

天井制振化デバイスの可能性調査

上脇 野乃¹・古田 智基²

¹第一工業大学 建築デザイン学科卒業（現 津曲工業株式会社）

²第一工業大学 指導教授 建築デザイン学科
(〒899-4395 鹿児島県霧島市国分中央1-10-2)

E-mail : t-furuta@daiichi-koudai.ac.jp

Investigation into Possibility of the Ceiling Control on Vibration

Nono KAMIWAKI¹, Tomoki FURUTA²

特定天井の現問題点等を抽出し、地震応答解析をパラメトリックに行うことで特定天井に求められる必要スペックを導き出し、新たな天井制振機構に必要となる性能を検討した。その結果、建物と天井の周期が一致するとき、すなわち共振現象により天井の応答変位が顕著に増幅することが確認でき、減衰量を大きくすることで、天井の応答変位を小さくすることができ、特に共振時近傍では減衰効果が高いことが確認できた。

Key Words : 天井、制振構造、減衰、共振、地震応答解析

1. 本研究の目的

東日本大震災において、体育館、音楽ホール等の多数の天井が脱落し、甚大な被害が生じた。この被害を踏まえ、国土交通省において大規模天井（特定天井）の脱落対策に係る基準¹⁾が新たに定められた。現在、この特定天井の制振化を含め耐震化の取り組み²⁾が実施されているが、天井の必要スペックやクライテリア等が明確になっていない。

そこで、本研究は特定天井の現問題点等を抽出し、地震応答解析をパラメトリックに行うことで特定天井に求められる必要スペックを導き出し、新たな天井制振機構に必要となる性能を検討する。

2. 東日本大震災による天井を中心とした被害調査

東日本大震災による建物被害は住家に限らず、公共建築物や商工業建築物全般に及び、被害形態も地震動による倒壊や破損に加え、津波による流出・破損・浸水、津波到達後に発生した火災による焼失、地滑りや崖崩れによる倒壊・破

損、さらに地盤の液状化に伴う沈下・傾斜・破損など多岐にわたって被害が生じている。

図 2.1 に示す、大規模空間の天井被害も多くみられており、天井周辺部のクリアランスが不足していたり、天井の振れ止めが不十分であったり、壁や設備機器との固定部分の強度が不足している場合等に、衝突部で破損する被害がみられた。



図 2.1 天井の脱落被害

3. 特定天井の現問題点等

図 3.1 に示す建築基準法検証ルート 3 種類による特徴と問題点を以下に挙げる。¹⁾



図 3.1 建築基準法検証ルート

- 仕様ルート（図 3.2）：想定以上の揺れに対応できない。周辺に 60mm 以上のクリアランスが必用。設置部品点数が増えコストアップとなる。設置手間が掛かる。などが挙げられる。

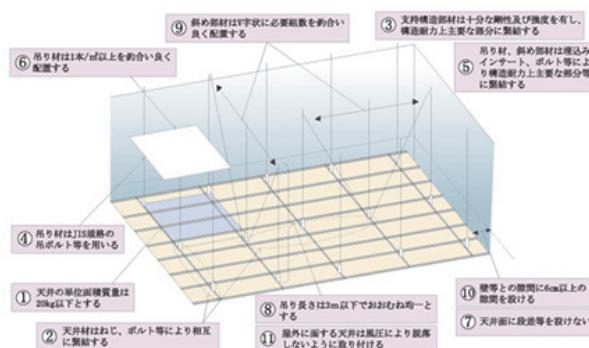


図 3.2 仕様ルート

- 計算ルート：天井面は一体として運動し、一質点系にモデル化する。計算が複雑化（耐震性：スペクトル法、クリアランス：震度法）する。吊りボルトをつり合いよく配置しなければならない。などが挙げられる。
- 大臣認定ルート：想定以上の揺れに対応が可能。計算ルートよりも高度な構造計算が必要（時刻歴応答解析）。制振ダンパー等コストアップとなる。などが挙げられる。

4. 既存の天井制振機構

国や学会等の働きに先駆けて、大手ゼネコンにより天井の耐震化の取り組みが実施されてい

る。例えば天井面やプレースの強化、ぶどう棚工法、軽量な天井材の使用などを提案・実施している。

清水建設による天井の耐震化方法では図 4.1 に示す耐震プレースを有効に働くため、耐震プレース交点まわりの 9 か所にすべりにくい耐震クリップや耐震ハンガーを採用し、耐震プレース上部の金物にも滑りにくく、外れにくい閉鎖型の金物を用いている。また、グリッド枠で既存吊り天井を室内側から支えることにより、グリッド枠を構成する細長いスティック状のグリッド鋼材、鋼材と建物の躯体とを一体化させるグリッドサポートを実施している。

鹿島建設は損傷が発生しやすい天井面の段差部に着目し、斜め補強材を配置した上で接合金物の補強を行う方法を提案している。また図 4.2 に示す耐震性能が充分ではない吊材による天井下地材の構成から強固な鉄骨による、ぶどう棚を下地として再構築し、耐震安全性を向上させている。

大成建設が開発した図 4.3 に示す制振システム天井は支持鋼材の韌性によって振れ幅を制御する韌性型支持方式と、図 4.4 に示す支持部材に固定したオイルダンパーにより振れ幅を制御するダンパー方式の 2 種類がある。

このように、各企業が多数の天井落下防止措置及び天井制振機構を提案しているにも関わらず、天井の必要スペックやクライテリアに関する検討は明確でない。そこで天井の必要スペックやクライテリアを検討するための応答解析を実施することとした。

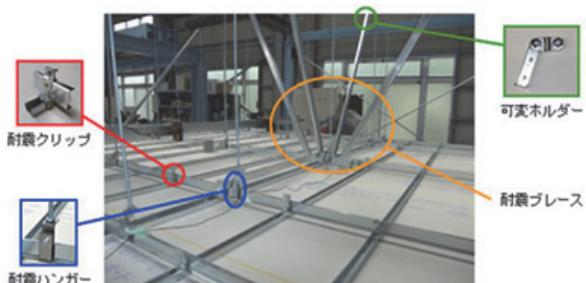


図 4.1 耐震プレース等の施工例

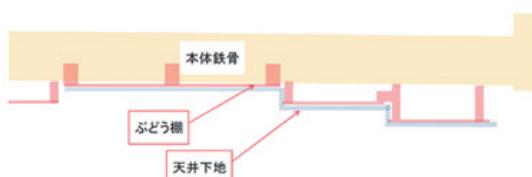


図 4.2 ぶどう棚工法の例

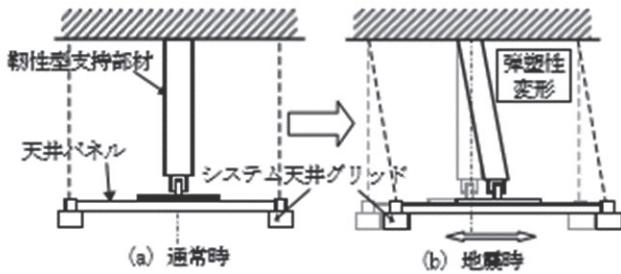


図 4.3 韧性型支持方式

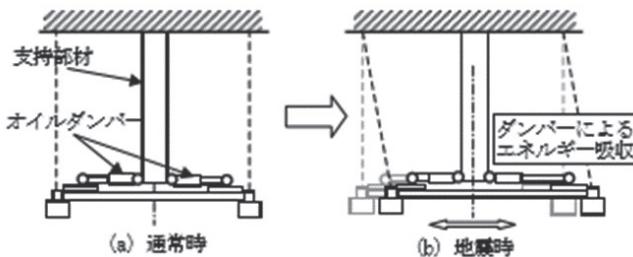


図 4.4 ダンパー方式

5. 天井の動的挙動に関する検討

本研究の目的である特定天井に適用する制振機構の必要性能を定量的に導くために、建物と天井の周期に着目し、パラメトリックに地震応答解析を実施する。

図 5.1 示すとおり、まずは建物を 1 質点にモデル化し、周期を 0.5~5.0 秒に設定して応答加速度を求める。次に、天井も 1 質点にモデル化し、周期を 0.5~5.0 秒に設定する。そして、建物の応答加速度を地震波に見立てて天井に入力し、天井の最大応答変位を求めた。この天井の応答変位を求める上で必要となる質量及び剛性は周期に置き換えられているため、検討に必要となる減衰量をパラメータとして応答値を導いた。

モデル全体の粘性減衰として瞬間剛性比例型で 3% を与え、入力地震波は観測地震波の JMA Kobe を用い、比較として人工地震波の日本建築センター BCJ L2 波を用いた。

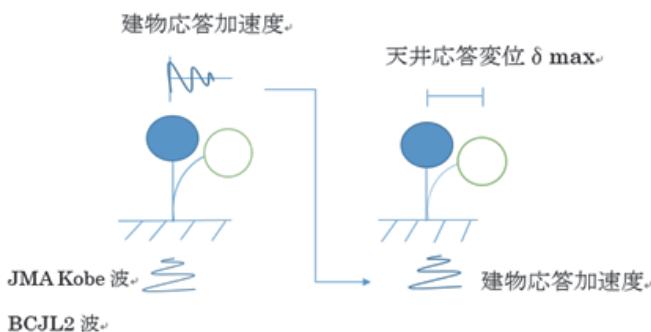


図 5.1 解析モデル

6. 地震応答解析による天井の応答変位

図 6.1 は、JMA Kobe 入力時の天井の各減衰量に対する建物及び天井周期と最大応答変位の関係を示したものである。従って、横軸は天井の固有周期を建物の固有周期で除した値である。全ての減衰量において天井の固有周期を建物の固有周期で除した値が 1.0 のとき、天井の応答変位が最も大きくなることが確認できた。これは建物と天井の周期が一致するとき、すなわち共振現象によるものである。減衰量を大きくするに連れて、この共振点近傍の天井の応答変位は大きく抑えられることが確認できる。また、天井の固有周期を建物の固有周期で除した値が 0.5 以下及び 2.0 以上では、減衰量による応答変位の差が顕著に見られないことから、共振点近傍を外れると、減衰の効果はないことが分かる。

図 6.2 は、図 6.1 の JMA Kobe 波と BCJ L2 波の比較を示したものである。天井の減衰量が 3% のときは約 130mm の応答変位の差が見られたが、減衰率を 30% にするとこの差が見られなくなった。これにより、減衰量を大きくすることで、地震波の特徴による影響を受け難くする効果があることが分かった。

図 6.3 は、JMA Kobe 波の減衰量 3% を基準として、天井の最大応答変位の減少率を示したものである。天井の固有周期を建物の固有周期で除した値が 1.0 近傍で減少率が大きく、減衰の効果が顕著に確認できる。天井の固有周期を建物の固有周期で除した値が 0.4~0.6 のときに減少率が小さくなるのは、JMA Kobe 波の加速度応答スペクトルを図 6.4 に示すが、建物が共振を受けてその影響が出たものと推測される。さらに、横軸が 1.5 以上のときに地震波による差がみられるのは、入力地震波の加速度レベルの差によるものである。

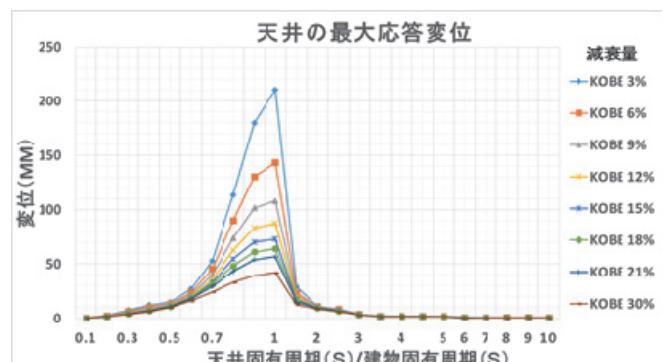


図 6.1 天井の最大応答変位 (JMA Kobe)

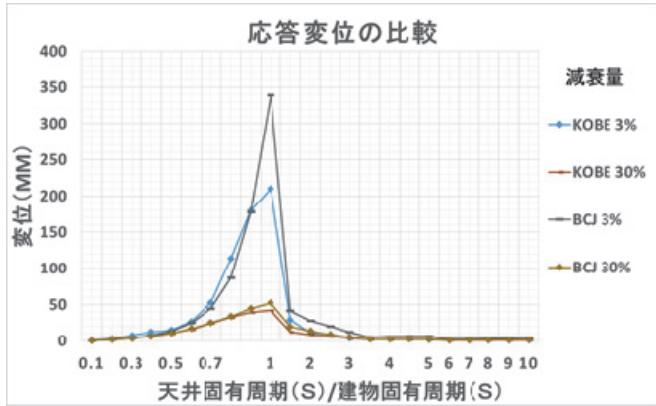


図 6.2 JMA Kobe 波と BCJ L2 波の比較

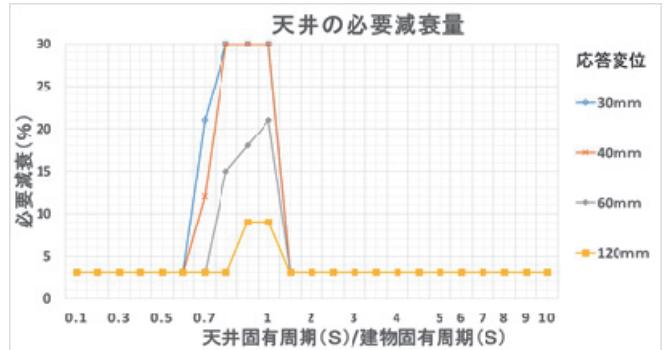


図 7.1 天井の必要減衰率

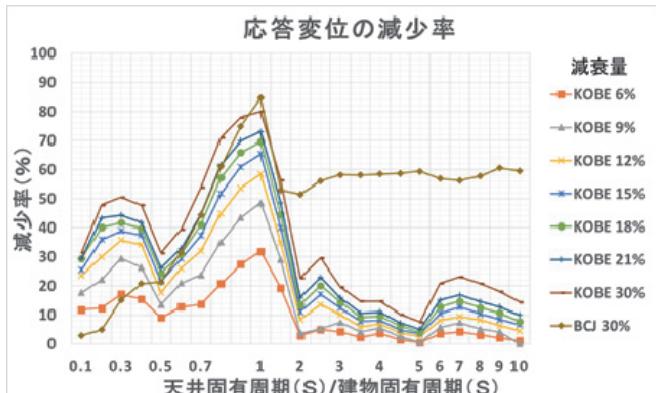


図 6.3 応答変位の減少率

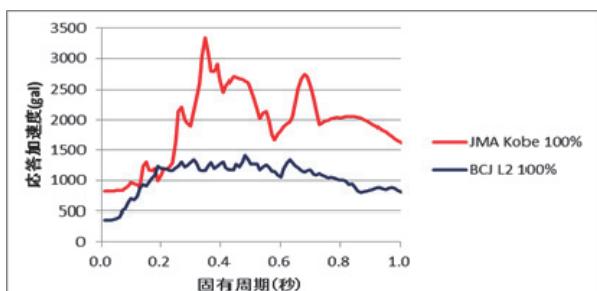


図 6.4 地震波の加速度応答スペクトル

7. 必要スペックとクライテリアの検討

仕様ルートにより、天井構成部材と壁、柱との間に 60mm 以上のクリアランスを設けるということは、天井の最大応答変位をそれ以下に抑える必要がある。図 7.1 は、天井の各最大応答変位に対する必要減衰量を示したものである。この図より、最大応答変位を 60mm 以下に抑えたい場合は、最低でも 21% 以上の減衰量が必要であるということが確認できた。

8. まとめ

本研究により、以下の知見を得た。

- ・建物と天井の周期が一致するとき、すなわち共振現象により天井の応答変位が顕著に増幅することが確認できた。

- ・減衰量を大きくすることで、天井の応答変位を小さくすることができ、特に共振時近傍では減衰効果が高いことが確認できた。
- ・天井の固有周期を建物の固有周期で除した値が 0.5 以下及び 2.0 以上では、減衰量による応答変位の差が顕著に見られないことから、共振点近傍を外れると減衰効果がないことが確認できた。
- ・減衰量を 30% 以上にすると地震波の特徴による影響を受け難くすることが確認できた。
- ・天井の最大応答変位を 60mm 以下に抑える場合、減衰率は 21% 以上必要であるということが確認できた。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：天井等の非構造材の落下に対する安全対策指針・同解説, 2015
- 2) 消防庁：東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）について（第 146 報）, 2011
- 3) 国土交通省 国土技術政策総合研究所、建築研究所：東北地方太平洋沖地震被害調査報告, 2011
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所及び独立行政法人建築研究所：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説, 2013
- 5) 一般社団法人建築性能基準推進協会：平成 23 年度建築基準整備促進事業「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」, 2012
- 6) 清水建設：天井制振機構の取り組み
<http://www.shimz.co.jp/>
- 7) 鹿島建設：天井耐震の取り組み
<http://www.kajima.co.jp/welcome-j.html>

【謝辞】

本研究を進めるにあたって、論文の書き方から研究の内容まで丁寧にご指導していただいた古田智基先生、毎日楽しい雰囲気の中で研究をすることができた古田研究室の皆様に感謝致します。