

# 道路橋の耐震補強の優先度評価手法の提案

中尾吉宏\* 高宮 進\*\* 小路泰広\*\*\*

## 1.はじめに

平成7年兵庫県南部地震以降、道路橋の耐震補強が順次進められている。近年では、「緊急輸送道路の橋梁耐震補強3箇年プログラム（平成17年度～19年度）」等により、被災時の緊急活動に重要な役割を果たす緊急輸送道路等の橋梁に対する耐震補強が重点的に実施された。当プログラムでは、緊急輸送道路を対象に、昭和55年道路橋示方書より古い基準が適用された橋梁で、特に優先的に耐震補強を施す必要のある橋梁に絞った耐震補強が行われた。これにより、的を絞った橋梁については、兵庫県南部地震で生じた様な強い地震動に対しても落橋等の甚大な被害を防ぐことの出来る耐震性が確保された。

しかしながら、緊急輸送道路については、単に落橋等が防止できるだけでなく、大規模地震の発生直後から利用できることが必要であり、今後は更に橋梁の耐震性を高めていくことが求められる。また、大規模地震により耐震設計上予期しなかった現象が発生し、緊急輸送道路の橋梁が被災した場合にも対応できるよう、代替路の橋梁の耐震補強を進めることで、道路ネットワークとしてのリダンダンシーを高めていくことも必要である。

上記の様に、今後も多くの橋梁に対する耐震補強を進めていく必要があるが、予算的な制約などもあり、対象とする耐震補強の全数を早急に完了させるには難しいところがある。このため、耐震補強事業の効果の着実な確保、及びアカウンタビリティ向上の2点から耐震補強の進め方（順番）を決める方法を検討することが必要である。

そこで、耐震補強の効果を着実に得ることができる耐震補強の実用的な優先度評価の手法について検討した。本報では、その成果を報告する。

## 2. 耐震補強の優先度評価に関する課題

本検討では、はじめに、全国の地方整備局等の

道路管理者にヒアリング調査等を行うことによって、道路橋の耐震補強の優先度を実務で評価する際の課題等について整理した。

その結果、道路ネットワークの重要性や、橋梁の構造的な脆弱性等、多様な観点を考慮して道路橋の耐震補強の優先度を評価できる手法の開発が期待されていることが明らかとなった。

また、橋梁の耐震補強の実施時期は、耐震補強事業の目標や効果に着目して評価される優先度のみによって決まるケースは稀であることが明らかとなった。すなわち、耐震補強の実施時期は、実際には、橋梁補修のタイミングに合わせて設定したり、鉄道事業者等の他機関と耐震補強工事の実施に必要な協議を行う期間を見込んで設定したりする等、実務上の合理性にも配慮して設定するケースがほとんどであることが明らかとなった。耐震補強の実施時期の検討に実務上の合理性の観点から考慮されている主な事項を表-1に示す。

表-1 実務面から耐震補強の実施時期の決定に考慮される事項

分類	考慮事項
施工	・河川橋梁の施工上の制約（工事実施可能時期の限定等）
予算	・コスト削減の可能性（補修工事等の他工事との工程調整や一体発注等によるコスト削減） ・予算の制約（大規模な工事を実施すると、当年度に補強対象にできる工事件数が影響を受ける）
工事に伴う協議等	・他機関との調整、必要な手続き等、事務的な障害の有無

## 3. 耐震補強の優先度評価手法の検討

### (1)優先度評価の流れ

2.に示したヒアリング調査等の結果を踏まえ、耐震補強の優先度は以下の流れで評価することにした。

- ①道路ネットワークの重要性等、多様な観点から耐震補強の優先度を評価する。
- ②対象橋梁全体を、評価した優先度に応じて数次の耐震補強の実施期間にグルーピングする。
- ③事業実施の実務上の合理性を踏まえ、グループ内で優先度評価の最適化（順番の入れ替え）を行う。

①から③の評価の流れを図-1に示す。また、①で評価した優先度に対し、②及び③の処理を施すイメージを図-2に示す。

上記の様な評価の流れを採用することによって、多様な観点からの優先度評価を取り入れつつ、事業実施の実務面にも配慮した最適化を耐震補強の優先度(順番)に施すことができる。グルーピングの後に優先度の最適化を行う手順を取ることで、優先度評価で考慮する多様な観点からの効果を事業全体の流れの中(第一次→第二次→第三次の耐震補強)で着実に得ていく流れが確保される。図-1の流れに基づく優先度評価の事例解析と、その妥当性に関する検証結果を4.で報告する。

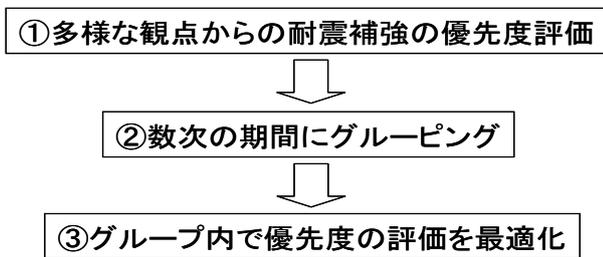


図-1 耐震補強の優先度評価の流れ

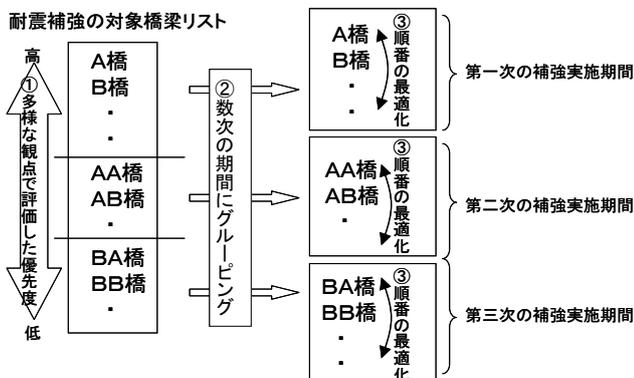


図-2 優先度評価のイメージ

(2)多様な観点からの耐震補強の優先度評価

2.に示したヒアリング調査等により、多様な観点を考慮して道路橋の耐震補強の優先度評価を行うことができる手法の開発が求められていることが明らかとなった。そこで、耐震補強の優先度評価の手法としてはAHP(階層化意思決定法)を用いる手法<sup>1)</sup>を採用することとした。当手法は、多様な観点の評価項目毎に対象橋梁のスコアを算定した上で、アンケート等で別途求めた評価項目毎のウェイトによりスコアの重み付け総和を求めることによって優先度の評価を行うものである。

ここで、優先度の評価に当たって考慮すべき多様な観点の評価項目については、耐震工学等の専門家によって議論された結果が既往の研究<sup>1)</sup>で整理されている。本検討では、この整理結果に必要な見直しを施して優先度評価に考慮する評価項目を再整理した。評価項目に施した見直しは以下の通りである。

既往の研究<sup>1)</sup>では、表-1に掲げた事業実施の実務上の合理性に関連する内容も評価項目(施工性等)として考慮する提案がなされている。これに対し、本検討ではこれらの評価項目を優先度評価に考慮する項目としては取り入れないこととした。これは、本検討では、事業実施の実務上の合理性に関連する内容については、道路管理者が優先度を別途最適化する段階で考慮するものとしており、評価項目として考慮するとダブルカウントとなってしまうためである。

また、最近では、兵庫県南部地震で得られた知見に基づき、所与の地震動の強さから橋梁の被災度を想定する実用的な手法<sup>2)</sup>が提案されている。そこで、本検討では、既往の研究成果<sup>1)</sup>で整理された評価項目のうち、「橋梁の構造的な脆弱性」と「地震危険度(地震動の強さ)」を、上記の橋梁の被害想定手法に基づいて想定される「橋梁の被災度」として統合することとした。

上記の様な見直しを行うことによって再整理した優先度評価の評価項目を図-3に示す。

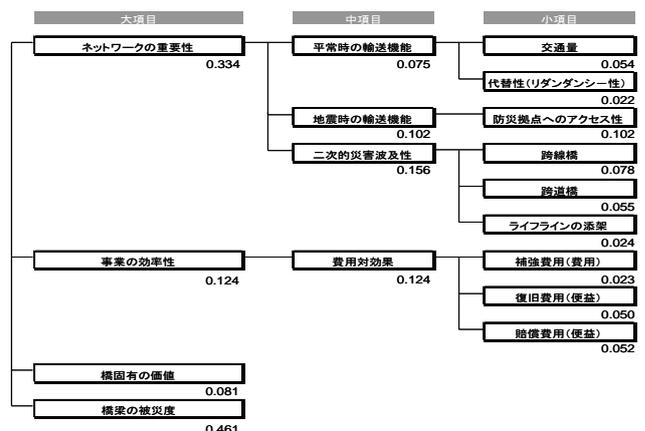


図-3 耐震補強の優先度評価の評価項目

4. 事例解析を通じた妥当性の検証

(1)事例解析の内容

ここでは、2.及び3.に示した方法によって、ある特定の国道事務所が管理する109の道路橋につ

いて、耐震補強の優先度を試算した。図-3の評価項目に対して用いたスコアは表-2の通りである。また、評価項目ごとのスコアを重み付け総和する際のウェイトには、耐震工学等の専門家に評価項目の重要性を一对比較するアンケート調査を行って求めた図-3中の数値を用いた。

図-3の評価項目「橋梁の被災度」の想定に考慮した地震は、同国道事務所の所轄地域近傍に位置する活断層で発生するマグニチュード7の地震である。「橋梁の被災度」の想定には、橋梁の構造的な諸元情報や、距離減衰式等によって推定される地震動から橋梁の被災度を簡便に想定することができる既述の手法<sup>2)</sup>を用いた。当手法によって判定される橋梁の被災度の定義は次の通りである。

- 被災度A：耐荷力の低下に著しい影響のある損傷を生じており、落橋等致命的な被害の可能性がある場合
- 被災度B：耐荷力の低下に影響のある損傷であり、余震や活荷重等による被害の進行がなければ、当面の利用が可能な場合
- 被災度C：短期間には耐荷力の低下に影響のない場合
- 被災度D：耐荷力に関してはとくに異常が認められない場合

(2)事例解析の結果

解析対象の109橋に想定された被災度は次の通りである。

- 被災度A： 2橋
- 被災度B： 62橋
- 被災度C： 45橋
- 被災度D： 0橋

ここで、2.(1)に示した優先度評価の流れの妥当性を検証することを目的として、解析対象の橋梁を評価された優先度順で大きく3つ（36橋程度ずつ）の補強実施時期にグルーピングし、第一次から三次にわたって耐震補強を順次施すものと仮定した。実務においては、グルーピング後に実務上の合理性を考慮して橋梁の優先度の最適化（グループ内で順番の入れ替え）を行うことになるが、これによって第一次から三次のグループ順にマクロに耐震補強が進捗する流れは変わらない。

図-4に事例解析の結果を示す。解析対象とした109の橋梁は、国道事務所の管理路線上の10区間に分布しており、同図(1)は、対象地震に対する道路の区間としての被災度が第三次までの耐震補強によってどの様に改善されるのかを示している。ここでは、区間に含まれる橋梁の中で最も高い被災度を、道路の区間としての被災度と仮定している。図-4(1)から、提案する手法により耐震補強の優先度を評価した場合、第一次の耐震補強の実施により被災度Aの区間を無くすることができる。また、第二次の耐震補強によって、被災度Bの区間を無くすることができる。ここで、第三次の補強によっては、道路の区間の被災度が改善されていないが（被災度Dの区間が増えていない）、これは耐震補強を実施してもマグニチュード7の地震で生じる強い地震動に対しては道路の区間に含まれる全ての橋梁の被災度をDまで下げることができなかった為である。図-4(2)に示した橋梁の被災度構成から、第三次の補強実施により橋梁毎の被災度は改善されていることが分かる。

表-2 評価項目ごとのスコア

大項目	中項目	小項目	評価指標	スコア				
				1点	2点	3点	4点	5点
ネットワークの重要性	平常時の輸送機能	交通量	交通量(24時間交通量)	2000台未満	—	10000台未満	—	10000台以上
		代替性	迂回路の有無	有	—	—	—	無
	地震時の輸送機能	防災拠点へのアクセス性	交通量(地震時)(當時と同じに)	2000台未満	—	10000台未満	—	10000台以上
		跨線橋	鉄道種別	貨物	—	旅客(ローカル)	—	旅客(主要)
	二次的災害波及性	跨道橋	橋下交通量	橋下の利用状況で区分(例：交通量がある一定以上の場合、5点とする)				
(または桁下条件)			—	—	—	—	道路	
事業の効率性	費用対効果	ライブラインの添架物	添架物の種類	その他	電気	ガス	水道	複数添架
		補強費用	補強費用	18000万円以上	18000万円未満	90000万円未満	3000万円未満	1000万円未満
		復旧費用	橋長	20m未満	40m未満	100m未満	200m未満	200m以上
		賠償費用	交通量	2000台未満	—	10000台未満	—	10000台以上
橋固有の価値			橋梁の歴史的・景観的な位置付け	情報がないため0とした				
橋梁の被災度			被災度	C(Dは0点)	—	B	—	A

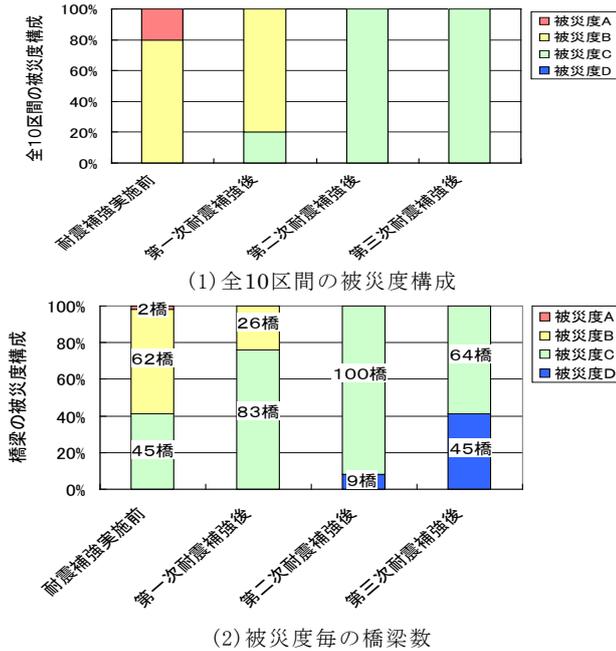


図-4 耐震補強の優先度評価の事例解析

上記の様に、道路の区間の被災度を、第一次の耐震補強実施によりB以下に抑え、第二次の耐震補強実施によりC以下に抑えることができ、地震直後の緊急活動に活用可能な道路ネットワークを早期に確保するとともに、一層の耐震性向上を着実に図ることができる優先度が評価されている。

以上から、耐震補強の優先度を多様な観点から評価した上で、グルーピング後の対象橋梁の優先度に最適化（順番の入れ替え）を施すことができれば、実務上の合理性を加味しながらも着実に効果を上げることができる優先度評価とすることが可能である。

## 5.まとめ

本検討では、まず道路管理者にヒアリング調査等を行って、道路ネットワークの重要性等の観点に基づく道路橋の耐震補強の優先度評価手法が望

まれていることを把握した。また、同じ調査から、道路橋の耐震補強は、事業の目標や効果に基づく優先度だけではなく、橋梁補修のタイミング等、実務上の合理性も考慮して実施されていることを把握した。本検討では、この様な実態を踏まえ、優先度評価に多様な観点を取り入れつつ、実務上の合理性にも配慮した道路橋の耐震補強の優先度評価手法を提案した。提案した手法による優先度評価の流れは以下の①～③の順の通りである。

- ① 多様な観点から耐震補強の優先度を評価
- ② 道路橋全体を優先度に応じて数次の耐震補強実施期間にグルーピング
- ③ 事業実施の実務上の合理性の観点からグループ内で優先度を最適化（順番の入れ替え）

提案した手法に基づき、ある国道事務所が管理する道路橋を対象として、耐震補強の優先度評価に関する事例解析を行った。その結果、提案した手法によって、実務上の合理性を加味しながらも着実に効果を上げることのできる耐震補強優先度評価が実施可能であることを示すことができた。

なお、本報では優先度評価に考慮する評価項目や評価項目のスコア、更には、評価項目毎のスコアを重み付け総和する際のウェイトを示したが、これらの設定に当たっては、耐震補強事業の目的や対象地域の地域性等を踏まえ、適切な変更を加えることが必要である。

## 参考文献

- 1) 大谷康史、日下部毅明、村越 潤：既設道路橋の耐震補強優先度に対するAHPの適用性の検討、既設構造物の耐震補強に関するシンポジウム、2002年11月
- 2) 小林 寛、運上茂樹：大地震時における道路橋の被災度推定手法、土木技術資料、vol47-12、2005年12月

中尾吉宏\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室 主任研究官、工修  
Yoshihiro Nakao

高宮 進\*\*



国土交通省国土技術政策総合研究所危機管理技術研究センター地震防災研究室長、博士(学術)  
Dr. Susumu Takamiya

小路泰広\*\*\*



国土交通省東北地方整備局酒田港湾事務所 所長(前国土技術政策総合研究所地震防災研究室長)、工修  
Yasuhiro Shoji