

BCJ 技研レポート Vol.6 2024.4.

第6号：アニュアル・レポート 2024

この度、建築技術研究所の所長に就任いたしました。

就任にあたり、建築技術研究所の役割と責任を改めて深く認識し、建築界の発展に貢献できるよう、尽力してまいります。

これまでの建築技術研究所ビジョンを踏まえ、時代の変化に柔軟に対応できるよう、重点課題を再設定し、より具体的な研究テーマを掲げました。

特に、今年度からは、産学官の連携を強化し、他の研究機関との協力体制を構築することで、研究成果の社会還元を目指します。

建築界の更なる発展に向け、皆様のご協力とご支援を賜りますようお願い申し上げます。

なお、新たに定め直した建築技術研究所ビジョンを次頁にご提示いたします。

2024年4月

一般財団法人 日本建築センター
建築技術研究所 所長 深尾 精一
(首都大学東京名誉教授)

目次

建築技術研究所ビジョン				p2
I. 建築技術研究所 2023 年度の成果報告				
1. BIM を活用した建築確認				p4
2. 既存建築物のリノベーション等の円滑化に資する取り組み				p5
3. 中・高層木質系建築物の評定・評価に対応する課題				p5
II. BCJ 研究支援(2023 年度)による成果報告				
1. セメント系 3D プリンタによる建築物の一般化に向けた課題の調査	東京大学大学院准教授	田尻 清太郎		p6
2. 木質系構法開発の国際比較	東京大学大学院准教授	権藤 智之		p8
3. 実構造物のひずみ計測による設計用外力モデルの検証	横浜国立大学大学院教授	松本 由香		p10
4. 避難安全のためのセキュリティ (アクセス制限) ガイドライン	東京理科大学教授	萩原 一郎		p12
III. 建築技術研究所のご案内				p14



「建築技術研究所ビジョン」

一般財団法人日本建築センター（以下、日本建築センター）は、公益への貢献を使命とする法人としての社会的役割を果たしていくために、建築技術研究所を設置し、建築分野の産学官（民間機関（企業）、学識経験者、行政機関）間の交流を促進し、建築界の発展などに寄与することを目指し、調査、研究を展開しています。

建築技術研究所では、戦略的、計画的に調査・研究業務を推進するため、5年程度の期間を見据えた活動方針として「建築技術研究所ビジョン」を策定しています。このたび、小改訂を行いました。

今後想定される人口・世帯数の減少に伴い、建築界では新規住宅の建設需要の減少が予想されます。一方で、社会・経済分野の構造変化による建築物に対するニーズが多様化・高度化していくと考えられます。そのような中において、2015年に開催された国連サミットにおいて、世界を持続可能なものにしていくための開発目標（SDGs: Sustainable Development Goals）が国際的に合意されました。その目標達成の実現に向けて、建築界の役割も大きなものとなっています。中でも、環境負荷の一層の低減を図るための建築ストックの有効活用や、良質な建築物による安全安心で住み続けやすい都市空間の形成が、喫緊の課題としてあげられています。

日本建築センターの歴史を振り返りますと、1965年（昭和40年）に設立されて以来、国や民間機関等から研究等を受託し、新技術の開発促進や実用化、そしてその普及に向けて、構造・防災、防火・避難、衛生・環境などの幅広い分野に関連する基準の策定、講習会テキストの編集、されにはそれらを使用した講習会や技術提案競技などを行ってまいりました。また、各種の調査・研究事業および情報提供事業では、学識経験者等を主体とする委員会を設置し、民間機関の技術者との連携体制を構築してまいりました。

そのような中、1998年（平成10年）の建築基準法改正により確認検査業務が民間に開放され、建築基準の性能規定化などが導入されました（平成10年改正前の建築基準法第38条認定の廃止と構造方法等の認定の導入など）。これにより、設立時から進められていた日本建築センターの中心業務である技術審査・評価業務のあり方が大きく変化することになりました。端的に言えば、調査・研究業務についても、縮小傾向にあったといえます。

しかし、昨今の社会・経済状況の大きな変化のもと、現在の建築界を概観すると、改めて、新しい技術（構造・防災、防火・避難、衛生・環境等の分野における設計手法、施工方法等のソフト面、および工法、部材・部品等のハード面の2面）の開発、実用化が日進月歩で進められています。それに伴い、それらの新技術を適切に審査・評価する体制（システム）の構築が求められています。

60年ほどの歴史を持つ日本建築センターは、建築技術、特に新しい技術に関する技術審査・評価を担ってきた機関としての蓄積を有しています。また、中立かつ公正な立場で、建築関係企業、学識経験者、行政機関と幅広く、かつ長期間にわたるネットワークを構築しております。

これらの2つの資源を活かすべく、2018年度（平成30年度）に建築技術研究所の業務を再開し、建築界の発展に向けて調査・研究に改めて力を傾けているところです。

再開にあたり、取り組むべき課題として三つの課題が設定されました。一番目は、2015年開催の国連サミットにおいて合意された“持続可能でよりよい社会の実現”を目指すSDGsに係る建築関連産業の取り組みに対する支援とフォローアップです。二番目は、日本建築センター発足時より担ってきた、平成10年改正前の建築基準法第38条による大臣認定建築物ストックに対する取り組みです。すなわち、段階的に社会

・経済状況の変化に伴って強まってきている、増改築・用途変更などのリノベーション事業や、耐震改修事業に係る阻害要因の明確化と解消策の提案等のフォローアップです。そして三番目は、通信・処理等の電子化の進行に伴う、建築確認等の審査における電子申請に対応する BIM (Building Information Modeling) に係る、国ならびに企業の取り組みに対する支援とフォローアップです。これらの課題のうち、一番目の SDGs に関しては、建築関連産業が SDGs を導入するためのガイドライン^{*)}を刊行するなどの啓発活動を行ってきました。今後は、建築物のホールライフカーボンの算定等に資する取り組みを推進して行くと共に、2030年の目標達成までの我が国における活動支援に、継続して取り組んで参ります。また、二番目と三番目の課題については、現在に至るまで継続して活動しております。

建築技術研究所の活動再開後6年を経過する現時点(2024年度)においては、政府によるDX(デジタルトランスフォーメーション)等のデジタル化推進施策と、建築界におけるIoTやAI活用等のデジタル技術の利活用が急速に進展しております。建築技術研究所としても、建築界の目指すべき将来像の実現のため、一層の貢献をすることが求められています。

近年は、地球環境維持の観点から、中・高層および大規模建築の木質構造化が、世界的なテーマになっています。そして、建築基準法等も、そのような動きに合わせる改変が進められています。建築技術の在り方も、大きく変化してゆくことでしょう。

約百年前に鉄筋コンクリート構造が世の中に出現し、建築の作り方に大変革が起こったのと同様なことが今後起きることが予想されます。

建築技術研究所は、技術審査・評価業務等に関する組織としての日本建築センター、ならびに人としてのセンタースタッフの技術力・知識の向上を図り、新たな蓄積を増やしてまいります。そして、産学官とのネットワークを積み重ね、必要とされるニーズにすばやく対応することにより、継続的な建築界の発展に寄与できる機関として調査・研究に取り組んでまいります。

今後、具体的に取りあげる研究テーマは、その時々为社会情勢等を踏まえ、先進的かつ注目度が高く、加えて、関係者の問題意識が高い事柄について、重点的に調査・研究を進めてまいります。それとともに、各分野における顕在化していない研究テーマについても、日本建築センターの組織および構成員スタッフの将来対応への能力を備えておくためにも、将来ニーズに対する先行対応としての取り組みを怠ることなく進めて参ります。

さらに、産業界や学会と行政をつなぐ技術に関し、我が国の社会において十分な取り組みが進んでいない分野について、建築技術研究所に設けた諮問委員会、基本企画委員会においてご意見をいただき、優先順位をつけつつ、調査・研究対象の幅を拡大します。そして、それらの成果について、年次レポートの発行等の情報発信や技術評価に関する手法の開発や仕組みの構築等の様々な方法により、建築技術研究所から社会へと還元していくことを目指します。

2024年4月1日

一般財団法人日本建築センター
建築技術研究所 所長 深尾精一

(2024年1月1日に久保哲夫前所長の跡を引き継ぎ、深尾精一が所長に就任致しました。)

^{*)} 建築関連産業とSDGs編集委員会編：「建築産業にとってのSDGs(持続可能な開発目標)－導入のためのガイドライン」, 190 pages, (一財)日本建築センター, 2019年2月。

建築関連産業とSDGs編集委員会編：「これからの工務店経営とSDGs(持続可能な開発目標)」, 200 pages, (一財)日本建築センター, 2020年2月。

I. 建築技術研究所 2023 年度の成果報告

1. BIM を活用した建築確認

■調査研究の概要

BIM (Building Information Modeling) は、コンピュータ上に作成した3次元形状情報に加え、総合的な建物情報モデルを構築するシステムで、建築分野の各プロセスにおいて、広く活用されるようになってきている。国土交通省も、2025年度内に BIM 確認申請を一部試行開始の方針を示しており、2027年頃には全国展開も予定されている。

「建築確認における BIM 活用推進協議会（会長：松村秀一）（協議会事務局：日本建築行政会議指定機関委員会（事務局：日本 ERI(株)と BCJ が共同で実施)）」では、2019年度より、建築確認における BIM 活用推進に向けた活動を行っている。

以下に、2023年度の[一般建築]作業部会の成果概要を、協議会事務局としてまとめた。

■2023年度の成果概要

(1) 確認申請用 CDE (共通データ環境) における利用を想定した審査用プログラム等の仕様の検討

(1-1) 整合性の高い確認申請図を用いた審査手法の検討

「BIM 図面審査」を BIM データから出力された整合性の高い PDF 図面による審査方法と定義し、整合性の高い PDF 図面の作成方法や、取扱い方法、これを補完する IFC データの取扱いについて検討を進めた。

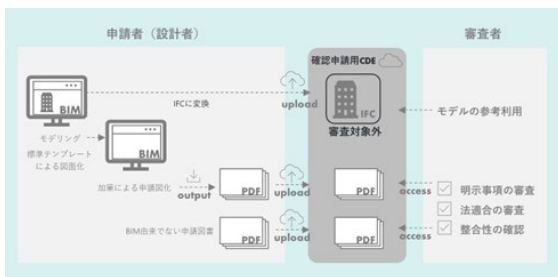


図1 BIM 図面審査のイメージ

さらに、整合性の高い確認申請図を作成するために必要となる標準テンプレートをはじめとしたツール等の開発にあたり、確認申請図面の表現に係る、①凡例、②特記事項の整理、③有効寸法の表現、④求積方法による小数の整理についても検討した。

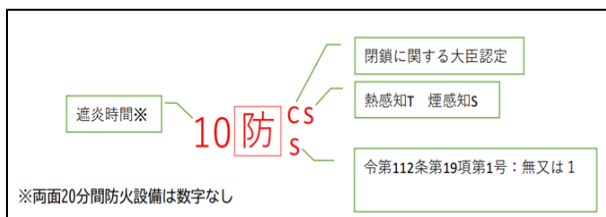


図2 検討例（凡例）

(1-2) 「BIM 図面審査」の実施に向けた確認申請用 CDE 構築の検討

CDE を用いた「BIM 図面審査」の手順を検討した。実施に当たっては、主に「電子申請用受付システム」の利用を前提に検討、申請者と審査者双方が、審査過程の全てのやりとりを「確認申請用 CDE」を用いて行い、審査完了の段階で「電子申請用受付システム」に戻り、終了すると整理した。

(1-3) BIM データを用いた審査の検討

「BIM データ審査」とは、BIM データに内包された情報をビューアにより審査ごとに適した方法により表示し確認することで、PDF による図面を代替する審査方法であるとの定義案とした。また、BIM データ審査検討のための検証環境を、今年度も建築研究所から借用し検証した。

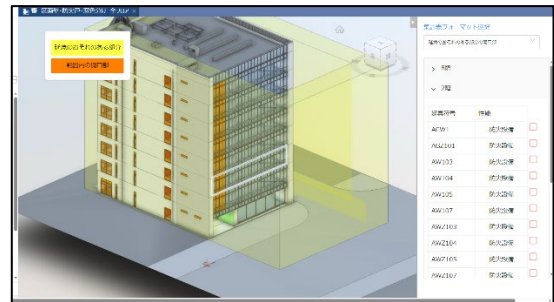


図3 検討した BIM ビューア画面構成

(2) 国土交通省建築 BIM 推進会議及び各部会との連携した取組み、BIM 活用に係る課題検討等

戦略 WG へ進捗報告すると共に、審査 TF・標準化 TF 連携によるロードマップに基づいたタスクの実施を行った。

(3) BIM 講習会支援を通じ、協議会成果の普及を推進

建築確認における BIM 知識の普及を目指して、日本建築行政会議の正会員（451 特定行政庁、144 指定確認検査機関）向けに BIM 操作講習会を全国で基礎編 11 回、応用編 8 回の合計 19 回を参加費無料で実施した。

(4) (1)(2)(3)の成果を踏まえた報告書の作成・公開

検討成果は報告書にとりまとめ、協議会 WEB サイトへ掲載・公開する予定である。

【協議会 WEB サイト：<https://www.kakunin-bim.org>】

■今後の予定

協議会は、事業計画に基づき、国土交通省「建築 BIM 推進会議」の部会 3「BIM を活用した建築確認検査の実施検討部会」に位置づけられている。部会 3 では、部会間連携を図ると共に、国土交通省の検討の方向性を踏まえ、本年度の検討を継続しつつ、2024年度も建築確認における BIM の活用推進へ向けて一層の検討を行う予定である。

I. 建築技術研究所 2023 年度の成果報告
2. 既存建築物のリノベーション等の
円滑化に資する取り組み

■調査研究の概要

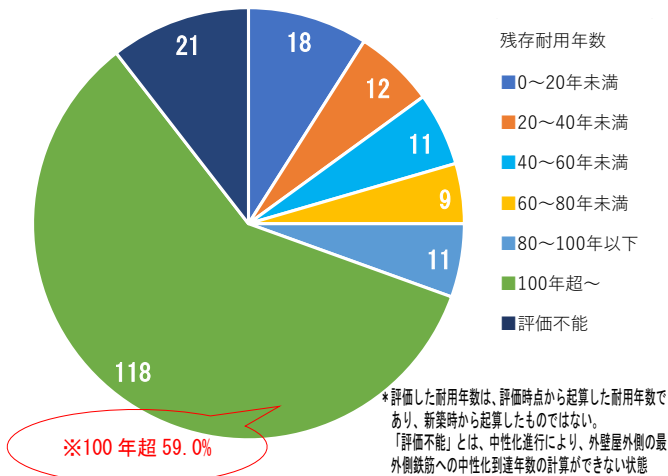
- ① 既存RC造建築物の耐用年数の評価方法等の改善
- ② 旧38条認定建築物の改修等における法適合性確保

■2023 年度の成果概要

- (1)鉄筋コンクリートの中性化に影響する強度、仕上げ材等の関係を評価データから整理し、評価方法の改善を進めた。
- (2)耐用年数評価を活用することにより、既存建築物の長寿命化と LCC の低減等に資することを訴求した。
- (3)旧 38 条認定建築物の改修等に関する相談を受け、法適合化の支援を行った。

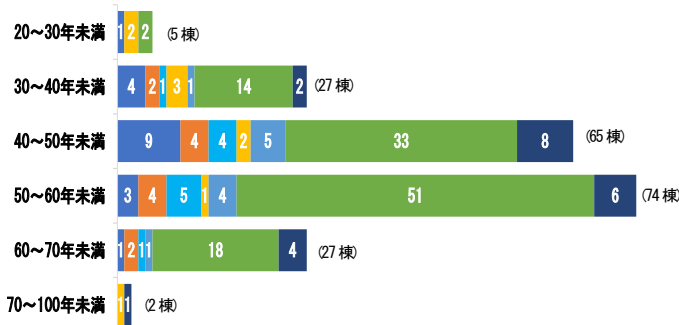
【参考】耐用年数評価結果の概要 (2024 年 3 月末現在)

① 評価建築物200棟の耐用年数*の分布



② 築年数レンジ別の耐用年数分布

- ・築50年以上のものは、外壁の仕上げ材のモルタルの中性化抑制効果により、耐用年数が長期のものが多い。
- ・築50年未満のものは、強度は高いがモルタル仕上げでないものが多く、中性化が進行している割合が高い。



■今後の予定

2024 年度も引き続き評価データをもとに分析を進め、評価精度を向上させるとともに、広く訴求していく。

I. 建築技術研究所 2023 年度の成果報告
3. 中・高層木質系建築物の
評定・評価に対応する課題

■調査研究の概要

中・高層木質系建築物での木材の利用拡大の動向を踏まえ、構造及び防火・防災性能の評定並びに性能評価(以下、評価)にあたっての課題整理を行った。

■2023 年度の成果概要

(1)該当案件の情報収集、及び、BCJ 担当者間のブレインストーミング

BCJ の評定・評価案件における対象案件を抽出し、申請内容等の調査を行った。また、表 1 の通り BCJ 担当者間で、3 回のブレインストーミングを行い、当該案件の申請内容等について情報共有を行った。

表 1: ブレインストーミングの概要

第 1 回	企画書等に基づき、BCJ に申請される中・高層木質建築物の評定・評価案件に関する情報共有を行った。
第 2 回	BCJ に申請された、中・高層木質系建築物の評定・評価案件について、構造の観点から法的位置付け、評定内容等について情報共有を行った。
第 3 回	防火の観点から中・高層木質系建築物における法的整理を行った。また、補助金事業について、情報共有を行った。

(2) 課題の整理

防耐火、構造それぞれの観点から、次の考察及び課題の整理を行った。

①防耐火

中・高層木質系建築物に関する評定、評価案件の事例は殆ど無く、中・高層木質系建築物においては、多くが主要構造部に大臣認定を取得した部材を用いた建築物であった(仕様規定)。耐火性能検証法等においては、体育館やドーム建築等の天井が高い建築物の事例は多く、中・高層木質系建築物の事例はほとんど無いと思われる。

②構造

評価案件は、超高層建築物、免震建築物等により時刻歴応答解析を用いている。評定案件については、接合部に関する評定内容が大多数であった。個々の案件特有の課題が多く、申請案件毎の対応が必要と思われる。

■今後の予定

2024 年度は、「中・高層木質系建築物」を「中・高層及び大規模木質系建築物」とし、検討対象を拡大した上で、調査・研究を継続する予定である。

II. BCJ 研究支援（2023 年度）による成果報告

1. セメント系 3D プリンタによる建築物の一般化に向けた課題の調査

東京大学大学院准教授 田尻清太郎

■調査研究の概要

近年のセメント系 3D プリンティング技術の発展は目覚ましく、建設分野においても、これまでは困難であった自由度の高い形状の建築物の施工への活用のみならず、労務者の熟練度によらない安定した品質の施工の実現、労務量そのものの低減などの効果も期待されている。海外では 3D プリンタを用いた建築物が許認可を受けた上で実際に建設されている例も多数見られ、米国の設計基準 IRC では 3D プリンティングに関する記述も追加されている。一方、国内ではごく小規模な建築物や建築物の一部に 3D プリンティング技術を適用した個別事例も見られるようになってきたが、海外には遅れをとっている状況で、今後の普及を考えた場合、3D プリンティングによる建築物を対象とした設計法、性能評価法、許認可システムなどの整備が必要と考えられる。

そこで、本調査研究では、特に先行している海外諸国を中心に、3D プリンティングによる建築物の技術開発から供給に至るまでの現状や課題などを調査、整理、分析し、今後の日本におけるセメント系 3D プリンタによる建築物の普及を視野に入れた設計法、施工法、許認可システム等の整備に資する知見を特に構造安全性の確保の観点からとりまとめた。

■国内の動向

(1)建築物への適用事例

国内では 2021 年頃から実建物への 3D プリンティング技術の活用が見られる。

①外装材等の非構造部材への活用

群馬県渋川市の倉庫¹⁾は国内で初めて建築確認を受けた 3D プリンティング建築物である。構造体を鉄骨造とすることで、3D プリンティング部材は外装材（非構造部材）として利用されているものと思われる。

②RC 部材の埋設型枠（非構造部材）への活用

豊洲六丁目 4-2・3 街区プロジェクト²⁾では、自由曲面形状を有する柱の埋設型枠として、繊維補強モルタルで積層造形した 3D プリンティング型枠を適用している。埋設型枠は応力を負担しない非構造部材として設計されている。

③RC 部材の埋設型枠（構造部材）への活用

潮見イノベーションセンター（仮称）の駐車場³⁾では、屋根を支持する斜め柱のコンクリート型枠として、構造体の一部として構造計算に算入できる「プリント構造体型枠」を活用している。②と異なり設計上構造部材として扱っているが、主な相違点は、使用されている型枠材料に基準強度や許容応

力度が設定されているか否かという点であり、力学的性能には大きな差がない。

④構造部材への活用

前掲の潮見イノベーションセンター（仮称）の駐車場³⁾では、アーチ状の構造体の一部に、3D プリンティング用のコンクリート材を積層して構築した「プリント構造体」が適用されている。②、③のように 3D プリンティング材を型枠に用いるのではなく、構造部材そのものを 3D プリンティング材で作製したものである。

(2)法的取扱い

3D プリンティング材料を構造要素に用いるか否かで大きく分かれる。非構造要素に用いる場合には規制がない。構造要素に用いる場合、通常、材料強度や許容応力度が必要であるが、3D プリンティング材料に材料強度や許容応力度を設定できず使用できない。ただし、法第 20 条の大臣認定により建築物全体の構造安全性を確認することができればその限りではなく、これに基づき 1 棟ごとに大臣認定を受けることで使用できる。

■海外の動向

(1)建築物への適用事例

中国では 2015 年に 5 階建て建物が建設された⁴⁾ほか、ドバイでは 2016 年に 2 階建て事務所⁵⁾、アメリカでは 2021 年より低層住宅群へ適用⁶⁾、ヨーロッパ各国でも建物への適用が試みられている⁷⁾。これらの大半は非構造部材として利用されているが、中には一部構造要素として利用されているものもあると推察される。

(2)法的取扱い

海外の事例の認証状況に関する調査分析⁷⁾では、構造要素、非構造要素、その中間としての使用さまざまあり、それに伴って認証プロセスが異なること、また、たとえ同じ構造要素であってもプロジェクトごとに認証プロセスが異なること等を指摘している。具体的には、例えば、既存の RC 造や組積造の設計基準に準じたものや、さらに詳細に実験検証を求められたプロジェクトもある。いずれにしても、3D プリンティング建物のための汎用的な設計基準は完全には整備されておらず、個別判断によっているのが現状である。

しかし、設計基準の整備は進められており、特に 3D プリンティング材料の品質管理基準については、先行している。アメリカでは住宅向けの基準である 2021 International Residential Code (IRC) の Appendix AW において、3D プリ

ンティング建物の建設に関する規定が追加されている。本規定では UL3401 規格⁸⁾に基づき、3D プリンティング建物の評価を行うことが規定されている。UL3401 ではプリンタの性能、製造プロセス、材料、品質管理手順、製造記録に関する評価法を定めている。中国でも T/CECS 786-2020 “Technical specification for concrete 3D printing”が 2021 年 5 月に制定され、3D プリンティング建物の材料や物性に関する規定が定められている⁹⁾。

■今後の課題

(1)3D プリンティング材料の品質確保

3D プリンティング材料を構造耐力上主要な部分に使用するためには、安定した品質の確保が必要である。コンクリートのような汎用的な材料は建築基準法第 37 条に従い、品質管理が行われているが、3D プリンティング材料には品質管理の基準がない。前述の通り海外では品質管理の規定の整備が進んでいるし、国内でも土木分野では規定化に向けた検討が進められている⁹⁾。建築分野でも品質管理基準の整備が求められる。それに合わせて基準強度、許容応力度の設定ができる仕組みも必要である。

(2)構造設計法の整備

現状の 3D プリンティング建物は、大きく分けても非構造部材、埋設型枠（非構造部材）、埋設型枠（構造部材）、構造部材への利用が見られ、それぞれに適した構造設計法は異なってくるし、同じ構造部材への利用でも、用いる材料や構法によっても異なるだろう。また、セメント系 3D プリンティング材料にはコンクリートと似た材料が用いられているものの、積層に伴う直交異方性が表れる等、コンクリートとは構造性能が異なるし、鉄筋の代わりに繊維補強を行ったり、立体的な曲線部材を使用したりと通常の RC とは異なる部材構成も多く用いられるため、RC 造建物の構造設計法は参考にはなるものの、全く同じ設計法で必要十分ではない。現状の国内での事例は、海外とは異なり、ごく小規模な建物への適用にとどまっている。結果として構造安全性に対しては十分余裕のある設計となっており、構造安全性に対する問題は顕在化しづらい状況と考えられる。しかし、今後適用建物を広げていく際には、3D プリンティング材料やそれを用いた構造部材の特性を十分に把握した上で慎重な構造安全性の検討が必要になってくるし、それらを汎用化していくためには構造設計法の整備が必要になってくる。

海外でも構造設計法の整備には至ってはいないものの、例えば RILEM の TC 276 がとりまとめたレポート¹⁰⁾でも構造設計について議論されていたり、設計法に関する研究^{例え}¹¹⁾も実施され始めており、日本でも検討が急がれる。

■まとめ

3D プリンティング建物に関する国内外の状況を概観し、今後の課題について紹介した。海外の最先端からは一歩遅れているものの、その差はまだ大きくない。設計法はそれぞれの国の設計体系に大きく依存する。国内での普及のためには日本における設計法の開発が急務である。

謝辞

本調査研究の実施にあたり、卒論生の足立伸基君に多大なる貢献を頂いた。ここに記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 株式会社 Polyuse. “Polyuse 製 3D プリンタでの 10 m²以上の建築物施工に国内初成功！！海外で先行する 3D プリンティング建築の国内適応技術を確立”. PR TIMES. 2022-2-15. <https://prtimes.jp/main/html/rd/p/000000010.000049711.html> (参照 2023-10-24)
- 2) 清水建設. “3D プリンティング技術を活用し、自由曲面形状の大規模コンクリート柱を構築”. 2021.02.04. <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2021/2020053.html> (参照 2023-11-24)
- 3) 清水建設. “3D プリンタでコンクリート構造体を印刷”. 2023-06-07. <https://www.shimz.co.jp/company/about/news-release/2023/2023010.html> (参照 2023-11-24)
- 4) Archdaily. “Chinese Company Constructs the World’s Tallest 3D Printed Building”. 2015-01-26. <https://www.archdaily.com/591331/chinese-company-creates-the-world-s-tallest-3dprinted-building> (参照 2023-11-24)
- 5) VisitDubai. “The office of the future”. <https://www.visitdubai.com/ja/places-to-visit/the-office-of-the-future> (参照 2023-11-24)
- 6) Gallagher, “3D Construction Trends and 3D Concrete Printing”, <https://www.ajg.com/us/news-and-insights/2023/aug/3d-construction-trends-and-3d-concreteprinting/#:~:text=3DCP%20is%20still%20in%20its,office%20buildings%20and%20even%20bridges> (参照 2023-11-19)
- 7) F.P. Bos, et. al. (2022), The realities of additively manufactured concrete structures in practice, Cement and Concrete Research, Volume 156, <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0008884622000370> (参照 2022-10-24)
- 8) UL. “UL LLC Outline of Investigation for 3D Printed Building Construction”. 2022-11-28. <https://www.shopulstandards.com/ProductDetail.aspx?UniqueKey=43696> (参照 2023-10-24)
- 9) 土木学会. “3D プリンティング”技術の土木構造物への適用に関する研究委員会（364 委員会）成果報告書“. コンクリート技術シリーズ. 2023-10-20
- 10) Nicolas Roussel and Dirk Lowke, Digital Fabrication with Cement-Based Materials. State-of-the-Art Report of the RILEM TC 276-DFC, <https://doi.org/10.1007/978-3-030-90535-4>.
- 11) Delavar, Mohammad et al. “Seismic Design Methodology for 3D Printed Concrete Buildings,” HUD User, <https://www.huduser.gov/portal/periodicals/cityscape/vol25num1/ch9.pdf> (参照 2024-3-11)

II. BCJ 研究支援（2023 年度）による成果報告

2. 木質系構法開発の国際比較

東京大学大学院准教授 榎藤智之

■調査研究の概要

前報¹⁾では、欧米・アジアから 10 の国・地域を選び、木質化の状況について、制度、材料、主体、事例の 4 つの項目からまとめた。この中でも特徴的な取組みが見られたスウェーデンについて、2023 年 6 月に現地調査を実施する機会があり、本報では前報と同じ 4 項目にしたがいまとめた。2024 年 2 月にアメリカで工業化工法に関連するシンポジウムおよび木質工業化工法に関する見学を実施する機会もあったため、こちらも簡単にまとめる。他に、日本建築士連合会の会誌「建築士」において、「木質化をめぐる海外の動向²⁾」を企画し、カナダ、スウェーデン、シンガポール、台湾について、現地で活動経験のある 4 人の著者に寄稿してもらった。日本の事例として、CLT のユニットとパネルを組み合わせる施工された事例について、設計・施工担当者に対してインタビューを行ったが、この梗概では割愛する。

■2023 年度の成果の概要

1. スウェーデン

(1) 制度

前報でも述べたように、スウェーデンで 3 階建て以上の木造建築の制限が撤廃されたのは 1995 年のことであるが、各地で中高層木造の事例が見られる。木造建築に積極的な自治体の例として、シェレフティオ市は人口 7 万程度の地方都市であるが、大規模なバッテリー工場が建設されたこと等によって人口の増加が見込まれており、周囲に多く存在する木材を活用した地域の活性化を進めている。行政担当者等からは「木のシリコンバレー」といった発言が何度も聞かれた。同市を象徴する建物が、木造 20 階建ての Sala Culture Center（2021、写真 1）である。建物は、下層階の市民センター、ホールと上層階のホテルで構成される。上層にホテルが乗る下部がスパンを飛ばしたオープンスペースとなっていて、市民センター、ホール、ホテルにつながる。オープンスペース上部の構造切り替えの鉄骨造部分を除くと、エレベーターのコア等を含めて木造で構成される。コアは厚さ 420 mm の CLT が使われている。上部のホテル客室は幅 3.6m のモジュラーを工場で製造した。

シェレフティオ市のように、小規模な地方自治体の中でも、木造建築を推進するところが見られる。こうした動きをサポートするために、Woode City Sweden と呼ばれるプログラムがあり、設計事務所、建設会社、木材流通会社等との情報交換や、地方自治体に対する政策立案の支援が行われている。

Wood City Sweden が推進する 1 つのプログラムが、既存建

築屋上部に木造で増築を行う Timber on Top である。代表的な事例として、Trikafabriken（写真 2）は 1928 年に建てられた 2 階建て旧繊維工場の上部に木造 5 階建てで増築した建物である。上部への増築については他の構造でも行われているが、木造で増築した理由は近く環境評価上の理由（BREEAM）と地下躯体の負荷軽減である。建物自体は、柱・梁など大断面集成材で構成される。政府系の環境団体が入居しており、90%の家具を再利用している。



写真 1 Sala Culture Center 写真 2 Trikafabriken

スウェーデンの建築基準は Boverket が作成しており、モジュラー建築等の特殊な工法については、Type Approval と呼ばれる日本の型式認定に近い、個々の審査を簡略化する仕組みがある。2024 年からは認定を受けた設計事務所は性能基準について、自社で確認することができる新制度の移行期間が開始される。

(2) 材料

スウェーデンでは、2022 年に Climate Declaration と呼ばれる制度が開始され新築時に建築施工に関わる温室効果ガスの排出量の算定が義務づけられ、関連して排出量算出のためのデータベース、計算方法も整備された。こうした動きも建築物の木質化を後押しすると考えられる。

今回訪れた中では、Martinson は大規模製材所であり、年間 44 万 m³程度を製材し、10 万 m³程度の集成材・CLT を製造している。CLT の製造ラインは 2017 年から稼働し、マザーボードは 6m×20m まで製造が可能である。隣接して、大型部材の加工工場も建設され、訪れた際には長さ 30m を超えるトラスが製造されていた。Strandparken（2013）はストックホルム市郊外に建つ 4 棟の集合住宅であり、この 1 棟目（6 層）がスウェーデン初の CLT 建築である。CLT は Martinson から供給された。民間からの資金調達に難しく、年金機構から行っている。今回訪問した複数事例に共通して、外壁に使われる木材の変色はシルバーと言われて許容されている。

(3) 主体

Folkhem は 2013 年に設立された木質化建築を中心に開発

する民間ディベロッパーである。Cedar House (2023) は、Folkhem によるストックホルム市の再開発地域に建つ集合住宅であり、10~13 層の 4 棟で構成される。各棟の下 2 層は RC 造であるが、3 層より上は、コア部を含めて木造で構成されている。前掲の年金機構のように、発注や資金調達において、木質化に関心のある主体が見られた。

スウェーデンは住宅のプレハブ化率が高く、道路の輸送制限も日本と比べれば緩いため、大型のモジュラー工場や、モジュラー建築が見られる。具体的には、建築用のモジュラーは幅 4.15m まで許可が不要であり、4.5m までは前後に警備の車両を付ける必要がない。Lindbacks はモジュラー専門の供給業者であり、設計・製造・施工に加えて、1, 2 割程度は自社で開発行為も行う。同社のモジュラーは外形で 4.5m × 10.8m を標準とする。同工場では最大 80 ユニット/週の製造が可能である。

Tallen Building (2017、Tallen は Pine の意、写真 3) はピーティオ市のバスターミナル横に建つ最高 10 層の集合住宅である。廊下部分は折りたたんでモジュラーに取り付けて運ばれ、現場で展開するなど輸送効率を上げる工夫が見られる。バルコニーも CLT でつくられ特殊なコーティングが表面になされている。このように製造されるモジュラーは大型であり、内装仕上げも塗装で一度に仕上げており、生産性は高いと考えられる。一方で、タイル等の外装仕上げは現場施工で行う場合が多く、時間・費用がかかると考えられるが、外見からは在来で施工されたものと見分けがつかない。日本では地震等の関係からモジュラーの積層には課題も多いと考えられるが、制度の柔軟な運用等見習う点もあるように感じた。

(4) 事例

Wisdom Stockholm (2023) は国立科学博物館の中庭に建設されている体験施設である。26m × 48m の大きな曲面屋根の下に、CLT の三角形パネルを組み合わせた半球状のシアターを備える。曲面屋根は建物の長手・短手方向に直交するように 5 層の曲線材が組み合わされ、これをダボで固定している。各層はそれぞれ 5 枚の LVL を重ねて構成される。最も下層の 1 層 (5 枚) のみ工場であらかじめ曲げてから現場に搬入され、他の 4 層は施工現場で曲げられる。加工が難しい最下層のみスイスの Blumer Lehmann 社で加工された。



写真3 Tallen Building



写真4 Wisdom Stockholm

2. アメリカ

アメリカでは、特にアフォーダブル住宅と関連して、HUD (住宅都市開発省) によるシンポジウム参加や事例見学を行った。HUD では 2022 年に工場生産化へのロードマップを公開している³⁾。シンポジウムでは、アフォーダブル住宅に関する問題意識は広く共有されている一方で、その手法としては、リノベーションの有効性などについても議論がなされており、工場生産化 (Offsite Construction) のみを進めているわけではない。また、モジュラーなどの特殊工法を採用するにあたって州や郡毎に基準が異なることが、こうした生産性の高い工法を採用するための課題として認識されており、日本の型式認定などの制度に対する関心も高い。アフォーダブル住宅を中心とした政策によって低所得者に対する支援が拡充されている一方、中所得者が取り残されていないかという指摘も印象に残った (missing middle)。

事例見学では、建材メーカー、住宅会社、住宅コンポーネント会社等を訪問したが、特に 2 層程度の低層の集合住宅の事例が複数の主体で紹介されたのが印象に残った。Blueprint は、低層の集合住宅に用いる大型の木質パネルを製造する住宅コンポーネント会社である。パネルには配管・配線も組み込まれている。独自の縦配管スペースなどもあるが、数社のディベロッパーによる集合住宅供給について、設計初期段階から関わっており、同社の仕様に基づいて設計がなされるようにしている。VBC (Volumetric Building Companies) のように BIM の導入等によって、円滑な Project Delivery への期待が高まっており、設計への支援を担いつつ、工業化を実現化する取組みが注目されている印象を受けた。

■今後の予定

スウェーデン、アメリカおよびシンポジウムに参加したイギリス等の状況から、アフォーダブル住宅に工業化の手法を当てはめようという動きが顕著である。一方で、日本も住宅のプレハブ化率は高いが、このような海外の動向に日本の経験を活かす機会がありえるのかについて、木質化にこだわらず調査を進めていきたい。

■参考文献

- 1) 木質系工業化工法の国際比較 (前報)、BCJ 技研レポート、Vol.5、2023 年 4 月、(https://www.bcj.or.jp/upload/information/research/01_annual-report202304.pdf)
- 2) 「特集 木質化をめぐる海外の動向」、建築士 2024 年 1 月号、日本建築士会連合会、Vol.73、No.856、2024 年 1 月
- 3) “Offsite Construction for Housing: Research Roadmap”、HUD、2022.6 (<https://www.huduser.gov/portal/publications/Offsite-Construction-for-Housing-Research-Roadmap.html>)

II.BCJ 研究支援 (2023 年度) による成果報告

3. 実構造物のひずみ計測による設計用外力モデルの検証

横浜国立大学大学院教授 松本由香

■調査研究の目的

近年、気候変動にともなう災害の激甚化・頻発化が懸念されており、建築物の構造設計における設計用外力を見直す機運が高まっている。本研究は、膜屋根を有する鋼管トラスを対象に、トラス材にひずみゲージを貼付して軸力分布を実測するとともに、風速・風向との関係性を分析することを狙いとする。今年度はひずみ計測点数を限定し、計測システムの動作確認やデータ分析方法の確立を主眼として検討を行う。

■建設地および対象構造物の概要

対象とする構造物は、図1に示す鋼管トラス構造物であり、2008年に8階建てSRC造建物の屋上(RFL.31m)に設置された。当該建物は横浜市保土ヶ谷区の台地に位置している。

図2に当該建物の屋上配置図を示す。トラス構造物の西側に高さ4mの塔屋があり、塔屋屋上から1.5mの高さに気象計が設置されている。

図3にトラス構造の柱梁伏図およびX2構面軸組図を示す。鋼部材はいずれもSTK400円形鋼管であり、トラスにETFEフィルムを定着して庇状の屋根を構成している。部材リストを表1に示す。

■計測システム概要

本研究では、文献1)と同様の計測システムを用いてX2構面の柱C1、C2のひずみ計測を行った。図3中の赤破線のように、RFL.から高さ788mmの断面に各々4枚、合計8枚のひずみゲージを貼付した。本システムは、チャンネル毎にunix時間とひずみゲージ値を85Hzで記録するものであり、計測値8点の同期を取るため、0.02sec刻みで同時刻のひずみ値を線形補間によって算出した。計測システムは2023年9月26日より連続的に稼働している。

■風圧力による応力計測方法

(1) 参照する気象データ

前述のように、塔屋屋上に気象計が設置されている。気象計は5分間隔でデータをサンプリングしており、過去5分間における瞬間最大風速 V_{peak} (m/s)および平均風速 V_{ave} (m/s)、温度、湿度、空気密度 ρ (kg/m³)などが出力される。風向は正確な記録が得られなかったため、横浜市中区気象台のデータ²⁾を参照する。

(2) 分析対象とする日時

2023年11月6日早朝から7日夕方にかけて、静穏な状態から $V_{peak}=21.5$ m/sまで風速が上昇し、その後 $V_{peak}=1$ m/s程度まで静まる様子が観測された。風向は南南西(+Y方向)



図1 鋼管トラス構造物

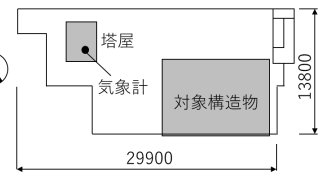
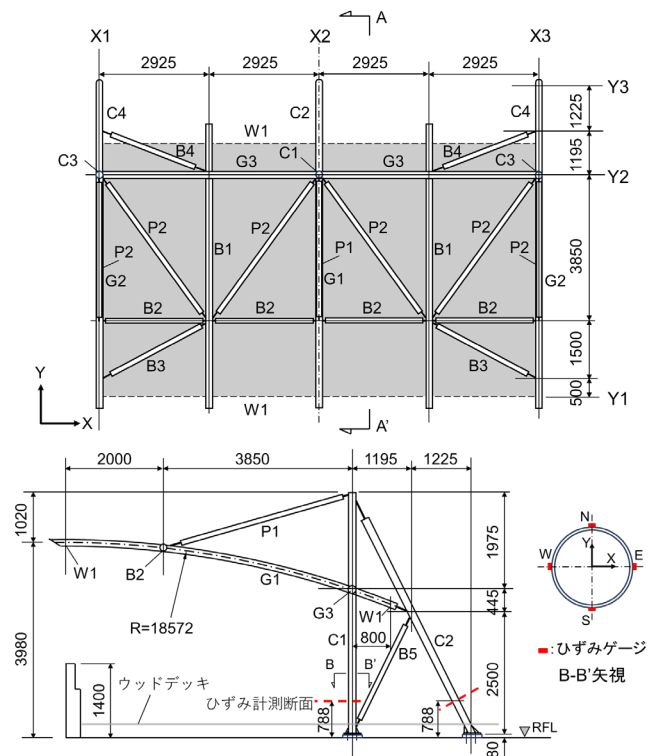


図2 屋上配置図



A-A' 矢視

図3 柱梁伏図及びX2構面軸組図

表1 部材リスト

部位	記号	部材特性
柱	C1	φ139.8×6.0, STK400
	C2	φ165.2×6.0, STK400
	C3,C4	φ139.8×4.5, STK400
	大梁	G1,G2
	G3	φ165.2×6.0, STK400
小梁 ブレース	B1	φ165.2×6.0, STK400
	B2~B6	φ76.3×3.2, STK400
	P1,P2	φ76.3×3.2, STK400
ストラ ンド ローブ	W1	φ10(7×7), ST1570

でほぼ一定である。この期間について、下式によって求めた風圧力 q_{peak} および q_{ave} の推移を図4に示す。

$$q_{ave} = \frac{1}{2} \rho V_{ave}^2, \quad q_{peak} = \frac{1}{2} \rho V_{peak}^2 \quad (2)$$

以降、図4中にマーカーで示す時間帯について柱断面の応

力を計算する。

(3) 作用応力の計算方法

風速がほぼ 0 m/s であった 6:40~6:45 を無負荷時とし、この 5 分間の平均値を各チャンネル計測値から控除して風圧力によるひずみとする。各断面に貼付したひずみゲージ計測値の平均値を求め、これにヤング係数と断面積を乗じて軸力 N を算出した。軸力の符号は引張を正とする。

■ 計測結果

(1) 計測結果概要

風速の変化に応じて代表的な日時を選び、軸力の履歴と ch1 計測値 (柱 C1 の N) のフーリエ振幅スペクトルを示す。

$V_{peak}=3\text{m/s}$ 以下であった時間帯として、6 日 8:40~8:50 の記録を図 5 に例示する。軸力には振動成分が少なく、概ね単調に増加または減少している。

V_{peak} が 5~15m/s であった時間帯として、6 日 18:30~18:40 の記録を図 6 に示す。C2 の引張力が全体的に上昇し、いずれの柱にも振動数 0.01Hz 以上の振動成分が見られる。振動成分は C1 では引張が、C2 では圧縮が優勢である。

7 日 3:15 頃~7:30 頃までは、 $V_{peak}=15\text{m/s}$ 以上、最大で 21.5m/s の強風が吹いていた時間帯である。図 7 に 7 日 7:00~7:30 の記録を示す。C1、C2 のいずれも振動成分が大きくなり、スペクトルは 0.02Hz 付近に極大値を持つ。C1 の軸力は 25kN 付近から引張側に、C2 の軸力は 25kN 付近から圧縮側に振動する傾向が見られる。

(2) 柱軸力と風圧力の関係

柱軸力について、5 分毎の平均値 N_{ave} 、最大値 N_{max} および最小値 N_{min} を求め、各々の時間帯の q_{ave} との関係を図 8 に示す。 $q_{ave} \leq 25\text{N/m}^2$ では、 q_{ave} に応じて軸力が比例的に上昇している。また、 N_{max} と N_{min} の差が小さく、振動成分が比較的小さいことが分かる。一方、 $q_{ave} \geq 40\text{N/m}^2$ では、軸力は横ばいであり、 N_{max} と N_{min} の差が大きくなっている。

以上のように、柱軸力には、①風圧力に応じて引張力が単調に増加する成分と、②C1 は引張側、C2 は圧縮側となる振動成分が含まれる。風速が低い時間帯は前者が優勢となるが、強風時には後者が卓越する傾向が見られる。

■ まとめ

膜屋根を有する鋼管トラス構造物について、柱断面のひずみ計測値から作用軸力を算出し、風速との関係を調査した。風速によって応力分布が異なり、強風時には屋根面の吹き上げによる振動成分が卓越することが確認された。今後は計測点を追加してトラスにおける応力分布の詳細を調査するとともに、風向・風速が異なる場合のデータを分析し、現行法規に基づく設計用風圧力の妥当性について検討する予定である。

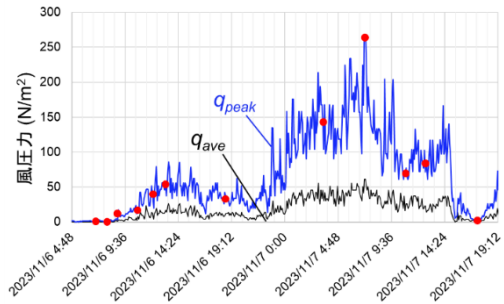


図 4 分析対象とする期間における風圧力の推移

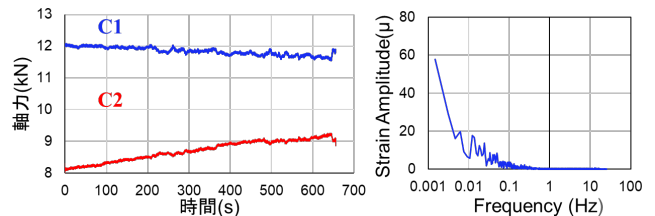


図 5 計測記録(2023 年 11 月 6 日, 8:40~8:50)

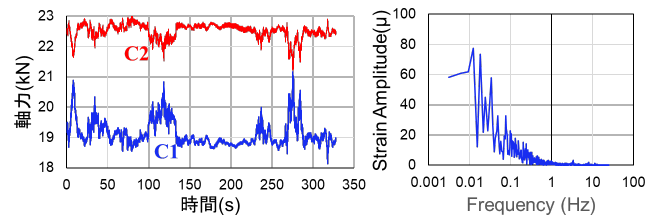


図 6 計測記録(2023 年 11 月 6 日, 18:30~18:40)

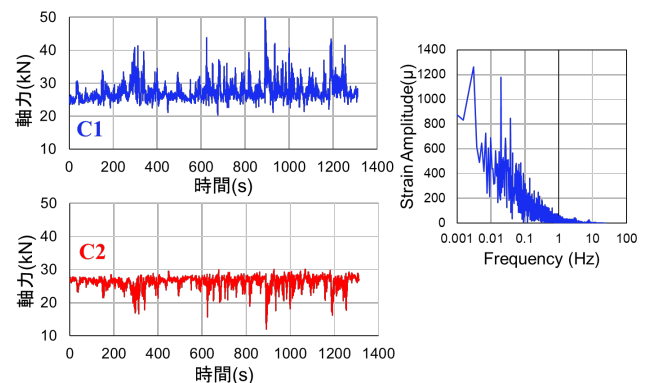


図 7 計測記録(2023 年 11 月 7 日, 7:00~7:30)

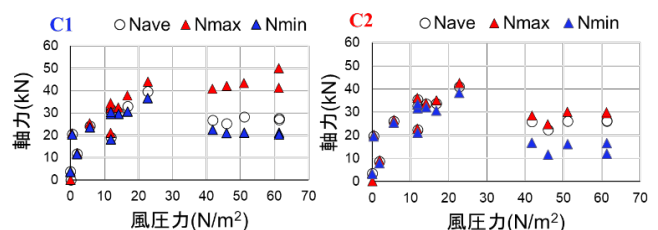


図 8 柱軸力と風圧力の関係

■ 参考文献:

- 1) 加藤名音, 伊山潤, 小山毅, 福島佳浩, 宮崎祥太: 加速度・ひずみ応答実測による耐震補強鉄骨ブレースの挙動分析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, 2021.9
- 2) 気象庁ホームページ, 過去の気象データ検索, (<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>)

II. BCJ 研究支援（2023 年度）による成果報告

4. 避難安全のためのセキュリティ対策

東京理科大学教授 萩原一郎

■調査研究の概要

セキュリティゲートのようなアクセス制限が建築物に設置されることが増えてきた。防犯等の目的でアクセス制限する装置により、避難や消防活動に支障が生じることが危惧される。本調査研究では、避難経路上にあるアクセス制限などのセキュリティの実態調査などを通じて、避難安全に問題が発生しないための対策について検討する。成果は避難安全に関するセキュリティ（アクセス制限）のガイドラインとしてまとめ、安全な建築計画に資することを目的とする。

特に、避難経路上に設置される非常錠の解錠操作に関する被験者実験を行い、解錠の容易さについて知見を得た。

■2023 年度の成果の概要

昨年度までの検討を踏まえて、代表的な複数の非常錠を対象として、ドアに設置された状態での解錠操作の容易さを把握する被験者実験を実施した。昨年度に実施予定であったが、コロナ感染拡大の影響を受け、実験の実施が今年度に延期されていた。

①試験体の概要

非常錠のメーカーへのヒアリング調査の結果を踏まえ、実際に多く設置されていると推定された以下の4つの非常錠を選定した。なお、非常錠を設置した防火戸の試験体は標準的な会議室の上で操作することを想定してレバーハンドルの位置を調整している。

Type-A：カバーを取り外し、レバーを回すもの

Type-B：カバー（四角型）を破壊しサムターンを回すもの

Type-C：カバー（丸型）を破壊しサムターンを回すもの

Type-D：パネルを押すだけで解錠するもの（ワンタッチ式）

②実験の概要

被験者は非常錠が見えない状態で待機した。実験者の合図により非常錠を目視し出来る状態となり、必要な解錠操作をして防火戸を開く操作を行う。被験者の操作する様子を2台のビデオで録画し、防火戸の開放までに要した時間などを計測した。Type-A の非常錠の実験終了後、少し時間を空けて Type-B、C、D の順に実験を行った。

被験者が解錠の操作に要した力については、事前に最大握力を握力計で測定するとともに、操作する利き手の腕に筋電系を装着し、操作時の筋力を計測した。

また、実験終了後には、非常錠の操作経験の有無や、操作の困難さなどについてアンケート調査を行った。

なお、実験は理科大と BCJ の2 か所で実施し、被験者の性別及び年齢構成を表1、表2に示す。



Type-A



Type-B



Type-C



Type-D

図1 実験に使用した非常錠の種類

表1 被験者の構成

実験場所 実験日	理科大 2023.8.25 & 9.5	BCJ 2023.11.30	合計
男性	4	9	13
女性	1	5	6
合計	5	14	19

表2 被験者の年齢構成

年代	20-	30-	40-	50-	60-	合計
人数	7	1	2	6	3	19

表3 開放までに要した時間

非常錠	開放までに要した時間		断念した人数 断念した時間 (秒)
	平均 (秒)		
Type-A	17.5		0
Type-B	20.1		6人 / 67-80
Type-C	27.6		3人 / 55-73
Type-D	6.3		0

③実験結果と考察

開放までに要した平均時間は、Type-D、A、B、Cの順に短い(表3)。Type-Dの操作が最も簡単であり、平均時間も短く、ばらつきも小さい。(図2)なお、男女、年代による大きな違いは見られなかった。各非常錠の傾向は以下の通り。

Type-Aは平均約17秒程度で開放できているが、カバーは容易に外れても、その後中のレバーを回すことに気づかず少し時間がかかっている場合がある。

Type-BとType-Cはどちらもカバーを壊すことが難しく、解錠までに平均で20-30秒程度かかり、ばらつきも大きい。途中で断念した人がそれぞれ6人(全体の約32%)と3人(全体の約16%)いた。カバーを壊す力が足りない、どのように壊したらよいかのイメージできない、などの理由が考えられる。

Type-Bについて、開放までに要した時間と握力との関係を図3に示す。Type-Cも同様だが、両者にあまり有意な関係は見られない。Type-BとType-Cは握力が強い人が短い時間で開放できている訳でもない。なお、カバーの固定されている力が一定ではない可能性もあり、実際に要した力として筋電計のデータによる詳細な分析が必要である。

また、観察及びアンケートの主な結果は以下の通り。

Type-Aは、最初の実験ということもあり、非常錠に書かれた説明を読み操作方法を理解する人が少なくない。ただし、カバーを外した後、中のレバーが小さいため、回すことが分かり難いようである。

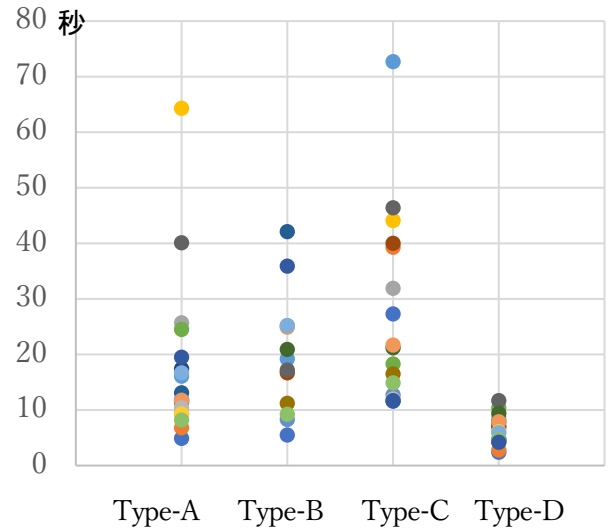


図2 開放までに要した時間

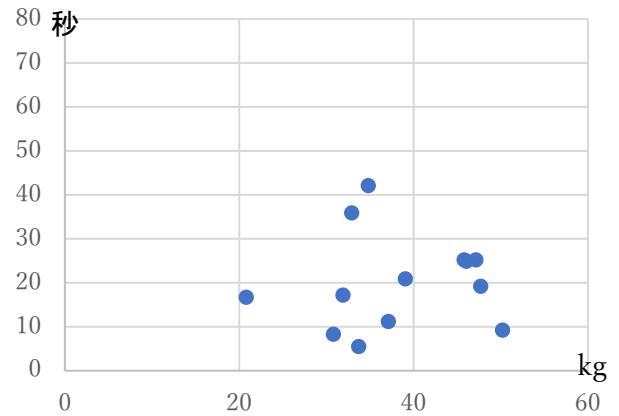


図3 Type-Bの開放までに要した時間と握力との関係

Type-B「カバーを破る」、Type-C「割る」の説明になじみがないためか、回す・引く・ねじるなど様々な操作を試し、戸惑う様子が見られた。説明書きが、具体的な操作のイメージを伝えられていないことが問題の一つと考えられる。

Type-Dは、パネルを「押す」1つの操作だけで解錠でき。他の操作を許さないデザインであることが、容易さの理由と考えられる。

④まとめ

操作の容易さは、総合的にType-D>A>B≒Cの順となる。Type-Dを除き、初めて見ただけでは解錠の操作が分かり難く、非常時の操作には課題があると言える。操作の容易性の順序は、概ね予想通りの結果であるが、操作の容易さと握力(操作に要する力)との相関性はあまり見られない。

■今後の予定

実験データを増やし、さらに詳細な分析を進めるとともに、海外における施錠に関する基準等の調査を進め、避難経路のセキュリティ対策の考え方をまとめる予定である。

Ⅲ. 建築技術研究所のご案内

■BCJ 建築技術研究所 研究体制のご紹介

建築技術研究所は、所長の下、部長、各研究テーマのグループリーダー、メンバーで構成しており、グループ毎に調査や研究を行う体制としています。

また、具体的な調査・研究の方向性やテーマ設定などに関する助言をいただくため、学識経験者等による諮問委員会および基本企画委員会を設置しています。

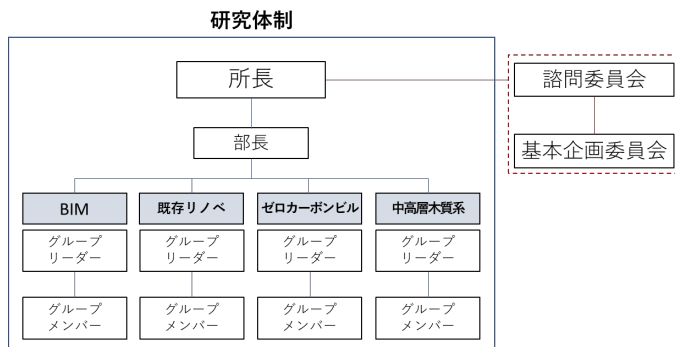
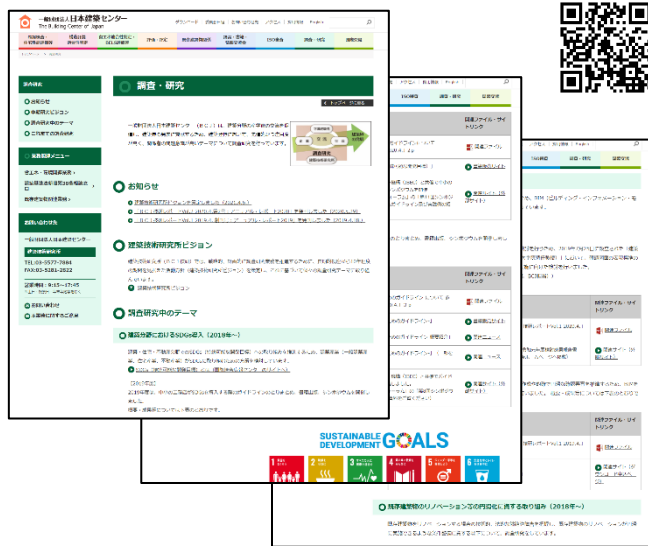


図 2024 年度の研究体制

各研究テーマの取り組みは、BCJ ホームページをご参照ください。<https://www.bcj.or.jp/research/#a01>



■BCJ 技研レポートに関するお問い合わせ

一般財団法人 日本建築センター 建築技術研究所
〒101-8986 東京都千代田区神田錦町 1-9
東京天理ビル

Tel 03-5577-7884

URL <https://www.bcj.or.jp/>

Mail btri@bcj.or.jp

■新刊書籍のご案内

火災時・避難時倒壊防止性能検証法の解説

及び計算例とその解説

火災時倒壊防止性能検証法、避難時倒壊防止性能検証法に従って、消火及び避難に必要な時間以上の準耐火構造とすれば、例えば木造であっても従来の高さ制限や主要構造部の制限を超えて建設が可能となります。

そのための法的根拠及び技術的論拠を解説しています。



13,200 円 (税込)

集成材等建築物構造設計マニュアル

集成材等建築物の場合、その構造形式は半剛節フレームとなり、保有水平耐力計算を適用するには、接合部の弾塑性挙動を如何に評価するかが重要になります。

これら実際に使用される解析モデルを念頭に、代表的な接合部の特性と構造計算に必要な諸数値の設定方法について解説しています。



13,200 円 (税込)

技術セミナーテキスト

「構造設計シリーズ／建築基礎構造編」

中低層建築物の直接基礎や杭基礎などの基礎構造の設計実務について、講義と演習を通じて学ぶセミナー用のテキストです。

セミナーを受講されることを前提とした記載になっていますので、「構造設計シリーズ／建築基礎構造編」セミナーのご受講をご検討ください。



4,180 円 (税込)

日本建築センター書籍販売サイトは[こちら](#)
(価格：情報交流会正会員は10%引)

