

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16 耐震天井の損傷メカニズム

正会員 ○佐々木智大<sup>\*1</sup> 同 青井淳<sup>\*2</sup> 同 荒井智一<sup>\*3</sup> 同 金井貴浩<sup>\*4</sup>  
同 梶原浩一<sup>\*1</sup> 同 岩下裕樹<sup>\*5</sup> 同 高岡史<sup>\*6</sup>

大規模空間 吊り天井 在来工法天井  
脱落防止対策 実大加振実験 E-ディフェンス

### 1. はじめに

著者らは、E-ディフェンスを用いた大規模空間吊り天井の実大加振実験に基づき脱落被害低減技術の開発を進めている。本報では、その15に引き続き、平成26年2月に実施した1.1G耐震天井および2.2G耐震天井の耐震余裕度検証実験の結果を分析し、これにより明らかにした耐震天井の耐震余裕度の評価と損傷メカニズムについて報告する。

### 2. 耐震天井の耐力評価とこれに基づくメカニズムの推定

表1に、1.1G耐震天井、2.2G耐震天井の各部材の要素試験結果に基づく耐力評価と、設計想定地震力が作用したときの各部材への作用力を示す。また、表1では、許容加重と作用力の比を安全率と、損傷荷重と作用力の比を耐震余裕度として示す。なお、1.1G耐震天井は耐震クリップの安全率が小さいが、天井ユニット試験にてクリップが損傷することなく斜め部材が座屈することを確認している。水平力に抵抗するクリップを2つと仮定して計算しており、実際には複数のクリップが抵抗するためであり、この値も合わせて示している。また、2.2G耐震天井の斜め部材上部取付金具、下部固定部の許容荷重、損傷荷重は、実験に使用した金具とは異なる、より耐力の小さい金具を用いて評価した結果である点には注意が必要である。

表1によれば、1.1G耐震天井は斜め部材の座屈するよう設計された天井であり、斜め部材が座屈して応答が増加し、損傷に至るとみられる。一方、2.2G耐震天井は、斜め部材を取り付ける金具等の耐力が斜め部材よ

りも小さく、これらの損傷が破壊の起点になると考えられる。

### 3. 部材の作用力と損傷メカニズムの関係

各天井の損傷の状況については、その8、その9を参照いただきたい。ここでは、実験で計測された天井面加速度および斜め部材の作用力と要素試験結果との比較により、耐震余裕度を検証する。図1は実験により計測された天井面加速度を示す。なお、図1中には、各部材の要素試験結果より求められた損傷荷重に相当する荷重が各部材に作用する天井面加速度も比較のために示している。

1.1G耐震天井では、図1によれば、K-NET仙台波50%加振（震度6弱）において梁間方向の天井面最大応答加速度で2.03Gを記録しており、設計水平震度1.1を大きく超えたにも関わらず無損傷であったことになる。その後のK-NET仙台波80%加振（震度6強）では一部の斜め部材で座屈が発生し始めたが、この時の梁間方向の天井面最大応答加速度が3.34Gであった。これに対し、斜め部材が座屈する天井面加速度は1.98Gであり、K-NET仙台波50%加振の時点での天井面加速度がこの値をわずかに超えている。斜め部材の座屈耐力は安全側に評価されていると言える。

一方、1.1G耐震天井と同様に、2.2G耐震天井ではK-NET仙台波100%（震度6強）時に梁間方向の天井面最大

表1 各部材の耐力と安全率

天井	部材	設計想定地震の時に部材にかかる荷重①	許容荷重②	損傷荷重③	設計で考慮した安全率②/①	耐震余裕度③/①
1.1G 耐震 天井	斜め部材	1565N	1938N	2813N	1.2	1.8
	耐震クリップ	783N (261N)	641N	962N	0.8 (2.4)	1.2 (3.6)
	斜め部材 上部取付金具	1565N	4185N	6278N	2.6	4.0
	斜め部材 下部固定部	313N	776N	2328N	2.4	7.4
2.2G 耐震 天井	斜め部材	2844N	4700N	6800N	1.7	2.4
	耐震クリップ	777N	2000N	3000N	2.6	3.9
	斜め部材 上部取付金具	2844N	3800N	5700N	1.3	2.0
	斜め部材 下部固定部	3107N	4200N	6300N	1.4	2.0

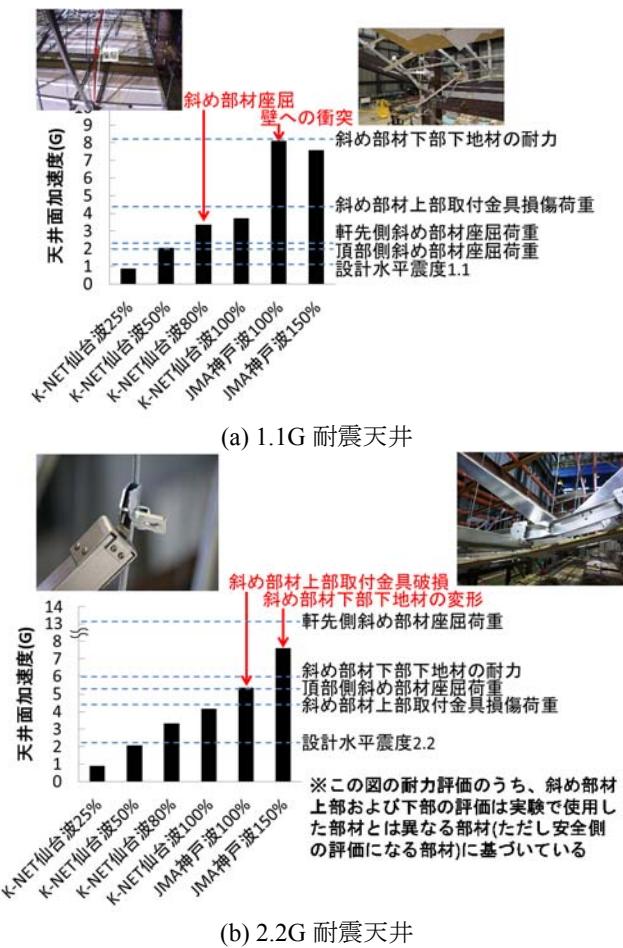


図 1 天井面加速度と各部材の耐力

応答加速度が 4.14G と設計水平震度 2.2 を大きく超えたにも関わらず、一部の斜め部材上部取付金具のずれ下がりが生じたのみであり、ほぼ無損傷状態を保っている。JMA 神戸波 100% 加振（震度 6 強）で、梁間方向の天井面最大応答加速度が 5.34G に達し、斜め部材上部取付金具の破断が生じた。この時点で、斜め部材上部取付金具に作用する荷重が金具の耐力に達する加速度を超えていた。また、JMA 神戸波 150% 加振（震度 7）で、梁間方向の天井面最大応答加速度が 7.60G に達し、斜め部材下部の下地材が大きく変形したが、この天井面加速度は、天井ユニット試験より求まる下地材の変形荷重に相当する加速度を超えていた。金具が先行して損傷するよう設計された 2.2G 耐震天井は、各金具の要素試験により求まる耐力に対応する天井面加速度で金具が損傷していき、最終的に脱落に至った。各金具の要素試験により求まる耐力とこれを用いた天井の耐力評価が妥当であったと言える。

斜め部材作用力を表 2 に示す。1.1G 耐震天井では、K-

表 2 斜め部材の最大作用力と各部材の耐力

(a) 1.1G 耐震天井 (K-NET 仙台波 80% 加振)

部材	損傷荷重①	作用荷重②	②÷①
斜め部材(梁間頂部側)	2813 N	4163 N	1.5
斜め部材(梁間軒先側)	3296 N	4387 N	1.3
斜め部材(平行方向)	2907 N	1726 N	0.6
斜め部材上部取付金具	6278 N	4387 N	0.7
斜め部材下部固定部	9003 N	5324 N	0.6

(b) 2.2G 耐震天井 (K-NET 仙台波 100% 加振)

部材	損傷荷重①	作用荷重②	②÷①
斜め部材(梁間頂部側)	6800 N	3739 N	0.6
斜め部材(梁間軒先側)	16965 N	8566 N	0.5
斜め部材上部取付金具	5700 N	8566 N	1.5
斜め部材下部固定部	6300 N	4649 N	0.7

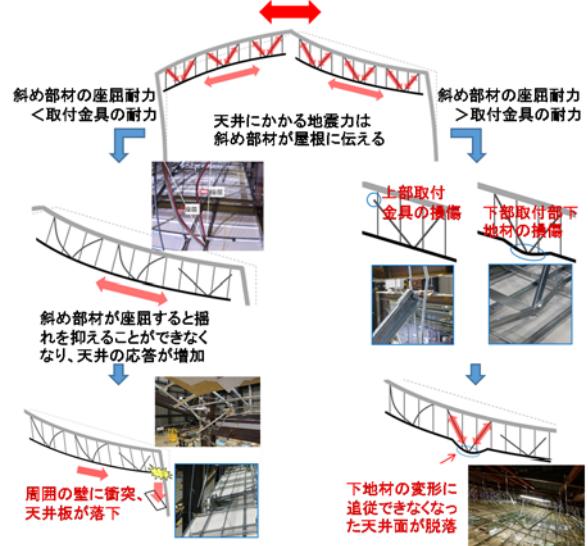


図 2 耐震天井の損傷メカニズム

NET 仙台波 80% 加振時に梁間方向の斜め部材が座屈した。これに対応するように梁間方向では、斜め部材に座屈耐力を上回る荷重が作用した。一方座屈していない平行方向の斜め部材に作用した荷重は、座屈荷重の 0.6 倍と小さく、座屈していない結果に矛盾しない。

一方、2.2G 耐震天井では、K-NET 仙台波 100% 加振時に斜め部材上部取付金具の耐力の 1.5 倍に相当する荷重が斜め部材に作用しており、斜め部材上部取付金具が滑った事実に矛盾しない。

図 2 は耐震天井の損傷メカニズムである。斜め部材の座屈耐力とこれらを取り付ける金具の耐力のバランスの違いにより異なる損傷メカニズムを示す。

#### 4. まとめ

耐震天井の損傷メカニズムと各部材の耐力の関係について整理した。これらの耐力バランスにより損傷メカニズムが異なることに注意が必要である。

\*1 国立研究開発法人 防災科学技術研究所  
 \*2 株式会社 竹中工務店 技術研究所  
 \*3 株式会社 桐井製作所  
 \*4 三洋工業株式会社  
 \*5 八潮建材工業株式会社  
 \*6 株式会社 オクジュー

\*1 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention  
 \*2 Research & Development Institute, Takenaka Corporation  
 \*3 Kirii Construction Materials Co., Ltd.  
 \*4 Sanyo Industries, Ltd.  
 \*5 Yashio Kenzaikogyo Co., Ltd.  
 \*6 Okuju Corporation