

2.2.8 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	部 長	福山 洋	建築品質研究官	大飼 瑞郎
建築研究部 基準認証システム研究室	室 長	中澤 篤志	主任研究官	荒木 康弘
	主任研究官	坂下 雅信	主任研究官	毎田 悠承
建築研究部 構造基準研究室	室 長	喜々津 仁密	主任研究官	宮村 雅史
			研 究 官	三木 徳人
建築研究部 防火基準研究室	室 長	成瀬 友宏	主任研究官	鈴木 淳一
	主任研究官	樋本 圭佑	主任研究官	水上 点晴
建築研究部 設備基準研究室	室 長	平光 厚雄		
建築研究部 材料・部材基準研究室	室 長	脇山 善夫	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	研 究 官	秋山 信彦

[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。その実現のため、CLT 等の木質系大型パネルを用いた木造と他構造種別等の中層木質混構造建築物に関する、一般技術を用いた、構造設計法、防耐火設計法、及び耐久設計法等が求められていることから、その整備に資する技術開発を行う。

本年度は、CLT+集成材、S 骨組+CLT のプロトタイプの設定の検討、プロトタイプ構造について構造試設計を行い、防耐火の観点も加え、現行防火規定および防火避難総プロの成果に基づく、防火区画のあり方と主要構造部の必要性能の明確化、及び木質材料を用いた混構造建築物の耐久性能を検討するため、既存の中・大規模木造建築物の事例の収集・整理等を行った。

間接接合法によりダンパーを取り付けた RC 造建築物のダンパー接合部挙動把握および構造性能評価

Damper connection behavior and structural performance evaluation of RC buildings with damper attached by indirect joining method

建築研究部 基準認証システム研究室

(研究期間 令和元年度～令和2年度)
主任研究官 毎田 悠承

[研究目的及び経緯]

RC 躯体同士や、RC 躯体と異種部材の接合法の一つに、あと施工アンカーや頭付きスタッドなどのせん断抵抗要素と充填モルタルを使用した間接接合法があるが、ダンパー接合部のようにせん断力だけでなく、引張・圧縮なども作用する複合応力下における力学挙動は解明されていない。そのため、間接接合法によりダンパーを活用した RC 造建築物について、ダンパー接合部、部分架構の構造実験を行い、ダンパー接合部挙動を把握するとともに、建築物全体の構造性能評価法を検討する。

令和元年度は、間接接合部の基本的な力学挙動の把握を目的とし、RC 造部材と鋼部材との間接接合部の要素実験を行い、各接合部の耐力評価法などを検討した。

今後は、適切な間接接合法を選定し、その工法によりダンパーを取り付けた RC 架構の構造性能評価などを行う予定である。

3次元载荷を受ける耐震壁の耐力、変形性能および破壊性状解明と最適な設計手法の開発

Lateral load carrying capacity, deformation capacity and failure mechanism of structural walls under three-dimensional loading

建築研究部 基準認証システム研究室

(研究期間 平成30年度～令和2年度)
主任研究官 坂下 雅信

[研究目的及び経緯]

鉄筋コンクリート造集合住宅では、桁行方向を柱梁骨組とし、スパン方向に耐震壁を設置することが多い。このため、地震時桁行方向への変形は、スパン方向の変形と比べて大きくなりやすいが、二方向への载荷を同時に受ける耐震壁の研究は多くはなく、面外変形が耐震壁に与える影響については、現行の設計体系の中でほとんど考慮されていない。本研究では、軸力と水平二方向からなる3次元载荷を受ける鉄筋コンクリート造耐震壁の破壊モード、耐力、変形能力を十分な精度で把握できる評価法を開発し、より適切な耐震壁の利用法を提案することである。

令和元年度は、実大の30%スケールの鉄筋コンクリート造耐震壁試験体を用いた载荷実験を実施し、実験パラメータである面外方向の変形量や変動軸力が、耐震壁の構造性能に及ぼす影響についての検証を行った。

大判木質パネルの特性を最大限に活かした高可用型木質混構造の性能把握と評価

Maintenance of laboratory facility to acquire data for the river management plans

建築研究部 基準認証システム研究室

(研究期間 令和元年度～令和4年度)
主任研究官 荒木 康弘

[研究目的及び経緯]

中層建物の木造化技術において、大判木質パネルを複数層にまたがる連層壁とすることで、そのせん断性能を最大限に発揮しうる高耐震性能を持つ構法を提案する。同時に、このような連層壁には様々な機能を付加することが可能である。例えば、大きな鉛直荷重が作用する連層壁のロッキングの効果による地震時の変形を初期位置に戻す自己復元機構や、変形を柱脚部や連続配置した鉛直構面間に集中させることで建物全体の破壊を抑制する損傷制御機構などが考えられ、うまく利用することでレジリエントな建築とすることが出来る。以上のように、本課題では高可用型大判木質パネル連層壁構法の耐震性能に関する技術基盤整備のための知見を得るものである。

令和元年度は、大判木質パネルを複数層にまたがる連層壁を有する実大5層実験を行い、制振デバイスや接合部性能の違いと構造体全体の構造性能との関係について実験的に確認した。

令和2年度は、実大実験結果の要素実験および解析的検討を継続して実施予定である。

コンクリート系骨組への制振ダンパーの合理的活用法の提案と その構造性能評価法の構築

Proposal and structural performance evaluation of rational utilizing method of damper in concrete composite structures frame

建築研究部 基準認証システム研究室

(研究期間 令和元年度～令和3年度)
主任研究官 毎田 悠承

[研究目的及び経緯]

コンクリート系骨組に制振ダンパーを組み込むことは耐震安全性の確保に有効であるにも関わらず、接合形式の違いによる制振効果の定量的評価法がないこと、確立された制振設計法がないことなどの理由から、制振ダンパーは必ずしも活用されていないのが実情である。本研究では、提案した接合方法・形式により制振ダンパーを合理的に活用したコンクリート系骨組について、構造実験と数値解析を行い、この構造の力学挙動および制振効果を明らかにするとともに、構造性能評価法を構築する。

令和元年度は、コンクリート系骨組において、ダンパーを合理的に機能させる手法として、ダンパー力対処用鋼部材を柱・梁架構に通した RC 骨組を対象に、摩擦ダンパー筋違付き RC 門型架構の有限要素解析を行い、その効果を把握した。

今後は、コンクリート系骨組におけるダンパーの接合形式や、種類、減衰力、取り付け角度などの解析パラメータを増やし、より合理的に活用できる方法を検討し、構造性能評価を行う予定である。

木質混構造を活用した復興住宅のデータベースに関する検討

A Study on Database of Reconstruction Housing Utilizing Complexed Wood Structure

建築研究部 基準認証システム研究室

(研究期間 平成29年度～令和2年度)
主任研究官 荒木 康弘
主任研究官 坂下 雅信

[研究目的及び経緯]

首都直下地震等の巨大災害の発生時には、仮設住宅（一時的な住宅）や復興住宅（恒久的な住宅）が大きく不足する。被災者の住まいを早く確保するには、仮設住宅を兼ねた復興住宅の早期建設が期待される。

本研究では、復興住宅等の整備期間の短縮と、平時と異なる建築資材の需給環境下にある被災地域で調達可能な材料の有効活用による、「クイックコンストラクション」に資する木質混構造建築物等の技術開発を実施し、木質混構造建築物の計画・設計・施工を支援するデータベースを構築することとしている。

令和元年度は、平成30年度に検討した木質復興住宅モデルプランの構造性能を確認するための5階建実大実験を実施した。また、木質混構造を活用した復興住宅を早期建設する際の施工上の留意点を、民間施工会社のヒアリングや資料収集を行い取り纏めた。

令和2年度は、CLT耐震壁を用いた鉄骨造集合住宅の構造性能に関する実験と木質復興住宅モデルプランの工期や施工費用に関する技術資料を取り纏める予定である。

迅速な被災建築物判定手法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	建築災害対策研究官	片山 耕治
建築研究部 構造基準研究室	室 長	喜々津 仁密
建築研究部 評価システム研究室	室 長	石原 直
建築研究部 材料・部材基準研究室	室 長	脇山 善夫

[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、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。

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。

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	室 長	喜々津 仁密
---------------	-----	--------

[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)の算定法を構築するものである。竜巻荷重の算定では、地表面付近での気圧降下特性を適切にモデル化する必要がある、流体の基礎方程式に地表面粗度の影響を表す外力項の適用を試みる。このモデルの前提となる速度分布は竜巻状気流発生装置での実験から取得し、導出された気圧降下の傾向を風圧実験や観測事例と比較検証する。そして、既往の風力係数モデルに粗度効果を新たに導入し、竜巻荷重の算定法の体系化を図る。

令和元年度は、「地表面付近での粗度効果と竜巻状気流の特性との関係」を明らかにするため、国内外の地表面付近での竜巻観測結果に関する研究論文の整理と各種実験から気流特性を把握し、それらの結果をモデル展開に反映する流れで研究を実施した。

令和2年度以降も引き続き、地表面粗度の違いを考慮した竜巻状気流の速度分布と床面での気圧降下分布との関係等を把握するための実験を実施する予定である。

木造住宅の耐久性向上に資する外皮の施工監理と住まい手との 情報交換ツールの開発

Development of a tool for the communication which improves the durability of the wooden house.

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

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

主任研究官
Senior Researcher

宮村 雅史
MIYAMURA Masashi

The purpose of this research is to raise the durability of the wooden house. To improve the durability of the wooden house, it was investigated about waterproofness of a wall and a roof. Technical information to a resident was put in order and a tool was made.

〔研究目的及び経緯〕

国総研では、産学官連携の共同研究（合計 24 機関）を 5 年間にわたり実施し、木造住宅の劣化を防止するため雨水浸入や結露に伴う劣化要因と外皮の仕様の選択方法や施工方法についてのガイドラインと、住まい手向けのツールを公表している。しかし、共同研究において、住まい手向けツールに対する時間と担当者の人数は少なく、十分に判りやすい内容とはならなかった。従って、本研究では、ツールの見直しを進めるとともに、現在、設計・施工状況により木造住宅の耐久性へ影響を及ぼしているモルタル外壁と瓦屋根に焦点を当て、情報交換するためのツールを開発した。

〔研究概要〕

1. モルタル外壁の設計・施工実態調査

本来、モルタル外壁は、耐震性の高い外壁であるが、建設現場にて使用されている材料・部材は、日本建築学会 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 15 左官工事で規定されているものよりも性能が低いものが多く、これまで大規模な地震により剥落してきた。設計・施工実態を把握するためアンケート調査した。

1) 調査方法

2020 年 3 月、全国の木造住宅のモルタル外壁の設計、施工、管理の担当者を対象にした調査を実施し、392 件の有効回答を得た。

2) 構法

これまで、2009 年にモルタル外壁の設計・施工実態調査を実施しており、その結果、直張り構法の割合は 72%、通気構法は計 16%、その他は 13%であり、直張り構法が主流であった。2020 年現在、直張り構法は 32%、通気構法は計 55%となり、直張り構法が減少し通気構法が約 3.5 倍普及していた。

一方、窯業系サイディングは、2001 年より通気構法が標準化されており、建築物の耐久性を確保するためにも、通気構法がモルタル外壁の標準構法となること

が望まれる。

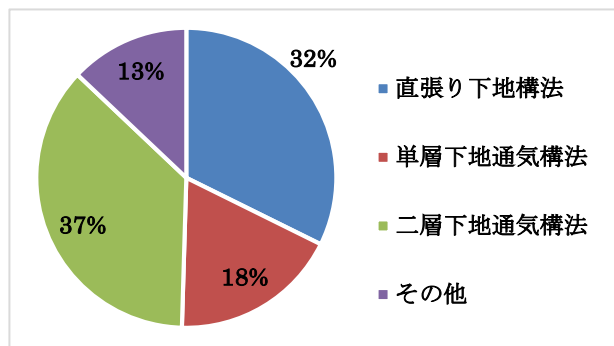


図 1 モルタル外壁に採用している構法

3) 防水紙

二層下地通気構法のモルタルに接する裏面に用いる防水紙の種類は、図 2 の通り「透湿防水シート」との回答が約半数となる 49%、梱包用となる防水紙(8kg/巻、17 kg/巻) が計 28%、アスファルトフェルト 430 および改質アスファルトフェルトが計 21%と最も少なかった。即ち、二層下地において、約 8 割が不適切な防水紙を使用していることになる。

モルタルの裏面に透湿防水シートを使用した場合、モルタル内に含水した水分が日射により室内側へ移動して壁内が高湿度状態となり、劣化リスクが高くなることが考えられる。

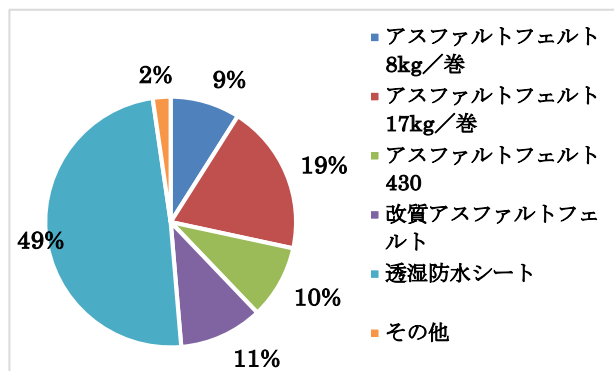


図 2 モルタル裏面に使用する防水紙の種類

4) ラス

二層下地通気構法の一般部に使用するラスの種類は、図3の通り平ラスが47%に至った。平ラスは、モルタル裏面側がモルタルに被覆されずラスが腐食しやすいため、設計施工基準およびJASS 15においても一般部での単独使用は認められていない。

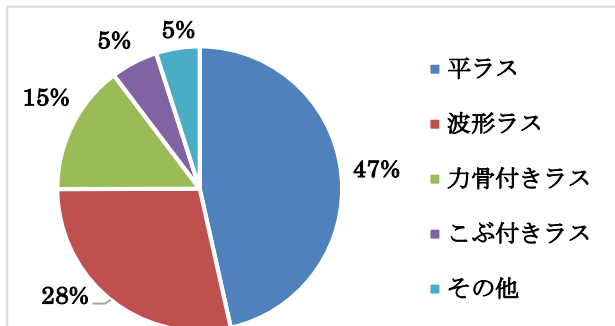


図3 二層下地に使用するラスの種類

5) ステープル

波形ラスを留め付けるステーブルの種類を設問したところ、回答者392名中、1/3以下の129名しか回答されなかった。その回答者の中で、「全てが不明」は77%に至った。一方、「全てを回答」は4%であった(図4)。

ステーブルは、地震時にモルタル外壁の脱落を防止する最も重要な部位であるが、その種類に対する認識が薄いことが明らかとなった。

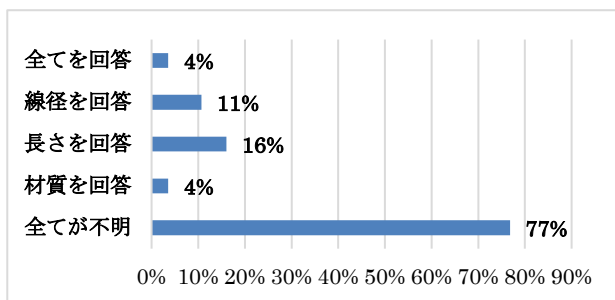


図4 ステーブルの種類に対する回答状況

2. 瓦屋根の設計・施工実態調査

1) 調査方法

2020年3月、全国の木造住宅の瓦屋根の設計、施工、管理の担当者を対象にした調査を実施し、492件の有効回答を得た。

2) 平部の留め付け方法

J形瓦の平部の留め付け方法は、図5の通りとなった。

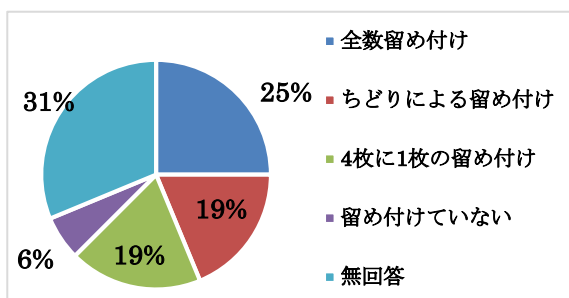


図5 J形瓦の平部の留め付け方法

3) 棟部の留め付け方法

J形瓦の棟部の留め付け方法は、図6の通りとなった。

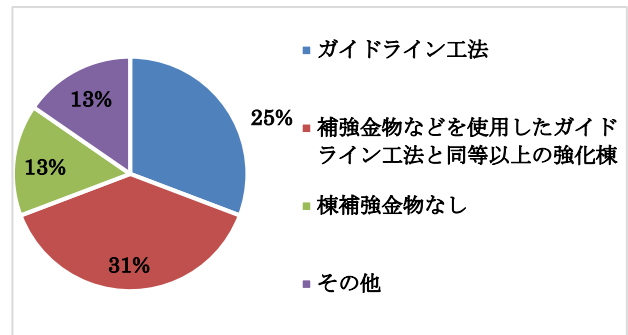


図6 J形瓦の留め付け方法

4) 設計・施工の際に参考になっているもの

瓦屋根の設計および施工の際に参考としている資料を複数回答にて回答してもらった結果、図7の通りとなった。

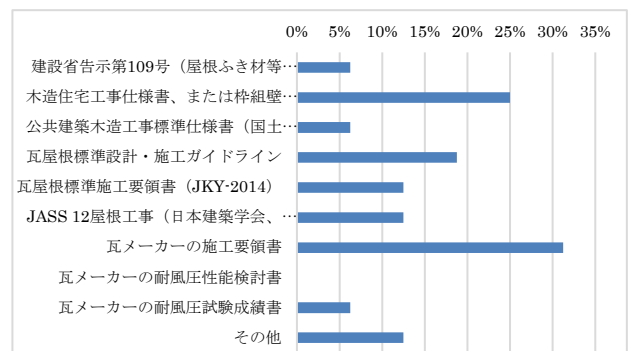


図7 瓦屋根の設計・施工の際に参考としているもの

3. 住まい手向けホームページの作成

本研究および既往の研究の成果を反映した瓦屋根に関する住まい手向けのホームページ「屋根瓦を落とさない・飛ばさないための7つのQ&A」を作成した。このQ&Aは、以下により構成されている。

Q1: 瓦屋根とは、どんな屋根?

Q2: 地震の際、瓦屋根が落下するのは、なぜ?

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?

Q4: 震度7でも瓦は落ちないの?

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?

Q6: ガイドラインの構法で施工する方法は?

Q7: 施工状況を把握する方法は?

[成果の活用]

本研究は、精査した上で、上記のホームページを公開するほか、モルタル外壁および瓦屋根に関する基礎資料として活用する予定である。

[参考文献] 国総研資料 第779号 木造住宅モルタル外壁の設計・施工に関する技術資料、国総研資料 第975号 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

鋼種の違いが鉄骨造柱梁接合部の構造性能に 及ぼす影響に関する研究

Study of the influence of the difference of the steel grade on structural performance of steel
beam-to-column connection

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

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

In recent years, Securement of structural performance which is function continuation in the building after earthquake is being recognized as an important social request. It's necessary to evaluate the relation between the performance of the structure material and the performance of the structural member in order to grasp structural performance of a building. The basically structural performance of steel such as uniform elongation and yield ratio are different, when steel grade is different However, there are almost no technical data about the influence uniform elongation and yield ratio on the performance of the steel member. So It's necessary to create technical data of structural steel.

In this study, in order to evaluate the affect the difference of the steel grade on the deformation capacity of steel beam, cyclic loading tests of beam using 4 kinds of steel grade(SN400B, SN490B, TMCP385B, SA440B) and material tests were conducted.

【研究目的及び経緯】

近年では、地震動に対する建物の機能継続も踏まえた耐震性能の確保が、重要な社会的要請として認識されつつある。また、現在、鋼材の一樣伸びや降伏比が部材の性能に及ぼす影響の技術資料がほとんどないため、基礎資料を整備しておく必要がある。

本研究では、鉄骨造柱梁接合部の変形性能を定量的に把握するための基礎資料として、鋼種毎に部材性能がどの程度変化するか検討するため、材料試験と、柱梁接合部実験を様々な鋼種について行う。

【研究内容】

1. 鋼種の違いに着目した梁端接合部の実験

繰り返し荷重を受ける鋼構造梁端接合部の変形性能については、これまで多くの研究が行われてきており、梁フランジの破断で決まる変形性能が検討されている。梁端接合部における破断で決まる塑性変形能力は、梁の断面形状、使用鋼材、ウェブのモーメント伝達効率といった梁端接合部における条件の他に、载荷履歴の影響を受ける。特に単調载荷に近いような、数回の大振幅の変位履歴を受ける場合において、梁の塑性変形能力は、鋼材の伸び能力(一樣伸び)の影響を受けることが考えられるが、一樣伸びと梁の塑性変形能力の関係に着目した検討はほとんど行われていない。

そこで本研究では、梁の変形性能に及ぼす一樣伸びおよび降伏比といった鋼種の違いの影響を検討するために、SN400B、SN490B、TMCP385B および SA440B の

4 種類の鋼種を用いた梁端接合部の繰り返し载荷実験及び材料試験を行った。

試験体形状を図 1 に示す。試験体は、H 形断面梁(BH-600×200×12×19)を治具である柱に溶接した柱梁接合部形式(SA440B)と、エンドプレート(PL50)に溶接したエンドプレート形式(SN400B、SN490B、TMCP385)とし、4 体用意した。ここで、SA440B に梁ウェブに用いた板厚 12mm の鋼板は、規格にないため、梁フランジに用いた板厚 19mm の鋼板を削り出して製作した。

フランジ溶接部は、JASS6 準拠の複合円タイプのスカラップ接合とし、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。梁端の溶接は半自動 CO₂ ガスシールドアーク溶接によって行い、溶接ワイヤーは SN400B 試験体では YGW11、SN490B、TMCP385B 試験体では YGW18、SA440B 試験体では G59JA1UC3M1T を用いた。梁長さは 3000mm とした。

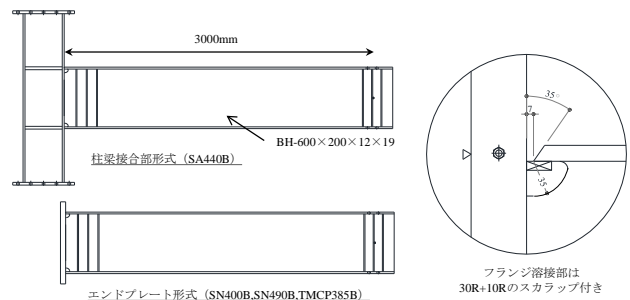


図 1 試験体概形

実験のセットアップを図2に示す。試験体は、梁を鉛直に、柱を水平にした状態で反力フレームに固定し、梁先端にオイルジャッキを取り付けて载荷を行う。

载荷履歴は、漸増変位振幅繰り返し载荷を行った。

試験体の変形は、変位計により計測し、試験体に作用するせん断力は、ジャッキ先端に組み込まれたロードセルにより計測した。

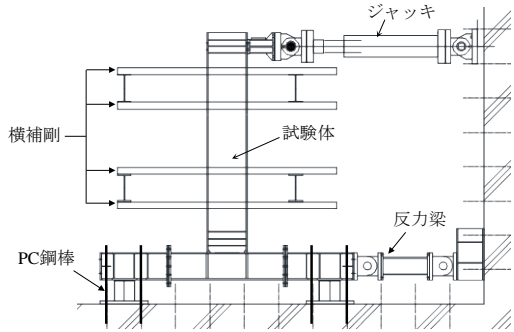


図2 実験セットアップ

[研究成果]

(1) 鋼材の材料試験結果

素材試験の結果を図3、4、表1に示す。図3から、降伏耐力が高くなるにつれて、一様伸びが小さくなっていること、また図4より、降伏耐力が高くなるにつれて、降伏比も高くなっていることが分かる。

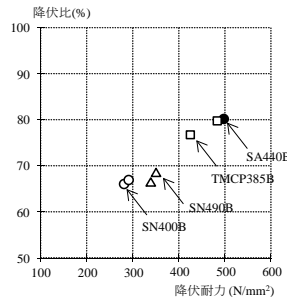
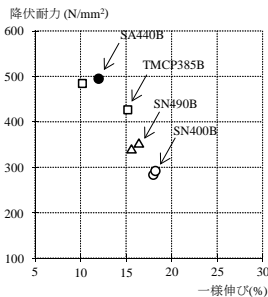


図3 降伏耐力と一様伸び 図4 降伏耐力と降伏比

表1 素材試験結果一覧

鋼種	公称板厚	実測板厚 (mm)	降伏耐力 (N/mm ²)	引張耐力 (N/mm ²)	降伏比 (%)	破断伸び (%)	一様伸び (%)
SN400B	12	12.0	292	435	67	29	18
	19	18.9	283	428	66	30	18
SN490B	12	12.0	338	510	66	25	16
	19	19.2	352	515	68	29	16
TMCP385	12	12.1	426	553	77	24	15
	19	18.9	483	606	80	21	10
SA440B	19	19.0	495	617	80	19	12

ここで、実測板厚は、試験体の断面3箇所での計測値の平均とした。降伏応力度は、0.2%オフセット耐力とした。引張耐力は、実験における応力度の最大値である。降伏比は、降伏耐力を引張耐力で除したものである。一様伸びは、引張耐力時の塑性ひずみである。破断伸びは、試験体破断後に破断面を突き合わせた状態で評点間距離を計測し、(試験前の評点間距離-破断後の評点間距離) / 試験前の評点間距離で算出した値である。

(2) 鋼種の違いに着目した梁端接合部の実験結果

実験より得られた荷重-変形関係を図5に示す。図中には全塑性耐力および弾性剛性の計算値を破線で示している。また図中の△はスカラップ底に生じた亀裂の

進展に伴い、急激に耐力が低下し始めた時点を示している。全試験体において、スカラップ底に生じた亀裂がフランジ表面まで貫通し、最終的に片側のフランジが全断面破断した。写真1に試験体の終局状態の一例を示す。

ここで、塑性変形能力と、鋼種の違いについて検討する。塑性変形能力の指標には、最終的に片側の梁フランジが全断面破断した側の骨格曲線における最大変形角から弾性変形角を差し引いた塑性変形角 θ_{ps} を用いて、一様伸び及び梁フランジの降伏比との関係で図6、7に示す。図6から、一様伸びが小さくなるにつれて塑性変形能力が小さくなっていることが分かる。また、図7から降伏比が大きくなるにつれて、塑性変形能力が小さくなっていることが見てとれる。

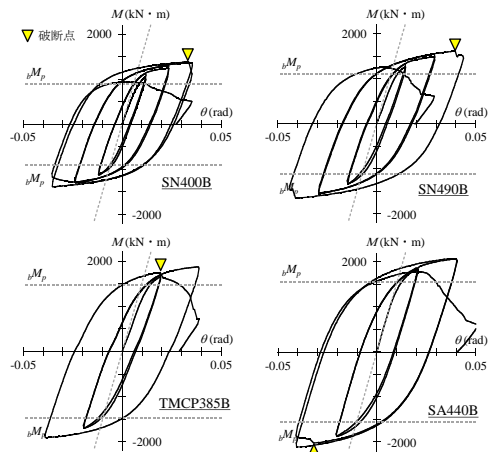


図5 荷重-変形関係



(SN400B) (SA440B)

写真1 終局状態の一例

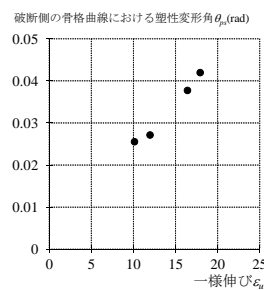


図6 θ_{ps} - ϵ_u 関係

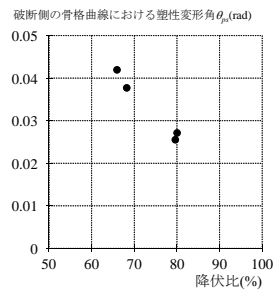


図7 θ_{ps} -降伏比関係

[成果の活用]

本調査結果は、鉄骨造建築物の構造的な性能に係るガイドラインや指針等を改定する際の基礎資料として活用する予定である。

隣棟延焼過程における火災外力評価手法の高度化

Advancement of the Hazard Evaluation Method for Building-to-building Fire Spread

(研究期間 平成30年度～令和元年度)

建築研究部 防火基準研究室

主任研究官

樋本 圭佑

Building Department

Senior Researcher

HIMOTO Keisuke

Fire Standards Division

Two independent vulnerability functions are developed for assessing the resistance performance of buildings against fire spread using the 2016 Itoigawa fire data. One is the vulnerability functions that assesses the fire spread probability based on the radiant heat flux from adjacent fire involved buildings whose model parameters are determined based on the fire record. The other is the vulnerability functions that assesses the fire spread probability by comparing the equivalent fire duration and the fire resistance time of the exterior building member under the heating from the ISO standard fire curve. The agreement between the calculated fire spread probability and the ratio of fire spread in the 2016 Itoigawa fire was reasonable for both of the vulnerability functions.

〔研究目的及び経緯〕

脆弱性関数は、建築物に対する外力とそれに対する抵抗性能を比較的簡便に評価する枠組みとして広く使われてきた。ただし、その多くは建築物の耐震性能や耐津波性能を評価するもので、市街地火災に対する建築物の延焼抵抗性能を評価するために利用された例はない。これは、過去の市街地火災における延焼過程を精度よく把握することが困難で、脆弱性関数のモデル定数の推定に必要な統計データが十分に収集されてこなかったためである。こうした中で発生した2016年糸魚川市火災では、地域住民やテレビ局などによる映像記録が多数残された。これにより、どのような経路を経て延焼拡大が起こったのかについて、比較的詳細な記録が得られることとなった。本研究では、この記録を用いることで、市街地火災に対する建築物の延焼抵抗性能を評価する2種類の脆弱性関数を開発した。

〔研究内容〕

1. 放射熱流束に基づく脆弱性関数の開発

分析対象区域および、その中に建つ建物の内訳を図1および表1に示す。分析対象区域は、焼損区域とそこから一定の熱的な影響を受けたと考えられる周縁区域を合わせたものとした。分析対象区域内の建物の総数は354棟となった。

ここではまず、個々の建物に対して延焼を及ぼす可能性があった建物を抽出した。ここに、調査報告に示される延焼動態図を重ね合わせ、延焼が及んだ時間の前後関係を比較することで、着目する建物に対して、実際に延焼を及ぼした可能性のある建物を抽出した。加熱建物と受熱建物の関係が特定されれば、建物の構造種別や規模、建物間の離隔距離といった条件に基づき、着目する建物に対して伝達された放射熱流束 \dot{q}_R'' を計算することができる。そこで、延焼確率 p を、放射熱流束 \dot{q}_R'' が延焼限界熱流束 $\dot{q}_{R,cr}''$ を上回る確率とみなし、

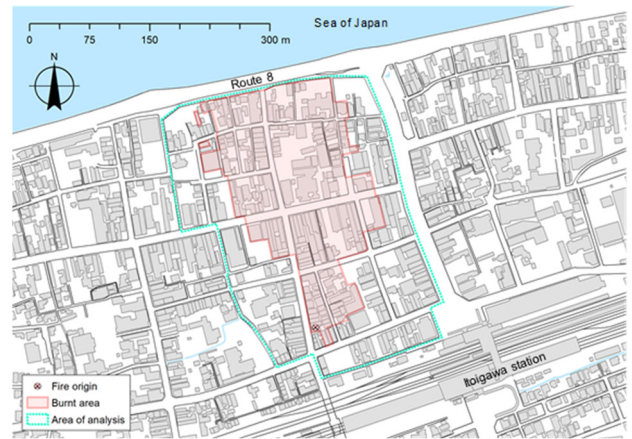


図1 2016年糸魚川市火災における焼損範囲

表1 分析対象とした建物の内訳

構造種別	被害あり	被害なし	計
木造 (W)	108	70	178
防火構造 (FP)	46	30	76
準耐火構造 (QFR)	18	17	35
耐火構造 (FR)	7	6	13
不明	0	52	52
計	179	175	354

$$p = \text{prob}(\dot{q}_R'' > \dot{q}_{R,cr}'') = \Phi\left(\frac{\ln(\dot{q}_R'') - \lambda}{\xi}\right) \quad (1)$$

ここで、 Φ は標準正規分布の累積分布関数、 λ および ξ は、建物に対して延焼が起こる限界放射熱流束 $\dot{q}_{R,cr}''$ の対数値の平均および標準偏差である。なお、本研究では飛び火による延焼を除外した。

2. 加害性指標の同等性に着目した脆弱性関数の開発

上記の脆弱性関数では、過去の火災事例の記録と突き合わせることでしかモデル定数を決定することができないため、サンプル数が少ない構造種別の建物や、従来の分類にはない構造種別の建物については、モデル定数を推定できない。一方、外壁や窓といった建築部材の耐火性能は、一般には、ISO834標準加熱曲線に

基づく耐火試験により調べられ、その水準が性能担保時間 t_R として整理されている。こうした情報を利用できれば、過去の火災事例への依存度が小さい、より一般性の高い脆弱性関数を作れる可能性がある。ただし、建築部材の性能担保時間 t_R は、市街地火災において想定される放射熱流束 q_R'' とは次元が異なる特徴量であり、両者を直接的に比較することはできない。そこで、放射熱流束 q_R'' が継続する時間（加熱側建物の火災継続時間） t_F を、IS0834 標準加熱曲線による加熱の下で、加害性が等価となる火災継続時間 t_F^* に置き換えることで、得られた加害性指標である等価火災継続時間 t_F^* を、建築部材の性能担保時間 t_R と大小比較できるようにする。この場合、火災建物から隣接建物への延焼確率 p は、IS0834 標準加熱曲線による加熱と等価な火災継続時間 t_F^* が、その下での部材の性能担保時間（延焼抵抗時間） t_R を上回る確率として、

$$p = \text{prob}(t_F^* > t_R) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t_R) - \lambda_F}{\xi_F}\right) \quad (2)$$

ただし、 λ_F と ξ_F は対数正規分布の変数であり、等価火災継続時間 t_F^* の平均 μ_F と標準偏差 σ_F を用いて計算することができる。

[研究成果]

1. 放射熱流束に基づく脆弱性関数の開発

構造種別ごとに得られた脆弱性関数(式(1))を、延焼発生比率の記録とともにプロットした結果を図2に示す。ただし、耐火構造(FR)と準耐火構造(QFR)については、サンプル数が少なかったため、データを統合した上でモデル定数を推定した。これによると、同じ放射熱流束 q_R'' を受けた場合には、一貫して木造(W)、防火構造(FP)、耐火構造(FR)／準耐火構造(QFR)の順に延焼が起りやすくなることが示されている。裸木造と防火構造の曲線は、放射熱流束 q_R'' が小さい場合には比較的似通った立ち上がりとなっているものの、放射熱流束 q_R'' が大きくなるに従って、徐々に差が顕著になっている。

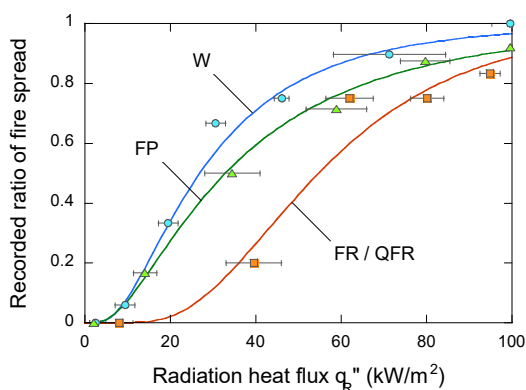


図2 放射熱流束に基づく脆弱性関数

2. 加害性指標の同等性に着目した脆弱性関数の開発

式(2)に示した延焼確率 p の評価式では、加熱側建物の等価火災継続時間 t_F^* と、受熱側建物の耐火時間 t_R を入力変数としている。このうち、等価火災継続時間 t_F^* については、放射熱流束 q_R'' と火災継続時間 t_F より算出することができる。一方、耐火時間 t_R については、防火構造(FP)、準耐火構造(QFR)、耐火構造(FR)については、基準で要求される値をそのまま与えることができる。木造(W)については、その多くが既存不適格建築物で、現行の基準を満たさない仕様で建てられていたため、耐火時間 t_R が不明なままである。ただし、より上位の規格である防火構造(FP)の耐火時間 t_R (30分)を上回することは考えにくいことから、耐火時間 t_R を10分から30分の間で5分刻みで変化させた場合の延焼確率 p を試算した結果、耐火時間 t_R が30分の場合に、記録に基づく延焼比率と計算による延焼確率との一致が最も良かった。

そこで、木造(W)の耐火時間 t_R を30分とした場合の延焼確率 p の計算結果を、その他の構造種別の延焼確率 p の計算結果と合わせて図3に示す。ばらつきはあるものの、いずれの構造種別についても、データ点は対角線の周辺に集まっており、記録に基づく延焼比率と計算による延焼確率は似通った結果を示していることが確認できる。ただし、この中でも、耐火構造(FR)と準耐火構造(QFR)のデータ点は、対角線の左上に位置する傾向が見て取れる。これは、耐火構造(FR)および準耐火構造(QFR)の耐火時間 t_R の値が、基準値よりも小さい方が、記録との一致が良くなることを意味している。現在の脆弱性関数では、建物の外壁部分の耐火時間 t_R を評価し、開口部を覆う窓の性能を考慮していないことが、乖離の一因と考えられる。

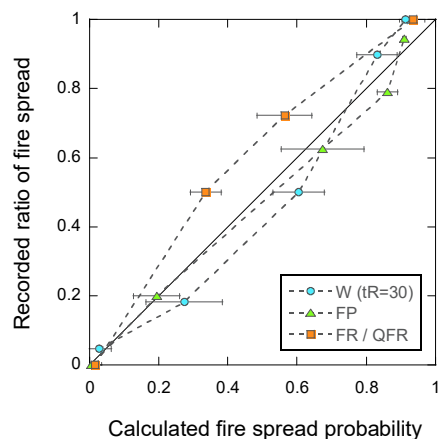


図3 加害性指標の同等性に着目した脆弱性関数

[成果の活用]

本研究の結果は、建築物の防火設計に係るガイドラインや指針等を検討する際の基礎資料として活用する。

耐火性能評価試験法と性能評価方法の合理化に関する研究

Rationalization of verification and fire resistance tests methods for building elements

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

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

成瀬 友宏
NARUSE Tomohiro
鈴木 淳一
SUZUKI Jun-ichi

Fire resistance test methods for building elements, such as ISO834 series and JIS A1304, have been published. They are partially modified and adopted as a verification test method in ministerial approval system based on the Building Standards Law. Fire-resistive structures are required to maintain its performance until the end of a fire. However, the test methods do not include a specific procedure and test conditions for cooling phase in a fire.

The objective of this study is to accumulate experimental data on fire resistance tests and compartment fires, which are required to define standard test methods for the cooling phase of a fire. Through analytical and experimental studies conducted, air supply from burners and velocity distribution of hot gases in a furnace affect glowing char and temperature decrease in furnace.

【研究目的及び経緯】

耐火試験の国際規格及び国内規格として ISO834 シリーズ、JIS A1304「建築構造部分の耐火試験方法」が発行されている。建築基準法上、主要構造部の耐火構造には、火災が終了するまでの性能維持が求められているが、試験規格では、火災終了後に関する性能の確認のための試験条件等が規定されていない。そのため、火災終了後を再現するための耐火炉の放冷条件等の試験環境が、工学的に適切であるかどうか不明な状態で運用されている可能性がある。

本研究は、耐火構造で要求される標準火災における火災終了に関して、標準的な試験方法を規定するために必要となる耐火試験や区画火災に関する実験データを蓄積することを目的とする。また、不燃系や可燃系の構造に応じた標準火災のモデル化と再現方法について解析的・実験的な検討をすることとした。

【研究内容】

1. 火災終了後における耐火炉の試験条件の検討

耐火性試験における試験条件、試験体の条件の変化・ばらつきが、試験結果に与える影響を実験及び解析的に定量化し、性能評価試験技術の高精度化と合理化をする必要がある。そのため、主として主要構造部の柱、梁に関して、木質系および鋼系耐火構造の耐火性能評価及び試験方法の合理化のため、耐火性能に与える種々の支配因子の特定及び分析を行うこととした(図 1)。

2. 数値解析による耐火炉内の環境の再現

熱流体数値解析プログラム(Fire dynamics simulator ver. 6.7)を用いて耐火試験時の放冷段階における耐火炉内の冷却状況の挙動特性を把握することとした。特に、耐火炉の冷却特性に関する各種条件の

うち、空気供給量、炉体熱特性の条件等を固定した条件で、炉内環境の放冷中の気流の変化の状況を把握することとした。



a) 耐火炉の燃焼状況 b) 木部材 c) 鋼部材

図 1 耐火炉と試験体の概要

【研究成果】

1. 火災終了後における耐火炉の試験条件の検討

耐火試験時における火災終了後の再現に関して、冷却条件(炉内温度、空気供給量等)、耐火炉と試験体の条件(大きさ、可燃物量)の影響を把握するため、耐火炉の加熱温度、区画火災温度の推移を整理した(図 1)。

図 1 において、1 時間の耐火試験時における放冷曲線を比較する。BRI(Non combustibles)は不燃系部材の加熱時やブランク加熱試験時の温度履歴、JTCCM(Combustibles)は、評価機関において実施された木柱を試験体とした際の温度履歴、BRI(Open air)は 1 時間加熱後に炉蓋を解放した条件の温度履歴である。不燃系部材で構成された区画を想定した BRI(Non combustibles)は、1 時間標準加熱に沿った加熱後にバーナーを停止して放冷した。なお、放冷中は、空気供給弁の開度を最小(約 137m³/h)に設定した。

1 時間の標準加熱後に大気開放した BRI(Open air)では、バーナー停止後、速やかに炉蓋を解放した。

JTCCM(Combustibles)は、1時間の加熱後に木質部材を炉内で放冷した結果である。最小開度の耐火炉の空気供給量は、約365m³/hであった。

炉内温度の低下が最も早いのが、BRI(Open air)でバーナー停止後、約10分で200℃程度まで温度が低下した。BRI(Non combustibles)では、60分後に約320℃、JTCCM(Combustibles)では、木材の燃焼により、60分後に約400℃に低下した。炉内温度の低下の程度は、耐火炉の熱特性(断熱性・熱容量)、空気供給量による冷却、可燃性部材の燃焼による昇温が影響している。一般に、炉床に設置されたキャスタブル部分の表面積・蓄熱体の体積が大きいほど、また空気供給量が大きく、木材の表面積・体積が小さく、赤熱状態の炭などの残渣物が少ないほど、冷却速度が速くなる。

一方、図中の区画内平均温度(No.1:強化石膏ボード内装、収納可燃物658MJ/m²、No.2:壁一面木質化、632MJ/m²、No.3:強化石膏ボード内装、475MJ/m²)をみると、No.1では加熱開始から約80分、No.2では約180分、No.3では約70分から区画内温度が低下し始めた。木質ハイブリッド総プロで実施した実大火災実験結果(Mid-scale compartment)は、40分程度で温度が低下し始めた。いずれの実験においても区画内温度は、概ね指数関数的に減少する傾向にある。また実大火災実験結果(Mid-scale compartment)を除き、耐火炉を用いた実験より温度の低下勾配がかなり緩やかであった。収納可燃物や部材等が木材である赤熱した炭が熾火となって継続して発熱している影響だと考えられる。つまり、火災終了後の放冷条件を規定するには、建築物の空間条件(開口因子、温度因子)のみならず、収納可燃物の種類、部材の種類などを想定し、モデル化する必要がある。

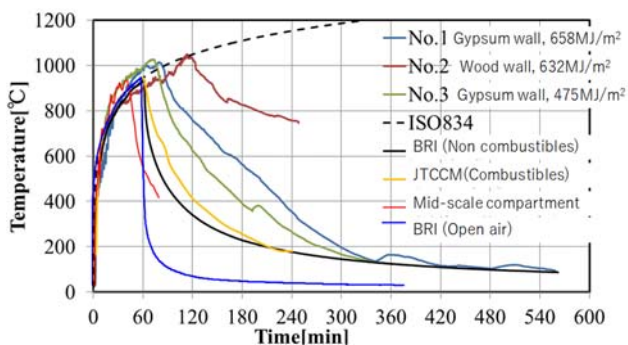


図2 耐火炉内温度、区画火災温度の推移

2. 数値解析による耐火炉内の環境の再現

国立研究開発法人 建築研究所の水平炉と対象として、試験体を配置していない炉内環境を想定し、1時間加熱の耐火試験と同様の条件時間加熱して、放冷中の炉内の環境を数値解析により再現することを試みた。

事前に測定した耐火炉の条件と同じ条件の燃料給気量、空気供給量をバーナーに設定した。炉床、炉蓋の熱物性は、それぞれ、耐火キャストブル(厚さ0.4m)、セラミックファイバー(厚さ0.4m 180kg/m³)、セラミックファイバー25mmとALC100mmの積層材として設定した。

解析の結果、耐火炉の中央においてバーナー一点火中は、炉の中央から上部では流速が大きい、放冷中は、耐火炉の炉床近傍ほど流速が大きくなるなることがわかる。木質部材の柱脚が柱頭に比べて焼損が大きいのは、柱脚近傍の流速が大きく、赤熱状態の炭の燃焼を促進しているためだと考えられる。

数値解析による耐火炉内の挙動を再現するには、部材の燃焼を考慮した、燃焼ガスの温度上昇特性、酸素・二酸化炭素等の濃度、部材近傍の気流分布など種々の条件について引き続き検討する必要がある。

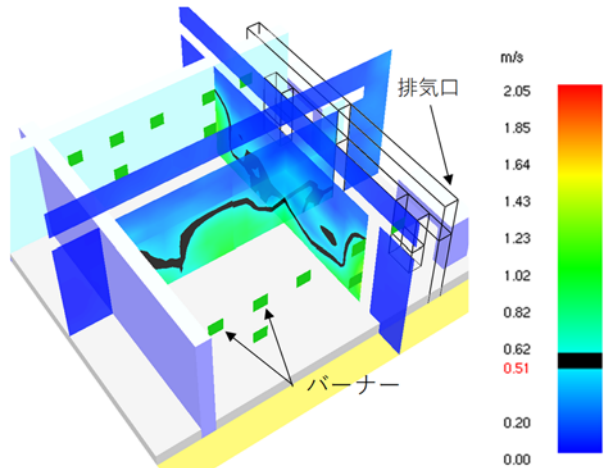


図3 流速の分布状況

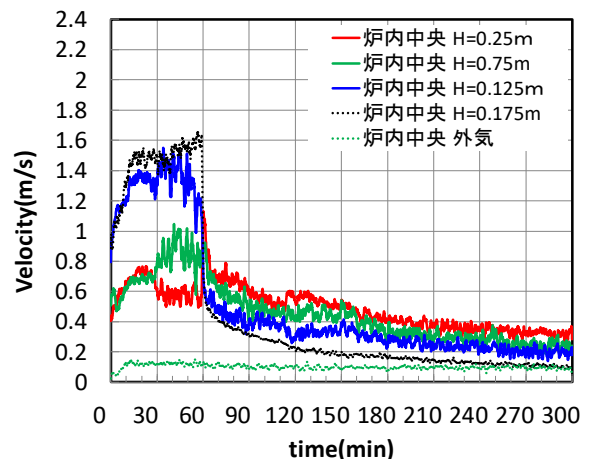


図4 各高さにおける流速の変化状況

[成果の活用]

本調査結果は、耐火構造の耐火性能評価に係るガイドラインや業務方法書等を改定する際の基礎資料として活用する予定である。今後、国内の評価機関においてラウンドロビンテスト等を実施しつつ、評価の透明性確保の方法を構築していく予定である。

火災感知手法と連動型防火システムに関する研究

Design and Implementation of active fire prevention systems for external fire hazard

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

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

Calculation method of external flame height is developed considering excess fuel gas ejected from fire compartment. Oxygen consumption ratio plays important roll on both fire temperature development inside compartment and the flame height outside compartment. So these needs to be evaluated as interlocking gear. Fire experiments with various ventilation factor and heat release rate to validate the proposed method, and the oxygen consumption ratio is validated to 0.85 under ventilation-limited condition. Then, the external flame height, in other word, required balcony length is estimated for various design condition. Secondary, to minimize balcony length and give design flexibility, the radiation reduction effect of external sprinkler system is evaluated experimentally considering installation on windows and eaves.

【研究目的及び経緯】

日常生活環境の改善に比べ、非日常的な防火対策は費用対効果が特に問われる分野であり、従来型のパッシブな防火被覆・防火区画設計に対して、アクティブ型防火システムが商業施設を中心に採用されている。一方で2017年2月に発生した埼玉県大規模倉庫火災では、管轄領域が多岐にまたがる防火システム（火災感知器、防火シャッター、コンベア等のマテハン機器）間の連動不良による延焼拡大が指摘された。火災時の作動信頼性と日常時の維持管理、建設時の初期費用を総合的に考慮すると、従来のパッシブ型防火システムで最低限の火災安全性を担保しつつ、アクティブ型防火システムの採用で、どこまで設計条件を緩和できるかを評価することが肝要になる。本研究では、内装の木質化に伴い危惧される開口噴出火炎の増大とその上階延焼対策として、建物外部における火災形状の予測手法と、火災時のみ作動する散水設備を用いた火災外力低減効果について検討を行った。

【研究内容】

1. 開口噴出火炎高さの予測手法の開発

既往の余剰未燃ガスを考慮した噴出火炎高さの予測手法について、流入空気消費率 γ に着目して火災室温度予測式の改良を行った。流入空気が区画内部で消費された場合は温度上昇に寄与し、区画内部で消費されず未燃ガスとして流出した場合は、開口噴出火炎の増大を招くこととなる。そこで以下の式に示すように火災室温度と区画内部での酸素消費率 γ については未燃ガスの保有熱量を連動して評価することを試みた。

火災室温度の予測式：

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_{\infty}} = \frac{8.2 \times \gamma}{1 + \frac{I_b}{\Phi} t^{-\frac{1}{2}} + h_r \cdot \frac{1.8}{\sqrt{H}}}$$

ここに $\Phi = \frac{\Delta T \sqrt{H}}{A_T}$ ：区画の温度因子()、 $I_b = \sqrt{k\rho C}$ ：区画壁の熱慣性(kWs²K)、 γ ：流入空気の消費率(-)そして開口条件とガス供給量をパラメータに模型区画実験を行い、噴出火炎高さの予測式の校正を行った。

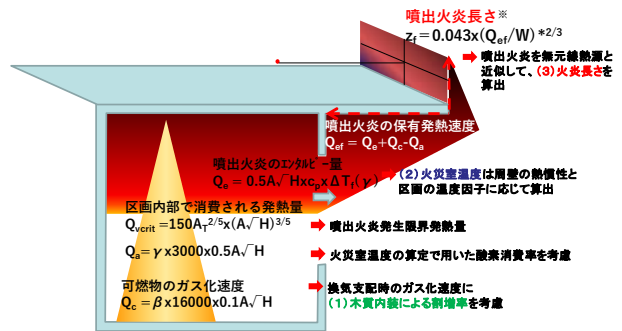


図1 模型区画実験概要図

2. 水膜遮蔽による受熱量低減効果の確認

想定される噴出火炎高さに対し、庇やバルコニーなどのパッシブ型の遮蔽物によって区画する従来の手法に加え、屋外型の散水設備による受熱量の低減効果を確認するため、①開口部への設置を想定した小型炉散水実験、②可燃性の茅葺屋根への設置を想定した噴出火炎実験を行った(図2、3)。

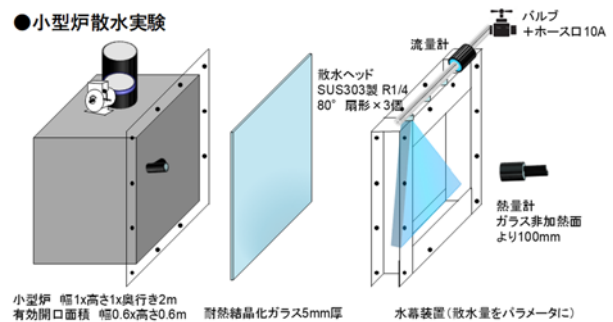


図2 小型炉散水実験

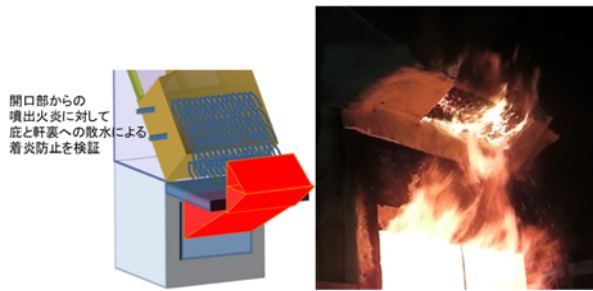


図3 茅葺屋根の噴出火炎実験

[研究成果]

1. 開口噴出火炎長さの予測手法の開発

模型区画実験での校正により、火災室温度を精度よく予測できることを確認した。また区画内部で消費される発熱量の割合を、換気支配時ではおよそ85%であると推定し、噴出火炎高さの算定に反映した。図4に横軸に Q_{ef}/W 、縦軸に噴出火炎の高さ z をとり、整理した結果を示す。これより噴出火炎高さは、対数軸座標の傾きより、 Q_{ef}/B の $2/5$ 乗に比例することがわかる。

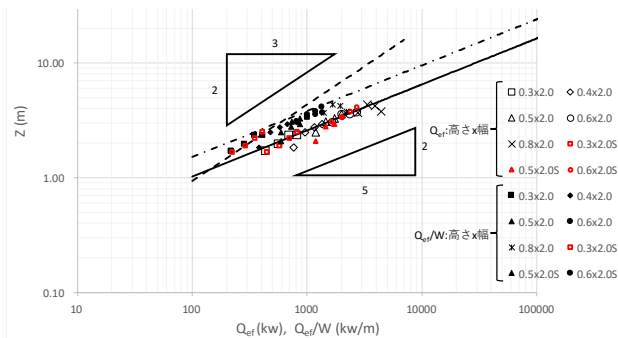


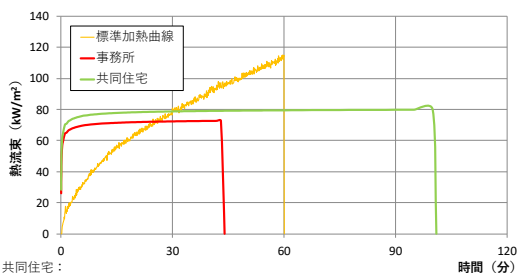
図4 噴出火炎の実験結果

噴出火炎高さの予測式：

$$z = \begin{cases} 0.043 \times \left(\frac{Q_{ef}}{W}\right)^{\frac{2}{3}} & \left(\frac{Q_{ef}}{W} < 600\right) \\ 0.237 \times \left(\frac{Q_{ef}}{W}\right)^{\frac{2}{5}} & \left(600 \leq \frac{Q_{ef}}{W}\right) \end{cases}$$

ここに $Q_{ef} = Q_e + Q_f$ 、 Q_e :開口部から噴出する時点で噴出火炎が有するエンタルピー量、 $Q_f = Q_c - 0.85 \times Q_a$:噴出火炎中の未燃ガスの発熱量、 W :開口幅(m)

その上で、モデルプランでの設計条件下において噴出火炎高さを推定し、パッシブ型防火システムによる最低限の火災安全性として、上階への影響を単層に留



共同住宅：
噴出火炎高さ5.17m-庇長さ1.68m=3.49m<階高3.5m：上階への影響は単層に留まる
5.17m-(1.68m+腰壁0.9m)=火炎見付高さ2.59m×開口幅3.3mの放射面を想定
庇長さに対応する温度減衰と距離距離1.68mを考慮した放射受熱量>特定防火設備60分

図5 庇設置後の放射受熱量の算定

めることを目標にした庇長さの設計と同条件下での上階開口部での放射受熱量の推定を行った。その結果、共同住宅の試設計においては、可燃物密度が高いことおよび外部に対して開口が大きく取られることから、庇+特定防火設備等の従来型の防止対策のみでは、延焼の恐れがあることが危惧されたため、水膜による遮蔽効果を併せて検討することとした。

2. 水膜遮蔽による受熱量低減効果の確認

耐熱結晶化ガラスの非加熱面と熱量計の間に噴霧散水を行う装置を設置し、散水量をパラメータとして受熱量低減効果を確認した。その結果、散水量の増加に伴い、放射受熱量は減少する傾向が見られ、散水なしの条件と比較すると、散水量8.5L/分/mで約1/3に低減されることが分かった。

また茅葺屋根表面に5L/分/mの噴霧散水を行い、軒先より垂下する水膜越しに、軒裏面への噴出火炎による加熱実験を行った。加熱条件は区画内部が標準加熱曲線に沿うような加熱とし、開口上端から約1mの位置に軒裏を設置した。その結果、接炎する条件下では、散水の有無にかかわらず、可燃性の軒裏面への着火を防ぐことは難しいことが分かった。接炎を防ぐため長さ500mmの庇を設置した条件下では、軒裏面での受熱量低減が図られ、着火を防ぐことを確認できた他、屋根上面においても、散水による蒸発潜熱に伴い、木質系素材の着火限界受熱量を上回る20kW/m²条件下でも、着火を抑止できることが確認できた。

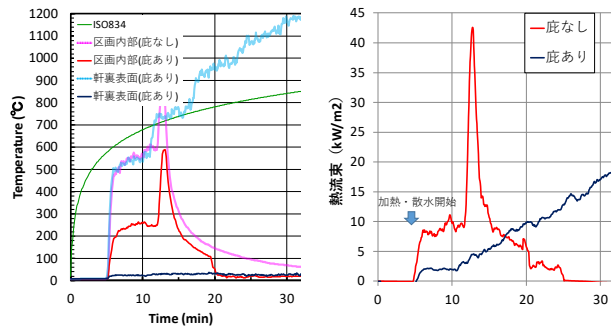
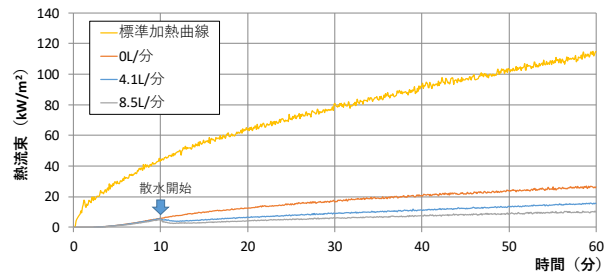


図6 水膜による受熱量低減(上：開口部、下：屋根)

[成果の活用]

本研究結果は、上階延焼防止対策として位置づけられている庇やバルコニー等の水平防火区画の設計指針、および代替策としての散水設備の設計資料として活用され、設計自由度の拡大につながる予定である。

限界状態設計を指向した鋼構造耐火設計の構築

Development of fire resistance design for steel construction buildings oriented toward limit state design method

(研究期間 平成 28 年度～令和元年度)

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

主任研究官 鈴木 淳一
Senior Researcher SUZUKI Jun-ichi

There are several methods to provide the safety factor in fire resistance design of steel construction buildings, such as the allowable stress design, load factor design, and limit state design. The present recommendation of fire resistance design for steel buildings from AIJ is similar to allowable stress design. It is simple to handle the safety factor, but the reliability of overall design system is not clear.

This study comprehensively grasps the uncertainties about fire behaviors, mechanical and thermal characteristics of building materials at high temperatures, and the behavior of building elements and frames. The objective of this study was to develop a limit state design method for steel structure in a fire that can achieve a certain performance level through achieving experimental and analytical studies.

【研究目的及び経緯】

耐火設計における安全率の設定の考え方はいくつかあり、許容応力度設計のように、長期、短期の別に応じた安全率を基準強度や耐力評価式等に乗じる方法、荷重耐力係数設計法や限界状態設計法のように荷重や耐力のばらつきを確率統計的に取り扱い、安全率を要求性能に対する信頼性・信頼性指標として明確化する方法等がある。現行の鋼構造耐火設計指針は、許容応力度設計に近い考え方であり、安全率の取り扱いが簡便であるが、全体の安全性が明確ではない。

本研究では、近年蓄積されつつある火災性状、材料の高温時特性、部材・架構の高温時挙動に関する不確実性を系統的・網羅的に把握したうえで、耐火設計の本来使命である、目標耐火性能水準を架構特性に応じた的確に達成することが可能な鋼構造耐火設計に関する限界状態設計法を構築することを研究目的とした。

【研究内容】

1. 800℃超の鋼材の高温時機械特性

鋼構造の耐火設計を行うには、高温時における鋼材の有効降伏強度や引張強度等が必須となる。有効降伏強度の残存率をバイリニア型に近似し、実際には、鋼材強度が残存する 700～800℃の温度域でその耐力を零とするのは、定量的な評価には精度が不十分となる。ここでは、SN400B、SN490B を対象として、常温から 1000℃までの鋼材の高温時耐力、及び鋼材の異方性と高温時耐力の関係を把握することとした。

2. 耐火被覆材の高温時特性

建築物の耐火設計では、開口面積を大きくし、火災の継続時間を短くする事例が多い。その結果、火災温度上昇係数 α が大きくなり、火災温度が高温化する傾向がある。耐火被覆材の高温時の性質や亀裂、脱落等の劣化は、加熱温度に大きく影響を受け、標準加熱を

超えるような条件では、耐火被覆の特性が変化する可能性があるため、受熱量の等価性に基づく等価火災時間の考え方が適用できないおそれがある。ここでは、高温加熱を受ける耐火被覆材の高温時の劣化特性や熱的物性を把握することを目的とした、被覆材の熱的損傷を含む、耐火被覆材の熱伝導率の同定を行った。

3. 弱点部を有する鋼部材の耐火性能

鋼構造建築物の架構には、部材間の接合部や貫通孔等が存在する。部材の接合部は、スラブやボルト接合部に添板等が存在する。また梁に設けられるダクト等の貫通孔は、複数箇所設けられる場合も多い。貫通孔は、孔径を大径とするために耐火被覆厚さの削減なども想定されるが、加熱長さの増加や耐火被覆厚の確保等が困難となる可能性もあるため、熱的に弱点となる可能性がある。しかしながら、火災時における、貫通孔を有する鋼梁の温度上昇特性など孔部の有無による熱的影響については、十分な知見が蓄積されていない。ここでは、本研究では貫通孔を有する鋼梁の温度上昇特性の把握を目的として、有孔梁試験体の加熱実験を行った。また、有限要素法を用いた温度予測モデルの構築とその妥当性の検証を行った。

【研究成果】

1. 1000℃超の鋼材の高温時特性

SN400B、SN490B 鋼材の高温時機械特性を把握するため、厚さ 22mm の鋼板から切り出した試験片を所定の温度で一定に保持して引張試験を実施した。

引張試験時の加熱温度は、常温 (RT)～1000℃とした。常温及び高温引張試験時の歪速度は、歪 10%までは 0.3 %/min、それ以降は 7.5 %/min に制御した。ただし、SN400B、SN490B の一部の試験片では、引張強さが確認されるまで歪速度 0.3 %/min を保持し、その後 7.5 %/min とした。

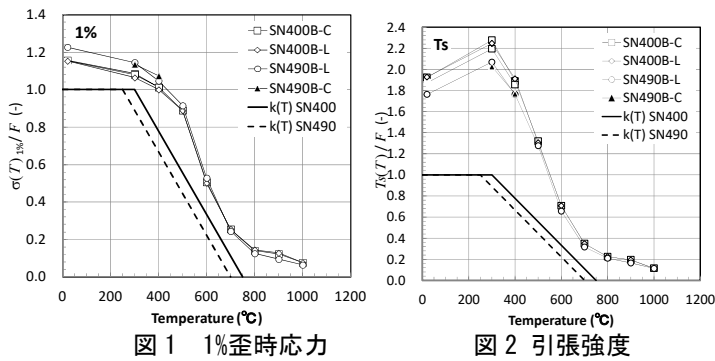


図1 1%歪時応力

図2 引張強度

図1,2は、それぞれ高温時における1%歪時耐力 $\sigma_{1\%}$ 、引張強さ σ_u の低下率を示している。図の縦軸は基準強度 F で無次元化している。また、AIJ指針の有効降伏強度の低下率も併記している。1%歪時耐力、引張強さのいずれも、400°Cから700°Cでは、概ね直線的に耐力が低下するが、800°C以上の温度では、その低下勾配が緩やかになることがわかる。900°Cで F 値の10%程度、1000°Cで4~5%に低下した。

2. 強加熱時の耐火被覆材の高温時特性

強加熱時の耐火被覆の温度上昇特性を把握するため、中規模の鋼板の加熱面側に耐火被覆材を被覆した試験体を用いた。耐火被覆材は、セラミックファイバー(CFB)、耐熱ロックウールフェルト(RWF)とけい酸カルシウム板(CSB)とした。加熱強度は、 $\alpha=650$ とし、1200°Cを上限とした。

図3は加熱後の損傷状況である。加熱後の観察において、CFBはあまり変化はなく、硬化した程度であった。RWFの表面は、硬く、脆く変化した。鋼板厚さが薄い試験体では被覆材裏面温度の高温化により、大部分が熔融した。CSBは、亀裂が表面に生じたが、鋼板50mmで表層のひび割れが生じた。断面観察より、被覆材の厚さは熱収縮により約3mm減少した。

図4は熱伝導率の同定結果である。耐火被覆材表面温度が高くなると、被覆材の劣化及び同定した熱伝導率が大きくなった。また、鋼板が厚い条件では、被覆材両面の劣化の程度は同程度であっても、被覆材の厚さ方向の劣化程度が薄いものに比べて小さくなった。

3. 弱点部を有する鋼部材の耐火性能

有孔梁(H形鋼: H-488x300x11x18、図5)の加熱実験より、孔部やその周囲、一般部における各断面での温度上昇特性を把握した。孔の直径 D は、一般的に無補強で設置できる最大径として、梁せい H の1/2($D=244\text{mm}$)とした。孔の縁間距離を0.5 D 、1.0 D 、1.5 D とした。

孔からの入熱はウェブ温度に大きな影響を与えることがわかった。有孔梁の加熱開始60分後の0.5 D 、1.5 D の温度分布である(図6)。

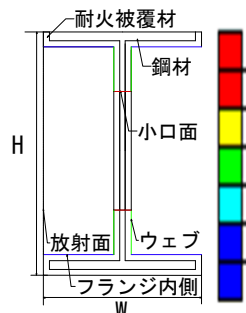
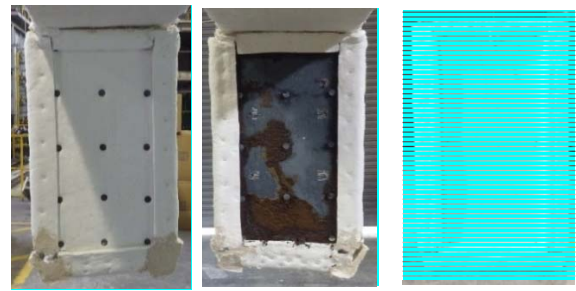
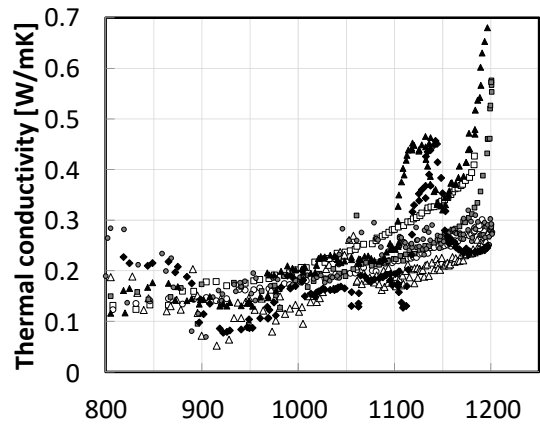


図5 形態係数モデル



(i) CFB (ii) RWF (iii) CSB

図3 中規模試験体の損傷状況 ($d_s = 6\text{mm}$)



Surface temperature of fire protection [°C]

図4 耐火被覆材表面温度と同定した熱伝導率の関係 ($\alpha = 650$ 、RWF、M:中規模、 d_s :鋼板厚さ)

0.5 D の方が一般部の温度が上昇していることがわかる。

有限要素法を用いた数値解析により、温度上昇特性は概ね再現できることがわかった。しかしながら、被覆材と鋼材との間の熱伝導率が解析よりも実験の方が小さく、計算値と実験値に差が生じた被覆材と鋼材の間には微小の隙間が生じていると考えられる。そのため、熱物性値に関しては、接触熱抵抗を考慮した改良が必要と考えられる。

[成果の活用]

本研究の成果は、日本建築学会が発行する鋼構造耐火設計等の設計指針や耐火性能検証法、防耐火構造の性能評価に関する技術資料として活用する予定である。今後、より合理的な設計法を構築するための改良を進めていく予定である。

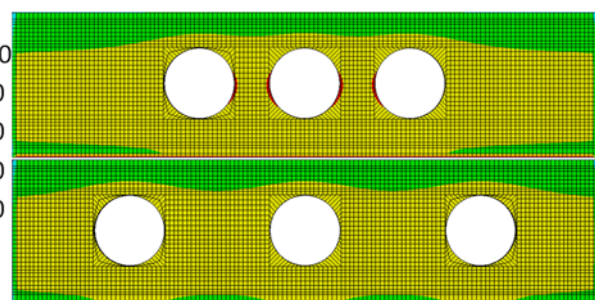


図6 解析経過(加熱60分後断面温度分布)

防火・避難規定等の合理化による既存建物活用に資する技術開発

Technical Development for the Effective Utilization of Existing Buildings by Rational Regulations on Fire Safety and Evacuation and Others

(研究期間 平成 28 年度～令和元年度)

建築研究部 防火基準研究室	室 長	成瀬 友宏
Building Research Department	Head	NARUSE Tomohiro
Fire Standards Division	主任研究官	鈴木 淳一
	Senior Researcher	SUZUKI Jun-ichi
	主任研究官	樋本 圭佑
	Senior Researcher	HIMOTO Keisuke
	主任研究官	水上 点晴
	Senior Researcher	MIZUKAMI Tensei
建築研究部 材料・部材基準研究室	主任研究官	吉岡 英樹
Material and Component Standards Division	Senior Researcher	YOSHIOKA Hideki
建築研究部 設備基準研究室	室 長	平光 厚雄
Equipment Standards Division	Head	HIRAMITSU Atsuo
	主任研究官	山口 秀樹
	Senior Researcher	YAMAGUCHI Hideki
都市研究部 都市防災研究室	室 長	竹谷 修一
Urban Planning Department	Head	TAKEYA Shuichi
Urban Disaster Mitigation Division		
都市研究部 都市計画研究室	室 長	勝又 済
Urban Planning Division	Head	KATSUMATA Wataru
都市研究部 都市開発研究室	室 長	石井 儀光
Urban Development Division	Head	ISHII Norimitsu

Facilitation of the usage change and the renovation of the valuable existing buildings, including historic building, by rational regulations on fire safety, evacuation and zoning is required to utilize effectively as the core for the regional vitalization and sightseeing promotion.

To resolve these issues, we carried out the comprehensive technological development projects, Technical Development for the Effective Utilization of Existing Buildings by Rational Regulations on Fire Safety and Evacuation and Others. In this report, we introduce the outline of the research results.

〔研究目的及び経緯〕

歴史的建築物を含めて既存建築物を用途変更や改修で有効活用し、地域活性化や観光振興の核とするため、建築基準法（以下、法という。）の防火・避難規定や立地規制の合理化による既存建築物の用途変更や改修の円滑化が求められている。

それらの課題に対し、国土交通省総合技術開発プロジェクトを実施し、建物単体の防火・避難規定の合理化、地区における火災安全性確保、市街地環境に配慮した用途規制の合理化に関する技術開発を実施した。

〔研究内容〕

技術開発 1 建物単体の防火・避難規定の合理化に関する技術開発

現行規制と同等以上の火災安全性を確保しつつ、大規模木造建築物および小規模建築物の主要構造部に対する規制の合理化、煙拡散の抑制に関する合理的手法の検討、法適用除外時に防火・避難安全性を確保する手法の開発を実施した。

技術開発 2 地区における火災安全性確保に関する技術開発

現行規制と同等以上の火災安全性を建築物のみなら

ず地区等での対策で確保することで意匠上の制限を緩和するため、立地による構造規制に関する合理化や防火地域等指定解除時の代替措置の講じ方等に関する技術開発を実施した。

技術開発 3 市街地環境に配慮した用途規制の合理化に向けた技術開発

用途規制の合理化に向け、地方公共団体が、建物用途が及ぼす周辺への環境影響が小さい場合に例外的に立地を許可する際の判断に資する、建物用途の周辺影響の評価技術の開発等を実施した。

[研究成果]

技術開発 1 建物単体の防火・避難規定の合理化に関する技術開発

大規模木造建築物に関して、主要構造部の技術的基準及びその検証方法として法第 21 条改正及び関係政令・告示の新設、木造建築物等である特殊建築物の外壁の基準（法第 24 条及び政令）の緩和、特殊建築物の主要構造部の構造方法に関する技術的基準及びその検証方法告示の改正・新設に資する技術開発を行い、その成果に基づき法改正が行われた。

また、特殊建築物の避難及び消火に関する技術的基準のうち、敷地内通路幅員及び避難安全検証法に関する技術開発、無窓居室を含む特殊建築物の内装制限に関する技術開発を行い、政令・告示の改正が行われた。

吹抜き等の空間の区画、小規模建築物の竪穴区画、異種用途区画及び建築物の界壁・隔壁の合理化に資する技術開発を行い、政令・告示の改正が行われた。

そして、防火地域及び準防火地域の建築物に関して、その部分、門・扉や防火設備に関する技術基準及びその適合仕様として法第 61 条改正及び関係政令・告示の新設に資する技術開発を行い、また、延焼のおそれのある部分に関する技術基準及びその適合仕様に関する技術開発を行い、法第 2 条第 1 項第 6 号改正及び関係告示が新設された。

技術開発 2 地区における火災安全性確保に関する技術開発

歴史的町並みを保存活用する場合の方策として、防火地域等の指定を解除するとともに、最低限の安全性を確保するために法第 40 条に基づく条例を制定して代替措置を講じる手法等がある。そのため、防火規定の抵触事項を整理するとともに、建築物や市街地状況に応じた法の適用除外や緩和制度の選択方法、安全性確保のための建築物における代替措置、地区での防火対策やソフトによる防火対策の講じ方、防火地域等の指定解除と法 40 条条例制定時の関係部局との調整内容やその手順、条例制定後の運用方法に関する手引きの作成を行った。

歴史的建築物の利活用の際して、代替措置を講じる

ことを前提に法の適用を一部緩和・除外する手法等の適用が考えられる。そのため、法第 38 条の大臣認定制度を用いた代替措置として、茅葺き屋根に散水設備を設置した場合、屋根裏に不燃材を張り足した場合の、発熱量と火炎高さの抑制状況を実験により評価した。

技術開発 3 市街地環境に配慮した用途規制の合理化に向けた技術開発

①用途規制の適用除外に係る手続きの合理化に関する技術基準原案の作成

法第 48 条の改正（用途規制の適用除外に係る手続きの合理化＝建築審査会同意の不要化、平成 30 年 6 月 27 日公布、令和元年 6 月 25 日施行）について、全国の特定行政庁から収集した法第 48 条ただし書許可基準及び許可実例における技術基準及び周辺影響対策の分析結果を踏まえ、政令で規定する対象建築物（日用品販売店舗、共同給食調理場、自動車修理工場）の立地、及び省令、告示、技術的助言で規定する、住居の環境の悪化を防止するために必要な措置（床面積、騒音、臭気、交通負荷、交通安全、夜間照明等の対策）に関する具体の技術基準原案を作成した。

②建物用途規制緩和の運用に係る技術資料（素案）の作成

建物用途規制の緩和手法である特別用途地区や地区計画の活用、法第 48 条ただし書許可の各手法の運用に係る技術資料（素案）を作成した。本技術資料では、各手法の使い分け方を始め、具体的な手続き・審査のプロセスや用途緩和に当たっての留意点等、行政担当者（許可権者）や申請者（事業者）にとって参考となる事項を、地方公共団体での運用実態をベースに、適用事例を交え、まとめている。

本技術資料の作成に当たっては、全国の地方公共団体等への建物用途規制の緩和手法の運用実態に関するアンケート調査やヒアリング調査、適用事例調査等の整理・分析結果を主な素材としている。また、内容については、現場適合性、実用性、分かりやすさ等の観点から、全国の地方公共団体へのアンケート調査及び委員会での意見聴取結果を踏まえつつ作成している。

なお、建物用途規制の緩和手法は、新築建築物に対しても活用可能であることから、本技術資料は既存建築物の用途変更に限定せず汎用的な内容としている。

[成果の活用]

本技術開発の成果は、技術的根拠としてすでに法改正等に活用されており、引き続き告示等の新設・改正等により一層の合理化に資するとともに、歴史的街並みの保存活用時の代替措置を講じるための手引き、建物用途規制緩和の運用に係る技術資料として公表予定であり、防火・避難規定や立地規制の合理化による既存建築物の用途変更や改修の円滑化が期待される。

高度な準耐火性能を有する構造方法（被覆型）に関する研究

Research on construction methods for quasi-fire-resistive construction (Sacrifice Layer)

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

建築研究部 防火基準研究室

室長 成瀬 友宏
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]

通常火災終了時間や特定避難時間の算定方法が検討され、4階建や5階建といった中層の建物の主要構造部には、1時間を超える準耐火基準に適合する構造が必要になるものの、告示に例示できる構造方法は定まっていない。告示により例示されない場合、国土交通大臣の認定を取得する方法もあるが、燃えしろについては、木造の象徴的な構造である一方で、大臣認定の対象ではなく例示仕様にのみ取り得る構造方法であることから、75分、90分、105分といった代表的な燃えしろ(案)を整備する。

本年度は、他の研究動向と調整を図りつつ、建築物の柱と梁の主要構造部について、強化せっこうボード GB-F(V)15+15mmを下地として酸カルシウム板 (type3 0.5TK) 15mmで仕上げた仕様と下地を21+15mmとした仕様について実験を行い、準耐火性能を確認した。

関東大震災で大きな被害をもたらした巨大火災旋風の現代の市街地での発生可能性

Occurrence probability of the gigantic fire whirls observed in the 1923 Kanto Earthquake in contemporary cities of Japan

(研究期間 平成29年度～令和2年度)

建築研究部 防火基準研究室

主任研究官 樋本 圭佑

[研究目的及び経緯]

火災旋風は、市街地火災に付随して発生する竜巻状の火災の渦で、ひとたび発生すれば甚大な人的・物的被害をもたらす可能性がある現象であるが、その実態は必ずしも明らかになっていない。本研究では、中規模火源を用いた実験を通じて、火災旋風が発生するための火源条件(形状、発熱速度)と流入風条件(風向、風速)を定量的に明らかにする。また、この結果に、過去の火災事例調査に基づく出火確率モデルと、物理的知見に基づいて構築された市街地火災延焼シミュレーションモデルによる予測を組み合わせることで、関東大震災で大きな被害をもたらした巨大火災旋風の、現代の市街地における発生可能性を明らかにする。

本年度は、火災風洞実験を実施して火源周辺流れ場を可視化し、その様子を高速度カメラで記録した画像のPIV (Particle Image Velocimetry) 解析を行った。これにより、床面付近の2次元2成分の流速ベクトルを求め、火災旋風が発生しやすい流体力学的な条件について定性的な分析を加えた。また、これまでに収集した地震火災記録を、従来のように地震ごとに個別に分析対象とするのではなく、地震間の共通性に着目した階層ベイズ手法を適用することにより、低頻度災害であるために出火件数が少なく、個別では分析が困難であった地震についても、安定的に地震出火確率モデルの推定を行えるようにした。

南海トラフ地震津波による石油流出火災シミュレーションと津波避難ビルの火災被害予測

Numerical simulation of oil-spilt fire from a petrochemical complex and fire damage estimation of Tsunami evacuation buildings subjected to Tsunami by Nankai trough earthquake

(研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度)

建築研究部 防火基準研究室

主任研究官 鈴木 淳一

[研究目的及び経緯]

本研究は、南海トラフ地震が発生した際の津波により、石油コンビナート周辺での発生が予想される石油流出火災の拡大性状と津波避難ビルで生じる火災被害を数値的に明らかにすることを目的としている。令和元年度は次の成果が得られた。鉄骨造の津波避難タワーを対象に、地震力と津波波力による建築物の応答解析と火災加熱による応答解析を連成させることによって、津波後の火災を受ける津波避難タワーの構造安全性を評価する手法を開発した。開発した手法を津波避難タワーの設計例に適用し、津波避難タワーが津波火災に対し一定の耐火性能を有しており倒壊防止を達成できる可能性があることを明らかにした。津波避難ビルなどの防災拠点における地震後の防火機能維持に着目し、2016年の熊本地震で被災した病院の被害調査データを用いて、防火関連設備の地震被害の実態や機器による脆弱性の違いを明らかにした。

来年度は、最終的な目標に向けて、津波避難ビルなど、継続使用性が求められる拠点建築物の地震後の火災安全性を確保するため、防火関連設備や非構造部材などの地震被害を考慮した建築物の火災安全設計手法を検討する。

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

Development of technologies to improve and renovate equipment to maintain the sufferers' health and secure safety in a shelter

(研究期間 平成 29 年度～令和元年度)

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

室 長
Head
主任研究官
Senior Researcher

平光 厚雄
HIRAMITSU Atsuo
山口 秀樹
YAMAGUCHI Hideki

It is necessary to take measures to development of living environment for evacuation shelters. However, when setting up evacuation shelters, it is necessary to consider individual circumstances such as regional characteristics. Existing evacuation shelter guidelines may not always provide sufficient information on specific maintenance and repair methods.

The purpose of this study is to propose concrete methods for each evacuation shelter to secure the living environment, based on the situation of each shelter site.

We set three target levels for securing the evacuation shelter functions, based on the results of the evacuation shelter survey. It is summarized that the capacity, cost, and considerations for operation of various facilities required to meet each level.

[研究目的及び経緯]

南海トラフ地震や首都直下地震などの巨大地震が想定されている現状において、様々な防災・減災対策を講じることが急務である。様々な課題がある中で、避難所環境の整備についても容易に普及が可能な対策を取りまとめる必要がある。この課題に対して、東日本大震災や熊本地震などの教訓を基に、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にあたっては、地域性など個々の事情に配慮する必要もあり、既存の避難所の指針等では、具体的な整備・改修方法について十分な情報が得られないことがある。

本研究の目的は、個々の避難所の状況を踏まえたうえで、住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を提示することである。

[研究内容]

1. 大規模地震後における避難所のライフライン途絶状況および設備機能代替手法に関する調査

避難所の住環境を確保するためには、建築設備の被災状況や、電気・上下水道等のライフラインの途絶状況に応じた、設備機能の代替手法を計画しておく必要がある。そこで本研究では、東日本大震災や熊本地震における避難所の実態調査を行うことで、発災後に対応可能な程度を把握するとともに、文献調査により設備機能の代替手法を整理した。

表-1 は実態調査の対象とした避難所の概要を示している。主に避難所の運営者へのヒアリング内容に基づき、発災後の時系列に従ってライフライン状況の変化、外部からの支援状況の変化およびその状況に応じた設備機能の代替手法を整理した。

表-1 ヒアリング調査先の概要

避難所	A(岩手県)	B(岩手県)	C(岩手県)	D(熊本県)
建物概要	中学校	小学校	元コンビニ	小学校
立地	市街地	漁村・農村集落	小集落	農村集落
避難者の特性	不特定多数	集落の被災者	集落の被災者	集落の被災者
最大避難人数	約1600人	約300人	数十人	約600人
運営体制	校長、有志等で本部体制を組織	避難住民による自主運営	避難住民による自主運営	自治体職員による運営
避難所	E(熊本県)	F(熊本県)	G(熊本県)	
建物概要	小学校	総合体育館	小学校	
立地	市街地	市街地	市街地	
避難者の特性	新住民が多い	各避難所に入らなかった被災者		
最大避難人数	約800人	約1600人	約400人	
運営体制	学校職員+自治体職員→自主運営	指定管理者	避難住民による自主運営	

2. 避難所整備の目標水準の設定と機能確保に必要な各種設備の計画手法の検討

避難所として多く利用される学校施設における設備の普及状況や、各種設備のメリット、デメリットを鑑みて、建築設備の災害対応技術に関して収集した情報を活用し、「日常生活に近いレベル」、「過去の避難所事例に同程度のレベル」、「重大な健康被害が生じない最低限のレベル」の生活環境の3段階のレベルの目標水準の整理を行った。さらには、それぞれの水準を満たすための避難所の機能確保に必要な各種設備の容量、費用、運用に関する留意事項等について整理した。

[研究成果]

(1) 大規模地震後における避難所のライフライン途絶状況および設備機能代替手法に関する調査

ヒアリングに基づく避難所の実態調査による、ライフライン途絶状況の変化と設備機能代替手法の具体的な対応例を表-2に示す。電力に関しては、3日～1週間程度で復旧している事例が多い。商用電力途絶時においても照明や通信の確保のニーズが高く、簡易的な発電機を用いることで対応する事例が多い。上下水道に関しては、一度途絶すると復旧まで長期間かかる事例が多い。この場合は、給水車等による外部からの支援に頼るか、地域の特性を活かし、井戸水や沢水の利用による代替が考えられる。

ヒアリングで得られた情報、および文献調査から得られた情報に基づき、次項の検討の前提条件として、ライフラインおよび外部からの支援等のタイムスケジュールを図-1に示す通り整理した。

(2) 避難所整備の目標水準の設定と機能確保に必要な各種設備の計画手法の検討

避難所を整備するにあたっての目標とする生活環境の水準を3段階設定し、これらの水準を満たすための

表-2 避難所Aにおける対応の具体例

時系列	1時間	3時間	6時間	12時間	24時間	3日	1週間	2週間	3週間	4週間	2ヶ月～
避難者数	約600人	約1000人					約1600人				約600人
電力				発電機			復旧				
ライフライン状況の変化				学校の高置水槽の水(約2000L)			給水車による運搬給水				
上水(給水)							救援物資(ペットボトル)				沢水(風呂)
下水(排水)				不能(簡易トイレ・仮設トイレ等で対応)							
ガス							プロパンガス使用				
通信							衛星電話				復旧
トイレ				校庭に穴を掘って簡易トイレ作成			仮設トイレ(48基)				
衛生							インフルエンザ発症者の隔離				風呂自作
設備機能の代替手法							自衛隊による風呂・洗濯				
照明				ろうそくによる照明			発電機による照明				通常照明
空調				障子に包まり暖をとる			プロパンガスによる暖房				高齢者室の床を畳で断熱
情報							新聞の掲示による情報提供				テレビによる情報収集
プライバシー							高齢者室・幼児活動部屋・男女別洗濯干し室の設置				パーティション設置

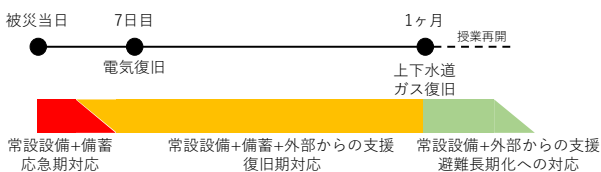


図-1 ライフライン・外部からの支援等の想定スケジュール

設備要件の検討を行った。この際に、学校施設の既存設備の設置状況を踏まえ、避難所としての開放場所についても図-2に示すとおりに設定した。

図-3は、避難所の生活環境として「日常生活に近いレベル」を機能確保の目標水準とした場合の、学校施設における各種設備計画の概要を示したものである。各種設備において必要となる容量を整理するとともに、整備に必要な費用の概算情報を付記し、避難所整備にあたっての取捨選択の一助となるよう整理した。

[成果の活用]

本調査結果を取り纏めて、「避難所の健康確保および安全確保のためのマニュアル原案」を作成する。マニュアル原案については、地方公共団体の担当者等へのヒアリングを実施し、より使われやすいように取り纏め、HP等で公表する予定である。

作成するマニュアル原案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になると考えられる。

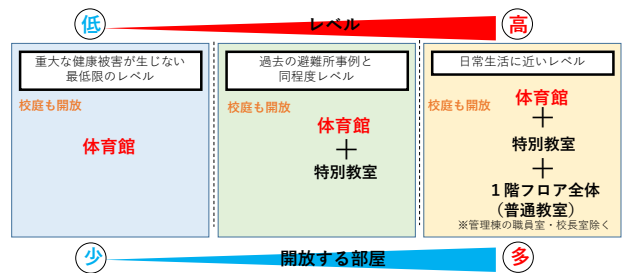


図-2 避難所の機能確保水準に応じた学校施設の開放場所の検討



図-3 避難所における「日常生活に近いレベル」の機能確保に必要な設備計画の概要

新しい空間の明るさ評価指標の活用に向けた

照明設備基本設計法の開発

Development of general design method of lighting equipment using new spatial brightness index

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

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

主任研究官
Senior Researcher

山口 秀樹
YAMAGUCHI Hideki

In recent years, a variety of new space brightness indexes based on luminance distribution of a visual field have been proposed instead of horizontal illuminance. However, in using these new brightness indices for lighting design, there remain problems to be solved, such as the necessity of a detailed luminance distribution simulation and the unification of design target values.

In this study, based on several recently proposed brightness evaluation indices, we examined a method to simplify index calculation. By confirming the scope of application of the simplified index and examining the design target level, it was compiled as information on the development of a basic design method for lighting equipment based on the new space brightness index.

〔研究目的及び経緯〕

建築物の省エネ基準適合義務が進むなか、照明設備の省エネ性能は LED 器具の急速な技術開発・普及により向上したが、次の段階として、設計の工夫による更なる省エネ性能追及と光環境の高品質化を両立する方法論が必要とされている。

省エネと光環境の質の両立の観点からタスク・アンビエント照明方式による設計は有効であるが、従来の設計手法である光束法をそのまま活用するだけでは想定以上に暗く感じる光環境が生じることもあり、設計法の整備が望まれている。

光束法は、均一な照明環境下において、室内の平均的な水平面照度を満たすために必要な光束を算出する設計法である。しかしタスク・アンビエント照明方式のように、室内で明るい場所と暗い場所が混在する不均一な照明環境では、平均的な水平面照度を設計目標値として計画しても、意図した明るさになるとは限らない。この問題に対して、水平面照度に代わり、視野の輝度分布情報に基づいた、新しい空間の明るさ評価指標が、近年様々に提案されてきている。しかしながら、これらの新しい評価指標を照明設計に活用するにあたっては、詳細な輝度分布シミュレーションが必要であることや、設計目標値が統一されていないといったように、解決すべき課題が残っている。

そこで本研究では、近年複数提案されている明るさ評価指標に関して、より簡易に評価可能となるよう指標算出を簡素化する方法を検討するとともに、簡素化した指標の適用範囲の確認、および設計目標水準の検討を行うことで、新しい明るさ評価指標に基づく照明設備の基本設計法整備に資する情報として取りまとめることを目的とする。

〔研究内容〕

1. 新しい空間の明るさ評価指標の整理と簡素化手法の検討

輝度分布に基づく空間の明るさ評価指標は、大学研究者や照明設備メーカー等から、すでに複数提案されている。簡素化手法を検討するにあたり、各手法の考え方を整理するとともに、共通する処理を抽出することで、より簡易な評価手法を導出した。

2. 算術平均輝度に基づく空間の明るさ評価指標の適用範囲および目標水準の検討

簡素化した評価指標として、視野の算術平均輝度を用いた場合において、オフィス空間での指標の適用照明条件の確認と、設計目標水準の検討を行った。

図-1 に示す照明条件および内装反射率条件に加えて、室の大小を変数とした評価対象空間において、空間の明るさ評価およびオフィス空間としての明るさの適切度の評価を被験者実験により確認した。被験者による評価は、①評価対象空間の明るさ印象と等しくなるように、均一に照明された調整空間の明るさを調整すること、②オフィス空間のアンビエント照明の適切さを非常に暗いから非常に明るいまでの 7 段階で評価することとした。

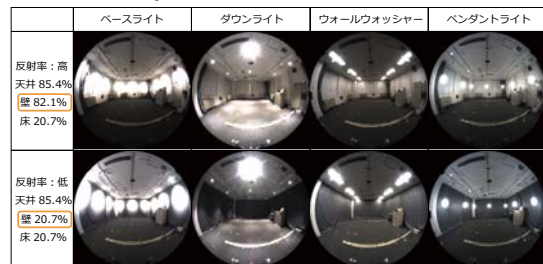


図-1 評価対象としたオフィス空間の条件

[研究成果]

(1) 新しい空間の明るさ評価指標の整理と簡素化手法の検討

各種の明るさ評価指標の特徴をまとめたものを図-2に示す。輝度値の平均化の手法や、不均一な照明環境における補正係数の導出方法などが指標ごとに異なるが、共通する処理過程は、評価対象領域の輝度値を平均化することである。平均化の手法として算術平均と幾何平均の2種類があるが、簡素化する際に、評価対象領域の照度および反射率により、おおよそ推定可能な算術平均輝度を簡素化した空間の明るさ評価指標とした。

(2) 算術平均輝度に基づく空間の明るさ評価指標の適用範囲および目標水準の検討

各照明条件における評価対象空間の明るさ評価結果を図-3に示す。横軸は画像測光により得られた評価対象空間の算術平均輝度を示しており、縦軸は被験者が評価対象空間と等しい明るさと設定した調整空間の算術平均輝度を示している。ダウンライトの照明条件を除いては、横軸と縦軸の値がほぼ一致していることから、これらの照明条件では局所的な明暗の影響を受けず、算術平均輝度により空間の明るさ評価が可能と考えることができる。しかしダウンライトのように配光が狭い照明器具を用いる際には、算術平均輝度での評価だけでは不十分なことが示唆された。

次に、オフィス空間においてアンビエント照明として「ちょうどよい」明るさを与える算術平均輝度の範囲に関する実験結果を図-4に示す。この結果から、算術平均輝度を明るさ評価指標とした際の、オフィス空間における設計目標水準が設定可能であることが示された。ただし、照明条件や内装反射率の違いにより適切な明るさの範囲は多少変化していることから、今後も引き続き適用範囲の検討を重ねる必要がある。

[成果の活用]

本調査結果は、省エネ基準における照明設備のエネルギー削減量評価手法の整備や、官庁宮繕部における建築設備設計基準の改定を行う際の基礎資料として活用する予定である。

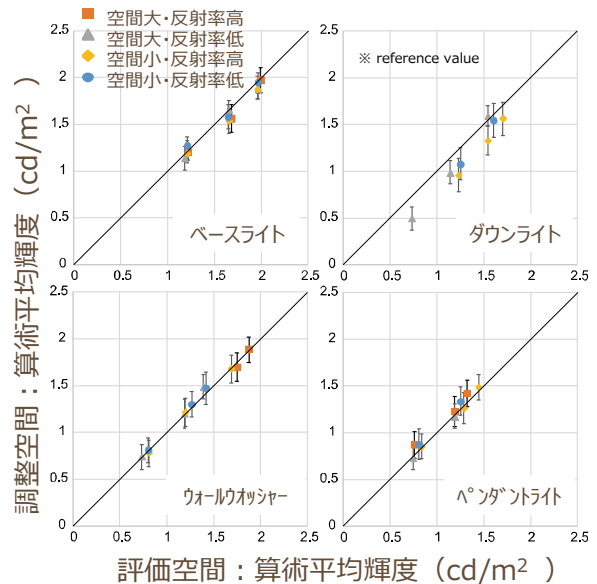


図-3 算術平均輝度による明るさ評価結果

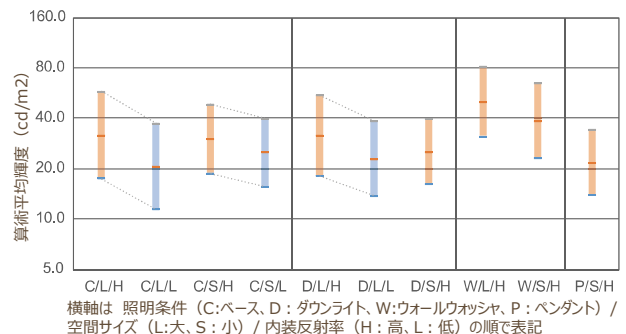


図-4 オフィスにおける適した明るさの範囲

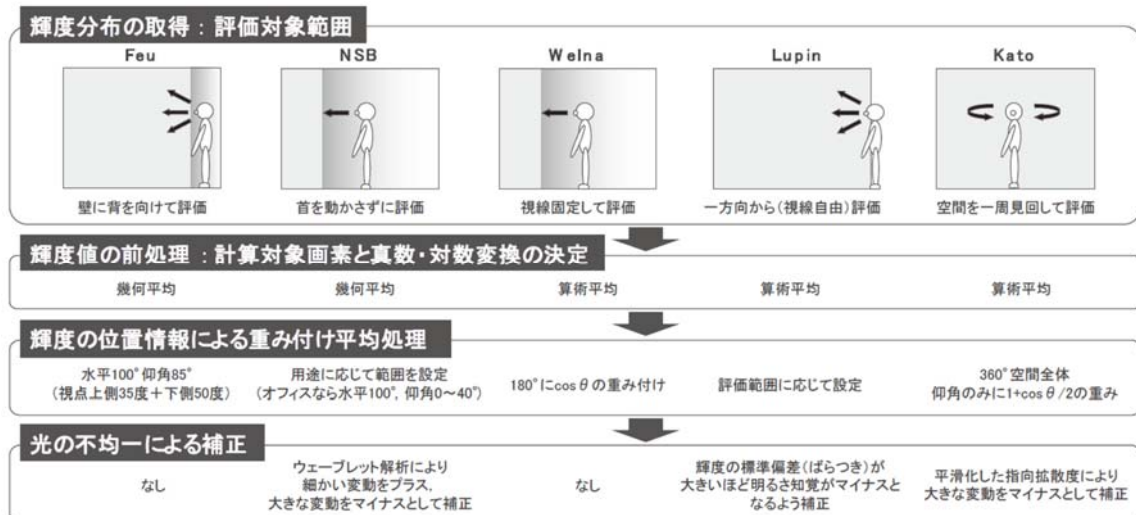


図-2 空間の明るさ評価モデルの仕組みと各指標の位置づけ

CLT 構造建築物の新たな重量床衝撃音レベル予測計算方法の開発

Development of a new method for predictive calculating the heavy-weight floor impact sound pressure level of CLT structural buildings

(研究期間 平成 29 年度～令和元年度)

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

室 長
Head

平光 厚雄
HIRAMITSU Atsuo

The Act on the Promotion of the Utilization of Wood in Public Buildings was enforced in 2010 in Japan. The promotion of use of wood can contribute to reduce CO2 emissions and to the prevention of global warming etc. As this Act, a public building in a low layer is supposed to attempt making to timber construction. It is expected that the building such as a house comes to be made from wooden. Moreover, measures are being taken to use Japanese wood. For effective use of the Japanese wood, mainly Japanese cedar, CLT (Cross Laminated Timber) was standardized by JAS (Japanese Agricultural Standard) as a building material.

A floor impact sound insulation is often objection or trouble in building. A performance of sound insulation of timber building usually has inferior than of concrete construction building. In this study, the purpose of development of a new method for predictive calculating the heavy-weight floor impact sound pressure level of CLT structural buildings. I found that the effect of the dry-type double floor structure with rubber vibration insulator on the heavy-weight floor impact sound insulation. Furthermore, comparison was made with the reduction of transmitted floor impact sound level obtained in other experiment building.

〔研究目的及び経緯〕

平成 22 年 10 月に施行された「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」により、低層の公共建築物については、原則としてすべて木造化を図ることとなった。それに伴い、集合住宅等の一般の建築物についても、木造化の波及効果が期待されている。

また、木材を有効的に利用するために、ヨーロッパで開発された「CLT (Cross Laminated Timber)」が平成 24 年 1 月に「直交集成板」として JAS (日本農林規格) に規格化された。CLT はラミナをその繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に並べたものを、その繊維方向を互いに直角にして積層接着し、3 層以上の構造を持たせたもので、弱軸方向と強軸方向をもつ材料である。現在、CLT の普及に向けたロードマップが示されており、法律と直結している構造分野、防耐火等の分野での検討を中心に行われてはいるが、音環境分野での検討も早急に実施する必要があると考えられる。

集合住宅におけるクレームやトラブル等の現状をみると、遮音性能に関連する事項が多くみられる。その中でも、特に重量床衝撃音に関する内容が大半となっている。また、居住者へのアンケート調査においても、音環境に対する満足度が低くなっている。

一般に木造建築物の音環境性能（特に、床衝撃音遮断性能）は、コンクリート構造の建築物と比較すると低くなっている。これは、音環境性能は躯体構造の重量や剛性の影響を受けるため、木造建築物の増加に伴い、軽量の床構造である木造建築物では床衝撃音が問題となると考えられる。

新たな木造建築物である CLT 構造建築物については、

現在建設数は少ないものの、実測例をみると重量床衝撃音遮断性能は低くなっており、計画段階において事前に性能を予測し、対策を講じる必要がある。

以上のような背景から、床衝撃音に関する問題を低減するためにも、事前に床衝撃音遮断性能を把握することができる予測計算方法を新たに開発し、事前に対策することが重要であると考えられる。

〔研究内容〕

研究の大きな流れは、①実験室測定による CLT 構造建築物の予測計算手法の開発、②現場測定による CLT 構造建築物の床衝撃音遮断性能の測定および測定データの収集による床断面仕様と性能別のデータベースの整備、③予測計算手法による計算結果と実測の対応による計算手法の改良、④簡易予測手法の開発、となっている。

実際の建築物の床パネルとして採用される、厚さ 150mm、180mm、210mm の代表的な CLT パネルを準備し、実験室にて駆動点インピーダンスの測定を実施する。また、CLT 構造建築物の断面仕様の調査、床衝撃音遮断性能の実測定を随時行う。

CLT パネル上部に施工される、乾式二重床構造などの床仕上げ構造の施工による床衝撃音遮断性能の低減性能（床衝撃音レベル低減量）を把握する。

新たに開発する予測計算手法のフローを図-1 に示す。フローは、コンクリート構造建築物の予測手法であるインピーダンス法を CLT 構造建築物向けに改良を行うことを基本とし、この中の床仕上げ構造による床衝撃音レベル低減量の把握を中心に行なう。

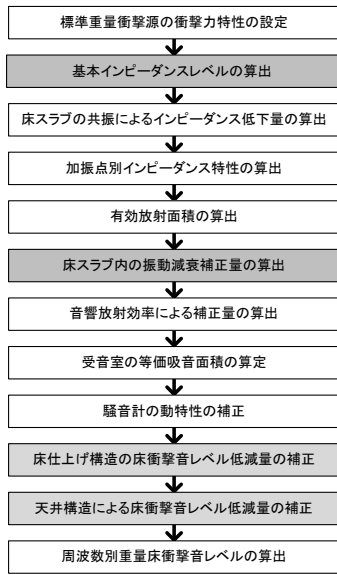


図-1 予測計算手法のフロー

[研究成果]

(1) CLT 実験棟の床衝撃音遮断性能

現状の性能把握を目的とし、CLT 実験住宅の床衝撃音遮断性能の測定を実施した。本実験棟は、2 階建ての戸建て住宅を想定した建物である。床断面構成は、CLT パネル (5 層 7 プライ, 210mm 厚) に床仕上げ構造はプラスチック製の床束上に 90mm 角の大引きを施工し、その上に 24mm 厚の合板、6mm 厚のタイルカーペットで仕上げた。また、天井構造は二重天井とし、野縁に 12.5mm 厚のせっこうボードを施工した。

床衝撃音遮断性能の測定結果を図-2 に示す。タイヤ衝撃源では L_r -75~80、ゴムボール衝撃源では L_r -70 となり、戸建て住宅を想定した実験住宅ではあるが、低い性能となり、性能向上が必要であることを明らかにした。

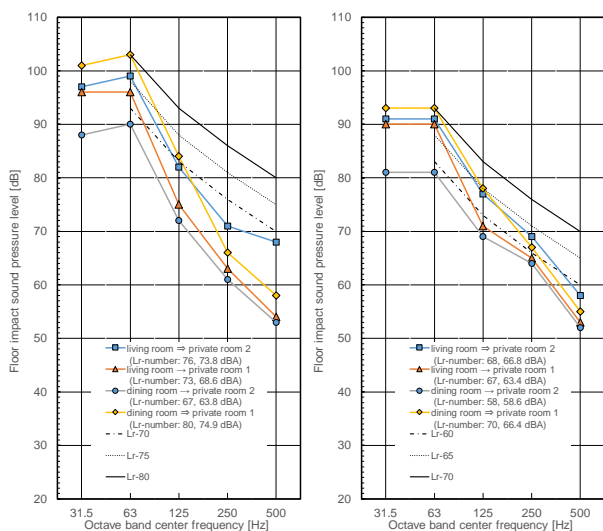


図-2 重量床衝撃音遮断性能測定結果

(左：タイヤ衝撃源, 右：ゴムボール衝撃源)

(2) 乾式二重床構造の影響

床への衝撃入力低減を目的とし、既存床を撤去した CLT 素面での測定の後、新たに防振ゴムを有する乾式二重床構造の上部面材の構成を変更させた 4 種類を施工し床衝撃音遮断性能の測定を実施した。

床衝撃音遮断性能の測定結果を図-3 に床仕上げ構造による床衝撃音低減効果をみるために、素面との床衝撃音レベル差を算出した結果を図-4 に示す。既存床を撤去した CLT 素面時では、タイヤ衝撃源による重量床衝撃音遮断性能は性能が向上し、既存床の施工により性能低下を起こしていることを示した。乾式二重床構造の施工により、性能が向上し、上部面材の重量を増すことによる性能向上が確認出来た。一番性能の高い乾式二重床構造では、タイヤ衝撃源では L_r -70、ゴムボール衝撃源では L_r -60 の性能となった。

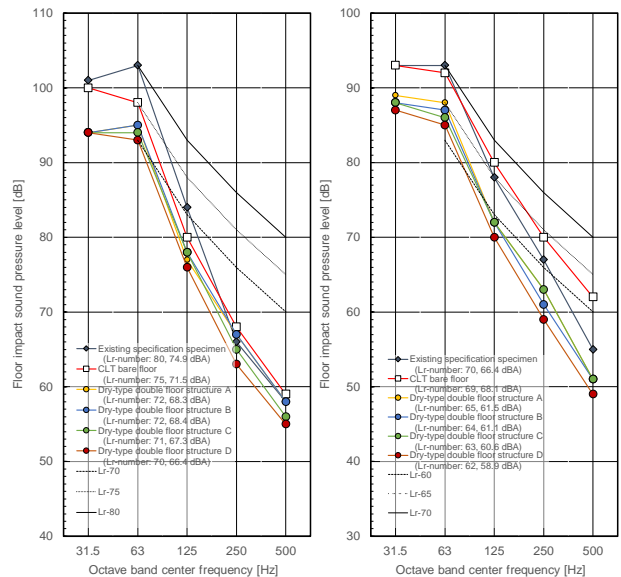


図-3 重量床衝撃音遮断性能測定結果

(左：タイヤ衝撃源, 右：ゴムボール衝撃源)

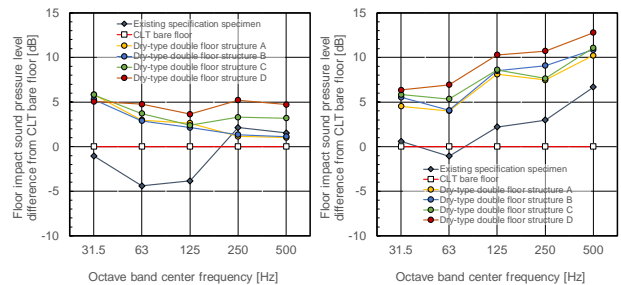


図-4 重量床衝撃音レベル差測定結果

(左：タイヤ衝撃源, 右：ゴムボール衝撃源)

[成果の活用]

今回の成果により、CLT 構造建築物の重量床衝撃音遮断性能の予測精度が向上、それに伴う重量床遮断性能の向上といった 2 つの側面からの成果が期待できる。

3次元輝度マッピングによる空間ボリューム予測システム構築と設計ツール開発

Development of spaciousness prediction system and design tool based on 3D luminance mapping

(研究期間 令和元年度～令和3年度)

建築研究部 設備基準研究室
住宅研究部 建築環境研究室

主任研究官 山口 秀樹
室 長 三木 保弘

[研究目的及び経緯]

建築物の省エネ性能の定量的評価法の普及が進むなか、快適性の定量的評価についてはまだ十分でない点が多い。一定水準の快適性を担保することは、省エネ性能を検討する際の前提条件であるが、快適性の定量的評価が確立していなければ、両者のバランスを判断することは非常に難しい。本研究では、快適性を左右する大きな要素で、未だ定量的評価が十分でないものとして、空間ボリューム（空間の広がり・大きさ感）の視覚による認識に着目する。本研究の目的は、空間ボリュームの認識と、空間内の光の3次元的な分布と関係性を解析することで、定量的な評価指標を構築するとともに、設計ツールへの展開可能な技術情報として取り纏めることである。

令和元年度は、輝度の3次元分布計測に関して、2台の全方向カメラを用いることで視対象の方位と距離が計測できるシステムのアルゴリズムを整理した。これと平行して、空間ボリューム知覚の評価実験を行い、同一の容積の室において、照明環境の違いによる空間ボリュームの印象に与える影響を被験者実験により検討するとともに、その客観的評価手法として、個々の光源・反射面の輝度とその距離情報を取得し、これらの関数による評価の可能性を検討した。

次年度以降は、空間ボリューム知覚の評価実験に関して、評価対象とする室の実際の広さや照明条件を増やし、令和元年度に作成した空間ボリューム知覚評価方法の適用範囲を確認するとともに、室用途や行為ごとの適切な空間ボリューム知覚の範囲を検討する予定である。

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	材料・部材基準研究室	室長	脇山 善夫
建築研究部	構造基準研究室	室長	喜々津 仁密
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復旧の妨げとなった例もあり、地震直後にその健全性を迅速に判定できる方策が求められている。本研究は、地震発生直後から災害対応のために継続使用が求められる自治体庁舎等の拠点建築物について、地震発生直後に健全性を迅速に判定するための技術を開発することにより、地震直後に庁舎等の使用可否判断を、建築の非専門家である建物管理者が迅速かつ適確に実施できるようにすることを目的とする。

本年度は、構造体についてモデル解析より地震時の各部材の損傷度から推定される建物全体の残存性能と固有周期の変化の度合いを検討した。非構造部材について地震時の損傷評価が現状で明確な非構造部材に関する既存資料の収集・整理を行った。

工事中の溶接・溶断火花が発泡プラスチック系断熱材等に着火して火災に至る事例の対策に係る研究

Study on Countermeasures for Ignition of Insulating Materials Caused by Hot Work Sparks

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

建築研究部	材料・部材基準研究室	室長	脇山 善夫
		主任研究官	吉岡 英樹

[研究目的及び経緯]

工事中の溶接・溶断火花が飛散して、発泡プラスチック系断熱材に着火して火災に至り、更に死傷者が発生する事例も見受けられる。建築基準法施行令第百三十六条の八では、「建築工事等において火気を使用する場合には、その場所に不燃材料の囲いを設ける等防火上必要な措置を講じなければならない。」とされているが、それ以上の具体的な記述はなされていない。本研究では、不燃材料の囲いや防火上必要な措置等に係る対策を検討し、提案する。

令和元年度は先ず、関連する火災情報の収集を行うと共に、溶接・溶断火花の発生箇所と断熱材の距離をパラメータとして、着火の有無を確認する実験を実施した。次年度は、不燃材料の囲いや防火上必要な措置等に係る更に詳細な調査および実験を実施する予定である。

建築物の外装・防水層の長寿命化改修に資する既存RC部材の評価技術の開発

Development of evaluation technology on exterior and waterproofing membrane coating for long-life repairing of existing RC members

		(研究期間	平成 29 年度～令和 2 年度)
建築研究部	材料・部材基準研究室	室 長	脇山 善夫
		主任研究官	土屋 直子
住宅研究部	住宅生産研究室	主任研究官	根本 かおり
住宅研究部	住宅ストック高度化研究室	主任研究官	三島 直生

[研究目的及び経緯]

建設から 30 年以上が経過した建築物ストックが増加しており、これらの老朽化した建築物ストックに対し適切に補修・改修を行っていくことが求められている。構造躯体の保護及び美観の確保等の目的で施されている建築物の外装・防水層は構造躯体と比して耐久性が低く、建築物の長寿命化のためには適切に補修・改修を行い構造躯体の保護効果を維持することが重要である。外装・防水層の補修・改修工事において下地となる既存部材（コンクリート、モルタル、既存仕上げ等）について補修・改修時の要求性能の明確化及び診断基準の整備を行い、補修・改修層の品質確保及び耐久性の向上を図る。また、改修工事の際に散逸している場合の多い新築及び過去の改修工事の記録を効率よく補足し、改修仕様の決定に必要な建物の調査技術について検討・整備する。

令和元年度は、屋上防水層の補修・改修時の要求性能明確化に関する整理、仕上塗材仕上げやタイル仕上げ、シーリング目地等の複数回の改修に対応した劣化調査技術について検証実験を行い、個々の調査手法から得られる外装材の状態について整理した。

今後は整理した情報に基づき、改修工事の選定に参考となる判断基準について検討を行う。

建築プロジェクト管理を省力化、高度化する BIM データ活用

Utilized of BIM date for work-saving and development in building project management

		(研究期間	令和元年度～令和 2 年度)
建築研究部	材料・部材基準研究室	室 長	脇山 善夫
		主任研究官	土屋 直子
住宅研究部	住宅生産研究室	主任研究官	根本 かおり
住宅研究部	住宅ストック高度化研究室	室 長	片山 耕治
		主任研究官	三島 直生

[研究目的及び経緯]

既存鉄筋コンクリート造建築物の有効な活用に向けては、適切で効率の良い維持管理が求められている。主要構造材料である鉄筋コンクリートの劣化には鉄筋腐食があるが、この劣化の発生過程やパターンに関する研究は多くはない。劣化の発生過程やパターンが把握できれば、その知見を維持管理計画に活かすことができる。そこで、RC 模擬壁部材を用いて電食による鉄筋腐食促進実験を実施し、鉄筋コンクリート部材の鉄筋腐食の進行により生じる変状の過程を目視および打診により測定した。その結果、まず、かぶり手前側の鉄筋の配筋方向である横方向にひび割れが生じ、次に縦のひび割れ、浮き・剥離の発生ののちに剥落して露筋することを確認した。またかぶり厚さおよび配筋により、各変状の発生時期および量が異なることを確認した。

本結果は、維持管理の計画をする上で、劣化の発生時期や箇所を情報として管理することで適切な補修・改修の時期・方法を選定する際に役立つものである。

集成材接合の靱性保証設計のための割裂抑制技術に関する基礎的研究

Study on seismic design method for glulam structural joint based on inelastic displacement concept

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

建築研究部 評価システム研究室

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、非住宅用途・規模の大型木造建築物の普及に対する社会的な要望は高く、その構造設計技術の整備が求められている。木造建築物では一般に接合部を先行降伏させてエネルギー吸収させることが耐震設計上の基本思想であり、高い耐震性能が求められる大型建築物において塑性変形能が確保された接合部は必要不可欠な構造要素となる。しかし、一般建築材料である集成材を用いた接合部では割裂破壊のため塑性変形能が乏しくなることが課題となっており、本研究ではその抑制技術を開発することを目的とする。

令和元年度は、標準的な集成材断面に対する柱梁接合仕様を解析的に検討して構造実験を計画・実施し、想定割裂線に並ぶ接合具数等をパラメータとした複数の仕様に関して、全ねじスクリーによる割裂抑制効果を把握した。

天井のねじれ応答に関する研究

Study on seismic torsional response of ceilings

(研究期間 平成 30 年度～令和元年度)

建築研究部 評価システム研究室
Building Department
Evaluation System Division

室 長
Head

石原 直
ISHIHARA Tadashi

In regards to seismic response of ceilings, maximum floor acceleration and floor response spectrum have been studied by many researchers. But characteristics of seismic torsional responses of ceilings have not been clarified yet. In this research, seismic torsional responses of ceilings are investigated. A structural frame for investigating the response of ceilings is assumed to be linear without irregularity. Ceilings are also assumed to be linear but with plan irregularity. Characteristics of seismic torsional responses of ceilings are clarified comparing with those of structures directly supported by the ground.

〔研究目的及び経緯〕

建築基準法に基づく特定天井の基準では、地震時の天井のねじれ応答を抑制するため、斜め部材を釣り合い良く配置することとされている。しかし、例えば図-1 のように設備機器等との関係から偏った配置となる場合に、何をどの程度満足すれば釣り合いよい配置とみなしうるか必ずしも明確にされていない。

建築物の構造躯体を対象としたねじれ振動については多くの文献や研究があり、2 自由度系として扱える単純な線形の 1 層 1 軸偏心についても、モードの作図方法を示したものや、振動特性と評価指標に関する研究などがある。しかし、構造躯体の揺れが入力となる天井に関してねじれ振動を扱った研究等は見当たらず、上述の偏った配置の影響は明らかになっていない。

そこで本研究では地震時の天井のねじれ応答を対象とし、「釣り合い良い配置」の条件について検討することとした。

〔研究内容〕

図-2 に示すように重心 G を原点とした y 軸上に剛心 S がある線形の 1 層 1 軸偏心モデルを対象とする。天井などでは 1 層でのモデル化が可能と考えられる。また基礎的な検討としてパラメータを絞るために 1 軸偏心とする。偏心の指標には様々なものがあるが、本研

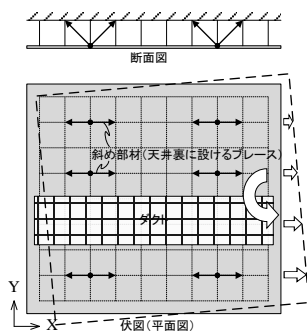


図-1 地震時の天井のねじれ応答

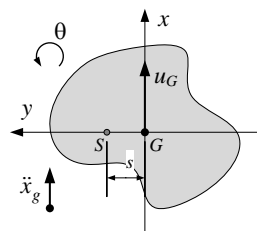


図-2 対象とする 1 層 1 軸偏心モデル
(G : 重心、 S : 剛心、 s : 偏心距離、 u_G : 重心の変位)

究では構造躯体の設計で用いられる偏心率を採用した。

まず、ねじれ応答には各種のパラメータが影響し複雑になるため、図解による地震応答の評価・表示方法に関して検討した。

天井は構造躯体に取り付けられるため、地震時には地震動(地面の揺れ)で揺すられるわけではなく、構造躯体の揺れで揺すられる(図-3)。こうした揺すられ方の違いを確かめるため、地震動の場合(以下、PS)と構造躯体の揺れの場合(以下、SS)とで比較を行いながら検討を進めた。なお、地震動等は図-2 の x 方向に入力した。

本稿で示す例では、構造躯体は 3 階建てで 1 次固有周期が 0.6 秒、天井はその最上層に取付くものを想定した。

用いた地震動は建築基準法の稀に発生する地震動(第 2 種地盤)を目標として作成した乱数位相の模擬地震動である。

時刻歴応答解析では構造躯体と天井(1 層 1 軸偏心モデル)のいずれにもモード解析を適用し、減衰定数は高次を含めて全て 5%とした。

〔研究成果〕

図解は重心まわりの回転半径 i で無次元化した座標軸上に示した。例として、固有円振動数比の 2 乗の求め方(図-4)やモードのピーク(絶対値の最大値)変

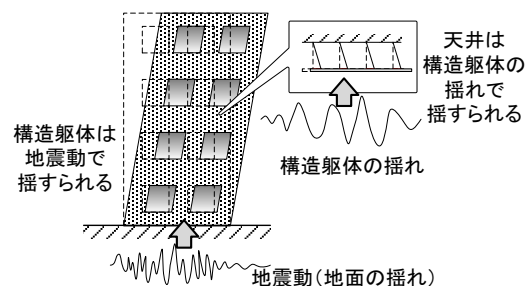


図-3 天井の揺すられ方

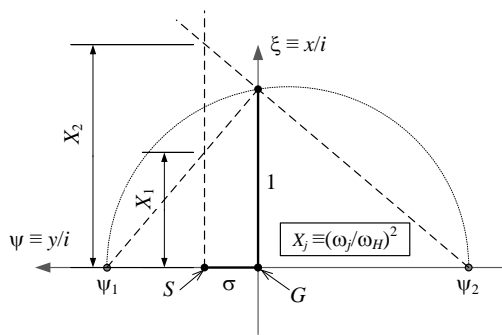


図-4 固有円振動数比の2乗 X_j の作図
(ψ_j : j 次回転中心、 ω_j : j 次固有円振動数、 ω_H : 偏心なしの固有円振動数)

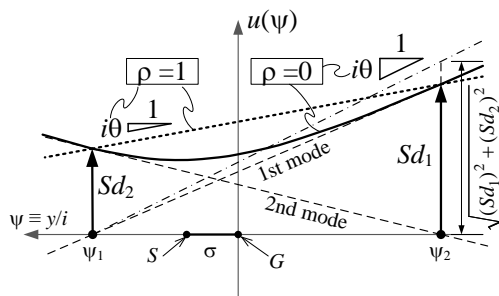


図-5 ピーク値の作図

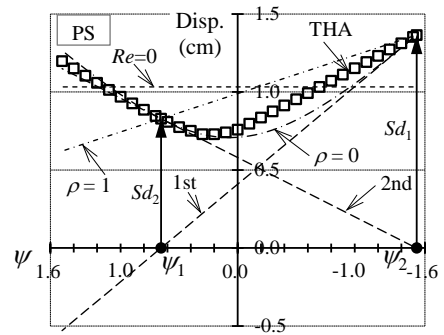
(Sd_j : j 次等価1自由度系のピーク変位、 ρ : 相関係数)

位と各位置でのピーク変位の表示方法(図-5)などを示した。図解により、ねじれ応答の推定や結果の解釈が容易となった。

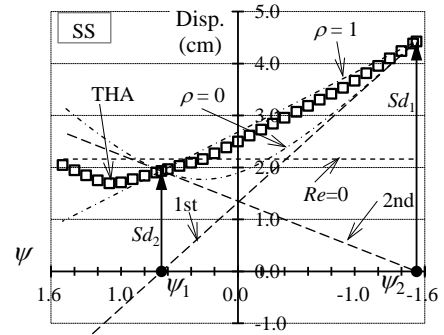
時刻歴応答解析から、ピーク変位の分布の例を図-6に示す。プロットが時刻歴応答解析(THA)であり、図中には偏心なしの時刻歴の結果($Re=0$)とともに図-5に倣って各モードのピーク値(1st、2nd)とそれらに基づく推定値($\rho=1$ 、 $\rho=0$)を併記している。図-6(a)のPSでは $\rho=0$ に、図-6(b)のSSでは $\rho=1$ に近い。一般にPSに比べてSSでは ρ が1に近くなる(モード応答の相関が高まる)ことが指摘されており、本例でもその傾向が結果に表れていた。

ねじれの程度を表すため、重心の並進変位に対する回転(ねじれ)変位の比(以下、回転比)を図-7に示す。縦軸が回転比、横軸は偏心なしの固有周期 T_0 であり、凡例に示す4つの偏心率 Re の結果である。図-7(a)のPSでは Re ごとに T_0 によらず回転比がほぼ一定であるのに対して、図-7(b)のSSでは T_0 による回転比の変化が大きい。SSでは、構造躯体の固有周期(0.6秒)よりも偏心なし固有周期 T_0 が十分短ければ、PSに比べて回転比は小さくなっている(図の赤塗の領域)。

本研究の結果から、特定天井の斜め部材の「釣合い良い配置」に関しては、天井の固有周期が十分短い(十分に固い)ことを条件とすれば、構造躯体に比べて緩やかな規制であっても十分な場合があることが示された。



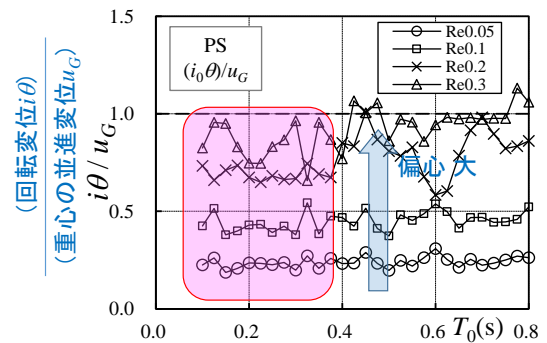
(a) PS



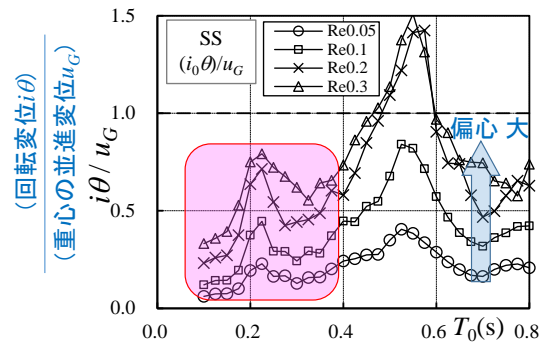
(b) SS

図-6 ピーク変位

($T_0=2\pi/\omega_H=0.4$ 秒、偏心率 $Re=0.2$)



(a) PS



(b) SS

図-7 ねじれ(回転)変位の比

(i : 回転半径、 θ : 回転角、 u_G : 重心の変位、 $T_0=2\pi/\omega_H$: 偏心なし固有周期、 Re : 偏心率)

【成果の活用】

本研究の成果は、特定天井の大臣認定における性能評価や解説書の改訂時に技術的資料として活用しうる。