

建築分野における震災対応等の基準整備に関する研究

建築研究部長

向井 昭義

建築分野における震災対応等の基準整備に関する研究

建築研究部長 向井 昭義

1. はじめに

本資料は、構造、防火、環境等の建築分野において基準整備等のために建築研究部が取り組んでいる研究課題や建築基準整備促進事業における調査結果をもとに震災対応等の基準原案作成に取り組んでいる課題等について概説するものである。

2. 建築研究部の使命

建築研究部では、国民や社会のニーズに応え、安全・安心で快適な生活環境を実現するため、建築基準法、住宅品質確保法（住宅の品質確保の促進等に関する法律）、省エネ法（エネルギーの使用の合理化に関する法律）等の技術基準において、構造、防火、そして環境・設備の各分野の企画・立案や策定・改訂に対して科学的・技術的な知見に基づき行政支援することを使命としている。

平成 24 年度研究基本方針（建築研究部）

<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/busyoukai/kenkyuhoushin2012/05kenchiku.pdf>

3. 当該分野の状況・動向について

（1）構造、防火、設備の各分野

構造、防火、設備の構造、防火、設備の各分野の状況・動向に関しては、建築基準法を中心とした動きを見ることでその動向を把握することができる。

平成 10 年 6 月に公布された改正建築基準法により、建築確認・検査の民間開放、建築基準の性能規定化等基準体系の見直し、中間検査の導入などが行われ、建築確認・検査の民間開放や中間検査の導入は平成 11 年 5 月に施行され、建築基準の性能規定化等基準体系の見直しは平成 12 年 6 月に施行された。その後、構造計算プログラムの出力を偽装して建築確認・検査を受けるという構造計算書偽装事件、建材の防火性能大臣認定を不正に取得するという問題、昇降機や遊戯施設での人身事故など、建築基準法に係わる問題や事故が発生し、このような問題の再発防止対策の一環として、平成 18 年 6 月に公布された建築基準法や建築士法などの改正が行われ、建築確認・検査の厳格化などが行われた。またその後、制度の円滑な普及を目的とする各種施策が実施されている。

一方、構造計算書偽装事件とも関係し、住宅供給の信頼・安心確保のため住宅品質確保法で定められた瑕疵担保責任を確実に果たすために住宅瑕疵担保履行法（特定住宅瑕疵担保責任の履行の確保等に関する法律）が平成 19 年 5 月に公布され、平成 21 年 10 月以後に引き渡される新築住宅から保険加入又は供託が義務づけられている。

また、公共建築物木材利用促進法（公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律）が平成 22 年 5 月に公布、10 月に施行され、木材の耐火性等に関する研究により建築基準法における規制の緩和の可能性の検討が行われている。

(2) 環境分野

他方、環境の分野の状況・動向に関しては、省エネ法を中心とした動きを見ることでその動向を把握することができる。

建築物の運用時エネルギーの削減に向けては、平成20年4月には住宅を対象とした省エネ改修促進税制が創設され、また、平成21年4月には省エネ基準の改訂強化により、省エネ計画書の提出対象の拡大や住宅を対象とした事業主基準が策定された。そして、今後も、事業主基準の適用拡大や集合住宅への展開、業務用建築物における省エネ計画書の内容の再検討、そして省エネ法の義務化など、建築物や住宅から排出される二酸化炭素の削減に向けた検討が継続的に行われる予定となっている。また、平成22年3月から運用がスタートした住宅エコポイントは、平成23年11月から復興支援・住宅エコポイントとして再スタートしている。

地球温暖化問題に関しては、京都議定書の第1約束期間（平成20～24年）への対応の他、平成32年までに温室効果ガスを25%削減するという目標提案などもなされ、建築分野における二酸化炭素排出量の大幅削減の実現のため、種々の施策が実施されてきている。

一方で、建設時エネルギーの削減に向けストックの効率的な活用を目的とした、長期にわたり良好な状態で使用するための措置が講じられた優良な住宅の普及を促進するため長期優良住宅法（長期優良住宅の普及の促進に関する法律）が平成20年12月に公布され、平成21年6月から施行されている。並行して既存住宅を長期に利用するためのリフォームを安心して実施できるようにするための保険制度の検討などが行われるとともに、平成24年2月からは持続可能社会における既存共同住宅ストックの再生に向けた勉強会が開始されている。

(3) 東日本大震災関連

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震（東日本大震災）では、地震動による建築物等被害に加えて、地震直後に発生した津波により東北地方沿岸の広い地域で多くの建築物が流失などして、未曾有の人的被害がもたらされた。技術基準における早急な対応が必要な事項として、津波、長周期地震動、天井落下、液状化が掲げられ、それぞれ検討が行なわれている。これらの内、津波に関しては、東日本大震災における津波による建築物被害を踏まえた津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針を国土交通本省と連携して策定し、これが平成23年12月に公布された津波防災地域づくり法に基づく指定避難施設の技術基準告示に位置づけられた。また、エスカレーターの脱落被害が判明し、技術基準に関して追加的な検討が始められた。省エネ関連では震災以降、世の中の節電意識が高まっている。

4. 建築研究部が主体となって取り組んでいるプロジェクト研究

建築研究部が主体となって取り組んでいるプロジェクト研究の概要を以下に示す。

(1) 低炭素・水素エネルギー・システム活用社会に向けた都市システム技術の開発（研究期間 H21～H24）

a) 研究の背景と方針

わが国の二酸化炭素排出量のうち、業務および家庭部門からの排出は国全体の 31.0% (2006 年度) を占め、その増加率は他部門に比べ著しく 1990 年度比 35.3% に達している。エネルギーの化石燃料への過度の依存から脱却するための 1 つの方法として、水素と燃料電池技術を活用した都市エネルギーシステムの構築が考えられる。本研究では、課題となっている水素配管技術等のインフラ技術、業務建築等需要側の省エネルギー技術、都市エネルギーシステム評価技術の開発に取り組む。

b) 研究目標

水素をエネルギー媒体に用い、化石燃料に過度に依存しない都市エネルギーシステムの構築に向けて、水素配管を安全に、かつ二酸化炭素排出量の最小化を実現するための建設技術を開発する。建築側での負荷削減、高効率設備機器の活用、再生エネルギー設備の活用と合わせて、都市の化石燃料依存度を評価する手法を開発する。

c) 研究成果の活用

水素を活用するにあたり、爆発や金属脆性による配管強度低下といったデメリットへの対策として、検知・防爆・耐震安全対策技術や低コスト水素配管の活用が必要になる。それらの技術によって水素配管敷設にあたっての安全性確保とコストの評価を行えるようになる。

また、建築物等の需要側の省エネルギー技術開発を通じて、省エネルギー技術の直接的な普及促進と省エネ基準等の施策への反映が期待できる。さらに都市エネルギーシステム評価手法を開発することで、都市全体の省エネルギー性、環境負荷、コストを総合的に評価することを可能とし、低炭素・水素エネルギー活用社会における都市システムのあり方に関して定量的な根拠にもとづく提言を行うことができる。

水素エネルギー活用社会のイメージ

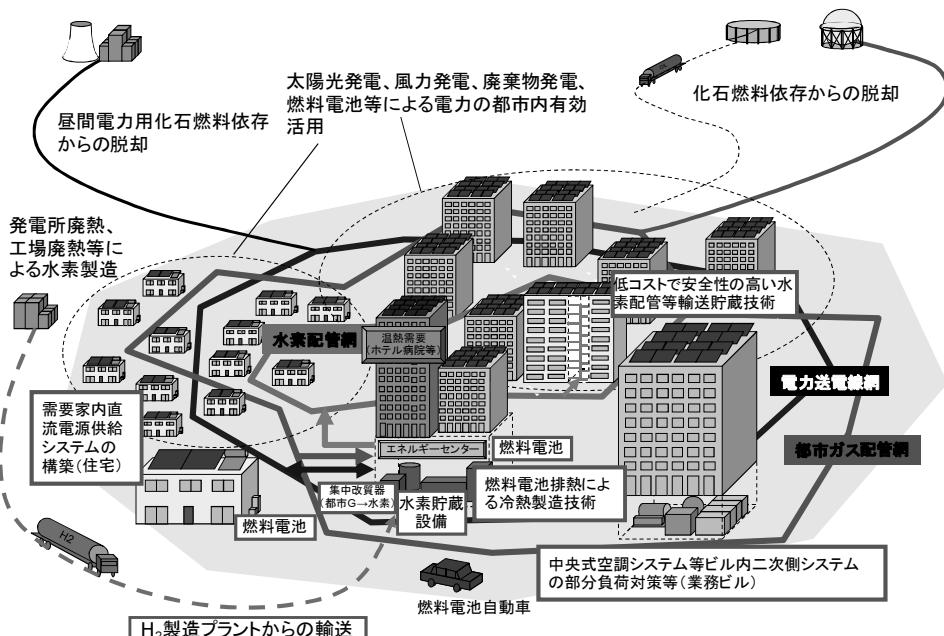


図 1 水素エネルギー活用社会のイメージ

(2) 地震動情報の高度化に対応した建築物の耐震性能評価技術の開発（研究期間 H22～H24）

a) 研究の背景と方針

近年の地震観測網の整備や地震学の進展に伴い、任意地点での地震動の特性が詳細に解説されつつある。観測または予測された地震動の中には、現在の耐震設計で想定している設計用地震力のレベルを上回るものもある。一方、建築物に作用する地震力は、地表面上の地震動がそのまま建築物に入力するとみなした場合より、かなり低減される場合のあることが知られている。建築物の耐震性能を適切に評価するには、地震動をより精度良く予測することに加え、このような「地震動」と「地震力」との関係を見極めることが重要である。

そのため、本研究では、民間、大学等の関係機関にも協力を呼びかけ、少しでも多くの建築物の地震観測記録を収集、分析して「地震動」と「地震力」との関係を明らかにし、地震動情報の高度化に対応したより合理的な建築物の耐震性能評価技術の開発に取り組む。

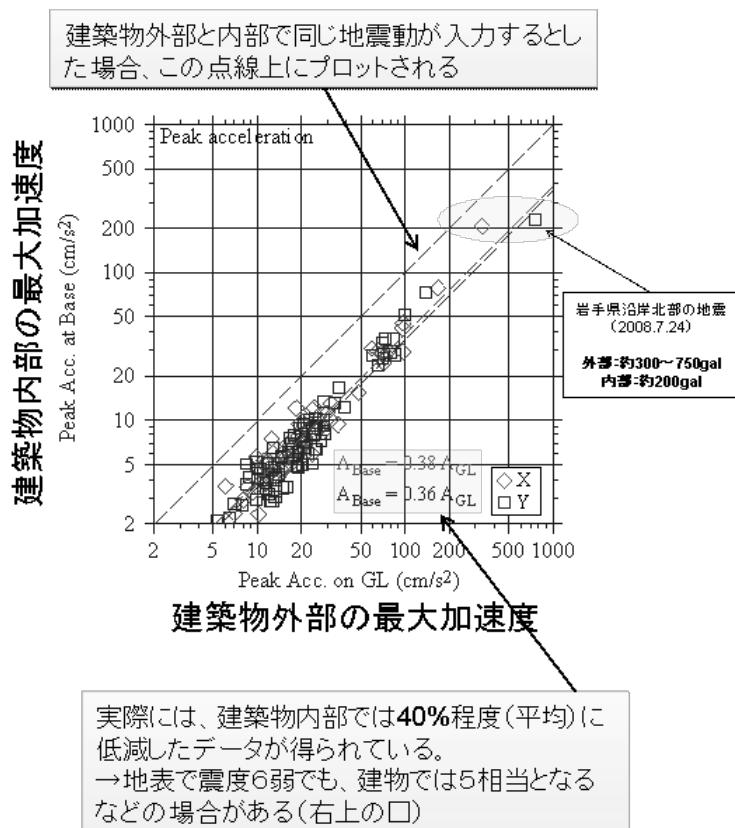


図2 建築物外部（地表面）と建築物内部（地下1階）で観測された地震動の比較例

b) 研究目標

地表面の「地震動」と建築物に作用する「地震力」との関係を明らかにして、①建築物と地盤の特性の双方を考慮した地震力評価手法、②地震観測結果に基づく継続的な耐震設計技術の改良方法、③地震観測結果に基づく地盤を含めた効率的な耐震改修技術の開発を

行う。

c)研究成果の活用

地震学の最新の知見に基づき予測された「地震動」に対し、建築物の耐震性能をより高いレベルの工学的知見に基づき評価することが可能となる。これにより、巨大地震が予測された場合の建築物一般の耐震基準の点検や個々の建築物の耐震改修を不必要に安全率を高く設定することなく、合理的に行うことができるようになる。従来よりも、精確に建築物の耐震性能を評価できるようになるため、建築物に対する安全・安心の度合いが高まるといえる。

また、建築物の地震観測は、本研究終了後も実施されるべきものであり、本研究においてこのような地震観測結果に基づく「継続的な耐震設計技術の改良方法」を開発することで、将来の地震学の進展にも対応しつつ耐震設計の精度を常に向上させることを可能とする。

(3) 再生可能エネルギーに着目した建築物の新技術導入に関する研究（研究期間 H23～H25）

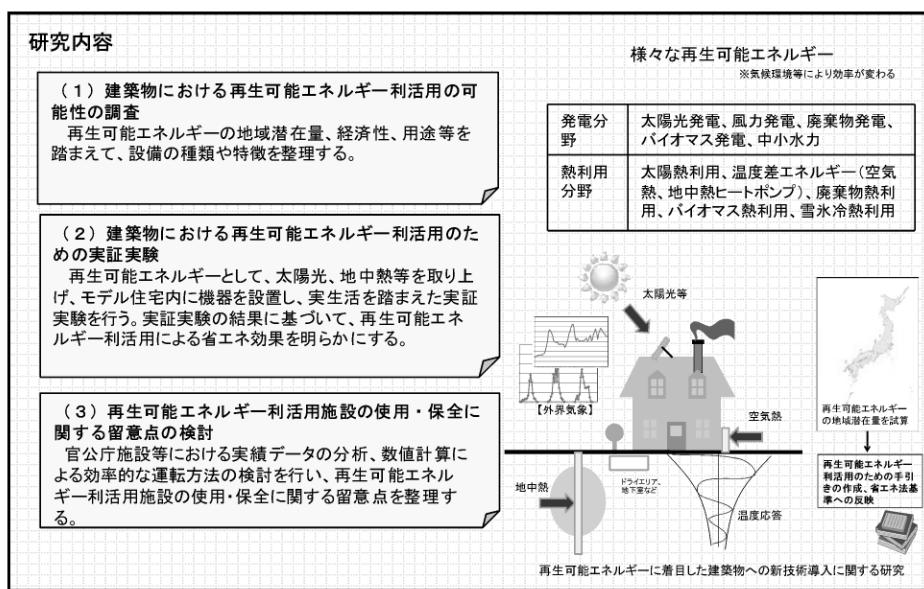


図3 再生可能エネルギーに着目した建築物の新技術導入に関する研究内容

a)研究の背景と方針

政府は、温室効果ガスの排出の量の削減に関する中長期的な目標として、2020年までにCO₂を1990年度比25%削減、一次エネルギー供給量に占める太陽光発電などの再生可能エネルギー供給量の割合10%達成を目指している。

生活水準と共に建物のエネルギー消費は年々増加傾向にある。建物の熱的構造や機器効率化を一層進めると共に、これからは建物敷地内に存在する自然エネルギーを活用することも大事であり、再生可能エネルギーを取り入れた新たな基準の策定が必要とされている。

b)研究目標

基準等に太陽光や地中熱等の再生可能エネルギーを位置づける。また、官公庁施設などに導入して社会への普及を図る。

c)研究成果の活用

省エネ建物を普及させ、CO₂ 25%削減の達成を図る。

(4) 木造3階建学校の火災安全性に関する研究（研究期間 H23～H27）

a)研究の背景と方針

木材は鉄やアルミニウム等に比べ、材料製造時の炭素放出量が少なく、地球温暖化防止に有効であるとともに、学校の室内的湿度変化を緩和させ、快適性を高めることができるなどのメリットがある。しかし、現行の建築基準法では3階建学校には高い耐火性を要求しており、木造で建設することは現状で困難となっている。これらの規制について、平成22年の「公共建築物等における木材利用の促進に関する法律」施行や閣議決定で、木材の耐火性等に関する研究の成果を踏まえて必要な見直しを行うことが決定された。

木造3階建て学校の建設実現に向けて、火災安全上必要な性能とは何かを検討するとともに、その性能が満足される範囲で現行規制を緩和することが可能な条件を技術的見地から見いだすことが必要となる。

b)研究目標

木造3階建て学校の実大火災実験や関連する要素実験、シミュレーション等の調査検討を行い、避難が安全にできること、火災による周囲への熱・火の粉・倒壊などの影響が少ないとこと、急速な倒壊などによる消防上の障害が少ないとこと等の火災時の安全性が確保されるような技術基準の整備に資する検討を行うことを目標としている。

c)研究成果の活用

木造3階建て学校に要求される火災時の安全性能を明確にし、科学的根拠に基づく技術基準案を作成する。建築基準法へ反映されることで、木造3階建て学校が建設可能となれば、新たな経済効果、伝統技術者の育成、地場産業の活性化、学校室内の快適性の向上といった効果が見込まれる。

実大実験や要素実験の結果から、木質部位の仕様が持つ性能を確認し、これらのバリエーションを例示仕様として告示等へ追加することで、木材利用の普及・促進が期待される。



(a)



(b)

写真1 平成23年度 予備実験

5. 技術基準の見直し（技術原案の提示）を行う体制

建築研究部では、東日本大震災の被害を踏まえた対応や個別の研究開発に対応した課題設定を行い、技術原案の検討・提示を行っている。

東日本大震災に関連した主なものとしては、

- a)津波避難ビルの構造上の要件に関する基準
- b)天井脱落対策等に関する技術基準
- c)長周期地震動への対応方策の検討

研究開発に関連したものとしては、

- d)大規模木造建築に係る防火基準の見直し検討

などがある。

これらについては、国土技術政策総合研究所に学会等の有識者をメンバーとした建築構造基準委員会、建築防火基準委員会を設置・運営し、実務者等の意見を踏まえつつ技術基準の見直しを行う体制を整備している。

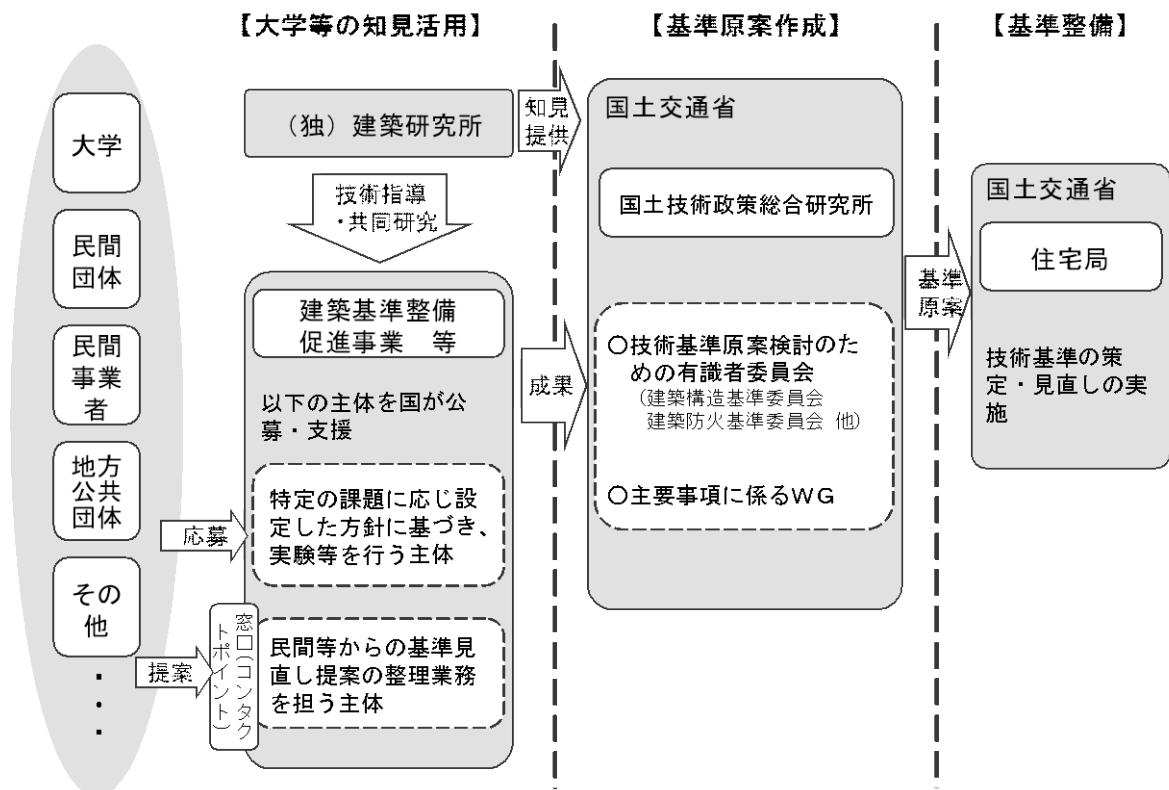


図4 建築関連技術基準の検討体制

特に東日本大震災関連では以下の検討を行っている。

建築構造基準委員会（委員長 久保哲夫 東京大学名誉教授）では平成23年4月21日及び22日に同委員会による現地調査を実施する等、東日本大震災における建築物被害を踏まえた対策の検討を開始した。

同委員会においては、以下のとおり対策について審議を重ねた。

第1回(平成23年6月18日)

- ・建築物の被害調査について
- ・津波による建築物被害を踏まえた対応について
- ・地震動による非構造部材の被害を踏まえた対応について
- ・長周期地震動対策について

第2回(平成23年8月18日)

- ・津波による建築物被害を踏まえた対応について
- ・地震動による非構造部材の被害を踏まえた対応について

第3回(平成23年10月13日)

- ・津波による建築物被害を踏まえた対応について
- ・長周期地震動への対応について

第4回(平成24年7月9日)

- ・東日本大震災への対応状況について
- ・天井脱落対策に係る技術基準原案について
- ・エスカレーター落下防止対策に係る技術基準原案について
- ・長周期地震動への対応について

第5回(平成24年10月22日)

- ・天井脱落対策に係る技術基準原案について
- ・エスカレーター落下防止対策に係る技術基準原案について

これらの審議を踏まえ、津波避難ビルに関する構造上の要件に関する指針の見直し（平成23年11月17日付け住宅局長通知）、津波防災地域づくり法に基づく指定避難施設の技術基準告示（平成23年12月27日国土交通省告示1318号等）に反映されるとともに、平成24年7月31日から9月15日まで天井脱落防止のための技術基準原案及びエスカレーター落下防止のための技術基準原案についてパブリックコメントを行った。

また、建築防火基準委員会（委員長 辻本誠 東京理科大学教授）では以下の通り審議を行っている。

第1回(平成24年10月10日)

- ・大規模木造建築物の実大実験について

6. 天井脱落防止対策技術原案等

6.1 天井脱落対策技術原案

東日本大震災においては、広範囲に多数の建築物で天井脱落被害が生じている。

従来、建築基準法施行令において、地震動により脱落しないことは規定されていたが、具体的な技術基準は規定されておらず、技術的助言において対策が示されていた。

これらの被害を踏まえ、平成23年度の建築基準整備促進事業（国が建築基準法等にお

ける技術基準を策定・改訂する上で必要な事項について、国の設定した課題に関し、実験等の基礎的なデータ・技術的知見の収集・蓄積等を行うものを公募して、その費用に対し補助を行う事業。平成 20 年度創設、平成 24 年度は 27 課題について調査実施) を活用して検討を進めることとし、調査課題として「41. 地震被害を踏まえた非構造部材の基準の整備に資する検討」を設定し、公募により選定された一般社団法人建築性能基準推進協会において委員会が設置され、被害分析等が進められた。

この成果を踏まえ、国土技術政策総合研究所において、天井脱落基準対策検討 STG を建築構造基準委員会技術基準原案作成 TG に設置し、技術基準原案の作成作業を行った。

技術基準原案については、第 4 回建築構造基準委員会の審議を踏まえ、住宅局及び国土技術政策総合研究所により「建築物における天井脱落対策試案」としてとりまとめ、平成 24 年 7 月 31 日から 9 月 15 日までに意見募集(パブリックコメント)を行った。

この技術基準原案の概要は、以下のとおりである。

- ・天井の脱落対策の適用範囲として、6 m 以上の高さにある面積 200 m² 以上の吊り天井を対象とする。応答倍率がごく小さい天井(直天井等)は対象としない。
- ・天井の脱落対策の適用方法として、耐震性等を考慮した天井の仕様を定める方法(仕様ルート)、天井の耐震性等を計算で検証する方法(計算ルート)、その他高度な計算などの特別な手段によって天井の耐震性等を検証する方法(特殊検証ルート)を設定している。

(1) 仕様ルート

仕様 1 として、天井単位面積質量 2kg/m² 以下の天井、2kg/m² 超～6kg/m² 以下の天井、6kg/m² 超～20kg/m² 以下の天井それぞれについて、その天井質量に応じた天井の仕様を設定した。具体的な項目としては、吊りボルトの本数・配置方法、吊り長さ、天井を構成する天井材相互の緊結、吊り金具等の緊結、水平補剛材の配置、斜め部材の数・配置方法、斜め部材の接合部及び斜め部材周囲の部材相互の緊結、天井面と周辺部位等の間のクリアランス、エキスパンションジョイント部分の措置、天井面に段差を生じる部分や折れ曲がる部分の措置等である。

これらの仕様のほか、仕様 2 として、落下する天井材を保持するように天井面より下の位置にネットを設置する措置、部材をロープ等で吊り天井面が外れても下まで落ちないような措置(フェールセーフ)も示した。

(2) 計算ルート

一続きの天井が一質点系にモデル化できる天井(水平で面内剛性があるもの等)について、耐震性等を計算で検証する方法を設定している。

① 常時荷重に対する安全性の検証

固定荷重(及び積載荷重の和)によって、吊り天井の各部に生ずる力を計算し、当該力の 3 倍の力に対して構成部材及び接合部が損傷(部材相互の間のずれやすべりを含む)しないことを確かめる。

② 地震動に対する耐震性の検証

スペクトル法、簡易スペクトル法、震度法のいずれかの方法により、天井面に生ずる加速度または震度を求め、これによる慣性力によって天井を構成する部材及び接合部が損傷

しないことを確かめる。

③クリアランスの検証

天井面に生ずる水平変位を算定し、周囲の壁、天井相互又は設備（天井と一体として挙動するものを除く）等との間に衝突が生じないことを確かめる。

(3) 特殊検証ルート

時刻歴応答解析等高度な計算などの特別な手段によって天井の耐震性等を検証する方法を設定している。

天井脱落防止に係る技術基準原案の概要（仕様ルート、 $6\text{kg}/\text{m}^2$ ～ $20\text{kg}/\text{m}^2$ の場合）

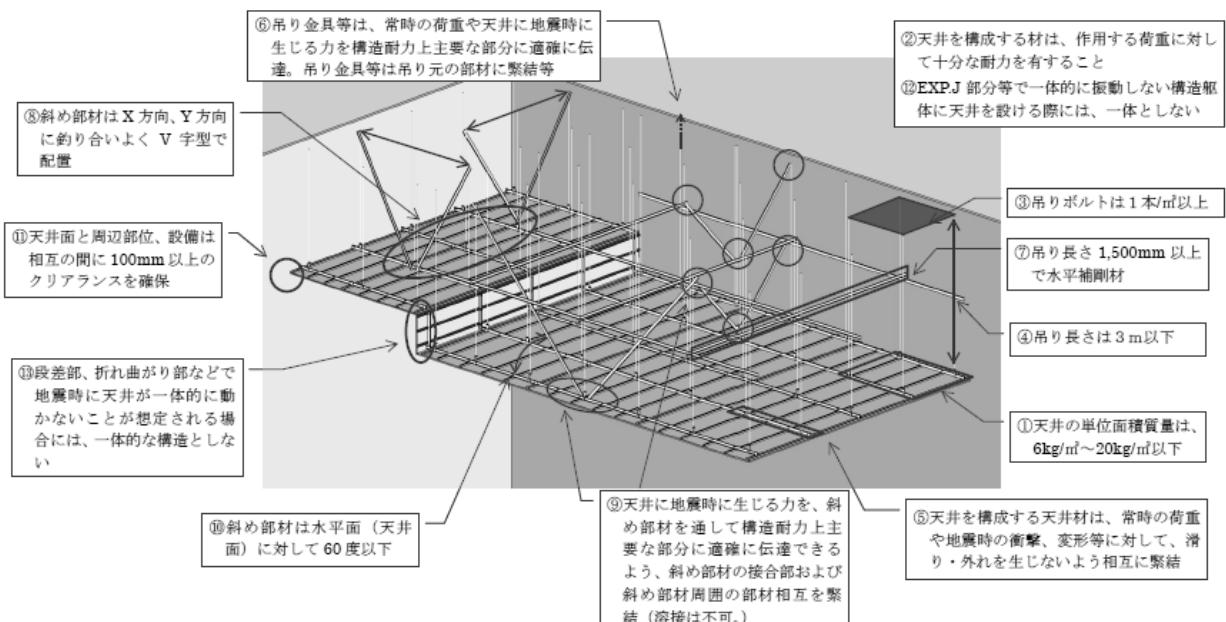


図 5 天井脱落対策試案の概要（仕様ルートの例）

6.2 エスカレーター落下防止対策試案

東日本大震災及びその余震において、ショッピングセンターに設定されていたエスカレーターが落下するという被害が複数発生した。

エスカレーターの設置については、建築基準法令では構造躯体への「かかり代」については、具体的な規定はなかったが、業界の指針において層間変位 $1/100 + 20\text{mm}$ の「かかり代」を設けることとされてきた。

これらの被害を踏まえ、平成 23 年度の建築基準整備促進事業を活用して被害分析と技術的な要件に係るデータの整理を進めることとして、調査課題として「45. 昇降機に係る地震安全対策に関する検討」を設定し、公募により選定された一般社団法人建築性能基準推進協会において、構造分野の有識者、昇降機分野の有識者による委員会が設置され、被害分析と落下防止のための技術的知見の収集整理等が進められた。

これらの成果、および第4回建築構造基準委員会の審議を踏まえ、住宅局及び国土技術政策総合研究所により「エスカレーターの落下防止対策試案」として技術基準案をとりまとめ、平成24年7月31日から9月15日までに意見募集(パブリックコメント)を行った。

この落下防止対策技術原案の概要は、以下のとおりである。

大規模地震時におけるエスカレーター落下防止として以下の構造方法を設定した。

①十分な「かかり代」を設ける構造方法

「かかり代」は昇降高さ(揚程)の1/40以上を原則とし、中規模地震時の層間変形角が1/200を超える場合は割増し補正する。ただし、構造計算によって確かめた層間変形を用いる場合は、1/100を下限として緩和できる。

②ワイヤロープ等による落下防止措置を講じる構造方法

昇降高さ(揚程)の1/100以上の「かかり代」を設けた上で、ワイヤロープ等による落下防止措置(バックアップ措置)を講ずる。

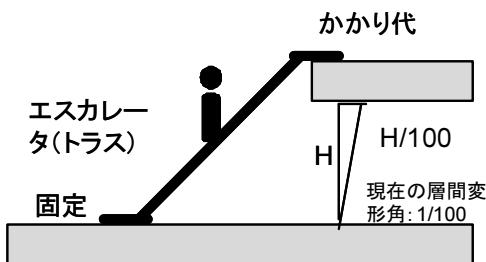


図6 エスカレーターの「かかり代」

7. 竜巻による建築物被害

平成24年5月6日、茨城県つくば市の北条地区、大砂地区及び筑波北部工業団地を中心に竜巻による建築物の被害が発生した。国土技術政策総合研究所と建築研究所では、つくば市内での建築物の被害発生直後より、被害の概要を把握するための現地調査を実施した。その結果を速報としてまとめている。

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24年5月6日に茨城県つくば市で発生した竜巻による建築物被害(速報)」(平成24年5月8日)

(<http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h24tsukuba/h24tsukuba.pdf>)

木造建築物の主な被害は、基礎を伴う上部構造の転倒、上部構造の倒壊、上部構造の飛散、上部構造の水平移動、小屋組の破壊・飛散、開口部の損壊、屋根ふき材と外壁材の脱落・飛散等であった。鉄骨造建築物の主な被害は、小屋組の破壊・飛散と外装材の損傷、構造骨組の残留変形、車庫の転倒であった。鉄筋コンクリート造建築物の主な被害は、開口部・建具の損壊である。

また、竜巻通過時に発生する多数の飛来物による外装仕上げ材や開口部の被害も多数確認された。



写真2 転倒した木造住宅の基礎底面



写真3 開口部等が損壊した集合住宅

基礎を伴う上部構造の転倒が生じた木造住宅について、水平方向の旋回流や急激な気圧低下によって生じる力、建築物の転倒メカニズム、建築物重量等のいくつかの計算上の仮定に基づき、建築物の基礎の風上端が浮き上がり始める風速を推定した。その結果を下記の報告としてまとめている。

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：「転倒した木造建築物に作用した風速の推定について」（平成24年6月19日）

[\(http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h24tsukuba/wind.pdf\)](http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/h24tsukuba/wind.pdf)

今後は、竜巻の非定常な風荷重の評価とともに飛来物に対する外装材の評価手法の検討の必要性も考えられる。そしてそれらを竜巻等の突風による災害後も機能の維持が必要な建築物等に利用することが考えられる。