

天井落下シミュレーションを用いた体育館吊り天井の耐震化方法に関する検討

正会員 ○大村 浩之*¹
同 山下 拓三*²
同 磯部 大吾郎*³

吊り天井落下現象 吊り天井耐震化 体育館
地震応答 有限要素法 ASI-Gauss 法

1 序論

近年、大地震の際に学校体育館などの大空間施設において吊り天井が落下する被害が相次いで報告されている。吊り天井の落下メカニズムを解明するため、2014年に実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)でフルスケールの体育館試験体を用いた地震時天井落下実験[1]が実施され、耐震対策が施されていない吊り天井(以下、未対策天井)の落下メカニズムに関して有用な知見が得られた。また、吊り天井を耐震化した上で同様の実験を行った結果、十分に耐震余裕度が確保されていることが確認されたが、同時にそれが過剰であることも示唆された。

そこで本研究では、まず先行研究[2]で開発されたASI-Gauss法に基づく天井落下シミュレーション技術における天井のモデル化手法に改善を加え、上述の実験の再現解析を行うことで解析の妥当性を確認する。次に、同手法を用いて吊りボルト間にブレースを設置した場合、耐震クリップを適用した場合、壁と天井の間にクリアランスを設けた場合の3通りの部分的に耐震化された吊り天井(以下、部分耐震天井)モデルを作成し、それぞれの耐震化方法の有効性について検証する。

2 解析モデルの概要

2-1 未対策天井および耐震天井の解析モデル

図1に未対策および耐震の吊り天井モデルを示す。天井モデル実験で使用された試験体および先行研究[2]を参考に構築されているが、本研究では新たにハンガーの偏心性を考慮した。これは、ハンガーの偏心性が天井板の上下振動に影響することが示唆されている[3]ためである。また耐震天井では、未対策天井に対しブレース、耐震クリップ、クリアランス(60mm)が導入されている。

実際の解析には図2に示している吊り天井モデルを体育館の構造躯体モデルに取り付けたフルモデルを用いる。躯体モデルも天井と同様に実験の試験体を基に作成しており、振動特性などに関するモデルの妥当性は先行研究[2]で確認されている。

2-2 接合金具の脱落条件

解析上では接合金具の脱落を要素の破断で表現する。破断時の条件には、表1に示す接合金具の要素実験に基づ

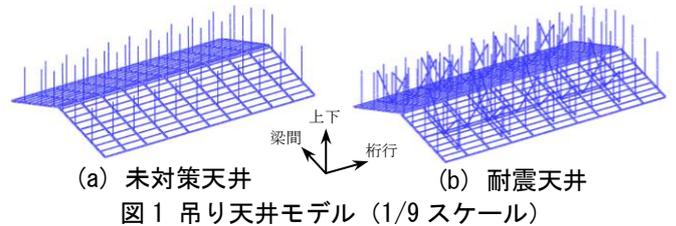


図1 吊り天井モデル (1/9スケール)

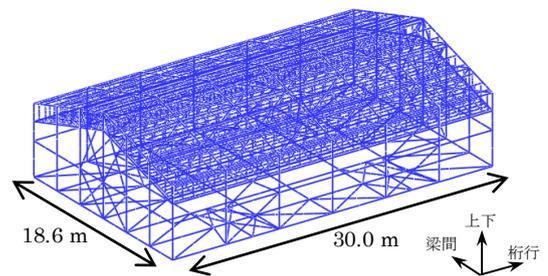


図2 吊り天井付き体育館モデル

表1 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 [1] | |
| ビス | 引張軸力 ≥ 0.40 kN かつ 軸歪 ≥ 0.12 [4] | |
| | せん断力 ≥ 0.30 kN かつ せん断歪 ≥ 0.72 [5] | |
| クリップ | シングル腹掛け: 引張軸力 ≥ 0.35 kN [1] | 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 [1] | 耐風圧クリップ: 引張軸力 ≥ 2.00 kN |
| | ダブル: 引張軸力 ≥ 0.80 kN [1] | |
| 野縁ジョイント | 軸方向変位 ≥ 42.5 mm | |

く脱落荷重・変位を使用している。なお、クリップの脱落荷重に関しては、滑りによる力の散逸を考慮して安全率1.5をかけている。野縁ジョイントは、野縁ジョイントの半分の長さを脱落変位とした。さらに、野縁ジョイントの引き抜き・差し込み挙動を再現するために、要素長が初期状態より長い、または軸力が引張方向に作用する場合は、野縁ジョイント要素の軸剛性を野縁から引き抜くときの剛性(0.023 N/mm: 実際に野縁ジョイントを引き抜いて計測した値)まで低下させている。

3 天井落下実験の再現解析

本章では、E-ディフェンスの天井落下実験の再現解析を通して ASI-Gauss 法を用いた天井落下シミュレーションの妥当性を検証する。入力波には実験で観測された仙台波 50%で加振した際の台上加速度 (図3) を用いる。

図4に未対策天井および耐震天井の解析で得られた天井落下状況を示す。未対策天井は、壁からの反力を受け天井が持ち上がるようなモーメントが発生した結果、頂部付近で吊りボルトが座屈し天井板が上下に振動することで、クリップの脱落および天井の落下が生じた。この天

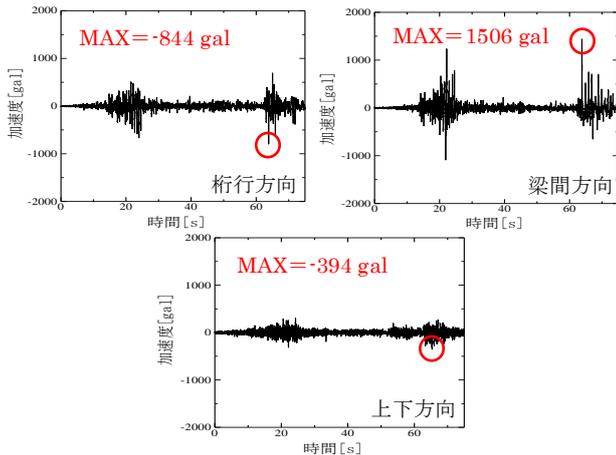


図3 入力波 (仙台波 50%台上加速度)

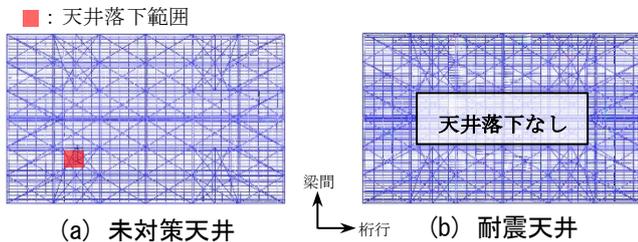


図4 未対策天井および耐震天井の天井落下状況 (30.0 s)

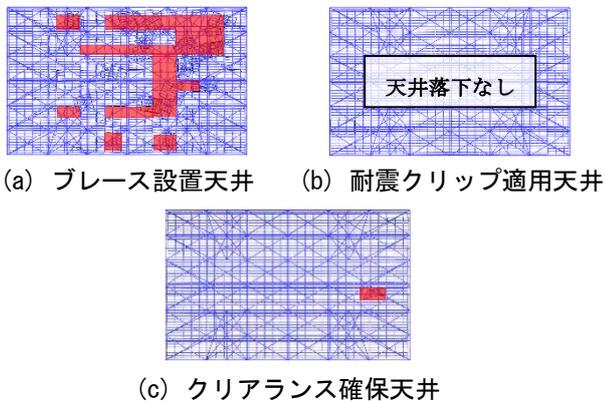


図5 各部分耐震天井の天井落下状況 (30.0 s)

井落下のプロセスは実験でも確認されていることから、解析結果は妥当であるといえる。また、耐震天井の場合はブレースの座屈が観察されたが、クリップおよび天井の落下は生じなかった。この結果についても、実験で報告された内容と一致している。

4 部分耐震天井の解析結果

本章では、ブレースのみを設置した場合、耐震クリップを適用した場合、クリアランスを確保した場合の3ケースの部分耐震天井モデルに対して、3章と同様の解析を行うことでそれぞれの耐震化方法の有効性を検証する。

図5に解析結果を示す。ブレースを設置したモデルの場合、広範囲で天井が落下した。これは、吊りボルト間のみを補剛した結果、クリップに応力が集中したためだと考えられる。耐震クリップを適用したモデルについては天井落下の軽減が確認できた。クリアランスを確保したモデルは、未対策天井と同様の傾向で天井が落下した。

5 結論

本研究では、ハンガーの偏心性を考慮することで ASI-Gauss 法を用いた天井落下解析技術の再現精度を向上させた。また、ブレース、耐震クリップ、クリアランスをそれぞれ適用した3ケースの部分耐震天井モデルの解析結果から、耐震クリップが最も有効であることが示唆された。一方、ブレースを設置したモデルについては、未対策天井よりも天井の損傷が拡大する結果となった。

謝辞

本研究は元筑波大学院生の前田 弘徳氏 (現オリンパス (株)) から多大なる貢献を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

- [1] 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—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—, 2015年2月。
- [2] 磯部大吾郎 他：有限要素法を用いた大規模吊り天井の脱落被害再現シミュレーション, 日本建築学会構造系論文集, 第741号, pp. 1727-1736, 2017年11月。
- [3] 清水睦郎, 廣田勇, 元結正次郎：吊り材の動的不安定挙動に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集(東北), 2018年9月。
- [4] 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(関東), 2015年9月。
- [5] 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。

*筑波大学 大学院生

**防災科学技術研究所 主任研究員・博士 (工学)

***筑波大学 教授・博士 (工学)

*Grad. Student, Univ. of Tsukuba

**Chief Researcher, NIED, Dr.Eng.

***Prof., Univ. of Tsukuba, Dr.Eng.