

道路構造物の防災・減災・危機管理

1. 研究・活動のアウトライン

国総研では、地震、豪雨等各種災害から国民の生命、身体及び財産の保護を目標に、道路構造物の防災・減災・危機管理として様々な調査、試験、研究及び開発並びに技術の指導を進めてきた。

表-1 主な災害の発生状況と道路構造物の防災・減災・危機管理研究の経緯

主な災害と国総研の組織	橋梁・土工構造物等に着目した取り組み	地震等災害に着目した取り組み
1964年 新潟地震 1994年 平成6年(1994年)北海道東方沖地震 1995年 平成7年(1995年)兵庫県南部地震 【阪神・淡路大震災】		1950年代【地震】強震観測の開始 1988年【地震】道路震災対策便覧発刊
2001年 国総研発足(道路研究部橋梁研究室、危機管理技術研究センター地震防災研究室) 2003年 平成15年(2003年)十勝沖地震 2004年 平成16年(2004年)新潟県中越地震 2005年 福岡県西方沖を震源とする地震 2007年 平成19年(2007年)能登半島地震 平成19年(2007年)新潟県中越沖地震 2009年 駿河湾を震源とする地震 2011年 平成23年(2011年)東北地方太平洋沖地震【東日本大震災】	○【液状化】液状化等の地盤変状への対応 2005~2007年【橋梁】緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム 2009~2012年【土工】道路土工各指針改定(排水に関する規定等の充実) 2012年【橋梁】道路橋示方書改定(地震動見直し、液状化判定法の検証等)	2006年【地震】道路震災対策便覧改定 2009年【地震】スペクトル分析情報の手動配信開始 2010年【地震】道路震災対策便覧改定
2014年 道路構造物研究部発足(防災・メンテナンス基盤研究センター 国土防災研究室設置(地震防災研究室より改組)) 2016年 道路地震防災研究室設置・編入(国土防災研究室より改組) 2016年 平成28年(2016年)熊本地震 2017年 熊本地震復旧対策研究室(社会資本マネジメント研究センター)設置 2017年 平成29年7月九州北部豪雨 2018年 平成30年7月豪雨 2018年 平成30北海道胆振東部地震 2019年 令和元年東日本台風 2020年 令和2年7月豪雨	2017年【橋梁】道路橋示方書改定(地盤変状・断層変位への対応、地震動の検証等) ○【橋梁】制震ダンパーへの取り組み 2020年【土工・舗装】道路基盤構造実験施設竣工	2015年【地震】災害対策検討支援ツールキットの開発 2016年【災害情報】道路管理者に必要な被災情報の体系化 2017年【地震】スペクトル分析情報の自動配信開始 2019年【災害情報】自動航行UAVによる被災情報取得検討 2019年~【地震】道路震災対策便覧改定

国総研発足以前から現在に至る、主な災害の発生状況と道路構造物の防災・減災・危機管理研究の経緯を表-1に示す。国総研設立当初、これらの研究は、道路研究部橋梁研究室及び危機管理技術研究センター地震防災研究室において行われてきた。その後、組織改編により道路構造物研究部が発足し、現在では、橋梁、土工、トンネル等の個別構造物の観点からは、橋梁研究室、構造・基礎研究室、道路基盤研究室が、地震動等の観点からは、道路地震防災研究室が研究を進めている。その他、新たな取り組みとして、平成28年(2016年)熊本地震(以下:熊本地震)での被災(写真-1)からの復旧・復興事業を加速化させるため、熊本地震復旧対策研究室(社会資本マネジメント研究センター)を2017年4月に設置している。



写真-1 熊本地震の被災

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

表-2 道路構造物の災害対策のフェーズと対応する研究

	地震	豪雨	豪雷	
事前対策 (防災)	<ul style="list-style-type: none"> 道路構造物の耐震対策技術に関する研究 地震に対する道路橋基礎の耐荷性向上に関する研究 液状化による土工構造物の機能低下リスク評価に関する研究・施設設備 地盤振動特性に関する調査、強震観測調査 災害対策検討ツールキットを活用した防災訓練等に関する研究 技術指導、技術移転（人材受入、研究支援、ナレッジ共有） 	<ul style="list-style-type: none"> 土工構造物における点検手法の検討 既設土工構造物の機能回復に関する研究 洪水による洗掘等に対する道路構造物の耐荷性向上に関する研究 技術指導、技術移転 	<ul style="list-style-type: none"> 雪害ナレッジ整備 	
予報		<ul style="list-style-type: none"> 新たな事前通行規制基準の研究（レーダー雨量計の活用、新たな雨量指標の検討） 	<ul style="list-style-type: none"> 路面状況を考慮した積雪予測の研究 	
発災	初動体制	<ul style="list-style-type: none"> 地震動の分析及び被災規模の把握・提供 情報分析・意思決定支援システムの本運用に向けた改良（スペクトル分析情報や強い揺れに曝された CCTV カメラリストの配信） 土木構造物の即時被害検知・強震モニタリング 		<ul style="list-style-type: none"> 路面積雪予測の除雪活動への活用
	道路啓開	<ul style="list-style-type: none"> 道路通行可否の把握技術に関する調査（各種画像センサー、UAV等、プローブ情報の活用） 液状化等に起因するインフラの被害推測に関する研究 		
	応急復旧	<ul style="list-style-type: none"> 地震に対する道路橋基礎の耐荷性向上に関する研究 地震被害を受けた斜張橋ケーブルの点検診断に関する研究 復旧における新技術の活用（UAV,SAR等） 現地調査、技術指導 	<ul style="list-style-type: none"> 洪水による洗掘等に対する道路構造物の耐荷性向上に関する研究 土工構造物における点検手法の検討 復旧における新技術の活用（UAV,SAR等） 技術指導、技術移転 	
	本復旧 (再発防止)	<ul style="list-style-type: none"> 橋梁補修補強設計に関する研究 土工構造物の要求性能に応じた照査法に関する研究 既設土工構造物の機能回復に関する研究 災害復旧工事で得るデータとその活用に関する研究 現地調査、技術指導及び検討委員会参画 	<ul style="list-style-type: none"> 洪水による洗掘等に対する道路構造物の耐荷性向上に関する研究 橋梁補修補強設計に関する研究 既設土工構造物の機能回復に関する研究 現地調査、技術指導及び検討委員会参画 	

道路構造物の災害対策は、災害の種類に応じて事前対策から発災後の本復旧まで、各段階に応じて様々である（表-2）。また、その検討範囲も多岐にわたることから、これらの研究は、土木研究所、民間、大学等研究機関と連携・分担して実施している。

道路を構成する橋梁等の各構造物について、災害に対する施設整備、維持管理基準等は、「〇〇年に1回規模の豪雨に対して〇日以内に通行止めが解除できる」といったサービス水準に連動した基準整備を基本的な目標としている（図-1）。

橋梁では、平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震（以下：東北地方太平洋沖地震）での津波による橋梁流出や熊本地震における斜面崩壊等の実際の被災を踏まえた道路橋示方書（以下：道示）の改定を随時実施するとともに、後述する「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」等の緊急対策の策定・周知を図ってきている。

自然斜面や道路土工構造物等でも同様に、平成16年（2004年）新潟県中越地震（以下：新潟県中越地震）等における集水地形上の高盛土の被害や東北地方太平洋沖地震における液状化等の被害を踏まえた対策を立案し、道路土工指針等の改定に反映してきている。

一方、災害の事前対策等に着目した研究も進めている。強震観測は、地震被害、地震発生時の構造物等の挙動解明の重要な情報として、1950年代より継続している。道路震災対策便覧は、大規模地震発生時における道路施設の被害軽減ならびに被災後の道路管理に資する手引き書として、1988年に発刊され、以降地震の発生、利用者ニーズの変化に対応して、随時改定されてきた。その他にも、地震発生直後の情報空白期における被災情報の充実を図るため、地震動のスペクトル分析とその情報配信等についても検討している。最近では、道路被災の速やかな把握と対応といった観点から、道路管理者の災害対応に必要な情報の体系化、その情報を取得するための技術開発についても取り組みを進めている。

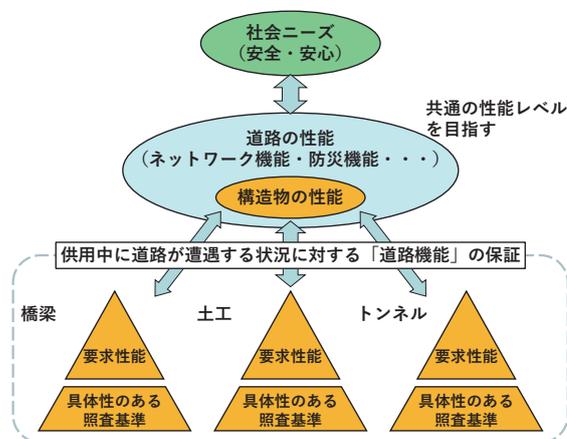


図-1 道路構造物の基準整備の考え方

2. 主な研究成果

(1) 構造物に着目した防災減災等への取り組み

① 橋梁

1) 従前の取り組み

地震をはじめとする過去の大規模災害等では、橋梁の損傷により道路機能が損なわれ、通行規制等を生じさせている。国総研では被災調査や道路管理者への技術支援を行うとともに被災の事例分析等を行い、その成果は、道示等の技術基準類の改定に反映してきている。

2) 各種災害への対応

2)-1 緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム

新潟県中越地震では、道路構造物への甚大な損傷が平成7年(1995年)兵庫県南部地震(以下:兵庫県南部地震)以来に発生した。これを受け、国土交通省は、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム」を策定し、2005～7年度の3箇年において被災時、復旧活動の支援等において重要な役割を果たす緊急輸送道路の橋梁耐震補強を重点的に実施した。

本プログラムでは、対象路線の1980年に改定された道示より古い基準を適用した橋梁のうち、特に優先的に耐震補強を実施する必要のある橋梁について、RC橋脚の巻立てや鋼製橋脚のコンクリート充填、落橋防止構造の設置等を実施し(図-2)、国総研では、本プログラムの取り組み状況を分かりやすく情報提供するため、橋梁耐震補強の進捗見込みマップ作成を支援した。

東北地方太平洋沖地震では「くしの歯作戦」が決行されたが、本耐震補強プログラムの効果により、古い技術基準が適用された道路橋においても地震による致命的な損傷を免れることができ、早期の道路啓開に貢献した。

2)-2 H24,H29 道路橋示方書の改定

東北地方太平洋沖地震では、上述の通り地震動による橋梁の被害は限定的であったものの、津波による橋梁の流出等の被害が生じた(写真-2)。これを踏まえ、2012年の道示改定では、津波に関する地域の防災計画等を考慮した橋の構造計画を行うことが規定された。併せて、東海地震、東南海地震、南海地震等のプレート境界型の大規模地震を考慮したレベル2地震動(タイプI)の見直し、耐震設計の高度化に伴い配筋が過密となっている状況を踏まえた配筋合理化を可能とする高強度の鉄筋(SD390,SD490)の適用についての改定がなされた。

熊本地震では、断層変位や斜面崩壊等の地盤変状の影響による橋梁の被害が生じた(写真-3)。また、ロッキング橋脚で支持さ

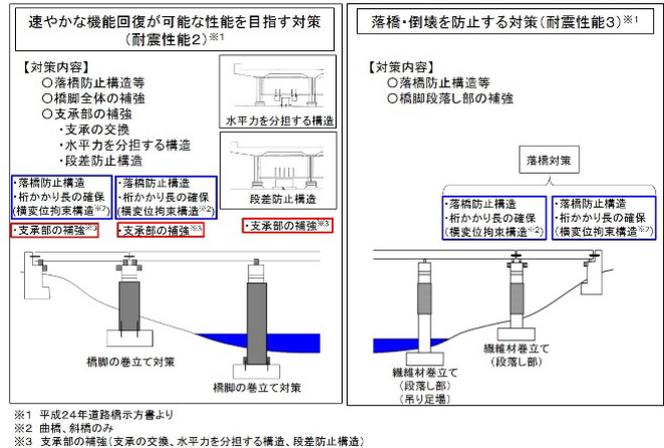


図-2 耐震対策の概要(国交省HPより)



写真-2 津波を受けた橋の被害(東北地方太平洋沖地震)



写真-3 地盤変状を受けた橋の被害(熊本地震)



写真-4 ロッキング橋脚を有する橋の被害(熊本地震)

れた上部構造が落下に至る被害が生じた（写真-4）。これらの被災経験等を踏まえ、2017年の道示改定では、地盤の大規模な変状に対して影響を受けないよう架橋位置又は橋の型式の選定を行うことが標準とされた。また、下部構造は安定して上部構造を支持することが規定された。この他、熊本地震では設計スペクトルを一部の周期帯で越える地震動が観測されたものの、兵庫県南部地震の地震動に基づき設定された設計スペクトルと同程度レベルと評価されたことや各種工学的判断に基づき、従前の道示で考慮されてきたレベル2地震動の特性値が踏襲されることになった。



写真-5 取付部の損傷等により機能しなかったダンパー（熊本地震）

2)-3 道路橋の制震ダンパーに関する取り組み

制震ダンパーは地震時の揺れを低減させることで道路橋の耐震性能を確保・向上させる技術として活用されている。しかし、東北地方太平洋沖地震や熊本地震において、ダンパー取付部の損傷等により、設計で想定した効果を発揮できていない事象が発生した（写真-5）。地震発生時に制震ダンパーが安定して挙動するためには、制震ダンパー本体のみならず取付部を含めた要求性能やその確認方法を統一的に提示する必要性が改めて認識され、これらの研究を推進している。本成果の一部は、新技术活用システムのテーマ設定型（技術公募）における「道路橋の耐震性向上に資する制震ダンパー技術」（2020年7月公募）における性能評価項目の設定に活用されている。

3) 今後の取組み

令和2年7月豪雨では、河川の増水により橋梁上部構造の流出被害が生じた。国総研では、発災直後より被災メカニズムの分析を行うとともに既設渡河橋の上部構造流出リスクを把握できる手法を検討した。今後、道路管理者が従前の災害リスクのみならず老朽化との両者を考慮した長寿命化修繕計画を適切に策定できるよう、計画策定ガイドライン等を策定するための研究を引き続き進めていく。

②土工構造物（盛土・切土）・自然斜面・舗装

1) 従前の取組み

道路土工構造物では、過去の主要な地震において、度々道路機能に影響を及ぼす大きな被害が生じている。このため国総研では、道路土工指針において過去の被災に基づく改定を随時実施してきた。例えば、新潟県中越地震、平成19年（2007年）能登半島地震、2009年8月に発生した駿河湾を震源とする地震（以下：駿河湾地震）等における集水地形上の高盛土の被害や東北地方太平洋沖地震における液状化等の被害をふまえた対策等について、内容を反映してきた。



写真-6 液状化対策舗装（大阪府高石市）

2) 各種災害への対応

2)-1 地震に伴う液状化等の地盤変状への対応

東北地方太平洋沖地震では、液状化による被害が関東でも確認された。国総研では、各地の液状化被害事例を収集し、道路構造や道路下の埋設物、地盤条件等の諸条件と被災状況等との関係について整理・分析を実施した。この結果を参考に、地方公共団体において液状化対策を施した舗装が施工されている（写真-6）。

また、道路の段差や陥没の発生につながる地盤の変状を再現し、変状発生時の道路の通行可能性を検証するため、2020年に国総研構内に道路基盤構造実験施設を整備した（写真-7）。この施設



写真-7 道路基盤構造実験施設

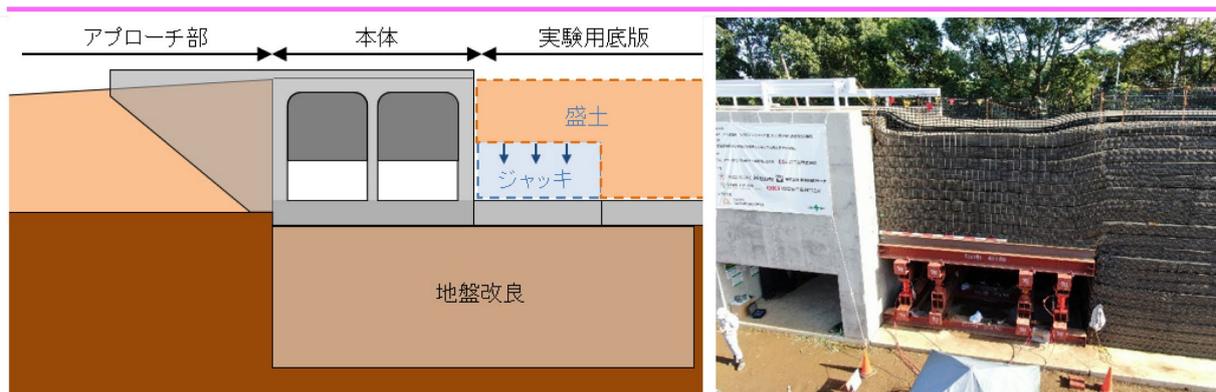


図-3 ジオグリッドを設けた舗装構造の地盤変状に伴う変形への抵抗性確認試験

は実験用底版上にジャッキを設置し、その上に盛土及び舗装を構築、ジャッキの上下により盛土に強制変位を起こすことで、地震発生時の地盤の変状を再現する。同年の委託研究において、内部にジオグリッドを設けた舗装構造の地盤変状に伴う変形への抵抗性について確認試験を実施した(図-3)。

2)-2 相次ぐ台風・豪雨への対応

上記のほか、国総研では災害による土工構造物の被災現場に赴き、知見の集積や技術支援を実施してきた。近年では、熊本地震における斜面崩壊や令和元年東日本台風における土砂崩壊及び河川氾濫等について、地方公共団体等へ復旧方針等の技術支援を行った。直近では、令和2年7月豪雨において、長野県の管理する国道及び県道において土砂崩落が発生し、現地調査を行い復旧方法等の助言を行っている(写真-8)。



写真-8 道路損壊に伴う現地支援

3) 今後の取組み

今後、現場からの技術支援の要請に引き続き応えとともに、近年の被災状況の収集・整理及び被災メカニズムの分析を通じ、自然斜面及び道路土工構造物等のリスク把握とリスク対応のための研究を進め、道路ネットワークの統一的な性能確保に向けた検討を行う。

(2) 地震等災害に着目した防災減災等への取組み

① 強震観測

実地震により観測された強震記録は、震度法から地震時保有水平耐力法への転換に重要な役割を果たす等、耐震技術の発展と密接に関係している。また、地盤振動特性や地震発生位置等に応じた地震動特性の推定法、土木構造物の地震時挙動と性能照査に関する研究成果は、道示をはじめ道路・河川等各種インフラ施設の耐震基準等に反映されている。国総研では、これらの検討を継続するため、以下の各種強震観測を実施している。

1) インフラ施設を対象とした強震観測

インフラ施設の強震観測は、土木研究所時代の1950年代に開始し、1960年に観測体制を拡大した。その後、1964年に新潟地震が発生し、地震被害の解明に強震記録が大きく貢献したことが契機となり、建設省が強震計の配置計画を策定し、土木研究所で強震記録が蓄積される体制を構築した。

これにより、地方建設局等、関係公団及び地方自治体インフラ施設での強震観測網が拡充され、土木研究所は強震計設置に対する技術的な指導を実施した。

国総研は、その施策を引き継ぎ、全国の橋等の道路構造物等において強震観測を実施している。現在、道路構造物24箇所、河川構造物51箇所の合計75箇所で、強震観測を実施し、機器の保守・管理を行っている。また、道路橋等を対象とした全体系の挙動データの取得が可能なモニタリングシステム(図-4)を開発し、観測している。

2) 高密度強震観測

上記に加え、地震の発生機構、伝播経路、局所的条件が地震動特性に及ぼす影響の解明を目的として、特定の地区を対象に、地盤及び地中に強震計を集中的に配置した高密度強震観測を相良、焼津、沼津、松崎、幕張・習志野、館山、小田原、神戸の8地区76地点で実施している。

②道路震災対策便覧

「道路震災対策便覧」は、大規模地震発生時における道路施設の被害軽減ならびに被災後の道路管理に資する技術的な手引書として、(公社)日本道路協会より刊行されている。

現行版は、震災への予防対策を進めるための組織体制、道路施設の耐震性能判定法や耐震対策工法、地震発生前に定めておく計画等を取りまとめた「震前対策編」、迅速な震後復旧を行うための被災調査、被災度判定及び復旧工法に関する技術的留意点とその具体事例を取りまとめた「震災復旧編」、地震発生直後の初動期を対象とした道路管理のあり方や道路管理者が執るべき行動の基本方針を取りまとめた「震災危機管理編」の3編で構成されている。

「震前対策編」及び「震災復旧編」は、1988年に発刊されたが、平成5年(1993年)釧路沖地震、平成6年(1994年)北海道東方沖地震及び兵庫県南部地震等の経験を踏まえ、国総研が中心となり2002年に改定が行われた。その後、平成15年(2003年)十勝沖地震、新潟県中越地震を踏まえた改定を、2006年、2007年に実施している。

「震災危機管理編」は、兵庫県南部地震において、地震発生直後の緊急体制の構築、情報収集、関連機関との連携等、震後の道路管理のあり方をあらかじめ定めておくことの重要性が認識されたことを受け、地震発生直後の初動期に道路管理者が執るべき行動の基本方針の手引書として、1996年に「震後対策編」として発刊された。その後、兵庫県南部地震以降の地震災害経験を踏まえ、2010年に改定している。

この改定以降、東北地方太平洋沖地震、熊本地震等の地震が発生し、新たなハード・ソフト両面の教訓が蓄えられた。一方、政府の新たな法律整備や中央防災会議における被害想定、対策大綱等のとりまとめが相次いで進められるとともに、国土交通省においても災害対応等に関する各種計画が策定された。現在、このような情勢を踏まえた道路震災対策便覧の改定を2019年から進めている。

③地震発生直後の情報空白期における道路被災情報の充実

国土交通省では、地震による強い揺れが観測されると、直ちに所管施設の点検を開始する。しかし、地震発生直後の情報空白期には、CCTVカメラ映像や報道情報等しかなく、さらに夜間はこれらの映像から得られる情報も限定される。そこで、国総研では地震発生直後に得られる情報の充足に向けた以下の取組みを行っている。

1) 地震動のスペクトル分析情報等の自動配信システム

国総研では、従前より被害地震の際に観測された強震記録の加速度応答スペクトルを、過去の代表的な被害地震である兵庫県南部地震等の強震記録と比較し、強震動と被害規模との関係を緊急調査速報等で報告している。駿河湾地震の際には、災害対応従事者から地震動の道路構造物への影響を把握したいという要望があり、最大震度6弱以上の地震発生時にスペクトル分析情報を作成し、省内関係者間で共有することとした(図-5)。熊本地震では、大きな前震と本震が夜間に発生したこともあり、スペクトル分析情報は被害の規模

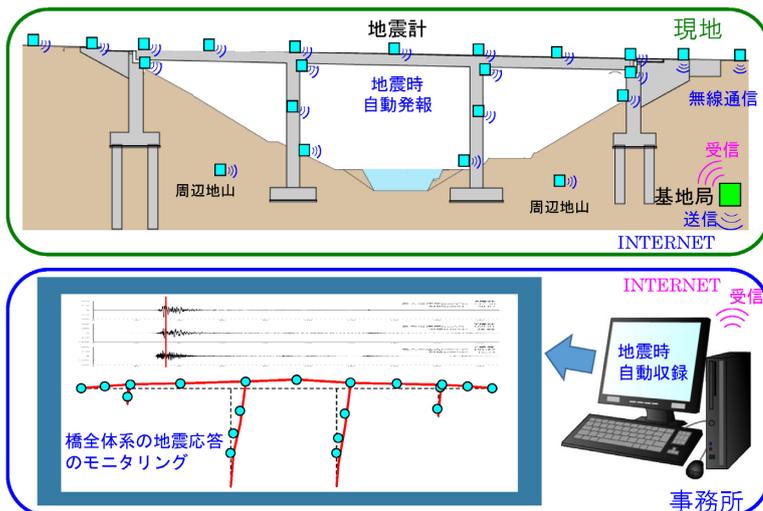


図-4 全体系の挙動のモニタリングシステム

1. 強

国土技術政策を支える研究開発

感を知る貴重な情報となった一方で、分析・図化に発生後3～4時間を要し、発生直後の情報空白期に活用できなかった。この状況を改善するため、(国研)防災科学技術研究所の即時公開データを活用したスペクトル分析情報等を自動配信する仕組みを構築し、2017年より国土交通省、地方整備局等の関係部局に対して、試行的に配信を行っている。

2) 道路被災情報の効率的な取得

発災時の目視点検による道路の被災状況調査には、災害発生時の人員不足、被災箇所の点検の危険性、道路被災や渋滞等による巡回の阻害等の課題がある。現在、被災状況の把握には道路パトロールカー、CCTVカメラ等を主に活用している。

国総研では、現状の課題を踏まえ、2016年から道路管理者の災害対応に必要な情報を体系化し、災害覚知に必要な技術とその性能を明らかにする取り組みを進めている。2019年には、各災害覚知技術の計測精度及び計測可能範囲を定量的に分析し、適用条件早見表として整理することにより、より一層の活用場面の明確化や技術開発目標の提示が可能となった(図-6)。

今後、自動航行UAVや衛星等による情報収集の活用可能性の検討(写真-9)と被災状況に応じた道路管理技術の活用シーンの検討を行い、災害時に加え、平時の道路管理にも活用可能となるよう検討を進める。

④災害対策検討支援ツールキットの開発・活用

東北地方太平洋沖地震は、従来想定されてきた地震の規模や災害の様相を上回るものであり、既往の経験的な知識のみでは限界があることが明らかとなった。

国土交通省が管理する様々なインフラにおいても橋梁や河川堤防の耐震化、防災訓練の実施、災害復旧資材の備蓄等、ハード、ソフトの両面から対策が図られている。国総研では、災害の発生による被害想定、リスク評価、対策を一連の流れで検討する各種ツールをひとまとめにした災害対策検討支援ツールキットを開

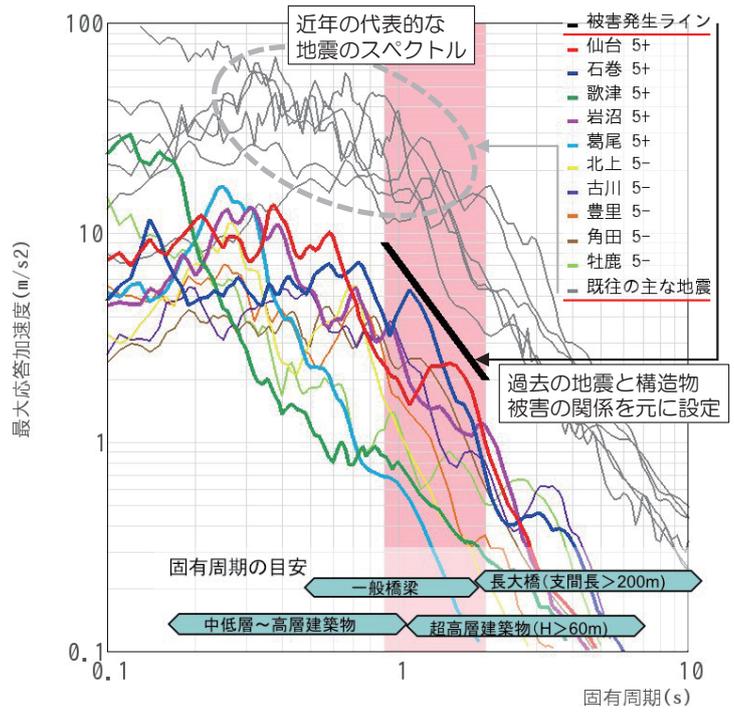


図-5 スペクトル分析情報(一部抜粋)

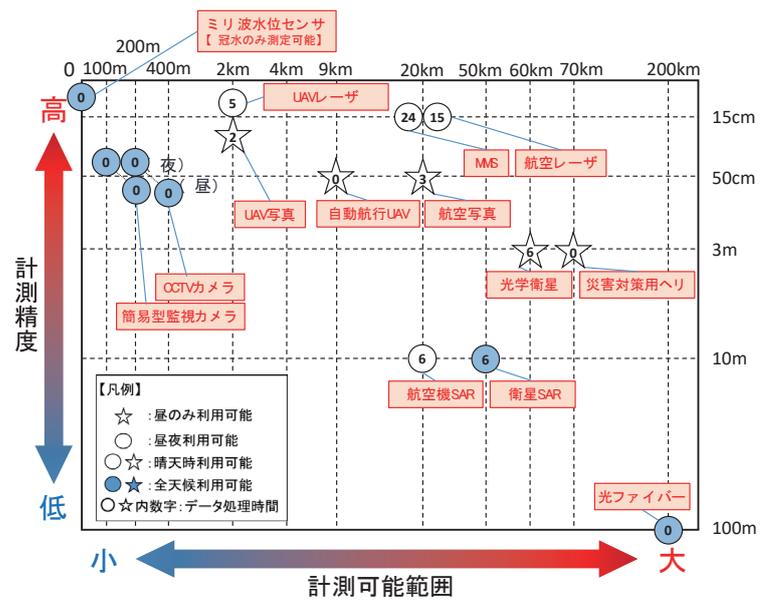


図-6 適用条件早見表

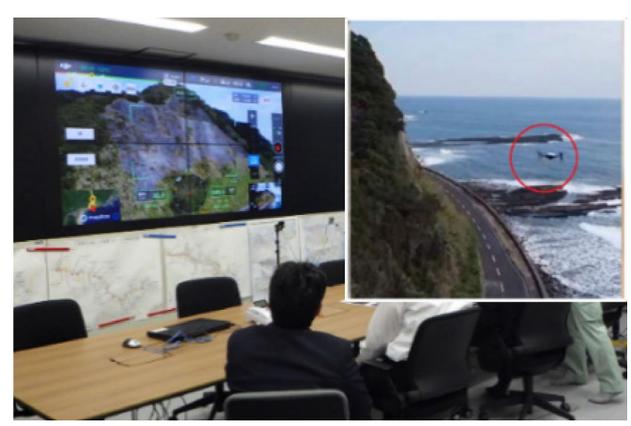


写真-9 自動航行 UAV による情報取得実験

発した（図-7）。本ツールキットは、災害対策検討手法としての機能のみでなく、効果的な防災教育手法という特徴も有している。開発したツールキットは、国交省直轄事務所及び国交大等で試験的に活用されている。

災害対策検討支援ツールキット

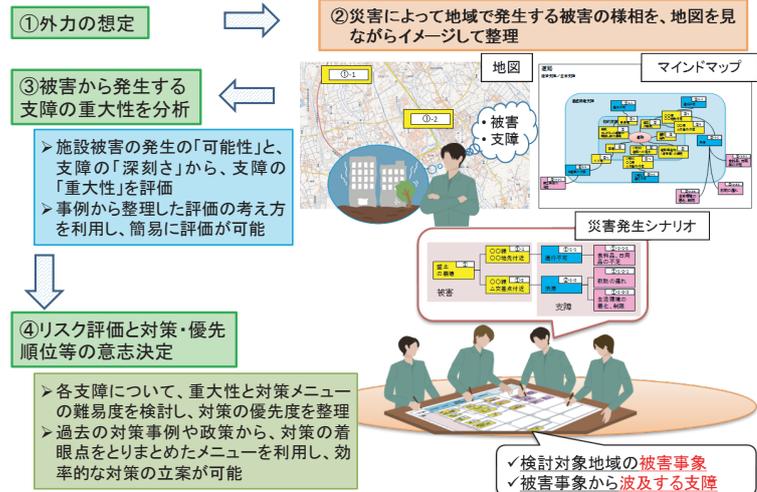


図-7 災害対策検討支援ツールキット

3. 関係する報告書・技術資料一覧

- 1) 国総研ホームページ，道路構造物研究部 研究・活動の方針
http://www.nilim.go.jp/japanese/organization/kouzou/houshin_dourokouzou.pdf
- 2) 橋，高架の道路等の技術基準（道路橋示方書）（H24.2，H29.7）
- 3) 日本道路協会，道路震災対策便覧（震災危機管理編）2019年7月，道路震災対策便覧（震前対策編）2006年9月，道路震災対策便覧（震災復旧編）2007年3月
- 4) Journal of Disaster Research, Dr14-2-9602, pp. 333-347, 2019.3."Development of Real-Time Collection, Integration, and Sharing Technology for Infrastructure Damage Information"
https://www.jstage.jst.go.jp/article/jdr/14/2/14_333/_article/-char/ja
- 5) 平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震による強震記録，国土技術政策総合研究所資料 第726号
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn0726.htm>
- 6) 国土技術政策総合研究所の土木構造物の強震観測，日本地震学会ニュースレター，第73号 第NL2号，2020.7
- 7) 「地震動のスペクトル分析情報の自動配信とその改良」，土木技術資料 62-5 pp8-11
- 8) 国総研プロジェクト研究報告 第64号「超過外力と複合的自然災害に対する危機管理に関する研究」
<http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/kpr/prn0064.htm>

4. 今後の展望

地震、豪雨や豪雪等の災害の頻発化、激甚化が懸念される中で、国総研としても関係機関と連携しながら、当分野の検討に総力を挙げて取り組む必要がある。

防災等対策の推進においては、現在の道路が抱える各種災害リスクを、現在の最新の知見を加え統一的な観点から評価し、その評価結果に基づく対策のマネジメント手法を構築する必要がある。その上で、災害時に各道路に求められるネットワーク・防災等機能に基づいた性能やサービス水準を各構造物がクリアできていることを照査できる施設整備基準類・維持管理基準類を整備し、より一層エビデンスに基づいた防災対策を推進していかなければならない。

なお、地震に限らず、豪雨や豪雪等災害についても、深化する対策内容を道路管理者に広く普及させるための防災教育のより一層の充実が求められる。