

2.2.7 建築研究部

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

Development of design and construction technology for mixed structures utilizing newly developed wood-based materials.

(研究期間 平成 29 年度～令和 3 年度)

建築研究部 Building Department	部長 Director	長谷川 洋 HASEGAWA Hiroshi
建築新技術統括研究官 Research Managing Coordinator for Advanced Building Technology		犬飼 瑞郎 INUKAI Mizuo
基準認証システム研究室 Standards and Accreditation System Division	室長 Head	阿部 一臣 ABE Kazuomi
主任研究官 荒木 康弘 Senior Researcher ARAKI Yasuhiro	主任研究官 Senior Researcher	坂下 雅信 SAKASHITA Masanobu
構造基準研究室 Structural Standards Division	室長 Head	喜々津 仁密 KIKITSU Hitomitsu
研究官 三木 徳人 Researcher MIKI Norihito	研究官 Researcher	宮村 雅史 MIYAMURA Masashi
防火基準研究室 Fire Standards Division	室長 Head	岩見 達也 IWAMI Tatsuya
主任研究官 鈴木 淳一 Senior Researcher SUZUKI Jun-ichi	主任研究官 Senior Researcher	樋本 圭佑 HIMOTO Keisuke
主任研究官 水上 点晴 Senior Researcher MIZUKAMI Tensei		
設備基準研究室 Equipment Standards Division	室長 Head	平光 厚雄 HIRAMITSU Atsuo
材料・部材基準研究室 Material and Component Standards Division	室長 Head	三島 直生 MISHIMA Naoki
主任研究官 根本 かおり Senior Researcher NEMOTO Kaori	主任研究官 Senior Researcher	土屋 直子 TSUCHIYA Naoko
評価システム研究室 Evaluation System Division	室長 Head	石原 直 ISHIHARA Tadashi
	主任研究官 Senior Researcher	秋山 信彦 AKIYAMA Nobuhiko

Nowadays, further promotion of wood use is needed and fireproof performance is necessary for wood mixed structures. Moreover, combination with RC construction, etc., is effective for ensuring fireproof performance. Towards the expansion of new demand and promotion of the use of wood, the technical design guidelines for structural design, fire safety design, maintenance, etc. of mid-rise wood mixed structures are developed.

[研究目的及び経緯]

地方創生、環境問題への対応、木のある空間の創出などの観点から、建築物の木造化・木質化の促進が求められている。その促進のため、木材を比較的規模の大きい建築物の構造材料として用いることは有効であると考えられる。そのため、中層木質混構造建築物 (CLT 等の木質系大型パネルを用いた木造と他構造種別等を混用した中層建築物) に関する、一般技術を用いた、構造設計法、防耐火設計法、耐久設計法等の整備に資する技術開発に取り組んだ。

[研究内容]

中層木質混構造建築物について、必要となる主要な次の 3 つの技術性能を検討するためのプロトタイプ (図-1) を設定し、必要に応じ匠匠面の確認も行いつつ、担当研究者が相互に連携し検討した。

1. 構造性能に関する検討

RC 造ラーメンに CLT 耐力壁を取り付けた架構の実験 (図-2) を行い、RC ラーメンのみよりも耐力が大幅に増大する強度型の架構を実現できることを確認した。また RC 造ラーメンに CLT 袖壁を取り付けた架構の保

タイプ	架構のイメージ	メリット
タイプⅠ 2層分のRC造 大架構の中に木造 架構を自由に設置		・可変性 ・4階建以上で内 部木材現わしの 実現 ・メガストラクチャ の床、コアによる 防火区画
タイプⅡ RC造やS造架構で 各階の壁や床を 木質化		・可変性 ・内部の木材現わ しによる4階建 以上の実現 ・防火設計が比較 的容易(各層毎 の区画)
タイプⅢ 木造で 大スパン等の自由 な空間を実現		・自由な空間構成 ・パーン減少による 施工の合理化

図-1 検討対象の混構造プロトタイプの架構形式

有水平耐力計算の方法を提案し、集合住宅の設計事例を作成した。

更に、鉄骨造架構に CLT 耐力壁と取り付けた架構について、1層の実験結果の再現解析を行った(図-3)。また中層事務所及び集合住宅試設計建物の地震応答解析を行い、CLT 耐力壁による補強効果を確認した。これらの解析結果を構造計算に参照される技術資料として取りまとめた。

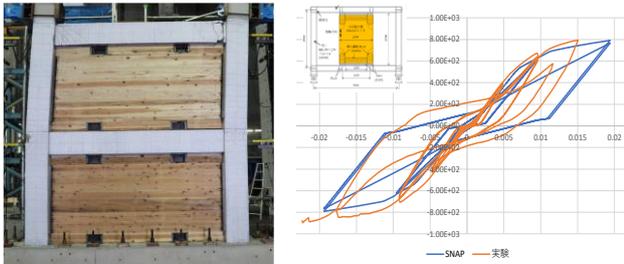


図-2 RC+CLT耐力壁の架構実験 図-3 S+CLT架構実験の再現解析

2. 防火性能に関する検討

木質系構造材料を活用した混構造において、木造に比較して高い防耐火性能を期待する RC、S 等の構造形

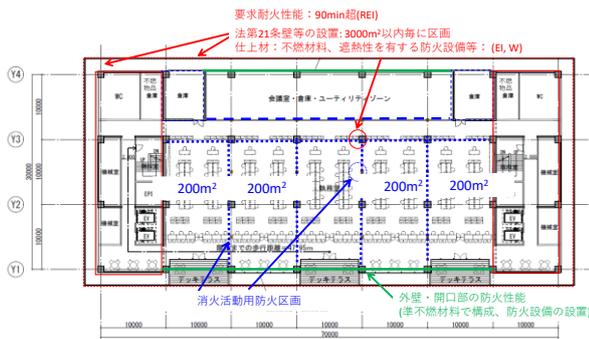


図-4 タイプⅠの防火区画の位置付け



図-5 RC系混構造の主要構造部の接合部

式を用いた構造体やメガストラクチャと CLT 等の厚板木質パネルを用いた構造体等から構成される中層木造建築物のプロトタイプ(図-4)に関して、各種接合部の性能確認(図-5)、火災時倒壊防止性能検証法・避難時倒壊防止性能検証法の適用と混構造建築物の防耐火設計技術の開発を行った。

3. 耐久性能に関する検討

中層木造建築物の耐久性に大きく影響を及ぼす、外皮部分の性能および耐久性リスクに関する各種の実験および調査を行った。図-6には、木造6階建て建築物の外壁を対象として、外壁通気層内部の温湿度および風速などを計測した実験結果の例を示す。

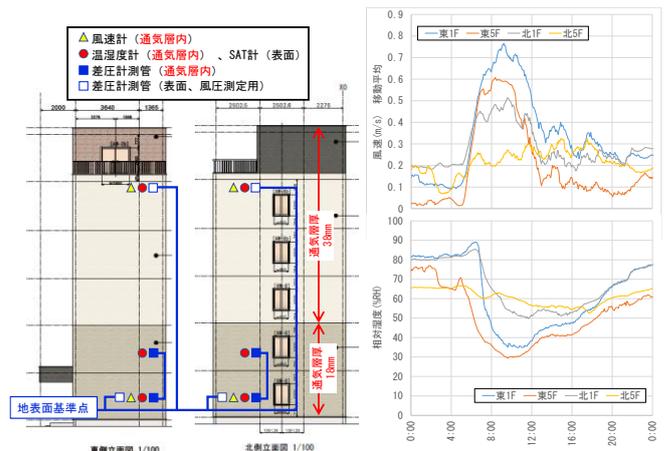


図-6 センサの配置(左)および測定結果の例(右)

4. 音環境性能に関する検討

床衝撃音遮断性能は床構造の面密度と剛性に依存するため、軽量の木造床に対する検討が必要となる。

天井面を木材現しとするプロトタイプ設計例の仕様の場合、天井構造による遮音効果がないため、床躯体構造の面密度や剛性を上げる方法として、CLT 床にコンクリートを打設した仕様を検討することとした。

6階建ツーバイフォー実験棟の CLT 床上において、湿式浮き床や合成床(ともに 100 mm 厚コンクリートを打設)を施工すると、重量床衝撃音は $L_r-60\sim65$ の性能となった。また、合成床に乾式二重床構造を施工すると、重量床衝撃音は L_r-70 (L_r 数 68)、軽量床衝撃音は L_r-60 (L_r 数 62) と概ね、日本建築学会遮音性能基準の集合住宅の適用等級で 3 級の評価となった。

【研究成果】

国土交通省関係部局、建築研究所、学識経験者、関係団体、等との連携、更に、内閣府の PRISM という制度も活用して技術開発を進めきた。なお、検討結果の一部を、弊所 Web で発表している。

【成果の活用】

本研究の成果の一部は、業界団体を通じて設計者等に周知され、また、建築基準法関連の告示、官庁施設の基準等に反映される見込み。

成熟社会に対応した郊外住宅市街地の再生技術の開発

Development of regeneration technology and technique for residential suburb in a mature society

(研究期間 平成 30 年度～令和 4 年度)

建築研究部		建築研究部長	長谷川 洋
建築研究部	基準認証システム研究室	主任研究官	坂下 雅信
建築研究部	材料・部材基準研究室	主任研究官	土屋 直子
都市研究部	都市施設研究室	室 長	新階 寛恭
都市研究部	都市開発研究室	室 長	石井 儀光
住宅研究部	住宅計画研究室	室 長	藤本 秀一

【研究目的及び経緯】

都市郊外には高度経済成長期以降に大量の住宅団地が計画的に供給され住宅市街地を形成している。公共施設整備率の高い「まち」であるが、オールドタウン化（少子高齢化の進展、生活利便性の低下、住宅の老朽化）が進行しており、再生が課題となっている。本研究では、「安全の確保」、「多世代コミュニティの形成」、「QOLの向上」という3つの再生目標を実現するため、①RC造共同住宅の長寿命化に係る耐久性向上技術、②RC造既存共同住宅の住戸の空間拡大技術、③生活支援機能（買い物、高齢者・子育て支援、コミュニティ、就業等）の導入に係る計画技術、④小型電動カート等を活用した高齢者等の移動環境の向上技術についての研究開発を行う。

令和3年度は次の研究成果を得た。①RC造共同住宅の耐久性の向上技術の開発に向けて、ひび割れや欠損等の脆弱部からの劣化リスクを考慮した鉄筋コンクリートの耐久性の評価法を提案し、当該評価法の妥当性をケーススタディにより検証した。また、耐久性の評価結果を踏まえた既存RCの長寿命化対策手法の素案を取りまとめた。②RC造壁式共同住宅の開口形成による空間拡大技術の確立に向けて、開口の新設補強を目的とした施工実験及び構造実験を実施し、適切な補強を行うことで開口形成前と同等以上の水平耐力を確保できることを実証した。③生活支援の導入の計画技術の開発に向けて、複数の生活支援機能の複合化施設の事例を調査し、複合化による集客能力の向上や施設運営費用の削減等の効果についての知見を得た。また、得られた知見を踏まえ、郊外住宅市街地4地区において、生活支援機能の複合的導入の可能性について検討した。④高齢者等の移動環境の向上技術の開発に向けて、郊外住宅市街地3地区において、小型電動カートを用いた長期実証実験を行い、小型電動カート等の導入効果を評価・検証するためのデータや持続的な社会実装方策を検討するための知見を得た。

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

Research and Development for Regeneration and Resilience of Cities by the Rationalization of Structural Regulation Related to Buildings and Ground

(研究期間 令和2年度～令和5年度)

建築研究部		建築品質研究官	井上 波彦
建築研究部	基準認証システム研究室	室 長	阿部 一臣
建築研究部	基準認証システム研究室	主任研究官	坂下 雅信
建築研究部	構造基準研究室	室 長	喜々津 仁密
建築研究部	構造基準研究室	主任研究官	柏 尚稔
建築研究部	材料・部材基準研究室	主任研究官	土屋 直子
建築研究部	評価システム研究室	室 長	石原 直
都市研究部	都市防災研究室	室 長	竹谷 修一

[研究目的及び経緯]

本研究開発では、建築物の更新時に支障となる従前建築物の杭の有効活用や既存宅地擁壁の耐震化を促進する新技術基準を開発するとともに、近年の構造設計における多様なニーズを満足させて建築物を円滑に更新できるように構造計算体系の合理化を図ることにより、都市の強靱化とその設計・施工に係る生産性向上に繋げることを目的とする。

令和3年度の既存杭に係る検討については、複数の既存杭の撤去・埋め戻しが行われた建物解体現場において、地盤特性の変化把握のための調査を実施し、解体時に取得可能な情報を整理した。また、昨年度に杭の撤去を実施した試験サイトにおいて地盤調査を継続し、杭撤去位置からの距離に応じた地盤の緩みの影響（N値の変化）が保たれていることを確認した。解析的検討については、地下部分と上部構造に偏心を設定した地震応答解析を実施し、地下部分の挙動が上部構造の応答に及ぼす影響が小さいことを確認した。また、再利用した既存杭と新設杭との長期の鉛直変位の差（不同沈下）を考慮した場合にも、それが上部構造の応答に及ぼす影響が小さいことを確認した。宅地擁壁に係る検討については、東日本大震災で被害を受けた宅地擁壁の被害パターンや建物被害に及ぼした影響について検討を行うとともに、熊本地震時の被災宅地危険度判定結果から被害の程度を安全率に置き換えて擁壁の強度を逆算した他、地盤の粘着力と地震力を変えたモンテカルロシミュレーションを行って補強効果を明らかにした。また、熊本地震で被害を受けた宅地擁壁のコンクリートコアについて圧縮強度試験を実施したほか、模型を用いた遠心載荷実験を行い、補強工法別に耐震補強効果を確認した。

令和4年度以降も引き続き、実験及び解析による諸検討を通して、既存杭を含む敷地の安全かつ合理的な利用法の開発、既存宅地擁壁の耐震診断・耐震補強手法の構築、基礎地盤を活かした合理的な構造規定の構築に資する研究を進める予定である。

木質混構造を活用した中層大型建築物の普及のための技術開発

Development of design technology for large-scale medium-rise building utilizing complexed wood structure.

(研究期間 令和2年度～令和5年度)

建築研究部		建築災害対策研究官	村田 英樹		
建築研究部	基準認証システム研究室	主任研究官	荒木 康弘	主任研究官	坂下 雅信
建築研究部	構造基準研究室	研 究 官	三木 徳人		
建築研究部	防火基準研究室	主任研究官	鈴木 淳一	主任研究官	水上 点晴
建築研究部	評価システム研究室	室 長	石原 直		

[研究目的及び経緯]

地方創生、環境問題への対応、木のある空間の創出などの観点から、建築物の木造化・木質化の促進が求められており、木材利用の拡大を図る上で、中層の大規模建築物に木材を利用することが重要であると考えられる。

平成30年の建築基準法改正により、中層の大規模建築物における木質混構造の活用に係る規制が一定程度合理化されたが、設計法の一般化には至っておらず、実務的には高度で複雑なシミュレーションを伴う設計法を個別に審査する必要があるため、普及が進まない一因となっている。

このため、木質混構造を活用した中層の大規模建築物において、より一般的で合理性のある構造設計技術及び防耐火設計技術を開発するとともに、構造性能実験及び防耐火性能実験により、設計に必要な壁や床等の建物各部のデータの拡充を行う。

また、災害時における復興住宅の早期整備にも適用可能な、木質混構造建築物等の技術開発を行う。

① コスト低減に資する木の構造材を表面に見せる大型建築物の普及のための技術開発

令和3年度は、構造分野においては、木の構造材を表面に見せる設計のために必要なデータを拡充するための構造実験を実施し、従来の木造耐力壁の20倍以上の構造性能(450kN/m)を有する耐力壁を開発した。

防火分野においては、木の構造材を表面に見せる設計のために必要なデータを拡充するための火災時の影響を把握するための区画の火災実験を実施し、国内では実現が難しかった天井面に木の構造材を表面に見せるための防耐火設計技術を提案し、その有効性を確認した。

令和4年度は、立面混構造の合理的な構造設計例の作成と、コスト削減に資するCLT等合成床構造の仕様例の作成及び構造・耐火性能の実験的確認を行う予定である。

② 木質混構造を活用した中層大型建築物の早期建設のための技術開発

令和3年度は、中層CLT工法+S混構造に関する構造実験を実施し、鉄骨ブレース構造と同等の構造性能を有することを確認した。また、5階建木質系復興住宅の構造設計ガイドライン及び簡易モデルによる構造設計例を作成した。

宅地の地震リスクへの対応策に関する研究

Research on measures to deal with earthquake risk in housing land

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部

建築災害対策研究官

村田 英樹

Building Department

Research Coordinator

MURATA Hideki

for Disaster Mitigation of Building

In this study, we conducted a questionnaire survey of residents of detached houses damaged by the 2016 Kumamoto Earthquake and a case study survey of contractors who performed building tilt repair work. As a result, we confirmed the usefulness of protective construction work and earthquake insurance for residential property damage.

【研究目的及び経緯】

将来発生が予測されている大規模地震に備えて、宅地の地盤や擁壁の事前対策工事や保険等によるリスクへの対応策の実施が求められているが、宅地所有者の地震リスクへの認識が低いため、対策が進まない状況にある。

このため、平成28年熊本地震により被害を受けた戸建住宅の居住者へのアンケート調査及び傾斜修復工事を行った工事業者への復旧工事事例調査を行い、宅地被害に対する事前対策工事の効果や地震保険の有用性を確認するとともに、宅地所有者が地震リスクを認識し、適切な対応策を行うことを促す方策について考察した。

【研究内容】

1. 戸建住宅居住者への宅地被害アンケート調査

平成28年熊本地震による液状化被害が集中した熊本県南区近見地区の戸建住宅居住者（所有者に限る。）を対象に、熊本市の協力を得て、住宅・宅地被害の状況、復旧工事の状況、復旧工事の資金等の状況、事前の対策工事の状況等についてアンケート調査を実施した。

当該地区（約35ha）は、熊本市による宅地液状化防止事業に伴う対策工事を平成30年度から開始し、先行地区から順次実施している地区である（図-1）。

配布方法：各住戸へのポスティング

（令和2年11月30日～12月2日）

回収方法：郵送（令和3年1月末到着分まで）

回収状況：配布数402、回収数192、回収率47.8%

2. 戸建住宅の傾斜修復工事事例調査

平成28年熊本地震により建築物が傾斜し、修復工事を行った戸建住宅（133件）を対象にして、傾斜修復工事を行った工事業者から施工報告書及び帳簿を入手し、集計・分析を行うとともに、工事業者に被害状況と復旧工事の内容についてヒアリングを実施した。

【研究成果】

1. 戸建住宅居住者への宅地被害アンケート調査

(1) 調査結果

アンケート調査により以下の傾向が確認された。

・住宅・宅地の復旧工事費の総額は、平均で約513万円であり、補修に合わせて水回りの設備交換、内装リフ

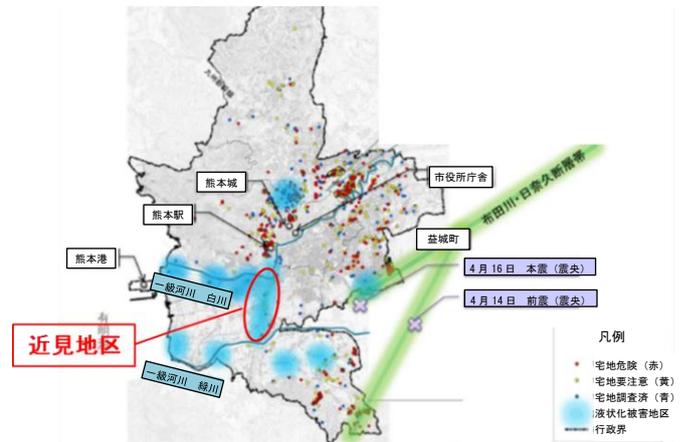


図-1 平成28年熊本地震における熊本市内の被災宅地危険度判定及び液状化被害地区分布図（熊本市資料に加筆）

フォームや耐震補強を行う場合もある（図-2）。

- ・復旧工事に利用した支援制度は、被災者生活再建支援制度が約80%と最も多く、地震保険が約38%、復興基金が約30%と続く。
- ・復旧工事費の資金内訳の総額に占める割合は、地震保険金が平均で約77%最も高く、支援制度の満足度も地震保険が約53%と最も高い。このことから、地震保険の有用性が一定程度確認された（図-3）。

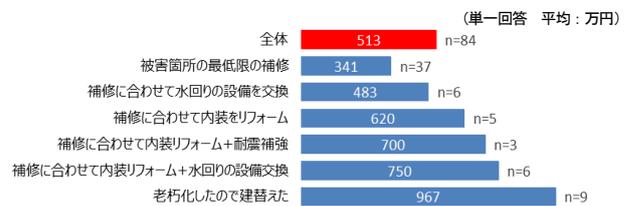


図-2 リフォーム工事別復旧工事費の総額

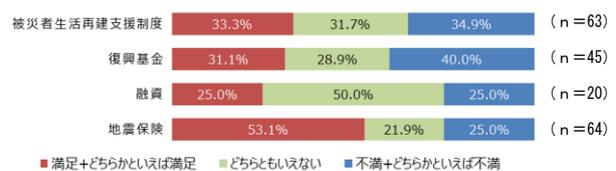


図-3 支援制度に対する評価

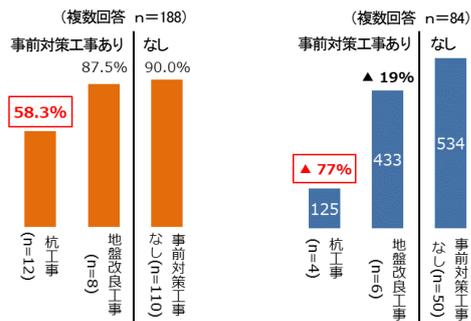


図-4 事前の対策工事別被害件数の割合

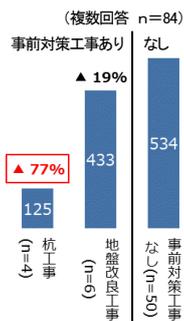


図-5 事前の対策工事別復旧工事費の総額の平均 (万円)

※図-5の(%)は事前対策工事なしの平均額と比較した割合。
杭工事又は地盤改良工事以外の工事と事前対策工事が不明なものは省略。

- 杭工事を行っていた物件では、被害はあるものの、事前の対策工事を行っていない物件と比べて復旧工事費の総額は大きく減少しており、一定の液状化被害の軽減効果があることが確認された (図-4, 図-5)。

※事前対策工法の工法については居住者へのアンケート調査であるため明確に定義していないが、杭工事は小口径鋼管杭工事や柱状地盤改良工事、地盤改良工事は表層地盤改良工事をそれぞれ想定している。

(2) 考察

こうした結果を踏まえ、戸建住宅における液状化リスクへの対応策としては、地盤調査により液状化のおそれのある地層を把握した上で、小口径鋼管杭工事や地盤改良工事等の適切な液状化対策工事を行うことが重要と考えられる。

また、戸建住宅において、液状化被害を完全に防止することは費用面から困難であることから、液状化被害が地震保険の対象となることについて、普及・啓発を行うことが重要と考えられる。

2. 戸建住宅の傾斜修復工事事例調査

(1) 調査結果

修復工事事例の集計・分析及び工事業者へのヒアリングにより、以下の知見が得られた。

- 建築物の最大沈下量は平均 88mm であり、大半は 200mm 以下に収まっている (図-6)。
- 工事業者へのヒアリングによれば、建築物の最大沈下量が 300mm 程度であれば、取り壊さずに修復することは十分可能とのことである。
- 工事費は平均 285 万円であり、大半が 500 万円以下に収まっている (図-7)。修復工法別の平均工事費は、プッシュアップ工法が一番低く、側打ち工法+プッシュアップ工法、アンダーピニング工法、耐圧盤工法、アンダーピニング工法+耐圧盤工法の順に高くなる (表-1)。
- 工事業者へのヒアリングによれば、工法はそれぞれ特徴があり、再発防止の効果も異なるが、工法を選択は、所有者の予算によるところが大きい。
- 擁壁のある物件は 54 件あり、全体の約 40% を占めるが、擁壁の被害は、若干の傾斜程度で、崩落・ハラミなどの大破・中破の物件は見られない。
- 工事業者へのヒアリングによれば、擁壁が大破又は中

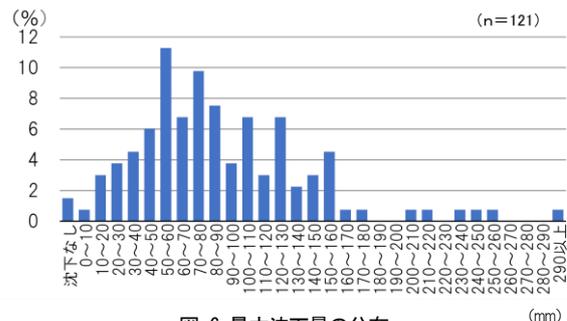


図-6 最大沈下量の分布

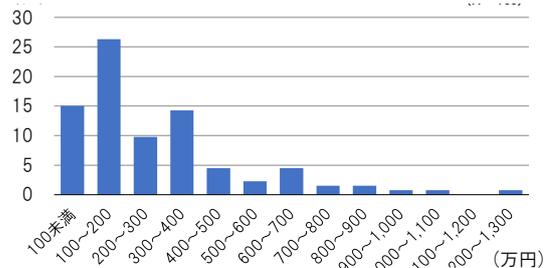


図-7 工事費の分布

表-1 主な修復工法の概要と平均工事費

主な修復工法	概要	件数	平均工事費*3
プッシュアップ工法*1	基礎と土台を切り離し、土台から上部をジャッキアップする工法。支持力のある地盤に達しないため、再沈下の可能性がある。	54 件	154 万円
側打ち工法+プッシュアップ工法	側打ち工法は、建物の外側近傍にエアハンマーで鋼管杭を支持地盤まで圧入し、これに鉄骨のブラケットを張り出して基礎を支える工法。プッシュアップ工法の再沈下対策。	13 件	344 万円
アンダーピニング工法*2	基礎の直下を掘削し、建物を反力として鋼管杭を支持地盤まで圧入し、これを支持杭として基礎ごとジャッキアップする工法。	11 件	347 万円
耐圧盤工法*2	基礎の直下を掘削し、支持力のある地盤に補強鉄板を設置し、基礎ごとジャッキアップする工法。地盤をトンネル状に掘削する場合は多い。	25 件	425 万円
耐圧盤工法+アンダーピニング工法*2	アンダーピニング工法を基本として、建物の荷重が軽い部分などに耐圧盤工法を組み合わせる場合。	8 件	712 万円

*1 プッシュアップ工法は、土台上げ工法やポイントジャッキ工法ともいわれる。

*2 アンダーピニング工法と耐圧盤工法では基礎と地盤とのすき間にグラウトを注入する。

*3 平均工事費は、工事費不明の物件を除いた平均値

破した物件では、建築物が取り壊された可能性があり、修復した物件での沈下の理由は、盛土部分の締固め不足による場合が多い。

(2) 考察

こうした結果を踏まえ、建築物を取り壊さずに修復するには、擁壁の大破・中破の抑制と盛土部分の締固めの重要性を普及・啓発することが重要と考えられる。

建築物の取り壊し件数が減少することにより、所有者の負担や公費負担の軽減、廃棄物の減少等に寄与するものと考えられる。

【成果の活用】

本研究において得られた知見は、宅地所有者による宅地の地震リスクへの対応策を推進する施策の基礎資料となる。

CLT 構造計算モデルの簡略化に関する研究

Study on simplification of structural calculation model of CLT construction method.

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 基準認証システム研究室

主任研究官

荒木 康弘

Building Department

Senior Researcher

ARAKI Yasuhiro

Standards and Accreditation System Division

Although the technical standards for CLT construction method buildings were established in April 2016, the stress analysis model used for CLT structural calculation is more complicated than steel frame construction and reinforced concrete construction, so it is one of the factors that hinder the spread of the CLT panel construction method. Therefore, the purpose of this study is to develop a simple and rational stress analysis model for the CLT method.

〔研究目的及び経緯〕

2016年4月にCLT工法建築物の一般的な設計法等に関する告示が公布・施行されたが、構造計算に用いる応力解析モデルは、従来の木造や鉄骨造、鉄筋コンクリート造の解析モデルよりも複雑で、CLTロードマップでもCLTパネル工法の普及阻害要因の一つとされている。一方、他構造と同様の応力解析モデルで構造計算ができると、市場に流通している構造計算プログラムを用いることもできるようになり、CLTパネル工法の普及や拡大に大きく貢献する。

そこで本研究では、CLT工法の壊れ方(崩壊形)を考慮した従来のモデルを合理化した構造計算用の応力解析モデルを開発することを研究の目的とする。

〔研究内容〕

1.簡略化モデルの提案

他構造の応力解析モデルを分析し、CLTパネル工法のモデル化に応用する方法を検討し、材端に弾塑性回転ばねを有するモデルを採用することとした。

図-1に壁脚接合部および壁柱-垂れ壁接合部の従来モデルと簡略化モデルの例を示す。従来モデルは圧縮・引張を軸ばね、せん断をせん断ばねとしているのに対し、簡略化モデルは回転ばねと軸ばねで構成される。CLTははり要素でモデル化し弾性体として解析を行う。壁のはり要素には、節点位置に壁接合部の材端バネ(回転ばね・せん断ばね・軸ばね)を配置する。また壁-垂れ壁仕口部には図右側に示すようにパネルゾーン範囲を剛梁要素として剛域線材モデル化した。

2. MN モデル

壁-基礎接合部の終局曲げ耐力の算出方法を図-2に示す。軸力Nと曲げモーメントMの終局時の応力分布を面保持が成り立つと仮定し、引張接合部を鉄筋と見なした鉄筋コンクリート柱の応力分布と同じである。

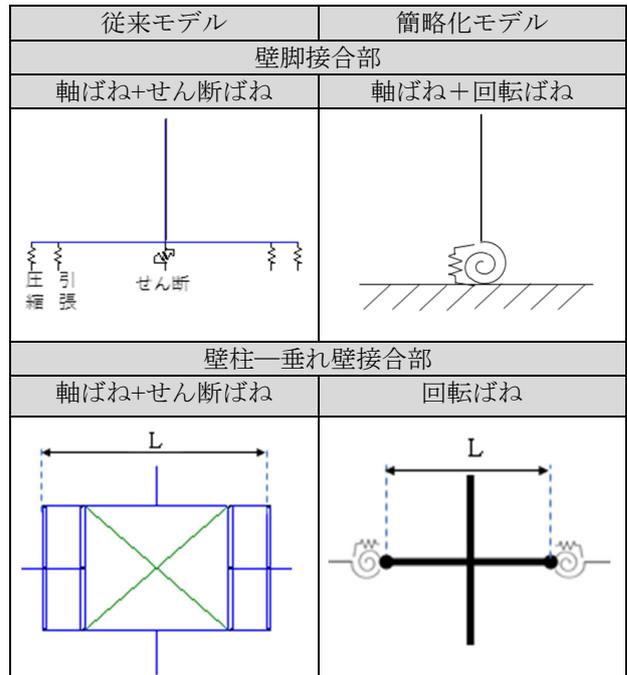


図-1 従来モデルと簡略化モデル

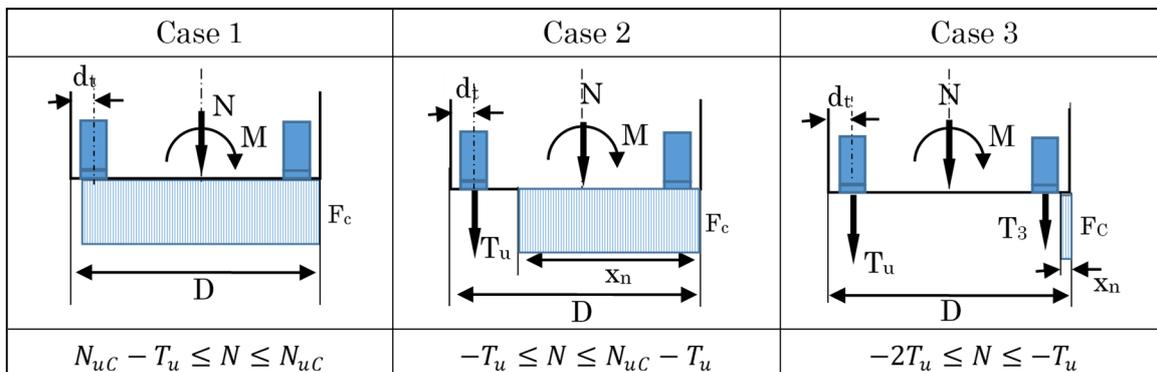


図-2 MN モデル

[研究成果]

提案する簡略化モデルを用い、5階建 CLT パネル工法による試設計建物を図-3のようにモデル化し、保有水平耐力計算を行った。保有水平耐力計算は、X方向・Y方向共に、 A_i 分布に基づいた水平力を作用させた荷重増分解析で行った。保有水平耐力 Q_u は、表-1 に示す決定要因に基づき決定した。また構造特性係数 D_s は、表-2 に示すように CLT パネル工法技術基準告示の規定に準拠し、X方向・Y方向共に 0.4 とした。

荷重増分解析結果を図-4 に示す。本建物は XY 両方向とも壁-基礎間の引きボルトが先行して降伏した後、XY 方向共に層間変形角が 1/50rad に達した時点を保水平耐力と設定した。その際 XY 方向共に層間変形角が 1/50 rad に達した時点で、壁パネル含め全ての部材、接合部が終局耐力、終局変形に達していないことを確認した。その後も荷重増分解析を続けた場合、XY 方向共に壁-基礎間の引きボルトが終局変形に達するまで、壁パネルは終局耐力、その他の接合部は終局変形に達していないことを確認した。

保有水平耐力計算の結果を表-3 に示す。X 方向、Y 方向共に、保有水平耐力が必要保有水平耐力を上回ることを確認した。

[成果の活用]

本研究の成果は、CLT ロードマップの「CLT パネル工法の普及を阻害する課題」の解決に向けた取り組みの一つとして参照される予定である。

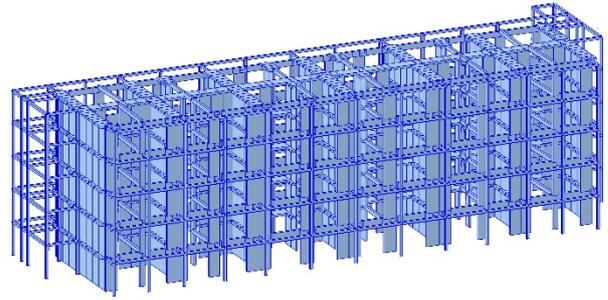


図-3 解析モデル

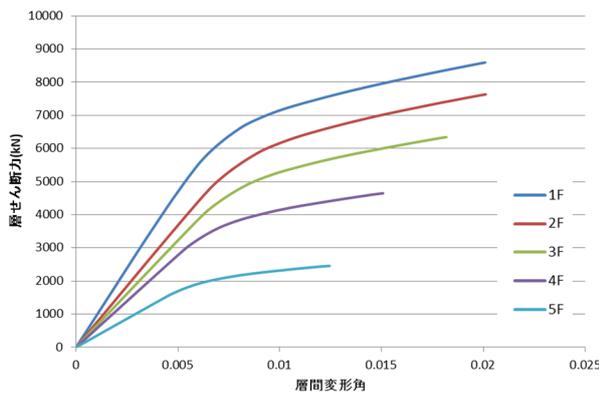
表-1 保有水平耐力 (Q_u) の決定要因

検討部位	保有水平耐力の規定値	
層間変形角	1/50rad に達する時点	
CLT 壁パネル	終局耐力に達する時点	
接合部	引きボルト	終局変形
	せん断	終局変形

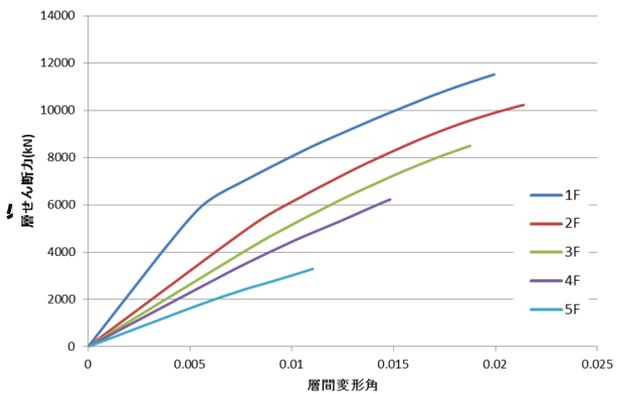
表-2 D_s の設定

(平 28 国交告第 611 号第八二号に準ずる)

耐力壁の構造	開口壁パネル等の長さ L		
	90cm $\leq L \leq$ 1.5m	1.5 < L \leq 2.0m	L < 2.0m
小幅パネル・大版パネル工法①	0.4	0.5	0.55



(1) X 方向



(2) Y 方向

図-4 荷重増分解析結果

表-3 保有水平耐力計算結果

(1) X 方向

階数 (i)	$\sum W_i$	A_i	D_s	F_{es}	Q_{ud}	Q_{un}	Q_u	Q_u/Q_{un}	判定	R_{qu}
5	2400	2.003	0.40	1,000	4807	1923	2196	1.142	OK	1/76.84
4	5932	1.533	0.40	1,000	9092	3637	4154	1.142	OK	1/64.40
3	9495	1.307	0.40	1,000	12406	4962	5668	1.142	OK	1/54.15
2	13058	1.143	0.40	1,000	14927	5971	6820	1.142	OK	1/49.76
1	16806	1.000	0.40	1,000	16806	6722	7678	1.142	OK	1/51.06

(2) Y 方向

階数 (i)	$\sum W_i$	A_i	D_s	F_{es}	Q_{ud}	Q_{un}	Q_u	Q_u/Q_{un}	判定	R_{qu}
5	2400	2.003	0.40	1,000	4807	1923	3292	1.712	OK	1/90.68
4	5932	1.533	0.40	1,000	9092	3637	6227	1.712	OK	1/67.45
3	9495	1.307	0.40	1,000	12406	4962	8496	1.712	OK	1/53.31
2	13058	1.143	0.40	1,000	14927	5971	10223	1.712	OK	1/46.79
1	16806	1.000	0.40	1,000	16806	6722	11509	1.712	OK	1/50.18

適切な外皮仕様を判りやすく情報提供するための設計・施工実態と 技術資料に関する調査・研究

Research and study actual design and construction conditions and technical data, and provide information on exterior skin specifications in an easy-to-understand manner.

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 構造基準研究室
Building Department
Structural Standards Division

研究官 宮村 雅史
Researcher MIYAMURA Masashi

This project will utilize National Research Institute Document No. 975, which was jointly researched by 24 organizations over a five-year period, to understand the design and construction status of various exterior claddings and provide easy-to-understand technical data to designers, construction managers, builders, and homeowners.

【研究目的及び経緯】

本研究では、各種の外皮に関する設計・施工状況を把握するとともに、24機関が5年間にわたり共同研究を実施した成果「国総研資料第779号」及び「国総研資料第975号」を活用し、設計者、施工管理者、施工者、住まい手に等に対して、明確で判りやすい技術資料を提供するものであり、以下に示す成果を公表した。

- 1) 国総研 Web サイト「モルタル外壁が地震により剥がれたり、下地を劣化させたりしないための7つのQ&A」の作成
- 2) 国総研 Web サイト「屋根瓦を落とさない・飛ばさないための7つのQ&A」の作成
- 3) 国総研 Web サイト「国総研資料 第975号共同研究成果報告書 木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究」のリニューアル
- 4) 瓦屋根における自然災害時の被害状況アンケート調査

【研究内容】

本研究課題で実施した概要を各項目別に示す。

- 1) 国総研 Web サイト「モルタル外壁が地震により剥がれたり、下地を劣化させたりしないための7つのQ&A」の作成

本Webサイトでは、住まい手や造り手が新築時又は改修時においてモルタル外壁を採用する際、最低限、必要とする基礎的な対応方法をQ&Aの形式にて示した。設問および回答は表-1の通りとなる。

表-1 モルタル外壁のWebサイトの設問と回答例

Q1	モルタル外壁とは、どんな壁？
A1	モルタル外壁を構築するさいの使用材料の種類、役割、特徴などを示した。
Q2	モルタル外壁の特徴は？
A2	モルタル外壁が保有する特徴、役割、層構成、耐震性の向上について示した。
Q3	地震時にモルタル外壁が剥がれ落ちたのを見掛けたことがあります。耐震性が低いから？
A3	本来、モルタル外壁は、耐震性が高く、適切な設計・施工により耐震性が向上すること、構造躯体の耐震性が低く、

	モルタルの設計・施工が不適切な場合は、モルタルが剥がれることがあることを示した。
Q4	地震の時に剥がれにくい外壁にするには、どうすれば良いの？
A4	線径が細く軽量の平ラス、小型のステーブル、梱包用のフェルト等の誤った材料を採用すると、耐震性や耐久性の低下を招くこと、工事を依頼する前のラス、ステーブル、防水紙に関する確認事項を示した。
A5	耐久性を高くする方法は？
A5	通気構法を採用すること、直張り構法の問題点を示した。
Q6	ひび割れの発生を抑制する方法は？
A6	外壁のコーナー部や窓の四隅のモルタル表面付近をラスやガラス繊維ネット等で補強すること、また、ひび割れから雨水が浸入しないよう、モルタルのひび割れに追従しやすい塗り材を使うことも有効なことを示した。
Q7	適切な設計・施工方法であるか否か確認する方法は？
A7	モルタル外壁の工事記録表などを用いて施工管理・記録してもらうこと等を示した。
モルタル外壁記録表	
用語の解説、施工時の具体的な確認内容の例、施工時の具体的な確認内容の例、モルタル外壁のメリットに関するアンケート調査結果、推奨されない設計・施工による例	

本設問に対する回答は、「国総研資料第779号」及び「国総研資料第975号」、アンケート調査結果を活用して回答した。WebサイトのURLは、以下の通りとなる。

<http://www.niim.go.jp/lab/hcg/gaiheki/index.html#download>

- 2) 国総研 Web サイト「屋根瓦を落とさない・飛ばさないための7つのQ&A」の作成

本来、瓦屋根は、適切な設計・施工法により、耐震性・耐風性も確保される屋根であるが、推奨されない設計・施工により、地震や台風時に瓦が脱落・飛散してきた。本研究においては、災害前に対策を施すため、Q&A形式にて技術情報をWebにて伝えた。設問項目は表-2の通りとなる。

表-2 瓦屋根のWebサイトの設問と回答例

Q1	瓦屋根とは、どんな屋根？
A1	瓦屋根は、耐久性や防音性に優れ、塗り替えによる改修工事が不要な屋根材であること、瓦の主な種類としてJ形瓦、F形瓦、S形瓦があることを示した。
Q2	地震の際、瓦屋根が落下するのは、なぜ？

A2	瓦屋根は不適切な設計・施工により甚大な被害を及ぼすこと、「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン*」の準拠により震度7でも脱落していなかったことを示した。
Q3	瓦屋根は、重いので住宅全体の耐震性に影響するのでは？
A3	新築時において、関係法令により、地震に対する必要壁量が、「軽い屋根」と「重い屋根」の二種類に区分されており、瓦屋根は、軽い屋根よりも壁量を増やして耐震性を確保するように設計されていることを示した。
Q4	震度7でも瓦は落ちないの？
A4	1995年兵庫県南部地震を再現した振動台実験で倒壊した住宅においても、ガイドライン構法により留め付けられた瓦は、本実験では脱落しなかったことを示した。
Q5	地震や台風の際、瓦が落ちたり、飛んだりしないようにするには、どうすれば良いの？
A5	「瓦屋根標準設計・施工ガイドライン」により設計・施工すること、各部位による適切な接合方法を示した。
Q6	ガイドラインの構法で施工するには？
	瓦屋根工事の主な資格として、「かわらぶき技能士」、「瓦屋根工事技士」、「瓦屋根診断技士」があり、ガイドラインの構法に精通した信頼出来る工事店などを選択することを示した。
Q7	施工状況を把握する方法は？
A7	瓦屋根施工状況記録シートを使用することを示した。
瓦屋根の各部の名称	

※ガイドライン：瓦屋根標準設計・施工ガイドライン

WebサイトのURLは、以下の通りとなる。

<http://www.nilim.go.jp/lab/hcg/yanegawara/index.htm>

3) 国総研Webサイト「国総研資料 第975号共同研究成果報告書 木造住宅の耐久性向上に関わる建物外皮の構造・仕様とその評価に関する研究」のリニューアル

本Webサイトは、2017年に作成されたWebサイトに対してリニューアルしたものであり、写真を多用するとともに、研究報告を「住まい手用」、「造り手用」、「開発・研究者用」に分けて掲載し、理解しやすくした。WebサイトのURLは、以下の通りとなる。

<http://www.nilim.go.jp/lab/hcg/nagamoti/index.html>

4) 瓦屋根における自然災害時の被害状況アンケート調査研究目的

国総研は、台風第15号「令和元年房総半島台風」の屋根被害状況と要因を把握するため、被害の著しい地域を対象として悉皆調査を実施した。その結果、被害を受けた屋根の中に推奨されていない構法による被害事例が数多く含まれていた。本報では、耐風性、耐震性に対する瓦屋根の設計・施工の実態を把握するため、アンケート調査を実施した。

調査概要

本調査は、戸建て住宅の瓦屋根の設計、施工、施工管理の担当者を対象として、アンケート調査をしたものであり、492名の有効回答を得た。回答者の勤務先は、ビルダー・工務店が43%、設計事務所が32%、リフォーム工事店が22%、などが多かった。

調査結果

主な調査結果を以下に示す。

a. 基準風速

施工地域の基準風速に対する回答は、図-1に示す

通り「不明」との回答が51%に至っており、基準風速が不明なまま施工されている事例が多いと思われる。

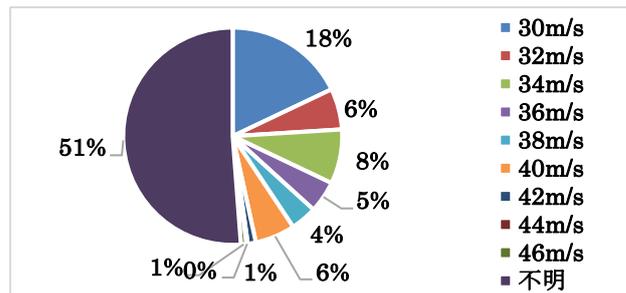


図-1 J形瓦による平部の留め付け間隔

b. 瓦の種類

J形瓦の使用割合は計45%、F形瓦は計40%、S形瓦は15%であり、防災瓦の使用割合は計68%であった。

c. 平部の留め付け間隔

基準風速に関わらない全ての地域を対象とした結果、図-2の通り平部のJ形瓦のちどりによる留め付けは32%に至った。特に飛散・脱落しやすい「4枚に1枚の留め付け」、「留め付けていない」、「土葺き」の合計は16%であった。現在は、関係法令にて新築の建築物は全ての瓦を留め付けることが義務化されている。

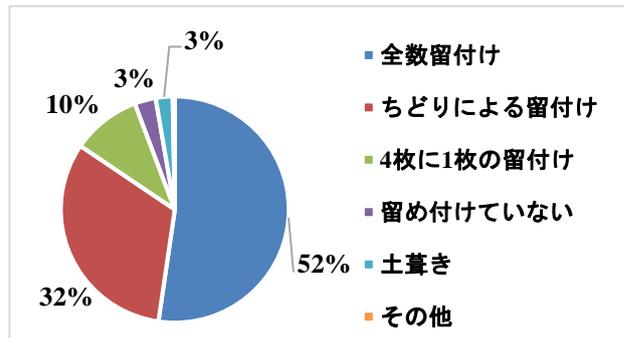


図-2 J形瓦による平部の留め付け間隔

d. 棟部の留め付け方法

J形瓦による棟部の施工は、約9割がガイドライン又は同等以上の仕様であった。ガイドラインでは、棟部に対する各種の推奨仕様が示されている。

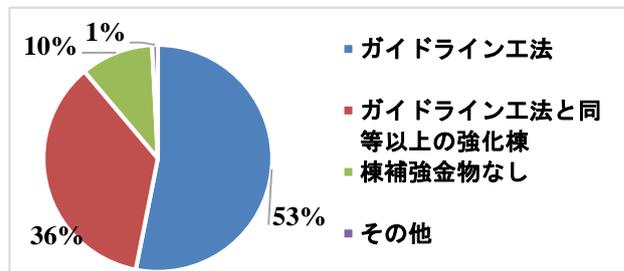


図-2 J形瓦による棟部の留め付け方法

【まとめ】

これまで地震や台風時の被害調査、共同研究、建築学会のヒヤリング等により、モルタル外壁や瓦屋根の問題点が指摘されてきたが、実態調査により設計・施工状況を把握し、Webサイトにて注意点や推奨仕様等について啓蒙や普及させることが可能になると思われる。

梁端フランジ拡幅H形断面梁の幅厚比と変形性能に関する基礎研究

Research on width-thickness ratio and plastic deformation capacity of the H-shaped beam with widen flange at beam end

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 構造基準研究室
Building Department
Structural Standards Division

研究官
Researcher

三木 徳人
MIKI Norihito

Generally, the H-shaped beam with widen flange at beam end has high plastic deformation capacity. On the other hand, in building confirmation, by focusing on the widest cross section, because the width-thickness ratio becomes large, the member performance is evaluated lower than that of a beam without widening. Therefore, in this study, a full-scale loading experiment was conducted, in order to investigate the relationship between the plastic deformation capacity determined by the local buckling and the width-thickness ratio of the H-shaped beam with widen flange at beam end.

〔研究目的及び経緯〕

一般的に梁については、施工条件などにより、梁端接合部における耐力が元断面に比べて相対的に低くなることで、変形性能が低くなり早期に破断しやすくなる。これに対して、梁端接合部近傍のフランジを拡幅することで接合部での早期破断を防止し、変形性能を高くした高性能梁の技術開発が進められている。

梁端のフランジを拡幅したH形断面梁の部材種別は、建築確認において最も幅の広い断面に着目することで、梁の元断面に比べて部材種別が低く評価されることがある。そのため、梁端の部材断面を大きくすることで、高い変形性能を発揮することに反して、拡幅のない梁よりも低い変形性能であると評価されていることになる。梁端のフランジを拡幅したH形断面梁の部材種別について技術的に妥当な判断を行うためには、部材断面の部材種別を合理的に評価するための技術資料の充実が必要である。

〔研究内容〕

梁端フランジを拡幅する場合、拡幅部の幅厚比は元断面に比べて大きくなり、拡幅部で局部座屈変形が生じると、拡幅しない場合に比べて部材としての変形性能が小さくなる恐れがある。

そこで本研究では、梁端フランジ拡幅H形断面梁の局部座屈で決まる塑性変形能力と先行降伏断面の関係を検討するため、実大載荷実験を行う。

試験体形状を図-1に示す。試験体は、H形断面梁(SN400B)をエンドプレート(TMCP325B)に溶接したものを、5体用意した。試験体について、FAは梁にBH-400×200×9×12(フランジFA、ウェブFA)を用いたものである。それに対して、Hh200、Hh500、Hh800は、図-1に示すように梁端接合部近傍のフランジを拡幅したものであり、拡幅部の断面はBH-400×270×9×12(フランジFC、ウェブFA)、元断面はBH-400×200×9×12とし、拡幅長さをそれぞれ200mm、500mm、800mmと

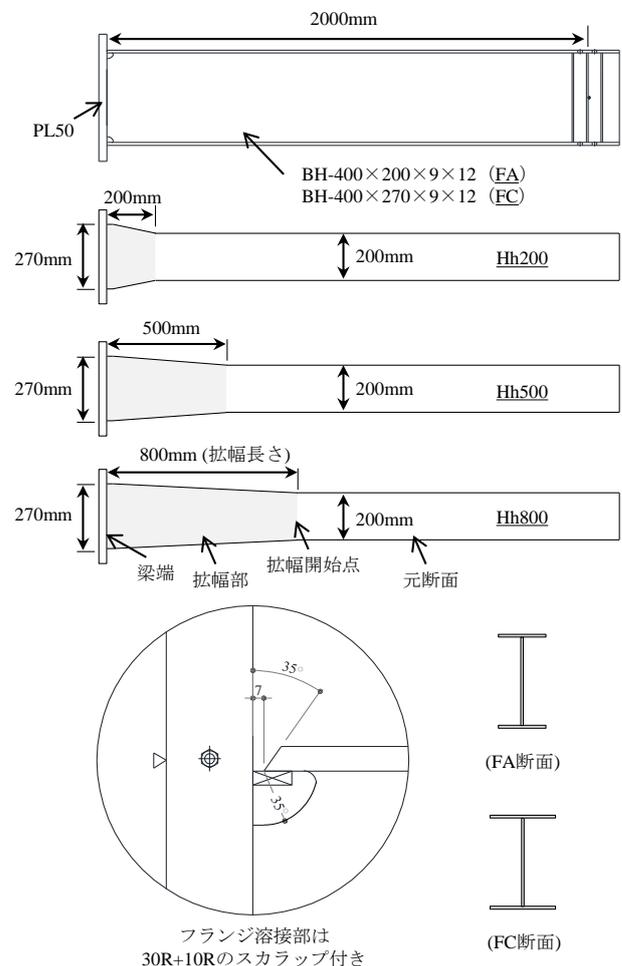


図-1 試験体概形

したものである。FCは、梁にBH-400×270×9×12(フランジFC、ウェブFA)を用いたものである。

フランジ溶接部は、JASS6準拠の複合円タイプのスカルップ接合とし、エンドタブには固形タブを用いて完全溶け込み溶接した。梁長さは2000mmとした。

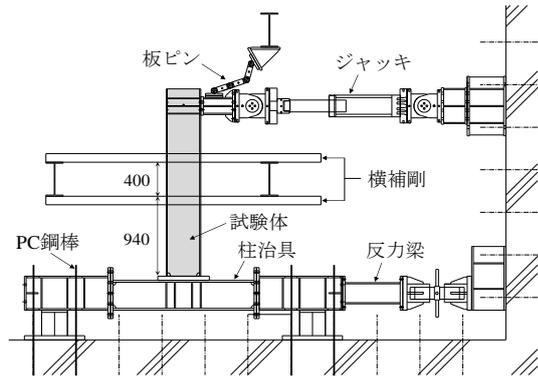


図-2 実験セットアップ

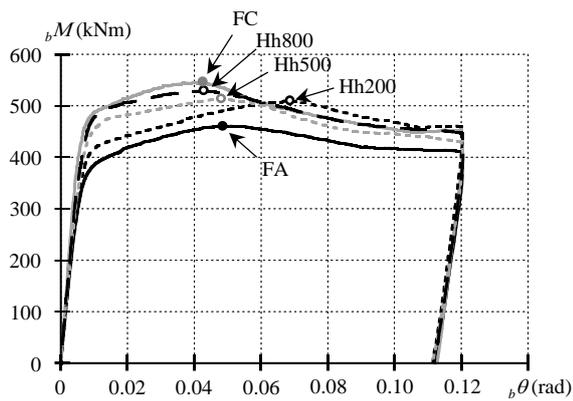
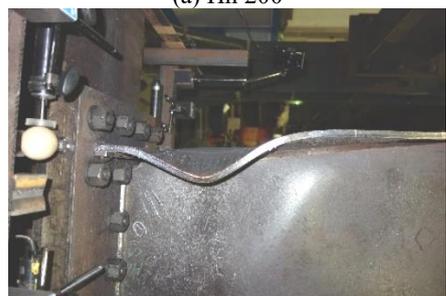


図-3 荷重-変形関係



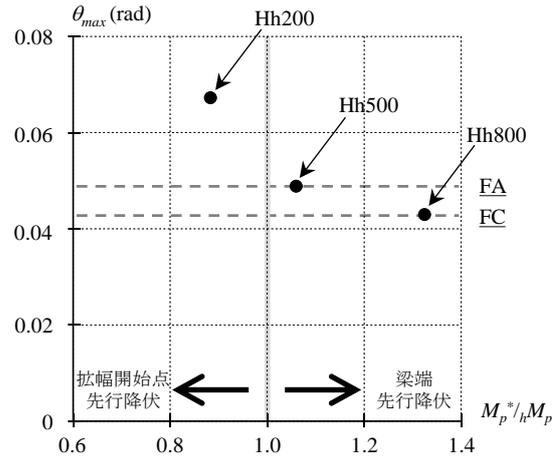
(a) Hh 200



(b) Hh 500



(c) Hh 800
写真-1 終局状態の一例



ここで、 M_p^* は拡幅開始点が全塑性モーメントに達した時に梁端に作用するモーメント、 hM_p は拡幅部(梁端)の全塑性モーメント(断面欠損や無効領域を考慮せず全断面有効)である。

図-4 $\theta_{max}-M_p^*/hM_p$ 関係

実験のセットアップを図-2に示す。試験体は、梁を鉛直に、柱治具を水平にした状態で反力床に固定し、梁先端にオイルジャッキを取り付けて载荷を行う。エンドプレートと柱治具を高力ボルトで接合した上で、柱端部では、PC鋼棒で鉛直方向の反力を、反力梁で水平方向の反力を確保した。梁の面外変形及びねじれ変形については、図示した位置において、テフロンシートを貼り付けた溝形鋼により試験体を挟み込むことで拘束した。加力は、一方方向の単調载荷とした。

【研究成果】

実験より得られた荷重-変形関係を、 $bM-b\theta$ 関係として図-3に示す。また図中の○は最大耐力に達した時点を示している。梁端フランジを拡幅した試験体を比べると、最大耐力が小さくなるにつれて、最大耐力時変形が大きくなっていることが分かる。全試験体において、フランジに局部座屈変形が生じ、最大耐力に達した後耐力低下した。試験体の終局状態の写真-1に示す。Hh 200では元断面のフランジに局部座屈変形が生じたのに対して、Hh 500、Hh 800では拡幅部のフランジに局部座屈変形が生じた。

梁端拡幅梁の最大耐力時の変形角 θ_{max} と、 M_p^*/hM_p の関係を図-4に示す。 θ_{max} は、 M_p^*/hM_p が大きくなるにつれて小さくなっていることが分かる。 M_p^*/hM_p が1となる付近で、元断面を拡幅しないFAと同程度の変形性能を有している結果となった。また、 M_p^*/hM_p が1より大きくなる、すなわち拡幅部(梁端)で先行降伏するHh800の変形性能は、元断面を拡幅しないFAの変形性能を下回り、梁の全長が拡幅部の断面となるFCの変形性能と同程度となった。

【成果の活用】

本調査結果は、鉄骨造建築物の構造性能に係る技術指針、ガイドラインを改定する際の基礎資料として活用する予定である。

地表面付近での粗度効果を反映した竜巻荷重算定法の体系化

A Study for Systematizing the Calculation Method of Tornado-induced Loads Considering Roughness Condition Near Ground

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

建築研究部 構造基準研究室
Building Department
Structural Standards Division

室 長 喜々津 仁密
Head KIKITSU Hitomitsu

This research evaluates the tornado-like wind load characteristics near the ground surface from laboratory experiments and on-site observation results and develops the tornado-like wind load acting on a building. The tendency of the barometric pressure drop derived by a model is compared with those of wind pressure experiments and observation examples. Then, a wind pressure experiment using the roughness element model is carried out to obtain fundamental data on the roughness effect that contributes to the development of tornado-like wind load.

〔研究目的及び経緯〕

本研究は、室内実験と観測事例から地表面付近の竜巻による気流特性を評価し、竜巻の突風によって建築物に作用する荷重(竜巻荷重)を構築するものである。荷重の算定では、地表面付近での気圧降下特性をモデル化する必要がある、その前提となる速度分布は室内実験から取得し、導出された気圧降下の傾向等を風圧実験や観測事例と比較検証する。そして、粗度ブロック模型を用いた風圧実験を実施し、竜巻荷重の体系化に資する粗度効果に関する基礎的データを収集する。

〔研究内容〕

1. 既往の竜巻観測・被害の分析・整理

近年、国内外の研究プロジェクトによって地表面付近での竜巻観測結果が報告されてきている。これらの入手可能な公表論文等を通して、地表面粗度の実況と竜巻の構造や気流特性との関係について分析する。また近年発生した竜巻被害を調査し、建築物の被害形態を収集する。

2. 粗度ブロックを有する床面の風圧実験

竜巻荷重は旋回流の直接作用と急激な気圧降下による作用の組み合わせであり、いずれも地表面の粗度状況に依存するものである。ここでは、粗度ブロック模型を用いた風圧実験を実施し、地表面粗度の違いに応じた粗度ブロックでの風力特性の関係を把握し、気圧降下量のモデル化のためのデータを収集する。

〔研究成果〕

1. 既往の竜巻観測・被害の分析・整理

(1) 既往の竜巻観測結果の分析・整理

既往の竜巻観測で得られた速度分布と気圧降下分布を対象に、竜巻荷重モデルとの比較検証に資するデータベースとして活用することを目的として、国内事例1件、海外事例5件を分析・整理した。

観測事例の修正ランキン渦モデルへの適合性につい

て、最大風速半径を超える範囲での風速の接線成分のべき指数 α の検証を行った。例えば、海外の郊外での事例では α が $-0.45 \sim -0.65$ 、国際空港内の事例では地上10mで α が概ね -1 、国内の事例では α が -0.4 又は -0.6 とした場合に適合性がよい結果である。また、地表面での摩擦が旋回流の遠心力と気圧傾度力との釣り合いに影響すること、べき指数の大小は角運動量の摩擦損失に起因すること等の知見も得られた。

竜巻状気流発生装置による気流可視化実験から得た地表面の粗度密度とべき指数 α との関係を図1に示す。装置上部のバーン角度にも拠るが、粗度密度が0.05を超える範囲で α が $-0.6 \sim -0.5$ となり、粗度密度が小さくなるほど α が -1 に近づく。この傾向は上記の観測事例と整合した結果となっている。

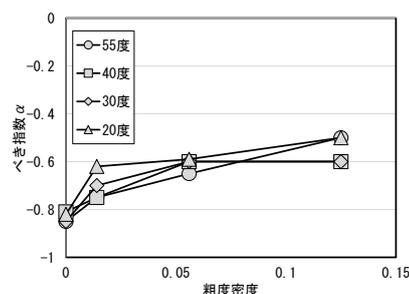


図-1 室内実験で得た粗度密度とべき指数 α との関係

(2) 竜巻被害の調査

令和元年台風第19号の接近に伴い、千葉県市原市で発生した竜巻による建築物被害の調査を実施した¹⁾。この竜巻はJEFスケールJEF2と評定されており、被害範囲には戸建て住宅や公共施設等の低層建築物が散在している。建築物の主な被害形態を収集し、屋根被害に関しては金物で緊結された小屋組の損壊、全数緊結された防災瓦の脱落等を確認した。これらの被害事例は、当該部位の耐力を仮定することにより、竜巻荷重の妥当性検証のためのデータとして活用できる。

2. 粗度ブロックを有する床面の風圧実験

(1) 実験概要

本実験では竜巻状気流発生装置を用いて、装置床面上に配置した粗度ブロックに作用する風圧特性を把握することを目的とする。表-1に粗度ブロック模型の概要、写真-1に粗度ブロック模型の設置状況を示す。立方体形状のブロックは千鳥配置されており、各側面と上面に風圧測定孔が設けられている。竜巻状気流については、装置上部のペーン角度を20、30、40、55度の4通りに設定した。

表-1 粗度ブロック模型の概要

模型名称 (粗度密度)	ブロックの 辺長(mm)	ブロックの 間隔(mm)	ブロック 個数
D20A240 (0.014)	20	120	25
D20A120 (0.056)	20	120	85
D30A120 (0.125)	30	120	85

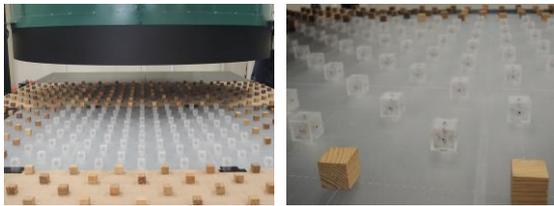


写真-1 粗度ブロック模型の設置状況

(2) 実験結果

ブロックの各側面に作用する風圧から直交座標系(x-y)の風力が算出される。旋回性状の竜巻状気流下では極座標系で風力特性を把握するのが都合よく、図-2と(1)~(3)式に基づいて極座標系(r-θ)に変換する。

$$P_r = P_x \cos\theta + P_y \sin\theta \quad (1)$$

$$P_\theta = -P_x \sin\theta + P_y \cos\theta \quad (2)$$

$$r_0 = \sqrt{x_0^2 + y_0^2} \quad (3)$$

ここで、 P_r, P_θ : 極座標系での風力の動径・接線成分、 P_x, P_y : 直交座標系での風力のx・y成分、 θ : 旋回流中心での粗度ブロックと当該粗度ブロックとの間のなす角度、 r_0 : 旋回流中心での粗度ブロックと当該粗度ブロックとの間の距離である。なお、竜巻状気流の旋回方向は反時計回りである。

図-3に各粗度ブロック模型の竜巻状気流下での風力特性の結果を示す。 P_z は風力の鉛直成分である。いずれの模型の場合も、ペーン角度が大きいほど、一部の場合を除き旋回流中心に近くなるほど風力の絶対値が大きくなる傾向である。また、粗度密度が0.014から0.056になると風力の絶対値が大きくなる傾向が見られる。しかし、粗度密度が0.056から0.125になると逆に小さくなる結果となり、接線成分は旋回流中心からの距離によらず絶対値が小さい傾向である。本実験結果は竜巻荷重における気圧降下量のモデル化に反映する基礎データとなる。

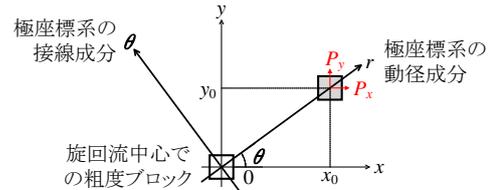
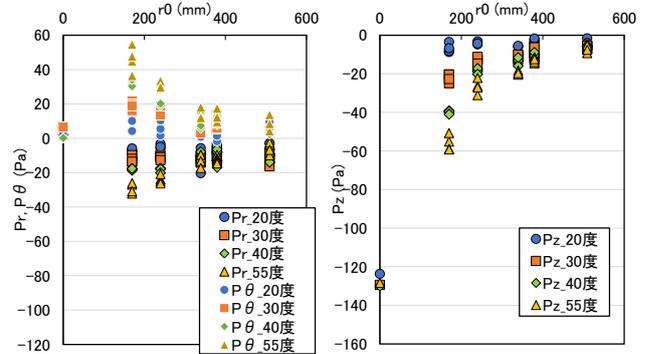
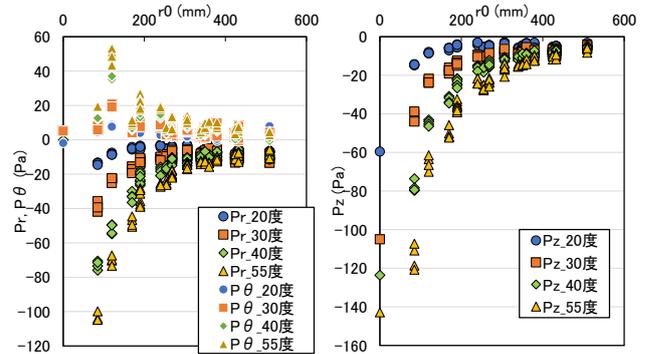


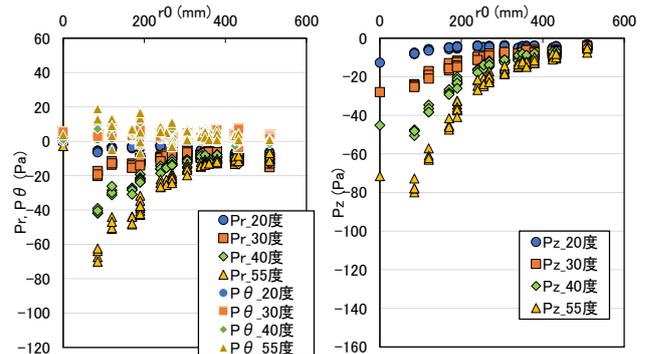
図-2 作用風力の直交座標系から極座標系への変換



(a) D20A240 (粗度密度 0.014)



(b) D20A120 (粗度密度 0.056)



(c) D30A120 (粗度密度 0.125)

図-3 各粗度ブロック模型での風力特性

【成果の活用】

本研究の成果は、学術論文や技術資料に公表した上で、災害拠点建築物等の重要用途施設の対竜巻設計への活用を想定している。

【参考文献】

- 1) 国総研・建研：令和元年10月12日に千葉県市原市で発生した建築物等の竜巻被害現地調査報告，2018。
http://www.nilim.go.jp/lab/bbg/saigai/R1/taihu19_2.pdf (2022. 3. 25 閲覧)

既存建築物における屋根ふき材の耐風診断・補強技術評価に関する研究

Research on wind resistance diagnosis and reinforcement method evaluation of roofing materials in existing buildings

建築研究部 構造基準研究室

(研究期間 令和3年度～令和5年度)
室 長 喜々津 仁密

〔研究目的及び経緯〕

近年の台風では、屋根ふき材が飛散して室内に風雨が吹き込み、居住・事業継続が困難な事例が多数発生した。また、令和元年房総半島台風の被害分析から、古い構工法による屋根ほど、被害率が増加する傾向が判明している。これらの状況を背景として本研究は、強風に対する補強（耐風補強）の要否を診断する基準を整備するとともに、修繕・改修後の目標となる耐風性能水準や、適切な耐風補強の活用に誘導するための耐力評価の方法を検討するものである。本研究の効果として、屋根の修繕・改修の促進により既存建築物ストック全体の耐風性能が向上し、台風による風災時に居住・事業の継続が可能になることを目的とする。

令和3年度には、非構造部材や木造住宅の耐震診断などの既往の枠組を準用して診断法の枠組を検討した。二次診断については既往の確定的な観点だけでなく、荷重と耐力の統計量（平均値・変動係数）を用いた確率統計的な観点から、改修の要否判断のための診断法を検討した。また、関連団体のヒアリングにより改修工法の実態を把握したうえで、金属屋根のカバー改修工法について耐風圧性試験と接合部の引張り載荷試験を実施し、改修による耐風補強効果を確認した。

歴史的木造建造物への後設設備可能な防火対策に関する研究

Fire prevention equipment and its evaluation for cultural heritage building

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 防火基準研究室

主任研究官

水上 点晴

Building Department

Senior Researcher

MIZUKAMI Tensei

Fire Standards Division

Thatched roof is re-evaluated as carbon dioxide fixation material alongside wood structure, so promotion more than just preservation of thatched roof is planned around world recently. In this report, the current building regulation on thatched roof are compared among countries. And sprinkler system on outside of the thatched roof are proposed, and small size specimen is tested and evaluated against external fire exposure.

【研究目的及び経緯】

高い文化的価値を有し凍結保存するような建物は、放水銃や屋外消火栓、防火水槽等の費用の充当が可能であり、また建築基準法は適用除外となるが、文化財に指定されていない歴史的建築物の保存・活用については、新築・工業製品を前提とした現行基準への遡及適用が大きなハードルとなっている。これには基準には満たずとも、既存建物の現有耐火性能を評価しつつ、不足分を後設防火対策で充当するという、改修を念頭に置いた新たな防火対策と評価方法が必要となる。その際、新築を想定した建築基準法との同等性評価が鍵となり、またその普及には、防火対策の低廉化を図る必要がある。本研究では、茅葺屋根を例に、「不燃材料で葺くか造る」とされている現行規定の性能規定化を試み、後設設備可能な散水設備による対策を検討した。

【研究内容】

1. 屋根にかかる国内外の現行規定の調査と比較

茅葺屋根に対する各国の防火規制について調査を行った。イギリスの事例を紹介し、日本と比較する。

イギリス：屋根材を介した燃え広がりを防ぐため、屋根葺材毎に等級付けがされており、等級に応じて敷地境界線からの離隔距離を設けることが求められている。当然、延焼防止に寄与する燃え広がりにくい屋根葺材では、敷地境界線までの離隔距離が短くて済むこととなっており、葺屋根の等級は最劣等のEランク、必要離隔距離は12mと位置づけられている。一方でDorset modelという防火対策を導入することで必要離隔距離が半減できる緩和措置がある。これは屋根を支える垂木を不燃系ボードで覆い、その上にもう一度水平方向に胴縁を流して通気層を確保した上に茅葺を載せるという、いわば二重屋根の仕様である。そして屋内側の不燃系ボードで30分間の準耐火性能を担保する構造となっている。これに加え、飛び火試験を合格した工法として、不燃性の薬剤を茅材に吹きつけ、表面をコーティングすることで、屋内への火炎貫通の

防止と屋根表面での広範囲な燃え広がりを防止するのが認められており、この場合、離隔距離の制限はなくなる。どちらも茅葺屋根が現わしとなる一方で、内装制限は準不燃材要求と厳しくなっており、受害防止の観点から防火基準が定められている日本に対し、イギリスでは加害防止の観点が重視されている。

日本：屋根不燃が求められる場合に、不燃材料でない場合は、ISO FDIS12468-1の飛び火試験で認定を得る必要があるが、茅材で認定を受けた例はない。これらの難燃化手法は木材で開発が進んでいるが、屋外で危惧される風雨による薬剤の溶脱や白華現象に加え、廃棄処理問題など周辺環境への影響が、茅材への導入を阻む一因にあると考えられる。ヨーロッパで主流となっている、耐火被覆材を用いて縁を切る工法については、飛び火試験の判定基準である屋根上面の火炎の燃え広がり防止を満足できないため、むしろ屋内火災に対する周囲の建築物への加害性防止を目的としているように思われた。これらの対策は、現在の日本の茅葺では見られないが、古来には土屋倉およびヌリヤとして類似の対策が見られる。土屋倉は平安・鎌倉時代の史料に見られ、官稲を焼損から守るために、板葺き屋根の上に泥土を塗り、この泥土が雨で剥落しないよう、この上に更に茅葺の屋根を設けたとされている。ヨーロッパの耐火被覆材を土と読み替えれば、手法としては同じに映るが、守るものは内部の官稲、用途が倉庫であれば内部に火の気はなく、明らかに受害防止の観点と判断できる。翻って、メンブレン工法では満足できないとした、ISO規格の判定条件の1つである屋根上面での火炎の燃え広がり防止については、二重屋根とした場合の外部屋根への適用は、受害防止の観点からは除外可能との解釈ができる。これよりヨーロッパで、難燃処理茅材とメンブレン工法を並べて位置付けていることに、一貫性が認められ、日本でも土屋倉との連続性の観点から、新たな防火対策開発の芽が生まれる。

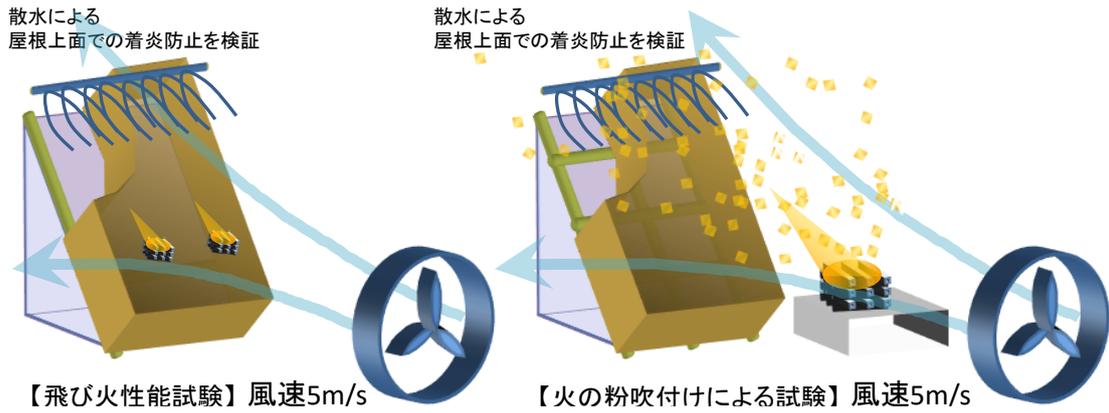


図-1 屋根への散水設備による飛び火防止対策

2. 屋根への散水設備による飛び火防止対策

冬期に積雪が多い日本では、屋根への融雪装置としての散水設備の設置が行われおり、これを飛び火対策に転用できれば、技術開発の面でも費用の面でも有効である。一般的な散水消雪設備に要求される水量（0.2～1L/m²/min）の範囲内で飛び火性能試験を行い、必要水量の検討を行った。加えて、糸魚川市街地火災調査では、通常の飛び火試験では問題ないとされていた瓦屋根においても、小さな火の粉が瓦の隙間に入り込むことで延焼が見られた。そこで通常の飛び火性能試験に加え、木製クリブにより発生させた火の粉に暴露させた実験¹⁾も併せて行なった（図-1）。

飛び火性能試験：風速 5m/s、散水量 3.5L/分/m の条件下で飛び火試験を行ったところ、棟に設けられた噴霧ノズルからの散水は直接木製クリブに降りかかることは無く、よってクリブの炎の勢いが弱まることは無かったが、屋根面を流下して屋根全体を湿らせ、木製クリブが燃え尽きるまで、屋根面への着火・燃え広がりは確認されなかった。実験後にクリブ設置位置を確認したが屋根面に大きな炭化痕は確認されなかった。



写真-1 飛び火試験時の状況とクリブ設置位置の状況

火の粉を吹付けた実験：風速 5m/s、散水量 3.5L/分/m の条件下で、風上より火の粉を吹き付けた際の燃え抜け状況についても観察した。この場合も、屋根上面に多くの火の粉が降りかかることが確認されたが、内部まで潜り込み炎を上げて燃焼するような状況は確認されなかった。糸魚川火災の瓦葺き屋根では、極小の火の粉が入り込むような隙間が問題となったが、散水によりこのような隙間にも毛細管現象で水分も入り込み、火の粉を消火するあるいは含水による湿った茅材が容易に着火しないことから燃焼を防ぐことができたとと思われる。



写真-2 火の粉による実験状況と飛散状況

【研究成果】

歴史的建築物は現有耐火性能の幅が広く、自然素材を用いていることもあり、オープン工法による対策が望ましい。民間は開発コストの回収が望めないため、技術開発が進んでおらず、政策的に解決する課題である。本研究で提案した散水設備による防火対策は、規模にもよるが、水道直結あるいは家庭用井戸ポンプによる揚水でまかなえる範囲であり、設置にかかる費用はかなり抑えられる。ただし、試しに風速 10m/s の条件に上げた際には、ノズルから噴霧される水の大部分が風下側に吹き飛ぶ様子が確認されたため、実用化には、ノズルが直接風の影響を受けないよう、箱棟内部に設置する等、施工方法に留意する必要がある。下図はその 1 例であり、茅の緊結に用いられる竹の押し鉾に沿わせて、茅の内部に埋め込むことで、風速の影響を受けず、屋根表面に水を流下させることができた。



図-2 散水設備を組込んだ試験体と伝統工法の押し鉾

【成果の活用】

本研究の成果は、政策大学院大学・建築研究所共催シンポジウム（令和 3 年 2 月）で報告され、建築基準法の適用除外（法 3 条 1 項 3 号）や、防火・準防火地域の指定解除に伴う制限の付加（法第 40 条）条例策定時の、建築審査会同意基準への反映を想定している。

建築設備の脆弱性評価のための初期火災環境予測手法の整備

Development of a simple room temperature distribution model for the vulnerability evaluation of equipment systems

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 防火基準研究室
Building Department
Fire Standards Division

主任研究官 樋本 圭佑
Senior Researcher HIMOTO Keisuke

Equipment systems installed in buildings are not necessarily made of fire resistive materials and may become dysfunctional even if it is only exposed to a minor heating in the initial stage of a fire. A simple room temperature distribution model applicable to the initial stage of a fire was developed for the vulnerability evaluation of such equipment systems. The temperature distribution was derived using the concept of the integral model; the temperature distributions are approximated with polynomials with their coefficients determined so that they satisfy the energy conservation of the control volumes.

[研究目的及び経緯]

建築物の機能の多くは各種設備に依存しているが、構造部材などとは異なり、一般に熱的耐性の低い材料で作られている場合が多い。このため、火災初期段階における比較的軽微な温度上昇に曝される場合あっても、継続使用上の影響が小さくない。

火災被害を受けた建築物の機能継続性能は各種の不確定要因の影響を受ける。このため、合理的な評価にはモンテカルロシミュレーション等の数値計算に基づく手続きの利用が避けられない。しかし、火災時の煙流動性状の予測に利用されることが多いゾーンモデルは、建築物の規模や室同士の接続の仕方によっては計算負荷が大きくなり、モンテカルロシミュレーションでの利用には適さない場合がある。

そこで本研究では、初期火災段階における室内温度環境を簡便に予測できる手法を整備する。これにより、建築設備の脆弱性評価を行い、火災被害を受けた建築物の機能継続性能評価に利用できるようにする。

[研究内容]

本手法では、図-1に示すように、ある室内で火災が発生する状況を想定する。火災室内では、火源から上昇する熱気流が天井下に蓄積し、高温の上部層を形成する一方で、下部には低温層が維持される。火災発生から時間が経過するにつれ、上部層は厚みを増し、温

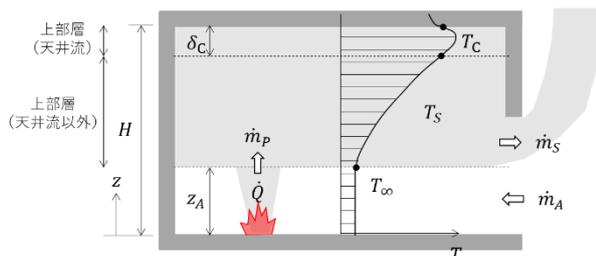


図-1 想定する区画内温度分布

度も上昇する。ただし、上部層内の温度分布は一様ではなく、特に火災の初期段階では大きな勾配が形成される。本研究では、プロファイル法を利用することで、上部層内の温度分布を簡便な手続きで予測できる手法を整備する。

上部層の形成過程を考慮すると、最上部の天井流部分とそれ以外の部分とに分けることができる。まず、それぞれの温度分布 T_C と T_S を二次関数で近似する。

$$T_C = a_0 + a_1[z - (H - \delta_C)] + a_2[z - (H - \delta_C)]^2 \quad (1)$$

$$T_S = b_0 + b_1(z - z_A) + b_2(z - z_A)^2 \quad (2)$$

ここで、 z は床面からの高さ、 z_A は下部層の厚み、 H は天井高さ、 δ_C は天井流の厚み、 a_0 、 a_1 、 a_2 、 b_0 、 b_1 、 b_2 は係数である。これらの式を、天井流部分とそれ以外の部分のそれぞれの境界条件に当てはめて係数を決定すると、式(1)、(2)を次のように変形できる。

$$T_C = T_I + \frac{2(T_I - T_\infty)}{H - \delta_C - z_A} [z - (H - \delta_C)] - \left[\frac{\dot{q}_C}{2\delta_C k} + \frac{T_I - T_\infty}{\delta_C(H - \delta_C - z_A)} \right] [z - (H - \delta_C)]^2 \quad (3)$$

$$T_S = T_\infty + \frac{T_I - T_\infty}{(H - \delta_C - z_A)^2} (z - z_A)^2 \quad (4)$$

ここで、 T_I は天井流部分とそれ以外の部分の境界温度、 T_∞ は初期温度、 \dot{q}_C は天井への熱流束、 k は空気熱伝導率である。さらに、式(3)、(4)をエネルギー保存式に当てはめて整理すると、 T_I と \dot{q}_C の時間変化を表す関係式が次のように得られる。

$$\frac{dT_I}{dt} = 6\alpha(T_I - T_\infty) + \frac{T_I + 5T_\infty}{3} \frac{dz_A}{dt} \quad (5)$$

$$\frac{d\dot{q}_C}{dt} = \frac{6k}{\delta_C} \left[\left(\delta_C + \frac{2}{3} \frac{\delta_C^2}{H - \delta_C - z_A} \right) \frac{dT_I}{dt} + \frac{2}{3} \frac{\delta_C^2 (T_I - T_\infty)}{(H - \delta_C - z_A)^2} \frac{dz_A}{dt} \right]$$

$$+\alpha \left\{ \frac{\dot{q}_c}{k} + \frac{2(T_I - T_\infty)}{H - \delta_c - z_A} \right\} - \frac{\dot{q}''' \delta_c}{\rho c} \quad (6)$$

ここで、 α は空気の熱拡散係数、 ρ は空気の比重、 c は空気の比熱、 \dot{q}''' は天井流部分における実質的な単位体積あたりの発熱速度である。以上の関係を積分した結果を式(3)、(4)に代入することで、 T_c と T_s の時間変化を計算することができる。

なお、式(5)、(6)はそれらだけでは閉じておらず、いくつかの追加のモデルが必要となる。まず上部層の下端高さの時間変化 dz_A/dt については、火災室における気体の質量保存および熱気流の流量に関する実験式を利用することで次のように表すことができる。

$$\frac{dz_A}{dt} = -0.08 \frac{\dot{Q}^{1/3} z_A^{5/3}}{\rho_\infty A} \quad (7)$$

天井流部分における実質的な単位体積あたりの発熱速度 \dot{q}''' については、熱気流によって輸送される熱エネルギーが、天井下まで到達した後に乱流熱拡散によって徐々に上部層内の下部に輸送されるものと考え、次式により計算する。

$$\dot{q}''' = \frac{\dot{Q}}{\delta_{cA}} \quad (8)$$

ここで、 \dot{Q} は火源の発熱速度、 A は室面積である。また、天井への熱流束 \dot{q}_c については、半無限固体に適用可能な解析解を利用することで、次式により計算する。

$$\dot{q}_c = \sqrt{\frac{k\rho c}{\pi t}} (T_H - T_\infty) \quad (9)$$

ここで、 $\sqrt{k\rho c}$ は天井の熱慣性、 T_H は天井付近の気体温度である。

[研究成果]

仮想的な火源によってどのような火災室内温度分布が形成されるのか、上記モデルを利用して検討を加えた。検討条件は表-1に示す通りである。室面積 A が100 (m^2)と500 (m^2)の規模の異なる2つの室を対象としたが、天井高さ H はいずれも3 (m)とした。火源の発熱速度 \dot{Q} は時間によらず一定の100 (kW)とした。

計算により得られた区画内温度上昇 ΔT と煙層高さ z_A を図-2に示す。室面積 $A=100$ (m^2)の上部層の方が、より短時間で温度上昇し、かつ厚みが増す結果が得られた。ただし、時間 t が経過するにつれて ΔT の上昇が徐々に緩やかになる様子が捉えられた。これは、式(5)からも明らかなように、境界温度の時間変化 dT_I/dt が下部層の厚みの時間変化 dz_A/dt に依存しており、時間 t が経過するにつれて後者が小さくなることに起因している。

本研究で整備した手法では、複数の常微分方程式を時間更新することで上部層内の温度変化を追跡するこ

とができる。このため、簡便な計算手続きで実行可能であり、モンテカルロシミュレーション等の数値計算に基づく手続きでの利用に適している。また、図-2では、 $z=0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5$ (m)における ΔT のみを示しているが、本モデルでは温度分布を二次関数で近似しているため、任意の高さ z における温度上昇 ΔT を評価することができる。これは、空間解像度の設定によって計算負荷が大きく変動する一般的な煙流動性状予測モデルに比べて優位な点である。ただし、こうした結果の妥当性の確認には至っていないことから、利用に先立って実験結果との比較を行う必要がある。

[成果の活用]

本研究の成果の一部は、国総研建築研究部で実施中の課題「非住宅建築物の防火性能の高度化に資する新しい性能指標及び評価プログラムの開発」の検討に反映される予定である。

表-1 火災室内温度分布の検討条件

室面積 A	100, 500 (m^2)
天井高さ H	3 (m)
天井熱慣性 $\sqrt{k\rho c}$	1.75 ($kW \cdot s^{1/2} \cdot m^2 \cdot K^{-1}$)
初期温度 T_∞	293 (K)
火源の発熱速度 \dot{Q}	100 (kW)

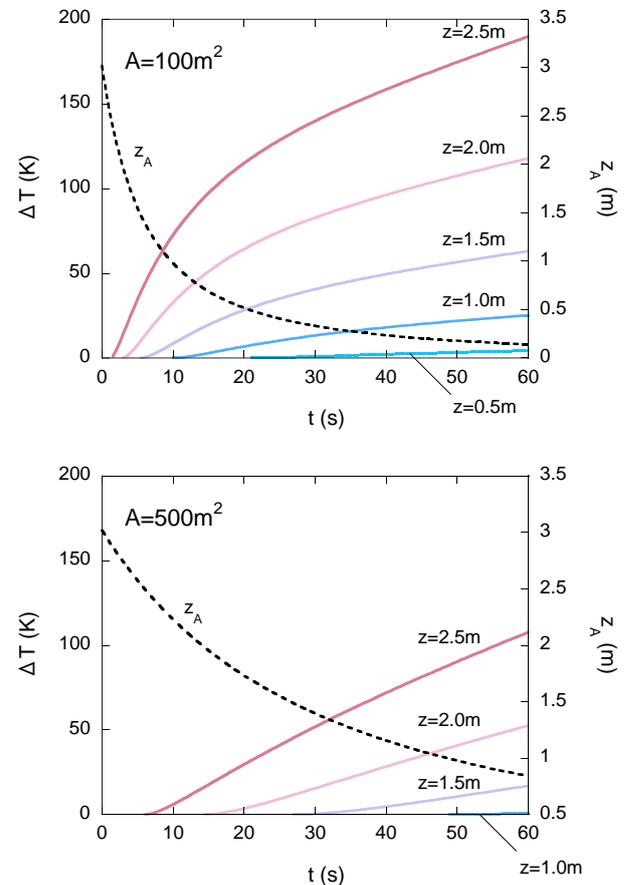


図-2 区画内温度分布と煙層高さの試算結果

性能等級概念を導入した新しい防火設計フレームワークの構築

Development of a novel framework for the fire safety design of buildings
by introducing the risk concept into the performance ranking system

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 防火基準研究室
Building Department
Fire Standards Division

主任研究官 樋本 圭佑
Senior Researcher HIMOTO Keisuke

Compatibility of fire safety design specification of buildings to the requirement by the Building Standard Law (BSL) does not necessarily guarantee the avoidance of large fire loss occurrences. Development of a performance ranking framework is necessary for inducing buildings to maintain the fire safety performance higher than the level required by the BSL. In this study, we developed a novel framework by introducing the risk concept into the performance ranking system.

〔研究目的及び経緯〕

建築物に対して建築基準法が要求する防火性能は、生命保護等の観点から必要とみなされる最低限の水準に留められている。このため同法を遵守することは、必ずしも大きな火災被害の発生防止を保証しない。これまでも、性能を指標化し、より高度なものへの誘導を試みる例はあった。こうした枠組みでは、評価項目ごとの条件適合度をチェックシート評価方式で評価し、その結果を建築物の性能に換算することが多い。手続きは簡便となる一方で、評価項目同士の関連性が曖昧で、評価軸の数量化や評価結果の解釈が難しい。そこで本研究では、総合的なリスク評価を活用した、防火性能指標の合理化の枠組みについて検討した。

〔研究内容〕

一般に、建築物の防火性能は、避難安全、倒壊防止、延焼防止等の複数の目標性能に分けて整理される。これまでに導入が進められてきたリスク評価の枠組みでは、このうち特定の目標性能を対象とすることが一般的であった。すなわち、個々の目標性能の評価に適した想定火災シナリオの下、設計火源に対する建築物あるいは在館者の安全が確保されていることをもって性能の有無を確認してきた。これに対し、本研究では、単一の火源から生じうる被害形態を網羅的に評価した上で、その結果を関連する目標性能の評価に反映させる方式を採用する。このように単一の火源の下での結果を利用することで、目標性能同士の位置付けの相対化が可能となる。

本研究で想定するイベントツリー

を図-1に示す。ここでは、建物を構成する防火区画の一つで生じうる火災シナリオを、8つの確率的事象の組み合わせにより、22通りに分類した。防火区画で生じる被害は、他の防火区画からは独立していると仮定している。ただし、隣接する防火区画からの煙の進入は、隣接区画において火災が成長した場合に、また、同じく火災の進入は、さらに界壁が突破された場合に生じるものとする。以上により、建物内部の火災の影響の拡大を考慮している。

各事象の発生確率は、いくつかの例外を除き、限界条件と評価関数の大小関係に応じて評価する。例えば、事象③の避難失敗確率 p_S は、避難完了時間 t_E (評価関数)が限界煙降下時間 t_S (限界条件)を上回る確率として、次のように表すことができる。

$$p_S = P[t_E > t_S] \quad (1)$$

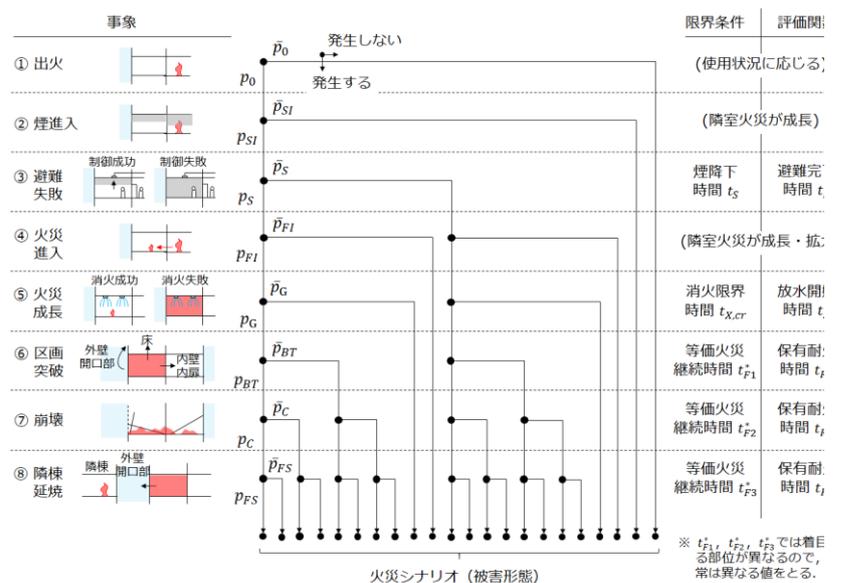


図-1 防火区画ごとの火災進展に着目したイベントツリー

確率変数である t_E , t_S に、建築物で採用される防火設計仕様および在館者行動の特徴を反映させれば、それらがどの程度性能向上に寄与しているのかを測ることができる。本研究では、次のように t_E , t_S を計算する。

$$t_E = \max_k \left[\frac{\sqrt{A_k}}{30} + \sum_{i=1} \left(\frac{l_i}{v} + \frac{\rho k A_k}{N_i B_i} \right) \right] \quad (\text{分}) \quad (2)$$

$$t_S = \frac{1}{60} \left\{ \frac{5A}{2} \left(\frac{1/H_{cr}^{2/3} - 1/H^{2/3}}{0.08(\alpha_f + \alpha_m)^{1/3}} \right) \right\}^{3/5} \quad (\text{分}) \quad (3)$$

ここで、 A は室面積、 l は歩行距離、 v は歩行速度、 ρ は在館者密度、 N は有効流動係数、 B は扉幅、 H は天井高さ、 H_{cr} は避難限界高さ、 α_f と α_m はそれぞれ収納可燃物と内装材の火災成長率である。また、 k は避難時に当該区画を通過する在館者が火災発生時に居た防火区画、 i は k に居た在館者が当該区画に至るまでに経由する防火区画である。一般に、 t_E , t_S の分布は既知の確率分布で近似できるとは限らない。そこで、FOSM法を用いることで、統計量に応じた p_S の評価を行う。

建築物の防火性能を構成する目標性能の内訳は必ずしも定まっていないが、本研究では表-1に示す7つに着目する。これらを適切な被害指標 L （被害量または被害発生確率）に結びつけることで、リスク評価の結果を目標性能の評価に利用できるようにする。一般に、被害指標 L は目標性能の逆指標となる。そこで、次に示すように、被害量 L の逆数を基準条件における被害量 L_0 の逆数で正規化した値を性能指標 F として定義する。

$$F_i = \frac{1/L_i}{1/L_{0,i}} \quad (i = 1, \dots, 7) \quad (4)$$

表-1には、各目標性能の評価に適した被害指標 L の例を挙げている。

表-1 目標性能と被害指標の例

目標性能	F 値	被害指標 L の例
出火防止性能	F_1	出火確率
避難安全性能	F_2	避難不能者数, 避難失敗確率
火災成長防止性能	F_3	火災成長確率
倒壊防止性能	F_4	崩壊部分面積, 崩壊確率
延焼防止性能	F_5	延焼棟数, 延焼確率
消防活動支援性能	F_6	消火失敗確率
機能維持性能	F_7	改修工事費, 復旧日数

[研究成果]

性能指標 F の特徴を調べるため、図-2に示すS造、3階建て、延床面積3,168 m²の事務所建築物を対象とするケーススタディを行った。ここでは、表-2に示す3項目の防火仕様（主要構造部の耐火時間 t_R (RS)、スプリンクラー設備の設置 (SP)、室Dの区画化 (C))に着目し、これらの組み合わせに応じた性能指標 F の変化を調べた。ただし評価対象は、現時点で防火仕様の

効果を反映可能な4つの目標性能（倒壊防止性能 F_3 、延焼防止性能 F_4 、避難安全性能 F_5 、機能継続性能 F_7 ）である。各性能指標 F の計算には、表-1に囲み線で示した被害指標 L を採用した。

計算結果を図-3に示す。基本案(O)に対して、改良案の各目標性能は全般的に高く評価されたが、ばらつきも見られた。防火仕様の組み合わせと F 値の関係は、倒壊防止性能 F_3 、延焼防止性能 F_4 、機能継続性能 F_7 で類似し、避難安全性能 F_5 で相違していた。

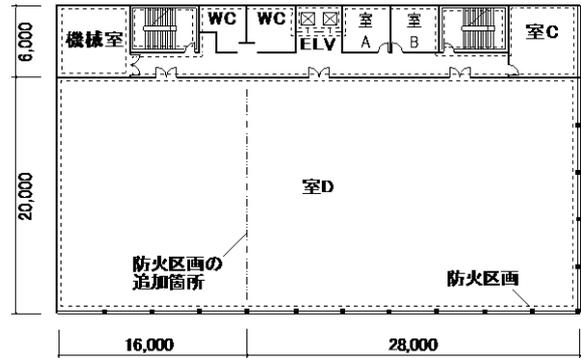


図-2 対象建築物の基準階平面図

表-2 計算条件

条件	項目	基本案(O)	改良案	
RS	耐火時間 t_R	主要構造部	60分	90分
		外窓	20分	
SP	スプリンクラー設備	なし	あり	
C	室Dの防火区画分割数	1	2	

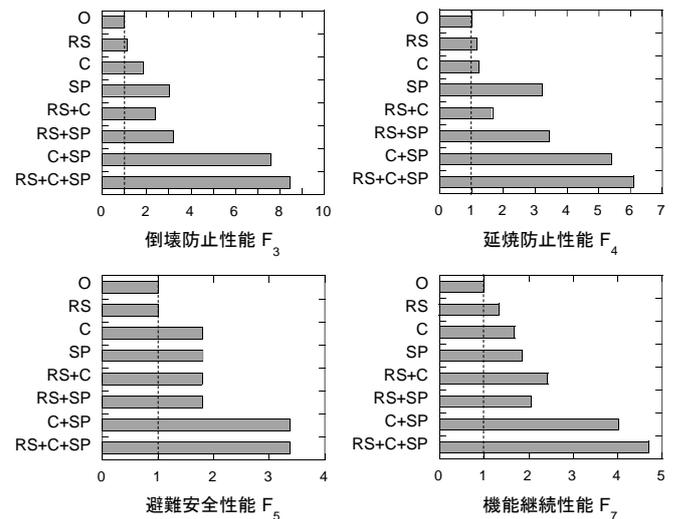


図-3 性能指標 F の計算結果

[成果の活用]

本研究の成果は、国総研建築研究部で実施中の課題「非住宅建築物の防火性能の高度化に資する新しい性能指標及び評価プログラムの開発」の検討等に反映される予定である。

防火シャッターの閉鎖障害・誤作動防止に関する研究

Research on prevention of fire shutter failure and malfunctions

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 防火基準研究室
Building Research Department
Fire Standards Division

室 長
Head
主任研究官
Senior Researcher

岩見 達也
IWAMI Tatsuya
鈴木 淳一
SUZUKI Jun-ichi

The malfunctioning of fire shutters is a new issue that was first recognized in large-scale warehouse fires and fires in office buildings with atriums. In this study, the authors obtained basic data for determining the thermal resistance and identifying the malfunction mechanisms of fire shutters and other components of fire-rated elements.

〔研究目的及び経緯〕

近年、大規模建築物において防火シャッターの閉鎖障害等が発生し、延焼拡大する事例が散見されている。大規模倉庫火災(埼玉県三芳町倉庫火災(2017.2))では防火区画を構成する随時閉鎖方式の特定防火設備(シャッター、防火戸)の閉鎖障害(不作動、誤作動等)が多数の特定防火設備(防火シャッター)で発生した。これらの原因は、①感知器と受信機に関連する通信異常によるもの、②防火シャッターの開閉に関連する制御機構によるものと考えられる。①に関しては、感知器等における短絡メカニズムを解明し、2018年に短絡防止措置や断路器等の設置に関する告示改正、技術的助言の発出に至っている。

近年のアトリウム空間を有する建築物火災では、通電状態の電動式防火シャッターが、煙感知器との連動機構により作動した後に、巻き上がる現象が発生し、複数の防火区画を超えた延焼が発生するなどの事例もある。防火シャッターの点検等が十分に なされている状況下で発生したことから、火災時に高温に曝されたことによる誤作動等により発生した可能性も考えられる。しかしながら、上述の②に関しては、防火シャッター作動後の巻き上がり等の誤作動等の現象の再現、要因の特定、対策方法等に関する知見が十分に蓄積されていない状況にある。

本研究では、特定防火設備のうち防火シャッターの構成部品などを対象として、耐熱性を把握するとともに、誤作動のメカニズムを特定するための基礎資料を得ることを目的とする。

〔研究内容〕

防火シャッターの不作動や誤作動現象は、大規模倉庫火災やアトリウムを有する事務所ビル火災で初めて認識された新たな課題である。図-1に示す防火シャッターメーカー等が構築してきた防火シャッターの構成のうち連動機構や復旧機構といった標準的な設計手法等を踏まえた上で、火災加熱の程度に応じた新たな火災

時の耐熱対策を検討することが必要となる。

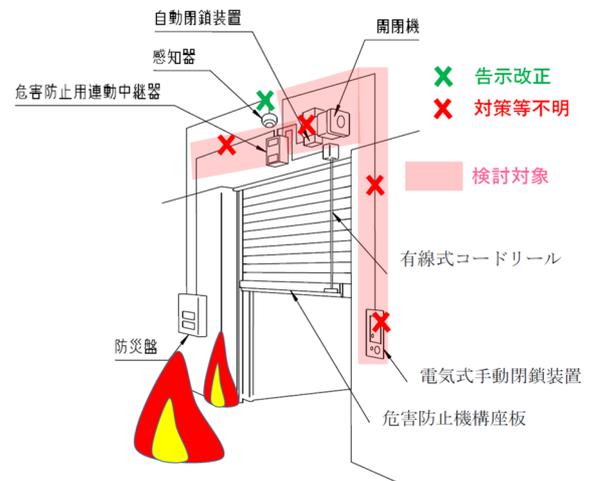


図-1 防火シャッターの概要と対策箇所

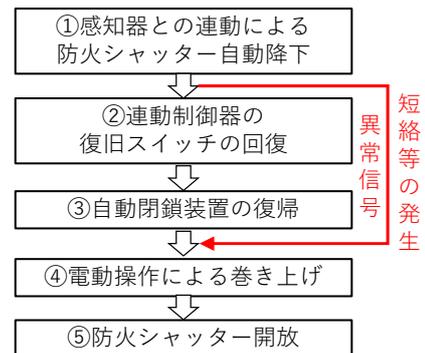


図-2 電動防火シャッターの復旧手順と誤作動発生要因

ここでは、防火シャッターの誤作動要因の解明のため、図-1、図-2に示す箇所では何らかの異常信号が電気配線の短絡等により発生したと仮定し、防火シャッターの構成要素の焼損状況等の電気配線などについて、加熱実験等を実施し、暴露温度とケーブル耐熱性等について明らかとする。また、大規模倉庫で発生した火災を模擬した熱流体数値解析により、防火シャッターの受熱温度等について分析することとした。

[研究成果]

図-3は、100℃～300℃の温度で保持した各種電線(図-3の左からCV、FP、HP、IV、KIV、VCT、VCTF)の変化状況の一例である。図より、100℃超よりケーブル被覆の表面の状況が変化し始めていることがわかる。200℃になると表面の被覆が収縮し始め、250℃では溶融した。さらに高温となる300℃では、熱分解し炭化した。

図-4は、鋼製電線管にKIVケーブル(ビニル絶縁電線)とFPケーブル(耐火電線)を挿入し、電気炉内で高温熱気流に暴露させた際の絶縁抵抗の測定結果である。図に見るとおり、FPケーブルでは、200℃超となっても絶縁性が保持されているのに対し、KIVケーブルでは、150℃超から絶縁抵抗が低下し、概ね200℃で抵抗値が計測不可能となり、鋼製電線管と短絡した。これより、防火シャッターのスイッチ等の配線に耐熱性が低いケーブルが用いられていた場合、火災時には短絡する恐れがあることがわかった。

図-5は、大規模倉庫内の区画で発生した火災するための数値計算モデル(FDS ver6.7)である。計算領域は40m×25m×15mとし、領域外周部を大気への開放条件とした。計算空間中央には30m×15m×10mの対象火災区画を再現した。計算格子は0.25m角の立方体による空間分割を基本とし、格子数は約8万である。

火災室の周壁は、天井及び床スラブはコンクリート

180mm、防火シャッターを除く外周面をALC100mmとし、南北面に防火シャッターの再現として鋼板1.5mmを設けた。防火シャッターのうち、北側については閉鎖障害状況を再現するため、1mの開口を設け煙感知器作動後3m/分で防火シャッターを降下させた。また、南側は動作不良状態を再現し、高さ4mで開放状態とした。室内の部材には実際の倉庫火災事例を参考し、RC柱、鋼柱、鋼梁、電線等を再現した。数値計算においては、火災室①～③において部材表面温度及び室内気温を測定した。

①～③火災室の柱位置における温度分布を示す。空間内において、大きな温度分布が生じることになるが、空間内温度は、制御配線等に用いられるビニル絶縁電線の耐熱温度を超えることがわかった。

[成果の活用]

本研究の成果は、新規の防火シャッターの設計、将来的には防火シャッターの効率的な改修等への基礎資料として活用が期待される。また、誤作動防止対策等を含めた耐火試験方法等の構築、火災時における誤作動防止対策のガイドライン等のための技術資料として活用される見込みである。

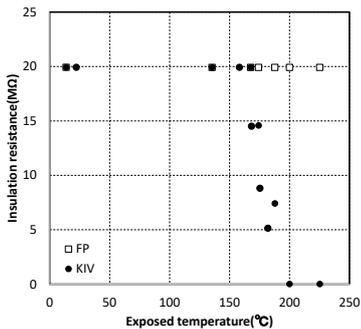
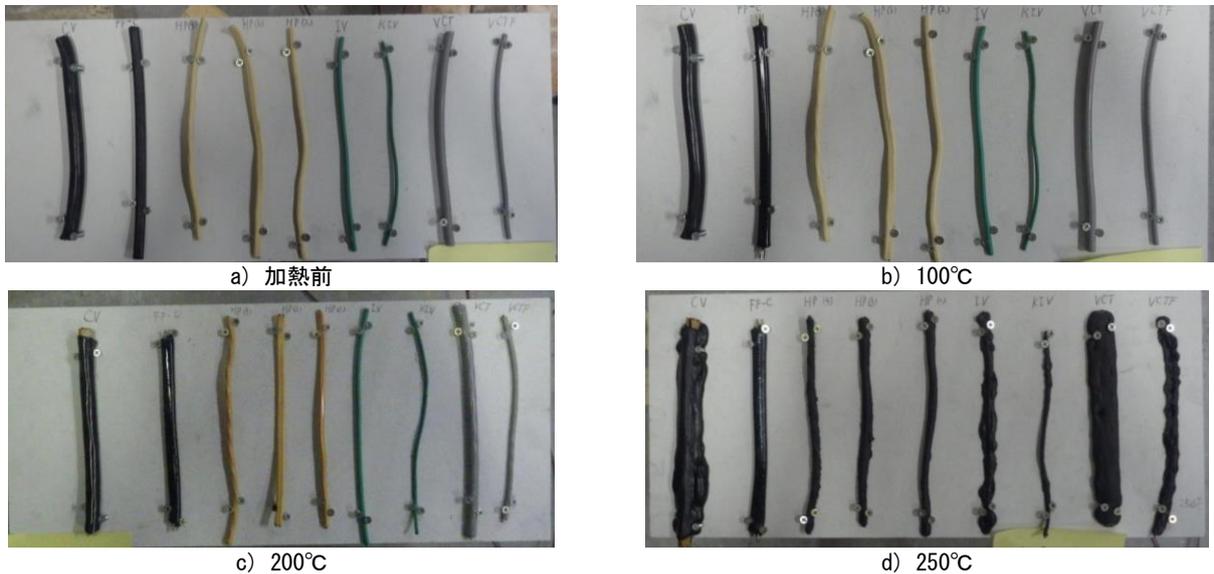


図-4 FPとKIVの絶縁抵抗の変化

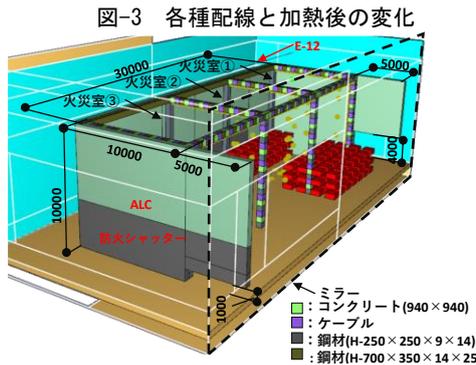


図-5 倉庫火災の数値計算領域の概要

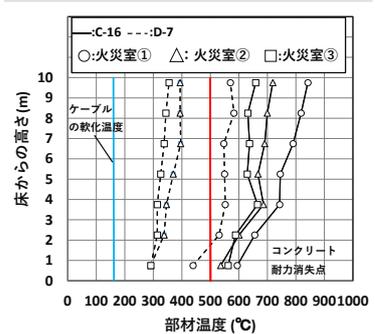


図-6 柱部材温度分布

非住宅建築物の防火性能の高度化に資する新しい性能指標及び評価プログラムの開発

Development of a novel performance indicator and its evaluation program for the enhancement of the fire safety performance of non-residential buildings

建築研究部 防火基準研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 岩見 達也
主任研究官 樋本 圭佑
主任研究官 鈴木 淳一
主任研究官 水上 点晴

[研究目的及び経緯]

本研究では、非住宅建築物の防火性能の向上のため、非住宅建築物の火災後の継続使用性能を総合的に評価する新しい性能指標（等級）、およびその評価プログラムを開発し、防火性能を高める利点を、同指標を用いて分かりやすく分析・整理する。さらに、同指標の解説と、防火設計事例を示したガイドラインの作成・公表することで、研究成果の社会実装を行う。今年度は、これまでに整備した防火性能の等級化の枠組みに従い、8つの基本的な防火性能をリスク概念に基づいて定式化する作業を進めた。この他、建築物で火災が発生した場合の経済被害を、ストック被害とフロー被害の違いに着目して定量化する方法について検討を加えた。また、火災被害を受けた建築物の復旧過程を、用途、規模および被害程度といった条件に応じて推定できるようにするため、フローチャートを利用した評価の枠組みを整備した。

飛び火ハザード地域分布の把握技術に関する研究

A Study on Technology for Grasping the Regional Distribution of Spotting Fire Hazards

建築研究部 防火基準研究室

(研究期間 令和3年度～令和4年度)
室長 岩見 達也
主任研究官 水上 点晴

[研究目的及び経緯]

大規模火災の危険性を把握するためには、火災・飛び火に対して脆弱な老朽木造家屋の分布を把握することが必要となる。本研究では、市街地火災の被害抑制方策の検討に関する基礎情報の把握に向けて、空中写真から火災・飛び火に脆弱な古い木造家屋を自動的に検出して地域の飛び火脆弱性を評価する技術の検討を行い、実用可能性を明らかにするとともに、この技術を広域に適用し、飛び火ハザードマップを作成することを目的とする。

令和3年度は、空中写真から家屋形状を抽出する技術及び抽出した家屋形状ごとに屋根構造を推定する技術について調査を行い、空中写真から屋根構造分布地図を生成するプログラムの試作を行った。

深層学習を用いた映像解析による火災性状解析手法の研究

A Study on Analysis Method of Fire Characteristics Using Deep Learning Techniques

建築研究部 防火基準研究室

(研究期間 令和2年度～令和4年度)
室長 岩見 達也

[研究目的及び経緯]

大規模地震時等には多数の火災の発生が想定されているが、火災の発生状況の正確・迅速な把握は極めて困難であり初期対応の遅れがさらに延焼を進める悪循環に陥る可能性がある。本研究では、深層学習の手法を応用して、映像記録から火災・火炎の位置を特定し、燃焼状況（発熱速度や火炎形状等）を正確・迅速に検出・解析する技術の開発を目的として研究を実施する。

令和3年度は、ヘリテレ映像の仕様及び運用に関する調査を行ったほか、映像中の火災検出範囲を地理座標系に変換して地図上に表示するための検討及びプログラム作成を行った。

避難所の健康確保等のためのマニュアル原案の

社会実装に向けた検討

Study on social implementation of the draft manual for ensuring the health of evacuation shelters.

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 設備基準研究室
Building Department
Equipment Standard Division

室 長 平光 厚雄
Head HIRAMITSU Atsuo
主任研究官 山口 秀樹
Senior Researcher YAMAGUCHI Hideki

It is necessary to take measures to development of living environment for evacuation shelters. In this study, we compiled specific methods of securing living environments that can be implemented in individual evacuation shelters and prepared a draft equipment planning manual. This draft manual consists of a main section that presents the concept of equipment planning and a reference section that compiles technical data on various types of equipment.

〔研究目的及び経緯〕

想定されている巨大地震や近年頻発する豪雨等の自然災害に対して、様々な防災・減災対策を講じることが急務である。様々にある課題の中でも被災者の健康確保、復旧への生活基盤の確保等の点からも、避難所の生活環境の確保や改善手法について、普及が容易な対策を取りまとめる必要がある。この課題に対して内閣府からは「避難所運営ガイドライン」、文部科学省からは「学校施設整備指針」が示されるなど、対策の整備が進められている。しかしながら避難所の設置・運営にあたっては、避難所個々の地域性や既設設備の状況等に配慮する必要もあり、具体的な整備・改修手法について十分な情報が得られないことがある。この課題に対して国総研では、平成29年度～令和元年度に研究課題「避難所における被災者の健康と安全確保のための設備等改修技術の開発」を実施し、生活環境確保のために個々の避難所で実現可能な具体的な手法等について整理した。

本研究の目的は、上記で得られた知見に基づき、避難所整備を実際に担う地方公共団体において活用しやすい「避難所の健康確保等のための設備計画マニュアル(案)」を整備することである。

〔研究内容〕

避難所の設備計画マニュアル(案)を整備するにあたり、地方公共団体等において、避難所となる施設の整備を担当する部署等における実務者に対して、マニュアルの記述の分かりやすさ、現場での活用のしやすさ等の実務の観点からヒアリングを行い、改善点の抽出を行った。また、避難所として学校施設を想定し、電源設備、照明、給排水、空調など、生活環境を確保するための設備機能を維持する具体的な手法や改修技術について、災害によるライフラインの途絶状況の時

系列での変化を踏まえ、状況に応じて対応技術の選択が可能となるよう整理を行った。以上の検討を取りまとめ、図-1に示す目次の通り「避難所の健康確保等のための設備計画マニュアル(案)」を、基本的な考え方をまとめた「本編」と、技術資料をまとめた「資料編」の2部構成として取り纏めた。

「避難所の健康確保等のための設備計画マニュアル(案)」目次

- 本編
- 1. はじめに
- 2. 前提条件の整理
 - 2.1 災害および避難所施設の想定
 - (1) 災害の想定
 - (2) 避難所となる学校施設の想定
 - 2.2 避難所として開放する場所に関する考え方
- 3. ライフライン途絶に対応した設備機能確保の手法
- 3.1 時系列に応じた設備機能確保手法の整理
- 3.2 各設備の運用等に関する留意事項
 - (1) 電気設備
 - (2) 給排水衛生設備
 - (3) 空調設備
 - (4) 備蓄等その他
- 4. 避難所における健康確保等の目標水準
- 4.1 目標水準の整理
- 4.2 各水準のイメージ
 - (1) 日常生活に近いレベル
 - (2) 過去の避難所事例に同程度のレベル
 - (3) 重大な健康被害が生じない最低限のレベル
 - (4) 各シーンの具体的なイメージ
- 資料編
- 【災害対応技術として有効な設備機器に関する情報】
- 資料1. 電気設備
 - 1-1 機器単体の概要
 - 1-2 設備システムとしてのセットアップ例
- 資料2. 給排水衛生設備
 - 2-1 機器単体の概要
 - 2-2 設備システムとしてのセットアップ例
- 資料3. 空調設備
 - 3-1 機器単体の概要
 - 3-2 設備システムとしてのセットアップ例

図-1 避難所の健康確保等のための設備計画マニュアル(案)の目次

【研究成果】

マニュアル(案)本編の概要は、以下の通りである。

「2. 前提条件の整理」では、学校施設を避難所として利用する際に、既存の設備として備えられていると想定するものを設定したうえで、災害によるライフライン途絶の期間を設定し、以降の章での前提条件をまとめた。また、避難所として開放する室について、多くの場合で優先的に使用される体育館のみを対象とするのではなく、設備機器を優先的に整備しやすい一般教室も、避難所として開放する選択肢として捉え、その場合のメリット・デメリットについても整理した。

「3. ライフライン途絶に対応した設備機能確保の手法」では、電気設備、給排水衛生設備、空調設備、備蓄等その他について、ライフラインの途絶状況に応じた設備機能確保手法を複数提示するとともに、設備機器の選定や運用に関する留意事項を取りまとめた。主な設備機能確保の技術を図-2の丸数字で示している。それぞれ、①は貯水機能付き給水管、②は飲料水兼用防火水槽、③は発電機付きガスヒートポンプ空調、④は可搬式空調機の設置、⑤はマンホールトイレ、⑥はプール水のトイレ洗浄水への活用、⑦は体育館の照明(間接照明、調光)、⑧はパーティションによるプライバシーの確保、⑨は夜間のトイレ利用時の照明、⑩は超々節水型衛生設備システムを示している。また図-3は、これらの技術に関する解説を、技術内容を把握しやすくするポンチ絵とともに示した例である。

「4. 避難所における健康確保等の目標水準」では、各種設備の機能確保手法に関して、生活環境の質と設備改修等のコストを勘案した目標水準の分類を行い、各水準で必要となる設備の組合せを取りまとめた。

一方、マニュアル(案)資料編では、避難所の設備機能確保に有効となる各種設備個々について、現時点で入手可能な機器を、その特徴とともに整理した。例えば、電気設備の項目では大型の非常用発電機、太陽光発電、蓄電池、照明設備の具体的な機器を紹介し、給排水衛生設備の項目では貯水槽、ポンプ、トイレ、排水槽などの機器を紹介している。また、個々の機器を設備システムとして構築する場合の具体例も合わせて示した。図-4は電力が途絶している場合において、体育館での灯りを確保するためのシステム例を示したものである。避難者の生活場所となるアリーナ部分と、避難所の運営拠点となるホール、およびトイレの照明を確保するために必要な電源の構成について、機器の種類とその設備容量を試算して示した。

【成果の活用】

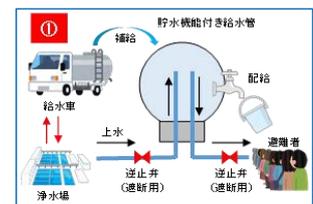
本研究の成果は、国総研 HP 等で公表する予定である。この内容が自治体等の災害対応マニュアルへ反映されることで、避難所生活での身体的・精神的健康被害の軽減に貢献することが可能となると考えられる。



図-2 学校施設の各建物における主な設備機能確保技術

① 貯水機能付き給水管

給水管の一部分に貯水機能を持たせたもの。平常時は大気開放されている給水管の一部であることから、維持管理が容易。断水時には管内の水が利用可能であるとともに、給水車からの補給を一括で受け取れるため、水運搬の効率も上がる。



⑦ 体育館の照明(間接照明、調光) 間接照明を採用することにより、夜間睡眠時の眩しさを抑制することができ、かつ一定程度の明るさを確保することで、不安感を和らげることが期待できる。



⑧ プライバシー確保 (パーティション)

段ボール等を用いてパーティションを作成することで避難者のプライバシーを確保する。さらに25mm厚程度のグラスウールをパーティション材とともにガゼットの布で包むことで、吸音性能を高めることができ、騒音感の低減が期待できる。

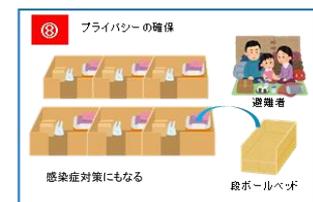
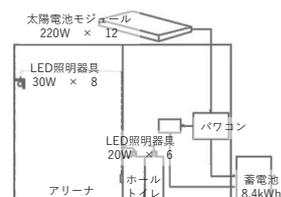


図-3 設備機能確保技術の解説(例)

PV+蓄電池が設置されている場合



設置がない場合又は被災により使用不能な場合

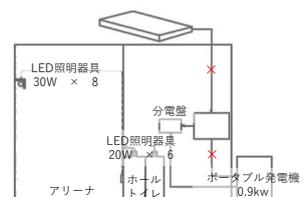


図-4 体育館における照明電力供給のシステム構築例

自然災害時の避難計画における照明設備計画の検討

Study on lighting system planning for evacuation in case of natural disasters.

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 設備基準研究室

Building Department

Equipment Standards Division

主任研究官

Senior Researcher

室 長

Head

山口 秀樹

YAMAGUCHI Hideki

平光 厚雄

HIRAMITSU Atsuo

Disaster-resistant lighting system planning is a growing concern not only in Japan but also in other countries. Lighting is important to ensure the safety and security of evacuees when evacuating from danger zones to safer areas or living in evacuation centers such as gymnasiums. The purpose of this study is to clarify the lighting requirements in evacuation routes and centers, and to examine lighting environment evaluation methods.

[研究目的及び経緯]

大規模地震等の自然災害が発生した際に、危険地帯から安全な場所への避難時や、自宅等の被災により体育館等の避難所での生活を強いられる場合において、被災者の安全・安心の確保のために照明設備の果たす役割は重要である。安全な場所への避難時においては、避難方向の認知や歩行経路の安全確認のための照明が必要であり、一方避難所においては、防犯の観点も含めた安心感の確保、睡眠環境の確保の点で重要である。災害発生に伴い、電力が一定期間途絶することを想定すると、通常の照明設備だけでは十分な対応が難しく、柔軟に対応可能な照明計画が求められている。

この課題に対して、照明環境・計画に関する国際的な基準を検討している国際照明委員会では、レジリエントライティングに関する技術委員会の立ち上げを準備しており、被災経験の多い日本の対策に関する知見が求められる状況にある。また国内では照明業界においてエリア防災照明というコンセプトを立て、照明設備仕様を取りまとめる動きがあるが、確保すべき照明環境の要件について、まだ検討の余地が多く残っている。

上記の背景から、本研究では災害時の照明設備計画を検討するにあたり、避難経路および避難所の照明環境評価手法を開発することを目的とする。

[研究内容]

1. 屋外避難経路に対する照明環境評価

歩行空間の視認性の評価指標の1つとして、従来では路面に降り注ぐ光量の程度を示す路面照度を用いることが多い。避難経路全体にわたっての光量の算出と、設計のしやすさの観点から、路面照度を指標の1つとする有用性は認められる。しかし、避難方向の認知や判断のためには、視界に入る建物や階段、樹木や光源などから、直接歩行者の目に届く明るさの情報である輝度との関係性を加味する必要がある。そこで本

研究では、図-1に示すように川から高台にある駐車場へ向かって避難経路が設定できる実際の街区において、街路灯の点灯・消灯の組合せにより様々な照明環境を設定し、その照明環境に対しての周囲空間の把握のしやすさ、および路面の見えやすさ等の主観評価を実施した。また市販のデジタルカメラを活用した画像測光による輝度分布情報の取得を行い、主観評価との関係性を検討した。



図-1 避難経路の照明計画の検討対象とした街区

2. 夜間における避難所の照明環境評価

被災者の生活拠点となる避難所では、特に避難が長期化する場合の心身の健康確保の観点から、睡眠時の照明環境の確保が重要となる。避難所として利用されることが多い体育館においては、天井に配置された高出力な照明器具により均一に照明されることが一般的である。近年LED照明への改修が進みつつあり、これに伴って光量を調整できる調光機能が組み込まれつつあるが、もともと高出力な器具が設置されているため、下限まで調光しても夜間の睡眠時に適した明るさにまで調節することは難しい。そこで本研究では、と

くに睡眠時のまぶしさに着目し、実際の体育館におけるまぶしさの程度について、輝度分布計測に基づく評価手法を検討するとともに、まぶしさを抑える照明計画手法として間接照明の有効性の検討を行った。

[研究成果]

1. 屋外避難経路に対する照明環境評価

図-1 に示す階段進入口の地点 A および地点 B において、階段経路の状況が分かりやすいように照明光を配光した「明」条件と、階段入口等の一部にしか照明光を配光していない「暗」条件に対する主観評価結果を図-2 に、画像測光による輝度分布を図-3 に示す。

図-2 より、地点 A、B ともに照明が明条件では、空間の把握のしやすさ、路面の見えやすさともに、十分確保できていると判定された。しかし暗条件では、これらの評価が低下しており、特に地点 A は避難経路の照明計画としては適さないといえる。

また図-3 の輝度分布との関係から、1~10 cd/m² の部位が多いほど主観評価が向上する傾向があり、輝度分布に基づく照明環境評価の有用性が示された。

2. 夜間における避難所の照明環境評価

図-4 は睡眠時のまぶしさを抑えるための照明計画として仮設の間接照明を壁面付近に設置した事例の写真である。約 1000 m² の広さの体育館において、1 台 30 W (器具光束 1820 lm) の照明器具を 8 台設置し、通常の天井照明の場合と比較してまぶしさの程度の変化を確認した。

図-5 は通常天井照明の場合、および間接照明の場合における輝度分布計測結果を示したものである。通常天井照明の場合、光源部分が数万 cd/m² 以上の輝度となっており、室内のまぶしさ評価指標の一つである UGR 値を算出すると 31 となった。これはまぶしさとしては「ひどすぎると感じる」に相当するものであり、睡眠時には許容しがたい照明環境といえる。一方、壁面へ間接照明を行った場合、光源部分が直接見えることはなく、UGR 値は 11 と算出された。この値はまぶしさを「感じない」に相当する結果であり、避難所利用時の照明手法として有効であることが示された。

また実環境における計測・評価に加えて、空間の大きさや照明配置の違い、また避難者の視点位置の違いによる影響を検討するために、照明シミュレーションを活用したまぶしさ評価も併せて行っており、避難所の照明設備計画手法の開発に資する知見を整理した。

[成果の活用]

災害時においてレジリエンス性能を発揮する照明計画は国内のみならず海外においても関心が高まっており、今後、本研究にて得られた知見を活用した照明設備計画手法の整備を順次進める予定である。

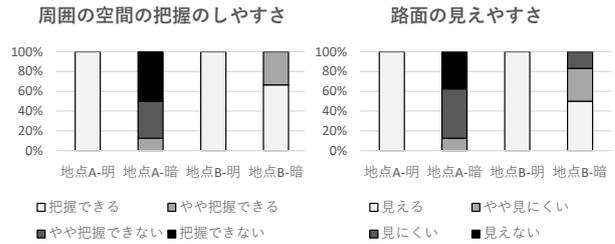


図-2 避難経路の照明条件の違いにおける主観評価結果

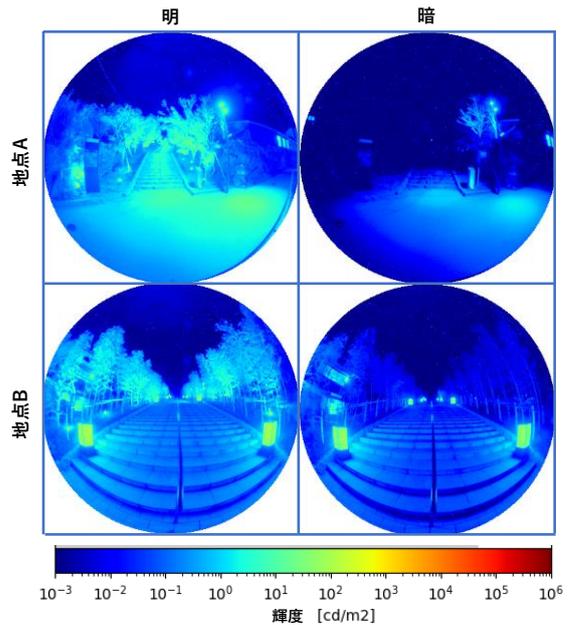


図-3 避難経路の照明条件の違いにおける輝度分布計測結果



図-4 体育館における間接照明導入事例

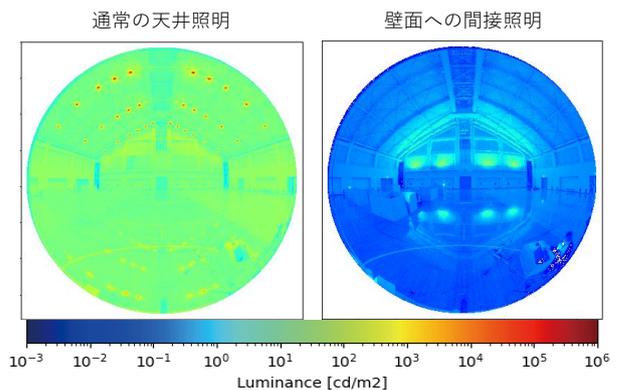


図-5 体育館の照明方式の違いにおける輝度分布計測結果

木造建築物の音環境からみた快適性向上技術の開発

Development of technology for improving sound environmental comfort in wooden buildings.

(研究期間 令和2年度～令和5年度)

建築研究部 設備基準研究室

室 長 平光 厚雄

[研究目的及び経緯]

木造建築物の音環境性能（特に、床衝撃音遮断性能）は、コンクリート構造建築物と比較すると性能が低くなるため、木造建築物の普及の妨げの一つとなっている。そこで本研究では、木造建築物の音環境性能の調査、床断面仕様変化が床衝撃音遮断性能に与える影響などについて実験的検討を行い、最終的には住宅性能表示制度における音環境性能の評価方法基準（告示）に CLT パネル工法の床断面仕様例を追加することを目的としている。

今年度は、音環境性能の調査として、実建物（木造小学校）の音環境性能の測定を実施した。また、基準化に耐えうる仕様として、床衝撃音遮断性能が期待される CLT パネル床にコンクリート打設した合成床（試験床）の振動特性（衝撃時間内応答インピーダンス）を把握した。さらには、6階建てツープайフォー実験棟では CLT パネル床にコンクリートを打設した合成床の床衝撃音遮断性能、つくば CLT 実験棟では乾式二重床構造や天井構造が床衝撃音遮断性能に与える影響について検討を行った。その結果、100mm 厚のコンクリートを打設した場合の床衝撃音遮断性能は L_{H-65} であることを確認し、乾式二重床構造の上部面材の重量を増加させることが必要であることを明らかにした。

剥落防止性能を備えた押出成形セメント板のタイル仕上げ 補修工法の開発研究

Research and Development of Tile-finish Repair Method for Extruded Cement Panel with Anti-peeling performance

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 材料・部材基準研究室
Building Department
Material and Component Standards Division

主任研究官 根本 かおり
Senior Researcher NEMOTO Kaori
室長 三島 直生
Head MISHIMA Naoki
主任研究官 土屋 直子
Senior Researcher TSUCHIYA Naoko

In response to the tile peeling accident, an experimental study was conducted on a delamination repair method for tile finished extruded cement panel external walls. The repaired tile finish was subjected to loading test to confirm its peel-prevention performance. The results showed that the repair method is effective in preventing peeling.

〔研究目的及び経緯〕

近年の暴風により、押出成形セメント板〔Extruded Cement Panel (以降、ECP)〕のタイル仕上げが剥落した事故が複数件発生したことを受けて、接着力が低下して剥離や浮き（空隙のある剥離）の生じたECPのタイル仕上げの補修工法を検討した。現地調査の結果からは、剥落したタイル仕上げは、ECPのフラット面のパネルにモルタルでタイル張り施工されたものであったため、同仕様の試験体を作製し、補修後のタイル仕上げの剥落抵抗性能を曲げ試験により評価、検証した。

〔研究内容〕

1) 試験体の概要

ベースのECPは寸法：1495mm×895mm×60mmのフラットパネルを用いた。補修工法として樹脂注入工法等を検討するため、試験体中央のパネルとタイル仕上げの界面に120mm×60mmの模擬剥離（浮き）を設けた（図-1）。タイル仕上げは、既調合張付けモルタルで50mm二丁掛けモザイクタイルを張付け、タイル目地詰めモルタルを施工した。表-1に試験体の仕様の概要を示す。

2) 補修工法

タイル仕上げの浮き補修工法は以下の計5種類（表-1中のNo.5-9）について検討した。

- ①アンカーピンによるタイル仕上げの固定（3種）
- ②アンカーピンと浮き部への樹脂注入の併用
- ③浮き部への樹脂注入工法

3) 剥落抵抗性の評価方法

剥落抵抗性は、JIS A 1414-2:2010の曲げ試験より、3等分2線載荷に準拠した。図-2に示すように、パネル側より加力（タイル面が面外に凸）し、補修後のタイ

ル仕上げの剥落の発生や剥離等の拡大の有無を確認した。

〔研究の結果〕

1) 補修工法について

補修した試験体No.5～No.9のアンカーピンおよび樹脂注入の施工位置を図-3に、施工の詳細を表-2に示す。なお、中空層のあるECPのタイル仕上げの浮き補修では、パネルの薄肉部とリブ部分を区別して施工す

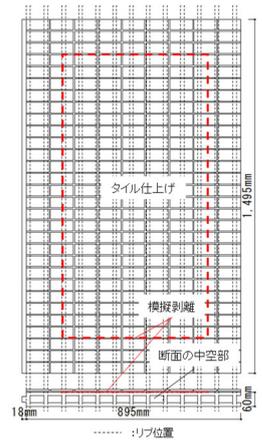


図-1 試験体概要

表-1 試験体の仕様の概要

試験体	試験体概要	備考
No.1	押出成形セメント板(フラットベース)	仕上げなし
No.2	タイル張り仕上げ	模擬剥離なし
No.3	接着力を低減させたタイル仕上げ	浮き空隙なし模擬剥離
No.4	浮きありタイル仕上げ	浮き空隙あり模擬剥離
No.5	ECP専用ビスアンカー4点留め	
No.6	ECP専用ビスアンカー5点留め	アンカーピンの補修施工方法比較
No.7	ECP専用ビスアンカー8点留め	
No.8	エポキシ樹脂注入4箇所+ECP専用リベットアンカーピン4点留め	樹脂注入とアンカーピン併用補修
No.9	エポキシ樹脂注入8箇所	樹脂注入のみの補修

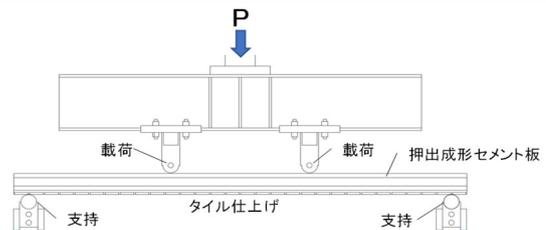


図-2 曲げ試験-3等分2線載荷

ることは難しいため、中空のある薄肉部への施工を念頭においた施工方法とした。

①アンカーピンの施工：アンカーピンの施工では、事前にネジ形のアンカーピン径よりも一回り小さい径でタイル仕上げの目地部分から薄肉部までドリルで穿孔した。穿孔用のドリルは、無振動ドリル（水冷式）でECPを穿孔した場合に中空層に水が入り溜まる現象が見られた為、本実験では電動インパクトドライバを用い乾式施工した。

②アンカーピンと浮き部への樹脂注入の併用施工：本工法のアンカーピンにはECP専用リベットアンカーを用いた。本リベットアンカーは注入口付であるが、浮き部への樹脂の充填が困難であったため、アンカーとしての機能で用いた。樹脂の注入施工は浮き部に適切に樹脂を充填させるために、穿孔穴は模擬浮きを設けた深さにあわせ、タイル仕上げ厚さ+2mm（パネル面）深さまでとした。穿孔径や深さおよび樹脂注入量は表-2に示す。

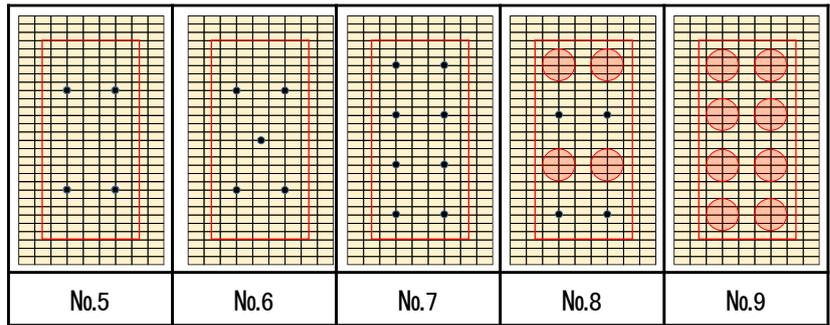
③浮き部への樹脂注入施工：②の浮き部への樹脂注入工法と同様とした。

2) 剥離抵抗性について

写真-1に曲げ試験後の補修試験体を示す。No.5（ピン4本補修）およびNo.7（ピン8本補修）は破断箇所周辺のタイル仕上げが数枚剥落した。タイルが剥落した試験体には目地モルタルの損傷が確認され、剥落のなかったNo.5（ピン5本補修）、No.8（ピンと樹脂注入併用補修）およびNo.9（樹脂注入補修）には目地モルタルに損傷がなく、タイルとモルタルが強固に接着していることを確認した。また、曲げ試験後のタイル仕上げに対して打音調査を実施したが、タイル仕上げの剥離の拡大は確認されなかった。

[まとめ]

ECPのモルタル張りのタイル仕上げの剥落防止にはタイルの目地モルタルが損傷しないことが重要である。



注) □: 模擬剥離 ●: アンカーピン ○: 樹脂注入

図-3 試験体の補修概要

表-2 試験体補修施工の概要

試験体No.	補修施工			備考
	アンカーピン	穿孔径	樹脂注入	
No.5	EC専用ネジ: φ4mm、長さ33mm	アンカー4箇所: φ3.2mm-25~30mm(タイル仕上げ+パネル薄肉板厚) 施工位置: タイル交点目地4点	-	補修工法 ①
No.6	EC専用ネジ: φ4mm、長さ33mm	アンカー5箇所: φ3.2mm-25~30mm(タイル仕上げ+パネル薄肉板厚) 施工位置: タイル交点目地4点+タイル間目地1点	-	
No.7	EC専用ネジ: φ4mm、長さ33mm	アンカー8箇所: φ3.2mm-25~30mm(タイル仕上げ+パネル薄肉板厚) 施工位置: タイル交点目地8点	-	
No.8	ECP用リベットアンカー: φ4.5mm、長さ28mm	樹脂注入4箇所: φ4.0mm-穴深さ仕上げ厚さ+2mm深さ(パネル表面) アンカー4箇所: φ5mm-仕上げ厚さ+15mm深さ	2液形エポキシ樹脂系注入剤: 平均38.8ml/箇所 (浮き厚0.1mm-直径20cm想定)	補修工法 ②
No.9	-	樹脂注入8箇所: φ4.0mm-穴深さ仕上げ厚さ+2mm深さ(パネル表面)	2液形エポキシ樹脂系注入剤: 平均38.8ml/箇所 (浮き厚0.1mm-直径20cm想定)	補修工法 ③

このためタイル仕上げの剥落の抑制にはアンカーピンの施工は本数よりもバランスのとれた配置が重要であると考えられる。樹脂注入補修工法はタイル目地が損傷しにくく剥落しなかったと考えられる。また、樹脂を浮き部に充填させるためには、ドリル穿孔深さはタイル仕上げ厚さ+2mm程度とすると良いことも確認できた。最後に、補修工法としては、剥落防止が重要であるが、ECPの変形に対する性能低下がどう影響するのかは、一方向の曲げ試験だけでは確認しにくいことも分かった。剥落抵抗性の実験の方法としては、繰り返しの変形に関して確認する必要がある、今後評価手法について検討したい。

[成果の活用]

本研究の成果は、外壁補修の技術資料として反映することが期待できる。

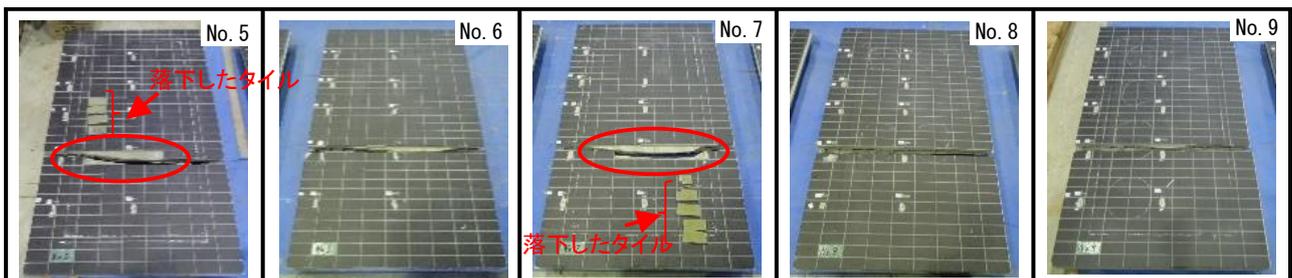


写真-1 曲げ強度後の補修試験体

コンクリート中の塩化物量測定器の技術評価に関する研究

Research on Technical Evaluation of Chloride Content Measuring Instrument in Concrete

(研究期間 令和3年度～令和4年度)

建築研究部 材料・部材基準研究室

室長 三島 直生

〔研究目的及び経緯〕

鉄筋コンクリート構造物の耐久性確保を目的として、S61 建設省通達以降、コンクリート中の塩化物量(CL換算)を $0.3\text{kg}/\text{m}^3$ 以下とする総量規制が導入されている。この総量規制の特徴は、直接フレッシュコンクリートに対して用いることのできる塩化物量測定器によるとしている点である。同測定器については、現在は新規の技術評価を終了しているため、新しい試験器および新しいタイプのコンクリートに対する技術評価が実施できない状態が続いている。以上より、本研究では、各種のコンクリートを用いて現在入手可能な塩化物量試験器に対する測定精度の検証実験を実施するとともに、塩化物量試験器に対する新たな技術評価基準を開発することを目的とする。

本年度は、水セメント比および混和剤種類を主要因として、塩化物イオン濃度の異なるフレッシュコンクリートを作製し、現在実務で使用されている5種類の塩化物量試験器による評価実験を行った。次年度の実験計画としては、混和材、経時変化およびコンクリート温度を要因とした実験を実施する予定である。

慣性力と強制変形を受ける非構造部材の地震応答に関する基礎的研究

Analytical Research on Seismic Response of Nonstructural Components Subject to Inertial Forces and Relative Displacements of Their Supports

(研究期間 令和2年度～令和3年度)

建築研究部 評価システム研究室

室 長

石原 直

Building Department, Evaluation System Division Head

ISHIHARA Tadashi

In the seismic design of secondary systems (SS) such as nonstructural components, inertial and relative displacement effects are usually considered independently. But the reason for this independence is not clarified enough. In this paper, seismic responses due to both effects are studied for SS modeled as light-weight bending beams fixed to the upper and/or lower floors in a multistory building. Structural frames of buildings and SS are assumed to be linear. A modal analysis method for them is derived. The results indicate that the both effects should be appropriately combined.

[研究目的及び経緯]

熊本地震などの近年の地震被害を踏まえ、地震時の脱落等による危険性の回避（安全性の確保）はもとより、地震直後の建築物としての機能継続に関するニーズは近年高まっており、非構造部材の耐震設計や診断などにも注目が集まっている。学会指針¹⁾では非構造部材に生じる「慣性力」と「強制変形」を「それぞれ独立に検討する」こととしているが、その技術的根拠は十分には明らかにされていない。両者は別々に作用するわけではないので、どのような場合にどのように組合せて設計に用いるべきか、判断の目安や組合せ方に関する学術的・技術的な根拠資料の充実が求められている。原子力施設の配管を想定して高度な計算手法を示した研究は1980年代にいくつか見られるが、「慣性力」と「強制変形」を同時に受ける建築物の非構造部材を対象として両者の影響度合いや支配的要因を示した基礎的・実用的研究は見当たらない。

本研究では「慣性力」と「強制変形」による応力の大小や両者の位相（同時性）等を明らかにすることで非構造部材の耐震設計に資する技術的資料をまとめることを目的とする。

[研究内容]

本研究では多層建築物内の上下の床に固定された非

構造部材を軽量な曲げ棒でモデル化し、地震時の慣性力と強制変形について数値解析により考察する。図-1に対象モデルを示す。構造躯体(PS)の床(又は屋根)に非構造部材(SS)を表す様な曲げ棒の上下端が取り付けられている。PSは多質点のせん断型モデルで表現する。本稿では許容応力度設計を前提として、PS、SSとも線形弾性で、微小変位を仮定する。PSに比べSSは軽量で、SSの応答がPSの挙動に影響を与えないとする。

図-2にSSの境界条件(B.C.)を示す。SSの上下端をピン接合又は剛接合として、4種の組合せPP, FF, FP, PFを考える。なお、PPは本研究に先立って検討したもので²⁾、比較対象である。なお、紙幅の

表に慣性力と強制変形の影響を示す。慣性力は境界条件によらず発生し、SSの上端と下端で地震時の揺れ(入力)が異なるため、いわゆる多点入力の問題となる。PPを除いて強制変形の影響も受ける。

図にモード解析の概念を示す。図の下段がPS、上段がSSである。SSでは強制変形と慣性力を分離して解析を行っている。強制変形はPSの変位を用いて求められる。慣性力は図中に曲線の矢印で示したように、PSのj次に対するSSのn次の等価1自由度系(ESDF)に関する応答を求めること、それらの重ね合わせにより算定される。

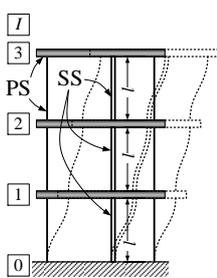


図-1 対象モデル

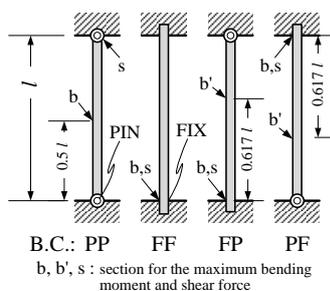


図-2 非構造部材(SS)の境界条件

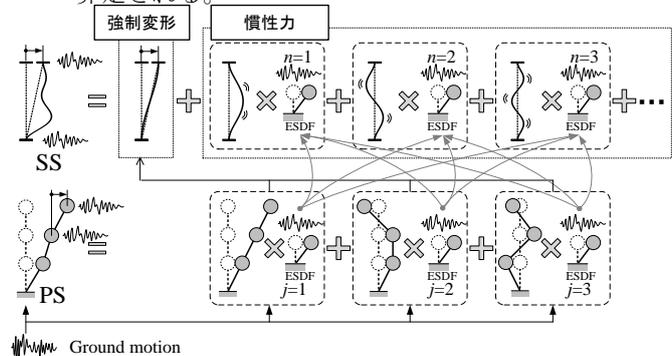


図-3 モード解析

SS の 1 次固有振動数 f_{s1} について、上付き添え字に境界条件の記号を付けて区別し、比で示すと、

$$f_{s1}^{PP} : f_{s1}^{FF} : f_{s1}^{FP} = 1.00 : 2.27 : 1.56$$

となる。PP の部材の両端を固定すると f_{s1} は約 2.3 倍、片端を固定すると約 1.6 倍となる。 f_{s1} の上昇に伴い SS 自身の応答倍率¹⁾が減少して慣性力による応答の減少が期待されるが、強制変形が加わることとなる。

入力地震動は建築基準法の稀に発生する地震動相当の模擬地震動とする。計算に用いる次数は PS では全次数、SS では 10 次までとする。減衰定数は PS、SS の全てのモードで 5% とした。

以下、PP と FF を比較した結果を示す。

Fig. 11 に断面力のピーク値（絶対値の最大値）を示す。縦軸は PS の床番号（図-1）、横軸は曲げモーメント M 又はせん断力 Q のピーク値を SS の重量 W と長さ l で規準化したものである。3 層モデルの各層に設置された SS の結果をまとめて表示しており、凡例の「Sta.」と「Dyn.」は強制変形と慣性力を分けて示している。PP では上層ほど断面力が大きく、各層内で曲げは中央、せん断は上端が大きい。FF では 1 層が小さいものの、3 階と 2 階ではほぼ同じ大きさである。これは層間変位が全層ではほぼ等しく強制変形も互いに同程度になることと、3 階と 2 階で慣性力が同程度であることによる。各層内では下端が大きく、その傾向は曲げで著しい。この例では慣性力が強制変形より大きい。固定端とすることで応答倍率の減少を期待しても、断面力は単純支持 PP と同程度以上になりうるということが分かる。また、慣性力 (Dyn.) だけ又は強制変形 (Sta.) だけでは位置によってはピーク値を下回り、「独立に検討する」ことでは設計用応力として不十分であると言える。

図-5 は SS と PS の 1 次固有周期 T_{s1} と T_{p1} を変数として曲げモーメントの変化を見たものである。図-5 (a) は同一の PS に様々な SS が設置される場合を考慮して横軸を SS の 1 次固有周期 T_{s1} とした場合である。層間変位は一定であり、強制変形 (Sta.) は T_{s1}^2 に反比例するため、短周期になると Sta. は急激に大きくなる。慣性力のみを受ける PP は T_{s1} に対して概ね単調増加となっているのに対して、FF は T_{s1} が短くても長くても曲げモーメントが大きくなる。図-5(b) は同一の SS が様々な PS に設置される場合を考慮して横軸を PS の 1 次固有周期 T_{p1} としたものである。 T_{p1} が長くなると層間変位が大きくなるため、強制変形 (Sta.) は T_{p1} に対して単調増加となる。PP は T_{p1} に対して単調減少であるのに対して、FF は単調増加となっている。

以上から、固定端として振動数を高めることにより応答倍率の減少を期待しても応力は単純支持と同程度以上になりうること、慣性力と強制変形を「独立に検討する」¹⁾と設計用外力として不十分になる場合があることを示すとともに、構造躯体と非構造部材の組合せに応じた断面力の変化を明らかにした。なお、紙幅の

表-1 慣性力と強制変形の影響

	PP	FF	FP	PF
慣性力 (Dyn.)	○	○	○	○
強制変形 (Sta.)	—	○	○	○

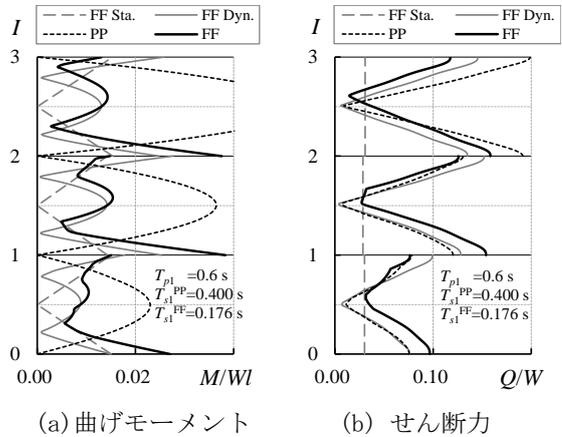


図-4 断面力の分布

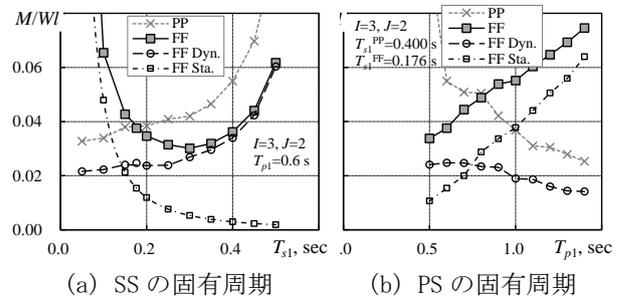


図-5 固有周期に応じた曲げモーメント (3 階)

都合で省略したが、片端のみを固定する FP、PF に関しても類似の傾向があることを把握した。

【成果の活用】

本研究の内容は文献 3)4) で公表しており、指針¹⁾等の改訂に当たり技術的資料として活用されることで、耐震性・機能継続性の社会実装に寄与することが期待される。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 石原直、ほか：上下端ピン支持の曲げ棒でモデル化された非構造部材の地震力に関するモード解析、構造工学論文集、Vol. 66B, pp. 339-344、2020 年
- 3) 石原直、ほか：多層建築物内の上下の床に固定された軽量な曲げ棒に作用する地震時の慣性力と強制変形について、日本建築学会構造系論文集、第 86 巻第 779 号、pp. 43-51、2021 年
<https://doi.org/10.3130/ai.js.86.43>
- 4) 石原直、ほか：多層建築物内の上下の床に固定-ピン支持された軽量な曲げ棒の地震力に関するモード解析、構造工学論文集 B、第 68B 巻、pp. 435-441、2022 年
<https://doi.org/10.3130/ai.jjse.68B.0.435>

地震を受けた拠点建築物の健全性迅速判定技術の開発

Development of Quick Assessment Technology of Disaster Base Building after Earthquake

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

建築研究部 評価システム研究室	室 長	石原 直
Building Department, Evaluation System Division	Head	ISHIHARA Tadashi
建築研究部 構造基準研究室	室 長	喜々津 仁密
Building Department, Structural Standard Division	Head	KIKITSU Hitomitsu
住宅研究部 住宅生産研究室	室 長	脇山 善夫
Housing Department, Housing Production Division	Head	WAKIYAMA Yoshio

After an earthquake, disaster base buildings for emergency management such as city halls of municipalities are needed to be quickly inspected whether they can be entered. But a general and quick inspection method has not been established yet. In this study, (1) engineering criteria for judging the soundness of structural frames of buildings by monitoring response accelerations, and (2) inspection methods for non-structural components such as ceilings after a disaster are examined.

【研究目的及び経緯】

地震被害からの速やかな復旧には、庁舎等が災害対応の拠点となる。過去の地震では、庁舎等が立ち入り可能であるかどうかを専門家が確認するまでに時間がかかり（図-1）復旧の妨げとなった例もある。

本研究は、建築物管理者が立ち入りの可否を判定するのに必要な構造体と非構造部材に関する技術資料を提示することを目的とする。



図-1 地震直後は健全性が不明

【研究内容】

本研究で解決を図る課題は次の2点である。

- 地震直後に構造体の健全性を専門家によらず迅速に判定するには加速度計等の活用が考えられるが、一般的な工学的判定基準が無い。
- 非構造部材の健全性を地震直後に目視点検するための技術資料が未整備。

これらの課題に対して、次の研究を実施した。

- 建築物モデルの構造解析により、加速度計を用いた構造体の健全性判定（図-2）の工学的判定基準を示す。また、実装のための技術的留意事項を整理する。
- 非構造部材の目視点検指針を整備する（吊り天井の損傷評価（図-3）を含む）。

①は、建築物に設置された加速度センサーから地震時に得られる時々刻々変化する特性を数値で捉えて、

構造体の健全性判定のための基準を検討する（図-4）。具体的には、地震時の構造体の固有周期の変化の度合いから構造体の健全性推定を試みる。また、携帯型端末を利用した観測システムを実建築物等に設置して、実装に係る技術的留意事項を抽出する。②は、地震時の非構造部材の損傷評価について現状を整理し、知見が不足している吊り天井の損傷評価に関する実験等を行った上で、健全性判定のための基準等を検討する。

【研究成果】

①に関しては、複数の構造体を検討対象として設定し、地震時の時刻歴応答解析により構造体の損傷の程

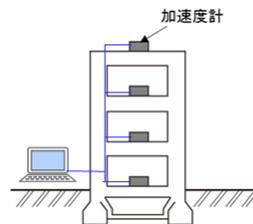


図-2 健全性判定システムの建築物への実装

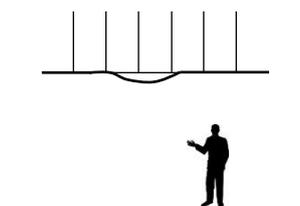


図-3 吊り天井の損傷

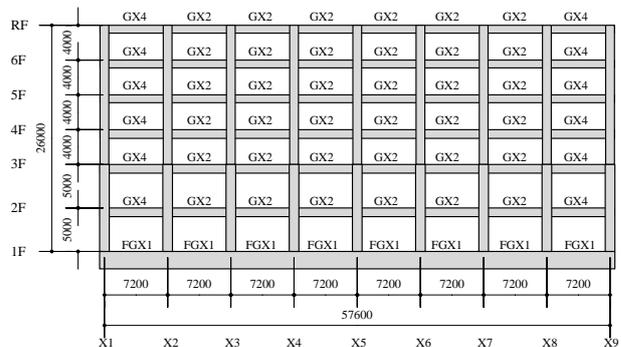


図-4 検討対象の例

度と加速度のデータを生成した。加速度の分析により振動数比（構造体の固有周期の変化割合）を把握し（図-5）、損傷は被災度区分判定基準に従って耐震性能残存率 R を算定した。その上で、振動数比と耐震性能残存率の関係を整理した。耐震性能残存率は 0.95~0.8 のとき「小破」の判定となることを参考として、振動数比の判定基準を設定した（図-6）。その他、実装に係る技術的留意事項や応急危険度判定との関係なども整理し、技術資料としてとりまとめた。

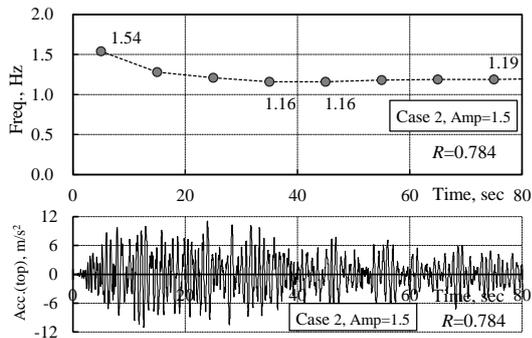


図-5 振動数の評価の例
（上段：評価した振動数、下段：加速度）

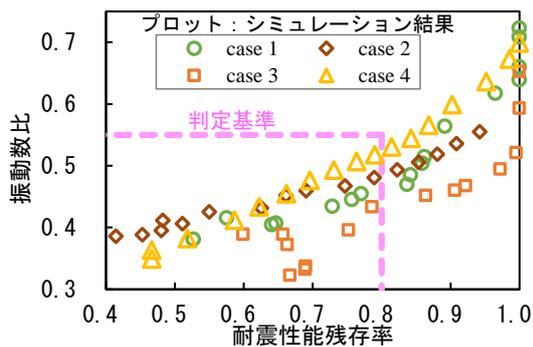


図-6 耐震性能残存率と振動数比の関係

②に関しては、地震後に建築物管理者等の非専門家が建築物の健全性について点検を行うために活用する非構造部材目視点検指針を作成することを目的に、地震時の損傷評価について現状で整備されている既存資料を整理するとともに、地震時の損傷評価について知見が不足している吊り天井については健全性判定のための基準等の作成に向けて実験を実施した。

吊り天井試験体は、下地を公共建築工事標準詳細図の“下地張りのある場合”とし、天井板の下張りがせっこうボード 9.5 mm、仕上げがロックウール化粧吸音板 9 mmとした。平面寸法を 3.6m×4.6m の正方形とし、天井高は一般的な事務室を踏まえて 2.6m とした（図-7）。

上記試験体について、模擬する地震時の損傷として、クリップの外れと、吊りボルトの吊り元の外れについて、それぞれ実験を実施した。両外れ方について、天井周囲の辺から外れる 2 ケース、隅から外れる 1 ケース、中心部から外れる 1 ケースを設定して、クリップが 1 個外れる毎に天井面の垂れ下がり計測・記録した。

実験結果として、天井面の隅（図-7 の赤丸箇所 A1）に近い方から順々にクリップ（天井裏に格子状に配置されている）を外した場合について、外したクリップの個数とその際の天井面各点（図-7 中の A1~F1）の垂れ下がり（初期値を 0 とする）をプロットしたものが図-8、最大の垂れ下がりを生じる A1 について、外したクリップの個数と A1 の垂れ下がり（初期値を 0 とする）をプロットしたものが図-9 である。各試験体について同様に、クリップや吊り元の外した個数と天井面の垂れ下がり寸法、また、その際の天井の状況を室内側や天井裏側から見た写真記録等と合わせて、地震時に建築物の健全性を判定する上での吊り天井点検に活用できる技術資料として整理した。



図-7 吊り天井試験体

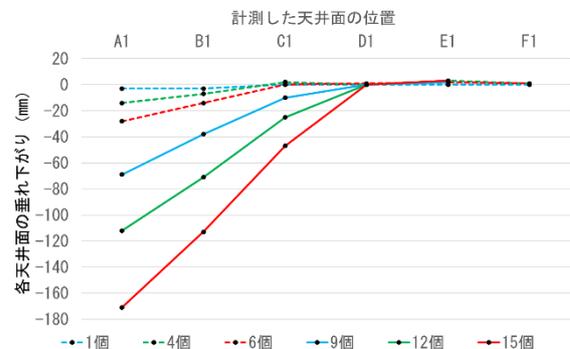


図-8 外したクリップ数と天井面垂れ下がり

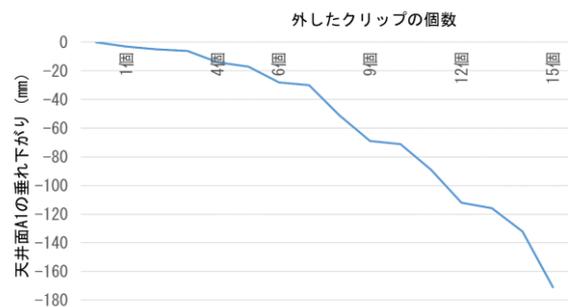


図-9 最も垂れ下がりの大きい A1 の垂れ下がり

【成果の活用】

本研究の成果は国総研資料に取りまとめ、庁舎等の拠点建築物において地震後の健全性判定の迅速化に資する技術資料として活用されることを期待している。

迅速な被災度等判定システム及びデータプラットフォームの構築に関する研究

A Study on the Development of Rapid Assessment Method of Buildings after an Earthquake and Its Related Data Platform

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

建築研究部 評価システム研究室	室長	石原 直
Building Department, Evaluation System Division	Head	ISHIHARA Tadashi
建築研究部 構造基準研究室	室長	喜々津 仁密
Building Department, Structural Standard Division	Head	KIKITSU Hitomitsu

After an earthquake, it is necessary to quickly grasp the damage situation. In the event of a severe earthquake, it will take a long time to grasp the situation due to the lack of specialists for judgment. In this study, the judgment criteria for the soundness of buildings have been examined aiming to effectively utilize structural health monitoring without relying on human power.

〔研究目的及び経緯〕

地震発生時には迅速かつ適確な建物被災状況把握を行い、即時に開設する避難所や役所庁舎等の拠点建築物の健全性を判定する必要がある。しかし、現状の地震直後の被災建築物の健全性判定は、主に外観の目視等からの総合的な判定に依っており、大地震時には判定士の不足等により非常に時間を要する。例えば、熊本地震レベルの応急危険度判定でも1か月以上を要した。以上の背景を踏まえて本研究は、膨大な被災建築物の健全性判定について、人力に依拠しないAI、IoT技術等を活用したシステムの構築について諸検討を行うものである。国総研は当該システムのうち、タイトルの前半にある「迅速な被災度等判定システム」として、構造ヘルスマモニタリング(SHM)の加速度記録に基づく判定基準の策定について検討した(後半の「データプラットフォームの構築」は建築研究所が担当)。なお、本研究は国総研の事項立て「地震を受けた拠点建築物の健全性迅速判定技術の開発」(令和元年度～令和3年度)を元施策とするアドオンの課題として実施したものであり、事項立てでの対象を拡張する形で検討を行った。

令和元年度は、鉄筋コンクリート造の中低層建築物モデルを対象にした時刻歴応答解析により、地震時の建築物の特性と損傷度合いとの関係を明らかにし、判定基準(案)を策定した。

令和2年度は、耐震壁付きやピロティ架構の鉄筋コンクリート造を想定した対象モデルを追加した上で、昨年度に引き続き振動数の変化と耐震性能残存率の関係について時刻歴応答解析を通じて検討した。それらの結果を踏まえ、地震時の様々な壊れ方に対する構造健全性判定基準を検討した。

令和3年度は、令和2年度までに検討した判定基準が定量的な指標のある被災度区分判定¹⁾に基づいて検討したものであるため、地震後の数日のうちに実施される応急危険度判定²⁾との関係を整理した。応急危険度判定の適用範囲拡大と迅速化を図ろうとする動き³⁾も出てきていたため、最新動向にも着目して検討を行った。

〔研究内容〕

令和元年度及び2年度は、上記事項立てでの対象を拡張する形で検討を行った。複数の構造体を検討対象として設定し、地震時の時刻歴応答解析により構造体の損傷の程度と加速度のデータを生成した。加速度の分析により振動数比(構造体の固有周期の変化割合)を把握し、損傷は被災度区分判定¹⁾に従って耐震性能残存率Rを算定した。その上で、振動数比と耐震性能残存率の関係を整理した。耐震性能残存率は0.95～0.8のとき「小破」の判定となることを参考として、振動数比の判定基準を設定した。

令和3年度の前半の検討では、まず、2015年度版の被災度区分判定基準¹⁾における改定の趣旨について整理し、特に、耐震性能残存率Rの算定法に追加された全体崩壊形式(図-1)の考え方について調査した。

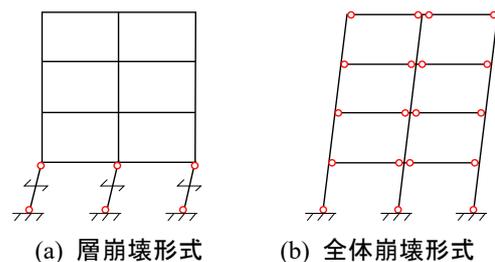


図-1 建築物の崩壊形式

続いて、応急危険度判定と被災度区分判定の対応関係について、仮定に基づき数例の検討を行った。その結果、応急危険度判定と被災度区分判定の境界は必ずしも厳密に一致するものではないが、おおむね「調査済み」は「軽微」以下、「要注意」は「小破」、「危険」は「中破」以上の被災度区分に対応すると考えられた。さらに、判定基準との関係から初期剛性に対する割線剛性低下率について検討したところ、大まかには応急危険度判定の「調査済み」（判定ステッカーが緑色）では1.0~0.5程度、「要注意」（同黄色）では0.5~0.25程度と考えられた。振動数は割線剛性の平方根に比例すると考えると、「調査済み」は1.0~0.71となった。これは令和2年度まで検討した振動数に基づく判定基準と比較して高めの値となった。そこで仮定の見直しなどを行って改めて両判定の比較を行うとともに、技術評価³⁾における考え方を調査することとした。

応急危険度判定と被災度区分判定については検討範囲を拡張し、乱数により損傷度0~Vの本数の割合を発生させ、それぞれの損傷割合を用いて両者の関係を検討した。各損傷度を一律に発生させると大破/全損に分類される建物がほとんどになってしまうため、発生する本数は損傷度0~IIに対して、最大でもIIIは30%、IVは20%、Vは15%とした。なお、損傷度の計算では曲げ柱を想定した。10,000ケースを発生させ、被災度区分判定における耐震性能残存率Rを算定するとともに、応急危険度判定では、損傷度IVおよびVの部材のみに着目し、それらの部材数の全部材数に対する比率から「調査済み」等に分類した。図-2に両判定を比較して示す。横軸はRの範囲、縦軸は度数（件数）であり、凡例で応急危険度判定の結果を分けて示してある。図の下には被災度区分判定の結果を併記する。図からも分かるとおり、応急危険度判定結果とRには明確な関係は見出すことができなかった。これは、応急危険度判定では損傷度0~IIIの部材の有無を無視しているためである。

技術評価では性能曲線を用いて「KA 閾値」の概念が示されている。被災度区分判定の「大破」は、「再度、本震と同じ地震が発生した場合、建物が倒壊に至る危険性が極めて高い状態」と定義し、性能曲線上で各被災度区分の終了点は次のように整理された（図-3）。

- ・ 無被害：弾性限界
- ・ 軽微：概ねヒンジが発生し、接線剛性が大きく低下する点（降伏点、第2折れ点）(a)
- ・ 小破：(a)点以降で、(c)点までのひずみエネルギーの余裕度が2倍を下回る点。(a)点と(c)点の midpoint (b)となる。
- ・ 中破：2回同じ地震力を受けるとちょうど安全限界点に達する時の、1回目の地震力を受けた時の応答点(c)

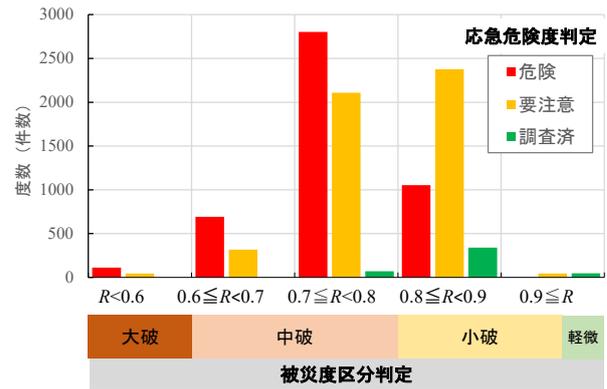


図-2 応急危険度判定と被災度区分判定の比較

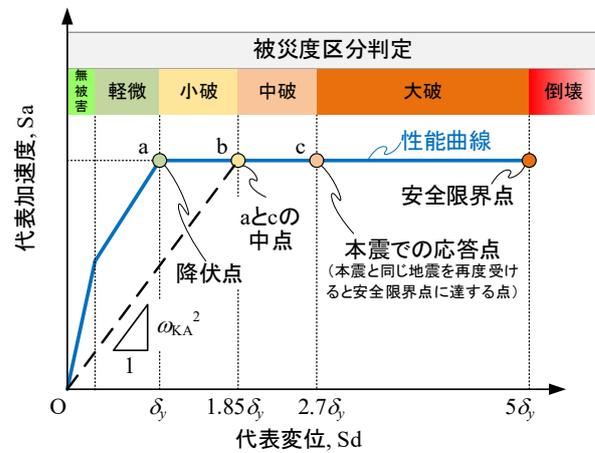


図-3 性能曲線と被災度区分の関係
(安全限界変位が $5\delta_y$ の場合)

技術評価³⁾における「KA 閾値」を参照して、割線剛性低下率を検討した。降伏点割線剛性を初期剛性の1/3と仮定して、性能曲線上の「小破」の限界点を通る割線剛性（図-3中の ω_{KA}^2 ）の初期剛性に対する比から振動数低下率を評価すると、0.6から0.4の範囲となり、令和2年度までの健全性の判定基準と概ね整合することが確認できた。

[成果の活用]

本研究の成果は、元施策の成果とともに地震後の迅速な健全性判定に役立てられ、ひいては災害対応の迅速化やレジリエンスの向上への寄与が期待される。

[参考文献]

- 1) 2015年改訂版 再使用の可能性を判定し、復旧するための震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針、日本建築防災協会、2015年
- 2) 被災建築物応急危険度判定マニュアル、日本建築防災協会、1998年
- 3) 応急危険度判定基準に基づく構造モニタリングシステム技術評価、日本建築防災協会

<https://www.kenchiku-bosai.or.jp/evaluation/monitoring/>

木質構造における柱梁接合部パネルの耐力評価法に関する基礎的研究

Research on design method of beam-to-column joint part in timber structure.

(研究期間 令和3年度～令和4年度)

建築研究部 評価システム研究室

主任研究官 秋山 信彦

[研究目的及び経緯]

建築分野における木材利用拡大のため、大型木造建築物の構造設計技術の整備が求められている。本研究では、その標準的な構造形式の一つとなり得る木質ラーメン構造を対象として、柱梁接合部パネルの耐力評価法確立を最終目標としている。

今年度は、柱梁接合部パネルの耐力の決定要因のひとつであるせん断強度について、文献調査を実施してせん断面積との相関関係や補足が必要な基礎データの不足範囲を把握するとともに、既存の標準接合部を応力伝達形式に基づき整理して類型化し、それらのせん断応力分布の違いなどを解析的に確認した。

鋼板挿入式集成材ブレース耐力壁の靱性能評価に関する研究

Study on ductility evaluation for glulam bracing shear wall with steel-plate-inserted joint

(研究期間 令和2年度～令和4年度)

建築研究部 評価システム研究室

主任研究官 秋山 信彦

[研究目的及び経緯]

鋼板挿入式集成材ブレース耐力壁は、非住宅規模の木造建築物に対して、標準的に導入される耐震要素であるが、大地震時の安全性を担保することが強く求められる中で、終局時の靱性能を考慮する評価方法が指針類に示されていないのが現状である。この耐力壁における塑性変形要素はブレース端部の鋼板挿入ドリフトピン接合であるが、割裂破壊が先行して終局時の靱性能が十分に得られないことが問題となっている。本研究では、割裂が想定される部分に全ねじスクリューを打込む方法で割裂抑制することを前提として、終局時の耐力・変形能を確保できる鋼板挿入ドリフトピン接合の仕様検討とそれを用いたブレース耐力壁の靱性能評価技術の検討を行う。

令和3年度は、昨年度に成果により得られた割裂が抑制され変形能が確保できる全ねじビスを打込んだ補強仕様を対象として、ドリフトピンで破断する場合の終局変形性について、ドリフトピンの鋼種や径、開き止めの有無等が及ぼす影響について実験的に把握した。