

E-ディフェンス実験に基づく大規模空間吊り天井の脱落被害低減技術開発

その1 プロジェクト概要

正会員 ○梶原浩一\*1 同 佐々木智大\*1 同 青井淳\*1 同 田川浩之\*1  
同 壁谷澤寿海\*2 同 清家剛\*3 同 山田哲\*4 同 福山洋\*5

大規模空間 吊り天井 脱落被害  
耐震天井 実大加振実験 E-ディフェンス

はじめに

大地震発生時の避難拠点となる学校体育館などの大規模建築物については、避難拠点として災害発生後も使用可能であり、災害発生後の余震にも耐えうる施設であることが求められている。しかし、東日本大震災では本震に加えて最大震度6弱以上の余震が多数回発生し、学校体育館などでは柱脚の損傷やブレース材(斜材)が破断するなどの構造部材の被害および天井材等の非構造部材や照明等の設備機器の落下被害等により、地震後の避難拠点としての機能を満たさない事例が報告されている<sup>1)</sup>。また、天井等脱落等については、学校体育館以外で発生した被害も含めると、約2000件発生したと報告されており、これにより死者5名、負傷者72名以上の人的被害があったとされている。このような被害は人命保護の観点から、あってはならない事象であり、最優先で対策されるべき課題であるといえる。

これらの天井脱落被害を受け、国土交通省では平成25年7月に建築基準法施行令を改正(平成26年4月施行)し、「6m超の高さにある水平投影面積200m<sup>2</sup>超、単位面積質量2kg/m<sup>2</sup>超の吊り天井で、人が日常利用する場所に設置されているもの」を「脱落によって重大な危害を生ずる恐れがある天井」(特定天井)とし、脱落防止対策を義務づけることとした<sup>2)</sup>。また、文部科学省では、「学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究」において「学校施設における天井等落下防止対策のための手引き」の作成を行っている。平成25年5月時点で、公立小中学校施設のうち、吊り天井を有する屋内運動場当施設が6554棟(全棟数34438棟の19%)あることが判明しており、手引きなどを活用して学校体育館などの天井等の総点検・対策を推進している

これらは、地震後の被災調査から推定された破壊メカニズムや各所で実施されている天井要素の実験の結果等を根拠としている。しかしながら、天井要素のみを取り出した実験では脱落被害の再現が難しく、そもそも天井がどう壊れ、どのように脱落するのかがはいまだ明らかにされていないのが現状である。

そこで防災科学技術研究所では、「学校施設における大規模建築物の実験研究プロジェクト」を立ち上げた。この実験研究プロジェクトでは、学校施設の体育館をモデ

表1 研究計画

実験時期	主体構造	天井
平成26年 1月27,28日	純鉄骨造 柱:鉄骨造	耐震対策されていない天井
平成26年 2月27,28日	屋根:鉄骨 山形架構	H26.4 施行の基準に準拠した耐震天井
平成28年度 (予定)	柱:RC造 屋根:鉄骨 置屋根構造	H26.4 施行の基準に準拠した耐震天井
		大地震にまで対応する高耐震天井



図1 研究スケジュール

ル化した大規模空間を有する試験体の加振実験を実施し、大規模空間での地震被害の発生を引き起こす構造体と非構造部材の応答特性を明らかにすることで、被害軽減技術や対策の提案を行うことを目的としている。

研究計画と試験体の設定

表1および図1に本プロジェクトの研究計画を示す。平成26年1月および2月に天井脱落被害再現実験および同年4月施行の技術基準(以下H26技術基準とする)に基づく耐震天井の耐震余裕度検証実験を実施した。本実験で使用する試験体の詳細はその2以降で述べるが、大規模空間に設置された天井脱落被害の再現を目的として、E-ディフェンス震動台(15m×20m)を大きく超える平面寸法が18.6m×30mの試験体を設計した。文部科学省・国立教育政策研究所文教施設研究センターが実施した学校施設における屋内運動場等施設に関する調査報告<sup>3)</sup>を整理すると、平均的な屋内運動場当施設の平面寸法は約25m

表2 学校施設における屋内運動場等施設の構造種別

構造形式	1981年～		～1980年	
Sタイプ 純鉄骨造	56	14.1%	32	14.7%
RSタイプ 1層目：RC造 2層目：鉄骨造 屋根：鉄骨造	114	28.6%	105	48.4%
Rタイプ 柱：RC造 屋根：鉄骨造	228	57.3%	80	36.9%
合計	398		217	

×30mであったため、実験を実施する上での制約なども考慮した結果、この寸法に最も近い18.6m×30mという平面寸法を選択した。この平面寸法は、これまで実施してきたEーディフェンス振動実験の試験体の中でも最大の平面寸法を有している。純鉄骨造体育館を最初の実験試験体として選定した理由は、鉄骨構造は鉄筋コンクリート構造に比較して繰り返し実験を行っても特性の変化が小さいことに加え、重量が軽いために張り出した架台梁の振動が相対的に小さく、試験体の応答に及ぼす影響が小さいと考えたことによる。

試験体には屋根面と同じ勾配を有する吊り天井を設置する。天井の平面投影面積は558m<sup>2</sup>(=30m×18.6m)、頂部での天井面の高さは約7.5mであり、この天井は特定天井である。今回の実験では、実験期間中に天井の張り替えを行い、2種類の天井の実験を実施した。1つは、国土交通省による技術的助言等が出された平成13年よりも前の考え方で設計・施工された、いわゆる未対策天井であり、主に落下被害メカニズムの解明に主眼を置いている。もう1つは、H26技術基準の仕様ルートに基づいて設計された耐震対策天井(以下、耐震天井とする)であり、耐震天井の耐震性と耐震余裕度の検証を行う。

一方、平成28年度の実験では、鉄筋コンクリート柱の上に鉄骨山形架構を載せた鉄骨置屋根構造の体育館(Rタイプ体育館)を模擬した試験体による実験を計画している。表2は、文部科学省・国立教育政策研究所文教施設研究センターが実施した学校施設における屋内運動場等施設の構造種別についての調査結果<sup>3)</sup>のうち、天井が施工されている施設についてまとめた表である。表2が示すとおり、近年はRタイプが多い傾向にあり、他の構造形式よりもRタイプ体育館の方が天井被害報告も多い<sup>4)</sup>。そのため、平成25年度の実験で得られたSタイプ体育館の実験データも活用し、張り出した梁の振動が試験体に悪影響を与えないようRタイプ体育館の設計を行い、構造形式の違いによる屋根面および天井面の応答の違いについても含め、検証する予定である。

また、試験体内部に設置する天井は、H26技術基準に従い設計した耐震天井と、H26技術基準で想定されている地震動以上の揺れにも対応する高耐震天井の2種類を計画している。耐震天井の耐震余裕度の検証および高耐震天井の有効性についての検討を行う予定である。

## まとめ

防災科学技術研究所では「学校施設における大空間建築物の実験研究プロジェクト」を立ち上げ、大規模空間に設置された吊り天井の脱落被害低減のための技術開発を進めている。このプロジェクトの一環として、平成26年1月には大規模空間に設置された吊り天井の脱落被害再現実験を、同年2月には大規模空間に設置された耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験を行った。その2以降ではこの実験に使用した試験体の詳細と実験の結果について報告する。

## 参考文献

- 1) 山田哲, 松本由香, 伊山潤, 五十子幸樹, 吉敷祥一, 池永昌容, 島田侑子, 小山毅, 見波進, 浅田勇人: 東北地方太平洋沖地震等で被災した鉄骨造文教施設の調査 - 調査の概要 -, 日本建築学会技術報告集, 第18巻, 第40号, pp.935-940, 2012.
- 2) 一般社団法人 建築性能基準推進協会: 建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説, 2013.
- 3) 文部科学省: 学校施設の屋内運動場等の天井等に関する実態調査結果(速報)について, 学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究, 第2回会議資料, 資料2, 2012.
- 4) 文部科学省: 学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究報告書-校舎等における非構造部材の耐震対策の推進について-, 学校施設における非構造部材の耐震対策の推進に関する調査研究協力者会議, 2014.

## 謝辞

(独)防災科学技術研究所の運営費交付金PJによる学校施設における大空間建築物の実験研究分科会(委員長壁谷澤寿海教授)の下部組織である実験検討ワーキングでは、(株)桐井製作所荒井智一氏、(独)建築研究所石原直氏、東京大学伊山潤准教授、八潮建材工業株式会社岩下裕樹氏、横浜国立大学江口亨准教授、堀江建築工学研究所太田勤氏、三洋工業株式会社金井貴浩氏、(株)オクジュ-高岡昌史氏、(株)竹中工務店吉澤睦博氏(50音順)より、実験計画策定と試験体設計に関し、多数のご助言をいただいた。また、文部科学省大臣官房文教施設企画部施設企画課防災推進室の廣田貢氏に文教施設に関する情報を多数提供いただいた。ここに記して厚くお礼を申し上げる。

\*1 (独)防災科学技術研究所

\*2 東京大学教授

\*3 東京大学准教授

\*4 東京工業大学教授

\*5 (独)建築研究所

\*1 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention

\*2 Professor, University of Tokyo

\*3 Associate Prof., University of Tokyo

\*4 Professor, Tokyo Institute of Technology

\*5 Building Research Institute