

## 1) - 2 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 — 【個別重点】

### Development of Reduction Technique of Damage to Non-Structural Members Cleared by Seismic or High Wind Damage, Structural Safety of Large Suspended Ceiling and Steel Roof

(研究期間 平成 18~20 年度)

構造研究グループ  
Dept. of Structural Engineering

奥田泰雄  
Yasuo Okuda

河合直人  
Naohito Kawai

長谷川隆  
Takashi Hasegawa

喜々津仁密  
Hitomitsu Kikitsu

岩田善裕  
Yoshihiro Iwata

建築生産研究グループ  
Dept. of Production Engineering

眞片山美穂  
Miho Makatayama

脇山善夫  
Yoshio Wakiyama

As for the structural safety of large suspended ceiling, three main researches are carried out: general study on current suspended ceiling, horizontal shaking experiment of large-size suspended ceilings and investigation of oscillatory properties of school gymnasiums. Well-proportioned ceilings have not collapsed by shaking of calculated rare-earthquake response. Some amplified response is observed at the middle of roof girder in microtremor measurement and structural analysis. As for the structural safety of steel roof, R & D as follows are carried out: extraction of problems on the heat expansion of steel roof from high wind damage examples, grasp of the characteristics of heat expansion in steel roof by fever irradiation experiments, the fatigue damage examination of the fastener, development of the evaluation and design methods on the fatigue damage of the fastener in the steel roof.

#### [研究目的及び経過]

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。

本研究では、上記のような問題点を解決するために、まず建築物の非構造部材として大規模空間天井と鋼板製屋根を取り上げ、中小規模の地震や風を想定した荷重に対して非構造部材の被害防止に資する技術開発を行うことを目的とした。

#### [研究内容]

大規模天井の構造安全性について、天井工法の現状調査、大規模試験体による水平方向振動実験、山形断面を有する学校体育館の振動特性調査\*を行った。天井工法の現状調査は、研究期間中の地震被害調査、公開資料による天井開発等調査などを行った。大規模試験体による

水平方向振動実験は吊り天井の振動特性の把握、損傷・脱落の有無について検討するために、鉄骨フレーム（長手方向 18m、短手方向 6m、高さ方向 5m）を用いて、在来工法による天井試験体 3 体、システム天井試験体 3 体（グリッドタイプ 1 体、ラインタイプ 2 体）を長手方向に、中地震動程度までの体育館の屋根面応答を想定した加振を行った。山形断面を有する学校体育館の振動特性調査は、地震被害を受けた寄棟学校体育館 1 棟と、山形屋根学校体育館 1 棟について実測（常時微動測定及び強制加振による測定。後者体育館は地震観測を行った）及び立体骨組みモデルによる解析を行った。

鋼板製屋根の構造安全性については、強風被害事例から鋼板製屋根の熱伸縮に関する問題点の抽出、熱照射実験等による鋼板製屋根の熱伸縮性状の把握、断熱二重折板屋根の固定金物の疲労損傷試験の実施、断熱金具等の評価法と折板屋根の設計法の開発、等を行った。また、鋼板製屋根ふき材の設計・施工に関するプロセスの可視化を目的としてワークフロー分析による検討も行った。

#### [研究結果]

大規模天井の構造安全性について行った、振動実験と振動特性調査について以下に概要をまとめる。

大規模試験体による水平方向振動実験では、いずれの天井試験体も脱落につながるような損傷は生じず、均整

に施工された天井は中地震動では脱落しないことが想定される。在来工法による天井のクリップを部分的に外して行った Sin 波加振では、野縁と天井板が一体となって連鎖的に脱落する状況を確認した(図 1 参照)。長手方向の断面が“/＼”形のシステム天井について長手端部を鉄骨フレームに固定した加振では、勾配部分でバー材の押し上げに伴う変形や天井切替箇所の乗り上げ、クロス T バーと H 型鋼の取り合いでの変形、天井板の脱落などを生じた。地震被害で同様の損傷が確認されている。

山形断面を有する学校体育館の振動特性調査では、対象建物について振動測定と解析モデルより求めた 1 次固有振動数はほぼ同じとなり、その範囲において解析モデルの妥当性を確認した。解析モデルも用いて張間方向、桁行方向、上下方向の加振に対する屋根フレームの応答について検討し、張間方向および桁行方向からの入力地震動に対して屋根フレームの大梁中央部で水平方向、上下方向ともに応答が増幅することを確認した。地震被害を受けた体育館の天井脱落箇所はこれら検討により応答が増幅する箇所に相似している(図 2 参照)。地震被害を受けていない体育館については実験期間中に地震観測を行い、屋根面の上下応答値が増幅されることを定量的に裏付ける結果を得た。

鋼板製屋根の構造安全性について実施した断熱二重折板屋根の固定金物の疲労損傷試験を図 3 に示す。所定の水平方向の変位量により水平方向の繰り返し加力後、鉛直方向の引揚試験を実施し、断熱金具等の破断強度を求めた。繰り返し回数については折板の寿命を 30 年とし 1 日 1 回の伸縮があると考えると、 $N=10^4$  (≒1 回/日×365 日×30 年) を標準値とした。

その試験結果を踏まえて、固定金物の疲労損傷試験をクリアした水平方向の変位量を許容変位量  $\lambda$  とし、以下の設計式(1)を提案した。

$$L_{\max} \leq \frac{2\lambda}{\alpha T} \quad (1)$$

ここに、 $L_{\max}$  は折板の最大流れ寸法 (m)、 $\alpha$  は鋼材の線膨張係数 ( $1/^\circ\text{C}$ ):  $1.2 \times 10^{-5}$ 、 $T$  は上下折板間の想定温度差 ( $^\circ\text{C}$ ) である。実際の二重折板屋根では断熱金具により何らかの拘束を受けるため、折板の伸縮量は拘束のない場合より小さくなると考えられるが、ここでは安全側の設計となるように、拘束のない折板の伸縮量で判断することとした。また、折板は均質で屋根スパンの中央に不動点があり、折板の中央から端部に向かって伸縮する場合を想定し、想定温度差で生じる折板端部での熱伸縮量の最大値が、断熱金具の水平方向の許容変位量を

超えないこととした。これらの開発研究の成果は鋼板製屋根構法標準 (SSR2007) に反映されている。

また、鋼板製屋根業界に対するヒヤリング等で以下の点が分かってきた。

2007 年に建築基準法が改正され、屋根ふき材の設計・施工に関する責任関係がこれまでより明確になるものと期待されるが、現状では設計者らの理解は十分には得られていない。設計者が屋根ふき材の耐風設計を行うにあたり必要となる情報が十分に整備されていない。

【参考文献】

- 1) 脇山善夫ほか：在来工法天井およびシステム天井の実大振動実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，2008.9
  - 2) 脇山善夫ほか：学校体育館の振動特性調査 その 1～6，日本建築学会大会学術講演梗概集，2009.8
  - 3) 日本金属屋根協会・日本鋼構造協会：鋼板製屋根構法標準 (SSR2007)
- ※ 山形断面を有する学校体育館の振動特性調査は、平成 20 年度建築基準整備促進補助金事業により行ったものである。



図 1 連鎖脱落する天井試験体の様子

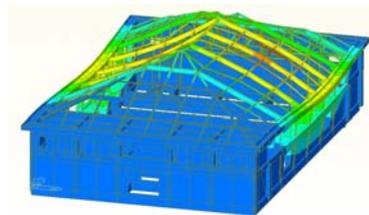


図 2 対象体育館の固有モード形状 (張間方向並進)

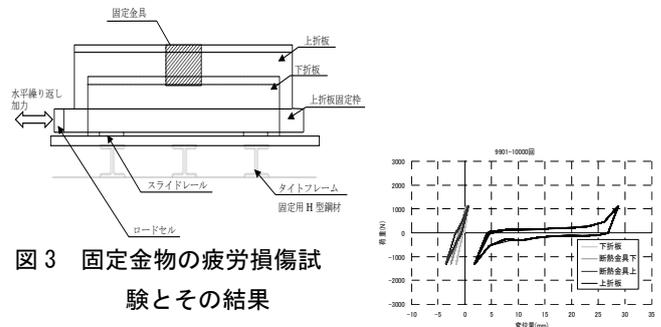


図 3 固定金物の疲労損傷試験とその結果