

大空間建築物の地震時における天井落下に関する数値解析的研究

その1. 基礎的検討

正会員 ○山本 卓也*¹ 同 山下 拓三*³
同 田川 浩之*² 同 磯部 大吾郎*⁴

天井落下 大規模空間 地震応答
ASI-Gauss 法 有限要素法

1. 緒言

大規模空間を持つ施設では、東北地方太平洋沖地震においても天井・設備機器・配線等の損傷・落下する被害が多く報告されている¹⁾。大規模空間で天井が落下すると人命に危険をおよぼす恐れがあり、そのメカニズムを解明することは喫緊の課題である。そのため、振動台実験、数値解析による検証が必要不可欠である。被害報告²⁾から、天井落下の直接的な要因はクリップの損傷である可能性が指摘されている。また、ハンガーの損傷も要因の一つと言われており、クリップ、ハンガーの要素実験が多く実施されている^{3,4)}。2014年1月には、実大三次元震動破壊実験施設(E-ディフェンス)において体育館を想定した大空間建築物に設置された吊り天井の脱落被害再現実験⁵⁾が実施された。本研究では、地震動、弾塑性、落下などを含む非線形性が強い解析でも安定して行えるASI-Gauss法⁶⁾にクリップ、ハンガーの脱落条件を設定し、地震動による天井の落下解析を実施する。解析対象モデルは、避難施設としての役割を担う学校施設の体育館とする。本稿では、体育館仕様の天井および体育館構造躯体をモデル化し、地震動による天井の損傷・落下現象の再現に関する基礎的検討を行う。

2. 天井の概要

一般に体育館で用いられている天井は、鋼製下地在来工法天井と呼ばれるものである。天井を裏側からみた様子を図1に示す⁷⁾。吊りボルト、ハンガー、野縁受け、クリップ、野縁と呼ばれる部材から天井が構成され、これらが一体化したものを天井鋼製下地材と呼んでいる。屋根から吊り下げられている部材が吊りボルトであり、吊りボルトの下端部に野縁受けを支えるハンガーが取り付けられている。ハンガーの先に野縁受けが取り付けられ、野縁受けと野縁はクリップで連結され、野縁に石膏ボードなどがビスで止められている。



図1 鋼製下地在来工法天井

本稿では、未対策天井を解析モデルの対象とする。未対策天井とは、揺れ止めのための斜め部材や周囲の壁との間に隙間(クリアランス)を設けない、平成15年国土交通省による技術的助言⁸⁾よりも前の考え方で設計・施工された、耐震対策が施されていない天井のことを示す。

3. 解析概要

天井モデルおよび躯体モデルをすべて線形要素モデル化し、要素は1部材当たり2要素のモデル化でも、弾塑性解析において高い精度で解析が行えることが検証されている⁹⁾。大空間建築物試験体の図面⁹⁾を参考に吊りボルト、野縁受け、野縁、クリップ、石膏ボードをモデル化した。なお、吊りボルトとハンガーは一体化してモデル化している。吊りボルト間隔は、桁行方向(X軸方向)に1,000 [mm]、梁間方向(Y軸方向)に1,147 [mm] (屋根面沿いに1,200 [mm])である。吊りボルトの長さは1,500 [mm]、クリップの寸法は25 [mm]としている。躯体モデルの寸法は30×18.6 [m]で、屋根の頂部の高さは9.09 [m]であり、小中学校で使用される体育館とほぼ同等の大きさである。鋼種はSS400とする。天井の吊り元となる母屋材はC形鋼(C-100×50×20×3.2)を介して、w3/8吊りボルトを用いて天井を吊り下げている。母屋、ブレースはトラス構造とし、柱、梁はラーメン構造とする。モデル全体の総要素数は17,900、総節点数は13,736である。

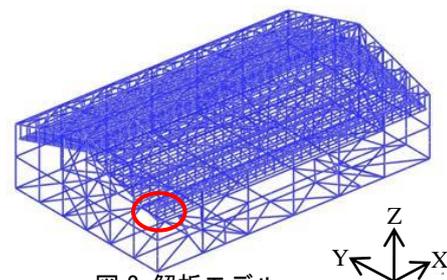


図2 解析モデル

解析に用いた入力地震波は、2011年3月11日東北地方太平洋沖地震のK-NET 仙台観測点における観測記録である。図3に入力地震波(K-NET 仙台波100%)を示す。本解析では、K-NET 仙台波50%を入力加振する。X軸負の方向にEW成分、Y軸負の方向にNS成分、Z軸にUD成分の三軸方向として、90秒間入力する。体育館基礎部を完全固定として地震波を入力する。

天井落下の最も多い要因であるクリップの脱落条件を

導入する。クリップの要素試験結果³⁾を参考にし、鉛直下向きに 0.4 [kN]の力が作用した場合にクリップが脱落すると設定し、地震動による野縁と野縁受けをつなぐクリップの脱落を表現する。また、天井落下のもう一つの要因であると考えられるハンガーの脱落条件を導入する。ハンガーの要素試験結果⁴⁾を参考にし、鉛直下向きに 2.8 [kN]の力が作用した場合、ハンガーが開き、野縁受けの支持能力が低下するように設定した。

4. 解析結果

図 4 に解析で得られた天井の落下挙動を示す。28.0 [s]で Y 軸方向のクリップがいくつか脱落し始め、31.5 [s]には X 軸方向のクリップが脱落し、野縁および石膏ボードが一体化したまま落下が始まった。33.0 [s]で天井全面が落下した。図 2 の赤丸で示す屋根面における X 軸方向の加速度応答の時刻歴を図 5 に示す。屋根面に最大 8,000 [gal]以上の非常に大きな応答を示している。この要因として、解析では部材内を伝播する応力波も忠実に出てきてしまうためと考えられる。

5. 結言

本研究では、大空間建築物試験体の図面を参考に、体育館仕様の天井モデルおよび体育館構造躯体のモデルを作成し、天井落下解析に関する基礎的検討を行った。ASI-Gauss 法を用いた解析コードにクリップ、ハンガーの脱落条件を導入し、3 次元地震応答解析を行った結果、地震動による天井落下が再現できた。今後は、内壁と天井との間の接触、クリップの取り付けの向きによる脱落条件の違いの導入、ジョイントモデルの導入による局所落下の再現などを課題としている。

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：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震調査研究（速報），平成 23 年 5 月。
- 2) 一般社団法人 建築性能基準推進協会：建築物の天井脱落対策に係る技術基準の解説，平成 25 年 10 月。
- 3) 中川祐介，元結正次郎：鋼製下地在来工法天井におけるクリップの力学特性に関する研究 その 2：鉛直荷重を受ける場合，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，pp.845-846，2006 年 9 月。
- 4) 杉山達也他 4 名：在来工法天井の構成部材および実大天井の力学的特性に関する実験研究 その 1：全体計画およびハンガーの要素試験，日本建築学会大会学術講演梗概集，B-1，pp.227-228，2009 年 8 月。
- 5) 独立行政法人防災科学技術研究所兵庫耐震工学センター：大規模空間に設置された吊り天井の脱落被害再現実験公開実験資料，平成 25 年 1 月。
- 6) 磯部大吾郎，チョウミョウリン：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。

- 7) 一般社団法人建築性能基準推進協会：地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討（平成 23 年度建築基準整備促進事業），2012 年 3 月。
- 8) 国土交通省住宅建築指導課長：大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について（技術的助言），国住指 2402 号，平成 15 年 10 月。
- 9) 独立行政法人防災科学技術研究所 兵庫耐震工学研究センター：大空間建築物試験体 設計図。

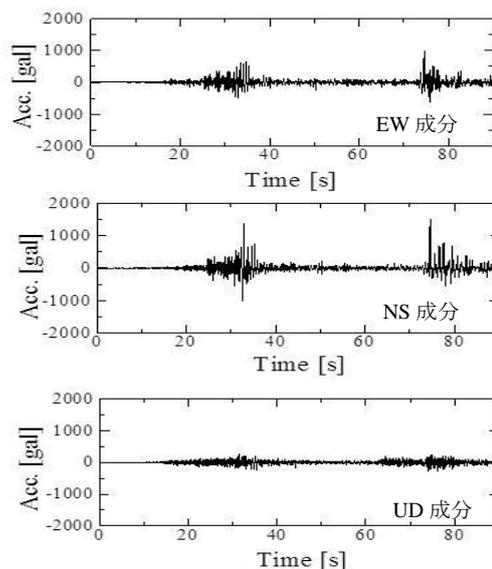


図 3 入力地震波 (K-NET 仙台波 100%)

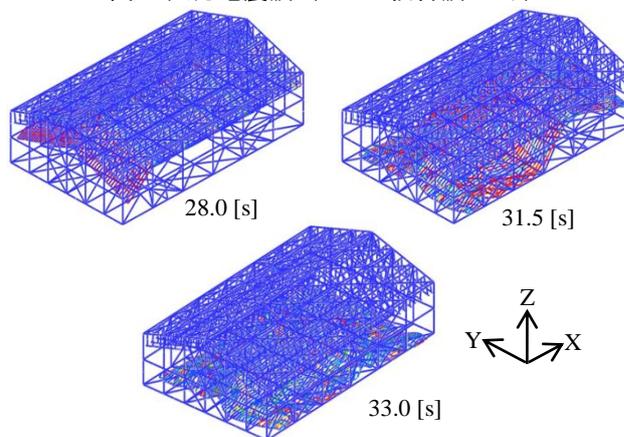


図 4 天井の落下挙動

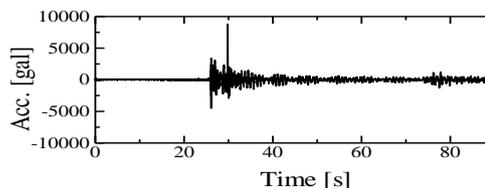


図 5 屋根面の加速度応答の時刻歴

*1 筑波大学大学院システム情報工学研究科 大学院生
 *2 (独)防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター，
 研究員 Ph.D.
 *3 (独)防災科学技術研究所兵庫耐震工学研究センター，
 研究員 博士 (工学)
 *4 筑波大学 教授 博士 (工学)

*1 Graduate Student, Univ. of Tsukuba
 *2 Researcher, Hyogo EERC, NIED, Ph.D.
 *3 Researcher, Hyogo EERC, NIED, Dr. Eng.
 *4 Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.