

傾斜およびハンガーの偏心性が吊り天井の地震時挙動に与える影響について

正会員 〇千葉 賢
同 磯部 大吾郎

吊り天井 鋼製下地在来工法天井 地震応答
有限要素法 ASI-Gauss 法

1 序論

近年、吊り天井が大規模地震の際に落下し床に散乱する被害が問題になっている。吊り天井の形状による脱落メカニズムの変化に関する研究としては、学校体育館における山形の傾斜を有した吊り天井の地震時挙動を数値解析した例[1]がある。ここでは、傾斜を有する吊り天井は、壁からの反力によって生じるモーメントに起因して吊りボルトが座屈し、天井面が不安定に上下方向に振動することによって接合金具に負荷が生じることが報告されている。さらに、別の実験的研究[2]ではハンガーと呼ばれる接合金具が偏心性を有することによって、吊りボルトの軸力変動に影響を及ぼすことが言及されている。

しかしながら、上記の研究のいずれにおいても、傾斜および偏心性の有無が天井の地震時挙動に及ぼす影響を定量的には検証していない。これらの構造的な差異が地震時の吊り天井の挙動に与える影響を定量的に把握することは、吊り天井の設計や適切な耐震対策を施す上で極めて重要である。

そこで本研究では、傾斜および偏心性の有無が吊り天井の地震時挙動に与える影響を、有限要素法を用いて数値解析的に検証する。数値解析手法には、既存の研究[1]で吊り天井の地震時脱落挙動を良好に再現できることが示されている ASI-Gauss 法[3]を用いる。

2 吊り天井の数値解析モデル

本研究では、鋼製下地在来工法の吊り天井を解析対象とし、その仕様は E-ディフェンスで行われた天井脱落実験[4]で使用された吊り天井試験体と同じものとする。ただし、各部材の寸法は異なる。

吊り天井の解析モデルを図1に示す。それぞれ傾斜およびハンガーの偏心性の有無を考慮し、4つの解析モデルを作成した。天井全体の寸法は桁行方向 8.0 m×梁間方向 20.1 mとし、傾斜有りの天井の勾配は 10:3 とする。偏心性を有するモデルでは、図1のように、ハンガーをL字型にモデル化することで、偏心性を表現した。各モデルは CASE 1 (傾斜無し、偏心性無し)、CASE 2 (傾斜無し、偏心性有り)、CASE 3 (傾斜有り、偏心性無し)、CASE 4 (傾斜有り、偏心性有り)とする。CASE 1, 3 は要素数 13,102、節点数 11,001 で、CASE 2, 4 は要素数 13,426、節点数 11,325 である。壁と仕上げ材の衝突を表現するために、吊り天井モデルの梁間方向の両端に壁を模擬した横架材要素を設置した。横架材は隣接する仕上げ材と同じ高さに配置し、仕上げ材との隙間には 2 mm のクリアランスを設けている。

3 吊り天井の地震時挙動解析

3.1 解析条件

入力地震波としては、K-NET 仙台波 50 %の NS 方向成分 (図2) を梁間方向に一軸で入力している。また、時間

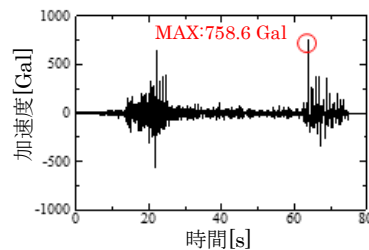


図2 K-NET 仙台波 50 % (NS 方向成分)

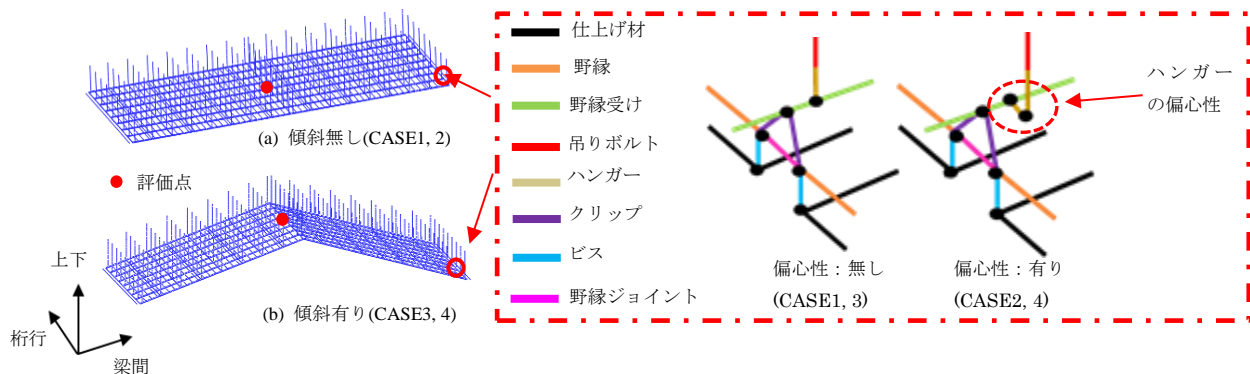


図1 吊り天井の解析モデル

増分は入力波データの時間刻みと同じ 0.001 s であり、解析時間は 80 s である。

なお、本解析では、接合金具であるクリップに作用する断面力を評価するため、接合金具の脱落は考慮していない。また、拘束点（かつ地震波入力点）は各吊りボルトの上端点と横架材の両端点である。

3.2 解析結果

解析で得られた上下方向の応答加速度、クリップおよび吊りボルトに作用する軸力をそれぞれ図 3, 4, 5 に示す。なお本解析における評価点は、図 1 に示すように吊り天井の頂部に設定する。

まず、傾斜の有無による結果の違いを比較する。図 3, 4, 5 より、CASE 1, 2 に比べて CASE 3, 4 の上下方向応答加速度、クリップと吊りボルトに作用する軸力の振れ幅が大きくなっていることが確認できる。評価点における各ケースの最大応答加速度は CASE 1, 3 の各々において 234.8 Gal, 2,239.3 Gal であり、傾斜があることで上下方向の最大応答加速度は約 10 倍に増大している。これらの原因としては、傾斜の無い吊り天井では、壁からの反力と慣性力が同一面内で作用するが、その一方、傾斜がある吊り天井は、傾斜があることによって壁からの反力と慣性力の作用線がずれ、頂部に頭上げモーメントが作用する。その結果、天井面の上下方向の応答が大きくなり、クリップおよび吊りボルトに作用する軸力の振れ幅が大きくなると考えられる。

次に、傾斜の無い天井においてハンガーの偏心性の有無についての比較を行う。図 3, 4, 5 から、上下方向の応答加速度、クリップ、吊りボルトに作用する軸力はほとんど変化がない。このことから、傾斜のない天井では、ハンガーの偏心性があったとしても、上下方向の応答加速度、クリップと吊りボルトの軸力にはほとんど影響を及ぼさないことが分かる。

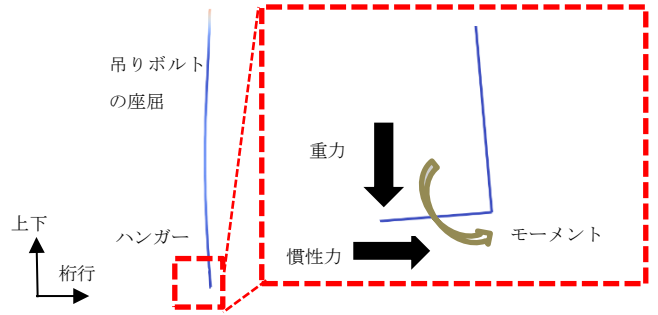


図 6 ハンガーの偏心性によって生じる局所的なモーメント

最後に、傾斜を有する場合における偏心性の影響について述べる。図 3, 4, 5 より、CASE 3 に比べ、CASE 4 の方が上下方向の応答加速度、クリップに作用する引張軸力、吊りボルトに作用する圧縮軸力が増加していることがわかる。偏心性を有する吊り天井は、無い場合と比べ、上下方向の加速度が大きくなる。図-2 より最大応答加速度は偏心性があることで約 2 倍になっている。これは、ハンガーに図 6 に示すような力が作用し、局所的なモーメントが作用していることが考えられる。このモーメントにより吊りボルトの座屈と上下方向の応答が誘発される。上下方向の応答が激しくなることで、クリップに作用する軸力の振れ幅が大きくなっているものと考えられる。

4 結論

本研究では、鋼製下地在来工法の吊り天井を対象に、傾斜、ハンガーの偏心性それぞれの有無が天井の地震時挙動に及ぼす影響を数値解析的に調査した。その結果、これらの構造的な差異が吊り天井の地震時挙動に与える影響を定性的に示すことができた。

今後は、入力する地震波の方向を増やした際の傾向について調査していく。また、ハンガーの偏心性によって生じるモーメントをより正確に把握し、調査していくことを考えている。

参考文献

- [1] 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。
- [2] 清水 陸朗、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 その 1 吊り材の軸力の変動、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-1、pp.965-966、2018。
- [3] D. Isobe: Progressive Collapse Analysis of Structures: Numerical Codes and Applications, Elsevier, eBook ISBN: 9780128130421, Paperback ISBN: 9780128129753, 2018。
- [4] 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。

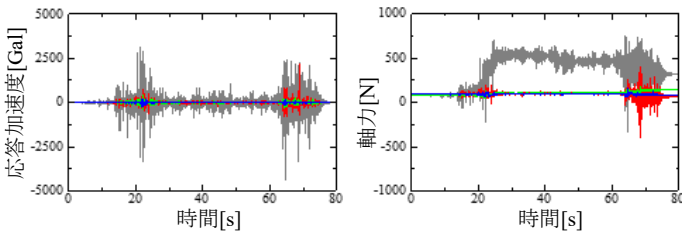


図 3 上下方向応答加速度

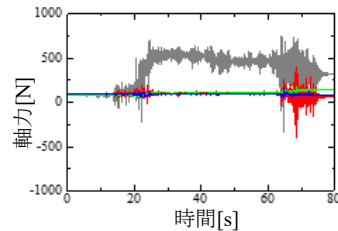


図 4 クリップに作用する軸力

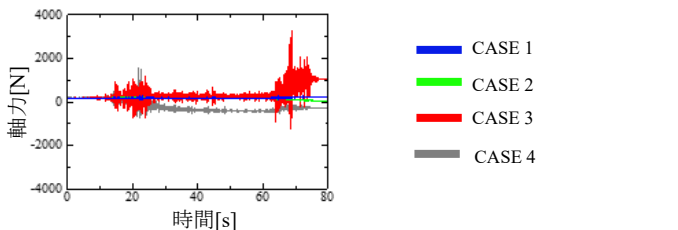


図 5 吊りボルトに作用する軸力

* 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 大学院生

** 筑波大学 教授・博（工）

* Graduate Student, Univ. of Tsukuba

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