

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10 各天井の脱落被害メカニズムの分析

正会員 ○青井淳*1 同 佐々木智大*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 在来工法天井 耐震天井
脱落被害 伝達関数 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加振実験を行った。本報では未対策天井および2種類の耐震天井の損傷状況に応じた振動特性の変化および脱落被害メカニズムの分析を行う。

2. 損傷状況に応じた振動特性の変化

地震波による加振実験の結果から各加振ケースにおける3種類の天井の伝達関数を図1~3に示す。ここでは、その7~9における各天井の天井面加速度の着目位置と同一の平面位置における屋根大梁と天井面の応答加速度(梁間方向)のフーリエスペクトルの比を天井の伝達関数としている。なお、バンド幅0.4HzのParzen windowを用いた移動平均により平滑化を行った。

2.1 未対策天井

K-NET 仙台波 25%加振時には天井はほぼ無被害であったが、図1における未対策天井の伝達関数によると0.1~0.2秒間にピークがあり、未対策天井の固有周期がおよそ0.1~0.2秒であることがわかる。K-NET 仙台波 50% (1回目)加振時には複数のハンガーやクリップが外れ、天井面が大きくたわんだ状態となったが、この段階で0.2~0.3秒間に大きなピークが現れた。この周期のピークは、たわんだ天井面の振動の周期に対応しているものと考えられる。フレーム構造の梁間方向一次固有周期は0.40秒であり(その6参照)、天井面で応答が増幅されやすい状態になっていたと考えられる。K-NET 仙台波 50% (2回目)の加振では、たわんでいた天井面が大きく振動し、激しい揺れと共に天井が脱落した。この加振では、伝達関数のピークは0.2~0.3秒にあり、1回目と同じ傾向を示している。ただし、伝達関数は全周期帯で、1回目よりも大きくなっており、1回目の加振時よりも大きく応答していたことがわかる。

2.2 1.1G 耐震天井

K-NET 仙台波 25%およびK-NET 仙台波 50%加振時では、1.1G 耐震天井に大きな損傷はなかった。図2に示すように、この時の伝達関数には、0.15秒の部分において明確なピークがあり、1.1G 耐震天井の固有周期がおよそ0.15秒であることがわかる。K-NET 仙台波 80%加振時になると、一部のブレースに座屈が生じたものの、この段階で

はまだ卓越周期には大きな変化は見られない。K-NET 仙台波 100%加振では多数のブレースにて座屈が生じ、加振後も大きな曲げ変形が残留した状態となった。この時の伝達関数は、0.15秒付近にあったピークは低下し、代わりに0.2~0.4秒辺りにピークが見られるようになった。これは、多くのブレースが座屈によりその機能を失ったために天井の剛性が低下し、固有周期が伸びたものと考えられる。JMA 神戸波 100%加振では天井が大きく振動し、天井端部で周囲の柱と衝突、天井ボードが脱落した。この時の伝達関数は1秒前後の周期帯にピークが見られた。ブレースがない場合の天井の固有周期がおよそ1~2

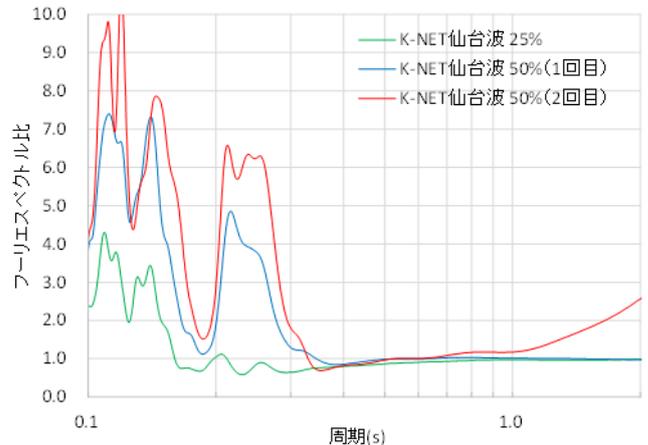


図1 伝達関数 (未対策天井)

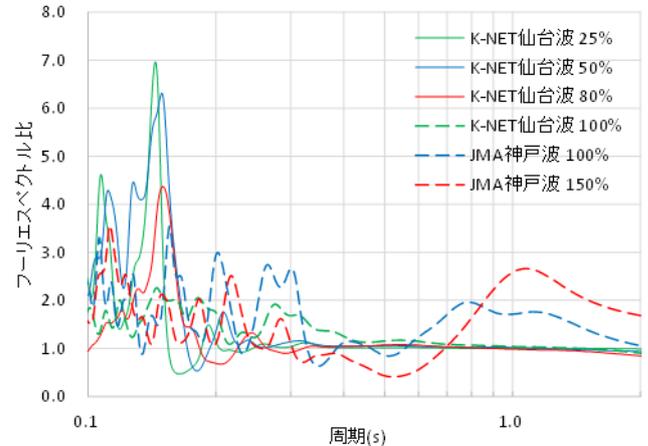


図2 伝達関数 (1.1G 耐震天井)

秒程度であることから、この時点でブレースは機能を失い、応答に影響しない状態であったことがわかる。その後の JMA 神戸波 150%加振時の伝達関数では 1 秒前後にあったピークが更に大きくなっている。ブレースが機能していない状態であったために更に大きく天井が応答し、多数の天井ボード脱落に繋がったものと考えられる。

2.3 2.2G 耐震天井

2.2G 耐震天井は、K-NET 仙台波 25%の加振から K-NET 仙台波 100%加振までの間、ブレース上部取付金具のずれ以外に大きな損傷は確認されておらず、図 3 の伝達関数においてもその卓越周期に大きな変化は見られない。なお、これらの加振実験における卓越周期はおよそ 0.15 秒であった。JMA 神戸波 100%加振ではブレースの上部取付金具が一部破断し、岩綿吸音板が 3 枚程度脱落したが、この段階ではまだ伝達関数に大きな変化は見られなかった。このことは、これらの岩綿吸音板の脱落は、天井下地の損傷とは無関係であり、強い振動によるものであることを示していると思われる。JMA 神戸波 150%の加振にて大半のブレースに座屈や上部取付金具もしくは取付部ボルトの破断が生じ、同時にブレースが取付けられた野縁受けも変形し、多数の天井ボードが落下した。その結果、伝達関数において 0.2 秒～0.4 秒間と 1 秒前後の周期帯でピークが見られるようになった。1.1G 耐震天井と同様に、ブレースが機能しない状態となり、天井の応答が大きくなり、脱落被害につながったことがわかる。

3. 脱落被害メカニズムの比較

これまでの分析により、未対策天井の場合、まずハンガー・クリップ等の接合金物の損傷・外れが発生した結果、天井面が大きく応答し、脱落に至ることがわかった。これに対し、耐震天井では、ブレースが損傷した後に野縁や野縁受けが変形し、その変形に追従しきれなくなった天井ボードが脱落する場合と、ブレース損傷後に天井が大きく応答し、周囲の柱と衝突して天井下地と天井ボードが破壊され、脱落する場合があることがわかった。

なお、写真 1 に示すとおり、未対策天井ではクリップの外れによる脱落であり、天井ボードと野縁が一体となって連鎖的な脱落を引き起こしたが、耐震天井では野縁・野縁受け等の天井下地が相互に緊結されていたために天井下地は脱落せず、全てビスの頭抜けによって天井ボードのみ脱落しており、連鎖的な脱落は生じなかった。

4. まとめ

本報では、未対策天井と耐震天井の振動特性の変化と脱落被害メカニズムの分析を行った。今後は、2 種類の耐

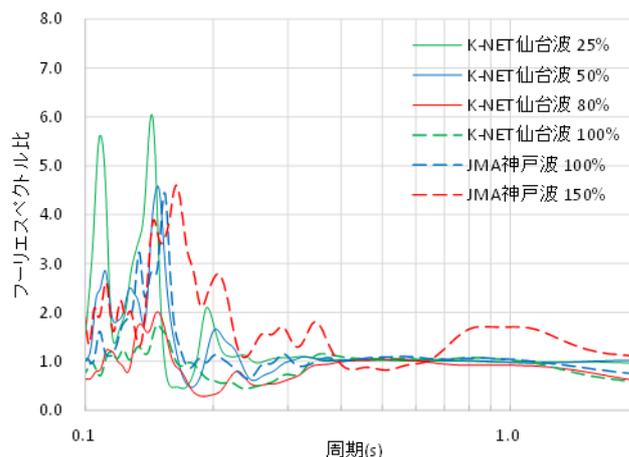
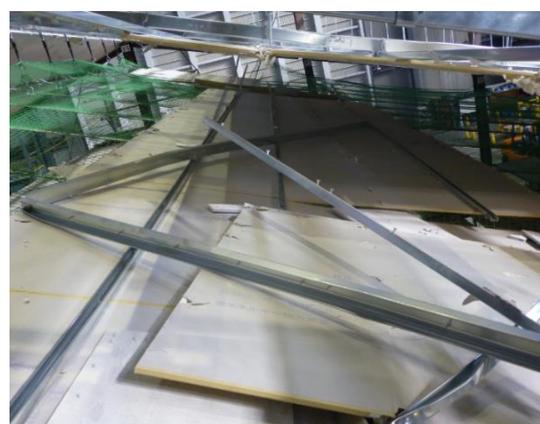
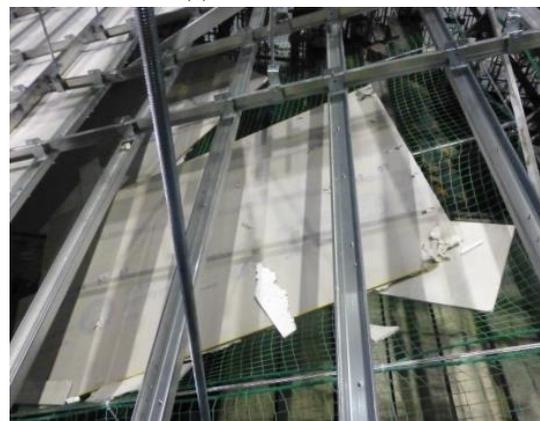


図 3 伝達関数 (2.2G 耐震天井)



(a) 未対策天井



(b) 2.2G 耐震天井

写真 1 脱落した天井ボード

震天井の損傷メカニズムなどにも焦点を当て、より詳細な分析を進めていきたい。

参考文献

- 1) 体育館等の天井の耐震設計ガイドライン, 日本建築センター, 2005.

*1 (独)防災科学技術研究所

*2 桐井製作所

*3 三洋工業

*4 オクジャー

*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