

耐震対策の有無による体育館吊り天井の地震時挙動の比較

正会員 ○前田 弘徳*¹
同 山下 拓三*²
同 磯部 大吾郎*³

天井脱落 体育館天井 耐震対策
地震応答 有限要素法 ASI-Gauss 法

1. 緒言

学校体育館は災害時に避難拠点となるため、災害発生後も使用可能であり余震にも耐えうる施設であることが求められる。しかし、東日本大震災では、天井や照明等の設備機器が落下し、避難拠点としての機能を満たさなかった事例が報告されている[1]。また、天井等の脱落により死者5名、負傷者72名以上の人的被害があったと報告されている[2]。このような天井落下による被害の報告を受け、建築基準法の改正[3]等が行われている。他方、適切な対策を施すには脱落被害メカニズムの解明が必要である。実大三次元震動破壊実験施設(以下、E-ディフェンス)で吊り天井の脱落被害再現実験が実施され[4]、メカニズム解明のための有用な知見が得られたが、異なる形状の天井の脱落被害メカニズムの解明には様々な条件での実験が必要とされる。しかし、大規模な実験を何度も実施するには時間やコストがかかり困難である。そこで本研究は、未対策天井と耐震天井の脱落被害を、条件やパラメータを容易に変更できる数値シミュレーションにより再現し、脱落や損傷のメカニズムを解明するための知見を得ることを目的とする。天井落下解析には、地震動、弾塑性、破断を含む非線形性の高い解析を安定して行えるASI-Gauss解析コード[5]を用いる。

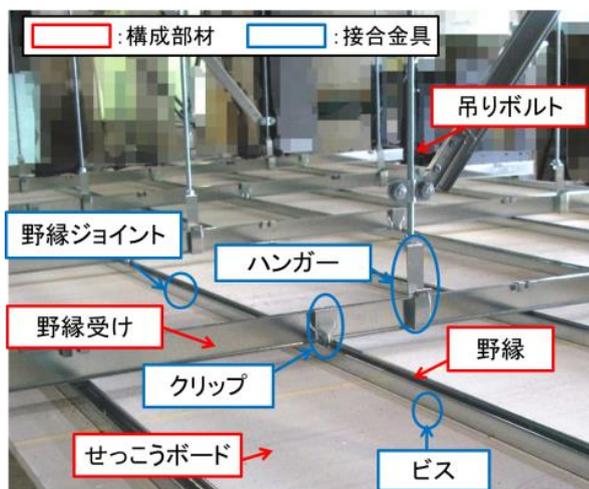


図-1 鋼製下地在来工法天井

2. 体育館天井の概要

体育館には一般に鋼製下地在来工法天井(図-1)と呼ばれる天井が設置されている。天井は吊りボルト、野縁受け、野縁、せっこうボードで構成され、ハンガー、クリップ、ビス、野縁ジョイントと呼ばれる金具で接合されている。本研究では、E-ディフェンスの実験で用いられた2種類の天井を対象とした。1つは、脱落防止対策が施されていない既存の天井(以下、未対策天井とする)である。もう1つは、H26技術基準に基づいて脱落防止対策が施された天井(以下、耐震天井とする)である。未対策天井は鋼製下地在来工法天井であり、天井と壁との間のクリアランスは設けられていない。耐震天井には斜め部材が設置され、構成部材を接合する金具は未対策天井の接合金具より強度の高い金具が用いられている。また、天井と壁の間のクリアランスは60mm設けられている。

3. 解析モデルおよび解析条件

E-ディフェンスの実験で設置された未対策天井と耐震天井の2種類の部分天井モデルを作成した(図-2)。部分天井モデルは、実験で設置された天井の1/9の大きさで、寸法は桁行10m×梁間6.2mである。壁を模擬した横架材を天井と同様にモデル化し、天井と壁との接触を考慮する。未対策天井のクリアランスは1mmであり、耐震天井は60mmである。線形要素を用いてモデル化し、未対策天井の要素数は4,272、節点数は3,465であり、耐震天井の要素数は7,404、節点数は6,610である。表-1に示す脱落条件を導入し、条件を満たした場合にその要素を破断させることで脱落を表現する。K-NET仙台波200%(図-3)の3成分を吊りボルトの上端の全節点に入力し地震応答解析を実施した。解析の時間刻みは0.001s、解析時間は75sである。

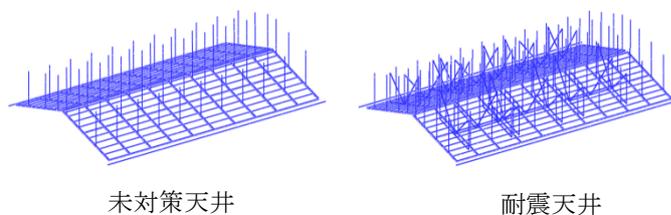


図-2 部分天井モデル

表-1 各接合金具の脱落条件

	未対策天井	耐震天井
ハンガー	引張軸力 ≥ 2.80 kN [4]	
ビス	引張軸力 ≥ 0.40 kN かつ 軸歪 ≥ 0.12 [6]	
	せん断力 ≥ 0.30 kN かつ せん断歪 ≥ 0.72 [7]	
クリップ	シングル腹掛け：引張軸力 ≥ 0.35 kN [4]	耐震クリップ：引張軸力 ≥ 2.50 kN
	シングル背掛け：引張軸力 ≥ 0.70 kN [4]	耐風圧クリップ：引張軸力 ≥ 2.0 kN
	ダブル：引張軸力 ≥ 0.80 kN [4]	
野縁ジョイント	引張軸力 ≥ 0.29 kN かつ 軸歪 $\geq 4.93 \times 10^{-5}$	

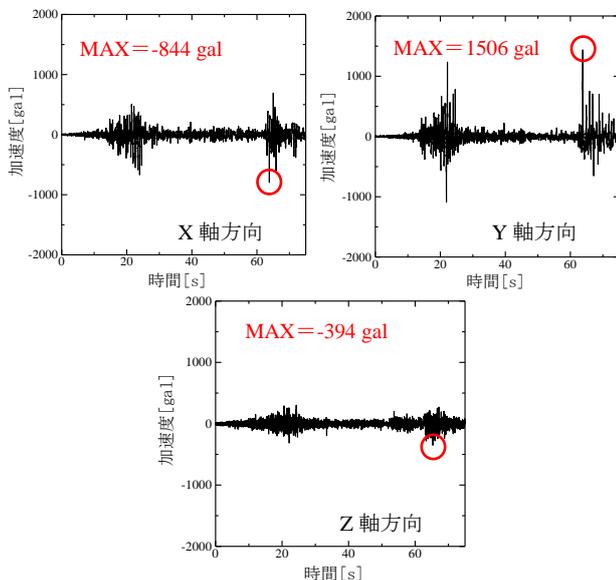


図-3 K-NET 仙台波 200%加速度波形

4. 体育館天井の地震時挙動解析

図-4に25sと70sの天井の様子を示す。K-NET 仙台波の2回目のピークの際、未対策天井の場合は、クリップや野縁ジョイントが脱落し天井が落下する結果となった。未対策天井は大きく揺れ壁と衝突するため、クリップ等の接合金具に衝撃力が加わり天井が落下したと考えられる。一方、耐震天井の場合は、終始クリップの脱落はせず天井は落下しない結果となった。耐震天井は壁との衝突が一度も起きておらず、これは、クリアランスが大きいことに加え、斜め部材の設置により揺れが抑制されたためだと考えられる。

5. 結言

本研究では、未対策天井と耐震天井の2種類の部分天井モデルを作成し、地震時の天井脱落現象を再現した。

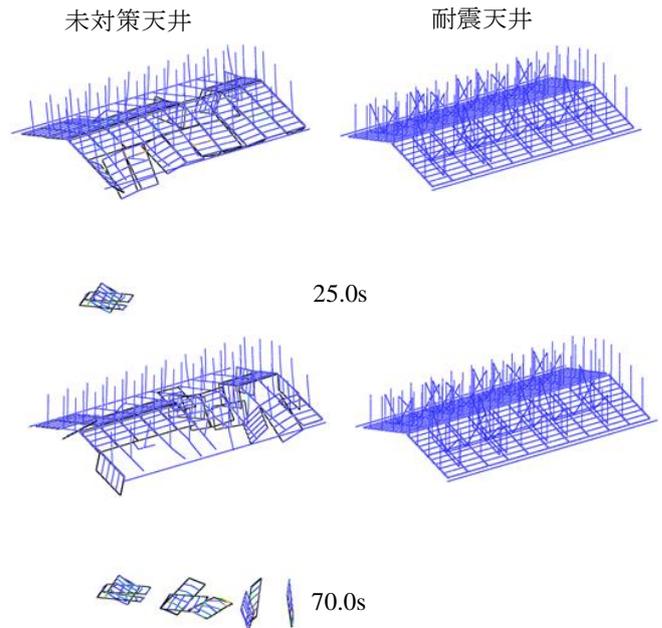


図-4 天井の挙動

未対策天井と耐震天井を比較し、耐震対策の効果を検証した。現在の耐震対策はコストが莫大で工期が長いなどの問題があるため、解析結果を踏まえ、今後はより安全で効率的に行える耐震対策の提案を目指す。

参考文献

- [1] 山田哲他：東北地方太平洋沖地震等で被災した鉄骨造文教施設の調査-調査の概要-, 日本建築学会技術報告集, 第18巻, 第40号, pp.935-940, 2012.
- [2] 国土交通省：「建築物における天井脱落対策案」に関するご意見募集について, 国土交通省報道発表資料, 2012.
- [3] 国土交通省：建築基準法施行令の一部を改正する政令, 平成25年政令第217号.
- [4] 佐々木 智大 他：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 ー大規模空間吊り天井の脱落被害再現実験および耐震吊り天井の耐震余裕度検証実験ー, 2015年2月.
- [5] 磯部 大吾郎, チョウ ミン リン：飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析, 日本建築学会構造系論文集, 第579号, pp.39-46, 2004年5月.
- [6] 鎮西 宏 他：頭抜け試験と崩壊メカニズム 非構造部材におけるビス接合部の力学的性状に関する研究 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造I, pp.891-892, 2015年9月.
- [7] 杉山 達也 他：在来工法天井の下地ボードと野縁のビス止め接合部のせん断試験 その1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (北陸), 2010年9月.

*¹ 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 大学院生

*² 防災科学技術研究所 主任研究員・博 (工)

*³ 筑波大学 教授・博 (工)

*¹ Graduate Student, Univ. of Tsukuba

*² Chief Researcher, NIED, Dr. Eng.

*³ Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.