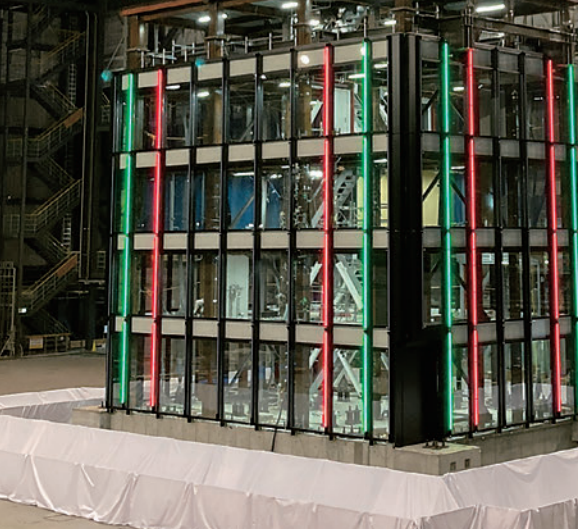


NIED NEWS

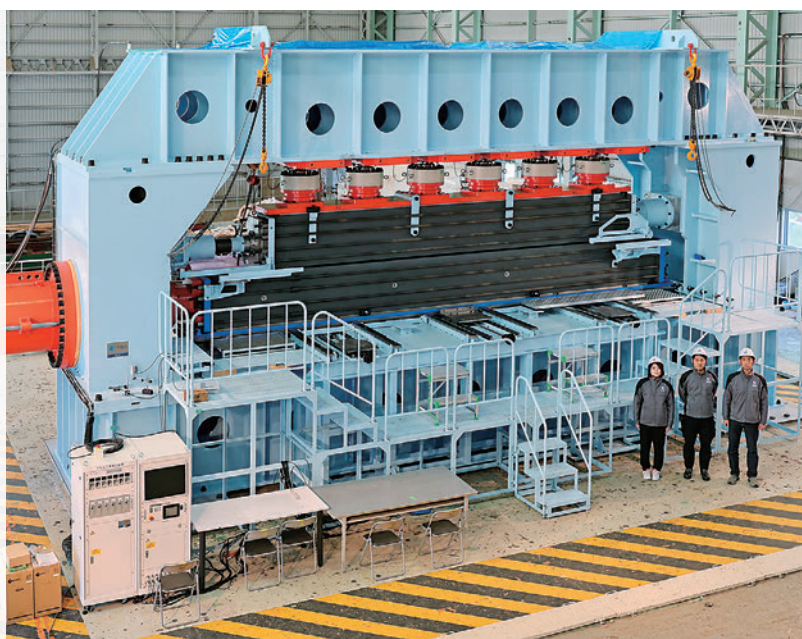
防災科研ニュース

2025 No.229



特集

世界の防災研究をリードする
実験施設と装置



特集

世界の防災研究をリードする実験施設と装置

- | | | |
|-------|--|-------------------------|
| 3 | | 巻頭言 |
| 4-5 | | 地震で壊れない構造物を実現する |
| 6-7 | | 都市の災害レジリエンスを高める |
| 8 | | 建物の地震被害を知り、備える |
| 9 | | 複数地震における液状化を解明する |
| 10 | | 地震被害をデジタル空間で予測する |
| 11 | | 室内空間の機能維持のための研究 |
| 12-13 | | 降雨実験から過酷環境シミュレーターへ |
| 14-15 | | 雪氷防災実験棟のこれまでの研究について |
| 16-17 | | 実物に近いサイズで地震を再現 |
| 18-19 | | 防災科研topics |
| 20 | | 令和6年度第3回災害レジリエンス共創研究会開催 |

理事長 寶 馨 たから かおる

国立研究開発法人としての防災科学技術研究所（以下、防災科研）は、国として行うべき研究、すなわち大学や民間会社とは異なる規模の研究を行っています。本号で紹介する大型実験施設は、防災科研が誇る世界の他所にないユニークなものであります。実際にその研究施設を利用している研究者が、その概要と意義を紹介しています。

さて、学術研究論文には新規性、独創性、信頼性、有効性が求められます。他所にない大型実験施設や観測網（MOWLAS）を使う研究は、それだけで新規性、独創性があり、用意周到に策定された計画に基づく実験結果は信頼性も高いものです。このような実験施設を所有する防災科研と、これらを使用できる研究者は幸運です。施設に見合った成果を上げることが期待されますが、実験結果を報告するだけでなく、その成果の社会的意義（有効性）をも明らかにする責務を担っています。

一方、大型実験施設を用いての研究は、個人の研究成果というよりグループとしての研究成果ということになり、個々の研究者が国立研究所の研究成果に埋没してしまう恐れがあります。研究所としては、成果が出れば良いのですが、個々の研究者の貢献を正しく評価しなければならないという難しさもあります。

近年は、学術雑誌において、数十人が連名となる大規模な観測・実験研究の論文が発表されることがあります。そうした論文では、共著者それぞれの貢献（研究内容のどこを担当したのか）が明示されています。

研究領域長、研究部門長、センター長、研究統括のような立場においては、研究活動に従事する個々の研究者、技術者のクレジットを明示した研究成果の発表に努めることが重要な研究マネジメントの一つとなります。

大型実験施設を稼働させることは、稼働そのものに多額の経費がかかり、加えて試料や実験供試体の準備・作成にも相当の費用を要します。資金提供してくださる外部組織から共同研究や委託研究を受ける努力も必要です。そうした研究マネジメントへの貢献も大いに評価されるべきものであります。

防災科研では、これらの施設利用による企業等との共同研究も歓迎しています。過去にも、いくつもの研究成果を上げた実績があります。今号を通じ、大型実験施設の存在を知っていただくとともに、こうした観点からも世界トップレベルの大型研究の推進についてご理解・ご協力をいただければ幸いです。



地震で壊れない構造物を実現する

実大三次元震動破壊実験施設（Eーディフェンス）

20年の歩みとこれから



都市空間耐災工学研究領域 研究領域長
兵庫耐震工学研究センター センター長
中埜 良昭

はじめに

今から30年前の1995年に発生した兵庫県南部地震では、阪神淡路地域に建物の倒壊などの甚大な被害をもたらした（阪神淡路大震災、図1）、地震国日本が今後解決すべき課題をさまざまな角度から投げかけました。筆者の専門である建築耐震構造分野においても、構造物が破壊に至るメカニズムの理解と破壊過程の詳細な追跡、古い耐震規定で設計された既存構造物の耐震性能評価と耐震補強方法、倒壊・崩壊防止に加えて地震後の機能維持や修復性能評価手法、余震等の後続地震に対する安全性のチェック体制の整備（応急危険度判定や被災度判定等）など、多岐にわたります。

Eーディフェンスの整備に至る背景

とりわけ震源近傍で発生する極めて強い地震動により大きな被害が生じたことは、構造物の振動破壊の解明への関心を大いに高めることとなりました。このような背景から、三次元地震動を受ける実大構造物の破壊実験

を可能とする実大三次元震動破壊実験施設（愛称：Eーディフェンス）の建設がスタートし、兵庫県、三木市、地元地域の協力による2005年3月の完成後は、三木市に所在する防災科研・兵庫耐震工学研究センターがその運用を担っており、今年で20周年を迎えます。

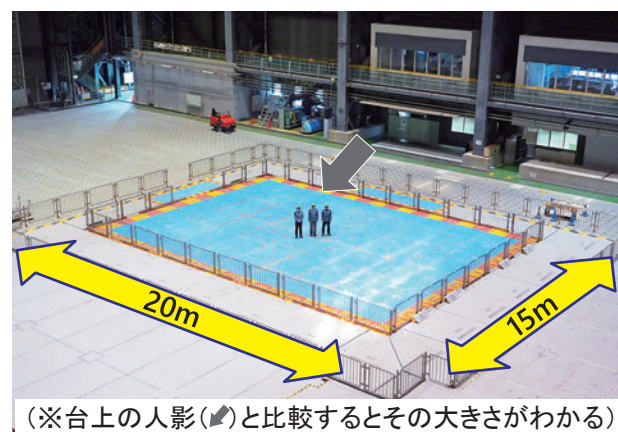
Eーディフェンスの特徴 ～その大きさとパワー～

Eーディフェンスの特徴は何とんでも実大構造物の破壊実験を可能とするその大きさとパワーです。震動台は長さ20m×幅15m、これに水平各5台と鉛直14台の計24台の加振機が接続されています（図2）。その加振能力は実大規模の10階建て建物を1995年兵庫県南部地震や2011年東北地方太平洋沖地震で記録された揺れで破壊させるものです。また、本施設はその規模から2012年にギネス世界記録™に認定されました（図3）。

Eーディフェンスでの実験数は2025年3月末で132件です。実験結果は可能なものについてはデータと映像が公開されています（図4参照）。これらは、物理的な破壊



図1 兵庫県南部地震で倒壊した住宅



（※台上の人影（人）と比較するとその大きさがわかる）

図2 震動台の全景



図3 ギネス世界記録™認定証



実験データ



実験ビデオ

図4 関連QRコード

実験と両輪をなす数値震動台技術（実験結果を高精度にコンピュータ・シミュレーションする技術）の精度検証と高性能化にも極めて重要な情報を提供しています。

Eーディフェンスを活用した研究事例

壊れない構造物を実現するにはまず壊してみないとわからない、が研究の原点です。運用開始の初期にはEーディフェンス開発の契機となる実大構造物の強震時における詳細な破壊過程の再現とその解明、耐震性能の評価や向上に関する実験が多く行われています。例えば、実在する木造住宅2棟を震動台上に移築し、補強の有無をパラメータに同時加振した事例や（図5）、1980年代ごろの設計施工による18層鉄骨造建物を南海トラフ地震を対象に崩壊まで加振し、想定地震に対する崩壊余裕度を検証した事例などはその好例です。また、東北地方太平洋沖地震でため池の決壊により人的被害が生じたことから、た

め池を全国一保有する兵庫県との共同研究として実施した遮水シート工法によるため池堤体の耐震実験など、Eーディフェンスならではの特徴ある実験も実現しています。

近年では倒壊防止にとどまらず、建物の機能維持能力の把握とその向上を目指した取り組みが本格化し、積極的に損傷を制御したり免震装置を取り付けたりすることで応答を制御する技術の有効性の検証、非構造部材の崩壊余裕度評価を含む実験なども行われています。

Eーディフェンスが目指すところ

これまでの一連の研究開発では、主として構造物「単体」を対象に「単発」の地震に対する応答評価に重点を置き、いわば「個」を極める研究開発に主軸を置いてきました。その重要性はこれからも変わることはありませんが、一方で南海トラフの巨大地震や首都直下地震のような広域・甚大な被害が危惧される災害時に日本がいち早く社会経済活動を復活・継続できることは極めて重要で、そのため都市の災害レジリエンス（災害からの回復力）を高めることが肝要です。

そこでEーディフェンス実験が「都市」を対象とした本格的なレジリエンス強化に直結するよう、都市空間内（3D）の構造物「群」へ、さらに本震後の「後発」地震の影響など発災から復興に至る「時間軸」を考慮した4Dでの議論へと展開を試みています。

さいごに

しかしながら、Eーディフェンスであっても都市そのものの直接的な破壊実験はできないため、Eーディフェンス実験と両輪をなす数値震動台との連携が今後ますます重要となります。シミュレーション結果の信頼性を担保し得るエビデンスやデータを実験が提供することはもとより、シミュレーション精度を支配する重要なパラメータを明確にし、その適切な設定方法についての知見が得られるよう、実験計画のさらなる高度化にシミュレーションを専門とする研究者が積極的に寄与するなど、双方向のより積極的なインタラクションも大いに期待しています。Eーディフェンスで得られる成果により都市のレジリエンス高度化に寄与する技術・知見がさらに充実するよう研究開発に取り組みたいと考えています。



図5 木造住宅の補強効果の検証実験（2005年）

都市の災害レジリエンスを高める

Eーディフェンスを活用した 都市のレジリエンス高度化研究開発



都市空間耐災工学研究領域 研究領域長代理
兵庫耐震工学研究センター 副センター長
田端 憲太郎

都市の社会経済活動継続のため

兵庫耐震工学研究センターは、将来の大規模な地震に対してレジリエントな社会を実現するため、Eーディフェンスの震動台で実際の強い地震の揺れを再現し、実物大の建物やその室内、基礎、地盤などへの被害や対策技術の有効性を評価するための実験を行い、実験結果を基にそれらの耐震性能や地震災害時の機能維持に関する研究開発を進めています。2023年度より着手したプロジェクト「実大三次元震動破壊実験施設等研究基盤を活用した都市のレジリエンス高度化研究開発」では、これ

までの構造物単体・単発地震を対象とした「個」を極める研究開発から、私たちの社会経済活動の場として構造物が集積した「都市」へと対象を広げ、大規模な地震後においても活動の確実な継続を支えるための研究開発に、4つのサブプロジェクトを編成して取り組んでいます（図）。

未然の被害を究明するため

都市の地震災害に対するレジリエンスを高めるためには、まず、私たちの社会が遭遇する大規模な地震に



図 Eーディフェンスを活用した研究開発の全体像と現行プロジェクトの概要

よって起こり得る都市空間内の被害の様相を、事前かつ事後に見極めることが重要です。南海トラフ地震や首都直下地震などの大規模な地震が発生すると、震源域近くでの強い揺れによる被害に加えて、長周期地震動が広い範囲に伝わり高層建物や広い空間を有する建物などにも被害を生じるとともに、その地震に続く複数の後発地震により被害が拡大する可能性があります。このような大規模な地震によって起こり得る「未然の被害」を究明するため、都市空間内の建物やその室内、周辺地盤などについて、後発地震を含む一連の地震活動によって時々刻々に変化していく損傷蓄積・被害拡大のメカニズムの解明や、地震後の速やかな被害状況の把握に基づいた次なる災害リスクを評価する技術の研究開発を進めています。

都市を構成する建物を対象とするサブプロジェクト「構造物のダメージ評価技術の研究開発」では、高層化率の高い都市部を想定した高層建物と避難所となる広い空間の建物について、建物の揺れの特性の変化に基づく被害予測や、建物自体に加えて天井や壁、設備・機器など非構造部材を含む被害の評価に関する技術の研究開発に取り組んでいます。また、地震直後の損傷推定や被害復旧に要する費用を評価する手法の開発も進めています。このサブプロジェクトでは、Eーディフェンス実験や実際の建物での実証に、国内外の機関と協働で取り組んでいます。

都市の建物群やインフラを支える地盤について、複数の地震による液状化やすべりなど地盤の変状が引き起こす、建物の基礎や地中構造物、埋設ライフライン、周辺地盤などの視認が困難な被害を評価するためには、一連の地震活動における地盤変状の蓄積過程を解明する必要があります。サブプロジェクト「地盤損傷に伴う被害過程の解明と被害評価技術の研究開発」では、国内外の研究機関と連携して、地盤の状態の経時変化を、Eーディフェンス実験による実証やさまざまな模型・要素実験、数値解析などにより把握を試みます。

未然の被害に対応するため

大規模な地震によって起こり得る未然の被害を防ぐための対策の検討には、実際の都市空間をデジタル空間内にモデル化し、一連の地震活動による損傷蓄積・被害拡

大のメカニズムを適用した数値シミュレーション技術により被害予測や対策導入効果の評価を行うデジタルツインの活用が効果的です。

従前より、構造物単体が地震により破壊に至る過程を再現する数値シミュレーション技術として、Eーディフェンス実験結果を活用した「数値震動台 (E-Simulator)」の開発を進めています。サブプロジェクト「都市空間の地震被害予測のための数値解析技術の研究開発」では、都市空間内の地震被害を予測するための数値震動台をコアとするデジタルツインの構築に向けて、都市空間レベルの被害を予測するための大規模計算を効率的かつ適切な精度で高速に実行するための技術で構成される数値解析基盤の研究開発に取り組んでいます。

デジタルツインにより適切な予測結果を導くためには、構造物など解析対象のモデル化に加えて、時点時点のセンシングにより実際の状況をデジタルツインへ反映させる必要があります。サブプロジェクト「室内～都市機能災害モニタリング技術の研究開発」では、特に室内空間の被害に着目し、画像・音響データなどを解析することにより室内被害度合いを網羅的に評価する技術の開発に、都市レベルへの展開も見据えて取り組んでいます。

災害レジリエンスのさらなる高度化に向けて

プロジェクトでは現在、地震による直接的な被害に主軸を置いて研究開発を進めています。都市の社会経済活動の継続を担保するためには、大規模な地震によって起こり得る津波や火災など連鎖的に生じる災害への対応や、都市空間内や建物内における水平・上下方向の人の動きの確保も極めて重要であり、都市の災害レジリエンスのさらなる高度化に向けて今後取り組むべき課題と考えています。

なお、このプロジェクトで取り組む研究開発課題は、地震国・地域に共通の課題でもあります。信頼に足る研究開発成果の確立に、Eーディフェンス実験による実証を通じて貢献ができると考えています。Eーディフェンスを活用した研究開発を国内外の研究者・技術者と連携して取り組むことを指向するとともに、実験データや知見を幅広い方々と共有して議論を深めることにより、さらなる知見の創出や「未然の課題」の解決に繋げ、災害に対するレジリエンスの高度化を目指します。

建物の地震被害を知り、備える

サブプロジェクト【構造物のダメージ評価技術の研究開発】



都市空間耐災工学研究領域
兵庫耐震工学研究センター 特別研究員
藤原 淳

研究の背景と目的

このサブプロジェクトでは、地震によって建物に生じる損傷、被害を事前に予測したり、発災直後に推定したりする手法を開発しています。ここでは、柱等の建物を支える部分（構造部材）の損傷に加えて、内外装材や設備機器（非構造部材）にどのような被害が生じて、地震後の復旧にどの程度の費用と時間を要するのかの推定に取り組んでいます。現在の耐震設計基準では、地震後に建物が倒壊、崩壊しないことを目指していますが、役所や病院、避難所等の建物は、地震後も使い続ける必要があります。建物の構造部材が健全な状態であるかどうかは、地震後に建物を安全に利用するために最も基本的な情報の一つです。それに加えて、建物が倒壊を免れたとしても、天井が落下したり、家具が倒れてきたりして、建物を使うことができない事例は、これまでの地震被害調査で数多く報告されています。また、このサブプロジェクトでは、通常の縦に背の高い建物に加えて、体育館やホールのような横に広い建物（大規模空間建物）も対象としています。それは、これらの建物は災害時に避難所や物資の集積倉庫等の防災上の重要な機能を有する半面、地震によってどのように損傷を受けて崩壊に至るかの過程に、未解明事項が多く残されているからです。

これまでの取り組み

2023年2月に、防災科研が保有するEーディフェンスを用いて、実物大のオフィスビルを実際に観測された地震動で揺らす実験（震動台実験）を行いました（図1）。実験では、建物の内部に多種多数の非構造部材を設置して、これらが被害に至る過程を観察して、データを記録しました。これらのデータは、建物の地震損傷、被害を

推定する手法の開発に役立てます。加えて、地震によって建物に生じた変形を計測するセンサーや、計測結果を即時にLEDライトで発光表示する仕組みの実証も行いました。

そして、2023年7、8月と、2024年11、12月には、体育館の縮小模型の震動台実験を行いました（図2）。2023年7、8月の実験では、体育館のように横に広い建物が地震によってどのように揺れて、損傷、崩壊に至るのかの解明に向けてデータを取得しました。2024年11、12月の実験では、3次元の揺れの影響を検討するとともに、内外装材や設備機器を設置して、これらの被害や構造部材等との相互作用に関するデータを取得しました。

今後の展望

今後は、大規模実験で確認された地震被害と開発する手法で推定した被害を比較、検証をして、地震被害や復旧費用を推定する手法をより高度なものに発展させていきます。また、2024年度から地方自治体と民間企業、大学との共同で、実際の建物にセンサーとLEDライトを内蔵した部材を設置して計測しています。これらの活動を通じて、研究開発の成果が社会に還元されることを目指しています。

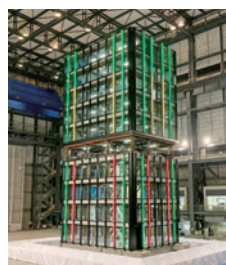


図1 実大オフィス実験



図2 縮小体育館実験

複数地震における液状化を解明する

サブプロジェクト【地盤損傷に伴う建物被害過程の解明と被害評価技術の研究開発】



都市空間耐災工学研究領域
兵庫耐震工学研究センター 主任研究員
河又 洋介

なぜ複数地震を考慮する必要があるのか？

令和6年能登半島地震では、短期間のうちに規模の大きな地震が発生しました。南海トラフ地震でも同様の状況が想定されており、複数地震動が建物被害におよぼす影響の解明が重要課題となっています。また、能登半島地震において、石川県を中心とした広い範囲で地盤の液状化が発生しました。液状化に伴い、顕著に地盤が変状して地盤上の建物が傾斜・沈下するなどの被害が多数報告されています(図1)。

地盤変状が大きいほど建物の被害程度が大きくなることから、液状化による地盤変状量を推定することが不可欠です。したがって、複数地震による地盤変状の蓄積過程を解明して、変状量を合理的に評価することが重要になります。

時々刻々と変化する地盤の性質を評価

地盤の液状化は、地震により進展して、時間の経過とともに回復します。地盤が液状化すると非常に柔らかい状態になり、液状化状態からの回復により地盤の硬さも回復しますが、これまでの研究により、液状化前とは異なる状態になることが明らかとなっています。能登半島地震のように、大規模な地震が短期間に頻発すると、先発地震によって液状化程度が進展した地盤が、液状化状態から回復する前に後発地震が発生します。先発地震と後発地震の間隔が短いほど、先発地震の影響が強くなり、地盤変状が大きくなると考えられます(図2)。しかしながら、一度液状化が進展した地盤の硬さやその性質の経時変化を推定する方法はなく、複数地震による地盤変状とそれに伴う建物被害の推定を困難にしています。

以上のことから、Eーディフェンスを用いた大規模液

状化実験を実施して、液状化進展中～後の地盤を定期的に調査することにより地盤の性質の経時変化を把握、短い間隔で試験体に複数の地震動を入力することにより、複数地震動の影響を詳細に検証します。現在、Eーディフェンス実験の事前検討として、小型振動台を用いた模型実験や試験体製作方法の検討を進めています。

さいごに

近年、さまざまな分野で人工知能を駆使した技術開発が進められています。このような技術を適切に活用するためには、データが示す物理的な意味を正しく解釈することが求められます。地盤は地点ごとに状況が異なり、多種多様な地盤状況における、膨大な量の研究データを蓄積する必要があるため、国内外研究機関との連携による効率的なデータベース構築を推進しています。その中で、Eーディフェンスの実験データは最も実物に近い条件で得られたものであり、非常に重要な役割を担うものと考えています。



図1 能登半島地震における液状化被害事例

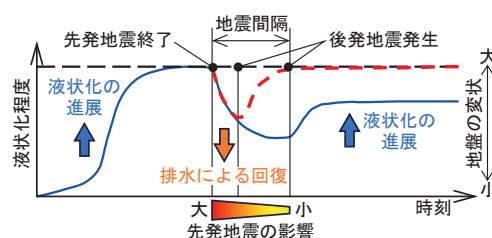


図2 地盤の液状化と地盤の変状

地震被害をデジタル空間で予測する

サブプロジェクト【都市空間の地震被害予測のための数値解析技術の研究開発】



都市空間耐災工学研究領域
兵庫耐震工学研究センター 主任研究員
山下 拓三

はじめに

人口減少社会では人的資源や財政的な余裕が限られるため、効率的に資源を活用し、効果的な災害対策を進めることが有効です。そのためには、合理的な根拠に基づいた計画や対策の立案や市場の仕組みを生かした災害対策の推進、そして災害時に迅速かつ適切な判断を行うことが重要です。これらの効果を最大限に高めるためには、地震を含む災害予測技術を確認して普及していくことが必要です。兵庫耐震工学研究センターでは、Eーディフェンスの実験データを活用して、地震時に構造物が損傷し、破壊していく過程を再現する数値解析システム「数値震動台 (E-Simulator)」の開発に取り組んでいます。現在、この数値震動台を基に都市空間の地震被害を予測する数値解析技術の研究開発を進めています。

都市空間の地震被害予測のための研究開発

本研究開発では、「モデリング」「数値解析」「データ解析」の三つの課題に取り組んでいます (図)。

モデリングに関する取り組みでは、建物図面から建物情報モデル (BIM) を作成し、それを活用した構造解析モデルを効率的に作成するソフトウェア「E-Modeler」を開発しています。また、地理情報システム (GIS) 上でBIMと地理空間情報を統合し、都市空間の解析モデルの作成技術を検討しています。

数値解析に関する取り組みでは、数値震動台の高度化を進め、構造物の地震時の損傷破壊現象の再現精度を高めるために構造材料の弾塑性損傷構成則^{※1}を開発しています。また、室内被害や非構造部材の損傷を含めた「建物まるごと解析技術」を開発しています。さらに、都市空間の構造物群の解析や多数回の試行といった大規

模な計算を適切な精度で高速に実行するために、マルチフィデリティ解析技術^{※2}の開発も進めています。

データ解析に関する取り組みでは、数値解析の信頼性向上のため、実験・観測データを用いた妥当性確認技術として実験の多点計測データと解析結果を比較するソフトウェア「E-Validator」を開発しています。また、機械学習を活用したデータ駆動型モデルによる損傷推定および地震リスク評価技術を開発しています。さらに、これらの情報をGIS上で可視化する技術も開発して、防災・減災の取り組みの合意形成に役立てることを目標としています。

※1 弾塑性損傷構成則：小さな力では元の形に戻る (弾性)、大きな力では力を除いても元に戻らない (塑性)、さらに壊れて変形に対する抵抗力が小さくなる (損傷) という材料のふるまいを、数式で表したものの

※2 マルチフィデリティ解析技術：計算は軽い精度が劣る簡易なモデルから、計算は重い精度が高い精緻なモデルまでを組み合わせ、効率的に適切な精度で予測を行う解析技術

さいごに

本研究の成果を広く社会で活用してもらうために、開発した技術はオープンソースとして公開する予定です。

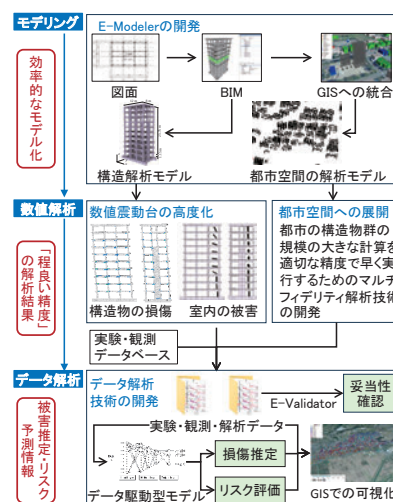


図 都市空間の地震被害予測技術の全体像

室内空間の機能維持のための研究

サブプロジェクト【室内～都市機能災害マルチモニタリング技術の研究開発】



都市空間耐災工学研究領域
兵庫耐震工学研究センター 主任研究員
佐藤 栄児

はじめに

人的被害が、関東大震災で20万9118人（死者・行方不明者10万5385人、負傷者10万3733人）、阪神淡路大震災で5万229人（死者・行方不明者6437人、負傷者4万3792人）、平成28年熊本地震で3082人（死者273人、負傷者2809人）発生しています。図1の平成7年兵庫県南部地震時、図2の平成28年熊本地震時の人的被害の発生原因の割合に示すとおり、人的被害が室内空間に大きく関連していることがわかります。そこで、地震時に「室内で何が起きているのか?」「大切な人やものを守るためには、どうすべきか?」を明らかにするため、室内空間の被害軽減に関する研究を推進しています。

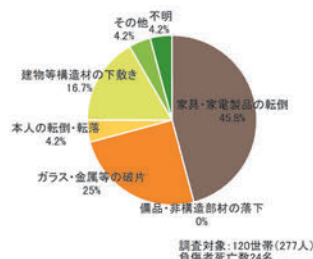


図1 兵庫県南部地震での負傷等原因

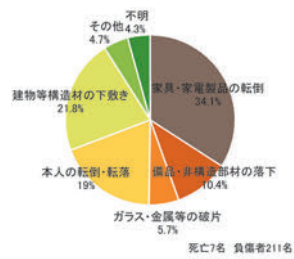


図2 熊本地震での負傷等原因

研究内容

この研究では、室内空間での地震災害を軽減し、災害後も活動を継続させるため、地震に備えた事前対策技術および、地震後の迅速かつ正確な被害状況の把握、被害度合の評価、継続使用の可否の判断を実現する技術に関する研究開発を行っています。そのため、研究項目を以下に分類し、研究を推進しています。

- ①画像・音響データ等を用いた被害判定法
- ②検証用実験ユニットによる被害再現実験、人的被害の検証

③復旧リソース・コストの算出方法

④室内被害のリスク評価

⑤地震被害対策技術（革新的技術・格付け）

⑥被害予測・地震対策法の提示手法

⑦都市機能災害の被害度判定・リスク評価へ拡張

これらのうち、「①画像・音響データ等を用いた被害判定法」では、地震時の室内空間における画像と音響データを解析し、人が視覚聴覚等により判断するのと同様に、被害の度合いや継続使用性を科学的に判定する技術の研究開発を行っています。また、「⑤地震被害対策技術（革新的技術・格付け）」では、“家具等固定性能”という指標を用い、建物側・家具側、ハード面・ソフト面などの多方面の視点から室内空間での“地震対策のしやすさの格付け”を提案します。「⑥被害予測・地震対策法の提示手法」では、自分が生活している空間が、地震に襲われたとき、“どうなってしまうのか”、“どう対策すべきか”、を簡単に提示する技術の開発を行っています。

研究項目の実証とさまざまなデータの取得のため、Eーディフェンスを用い、さまざまな用途での室内空間の被害を再現させる振動実験を、2025年度に予定しています。

さいごに

地震時における室内空間の機能維持のための研究について紹介しました。この研究は、防災科研のみで実施するより、関連機関（仲間）とともに実施することでより多くの成果を創出できると考えています。そこで、「室内空間を中心とした機能維持のための研究会」を立ち上げ、多くの関連団体、民間企業、学術機関等に協力を頂いており、現在も多くの仲間を募っています。

降雨実験から過酷環境シミュレーターへ

過酷環境でも使える防災DX技術の国際的な研究開発拠点へ



極端気象災害研究領域
水・土砂防災研究部門 副研究部門長
酒井 直樹

過酷環境とは

近年政府は国難災害として、南海トラフ地震や首都圏直下地震を想定した災害に備えることに注力しています。また能登半島地震では、1月の地震の後に9月に豪雨が同じ地域を襲い、大規模な二次災害として土石流や洪水災害が発生しました。一方で災害対応に関して国の方策として災害現場や危険な箇所で稼働するロボット（ドローン [UAV] や自動運転車 [UGV] を含む）の開発が望まれ、研究基盤の整備が進められています。

そのような社会の要請に応え、本研究所では、大型降雨実験施設を使って豪雨下のUAVやUGVの実証実験を支援してきました。2025年の施設整備では、ニーズに応じて設備を拡張し、暴風雨環境を再現できる新たな設備が整備されました。その活用方針について紹介します。また、もう一つの過酷環境として、豪雨時に土砂が流下し堆積する地盤状態や土砂の流動を再現できる土砂流下システムも構築しましたので、それについても紹介します。

降雨実験から過酷環境シミュレーターへ

2025年度から、降雨環境（図1上）だけでなく大型ファンにより発生する風（図1中）も加えた暴風雨環境（図1下）が再現可能となり、雨は最大300mm/h、そして風は風速20m/sを同時に再現ができるようになりました。風口は、幅3m×高さ3mです。また、そこから作り出される風は乱流であり、層流実験に比べ解釈が難しいです。そのため、風口から離れたところには風速計を複数設置し風の強さを計測し、風の影響範囲をリアルタイムで把握します。今回の整備により、暴風雨下におけるドローンの飛行制御実験（図2上）、自律飛行時の



図1 上：大型降雨実験施設内での豪雨(300mm/h)、中：強風装置で用いる大型ファン、下：強風装置の全景、風口は3m×3m、天井には降雨システムがあり、暴風雨の再現が可能

カメラやLiDARセンサーによるセンシング性能の検証（図2下）、暴風雨下の環境認識性能の評価等の研究テーマなど、制御や環境認識におけるAIやシミュレーションに関わる基礎データの蓄積に期待がかかります。



図2 大型降雨実験施設内での実験
上：豪雨下のドローン飛行実験、下：自動運転時のカメラとLiDARセンサーによる豪雨時の対象物の検知検証実験



図3 大型土砂流下装置
上：流下装置全景、上部に水槽を設置し、下部に貯水槽が設置されている
下：流下装置から見下ろした下流の貯水槽

過酷環境下でのセンシング性能検証実験

日本のような豪雨、浸水、土砂災害などの気象災害の多い国では、どんな環境でも安心安全に暮らせることが重要です。特にモビリティの分野は、普段の生活に直結しています。そのため急な気象の変化による暴風雨下でのセンサーの性能検証の確立は重要です。近年では国の方策として、さまざまな過酷環境での実証実験および世界標準化を目指しており、特に暴風雨の過酷環境の再現ができる施設は世界的に類を見ない施設です。この分野での国際的な拠点を目指して、モビリティ技術を防災にも活用する研究を進めたいと考えています。

災害環境の再現（土砂流下システムの構築）

一方で、日本では気象災害の一つである土砂災害が課題となっています。土砂災害の現場では、堆積した土砂や瓦礫の中や水中の搜索・救助活動など、過酷な条件の中での実働部隊の迅速な対応が必要です。このような過酷な環境を再現するために、上流部から土砂と貯留した水を混ぜて斜面を流下させる装置（図3上）と、下流には大きさ20m×20mで深さ1mの貯水槽が設置（図3下）され、土砂流下環境や堆積環境をコントロールできる大

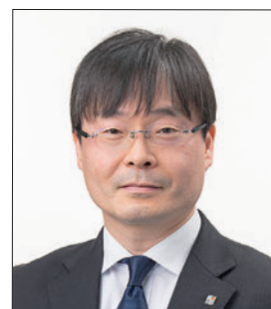
型土砂流下システムを新たに構築しました。これにより、さまざまな被災環境を再現することが可能となりました。

国際的な実験拠点へ

このように豪雨から生じるさまざまな過酷環境を実大規模で再現できることが可能になりました。ユーザーも広がってきており、分野を超えた協働を行うためには、実験の計測データの品質、専門家によるサポート、共有システムの構築など、基盤技術を強化していく必要があります。想定外の被害をなくすためにも、過酷環境での実験、特に自然環境が複雑な条件の場合の実験では、大型で実大規模の実験ができることが重要です。今後は、防災と他分野の連携、そして国内のさまざまな国立研究機関や大学、民間企業との連携を図りながら、世界共通の課題である防災をキーワードに国際的な連携拠点として整備していきたいと考えています。そして、国際的な実験研究を推進する上で、必要不可欠な国際的な人材や科学技術のイノベーションを支えるDX人材の育成にも貢献したいと考えています。

雪氷防災実験棟のこれまでの研究について

これまでの成果・今後の展望



極端気象災害研究領域
雪氷防災研究センター 副センター長
根本 征樹

降雪や風雪を実験室レベルで再現

雪氷現象をはじめ、自然現象にかかわる研究では、実際に発生する現象を野外で観察・計測する観測的研究は大変重要ですが、一方で、野外で起きる現象は天候状態の変化に応じた変化が激しく、特定の環境条件下で再現性を確認するような計測は容易ではありません。そうした場合に、実験的研究で雪氷現象を再現・計測できれば、効率的な研究開発の推進が可能となります。上述した様に天候に左右されるなど不確実性を伴う野外観測とは異なり、室内実験は環境条件をある程度制御した上で現象を測定できるといった大きな利点があります。また例えば何らかの試験体を対象とした実験をする場合には、対象物の構造や配置についてさまざまなパターンで計測することも野外観測より比較的容易となります。こうした理由により、室内実験は雪氷研究においても大変有用な手段の一つと言えます。実験の手法について、例えば野外に降り積もった雪を低温室内に運搬・保管し、実験に用いる方法や、実験室内で何らかの手段で人工的に雪氷を生成し、それを用いて実験する手段もありますが、雪氷防災研究センターの雪氷防災実験棟では、天然の雪に近い結晶形の雪を降らせることが可能な人工降雪装置をはじめ、降雨装置、日射装置が大型低温室内に設置されており、さまざまな雪氷現象を実験室内の制御された環境で再現することが可能です。また吹雪や着雪といった現象の再現を主な目的とした風洞装置も低温室内に設置されています（図1）。

国内外随一の雪氷防災実験棟

雪氷防災実験棟は、1997年3月に山形県新庄市の新庄雪氷防災研究支所（当時の名称）に設立され、それ以

降、雪氷圏に起こる様々な現象を実験室レベルで再現する共用施設として機能しています。完成から28年が経過した現在（2025年）でも、天然の雪に近い結晶形の雪を大量に降らせる降雪装置を備えた共用施設としては国内外随一のものとなります。この施設を使用することで、冬の到来を待つことなく、任意の実験計画に基づく効率的な研究が可能になり、雪氷災害対策のための研究開発および製品開発の効率化が可能となります。

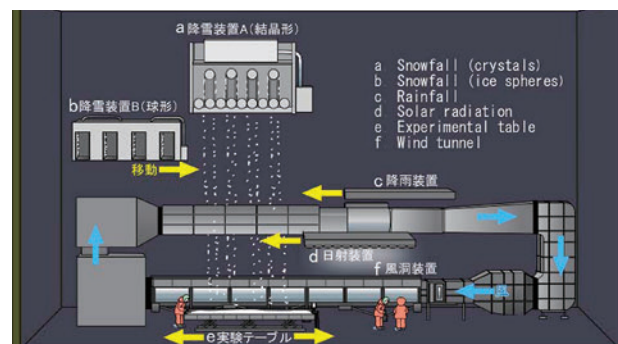


図1 雪氷防災実験棟内部の概況

雪氷災害メカニズムの解明・雪害対策品の試験

これまで、防災科研におけるプロジェクト研究において特に重要な課題である雪氷災害予測システムの研究開発の一環として、雪崩、吹雪や着雪氷をはじめ多岐にわたる雪氷現象に関する実験を実施してきました。これらの成果は順次、同システムに組み込まれ、予測システムの高度化や試験運用に反映されてきました。また雪氷災害メカニズム解明に関わる研究については国内外を問わず重要性が高い課題であり、外部との共同研究も多数実施してきました（図2）。

雪害対策における取り組みとしては、実用面に関す

る、外部機関との共同研究も大変重要です。例えば1998年1月に首都圏を襲った大雪では、電車のパンタグラフへの着雪により、1600本の列車が運休となるなど深刻な交通障害が発生しました。それを踏まえて新たに開発された耐着雪のパンタグラフの実用化試験を実施し、首都圏の電車のパンタグラフの着雪防止策を講じた例(図3)や、信号機への着雪対策の検討(図4)が進められました。さらに、2014年に関東甲信地域で大雪が発生した際、直後の降雨により建物の崩壊などの被害が生じたことを受けて、降雨による屋根雪荷重増加に関する室内実験(図5)を実施し、その成果に基づき建築基準法の告示が改正されるなど、降雪機会が少なく雪対策が十分ではない地域の雪害対策にも寄与しています。

気候変化に対する環境適応に向けて

近年、気候変動の影響により、広い範囲で湿った雪(湿雪)の降雪頻度が増加する傾向にあり、これに特化

した対応も重要となってきます。湿雪は高密度となり、特に建物における雪荷重が増大するなどの問題が生じます。また、特に首都圏など、わずかな降雪でも大きな被害が生じる地域においては、湿雪災害は特に重要な課題となります。2014年において関東地方周辺で低気圧性の降雪が起こり、橋梁への着雪氷やその落雪の問題などが生じました。これからの災害対策研究では湿った降雪に対する対策がより重要です。地球環境や人間社会の変化に伴い、雪氷災害の発生機構も変化してきています。その都度新たな対策が必要ですが、自然現象を待つだけでは対策は追い付かなくなります。そこで、冬季の雪氷環境を時期によらずに室内で再現し、繰り返し実験ができる施設は極めて有用であると考えます。機器に関する制約などもあり、当然ながらあらゆる現象を当該施設で再現することは不可能ですが、適切に活用することで得られる知見も多く、今後より一層有効活用できるよう努めたいと思います。



図2 フランス国立環境・農業科学技術研究所(INRAE)との吹雪実験



図3 電車用パンタグラフへの着雪再現試験(左)と実際の整備例(右)



図4 信号機への着雪再現試験



図5 降雨による屋根雪荷重増加に関する研究

実物に近いサイズで地震を再現

大型岩石摩擦実験装置で迫る地震の発生過程



巨大地震災害研究領域
地震津波発生基礎研究部門 副研究部門長

山下 太

はじめに

地震は断層の摩擦すべりによって引き起こされる現象であり、そのすべりが地面の揺れや津波の原因となります。そのため、断層のすべりがどのように始まり、進行し、止まるのかを知ることは地震の発生過程を理解する上で極めて重要です。しかし、断層は地下深くにあるため、その様子を直接観察することはできません。そこで岩石試料をすり合わせて、断層すべり現象、すなわち地震を室内で再現し、その様子をごく近傍で観察することで地震の発生過程に迫ろうとする実験研究が行われています。防災科研の「地震発生機構の理解深化と発生予測に関する研究開発」プロジェクトでは、特に、大型の岩石試料を使った摩擦実験を実施しており、その取り組みについて紹介します。

大型岩石摩擦実験とその意義

地震が発生する際、断層全体が一斉にすべるのではなく、断層面上のある箇所で始まったすべりの領域が徐々に拡大（すべりが伝播）していき、断層面全体に行き渡ることが知られています。すべりが始まった地点は震源と呼ばれ、断層をすべらせる方向に働く力が断層の強度を上回った箇所と考えられています。この時の断層がすべる（食い違う）速さは最大1m/s（メートル毎秒）ほどで、人が歩く速度と大差ありません。一方、すべりが伝播する速度は約3km/sと非常に高速です。岩石摩擦実験においても自然の断層と同様に、岩石試料の接触面（模擬断層面と呼ばれます）上の震源からすべりが始まり伝播していきますが、その伝播速度も自然断層と同等の約3km/sです。したがって、仮に模擬断層の長さが1mあったとしても、すべりが端から端に伝播するまで

の時間はわずか0.00033秒です。そのため、すべりの伝播過程やそれに影響を与える要因を詳細に調べるには、岩石試料が大きいほど有利となります。また、すべりが高速伝播する前にプレスリップと呼ばれるゆっくりしたすべりが発生することが実験的、理論的に示されており、地震発生の短期予測においても重要な現象ですが、自然地震の発生前にプレスリップが明確に観測された例はありません。その理由を明らかにするには、より現実に近い環境で断層すべりを再現して調査する必要があります。その点においても大型の岩石摩擦実験が有効です。このような理由から、防災科研は2010年頃に大型岩石試料を使った摩擦実験研究をスタートさせました。最初に開発した第一世代の大型実験装置はつくば本所の大型振動台を動力として使用するもので、模擬断層の長さは1.5mでした（図1）。第一世代の実験装置を使った実験では、過去の実験と同様にプレスリップが再現されましたが、その拡大するプレスリップ域の先端が模擬断層面上にあるわずかな不均質を通り過ぎる際に、極めて小さ

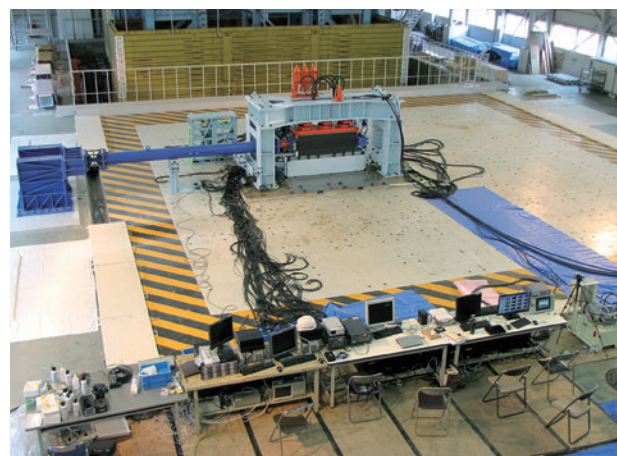


図1 第一世代大型岩石実験装置の外観

な地震が引き起こされることが分かりました。これは本震前に発生する前震に相当するものです。

さらにそのような不均質を増加させた断層ではプレスリップ域の拡大が確認できなくなり、代わりに、前震がドミノ倒しのように連鎖して模擬断層全体がすべる本震が引き起こされることが明らかとなりました。このようなプレスリップと前震の性状をより詳しく調べるため、さらに大型の第二世代実験装置を2016年に開発しました。模擬断層の長さは4mと、当時において世界最長で(図2)、この長い模擬断層での実験により、前震の発生頻度や大きさがプレスリップのすべり速度と関係することが示されました。前述の通り、地下深くの断層の状態を把握することは非常に困難ですが、この実験結果は微小地震の活動をモニターすることで断層面の状態変化を捉えられる可能性があることを示唆しています。このような大型岩石試料を用いた実験研究成果は国際的にも高い評価を受け、ユトレヒト大学(オランダ)からの申し入れにより、防災科研の第一世代実験装置を用いた国際共同研究が実施されました。また、2016年頃にはコーネル大学(アメリカ)で3m長の岩石試料を使用可能な大型摩擦実験装置が開発されましたが、その構造設計において防災科研の第一世代実験装置が参考にされました。近年、世界各地の様々な研究機関に大型の摩擦実験装置が導入され、地震発生過程に関する実験研究が進められていますが、防災科研の一連の実験研究成果がその契機の一つとなったと言っても過言ではありません。



図2 第二世代大型岩石実験装置の外観

より大型の実験装置でより現実的な地震を再現

第一、第二世代の実験装置で再現された摩擦すべりは、いったん励起されると模擬断層全体が一度にすべり

切ってしまうものばかりでしたが、現実の地震はより複雑なパターンで発生することが知られています。特に、甚大な被害を引き起こす巨大地震が繰り返し発生している南海トラフでは、1707年宝永地震のように全域が一度にすべるパターンだけでなく、1944年昭和東南海地震と1946年昭和南海地震の連鎖のように、一部がすべった後に時間をおいて残りの部分がすべるパターンでも発生することが知られており、効果的な防災対策を難しくしています。このような複雑なパターンの地震を再現しその発生過程を詳しく調査するには、さらに大規模な岩石摩擦実験が必要と考えられたことから、2023年に第三世代の大型実験装置を開発しました(図3)。この実験装置における模擬断層の長さは6m、面積は3m²で、そこに1200トンフォースの力を加えて地下の状態を再現し、最大1mすべらせることが可能です。これは公表されているものの中では世界最大の岩石摩擦実験装置です。この装置を使って実験を行ったところ、通常は一度しか発生しないプレスリップが何度も繰り返し発生した後に本震が発生するという複雑なパターンの地震が再現されました。現在、そのようなパターンが発生する力学条件を明らかにするため、実験データの解析を進めています。

さいごに

これらの大型実験装置の開発とそれらを使用して実施した一連の実験研究の成果が認められ、2024年度日本地震学会技術開発賞を受賞しました。第三世代実験装置を用いた実験もすでに注目を浴びており、今後、国内外の研究機関とも連携して地震の発生過程解明に向けた実験研究を進めていきます。



図3 第三世代大型岩石実験装置の外観

「奄美大島瀬戸内町におけるドローンを活用した平時・有事対応の住民サービス」が、第7回日本オープンイノベーション大賞「国土交通大臣賞」を受賞しました

防災科研と日本航空株式会社、奄美アイランドドローン株式会社、鹿児島県大島郡瀬戸内町、国立大学法人筑波大学が連携し、平時から災害対応までドローンとデジタル技術を活用した離島での住民サービスモデルの社会実装を目指した取り組みが、持続可能なまちづくりへの貢献として高く評価されました。2月5日の受賞式では、地震津波複合災害研究部門の内山庄一郎主任専門研究員が、「この受賞を励みに、地域とともに成長し、プロアクティブな防災と持続可能な社会の実現に向けて、挑戦を続けてまいります。」とコメントしました。

第29回「震災対策技術展」横浜に参加しました

2月6日から7日の2日間、パシフィコ横浜で開催された「震災対策技術展」で、防災科研はブース展示を行い、「J-SHIS」などの地震や津波に関するハザード情報を紹介しました。また、セミナーでは、防災科研の實髯理事長と総合防災情報センターの臼田裕一郎センター長が講演を行いました。さらに、6日には防災科研と特定非営利活動法人リアルタイム地震・防災情報利用協議会の共催で第22回国土セイフティネットシンポジウムが開催され、「都市の安全を支える強震観測と光ファイバセンシング技術の展望」をテーマに、藤原広行研究主監と地震津波火山観測研究センターの功刀卓センター長代理ら6名が登壇し、会場は満席となりました。



国土セイフティネットシンポジウムの様子

令和6年度いばらき健康経営優良事業所表彰（知事賞）を受賞しました

「いばらき健康経営推進事業所」として認定された企業・団体の中から、他の模範となる優れた取り組みを実践している事業所として評価され、2月12日に茨城県庁にて開催された表彰式で受賞しました。また、3月10日には「健康経営優良法人2025」に認定されました。この認定制度は、地域の健康課題に即した取り組みや日本健康会議が進める健康増進の取り組みをもとに、特に優良な健康経営を実践している法人を顕彰するもので、3年連続の認定となります。



賞状を持つ丹野忠総務部長

資料展「阪神・淡路大震災30年 あの日の神戸ー記憶の継承ー」出張展示を開催しました

神戸大学附属図書館で開催された資料展「阪神・淡路大震災30年 あの日の神戸ー記憶の継承ー」の一部コンテンツを使用した出張展示を防災科研自然災害情報室において、2025年2月25日から4月25日まで開催しました。本展示は、災害資料アーカイブの連携の一環として行われ、震災から30年を迎えるにあたり、貴重な記録を広く紹介する機会となりました。

特許権を取得しました

「路面判定装置、及び、路面判定方法」の特許権を取得しました。
概要はホームページをご確認ください。

防災科研 特許



沖縄県のスマート防災ネットワークの構築に向けた取り組みを発表

3月5日、防災科研は、株式会社りゅうぎん総合研究所の記者発表にて、2024年11月9日に発生した沖縄県北部豪雨等の教訓を踏まえたスマート防災ネットワークの構築について、りゅうぎん総合研究所との連携を発表しました。この取り組みは、2023年9月から始まった戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期の課題「スマート防災ネットワークの構築」の中で取り組んでいる「災害実動機関における組織横断の情報共有・活用」で得られた知見を踏まえて実施する計画です。



左から、防災科研 工藤隼人招へい技術員、伊勢正研究統括、りゅうぎん総合研究所 豊田良二代表取締役、志良堂猛史特命部長

World Bosai Forum 2025に参加しました

3月7日から9日の3日間、仙台国際センターで「World Bosai Forum 2025」が開催され、防災科研は、3月7日と8日に行われたWorld Bosai EXPOに3つのテーマで出展しました。また、9日には防災科研が事務局をつとめるJHoP（防災減災連携研究ハブ）の共催による公開シンポジウム「2つの提言：壊滅的災害へのそなえを考える～1995阪神・淡路、2011東日本、2024能登半島の教訓に学ぶ～」が開催され、寶馨理事長が登壇しました。

文部科学省刊行の「実践的な防災教育の手引き」に YOU@RISK が掲載されました

「実践的な防災教育の手引き」（小学校編、中学校・高等学校編）に収録された実践事例は、GIGAスクール構想で整備されたタブレットを活用し、「YOU@RISK（STEP2）」の（洪水版・津波版・火山版）を操作しながら授業を進める内容となっており、教育現場での実践的な指導方法の一例として紹介されています。

実践的な防災教育の手引き

YOU@RISK



みんなで学ぶ防災教室「地震のそなえ」を開催しました

3月22日、防災科研は、ガールスカウト日本連盟との共催による防災科学教室を対面とオンラインで開催しました。講師は総合防災情報センターの上田啓瑚特別研究員で、クイズや謎解きを入れて楽しみながら「もしもの時に備える行動」を参加者に理解していただきました。オンラインでは全国から約30の団体・個人の参加がありました。

一般公開を開催しました

4月19日、防災科研つくば本所にて、一般公開を開催しました。小学生の親子連れをはじめ、約2000人が来場しました。大型降雨実験施設では多くの方が毎時300mmの豪雨を体験し、地震の揺れを体験できる「地震ザブトン」は、事前申し込みが予想を大きく上回り、関心の高さが伺えました。さらに、各研究部門が実験や工作のブースを設け、来場者が研究者から直接説明を受け、楽しみながら防災を学べるプログラムを多数実施しました。



一般公開の様子

令和6年度第3回災害レジリエンス共創研究会開催

「防災士の活躍による日本の防災力向上の可能性 ～防災士との共創の進め方～」

2月26日「令和6年度第3回災害レジリエンス共創研究会」が東京都港区の防災科研東京会議室で開催され、オンラインを含め300人以上が参加しました。災害対応において地域防災力の向上は重要な課題であり、被災前後に地域で対応できる人材の確保が求められています。全国に30万人以上の防災士が存在し、災害対応だけでなく、防災の知識や手法を地域住民に伝えるファシリテーターとしての役割も期待されています。本研究会では、防災士の役割とその可能性、課題などについて議論が行われました。

第一部では、防災科研の實馨理事長が「30万人の防災士がどのように活躍できるか」をテーマに、防災士が地域防災力の向上にどう貢献できるか、その活躍の場や課題を提起しました。続いて、日本防災士会の室崎益輝理事長は「防災士に関する現状と期待」をテーマに、地域密着型の能力を生かしつつ、専門性をどう加えるかが課題であると述べました。モデレーターを務めた防災アナウンサーの奥村奈津美氏は「防災士資格の可能性と課題」として、アンケート調査を通じて

実際に防災士が抱える問題を紹介しました。福島高専の丹野淳助教は「防災士資格を活かした官学連携の取り組み」と題し、福島県いわき市と福島高専の連携事例を紹介し、地域防災力の向上と、高専生の実践的な教育の進展を報告しました。最後に、防災科研 社会防災研究領域災害過程研究部門の李泰榮副研究部門長は「防災人材育成に関する研究開発の取り組み」をテーマに、自身の研究成果である『地域防災ファシリテーション「形」（かた）』を基に、防災士を支援人材として育成するプログラム開発の意義を述べ、実用化に向けて努めていくことを強調しました。

第二部のパネルディスカッションでは、防災士制度の課題について議論が交わされ、資格の更新やスキルアップの仕組み構築、資格取得が地域社会でどのように生かされるかが重要な課題であることが明らかになり、制度設計を含めた改善の余地が示唆されました。本研究会は、防災士の役割を再確認し、今後のスキルアップと地域社会での活用に向けた課題と解決策を共有する貴重な機会となりました。



左からモデレーター 奥村奈津美氏、防災科研 實馨理事長、日本防災士会 室崎益輝理事長、福島高専 丹野淳助教、防災科研 李泰榮副研究部門長

アンケートのお願い

平素より『防災科研ニュース』をご高覧いただき、誠にありがとうございます。本誌のさらなる充実と改善を目的として、アンケート調査を実施しております。

お手数ではございますが、右記のQRコードまたはURLよりアクセスのうえ、ご意見・ご要望をお聞かせいただけますと幸いです。

なお、アンケートの回答は統計的に処理され、他の目的には使用いたしません。また、個人情報につきましては厳重に

管理し、第三者に提供することはありません。

皆さまの貴重なご意見を、今後の参考とさせていただきます。何卒ご協力のほど、よろしくお願い申し上げます。

URL : <https://www17.webcas.net/form/pub/bosai/kaken-ed>



防災科研ニュース

2025 No.229

2025年6月30日発行

●ご意見・ご感想をお寄せください e-mail : k-news@bosai.go.jp

■発行 国立研究開発法人 防災科学技術研究所

〒305-0006 茨城県つくば市天王台3-1 企画部 広報課

防災科研ニュース係 TEL.029-863-7784 FAX.029-863-7699

●防災科研ニュースはウェブサイトでもご覧いただけます (<https://www.bosai.go.jp/>)

ISSN 2758-1195