

13.11 橋梁のリスク評価手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：CAESAR 橋梁構造研究グループ

研究担当者：石田雅博，七澤利明，加藤隆雄

【要旨】

我が国における道路橋の多くは高度成長期に建設され、多くの橋梁が高齢化を迎えようとしている。このように管理橋梁の高齢化が進む中、橋梁の損傷による社会的リスクは今後益々高まっていくものと推測され、厳しい財政制約の中で効率的な管理を行うための手段としてリスク評価手法の確立が求められている。

本研究は、こうした状況を踏まえ、道路橋を構成する部材の損傷リスクを相対的・定量的に評価する手法及びリスク発生による人命や社会への影響について検討を行い、これらを合わせて橋梁管理体系に組み入れるリスク評価手法について提案することを目的として実施するものである。平成 23 年度は、先進事例である国外（英国）の道路橋リスク評価及び国内での道路橋以外のリスク評価事例の収集・とりまとめを行い、我が国における道路橋リスク評価の参考となる知見を得た。

キーワード：道路橋，維持管理，リスク，診断，評価

1. はじめに

我が国の道路橋は、高度成長期と前後して 1950～70 年代に大量に建設されており、建設後 50 年以上を経過した橋梁が今後急激に増加することになる。更に、我が国の道路橋は、世界的に見ても非常に厳しいレベルの自動車交通や自然環境にさらされてきており、今後、急速に劣化損傷が増加する可能性がある（図-1）。

既に床版の疲労、鋼部材の疲労、コンクリート部材の塩害・アルカリ骨材反応による損傷といった橋の耐荷性能に重大な影響を与える損傷事例も多数報告されている。

日本の橋梁点検では、各部材の損傷の程度を評価し、対策区分を判定しているが、損傷が橋へ与える影響や結果の重大性は明確には規定されていない。

橋梁は建設から 50 年以上を超えると劣化は急速に進行すると言われており、厳しい財政事情の下で、その健全性を適切に評価し、予防保全の考え方を取り入れながら戦略的に維持管理するための、点検、評価・診断、補修・補強技術の確立を急ぐ必要がある。

このため本研究では、こうした状況を踏まえ、道路橋を構成する部材の損傷リスクを相対的・定量的に評価す

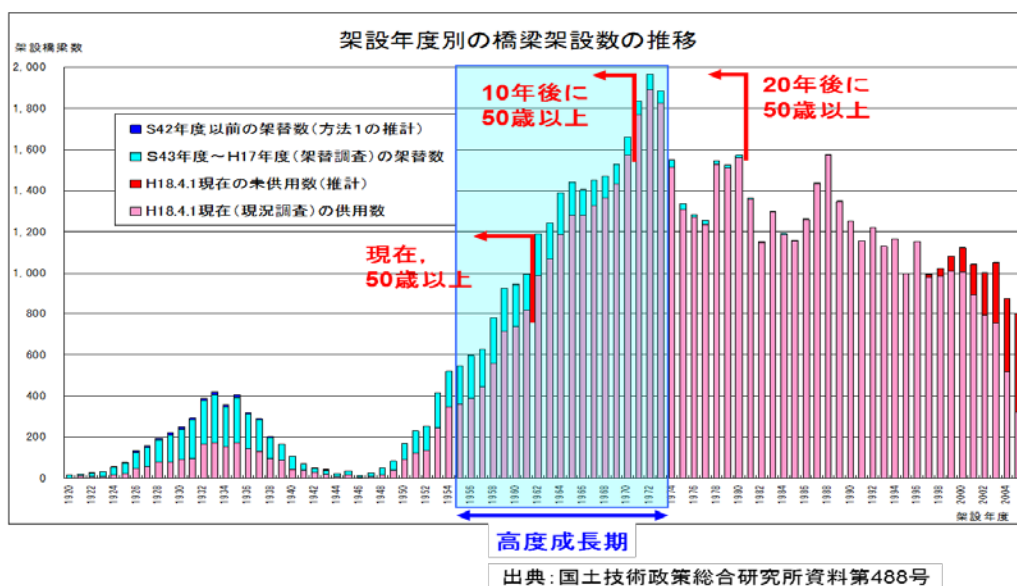


図-1 道路橋の架設年度別の橋数の推移

る手法及びリスク発生による人命や社会への影響について検討を行い、これらを合わせて橋梁管理体系に組み入れるリスク評価手法について提案するものである。

2. 国外（英国）の道路橋を対象としたリスク評価事例の収集

実用的な道路橋のリスク評価手法についての知見を得るために、先進事例である英国の以下の機関より聞き取り調査を実施した。

- ① 英国道路庁（Highways Agency, HA）：
英国交通省の独立行政法人で、大臣より委任され、イングランドの幹線道路の管理を行っている機関。
- ② ロンドン市交通局（Transport for London, TfL）：
ロンドン市における公共交通機関の大半の管理を行っている行政機関。

主な聞き取り内容は次の通りである。

- ・リスク評価の運用目的
- ・評価手法
- ・リスクの要素
- ・優先順位の区分け

対策の優先順位付けのおおまかな比較を図-2 に示す。

- ① 英国道路庁におけるリスク評価の概要
 - ・リスク評価の目的：補修・補強における要対策箇所の優先順位付け。
 - ・リスクの定義：発生確率（Likelihood）×影響の程度（Consequence）

影響の程度は、安全性・機能性・持続性・環境の4つの要素について、それぞれ劣化の重大さを導き出し、発生確率と組み合わせた結果をリスク全体レベルの評価マトリックス（図-3）で評価する。評価したそれぞれのリスクについて優先順位づけのマトリックス（図-4）に照

らし合わせ、優先順位が最も高いリスクが主スコア（Baseline Score）、その他のリスクが補助スコア（Supplementary Score）となり、これらを足し合わせたものがトータルスコアとなる。優先順位づけのマトリックス（図-4）のうち、“H safely*”が対策の優先順位が最も高く、緊急に措置を講じなければならないものである。

② ロンドン市交通局におけるリスク評価の概要

- ・リスク評価の目的：補修・補強における要対策箇所の特定。
- ・リスクの定義：発生確率（Likelihood）×影響の程度（Consequence）

影響の程度は、安全性・機能性・環境の3つの要素について、それぞれの劣化の重大さを導き出し、各要素について、マトリックスに基づき評価する。複数のリスクイベントがある場合には、各要素毎に最も Initial Risk Score が高くなるリスクイベントにより算出する。（図-5）このとき、重み付け（Weighting）を組合せてリスク値を算出する（図-6）。

3. 具体の損傷事例

具体の損傷事例として英国道路庁の「鉄筋の腐食」の例を以下に示す。

① □リスクイベントの種類・発生確率・影響

登録されている様々なリスクより選択する（表-1）。

② □リスクの発生確率

当事象は、検査報告から錆が確認されており、原因は凍結防止剤の散布であり、今後も継続して起こりえる事象であることから、発生確率は「確実」（Certain）と評価となる（表-2）。

③ 影響の重大さ

この事象における影響の重大さは、安全性、機能性に

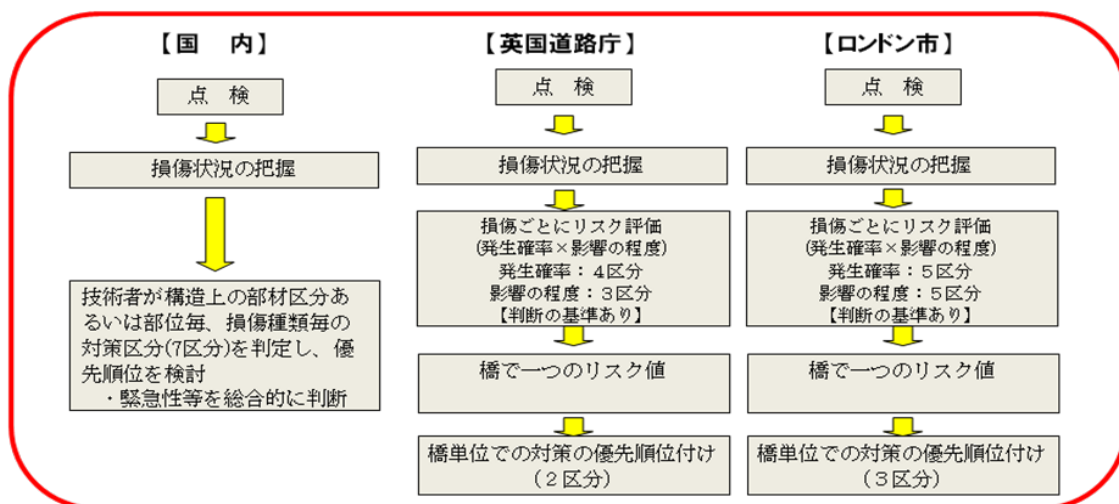


図-2 英国道路庁・ロンドン市の道路橋リスク評価フロー

については「影響なし」と評価、持続性については劣化の進行が早いことから 3～4 年のうちに対策を行わなくては、その後の対策に支障が生じるとの判断により、「中間」(Medium) と評価、環境については外観への悪影響の程度より、「低い」(Low) と評価となる(表-3)。

④ リスク値の決定

上記より、リスクレベルの評価対象が持続性と環境についてのみとなる。リスク全体レベルの評価マトリックス(図-3)において、持続性(Sustainability)は発生確率が「確実」(Certain)と影響の重大さが「中間」(Medium)の組合せより“C Likelihood + M Consequence”となることからリスクは“High Risk”、環境(Environment)は発生確率が「確実」(Certain)と影響の重大さが「低い」(Low)の組合せより“C Likelihood

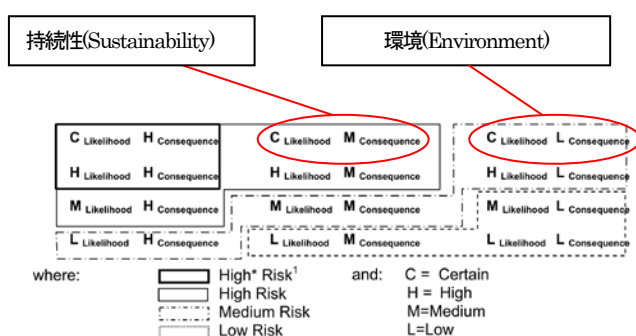


図-3 リスクの全体レベルの評価マトリックス
(英国道路庁)

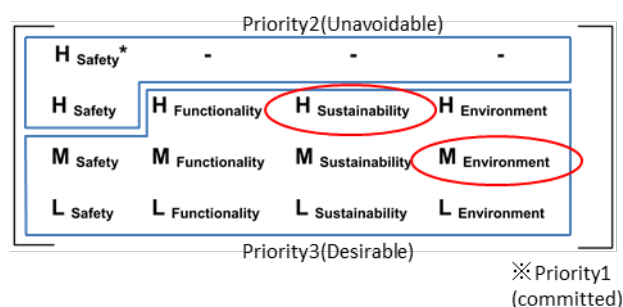


図-4 優先順位付けのマトリックス（英国道路庁）

Consequence	V High	40	60	80	100	100
	High	40	40	60	80	100
	Medium	20	40	40	60	80
	Low	20	20	40	40	60
	V Low	0	20	20	40	40
		V Low	Low	Medium	High	V High
		Likelihood				

図-5 リスクレーティングマトリックス
(ロンドン市交通局)

+ L Consequence”となることからリスクは”Medium Risk”となる。

⑤ 優先順位付け

優先順位付けのマトリックス(図-4)において、持続性は“High Risk”であることから優先順位は“H Sustainability”、環境は“Medium Risk”であることから優先順位は“M Environment”となり、持続性が環境よりも優先順位が高くなる。以上より、対策を行うことが望ましい“Desirable”(Priority3)に該当することとなる。

4. 国内における道路橋以外でのリスク評価事例の収集

国内におけるリスク評価手法の知見を得るために、先進事例のある道路橋以外の分野において、聞き取り調査を実施した。選定した分野については、実務での利用状況を考慮して、プラント、ダム洪水吐ゲート、鉄道施設、船舶、ガス導管の5分野とした。

このうち、実際にリスク評価を運用しているのは、プラント、船舶及びガス導管であった。プラントでは劣化速度がある程度予測できる設備については実施していな

Criteria	Weighting	Initial Risk Score	Weighted Risk Score
Safety	0.50	100	50
Functionality	0.35	60	21
Environment	0.15	60	9
Risk Rating Benchmark			80

図-6 優先順位付けのマトリックス
(ロンドン市交通局)

優先度 分類	リスク 基準値	摘 要
	80 以上	安全性および使用性の大きなリスクがあることを示し、一時的および／もしくは恒久的対策が実施されなければならない。
	80 未満 40 以上	使用性の大きなリスクがあることを示し、使用性のレベルおよび／もしくは耐久性を保つために工事が必要である。事業期間内にリスク低減策が実施されなければならない。
	40 未満	3/5 年間に於いて対策は必要でない、しかし、より長期間でみると耐久性への潜在的影響がある。また、長期間でみると、安全性および使用性が損なわれる可能性がある。スキームは、事業期間内に収まらなくてよい。

図-7 優先度の分類
(ロンドン市交通局)

表-1 リスクの種類

表 B.3 登録されているリスク

リスクイベント	発生確率	影響
被膜塗装の失敗	表 B.5 参照	表 B.32 参照
鉄筋の腐食	表 B.6a 参照	
鋼部材の腐食	表 B.6b 参照	表 B.33 参照
アルカリシリカ反応	表 B.7 参照	
トーマス石の表面接触	表 B.8 参照	
⋮	⋮	⋮

表-2 リスクの発生確率

表 B.6a 腐食の起きやすさ (補強箇所の腐食)

起きやすさ	例
確実 (Certain)	表面の腐食が明確。
高い (High)	腐食の危険性が高いエリア：厳しい暴露環境にあるエリア
中間 (Medium)	腐食の危険性が中間エリア：保護された暴露環境にあるエリア
低い (Low)	腐食の危険性が低いエリア：保護された暴露環境にあるエリア

表-3 影響の大きさ

表 B.33 劣化の重大さ

タイプ	重大さ	例
安全性 Safety	高い (High)	旅客鉄道の上にある橋が落橋する。
	中間 (Medium)	貨物鉄道の上にある橋が落橋する。
	低い (Low)	壊れた橋台や橋脚が歩道等から十分な離隔がある。
機能性 Functionality	高い (High)	戦略的ルートの閉鎖 (落橋を防ぐため)
	中間 (Medium)	地域ルートの閉鎖 (落橋を防ぐため) 戦略ルートの規制 (落橋を防ぐため)
	低い (Low)	地域ルートの規制 (落橋を防ぐため) 地方ルートの閉鎖 (落橋を防ぐため)
	低い (Low)	地方ルートの閉鎖 (落橋を防ぐため)
持続性 Sustainability	高い (High)	なし
	中間 (Medium)	劣化範囲が拡大し、3・4年以内に安全上の問題が生じる。 補修の範囲や期間が非常に拡大している
	低い (Low)	劣化範囲が拡大し、3・4年以内に対応は必要ないが、補修の範囲や期間は拡大している
環境 Environment	高い (High)	なし
	中間 (Medium)	外観の悪影響 (限定的部材) 落下したコンクリートが管理区域に損傷を与える
	低い (Low)	外観の悪影響 (限定的部材以外)

いが、高経年設備の外表面腐食など劣化予測が難しい設備について運用。ガス導管については、白管・黒管等が対象で、埋設環境、市街化度の組合せなどより運用している。いずれも対象範囲は比較的狭い範囲での運用である。また、船舶については、10年後のLNG船の航行が対象で、発生頻度と深刻度（人的、船舶、運行計画など）の組合せにて運用を行っているが、ハザードが非常に多いことなどから簡便な評価となっている。鉄道施設については、対象が運行系施設全般（軌道・信号・踏切等）と幅広く、施設管理部門が各部門に分かれるが、それぞれの分野のリスクに対する意識・感覚が異なるなど社内でオーソライズされていないため、現在は研究段階であり、運用に至っていない。同様のことがダム洪水吐ゲートでも挙げられる。

表-4 集計事例（鉄筋の腐食）

参照	トータルスコアの算出
表 B.3	リスクイベント
表 B.6a	発生確率 (Likelihood) 構造物の劣化は進行するであろう。劣化は、塩化物による腐食が原因である。 検査報告では、錆と3つの構造すべて表面の損傷が挙げられている。このうち2つの損傷はひどく、もう1つの損傷は中間レベルである。劣化の原因は、交通解放のための凍結防止剤の散布である。 劣化の継続性がある (Certain)
表 B.33	影響 (Consequence) 安全性 (Safety) 損傷は棧橋の一部であることが明白であり、車道から離れており、歩道もない。3・4年のうちに構造に影響する問題はないとの評価。 安全性の影響=なし (None) 機能性 (Functionality) 地方をまたぐ道路であるが、この箇所では損傷・劣化をしても交通を妨げることはないであろう。 機能性への影響なし (None) 持続性 (Sustainability) 最近の報告書と比較してみると、損傷の範囲と劣化が急速に増加している。3・4年のうちに取組をしなければ、修理に要する範囲と期間が急激に増えるであろう。 持続性への影響=中間 (Medium) 環境 (Environment) 劣化は、外観に影響を及ぼす。限定的部材以外。 環境への影響=低い (Low)
章 B.8	リスクの全体レベルの評価 安全性: None 機能性: None 持続性: High 環境: Medium 優先順位づけ 高い持続性のリスク (High Sustainability Risk)
表 E.2	スコア 主リスク (Baseline Score) = High Sustainability = 61 補足リスク (Supplementary Score) = Medium Environment = 2 トータルスコア = 61 + 2 = 63

5. まとめ

成果としては、先進事例である英国（英国道路庁、ロンドン市交通局）では、損傷部材毎に発生確率、影響の程度を区分けし、リスク評価を行い、橋梁で一つのリスク値を算出し、橋単位での対策の優先順位付けを行っているなどの知見が得られた。今後は、国内における橋梁点検結果を基に、各部材別の損傷等について、路線や構造特性に応じたリスク発生による影響を定量的に評価するための手法の検討を行う。

参考文献

- 1) Highways Agency : NDD Value Management Requirements Dec11 Final Issue V1
- 2) Transport for London : Value Management of the Capital Renewals Programme, 2010/11
- 3) 福山浩史、犬塚史章、館雅憲、石毛哲雄：鉄道事業におけるリスク評価手法適用の試み、社会技術研究論文集、Vol. 5, 163-171, 2008
- 4) 齋藤潔、朱牟田善治、山本広祐、近江英俊、和泉満：ダム洪水吐ゲートを対象とした定性的リスク評価手法の構築、電力中央研究所報告、N05038, 2006. 7

RESEARCH ON THE RISK ASSESSMENT OF BRIDGES

Budgeted : Grants for operating expenses

General account

Research Period : FY2011-2015

Research Team : Bridge and Structural Technology

Research Group

Author : Masahiro ISHIDA

Toshiaki NANAZAWA

Takao KATO

Abstract : The purpose of this study is development of a risk assessment method for highway bridges, which evaluates relative risk of damage of the members of the highway bridges, and which considers impact on human life and society due to the damage of bridges.

In FY2011, we collected examples of risk assessment case of except bridges in Japan, and studied on risk assessment for road bridges in the UK. We adjusted the knowledge used as reference of the highway bridges risk assessment in our country.

Keywords : highway bridges, maintenance, risk, diagnosis, assessment