

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

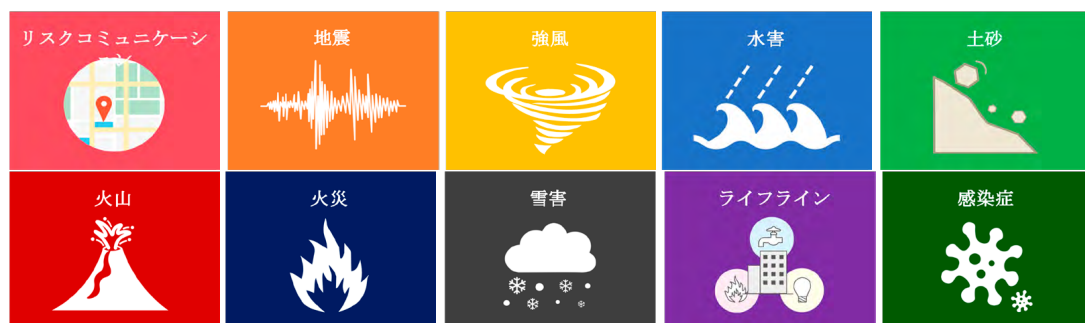


Fig.1 当社における防災・減災に係る技術分野
(Technical Fields Related to Disaster Prevention and Mitigation at KAJIMA CORPORATION)

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.

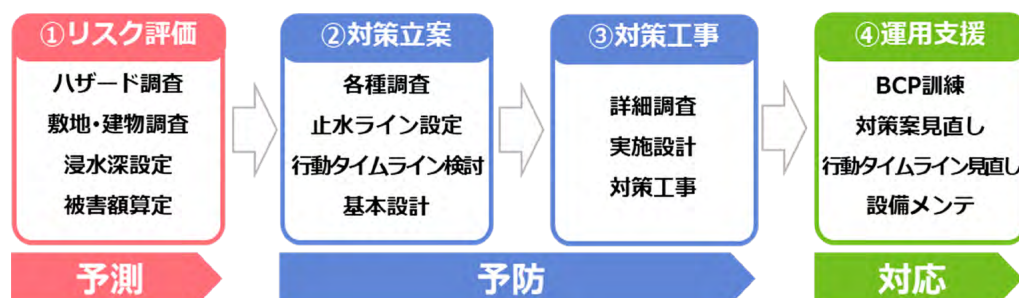


Fig.2 水災害トータルエンジニアリングサービスの流れ
(Flow in Total Engineering Services for Water Disasters)

- 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>