

リンク重要度に着目した緊急輸送道路の耐震化整備の提案

山梨大学 正会員 武藤 慎一
 山梨大学 学生員 林 健太郎
 山梨大学 学生員 ○木戸口吉宏

1 はじめに

日本はこれまでに様々な自然災害に見舞われてきた。火山噴火や地震，風水害，そしてそれらに伴う土砂災害など，日本は世界でも有数の災害リスクの高い国であることは間違いない。特に地震災害は，たびたび私たちの生活に大きなダメージを与え，平成になってからの震災だけ見ても 1993 年の北海道南西沖地震，1995 年の兵庫県南部地震，2004 年の新潟中越地震，そして昨年は未曾有の大災害となった東日本大震災は記憶にも新しい。

このように地震災害は全国各地で発生しており，昨今話題になることが多い東海地震も，ひとたび発生すれば山梨県に与える影響は甚大であろう。山梨県の試算では，マグニチュード 8.0 クラスの地震発生によって人的被害として死者最大 370 人，建物の全半壊は 38,000 棟にも上り，また，構造物などへの被害として，液状化，斜面崩壊・地滑り等の影響で県内のほとんどの地域で交通施設ライフライン施設などへの被害が予測されている。

2 緊急輸送道路整備の必要性

2.1 緊急輸送道路

災害が発生した際，場合によって避難者が長期にわたって生活することとなる避難所へ迅速に必要な避難物資を届けなくてはならないため，こういった有事の際に避難物資を優先的に輸送することができるように県は緊急輸送道路を指定している。

この緊急輸送道路は，平成 7 年の阪神淡路大震災の後に策定された地震防災特別措置法がきっかけとなり，各地方公共団体が指定した道路である。山梨県はこの緊急輸送道路を一次緊急輸送道路と二次緊急輸送道路の二つに分け，一次緊急輸送道路を山梨県庁～他県地方中心都市を連絡する高速道路・国道

など，二次緊急輸送道路を県内で各市町村役場等を連絡する県道・市町村道から指定している。

表 1 緊急輸送道路の機能

種別	一次緊急輸送道路	二次緊急輸送道路
機能	県庁所在地と地方中心都市を結ぶ道路。	市町村役場などの主な防災機関を結ぶ道路。
指定対象路線	高速道路 国道 主要県道	県道 市町村道
延長	655.1km	1259.8km

2.2 緊急輸送道路の問題と現状

しかし，ひとたび大地震が発生すれば，ほとんどの場合は一部の建物の倒壊や，その他の障害物で道路は閉塞し，また橋梁やトンネルといった構造物も揺れの影響から安全性が確保できず，通行が困難と

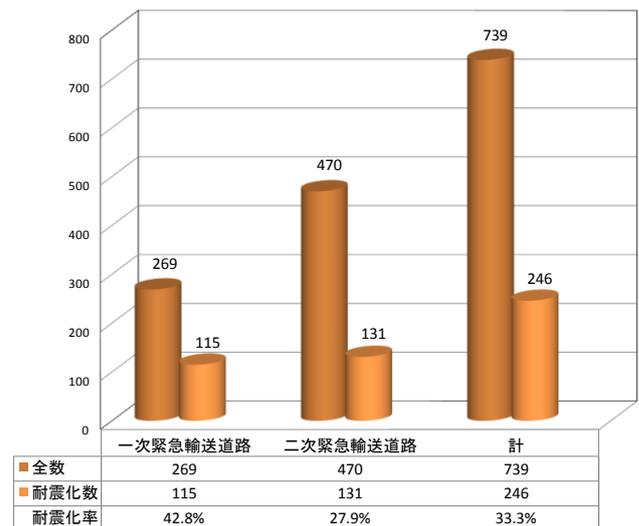


図 1 緊急輸送道路上にある橋梁の耐震化状況

なることが予想される。そのため，比較的高規格な路線が選択されている緊急輸送道路であっても必ずしも道路としての機能が保持されているとは限らない。この事は山梨県内における橋梁の耐震補強率を見ても分かる。山梨県が管理する一次・二次合計で

緊急輸送道路上の橋梁は 963 橋あるが、このうち耐震補強がなされていない橋は 579 橋であり、補強率は平成 23 年時点で 33%にとどまっている。また、県内にある橋梁のうち、架設から 50 年以上経過する橋梁は今後 20 年で全体の 50%を超えるとみられ、橋梁の耐震補強を含めた維持補修費は年々増加傾向にある。しかし、対照的に県の公共事業予算は平成 22 年時点において平成 11 年比で 42%減少しており、また橋梁関係の予算にも限りがあるのが現状である。このような現状において、老朽化していくインフラ設備を抱えながらも迫りくる大地震に備えるために、今まで以上に必要な整備を必要な箇所へ施す必要性は高まっていると言えよう。

2.3 本研究の目的

緊急輸送道路は、先にも述べたように災害発生直後から必要物資の輸送や生活復興、経済復興の足がかりとして重要な位置付けにあり、ここを効率的かつ迅速に整備することが重要と考える。以上のことから本研究では、まず緊急輸送道路によって主要防災拠点をつ結ぶ際の重要リンクを導出する。これは、主要拠点間の最短経路を導出し、各々の最短経路においてリンクの重複度を計測し、最頻リンクを求める。この頻度によりリンク重要度を明らかにする。

次に拠点間の連絡に関し、最短経路ではない連絡方法に関する検討を行う。即ち、ある防災拠点間を最短経路で連結させる際、場合によっては多大なコストが必要となる懸念がある。なぜなら、災害時の防災拠点間の連結においては確実性が必要条件である。どこか一ヶ所でも寸断した場合、必要物資が輸送できなくなる恐れがあるため、最短経路上のリンクは全て完全に耐震化する必要があるからである。

そこで、次善の策として投資コストが最小となる経路の導出も本研究では実施する。これを示すことにより、コスト削減の可能性だけでなく整備の早期実施も期待できるといえる。

3 モデルの概要

本研究は、緊急輸送道路上における優先耐震化経路を提案する。具体的には、県内各所から目的地に物資を運ぶ際に利用回数の多いリンク（最頻リンク）を優先的に耐震化し、当該箇所にある道路施設を重

要度の高いポイントとする。また、個別のケースで整備期間が長期となることが見込まれる路線や、代替性の低い経路といった問題のある経路については最短経路（所要時間）で求めるのではなく、経路の耐震化投資コストが最小となる経路（最小整備費用経路）を導出する。



図 2 計算の枠組み

3.1 物資輸送のフロー

山梨県では、大規模災害発生時において、応援部隊の受け入れや物資の集積、分配、運搬の拠点となる場所を防災活動拠点として県内に 11 箇所設定している。災害発生時に県外等から運ばれてきた物資は、一度防災活動拠点に集められ、振り分けた後に各市町村の避難所等へと送られる。以上のことを踏まえ、今回のモデルでは県内にある防災活動拠点 11 箇所と災害拠点病院として公的医療機関 11 箇所、市町村の避難所の代表として 27 の市町村役場を設定している。

3.1 最短経路探索

最短経路問題はダイクストラ法で求めている。ダイクストラ法は負の長さを持たないグラフの最短経路問題を解くためのアルゴリズムとして知られている。構造は以下のようにになっている。

- A) ゼロ起点ノードを除く全てのノードにおいて、そのノードに流入する最短経路を探索する。
- B) 次々にリンクを伸ばし、最短経路探索を繰り返し、伸ばしたリンクの所要時間は随時最短経路時間に更新する。

この一連の計算を繰り返し、全ノードについての最短経路を求めていく。

3.2 最小整備費用経路探索

整備費用が最小となるような経路を決定する。ここでの整備費用とは、橋梁などの道路施設に追加的に投資される耐震化工事にかかるコストのことであり、このコストが少ない経路はそれだけ耐震化が軽微ですむ。すなわち、それだけ安全性が確保されている、目的地までの到達確率が高い経路という観点から信頼性が高い経路であるとも考えられる。ここでは最短経路探索におけるリンク所要時間を耐震化整備費用として計算を行う。県防災拠点 i から市町村防災拠点 j へ物資を運ぶとすると、総費用は以下の式 (1) で表わされる。

$$C_{ij} = c_{ij} + wt_{ij} \cdot N_j \quad (1)$$

C_{ij} : 総費用, c_{ij} : 耐震化整備費用,
 w : 単位時間損失費用, t_{ij} : リンク所要時間,
 N_j : 想定避難者数

求めた C_{ij} をもとにして、3.1 のダイクストラ法を用いて経路を求める。

式 (1) には耐震化費用に加え、時間損失費用も考慮した。これは耐震化整備費用が発生するリンクを極端に迂回する現象を軽減するために設けた値である。

3.3 最頻リンクの抽出

3.1 の最短経路探索については、県防災拠点 i から市町村防災拠点 j に物資を運ぶ際に最も利用されるリンクをネットワーク上の最頻リンクとして抽出する。これによりネットワーク上での重要度の高いリンクが明らかとなる。

4 計算結果

4.1 最短経路探索結果

一次緊急輸送道路、二次緊急輸送道路それぞれについて最短経路探索に基づく重要リンクの抽出を行った。なお一次緊急輸送道路は、直轄国道である国道 20, 52, 138, 139 号線とその他の一般国道（県管理国道）と分けて最頻リンクの抽出を行なっている。なお、高速道路は管理主体が高速道路会社であり、耐震化済みであるとして今回のネットワークには含めていない。

以上の前提のもと最頻リンクを調べると、一次緊急輸送道路では甲府市～韮崎市を結ぶ区間の国道 20

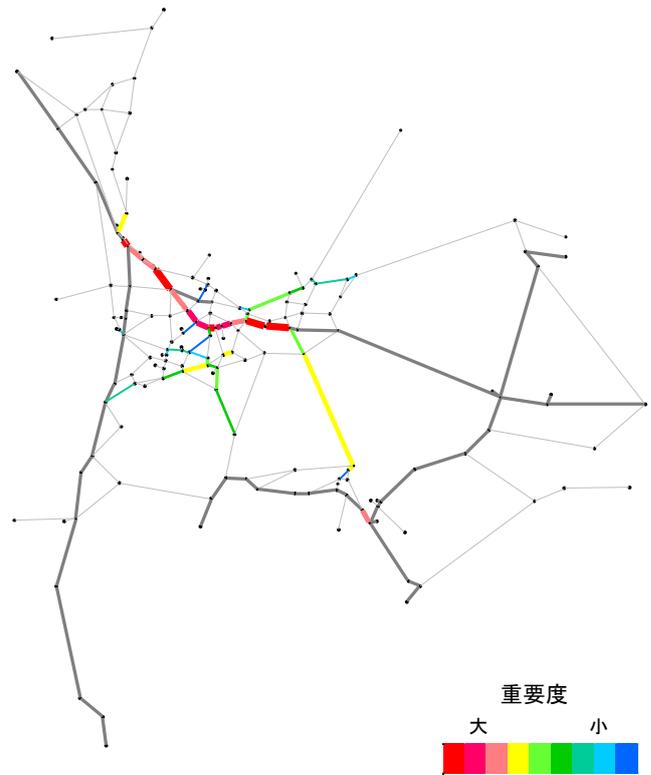


図 3 緊急輸送道路上の重要リンク

号線が最頻リンクであるという結果となった。次いで国道 139 号, 137 号, 140 号という順であり、全経路中で一次緊急輸送道路である国道が経路として選択される割合（以下利用率）は、直轄国道で 47.3%、一般国道で 30.7% であり、国道全体で 78.2% であった。一方、二次緊急輸送道路では山梨大学附属病院～県道 3 号線（昭和通り）を結ぶ県道 12 号線（自動車専用道路区間）が最頻リンクであるという結果となった。また全経路中で二次緊急輸送道路である県道の利用率は 21.8% であった。

4.2 最小費用経路結果

4.1 の結果を改めて山梨県における最重要防災拠点である小瀬スポーツ公園を起点として考えてみる。

まず計算の前提として、今回は山梨県の防災活動拠点の 1 つとして指定されている小瀬スポーツ公園から各市町村防災拠点間の経路を橋梁の耐震費用のみを考慮し計算した。なお、橋梁等の耐震化整備コストのみの場合、コストが発生するリンクとしないリンクの間に大きな数値の開きがあるため、計算の際に極端な遠回りをした経路が結果として得られる場合がある。そのため、今回は単位時間損失費用を

100, 250, 500, 750, 1000 と段階的に設定して計算を行い、過度な迂回をする経路を排除している。

結果としては、甲府市の小瀬スポーツ公園から南アルプス市役所へ向かう場合、最短経路だと経路時間としては 3.1% の増加にとどまる一方、整備費用は 3,500 万円の削減となる。これは、最短経路だと国道 358 号線の平和通りから県道 29 号の万才橋を通過することになるため、ここを迂回することにより費用の削減がなされているものと考えられる。また、小瀬スポーツ公園から笛吹市役所へ至る経路では、最短経路では 78.4% の増加、整備費用は 7,000 万円の削減となっている。時間が大きく増加した要因としては最短経路では国道 20 号を通過するところを最小費用経路では笛吹川を渡らなくて済む経路である国道

表 2 ネットワーク全体での結果

ネットワーク上の全ての経路の合計

時間価値(円/分)		100	250	500	750	1000
所要時間 (万時間)	(A)	3.04	3.04	3.04	3.04	3.04
	(B)	3.90	3.32	3.12	3.08	3.08
	増加率	28.45%	9.07%	2.77%	1.48%	1.36%
要対策箇所数 (万箇所)	(A)	9.34	9.34	9.34	9.34	9.34
	(B)	4.56	6.11	7.18	7.60	7.69
	減少率	51.19%	34.62%	23.13%	18.63%	17.72%
対策費用 (兆円)	(A)	3.27	3.27	3.27	3.27	3.27
	(B)	1.60	2.14	2.51	2.66	2.69
	減少率	51.19%	34.62%	23.13%	18.63%	17.72%

※リンクの重複あり

(A): 最短経路(時間)での経路所要時間(分)
(B): 耐震化費用を考慮した最少整備費用経路での経路所要時間(分)

411 号を通過することが要因である。

全体の計算結果から最短経路と最小費用経路とを比較すると、所要時間は増大するが整備費用は節約できるという結果を得た。また、概ね時間損失費用が 250 以上であれば、所要時間は 10% 以内の上昇に対して整備費用は最大で 1.13 兆円の削減が可能ということも明らかとなった。しかし、ネットワーク全体で計算を行っており同一リンクが繰り返し選択されることによる費用節約分は考慮されていない為、実際の削減額は今回の計算結果よりも少ないものと予想できる。

4.3 今後の課題

最短経路の場合、計算の結果から重要度の高いリンクのほとんどは一次緊急輸送道路である国道が占めていた。しかし、実際は県内の一次緊急輸送道路上の橋梁に関して、直轄国道ではほぼ全ての橋梁で

耐震整備が完了しており、一般国道についても今後 10 年以内に全ての整備が完了する予定である。この意味では緊急時を想定したネットワーク上において、重要なリンクを優先的に整備されていることが明らかになったと言える。しかし、二次緊急輸送道路については他の県・市町村道上の橋梁に比べ優先的に耐震化整備が施されるものの、その数の多さから最終的な整備完了のメドは立っていない。この事から、最頻リンクの抽出による優先耐震化箇所の提案は実質二次緊急輸送道路上にあるものに限定される。

最小費用経路の場合は、整備費用の削減額に対して所要時間の増大をどれくらいまで許容するかという問題がある。例えば、最少費用経路の場合で、小瀬スポーツ公園から南アルプス市役所への経路に比べ、笛吹市役所への経路の方が増加時間の割合が大きいが、削減できる費用の割合も大きい。この場合は笛吹市役所までの実時間がそれほど大きくない為、この削減額でも許容できると考えられるが、リンク所要時間の大きい経路の場合は問題が生じると考えられる。

5 おわりに

今回は緊急輸送道路ネットワークの中で優先的に整備を進めるべきリンクの導出と、次善の策として、投資コストが最小となる経路の導出の 2 つを行った。

今後はこれらの結果を基に、復興段階での社会に与える影響などを明らかにしていきたい。

参考文献

- 1) 文部科学省：地震調査研究推進本部
http://www.jishin.go.jp/main/yosokuchizu/chubu/p19_yamanashi.htm
- 2) 山梨県防災会議：山梨県地域防災計画，2011.
- 3) 山梨県総務部防災危機管理課：東海地震被害想定調査報告書，2005.
- 4) 山梨県県土整備部：橋梁長寿命化実施計画，2010.
- 5) 山梨県県土整備部：山梨県のみちづくりビジョン，2009
- 6) 武藤慎一，奥津茂夫：災害時の効率的避難物資輸送の為の道路ネットワーク耐震化整備の提案，2011.