

動的要素実験の概要および再現解析モデルの提案

地震時における鋼製下地在来工法天井と設備機器の相互作用に関する研究 その2

正会員 ○森 大*¹ 同 元結 正次郎*²
同 山下 哲郎*³ 同 石原 直*⁴

鋼製下地在来工法天井 設備機器 衝突
動的実験 数値解析

1. はじめに

その1より天井の脱落は懐内の設備機器が吊りボルトへ衝突することによるクリップの損傷が主な原因であることを再確認した。本報告では、それらの結果を踏まえて、小規模な動的実験の結果を基に設備機器が錯綜する天井の再現解析を行う上で必要となる基本情報を整備することを目的としている。

2. 設備衝突実験による天井の動的性状

設備機器が吊りボルトへ衝突した際の反発係数およびクリップへ作用する力を定量的に把握することを目的とし、設備衝突実験を行った。また、衝突現象の数値解析モデルをその1で得た下地材のモデルを基に提案する。

2.1 実験概要

実験概要を図1に示す。天井懐 1000mm 相当の吊りボルトを上フレームに固定し、吊りボルト1本分が負担する質量相当の900mm×900mmの天井を作製し、石膏ボードを下フレームに固定した。設備機器を想定した衝突体に強制変位を与え、解放することで吊りボルトへ衝突させる。その1の静的載荷実験と同様に吊りボルトおよびハンガーに配置したひずみゲージから衝突力を算出する。また、衝突体の中心に圧電型、ひずみ型加速度計を配置することで衝突体の慣性力を算出した。衝突部はアングルを衝突させ、スペーサーを介し圧縮荷重計により衝突力を計測し、アングルは圧縮力を与えることで固定している(図2)。このとき、アングル自体の慣性力が圧縮荷重計にかかるため、アングルに圧電型加速度計を設置し慣性力を算出している。試験体の種類として、吊元から衝突位置の距離 L を 831mm(ハンガーの直上)と 600mm の2種類、ハンガーの向き 2種類、計 4種類とした(表1)。また、下地材が損傷した際(クリップの脱落・すべり・ハンガーの塑性化等)、損傷しない場合と比較して反発係数および衝突体の応答値に影響を及ぼすことが予想できるため、慣性力をパラメータとして衝突体質量を変化させる。

2.2 実験結果

衝突実験に先立ち、被衝突体である天井システムの剛性を得るため、衝突体に強制変位を与え静的載荷を行った。結果を表1に示す。衝突位置は 600mm の方が、ハンガーの向きは Close の方がそれぞれ剛性が低いことが確認できる。次に、衝突体の水平剛性と減衰定数を得るため

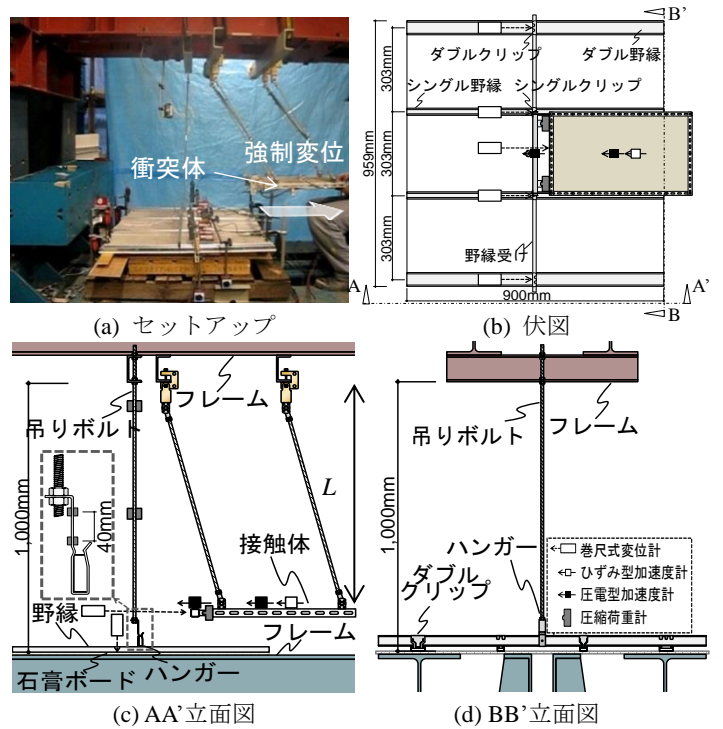


図1 実験概要および計測機配置

表1 静的試験結果

| 試験体 | ハンガー | 位置[mm] | 剛性[N/mm] |
|-----|-------|--------|----------|
| A | Open | 831 | 10.57 |
| B | Close | 831 | 7.89 |
| C | Open | 600 | 6.94 |
| D | Close | 600 | 3.80 |

※) Open:ハンガーが開く方向
Close:ハンガーが閉じる方向

図2 衝突部詳細

表2 自由振動結果

| 初期変位A[mm] | 試験体A・B | | | 試験体C・D | | |
|-----------|------------|-------|-------------|------------|-------|-------------|
| | 固有周期T[sec] | 減衰定数h | 水平剛性k[N/mm] | 固有周期T[sec] | 減衰定数h | 水平剛性k[N/mm] |
| 50 | 1.538 | 0.039 | 87.650 | 1.350 | 0.027 | 113.800 |
| 100 | 1.566 | 0.029 | 84.490 | 1.386 | 0.025 | 108.000 |
| 200 | 1.582 | 0.022 | 82.810 | 1.392 | 0.022 | 106.800 |
| 300 | 1.590 | 0.019 | 82.010 | 1.400 | 0.021 | 105.800 |

表3 衝突実験結果

| 試験体 | No. | 水平変位[mm] | 鉛直変位[mm] | 質量[kg] | エネルギー[N-m] | クリップすべり変位[mm] | | | | 塑性化の有無 | | 反発係数 |
|-----|-----|----------|----------|--------|------------|---------------|-------|-------|-------|--------|------|------|
| | | | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 吊りボルト | ハンガー | |
| A | 1 | 100 | 7.3 | 5.25 | 0.38 | 0.10 | 0.00 | 0.20 | 0.00 | 無 | 有 | 0.84 |
| | 2 | 300 | 67.9 | 5.25 | 3.50 | 1.00 | 3.00 | 2.00 | 0.50 | 有 | 有 | 0.64 |
| | 3 | 300 | 67.9 | 11.35 | 7.56 | 4.00 | 9.30 | 6.00 | 1.40 | 有 | 有 | 0.6 |
| | 4 | 300 | 67.9 | 15.17 | 10.10 | 6.50 | 9.00 | 6.50 | 1.30 | 有 | 有 | 0.58 |
| | 5 | 300 | 67.9 | 22.81 | 15.19 | 9.00 | 14.50 | 15.20 | 15.00 | 有 | 有 | 0.56 |
| | 6 | 300 | 67.9 | 31.59 | 21.03 | 14.30 | 30.00 | 44.90 | 45.00 | 有 | 有 | 0.44 |
| B | 7 | 100 | 7.3 | 5.25 | 0.38 | 0.50 | 0.50 | 0.50 | 0.00 | 有 | 有 | 0.85 |
| | 8 | 300 | 67.9 | 5.25 | 3.50 | 0.50 | 1.00 | 3.00 | 3.00 | 有 | 有 | 0.68 |
| | 9 | 300 | 67.9 | 11.35 | 7.56 | 3.00 | 10.00 | 27.00 | 35.00 | 有 | 有 | 0.56 |
| | 10 | 300 | 67.9 | 15.17 | 10.10 | 3.50 | 13.50 | 37.10 | 49.30 | 有 | 有 | 0.27 |
| C | 11 | 300 | 107.0 | 5.25 | 5.53 | 1.00 | 2.00 | 1.00 | -0.50 | 無 | 有 | 0.83 |
| | 12 | 300 | 107.0 | 11.35 | 11.96 | 3.00 | 3.00 | 1.00 | 0.00 | 無 | 有 | 0.83 |
| | 13 | 300 | 107.0 | 15.17 | 15.98 | 6.00 | 6.00 | 3.50 | 1.00 | 無 | 有 | 0.78 |
| D | 14 | 300 | 107.0 | 5.25 | 5.53 | -0.50 | -0.50 | -0.50 | -1.00 | 無 | 有 | 0.9 |
| | 15 | 300 | 107.0 | 11.35 | 11.96 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 無 | 有 | 0.84 |
| | 16 | 300 | 107.0 | 15.17 | 15.98 | 1.00 | 1.00 | 2.00 | 2.00 | 有 | 有 | 0.78 |

に、衝突体単体による自由振動試験を行った。結果を表 2 に示す。これにより、衝突体は振幅依存性を有することが確認できる。また、衝突実験結果の一覧を表 3 に示す。代表して No.2 に関して衝突力、速度および変位の時刻歴応答波形を図 3(a~d)に示す。ただし 1 回目の衝突時のみを示している。圧縮荷重計の計測値が立ち上がるころを接触、再び戻るところを離間とし、接触時と離間時の速度より反発係数を求めた。ここに、速度は変位応答値を微分することにより得ている。本実験は図 3(d)に示すように、衝突体の慣性力、圧縮荷重計の合計値、および吊りボルトのせん断力の釣り合いにより、計測が妥当であることを確認した。また図 3(e,f)に No.2 の、ハンガーのひずみおよび野縁受け変位の時刻歴応答を示す。これらにより、反発係数等衝突体の応答にはハンガーの塑性化やクリップのすべりによるエネルギー散逸が生じていると推測される。

2.3 再現解析

Hertz の接触理論³⁾に基づくモデルを用いて、再現解析を行う。図 4、表 4 に解析モデルおよび解析諸元を示す。 k_{eq} 、 c_{eq} および m は衝突体の水平剛性、減衰定数および質量であり、自由振動試験の結果を参照した。Hertz モデルのばね定数 k_h は試行錯誤的に与え、同減衰定数 c_h は衝突実験より得られた反発係数 e の関数より求められる。 L は吊元から衝突位置までの距離、 k_c は先述した下地材のモデルをまとめ、1 つに縮約した非線形ばねを用いた。これにより、衝突によるクリップのずれ、ハンガーおよび野縁受けの塑性化を考慮したモデルとなっている。図 6 に試験体 No.2 の実験およびそれと同等の条件における再現解析モデルの時刻歴変位応答を示す。これにより実験値と解析値は良く対応しているといえる。1 回目の衝突は下地の損傷によるエネルギーの損失が大きく、2 回目以降と比較して大きく減衰していることが確認できる。本モデルを用いることにより、これらの現象を考慮した衝突挙動が再現可能であることを確認した。

3. まとめ

設備機器と吊りボルトの衝突を模擬した実験を行い、反発係数などの情報を得た。また、その 1 の静的載荷実験結果から得られた天井のシステムの数値解析モデルにより、吊りボルトと設備機器間の衝突挙動を再現可能であることを示した。これらのモデルを用いて複合実験の再現解析を行うことが今後の課題である。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 24246094(基盤研究(A)代表者；元結正次郎)の助成を受けたものです。ここに謝意を示します。

*1 株式会社山下設計 (元東京工業大学大学院生)

*2 東京工業大学大学院 人間環境システム専攻 教授・工学博士

*3 工学院大学建築学部 教授・工学博士

*4 建築研究所

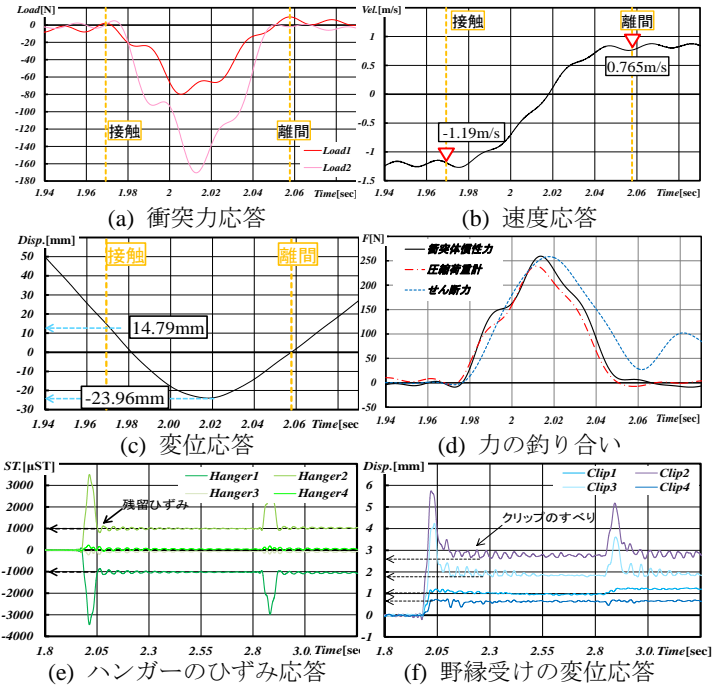


図 3 衝突実験結果(No.2)

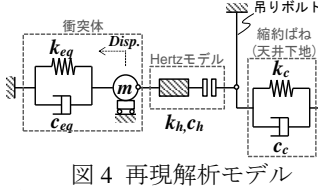


図 4 再現解析モデル

表 4 解析諸元

| | | |
|----------|---------------------|-------------|
| k_{eq} | 82.01 | N/m |
| c_{eq} | 0.84 | |
| m | 5.25 | kg |
| k_h | 1.00×10^5 | $N/m^{1.5}$ |
| c_h | 1.507×10^4 | N/mm |
| L | 831 | mm |

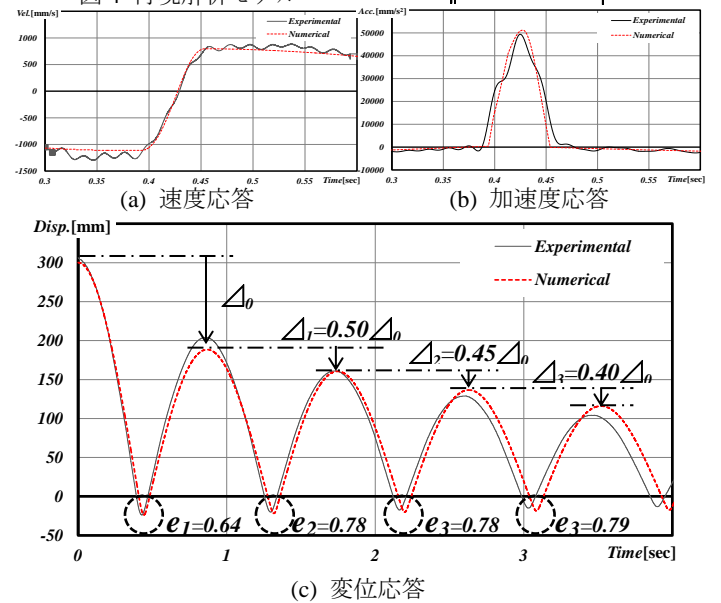


図 6 時刻歴応答(試験体 No.2)

参考文献

- SODIK, Ferdin Ferdian, 元結正次郎, 吉川昇: クリップの力学的特性に関する実験的検討鋼製下地在来工法天井のクリップによる接合特性 その 1, 日本建築学会大会学術講演梗概集 859-860, 2007.08
- 元結正次郎, 佐藤泰章: 鋼製下地在来工法天井における野縁方向水平剛性評価法, 日本建築学会構造系論文集 79(703), 1395-1403, 2014.09
- 角友太郎, 元結正次郎, 金子健作, 菅野嵩見: 不可避的なギャップを有する天井の地震時衝突挙動に関する研究その 1~その 2, 日本建築学会大会学術講演梗概集 987-990, 2015.09

*1 YAMASHITA SEKKEI INC.

*2 Prof. Dept. of Built Environment, Tokyo Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 Professor, School of Architecture of Kogakuin University, Dr. Eng.

*4 Building Research Institute