

建築構造の安全・安心の確保

1. 研究・活動のアウトライン

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

年度	国総研の研究課題	主な自然災害	主な法制度制定・改正
2001 平成13			
2002 14			・建築基準法の改正(シックハウス規制等)
2003 15	術体系にかしこい建築・住まいの実現のための研究に関する研究	●宮城県北部連続地震 ●土勝沖地震 ●アルジェリア地震	・既存住宅の性能表示制度の開始
2004 16	建築物の「安心」の定量的評価のための技術基盤の研究	●新潟県中越地震 ▲佐賀県等竜巻	
2005 17	高強度鋼等の革新的構造材料を用いた新構造建築物の性能評価手法の開発	●福岡県西方沖地震 ●宮城県沖地震 ●パキスタン地震	
2006 18			・建築基準法の改正(構造計算適合性判定の導入、確認審査の厳格化等)
2007 19	建築物の構造安全性を合理的に検証するための研究	●能登半島地震 ●新潟県中越沖地震	・住宅瑕疵担保履行法の制定
2008 20		●岩手・宮城内陸地震 ●岩手県沿岸北部の地震 ●四川大地震	
2009 21		▲岡山県美作市竜巻 ▲群馬県館林市竜巻 ▲茨城県土浦市竜巻	
2010 22	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		
2011 23	建築実務の円滑化に資する構造計算プログラムの技術基準に関する研究	●東日本大震災	・津波防災地域づくり法の制定(津波避難ビル等の構造基準等)
2012 24	外装材の耐震安全性に関する評価手法・基準に	▲茨城県つくば市竜巻	
2013 25	巨大地震に対する中低層建築物の地震被害軽減技術に関する研究	▲埼玉県越谷市等竜巻	・天井脱落対策基準の制定 ・耐震改修促進法の改正
2014 26	災害拠点建築物の機能継続技術の開発	●長野県北部を震源とする地震 ▲広島県で発生した土砂災害 ▲関東甲信地方の豪雪	・建築基準法の改正(学校等の防火基準改正、定期調査・検査報告制度の強化等)
2015 27		▲茨城県常総市で発生した鬼怒川氾濫	
2016 28	木造住宅の簡易な性能評価法の開発	●熊本地震 ●鳥取県中部の地震	・増改築の長期優良住宅認定の開始 ・天井脱落対策基準の改正
2017 29	新しい木質材料を活用した混構造建築物の設計・施工技術の開発		・大臣認定における長周期地震動対策の審査の開始 ・積雪後の降雨の影響を考慮した応力割り増しに係る基準の追加
2018 30	成熟社会に対応した郊外住宅市場の再生技術の開発(住宅研究部主管)	●大阪府北部地震 ●北海道胆振東部地震 ▲滋賀県米原市竜巻 ▲台風第21号	・建築基準法の改正(既存建築ストックの活用、木造建築物の防火基準等の合理化等)
2019 令和1	建築物の外装材の健全性を迅速判定する調査研究	▲千葉県市原市竜巻 ▲台風第15号(房総半島台風) ▲台風第19号(東日本台風)	
2020 2	建築物と地盤に係る構造規定の合理化による都市の再生と強靱化に資する技術開発	●福島県沖の地震	・瓦屋根の耐風対策基準の改正
2021 3			

(凡例) 総プロ課題 事項立て課題等

●:地震災害 ▲:気象災害(台風、竜巻、豪雪、洪水、土砂)
下線の災害:国総研HPに建築物の被害調査報告を掲載

(1) 背景となる出来事、社会の変化等

建築基準法令は、社会的ニーズの多様化や高度化、新技術の開発、国際化等に対応する形で、1998年6月に仕様規定から性能規定を中心とした基準体系に見直され（2000年施行）、法令における構造関係技術基準についても性能規定に対応した整備・見直しが継続的に図られてきた。国総研の建築構造分野が過去20年間に実施してきた技術開発は、この性能規定化の動向と軌を一にしていると言える。その一方で、この20年間にわが国は、東日本大震災（平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震）、平成28年（2016年）熊本地震、令和元年房総半島台風等の大規模な自然災害を経験してきた。これらの甚大な建築物被害の状況は社会的に大きなインパクトを与え、それぞれの被害原因の調査を通して建築構造分野が対応すべき新たな課題や対策の必要性も顕在化した。

また、今日の社会では建築物に求める機能やニーズが多様化し、上記のような大規模な自然災害後の社会・経済活動の維持や早期の回復が極めて重要な課題となってきた。つまり、法令の要求性能を上回る構造性能をいかに実現するか、法令に定められていない荷重外力による事象にいかに対応するかといった視点が求められ、最低基準としての法令の整備・見直しに留まらずに、それを補完するための研究開発も社会から要請されているのが現状である。

(2) 研究開発課題

国総研の建築構造分野では、建築構造に係る社会ニーズや自然災害で顕在化した課題に系統的に対応するため、総プロ課題や事項立て課題等を実施してきた。特に、甚大な建築物被害が発生した自然災害については建築研究所と連携して現地調査を実施し、新たに対応すべき技術的課題を把握している。いずれの研究開発課題も、3～5年間の中期的なスパンで着実に成果を出して社会実装を図っている。

また、2008年度に創設された建築基準整備促進事業（以下「基整促」という。）では、国が建築基準の整備を促進する上で必要となる調査事項を提示し、民間事業者等がこれに基づき、基礎的なデータ等の収集・蓄積等の調査及び技術基準原案の基礎資料の作成を行っている。国総研は本事業の枠組においても、整備を促進すべき課題の設定（入口）と民間事業者等による成果を踏まえた技術基準原案等の作成（出口）を担当し、法令等の整備・見直しに関わっている。

(3) 研究・活動の概要

災害調査や研究開発による新たな技術的知見に基づく対応は、基準の合理化に資する場合だけでなく、強化につながる場合もあることに留意しつつ、調査研究の成果を法令等の技術基準原案やガイドライン等としてとりまとめている。

技術基準原案については、既往の技術基準で構造方法や検証方法が十分に整備されていなかった部位（例えば吊り天井、瓦屋根）や荷重外力（例えば津波、長周期地震動、降雨後の積雪荷重）についても対象とし、適切な構造方法（仕様）、設計クライテリアの設定、計算手法の構築等に関する技術的な検討を行ってきた。また、例えば災害拠点建築物の設計ガイドライン（案）については、対象とする建築物用途を明確にした上で、現行の技術基準を補完するものとして位置づけた。前者は規制強化となるものであり、後者は現行基準で定める性能水準を超える水準に誘導するものである。したがって、これらの成果をとりまとめた後に円滑な運用が図られるよう、国土交通省関係部局や学識経験者だけでなく、民間団体等とも密接に連携や調整を図りつつ検討を進めた。これらの取組みのうち、技術基準原案の整備につながった主な研究成果を以下で紹介している。

なお、この20年間には上記のほか、国の基本方針や民間の技術開発動向を踏まえながら、設計メニューの選択肢の拡大に資するものとして、新構造システムや新材料を活用した構造設計法に関する研究、構造設計の高度化・合理化・円滑化に資するものとして、構造計算プログラムや地震動情報の高度化等に関する研

究についてもそれぞれ実施してきた。これらの成果は、将来の技術基準等の整備に直結する基礎的な知見として蓄積している。

2. 主な研究成果

(1) 津波避難ビルの構造設計法

- ・2011年3月に発生した東日本大震災では、一部の建築物に、津波で転倒し流される等の甚大な被害が見られた(写真-1)。現地調査により被害状況を把握するとともに、2011年度の基整促課題も活用して津波避難ビルのための構造設計法の検討を行い、同年7月に建築物被害調査を中心とした報告を、10月には津波荷重算定式の見直し案を含む報告を取りまとめた。それらの結果を踏まえて「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」を取りまとめた。12月には国総研資料第673号「津波避難ビル等の構造上の要件の解説」を公表した。これは、建築基準法第39条に基づき指定される災害危険区域に建設される建築物と、2011年12月に制定された「津波防災地域づくりに関する法律」に関する技術基準を解説するとともに、その設計例を示すものである。
- ・技術基準原案のとりまとめに当たっては、国土交通省関係部局と連携して立法・行政の対応を技術の面から支援し、津波とその被害に詳しい土木・海岸工学分野の有識者からの意見も聴取し、極めて限られた期間であることも踏まえ、既往のガイドラインに被害実態を踏まえた知見を追加する方針を取った。また、技術基準を補完し、建築構造の実務者による的確な運用を促すことを意図して、具体的な設計例を作成した。
- ・津波避難ビルの構造設計は、想定される津波波圧(図-1)に対し、建築物が倒壊、転倒および滑動しないことを検証するものである。水平力に対する検討は耐震設計と類似するが、繰り返し変形によるエネルギー吸収に期待できないこと、浮力により転倒や滑動が生じやすくなること、洗掘や漂流物に対する検討を要すること、などの特徴がある。

(2) 建築物の長周期地震動対策

- ・2003年十勝沖地震では、震央から約250km離れた苫小牧市内の石油タンクが長周期地震動(長周期かつ長時間継続する地震動)によりスロッシング(液面揺動)を起こし火災が発生した。平成23年(2011年)



写真-1 津波による4階建てRC造建築物の被害

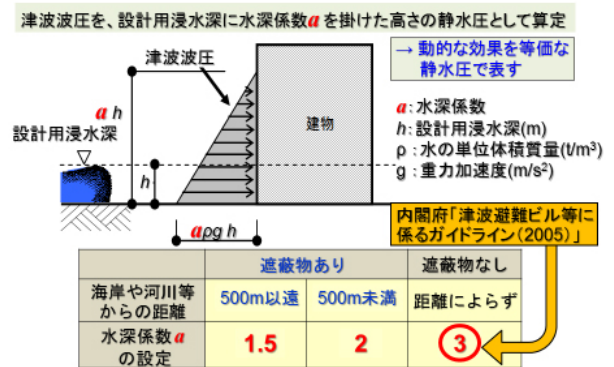


図-1 津波波圧の算定法

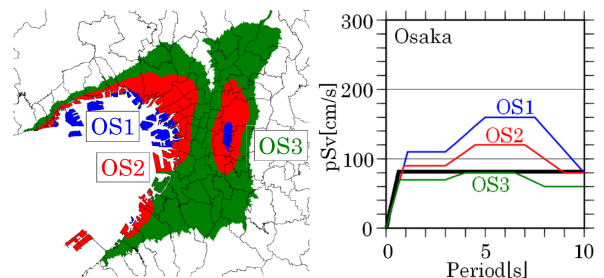


図-2 大阪圏(OS)の区域分けと簡略化スペクトル(減衰5% 擬似速度応答スペクトル[pSv])と告示スペクトル[黒太線]

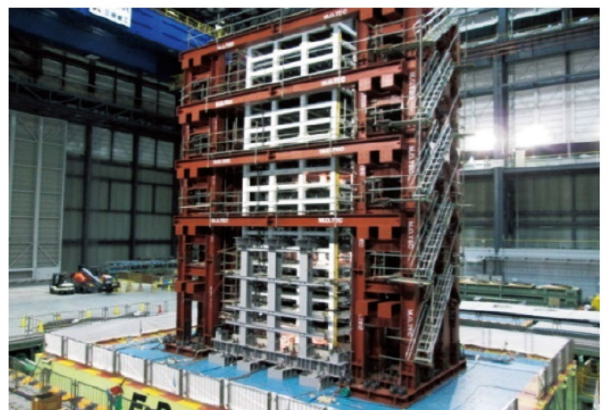


写真-2 20層RC造建築物試験体の震動実験

- 東北地方太平洋沖地震では、東京の超高層建築物のみならず震源から約 770km 離れた大阪湾岸に建つ超高層庁舎も長周期地震動で大きく揺すられ、エレベータの閉じ込め、天井板の脱落等の損傷が発生した。
- これら地震被害の経験も踏まえ、南海トラフ沿いの巨大地震で発生が予想される長周期地震動による建築物の共振現象で生じる長時間多数回繰り返し変形への対策として、2008～2012 年度の複数の基整促課題のもと、設計用長周期地震動の設定法や当該地震動に対する建築物の応答評価法に関する検討を行った。
 - 超高層建築物や免震建築物の共振対策を施すべき地域を特定して、内閣府による被害想定の見直しと連携しつつ、三大都市圏と静岡県的设计用簡略化スペクトルを提案した (図-2)。また、20 層 RC 造架構の震動実験を実施したほか (写真-2)、共振して大きな応答変形が生じた際の損傷状態を通常の応答解析技術によってどの程度再現できるかを検討し、多数回繰り返しの影響を盛り込んだ応答推定法を提案した。
 - これらの成果を、超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策として、時刻歴応答解析による性能評価の業務方法書へ反映した。

(3) 吊り天井の耐震対策

- 東日本大震災では、大空間における大規模な天井の脱落が多数発生し (写真-3)、人的被害は死者 5 名、負傷者 72 名以上、被害件数は約 2000 件にのぼった。特に問題とされたのは、構造体にはほとんど損傷がない程度の地震動であったにもかかわらず、天井に大規模で甚大な被害が生じた事例が多く見られた点である。国土交通省からは以前から複数の技術的助言が出されていたにもかかわらず、東日本大震災では再び類似かつ多くの脱落被害が確認され、また人的被害が発生する事態となったため、規制を強化してより強く防災対策を推し進めることとなった。2011 年度の基整促課題も活用して現地及びアンケート調査で迅速に被害状況を把握し、調査結果から規制対象とする範囲や推薦すべき具体的な仕様を絞り込むとともに、有識者の意見も踏まえつつ、天井裏の斜め部材と壁際の際間の設置 (図-3(a)) などの規定からなる技術基準原案をとりまとめた。その後、2013 年 7 月に建築基準法施行令第 39 条の改正により「特定天井」の基準が新たに設けられ、関連告示が同年 8 月に公布された (施行は 2014 年 4 月)。
- 技術基準原案の中で天井の設計用地震力を検討するに当たっては、従前の学会指針等でも必ずしも十分ではなかった構造躯体との共振による地震力の増加を考慮した計算方法を新たに検討し、設計用として単純化する際には共振しても安全となるように大きめの地震力を採用した。
- また、メーカーや建築構造の実務者による円滑かつ確な運用を促すため、2013 年 9 月には国総研資料第 751 号「建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説」を公表し、技術基準の解説のほか、試験方法や耐力・剛性の設定方法を運用上の共通のルールとして示した。
- 特定天井の当初の仕様 (図-3(a)) では、天井裏の設備機器や配管を設置しにくく、音響・空調の観点か

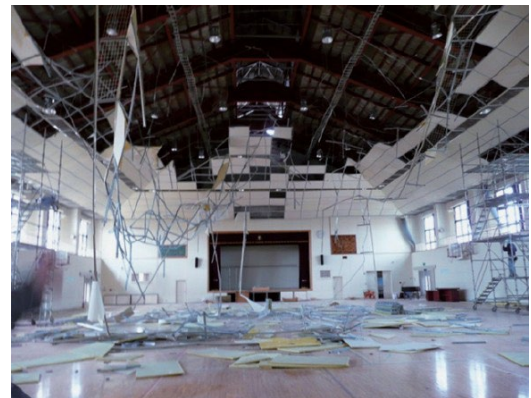


写真-3 体育館の天井脱落被害

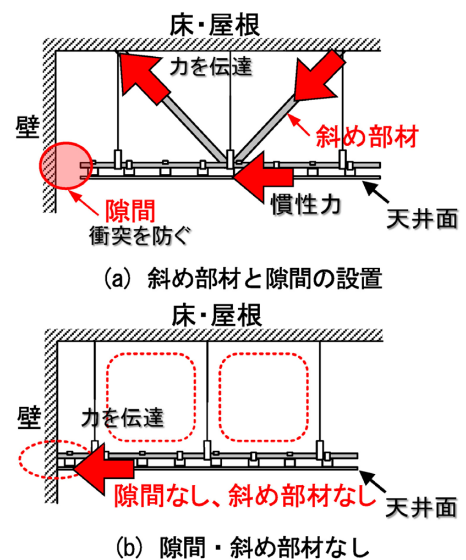


図-3 2種類の天井脱落対策

ら隙間を設けないニーズも高いことなどから、異なる仕様の検討が求められた。そこで、2013年度の基整促課題も活用し、加振実験等による実証的な検討を踏まえ、斜め部材がなく壁際の隙間もない仕様(図-3(b))の耐震性を確かめた。その知見を踏まえ、2016年に告示改正によって一定の規模・条件の下で仕様が追加されるとともに、基準解説や設計例が公表された。

(4) 降雨の影響を考慮した積雪荷重の設定法

- ・2014年2月に前線を伴い発達した低気圧が本州南岸を北東へ進み、関東甲信地方と東北地方で記録的な大雪となった。その結果、各地で建築物の被害が発生し、大規模建築物のうち大スパン、緩傾斜の屋根を有するものに屋根全体の崩落の被害が集中した(写真-4)。現地での被害調査と気象データの分析の結果、降雪後の降雨によって割り増された積雪荷重が作用したことが一因と考えられた。
- ・以上の状況を踏まえ、2014～2016年度の基整促課題のもとで実大規模の屋根試験体(屋根の最大長さ50m)等を用いた屋内外実験を実施し、積雪後の降雨による積雪荷重の割り増し状況を再現した(写真-5)。この検討では、わが国の主要な雪工学の学識経験者も総力を挙げて、実験計画や試験体の施工計画から実験結果の取りまとめに協力を頂いた。
- ・実験結果から提案した割り増し荷重の算定式は規制の強化につながる設定であるため、式の構築と並行して、適用される屋根の規模等の範囲を慎重に見極める作業を実施した。以上の検討を通して、日本建築学会の指針で未整備であった算定式や適用範囲について告示基準や技術的助言の原案としてまとめた。この告示基準は、2018年1月に改正されている(施行は2019年1月)。

(5) 瓦屋根の耐風対策

- ・2019年9月に関東地方に上陸した令和元年房総半島台風の強風によって、千葉県内を中心に多くの戸建て住宅等の屋根に被害が発生し、なかでも瓦屋根の強風に対するぜい弱性が顕在化した(写真-6)。
- ・国総研は、千葉県内の被害が顕著な地域で調査を実施し、瓦屋根について2001年に瓦業界が制定した設計・施工ガイドラインの強風に対する有効性を実証した。そして、そのガイドラインの内容を仕様規定に取り込む形で告示の改正原案を作成した。この告示基準は、2020年12月に改正されている(施行は2022年1月)。
- ・また、2020年度には瓦業界関係者と連携・調整を図り



写真-4 積雪後の降雨の影響による大規模屋根の崩落



写真-5 実大屋根試験体による屋外実験



写真-6 令和元年房総半島台風での瓦屋根の被害例



写真-7 粘土瓦の載荷実験

ながら、上記の改正告示を補完する立場が明確になるようガイドラインの改訂作業を進めた。瓦屋根の載荷実験等（写真-7）を通して、より高い耐風性能に誘導できるよう沿岸部で採用できる瓦屋根の仕様等を整備した。今後は、改正された告示基準とそれを補完するガイドラインの改訂版が両輪となって、災害に強い瓦屋根の普及に貢献することが期待される。

3. 関係する報告書・技術資料一覧

- 1) 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震調査研究（速報）（東日本大震災），国土技術政策総合研究所資料，No.636，2011.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0636.htm>
- 2) 津波避難ビル等の構造上の要件の解説，国土技術政策総合研究所資料，No.673，2012.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0673.htm>
- 3) 平成 23 年（2011 年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，国土技術政策総合研究所資料，No.674，2012.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0674.htm>
- 4) 建築物における天井脱落対策に係る技術基準の解説，国土技術政策総合研究所資料，No.751，2013.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn0751.htm>
- 5) 社会資本整備審議会建築分科会 建築物等事故・災害対策部会：建築物の雪害対策について，2014.
<https://www.mlit.go.jp/common/001059535.pdf>
- 6) 超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について（技術的助言），国住指第 1111 号，2016.
<https://www.mlit.go.jp/common/001136168.pdf>
- 7) 災害拠点建築物の設計ガイドライン（案），国土技術政策総合研究所資料，No.1004，2018.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1004.htm>
- 8) 令和元年（2019 年）房総半島台風および東日本台風による土木施設・建築物等災害調査報告，国土技術政策総合研究所資料，No.1111 号，2020.
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryounn/tnn1111.htm>

4. 今後の展望

法令における構造関係技術基準の整備・見直しに資する研究開発は、多様化する社会ニーズの動向等を踏まえつつ、今後も国総研が長期的なスパンで取り組むべきものである。それと並行して、自然災害等で顕在化した技術的課題への対応は、中期的（場合によっては、短期的かつ機動的）に取り組むべきものであり、適切な課題設定をした上で研究開発項目を立案し、その研究成果を社会実装していくことが重要であると考えられる。

また、建築基準法令の性能規定化や住宅性能表示制度の創設が行われてから約 20 年が経過した。今後も引き続き、構造関係技術基準の更なる普及・展開を図るため、法令に定める建築構造に係る設計・検証法の合理化や住宅等の構造性能評価技術の整備に資する研究開発のほか、法令を補完するガイドライン等の整備に取り組む必要がある。