

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	中国式グリッドシステム天井の動的性状に関する数値解析
Title(English)	Numerical study on dynamic characteristics of Chinese type of ceiling
著者(和文)	李ミンフェイ, 元結 正次郎
Authors(English)	Minfuei Ri, Shojiro Motoyui
出典(和文)	理論応用力学講演会 講演論文集
Citation(English)	NCTAM papers, National Congress of Theoretical and Applied Mechanics, Japan
発行日 / Pub. date	2022, 10

中国式グリッドシステム天井の動的性状に関する数値解析 Numerical study on dynamic characteristics of Chinese type of ceiling

リ ミンフェイ（東工大） 元結 正次郎（東工大）
MINHUI LI, Grad. Student, Tokyo Institute of Technology
Shojiro MOTOYUI, Prof, Tokyo Institute of Technology
FAX: 924-5610, E-mail: motoyui.s.aa@m.titech.ac.jp

In previous studies, the full-scale shaking table test on the type of Chinese type of ceiling with seismic clips installed on a steel platform is conducted. In this study, we present a numerical analysis model for highly accurate reproduction of shaking table test on the type of Chinese type of ceiling, and clarify analysis model's effectiveness by comparing numerical analysis result with the test result.

1. はじめに

非構造要素は構造要素以外の建築要素、設備機器および家具に代表されるすべてのものが相当する。芸予地震以降の多くの地震において天井の落下をはじめとする非構造要素の被害が確認され、特に人的被害が発生した在来工法天井に限定した吊り天井の耐震化に関する告示が 2014 年に国土交通省により施行された。

一方、中国でも 2013 年の四川雅安地震で学校の教室やホールの天井が落下する被害が発生しており、今後大地震が発生した際には甚大な被害が懸念されている。中国式天井は米国のグリッドシステム天井を基本として中国独自に展開した仕様であり、ブレースを設置せず天井の鋼製部材（以下、T バー）を天井周囲の壁に耐震クリップと呼ばれる金物で連結するなどの特徴を有している（Fig.1）。このために、中国式天井については独自に研究しなければならない。このような背景のもと、同済大学と東京工業大学は 2019 年に共同で振動台実験を企画・実施している¹⁾。実験で用いた試験体は Fig.2 に示す平面形状を持つ中国式グリッドシステム天井であり、天井の周囲には壁を想定した鉄骨梁を配置し実状に近い境界条件を再現したものとなっている。この実験では天井と周囲の鉄骨梁間の耐震クリップ部においてすべり・衝突など基本的な挙動が確認されているものの、実験での限られた計測点における結果のみでは天井の動的挙動の実態を明らかにすることは困難である。

そこで本研究では、当該実験を高精度で再現しうる数値解析モデルを構築することを目的としている。

2. 数値解析モデルの概要

上記の振動台実験の結果を再現するためのモデル化について説明する。解析対象部位は Fig.2 中の□で囲んだクロス T バーにて形成される 1 列である。T バーはトラス要素にてモデル化する。T バーを表現するトラス要素の断面積はクロス T バー及び接合部を含んで全体的軸剛性を考慮した上で、数値解析モデルの T バートラス要素の断面積は 3mm^2 とした。Fig.3 に示すように、クロス T バー間にその分に対応する質量を持つ質点を設置する。質点①及び質点②は壁を表現し、一列のクロス T バーは質点②から質点②④まで 23 質点系でモデル化する。実際の試験体の一列のクロス T バーでは、両端部の T バーの長さは半分したから、数値解析では質点②及び質点④は 0.57kg とし、質点③から質点②③は 1.14kg とした。耐震クリップ部位にて発生する摩擦効果および天井端と壁間の衝突現象を表現するためにトラス要素を個々に設置している。耐震クリップと T バー間の摩擦による履歴は移動硬化則に従う弾塑性体としてモデル化している（Fig.4a）。そこで、移動硬化則に従って構築

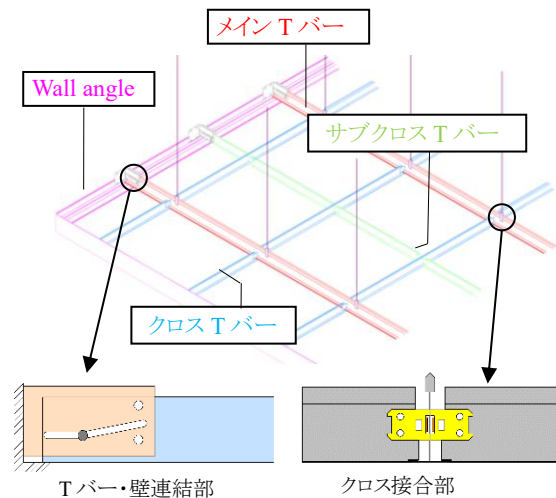


Fig.1 中国式天井

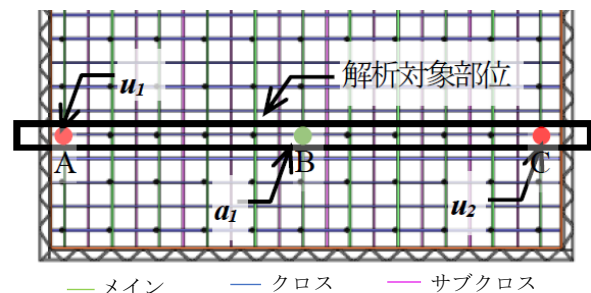


Fig.2 同済大学にて実施した試験体

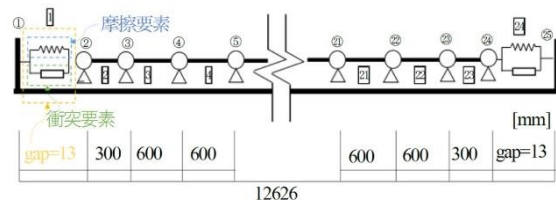


Fig.3 数値解析モデル全体

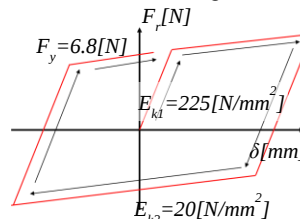


Fig.4(a) 摩擦履歴モデル

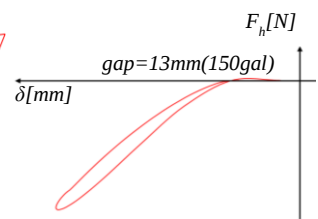


Fig.4(b) 衝突履歴モデル

する上で一次勾配係数は $E_{k1}=225\text{N/mm}^2$ 、二次勾配係数は $E_{k2}=20\text{N/mm}^2$ 、降伏耐力 $=6.8\text{N}$ とする。T バーと壁との間に発生する衝突現象は Hertz モデル²⁾によってモデル化している(Fig.4b)。Hertz の接触理論によって、衝突力 F_c は以下のように表される。

$$F_c = k_h \delta^{3/2} + c_h \dot{\delta} \quad (1)$$

$$c_h = 1.6k_h(1-e)\delta^{3/2}/e\dot{\delta}_0 \quad (2)$$

ここに、 k_h は衝突剛性、 c_h は減衰係数、 e は反発係数である。 $\delta, \dot{\delta}$ は衝突する2物体の相対変位及び相対速度であり、 $\dot{\delta}_0$ は衝突直前の相対速度である。衝突剛性が大きいほど、クロス T バーが壁と衝突した直後の応答加速度は大きくなる。耐震クリップ部位の隙間が狭いほど天井が両端の壁に衝突する時間が早くなる。これを基に、衝突剛性 $k_h=500[\text{N/mm}^2]$ 、 $e=0.9$ のとする。入力波は実験で使った振動数推移は 6Hz から 0.8Hz までと徐々に振動数が低下する下がり 150gal のスイープ波を採用して解析を行う。

3. 解析結果

Fig.5～Fig.7 は応答変位及び応答加速度の時刻歴について解析結果（黒線）と実験結果（赤線）を比較したものである。本解析では、実験と同じ 150gal のスイープ波を入力して、数値計算を行う。変位および加速度は Fig.2 に示す箇所（点 A,B,C）にて計測されたものである。実験応答変位と解析結果の比較から、天井面の滑り出しより変位が徐々に大きくなる現象や変位が所定の値（初期状態における天井と壁間の隙間）に達した段階で発生する壁への衝突現象に至るまで両者は対応している。実験応答加速度と解析結果の比較から、天井中心部の応答加速度時刻歴及び位相に関して両者もよく対応している。さらに、Fig.7 に示す加速度-変位関係も解析結果は実験結果と良く対応したことが数値計算で確認した。以上のことから、滑りや衝突といった極めて非線形性の強い現象に対しても本数値解析モデルは十分な精度を有していると判断される。

4. まとめ及び今後の展望

滑りや衝突といった極めて非線形性の強い挙動を含めて対応可能とする数値解析モデルを構築し、実験結果と比較することでその妥当性を明らかにした。特に天井の衝突問題に対して Hertz モデルの妥当性を証明した。しかしながら、250gal や 350gal などもっと複雑な現象（T バー接合部の座屈や天井パネルの落下など）が発生する実験の場合、もっと精度が高い数値解析モデルが必要だと考えている。今度の数値解析モデルはあくまで中国グリッドシステム天井の動的性状を把握するために基本的なモデルであり、今後この数値モデルを踏まえてより適用性高い数値解析モデルを構築することが目指している。

謝辞

本研究は JST 産学共創プラットフォーム共同推進プログラムおよび JSPS 科研費 16H02375（基盤研究（A）代表者：元結正次郎）の支援を受けました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) Jiang Huanjun, Wang Yong, Kasai Kazuhiko, et al. Shaking table test on Chinese style suspended ceiling systems[C]//Proceeding of the 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan, 2020
- 2) 角友太郎、元結正次郎、金子健作、菅野嵩見：衝突に関わる基本特性および解析手法の検討 その1 不可避的な隙間を有する天井の地震時衝突挙動に関する検討、日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿）pp987-988,2014.9

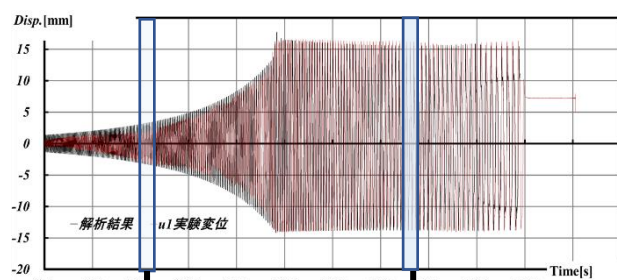


Fig.5(a) u_1 変位応答(150gal)

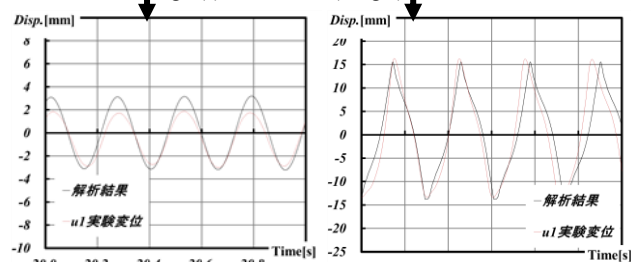


Fig.5(c) u_1 変位応答局部(150gal)

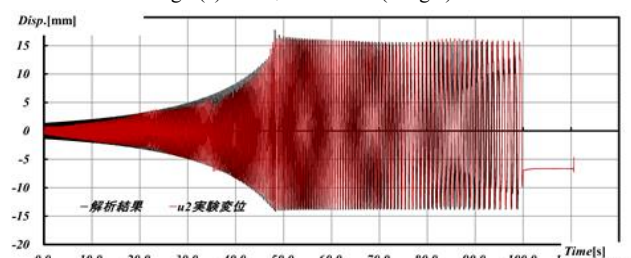


Fig.5(b) u_2 変位応答(150gal)

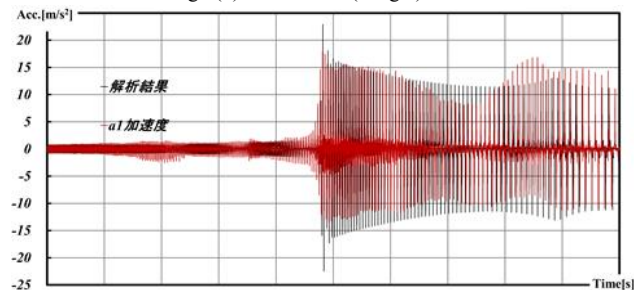


Fig.6(a) a_1 加速度応答(150gal)

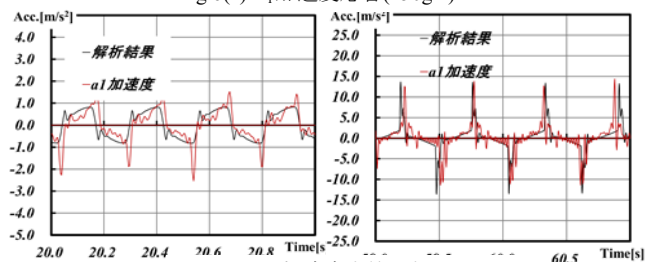


Fig.6(b) a_1 加速度応答局部(150gal)

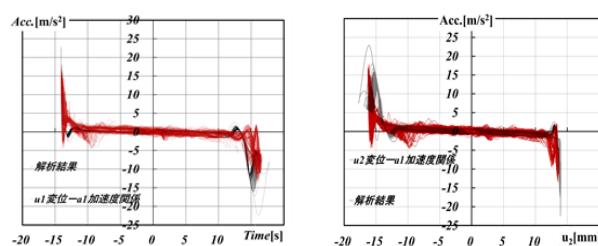


Fig.7(a) a_1 加速度- u_1 変位関係

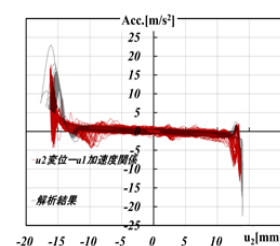


Fig.7(b) a_1 加速度- u_2 変位関係