果

- | | | |
|---|---|--------------------------------------|
| | 1 | 継続研究開発課題として、提案どおり実施すべきである。 |
| レ | 2 | 継続研究開発課題として、研究評価委員会の意見に留意して実施すべきである。 |
| | 3 | 継続研究開発課題として、修正の上実施すべきである。 |
| | 4 | 継続研究開発課題として、大幅な見直しを要する。 |