

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8 1.1G耐震天井の応答

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

吊り天井 耐震天井 特定天井
加振試験 斜め部材 E-ディフェンス

1. はじめに

その1に引き続き、E-ディフェンスを用いた大規模空間吊り天井の加振実験における1.1G耐震天井の実験結果について報告する。

2. 実験結果

加振ケースおよび天井面応答加速度の梁間方向(NS成分)、桁行方向(EW成分)、上下方向(UD成分)3成分の最大値および、天井面変位梁間方向、桁行方向の最大値および損傷状況を表1に示す。

K-NET 仙台波 50%における天井面最大応答加速度は梁間方向で1.5Gとなり、設計水平震度1.1に相当する加速度を超えていたが、一部ハンガーに若干のずれが見られたものの、それ以外に損傷は見られなかった。

続いて行ったK-NET 仙台波 80%では、天井面最大応答加速度が梁間方向で2.18Gとなり、ほぼ設計想定値の2倍に相当する加速度が生じた。その結果、梁間方向に配置された3列のV字状斜め部材のうち、軒先側Y6-Y7間(図3参照)V字組の棟側斜め部材に座屈が生じた。座屈状態は写真1のとおり。設計上、斜め部材の座屈箇所に偏りが生じる可能性は少ないと考えている。このような性状の解明については、より詳細な検証が必要と思われる。また、一部の斜め部材上端接合部金物と吊元の間に数ミリ程度の隙間が生じていた。しかし、それ以外に大きな損傷は見られなかった。天井面の応答については各種センサにより計測しており、係るセンサの設置位置は、その7の通りである。その中でも加速度はX4-Y5(梁間方向)、変位については最大変位を示したX1-Y7(梁間方向)に注目し、80%加振時の時刻歴を図1、図2に示す。

K-NET 仙台波 100%では、天井面最大応答加速度が梁間方向で2.52Gとなり、設計で想定している地震力を大きく超える加振となった。既に80%加振時に一部の斜め部材に座屈が生じていた為、100%加振時には設計値より耐力が低下しており、多くの斜め部材に座屈変形が生じた。

座屈のほとんどはY5-Y7間(図3参照)で発生し、梁間方向ではV字状斜め部材のうち棟側軒側両方が、桁行方向ではY6-Y7間の斜め部材に座屈が生じた。梁間方向

の座屈変形量は棟側に設置された斜め部材の方が大きく、「く」の字に変形が残留した。K-NET 仙台波 100%加振後の斜め部材の座屈状況を写真2に示す。

斜め部材が大きく変形した箇所は、それを固定している上端接合部金物が吊りボルトに沿って下がり吊元間に数センチ程度の隙間が生じていた。これは、金物-吊りボルト間の微小なクリアランスが加振時に一時的に広がったことが起因していると考えられる。また、X1通り

表1 天井面応答加速度と天井面変位の最大値

加振ケース	天井面応答加速度 (G)			天井面変位 (mm)	
	梁間方向	桁行方向	上下方向	梁間方向	桁行方向
仙台波 25%	0.63	0.54	0.77	10.62	7.45
仙台波 50%	1.5	1.29	1.78	28.19	17.49
仙台波 80%	2.18	1.53	3.08	60.51	41.16
仙台波 100%	2.52	2.19	3.42	—	—
神戸波 100%	4.77	2.38	5.58	—	—
神戸波 150%	4.45	3.38	4.38	—	—

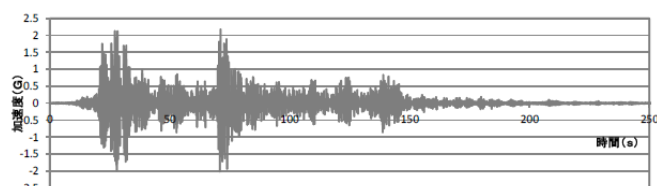


図1 仙台波 80% 天井面加速度時刻(X4-Y5 梁間方向)

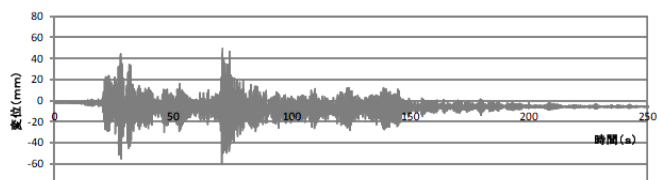


図2 仙台波 80% 天井面変位時刻歴(X1-Y7 梁間方向)

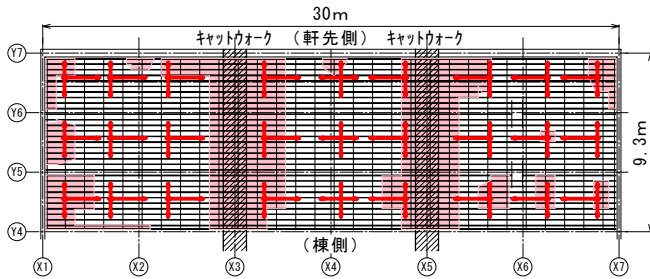


図3 天井平面図と神戸波 150%時の天井板脱落箇所

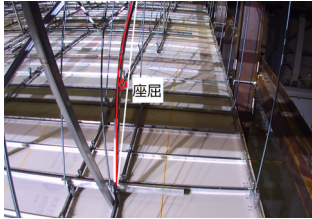


写真1 斜め部材座屈状況
(仙台波 80%)

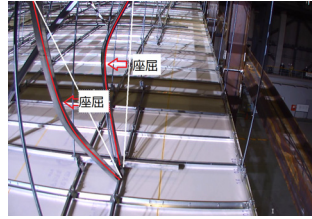


写真2 斜め部材座屈状況
(仙台波 100%)

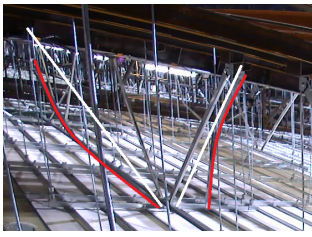


写真3 斜め部材座屈状況
(神戸波 100%)



写真4 斜め部材座屈状況
(神戸波 150%)



写真5 キャットウォークとの
衝突



写真6 天井材の損傷状況

Y5-Y6間(図3参照)の妻側に設置された斜め部材の上部では吊りボルトが破断し、完全に機能しない状態となった。続けて行った JMA 神戸波 100%では既に斜め部材の多くが座屈しており、加振により天井面は大きく応答した。天井面の最大応答加速度は 4.77G に達した。これにより斜め部材はそのほとんどが大きく「く」の字に座屈した。JMA 神戸 100%加振後の斜め部材座屈を写真3に示す。また、斜め部材上端部吊りボルトの破断が発生し、

上端部接合金物の下がりによる隙間が吊元間に 50cm 程度生じた。また、大きく振動した天井は周囲柱と衝突した。その影響で天井下地材および天井板が大きく変形し、天井板の脱落につながった。尚、この時点で天井下地材は脱落しておらず、天井板についても、連鎖的な崩落はなかった。最後に JMA 神戸波 150%で加振を行った結果、100%加振より更に大きく振動し、斜め部材の座屈、斜め部材上端部吊りボルトの破断、斜め部材下端部ビスの外れ、野縁・野縁受けの変形まで発生した。JMA 神戸 150%加振後の斜め部材の座屈状況を写真4に示す。天井面の大きな振動により、損傷調査用に設置されたキャットウォークに吊りボルトが衝突した。キャットウォーク部にも吊りボルト周囲にクリアランスは設けられているが、斜め部材の座屈により設計想定以上の変位が生じたためである(写真5)。衝突に伴い天井に吊りボルトを介して局所的に衝撃がかかり、キャットウォークに沿って天井下地材が変形した。その変形に追従できない天井板が脱落した。また、周囲柱にもさらに激しく衝突し、天井下地材の変形や、天井板の脱落につながった。しかし、クリップなどにより天井下地材が適切に緊結されており、天井下地材は脱落しなかった。天井材の損傷状況を写真6に、天井板の崩落箇所を図3にそれぞれ示す。

3. まとめ

今回の実験では、設計水平震度 1.1 と設定し設計を行った。実験結果では、設計想定以上の2倍程度の加速度が発生した時点で一部の斜め部材が座屈変形した。これは、その3に示される安全率からいえば概ね妥当な実験結果となっている。ただし、設計想定以上の揺れにより、一部の斜め部材に座屈が生じると、斜め部材の負担面積が大きくなり配置バランスも崩れる為、座屈が始まった周辺の斜め部材から更なる座屈が生じることが考えられる。また、キャットウォークなど、剛性の高い設備が吊りボルト近傍にある場合、衝突により変形が拘束されると地震力が集中し、損傷・脱落につながる可能性がある。設備関係と吊りボルトなども含めた全ての場所でクリアランスを確実にとることが重要である。今回の実験の目的である、「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と天井の脱落被害メカニズム」について、引続き詳細な解析を進める。

参考文献

- 1)国土交通省国土技術政策総合研究所, 独立行政法人建築研究所, 一般社団法人新・建築士制度普及協会: 建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説, 2013.10

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

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