

自然災害に強いしなやかな 国土の創出のために — 行動宣言と行動計画 —

平成27年6月

強くしなやかな社会を実現するための
防災・減災等に関する研究委員会



JAPAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS

序

自然災害多発国である日本では、国土のあらゆる地域で様々な災害が生じて被害を受けるリスクを有しています。1995年に生じた内陸型地震の兵庫県南部地震や2011年に生じた海溝型地震の東北地方太平洋地震では、地震による揺れとその後の火災や津波などで、甚大な被害が生じると共に多数の人命が失われました。このような大規模自然災害の脅威に対処するため、政府は2013年に『強くしなやかな国民生活の実現を図るための防災・減災等に資する国土強靱化基本法』を制定しました。その後も2014年に広島市で集中豪雨に伴う大規模な土砂災害の発生、2014年の御嶽山の噴火による火山災害など、地震以外にも日本各地で多数の人命が失われる自然災害が生じています。また、2015年3月には第3回国連防災世界会議が仙台で開催され、世界の多くの地域において増大する災害の影響とその複雑な問題を認識し、世界中で災害により失われる生命及び財産を減らすべく、防災のための努力を強化する決意が宣言されました。

台風が常襲し、地震が多発する、我が国の厳しい自然条件下で、これら自然災害から人の暮らしを守り、社会・経済活動を支える基盤をつくとともに、良質な生活空間を実現するため、土木技術はその中心的な役割を果たしています。この土木技術を学問として体系的に支えているのが土木工学であり、土木学会は自然に対する畏敬の念を持ち、美しく豊かな国土と持続可能な社会づくりに貢献するための活動をしています。

国民の安全を守り安心して生活ができる『自然災害に強いしなやかな国土』を創出することは土木の重要な役割の一つです。土木学会はその役割に貢献するために、2013年12月に「強くしなやかな社会を実現するための防災・減災等に関する研究委員会」を立ち上げ、国土・暮らし・国民の立場から自然災害に強いしなやかな国土の創出を検討してきました。

本報告書は、委員会の検討に基づき、土木学会が考える「減災・防災の基本」「レジリエントでサステイナブルな社会を実現するための課題と実現策」、「社会が有する各種のハザードに対する減災・防災力の現状と今後の方針」や、土木学会が今後すべきと考える行動宣言と行動計画を取り纏めたものです。土木学会では、学会の顧客を従来は会員と定義していましたが、2015年から市民が学会の顧客であるとの定義の大きな転換を行いました。顧客である市民のみなさんに、①各種災害のリスク、②命や社会を守る減災・防災の必要性、③市民のみなさんに求められる具体的な行動などについて土木学会の考えを伝えることで、市民のみなさんと一緒に自然災害に強い国土の構築に寄与したいと考えています。

平成27年6月
公益社団法人 土木学会
強くしなやかな社会を実現するための
防災・減災等に関する研究委員会
委員長 橋本鋼太郎
幹事長 中村光

強くしなやかな社会を実現するための防災・減災等に関する研究委員会
委員会名簿

委員長	橋本鋼太郎	土木学会顧問
副委員長	磯部 雅彦	高知工科大学
委員	家田 仁	東京大学・政策研究大学院大学
	恵谷 舜吾	(一財) 首都高速道路技術センター
	大西 博文	土木学会
	小澤 一雅	東京大学
	小林 潔司	京都大学
	小長井一男	横浜国立大学
	佐藤 慎司	東京大学
	関 克己	(公財) 河川財団
	高島 賢二	(一社) 電力土木技術協会
	土田 孝	広島大学
	那須 清吾	高知工科大学
	二羽淳一郎	東京工業大学
	濱田 政則	早稲田大学
	林 良嗣	名古屋大学
	松下 潤	中央大学
	道奥 康治	法政大学
	三村 衛	京都大学
	目黒 公郎	東京大学
幹事長	中村 光	名古屋大学
幹 事	秋山 充良	早稲田大学
	庄司 学	筑波大学
	竹田 正彦	愛媛大学
	豊田 康嗣	(一社) 電力中央研究所
	並河 努	芝浦工業大学
	横木 裕宗	茨城大学
	横松 宗太	京都大学
協力委員	安養寺信夫	(一財) 砂防・地すべり技術センター (地盤工学委員会 火山工学研究小委員会委員長)

目 次

1. はじめに	1
1. 1 自然災害に強いしなやかな国土の創出の必要性	1
1. 2 報告書の構成	3
2. 減災・防災に関わる基本的な用語	5
3. 減災・防災の基本	14
4. レジリエントで持続可能な社会を実現するための課題と実現策	17
4. 1 国土・地域の災害リスクの明確化	17
4. 2 災害リスクの社会的理解	18
4. 3 災害リスクの緩和（作用の低減）	19
4. 4 災害リスクに対する対策（災害に対する防御）	20
4. 5 災害リスクに対する対応（作用発生時の行動）	21
5. 社会が有する各種のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	23
5. 1 地震のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	23
5. 2 津波・高潮のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	32
5. 3 洪水のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	35
5. 4 風災害のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	40
5. 5 地盤・土砂災害のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	44
5. 6 火山災害のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性	49
6. 既存構造物に対する減災・防災力の現状と今後の対応	54
6. 1 既存不適格構造物	55
6. 2 インフラ構造物の高齢化・老朽化	58
7. 土木学会の行動宣言と行動計画	63
7. 1 行動宣言	63
7. 2 行動計画	64

参考資料

1. 土木学会の自然災害に強いしなやかな国土の創出への貢献と反省 参 1
 1. 1 阪神・淡路大震災 参 1
 1. 2 東海豪雨 参 4

2. 土木学会の研究活動の現状 参 7

3. 気候変動への適応・緩和策 参 17

4. 世界における各種ハザードと日本の対応 参 25
 4. 1 ハリケーン・サンディの教訓 参 25
 4. 2 サンフランシスコ地震 参 27

1. はじめに

1. 1 自然災害に強いしなやかな国土の創出の必要性

日本の国土は、地理的には環太平洋地震帯に位置し、地殻変動が激しく地震活動や火山活動の活発な地域にある。世界で発生するマグニチュード6以上の地震の約2割は日本周辺で発生しており、世界の活火山の7%が日本にある。地形学的には急峻な山岳地域が多く、国土面積の約10%に相当する洪水氾濫域に人口の過半が集中している。洪水反乱域は軟弱地盤地域でもあり、過去の地下水やガスのくみ上げで都市の広域が地盤沈下している。また、土砂災害危険箇所は全国に約52万5千箇所あるとされている。最近では気候変動の影響とも言われている異常気象に見舞われ、地形的要因に加え、これまで経験したことのない集中豪雨による水害が発生する確率も高まってきている。このように日本の国土は、様々な自然災害が非常に多いという特性があり、日本における文化や価値観、あるいは国土の利用方法も、自然災害とどのように向き合っていくかということによって形成されてきた。

自然災害に対し様々な努力が歴史的に積み重ねられてきたが、多くの死者が出ることから免れることはできなかった。しかしながら、土木技術の発展と高度成長期での社会基盤施設の整備とともに、自然災害による死者・行方不明者数は急速に低下していき(図-1.1)、社会基盤施設整備の有効性が示されてきたが、近年、多数の死者が生じる自然災害が頻発するようになった。被害の発生に伴い、様々な課題が浮き彫りになり、その対応が求められるようになっている。

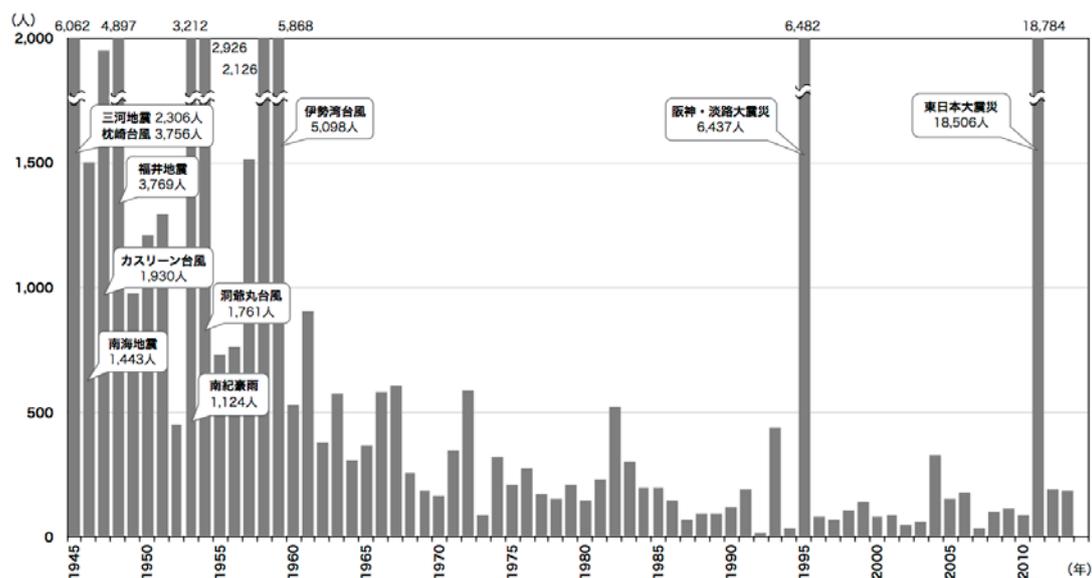


図-1.1 自然災害による死者・行方不明者数の推移

(平成25年度防災白書 附属資料2「自然災害による死者・行方不明者数の推移」をもとに作成。吹き出しは、その年の主な災害。)

2011年3月11日に発生した、東北地方太平洋沖地震(マグニチュード9.0)により、東北地方は太平洋側の沿岸部を中心に甚大な被害に見舞われた。この甚大な被害をもたらした巨大津波対策として、防潮堤等のハード、避難行動のようなソフト対策を合理的に組み合わせることや、分野横断的な総合性のもとでの事前防災を含む防災マネジメントの在り方が重要な課題となった。

また、2013年10月の集中豪雨により伊豆大島で、2014年8月には広島市で大規模な土砂災害が発生し、危機管理をはじめ、地域の現実に即した効果のある防災体制の在り方について関心が高まっている。特に、広島土砂災害は1999年にも発生しており、宅地開発などの土地利用のあり方や、被害を繰り返さないための対策とその迅速な対応が指摘されている。さらに2014年9月に御嶽山の噴火により多くの人命が失われた。1991年の雲仙岳の噴火でも多数の人命が失われているが、火山災害への対応の必要性も指摘されている。

日本は海洋国家であり周囲を海で囲まれ、港湾・空港を利用する多くの人や物資の移動を通して世界中の各地域と結ばれている。このポート機能を維持することで現代日本社会は「点」により世界とつながっている。また国内は海岸地域の利用が多く、ポート機能の「点」から、海岸線沿いの「線」を主としたインフラネットワークを構築して、持続可能なシステムを形成している。このことは、「点」「線」のインフラネットワークは、数カ所の破壊が全体のネットワークの停止に及ぶ可能性が高く、リダンタンシーの少ない国土といえ、国土形成の視点に立った『自然災害に強いしなやかな国土の創出』が求められている。

また、日本は人口減少・高齢化という人口構成にも変化が生じる時代に入り、防災機能の弱体化が懸念される地域がある。街の活性化の一つの試みとして、都市域の広い範囲に拡散している生活に必要な都市機能を中心拠点に集約させるコンパクトシティあるいはスマートシティと言われる街を形成する取り組みもスタートしている。しかしながら、一つの街の単位が小さく、高齢者比率が高いことから同じ防災設備では防災力の低下を否定できない。このようなことから、人口減少・高齢化やそれに伴う地域のありかたという社会的な視点に立った『自然災害に強いしなやかな国土の創出』も求められている。

さらに、自然災害による死者・行方不明者数は、すでに言及したように高度成長期でのインフラの整備とともに、急速に低下したことは確かであるが、阪神・淡路大震災、東日本大震災の大規模地震で多数の人命が失われたことを除いても、風水害による死者・行方不明者は2008年以降から2013年末までに約350名であり、台風などによる風水害、土砂災害および雪害で多くの犠牲者と被害が継続的に発生しており、減少傾向にあるとは言いがたい。災害から人命を守るためには、社会基盤施設整備だけでは限界があり、住民の災害リスクの理解や発災時の個人や地域での適切な対応という国土利用者の行動という視点に立った『自然災害に強いしなやかな国土の創出』も求められている。

ひとたび大規模自然災害が生じれば、人的・社会的な損失とともに、経済的な損失も大きくなる。特に近年、社会の高度化、サプライチェーンの拡大・複雑化により、経済損失額が世界的に増えている（図-1.2）。自然災害による多額の経済損失は、災害後の社会の閉塞感やその後の経済活動の低迷を招く可能性が高いことから、経済損失という視点に立った『自然災害に強いしなやかな国土の創出』も求められている。

現在、高度成長期での社会基盤施設整備以降には経験していない南海トラフ地震や首都直下型地震の発生確率や、数百年経験をしていない大規模噴火発生の確率も高まっていると言われている。また、気候変動による作用力が大きくなることによるリスクの増加、土地やインフラの劣化など作用に対する抵抗力が低下することによるリスクの増加、新たに開発された地域での新規のリスクの発生など、個々の地域の特徴を受けた各種災害の発生確率も高まってきている。東日本大震災をはじめ、多くの災害から効果がある防災対策の知見や貴重な教訓を得ていることから、

様々な観点で求められる『自然災害に強いしなやかな国土の創出』のための、有効な対策を早急に実施していく必要がある。

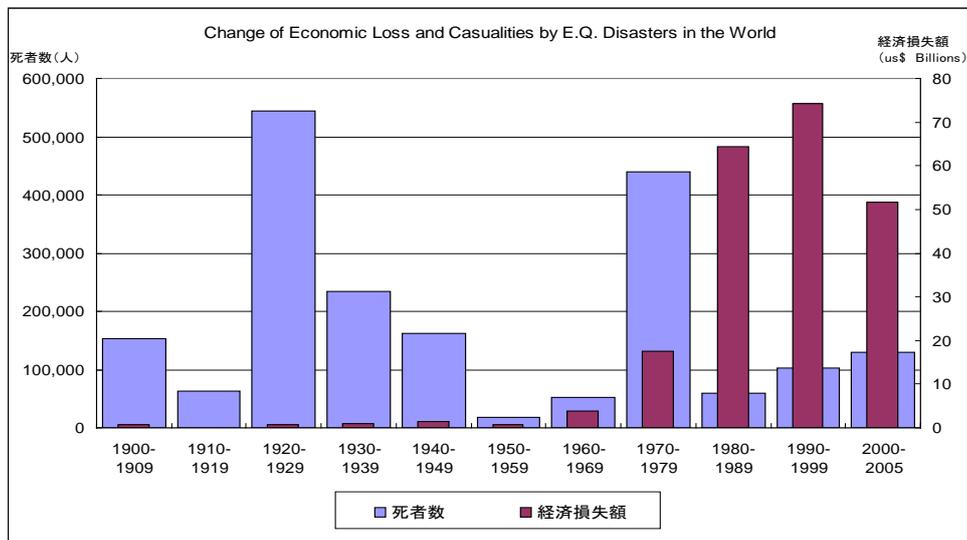


図-1.2 世界の災害による死者数と経済損失額の推移¹⁾

1. 2 報告書の構成

本報告書は、本編と参考資料からなる。

本編の第1章では、日本の地理的な特徴から自然災害に対する対応の必要性を述べるとともに、自然災害に強い国土の創出の必要性を、①リダンタンシーのある国家に向けた国土形成の観点、②人口減少・高齢化やそれに伴う地域のありかたという社会的な観点、③住民の災害リスクの理解や発災時の個人や地域での適切な対応という国土利用者の行動という観点、④災害後の社会の閉塞感や経済活動の低迷を招かないための経済損失という観点、から説明した。

第2章では、減災・防災分野は学際的であり、さらには学術研究と実務・実践がそれぞれに主導的に新しい技術進歩を展開しているため、用語が異なった意味で使われていることがある。そのため、減災・防災分野の代表的な用語がもつ、複数の定義や用法について紹介するとともに、本報告書における用法を規定した。

第3章では、減災・防災を実施する上で基本となる考え方として、土木学会が考える事項を示した。

第4章では、減災・防災の基本的な考え方に基づき、自然災害の多い日本の国土に安全に安心して住み続けるために、災害リスクの緩和と対策などを国土計画、社会基盤整備、災害対策技術の開発、減災・防災活動などの対処項目を課題とともに示した。

第5章では、日本に発生する可能性が高い各種ハザードである「地震」「津波・高潮」「洪水」「風災害」「地盤・土砂災害」「火山災害」に対する減災・防災力の現状とリスクに対する対応方法を、4章に対応させながら示した。

第6章では、災害のリスクは第5章に示すハザードの増加によって高まるが、ハザードに対するインフラ構造物の抵抗力の相対的な減少によっても高まる。そのため、既設構造物の現状の性

能や劣化による性能低下の問題と今後の対応について示した。

第7章は、自然災害に強い国土の創出のために、土木学会がすべきと考えることを宣言するとともにその行動計画を取り纏めた。

参考資料は、本編を取り纏めるための既往の知見や、土木学会の個々の研究活動を取り纏めた。

参考資料の1章は、過去の大規模災害として1995年に起きた阪神大震災と2000年に起きた東海豪雨について、発災後の技術の進展が災害の低減に貢献した事項と、未だ解決されておらず今後の更なる検討が必要な項目を取り纏めた。

2章は、土木学会に設置されている個々の研究委員会の活動が、過去にどのように社会に活かされ、今後具体的にどのような活動を行っていくかを取り纏めた。

3章は、気候変動によるリスクの増加や土木技術による適応・緩和策として、土木学会地球環境委員会気候変動への適応・緩和策検討小委員会が2015年に作成した「気候変動への適応・緩和策」を転載した。

4章は、日本以外で起きた災害に対してどのように対応され、その対応を受けて日本でいった事項を示し、身近で起きた問題以外の情報を今後活かすためのヒントを示す。

参考文献

- 1) Center for Research on the Epidemiology of Disasters

2. 減災・防災に関わる基本的な用語

防災分野では基本的な言葉が異なった意味で使われていることがある。例えば東日本大震災後、被害の甚大さや複雑さに対して「想定外」という言葉が頻繁に用いられるようになったが、多くの市民は構造物が被害を防げなかったことを『「想定外」の事態の発生』と捉えたことと思われる。一方、多くの土木技術者は、「設計外力を越えた外力」の存在は認識しており、そのような外力に対しては避難行動などのソフトの対策で対応することを「想定」している。このように市民と専門家が、異なったイメージで言葉を使う例がみられる。

さらには専門家同士の間にも用語法の相違がみられる。防災分野は学際的であり、さらには学術研究と実務・実践がそれぞれに主導的に新しい技術進歩を展開しているがゆえに、基本的な言葉が異なった意味で使われていることがある。それらには、それぞれの分野で異なった定義が与えられているものもあれば、定義が曖昧なまま使われ続けているものもある。今後、土木の関連分野が一体となって議論を進めるためには、基本用語の定義の統一を図ることが望ましい。少なくとも、それらの基本用語が別の分野で別の意味で用いられていることを知ることは不可欠である。

本章では、減災・防災分野の代表的な用語がもつ、複数の定義や用法について紹介する。そして本報告書における用法を規定するとともに、将来的な定義の統一や、土木学会独自の定義の創出に向けた議論の礎とすることを目的とする。異なる定義付けの意図を相互に参照する過程から、隙間や重複の上に新しい研究や実践のテーマが見つかることも期待される。

1) 災害と防災、減災

災害対策基本法（以下、災対法）は「災害」を「暴風、竜巻、豪雨、豪雪、洪水、崖崩れ、土石流、高潮、地震、津波、噴火、地滑りその他の異常な自然現象又は大規模な火事若しくは爆発その他その及ぼす被害の程度においてこれらに類する政令で定める原因により生ずる被害」（災対法第一章第二条）と定義している。すなわち災害の原因を「自然現象」と「政令で定める原因」としている。後者は「放射性物質の大量の放出、...その他の大規模な事故とする。」（災対法施行令第1条）とあるように、人為的な原因によって生じる「災害」も含んでいる。

また、災対法では、「防災」を「災害を未然に防止し、災害が発生した場合における被害の拡大を防ぎ、及び災害の復旧を図ること」（災対法第一章第二条）と定義している。すなわち災害対策を「防災計画の作成、災害予防」「災害応急対策」「災害復旧」の3段階に分けて定めている。災対法において、「防災」は「災害予防」のみを指すのではなく、発生時や復旧過程の対応も含む概念とされている。

近年、「減災」という言葉が頻繁に用いられるようになってきている¹⁾。「減災」は阪神淡路大震災の経験に基づいて、2000年代になって提起された概念である。伝統的に用いられてきた「防災(disaster prevention)」が、災害を防ぎ、被害を出さないことを目指す取組みであることを原義とするのに対して、「減災(disaster mitigation, disaster risk reduction)」は、被害を完全に防ぐことはできなくても、その程度を低減させていこうというものである。すなわち減災の枠組みでは、如何なる対策をとったとしても被害は生じるという認識が前提になっている。その前提の下で、限られた予算や資源を最も効果的に配分して施設整備を行い、さらには避難行動等の災害発生時の適切な対応と組み合わせることによって、最悪の事態を回避し、被害を最小化することを

目指すことをいう。

字義からは、「減災は部分的な防災」と解釈することができる。逆に「減災」の方をより一般的な概念と位置付けて、「防災」を「減災」の極限としての特例ケースと考えることも可能であろう。

その一方で、「防災」と「減災」の違いが、単なる被害軽減の程度の問題ではないという指摘もある。小林は、政策思想としての、「防災」から「減災」へのレジームの転換の大きさを次のように説明している²⁾。いわく「減災の思想は、われわれが叡智を尽くしても制御しきれない大規模な災害リスクが存在するという土木技術の限界を謙虚に受け止めるという発想の転換に基づいている。それと同時に、防災の思想の前提となる想定を超えるような災害が起こった危機的状況においても、『自分の命を護る』という最低限の選択の可能性を保証するという宣言でもある。近代社会は、個人の尊厳と自由意思を最大限に尊重し、個人の合理的選択を前提として社会システムが機能することを前提としている。災害という危機的状況においても、『(最低限の) 自由な選択肢を保証する』という近代社会の存在論的枠組みを堅持する。それが減災の思想である。」小林は、科学哲学や認識論の蓄積を整理しながら、従来の工学的な方法論やリスクマネジメントを適用している限り、事前のリスクの想定を超えるリスクには原理的に対処しえないことを示している。そして、社会の「想定外リスク」への向き合い方の解としていきつく思想が「減災」であることを論証している。そしてこれからの土木分野は、防災と減災の境界や、公的領域と私的領域の境界をどのように設定して、境界の内と外をどのように連携するのかの議論を重ね、システム全体としてガバナンスが機能するような複合的システムを新たに築いていくことが重要であると指摘している。

以上のように「減災」には複数の概念が提示されていることを理解しつつ、本報告書では減災を「災害の発生規模を未然にできるだけ小さくし、災害が発生した場合における被害の拡大をできるだけ減らし、およびすみやかな復旧を可能にすること」と定義する。そして「防災」を「減災」の一部と考える。

2) ハザード

「ハザード」は人命や社会経済、環境に損失や損壊を引き起こす、潜在的に有害な自然現象としての原因事象を指す。簡潔に「外力」と記されることもある。

食品や製品の品質マネジメント (ISO 9000 シリーズなど) に組み込まれたリスクアセスメントの分野では、「ハザード」を危険性、有害性または危険因子と定義する。その意味は「危害発生に至る潜在的危険源」ないし「危害を引き起こす可能性がある状況」というものである³⁾。そして「ハザード」単独では危害は発生しないことが強調される。「ハザード」と「暴露(exposure)」二つの条件によって、現実の危険性としての「リスク」が決まると考える。

一方、リスクマネジメントの分野には、「ハザード(hazard)」－「ペリル(peril)」－「ロス(loss)」というフレームが存在する⁴⁾。ハザード(危険因子や危険事情)に対する対応を誤るとペリル(事故)が発生し、そのペリルからロス(損失)が生ずると考える。例えば、床の上のバナナの皮を踏んで、滑って負傷する場合、バナナの皮がハザードであり、そこに踏み込み滑る事故がペリルである。そして治療費の支出や肉体的ダメージ、治るまで仕事の能率が落ちる機会費用などがロスに相当する。

本報告書においても、「ハザード」を危険因子や「危害発生に至る潜在的危険源」といった意味

で用いることとする。

3) 災害リスク

「リスク」に関する一般的な認識は「生命の安全や健康、資産や環境に、危険や障害など望ましくない事象を発生させる確率、ないしは期待損失」といったものであるが、リスクの概念を正確に把握しようとする、その定義は多数の関連分野で多様に存在する。

“risk”の語源は、ラテン系の古語に発するイタリア語の“risicare (リジカーレ)”であり、「勇気をもって試みる」という意味をもつ。その概念の背景には、15世紀から17世紀にかけて、大航海やルネッサンス時代の冒険を厭わない時代精神、海上保険が後押しした貿易業、ロンドン大火の経験から得たリスク回避の手法、それに確率論的な根拠を与えたパスカルなどの数学者の存在があった⁵⁾。そこには「積極的、能動的、選択的」という文化があり、それに対して日本には「リスクに見合う言葉自体がない」、「地政学的に安全で、冒険する時代精神がなかった」という見方もある⁶⁾。

リスクの定義は、類似概念との明確な区別を通じて与えられることも多い。例えば経営学の創始者のナイトは、確率分布が既知である場合を「リスク」とし、確率分布すらわからない状態を「真の不確実性 (genuine uncertainty)」と呼んで区別した⁷⁾。また社会学者のルーマンは、未来の損害の可能性を、自らの決定の帰結と見なすような場合と、自分以外の他者や何かによってもたらされたものと見なす場合に区別し、前者のような自己帰属の場合を「リスク」と考え、後者のような外部帰属ないし他者帰属の場合を「危険 (Gefahr)」と考えた⁸⁾。

リスクの概念はさまざまな視点から検討されてきた。オートウィン・レンによると、しだいにリスク学の研究分野は、(1)保険数理によるリスク論、(2)確率論によるリスク分析、(3)リスクを組み合わせる経済学、4)リスク社会論、5)リスクをめぐる認知心理学、6)リスク文化論、7)毒物学や疫学などに分かれざるをえなくなっていくという⁹⁾。

以上のようにリスクの概念の蓄積は枚挙に暇がないが、土木工学のようにリスクを数量的に扱おうとする分野では、まず初めに、リスクを損失の期待値として捉えるのか、分散として捉えるのかを明確にすることが不可欠である。例えば、「保険市場におけるバッドリスク」という表現は、損失の期待値が大きい人を指す。一方、「商品先物はリスクが高い取引である」という場合には、収益の期待値のまわりの変動性すなわち分散が大きいことを意味する。通常、分散の意味でのリスクが大きな金融商品は、収益率の期待値は高い、すなわち損失の期待値の意味のリスクは小さい。このように、「リスク」の用法を混同するとコミュニケーションが混乱に陥ることになる。

期待値か分散かの選択において、防災分野は期待値ベースの定義を採用することが多い。多くの場合、災害リスクの定量化は次式によって与えられる。

「災害リスク」＝「災害の発生確率(probability)」×「災害時の損失(loss)」

上記の「損失」は、より一般的に「結果(consequence)」と記されることもある。複数の種類や規模の災害が起こりえる場合には、「各状態 (災害の種類や規模) が起こる確率」と「それぞれの状態でもたらされる損失」の積の和として定義される。物的な損失であれば、単位は金銭単位に一元化することができる。

なお、防災分野では以下の表現も広く用いられている¹⁰⁾。

「災害リスク」＝「ハザード(hazard)」×「脆弱性(vulnerability)」

上記の「ハザード」は人命や社会経済、環境に損失や損壊を引き起こす、潜在的に有害な自然現象としての原因事象を指す。簡潔に「外力」と記されることもある。一方、「脆弱性」は、ハザードが発生した際に想定される人的・社会経済的・環境的な被害の程度を表す。上式は、リスクを二種類の要因の概念的な積として表現することを意図している場合もあるし、実際に乗算を行う場合もある。経済被害を対象とする場合には、脆弱性を被害想定額により定量化することもある。

リスクマネジメント規格における「リスク」の定義は、近年、以下のように変遷している。1995年の阪神・淡路大震災を契機として発行された JIS Q 2001 では、リスクは「事態の確からしさとその結果の組み合わせ、または事態の発生確率とその結果の組み合わせ」と定義された¹¹⁾。その後、2009年に発行された ISO 31000 は、全てのリスクを管理するための汎用的な「リスクマネジメントプロセス」と運用のフレームワークを提供することを目的に、リスクに対して「目的に対して不確かさが与える影響」との広い定義を与えて、リスクを好ましくない影響に限定しないこととした¹²⁾。それを受けて、JIS は上記の JIS Q2001 を廃止し、2010年に JIS Q 31000 を発行し、リスクの定義を ISO 31000 と同様のものとした¹³⁾。

リスクマネジメント規格において、JIS Q 2001 の時分には、阪神淡路大震災を教訓として、危機に対してどのように対応するかが中心的な論点であったが、現在では、リスクを顕在化させず、リスクを事前に運営管理し、いかに組織としての目標達成を容易にするかという点に重点が移ってきている。このため、ISO31000 においては、緊急時対応は切り離されており、事前のリスク管理に焦点があたっている¹⁴⁾。

リスクの定義の変化と調和して、リスクマネジメントの概念も変化してきている。伝統的なリスクマネジメントは、損失の可能性のみを考慮した純粋リスクのマネジメントであった。しかし現在のリスクマネジメントは、正の収益を得る可能性もある投機的リスクも含めた、主体をとりまくリスク全体を対象としている¹⁵⁾。災害リスクについても、1990年代に CAT bond 等のデリバティブの登場によって、リスクが投機性を持つようになった。今後は、多様なリスクシェアリングの仕組みをポートフォリオに含めた、総合的な災害リスクマネジメントのフレームが求められるようになる。

土木学会は、工学分野として、率先して災害リスクの定量的評価を実施していかなければならない。その方針の下では、災害の発生確率を考慮した期待値ベースの評価は、採用し得るひとつの方法である。ただし、一方で、金銭的損失の単純期待値による評価の限界にも留意する必要がある。例えば、仮に期待被害額が同一であったとしても、少頻度・大規模リスクの方が、多頻度・小規模リスクよりも深刻なリスクとして評価すべきである。そのようなカタストロフ性を反映したリスクプレミアムをリスク評価に適切に含めることは今後の課題の一つである。また、金銭的評価の不可能性や損失の不可逆性なども考慮に入れて、災害リスク評価の枠組みの高度化を進める必要がある。

以上のように「リスク」の概念に関する膨大な議論の蓄積と、さらなる潜在的な拡張の方向の多様性を認識しつつ、本報告書では「リスク」を以下のように定義する。相対的に頻度が高い風水害等に関しては、「リスク」を期待値ベースで評価した被害によって定義する。一方、確率的に評価することが馴染まない災害に関しては、発生シナリオにそった被害の大きさによって「リスク」を計量することが適当であると考えられる。

4) カタストロフィー

大辞林第三版では「①自然界および人間社会の大変動。変革。②劇や小説の悲劇的な結末。破局。」と定義される。

「カタストロフィー理論(Catastrophe Theory)」は数学者ルネ・トムにより 1950 年代後半に発表された理論で、力学系（すなわち微分方程式と解曲面の幾何学）における特異点（不動点、周期軌道もしくは微分方程式が定義されない点など、周囲と様相の異なる点）の構造安定性に関する理論である。構造安定性とは、パラメーターが変化するときの特異点の数値や周りの状況が変わらないことをいう。「カタストロフィー」とは、連続する事象を背景に突然現れる不連続な事象や、周期的な秩序だった現象の中から不意に発生する無秩序な現象をいう¹⁶⁾。カタストロフィー理論は 1970 年代に流行し、社会科学や生物学などを含む諸分野での不連続な変化を説明するために応用できると期待された。

一方、防災の分野において、「カタストロフィー」は、「絶対に回避しなければならない致命傷に至るような現象」といったイメージで捉えられることが多い。あるいは、災害リスクの特徴としての「巨大性」と「集合性」を、あわせて「カタストロフ性」と呼ぶこともある。集合性とは、多くの主体に損失事象が同時到着することをいう。すなわち災害は、発生する確率は稀少であるが、一度生起すれば多くの個人や企業が同時に巨大な損失を被る。このようなリスクを「カタストロフリスク」と呼ぶこともある¹⁷⁾。

「大災害債券」と訳される「キャットボンド(CAT bond)」は、Catastrophe bond を語源としている。キャットボンドの仕組みは、災害リスクを証券化して、投資家に移転するものである。キャットボンドは、災害時に集中する巨大な損失や保険金支払いのリスクを、金融市場の多くの主体に分散させる機能をもつ。よって、ここでもキャットすなわちカタストロフィーは、リスクの巨大性や集合性を含意するものと推することができる。

以上のように、防災分野においては、「カタストロフィー」の概念は、必ずしも不連続性や構造的変化を不可欠な要素としていないように思われる。むしろ被害の甚大性を強調した表現として用いられている。本報告書も防災分野の慣習に従うこととする。

5) L1・L2 と危機耐性

構造物の設計では、荷重や作用の大きさと頻度を考慮して設計荷重を求め、それぞれの設計荷重に対して許容できる構造物、あるいは部材の限界の状態を定めている。耐震工学の分野では、レベル 1 (L1) およびレベル 2 (L2) の 2 段階の地震動強さを想定する二段階設計法として知られており、土木学会でも、兵庫県南部地震後に出された「土木構造物の耐震設計基準等に関する提言¹⁸⁾」において、L1・L2 の 2 段階の地震動強さを設計基準に反映させることを求めるようになった。L1 や L2 には、国内外で様々な定義があり、地震ハザード解析により確率論的に定める例もあれば、将来にわたって当該地点で考えられる最大級の強さをもつ地震動を L2 とする場合もある。L1 や L2 に対して許容する構造物や部材の限界の状態は、耐震設計では、L1 に対しては構造物の健全性を維持できる限界の状態(使用性の確保)、L2 に対しては損傷が限定的であり、機能の回復が速やかに行い得る限界の状態(安全性と修復性の確保)、とするのが一般的である。つまり、強震動に対する構造物の設計では、L2 作用下であっても構造物の倒壊は防ぎ、かつ地震

後の供用再開を前提としている。一方、津波に対する対策では、L1については防波堤などの海岸構造物により津波を防ぎ、L2については、津波の越流は許容しつつ、避難まで含めて対策することとしている。強震動と異なり、地震の発生後に津波が到達するまでの時間はそれなりに確保されていることから、津波に対する L2 対策では、構造物のみで津波被害を防ぐような防災を目標にするのではなく、減災の立場に立っている。

なお、2011 年東北地方太平洋沖地震後、原子力施設や一般の社会基盤構造物について、新しい性能・危機耐性の付与が議論されている¹⁹⁾。L2 に対する耐震設計では安全性の確保が求められるが、仮に設計の想定を超える作用を受けて、その安全性が損なわれたとしても直ちに危機的な状況に陥ることを避けることができる性能 (anti-catastrophe) として危機耐性は定義されている。所定の設計外力に対して照査を行う従来の設計の方法とは異なり、ある施設の損傷がどのような波及効果を及ぼすのかを考え、放射性物質の大量放出のような過酷事故に至る状況を回避するためのハード・ソフトの対策を講じることによって確保される。L1 や L2 などの設計荷重に対する照査はもちろん、それを上回る作用についても、構造物、あるいは構造物を含むネットワークが壊滅的状況に陥ることを防ぐ配慮が求められている。

6) レジリエンス

「レジリエンス (resilience)」には「弾性力」や「回復力」という日本語訳が与えられることもあるが、近年は「レジリエンス」のまま用いられることが多い。構造物を対象としてレジリエンスの大小、あるいは有無を評価する場合、地震や津波などの外乱により損傷が生じたときの機能の低下程度、復旧の容易さ、さらには復旧までに要する時間などに着目する。そのため、構造物のレジリエンスの議論では、構造物単体の安全性のみに力点を置かず、構造物を含むネットワークの自然災害に対する抵抗力・復元力・回復力を検証することになる。これは、構造物単体の外乱に対する破壊の可能性に加え、人命、損傷、経済的・社会的な損失、さらには発災後の機能回復に要する時間などにより定量化される。従来の防災は「抵抗力」を高めることを目標としてきた。「レジリエンス」とは、それに加えて、被害に見舞われても速やかに復旧できるよう、回復力を高めるという考え方である¹⁰⁾。また、狭い意味での防災ではなく国土政策・産業政策も含めた総合的な対策をし、社会が本来持っている力を総動員して、危機を乗り越えるようにする考えも含まれている²⁰⁾。

レジリエンスは 4 つの“R”すなわち「頑強性(Robustness)」、「冗長性(Redundancy)」、「豊富さ(Resourcefulness)」、「迅速性(Rapidity)」を用いて表現されることがある²¹⁾。「頑強性」とは、構造物やシステムがあるレベルの外力に耐える性能であり、従来の抵抗力に相当する。「冗長性」とは、例えば山間部の集落にアクセスするための 2 本目の道路や、データのバックアップセンターのように、平常時はフル稼働していなくても、ひとつが機能不全に陥ったときに、ふたつ目によって全体の機能を維持することが可能となる性能をいう。なお、Redundancy は「冗長性」との訳語が一般的であるが、レジリエンスの要素として Redundancy を含めるとき、この例にみられるようにその意味は「フェイルセーフ」と解釈するのが適切である。「豊富さ」は、基本的には復旧に充てる資金や資材を持ち合わせていることを指すが、それらを有効に活用するための知識や技能などの人的資源も含むものである。「迅速性」とは、どれだけ早く回復できるかということである。以上のフレームワーク以外にも、さまざまなレジリエンス指標が提案されている。

7) 予知と予測

「予知(prediction)」とは、地震や台風などの災害原因事象の発生あるいは襲来をあらかじめ知ることである。一方、「予測(forecast)」とは、災害原因事象や災害が発生する場所や時間およびその規模を定量的に示すことである。地震については、発生場所や時間、規模を精度よく言い当てることはまだ難しい段階にあるため、「地震予知」という言葉が使われる。一方、台風については、同様に発生の場所や時間、規模を予測することは難しいものの、いったん発生すれば観測可能であり、進路の予測ができる。また、気象モデルによって降水量の予測ができ、水循環モデルあるいは降雨流出モデルによって河川の流量(洪水)の予測ができる。したがって、気象学や水文学の分野では「気象予測」や「洪水予測」という¹⁰⁾。本報告書でもその語法を採用する。

8) 災害リスクアセスメント(防災アセスメント)

「災害リスクアセスメント」とは主体や地域をとりまく災害危険性を評価することをいう。消防白書などでは「防災アセスメント」と呼ばれており、「災害誘因(地震、台風、豪雨等)、災害素因(急傾斜地、軟弱地盤、危険物施設の集中地域等)、災害履歴、土地利用の変遷などを考慮して総合的かつ科学的に地域の災害危険性を把握する作業」と定義されている²²⁾。

災害リスクアセスメントで用いられる具体的な手法や技術は問題に応じてさまざまであるが、その手順は一般的に「1)分析対象の設定、2)ハザードの特定、3)リスクの推定、4)リスクの評価」のように整理することができる²³⁾。そして災害リスクアセスメントによってリスク評価を行ったあとに、「災害リスクマネジメント」の段階へと進む。

9) 災害リスクマネジメントと危機管理

「災害リスクマネジメント」は、「災害リスクアセスメント」によって同定された災害リスクを総合的に管理することをいう。ただし「リスクマネジメント」の他に、Emergency managementやCrisis managementという類似の用語がある。Risk managementとEmergency management, Crisis managementの関係については、いくつかの定義がある。アメリカ合衆国連邦緊急事態管理庁(Federal Emergency Management Agency, FEMA)をはじめ、米国では危機管理(Emergency management)をMitigation, Preparedness, Response, Recoveryの4つのフェーズで構成するフレームが主流である²⁴⁾。それらはMitigation→Preparedness→(災害発生)→Response→Recovery→Mitigation→Preparedness→...のようにサイクルをなすものと考えられ、ゆえに時計モデルと呼ばれることもある。そしてそのサイクルの上で、MitigationとPreparednessをRisk managementと考え、ResponseとRecoveryをCrisis managementと考えることもある。

一方、リスクマネジメントをより総合的に位置付け発展させようとする専門家たちは、むしろ危機管理(Emergency management)の方を、災害発生直後の局面における救命・救助・復旧のための対応として限定的に位置付けている。そして発生した危機が尋常ならざるものであるとき、それを危機管理の中でも特段のものとしてCrisis managementと呼んでいる。

いずれの枠組みを参照するとしても、上記の3つのManagementは、政府のみならず、地域コミュニティや家庭、個人、企業などのさまざまなレベルで行われる。例えば企業の事業継続計

画（BCP）や事業継続マネジメント（BCM）もこの目的で行われるものである。

本報告書では「災害リスクマネジメント」を包括的な概念と位置付け、その中の、災害発生直後の局面における対応を「危機管理（Emergency management）」と考えることとする。さらに危機管理の中で、危機の程度が極めて高い状況における対応を Crisis management と呼ぶこととする。

10) リスクコントロールとリスクファイナンス

リスクマネジメントの多様な手段をリスクコントロールとリスクファイナンスに分類する方法がある。リスクコントロールは、災害リスク事象の生起確率や被害規模を減少させる技術である。一方、リスクファイナンスは、災害により生じた被害を社会により広く分散させる技術である。

土木分野の多くの防災施設はリスクコントロールに含まれる。建物の耐震化やダムや防潮堤の建設、液状化対策の地盤改良などはリスクコントロール技術である。また、緊急時における避難・誘導システムや交通・情報・通信システムの管理・運営技術、復旧マネジメント手法もリスクコントロール技術に該当する。それによって社会全体の被害や厚生損失が減少するからである。

一方、災害保険や再保険、被災者生活再建支援制度、災害義援金の募集と配分などはリスクファイナンス技術である。それらはいったん生じた被害をより多くの人々の間で分担する機能をもつ。また 1990 年半ば以降、CAT Bond や天候デリバティブなどの代替的リスク移転手法（Alternative Risk Transfer）が登場し、災害や天候のリスクが証券化されるようになった。元来、災害リスクは保険が難しいリスクとされてきたが、災害リスクファイナンスに新たな技術が加わった。

リスクファイナンスにより、災害が生じた事後において、保険金の支払い等を通じて、被災者とそうでない家計の間で富の再分配を行うことができる。すなわち、生じた被害をより多くの人々に少しずつ割り当てることができる。被害を多くの人々の間で分散できれば、個々の人が被る損害はわずかなものですむ。しかしリスクファイナンスによって、社会全体の被害の総量が物理的に減少するわけではない。人命を守ったり、物が壊れないようにしたりすることはリスクコントロール技術の役割である。

リスクコントロール技術とリスクファイナンス技術の利用可能性は相互に依存している。例えば、リスクコントロール技術によって、生じえる損害の総量が減少すれば、リスクを引き受けられる保険会社が増え、リスクファイナンスのキャパシティが大きくなる。一方、例えば、保険契約において保険料がより正確に個々の建物のリスクを反映するようになれば、個人は保険料を減らすことを動機として、建物の耐震化や安全な地域への立地を計るようになる。すなわちリスクファイナンスの技術進歩が、個人のリスクコントロールを促すことになる。災害リスクマネジメントを効果的に適用するためには、リスクコントロール技術とリスクファイナンス技術の望ましい組み合わせを設計していくことが必要となる²⁵⁾。

参考文献

- 1) 河田恵昭: 津波災害—減災社会を築く, 岩波書店, 2010.
- 2) 小林潔司: 想定外リスクと計画理念, 土木計画学研究論文集 D3, Vol.30, pp. 1-14, 2013.
- 3) 国際標準化機構: ISO9000, 2005.

- 4) 日本リスク研究学会編: リスク学用語小辞典, 丸善, 2007.
- 5) ピーター・バーンスタイン: リスク: 神々への反逆, 日本経済新聞社, 1998.
- 6) 木下富雄: リスク学から見た安全と安心, 「原子力の安全を問う」シンポジウム (第1回), 2011.
- 7) F. H. Knight: Risk, Uncertainty and Profit, Houghton Mifflin & Co., 1921.
- 8) 小松丈晃: リスク論のルーマン, 勁草書房, 2003.
- 9) Renn, Ortwin: Towards a socio-ecological foundation for environmental risk research, Routledge Handbooks Online, 2013.
- 10) 京都大学防災研究所監修: 自然災害と防災の事典, 丸善, 2011.
- 11) (財) 日本規格協会: JIS Q 2001, 2001.
- 12) 国際標準化機構: ISO 31000, 2009.
- 13) (財) 日本規格協会: JIS Q 31000, 2010.
- 14) (株) インターリスク総研: リスクマネジメント規格, 2011.
- 15) 山口光恒: 現代のリスクと保険, 岩波書店, 1998.
- 16) ルネ・トム: 構造安定性と形態形成, 岩波書店, 1980.
- 17) 小林潔司, 横松宗太: カタストロフ・リスクと防災投資の経済評価, 土木学会論文集, Vol.46, pp. 39-52, 2000.
- 18) 土木学会阪神・淡路大地震対応技術特別委員会: 土木構造物の耐震基準等に関する提言 (第一次提言), 1995.
- 19) 土木学会: 東日本大震災フォローアップ委員会原子力安全土木技術特定テーマ委員会.
- 20) 林良嗣, 鈴木康弘編著: レジリエンスと地域創生, 明石書店, 2015.
- 21) MCEER: Engineering Resilience Solutions, The University at Buffalo, The State University of New York, 2008.
- 22) 総務省消防庁: 平成15年版消防白書, 2003.
- 23) 小林潔司: 災害リスクとそのマネジメント, 多々納裕一・高木朗義編「防災の経済分析」第1章, 勁草書房, 2005.
- 24) Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- 25) 小林潔司, 横松宗太: 災害リスクマネジメントと経済評価, 土木計画学研究・論文集, Vol.19, No.1, pp.1-12, 2002.

3. 減災・防災の基本

本章では、減災・防災を実施する上で基本となる事項を示す。実施に際しては、国家として壊滅的な被害を受けることを防ぐための事前対策が行われていることが前提となる。減災・防災はある時点・地域の市民の安全や暮らしを守るためだけにするのではなく、また現時点の技術のみを前提として対処すべきものでもない。自然への認識、過去の教訓、地域の特性、長期的改革など現在の視点を超えて、連綿と引き継がれる国土と哲学を基本として行われるべきものである。

【減災・防災の基本哲学】

自然災害が非常に多い日本という国土に対する減災・防災のあり方は、稀にしか発生しない巨大な自然災害に対する備えと、平常時の豊かな生活とを適切に調和させるように対処することが基本である。減災・防災の第一の目的は、人命を守ることである。また、財産を守り発災後の生活や経済活動もできるだけ発災前の状況を維持できるように対処をしなければならない。そのためには、社会全体が叡智を働かせ大自然の変動を受け入れて回復力のある国土と減災・防災文化を築かなければならない。

【減災の重要性】

巨大な自然災害に対し、被害をなくすことは不可能であり、今後は減災を考えた対策が必要である。従来は防災が第一とされていたが、防災は減災の一部である。巨大な自然災害においては、人命・財産が失われることが避けられない場合が起きる可能性もあるが、人命・財産の損失を可能な限り減らさなければならない。被害を許容したとしても、著しい経済への影響や国力の低下を及ぼさず、すみやかに復活ができる基盤を前提として考えなければならない。

【減災と防災の位置づけ】

防災においてはインフラの活用や事前の防災活動による災害の未然防止と発災後の被害拡大を防ぐことで、人命・財産を失わないための確実な効果を期待する。一つの災害で防災の効果と減災の効果は同時に、あるいは一連のものとして発現されるので、人命・財産を失わないための防災と、人命・財産の損失を可能な限り減らす減災を区別するのではなく、防災の必要性和減災の重要性を併せて考える必要がある。

【減災・防災への対処】

専門家は自然災害に対する減災・防災のための課題を明確にして、社会に伝え、課題に応じて時代に適合し調和のとれた解答を考究しなければならない。また、減災・防災は社会全体として取り組むものであり、国土・地域・大型施設・住居などの空間や、国・地方自治体・企業体・民間事業者・学協会・NPO・個人などの主体者、のように様々なレベルで協同しながら対処する必要がある。さらに、現在の状況や現在の市民だけの視点で対処法の検討や実施を行うのではなく、過去・現在・未来の市民の視点と、短期的、中期的、長期的な観点から対処法を実施する必要がある。

【自助・共助・公助】

減災には国から個人まで様々な主体者がいるが、第一の主体者は市民である。市民が自らのリスクマネジメントを自助として行うのが基本である。個人としてはできない部分を、地区・地域における市民同士の共助や、公的機関あるいは専門家による専門的な対応の公助により補うことになる。共助・公助においてはインフラの防災機能にのみに依存するのではなく、地域力の向上や、都市構造のコンパクト化など、総合的なレジームの転換が求められる。自助の重要性を強く認識することが必要である一方、公助でしかできないこともあり、公助の存在が自助・共助の前提となる場合が多い。そのため、強くしなやかな社会を実現するためには、自助・共助・公助を独立で行うのではなく、連携して行うようにしなければならない。

【企業の責任】

命を守るための第一の主体者が市民であり、経済を守るための第一の主体者が企業である。社会の高度化と共に、企業活動の影響は、地域力や国力など多方面に影響する可能性がある。大規模自然災害後も企業が存続し経済活動は継続的に行われなければ、市民の生活や地域を維持していくことはできない。一方、経済的側面だけでなく、プラント施設などの被害は施設外への広域的な物理的被害を及ぼす可能性も高い。企業は、社会的責任（CSR）を果たすために、主体者として減災・防災に取り組む必要がある。

【専門家と市民の関わり】

危機マネジメントの主体者である市民がリスクを理解して、始めて減災は成立する。また、その理解の元で、防災水準が設定される。そのため、専門家は、専門的立場で技術的あるいは組織的に出来るリスクの回避、低減、管理の方策を市民に伝える義務がある。その際には、専門家の知見を行政や市民に伝えるために、両者の間の双方向性が重要である。専門家は、行政や市民の声に耳を傾け地域の実情などを学び専門的知見に活かすとともに、行政区域を超えて汎用的に市民がリスクが分かるようにする、減災・防災対策を行わなければならない。

【想定を超える事象の理解】

想定は、ある状況・条件などを仮に考えてみることであり、想定を超える事象は当然あり得る。減災・防災ではハザードやリスクを想定して、想定内の具体的かつ適切な対処法と想定を超えた場合の有効な対処法を検討することになる。その際に、発生が予想されたがその対処に取り組むと、投資額が巨大になる等の理由から、当面起こらないだろうと楽観論を掲げて想定を線引きしてはならない。科学的知見と技術、主体者の行動を考えたシナリオと対処法と共に、想定を行っていく必要がある。一方、科学的知見の不足により、想定ができない事象もあり得る。専門家は、その存在を明らかにする努力をし、技術の力でコントロールが可能かどうかを検討する必要がある。

【減災・防災の基本の概念図】

古来から日本の国土は幾たびの巨大な自然災害を受けてきた。古来、人類は大災害に抵抗する術を持たなかったため、災害の影響を少しでも減らすための避難する減災が主であった。近代、

日本においては特に明治以降の土木技術の進歩と活用と高度成長期での社会基盤施設の整備によって、あるレベルの災害に抵抗できるインフラ技術を備え、当該技術と避難訓練を重ねた防災対策ですべての災害が解決可能と信じてきたのかもしれない。一方、高度経済成長期における都市化や工業化のプロセスのなかで、災害害危険度の高い地域へも土地利用を拡げてきたことも確かである。

以上のことから、これからの時代に求められる強くしなやかな国土づくりにおいては、自然の作用や外力の変化とともに、中長期的な社会経済や都市構造の変動とも謙虚に向き合い、様々な方策を総合的に組み合わせ、減災力と防災力の向上を図る「レジームの転換」が重要である

土木工学に関わる者が目指すべきトータルな枠組みをイメージ化したものが、図-3.1 である。

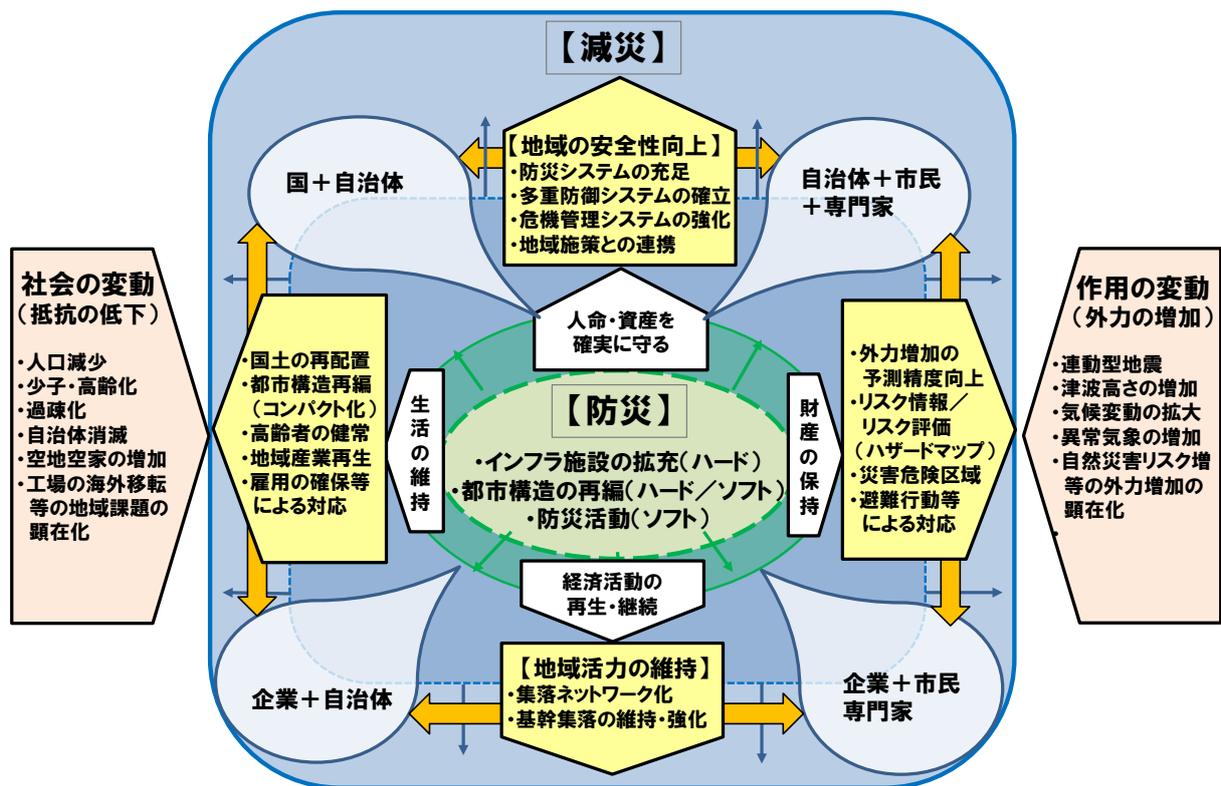


図-3.1 減災力・防災力の向上による強くしなやかな国土づくりの基本体系

「防災」とは、人命と資産を確実に守るためのベーシックな活動を指す。そのため、インフラ施設の拡充（ハード）／都市構造の再編（ハード・ソフト）／防災活動（ソフト）の三要素を組み合わせ、想定される災害リスクを回避・軽減する。

これに対して、「減災」とは、作用の変動や外力の増加に対する地域の安全性向上のための方策に加え、中長期的な社会の変動や抵抗力の低下に対する地域活力の維持のための方策を重ね合わせるもので、自然災害リスクを総合的に克服しようとする。

このように、自然災害に「強くしなやかに対応しうる国土」をつくるためには、国や自治体の力だけでは必ずしも十分ではなく、地域の市民や企業、さらには専門家を巻き込んだ「人材ネットワーク」の整備が不可欠である。

4. レジリエントで持続可能な社会を実現するための課題と実現策

自然災害多発国である日本では、日本の市民は常に災害リスクを有している。したがって、災害リスクに対する対応は喫緊の問題であり、現在の問題として危機感を持って向き合わなければならない。一方、大規模災害に対応するためには、国土や地域計画、ハード施設や土地利用対策など長期的な視点や活動でしかなし得ないことも多い。しかしながら、災害リスクに対する緊張感を持って喫緊で動かなければ、中長期的な活動も不十分なものとなることを認識することが、『自然災害から国土に住まう人の命と生活を守り、万が一災害が発生した場合にも速やかな回復力を有する“自然災害に強いしなやかな国土”を創出して、安全に安心して暮らせるレジリエントで持続可能な社会』の実現に不可欠である。

本章では、そのような危機感を持つことを前提として、自然災害の多い日本の国土に、安全に安心して住み続けるために、災害リスクの緩和と対策などを国土計画、社会基盤整備、災害対策技術の開発、減災・防災活動、法整備や制度の構築などの対処に対する課題と実現策を示す。

4. 1 国土・地域の災害リスクの明確化

①国土・地域の現状のリスクの明確化

日本は、地殻変動が激しく地震活動や火山活動の活発な地域にある。また、台風なども多く発生する地域に位置し、世界の中でも災害リスクが高い国土である。また、その国土の特徴は、地形学的には急峻な山岳地域が多く、国土面積の約10%に相当する洪水氾濫域に人口の過半が集中している。したがって、日本の国土が世界の中でどのような災害リスクを持っているかを、第一に明確にする必要がある。

地震や台風などの事象に対し、災害のハザードやリスクは地域によって大きく異なり、地域特性を持っている。また、多くの災害は歴史的には繰返し、歴史に学ぶところが大きい。一方、ハザードの再現期間が長い場合は、過去の知見が不明確であったり、過去の知見があったとしても都市構造や社会構造が変化をしているため、歴史をそのまま当てはめることができないことも大きい。さらに、産業の高度化により化学プラントや原子力発電所などのような人工的な施設からの新たなリスク発生の可能性も大きくなっている。技術的な側面のみを盲信せず、過去や他地域の事例に真摯な気持ちで向き合いながら、科学的知見に基づく災害リスクアセスメント制度を確立する。災害リスクアセスメントにおいては以下の項目などを実施する必要がある。

- 1) 日本の地学的特徴を考慮した地震などの大規模災害に対する、国土の脆弱性とリスクの大きさと影響範囲を学術的に明確にする。
- 2) 災害の発生と、地形、地盤、地質、標高、気象、災害歴などの土地柄の関係を集約して明確にし、それらに学術的正しい解釈を加えていく。
- 3) 地域の災害リスクを過去の災害の経験や同一特徴を持つ他地域の経験を踏まえ、学術的に整理する。
- 4) 単一災害だけではなく、複合災害が生じた場合のリスクを明確にする。
- 5) 地域の自然災害だけでなく、地域の産業施設からのリスクを明確にする。
- 6) リスクを比較的発生頻度が高く期待値ベースで評価可能なもの、確率的に評価するのが困難なもの、比較的頻度が高いものでもまれに事前想定を超過する可能性がある場合、などに適

切に分類する。

②将来のリスクの明確化

過去と同一の災害が起きる可能性は高いが、社会の高度化により同一災害でもその影響度は大きく異なる可能性がある。また影響は、人命に対してのみではなく、経済性や将来の地域や社会のあり方にも及ぶ可能性が高い。一方、土木技術の進歩により社会の災害対応能力は高くなっているが、新たな土地開発や環境変化など、外的境界の変化により新たな災害ハザードが発生する可能性も高くなることが予想される。以上のことから、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1) 技術の高度化やネットワークの高密度化がもたらすリスクの複雑化や連関、波及の可能性を明確にする。
- 2) 海外の災害事象を踏まえて、日本にも起こり得る災害リスクを明確にする。
- 3) 新たな土地開発による、災害リスクの新規発生を明確にする。
- 4) 気候変動による環境作用の将来変化により起こり得るリスクを明確にする。
- 5) 人口減少、少子・高齢化などの社会の抵抗力が低下することにより生じるリスクを明確にする。

4. 2 災害リスクの社会的理解

①災害リスクの理解

災害リスクへの対応の基本は減災であり、自らのリスクマネジメントを行うための自助が重要である。そのためには、市民や企業が国土・地域のリスクを理解することができる社会、リスクを学べる社会を構築するため、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1) ハザード毎や組織毎に作成されているハザードマップを統一し、地域のハザードを明確にするとともに、ハザードだけでなく土地利用や構造物の現状の性能なども含めた地域の様々なリスクが分かるような資料を科学的な知見に基づき作成する。
- 2) 科学的知見に基づく国土・地域のリスクを、市民や企業に理解してもらう活動をする。
- 3) 専門家は地域の特性を市民から学び、市民は災害の歴史を伝承するとともに、相互に地域のリスクを理解する。
- 4) 初等教育段階から地域の災害史の教育や防災教育を実施する。

②リスクに対する緩和・対策・対応の選択

リスクが理解されたときに、リスクに対しどのように向き合うかは、現在の社会情勢やリスクが生じた場合の将来社会への影響に対する、市民の総意に大きく関わる。リスクに対しては、事前の間接的な対策によりハザードを減らすこと、ハザードに対し事前・事中に直接的な対策をすること、事中・事後のリスクの拡大を減らすための対応を行うことの、3つの選択が考えられる。それらの選択と適切な組み合わせを行うために、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1) 予測が難しく直下型地震のように数秒で被害が決まる場合がある災害、津波のように数秒ではなくある程度被害が生じるまで時間がある災害、台風のように数日前から予測でき被害が発生するまでに何らかの対処も可能な災害の違いを理解し、緩和・対策・対応の適切な方法を選択する。

- 2) リスクに対する対応、事後の復興対策を事前に計画しておく。
- 3) リスクの対策・対応に対する経済性の理解と将来世代を踏まえた対策を選択する。

4. 3 災害リスクの緩和（作用の低減）

① 災害を受けにくい国土利用

従来の防災対策は、ハザードに対する直接的な対策によりリスクの低減を行ってきた。また、土木技術の進歩により災害リスクが高い地域でも災害リスクを低下させることが可能になり、そのような地域が所要の安全性を担保されて利用されてきた。しかしながらカタストロフィックな災害が起きれば、国家としての再構築の困難さを増す。また、地域においては社会構造の変化により災害対応力が低下しつつある場合もあり、将来の地域のあり方も含めて災害リスクに対応する必要が生じている。以上のことから、災害を受けにくい国土・地域という観点で、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1) 国土・地域のあり方に基づいた、数十年単位の中長期的な視点でのリスクの緩和を行う。
- 2) 災害によるリスクを予め回避するという観点からすれば、都市計画上・土地利用上の既存不適格も含め災害の危険性のある区域を減らす対策に加えて、災害の危険性のある区域に住む人口を減らすという土地利用面からの誘導対策を行う。
- 3) 災害の発生頻度、災害に対する地形や地質の脆弱性、ハード施設対策の進捗状況、費用対効果分析等の科学的・学術的な検討評価を行い、これらの結果を踏まえ国土利用計画の土地利用に関する計画へ反映させるとともに、地域の特性や土地利用の状況に応じて土地利用の規制・誘導を考える。
- 4) 地域の合意形成に基づく、減災・防災を考慮したまちづくりを行う。
- 5) 減災・防災、復旧・復興の事前・事中・事後段階における、民間投資の役割を整理し民間投資が進むような制度の導入を行う。

② 最低限の社会経済活動の維持に必要な重要機能の保持

災害を受けにくい国土とともに、災害が生じた場合に経済活動などの社会機能が低下しにくい社会を構築する必要がある。そのためには、社会機能の根本である社会基盤施設を分散化・ネットワーク化し、一部の著しい機能低下が全体の機能低下に至らないように、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1) 重要な社会システムを維持するためには、一極に集中している重要機能の分散化やバックアップシステムの整備を行う。
- 2) 重要インフラ施設に予め付与するべきリダンダンシーについて検討する。
- 3) 重要インフラ施設の整備は、リダンダンシーも考慮して、システム全体で機能を維持するように計画する。
- 4) 重要インフラ施設の設計は、単に与えられた設計条件を満たすだけでなく、破壊したら何が起きるかを設計段階で考える。

4. 4 災害リスクに対する対策（災害に対する防御）

① 想定を超える事態（自然力の大きさや作用時間、被害状況）への対処

すべての災害を想定して防災施設を整備することは物理的にも効率的にも不可能であるという認識のもと、ハード施設対策による防災施設の限界を把握した上で、想定内の災害に対するハード施設対策と想定以上の災害に対するソフト対策のベストミックスの検討を行う。

② 作用の発生への対処

災害リスクへの適切な対策を行うためには、作用の適切な評価を行うことが重要である。直下型地震のような突発的な作用もあるが、津波、風水害などで事象の発生まで時間的な余裕がある作用は、事象直前の情報や対処により、リスクを大きく減らすことができる。事象と作用発生の時間的・地理的關係を整理し、作用の適切な情報伝達が可能なシステム構築などの、以下の事項を実施する必要がある。

- 1)津波、風水害などで、事象の発生から作用までに時間的余裕があるものは、観測網を充実させ、作用予測の精度向上と速やかで正確な伝達ができるような、ハード施設・ソフト対策を行う。
- 2)火山災害など、予測の不確実性があるものは、観測精度の向上と適切な伝達方法について検討を行う。
- 3)直下型地震など、予測が困難なものは、観測網を一層高度化し、地域の地震動特性の知見の蓄積を行う。

③ 施設の評価を適正に行い、効果のある防災対策の実施（ハード施設対策）

防災施設は、リスクの低減に明らかに有効であり、施設整備により期待される防災水準が適切に発揮されることがリスク低減の大前提である。また、防災施設は単一機能だけでなく、複数の機能や組み合わせによる効果を発揮でき、その効用を有効に活用した減災・防災対策を行う必要がある。一方、現状想定されるハザードに対し、防災施設や救難施設に加え一般施設などに抵抗性を持たないものが多数存在し、これらの性能レベルは人命の損失と直結することを十分に理解する必要がある。以上のことから、ハード施設による減災・防災対策として、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1)個々の防災施設（ハード施設）の整備においては物理的に粘り強い構造システムとなるよう工夫をする。
- 2)過去の災害に対し防災施設等の果たした機能（防潮堤の効果：津波到達時間の遅延、波高の低減）の評価を適正に行う。
- 3)設計時の仮想的な性能ではなく、既設の防災施設・救難施設・一般施設の劣化も含めた現状の性能の評価を行う。
- 4)多重防御の効果発現や本来機能外の発現機能の評価を行う。（ただし、効果の足し算ができるものとできないものとの区別が必要）
- 5)南海トラフ地震や首都直下地震の揺れやその後に生じる地盤変形や津波に備えて、既存不適格や性能が不十分な建造物の補強・改築を早急に行う。

④ 行政と地域住民と一体となった防災対策(ソフト対策)

災害リスクの低減には、自助・共助・公助を個別かつ連携して行うことが肝要である。そのためには災害発生時に行動可能な事前防災対策を計画し、計画に基づき事中に適切に行動することが必要である。ソフトな減災・防災対策の実行は、個々の自主的な行動に大きく依存するため、市民や企業が減災・防災対策の主体となるように、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1)災害時においては、行政による対応だけでは限界がある。市民、企業・ボランティア等の民間組織と行政が同じ目標にむかって連携をはかる。
- 2)自治体、市民や企業、専門家が協同して理解しやすい地域防災計画・地区防災計画を策定し、発災時に実効的に計画が実施出来ることを確認しておく。
- 3)発災時に市民や企業が自ら動かないと達成できない避難計画作成においては、市民や企業と一体となって作成する。
- 4)市民や企業と行政とが連携して、協働による組織・団体が積極的・主体的に地域を守るような、まちづくり・社会づくりを進める。
- 5)自助、共助、公助の役割とそれらを単独で実施するのではなく連携できる仕組みを作る。

⑤ 総合性と総合力の発揮

減災・防災は一つの専門分野にはとどまらず幅広い工学・技術分野の知見が必要である。さらに、工学だけでなく、人文・社会系との連携も必要である。個々の対策を高度化することは前提であるが、個々の対策を組み合わせることで、個々ではできない効果が発揮できることから、以下の項目などを実施する。

- 1)ソフト対策においては人文・社会系の知見をも取り入れた総合的な減災マネジメントを検討する。
- 2)予防保全、応急／復旧・復興対策等一連の取り組みを通じて、可能なかぎり被害の最小化を図る減災の考え方を基本として防災計画に生かす。
- 3)社会システムの複雑化にともない、自然災害が産業事故を誘発するなど、複合的な災害が発生するケースが多くなっている。起こりうる災害の形態と被害を科学的・学術的に想定して被害を抑止、または回避するための事前大規模シミュレーションの検討や対策を行う。
- 4)想定を上回る被害の発生の可能性に対しても被害を軽減させる対策を予め講じておくなど総合的なリスク管理を行う。
- 5)リスクコントロール（リスクの軽減）とリスクファイナンス（リスクの分散）を効果的に組み合わせた総合的リスクマネジメントを検討する。
- 6)災害リスクの甚大性を考慮した、防災施設整備の費用便益分析の方法の高度化を進める。

4. 5 災害リスクに対する対応（災害発生時の行動）

① 災害時即応体制の構築

事前計画を適切に実施し、作用が来たときに市民や企業が行動できるように、災害発生時の体制を整えておく必要がある。その際には、従来の制度を超えて、防災専門家、地方自治体、広域的な支援の役割を明確にし、その役割を適切に果たすことができる必要がある。以上のことから、

以下の項目などを実施する必要がある。

- 1)防災に関する専門職員がいない自治体も多いので、災害発生時の体制の構築や発災時における首長の判断（例えば避難命令等の発令）を助ける防災担当専門職（技術者）を適切に配置する。
- 2)災害が事前に予測される場合のタイムライン（防災行動計画）をインフラの役割を考慮しながら明確にしておく。
- 3)防災担当者が、災害に関する一般論以上に、担当地域の具体的な自然条件を熟知したうえで適切な判断が下せる能力を得るための教育体制を整える。
- 4)判断に対する責任のあり方を明確にする。
- 5)災害時の対応は地方自治体が主体的に行うべきか、ブロック圏での地域連携、遠隔地の地域・都市間の広域連携を行うべきか、適切な対応ができる制度の確立や法律の制定を行う。
- 6)各主体者は事前訓練を実施するとともに、企業はBCP（事業継続計画）の設定を行う。

② 災害時即応の実施

災害の発生は事前の想定とは完全に一致しないが、事前想定との同一性や不確実性を信頼できる情報により判断し、市民、企業、自治体などの各主体は事前の行動計画に従って適切に行動する。

- 1)市民は命を守る主体者として、企業は経済を守る主体者として、事前準備に基づく情報把握と行動を行う。
- 2)自治体の首長は、事前の予測との事象の相関性を考慮しながら、タイムライン（防災行動計画）に基づき的確な行動を行う。
- 3)自治体の首長は、災害時の判断に必要な情報を逐次収集・集約するとともに、他機関や専門家との協力関係をすみやかに確立する。
- 4)自治体の首長は、人命を守るための、瞬時の救助・救援や道路啓開ができる体制をすみやかに整える。
- 5)専門家は、災害の危険性だけでなく、安全の程度を判断できるような助言を行う。

③ 災害からの速やかな回復

災害後に社会活動や経済活動がすみやかに回復しなければ、地域が元の状態に戻る事が困難になる可能性が高い。災害後のすみやかな地域社会の回復作業は、地域の合意形成の上で進めていく必要があるが、個人の意識の相違や、様々な制度的な問題がある。事後には様々な新たな問題が発生する可能性があり、事後でしか検討できない事項もあるが、既往の事象により事前に発生が予測可能な事項については、制度や法律も含めた、以下の項目などを実施する必要がある。

- 1)災害の規模に応じた近隣行政団体の相互支援体制の仕組みを整備する。
- 2)災害後に行われる復興計画の策定と合意を速やかに進めるために、災害前の平常時において、地域の将来像や、そのために必要な機能について、自治体と住民が十分な議論を重ねておく。
- 3)現在 50%程度の地積調査の進捗率を上げるとともに、すみやかな復旧のための、地有権のありかたや、区画整理の問題を法律レベルで検討する。

5. 社会が有する各種ハザードに対する減災・防災力の現状と方向性

5. 1 地震のハザードに対する減災・防災力の現状と方向性

5. 1. 1 概要

地震災害の特徴は、断層運動による地震の発生に伴って山地や平地の地盤が変状・震動することにより、構造物に物理的な被害が生じるとともに、社会・経済システムの機能に寸断や支障をきたし、人々の生活と精神に大きな負のインパクトを与えることとなる（図-5.1 参照）。従って、地震対策の歴史を振り返ると、まず、a) サイエンスの分野が深く関与したかたちで、地震発生そのものの予測と把握、及び、強震動の評価に大きなエネルギーが注がれ、併行して、b) エンジニアリングの分野が主体となり、地盤変状に対する対策と構造物に対する耐震技術の高度化が図られてきた。地震・地盤のハザード評価や耐震基準の整備はソフト対策、地盤変状の対策工法や構造物の耐震化はハード対策として、それぞれが地震災害に関わる「作用の低減」策あるいは「作用に対する防御」策として位置づけられてきた。いずれも地震発生前の事前対策に主眼が置かれ、主に公助に立脚した方策である。また、このような地震対策は、見方を変えると、将来の地震災害の「リスクに対する緩和」策あるいは「リスクに対する対策」として位置づけられ、我が国においては一定の社会的信頼を得て、地震のハザードに対する高い「防災力」として一般には捉えられてきた。

これに対して、1995年の阪神・淡路大震災を契機として、構造物の被害や社会・経済システムの機能支障を防災力のみによって完全に低減あるいは防御することは困難であるとの認識に至り、発災後の被害把握や危機管理、災害対応の強化により災害後の回復力及び復元力を高めるという「減災」の考え方が認知されるようになった。先述した事前対策、かつ、公助に立脚した地震対策の枠組みから、発災直後、応急復旧、復旧・復興という災害の時系列を意識した枠組みに変化し、自助・共助の方策が明示されるようになった。同時に、地震対策を取り巻く情報技術の環境が急速に一般化し、ソフト対策とハード対策という地震対策の二元的な見方からパラダイムがシフトして両者は不可分なものとなっていった。このような地震対策としては、地震災害に関わる「作用の低減」策及び「作用の防御」策に加え、「作用が来たときの行動」に相当する方策が主となり、見方を変えると、将来の地震災害の「リスクに対する対応」が減災・防災力の中で重要な位置付けとなるものである。

阪神・淡路大震災後のこのような動向を踏まえつつ、南海トラフ地震、宮城県沖地震等の海溝沿いの巨大地震津波や、都市機能が高度に集積した首都直下の地震等の切迫性とリスクが懸念されていた中で、2011年には東日本大震災という未曾有の災害を経験することとなった。以上より、本節では、我が国の地震対策の中で大きなインパクトを与えた、阪神・淡路大震災と東日本大震災を基軸に、減災・防災力の現状と今後の課題を以降、i) 災害リスクの緩和（作用の低減）及び災害リスクへの対策（作用に対する防御）、ii) 災害リスクへの対応（作用が来たときの行動）の切り口からまとめる。

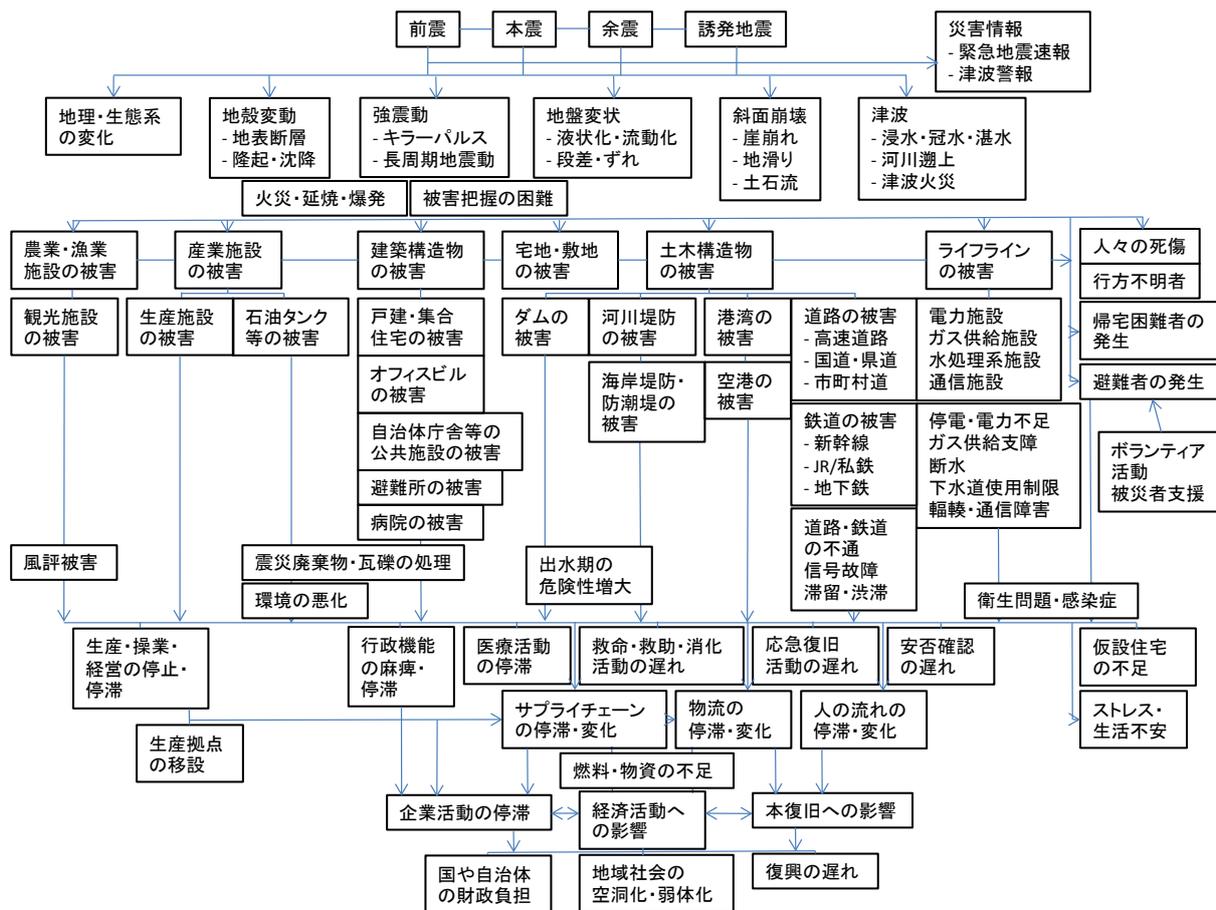


図-5.1 地震災害メカニズムのフロー図

5. 1. 2 減災・防災の現状と今後の課題

i) 災害リスクの緩和（作用の低減）及び災害リスクへの対策（作用に対する防御）

- ・活断層情報の蓄積と地下構造探査の深化

兵庫県南部地震で動いた野島断層を事例として、活断層への認識が高まった結果、地震調査研究推進本部は1995年12月から100を超える活断層の調査を実施するとともに、2005年からは糸魚川-静岡構造線断層等の6つの断層帯を対象とした重点的な調査観測を実施する等、我が国の活断層に関する情報は着実に蓄積され、現在に至っている。「震災の帯」に象徴される盆地効果やエッジ効果等の地下構造の影響による地震動の増幅の問題がクローズアップされた結果、微動観測等による様々な地盤構造調査手法が普及し、関東平野、大阪平野、濃尾平野等を対象とした地下構造調査が進められてきた。

しかし、活断層の再現期間や最新活動時期に関する情報の精度、及び、地下構造の空間格子の解像度については、依然として不確実性が高く、研究開発が必要な分野である。

- ・強震観測網の整備と、強震動及び地震動強さの予測技術の向上

阪神・淡路大震災以降、地震動の強度や被害の空間分布の早期把握のための強震観測データに対する利活用の重要性が改めて認識されるようになった。1996年からは体感や被害程度により定義されていた従来の「(気象庁)震度」から「計測震度」という定量的な指標にかわり、気象庁は

強震観測点を全国約 600 箇所拡大し、防災科学技術研究所は全国をほぼ 25km メッシュでカバーする約 1,000 箇所の全国強震ネットワーク (K-NET) を構築した。消防庁は「都道府県震度ネットワーク」構築事業を展開し、気象庁の震度計または K-NET の強震計が設置されていない約 3,000 の自治体に震度計を設置した。また、地方自治体の中でも地震リスクが高い横浜市では 1996 年に市内 150 箇所の高密度強震計ネットワークを構築し、災害対応や市民の防災意識の向上に活用している。ライフライン事業者の東京ガス (株) の超高密度リアルタイム地震防災システム SUPREME では、SI センサと呼ばれる地震計を約 4,000 箇所の地区ガバナに設置し、地区ガバナの制御に利用している。現在、センサリングの高精度化、簡易化、経済化が急速に進んでおり、数 km² オーダーの稠密化を目指し、強震観測データの利活用は新たな段階に移行しつつある。

また、1990 年代後半より、強震動予測学の分野を中心に、「レシピ」と呼ばれる実用性を考慮した断層モデルの設定手法が高度化され、耐震設計や地震危険度評価で用いる地震動の推定に当たって、断層のずれの顕著な領域を示すアスペリティを考慮した断層モデル等の適用が広まった。地方自治体が公表している地震危険度マップ等の広域的地震動評価において、特定の地震のシナリオを想定する場合にはこのような手法が用いられている。一方、地震動強度の空間分布の特性を広域に、かつ、一定の精度で簡易に評価する際には距離減衰式が用いられており、提案されている様々な式に対する精度検証やパラメータの修正が現在なお続けられている。

・断層変位に関する課題

阪神・淡路大震災以降、海外の地震災害であるが、1999 年の台湾・集集地震では大きな地表断層変位が観測され、我が国においてもトンネル等を対象に断層変位に対する対策が本格的に検討されるようになった。この問題に関しては、米国 UC Berkeley のメモリアムスタジアム、クライドダム、アラスカのパイプライン等、様々なハード的な対策事例がある一方で、実際に断層変位が生じてそれらの対策の効果が検証された事例はアラスカのパイプライン等一部に限定されている。特に、我が国においては、構造物に対して地表断層変位が直接大きく作用した経験は少なく、被害の予測精度には限界があるため、残されたリスクとして位置付けられる事象である。

・地盤変状の問題

兵庫県南部地震では、液状化の影響による地震動の長周期化や地盤の塑性化に伴う減衰効果等、軟弱地盤特有の地震動の増幅の問題が再認識された。これを受け、岸壁や堤防のような土構造物には液状化に起因する大きな変形を伴う被害が多発したため、液状化を考慮した変形照査や許容変形量に関する研究が進み、一定のレベルまでの変形を許容する変形照査に基づく設計体系に移行した。締め固め、固化、排水等の地盤改良技術に基づく液状化対策工法は多数開発されていたが、兵庫県南部地震の際にその効果が確認された事例もあった。

しかし、主にコストが大きい等の理由から液状化対策は必ずしも十分には普及しておらず、東北地方太平洋沖地震では東北地方から茨城県、千葉県、東京湾臨海部を含む広範囲で液状化被害が多発した。土地造成履歴による人工改変地特有の脆弱性や数百秒以上の長い継続時間の地震動の作用が甚大な液状化被害の原因として指摘されているが、南海トラフ地震等の今後発生が懸念されている巨大プレート間地震に対しては蓋然性が極めて高い課題として残されている。

・斜面崩壊の問題

新潟県中越地震では、中山間部に位置する山古志村に至る道路が斜面崩壊により通行止めとなり、村が孤立する状態となる等、自然斜面の被災が大きな社会問題と化した。この事例では、地震前の降雨が斜面崩壊を拡大させた要因と考えられており、降雨と地震の複合作用の影響について現在なお研究が重点的に進められている。2008年の岩手・宮城内陸地震では、荒戸沢ダムにおいて最大落差 148m、水平移動量 300m に及ぶ地滑りが発生する等、大規模な地滑りが数多く発生し、崩壊土砂による河道閉塞の問題が発生した。このような自然斜面の崩壊による被害のリスクは、我が国の地形・地質構造の特徴や降雨・積雪による複合作用等を鑑みると、必然的に残らざるを得ないと考えられる。また、斜面災害が断層沿いに帯状に生じた場合には、その後、極めて長期にわたって土砂災害が頻発することが明らかになっており、要注意なリスクとして大きな課題である。

・盛土被害の問題

2000年代に入ると、2004年の新潟県中越地震や2007年の能登半島地震において道路盛土の被災が頻発し問題となった。2009年の駿河湾の地震では日本の大動脈にあたる東名高速道路が40mにわたり崩落し、通行止め解除に5日間を要した。これらの被災原因として、盛土材料の劣化が指摘され、全国の高速道路及び国道で防災点検が実施された。東北地方太平洋沖地震においても、多数の一般道路と常磐自動車道、磐越自動車道、東北自動車道等の高速道路が被災し、長期の復旧を余儀なくされた。特に、一般道路の都道府県道や市町村道は道路盛土の耐震性が十分でない場合が多く、東日本大震災のような広域災害においては依然として盛土被害の蓋然性は高いと言える。

・長周期地震動による被害

2003年の十勝沖地震における石油コンビナートでの火災事例等を通じて、約2秒から20秒程度までの周期帯を有する長周期地震動が高層ビルや石油タンク、長大橋に与える影響について社会的な関心が高まった。新潟県中越地震や東北地方太平洋沖地震では、関東圏において長周期地震動が観測されたが、建造物の応答に与えた影響は小さかった。南海トラフ巨大地震や東海地震等において想定されている長周期地震動が建造物の応答に与える影響は極めて大きいと予測されているため、長周期地震動による長周期型建造物の被害は大きなリスクとして残されている。なお、気象庁では長周期地震動に対する震度階の導入とモニタリングの準備を現在進めている。

・想定地震、耐震基準と耐震設計の再構築

兵庫県南部地震直後、建設省（当時）の「兵庫県南部地震で被災した道路橋の復旧に使用する仕様」では、神戸海洋気象台で観測された強震記録の加速度応答スペクトルに基づき、最大値が2□（□は重力加速度）の設計震度が提示された。土木学会は「土木建造物の耐震基準等に関する提言」を三次にわたって公表し、建造物の耐震設計においてレベル1地震動とレベル2地震動の2段階の想定地震動が定義された。レベル1地震動は、それが作用しても原則として建造物が損傷しないことを要求する水準であり、レベル2地震動は、きわめて希であるが非常に強い地震動

で、構造物が損傷を受けることを考慮しその損傷過程にまで考慮して構造物の耐震性能を照査する水準である。

このような設計体系は想定地震動のレベルと重要度に応じて構造物の性能の照査を行うことから性能照査型設計と呼ばれ、兵庫県南部地震以降に改訂された道路橋示方書、港湾、鉄道基準、及び、ライフライン施設に関わる耐震設計基準にはこれらの考え方が具体化されている。道路橋示方書や鉄道基準等では、標準波と呼ばれる設計用入力地震動が示され、耐震設計において標準波等を用いた動的解析が一般となった。性能照査型設計の枠組みにおいては、構造物の実規模スケールでの実験が verification（検証）の課題として残されていたが、このような流れを受け、兵庫県南部地震クラスの地震動を3次元で再現し、構造物の破壊挙動を検証するための世界最大規模の実験施設として実大3次元震動破壊実験施設（E ディフェンス）が2005年から防災科学技術研究所により供用された。

兵庫県南部地震以降の耐震設計基準の見直しと同期的に、土木構造物の設計の基本に関わる国際的な基準に関して議論が喚起されてきた。国際標準化機構（ISO）による、構造物への地震作用 ISO3010（2001年）と地盤構造物への地震作用 ISO 23469（2005年）がその代表例である。双方とも我が国の主導のもとに制定され、ISO規格は各国の国内基準の上位に位置づけられているが、国内規格との整合性に強制力はなく、我が国の国内基準も多種多様であるため、国際標準への適合が必ずしも十分とは言えない状況にある。耐震技術のグローバル化した適用環境では、このような設計基準の国内外における整合性の問題が改めてリスクとして浮かび上がってくる可能性はある。

東北地方太平洋沖地震は巨大プレート間地震であった。兵庫県南部地震を踏まえた土木学会提言においても、レベル2地震動としてプレート境界の地震を考慮していたが、具体的な耐震基準において、その地震規模や地震動強度は、関東大震災での東京・山の手での震度を想定した程度であった。東日本大震災における土木構造物の被害調査結果が報告されつつあるが、津波の甚大な被害に比して、先述した土木学会提言を受けて耐震補強された橋梁や岸壁の被害は軽微であったと考えられている。その要因については、観測された地震動に基づき、サイト特性を考慮した入力地震波による被害分析等によって明らかになりつつある。また、津波による海岸保全施設の損傷や橋桁の損傷・移動の被害が顕著であったため、それらの原因究明と対策が急ピッチで進められている。このような巨大地震津波の生起の不確実性やそれを踏まえたレベル2地震動を越える想定地震動の定義の問題等が今後の大きな課題として残されている。

・ 構造物及びライフラインの耐震化

膨大な既設のライフライン施設の耐震化は様々な主体において大きな課題となっている。厚生労働省は2004年「水道ビジョン」で基幹施設・基幹管路の耐震化率100%を掲げ、2007年には「管路の耐震化に関する検討会報告書」で耐震適合性を有する管種・継手を定めている。2008年には「水道の耐震化計画等策定指針」を策定し、水道施設の一層の耐震化促進を図っている。ガス導管の低圧本支管に対しては、1995年のガス事業法の技術基準改正によりねじ接合鋼管の埋設ガス導管としての新規敷設が原則禁止となり、可撓性・耐腐食性に優れたポリエチレン管の採用が進められ、1993年に9,100km（総延長比5.5%）であった敷設延長は2010年には78,700km（37.2%）に普及するまでになった。

このようなハード的な耐震化とともに、ライフライン施設の多重化や相互連絡化、拠点施設の連携によるシステム信頼性の向上策がソフト対策として重要となっている。阪神・淡路大震災を踏まえ、神戸市では、市内4箇所の下水処理場を大口径・大深度の汚水幹線で連結した「神戸市下水道ネットワークシステム」を完成させ、汚水の相互融通によるバックアップ化を可能としたほか、耐震性の高い大容量送水管を2013年度までに整備して災害時のネットワークの冗長性の向上を図っている。また、ネットワークをブロック化し、被災地域での災害対応の効率化と、被災を免れた地域での供給継続の両立を図る対策が進められている。都市ガスの「地震防災対策ガイドライン」では、ガス導管網を単位ブロック（50km²、5万戸程度）や統合ブロック（200km²、20万戸程度）に分割し、ブロック内でSI値60kine以上またはガス送出量の大変動時には即時にガス供給停止、SI値30kine以上で被害状況に応じてガス供給停止とそれぞれ定めている。需要家戸別の感震遮断装置であるマイコンメータは1997年のガス事業法の技術基準改正により新設時の設置が義務化され、普及率はほぼ100%となっている。

今世紀になってから、ライフライン施設の管理・運用に当たって、特に新潟県中越地震前後頃より、需要者の視点に立った地震対策が強く意識されるようになってきた。病院・防災拠点施設・避難所等の喫緊性の高い需要者は地震対策が優先的に実施されている。また、前述の「水道の耐震化計画等策定指針」では応急復旧の目標期間を4週間とし、応急供給の目標を定めて需要者の困窮の最小化を目指している。さらに、様々な主体に応じて事業継続計画（BCP）が策定され、その際にはライフラインの地震時における機能維持の観点は益々重要視されつつも、その定量的な評価と対策の実質化が大きな課題として残されている。

このように阪神・淡路大震災以降、構造物及びライフライン施設の耐震化はハード及びソフト対策の双方から大きく改善され、総じて目標とする耐震化率・普及率に近づきつつある。一方で、公的な主体が抱える構造物やライフライン施設、特に、これらの中でも地方自治体が抱えるインフラについては耐震化の進捗が主体間で大きな差があり、経年劣化したインフラの長寿命化施策の実施等と密接に絡みつつ、構造物及びライフライン施設の耐震化の問題は地震対策の枠組みの中でリスクとして今後も大きな位置付けになるものと考えられる。

・被害想定的高度化

国や自治体、ライフラインの事業者等にとって、阪神・淡路大震災の最大の教訓は被害想定の高さであった。これを受け、阪神・淡路大震災以降、大部分の都道府県や政令指定都市が地震被害想定を見直した。その端緒は1997年の東京都による「東京における直下地震の被害想定に関する調査報告書」である。2000年に入ると、中央防災会議において、「東海地震に関する専門調査会」、「東南海・南海地震等に関する専門調査会」、「日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会」、「首都直下地震対策専門調査会」がそれぞれ設置され、今後数十年のオーダーで発生が懸念される喫緊の地震に対する被害想定が実施されてきた。このような動きと併せて、2000年代の半ばには、首都直下地震対策大綱に基づき、同地震に関連する地震被害想定が9都県市において相次いで見直された。

・災害情報システムの普及と高度化

強震観測網の整備は地震像を明確化し、災害リスクの緩和に貢献するだけでなく、災害リスク

に対する対策とも密接に連携するものである。阪神・淡路大震災以降、強震観測データを活用して災害対応を即時に行なうというリアルタイム地震防災技術が一般に適用されるようになった。もとは JR の早期地震検知警報システム UrEDAS（ユレダス）が世界初の適用事例である。気象庁と防災科学技術研究所は共同で重要施設、工場、学校等を対象とした緊急地震速報の研究開発を進め、2007 年 10 月からはテレビやラジオを通じ、市民への緊急地震速報の配信が開始された。また、被害や復旧・復興の進展に応じて適用される情報システムが多様化しており、地震発生直後に地震の揺れの情報を収集して建物やライフラインの被害推定を行なう「早期被害推定システム」や、ウェブ GIS を活用した被災者生活再建支援システム等が自治体等の様々な主体において適用されている。

さらに、阪神・淡路大震災以降、リモートセンシングが被害把握に広く利用されるようになった。空間的に広範囲の被害把握に秀でているため、2008 年の四川大震災や岩手・宮城内陸地震の際の斜面崩壊や河道閉塞及び道路閉塞の被害把握に対して、日本の地球観測衛星 ALOS に搭載された光学センサ（AVNIR-2）と SAR センサ（PALSAR）により撮影された画像が有効に利活用された。航空機やヘリコプターからの空中写真もその空間解像度の高さから、新潟県中越地震以降、特に被災地の被害把握に広く利用されるようになった。東日本大震災の際には、このようなリモートセンシングから得られた空間情報は災害対応においてもはや不可欠な存在となっている。

このように、阪神・淡路大震災以降、最も劇的な変化を遂げたものは災害情報のメディアの拡大とも言える。阪神・淡路大震災当時の 20 年前は、マスメディアを利用して防災関係機関が情報発信する時代であった。阪神・淡路大震災の際に神戸市役所が初めてホームページを開催して以来、ソーシャルメディアの利活用を含めて、インターネットが主要な情報発信媒体となり、現在ではスマートフォンに代表される GPS 付移動体端末が情報端末の主役になっている。すなわち、災害情報は益々ビックデータ化し、様々な主体が関与するため、相互関連化することが予想され、地震対策に関わるデータ処理の IT 技術とそれより派生する問題は新たなリスクとして位置付けられると考えられる。

ii) 災害リスクへの対応（作用が来たときの行動）

・自助・共助の方策の要請

阪神・淡路大震災では、木造住宅を中心に多くの建物が倒壊したが、倒壊した家屋から多くの人が自力で、あるいは、周囲の人々の共助の力で救助され、公的な救助機関による救助件数は少数に過ぎなかった。防災力を高めるためには、公助だけでなく、自助・共助・公助の組み合わせが不可欠であることが明らかとなった。それを推進する鍵として考えられたのが、自主防災組織の育成である。自主防災組織のカバー率は、1995 年の 43.8% 以降、年々増加傾向にあり、2010 年には 74.4% に及んでいる。また、阪神・淡路大震災では、広域にわたって長期間のライフラインの機能停止が続いたため、その間、最大でほぼ 100 万世帯で生活支障が発生し、最大で 32 万名もの避難者が約 1,100 箇所の避難所で不自由な生活を強いられた。これに対して、150 万人に及ぶボランティアの活躍に象徴される活発な災害救援活動が全国はもとより全世界から寄せられた。

・被災者支援、要援護者対策、及び、帰宅困難者対策

阪神・淡路大震災は、災害後の復興という新たな課題を提起した。10 年間を要した復興過程で

は、従来からの都市再建だけでなく、経済再建と生活再建の目標が掲げられた。都市再建が着実に進められた一方で、経済再建は、神戸が産業構造の転換期にあったこと、1997年から始まる日本経済の不況と重なり、必ずしも順調とは言えず、その結果、震災発生から10年の時点でも復興したと感ずる人の割合は8割に留まっていた。こうした地震災害後の生活再建の困難さを受け、その後の地震災害のたびに被災者支援は手厚い制度に改正が図られ、地震発生から復興まで一貫した公平公正で迅速な被災者支援制度への関心が強まった。新潟県中越地震以降、被災者台帳を整備して取り残しのない生活再建支援が行われている。併せて、災害発生時に支援を必要とする災害時要配慮者に対して各自治体では要配慮者名簿が整備されてきている。さらに、3大都市圏では、平日の日中に地震が発生した場合に大規模な帰宅困難者の発生が予想されていたが、東日本大震災の首都圏では現実の問題となり、今後の被害想定においてはよりシビアな状況付与が必要となっている。

・法制度の整備と課題

公助の枠組みを支える我が国の防災施策に目を向けると、「災害対策基本法」や「防災基本計画」の抜本的な見直しが行われた。法令整備の観点からは耐震改修法、密集市街地法、及び、地震防災対策特別措置法等が制定された。地震防災対策特別措置法に基づき、各地域において地震防災対策の目標の設定と地震防災緊急事業5箇年計画を作成し、国の財政特別措置等を設けることにより、防災対策を推進するほか、科学技術庁（当時）に地震調査研究推進本部を設けて調査研究の充実を図ることとなった。その他に、政府現地災害対策本部の法定化、広域応援協定、生活再建支援法の制定等が行われた。2001年の省庁再編により、中央防災会議の位置付けが強化され、防災の全体戦略の策定、重大災害の対策本部事務局は内閣府が担うこととなった。阪神・淡路大震災において発災時の対応が遅れた経験を踏まえ、被災地の状況が不明な段階でも被害想定に基づいて人員や物資の手配・輸送を開始し、情報が明らかになるに従い修正する方式に改められ、東日本大震災での自衛隊をはじめとした各機関の迅速な対応に繋がった。

東海地震の切迫性が懸念され1978年に制定された「大規模地震対策特別措置法」に対しては、長年の観測データの蓄積や新しい知見に基づき、想定震源域や地震動が見直され、より現実的な地震像に沿う形で2001年に東海地震対策大綱や地震防災基本計画が改定された。首都圏で懸念される想定地震対策としては、1992年に策定された「南関東地域直下の地震対策に関する大綱」をより現実的・具体的な首都直下地震対策とするべく2005年に見直され、「首都直下地震対策大綱」が決定された。2002年には、甚大な被害が発生するおそれのある地域の抜本的な防災対策を図るために、「東南海・南海地震に係わる地震防災対策の推進に関する特別措置法」が、2004年には同様に日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震について特別措置法が制定された。2008年には中部圏と近畿圏の内陸部の活断層による地震の対策が「中部圏・近畿圏直下地震対策大綱」として定められた。

このような我が国における防災施策の歴史的経緯を経て、東日本大震災の分析と課題抽出が行われ、2011年には津波対策を中心に災害対策基本法に基づく防災基本計画が見直された。併せて、ソフト対策とハード対策が一体となった災害に強い地域づくりを旨とする、「津波防災地域づくり法」が制定された。また、東海地震が発生していない現状に鑑み、東海・東南海・南海地震が同時に発生することを想定した対策の必要性が高まり、2013年には前述の東南海・南海地震対策の

特別措置法は津波避難対策緊急事業を含む「南海トラフ地震に係わる地震防災対策の推進に関する特別措置法」に改正され、各地で具体的対策の検討・立案が現在、進められている。

参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：共通編 3 巻，土木学会・地盤工学会編 12 巻，日本建築学会編 10 巻，日本機械学会編 1 巻，丸善.
- 2) 土木学会：日本土木史，第三部（技術・学術），第 12 章 地震工学，2015 年.

5. 2 津波・高潮のハザードに対する防災・減災力の現状と方向性

5. 2. 1 概要

1) 津波

津波は、沖合で発生する海底地震などによって生じた海面の急激な変動が沿岸域に伝播してくるもので、海底地震の発生地点は近海の場合も非常に遠隔な場合もある。また、海底地震以外にも対岸の山体の崩壊などによって生じることもある。また、その発生の予測（規模、周期、津波来襲位置）は、地震の予測と同様に現状では非常に難しい。最近発生した2011年東北地方太平洋沖地震津波や2004年のインド洋大津波などに代表されるように非常に大規模な津波が発生した場合、沿岸域の広範囲にわたり浸水をもたらすだけでなく、津波の遡上速度が速い場合、浸水域では人々や建物押し流し、多くの人命や社会基盤施設を失うことになる。また、浸水状態の継続や社会基盤施設の損失により、ライフラインや居住環境の復旧などに時間がかかり、復旧・復興に長い年月がかかることになる。

2) 高潮

高潮とは台風などの強大な低気圧が沿岸に来襲する際に生じる長時間にわたり潮位（海面）が上昇する現象のことである。台風や強大な低気圧の発生に関する予測は非常に難しいが、現在の気象予報技術によりそれらの沿岸への接近経路、発達状況などは正確に予測され、マスメディアの気象予報・天気予報として発信されることで、避難のための情報として供されている。

5. 2. 2 減災・防災の現状とリスク

1) 津波

大規模な津波への対策としては、最早構造物による防護では到底不十分であることから、2011年12月に「津波防災地域づくりに関する法律」が制定され、防災対策として2段階の総合的津波対策を提示している（国土交通省）。それら計画対象津波はレベル1津波、レベル2津波と称される。

- ▶ レベル1津波とは、数十年から百数十年に1回の頻度で生じ、施設の供用期間に発生する可能性が高いと想定されている。このレベルの津波に対しては、人命、堤内地の財産を守り、堤内地の経済活動を継続するとともに、発災直後に必要な港湾機能の継続を防護目標としている。そのために、堤内地の浸水を防止し、堤外地の重要な港湾が被災しないよう防災施設的设计を行うこと。併せて最悪のシナリオを想定して避難対策を行うこととしている。
- ▶ レベル2津波とは、数百年から千年に1回の発生を想定し、その地点で想定される最大規模の津波となっている。これに対しては、人命を守ることは、経済的損失の軽減、大きな2次災害の防止、災害の早期復旧を防護目標としている。そのために、防災施設的设计では、浸水を許しても被害が拡大しないようにしたり、浸水想定区域では浸水深さに応じた土地利用計画を設定したりしている。また、避難対策が重視されている。

都道府県の海岸保全基本計画では、海岸保全基本方針に基づき策定されるが、津波に対しては、「過去に発生した浸水の記録等に基づいて、地域の状況や防災効果を考慮して適切に想定した津波に対して防護することを目標とする。」また、「津波、高潮対策については、施設の整備による

ハード面の対策だけでなく、適切な避難のための迅速な情報伝達等ソフト面の対策も併せて講ずるものとする。特に、過去に甚大な津波災害を受けたり、今後もその可能性が高いと考えられる地域、及び高潮災害に対する危険性が高いと考えられる地域については、堤防、津波防波堤等の海岸保全施設の整備だけでなく、危機管理の観点から、地域と協力した防災体制の整備や避難地の確保、さらに、土地利用の調整等のソフト面の対策も組み合わせた総合的な対策を行うよう努める。」とあり、将来的にもハード・ソフトの組み合わせで対策計画が策定されていくものと期待される。

しかし、津波（地震）の発生規模・頻度を予測することは非常に難しいため、これらの防護対策はある想定に対して行われているものである。したがって、常に想定を超える津波が来襲するおそれがある。これは将来においても同様である。

2) 高 潮

高潮への対策としては、ハードとソフトの組み合わせでなされており、沿岸毎の既往最大規模・最悪経路の低気圧による高潮を設計外力として用いて防護構造物の設計を行っている。そして、想定最大高潮（日本における既往最大規模・最悪経路の低気圧による高潮）に対して、ハザードマップの作成など避難計画の策定が進められているが、まだ作成している自治体は少ない状況である。

高潮（および高波浪来襲）による被害は、海岸法が制定された 1950 年代には強大な台風襲来によって頻発していたが、1970 年代に入ると海岸防護策が奏功し被害が減少してきた。しかし、2000 年代に入り、防護施設の老朽化などの要因もあり被災例が増えているようである。今後気候変動の影響により強大な台風の発生や接近も予想されており、施設の維持管理を重視したハードとソフトの組み合わせによる対策が重要である。

5. 2. 3 災害リスクへの対策

わが国は地震多発国であり、海域の大きな地震に伴い発生する津波により、度々津波被害が発生してきた。また、チリ地震などの海外で発生する津波によっても被害を受けており、今後も津波被害の発生が懸念されている。特に、東海地震はいつ発生してもおかしくない状況にあり、東南海、南海地震は今世紀前半に発生する可能性が指摘されている。さらに、日本海溝、千島海溝沿いの海溝型地震などによる甚大な津波被害が想定されている。これらの津波による被災地域の被害を最小限に抑えるための総合的な防災対策を、緊急かつ計画的に進めることが必要である。また、高潮被害は、近年増加傾向にあり、伊勢湾台風以降施設整備は進んでいるものの、依然として被害が発生している。

津波・高潮災害はともにいつ発生してもおかしくない切迫した状況にあることから、施設整備には多大な費用と時間を要することを考慮して、これらハード面の対策に加え、被災地域の被害を最小限に抑えるためのソフト面の対策を考慮した総合的な防災対策が急務である。

津波・高潮防災の緊急性、重要性が認識される中、海岸域における津波・高潮防災上の主な課題としては、防災意識の低下による住民の自衛力の低下、災害を受けやすい海岸特性、避難対象地域の設定の困難さなどがあげられる。

津波・高潮による人的被害を最小限に食い止めるためには、住民が行政やマスコミからの情報をもとに自ら避難活動を起こすことが必要である。そのためには、住民が平時から津波・高潮の危険性について認識し、災害に対する備え、行動規範を身につけておかなければならない。しかしながら、被害から年月を経て、海岸事業の着実な進展による被害発生頻度の低下も相まって、住民の防災意識は低下傾向にある。また、ゼロメートル地域などの低平地においては、高潮にしろ津波にしろ、被害が生じた場合には、浸水区域がかなり広範囲に及ぶため、海岸線から離れているからと言って必ずしも安全と言えない点に注意が必要である。さらに津波の場合、大きな地震の発生場所が沿岸近くの場合は、地震発生から津波到達までの時間が非常に短いため、避難する余裕がなく、また高潮の場合には、ある程度事前の予測が可能であるものの、破堤によって急激に堤内地に浸水区域が広がるなど、甚大な被害に至るケースが少なくない。したがって、海岸域に加えて特に低平地では、氾濫特性を十分に把握し、これらの特性を踏まえた防災対策が求められる。また、同じ理由から、市町村長が当該地域の住民に対して避難勧告、避難指示などを行う必要があるものの、避難対象地域の明確な設定は困難である。

津波・高潮に対する防災対策において考慮すべき重要事項としては、防災意識の啓発と高揚、防災情報の提供と共有、連携の強化、被害軽減方策の充実などが挙げられる。

一定の外力レベル（施設設計上の防護目標）までは、ハード面の防災対策により対処すべきである。しかし、それを超える部分については、経済性などから見てすべてをハード面の対策で対応することは困難であり、ハード面とソフト面の防災対策の連携により対応することが必要である。また、施設設計上の防護目標内においても、ソフト面の対策も有効である。

ハード面とソフト面の防災対策の連携とは、「被害の最小化」を図るために、適切な施設整備などハード面の防災対策により防護水準を向上させつつ、防災情報の共有等のソフト面の防災対策により住民の自衛力向上を図り、被害の軽減を促進させることである。

津波・高潮ハザードマップは、津波・高潮による被害軽減に向けた、避難計画の策定、防災教育、防災意識の啓発、防災を意識したまちづくり及び住民とのリスクコミュニケーションなど、主に「自助」、「共助」のツールとして位置づけられる。このハザードマップを有効に活用するためには、住民への周知が重要であり、周知手段を工夫する必要がある。また、表示されている浸水に関する情報は不確実性を有しており、災害イメージの固定化を避けるための工夫も必要である。

参考文献

- 1) 内閣府（防災担当）、農林水産省農村振興局、農林水産省水産庁、国土交通省河川局、国土交通省港湾局：津波・高潮ハザードマップ、127p, 2004年

5. 3 洪水のハザードに対する防災・減災力の現状と方向性

5. 3. 1 洪水災害の概要

日本における河川の洪水は、主に台風や前線に伴う大雨によって生じる。近年では、2000年の東海豪雨や2011年の紀伊半島豪雨のように、高気圧に行く手を阻まれた台風が日本近海上に停滞し、降雨期間が長く続き、既往最大級の洪水となる事例も多くみられる。また、都市部においては、大雨域が局地的でその発生や移動の予測が難しいゲリラ豪雨による被害も頻発している。

降り始めから雨量が増加し、河川の流量も増加する。降雨ピークと河川流量ピークの時間差は、洪水被害発生（可能性）までに避難や行動をとることができる目安の時間とされており、河川の流域面積が大きくなるほど、それも長くなっていく。例えば、流域面積が10,000km²の河川では、洪水までに半日から1日単位の時間があるが、流域面積が10km²の河川では、2008年神戸市都賀川の鉄砲水の事例のように数分の時間しかない。このように、河川の流域規模に応じて洪水となる降雨の時間スケールは異なり、中小河川では分・時間スケールの局地的な豪雨の把握が必要となってくる。

洪水流量が増大し堤防整備未完成部等の弱部から氾濫し、さらに流量が増大すると下流部の完成堤が決壊し氾濫する。日本の大都市の多くは、川に囲まれた低地にあり、東京都東部では大規模洪水による浸水被害が発生すると水が引くまでに数週間かかると想定されている。

5. 3. 2 減災・防災の現状

・治水計画

我が国では、治水計画の目標の流量として基本高水が設定され、この値を基にして、河道を流下する流量、ダム貯水池ならびに遊水池への貯水量が計画される。基本高水の計画規模は、計画対象地域の洪水に対する安全の度合いを表すものであり、それぞれの河川の重要度に応じて上下流、本支川でのバランスを保持され、かつ全国的に均衡が保たれるよう設定されることが望ましいとされている。この河川の重要度は、洪水防御計画の目的に応じて流域の大きさ、その対象となる地域の社会的経済的重要性、想定される被害の量と質、過去の災害の履歴などの要素を考慮して定められる。河川の重要度と計画の規模は、河川砂防技術基準に、表-5.3.1のようなおおよその基準が示されており、河川の重要度に応じてA～E級の5段階に区分され、その区分に応じた対象降雨の規模の標準として対象降雨の超過確率年が示されている。おおよそ一級河川(国管理)の主要区間においてはA～B級と位置づけられている。一級河川のそのほかの区間及び二級河川(都道府県管理)のうち都市河川はC級、一般河川は重要度に応じてD級あるいはE級が採用されている例が多い¹⁾。

・整備状況

治水計画に基づいて、洪水を安全に流下させるための河道の拡幅、堤防や放水路等の整備が推進されてきた。2006年7月の台風第7号の際には一部供用を開始した首都圏外郭放水路がその効果を発揮する等、数多くの成果も出てきている。しかし、治水は、事業規模が非常に大きく、長期にわたり展開する必要があり、通常は段階的に整備していく方針をとるため、現在でも未整備河川も数多い。2009年の国土交通白書によると、洪水による氾濫から守られる区域の割合を表す

全国の氾濫防御率は61.5%となっている²⁾。最重要度のA級とされている利根川においても、堤防総延長1533.4kmのうち、完成した区間は全体の49.2%であり、堤防はあるものの未完成である区間は46.1%、まだ施工していない区間は7.7%となっている³⁾。

表-5.3.1 河川の重要度と計画の規模

河川の重要度	計画の規模(対象降雨の降雨量の超過確率年)
A 級	200以上
B 級	100~200
C 級	50~100
D 級	10~50
E 級	10以下

(河川砂防技術基準, 2005)

・洪水予測と豪雨監視

台風や前線の動きは数日規模であり、半日から2~3日程度までの数値気象モデルを用いた降雨予測も行われるようになってきた。最近では、流域を分割してその特性を反映させた分布型流出モデルが実用化されており、数値気象モデルとの連携による洪水予測も行われつつある。しかし、数日前から台風が来襲することが予測できていても、豪雨の発生について正確な時間と場所を定量的に予測することは難しい。また、都市部で頻発するゲリラ豪雨は、局所的、突発的かつ短時間に発生するため、地上に設置した雨量計のみの観測では実態が掴めない。このため、国土交通省では、局地的な雨雲の監視が可能で現況雨量の把握がより正確にできるマルチパラメータレーダを全国的に配備して、パソコンや携帯端末から誰でも簡単に降雨状況を把握することを可能としている⁴⁾。

・水防活動

我が国の水防活動は、日頃は本業を持つ地域住民により構成された水防団によって担われている。平常時には、堤防の巡視、水防倉庫・通信の点検、訓練を実施し、洪水に備えている。洪水時には、河川を巡視・警戒し、水門・陸閘の操作、堤防の漏水・洗掘の監視、河川の増水や決壊に対して土嚢を積んで予防に努めることなどを主な任務としている。水防団員の多くは、火災や地震、救急を任務とする消防団員を兼任している。

5.3.3 洪水リスク

・外力増加のリスク

地球温暖化など気候変動による降水強度の増加は、洪水リスクを拡大する最も大きな懸念となっている。「気候変動に関する政府間パネル (IPCC)」によると、産業革命以降に全球平均で0.85度の地上温度の上昇が観測されている⁵⁾。地球温暖化により、アジア域では熱波の増加、降雨量の変化、海面上昇などが予想されており、日本においても、台風強度の上昇、極端な豪雨の増加が見込まれている。これまで日本の自然災害の多くは、台風や梅雨に関連した強風、豪雨、高潮

等によって引き起こされてきており、これらがさらに巨大化・頻発化し、治水計画を上回る洪水が来襲することを想定せざるを得ない状況となっている。

・脆弱性増加のリスク

高度成長期の我が国においては、地盤沈下によるゼロメートル地帯の拡大や都市化の進行が洪水リスクを大きくする要因であった。最近では、水害に弱い地下街など地下施設の増加、水害に弱い電化製品や電子機器類に依存した暮らしなど、洪水を受ける側からみた脆弱性の増加要因となっている。また、先にも述べたように計画された堤防の未完成区間も脆弱性の一つである。上流の堤防が決壊した場合には、高台がない低地の人口密集地では、洪水リスクが大きい。平野部の人口密集地では、広範囲に浸水すると、大勢の人々が長期間避難できる高台がないため、避難場所の確保は最優先課題と考えられている。加えて、浸水による電力供給停止は、情報通信網や水道供給にも影響を与え、人々の生活を不便にさせるだけでなく、避難場所における衛生状態が悪化させる。さらに、交通網の寸断による物流障害は、生産活動の停滞、食糧などの支援物資搬入にも影響を及ぼす。

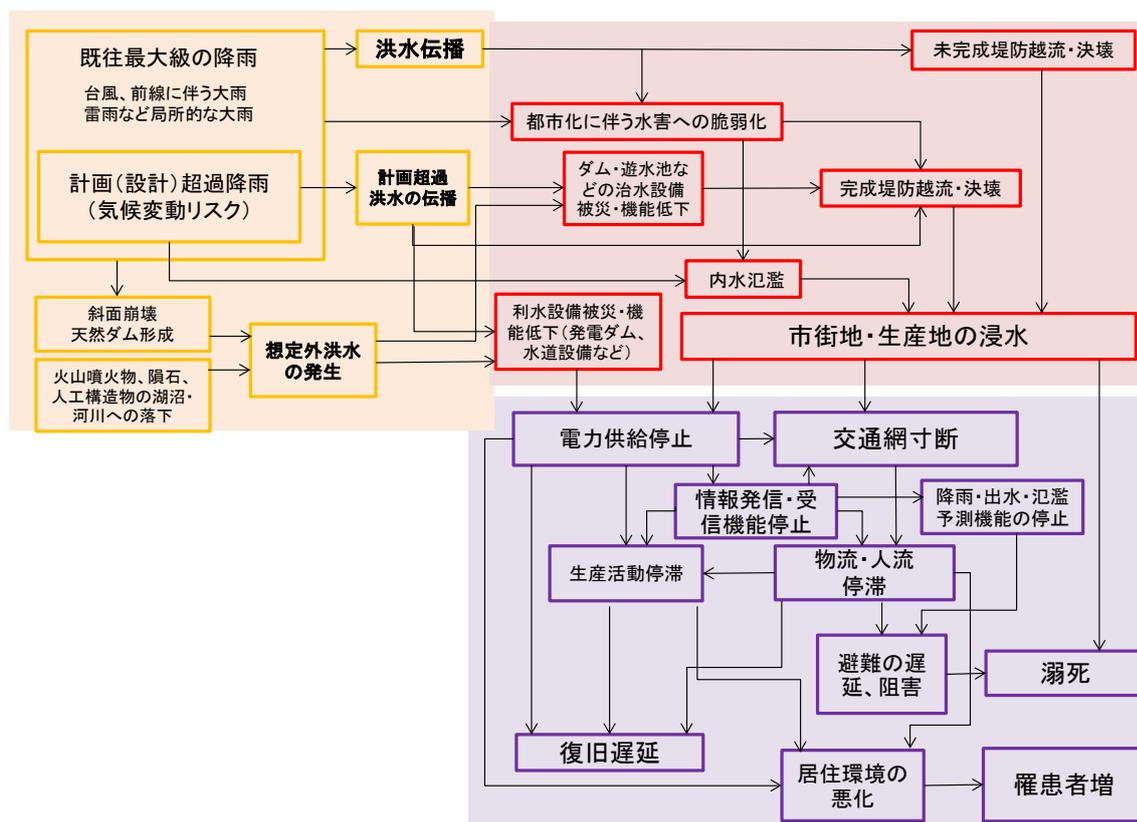


図-5.3.1 洪水災害メカニズムフロー図

・避難力低下リスク

東京、名古屋、大阪などの大都市には、近年、大きな水害が発生していない。また、地震を想定した避難訓練は行われているが、洪水被害を想定したものは行われていない。このため、住民の洪水に対する危機感地震のそれよりも希薄であるものと予想される。現在公表されている洪

水に関する浸水想定やハザードマップは、河川整備の計画で対象としている規模の洪水が氾濫した場合を対象に作成されており、この規模を上回る洪水や脆弱性増加による浸水リスクは提供されていない。また、洪水時の避難は徒歩が原則とされているが、住民の大半が車を利用して避難している報告もある⁶⁾。車を利用した避難は、大規模な浸水ほど溺死者を増やすほか、緊急車両の通行障害を引き起こす主要因となる。様々な洪水リスクを認識してもらう機会を増やし、自分が住んでいる場所や働いている場所等に関する洪水リスクを正しく認識していただき、適切な避難行動をとってもらうための減災・防災知識の普及に関する施策が求められている。

一方で、洪水被害が生じたときに、お年寄りや身体の不自由な方などのいわゆる災害弱者の救助のあり方が問題となりつつある。また、水防団は、近年、団員の高齢化や団員数が減少し、地域減災・防災力低下が懸念されている。

5. 3. 4 今後の行動

i) 洪水リスクの緩和（作用の低減）

これまで我が国では、洪水被害を受けにくい国土を形成するための努力を長年続けてきた。洪水被害を未然に防ぐための根幹的な治水対策、災害を防止する対策の重点的实施、さらに首都圏等で起こりうる大規模水害に対処するための総合的な対策の推進といったハード整備を引き続き推進することにより、洪水リスクをできるだけ低減していく。

気候変動リスクについては、その影響を含めた将来予測には、不確実性があることを十分理解しながらも、将来起こりうる洪水による災害の影響評価を行い、かつ社会経済の状況も踏まえながら、近年の地域の雨の降り方を踏まえた河川整備計画の見直しならびに達成目標に向けた治水事業を推進していく。

将来の人口構成や社会資本整備への投資可能性を考え、より現実的な治水計画としていく検討も必要である。既設ダムの有効活用、洪水リスクの高い場所における土地利用規制、人口の減少や高齢化などの進展を踏まえた都市構造の集約化（高台移転）やコンパクトな街づくりといった諸政策と連携しながら、実質的な氾濫防御率を上げていくことは可能であるものと考えられる。

ii) 洪水リスクへの対策（作用に対する防御）

東京都葛飾区は249箇所の区有施設を「洪水緊急避難建物」として指定し、中高層建築物に避難することにより人命を守る体制を整えた⁷⁾。東京東部地帯はほとんどが低平地であり、洪水により堤防が決壊した場合、墨田区、江東区、江戸川区では区内全域が水没する。江戸川区では、区内で避難できる高い場所は人口67万人のうち32万人分しかない状況であり⁸⁾、公共施設の利用以外にも、会社ビルや高層マンションなどの民間所有の建築物を利用していかなければならない状況である。都市構造や建築構造の工夫による浸水への備えを実現するためには、各種技術基準や法規制の見直しも必要であることから、関連する他学会と連携しながら、土木学会では市町村が取り組む仕組みや制度を整備するために必要なスキームを提供していく。

道路、電気、ガス、水道、情報通信網などの社会インフラは、一刻も早い復旧や避難者の健康・衛生状態を保つためにも必要不可欠である。エネルギー供給機関や交通機関では、各種自然災害に対する事前対策が既に行われており、首都圏等の大規模水害を想定したものにも対応できるよう強化していく。複数の関係機関が互いに連携し、リダンダンシー（多重性）を確保していくこ

ともリスク管理の重要な研究テーマである。

水害が発生した際には、設備や製品の水災による企業の存亡の危機に陥る可能性がある。災害時に事業が中断しないこと、中断した場合に目標とする復旧時間内に再開させるための BCP（事業継続計画）を活用し、自社ならびに取引先が水害などの被災で経営が立ち行かなくなることを防ぐ。東京都北区では、小企業向けの水害対策版 BCP 作成マニュアルを公開し、地域経済への影響を軽微なものにするための取り組みを行っている⁹⁾。

iii) 洪水リスクへの対応（作用が来たときの行動）

河川整備の計画で対象としている規模を上回るような大規模な洪水も対象とした浸水想定やハザードマップの作成は、既に欧米等では実施されている。住民が居住地や勤務地に関する災害リスクを正しく認識するため、我が国においても、気候変動による外力増加の影響を踏まえた浸水想定を行う必要がある。また、これまでハザードマップは戸別配布を中心としていたが、今後は、街の中に想定される浸水深や避難場所と避難方向を記載した標識を設置するなど、より多くの方々に洪水リスクを認識する機会を増やす取り組みが必要である。

学校や企業において、水害を想定した訓練を実施することにより、1人1人が洪水時に適切な避難行動をとる能力を養っていく。また、大規模水害を想定した場合には、災害弱者に配慮した避難のあり方を検討しながら、地域一体となった避難訓練が必要である。集団パニックを抑制するとともに、迅速な集団移動を行う能力、地域の避難力の向上も養っていく。

雨量の増大、洪水による河川水位の上昇に応じて危険の切迫度が住民に伝わりやすい情報を提供するため、精度の高い防災情報をもとに適切な避難に資する集中豪雨や台風などの予測等に関する技術を向上させていく。また、より迅速な状況の把握と情報伝達を可能にするために、携帯端末の活用についても検討したい。予測される浸水深、避難場所とその方向を提示し、現象の進行に応じた危険の切迫度を伝え、市民の避難を確実なものにする。

参考文献

- 1) 国土交通省河川砂防技術基準同解説 計画編，技報堂出版，2008年。
- 2) 平成21年度国土交通白書，国土交通省，2009年。
- 3) 利根川水系河川整備基本方針「基本高水等に関する資料」，国土交通省関東地方整備局，2005年。
- 4) XRAIN（Xバンドレーダネットワーク）配信エリア拡大！，国土交通省 水管理・国土保全局河川計画課・砂防部砂防計画課 プレスリリース，2013年。
- 5) 気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第5次評価報告書（AR5）第1作業部会（WG1）報告書（自然科学的根拠）日本語翻訳版，気象庁，2013年。
- 6) 片田敏孝，及川康：平成10年8月末集中豪雨災害における郡山市民の対応行動に関する調査報告書，1999年。
- 7) 葛飾区：葛飾区内の洪水緊急避難建物一覧表，2014年。
- 8) 江戸川区における気候変動に適応した治水対策検討委員会：江戸川区における気候変動に適した治水対策について 中間とりまとめ 検討資料，2009年。
- 9) 東京商工会議所北支部：小規模企業のための身の丈 BCP＜水害対策版＞，2013年。

5. 4 風災害のハザードに対する防災・減災力の現状と方向性

5. 4. 1 風災害の概要

道路橋や送電鉄塔などの構造物に影響を与える強風としては、台風、爆弾低気圧などの襲来、寒冷前線に伴う強風、山からのおろし風、竜巻、ダウンバーストといった事象が挙げられる。台風や低気圧などの動きは、人工衛星からの情報や数値気象モデルにより数時間前から数日前までの予報も可能となってきた。しかし、その中の風速の変動は、時間的にも空間的にも極めて不規則であること、さらに地形や建物の影響を受けやすいことから、それを定量的に予測することは極めて困難である。特に、竜巻は発達した積乱雲に伴って発生することが知られているが、その発生や移動を予測することは難しく、発生後の周知や避難先の指定など課題が多く残っている。

5. 4. 2 減災・防災の現状

・構造物の耐風設計

社会インフラの強風による大きな被害実例としては、長大橋梁の振動による崩壊、送電鉄塔の倒壊や送電線ケーブルの振動、高層煙突や冷却等の倒壊などが挙げられる。構造物の計画地点が定まり、耐風設計が必要であると判断されると、その耐用年数と強風の発生頻度を考慮した上で設計風速を算定する。その計画地点での風速を観測していることは稀であることから、通常は近傍にある気象観測点に蓄積された年最大風速データに極値統計解析を施して設計風速の参考となる基本風速を算出する¹⁾。基本風速とは、一般に高さ10mの基準粗度における10分間平均風速として定義されるものである。土木構造物では、設計風速の再現期間として、完成系に対して50～150年程度が、架設系に対して1～10年程度が使われる。道路橋耐風設計便覧においては、再現期間100年として、全国を4つの基本風速レベル(30, 35, 40, 45m/s)に区分している²⁾。送電設備の設計に用いられる(社)電気学会 電気規格調査会(JEC)が制定した規格(JEC127)では、設計風速として、最大瞬間風速を基本に地域別の再現期間50年に対する値を用いており、その設計風速は九州や四国などの台風襲来の多い地域では70m/s、その他の地域で60m/sとなっている³⁾。

・地域防災計画

地方自治体が制定する地域防災計画には、風水害対策の記述がなされているものの、一部の計画に電力施設の暴風対策や強風時の看板落下に関する記載がある程度であり、ほとんどが水害対策に関する記述である。2012年中央防災会議では防災基本計画を修正し、これまでに記述のなかった竜巻を新たに明記した。これを受けて、地域防災計画にも竜巻災害対策を記述する必要が生じているが、地域防災計画に竜巻対策を制定しているものは数少ない。佐賀県佐賀市では、2004年に発生した竜巻による被害を受け、地域防災計画に竜巻災害対策を制定した。ここでは強風に対する公共建築物を対象に、強風による落下物や電力施設の暴風対策について記載されている⁴⁾。

5. 4. 3 風災害リスク

・構造物の経年劣化リスク

土木構造物の設計は、設計外力が作用するとしたときの構造物を構成する部材の応答値(応力)が、部材の強度を超えないように設計することで安全性のレベルを規定している。部材の強度の

確率分布と部材の応答変形の確率分布が重なりは破壊確率を示し、設計段階ではその確率はゼロに近い。常に自然環境にさらされている土木構造物は、強風や着氷雪など不確定性の高い自然作用、特に極端現象が安全性に影響を与える主な要因となる。一方で、外力に対する抵抗力（耐荷力）についても、腐食など環境の影響を強く受ける。また、吊り橋や送電設備などは、外力に対する応答特性の異なる支持物と架空線により構成される線状構造物であり、特に架空線は揺れやすいことから、さまざまな振動による疲労の問題が生じる。このような経年劣化により、通常は時間とともに構造部材の強度は低下し、破壊確率は年々大きくなっていく。破壊確率の大きさによっては、補修、補強ならびに建替を検討し、適切な処置を施していく必要がある。

・外力増加リスク

近年、気候変動により台風の大型化が懸念されているが、仮に年最大風速が年々増加していくような事態となるものと仮定すると、構造物の応答値も年々大きくなっていく。これは、補修、補強ならびに建替が必要となる破壊確率の大きさに達するまでの期間が現状よりも短くなることを意味する。

2013年11月にフィリピンに上陸した台風ハイエンは、瞬間最大風速90m/sを越える暴風を伴い、7000人を越える犠牲者と800億円を越える被害をもたらした。ハイエンの発達した海域では、近年の海面水温変化はないものの、水深100mの水温が年々上昇しており、台風の発達に影響を与えているとも言われている。今世紀末の日本付近の海面水温は、現在のフィリピン付近の海面水温に近いものになり、地表付近の最大1分平均風速が130knots(67m/s)を越えるスーパー台風が上陸する予測結果も公表されている⁵⁾。一方、竜巻に関しては、大気安定度もしくは風の渦度によって発生することが知られているものの、その発生メカニズムが完全に理解されている訳ではないため、気候変動との関係については断言できない。

・強風に対する脆弱性リスク

設計を超過するような強風が吹いた場合には、橋梁などの道路・鉄道構造物の損壊や送電鉄塔などの電力流通設備が損壊する恐れが生じる。その場合には、交通網が寸断され、物流を阻害するだけでなく、人々の安全な場所への避難を妨げるほか、電力供給が停止すると、情報通信網や水道供給にも影響を与える。また、1991年の台風19号は、山林の大規模倒壊を引き起こして流木を大量発生させ、河川の洪水流下を阻害し、市街地・生産地の浸水を発生させる要因となった。さらに、吹き寄せによる高潮も堤防を越流・決壊させ、大規模浸水を発生させる。

強風の災害メカニズム

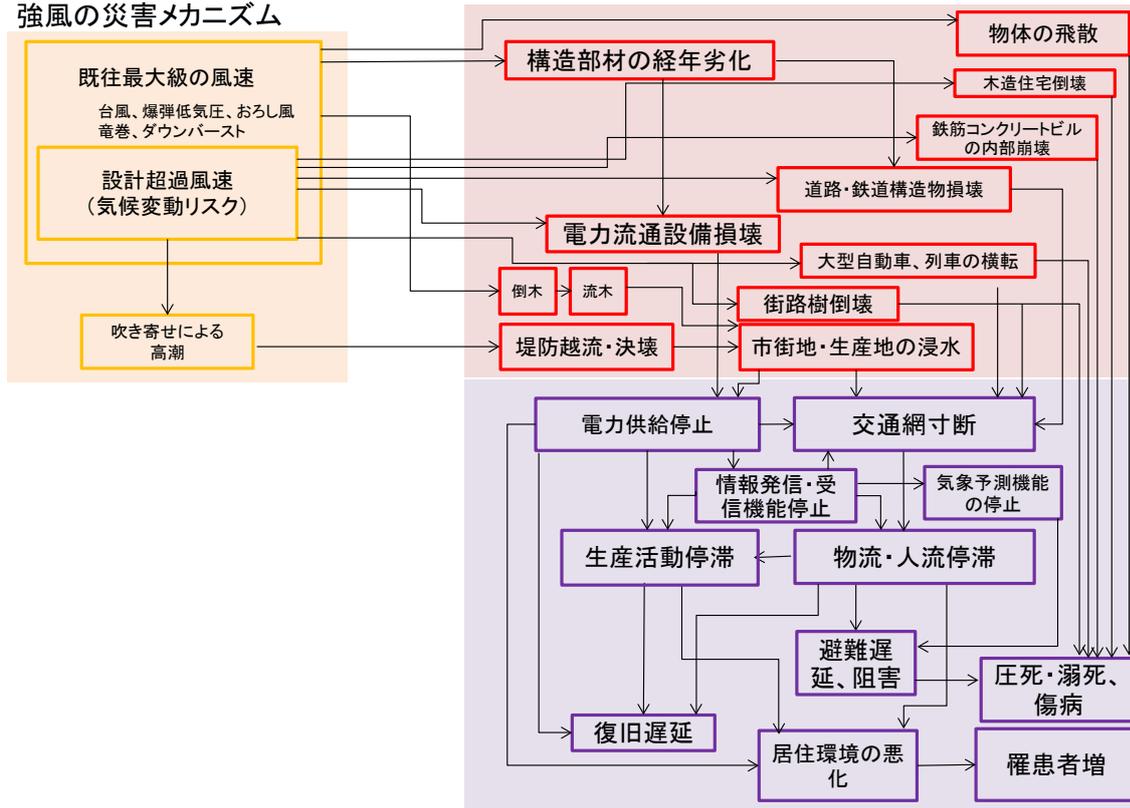


図-5.4.1 強風の災害メカニズム

5.4.4 今後の行動

i) 災害リスクの緩和（作用の低減）

余寿命を踏まえた最適な補修・補強法の開発やそのマネジメント法など、より安全に建造物の維持管理を行うための技術が開発されており、これらの活用によって経年劣化による補修や建替の優先順位の決定を行うなどの適切な対応を行っていく。また、腐食・摩耗等に対する高耐久性材料や塗装技術を有効に活用し、経年劣化の抑制を図っていくことも作用の低減につながっていく。一方、気候変動のような外力増加に対する現在の状況は、気候変動の推移とともに極値での強風がどのような形になるのかを探っている段階である。再現期間50年や100年の設計風速が、どのように変化するかを定量的に求める手法を早期に確立することが要求される。

ii) 災害リスクへの対策（作用に対する防御）

強風に対する防御としては、建物の性能向上を目的とした対策があげられる。文部科学省は「竜巻に対する学校の安全のために」⁶⁾を作成し、ハード面の安全対策として、ガラス飛散防止策をあげており、学校に対する財政支援制度を発足させている。こうした事例を参考にしながら、佐賀市同様の地域防災計画において建築物・工作物の耐風性能の向上を反映させていく必要がある。

iii) 災害リスクへの対応（作用が来たときの行動）

猛烈な台風が来襲したときには、台風予報によってその襲来を予め知っており、大半は自宅で待機することになるものと予想される。

一方、竜巻は、正確な場所と時刻の予測は現状では不可能であるため、その発生を周知させる手段の確立が急務である。特に児童の屋外活動や登下校時の安全を確保するための情報提供を早急に考えていかなければならない。強風災害用の教育プログラムを構築しながら、竜巻に関する情報に接したときの対応のルール化及び保護者への周知を行う仕組みを整える。竜巻が予想される場合の対処行動の仕方については、既に発行されているリーフレット・DVD 映像などを参考に⁷⁾。竜巻が発生したあとの危機管理体制としては、人命救助やけが人の搬送を確実に行うための体制を整えていく。

参考文献

- 1) 社団法人日本鋼構造協会編集，構造物の耐風工学，東京電機大学出版局，1997 年.
- 2) 道路橋耐風設計便覧，(公社)日本道路協会，2007 年.
- 3) 送電用鉄塔設計荷重専門委員会，送電用鉄塔の設計荷重～現状と将来展望～，電気協同研究，第 62 巻，第 3 号，(社)電気協同研究会，2006 年.
- 4) 池内淳子，植松康，奥田泰雄：竜巻災害に対して行政が対応すべき項目の整理と地域防災計画への反映，第 23 回風工学シンポジウム，pp.193-198，2014 年.
- 5) 坪木和久：地球温暖化とスーパー台風，日本地球惑星連合ニュースレター，Vol. 11, No. 1, 2015.
- 6) 文部科学省：竜巻に対する学校の安全のために，2014 年.
- 7) 気象庁：急な大雨・雷・竜巻から身を守ろう！，2013 年.

5. 5 地盤・土砂災害のハザードに対する防災・減災力の現状と方向性

5. 5. 1 地盤・土砂災害の概要

地盤・土砂災害には、地震、降雨および火山噴火により起こされる災害がある。地震による地盤・土砂災害には、液状化・流動化現象、急傾斜地の崩壊等があり、降雨による地盤・土砂災害には、急傾斜地の崩壊、土石流、地滑り等がある。また、火山噴火による地盤・土砂災害には、土石流等がある。

地震による地盤・土砂災害は、地震の慣性力により起こされ、本震時に発生する場合と、本震後の余震時に発生する場合がある。降雨による地盤・土砂災害は、降雨による地下水位の上昇および地下水の流れにより起こされ、時間あたりの降雨量が限界に達した場合に発生する。火山噴火による土石流は、火山噴出物が堆積したのちの降雨により発生する。また、一度発生した地盤・土砂災害において、その後の地震や降雨により被害が拡大する場合もある。

地盤・土砂災害の発生から終了までに要する時間は数秒から数分である。このため、地盤・土砂災害に対して災害発生直後に避難するという手法を取ることは難しく、地盤・土砂災害を防ぐ構造物の構築というハード面での対策と、危険区域の特定と事前避難というソフト面の対策が基本的な対応策となる。

5. 5. 2 減災・防災の現状

① 液状化・流動化

液状化・流動化に対応する防災・減災の手法は、液状化判定法と液状化対策工法より構成される。液状化判定法は対象地盤の液状化に対するリスクを評価できるため、液状化の被害予測を行う有効な手段であり、多くの自治体において液状化予測マップが作成され防災計画に活用されている。また、個別構造物においては、対象地盤の液状化の有無を判定することにより、液状化の影響を設計に反映することができる。一方、液状化の対策として、密度増大工法、排水工法、固化工法など多くの液状化対策工法が開発され、実プロジェクトに適用されてきた。これらの液状化対策工法のいくつかは阪神淡路大震災や東日本大震災において液状化防止の有効性が確認されており、液状化の可能性のある地盤の防災対策として有効な手段となっている。

② 土砂災害

土砂災害には、急傾斜地の崩壊、土石流、地滑り等があり、地震、降雨および火山噴火により起こされる。土砂災害対策は対策施設を構築するハード対策と住民へ情報提供や土地利用規制等によるソフト対策がある。ハード対策としては、土砂の生産を抑制することを目的とした対策工と土砂等の流送を制御する対策工がある。しかしながら、自然斜面災害は規模が大きいため対策工事には膨大な時間と費用が必要で、ハード対策のみに頼るには限界があり、ソフト対策による防災・減災が重要となる。

ソフト対策に対応する法律として、「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」（土砂災害防止法）が制定されている。本法律では、土砂災害を生じる恐れのある区域の指定および警戒避難体制の充実、危険区域の立地抑制を推進している。各自治体では斜面の調査と崩壊予測を行い、土砂災害の危険個所を示すマップが整備されている。そして、土砂災害

のおそれがある区域では、情報伝達、警戒避難体制の整備が実施されている。土砂災害のおそれがある区域には、土砂災害警戒区域と土砂災害特別警戒区域がある。土砂災害警戒区域は、自然斜面の崩壊等が発生した場合に、住民等の生命または身体に危害が生じる恐れがあると認められる区域で、住民に対し危険の周知、警戒避難体制の整備が行われる。土砂災害特別警戒区域は、自然斜面の崩壊等が発生した場合に、建築物に損壊が生じ住民等の生命または身体に著しい危害が生ずる恐れがあると認められる区域で、開発に対する許可制、建築物の構造規制等が行われる。2014年8月時点で、土砂災害警戒区域に指定されている区域は全国で約36万か所あり、そのうち土砂災害特別警戒区域に指定されているのは約21万か所である。

ハード対策としての対策工およびソフト対策としての法整備により、土砂災害に対する防災・減災は充実してきているが、災害発生件数自体は減少していない。土砂災害発生件数（国土交通省HP）の経年変化を図5.5.1に示す。年間1000件前後の土砂災害が発生しており、その件数は減少傾向にない。これは土砂災害が発生する可能性が高い区域でも、時間と費用の制約よりハード対策が進まないことと、市街地の開発により土砂災害が発生する危険性がある区域が増加していくことが要因と考えられる。

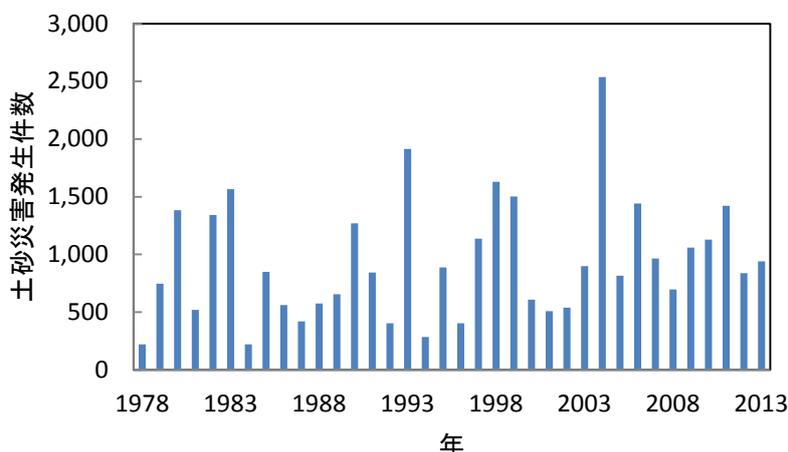


図 5.5.1 土砂災害発生件数の経年変化（国土交通省 HP データより作成）

5. 5. 3 今後の対応

① 液状化・流動化

液状化判定法と液状化対策工法が整備されているため、地盤の液状化判定を実施し、適切な対策を実施すれば、多くの条件で液状化の被害を防止もしくは軽減ことが可能である。しかしながら、現状で予測される地震動に対するリスクとして、液状化対策が実施されていない既存構造物が多く存在することが挙げられる。既存構造物の液状化対策には時間を要するため、対策前に地震が発生し液状化の被害が生じる可能性がある。さらに、現在の想定を超える地震動および地盤挙動に対する被害のリスクがある。これまで大きな地震が発生する毎に、液状化における新たな被害が認識されてきた。阪神淡路大震災では側方流動の被害が新たに認識され、東日本大震災では継続時間が長い地震に対する液状化現象が新たに認識された。このことより、これまでに経験したことがある規模およびタイプの地震においては液状化に対する防災は可能であるが、未経験の規模およびタイプの地震においては、新たなかたちの液状化被害が生じる可能性がある。

液状化発生後のリスクとしては人的被害と経済的被害がある。アースダム、河川堤防及び防波堤の下部地盤において液状化が発生した場合、ダムの決壊、河川堤防の崩壊、堤防の損傷により、人的被害が生じる可能性が出てくる。また、液状化によりインフラ施設が被災した場合、被害を受けたインフラを使用できないことよりリスクが生じる。震災直後のリスクとしては、液状化で道路が通行不能になった場合、津波や火災からの非難が困難になることが想定される。長期的なリスクとしては、社会インフラが使用できないことによる経済的な問題が想定される。

i) 災害リスクの緩和（作用の低減）

L1、L2 地震に対する液状化判定法と液状化対策工法は確立されており、地震時に対象構造物下の地盤が液状化すると判定された場合は、液状化対策を実施することによりリスクを緩和できる。既設構造物の場合、構造物直下の対策工事は施工性、経済性の観点より実施が難しくなる場合が多いが、液状化が生じた場合の被害の深刻度に応じて液状化対策を実施するかどうか判断することが重要となる。

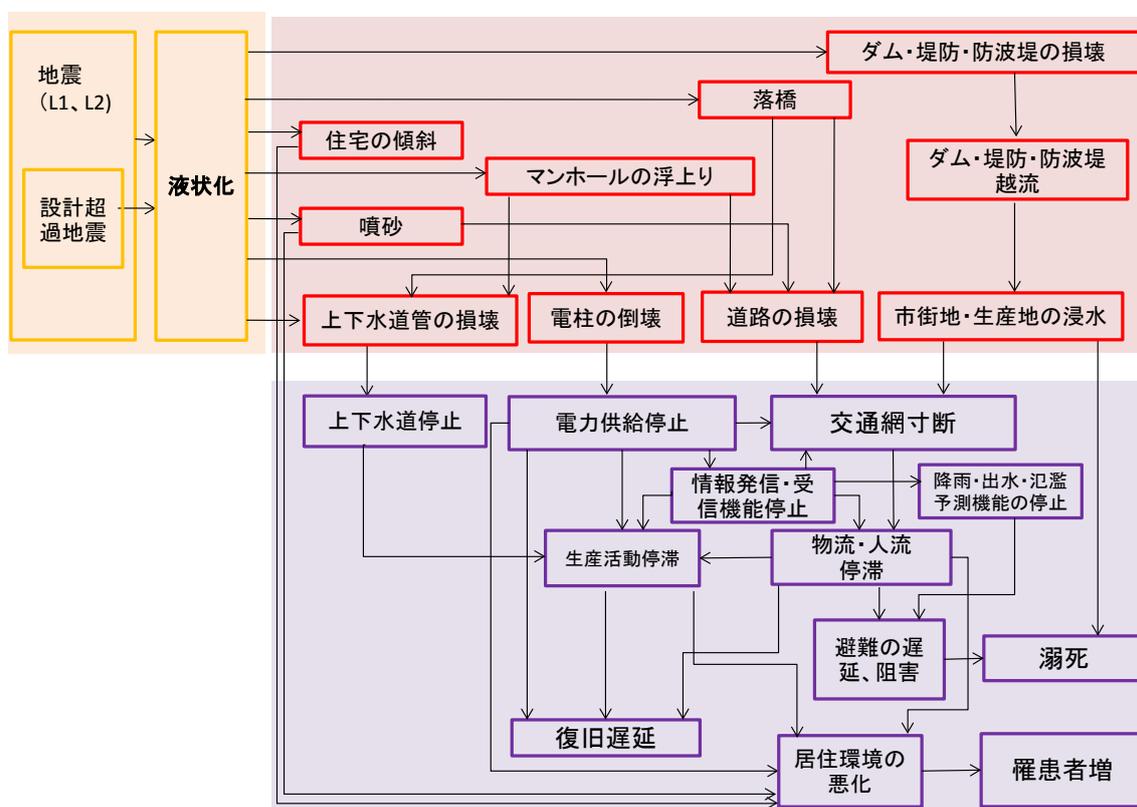


図 5.5.2 液状化災害メカニズムフロー図

ii) 災害リスクへの対策（作用に対する防御）

既設構造物の場合、液状化に対し未対策の状態で構造物が被災する恐れがある。特にアースダム、堤防及び防波堤が液状化により崩壊、沈下した場合、ダムの決壊による洪水や津波により、人命を奪うような被害が生じる恐れがある。このような状況を回避するためには、液状化に対して未対策の重要構造物の公表を行い、被害が発生する可能性のある住民への周知と、地震時にお

ける避難方法を確立しておく必要がある。また、道路が使用できない場合、速やかな避難と緊急車両の通行に支障をきたすため、避難経路や緊急輸送経路に指定されている道路に対しては、十分な液状化対策を実施しておく必要がある。

iii) 災害リスクへの対応（作用が来たときの行動）

液状化現象のみにより人命が失われる可能性は極めて低い、液状化に伴う構造物の崩壊が洪水等を引起し、人命を奪うような被害が生じる恐れがある。十分な液状化対策が実施されていないアースダム、堤防及び防波堤が崩壊することにより、洪水や津波による浸水が予測される地域においては、地震後速やかな避難所への非難が必要となる。

また、地震時において火災等の発生により自宅からの非難が必要となることが考えられる。この場合、液状化により道路が使用不可能となる可能性がある。液状化対策が施された避難経路を日頃から確認しておき、非常時において適切な避難ができる体制を構築しておくことが要求される。

② 土砂災害

土砂災害のハード対策には膨大な時間と費用が必要であるため、土砂災害が起こる可能性が高い区域においても十分なハード対策が実施されていない区域も多い。このため、土砂災害警戒区域の指定等のソフト対策による情報伝達、警戒避難体制の整備が重要となる。土砂災害警戒区域の指定には住民の合意形成が必要となるが、地価下落などの理由により警戒区域の指定に住民が同意しない場合が問題となる。本来は土砂災害警戒区域に指定されるべき地域が指定されていないと、現状で予測される降雨や地震に対して防災水準が満たされていないリスクが生じることになる。2014年に発生した広島市における降雨による土砂災害が発生した区域も土砂災害警戒区域の指定がなされておらず、被害が拡大した一因と考えられている。また、警戒避難体制が整備されていても、避難勧告に対して住民が避難しないリスク、短時間の豪雨の場合避難勧告が出てから災害が発生するまでの時間が短くなり住民が避難できないリスクがある。

地球温暖化の影響で短期間降雨量の増加に対するリスクも増大している。短期間降雨量の増加は土砂災害の可能性のある区域を新たに発生させることになり、短期間降雨量の変化に応じた土砂災害警戒区域の指定等も必要となる。さらに、現在の想定を超える集中豪雨により、国内でこれまでに経験したことがない大規模な土砂災害が発生するリスクがある。2009年に台湾の高尾で発生したような大規模な深層崩壊が我が国でも発生する可能性があることも想定しておく必要がある。

i) 災害リスクの緩和（作用の低減）

土砂災害を軽減するハード方策としては、土砂の生産を抑制することを目的とした対策工と土砂等の流送を制御する対策工がある。土砂災害発生確率と、土砂災害が発生したときの被害の規模より、優先順位を定めハード対策を確実に実施していくことがリスク緩和において重要といえる。また、土砂災害の原因となる降雨量の検知システムの整備や、斜面常時観測による土砂災害発生予測手法の確立もリスクの緩和につながる。

ii) 災害リスクへの対策（作用に対する防御）

土砂災害の場合、災害発生予測と事前避難が災害リスク対策として重要となる。土砂災害発生の可能性のある地域においては、土砂災害警戒区域もしくは土砂災害特別警戒区域を速やかに指定する必要がある。土砂災害警戒区域では、住民に対し危険の周知、警戒避難体制の整備を行い、土砂災害が発生する恐れがある場合は、住民が速やかに避難所へ避難できることが要求される。土砂災害特別警戒区域では、開発及び建築物の構造規制等を実施し、土砂災害により人命が失われ可能性が高い区域には住宅を建設しないことが最善の防御策となる。

iii) 災害リスクへの対応（作用が来たときの行動）

土砂災害が発生する危険性が高い場合は、自治体による避難指示もしくは避難勧告の適切な発令と、それに伴う住民の避難が重要となる。現状では、自治体が避難指示、避難勧告を発令した場合において、土砂災害が発生する確率が必ずしも高くないため、対象住民が避難しないことが問題となっている。この問題の対策として、土砂災害の予測精度を向上させることにより避難指示、避難勧告の精度を向上させることが重要となる。また、避難に対する住民への啓蒙活動も重要となる。避難経路及び避難場所や、避難指示、避難勧告発令前の自主的な避難方法などを、避難訓練等を通して住民へ周知しておく必要がある。

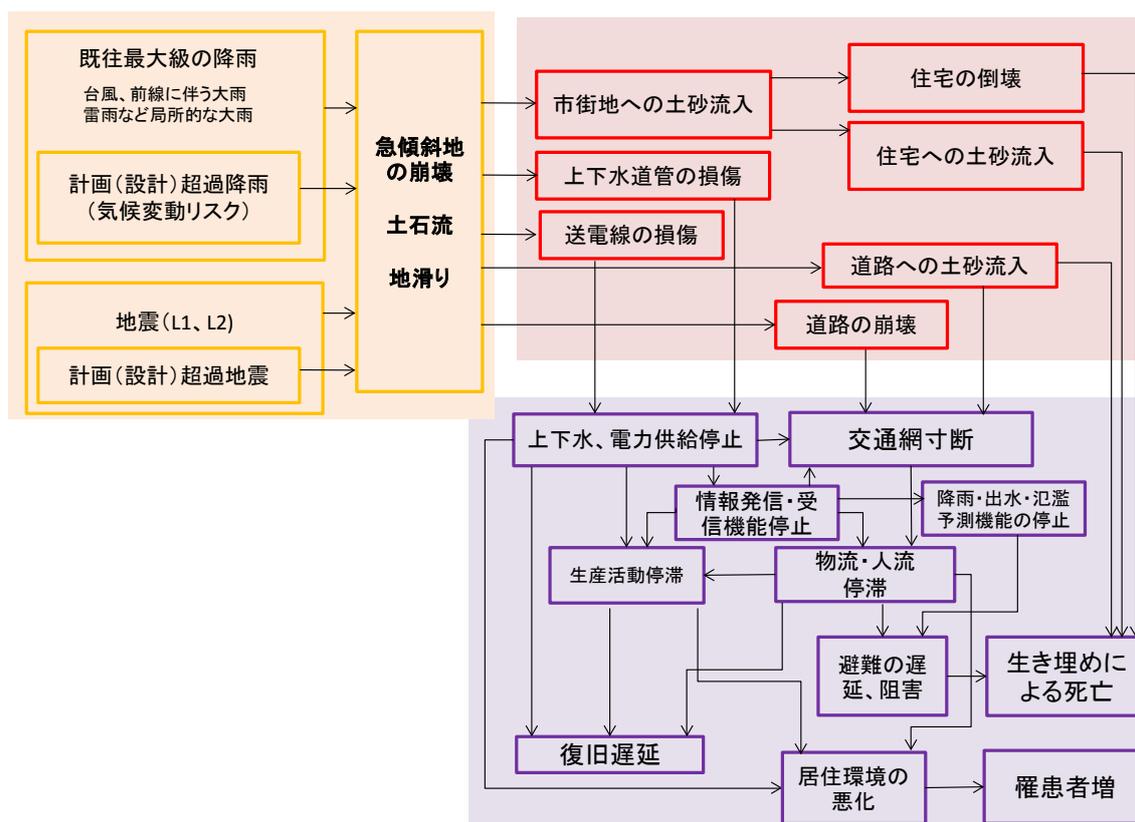


図 5.5.3 土砂災害メカニズムフロー図

参考資料

- 1) 国土交通省 HP, <http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/index.html>

5. 6 火山災害のハザードに対する防災・減災力の現状と方向性

5. 6. 1 火山災害の概要¹⁾

火山災害は噴火などの火山活動によって引き起こされる災害である。火山噴火現象は地中のマグマや火山体を構成する物質などの放出や地殻変動などを伴う。噴火による直接的災害として噴石（放出岩塊・火山弾）や降下火砕物（軽石・火山灰）のような飛散物による建物や人命等への災害がある。また流動物による災害として、火砕流、溶岩流、岩屑なだれ、火山泥流などがある。さらに火山体周辺では地殻変動による災害も発生する。間接的な災害現象として、降下火砕物や火砕流堆積物の二次移動に伴う土石流・泥流・洪水氾濫などが生じる。

これらの火山災害はマグマの性状による噴火様式に左右される。粘性の高いデイサイト～ライオライト質マグマが地下から急速に上昇すると爆発的噴火を生じ、噴煙柱高度が一万メートルを超えることもある。このような噴火はプリニー式と呼ばれ、多くの場合噴煙柱崩壊型火砕流を伴う。噴出速度が遅いと溶岩ドームを形成し、その位置が不安定な斜面上の場合には溶岩ドーム崩壊型火砕流を生じる。また、粘性が低いアンデサイト～バサルト質マグマが噴出すると斜面上を流下する溶岩流となる。

マグマ性状のみならず噴出速度の高低と噴出物量の多寡によって火山災害の被災程度が異なる。噴出速度が速く噴出物量が多いと直接被害が増加する。噴出速度が遅く噴出物量が多い場合には噴火の継続時間が長くなり影響範囲も広域となる。噴出源である火口周辺はあらゆる現象に対して危険であり、長距離を移動する火砕物、溶岩流、火砕流、火山泥流などは火山体のみならず下流の非火山地域にまで被害をもたらすことがある。

火山噴火の規模は噴出物量あるいは移動土砂量によって表されるが、その範囲は $10^1\sim 10^{10}\text{m}^3$ と幅広い。膨大な量の噴出物によって地下に空洞が生じて地表面が陥没して形成されたのがカルデラである。また火山の一部が山体崩壊により形成された地形は馬蹄形カルデラと呼ばれ、岩屑なだれによる運搬土砂は流れ山を形づくる。これらの現象は火山災害では最大級となり、広域に壊滅的被害を与える。火山灰などの降下火砕物は上空の風に乗って、数 100~数 1,000km 移動することがあり降灰被害をもたらす。広域テフラと呼ばれる巨大噴火の火山灰は日本列島のほとんどに分布している。

火山災害で頻度が高いのは、火山噴出物の二次流動による泥流・土石流である。積雪や氷河を融解して発生する火山泥流は数 10~100km 下流まで流れることがあり、氾濫域に大きな被害を与える。土石流は細粒の火山灰やモルタル化した軽石が斜面の表層を覆って浸透能が低下することにより表面流が発生することがおもな原因とされている。噴火前より低い降雨強度でも土石流が発生しやすくなるため、土石流の発生回数が増加して火山山麓地域に繰り返し被害を生じることが特徴的である。このような火山地域で発生する泥流・土石流を総称してラハールと呼ぶ。

以上のように多様な火山災害のスキームを図 5.6.1 にまとめた。

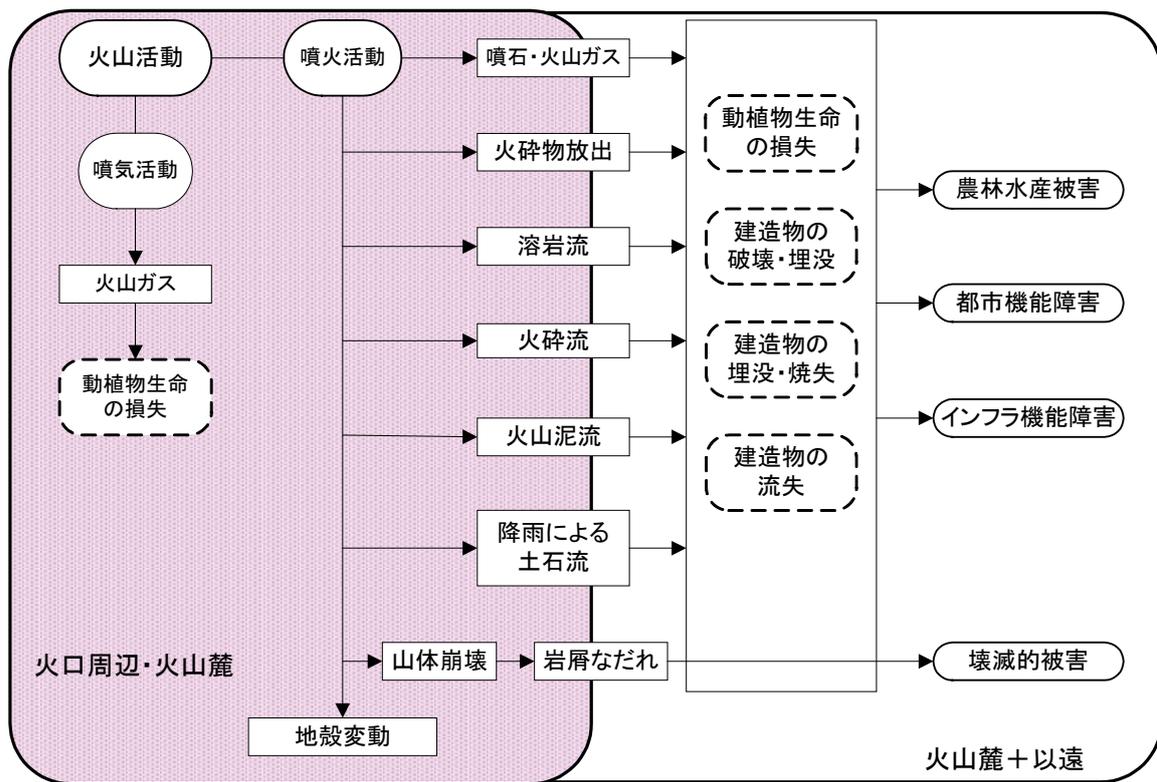


図 5.6.1 火山災害のメカニズム

5. 6. 2 減災・防災の現状

・噴火予知

火山噴火予知は気象庁が設置している火山噴火予知連絡会が中心となって進められている。

噴火予知の目標は、場所（火山あるいは火口）、時期、規模（噴出物量や噴煙高度）、噴火様式（発出現象）さらに推移（継続期間とその間の変化）であるが、現状ではこれらすべての項目を予知することは困難とされている。活火山では地震計、GNSS、傾斜計などの観測と空振計や遠望カメラによる監視が行われており、気象庁において 24 時間体制で監視が行われている。気象庁ではこれらの観測データの変動をもとに火山活動の消長を判断して噴火予知につないでいる。しかし、多くの場合は観測期間内に噴火を経験した火山が少なく、変動データを過去の実績と照査して判断することが困難なのが現状である。

火山活動が活発な桜島や阿蘇山では稠密な観測網が敷かれ、詳細なデータがリアルタイムに収集されている。とくに桜島では年間数 100 回以上発生する爆発的なブルカノ式噴火の発生の予知が進められている。

これら火山活動データは「火山の状況に関する解説情報」として気象庁ホームページでも公開されている。また、噴火によって火山灰が放出された場合には、上空の風の移動場を用いて降灰予報が発表される。さらに、降灰量の到達予測シミュレーションに基づいて、降灰量分布範囲を示した量的降灰予報を桜島で試験運用しており、平成 27 年 3 月から全国の活火山において開始する予定である。

・噴火警戒レベル

気象庁は噴火による居住区域や人命への影響の有無を指標とした噴火警戒レベルの運用を2007年12月より開始し、2015年1月現在30火山に展開されている。平常時のレベル1では火口内等を除き火口周辺まで立ち入りが可能であるが、レベル2では噴石等による危険性があるとして火口周辺が規制される。さらに火山活動が高まると入山禁止のレベル3となる。山麓等の居住地域に重大な被害が及ぶと想定された場合には、2段階に分けて避難が進められる。レベル4では避難準備と災害時要援護者等の事前避難が行われ、レベル5では危険な居住区域からの避難を促す。これらの各レベルの適用範囲は火山ごとに異なり、各火山の噴火履歴などから作成された噴火シナリオに基づいて設定されている。

噴火警戒レベルの導入に合わせて、災害対策基本法に基づく地域防災計画の噴火災害対策編の策定が進められ、噴火警戒レベルに連動させた火山噴火時の避難計画の策定が進められている。しかし、活火山の地理的条件や噴火規模によっては、多数の市町村において住民避難が必要となる広域避難計画の策定が求められるが、具体的対応方法の検討が始まったばかりといっている。

また、火山活動の監視・観測体制はすべての活火山において十分ではないため、噴火警戒レベルの引き上げが噴火前に発表されず、気象庁が噴火発生を確認してから引き上げられる場合もある。多くの登山者や観光客が集まる活火山の火口周辺では、とくに突発的噴火への防災対応行動の検討が必要である。

・火山砂防事業および火山噴火緊急減災対策砂防

火山災害に対する土木構造物による対策は、泥石流や土石流などの土砂災害を中心に国土交通省や地方公共団体の砂防部局で実施されている。全国の活火山のうち、噴火活動によって火山山麓に土砂災害の被害が想定される29火山において火山砂防事業がおこなわれている。各火山の火山砂防計画で対象とされている現象は火山泥流と降灰後の土石流が中心であるが、砂防施設の整備には時間と多額の事業費を要するため、火山砂防施設の整備はなかなか進まなかった。1991年の雲仙普賢岳噴火に伴う土石流災害対応や2000年の有珠山噴火と三宅島噴火では、噴火が発生してから緊急対策の内容を検討していたのでは間に合わないことや、予め建設されていた砂防施設の機能増大が有効であることなどの課題が見いだされた。

そこで、整備期間中に噴火が生じた場合や、計画想定外の規模等に対処するため、火山噴火緊急減災対策砂防を検討することとなった。

火山砂防計画によって整備されている砂防施設は大規模な砂防ダムや遊砂地などであるが、火山噴火緊急減災対策では限られた期間内に減災効果を創出することが求められるため、既設砂防ダム堆砂地の緊急掘削やかさ上げ等による土砂捕捉機能の増大、住宅地周辺の河川周辺における緊急導流堤による溶岩流の流向を海・原野などに誘導する被害軽減対策が行われる。さらに、土石流などの発生監視システムの緊急整備などの緊急ソフト対策も検討されている。そして、これらの緊急対策を効率よく実行するため、平常時から様々な準備を進めていくこととしている。

現在、火山砂防事業実施火山において逐次計画が策定されている。2011年1月に噴火した霧島新燃岳では、その前年度に検討済みであった火山噴火緊急減災対策砂防計画に基づいて掘削工や緊急遊砂地の建設が実施された。さらに、この対応を分析・評価して火山噴火緊急減災対策砂防計画が見直しされた。

・土砂災害防止法に基づく緊急調査

土石流やがけ崩れに関する警戒区域等の設定によって土砂災害による被害を防止軽減するための「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律」が一部改正され、火山噴火や河道閉塞などによって大規模な土砂災害が急迫している場合に、国が緊急調査を実施して被害の想定される区域と降雨の情報を地方公共団体に提供することが義務付けられた（平成 22 年 11 月）。

火山噴火では 1cm 以上の火山灰が溪床勾配 10 度以上をもつ流域の半分以上に堆積し、おおむね 10 戸以上の人家に被害が及ぶと想定される場合に、国土交通省が緊急調査と解析を実施し、土石流等による想定被害範囲と土石流が発生する降雨を都道府県知事ならびに関係市町村長に情報提供して、土砂災害の急迫性が高まった時期に住民の避難対策を推進しようとするものである。

法改正直後の新燃岳噴火に際しては、法施行前であったが同法に準ずる緊急調査が行われ、土石流の被害が及ぶと想定される土地の区域と時期が通知された。

5. 6. 3 リスク

・噴火災害の発生頻度

とくに噴火活動が活発な桜島や阿蘇山、浅間山などを除く多くの活火山の噴火は、数 10～数 100 年間隔で発生しており、豪雨災害などに比べると発生頻度は低い。そのため、住民のみならず防災担当者も実際の噴火に遭遇する機会が乏しく、多様で複雑な噴火災害に対応するための経験を積むことができない。このような理由で、近隣の火山で噴火が発生しても、具体的な対処法の知識に欠けることから、避難開始や応急対策の遅れなど被害の拡大を助長するおそれがある。

・マグマの性状と噴火の相対的危険度

噴火の危険度はマグマ性状で表すことができる。前述のようにマグマの基本的性状は温度と粘性の組み合わせとしてとらえることができる。温度と粘性は反比例の関係にあり、高温マグマは粘性が低く、低温マグマは粘性が高い。前者は比較的穏やかな噴火をおこない、相対的に危険度が少ないが、後者は爆発的噴火を生じることが多く危険度は高い（図 5.6.2）。このような危険度は火口周辺のようにマグマ噴出孔に近接している場合には明瞭であり、噴火規模が大きくなると穏やかな噴火であっても溶岩流が広域に及ぶなどの影響が生じる。

・噴火規模と継続期間

火山災害を引き起こす現象は同時あるいは連続的に発生することもある。さらに噴火活動の継続期間が長期化するとは噴火規模が大きくなる傾向があり、災害の長期化や影響範囲の拡大を招く。噴火規模を支配する要因の一つとして地下に蓄積されたマグマ量があり、火山ごとに異なっていると考えられている。このような噴火の継続時間の長期化は火山周辺地域において立ち入り規制や住民避難の長期化をもたらして農作物生産停止や物流の停滞など地域経済に打撃を与える。さらに広域においてもこの影響が波及してくると考えられる。

このように火山災害は噴火継続期間の長期化が社会全体に与える影響を長引かせるという特徴をもっていることが、他の自然災害のリスクとの相違でもある。

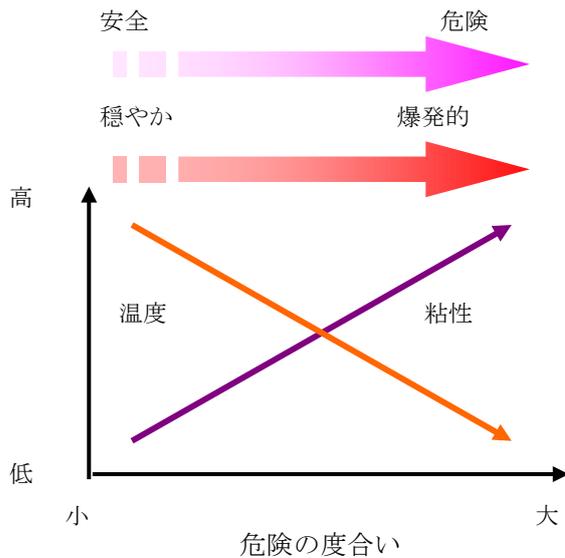


図 5.6.2 マグマの性状と噴火の危険度¹⁾

・噴火の影響範囲

火山災害による影響範囲を図示した火山ハザードマップは 2000 年の有珠山、三宅島噴火以降に整備が進んだ。しかし火山防災マップとも呼ばれるハザードマップが作成・公表されただけで多くの地域ではその後の防災対策検討が進展していないことも指摘されているところである。

活火山周辺では住民の関心もあるが、少し離れた地域での認識は低い状況である。東北地方太平洋沖地震によって日本列島の基盤に変化が生じ、今後火山噴火活動が活発化するという見解があり²⁾、火山災害に対する正しい知識を広めて防災対策を推進することが重要である。

・降灰の影響

火山が噴火した場合降灰による影響は降灰による被害³⁾としては、道路における通行への支障、鉄道における車輪やレールの導電不良による障害や踏切障害等による輸送の混乱、航空におけるエンジントラブル、電子機器への支障を始め、人的被害、建物、港湾、電力、水道、下水道、農産物、森林、水産物、降灰後の土石流など広域かつ長期にわたる。

参考文献

- 1) 土木学会地盤工学委員会火山工学研究小委員会編：火山工学入門、(社)土木学会、丸善、2009
- 2) 藤井敏嗣：噴火誘発－東北地方太平洋沖地震は火山噴火を誘発するか、科学 81-10、岩波書店、2011
- 3) 内閣府（防災担当）、消防庁、国土交通省水管理・国土保全局砂防部、気象庁：火山防災マップ作成指針、2013

6. 既存構造物に対する防災・減災力の現状と今後の対応

前章では、地震や津波、あるいは風など、自然由来のハザードに対する減災や防災力の現状、あるいは方向性をまとめている。一方、減災や防災を考える上では、既存構造物が抱える以下の問題にも十分な配慮がいる。

(a) 既存不適格構造物の問題

(b) 既存構造物の高齢化・老朽化の問題

我が国では、耐震工学や維持管理の知見に乏しかった高度経済成長期にインフラ構造物の整備を集中的に行っている。その後、幾つかの震災を経験し、あるいは材料的な劣化や変状が引き起こす様々な問題を受け、研究や技術レベルの向上が図られ、それらを各種の設計基準に反映してきている。しかし、旧基準に準拠した構造物は、当然のことながら、補強などが施されない限り、最新の基準に照らし設計・施工された構造物に比べて耐震性や耐久性が乏しい。

既存不適格構造物の問題は、当時の知見の無さに原因があるのであって、決して、構造物の設計・施工に携わった当時の技術者、あるいはそれらを管理する側に責任があるわけではない。しかし、インフラの既存不適格構造物の問題を取り上げると、ややもすると安易な管理者批判につながることもあり、また、むやみに構造物利用者の不安を煽ることを恐れるため、真正面にこの問題を扱い、公に議論することを避けるきらいがあった。そのことが結局、耐震補強などを進める際、管理者の努力のみに頼る状況が続くことになり、国民はそれら既存構造物の持つ安全性の程度、あるいはそれが損傷・倒壊することで引き起こされる問題について土木学会から情報を得ることはほとんどない。土木学会は、公平・中立な立場から、インフラの既存不適格構造物の問題をよりオープンに取り上げ、国民のこの問題に関するリスクの認知と投資への理解を高めることに努め、次に来る大地震の前に既存不適格構造物を少しでも減らすことにより積極的に貢献しなければならない。

既存構造物の問題として、このほかに注意すべきものとして、それらの老朽化や高齢化がある。既に、平成24年12月に発生した中央道笹子トンネル天井板落下事故を受け、学協会や国においては様々な活動が展開されており、今後も継続して、その高度化に土木学会は貢献していくべきである。

既存構造物の耐荷力が低下することでその安全性が脅かされるだけでなく、作用の増加で既存構造物の安全性が低下することへの注視も必要である。例えば、2013年11月にフィリピンに上陸した台風ハイエンは、瞬間最大風速90m/secを超える暴風により甚大な被害をもたらされた。この原因として、水深100m近辺の水温が年々上昇し、台風の発達に影響しているとの指摘がある。今世紀末の日本付近の海面水温は、現在のフィリピン付近に近いものになり、地表付近の最大1分平均風速が67m/secを超える台風が来襲するとの予測結果もある。今後の気候変動が既に供用されている構造物の安全性に及ぼす影響への継続的な注視も必要である。

既存構造物が抱えるこのような問題は、ライフラインや産業施設など、すべての種類のインフラに当てはまるが、本章では特に橋梁構造を例に取り上げ、この種の構造に関係する(a)と(b)の問題についての現状と今後の対応について述べる。なお、本章で取り上げない問題として、特に、(a)については、構造物に関係した既存不適格問題だけではなく、都市計画、あるいは土地利用に関係した既存不適格な問題への対応も必要である。これらも減災や防災を進めていくうえで避け

ては通れない大きな課題であり、複雑にさまざまな利害が絡み合っていることがある。これらについても土木学会は今後、正面からその解決に向けて取り組む必要がある。

6. 1 既存不適格構造物

6. 1. 1 既存不適格構造物の現状

個人の住宅について、建築基準法が改訂されるたびに、家主の自己負担で住宅を耐震補強させることは義務付けられていない。家主の判断により耐震補強がなされていない場合で、仮に住宅が地震により倒壊したとしても、それは家主の自己の判断による結果と責任であり、また、個人の住宅では、その倒壊が他者を巻き込む、あるいは都市活動に影響を及ぼす可能性は小さいことが背景にあると思われる。一方で、土木構造物の場合には、その倒壊が及ぼす社会的な影響は極めて大きく、また、高速道路や鉄道については、民間会社がそれらの構造物を管理し、営利活動を行っていることを考えると、既存不適格な土木構造物には、一般の住宅と異なる対応が必要である。もちろん、建築構造物の中にも、多数の居住者や利用者がいる、あるいはその倒壊が都市の活動に大きな影響を与えるものもあり、この場合には既存不適格な土木構造物と同様の対応が求められると思われる。

例えば、多数の利用者が使う乗り物に事故が発生し、仮にその事故の原因が乗り物の構造的な欠陥にあった場合、他の同型の乗り物を使い続けることは容認されないであろう。事故が起こる前に、その欠陥を実験や軽微な故障の事例などを通して乗り物の運営会社が認知していたにも関わらずに放置して、事故が起きたのならその会社は厳しく罰せられるのではないだろうか。我が国の旧基準で設計された既存構造物は、欠陥のある乗り物を使い続けているのと同じ状況との批判を免れ得るであろうか。

35年以上前の1978年、宮城県沖地震によりRC構造物にせん断による損傷や段落し位置での損傷が発生している。20年前の1995年、兵庫県南部地震により多くの土木構造物が被害を受けている。この状況の中、2011年の東北地方太平洋沖地震でも、既存の土木構造物に過去の地震被害で目にしたものと同じ被害が生じている。土木学会は、震災のたびに、集中的に研究活動を展開し、指針やガイドラインの整備などを通して、耐震技術の向上に取り組んできた。これらは、新たに設計・施工される構造物に活かされ、次の大地震に対する安全性を高めることに大いに貢献している。しかし一方で、既に供用されている構造物については、その耐震補強の進捗程度、あるいは、それらが強震動を受けて被害が発生した場合に引き起こされる社会的影響などの情報について、土木学会は社会にほとんど発信していない。既存不適格な土木構造物の補強の進捗、性能の状況、あるいはそれらの地震被害が社会に及ぼすリスクなどについて、土木学会は検証し、社会に情報発信し、そして、これら過去の基準で設計された構造物の性能を向上させることへの投資について、社会の理解を得る努力を払う必要がある。

もちろん、既に高速道路や鉄道の管理者は、過去の基準で設計された土木構造物の耐震補強を着実に進めている。例えば、東日本旅客鉄道(株)(JR東日本)内の新幹線は、兵庫県南部地震(1995年)以降、せん断破壊先行型の高架橋柱を対象とする緊急耐震補強対策の中で約3,100本が、その後、三陸南地震(2003年5月)を経て高架橋柱の対策エリアが拡大され、約15,400本もの柱のせん断補強を終えている。JR東日本では、耐震性能の弱いものから順次耐震補強を継続的に行うこととしており、現在、2次対策として、曲げ破壊先行型の柱のうち耐震性の低い

柱の補強にも着手している。しかしながら、高速道路や鉄道の各管理者が有する既存不適格な構造物の数は極めて膨大であり、1995年以降の三陸南地震、新潟県中越地震、あるいは東北地方太平洋沖地震などで繰り返される地震被害の状況、さらには首都直下地震や南海トラフ地震などの切迫性を鑑みれば、既存不適格な土木構造物の補強対策について、さらに積極的な対応が必要であることは言うまでもない。

なお、既存構造物が準拠した設計基準に示される設計外力を上回る作用を受けたとしても、構造物は直ちに損傷・倒壊することはない。それぞれの設計過程では、当時から様々な安全側の配慮がなされており、それは部分係数や、あるいは安全側の値が算定されるような構造解析モデルの規定などに反映されている。既存構造物が保有する性能を正しく評価し、それが損傷・倒壊することで引き起こされる影響度を確かな精度で算定しなければならない。

6. 1. 2 既存不適格構造物の今後の対応

全ての既存構造物を対象に、現行基準で設計される構造物と同じ性能を有するように補強していくことを要求するのは、非現実的である。予算が限定されていることの現実を踏まえるべきである。しかしながら、土木構造技術者は、その専門知識に基づき、耐震性の低い既存構造物の現在の危うさを認識しつつも、一方で、予算的な制約もあり、むやみに危うさを市民に対して強調することへのためらいなどから、市民に対して無言を貫いているのではないだろうか。結果として、このためらいがリスクの軽減を妨げていると言える。この状況を打破するには、「耐震補強の実施の有無を構造物所有者の判断に完全にゆだねる」とことと「既存構造物の全てを現行基準で設計される構造物と同じ性能を有するように強制する」の間を埋めることができる制度的な何かが必要である。

上記に関連して、コロラド大学の Corotis らの文献 1) に幾つかの興味深いヒントを見つけることができる。参考文献 1) では、自然災害に対して脆弱な構造物の補強を実践させる、あるいは補強のための予算確保に必要な手段は何か論点になっている。安全性が十分でない構造物の補強を進める上でのチャレンジは、low-probability であり high-consequence となる自然災害についての知識や経験が少ない public と decision maker にその必要性を専門家集団が提示することであり、実践するためのキーとして以下の 5 つが挙げられている。

- public risk perception
- public participation in hazard mitigation planning
- incorporation of community values
- incompatibility of political motivation and long-term planning
- finances of risk and return

5 つのキーに関係した幾つかの研究結果等が紹介されている。リスク関係の教科書的な内容も多いが、その中でも Report Card for America's Infrastructure は興味深い取り組みである。アメリカ土木学会 (American Society of Civil Engineers, ASCE) によって発刊されているもので、インフラ構造物の現在の状態、あるいは補強対策、さらにはそれに係る費用などが示されている。ASCE では、継続してこの作業に取り組んでおり、4年に一度、情報を更新している。図 6.1.1 にウェブにて公開されている情報の一例を示す。一般市民や管理者、あるいは政治家に対して、インフラ構造物の現状やリスクを周知し、インフラ構造物の補修・補強に投資することへの理解

を求めている。インフラ構造物の現在の状態は、ASCE に所属する各構造物の専門家により評価されている。基本的な手順は、以下のようである。

- 1) 各構造物の情報を収集する。アメリカの場合、例えば橋梁であれば、各州の DOT (Departments of Transportation)、あるいは FHWA (Federal Highway Administration) が設計図面、点検や検査の実施時期とその結果などを一元管理し、既存構造物のデータベースが確立していることから、そこから情報提供を受ける。
- 2) 各構造物の状態の分析と大まかな状態報告レポートの作成
- 3) 初期グレードの確定とその結果についての意見集約
- 4) 最終グレードの確定とその周知



図 6.1.1 Report Card for America's Infrastructure (2013年版)²⁾

設計の想定を超える事象への対応、あるいは既存不適格な構造物の現行規準で求める安全性レベルへの整合（耐震補強など）は、構造物管理者に強制的にその実施を求めることはもちろん難しい。これらを実施するには、土木学会などの第三者が最新の知見に基づき、構造物、あるいは構造物を含むネットワークの脆弱性を公正に評価し、それを市民（パブリック）に対して公開し、そして構造物、あるいは構造物を含むネットワークの安全性レベルを向上させることの必要性を理解させる働きが必要である。このためには、目標性能の妥当性などを市民や構造物管理者が容易に理解可能な言語（対話言語）が必要であり、土木構造物が有するリスクは、安全性レベルの大きさの是非、あるいは耐震補強や維持管理対策の必要性を市民と議論する際の対話言語として欠かせない要素である。なお、このような活動を行うためには、上記の 1) に相当する、既存構造物の設計図面などの構造の詳細がわかるデータベースと、その公開が必要である。構造物によっては図面がない場合などもあり、データベースの構築の支援を必要とする場合もあると思われる。

脆弱性評価は、(1) 既存不適格構造物群の耐震補強の優先度や必要な補強量の推定、(2) 設計地震力を上回る地震作用を受けたときの構造物あるいは構造物を含むシステムで生じるリスク、(3) 活断層あるいは津波の新たな情報など、最新のハザード評価への対応、などに対して行われる。構造物、あるいは構造物を含むシステムが持つ脆弱性は容認されるレベルにあるのか、それらの安全性を高めるのに必要な具体の技術と予算はどれほどになるのか、または、設計コードで規定

する荷重の大きさは妥当なものであるのか？ 実現には非常に多くの課題が存在することも事実であるが、これらについて、第三者が審査し、その結果を構造物利用者（市民）とその管理者に公開するシステムを構築することで、リスクの認知と投資への理解が高まり、結果として、土木技術者として危ういと感じる既存不適格構造物などを減らしていくことに貢献できるのではないだろうか。

既に、土木学会では、「社会インフラ健康診断」特別委員会（委員長：橋本鋼太郎）を立ち上げ、第三者機関として土木学会がインフラ構造物の健康診断を行い、その結果を国民に公表し、解説することにより、インフラ構造物の維持管理・更新の重要性や課題の共有を目指している。このような活動を通し、公平・中立な立場から土木学会が情報公開の一端を担う意義は極めて大きいと考える。

6. 2 インフラ構造物の高齢化・老朽化

6. 2. 1 既存インフラ構造物の現状

安全・安心なインフラ構造物の整備により、我が国の各都市はこれまで持続的な発展を遂げてきた。一方で、高度経済成長期に集中的に整備されたインフラ構造物は、今後、一斉に高齢化する。インフラ構造物の高齢化に伴い維持管理費の増加が見込まれるとともに、今後も厳しい財政状況が続いた場合、真に必要なインフラ構造物の整備だけでなく、既存構造物の維持管理・更新にも支障を来す恐れがある。高度経済成長期を終え、我が国が少子高齢化社会を本格的に迎える中で、膨大なインフラ構造物のストックを効率的かつ経済的にマネジメントすることは、今後の都市の持続的な発展を可能にするために必要不可欠な要素である。

従来のインフラ構造物の設計・施工では、設計耐用期間内に作用する可能性のある最大級の荷重に対して適切な安全性を経済的に確保することが主たる目的であった。高度経済成長期は、ライフサイクルの視点に立ち、インフラ構造物の長期にわたるメンテナンスや設計耐用期間後の構造物の廃棄・更新に必要な予算、あるいは構造物の製造や廃棄などが環境に与える負荷についての配慮があまりなされてこなかった。言うまでもなく、建設分野は大量の資源を消費し、かつ、建設副産物の産業廃棄物に占める割合は非常に大きいものがあり、低環境負荷型社会の形成に大きな責任を負っている。今後、スクラップ&ビルドの考えをインフラ構造に持ち込むことは現実的ではない。大きな経済成長が期待できない経済環境に移りつつある中で、インフラ構造物の高齢化に対峙する方策を決めることは喫緊の課題である。環境負荷を最小化し、社会のコスト負担を抑え、社会の持続的な発展を可能にしなければならない。

写真 6. 2. 1 には、2011 年東北地方太平洋沖地震の被害調査の際に観察された材料劣化の一例を示す。これらが構造物の地震被害にどのような影響を及ぼしたのかについては、詳細な検討が必要である。しかし、耐震性能評価の一般的な検討では、構造物を構成する材料は、設計当時の状態を維持していると仮定するのが一般的であるが、写真 6. 2. 1 に示されるように、既存構造物では、その仮定が成立しないことがある。例えば、飛来塩分の作用を受け、鉄筋腐食が発生し、その腐食生成物の膨張圧によりコンクリート表面に腐食ひび割れが見られる RC 構造物を前にして、(1)安全性の初期状態に対する低下量、(2)外観的な調査から内部の劣化状態を空間分布まで再現、(3)今後の使用可能期間（余寿命評価）、(4)長寿命化を可能にする補修・補強の実施時期、等々のもっとも基本的、かつ本質的な質問に現状の技術レベルでは答えられない。材料劣化が生じた構

造物の構造性能評価は、インフラ構造物のマネジメントにおける中核をなしており、その研究の高度化は必須である。



写真 6.2.1 2011 年東北地方太平洋沖地震後の被害調査中に観察された材料劣化の例

また、インフラ構造物の高齢化問題は、単に関連分野の研究力の向上を図る、あるいは技術開発を進めるだけでは解決しない。例えば、参考文献 3)によると、道路橋梁（橋長 2m 以上）のうち 9 割以上が地方公共団体の管理であるなど、インフラ構造物の大部分は地方公共団体が管理している。地方公共団体は、厳しい予算状況下であり、土木技術者が圧倒的に不足している。技術者の育成、その技術力の向上、あるいは構造物の不具合情報を速やかに収集・対処できる制度作りなども欠かせない。

米国では、1967 年、オハイオ川にあるシルバー橋の崩壊事故により、50 名近い方が犠牲となった。この事故前、多くの自治体でほとんど橋梁の点検・検査は実施されておらず放置されていたことから、これを契機として、橋梁の点検・検査が義務化された。その後も、ミアナス川橋梁の落橋事故があり、単に点検・検査を実施しているだけでは事故を防ぐことができないとの反省から、点検・検査結果がデータベース化された。点検や検査、あるいは診断について、随時その方法は見直されており、PONTIS などのコンピュータを用いたシステムに反映されている。点検・検査、診断、補修・補強設計のサイクルが米国では既に動いており、データベースは常に更新され、ライフサイクルコストの最小化を可能にする診断がなされるようにシステムの改善が続いている。また技術者が不足する地方では、州レベルの技術者が点検・検査を代行しているところもあるなど、我が国のインフラ構造物の維持管理の高度化を図る上で参考となる事例を米国に見ることができる。幸い、わが国では材料劣化を起因とした落橋により、一般市民が犠牲となる事例はまだ発生していない。米国など、諸外国の例からも十分に学び、研究レベルの向上、技術開発、技術者育成や支援、さらにはインフラ構造物の現在の劣化程度や対策の進捗についての国民に向けた情報発信、などに土木学会は積極的に貢献し、インフラ構造物の老朽化による将来的な事故を防がなければならない。

6. 2. 2 既存インフラ構造物の今後の対応

(1) 材料劣化と構造性能

既存構造物のメンテナンスに係る個々の研究内容とそれら相互の関係を一覧にまとめたものを

図 6.2.1 に示す。例えば、コンクリート分野では、材料や耐久性に関する研究分野と、力学や構造に関する研究分野の二つが主にあり、それぞれの分野は独自に発展してきた。しかし、既存コンクリート構造物のメンテナンスで取り組むべき課題は、材料・構造の両者の境界に位置している。土木学会コンクリート委員会材料劣化が生じたコンクリート構造物の構造性能研究小委員会（委員長：下村匠教授（長岡技術科学大学）、以下 331 委員会）の活動は、このような問題への対処法の好例を示しており、図 6.2.1 の「枠組み(a)」がその主な検討内容である。既存コンクリート構造物の現場位置で得られる非破壊検査などの情報を入力情報とした構造解析を実施し、点検・検査時点での構造性能の設計段階からの低下量を把握する。構造解析の精度検証のため、また、劣化構造物で生じている劣化機構の解明のため、実験事実の積上げと、既存実構造物の点検・検査結果のデータベース化も必要である。これらの検討項目に対する研究成果を有機的にリンクすることで、現有性能の精緻な把握が可能になる。もちろん、単なる連携を図るだけでなく、個々の技術の高度化も必要であり、非破壊検査技術や ICT をベースとしたロボット等による高度な点検・診断技術、モニタリング技術、あるいは材料劣化が生じた構造物の性能評価のための数値解析技術の改善も進めなければならない。

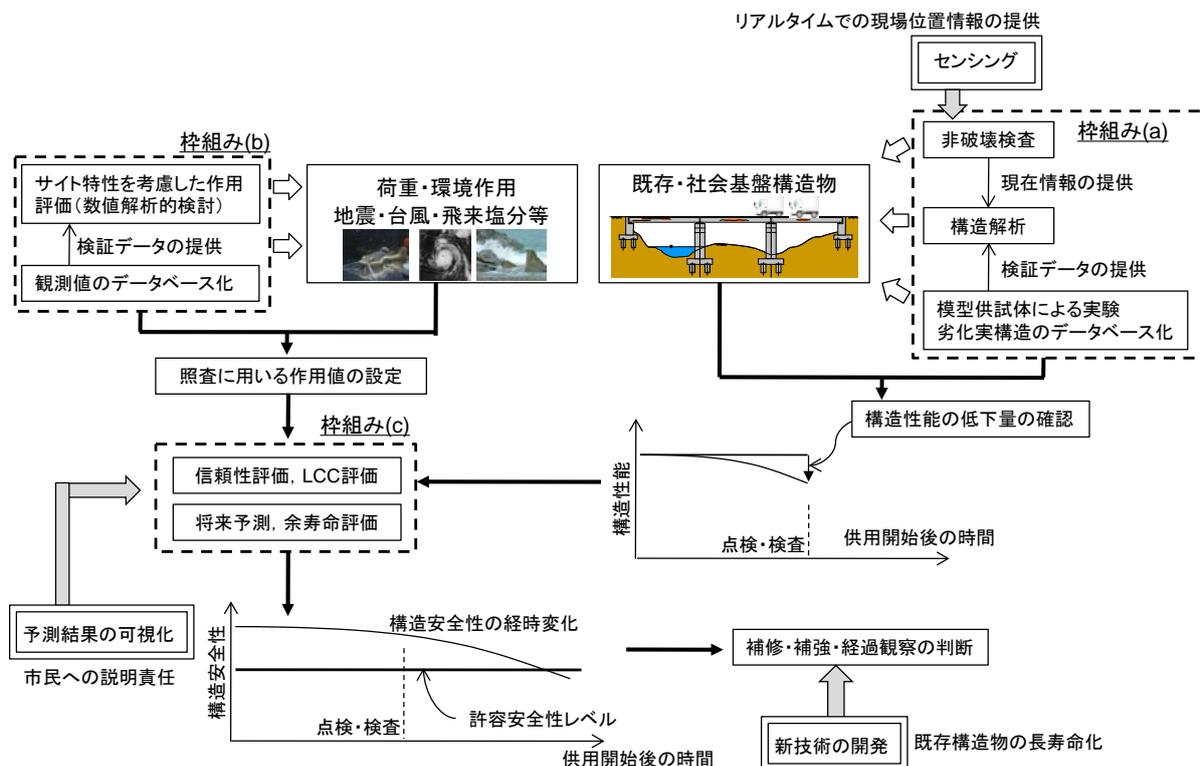


図 6.2.1 既存構造物のメンテナンスに係る検討内容の相関図

図 6.2.1 の「枠組み(b)」の内容は、インフラ構造物に作用する荷重・環境作用の評価に係るものである。兵庫県南部地震以降、多くの耐震規準が改定され、その中には、断層から発生する地震動を推定するように規定した規準は少なくない。設計規準において地震動を作成するプロセスが取り入れられてきたことは、地震動を推定する知識が深まり、体系化されてきた故である。このほかに、文部科学省地震調査研究推進本部など、我が国の地震動予測地図（確率論的地震動予測）が公表されるなど、地震の発生頻度やその規模は地域依存のものであることが積極的に公開

されている。一方、環境作用の評価も重点的に取り組まれている研究課題である。地震や風荷重などを対象に構築されてきた荷重論を援用し、地域性を考慮した環境作用モデルの構築が試みられている。海洋環境を例にすれば、時間的・空間的に変動するものとして、飛来塩分量、海風比率、降水・降雪量、気温、湿度、また空間的に変動するものとして、海岸線からの距離、対象構造物の周辺地形などがあり、それらの各影響を包含した環境作用モデルが求められている。なお、荷重・環境作用の評価は、近年、飛躍的に進歩した分野であるとは言え、それに係る不確定性の大きさは「枠組み(a)」の構造性能評価に係るそれに比べると圧倒的に大きいのが現状である。

「枠組み(c)」の内容は、構造性能と作用の比較から、既存構造物の安全性評価を行うものである。これに材料劣化の進展とそれに伴う構造性能変化の将来予測、さらには荷重・環境作用の時系列な変動を考慮することで、構造安全性の経時変化を表現できる。これと許容安全性レベルを比較することで、補修・補強、あるいは経過観察の判断を行うことになる。構造安全性は、信頼性理論を用いて信頼性指標により定量化するものや、他の力学指標を用いて検討することも行われている。また、近年は、ライフサイクルコストを判断指標として、単なる安全性の比較から、安全性と経済性の両者を考慮した検討も行われている。結果として、これらの指標に基づき、補修・補強の実施の有無の判断や、さらには対象地域内にある複数構造物に対して補修・補強優先度の順位付けなどが行われる。なお、補修・補強の判断基準となる指標は、当然、市民に対する説明責任を果たせるものでなければならない。

土木学会は、**図 6.2.1**の各項目に積極的に取り組み、深度化を図るとともに、相互の連携を常に意識することが重要である。ある項目の出力は、ある項目の入力となり、最終的に、既存構造物の補修・補強・経過観察の判断が下される。前記の 331 委員会の活動でも指摘されるように、例えば、構造解析技術者と非破壊検査を専門とする技術者が連携することで、構造物の現場位置で得られる情報を活かした構造解析が実施でき、より確かな精度での構造性能の開示が可能となる。構造解析で必要となる入力情報を非破壊検査に携わる技術者が理解することで、効率的、かつ合理的な非破壊検査結果が出力されるのである。各項目の研究者・技術者が**図 6.2.1**を念頭に全体を俯瞰して自らの専門に組み、相互の関係を理解することで、より確かなメンテナンスの構築が期待される。

(2) 技術者の育成・地方公共団体への支援

参考文献 4)などの市町村へのアンケートによると、市町村では、慢性的な人員不足、あるいは職員の技術力不足に陥っており、点検や検査の実施、あるいはその基づく診断が困難な状況にある。点検・診断作業を確実に実施し、点検・診断、設計あるいは補修・補強設計を適切に履行できる技術者・技能者の育成に土木学会は積極的に貢献するべきである。また、現在ある土木学会の資格について、橋梁やトンネルなどの各施設を対象として、各技術者のレベルを判断できる資格制度の確立も行うべきである。

参考文献

- 1) Ross Corotis, Holly Bonstrom and Keith Porter: Overcoming public and political challenges for natural hazard risk investment decisions, Keynote, Proceeding of the 5th Asian-Pacific Symposium on Structural Reliability and its Applications, Singapore, 2012.

- 2) http://infrastructurereportcard.org/sites/default/files/RC2009_full_report.pdf
- 3) 国土交通省社会資本整備審議会・交通政策審議会：今後の社会資本の維持管理・更新のあり方について 答申 本格的なメンテナンス時代に向けたインフラ政策の総合的な充実～キックオフ「メンテナンス政策元年」～，2013.
- 4) 北原京，渡邊学歩，麻生稔彦：アンケートによる小規模自治体の橋梁管理実態調査，土木構造・材料論文集，Vol.27，pp. 25-31，2012

7. 土木学会の行動宣言と行動計画

7. 1 行動宣言

災害が頻繁に起こる我が国においては、人々の災害に対する意識が高く、防災の取り組みも積極的に行なわれている。しかし、東日本大震災を始めとして、全国各地で起こる災害においては、犠牲者が絶えないのも事実であり、本報告書において記述の通り、見直すべき取り組みや新たな取り組みが必要とされている。

また、阪神淡路大震災（1995年1月19日）、東海豪雨（2000年9月11日）、東日本大震災（2011年3月11日）、伊豆大島豪雨災害（2013年10月10日）、広島豪雨災害（2014年8月20日）など現実起きた災害の経験をとおして、また米国でのハリケーン・サンディーに対する防災対策事例等から次のような多くのことを学んだ。

- ① 阪神淡路大震災、東日本大震災にみられるように、対策の中心をハード対策に頼るのみでは大規模災害からすべての人命をまもることは極めて困難である。大規模災害から人命・財産の損失を可能な限り減らす減災の考え方が必要である。インフラ施設の拡充（ハード）、都市構造の再編（ハード・ソフト）、防災活動（ソフト）のベストミックスな対応が要求される。
- ② 災害の形態は地域の自然環境や発生時期などの条件を素直に映し出し、まったく同じ災害は一つとしてなく、非常に現地条件を反映した個別的な側面を有している。有効かつ実効性のある地域防災計画や地区防災計画を策定するためには、現地を取り巻くもしくはおかれている自然・社会環境をも具体的に踏まえた計画を策定しなければならない。
- ③ 予知・予報等からスタートする災害対応は、ひとつの分野の範囲に留まることは決してなく、多くの専門分野に係る事象が複合して発生している。どのような災害でも、適切に判断し、適切に対応するためには分野横断的な組織対応が求められる。
- ④ 発災時に災害を正しく把握して、これから起きるであろう事態を適正に判断して適切な対応するためには、災害に係わる者一人ひとりの意識と対応が必要であり地域における防災リーダーの育成や支援が重要な課題である。行政においては市町村に災害対応の責務が集中していることから、大規模な災害の発生時には十分な対応が困難な場合が少なくない。
- ⑤ また、災害の形態は、発災後の時間経過とともに変化しながら進行していく。被害の最小化を図るためには、特にソフト対策においては災害の時間的進行にともない有効な対策が変化する。米国におけるハリケーン・サンディーの対策・対応で効力を発揮して注目を集めたタイムラインの考えを導入した地域防災計画・地区防災計画の立案が必要である。
- ⑥ さらに、最も重要で忘れがちな教訓は、災害の発生は対策準備が整うのを待ってこない。

このようなことから

土木学会は、土木技術の専門家集団として、自然災害に強い国土の創出のために、科学的知見の蓄積と発信、技術的な課題の解決法の提示を社会に行っていくとともに、科学・技術的知見を活かして、大規模な災害による市民の人命、経済活動、地域の活力をできる限り守るための具体的な行動を行う。

7. 2 行動計画

具体的な行動を進めていくにあたっては、連綿と続く国土・文化を継続させ、人命・財産の損失を限りなく減少させるため、土木学会は、科学的・学術的知見にもとづき国民の安全・安心に貢献するための取組みを行う。なお、別表1は、土木学会として取り組む必要がある項目を、地域・地区において実施する個別課題から一般的な学術的研究対象までを、また、短期的課題から長期的課題までを幅広く取りまとめたものである。

土木学会は、自らの専門性に基づく知見や災害に関連する分野の連携・対応の整合性を図り国土・国民の安全を守るため、災害は待ってくれないという認識のもと、支部の体制整備を早急に図り、現地（地域・地区）に根差した災害対策の具体的な行動を行うことし、以下に示す喫緊の課題を当面の行動として取り組む。

ア) 地区防災計画の策定支援

ソフト対策の中心は、地域における減災・防災力である。地域住民が災害時に適切な対応が実施できることが重要である。そのためには、災害に関する適切な理解と事前の準備が十分に出来ていることが必要である。これを確実に実施するために、行政と住民の役割を明確にするための計画が必要であり、行政の策定する地域防災計画に対応する地域における防災計画である地区防災計画を関係者の理解の下で策定しておくことが必要である。しかし、行政と住民との間では、課題によっては利害関係があるため、冷静な議論が困難な場合が少なくない。

土木学会は、計画策定に必要な議論の場に立ち会い、議論が円滑に進むよう助言と支援を行なう体制を整える。

- 各支部において自治体との支援関係の構築
- 自治体ごとにモデル地区を設定し、計画策定のための組織づくり
- 計画策定のための検討会を開催し、計画策定に必要な関係者の共通理解の構築
- 情報把握から避難行動まで確実な避難を実現するためのマニュアルの作成
- 計画策定の支援のため、経験のある学会会員を推薦あるいは派遣

イ) 地域防災計画の点検

地区防災計画の策定には、行政の策定する地域防災計画が適切に策定されている必要がある。

土木学会は、学術的知見に基づき地域防災計画の点検支援を行なう。

- ハザードマップ等の減災・防災情報について住民や企業に必要な情報（土地利用や構造物の現状の性能なども含め地域の様々なリスク等）が提供されているのかを点検、評価
- 学識者の派遣等による計画の点検、評価への協力
- シニア・エンジニアの様々な豊富な経験を活用
- ライフライン事業者や国・県の出先機関など関係機関との連携による支援体制の充実
- タイムラインを導入したソフト対策の立案と充実

ウ) 防災リーダーの育成支援

地区防災計画の策定に続き、計画を推進するには、地域におけるリーダーの存在が不可欠であ

る。自治会や自主防災組織は、地域防災を担う重要な役割を持っており、計画の策定や推進において、その主体的な活躍が期待されることから、地域での取組みを支援するとともに、それぞれの活動の中心となるリーダーの存在が重要となる。自治体では、地域の防災リーダーとして防災士(注:特定非営利活動法人 日本防災士機構が認証した人)の養成に取り組む事例が多くなっている。防災士には防災に関わる広い知識と防災に関する意識を持つものとされており、自治体とともに防災士養成への支援を行なうことはリーダー育成のひとつとして有効と考えられる。

土木学会は、支部活動を通して、地域の大学と連携して、地域のリーダーを育成に取り組む。

- 地域防災活動の支援
- 地域での学習講演会への参加
- 地域リーダーの育成
- シニア・エンジニアの様々な豊かな経験の活用

エ) 災害対応力の向上と育成支援

災害に関する理解は、必ずしも高くない。個人、企業など様々なレベルでの災害に関する対応力の育成を図る必要がある。

土木学会は、基礎的な災害に関する知識の習得から地域のリーダーや組織の管理者などに求められる瀬戸際の判断力、決断力の育成など、社会人の再教育に取り組む。

- 防災講習会の開催
- 自治会連合会や防災士会などでの勉強会の開催
- シニア・エンジニアの様々な豊かな経験の活用
- 減災・防災に関する功労者の表彰制度の創設
- 災害図上訓練の一手法である DIG (Disaster Imagination Game) やロールプレイングなどのシミュレーション研修
- ケースメソッド手法を用いた災害対応力の涵養
- 災害に強い社会基盤の維持管理に資する技術者の育成
- 上級土木技術者など防災に減災を含めた資格の拡充
- 災害対応、復興に関する技術的支援
- 災害の進行時における判断基準に関する助言
- 円滑な減災・防災活動のためのタイムラインの作成に関する助言
- 企業防災の向上のための BCP 策定支援 (建設分野の BCP 推進)

オ) コミュニケーション力の向上

災害においては、的確に情報収集を行ない、適切な判断を確実に行なうことが重要である。このために特に行政では関係機関との連携が重要であるとともに、高度な知識に基づいた判断を行なうための準備が必要である。また、多様な災害への対応は事前の準備だけにとどまらず、災害発生前後における災害対応力も重要であり、土木学会はそれらの各段階において技術的支援を行う。

技術的支援に際しては、行政のみではなく、必ずしも専門家ではない住民、企業等の災害に関わるものとのコミュニケーションを図ることが重要である。そのため以下に代表されるような活動等をとおしてコミュニケーション力の向上を図る。

- 平常時からの住民、企業等の防災関係者と意思疎通
- 災害の進行時における技術的支援
- 大規模災害の発生後の復興計画策定支援

カ) 社会への提言

東日本大震災など大規模災害から得られた教訓が適切に社会へ反映されるよう提言などの活動を進めていくことが必要である。過去の大規模災害により災害対策基本法などが改正されているが、東日本大震災の復興において明らかになったように、我が国の災害に取り組む枠組みには未解決の課題も多い。我が国の法制度は、通常为社会活動が維持されることを前提に策定されており、非常時の対応には不十分な側面がある。

土木学会は、減災・防災の課題解決に向けて新たな枠組みやすみやかな復興のための社会の仕組みなどの提言を行なう。

- 社会制度の見直しなど社会における枠組みへの提言
- 社会の変化に対応し、すみやかな復興に向けた仕組みの提案
- 災害リスクアセスメント制度確立の提案

キ) 分野を越えた委員会活動の融合

我が国の減災・防災に向けた取り組みは、高度なものとなっている。しかし、今後、さらなる減災・防災のための災害に取り組むためには、各分野が個別に取り組むだけでは限界がある。災害に強い都市構造や建築物について研究するために都市計画学会や建築学会と共同で取り組むなど、関係分野が連携し、適切な役割分担のもとで課題の解決に向けて取り組むことが必要である。

土木学会は、行動計画を効果的に実現するために、本部においては横断型委員会等の組織的な取組みと研究活動、支部においては関係分野との連携や総合的取組の推進をプロモートする。

- 分野を越えた議論に必要な場の確保、提供
- 異なる分野にまたがる共同研究の推進、技術開発
- 防災ロボットやセンサーなど新技術の開発
- すみやかな復興に向けた方策の具体化
- 住民に分かりやすいシミュレーションの開発、高度化
- 学会内に留まらない学会間の連携の推進

ク) 災害における情報共有の推進・改善

災害危険箇所や避難所などの災害情報、防災情報は、災害対応を行なう上で基本的な情報として重要である。平常時の備え、災害発生時の的確な対応のため、情報の共有やその内容について点検し、評価による改善を行なう必要がある。また、これらの情報は、凡例が統一されていなかったり、印刷物のために隣の地域とつないで見るが出来なかったりと、自治体ごとや管理者ごとに把握、整理されており、十分な共有が図られていない状況が見受けられる。

土木学会は、災害リスクマネジメントを実行するために、災害について正しく理解するための情報と正しく行動するための情報のありかたや作成方法を学術的に検討する。

- 災害リスクアセスメントの実施方法の策定

- 住民の理解、判断に役立つハザードマップの点検、検証
- ひな型の作成などハザードマップの要点を整理
- 発信者から住民までの災害情報のシームレス化の推進
- 危険情報の伝達手法の点検、評価
- 点検、評価に必要な支援および仕組みづくりの支援

ケ) 災害に強いまちづくりへの取組み

減災・防災体制、防御施設の整備とともに、災害に強いまちづくりが、不可欠である。土木学会は、地域の安全性向上のためのハード・ソフト対策の支援を行う。

- まちづくりと基盤整備の更なる連携
- 公民、産官学など地域における減災・防災に関わる主体間の連携
- 都市計画や土地利用に関係した既存不適格の評価
- コンパクトシティーへの取組み提言

コ) 海外協力

京都大学防災教育の会（KiDS）や早稲田大学の防災教育サークル「ワセンド」のように国境を越えた防災教育活動が実施されているなど、国内における防災活動だけでなく、防災活動によって培われた技術や制度を海外の防災に役立てる活動が求められている。

土木学会は、我が国における減災・防災の活動を海外に向けて積極的に発信するとともに、技術移転の協力を行う。

- 減災・防災に関する国際会議への積極的な参加
- 減災・防災に関する国際会議の誘致
- 国境を越えた減災・防災教育活動の実施
- 海外の災害調査
- 各地域の特性のあわせた減災・防災技術の移転協力

サ) その他の取組み

前述の取組みを有効に進めるため、授業や講演会で使用する教材など災害に関する資料の収集、整理は学会としての主要な役割である。また、学会として専門的な知識や情報を、地域や住民に分かり易い情報として提供するよう努める必要がある。土木学会は、以下の様々な取組みを継続的に行っていく。

- 教材開発（小中学校向け）
- 研修資料作成（高校、大学、成人向け）
- 参考資料の提供（講師向け）
- 分野別、地域別専門家リストの作成と公表

上記ア)～サ)に記した項目の検討に際しては、災害の進行にともなって求められる役割が変化することに配慮した効率的な支援策を事前に準備しておくことや、また、災害時にはそのことに配慮した支援に努める必要がある。[別表2]は、災害の進行にともなって変化する「災害による被害から見た土木学会の役割」と「地域での土木学会の役割」を示している。

[別表 1]

項目	実施時期	実施機関	備考
【実施項目】			
災害リスクアセスメント制度確立の提案（4.1-①）	<短期>	本部（委員会）	（新規）
誰にも分かり易い災害リスクの解説を作成（4.2-①-1）	<短期>	本部（委員会）	（新規）
災害リスクに関する地域学習会の開催（4.2-①-2）	<短期>	支部	（新規）
<ul style="list-style-type: none"> ➢ 住民の保有する地域情報の収集 ➢ 地域情報から導かれる災害リスクの究明 			
過去の災害、地域リスクに関する市民学習会（4.2-①-3）	<短期>	支部	
防災教育（小学校、中学校、高等学校）への講師派遣（4.2-①-4）	<短期>	支部	
多様な災害に関する市民学習会（4.2-②-1）	<短期>	本部・支部	
より実効的な地域防災計画の策定支援（4.2-②-2）	<短期>	支部（本部で方針を集約）	
事前での復興計画の策定支援（4.2-②-2）	<短期>	支部（本部で方針を集約）	（新規）
未来志向の対策（4.2-②-3）	<中期>	本部（委員会）	（新規）
長期的視点に立ったリスクの緩和（4.3-①-1）	<中期>	本部（委員会）	（新規）
土地利用等規制による被災リスクの軽減（4.3-①-2）	<中期>	本部（委員会）	（新規）
災害の多面的評価と土地利用計画への反映（4.3-①-3）	<中期>	本部（委員会）	（新規）
住民合意による防災まちづくり（4.3-①-4）	<中期>	本部（委員会）・支部	
社会システムの分散に関する提言（4.3-②-1）	<中期*>	本部（委員会）	（新規）
重要施設に関するリダンダンシーの提案（4.3-②-2）	<中期*>	本部（委員会）	*実現時期は長期
ハード・ソフト対策のベストミックス（4.4-①-1）	<中期*>	本部（委員会）	（新規）
社会インフラの整備の促進（4.4-②-1）	<中期>	本部（委員会）・支部	
学際にとらわれない防災マネジメントの実施（4.4-③-1）	<短期>	本部（委員会）・支部	
社会インフラの維持管理の推進（4.4-③-3）	<短期>	本部（委員会）・支部	

項目	実施時期	実施機関	備考
重点地域での迅速な防災対策の呼びかけ（4.4-③-5))	<短期*>	本部（委員会）・支部	（新規）
災害時のソフト対策の連携の呼びかけ（4.4-④-1))	<短期>	本部（委員会）・支部	
住民と行政の連携によるソフト対策（4.4-④-2))	<短期>	本部（委員会）・支部	
地域ぐるみのソフト対策（4.4-④-3))	<短期>	本部（委員会）・支部	
誰にでも分かる防災計画の作成（4.4-④-2))	<中期>	本部（委員会）・支部	
防災担当職員の配置（4.5-①-1))	<短期>	本部（委員会）・支部	
自治体の相互支援体制の構築（4.5-①-5))	<中期>	本部（委員会）・支部	
【研究課題】			
国土の脆弱性の明確化（4.1-①-1))	<短期>	本部・支部	（新規）
災害リスクの大きさと影響範囲の明確化（4.1-①-2))	<短期>	本部（委員会）	（新規）
過去の災害情報の収集と整理（4.1-①-3))	<短期>	本部・支部	
災害と地域特性の関連性の明確化（4.1-①-3))	<短期>	本部（委員会）・支部	
複合災害によるリスクの明確化（4.1-①-4))	<中期>	本部（委員会）	
社会システムの高度化と災害リスクとの関連の明確化（4.1-②-1))	<中期>	本部（委員会）	
土地開発と災害リスクとの関連の明確化（4.1-②-3))	<中期>	本部・支部	
気候変動と災害リスクとの関連の明確化（4.1-②-4))	<中期～長期>	本部（委員会）	
海外における災害事例の収集と災害リスクとの関連の明確化（4.1-②-2))	<中期>	本部	
社会システムにおける重要施設の機能配置の研究（4.3-②-3))	<中期～長期>	本部（委員会）	
防災施設の強靱化に関する研究（4.4-③-1))	<中期>	本部	（新規）
経年劣化を考慮した性能評価（4.4-③-3))	<中期>	本部（委員会）	
防御施設の副次効果の評価（4.4-③-2))	<中期>	本部（委員会）	
関連施設の副次効果の評価（4.4-③-4))	<中期>	本部（委員会）	（新規）
事前・事後対応を含めた防災対策の提案（4.4-⑤-2))	<中期>	本部	（新規）
計画を超過する災害にも対応した総合的なリスク管理（4.4-⑤-4))	<中期>	本部（委員会）	（新規）
リスクの軽減・分散を組み合わせた総合的なリスク管理（4.4-⑤-5))	<中期>	本部（委員会）	（新規）

項目	実施時期	実施機関	備考
大規模被害を踏まえた費用便益分析手法（4.4-⑤-6）	<中期～長期>	本部	（新規）
責任分担の明確化に関する研究（4.5-①-4）	<中期>	本部（委員会）	（新規）
将来の復興計画に関する検討（4.5-③-2）	<中期～長期>	本部（委員会）・支部	（新規）
【開発項目】 社会システムの複雑化を踏まえた災害シミュレーションの開発（4.4-⑤-3）	<中期>	本部・支部	（新規）

※実施時期 短期（早期に）、中期（3～5年）、長期（5～10年）

※（）書き 「4. 課題と実現策」における（章）－（節）－（項目）を示す。

※実施機関 本部：学会本部 支部：地方支部 本部（委員会）：新設委員会

[別表2]

災害による被害からみた土木学会の役割

地域での土木学会・連携組織の役割

時期	自然現象	社会基盤施設	社会システム		個人	地域での土木学会・連携組織の役割			
			行政	コミュニティ		【土木学会本部】	【土木学会支部】	【大学】	【研究者・技術者】
事前	観測 予報、予測、 予知、長期予 測(温暖化等)	性能予測、設 計・施工、維持 管理	災害防御施設、 体制整備、法規 制(土地利用)、 まちづくり(実 施)、情報提供 (ハザードマ ップなど)	勉強会 防災訓練	学習 備え 訓練 心構え	<ul style="list-style-type: none"> ・被災メカニズムの研究(連鎖相関図) ・災害に関するデータの集約 (アーカイブス、データベースの整備) ・リスク評価と発信 ・危機管理体制のあるべき姿の提示 ・一般向けのシンポジウム、パネル展 示 ・地区防災計画実施マニュアルの作 成・提案 ・減災・防災に関する技術開発 ・HPの充実による情報発信 (一般にも分かりやすいHPの開設) 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域特性に応じた被災メカニズムの 研究(連鎖相関図) ・過去の災害に関するデータの収集・ 整理 ・首長や住民とのリスクコミュニケー ション ・災害対応支援(タイムライン) の地域への定着 ・地域ネットワークの構築 (首長との意志疎通、地方公共団体や 市民団体との関係強化) ・市民向けのシンポジウム、パネル展 示 	<ul style="list-style-type: none"> 地元自治体との連携による協働 (職員向け講習会・研修、最新情報提 供) ・組織の意識改革(トップセミナー) ・人材育成(学生・技術者) (公開講座、技術者養成プログラム、 フォーラム) ・市民向けのシンポジウム、パネル展 示 ・地区防災計画の作成・実施支援 ・大学間交流の促進(連携組織の結成) 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域との連携による協働(講演会、 講習会・減災・防災教育、) ・ハザードマップの読み方勉強会 ・地域避難訓練の計画 ・避難訓練の指導 ・地区防災計画の作成・実施への指 導・助言
直前	現象(河川水 位など)の把 握、前兆現象 の把握	状態把握 緊急措置(通行 止め等)	注意報・警報 避難勧告・指示 →情報伝達	避難行動支援	避難判断・行動、 情報収集、 共助への参加			<ul style="list-style-type: none"> ・地元自治体への技術支援 	<ul style="list-style-type: none"> ・地域への説明(被災機構の解説) ・住民の不安解消(今後の対応策)
発生									
直後	災害状況の把 握	復旧	被災状況の把 握 被害の拡大防 止 施設の復旧	救助、避難生活の 支援、(支えあい)	(救助)	<ul style="list-style-type: none"> ・現地調査団の派遣 ・災害発生原因の究明(委員会の設置) (=応急対策の提案) 	<ul style="list-style-type: none"> ・現地調査団の組織・派遣 	<ul style="list-style-type: none"> ・地元自治体への技術支援 ・周辺大学による被災地大学の支援 (学会テックフォース) 	<ul style="list-style-type: none"> 検討委員会等への参画
事後	現象解明	補修・補強	施設被害の解 明 まちづくり(都 市計画) 復興計画	コミュニティの 再生・再構築、課 題・問題のレビュ ー、→システム、 あり方の改善	日常生活の回復	<ul style="list-style-type: none"> 提言のまとめ(災害による教訓の伝 授) 			
学会 の役 割	機構解明	技術開発	地域防災計 画への助言	社会への提言	地区防災計画 の作成支援・ 助言				

参 考 资 料

1. 土木学会の自然災害に強いしなやかな国土の創出への貢献と反省

1. 1 阪神・淡路大震災

1) 概要

1995年1月17日午前5時46分、淡路島北部沖の深さ16kmを震源として、 $M_j7.3$ の兵庫県南部地震が発生し、阪神・淡路大震災と呼ばれる甚大な災害をもたらした。近代的な巨大都市の直下で起こった我が国初の大地震であるとともに、1996年9月末までの旧震度階では震度7が唯一記録された地震である。震度7のエリアは、震源域の近くの神戸市須磨区鷹取、長田区大橋、兵庫区大開、中央区三宮、灘区六甲道、東灘区住吉、芦屋市芦屋駅付近、西宮市夙川付近等の帯状の地域や宝塚市の一部及び淡路島の東北部の北淡町、一宮町、津名町の一部に及び、その状態が帯状であったことから「震災の帯」と呼ばれた。神戸海洋気象台の記録（南北 818cm/s^2 、東西 617cm/s^2 、上下 332cm/s^2 ）は代表的な強震観測記録である。

被災地を襲った地震動の主要動継続時間は約10秒間と短かったが、一般木造住宅や中低層ビルに影響を与えやすい1~2秒程度の周期に大きなパワーを持っていたため甚大な建物被害が発生した。住家被害は、全壊104,906棟、半壊144,274棟、一部破損390,506棟の合計639,686棟に及んだ。地震を原因とする出火は兵庫県内の251件を筆頭に、大阪府、京都府、奈良県の2府2県で合計285件に及び、その一部が延焼し最終的には全焼7,036棟、焼損棟数7,574棟、罹災世帯8,969世帯、焼失面積約83万5千 m^2 となった。

人的被害としては、死者6,434人、行方不明者3人、負傷者43,792人（うち重傷は10,683人）に及んだ。死者は既存不適格建物を中心とする住宅被害によるものが多く、焼死者もその殆どは被災家屋の下敷き状態で逃げ遅れたものである。多数の住宅被害とライフライン障害によって、ピークの避難者数は316,678人に達した。

地震動と地盤変状によるインフラ施設の被害は甚大で、阪神高速道路3号神戸線の単柱高架橋の600m以上にわたる崩壊をはじめ、各種の道路被害が7,245箇所、橋梁被害が330箇所が発生した。また港湾施設や新幹線を含む鉄道施設、ライフライン施設にも甚大な被害が生じた。結果として、鉄道は山陽新幹線を含め13の鉄道会社で不通が発生、道路でも高速道路を含め27路線36区間で通行止めなどの被害が発生した。さらに河川堤防などの被害が774箇所、崖崩れが347箇所が発生した。これらの中で、西宮市仁川では、住宅街に面した造成斜面において大規模な地すべりが起こり、34名が犠牲になった。

ライフラインの障害は、直後には、水道は約130万戸の断水、工業用水道で289社の企業の断水、下水道は8処理場に障害が発生、電気は約260万戸の停電、都市ガスは大阪ガス（株）管内で約86万戸の供給停止、加入電話は30万回線超が不通となる等の被害が発生した。復旧は最短の電気が発災6日後に停電が解消、最長の水道とガスでは供給停止エリアの消滅には約2.5ヵ月を要した。

被害総額は直接被害が約10兆円で、その内訳は建築物等（住宅、店舗・事務所・工場、機械等）が約6兆3千億円、交通基盤施設（道路、港湾、鉄道）が約2兆2千億円、ライフライン施設（電気、ガス、水道、下水道、通信・放送等）が約6千億円、その他が約5千億円である。

2) 土木学会としての貢献と課題

・調査団

地震発生後、直ちに第1次から第4次にわたる震災調査団が派遣され、第1次及び第2次報告会と本部主催／支部共催の震災調査報告会が実施されている。特に、調査団に関しては、新潟県中越地震等の後の震災時における調査団の組織化・運営の基礎となった。

・調査報告書

災害像を詳らかに後世に残すという使命から、土木学会、地盤工学会、日本機械学会、日本建築学会、日本地震学会の5学会が連携して阪神・淡路大震災調査報告編集委員会を立ち上げ、共通編3巻、土木学会・地盤工学会編12巻、日本建築学会編10巻、日本機械学会編1巻の全26冊の報告書を、震災後3年を目途に発刊した。土木学会内においては、機動的に対応するため分野横断的な編集委員会を設置し、報告書の編纂にあたった。なお、地震災害に対して学会連携の報告書は初めてのことであった。

・提言

社会的なメッセージとしては、「土木構造物の耐震基準等に関する提言（第1次提言）」（1995年5月）、「土木構造物の耐震基準等に関する第2次提言」（1996年1月）、及び、「土木構造物の耐震基準等に関する提言（第3次提言）」（2000年6月）の三次にわたる提言を発信し、特に、第1次提言で示されたレベル2地震動の考え方は後の各種耐震基準の改正の拠りどころとなった。また、これらの提言の取りまとめのスタイルは、新潟中越地震や海溝型巨大地震に対する提言などに繋がるものであった。

・委員会活動等を通じた技術動向のレビュー

阪神・淡路大震災後の10年には、鋼構造委員会、構造工学委員会、コンクリート委員会、コンサルタント委員会、地震工学委員会、地盤工学委員会、土木計画学委員会が中心になり、10周年行事实行委員会を組織した上で、専門家・土木技術者向け（2004年10月）及び市民向け（2005年1月）のシンポジウムを開催した。併せて、計14の研究委員会の協力を得て、震災後10年間の調査研究活動成果マップを作成し、シンポジウムの際に公表することで、土木学会が関与した技術的な変遷についてレビューを行なった。

・今後の課題

一方で、阪神・淡路大震災から20年が経過し、土木学会が関わる技術動向のレビューが改めて求められている。前述した土木学会提言の章・節・項の各項目は、阪神・淡路大震災を受け、土木学会が当時の課題として位置付けた内容を示している。これらの課題に対して、土木学会としての関与の度合いと、この20年間で達成の度合いをレビューする必要がある。ハード対策及びソフト対策の単体の項目は土木学会の各調査研究委員会の強みであり、精力的に知見が明らかとなってきているが、それらの社会実装への支援や市民への情報提供と公開には一層の取り組みが必要である。また、ハードとソフトの融合課題の発掘と解決、土木学会の活動が起点となった災害情報学分野へのイノベーション、及び、社会・経済分野に関わる制度設計や国際的な場への

貢献等が大きな課題としてあげられよう。

参考文献

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会：共通編 3 巻、土木学会・地盤工学会編 12 巻、日本建築学会編 10 巻、日本機械学会編 1 巻、丸善。
- 2) 土木学会：日本土木史、第三部（技術・学術）、第 12 章 地震工学、2015 年。

1. 2 東海豪雨

(1) 気象条件と洪水被害

2000年9月11日から12日にかけて、本州を横断する形で秋雨前線が停滞しているなか、大型で非常に強い勢力の台風14号がゆっくりと西南西に向けて沖縄方面に進行していた。台風の東縁を暖かく湿った暖気が北上し、前線に流入することにより、東海地方では積乱雲が発生・発達を断続的に繰り返し、同じ地域に長い時間にわたり強い雨がもたらされた。特に愛知県西部から三重県北部では、最大で1時間に100mm、一日で500mmという記録的な大雨となった。断続的に積乱雲が発生・発達・衰弱を断続的に繰り返し、「初めての経験であり、急激に変化する実況に対応するのが精一杯」との気象台職員のコメントも出されたほどの仕組みの複雑な大雨であった。

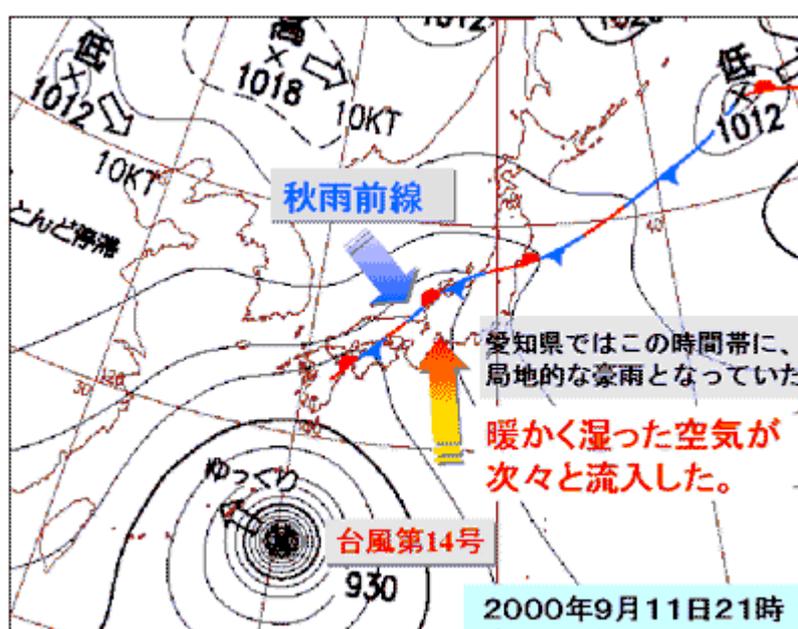


図-1.2.1 東海豪雨時の地上天気図と暖気流入の様子
(名古屋地方気象台 HP から参照)

このときに記録された降水量は、治水目標をはるかにオーバーする計画に対する超過降雨であった。この豪雨で名古屋市庄内川水系新川で長さ100mにわたって堤防が決壊し、広範囲で浸水被害が発生した。また、名古屋市天白川では破堤はしなかったものの、ポンプ場の燃料供給システムの故障により、排水機能が停止したため、内水氾濫となり、天白区野並地区では2m以上の浸水となった。この水害により、愛知県では死者7名、重軽傷者107名、床上浸水24,610世帯に達した。

土木学会では、災害緊急対策部門と水理委員会が協力し、この災害に対する調査団派遣を決定し、10月3日²⁾ならびに同月13日³⁾に視察を行った。庄内川の放水路として1780年代に設けられた新川は、1950年以降急速に都市化が進み、治水インフラ整備の進捗が遅れたことが外水氾濫の要因となったことが指摘された。また、排水施設の故障が内水氾濫を引き起こしたことも、新たな災害要因として認識された。このほか、名古屋市営地下鉄の名城線、鶴舞線ならびに桜通

線の駅構内や一部区間において浸水し、洪水に対する地下施設の脆弱性も指摘された。このような都市域における外水氾濫と内水氾濫の連動、さらには地下施設の脆弱性が重なって起きた水害として、東海豪雨は都市型水害の典型として広く認識された。

(2) 課題に対する克服と社会への実装化

都市型水害緊急検討委員会（玉井信行委員長，2000.10.4）では、都市型水害の未然防止や被害の軽減を図る都市型水害対策に関する緊急提言が出され、東海豪雨による予測困難性、内水氾濫と外水氾濫の連動、さらには地下施設の脆弱性などへの対応が求められた⁴⁾。土木学会においては、シンポジウムや講演会に数多くの研究成果が発表され、降水、洪水、氾濫などの災害を予測する手法が提案された。

法制面では、諸課題に対して立てられた対策を実行するために、水防法や気象業務法が改正されたほか、新たに特定都市河川浸水被害対策法が制定された。水防法は2001年に改正されたが、その内容は、洪水予報河川の拡充、浸水想定区域と浸水想定区域（いわゆる洪水ハザードマップ）の作成の義務化、浸水想定区域における円滑かつ迅速な避難の確保、さらには地下空間に対する洪水予報の伝達などのソフト対策の拡充である。この結果、洪水予報河川および水位周知河川（2010年時点，計1,870河川）に指定された河川が、氾濫した場合に浸水が想定される区域を浸水想定区域として指定され、それぞれ洪水ハザードマップが公表されている。気象業務法の改正では、気象庁が気象予測に基づいて広域に発表する一般洪水予測に加えて、地域を絞り込み河川名を特定した洪水予報が都道府県知事管理河川においても発表されるようになり、水防活動や避難活動に対して効果的な情報提供が図られるようになった。特定都市河川浸水被害対策法は2003年に制定され、雨水流出抑制のための規制、流域水害計画の策定、都市洪水想定区域等の指定・公表、河川管理者による雨水貯留施設の整備など外水氾濫のみならず内水氾濫も含めた総合的な浸水対策の実施を可能とした。

これら法改正に激甚災害対策特別緊急事業（2000-2004）と名古屋市緊急雨水事業（2001-2010）も併せて、庄内川、新川ならびに天白川では、河床の掘削と堤防の嵩上げ、遊水池の整備、ポンプの増強、防災情報システムが整備され治水能力が強化された。2011年の台風15号では、庄内川の多治見観測所で東海豪雨以上の総雨量を観測したものの、この能力向上により浸水被害個数が62,573戸から961戸に激減された。

(3) 今後の課題

社会が有する各種のハザードに対する防災・減災力の現状とリスクの洪水編でも述べたように、重要と位置づけられた河川においても治水整備度は完全ではない。都市河川の改修が進まない理由としては、抜本的に治水安全度を向上させるための設備（スーパー堤防や大規模地下放水路）の導入には巨額の費用がかかることと、都市部の土地回収の困難さが挙げられている⁵⁾。

一方、ソフト面では、東海豪雨以後、水害に対する避難法や避難シミュレーションのあり方についての議論も盛んに行われるようになってきたが、災害弱者への対応など実施体制を確立するためには未だ解決していない課題も多い。また、洪水予測のための技術は進歩しているが、地方自治体の現場では洪水予測の精度が確保できていない事例が多く見られている⁶⁾。現場で十分な精度が得られていない原因として、洪水予測の出力と具体的な水防活動などの実務の関係性が曖

味になっていることや、地方自治体における危機管理では消防組織や市役所や町役場の総務課が主体であり、河川技術者が少ないことが挙げられる。

参考文献

- 1) 名古屋地方気象台：平成 20 年 8 月末豪雨により被災した自治体への聞き取りから得られた課題，測候時報，pp.115-135,2000 年.
- 2) 東海豪雨災害土木学会調査団：第 1 回視察（平成 12 年 10 月 3 日）報告，2000 年.
- 3) 東海豪雨災害土木学会調査団：第 2 回視察（平成 12 年 10 月 13 日）報告，2000 年.
- 4) 都市型水害緊急検討委員会：都市型水害対策に関する緊急提言，2000 年.
- 5) 辻本哲郎，2009 年台風オンドイによるマニラ水害 - 東海豪雨 10 年での都市型水害の課題の再認識，東京大学生産技術研究所主催平成 22 年度河川災害に関するシンポジウム，2011 年.
- 6) 椿涼太，内藤正彦：危機管理の実務に供する洪水予測技術，2013 年度河川技術に関するシンポジウム・オーガナイズドセッション，2013 年.

2. 土木学会の研究活動の現状

委員会名：コンサルタント委員会

【強朝化に関する研究活動全般に対するコメント】

「国土強朝化」の実現に向け、「しなやか」な社会を実現するための「ソフト施策」に関する検討課題が多くある。当委員会で小委員会活動を通じて、さまざまなステークホルダーとのコミュニケーションによる国土作りに関する検討を続け、ハード施策とソフト施策をベストミックスさせた総合工学である「土木」という工学のあり方を模索してきており、「国土強朝化」を支える「ソフト施策」のあり方について検討を続けていく。

既存の活動		今後の活動
国土・地域の災害リスクの明確化	[市民交流研究小委員会] 一般社会へ「土木」を定着させるためには、「土木」をより身近なものとして捉え、正しい理解を深めてもらうことが必要である。当小委員会は、「くらし」に密接に関わる市民との交流促進を目指し、以下の活動を進めている。 1. ぐらしに密着した土木学会活動成果の市民への発信 2. 市民と土木関係者との相互交流 3. ささまざまな社会活動(他の市民団体など)との連携・支援 ◎	左記の活動を今後も継続し、市民の防災意識啓発を図るとともに、他の委員会でハード施策を含む研究成果と融合し、国土強朝化に向けた学問の体系的な取り組みについての情報発信を目指す。
社会の災害リスクの理解	[地域におけるコンサルティング・サービスのあり方に関する検討小委員会] 長期にわたる経済の停滞、人口減少社会への移行、中央と地方の間の格差問題などが進行する中、地域の主体性を重視した社会資本の検討・整備・活用が求められている。	左記の小委員会は、活動成果をとりまじめに活動を終える予定であるが、これまでの成果をもとに何らかの体制を作って活動を継続する可能性を検討する。
災害リスクの緩和(作用の低減)	税収減、技術職員減少が進む中、維持管理の増大、社会ニーズの変化への対応が迫られる地域の自治体を外部から支援するための土木技術者の連携・協働によるコンサルティング・サービスのあり方を調査・検討している。 ◎	左記の活動を今後も継続し、「市民参加型防災まちづくりハンドブック」等の発信により関係者の啓発を図るとともに、他の委員会でのハード施策を含む研究成果と融合し、国土強朝化に向けた学問の体系的な取り組みを目指す。
災害リスクに対する対策(作用に対する防御)	[市民合意形成小委員会] コンサルタントは、発注者のパートナーとしての計画・設計者であるとともに、公共事業の説明責任の一端を担い、中立・独立な立場での役割が期待される。 当小委員会では、市民参加における合意形成プロデューサーとしてのコンサルタントの役割、その手法や課題について研究を行っている。 防災面では、東日本大震災を教訓に、NPO、市民との意見交換を通じた啓発活動、防災まちづくり等の市民力を活かした地域づくりの新たなしくみを研究し、合意形成プロデューサーの職能の確立に向けて研究を進めている。 ◎	左記の活動を今後も継続していくとともに、他の委員会でのハード施策を含む研究成果と融合し、国土強朝化に向けた学問の体系的な取り組みを目指す。
災害リスクに対する対応(作用が来たときの行動)	[BC(ブランディング・シビル)研究小委員会] 一線を退いた経験豊かな土木屋の果たす役割、土木のブランディングについて研究を継続している。国土強朝化を支える技術者のあり方を考えるひとつの切り口である。 ◎	左記の活動を今後も継続していくとともに、他の委員会でのハード施策を含む研究成果と融合し、国土強朝化に向けた学問の体系的な取り組みを目指す。

既存の活動内容が、①社会に実装済みの場合は☆、②活動が終了し実装はされていない場合は★、をつける。現在課題解決中のものは、将来性・発展性:かなり有望◎/有望○、3)課題として認識するも取組途上●、の計3つのマークで類別する。

委員会名：建設マネジメント委員会

【強靱化に関する研究活動全般に対するコメント】

東日本大震災における建設関係機関の災害対応活動を調査した結果、BCP・災害協定・訓練など事前の備えが有効であったことが確認でき、これらが災害対応の基本であると考える。一方、活用できる資源や情報に限られた中で、災害対応を行う組織のリーダーによる平時のルールにとらわれない判断や行動が効果をあげた事例が多く、局面で認められた。このことから、建設マネジメント委員会では大災害時など危機的な状況においても的確な対応ができる人材の育成を重視し研究活動を行っている。

	既存の活動	今後の活動
国土・地域の災害リスクの明確化		
社会の災害リスクの理解		
災害リスクの緩和(作用の低減)		
災害リスクに対する対策(作用に対する防御)		
災害リスクに対する対応(作用が来たときの行動)	<p>[災害対応マネジメント特定テーマ委員会(東日本大震災災特別委員会)]</p> <p>東日本大震災時の行政、建設企業の活動についてヒアリング・アンケート調査により実態を把握するとともに、マネジメントの視点で評価し課題とその対応策を検討した。この中でケースメソッド手法による人材育成の必要性を提言。◎</p> <p>[災害対応マネジメント力育成研究小委員会]</p> <p>災害時に的確な判断・行動ができる人材の育成方法を研究し、ケースメソッドを用いた教育訓練法を提案するとともに、東日本大震災を題材とした11のケース教材を作成。☆</p> <p>[建設ケースメソッド普及小委員会]</p> <p>各地で模擬授業を行うとともに、土木学会全国大会の研究討論会(2014年9月)、国連防災世界会議の公開シンポジウム(2015年3月)等で報告・討議した。◎</p>	<p>[建設ケースメソッド普及小委員会]</p> <p>東日本大震災以外の災害及び建設事業の実施において遭遇する危機的状況を題材としたケース教材を作成するとともに、建設分野において継続的・発展的にケースメソッド手法が普及する仕組みを検討・構築する。◎</p>

既存の活動内容が、①社会に実装済みの場合は☆、②活動が終了し実装はされていない場合は★、をつける。
現在課題解決中のものは、将来性・発展性:かなり有望◎/有望○、3)課題として認識するも取組途上●、の計3つのマークで類別する。

委員会名： 水工学委員会

【強靱化に関する研究活動全般に対するコメント】

河川・海岸などの自然公物の災害耐荷力は、力学的強度に加えて自然共生度や景観価値が重要な視点となる。例えば、移動床水理学はかつて防災科学中心であったが、河川地形や河床材料などエコシステムを支配する流砂系の学術体系となっている。地域の人々が平時から水系に関心向け災害時に適切に行動するためには、水辺の自然環境や景観価値を一定水準に保つことを前提にしなければ、災害に対する社会の韌性を向上させることはできない。国民とインフラの価値観を共有するためには構造力学的強靱性に特化した議論に偏重しないように留意したい。

	既存の活動	今後の活動
<p>国土・地域の災害リスクの明確化</p>	<p>[水工学委員会全体] 水害リスクの定量化・見える化を果たすための観測・予測技術に関する最新の調査研究を実施し、その成果は随時、実用化されている。また、CommonMPやiRICなど汎用解析ソフトの国内外への普及を図っている。☆ [流量観測技術高度化小委員会、ISO/TC113小委員会] 治水対策を講ずる上で最も基本となる流量観測技術を調査研究している。また、水害リスク管理技術の一環として流量計測技術の国際的発信を図っている。◎ [水文学部会、地球環境水理学小委員会] 全球規模の水象解析技術を開発し、地球温暖化が洪水・濁水に及ぼす影響を科学的に明らかにすること、大気物理に基づく局地性豪雨の発生機構に関する研究を進めること、地球規模の環境変化が水系の水質や生態系に及ぼす影響を明らかにすることを、使命として調査研究を継続している。◎ [東南アジア河川流域研究小委員会] 治水インフラの整備が行き届かない地域での風水害の調査研究により、国土・地域の災害リスク解析技術の機能と有効性を検証している。◎ [基礎水理・環境水理・河川部会] 地域・気候に応じた水系毎の特徴に注目して河川のフィードバック研究を遂行し、地先の治水安全と自然環境が平衡した河相形成に関する調査研究を遂行している。◎</p>	<p>水工学委員会全体] 水害リスクの予測・評価と対応技術の性能向上に資する研究課題を恒常的に更新・提示し、各研究機関での活動の促進・効率化を図る。 [水文学部会、地球環境水理学小委員会] より高い時間空間分解能で災害リスクのリアルタイム空間情報を明示するための技術革新を継続する。 [東南アジア河川流域研究小委員会] 流域地形と水文・気象特性が異なる水害の諸情報を収集・解析して災害学理を深化するとともに、災害リスク解析・管理技術の東南アジア河川流域への試行・実用化を図る。 [基礎水理・環境水理・河川部会] 自然・社会現象を総合的に捉えた災害リスク解析の手法を確立し、災害リスクを明示するわかりやすい指標を開発するとともにリスク解析精度の向上を図る。</p>

<p>社会の災害リスクの理解</p>	<p>[水工学委員会全体と水文・基礎水理・環境水理・河川部会] 毎年、各地で水シンポジウムを開催し、市民を交えた水害への備え、河川との関わり合いについて、地域・水系特性を反映した意見交換と社会へのシンポジウムからの提言を发出している。☆ [水害対策小委員会] 水害調査結果の速報を介して地域に水害発生機構と今後への備えをわかりやすく説明している。◎ [流域管理と地域計画の連携方策研究小委員会] (土木計画学委員会との共同)水害リスクへ情報を流域社会で共有し、リスクへの正しい理解を促進するための取り組みを模索している。まちづくりと水工インフラの総合整備戦略を目指している。○</p>	<p>[水工学委員会全体] 水シンポジウムでは、水害の科学的解明とともに水害に強い社会形成のための市民の心構えと学会の使命を議論する。これにより、災害に強く復興しなやかさを発揮できる社会の実現を図る。 [水害対策小委員会] 災害の発現機構を市民にわかりやすく伝え、災害に対する高い耐荷力を備えた社会を形成する。</p>
<p>災害リスクの緩和(作用の低減)</p>	<p>[水工学委員会全体] 災害リスクを緩和するための水工諸施設の運用方法に関する調査研究を進め、水工学講演会などで最新情報の共有を図っている。◎ [水文・河川・基礎水理・環境水理部会] 生態系環境を損ねることなく洪水災害を緩和するための河川整備のあり方を多角的に検討している。◎ [流域管理と地域計画の連携方策研究小委員会] (土木計画学委員会との共同)水害リスクへ情報を流域社会で共有し、リスクへの正しい理解を促進するための取り組みを模索している。まちづくりと水工インフラの総合整備戦略を目指している。○ [水害対策小委員会] 風水害調査と分析を通して、災害リスク緩和のための科学的知見を社会に発信している。</p>	<p>[水工学委員会全体] 「災害－環境」問題の一体性を科学者共通に認識するとともに社会に伝え、災害リスクを緩和するための持続可能な河川管理・河川整備戦略に資する水工学的知見を実装する。 [水文・基礎水理・環境水理・河川部会] ワールド研究に基づいて水工学の基礎学理を形成し、災害リスク緩和に供する持続可能な河川環境の形成戦略を提言する。 [流域管理と地域計画の連携方策研究小委員会] (土木計画学委員会との共同)水害リスクを緩和するためのまちづくりと治水施設の整備方策・運用ルールを構築する。 [水害対策小委員会] 風水害調査とその報告会を継続して、災害の特徴に応じた緩和方策に関する知見を重ねて体系化する。</p>

<p>災害リスクに対する対策（作 用に対する防御）</p>	<p>[水工学委員会全体] 内水・外水を防御するために水工諸施設の性能向上に資する水工学的研 究を進めている。近年、増加の傾向にある超過外力に対しても、災害発生 後の水工構造物・社会システムの被害最小化を果たす技術革新に取り組 んでいる。◎ [河川部会] 河川災害リスクへの構造的・施策的対策に関する工学的諸課題に取り 組んでいる。◎ [水文・基礎水理部会] 水害要因となる降水事象や氾濫の予測技術開発に取り組む、災害リスク を回避するための水系疎通・貯留施設の計画・設計・運用に供する最新情 報を提供している。◎ [河川懇談会] 水害リスクへの対応施設を整備・管理するための技術開発を促進するた めに、最新の調査研究情報を河川管理者と共有している。◎</p>	<p>[水工学委員会全体] 災害外力と社会システムの特性に応じて災害外力を防 御できる水工施設計画・設計の方法論を確立する。 [基礎水理・環境水理・河川部会・河川懇談会] 地域・水系特性を考慮した最適水防災システムの計画・ 設計技術を産官学共同で構築する。 [流域管理と地域計画の連携方策研究小委員会] (土木計画学委員会との共同)水防災機能を備えたまち づくり・社会づくりを果たす。</p>
<p>災害リスクに対する対応（作 用が来たときの行動）</p>	<p>[水害対策小委員会] 水害における組織的で迅速な調査を開始し、緊急報告会などによって災害 要因や課題などを社会へ発信するための諸活動を実施している。☆</p>	<p>[水害対策小委員会] 水防技術の伝承や災害学理の市民への普及など教育・ 人材育成に向けて取り組む、発災時の緊急対応や復興 を担う技術者の派遣やレスキューなどへの技術支援の 仕組みを学界から発進する。 [流域管理と地域計画の連携方策研究小委員会] (土木計画学委員会と共同)水害特性と地域の風土・地 形特性に応じた災害回避行動が容易なまちづくりを実現 する。</p>

既存の活動内容が、①社会に実装済みの場合は☆、②活動が終了し実装はされていない場合は★、をつける。
現在課題解決中のものは、将来性・発展性：かなり有望◎／有望○、3)課題として認識するも取組途上●、の計3つのマークで類別する。

委員会名： 地球環境委員会

【強靱化に関する研究活動全般に対するコメント】

IPCC等の最近の研究成果をふまえて、気候変動に伴う自然災害リスクの増加に対する適応策が急務となっている。具体的には、河岸部の高潮対策、山間部の土石流対策、低地河川流域における浸水対策である。これまでの時代には、このような自然災害リスクの可能性への情報や配慮が十分でない中、市街化が先行的に進んだ経緯がある。このような社会案件の下で、①インフラによる適応、②都市・地域政策との連携による適応、③危機管理による適応の三つの要素から成る多重防御システムを実装することが課題である。

	既存の活動	今後の活動
国土・地域の災害リスクの明確化	<p>本WGにおいて、「気候変動への適応・緩和策～人々が安心して暮らせる社内の実現に向けて挑戦する土木技術」と題した小冊子を編集し、土木学会より刊行した。</p> <p>その骨子は、以下の通りである。</p> <p>(1) 地球温暖化影響に関する数々の研究成果をふまえて、中長期的に気候が変動していくリスクが存在することを正當に認識し、気候変動に関する科学的な知見を工学に生かす努力が重要である。</p> <p>(2) このような未経験の課題に立ち向かうためには、「予測・適応・緩和」を三位一体として統合し、推進することが必要である。</p> <p>(3) 気候変動による自然災害のリスク評価の精度の向上が必要である。流域単位でのリスク評価のためのダウンスケーリング手法の研究開発の成果を生かすことができる。</p> <p>(4) 気候変動を緩和する視点から、世界において温室効果ガスの削減をリードできるよう、低炭素社会づくりを継続して戦略的に推進すべきである。</p> <p>(5) 気候変動に適応する視点から、地域の方々が安心・安全に暮らせる国土基盤を形成していくことが、我われが担うべき新たなミッションである。</p> <p>(6) このためには、①インフラによる適応、②都市・地域政策との連携による適応、③危機管理による適応の三つの要素から成る多重防御システムを社会に実装する必要がある。</p> <p>(小冊子の内容は、添付資料を参照されたい)</p>	<p>気候変動への適応・緩和策検討小委員会]</p> <p>2015年度は、標記の小委員会を設置し、左記の小冊子の内容を掘り下げた。加えて、一般向けの小冊子と英文版小冊子を刊行し、国内外に広く呼びかけることとする。</p> <p>なお、気候変動への適応策は、「強しなやかな国土づくり」とも重なる課題であり、本小委員会の研究成果をこの面でも活用できるのではないかと考えている。</p>
社会の災害リスクの理解		
災害リスクの緩和(作用の低減)		
災害リスクに対する対策(作用に対する防御)		
災害リスクに対する対応(作用が来たときの行動)		

既存の活動内容が、①社会に実装済みの場合は☆、②活動が終了し実装はされていない場合は★、をつける。
現在課題解決中のものは、将来性・発展性：かなり有望◎／有望○、3)課題として認識するも取組途上●、の計3つのマークで類別する。

<p>国土・地域の災害リスクの明確化</p>	<p>既存の活動 [地震被害調査小委員会] 地震災害の調査を実施し、調査結果を良質な被害アーカイブとして残し、今後の地震防災対策の発展に貢献している。併せて、土木学会が収集した観測地震記録ダウンロードサイトの運営を行っている。☆ [国際化対応小委員会] 地震被害調査報告の英文版を適時情報発信する「随時受付可能な(査読付き)英文電子ジャーナル(JSCIE Disaster Fact Sheets)の発行◎」 [地震・津波複合災害の推定手法および対策研究小委員会] 東日本大震災、昭和南海地震等において地震(液状化を含む)と津波の複合災害と考えられる事例の収集◎ [東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会] 東日本大震災における橋梁等の損傷状況を詳細に把握、その損傷メカニズムを明らかにし、今後の構造物設計上の課題を示す。◎ [想定地震動研究開発小委員会] 想定地震動の予測・評価のための、地震波伝播解析手法と3次元地殻・地盤モデル構築の研究・開発を進めその報告書を準備中◎</p>	<p>今後の活動 [地震工学委員会全体] これまで地震被害小委員会、国際化対応小委員会、地震・津波複合災害の推定手法および対策研究小委員会、東日本大震災による橋梁等の被害分析小委員会、想定地震動研究開発小委員会などで集約してきた左記のリスク事例やリスクの推定結果を踏まえ、これらを学術的に整理し、発信するとともにリスク明確化のための新たな研究小委員会を立ち上げる。これには地盤に残る地震痕跡のデジタル化と防災への活用のための小委員会(予定)などが含まれる。</p>	<p>社会の災害リスクの理解</p>
	<p>[地震防災技術普及小委員会] 自治体や市民、学生向け地震防災に関する左記の講習会、出版を土木学会本部のみならず各地域で開催し、地震防災技術の普及に努める。 [地形に残された地震痕跡データの集約と活用に関する研究小委員会(仮称)] 丘陵地の住宅地や湾岸埋立地の地盤に残された地震痕跡をデジタル化し、リスク理解のためのアーカイブとして公開を進めるとともに、土木技術映像委員会とも協力し、映像記録へのリンクを構築する。</p>	<p>[地震防災技術普及小委員会] 耐震設計入門セミナー、耐震セミナー、基礎編の出前講座(自治体職員、学生を対象)、地震災害マネジメントセミナー(内閣府、自治体、鉄道、道路など様々な事業主体の防災担当者によるセミナー)、地震防災技術懇話会(地震関係の著名な研究者による平易な講義と懇談)、現地見学会などを継続的に実施している。☆ [日本土木史「地震工学部門」編纂小委員会] 2011年3月に発生した「東日本大震災」については、地震工学に係る各分野において明らかな事実認定がなされている事項を集約した。★</p>	

<p>災害リスクの緩和(作用の低減)</p>	<p>〔耐震基準小委員会〕 ・地盤構造物地震作用で性能設計の思想を積極的に取り入れたISO23469は5年の定期更新時期を迎え、その重要性を訴えこれが継続されることになった。またこの設計事例集(SO/TR12930)も整備された。☆ 〔性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会〕 橋梁関連構造物を対象に耐震性能の照査技術の構築に必要とされる学術的な研究課題について、専門領域を超えて研究・技術情報の集積を図り発信している。◎</p>	<p>〔耐震基準小委員会〕 社会基盤施設の地震安全の論理:土木学会論文編集委員会報告へ投稿、HP上で公開を進める。 ・性能設計事例集作成WGの報告書をHP上で公開する。 ・ISO対応のためのワーキングを新たに立ち上げISO23469のこれからの見直しに向けての戦略を進める。 〔性能に基づく橋梁等構造物の耐震設計法に関する研究小委員会〕 橋梁関連構造物を対象にした左記の活動を発展的に継続する。</p>
<p>災害リスクに対する対策(作用に対する防御)</p>	<p>〔水循環NW災害軽減対策研究小委員会〕 人為的対応が困難な地震・津波の来襲を受けた時、上下水道を中心とした水循環NW施設の望ましいあり方について研究・提案をまとめている。これらは土木学会論文集に掲載予定◎ 〔石積擁壁の耐震・補強に関する研究小委員会〕 東南海地震、首都圏直下地震が危惧される中、石積擁壁には明確な基準がない。石積擁壁の研究を進め、擁壁の土木学会標準化、補強策の提案を進めている。◎ 〔ライプラインの地震時相互連関を考慮した都市機能防護戦略に関する研究小委員会〕 これまでの災害事例から見えるライプラインの相互連関性の全体像をふまえて、地震などの自然災害時の都市機能防御戦略を構築する。2011年の震災以降、アメリカ土木学会ライプライン地震工学評議会と共同で調査を進め、その成果と提案はASCE Nomographの形で出版予定◎</p>	<p>〔水循環NW災害軽減対策研究小委員会〕、〔石積擁壁の耐震・補強に関する研究小委員会〕、〔ライプラインの地震時相互連関を考慮した都市機能防護戦略に関する研究小委員会〕は左記の活動を継続する。</p>
<p>災害リスクに対する対応(作用が来たときの行動)</p>	<p>〔突発災害時における避難誘導に関する調査研究小委員会〕 災害は真つ暗な夜中にも発生すること、地震直後にはライプライン機能(電力機能)はダウンすることを考え、誘導標識、階段段鼻、手すり等に蓄光材を用いた避難路を提案し、自治体の協力を得て公開実験を進めている。◎</p>	<p>〔突発災害時における避難誘導に関する調査研究小委員会〕 左記の避難誘導路は、国際的にISO FOCUSに2回にわたって紹介され、カリブ海地域はこの規格を採用する旨発表している。これらの進展を受け活動期間を1年間延長する。</p>

既存の活動内容が、①社会に実装済みの場合は☆、②活動が終了し実装はされていない場合は★、をつける。
 現在課題解決中のものは、将来性・発展性:かなり有望◎／有望○、3)課題として認識するも取組途上●、の計3つのマークで類別する。

委員会名 地盤工学委員会

【強靱化に関する研究活動全般に対するコメント】

東日本大震災時の液状化問題に対しては、液状化特定テーマ委員会を設置して対応した。また、堤防の被害に関しては、堤防研究小委員会にて検討を続けている。2013年10月の伊豆大島の土砂災害、2014年8月の広島市の土砂災害に対しては斜面工学研究小委員会が中心となり積極的に調査団を派遣した。同9月の長野県境の御嶽山で起きた噴火災害に関しても、火山工学研究小委員会にて検討を行っている。さらに、土砂の動きのメカニズムに関しては、土砂動態学研究小委員会で、被害を軽減させる設計に関しては、性能設計下での現場観測施工に関する研究小委員会において検討を進めている。ここから得られた成果は、地盤情報に基づき有効な保険制度の提案や地盤の品質確保に関するガイドラインの制定につなげていく予定である。

	既存の活動	今後の活動
国土・地域の災害リスクの明確化	<p>[斜面工学研究小委員会] H26.8広島市の土石流災害、H26.11長野県北部地震による地盤災害を調査し、対象地域での災害履歴や災害の特徴・傾向を明確にした。</p> <p>[火山工学小委員会] 霧島新燃岳の噴火災害を調査し、噴火直後の土砂移動特性を降灰分布やテフラの性状から検討した。他火山の噴火後土砂災害リスクの考え方が整理された。☆ 伊豆大島や阿蘇山での土砂災害の発生を調査し、火山地域に特有の土砂災害形態や危険度評価手法等を検討した。結果は、地域の災害対策に活かされた。◎</p> <p>[堤防小委員会] 高水時のパイピング破堤メカニズムおよび地震時液状化による沈下メカニズムの解明を目的とした検討を実施した。● 高水時の堤防滑り破壊に対する安全性評価のための土質試験法と強度定数の設定法を検討した。○</p>	<p>[斜面工学研究小委員会] 各災害の復旧状況等を多角的にモニタリング調査し、課題を抽出・整理し、学術的に体系化する。○</p> <p>[火山工学小委員会] 噴火災害と土砂災害の複合災害の影響期間に着目し、社会に発信する。 [堤防小委員会] 被災メカニズムを明らかにし、洪水や地震によるリスク評価の基礎となる事項を整理する。</p>
社会の災害リスクの理解	<p>[斜面工学研究小委員会] 小中学校の児童生徒向けの防災学習副読本を制作している。◎</p> <p>[火山工学小委員会] 火山噴火災害調査結果を「火山工学入門一応用編一」として取りまとめ、出版した(2017年1月)。☆ 火山地域の土砂災害については研究集いを開催した。☆ さらに研究討論会を企画★</p>	<p>[斜面工学研究小委員会] 防災知識を普及させるために、防災学習副読本を用いた防災授業等の取り組みを行う予定である。○ [火山工学小委員会] 出版物に関する講習会の開催を企画する。</p>
災害リスクの緩和(作用の低減)	<p>[火山工学小委員会] 火山地域の土砂災害ハード対策手法について検討予定。●</p>	<p>[火山工学小委員会] 左記の検討成果は研究集い等で公表予定。●</p>

<p>災害リスクに対する対策（作 用に対する防御）</p>	<p>[火山工学小委員会] 火山災害時の避難のあり方、情報の伝達方法、土砂災害危険区域のゾーニング方法 などのソフト対策をさらに検討予定。○ [堤防小委員会] 堤防の止水矢板が耐震性向上に及ぼす効果を検討した。○ 東日本大震災の事例を元に耐震対策工の効果を検証した。</p>	<p>[火山工学小委員会] 上記に合わせてソフト対策検討成果を 研究会等で公表予定。● [堤防小委員会] より有効な耐震対策工法を検討する。</p>
<p>災害リスクに対する対応（作 用が来たときの行動）</p>	<p>[火山工学小委員会] 火山防災対策行動計画(仮称)の検討。○</p>	<p>[火山工学小委員会] 左記を継続検討し、成果は地方公共団 体等の防災担当者に講習会等を通し て伝える。○</p>

既存の活動内容が、①社会に実装済みの場合は☆、②活動が終了し実装はされていない場合は★、をつける。
現在課題解決中のものは、将来性・発展性：かなり有望◎／有望○、3)課題として認識するも取組途上●、の計3つのマークで類別する。



気候変動への適応・緩和策

人々が安心して暮らせる社会の実現に向けて挑戦する土木技術

未経験への挑戦

地球上で温暖化による気候変動の影響が広がっています。「気候変動に関する政府間パネル」(IPCC)は、第5次報告書(2014年4月)において、温暖化の進行に伴い、大規模な河川洪水の被害者数が3倍に増加し、海面上昇や高潮でアジアなどで数億人が移住を強いられると警告するとともに、これに伴う世界全体の経済損失は最大148兆円にも達するとしています。日本では、沿岸域における海面上昇や高潮、都市域や集落部における異常豪雨による洪水や土石流、少雨地域における渇水や水不足などの問題が懸念されます。元来から自然災害が多いわが国では、これらの未経験の新たなタイプの水災害リスクに対して、的確な適応策を講じていく必要に迫られています。

これまで、温暖化を緩和する視点から、社会経済活動に伴う温室効果ガスの排出を削減するため、「低炭素社会づくり」を試行してきました。しかし、世界全体として温暖化の確実な抑制が見通せない中、気候変動による影響は避けられないと見られます。我われ土木技術者には、中長期的な自然災害リスクに対する適応策を考案し、社会に実装することが期待されています。

東日本大震災の教訓もふまえれば、発生頻度が比較的高い外力には、従来からの施設(インフラ)整備を促進し、引き続きリスクに対処しなければなりません。さらに、従来の施設の計画規模を超える外力の生起リスクには、適時の追加対策が必要となります。加えて、施設では完全に守りきれない不測の事態をも想定した危機管理による対応も求められます。このように、災害リスクの存在を社会全体として共有する一方、ハード対策にソフト対策を重ね合わせた総合的な防災・減災対策に取り組むべき時代を迎えています。

土木学会は、この気候変動という未経験の課題に積極的に立ち向かう所存です。

これからの時代に、土木技術者ひとり一人に期待される責務は、気候変動を抑制するための緩和策と並び、それに適応するための総合工学を確立し、社会に実装することです。このような努力を通し、気候変動の影響に粘り強く適応しうる「強靱な国土の創造」に貢献して行きましょう。



土木学会 会長 磯部雅彦

「予測・適応・緩和」を三位一体とする気候変動への挑戦

地球温暖化影響に関する数々の研究成果に示される通り、多少の温暖化とともに中長期的に気候が変動していくリスクが存在することを正当に認識する必要があります。地域特性や時期により様々な影響が想定されますが、土木分野に直接関係するものは極めて広範にわたります。我われにとって、気候変動に関する科学的な知見をいっそう工学に生かす努力が重要になります。

その第一歩として、気候変動による地域への影響を高精度で予測する技術開発を急ぐ必要があります。そのうえで、(1)気候変動を緩和する視点から、世界において温室効果ガスの削減をリードできるような、低炭素社会づくりを継続して推進するとともに、(2)気候変動に適応する視点から、地域の方々が安心・安全に暮らせる国土基盤を形成していくことが、我われが荷負うべき新たなミッションとなります。

このように、未経験の課題に立ち向かうためには、「予測・適応・緩和」を三位一体として統合化し、推進する必要があります。



気候変動予測

気候変動予測と土木分野に関する影響評価

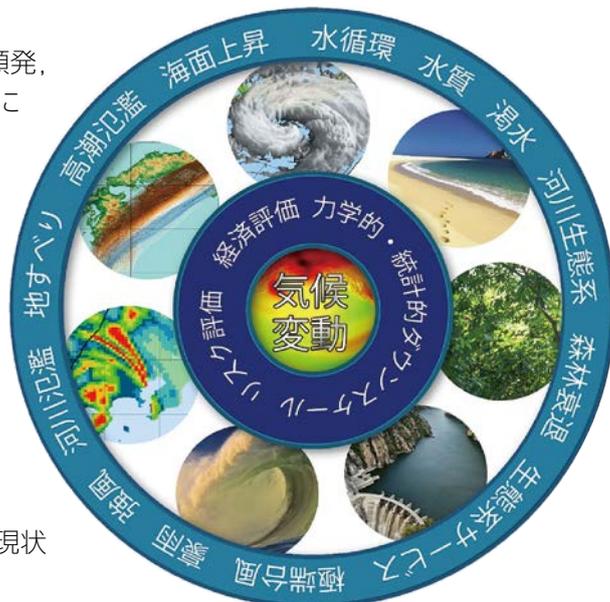
わが国の土木分野では、言うまでもなく、多発する自然災害に対処するために、歴史的にも一貫して治水対策が重視されてきました。これからの時代には、中長期的な気候変動に伴い、台風や梅雨、冬季の季節風等の自然外力が大きく変化する新たな危険性に備える必要があります。

最新の分析によると、(1)大雨による日降水量が全国平均で20%前後増加する、(2)全国の一級水系において施設計画の規模を上回る洪水の発生頻度が数倍増加する、(3)このような傾向とは逆に、無降水日が全国平均で数日増加すると見込まれています。(国土交通省社会資本整備委員会河川分科会資料, 2015年2月)

このような背景から、洪水や土砂災害、高潮災害、渇水等の頻発、激甚化が懸念されるどころです。今後の良好な国土基盤の形成には、数十年から100年ほどの時間軸の中で、これらの新たなタイプの自然災害リスクがどの時期に、どの程度、どの地域で変化するのかを高精度で把握する必要があります。

そのうえで、このような気候変動の影響に対して即時に対応するため、社会経済への被害を最小化する適応策を構築することが重要です。このためには、科学-工学を繋ぐプラットフォームを整備し、水災害や水資源面の影響に加え、社会経済的な影響をも含めて、誰にもわかりやすい形で気候変動リスク情報を開示していく必要があります。

以下、最新の研究成果をふまえ、気候変動予測と影響評価の現状についてまとめました。

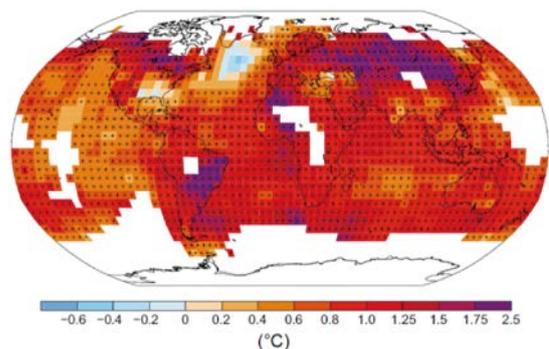


(1) 観測されている気候の変化

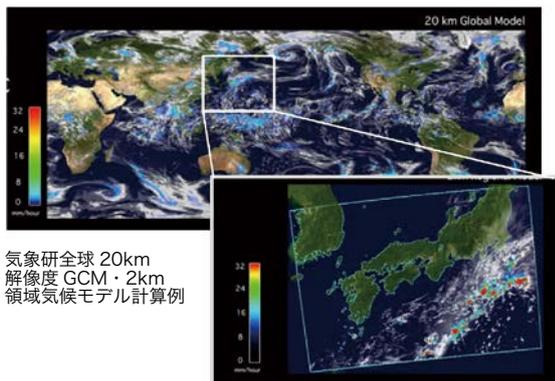
温暖化する地球の現状

産業革命以降、地球の平均地上気温は上昇傾向にあります。最新の IPCC (気候変動に関する政府間パネル) の報告書によると、産業革命以降に全球平均で 0.85 度の地上温度の上昇が観測されています。また、日本周辺では、全球平均よりも大きな昇温が観測されています。さらに、地球温暖化の影響は、気候システムそのものの変化をもたらすことが示唆されています。なかでも、わが国土を含むアジア域においては、熱波の増加、降雨量の変化、海面上昇などが予想されています。

【資料提供：IPCC 第 5 次評価報告書 WGI SPM】



1901-2012 年の間に観測された気温上昇のトレンド (濃淡は上昇温度のレベル。最高は+2.5°Cまで)



気象研全球 20km 解像度 GCM・2km 領域気候モデル計算例

(2) 気候変動の将来予測

100 年後の気候を予測する

気候変動に伴う将来の気候を予測するために、スーパーコンピュータによるシミュレーションが行われています。日本では、気象研究所や東京大学大気海洋研究所で開発された全球気候モデル (GCM) を用い、温室効果ガスの変化を考慮し、大気や海洋の循環を予測し、気温や降水量の将来変化を見積る研究が実施されています。GCM の結果を用いた人間社会に関連する影響の評価に関しては、土木分野から多くの研究者が参加して研究を担っています。

【資料提供：気象研究所】

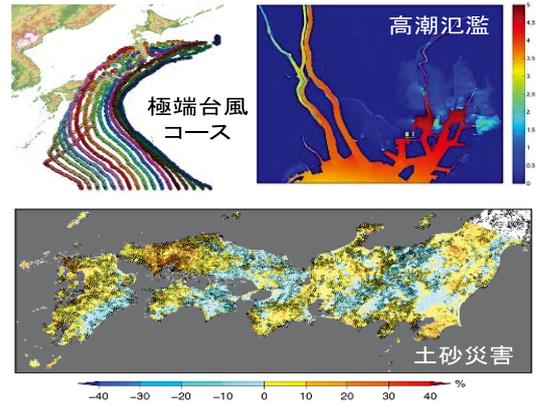
気候変動予測と影響評価の現状

(3) 自然災害への影響評価

台風・梅雨に関連した極端な自然災害の将来変化

日本の自然災害の多くは、台風や梅雨に関連した強風、豪雨、高潮等によって引き起こされてきました。温暖化により、台風強度の上昇や極端な豪雨の増加が見込まれます。土木分野では、災害を軽減するため、これら極端現象の把握するための研究が進んでいます。これら極端な自然災害が、どの時期に、どの程度、どの地域で変化するかを定量的に把握し、わが国の社会基盤整備に直結し、安全・安心な国土計画に貢献します。

【資料提供：京都大学防災研究所／大学院工学研究科】

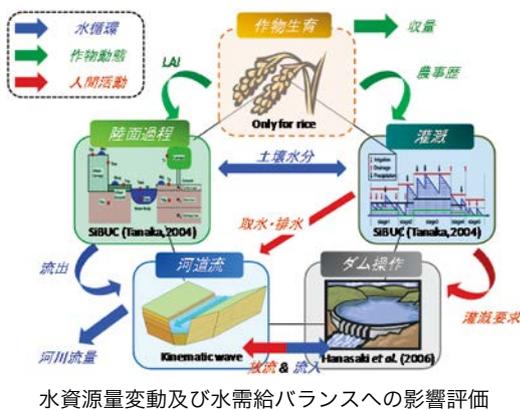


(4) 水資源への影響評価

水資源の将来変化と人的影響の評価

気候変動は、上水道や農業等に関連し、水資源にも大きな影響を与えます。わが国では、ダムによって水資源が管理されていることが多いことから、水系毎の流況や水利用状況に応じて、ダムや貯水池などの既存インフラを活用した適応策を検討する必要があります。温暖化の影響は、特に台風に伴う降雨依存型流域や多雪型流域において拡大するため、下流域での堤防整備に加え、既設のダム操作による流出管理に基づく総合的な対策を構築することが重要になります。

【資料提供：京都大学防災研究所／東京大学生産技術研究所】



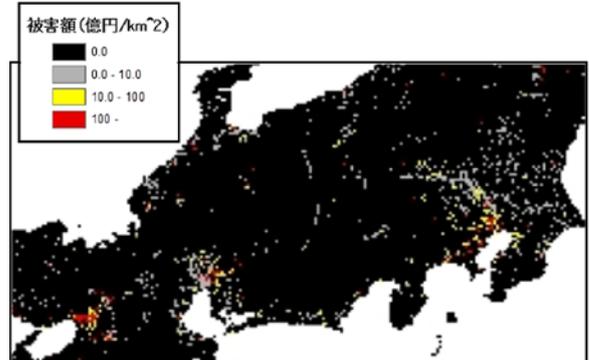
水資源量変動及び水需給バランスへの影響評価

(5) 想定される水災害の予測

洪水被害額マップの作成

水災害の適応策において、適切な場所に、適切な策を講じるため、将来の気象条件を地図に入力し、市町村単位で水災害の被害額分布を推定するツールを開発しています。さらに、日本からアジア、世界へとその推定範囲を広げることが可能です。こうした数値地図は他の被害と重ね合わせることで、比較や統合的な解析を容易に行うこともできます。(右図は、日本列島に100mm/日の降雨が降り続いたときの洪水被害額分布を表したものです)

【資料提供：東北大学大学院工学研究科】



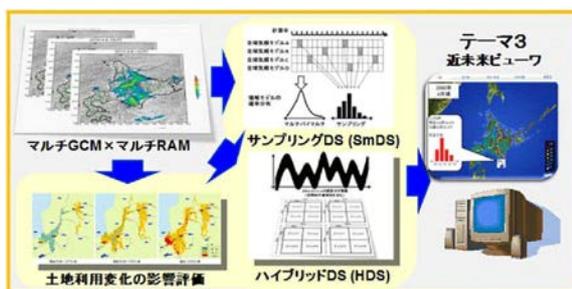
3大都市圏を含む洪水被害額分布

(6) 地域スケールの気候変動への適応研究

気候モデルの不確実性を考慮した将来予測

気候変動の将来予測には、温暖化シナリオや全球気候モデル、領域気候モデルに不確実性が内在します。このため、複数の全球・領域気候モデルによる過去～将来予測を行い、不確実性情報付で「近未来ビュー」 という情報提供ツールを開発中です。将来予測に必要な計算資源を縮約するダウンスケール手法に気温の将来予測値と観測値を組合せた「ハイブリッド・ダウンスケール手法」を提案し、将来の短時間降雨強度を推定できるように努めています。

【資料提供：北海道大学大学院工学研究科】



研究成果をもとに提案する近未来ビュー (ダウンスケールによる地域規模の適応策支援ツール)

適 応 策

適応策の組み立て

適応策の目的は、気候変動により懸念される洪水や土砂災害、高潮災害、濁水等の頻発・激甚化に対して、人命と資産を守り、社会経済への壊滅的な被害の発生を抑止することです。このためにも、既往施設の計画規模や安全度を超える外力の発生に備え、必要な対策を講じねばなりません。

適応策を構築するうえで、従来からの施設（インフラ）整備を引き続き促進して被害の最小化を図ることに加え、過大な外力の発生を見越し、施設能力を適時に強化するよう種々の工夫を取り入れる必要があります。

併せて、将来の人口縮減に見合うコンパクトな都市構造への転換や住宅地嵩上げ等による被害ポテンシャルの軽減に加え、緊急避難ビルなど耐水型建築物の整備を含めた分野横断型の取り組みも重要になります。さらに、万一被害が発生したとしても、危機管理システムによる減災対策を組み合わせることで、強靱な都市・地域構造を創造することが望めます。

換言すれば、ハードとソフトの施策による「多重防御」の考え方が大切であるといえます。東日本大震災被災地では、将来ありうる津波波高を予測し、それに備えるための防波堤嵩上げに加え、災害危険区域の指定（住宅の建築が認められない）と区画整理による地盤嵩上げ・高台移転等を組み合わせる形態の多重防御型の市街地復興事業が実施されています。

このような多重防御に向けて、流域やまち・地域単位で、国や自治体、住民や企業がそれぞれの役割を分担しつつ、相互が連携を強化する必要があります。また、分野横断型取り組みには、土木ー都市計画ー建築セクター間の連携・調整が必須です。しかし、これらは言うは易しで、実際には大きな困難を伴う仕事です。土木技術者として優れた技術力と幅広い視野を備えていくことが、我われに求められるミッションです。

洪水・土砂災害・高潮災害・濁水等の頻発、激甚化

人命と資産を守る

【流域特性に対応】

- ・海岸（高潮）、低地河川（浸水）
- ・山間部の河川（土石流）
- ・少雨地方（濁水）

施設（インフラ）による適応策

- ・気候変動に伴う外力増加の高精度予測技術
- ・既往施設計画の着実な実施
- ・総合治水対策、総合的な土砂管理対策
- ・計画規模を超える外力への備え、施設の増強

【人口・社会構造の変化】

- ・人口縮減、高齢化の進展
- ・コンパクトな街づくり（都市計画等との連携）

多重的な防御システム

- ・社会経済への壊滅的な被害の抑止、最小化
- ・施設能力の拡充、分野横断的取組み
- ・危機管理対策の促進

地域施策と連携した適応策

- ・減災型の土地利用形態への規制・誘導
- ・都市構造の転換（コンパクトな街づくりとの連携）
- ・建築や住まい方の工夫（緊急避難ビル、敷地嵩上げ）

危機管理を中心とした適応策

- ・気候変動に伴う災害リスク情報の公有
- ・洪水予報／土砂災害警戒情報システム
- ・予警報、避難訓練等の強化

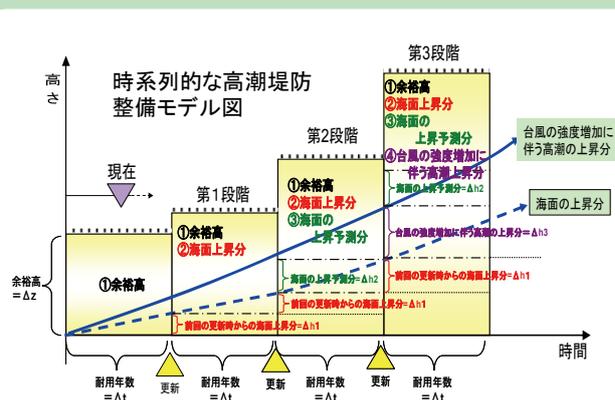
調査研究、技術開発成果の施策への反映、社会における実装、海外への政策提案や技術協力

(1) 高潮災害リスクへの適応策

海岸部の高潮災害への多重防御システム

海岸部では、海面水位の上昇や台風の激化に対応するため、従来にも増し高潮堤防の的確な整備が重要となります。経済合理的には、コンクリート構造の高潮堤防の更新時に、増大する外力を見込み嵩上げを行い、浸水頻度を減少させることが基本です。海岸侵食に対応するため、総合的な土砂管理も望めます。施設規模を越える外力による災害の発生リスクには、粘り強い構造の高潮堤防づくりのほか、高精度のリスク情報の提供、水防や避難訓練等を総合的に実施することが必要です。

【資料提供：国土交通省水管理・国土保全局】



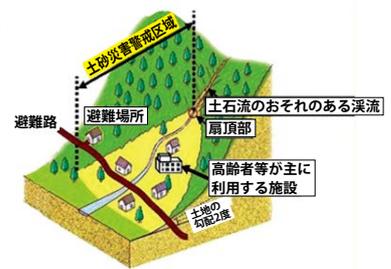
(2) 土砂災害への適応策

山間部や急傾斜域における多重防御システム

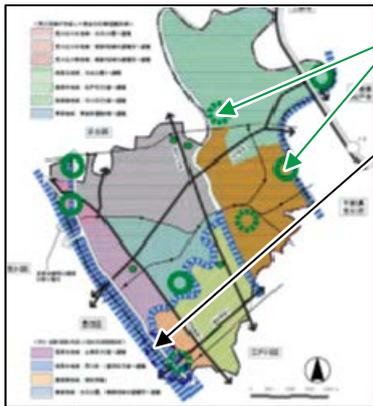
近年、降雨が局地化したり、激甚化する傾向が強まっています。山間部や急傾斜域では、多発する土砂災害に備え、砂防堰堤等の施設整備を促進する必要があります。また、人工衛星画像の活用により大規模土砂移動現象の早期把握を含め、土砂災害発生リスク情報を共有し、危機管理能力をいっそう高める必要があります。

土砂災害から人命と資産を守り、安全・安心な地域づくりを推進するには、これらハード・ソフト対策を組み合わせた多重防御が必須です。

【資料提供：国土交通省水管理・国土保全局】



(上) 土砂災害警戒区域等の指定モデル図
(左) 人工衛星画像活用/土石流河道閉塞の早期把握システム



高台化による
避難所位置図
(既設・計画)

治水対策
重点検討区間

(左) 葛飾区都市
計画マスター
プラン(2011/07)
安全まちづくり
方針図(水害版)

(3) 洪水や浸水災害への適応策

低地河川域における多重防御システム

既成市街地では、既往の降雨計画規模を超える大規模水害の発生を想定し、人命や資産を守り、社会経済への壊滅的な被害を最小化する必要性がますます高まっています。

従来の総合治水対策における土木一都市計画の連携策や国土の2/3が潮位以下とされるオランダなどこの分野の先進国の適応策も視野におき、高規格堤防など高台避難場所や避難ビルの整備等、浸水対応型の強靱な市街地整備に向けた施策を推進する必要があります。さらに、類似の問題を抱えるアジア諸国への技術移転が望まれます。

【資料提供：芝浦工業大学システム理工学部】

(4) 少雨(渇水)への適応策

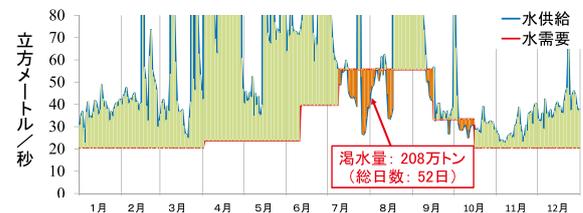
少雨地域の渇水(水不足)に備える 多重防御システム

気候変動に伴い、瀬戸内地方などの少雨地域は渇水の影響を受けやすいと予測されています。例えば、工業都市である愛媛県四国中央市の場合、経済成長に水資源を確保する必要がある中、気候変動の影響で水資源の減少に見舞われる危険性があります。

このため、住宅での雨水貯留や節水機器等の普及啓発に加え、企業における再生水利用の更なる促進による節水対策の強化が不可欠です。

国や自治体、市民・企業の役割分担と的確な支援策が望まれます。

【資料提供：高知工科大学社会マネジメントシステム研究センター】



(上) 将来の水需給バランス予測～最悪の気候変動モデルによるシミュレーション(2060年)
(下) 市民との対話～適応策(節水対策)への合意形成

渇水予測と適応策の促進(高知工科大学 RECCA 研究資料)



ツバル国における人材育成の状況(JICA-JST SATREPS 研究)

(5) 国際協力・技術移転への取り組み

気候変動への適応システム開発・人材育成プラン提案

東南アジア・南太平洋島嶼国では、気候変動に伴う自然災害への各種対策が急務です。影響発生メカニズムを基に、海岸線の変化を予測し、将来の橋梁・堤防等の社会基盤施設の整備計画を立案、将来の推移をモニタリングする必要があります。

個別施設から都市/地域の全体計画策定までを統合する適応システムの構築/運用に携わる人材育成を目標に掲げた研究が、ツバル国にて先行的に進められています。このような蓄積もふまえ、アジア諸国などに展開することが、これからの課題となります。

【資料提供：東京大学大学院理工学研究科/茨城大学地球変動適応科学研究機関】

緩和策

緩和策（低炭素社会づくり）での土木の使命

気候変動に対する緩和策の中で最も重要な課題は、エネルギーに由来する温室効果ガスの排出削減です。その基本的な方策は、(1) エネルギー消費量を削減すること、(2) エネルギーの供給にあたって炭素集約度（供給エネルギーあたりのCO₂排出量）が低く、可能な限り再生できるエネルギーを開発、利用することの二点です。また、再生エネルギーの開発にあたっては、算出エネルギーが投入エネルギーよりも大きいこと、環境への影響が少ないことも欠かせない要件となります。

これらの前提のもとで、土木分野においては、個々の土木事業において二酸化炭素を排出すると同時に、社会の基盤を形成することを通じて二酸化炭素の排出に深い関わりを持ち、その削減に貢献することが期待されてきました。具体的に土木が直接、間接に適応策に関わる分野は、土木事業によって建設されるインフラの材料を供給するセメント・鉄鋼を始めとした製造業、インフラが使われる場である社会を構成する家庭部門・業務部門・交通インフラの建設とマネジメントを荷負う運輸部門の三つのすべてに関係します。一方では、水力発電を始めとした再生可能エネルギーの供給への寄与も大きいといえます。

さらに、事業実施の面ばかりでなく、研究開発の面においても土木分野は大きな広がりを持ちます。土木事業に直接関連するもののみならず、気候変動問題のほとんどすべての領域が研究対象となっています。緩和策に関する、さまざまな対策の連携シナリオ研究や政策研究、産業構造変化や社会的な要因、経済的な側面などから見た研究など、幅広い課題を対象とした研究が展開されてきました。今後、土木分野の持つ広がりを活かした研究開発を推進していくことがよりいっそう求められます。

これらの特徴を持つ土木分野では、低炭素社会形成に向けて実効性の高い戦略を打ち出し、実行していくことが重要であり、社会的にも期待されています。その対象となる分野は、以下の8項目に大別できます。既に実現できたものやすぐにも実現可能なものと、中長期的に研究開発行い国や自治体の支援策も加味して重点投資すべきものに分け、戦略的に推進することが必要です。

1. 土木工事における排出削減
2. 土木材料由来の排出削減
3. ライフサイクルを通じた土木施設からの温室効果ガス排出削減
4. 政府調達における環境負荷削減メカニズムの組み込み
5. 土木構造物の利用により誘発される温室効果ガス排出削減
6. 低炭素エネルギー技術開発・支援
7. 都市・交通計画による低炭素都市システムの構築
8. 途上国への支援、技術移転



土木分野における緩和策（温室効果ガスの排出抑制）

エネルギー起源二酸化炭素 1,208	エネルギー転換部門 88	再生可能エネルギーの活用 水力・風力発電の普及 雪氷冷熱エネルギーの活用	廃棄物・廃熱の有効利用 焼却余熱の有効利用 バイオガスの製造 下水熱の利用	低炭素エネルギー技術の普及支援 原子力発電の安全性向上 高効率火力発電の開発	二酸化炭素回収・貯留 (CCS) システムの開発
	産業部門 418	建設施工時の対策 省エネ施工技術の開発と普及 省エネ型建設機械の普及	建設材料の低炭素化 材料生産時の省エネ・高効率化 リサイクル材料の利用 木材などの低炭素材料への転換		
	運輸部門 226	交通におけるハード対策 公共交通機関の整備 道路交通流対策 物流の効率化	交通におけるソフト対策 交通需要マネジメント (TDM) モビリティマネジメント	低炭素型交通・物流体系のデザイン 低炭素型交通システムの構築 低炭素型物流体系の形成	
	業務部門 272	上下水道施設・廃棄物処理 処分における省エネ	土木構造物・建築物 の運用時の省エネ	低炭素型の都市・地域デザイン 集約型・低炭素型都市構造の実現 街区・地区レベルにおける対策 エネルギーの面的な利用の推進 緑化等ヒートアイランド対策による 熱環境改善を通じた都市の低炭素化	
	家庭部門 203	低炭素型廃棄物 リサイクル	土木構造物・建築物の 長寿命化と適切な維持管理		
	非エネルギー起源二酸化炭素 68 他温室効果ガス 67	廃棄物および下水処理プロセスでの温室効果ガス削減			

日本の温室効果ガス排出量 (2012年度、百万t-CO₂) 環境省「我が国の温室効果ガス排出量」より作成。

温暖化緩和策の例として、集約型都市構造の実現、交通対策、再生可能エネルギーの普及、排熱や廃棄物の有効利用、ライフサイクルアセスメント (LCA) にもとづくインフラづくりなど、土木分野では低炭素社会の実現に向けて、さまざまな側面からの貢献が求められています。

土木分野における緩和策の例

(1) 発電事業における低炭素化の取組み

再生可能エネルギーの開発・普及モデル

発電事業における低炭素化の取組みの一つとして、当社所有の出し平ダム（富山県黒部市宇奈月町）において、河川維持流量を利用した出し平発電所（最大出力540kW、2015年運転開始予定）の建設計画を進めています。

水力発電は再生可能な純国産エネルギーとして、供給安定性や経済性に優れるとともに、発電時にCO₂を排出しないことから地球温暖化防止の面からも重要な電源であると位置づけられています。

（右図に示す出し平発電所では、年間約800トンのCO₂排出量削減が期待できます。）

【資料提供：関西電力株式会社】



(2) スマートサイトシステム (低炭素型施工技術)

最先端 ICT を用いた施工現場での 省エネ・節電モデル

建設現場の省エネ・節電対策は環境保全にとって重要な課題です。ダムやトンネルなど作業範囲が広範囲に点在している場合や多くの設備を使用している場合、個々の設備のエネルギー使用量を総合的に管理することは一般的には困難です。

本システムは、現場の各種設備の電力使用状況および省エネ状況をリアルタイムに監視（見える化）するとともに、省エネに寄与する複数の環境負荷低減技術を導入し、総合的に現場の省エネ・節電対策を実現します。これら一連の情報は、無線センサネットワークやインターネット通信など最新のICTを活用して一元管理するものです。

【資料提供：清水建設株式会社】



施工現場での省エネ・節電の見える化システム

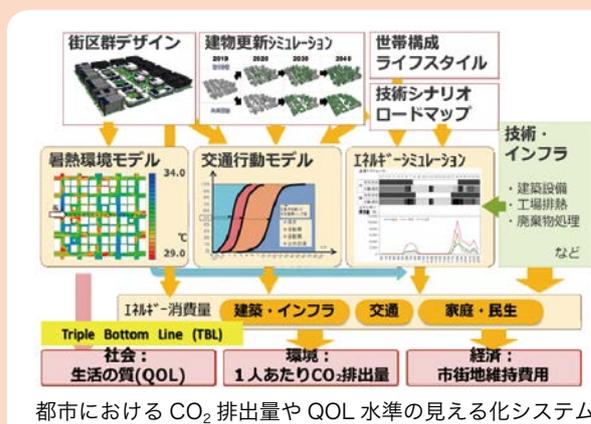
(3) 低炭素まちづくり支援システム

温室効果ガスの排出が少ない持続可能なまち を目指して

低炭素なまちづくりとして「Compact city」や「Smart city」が注目されていますが、実践例の大半は新規開発地区を対象とするものです。

既存市街地を変えていくのは大変なことで、建築物やインフラの更新過程に合わせて時間をかけて誘導する必要があります。さらに、住民・地権者の合意を得るべく、Quality Of Life (QOL) が高く維持コストが低くなる配慮も必要です。そこで、低炭素で住みやすいまちの目標像とその実現方策を地域で検討する際に使えるように、まちの更新過程を長期にわたりシミュレートし、CO₂排出量のみならずQOL水準や景観の変化をも「見える化」するシステムを構築しています。

【資料提供：名古屋大学大学院環境学研究科】



都市におけるCO₂排出量やQOL水準の見える化システム

編集：土木学会地球環境委員会
「気候変動への適応・緩和策検討小委員会」

4. 世界における各種ハザードと日本の対応

4. 1 ハリケーン・サンディの教訓 ～先進国の大都市を初めて襲ったニューヨーク都市圏大水害からの教訓～

4. 1. 1 ハリケーン・サンディによる被害とその対応・対策

2012年10月ハリケーン・サンディが米国東海岸に上陸し、ニューヨーク市は1938年以来74年ぶりに大規模な高潮被害を被った。同市においては、ハリケーンに対する沿岸防衛・浸水対策等のハード対策を重視してこなかったため、高潮の侵入を防ぐことができず、溺死者36名の犠牲を出したほか、交通麻痺等によって都市機能に甚大な被害が生じ、さらには金融などの世界の社会経済中枢にも甚大な影響が及んだ。

一方で、2005年のハリケーン・カトリーナを一つの契機にしてソフト対策を充実させ、被害を最小限に食い止めようとする工夫がなされていた。あらゆる規模のハリケーン来襲を前提とし、平常時から科学的なリスク評価に基づいた災害対応プログラムを策定しており、迅速かつ円滑な「事前対応」と「応急対策」を可能としていた。

4. 1. 2 行政トップによるリスクコミュニケーション

ブルームバークニューヨーク市長がTVに出演して防災対応を呼びかけたほか、ニューヨーク州知事、ニュージャージー州知事、さらには大統領も同様の呼びかけを行い、大規模な災害となる恐れがある段階から、住民や防災機関等に災害準備の呼びかけを行った。さらに、災害発生の前後の各段階で、現場対応にあたる専門的な技術者を擁する連邦政府の実施機関に権限と予算執行の責任を与え、次に示すような災害対応プログラムに沿った対応がなされる等の効果があった。

4. 1. 3 災害対応プログラム

過去の災害の経験や失敗を徹底的に分析し、災害対応の失敗を個人に帰するという方針ではなく、将来の災害への教訓として災害対応のプログラムの中に組み込む検証体制が導入されていた。ハリケーン来襲までに実施すべきことを予めプログラム化して時系列で明記した「タイムライン」、消防や警察の待避決定を行う「ゼロアワー」によりハリケーン来襲時の出勤の危険性を回避しながら、迅速な意思決定に基づく的確な災害対応プログラムの実施体制が構築され、実際に活用された。

4. 1. 4 我が国への教訓

近年、東京、名古屋、大阪などの我が国の低地大都市では、大きな水害を経験していないため、ハリケーン・サンディのような経験したことのない災害を想定して備えをすることが必要である。海外で起きた事例も含めて、災害対応の経験・失敗を検証しながら、将来の災害対応に活かす手段を考えていかなければならない。ニューヨークで実施されているようなソフト対策を充実させた上で、大都市の住民の生命と経済基盤を防護するための対策を、あらゆる規模の災害が発生することを前提として立てていくことが可能になっていくものと思われる。

参考文献

- 1) 国土交通省・防災関連学会合同調査団：米国ハリケーン・サンディに関する現地調査 報告書（第二版），pp.109，2013年.

4. 2 ノースリッジ地震の教訓

4. 2. 1 はじめに

ノースリッジ地震は、1994年1月17日4時31分（現地時間）に、米国カリフォルニア州ロスアンゼルス市サンフェルナンドバレーで発生したマグニチュード 6.8 (MS) (6.7Mw) の地震である。震源が都市直下で深さ 18km にあったため、地震動により当該地区ならびにその周辺地域に大きな被害をもたらした。ノースリッジ地震のちょうど一年後の 1995年1月17日5時46分に発生したマグニチュード 7.3 (6.9Mw) の地震が兵庫県南部地震である。早朝に発生し、震源の深さは 16km、神戸市から西宮市にかけての都市集積度の高い地域の断層が活動した都市直下型の地震であった。兵庫県南部地震まで1年しかないと直接的にノースリッジ地震の教訓を兵庫県南部地震に活かすことは難しかったと思うが、被害の程度は違っても、発生時の状況は似ていた。土木学会は、1997年に震害調査報告書をまとめ、詳細な被害状況や幾つかの教訓を報告した。日本では、兵庫県南部地震後、それらの地震で得た教訓から耐震関係の対策は大いに進んでいるが、それらの地震以前であるノースリッジ地震の調査報告書に示されたいくつかの教訓を記述することで、諸外国で得られた教訓をどのように活かすのかを考える参考資料となることを、本節では期待する。

4. 2. 2 構造物の被害に関する教訓

ノースリッジ地震の構造物の被害として、道路施設の被害は橋梁被害が大きく、軽微な損傷を除くと落橋が7橋、落橋同然の大被害が2橋、橋脚に大きな被害が生じた橋が2橋であった。また、建築物の被害は特に多く、倒壊数は約11万棟に及び、駐車場構造物、ショッピングセンターや病院などの、公共性が高く人の出入りの多い構造物の被害が目立った。一方、岸壁、護岸などの施設は無被害または極めて軽微な被害で、ダムは20以上でクラック、小変位および漏水量の一時的な増加等の変状が報告されたが安全性に係わる変状ではないと報告されている。

ノースリッジ地震の米国の状況を考える場合、1971年2月9日に発生したサンフェルナンド地震後の対応を考える必要がある。サンフェルナンド地震では、ロスアンゼルス郊外の道路橋に甚大な被害が生じたことから、カリフォルニア州ではその後設計水平震度を2~2.5倍に引き上げる等の耐震設計法の抜本的な見直しを行い、同時に耐震性の低い既設橋の耐震補強プログラムがスタートさせた。また既設ダムでも安全性の再評価が実施されていた。

橋梁の被害の特徴としては、大きな被害を受けた橋はすべて1971年以前の旧耐震設計基準によって設計された橋であり、耐震性上の弱点は、①設計地震力が小さかったこと、②主鉄筋が多いにもかかわらず帯鉄筋が極端に少ない、③ヒンジ部の桁掛かり長が約30cmと小さいことが、挙げられた。また、サンフェルナンド地震以降、既存橋の耐震補強が実施され、特に1989年のロマプリエータ地震以降、耐震補強のペースが速められ、①桁と桁、および桁と橋台の連結（落橋防止装置）、②鋼板巻立てによる橋梁の耐震補強が実施され、その有効性が確認された。ノースリッジ地震で観察された被害理由は兵庫県南部地震の被害理由と一致するところが多く、またサンフェルナンド地震以降進められた耐震補強は、我が国でも兵庫県南部地震以降活発に実施されている。構造物に被害を生じさせるような地震は、low-probabilityでhigh-consequenceなイベントである。それだけにわが国だけではなく、諸外国で発生した地震被害の事例を大いに教訓とし、現状の技術を過信せず、我が国の新設構造物の耐震基準、あるいは既存構造物の耐震補強の

進め方を検証する機会としなければならない。仮に 1995 年の兵庫県南部地震が 10 年後に発生したとき、米国でのこれら一連の地震被害を教訓としてわが国で対策が進み、あれほどの大きな構造物被害を出さずに済んだであろうか。兵庫県南部地震が発生していなくても、現状を鑑みて我が国ですべきことが教訓として示されていたことを、今一度理解する必要がある。

4. 2. 3 交通システムに関する教訓

日本の道路網は、その容量ぎりぎりの状態で運用され、道路交通を代替する余力はあまりないことから、あらかじめ計画された道路網運用策を構築しておかないと、災害時には交通の大混乱が予想されることが 1989 年のロマプリエータ地震を受けて指摘されており²⁾、阪神・淡路大震災で現実のものとなっている。

報告書では、日本における災害管理手法の確立に向けて、下記の 3 点の重要性が指摘されている。

- 1) 周到な事前の準備・情報収集体制・平常時との連続性
- 2) 一元化・包括化された災害対策と安心感のための情報公開
- 3) 違反者の防止による平穏の維持（公平感の確立）

4. 2. 4 情報と対応に関する教訓

①情報発信

地震発生から 13 時間後の午後 5 時半過ぎ、ロサンゼルス市役所で行われた記者会見の席上で、市長は夜間外出禁止令を発令することを骨子とする短い演説を行った。また市警察本部長は市の災害対策本部を代表して、市民に向かって市の被害の現状を明らかにし、市ができること、市民に望むことを語るとともに、治安維持の体制を説明し、市としての危機管理能力の情報発信を行った。

②災害対応体制

ノースリッジ地震の 10 年ほど前の米国の災害体制は一本化されておらず、各セクションがバラバラに活動していて効率は悪いが、反面タフなシステムであると紹介されていた。ノースリッジ地震の際の災害対応体制は、支持命令系統は図 4.2.1 に示すような明確な階層構造が成立した有機的な体制が構築されていた。

アメリカにおいても災害対応の主体は市町村であり、日本の防災体制と同様である。ただし、単一または複数の市町からならカウンティという行政単位が設けられており、保健衛生関係や戸籍関係の仕事を行い、独自に警察組織も持っている。その上位に州政府があり、最上位に連邦政府がある。全体的では 4 層構造となっており、基本的には階層の直下の組織からの要請に応じて、直情の組織からの援助が提供される仕組みとなっている。また、図 4.2.1 から分かるように、災害対策に携わる行政機関はどのレベルであっても直接被災者の全面に立たないシステムが作られている。これは、災害対策本部の機能は災害対策の裏方に徹することであるという認識である。一方、行政と被災者を結ぶ一元的なインターフェースとして、避難所、DAC、戸別訪問ボランティア、マスコミの 4 つの携帯が用意されており、災害対応にあたって被災者が必要とする情報は、災害対策本部によって一元的に管理されている。

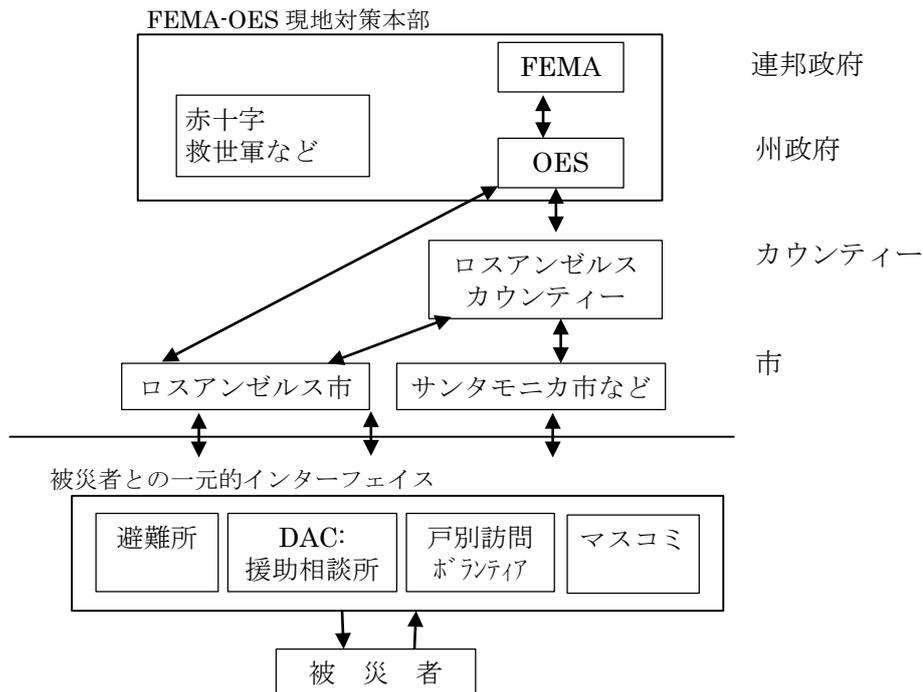


図 4.2.1 ノースリッジ地震の際の防災担当機関の相互関連

③危機管理としての防災

報告書では、外力についての正確で詳細な理解に基づいて、社会の防災力を向上させることが防災であると記述している。また、社会の防災力は、被害発生を未然に防ぐことを目的とした被害抑止策と、被害抑止限界を超過した外力に対する被害の限定化と早期復旧を目的とした被害軽減策の組み合わせによって成立しているとしている。日本は、構造物の耐震性能を上げることを重視した被害抑止面での努力を主に行ってきたが、アメリカの防災体制は被害抑止策よりも被害軽減策の強化を目指した整備がなされていると指摘し、日本の防災にとって大いに学ぶべき点があるといわざるをえないとしている。

参考文献

- 1)土木学会：1994年ノースリッジ地震 震害調査報告（震害調査シリーズ④）、1997年。
<https://www.jsce.or.jp/library/eq10/book/bklist/45721/eqbk01.htm>
- 2)若林拓史、亀田弘行：ロマ・プリエタ地震によるサンフランシスコ湾岸地域の交通サービスへの被害分析と交通運用策の評価、土木計画額研究・論文集 10、pp.103-110、1992年。