

箱型段差吊り天井の地震時落下挙動解析

正会員 同 ○大村 浩之*¹
磯部 大吾郎*²天井落下現象 箱型段差吊り天井 地震応答
有限要素法 ASI-Gauss 法

1 序論

東北地方太平洋沖地震などの大地震の際に、体育館などの大規模空間を有する施設において吊り天井が落下するといった非構造部材の被害が多数報告されている[1]。これを受け、国土交通省により天井耐震化に関する技術基準が施行されるなど、天井脱落被害防止のためのガイドラインが整備されつつある。

しかし、これらの基準が対象としているのは在来工法天井と呼ばれる一般的な吊り天井で、質量が約 10~16 kg/m² の平らな天井である。一方、コンサートホールなどの音響性能を持つ建築物の吊り天井には、仕上げ材に高密度な材料が用いられることが多く、その場合、天井質量は約 30~35 kg/m² にも上る。また、音響設計の一環で天井面の形状が複雑になりやすく、実際に天井の幾何構造がその落下挙動に影響を及ぼしたケースも報告されている[2]。したがって、音響施設における吊り天井の落下メカニズムを調査し、効率的で有効な耐震化方法を明らかにすることは防災上重要な課題であると考えられる。

そこで本研究では、天井面に箱型の段差が設けられた吊り天井(以後、箱型段差吊り天井と記す)をモデル化し、地震波を入力し有限要素解析を行うことで、その地震時における落下挙動メカニズムについて調査を行った。なお、解析手法には、非線形性が強い解析でも安定的に解くことができ、接触および破断も考慮することができる ASI-Gauss 法[3]を用いた。

2 箱型段差吊り天井の概要

本研究で解析対象とした吊り天井は、T コンサートホールに実際に取り付けられているものを参考に仕様を決定した。当該天井は同じ構造を持つユニットを複数連結することで構成されており、これらのユニットを区切るようにして段差が設けられている。なお、1 ユニットの寸法は 3.6 m(桁行)×4.0 m(梁間)、質量は 475 kg である。

箱型段差吊り天井の概観を図-1 に示す。段差部以外の基本的な構造は在来工法天井と同様で、野縁が天井面を構成する仕上げ材にビスで留められ、野縁受けがクリップと呼ばれる接合金具で野縁に結合されている。また、野縁受けはハンガーを介して建物の躯体から吊りボルトによって吊るされている。段差部の高さとは幅はそれぞれ

300 mm で、側面と底面に野縁が 2 本ずつ配され、それらと立体的に組まれた野縁受けがクリップで結合されている。

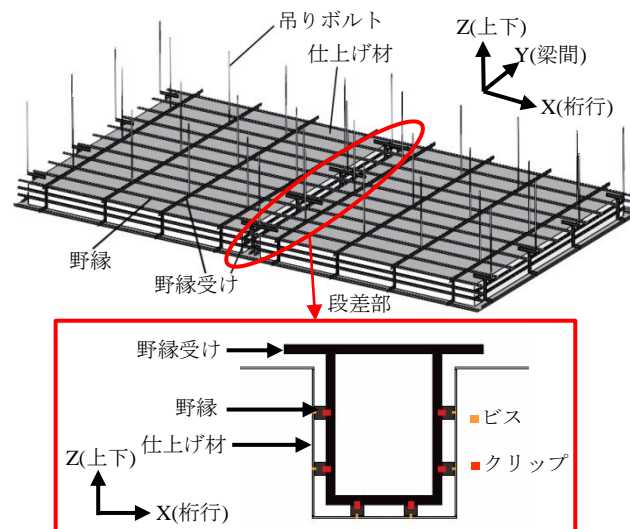


図-1 箱型段差吊り天井の概観図

3 解析モデルおよび解析条件

上述の吊り天井の仕様に基づき、線形要素を用い、3×3 ユニット(10.8 m(桁行)×12.0 m(梁間))の計 9 ユニットの抽出した部分天井モデル(図-2)を作成した。その際、壁を模擬した横架材要素を梁間方向両端に設置することで、壁と天井の衝突を表現した。横架材と端部の仕上げ材との接触判定上の距離は 1 mm としており、クリアランスはほぼ設けていない。なお、モデル全体の要素数は 29,598、節点数は 25,253 である。

先行研究[4]に基づき、天井の局所落下を再現するために仕上げ材は一枚ずつ独立にモデル化しており、仕上げ材の隙間部分と野縁が交わる箇所に接合金具を配置した。過去に行われた天井脱落被害再現実験[5]では、これらの接合金具が脱落することで天井が落下した結果が報告されている。そこで本解析では、接合金具であるハンガー、ビス、クリップ、野縁ジョイントに脱落条件を導入することでそれらの脱落を表現する。各接合金具の脱落条件を表-1 に示す[5-7]。野縁ジョイントは瞬間的な衝撃力の

作用で脱落することを防ぐため、荷重条件に加えて 0.29 kN の引張軸力が静的に作用したときに発生する軸歪を脱落条件として設定している。吊りボルトの上端に JMA 神戸波 100%(図-3)を 3 軸方向に入力し、地震時挙動解析を行う。解析時間は 41 s、時間刻みは 0.001 s である。

4 吊り天井の地震時挙動解析

図-4 に解析で得られた天井落下挙動を示す。6 s 付近で天井と横架材が衝突し始め、それによって生じる衝撃波の伝播によって壁際のクリップが脱落した。その後、脱落したクリップが支持していた荷重が周囲のクリップと野縁ジョイントに再分配されるため、最終的に野縁ジョ

イントが脱落し仕上げ材と野縁が一体で落下する様子が確認された。

5 結論

本研究では、コンサートホールに取り付けられた箱型段差吊り天井の部分モデルを作成し、それを対象に、接合金具の脱落条件を導入した ASI-Gauss 法有限要素解析コードで 3 軸地震応答解析を行うことにより、天井落下挙動の再現を試みた。今後は、建物モデルに天井モデルを組み込んだ解析を実施する予定である。

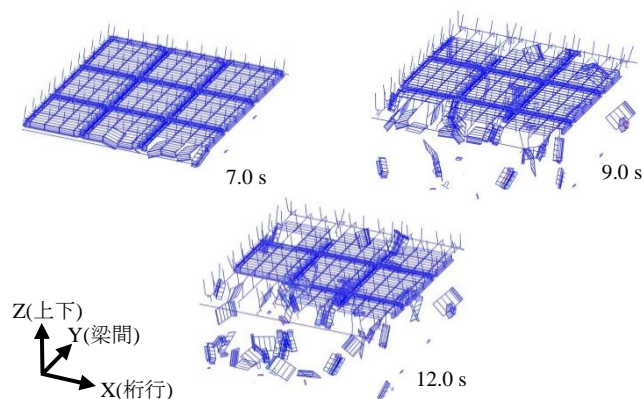


図-4 天井の落下挙動

参考文献

- [1] 国土交通省：平成 23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震被害調査報告書，2012 年 3 月。
- [2] 西山 功：2003 年十勝沖地震における釧路空港の天井落下被害状況調査報告，建築防災，第 315 号，pp. 30-35，2004 年 4 月。
- [3] 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。
- [4] 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。
- [5] 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 一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一，2015 年 2 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。

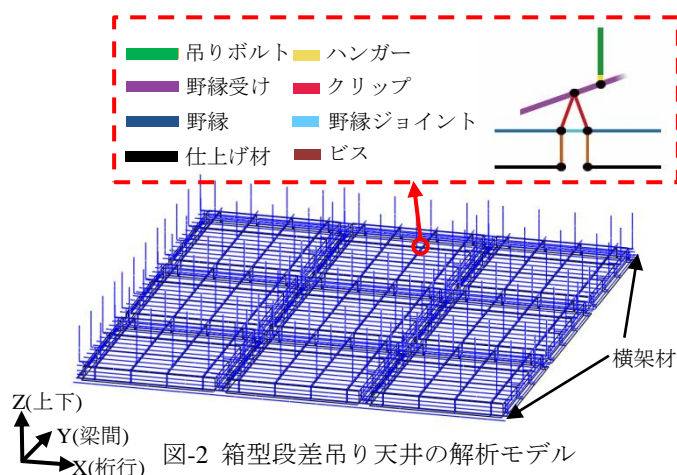


図-2 箱型段差吊り天井の解析モデル

表-1 各接合金具の脱落条件

接合金具	脱落条件
ハンガー	引張軸力 ≥ 2.80 kN [5]
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 [5]
	シングル背掛け：引張軸力 ≥ 0.70 kN [5]
	ダブル：引張軸力 ≥ 0.80 kN [5]
野縁ジョイント	引張軸力 ≥ 0.29 kN かつ 軸歪 $\geq 4.93 \times 10^{-5}$

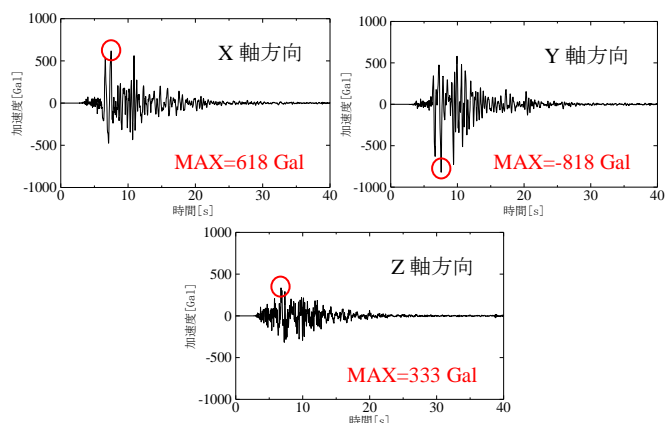


図-3 JMA 神戸波加速度波形

*¹ 筑波大学大学院 システム情報工学研究科 大学院生

*² 筑波大学 教授・博(工)

*¹ Graduate Student, Univ. of Tsukuba

*² Professor, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.