

鉄道一般
車両
施設
電気
運転・輸送
防災
環境
人間科学
浮上式鉄道

駅の天井を耐震補強する

天井は室内を快適に保つために必要です。その天井が地震の揺れで脱落することによって、人命や財産などへ被害を及ぼさないことが大切です。駅においては、不特定多数の人が利用することから天井の構造安全性を確保することがとても重要になります。しかし、駅の天井は、一般的な建築物の天井にはない特徴を有する場合があります。構造計算に用いる地震力設定方法や耐震補強の一般的な方法を適用できない課題がありました。ここでは、駅の特徴に対応した、地震力設定法や耐震補強工法を開発しましたので紹介します。



清水 克将
Katsuyuki Shimizu
構造物技術研究部
建築研究室
主任研究員



三木 広志
Hiroshi Miki
構造物技術研究部
建築研究室
副主任研究員



山田 聖治
Seiji Yamada
前 構造物技術研究部
建築研究室長
(現 総務部 人事課長)

はじめに

建物のなかで普段何気なく目にして
いる天井ですが、天井には、はりや設
備配管などの入り組んだ天井裏にた
まったほこりが室内に落下すること
を防いで室内を清潔に保つ役割があり
ます。また、適切な高さに天井を設
けることで室内の温湿度を適度に保
ったり、上階からの騒音を低減したり
することで、室内を快適に保つ役割
などがあります。

一方、天井が脱落した場合には、人
命や財産への被害、あるいは避難上
の支障がでる恐れもあることから、
建築基準法施行令第39条第1項では「風圧

並びに地震その他の震動及び衝撃に
よって脱落しないようにしなければ
ならない」と規定されています。し
かし、これを実現するための具体的
な方法を定めた基準がなかったこと
や、東北地方太平洋沖地震におけ
るかつてないほどの規模かつ多数
の天井脱落被害のあったことをふ
まえ、2013年に建築基準法施行
令が改正され、一定条件の天井に
対して、構造耐力上の安全性を確
保するための仕様や構造計算方法
を定めた基準¹⁾(以下、天井技術
基準)が发出されました。

一方、駅においては、不特定多数
の人が利用することを考えても、
天井の

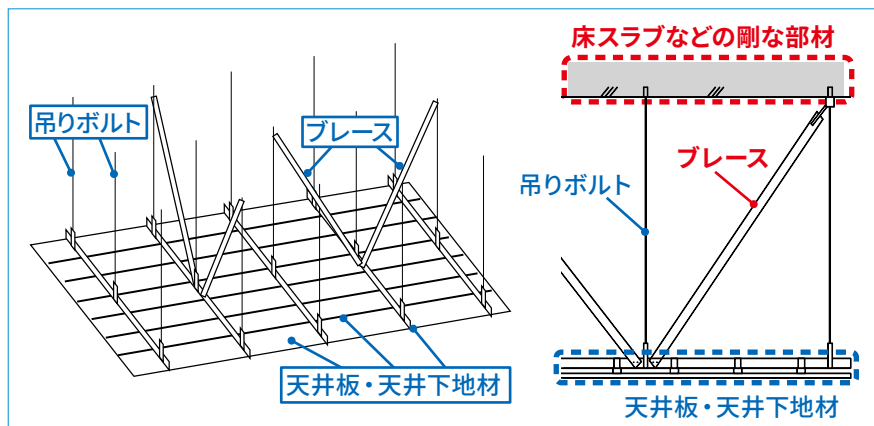


図1 一般的な工法による天井の構成の概要

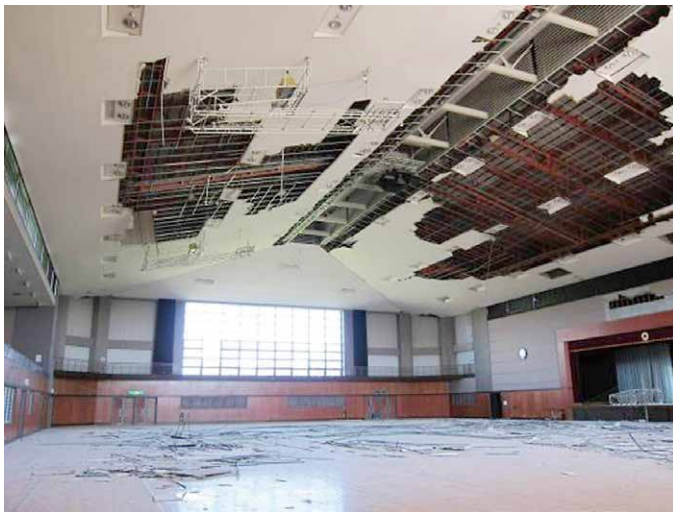


図2 地震被害の例
 (「東日本大震災合同調査報告 建築編6 非構造部材」²⁾写真B-1を引用)

構造安全性の確保が大変重要です。しかし、一般的な建物の天井とは異なる特徴を有する駅の天井に対しては、天井技術基準の方法をそのまま適用できない課題がありました。そこで、ここでは、駅の特徴に応じた地震力設定方法や、ブレースに代わる耐震補強工法を開発しましたので紹介します。

駅の天井の特徴と課題

一般建物の天井

まず、天井技術基準に記載されている一般的な工法による天井の構成を説明します。天井の構成の概要を図1に示します。天井は、室内と天井裏を仕切る天井板や天井下地材、これを吊り下げるための吊りボルト、天井板に対して斜めに設置して地震に抵抗するためのブレースで構成されています。これらは、柱やはりなどの建物自身の荷重を支える部材に比べて、軽量の部材で構成され、簡易な方法で短時間に施工できるような構成となっています。

天井におけるこれまでの地震被害では、天井下地材やブレースの強度が不足していたり、ブレースの量が不足していたり、配置のバランスが悪かったりなどしたために、図2に示すような脱落被害が生じました。このような被害

を受けて発出された天井技術基準には、地震に対して必要なブレースの数や強度を計算するための具体的な方法などが示されています。

また、吊りボルト上部の吊り元となる床スラブやはりなどは、天井に比べて強度や剛性が十分に高い部材（以下、剛な部材）です。天井技術基準では、吊り元が剛な部材である場合の天井の水平剛性を用いた地震力設定方法が示されています。

吊り元が剛な部材ではない場合

一方、駅の天井の吊り元は、剛な部材ではない場合があります。

地平駅や橋上駅などのように、屋根が駅建物上部に設置されている駅では、図3(a)に示すように、屋根の下地材として用いられる断面形状がカタカナの「コ」の字の形鋼である溝形鋼など（以下、横架材）や、天井用に独立して設置された横架材から天井を吊り下げる形態となる場合があります。

また、高架橋の下部を利用した駅（以下、高架下駅）などで、高架橋下部への漏水の心配がある場合には、図3(b)に示すように、屋根材として用いる折板を高架上空間の漏水対策のために設置し（以下、防水層）、天井をこの防水層から吊り下げる形態となる場合が

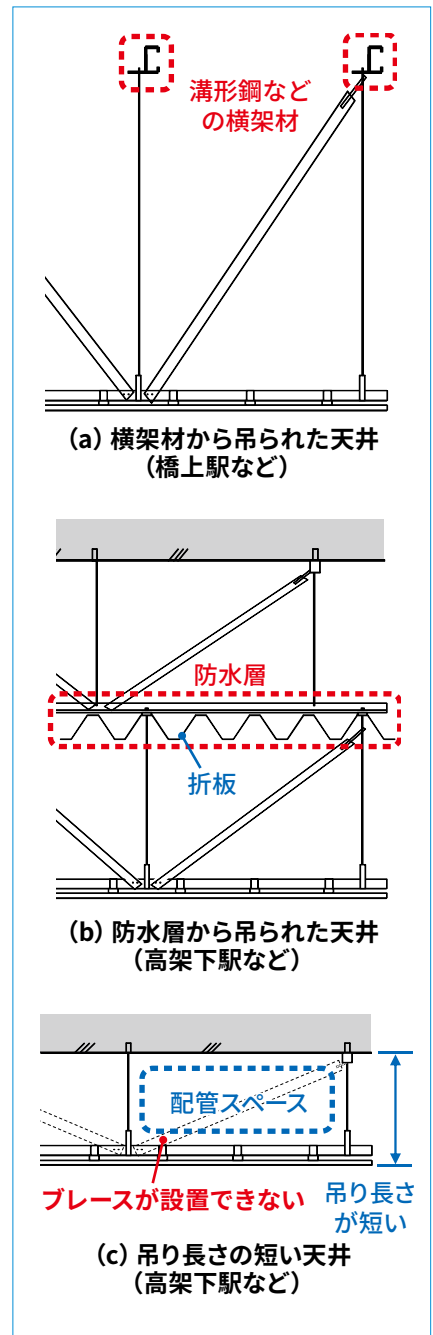


図3 駅の天井の特徴

あります。

これらのように、天井の吊り元が剛な部材ではない場合には、吊り元自身が地震時に振動することによって、天井の地震時の挙動に影響を与えることが考えられます。しかし、その影響が明確ではなかったため、天井技術基準に示されている天井の地震力設定法をそのまま用いることが困難となることが課題でした。

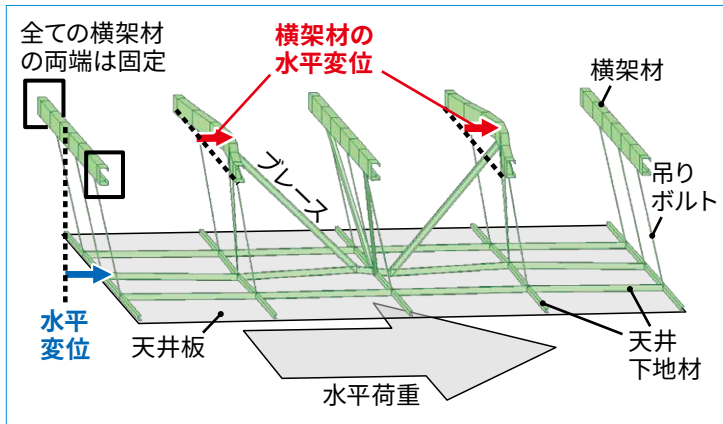


図4 横架材から吊られた天井の解析結果

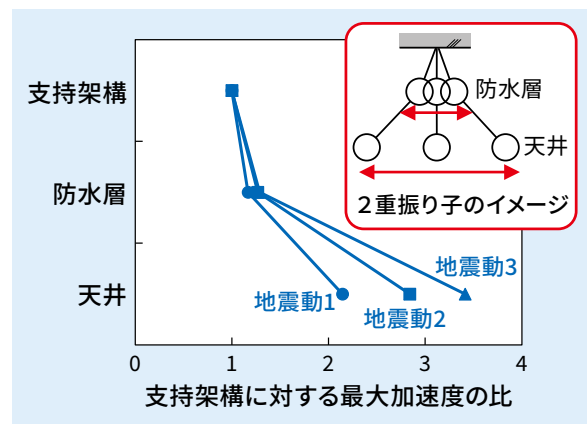


図6 防水層から吊られた天井の実験結果

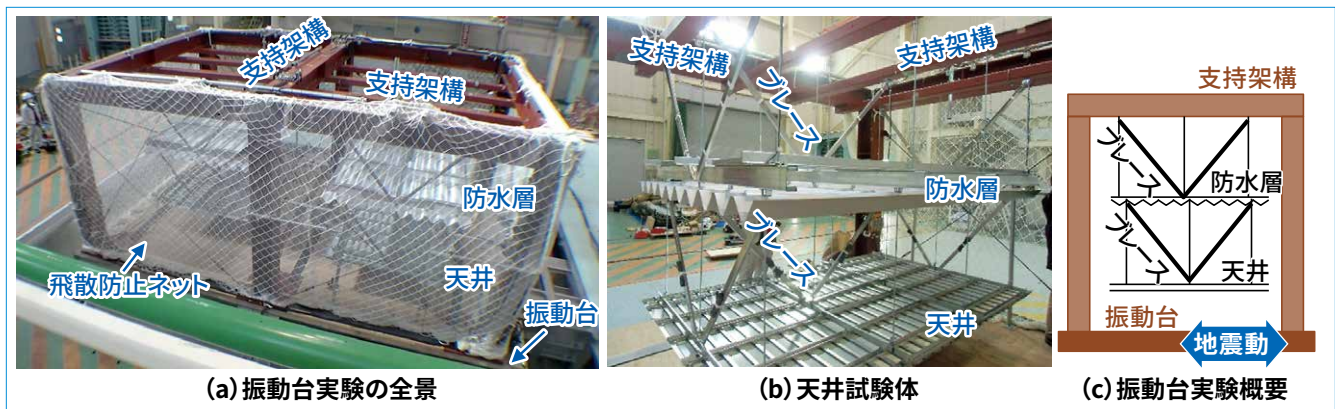


図5 防水層から吊られた天井の振動台実験の概要

吊り長さが短い場合

さらに、漏水の心配がない高架下駅などで、高架橋の高さが低い駅では、図3(c)に示すように、天井の吊り長さを十分確保できず、天井裏のスペースの大部分を設備配管などが占める場合もあります。そのため、天井裏空間を塞ぐブレースの適用が困難となることが課題でした。

以降では、これら2つの駅の天井の課題に対する技術検討について説明します。

吊り元が剛な部材ではない場合の天井の地震力設定法³⁾

横架材から吊られた天井

まず、横架材から吊られた天井に対する検討について紹介します。

横架材の剛性が、横架材を含めた天井全体の地震時の挙動に与える影響を検討するため、剛性の異なる複数の横架

材のそれぞれから吊られた天井に対して、天井板に地震力を想定した水平荷重を作用させる数値解析を行いました。

解析結果の変形イメージを図4に示します。解析結果より、ブレースから伝わる水平力によって横架材も変形するため、剛な部材から吊られた天井に比べて、天井の水平変位が大きくなることわかりました。また、横架材の水平変位は横架材の水平剛性に依って異なること、そして天井の水平変位も横架材の水平剛性に依って異なることもわかりました。

以上から、横架材から吊られた天井の地震力については、横架材の水平剛性を加味した天井の水平剛性を基に、天井技術基準の方法に準じて設定する方法を提案しました。

防水層から吊られた天井

次に、防水層から吊られた天井に対する検討について紹介します。

防水層から吊られた天井の地震時の挙動を把握するため、振動台実験を行いました。その実験概要を図5に示します。振動台上の高架橋を模擬した支持架構に防水層および天井を設置し、建築物の設計や構造解析で一般に用いられる地震動を3種類それぞれ振動台に入力しました。入力した3種類の地震動は、過去の3地点の地震観測記録を参考に設定しました。

支持架構の最大加速度に対する防水層および天井の最大加速度の比を図6に示します。防水層に比べて天井の最大加速度の方が大きいことがわかりました。また、これをふまえて別途実施した解析検討の結果、防水層と天井の加速度は、これらを2重振り子とみなして単純化して計算できることを把握しました。

以上から、防水層から吊られた天井の地震力については、天井技術基準に示されている地震力設定法を基本とし

つつ、2重振り子として計算した天井の加速度を考慮して設定する方法を提案しました。

吊り長さの短い天井の耐震補強工法⁴⁾

続いて、吊り長さの短い天井への耐震補強工法について紹介します。提案工法の概要を図7に示します。これは、一般的な小径の鋼管を補強材として用い、吊りボルトを覆うように鋼管を設置した後に、鋼管下端をナットで締め付けたものです。これによって、鋼管には吊りボルトを反力とした軸方向力が導入され、吊り元である高架橋と鋼管を接触させ、地震時に天井に作用する水平力に対して鋼管の支圧力により抵抗することを期待したものです。

提案工法の耐震性能を確認するために、実物大の天井試験体に地震力を想定した水平力を加力ジャッキにより作用させる構造実験を行いました。構造実験の概要を図8に示します。鋼管は幅が25mm、板厚が1.2mmの角パイプとし、吊り長さは一般の天井の500～1500mmに比べて短い300mmと450mmの2ケースとしました。

構造実験の結果、設計で想定する最大の地震力を超える水平荷重を、実際の地震動を想定してくりかえしに作用させても、天井を構成する各部材が損傷しないことから、本提案工法は高い耐震性能を有することがわかりました。これにより、天井裏空間をわずかに遮蔽する程度で耐震補強が可能となります。また、補強に要する構成部材はいずれも安価で、施工が容易であることから、吊り長さの短い天井への適用に対して有効です。

おわりに

一般建物にはない特徴をもつ駅の天井の構造安全性に関する技術開発につ

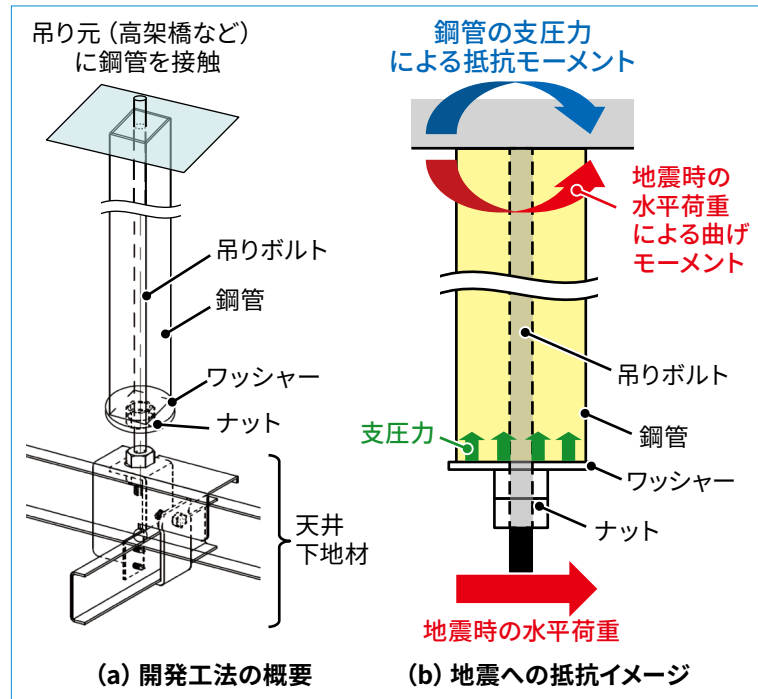


図7 鋼管による耐震補強工法の概要

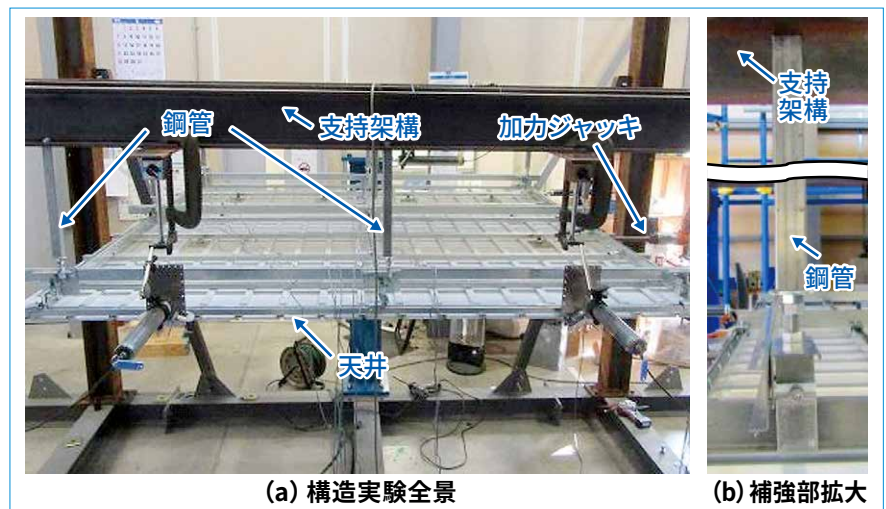


図8 吊り長さの短い天井の構造実験概要

いて紹介しました。

これからも安心して駅を利用いただけるように、普段は目に付かない部分

であっても、災害に対する駅空間の安全性を高めるような研究開発を進めていきます。**RRR**

文献

- 1) 国土技術政策総合研究所、建築研究所、新・建築士制度普及協会：建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説（平成25年10月版）、建築性能基準推進協会、2013
- 2) 東日本大震災合同調査報告書編集委員会：東日本大震災合同調査報告 建築編6 非構造部材、日本建築学会、2019
- 3) 清水克将、三木広志、山田聖治：既設駅舎の天井改良工法選定のための耐震設計法、鉄道総研報告、Vol.32, No.2, pp.47-52, 2018
- 4) 清水克将、三木広志、山田聖治：吊り長さの短い駅舎天井の耐震改修工法：鉄道総研報告、Vol.34, No.6, pp.47-52, 2020