

建築構造物およびコンクリート構造物の耐震設計および地震防災の

過去・現在・未来を考えるシンポジウム報告

Report on symposium on past, present and future of seismic design and earthquake disaster prevention for building and concrete structures

高瀬 裕也¹

1, 室蘭工業大学大学院工学研究科

Yuya Takase¹

1, Faculty of Engineering, Hokkaido University

Abstract

In March 2024, the 2023 Disaster Prevention Forum Muroran was held as a symposium entitled "Symposium on past, present and future of seismic design and earthquake disaster prevention for building and concrete structures". The three speakers gave presentations at this symposium. Mr. Ohsasa and Mr. Suenaga gave a talk on the assessment of the damage level of buildings using AI and IoT, and the dowel action of post-installed anchor using machine learning, respectively. Finally, Professor Kitano gave a talk on the history of earthquake-resistant design of buildings in Hokkaido.

Key Words: Buildings, Reinforced Concrete Structures, Machine Learning, IoT

キーワード: 建築物, 鉄筋コンクリート構造, 機械学習, IoT

1. はじめに

令和6年3月、2023防災フォーラム・室蘭の行事として「建築構造物のおよびコンクリート構造物の耐震設計および地震防災の過去・現在・未来を考えるシンポジウム」を開催した。周知のように、近年は様々な分野で機械学習やIoT (Internet of things) 技術が活用されており、建築構造分野もその例外ではない。一方、鉄筋コンクリート構造の耐震設計の歴史を遡ると、北海道大学名誉教授・大野和男博士と室蘭工業大学名誉教授・荒川卓博士の研究に辿り着く。そこで表題に記した「過去・現在・未来を考えるシンポジウム」を開催する次第となった。本稿では、本シンポジウムの開催状況を報告する。

2. シンポジウムの概要

表1に本シンポジウムのスケジュールを示す。開催日は令和6年3月1日、開催場所は室蘭工業大学・A304講義室であり、参加者は82名であった。開会の挨拶は、本稿の筆者である高瀬が担当し、シンポジウムの開催趣旨について説明した。その後、3名の講演者に発表いただ

いた。一人目は、著者の研究室に所属する修士 2 年（当時）の大笹航汰氏，二人目は西松建設の末長大祐氏，最後の講演者は，前橋工科大学の北野敦則教授である。

冒頭でもやや触れているが，建築鉄筋コンクリート（以下，RC）部材の設計法では，大野博士と荒川博士が提案した終局せん断強度式，いわゆる大野・荒川式が，今日に至っても広く使用されている。北野教授は，1993 年から 2012 年まで，北海道大学における鉄筋コンクリート構造を専門とする研究室の教員を勤められており，現役の研究者の中では，大野・荒川式の歴史を最もよく知る研究者であることから，本シンポジウムでの講演を依頼した。表 1 には各講演のタイトルも記載しているが，これらのタイトルから理解されるよう，未来から過去に遡る順番で発表いただいた。

表 1 シンポジウムのスケジュール

14:00～14:05	開会の挨拶	高瀬裕也 准教授（室蘭工業大学）
14:05～14:25	AI・IoT 技術による建築物の地震損傷度評価	大笹航汰 氏（室蘭工業大学）
14:25～14:45	機械学習によるアンカー筋のダウエル効果の評価	末長大祐 氏（西松建設）
14:45～15:30	北海道における鉄筋コンクリート部材の設計法に関する研究の歴史	北野敦則 教授（前橋工科大学）

3. 各講演の概要

写真 1 に，本シンポジウムの様子を示す。写真 1(a)~(d)は，それぞれ大笹氏，末長氏，北野教授の講演と会場の全景である。以下の項では，各講演の概要を述べる。

3-1 AI・IoT 技術による建築物の地震損傷度評価

大笹氏の講演では，AI（Artificial intelligence）と IoT を活用した木造建築物の損傷度評価について説明された。日本は，これまでに多くの大規模地震による建物被害を経験しており，ここ数年でも，2021 年と 2022 年の福島県沖の地震が発生し，さらに 2023 年と 2024 年には能登半島でそれぞれ震度 6 強と震度 7 を観測する地震が発生している。大規模地震によって多くの建物が被害を受けると，応急危険度判定が実施されるが，昨今の人材不足により，判定が遅れるケースが報告され，このことに起因して避難所生活も長期化することが問題となっている。

そこで大笹氏は，まず過去の被災建物写真を使って，建物の地震損傷度 D0~D6 を予測する学習モデル⁽¹⁾を構築した。さらに令和 5 年に発生した奥能登地震後に，石川県珠洲市の被災調査を実施し，車載カメラで被災建物を撮影し，その動画から静止画像を抜き出し，前記の学習モデルを使って損傷度を評価し，高い精度で推定できることが説明された。さらに，ドローンで撮影した空撮画像から，調査対象エリアの 3D モデルを作成し，被災度マップの提案手法も説明された。

なお，上記の発表内容の詳細は，文献(2)で報告されている。



(a) 大笹氏の講演



(b) 末長氏の講演



(c) 北野教授の講演



(b) 会場の全景

写真1 シンポジウムの様子

3-2 機械学習によるアンカー筋のダウエル効果の評価

末長氏の講演では、せん断力を受けるあと施工アンカーの荷重変形曲線を評価する手法として、力学モデル、有限要素解析（以下、FEM）、機械学習の3つの手法を用いた場合の予測精度について説明された。実験パラメータは、接着剤の種類、アンカー筋径、コンクリート圧縮強度、引張応力比などであり、合計35体の試験体を使用した。力学モデルには文献(3)によるモデルが、FEMには汎用解析ソフトDIANAが用いられた。機械学習には、決定木に基づくRandom Forest (RF)、XGBoost (XB)、LightGBM (LG)、さらにNeural Network (NN)とSupport Vector Regression (SVR)の5つのアルゴリズムが使用された。実験結果と学習モデルの予測結果を比較したところ、学習範囲内であれば決定木タイプの学習モデルの誤差が最も小さく、次いでNNの誤差が小さくなった。一方、学習範囲外のケースでは、SVRとNNの誤差が小さくなることが明らかとなった。そこで、機械学習モデルを代表してNNの予測結果とFEM、力学モデルの3者を比較した結果、NNの再現精度が最も高くなったと説明された。

なお、末長氏の講演内容の詳細は、文献(4)、(5)で報告されている。

3-2 北海道における鉄筋コンクリート部材の設計法に関する研究の歴史

北野教授の講演では、まず北海道大学における建築学科が1948年に誕生した経緯から説明された。創立当初は、建築学第一講座から第六講座までの6つの研究室でスタートし、そのうち建築学第二講座の初代教授が大野博士であった。その後、1952年に十勝沖地震が発生し、釧路市役所の柱がせん断破壊したが、一般的なRC梁の4点曲げ載荷実験とは異なる破壊状況であった。そこで、実建物におけるRC部材と同様に、逆対称の曲げモーメント分布が作用する新

たな加力形式を考案した。この加力方式は大野式加力と呼ばれている。この大野式加力を用いて、様々なパラメータで多くの載荷実験が実施され、その実験結果に基づくせん断強度式が提案された。この提案式は、当時の米国の規準式と比べても各段に精度が良く、さらに日本建築学会（以下、AIJ）が発行する鉄筋コンクリート構造計算規準の1969年の改訂で採用されている。その後も、建築学第二講座の二代目教授である柴田拓二博士が、RC柱のせん断抵抗に関する研究で、1974年に日本建築学会論文賞を受賞され、またRC造柱梁接合部のせん断抵抗性能に関する研究成果も、AIJ発行のRC造建築物の終局強度型耐震設計指針に採用されるなど、多数の研究成果が耐震設計で活用されていることが説明された。

4. おわりに

本シンポジウムでは、北海道での建築鉄筋コンクリート構造部材の設計法の歴史を遡りつつ、AI、機械学習、IoTと言った次世代技術を構造設計や地震防災に役立てる試みまで、幅広い内容を3名の登壇者に講演いただいた。過去の研究成果に敬意を払いつつ、常に新しい技術を取り入れることで、建築構造、ひいては地震防災技術を発展させる必要があると、多くの参加者に感じてもらえたように思われる。

参考文献

- (1) 大笹航汰, 加藤圭祐, 高瀬裕也, 中嶋唯貴, AIを用いた建物の損傷度判定モデルと車載カメラの動画による被災率の評価, 日本建築学会技術報告集, 第30巻, 第74号, pp. 548-552, 2024.2.
- (2) Matsunaga, K., Takase, Y. and Abe, T., Modeling of dowel action for cast-in and post-installed anchors considering bond property, Engineering Structures, Vo.245, Article Number:112773, 2021.10.
- (3) 大笹航汰, 加藤圭祐, 高瀬裕也, 中嶋唯貴: AIを用いた建物の損傷度判定モデルと車載カメラの動画による被災率の評価, 第16回日本地震工学シンポジウム論文集, Day3-G416-16, 2023.
- (4) Suenaga D., Takase Yuya, Abe T., Orita G. and Ando S., Prediction accuracy of Random Forest, XGBoost, LightGBM, and artificial neural network for shear resistance of post-installed anchors, Structures, No.50, pp.1252-1263. 2023.4.
- (5) 末長大佑, 高瀬裕也, 阿部隆英, 折田現, 安藤重裕, 決定木とニューラルネットワークによる機械学習を用いたあと施工アンカーの包絡曲線の予測精度, 日本建築学会構造系論文集, 第88巻, 第806号, pp. 645-654, 2023.4.