

技術研究所 年報73号の発刊に際して

専務執行役員 技術研究所長

利穂 吉彦



鹿島技術研究所年報73号の発刊にあたり、一言
ご挨拶申し上げます。

建設業は、繁忙な状況が継続し、生産性の向上と
安全確保が引き続き基本的な重要課題となってい
ます。これらの課題は、単品生産の建設業の特徴と
して、標準化や省力化、自動化などが行いにくいた
めに、顕著な改善効果を得ることが難しい状況が長
年続いてきたものですが、AIやデジタル技術の急速
な進歩によって、建設生産に抜本的な変革を起こす
可能性が出てきました。

クワッドアクセル(A⁴CSEL)は、ダム現場を主対象
として自律的に作動する複数重機による無人化施工
を実現したのですが、センシング技術の高度化や
AI技術の活用などによって、適用対象をトンネルや
造成工事などに拡張しています。

建築現場では、人と協働するロボット開発に積極
的に取り組んでいますが、従来の事前にプログラム
された自動化から、フィジカルAI搭載で、周囲の環
境変化に合わせて自律判断して動くロボットの開発
が注目されるようになってきました。政府によって
検討が進められているロボット産業国家戦略にお
いても、ロボット技術の高度化によって、これまで
導入が進まなかった分野で普及が期待できる対象
の一つに建設分野も位置付けられています。世界
の関連分野の動向を注視しつつオープンイノベー
ションを志向していきたいと思えます。

今年はAIエージェント元年とも言える年でした。
大規模言語モデル(LLM)や生成AIなどの急速な
進化に伴い、複雑なタスクを自律的に実行できる
AIエージェントが、様々な分野で導入されつつあ
ります。建設業においても現場マネジメントや、
設計や研究開発などを含む管理部門の生産性を飛
躍的に高める可能性を秘めたものであり、技術研
究所としても新しい分野として注目し取り組んで
いきたいと思えます。

AI技術の活用が進めば進むほど、質の良いデー
タを収集・蓄積し活用していく機能の重要性が増す

とになります。技術研究所では、光ファイバ計測
や衛星計測などの先端的なセンシング技術の開発に
取り組み、シミュレーション技術やAI技術の向上と
併せて、建設現場で生じる現象をデジタルデータ
としてとらえる機能の強化に注力してきました。こ
れらのデータを現場、設計部門並びに発注者と共
有し、データに基づくマネジメントを深化させるこ
とで、より安全で高い生産性の建設生産を実現す
ることが可能になると考えます。施工中のモニタ
リングに加え、これらのセンシング技術は、構造
物の完成後の運用段階における経年変化や災害
発生後の健全性評価などにも活用が期待される
ものです。

今回の特集は、「広域・複合災害を対象とした防
災関連技術」です。今年は南海トラフ地震や首都
直下地震の対策推進計画策定から10年が経過し
、防災対策の進捗状況の確認や被害想定の見直
し、新たな防災対策の検討などが活発に行われて
います。これらの迫りくる地震災害や気候変動に
伴い激甚化・頻発化する自然災害に立ち向かうた
めに、政府は本年6月に第1次国土強靱化実施中
期計画を決定しました。2026年度からの5年間
を対象に20兆円強の事業規模を想定し実施すべ
き施策をまとめたものです。AIや衛星、自動化施
工などの革新的なデジタル技術の活用も重要施
策として位置付けられています。

自然災害に対する予防並びに災害発生時の初期
対応、復旧、復興の各フェーズにおいて、建設業
は大変重要な役割を担う産業です。技術研究所
では、地震や津波、火災、風水害など様々な分
野の専門家が研究や技術支援業務に活躍してい
ます。特集では、これらの活動成果を予測、予
防、災害発生後の対応に分類・整理して概説し
ました。災害が多発する日本には防災の技術や
知見が豊富にあり、諸外国の防災にも資するも
のと考えます。

今後とも国内外のお客様のニーズにより的確
に応え、社会課題の解決に貢献できるよう努力
して参りたいと思えます。引き続き関係各位
のご指導とご鞭撻をよろしくお願い申し上げます。

広域・複合災害に対する都市・インフラリスク

Urban and Infrastructure Risks from Wide-Area and Complex Disasters

山中 徹 近藤 宏二
Toru Yamanaka and Koji Kondo

Ⅰ. はじめに

大規模地震や強大な台風などにより、我が国の都市・社会は常に多様な自然災害リスクに直面している。2011年以降、我が国で発生した主な自然災害を一覧¹⁾にして Table1 に示す。複数県にまたがる広域な災害が毎年のように発生していることがわかる。例えば、顕著な事例として次の2つが挙げられる。2011年に発生した東日本大震災では、地震に伴う津波によって大規模な浸水が発生し、都市および交通網や電力網、水道施設などのインフラが広域に壊滅的な被害を受けた。2019年の令和元年東日本台風では、大雨に伴い、全国で140か所以上の河川堤防が決壊し、広範囲な浸水被害によって地域の経済活動に甚大な損失を与えた。また、自然災害では、地震、大雨、暴風のような単一の自然現象にとどまらず、それらが災害誘因となって土砂崩れ、津波、洪水、高潮などが引き起こされ、連鎖的に災害が進展することも多い。さらに、異なる要因の災害が短い時間間隔で発生し、複合的な災害に

拡大することもある。こうした広域・複合災害は、単なる物理的な被害に留まらず、都市・地域社会の持続可能性や経済基盤を脅かす点で深刻であり、幅広い対応が求められる。

我が国は、防災基本計画および国土強靱化基本計画を通じて、災害に強い社会の実現を目指している。その中で、2023年度に閣議決定された計画には、国土強靱化の理念に関する主要事項として、地震後の洪水等の複合災害や、南海トラフ地震等の巨大・広域災害への対応が含まれた。これらの対応の実現には、行政のみならず地域、国民、事業者等のあらゆる主体が、取り組みを推進する必要がある。

防災・減災への取り組みの中で当社を含む建設産業が果たす役割は極めて重要である。耐震性、耐水性、耐風性、耐火性などに優れた都市・建築・インフラの設計・施工を通じて、地域の防災力向上に貢献する必要がある。さらに、災害発生時には迅速な復旧作業や被災インフラの修復を通じて地域社会の復旧・復興に寄与することが求められる。そのため、

Table 1 日本における主な自然災害の状況(東日本大震災以降)¹⁾から抜粋
(Major Natural Disasters in Japan Since the Great East Japan Earthquake)

発生日	災害名	主な被災地	死者数・ 行方不明 者数
2011.3.11	東日本大震災 (Mw9.0)	東日本 (特に宮城、岩手、福島)	22332 人
2011.8.30～2011.9.5	台風第 12 号	近畿、四国	98 人
2011.11～2012.3	平成 23 年の大雪等	北日本から西日本にかけての日本海側	133 人
2012.11～2013.3	平成 24 年の大雪等	北日本から西日本にかけての日本海側	104 人
2013.11～2014.3	平成 25 年の大雪等	北日本から関東甲信越地方 (特に山梨)	95 人
2014.8.20	平成 26 年 8 月豪雨(広島土砂災害)	広島県	77 人
2014.9.27	平成 26 年(2014 年)御嶽山噴火	長野県、岐阜県	63 人
2016.4.14 および 4.16	平成 28 年(2016 年)熊本地震 (M7.3)	九州地方	276 人
2018.6.28～7.8	平成 30 年(2018 年)7 月豪雨	全国 (特に広島、岡山、愛媛)	271 人
2018.9.6	平成 30 年北海道胆振東部地震 (M6.7)	北海道	43 人
2019.10.10～10.13	令和元年東日本台風	関東地方、東北地方	108 人
2020.7.3～7.31	令和 2 年 7 月豪雨	全国 (特に九州地方)	88 人
2021.7.1～7.14	令和 3 年 7 月 1 からの大雨	全国 (特に静岡県)	29 人
2021.8.7～8.23	令和 3 年(2021 年)8 月の大雨	全国 (特に長野、広島、長崎)	13 人
2022.9.17～9.20	令和 4 年(2022 年)台風第 14 号	九州、中国、四国地方	5 人
2024.1.1	令和 6 年能登半島地震 (M7.6)	石川県、新潟県、富山県	636 人※

※2025.7.5 現在「令和 6 年能登半島地震に係る被害状況等について」より

自社の事業継続性を高めることも重要である。これらの要望に応えるとともに、社会環境や事業環境の変化に対応するために、当社では革新的な研究・技術開発を継続してきた。

本特集では、近年における大規模災害の状況と国の取り組みを概観する。さらに、当社における防災・減災に対応するための最新の研究技術開発の現状と課題について述べる。

Ⅱ. 広域・複合災害の状況

本章では、近年に発生した広域災害（複数の都道府県に跨る災害）の中から、異なる事象が連鎖的に発生した災害および複合災害（異なる要因の事象が短い時間間隔で発生した災害）を取り上げて、災害の状況を概観する。

まず、災害要因の多様性について示す。Table1 に示した自然災害一覧によると、それぞれの災害において多くの死者・行方不明者が出ていることがわかる。しかし、犠牲となる原因は災害により様々である。例えば、東日本大震災では、地震に伴って発生した津波によるとみられる犠牲者が全体の9割を超えていた（2011年4月11日現在）²⁾。一方、令和6年能登半島地震では、地震の揺れに伴う家屋の倒壊や土砂災害が要因と思われる犠牲者が6割を超えていた¹⁾。これらは、地震の特性および発生地域の特性によって被害の様相が変わることを示している。また、平成30年（2018年）7月豪雨では、犠牲者の原因の構成比でみると、土砂災害が54%で最も多く、洪水（35%）を上回ると報告されている³⁾。このように、自然災害では連鎖的に発生した異なる事象によって被害を受けるため、多様な災害リスクを包括的に評価し、複数のリスクに対応できる防災計画の策定と着実な計画推進が重要である。

次に、累加的な災害事例について示す。先発した自然災害の影響が残っている状態で次の自然災害が発生すると、単発の災害に比べて被害が拡大することがある^{4),5)}。例えば、そのような災害の例として、令和6年能登半島地震とその9か月後に発生した線状降水帯を伴う大雨による災害が挙げられる。この事例では、地震により山地部から流出した土砂や流木が、その後の大雨による洪水とともに流下し、橋梁で捕捉されたことにより橋梁上流側の水位が上昇し、氾濫の範囲等が拡大したとされている⁴⁾。このように、単一の自然災害に対応するだけでなく、累加的な自然災害に対応することも重要である。

さらに、近年の災害では、高齢者や障害者等（要配慮者）の避難に課題があることが判明している。中央防災会議の報告によると⁶⁾、令和元年東日本台風（台風19号）では、犠牲者の65%が65歳以上の高齢者が占めており、自宅で犠牲になった34名のうち79%が65歳以上の高齢者であった。高齢者が避難できていないことが浮き彫りになった。同文献⁶⁾では、障害のある方の避難が適切になされなかった事例もあ

ったと報告されている。また、令和6年能登半島地震では、災害関連死が広域に発生し、直接死よりも多かったと報告されている⁷⁾。その多くが高齢者であった。このような災害関連死を低減するには、被災者の状況を的確に把握する必要がある。広域災害では、これらの問題がより顕著に現れると危惧される。

広域災害および複合災害などは、自然災害大国である我が国が直面する課題の一つであると言える。これらの災害への対応力を高めるため、技術革新と社会的な取り組みを一体化させた防災・減災対策が求められる。

これまでの災害対策の有効性が確認された事例もある。令和6年能登半島地震では多くの建築物に被害が発生した（35441棟）。しかし、建築物被害の大きかった輪島市、珠洲市、穴水町の市街地における日本建築学会による全数調査（悉皆調査）の結果⁸⁾、1981年の新耐震基準導入以降の木造建築物が倒壊・崩壊した割合は4.7%（1053棟中50棟）であり、それ以前の木造建築物18.9%（3607棟中682棟）に比べて倒壊等の割合が顕著に低かった。さらに、新耐震基準導入以降の木造建築物のなかでは、接合部の仕様等を明確化した2000年以降の木造建築物は倒壊等の割合が0.5%（732棟中4棟）であり、それ以前の木造建築物よりも低いことが明らかになった。震災被害の軽減には、耐震化による優良な住宅・建築物のストック形成が重要であることがわかる。

Ⅲ. 広域・複合災害に対する我が国の取り組み

我が国では、2011年東日本大震災を契機として2013年に国土強靱化基本法が制定され、災害による被害を最小化するための国土強靱化基本計画が2014年に閣議決定された。これらの法制度は、災害対策の基盤を形成し、国および地方自治体による具体的な取り組みを支えるものとなっている。その後、広域災害、複合災害から浮き彫りになった課題に対して様々な提言がなされ^{例えば4),5),6),9),10)}、それらに基づいて第1次国土強靱化実施中期計画¹¹⁾が策定された。この中期計画は、令和8年度から令和12年度の5年間（2026年度～2030年度）を計画期間として推進される予定である。同中期計画では、南海トラフ地震のように膨大な被害が予想される切迫した巨大地震や、気候変動に伴い激甚化・頻発化する気象災害から多くの人命を守り、生活や社会経済活動を早期に復旧するために、特に推進が必要な114の施策を挙げている。例えば、「防災インフラの整備・管理」の分野では、グリーンインフラなどの流域治水対策等の推進や、障害者・高齢者・子供・外国人等に配慮した災害情報提供の強化、複合・二次災害、復旧・復興段階の災害への対応強化などが挙げられている。また、「ライフラインの強靱化」および「官民連携強化」の分野では、建築物およびインフラの耐震機能強化などの巨大地震対策等の推進が挙げられている。

Table 2 大規模地震による被害想定 ¹¹⁾を元に作成
(Damage Estimation from a Large-Scale Earthquake)

	東日本大震災 (2011 年)	南海トラフ巨大地震	首都直下地震	日本海溝・千島海溝 沿いの巨大地震
	(実績値)	(推計)	(推計)	(推計)
人的被害 (死者)	約 2.0 万人	最大 約 29.8 万人	最大 約 2.3 万人	最大 約 19.9 万人
資産等の直接被害	約 16.9 兆円	約 224.9 兆円	約 47.4 兆円	約 25.3 兆円
生産・サービス低下に よる被害を含めた場合	—	約 270.3 兆円	約 95.3 兆円	約 31.3 兆円

特に、南海トラフ地震では、最大クラスの地震と津波を想定した場合、膨大な規模の被害が想定される (Table2)。しかし、各主体が様々な防災対策を推進することによって被害を大幅に軽減できると見込まれている ¹²⁾。例えば、1981 年以前に建築された建物について耐震化を促進することにより、犠牲者数は 73,000 人から 17,000 人に大きく減じる (約 77% 減) と試算されている。ハード面の対策は時間とコストが掛かるが、着実に推進する必要がある。また、津波に関する検討では、早期避難率が低い場合は高い場合に比べて、津波による犠牲者数が約 2.3 倍～約 9.8 倍になると想定されている。これは、住民等の意識啓発や防災教育の推進のようなソフトによる防災対策が極めて重要であることを示している。

第 1 次国土強靱化実施中期計画に示された施策は、国策として総合的な計画と地方の地域特性を踏まえた取り組みであり、災害に強い社会の構築が期待される。施策の実施主体の多くは、国および地方自治体が想定されているが、一方で、施策の推進には民間企業の技術力や今後の技術革新に負うところも少なくない。行政、民間、国民が各々の立場で、防災・減災に取り組むとともに相互に連携しバランスのとれた災害対応が可能な社会を実現して行く必要がある。次章では、当社における防災・減災に関する取り組みを紹介する。

IV. 防災・減災に係る当社の取り組み

当社はこれまで未曾有の大災害からの復旧・復興を目指す

多くの工事やプロジェクトに携わるだけでなく、将来の防災・減災に向けたハードとソフト両面での研究・技術開発を推進してきた。また、復旧・復興に迅速に対応する責務に応えるために、当社は自社の事業継続性も高めてきた。これらの成果の多くは、将来の大規模かつ広域・複合災害に対して有効な手段と成り得ると考える。Fig.1 に当社における防災・減災に係る技術分野を一覧にして示す。これらの技術は、発災前の予測・予防に寄与する技術から、災害発生に適用する対応技術に至るまで幅広く網羅している。本節では、広域・複合災害の軽減に資すると期待される当社の代表的な技術の概要を紹介する。これらの技術は、本特集の別稿において詳述されているので、合わせて参照されたい。

(1) 予測技術

気象災害を予測する技術では、台風に伴う高潮のように広域的な被害をもたらす事象を予測するシステムや、気候変動の影響で強大化する台風の風雨を精度良く評価する気象解析技術を構築している。都市域を対象とする技術では、都市型水害予測システム ¹³⁾や建築物周りの降雨解析 ¹⁴⁾・雨水流動解析 ¹⁵⁾があり、大雨による都市域の下水道インフラや建築物の排水設備の限界を予測し、対応策の検討に資することができる。

地震災害を予測する技術では、高精度な強震動予測 ¹⁶⁾や液状化予測 ¹⁷⁾がある。これらを通じて構造物の耐震性能向上を実現している。津波を模擬するシミュレーション ¹⁸⁾や水理実

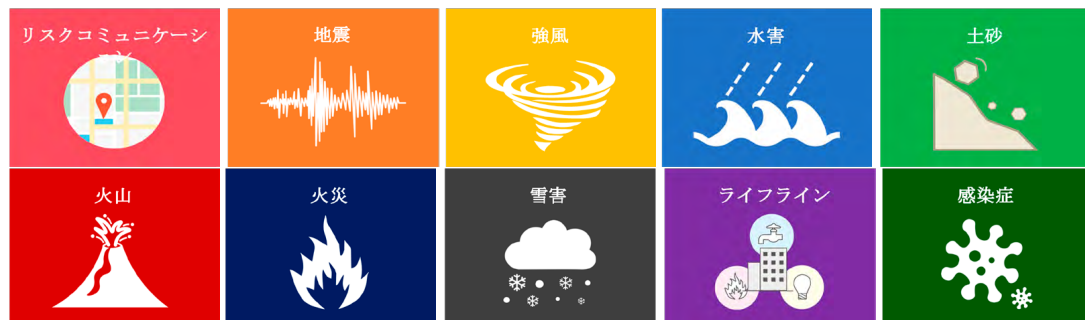


Fig.1 当社における防災・減災に係る技術分野
(Technical Fields Related to Disaster Prevention and Mitigation at KAJIMA CORPORATION)

験技術^{例えば 19)}では、津波避難ビルの設計ガイドラインの作成等に貢献している。さらに、統合地震シミュレータ IES では、地震や大雨などから将来起こり得る障害を広域的に予測することが可能である。

都市構造に関連したリスクとして、火災延焼やヒートアイランドの問題がある。これらについてもシミュレーション技術^{20),21)}を用いた予測に基づいて、広域的な対策立案が可能になっている。

人流を予測する技術²²⁾では、火災時における建物内の避難行動を事前に予測できる。これにより、火災時の館内歩行者の安全性および円滑性に配慮した施設計画の立案に活用できる。さらに、避難に関する要配慮者に対する取り組みを推進している。

(2) 予防技術

予防技術は、予測技術によって定量化された自然災害の外力に対して、構造物等の安全性を確保するための技術である。当社は、従来から各種の耐震・制震・免震技術を開発してきた。現在でもそれらを高度化した革新的な技術の開発を継続しており、例えば、建物高さの 70% 程度の位置に制御層を設ける制免震技術²³⁾を開発した。

近年頻発している水災害については、顧客の BCP をワンストップで支援するトータルエンジニアリングサービス²⁴⁾を展開している。このサービスは、Fig.2 に示すように水災害のリスク評価から対策立案・工事、運用支援まで、顧客にとって必要なニーズを網羅している。また、森林には洪水緩和機能などの水源涵養機能があることは知られているが、その機能を十分に発揮するには、立木密度などの林分構造データに基づいた適切な森林管理が欠かせない。当社は、自律飛行ドローンに搭載した LiDAR を活用し、林分構造データを効率的に計測する技術を構築した。本技術を用いて森林所有者に対して、森林づくり計画の提案から森林経営までをトータルにサポートするサービス「Forest Asset」を提供している。

(3) 災害発生後の対応技術

自然災害が発災した後は、被災状況に関する正しい情報に基づいて適切な判断を迅速に行う必要がある。特に、大規模

かつ広域な災害では、その情報を集約し一元管理する IT 技術の活用が欠かせない。そのような災害情報を共有するためのシステム (BCP-ComPAS) を開発した。また、被災情報に関する正しい情報を広範囲に若しくは自動的に得るための手段として、人工衛星に搭載された合成開口レーダーや構造物に設置した各種センサー (q-NAVIGATOR[®], 光ファイバ) の開発と実装を進めている。

被災後に構造物の継続使用可否を迅速に判断することは、被災者の生活支援や企業の事業継続に非常に重要である。そのため、応急点検や被災度評価を専門家以外でもある程度可能な手法の開発を進めている。

以上の対応技術を活用し、一日も早い復旧を実現することで、災害関連死の低減にも寄与できる。

V. おわりに

本報告では、近年発生した広域・複合災害について概観し、解決すべき課題の例を示した。また、それらの課題に対して、現在の我が国の施策と被害軽減に向けた計画について俯瞰した。さらに、当社における防災・減災に関する技術開発の成果の例を示した。本稿の IV 章に示した当社技術については、本特集の中で詳細を紹介している。これらの技術は、将来想定される大規模かつ広域・複合災害の被害軽減に寄与するものである。ぜひ、一読して頂きたい。

参考文献

- 1) 内閣府，令和 6 年度防災白書，2024.
- 2) 内閣府，平成 23 年度防災白書，2011.
- 3) 牛山ほか，平成 30 年 7 月豪雨災害による人的被害の特徴，自然災害科学，2019.
- 4) 国交省，能登半島での地震・大雨を踏まえた水害・土砂災害対策のあり方について提言，2025.
- 5) 東京消防庁，地震時における災害の複合化を考慮した消防防災対策の在り方，火災予防審議会，2023.
- 6) 中央防災会議，令和元年台風第 19 号等を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について（報告），2020.

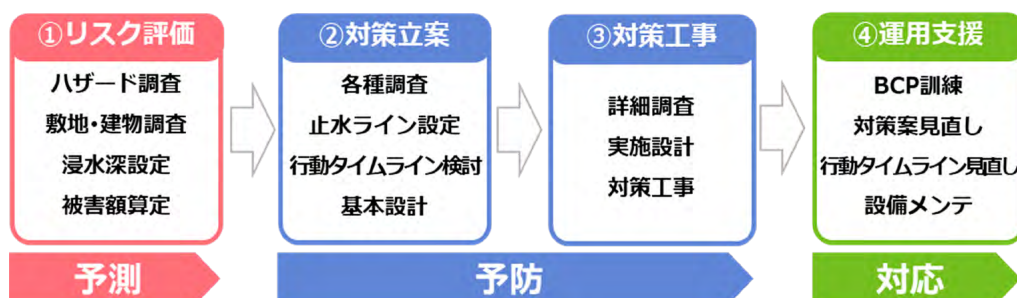


Fig.2 水災害トータルエンジニアリングサービスの流れ
(Flow in Total Engineering Services for Water Disasters)

- 7) 中央防災会議，令和6年能登半島地震を踏まえた災害対応の在り方について（報告書），2024.
- 8) 国土技術政策総合研究所ほか，令和6年能登半島地震建築物被害調査等報告（速報），国土技術政策総合研究所資料，No.1296，2024.
- 9) 内閣府，防災・減災，国土強靱化新時代の実現のための提言，2021.
- 10) 国交省，気候変動を踏まえた治水計画のあり方 提言，2019（2021改定）.
- 11) 内閣官房，第1次国土強靱化実施中期計画，2025.
- 12) 中央防災会議，南海トラフ巨大地震 最大クラス地震における被害想定について，2025.
- 13) Takeda, M., Matsuo, N., Hirashima, S., Hirayama, Y., Tanaka, M., Takahashi, T. ; The Inundation Analysis System on Urban Area and Its Application, Proceedings of the 31st IAHR World Congress, 2005, pp. 4956-4964.
- 14) 高木賢二，伊藤嘉晃，近藤宏二，田村哲郎；低層街区を対象としたLESに基づく降雨解析（その2）降雨観測と解析結果との比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.
- 15) 中島慶悟，小山毅，越塚誠一；雨樋の排水性能に関するMPS法の解析精度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2025.
- 16) 鈴木紀雄，池浦友則，引田智樹，笠松健太郎，友澤裕介；耐震設計と地震動，鹿島技術研究所年報，Vol. 71，2023.
- 17) 渡邊公美，安達直人ほか；液状化対策に用いる格子状地盤改良工法における改良仕様の評価方法（その1～2），第60回地盤工学研究発表会，2025.
- 18) 池谷毅，岩前伸幸，秋山義信，福山貴子，末長清也，鈴木紀雄，館野公一；開口影響を考慮した陸上構造物に作用する津波持続荷重の評価方法，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 70，No. 2, 2014, pp. I_386-I_390.
- 19) 末長清也，岩前伸幸，池谷毅，秋山義信，館野公一，鈴木紀雄；多柱構造物に作用する津波波力に関する実験的研究，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 70，No. 2, 2014, pp. I_390-I_395.
- 20) 桑名秀明；延焼シミュレーションに資する延焼火災の実態，鹿島技術研究所年報，第70号，2022, pp. 287-192.
- 21) 高木賢二他；鹿島都市気候評価システム：KaUCESを用いた屋外風・温熱環境評価，鹿島技術研究所年報，第59号，2011, pp. 145-154.
- 22) 鹿島建設；火災時の高度な避難シミュレーションシステム「人・熱・煙連成避難シミュレータ PSTARS」の開発と展開
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201407/30a1-j.htm>
- 23) 鹿島建設；超高層建物全体の揺れを大幅に低減する「KaCLASS®」を初導入
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202306/6a1-j.htm>
- 24) 鹿島建設；「水災害トータルエンジニアリングサービス」による対策工事を自社技術研究所にて完了
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202506/11a1-j.htm>
- 25) 鹿島建設；デジタルで森林づくりを総合支援！～国内初森林内自律飛行ドローンを活用した森林の付加価値向上～
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202406/21e1-j.htm>

気象災害リスク評価技術の現状と展望：台風・降雨・水害および高潮・高波

Current Status and Future Perspective on Simulation and Risk Assessment Technologies for Meteorological Hazards: Typhoons, Rainfall, Floods, and Storm Surges/Waves

岩前 伸幸 伊藤 嘉晃 中島 慶悟
Nobuyuki Iwamae, Yoshiaki Itoh and Keigo Nakajima

I. はじめに

我が国は、その地理的・気候的な特性から台風や豪雨などの気象災害が発生しやすい国である。世界有数の多雨地帯であるモンスーンアジアの東端に位置しており、梅雨や秋雨、そして、夏から秋にかけて襲来する台風は、各地に甚大な被害をもたらす要因となっている。また、国土の7割を山地が占めており、河川は急勾配であるため、大雨が降ると洪水や土砂災害が発生しやすい。さらに、近年では気候変動の影響により、気象災害は激甚化・頻発化の傾向にあり、人々の生活や社会インフラに対する脅威は増している。近年の甚大な被害を引き起こした気象災害の事例として、過去20年に気象庁が名称を定めた気象現象の一覧¹⁾をTable1に示す。

気象災害の被害を最小限に抑え、被災からの迅速な復興を可能とするためには、災害の予測技術が不可欠となる。本稿では、気象災害のうち、台風による強風や豪雨、およびそれとともなる浸水害と高潮・高波に注目し、それぞれの予測技術について紹介する。あわせて、気候変動がそれらの災害に及ぼす影響について概説する。

Table 1 近年の大規模な気象災害
(Significant Meteorological Disasters in Japan Since 2005)

発生年	名 称
2006	平成 18 年 7 月豪雨
2008	平成 20 年 8 月末豪雨
2009	平成 21 年 7 月中国・九州北部豪雨
2011	平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨
2012	平成 24 年 7 月九州北部豪雨
2014	平成 26 年 8 月豪雨
2015	平成 27 年 9 月関東・東北豪雨
2017	平成 29 年 7 月九州北部豪雨
2018	平成 30 年 7 月豪雨
2019	令和元年房総半島台風
2019	令和元年東日本台風
2020	令和 2 年 7 月豪雨

II. 気候変動（台風）

本章では、気象モデル WRF (Weather Research and Forecasting model)²⁾を用いて、地球温暖化が台風による強

風・豪雨に与える影響を評価する技術について述べる。

1. 技術概要

気象モデル WRF では、気圧、風速、気温、湿度などの気象要素を解析することで、台風などの気象現象を再現することができる。さらに、擬似温暖化手法³⁾を用いることで、過去に生じた台風などの気象現象が将来の温暖化によりどのように変化するかを評価することができる。擬似温暖化手法では、現在気候下の気象データに、温暖化による大気、海面水温の将来変化を加えることで、擬似的に将来気候下の気象データを作成する。現在気候下および将来気候下の気象データに基づいて気象モデル WRF による台風の解析を行い、それぞれの解析結果を比較することで、温暖化が台風に与える影響を評価することができる。

2. 解析事例

擬似温暖化手法を用いて、将来の大気、海面水温の温暖化が令和元年東日本台風（2019 年台風 19 号）に与える影響を解析した事例について紹介する。ここでは、RCP8.5 シナリオ[※]の 2090 年代を想定し、温暖化による大気、海面水温の将来変化については、気象研究所の大気海洋結合モデル MRI-CGCM3⁵⁾による将来予測結果に基づいて設定した。

Fig.1 に現在気候下および将来気候下の海面水温の分布を示す。将来気候下では現在気候下と比べて、日本列島付近の海面水温が約 3℃上昇しており、北緯 30°においても海面水温が 30℃を超えている。

Fig.2, Fig.3 に台風が日本列島に上陸した時の風速、降雨量の分布を示す。将来気候下では現在気候下と比べて、上陸時の風速、降雨量ともに増加している。上陸時の風速の最大値については、現在気候下では 36m/s、将来気候下では 44m/s であり、将来気候下では現在気候下の約 1.2 倍に増加した。また、上陸時の降雨量の最大値については、現在気候下では 88mm/h、将来気候下では 131mm/h であり、将来気候下では現在気候下の約 1.5 倍に増加した。これは、将来気候下では、海面水温の上昇により海面からの水蒸気供給量が増加し、台風が強大化したことが主な原因であると考えられる。

このような気候変動による長期的な気象外力の変化は各種基準にも取り入れられ始めている。例えば、「港湾の施設の

※) 気候変動に関する政府間パネル (IPCC) 第 5 次評価 報告書で用いられた 4 つの温室効果ガス排出シナリオのうち、現時点を超える追加的な緩和策が行われないことを想定した最も温室効果ガス排出量が多いシナリオ⁴⁾

技術上の基準・同解説」では令和6年の部分改訂⁶⁾において、気候変動による作用の時間変化への対応が盛り込まれ、平均海面や潮位偏差、波浪などについて将来的な変化を勘案し、設計供用期間中にわたって要求性能を確保することが求め

られている。さらに、具体的な設定方法についての資料^{7),8)}も公開されつつある。また、降雨については、地球温暖化の影響を考慮した治水計画のための降雨量の設定方法⁹⁾についても資料が公開されている。これらの基準を活用しつつ、基準だけでは検討が難しい案件（基準の適用範囲外になるケースなど）については本技術を活用した検討を行っていく。

3. 今後の展望

本章では、RCP8.5 シナリオの2090年代を想定した令和元年東日本台風（2019年台風19号）への温暖化影響評価の事例を示したが、本技術では任意の台風、温暖化シナリオ、年代を想定した解析を行うことができる。今後は、複数の台風、温暖化シナリオ、年代を想定した解析を行い、様々なシナリオにおける温暖化影響評価ができるデータセットを構築していく。

Ⅲ. 降雨・雨水排水

1. 開発の背景

近年、気候変動にともなう豪雨が多発することにより、建築物の雨水排水設計に注目が集まっている。特に、大屋根やテラスなどを持つ大規模建物に対して、建物に付着する降雨の空間分布や、付着した雨水が建物表面を移動して集水する過程を予測したうえで、適切な場所に適切な性能を持つ排水設備を備える必要がある。

本章では、建物まわりの降雨性状や雨水が建物表面を移動する過程を予測するための解析手法の概要と精度検証結果や適用事例を示す。

2. 開発技術

建物まわりの風はビル風でよく知られているように局所的に強い場所や弱い場所があり、強風下の降雨は風に乗って移動することから、建物壁面や屋根面、床面に到達する降雨量は空間的に不均一となる。

現在、設計用の雨水排水量の算出にあたり、(公社) 空気調和・衛生工学会給排水衛生設備規準・同解説では、屋根、庇、ドライエリア等の設計において、壁面積の1/2を壁面の下に接続する屋根や庇の面積に加算し、その合計面積に雨が降ると仮定するが、本手法では、降雨解析で壁面に付着する雨量を計算し、それが屋根や庇に流下した場合の雨量の割増を算出することで合理的な雨水排水設計を可能とするものである。

このように求めた建物壁面や屋根面に到達する雨水量を入力条件として、屋根面やテラス床面上に付着した降雨が排水設備まで到達するまでを雨水流動解析で明らかにする。

降雨から排水設備までの一連の水の移動を数値解析するプロセスをFig.4に示す。

(1) 降雨解析手法

解析にあたっては、計画地周辺の気象データを参考に、降

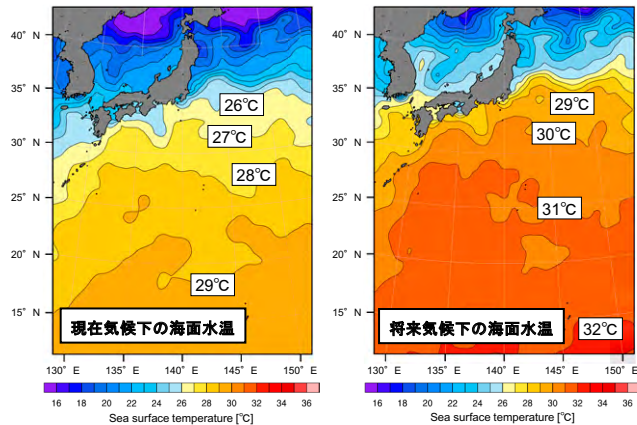


Fig.1 現在気候下および将来気候下の海面水温
(Sea Surface Temperature under Current and Future Climate Condition)

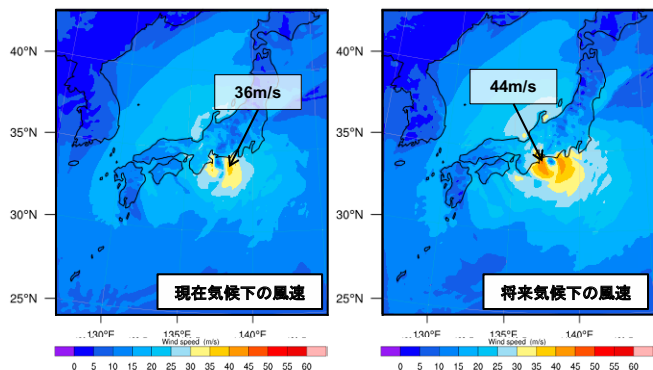


Fig.2 現在気候下および将来気候下の台風上陸時の風速
(Wind Speed During Typhoon Landfall under Current and Future Climate Condition)

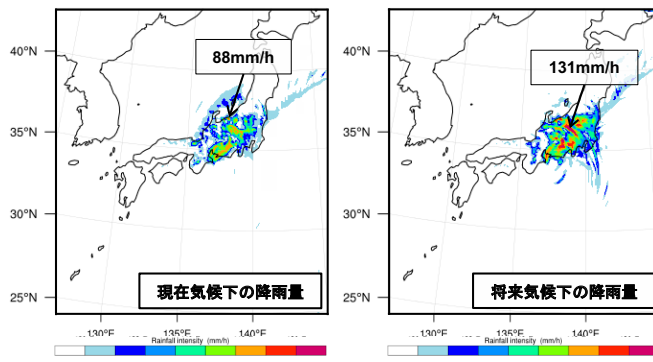


Fig.3 現在気候下および将来気候下の台風上陸時の降雨量
(Rainfall Intensity During Typhoon Landfall under Current and Future Climate Condition)

雨時の風の性状や降雨量を調査した上で、解析条件としての風向・風速・降雨量を決めた後に、計画地周辺の周辺街区や計画建物の3DCADデータを用いて、計画建物まわりの空気の部分を多面体の計算格子で覆い（格子法）、気流解析を行う。気流解析の後、気流解析で用いた計算格子上で降雨解析も行う。

降雨には様々な直径の雨粒が含まれているが、1時間降雨量が多くなるほど、直径が大きい雨滴を多く含むようになる。また、雨滴直径が大きくなるほど、雨滴の落下速度は速くなる。雨滴は、直径や風の影響によって落下中の挙動が変化することから、代表的な雨滴直径ごとに降雨解析を行う。雨滴直径ごとの計画建物の面に付着する雨量を、設計に用いる降雨強度から定める雨滴直径分布に基づき合算した上で、計画建物の面に付着する雨水量を算出する。得られた雨水量は、建物の風の影響を受けない地表面に到達する雨水量に対する比（基準化降雨量）として基準化される。

(2) 雨水流動解析の手法

建物表面を伝う水流を再現するにあたり、複雑な水面形状を再現するために水の運動を粒子群の運動として扱う粒子法（MPS法）を用い、物体表面が水流に与える抵抗力のモデルや水面の表面張力を再現するモデルを導入している。この解析手法により、複雑な形状を持つ建物表面を移動する雨水の流動を予測することができる。

(3) 降雨解析の精度検証^{10), 11)}

実際の低層市街地（Fig.5の左図）を対象に、風速および壁面近傍の降雨量の実測を行い、降雨解析の精度検証を実施した。実測の高さ25mで風速3.1m/s、風向は東北東を与えた。実測時の降雨条件を鑑み、雨滴直径の頻度分布は1時間あたり50mmの分布を用いた。Fig.5に屋上C地点を基準とした基準化降雨量を調査する場所を示す。いずれの地点でも降雨量の解析結果は観測結果を概ね再現している（Fig.5）。

(4) 雨水流動解析の精度検証¹²⁾

雨水流動解析（MPS法）の代表的な精度検証事例として、雨樋の排水性能を取り上げる。既往の実験（Fig.6）¹³⁾を再現する解析を行い、雨樋中の水位の比較検証を行った（Fig.7）。

Case 1では雨樋への流入流量を $2.23 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ 、Case 2では雨樋への流入流量を $3.29 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$ にそれぞれ設定した。定常状態に達した後の雨樋水位について、Case 1では実験値よりやや小さく、Case 2では実験値よりやや大きいものの、いずれも誤差10%以内の精度で実験結果を再現できている。

3. 適用事例

降雨解析および雨水流動解析を実建物へ適用した事例をFig.8に示す。高層市街地内に建設される高層建物の低層部に設置される大屋根に付着する降雨は、ビル風の影響を大きく受けるために、降雨解析を実施した（Fig.8の左図）。低層部

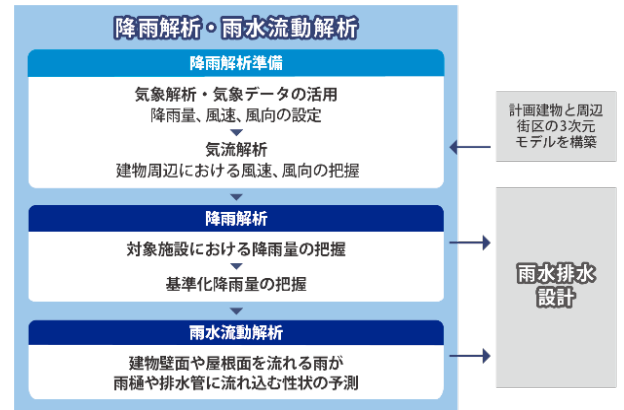


Fig.4 降雨の排水設備までの挙動の予測
(Computational Process of Wind-Driven Rain and Rainwater)

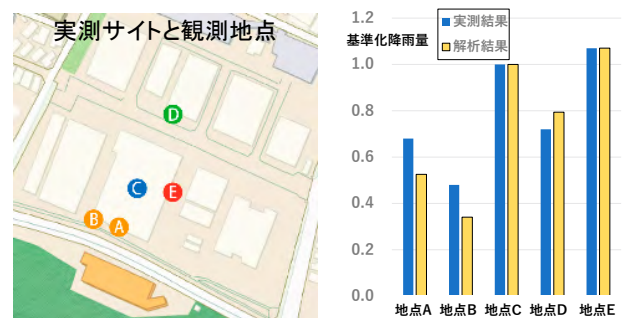


Fig.5 降雨解析と実測の比較
(Comparison of Wind-Driven Rain Analysis and Observations)

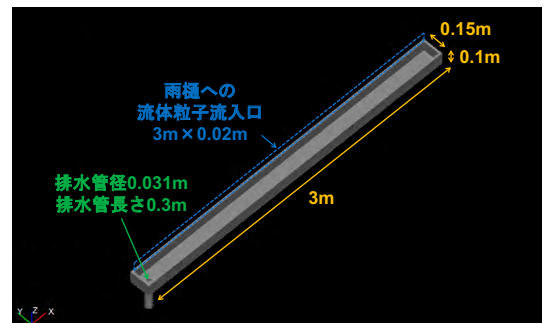


Fig.6 雨樋実験モデル
(Rain Gutter Experiment Model)

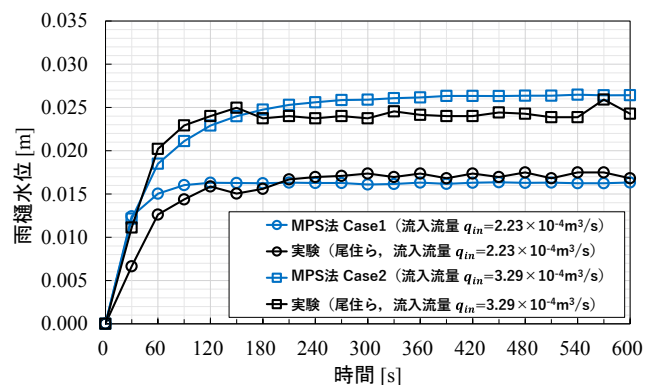


Fig.7 雨樋内の水位の実験¹³⁾と解析の比較
(Comparison of Experiments and Analysis of Water Levels in Gutters)

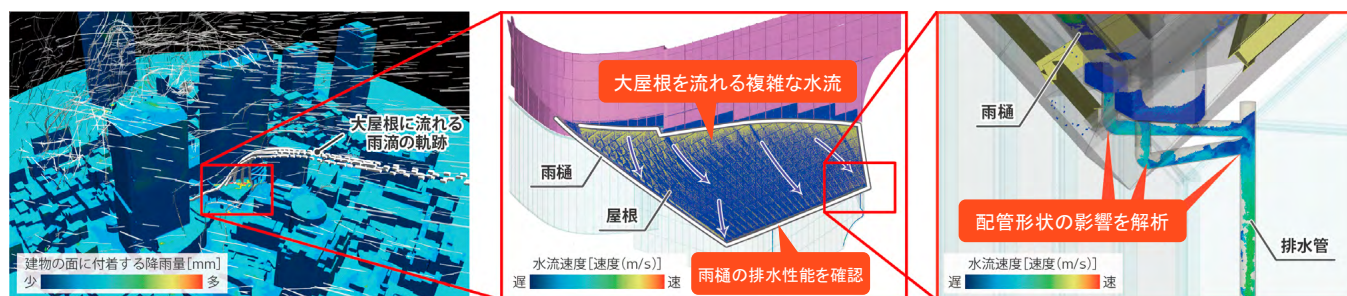


Fig.8 降雨解析で得られた降雨の空間分布に基づく大屋根の雨水流動解析

(Numerical Simulation of Rainwater Flow on the Large Roof Based on Spatial Distribution of Rainfall Obtained from Wind-Driven Rain Analysis)

の大屋根は3次元的に変化する曲面形状であることから、屋根に付着した後の降雨の流下挙動（Fig.8の中央）および、大屋根端部の雨樋で集水できること（Fig.8の右図）を確認するために、雨水流動解析を行った。降雨や雨水流動の可視化により適切な排水が行われていることを確認し、場所に応じた排水設備に対する雨水排水量の設定を行った。

4. 今後の展望

今後、実建物に対する実測データを収集し、降雨解析と雨水流動解析の精度検証および検討業務の短工期化を行う。

IV. 氾濫・浸水害

本章では、気象災害のうち、豪雨による水害について述べる。我が国は、国土の7割を山地が占めており、平野部が狭く河川の勾配が急峻であるという地形的特徴を有する。それと同時に、世界有数の多雨地帯であるモンスーンアジアの東端に位置しており、梅雨前線・台風・線状降水帯といった気象現象が毎年のように豪雨をもたらしている。このような地形的・地理的・気象的特性から古来より様々な水害に直面してきた。さらに、近年では気候変動の影響により豪雨が激甚化・頻発化しており、大規模な水害への懸念がますます高まっている。

以下では、はじめに近年の氾濫・浸水害の事例について整理した後、当社が保有する水害関連のシミュレーション技術について紹介する。

1. 近年の災害状況

Table1に示した近年の甚大な被害を引き起こした気象災害による氾濫・浸水害について簡単に紹介する。

平成26年8月豪雨¹⁴⁾では、台風や前線の影響により全国各地で連日の大雨となり、甚大な浸水害や土砂災害が発生した。特に、広島市における大規模土砂災害は大きく報道され、線状降水帯が広く注目されるきっかけとなった。翌年の平成27年9月関東・東北豪雨では、鬼怒川が決壊¹⁵⁾したほか、多数の河川が氾濫し、3県26市町に災害救助法が適用された¹⁶⁾。平成30年7月豪雨（西日本豪雨）では西日本を中心に広い範囲で記録的な大雨が降った。多くの地域で河川の氾

濫や土砂災害が生じ、死者数は200人を超えた。岡山県倉敷市の真備町では、高梁川の増水にともなう背水（バックウォーター）現象により、高梁川に合流する小田川やその支川で堤防が決壊し、広域の浸水被害が生じた¹⁷⁾。令和元年東日本台風（2019年台風第19号）では、阿武隈川や千曲川の堤防が決壊するなど河川の氾濫が相次ぎ、広域の浸水被害が生じた。令和2年7月豪雨（熊本豪雨）では、球磨川水系で多数の決壊・氾濫が生じた。COVID-19の感染が拡大する中で発生したはじめての大規模災害であり、災害対応における感染症対策が重要な課題として認識されるきっかけとなった¹⁸⁾。

2. 開発技術

(1) 多摩川流域氾濫解析モデル

多摩川流域氾濫解析モデル（バーチャル多摩川）^{19)・20)}は2019年の台風19号において当社技術研究所の西調布実験場の近くを流れる多摩川の水位が計画高水位を超過した事象を受け、西調布実験場のBCP対応の一環として開発したものである。流域内の降雨条件および河川堤防の想定決壊箇所を入力とし、河川への流出量、河川水位の変動、河川からの氾濫をシミュレーションすることで、浸水深を時空間的に評価することができる。

(2) 都市型水害予測解析システム

「都市型水害予測解析システム」^{21)・22)}は、2000年の東海豪雨を契機として、当社と中部大学が共同開発した水害シミュレーションモデルである。河川流・地表面氾濫・下水道網

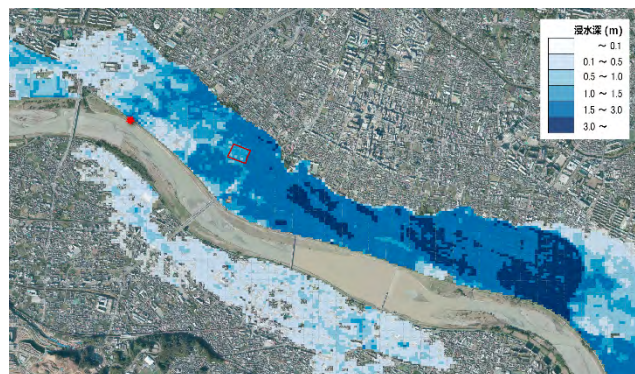


Fig.9 多摩川の氾濫シミュレーション（浸水深）
(Flood Inundation Simulation in Tama River)

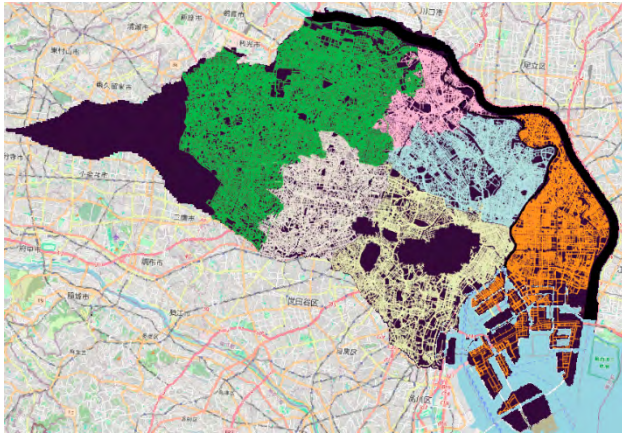


Fig.10 都市型水害予測解析モデル(下水道モデル)
(Sewerage Model for Central and Eastern Tokyo)

流れの各モジュールを連成することにより、雨水の挙動を統合的に解析することが可能となっており、例えば、「河川水位が上昇することにより下水道を通じた排水が困難となり、その結果、地表面に降った雨水が氾濫する」といった複雑な現象を表現することができる。

3. 適用事例

当社技術研究所の西調布実験場に水害トータルエンジニアリングサービスを適用するにあたり、多摩川流域氾濫解析モデルにより、気候変動による将来の降水量の増加も考慮した氾濫解析を実施 (Fig.9) し、浸水対策レベルを設定するための基礎情報としてその結果を活用した²³⁾。

都市型水害予測解析システムについては、東京都の東部低地帯を含む隅田川・新河岸川流域、神田川流域を対象としたモデル (Fig.10) を作成し、津波と洪水の重畳時の浸水の検討を進めている^{24), 25)}。

4. 今後の展望

気候変動による降雨量の増加や都市化・開発の進展、さらには、本年1月に八潮市で発生した下水道に起因する道路陥没事故に象徴されるインフラの老朽化などの複合的な要因により、日本における水害のリスクは今後も高まる一方である。今後は他の災害との重畳も含めたリスク評価が可能な技術の確立に向けて研究開発を進めていき、効果的なインフラ整備に関する提言の発信やリスクエリアに拠点を持つ民間企業のBCP支援などに活用していく。

V. 高潮・高波

1. 近年の災害状況

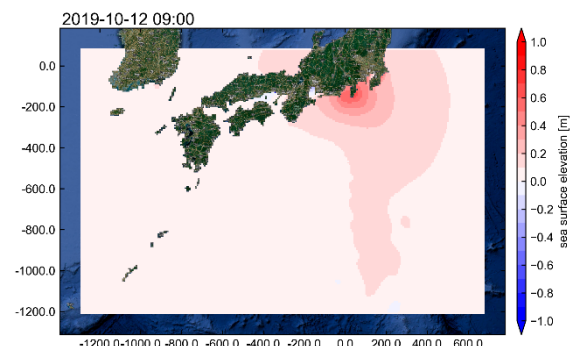
台風にとまう災害として、豪雨や強風とともに沿岸部で問題となるのは高潮・高波である。1959年の伊勢湾台風(死者・行方不明者 5,098人)以降、1961年に災害対策基本法が制定されるとともに、各所で高潮対策が進められた結果、以降、同程度の規模の高潮災害は発生していない。しかしながら、近年においても陸上への浸水被害をとまう高潮・高

波災害は発生しており、沿岸部の構造物被害などをもたらしている。以下では、過去約10年に発生した高潮・高波災害について事例を紹介する。

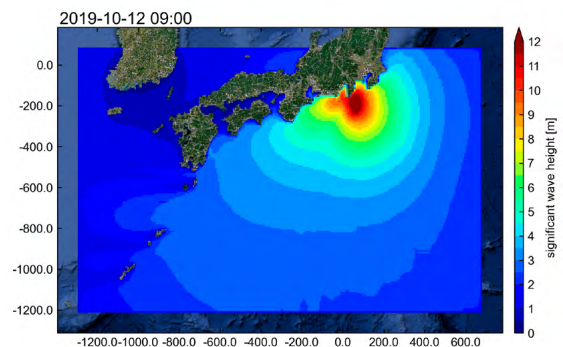
2014年根室高潮は急速に発達した温帯低気圧が根室市の市街地に浸水被害をもたらしたものである。北海道は台風の経路から外れることが多く過去に顕著な高潮による被災がなかったことから、高潮対策が取られていない中での被災であった²⁶⁾。2018年台風12号は伊豆諸島から九州にかけて日本を西進した台風であり、その経路から「逆走台風」とも呼ばれたものである。小田原市や熱海市で高波の越波による道路の冠水や周辺建物への被害が発生した。2018年台風21号は徳島県に上陸後、北東に進み日本海側に抜けた台風であり、大阪府や兵庫県に浸水被害をもたらした。関西国際空港では滑走路やターミナルビルが浸水し、さらには、走錯したタンカーが連絡橋に衝突し、連絡橋が損傷、一時空港が孤立状態となった²⁷⁾。2019年台風15号では、横浜港を中心に高波による護岸の損壊や背後地の浸水が生じた。翌月の台風19号でも広い範囲で高潮や高波が発生した。

2. 開発技術と適用実績

当社では、IV章で触れた高潮と豪雨災害の重畳に対する検討への活用、また、将来的な海岸道路の運営への活用のため、Kimらが開発した潮汐・高潮・波浪結合モデル²⁸⁾を用いた解析的な検討を進めている (Fig.11)。具体的には、熱海市の



(a) 高潮偏差



(b) 有義波高

Fig.11 高潮・波浪シミュレーション(T1919)
(Storm Surge and Wave Simulation for T1919 (Hagibis))

泉門川から東海岸町の海岸沿いを結ぶ観光道路である熱海ビーチラインを対象に、過去の台風時のシミュレーションを実施し、越波の危険が高い台風経路の分析など、活用を進めている。また、陸域における災害を対象としたものではないが、台風にもなう高波浪が沿岸海洋環境に与える影響について、沿岸海洋モデルを用いた検討を試みている²⁹⁾。

3. 今後の展望

冒頭で述べた通り、これまで実施されてきた対策により、高潮や高波単独での被害はかつてと比べ抑えられている。一方、Ⅱ章でも述べたとおり、高潮や高波についても今後は気候変動による作用の増大を考慮した評価が求められている。また、地震や風水害との複合により単独での被害より大きな被害が生じる可能性についても考慮する必要がある。今後は、気象解析（Ⅱ章）や氾濫解析（Ⅳ章）と連成を強化し、さらに、将来的には統合エンジニアリングシステム（本年報の「予測技術（地震災害）」Ⅴ章を参照）に統合していくことにより、より総合的な災害リスク予測を実現できるよう取り組んでいく。

Ⅵ. おわりに

本稿では気象災害の予測・リスク評価技術として、気象モデルによる擬似温暖化実験、降雨および雨水排水シミュレーション、氾濫・浸水解析、高潮・高波の連成解析について紹介した。これらの技術は、気象災害の予測や対策支援に役立てることができるものであるが、気候変動による災害の激甚化・頻発化、地震など他災害との複合、インフラ老朽化など諸要因の影響を考慮した適切なリスク評価を行うには、いまだ多くの課題が残されている。今後、分野間の連携やセンシング・モニタリング技術と予測技術の統合を進めることにより、気象災害の低減につながる技術開発を進めていく。

参考文献

- 1) 気象庁が名称を定めた気象・地震・火山現象一覧
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/meishou/meishou_ichiran.html
- 2) Skamarock, W.C. et al. ; A Description of the Advanced Research WRF Version 3, NCAR Technical Note, 2008.
- 3) Kimura, F. and Kitoh, A. ; Downscaling by Pseudo Global Warming Method, The Final Report of ICCAP, 43:46, 2007.
- 4) IPCC ; Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, 2014.
- 5) Yukimoto, S. et al. ; A New Global Climate Model of the Meteorological Research Institute: MRI-CGCM3 , Journal of the Meteorological Society of Japan, 2012, pp. 23-64.
- 6) 日本港湾協会；『港湾の施設の技術上の基準・同解説』部分改訂及び正誤表について，2024.
<https://www.phaj.or.jp/book/kowan-seigo-r6-0415.html>
- 7) 小林怜夏，竹信正寛，本多和彦，蒔苗嘉人，村田誠；気候変動適応策を踏まえた防波堤の設計手法に関する検討，国土技術政策総合研究所資料，No.1281，2024.
- 8) 国土交通省港湾局；気候変動に対応した港湾の施設の設計事例集，2025.
<https://www.mlit.go.jp/kowan/content/001879327.pdf>
- 9) 国土交通省；気候変動を踏まえた治水計画のあり方，2021.
https://www.mlit.go.jp/river/shinngikai_blog/chisui_kentoukai/pdf/r0304/01_teigen.pdf
- 10) 伊藤嘉晃，高木賢二，近藤宏二，田村哲郎；低層街区を対象としたLESに基づく降雨解析（その1） 降雨の特徴，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.
- 11) 高木賢二，伊藤嘉晃，近藤宏二，田村哲郎；低層街区を対象としたLESに基づく降雨解析（その2） 降雨観測と解析結果との比較，日本建築学会大会学術講演梗概集，2024.
- 12) 中島慶悟，小山毅，越塚誠一；雨樋の排水性能に関するMPS法の解析精度の検討，日本建築学会大会学術講演梗概集，2025.
- 13) 尾住秀樹，坂本圭司，沢崎慎祐；駅舎における集中豪雨対策手法の実証実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，2011.
- 14) 気象庁；災害時気象速報 平成26年8月豪雨
https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/saigaiji/saigaiji_201404.pdf
- 15) 国土交通省；『平成27年9月関東・東北豪雨』の鬼怒川における洪水被害等について
https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000634942.pdf
- 16) 内閣府；平成27年台風第18号等による大雨に係る災害救助法の適用について【第4報】
https://www.bousai.go.jp/kohou/oshirase/pdf/20150912_01kisya.pdf
- 17) 国土交通省中国地方整備局；平成30年豪雨災害等の概要
https://www.cgr.mlit.go.jp/tottori/river/conference3/images/6kai/6kai_shiryuu-3.pdf
- 18) 内閣府；令和3年版防災白書
<https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/r3.html>
- 19) 新保裕美，野中沙樹，鈴木一輝，田中昌宏，二瓶泰雄；洪水時の小河内ダムからの事前放流が多摩川の水位に及ぼす影響に関する検討，土木学会第76回年次学術講演会，2021.

- 20) Nonaka, S., Suzuki, K., Iwamae, N., Nohara, D., Yamada, Y. ; Investment decision support for business sustainability improvement based on flood inundation simulations with a variety of extreme rainfall scenarios, The 9th International Conference on Flood Management, 2023.
- 21) 武田誠, 松尾直規, 山中威士, 森田豊 ; 総合的な氾濫解析システムの構築に関する研究, 水工学論文集, Vol. 49, 2005, pp. 613-618.
- 22) Takeda, M., Matsuo, N., Hirashima, S., Hirayama, Y., Tanaka, M., Takahashi, T. ; The Inundation Analysis System on Urban Area and Its Application, Proceedings of the 31st IAHR World Congress, 2005, pp. 4956-4964.
- 23) 鹿島建設 ; 「水災害トータルエンジニアリングサービス」により自社施設の水害対策に着手
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202307/6a1-j.htm>
- 24) 高橋昌伸, 岩前伸幸 ; 複合水害シミュレーションによる都市域の浸水予測に関する研究, アーバンインフラ・テクノロジー推進会議 第35回技術研究発表会, 2023.
- 25) 高橋昌伸, 岩前伸幸, 田中昌宏, 有川太郎 ; 首都東京を対象とした高潮・洪水氾濫シミュレーションモデルの開発ー水害に強い「水都東京」を実現するためにー, 100年後の安心のための TOKYO 強靱化世界会議, 2024.
- 26) 渡部靖憲, 猿渡亜由美 ; 2014 年根室高潮災害報告, 自然災害研究協議会北海道地区部会センター報告, Vol. 29, 2016, pp. 23-34.
- 27) 森信人, 中條壮太, 安田誠宏, 片岡智哉, 鈴木高二朗, 有川太郎 ; 2018 年台風第 21 号による高潮・高波災害の概要, 日本風工学会誌, Vol. 44, No.3, 2019, pp. 288-293.
- 28) Kim, S., Yasuda, T., Mase, H. ; Numerical analysis of effects of tidal variations on storm surges and waves, Applied Ocean Research, 30, 2008, pp. 311-322.
- 29) 上平雄基, 岩前伸幸, 山本克則, 中村隆志, 内山雄介 ; サンゴ礁生態系モデル開発に向けた台風時海洋環境解析, 土木学会論文集, Vol. 80, No.17, 2024, pp. 1-8.

地震災害リスクを把握するための予測技術

Prediction Technologies for Earthquake Risk Assessment

引田 智樹 安達 直人 岩前 伸幸 飯山かほり
Tomoki Hikita, Naohito Adachi, Nobuyuki Iwamae and Kahori Iiyama

I. はじめに

複数のプレートの境界付近に位置している日本では、世界で発生するマグニチュード 6 以上の地震の約 2 割が発生していると言われ、大きな地震に見舞われる危険度が高いことが知られている。地震災害は我が国において無視できない主要な自然災害であり、その低減は重要な課題である。

地震によってどのような災害が発生するのかを予測し、それらに対して有効な対策を考えることが、地震災害低減の基本的な流れである。本稿では、地震災害を引き起こす、強震動、液状化、津波に注目し、これらの事象の予測技術と、開発中の統合エンジニアリングシステムによる広域の地震災害リスク評価について概説する。

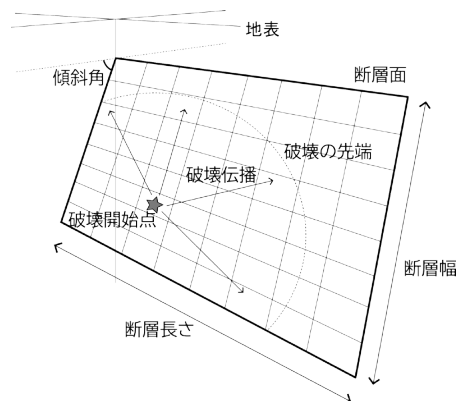


Fig.1 断層モデルのイメージ図
(Diagram of the Fault Model)

II. 強震動

地震に対して安全な構造物を造るために、耐震設計や地震対策の技術とともに、地震による揺れを予測する技術が進歩してきた。ある条件で地震が発生した時に、その地震によって生じる大きな揺れ（強震動）を予測することを強震動予測と呼び、設計用入力地震動評価や地震リスク評価など多くの場面で利用されている。

1. 強震動予測技術

敷地の近くに活断層がある場合など、その地震による影響が懸念される場合は、想定する地震が発生した時に敷地に生じる強震動を予測することで、構造物の安全性を事前に検討することができる。

被害を生じさせる強震動は、大規模な地震の震源に近い場所で生じることが多い。このような強震動は、断層の破壊過程（拡がりのある断層面がどのように破壊するか）の影響を強く受けるため、現実的な強震動を予測するためには、断層破壊過程を表現できる断層モデル (Fig.1) を用いた強震動予測が有効である。通常は、断層を矩形平面で近似し、複数の小断層に分割した上で、各小断層の破壊の条件を変えることで、実際の複雑な断層破壊を表現する。将来発生する地震の断層破壊シナリオは無数に考えられるが、過去の大地震による知見に基づいて、ある程度は標準的な条件設定が可能であるので、起こり得る断層破壊のシナリオを仮定して、現実的な強震動を予測することができる。

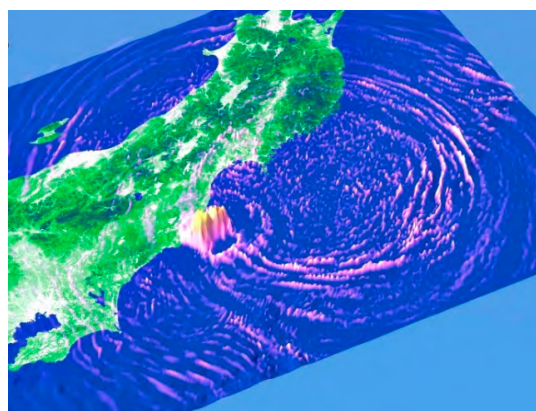


Fig.2 有限差分法による強震動予測
(Ground Motion Simulation by Finite Difference Method)

強震動波形の計算には様々な手法があり、その一つに、断層モデルと対象地域の地下構造を考慮した数値計算に基づく方法がある。断層から評価点を含む領域の地下構造の情報が十分にあれば、有限差分法などによる数値計算によって、断層から放出された強震動が評価点まで伝播する過程を計算することができる (Fig. 2)。しかし、我々が知ることができる地下構造の情報が限られていることや、現状の計算機能力の問題から、モデル化できる地下構造の精緻さには限界がある。そのため、このような方法では、微細な地下構造の情報が必要になる短周期地震動の予測は難しく、予測対象は周

期 2 秒程度以上の長周期地震動に限られる。短周期地震動の予測には、ある小断層から評価点までの応答を観測地震波や模擬地震波で代用し、断層破壊過程に従って波形を重ね合わせることで、大地震の強震動を予測する波形合成法が適用される。また、両者の方法による予測結果を合成して、長周期成分と短周期成分を含む広帯域の強震動を評価することもできる。これらの強震動予測技術の詳細と、耐震設計での利用については、参考文献²⁾に詳しくまとめられている。

2. まとめ

地震に対して安全な構造物を造るために、強震動予測技術が進歩してきた。しかし、複雑な自然現象である強震動を正確に予測するには、断層破壊性状や地下構造のより精緻なモデル化、短周期地震波の数値計算精度向上など多くの課題が残されている。構造物の耐震安全性をより高めるために、強震動予測技術の向上を継続していくことが重要である。

Ⅲ. 液状化

地震が多発する我が国では、大きな河川流域や埋立地の緩く堆積した砂地盤で液状化の可能性が高くなっている。過去の大地震では、地盤の液状化により構造物の沈下・傾斜、杭基礎の破壊、盛土の沈下、ライフラインの浮上り・破損などの甚大な被害が生じている。そのため、様々な予測や対策技術が提案・適用されている。

1. 地盤の液状化予測方法

(1) 液状化ハザードマップ

各自治体から公開されている液状化ハザードマップは、各地域の地形データなどの地盤情報と、想定地震の震度分布などの揺れの大きさに基づいて評価する方法である。この方法は、広域の液状化危険度を評価するもので、リスクの可視化により情報共有がしやすく、構造物所有者のリスク認識や対策喚起などのリスクコミュニケーションの促進に有効である。

(2) サイトの詳細情報に基づいた液状化予測

a. 簡易法

簡易法は、地盤調査による標準貫入試験の N 値から求める地盤の抵抗力と、想定する地表面最大加速度による地盤への外力の比較から、液状化に対する安全率 (F_L 値) を求める方法³⁾である。この方法では、液状化発生の有無のほか、液状化の程度や沈下量の目安を予測可能であるが、ボーリングデータに基づく特定深度毎の評価であるため、敷地地盤全体の評価はできない。

b. 詳細法

詳細法は、液状化に関する地盤調査データにより地盤内の水の影響を考慮した 3 次元 FEM 解析により求める方法である。この方法では、Fig.3 に示すように直接的に敷地地盤全体の液状化発生の有無や程度、更には構造物に対する沈下・傾斜などの影響を詳細に予測が可能である。

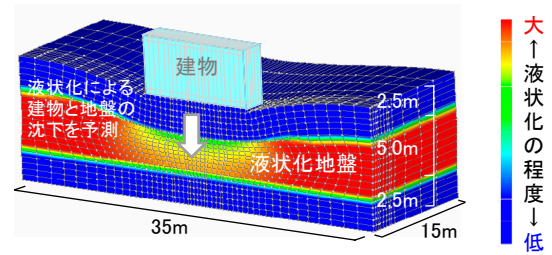


Fig.3 3次元FEM解析
(3D Effective Stress Analysis)

2. 液状化対策

(1) 対策概念

液状化対策工法の考え方を Table 1 に示す。構造物で対応する方法は、杭や連続壁等の基礎構造で安全性を確保するものであるが、高度な設計・解析技術と判断力が必要である。地盤の特性を改善する場合は、液状化を許容しない方法と部分的に許容する方法があるが、前者は多大なコストを要する。後者の方法は、安全性とコストを考慮した合理的な設計が可能である。

(2) 格子状地盤改良による液状化対策の簡易評価法

Fig.4 に示す格子状地盤改良は、軟弱地盤にセメント系固化材を混合した改良体を格子状に囲って、格子内地盤のせん断変形を抑止する方法で、合理的な液状化対策方法の一つである。格子状地盤改良の設計では、Fig.3 のような詳細法の検討が必要であるが、解析モデル作成や計算に多大な時間を要する。そこで、格子で囲われた効果を液状化に対する安全率 (F_L 値) に取り込んで改良体仕様 (Fig.4 中青字) を検討可能な評価法⁴⁾を開発し、今後の実適用を目指している。

3. まとめ

地盤の液状化による構造物被害の軽減のために様々な液状化予測や対策技術の開発が進められてきたが、同時に技術の有効性の検証が重要である。開発した格子状地盤改良の簡易評価法では、模型実験や原位置試験による実証、地盤や改良体の基礎データの蓄積を進める予定である。

Table 1 液状化対策の考え方
(Approach to Liquefaction Countermeasures)

概念	構造的対策	地盤の特性を改善	
方法	杭・連続壁などの基礎構造採用	1) 全面固結 2) 全面置換	3) 密度増大 (締固め) 4) 地下水低下 (遮水壁+排水) 5) 飽和度低下 (空気注入) 6) 部分固結 (柱状改良) 7) せん断変形抑止 (格子状改良) 8) 間隙水圧遮断 (シートパイル) 9) 排水 (ドレーン)
		1), 2) 共通 液状化しないがコスト大	3) 騒音・振動 4) 地盤沈下 5) 効果の確認 6) ~ 9) 共通 部分的な液状化効果の確認
課題	高度な設計・解析技術、判断力		

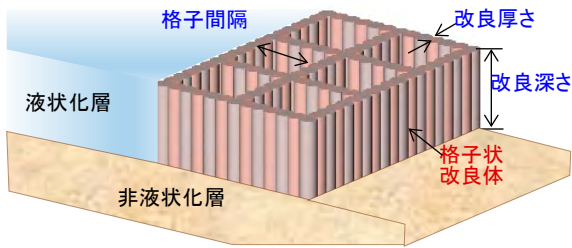


Fig.4 格子状地盤改良
(Grid-Form Deep Cement Mixing Walls)

IV. 津波

1. 近年の災害状況

我が国はユーラシアプレート、北米プレート、太平洋プレート、フィリピン海プレートという4つのプレートが重なり合う場所に位置しており、近海で大規模な海底地震が発生しやすい。また、入り組んだ海岸地形が多く見られ、そのような場所では沖合から襲来した津波が増幅しやすいことが知られている。このような地理的・地形的特徴から、古くより大規模な津波に見舞われてきた。近年で最も大きな被害をもたらした事例は平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)である。この地震では、東北地方の太平洋沿岸部をはじめとした広い地域に津波が襲来し、各地に甚大な被害をもたらした。より記憶に新しい事例としては、令和6年能登半島地震がある。これらのように大規模な浸水被害が発生した事例のほかにも、ほぼ毎年のように津波警報・注意報が発令されている。さらに、日本近海における地震以外にも、2010年のチリ中部地震、2022年のフンガ・トンガフンガ・ハアパイ火山噴火、本年のカムチャツカ半島地震など日本から遠く離れた場所で発生した事象が日本沿岸に数10cmの高さの津波をもたらした事例も多い。

2. 開発技術

我が国に甚大な被害をもたらす津波への対策として、当社では1990年代より水理模型実験と数値解析の両面から津波に関する研究、技術開発に取り組んできた。

水理模型実験においては、ポンプ式津波造波装置を備えた水槽・水路を用いて、主に津波荷重に関する研究を進めてきた。ポンプ式津波造波装置は、軸流ポンプにより水槽・水路内の実験部に流量を発生させるものであり、他の造波方式では再現が難しい長周期の津波や引き波初動、また、東北地方太平洋沖地震津波で観測された二段波形などの複雑な波形の津波を発生させることが可能な設備である。

数値解析については、平面2次元モデルによる津波の伝播・遡上解析(例えばFig.5)に加え、CFD解析による断面2次元・3次元の津波解析により構造物に作用する荷重評価を行ってきた。また、本年報の「予測技術(気象災害)」IV章で紹介した「都市型水害予測解析システム」を臨海部の施設構内における詳細な津波氾濫解析に適用するための開発も行っており、実務に適用してきた。

3. 適用事例

本節では、津波に関する水理模型実験・数値解析技術の適用事例について、東日本大震災以降の例を紹介する。

東日本大震災の防災当時、当社では(国研)新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO、当時は独立行政法人)が推進する洋上風力発電実証研究の一環として、千葉県銚子市沖への洋上風力発電施設の建設を進めているところであった。この中で実施していた海象観測から、東北地方太平洋沖地震津波にともなう水位・流速時系列を取得、直ちに水理模型実験や現象把握のための数値解析を実施し、洋上風車基礎の設計上、当該規模の津波荷重が問題とならないことを確認した。

また、工場やプラントなど臨海部に立地する陸上施設に対しても、防潮堤や防潮堤背後の敷地・建物に作用する津波荷重に関する水理模型実験、施設構内に流入した海水の挙動を詳細に評価するための氾濫解析も多数実施しており、その結果は設計の妥当性確認等に活用されている。

陸上の建築物に対しては、建築基準整備促進事業の中で、ピロティのような開口を有する建築物を対象とした水理模型実験や数値解析、理論的な研究を実施してきた(Photo 1)^{5), 6), 7)}。また、防潮堤背後の建築物に作用する津波荷重についても水理模型実験を実施してきた⁸⁾。これらの成果は、国の技術基準や技術資料(津波避難ビル等の構造上の要件の解説)における、津波荷重評価式を構築する際の基礎情報として活用された。

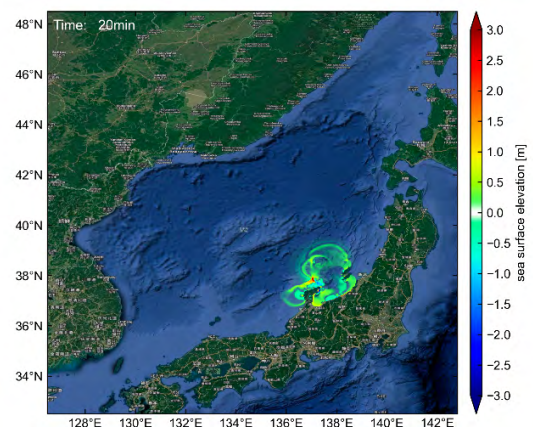


Fig.5 令和6年能登半島地震津波の伝播解析
(Numerical Simulation of the 2024 Noto Peninsula Earthquake Tsunami)

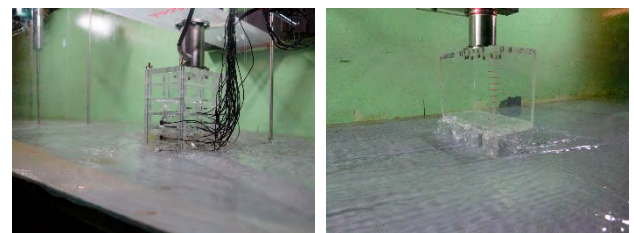


Photo 1 開口を有する建築物の津波波力計測実験
(Physical Model Experiments of Tsunami Wave Force Acting on a Building with Openings)

4. 今後の展望

東日本大震災以降、津波に関する数多くの研究により知見が蓄積されてきており、具体的な対策も進められては来ているが、大規模な地震津波による被害を完全に防ぐことは難しく、南海トラフ巨大地震など発生が想定される巨大津波への備えは今後も重要となる。また、令和6年能登半島地震のように、地震・津波災害から復旧する前に後発災害が生じる、いわゆる複合災害に対するリスク評価や対応策の検討も重要な課題であり、今後研究・開発を進めていく予定である。

V. 統合エンジニアリングシステムによる評価

1. 広域を対象とした地震災害リスク評価

地震動は、その規模によって建物倒壊被害のみならず津波や液状化を引き起こすなど、影響は広範囲に及び、時に甚大な被害と経済損失を伴う。社会的な災害レジリエンスを向上するには地域固有の災害リスクの把握が重要となることを鑑み、技術研究所では広域を対象とした地震災害リスク評価にも取り組んでいる。

一般的な地震災害リスク評価では経験則に基づく所謂“被害曲線”から被害を推定するが、災害が激甚化・複合化する中、経験的な手法による将来予測が困難となっている。そこで、技術研究所ではより科学的なアプローチとして「統合エンジニアリングシステム (Integrated Engineering System, IES)」の開発を進めている。明確な定義はないが、IESは、多様な災害に対して地域で何が起こり得るかをシミュレーションする要素技術を統合したシステムを指す。IESが社会実装できれば、様々なステークホルダーが所有する各種施設の抱える災害リスクの広域的な視点からの洗い出しや、合理的な対策立案が可能となると期待される (Fig.6)。なお、現状対応可能な災害としては地震災害のほか風水害がある。具体的な要素技術としては、対地震災害ではIVで述べた津波の伝播・遡上解析と後述する地盤・建物応答解析が、対風水害では高潮・高波解析、河川氾濫、内水氾濫の評価が可能となっている。

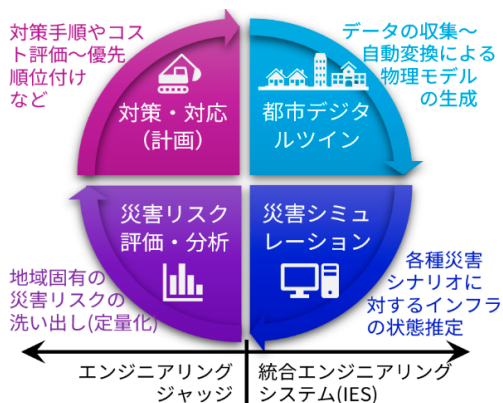


Fig.6 統合エンジニアリングシステム(IES)とその活用
(Integrated Engineering System and Its Utilization)

2. 関連技術と適用事例

対地震災害の地盤・建物応答解析技術として、技術研究所では東京大学地震研究所で開発された「統合地震シミュレータ⁹⁾」を導入しており、都市スケールでの地盤・構造物群の時空間的な揺れのシミュレーションが可能となっている。現在、つくば地域における総合的な防災計画支援活動の一環として、避難ルート沿いの地震時通行性評価への技術適用とサービス化を試行している (Fig.7)。IESによる地震被害評価については、過去にも静岡県下田地域を対象に既存の地震被害推定結果との整合性を確認するとともに、地域の相対的な対災害性を可視化するためのプラットフォーム試作も行っている (Fig.8)。

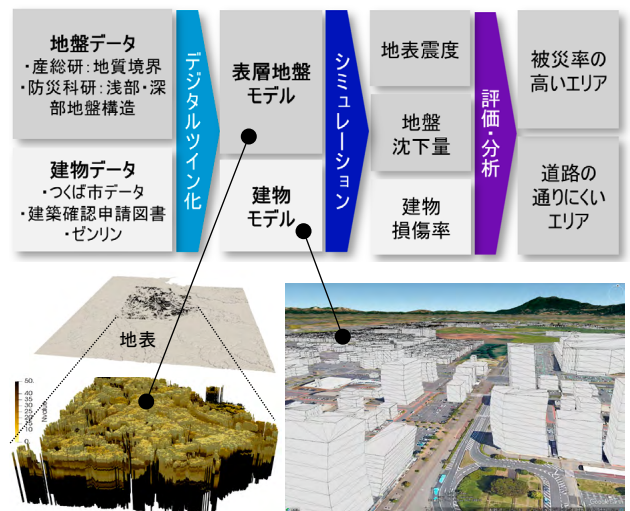


Fig.7 つくば地域の地震災害リスク評価への IES 適用
(IES-Based Seismic Risk Assessment in the Tsukuba Region)

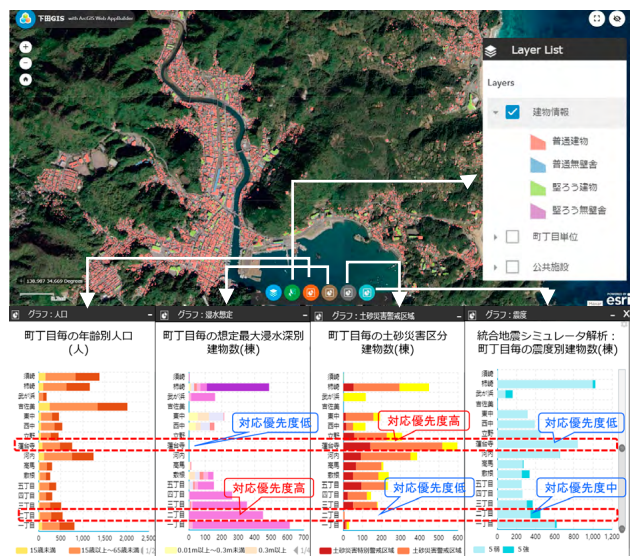


Fig.8 IES を活用した可視化プラットフォームの試作例
(Prototype Example of a Disaster Risk Visualization Platform)

こうした広域の災害リスク評価のプロセスにはインフラデジタルツインの構築が含まれる。ここでいうデジタルツインは、適切な解像度を有するシミュレーション用モデル、と同義である。近年、PLATEAU¹⁰⁾をはじめオープン化されたインフラデータが充足化してきているものの、情報が不十分な場合が多く、複数のデータソースの統合や合理的なモデル推定が必要になるなど、都市スケールのデジタルツイン生成には相応の労力を要する。このため、モデル自動生成技術の開発も進めており、表層地盤や建物に関しては代表的なデータベースからのデジタルツイン自動生成が可能となっている。

3. 今後の展望

IESの各要素技術を連携・統合していくことで、複合災害や経験のない災害への評価・対策検討に活用できるようにすることが目標である。そのためには、小規模自治体や民間企業所有インフラのデジタルツイン化と災害シミュレーションを行い、顧客からのフィードバックに応じて機能の充足化とインタフェースの改良のサイクルを回していく必要があると考えている。現在、内閣府第3期SIP¹¹⁾における課題「スマート防災ネットワークの構築」においてもIES関連技術の開発が進められている。全体のプロトタイプが見えるところまで開発が進めば、国策としての社会実装も期待される。センシングデータとの連携によるモデルの信頼性向上と、AI技術を活用したモデルの自動更新まで実装できれば、他社との差別化を図ることができる。

VI. おわりに

地震動予測技術、液状化の予測と対策、津波対策技術の開発と適用事例、統合エンジニアリングシステムによる広域を対象とした地震災害リスク評価について紹介した。これらの技術を、地震災害の予測に役立てることができる一方で、都市化が進み、より複雑化した現代社会で発生しうる地震災害を正しく予測するためには、未だ多くの課題が残されている。その他の自然災害との連鎖、同時発生についても懸念が残っており、更なる予測技術の向上が望まれる。今後、異なる自然災害を対象とする分野間の連携や、デジタル・AI技術によるイノベーションなどにより、自然災害の低減に繋がる技術開発を進めていく。

参考文献

- 1) 内閣府；平成26年版防災白書，附属資料，
https://www.bousai.go.jp/kaigirep/hakusho/pdf/H26_fuzokushiryoku.pdf
- 2) 鈴木紀雄，池浦友則，引田智樹，笠松健太郎，友澤裕介；耐震設計と地震動，鹿島技術研究所年報，Vol. 71，2023.
- 3) 日本建築学会；基礎構造設計指針，2019.
- 4) 渡邊公美，安達直人ほか；液状化対策に用いる格子状地盤改良工法における改良仕様の評価方法（その1～2），第60回地盤工学研究発表会，2025.
- 5) 末長清也，岩前伸幸，池谷毅，秋山義信，館野公一，鈴木紀雄；多柱構造物に作用する津波波力に関する実験的研究，土木学会論文集 B3（海洋開発），Vol. 70，No. 2，2014，pp. I_390-I_395.
- 6) 岩前伸幸，池谷毅，秋山義信，末長清也，鈴木紀雄，館野公一；開口を有する建築物のポーラスメディアによるモデル化，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 70，No. 2，2014，pp. I_376-I_380.
- 7) 池谷毅，岩前伸幸，秋山義信，福山貴子，末長清也，鈴木紀雄，館野公一；開口影響を考慮した陸上構造物に作用する津波持続荷重の評価方法，土木学会論文集 B2（海岸工学），Vol. 70，No. 2，2014，pp. I_386-I_390.
- 8) Ikeya, T., Suzuki, K., Iwamae, N., Okinaga, T., Suenaga, S., Akiyama, Y., Tateno, T. ; Experimental Study on Reduction of Tsunami Wave Force Acting on Land Structures Due to Protective Barriers, The 27th International Ocean and Polar Engineering Conference, 2017.
- 9) 市村強，堀宗朗，寺田賢二郎，山川貴弘；統合地震シミュレータにおける高分解能強震動シミュレータと都市域の電子情報の利用について—地盤構造の推定手法が強震動分布に及ぼす影響の基礎検討と GIS を中心とした統合地震シミュレータの雛形の構築—，応用力学論文集，Vol.6，pp.615-622，2003.
- 10) 国土交通省；” PLATEAU”，
<https://www.mlit.go.jp/plateau/>
- 11) 内閣府；戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）第3期，
https://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/sip3rd_list.html

延焼火災とヒートアイランド

Spreading Fires and the Urban Heat Island Effect

柴田 卓弥 桑名 秀明 高木 賢二 近藤 宏二
Takumi Shibata, Hideaki Kuwana, Kenji Takagi and Koji Kondo

I. はじめに

広域・複合災害に対処するには発生前の予測・計画が重要である。ここでは当社技術研究所が保有する予測技術の中で、都市スケールの災害に関連する技術として延焼火災とヒートアイランドを取り上げ、その概要を紹介する。

II. 延焼火災

1. 近年の延焼火災

近年において、市街地における大火（焼損面積 33,000 m² 以上）規模の大規模火災は、少ない状況にある。しかし、以前年報に報告¹⁾したように、建物火災のうち 16%前後の割合で近隣への延焼が発生している（Fig.1）。平時には消火活動が機能するが、地震時の火災など、活動に困難さが伴うと、大規模に拡大することが懸念される。

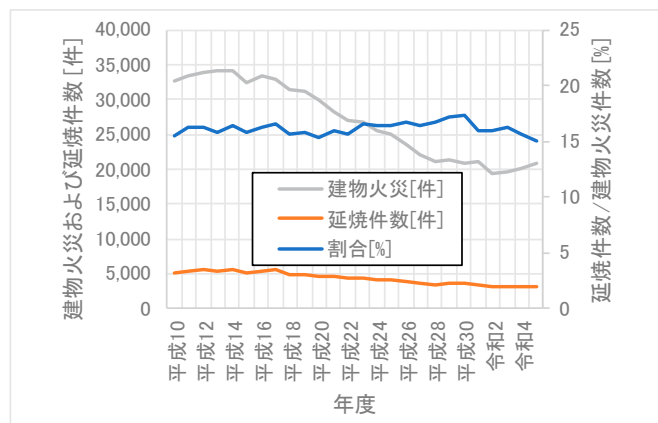


Fig.1 建物火災のうち延焼にいたる火災の件数と割合
(Number and Percentage of Building Fires that Spread)

2. 市街地延焼シミュレーション

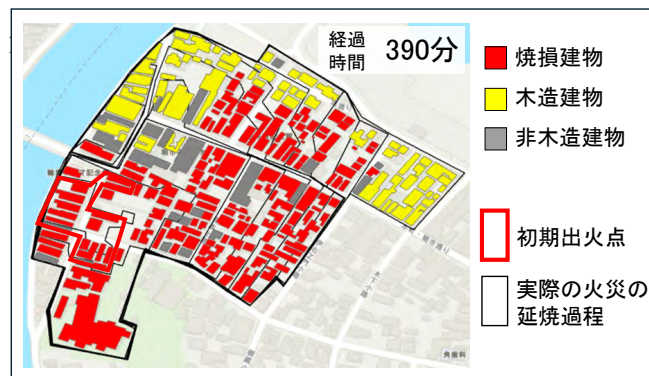
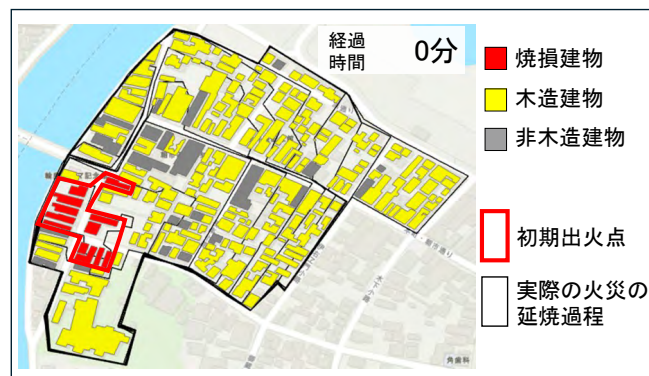
(1) シミュレーションの概要

地震火災等の大規模な延焼火災の被害を予測する技術が、市街地延焼シミュレーションである。このシミュレーションは、地図上に配置した建物の構造データに基づいて、特定の建物の出火に伴う市街地火災の延焼過程をコンピュータ上で計算するものである。火災の延焼速度は、風速の感度を補正した東京消防庁の延焼速度式²⁾により計算しており、気象条件として風速と風向を設定可能である。

(2) 能登半島地震に伴う市街地火災の再現

2024年1月1日に発生した能登半島地震では、輪島市朝市通りにて広範囲の市街地火災（焼損面積 49,000 m²）が発生した。現場は木造家屋の密集地帯であったが、地震に伴う消火活動の困難さにより延焼が進み、近年では類を見ない規模の焼損面積となった³⁾。本稿では延焼シミュレーションを用いて、この火災の延焼過程を再現した。

シミュレーション上の建物配置と初期出火点を Fig.2 に示す。今回の火災では、出火した建物が特定されていないため、最初に火災が確認された時点での出火していた建物を初期出火点とした。気象条件は、火災当時の気象データに基づいて、風向を南南西、風速を 3.0 m/s とした。



シミュレーション上の390分時点での実行過程をFig.3に示す。実際の火災と同様に、木造建物の配置に沿って延焼が進展していることが確認できる。Fig.4には、実際の火災とシミュレーションで得られた焼損棟数の時刻歴推移の比較を示す。焼損棟数の増加速度は、実際の火災と同様の傾向を示している。ただし、300分以降の焼損棟数については、実際の火災の方がシミュレーションよりも多い傾向がある。この要因には実際の火災では確認された飛び火の影響があると考えられる。今回のシミュレーションでは単純化のため省略したが、より高い精度で再現する場合には、飛び火による出火を組み込むことも可能である。

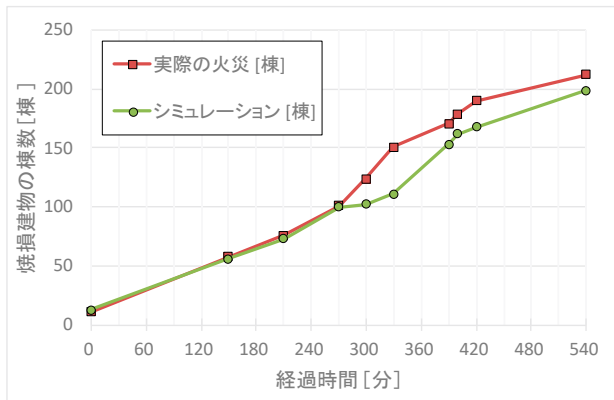


Fig.4 焼損建物の棟数の推移

(Changes in the Number of Buildings Damaged by Fire)

3. 適用方法

市街地延焼シミュレーションを用いて、空き家除却の有無や隣接建物からの離隔などを変数としたシミュレーション結果から、火災危険度の違いを簡易に示すことができる。計画地および周辺地域の火災危険度を事前に把握することにより、適切な安全計画を初期から選択することが可能となる。

4. 今後の展望

今後は避難等の人間行動を組み込む予定である。延焼火災の進展を考慮した、適切な避難経路・参集経路を示すことを検討していく。

III. ヒートアイランド

1. 開発の背景

ヒートアイランド現象などにより高温化する都市部では、熱中症が深刻となり日中の外出を避ける傾向や、高齢者や乳幼児が熱中症になるなどの問題も生じている。例えば、近年では東京2020オリンピック・パラリンピック競技大会、2025年日本国際博覧会（大阪・関西万博）などでも真夏の暑さ対策が課題のひとつとなっている。大規模な建築計画や地域開発に際してこうした問題に対処するには、居心地のいい屋外空間をつくり、風の流れや日射の影響などに配慮することが

重要となる。このためには自然の力を有効活用し、人が居心地よく感じる建物の配置や植栽などを実現する建物設計のエビデンスとして、建物周辺の温熱環境を予測するシミュレーション技術が必要となる。

2. 熱ストレス

熱ストレスの評価は気温や湿度、風速や日射などの環境要素と、人間の活動状態や着衣量といった人体要素を考慮した人体熱モデルを用いて評価する必要がある。

日本では環境指標を代表する暑さ指数(WBGT)を用いて熱ストレス評価を行うことが多い。WBGTは気温、湿度、風速、輻射熱によって計算され、人間の活動状態によりWBGTの基準値(18~33℃)が定められている⁴⁾。また、ヨーロッパでは幾つかの方法が運用されており、例えば、ドイツでは人体の熱反応をモデル化した人体熱モデルで計算した深部体温や発汗量などから基準(VDI3787)⁵⁾を定めている。

3. 鹿島都市気候評価システム(KaUCES)⁶⁾

本システムでは、土地の利用状況や、建物の立体的な形状を再現した街区の詳細なモデルを作成し、街区内の熱環境および風環境を予測する。また、環境要素のほとんどを予測することにより、人体への熱ストレス(VDI3787)や体感温度(SET*)が評価できる。体感温度であるSET*(Standard Effective Temperature)は、温度、湿度、風速、放射熱、着衣量、活動量を考慮した快適性指標で、人間が一定の環境で感じる温熱感覚を統一的に評価でき、室内外の温熱環境評価に用いられている。

KaUCESのシステムフローをFig.5に示す。本システムは、計算領域の大きさや求める物理量に応じた3つのサブシステム(広域気象、風環境、熱環境)によって構成されており、サブシステムごとに最適な計算手法を適用しているため、高い計算効率と信頼性を確保している。

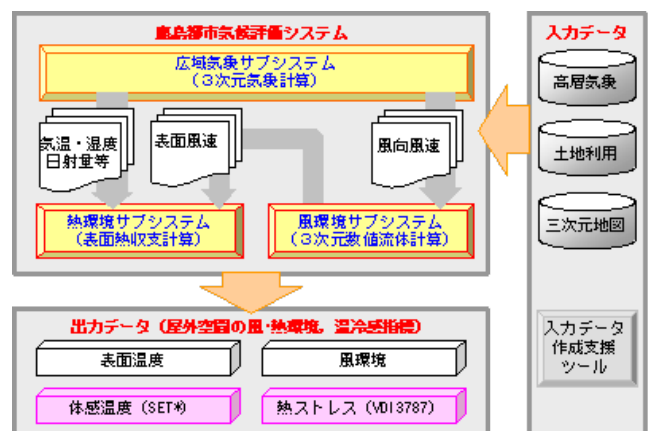


Fig.5 KaUCES システムフロー
(System Flow of KaUCES)

4. 適用事例⁷⁾

Fig.6 に大学キャンパス計画を対象として、真夏の正午の体感温度を評価した事例を示す。将来計画では計画建物による日射遮蔽効果と風通しの改善、緑化計画により、敷地全体で夏季の温冷感が向上することを体感温度 (SET*) の分布から確認した。この評価では、400km 四方の気象場から始めて、最終的に街区内の微気象を再現しており、街区の微気象の予測結果に基づいて、街区内の体感温度の分布を評価した。

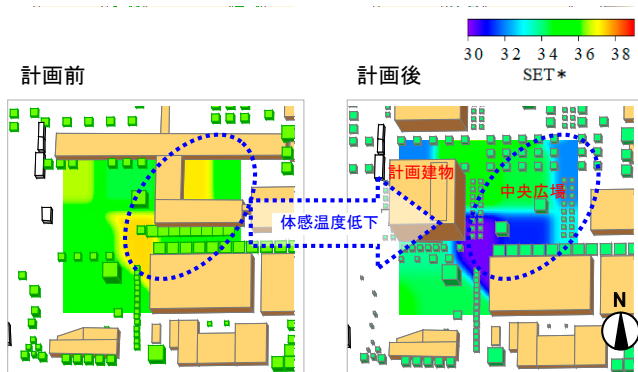


Fig.6 大学キャンパスにおける体感温度 (SET*) 分布
(Distribution of Perceived Temperature: SET* on University Campus)

IV. おわりに

広域・複合災害への対処に必要な予測技術として、都市スケールでの延焼火災とヒートアイランドを取り上げ、それらのシミュレーション技術について紹介した。

今後はこれらシミュレーション技術の実案件への適用とさらなる精度向上を図っていく予定である。

参考文献

- 1) 桑名秀明；延焼シミュレーションに資する延焼火災の実態，鹿島技術研究所年報，第 70 号，2022，pp. 287-192.
- 2) 佐々木克憲；延焼予測と消防力運用のシミュレーションを利用した地震時の都市火災リスク評価に関する研究，日本火災学会論文集，64 巻 3 号，2014，pp.29-37.
- 3) 消防長官の調査報告第 3 回輪島市大規模火災を踏まえた消防防災対策のあり方に関する検討会；参考資料 2 令和 6 年能登半島地震に伴い石川県輪島市で発生した大規模市街地火災に係る消防庁長官の火災原因調査報告書，2024.5.28，
https://www.fdma.go.jp/singi_kento/kento/items/post-149/02/shiryoul.pdf
- 4) 平成 21 年 6 月 19 日付け基発第 0619001 号「職場における熱中症の予防について」に基づく，職場における熱中症予防対策，厚生労働省労働基準局.
- 5) VDI 3787; Environmental meteorology Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level.-Part 1: Climate., 1998.
- 6) 高木賢二他；鹿島都市気候評価システム：KaUCES を用いた屋外風・温熱環境評価，鹿島技術研究所年報，第 59 号，2011，pp.145-154.
- 7) 井田卓造他；建物周辺屋外環境の温熱環境設計手法の開発（その 1）評価手法の概要とキャンパス将来計画への適用，日本建築学会学術講演梗概集，(2008)，pp.595-596.

インクルーシブ社会を支える技術と実践 ～災害時避難を例に～

Technologies and Their Implementation Supporting an Inclusive Society:
A Case Study of Disaster Evacuation

山田 岳峰 天野 和洋
Takemine Yamada and Kazuhiro Amano

I. はじめに

災害や環境問題、高齢化など、現代社会が抱える「社会的リスク」は年々深刻化している。こうしたリスクに対応するためには、法制度の整備だけでなく、革新的な技術の活用や地域社会との連携が欠かせない。例えば、米国では、「ADA（アメリカ障害者法）」が1990年に制定され、インクルーシブ社会（障がい者、高齢者など、要配慮者を含むすべての人々が差別や障壁なく平等に参加できる社会）の実現を目指し、公共施設や交通機関のバリアフリー化（ユニバーサル性）を進める重要な基盤となっている。さらに、ハリケーン・カトリナ（2005年）以降、災害などの緊急時における障がい者の避難にも、ADAの適用範囲が拡大されてきた。

一方、日本でも2006年バリアフリー新法や災害対策基本法（2021年改訂）、災害救助法（2013年改訂）を通じて、要配慮者が災害時に安全に避難できる環境整備が進められている。しかし、実際の災害現場では、要配慮者の避難の迅速性や安全確保に課題が残されている。例えば、災害への事前の備えとしての福祉避難所の施設整備などの制度的な取り組みに加えて、発災後の避難支援・対応において、福祉避難所となる施設（特別支援学校等）の建物安全度情報、地域における災害発生状況、さらに、要配慮者の個人情報との関係者間による共有など、災害情報のリアルタイム共有や個人情報にマッチした避難時期や避難経路の最適化を可能にする革新的なICT技術の活用が期待されている。

円滑な避難を実現する努力義務を担う自治体および建物やインフラなどの施設管理者は、日々、実現可能で最適な避難計画の改善と訓練を通じて、都市や施設における避難の実現可能性を向上させている。そのため、地震時の建物安全度評価システムや災害情報・要配慮者支援共有プラットフォーム、さらに、ユニバーサル性（すべての人が利用可能な普遍的な設計）を基盤としながら、パーソナル性（個々のニーズに応じた柔軟な対応）も考慮した避難計画策定を支援する技術は、要配慮者を含むすべての人々が安心して避難できる環境を支える重要な役割を果たしている。

そこで本稿では、要配慮者の安全確保と避難支援に関連する「つくば市における当社の取り組み事例」、並びに避難計画の策定を支援する「人流シミュレーションの先端技術と

その活用事例」を紹介する。

II. つくば市での要配慮者避難に関連した鹿島の取り組み

1. 取り組みの背景

当社は、つくば市のスマートシティ協議会に2019年の発足当初から参加している。2022年につくば市がスーパーシティに指定され、スーパーシティ、デジタル田園健康特区を対象とした内閣府の令和4年度公募事業「先端サービスの開発・構築等に関する調査事業」において、「ロボットやIoTセンサ等を活用したインクルーシブシティの実現（代表者：筑波大学鈴木健嗣教授）」の調査プロジェクトが採択された。当地での当社の要配慮者避難に関わる検討は、当該調査において、当社が筑波大学、産業技術総合研究所と連携し、「障害者・高齢者等も含む包摂的な移動、災害対応のためのデジタル都市基盤整備」を担当する機会を得たことに遡る¹⁾。

2. 調査研究の概要

つくば市、筑波大学、産業技術総合研究所、防災科学技術研究所と協働し、現在も県立つくば特別支援学校（Photo 1）の協力を得て、Fig.1に示す先端サービス（①つくば特別支援学校での建物安全情報サービス、②地震応答解析データ配信サービス）の創出に関わる検討を進めている。地震発生直後に建物安全度を判定する先端システム q-NAVIGATOR[®]（建物安全度判定支援システム、本年報の「対応技術」Ⅲ章を参照）を設置し、建物の被災状況の目視確認と建物安全度判定結果に基づき、避難訓練により、児童・生徒、教職員の迅速で確実な避難に繋げる校内防災計画の運用の定着を図っているところである。



Photo 1 茨城県立つくば特別支援学校と

q-NAVIGATOR 導入概要

(Overview of Tsukuba Special Needs Education School
Deployed q-NAVIGATOR)

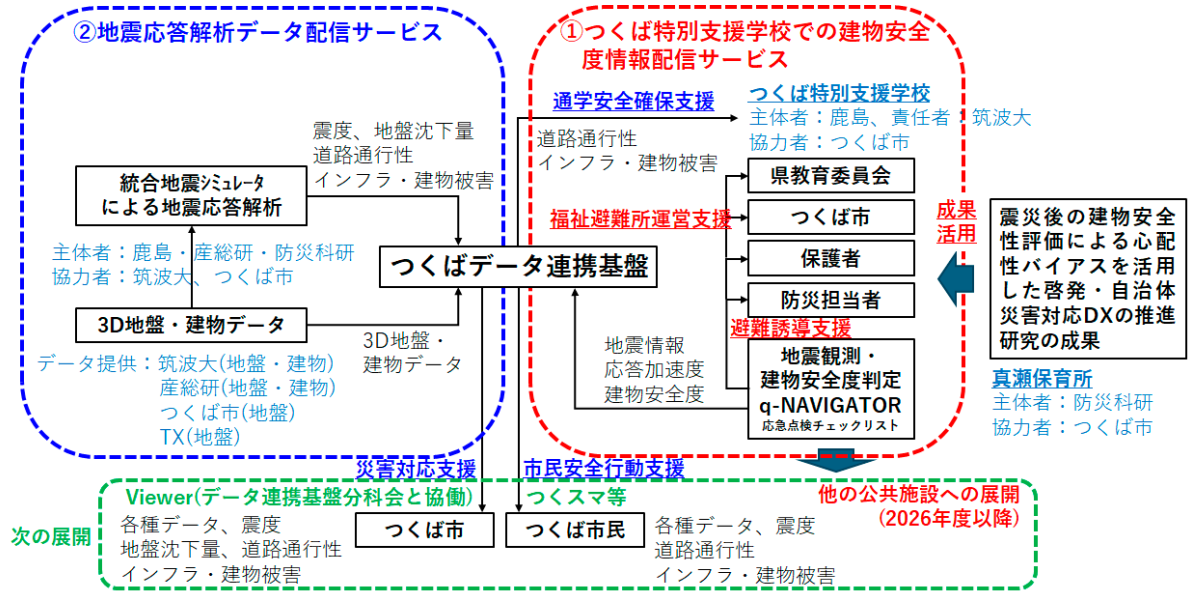


Fig.1 つくば特別支援学校での要配慮者避難に関する取り組みの概要

(Overview of Initiatives for the Evacuation of People Requiring Special Assistance at Tsukuba Special Needs Education School)

学校に待機する児童・生徒の引き取りに来校する保護者へのメール配信のほか、データ連携基盤経由で学校関係者にも関連情報を配信する。例えば、つくば市の防災計画で、特別支援学校が福祉避難所に指定されていることから、つくば市担当部署に共有することで、情報が輻輳し混乱する災害対応

の中で、福祉避難所の立ち上げ可否を早期判断するために活用されることを期待している。

また、統合地震シミュレータ（IESの要素技術、本年報の「予測技術（地震災害）Ⅴ章」を参照）を活用し、市内の地盤や建物群、道路交通ネットワークを対象に、シティスケールの地震被害予測と予測結果の情報提供の検討を進めている（検討結果の例：Fig.2参照）。検討結果は、避難支援として、特別支援学校における安全なスクールバスルートの検討や、発災直後に安全な避難経路を予測し、随時更新される実際の被災情報とともに要配慮者と同行する支援者への情報提供に役立てる予定である。

Ⅲ. 避難時等における人流シミュレーション

1. 背景と近年の災害状況

都心部の再開発案件、オフィスや商業施設など大規模かつ複合用途化した施設は、潜在的に有事の際の避難者を多数抱えている。しかし、避難動線が複雑化しているため避難安全設計の複雑度も増している。火災に対する避難計画においては、多人数の避難行動予測に、熱や煙、さらには火源の位置が避難者に与える影響を高い精度で取り入れる必要がある。

2021年に大阪市北区の地上8階建てビルの4階で発生した火災では、死者25名、重軽傷者3名という大きな人命被害が出た。被害が拡大した要因の一つとして、唯一の避難経路である階段付近に火元があったことが挙げられる。二方向避難の重要性に加えて、火元の位置や煙の伝搬状況を想定した避難安全設計の有効性を再認識させられる火災であった。

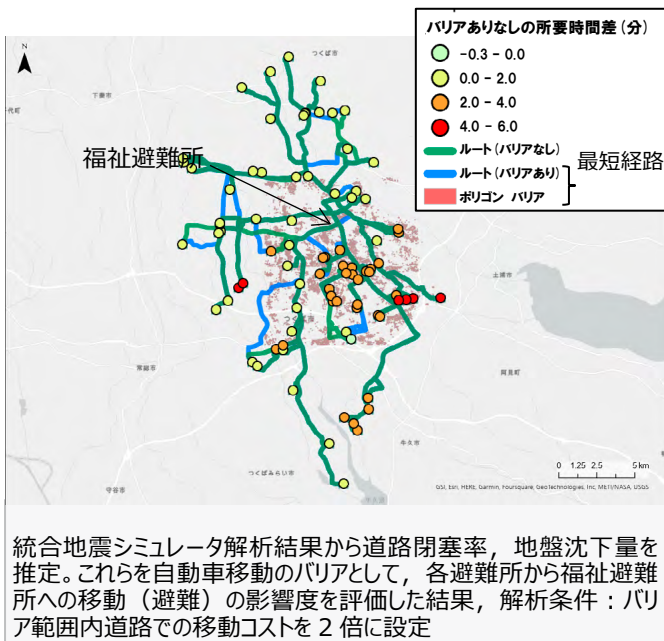


Fig.2 市内の避難所からつくば特別支援学校へ
自動車移動の際の、道路通行障害が所要時間と
最短経路に与える影響評価の試行例¹⁾に加筆

(Trial Example of Impact Assessment on Travel Time and Shortest Route Caused by Road Traffic Obstacles when Driving from Shelters in the City to Tsukuba Special Needs Education School)

2. 開発技術

(1) 技術の概要

避難安全設計における避難行動の予測手法の一つに、避難シミュレーションがある。これまでの避難シミュレーションでは、人の行動と火災による熱・煙の流動を別々に解析していたため、実際には熱や煙で大きく変化する避難動線を踏まえた避難安全性の検討が困難であった。そこで当社では、火災時に刻一刻と変化する熱や煙が人の避難行動に与える影響を考慮した高度な避難シミュレーションシステム「人・熱・煙連成避難シミュレータ PSTARS」を開発した²⁾³⁾。

(2) 技術適用の効果

PSTARS では、火災に伴う熱放射や煙を回避したり、煙の中で歩行速度が低下したりするなどの火災時特有の行動を再現することが可能となっている (Fig.3)。ここで、PSTARS のベースである「歩行者シミュレーションシステム Sim-Walker[®]」は自社開発システムであり、歩行者一人ひとりの視点をモデル化し、かつ様々な特徴を持つ人を混在させることが可能なマルチエージェント型のシミュレータである⁴⁾⁵⁾。

PSTARS は、Sim-Walker に CFD (計算流体力学) に基づく火災シミュレーションによる熱・煙流動の解析結果を取り込みエージェントに認識させることで、火災時特有の行動を表現している。避難開始のタイミングについても、「煙が見えた」「避難した人を見た」「非常ベルを聞いた」といった避難行動に至る心理状態の変化や情報が伝搬する過程を考慮しており、PSTARS を適用することで、より高度で現実に近い避難行動の予測が可能となっている。

3. 適用事例

PSTARS を用いて、当社本社ビルでの火災を想定した避難シミュレーションを実施した。ケースとして、発火した階を優先して避難させた場合と、全ての階から一斉に避難した場合の2パターンをシミュレーションし、その結果を訓練に先立って社員に公開した。避難安全検証は確実にクリアしており問題はないものの、全員がルールに反して一斉に避難した場合には階段が混雑し、その結果発火した階において逃げ遅れが発生する可能性が確認された (Fig.4)。この結果を受け、社員が、ルールに従い順序だって避難することの重要性を改めて理解した上で、訓練に臨むことができた。

また、本シミュレータは、数千から数万人規模の歩行者移動や、建物外の街区など比較的広域な領域での避難や混雑緩和策の検討にも対応している。Fig.5 は、1 万人規模のアリーナ施設を対象に、公演終了後の混雑状況を評価した事例である。一斉退場した場合でも客席からは比較的短時間に退出可能であったが、敷地内の 1 階建物外スペースから敷地外の歩道に出る部分で激しい滞留が発生することが分かった。規制退場等により混雑を緩和する方策の有効性を

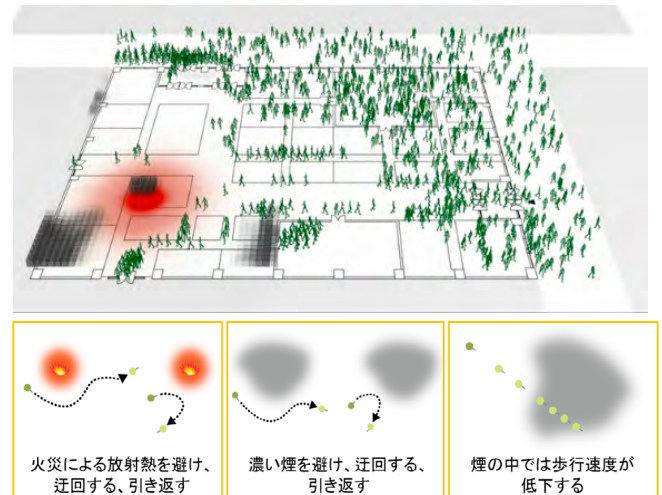


Fig.3 「PSTARS」による避難シミュレーション
(Evacuation Simulation with “PSTARS”)

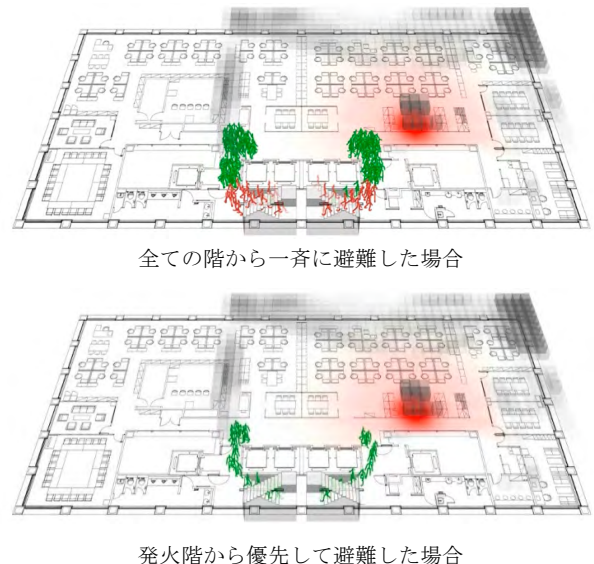


Fig.4 鹿島本社ビルでの避難シミュレーション事例
(Case Study at Kajima Headquarters Building)

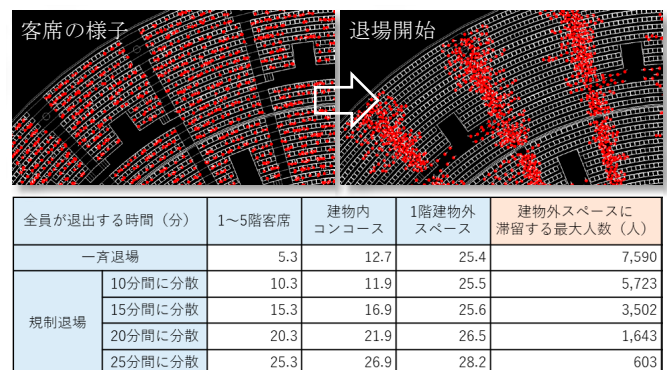


Fig.5 アリーナからの退場時における混雑シミュレーション
(Congestion Simulation when Exiting an Arena)

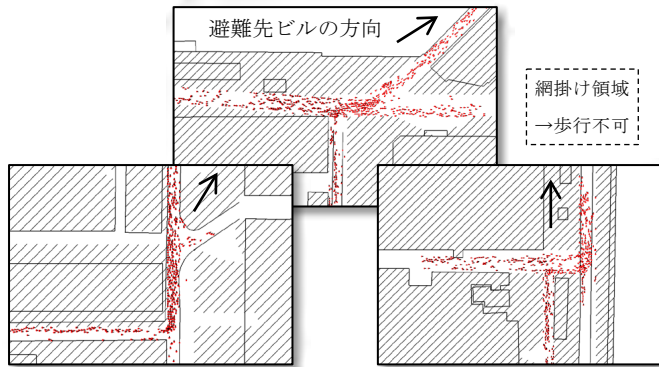


Fig.6 臨海部における津波避難シミュレーション
(Tsunami Evacuation Simulation in a Coastal Area)

確認した事例である。

さらに、臨海部にある工場敷地内において、地震後に発生した津波を想定した津波避難シミュレーションも実施している (Fig.6)。シミュレーションの結果、工場内の約 2,000 人が津波避難に対応した隣接する避難先の高層ビルに、津波到達までに無事避難できることを確認した。

4. 今後の展望

現在では、MR 技術 (複合現実技術) により、PSTARS で解析した計算結果を現実を重ね合わせることで、より臨場感のあるシミュレーション表現も可能になっている⁹⁾。Fig.7 はその可視化例であるが、実在する施設において実寸大でシミュレーション結果を表示できるため、移動の距離感なども臨場感を持って体験できる。メタバースのように、複数人が同時に同じ結果を体感・共有することも可能である。

本シミュレータは、自社開発システムということもあり、現地条件に応じた歩行行動ロジックの追加や高度化等の改良を容易に行うことができる。今後は、さらなる実績の積み重ねとシステムの改良を進めて、火災時のみならず、より広域での様々な災害に対応していくことで、歩行者の安全性・円滑性に配慮した施設設計に加えて、より安全で安心なまちづくり・都市計画の立案に貢献していく。

IV. まとめ

本稿では、現代社会が直面する社会的リスクの中でも特に災害時避難に焦点を当て、要配慮者を含むすべての人々が安全かつ円滑に避難できる環境を整備するための技術と実践を紹介した。

つくば市における当社の取り組みでは、スマートシティやスーパーシティの枠組みを活用し、要配慮者の避難誘導支援を推進している事例を取り上げた。このプロジェクトでは、特別支援学校における建物安全度評価を基盤としたリアルタイム情報共有や、地震被害予測に基づく避難ルートの最適化の実現を目指しており、要配慮者の迅速かつ安全な避難を



Fig.7 MR(複合現実)技術による可視化例
(Visualization Example Using Mixed Reality Technology)

支える新たな取り組み事例を提示している。

さらに、避難行動の高精度シミュレーション技術として紹介した「PSTARS」や「Sim-Walker[®]」は、火災や津波といった多様な災害シナリオにおいて、避難者の行動を予測し、訓練や施設設計に活かす新たな可能性を提供する。特に、火災時の熱や煙の影響をリアルタイムで考慮したシミュレーション技術は、従来の避難安全設計を超える高度な対策を可能にしている。また、MR 技術を活用したシミュレーションの可視化は、臨場感を伴う訓練を実現し、災害対応力の向上にも寄与する。

米国の ADA や日本のバリアフリー新法、災害対策基本法など、本稿で触れた技術の背景からも分かるように、インクルーシブ社会の実現には要配慮者避難の課題解決が欠かせない。これらの課題に取り組む上で、紹介した技術は、都市計画におけるユニバーサル性とパーソナル性を調和させる重要な役割を果たしている。すなわち、すべての人が利用可能であること (ユニバーサル性) を基盤としつつ、それぞれの要配慮者の特性に応じた柔軟な対応 (パーソナル性) を可能にしている。

今後、これらの取り組みをさらに発展させるためには、自治体や施設管理者だけでなく、地域社会や企業、学術機関など多様な主体が連携し、一体となって取り組むことが求められる。また、これらの技術や実践を他地域や国際的な場面へと展開することで、災害時避難の課題を超え、日常生活における安心・安全を向上させる新たな都市計画のモデルを構築することが期待される。

本稿で示した技術と実践は、災害時避難における課題解決の一助となるだけでなく、すべての人が差別や障壁なく社会に参加できるインクルーシブ社会の実現に向けた重要な道標となる。これからも、技術革新と地域社会との連携を通じて、より安全で持続可能な社会の実現を目指していく予定である。

参考文献

- 1) 内閣府地方創生推進事務局；「先端的サービスの開発・構築等に関する調査事業」の結果報告書概要版（令和 5 年 5 月 26 日），p.16,
https://www.chisou.go.jp/tiiki/kokusentoc/supercity/pdf/230526_houkokusho01.pdf
- 2) 天野和洋ほか；熱煙流動を考慮した避難シミュレーションの開発，日本火災学会研究発表会概要集，日本火災学会，2013，pp.182-183.
- 3) 鹿島建設；火災時の高度な避難シミュレーションシステム「人・熱・煙連成避難シミュレータ PSTARS」の開発と展開，
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201407/30a1-j.htm>
- 4) 中村泰広ほか；歩行者シミュレーション「Sim-Walker」の開発と鉄道駅改良工事の施工計画立案への適用例，土木学会土木建設技術発表会 2013.
- 5) 鹿島建設；歩行者シミュレーションシステム「Sim-Walker（シム・ウォーカー）」の開発と展開，
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201309/2c1-j.htm>
- 6) ホロラボプレスリリース；ホロラボが鹿島の BIM データを活用した避難シミュレーションの Microsoft HoloLens 2 版開発を支援，
<https://prtimes.jp/main/html/rd/p/0000000056.000023638.html>

制震技術

Structural Control Technology

栗野 治彦 矢口 友貴

Haruhiko Kurino and Tomoki Yaguchi

I. はじめに

建物の剛性や強度によって外力に耐える「耐震」に対し、建物内部に設置された装置が揺れを吸収する「制震」や、建物と地盤の間に設置された装置が地震力の伝達を抑制する「免震」がある (Fig.1)。当社は 1980 年代から業界に先駆けて制震技術の研究開発に着手し、実用化を推進してきた。その豊富な知見に基づき、地震や風などの揺れから建物を守る技術ソリューションをラインナップしている。

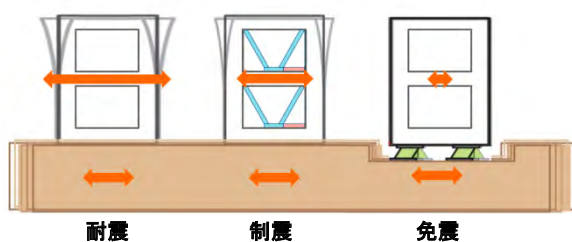


Fig.1 耐震・制震・免震の比較
(Comparison of Structural System)

制震技術には、建物の階と階の間にブレース等を介して装置を設置する層間型、建物頂部（上層階）に設置した錘の慣性力を利用する質量型、建物高さの 2/3 程度の位置に制御層を設ける制御層型等がある (Fig.2)。

本稿では、各形式に対応する当社独自の制震技術についてその概要を紹介する。

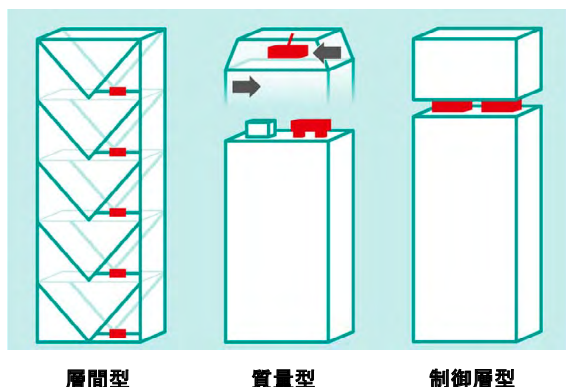


Fig.2 制震システムの分類
(Classification of Structural Control System)

II. 高性能オイルダンパ HiDAX®シリーズ (層間型)

1. HiDAX-R¹⁾

HiDAX-R (High Damping system in the neXt generation - Revolution) は制震オイルダンパとして世界初となるエネルギー回生システムを搭載することで、制震効果を後述する HiDAX-e の約 2 倍、一般的なオイルダンパの約 4 倍に高めた、最高レベルの安全・安心を実現する制震ダンパである。風揺れから震度 7 クラスの大地震までカバーすることはもちろん、頻度の高い震度 4~5 クラスの地震や、継続時間の長い長周期地震動に対して特に効果を発揮する。その効果は 35 階建て超高層ビルのシミュレーション (Fig.3) や、実際の地震観測を通じて確認している。

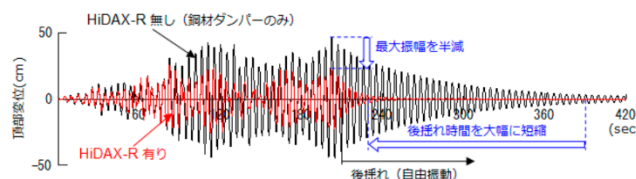


Fig.3 HiDAX-R による制震効果の解析例
(Analysis of Vibration Control Effect)

2. HiDAX-e²⁾

HiDAX-e (eco) は、ダンパ内部の制御弁を最適なタイミングで開閉させ、オイル流量をコントロールする当社独自の理論に基づくオイルダンパである。制震効果は一般的なオイルダンパの 2 倍に達し、電気制御を用いることなく建物の揺れを制御することが可能である。中低層から高層、さらには既存建物の改修工事にも適用可能であり、40 件以上にのぼる豊富な適用実績を有している。



Photo 1 HiDAX-R 設置状況
(Exterior of HiDAX-R)



Photo 2 HiDAX-e 設置状況
(Exterior of HiDAX-e)

Ⅲ. 大地震対応 TMD D³SKY[®]シリーズ（質量型）

1. ケーブル懸垂式 D³SKY³

従来は風揺れや中小地震対策に留まっていた TMD (Tuned Mass Damper) を、独自技術により既存超高層ビルの長周期地震動対応へ拡張したのが D³SKY (Dual-direction Dynamic Damper of Simple Kajima style) である。大型の鋼製の錘を鋼製ケーブルによる懸垂式で支持し、万一の設計想定を上回る地震に対しても、錘を安全に制御する機能が搭載されている。

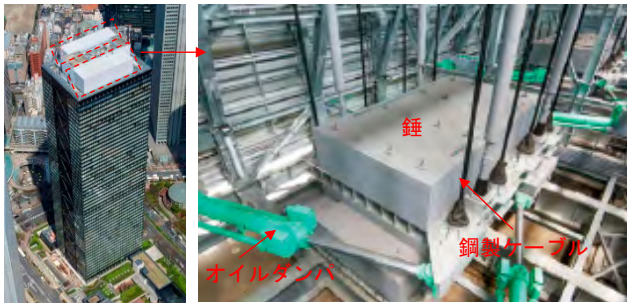


Photo 3 D³SKY の構成
(Configuration of D³SKY)

2. 積層ゴム式 D³SKY (D³SKY-L, D³SKY-c)

D³SKY-L (Layered system) ⁴⁾は、TMD 用に特化した専用開発の積層ゴムを複数段積み重ねて錘を支持する方式とすることにより、D³SKY の制震性能はそのままに大幅なコンパクト化を実現した。パーツを細かく分割可能なため、エレベータ等での搬入も可能である。錘のサイズや積層する段数を調整することで、幅広い建物規模や施工条件に対応できる汎用的なシステムである。

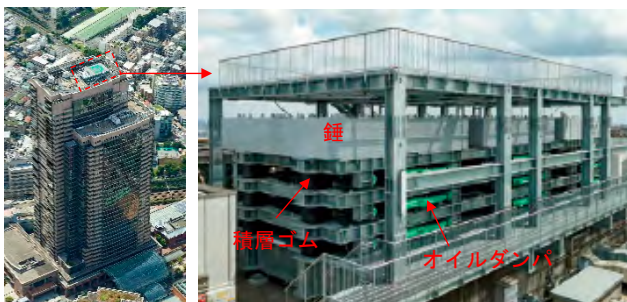


Photo 4 D³SKY-L の構成
(Configuration of D³SKY-L)

D³SKY-c (compact) は、専用開発の中空積層ゴムやコンクリート製の錘を採用することで、性能・コスト・省スペース性を高次元で両立させた中低層建物用コンパクト型 TMD である。既存建物の制震改修 ⁵⁾に留まらず、市街地や繁華街に多い間口が狭く層間型の制震装置の設置が難しいスレンダーな新築建物への適用実績も多い ⁶⁾。錘は屋上設備架台としても利用可能なため、スペースの有効活用が可能である。積層ゴム式 D³SKY は 10 件以上の建物に適用されている。

Ⅳ. 制御層型制震システム KaCLASS[®](⁷⁾)

KaCLASS (Kajima Control Layer Advanced Structural System) は、建物高さの 2/3 程度の位置に設けた制御層が地震時に変形することで、制御層より上の躯体には免震効果を、下の躯体には制震効果を与え、建物全体に高い耐震性能を付与する当社独自の制震架構である。なお、本原理を既存中低層建物の制震改修に拡張した新技術も、現在開発中である。

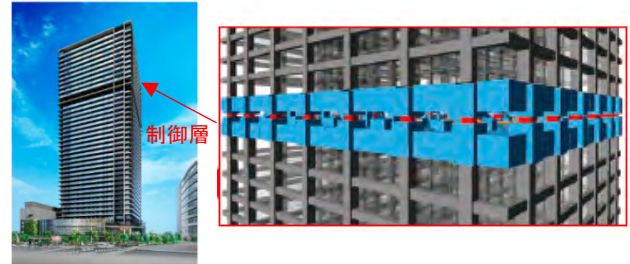


Fig.4 KaCLASS の構成
(Configuration of KaCLASS)

Ⅴ. おわりに

当社の保有する代表的な制震技術について概説した。今後ともさらなる技術開発による競争力強化と適用展開を進めながら、安全・安心を求める様々なニーズに応えていく。

参考文献

- 1) 鹿島建設；世界初、地震エネルギーで揺れを止める新世代制震装置「HiDAX-R 【Revolution】」を開発
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201507/27a1-j.htm>
- 2) 鹿島建設；技術とサービス＞制震・免震技術＞制震技術＞性能とコストを高次元で両立させた制震オイルダンパ HiDAX-e
https://www.kajima.co.jp/tech/seishin_menshin/str_ctrl/index.html
- 3) 鹿島建設；「新宿三井ビルディング」で長周期地震動の揺れを半減 日本初 屋上に超大型制震装置(約1,800t) 工事完了
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201505/14a2-j.htm>
- 4) 鹿島建設；恵比寿ガーデンプレイスタワーの制震工事が完了
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202209/pdf/26a1-j.pdf>
- 5) 鹿島建設；中低層建物用 TMD「D³SKY[®]-c」を既存ビルの制震改修工事に初適用
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201904/23a1-j.htm>
- 6) 鹿島建設；中低層建物用のコンパクトで低コスト型の TMD「D³SKY[®]-c」を開発
<https://www.kajima.co.jp/news/press/201901/24a1-j.htm>
- 7) 鹿島建設；超高層建物全体の揺れを大幅に低減する「KaCLASS[®]」を初導入
<https://www.kajima.co.jp/news/press/202306/6a1-j.htm>

近年増加する水害に対する対策

Countermeasures for Increasing Floodings in Recent Years

高井 剛 近藤 宏二 岩前 伸幸 野中 沙樹 山田 順之 大久保敏宏 山口 毅志 寺田 裕佳
Tsuyoshi Takai, Koji Kondo, Nobuyuki Iwamae, Saki Nonaka, Yoriyuki Yamada, Toshihiro Okubo,
Tsuyoshi Yamaguchi and Yuka Terada

I. はじめに

世界的な気候変動に伴い、日本でも毎年のように激甚災害に見舞われている。Fig.1 は 1976 年から 2024 年までの間に、1 時間に 50mm 以上の雨が 1 年間に何回降ったかを示したグラフである。最初の 10 年間の平均値は 1 年間に 226 回であるが、最近 10 年の平均値は 1 年間に 334 回と 1.5 倍近くとなっており、明らかに豪雨の回数が増えていることが分かる。

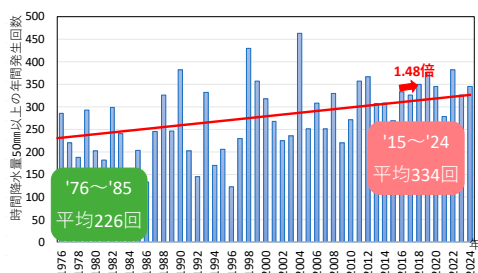


Fig.1 降水量 50mm/h 以上の発生回数(気象庁より)
(Number of Times Precipitation Exceeds 50mm/h from JMA)

水害についてどう備えていくかについて、当社の取り組みを二つ紹介する。一つは個々の建築物をどのようにして守るかという「水災害トータルエンジニアリングサービス」についてであり、もう一つは、流域治水に関するもので、森林にどれ位水を貯められるかを計測する技術についてである。

II. 水災害トータルエンジニアリングサービス

1. 水害に関する建物の基準

Table1 に示すように、日本の建築物には、地震や風、火災に対しては安全基準が定められているが、水害に対しては基準が定められていない。

Table 1 建築物の建築基準法単体規定
(Individual Provisions in Building Standards)

災害	建築基準法 単体規定
地震	地震荷重
風	風荷重
雪	積雪荷重
火災	耐火性能
水害	無し

このため、企業においては、公的な浸水想定や周辺状況、建物用途を考慮した上で、自主的に水害対策を検討する必要がある。このような環境の中でどのように対策を立てて行くべきか、その考え方を紹介する。

2. 水災害トータルエンジニアリングサービス概要

本サービスは、Fig.2 に示す「リスク評価」、「対策立案」、「対策工事」及び「運用支援」の 4 つのフェーズから構成されている。

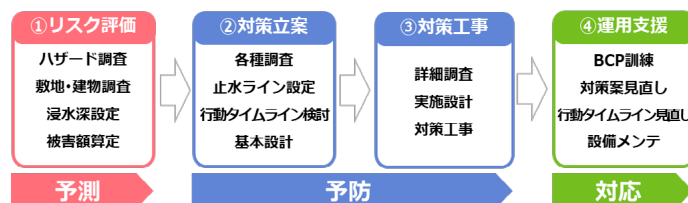


Fig.2 水災害トータルエンジニアリングサービスフロー
(Flow in Total Engineering Services for Water Disasters)

(1) リスク評価

(a) 立地特性調査

計画地における浸水深をハザードマップで確認し、加えて、地形特性や対象となる建物の止水性、保有資産の状況などを調査・評価する。

(b) 浸水深の設定

浸水の要因には、河川の水が堤防から溢れたり、堤防の決壊箇所から流出したりすることで生じる外水氾濫と、河川水位の上昇や急激な降雨により河川外に降った雨を排水できないことで生じる内水氾濫がある。これらの浸水深の評価には、自治体が公表している浸水想定区域図を用いる方法と氾濫解析によって浸水深を評価する方法がある。氾濫解析による方法では、施設の重要度に応じて、近年の降雨量の増大や気候変動による将来の降雨量の増大、高潮を考慮して浸水リスクを評価することも可能である。

(2) 対策立案

(a) 止水ラインの検討

洪水による浸水を防ぐ止水ラインを設定する。Fig.3 にその概念を示す。i)重要機器のみ上階などへ移設する方法、ii)建物 1 棟を守る方法、iii)敷地全体を守る方法、iv)盛り土をして建物を守る方法など、施設の機能や特性を勘案して止水ラインを設定する。

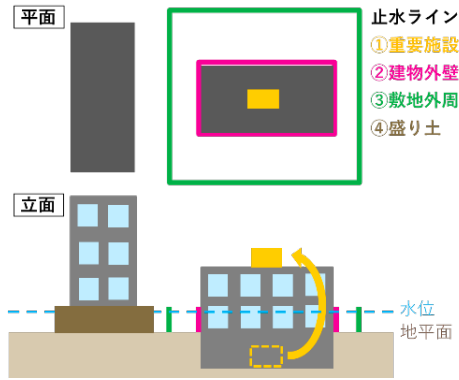


Fig.3 止水ラインの考え方
(Concept of Cater Stop Line)

(b) 行動タイムラインの検討

浸水を防ぐために行うべき土のう作製や止水板設置、バルブの閉鎖などや災害後の設置設備の撤去までを時系列上にプロットする (Fig.4)。配置できる人員を勘案のうえ実行可能かを検討し、災害時に有効な行動タイムラインを考案する。

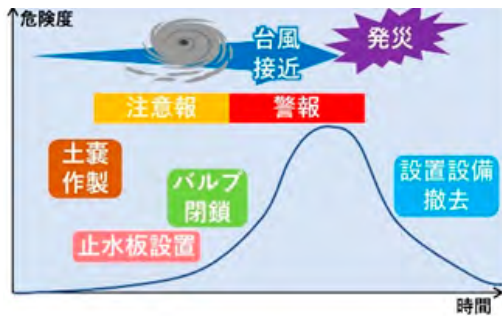


Fig.4 行動タイムラインの考え方
(The Concept of a Behavioral Timeline)

(3) 対策工事

止水対策の実施設計は、敷地の測量、排水設備などの詳細な調査を行った上で、最大限の止水効果を発揮するように、工期とコストを勘案の上、実施する。工事は安全に、騒音を低減させて行うなど近隣へ配慮して進める。なお、地中障害など工事中には予期しないことが多々生じるため、設計変更など、柔軟に対応していくことも重要である。

(4) 運用支援

対策工事完了後は、計画立案の際に検討した行動タイムラインを、BCP 訓練で定期的に見直すことでスパイラルアップさせる。また、台風接近時にも実施・検証・見直しを行い、より実効性の高いものにする。

3. 実施例

実施例として、当社技術研究所西調布実験場の水害対策を示す。

(1) リスク評価

(a) 立地特性調査

西調布実験場付近の洪水浸水想定区域図を Fig.5 に示す。国土交通省「浸水ナビ」では、計画規模降雨時の最大浸水深が 49cm と推定されており、浸水リスクの高いエリアである。

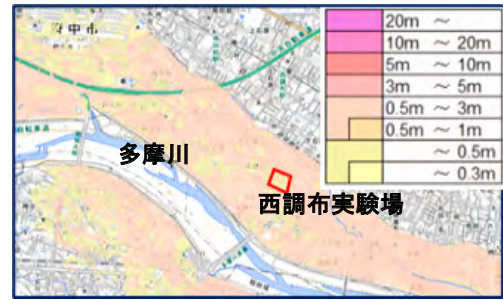


Fig.5 洪水浸水想定区域図
(Flood Inundation Predicted Areas Map)

(b) 浸水深の設定

近年の降雨の激甚化や気候変動による将来的な降雨量の増大も勘案した洪水氾濫解析¹⁾ (Fig.6) により浸水深を想定した。解析結果を踏まえ、近隣の景観にも配慮し、設計浸水深を約 1.5m に設定した。



Fig.6 洪水氾濫解析結果
(Flood Inundation Predicted Areas)

(2) 対策立案

(a) 止水ラインと行動タイムラインの検討

止水ラインによって設置する水防設備が異なるため、それぞれの行動タイムラインを検討する必要がある。Fig.7 は止水ラインを建物ごと、敷地外周とした場合の行動タイムラインである。西調布実験場の場合は敷地内に複数棟が存在し、いずれの棟にも大型で高額な実験機器があり、操作性を勘案して敷地外周を止水ラインとした。

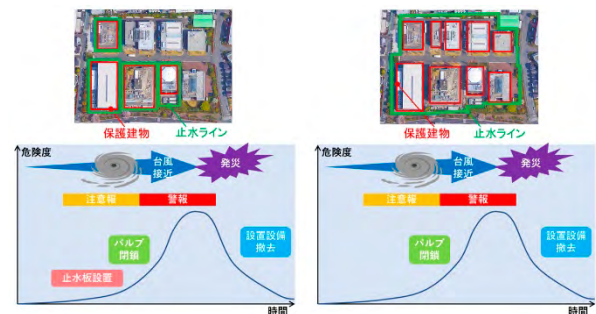


Fig.7 行動タイムラインの検討
(Analysis of Action Timeline)

(3) 対策工事

Fig.8 に特徴的な水防設備を示す。東西出入口には浮力起伏式止水板を設置し、止水板が作動後も敷地の出入りができるように浸水時避難口 (特許出願中) を配している。また、近隣住宅地に面した部分には、工事時の騒音低減が見込め、さらに、CO₂ 低減にも寄与できる CO₂-SUICOM^{®2)} 製のプレキ

ャスト止水壁を利用するほか、圧迫感を低減できるガラススクリーン止水壁を採用している。さらに、急な出水にも対応できるように二重逆流防止弁（特許出願中）も設置した。



Fig.8 特徴的な水防設備
(Distinctive Flood Prevention Facilities)

4. 運用支援

今後、水害対策は運用のフェーズに移行するが、BCP 訓練などで適宜、行動タイムラインを見直しスパイラルアップさせながら、より柔軟で確実な対策を実行できるように備え、そこで得られた知見を活かし、水災害トータルエンジニアリングサービスのさらなる普及展開を図る。

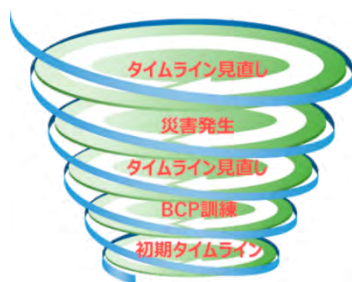


Fig.9 初期行動タイムラインのスパイラルアップ
(Spiral Up of the Initial Action Timeline)

Ⅲ. 森林の防災・減災機能評価と経営計画策定支援

1. 現在の森林の状況

我が国は森林が約 2500 万 ha と国土の約 7 割を占めている。この森林は、江戸時代には建築材や土木資材、薪炭需要などに伴う過度な森林伐採によるはげ山の増加と、それに伴う洪水や土砂災害が頻発化し、各藩によって森林の伐採規制や造林が推進されてきた。その後、戦中には軍事費により疲弊した国家経済の木材への依存、戦後には復興のための木材需要を背景に森林の伐採が更に進んだ結果、昭和 20 年代から 30 年代にかけて死亡者数が千人を超える洪水や土砂災害

が立て続けに発生した。そのため、政府は 1950 年代から年間 40 万 ha もの造林を行う拡大造林事業を積極的に推進するなどの対策を行ってきた。地形が急勾配で降水量が多い我が国において森林が発揮する多面的機能が国土保全上重要な役割を担っていると言える。例えば、間伐などの施業により森林土壌の保水容量が増加し河川のピーク流出量が減少する効果や森林整備により下層植生を繁茂させ土壌流出を抑制する効果が知られている。しかし近年、木材価格の低迷や担い手不足などにより十分に管理されない森林が全国で拡大している。さらに、気候変動に伴う豪雨の増加などもあり、森林管理の在り方が流域全体の防災・減災の大きな課題となっている。そこで本報では、東京都や熊本県などの森林を対象として当社が実施している森林計測、評価、計画支援に関する取り組みを防災機能に焦点をあてて紹介する。

2. 森林の計測

(1) 林分構造データの取得

森林の防災・減災機能を検討するためには、一定面積内の樹木本数を示す立木密度、地面から 1.2m または 1.3m の高さの幹の太さを示す胸高直径、樹高など森林の構造的特徴に関するデータ（林分構造データ）を取得する必要がある。しかし、従来の計測では作業者が直接測定する方法が用いられ、森林内の全木を測定するには多大な労力と時間を要するのが課題となっている。最近では衛星や航空測量、UAV を用いて森林上空からデータを取得し立木密度や樹高を効率よく取得する方法も導入されているが、上空から直下にレーザー光を照射するなどの特性上、胸高直径を直接計測することが困難であり、推測に伴う誤差があるとされている。そこで、3 次元点群計測機器である LiDAR (Light Detection And Ranging) センサを利用しデータ取得の効率化を試みている。LiDAR による 3 次元計測ではレーザー光を対象物に照射して反射光を検知することで、対象物までの距離や形状を測定できる。本研究では地形や下層植生の状況などに応じて、林内自律飛行が可能なドローンに搭載可能なものと、小型バックパック式のもの 2 種類を使い分け森林内部の計測を実施している。取得した 3 次元点群データは、胸高直径や樹高だけでなく、樹木の曲がりや枝のつき方、樹洞の有無なども把握できるため、倒木リスクの検討にも利用可能である (Photo 1)。

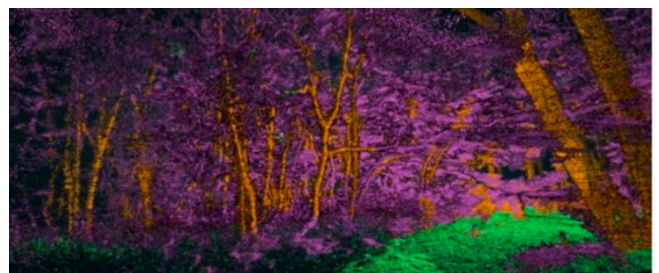


Photo 1 森林のデジタルツイン
(Digital Twin of Forests)

(2) 森林の水源涵養機能の計測

森林の水源涵養機能とは、森林が雨水の流れや地下水の補給を調整し水資源を安定的に供給する働きのことを指す。このメカニズムを解明するため、北海道、関東、九州地域の特徴の異なる森林において計測機器を設置し、降水量、林内雨量、樹幹流量、土壌水分量、照度、風速、湿度などのモニタリング調査を継続して実施している（Photo 2）。

各地域のモニタリングでは、まず、直径 10m 程度の調査プロットを設定し、3 次元点群計測機器によりプロット内の立木密度、胸高直径、樹高など林分構造データを取得している。次に、近隣の開空地に気象センサを設置するとともに、調査プロット内で林内雨量、樹幹流量、林床面蒸発を計測している。現地調査において取得することが困難な立木蒸散量については温帯・亜寒帯林の蒸散データから樹種別で樹高をパラメータとして構築された蒸散モデルを用いて対象プロットの蒸散量を推定している。



Photo 2 計測機器の設置状況
(Installation Status of Measuring Equipment)

3. 森林の評価及び計画策定

九州地域の調査対象の森林において 2 月から 6 月の間に取得した総降水量、及び降水量から蒸発散によって失われる水量を引いた水賦存量を示す（Fig.10）。限られた期間のデータであり、間伐などの効果の持続などに留意が必要ではあるが、間伐の実施による立木密度のコントロールが、水賦存量を増加させていることが理解できる。一方、間伐による水源涵養機能への影響は、対象地域の気候だけでなく樹種や樹高など実施前の林分状況により異なる可能性も高いため、調査対象地域でのモニタリングを継続する予定である。

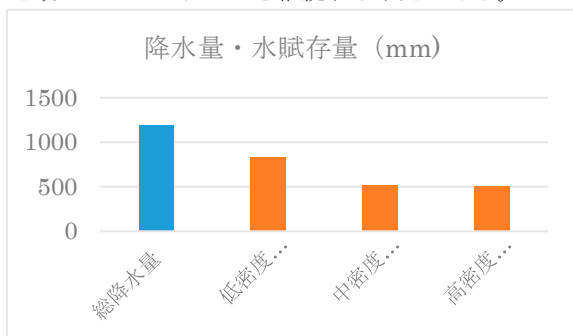


Fig.10 森林内の水賦存量計算結果例(2~6月)
(Example of Water Storage Capacity Assessment Results in Forests (February to June))

このような状況下において、森林の保有する様々な多面的機能をどのようにバランスさせるのか計画面での課題は多い。例えば、防災の側面からは伐採が望ましい枯死木が、生物多様性の観点からは野鳥の棲み処となるため保全が求められるケースなどが生じている。地域ごとに森林に求める機能や許容できるリスクが異なるため、一律の判断基準の設定は困難である。よって、地域における森林経営計画検討の一つのアプローチとして、複雑な森林の働きを可視化し共有する方法が考えられる。

東京都内における取り組みでは可視化した森林データを活用し住民参加型のワークショップを実施し、防災に加え、環境や景観など多面的な視点から議論を行った（Photo 3）。アクセス手段が限られ人が立ち入ることの少ない森林は、状況把握が困難なため関心が薄れ管理放棄されてしまう側面が否定できない。よって、地域ごとに異なる森林の現状のデータを可視化することは、森林の課題を共有しその将来像を議論する一助となると考えられる。



Photo 3 森林の在り方を議論する市民ワークショップ
(Workshop to Discuss the Future of Forests)

4. 今後の展望

本報では森林の水源涵養機能を中心にその計測評価方法と計画策定に向けたアプローチを紹介した。本研究分野は、まだ研究実績が十分でなく、今後洪水緩和と水源涵養機能のバランスのとり方など、各地域における社会実装を重ねながら検討を進める予定である。また、森林管理と防災の観点からは、昭和 30 年代の拡大造林の際に植樹された森林が高齢林となっているにもかかわらず、特に、民有林では未間伐林が増加している。これにより根張りが不十分で形状比の高い樹林が拡大していると推定され、防災面から今後さらにリスクが高まると考えられる。加えて、高度成長期に整備された都市緑地も大径化や損傷、腐朽が進み倒木などによる交通インフラなどへの被害が増加しており、景観や環境保全と災害リスク対策の両面から森林管理の在り方に関心が集まっている。本研究で開発している森林のデジタルツイン技術は上記のような新たな防災リスク対策に展開可能であり、今後中長期的な視点で検討を進めていく。

IV. まとめ

気候変動により、水害対策が重要となってきた。建物に関しては基準となる規定が無い中、水災害トータルエンジニアリングサービスにより水害対策を実施した実例を示した。また、流域治水を考える上では、森林の水源涵養機能の把握が重要となるが、その計測方法とデジタル化したデータを活用した森林管理の重要性が浮き彫りとなった。さらに、地域特性を考慮した計画策定や住民参加型の取り組みを通じて、持続可能な防災・減災の努力も必要であることを示した。

参考文献

- 1) Saki Nonaka, Kazuki Suzuki, Nobuyuki Iwamae, Daisuke Nohara and Yoriyuki Yamada ; Investment decision support for business sustainability improvement based on flood inundation simulations with a variety of extreme rainfall scenarios, Proc. IAHS, 386, 165-172, 2024.
- 2) 笠井浩, 巴史郎, 阿部達也; CO₂ 吸収コンクリートを用いたプレキャスト L 型止水壁の, 日本建築学会大会(九州), 707-708, 2025.
- 3) 取達剛, 山野泰明, 関健吾, 青木圭 ; CO₂ 吸収コンクリート製埋設型枠を用いた構造物における CO₂ 収支ならびに耐久性評価, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告, 24 巻, 2024.

災害後の迅速な復旧支援を支えるモニタリング技術と情報共有システム

Monitoring Technology and Information Sharing System to Support Rapid Recovery After Disaster

近藤 宏二 高井 剛 長谷川 幹 古澤 靖彦 今井 道男 横田 泰宏
Koji Kondo, Tsuyoshi Takai, Kan Hasegawa, Yasuhiko Furusawa, Michio Imai and Yasuhiro Yokota

I. はじめに

ここまで、予測・予防に関わる技術を紹介してきたが、建設会社として、災害発生後、できるだけ速やかに復旧・復興の任に当たるためには、現地の被災状況を迅速に把握し、対応策を検討することが重要である。

本章では、それに貢献する最新の技術として、平時・災害時に様々な BCP 関連情報を共有できる災害情報共有プラットフォーム BCP-ComPAS®, 地震発生直後に構造の専門家ではない建物管理者でも建物の安全度を判断可能な建物安全度判定支援システム q-NAVIGATOR®, 構造部材や非構造部材の被害が懸念される場合に建物管理者が現地を確認して建物の安全度を把握するための応急点検チェックリスト、また、インフラ構造物の全長でひずみや温度、振動などの情報を網羅的に得ることができる光ファイバセンサ、衛星データを活用した地盤変動モニタリング技術を紹介する (Table 1)。

Table 1 各技術の主な用途と適用先
(Characteristics and Applications of Each Technology)

技術名	主な用途	適用先
BCP-ComPAS	マルチハザードに対する BCP 関連情報共有	BCP 対応、設計・施工支援、復旧・復興支援
q-NAVIGATOR	地震直後の建物安全度判定	低層～超高層建物、オフィス、工場、物流施設、ホテル、住宅等
応急点検チェックリスト	地震後の建物安全度判定	RC 建物構造部材、非構造部材
光ファイバセンサ	インフラ構造物の長期モニタリング、災害発生後の被災状況把握	PC 長大橋、トンネル、堤防等のインフラ構造物
衛星データ活用による地盤変動モニタリング	地震、地すべり、洪水等による地盤や構造物の変位のモニタリング	急傾斜地、構造物、インフラ等

II. 災害情報共有プラットフォーム BCP-ComPAS®

世界的な気候変動に伴い、日本でも毎年のように激甚災害に見舞われている。また、首都直下地震の 30 年以内の発生確率は 70% と言われている。災害国日本では、これらに対する事業継続計画 (BCP) の策定が企業にとって必要不可欠なものとなってきている。BCP の策定により、企業はその存続のみならず、災害に強い企業となり、企業価値を上昇させるとともに地域社会に貢献することができる。その活動の支援を目的として開発した BCP-ComPAS を紹介する。

1. BCP-ComPAS の概要

BCP-ComPAS は Business Continuity Plan Communi-

cation and Performance Assistant System の略であり、BCP におけるコミュニケーションと実行を助けるシステムという意味と BCP の羅針盤 (Compass) となるようにとの思いを込めて命名している。

(1) BCP-ComPAS の仕組み

BCP-ComPAS の仕組みを Fig.1 に示す。本システムは、社内の BCP を強化するためのツールであり、主に 2 つの機能を有している。1 つ目は GIS を用いたマップ機能である。社内の拠点や現場・施工済み物件等の位置情報と地震・水害・地震被害などの各種ハザード情報や平時にも利用できる気象情報等をマップ上で重ね合わせて表示することにより、この現場がどのような災害リスクを有しているか、確認することができる。この機能の利点は、情報をわかりやすく表示できるということと、様々なサイトに散らばっている情報を 1 箇所に集めているため、情報を一元管理できることにある。2 つ目は PUSH 型配信メール機能である。災害発生時には社員に自動でメールが送られ、初動対応業務にあたることができる。本システムはウェブブラウザ上で情報を提供するため、特別なソフトをインストールすることなく、社員であれば社内ネットワークを通して誰でも使用することができる。



Fig.1 BCP-ComPAS の仕組み
(Configurations of BCP-ComPAS)

(2) BCP-ComPAS のコンテンツ

本システムは、20 以上のコンテンツを有している。以下に、特徴的なものを示す。

(a) 平時利用コンテンツ

国や自治体が公開しているハザードマップの情報、例えば、洪水浸水深や地震ハザード、急傾斜地のマップを Fig.2 に示す。また、関東圏の支店から本社に物資を搬送する際の安全なルートを確認できるマップも提供している。

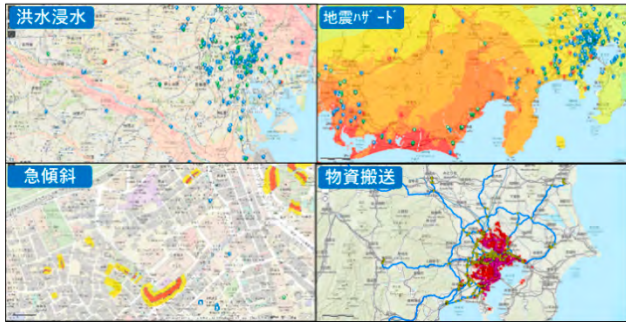


Fig.2 平時利用コンテンツ
(Contents for Normal Use)

(b) リアルタイムコンテンツ

Fig.3 には、日本気象協会による高精度な現場ピンポイントの気象情報を確認できるマップ、現在の河川の氾濫リスクを確認できるマップ、地震発生から数十分後に、国立研究開発法人防災科学技術研究所（NIED）から提供を受けた現場と竣工物件の推定震度、建物被害推定を掲載したマップ、SNS 災害情報を画像や動画とともに確認できるマップを示す。なお、建物被害推定は東日本大震災での建物の被害データに基づいて、ロジスティクス解析により求めたオリジナルの推定モデルにより算出している。



Fig.3 リアルタイムコンテンツ
(Real-Time Contents)

(3) PUSH 型配信

BCP-ComPAS には、登録者に地震、津波、火山、強風、大雨、河川氾濫等の災害が近づいたことをメールで知らせる PUSH 型配信機能がある (Fig.4)。災害発生を通知する地点は、ユーザーが任意に登録した地点であり、ほとんどの登録者が、建設現場、自宅、実家のいずれかを登録している。建設現場に関しては、管理部門では複数地点を、現場は担当現場のみを登録している。災害リスクをタイムリーに登録社員にメールで通知することにより、BCP-ComPAS のマップを見るタイミングを知らせることができる。

2. BCP-ComPAS の活用事例

令和 6 年能登半島地震での BCP-ComPAS の活用状況を以下に示す。

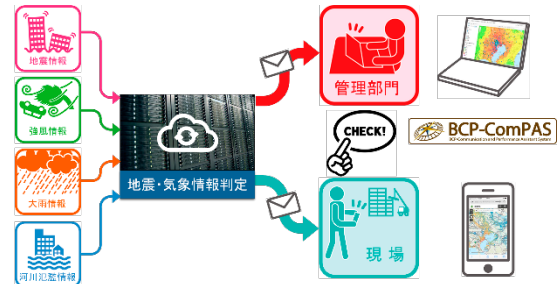


Fig.4 PUSH 型配信
(PUSH Type Distribution)

(1) 能登半島地震時のテレビ報道状況

令和 6 年（2024 年）元日の 16 時 10 分に震度 7 の本震が起き、多少の時間差はあるものの各局が地震報道に切り替えた。地震報道に切り替えられた各テレビ局の報道内容は、気象庁観測点における震度と津波発生に備えて避難行動を促すものとなっており、被害状況を伝えるものではなかった。

(2) 能登半島地震時の災害情報

能登半島地震の際に NIED の推定震度（250m メッシュ推定震度）を元日の 16 時 59 分に受信している。同時にこの推定震度を利用して建物の被害状況を推定して GIS を用いて分かり易く表示するとともに情報を一元管理できる BCP-ComPAS 上に表示し、かなりの建物に被害が生じていることが認識された (Fig.5)。この情報は同時に BCP 担当者にメールでも配信された (Fig.6)。



Fig.5 令和 6 年能登半島地震時震度マップ
(Seismic Intensity for the 2024 Noto Peninsula Earthquake)

Fig.6 250m メッシュ推定震度による被害推定メール配信
(Email of Damage Estimates from on 250m Mesh Seismic Intensity)

元日 17 時 45 分時点で投稿されている SNS 災害情報を Fig.7 に示す。SNS 情報には写真や動画が添付されており、視覚的に状況を把握することができたため、被害の大きさを認識でき、早期に対応準備に入ることができた。なお、利用した災害情報は、株式会社 Spectee によりフェイク情報を除去した信頼性の高い情報を使用している。

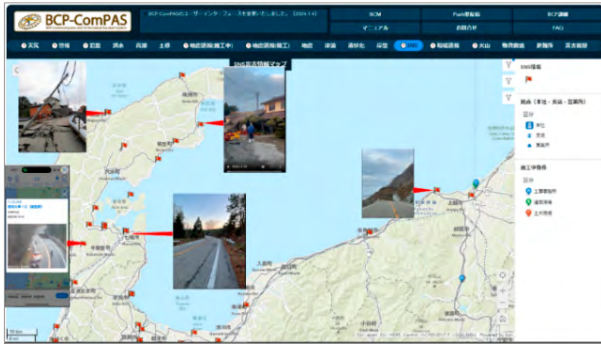


Fig.7 令和 6 年能登半島地震における SNS 災害情報
(SNS Disaster Information for the 2024 Noto Peninsula Earthquake)

(3) 能登半島地震時の活用

(2) で示した BCP-ComPAS 上で示された震度や建物被害推定、また SNS 災害情報については、本社震災対策本部および当社北陸支店土木部門・建築部門において共有され、翌日から災害対応しなければならぬという共通認識を持つことに寄与した。

3. まとめ

災害情報プラットフォーム BCP-ComPAS の概要を紹介するとともに、令和 6 年能登半島地震での活用状況を報告した。テレビ地震報道では得られない被災状況や、250m メッシュ推定震度、SNS 災害情報を社内展開し、初動対応に遅れることなく移行することができた。

Ⅲ. 建物安全度判定支援システム q-NAVIGATOR®

1. q-NAVIGATOR 開発の背景

地震後、建物への立ち入りや継続使用の可否を判断し BCP 対応を進める上では、建物の安全性を迅速かつ正確に判定する必要がある。2011 年の東日本大震災以降、大地震後の帰宅困難者の抑制のため、事業者は建物利用者を建物内に留めることが国や自治体から求められるようになり、建物の安全性判定のニーズは更に高まってきた。一方、応急危険度判定などの専門家による判定はすぐに受けられるとは限らず、迅速かつ正確に建物の安全性を判定する方法が必要とされてきた。こうした背景のもと、建物の構造安全性を建物内に設置した地震計を用いて機械的に判定する構造ヘルスマニタリングシステムの需要が高まり、2013 年頃から建物安全度判定支援システム q-NAVIGATOR (通称 q-NAVI) の開発が進められてきた (Fig.8)。

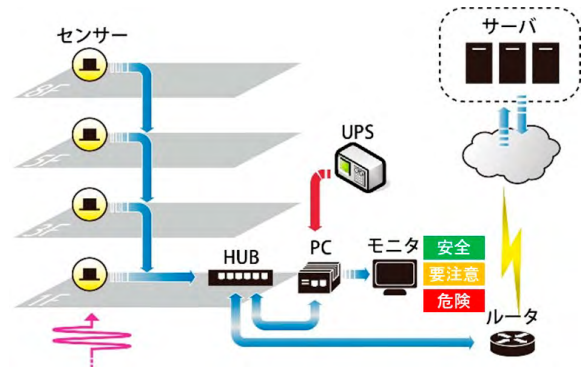


Fig.8 q-NAVI のシステム構成イメージ
(Outline of System Configuration Adopted in q-NAVI)

2. q-NAVIGATOR の 10 年間の展開

q-NAVI は 2015 年 3 月から実適用を開始し、大都市部に多い 10 階前後の中高層建物をメインターゲットとして普及を進めてきた。実適用から 10 年が経過した 2025 年 8 月末現在では、全国の 591 棟に適用されている。中高層の事務所ビルだけでなく、低層建物から超高層建物、免震や TMD (D³SKY®-c) を設置した建物など様々な構造形式、工場や物流施設、ホテル、住宅など様々な用途の建物に適用が広がっている。現在までに、多くの被害地震を経験したが q-NAVI は問題なく稼働し、システムの信頼性と有効性が実証されている。平成 30 年北海道胆振東部地震では、地震後に大規模停電が発生したが、無停電電源装置が給電している間は、システムは正常に稼働した。早朝に発災した 2018 年大阪府北部の地震や深夜に発生した 2022 年福島県沖の地震などでは、建物管理者が不在の場合でも、クラウドサービスにより建物の安全性を遠隔地から確認できることで、迅速な応急対応に役立てられた。令和 6 年能登半島地震では、過去最大の 428 棟で最大震度 5 強の揺れを観測した (Fig.9)。

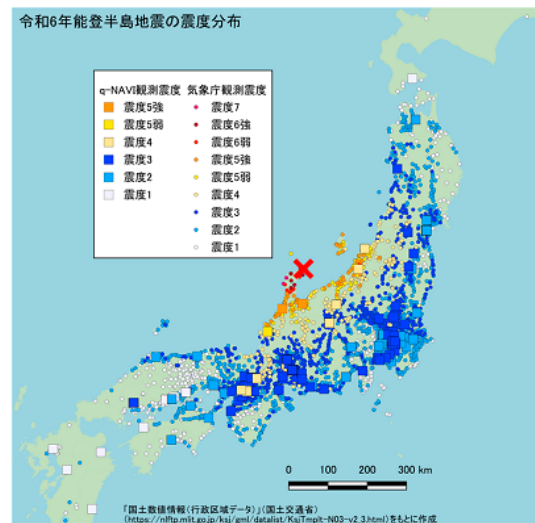


Fig.9 令和 6 年能登半島地震での観測
(Observations on the 2024 Noto Peninsula Earthquake)

3. つくば特別支援学校への適用と都市防災への活用

q-NAVI は、個々の建物の BCP 対応を支援するものであるが、その普及が進めば都市全体の防災力を向上することにもつながると考える。1つの事例として、茨城県立つくば特別支援学校における q-NAVI の活用事例を紹介する。同校では q-NAVI を以下の3点で地震後の対応に活用している。

① 適切な避難誘導による児童・生徒の安全確保

q-NAVI により建物安全性を迅速かつ正確に判定することで、教職員は適切な避難誘導(校舎内待機/校庭避難)を判断し、児童・生徒らの安全確保を行うことができる。

② 保護者らの安心感の醸成

同校では q-NAVI の観測震度と判定結果を、保護者にメール配信する仕組みを導入している。強い揺れを感じても、建物が安全であることを即座に知ることができることで、保護者らは不安に駆られることなく適切な行動をとることができる。また、日々の中小地震でもメールが配信されることで、保護者らの防災意識の向上にもつながっている。

③ 福祉避難所の運営支援

同校は福祉避難所に指定されており、判定結果を自治体の関係部局に連携することで、避難所の開設を迅速化できることが期待されている。また、避難所運営中に起きる余震に対しても、建物の安全性を随時判定し避難者に伝えることが可能となり、避難者のストレス軽減につながる。

同校の事例のように、地震時に安全性に関する情報を迅速かつ正確に入手し、関係者に伝達することは、地震時の混乱を防ぎ各個人に適切な行動を促すことにつながる。こうした仕組みが一層普及し、避難所の開設・運営や各個人への情報提供に広く活用されるようになれば、都市全体の防災力を大きく向上させることができると考える。

③ CLⅢ：点検対象階の内部目視点検

点検対象階で、指定されている構造部材を点検する。部材の損傷状況を確認し倒壊の危険性がある重大な損傷が発生しているかどうかを点検する。

CLⅡ、Ⅲには、予め専門家によって定められた点検ポイントや損傷度の例示画像が記載されており、点検者は CL に従って点検を行う事で、専門知識がなくても建物躯体の安全性を容易に迅速に応急判定することができる。Fig.11 に、CL に示された点検対象部位、損傷例示の一例を示す。

在館可否の判定は、建物の特性に応じて、これも予め専門家による基準が定められている。この事例では、点検対象とした構造部材のうち1つでも重大な損傷が確認された場合は、継続在館は否、建物外への避難を勧告する判断となる。

3. 非構造部材への適用

建物内部の空間(部屋)や使用性(使用可否)を判定するには、天井や間仕切り壁などの非構造部材が余震等で二次被

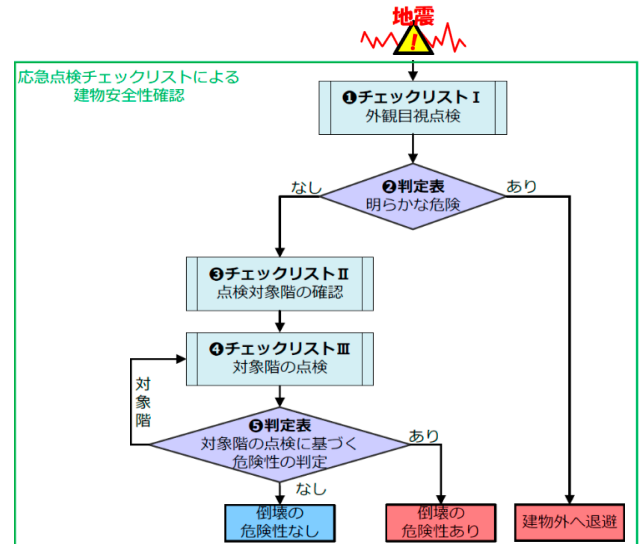


Fig.10 応急点検チェックリスト適用の流れ

(Flow of Applying the Emergency Inspection with CL)

IV. 応急点検チェックリスト

1. 応急点検チェックリストの概要

応急点検チェックリスト(以降 CL)は、大地震後の建物の安全性を、建築士などの専門家によらずとも迅速に判定することを目的とした目視による点検手法である。

2. CL による点検の流れ(構造部材)

CL による点検は、基本的に Fig.10 に示すように3段階の構成となっている。

① CLⅠ：建物全体の外観目視点検

外観目視で一見して明らかな危険の有無を判定し、同時に建物内部に入っての点検可否の判断を行う。

② CLⅡ：点検対象階の特定

各階の代表的な望ましくは平面的に同位置にある部材を確認し、被害が最大となっている点検対象階を確定する。

点検対象部位の判定(例:柱の点検)					
損傷例示					
	ひび割れ(幅2mm以上)、著しいコンクリートの剥離		鉄筋の露出や変形、柱の高さ方向の変形		
部位	柱①		柱②	柱③	
被災前写真					
損傷	☐ あり	☐ なし	☐ あり	☐ なし	☐ あり
判定表 (RC造柱)					
判定方法	判定結果		対応		
	☐ あり		「明らかな危険性あり」として緊急点検を終了		
損傷ありに/あり		☐ なし	チェックリストⅢの緊急点検を継続		

Fig.11 チェックリストおよび判定基準の例

(Example of Checklist and Criteria)

害を生じる危険性の評価が必要である。ここで、予め専門家による判断基準を提示する事で、専門家以外の点検者が目視によって在館可否や安全性を判定する CL の考え方は、天井や内壁等の非構造部材にも適用可能である。

筆者らは、膨大な種類・数にのぼる建物の二次部材について、カタログや公開された試験結果等から耐震仕様の調査を継続してきた。これらの成果により、建物構造モニタリング結果である各階の応答加速度や層間変位角、および目視の状況から二次部材の危険性を評価する手法を開発した。本手法は、東京都庁舎において震災後に帰宅困難者収容場所を開設するための判断マニュアルに適用されている (Fig.12)。

■東京都庁第一庁舎 1F ロビー

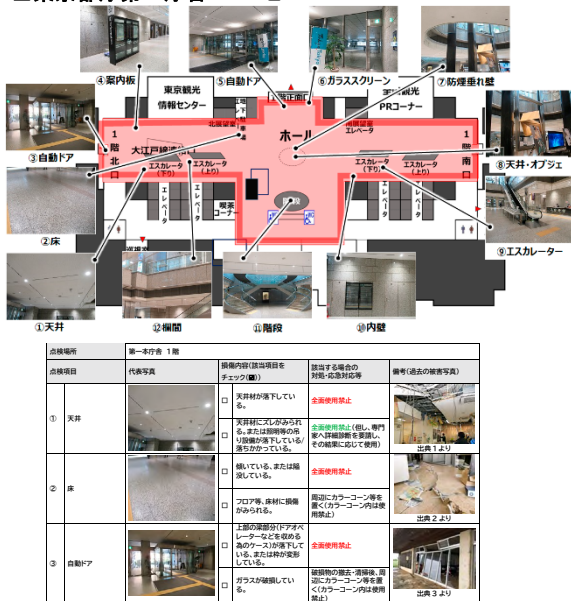


Fig.12 非構造部材 CL 導入の事例 (東京都庁)
(Application of CL for Non-Structural Components
(Tokyo Metropolitan Government))

4. 部材損傷度評価自動化の取り組み

CL における目視点検の個人によるばらつき抑制や判定の更なる迅速化を目指して、構造部材損傷度の AI による自動判定手法を開発した。これは Fig.13 のように、被害画像を AI に判定させることで、建築防災協会などの指針で定義さ

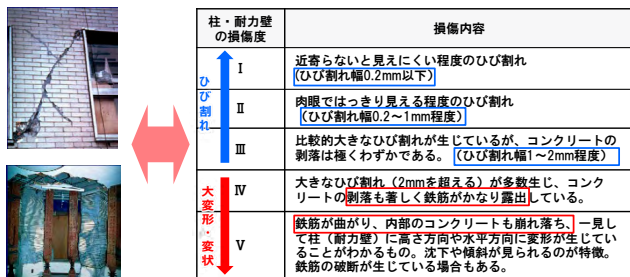


Fig.13 損傷度評価自動化のイメージ
(Concept of Automatic Damage Assessment)

れている構造部材の損傷度評価が自動的に得られることを目途としたもので、損傷度の小さい領域においては、ひび割れの自動検出および画像解析による幅と総延長の画像解析、損傷度が大きくなる領域においては、画像認識型の機械学習を採用した。

本開発では、これまでに低損傷度の領域については、現場で撮影した画像の判定結果やひび割れの詳細をその場で得られる iPad アプリを実用化し (Fig.14)、中～高損傷度の判定についても、画像認識型の機械学習によって 90% 以上の精度で損傷度を自動判定する事に成功した。なお、開発当初に適用した機械学習手法は、教師データを人間が作りこんで与える特化型の教師有りディープラーニングであったが、近年の生成 AI の急速な進歩に応じて、昨年度からは汎用型の LLM, いわゆる生成 AI を活用した損傷度評価にも取り組んでいる。これまで高精度の損傷度判定およびテキストによる損傷状況を正確かつ詳細に記述できるアルゴリズムの構築に成功している (Fig.15)。

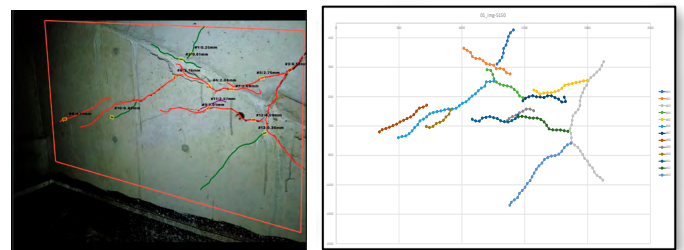


Fig.14 ひび割れ自動検出・判定の事例
(Examples of Automatic Crack Detection and Judgment)



Fig.15 生成 AI による損傷度評価の事例
(Damage Assessment Using Generative AI)

V. 光ファイバセンサ

光ファイバセンサは、小型軽量で設置が容易、長距離伝送が可能、長期耐久性などの特長をもつため、インフラ構造物をモニタリングする手段として期待されている。何より、光ファイバに沿って全長でひずみや温度、振動などの情報を網羅的に得られることから、従来の電気式センサによる局所的なモニタリング手段とは大きく異なる。そのため、災害発生後などにおけるインフラ構造物の迅速な被災状況把握とし

ても有用である。本章ではこうした事例とともに、更に広域な災害対策に向けて、既存の光ファイバ通信網と連携した最近の取り組みを合わせて紹介する。

1. 技術の概要

光ファイバセンサのなかでも、本項で事例を紹介する“分布型”光ファイバセンサは、光が伝播する際に光ファイバ内で生じる散乱光を利用している。光ファイバ内にパルス状の光を入射すると、そのほとんどは遠端まで到達するが、すべての箇所でも散乱光が生じる結果、伝播する光の量が減じる。発生した散乱光の一部は、入射端まで帰還するが、近い位置の散乱光は早く、遠い位置の散乱光は遅く帰還するため、その発生位置を特定できる。また、帰還した散乱光の光量や波長は、その発生位置のひずみや温度、振動の影響を受ける。そのため、この散乱光を解析することで、光ファイバ全長に沿った情報を得ることができる (Fig.16)。

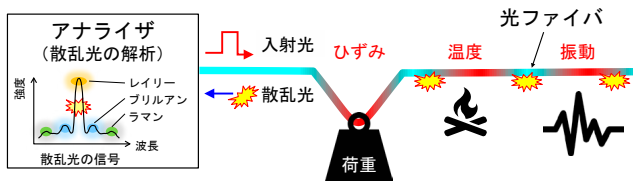


Fig.16 光ファイバセンサのイメージ

(Configuration of Distributed Optical Fiber Sensor)

2. 適用事例

自動車専用道路のプレストレストコンクリート (以下、PC) 製の長大橋梁 (15 径間連続箱桁橋、橋長約 1,700m) においては、緊張時における張力管理での活用を目的として、PC ケーブル内に張力分布を計測するための光ファイバセンサを組み込む計画としていた。これに対して、インフラ事業者から同センサを、橋長が長く大部分が河川内となる本橋における点検、特に、地震直後の点検にも活用したいとのニーズが示された。そこで、光ファイバセンサとアナライザを残置したうえで、地震時における PC ケーブルのひずみ分布の変化を検知できるモニタリングシステムを開発し、導入した (Fig.17) ^{1),2)}。

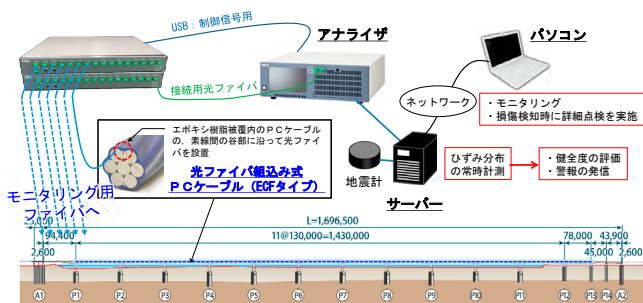


Fig.17 分布型光ファイバセンサによるモニタリングシステム

(Distributed Optical Fiber Sensor-Based Monitoring System)

本システムでは、地震計からの信号が取り込まれ、所定の震度以上の地震が計測された際には直ちに計測を行い、地震直前の結果と比較することで、地震前後での PC ケーブルのひずみ分布の変化を自動で検知することができる。なお、本システムの導入に際しては、入力地震動の大きさをパラメータとした地震応答解析等に基づき、橋梁の損傷度に応じたひずみ分布の変化量の閾値を設定している。

3. 広域化に向けて

“分布型”光ファイバセンサで使用されている光ファイバは、通信網として利用されている光ファイバと同じであり、両者は接続することができる。我が国は、光ファイバ通信網の世帯カバー率がほぼ 100%であり、国土を遍く光ファイバ通信網が整備されている。これらのうち、空き芯はダークファイバと言われ、その活用方法が模索されている。

通信用光ファイバセンサと、インフラ構造物に設置したモニタリング用光ファイバを接続すれば、アナライザから通信網を経由して複数のインフラ構造物を巡回監視することができる (Fig.18)。仮に、インフラ構造物側で電源が喪失したとしても、迅速にその被災状況を集約して把握することができる。当社では、通信事業者とともに光ファイバ通信網を経由したインフラ構造物のモニタリングを実証し、その実用性を確認している ³⁾。

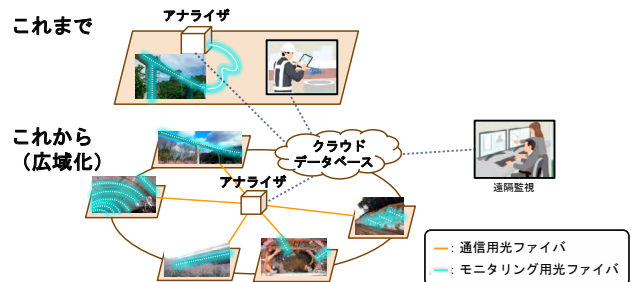


Fig.18 通信用光ファイバ経由のインフラモニタリング

(Remote Infrastructure Sensing via Communication Network)

通信事業者以外にも、鉄道や電力など様々な事業者が通信用光ファイバを所有している。その用途は、通話、カメラ、制御信号用途などがほとんどであったが、徐々にダークファイバの“分布型”光ファイバセンサ利用が始まりつつある。例えば、河川沿いに敷設されたダークファイバを用いた振動分布データから豪雨時の堤防をモニタリングしたり ⁴⁾、高速道路沿いに敷設されたダークファイバ経由で遠隔の橋梁やトンネルなどの重要インフラのひずみ分布データをモニタリングしたり ⁵⁾、などの試みがある。こうした取り組みの実現には、光信号の増幅や切替技術などを活用したネットワークアーキテクチャの構築が必要である。さらに、異なる事業者が有するダークファイバを合わせて評価に利用することができれば、複合的な災害に対しても有用な手段になると考

えられる。通信と建設分野の融合により近い将来、発災時にも広域かつ迅速にインフラ構造物の被災状況を把握できるインフラセンシングネットワークの構築が期待される (Fig.19)。

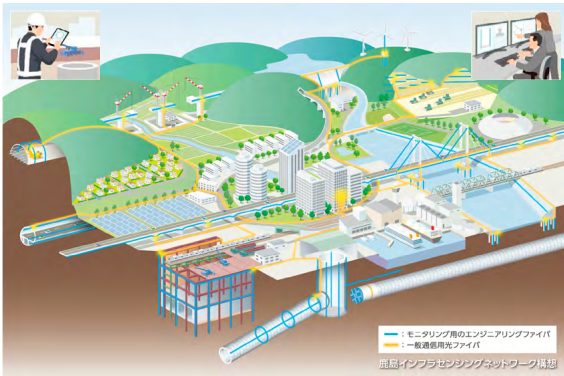


Fig.19 光ファイバによるインフラセンシングネットワーク
(Infrastructure Sensing Network Based on Optical Fiber)

VI. 衛星データ活用による地盤変動モニタリング

近年、都市の拡張やインフラ老朽化への対応、自然災害リスクの増加などにより、建設分野における広域的かつ長期的な監視と管理の重要性が高まっている。従来の現地調査では、時間・コスト・人的資源の制約があり、特に、広域にわたるインフラや遠隔地のモニタリングには限界があった。

このような背景のもと、リモートセンシング技術の建設・防災分野への活用が注目されている。リモートセンシングとは、人工衛星や航空機、ドローンや地上ロボットなどにセンサを搭載し、対象に非接触で計測を行う技術である (Fig.20)。センサも光学・ハイパースペクトルカメラ、マイクロ波と様々であり、目的・対象によって使い分け、組み合わせることが重要である。

本章では、多様な分野で応用が進む衛星データの活用に注目し、代表例として SAR 衛星データを災害後の状況把握や復旧工事に活用した事例を紹介する。



Fig.20 リモートセンシング技術
(Remote Sensing Technologies)

1. 技術の概要

SAR (合成開口レーダ) 衛星は、マイクロ波を地表に照射し、その反射波を受信することで地表面の構造を画像化する。光学衛星 (Fig.21 上) と異なり、昼夜や天候に左右されずに観測できるため、曇天や雨天の多い地域や、夜間でも安定したデータ取得が可能である (Fig.21 下)。



Fig.21 光学衛星と SAR 衛星
(Optical and SAR Satellites)

さらに特筆すべき機能は、干渉 SAR (InSAR) 技術による微小な地表変位の検出にある。2 つの異なる時点の SAR 画像の位相差を解析することで、数 mm~cm 単位の地盤沈下や構造物の動きを捉えられる。衛星としては、欧州宇宙機構 (ESA) の Sentinel-1 や JAXA のだいち 2 号などが代表的であり、当社では目的に応じて使い分けを行いながら、インフラや建設現場周辺の変動監視に活用している (Fig.22)。



Fig.22 SAR 衛星の種類とその利点・欠点
(Types of SAR Satellites and Their Advantages and Disadvantages)

2. 災害後の被害状況把握・復旧作業への活用例

地震や地すべり、洪水などの災害発生後には、構造物や地盤が変位・損傷している可能性がある。SAR データは被災前後の画像比較により、変位の大きかったエリアを迅速に特定でき、緊急時の優先対応や二次災害予防に貢献できる。

また、現地調査が困難な地域においても、遠隔からの被害推定ができ、復旧計画の初期判断にも役立つ。例えば、Fig.23 は令和 6 年能登半島地震で発生した大規模な斜面崩壊部における復旧工事において、従来計測器が設置できない場所においてもリモートで監視を行って安全を確認しながら復旧工事を進めた例である。

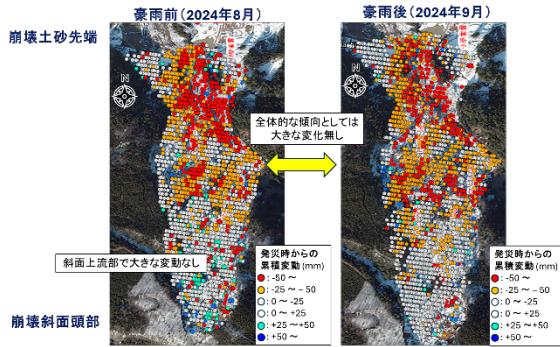


Fig.23 震災時に発生した斜面崩壊現場の安定性評価
(豪雨前後での変動量を評価)

(Stability Assessment of Slope Failures that Occurred During
the Earthquake)
(Evaluate the Amount of Change Before/After Heavy Rain)

3. 将来展望

衛星データの建設分野への応用は着実に広がっており、特に、非接触・広域・長期的なモニタリングを実現する手段として注目されている。しかし、実務での本格的な普及に向けては、技術的な課題も残されている（計測頻度の限界、専門的な知見と解析ノウハウ、実測との整合性の担保など）。当社技術研究所では、スタートアップと協働しながら高頻度なコンステレーション（多数衛星）によるリアルタイムに近い監視の実現を検討し、自社で解析体制を整え、基礎的・実践的な実験や現場計測を継続することで、建設分野における本格的な普及に貢献できるよう技術開発を行ってきた。今後も、様々なニーズに対応し、広域な範囲にわたって常時健全性をモニタリングしてインフラのレジリエンス強化に努め、災害

時にも状況を迅速に把握して早期回復に向けた一助となるよう尽力したい。

VII. おわりに

本稿では、建設会社の重要な役割である災害発生後の復旧・復興支援を迅速に遂行するために、建物、インフラ、急傾斜地などの被災状況を把握するために必要なモニタリング技術および情報共有システムを紹介した。これらの技術は、能登半島地震をはじめ、様々な現場で適用が始まっており、予測・予防技術と併せて、今後の活用が期待される。

参考文献

- 1) 山口統央ら；光ファイバを用いた長大橋のPC ケーブルのヘルスモニタリングシステム, 令和4年度土木学会全国大会第77回年次学術講演会, VI-824, 2022.
- 2) 山口統央ら；光ファイバを用いたPC張力計測システムによる地震時における長大橋の健全性評価, 令和5年度土木学会全国大会第78回年次学術講演会, VI-450, 2023.
- 3) 赤山啓太ら；光ファイバによるダム貯水池内の地滑り観測の実績, 令和6年度土木学会全国大会第79回年次学術講演会, VI-456, 2024.
- 4) 榎谷麻衣ら；分布型光ファイバセンサを用いた佐波川の粘り強い河川堤防のモニタリング—計測概要—, 第10回河川堤防技術シンポジウム, pp.37-38, 2022.
- 5) 今井道男ら；高速道路での通信用光ファイバを活用したインフラ監視ネットワークの構築, 令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会, VI-951, 2025.

学位取得論文一覧（2024.3 – 2025.3）

[List of Doctoral Dissertations]

01 現場の環境変化に即する建設機械の制御システム開発に関する研究

Research on the Development of Control Systems for Construction Machinery to Cope with Changes in the Work Environment

博士（工学），電気通信大学，2024.3.25

Dr. Eng., The University of Electro-Communications, 25. Mar. 2024

石川 貴大

Takahiro Ishikawa

02 Occupant-Centric Design for Functional and Thermal Zoning at Activity-Based Workspaces

Ph.D. in Built Environment, National University of Singapore, 28. Feb. 2025

博士（工学），シンガポール国立大学，2025.2.28

Eikichi Ono

小野 永吉

主要社外発表論文一覧（2024.4 – 2025.3）

[List of Published Papers]

[土質・基礎、地盤・岩盤]

[Geotechnical and Geological Engineering and Rock Mechanics]

01 土工材料の全量品質管理技術—台形 CSG ダムにおける CSG 材品質管理への適用実績と導入効果—

Full Inspection Technology for Quality Control in Earthworks

田中恵祐, 岡本道孝, 榎谷麻衣, 浅井泰一郎, 藤崎勝利, 松本孝矢, 大井 篤, 小林弘明

Keisuke Tanaka, Michitaka Okamoto, Mai Masutani, Yasuichiro Asai, Katsutoshi Fujisaki, Takaya Matsumoto, Atsushi Oi, Hiroaki Kobayashi

地盤工学会誌 2024 年 8 月号, 2024.8

02 成瀬ダムにおける CSG 品質管理の省力化と全量検査の適用

Labor-Saving in CSG Quality Inspection and Application of Full-Scale Inspection at Naruse Dam

田中恵祐, 藤崎勝利, 岡本道孝, 浅井泰一郎, 榎谷麻衣, 松本孝矢, 大井 篤, 小林弘明

Keisuke Tanaka, Katsutoshi Fujisaki, Michitaka Okamoto, Yasuichiro Asai, Mai Masutani, Takaya Matsumoto, Atsushi Oi, Hiroaki Kobayashi

土木建設技術発表会, 2024.11

03 山岳トンネル切羽周辺の落石災害防止を目的としたリアルタイム警報システムの開発

Development of a Real-Time Warning System to Prevent Rockfall Disasters Around Tunnel Faces

戸邊勇人, 宮嶋保幸, 伊達健介, 横田泰宏, 立浪至浩, 川内見作

Hayato Tobe, Yasuyuki Miyajima, Kensuke Date, Yasuhiro Yokota, Yoshihiro Tatenami, Kensaku Kawauchi

第 34 回トンネル工学研究発表会, Vol.34, 2024.12

04 最適鏡吹付け厚決定システムの精度向上に向けたロジスティック回帰の適用

Application of Logistics Regression for Improving Accuracy in Optimal Shotcrete Thickness Determination System

ハリム カルナリサ デスミー, 宮嶋保幸

Karnallisa Desmy Halim, Yasuyuki Miyajima

第 16 回岩の力学国内シンポジウム, 2025.1

05 古紙微細粉体による処理泥土の力学特性および長期安定性

Mechanical Characteristics and Long-term Stability of Treated Soil Using Finely Shredded Paper

浅井泰一郎, 木戸隆之祐, 澤村康生

Yasuichiro Asai, Ryunosuke Kido, Yasuo Sawamura

地盤工学ジャーナル, Vol.20 No.1, 2025.3

06 Sheet-Coating Mitigation for Membrane Penetration in Undrained Triaxial Tests and Evaluation of Comprehensive Liquefaction Resistance of Crushed Gravel

非排水三軸試験におけるメンブレンペネトレーションの影響低減を目的としたシート被覆手法の開発とそれを用いた破碎礫の液状化強度特性の検討

Rie Sasaoka, Takaji Kokusho, Michitaka Okamoto

笹岡里衣, 國生剛治, 岡本道孝

Soils and Foundations, Vol.64, No.3, Apr. 2024

07 Study for Health Monitoring of Mountain Tunnels Operation Using Distributed Fiber Optic Sensing Technology

分布型光ファイバセンサ技術を利用した山岳トンネルの維持管理に関する研究

Hayato Nonaka, Jyunichi Kawabata, Noboru Sakata, Takuji Yamamoto

野中隼人, 川端淳一, 坂本 昇, 山本拓治

World Tunnel Congress 2024 (WTC2024), Apr. 2024

08 Development of Advanced Tunnel Blasting and Shotcrete as Automated Tunnel Construction System

トンネル自動化施工システムにおける先進的な発破および吹付の開発

Keita Iwano, Takahiro Aoyagi, Takafumi Yamagishi, Takashi Mega, Takaaki Inuzuka
岩野圭太, 青柳隆浩, 山岸隆史, 女賀崇司, 犬塚隆明

World Tunnel Congress 2024 (WTC2024), Apr. 2024

09 Dynamic Centrifuge Model Tests on Horizontal and Rotational Resistance of Embedded Foundation

埋設基礎の水平および回転抵抗に関する動的遠心模型試験

Takahiko Hidekawa, Yasutsugu Suzuki, Naohito Adachi
秀川貴彦, 鈴木康嗣, 安達直人

8th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (8ICEGE), May. 2024

10 Innovative Technologies for Quality Inspection Works on Trapezoidal CSG Dam Construction -Test Results in Naruse Dam-

台形 CSG ダム建設時の品質管理試験の合理化—成瀬ダムにおける技術開発の取り組み—

Michitaka Okamoto, Keisuke Tanaka, Yoga Okamoto, Katsutoshi Fujisaki, Mai Masutani, Takaya Matsumoto, Atsushi Oi, Hiroaki Kobayashi

岡本道孝, 田中恵祐, 岡本遥河, 藤崎勝利, 榎谷麻衣, 松本孝矢, 大井 篤, 小林弘明

第 12 回東アジア地域ダム会議, No.269, 2024.10

11 Development of Support Pattern Determination System for NATM Tunnel by Machine Learning

機械学習を用いた山岳トンネルの支保パターンを決定技術の開発

Karnallisa Desmy Halim, Yasuyuki Miyajima, Yeboon Yun, Harushige Kusumi, Akinobu Nishio
ハリム カルナリサ デスミー, 宮嶋保幸, 尹 禮分, 楠見晴重, 西尾彰宣

Eurock 2024, Jul. 2024

12 Rock Strength Evaluation Technology Using Rock Breaker Vibration Acceleration During Rock Excavation in Mountain Tunnels

山岳トンネルにおける岩盤掘削時のブレーカ振動加速度を利用した岩盤強度評価技術

Keisuke Kurihara, Kazuhiko Masumoto, Yasuyuki Miyajima, Yasuhiro Yokota, Kensuke Date
栗原啓丞, 升元一彦, 宮嶋保幸, 横田泰宏, 伊達健介

13th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS13), Sep. 2024

13 Application of ℓ_1 Trend Filtering Technique to Satellite Sensing Data

ℓ_1 トレンドフィルタリングの衛星データへの適用

Li Cunlai, Takayuki Shuku, Yasuhiro Yokota, Kensuke Date
Li Cunlai, 珠玖隆行, 横田泰宏, 伊達健介

13th Asian Rock Mechanics Symposium (ARMS13), Sep. 2024

14 Experimental Study on Visualisation Technology Around Shield Machines and Evaluation of Plastic Flowability of Excavated Soil Using New Sensing Technology

シールドマシン切羽周辺の可視化技術に関する実験的研究および新規センシング技術を用いた掘削土の塑性流動性評価

Kenichi Kawano, Weichen Liu, Yuya Obayashi, Fuma Takahashi, Hideki Nagatani
川野健一, 劉 偉晨, 大林優也, 高橋楓舞, 永谷英基

5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Oct. 2024

15 Accuracy of Rock Properties Measured by Knocking Small-Ball Inspection on a Piece of Rock

岩石片を対象にした小型打球探査の精度検証

Ryohsuke Tsuji, Issei Sato, Kenichi Kawano, Hideki Nagatani, Takeshi Ikejiri
辻 良祐, 佐藤一成, 川野健一, 永谷英基, 池尻 健

5th European Conference on Physical Modelling in Geotechnics, Oct. 2024

16 A Study on Buffer-Material Erosion Under Constant Water Head Condition

水位一定条件下における緩衝材のエロージョンに関する研究

Kenji Ishii, Akihiro Matsumoto, Ichizo Kobayashi, Hirohito Kikuchi, Daisuke Hayashi
石井健嗣, 松本聡碩, 小林一三, 菊池広人, 林 大介

9th Clay Conference, Nov. 2024

17 Laboratory Tests on Resistivity Characteristics of Compacted Sandy Soil

室内比抵抗実験による砂質土の締固め時の比抵抗特性に関する検討

Yasuichiro Asai, Keisuke Tanaka, Akihiro Matsumoto, Michitaka Okamoto, Fumio Tatsuoka
浅井泰一郎, 田中恵祐, 松本聡碩, 岡本道孝, 龍岡文夫

JS-Surabaya, Dec. 2024

18 ① Trend Clustering Using Satellite Sensing Data

衛星データを対象とした ① Trend Clustering

Yasuhiro Yokota, Takayuki Shuku, Kok Kwang Phoon, Li Cunlai, Kensuke Date
横田泰宏, 珠玖隆行, Kok Kwang Phoon, Li Cunlai, 伊達健介

Journal of JGS Vol.72 No.10 Ser.No.801, 2024

[構造, 耐震・制震] [Structural Engineering and Aseismic Technology]

19 プレストレストコンクリート部材への分布型光ファイバ計測手法の適用性に関する研究

Study on Applicability of Distributed Optical Fiber Measurement Method to Prestressed Concrete Members

小嶋進太郎, 平 陽兵, 曾我部直樹
Shintaro Kojima, Yohei Taira, Naoki Sogabe

土木学会構造工学論文集 Vol.70A, 2024.4

20 ウェブの幅厚比が梁端ウェブを座屈補剛した鉄骨梁の変形性能に与える影響評価

Influence of Beam Web Width-Thickness Ratio on Deformation Capacity of Steel Beams with Buckling Stiffening of Beam End

澤本佳和, 久保田淳, 上瀧敬太
Yohikazu Sawamoto, Jun Kubota, Keita Kohtaki

構造工学論文集, Vol.70B, 2024.4

21 CFRP シートによりせん断補強された RC はりの耐荷機構とせん断耐力評価法

Shear Resisting Mechanism and Shear Capacity Evaluation Method of RC Beams Strengthened by CFRP Sheets

永島史晟, 佐藤靖彦, 大島義信, 松本直士, 吉田英二, 大塚沙季
Fumiaki Nagashima, Yasuhiko Sato, Yoshinobu Oshima, Tadashi Matsumoto, Eiji Yoshida, Saki Otsuka

土木学会論文集, 2024.5

22 残留ひび割れ幅に基づく RC 梁部材の損傷評価に関する実験的検討

Experimental Study on Damage Evaluation of Reinforced Concrete Beams Based on Residual Crack Width

十川貴行, 曾我部直樹, 平 陽兵
Takayuki Sogawa, Naoki Sogabe, Yohei Taira

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

23 せん断補強筋を一体化した吹付け埋設型枠による RC 壁部材

RC Wall Member Using Shotcrete Embedded Formwork Integrated with Stirrups

デヴィン グナワン, 曾我部直樹, 永島史晟, 小林 聖
Devin Gunawan, Naoki Sogabe, Fumiaki Nagashima, Satoru Kobayashi

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

24 FRP 補強筋を用いたコンクリート部材の曲げ・せん断挙動に関する設計指針と研究事例

Design Guides and Studies on Flexural and Shear Behavior of Concrete Structures with FRP Bars

デヴィン グナワン

Devin Gunawan

コンクリート工学, Vol.62 No.10, 2024.10

25 UHPFRC と部分防水層を併用したプレキャスト PC 床版に関する実験的検討

Experimental Study on Precast Prestressed Concrete Slabs Using UHPFRC and Partial Waterproofing

十川貴行, 高松寛子, 一宮利通, 柳井修司, 永島史晟, 新井崇裕

Takayuki Sogawa, Hiroko Takamatsu, Toshimichi Ichinomiya, Syuji Yanai, Fumiaki Nagashima, Takahiro Arai

第 13 回道路橋床版シンポジウム, 2024.10

26 データ同化技術を用いた橋梁の非線形地震応答解析モデルの精緻化

Refinement of Nonlinear Seismic Response Analysis Model for Bridges Using Data Assimilation Technology

西澤勇祐, 三浦弘慈, デヴィン グナワン, 五十嵐乃愛, 曾我部直樹, 岩前伸幸, 玉野慶吾, 中村和幸

Yusuke Nishizawa, Hiroyasu Miura, Devin Gunawan, Noa Igarashi, Naoki Sogabe, Nobuyuki Iwamae, Keigo Tamano,

Kazuyuki Nakamura

土木学会構造工学委員会 AI・データサイエンス論文集, Vol.5 No.3, 2024.11

27 Seismic Performance of RC Piers Repaired and Retrofitted with Cast-in-Place UHPFRC

場所打ち可能な高性能繊維補強モルタルで補修・補強した RC 橋脚の耐震性能

Devin Gunawan, Naoki Sogabe, Takuya Iwamoto, Satoru Kobayashi, Shinichi Yamanobe

デヴィン グナワン, 曾我部直樹, 岩本拓也, 小林 聖, 山野辺慎一

4th International Bridge Seismic Workshop (4IBSW), Aug. 2024

[材料, 施工・生産] [Materials and Construction Systems]

28 炭酸化養生に伴い発生・逸散する水分量の評価

Evaluation of the Amount of Moisture Generated and Lost During Carbonation Curing

関 健吾, 山野泰明, 境 美緒, 取違 剛

Kengo Seki, Hiroaki Yamano, Mio Sakai, Takeshi Torichigai

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

29 炭酸化養生開始時の強度がコンクリートの強度発現と CO₂ 固定率に及ぼす影響

Effect of Strength at the Start of Carbonation on Strength and CO₂ Fixation

山野泰明, 取違剛, 関 健吾, 田邊 陽

Hiroaki Yamano, Takeshi Torichigai, Kengo Seki, Haru Tanabe

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

30 炭酸化養生を行うコンクリートの目標強度に応じた CO₂ 固定量最大化に資する材料および配合選定方法の検討

Examination of Materials and Mix Selection Methods that Contribute to Maximizing CO₂ Fixation in Accordance with the Target Strength of Concrete Subjected to Carbonation Curing

境 美緒, 山野泰明, 関 健吾, 取違 剛

Mio Sakai, Hiroaki Yamano, Kengo Seki, Takeshi Torichigai

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

31 材料・配合条件からモルタルの CO₂ 固定能力を推定する方法に関する一検討

Study on a Method of Estimating the CO₂ Fixation Capacity from Materials and Mixing Properties

向 俊成, 関 健吾, 取違 剛

Toshinari Mukai, Kengo Seki, Takeshi Torichigai

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

32 石炭灰造粒物から製造した CCU 材料の特性評価とコンクリート用細骨材としての適用性に関する検討

Characterization of CCU Materials Produced from Granulated Fly Ash and Their Applicability as Fine Aggregate for Concrete

森香奈子, 渡邊賢三, 黒岡浩平, 松村拓輝

Kanako Mori, Kenzo Watanabe, Kohei Kurooka, Hiroki Matsumura

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

33 生産性向上に資する締固め不要コンクリートの実構造物への適用

Application of Self-Compacting Concrete to Actual Structures to Improve Productivity

松本修治, 荒川 遥, 渡邊賢三, 橋本紳一郎

Shuji Matsumoto, Yoh Arakawa, Kenzo Watanabe, Shinichiro Hashimoto

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

34 打込み・締固めなどの施工要因がコンクリート構造物の表層品質に及ぼす影響に関するデータ分析

Data Analysis on the Influence of Construction Factors Such as Placing and Compaction on the Surface Quality of Concrete Structures

水野浩平, 大橋雅恵, 柳井修司, 岩城一郎

Kohei Mizuno, Masae Ohashi, Shuji Yanai, Ichiro Iwaki

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

35 RI 密度測定機器を用いたフレッシュコンクリートの締固めに関する定量評価

Quantitative Evaluation of Fresh Concrete Compaction Using RI Densitometry Equipment

香島和輝, 松本修治, 芦澤良一, 渡邊賢三

Kazuki Koshima, Shuji Matsumoto, Ryoichi Ashizawa, Kenzo Watanabe

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

36 35℃を超える暑中コンクリートの実施工の模擬実験によるスランプ保持型混和剤を添加したコンクリートの施工性確認

Experimental Study on Workability of Concrete of Slump-Retaining Type Admixture by Simulating an Operation of Concrete to Hot Weather Concreting Over 35 Degree C

藤岡彩永佳, 芦澤良一, 渡邊賢三, 細田 暁

Saeka Fujioka, Ryoichi Ashizawa, Kenzo Watanabe, Akira Hosoda

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

37 乾燥スラッジ微粉末の炭酸化が鉱物組成に及ぼす影響

Effect of Carbonation on Mineral Composition of Dry Sludge Powder

杉本裕紀, 大川 憲, 巴 史郎, 閑田徹志

Hiroki Sugimoto, Ken Okawa, Shiro Tomoe, Tetsushi Kanda

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

38 高炉セメント C 種を用いた炭酸化養生による低炭素型ハーフプレキャストコンクリート床版の調査検討

Formulation Study of Low Carbon Type Half Precast Concrete Slab by Carbonation Curing Using Blast Furnace Cement Type C

羊 本友, 全 振煥, 小宮功次, 今本啓一

Benyou Yang, Jinhwan Jeon, Koji Komiya, Keiichi Imamoto

コンクリート工学年次論文集, Vol.46, 2024.6

39 乾燥スラッジ微粉末を高含有した結合材を用いた現場打ちコンクリートの開発

Development of Ready-Mixed Concrete Using Binder with High Content of Dehydrated Sludge Powder

依田和久, 巴 史郎, 平田真佑子, 羊 本友, 中山卓哉, 大川 憲

Kazuhisa Yoda, Shiro Tomoe, Mayuko Hirata, Benyou Yang, Takuya Nakayama, Ken Okawa

日本建築学会技術報告集, Vol.30 No.75, 2024.6

40 BIM/CIM モデルおよび Unity を用いた型枠工事における材料の数量算出

[BIM/CIM Model-Based Quantity Takeoff for Formwork Construction](#)

寺田健司, 高見 聡, 酒匂智彦, 坂梨利男

Kenji Terada, Satoshi Takami, Tomohiko Sakoh, Toshio Sakanashi

第 49 回土木情報学シンポジウム, 2024.9

41 コンクリート表層品質 AI 目視評価アプリの活用による浄水場工事におけるコンクリートの表層品質向上の取り組み

[Initiatives to Improve the Quality of Concrete Surface Layers in Water Purification Plant Construction Using a Concrete Quality Evaluation App](#)

藤岡彩永佳, 水野 健, 水野浩平, 渡邊賢三, 山口純輝, 関 春彦, 山田 徹

Saeka Fujioka, Ken Mizuno, Kohei Mizuno, Kenzo Watanabe, Jyunki Yamaguchi, Haruhiko Seki, Toru Yamada

令和 6 年度日本水道協会全国会議 (水道研究発表会), Vol.2024, 2024.10

42 CO₂ 吸収コンクリート製埋設型枠を用いた構造物における CO₂ 収支ならびに耐久性評価

[Environmental and Durability Estimation of Structures Using CO₂ Absorbed Concrete Formwork](#)

取達 剛, 山野泰明, 関 健吾, 青木 圭

Takeshi Torichigai, Hiroaki Yamano, Kengo Seki, Kei Aoki

第 24 回 コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレードシンポジウム, Vol.24, 2024.10

43 ICT を活用したコンクリートの状態の「見える化」技術による品質確保・向上

[Ensuring and Improving Quality of Concrete Through ICT-Based Visualization Technology](#)

水野浩平, 松本修治, 柳井修司, 渡邊賢三

Kohei Mizuno, Shuji Matsumoto, Shuji Yanai, Kenzo Watanabe

土木建設技術発表会, 2024.11

44 トンネル覆工コンクリートの全自動打設システムの開発

[Development of Fully Automated Pouring System for Tunnel Lining Concrete](#)

松本修治, 手塚康成, 坂井吾郎

Shuji Matsumoto, Yasunari Tezuka, Goro Sakai

令和 6 年度建設施工と建設機械シンポジウム (一般社団法人 日本建設機械施工協会), 2024.11

45 コンクリート受入検査時の圧縮強度推定

[Estimation of Compressive Strength During Acceptance Testing of Ready Mixed](#)

親本俊憲, 関田徹志

Toshinori Oyamoto, Tetsushi Kanda

日本建築学会技術報告集, Vol.31 No.77, 2025.2

46 Smartphone Based Indoor Localization and Navigation System for Non-GPS Environment

[スマートフォンのみで非 GPS 環境向けの屋内測位及びナビゲーションシステム](#)

Bikash Lamsal, Masato Oka, Bimal Kumar KC, Matteo Sardellitti, Naofumi Matsumoto

ラムサル ビカス, 岡 尚人, Bimal Kumar KC, Matteo Sardellitti, 松本直文

Creative Construction Conference 2024 (CCC 2024), Jun. 2024

47 Effect of Strength at the Start of Carbonation in Early Age on Final Strength and CO₂ Fixation

[若材齢における炭酸化開始時の強度が CO₂ 固定に与える影響](#)

Hiroaki Yamano, Mio Sakai, Kumar Avadh, Takeshi Torichigai, Haru Tanabe, Kengo Seki

山野泰明, 境 美緒, クマル アワード, 取達 剛, 田邊 陽, 関 健吾

78th RILEM Conference on Sustainable Materials & Structures, Aug. 2024

48 Shrinkage Crack Resistance Mechanism of Concrete with High Blast-Furnace Slag Content

高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの収縮ひび割れ抵抗性

Mayuko Hirata, Haruki Momose, Tetsushi Kanda, Daijiro Tsuji, Masaro Kojima, Kei-ichi Imamoto, Chizuru Kiyohara
平田真佑子, 百瀬晴基, 関田徹志, 辻大二郎, 小島正朗, 今本啓一, 清原千鶴

78th RILEM Conference on Sustainable Materials & Structures, Aug. 2024

49 Development of CO₂ Immobilized Interlocking Block with Recycled Glass Cullet Aggregate by High-Concentration Accelerated Carbonation Curing Device

高濃度炭酸化養生装置によるリサイクルガラスカレット鋼材を使用した CO₂ 吸収インターロッキングブロックの開発

Hiroshi Kasai, Toshinari Mukai, Takemasa Kitahara, Kouji Fushimi
笠井 浩, 向 俊成, 北原剛正, 伏見浩司

78TH RILEM Conference on Smart Materials and Structures Meeting, Aug. 2024

50 Study on CO₂ Absorption and Carbonation Depth in Cement Mortar After Early Age Carbonation Curing

材齢初期から炭酸化させるモルタルの CO₂ 吸収量と炭酸化深さに関する検討

Takeshi Torichigai, Kengo Seki, Toshinari Mukai, Kumar Avadh
取違 剛, 関 健吾, 向 俊成, クマル アワード

fib International Conference on Concrete Sustainability, Sep. 2024

51 Study for Material Configuration and Producing Method to Achieve Carbonation Curing Concrete Pre-Cast Structural Elements

炭酸化養生を行うプレキャストコンクリート構造部材の調合と製造方法の検討

Hiroki Sugimoto, Jinhwan Jeon, Hiroshi Kasai, Benyou Yang, Koji Komiya, Tatsunori Shimizu
杉本裕紀, 全 振煥, 笠井 浩, 羊 本友, 小宮功次, 清水達記

fib International Conference on Concrete Sustainability, Sep. 2024

52 Durability Investigation of Concrete Containing Carbon Capture and Utilization (CCU) Materials

CO₂ 回収・利用 (CCU) 材料を含むコンクリートの耐久性に関する検討

Kumar Avadh, Kenzo Watanabe, Kanako Mori, Goro Sakai, Takeshi Torichigai
クマル アワード, 渡邊賢三, 森香奈子, 坂井吾郎, 取違 剛

Research and Application of Carbonation Technology for Wastes and Concrete (ReACT2024), Dec. 2024

53 Synergistic Impact of Temperature and Pore Saturation on Corrosion in Carbonated Reinforced Concrete

中性化した鉄筋コンクリートにおける鉄筋腐食に対する温度と空隙飽和度の相乗効果

Li Soon Wan, Mayuko Hirata, Toshinori Oyamoto, Tetsushi Kanda, Kang Hai Tan
Li Soon Wan, 平田真佑子, 親本俊憲, 関田徹志, Kang Hai Tan

Case Studies in Construction Materials, Volume 22, Feb. 2025

[建築環境] [Building Environmental Engineering]

54 Evaluating the Sensitivity and Robustness of Occupancy Models for Building Energy Simulation During Design

設計段階の建物エネルギーシミュレーションのための在室者モデルの感度分析とロバスト性評価

Eikichi Ono, Zeynep Duygu Tekler, Khee Poh Lam, Yuan Jin, Da Yan, Adrian Chong
小野永吉, Zeynep Duygu Tekler, Khee Poh Lam, Yuan Jin, Da Yan, Adrian Chong

Building and Environment, Vol.261, Aug. 2024

55 Thermal Comfort and Self-Reported Productivity at Home and Office: a Longitudinal Field Study

自宅とオフィスにおける温熱的快適性と自己申告による生産性：長期実測調査

Kuniaki Mihara, Toby Cheung, Eikichi Ono, Federico Tartarini, Takamasa Hasama
三原邦彰, Toby Cheung, 小野永吉, Federico Tartarini, 挟間貴雅

Indoor Air 2024, Jul. 2024

56 [Effect of Discretization on Off-Axis Listeners in Binaural Synthesis Based on the Optimal Source Distribution](#)

[OPSDODIS に基づくバイノーラル合成における複数視聴者におよぼす離散化の影響](#)

Motoki Yairi, Tsuguto Hoshino, Takashi Takeuchi, Colin Christie

矢入幹記, 星野嗣人, 武内 隆, Colin Christie

Internoise 2024, Aug. 2024

57 [Occupant-Centric Zoning Design Framework for Flexible Workplaces: Impact of Occupancy Modeling and Building Operation](#)

[フレキシブルワークプレイスのための居住者中心ゾーニング設計フレームワーク：在室者モデルと建物運用の影響](#)

Eikichi Ono, Adrian Chong, Khee Poh Lam

小野永吉, Adrian Chong, Khee Poh Lam

Building and Environment, Vol.267, 2025

58 [Redefining Comfortable Offices in Tropical Climates: A Case Study on Semi-Outdoor Workspaces in Singapore](#)

[熱帯気候における快適なオフィスの再定義：シンガポールのセミアウトドア型ワークスペースの事例研究](#)

Cheung Chin To, Toby, Kuniaki Mihara, Takamasa Hasama

章 展滔, 三原邦彰, 挟間貴雅

Comfort at the Extremes 2024

59 [Towards the Digital Twinning and Simulation of a Smart Building for Well-Being](#)

[ウェルビーイングのためのスマートビルのデジタルツイン化とシミュレーションに向けて](#)

Daniel Hii Jun Chung, Takamasa Hasama

許 涼峻, 挟間貴雅

Proceedings of the 2024 IEEE Winter Simulation

[地域環境] [Environmental Engineering]

60 [サンゴ礁生態系モデル開発に向けた台風時海洋環境解析](#)

[Marine Environment Analysis During Typhoon Towards Modeling the Coral Reef Ecosystem](#)

上平雄基, 岩前伸幸, 山木克則, 中村隆志, 内山雄介

Yuki Kamidaira, Nobuyuki Iwamae, Katsunori Yamaki, Takashi Nakamura, Yusuke Uchiyama

土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol.80 No.17, 2024.11

[地震・風・波] [Earthquake, Wind and Wave Engineering]

61 [地球温暖化が台風の発達・減衰に与える影響に関する検討—2019 年台風 19 号の擬似温暖化実験—](#)

[Impact of Global Warming on Development and Weakening of Typhoon -Pseudo Global Warming Experiment of Typhoon Hagibis \(2019\)-](#)

中島慶悟, 山中 徹

Keigo Nakajima, Toru Yamanaka

第 28 回風工学シンポジウム (風工学研究論文集), Vol.28, 2024.12

62 [動力的断層破壊シミュレーションに基づく断層近傍における地震動の最大振幅と地震規模の関係](#)

[Relationship Between Near-Fault Strong Ground Motion and Earthquake Magnitude of Crustal Earthquake Using Dynamic Rupture Simulation](#)

笠松健太郎, 渡辺哲史, 鈴木文乃, 引間和人, 植竹富一, 新村明広

Kentaro Kasamatsu, Tetsushi Watanabe, Fumino Suzuki, Kazuhito Hikima, Tomiichi Uetake, Akihiro Shimmura

日本地震工学会論文集, Vol.25 No.1, 2025.1

63 [Site-Specific Ground-Motion Waveform Generation Using a Conditional Generative Adversarial Network and Generalized Inversion Technique](#)

条件付き敵対的生成ネットワークとスペクトルインバージョン解析を組み合わせた地点固有特性を持つ地震動波形群生成

Junki Yamaguchi, Yusuke Tomozawa, Toshihide Saka

山口純輝, 友澤裕介, 坂 敏秀

Bulletin of the Seismological Society of America, Apr. 2024

64 [Generation of Synthetic Seismograms Using Conditional Generative Adversarial Networks and Generalized Inversion Technique](#)

条件付き敵対的生成ネットワークとスペクトルインバージョン解析を組み合わせた地震動波形群生成

Junki Yamaguchi, Yusuke Tomozawa, Toshihide Saka

山口純輝, 友澤裕介, 坂 敏秀

American Geophysical Union (AGU24), Dec. 2024

65 [Accelerating Legacy Numerical Solvers by Non-Intrusive Gradient-Based Meta-Solving](#)

非侵襲勾配ベースメタ学習によるレガシーな数値計算ソルバの高速化

Sohei Arisaka, Qianxiao Li

有坂壮平, Qianxiao Li

Proceedings of the 41st International Conference on Machine Learning PMLR 235, Nov. 2024

[メカトロニクス] [Mechatronics Engineering]

66 深層学習を用いた画像解析による人工計測システムと工程分析手法

[Image Analysis for Man-Hour Measurement Systems and Process Analysis Using Deep Learning](#)

三上大志

Taishi Mikami

土木学会 土木情報学シンポジウム, 2024.9

67 CSG ダムにおける自動ダンプトラックを用いた材料運搬システム

[Material Transport System Using Automated Dump Trucks for CSG Dams](#)

石川貴大, 高木 優, 服部良彦, 福原正晃, 矢富孝治, 伊勢卓矢

Takahiro Ishikawa, Yutaka Takagi, Yoshihiko Hattori, Masaaki Fukuhara, Koji Yadomi, Takuya Ise

令和6年度 建設施工と建設機械シンポジウム, 2024.11

68 [Acquisition of Tower Crane Operational Performance Using Hook Mounted RTK Positioning and Image Recognition](#)

クレーンフックのRTK 測位と画像認識によるタワークレーンの揚重実績取得

Yusuke Nishizawa, Michiru Mishima

西澤勇祐, 三島 充

Creative Construction Conference 2024, Jun. 2024

69 [Trends, Challenges, and Opportunities in Assistive and Robotic Kitchen Technologies for Aging Society: A Scoping Review,](#)

高齢者社会における支援・ロボットキッチン技術の動向・課題および可能性の検討

Rongbo Hu

Rongbo Hu

41st International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC 2024), Jun. 2024

70 [Estimation of Work Activities in Construction Sites Using Ambient Sounds: A Case Study with Cloud Cameras](#)

環境音を用いた建設現場における作業分類技術：クラウドカメラへの活用例

Takahiro Morohashi, Keisuke Imoto, Masato Oka, Yasuyuki Kitahara, Riku Matsuda

諸橋俊大, 井本桂右, 岡 尚人, 北原靖之, 松田 陸

AIAEC2025

[都市・地域計画] [Urban Planning Engineering]

71 Shortest Path Tree-Based Method for Calculating Visible Area with Time and Memory-Saving Pre-Processing

時間・メモリ効率に優れた最短経路木に基づく可視領域計算法

Shota Tabata

田端祥太

Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 52(7), Nov. 2024

[防災] [Disaster Prevention Engineering]

72 耐火塗料を表面に塗った耐火木造工法の検討

Study on a Fireproof Construction Method to Realize Fireproof Wooden Construction

抱 憲誓, 久保田淳

Norichika Kakae, Jun Kubota

日本火災学会論文集, Vol.2024, 2024.8

73 150 年連続実験データを用いた手取川流域貯水池群の利水・発電運用への気候変動影響評価

Climate Change Impact on Operation of Reservoir Systems for Water Supply and Hydropower in the Tedor River Basin Using 150-Year Continuous Climate Experiment

野原大督, 佐藤嘉展, 角 哲也

Daisuke Nohara, Yoshinobu Sato, Tetsuya Sumi

土木学会論文集, Vol.81 No.16, 2025.2

74 Analytical Discussion on Applicability of Frequency Domain Decomposition Method to Systems Excited by an Impulse Force

衝撃外力に対する FDD 法の適用性に関する解析的検討

Kahori Iiyama, Hitoshi Morikawa, Chen Ping-Yu, Kimitoshi Sakai

飯山かほり, 盛川 仁, Chen Ping-Yu, 坂井公俊

Journal of Civil Engineering and Management, Jun. 2024

75 Effects of Reservoir Storage Reallocation Considering Prior Release Operation Based on Long-range Ensemble Rainfall Forecast

長時間アンサンブル降雨予測に基づく事前放流操作の実施を前提とした多目的ダム貯水池の容量配分変更の効果

Daisuke Nohara

野原大督

Advances in Hydroinformatics, Sep. 2024

76 Impact Assessment of Climate Change on Seasonal Operation of Reservoir Systems in Heavy Snowfall Area in Japan Using 150-Year Continuous Climate Experiment

Daisuke Nohara, Yoshinobu Sato, Tetsuya Sumi

野原大督, 佐藤嘉展, 角 哲也

Proc. 92nd ICOLD Annual Symposium, Oct. 2024

社外表彰一覧（2024.4～2025.3）

[Principal Commendations by Outside Organizations]

01 圧力副室付加による振動エネルギー吸収効率増倍式ビル用制震オイルダンパの発明

令和 6 年度全国発明表彰 文部科学大臣賞 公益社団法人発明協会

栗野治彦

02 カーボンネガティブコンクリート「CO₂-SUICOM[®]」導入拡大による CO₂ 削減寄与

第 32 回地球環境大賞 国土交通大臣賞 フジサンケイグループ

渡邊賢三、取違 剛、関 健吾、坂井吾郎

03 超高層建物における吊取り解体工法の開発

令和 6 年度日本建設機械施工大賞 大賞部門 最優秀賞 一般社団法人日本建設機械施工協会

石田武志、中村隆寛、藤原建弥

04 プラスチックボードドレーンを用いた効率的な地盤からの油回収技術

令和 5 年度土木学会賞 環境賞・Iグループ 公益社団法人土木学会

河合達司、田中真弓、鈴木祐麻、河野麻衣子、上島 裕

05 ドレーン工法を用いた油回収技術開発チーム

2024 年度エンジニアリング功労者賞・奨励特別賞 第 44 回エンジニアリング功労者賞<グループ表彰>環境貢献
一般財団法人エンジニアリング協会

河合達司、田中真弓、鈴木祐麻、河野麻衣子、上島 裕

06 CSG 材の全量品質管理技術の開発

令和 5 年度ダム工学会賞 技術開発賞 一般社団法人ダム工学会

藤崎勝利、大井 篤、岡本道孝、小林弘明、田中恵祐、榎谷麻衣

07 AI 画像粒度モニタリングシステムを用いた CSG 材表面水量管理システムの開発

令和 5 年度地盤工学会賞 技術開発賞 公益社団法人地盤工学会

藤崎勝利、岡本道孝、小林弘明、田中恵祐、榎谷麻衣

08 地盤材料の全量管理技術開発チーム

2024 年度エンジニアリング功労者賞・奨励特別賞 第 16 回エンジニアリング奨励特別賞 一般財団法人エンジニアリング協会

藤崎勝利、岡本道孝、小林弘明、田中恵祐、榎谷麻衣

09 OPSODIS[®] 立体音響技術

第 32 回（令和 6 年度）技術開発賞 一般社団法人日本音響学会

矢入幹記、星野嗣人、武内 隆

10 OPSODIS（オブソーディス）立体音響プロジェクトチーム

2024 年度「音の匠」顕彰 一般社団法人日本オーディオ協会

矢入幹記、荒井良延、原 健登、星野嗣人

11 OPSODIS1

GREEN AWARD 2024 最優秀賞 株式会社ワンモア

矢入幹記、荒井良延、原 健登、星野嗣人

12 OPSODIS1

ジェネリック家電製品大賞 一般社団法人ジェネリック家電推進委員会

矢入幹記、荒井良延、原 健登、星野嗣人

13 都市の暑熱化への適応、ヒートアイランド現象緩和、地球温暖化緩和の観点からの街路空間の暑さ対策効果の定量化

2024 年度日本建築学会 奨励賞 一般社団法人日本建築学会

弓野沙織

14 養生中の CO₂ 濃度および流量の連続測定結果に基づく CO₂ 固定量の評価手法に関する研究（総合題目）

2024 年日本コンクリート工学会賞（奨励賞） 公益社団法人日本コンクリート工学会

関 健吾

15 保全実績に基づく建築設備維持管理の合理化手法に関する研究

第 63 回空気調和・衛生工学会賞 論文賞 奨励賞 公益社団法人空気調和・衛生工学会

木本昇一

16 分散ファンによる最適風量制御空調システム

第 38 回振興賞 技術振興賞＜第 1 区＞ 公益社団法人空気調和・衛生工学会

小野永吉，下 泰蔵，飯嶋二裕美

17 森林の計測・経営支援サービス「Forest Asset」

2024 年日経優秀製品・サービス賞 最優秀賞 株式会社日本経済新聞社

山田順之，寺田裕佳，山口毅志，徳江義宏，大久保敏宏

18 阪神高速 3 号神戸線床版更新工事

日建連表彰 2024 第 5 回土木賞 一般社団法人日本建設業連合会

一宮利通，渡邊有寿，永井勇輔，高松寛子，荒川 遥

19 空間構造の三次元デジタルアーカイブにおける計測点群からの幾何学的有意データ抽出手法に関する研究

山田一宇賞 公益財団法人前田記念工学振興財団

李 陽洋

20 筒状織物を用いた格子状補強シートの開発と実用化

吉川・山口賞 東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系

岡本道孝

21 光ファイバセンサ建設分野向けマニュアル作成とその普及を推進

功績賞 特定非営利活動法人光ファイバセンシング振興協会

今井道男

22 2024 年日本コンクリート工学会賞 功労賞 公益社団法人日本コンクリート工学会

坂井吾郎

23 2024 年日本コンクリート工学会賞 功労賞 公益社団法人日本コンクリート工学会

親本俊憲

24 第 12 回学会活動貢献賞 一般社団法人日本音響学会

山内源太