

# 東日本大震災を踏まえた天井の耐震化技術

(一財)建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会

## 1 はじめに

東日本大震災では、構造躯体にほとんど被害がない場合でも天井や間仕切壁などの非構造部材に損傷の発生した建物が多かった。中でも天井の被害は多数発生し、建物の継続使用に支障が生じたり、大規模な崩落により人的な被害が発生した例もあった。ここでは、天井の被害状況や被害要因を概説するとともに、天井の耐震化に向けた国や学協会の動向、民間会社の取り組み等について調査報告する。

## 2 天井の構成

まず、次項以降の理解のため、多くの用途の建物に一般的に使用されている在来天井の構成を説明する。図1に示すように、上階床スラブ等から吊り下げられた吊りボルト下部に、ハンガーと呼ばれる金物を介して野縁受けが取り付けられ、その直交方向にクリップと呼ばれる金物を介して野縁が止め付けられ、野縁に天井ボードがビス止めされる。天井の水平変位を抑制するためには耐震

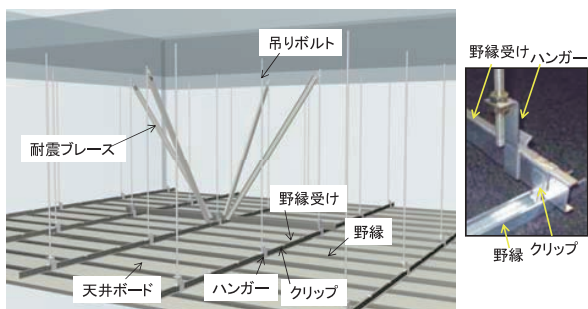


図1 在来天井の構成

ブレースが設置される。耐震ブレース上端は吊りボルトに金具で取り付けられ、下端は野縁受けなどにビス止めされるか、吊りボルトに金具で固定される。全体的に、簡易な方法で比較的短時間に施工できるように考えられた構成となっている。

## 3 東日本大震災における天井被害

日本建築学会は、東日本大震災で発生した天井被害の傾向を分析するため、民間企業7社（ゼネコン5社、設計事務所2社）に対してアンケート調査を実施し、各社の保有する被害事例127件を分析している<sup>1)</sup>。被災場所を用途別に見ると、事務室・会議室・教室が最も多く約3割を占め、次いで工場、ホール・展示場・食堂、店舗の順になっている。この調査によると、震度5弱以上になると天井落下が発生し始めている。また、建物別に見ると、鉄骨造の建物が被害の8割程度を占め、新耐震以後の建物にも多くの被害が発生していることがわかる。被害の顕著な部位としては、天井仕上げのみの被害を除くと、野縁と野縁受けを繋ぐクリップの被害が最も多い。天井落下の発生位置としては、天井の端部が最も多く、次いで天井面の中央、設備機器との取り付け部となっている。また、耐震ブレースが何らかの形で設置されている建物が6割を占め、耐震ブレースも取り付け方や取り付け密度などにより、有効に働いていない場合も多いことがわかる。

国土技術政策総合研究所および建築研究所は、東日本大震災における宮城県、福島県、茨城県の学校体育館の天井の被害を調査・分析している<sup>2)</sup>。調査した天井には木下地天井、在来天井、システ

ム天井が含まれている。このうち最も数の多い在来天井について、旧耐震基準と現行耐震基準に分けて被害を整理すると表1のようになる。いずれにおいても構造骨組の被災度と天井被害の間に明確な相関は見られず、構造骨組に被害がなくても天井に被害が生じていることがわかる。

表1 屋内運動場における在来天井の被害<sup>1)</sup>

(a) 旧耐震基準

		天井被害程度			
		天井板・ 下地落下	天井端部 等損傷	その他 被害	被害なし
構造骨組 の被災度 区分	Ⅱs				1
	I s	1	2	1	2
	0s		3	2	1

(b) 現行耐震基準

		天井被害程度			
		天井板・ 下地落下	天井端部 等損傷	その他 被害	被害なし
構造骨組 の被災度 区分	Ⅱs		1		
	I s				
	0s		2	1	3

写真1に典型的な被害の例を示す。左は耐震ブレースのない天井で、地震時には大きく天井面が揺れたことが想定され、その影響でクリップが外れて野縁と天井ボードが一体で落下したと考えられる。右は天井端部の損傷であり、天井が壁に衝突したために野縁が座屈している。

#### 4 天井の耐震性に関する問題点

前述のように、被害の顕著な部位として野縁と野縁受けを繋ぐクリップが挙げられる。クリップの爪は、施工性を重視して手で折り曲げられるようになっており、地震時に大きな力が加わると爪が開きやすいという問題点がある（図2参照）。いくつかのクリップが外れると、残りのクリップにかかる荷重が増えるため、クリップが連鎖的に外れて天井の崩落に繋がってしまうおそれがある。

また、鈴木ほか<sup>3)</sup>は従来の一般的な在来天井を対象にした振動実験を行い、耐震ブレースを設置した場合でも、クリップやハンガーなどの部材接合部が滑ることによりブレースに水平力が十分に伝わらず、天井面の変位を抑制できない場合があることを確認している。また、ブレース上部の金物は、施工性を重視して下から吊りボルトに引っかけて簡便に取り付けられる機構になってい

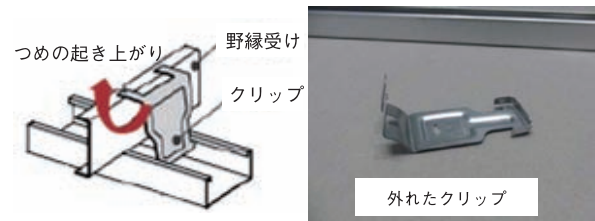
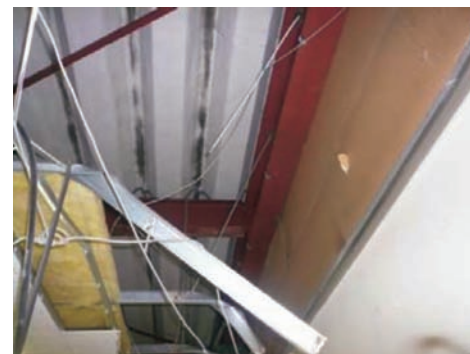


図2 クリップの変形・外れ



クリップの外れによる天井落下



天井端部の損傷（野縁の座屈）

写真1 東日本大震災における天井の被害

るものが多く、地震時には比較的簡単に外れてしまうことも指摘されている（図3参照）。

### 5 国および学協会の動向

現状では、天井の耐震性に関する法的な基準はなく、天井下地メーカーや施工業者は、各種団体が発行しているガイドラインや指針等<sup>4)、5)</sup>を参考に仕様を決めている。国土交通省は、過去の天井の地震被害を受けて技術的助言<sup>6)~8)</sup>を公表しているが、耐震設計上の具体的な方策を示したものではなかった。東日本大震災による多数の天井被害を受けて、国土交通省は、2012年7月に「建築物における天井脱落対策試案」<sup>9)</sup>を公表し、意見募集を行った。試案では、図4(a)に示すように、6m以上の高さにある200㎡以上の吊り天井を対象として耐震性の検証が義務付けられている。既存建物についても、増築や改築を行う場合には、原則として基準への適合が義務付けられる。また、庁舎や避難所に指定されている体育館等の防災拠点施設や劇場、映画館等には早急に改善するように行政指導が行われる。耐震性能の検証ルートと

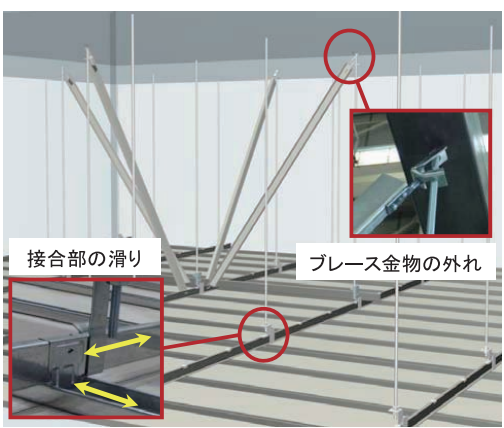


図3 振動実験から明らかにされた天井の耐震性に関する問題点

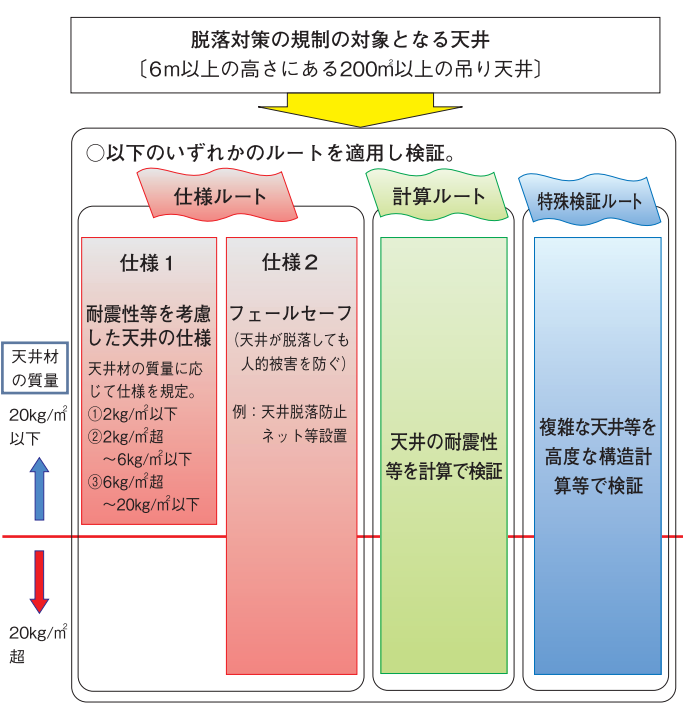
■建築基準法の天井脱落に係る規定  
○建築基準法では、天井について、風圧並びに地震その他の震動及び衝撃によって脱落しないようにしなければならない旨規定  
【建築基準法施行令第39条】



■建築基準法に基づく天井脱落対策の規制強化  
天井脱落対策について、「天井脱落対策に係る技術基準原案」をもとに基準を定め、建築基準法に基づき、新築建築物等への適合を義務付け  
対象：6m以上の高さにある200㎡以上の吊り天井  
基準：吊りボルト等を増やす、接合金物の強度を上げるなど  
又は、ネットの設置などによる落下防止措置

■既存建築物への対応  
○防災拠点施設など特に早急に改善すべき建築物\*について改修を行政指導  
\*ア、災害応急対策の実施拠点となる庁舎、避難場所に指定されている体育館等の防災拠点施設  
イ、固定された客席を有する劇場、映画館、演芸場、観覧場、公会堂、集会場  
○定期報告制度の活用による状況把握  
○社会資本整備総合交付金の活用による改修費用への支援

(a) 規制強化の方針



(b) 耐震性能の検証ルート

図4 国土交通省「建築物における天井脱落対策試案」について<sup>9)</sup>



しては、図4（b）に示すように仕様ルート、計算ルート、特殊検証ルートの3つが考えられており、これらの具体的な検証方法等についてはガイドラインが発行される予定になっている。現時点で具体的なスケジュールは未定であるが、法制化に向けた検討が進められている。

また、文部科学省は、2012年9月に「学校施設における天井等落下防止対策の推進に向けて（中間まとめ）」<sup>10)</sup>を発表している。この中で、屋内運動場などの天井落下防止のため、総点検とその結果に基づいた対策を緊急に実施すべきとしている。落下防止対策としては、以前に文部科学省から出されている耐震化ハンドブックに加え、国土交通省が示した天井脱落対策試案も参考に、①天井撤去、②天井の補強による耐震化、③天井の撤去および再設置、④落下防止ネット等の設置のいずれかの対策を実施することを求めている。また、余震に備えた緊急点検のための体制整備や、地震災害に対する防災教育の推進も緊急に実施すべきとしている。

日本建築学会でも、2012年度末を目途に「天井落下防止と解消に関するガイドライン（仮称）」<sup>11)</sup>がまとめられる予定である。基本概念としては、まず、天井材などの高所設置の仕上げ材には地震時・非地震時にかかわらず、「人命保護」を徹底し、その上で必要に応じて「機能維持」を実現するとしている。また、落下事故防止の重要なキーワードとして、「安全性評価法」、「フェールセーフ」、「準構造」が挙げられている。「安全性評価法」では、天井材の落下による人命への危険性の程度を適切に評価すること、「フェールセーフ」では、万一天井が落下しても人的被害が生じないような措置を講ずること、「準構造」では、劇場やホール等の重量天井については天井も構造として設計・施工することが必要とされている。

## 6 民間会社の取り組み

国や学協会の動きに先駆けて、民間会社各社から天井の耐震化に関する取り組みが発表されている。

清水建設<sup>12)</sup>による天井の耐震化方法の例を図5に示す。この方法では、耐震ブレースを有効に働かせるため、耐震ブレース交点まわりの9ヵ所に滑りにくい耐震クリップや耐震ハンガーを採用し、耐震ブレース上部の金物にも滑りにくく外れにくい閉鎖型の金物を用いている。また、天井落下防止対策として、天井外周部にも耐震クリップを採用している。一般に、従来よりも耐震性の高い天井を構築するためにはコストアップが避けて通れない問題であるが、この方法では、天井を部分的に補強することによりコストアップを最小限に抑え、天井下地メーカーの耐震天井カタログ商品に比べて3割程度ローコストな構法を実現している。

鹿島建設<sup>13)</sup>は、損傷が発生しやすい天井面の段差部に着目し、斜め補強材を配置した上で接合金物の補強も行う方法を提案している。日建設計と桐井製作所<sup>14)</sup>は、天井の耐震性を高める方法として、耐震ブレースの強度のみを高めると吊りボルトが圧縮力で座屈するおそれがあるため、吊

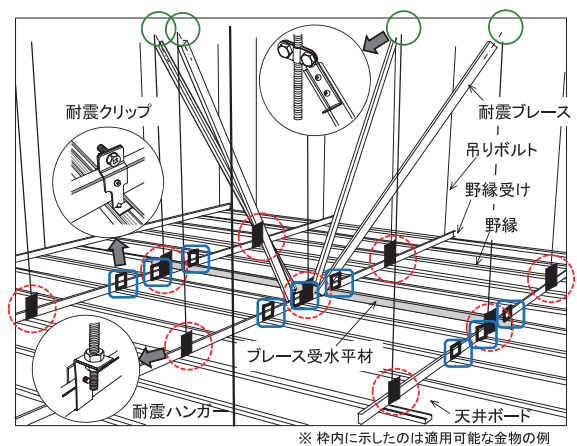


図5 天井の耐震化方法の例<sup>12)</sup>

りボルトの圧縮補強材とX型のブレースを組み合わせたシステムを提案している。西松建設と戸田建設<sup>15)</sup>は、強度が高く外れにくい耐震クリップを開発し、天井の落下防止を図っている。

以上のように、各社の対策工法はさまざまだが、いずれも前述の問題点を解決すべく、クリップなどの接合金物の補強や耐震ブレース周りの補強に着目しているところは共通している。

## 7 今後の課題

東日本大震災以降、国や学協会および民間会社では、天井の耐震化に向けた取り組みが精力的に行われてきた。しかし、従来の天井下地構成をベースに金具等の補強を行うと、コストアップになることは避けられない。コストを抑え、より簡便で合理的に天井面の水平力を構造体に伝達できる下地構成の見直しが必要である。また、天井落下による人的被害を防ぐためには、天井材を軽く柔かくして落下時の危険性を減らすことも考えられる。このような材料（例えば膜素材や軽量発泡材など）は、現状では高価で流通量も少ない。石膏ボードの代替として用いることのできる安価な軽量天井材の開発・普及も喫緊の課題である。

また、新築建物だけでなく、既存建物の天井の耐震化をどのように推進していくかも今後の大きな課題である。東日本大震災を始め、大きな地震を経験した天井では、一見して被害が見受けられなくても、天井下地に何らかの損傷が発生して耐震性が低下しているものがあることが懸念される。このため、天井の簡便で効率的な耐震診断手法や、使いながら施工できる簡易な耐震補強方法などの早急な開発が望まれる。

(参考文献)

- 1) 小澤雄樹：地震時・非地震時の被害と天井被害アンケート結果の概要、頻発する天井の落下防止と解消に向けて、2012年度日本建築学会大会 社会ニーズ対応部門 研究協議会資料、pp.11-16、2012年9月。
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所、独立行政法人建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告、国総研資料 第674号、2012年3月。
- 3) 鈴木健司ほか：鋼製下地在来工法天井の耐震性能に関する実験的研究、清水建設研究報告、第89号、pp.23-28、2012年1月。
- 4) 日本建築センター：体育館等の天井の耐震設計ガイドライン、2005年。
- 5) 日本建築学会：非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領、2003年。
- 6) 国土交通省住宅局建築指導課：芸予地震被害調査報告の送付について（技術的助言）、国住指第357号、2001年6月1日。
- 7) 国土交通省住宅局建築指導課：大規模空間を持つ建築物の天井崩落対策について（技術的助言）、国住指第2402号、2003年10月15日。
- 8) 国土交通省住宅局建築指導課（2005）地震時における天井の崩落対策の徹底について（技術的助言）、国住指第1427号、2005年8月26日。
- 9) 国土交通省：建築物における天井脱落対策試案、2012年7月。
- 10) 文部科学省：学校施設における天井等落下防止対策の推進に向けて（中間まとめ）、2012年9月。
- 11) 川口健一：頻発する天井の落下事故防止に向けて、2012年度日本建築学会大会 社会ニーズ対応部門 研究協議会資料、pp.1-9、2012年9月。
- 12) 金子美香：在来天井の被害を解決する新耐震天井、建築技術、No.749、pp.160-161、2012年6月。
- 13) 日経産業新聞：天井落下防ぐ新技術、鹿島、つり下げの補強材、2012年6月15日。
- 14) 建設通信新聞：日建設計、桐井製作所／天井を高耐震化／吊ボルト座屈防止X型ブレース配置、2012年7月30日。
- 15) 建設通信新聞：大地震でも天井材落下をクリップだけで防ぐ／西松建設、戸田建設ら、2011年12月13日。