

国土強靱化を支える道路の防災

— 防災力向上策の進化に向けた考察 —

国土交通省国土技術政策総合研究所道路構造物研究部道路構造物管理システム研究官

片岡 正次郎

1. 道路が支える重要インフラの復旧

政府は現在、防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策¹⁾(以下、3か年緊急対策という。)に取り組んでおり、令和2年度は3年目にあたる。本対策は、「I. 防災のための重要インフラ等の機能維持」と「II. 国民経済・生活を支える重要インフラ等の機能維持」の2つの観点から実施されており、前者では人命の保護、後者では電力等エネルギー供給、ライフライン、交通ネットワーク、情報通信機能等の確保を目指している。

強靱とは、被害を最小限にとどめ迅速に回復する「強さ」と「しなやかさ」をあわせもつことである。耐災害性の強化のみならず、重要インフラの災害復旧の迅速化は国土強靱化の根幹といえる。

災害復旧は、人・物・金・情報が絡みきわめて複雑な過程を経る。多くの場合、情報通信、電力および交通インフラが必要²⁾であるため、事業者も通信網の多重化やバックアップ電源の整備に努めている。ただし交通インフラは事業者側での代替措置が困難であるため、緊急輸送道路はもちろん、被災現場での復旧活動の土台となるその他の道路も、緊急活動、災害復旧を支える交通基盤として機能することが期待されている。

一方、災害復旧を支えるはずの道路も、災害時に決して無被害ではない。平成30年7月の豪雨では道路区域外からの土砂崩落で落橋が発生し、台風21号では漂流したタンカーの衝突により関西国際空港連絡橋に大きな被害が生じた。9月の北海道胆振東部地震では土砂流出、液状化や斜面崩壊に伴う通行障害が発生し、また令和元年も台風第19号で計1,000を超える全面通行止め区間が生じるなど、この2年に限っても多数の道路被害が生じている。これらの被害は道路の交通機能、ひいては他の重要インフラ

等の復旧をも阻害しているため、道路の防災力向上は国土強靱化を支え、底上げするカギを握っている。

本稿ではまず重要インフラの防災力を分析し、防災力向上策の構造と道路管理者の取り組み状況を整理するとともに、災害時の道路の目標性能に基づき、一層効果的に防災事業を進めていくための方向性について、筆者の考えを述べたい。

2. 重要インフラの防災力とその向上策の構造化

図-1は災害時にインフラ・ライフラインや事業等の機能が変化の様子を示したもので、レジリエンスや事業継続計画に関する議論でも操業率の変化等として同種の図が示されることが多い。この図は時間 t_0 に災害により被害が生じると通常時(100%)から機能が低下し、元に戻すには t_1 までの時間を要することを示している。

機能が低下している部分の面積が、被害とその影響の大きさを表す。この面積を小さくする(赤線から黒線にすること)を防災力の向上と捉え、それはできるだけ機能低下の機会を減らし、低下の度合いを小さくするとともに、早く元通りにすることである。言い換えれば、抵抗力・軽減力・回復力を向上させることが防災力の向上につながる。

これら抵抗力・軽減力・回復力をそれぞれどのように向上させられるかを見るために、災害発生から機能が低下しその影響が拡大するという場面Xと、災害復旧作業の場面Yに分類して整理を試みたものが図-2である。

左の場面Xは、インフラやライフライン施設の被害により機能低下が生じ、それによる社会経済的影響が広がる場面である。施設被害は主要施設とその他に分けており、道路の場合は電柱など、道路管理者以外が所有し損傷時に輸送機能の障害になりうるもの等はその他である。機能低下は利用規制によるもの、主要施設被害と電力等その他の欠損によるものに分類した。いったん社会や経済に影響が及ぶと施設の復旧を急ぐ以外に事業者ができることは多くないが、利用者への被害拡大の抑止や活動再開の支援は可能である。それぞれの事象に対して抵抗力あるいは軽減力を向上させる対応を①~⑩に挙げている。①②は抵抗力の向上、③~⑩は軽減力の向上に資する対応になる。

右の場面Yでは、災害復旧作業の手順ごとに必要な対応や技術、リソースを①~⑨に挙げた。⑧は復旧作業全般を支える情報通信と輸送、⑨は復旧作業全般を迅速に進めるための教育・訓練であり、これらは全て回復力の向上に資するもの

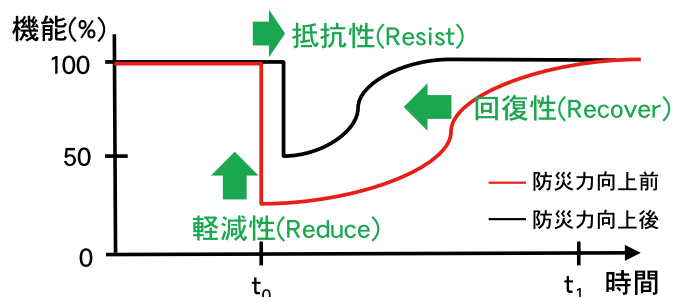


図-1 機能の災害時の時間変化

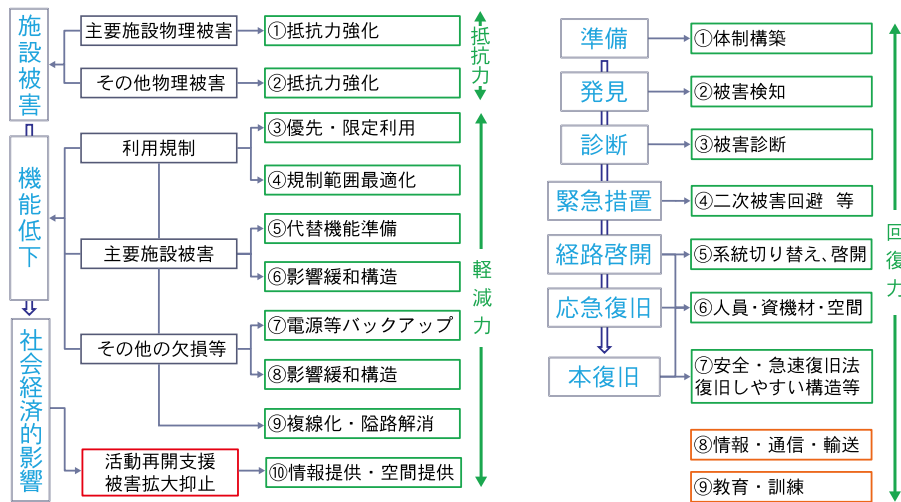


図-2 インフラ・ライフラインの構造化レジリエンスの例（左：場面X、右：場面Y）

表-1 一般道路の防災の取り組み（場面X）

記号	取り組み	文献
X①	設計基準（道路橋示方書）の改訂 橋脚耐震化、支承部の補強	3)
		4)
X②	無電柱化	5)
X③	緊急交通路指定（警察） 事前通行規制（雨量）、予防的通行規制（大雪）	6)
		7)8)
X④	<規制基準雨量の見直し等があり得る>	-
X⑤	応急組立橋の保有	9)
X⑥	落橋防止構造等、支承部の補強（段差防止構造）	4)
X⑦	信号機電源付加装置（警察）	10)
X⑧	排水施設の補修	5)
X⑨	踏切立体交差化	5)
X⑩	通れるマップ公開 道の駅の防災拠点化	11)
		12)

表-2 一般道路の防災の取り組み（場面Y）

記号	取り組み	文献
Y①	CCTV、地震動のスペクトル分析情報	13)
Y②	CCTV、防災ヘリ・ヘリサット、センシング、UAV	12)
Y③	<AIによる画像診断等があり得る>	-
Y④	通行規制の判断基準設定	12)
Y⑤	道路啓開計画の策定 道路管理者による車両等の移動	14)
		12)
Y⑥	広域支援・受援体制、災害時協定、契約・法的特例措置、道の駅の防災拠点化	12)
Y⑦	大規模斜面崩壊地内の無人化機械による施工 推定活断層を踏まえた橋梁設計	15)
		16)
Y⑧	光ファイバ・多重無線の併用	17)
Y⑨	道路啓開実働訓練など各種	12)

である。

図-2は重要インフラの防災力あるいはレジリエンスを構造化（全体の構造とその構成要素および構成要素間の関係を提示）したものであるから、ここでは構造化レジリエンスと呼ぶ。図-2は構造化レジリエンスの一例を示したものであり、目的や着眼点によって多様な構造化があり得る。

構造化レジリエンスを活用して、現在、一般道路で進められている防災・減災の取り組みを整理したものが表-1と表-2である。（公社）土木学会地震工学委員会「ライフライン防災・減災技術の高度化と体系的活用検討小委員会」では、インフラ・ライフライン事業者等の委員の参画のもと、防災・減災の取り組みを構造化レジリエンスの形式で整理し、全体像の理解や課題解決策の分野横断的活用を

目指している¹⁸⁾。

3. 防災事業の目標を分かりやすく

図-2や表-1, 2で整理したように、道路の防災力は種々の観点から向上が図られている。しかし、何が達成できればよいのか、言い換えると、災害時に道路が有すべき性能が明確ではないために、防災事業の実施に当たり「この施策、事業で何がどう改善されるのか」を、国民に分かりやすく伝えられていない点がある。

道路の構造は、当該道路の存する地域の地形、地質、気象その他の状況および当該道路の交通状況を考慮し、通常の衝撃に対して安全なものであるとともに、安全かつ円滑な交通を確保することができるものでなければならない（道路法第

29条）。このために道路構造令をはじめ道路橋示方書や道路土工構造物技術基準等の技術基準が定められている¹⁹⁾。しかし、通常ではない、一定のレベルを超える災害では、前述のように被害が生じ安全な交通が脅かされる場合もある。

では、災害時の道路のあるべき姿とはどんなものだろうか。ここまでの議論から、定性的には以下のように考えられる。

- (A) 通常の衝撃を超える作用に対しても、できる限り交通機能が確保される。
- (B) 偶発作用に対しても、早期の交通機能回復に必要な対応がとられている。
- (C) 超過事象に対しても、致命的な状態の回避に必要な対応がとられている。
- (D) 万一致命的な状態になった場合に

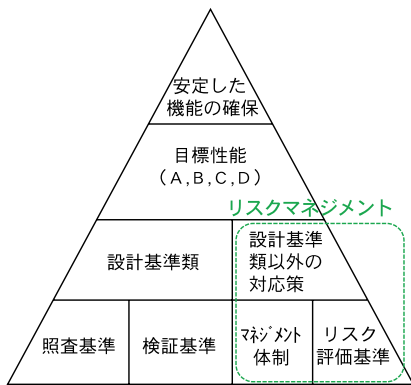


図-3 目標性能とその目的・実現手段

も、影響の最小化に必要な対応がとられている。

ここで、(B)の偶発作用はレベル2地震動のように設計基準事象に含まれるもの、(C)の超過事象は設計基準外事象となるものを指すこととする。

図-1と対比すると、(B)の一部と(C)は軽減力の向上、(D)は回復力の向上に対応することがわかる。これら(A)～(D)を道路の目標性能と呼ぶことにして、その目的と達成のための手段を図-3のように整理した。災害時には1.で述べた緊急活動、災害復旧を支える特有の交通需要が発生するため、それらを満たす輸送能力を確保しなければならない。これが目標性能を達成する目的である。

目標性能のうち(A)と(B)は基本的に、X①のような設計基準類による(補強)設計や着実な施工・管理、X②のような耐災害性の高い構造への転換により抵抗力の確保を図ることで達成される。また、(C)はX③～⑩、(D)はY①～⑨のような取り組みが道路管理者によって進められているところである。これらの一部は3か年緊急対策¹⁾として実施されている⁵⁾。

なお、交通ネットワークに関して、3か年緊急対策は「自然災害時においても経済活動を機能不全に陥らせない」「被害を最小限にとどめるとともに、早期に復旧させる」ために必要な対策のうち、近年の自然災害発生状況に鑑み、特に緊急に実施すべき対策とされている。この3か年緊急対策および提示した目標性能とも、定性的で達成度合いが評価できない表現になっている。例えば「□□規模の災害に対して、緊急輸送道路のうち迂回路がない区間は○日以内に通行止め解

除」のように、国民にも分かりやすく、達成できなければその原因を分析して技術基準等の改善につなげられるような目標性能を提示する必要があると考えている。

4. 危機耐性を考慮した構造設計

近年、「危機耐性」を考慮することで、目標性能(A)と(B)のみならず(C)と(D)の実現にも設計基準類の整備で貢献しようとする取り組みが行われている^{20, 21)}。これは図-3の設計基準類とそれ以外の対応策の境界線を右にずらすことに相当する。

危機耐性は、設計の想定外の事象に対しても、構造物やその周辺社会が破滅的な状況に陥らないような性質、とされている²⁰⁾。危機耐性の向上には、かなりの損傷を受けても倒壊はしない、また万一倒壊しても早期の機能復旧が可能となるような工夫が必要になる。ただし、構造物が倒壊に至る過程には多数のシナリオが考えられることに加え、倒壊の仕方によって復旧難易度にも違いがあるため、損傷制御により損傷シナリオを誘導することが有効と考えられる²²⁾。

危機耐性を考慮した構造設計は、例えば図-2でX⑥⑧として挙げた影響緩和構造やY⑦の復旧しやすい構造によって目標性能の実現を図るものである。例えば技術基準類のうち道路橋示方書V耐震設計編²³⁾でも、構造上の弱点の排除や落橋防止構造のようなフェイルセーフ、耐力階層化などの関連する規定が取り入れられている²⁴⁾。

危機耐性を考慮した構造設計技術や適切な発注方式によるインセンティブ付与など、技術的・政策的課題の両面から検討が進められているところである。

5. リスクマネジメントの活用

目標性能の実現には、構造設計以外にも体系的に取り組む必要がある。道路管理者は3か年緊急対策を含め、目標性能に近づく種々の取り組みを進めている。一方で、膨大な道路ストック全てが目標性能を満たすよう速やかに整備するのは困難であるから、被災率や被災時の影響度を考慮して戦略的に対策を進める必要がある。このような場合、リスクマネジメントの考えが参考になる。

リスクマネジメントはISO 31000・

JIS Q 31000²⁵⁾としても、組織における価値を創出し保護するための指針が示されている。詳細は成書に譲るが、リスクアセスメントにより対応すべきリスクの発生頻度と影響度を評価し、その結果をもとにリスク対応を行うという手順を繰り返すことになる。

リスクマネジメントの利点としては、組織全体の対応方針を明示することで説明責任を果たしやすくなること、場当たりの対応の寄せ集めによる非効率や大リスクの見逃しを低減できることが挙げられる。すなわち、組織の統一方針の下で取り組むことで、組織の目標が実現されやすくなり、最悪の事態にも備えやすくなる。

目標性能の実現手段としては前述の通り設計基準類とそれ以外の対応策があり、図-3は後者をリスクマネジメントの考え方で進めることを示している。また、設計基準類には照査基準と適用しようとする技術の検証基準が土台となることと同様、リスクマネジメントにはリスクの評価基準とマネジメント体制が土台になることも表している。

営利会社の場合は図-4の簡易な例のように、発生頻度と影響度に応じてリスクの防御・保有・回避・共有という対応を使い分ける。図-5では道路の災害リスクとして、頻度小・影響度大のレベル2地震動(L2)よりもさらに頻度が小さい、また影響度が大きいリスクまでを対応すべきリスクと考えてみた。あわせて、道路事業としての主なリスク対応を領域ごとに示している。

ここで、影響度が大きい領域にリスク共有を示しているが、保険等でのリスクの転嫁ではなく、まず関係機関でそうした影響度が大きいリスクの存在を共有することを指している(保険等の利用も内容に応じてあり得る)。情報や認識の共有だけではリスクは変化せず別のリスク対応を要するが、リスク情報・認識の共有は、関係機関の協働でベストの対応を導く出発点として不可欠である。

なお、個々のリスクに対して財政上の制約内でどのようなリスク対応をとるべきなのか、現時点では明確な指針はない。リスクマネジメントを活用し、これまで積み重ねてきた表-1, 2のような取り組みを一層体系的に進めるために、今後、好事例の分析・評価等を踏まえた指針作りを進めたい。

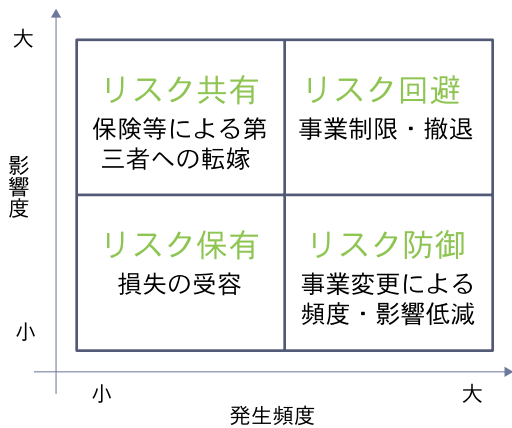


図-4 営利会社のリスク対応の例

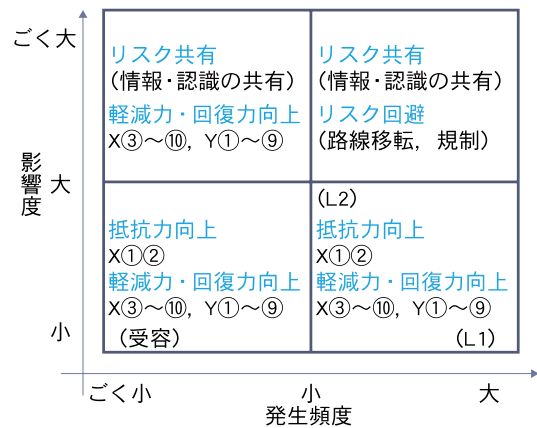


図-5 道路災害へのリスク対応の例

6. おわりに

本稿では災害時の機能の時間変化を踏まえて防災力を抵抗力・軽減力・回復力に分解し、それぞれを向上させる対応とあわせて整理したインフラ・ライフラインの構造化レジリエンスを提示した。構造化レジリエンスは防災・減災、国土強靱化として各事業者で進められている取り組みの全体像の理解、課題解決策の分野横断の活用に資するものと考えている。

また、抵抗力・軽減力・回復力に対応する形で災害時の道路の目標性能を提示し、設計基準類の整備とリスクマネジメントの活用により実現を目指す方向性を示した。ただし、より分かりやすく、達成度合いが評価できる目標性能の提示が必要である。

危機耐性を考慮した構造設計と目標性能との関係を述べるとともに、影響がきわめて大きく対応が困難な災害は、まずそのリスクの情報と認識を共有することを出発点としてリスク対応を考えていく方針を示した。

道路災害リスクマネジメントの社会実装にはリスク評価に関する技術的な課題だけでなく、リスクの開示やマネジメント体制など種々の課題があるが、専門家、関係機関の横断的な連携・協働で乗り越えられると考えている。

謝辞：(公社)土木学会地震工学委員会「ライフライン防災・減災技術の高度化と体系的活用検討小委員会」で収集したインフラ・ライフライン事業者の防災・減災対策に関する情報は有益であった。本稿の内容の一部はJSPS 科研費 JP16H02357の助成を受けたものである。関係各位に謝意を表する。

【参考文献】

- 1) 内閣官房：「防災・減災、国土強靱化のための3か年緊急対策」特集サイト、www.cas.go.jp/jp/seisaku/kokudo_kyouseiinka/3kanentokusetsu/index.html
- 2) 片岡正次郎, 白戸智, 牛島由美子, 高宮進：インフラシステムの災害復旧過程のモデル化と震災復旧シミュレーション, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学) 69(1), 1-19, 2013.
- 3) 国土交通省：「橋、高架の道路等の技術基準」(道路橋示方書)の改訂について、www.mlit.go.jp/common/001194306.pdf
- 4) 国土交通省道路局：道路における震災対策, www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index1.html
- 5) 国土交通省道路局：令和2年度道路局関係予算決定概要, <https://www.mlit.go.jp/page/content/001321248.pdf>
- 6) 警察庁：首都直下型地震発生時の交通規制計画, <https://www.npa.go.jp/bureau/traffic/seibi2/saigaiji/syutotyokka.html>
- 7) 国土交通省道路局：事前通行規制, www.mlit.go.jp/road/bosai/jizenkisei/kisei.html
- 8) 国土交通省道路局：大雪時の予防的通行規制区間, www.mlit.go.jp/road/bosai/fuyumichi/yukimichi3.html
- 9) 藤井和久：復興の要-応急組立鋼橋の重要性と技術革新, JSSC, No. 40, 28-29, 2020.
- 10) 警察庁交通局交通規制課：災害に備えた道路交通環境の整備, www.npa.go.jp/yosan/kaikei/yosankanshi_kourituka/27review/pdf/27-41sannkousiryoo.pdf
- 11) 国土交通省道路局：災害時における通行可否の情報(通れるマップ), www.mlit.go.jp/road/bosai/toorerumap/index.html
- 12) (公社)日本道路協会：道路震災対策便覧(震災危機管理編), 2019.
- 13) 社会資本整備審議会道路分科会第68回基本政策部会資料1, 15p., 2019.
- 14) 国土交通省道路局：道路啓開計画, www.mlit.go.jp/road/bosai/measures/index4.html
- 15) 宮本洋, 古中直哉：阿蘇大橋地区の大規模崩壊斜面の対応について, 平成29年度九州国土交通研究会, 6p., 2017.
- 16) 平敷健, 福原茂, 湊康彦：推定活断層を踏まえた阿蘇大橋の橋梁設計について, 平成30年度九州国土交通研究会, 4p., 2018.
- 17) 国土交通省大臣官房技術調査課電気通信室：電気通信のあらまし(参考資料編), 2019.
- 18) ライフライン防災・減災技術の高度化と体系的活用検討小委員会：活動報告, (公社)土木学会地震工学委員会2020年度第1回研究会資料, <http://committees.jsce.or.jp/eec2/node/161>
- 19) 国土交通省：道路技術基準の体系, www.mlit.go.jp/road/sign/kijyun/taikei01.html
- 20) 本田利器, 秋山充良, 片岡正次郎, 高橋良和, 野津厚, 室野剛隆：「危機耐性」を考慮した耐震設計体系-試案構築にむけての考察-, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol. 72, No. 4 (地震工学論文集第35巻), pp. I_459-I_472, 2016.
- 21) 本田利器：危機耐性を指向した耐震設計の実装に向けた考察, 土木学会論文集A1 (構造・地震工学), Vol. 4, No. 4 (地震工学論文集第37巻), pp. I_1078-I_1086, 2018.
- 22) 大住道生, 中尾尚史, 西弘明：橋の損傷シナリオデザインによる超過作用への対応策の一提案, 日本地震工学学会論文集, Vol. 19, No. 5, pp. 5_203-5_213, 2019.
- 23) (公社)日本道路協会：道路橋示方書・同解説V耐震設計編, 2017.
- 24) Kataoka, S., Ohsumi, M., Honda, R. and Hoshikuma, J.: Implementation and new approach for resilience design against extreme events: Seismic design of highway bridges in Japan, Proceedings of CECAR8, Tokyo, 15p., 2019.
- 25) リスクマネジメント規格活用検討会：ISO 31000:2018(JIS Q 31000:2019)リスクマネジメント解説と適用ガイド, 日本規格協会, 2019.