

日本地震工学会誌

Bulletin of JAEE

No.44

Oct.2021

特 集：日本地震工学会の研究委員会の活動
～東日本大震災以降の展開～



<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44号 2021年10月)

Bulletin of JAEE (No.44 Oct.2021)

INDEX

巻頭言：

特集について／鳥澤 一晃	1
--------------------	---

特集：「日本地震工学会の研究委員会の活動 ～東日本大震災以降の展開～」

ESG研究委員会におけるこの10年／佐藤 浩章、松島 信一、津野 靖士	2
11年間の学会連携活動から辿り着いたところ／高田 毅士	6
津波等の突発大災害からの避難における諸課題に対する 工学的検討手法およびその活用に関する研究委員会の活動／有川 太郎	12
津波対策とその指針に関する研究委員会の活動／有川 太郎、松富 英夫	16
地域の災害レジリエンス評価に関する研究／蛭間 芳樹、白井 瞭、梅山 吾郎	20
ライフラインのGISデータ構築とその利活用／楢田 泰子	24

創立20周年記念事業の紹介：

日本地震工学会創立20周年記念式典参加報告／鳥澤 一晃、木下 貴博、大野 卓志	28
「日本地震工学会2011-2020年の記録」の紹介／秋山 充良	33

学会ニュース：

オンライン講習会報告 機械学習・深層学習のプログラミング講習と地震工学での事例紹介／丸山 喜久	35
--	----

お知らせ：

お知らせ	37
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 ／JAEE Newsletter 第10巻 第3号 (通算第31号) が2021年12月下旬に発刊されます／ご寄附のお願い ／問い合わせ先	

編集後記

特集について

鳥澤 一晃

●会誌編集委員会 委員長／関東学院大学 准教授

今年5月より永野正行先生(東京理科大学)から会誌編集委員会の委員長を引継ぎました。日本地震工学会は、地震・地盤・土木・建築・機械・情報など幅広い分野の研究者・技術者が所属する学会であり、会誌はそれらの会員に対して、地震工学に関するタイムリーな話題や最新の技術動向などを伝える専門誌です。各分野での関心事はそれぞれ多岐に渡るものと思いますが、分野横断的な観点から特集を企画し、その情報を広く伝えることで、本誌が分野間の連携や融合などを促進するきっかけの一つになれば、と考えています。委員会メンバーもさまざまな分野から参加しており、そこでの議論を通じて、より多くの会員の方に読んでいただける会誌を目指していきたいと思っています。

さて、今年は東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)から10年、熊本地震から5年の節目に当たる年です。それらの地震が発生した時期を中心に、テレビでは震災からの教訓を振り返る特番が報道され、いくつかの学協会では震災をテーマにした講演会などの情報発信が活発に行なわれました。地震工学に係わる重要なトピックですので、本誌での特集についても早くから検討は始めていましたが、実は少し難航しました。前述のように、本学会は幅広い分野の会員を擁するため、それぞれ個別分野の学会に所属している方も多くいます。他の学協会と同じような内容で面白いものができるのか、また震災に絡めて本学会が発信すべき情報は何か、といったことが議論になりました。その途中には、震災に特化した特集を組む必要はないのでは、という意見も出ました。最終的に会誌編集委員会が着地点として見つけたのが、今回の特集テーマです。東日本大震災以降の10年間で学会として独自に取り組んできた研究委員会の活動を一度振り返ることにより、震災の教訓を踏まえた調査・研究成果やその後の進展について、さまざまな分野の会員で共有することは非常に有意義と考えました。また、今年は学会創立20周年という記念の区切りでもあり、その意味でもふさわしいテーマとして決めました。

特集では、それぞれの研究委員会で委員長や幹事を務められた方や実質的に中心的な役割を担われた方に執筆いただきました。研究委員会の活動により知見として何を得られたのか、また課題として何が浮き彫り

になったのか、そして委員会活動後はどのような展開があったかなどを紹介いただきます。さらに、可能な範囲で、地震から数年経過した今だから分かること(言えること)についても触れていただいています。

佐藤浩章氏(電力中央研究所)、松島信一先生(京都大学防災研究所)、津野靖士氏(鉄道総合技術研究所)には、日本が古くから取り組む、表層地質が地震動に及ぼす影響に関する研究での一連の研究委員会活動について、この10年を振り返っていただきます。高田毅士先生(日本原子力研究開発機構)には、2007年新潟県中越沖地震を契機とした日本原子力学会との連携による原子力発電所の地震安全に係る調査委員会の成果と展望をまとめていただきます。有川太郎先生(中央大学)には、津波避難の工学的検討として避難シミュレーションに関する研究委員会成果を紹介いただきます。さらに、有川太郎先生(前掲)と松富英夫先生(中央大学)には、2004年スマトラ沖地震を契機とした津波被害軽減に関する一連の研究委員会活動を、東日本大震災以降の動向とともに紹介いただきます。蛭間芳樹氏(日本政策投資銀行)、臼井瞭氏(日本経済研究所)、梅山吾郎氏(SOMPOリスクマネジメント)には、政策・金融の観点による地域の災害レジリエンス評価に関する研究委員会の成果を紹介いただきます。そして、鉢田泰子先生(神戸大学)には、東日本大震災におけるライフライン被害データの収集・構築に係る研究委員会での活動を振り返っていただきます。

寄稿いただいた記事はいずれもこの10年間(場合によっては、それ以前を含むより長い期間)での委員会活動が丹念にまとめられており、中には当時の苦労や葛藤などが滲み出ているものもあります。ぜひご一読いただき、本学会の研究委員会が果たしてきた地震工学への貢献を改めて認識し、さらに次の10年へ向けた研究の展望に思いを馳せていただければ幸いです。



鳥澤 一晃(とりさわ かずあき)

1998年横浜国立大学大学院工学研究科修了。鹿島建設株式会社技術研究所上席研究員を経て、2018年より現職。博士(工学)。専門分野：地震リスク評価

ESG研究委員会におけるこの10年

佐藤 浩章

●電力中央研究所 研究推進マネージャー・上席研究員

／松島 信一

●京都大学 防災研究所 教授

／津野 靖士

●鉄道総合技術研究所 主任研究員

1. はじめに

日本地震工学会における表層地質が地震動に及ぼす影響 (Effects of Surface Geology on Seismic Motions: 略称 ESG) に関する研究活動は、平成23年 (2011年) 東北地方太平洋沖地震 (以下、東北地方太平洋沖地震) の当時、「地盤情報データベースを用いた表層地質が地震動特性に及ぼす影響に関する研究委員会」(平成23年度～平成25年度、委員長：山中浩明 (東京工業大学)) において活動を実施していた。以後10年は、「強震動評価のための表層地盤モデル化手法研究委員会」(平成26年度～平成28年度、委員長：東貞成 (電力中央研究所))、「強震動評価のための深部地盤モデル化手法の検証に関わる研究委員会」(平成29年度～平成30年度、委員長：松島信一 (京都大学))、「強震動評価のための深部地盤モデル化手法の最適化に関する研究委員会」(平成31年度～令和3年度、委員長：松島信一 (前掲)) に引き継がれ、現在も活動を継続している。ESG 研究は、我が国が古くから取り組んでいる研究テーマであり、国際的な研究コミュニティの中でも、常に先導的役割を果たす国の一つとなっている¹⁾。そのため、国際的な情報発信をする機会が多いのも大きな特徴である。

本稿は、東北地方太平洋沖地震から10年、平成28年 (2016年) 熊本地震 (以下、熊本地震) から5年を経た節目としての「強震動評価のための深部地盤モデル化手法の検証に関わる研究委員会」の活動について執筆を依頼されたものであるが、上述のように、委員会活動が継続的に行われていることから、一連のESG研究委員会としてのこの10年の活動について振り返ることとしたい。

2. 東北地方太平洋沖地震

地震発生当時の委員会である「地盤情報データベースを用いた表層地質が地震動特性に及ぼす影響に関する研究委員会」における東北地方太平洋沖地震に対する最初の活動は、日本地震工学会の年次大会において、以下のテーマにてオーガナイズドセッションを2年連続で開催したことである。

- ・ 2011年大会：「東北地方太平洋沖地震による強震動-地盤構造が地震動に及ぼす影響-」

・ 2012年大会：「東北地方太平洋沖地震および想定される巨大地震による強震動と地盤増幅特性の評価」さらに、「東北地方太平洋沖地震の地震動と地盤」と題した国内ワークショップを、2013年2月15日に東京工業大学・田町キャンパスにおいて開催している²⁾。これらのオーガナイズドセッションやワークショップでは、東北地方太平洋沖地震の震源過程、地震動の特徴、地盤増幅特性、液状化被害などに関して、速報的ならびにその時点で得られた新たな知見の研究結果が発表された。また、2013年9月24日に東京・六本木の政策研究大学院大学において、「International Workshop of Japan Association for Earthquake Engineering on the Effects of Surface Geology on Strong Ground Motion」と題した国際ワークショップも開催した³⁾。海外からの7名を含む13名の講演が行われ、東北地方太平洋沖地震に関する我が国のESG関連研究の成果が世界に向け発信されている。これらの成果を踏まえ、継続委員会である「強震動評価のための表層地盤モデル化手法研究委員会」において、学会論文集特集号「2011年東北地方太平洋沖地震の地震動と地盤」の編纂を行い、特集号が2016年3月31日に発刊されている⁴⁾。

同時に、ESG研究委員会として、東北地方太平洋沖地震を契機に取り組んだ活動に、大学、研究機関、企業が、それぞれに観測機材を持ち寄って実施した合同観測がある。東北地方太平洋沖地震では、震源域からやや離れた地点における局所的な大加速度記録や、遠く離れた地域での長周期構造物等に被害を及ぼすような長周期地震動記録が観測された。そこで、これらの原因の把握に重要となる地盤構造・地盤増幅特性の推定を目的として、特異な地震動を観測した観測点の周辺における地震動や微動などの合同観測が実施された。合同観測で、最初の対象となったのが、大加速度が記録された防災科学技術研究所の全国強震観測網⁵⁾のK-NET日立 (IBR003) とK-NET笠間 (IBR005) である。K-NET日立は震央距離が約260kmで1845ガル (cm/s^2)、K-NET笠間は震央距離が約300kmで966ガル (cm/s^2) をいずれも3成分の合成加速度として観測し、観測点固有の地盤特性が影響している可能性が示唆された。そこで、観測点の近傍で地震観測、微動観測および表面波探査が行なわれ、増幅特性の検討が行われた⁶⁾。記

録を取得した観測点はいずれも高台にあり、K-NET日立については、周期0.3秒～0.4秒の増幅が、地盤増幅による影響と地震計が位置する土塁および高台の影響であることが観測の結果から示唆されている⁷⁾。また、その次に合同観測の対象となったのが、神奈川県足柄平野である⁸⁾。この地域では、東北地方太平洋沖地震により、周期2～3秒の地震動が卓越し、局所的に免震住宅に大きな応答変位が観測されている⁹⁾。そこで、当該地域を含む足柄平野西部から中央部において、地震観測および微動観測を行い、深部地盤構造の推定が行われた^{10)~12)}。同様に、東京湾西岸においても、周期2～3秒の地震動に空間的な変動が見られたことから、この長周期地震動の成因を明らかにするため、東京湾西岸部においても微動観測が実施された¹³⁾。この合同微動観測の結果は、浅部地盤による影響を示唆するものであったが、周期2～3秒の長周期地震動については深部地盤の影響も無視できず、両者を切り分けるのではなく、統合的に考慮していく必要性が課題として示された¹⁴⁾。このことは、平成29年度からのESG研究の後継委員会が「強震動評価のための深部地盤モデル化手法の検証に関わる研究委員会」という名称となり、深部地盤モデルにも対象を広げる契機の一つともなっている。なお、これらの合同観測については、東京大学地震研究所・京都大学防災研究所の拠点間連携共同研究課題募集型研究（代表：山中浩明）^{8), 14)}と共同で実施されたものである。

3. 熊本地震

熊本地震に関する活動は、地震発生当時の委員会である「強震動評価のための表層地盤モデル化手法研究委員会」において、地震から4ヶ月後の2016年8月15～17日に、台湾台北市の国際コンベンションセンターにて行われたIASPEI/IAEEの第5回ESG国際シンポジウムでの熊本地震の強震動特性に関する情報の発信が最初であった¹⁵⁾。その後、継続委員会である「強震動評価のための深部地盤モデル化手法の検証に関わる研究委員会」で、2017年8月5日に神戸市中央区の神戸国際会館にて、IASPEI/IAEEと合同で「ESG Workshop 2017」を開催し、熊本地震の本震の際に震源近傍で観測された強震記録の特性や周辺の強震観測記録から推定された震源破壊過程などの紹介が行われた¹⁶⁾。なお、本委員会では、同年11月1日に、前委員会での成果を引き継ぎ、東京工業大学田町キャンパスにおいて、ESG研究の実務活用のための普及を目的とした「強震動評価のための表層地盤モデル化手法」講習会も開催している¹⁷⁾。

ESG研究委員会として、熊本地震を集中的に取り扱った活動の1つに、各委員が関わる調査・観測から得られた成果を共有する目的で、2019年10月21日に東京工業大学田町キャンパスで開催されたシンポジウムがある。これは、平成31年度からの継続委員会である「強震動評価のための深部地盤モデル化手法の最適化に関する研究委員会」主催で行われた。シンポジウムでは、熊本地震の被害と震源近傍地震動の関係、熊本県上益城郡益城町の強震観測点における微動アレイ探査によるS波速度構造モデルの推定、益城町の強震観測点における微動アレイ探査によるS波速度構造モデルの推定、熊本平野における広帯域強震動評価のための浅部・深部統合地盤モデルの構築、「平成28年熊本地震を踏まえた総合的な活断層調査・サブテーマ3断層帯周辺における強震動予測の高度化のための研究」について報告が行われた¹⁸⁾。シンポジウムの総合質疑では、紹介された浅部・深部地下構造モデルが、工学的基盤の取り扱いを含め、現在の設計体系でスムーズに使用できるのかといった問題提起、また、微地形区分と地下構造モデルを用いた場合の浅部地盤による増幅の違いなどについての質問が寄せられた。こうした質疑は、ESG研究の社会実装に向けて、研究成果の実務活用の方法やその効果について、よりわかりやすい普及活動をしていく重要性を認識する機会ともなった。地下構造モデルで評価した増幅特性は、微地形区分のように倍率だけでなく、卓越周期の情報を含む周波数の関数として得られるところに利点があるが、こうした点を含めて丁寧な説明が必要であろう。

一方、委員や委員会による研究成果の発信とあわせて、熊本地震を取り扱ったESG研究委員会の活動に、2021年8月30日～9月1日に完全オンラインで開催されるIASPEI/IAEE第6回ESG国際シンポジウム（以下、ESG6）¹⁹⁾における熊本地震の弱震動と強震動ならびに微動アレイデータから地盤構造モデルを予測するブラインド予測（Blind Prediction; BP）の企画・運営がある²⁰⁾。ESG6における強震動のブラインド予測は、熊本地震の未公開の強震記録を、小地震の記録、岩盤サイトでの地震記録、地盤データなどにに基づき予測するというものである。ESG6におけるブラインド予測の特徴は、1.地盤構造モデルの推定（BP1）、2.小振幅の地震動の予測（BP2）、3.大振幅の地震動の予測（BP3）の3つのステップで構成されていることであり、ブラインド予測への各参加者の予測結果が提出された後に、未公開の強震記録との比較などにより、地震動予測の精度や結果の信頼性を議論し、我々が有している地震動予測技術の現状を把握し、今後の技術開発の方向性を明らか

にすることを目的としている。このブラインド予測は、ESG研究委員会委員の協力による、JR九州で観測された貴重な記録の提供により企画が可能となったものである^{19), 20)}。また、地盤構造モデルを予測するための熊本での微動アレイデータは、ESG研究委員会および東大地震研・京大防災研拠点間連携共同研究のメンバーが中心となって行われた現地調査によって取得された^{20), 21)}。なお、当初のブラインド予測の実施計画では、BP1~3の結果を取りまとめて、シンポジウム内で議論することを予定していた。しかしながら、COVID-19蔓延の影響を受け、開催が延期されたこともあり、シンポジウム開催前に、各参加者に他の参加者分を含めた全予測結果と非公開であった観測結果（予測対象）を送付し、地下構造モデル（BP1）や地震動（BP2,3）の提出内容を再評価する機会（BP4）が提供された。これはポストディクシオンに位置付けられるものであり、PS検層による地下構造モデルや観測された対象地震の地震動の特徴をよりよく再現すべく、各自の評価手法の改良やパラメータのチューニングが行われることが期待されている²⁰⁾。以上のように、EGS6のブラインド予測は、地盤構造モデルの推定から弱震動および強震動の予測といった、これまでのESG国際シンポジウムにおけるブラインド予測にはない多段階での実施となっており、社会実装としての実務活用により近い形と考えられる。ESG6では、これらの結果を取りまとめて、ESG研究コミュニティの有する地盤構造モデルの評価技術や地震動予測技術の現在地ならびに今後の方向性を共有する機会となった。

4. おわりに

本稿では、東北地方太平洋沖地震、熊本地震を経験したこの10年間にける一連のESG研究委員会の活動を振り返った。被災地に大きな痕跡を残したそれぞれの被害地震に対し、各委員は観測された強震動を理解するための研究活動とその発信を精力的に実施するとともに、委員会としての合同観測などの活動もあわせて行ってきた。得られた成果については、日本地震工学会大会でのオーガナイズドセッションや論文集特集号、シンポジウムや実務活用を目的とした講習会の実施等により、社会への情報発信が着実に進められた。またとりわけ、ESG国際シンポジウムに代表される国際的な研究コミュニティとの精力的な情報交換や海外の研究者も参加するブラインド予測といった国際的な研究活動は、本委員会の大きな特色であるといえる。

地震動のサイト特性、空間的な変動は表層地質・地盤だけで評価できるものではなく、深部地盤構造や両

者をあわせた浅部・深部統合モデル、地形の効果、地盤の非線形性による影響などの要因も合わせて解釈する必要がある。我々の研究活動の名称である「表層地質が地震動に及ぼす影響」（ESG）研究において、「表層地質」が主対象になることとなった経緯については文献19)に述べられているが、ESG研究の範囲はすでに幅広いものとなっている。こうしたESG研究委員会としての最新の活動や成果については、ちょうどESG6²²⁾が開催されたところであるので、その報告に譲ることとしたい。

謝辞

「強震動評価のための表層地盤モデル化手法研究委員会」の東貞成（電力中央研究所）委員長には、委員会当時の資料をご提供いただきました。ここに記して、謝意を表します。

参考文献

- 1) 山中浩明、東貞成：地盤情報データベースを用いた表層地質が地震動特性に及ぼす影響に関する研究委員会報告、日本地震工学会会誌、第22号、p.46、2014.
- 2) 山中浩明、東貞成：地盤情報データベースを用いた表層地質が地震動特性に及ぼす影響に関する研究委員会（平成23~25年度）、日本地震工学会会誌、第19号、p. 51、2014.
- 3) 山中浩明、東貞成：表層地盤が強震動に及ぼす影響に関する国際ワークショップ開催報告、日本地震工学会会誌、第21号、pp.36-37、2014.
- 4) 日本地震工学会：日本地震工学会論文集（特集号「2011年東北地方太平洋沖地震の地震動と地盤」）、Vol.16、No.4、2016.
- 5) 藤原広行、功刀卓、安達繁樹、青井真、森川信之：新型K-NET：強震動データリアルタイムシステムの構築、日本地震工学会論文集、第7巻、第2号（特集号）、2007.
- 6) 地元孝輔、津野靖士、東貞成、佐藤浩章、重藤迪子、高井伸雄、松島信一、早川崇、山中浩明、川瀬博：K-NET日立近傍における地震と微動観測による地盤震動特性の評価、平成28年度京都大学防災研究所研究発表講演会、2017.
- 7) Higashi, S., H. Yamanaka, S. Matsushima, S. Tsuno, N. Takai and T. Hayakawa : Joint research on modeling of heterogeneous subsurface velocity structure for evaluating spatial variation of ground motion characteristics, 5th IASPEI/IAEE International Symposium: Effects of Surface

Geology on Seismic Motion, August 15-17, 2016.

- 8) 山中浩明 (研究代表者) : 長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究、拠点間連携共同研究実施報告書(研究実績報告書)、2016-K-10、2017.
- 9) 高橋武宏、福和伸夫 : 2011年東北地方太平洋沖地震における戸建免震住宅の免震層変形と足柄平野の地盤震動特性との関係、日本建築学会構造系論文集、第78巻、第694号、pp.2123-2132、2013.
- 10) 津野靖士、地元孝輔、三宅弘恵、佐藤浩章、松島信一、重藤迪子、高井伸雄、神野達夫、額額一起、山中浩明、川瀬博 : 足柄平野西部における地盤震動特性の評価、平成28年度京都大学防災研究所研究発表講演会、P24、2017.
- 11) 津野靖士、地元孝輔、三宅弘恵、佐藤浩章、松島信一、重藤迪子、高井伸雄、神野達夫、額額一起、山中浩明、川瀬博 : 足柄平野西部における臨時地震観測と地下構造調査、物理探査学会第136回学術講演会講演論文集、pp. 299-300、2017.
- 12) 地元孝輔、津野靖士、是永将宏、山中浩明、三宅弘恵、高井伸雄、神野達夫、重藤迪子 : 臨時地震観測による足柄平野西端部から中央部の地盤震動特性の評価、物理探査学会第137回学術講演会講演論文集、pp. 225-227、2017.
- 13) 地元孝輔、津野靖士、三宅弘恵、神野達夫、重藤迪子、高井伸雄、松島信一、是永将宏、山中浩明、佐藤浩章、川瀬博、額額一起 : 東京湾西岸部における周期2~3秒の地震動特性の空間変動評価のための微動観測、平成29年度京都大学防災研究所研究発表講演会、P06、2018.
- 14) 山中浩明 (研究代表者) : 長周期地震動予測のための深部地盤構造モデル化手法の高度化に関する共同研究、拠点間連携共同研究実施報告書(研究実績報告書)、2016-K-10、2018.
- 15) 津野靖士、松島信一、東貞成 : 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motionへの出展および参加、次回日本開催の報告、日本地震工学会会誌、第30号、pp. 35-36、2017.
- 16) 松島信一 : ESG Workshop 2017開催報告、日本地震工学会会誌、第32号、pp. 34-35、2017.
- 17) 松島信一 : 強震動評価のための深部地盤モデル化手法の検証に関わる研究委員会、日本地震工学会会誌、第34号、pp. 35-36、2018.
- 18) 佐藤浩章 : 「平成28年(2016年)熊本地震とESG研究」シンポジウム開催報告、日本地震工学会会誌、第39

号、pp. 46-47、2020.

- 19) 川瀬博 : ESG国際JWGの活動の歴史とESG6、日本地震工学会会誌、第43号、pp.3-6、2021 .
- 20) 山中浩明、津野靖士、地元孝輔 : 2016年熊本地震の強震動のブラインド予測、日本地震工学会会誌、第43号、pp. 10-14、2021.
- 21) 地元孝輔、津野靖士、山中浩明、松島信一、川瀬博、高井伸雄、神野達夫、佐藤浩章、重藤迪子、是永将宏、山田伸之、三宅弘恵、額額一起、浅野公之、岩田知孝:ESG6ブラインド予測サイトの地震記録と地盤調査、2019年度京大防災研究所研究発表講演会、P10、2020.
- 22) 松島信一、佐藤浩章、津野靖士、東貞成 : ESG6の学術プログラムの紹介、日本地震工学会誌、第43号、7-9、2021.



佐藤 浩章 (さとう ひろあき)

1997年東京工業大学大学院修了、同年電力中央研究所入所、博士(工学)、専門分野：地盤構造モデリング・サイト特性評価



松島 信一 (まつしま しんいち)

1994年名古屋大学大学院修了、清水建設株式会社研究員、京都大学防災研究所准教授を経て現職、博士(工学)、専門分野：不整形地盤の地盤増幅特性評価



津野 靖士 (つの せいじ)

2005年東大工学系研究科博士課程修了、CNRS(フランス)ポストドクター、東工大総合理工学部産学官連携研究員、鉄道総合技術研究所副主任研究員を経て、2020年より現職、博士(工学)、専門分野：強震動、地盤震動、早期地震動予測

11年間の学会連携活動から辿り着いたところ

高田 毅士

●日本原子力研究開発機構 リスク情報活用推進室室長

1. はじめに

2021年は東日本大震災から10年という地震工学分野では重要な節目の年であり、その間の委員会活動に関して日本地震工学会誌編集委員会より寄稿作成依頼があった。同様の依頼メールを受け取られた亀田弘行先生（京大名誉教授）より相談があり、私も委員として関わった「原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会(2012.9-2015.3)」と「原子力発電所の地震安全の基本原則に関わる研究委員会(2016.4-2019.3)」の二つの活動をまとめて筆者が担当することになった。

執筆内容を構想し始めた時に、これらの二つの委員会活動は実はそれ以前の継続的活動内容も報告に入れる必要があると思い立ち、2007年の新潟県中越沖地震時の東京電力柏崎刈羽原子力発電所の被災を契機として日本地震工学会が日本原子力学会と密に連携してきた、「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会(2008.10-2012.3)」の活動も含めて、この委員会にも深くかかわった筆者が報告することにした。

亀田先生は、これらの三つの調査委員会の活動は日本地震工学会設立の理念『地震災害の軽減は分野を超えて関連学協会が連携して実施すべきもの』を实践したものと位置付けられており、筆者も同じ意見である。亀田先生は土木学会の地震工学分野の中心的リーダー

であり、筆者はずっと建築分野で活動をしてきた専門家である。そして、本活動は、土木・建築・地盤・機械、原子力安全工学等の多くの専門家と協力して、大地震の到来がきっかけとなって実現することができた分野連携の活動である。図1には、本寄稿に関する事項と三つの調査委員会の活動期間を示した。

本報告は、2007年以前の原子力地震安全に関わる状況の紹介に続き、これらの学会連携した三つの調査委員会の活動の背景と主な成果、そして最後にこれらの活動の末辿り着いたところとして筆者が重要と考えるポイントをまとめたものである。

2. 連携活動以前(2007.7以前)

我国における原子力発電所の地震安全問題は古くから存在する。原子力発電が海外から我国に輸入され始めたのが1960年初頭であり、その当時（また現在においても）地震国日本に原子力発電所を成立させるためには、地震に対する安全確保が最優先課題であった。その当時、これらの課題を解決すべく耐震工学の専門家を交えて新しい考え方が提案された。建物重量に比例した水平力に重要度係数を乗じた静的地震力規定、動的設計の導入、地盤の揺れを定義する基準地震動の導入、構築物・機器の終局耐力から導かれる許容限界の設定など、当時の技術の最先端に基づく規定であった。

我国の耐震技術の発展はその当時の原子力発電の開発と決して無縁ではない。

幸い、1960、70年代においては致命的な大地震の到来もなく、それまでの知見を集大成して1981年の原子力施設の耐震設計審査指針¹⁾（旧指針）が原子力安全委員会より施行された。この指針は、2006年に改訂されるまで日本に現存する原子力発電所の設計規準として長く利用されてきた。旧指針には当時としては画期的な新しい概念が盛り込まれた。文献²⁾に詳しいが、①地震動を定義する解放基盤面の導入、②S1、S2の2段階の基準地震動、③放射性物質との関連程度に基づく耐震重要度分類の導入、④標準速度応答スペクトル（通称、大崎スペクトル）の導入、

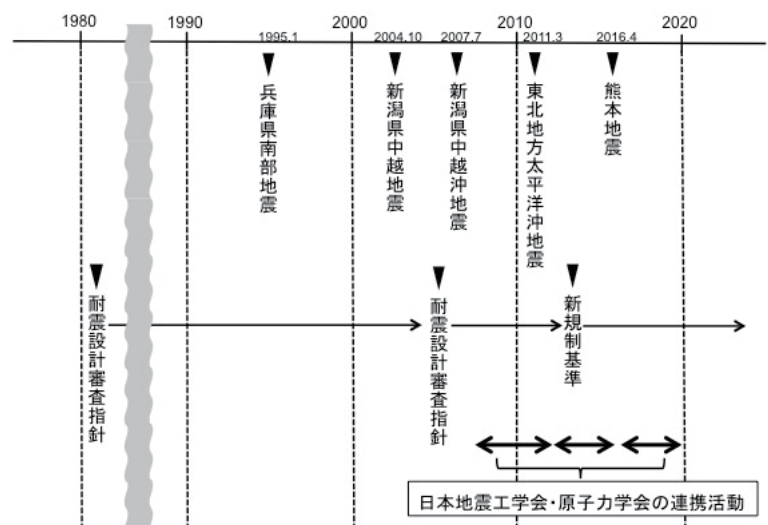


図1 過去の大地震と本調査委員会の活動期間

⑤静的地震外力規定と動的規定の包絡、であった。これらの概念を成立させるために、地震動（揺れ）の原因である地震（震源）を詳細に調査した知見を積極的に取り入れるようになった。旧指針の基準地震動の評価の部分では、「...、地震動及び地震地体構造に関する資料が十分でない等の理由によって、決定が困難か不可能な場合には、以下に述べるような方法（標準応答スペクトル）を参照することができる。」という文章があり、標準応答スペクトルは我国の原子力発電所の耐震設計に普く用いられることになった。

また、旧指針の中で、基準地震動S2との組み合わせと許容限界の規定では、許容限界を数値で定めるのではなく、「...、建物・構築物の終局耐力に対し、妥当な安全余裕を有していること。」との解説があり、対象の終局状態を把握すること、妥当な裕度の考え方などに関する研究開発の活性化を促すうまい記載であると言える。実際、原子力界では技術開発、研究開発、大型試験などが進められたのも1980年代であった。1985年に作成された耐震設計技術指針³⁾(JEAG 4601)には、上記の研究や技術開発の成果を踏まえて当時の最高レベルの技術や研究成果が盛り込まれることになった。このように我国の原子力施設の耐震設計に果たした旧指針の役割は極めて大きいと言える。

しかし、私見だが、これを契機として現在に至るまで、発電所の耐震安全性の確保を担ってきた耐震工学が、地震学の知見に依存し過ぎるようになってきた感がある。地震入力が設計を支配するという面はあるが、発電所の地震安全性を担保するのは耐震工学の最重要使命であることを忘れてはならない。

その後、兵庫県南部地震(1995)、宮城県沖地震(2003、2005)などが発生したが、幸い原子力発電所の被害は少なく指針の大幅な改訂をすることはなかった。しかし、2006年の指針改訂の一番の動機となったのは、1981年以降、地震学、地震工学において蓄積されてきた知見は多く、耐震技術の進歩、新知見を反映すべきという声が大きくなり、原子力安全委員会が指針改訂の分科会を2001年に設置し、5年間の審議を経て2006年9月に改訂耐震設計審査指針⁴⁾(新指針)として刊行された。改訂の要点は、①考慮する活断層の範囲を5万年前から12万年前に拡大したこと、②従来のS1、S2の基準地震等をSsに一本化したこと、③立地拡大のための岩着支持要件の削除、④「残余のリスク」概念の導入であった。特記すべきは、地震随伴事象として敷地斜面崩壊や津波についての考慮を示す一文が付加されたことであった。

改訂の翌年2007年7月に新潟県中越沖地震が起こり、

東京電力の柏崎刈羽原子力発電所においてS2基準地震動の5倍近くの記録が観測され、発電所は大きな被害を受けた。しかし、発電所の安全機能はしっかりと確保されたことから、外力の設定はともかく、今まで基本として用いてきた発電所施設の耐震設計は十分に機能したことが実証された。ただし、多くの課題も指摘された。過大入力の原因、深部地盤の影響、軟岩サイトの地震時挙動、基準地震動の設定の考え方、同一敷地内での揺れの違い、B、Cクラスの施設機器の被害、緊急時の情報伝達、情報発信の在り方、など多くの課題が浮かび上がった。地震直後の発電所から黒煙が立ち上ってるテレビ画面上の光景は今も記憶に残っている⁵⁾。

この被災経験を契機として、日本原子力学会は2007年12月に「原子力発電所地震安全特別専門委員会」を設置し、今後の原子力発電の地震安全に関する研究のロードマップを作成する活動を開始し、まずは個別に協力依頼があった。日本原子力学会の委員会委員の方々（宮野廣先生（法政大）、中村隆夫先生（大阪大）、成宮祥介氏（JANSI）、宮田浩一氏（ATENA）、故渡邊憲夫氏（JAEA））と何度も意見交換を行って、当時、旧JNESの顧問であられた亀田先生、理事の蛭澤勝三氏（都市大）らに加えて中村晋先生（日本大）と筆者が打合せに参加し、原子力学会のロードマップ作成のお手伝いをするようになった⁶⁾。その当時、原子力学会では既に地震安全の論理⁷⁾が作成されていたのであるが、筆者ら地震工学の立場からは受け入れがたい内容であった。というのは、原子力学会の地震安全の論理は旧来の規基準や慣行をベースに構築されたものであり、当時、建設分野で盛んに議論されていた性能に基づく設計体系の考え方を重要と考えていた筆者としては、原子力学会の地震安全の論理に大いにコメントしたことを記憶している。

3. 原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会 (2008.10-2012.3)

その後、上記の原子力学会の活動は地震の関連学会との協力を得ることを方針として、入力地震動、構造物・機器の地震時応答、耐震設計などの関連分野に関して、日本地震工学会に正式な協力要請があった。日本地震工学会では検討の結果、原子力発電所の地震安全に関する検討は、地震、地盤、土木、建築、機械などの多くの専門分野に関わる問題であり、横断学会である日本地震工学会が主体的に取り組むに相応しい課題であると判断された。そして、原子力発電所の地震安全に係る地震工学的研究課題を網羅的に抽出・体系化して地震安全研究ロードマップを取りまとめること

を目的に、日本地震工学会に2008年10月に「原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会」が設置された。

こうした学会を超えての組織的な協力活動は以前にはなく、例えば2006年の指針改訂は、原子力安全委員会が関連する専門分野の委員を個別に集めて議論し事務局がとりまとめるというものであった。従って、本連携活動は、二つの学会が自発的に協力し実施したものであり、まさに日本地震工学会の設立理念に相応しいものと言える。原子力発電所の設計・建設・運用・廃棄には多くの工学分野が関与していることから、原子力工学は関連分野の全ての知見に基づく総合工学でなければならない。特に、地震・津波のような外的事象に対する安全確保が日本においては重要であり、日本地震工学会をはじめ、多くの関連学会との連携は今後も不可欠である。

本調査委員会の活動は文献⁸⁾に、また、詳細は成果報告書⁹⁾にまとめられている。新潟県中越沖地震を経験して、原子力の地震工学のロードマップを分野横断で作成することが目的であったことから、これらの活動を通し出来上がったロードマップ上の研究課題は広範であり、①リスク課題、②耐震裕度、③ハザードの理解という基本事項に分けて整理された。これらの課題は夫々の専門分野を担う研究者、技術者によって背負っているものが異なることもあり、個別課題は極めて網羅的である。また、個別課題をロードマップ上に配置することにより各課題の共通性、課題間の関連性、全体との関係性などが明らかになることが本活動の一番の成果と考える。

活動中、「トータルプロセス」と「トータルシステム」という新しい概念¹⁰⁾も生み出された。「トータルプロセス」とは、発電所の究極の目標実現には個別の専門分野の活動(プロセス)の積み重ねでは不十分で分野横断で目標を共有し整合性のある考え方で個々の活動をすることを意味する。「トータルシステム」は、個別の部品や設備、構築物の集成体である原子力発電所を一つの巨大システムとして捉え、全体の挙動を俯瞰する概念であり、特に設計範囲を超えた領域の検討には、この概念が大いに重要であると考えている。

本委員会は開始して3年間で終える予定であったが、3年目の3月に東北地方太平洋沖地震が起こった。Mw9.0という超巨大地震であったこと、直後の大津波が多くの人命を奪い、同時に多くの原子力発電所にも被害をもたらした。東京電力福島第一原子力発電所においては揺れと大津波によって敷地の全電源喪失を招き炉心溶融に至り放射性物質の敷地外放出という起こってはならない大事故(以下、福島第一事故)となっ

た。

急遽、半年間期間を延長してロードマップに追加すべき課題を抽出し最終報告書にそれらを補遺として追加した⁹⁾。地震は揺れをもたらすのみならず、津波、地盤の変位、揺れに伴う二次的影響(地盤の破壊など)も同時に生じさせる。以前は、よほどの偶然的条件がそろわない限りこれらのハザードの重畳は生じないと考えていた。新指針に追記された地震随伴事象の発電所に与える影響がこれほどまでに過酷であったかを知らされた被害である。加えて、設計で対象とする状態を超えた状態(設計外事象、BDBE: Beyond Design Basis Events)への対処においても想像力を豊かにして方法論を練る必要があり、多くの課題が存在する。これらの活動がさらに次に続く連携活動に繋がる。

4. 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会(2012.9-2015.3)

福島第一事故では、超巨大地震とそれに随伴する大津波(15m、発電所敷地において)が原因であった事実は、原子力安全分野では避けて通れない。従来の地震・耐震工学では揺れへの対応ばかりであったことを猛省し、津波に対する安全確保にもしっかりと目を向ける必要がある。そこで、この地震で影響を受けた原子力発電所の被害状況、特に福島第一事故の教訓をふまえ、原子力発電所の津波安全を確保するための工学的な方法論を体系化することが必要と考えた。そして、日本地震工学会では、原子力学会と連携して原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会を2012年9月に設置することになった¹¹⁾。

活動にあたり、地震工学、津波工学、原子力安全工学の学術分野の連携が不可欠であること、土木学会の原子力土木委員会津波小委員会とも連携をとって、委員長に亀田先生(前掲)、2名の副委員長に今村文彦先生(東北大)と宮野廣先生(前掲)をお願いした。コアメンバーとして大学、電力、ゼネコンから10名程度、そして、広く委員を公募して総勢40名程度の委員からなる調査委員会である。成宮氏(前掲)と筆者は傘下のWGの主査を仰せつかった。活動当初より多分野間のシームレスな協働を重視し、これを支える体制として日本地震工学会に設置された委員会と日本原子力学会標準委員会の間で密接な連携が保たれたことは特記すべきである。

津波がもたらす外的作用は地震動によるそれとはだいぶ様相が異なる。委員会では、津波現象の把握、構造物に与える多様な作用の理解から始まり、それらに対する一般的対策として、「防水」、「避水・排水」と「耐

水」の概念が存在することを知った。これらの対策をどのように原子力発電所の津波安全に適用するのか皆で議論した。

以前より原子力安全分野で提唱されている深層防護(Defense-in-depth)の安全確保の考え方がある。第1層－3層(安全設計対応)、第4層(設計基準外対応)、そして第5層(防災対応)とする重層した防護の考え方で、不確定なものへの効果的な対処の手段として認識されている。それを津波安全にも適用できるか、適用した場合の具体的な対策も検討する必要があることが委員会で何度も議論された。さらに、地震安全同様、津波現象も低頻度かつ不確定性が大きい事象であることから、リスク論の活用は前提である。これらをまとめ、耐津波安全の確保に対しては、リスク論に基づく深層防護の考え方の体系化と具体策の検討が必要という共通認識ができた。

この活動を通して以下の項目を報告書に記載した¹²⁾。

- ① 事故シナリオ、要求性能、作用・影響・工学的方法、社会との関わりを包含する総合的な工学技術体系、
- ② バランスある深層防護の全体像、
- ③ 設計とリスク評価、
- ④ リスク評価(連続系)と深層防護対応(離散系)の相互連関

これらは全て図2に集約されている。図は、縦軸が事象の発生頻度、横軸が発生事象の大きさを表している。縦軸の発生頻度は左側の深層防護レベルと関係づけられている。この二次元平面上に、設計で対象とする領域、中央の事故時の対策の領域、そして事故が進展して放射性物質が敷地外の住民に過大な影響を与えることを軽減する防災・減災領域を配置している。津

波から原子力発電所を護る対策は、それぞれの領域で対象とする事象の発生を防止・軽減する、多段階的かつ多様な安全確保の考え方が適切と結論づけた。

以前より、原子力に限らず一般の津波対策の前提として、「ドライサイト」の考え方が根強かった¹²⁾。防護する敷地が水の影響を受けないように「ドライ状態」にしておくことを設計目標とするものである。この状態が確保されていれば後段の対処は水の影響を考慮せず大いに簡略化することができる利点がある。防潮堤の設置や敷地の嵩上げなどがその例である。

しかし、この状態の実現は自然現象である津波を相手に容易でない。また、ドライサイトが実現されたと勘違いして水の侵入の可能性を忘れてしまう危険性を有する。東日本大震災の津波被害の教訓から学んだように、津波が高く造った防潮堤を越流した場合、被害は甚大になることから、防潮堤があっても避難対策は必要であることを肝に銘じておかねばならない。すなわち、設計領域を超えた領域への配慮が必要である。

5. 原子力発電所の地震安全の基本原則に関わる調査委員会(2016.4-2019.3)

上記の活動後も日本地震工学会と原子力学会の連携を継続すべきであることを関係者間で合意し、コメンターで何度も非公式会合を繰り返しその後の活動を模索した。地震安全に関しては、2011年にロードマップを公表しているものの、耐津波工学の活動を通して得られた重要な基本概念、すなわち、深層防護の実装とリスク論に基づく安全確保の考え方、の構築と実装が地震安全にも必要である。

会合の中で、皆が気にかけていたことは、事故後、多様な安全確保の方策が実施されている中で、安全確保の依って立つ基本方針が揺らいでいるような印象を持ったことである。

具体的には、社会から原子力界への強いプレッシャーがある中、日本の全原子力発電所に停止命令が出された。原子力界では産業界、規制も含めていろいろな活動が実施された。クリフエッジ特定のためにストレステストの実施や、2014年には原子力規制庁が原子力保安院に代わり新設された。規制庁より新規制基準が施行され今日の安全審査に至っているが、新規制基準の策定の方針は、①設計基準の強化、②事故時の対策の充実、③耐津波、耐震規定の厳格化であり、これらはリスク論と深層防護の概念に十分対応しておらず、また、原子力防災は別途、内閣府が実施する

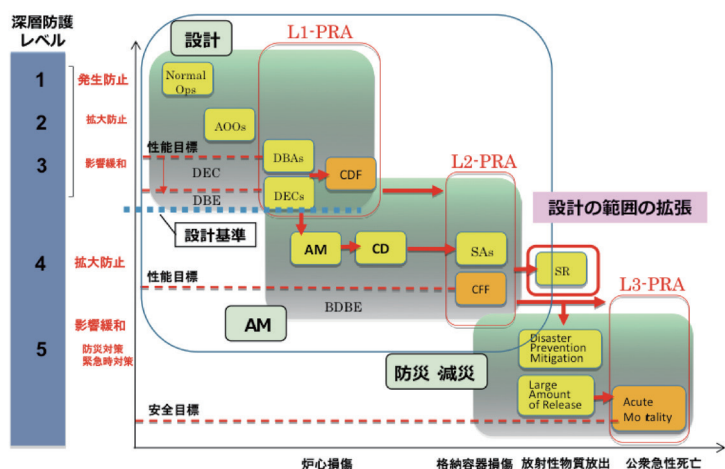


図2 深層防護とリスク低減対策領域¹²⁾

という建付けになっており、原子力地震安全を俯瞰しシームレスに実践する姿とはだいぶ異なるとの印象を持ったのである。

2016年5月に日本地震工学会に「原子力発電所の地震安全の基本原則に関わる調査委員会」を発足させることが決まった。委員会の目的は、地震安全確保のためのリスク論に基づいた深層防護の考え方の原則を策定することである。原子力安全原則は国際原子力機関（IAEA）から既に出されているが¹³⁾、原子力発電所を対象にした、地震安全に特化した原則は世に存在せず、事故を起こした当事国が作成する責任があるという強い意志をもって委員会を開始させた。

過去から活動に深く関わっているとの理由で筆者が委員長を引き受け、副委員長に原子力安全分野の成宮氏（前掲）に就任いただいた。そして、三つのWGを設置した。原則作成を集中的に議論する地震安全原則WG、発電所システム性能WG、地震ハザードWGである。夫々、高田孝先生（東大）、藤本滋先生（神奈川大）、糸井達哉先生（東大）に主査をお願いした。個別依頼と公募により、電力、メーカー、ゼネコン、大学等から40余名の委員が集まり、専門も地震工学、耐震工学、耐震設計、原子力安全、機械など広範な分野から成る委員会である。亀田先生、宮野先生、蛭澤氏には委員会の顧問として引き続き活動をお願いした。また、原子力学会との連携は、原子力学会標準委員会に地震安全原則分科会を新しく設置して両学会の円滑な活動を推進した。

本委員会の目的に照らして、学術の立場から原子力発電所の地震安全に関わる基本原則（あるべき姿）を皆でつくること、基本原則はA4一枚程度の分量であるべき、また、それが絵に描いた餅にならないように基本原則の実装例も同時に検討することを目標にした。この原則は、産業界のみならず、規制も広く対象にしたものであること、新設・既設を問わず、地震安全を確保するための最も重要となる基本文書である。

地震現象の特徴として、①不確かさ、②被害の広域性、③作用の共通原因、④事象の随伴性を挙げ、原子力発電所の地震安全確保にあたっては、それらに対して適切な対応を考える必要がある。①に対して、リスク論のより積極的な活用を、②、③、④については、深層防護の概念に基づき対象領域に応じた重点化方略を基本とする。リスク評価を含めた統合的な意思決定プロセス、深層防護概念の適用を踏まえ、ハード（機器・設備単体や機器集合としての設備）だけではなくソフト（人的対応）も含めた総合的システムとしての継続的な安全の確保および向上を提案している。

図3は図2を基に、原子力発電所のリスク曲線を用いて上記の考え方を模式的に示したもので、リスク低減するには、設計領域、事故時対応領域、防災・減災領域のそれぞれの領域において最良の低減策を選定して段階的にリスク低減すべきことが示されている。

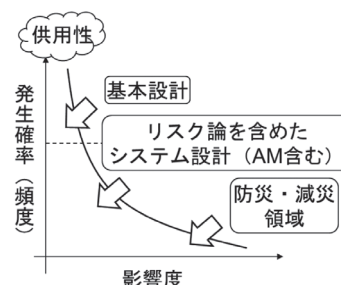


図3 安全確保のための基本的対処の考え方¹⁴⁾

委員会・幹事会・WGを何度も開催して議論を積み重ね、原則の適用範囲の明示、目指すべき目標の明示、性能要求の提示、それらの対処方法を整理し、地震安全原則を策定した¹⁴⁾。

特記すべきは、目指すべき目標は、「安全性」と「供用性」であることを記した点である。原子力発電所自身の安全性の確保は勿論のこと、発電所が電力供給するという社会的役割も社会全体の安全確保に密接に関係するという視点である。これらの目標を要求性能として記載すると、二つの異なる性能要求が設定でき、設計においては安全性検討用地震と供用性検討用地震の二つが定義できる。従来、位置づけがあいまいであったSd地震に代わる供用性検討のための地震を位置づけることができたと考えている。

もう少し具体的には、設計領域においては、供用性の確保を重視して、個別部位、機器・設備の耐震設計を行う。ただし、この領域においても直接的、間接的に安全性の確保をすべき機器設備もあることを明らかにしている。対象とする地震は供用性検討用地震と命名した。次に、安全性確保については、個別機器・設備の集合体すなわちシステムが安全性確保の中心的役割を果たすべきことを提案している。この時には、安全性検討用地震を新たに定義することになる。原子力発電所は巨大複雑システムであり容易に地震安全確保のシステム挙動を把握できない。これには、構造物・機器・設備などを総合的にシステム表現可能な確率論的リスク評価（PRA）が有効である。地震安全性向上のために、PRAにより特定された支配的事故シーケンス毎に対処に必要な個別機器・設備の改善を行って全体の安全性を確保する繰り返しの活動を提案している。

報告書¹⁴⁾には、基本原則を踏まえて実際の設計への具体的展開も検討し、性能確保のための対地震ハザード設計体系について、具体的な部位・設備を対象に適用した設計例を提示しており、実務に携わる技術者の理解にも配慮した。

6. 11年間の活動から辿り着いたところ

地震安全原則は原子力発電所の地震安全確保に関わる全ての活動（設計、評価、安全対策、防災、等々）の基本である。従って、地震安全確保は広範に渡った個別の活動を統合化したもので、基準地震動の設定、耐震設計、地震に対する確率論的リスク評価、事故時対策、原子力防災対策等の全てを一貫した考え方で位置付けようとしたものである。今後、基準や指針の改訂の際に参考にいただければ幸いである。

また、この原則は極めて基本的考え方から成り立っているものであるから、原子力発電所以外の工学システムにも共通に適用できるものと考えている。対象とする工学システムの地震安全確保のために、工学システムの目標を明示し、それを要求性能にブレイクダウンし、適切な対処方法を講じるという基本の流れは共通である。その際、重要な概念として、目標性能、それを実現する深層防護、リスク論、全体俯瞰的視点があり、建築・土木構造物にも有効と考える。

筆者は、この原則の考え方を、都市の性能確保へ応用したことがあった。従来の都市防災は、都市の人命安全確保、経済活動の維持、都市システムの保全、その他、目標が明確に示されておらず、わかりにくい。都市の性能確保は、個々の構造物やインフラの耐震設計、評価の活動のみならず、防災・減災活動を通して図3のように一貫性をもってシームレスに位置づけたほうが明確になると考えている¹⁵⁾。

7. まとめ

2007年の新潟県中越沖地震を契機とした、日本地震工学会－日本原子力学会の11年間の連携活動である、三つの調査委員会の活動背景、活動概要、狙い、得られた成果、今後の展望などを個人的な観点でまとめた。11年間の議論の末の成果物として地震安全原則を世に出すことができたが、まだまだ粗削りな状態である。ぜひ読者におかれましては目を通していただき厳しいコメントを賜れば幸いである。

最後に、11年間の委員会活動に関わられた多くの委員諸氏からは多くの貴重なコメント、示唆を頂いた。また、個人的には活動を通して幅広い分野の方々と交流することができたこと、心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 原子力安全委員会、原子力発電所耐震設計審査指針、1981.
- 2) 大崎順彦、設計用入力地震動、コンクリート工学、Vol. 19, No.7, pp.11-16、1981.7.
- 3) 日本電気協会、原子力発電所耐震設計技術指針、JEAG4601-1987、1987.
- 4) 原子力安全委員会、原子力発電所耐震設計審査指針、2006.
- 5) 高田毅士、原子力分野における地震PSAと最近の出来事、保全学、Vol.7, No.2, pp.30-36、2008.
- 6) 日本原子力学会・原子力発電所地震安全特別専門委員会、原子力発電所の“地震安全”に関する検討報告書－地震安全ロードマップ－、2012.1.
- 7) 日本原子力学会、原子力発電所の設計と評価における地震安全の論理、2010.7.
- 8) 亀田弘行、原子力発電所の地震安全問題に関する調査委員会報告－新潟県中越沖地震から東日本大震災へ－（平成20年10月～平成24年3月）、日本地震工学会誌、第16号、pp.73-76、2012.3.
- 9) 日本地震工学会、原子力発電所の地震安全に関する地震工学分野の研究ロードマップ、2011.3(第I部)、2011.10.(第II部)
- 10) 高田毅士、トータルプロセス・トータルシステム、巻頭言、保全学、Vol.12, No.1、2013.3.
- 11) 亀田弘行、今村文彦、宮野廣、高田毅士、成宮祥介、原子力安全の耐津波工学～総合技術体系を目指して 原子力安全のための耐津波工学の体系化に関する調査委員会報告、日本地震工学会誌、第25号、pp.36-39、2015.6.
- 12) 日本地震工学会/日本原子力学会、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－、2015.3.
- 13) IAEA, Fundamental Safety Principles (SF-1), Safety Fundamentals, 2006.
- 14) 日本原子力学会、原子力発電所の地震安全原則～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～：AESJ-SC-TR016、2019.
- 15) 高田毅士、リスク曲線と性能論、巻頭言、自然災害科学、Vol.39, No.4, pp.369-373、2021.



高田 毅士 (たかだ つよし)

1977年名古屋大学卒、建設会社、東京大学教授を経て2020年より現職。東京大学名誉教授、工学博士、専門分野：設計論、リスク評価、等

津波等の突発大災害からの避難における諸課題に対する工学的検討手法およびその活用に関する研究委員会の活動

有川 太郎

●中央大学 教授

1. はじめに

本報告は、津波等の突発大災害からの避難における諸課題に対し、工学的検討手法の適用性などを検討する研究委員会の活動報告をするものである。委員会は津波避難部会とシミュレーション普及部会があり、津波避難部会は津波避難に関する調査、津波避難対策の普及を研究課題として取り上げ、シミュレーション普及部会は津波避難シミュレーションの普及に向け、避難シミュレーションの在り方、利活用・将来展望に関して検討を行った。委員会の報告書は本会webで公開されている。ここでは、委員会の報告書に書ききれなかった、議論の前提となる過去の避難対策の経緯を文献調査した結果(2～3章)と、最新の技術と利活用に関する話題(4章)を紹介する。

2. 津波対策の変遷

これからの津波に対する避難のあり方を考えるには、津波対策がどのような経緯をたどってきたのかを知る必要がある。そこで本章では、その経緯をまとめた。

2.1 近代から近年にかけての津波対策の流れ

首藤(2000)¹⁾は、津波対策の歴史を三期に区分し、第一期と第二期の境を1960年のチリ津波辺りまで、第二期を1987年^{*1}の建設省・農水省水産庁とで合意を見た総合対策指針の採択までとし、第三期は、その指針から始まるハード対策とソフト対策が一体となった対策をスタートさせていこうとしている。

第一期の終わり頃、もしくは第二期の初め頃の、1952年に気象業務法が施行され、津波警報体制が法律上明確となった²⁾。そのことを受けて首藤は、“第一期の津波対策は、過去の経験や実績に基づいて行われていたが、第二期では、過去の実績に加え、科学技術が駆使されるようになってくる”、という主旨の記述をしている。また、“第二期の対策手法は、防災構造物であった”、ともある。

防災構造物の高さを決める基準としては、1960年頃

までは、5m程度であったようであるが、1997年に国土庁、農林水産省構造改善局、農林水産省水産庁、運輸省、気象庁、建設省、消防庁といった関連7省庁で、「地域防災計画における津波対策強化の手引き」⁴⁾が合意され、ここには、「津波総合防災対策は、当該沿岸地域において想定し得る最大規模の津波を対象とするものであるが、防災施設の整備水準としては、地域の実態と施設の効果を考慮して設定するとともに、防災まちづくり・防災体制と組み合わせて総合的に検討することとし、必ずしも対象津波に対応する水準をとるとは限らない」と記載されている。つまりは、様々なことを勘案した高さとするということとなるが、明確に、この高さとする記載されているわけではないことがわかる。

2.2 東日本大震災以降

これまで整備水準が明確化されてこなかったものの、東日本大震災後は、「基本的に二つのレベルの津波を想定」し、「一つは、住民避難を柱として総合的防災対策を構築する上で想定する津波」であり、「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」と「もう一つは、防波堤など構造物によって津波の内陸への侵入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波」であり、「最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」とされている³⁾。

従って、東日本大震災により、明確にハード対策により防護水準を明確化したとともに、将来における巨大津波の来襲によっても、堤防高さが急に大きく変化する可能性が低いことが示唆される。また、「住民の避難を柱とし」とあるように、津波対策における住民避難の重要性を明確に位置づけた。

2.3 津波避難対策の流れ

他方、津波避難の重要性は、濱口梧陵の話しである「稲むらの火」からも理解できる¹⁾。当時から揺れによる異変により海が襲ってくるという言い伝えがあったものと思われる。ちなみに、これは何も日本だけでなく、インドネシアの2018年スラウェシ島地震津波の調査をした際に、被災した地域では、3000年程度前か

^{*1} これは、1983年における建設省河川局と水産庁による「津波常襲地域総合防災対策指針(案)」³⁾のことではないかとと思われるが、ここでは、首藤(2000)¹⁾の年数を尊重した。

ら地震の発生や津波の来襲に対する言い伝えがあり、津波についても独自の言葉を持っていた⁶⁾。まさに、これらの事例は第一期の「過去の事例や経験に基づく」対応となっている。

1933年3月3日に生じた昭和三陸大震災後、文科省震災予防評議会より「津浪災害予防に関する注意書」⁷⁾がまとめられており、そこでは、予防策として、始めに、「高地への移転 浪災豫防法として最も推奨すべきは高地への移転なりとす、尤も漁業或は海運業の爲めに納屋事務所等を海濱より遠ざけ難き場合あらんも、然れども住宅、學校、役場等は必ず高地に設くべきものとす。」とある。その後には、ハード対策のことに触れられているものの、「第一の如き港灣に於ては固より、第二、第四の如き場合に於ても亦津浪を正面より防御禦するは實際上殆んど不可能に屬す。斯の如き場所に於ける浪災豫防は津浪進路の正面を避け、其の側面の高地に適當なる移転場所を求むると唯一の策とすべし。」とあり、ハードによる対策は、当時の状況では難しいと考えていたことがうかがい知れる。

津波の避難に関しては、「津浪避難 地震の性質其他によりて津浪の虞之ありと認むるときは老幼虚弱のものは先づ安全なる高地に避難すべく、其處に一時間程の辛抱をなすを要す、また強者特に健脚のものは海面警戒の任に當るべく、津浪襲來の徴を認めた場合、警鐘電話等に依る警告を發するに遺憾なきを期すべし。」とあり、地震の性質から津波を予見し、津波が来るだろうと感じたらば、要援護者から避難させ、身体が丈夫なものは海面を観察、津波が来襲したら知らせなさいという主旨だと理解される。

3. 津波避難計画の変遷と工学的アプローチ

ここまでの変遷と現状を比較すると、現代へと移りゆくにつれて、科学技術が進歩し、防護施設を設置し、津波の観測は波浪ブイなどの観測装置を用い、来襲を知らせるアラートを防災無線などで周知するという仕組みが構築されてきたものと思われる。ここでは津波避難計画の変遷をレビューするとともに、今後どのような方向性がありえるのかを検討する。

3.1 津波避難対策に関する法

避難対策のうち、避難計画については、災害対策基本法のなかでは、災害予防に相当する。2011年以前においては、この災害対策基本法により避難所の指定などがなされていたと考えられる。

2011年以降、津波対策に関するいくつかの関連する法律が施行され、佐々木(2017)⁸⁾は、これらを整理、

比較した。そこでは、南海トラフ地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法(平成30年施行)において、比較的、避難計画などの策定に重みが置かれていることがわかる。

また、津波対策の推進に関する法律(平成29年施行)では、第9条にて、津波からの迅速かつ円滑な避難を確保するための措置に努めなければならないこと、第2項にて、避難場所、避難の経路その他住民の迅速かつ円滑な避難を確保するために必要な事項に関する計画を定め、これを公表するよう努めなければならないこと、が記載されている。

3.2 津波対策推進マニュアル

ここまでは法整備の側面について概観したが、次により具体的に津波対策を進めるためのガイドラインについて簡単に紹介する。

平成13年度(2001年度)に消防庁が「津波対策推進マニュアル検討委員会(委員長、廣井脩・東京大学)」を開催し⁹⁾、津波対策推進マニュアル検討報告書¹⁰⁾をまとめている。そのなかに記載されているが、当時、全国3,247市町村(平成13年5月1日)のうちの海岸線を有する市町村1024のうち、地域防災計画において津波対策を定めている市町村が801、津波危険予想地域を示している市町村が305、避難地を示している市町村が305団体であり、30%程度しか、避難場所を適切に定めていない実態が社会的背景としてあった。1997年に合意された総合津波対策が、まだまだ理解されていなかったものと思われる。そこで、推進マニュアルが整備され、それは2013年に出された「津波避難対策推進マニュアル検討会 報告書」⁹⁾の基になっている。このなかでは、第二章 市町村における津波避難計画策定指針、第三章 地域ごとの津波避難計画策定マニュアルと具体的に記載され、令和3年6月10日現在において、津波避難計画の策定状況は、対象となる675団体中、策定中4つを含め、100%の達成率となっている¹¹⁾。

3.3 避難計画における工学アプローチ

津波避難計画における工学アプローチは、河田(1997)¹²⁾の津波災害における津波浸水高と死亡率の関係が契機となり、津波による人的被害予測の高精度化につながっていると考えられる。河田(1997)では、過去のデータを用いて津波浸水高さと死亡率の関係をプロットし、浸水高さから死亡率が算定することが可能である。小谷ら(1998)¹³⁾は、津波浸水シミュレーションから求めた浸水高さを用いて、GISデータと合わせ、結果としては50cm以上の浸水深となるところの人口

を家屋の有無から求め、人的被害を計算した。

島田ら(1999)¹⁴⁾は、そこに、避難行動を組み込み、浸水シミュレーションと避難行動予測を合わせた人的被害を算出した。避難行動予測には、避難速度と避難経路を考え、避難時の障害として津波の浸水のみを考慮している。その後、避難行動予測に、避難シミュレーションが活用されるようになった。

避難シミュレーションの活用については、今村ら(2001)¹⁵⁾は、2000年になるまでの避難シミュレーションを体系的にまとめ、独自の避難シミュレーションモデルを開発し、1993年の奥尻津波における北海道奥尻島青苗地区へ適用した。藤岡ら(2002)¹⁶⁾は、避難シミュレーションとして、マルチエージェントモデルを用いている。津波浸水計算との組み合わせではないが、津波の避難行動をエージェントモデルで構築している。

その後は、避難時の行動予測をどのように行うかという研究が盛んに行われていると思われる(例えば、穴戸ら(2010)¹⁷⁾。そのようななか、堀ら(2015)¹⁸⁾は、津波避難シミュレーションにおける品質保証に着目し、検証と妥当性確認(Verification and Validation)という二段階の手順をとる方法を提案した。堀ら(2015)の成果は、本研究会の前身の研究会である「津波等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(委員長：後藤洋三)」で行われた活動の一部を報告したものである。

4. 津波避難の今後に向けたアプローチ

4.1 避難誘導への活用は可能か？

ここまで、津波対策の変遷、津波避難計画の変遷、並行する科学技術の発展と、それを活用した工学的アプローチによる避難計画への活用ということを紹介してきた。津波対策は、高台避難が基本であり、空飛ぶ自動車のようなものが実用化されるまでは、それが原則であろうと考えられる。ただし、仮に空飛ぶ自動車がでてきても、数万場合によっては数十万以上の数の乗り物を制御する仕組みが必要となる。

今後も科学技術により、安全・安心な避難行動への活用が検討される方向となることは間違いがないと考えられ、最新の技術を用いて避難を誘導するということは空飛ぶ自動車でなくても当然の流れと考えられる。

4.2 津波浸水データベースを活用した避難支援

坂田ら(2020)¹⁹⁾は、津波浸水シミュレーションのデータベースを用いて、津波に遭遇しない避難経路を求め、避難時にその経路を利用することで、ケーススタディの条件では、最大でおよそ10%程度死亡率を減

小さらせることができるとした。

具体的には、図1のように、事前に数多くの波源を想定した津波浸水計算を実施し、そのデータベースを構築し、地震が発生したら、そのデータベースの中から、近い津波予測計算を選び、その津波に対して、最短経路で避難場所まで行く経路を基本としながら、津波に遭遇しにくい避難経路を選ぶようにするというものである。これは、避難開始時間によって選択する経路が変化し、より安全に避難できる選択肢を提示することを目標とする。



図1 避難支援システムの概要

4.3 避難支援技術の高度化

NISTEPの報告書²⁰⁾において、モニタリングやセンシング技術が、今後も向上し続けることがわかる。

図2は、著者らのチームでRPDハッカソン²¹⁾に応募したコンセプト図である(これは、Michibiki賞を獲得した)。ここでは、ドローン等によるモニタリング情報を避難経路探索の条件に組み込み、リアルタイムに、より安全な避難経路を提示する仕組みとしている。そのために必要な技術はいくつもあるが、その課題を解決し、一人一人に適切な避難情報を送ることができる仕組みができあがっているのではないかと期待する。

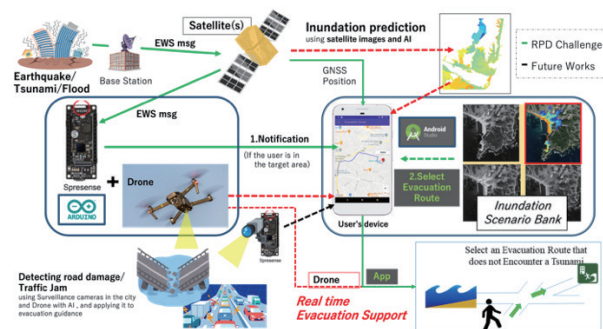


図2 避難支援システムの将来像の例

5. まとめ

本報告では、津波対策の変遷と津波避難計画における工学的アプローチの流れ、そして、避難シミュレーションによる今後の避難支援の方向性について示した。研究会のなかでも、避難をリアルタイムに支援するには、まだまだ様々な課題があるということの指摘を受けている。一方で、AI、量子コンピュータ、空飛ぶ車など、今後台頭してくる新たな技術をいかに活用しながら、津波から、より安全・安心に避難することが可能とできるか、それは、これまでの先人がたどってきた方向性であることは間違いない。

そうして、津波により人命が失われることのない社会を創造することが大切である。

参考文献

- 1) 首藤伸夫: 津波対策小史、津波工学研究報告、No.17、pp.1-19、2000.
- 2) 草野富二雄、横田 崇: 津波予報業務の変遷、駿震時報、第74巻、第1~4号、35-91、2011.
- 3) 建設省河川局、水産庁: 津波常襲地域総合防災対策指針(案)、1983.
- 4) 国土庁、農林水産省構造改善局、農林水産省水産庁、運輸省、気象庁、建設省、消防庁: 地域防災計画における津波対策強化の手引き、1997.
- 5) 中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」: 東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、2011.
- 6) 有川太郎: インドネシアを襲った2つの特異な津波、地震ジャーナル、69号、pp. 1-6、2020.
- 7) 文部省震災予防評議会 [編]: 津浪災害予防に関する注意書、三秀舎、1933.
<https://tsunami-dl.jp/document/024>
- 8) 佐々木晶二: 最新 防災・復興法制－東日本大震災を踏まえた災害予防・応急・復旧・復興制度の解説－、第一法規株式会社、2017.
- 9) 消防庁国民保護・防災部防災課: 津波避難対策推進マニュアル検討会報告書、2013.
- 10) 津波対策推進マニュアル検討委員会: 津波避難対策推進マニュアル検討報告書、2002.
- 11) 総務省: 市町村における津波避難計画の策定状況等の調査結果.
https://www.soumu.go.jp/main_content/000754291.pdf, (閲覧日2023. 9. 6)
- 12) 河田恵昭: 大規模地震災害による人的被害の予測、自然災害科学、Vol.16、No.1、pp. 3-13、1997.
- 13) 小谷 美佐、今村 文彦、首藤 伸夫: GISを利用した津波遡上計算と被害推定法、海岸工学論文集、45 巻、p. 356-360、1998.
- 14) 島田富美男、村上仁士、上月康則、杉本卓司、西川幸治: 津波による人的被害予測に関する一考察、海岸工学講演会論文集、第 46 巻、pp.361-365、1999.
- 15) 今村文彦、鈴木 介、谷口将彦: 津波避難数値シミュレーション法の開発と北海道奥尻島青苗地区への適用、自然災害科学 20(2)、183-195、2001.
- 16) 藤岡正樹、石橋健一、梶 秀樹、塚越 功: 津波避難対策のマルチエージェントモデルによる評価、日本建築学会計画系論文集、67 巻、562 号、p. 231-236、2002.
- 17) 宍戸直哉、宇川弘朗、今村文彦: 津波来襲時における住民の避難過程を考慮した人的被害評価手法の検討、土木学会論文集B2(海岸工学)、2010、66 巻、1 号、p. 1311-1315
- 18) 堀 宗朗、末松 孝司、荒木 秀朗、奥村 与志弘: 土肥裕史、避難シミュレーションにおける品質保証の現状と今後の展望、日本地震工学会論文集、15 巻、5 号、p. 5_144-5_157、2015.
- 19) 坂田 祐介、鈴木 亘、有川 太郎、青井 真: 津波シナリオバンクを用いた避難経路探索手法の検討、土木学会論文集B2(海岸工学)、76 巻、2 号、p. I_1249-I_1254、2020.
- 20) 文部科学省科学技術・学術政策研究所科学技術予測センター: 第11回科学技術予測調査 S&T Foresight 2019 総合報告書 [NISTEP REPORT No.183]、2019.
- 21) MGA Rapid Prototype Development (RPD) Challenge , MGA Hackathon 2020, 2020.
<https://www.multignssasia.com/post/mga-rapid-prototype-development-rpd-challenge>, (閲覧日2021.9.1)



有川 太郎 (ありかわ たろう)

1995年東京大学工学部卒業、2000年東京大学大学院博士課程博士(工学)、2000年運輸省港湾技術研究所(現(国)港湾空港技術研究所)、2015年現職。専門は海岸工学、最近は、津波と構造物の連成計算手法の開発や避難に関する研究に従事。

津波対策とその指針に関する研究委員会の活動

有川 太郎 / 松富 英夫

●中央大学 教授

●中央大学研究開発機構 機構教授

1. はじめに

本委員会は、2004年のスマトラ沖地震津波を契機に、2005.8～2008.5(第1期)「津波災害の軽減方策に関する研究委員会」(委員長 松富英夫)が発足され、津波被害・災害に対する軽減策を検討する委員会として発足し、2008.6～2011.5(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」(委員長 松富英夫)、2011.6～2014.5(第3期)「津波対策とその指針に関する研究委員会」(委員長 松富英夫)と続く。

一方で、2011年東日本大震災を受けて国内外で津波荷重に関して室内実験や数値計算による研究が多数実施されている。このような背景のもとに、2015.6～2019.5(第4期)に「各種構造物の津波荷重の体系化に関する研究委員会」では、様々な構造物に作用する津波荷重について、既往の実験および数値計算の知見を整理することを目的として発足された。その活動を引き継ぎ、津波荷重に関する指南書をまとめようという目標で、本研究会が2019.6～(第5期)より発足され2022.3までの予定である。メンバーは表1の通りである。

表1 研究会メンバー

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	名古屋大学
池谷 毅	東京海洋大学
井上 修作	竹中技術研究所
大家 隆行	パシフィックコンサルタンツ
奥田 泰雄	建築研究所
奥野 峻也	構造計画研究所
鳴原 良典	防衛大学
庄司 学	筑波大学
館野 公一	鹿島建設
中埜 良昭	東京大学
長谷部 雅伸	清水建設
松富 英夫	秋田大学(中央大学)
渡部 真史	中央大学

2. 津波対策の経緯

2.1 津波対策の概要

津波の対策の歴史は、首藤(2000)¹⁾が整理している。それによると、津波対策は、三期に分けられる。

第一期(～1960年チリ地震の津波以前頃まで)：過去の経験や実績に基づき、行われてきた。

第二期(～1987年頃まで)：第一期終わりごろから津波予報が開始された(三陸沿岸を対象とした津波警報組織が1941年に発足し、1952年に気象官署津波業務規程が実施されている²⁾)。第一期、二期ともに、主な対策手法は防災構造物による対策である。

第三期(1987年～)：ソフト対策とハード対策による総合的な対策

津波による堤防対策として初めてであろうものとして、濱口梧陵が築いた土堤がある³⁾。

2.2 堤防高さの決め方の変遷

本研究会においては、特にハード施設の設計について検討していることもあり、堤防高さの決め方の変遷を見てみる。

1983年3月に建設省河川局および水産庁が「津波常襲地域総合防災対策指針(案)」を出している⁴⁾。日本海中部地震が生じる2ヶ月程度前である。そこには対象とする津波として、「対象地域における明治以降の既往最大津波」とすると記載されている。そのため、津波対策としては、①防災施設、②防災地域計画、③防災体制の3分野に分けて捉え、これら3分野の対策を総合的に機能させて津波防災を行う津波総合防災対策の考え方を取り入れている。

その後、この流れをうけて1997年に国土庁、農林水産省構造改善局、農林水産省水産庁、運輸省、気象庁、建設省、消防庁といった関連7省庁で、「地域防災計画における津波対策強化の手引き」⁵⁾が合意された。ここには、「津波総合防災対策は、当該沿岸地域において想定し得る最大規模の津波を対象とするものであるが、防災施設の整備水準としては、地域の実態と施設の効果を考慮して設定するとともに、防災まちづくり・防災体制と組み合わせて総合的に検討することとし、必ずしも対象津波に対応する水準をとるとは限らない」

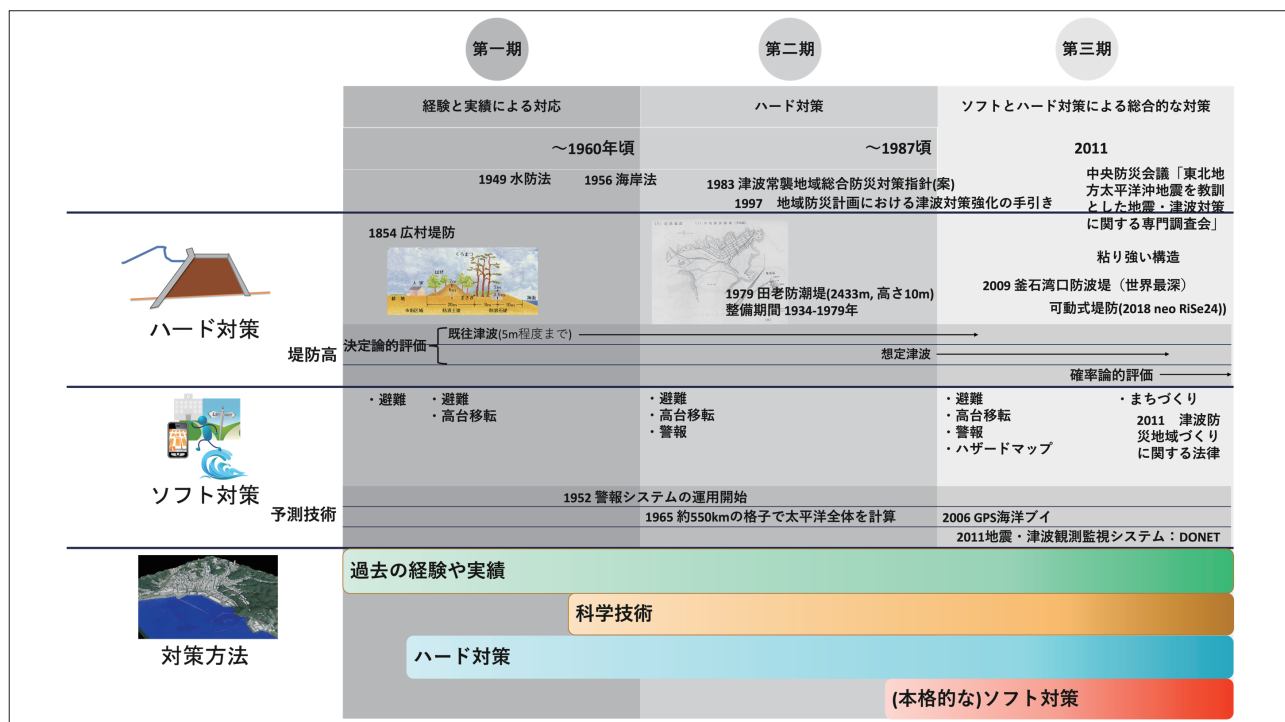


図1 津波対策の変遷の概要

と記載されている。つまり、この時点から最大クラスの津波に対する防護は行わない方針であることがみてとれる。そして、2011年の東日本大震災が生じた。

これまで整備水準が明確化されてこなかったものの、東日本大震災後は、「基本的に二つのレベルの津波を想定」し、「一つは、住民避難を柱として総合的防災対策を構築する上で想定する津波」であり、「発生頻度は極めて低いものの、発生すれば甚大な被害をもたらす最大クラスの津波」と「もう一つは、防波堤など構造物によって津波の内陸への侵入を防ぐ海岸保全施設等の建設を行う上で想定する津波」であり、「最大クラスの津波に比べて発生頻度は高く、津波高は低いものの大きな被害をもたらす津波」とされている⁹⁾。

2.3 堤防による防護からまちづくりへ

東日本大震災後、堤防については、「粘り強い構造」という概念が打ち出された。多くの防潮堤や防波堤などの防護施設が、津波により破堤したことによるもので、「粘り強い構造」とは、越流は許すが可能な限り倒壊しないか、変形は許しても完全には倒壊しないような構造上の工夫のことを言う⁷⁾。

その意味では、東日本大震災後に、防護施設の破壊メカニズムやそれを防ぐような工法に関する研究が数多くなされた⁸⁾。

このように堤防の役割は、確実に防護するという役割から背後への浸水を可能な限り防ぐという役割に変

化していくことになる。そのため、堤防の建設は、背後のまちづくりとセットで考えていく必要があり、「津波防災地域づくりに関する法律」により法的にも担保された。

そこで、土木学会では、「ガイドライン」⁹⁾において、津波の堤防高さの整備水準を確率的に決める方法を提案した。そこでは、堤防の倒壊の不確実性に対して有川ら(2021)¹⁰⁾の方法を用いて検討し、背後の津波荷重を確率的に評価しようと試みている。ここまでの変遷の概要を簡単に図1に示す。

3. 津波荷重算定手法の現状

3.1 津波荷重の定義

津波による防波堤・護岸に作用する波圧は段波波圧(Bore pressure)と呼ばれ、陸上部の構造物など、水の無いところに津波が来襲したときに生じる波圧は、特にサージフロント波圧と呼んで区別する(松富、1991)¹¹⁾。時系列的にみると、まず、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動波圧(段波波圧、Dynamic wave pressure)、次に、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持続波圧(重複波圧、遡上波圧、Sustained wave pressure)となる。それぞれの最大値は、衝撃段波波圧(Impact dynamic wave pressure)、最大持続波圧(Maximum sustained wave pressure)と呼ばれる¹²⁾(図2)。

表2 津波荷重に対する各種構造物の設定状況

				防波堤	橋梁	建築構造物	FEMA	原子力	防波堤	胸壁	建物
				港湾							
荷重の種類	津波先端部荷重	水平荷重	衝撃段波波力	-	-	○	-	-	-	-	-
	〔片側のみに水圧が作用している状態〕		段波波力	修正谷本式(潮倉式)津波高さが水深の60%以上かつ海底勾配1/100以下	波力と区別なし	○	○	○	○	○	○
			波力	谷本式	○	告示式	○	○	○	○	○
		鉛直荷重	全揚圧力	-	○	○	○	-	-	-	-
	津波非先端部荷重 (流れの状態)	水平荷重	抗力	-	○	○	○	○	○	○	○
		鉛直荷重	揚圧力	-	○	○	○	-	-	-	-
			浮力	-	-	○	○	-	-	-	-
	越流時荷重	水平荷重	水位差	○	-	-	-	-	-	-	-
			流体力	-	-	-	-	-	-	-	-
		鉛直荷重	揚圧力	-	-	-	-	-	-	-	-
			浮力	○	-	-	-	-	-	-	-
	漂流物荷重	水平荷重	衝突荷重	-	-	○	○	-	-	-	-
			せき止め荷重	-	○	○	○	-	-	-	-
		鉛直荷重	なし	-	-	-	-	-	-	-	-

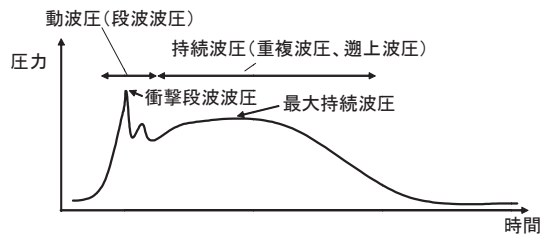


図2 津波波圧の定義(津波の事典, 2007) 12)

3.2 津波荷重の設定状況

表2は、各種構造物の津波荷重の設定状況について抜粋したものである¹³⁾。非先端部荷重とあるのは、図2では最大持続波圧が作用している時間帯の荷重となる。それぞれ、独自の基準があり、その設計値を有している。それぞれの荷重を決定する際において、同じような実験や理論を用いているが、独自に事業主体が決められているのは、そのバラツキと安全率の考え方である。

非先端部荷重については、大きなバラツキはないと考えられるが、これまでの実験の整理等において問題になることがあるとするならば、ゲート急開方式や造波方式を含め、実施する津波の作用時間が短時間になることが多く、実験時において、先端部と非先端部を明確に区分することができていないようなケースも多く見受けられることである。

一方で漂流物の荷重については、バラツキの多い現象であり、それは、衝突体と被衝突体の位置によっても異なる¹⁴⁾。様々な設計式が出されており、それらを比較検討することは可能であるが、本質的には、バラつく原因を一つ一つ潰していくしかないだろうと思われるのと、また、相似則の問題を解決することも重要な課題であると考えられる。

3.3 津波荷重の設定方法の概要

津波荷重算定の基本は、最大持続波圧もしくは最大持続波力の算定であろう。津波高さと構造物の破壊との関係を知ることは、被害想定にも直結する。

海岸線にある壁面に作用する波圧を対象とした場合、静水圧と同じく、鉛直方向に対しては水深に比例した係数(水深係数と呼ぶ)を用いて

$$p(z) = \left(\alpha - \frac{z}{h_i} \right) \rho g h_i \quad (0 \leq z \leq \alpha h_i) \quad (1)$$

と表現する⁸⁾。ここで、 p は波圧、 z は地表面を0として鉛直上向きの座標、 ρ は流体密度、 g は重力加速度、 h_i は構造物が無い状態での構造物の位置における浸水深、 α は水深係数である。これは静水圧式と呼ばれることがあるが、津波の作用力を計算する際の基本となっている。 α は様々に提案されている⁸⁾。

陸上にある建物のような場合は、流れのなかで作用することが多いため、静水圧式を用いる場合と、以下の流れの速さに比例した抗力式

$$F = C_D \frac{\rho}{2} u^2 A \quad (2)$$

も用いられる。ここで、 ρ は流体密度、 C_D は抗力係数、 u は水平流速、 A は水深と幅をかけた作用面積である。抗力式を用いた検討は、日本では、高橋ら(1985)¹⁵⁾の研究から始まっていると推測される。これは、当時の時代背景から、住宅家屋が洪水に対して脆弱な場所に建てるが増え、河川氾濫に対する建築構造物の安全性を評価する必要に迫られたためとある。すでに当時、アメリカでは、そのような技術基準が進んでいたことから、それに倣った考え方であろう。高橋ら(1985)¹⁵⁾は、水理模型実験により波力を詳細に測定しており、流速の2乗に比例していることが示されている。

4. 課題と今後の展開

津波対策の変遷および津波荷重の算定手法の現状をここまで簡単に紹介したが、今後は、まちづくりという観点からみると、やはり数値シミュレーションやAIといった技術を利用し、将来における構造物の変形や破壊まで考えて、沿岸域のまちづくりをするようになっていくであろうと考えられる。

1960年チリ地震の津波の計算を行ったUeno(1965)¹⁶⁾の頃から、かなり計算機は発展し、現在では、1965年と比べるとおよそ3600倍の格子数となる約1000億格子数の計算をBabaら(2016)¹⁷⁾はスパコンを用いて行っている。それによると、およそ80000ノード数を用いて、実時間にして80秒程度の計算を、20秒の計算時間でできている。

また、破壊変形まで計算するということでは、有川ら(2017)¹⁸⁾では、平面2次元の伝播計算と3次元のナビエーストックス方程式による計算、さらには、構造物の変形計算を連成させ、津波の波源から浸水域までを構造物の倒壊も含めて一連で計算できる手法を開発している。また、数値計算の再現性もかなり良いところまでできている¹⁹⁾。他方、漂流物の衝突など、非常にバラつくものについては、確率的な評価をすることが望ましく、そのような手法の開発は重要である。さらには、砂の混入による密度変化の問題もある²⁰⁾。

まだまだ課題は残されているものの、今後は、地震や津波だけでなく、防護施設や背後構造物の波形変形についても確率的に評価できるようにし、沿岸地域の将来像を議論するプラットフォームを構築し、住民と一体となって、津波に対するまちづくりを考えていくようにすることが大切である。

参考文献

- 1) 首藤 伸夫: 津波対策小史、津波工学研究報告、No.17、pp.1-19、2000。
- 2) 中央防災会議「災害教訓の継承に関する専門調査会」、1960年チリ地震津波報告書、2010。
- 3) 気象庁：稲むらの火、<https://www.data.jma.go.jp/svd/equiv/data/tsunami/inamura/p4.html>、(閲覧日2021.9.1)
- 4) 建設省河川局、水産庁：津波常襲地域総合防災対策指針(案)、1983。
- 5) 国土庁、農林水産省構造改善局、農林水産省水産庁、運輸省、気象庁、建設省、消防庁：地域防災計画における津波対策強化の手引き、1997。
- 6) 中央防災会議「東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会」：東北地方太平洋沖地震を教訓とした地震・津波対策に関する専門調査会報告、2011。
- 7) 加藤史訓、諏訪義雄、鳩貝 聡、藤田光一：津波の越流に対して粘り強く減災効果を発揮する海岸堤防の構造検討、土木学会論文集B2(海岸工学)、70 巻、1 号、p. 31-49、2014。

- 8) 有川太郎：防護施設の粘り強さ、2015年度(第51回) 水工学に関する夏期研修会講義集、土木学会、pp. B-3-1-B-3-20、2015。
- 9) 土木学会 減災アセスメント小委員会：津波に対する海岸保全施設整備計画のための技術ガイドライン、2021。 <https://committees.jsce.or.jp/cprcenter/node/310>
- 10) 有川太郎、宮内俊晴、北野利一、福谷 陽、渡部真史：防護施設の脆弱性の違いによる背後地域の津波浸水確率への影響、土木学会論文集B2(海岸工学)、77 巻、2 号、印刷中、2021。
- 11) 松富 英夫：砕波段波衝突時の圧力分布と全波力、海岸工学論文集、38 巻、p. 626-630、1991。
- 12) 首藤 伸夫、越村 俊一、佐竹 健治、今村 文彦、松富 英夫：津波の事典、朝倉書店、2007。
- 13) 土木学会コンクリート委員会規準関連小委員会：2018年制定コンクリート標準示方書「規準編」、2018。
- 14) 村瀬史弥、渡部真史、平石晃士、有川太郎：遡上津波先端部における漂流衝突速度の反射波による低減効果の検討、土木学会論文集B2(海岸工学)、76巻、2号、p. I_685-I_690、2020。
- 15) 高橋 保、中川 一、加納茂紀：洪水氾濫による家屋流出の危険度評価、京都大学防災研究所年報、第28巻、B-2号、pp.455-470、1985。
- 16) T. Ueno: Numerical computation for the Chilean Earthquake Tsunami, Oceanogr., Mag., vol. 17., p. 87-94, 1965。
- 17) T. Baba et. al: Large-scale, high-speed tsunami prediction for the Great Nankai Trough Earthquake on the K computer, The International Journal of High Performance Computing Applications, Vol. 30(1), p.71-84, 2016。
- 18) 有川 太郎、関 克己、大木 裕貴、平野 弘晃、千田 優、荒木 和博、石井 宏一、高川 智博、下迫 健一郎：階層型連成シミュレーションによる高精細津波遡上計算手法の開発、土木学会論文集B2(海岸工学)、73 巻、2 号、p. I_325-I_330、2017。
- 19) Arikawa T, Kihara N, Watanabe M, Tsurudome C, Hasebe M, Shighihara Y, Asai T, Ikeya T, Inoue S, Matsutomi H, Nakano Y, Okuda Y, Okuno S, Ooie T, Shoji G, Tateno T: Blind Prediction Contest For Tsunami Inundation And Impact. Proceeding of 17th World Conference on Earthquake Engineering, 2021。
- 20) 松富英夫：流体解析を用いた研究事例 その1 - 津波荷重評価高度化への視点 -、2021年度日本建築学会大会、PD陸上建物の津波荷重に関する研究の現状、2021。



有川 太郎 (ありかわ たろう)

1995年東京大学工学部卒業、2000年東京大学大学院博士課程博士(工学)、2000年運輸省港湾技術研究所(現(国)港湾空港技術研究所)、2015年現職。専門は海岸工学、最近では、津波と構造物の連成計算手法の開発や避難に関する研究に従事。



松富 英夫 (まつとみ ひでお)

中央大学研究開発機構 機構教授。1979年中央大学大学院博士前期課程修了。1980年秋田大学助手、その後助教授、教授、名誉教授を経て現職。工学博士。専門：水工学

地域の災害レジリエンス評価に関する研究

蛭間 芳樹

●株式会社日本政策投資銀行 産業調査部兼
サステナブルソリューション部ほか 調査役

／臼井 瞭

●株式会社日本経済研究所
ソリューション本部 副主任研究員
コンサルタント

／梅山 吾郎

●SOMPOリスクマネジメント株式会社
BCMコンサルティング部
主席コンサルタント

本稿では、2015年4月から2018年3月の間に設置された、日本地震工学会 (JAEE) 会長特別研究委員会 (当時は目黒公郎会長) の研究成果を、今次的特集企画の趣旨、目的を踏まえ報告する¹⁾。

1. 背景と目的

東日本大震災は、私たちが開発してきた都市や地域あるいは産業構造に対して、経済性や効率性を目的に設計されたシステムは災害脆弱性を増すということを露わにした。今世紀前半の発生の可能性が高いとされている南海トラフ地震や首都直下地震は、東日本大震災と比較して、想定震源域が陸地に近く、太平洋岸の大都市が災害危険度の高い低平地に立地していること、木造家屋が密集した火災に対して脆弱な地域も多く存在すること、湾岸地域には石油コンビナートをはじめとする各種プラントや火力発電所などが集中していること等から、南海トラフ地震は、東日本大震災の数十倍規模、およそ171.6兆円規模の経済被害をもたらすものと試算されている²⁾。人口減少や財政逼迫に代表される社会環境の大きな変化を念頭におけば、日本にとって、そのような被害からの復旧や復興は極めて困難である。

また、日本全体を考えれば、地域ごとの特徴に大きな違いがあるため、地域特性に配慮した自治体などのステークホルダーによる予防的な防災対策の実施が欠かせない。その実施にあたっては、地域を構成するステークホルダーの間で、災害に対する共通の認識のもと、自助、共助、公助の備えを、中長期的な地域の社会環境の変化を踏まえながら共有されなければならない。地理的条件に起因する共通のハザード認識とリスク・コミュニケーション、時間的制約および経済性を勘案した被害を最小限に抑える一すなわちリスク・コントロールに貢献する政策・金融モデルの構築が必要である。日本国民の生命と財産を護ることを国家目標とし、わが国の国難とも言える巨大災害や重大事故に適応していく新しい制度設計がまさに求められている。

こうした状況認識を背景に、本研究は、次の3つを目的とした研究活動を実施した。

(1) 国内外の防災やレジリエンスに関する政策・事業事例の調査・分析を踏まえ、地域の防災力／レジ

リエンス力に関する評価手法を確立すること

(2) 人的・物的被害軽減に向けたリスク・コントロールの制度設計を法制度、金融制度、都市計画などの様々な観点から検討すること

(3) 世界標準化を視野に入れた地域レジリエンス政策モデルのあり方を示すこと

国民が、企業が、自治体が、当事者意識と危機感を持って自主的な行動に移すことが、次の災害被害を可能な限り低減し、わが国に対する世界の信頼を得る出発点となると考える。

2. 委員構成員の特徴

本研究会の委員は、意図的に、多様な主体、専門分野からの構成員とした。第1章の問題意識のもと、研究を遂行するためには、理工学と人文社会学を融合したハードとソフト対策の組み合わせ、産官学に金融とメディアを合わせた総合的な災害マネジメント対策の理論構築、さらに社会実装のための政策研究を行うためには、マルチ・ステークホルダー参加型の研究が欠かせないと考えたためだ。具体的には、日本地震工学会会員を中心に、大学、ゼネコン、保険、金融、メディア、広告、地理情報、教育、自治体実務者など、多様な組織と専門分野から構成されている。

3. 研究構成

本研究は以下の構成から成る。

第1部：地域の災害レジリエンス評価モデルの構築

- 1) ハザード評価
- 2) マネジメント評価
- 3) 情報マネジメント評価

第1部では、文献調査、自治体へのヒアリング調査、実地調査、有識者ヒアリングによる調査研究を行った。国内外の先行研究、実務事例のレビューを踏まえ、地域レジリエンスを定義し、その評価手法を構築した。

第2部：事例研究、政策提言など

- 1) 事例研究
- 2) 評価制度の社会実装化研究
- 3) 政策シミュレーション

第2部では、事例調査、シミュレーション調査、影

響度調査による調査研究を行った。第1部で定義された地域レジリエンス力を基に、地域の災害レジリエンス向上のための政策・制度設計研究を行った。

なお本研究会では、先行研究としての国連防災世界会議や国連SDGs2030年目標の災害レジリエンス研究、世界経済フォーラム（ダボス会議）での経済と国家レジリエンス研究、内閣府防災、内閣官房国土強靭化政策、日本政策投資銀行BCM格付融資など、当該分野の国内政策動向と国内外の最新研究成果や政策モデル、ビジネスモデルの確認も行った。

4. 研究成果

本稿では、研究成果のうち、1) 地域の災害レジリエンスの定義、2) 地域レジリエンス評価の概要、3) 研究成果の社会還元を紹介する。

1) 地域の災害レジリエンスの定義

本研究会では、「地域の災害レジリエンス」を、図1の総合的な災害マネジメント体制の構築に資する概念として捉え、以下の通り定義した。

「地域としての総合的な防災力向上を目的に、地域ごとのハザード特性を認識するとともに、中長期的な社会環境の変化を踏まえ、地域の構成員それぞれが自助努力を講じるとともに、関連するステークホルダー

の活動を積極的に後押しする総合的な能力のこと。（防災の定義は、災害対策基本法の定めを言う。）」

地域の災害レジリエンス（＝総合的な防災力）は、「被害抑止対策」「被害軽減対策」「災害の予知・予見と早期警報」の3つの事前対策と、「被害評価」「緊急災害対応」「復旧」「復興」の4つの事後対策を、対象地域の地域特性や災害特性と、これまでに実施してきた防災対策の状況を踏まえて、効果の高い対策から適切に実施することで実現する。具体的には、下の図1で示した7つのフェーズに対して、「自助、共助、公助」のそれぞれに対応する次の3つの担い手「個人と法人」「そのグループやコミュニティとNPO/NGO」「国・都道府県・市区町村の行政」が、それぞれに実施すべき対策を理解し、与えられた時間と予算の中で、効果の高いものから実施していくことが重要である、との認識から、地域レジリエンスを定義した。

2) 地域の災害レジリエンス評価の概要

地域レジリエンスの定義に対して、その評価指標を構築するべく、以下の3つのワーキンググループで検討を進めた。

① 地域ハザード特性評価

地域特性としてのハザード評価方法を開発する。地域を支える重要インフラの脆弱性や人的、経済的損失

あるべき姿マトリクス【G】

		発災↓						
		被害抑止力	被害軽減力	災害予知と早期警報	被害評価	災害対応	復旧	復興
自助 (市民+法人)	H							
	S							
共助	H							
	S							
公助	H							
	S							

ありのままの姿(現在の取り組み状況)マトリクス【P】

		発災↓						
		被害抑止力	被害軽減力	災害予知と早期警報	被害評価	災害対応	復旧	復興
自助 (市民+法人)	H							
	S							
共助	H							
	S							
公助	H							
	S							

実施すべき対策のマトリクス

		発災↓						
		被害抑止力	被害軽減力	災害予知と早期警報	被害評価	災害対応	復旧	復興
自助 (市民+法人)	H							
	S							
共助	H							
	S							
公助	H							
	S							

(要する時間、費用、効果)

図1 総合的な災害マネジメント体制の構築

等の相対評価モデルの確立を目指す。

② 地域マネジメント力評価

地域の防災力、レジリエンス力に関する評価手法を開発する。総合的な災害対策マトリクスに基づいた、自助、共助、公助の役割分担と、それぞれの自助努力を促すとともに、相互の関係性を踏まえた取組誘発型に着目した評価モデルの確立を目指す。

③ 地域リスク・コミュニケーション力評価

地域に流通する防災関連情報の量や内容、行政の発信方法や各ステークホルダーとのコミュニケーション程度を評価する。事前の防災誘発型リスク・コミュニケーションと有事の被害軽減、復旧・復興に貢献するクライシス・コミュニケーション評価モデルの確立を目指す。

これらの調査・研究から地域の災害レジリエンス評価シートを開発した。表1が設問例である、地域の災害レジリエンス評価シートを開発した。また、各設問を開発する際の評価の考え方は、図2のように、優先順位を委員会で議論をし、自治体などへのヒアリングなどを通じて、より実態に沿う形であるとともに、行

表1 評価設問、選択肢の例

【設問例】	設問内容	選択肢				備考
		3	2	1	0	
	意図(疑問／課題含む)	コメント(ご意見、ご提案を記入してください)				
防災対策の前提と被害想定						
【1】地域防災計画の策定						
防災に対する首長の方針やビジョン、自助・共助を促す意識や戦略が地域防災計画に示されているか						
1	防災ビジョンの提示	地域の特性に合わせた防災の在り方として、市区町村がめざす防災のビジョン、取組を通じめざす地域の姿を地域防災計画に示しているか、もしくは今後示す予定で、検討しているか	示している	次回改訂時に示す予定	示していない	※H26年度防災ビジョンの記載を加えたのは、102市区町村(消防庁①)
		市区町村自体が、最善と考える防災のあり方をビジョンとして示し、それに基づいた対策が求められると考えるため。	【コメント記入】			

1. 「実施すべき対策」

生命への影響度がAランク・Bランクの全148問から構成。評価対象自治体は、設問への回答・評価を通じ、自らの脆弱な対策分野(例:情報発信、不燃化など)を把握することが可能となる。

2. 「実施することが望ましい対策」

「実施すべき防災対策」よりもさらに踏み込んだ取組状況を測る全105問から構成。自治体のさらなるレジリエンス力強化に繋がることを意識した設問設定としている。

3. 「広報コミュニケーション評価」

上記2つの評価とは異なり、防災や災害に係る情報伝達の手段について、自らの取組を確認するためのもの

図2 設問の設計思想

動変容を促す意図も含めて設問を開発した。なお、評価シートはJAEEのホームページにて一般公開しているので、自由に活用することが可能だ。ただし、公開されている評価シートは初版であり、研究会後も更新されていることを付言する(更新版は委員会関係者間で共有)。

3) 研究成果の社会還元

本研究成果の社会還元として、研究会の最終年度に一般公開セミナーを開催した。また、JAEEのHPにて研究会の報告書や評価シートなどを公表している。

また、文部科学省「地域防災対策支援研究プロジェクト」のもと防災科学技術研究所が主導している「地域防災web」(担当:三浦伸也主幹研究員(当時))と連携し、本研究の成果を社会実装するための検討もしている。具体的には、地域の災害レジリエンス評価結果を図3のようにレーダーチャート化し、弱点や脆弱性を

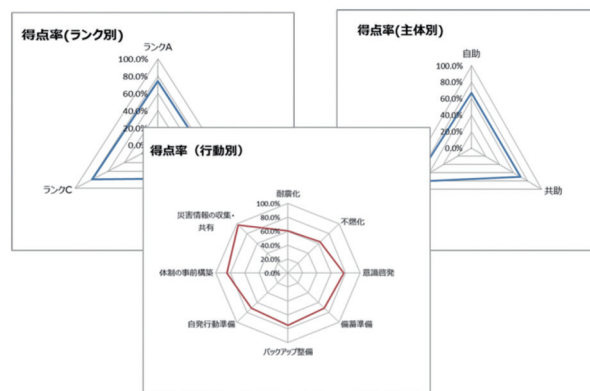


図3 評価結果の可視化と助言

表2 評価結果の可視化と自治体間の比較の例(表の自治体はダミー)

あなたの地域を知ろう									
概要 自然・社会特性 災害の危険性 災害に関する地図 災害の記録 類似の市区町村									
県本県 益城町 に類似の市区町村									
実践事例がある 地域防災Webにアカウントがある 市区町村の区分が同じ 沿岸地域を含む									
#	市区町村	スコア	人口	高齢化率	財政力指数	自然特性	社会特性	災害の危険性	災害R評価結果(イメージ)
-	熊本県 益城町	-	24,201人	25.5%	0.55	3	4	-	B
1	奈良県 葛城市	0.86	37,059人	25.3%	0.56	4/4	4/4	78.9%	データなし
2	熊本県 益子町	1.44	24,204人	25.0%	0.54	4/4	3/3	82.5%	B
3	山梨県 都留市	1.57	31,781人	25.6%	0.51	5/5	3/3	78.6%	A
4	茨城県 八千代町	1.57	23,137人	25.1%	0.55	3/3	4/4	72.9%	データなし
5	福岡県 広川町	1.59	19,830人	25.5%	0.55	5/5	4/4	81.1%	C
6	山形県 東根市	1.72	47,797人	25.2%	0.57	4/5	4/4	82.3%	B
7	宮城県 大河原町	1.85	23,768人	24.7%	0.57	4/5	4/4	79.9%	データなし
8	宮城県 柴田町	1.93	38,440人	25.8%	0.6	4/4	4/4	80.6%	C
9	岐阜県 池田町	2.02	24,690人	24.9%	0.59	4/5	3/3	81.1%	D

を可視化するとともに、地域社会の特性に近い自治体との比較(表2)をすることで、好事例を学び合う社会環境の整備構築を目指している。

5. 結語

本稿は、2015年4月から2018年3月の間に設置された、JAEE会長特別研究委員会の研究成果を報告した。東日本大震災から10年を経過し、その間も多数の自然災害が発生し、足下は新型コロナウイルス感染症による社会、経済への影響が続いている。本研究が、様々な災害、危機に対する地域の防災、復興の一助になることを切に願い、更にはJAEEの今後の継続的な発展に寄与することを願う。この度は、貴重な機会を頂き、著者陣並びに研究会に参加していただいた各委員を代表して、御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 公益社団法人日本地震工学会：地域の災害レジリエンスの評価指標開発と政策シミュレーション研究委員会 最終報告書、74頁、2015。
- 2) 内閣府政策統括官(防災担当)：南海トラフ巨大地震の被害想定について(経済的な被害)、14頁、2019。



蛭間 芳樹(ひるま よしき)

1983年、埼玉県生まれ。2009年東京大学大学院工学系研究科社会基盤学専攻修了、同年DBJ入行、営業、環境・CSR部、経営企画部などを経て現職。2020年、スタンフォード大学サステナビリティ経営戦略エグゼクティブコース修了。

専門は、社会基盤学(都市防災)、金融、リスク&レジリエンス、サステナビリティ経営戦略、サッカー、市民農園。世界経済フォーラム(ダボス会議)グローバル・リスク研究パートナー(2012)、ヤング・グローバル・リーダー選出(2015)、第3回国連防災世界会議「リスクファイナンス部会委員、世界銀行リスクファイナンスコミッティ委員、G20気候変動タスクフォース適応ファイナンス委員、内閣府「事業継続ガイドライン」策定委員、経産省「エネルギーレジリエンス」委員、防災ISO「災害リスクファイナンス」座長、東京大学生産技術研究所協力研究員、多摩大学社会的投資研究所研究員、一橋大学大学院非常勤講師など、内外の政府関係、民間、大学の公職多数。

2009年よりホームレスが選手の「ホームレスワールドカップ」の日本代表チーム「野武士ジャパン」のコーチ・監督をボランティアで務め、2012年のW杯パリ大会に出場。2015年、ホームレス・生活困窮者・障がい者・うつ病・性的マイノリティ(LGBT)らとフットサル等を行う「ダイバーシティ・サッカー協会」を共同創設、現理事。ビッグイシュー基金理事。

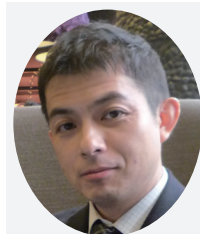
著書：責任ある金融、日本最悪のシナリオ 9つの死角、気候変動リスクとどう向き合うか、ホームレスワールドカップ日本代表のあきらめない力、コロナ危機対応民間臨時調査報告書など。



臼井 瞭(うすい りょう)

株式会社日本経済研究所 ソリューション本部
サステナビリティ経営コンサルティング部 兼 経営コンサルティング部 副主任研究員 コンサルタント
特定非営利活動法人事業継続推進機構 幹事

BCP策定支援業務、サステナビリティに焦点を当てた企業経営のサポート等に従事。



梅山 吾郎(うめやま ごろう)

SOMPOリスクマネジメント株式会社 BCMコンサルティング部 主席
コンサルタント、一橋大学国際・公共政策大学院 非常勤講師、(一社)ふくしま総合災害対応訓練機構 アドバイザー

専門は防災・危機管理。技術士(上下

水道部門)

福島原発事故独立検証委員会ワーキンググループメンバー。共著書に「日本最悪のシナリオ 9つの死角」(新潮社)、「新型コロナ対応民間臨時調査会 調査・検証報告書」(一般財団法人アジア・パシフィックイニシアティブ)ほか。

ライフラインのGISデータ構築とその利活用

鎌田 泰子

●神戸大学大学院工学研究科 准教授

1. 委員会活動とその成果

東日本大震災において、上下水道や都市ガス、電力、通信などのライフラインには、広範囲に様々な形態の被害が生じた。今後の学術研究に重要な被害状況が十分に整理・収集されない現状にあることを鑑み、ライフラインの地震被害資料を収集し、GIS(地理情報システム)上の統一した形式によるデータベースの構築、ならびに今後の学術研究やライフライン事業体の地震対策技術の知見となる共有財産として活用させるための方策を検討することを目的に、平成23年11月に立ち上げた委員会が「東日本大震災によるライフライン被害データベース検討委員会」である。

委員会には、大学、企業の各種ライフライン地震防災の専門家である10名の委員が参画し、平成23年11月から平成27年3月までの期間において活動を実施した。平成23年度には、研究活動方針として福島県いわき市を対象とすることに決め、水道・下水道のライフライン事業者に現地ヒヤリングを行い、管路データならびに被害データの資料提供を受けた。平成24年9月には、いわき市水道局と共同研究協定を締結し、平成25年度末までライフライン被害データベースの構築と分析に関して共同研究を行うこととなった。平成24年度には、共同研究の打ち合わせの他、常磐ガスへのヒヤリングや市内の現地調査を行った。平成24、25年度には、個々の研究成果を年次大会で報告した。水道局との共同研究の成果については、水道事業体が多く参加する日本水道協会の研究発表会で委員といわき市水道局職員が共同で発表を行い、実務技術者に広く学会の委員会活動の成果を報告した。平成26年度には、第14回日本地震工学シンポジウムにおいて、土木学会地震工学委員会の「ライフラインの地震時相互連関を考慮した都市機能防護戦略に関する研究小委員会」と共催でオーガナイズドセッションを行い、本研究委員会の最終成果報告の場とした。委員会終了後にも、委員会で構築したデータベースを利用して学術論文が発表されている^{1),2)}。

いわき市水道局では、震災以前から管路更新事業が予定されていたが、地震が発生したために計画が中断していた。本委員会との共同研究により、地震による管路の脆弱性評価結果を更新計画の中に反映し、平成

26年度に新たな更新計画が策定された。

また、共同研究で構築したGISデータベースを今後の研究等の資料として活用するため、いわき市とその公開方法について検討した。具体的には、データ利用申請の受付や審査などを行うための協議会³⁾を設立し、会員が申請手続きをすれば利用できるようにした。委員会活動は平成27年3月をもって終了したが、データベース利用協議会は継続的に運営し、本委員会活動のフォローアップを行っていくことになった。これにより、委員だけでなく他の会員が様々な視点から被害データを用いて分析し、ライフライン地震工学研究分野の発展だけでなく、いわき市への研究成果の還元につながる事が期待される。データベース協議会へのアクセスは以下のURLを利用していただきたい。
(<http://ares.tu.chiba-u.jp/JAEELL/>)

2. 委員会発足の動機と当時の状況

ライフライン施設の大部分は、地中に埋設されている管路やケーブルなどの地中埋設物である。そのため、一度埋設されれば、何らかの被害を受けるか更新時期にならなければ、掘削して構造物の劣化損傷状況を確認することができない。さらに、地中埋設物は、材質や継手特性、埋設年度などの構造物としてのパラメータ以外に、地震動などの外力や周辺地盤のローカルな条件によって被害を受ける。そのため、ライフライン地震工学の分野では、上下水道やガス、電力、通信などの供給系とともに、道路や鉄道などの交通、輸送系のライフラインにおいても、管路やケーブルなどの構造物の属性と位置情報に基づく地震動や地盤などのハザードのパラメータを組み合わせて、システム全体の特性(脆弱性、ネットワークとしての信頼性、連結性など)を定量的に評価する研究が早くから進められてきた。

現在でも、埋設管路網の被害予測は、過去の地震における被害データの統計分析から得られた、地震動指標と延長当たりの被害量との関係についての経験式で行われている。予測精度の向上のためには、被害箇所に関連したパラメータを上手く整理することが重要となる^{4),5)}。また、管路一つ一つにこれらの属性データがあり、システム全体では多くのデータを取り

込むことになるため、最近話題のAIの一つである機械学習も早くからライフラインの分野では利用されてきた。

これらの研究で管路に位置情報を与えて空間的に他のパラメータと関連づけるために導入されたのがGIS（地理情報システム）であり、当研究分野での導入時期は1990年代頃である。私は、1998年に神戸大学工学部建設学科土木教室の高田至郎教授の研究室に配属された。当時、研究室では1995年の阪神・淡路大震災による神戸市域の配水管路網の地震被害分析にGISが用いられていた。ただし、現在のGISとは仕様が大きく異なっていた。座標系は世界測地系に移行する前の日本測地系であり、管路網などのデータはCADデータを座標変換したものであった。背景図として用いていたラスターデータもスキャンしたもので非常に重いものであった。そのGISに、諸先輩方が、被害点のデータを地図資料から読み取り、一つずつ手作業で入力されていた。それでも、当時のGISは非常に高価なものだったと思う。また、そのGISによって多くの研究成果が発表された^{例えば、6)}。当時はGISに利用できる数値データも揃っていなかったために、データを構築するところから研究が始まる。こうした研究は、時間や労力の9割方をデータベースの構築のために割いて、残りの1割でデータを基に解析・分析する具合である。もちろん、後述するようにデータベースのあり方は近年変わりつつある。しかし、少なくとも導入当時のGISを用いた研究は、当時学生であった私の目には「見栄えはするけど泥臭い研究」と映っていた。

被災地の大学の地震防災研究室であったことから、各種ライフラインの被害データが揃い、研究室では多くの学生がGISを用いた分析をしていた。ただし、ライフライン事業者によってGISのソフトは異なり、データ形式の互換性はなかった。この背景では多くの被災ライフライン事業者から、委員会活動や共同研究などの形式は別として、大学に被災資料が提供されていた。なぜか。当時の関西の大御所と呼ばれる大学教授の方が企業にデータを出させていたという見方もできなくはない。しかし、当時、地震工学研究の最前線にいた研究者や技術者から聞いた話を私なりにまとめると以下のようなものではないかと考えられる。阪神・淡路大震災の被害は経験をしたことのないもので、想定を遥かに超えるものであった。被災事業者は、被害状況を説明するだけの高度な解析技術や知見を有していなかった。そのため、それら事業者の多くは、事業体内に被害データを抱え込まず、外に被害データを積極的に提供して、大所高所から多くの意見を得ようとした。

これは、当時の関西の研究者や技術者が共有していた価値観かもしれない。阪神・淡路大震災における学協会や各種ライフラインの報告書には、鮮明な管路網図とともに被害箇所が明記された地図が掲載されている。さらに、被災地を現地調査した米国の研究機関発行の報告書にも詳細な記録が残されている。近年では、学術論文にも管路図を掲載することも難しくなっている状況からすると、当時は今ほど厳しくはなかった。

東日本大震災後、私は現地調査のために被災地各所を訪問した。阪神・淡路大震災では被災の大きい場所は神戸・阪神地域に限られていたが、今回、震度6以上の地域でみれば東日本の多くの市町村が該当する。扱っている構造物やその地域の地盤特性、地震動の特性が異なるため、一概に震度情報だけで研究対象となる地域を選択できないため、私は時間のある限り現地調査に出かけて、被害程度や新たな被害形態がないかを調査した。しかし、地震から2、3週間経過すると、既に被害箇所の復旧工事が終わり、現場に赴いても被災直後の様子をなかなか知りえることはできなかった。被災地が早く復旧してほしいと思う一方で、研究者として被害の記録をしっかりと残してほしいとも思った。また、現地調査において資料提供していただいた事業者は多くあり、感謝しているが、諸先輩方から聞いていた阪神・淡路大震災の頃のように事業者が積極的に被害データを提供するような空気はなく、事業体に問い合わせてもなかなか詳細な資料が出てこないことも多かった。このような焦りが、委員会発足を突き動かしたともいえる。

10年前の東日本大震災当時、都市ガスや電力、通信ではライフラインデータのGIS化は既に進んでおり、それらのデータを利用した被害予測や復旧予測などの研究がされていた^{例えば、7)}。一方、水道や下水道、公営ガスなどは市町村が事業者になるため、中小の事業者では管路網データのGIS化はほとんど進んでいなかった。水道の分野では厚生労働省が平成16年に水道ビジョンを策定し、平成20年には新水道ビジョンとして改訂したことを切欠に、市町村でも10年先を見越した水道ビジョンを策定するようになっていた。ビジョン策定にあたっては、その根拠となる事業投資や経営計画が必要となり、最近ではアセットマネジメント評価も導入されるようになってきた。その評価のためにも、これまでは描画目的のものだった管路網のCADデータが、徐々にGISデータへと更新されて扱われるようになってきた。実際に、現地調査していた被災事業者の中にも震災から数年後に、管路網データをGISデータにしたという事業者が複数あった。委員会の共同研

究先であったいわき市もその一つで、共同研究開始当初は管路網、被害箇所ともに紙地図データしかなく、研究室の学生が道路のSHAPE形式のデータを加工しながら管路データを構築した。いわき市は人口33万人で東日本の市町村からみれば比較的大きい都市であるが、それでもGISは導入されていなかった。広域災害において市町境界を越えて配水管の地震被害分析をしようとするなら、一市町ずつ管路網をGIS化しなければ研究できない状況であった。別の研究で宮城県北部の市町で分析した時には、いずれの市町でもSHAPE形式の管路図はなく、道路の数値地図から管路データ、被害点データを構築して分析した⁸⁾。まだ10年前はデータ構築に手間暇を掛けなければならない状況であった。

それでは、当委員会はなぜ、いわき市を研究対象にしたのか。仙台市や首都圏の液状化地域では地震直後から震災の被害に関する委員会が立ち上げられ、また管路網もGIS化されていた。沿岸部の津波被災地域では、津波による浸水被害は甚大であったものの、地震動による被害は内陸地域に比べると僅かであることも耳にしていた。したがって、地震動による管路網の被害分析をするには、管路延長が長く、地震動が大きく、表層地盤の増幅によって被害を受けやすい地域であることが検討対象としては適していた。また、いわき市では震災の1か月後に市内を震源とする内陸地震が発生していたことも、東北地方太平洋沖地震の本震の被害と比較検討する上で興味深かった。

これらは、検討対象の理由として十分である。しかし、折角の機会なので、今だからいえることを書かせていただく。震災から2か月後に私が初めていわき市に現地調査にいった時のことである。当時の配水課長さんに被害状況についてヒヤリングをしていたときに、課長さんは途中から涙を滲ませられた。地震後、いわき市では復旧にあたらうとした矢先、原発事故の影響で市外へ避難する住民が続々と出た。さらに、他都市の水道事業体からの応急給水や災害復旧などの災害応援が急遽取り止めとなり、他からの応援なしに、残された職員と市内の管工事組合の作業員とで配水区を分けて復旧していった。他の東日本の被災した市町では、マスコミや他都市からの災害応援が来て復旧・復興している中で、いわき市だけが取り残されているような孤独感をお持ちではないかと思った。直接的な復旧支援もせず、ただヒヤリングに訪問した私に対して、課長さんは丁寧に対応していただいた。研究者は、地震後に調査にやってきて現場を乱して何も貢献せずに帰る、と言われる。これまでの調査研究が被災地に役立っているかといわれると、必ずしもそうではないか

もしれない。ただ、今回においては、委員会活動を通して局職員と専門家が意見交流することや、学会発表を通していわき市の復旧対応を広く知ってもらうことで、委員会として被災地を支援できることがあるのではないかと考えていた。

3. GISデータのオープン化とクローズ化

東日本大震災から10年が経過した現在、もし同じような規模の災害が発生した時に、前回と同じような委員会を立ち上げる必要があるのだろうか。

東日本大震災当時、前述したように道路のラインデータを加工して管路図を作成していた。この道路データは国土地理院から購入した数値地図である。一方、この10年でGISに使用できるフリーの数値地図データは整備され、国土交通省の国土数値情報⁹⁾や総務省のe-stat¹⁰⁾などで簡単に市町の境界や道路、河川のラインデータ、諸施設などのポイントデータの数値地図をダウンロードして利用することができるようになった。さらに、フリーのGISソフトも公開されるようになり、GISを利用した研究は他分野に広がったといえる。

事業体の管路データのGIS化については、ビジョン策定やアセットマネジメントの導入とともに、この10年間で進んできている段階にある。ただし、大都市では管路網のGIS化が整備されているものの、事業体間に格差が生じている。市域を超えて広域で管路網データを用いて被害予測をするにしても、データのない地域がどうしてもできるため、他の数値地図データで補間して管路情報を構築する手法¹¹⁾が提案されている。GISが導入されれば、地震工学に限った研究だけでなく、劣化予測や更新計画など事業体にとって事業の幅が広がる。そのためにも、ライフライン事業者には積極的にGIS化に取り組んでいただきたい。

一方で、阪神・淡路大震災の頃とは違い、個人情報や情報セキュリティの関係で管路データや被害データが事業体から提供されにくくなっているのも確かである。水道、下水道などの場合、実は時間が経てば被害資料は揃う。それは、被災事業体が災害査定を受けるために被害資料を整理するためである。災害査定資料では、被災場所の工事の写真と被害箇所の場所のリストが含まれる。現在はまだ紙媒体であるが、厚生労働省や国土交通省が被害箇所座標を電子データで提出することを規格化すれば、広域災害においても統一した形式でライフラインの被害データを整理することは可能になる。さらに、官と学会との連携が図られ、災害資料を学会が共有できるような仕組みができれば、そ

れを利用した地震防災研究に発展する可能性もある。

10年前のように委員会が手を動かして管路データ、被害データを構築するというのではなく、事業体にもGIS化の素地ができあがる途上にあるため、学会が新たなフレームワークで地震時の被害データを収集・構築して、研究の基礎データとして利用することが今後の課題といえる。

参考文献

- 1) 永田茂, 丸山喜久, 庄司学: 既往の上水道配水管の地震被害予測式の予測精度に関する検討, 土木学会地震工学論文集第34巻, 71 巻, 4, pp. I_50-I_61, 2015.
- 2) 鋤田泰子, 佐藤圭介, 加藤蒼二: 東日本大震災における二地震の被害分析に基づく配水管路脆弱性評価, 日本地震工学会論文集, 16 巻 8 号, pp. 8_145-8_155, 2016.
- 3) 東日本大震災におけるライフラインデータ利活用協議会, URL: <http://ares.tu.chiba-u.jp/JAEELL/>
- 4) 磯山龍二, 石田栄介, 湯根清二, 白水暢: 水道管路の地震被害予測に関する研究, 水道協会雑誌, Vol. 67, No. 2, pp. 25-40, 1998.
- 5) 丸山喜久, 山崎文雄: 近年の地震被害データを加味したマクロな配水管被害予測式の改良, 土木学会地震工学論文集, Vol. 30, pp. 565-574, 2009.
- 6) 高田至郎, Nemat Hassani, 福田克己, 北田敬広: 地中管路被災の方向性と震源近傍地震動特性, 地震工学研究発表会講演論文集, 25 巻 pp. 1053-1056, 1999.
- 7) 朱牟田善治, 松山昌史: 自然災害に対する配電設備の被害想定・復旧支援システムの開発: 東日本大震災以降の電力導入状況と津波被害推定に向けた取組, 電気評論 99 (8), pp.43-47, 2014.
- 8) 鋤田泰子, 大野顕大: 東北地方太平洋沖地震における宮城県北西部の管路被害の特徴, 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学) 69 巻 4 号, pp. I_734-I_741, 2013.
- 9) 国土交通省: 国土数値情報ダウンロードサービス. (<https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/index.html>)
- 10) 総務省: 地図で見る統計 (統計GIS). (<https://www.e-stat.go.jp/gis>)
- 11) 小林朋美, 山崎文雄, 丸山喜久: 道路網のGISデータに基づく上水道管路の分布推定, 地域安全学会論文集, 21 巻, pp. 267-274, 2013.



鋤田 泰子 (くわた やすこ)

1999年神戸大学卒、神戸大学助手、准教授を経て現職、博士(工学)、専門分野: ライフライン地震工学

日本地震工学会創立20周年記念式典参加報告

鳥澤 一晃／木下 貴博／大野 卓志

●関東学院大学 ●竹中工務店 ●高圧ガス保安協会

1. 式典概要と会長挨拶

日本地震工学会は2021年1月で創立20周年を迎え、記念式典を2021年5月25日に完全オンライン形式で開催し、約130名の会員が視聴した。本稿では、会誌編集委員による聴講報告として記念式典の概要を報告する。

始めに中埜良昭前会長から開会挨拶がされた。創立から公益社団法人への移行を含む学会の沿革について触れ、20周年を迎えたことにより人間でいえば大人の仲間入りを果たしたと述べられた。また、学会として今後は、地震防災に係る長期ビジョンや短期的な課題に対する若手研究者・技術者との議論や、複合災害や南海トラフ地震・首都直下地震等の国難に直結する災害への対処、既存のディシプリンの深化や先鋭化などに取り組み、社会との一層の連携とともに、出口戦略を意識した活動に注力することが重要であるという考えが示された。その一端として、学会では昨年より将来像検討WGを立ち上げて議論を進めていることが紹介され、式典ではそれに基づくパネルディスカッションを行い、また特別記念講演からもヒントを得ることで、次の20年に向けた議論を深めたいと述べられた。



写真1 中埜良昭前会長ご挨拶の様子

それに続き、関係団体・来賓挨拶として、地盤工学会、土木学会、日本機械学会、日本建築学会、日本地震学会の各会長から、それぞれご祝辞が述べられた。

また、20周年記念事業運営委員会の秋山充良委員長から「20周年記念誌」について紹介された。（こちらは別途報告記事をご寄稿いただきましたので、そちらをご覧ください。）

2. 特別記念講演

2.1 特別記念講演 1

「次の都市 - COVID-19と事前復興から考える -」
(羽藤英二東京大学教授)

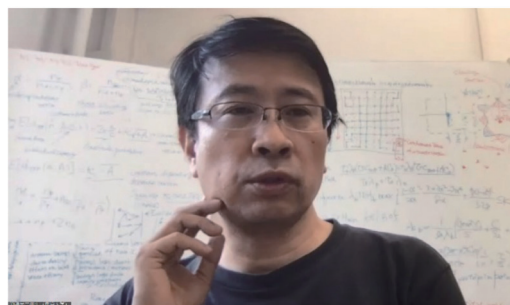


写真2 羽藤英二東京大学教授ご講演の様子

ご経歴

1967年、愛媛県生まれ。愛媛大学助教授、MIT客員研究員、UCサンタバーバラ客員教授を経て現職。交通工学会研究奨励賞、世界交通学会賞など数々の賞を受賞。各地の観光まちづくりや地域防災に関する研究を手がけている。「未来都市東京2050」として都市戦略を提示するなど、世界的に注目を集める都市工学研究者。

講演概要

(1) 都市の過去と移動による都市の変化

交通と都市のありようは非常に密接に関連している。東日本大震災で大きな津波被害を受けた陸前高田市では、かつて山裾の避難しやすい場所のあった街が、陸前高田駅の開業による区画整理でリスクの高い海側に近い方に広がった。

地震工学の分野でも過去の様々な資料を用いながら、過去の大きな地震被害を遡って過去の地震被害を踏まえたアプローチがあるかと思うが、現在、Cliometrics（計量経済史：歴史研究と数理研究を合わせて分析することで、ありえなかった過去を計算によって推計し、過去の政策や様々な技術の意義や意味を考える）が都市、交通の分野で台頭し始めている。

移動によって都市が変化するという流れは現代も継続している。交通量は人口が多い都市が近ければ増え、時間距離が短ければ増える（重力モデル）。時間距離をどんどん縮める形で交通網が整備された結果、人口が利便性の高い地域（東京など）に集中する現象が起

きた。現在、リニアの設備が計画されており、今までにない巨大都市が生まれようとしている（リニアで山の手線1周より短い時間で東京と名古屋がつながる）。

現在、COVID-19が蔓延する事態である。中国のある都市では交通をモニタリングして人々の移動を管理、抑制していく防疫都市計画が言われている。アジアではCOVID-19の感染者が初期は少なかったといわれており、流動の中心である中国が管理体制を強めて初期に押さえ込んだことにより、周辺の国への感染の伝搬が少し遅いスピードになったといえるのではないかとと思う。中国では北京、雄安新区、天津の主要都市を高速鉄道で結び、北京の代替となる新首都を作る構想などもある。また、物流側のネットワークから最適な都市（全く新しい都市）をつくることも構想されている。

自動運転の時代になりつつあり、Autonomous Urbanismということである全く新しい都市をつくる構想もあるが、既存の道路を自動走行の時代に対応づけていくあるいはリモート社会に対応づけていくときに、街路空間をトランスフォーメーションする（歩行空間を増やして健康な街にしていくなど）という構想が立てられることもあるのではないかと考えている。日本の多くの人々は人口100万人以下の街に暮らしている。これらの街を自動走行社会やリモート社会に対応した都市空間にどのようにトランスフォーメーションしていくか（既存の街をリノベートしていくか）ということが求められていると感じている。花園通り（愛媛県）では道路が車のための空間という発想から脱却して、人間のための街路（生活空間）にするという事業も進んでいる。

(2) 社会の変貌と現在の問題

この数十年で社会は大きく変貌しており、1989年からみると現在、物流に関係する会社が台頭してきている。1926年から2014年に起きた震度6以上の地震は53回だが、2000年以降に起きたものはそのうち38回であり、若い世代の地震に対する認識と古い世代の認識は違っている。それぞれの時期に開発された機械やインフラは、大きな地震を想定しているものとそうでないものとで大きく考え方が違うように思う。

災害はトレンドを加速させるという言葉があるが、人口減少が東日本大震災で加速するという予測もされている。同じようにCOVID-19のパンデミックにもあてはまり、現在首都圏の人口が急に減り始めている。外資系企業が東京にオフィスをつくらなくなっている。また、リモート社会になると、池袋、新宿、渋谷、上野、東京、品川などの駅勢圏が非常に大きく狭まっていくということが予測でわかっている。2050年

に向けて多死社会を迎えるといわれているが、1年間で100万人ほど人口が減少する社会となる。こういう問題にどう向き合うのかというのが、次の都市を考えるうえで非常に重要な問題となっており、以下のような研究・実践が行われている。

①交通需要予測モデルの誤謬：インフラを作る際に行う交通需要予測に用いるモデルに間違いがあるということで提訴され敗訴。最新のモデルを使うよう見直しが求められ、それを機に急激に新たな交通予測モデルの開発が進むようになった。

②近年の計算科学の進化：計算機性能は50年で約10億倍向上し、近年では位置情報（GPS）やAIも用いられるようになってきた。AIの導入により、マルチスケール都市設計モデル（建築スケールの流動と数km四方の流動、都市圏レベルの流動を結び付けてマルチスケールに境界条件をやり取する）で交通需要を予測する方向に進化しつつある。

③一般物体検出YOLOの進化：リアルタイムに物体検出ができるようになり、自動走行が都市の中に取り込まれるようになりつつある。

④自動走行とシェアの革命：それぞれが車を持っている時代から、世帯間あるいは企業間で車をシェアする時代になりつつあり、1台の車を効率的にシェアするためにマッチングするモビリティマッチングの革命が起こっている。シェアリングのネットワーク上のオペレーション問題を最適化問題として、最適な配車制御と料金制御を同時に求める方向に転換しようとしているのが研究におけるパラダイムシフトである。需要を予測するというのが最も難しい問題であり、人々がどこに行きたいかやどの交通機関を選択したいかを予測しないと、車両を何台配置してよいかわからない。GPSなど大規模センサー情報をもとにした行動記録を用いた起終点・動的行動モデルの同時分布を多様体学習によって推定するという手法が注目されている。膨大な都市設計パターンのシミュレーションには時間がかかるため、代理（サロゲート）モデルというものを導入して計算を高速化するというのも取り組まれている。あるいは量子コンピュータで計算可能な計算式で現象を表現して都市と交通を再現して最適化問題を解くということも非常に重要な視点である。

東日本大震災からCOVID-19の10年間でインフラ大転換が起こった。諸外国ではリーダーが様々なインフラ戦略を立てており、新しい戦略が「高度なセンシング」と非常に大きなビジョンで描かれる時代に突入している。我が国でもどのように考えていくのかというのが問われていると思う。

(3) 次の都市を共に考えるために

次の都市を考えるうえでは、多くの分野の人々が共に考えていくことが重要であり、都市・交通分野と地震工学分野で共通の視点があると考えている。

災害は非常に長い時間軸で見る必要があり、歴史と数理を組合せたアプローチが台頭していることに注目すべきである。交通分野では遅い交通（歩き）の登場やリモート社会で交通は消滅するかというところまで議論されている。その中で、社会制度としての交通需要予測という方法論があるが、それをどのように更新、定着させていくのかという点は、地震工学と共通の悩みを抱えているように思う。最先端の技術（学習理論（AI）の進化、最適化、量子コンピュータ）をどのように研究分野に盛り込んでいくのか、経済の流れで重要視されるセンシングと便益やインフラ・ボンドといったところとも連携しながら、新たな地震工学や都市・交通研究を切り開いていく必要があると考えている。

2.2 特別記念講演 2

「近年の強震観測から学んだもの」（翠川三郎東京工業大学名誉教授）



写真3 翠川三郎東京工業大学名誉教授ご講演の様子

ご経歴

1975年 東京工業大学工学部建築学科卒業 同大学大学院卒業、1981年 同大学助手、1988年 同大学助教授、1995年 同大学教授、2021年 現職

主な受賞歴

2000年 日本建築学会賞（論文）受賞、2007年 文部科学大臣表彰 科学技術賞（研究部門）受賞、2015年・2017年 日本地震工学論文賞受賞、2020年 地震工学の研究・教育と研究成果の応用による同分野の発展に対する貢献 功績賞

講演概要

ここでは、兵庫県南部地震以降の強震観測の概要、近年観測された特徴的な強震記録、強震記録の分析から得られた知見、その成果や活用、今後の強震観測の課題について触れる。

(1) 兵庫県南部地震以降の強震観測の概要

1995年の兵庫県南部地震により強震動の研究が重要であると認知され、様々な強震観測網の整備が行われた。研究用としては防災科研（K-NET、KiK-net）で1700地点、公的研究機関で600地点以上である。これに加えて、防災対策用としての強震観測の整備も行われた。防災対策用の強震観測の代表的なものとして、震度情報ネットワークがある。これは、市町村単位で震度を計測し、その震度情報を都道府県、消防庁、気象庁にまで伝達するシステムである。この情報はTVやマスコミにより地震発生から約2分後に一般に伝達される。このデータ公開については、地震調査研究推進本部 調査観測計画部会 データ流通WGで議論され、自治体震度計の波形データは「概ね震度5強以上を観測した地震で概ね震度5弱以上を観測した観測点について気象庁がオフラインで収集する」こととなり、2003年十勝沖地震以降、気象庁より震度計データが公開されている。

(2) 近年観測された特徴的な強震記録

1953年からSMAC型強震計により強震観測が開始され、1968年の豊後水道の地震では当時の記録では大きい最大加速度441galを記録した。その後、1996年にK-NETなどの強震観測網が充実したことで記録が増え、1000galを超える大加速度が多く観測された。強震観測網の整備によって大加速度記録が観測されるようになった要因は複数ある。1つ目は強震計の周波数特性の向上である。従来のSMAC型強震計では5Hz程度から感度が低下する特性を持つが、最近の強震計では5Hz~20Hz程度の感度が向上している。2つ目は自由地盤と建物内の観測の違いである。以前のSMAC型強震計は建物内に設置される場合が多かったが、K-NETや震度計は観測小屋の地震計用の基礎に設置されている場合が多い。建物内の地震計から得られる記録には建物と地盤との相互作用の影響が含まれており、地震計用の基礎に設置されている場合と比べて応答が小さくなる。3つ目は強震観測網の充実である。1989年3月時点で強震観測推進連絡会議に登録された強震観測点数は全国で712点であったが、1995年以降ではその10倍以上にまで増えている。強震観測点が増えたことで大加速度記録の取りこぼしが少なくなっていると考えている。

強震観測網の充実により震度7の記録も度々得られている。代表的なものでは、2011年東北地方太平洋沖地震での栗原市（K-NET）や2016年熊本地震での益城町・西原村、2018年北海道胆振東部地震での厚真町（JMA）などがあり、参考値ではあるが数年に1回は震度7の地震が記録されている状況にある。また、これ

らの観測網を用いて日本の地震ハザードが評価されている。中村他(2017)は1996年5月から2017年7月までの震度3以上を観測した4700地震の震度分布の重ね合わせを行った。この21年間で、震度5弱以上の地域は陸域の32%、震度6弱以上は6%だった。

観測網の充実により震源近傍での大振幅パルス地震動の記録も得られるようになっていった。代表的なものとしては、断層各点から発生するパルス状の強震動が重なり合うことで発生する指向性パルスや断層面のごく近傍において断層すべりに起因する永久変位が生じるフリングステップがある。

指向性パルスはカルフォルニアの地震や兵庫県南部地震でも観測されていたが、近年の内陸地震(2000年鳥取県西部地震、2004年新潟県中越地震、2007年新潟県中越沖地震など)でも度々観測されている。指向性パルスはキラパルスとも呼ばれ、構造物に大きな被害を与えた。

フリングステップは米国や台湾の地震(1992年Landers地震、2003年Denali地震、1999年台湾集集地震など)でも観測されていたが、熊本地震では複数地点で観測された。速度応答スペクトル($h=5\%$)では1秒~5秒程度の周期帯で300 cm/sほどの値を記録した地点もあり、長周期の構造物において非常に危険な地震動となる。

一方で巨大地震による長周期地震動による被害も生じている。1983年日本海中部地震で東京の超高層ビルのエレベータの管制ケーブルが切れる被害が生じた。その後、2003年の十勝沖地震の苫小牧の石油タンク火災により長周期地震動が注目された。東北地方太平洋沖地震では大阪の超高層ビルで揺れが10分以上続き、最上階では最大1.4mの変位が生じた。長周期地震動の特徴の一つである継続時間の長さについては、観測記録から地震規模M(マグニチュード)との関係が明らかになっている。M8では1分程度、M9では2分程度強い揺れが続く。

(3) 強震記録の分析から得られた知見、成果や活用

得られた多数の強震記録を用いて震源のモデル化の研究が進んだ。ある程度大きな地震については、強震記録の解析から震源モデルが提案されている状況にある。多数の震源モデルが提案されると、次にそれらを用いた断層パラメータの統計解析が可能となった。巨視的断層パラメータとして、震源断層の全体長さとお幅の推定や総地震モーメントの推定、微視的断層パラメータとして、アスペリティの総面積の推定や個数、各アスペリティの変位量の推定が可能となった。これに基づき強震動予測レシピが提案され、様々な断層帯に対する計算が行われ、主要活断層帯による地震動予

測地図が作成された。また、地震動の減衰特性の解明も進み、深い地震による地震動は浅い地震によるものより減衰しやすいことが分かった。地域によって減衰特性が異なると指摘した研究もあり、地域性を考慮すると予測誤差が半分程度になる事例も紹介された。強震記録から地盤増幅の非線形性も明らかになってきた。地震動の振幅が大きくなるにつれて地盤の非線形性によって周期が伸びていることが明らかとなった。

上記の知見に基づいて、地震動予測式の高度化が進められた。従来までは、地震規模Mや震源距離、地盤種別を関数とした予測式が用いられてきたが、昨今では多数の強震記録の蓄積によって、地震タイプや破壊伝搬効果、伝搬経路による減衰特性の補正、地盤の非線形効果などの知見を取り入れて予測式の精緻化が進んでいる。最近では機械学習と大量の強震記録を用いた地震動予測式を作成する試みも行われている。大量の記録を用いて観測点や震源の位置を変数に加えることで予測誤差が半減し、予測精度が向上することが確認され、観測点や震源位置ごとのオーダーメイドの地震動予測式の評価も可能になりつつある。

防災対応のための早期地震被害推定システムの構築も行われた。兵庫県南部地震では被害の把握に時間がかかったことから、この地震以降に整備された震度情報ネットワークや気象庁の震度計の目的は、震度の大きさから被害の大きさや範囲を把握することであった。そこで、地震計からの情報により、震度だけでなく建物被害などの被害の大きさや分布をリアルタイムに推定し、災害発生時の迅速な初動体制の確立や災害対応に資する目的で早期地震被害推定システムが整備された。しかしこのシステムは、国や各自治体が独立に整備したものであるため相互に運用されていないという問題もあった。この反省を活かして、昨今では相互運用が可能な公開型被害予測システムJ-RISQが開発された。

耐震設計への反映も行われた。1995年の兵庫県南部地震を経て2000年に建築基準法が改定され、告示波と呼ばれる標準的な地震動が設定された。この時期ごろからサイト波を用いた耐震設計も増え始めた。このサイト波には先に説明した地震動予測式を用いている。長周期地震動対策としては、2017年4月より超高層建物等に対して、長周期地震動を用いた検討が指示された。

以上で述べたように、強震観測が充実したことによって、定性的に指摘されていたことの定量化が進み、限られた観測例や理論から推定されていたことが実現象として複数回観測されたことで例外的ではないことが確認された。これにより強震動予測の信頼性が向上し、実用化が進んだことで強震動という現象に関する

霧は晴れてきたが、まだまだ見えていないものも少なくない状況にある。

(4) 今後の強震観測の課題

今後は、強震観測網の維持・更新、強震記録活用の推進という2点が重要と考える。

強震観測は長期的な事業となるため定期的な更新が必要となる。K-NETについては10年弱で更新が進められているが、震度情報ネットワークでは2010年以降の更新が行われていない。そろそろ機器の仕様検討が必要な時期である。

強震記録の活用においては、ワンストップで簡単に使いたいというニーズがあり、使いやすい統一的強震動データベースの構築が望まれていると考える。このような統一的強震動データベースができることで、強震動予測も発展し、地震ハザードマップの高度化にもつながる。これが社会に還元されてレジリエントな社会に繋がるのではないかと考えている。

3. パネルディスカッションおよび閉会の辞

「日本地震工学会の将来を考える」と題して、学会の将来構想委員会の下に2020年8月に設置された将来像検討WGから、現時点までの検討に基づく中間報告と話題提供がされた。WGでは、学会の現状の課題・問題点を明らかにし、将来へ向けた学会活動の改革に関して、理事会への提言をまとめることを目的に議論を行い、2022年5月までに最終案をまとめる計画となっている。

コーディネーターの山中浩明副会長から趣旨説明があり、WG主査の津野靖士氏（鉄道総合技術研究所）による司会進行で行われた。

WGでは、次に示す8項目に関して議論を行っており、WGメンバーから現時点までの検討内容が説明された。各項目での10年後の提言案要旨を以下に示す（括弧内は説明者（敬称略））。

- 大会・日本地震工学シンポジウム（松崎裕（防衛大学校））：他学協会・他国との大会・シンポジウムの合同・連携開催
- 論文集（田尻清太郎（東京大学））：論文投稿数の増加
- 会誌・ニュースレター（山崎義弘（建築研究所））：対外（一般）向けに特化した情報発信を行う専門委員会の設置
- 研究委員会（津野靖士（前掲））：年5・6件の研究委員会による活動と国際シンポジウム／WSの開催
- 国際化（皆川佳祐（埼玉工業大学））：アジア西太平洋地域での合同地震工学シンポジウム実施や論

文集の発行

- 事業企画（皆川佳祐（前掲））：講演、講習、シンポジウムなどの動画配信とアーカイブ構築
- 会員増・会員減抑制の戦略（奥村豪悠（竹中工務店））：就職や退職による退会者を半減させ、会員数の増減をプラス転換
- 学会運営（徳光亮一（大成建設））：会員間の交流、会員外へのPR、会員への還元



写真4 パネルディスカッションの様子

以上の中間報告の後、①従来の地震工学関連分野を超えた新しい分野の研究者・実務者との連携の拡大、②地震工学会と社会との距離の縮め方、③アジア諸国との連携と地震防災に関する日本のプレゼンスの維持、という3つの話題提供がされ、WGメンバーから意見が述べられた。

最後に、山田哲前副会長から式典全体の総括がされ、閉会の挨拶が述べられた。



鳥澤 一晃（とりさわ かずあき）

関東学院大学理工学部准教授。1998年横浜国立大学大学院工学研究科修了。鹿島建設株式会社技術研究所上席研究員を経て、2018年より現職。博士（工学）。専門分野は地震リスク評価



木下 貴博（きのした たかひろ）

株式会社竹中工務店技術研究所。2015年3月東京理科大学大学院理工学研究科卒業。2015年4月より現職。修士（工学）。専門分野は免制振の振動制御



大野 卓志（おおの たかし）

高圧ガス保安協会 2006年3月青山学院大学大学院理工学研究科修了。2006年4月より現職。博士（工学）。専門分野は機械分野の耐震問題。

「日本地震工学会2011-2020年の記録」の紹介

秋山 充良

●早稲田大学 教授

1. はじめに

2019年8月に、中埜良昭会長（当時）から依頼を受け、20周年記念事業運営委員会（委員長：秋山充良、委員（敬称略）：丸山喜久（千葉大学）、肥田剛典（東京大学）、徳光亮一（大成建設（株））、米澤健次（（株）大林組））が立ち上がりました。20周年記念事業運営委員会では、2つの行事を企画していました。一つは、20周年に合わせた記念式典と祝賀会、もう一つは、日本地震工学会10周年を記念して作られた「日本地震工学会10年の記録」の後の活動をまとめた「日本地震工学会2011-2020年の記録」の作成です。コロナ感染症の影響により、別に報告されるように、当初の予定から大きくスタイルを変える形で記念式典はオンラインにて開催され、祝賀会は中止となりました。ここでは、もう一つの企画であった「日本地震工学会2011-2020年の記録」の概要について簡単にご紹介します。

2. 日本地震工学会2011年-2020年の記録の概要

2.1 日本地震工学会設立後10年の歩み

「日本地震工学会2011-2020年の記録」ではありますが、その冒頭では、「日本地震工学会10年の記録」をダイジェストで紹介しています。なお、両記録とも日本地震工学会ホームページ（www.jaee.gr.jp）よりダウンロード可能です。日本地震工学会の立ち上げに向け、2000年9月1日に第1回の準備会が開催されたこと、任意団体として2001年1月1日に正式に創立されたこと、また、この背景には財団法人震災予防協会が重要な役割を果たしていること、などがまとめられています。震災予防協会は、1984年以降、IAEE（国際地震工学会）の事務局として機能しており、これらの業務、さらには、地震防災に関する啓蒙・普及活動を日本地震工学会に引き継いだのち、解散しています。「日本地震工学会10年の記録」は、諸先輩方大変なご苦勞の様子を垣間見られる資料となっております。

なお、「日本地震工学会10年の記録」作成時には、学会設立時などの古い記録が十分に残っておらず、取りまとめの作業は極めて難航したことを伺いました。現在は、本会事務局が情報のアーカイブ化を確実にしており、社員総会の機会などを利用し、都度、必要な情報は学会ホームページ等を通して公表されています。以降に示す「日本地震工学会2011-2020年の記録」は、「日本地震工学会10年の記録」発刊後からの10年間の記録をアーカイブされてきた資料を基にまとめ直したものです。

2.2 公益社団法人への移行

日本地震工学会は2010年2月4日に一般社団法人となりましたが、一般社団法人と比較して、公益社団法人の方が税制上の優遇措置があり、社会的な評価を得やすい等のメリットがあることから、公益社団法人への移行が検討されました。2012年5月24日の第3回社員総会において、公益社団法人へ移行することを正式に決定し、公益社団法人化推進委員会において、各種の検討が重ねられました。

2012年11月9日には臨時社員総会が開催され、公益社団法人化申請に必要な定款を変更する等の準備が行われ、2012年12月7日に公益社団法人化の申請が行われました。最終的には、2013年4月12日の内閣府公益法人等認定委員会で申請が承認され、さらには2013年5月1日付けで内閣総理大臣より認定証が交付され、その日をもって日本地震工学会は正式に公益社団法人となりました。

2.3 会員数の推移

2011年度から2019年度の会員数の推移を図1に示します。公益社団法人となった2013年度は会員数の減少が目立ちましたが、その翌年には会員数が回復しています。ただし、2014年度以降、会員数は単調に減少傾向にあります。

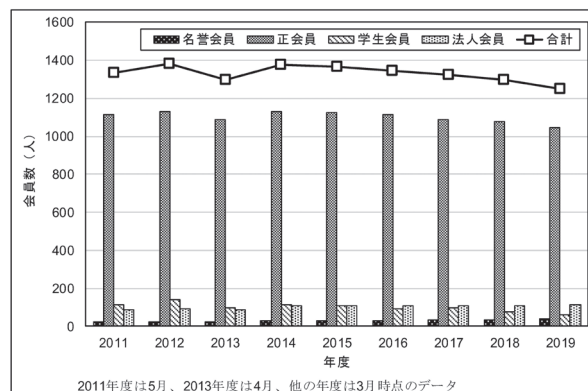


図1 日本地震工学会会員数の推移

2.4 主な事業

2.4.1 論文事業

日本地震工学会編文集の通常号は年4回の発刊を継続しており、加えて、特集号や英文号の発刊も行っています。2011年5月から2020年8月までの期間で計617編（論文：513編、報告84編、ノート13編、総説6編、寄稿1編）の原稿が掲載されています。図2に各年度の掲載数の推移を示します。

2.4.2 国際交流事業

日本地震工学会はIAEE事務局の支援を継続してお

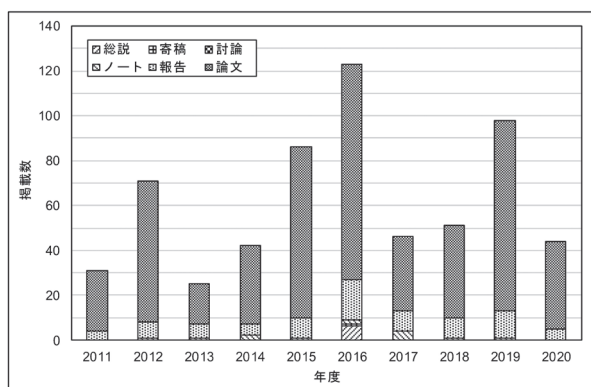


図2 論文集・掲載数の推移

り、第17回世界地震工学会議 (17WCEE : 17th World Conference on Earthquake Engineering) の招致 (コロナ感染症の影響により約1年延期され、2021年仙台市で開催) 等を行ってきました。このほか、東日本大震災国際シンポジウム (2011年) や第1回国際シンポジウム (2012年)、表層地盤が強震動に及ぼす影響に関する国際ワークショップ (ESG Workshop) 等を開催し、我が国の地震工学会の成果の世界への発信に大きな役割を果たしています。このほかにも、2011年以降だけでも、表1に示す海外の地震調査に関わってきました。

表1 海外の地震に対する対応

発生年月	地震災害	備考
2011.10.23	トルコ地震	建築学会と合同
2013.07.02	インドネシア・スマトラ島の地震	建築学会、土木学会、地盤工学会、地震学会、機械学会と合同
2013.07.22	中国甘粛省の地震	
2013.09.24	パキスタン南部の地震	
2013.10.15	フィリピン中部の地震	
2015.04.25	ネパール大地震	土木学会、地盤工学会と合同
2016.02.06	台湾南部地震	建築学会と合同
2018.08.05	インドネシア・ロンボク島で発生した地震	情報収集および情報発信等を実施
2018.09.28	インドネシア・スラウェシ島近辺で発生した地震	
2020.01.24	トルコ東部の地震	

2.4.3 調査研究事業

調査研究事業には、研究委員会活動、および災害調査活動があります。2011～2019年度の期間に設置された研究委員会は、「日本地震工学会2011-2020年の記録」の資料編3章にまとめてありますので、是非、ご覧下さい。ここ10年の日本地震工学会の研究活動や研究テーマの一覧がまとめられています。それらには、(i) 災害リモートセンシング技術、(ii) 原子力発電所の安全問題、(iii) 津波対策、(iv) システム性能、あるいは、(v) 地震動特性、に関する活動が含まれます。また、会長特別委員会として、首都圏の複合災害に対する委員会や、地域の災害レジリエンスをテーマとする委員会も設置されています。各委員会ともお

およそ3年程度の活動期間となっておりますが、一部には名称を変え、活動を継続しているものもあります。

災害調査活動のうち、表1では海外の地震被害調査の実績を紹介しましたが、当然、2011年東北地方太平洋沖地震や2016年熊本地震など、国内で発生した地震に対しても日本地震工学会は調査団を都度、派遣しています。なお、発災後、速やかに調査活動が行えるように、2006年には地震災害対応委員会が常設されています。

2.5 資料編

「日本地震工学会2011-2020年の記録」では、後半に資料編を掲載しています。歴代会長とその挨拶、委員会の変遷と委員一覧、財務状況や日本地震工学会内の年表などです。これらも併せてご参照頂ければ幸いです。

3. まとめ

ここ10年の間に発生した国内外の地震被害を受け、防災・減災の中でレジリエンスが強く意識されるようになるなど、地震工学に関わるハード・ソフトの研究テーマはますます多様化しており、分野横断の要を担う日本地震工学会の役割の重要性は増しております。近い将来の発生が懸念される南海トラフ地震や首都直下地震などに対する防災・減災力の一層の向上が求められる今、日本地震工学会が果たすべき役割が創立時よりもさらに高まっているとの認識は、本学会会員の皆様にも共感されるものであると思います。

今回作成した「日本地震工学会2011年-2020年の記録」が、日本地震工学会の使命・役割を再認識し、次の10年、さらにはその先の日本地震工学会、また、地震工学分野の研究・技術開発のあり様を考える一助となることを願います。

謝辞

様々な制約の中、また、コロナの感染状況を見ながら幾つかの選択肢を用意し、記念事業の準備にご協力頂きました20周年記念事業運営委員会の委員の皆様へ心から御礼申し上げます。「日本地震工学会2011-2020年の記録」をまとめるにあたり、「日本地震工学会10年の記録」をまとめる際に中心的な役割を果たされた勝俣英雄氏((株)大林組)から多くの資料提供やご助言を頂きました。また、その作成にあたっては、日本大学工学部の石橋寛樹助教に多大なるご支援を頂きました。ここに記して謝意を表します。



秋山 充良 (あきやま みつよし)

1971年生まれ
1997年東北大学大学院工学研究科土木工学専攻修了
1997年日本工営(株)東京事業部道路部
1998年～2010年東北大学で助手、講師、助教授、准教授として勤務した後、2011年より現職。

途中、2008年と2018年にLehigh大学客員研究員、2020年台湾科技大学客員教授。

オンライン講習会報告 機械学習・深層学習のプログラミング講習と地震工学での事例紹介

丸山 喜久

●2020年度日本地震工学会事業企画委員会 委員長／千葉大学大学院工学研究院 教授

1. はじめに

日本地震工学会事業企画委員会では、会員の皆様に有益と思われる講習会やシンポジウムの企画立案を行っています。現在、人工知能 (AI: Artificial Intelligence) の研究開発は、第3次AIブームとして注目されており、地震工学分野でも機械学習、深層学習を利用した研究事例が発表されるようになってきています。このように、本会会員の皆様のAIに対する興味も高いものと思われます。

そこで、事業企画委員会では「機械学習・深層学習のプログラミング講習と地震工学での事例紹介」と題した講習会を企画しました。本講習会は、初学者向けのPythonによるAIプログラミング講習、地震工学分野での利用事例の紹介の2部構成とし、Microsoft Teamsを用いたオンライン講習会として2021年5月11日に実施しました。委員会の見込みを大きく上回る111人の方から参加申込をいただき、大変盛況な講習会となりました。なお、本講習会は、日本地震学会からのご後援をいただきました。

2. AIプログラミング講習

株式会社構造計画研究所の滝勇太氏を講師に迎え、PythonによるAIプログラミング講習を行いました。本講習会はプログラミング言語を使った経験のある方を参加条件とし、実際に機械学習・深層学習のプログラムを動かしながら受講していただけるように、講師の方に演習教材を作成していただきました(図1)。演習では、機械学習による教師付き分類問題から、深層学習による画像判別まで、幅広く扱っていただきました。

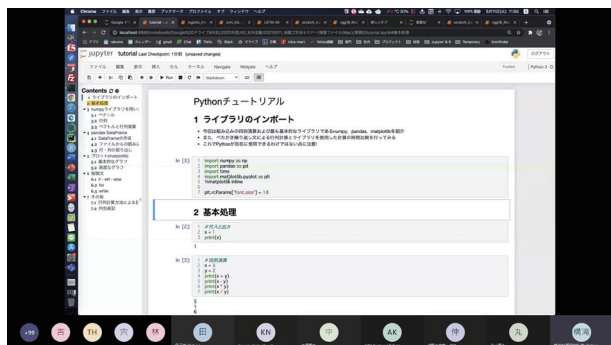


図1 AIプログラミング講習の様子

3. 地震工学分野での利用事例の紹介

株式会社竹中工務店の鈴木琢也氏を講師に迎え、建築の構造解析分野での機械学習の利用事例を紹介していただきました。荷重変位関係の履歴ループをRNN(再帰型ニューラルネットワーク)モデルで再現する研究結果や、強化学習による構造最適化に関するご自身の研究事例を講演いただきました(図2)。AIプログラミング講習で扱った機械学習手法を地震工学分野に応用するためのきっかけを掴むのに非常に有益なご講演でした。

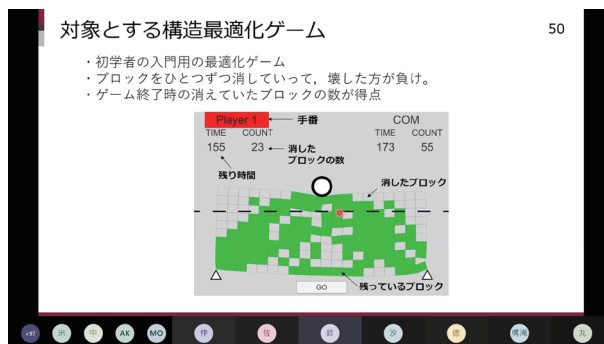


図2 地震工学分野での利用事例の紹介の様子

4. 受講後のアンケート結果

講習会終了後に受講者の皆様へMicrosoft Formsを用いてアンケート調査を行いました。111人の参加申込者のうち88人の方からご回答いただきました。ご回答いただいた皆様に大変感謝申し上げます。本稿では、その結果の一部を紹介させていただきます。

アンケート回答者88人のうち日本地震工学会の会員が49人(うち学生会員2人)、非会員が39人(うち学生21人)でした。学会非会員の割合が約45%を占めており、機械学習・深層学習への関心は学会内に留まらず非常に高いものと想像されます。また、本講習会への参加目的に関する回答(複数回答可)は、プログラミング言語(Python)の学習が56人、機械学習・深層学習の手法の学習が65人、機械学習・深層学習の地震工学分野での研究に関する情報収集が64人となっており、それぞれほぼ同人数の回答でした。このように、学会員だけでなく非会員の多数の参加の期待できるトピックを扱う講習会を定期的に開催することは、日本地震工学会の知名度の向上、さらには会員数の増加へとつな

がるものと思います。

講習会に関する満足度を調査したところ、とても満足が35人、やや満足が40人となっており、非常に多くの参加者にご満足いただける講習会となったものと考えられます。これも2人の講師の方に多大なご協力をいただいたお陰です。一方で、「Pythonの環境構築に時間が掛かり実際の演習時間には話を聞くだけしかできなかった」など、運営上の貴重なご意見もいただきました。本講習会は初めての試みも多く、今後の課題として活かしていきたいと考えております。

新型コロナウイルスの状況を踏まえて、本講習会は日本地震工学会でおそらく初めてとなるオンラインでの開催としました。講習会の開催形式について調査したところ、オンラインがよいと回答したのは56人、対面がよいと回答したのは5人、どちらでもよいが23人となりました。今回の講習会では、北海道から九州まで全国からご参加いただきました。全体的にはオンライン開催によるメリットが評価されたものと思います。また、今回の講習会はプログラミング言語を使った経験のある方を参加条件としました。参加者のほとんどがプログラミング経験のある方だったため、対面でのトラブル対応があまり必要とされなかったこともあり、オンライン形式が支持される結果となったものと考えられます。

事業企画委員会では、会員の皆様に有益な講習会等の企画立案を検討しております。そこで、本講習会のアンケートの最後に、今後の講習会で取り上げてほしいテーマを回答していただきました。表1にご回答のあった内容の一部を示します。地震工学の本流に関するものから最新の社会情勢を反映したトピックまで、様々なテーマ案をご回答いただきました。今後の企画立案に活用していきたいと考えております。

5. まとめ

本稿では、2021年5月11日に実施したオンライン講習会「機械学習・深層学習のプログラミング講習と地震工学での事例紹介」について報告しました。初めての試みで集客を不安に思っていたましたが、予想を上回るほど多くの方々にご参加いただきました。また、滝勇太氏、鈴木琢也氏には、本講習会の講師を快くお引き受けいただきました。誠にありがとうございました。運営面で見られた課題については、委員会内で今後の改善を図りたいと思います。今後とも事業企画委員会の活動に対して、ご協力のほど、どうぞよろしくお願いいたします。

表1 今後の日本地震工学会の講習会で取り上げてほしいテーマ

強震動予測講習会
AIのプログラミング講習の初歩の初歩
今回のAI関連の講習会のPart2、Part3
量子コンピュータ
AIによる地震予知
諸外国の(地震)災害対策に対する政策的取組
プログラム言語、計測技術、アンケート調査のノウハウ(分析とかツールとか)など、地震工学における基盤技術の習熟を促すような講習会
聴衆を惹きつけるプレゼンテーションを行うためのテクニックや話し方
地理情報システム
DXに関連したテーマ
今回のようなテーマで、もう少し初心者向け
L2耐震に関するコンクリート構造物のひび割れ進展に関するテーマ
建物の地震応答解析について

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。ぜひご利用ください。

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「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」よりご確認頂けます。

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っ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/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。

■ JAEE Newsletter 第10巻 第3号(通算第31号)が2021年12月下旬に発刊されます。

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/stack/1925-2/>

最新号(第10巻 第2号)では、今年度の論文賞、功績賞、功労賞、論文奨励賞を受賞された皆様からの声を掲載しております。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。

■ 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。是非とも皆様方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/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

編集後記：

今年は東日本大震災から10年、熊本地震から5年、学会創立20周年にあたることから、本号では、東日本大震災以降に発足された研究委員会の活動について特集を組みました。幅広い分野の専門家からなる本学会ならではの多角的な研究活動を振り返ることで、皆様の研究の一助になれば幸いです。また、更なる本学会の活性化と発展につながることを期待しております。

ご執筆いただいた著者の方々はもちろん研究会の活動に関わられた方々に厚く御礼申し上げます。また、本誌の編集・校正作業にご尽力いただきました編集委員の皆様、鳥澤委員長、木下幹事に感謝いたします。

大野 卓志(高压ガス保安協会)

本号では、東日本大震災以降に発足された日本地震工学会の研究委員会活動に関する特集を企画いたしました。今年で東日本大震災から10年、熊本地震から5年の節目を迎えたことを受けて、今までの研究で得られた成果や課題を一度整理することが重要であると考え本特集を企画いたしました。各特集記事では、得られた成果や課題だけでなく、著者の皆様から読者に向けた今後の研究への期待・想いもご紹介頂いております。今後の地震工学分野を担う若い研究者にも是非読んでいただき、今後の研究の一助にいただけたらと思います。

最後に、お忙しい中本誌の記事をご執筆いただいた著者の皆様に心より御礼申し上げます。また、本誌の編集・校正作業にご尽力いただきました編集委員の皆様、本誌の特集案をまとめて下さいました鳥澤委員長、大野幹事にも心より感謝申し上げます。

木下 貴博(竹中工務店)

会誌編集委員会

委員長 鳥澤 一晃 関東学院大学
幹事 大野 卓志 高压ガス保安協会
幹事 木下 貴博 竹中工務店

委員	入江さやか	NHK放送文化研究所
委員	小穴 温子	清水建設
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	田附 遼太	長谷工コーポレーション
委員	平井 敬	名古屋大学減災連携研究センター
委員	松川 和人	東京大学生産技術研究所
委員	皆川 佳祐	埼玉工業大学
委員	宮津 裕次	東京理科大学
委員	湯山安由美	電力中央研究所
委員	和田 一範	鉄道総合技術研究所

日本地震工学会誌 第44号 Bulletin of JAEE No.44

2021年10月29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 2021

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