

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15 未対策天井の脱落被害メカニズム

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

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

1. はじめに

筆者らは、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を行い、脱落被害低減技術の開発を進めている<sup>1)2)</sup>。平成26年1月には、同年4月より施行されている告示<sup>3)</sup>で示された特定天井に該当し、天井脱落対策が施されていない既存の天井（以下、未対策天井）を対象とした脱落被害再現実験を実施している。本報では、その後の詳細な実験結果分析により明らかとなった未対策天井の脱落被害メカニズムについて報告する。

2. 実験結果分析

未対策天井を対象に実施した加振実験の各加振ケースごとの振動台加速度、屋根面加速度、天井面加速度および被害状況を表1に示す。詳細な被害状況についてはその7を参照頂きたい。なお、加速度は、図1に示す各観測点位置における加速度最大値の平均を取った値を記載している。また、鉛直方向の天井面加速度と要素試験結果から評価される各部材の耐力に相当する加速度との関係を図2に示す。

図2より、K-NET 仙台波 25% 加振の時点で、野縁受けの許容曲げ応力度を超える曲げモーメントに相当する鉛直加速度が生じている。そのため、野縁受けが倒れ込むような変形が生じ、その結果ハンガーやクリップが緩み、野縁受けがずれ動いて蛇行が発生したと思われる。その後の K-NET 仙台波 50% 1 回目加振において天井頂部ハンガーの外れおよびクリップの損傷、2 回目加振にて仕上げ材の脱落が生じたが、クリップが損傷する加速度には達していなかった。ひずみゲージから求めた吊りボルトの軸力（図3：計測位置は図1参照）を見ると、最も軸力の大きい CS003 では、クリップの耐力に相当す

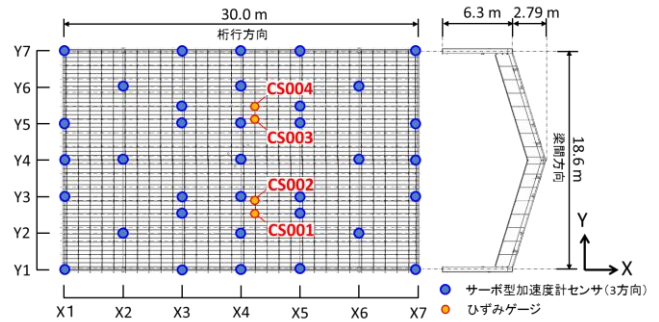


図1 加速度計とひずみゲージの計測位置

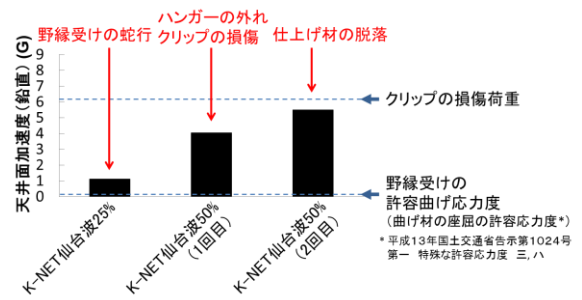
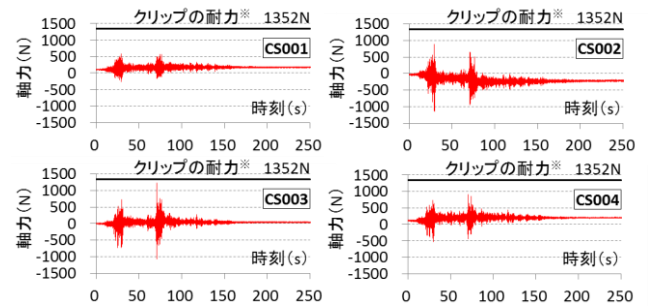


図2 天井面加速度（鉛直）と各部材の耐力評価



※ クリップ1個の耐力(338N) ÷ クリップの負担面積(0.3m<sup>2</sup>) × 吊りボルトの負担面積(1.2m<sup>2</sup>)

図3 吊りボルトの軸力  
(K-NET 仙台波 50% 1 回目加振時)

表1 各加振ケースごとの加速度最大値と被害状況

加振ケース	振動台加速度(G)			屋根面応答加速度(G)			天井面応答加速度(G)			被害状況	
	梁間	桁行	鉛直	梁間	桁行	鉛直	梁間	桁行	鉛直		
K-NET仙台波 25%	0.35	0.20	0.09	1.38	1.97	1.42	1.36	0.88	1.12	ハンガー・クリップのずれ、野縁受けの蛇行。	
K-NET仙台波 50%	1回目	0.77	0.44	0.21	2.72	3.35	2.49	6.21	2.76	4.04	ハンガー・クリップが外れ、天井面がたわむ。
	2回目	0.77	0.46	0.21	2.79	3.48	2.73	7.99	4.15	5.51	たわんだ天井面が大きく振動し、脱落。

※ 屋根面応答加速度および天井面応答加速度は各観測点の加速度最大値の平均を取った値を記載

る荷重が作用しており、棟側の吊りボルト(CS002,CS003)の軸力は、軒側の吊りボルト(CS001,CS004)の軸力に比較して大きい。これは、天井頂部のハンガーが外れたことによってその周囲の吊りボルトの負担が増加したためであり、CS002,CS003よりも棟側の吊りボルトではより大きい軸力が作用したと思われる。また、野縁受けの変形によってクリップの耐力が低下していたとも考えられ、以上の要因により、クリップが損傷し、天井脱落に至ったものと考えられる。

### 3. 未対策天井の脱落被害メカニズム

その7において報告した未対策天井の損傷過程を踏まえ、前項に示す実験結果の分析を行った結果、明らかとなった未対策天井の脱落被害メカニズムを図4に示す。未対策天井では、まずクリップやハンガーなどの接合部がすべり、野縁受けの蛇行が発生する。さらに強い揺れを受けた際には、未対策天井にはクリアランスがないため、図4-①に示す様に、壁に向かう方向への天井面の水平慣性力に対しては壁で受け止めて抵抗する。しかし、壁から離れる方向の慣性力に対しては抵抗しない。そのため、例えば図4-①の状況では、右側の天井が左方へ移動しようとして、ビスで固定されて繋がった頂部の野縁受けの部分に荷重が作用する。また、左側の天井の慣性力は天井中央に作用し、左端部の壁と接している部分からは反力を受ける。つまり、これらの荷重の作用点の位置関係から、壁を起点として頂部側が持ち上がるようなモーメントが働き、頂部が持ち上がることになる。このモーメントに対しては吊りボルトおよびハンガーで抵抗

する必要があるが、ハンガーに十分な耐力が無い場合には、ハンガーが損傷して野縁受けが外れることとなる(図4-②)。天井頂部のハンガーから外れた原因はこのようなメカニズムによるものと考えられる。

天井頂部のハンガーが外れると、その箇所でも負担していた荷重が隣(軒先側)の吊りボルトに加わることとなり、その吊りボルト周辺のクリップの負担が増加することとなる(図4-③)。その結果、増加した負担に耐えられなくなり、クリップの外れが生じたと考えられる。

その後は、最初に損傷した箇所を起点として周囲のクリップの負担荷重が更に増大するため、損傷が周囲に進展していき、天井面が大きいたわんだ状態となった(図4-④)。そして、この後の加振により、たわんだ天井面が大きく振動することでクリップの外れは更に広がり(図4-⑤)、振動による慣性力を周囲の天井面では支えきれなくなって最終的に仕上げ材の脱落に至ったものと考えられる(図4-⑥)。野縁で繋がれた仕上げ材が脱落したため、その野縁が隣のせつこうボードを引っ張ってしまい、次々と周囲の仕上げ材が脱落する結果となった。

### 4. まとめ

斜め部材・クリアランスがない未対策天井では、地震力により頂部が持ち上がるモーメントが作用してハンガー・クリップの外れが生じ、脱落が生じるというメカニズムが明らかとなった。

【参考文献】1) 佐々木智大ほか、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～その13、日本建築学会大会学術講演梗概集、2014.9 2) 佐々木智大ほか、大規模空間吊り天井の脱落被害メカニズム解明のためのE-ディフェンス加振実験 報告書、防災科学技術研究所研究資料、No.391、2015.02. 3) 平成25年国土交通省告示第771号。

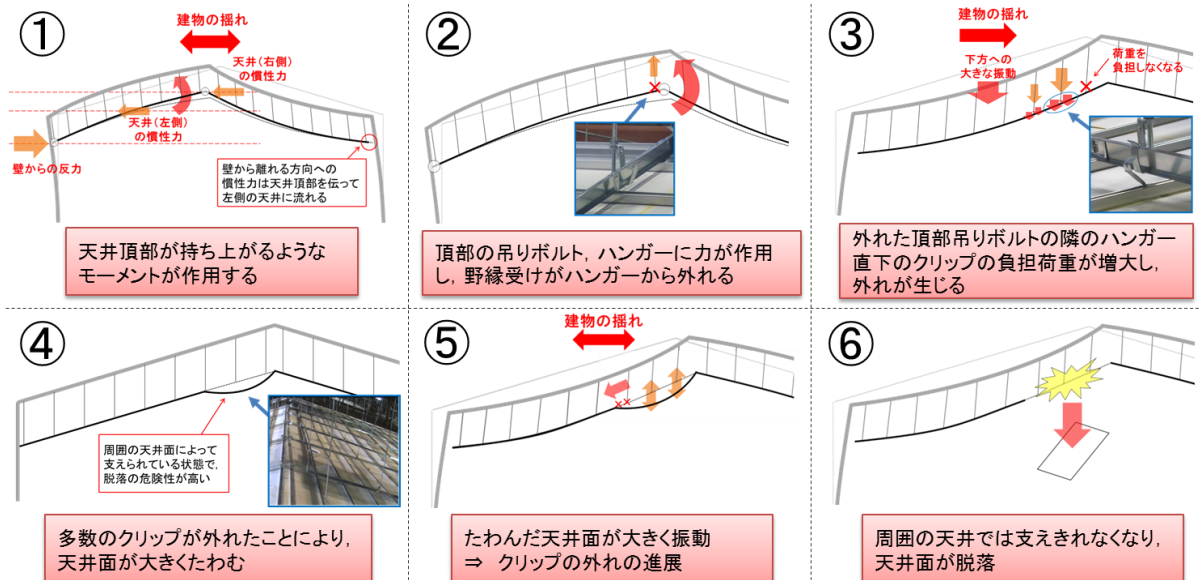


図4 未対策天井の脱落被害メカニズム

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

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