

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準の策定に関する研究
 -水を留めない、通さない、水による材料劣化を抑制し、排水設備の持続的機能保持が可能な構造とその保全-」

プロジェクトリーダー

- ・氏名:奈良 敬(なら さとし)・廣畑幹人(ひろはた みきひと)
- ・所属、役職:大阪大学、名誉教授・大阪大学大学院工学研究科、准教授

研究期間:平成30年9月~平成31年3月

プロジェクト参加メンバー(所属団体名のみ)

(一財)橋梁調査会、(一財)災害科学研究所、(一社)プレストレスト・コンクリート建設業協会、(一社)日本橋梁建設協会、(一社)建設コンサルタンツ協会、日本道路ジョイント協会、近畿地方整備局

プロジェクトの背景・目的(研究開始当初の背景、目標等)

平成 25 年度から3年で橋梁排水の技術標準を目指した手引き案を提示した。試験施工した橋梁のモニタリングや手引き案を具体的に活用するためには、それらのスパイラルアップが必須である。したがって、水を制御した橋梁の耐久性向上の取り組みは、このプロジェクトによりスタートしたと言っても過言ではない。本プロジェクトは、技術標準(案)の策定を目的に、腐食損傷調査、補修・補強メニュー、モニタリングを通して、橋梁の耐久性向上の改善サイクルが機能する仕組みを確立することを目標とする。

プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等)

1. 成果の概要

目標とする次の5つの成果項目、(1) 腐食マトリックスの提示、(2) 試験施工橋梁のモニタリング方法の提示ならびに実施、(3) 橋面排水の定量的把握ならびに実データ収集に基づく腐食負荷の定量化案を提示、(4) 技術標準案の提示、(5) 研究成果の取りまとめ、のいずれについても、当初の研究計画通りに目標を達成することができたが、主たる成果である技術標準(案)について記述する。

2. 橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準(案)

主たる成果項目の1つである技術標準(案)の目次は次の通りである。

- 第1章 総論 第2章 腐食マトリックス 第3章 排水計画 第4章 鋼橋 第5章 コンクリート橋
- 第6章 付属物 第7章 腐食マトリックスの適用による耐食性能の改善
- 第8章 継続的データ収集と技術標準の見直し
- 付録 損傷対策事例集

詳細な目次は別紙の通りである。

3. 腐食マトリックスを用いた評価手法の提案

(1)はじめに

橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準の策定にあたり、その核となる「腐食マトリックス」を用いる考え方を提案し、その活用について具体化を図った。

(2)腐食マトリックス提案の経緯

道路橋の劣化については、点検や補修・補強工事から多くの実例が収集されている。そして、これらの実例では、適切な長寿命化技術が開発、使用され、効果を挙げている事例も多い。しかし、架橋場所が異なるように、道路橋が供用後に受ける腐食環境と腐食負荷は様々であり、求められる腐食耐性が一律でないことは明らかである。有効な点検データに基づき、管理対象となる個々の橋梁毎に腐食環境と腐食負荷を制御または改善し、橋梁毎に腐食耐性を適切に選択することが可能となり、この選択を適切に行う手法を導入することが求められる。

(3)腐食マトリックスの基本的な考え方

道路橋の排水不良や漏水等に起因する腐食損傷は多様であるが、主として点検調査に基づく要因分析によって、腐食損傷に対する負荷ならびに環境と腐食損傷部位・程度との関連付けが可能となる。腐食損傷に対する負荷及び環境と、腐食損傷した部位及びその程度との関連性から、表1に示すように、部

表1 橋梁部位ごとの腐食損傷要因分析

①腐食箇所	②漏水箇所	③漏水原因	④腐食負荷	⑤腐食環境
1)桁端部	・伸縮装置 ・地覆間	・短寿命 ・多水量 ・間隙	・雨水 ・凍結抑制 ・散水量	・陽当たり ・風通し ・植生
2)床版	・防水層 ・排水設備 ・張出部	・浸水漏水 ・浸水漏水 ・土砂流入 ・浸水	・雨水 ・凍結抑制 ・散水量 ・交通量	・陽当たり ・風通し ・水はけ ・植生
3)主構部	・排水設備 ・伸縮装置 ・床版	・浸水漏水 ・土砂流入 ・多水量 ・漏水貫通	・雨水 ・凍結抑制 ・散水量 ・交通量	・陽当たり ・風通し ・結露

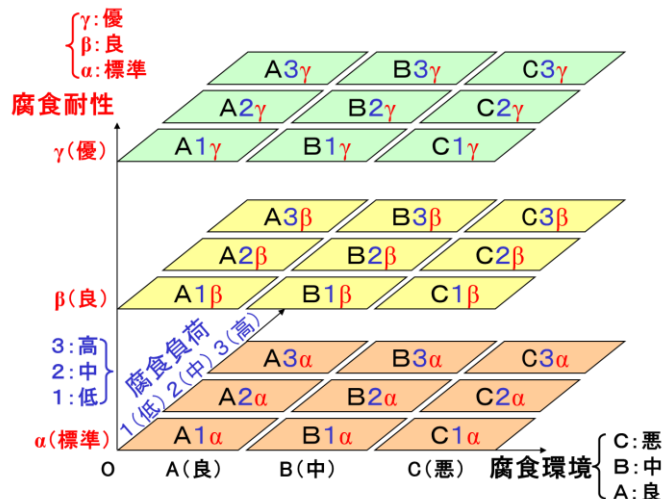


図1 腐食マトリックス

位毎に要因を整理すれば、影響する腐食負荷と腐食環境を部位毎に定量化でき、腐食負荷と腐食環境の2次元マトリックスで損傷を評価することができる。これらに個々の橋梁が持つ腐食耐性を加えて、図1に示すように、3次元の腐食マトリックスを提案し、これを利用して個々の橋梁の耐腐食性能を評価する。腐食マトリックスは、腐食負荷、腐食環境及び腐食耐性の3要素から成り、個々の橋梁が置かれた状態を適切に評価するものである。そして、腐食負荷、腐食環境及び腐食耐性の3要素をそれぞれ3段階に分類することで、個々の橋梁が置かれている腐食レベルを27の状態で評価することになる。点検調査に基づき、上述の評価を継続すれば、個々の橋梁が保持すべき防食性能や腐食耐性の評価精度が改善されるので、点検結果を継続して活用し、橋梁毎に評価を改善していくことが可能となる。

(4)腐食マトリックスにおける腐食環境、腐食負荷、及び腐食耐性とその評価

3次元で表現される腐食マトリックスの評価軸は、「腐食環境」、「腐食負荷」、及び「腐食耐性」の3つから成る。

腐食環境は、架橋位置の自然環境に由来するものであり、腐食負荷は、橋梁の設置路線や道路線形等の影響も含め、人工的・人為的な要因による影響とする。また、腐食耐性は、橋梁が保有する耐腐食性能に由来するものとする。これら3つの評価軸に影響を与える項目として様々なものが考えられるが、点検調査を参考にして、重要かつ評価可能な項目を選定して評価項目とした。それぞれの評価項目毎に評価基準及び重み係数を設けることで、評価軸毎に評価レベルを算出でき、腐食マトリックスの27の区分のいずれかに位置づけることにより、対象橋梁が置かれている腐食レベルを視覚的に評価できるものとした。また、評価項目、評価基準、及び重み係数については、今後の点検や補修補強で更新されるデータに基づき、適宜見直していくことが望ましいことは言うまでもない。ここでは、3つの評価軸について以下のように整理して評価することとした。

a)腐食環境の評価項目、評価基準、及び評価レベル
腐食環境を『人が制御できない自然環境条件』と定義し、表2に示すように、腐食に影響を及ぼすと考えられる評価可能な評価項目を4つ選定した。評価項目毎に評価基準と重み係数を設定して、表2の最右欄に示すように、評価レベルを算出することとした。表中、塩害地域区分は、道路橋示方書 コンクリート橋編(平成29年11月)に定められている区分であり、近畿地方整備局管内で整理されたものを利用するものとした。また、降水量については、管理の視点から、大まかな区分として路線ごとに評価することとした。

b)腐食負荷の評価項目、評価基準、及び評価レベル
腐食負荷を『人が制御できる人工的負荷条件』と定義し、表3に示すように、腐食に影響を及ぼすと考えられる評価可能な評価項目を5つ選定した。評価項目毎に評価基準と重み係数を設定し、表3の最右欄に示すように、評価レベルを算出できる。

(3)腐食耐性の評価項目、評価基準、及び評価レベル
腐食耐性を『橋梁の持つ特性(腐食耐性)』と定義し、表4に示すように、腐食に影響を及ぼすと考えられる評価可能な評価項目を6つ選定した。表中の架設年度は、道路橋示方書の改定を考慮した評価項目である。評価項目毎に評価基準と重み係数を設定して、表4の最右欄に示すように、評価レベルを算出する。

4. 腐食マトリックスを用いた既設橋への適用とその改善例

(1)はじめに

腐食マトリックスは新設橋にも適用可能であるが、ここでは、既設橋を対象に、補修・補強工法を適用して改善を図った場合、改善による腐食レベルの変化を明確に評価できるように、腐食マトリックスの適用法と腐食損傷した橋梁の改善例を示す。

(2)腐食マトリックスの活用法

表2 腐食環境の評価

パラメータ	評価基準			重み係数	評価レベル
	a良	b中	c悪		
① 塩害地域区分	D	CⅢ	CⅡ以上 (BSBⅠBⅡ、 BⅢCSCⅠ、 CⅡ)	5	aを1、bを2、cを3点とする。
② 降水量	大阪、姫路(2)、 兵庫	滋賀(161以 外)、福知山、京 都、姫路(29)、 奈良、和歌山 (42以外)	福井、滋賀 (161)、豊岡、和 歌山(42)、紀南	2	①×5+②×2+③×3 +④×4 全て【a良】の場合:14点 全て【b中】の場合:28点 全て【c悪】の場合:42点 となる。
③ 桁下状況	河川・湖沼等以 外	-	河川・湖沼等	3	
④ その他の環境特性	腐食しづらい	中位	腐食しやすい	4	A良:20点以下 B中:21~27点 C悪:28点以上

表3 腐食負荷の評価

評価項目	評価基準			重み係数	評価レベル
	a低	b中	c高		
① 伸縮装置への路面排水 負荷 (該当伸縮装置が受け 持つ橋面排水面積)÷ (当該範囲の排水樹数)	120m ² 以 下	120m ² を超 え、200m ² 未満	200m ² 以 上	2	aを1、bを2、cを3点とする。 ①×2+②×1+③×5+④×2 +⑤×2+⑥×2 全て【a低】の場合:14点 全て【b中】の場合:28点 全て【c高】の場合:42点 となる。
② 合成勾配	3.5%以下	3.5%を超 え、 5%未満	5%以上	1	
③ 凍結防止剤散布量	大阪、兵 庫、和歌 山、紀南	京都、姫 路、奈良	福井、滋 賀、福知 山、豊岡	5	1低:20点以下 2中:21~32点 3高:33点以上
④ 大型車交通量(台/日) (上下分層の場合は1/2とする。)	3000未満	3000を超 え、 10,000未満	10,000以上	2	
⑤ 排水樹土砂詰り状況 (対象範囲の全体樹数 に対する土砂詰り樹数 の割合)	0	5割未満	5割以上	2	

表4 腐食耐性の評価

パラメータ	評価基準				重み係数	評価レベル
	a標準	b良	c高	d優		
① 架設年度	1973年 以前	1974年~ 1980年	1981年~ 2001年	2002年 以降	3	aを1、bを2、cを3、dを4点 とする。
② 伸縮装置からの漏水の 有無(直近の点検結果)	有り・多 い	有り・少 ない	無し	-	2	①×3+②×2+③×3 +④×1+⑤×2+⑥×1
③ 定期点検結果の健全度	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	3	
④ 橋梁の斜角	60度未 満	60度以上 75度未満	75度以上 85度未満	85度以 上	1	全て【a標準】の場合:12点 全て【b良】の場合:24点 全て【c高】の場合:36点 全て【d優】の場合:45点 となる。
⑤ 塗装経過年数	21年以 上	15年を超 え20年以 下	10年を超 え15年以 下	10年以 下	2	
⑥ その他の腐食耐性	耐性が 低い	中位	耐性が高 い	-	1	・α標準:20点以下 ・β良:21~28点 ・γ優:29点以上

既設橋では、橋梁毎に腐食マトリックスの3成分である腐食環境、腐食負荷、及び腐食耐性が、それぞれに得られた評価レベルによって、定量的に評価される。この評価レベルに対して、補修・補強工法、改善効果がある工法を採用することで、3成分の評価レベルを改善できる。腐食の3成分の改善のイメージを図2に示す。理論上は同図のように3成分の改善が可能であるが、既設橋については、腐食環境と腐食負荷は既に与えられており、その改善が難しいことから、腐食耐性の向上を図ることが実践的で有効な手段となる。

(3) 腐食耐性の改善法

前述のように既設橋においては腐食耐性の向上が最も有効な手法であることから、腐食環境腐食負荷の改善評価については省略し、ここでは腐食耐性の向上について述べる。表5に腐食耐性の向上を考慮した評価表を示す。腐食マトリックスの腐食耐性を表す5つの評価項目に加えて、腐食耐性の向上効果の評価項目を追加している。

(4) 対策工法の選択

表5中の腐食耐性の向上が期待できる工法についての詳細について、本文では省略するが、既存工法や新工法を整理、抽出し、現場での適用性、効果の優劣についてランクをつけ、重み係数も考慮して評価レベルを設定している。

(5) 腐食マトリックスの既設橋への適用事例

既設橋腐食マトリックスを適用するにあたり、近畿地方整備局内橋梁のうち鋼橋 103 例について、腐食マトリックスによる評価を行った結果を図2に示す。この図より、健全な橋梁は腐食負荷が低く腐食環境の良好な原点に近い側に分布しており、損傷が著しい橋梁は腐食負荷が高めで、腐食環境が悪い側に分布していることが分かる。ここでは、腐食マトリックスのC3αとして評価された橋梁の改善事例を示す。

既設橋における耐腐食性能の向上については、防食性能の向上、構造的対策、橋面の滞水防止、支承防食性能向上、伸縮装置止水性能向上、排水構造の構造的対策が考えられる。これらの対策毎に期待できる評価基準

表5 腐食耐性の評価表

パラメータ (評価項目)	腐食耐性 (橋梁の持つ特性)				重み 係数	評価レベル
	評価基準					
	a標準	b良	c高	d優		
① 架設年度	1973年以前	1974年～1980年	1981年～2001年	2002年以降	3	aを1、bを2、cを3、dを4点とする。
② 伸縮装置からの漏水の有無(直近の点検結果)	有り・多い	有り・少ない	無し	—	2	①×3+②×2+③×3+④×1+⑤×2+⑥×1+Ⅲ
③ 定期点検結果の健全度	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	3	
④ 橋梁の斜角	60度未満	60度以上75度未満	75度以上85度未満	85度以上	1	全て[a標準]の場合:12点 全て[b良]の場合:24点 全て[c高]の場合:36点 全て[d優]の場合:45点となる。
⑤ 塗装経過年数	21年以上	15年を超え20年以下	10年を超え15年以下	10年以下	2	
⑥ その他の腐食耐性	耐性が低い	中位	耐性が高い	—	1	・α 標準:20点以下 ・β 良:21～28点 ・γ 優:29点以上
Ⅲ 腐食耐性の向上効果	【研究会内で既存工法や新工法を整理、抽出】 ここでは詳細は省略				1	

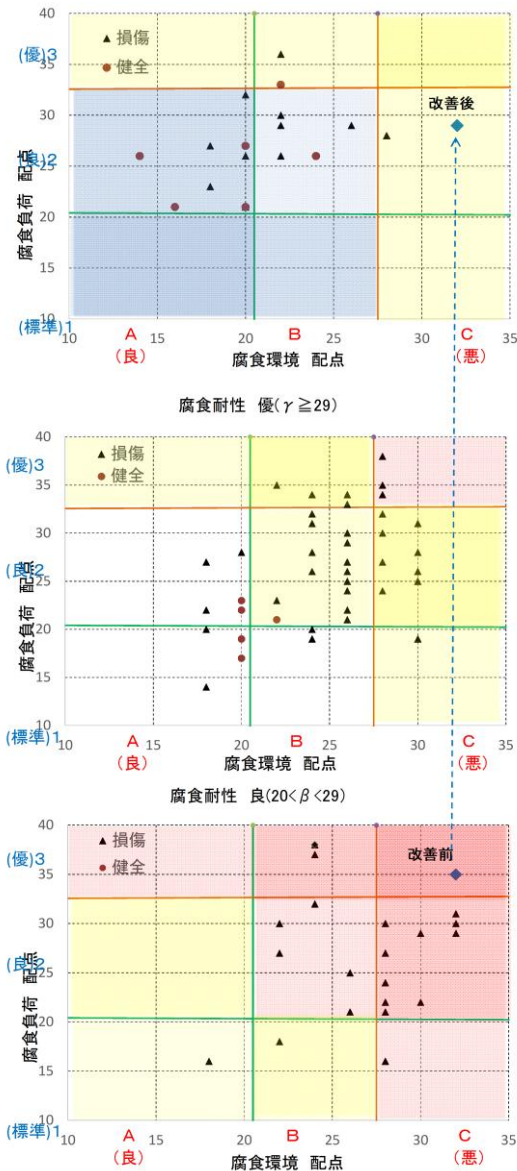


図3 腐食マトリックスの改善イメージ

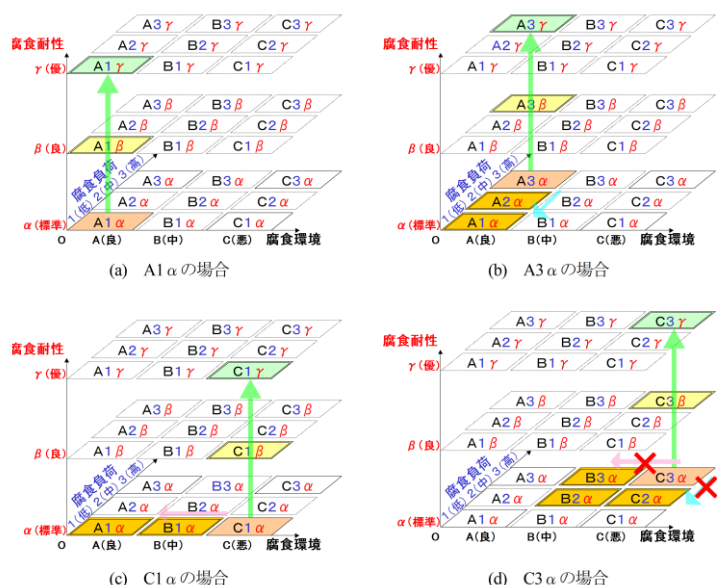


図2 腐食耐性向上策の検討

を決め、その重み係数をつけることで評価レベルを合わせることとした。これらの合計点を現在の腐食耐性の評価レベルに足し合わせ、耐腐食性能の向上を評価した。

図4に示すように、桁端や支承部に金属溶射を採用して防食性能の向上を図り、図5に示すように、止水板を設置し、さらに、箱桁内の水抜き対策の構造的改善を図った場合を考える。これらの対策による腐食耐性の加点を表6に示す。改善前は腐食耐性が α であり、赤色が最も濃い色で評価されていた区分に位置づけられていたが、腐食耐性の向上を図ることにより、表7に示すように、腐食耐性が γ へと大きく改善することができた。

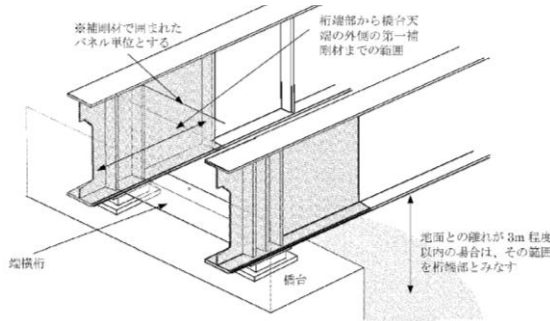


表6 腐食耐性の向上

図4 金属溶射による対策

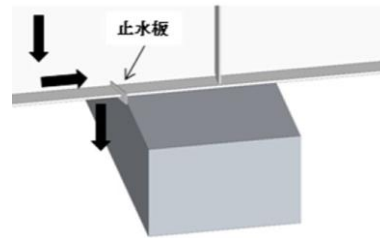


表7 各評価の効果

図5 止水板設置による対策

評価項目	選択工法				評価点			
	aなし 0.0	b小 1.0	c中 2.0	d大 3.0	点数	重み 係数	合計 点	
腐食耐性	防食機能の向上 (金属溶射)			●	3.0	2.0	6.0	
	防食対策(止水板)		●		2.0	1.0	2.0	
	防食対策(水抜き箱桁)		●		2.0	0.5	1.0	
	支承防食機能の向上 (金属溶射)			●	3.0	1.0	3.0	
合 計								12.0

	現況	改善後	改善の効果
環境	32	32	B
負荷	32	32	3
耐性	18	30	$\alpha \rightarrow \gamma$

5. まとめ

個々の橋梁毎に、腐食環境、腐食負荷、及び腐食耐性を評価することにより、対象橋梁が立体的に位置づけられて、視覚的な評価が可能となる。腐食マトリックスが橋梁の効率的な維持管理や長寿命化対策の適切な判断に寄与する。さらに、腐食マトリックスの活用を継続して、設計施工ならびに維持管理の技術開発を促し、腐食マトリックスに基づく評価を持続的に改善できる仕組みの構築が重要である。

また、既設橋梁の腐食耐性の向上に関する事例を紹介したが、既設橋梁でも改築工事レベルの改善を行えば、腐食環境の改善や腐食負荷の低減も可能である。なお、新設橋の改善手法も提案しているが、新設橋においては、腐食耐性の向上に加え、計画ならびに設計時の工夫、施工時の提案などにより、腐食環境の改善、腐食負荷の低減を図ることが可能であり、3つの評価レベルの改善が可能になる。ただし、工法の選択による腐食耐性改善効果とコストとのバランスも重要な課題である。

さらに、例示した評価レベルは現時点でのものであり、今後も、点検による既設橋のデータ分析と、対策工法の効果確認を継続し、腐食マトリックスを活用しながら改良していくことが望まれる。

※ 本様式は中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。

※ 本様式は成果報告書とともに、中間・事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。