

建物非構造材(天井)の耐震診断調査等の動向

建築 FM 技術部長 中間 祐作

Keyword：天井落下、天井落下防止、人命保護、機能維持、耐震ブレース・クリップ

1. はじめに

2011年3月11日に発生した東日本大震災においては、構造躯体に被害がないにもかかわらず、非構造部材に被害を被った建物が多数出た。中でも大空間を有する建物の天井落下による被害が多数発生し、建物の継続使用に大きな支障が出たり、大規模落下による人的被害も発生した(図1)。

本稿では、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および民間会社の取り組み状況等について調査報告する。



出典：天井等の非構造材の落下防止ガイドライン，日本建築学会公表（2013.3.4）

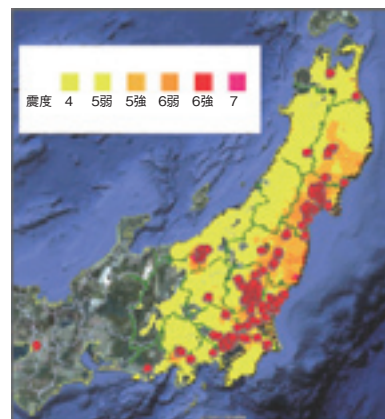
図1 天井落下被害状況

2. 東日本大震災における天井被害状況¹⁾

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分析のため、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，各社が保有する被害事例127件を集約してデータベース化，結果を分析している。概要は以下の通りである。

①被害建物の所在地は被災3県が中心であるが，関東一円にも広く及んでいる(図2)，②被災した場所の震度は震度4以下が0件で，すべて震度5弱以上であり，震度5弱以上で天井落下が発生し始めることがわかる，③建設年代では，新耐震基準以後(1981年)の建物が90%を占めており，2005年以後竣工の建物も20%強占めているなど，新耐震基準以後の建物にも多くの被害が発生している，④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30%を占め，次いで工場，ホール・展示場・食堂，店舗の順となっている，⑤被害の顕著な部位は，天井仕上りのみの被害を除くと，野縁と野縁受けをつなぐクリップの被害が最も多く，野縁，吊元の被害

も相当数発生しており，落下の原因となった部位は多岐にわたっている，⑥天井落下の発生位置は，天井端部が約60%と最も多く，次いで天井面中央，設備機器との取り合い部となっている，⑦耐震ブレースが何らかの形で設置されている建物が60%を占めているが，耐震ブレースの取り付け方や密度などによっては，有効に働いていない場合が多い，⑧天井落下に影響を与えた設備は，空調43%，照明26%，給排水管13%の順となっており，建築本体と設備の設計・施工分離に伴う相互調整不足が原因となる危険性が高い，⑨被害面積は，床面積500㎡を超えるものが50%以上を占めており，5,000㎡を超える大空間も約8%ある，⑩石膏ボードなど比較的重い天井仕上材で，5mを超える高い箇所に用いられているものの被害が多数ある。



出典：天井等の非構造材の落下防止ガイドライン，日本建築学会公表（2013.3.4）

図2 天井落下被害と震度分布（●：天井落下被害場所）

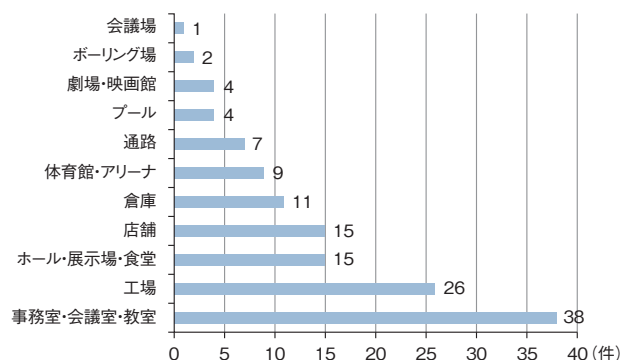
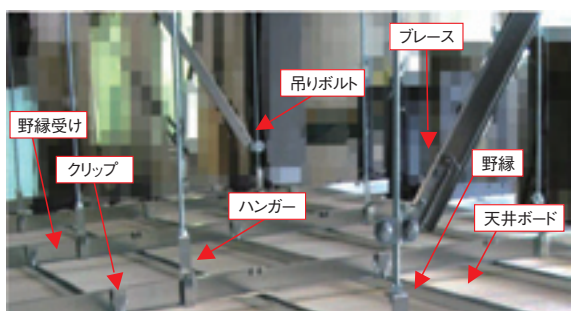


図3 被害場所の主要用途

3. 天井の耐震性に関する問題点²⁾

3.1 在来天井の構成

一般的に使用されている在来天井の構成を整理すると、図4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取り付けられ、野縁に天井ボードがビス止めされる構成となっている。天井の水平変位を抑制するために耐震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、下部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。



出典：天井脱落対策の検討状況および耐震改修促進法の改正，国土交通省公表
図4 一般的在来天井の構成

3.2 在来天井における問題点

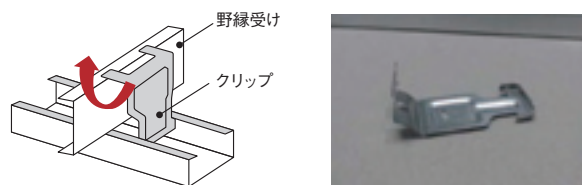
天井をはじめとする非構造材の落下事故の問題点は、さまざまな観点から以下のように指摘されている。

①構造躯体はほとんど損傷がない一方で、内部空間で人命が危険にさらされている、②地震時だけでなく、平常時にも落下事故が発生しており、単なる耐震補強では防止・解消できない、③建築空間の機能が長期間にわたって損なわれるため、社会的な重要機能や事業継続性に与える影響が大きい、④高所設置の天井材の安全性および危険性を判断する適切な評価法がない、⑤既存天井の落下防止対策の考え方と具体性が乏しい、⑥音響天井のような重量天井が必要な場合の安全確保の方法が提示されていない、⑦落下事故発生後の復旧現場では、現状復旧が行われる場合が多く、再発を招いている、⑧仕上材の設置位置、形態、材質を決定するのは多くの場合意匠設計者であるが、意匠設計者の安全に対する問題意識の啓発が遅れている、⑨仕上材の耐用年数は構造部材に比べ短いことを前提として設計施工されるが、管理者側には伝わらず、劣化や損傷したまま使い続けることが多い。

天井に特化した機構的な主な問題点としては、概ね以下の点に集約される。

①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つな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るようになっており、地震時

に大きな力が加わると開きやすいという問題点がある。いくつかのクリップがはずれると、残りのクリップの荷重が増えるため、クリップが連鎖的にはずれて天井崩落につながってしまう、②クリップやハンガーなどの部材接合部がずれ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が実験でも確認されている、③ブレース上部の金具は、施工性を重視して下から吊りボルトに引っ掛けて簡便に取り付けられる機構になっているものが多く、地震時には比較的簡単にはずれてしまう、④耐震ブレースのない天井では、地震時に大きく天井面が揺れることが想定され、その影響でクリップがはずれて野縁と天井ボードが一体で落下する。また、天井と周辺壁とのクリアランスが取られていないことで、天井端部が壁に衝突し、端部損傷を受けるとともに野縁の座屈により崩落につながっている。



出典(図5～8):新技術調査レポート「東日本大震災を踏えた天井の耐震化技術」, 建築コスト研究 No.80, 2013年1月版

図5 クリップの変形・はずれ

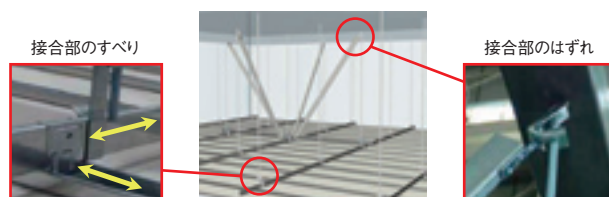


図6 接合部のはずれ・すべり



図7 クリップがはずれによる天井落下

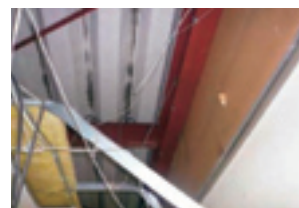


図8 クリアランスなしによる天井端部損傷・野縁座屈

4. 国および学協会の動向

これまで天井の耐震性に関する法的基準がなく、天井下地メーカーや施工業者は、各種団体が発行するガイドラインや指針を参考に仕様を決めていたが、国土交通省が2012年7月、「建築物における天井脱落対策試案」を公表し、初めて拠り所が示された。その後意見募集を行い、2014年4月、建築基準法施行令改正および政令・技術基準告示の公示・施行に至っている。また、文部科学省は2012年9月、「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)」を公表し、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。その後、国土交通省の技術基準の検討状況を踏まえ、2013年8月、具体的な対策手順や留意点をまとめた「学校施設における天井等落下防止のための手引き」を公表している。

一方、学協会の中では、日本建築学会が2013年3月、「天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン（日本建築学会非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会報告書）」を公表し、「人命保護」と「機能維持」の基本概念に基づき、「必要とする技術論」から「設計の進め方」「関係者の役割」まで幅広い提言を行っている。以下、各動向について概説する。

4.1 国土交通省の動向³⁾

天井の脱落防止措置に関する政令および省令並びに告示（天井脱落対策に係る技術基準）における基準の考え方の概要は、以下の通りである。

1) 安全上重要である天井の考え方

安全上重要である天井は、①居室、廊下その他の人が日常利用する場所に設けられる天井、②天井の落下の衝撃で人に危害を与える恐れが高いものとし、以下のいずれかに該当するものとしている。

イ 一定の重量があること→単位面積質量 $2\text{kg}/\text{m}^2$ 超

ロ 一定の高さがあること→高さ 6m 超

ハ 一定の面積があり避難が困難であること→面積 200m^2 超

2) 安全上重要である天井に求める性能

中地震で天井が損傷しないこととし、中地震を超える一定の地震においても脱落の低減を図ることとしている。ここで中地震としているのは、現在の技術的知見では、大地震時には構造耐力上主要な部分が損傷を受けて大きく変形する恐れがあり、構造耐力上主要部分から吊られた天井の変形等を予測することが困難であるため、大地

震時に天井の脱落防止を図るための対策を規定することは難しいことから、中地震で天井が損傷しないことを求め、中地震を超える一定の地震においても脱落の低減を図ることとしている。

3) 性能の検証ルート

(1) 天井の単位面積質量が $2\text{kg}/\text{m}^2$ 超から $20\text{kg}/\text{m}^2$

・仕様ルート：耐震性等を考慮した天井の仕様に適合することで検証。

・計算ルート：天井の耐震性等の計算で検証。

・特殊計算ルート：複雑な天井を個々の建築物の特性に応じ時刻歴応答解析等で検証。

・大臣認定：一定の設計ルート（仕様、計算方法）について性能評価で検証し認定。

(2) 天井の単位面積質量が $20\text{kg}/\text{m}^2$ 超

・計算ルート：天井の耐震性等を計算で検証。

・特殊計算ルート：複雑な天井等を個々の建築物の特性に応じ時刻歴応答解析等で検証。

・大臣認定：一定の設計ルート（仕様、計算方法）について性能評価で検証し認定。

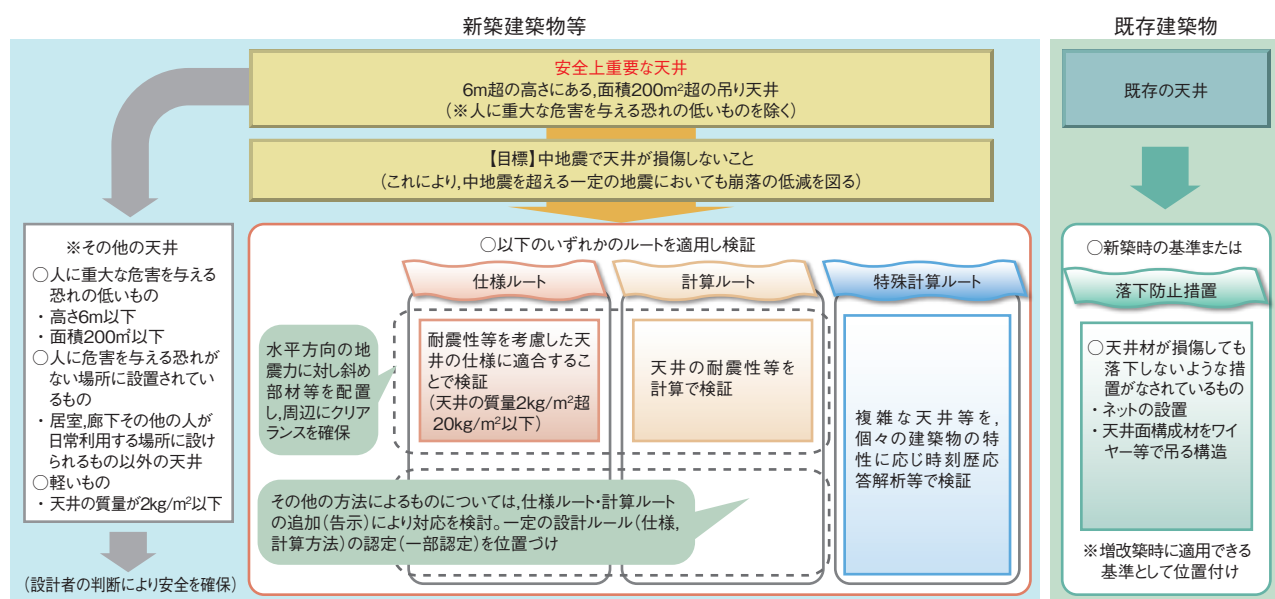
4) 既存建築物における緩和措置

既存建築物における安全上重要である天井については、改修の基準として天井材が損傷しても落下しない次の措置を求めている。

・ネット、ワイヤーまたはロープその他の天井材の落下による衝撃が作用した場合においても、脱落や破断を生じないことが確かめられた部材の設置による落下防止措置。

4.2 文部科学省の動向⁴⁾

国土交通省の技術基準が主に新築および増築を対象に定義されているのに対して、文部科学省の「学校施設に



出典：天井脱落対策の検討状況および耐震改修促進法の改正、国土交通省公表

図9 天井脱落対策の対象となる天井と検証ルート

における天井等落下防止対策のための手引き」では、既存施設を対象に、点検のあり方および対策の考え方に関して独自の判断基準で作成していることが大きな特徴であり、国土交通省基準との違いとなっている。概要は以下の通りである。なお、国土交通省基準と文部科学省基準の基本的考え方を整理すると、表1の通りである。

表1 国土交通省と文部科学省の基本的考え方の比較

	国土交通省基準	文部科学省基準
対象規模	6m以上かつ200㎡超の天井のみを対象とし、本規模以下の場合、対策不要	部屋の規模に関係なく部屋を規程
基準の方向性	新設天井を対象とする	既設天井を対象とする
補強等対策の考え方	新設天井は新仕様に適合した改修を行うこととしている	補強優先ではなく、そもそも天井がないこと(撤去)を第一義としている

本手引では、迅速かつ効率的な総点検・対策を実施すべきとの観点から、目視あるいは図面診断で危険性が高いことが確認された時点で、実地診断（現地診断）を行うまでもなく対策の検討・着手できるルートを設定し、学校設置者の早急な対策を促すとともに、安全確保に万全を期す観点から、天井撤去を中心とした落下防止対策検討を促している。本手引の概要を以下に示す。

1) 屋内運動場等の天井等落下防止対策の基本的な考え方

(1) 天井等落下防止対策の優先の実施

天井高の高い屋内運動場等の天井等については、被害の影響度等を十分に考慮し、緊急性をもって優先的に対策を講じる。構造体の耐震化が図られている施設であっても天井等落下防止対策を行うことが必要であり、構造体の耐震化がなされていない場合は、速やかに耐震化を図るとともに、天井等落下防止対策を合わせて実施する。

(2) 学校設置者による主体的な耐震点検・対策の実施

学校設置者が責任を持って天井等の耐震点検を実施し、必要な対策を実施する。また、必要に応じて専門家に相談し実施する。

(3) 屋内運動場等の天井等の総点検の実施と落下防止対策の強化

屋内運動場等の落下した場合の危険性の高い天井等について、その緊急性に鑑み、落下防止対策の状況等に関する総点検を実施するとともに、速やかに落下防止対策を実施する。

2) 天井等総点検用マニュアル

本マニュアルは、「第1節：天井の耐震点検と対策の実施」「第2節：照明器具・バスケットゴール等の取り付けの耐震点検と対策の実施」「第3節：関連する構造体の耐震点検と対策の実施」の3節で構成されている。本稿では、「第1節：天井の耐震点検と対策の実施」について以下、概説する。

「第1節：天井の耐震点検と対策の実施」は、天井の耐震点検から対策の実施までの手順を5つのステップで

示しており、ステップ1からの手順に従うことで天井の耐震点検を実施することができる。

<ステップ1：基本情報の確認>

建物の基本情報の確認と併せて、吊り天井の有無の確認と天井の耐震性に関する基本項目等を確認する方法を示す。ステップ1-2で吊り天井の存在を確認した場合、以降のステップに進む。ステップ1-3（天井の基本的耐震性確認）、1-4（屋根形状と天井形状確認）で「撤去等検討」に該当した場合、それ以降のステップを行わず天井撤去を中心とした対策の検討に進む。

<ステップ2：建物資料の収集>

ステップ3の図面診断や対策の検討などで必要となる設計図書等の収集の仕方について示す。

<ステップ3：図面に基づく診断>

ステップ2で収集した設計図書等に基づき、耐震対策の状況を診断する方法を示す。確認事項は、天井材料と質量確認、天井の断面形状確認、吊りボルトの仕様確認、プレースの仕様・配置確認、周辺とのクリアランス確認などである。

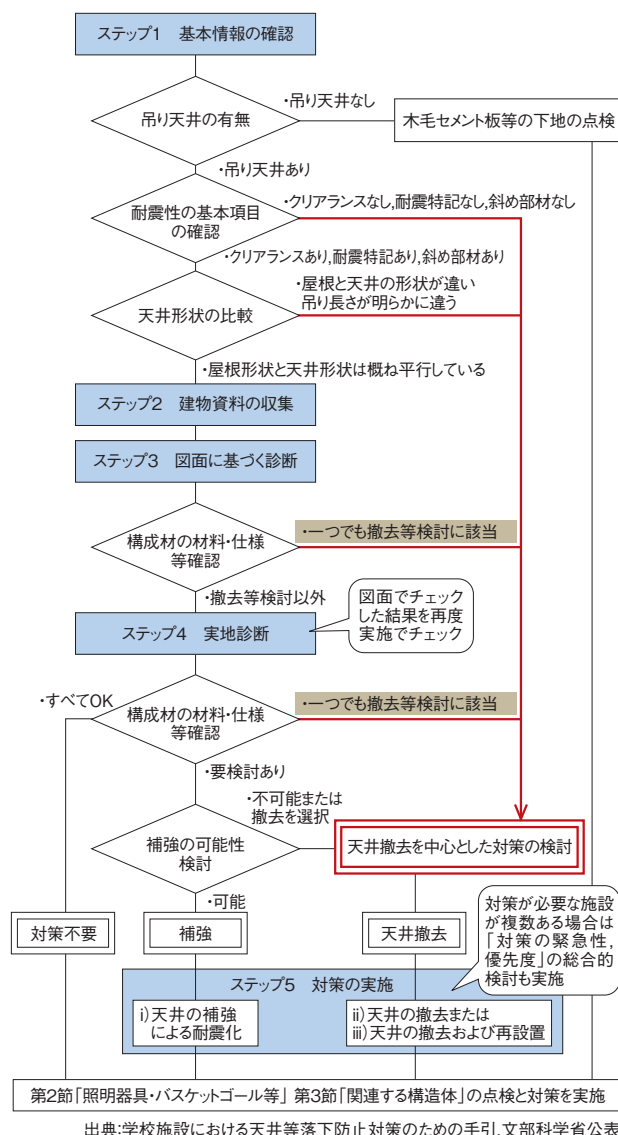


図10 天井等総点検用マニュアル全体概要

天井裏からの目視確認・計測を行い、耐震対策の状況を診断する方法を示す。ステップ3で確認結果が「実地診断」または「OK」の項目について実地診断を行い、実際に技術基準を満たす対策が適切になされているかを確認する。

対策例として、一定の仮定の下でのケーススタディを示す。本マニュアルにおける総点検フローを図10に示す。

日本建築学会では、2013年3月、「天井等の非構造物の落下事故防止ガイドライン」を公表している。以下、その内容を概説する。

1) 人命保護とは

件として、「安全評価法」「フェイルセーフ」「準構造」が定義付けられる。つまり、「安全評価法」とは、天井材の材質と設置高さから発生しうる危険を予測し適切な人体耐性指標と比較することで、天井の安全性を客観的に評価する方法である。また、「フェイルセーフ」としては、落下防止ネットの設計方法等の具体的知見を提示しており、安全上最も矛盾の生じやすい劇場やホール等、空間性能として重量天井が必要な場合は「準構造」の概念を提案している。「準構造」とは重量天井等を仕上材の延長で実現することをやめ、構造材として設計・施工を行うことである。

さまざまな外乱に対する損傷制御を中心として定義付けられる。地震力に対する損傷制御には、耐震構造の知見が役立つ。湿気や温度変化、風圧、振動などに対してはそれぞれの外乱に対する損傷制御を考える必要がある。どのような外乱レベルに対してどの程度の機能維持を準備するかについては、発注者側と設計・施工者側が事前に十分意思疎通を行った上で合意しておく必要がある。

- ・ 設計の進め方：設計者は単に法規を順守するのみでなく、確実な人命保護ができる建築空間を実現する。
- ・ 関係者の役割：関係者は人命保護と機能維持に関し果すべき役割・責任を認識し、安全な建物を提供する。
- ・ 改修：人命保護が確実でない天井等は、速やかに改修・撤去する。

国や学協会の動きに先駆けて、民間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。事例として、建築・建設業界等（清水建設・鹿島建設他）の取り組みを以下に紹介する。

清水建設による天井の耐震化方法では、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カ所にすべ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すべりにくくはず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。

鹿島建設は、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恐れがあるため、吊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



図11 天井等の非構造材の落下事故防止ガイドラインによる検討フロー

案している。

西松建設と戸田建設は、強度が高くはず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、クリップなど接合金物の補強に着目しているところが共通している。

6. おわりに

国および学協会は、東日本大震災後いち早い動きにより非構造物（特に天井）の被害を調査研究し、世の中の拠り所となる安全基準を提言・公表した。また、民間では建設会社（一部材料メーカーを含む）や設計事務所が既存技術の評価と改良を提言している。このように各界の精力的な取り組みにより、非構造物（天井）の耐震診断や補強等強度基準は一定の成果が出そろった感がある。

しかし、従来の天井下地構成をベースとした改良は、コストアップになることは避けられないことから、コストを抑え、より簡便で合理的な下地構成の見直しが必要であり、人的・物的被害軽減のためには、天井材の軽量化・柔軟化が大きな課題として残されている。

また、新增築建物だけでなく、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いが、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を忘れてはならない。特に、多くの製造施設を保有

する事業者においては、建物本体（躯体）は大丈夫でも、これまで特に気に留めてこなかった非構造物崩落による被害により、事業存続を左右する死活問題につながりかねないとの認識が出始めている。そういう意味から、既設天井の簡便で効率的な耐震診断方法や、使いながら施工できる簡便な耐震補強（または全撤去）方法の開発が急務となっている。

〔参考文献〕

- 1) 天井等の非構造物の落下事故防止ガイドライン，日本建築学会，2013.3.4
- 2) 東日本大震災を踏まえた天井の耐震技術，建築コスト管理システム研究所・新技術調査検討会，2013.3
- 3) 天井脱落対策の検討状況及び耐震改修法の改正，国土交通省住宅局建築指導課企画専門官（前田亮）
- 4) 学校施設における天井等落下防止対策のための手引き，文部科学省，2013.8



なかま ゆうさく
中間 祐作

建築 FM 技術部長
建築・環境にかかわる調査・コンサルティング業務に従事
一級建築士

Synopsis

Regarding Trends in Examination of the Seismic Resistance of Non-structural Elements(Ceilings) of Buildings

Yusaku NAKAMA

During the Great East Japan Earthquake that struck on March 11, 2011, while their principle frames remained intact, many buildings suffered damage to their non-structural elements. Particularly, there were many cases of damage caused by ceilings collapsing in buildings with large spaces. This paper examines and reports on the status of undertakings carried out by the government, academic societies and private sector companies aimed at providing ceilings with seismic resistance. The government and academic societies wasted no time in conducting surveys and research into damage incurred and published the grounds for global indices for the realization of seismic resistance. In addition, private sector companies, particularly construction companies and architectural design offices, have evaluated existing ceiling structure technologies and proposed recommendations for improvements. Thanks to proactive undertakings in each of the sectors, standards for strength comprising seismic diagnosis and reinforcement of non-structural elements have taken shape. However, since it is inevitable that improvements to the foundation structure of conventional ceilings will result in increased costs, foundation structures need to be reviewed to keep costs down and realize greater simplicity and rationality and making ceiling materials lighter and more flexible in order to mitigate damage to people and property remain major issues to be addressed. Moreover, one further major hurdle is how to promote the seismic resistance of ceilings not only in new and extended buildings, but also in existing buildings. For these reasons, tasks such as the development of simple and efficient methods of seismic diagnosis of existing ceilings and simple seismic reinforcement methods (including complete removal) that can be implemented while using existing buildings need to be addressed on an urgent basis.