

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2 試験体構造設計および未対策天井の設計

正会員 ○佐々木智大*1 同 青井淳*1 同 田川浩之*1 同 梶原浩一*1
同 荒井智一*2 同 金井貴浩*3 同 高岡昌史*4 同 岩下裕樹*5

大規模空間 吊り天井 脱落被害
構造設計 実大加振実験 E-ディフェンス

はじめに

防災科学技術研究所では、大規模空間に設置された吊り天井の加振実験を行い、これにより脱落被害低減技術の開発を進めている。本報では、その1に引き続き、試験体の構造設計、加振計画および未対策天井の設計について述べる。

構造設計

写真1に試験体を、表1に試験体の主な仕様を示す。この試験体は、小中学校で使用される鉄骨造体育館を想定して設計した。平面寸法は18.6m×30mであり、E-ディフェンス震動台を大きくはみ出す試験体である。試験体の屋根は、約10:3の勾配を持つ山形屋根とし、試験体の高さは最も高いところで9.09mである。



写真1 実大体育館試験体
表1 試験体の主な仕様

項目	仕様	
構造、階数	鉄骨造 平屋建て	
質量	約 250t(天井材を含む)	
最大高さ	9.090m	
平面寸法	30.0m×18.6m (6スパン×6スパン)	
設計	許容応力度設計 ($C_0 = 0.2$) 地震時保有水平耐力による照査を実施	
使用部材	柱(妻面除く)	H400×200×8×13 (SS400)
	妻面の柱	H250×125×6×9 (SS400) H300×150×6.5×9 (SS400)
	大梁	H400×200×8×13 (SS400)
	小梁	H248×124×5×8 (SS400)
	鉛直ブレース	M20, M27 (SNR400B) T.B.付き (パイプ式)
	水平ブレース	M16 (SNR400B) T.B.付き (パイプ式)

試験体の設計では、標準層せん断力係数 $C_0 = 0.2$ に対して許容応力度設計を行った。妻面以外の柱および大梁は H400×200×8×13、小梁は H248×124×5×8、妻面の柱は H250×125×6×9、H300×150×6.5×9、基礎梁は H900×300×16×28 (一部テーパ一部有り) である。これらに使用する鋼材種は SS400 材とした。なお、震動台から張り出した基礎架台の梁における振動を極力低減できるように、架台梁の H 形鋼には十分な量の補剛材を設け弱軸および捻れの剛性を高めている。また、垂直ブレースは、妻面は径 20mm、それ以外は径 27mm のターンバックルブレースを、屋根面の水平ブレースは径 16mm のターンバックルブレースとした。これらの鋼材種は SNR400B である。

この試験体の内部に吊り天井を設置して加振実験を実施した。吊り天井の動きが外部から確認しやすいよう、屋根、外壁材は省略した。ただし、屋根材の質量の分については、振動特性に与える影響が大きいことから、これと等価な質量を持つ鋼板 (1m×1m×64mm) を大梁の上に 60 枚(30分)設置し、試験体の応答が実際の体育館の挙動を再現できるよう調整している。

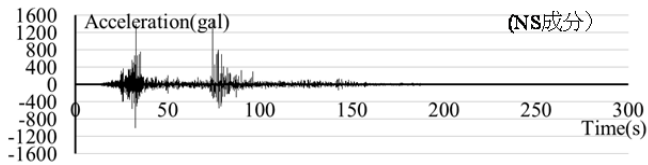
1 次設計の後に、地震時保有水平耐力に基づく地震時安全性の照査を実施した。表2にその結果を示すが、地震時保有水平耐力は、梁間方向には必要耐力の 2.42 倍、桁行方向には 1.68 倍あり、十分な耐力があることがわかる。

加振計画

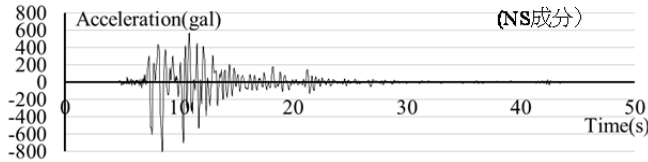
加振実験では 2011 年東北地方太平洋沖地震において防災科学技術研究所の強震観測網(K-NET)の仙台観測点で観測された加速度記録 (K-NET 仙台波)¹⁾および 1995 年兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された加速度記録 (JMA 神戸波) を用いる。入力方向は、K-NET 仙台波、JMA 神戸波いずれも梁間方向に NS 成分、桁行方向に EW 成分、上下方向に UD 成分とした。K-NET 仙台波と JMA 神戸波の梁間方向に入力した NS 成分の時刻歴波形を図1に、減衰定数を 5% として得られる加速度応答スペクトルを図2に示す。実験では、加速度振幅を適切なレベルに縮小 (もしくは拡大) して入力した。事前解析

表2 地震時保有水平耐力の照査

方向	階	Ds 値	基準保有耐力 Qud	必要保有耐力 Qun	保有耐力 Qu	Qu/Qun
桁行	1	0.45	835 kN	376 kN	631 kN	1.68
	2	0.45	1014 kN	456 kN	776 kN	1.68
梁間	1	0.40	835 kN	334 kN	809 kN	2.42
	2	0.40	1014 kN	406 kN	983 kN	2.42

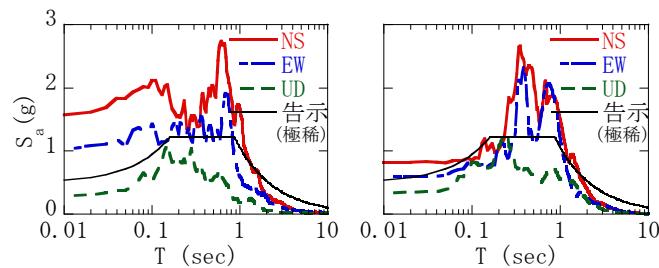


(a) K-NET 仙台波



(b) JMA 神戸波

図1 入力地震動



(a) K-NET 仙台波

(b) JMA 神戸波

図2 加速度応答スペクトル(5%減衰)

によると、屋根面での最大水平加速度が 1.1G 程度となるのは仙台波 25%加振, 2.2G 程度となるのは仙台波 50%加振である。未対策天井の実験では仙台波 5%, 25%加振の後, 50%加振を 2 回実施した。耐震天井の実験では, 仙台波を 5%, 25%, 50%, 80%, 100%の順で入力した後, 神戸波を 100%, 150%で加振した。但し仙台波 100%は, 加振機の性能限界のため, 20Hz の LPF でフィルター処理して入力している。

未対策天井の設計

表 3 は未対策天井の仕様である。また, 図 3 に試験体内に施行した未対策天井を示す。未対策天井は, 過去の地震被害で観測された脱落被害の再現によりその被害メカニズム解明することを目的として設計した。勾配は屋根勾配と同じとしている。既存の天井では, 棟直下の天井面を水平にしたり, 屋根勾配よりも緩やかな勾配を持つ勾配天井にしたりするケースも多いが, あえて同じ勾配とした。これは, 技術基準の仕様ルートでは, 吊り長さは一定にすることが求められ, 耐震天井もこれに従って設計することから, 耐震天井とのメカニズムの違いなどの比較検討が容易になるよう, 同じ勾配とした。

使用する下地材は, ブレースやクリアランスがない, 既存の施設で一般的に使用されてきた天井と同様に, JIS 規格 19 形天井下地材とした。ク

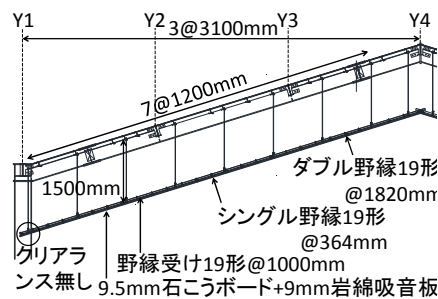


図3 未対策天井

リップは JIS 規格に従ったものを, ハンガーは JIS 規格品と同等の形状を持ちつつ, 勾配天井用に加工された首振りハンガーとした。

天井の吊り元となる母屋材は C 形鋼 (C-100×50×20) とし, これに吊りボルト用の穴を開けたアングル材を工場溶接にて接合し, w3/8 吊りボルトで天井を吊り下げる構造とした。吊り元の仕様としては既存の天井に比べるとより頑丈な構造となるが, これは屋根を省略したことにより, 吊り元の挙動の再現性に難があることから, この部分での損傷を避けるようにしたためである。吊り長さは 1.5m とし, 小中学校の体育館で設置される天井の中でも長い吊り長さを採用した。技術基準の仕様ルートでは 3m の吊り長さまでが適用範囲となっているが, ブレースの設置の難易度なども考慮した場合, 1.5m 程度の吊り長さが施工可能な最も長い例と考えたものである。吊りボルト間隔は, 梁間方向は 1147 mm (屋根面沿いに 1200 mm), 桁行方向は 1000 mm とした。

仕上げは 9.5mm 厚石膏ボードと 9mm 厚岩綿吸音板を組み合わせたものを使用し, 単位面積あたりの天井質量は 13.1 kg/m² である。なお, 天井面周囲の壁, 柱周りにはクリアランスは無い。

まとめ

本報では, 試験体の構造設計, 加振計画および未対策天井の設計についてまとめた。

参考文献

1) 防災科学技術研究所: 全国強震観測網 (K-NET), <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/> 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では, 東京大学壁谷澤寿海教授(委員長), 東京大学清家剛准教授, (独)建築研究所福山洋氏, 東京工業大学山田哲准教授(50 音順)より, 実験検討ワーキングでは, (独)建築研究所石原直氏, 東京大学伊山潤准教授, 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, (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。ここに記して厚くお礼を申し上げます。

表 3 未対策天井の仕様

平面積	18.6×30.0m(558m ²) 見付面積 583m ²
吊りボルト	3/8"吊りボルト (3分)
吊り長さ	1500mm
吊り間隔	1147×1000mm
野縁受け	JIS19 形@1000mm
ハンガー	JIS ハンガー加工品 (勾配天井用)
シングル野縁	JIS19 形@364mm
ダブル野縁	JIS19 形@1820mm
クリップ	JIS19 形用
天井仕上げ材	石膏ボード 9.5mm (ビスピッチ 周辺 150mm, 中間 200mm) + 岩綿吸音板 9mm
天井質量	13.1kg/m ²

*1 (独)防災科学技術研究所
*2 桐井製作所
*3 三洋工業
*4 オクジュー
*5 八潮建材工業

*1 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
*2 Kirii Construction Materials Co., Ltd
*3 Sanyo Industries, Ltd
*4 Okuju Corporation
*5 Yashio Kenzaikogyo Co., Ltd