

【東日本大震災 調査報告 2】

東日本大震災に見られた吊天井の損傷メカニズム

Damage Mechanisms of Suspension Ceilings during the Great East Japan Earthquake

川島 学 MANABU KAWASHIMA

以前より学校体育館などで吊天井の地震被害は顕在化していたが、東日本大震災においても同様の被害が数多く見られた。ここでは、天井の応答推定を行うことによりその損傷メカニズムについて検討した。検討の結果、典型的に見られた柱・壁との取り付け部における損傷状況は、主に吊天井の過大な変形によるものと推定された。本検討により、損傷メカニズムに応じた吊天井の耐震性確保・向上の重要性が示された。

キーワード：東日本大震災、吊天井、水平変位、応答推定

Although seismic damage of suspension ceilings such as school gymnasium had come to the surface before, similar damages occurred in many sites during the Great East Japan Earthquake. Damage mechanism will be investigated by response prediction of suspension ceilings in this paper. Typical damage situations of ceilings which joint with column or wall are estimated to be caused mainly by their excessive deformation. From this examination, the importance of securing and improving seismic performance for suspension ceilings according to the damage mechanism was shown.

Key Words: the Great East Japan Earthquake, suspension ceiling, horizontal displacement, response prediction

1. はじめに

東日本大震災では、構造部材は損傷が皆無もしくは軽微であるものの、吊天井や外壁などの「非構造部材」に損傷を生じた建物が多く見られた。これら非構造部材は相当の重量があることが多く、高所より落下した場合の危険性は重大である。実際に、東日本大震災においては、震源から遠く離れた東京都内の建物内において、天井の崩落により 2 名の死者を出し、26 名が負傷する事故が発生している。

このような東日本大震災で顕在化した非構造部材の安全性の確保については、基規準の整備などにより強化される方向へ向かうものと考えられる¹⁾。しかしながら、仕様規定的な工法の選定によっては、部材の有する耐震性能が陽に評価されない場合がある。たとえば、『公共建築工事共通仕様書』の解説本である『建築工事監理指針』²⁾には、吊天井の下地材の補強についての記述があるが(図-1)、その直後には「ここでいう(中略)補強は、必ずしも耐震性を考慮することを意図したものではな

い」とも記され、具体的な数値については示されていない。

つまり、現状では非構造部材に何らかの補強を行う場合、その耐震性を明示するためには別途技術的な検討が必要となる訳である。この事情は、これまでの被害地震

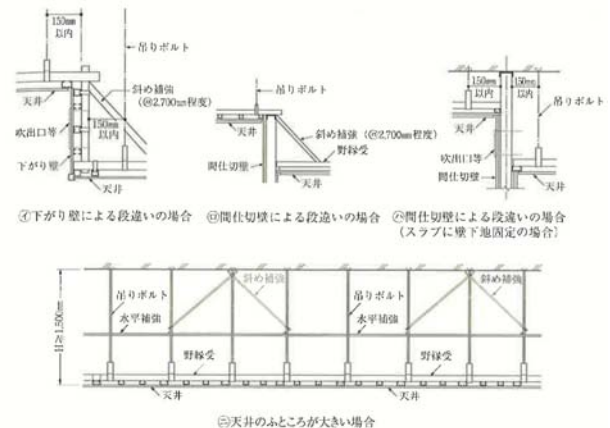


図-1 吊天井の振れ止め補強の例
(『建築工事監理指針』²⁾より引用)

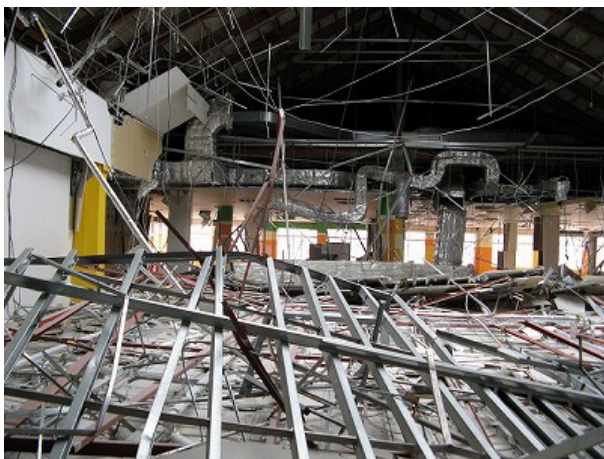


写真-1 大空間の天井脱落被害



写真-2 天井下地とボードの脱落



写真-3 吊天井と外壁取り合い部の損傷



写真-4 空調ダクトの脱落

において、非構造部材がなぜ損傷したのかを検証するにあたっては同様である。

本報においては、東日本大震災において吊天井に発生した典型的な被害例に対し、その損傷メカニズムについて検討した事例を報告する。示される結果は、全ての天井被害について説明するものではないが、類似のメカニズムによる被害防止を今後図っていくうえで、有用な知見となるものと考えている。

2. 天井の被害事例

本節においては、東日本大震災で見られた天井の被害例を示す。

写真-1 は、大スパン大空間の天井が脱落した事例である。脱落した天井はほぼ全面にわたっており、大きな面積での脱落が生じている。人的な被害の発生も危ぶまれる状況であるが、幸いにも怪我などの被害はなかった。

このような大空間の天井の脱落防止は、その直下で活動する人の安全性の確保のために、極めて重要である。

一方、写真-2～写真-4 は、いずれも事務所内において発生した天井被害の例である。写真-2 では、軽量鉄骨下地（在来工法）の吊天井において、下地と共に仕上げのボードが一部脱落している。また、写真-3 は、吊天井と外壁の取り合い部において、下地材（野縁）が座屈することにより、そこへビス止めされたボードが落下した状況を示している。天井下地の吊ボルトの振れ止めが行われていない場合において、同様の損傷が生じるケースが多かった。写真-4 は、空調ダクトが天井面を突き破る形で脱落した例である。

執務室内において写真-2～写真-4 のような天井の被害が発生した場合、損傷した部材の撤去ならびに応急復旧がなされるまで、立ち入り禁止の措置が講じられ、業務を再開するまでに一定の期間が必要となる。人的な被害が発生しない場合においても、天井の損傷は事業継続の大きな障害になるといえる。

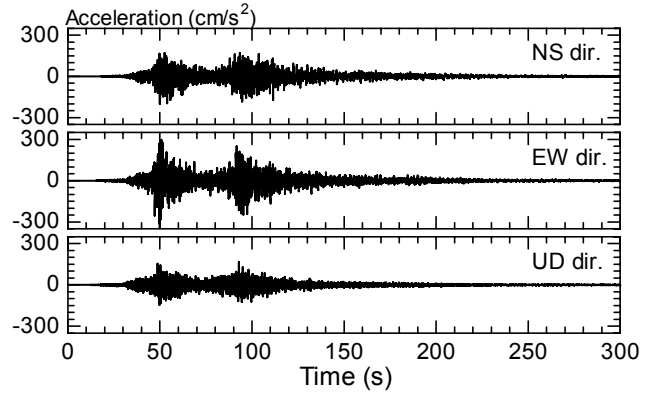
3. 天井の損傷メカニズム

前述のような天井の被害には、それぞれにさまざまな要因があり、現在も調査・研究が進められている¹⁾。ここでは、特に吊天井の端部や他部材との取り付け部において被害が発生した事例と中心として、その損傷メカニズムを検討した結果を紹介する。

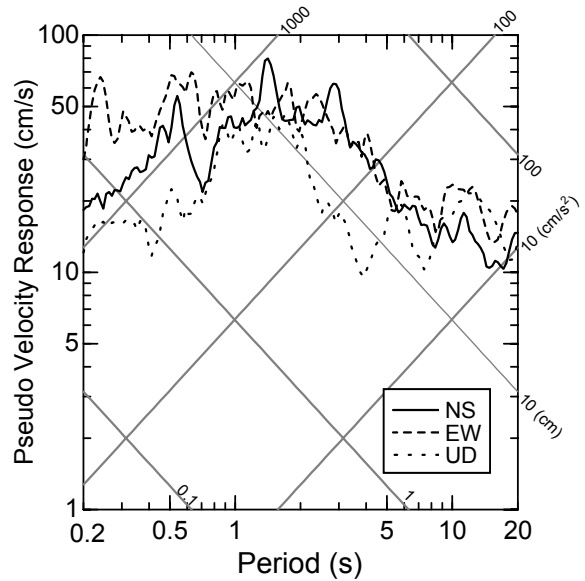
検討は、平成 17 年に日本建築センターより出されている『体育館等の天井の耐震設計ガイドライン』(以下、『ガイドライン』)を参考にして行った。『ガイドライン』では、体育館などの建物を 1 自由度系とみなして屋根面での応答波を算定し、これを入力波として吊天井の応答を算定する方法が示されている。この手法を多層の建物に適用するにあたり、図-2 に示すように、建物を多自由度系にモデル化し、対象階の床応答を吊天井への入力波とすることとした。吊天井の剛性評価は、『ガイドライン』に示される方法に準拠し、実況に則して行った。損傷した吊天井の現地調査の結果、吊ボルトの長さは 1,500mm、振れ止め補強は水平、斜め方向ともに施されていないかった。

建物モデルへの入力地震動は、建物からの離隔距離約 5km に位置する、(独)防災科学技術研究所の強震観測網³⁾の観測点において、東日本大震災の本震時に記録された波形とした。なお、検討対象建物は、北東北地方の内陸部に位置する。図-3 に、建物モデルへの入力地震動の加速度波形と擬似速度応答スペクトルを示す。入力地震動の最大加速度は、東西方向において約 350cm/s^2 であり、波形から計算される震度階は 5 強である。

入力地震動に対する建物の応答解析を実施し、床応答のスペクトル(減衰定数 3.5%)が図-4 のように得られ



(a) 加速度波形



(b) 擬似速度応答スペクトル (減衰定数 5%)

図-3 建物モデルへの入力地震動

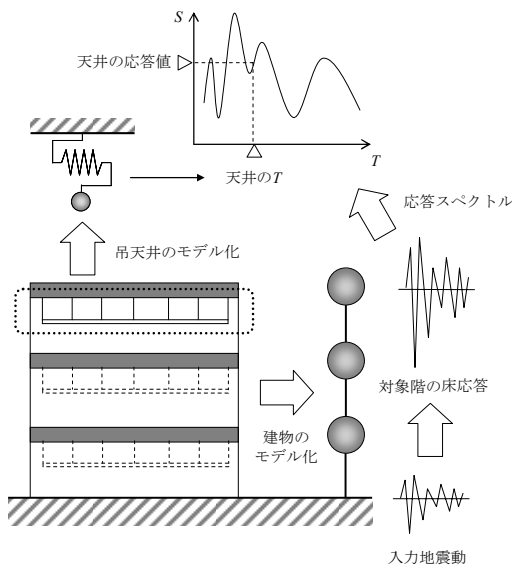


図-2 解析方法の概要

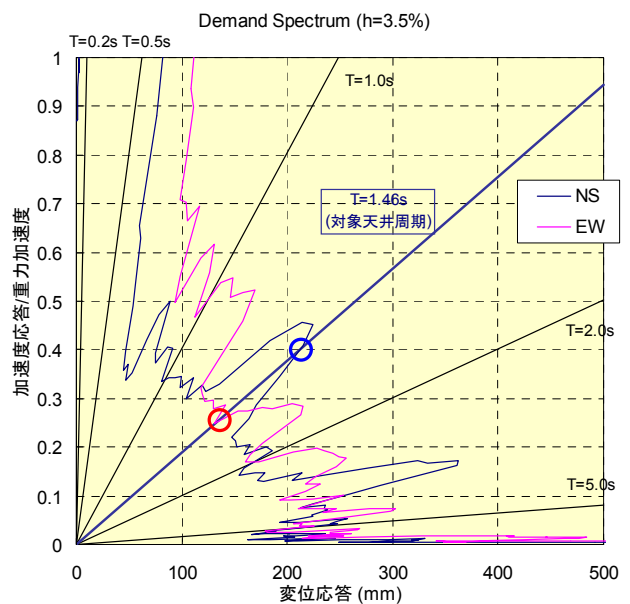


図-4 吊天井の応答推定値

た。ここでは、縦軸に応答加速度（重力加速度で基準化）、横軸に応答変位をとって表示している。図中には参考のため周期を表す原点を通る直線が示してあり、太線が検討対象とした吊天井の周期（1.46 秒）である。この直線とスペクトルとの交点が、吊天井の応答推定値となる。吊天井の床スラブに対する最大相対変位は、NS 方向では 200mm を超えており、EW 方向は 130mm 程度と推定された。

検討の結果より、写真-3 に示す吊天井の損傷メカニズムとしては、以下が想定される。

- ① クリアランスが十分でない吊天井と外壁や柱型との取り合い部分においては、天井下地の水平材（野縁、野縁受）は、柱・壁に激しく激突したと想定される。このとき、下地材の端部は局所的に強い衝撃力を受けて座屈し、仕上げ材のボード類が剥がれ落ちたものと考えられる。

大振幅で吊天井が揺れる場合、次のようなメカニズムにより損傷が発生した可能性も考えられる。

- ② 床スラブに直接留めつけられている設備機器などは、吊天井と異なった周期で振動するため、吊ボルトと干渉することが考えられる。この際発生する衝撃力により、野縁と野縁受の留め付けクリップの開き、設備機器を固定するビスの破断などが生じ、天井部材の損傷につながる。

そして、一旦損傷が発生すると応力は再配分され、その周囲に損傷が連鎖的に広がっていくであろう。このようにして、大面積での天井被害につながっていくものと考えられる。

なお、地震時に吊天井に作用する力は、天井の加速度応答に質量を乗じたものである。本報での検討結果（図-3）に示されるように、短周期化に伴い、吊天井に作用する力が増大する可能性があることに注意が必要である。振

れ止め補強などにより吊天井の耐震化を計画する場合には、個々の構成部材に作用する地震力と変位を適切に評価することが必要であり、本報に示した結果はそのひとつの筋道を示すものである。

4. まとめ

本報では、東日本大震災において多く見られた非構造部材の被害の中から、吊天井の損傷を取り上げ、そのメカニズムを検討した結果について紹介した。検討結果から、主に吊天井の変位が過大となることによって、損傷が発生したメカニズムが推定された。

このような天井被害を低減するための対策としては、吊天井を筋交いなどにより適切に補強するとともに、柱・壁などとの取り合い部に十分なクリアランスを設けることなどが挙げられる。この場合、構造的な観点のみではなく、意匠的・環境工学的な観点からの要求性能も合わせて満足することが必要である。吊天井などの安全性に関わる非構造部材の耐震性能の確保・向上は、構造部材の場合と同様に重要であり、設計から施工に至るまで一貫した取り組みが必要である。

謝辞：本報の検討では、(独)防災科学技術研究所の強震観測網の記録を使用しました。

参考文献

- 1) 渡壁守正：建築基準法等に係る技術基準整備のための事業（平成 21 年度報告）非構造部材に関する基準の整備の資する検討，ビルディングレター，2011. 3.
- 2) (社) 公共建築協会：建築工事監理指針（下巻）
- 3) (独) 防災科学技術研究所 強震観測網 (K-NET, KiK-net) URL: <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>