

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.55

Jun.2025

特 集：地震工学とデータサイエンスの融合



<https://www.jaee.gr.jp/>

公益社団法人 日本地震工学会

Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

Tel:03-5730-2831 Fax:03-5730-2830

日本地震工学会誌 (第 55 号 2025 年 6 月)

Bulletin of JAEE (No.55 Jun.2025)

INDEX

巻頭言：

新会長挨拶／山中 浩明	1
-------------------	---

特集：地震工学とデータサイエンスの融合

地震工学×データサイエンスの現在／宮本 崇	2
データ駆動型の地震後の構造状態評価／長山 智則	6
深層学習を活用した建築物被災度評価／森田 高市	10
大規模言語モデルを用いたあいまいな情報の利活用：地盤防災分野への応用可能性／大竹 雄	14
情報科学的手法を活用した経験的地震動予測手法の現状と展望／糸井 達哉、八百山太郎	18
リアルタイム津波浸水被害予測システムの発展と展望／越村 俊一	22
地震研究におけるSciML—現状と今後の展望—／縣 亮一郎	26
パーソナルデバイスアプリケーションの防災訓練への活用／萩行 正嗣	31

学会ニュース：

出前講義「地震のサイエンス」の開催報告／高瀬 裕也	35
MOU ceremony and future collaboration between EESK and JAEE / Sang Whan HAN	37

研究委員会報告：

津波荷重評価の体系化の心得を取り纏める研究委員会 活動報告／有川 太郎	39
地震による倒壊家屋からの救助訓練プログラムに関する研究委員会活動終了報告／小山 真紀	41

学会の動き：

行事	43
会員・役員の状況	44
出版物在庫状況	47

お知らせ：

お知らせ	49
本学会に関する詳細はWeb上で／会誌への原稿投稿のお願い／登録メールアドレスご確認のお願い ／ご寄附のお願い／問い合わせ先 ／ JAEE Newsletter 第14巻 第2号 (通算第42号) が2025年8月下旬に発刊されます	

編集後記



地図に残る仕事。®



大成建設グループ

大成建設 大成ロテック 大成有楽不動産 ビーエス・コンストラクション 大成ユーレック 大成設備
成和リニューアルワークス 大成有楽不動産販売 大成建設ハウジング 佐藤秀 大成情報システム 他



◆ 大林組

つくるを、
つくり変えろ。

MAKE
BEYOND
つくるを拓く

津波や高潮、洪水等から小型タンク内の危険物の流出を防ぐ

「浸感弁」

水圧を感知して自動で弁を閉止 ・ 電源不要

現在、小型の屋外貯蔵タンクの元弁は「手動式でも良い」とされています

津波警報下で弁の閉止を手動で安全に実行することは非常に困難です

▶ 浸感弁の設置により津波警報時に弁の閉止を気にせず素早い避難が可能に！

特

■ 津波の水圧を検知して自動で確実に閉まる

■ 電気を使わずに作動するため着火源とならない

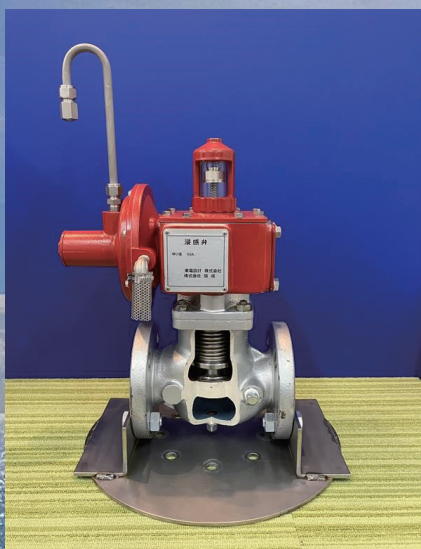
■ 葉やビニール片、泥などが混じる汚水でも確実に動作

長

■ シンプルな機械構造のため、故障が少ない

■ 万一の誤作動の際でも顧客の操作で簡単に復旧可能

地方自治体 漁業協同組合 農業協同組合、油槽所
各種プラントを所有する皆さまに新提案



東電設計は設備の防災対策について、皆さまとともに知恵を絞って取り組んでまいります



東電設計株式会社

営業本部

☎ 03-6372-5391

HP からの
お問い合わせは
こちらから
お願いします ▶



Next Dimension

解析技術は一步先の次元へ

3次元非線形時刻歴応答解析プログラムTDAPⅢ、および3次元等価線形解析プログラムFDAPⅢにおいて、MPIによる大規模並列計算が可能な「TDAPⅢ Cluster Edition」、「FDAPⅢ Cluster Edition」を販売開始いたします。

point 1

MPIを使った 大規模並列計算が可能に

MPI※による並列処理に対応。複数の計算機を用いて、大規模な3次元解析ができるようになりました。

※Message Passing Interface (並列コンピューティング利用のための標準化された規格)

point 2

より大きなモデルを より速く計算可能に

これまで解くことができなかった大規模な3次元モデルの解析が可能となるだけでなく、計算時間も大幅に短縮できます。

point 3

既存の機能や入力データも そのまま利用可能

累計1,200ライセンス以上の導入実績のあるTDAPⅢ。既存のTDAPⅢ・FDAPⅢの機能※や入力データもそのまま利用できます。

※一部機能の制約あり

TDAPⅢおよびFDAPⅢは、大成建設株式会社と(株)アーク情報システムが共同で開発した製品です。



株式会社 **アーク情報システム**

〒102-0076 東京都千代田区五番町4-2 東プレビル

TEL: 03-3234-9232

E-mail: tdap@ark-info-sys.co.jp

受託解析、受託開発もご相談下さい

<https://www.ark-info-sys.co.jp/>

詳細はHPへ

アークTDAP3



TDAPⅢ
FDAPⅢ





新形状高減衰ゴム系積層ゴム“X4T”

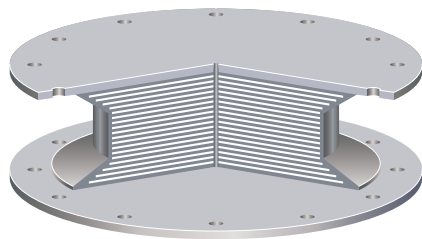
上下に傾斜部を設けたフレア形 (HFシリーズ)の採用により、従来形の同サイズに比べ、圧縮限界特性が向上

圧縮限界特性の向上・・・すなわち

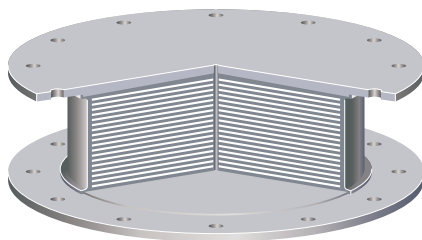
荷重支持性能(基準面圧)向上

変形性能(座屈ひずみ)向上

フレア形 (イメージ)

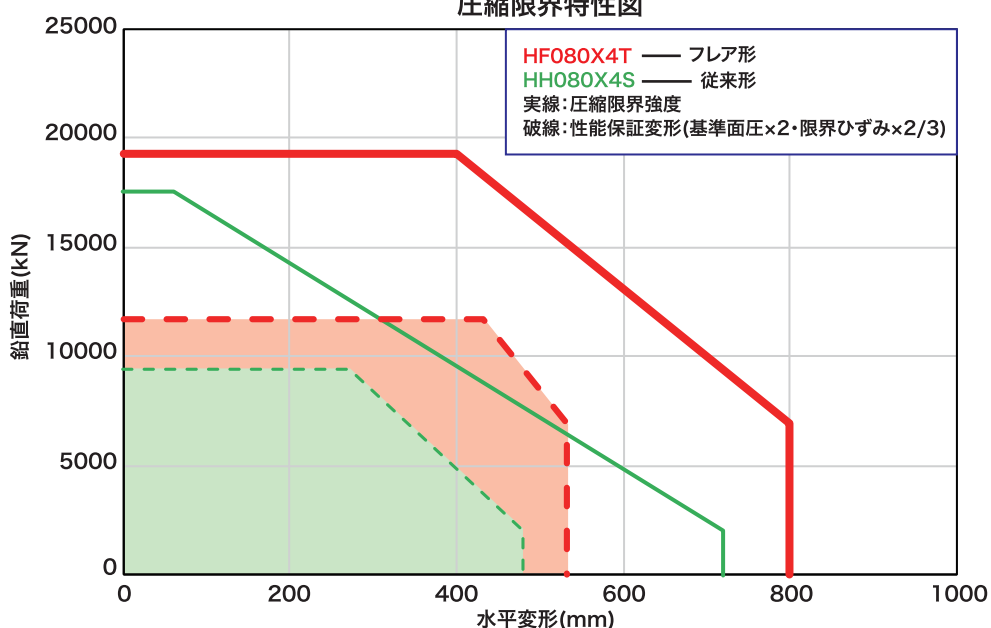


従来形 (イメージ)



フレア形(HFシリーズ)と従来形(HHシリーズ)の比較

圧縮限界特性図



株式会社ブリヂストン

建築ソリューション事業企画部 免制震事業企画課

〒244-8510 神奈川県横浜市戸塚区柏尾町1番地

TEL:045-330-1540 Mail: zzy310.menshin@bridgestone.com

BRIDGESTONE
Solutions for your journey

支える



この国を

地盤情報を広い視野でとらえ、
あらゆる分野で
「創り」「支え」「守り」ます。高品質
の地震・岩盤試験の提供により、
インフラの整備、防災、維持管理で
社会に貢献します。

巨大地震リスク に対する

適切な地盤評価と対策

基礎地盤コンサルタンツ株式会社は、最新の技術にもとづき、地震動の評価、液状化評価から対策の立案・設計施工管理・BCP・CSR支援までお客様の立場に立って実施いたします。

地質構造
地盤の
適切評価

地震動
耐震解析
液状化解析

対策コスト縮減
・液状化対策
・施設の補強

低コストで
巨大地震リスク軽減
=BCP(事業継続計画)
=CSR(企業等の社会的責任)
バックアップ

技術者募集

地盤・地質調査技術者
土木設計技術者

若干名
若干名

勤務地域など相談に応じる。経験・実績などの優遇有り。

募集担当：総務部

03-6861-8820

〒136-8577 東京都江東区亀戸1-5-7 錦糸町プライムタワー12階

Kiso●jiban

基礎地盤コンサルタンツ株式会社 代表取締役社長 野村 英雄

<https://www.kiso.co.jp/>

本社 (03) 6861-8800 北海道支社 (011) 822-4171 東北支社 (022) 291-4191
関東支社 (03) 5632-6800 中部支社 (052) 589-1051 関西支社 (06) 4861-7000
中国支社 (082) 238-7227 九州支社 (092) 831-2511 海外事業部 (03) 6861-8885

地震動を専門とする技術者×自社開発プログラム×幅広い実績
構造計画研究所だからできる、設計用入力地震動作成ソリューション

構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

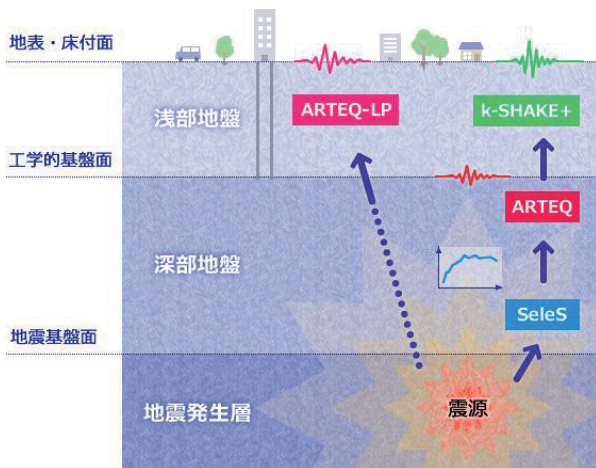
<https://www.kke.co.jp>

設計用入力地震動作成システム

設計用入力地震動
作成システムHPはこちら



地震環境調査から浅部地盤の増幅評価まで、入力地震動をスムーズに作成可能なソフトウェア。



Sels

地震荷重設定

建設地点における地震環境を評価
(建設地点に影響の大きい震源断層の絞り込み等)
任意の震源断層モデルから応答スペクトルを作成

ARTEQ

模擬地震波作成

応答スペクトルから地震波形を作成

k-SHAKE+

成層地盤地震応答解析

浅部地盤の増幅特性を考慮した地震波形を作成

ARTEQ-LP

長周期地震動作成

国交省の長周期通知に基づいた
長周期地震動を作成

k-WAVE

波形処理

作成波や観測波などの波形データ処理

設計用入力地震動作成サービス

設計用入力地震動
作成サービスHPはこちら



地震環境調査から地震動の作成、性能評価の対応までをトータルサポート。

強み1

豊富な実績

一般建築から重要インフラ
施設を対象に
過去15年間で400件以上

強み2

柔軟な対応

初期検討用～性能評価対応
の地震動まで**目的に合わせた**
地震動を提供

強み3

充実のアフターサービス

設計変更に伴う軽微な地震動の
修正や評定での質疑対応に
ついて**柔軟に対応**

情報収集と設定

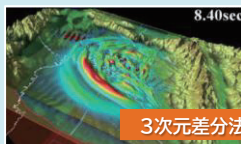
- ・地震環境の調査
- ・断層パラメータ
- ・地盤モデル



地震環境の調査例

模擬地震動の作成

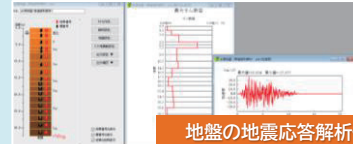
- ・告示波
 - ・サイト波
- 翠川・小林手法、ハイブリッド法など



3次元差分法による計算例

地盤の地震応答解析

- ・等価線形解析 (SHAKE)
- ・時刻歴非線形解析
- ・液状化を考慮した解析



地盤の地震応答解析例

性能評価(評定)対応のサポート

・資料の作成 ・委員会への同席 ・質疑対応



地震動作成に必要な地盤調査項目提案、構造物の動解・設計業務全般にも対応致します

構造計画研究所
KOZO KEIKAKU ENGINEERING Inc.

<https://www.kke.co.jp>

株式会社構造計画研究所 エンジニアリング営業 1, 2部

〒164-0011 東京都中野区中央1-38-1 住友中野坂上ビル10F TEL : (03)5342-1136

E-mail : kaiseki@kke.co.jp ホームページ : <https://kaiseki-kke.jp/>

※この広告の記載内容は2025年1月現在のものです。 ※本製品・サービスの内容の条件は、改善のために予告無く変更することがあります。

※構造計画研究所、構造計画研究所ロゴは、株式会社構造計画研究所の登録商標です。 ※記載されている会社名や製品名は、各社の商標または登録商標です。

地盤 / 岩盤 / 地下水を 対象とした数値解析

解析から報告
まで 信頼の
一括対応

ご相談 >> モデル構築 >> 結果提示 >> 報告書まで >> 安心の技術サポート

豪雨や地震による地盤構造物の被害を予測し、対策工の検討やBCP（事業継続計画）に必要な情報を提供します。
地すべりやがけ崩れの被害予測、液状化の発生可能性評価、および対策工の効果検証など、多様な課題に対応します。



最適解析

課題に応じた解析コード
を選択・柔軟に対応



高速実行

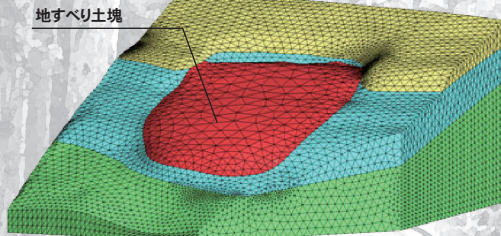
自社開発ソフトにより
大量データも迅速に処理



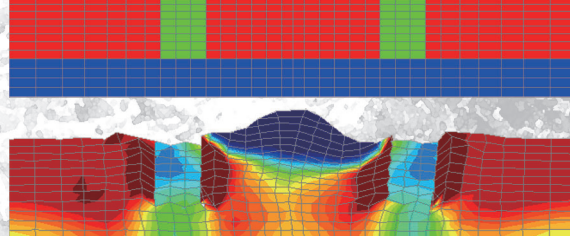
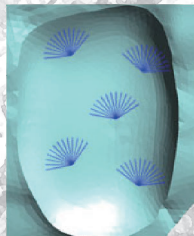
柔軟対応

ソフトや解析エンジンの
カスタマイズにも対応可

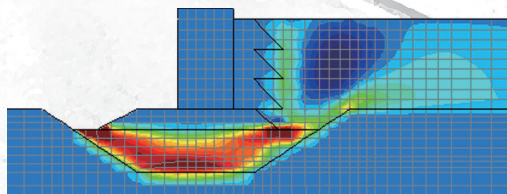
地すべり土塊



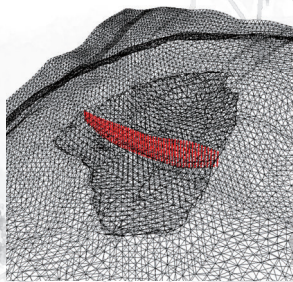
地質モデルを反映した 3 次元浸透流解析モデルと地下水排除工の概念
地すべり土塊をモデル化して解析が可能



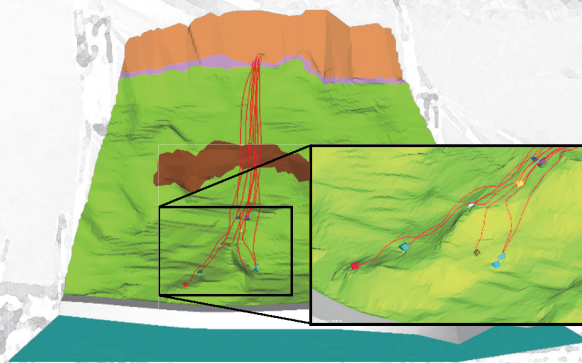
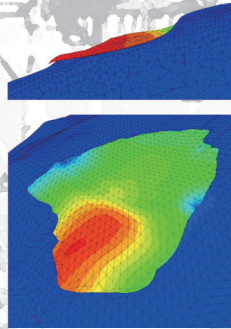
盛土構造物を対象とした対策工検討
軟弱地盤の地震応答解析を行い、改良体の効果を評価



ケーソン護岸の液状化解析
既設堤体などの安定性や安全性を評価



地すべり解析（有限差分法による FLAC3D 大変形解析）
地すべりブロックの移動を再現し、対策工の効果を評価します



岩盤崩落解析（3DEC による 3 次元非質点系解析）
崩落岩塊を 3 次元多面体ブロックでモデル化して崩落経路や到達位置を評価

受託解析例

お客様指定の解析コードでの
解析も承ります

河川堤防や軟弱地盤の地震応答解析 | 液状化対策工の効果予測 | 液状化を考慮した地盤 | 構造物の挙動予測 | 矢板式
岸壁の液状化解析 | 液状化に伴う重力式岸壁の挙動 | 盛土地盤を対象とした液状化解析 | 港湾構造物における動的特性
の検討 | 地震時の斜面安定解析 | 地すべり・斜面崩壊の評価 | 落石シミュレーション など

対応コード例：FL 法 | ALID/Win | Super-FLUSH | Soil PLUS Dynamic | FLAC3D | FLIP3d, FLIP2D/ROSE, FLIP2D/TULIP | LIQCA2D, LIQCA3D など



株式会社 地層科学研究所

本社 神奈川県大和市大和東 3-1-6 J Mビル 4F TEL.046-200-2281
東京事務所 東京都文京区後楽 2-3-25 金子ビル 6F TEL 03-5842-7677
大阪事務所 大阪府淀川区西中島 5-7-9 第7新大阪ビル301号 TEL.06-6886-7774

数値解析ソフトウェアの開発 ● 販売 / 受託解析

<https://www.geolab.jp>
gyoumu@geolab.jp

汎用線形・非線形構造解析システム

静的線形解析

静的非線形解析

温度応力解析

動的非線形解析

DIANA

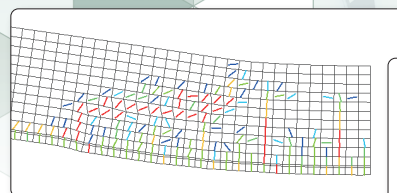
Finite Element Analysis

非線形問題について、長年の豊富な使用実績

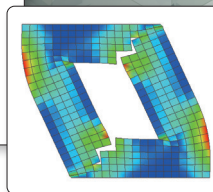
主な特長

- ▶ 鉄筋コンクリート構造物のひび割れ解析
- ▶ 複合構造物の耐荷力解析
- ▶ 地盤・構造物の連成解析
- ▶ コンクリートの損傷指標 ($\sqrt{J_2}$ 、 $\bar{W}_n$) 出力が可能※

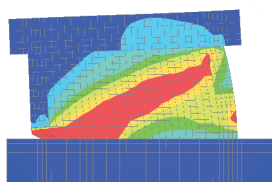
※公益社団法人 土木学会：2022年制定
コンクリート標準示方書【設計編】対応



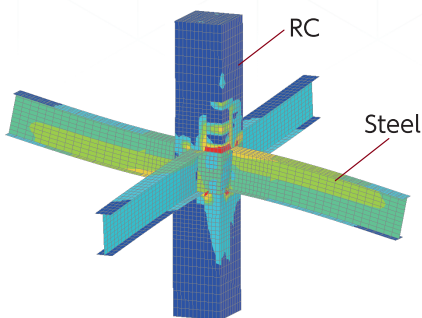
分散ひび割れ



離散ひび割れ

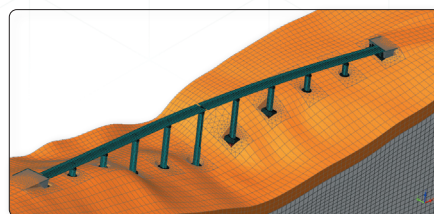


せん断壁

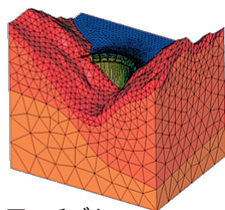


Steel

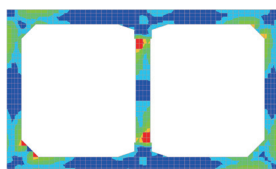
RC



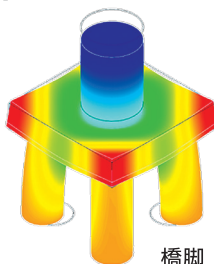
橋梁と地盤の連成



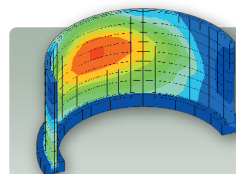
アーチダム



地中構造物



橋脚



DIANAを用いた「タンク構造物に対する非線形FEM解析手法」が、土木学会の技術評価制度(区分5)で、初の技術評価証(第0022号)を取得!

DIANA DIANAはDIANA FEA BVの製品です。

<https://www.jip-ts.co.jp>

詳細等は

JIPテクノサイエンス

検索

※製品名は各社の商標または登録商標です。

JIP JIPテクノサイエンス株式会社
解析ソリューション事業部

【東京】東京都千代田区九段南一丁目3番1号 TEL:03-6272-8236
【大阪】大阪府大阪市北区中之島三丁目6番32号 TEL:06-6443-1751

✉ 共通 E-mail. fem_sales@cm.jip-ts.co.jp

石積擁壁耐震補強対策工法

安全・安心と美観を両立する耐震補強技術で
文化財石垣・石積擁壁の保存に貢献！

★優秀賞★

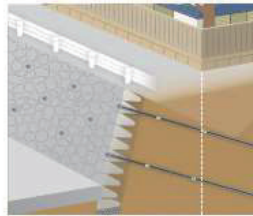
防災・減災×サステナブル大賞2024

防災・減災×レジリエンス賞

【カンパニー部門】

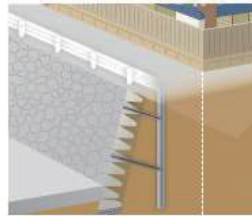
減災サステナブル大賞技術協会主催

【一般的な補強工法】



補強材が長くなり、建物の基礎や杭等への影響が懸念される

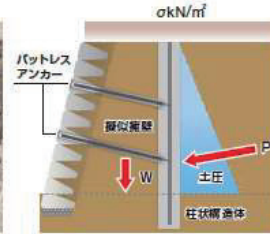
【バットレス型補強アンカー工法】



建物の基礎や杭等に影響なく補強することができる

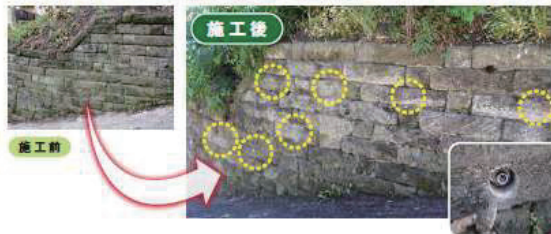


内部構造



設計概念図

【クララエ法】



バットレス型補強アンカー工法

クララエ法

崩壊・孕みによる変状等が生じている石積擁壁において、景観を損なわずに補強することができる。また、狭隘な環境（前面に建物がある場合等）でも施工可能な工法である。



文化財石垣・石積擁壁補強技術協会

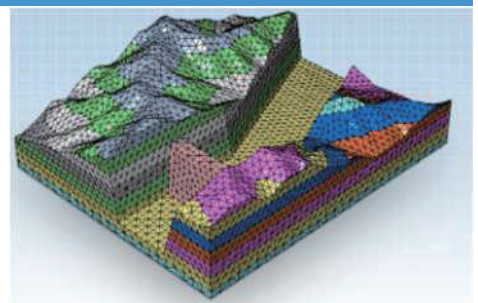
〒131-8505 東京都墨田区押上2-8-2 (岡部株式会社内) TEL.03-3624-6201 FAX.03-3624-6215 <https://bunkazai-ishigaki.com/>

数値解析と設計施工の架け橋になる。

～全ての人々が安心して暮らせる豊かで安全な国土、社会基盤の整備に貢献します～

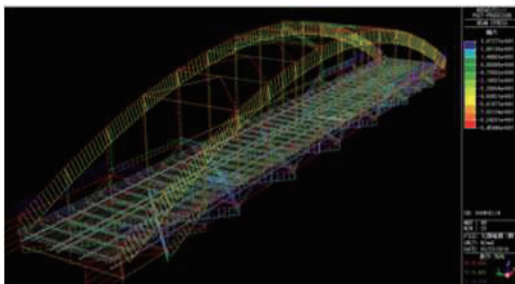
株式会社クレアテックは、最先端のシミュレーション技術と的確な工学的判断によって、社会基盤整備のトータルソリューションを提供する会社です。

土木と建設の現場を知っているから出来るリアルな数値解析で安全な社会基盤を提案し続けます。



主な業務内容

- ・プッシュオーバー解析
- ・3次元骨組み解析
- ・地震応答解析
- ・圧密（粘弾塑性）解析
- ・浸透流解析
- ・各種土木構造物の耐震診断
- ・構造物の静的及び動的的非線形解析
- ・地盤・構造物連成解析
- ・近接施工影響解析
- ・斜面安定解析
- ・液状化（有効応力）解析
- ・工法検討等



CREATEC
Civil Engineering & Consultants

株式会社クレアテック TEL: 03-6268-9108 FAX: 03-6268-9109
〒101-0065 東京都千代田区西神田 2-5-8 共和 15 番館 6 階
HP: <https://createc-jp.com>

地すべり・液状化抑制 レジェンドパイプ工法

地すべりや液状化現象を抑制するためには地下水位を下げるのが最も効果的です。レジェンドパイプ工法は高性能な集排水管と推進工法の組み合わせにより、深いところへスピーディに集排水管を設置し効率的に地下水位を下げ、地すべりおよび液状化現象を抑制することができる新しい工法です。



MPDパイプ（310型）素材：ポリプロピレン製

樹脂製有孔管に比べ空隙率が大きく集水性能に優れています。点で集水する有孔管に比べ面で集水する為、フィルター部の目詰まり現象が起きにくく、洗浄によるメンテナンスも容易です。

NETIS

国土交通省
新技術情報提供システム
登録番号:CB-220014-A

泥水方式掘進機

礫用面板もあり様々な土質に対応できます。また、リターン機は掘進機を発進立坑まで引き戻すことができるので到達立坑が不要です。



レジェンドパイプ工法協会

事務局 〒432-8001 静岡県浜松市西区西山町1831-4アサヒエンジニアリング(株)内

TEL.053-485-2050 FAX.053-485-2052 E-mail:legend@ash-eg.co.jp URL:http://www.legend-pipe.jp



Japan Association for
Earthquake Engineering

公益社団法人

in Okinawa 

日本地震工学会 年次大会2025



日本地震工学会 大会



日本地震工学会 年次大会2025

2025年12月9日(火),10日(水)

沖縄県市町村自治会館(沖縄県那覇市)



詳細はQRコードより
ご確認ください。

新会長挨拶

山中 浩明

●東京科学大学環境・社会理工学院 教授



2025年5月21日に開催されました第13回社員総会において、高田毅士前会長の後を引き継いで新会長に選出されました。これから2年間、会員の皆様と共に日本地震工学会を一層発展させるために努力していく所存です。何卒、よろしくお願い申し上げます。

し上げます。

日本地震工学会は、2001年に設立されました、まだ新しいといえる学会です。その設立当初から、伝統のある地震防災関連の学会の枠を超えた横断的な議論の場を提供し、地震災害の軽減に寄与することを大きな目的のひとつとして発展してきました。設立当時、私自身も地震学と耐震工学の境界の中堅研究者としてその後には広がる地震工学分野の新しい未来を思い浮かべ、日本地震工学会に大いなる期待を持ちました。それから20年以上が過ぎ、地震および地震防災に関係する分野から多くの皆様が本学会の活動・運営に参加し、大会、日本地震工学シンポジウム、世界地震工学会議などの重要な行事を主催し、成功裏に実施してきました。こうした活動を通じて、それぞれの会員の皆様も主とする学会内にはない多分野交流の幅を拡張していただけたと思います。今後も引き続き本学会の分野横断的な役割を盤石なものにするための活動を継続していきます。

日本地震工学会の主目的のひとつに、地震防災のための国際貢献があります。我が国の地震工学分野の研究者、技術者は、開発途上国の地震防災に長年寄与しています。また、そうした国からの留学生や研修生も多く受け入れ、人材育成にも貢献してきました。とくに、東南アジアおよび西太平洋地域の開発途上国からの期待は大きく、今後もさらなる協力が必要とされています。防災技術に基づく国際的な技術支援や防災教育は、我が国が最も得意とする国際貢献であり、防災技術とそれを支える人材資源が我が国の科学技術外交の重要なカードになると考えられます。本学会では、高田前会長や清野元会長を始めとした歴代の会長の

リーダーシップによって、海外の関連学会との交流も盛んになってきています。今後も国際的な地震工学分野の交流活性化のために具体的な協働や交流事業を企画、実施していく段階へと発展させて、我が国の地震工学、ひいては日本のプレゼンスの向上に努めます。

国際貢献と同じく日本の社会への貢献も本学会の重要な使命です。本学会には、関連各学会と共同して理学と工学と含む幅広い連携を通じた社会貢献が求められています。大規模な地震災害はもとより、被害の少ない地震についての情報も本学会から発信し、日本を代表する地震災害の情報発信拠点となるように活動を継続していくことが大事です。さらに、研究者、技術者だけでなく、市民に向けてのわかりやすい情報発信も行っていく必要があると考えます。

日本地震工学会は、来年度に設立から四半世紀を迎えようとしています。設立時から学会運営の改善は常に行われていますが、最近、様々な問題が顕在化しております。2023年10月には、将来構想委員会より「日本地震工学会の将来に向けた提案」と題した報告書が提出され、本学会の現状の課題や問題点の整理とその対応案が示されています。本学会ではありませんが、会員数の減少は避けて通れない問題です。この問題は、学会の多くの活動に影響を及ぼします。とくに、本学会の経済状況への影響は大きく、その対応は喫緊の課題となっており、本学会には待ったなしの改革が本学会の運営には求められています。上記の報告書を参考にしつつ、将来の学会規模に応じて発展させる活動と縮小させる活動をしっかりと分けて、理事の皆様と一緒にメリハリのきいた学会運営をしていく所存です。

今後も地震防災に関する多様な分野のシニア、中堅、若手の研究者、技術者、さらには学生が世代と分野を超えて活発に議論できる場を日本地震工学会が提供し続けるために、次の四半世紀に向けた日本地震工学会の進むべき持続可能な学会運営を始める2年間とすべく努力いたします。よろしくご協力、ご支援をお願いいたします。

地震工学×データサイエンスの現在

宮本 崇

●東京科学大学 准教授

1. はじめに

データサイエンスは、従来の統計学や情報学、計算科学などの知見を統合したアプローチによって、データから有意義な情報や洞察を導く学術分野である。従来の科学的枠組みと比較した際のデータサイエンスの特徴は、課題解決に必要な手段を経験則や演繹に基づいて設計するのではなく、データの有する情報を基に自動的に構築する点にある(図1)。データ駆動と称されるこのようなデータサイエンスのプロセスは、社会におけるビッグデータの整備とも相まって近年に大きな成功を収め、科学一般の新しいパラダイムを拓く枠組みとして様々な分野において課題解決の可能性を拓いている¹⁾。

柔軟かつ高速なデータ解析の手段を提供するデータサイエンスからは地震工学も大きな恩恵を受けており、今後も同様の動向が続くことが予想される。本稿では、地震工学におけるこれまでのデータサイエンス活用の成果を概観した後、特に発展の著しいデータサイエンス上の最近の潮流と地震工学分野との関わり、および今後の方向性について考察する。

2. 地震工学におけるデータサイエンスの応用

2.1 計測データの解析

近年におけるデータサイエンスの発展は画像認識における機械学習手法の成功に端を発しており、地震工学分野でも画像や時系列データなどの計測データの解析への応用が早い段階から検討されている。例として、画像認識手法は衛星画像²⁾や現地写真³⁾からの建物被害把握などへ、時系列データ処理手法は地震波形データからのフェーズ識別⁴⁾や緊急警報の発令⁵⁾などへ、既存のタスクの処理精度を飛躍的に向上させる形で応用されており、更なる研究の発展や今後の社会への活用が予想される。

こうした計測データの解析に際しては、特に大地震に関連するデータが本質的に少ないことに起因して、必要なデータ量が確保できずデータサイエンス手法が十分に機能しない懸念もあった⁶⁾が、現在は各種のオープンデータの整備^{例えは7)}や後述する基盤モデルの活用によって徐々に解決されている傾向にある。また、災害や事故といった計測機会の少ない事象のデータを数値シミュレーションによって仮想的に生成してデータサイエンス手法の教師データに用いる、シミュレー

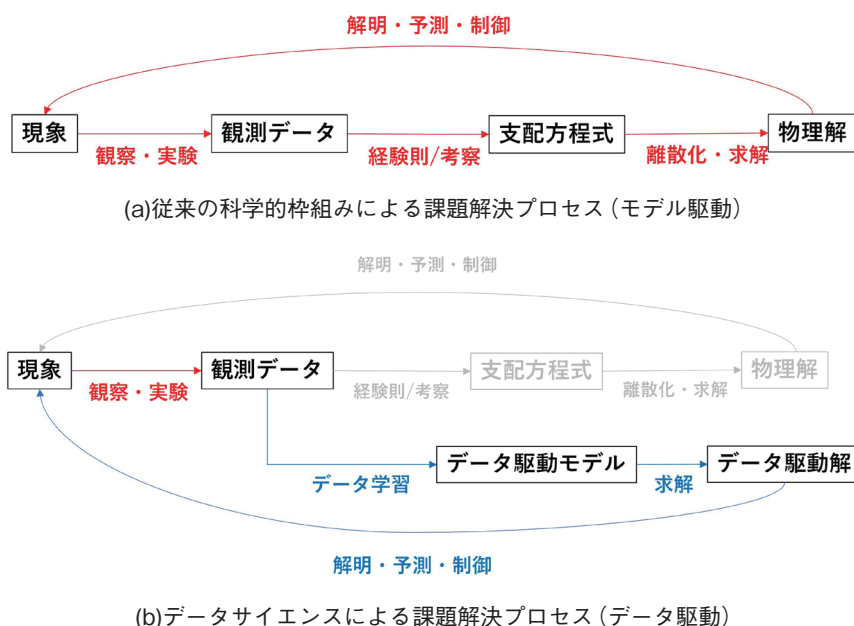


図1 従来の科学的枠組みとデータサイエンス

ション学習と称されるアプローチは、地震工学においてもデータの不足を補完する有効な手段であると共に、科学計算技術の新たな利用法といえる^{例え⁸}。

2.2 自然科学的対象の解析

地震波動伝播、津波伝播、構造物振動といった物理現象の高速・高性能なシミュレーション技術や、シミュレーションに必要な震源過程や地盤構造などの物理量の推定技術の開発は、現在も地震工学の主要なテーマの1つと言えるが、データサイエンスはこのような現象のシミュレーションや物理量の推定といった自然科学的対象の解析の場面でも効果を発揮している。例として、物理シミュレーションの入出力関係をデータ駆動モデルに学習させ、学習後のモデルによってシミュレーションの著しい高速化を実現しようとするサロゲートモデル⁹の考え方は、地盤情報などの不確実性を反映した多数回の計算¹⁰や、大規模な空間領域の高速なシミュレーション¹¹といった地震工学上のシミュレーション活用場面とも親和性が高く、リスク評価およびリアルタイム被害予測などの性能革新に繋がる事が期待される。また、物理量の推定の文脈では、例として地表での地震動観測データから地下構造を推定するインバージョンの求解において生成モデルを含む様々なニューラルネットワークの活用が模索されている¹²。他分野では、ニューラルネットワークを用いることで通常的手法では解くことの難しいill-posedな設定の逆問題の求解に成功している事例もあり¹³、地震工学においてもデータサイエンス手法を活用したイノベーションの達成が待たれる。

こうした自然科学的対象の解析に際しては、ブラックボックス的なデータ駆動モデルを用いることの是非や出力結果の信頼性が議論されるが、データ駆動モデルの出力に物理的な拘束を課すPhysics-Informed Neural Networks¹⁴ (PINNs) などの手法によって解決の兆しが見えてきている。PINNsに代表される、データサイエンス手法と従来の自然科学的枠組みの連携・統合手法に関する研究は、後述する科学技術機械学習と称される研究領域を形成しており、地震工学を含む自然科学へのますますの活用が期待される。

3. データサイエンスの最近の潮流と地震工学

3.1 基盤モデル

データサイエンス分野における直近の重要な潮流として、基盤モデルの台頭が挙げられる。基盤モデルとは、極めて大規模なデータを学習することによって様々なタスクへの適用が可能となったデータ駆動モデルであり、例としてChatGPTに代表される大規模言語

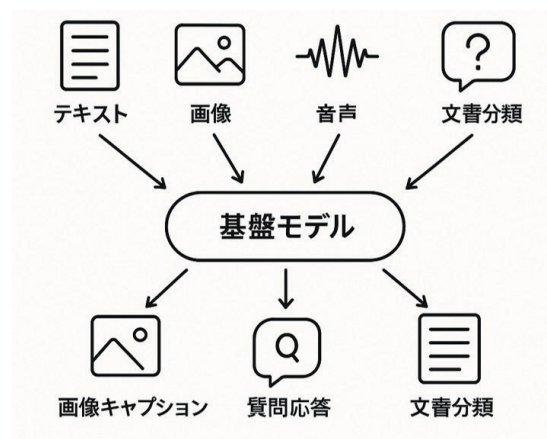


図2 基盤モデルの概念図：ChatGPTにより生成

モデルの成功は広く知られている。現在の基盤モデルは、言語や画像といった単一のデータでなく多種のデータを同時に学習・処理し、様々なタスクへ適応する汎用的性能を有しており（図2：同図もまたChatGPTによって生成）、このようなAI技術の発展はごく近い将来に社会を一変させるという主張もある¹⁵。

地震工学への応用という観点から基盤モデルを眺めた時、自然な発想の1つとしてまずは既存の基盤モデルを種々の目的へ活用する方向性が考えられる。基盤モデルの有するマルチタスクな処理能力は、例えばSNSからのリアルタイムな災害関連情報の自動抽出、異なる複数の地震動データベースから目的のデータを検索し加工するプログラムの自動生成、図面やCADデータからの構造物の3Dシミュレーションモデルの自動構築といった目的への利用が想定される。これらはごく少数の活用シナリオ例であるが、このように基盤モデルには我々と多様な情報を円滑に繋ぎ知的作業を加速・自動化させる、ある種の汎用的なインターフェースやエージェントとしての役割が期待できる。また、膨大なデータを学習した基盤モデルは、例えば画像からの災害被害判別といった特定のタスクにおいても、専用に設計された既存モデルと同等以上の性能を有しているという研究報告もあることから¹⁶、地震工学上のデータ解析に用いられるモデルは今後基盤モデルに置き換わっていく可能性もある。更に、基盤モデルの様々な目的への利活用を容易にするために、基盤モデルと外部のツールやデータソースとの情報のやり取りを標準化するプロトコル¹⁷の整備も急速に進んでいる。地震工学分野においてもまた、基盤モデルによる業務や研究の劇的な効率化が近い将来に達成されることが予想される。

基盤モデルの地震工学への活用のもう1つの方向性として、地震工学上の様々なタスクに特化して広く活

用可能な、分野固有の基盤モデルを構築することの可能性が挙げられる。この基盤モデルには、地盤構造情報、観測地震動記録、構造物諸元、人流情報、空撮画像といった種々の地震工学上のマルチモーダルデータの大規模学習を通じて、地域ごとのリスク評価や個々の構造物の即時被害推定などの様々なタスクにおいて一般的な基盤モデルよりも更に高い性能を発揮することが期待され、地震工学に近い分野である地震学でも同様のモデル開発が議論されている¹⁸⁾。そのような地震工学基盤モデルの開発には、従来の基盤モデルと同様に膨大かつ多様なデータの収集とモデル構築に必要な計算資源、さらにこれらを実施する多くの人材が必須であり、分野が一丸となつての意思決定と取り組みが必要と考えられる。

3.2 科学技術機械学習

前述した、数値シミュレーションによってデータ駆動モデルの仮想的な教師データを生成するシミュレーション学習や、データ駆動モデルの出力に対して物理的な拘束を課すPINNsなどのアプローチは、モデル駆動のプロセスとデータ駆動のプロセスを混成させることで、両プロセスの利点を両立させた新たな課題解決の手段を提供している(図3)。このような、従来の科学的枠組み、特に科学技術計算手法の有する解釈性・物理的信頼性とデータサイエンスの有する柔軟・高速な推論性能を融合させた手法に関する研究は、科学技術機械学習(Scientific Machine Learning / SciML)と総称される学際的研究領域を近年に構成しており、自然科学におけるデータサイエンス手法の応用を議論する上で重要な潮流の1つと考えられる。

科学技術機械学習の手法は地震工学上の課題へも応用されており、入力値としての物理場と出力値としての物理場の間の作用素的關係を学習させるNeural Operatorの手法による地震波動伝播解析のサロゲート

モデル構築¹⁹⁾や、PINNsによる地盤構造のインバージョン²⁰⁾といった先駆的な事例からは今後の発展が期待される。また、動的な現象の観測データから、その現象が従う非線形時間発展則をデータ駆動的に発見・構築して利用するKoopmanモード分解の手法は、モデルの解釈性と表現性能を両立させた手法として地盤震動解析²¹⁾に应用されている。これらの事例のように、特に自然科学的対象の解析という場面において、科学技術機械学習の手法は解析精度の向上・計算速度の革新・求解可能な範囲の拡張などを通じた地震工学上のイノベーションに繋がることが期待される。

こうした科学技術機械学習手法は、科学技術計算の利点とデータサイエンスの利点を相補活用するというコンセプトの魅力に加えて、いくつかの具体的な課題での成功にも後押しされ、地震工学を含む多くの自然科学分野の中で普及が進んでいる。一方で、有限要素法などの研究の進んだ手法とは異なりその性能や性質に関する理論的解明が十分に進んでおらず、活用可能な場面も現段階では限定的なものに留まっている。例として、ニューラルネットワークを用いたインバージョン手法では一般的に地盤構造の明確なコントラストの表現が難しいため、その出力結果は地盤震動シミュレーションなどの目的には必ずしも適さない側面もある。地震工学においては、イノベティブな利用法の検討と共に、分野上の課題解決に適した数理手法の改良などの検討も今後重要になると考えられる。

4. おわりに

本稿では、地震工学×データサイエンスの現在というテーマの下で、地震工学におけるこれまでのデータサイエンス活用の成果を概観し、近年のデータサイエンスの潮流と地震工学との関わりを基盤モデルと科学技術機械学習の2つの観点から述べた。

モデル駆動

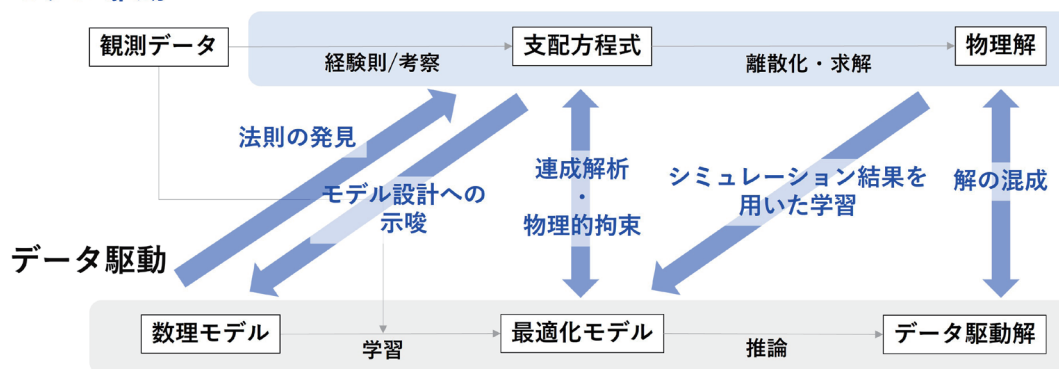


図3 科学技術機械学習：モデル駆動とデータ駆動の融合

本稿で触れた基盤モデルと科学技術機械学習という2つの技術は、前者は大規模な開発を必要とするために1人の技術者/研究者単位ではユーザーとしての利用にシフトした研究が主流になると考えられること、一方で後者は手法開発に関する基礎研究の余地が残されていることにおいてある意味で対照的であり、この対照性はそのままデータサイエンスという分野に対して地震工学(者)が今後どのようなスタンスで付き合いしていくかという立場の問題に置き換えることもできる。現在のデータサイエンスは文字通り日進月歩であり、そのような分野と共に地震工学が今後どのような方向に向かうのか、また1研究者はどのような研究を行っていくべきなのか、著者自身もまた現役の研究者として、変化の著しい現在の状況に関心を有している。

参考文献

- 1) Hey, A. J. G et al: The fourth paradigm: data-intensive scientific discovery, volume 1. Microsoft research Redmond, WA, 2009.
- 2) Wang, Y. et al: Building damage detection from satellite images after natural disasters on extremely imbalanced datasets. Automation in construction, 140, 104328, 2022.
- 3) 戸澤謙弥 他: 現地写真を用いた深層学習による地震時の建物全壊判別モデルの構築、日本地震工学会論文集 21.5、pp.5_27-5_40、2021.
- 4) Hou, X. et al: SEA-net: Sequence attention network for seismic event detection and phase arrival picking. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 122, 106090, 2023.
- 5) Kumar, R. et al: Earthquake genesis and earthquake early warning systems: challenges and a way forward. Surveys in Geophysics, 43(4), pp.1143-1168, 2022.
- 6) 宮本崇 他: 防災応用の観点からの機械学習の研究動向、AI・データサイエンスシンポジウム論文集、Vol.1, No.11, pp.242-251、2020.
- 7) Xia, J. et al: OpenEarthMap: A benchmark dataset for global high-resolution land cover mapping. Proceedings of the IEEE/CVF Winter Conference on Applications of Computer Vision, pp. 6254-6264, 2023.
- 8) 竿本英貴 他: 機械学習による橋梁の損傷推定を想定した教師データセットの生成、土木学会論文集A1(構造・地震工学)、Vol.78、No.4、pp.I_10-I_21、2022.
- 9) Samadian, D. et al: Application of data-driven surrogate models in structural engineering: a literature review. Archives of Computational Methods in Engineering, 1-50, 2024.
- 10) Sochala, P. et al: Model reduction for large-scale earthquake simulation in an uncertain 3D medium. International Journal for Uncertainty Quantification, 10(2), 2020.
- 11) Tozato, K. et al: Rapid tsunami force prediction by mode-decomposition-based surrogate modeling. Natural Hazards and Earth System Sciences, 22(4), pp.1267-1285, 2022.
- 12) Li, M. et al: A comprehensive review of seismic inversion based on neural networks. Earth Science Informatics, 16(4), pp.2991-3021., 2023.
- 13) Adler, J. et al: Solving ill-posed inverse problems using iterative deep neural networks. Inverse Problems, 33(12), 124007, 2017.
- 14) Raissi, M. et al: Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations. Journal of Computational physics, 378, pp.686-707, 2019.
- 15) Kokotajlo, D. et al: AI-2027, 2025.
<https://ai-2027.com/> (参照2025-05-07)
- 16) Kunugihara, M. et al.: Zero-shot typhoon damage detection using large vision-language models, Proceedings of IEEE IGARSS 2025, in printing, 2025.
- 17) Model Context Protocol
<https://modelcontextprotocol.io/introduction/>
(参照2025-05-07)
- 18) Sheng, H. et al: Seismic foundation model: A next generation deep-learning model in geophysics. Geophysics, 90(2), IM59-IM79, 2025.
- 19) Lehmann, F. et al: Fourier neural operator surrogate model to predict 3D seismic waves propagation. arXiv preprint arXiv:2304.10242., 2023.
- 20) Rasht - Behesht, M. et al: Physics - informed neural networks (PINNs) for wave propagation and full waveform inversions. Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 127(5), e2021JB023120, 2022.
- 21) 塩井瑛大 他: 時間遅延埋め込み動的モード分解に基づくデータ駆動型地震応答解析、土木学会論文集、Vol.80、No.15、23-15006、2024.



宮本 崇 (みやもと たかし)

2012年東京大学大学院修了。山梨大学助教・准教授を経て2025年より現職。データサイエンス手法の災害科学への応用や、科学技術機械学習手法の開発を研究している。2022年より防災学技術研究所客員研究員、2025年より理化学研究所革新知能統合研究センター客員研究員を兼任。

データ駆動型の地震後の構造状態評価

長山 智則

●東京大学大学院工学系研究科 教授

1. はじめに

我が国には世界に誇る高密度な強震観測ネットワークが存在し、地震動が到来する前に揺れの大きさを概ね把握できる緊急地震速報を広く国民が利用している。新幹線の安全な運転にも地震に対する早期検知が利用されている。しかしながら、その地震動によるインフラや構造物の被害や健全性の把握には、長時間を要しているのが現実である。令和6年能登半島地震においては、地震後に斜面崩壊データや空中写真等が国土地理院のホームページに順次公開されていたが、日単位での時間を要した。遠隔からの外観だけでは判別できない被災状況の把握にはより長い時間を要し、被災建築物応急危険度判定は令和6年1月4日から21日まで、18日間を要している。2018年の大阪北部地震に際しては明らかな構造被害はなかったものの、高速道路や列車が安全性確認のために一時通行止めとなり、経済や生活に大きな影響を与えた。2011年東北地方太平洋沖地震においても高速道路や鉄道の再開にあたって、構造物の健全性評価に時間を要した。災害発生時には被災状況を即座に把握することが、発災後の初動、応急対応、復旧・復興の基本であるし、より頻繁に発生する中規模地震の際には無被害であることを即座に把握して経済や生活への影響を最小限に抑えることが、厳しい国際競争環境下におかれている我が国の国力を維持するためにも極めて重要である。

衛星データや航空写真を利用した斜面崩壊や全壊建物の広域抽出技術は近年急速に発展している。一方で、遠望では判別しにくい部分的損傷や内部損傷の把握には限界がある。建築分野では、建物に加速度計を常設し、地震直後に変位応答を推定して健全性を評価するシステムが商用ベースで展開され始めている。地震時の応答が小さいことを確認でき、事業継続計画の一助となるシステムである。ただし、多くは線形応答を前提としており、損傷を伴う非線形挙動への適用は難しい。また、橋梁など社会インフラへの導入は進んでいない。

我が国の災害耐性を向上するためには、社会インフラを含む構造物の地震後の健全性を、非線形領域まで考慮して迅速に評価する技術が不可欠である。ここでは、IoTセンサとAI技術を利用したデータ駆動型アプ

ローチに注目し、最新の研究事例を紹介するとともに、今後の課題と展望を議論したい。

2. 地震後の構造状態評価の難しさ

近年は数値シミュレーションモデルや計算手法の高度化により、様々な非線形現象を詳細に表現できるようになった。また全国の強震観測網から地震動が取得できることから、観測した地震動を用いて個別構造物の応答を計算し、損傷や健全性を評価するというアプローチは一見魅力的である。しかし、数値シミュレーション単独での地震後評価には限界がある。非線形現象は線形現象と比べてモデルも振る舞いも複雑であり、モデルの設定により応答が大きく異なり得る。例えば筆者らは2011年東北地方太平洋沖地震時の横浜ベイブリッジの地震応答を再現したが、ウィンドサ・ウィンドタング間のわずか5mmの隙間をモデルに組み込むか否かで、橋軸直角方向の応答が大きく変化した¹⁾。全長860mにおよぶ斜張橋の応答が5mmの隙間の再現に左右されるわけである。全体挙動を左右する構造モデルの詳細はこの隙間に限らない。材料非線形性の設定や地盤モデルの非線形性も構造応答を左右する。大地震時に初めて顕在化する非線形挙動を事前に精度よく把握することは極めて難しいため、数値シミュレーションのみでの健全性判定には根本的な不確実性が残る。

一方で、地震応答観測データを活用するアプローチも期待される。従来は商用電源が利用可能な建築物以外ではIoTセンサを利用した地震計測は稀であったが、近年は省電力実装も進み、単一電池数個により年単位の連続加速度計測・データ記録が実現している^{2),3)}。電池の個数を増やすことでより長期の連続観測も視野に入る。常時データをローカルに保存し、地震発生時のみ、LTEなどの通信回線を用いて即座に収集可能なシステムが乾電池数本で構築可能となった。これにより従来と比べてはるかに容易にかつ低コストで応答データが取得できるようになっている。

しかし、加速度データのみを利用しても限界がある。加速度から変位、変形を推測することは可能であるが、加速度計により得られる情報は基本的には動的成分のみである。単なる数値積分では発散してしまうし、ハイパスフィルタを適用すれば準静的応答成分は消えて

しまう。残留変形成分や非線形成分を加速度データから評価することはできない。モデルとデータを融合することにより初めて、非線形領域を含めた実用的な地震後健全性評価が可能になると考えている。

3. 加速度計測データに基づく変位推定

3.1 データ同化とパラメータ推定の組み合わせによる変位推定

筆者らは、強震時に構造物が経験する相対変位時刻歴を高精度に推定する枠組みを提案している(図1)⁴⁾。本手法は、非線形カルマンフィルタによるデータ同化と、遺伝的アルゴリズムあるいはMCMC法によるパラメータ更新とを繰り返し適用するハイブリッド方式である。

カルマンフィルタに代表される逐次データ同化では、支配方程式である運動方程式を状態空間で表現する。これは状態方程式と呼ばれるが、状態方程式のモデル化誤差はプロセスノイズ共分散行列としてカルマンフィルタの定式化に含めることができる。また観測量を定義する観測方程式は、変位や速度などの状態変数の関数として立式する。観測方程式に含まれる観測誤差は、カルマンフィルタにおける観測誤差共分散行列として定式化できる。このため、運動方程式や観測方程式の各項に不確実性が含まれていたとしても互いの不確実性の大きさを考慮して補いあいながら状態量を推定できる枠組みであるといえる。変位や相対変形はこの状態量として推定される。

このため、状態方程式と観測方程式の誤差を低減できれば、状態量である変位の推定に有効である。状態方程式の誤差を低減するために、非線形モデルを高度化したり、そのパラメータを更新したりすることが考えられる。非線形カルマンフィルタは、変位等の状態量を推定すると共に、剛性や降伏点等の非線形モデルパラメータを同時推定することもできる。ただし、パラメータ推定の性能としては遺伝的アルゴリズムやMCMC法などの外部の最適化手法のほうが高いことが確認されたため、ここでは、非線形カルマンフィルタと、遺伝的アルゴリズムやMCMC法などのモデル更新技術を組み合わせた手法としている。図1中の非線形カルマンフィルタを順解析に置き換えることも考えられるが、モデル化誤差と観測誤差の双方を考慮した時刻歴推定ができず、様々な構造系に対する適用性が限定的である。そのため非線形カルマンフィルタと組み合わせた手法としている。

構造モデルとしては複雑な有限要素モデルを用いる必要はなく、図2に示す一自由度トリリニアばねモデ

ルを採用した。真値データにはRC橋脚の高自由度非線形有限要素解析結果を用いたが、提案手法は複雑な真値変位時刻歴を小さな誤差で再現し、ヒステリシス曲線の概形も良好に捕捉できた(図3、図4)。すなわち、履歴特性を大まかに捉えた簡易モデルと観測加速度に含まれる実挙動情報とをデータ同化の枠組みで融合することで、キャリブレーションされた高自由度モデルに匹敵する変位推定精度を実現できることを示した。



図1 データ同化とパラメータ推定による変位推定

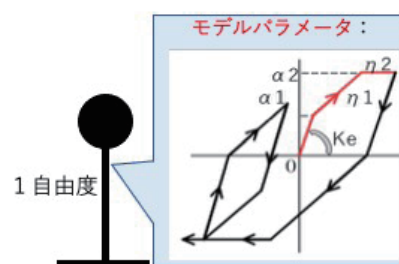


図2 1自由度非線形モデル

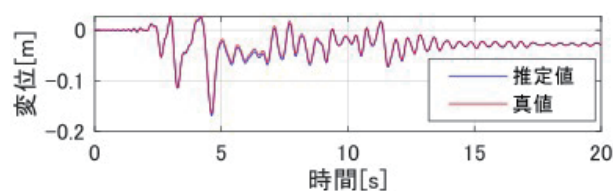


図3 加速度・変位時刻歴推定結果

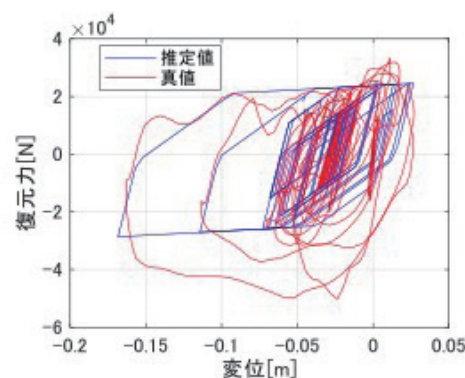


図4 履歴特性推定結果

3.2 データ駆動型のモデル同定とデータ同化による変位推定

上述の方法では、予め1自由度トリリニアモデル等のモデルを適切に選定しておく必要がある。しかし、実構造物は多様で複雑であるから、どの簡易モデルが適切かは対象構造物によって異なる。そこで筆者らは、データ駆動型で状態方程式を推定する手法と非線形カルマンフィルタを組み合わせた変位推定法を開発した⁵⁾。

まず、図5左に示す鋼製橋脚の非線形有限要素モデルに対して様々な入力地震動を与え、入出力データを生成する。得られた加速度・変位応答のペアに基づき、これと整合する状態方程式を機械学習的に推定する。ただし、状態方程式は本質的にマルコフ性を前提としており、現時点における状態のみから次の状態を推定するものであり、過去の履歴には依存しない。マルコフ性を前提とした状態方程式により、履歴特性を表現することはそもそも難しい。そこで、推定した状態方程式を非線形カルマンフィルタに組み込み、観測量として加速度応答を用いることで履歴依存性の不足を補う。カルマンフィルタのプロセスノイズ共分散行列などのパラメータは、図1で示した枠組みに従いMCMC法で最適化した。

図5左に示す鋼製橋脚の非線形有限要素モデルにより状態方程式を学習し、図5右に示す、異なる寸法や非線形特性をもつ鋼製橋脚の非線形有限要素モデルをテストデータとして提案手法の性能を検証した。図6左に推定された履歴特性を、右に変位時刻歴を示す。図中には、カルマンフィルタを適用せずに状態方程式に基づいてシミュレーションした結果を「既往」として示しているが、カルマンフィルタを適用することにより、高精度に推定できていることが分かる。

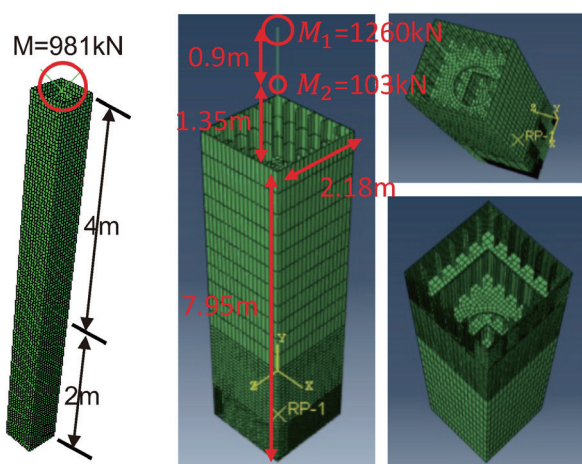


図5 学習モデル(左)とテストモデル(右)

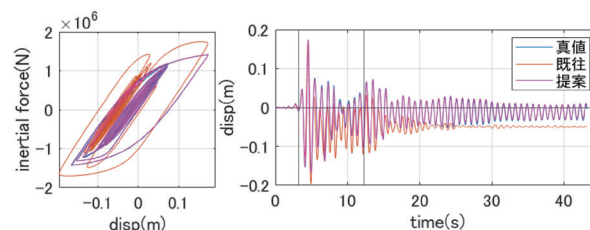


図6 データ駆動型のモデル同定と変位推定結果

学習に用いた橋脚と検証用橋脚は寸法や材料が異なるにもかかわらず、推定された変位は高い精度で一致した。つまり、本手法では対象ごとに詳細な有限要素モデルを再構築する必要がないことを示している。対象構造物と動的特性に近い学習モデルを選べば精度は一層向上するものの、個別構造物専用のモデルは不要であり、実用上きわめて汎用性が高い手法である。

3.3 深層学習を利用した変位推定

上述の方法では、推定精度を高めるために対象構造物に近い学習データを用意する必要があった。この要件は、多様な構造物へ迅速に適用する際の制約となり得る。そこで筆者らは、対象ごとに再学習を行わずに済む汎用モデルを深層学習により構築した⁹⁾。

まず、さまざまな非線形履歴特性を持つ1自由度系に多様な地震動を入力し、計四万ケースの加速度・変位応答ペアを生成した(図7)。これらを用いてDilated CNNを学習させ、加速度時刻歴から変位を直接推定するモデルを得た。学習に用いたのは自由度の小さい1自由度系のみであるが、テストとして図5に示す二つの鋼製橋脚(高自由度非線形有限要素モデル)に適用したところ、高精度で変位時刻歴を再現できた。すなわち、個別構造物ごとに追加学習を行わなくても、同一ネットワークで異なる構造物の非線形応答を推定できることが確認され、本手法の高い汎用性が示された。

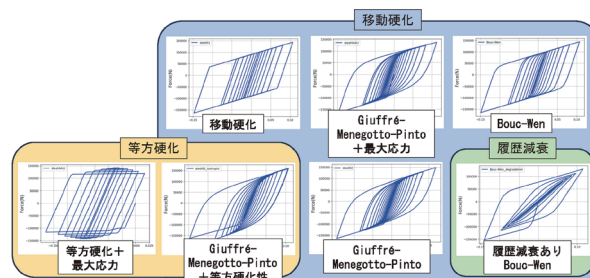


図7 テストデータ作成に用いた履歴特性モデル

3.4 橋脚の変位推定から橋梁の変形推定へ

これまで述べた手法により、橋脚頂部に設置した加速度計から同地点の変位を高精度に推定できる目途が立った。現在はこれを発展させ、長大橋や連続高架橋など大規模構造物を対象に、ごく少数の加速度観測点だけで橋梁全体の変形を推定する枠組みを検討している。各観測点で残留成分を含む変位を推定し、それらを観測量として橋梁全体系を状態変数とするカルマンフィルタを適用すれば、構造物全体の応答が同時推定できる。

ただし、橋梁モデルの自由度が高い場合にはカルマンフィルタの計算負荷が大きく、地震直後の即時健全性評価という目的には不向きである。このため、モデル縮約や数値アルゴリズムの高速化を組み合わせ、リアルタイム推定を可能にする手法を開発中である。

4. 今後の展望

本稿で紹介した手法は、加速度応答を観測量として取り込み、数値モデルの不確実性を補う点に特色がある。IoT センサの普及により加速度データを現実的なコストで取得できるようになった今日、観測とシミュレーションを融合する本アプローチは、従来にない有効な選択肢と言える。

一方、観測データが存在しない状況では本手法を直接適用できないという根本的な限界がある。たとえば、地震発生前に被災リスクを事前評価する場面では、加速度データが存在しないため、本手法だけでは対応できない。この場合は、より精緻な数値モデルの構築や、不確実性を定量化したハザード解析などが有効となる。

さらに、巨大地震のような前例のない外力が構造物に作用する場合、事前に同規模の応答データを取得することは不可能である。しかし、中規模地震は頻繁に発生しうするため、実際に発生した中規模地震の応答を確実に記録し、詳細に分析することが想定外被害を防ぐ上で極めて重要である。中規模地震データの蓄積とモデル検証を継続的にを行い、不確実性を段階的に縮減することで、巨大地震にも信頼性の高い事前評価が可能になる。

事前に高精度モデルでリスクを確率的に把握し、地震発生直後には本稿で紹介したデータ同化型手法を用いて即時的に実際の健全性を判定できる総合的な仕組みを具現化することが今後の課題である。

参考文献

- 1) Takeda, T., Mizutani, T., Nagayama, T., and Fujino, Y.: Reproduction of Cable-Stayed Bridge Seismic Responses Involving Tower-Girder Pounding and Damage Process Estimation for Large Earthquakes, Journal of Bridge Engineering, 24 (2), 2018.
- 2) Suzuki M, Nagayama T, Ohara S, Morikawa H. Structural Monitoring Using Concurrent Transmission Flooding. Journal of the Institute of Information and Communication Engineers 2017;J100-B(12):952-960
- 3) Siringoringo DM, Fujino Y, Suzuki M, Mehta V. Implementation of Wireless Sensor Network for Continuous Seismic Monitoring of Isolated Cable-Stayed Bridge. Journal of Bridge Engineering 2022;27(4):04022011-15
- 4) 石原佳奈、楊曜華、長山智則、中村俊敬、蘇迪：加速度応答計測と非線形履歴特性モデルに基づく変位応答推定、構造工学論文集A、68、pp275-288、2022.
- 5) Kitahara,M., Kakiuchi,Y., Yang,Y., Nagayama ,T. : Adaptive Bayesian filter with data-driven sparse state space model for seismic response estimation, Mechanical Systems and Signal Processing 208, 111048,2024.
- 6) 藤田凜々子、北原優、楊曜華、長山智則：加速度計測と深層学習を利用した地震変位応答推定、土木学会第80回年次学術講演会、2025. (公開予定)



長山 智則 (ながやま ともりの)

2000年東京大学卒、2002年東京大学大学院修士課程修了、2007年米国イリノイ大学アーバナシャンペーン校Ph.D.東京大学准教授を経て現職。専門分野：インフラモニタリング

深層学習を活用した建築物被災度評価

森田 高市

●国土交通省国土技術政策総合研究所 建築新技術統括研究官

1. はじめに

2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震等の大地震後に、専門家が現地へ赴き、外観から目視で調査を行うなどして、応急危険度判定¹⁾や被災度区分判定²⁾を行っている。対象建物が非常に多くなることと、専門家の人数の制約などから、調査を終了するまでに多く時間がかかり、東北地方太平洋沖地震では約2ヶ月を要し、熊本地震では1ヶ月半を要した。このような背景から、地震後に迅速に建物の状態の判定を出来る手法が求められている。また、現状では、専門家が現地に行くまでに非常に時間がかかっていることから、専門家が現地に行かないでも判定できる手法も求められている。東北地方太平洋沖地震等の過去の地震後に、学校体育館等においては、鉛直ブレース材の座屈と接合部の破断などが確認されている^{3),4)}。また、吊り天井が連続的に脱落する被害が見られ、人的および物的被害が多く発生した^{3),4)}。連続的な脱落が生じた天井においては、クリップや吊りボルトの脱落等により、前兆現象として天井の垂れ下がり等が生じると考えられる。

近年、人工知能 (AI) の技術が注目されており、機械学習または深層学習を行うことにより、データから有用な規則、ルール、知識表現、判断基準などを抽出することが出来るため、自動的に建築物被災度評価判定が可能である。画像認識の分野では、畳み込みニューラルネットワーク (以下CNNと略す) を用いた手法の分類精度が非常に高く、注目を集めているが、建築物の被災度等を迅速に判定する上で、重要な手段になりえると考えられる。また、近年、この手法は点群への適用も可能となっている。

本稿では、地震後に画像の深層学習処理による学校体育館の部材の被災度を判定する手法について紹介する。また、建築の専門家以外が写真を撮影することを想定して、対象部材を自動で検出するシステムや被災度を判定するアプリケーションソフトウェアについて紹介する。さらに、吊りボルトを徐々に外すことにより、天井の垂れ下がり模擬した試験体において、レーザー LiDAR (Light Detection And Ranging) により計測した点群を対象に深層学習を行った事例について、紹介する。

2. 画像の深層学習による学校体育館の被災度評価

学校体育館の部材の画像データは、建築研究所と国土技術政策総合研究所が行った地震被害調査の際に撮影した写真を使用した。対象とした地震は以下の通りである。

- [1]1995年兵庫県南部地震
- [2]2004年新潟県中越地震
- [3]2007年能登半島地震
- [4]2011年東北地方太平洋沖地震
- [5]2016年熊本地震

[1]のみ紙焼き写真をスキャンし、それ以外は画像データをそのまま使用した。

鉛直ブレースの画像の例を写真1に示す。収集した画像の目視により被災度区分の分類を行ったが、文献2)に示されている判定条件に沿ったものとし、表1に示した判定基準を適用した。各被災度区分の中でも複数の損傷状態が示されており、それぞれの損傷状態の略号を末尾にII-1、II-2などと示す。深層学習に使用した鉛直ブレースの画像枚数を被災度区分別に表2に示す。



写真1 鉛直ブレースの画像の例

表1 鉛直ブレースの被災度の判定基準

被災度区分0 _s	無被害(0)
被災度区分I _s	引張ブレースたわみ0.5～2%(I)
被災度区分II _s	ボルト滑り(II-1) 圧縮ブレースたわみ0.5%超(II-2) 引張ブレースたわみ2～4%(II-3) 母材・ガセット等の降伏(II-4)
被災度区分III _s ～V _s	ブレース破断(III-1) 断面絞り・亀裂(III-2) 引張筋かいたわみ4%超(III-3)

表2 鉛直ブレース画像枚数

被災度区分0 _s	219枚
被災度区分I _s	83枚
被災度区分II _s	257枚
被災度区分III _s ～V _s	290枚

CNNを利用した物体検出手法のひとつとして、Faster R-CNN (Faster regions with CNN features)⁵⁾が提案されており、これを適用する。物体検出においては、画像の中に含まれる対象物（ここではブレースや柱脚部・定着部など）の物体を四角い領域により特定することを行う。学習済みCNNとして、ここではResNet-50⁶⁾を使用した。特徴マップの局所領域ごとに、物体が存在する可能性が高い複数の境界ボックスを提案する。画像と関連するボックスラベルを水平方向にランダムに反転することにより、学習データの拡張を行った。学習率やバッチサイズなどのハイパーパラメータはグリッドサーチにより最適化した。

適用するFaster R-CNNにおいては、学習率を0.001、ミニバッチ数を4、最大エポック数を20とし、最適化手法にはモーメント項付き確率的勾配降下法を用いた。



写真2 Faster R-CNNによる鉛直ブレース検出の例

Faster R-CNNによる鉛直ブレースの検出例を写真2に示す。鉛直ブレースは精度良く検出できている。光の加減によっては、対象物をずれて検出する場合もあったが、全体的には良好な結果であった。平均適合率⁵⁾は0.96と非常に高い値を示している。柱脚部・定着部や屋根面水平ブレースを対象に同様な検討を行い、良好に対象部材の検出が可能であった。

次に、画像のクラス分類の手法として、深層学習の手法のひとつであるCNNを適用する。本検討では、CNNをゼロから学習させる代わりに、AlexNet⁷⁾やVGG16⁸⁾の転移学習⁹⁾を適用する。AlexNetとVGG16は基本的にILSVRC¹⁰⁾のデータセットで学習済みのモデルを用いるが、出力層を含む最後の3層を今回のタスク（鉛直ブレース等の分類）のために、再学習させた。画像データのそれぞれの70%を訓練用データとし、深層学習により、被災度を判定する関数を構築する。残り30%を検証用データとして、上記関数に適用し、正解率を求める。対象画像に対して、対象部材部分以外にはマスクをかけるか、該当部分のトリミングを行った。また訓練用データに関しては、元の画像データに変換（画像の反転・平行移動・拡大・回転）を加えることで、データ拡張を行う。学習率やL2正則化係数、モーメント等のハイパーパラメータは、グリッドサーチにより最適化を行った。

深層学習による画像のクラス分類（被災度の分類）の結果を示す。鉛直ブレースを対象にした分類においては、学習率を0.0001、ミニバッチ数を128、最大エポック数を48とし、最適化手法にはモーメント項付き確率的勾配降下法を用いた。訓練用データをAlexNetの転移学習により学習し、検証用データに適用した結果を表1の被災度区分別に整理し直したものを表3に示す。灰色で示した対角の部分に入っていると、正しく推定が出来ていることになる。表3の場合、正解率は71%であるが、データの組み合わせにより正解率は69-76%の範囲であり、平均的には72%程度であった。被災度区分の推定結果の正解率が72%程度にとどまっている理由としては、ブレースの後ろ側などに、窓枠や手すりなどブレース以外のものが多く映り込んでおり、これらがノイズになっている可能性があることが考えられる。また、本分類とは無関係な錆が見られる場合に、ボルト滑りや母材・ガセットの降伏と誤認識する傾向が見られる。柱脚部・定着部や屋根面水平ブレースを対象にVGG16の転移学習を適用した結果、それぞれの正解率は81%と85%であった。

表3 鉛直ブレースの推定結果(被災度区分別)

実際の判定結果	推定結果			
	0s	Is	IIs	IIIs ~ Vs
0s	45	5	10	6
Is	7	12	4	2
IIs	3	3	58	13
IIIs ~ Vs	6	3	11	67

(判定データ数)

上記の深層学習の学習結果に基づき、体育館の部材の被災度判定を行うアプリケーションソフトウェアを作成した(図1)。ただし、学習済みのCNNモデルを、AlexNetやVGG16、ResNet-50にすると、容量が大きくなり、アプリケーションのボタンを押してから、結果が表示されるまでに時間を要する。実用上問題があるため、比較的容量が小さく、反応速度が速いCNNモデルを代わりに使用した。ここでは、画像のクラス分類の学習済みCNNとして、squeezeNet¹¹⁾を使用し、Faster R-CNNの学習済みCNNとして、MobileNet-v2¹²⁾を使用した。正解率が1%程度低下するが、実用上問題ない速さで結果が表示された。図1の「切り取り」ボタンによりブレースを検出し、「判定」ボタンで被災度を判定する。これにより、地震後に体育館部材の写真撮影を行うことで、簡易的に被災度の判定が可能となる。なお、図1では鉛直ブレースの例を示しているが、柱脚部・定着部と屋根面水平ブレースのものも同様に作成した。



図1 被災度判定アプリケーションソフトウェアの例

3. 点群の深層学習による天井垂れ下がりの検知

試験体とした吊り天井は在来工法による天井である。平面寸法を野縁受け方向3.6m×野縁方向4.6mの長方形とし、天井高は2.6mとした。この試験体について、吊りボルトを1個ずつ外すことで、徐々に天井が垂れ下がる現象を再現している。天井の垂れ下がりの状況

を把握するために、吊りボルトを外す前の初期状態と、吊りボルトを1個外す毎に、レーザー距離計で計測を行った。計測箇所は、吊りボルトが設置されている場所で、グリッド状に計測を行った。計測された垂れ下がり変位量のうち、最大のものを最大変位と呼ぶ。

天井の点群データは、吊りボルトを外す前の初期状態と、吊りボルトを1個外す毎に、試験体の下側よりレーザーLiDARにより取得した。点群計測に使用したレーザーLiDARは、Velodyne Lidar社製のVLP-16(以下VLP-16と称す)である。VLP-16は回転式LiDARであり、非回転式LiDARに比べて、点の密度は低めである。VLP-16については、レーザーLiDARのセンサを床から高さ0.75mの位置に固定し、計測を行った。VLP-16は中心から±15度の範囲で測定可能であるが、この設定では一度に天井全体を計測できない。このことから、VLP-16のセンサの位置をずらしながら、3度計測を行い、得られた複数の点群を結合することで、天井全体の点群を得た。

VLP-16により得られた天井の点群の例(垂れなし)を図2に示す。図において、点群の高さにより色が変わるが、垂れ下がりががないため、一様に同じ色を示している。深層学習における分類のカテゴリは、画像の場合と同じで、「垂れなし(0)」と「垂れあり(I)」(垂れあり(I)は最大変位3cm以上)である。

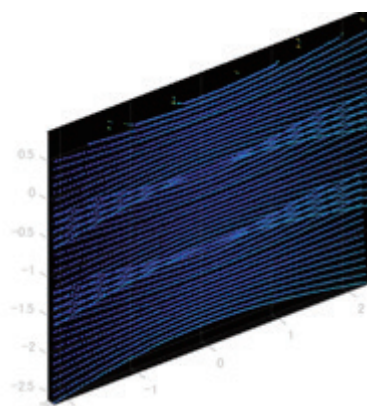


図2 天井の点群の例

点群に適用可能なニューラルネットワークのひとつであるPointNet¹³⁾を適用する。PointNetでは、物体の分類以外にセマンティックセグメンテーション等が可能であるが、ここでは物体の分類のみに用いる。

点群のデータは、画像のように一つ一つのデータ要素に順序がなく、順番を入れ替えたとしても同一の形状を表している。このような順不同なデータを深層学習にも適用できるように、PointNetでは対称関数(Symmetric Function)¹³⁾を導入している。

天井点群データの70%を訓練用データとし30%を検証用データとして、正解率を求める。訓練用データに関しては、元の点群データに変換（点群の回転、一部の点をランダムに削除、ガウスノイズを使用してランダムな揺らぎを点に与える）を加えることで、データ拡張を行う。学習率やL2正則化係数等のハイパーパラメータは、グリッドサーチにより最適化を行った。

点群の深層学習においては、学習率を0.001、ミニバッチ数を32、最大エポック数を200とし、最適化手法には適応モーメント推定(Adam)を用いた。訓練用データをPointNetにより学習し、検証用データに適用した推定結果の例を表4に示す。この例では、正解率は96.7%であり、非常に精度良く推定が出来ている。

表4 PointNetによる推定結果

	推定結果	
	垂れなし(0)	垂れあり(1)
垂れなし(0)	35	0
垂れあり(1)	3	54

4. まとめと課題

学校体育館の部材である鉛直ブレースと柱脚部・定着部、屋根面水平ブレースの画像を対象に、Faster R-CNNと深層学習のクラス分類を適用し、対象物の検出と被災度の判定を行った例を紹介した。今回の検討では、収集できた範囲の画像を用いて学習を行ったが、学習用の画像枚数を増やして精度を向上させる必要があると考えられる。画像枚数の増加の手段として、GAN(敵対的生成ネットワーク)等を用いた擬似的な画像の生成などが考えられ、適用を試みた範囲では十分精度の良い画像は得られておらず、今後の課題となる。

吊りボルトを除去することで、天井面の垂れ下がり再現した実験において、取得した点群を対象にして、深層学習を行い、天井の垂れ下がり検知について検討し精度よく分類が可能であった。今回の対象試験体は、平坦な形状で限られた大きさの天井であった。現実の天井は必ずしも平坦ではないケースや照明等が埋設されているような状況も想定され、大きさも様々である。実際の天井への適用においては、より複雑な様相が想定され、今後の課題となる。

参考文献

- 1) 日本建築防災協会、全国被災建築物応急危険度判定協議会：被災建築物応急危険度判定マニュアル，1998.

- 2) 日本建築防災協会：2015年改定版震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針，2016.
- 3) 国土技術政策総合研究所、建築研究所：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震被害調査報告，建築研究資料，No.136，2012.
- 4) 国土技術政策総合研究所、建築研究所：平成28年（2016年）熊本地震建築物被害調査報告（速報），建築研究資料，No.173，2016.
- 5) 原田達也：画像認識，講談社，2017.
- 6) Kaiming, H., Zhang, X., Ren, S. and Sun, J.: Deep Residual Learning for Image Recognition, In proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 770-778, 2016.
- 7) Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G. E.: ImageNet classification with deep convolutional neural networks, Annual Conference on Neural Information Processing System, 2012.
- 8) Simonyan K. and Zisserman A.: Very Deep Convolutional Networks for Large-Scale Image Recognition, arXiv., 1409.1556, 2014.
- 9) 神島敏弘：転移学習，人工知能学会誌，Vol.25，No.4，pp 572-580，2010.
- 10) <http://image-net.org/challenges/LSVRC/>（参照2025.4）
- 11) Iandola, Forrest N., et al. "SqueezeNet: AlexNet-level accuracy with 50x fewer parameters and < 0.5 MB model size." arXiv preprint arXiv:1602.07360, 2016.
- 12) Sandler, Mark, et al. "Mobilenetv2: Inverted residuals and linear bottlenecks." Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 2018.
- 13) Charles R. Q, Hao S., Kaichun M. and Leonidas J. G.: PointNet: Deep Learning on Point Sets for 3D Classification and Segmentation, CVPR, pp. 652-660, 2017.

【謝辞】

天井垂れ下がり実験の計画・実施等に関して、国土技術政策総合研究所の脇山善夫氏に感謝申し上げます。



森田 高市 (もりた こういち)

1993年東京大学工学部建築学科卒業、1998年同大学大学院建築学専攻博士課程修了、博士(工学)
建設省建築研究所等を経て現職
専門分野：建築構造、ヘルスマニタリング

大規模言語モデルを用いたあいまいな情報の利活用：地盤防災分野への応用可能性

大竹 雄

●東北大学 大学院 工学研究科 准教授

1. はじめに

災害の激甚化やインフラの老朽化が進行する一方で、人口減少と技術者不足といった構造的な変化が、社会基盤整備の現場に大きな影響を及ぼし始めている。特に地盤災害の分野では、地盤という「見えない」「不均質な」対象を扱うことから、従来は高度な判断力と豊富な経験をもつ技術者によって支えられてきた。しかし今後は、そうした技術者の確保が難しくなることが確実視されており、地盤工学においても“次の一手”が求められている¹⁾。

こうした背景を受けて、地盤工学の分野では「数値解析の自動化・自律化」が注目されている。近年は計算資源の発展により、大規模かつ高精度な解析が技術的に可能となってきた。しかし、真に意味のある解析結果を得るためには、単に数値を解くだけでは不十分である。現象の理解、境界条件の設定、モデルの選定といった“工学的な思考のプロセス”そのものをどう自動化するかが、より本質的な課題となっている²⁾。

本稿では、そうした課題の中でも特に重要な「数値解析におけるパラメータ設定の自動化」に焦点を当てる。地盤材料の挙動を表現する構成則には多くのパラメータが含まれており、これらの多くは現場で直接測定することが困難である。とくに液状化や変形挙動のような非線形かつ高次元な現象では、技術者の経験に基づく“フィッティング”が解析結果の精度を左右してきた。パラメータ設定は、現在の自動化技術において

見過ごされがちな盲点であると同時に、最も技術者の判断が必要とされる領域である³⁾。

さらに、パラメータ設定に必要な情報のすべてが数値で表現できるとは限らない。たとえば、有効応力経路の形状や繰り返し挙動、変相角などは、土質試験の図面や応力-ひずみ曲線といった形で示され、これまで専門家が目視や直感によって読み取ってきた(図1参照)。このような図形的・直感的情報は、従来の数値モデルでは活用が難しかったが、近年登場した大規模言語モデル(LLMs: Large Language Models)により、曖昧さや非構造化を含んだ情報を“言葉”として理解・処理することが現実のものとなりつつある。

本研究では、こうした技術の進展を背景に、液状化解析のようにパラメータ設定が特に困難な事例を題材とし、定量的な数値データに加えて、図や言語で表現される定性的な情報、さらには技術者の経験に基づく“判断”をも取り込み、観測不能なパラメータを推定する新たな枠組みの構築を目指す。

2. 問題設定と計算方法

2.1 統計的機械学習の観点からの問題設定

地盤の数値解析において、多くの技術者が直面してきたのは、「直接測定できないパラメータをどのように設定するか」という問題である。いかに高性能な数値解析モデルを用いても、入力となるパラメータが適切でなければ、解析結果は信頼に足るものとは言えない

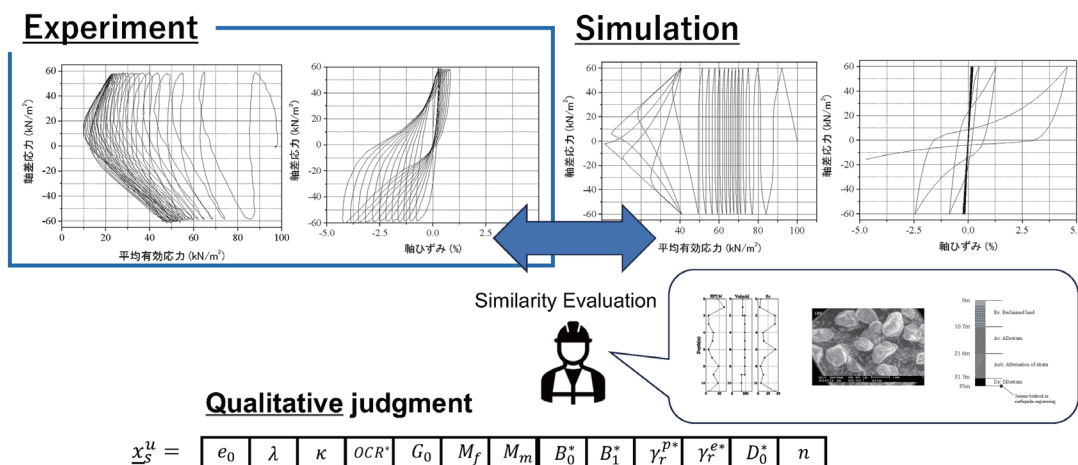


図1 地盤解析における数値解析のパラメータ設定の現状を表現した模式図

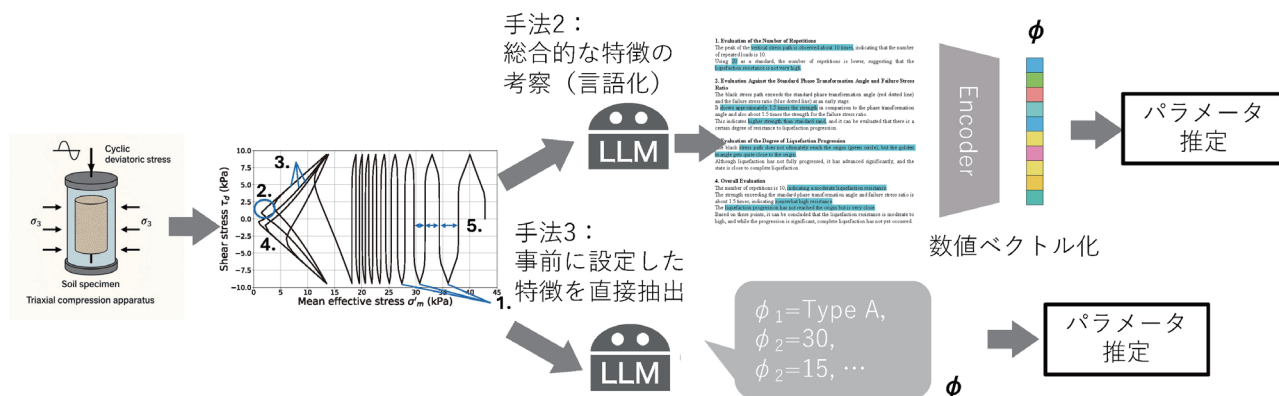


図2 大規模言語モデルを利用したパラメータ推定の概要図

い。本研究では、標準貫入試験（N値）といった従来から設計に利用されてきた情報に加え、粒度分布や各種土質試験の結果（有効応力経路、応力-ひずみ関係など）といった多様な観測情報ベクトル z をもとに、現場での直接観測が困難なパラメータベクトル x_u を推定することを目指す。

本手法の核となるのは、「観測情報ベクトル z を特徴量ベクトル Φ に変換し、それを介して未知パラメータ x_u を推定する」という二段階のアプローチである。数式で表すと、以下ようになる：

$$P(x_u | z) = \int P(x_u | \Phi, z) \cdot P(\Phi | z) d\phi$$

まず、観測情報 から「どこを見るべきか」という視点を表現する特徴量ベクトル Φ を抽出する（ $P(\Phi | z)$ ）。次に、その Φ と元の観測情報 z をもとに、未知パラメータ x_u を推定する（ $P(x_u | \Phi, z)$ ）。したがって、本質的に重要なのは「どのような特徴量 Φ を用いるか」という点である。

地盤工学における観測情報は多様かつ非構造であり、N値のような定量データに加えて、有効応力経路の形状や屈曲性といった視覚的・経験的な理解に依存する

情報も多く含まれる。こうした“曖昧で豊かな情報”をどのように数値モデルに取り込むかが、本稿における中心的な課題である。

著者らは、表1に示す3つのアプローチを比較・検討してきた。手法1：階層ベイズ法（HBM）は、地盤工学の分野で既に多くの実績があり（例：Ching et al., 2021⁴⁾）、さまざまな応用事例が報告されている。しかし、著者らの検討⁵⁾によれば、液状化解析のように多数の未知パラメータが存在する問題では、HBMでは合理的な推定に至らず、より多様な入力情報を扱える枠組みが必要であると考えられた。

図2は、こうした背景を踏まえ、LLMsを活用した予測モデルの高度化の概念を示したものである。手法2では、土質試験結果などの図全体に含まれる定性的情報や技術者の工学的判断を文章として記述するという点で有効性がある⁶⁾が、LLMsにより得られるベクトル表現では、解析に本当に必要な特徴（勾配や形状の差異など）が埋もれてしまう傾向があることが明らかとなった。

手法3では、こうした課題を踏まえ、問題設定を根本的に見直している。すなわち、地盤地震工学における専門的知見をもとに、図中で注目すべき特徴（例：繰り返し回数、破壊角、形状タイプA or Bなど）をあらかじめ定義し、その抽出をLLMsに担わせるというアプローチをとっている。これは、「曖昧な視覚的特徴」を明示的な構造として再定義し、数値的に扱う試みである。本稿では、これら3手法のうち、特に手法3に焦点を当てて検討を行う。

2.2 手法3の計算の流れ

本節では、繰り返し三軸圧縮試験から得られる有効応力経路の図を観測情報 z として用い、そこから解析パラメータベクトル x_u を推定する手法3の流れを紹介

表1 特徴 ϕ の役割と利用方法

手法	ϕ の定義	ϕ の活用方法
手法1（階層ベイズ法，HBM）	グループ：統計的性質（生成メカニズム）が異なる複数のパターンが混在していると仮定	類似パターン（グループ）を学習し、パラメータ推定に活用
手法2（図からの言語化）	実験結果の図全体から抽出した総合的な特徴を文章として記述	言語情報をベクトル化（埋め込み）し、推定モデルに反映
手法3（技術者の視点の定式化）	図の中にある技術者の“着目点”をあらかじめ定義（例：繰り返し回数、経路の屈曲など）	画像から観測量ベクトルを新たに生成し、数値モデルに反映（本稿の主対象）

する。本手法の特徴は、図から得られる曖昧な情報の中から、地盤工学技術者が着目する特徴量を定義し、それを直接LLMsにより推定する点にある。以下に、その具体的な手順を示す。

2.2.1 完全データの構築

解析に必要な「完全データ」 $D = \{x_u, z, \Phi\}$ を構成する。ここで、 x_u は、推定対象であるパラメータベクトルで、 z は有効応力経路図（数値解析による要素シミュレーションの結果を用いる）、 Φ は有効応力経路の形状から抽出される特徴量を並べたベクトルである。

本研究では、有効応力経路における工学的な着眼点をあらかじめ5つの特徴量として定義し、これを Φ とする。著者らは、これらの特徴量を図面から読み取り、データベースとして構築した。なお、ここでは、観測ノイズの影響を排除するため、実際のアナログな土質試験結果は利用せず、構成則からシミュレートできる数値的な擬似土質試験結果を利用している。それぞれの特徴量の意味は以下の通りである：

- ϕ_1 ：有効応力経路の繰り返し回数
- ϕ_2 ：破壊角の傾き
- ϕ_3 ：破壊後に観測される繰り返し回数
- ϕ_4 ：最小点と原点の水平距離
- ϕ_5 ：応力経路の周期的変動の特性

これらの特徴は、地盤工学における工学的判断に直結するものであり、それをLLMsにより抽出可能な形で構造化することで、曖昧な図的情報をパラメータ推定へとつなげることを試みている。

2.2.2 $P(\Phi|z)$ のモデル化 (Few-shot Learning)

本ステップでは、LLMsを用いて「図から特徴量を読み取る」モデルを構築する。具体的には、有効応力経路図3枚と、それぞれに対応する正解ラベル（特徴量ベクトル）を用いて、Few-shot Learningの形式でLLMsに学習させる。Few-shot Learningとは、モデルに対してタスクの説明とともに、少数の具体例（プロンプト）を与えることで、未知の入力に対しても推論を可能にする学習方式である。大量のデータを用いる従来の学

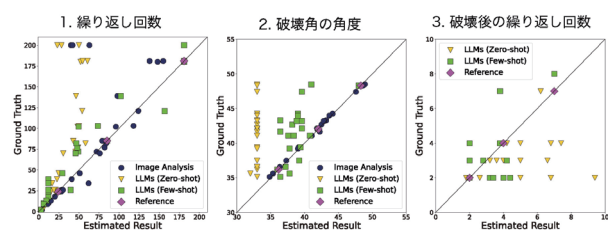


図3 大規模言語モデルによる有効応力経路図の特徴抽出結果

習手法とは異なり、限られた事例からでも意味のある出力が得られる点が特徴である。この際、図の解釈を支援するために、マスキング処理を事前に施している。これは、技術者が注目する点（たとえば破壊角や繰り返し回数など）を明示的に図中に表示し、LLMsの注意を適切な箇所へ誘導する工夫である。現在は、各図に対して人的判断に基づいてマスキング処理を行っているが、将来的にはYOLO (You Only Look Once) アルゴリズム⁷⁾などの物体検出技術を応用し、自動化を図ることを検討している。また、LLMsの出力の再現性を確保するため、プロンプト設計には入念な試行錯誤を重ねており、ChatGPT-4o (OpenAI, 2024) のAPIを用いたプログラミングにより実装環境を整備している。

この手法により得られる出力は、与えた有効応力経路図に対して対応する特徴量ベクトルである。ただし、LLMsは本質的に確率的なモデルであるため、同じ入力に対しても出力にわずかなばらつきが生じる。本研究では、5回の推論を行い、それぞれの出力分布を $P(\Phi|z)$ として扱うことで、予測の不確実性も同時に評価している。

2.2.3 $P(x|\Phi, z)$ のモデル化 (非線形次元削減と再サンプリング)

LLMsによって得られた新たな特徴量ベクトル Φ を用いて、次に解析パラメータ x_u を推定するステップに進む。このとき、まずUMAP (Uniform Manifold Approximation and Projection) を用いた非線形次元削減を行い、 (Φ, z) の組を低次元空間に写像する。その上で、写像された空間内でのマハラノビス距離をもとに、既存の27事例との類似度を評価し、重みづけを行う単純なアルゴリズムを採用している。

3. 結果と考察

図3は、提案手法による $P(\Phi|z)$ 推定結果を可視化したものである。また、図4は推定されたパラメータによる推定結果が示されており、手法3の推定が有効に機能している結果が得られた。

図3では、5つの特徴量のうち、3つの特徴量 (ϕ_1, ϕ_2, ϕ_3) について、推定値と正解値（著者による読み取り）との対応を散布図で示している。この図には3種類の手法による結果を比較している。1) LLMsではなく、一般的なアルゴリズムベースの画像解析による特徴量の取得結果（青プロット、以降、これを画像解析と呼称する）を示している。2) Zero-shot Learning：事前学習されたLLMsにタスクの説明と指示のみを与えた場合（黄色プロット）と3) Few-shot Learning：タス

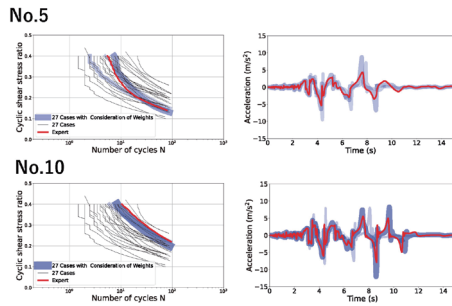


図4 液状化強度曲線および地震応答解析結果：赤線が正解、青線が推定結果、学習したパラメータセット群からの抽出。線の太さは推定の信頼度の大きさを表す。

クに関する少数の例（プロンプトと正解）を与えて学習させた場合（緑プロット）である。

画像解析による特徴量の直接取得は、高い精度を示したが、液状化強度が高く、繰り返しによる有効応力の低下率が小さいケース（＝繰り返し回数が多いケース）では、応力経路の判別が困難になる例も見られた。

一方、本研究で提案するLLMsを用いたFew-shot Learning手法では、そのような困難なケースにおいても、全体として安定した予測精度が得られている。これは、LLMsがプロンプトに基づき曖昧な情報も含めて柔軟に解釈し、人間のように“意味を補完しながら”推論しているように振る舞っていることを示している。

本検討では、数値解析ベースの理想的な図からの読み取りであるが、実際の土質試験結果はより曖昧な情報であり、LLMsによる情報取得がより安定的に機能することが期待される。

4. 結論と今後の課題

本稿で、画像やテキストといった定性的・非構造的な情報を用いて学習データを拡張し、従来の測定では取得できない未観測の解析パラメータの推定に用いる方法を紹介した。その中で、専門家の視点をあらかじめ明示的に設定し、LLMsのタスクを明確にすることで、形式知として抽出・活用する統合的な枠組みのフィージビリティを確認した。

今後は、より客観性の高い数値解析を実現するため、本稿では対象外とした、応力ひずみ関係を示した図や粒径・粒度分布・堆積環境といった地盤の物理的特徴についても、同様の視覚情報を用いたパラメータ推定の有効性を検証していく必要がある。本研究は、LLMsを活用して画像・テキストといった高次元・非構造的情報を解析プロセスに統合する枠組みの構築を目指している。その過程で、地盤工学分野に膨大に蓄積されている“読み取りにくい”知識資源——図面・報告書・試験記録など——の再活用方法を提案していく計画である。

謝辞：本研究は、堀越優侑氏（鹿島建設株式会社，研究当時東北大学大学院生）の修士論文の成果の概要を取りまとめている。また、この研究は、京都大学の肥後陽介教授と統計数理研究所のStephen Wu准教授との共同研究に基づいている。記して感謝の意を表したい。

参考文献

- 1) Otake, Y., Honjo, Y., Challenges in geotechnical design revealed by reliability assessment: Review and future perspectives, *Soils and Foundations*, Volume 62, Issue 3, 2022.
- 2) Stephen Wu, Yu Otake, Yosuke Higo, Ikumasa Yoshida, Pathway to a fully data-driven geotechnics: Lessons from materials informatics, *Soils and Foundations*, Volume 64, Issue 3, 2024.
- 3) Otake, Y., Shigeno, K., Higo, Y., & Muramatsu, S. (2021). Practical dynamic reliability analysis with spatiotemporal features in geotechnical engineering. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 16(4), 662–677.
- 4) Ching J., Wu S., Phoon K.-K., Constructing Quasi-Site-Specific Multivariate Probability Distribution Using Hierarchical Bayesian Model, *Journal of Engineering Mechanics*, 147 (10), art. no. 04021069, 2021.
- 5) Masayuki Horikoshi, Yu Otake, Yosuke Higo, Hidetoshi Baba, Integrating statistical characterization of multivariate parameters in the reliability assessment of liquefaction dynamics, *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, 2024, 10, 17, p. 591-596.
- 6) Wu, S., Otake, Y., Mizutani, D., Liu, C., Asano, K., Sato, N., ... Yoshikawa, R. (2024). Future-proofing geotechnics workflows: accelerating problem-solving with large language models. *Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards*, 1–18.
- 7) Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 779–788.



大竹 雄（おおたけ ゆう）

2002年東京工業大学大学院修了、建設技術研究所、岐阜大学・特任助教、新潟大学・准教授を経て、2020年より東北大学大学院工学研究科土木工学専攻准教授。
博士（工学）、技術士（建設部門）。専門分野：地盤工学、信頼性工学、設計論。

情報科学的手法を活用した経験的地震動予測手法の現状と展望

糸井 達哉

●東京大学 大学院工学系研究科 准教授

／八百山太郎

●東京大学 大学院工学系研究科 特任助教

1. はじめに

我が国では多くの良質な強震観測記録が日々蓄積され、防災科学技術研究所の強震観測網 (K-NET, KiK-net) だけでも1996年以降、マグニチュード(Mw)5以上、震源距離300km以下の強震観測記録に限定しても30万記録以上存在する。これらの記録は、強震動に対する新たな特徴の把握、発生した地震の震源過程の推定、地震動予測手法の構築など様々な地震工学的な検討に活用されている^{1),2)}。

強震観測記録は、超高層建築物の耐震設計の黎明期より、設計用入力地震動としても活用されてきた。1940年Imperial Valley地震のEl Centro、1952年Kern County地震のTaft、1968年十勝沖地震における八戸港などの強震観測記録が代表例として挙げられる。一方、近年では、地点固有の震源や地盤特性を考慮した設計用入力地震動評価が行われるようになってきている。このため、中小地震時の強震観測記録を経験的グリーン関数として用い、断層モデルによる強震動シミュレーションを行う手法(経験的グリーン関数法)などが、設計用入力地震動評価に用いられる例も増えている(例えば3),4)。

諸外国を見ると、例えば米国では、目標とする確率値(例えば、50年1%の倒壊確率)に応じて設計用地震動の応答スペクトルを定め、地震荷重の設定に用いている⁵⁾。時刻歴応答解析を行う場合には、上記の手法で定める応答スペクトルに適合する観測地震動記録群を選定し、設計用入力地震動として用いる手法(Ground motion selection)が広く用いられる^{6),7)}。

以上の例にみられるように、強震観測記録は、地震工学の発展の基盤となる重要なデータとして活用されているが、近年急速に発展している情報科学的手法を活用することで、新たな価値が生み出される可能性もある(例えば8),9)。

本稿では、情報科学的手法を活用した地震動予測手法の現状と展望について、特に、経験的地震動予測手法に関わる研究を中心に議論する。

2. 機械学習手法による地点固有の地震動予測

地震動は、震源特性、伝播経路特性、地盤増幅特性の影響を受けるため、地震動予測においてこれらを適切に考慮することが望ましい。一方、確率論的

地震ハザード評価において用いられる多くの地震動予測式(いわゆる、距離減衰式)では、「同一地点の複数地震の地震動の確率分布特性」と「同一地震の複数地点における地震動の確率分布特性」が等しいとするエルゴード仮定を用いて、地表面最大速度などの地震動強さの予測式を構築することが多い。この場合、地震動予測式は、強震観測記録のデータベースに含まれる地震動の平均的な伝播経路特性、平均的な地盤増幅特性(例えば、平均S波速度といったパラメータを用いて地盤増幅特性を評価)に対する予測に留まる。実際の地震動は地点ごとに系統的な特徴の違いがあり、地震動予測式による予測値と乖離することが知られている。建築物固有の地震リスクを評価するためには、立地地点固有の地震動予測が必要であり、このための手法が様々検討されてきた。

地点固有の地震動予測を行う場合、評価地点における強震観測記録が必要になるが、個々の強震観測点における記録数が少ないことから、予測精度の観点で課題がある。このため、データが少ないことによる予測の不確実性についても把握する必要がある。不確実性を定量的に評価する必要がある場合には、複数の地震動予測式をロジックツリーで重みづけする方法¹⁰⁾などが用いられることもある。一方、機械学習手法を用いる場合、例えば、ガウス過程回帰^{11),12)}を用いて地震動予測式を構築することで、学習データの量に応じた不確実性の評価を行うことも可能となる。また、複数のタスク(この場合では、例えば、複数地点での地震動予測)の共通点と差異を学習することができるマルチタスク学習と呼ばれる機械学習手法などを用いることで、少ない強震観測記録で効果的な予測手法を構築できる可能性がある。著者ら¹³⁾は、マルチタスク学習手法の一種である多出力ガウス過程回帰の適用性を検討している。そこでは、観測点ごとに得られる記録数が限られる場合であっても、他の観測点での情報を相互に活用することによって、地点固有の地震動の予測精度を大きく向上できる可能性が示されている。

3. 深層学習手法による地震動加速度波形の確率的生成

超高層建築物や免震・制震構造物などの耐震性能評価では、地震動の加速度データを入力地震動とした時

刻歴応答解析が重要な役割を果たす。こうした解析に用いる入力地震動を評価するため、地震動加速度波形を確率的に生成する手法が検討されてきた。例えば、金井・多治見スペクトルを用いた入力地震動^{14), 15)}は、初期検討の代表例である。ここでは、工学的な利活用における利便性を高めるために、地震動が本質的に有するばらつきなどを考慮しない簡略化したわかりやすいモデル化がなされている点に特徴がある。

近年、性能設計の実現などの社会的要請の高まりに応じる形で、現実的に起こりうる入力地震動を予測することも、重要な研究テーマとなっている。前述した断層モデルを用いた強震動シミュレーションを活用することも一つの方法である。一方で、観測記録を用いた統計的な地震動予測手法を併せて整備することも有用と考えられるが、前述のように従来手法では、地表面最大速度や弾性1自由度系の最大加速度応答（いわゆる、加速度応答スペクトル）などの地震動強さ指標に対する予測に限られていた。松本・他¹⁶⁾⁻¹⁸⁾では、我が国で発生した地殻内地震 ($M_w > 5$ 、断層最短距離 $< 100\text{km}$) を対象に深層学習技術の一種である敵対的生成ネットワーク(GAN)と呼ばれる深層生成モデルの地震動データへの適用を行い、地震規模、断層からの距離、地盤条件を考慮した形で、観測記録と似た特徴を有する地震動の加速度時刻歴波形を確率的に生成する「地震動生成モデル」を提案している(図1, 2)。また、生成された地震動時刻歴波形の距離減衰特性や強震動

パルスが含まれる波形の割合などが観測記録と同程度であることなども確認できている^{17), 18)}。なお、著者ら以外の研究グループにおいても、GANやニューラルオペレータなどの深層学習手法を用いた類似の研究¹⁹⁾⁻²²⁾が盛んに行われており、観測記録のみからでは得られない現実的かつ多様な地震動の生成が可能となりつつある。

これらの手法の工学的な応用としては、提案した地震動生成モデルを用い、地震動時刻歴波形をモンテカルロ的にサンプリングする形で、確率論的地震ハザード評価の高度化が実現できる^{23), 24)}。また、生成される地震動群を入力地震動とした時刻歴応答解析を行うことにより、確率論的な地震応答予測や被害予測などの工学的応用が可能となることも期待される^{24), 25)}。ただし、現状の地震動生成モデルの性能は、学習した観測記録データベースの量と質に依存する。このため、例えば、震源近傍や大振幅の地震動などに着目した場合、データ生成が難しいあるいはサンプリングが非効率的となるなど課題も残されており、今後手法の拡張も課題である。

4.まとめ

本稿では、情報科学的手法を活用した経験的地震動予測手法の現状と展望についてとりまとめた。工学的応用の検討をさらに進め、活用法に関する議論を深めたい。

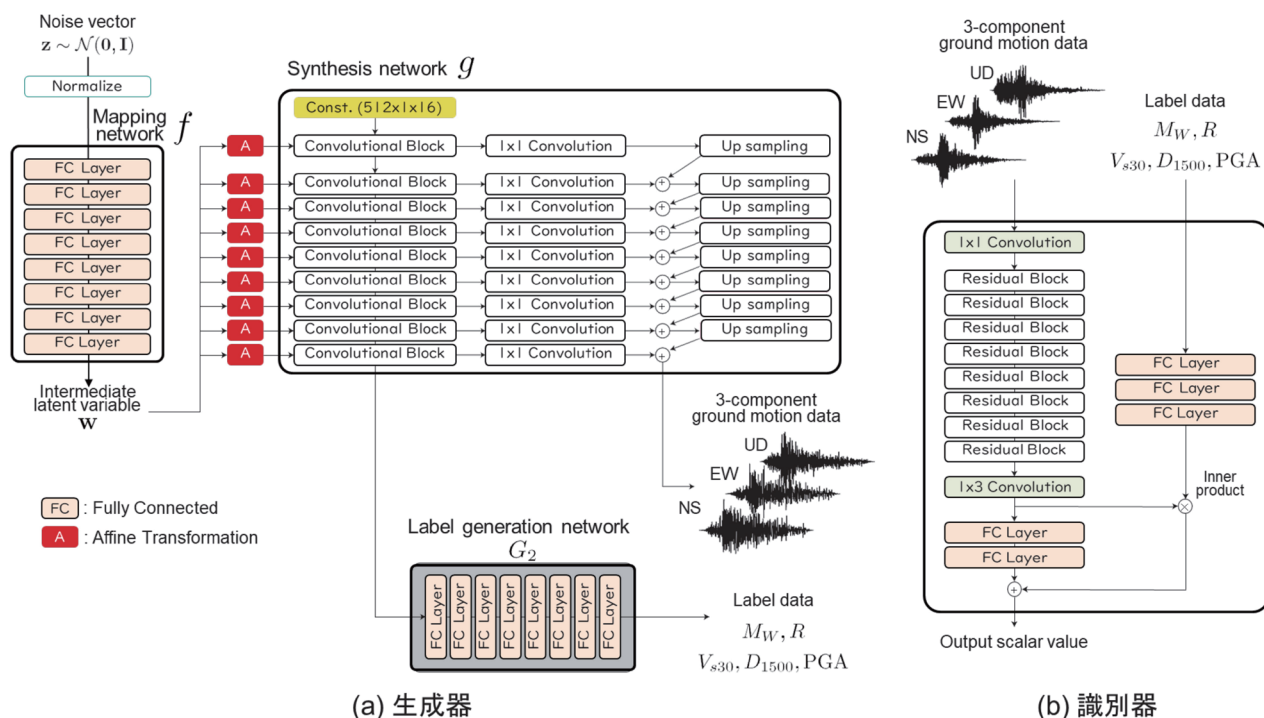


図1 敵対的生成ネットワークの生成器、識別器のニューラルネットワークの概要(文献16)を一部改変)

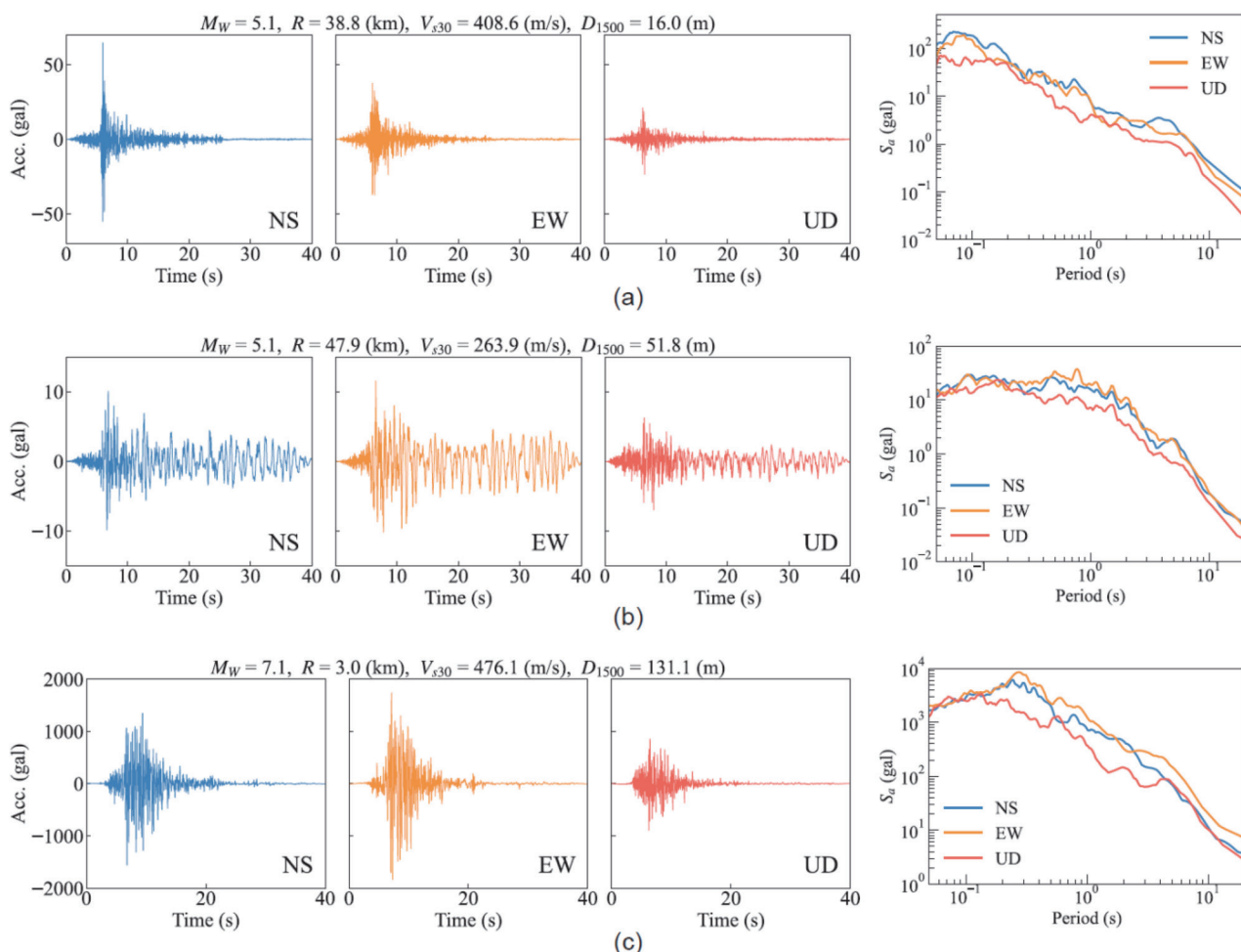


図2 敵対的生成ネットワークで生成された地震動加速度時刻歴波形と加速度応答スペクトル（減衰定数5%）（文献16）より一部抜粋）

参考文献

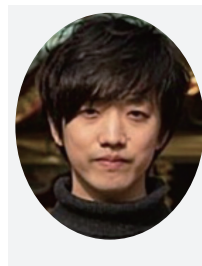
- 1) 森川信之, 岩城麻子, 藤原広行: 強震動観測データの利活用, 日本地震工学会誌, 51, pp.6–9, 2024.
- 2) 防災科学技術研究所強震動観測データ利活用検討委員会: 強震動観測データ利活用の促進に向けて（強震動観測データ利活用検討委員会活動中間報告書）, 防災科学技術研究所研究資料, 第505号, 2024.
- 3) 日本建築学会: 建築物荷重指針・同解説(2015), 2015.
- 4) 日本建築学会: 最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法, 2009.
- 5) American Society of Civil Engineers: Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures (ASCE/SEI 7-22), 2022.
- 6) Applied Technology Council: FEMA P-58-1, Seismic Performance Assessment of Buildings, Volume 1 – Methodology, Second Edition, 2018.
- 7) Baker, J. W.: Conditional Mean Spectrum: Tool for ground motion selection, Journal of Structural Engineering, 137(3), pp. 322–331, 2011.
- 8) 藤原広行: AIによる地震ハザード評価の信頼性向上のための研究, 地震調査研究推進本部 第61回政策委員会, 2021.
<https://www.jishin.go.jp/main/seisaku/hokoku20d/kc2-2.pdf> (参照: 2025-03-18)
- 9) Kubo, H., Naoi, M., Kano, M.: Recent advances in earthquake seismology using machine learning, Earth Planets and Space, 76, Article Number 36, 2024.
- 10) 藤原広行・他: SSHACレベル3ガイドラインに基づく伊方サイトでの地震動特性モデルの構築, 日本地震工学会論文集, 22(2), pp. 2_61–2_87, 2022.
- 11) Sung, C.H., Abrahamson, N.A., Kuehn, N.M., Traversa, P., Zentner, I.: A non-ergodic ground-motion model of Fourier amplitude spectra for France, Bulletin of Earthquake Engineering, 21, pp. 5293–5317, 2023.
- 12) Sung, C.H., Miyake, H., Abrahamson, N.A., Morikawa,

- N.: Nonergodic Ground-Motion Models for Subduction Zone and Crustal Earthquakes in Japan, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114 (3), pp. 1717–1738, 2024.
- 13) 赤羽日向, 八百山太郎, 糸井達哉: 多出力ガウス過程回帰を用いたサイト固有の地震動評価手法の構築, *日本地震工学会論文集*, 24 (1), pp. 1_73–1_91, 2024.
- 14) Kanai K.: Semi-empirical formula for the Seismic characteristics of the ground motion. *Bulletin of the Earthquake Research Institute*, 35, pp. 309–325, 1957.
- 15) Tajimi, H.: Statistical method of determining the maximum response of building structure during an earthquake. *Proceeding of the 2nd World Conference on Earthquake Engineering*, pp. 781–798, 1960.
- 16) 松本雄馬, 八百山太郎, 李尚元, 肥田剛典, 糸井達哉: 深層生成モデルを用いた3成分地震動時刻歴データの確率モデル, *日本地震工学会論文集*, 24 (4), pp. 4_12-4_25, 2024.
- 17) Matsumoto, Y., Yaoyama, T., Lee, S., Hida, T., Itoi, T.: Generative Adversarial Networks - Based Ground - Motion Model for Crustal Earthquakes in Japan Considering Detailed Site Conditions, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114 (6), pp. 2886–2911, 2024.
- 18) Matsumoto, Y., Yaoyama, T., Lee, S., Hida, T., Itoi, T.: Fundamental study on probabilistic generative modeling of earthquake ground motion time histories using generative adversarial networks, *Japan Architectural Review*, 6 (1), e12392, 2023.
- 19) Esfahani, R. D. D., Cotton, F., Ohrnberger, M., Scherbaum, F.: TFCGAN: Nonstationary Ground-Motion Simulation in the Time-Frequency Domain Using Conditional Generative Adversarial Network (CGAN) and Phase Retrieval Methods, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 113, pp. 453–467, 2022.
- 20) Florez, M. A., Caporale, M., Buabthong, P.R.Z.E., Asimaki, D., Meier, M.A.: Data-driven synthesis of broadband earthquake ground motions using artificial intelligence, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 112, pp. 1979–1996, 2022.
- 21) Yamaguchi, J., Tomozawa, Y., Saka, T.: Site-Specific Ground-Motion Waveform Generation Using a Conditional Generative Adversarial Network and Generalized Inversion Technique, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114 (4), pp. 2118–2137, 2024.
- 22) Shi, Y., Lavrentiadis, G., Asimaki, D., Ross, Z.E., Azizzadenesheli, K.: Broadband Ground-Motion Synthesis via Generative Adversarial Neural Operators: Development and Validation, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 114 (4), pp. 2151–2171, 2024.
- 23) 松本雄馬, 八百山太郎, 李尚元, 糸井達哉: 機械学習を用いた確率論的地震応答評価, (その1)地震動生成モデルを用いた確率論的地震ハザード評価, 2025年度日本建築学会学術講演梗概集, 2025.(投稿中)
- 24) 松本雄馬: Development and Application of Ground Motion Generative Models Toward Establishing Machine Learning-Based Earthquake Engineering, 東京大学博士論文, 2025.
- 25) 石川敬一, 八百山太郎, 李尚元, 糸井達哉: 機械学習を用いた確率論的地震応答評価, (その2)転移学習を用いた少データセットでの時刻歴応答解析を代替するサロゲートモデル構築手法, 2025年度日本建築学会学術講演梗概集, 2025.(投稿中)



糸井 達哉 (いとい たつや)

2004年東京大学大学院修了、博士(工学)。2012年4月より東京大学大学院工学系研究科准教授。地震リスク評価などの研究に従事。



八百山 太郎 (やおやま たろう)

2021年東京大学大学院修了、博士(工学)。2021年4月より東京大学大学院工学系研究科特任助教。専門は、地震工学・構造動力学・不確定性定量化のための機械学習応用。

リアルタイム津波浸水被害予測システムの発展と展望

越村 俊一

●東北大学災害科学国際研究所 教授

1. はじめに

筆者らは、東日本大震災の教訓を踏まえ¹⁾、巨大津波発生直後のきめ細かな津波情報や、迅速な被害情報の推計・把握と配信を通じて被災地を支援し、災害に対するレジリエンス(回復力)の向上と我が国の国土強靱化に資する、リアルタイム津波浸水被害予測システムを構築・運用している。スーパーコンピュータの災害時のリアルタイム運用により、沿岸部10mメッシュ分解能でのリアルタイム津波浸水予測(浸水する範囲と深さの予測)が可能であり、地震発生から20分以内を目安に津波浸水・被害の予報を行うシステムである。本システムは、内閣府の総合防災情報システムの一部として採用され、2018年4月より運用を開始した。また、2024年4月より高知県での本格運用を開始するとともに、2024年3月に気象庁より、システム運用を担う東北大学発スタートアップRTi-castが民間事業者として初となる津波予報業務許可を取得した。

本稿では、リアルタイム津波浸水被害予測システムの現在の活用状況と今後の展開に向けた展望を論ずる。

2. リアルタイム津波浸水被害予測システム

津波浸水被害の予測をリアルタイムで行うためのステップは以下の3つに大別される²⁾。

1点目は、津波の発生予測である。津波数値計算の初期条件には、断層破壊の具体的なメカニズムに関連した断層モデルや津波発生時の初期水位分布の情報が必要で、特に地震学・測地学の研究者との連携が必要になる。近年、GEONETをはじめとする衛星測位(GNSS)技術の発展を背景とした新しい地震・地殻変動観測が普及しており、津波発生モデルの精度向上に期待が持てる。また、特に我が国の太平洋側には、日本海溝海底地震津波観測網(S-net)や地震・津波観測監視システム(DONET)をはじめとして、非常に高密度な津波観測網が整備されつつある。また、これらの観測網の充実を背景として、全く新しい津波発生予測構築手法が提案されており、我が国の津波予測技術の革新が進みつつある。本システムでは、地震情報の取得に、気象庁の緊急地震速報とGEONETの地殻変動観測情報を用いたリアルタイム断層モデル推定法RAPiD³⁾および国土地理院のREGARD⁴⁾による解を即時に取得

し、津波波源モデルの計算過程を自動化した。

2点目は、津波の浸水予測である。東北大学の津波解析プログラムTUNAMI (Tohoku University Numerical Analysis Model for Inundation)のリアルタイム実行にはHigh Performance Computing Infrastructure (HPCI) が必要である。一方、ほとんどのスパコンの運用体制では災害時の即時的な予測を行うための運用を行うことは難しい。筆者らの研究グループは、津波の予測計算の高速化を、東北大学サイバーサイエンスセンターのベクトル型スーパーコンピュータSX-Auroraの独自運用(ディザスターモード:地震発生時に所要の計算リソースを即座にアサインする)と高いメモリバンド幅およびベクトル化効率の恩恵により実現し、いつ地震が発生してもスパコンのパフォーマンスが確保されるようになっている。2018年の時点で、10分以内に津波の発生モデル推定、10mメッシュという高分解能の浸水計算を、10分以内に完了することを達成している^{5,6)}。最近ではクラウドシステムで利用されるGPU上での最適化も進んでおり、複数のプラットフォームでリアルタイム予測が可能となっている⁷⁾。

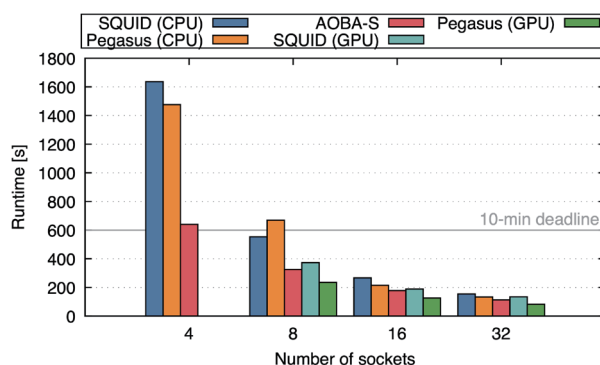


図1 ベクトル型スパコンSX-AuroraおよびGPUクラスターによる6時間先の浸水予測計算(10mメッシュ)のパフォーマンス(高知市で実施)⁷⁾。内閣府総合防災情報システムの運用には、東北大・大阪大のSX-Auroraを用いて冗長性を確保している。

上記の成果を踏まえ、本システムは、日本周辺の近地津波を想定したNation-wideな予測システムとして(図2)、内閣府の津波浸水被害予測システムの構築・運用を開始した。計算領域が広大であることから、内閣府システムとしては津波被害の概略を迅速に把握す

ることを最優先事項として、沿岸部30mメッシュの分解能で運用を行っている。

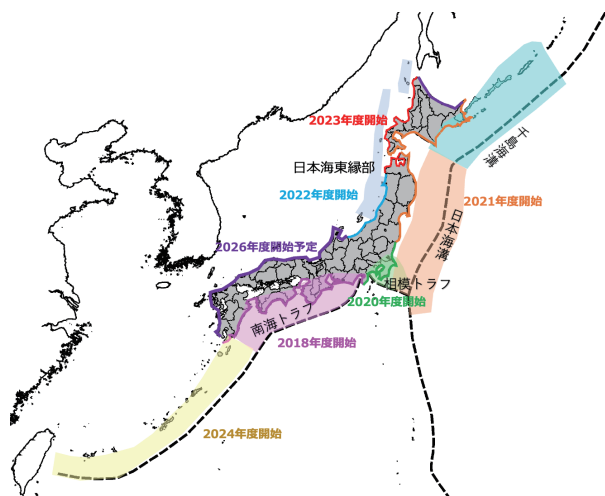


図2 リアルタイム津波浸水被害システムの予測領域(2025年5月時点)

3点目は、被害の予測である。津波の浸水域は、湾の構造や建物の密度などによって左右される。量的な被害予測を行うためには、木造建築物と鉄筋コンクリート造などの建物がどれくらいの津波で破壊されるのか量的に解析する必要がある。そのために、東日本大震災での被害調査データから津波被害関数を構築し¹⁾、浸水深の予測データ・建物データとの統合により、流失建物の量的予測を可能にしている。図3に高知県で実証した津波浸水被害予測結果(南海トラフ想定地震Mw8.7の例)を示す。国勢調査が綿密に行われている日本では、人口分布および建物の位置と場所を正確に把握できるため、これらの情報を組み込むことで10m区画まで細分化した浸水予測結果から建物被害地図の作成が可能になった。建物の位置と場所を正確に把握し、津波被害関数から得られる流失率を求めることで、細分化した浸水予測結果から建物被害の量的な予測が可能になった。

3. リアルタイム津波浸水被害予測システムの自治体での活用

本システムは、南海トラフ地震による津波の被害が想定される高知県での試験運用を2019年度から開始し、2024年度から本格運用に移行した。来る南海トラフ地震の発生に備え、高知県では毎年災害対応訓練において本システムを活用頂いている。図3には、高知県での災害対応訓練での活用シーンを示す。

2025年度には、南海トラフ地震が発生した場合を想定して、災害対策本部事務局、中央東災害対策支部及び防災関係機関要員等を対象とした「災害対策本部事

務局等震災対策訓練」(以下、「訓練」という。)を実施し、組織及び個人の災害対応能力の向上、中央東災害対策支部及び防災関係機関との連携強化を図った。訓練はロールプレイング形式で実施し、訓練統括者(危機管理部長)、プレイヤー、コントローラーに大別して行った。訓練中の状況付与は、コントローラーからプレイヤーに対し、電話、防災行政無線、衛星携帯電話、FAX(文書の手渡し)、口頭、防災ネットワーク(又は防災FAX)、総合防災情報システム等の努めて実地的な手段を用いて、リアルタイムで行った。この訓練において、リアルタイム津波浸水被害予測システムからの予測結果を状況付与情報としてプレイヤーに伝え、被害の全貌が明らかにならない初動期における効率的・円滑な災害対応に向けた訓練を実施することができた。本訓練でのシステム活用をドキュメンタリーフィルムにまとめたので、YouTubeから視聴いただきたい⁸⁾。



図3 高知県の災害対策本部訓練におけるリアルタイム津波浸水被害予測システムの活用

4. 今後の展望

筆者らは、東日本大震災の教訓を踏まえ、スーパーコンピュータを利用したリアルタイム津波浸水被害予測システムを構築した。研究開発から運用のフェーズに移行したのが2018年であったが、現在ではさらに改良を進め、地震発生から6時間分の津波浸水予測を5分程度で行うことが可能になり、東北大学・大阪大学のスーパーコンピュータで20分以内の全国津波浸水予測が可能となった。東北大学発スタートアップのRTI-castが運用主体としての役割を担うことになり、本技術の社会的受容性が高まり、多くのユーザーニーズに対応できる体制が整った。

気象庁によると「予報」とは「観測の成果に基づく現象の予想の発表」を意味し、「業務」とは「定時的また

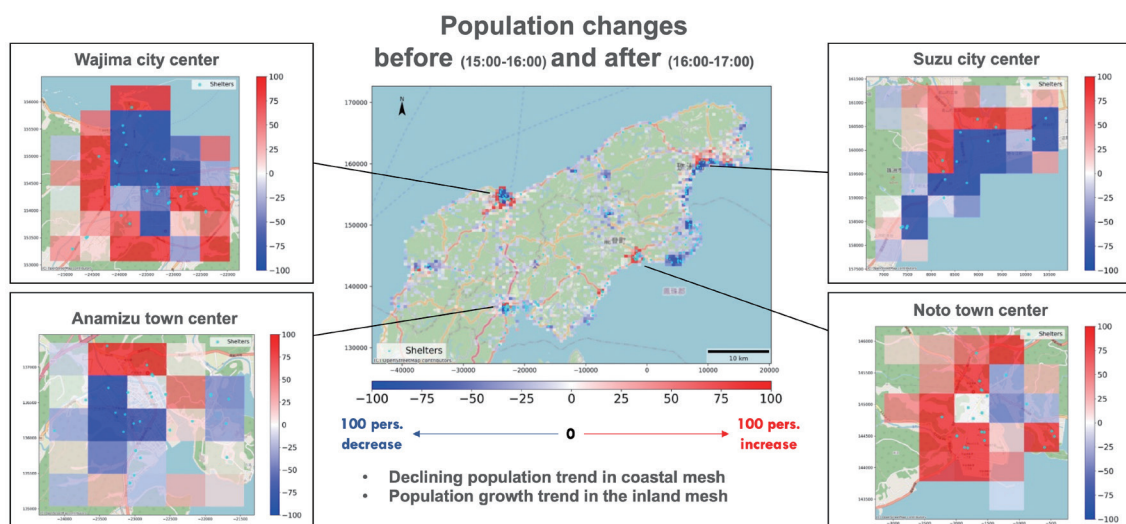


図4 能登半島地震前後の人流の変化(赤が増加、青が減少)⁹⁾

は非定時的に反復・継続して行われる行為」を意味する。予報は国民生活や企業活動に密接に関わっていることから、技術的な裏付けのない予報が広く社会に発表された場合、その予報に基づいて行動した者に混乱や被害を与えるなど、社会の安寧を損なうおそれがあるため、気象業務法第17条第1項の規定により、気象庁以外の者が津波の予報業務を行おうとする場合は気象庁長官の許可を受けなければならないと定められている。2024年3月にRTi-castが民間事業者としては初となる津波予報業務の許可を得たことは、新しい津波防災情報の価値を創生するという観点で意義が高い。今後は、日本全体を対象とした予測領域の拡大や、様々な主体・ユーザのニーズに対応した予測情報・活用技術の研究を進めていく。特にリアルタイムシミュレーションでは、陸上での津波の浸水状況の時間的変化も出力が可能であり、被害の予測だけでなく「命を守る情報」としての高度化が期待できる。

もう一つの展望としては、命を守る情報としての予報に加えて、津波災害から立ち直るための情報としての活用である。従来の人工衛星と小型人工衛星を含む衛星コンステレーションの整備、有人・無人機・地上カメラ等による災害監視能力、稠密なセンサと観測網の整備を背景に、地球観測情報のリアルタイム流通が実現しつつある。人流・交通データなど社会動態データのリアルタイム流通も進み、ハザードと社会動態の両面から災害覚知、社会影響の予測・把握、災害対応への活用に向けた社会的要請(ニーズ)が高まっている。たとえば図4に示すのは、2024年能登半島地震前後の人流データの比較であり⁹⁾、地震後に沿岸部から高台に向けた顕著な人の動きが確認できる。ハザード

予測との統合により、曝露人口のリアルタイム把握が可能になりつつある。

一方、これらの極めて膨大なデータ・情報の解釈と災害対応への活用はまだ人間が担っており、リアルタイムで流通する膨大なデータに対して人間側の処理が追いついていないのが現状である。この課題を解決するのが「デジタルツイン」である¹⁰⁾。図5に示すのは、沿岸災害をテーマとしたデジタルツインの枠組みである。六角形の各辺を、「センシング」「モニタリング」「モデリング」「推論(データ駆動科学)」「政策・適応策」「実践」として要素技術(シーズ)を位置づけた。左の物理世界では「センシング」「モニタリング」「災害対応の実践」が要素技術であり、これらを通じて、物理世界のデータ・情報が右の仮想世界にコピーされる(ツインを作成する)。仮想世界では、コピーされたセンシングデータとシミュレーションの融合により、「モデリング」によるハザードのリアルタイム予測と「推論」による社会影響の数量化(言い換えるとレジリエンス指標の数量化)および対応最適化を導く「政策・適応策」が要素技術となる。

筆者らは、2023年度に開始したSIP3期において、多様なセンサや社会基盤情報から物理世界の状況を仮想世界に取り込んでコピー(=ツイン)を作成し、被害や社会影響などのシナリオ予測、国難となる被災シナリオを回避するための対応策の最適化を仮想世界で行い、その結果を物理世界にフィードバックすることで、国難となる災害から社会の機能を速やかに回復する「津波災害デジタルツイン」の開発に取り組んでいる(図5)。この研究開発の成果についても次の機会に報告したい。

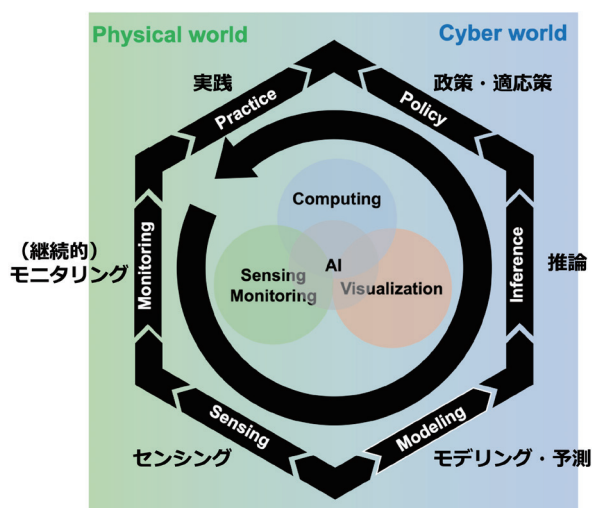


図5 沿岸災害デジタルツインの枠組み⁹⁾

参考文献

- 1) Koshimura, S. and N. Shuto, Response to the 2011 Great East Japan Earthquake and Tsunami disaster, Philosophical Transactions of the Royal Society A, 2015a. doi:10.1098/rsta.2014.0373
- 2) Koshimura, S., R. Hino, Y. Ohta, H. Kobayashi, A. Musa, Y. Murashima, Real-time tsunami inundation forecasting and damage estimation method by fusion of real-time crustal deformation monitoring and high-performance computing, IUGG General Assembly, 2015.
- 3) Ohta, Y., T. Kobayashi, H. Tsushima, S. Miura, R. Hino, T. Takasu, H. Fujimoto, T. Iinuma, K. Tachibana, T. Demachi, T. Sato, M. Ohzono, N. Umino, Quasi real-time fault model estimation for near-field tsunami forecasting based on RTK-GPS analysis: Application to the 2011 Tohoku-Oki earthquake (Mw 9.0), J. Geophys. Res., 117, B02311, 2012. doi:10.1029/2011JB008750
- 4) Kawamoto, S., Y. Ohta, Y. Hiyama, M. Todoriki, T. Nishimura, T. Furuya, Y. Sato, T. Yahagi, K. Miyagawa, REGARD: A new GNSS-based real-time finite fault modeling system for GEONET, J. Geophys. Res., 2017. doi:10.1002/2016JB013485.
- 5) Musa, A., O. Watanabe, H. Matsuoka, H. Hokari, T. Inoue, Y. Murashima, S. Koshimura, Y. Ohta, R. Hino, S. Koshimura, H. Kobayashi, Real-time tsunami inundation forecast system for tsunami disaster prevention and mitigation. J Supercomput 74, 3093–3113, 2018. doi:10.1007/s11227-018-2363-0
- 6) Musa, A., T. Abe, T. Kishitani, T. Inoue, M. Sato, K. Komatsu, Y. Murashima, S. Koshimura, H. Kobayashi, Performance Evaluation of Tsunami Inundation Simulation on SX-Aurora TSUBASA. In: Rodrigues J. et al. (eds) Computational Science – ICCS 2019. doi:10.1007/978-3-030-22741-8_26
- 7) Takahashi, K., T. Abe, A. Musa, Y. Sato, Y. Shimomura, H. Takizawa, S. Koshimura, Modernizing an Operational Real-Time Tsunami Simulator to Support Diverse Hardware Platforms, 2024 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER), 2024. doi:10.1109/CLUSTER59578.2024.00043
- 8) TsunamiCast Channel (閲覧2025.5.7) <https://www.youtube.com/watch?v=qrU4n2NT5u0&t=74s>
- 9) Nagata, S., E. Mas, Y. Takeda, T. Nakaya, S. Koshimura, Multiple hazards and population change in Japan's Suzu City after the 2024 Noto Peninsula Earthquake, Progress in Disaster Science, 25, 2025. doi:10.1016/j.pdisas.2024.100396
- 10) Koshimura, S., N. Mori, N. Chikasada, K. Udo, J. Ninomiya, Y. Okumura, E. Mas, Chapter 24 - Digital twin paradigm for coastal disaster risk reduction and resilience, Probabilistic tsunami hazard and risk analysis towards disaster risk reduction and resilience, K. Goda, R. D. Risi, A. R. Gusman, and I. Nistor (Eds.), 543-559, Elsevier, 2024. doi:10.1016/B978-0-443-18987-6.00024-5



越村 俊一 (こしむら しゅんいち)

東北大学災害科学国際研究所・教授
2000年東北大学大学院博士後期課程 修了、博士(工学)。学術振興会特別研究員(東大地震研、米国NOAA)、人と防災未来センター専任研究員、東北大学准教授を経て現職。専門分野：津波工学、数値シミュレーション、リモートセンシング、ジオインフォマティクス

地震研究におけるSciML—現状と今後の展望—

縣 亮一郎

●海洋研究開発機構海域地震火山部門 研究員

1. はじめに

地震研究は、観測技術とデータサイエンスを含む数理的手法の両輪が進展することで深化を続けてきた分野であり、機械学習技術も広く活用されてきた。他方、2020年前後より、機械学習に物理的知見を取り込んだScientific Machine Learning (SciML) が理工学分野で注目を集めている。SciMLは、データ駆動モデルと物理モデルの融合により、従来の地震研究では困難であった様々なパラメータ推定や現象予測に寄与するのではないかと期待されている。本稿では、地震研究におけるSciMLの研究動向の現状と今後の展望について、筆者の研究成果も交えながら紹介する。

2. SciMLとは

2.1 概念

従来型の機械学習は、データ駆動型の手法に分類される。地震研究におけるこれまでの機械学習の応用例もそれに則り、地震波形データの読みとりやイベント検出といったパターン認識、もしくは各種経験的予測式の再構築のような回帰問題など、データ駆動型手法の形をとってきた。一方、SciMLは、従来の機械学習に物理法則や数理モデルといった科学技術計算の要素を統合することで、より予測性能の高い科学的モデリングを試みる枠組みといえる。地震研究においてSciMLに期待される大きな役割の一つは、物理ベースの予測研究の土台となってきた計算地震学 (Computational seismology) の分野に革新をもたらすことであると筆者は考える。具体的には、地震に関わる物理現象の予測のための数値シミュレーションと、それらの数値予測と組み合わせた震源や構造などのパラメータの逆解析手法を高度化することである。本稿では、代表的な予測対象として、走時、地震動、地殻変動、断層すべり発展、津波を考え、3章においてこの5つの分類に基づき研究動向を紹介することとする。

2.2 具体的な手法

SciMLに含まれる手法群は広範であるが、本稿では地震研究への応用が盛んであるPhysics-informed neural network (PINN)¹⁾と作用素学習(Operator learning)²⁾³⁾などに絞って紹介する。

PINNは流体力学分野で2010年代後半に登場し、その

手軽さと柔軟性から、現在多くの理工学分野で流行している。PINNでは、偏微分方程式の解 $u(x,t)$ を、ニューラルネットワーク (NN) の関数 $u_\theta(x,t)$ により近似することを考える。 θ はNNの重みパラメータである。偏微分方程式に含まれる u の微分項は、NNの学習に一般に用いられる自動微分を適用することで、メッシュやグリッドを導入せずに容易に計算できる。微分が計算できれば、適切にとった x と t のサンプルについて偏微分方程式や初期・境界条件の式の残差を評価できる。それを損失関数に組み込んで学習させれば、NNの出力関数は x と t のサンプリング領域に対して偏微分方程式の解をよく近似するものとなる。これにより、ラベル付き教師データなしで、偏微分方程式の解をNNに学習させることが可能となる。NNの入力(引数)に座標値や時間だけでなく、興味のある他のパラメータも一緒に取ることで、パラメータごとの求解を代替するいわゆる「サロゲートモデル」を構築することも可能である(図1)。また、NNの学習時に、データと計算値のミスフィットも損失関数に加えた上で、興味のあるパラメータも一緒に最適化することで、順問題と逆問題を一つのスキームで解くこともできる。

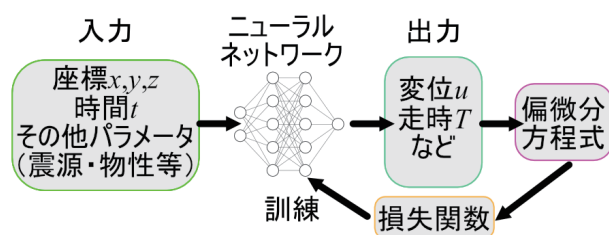


図1 PINNによる偏微分方程式解の学習のイメージ図。

PINNにおいて一般に用いられる全結合NNなどは、低次元変数から低次元変数への関数 $f(y)$ を学習するのに用いられる。例えば、位置座標を入力に取ることはできても、速度構造などをとることは難しい。一方の作用素学習は、そのような入力を可能とし、関数から関数へのマッピングをモデリングするために提案された。例えば、既知の震源に対して、ある座標 (x) での速度構造 $(u(x))$ に対応する変位場の座標 (y) における値 $G(u)(y)$ を考えたときに、速度構造を様々に取ったときの変位場を近似できる深層学習モデル $G_\theta(u)(y)$

を構築するものである(図2)。作用素学習は、PINNの対立概念ではなく、全結合NNなど狭義の「ニューラルネットワーク」と対応するものであることに注意してほしい。作用素学習の手法でよく知られるものとして、Fourier neural operator (FNO)²⁾とDeepONet³⁾がある。FNOは、関数から関数のマッピングとして最も単純なグリーン関数的畳み込みを出発点としている。この線形の畳み込みと非線形活性化関数を組み合わせて層として重ねていくと、十分な表現能力のある非線形マッピング $G(u)(y)$ が構成できる。畳み込みのカーネル関数を学習により得ることで、 $G_\theta(u)(y)$ を得る。名前は、畳み込みを高速化のためにFourier空間で行うことに由来する。 u は実際には複数とすることが可能である。なお、FNOにおいては x と y に同じ座標をとる必要がある。DeepONetの詳細は割愛するが、両者のアーキテクチャはかなり異なる特徴を持っているものの、表現力が十分な $G_\theta(u)(y)$ を構築する目的は変わらない。なお、これらの作用素学習は数値シミュレーション結果をデータとした教師あり学習により行われることが主であり、PINNと同様のPhysics-informedな学習の例はまだ限られている。

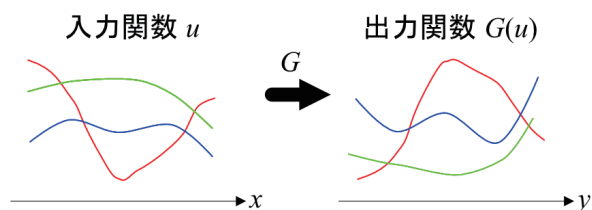


図2 作用素学習の対象となる入力関数、作用素、出力関数の模式図。線の色で入力と出力の組み合わせを区別する。

3. 研究動向

3.1 走時(地震波面伝播)

地震波の震源から観測点までの到達時間である走時は、地震波動の波面伝播を把握することで得られる。観測走時を用いた震源決定や、走時トモグラフィによる地震波速度の推定に用いられる。基礎方程式であるアイコナル方程式は、解が位置座標の関数としての走時のみのスカラー量となり、かつ満たすべき境界条件等がほとんどないことから、PINNとの相性がよい。そのため、SciMLの地震研究への応用が最も早く進んでいる項目である。

まず、速度構造が既知の場合のPINNによる走時学習について紹介する。既往の数値計算手法になぞらえた場合、ある固定した震源に対する走時の解を学習することが考えられるが、このアプローチでは震源の場

所が変わった場合に学習のし直しが必要となる。それでは、震源位置の探索を行う震源決定への応用には都合が悪い。そこで、PINNによる走時解の学習においては、震源位置も様々な場所にサンプルして学習し、推論時には対象領域内の任意の震源に対する走時を得られるサロゲートモデリングが、当初から試みられてきた⁴⁾⁵⁾。学習済みのPINNを使えば、従来の数値計算とは異なり、様々な異なる震源位置に対する走時計算を瞬時に終えることができる。これは震源決定解析に対して極めて有効であり、不確実性定量化のためのベイズ推定を含めた震源決定への適用が、南カリフォルニア⁶⁾や南海トラフ域⁷⁾などで展開されている。

次に、走時観測データから未知の速度構造を推定するトモグラフィについても、走時計算とほぼ同時期からPINNの適用が検討されてきている。走時の解だけでなく速度構造もNNで表現し、基礎方程式の残差とデータ・計算値のミスフィットの双方により構成される損失を定義し最適化することで、走時と速度構造を同時に求める、従来のトモグラフィとは全く異なるアプローチが注目された⁸⁾。その後、中国内陸部における2次元表面波トモグラフィ⁹⁾などに展開されている。さらに、PINNに基づく走時トモグラフィはベイズ推定にも拡張¹⁰⁾などされ、南海トラフ域の海域地震探査データへの適用¹¹⁾も進められている。

走時の学習を対象とした応用研究は、作用素学習でも行われている。様々な震源と速度構造に対する走時の数値シミュレーション結果を教師データとして使用したDeepONet¹²⁾や、教師データを用いないPhysics-informedなFNO¹³⁾の学習により、未知の速度構造と震源に対する走時の高速推論が可能な深層学習モデルの構築が試みられている。しかし、アイコナル方程式とPINNの相性があまりに良かったためか、作用素学習×走時の研究例はまだ思ったより増えていないというのが筆者の印象である。

3.2 地震波動伝播

震源で励起された地震波の固体地球での伝播を解く計算は、地震研究で最も基盤的な技術の一つである。3次元弾性波動方程式の解を表現する最も単純なNNを考えても、入力には3次元座標位置に加えて時間も含める必要があり、出力は変位を考えると3次元となる。また、様々な初期・境界条件を含めた何項にもわたる損失関数を考慮する必要があり、震源の扱いも単純ではない。つまりアイコナル方程式と比べてかなり複雑である。これにより、PINNについては走時計算と比べて導入の程度にかなり差があるのが現状で、順計算手法への適用性が検討されている段階である。例

えば、非常に滑らかに速度構造が変わる単純な2次元問題において、PINNと有限要素解析のスナップショットにおけるよい一致を得たとの報告がなされている¹⁴⁾。弾性波動ではなく、スカラー値である圧力が未知数となる波動（音波）方程式であれば、出力が1次元で済むため、その他条件も単純となるため、比較的解きやすくなると考えられる。このような数値計算手法は、P波に着目した地震探査データの逆解析などに有用である。波動（音波）方程式に基づく次元速度構造の全波形トモグラフィ数値実験では、ある程度単純な分布を持つ真の速度構造モデルに近い結果が得られることが示されている¹⁵⁾。

一方、地震波動伝播の数値シミュレーションデータに基づく作用素学習は、境界・初期条件等の複雑さが学習の問題とはならないためか、近年かなりの進展がみられる。速度構造・震源位置の異なる多数の数値シミュレーション結果を教師データとした学習により、様々な速度構造・震源位置に対する3次元弾性波動場を（周波数領域で）瞬時に推論するFNOの一種が構築されている¹⁶⁾。対象領域はまだ非常に小さいが、学習に使っていない速度構造に対し、数値シミュレーションとよく一致する波動場を瞬時に出力できることが報告されている。同論文では、波動場の高速推論を活かした弾性波速度構造の推定も例示されており、今後の大規模化や汎化性能のさらなる向上が期待される。

3.3 地殻変動

地殻変動の観測とモデリングは、地震断層でのひずみの蓄積や断層すべり量を把握するために重要となる。一方、弾性半無限均質媒質中の食い違い断層に対する理論解を用いた扱いやすい地殻変動モデリング手法が広く浸透しているためか、SciMLの研究例は走時や地震波動伝播と比べると少ない。しかし、特に海溝型の巨大な地震断層に関して、より複雑な条件・構成則での地殻変動モデリングの重要性は以前から指摘されており、これらのモデリング方法の発展においてSciMLの担える役割は大きいと期待される。現在のところ、PINNによる2次元不均質媒質における面外・面内断層に対する地殻変動の順モデリング・サロゲートモデル化・断層すべり逆解析への適用性が確認されており¹⁷⁾¹⁸⁾など、3次元問題における実データ解析への適用が待たれる状況となっている。

3.4 津波

津波のモデリングについても、地殻変動と同様に、適用例はまだ比較的限られている。津波の数値シミュレーションについては、入力パラメータとなる海底地形が地下構造などと比べるとよくわかっていることが

多く、使いやすい数値シミュレーションプログラムも公開されており、比較的行いやすい条件が整っていることがその理由かもしれない。しかし、最近になってPINNに基づく津波データ同化手法（本稿では予測を念頭に置いた逆解析を指す）の日本近海での地震に対する適用事例¹⁹⁾が出てきているなど、今後の発展が見込まれる。

3.5 断層すべり発展

地震断層におけるすべりの時間発展のモデリングは、主に動/静弾性媒質中の断層面に摩擦則を導入することで行われる。地震研究でよく用いられる速度・状態依存摩擦則に代表される非線形摩擦を導入した場合、系の時間発展はいわゆる「硬い方程式 (stiff equation)」で記述され、本稿で挙げた5つの項目の中で深層学習モデルを用いた解の学習が最も困難だと思われる。反面、NNの高い適応性をすべり発展の時間スケールの変化に対してうまく機能させることができれば、SciML手法が従来の境界要素法といった数値計算手法の優れた代替となる可能性もある。単純な1・2次元問題^{20) 21)}と西南日本を意識したより現実に近い問題設定²²⁾において、余効すべりやスロースリップに相当する安定すべりあるいは不安定性の弱いすべりの計算と摩擦パラメータ推定が、PINNを用いて行われている。これらから、断層すべり時間発展のデータ同化に対するPINNのポテンシャルが示されつつある。地震に相当する不安定すべりをどの程度取り扱えるようになるかが、今後の動向として注目される。

4. 現状のまとめと今後の展望

3章で挙げた既往研究を、SciMLを導入する動機の観点から整理する。PINNについては、「既存の数値計算手法の代替」としての取り組みの例はあまり見られない。実装が容易で計算グリッド・メッシュを切る必要がないという利点はあるものの、現状では計算速度と精度の面で従来手法の完全な代替とはなりづらいのだと思われる。一方で、様々な条件での繰り返し順計算が必要な逆解析やベイズ推定を高速に実現するサロゲートモデルとしての役割、並びに逆問題の解自体を深層学習により柔軟に解くというための枠組みについては、すでに既往手法との比較の枠を超えた有用性が明らかとなってきている。そして、作用素学習は前者のサロゲートモデルの役割を、速度構造のような複雑な入力に対応することでさらに柔軟に果たしていくことが期待される。

次に今後の展望であるが、PINNについては手法の大枠は固まってきており、高速化や高精度化による実

用性の向上のため、NNのデザインや最適化アルゴリズムなどの研究が日進月歩で進められているところである。それらの成果の先に、地震波動伝播や断層すべり発展など、現在はPINNで扱いきれていない問題の解決が見えてくるであろう。作用素学習に関しては、FNOやDeepONetに限らず、そのコンセプトを実現するアーキテクチャの検討がまだまだ模索されている段階である。Physics-informedな作用素学習も未開拓だといえ、今後もその展開から目が離せない領域となっている。

地震研究の特徴は、他の理工学と比べても、解きたい問題が最終的には何らかのパラメータをデータから推定する逆問題に帰着する場合が多いことである。その意味で、逆問題において力を発揮するSciMLは、今後の地震研究にますます大きな影響を与えていくのではないだろうか。

5. おわりに

本稿では、地震研究におけるSciMLの研究動向を、5つの研究対象への分類に基づいて概観した。SciMLは新しい分野である上に広範な対象を含みうる概念であるため、本稿ではあくまでも筆者の観点で整理した内容が示されていることを強調しておく。また、紙面の都合上、本稿では研究動向を概観することに注力した。各手法の詳細については、地震研究の文脈での優れた和文レビューが存在する²³⁾ため、そちらも参照されたい。

なお、参考文献リストを見た読者はお気づきだと思うが、SciMLの地震研究への応用において、国内の研究者が大いに奮闘していることを付けくわえたい。筆者らは、このような地震を中心とした固体地球科学分野における国内のSciML研究を、コミュニティ形成によりさらに加速するため、共同研究の枠組みを立ち上げた(筆者略歴参照)。このような活動に興味のある研究者は、筆者までコンタクトしてほしい。

謝辞

本解説記事の執筆の機会をくださった久保久彦氏および編集委員の皆さまに感謝いたします。また、加納将行氏と福嶋陸斗氏には本稿の執筆に際し有用なコメントをいただきました。

参考文献

- 1) Raissi, M., Perdikaris, P., Karniadakis, G. E.: Physics-informed neural networks: A deep learning framework for solving forward and inverse problems involving nonlinear partial differential equations, *Journal of Computational Physics*, Vol. 378, pp. 686–707, 2019.
- 2) Li, Z., Kovachki, N. B., Azizzadenesheli, K., Bhattacharya, K., Stuart, A., Anandkumar, A., et al.: Fourier Neural Operator for Parametric Partial Differential Equations, *Proceedings of the International Conference on Learning Representations (ICLR)*, 2020.
- 3) Lu, L., Jin, P., Pang, G., Zhang, Z., Karniadakis, G. E.: Learning nonlinear operators via DeepONet based on the universal approximation theorem of operators, *Nature Machine Intelligence*, Vol. 3, No. 3, pp. 218–229, 2021.
- 4) Smith, J. D., Azizzadenesheli, K., Ross, Z. E.: EikoNet: Solving the Eikonal Equation With Deep Neural Networks, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 59, No. 12, pp. 10685–10696, 2021.
- 5) Waheed, U. B., Haghighat, E., Alkhalifah, T., Song, C., Hao, Q.: PINNeik: Eikonal solution using physics-informed neural networks, *Computers & Geosciences*, Vol. 155, pp. 104833, 2021.
- 6) Smith, J. D., Ross, Z. E., Azizzadenesheli, K., Muir, J. B.: HypoSVI: Hypocentre inversion with Stein variational inference and physics-informed neural networks, *Geophysical Journal International*, Vol. 228, No. 1, pp. 698–710, 2022.
- 7) Agata, R., Baba, S., Nakanishi, A., Nakamura, Y.: HypoNet Nankai: Rapid hypocenter determination tool for the Nankai Trough subduction zone using physics-informed neural networks, *arXiv preprint arXiv:2411.04667*, 2024.
- 8) Waheed, U. B., Alkhalifah, T., Haghighat, E., Song, C., Virieux, J.: PINNtomo: Seismic tomography using physics-informed neural networks, *arXiv preprint arXiv:2104.01588*, 2021.
- 9) Chen, Y., de Ridder, S. A. L., Rost, S., Guo, Z., Wu, X., Chen, Y.: Eikonal Tomography With Physics-Informed Neural Networks: Rayleigh Wave Phase Velocity in the Northeastern Margin of the Tibetan Plateau, *Geophysical Research Letters*, Vol. 49, No. 21, pp. e2022GL099053, 2022.
- 10) Agata, R., Shiraishi, K., Fujie, G.: Bayesian Seismic Tomography Based on Velocity-Space Stein Variational Gradient Descent for Physics-Informed Neural Network, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*,

Vol. 61, pp. 1–17, 2023.

- 11) Agata, R., Shiraishi, K., Fujie, G.: Physics-informed deep learning quantifies propagated uncertainty in seismic structure and hypocenter determination, *Scientific Reports*, Vol. 15, No. 1, pp. 1846, 2025.
- 12) Haghighat, E., Waheed, U. B., Karniadakis, G.: En-DeepONet: An enrichment approach for enhancing the expressivity of neural operators with applications to seismology, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 420, pp. 116681, 2024.
- 13) Song, C., Zhao, T., Waheed, U. B., Liu, C., Tian, Y.: Seismic traveltime simulation for variable velocity models using physics-informed Fourier neural operator, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2024.
- 14) Ren, P., Rao, C., Chen, S., Wang, J.-X., Sun, H., Liu, Y.: SeismicNet: Physics-informed neural networks for seismic wave modeling in semi-infinite domain, *Computer Physics Communications*, Vol. 295, pp. 109010, 2024.
- 15) Rasht-Behesht, M., Huber, C., Shukla, K., Karniadakis, G. E.: Physics-Informed Neural Networks (PINNs) for Wave Propagation and Full Waveform Inversions, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 127, No. 5, pp. e2021JB023120, 2022.
- 16) Zou, C., Azzizadenesheli, K., Ross, Z. E., Clayton, R. W.: Deep neural Helmholtz operators for 3-D elastic wave propagation and inversion, *Geophysical Journal International*, Vol. 239, No. 3, pp. 1469–1484, 2024.
- 17) Okazaki, T., Ito, T., Hirahara, K., Ueda, N.: Physics-informed deep learning approach for modeling crustal deformation, *Nature Communications*, Vol. 13, No. 1, 2022. DOI: 10.1038/s41467-022-34922-1
- 18) Okazaki, T., Hirahara, K., Ito, T., Kano, M., Ueda, N.: Physics-informed deep learning for forward and inverse modeling of inplane crustal deformation, *Journal of Geophysical Research: Machine Learning and Computation*, Vol. 2, No. 1, pp. e2024JH000474, 2025.
- 19) Someya, M., Furumura, T.: Physics-Informed Neural Networks for Offshore Tsunami Data Assimilation, *Authorea Preprints*, 2025.
- 20) Rucker, C., Erickson, B. A.: Physics-informed deep learning of rate-and-state fault friction, *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, Vol. 430, pp. 117211, 2024.
- 21) Fukushima, R., Kano, M., Hirahara, K.: Physics-Informed Neural Networks for Fault Slip Monitoring: Simulation, Frictional Parameter Estimation, and Prediction on Slow Slip Events in a Spring-Slider System, *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, Vol. 128, No. 12, pp. e2023JB027384, 2023.
- 22) Fukushima, R., Kano, M., Hirahara, K., Ohtani, M., Im, K., Avouac, J.-P.: Physics-informed deep learning for estimating the spatial distribution of frictional parameters in slow slip regions, *Authorea Preprints*, 2024.
- 23) 岡崎 智久: *Scientific Machine Learning 地震学*, 地震第2輯, Vol. 77, pp. 101–120, 2025.



縣 亮一郎 (あがたりょういちろう)

2016年東京大学大学院工学系研究科博士課程修了、博士(工学)。海洋研究開発機構海域地震火山部門ポストドクトラル研究員を経て、現職。専門分野は、計算地震学。2025年度より、東京大学地震研究所共同利用(特定共同研究(B))において研究課題「科学的機械学習(SciML)による固体地球科学の加速」を立ち上げ、勉強会や研究集会を中心に活動を行っていく予定。

パーソナルデバイスアプリケーションの防災訓練への活用

萩行 正嗣

●株式会社ウェザーニューズ

1. はじめに

近年、スマートフォンの普及により一人ひとりが情報端末を持つ時代になっている。情報端末上で機能するアプリケーションとしては、いわゆるスマホアプリと呼ばれるネイティブアプリケーションだけでなく、チャットアプリ上で動作するチャットボット形式、ブラウザ上で動作する Web アプリケーション形式が存在する。これらはそれぞれ細かい機能や制約の違いはあるが、基本的な特徴は共通しており本稿ではまとめてパーソナルデバイスアプリケーション (Personal Device Application, PDA) と呼ぶこととする。

PDA は以下の特徴をもつ。

- ・一人ひとりが持ち運ぶことができ、屋外などでも使用できる
- ・情報を PUSH 型、PULL 型両方で取得できる
- ・提供する情報を一人ひとりにカスタマイズできる
- ・個々の端末から情報を取得し、災害対策本部等で集約できる

本稿では、PDA を災害時にどのように活用できるか、また防災訓練にどのように活用できるかについて紹介する。

2. PDA の特徴

PDA の特徴としては、多様な用途および災害種別で活用できることがある。情報の流れから見た用途としては、住民からの情報収集という上り方向、住民への情報提供という下り方向の双方の情報のやりとりが可能である。また扱われる情報の種別も特に制限はない。PDA の利用で想定される災害には、大雨などの気象由来の災害もあれば、地震などの突発的な災害もある。多様な用途に活用できることに加えて、端末は平時でも使用されているため、災害時のために新たな端末を用意する必要がないことも大きな特徴である。これらの特徴から特に住民向けにおいて個人端末を防災に活用する PDA の考え方は今後も広まっていくと考えられる。また、アプリケーションレベルで情報収集と情報提供が統合されている場合には、双方の機能を連携させることで、より効果的な情報収集と情報提供が可能となることも利点である。

PDA の例として、防災チャットボット SOCDA があ

げられる。SOCDA は内閣府の戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) 第 2 期「国家レジリエンス (防災・減災) の強化」の一環として開発された防災チャットボットである。SOCDA は LINE 上で動作するチャットボットとして開発され、防災に関連する様々な用途でチャットボットが活用できることを示した¹⁾。本稿では SOCDA の研究および実証実験で実施した内容を中心に、チャットボットに限らない PDA の活用についても紹介する。

2.1 情報収集機能

災害時において、情報収集は重要な役割を果たす。災害対策本部は、個々の情報を集めて、全体の状況を把握する必要がある。また、情報収集は災害対策本部だけでなく、個々人の避難行動の意思決定においても重要である。

PDA は一人ひとりが持ち運ぶことができるため、災害現場からの情報収集の役割を果たすことができる。一般市民だけでなく、災害対応機関の現地職員も持ち運ぶことができるため、従来の現場からの状況報告の役割を果たすことができる。

従来の電話による情報収集は、災害対策本部で電話を取る人間がボトルネックになることが多かった。PDA は、情報を受け取る側を自動化することが可能であり、非同期に大量の報告を受けることができる。また、報告された内容は即座に電子的に記録されるため、情報の集約が容易であり、情報の集約にかかる時間を短縮することができる。



図1 チャットインターフェースによる画像、位置情報の入力例

PDA は文章だけでなく、写真や動画、位置情報なども送ることができる(図1)。近年では、AIを活用することで文章や写真、動画から、災害の種別や被害の程度を自動的に判定することができる。位置情報と組み合わせて、被害の程度を地図上に可視化することができる(図2)。

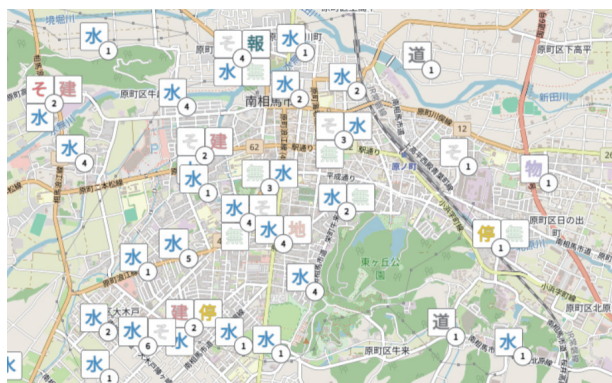


図2 収集された情報を自動分類し可視化した例

情報の分類は、従来は報告する側が選択して送信する方式のものが多かった。現場で選択する方式は、情報の分類が容易であるが、分類が固定的になることが欠点である。例えば、災害対策本部で情報分類を設定する場合、災害対策本部側で選択肢をあらかじめ決めておく必要がある。この時、選択肢の数が少ないと、必要な情報を選択できないことがある。災害時には想定外の事象が発生することが多く、あらかじめ決めた選択肢では適した分類が存在しないことも多い。一方で、分類の種類を増やすと UI が複雑になり、選択肢が多くなると適切な分類を選択するのが難しくなることがある。

AI によって自動的に分類する方法は、情報の分類を省力化できること以外にも複数の利点がある。一つ目は、事前に想定されていない災害種別への分類が可能であることである。これにより、事前に想定していなかったが対応の優先度が高い情報に気付くことが可能になる。

二つ目は、情報の受け手や状況ごとに情報の分類を動的に変えることができることである。通常のカテゴリであれば、事前定義された災害の種別や被害の程度などで分類することが多い。AI による分類であれば、情報の受け手や状況に応じて、分類を変えることができる。例えば、車で災害現場に向かう場合、車での移動が可能または支障があるかの視点で情報を分類することができる。分類の粒度も変えることができるため、情報の受け手に応じて、必要な粒度で情報を分類することができる。例えば、食料配布の情報を知りたい被災者の場合でも、乳幼児がいる家庭の場合は離乳食や

ミルクの情報を提供でき、アレルギーを持つ人にはアレルギー対応食の情報を提供することができる。

また、PDA では双方向で情報のやり取りができるため、現場からの一方通行ではない情報の報告が可能である。現場からの一方的に提供された情報では、災害対策本部が必要な情報が十分に含まれていないことも多い。例えば、「倒木がある」という情報だけでは、倒木の大きさや倒木の位置、倒木の影響範囲などの情報が不足している。また、電線に接触している場合には、専用の機材等が必要になるため、これらの情報も必要になる。どのような情報が必要になるかは、一般住民からは判断できないが、災害対策本部との双方向のやりとりを通じることで、詳細な情報を送ってもらうことで集めることができる。

双方向のやりとりの一つ目としては、PUSH 通知の活用がある。災害現場からの自発的な情報の報告だけでなく、災害対策本部側から情報の提供を PUSH 通知で各端末に依頼することができる。その際には、災害対策本部で必要としている情報を積極的に報告して欲しい旨を通知に含めることができる。また、PDA に登録された情報から場所やユーザー属性を指定して依頼通知を出すことができる。例えば、停電の報告があった場合に、その周辺の人に停電の状況を報告して欲しい旨の通知を出すことができる。このように、災害対策本部側から情報の依頼を行うことで、必要な情報を効率的に収集することができる。

二つ目は対話的な情報収集のやりとりがある。災害対策本部でテンプレート的に質問項目を設定することで、災害対策本部で関心が高い情報を中心に情報を収集することができる。今後は、生成 AI の発展により、より自然な対話形式で情報を収集することが可能になると考えられる。また、報告者に対してより詳細を確認すべき項目も、既に集まった情報から AI が自動的に判断することが可能になると考えられる。

近年では X(旧 Twitter) のようなオープンな SNS における情報収集は、ユーザー間で行われているやりとりの中から、災害に関連する情報を収集することが広く行なわれている²⁾。SNS における情報収集は、ユーザー間で行われているやりとりの中から、災害に関連する情報を収集する。これらの情報はあくまで他のユーザーに向けて発信されたものであり、災害対策本部等に向けられたものではない。PDA の場合は、災害対策本部等に向けての情報提供となるため、双方向のやりとりが可能となる。また、公的機関が運営する側面が強くなることもデマやいたずらへの抑止力として働くことが期待できる。

2.2 避難行動支援機能

PDA では、住民の避難行動の意思決定を支援することができる。PDA による避難行動支援では、避難に関連する情報(避難指示や避難所情報など)を個別のニーズに合わせて提供することで、適切な意思決定を支援することができる。また、意思決定を支援するだけでなく、その結果をトラッキングできることも PDA の大きな特徴である(図 3)。

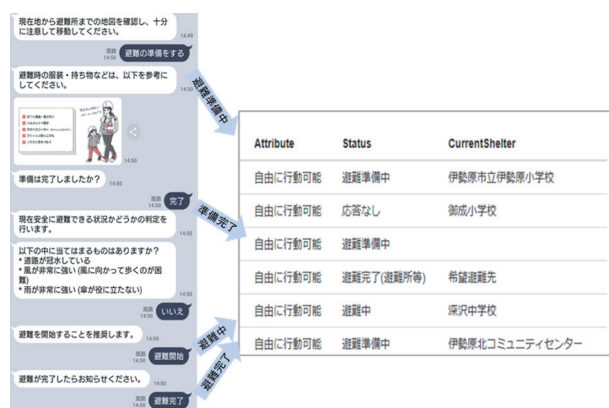


図3 ユーザー入力を活用した避難状況トラッキングの例

避難行動のトラッキングは主に3つの方法がある。一つは、自発的に避難行動を報告してもらう方法である。二つ目は、意思決定のためにユーザーが PDA で操作した情報から推測する方法である。三つ目は、位置情報等の端末データから避難行動を推測する方法である。

一つ目の例としては、避難所に到着した際に、避難所に到着したことを報告してもらう方法であり、避難所チェックインなどとも呼ばれる。この際に住民自身の情報なども合わせて報告してもらうことで、避難所の運営側は、避難所の運営に必要な情報を把握することができる。また、避難所に避難した人には、PUSH 通知などで避難所の利用者向けの情報を送信することができるため、住民にとっても、避難所への到着を報告する意義をもたせることができる。

二つ目の例としては、ユーザーに避難所リストを送信し、ユーザーが避難所の詳細や地図等を表示した避難所の情報を利用する方法がある。ユーザーがこれらの情報にアクセスすることにより、当該の避難所に避難を検討している、または避難を開始していると推測することができる。

三つ目の例としては GPS の情報などを活用して、現在位置や避難行動を推測する方法である。この手法はユーザーの詳細な行動情報が取得可能になるが、位置情報の取得許可が必要など、利用が限定的になる。特に LINE などのメッセージングツールでは、チャッ

ット開発者はリアルタイムの位置情報を取得できないことが多い。

住民の避難状況把握は、従来であれば避難所に到着した人の数を把握することが多かった。PDA を通じたトラッキングを行うことで、避難所の外部の状況も把握することが可能となり、従来とは異なる避難所運営、被災者支援が可能となる。

1 つ目の例は、避難所の混雑の将来予測である。避難所に到着する前から、どの避難所に向かう予定なのか推察できるため、避難所の混雑を予測することができる。近年では避難所の過密が問題となっており、特にコロナ禍では、避難所の人数制限により、避難所に入れない人が避難所をたらい回しとなった問題があった。混雑を予測することで、先回りして新規の避難所を開設することができる。また、混雑した避難所に避難を検討している人に対して PDA を通して新規の避難所を案内することができる。

2 つ目の例は、在宅避難状況の把握である。避難所の情報を提供した人のうち、意図して在宅避難を選択した人の数を把握することができる。また、GPS トラッキングで、避難所に向かっていないことが分かった人に対して、在宅避難を選択したのか、事情があり避難できない状態なのかを確認することができる。

3. 防災訓練

3.1 情報収集機能

情報収集機能を防災訓練に活用した事例を紹介する。

一つ目は状況付与に合わせた情報投稿の実施である。状況付与とは、防災訓練において、実際の災害を想定して、被災の状況を付与することである。情報投稿の訓練では、状況付与に合わせて一人ひとりが被害を想像し、その被災状況を報告する訓練となる。このような訓練を行うことで、自身で被災状況を想像することができ、実際の災害時に自分がどのような行動をとるべきかを考えることができる。また、PUSH 通知を活用することで、状況付与を一人ひとりに合わせて変えたり、時系列で状況を変化させたりすることができる。PDA を利用することで、全てリモートでも実施することができるため、コロナ禍の影響で防災訓練が実施できない場合でも、自宅での防災訓練を実施することができた³⁾。

二つ目は一つ目と似ているが、過去の災害を擬似的に体験することである。過去の災害のアーカイブを活用し、状況付与的に活用することで、過去の災害を擬似的に体験することができる。神戸市で実施した実証実験では、「阪神・淡路大震災「1.17 の記録」⁴⁾という

アーカイブサイトを利用した。参加者はアーカイブサイトから自身の居場所の近くの当時の被災状況を調べ、アーカイブに掲載されている情報をもとに、当時の状況を想像して報告するという訓練を実施した。このような訓練を行うことで、被災者は当時の状況を想像することができ、実際の災害時に自分がどのような行動をとるべきかを考えることができる。また、災害対策本部側でも、過去の災害の状況を再現することができ、多く送られてくる情報をどのように分類するかの検討をすることができた⁵⁾。

三つ目は、防災上の危険箇所を報告する訓練である。想定される避難経路等を防災訓練時に巡回し、発災時に危険となる箇所を報告する訓練である。この訓練により、避難時に注意すべき点が住民間で共有される他、危険箇所の補修等の検討も可能になった。

3.2 避難行動支援機能

避難行動を防災訓練に活用した事例を紹介する。

神奈川県で実施した図上演習では、避難所混雑予測が自治体の広域避難の意思決定に有効であることを示した。この図上演習では、藤沢市の避難所が混雑することが予測され、隣接の鎌倉市に越境避難の受け入れを要請した。自治体間の連携には、調整が必要となるため早期の意思決定が必要となり、予測を活用することが有効であることが示された。

東京都江東区豊洲で行った防災訓練では、安否状況の把握などと合わせて、在宅避難状況の把握を実施した³⁾。この訓練では、上述の情報収集訓練と合わせて実施することで、住民目線で総合的な防災訓練が実施できた。LINE のオープンチャットを併用することで、リモートでありながらもスムーズ進行ができ、汎用な個人端末を活用するという一面が防災訓練に有効に活用することが分かった。

大阪府伊丹市での実証実験では、情報収集機能と併用し避難所開設訓練と合わせて避難訓練をおこなった。この実証実験では、地震を想定し、PUSH 通知を活用することでリアルタイムの状況付与を実施した。職員が避難所の開設状況を報告し、その状況をリアルタイムで避難支援機能の避難所リストに反映し、実災害の流れに沿って避難支援機能が運用できることを確認した。また、避難所の一つである市役所では実際に住民の受け入れを行っており、避難した住民にはローリングストックの非常食を提供する試みが行われた。

千葉県の日本大学船橋キャンパスで実施された避難訓練では、専用に開発された災害用パーソナル・アラートというシステムを利用し、避難行動の支援を行った⁶⁾。この避難訓練では、端末の GPS 情報から避

難者がどのようなルートで避難したかなどのログの収集も行っている。このログを分析することで、経路上で避難者が集中する箇所が特定でき、避難経路の改善を検討することができた。

4. 終わりに

本稿では、個人一人ひとりの端末を防災に活用する PDA の事例を紹介した。PDA が様々な用途で防災に有効であることは既に示された一方で、アプリケーションとしての各機能の充実は今後の課題である。

SOCDA の研究開発時に比べ、生成 AI の急速な発展のため、アプリケーションのインターフェースデザインは大きく変わることが予想される。一方で、PDA という概念の有用性自体は十分に実証されており、生成 AI を活用しこの有用性をより活かすアプリケーションの開発が期待される。

参考文献

- 1) 萩行 正嗣, 上谷 珠視, 東 宏樹, and 大竹 清敬. 災害対応における ICT 活用と防災チャットボット SOCDA. 電子情報通信学会通信ソサイエティマガジン, 15(3):200–210, 2021.
- 2) 榊 剛史 and 松尾 豊. ソーシャルセンサとしての Twitter : ソーシャルセンサは物理センサを凌駕するか? 人工知能, 27(1):67–74, 2012.
- 3) LINE オープンチャット自治体支援窓口.『豊洲スマート防災訓練 2020』に参加してわかった、備えとしての地域のオープンチャット参加のメリット. https://openchat-jp.line.me/topic/20201020_toyosu1, 11 2011.
- 4) 神戸市 企画調整局 広報戦略部. 阪神・淡路大震災「1.17 の記録」. <https://kobe117shinsai.jp/>.
- 5) AI 防災協議会. <https://ai-bosai.jp/data/2020-01-17kobe.pdf>, 1 2020.
- 6) 五味悠一郎. PAD を用いた船橋校舎防災避難訓練でみられた被験者の動き. In 第 67 回日本大学理工学部学術講演会, 2024. <https://www.cst.nihon-u.ac.jp/research/gakujutu/67/html/program/S4.html>.



萩行 正嗣 (はぎょう まさつぐ)

2014年京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻博士後期課程修了。博士(情報学)。同年、(株)ウェザーニューズに入社、現在に至る。自然言語処理/防災情報学の研究に従事。言語処理学会、情報処理学会、災害情報学会各会員。AI防災協議会常務理事。

出前講義「地震のサイエンス」の開催報告

高瀬 裕也

●事業企画委員会 委員長

1. はじめに

日本地震工学会・事業企画委員会では、令和5年度に横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校（以下、YSFH）で「地震を解き明かすワークショップ」を開催し、本誌において報告した¹⁾。YSFHは、横浜市鶴見区にある横浜市立の全日制理数科高校であり、2009年に高校が開校し、2017年には附属中学校が開校している。これまでに、文部科学省よりスーパーサイエンスハイスクールやスーパーグローバルハイスクールなどに、横浜市教育委員会からは、進学指導重点校に指定されるなど、理数科目に重点を置いた教育が実施されている。

一昨年度に続き令和6年度は、YSFHの1年生の生徒を対象に、出前講義「地震のサイエンス」を開催した。本稿では、本講義の概要を報告する。

2. 講義の概要

表1に本講義の概要を示す。

本出前講義は、YSFHの講義であるサイエンスリテラシーI (SLI) で、実施したものである。SLI²⁾は、大学教員による講義やグループワークを中心に、基礎実習を通じて研究の基礎となる知識や技能を身に着ける講義である。

表1 本講義の概要

タイトル	SLI 地震のサイエンス
日時	①令和7年1月17日10:45~12:25 ②令和7年1月20日10:45~12:25 ③令和7年1月20日14:10~15:50
場所	横浜サイエンスフロンティア高校
参加人数 (YSFH)	高校1年生 80名×3回
事業企画委員会の対応委員	委員長 高瀬 裕也(室蘭工業大学) 副委員長 上田 恭平(京都大学) 委員 井上 和真(群馬高専) 王 欣(足利大学) 加藤 一紀(大林組) 近藤 伸也(宇都宮大学) 大村 浩之(防災科研) 森脇 美沙(鉄道総研) 山本 健史(戸田建設)

群馬高専：群馬工業高等専門学校、防災科研：防災科学技術研究所、鉄道総研：鉄道総合技術研究所

対応委員の役職・所属機関については開催当時のものである。

表1に示すように参加対象は、高校1年生の全生徒（240名）であり、全6クラスを3回に分けて講義を実施した。1回の講義は、1時間40分である。

3. 講義内容

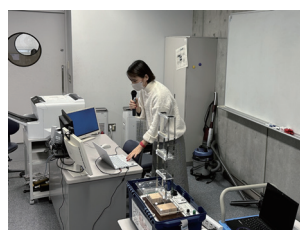
本出前講義は、前半の講義（約45分）と後半の実習（約45分）の2部で構成される。以下に、それぞれの内容を記述する。

3.1 講義

写真1に講義の様子を示す。

前掲の表1に示す通り、本講義は3回に分けて実施され、それぞれ王委員、井上委員、上田副委員長が担当した。写真1(a)~(c)は、各講師による講義の様子である。これらの講義は、3つの教室（40名1室と20名2室）を利用して行われ、写真1(d)に示すように、各机にパソコンが用意されており、1つの教室で行った講義のスライドが、各教室のパソコンに配信される形式で、生徒たちは受講した。

講義内容は、主に1) 地震の種類と断層のタイプ、2) 地震動の特徴、3) 建築振動学の基礎で構成されており、高校生にとってはやや難解な部分も含まれていたが、簡単なクイズも実施しており、生徒たちは興味を持ちながら熱心に耳を傾けていた。



(a) 王委員



(b) 井上委員



(c) 上田副委員長



(d) 教室の全景

写真1 講義の様子

3.2 実習

写真2に実習の様子を示す。

実習では、自由振動する建物模型に、小型加速度センサーを取り付け、データロガーで加速度を計測し、得られた加速度波形を、プログラムを用いて周期と減衰を分析することを経験した。写真2(a)と(b)に示してある振動実験装置を2セット用意し、2つの教室(20名の2教室では、生徒を入れ替え実施)でそれぞれ実施した。1教室で40名の生徒がいるため、10名×4グループに分け、各グループで制限時間の中で複数回の振動実験を実施した。

写真2(a)に示すように、初めに委員が振動実験をデモンストレーションしながら、データロガーを用いた計測方法について説明した。その後、各グループ内でさらに2~3名ずつの小チームを編成し、初期変位を与える役、計測を行う役、振幅を読み取る役など、それぞれに役割を分担して振動実験を進めた。実験中には、初期変位の大きさを変えたり、中間層に逆位相の変位を与えと言った工夫を加えるなど、生徒たち自身が多用なパターンを主体的に考案しながら、加速度波形の計測に取り組んでいた。

加速度波形を計測後、生徒たちは各自の机に戻り、写真2(c)および(d)に示すように、解析プログラムを編集して周期と減衰を分析した。この解析には、Pythonで記述されたプログラムを使用しており、事前にサンプルデータとともに宿題として生徒に配布していたものである。

普段の授業や日常生活の中では、加速度センサーやデータロガーに触れる機会はなく、加速度波形がモニターに映し出された際には、生徒たちから歓声が上がる場面も見られた。また、プログラムを用いた加速度波形の分析も、多くの学生にとって初めての経験であったと思われるが、高校で学ぶ数学や物理の知識が、このような実践を通して実感する機会になったのではないかと考えている。

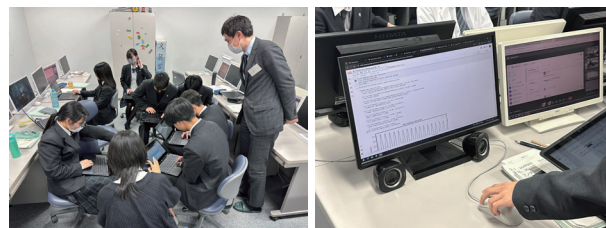
4. おわりに

近年、日本国内にとどまらず、世界各地においても大規模な地震が頻発しており、甚大な人的・物的被害が発生している。したがって、防災・減災に関する知識と技術が大切である。このような状況を背景に、当該分野における高度な専門性と実践的能力を備えた技術者および研究者の育成は、極めて重要な課題である。



(a) 振動実験の説明

(b) 振動実験



(c) 加速度波形の処理

(d) プログラムの編集

写真2 実習の様子

本出前講義は、地震工学の基礎的な知識と、社会的意義を若い世代に広く伝えることを目的として実施したものであり、少しでも多くの生徒が地震工学に関心を持つきっかけとなり、将来的にこの分野に進むことを志してくれるなら、本活動の意義は非常に大きいと言えよう。日本地震工学会・事業企画委員会では、今後も、このような啓発的取り組みを継続し、次世代の地震工学分野を担う人材の裾野を広げることに努めたいと考えている。

謝辞

この度、貴重な機会を与えていただきました横浜サイエンスフロンティア高校の教員の皆さまに、心から感謝申し上げます。また、講義や演習を実施頂いた、本委員会の皆さまに、厚くお礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 井上和真, 高瀬裕也: 地震を解き明かすワークショップの開催報告, 日本地震工学会誌, 第52号, pp.42~43, 2024年6月
- 2) 横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校, サイエンスリテラシー I, <https://www.edu.city.yokohama.lg.jp/school/hs/sfh/index.cfm/32,0,77.html> (2025.4.22 閲覧)

MOU ceremony and future collaboration between EESK and JAEE

Sang Whan HAN

●Professor (14th president of EESK), Hanyang University, Seoul, Korea

1. Introduction

The Japan Association for Earthquake Engineering (JAEE) and Earthquake Engineering Society of Korea (EESK) signed an MOU at BPEX Convention Center, Busan, Korea on March 19, 2025. In this manuscript, the activities of the EESK and the MOU ceremony were briefly described. This manuscript also includes thoughts and opinions on future collaboration between EESK and JAEE.

2. Activities of the EESK

The Earthquake Engineering Society of Korea (EESK) was established on November 28, 1996, to promote academic advancement in the field of earthquake engineering, earthquake disaster prevention measures, and technological advancement to create a safe society against earthquakes. As of January 2025, the number of members of the society exceeded 2,000, making it a mid-sized society in Korea. EESK is a representative academic society in the field of earthquake engineering in Korea, affiliated with the Korean Ministry of Land, Infrastructure and Transport.

Since the establishment of the society, the presidency has changed a total of 15 times, and the author (Professor Sang Whan HAN of Hanyang University) of this manuscript served as the 14th president. Currently, Professor Dong-Ho Ha is leading the society as the 15th president. The term of president and the board of directors is two years.

The EESK has members from various fields such as architectural engineering, civil engineering, geotechnical engineering, earthquakes, and geophysics. To activate research activities, we hold conferences twice a year and operate six specialized committees (Earthquake Ground Motion Committee, Earthquake Design Committee for Ground Structures, Vibration Analysis and Control Committee, Earthquake Design Committee for Civil Engineering, Earthquake Design Committee for Buildings, Seismic Performance Evaluation Committee) to actively discuss current issues in the field of earthquake engineering.

Due to active committee activities, the EESK plays a key role in developing and revising Korean national seismic design standards. The main projects of the Earthquake

Engineering Society of Korea can be summarized into six categories as shown in Fig. 1.

Major Activities of Earthquake Engineering Society of Korea(EESK)	
Publications	- Journal Publication - Proceedings Publication
Academic Conferences and meeting	- Organization of conferences biannually - Publication of conference proceedings - Regular board and technical committee meeting
Research project development	Execution of academic research projects
Operation of education Programs	Workshop, seminar, webinar for public
Data collection and distribution	Collecting and sharing data
International corporation	- Dispatch of earthquake reconnaissance team - Organizing international conferences

Fig. 1 EESK activities

3. Seismicity in Korea and seismic retrofit projects

Korea is not located in a high-seismic region like Japan, but it is classified as a low-to-moderate seismic area where earthquakes of magnitude 3 or higher occur more than 10 times a year. There have been many small and medium-sized earthquakes throughout the Korean Peninsula as shown in Fig. 2.

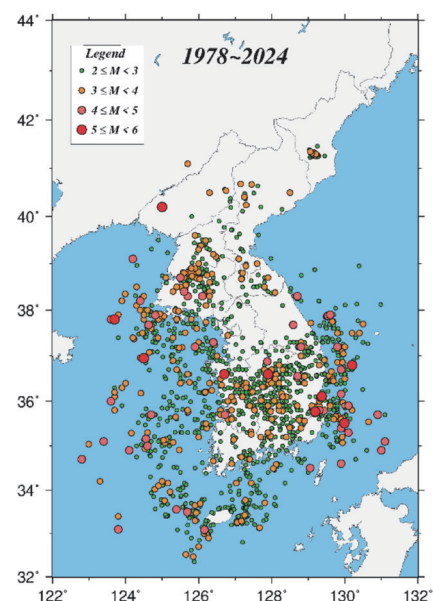


Fig. 2 Distribution of epicenters (Korea Meteorological Administration, <https://www.weather.go.kr/w/eqk-vol/archive/stat/trend.do>)

In particular, the Gyeongju earthquake with a magnitude of 5.8 on September 12, 2016, and the Pohang earthquake with a magnitude of 5.4 on November 15, 2017, caused severe damage to many buildings and facilities.

The Korean government has implemented large-scale projects to conduct seismic retrofit for public buildings and facilities. The goal of the projects is to complete retrofit all public structures by 2035. The government invests approximately 500 billion KRW annually. Thanks to this government budget investment, the EESK also has participated in many government projects, which makes the institution grow internally and externally and strongly contribute to society.

When an earthquake occurs in a neighboring country, an earthquake reconnaissance team is dispatched from the EESK to obtain damage and preparedness information. In 2024, reconnaissance teams were dispatched to the Noto Earthquake and Hualien Earthquake damage areas.

4. MOU between the EESK and JAEE

The EESK and JAEE had a MOU ceremony on March 19, 2025, at BPEX Convention Center, Busan, Korea, which is the venue for the 2025 EESK Spring Conference (Fig. 3).

The event was attended by the EESK executive board members and the President Tsuyoshi Takada and Professor Keita Abe from the JAEE. At the MOU event, both presidents introduced their institutions and shared ways to collaborate. In addition, as part of the collaboration, President Takada gave a keynote lecture on the topic of “FUTURE AGENDA FOR SECURING URBAN PERFORMANCE AGAINST EARTHQUAKES” at the conference on March 20th. It was a valuable lecture that allowed us to think about future agenda in the field of earthquake engineering.

We hope that this MOU ceremony will not be a one-time event but will lead to continuous collaboration between the two institutions. As stated in the MOU memorandum, we hope to collaborate on the following items:

(1) Exchange information regarding the engineering profession in general.

(2) Publishing articles, papers, and information under preferred terms and in accordance with an agreement specific to each case, provided that appropriate measures are taken to identify authors, protect their rights, and, if required, obtain prior permission of authors.

(3) Promote exchange of publication so that both organizations may establish and maintain publications

depositories of technical publications.

(4) Hosting various joint events.

(5) Promote exchange of students, lecturers, and guests.

(6) Exchange information regarding scientific and technical events that are of mutual interest.

(7) Exchange technical periodicals and other according to an agreed-upon special publications exchange list.

(8) Provide mutual professional advice, especially in all areas of international technical and scientific matters to the extent provided by each organization to its own members.

In addition, we hope that EESK and JAEE will actively collaborate on developing joint projects, conducting joint research, discovering and sharing future earthquake-resistant engineering issues, and hosting international academic conferences.



Fig. 3 MOU ceremony (left: Emiritus Prof. Tsuyoshi Takada (President of JAEE (at the time)), right: Prof. Sang Whan HAN (14th president of EESK))

5. Concluding remarks

I am pleased to sign the MOU with the JAEE. As Korea and Japan are neighbors, I believe that information related to earthquake engineering from both countries is important to each other. I hope that this MOU will not only be a starting point for information exchange but also for active collaboration in various earthquake engineering fields.

6. Biography of the author

Prof. Sang Whan Han received his Ph.D. from the University of Illinois Urbana-Champaign and has been a professor at Hanyang University since 1997. He served as the 14th President of the Earthquake Engineering Society of Korea. His research focuses on performance evaluation of structures under extreme loads such as earthquakes and development of seismic design methods.

津波荷重評価の体系化の心得を取り纏める研究委員会 活動報告

有川 太郎

●中央大学 教授

1. はじめに

本委員会は、2004年スマトラ沖地震で発生した津波を契機に、津波被害・災害に対する軽減策を検討する委員会として2005年に立ち上がった。以下に示すように、第1期から第6期にわたり、2025年まで20年ほど続いていることになる。

- ▶ 第1期：津波災害の軽減方策に関する研究委員会(2005.8-2008.5、委員長:松富英夫)
- ▶ 第2期：津波災害の実務的な軽減方策に関する研究委員会(2008.6-2011.5、委員長:松富英夫)
- ▶ 第3期：津波対策とその指針に関する研究委員会(2011.6-2014.5、委員長:松富英夫)
- ▶ 第4期：各種構造物の津波荷重の体系化に関する研究委員会(2015.6-2019.5、委員長:有川太郎)
- ▶ 第5期：津波荷重の評価技術と体系化の心得に関する研究委員会(2019.6-2022.5、委員長:有川太郎)
- ▶ 第6期：津波荷重評価の体系化の心得を取り纏める研究委員会(2022.6-2025.9、委員長:有川太郎)

第6期では、取りまとめることを目指す。

表1 研究会メンバ(2025年4月現在)

氏名	所属
有川 太郎(委員長)	中央大学
木原 直人(幹事)	電力中央研究所
浅井 竜也	東京大学
池谷 毅	東京海洋大学
井上 修作	竹中工務店技術研究所
大家 隆行	パシフィックコンサルタンツ
奥田 泰雄	摂南大学
奥野 峻也	構造計画研究所
鳴原 良典(副委員長)	防衛大学
庄司 学	筑波大学
舘野 公一	鹿島建設
中埜 良昭	東京大学
長谷部 雅伸(副委員長)	清水建設
松富 英夫	秋田大学
松川 和人	東京大学
渡部 真史	南洋工科大学

2. 活動内容

第6期の活動内容は以下である。

- ・ 2022年度：17 WCEE (17th World Conference on Earthquake Engineering, 2021年10月2日, <http://www.17wcee.jp/>)において、津波遡上および作用の評価に関するブライントコンテストを開催して、その成果をホームページ上に公開した。

(<https://sites.google.com/view/wcee2019>)

- ・ 2023年度：定例委員会を5月、8月、1月に開催した。8月では、大阪産業大学の水谷夏樹教授に、津波先端、特に壁面との接触時の水理現象について講義をいただいた。また、離島における津波防災は難しいものがあり、毎年離島における津波痕跡に対する巡検を行っているが、2023年度は、2024年1月19日から21日に八丈島へ行った。

- ・ 2024年度：2024年3月14日から16日に奄美大島へ行った。奄美大島では、Imamura et al.(2022)¹⁾が示すとおり、トンガにおける火山性津波により、1mを超える津波を観測している。奄美大島では、避難率は高かったものの、渋滞や要援護者の避難に課題があることもわかっており、その実態を大和村の役場でヒアリングを実施するとともに、津波検潮所などを視察した。そして、2025年7月9日に、後述する第6期のとりまとめた報告会を行う予定である。



図1 奄美大島の名瀬港にて

3. 体系化の心得の取りまとめ

取りまとめていくにあたり、

(1) 津波波力の基礎・歴史・定義WG

鳴原(主査)、奥田(副査)、中埜、庄司、渡部

(2) 津波波力に関するシステムティックレビューWG

大家(主査)、木原(副査)、有川、長谷部、浅井

(3) 津波波力WG

奥野(主査)、池谷(副査)、松富、館野、井上

の3つのWGに分かれて、焦点を絞って議論を行うこととなった。以下では、津波波力の定義について、紹介するが、詳しくは、成果報告会にて行う予定である。

構造物に作用する津波波力と漂流物の荷重は津波荷重と定義され、津波が陸上に遡上し、構造物に到達したときから津波のみが構造物に及ぼす流体力を津波波力と定義されている²⁾。津波による防波堤・護岸に作用する波圧は水谷・今村(2002)³⁾によって、整理されている。津波先端部の碎波もしくはソリトン分裂変形することにより生じる波圧を段波波圧、入射波の連続的な到達により著しい水位上昇が発生する際に生じ、津波の平均的な高さに対応する波圧を重複波圧(持続波圧もしくは遡上波圧)、斜面から戻ってくる波(反射波)と入射波後部が衝突することによって生じる波圧を重複衝突波圧と定義されている。これらの波圧の最大値がそれぞれ、衝撃段波波圧、最大重複波圧、衝撃重複衝突波圧である⁴⁾。

4. 活動報告会

4.1 目的

津波荷重に関する知見を体系的に整理し、今後の評価手法の標準化や指針改訂に向けた議論を深めることを目的とする。特に、津波波力の定義・基礎から最新の評価技術、システムティックレビューに至るまで幅広く取り上げ、分野横断的な知見の共有と今後の課題抽出を目指す。

4.2 報告会の構成

(1) 基調講演

中埜委員、松富委員による津波荷重評価に関する歴史的な経緯や基本的な考え方の整理を行う。

(2) 委員会活動報告

- 津波波力の定義、基礎、歴史についての整理
- 津波荷重評価における現状と課題の提示
- 波力評価研究に関するシステムティックレビュー

(3) パネルディスカッション

- 外部委員による日本建築学会および土木学会における指針改訂・技術資料策定の最新動向の紹介

- 各分野の専門家による、津波荷重の体系化に向け

た課題と展望の議論

4.3 期待される成果

本報告会では、津波荷重に関する定義、基礎、評価手法について、これまでの知見を体系的に整理するとともに、各分野における研究成果や指針策定の最新動向を共有することが期待される。これにより、建築・土木の分野を横断した津波荷重評価の共通認識が形成され、今後の標準化や指針改訂に向けた基礎資料となることを目指す。また、システムティックレビューの結果を踏まえた上で、研究上の課題や今後取り組むべき技術的論点が明確化され、津波荷重評価における学術的・実務的発展の方向性が示される予定である。

さらに、パネルディスカッションを通じて、実務者と研究者の間で課題意識の共有が進み、津波荷重体系化に向けた実効的な議論の端緒となると考える。

4.4 日時・場所・形式

日時は2025年7月9日、場所は東京都内(未定)、形式は、オンラインと対面のハイブリッドとなる。

5. まとめにかえて

コロナ禍後の第6期は、オンライン活動も併用しながら、徐々に対面の活動も増えたことは、成果のとりまとめにも効果的であった。このとりまとめが、今後の津波荷重の考え方の発展に寄与することを期待する。

参考文献

- 1) Imamura, F., Suppasri, A., Arikawa, T. et al.: Preliminary Observations and Impact in Japan of the Tsunami Caused by the Tonga Volcanic Eruption on January 15, 2022, *Pure and Applied Geophysics*, Vol.179, pp.1549–1560, 2022.
<https://doi.org/10.1007/s00024-022-03058-0>
- 2) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説 第10章 津波荷重, 2015.
- 3) 水谷将, 今村文彦：津波段波の衝撃性および越流を考慮した設計外力算定フローの提案, *海岸工学論文集*, Vol.49, pp.731-735, 2002.
- 4) 有川太郎, 池辺将光, 山田文則, 下迫健一郎, 今村文彦：護岸・陸上構造物に対する津波力の大規模実験, *海岸工学論文集*, Vol.52, pp.746-750, 2005.

地震による倒壊家屋からの救助訓練プログラムに関する研究委員会活動終了報告

小山 真紀

●岐阜大学環境社会共生体研究センター 准教授

1. はじめに

我が国で地震による被災家屋からの搜索救助活動を主として担うことになっているのは消防・警察・自衛隊である。しかしながら、実際の地震災害では地域住民によって多数の搜索救助活動が行われていることが確認されている。2024年に発生した令和6年能登半島地震でも、地震によって道路が寸断され、専門の救助部隊が被災地域で活動できるようになるまでには、地域住民による救助活動が行われていた。

このように、実際の現場では、地域住民による救助活動が行われることになる一方で、実効性の高い地域住民向けの搜索救助に関する訓練は殆ど行われていなかった。このような状況を踏まえ、本研究委員会は、消防・警察等の専門部隊向けの救助訓練プログラムに加え、地域住民向けの救助訓練プログラムについても検討、開発を行うことを目的として2021年6月に設置された (<https://www.jaee.gr.jp/research/research18/>)。

2. 委員会活動

本研究委員会では、設置以来、救助訓練プログラム開発に係る研究についての意見交換と実装について、概ね1ヶ月に1回の定例研究会を開催している。これまで32回の研究委員会を開催し、年1回の公開セミナーおよび現地視察を開催し、救助訓練プログラム開発について議論を重ねてきた。また、震災対策技術展の日本地震工学会ブースにおける活動報告ポスター展示も実施している。

令和6年能登半島地震では、道路の寸断に加え、夕方の発災で救助部隊が特に激甚な被害を受けた奥能登地域で救助活動を行うまでに時間がかかったこと、報道などでも住民による救助活動事例が多数報告されていたことなどから、本研究委員会でも、特に住民による救助活動の実態把握とモデル化に関する調査研究が進められた。この間、兵庫県下消防長会救助技術研究会作業部会でも地域住民による救助活動技術について検討が行われており、当時の担当であった明石市消防局の吉岡利征氏と中村昇一氏にも連携メンバーとして研究委員会に参加いただいた。

2024年12月5日には、岐阜で開催された日本地震工学会・年次大会の公開セッションを開催し、これまで

の研究成果と救助訓練の事例報告および住民向け救助訓練のあり方についてパネルディスカッションを行った(図1)。これまでの研究成果として、片寄氏から除雪時間を考慮した住民による救助時間モデルを用いた救助活動シミュレーションの試みに関する報告(図2)と、四井氏から令和6年能登半島地震における地域住民や消防団による搜索救助活動の実態把握に向けた新聞記事調査についての報告(図3)が行われた。活動報告としては、加古氏から熊本県菊陽町で行われた消防団を対象とした倒壊家屋からの救助訓練の事例が報告された(図4)。パネルディスカッションでは、連携メンバーである吉岡氏と中村氏を加えて地域住民による救助訓練プログラムの今後の展開についてディスカッションが行われた(図5)。

日本地震工学会・大会-2024

「地震による倒壊家屋からの救助訓練プログラムに関する研究委員会」公開セッション

日時

2024年12月5日(木) 15:30~17:00

場所

岐阜市文化産業交流センター「じやうろくプラザ」ホール(A会場) ※Zoomによるハイブリッド開催

対象

■対面：日本地震工学会・大会-2024の参加者
■Zoom：災害救助に関係する消防、警察、医療機関、自治体の職員、研究者、防災関連企業・報道関係者など

進行

研究発表①: 15分 研究発表②: 15分 活動報告: 20分 パネルセッション: 40分

概要

研究発表①	除雪時間を考慮した住民による救助時間モデルを用いた救助活動シミュレーションの試み	片寄 圭一郎(岐阜大学 大学院)
研究発表②	令和6年能登半島地震における地域住民や消防団による搜索救助活動の実態把握に向けた新聞記事調査	四井 早紀(東京大学 先端科学技術研究センター 助教)
活動報告	熊本県・菊陽町の消防団による倒壊家屋からの救助訓練(2024/10/5-6)について	加古 嘉信(株式会社減災ソリューションズ代表取締役社長 上武大学 客員教授)
パネルディスカッション	上記の研究発表・活動報告を踏まえてパネル討論を実施	小山 真紀(岐阜大学 高等研究院 環境社会共生体研究センター 准教授)
		阪本 太吾(日本医科大学 助教・医員)
		吉岡 利征(明石市消防局 消防司令長)
		中村 昇一(明石市消防局 消防司令補)

図1 公開セッションプログラム

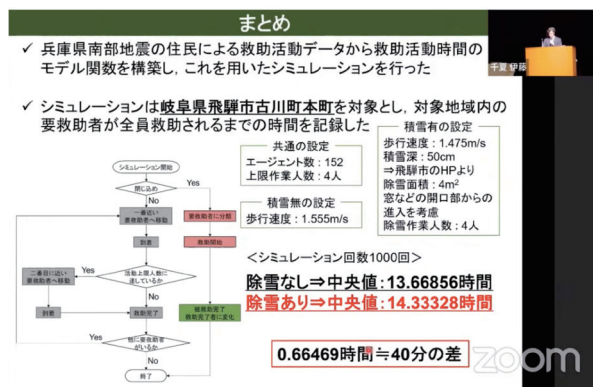


図2 研究報告1

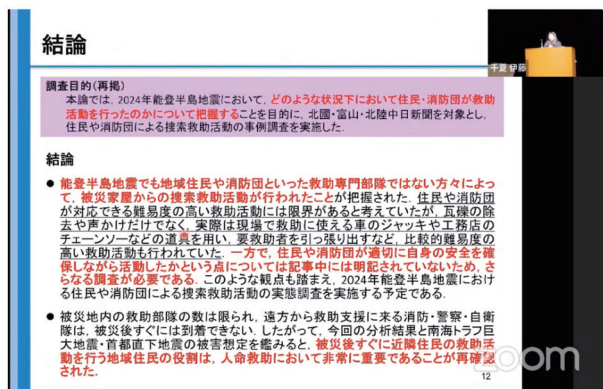


図3 研究報告2



図4 活動報告



図5 パネルディスカッション

なお、本公開セッションの様子はYouTubeで公開しており (<https://youtu.be/CgGiGHZ0yvI>)、興味ある方は参照いただきたい。

3. 活動成果

本研究委員会に関連して、これまで以下の研究発表が行われており、現在、成果を取りまとめた書籍の出版の準備中である。出版予定の書籍では、地震による建物被害の特徴から、消防・警察などの救助訓練プログラム、住民向けのプログラムに関する現状と課題と今後について整理したものになる予定である。本委員

会への支援をいただいた日本地震工学会および関係者の皆様に厚くお礼申し上げます。

本委員会関係の発表論文を以下に掲載します。

- ・吉岡利征・山根寛隆・中村昇一・印南千尋・宮里直也・加古嘉信：兵庫県下消防における震災時の自助・共助・公助に関する指針整備の試み～倒壊木造建物への対応力向上を目指して～、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-01、2023.
- ・中村昇一・吉岡利征・山根寛隆・印南千尋・宮里直也・加古嘉信：地震による倒壊建物内の要救助者の挟圧解除に関する研究－要救助者の下部を破壊する手法の有効性に関する検討－、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-02、2023.
- ・阪本太吾・加古嘉信・中島康・小山真紀・井上潤一・久野将宗・横堀将司：地震で倒壊した建物によって身体が受傷する障害と災害対応訓練における医療と多方面の理解・協働の必要性、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-03、2023.
- ・四井早紀・片寄圭一郎・村上ひとみ・中嶋唯貴・小山真紀：1995年兵庫県南部地震と2016年熊本地震を対象とした救助専門部隊と地域住民との救助活動の比較分析、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-06、2023.
- ・片寄圭一郎・小山真紀・四井早紀・村上ひとみ・中嶋唯貴：阪神・淡路大震災の調査に基づく住民による救助時間モデルの構築、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-07、2023.
- ・伊藤映美・片岡克己・沼田宗純：市民向け救助・救護トレーニングプログラムの開発と効果測定の基礎的検討、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-08、2023.
- ・片寄圭一郎・小山真紀：一般住民を対象とした地震被災家屋からの救出訓練の実施に関する調査、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-09、2023.
- ・印南千尋・宮里直也・岡田章・廣石秀造・鴛海昂・加古嘉信・吉岡利征：一般住民を対象とした地震被災家屋からの救出訓練の実施に関する調査、第16回日本地震工学シンポジウム、G414-10、2023.
- ・片寄圭一郎・小山真紀・四井早紀・村上ひとみ・中嶋唯貴：除雪時間を考慮した住民による救助時間モデルを用いた救助活動シミュレーションモデルの構築、日本地震工学会・年次大会2024、2024.
- ・四井早紀・小山真紀・加古嘉信・阪本太吾：令和6年能登半島地震における地域住民や消防団による捜索救助活動の実態把握に向けた新聞記事調査、日本地震工学会・年次大会2024、2024.



行 事

本会主催・共催による行事

2024年4月1日～2025年3月31日

日 程	行事名	
2024年5月16日	地震工学分野における DX に関する講習会・研究会	主催
2024年9月3日(火)～6日(金)	第67回理論応用力学講演会	共催
2024年11月20日	E-ディフェンス「大規模空間建物のダメージ評価に関する実験 見学会」	主催
2024年11月25日	日本地震学会「強震動予測－その基礎と応用」第23回講習会	共催
2024年12月4日～5日	日本地震工学会・大会-2024	主催
2025年1月17日、20日	横浜市立横浜サイエンスフロンティア高等学校 SLI「地震のサイエンス 2 週目」	主催
2025年1月24日	講演会「阪神・淡路大震災から30年-地震工学の再定義と今後のアジェンダ-」	主催
2025年2月7日	第15回震災予防講演会「直下地震と地震防災の再考-阪神・淡路大震災から30年を踏まえて-」	主催

後援・協賛による行事

2024年4月1日～

2024年5月26日～5月31日	日本地球惑星科学連合2024年大会	協賛
2024年6月26日～6月28日	安全工学シンポジウム2024	協賛
2024年8月5日～8日	第17回「運動と振動の制御」国際会議(MoViC2024)&第20回アジア太平洋振動会議(APVC2024)	協賛
2024年6月28日	講習会「建物と地盤の動的相互作用の現象と解析」	後援
2024年8月17日～9月8日	第12回首都防災ウィーク	後援
2024年8月24日	日本原子力学会シンポジウム 第8回：東京電力福島第一原子力発電所の廃炉「1F廃炉で発生する除染・解体物の取り扱いを考える」	協賛
2024年9月10日、11日、17日、18日	計算力学の基礎～有限要素解析の論理的把握がもたらす製品信頼性向上～	後援
2024年9月10日～11日	第44回地震工学研究発表会	後援
2024年10月24日	液状化解析の専門技術講習会	後援
2024年11月20日～21日	先進建設・防災・減災技術フェアin熊本2024	後援
2024年11月28日・29日	第12回中部ライフガードTEC2024～防災・減災・危機管理展～	協賛
2025年1月15日	地震防災フォーラム2024	協賛
2025年1月17日	液状化に関する各種基準・指針の現状の講習会	後援
2025年2月6日-7日	「震災対策技術展」横浜	後援



会員・役員の状況

(1) 会員数 (2025 年 5 月 25 日現在)

名誉会員	42
正会員	942
学生会員	52
法人会員	103

新入会者 (2024 年 6 月 17 日～ 2025 年 5 月 21 日までに承認の方)

正会員：

岩坪 要	熊本高等専門学校
青木 雅嗣	大成建設株式会社
鳴原 良典	防衛大学校
大和 征良	国立高等専門学校機構
宮永隼太郎	大成建設株式会社
小松 真吾	島根大学
畑中 祐紀	大阪大学
東城 峻樹	株式会社竹中工務店
明橋 弘樹	株式会社竹中工務店
堀中 敏弘	国際航業株式会社
高橋 祐貴	東京理科大学
道上 雅史	川崎重工業株式会社
鴨下 直登	株式会社竹中工務店
小島 貴之	日本工営株式会社
村上ひとみ	山口大学
本田 栞	株式会社竹中工務店
時実 良典	応用地質株式会社
吉田 邦一	福井大学
崎山 夏彦	東京理科大学
田中 駿	中央開発株式会社関東支店
諸井 優太	東京ガスネットワーク株式会社
坂本 昭夫	一般財団法人産業施設防災技術調査会
貴堂 峻至	清水建設株式会社
中溝 大機	早稲田大学
八木 尊慈	株式会社構造計画研究所
岡田 由佳	株式会社ミサワホーム総合研究所
脇田 健裕	早稲田大学
黒澤 未来	東京科学大学
倉田 悠暉	株式会社構造計画研究所
松尾 勇二	株式会社ミエルカ防災
菅原 法城	港湾空港技術研究所
KÖKSAL OLGUN	Kavak
仲村 崇仁	安藤ハザマ
染井 一寛	株式会社大崎総合研究所
齋藤 湊太	大成建設株式会社
伊東 亮	東芝エネルギーシステムズ株式会社
高宮 直人	北電総合設計株式会社

学生会員：

陸 蒼洋	東京理科大学
高橋 辰弥	東北工業大学
韓 兆煦	東京理科大学
修 庾迪	東京理科大学
吉野 将生	九州大学
柏原 優大	東京電機大学
笠原 誠矢	東京電機大学
五十嵐優奈	明治大学
藤田 康介	東京科学大学
古賀 優志	東京理科大学
森宗 孝明	明治大学
Munoz Andre	東京大学
大畑 洋太	東京大学生産技術研究所
千葉 莊輝	慶應義塾大学大学院
Inocente Italo	千葉大学

(2) 名誉会員 (2025 年 5 月 25 日現在) 五十音順

青山 博之	飯場 正紀	家村 浩和	石原 研而	和泉 正哲	井上 範夫	入倉孝次郎
大町 達夫	岡田 恒男	小谷 俊介	片山 恒雄	壁谷澤寿海	川島 一彦	河村 壮一
北川 良和	北村 春幸	工藤 一嘉	國生 剛治	後藤 洋三	小長井一男	坂本 功
笹谷 努	柴田 明德	鈴木 浩平	鈴木 祥之	高田 至郎	武村 雅之	東畑 郁生
當麻 純一	土岐 憲三	伯野 元彦	濱田 政則	原 文雄	平田 和太	翠川 三郎
源栄 正人	安田 進	山崎 文雄	吉田 望	吉見 吉昭	芳村 学	若松加寿江
和田 章	渡辺 孝英					

(3) 法人会員 (2025 年 5 月 25 日現在) ご入会順

【特級】	東京ガスネットワーク株式会社	株式会社構造計画研究所
大成建設株式会社	株式会社 I H I	北海道電力株式会社
清水建設株式会社	株式会社 エイト日本技術開発	公益社団法人日本水道協会
鹿島建設株式会社	日本工営株式会社	株式会社三菱地所設計
【A級】	株式会社長谷工コーポレーション	株式会社 N T T ファシリティーズ
一般社団法人日本建築学会	大阪ガスネットワーク株式会社	株式会社 安藤・間
株式会社 熊谷組	株式会社 勝島製作所	日本原燃株式会社
株式会社 フジタ	【C級】	株式会社 アーク情報システム
株式会社 大林組	五洋建設株式会社	サンシステムサプライ株式会社
株式会社 竹中工務店	一般社団法人 静岡県建築士事務所協会	株式会社 日本構造橋梁研究所
戸田建設株式会社	一般財団法人 日本建築設備・昇降機センター	株式会社 クボタケミックス
電源開発株式会社	東洋建設株式会社	株式会社 東京測振
東日本高速道路株式会社	一般社団法人 日本建築構造技術者協会	大阪ガス株式会社
エグジビション テクノロジーズ株式会社	東急建設株式会社	株式会社 ブリヂストーン
公益財団法人 鉄道総合技術研究所	一般社団法人 構造調査コンサルティング協会	西日本旅客鉄道株式会社
大日本ダイヤコンサルタント株式会社	中部電力株式会社	株式会社 小堀鐸二研究所
【B級】	日本原子力発電株式会社	オイレス工業株式会社
一般財団法人 日本建築防災協会	一般財団法人 国土技術研究センター	株式会社 オリエンタルコンサルタンツ
東京鉄鋼株式会社	東邦ガスネットワーク株式会社	西部ガス株式会社
国立研究開発法人 防災科学技術研究所	一般財団法人 電力中央研究所	京葉ガス株式会社
東亜建設工業株式会社	一般財団法人 GRI 財団	三谷セキサン株式会社
株式会社 ニュージェック	基礎地盤コンサルタンツ株式会社	みらい建設工業株式会社
飛鳥建設株式会社	株式会社 システムアンドデータリサーチ	配水用ポリエチレンパイプシステム協会
東京電力ホールディングス株式会社	一般財団法人 日本建築総合試験所	株式会社 不動テトラ
株式会社 建設技術研究所大阪本社	株式会社 福田組	S W C C 株式会社
国土交通省 国土技術政策総合研究所	株式会社 安井建築設計事務所	株式会社 ミエルカ防災
中央復建コンサルタンツ株式会社	伊藤忠テクノソリューションズ株式会社	株式会社 四国総合研究所
東電設計株式会社	株式会社 日建設計	株式会社 浅沼組
株式会社 長大	株式会社 篠塚研究所	西日本技術開発株式会社
危険物保安技術協会	国立研究開発法人 海上・港湾・航空技術研究所 港湾空港技術研究所	株式会社 オルテック
株式会社 東京建築研究所	株式会社 阪神コンサルタンツ	株式会社 フソウ
損害保険料率算出機構	一般社団法人 日本ガス協会	株式会社 塚本
九州電力株式会社	一般社団法人 日本免震構造協会	一般財団法人 漁港漁場漁村総合研究所
東日本旅客鉄道株式会社	北陸電力株式会社	一般財団法人 徳和次世代研究所
白山工業株式会社	株式会社 大崎総合研究所	株式会社 防災ログ
中国電力株式会社	東北電力株式会社	

(4) 2025 年度 役員一覧

会長	※山中 浩明	東京科学大学
副会長	大堀 道広	滋賀県立大学
副会長	※高井 伸雄	北海道大学
副会長	※片岡正次郎	土木研究所
理事(総務)	本多 剛	竹中工務店
理事(総務・会員)	※引田 智樹	鹿島建設
理事(会計・会員)	渡邊 和明	大成建設
理事(会計)	※西田 明美	日本原子力研究開発機構
理事(情報/広報)	隈本 邦彦	江戸川大学
理事(情報/IC)	上田 遼	ソフトバンク
理事(情報/会誌)	※浅井 竜也	東京大学生産技術研究所
理事(学術・調査研究/国際)	※石川 敬祐	東京電機大学
理事(学術・調査研究/論文)	※楢田 泰子	神戸大学
理事(事業/大会)	丸山 喜久	千葉大学
理事(事業/大会)	※岩田 直泰	鉄道総合技術研究所
理事(事業/企画・調査研究)	上田 恭平	京都大学
理事(事業/企画)	※王 欣	足利大学
理事(地震災害対応)	吉見 雅行	産業技術総合研究所
理事(17JEES運営)	※後藤 浩之	京都大学
監事	※小檜山雅之	慶應義塾大学
監事	※古屋 治	東京電機大学

無印：就任 令和6年5月21日

※：就任 令和7年5月21日

(5) 2025 年度 委員会 及び 研究委員会

将来構想委員会	委員長 大堀 道広	副会長・滋賀県立大学
地震災害対応委員会	委員長 吉見 雅行	理事・産業技術総合研究所
地震被害調査関連学会連絡会	委員長 吉見 雅行	理事・産業技術総合研究所
情報コミュニケーション委員会	委員長 上田 遼	理事・ソフトバンク
会誌編集委員会	委員長 浅井 竜也	理事・東京大学生産技術研究所
国際委員会	委員長 石川 敬祐	理事・東京電機大学
I A E E 事務局支援委員会	委員長 石川 敬祐	理事・東京電機大学
大会実行委員会	委員長 丸山 喜久	理事・千葉大学
17JEES 運営委員会	委員長 庄司 学	理事・筑波大学
研究統括委員会	委員長 片岡正次郎	副会長・土木研究所
・津波荷重評価の体系化の心得を取り纏める研究委員会	委員長 有川 太郎	中央大学
・地形を考慮した地震動特性に関する研究	委員長 津野 靖士	東京科学大学
論文集編集委員会	委員長 楢田 泰子	理事・神戸大学
特集号「第 16 回日本地震工学シンポジウム」	委員長 永野 正行	東京理科大学
OS9：特集号「災害対応訓練のあり方に関する検討」	委員長 小山 真紀	岐阜大学
事業企画委員会	委員長 上田 恭平	理事・京都大学
功績賞選考委員会	委員長 山中 浩明	会長・東京科学大学
功労賞選考委員会	委員長 山中 浩明	会長・東京科学大学
論文賞選考委員会	委員長 片岡正次郎	副会長・土木研究所
論文奨励賞選考委員会	委員長 楢田 泰子	理事・神戸大学
優秀発表賞選考委員会	委員長 丸山 喜久	理事・千葉大学
名誉会員選考委員会	委員長 山中 浩明	会長・東京科学大学
選挙管理委員会	委員長 渡邊 和明	理事・大成建設
役員候補者推薦委員会	委員長 皆川 佳祐	埼玉工業大学



出版物在庫状況

刊行図書

2025.05.14現在

刊行日	題名	在庫	頒布価格（税込み）		
			会 員	非会員	学生会員
2006.06.20	性能規定型耐震設計現状と課題（性能規定型耐震設計研究委員会編 / 鹿島出版会）	○	¥3,520	¥3,520	¥3,520
2014.03.01	東日本大震災合同調査報告 共通編 1 地震・地震動（日本地震工学会発行 / 丸善出版発売）	○	¥6,600	¥8,800	¥6,600
2015.01.15	東日本大震災合同調査報告 原子力編（日本地震工学会発行 / 丸善出版発売）	○	¥7,700	¥9,900	¥7,700

資料集・報告書

2001.05.29	エルサルバドル地震・インド西部地震講演会	△	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2003.01.31	第7回震災対策技術展「地震調査研究の地震防災への活用」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2003.02.07	第7回震災対策技術展 「第2回国土セーフティネットシンポジウム・広域・高密度リアルタイム地震ネット構築へ向けて」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2005.04.04	2004年12月26日スマトラ島沖地震報告会梗概集	△	¥1,000	¥1,500	¥1,000
2007.03.01	地震工学系実験施設の現状と課題 平成18年度報告書	○	¥3,000	¥4,000	¥2,000
2007.11.20	実例で示す木造建物の耐震補強と維持管理	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2008.04.11	セミナー強震動予測レシビ「新潟県中越沖地震や能登半島地震などに学ぶ」資料	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2008.04.22	セミナー地震発生確率・理論から実践まで	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2008.05.31	津波災害の軽減方策に関する研究委員会報告書（平成20年5月）	△	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2009.02.23	セミナー（第2回）「実務で使う地盤の地震応答解析」資料	△	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2009.04.14	セミナー－構造物の地震リスクマネジメント－	△	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2011.10.21	講演会「東日本大震災の津波被害の教訓」	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2011.12.14	「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」報告書	○	¥8,000	¥10,000	¥8,000
2012.03.04	One Year after the 2011 Great East Japan Earthquake	○	¥3,000	¥3,000	¥1,500
2012.11.08	Proceedings of the first International Symposium on Earthquake Engineering	○	¥6,000	¥10,000	¥6,000
2013.01.24	東日本大震災と南海トラフの巨大地震	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2013.02.15	東北地方太平洋沖地震の地震動と地盤に関する国内ワークショップ	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2013.10.23	システム性能を考慮した産業施設諸機能の耐震性評価研究委員会報告書	○	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2014.03.20	原子力安全のための耐津波工学に関するシンポジウム	△	¥3,000	¥4,000	¥2,000
2014.07.31	津波対策とその指針に関する研究委員会報告書	△	¥5,000	¥7,000	¥3,000
2015.03.31	原子力安全のための耐津波工学－地震・津波防御の総合技術体系を目指して－	○	¥10,000	¥12,000	¥10,000
2015.05.15	2014年長野県北部の地震に関する調査団報告	○	¥3,000	¥5,000	¥1,500
2016.03.31	「首都圏における地震・水害等による複合災害への対応に関する委員会」最終報告書	○	¥3,000	¥5,000	¥1,500
2016.03.31	津波などの突発大災害からの避難の課題と対策に関する研究委員会報告書	○	¥3,000	¥5,000	¥1,500
2017.02.03	第7回震災予防講演会「熊本地震に学ぶ首都圏の地震防災」	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2017.03.07	システム性能を考慮した産業施設諸機能の耐震性評価（Phase2）研究委員会報告書	○	¥3,000	¥4,000	¥1,000
2017.11.11	「強震動評価の為に表層地盤モデル化手法」講演会	○	¥7,000	¥10,000	¥3,000
2018.02.09	第8回震災予防講演会過去の大震災の復興から学ぶ地震防災	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2018.03.19	シンポジウム南海トラフ巨大地震の広域被災に備える減災活動の現状と将来	○	¥5,000	¥7,000	¥2,000
2018.03.30	地域の災害レジリエンス評価に関する研究最終報告書	○	¥3,000	¥4,000	¥1,000
2019.02.08	第9回震災予防講演会 近年の豪雨災害の教訓と震災予防	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2019.02.22	各種構造物の津波荷重の体系化に関する研究委員会	△	¥2,000	¥3,000	¥1,000
2019.03.04	シンポジウム 現代都市の複合システムにおける性能設計と耐震性能評価	○	¥5,000	¥7,000	¥2,000
2019.06.27	日本地震工学会セミナー「実務で使う地盤の地震応答解析」	○	¥8,000	¥12,000	¥2,000
2019.09.30	原子力発電所の地震安全の原則～地震安全の基本的な考え方とその実践による継続的安全性向上～	△	¥5,000	¥7,000	¥3,000
2019.10.21	平成28年（2016年）熊本地震とESG研究シンポジウム資料	△	¥6,000	¥9,000	¥3,000
2020.02.07	第10回震災予防講演会 直下地震と地震防災	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2021.03.18	第11回震災予防講演会 生誕150周年記念 今村明恒と関東大震災－震災予防講演会40回のルーツ－	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2022.02.04	第12回震災予防講演会 首都直下地震と都市防災－	○	¥1,000	¥1,000	¥1,000
2022.3.31	ESG研究会「ESG6の国際ブラインド予測結果からESG研究の将来を考える」	○	¥5,000	¥8,000	¥1,000
2023.3.17	日本地震工学会・地中構造物に作用する地盤反力に関する研究委員会報告会（琉球大学）	○	¥5,000	¥5,000	¥5,000

○在庫あり △在庫僅か

送料は別途実費でいただきます。

定期刊行物

2010.11.17	第13回日本地震工学シンポジウム（DVD版）	○	¥5,000	¥10,000	¥3,000
2014.12.06	第14回日本地震工学シンポジウム（DVD版）	○	¥5,000	¥10,000	¥3,000
2018.12.06	第15回日本地震工学シンポジウム（USB版）	○	¥5,000	¥10,000	¥3,000
2024.01.22	第16回日本地震工学シンポジウム（DVD版）	○	¥5,000	¥10,000	¥3,000
2005.01.11	日本地震工学会大会-2004 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2005.11.21	日本地震工学会大会-2005 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2007.11.13	日本地震工学会大会-2007 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2008.11.03	日本地震工学会大会-2008 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2009.11.12	日本地震工学会大会-2009 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2011.11.10	日本地震工学会大会-2011 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2012.12.01	日本地震工学会大会-2012 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2013.11.12	日本地震工学会大会-2013 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2015.11.19	日本地震工学会大会-2015 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2017.11.13	日本地震工学会大会-2017 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2019.09.19	日本地震工学会大会-2019 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2020.12.02	日本地震工学会大会-2020 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2021.11.30	日本地震工学会大会-2021 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2022.12.15	日本地震工学会大会-2022 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2024.12.04	日本地震工学会大会-2024 梗概集	○	¥5,000	¥10,000	¥2,000
2024.06.30	日本地震工学会誌No. 52 特集：令和6年能登半島地震	○	¥2,000	¥3,000	¥2,000
2024.10.31	日本地震工学会誌No. 53 特集：予防・初動・応急段階から眺めた令和6年能登半島地震	○	¥2,000	¥3,000	¥2,000
2025.02.28	日本地震工学会誌No. 54 特集：関東大震災から100年を経て考える、これからの地震工学・地震防災	○	¥2,000	¥3,000	¥2,000

○在庫あり △在庫僅か

送料は別途実費でいただきます。

強震記録データ

2025.05.14現在

題名	在庫	頒布価格(税込み)			
		会員 /学生会員	法人会員	非会員 (個人)	非会員 (法人)
東京電力(株)柏崎刈羽原子力発電所における強震データ全地点全記録等<改訂版>	○	¥6,000	¥14,000	¥10,000	¥22,000
中部電力(株)浜岡原子力発電所における「2009年8月11日駿河湾の地震」の観測記録	○	¥3,000	¥6,000	¥5,000	¥10,000
東京電力(株)福島第一原子力発電所および福島第二原子力発電所において観測された平成23年3月11日東北地方太平洋沖地震の本震記録<改訂版>	○	¥5,000	¥10,000	¥10,000	¥20,000
東北電力(株)女川原子力発電所における「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の加速度時刻歴波形データ	○	¥5,000	¥10,000	¥10,000	¥20,000
東北電力(株)女川原子力発電所における「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の余震等の加速度時刻歴波形データ<追加>	○	¥5,000	¥10,000	¥10,000	¥20,000
日本原子力発電(株)東海第二発電所における「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の加速度時刻歴波形データ」(CD-ROM)	○	¥5,000	¥10,000	¥10,000	¥20,000
「南関東・福島県太平洋沿岸における岩盤の鉛直アレー観測網 「平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震」の本震・余震等の加速度時刻歴波形データ」	○	¥5,000	¥10,000	¥10,000	¥20,000
北陸電力(株)志賀原子力発電所における「令和6年1月1日(2024年)に発生した能登半島地震」の観測記録(CD-ROM)	○	¥5,000	¥10,000	¥10,000	¥20,000
兵庫県南部地震における強震記録データベース	○	●大学等公共機関 ¥40,000 ●民間機関 ¥80,000			

お知らせ

■ 本学会に関する詳細はWeb上で

日本地震工学会とは

日本地震工学会は、建築、土木、地盤、地震、機械等の個別分野ではなく、地震工学としてまとまった活動を行うための学会として2001年1月1日に発足しました。その目的は、地震工学の進歩および地震防災事業の発展を支援し、もって学術文化と技術の進歩と地震災害の防止と軽減に寄与することにあります。

ぜひ、皆様も会員に

本会では、これまでに耐震工学に関わってきた人々は勿論のこと、行政や公益事業に関わる人々、あるいは地域計画や心理学などの人文・社会科学に関する研究者、さらには医療関係者など、地震による災害に関わりのある分野の方々を対象とし、会員（正会員、学生会員、法人会員）を募集しています。本会の会員になることで、各種学会活動、日本地震工学会「JAEE NEWS」のメール配信、地震工学論文集への投稿・発表・ホームページ上での閲覧、講習会等の会員割引など、多くの特典があります。ぜひ皆様も会員に、ホームページからお申込みください。

「学会の動き」欄は、下記のホームページでご覧いただくことにしました。

日本地震工学会の会則、学会組織、役員、行事、委員会活動、出版物の在庫案内など最近の活動状況などの詳しい情報はホームページをご覧ください。ホームページには、学会の情報の他に、最新の地震情報、日本地震工学会論文集など多くの情報が掲載されています。ぜひご活用ください。

入会方法や入会後の会員情報変更の詳細は本会ホームページ中の「会員・各賞受賞者」の下の「入会案内」、「変更・退会手続」に記載されています。

日本地震工学会ホームページ <https://www.jaee.gr.jp/jp/>

■ 会誌への原稿投稿のお願い

日本地震工学会会誌では、「地域での地震防災に関する話題」、「地震工学に関連した各種学術会議・国際学会等への参加報告」、「興味深い実験や技術の紹介」、「当学会や会誌への要望や意見」等に関して、皆様からの原稿を募集しております。なお、投稿原稿は原則として未発表のものに限ります。また、「速報性を重視する内容（原則として年3回の発行であるため）」、「ごく限られた会員のみに関係する内容」、「特定の商品等の宣伝色が濃いもの」はご遠慮下さい。

投稿内容、投稿資格、原稿の書き方・提出方法等の詳細は、本会ホームページ中の「投稿・応募ページ」よりご確認ください。

日本地震工学会ホームページ 投稿・応募ページ <https://www.jaee.gr.jp/jp/contribution/>

■ 登録メールアドレスご確認のお願い

当学会では、会員の皆様のお役に立つ会員限定のニュースやセミナー情報をメールにて配信させていただいておりますが、メールが届かず戻ってしてしまうケースが散見されます。メールアドレスを変更された方、あるいは、このところ弊学会から1通もメールが届いていないという会員の方は、以下の方法で会員登録情報をご変更いただくか、事務局までご連絡いただきますようお願い申し上げます。

【会員登録情報のご変更方法】

日本地震工学会のWEBサイト (<https://www.jaee.gr.jp/>) の「会員ログイン」より、会員番号とパスワード（7桁例：0000001）を入力してログインし、「登録情報の変更」を選択して登録情報をご変更ください。尚、会員番号またはパスワードがご不明な方は事務局までお問い合わせください。

■ ご寄附のお願い

日本地震工学会は、地震工学及び地震防災に関する学術・技術・教育の進歩発展をはかり、地震災害の軽減に貢献することを目的に、全ての事業を公益活動として推進しております。

2013年5月に「公益社団法人」格を取得し本会が「公益社団法人」として認められたことから、皆様方からの学会への御寄附に対して税制上の優遇措置が認められることとなりました。

本会が公益活動をさらに強化し、社会貢献活動を行っていくためには、財政強化が不可欠であり多くの方々のご寄附が必要です。是非とも皆様からのご支援をお願い申し上げます。

ご寄附をいただける方は、WEBサイト「公益社団法人 日本地震工学会 寄附のお願い」(<https://www.jaee.gr.jp/donation/>) をご参照のうえ、お申込みいただきますようお願いいたします。

(連絡先)

公益社団法人 日本地震工学会事務局

TEL：03-5730-2831 E-MAIL：office@general.jaee.gr.jp

■ 問い合わせ先

不明な点は、氏名・連絡先を明記の上、下記までお問い合わせ下さい。

日本地震工学会 事務局 〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL：03-5730-2831 FAX：03-5730-2830 電子メールアドレス：office@general.jaee.gr.jp



JAEE Newsletter 第14巻 第2号 (通算第42号) が 2025年8月下旬に発刊されます。

8月発刊の第14巻 第2号では日本地震工学会各賞、新設された大崎順彦賞の受賞者のコメントを特集するとともに、研究機関における研究者の方々の座談会を通じて若手の研究と抱負を取り上げる予定です。

JAEE Newsletter は、日本地震工学会誌を補完し、タイムリーに情報発信する目的で2012年9月に創刊されました。2015年より、会誌と連携した情報発信を行うため、会誌と交互となる4月、8月、12月に学会のWebサイト上で発行しています。地震工学に興味を持つ一般の読者も意識したわかりやすい記事を通じて、地震工学と地震防災の一層の普及・発展を目指しています。

JAEE Newsletterについては以下のサイトで掲載しております。

<https://www.jaee.gr.jp/jp/stack/1925-2/>

最新号 (第14巻 第1号) では、「特集／防災のメディアと”共育”」と題して防災教育に関わる絵本、小説などの多様なメディアの取組、その制作過程での制作者の想いと社会における協働を取材し掲載しております。

オンライン媒体による情報発信で、どなたでも閲覧できますので、ぜひご覧ください。

編集後記：

今号では地震工学とデータサイエンスの融合について特集しましたが、改めてデータサイエンス分野の発展の目覚ましさと、地震動評価からハードとソフト両面の防災・減災対策まで地震工学の幅広い問題へ様々なアプローチによる応用が可能であることを改めて実感しました。日々新技術が開発される中、常に知識をアップデートしつつ、どう実問題に落とし込んでいくかを考えていかなければならないと再認識しました。

北原 優（北海道大学大学院）

地震工学において、過去の地震被害の記録や現在進行形で蓄積されている計測データを活用し、今後の被害を最小化するためには、地震工学とデータサイエンスの融合が求められています。2021年2月の特集時点と比較して、AIや機械学習に対する知見が一般にも浸透してきた現状を踏まえ、具体的な実用例を中心に特集記事を選定しました。本特集が地震工学におけるデータサイエンスのさらなる発展に貢献できることを願っています。

執筆者の皆様には、快く原稿執筆をお引き受けいただき、心より感謝申し上げます。また、執筆者との連絡、原稿の編集、校正にご協力いただきました会誌編集委員の皆様、関係者の皆様にも感謝いたします。

仁田脇 雅史（清水建設）

会誌編集委員会

委員長 皆川 佳祐 埼玉工業大学
幹事 北原 優 北海道大学大学院
幹事 仁田脇雅史 清水建設

委員	浅井 竜也	東京大学生産技術研究所
委員	入江さやか	松本大学
委員	大豊 晃祥	IHI
委員	久保 久彦	防災科学技術研究所
委員	小阪 宏之	戸田建設
委員	杉山 充樹	大林組
委員	田附 遼太	長谷工コーポレーション
委員	土井 達也	鉄道総合技術研究所
委員	鍋島 国彦	神戸大学大学院
委員	吉田 祐一	消防研究センター
委員	渡井 一樹	竹中工務店

日本地震工学会誌 第55号 Bulletin of JAEE No.55

2025年6月30日発行（年3回発行）

編集・発行 公益社団法人 日本地震工学会

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

TEL 03-5730-2831 FAX 03-5730-2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2025

本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。

Printed in Japan

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.55

Jun.2025「年3回発行」

公益社団法人 日本地震工学会

Japan Association for Earthquake Engineering

〒108-0014 東京都港区芝5-26-20 建築会館

Tel:03-5730-2831 Fax:03-5730-2830

©Japan Association for Earthquake Engineering 2025

本誌に掲載されたすべての記事内容は、日本地震工学会の許可なく転載・複写することはできません。

Printed in Japan