

海外の道路橋保全におけるリスク評価の動向

石田雅博*

1. はじめに

我が国の道路橋は、高度成長期と前後して1950～1970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。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。

海外では、道路橋に関して、部材の劣化の生じやすさや損傷による社会的影響を評価して、点検・診断や補修・補強の優先順位付けに用いるリスク評価を行っている国もある。ここでは、先進的な事例として、イギリスとオーストラリアの現状について述べる。

表-1 イギリスの道路構造物点検の対象

構造種別	定義	対象
橋梁、埋設構造物、アンダーパス、カルバート、その他同様の構造物	障害物(河川、谷、貯水池など)やサービス(道路、鉄道、運河など)を横断する道路を支持する構造物または道路上のサービス(道路、鉄道、運河など)の通路を支持する構造主として土を支えるための道路関連構造物	スパンあるいは内空が0.9m以上のもの
擁壁	斜面や土を安定させるための道路関連構造物	高さが1.5m以上のもの
補強土壁	斜面や土を安定させるための道路関連構造物	高さが1.5m以上のもの
標識・信号台	標識や信号を支える門形あるいは片持ちの構造物	全ての標識・信号台
柱	交通信号の片持ち柱	全て
	照明のための高い柱	高さ20m以上
	カメラ、ラジオ、スピードカメラ、通信のための柱	全て
	吊り照明柱上の標識	監督機関が認めたもの
点検路	橋梁点検など構造物への接近のための移動式構造物	全ての移動式点検路
トンネル	150m以上の長さのトンネル	全てのトンネル(その他の規定はBD533による)
その他構造物	道路用地内にあるその他の構造物	道路上あるいは下を横断するサービス供給の
	上記以外の構造物で監督機関が認めたもの	監督機関が認めたもの
第三者構造物	上記以外で電力水道など他者が所有するもの	監督機関が認めたもの

2. イギリスの道路保全

2.1 道路構造物の点検

イギリスでは、スパンが0.9m以上の橋梁の他、表-1に示す道路構造物を対象として点検を行っている¹⁾。

点検種別は、安全点検、一般点検、主要点検、特別点検、アセスメント点検に分類される。表-2に点検種別毎の点検目的、点検頻度、点検の方法を示す。一般点検は24ヶ月毎、主要点検は6年毎を標準として実施されている。

2.2 英国道路庁(Highways Agency)の道路橋を対象としたリスク評価

英国道路庁では、補修・補強における要対策箇所の優先順位付けを行うことを目的として、道路橋のリスク評価を行っている²⁾。

リスクの定義は、発生確率(Likelihood) × 影響の大きさ(Consequence)である。影響の大きさは、安全性(Safety)・機能性(Functionality)・持続性(Sustainability)・環境(Environment)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-1)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-2)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

表-2 イギリスの道路構造物点検の種別

点検対象	橋・アンダーパス・カルバート等、擁壁、補強土、標識・信号、信号柱・標識柱等、点検通路、トンネル、他				
	安全点検 Safety Inspection	一般点検 General Inspection	主要点検 Principal Inspection	特別点検 Special Inspection	アセスメント点検 Inspection for Assessment
点検の目的	公衆に危害を及ぼす事項を発見し、緊急の対応をとるための	目視可能な部材の状態を把握	全ての点検部材の状態の把握	一般点検、主要点検で必要と判断されたもの	構造物の耐荷力を評価するために必要な情報の収集
点検の頻度	安全を確保するために適切な時期(例えば、橋梁では1週間に一度あるいは1ヶ月に一度)	24ヶ月	6年を標準	部材の必要性に応じて実施(6ヶ月毎など)	主要点検に準じる
点検の方法	ゆつくりした車両あるいは徒歩	目視	近接点検(たつきも含む)	近接目視、試験、モニタリング等	主要点検に準じる

The present condition of risk assessment for highway bridge maintenance in foreign countries

表-3 リスクの種類

リスクイベント	発生確率	影響の大きさ
塗装塗膜の失敗	表 B.5 参照	表 B.32 参照
鉄筋の腐食	表 B.6a 参照	表 B.33 参照
鋼部材の腐食	表 B.6b 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	
⋮	⋮	⋮

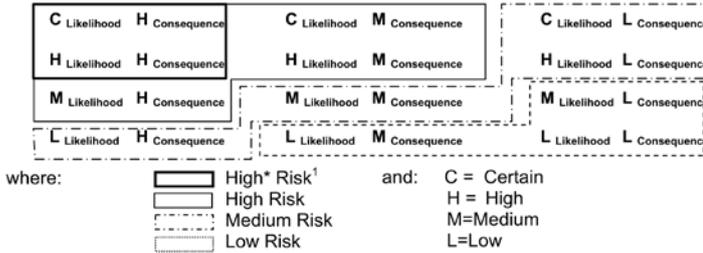


図-1 リスクの全体レベルの評価マトリクス (英国道路庁)

表-4 リスクの発生確率

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 : 厳しい曝露環境にあるエリア
中間 (Medium)	腐食の危険性が中間エリア : 保護された曝露環境にあるエリア
低い(Low)	腐食の危険性が低いエリア : 保護された曝露環境にあるエリア

表-5 影響の大きさ

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)
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)

観への悪影響の程度より、「低い」(Low)と評価する(表-5)。

④ リスク値の決定

上記より、リスクレベルの評価対象は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クス(図-1)において、持続性(Sustainability)は発生確率が「確実」(Certain)と影響の大きさが「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”となる。環境(Environment)は発生確率が「確実」(Certain)と影響の大きさが「低い」(Low)の組合せより”C Likelihood + L Consequence”となることからリスクは”Medium Risk”となる。

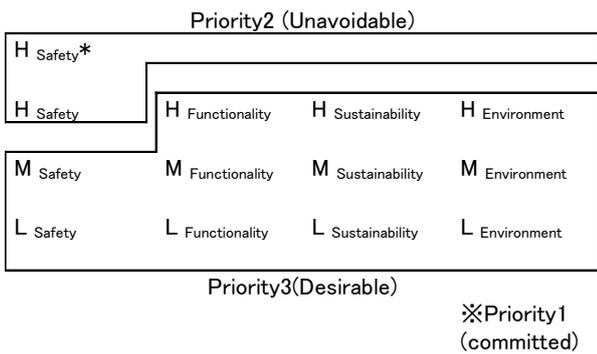


図-2 優先順位付けのマトリクス (英国道路庁)

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クス(図-2)のうち、特定の事象についてはPriority 1 となり緊急に措置を講じなければならず、次に”H safety*”が対策の優先順位が高く、措置を講じなければならないものとなる。

以下に、凍結防止剤の散布による床版の鉄筋腐食を具体的事例として説明する。

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から「鉄筋の腐食」を選択する(表-3)。

② リスクの発生確率

この事例では、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)という評価となる(表-4)。

③ 影響の大きさ

この事例における影響の大きさに関して、安全性については落橋による人的被害のおそれがないことから「なし」と評価する。機能性については車線の規制や閉鎖の必要性はないことから「なし」と評価する。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)と評価する。環境については外

表-6 鉄筋の腐食に関するトータルスコアの算出例

参照	トータルスコアの算出
表 B.3	リスクイベント 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。
表 B.6a	発生確率(Likelihood) 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。この内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) 損傷は栈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年の内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、この箇所での損傷・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年の内に取組みをしなければ、修理に要する範囲と機関が急激に増えるであろう。 持続性の影響=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 優先順位付け

優先順位付けのマトリックス (図-2) において、持続性は” High Risk” であることから優先順位は” H Sustainability” となる。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。

表-6にこれらを集計したものを示す。この鉄筋の腐食に関する事例では、トータルスコアが63となる。

2.3 ロンドン市交通局(Transport for London)の道路橋を対象としたリスク評価

ロンドン市交通局では、補修・補強における要対策箇所の特定と、市民へのアカウントビリティを目的として道路橋のリスク評価を行っている。リスクの定義は、発生確率 (Likelihood) × 影響の大きさ (Consequence) である。

影響の大きさは、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

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-3 リスクレーティングマトリックス (ロンドン市交通局)

区分 (Criteria)	重み付け (Weighting)	初期リスクスコア (Initial Risk Score)	重み付けリスクスコア (Weighted Risk Score)
安全性 (Safety)	0.50	100	50
機能性 (Functionality)	0.35	60	21
環境 (Environment)	0.15	60	9
リスク基準値 (Risk Rating Benchmark)			80

図-4 スコアの重み付けと算出例 (ロンドン市交通局)

表-7 優先度の分類 (ロンドン市交通局)

優先度分類	リスク基準値	摘要
高	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。
中	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。
低	40 未満	3~5 年間にお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。

るリスクイベントにより算出する (図-3)。このとき、重み付け(Weighting)を組合せてリスク値を算出する (図-4)。このリスク値を基に、対策の優先順位を決定している (表-7)。

3. オーストラリアの道路保全

3.1 道路構造物の点検

オーストラリア各州とニュージーランドの道路管理者は、Austroadsという機関を組織し情報交換を行っているが、各州は、それぞれ独自の橋梁マネジメントシステムを保有している。これは、管理する橋梁の特性や環境条件が異なり、劣化曲線が異なるためである。

表-8 ビクトリア州の道路構造物点検

点検対象	全ての橋梁、大規模カルバート、大規模標識、擁壁、遮音壁、照明柱等		
点検種別	日常点検 (Level 1) Routine maintenance Inspection	状態点検 (Level 2) Road structures condition inspection	詳細調査 (Level 3) Detailed Engineering investigation
点検の目的	全ての構造物について、日常の維持管理に関連して、構造物の健全性や供用性を確認する	構造物と主要部材について、状態の評価を行う	Level1やLevel2点検で必要とされたもの
点検の頻度	6ヶ月	新設時12ヶ月以内、その後2～5年毎	
点検の方法	目視点検	目視、写真撮影、測量	
点検の記録	Level1報告書式に記録し、維持管理業者に送付	Road Asset Systemに記録し、緊急性のあるものは直ちにVicRoadsに報告	Road Asset Systemに記録し、上位機関に報告

表-8にビクトリア州の道路構造物点検の概要を示す³⁾。日常点検(Level 1)、状態点検(Level 2)、詳細調査(Level 3)に分類されており、状態点検については、新設時12ヶ月以内、その後2～5年毎に点検が実施されている。

3.2 道路橋を対象としたリスク評価

ビクトリア州では、道路橋の維持管理の優先順位付けのためにリスク評価を行っている⁴⁾。リスクの大きさは、破壊の起きやすさ×破壊による重大性で定義されている。

破壊の起きやすさ(Probability of failure)は、表-9に示すように、荷重要因、抵抗要因、状態要因、点検要因、曝露要因に分類され、それぞれの要因について表形式で係数が与えられている。例として荷重要因の係数を表-10に示す。地方部と都市部に分けられており、交通量および構造物が造られた年代に応じて係数が与えられている。破壊の起きやすさの係数は、これら各要因の係数を足し合わせて算出される。

破壊による重大性(Consequence of failure)については、表-11に示すように人的要因、環境要因、交通要因、経済要因、道路種別要因に分類され、それぞれの要因について表形式で係数が与えられている。破壊による重大性の係数は、これら各要因の係数を足し合わせて算出される。

最終的なリスクの大きさは、破壊の起きやすさの係数と破壊による重大性の係数を掛け合わせるにより算出する。

$$\text{Risk} = \text{Probability(of failure)} \times \text{Consequence(of failure)}$$

このリスクの大きさを、維持管理の優先順位付けに用いている。

4. おわりに

海外における道路保全の動向に関して、リスク評価を取り入れているイギリスとオーストラリア

表-9 破壊の起きやすさの要因と評価項目

要因	評価項目
荷重要因	交通荷重、設計基準、構造物の年代
抵抗要因	部材の強度特性(鋼、コンクリート、木材等)
状態要因	部材の現在の状態
点検要因	点検の頻度と種別、目視可能か
曝露要因	劣化に及ぼす環境

表-10 荷重要因の係数

地方部	商用車の日台数				
時期	0 - 100	100 - 200	200 - 300	300 - 500	> 500
1948以前	4	5	6	7	8
1948 - 1976	3	4	5	6	7
1976 - 1992	2	3	4	5	6
1992以降	1	2	3	4	5

都市部	商用車の日台数				
時期	0 - 1000	1000 - 2000	2000 - 3000	3000 - 5000	> 5000
1948以前	4	5	6	7	8
1948 - 1976	3	4	5	6	7
1976 - 1992	2	3	4	5	6
1992以降	1	2	3	4	5

表-11 破壊による重大性の要因と評価項目

要因	評価項目
人的要因	人的被害の大きさ
環境要因	汚染等の環境への影響
交通要因	迂回路の距離、修復までの時間
経済要因	修復のコスト、経済的損失
道路種別要因	道路の重要性

の事例を紹介した。損傷の発生確率と影響の程度に応じて、補修・補強の優先順位を決定することを考慮し、システマチックに行っている。

現在、土木研究所においても管理水準に応じた維持管理のあり方や社会的影響の大きさを考慮しリスク評価技術を活用したマネジメント技術の研究を行っているところであり、海外の動向も参考にして研究を進めていきたい。

参考文献

- 1) The Highways Agency: Inspection of highway structures, BD63/07, 2007.2
- 2) The Highways Agency: Value Management of the Structures Renewal Program, Version3.4, 2010.9
- 3) Vicroads: Road structures inspection manual, 2011.4
- 4) ARRB: Methodology to Priorities Maintenance Works on Structures, 2001.7

石田雅博*



独立行政法人土木研究所構造物
メンテナンス研究センター橋梁
構造研究グループ 上席研究員
Masahiro ISHIDA