

地震による天井の損傷の診断方法に関する研究

—その2 診断方法の実験—

天井
損傷 診断 点検
損傷 非構造部材

正会員
同

○水野 貴斗 1* 正会員
清家 剛 3*** 同

八木 尚太朗 2**
荒井 智一 4****

1. はじめに

その1において、診断データの分析から、天井裏での損傷が多いことが分かった。本編では、天井裏の損傷を検出するための新しい診断方法の検証の為に、実証実験を行った。

2. 実証実験の概要

見過ごされやすい天井裏の損傷を検知する診断方法の検証を行う為、2022年10月から12月にかけて、写真1に示す4m×3mの大きさで、耐震天井ではない標準的な仕様の吊り天井の試験体を用いて実験を行った。

試験体には、図1に示す様に、天井の片側に壁を模したフレームを設置し、フレームに天井を衝突させることで、天井の損傷を図った。

天井の衝突実験は、表1に示す加力計画で行った。セット3～12の人力による衝突は、天井を60mm程人力で引っ張った状態から離すことによってフレームに衝突させた。また、セット5以降において人為的にクリップを外すことで損傷の再現を図った。



写真1 試験体の様子

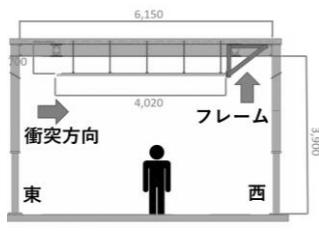


図1 試験体の断面

表1 加力計画

セット	各セットの詳細
1	鉄骨骨組みの自由振動による衝突
2	鉄骨骨組みの自由振動による衝突
3	人力による衝突
4	人力による衝突
5	クリップを1個外した状態での人力による衝突
6	クリップを2個外した状態での人力による衝突
7	クリップを3個外した状態での人力による衝突
8	クリップを4個外した状態での人力による衝突
9	クリップを5個外した状態での人力による衝突
10	クリップを6個外した状態での人力による衝突
11	クリップを7個外した状態での人力による衝突
12	クリップを8個外した状態での人力による衝突
13	クリップを8個外した状態での鉄骨骨組みの自由振動による衝突
14	クリップを8個外した状態での鉄骨骨組みの自由振動による衝突

3. 目視による損傷観察の結果

最初に実施した鉄骨骨組みの自由振動による衝突（セット1・2）では、ナットの緩みや写真2の様なクリップの緩み、写真3の様な端部での天井板の損傷、端部での野縁の変形が確認された。人力による衝突（セット3～12）では、クリップを外すことによる天井板のたわみやナットの緩みが観察された。また、ボードの破損は、衝突を繰り返すごとに下張ボード・仕上げ材とともに損傷が拡大した。最後に実施したクリップを外した状態での鉄骨骨組みの自由振動による衝突（セット13・14）では、それまでに観察された損傷の他に、写真4の様なクリップの外れ、野縁受けの滑り、吊りボルトの変形が観察された。クリップの緩み・変形、外れに関しては、セット3～12においてクリップを外した箇所の周辺で見受けられた。

4. 各種診断方法による損傷観察の結果

目視以外の診断方法として、「目視に代わる画像・映像的な調査方法や音声的な方法」であるドローンや内視鏡カメラ、端部からの広角カメラによる調査などと、「振動特性など定量的なデータによる方法」である加速度計を用いた天井面の傾きや振動数の計測などを検証した。

診断方法を一部取り上げると、ドローンによる撮影は、姿勢制御が付いている機体とついていない機体の2種類を主に使い撮影した。姿勢制御機能が付いている機体は、操縦の技能を持たない者でも比較的簡単に操縦することが可能であるものの、姿勢制御機能の影響により、60cm



写真2 クリップの緩み

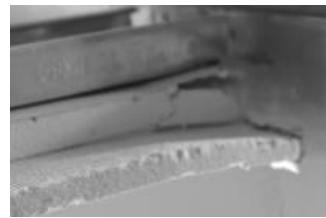


写真3 天井板の損傷



写真4 クリップの外れ



写真5 ドローンからの映像

よりも下の高さを飛行できないため、梁下や障害物の下などの飛行させることができないことが困難である。対して、姿勢制御機能が付いていない機体は非常に小さいため気流の影響を受けやすく、操縦の技能を持たない者では操縦することが非常に難しい反面、姿勢制御機能の影響がないため、梁下や障害物の下などを飛行させることができ、確認したい部材の近くに寄せることもできるので、画質は劣るもの、詳細を確認する事が出来る。

加速度計による天井面の傾きの計測では、たわみが目視で確認するより小さい段階で検知できるもの、損傷の近辺に設置していないと検知できないという課題が明らかになった。今後、それぞれの野縁受けに付けた場合なども検討していくべきと考えられる。

現状の目視による観察以外の新たな診断方法を、表 2 に示す評価基準で評価することで比較する。表 3 に診断方法ごとの評価の結果を示す。表 3 の傾向から、事前の機器の設置などの制約がなく、詳細に広範囲を観察できる事（表 3 の左に○が多い）と遠隔で確認することが出来ること（表 3 の右に○が多い）は両立が難しく、相反する結果となっている。ドローンによる撮影は明度の制限に課題はあるものの、詳細に広範囲を観察できることと遠隔で確認できることを両立し、有効性が高い。また、広角カメラ・360° カメラによる高所撮影用の機材を用いた撮影も、ドローンに比べ遠隔性は劣るものの、ドローンの次に両立しており、有効性が高いと考えられる。しかし、画像的な調査は、写真 5 に示すように、ナットの僅かな緩みなどは分かりづらいという課題がある。

5.まとめ

地震後には天井裏に損傷が生じる可能性が高いにも関わらず、天井下から視認できる損傷がない場合、天井裏の点検が行われず、天井裏の損傷が見過ごされている可

能性が高いという課題がある。この課題に対し、実験を通じて、新たな診断方法の有用性について検討を行った結果、明度の制限や画像では分かりづらい損傷があるという課題はあるものの、広範囲に渡って詳細に天井裏を観察することが出来るドローンや高所撮影用の機材を用いた広角カメラや 360° カメラによる撮影が有効であることを示した。

今後、サーモグラフィーカメラが小型化すれば、ドローンと組み合わせることで、明度の制限を解決できる可能性があるよう、技術の進歩に合わせ、診断方法を組み合わさることも検討していくべきである。また、画像的な調査で分かりづらい損傷に関しては、音波的調査方法も検討していくべきだと考えられる。

謝辞

本研究は、日本耐震天井施工共同組合との共同研究で、多大なご協力を頂いた。ここに謝意を示す。

表 2 評価基準

評価基準	○ (2点)	△ (1点)	× (0点)
① 専門的な技術	必要ない	ある程度の習熟が必要	必要
② 事前の設置	必要ない	—	必要ある
③ 電源の制限	電源が不要	—	電源が必要
④ リスク	低レベル	中レベル	高レベル
⑤ カバー範囲	目視より広い (○:3点:全体)	目視と同程度	目視より劣る
⑥ 詳細性	目視より優位	目視と同程度	目視より劣る
⑦ 多用途性	他の用途に使える	他の特定の用途に使える	他の用途には使えない
⑧ 計測時間	数十秒/10m ²	数分/10m ²	5分/10m ² ～
⑨ 事前のデータ	必要ない	ある方が良い	必要ない
⑩ 遠隔性	遠隔で操作できる	天井下の端部に入る必要	天井裏や真下に入る必要
⑪ 明度の制限	光源が必要ない	機材に光源をつける必要	天井裏に光源が必要

表 3 診断方法に関する比較

分類	評価項目 診断方法	総合点										
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⑩	⑪
画像・映像的調査	広角カメラ	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×
	360° カメラ	○	○	○	○	○	○	○	○	△	△	×
	ドローン	△～×	○	○	△	○	○～△	△	△	○	△～×	18～14
視認性の向上	レーザー照射計	○	○	○	○	△	△	△	△	△	○	17
定量的な調査	レーザー距離計	○	○	○	△	△	○	△	△	×	×	○
画像・映像的調査	内視鏡カメラ	○	○	○	○	×	△	△	△	△	△	14
	サーモカメラ	○	○	○	○	×	△	△	×	△	×	○
	防犯カメラ	○	×	×	△	○	△	○	○	△	○	13
音声的調査	破壊音の検出	△	×	×	△	○	×	×	○	○	○	12
定量的な調査	加速度計(傾き)	○	×	×	×	△	○	×	○	×	○	11
	加速度計(振動数)	○	×	×	×	△	○	×	○	×	○	11
	音声的調査	打撃による音声	△	○	○	×	×	×	×	△	×	○

*東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 修士課程

**国立研究開発法人 建築研究所

*** 東京大学大学院新領域創成科学研究科社会文化環境学専攻 教授・博士(工学)

**** 桐井製作所

*Master's Course, Graduate Student, Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo

**Building Research Institute

*** Prof., Graduate School of Frontier Sciences, The Univ. of Tokyo, Dr. Eng.

**** Kirii Construction Materials Co, Ltd