

◆ 報 文 ◆

道路橋の維持管理に関する指標開発の取組み

玉越隆史* 小林 寛** 武田達也*** 平塚慶達****

1. はじめに

構造物を合理的に維持管理していくためには、経年的に変化する状態について、実績等のデータや科学的な根拠に基づき、「点検～予測～評価～対策」のサイクルを適切に実施していくことが重要である。また、公共性の高い道路橋などの社会インフラでは、これらのサイクルの実施にあたって維持管理行為の目標や対策などの効果について、できるだけ客観的かつ対外的にも説明性のある手法で計測あるいは評価することが特に重要である。

道路橋のような構造物の維持管理では、通常個々の部材や部位に損傷や劣化による異常が認められると、それを回復することで健全な状態が維持できるため、点検でも部材毎の状態を評価しており、これらに対しては損傷種類毎にある程度客観的な区分けが行われる。一方、利用者や管理者にとってはまず第一に道路網の一部としての橋の機能がどの程度健全なのか、あるいは今後どのように推移するのが重要であり、部材や部位毎の状態は橋全体としての状態に影響を及ぼす要因にすぎない。したがって特別な工学的知見をもたない利用者などにとっては部材や部位の変状を示されても、それに対する補修や補強の必要性やその効果を理解することは困難であり、管理者にとっても説明がしにくく合意形成の障害となるものと思われる。

そこで、道路構造物管理研究室では、道路橋を対象に点検で部材や部位毎に得られる損傷程度のデータを元にして道路橋を対象に点検で部材や部位毎に得られる損傷程度のデータを元にして、道

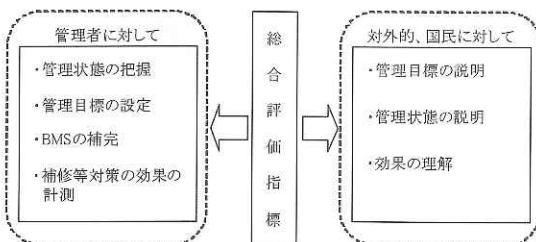


図-1 総合評価指標の利用概念

Development on Condition Index for Highway Bridges

路橋の橋全体としての機能や性能の状態をできるだけ客観的に表現できる指標（以下「総合評価指標」という）の検討を行ってきた。図-1に総合評価指標とその活用概念を示す。

2. 道路橋の総合評価指標とその表現方法

道路橋は、設計において安全で円滑な交通の確保だけでなく、大規模地震等の災害時に限定的な損傷にとどまり災害復旧活動に資することなど、様々な観点からの性能が設定されている。しかしこれらの性能全てに対応してその状態を指標化することは困難である。このため本検討では道路橋の要求性能のうち、全ての道路橋に該当し、かつ供用安全性の観点から不可欠と考えられる3つの性能（耐荷性、災害抵抗性、走行安全性）の総合評価指標を設定した。各要求性能の定義と要注意橋梁の例を表-1に示す。

なおこれらの3つの指標をさらに統合すると、結果的に評価の観点が曖昧になり、道路橋の状態

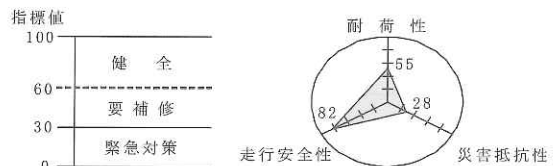


図-2 指標値の表現方法の例

表-1 緊急対策の必要な橋梁のイメージ

要求性能	定義	要注意橋梁の例
耐荷性	自動車荷重満載状態などの耐力余裕が適切に保たれていることの程度	・鋼主桁端部の断面欠損が著しく大型車の連行により、安全性に重大な影響を及ぼす恐れがある ・PC桁の広範な剥離やPC鋼線の破断があり大型車の連行により安全性に重大な影響を及ぼす恐れがある
災害抵抗性	地震等の自然災害に対する抵抗機能が健全であることの程度	・支承が著しく腐食しており、地震時に落橋の恐れがある ・基礎が著しく洗掘されており、洪水時に転倒の恐れがある
走行安全性	車両の安全な通行が確保されていることの程度	・床版が著しく損傷しており抜け落ちにより交通の安全性に支障を来す恐れがある

が理解しにくくなるものと考えられたため、これら3つの指標については、さらに統合しないこととした。また多数の部材が複雑に構成された道路橋の状態を部材単位毎のデータを元に定量的な指標で表現する場合、その精度には限界がある。したがってそれぞれの指標化にあたっては「補修等の必要性のない程度の健全状態」「早期に補修する必要性が高いと考えられる状態」「所要の性能を満足していない可能性が高い状態」の3つの区分を設定し、区分内の相対関係よりもどの区分に分類されるかについての精度を重視することとした。すなわち、図-2に示すように60点、30点の2つの閾値を設定し、健全、要補修、緊急対策の3段階の判別はなるべく工学的にも経験的にもできるだけ妥当なものとなるように調整し、各区分内での点差や序列についてはあまり厳密性を求めないこととした。

3. 道路橋の損傷データの統計的分析

3.1 概要

道路橋の損傷の発生頻度や損傷が橋梁に及ぼす影響は、部材や部位によって大きく異なる。できるだけ少ないデータで効率的かつ信頼性の高い指標が算出できるようにするため、代表的な損傷について、劣化がどのように進行するのか損傷傾向を分析し、橋梁全体の状態を代表できるデータの抽出方法を検討する。道路橋には様々な形式や規模があり、これらを一元化して分析するため、橋の規模や部材数を標準化した構造パターンに集約することとした。

3.2 分析手法

構造のパターン化は、以下の要領で、様々な形式・部材数の橋のデータを平面的な位置情報として標準化して集計した。例えば桁の腐食の分析では、全ての橋を、橋軸方向に5分割（端支部、支間中央部、その他（1/4支間、3/4支間））、橋軸直角方向に3分割（中桁、外桁）の平面区分に分割するものとし、損傷データを対応する平面区分毎に集約した（図-3）。なお、一つの平面区分に異なるレベルの損傷度データが存在する場合、最も悪いものを代表値として採用した。また桁の場合、2つの外桁のデータのうち、悪い方を代表値とした。

橋梁定期点検要領（案）¹⁾では損傷の程度を5段階（a, b, c, d, e）で評価しているが、分析では損傷データを表2にしたがって点数化し、発生位置毎に複数橋梁の損傷データの点数を加算し、

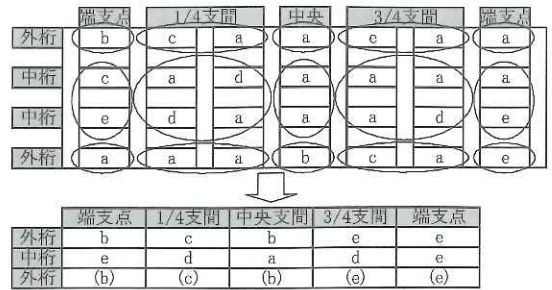


図-3 平面区分毎への損傷データの集約例

表-2 点検要領の損傷程度と点数の関係

損傷程度	a	b	c	d	e
点 数	0点	1点	2点	3点	4点

どの部分の点数が高くなる傾向があるか確認した。

3.3 分析結果

本稿では、直轄国道の平成16年度の定期点検結果のデータを用いて鋼桁の腐食、RC床版のひびわれ、漏水・遊離石灰についての分析結果を示す。損傷発生頻度のグラフ（図-4～6）では、X、Y平面に橋梁の平面区分における位置を視覚的に示し、縦軸（Z軸）に損傷点数（分析対象橋梁で合計した点数）を示している。

3.3.1 腐食

図-4から、鋼桁の腐食は桁端部で先行して進行する傾向がみられる。狭隘部である桁端部は湿気がこもるだけでなく、伸縮装置部など上部構造からの漏水の影響、支承部の滞水や塵埃の堆積などにより腐食環境に劣る場合が多いことが原因と考えられる。

3.3.2 床版ひびわれ

床版の場合、張出床版部については橋軸方向に分割せず全てのデータを1つに集約している。RC

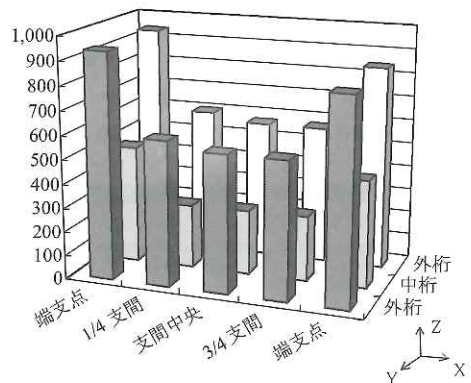


図-4 腐食の部位別損傷点数（566区間）

床版では、床版の機能に影響を及ぼすひびわれが疲労によって進行する場合が多い。特に路面段差等により自動車荷重の動的影響が大きくなる桁端部付近では劣化が進行しやすいと考えられたが、図-5に示すように平面区分別の分析結果でも端部で損傷程度が相対的に悪くなる傾向がみられた。このことから床版では端部のみ増厚したり配筋量が多くなっていることも考慮し、桁端部の2パネル程度までを当該車線方向の代表値として評価することが合理的であると考えられる。

3.3.3 漏水・遊離石灰

図-6に示すように、RC床版の漏水・遊離石灰についても、ひびわれ同様に端支点部で損傷が多

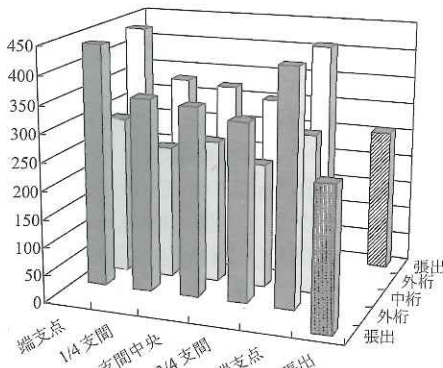


図-5 床版ひびわれの部位別損傷点数 (473径間)

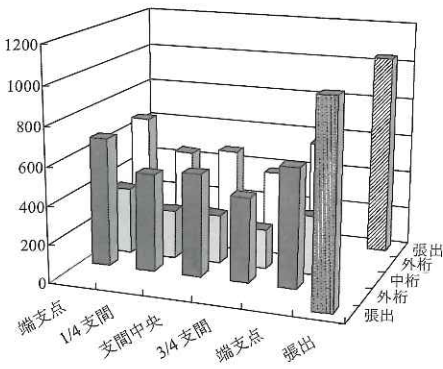


図-6 床版の漏水・遊離石灰の部位別損傷点数 (480径間)

表-3 端部が健全で、かつ端部以外に損傷が発生していた割合 (リスク率)

	腐食	床版ひびわれ	漏水・遊離石灰
外 桁	4.77%	3.81%	7.92%
中 桁	2.30%	2.96%	4.79%
全 体	7.07%	5.50%	11.88%

い傾向がみられる。また張出部の損傷が突出する特徴が現れている。

床版からの漏水や遊離石灰の析出は床版コンクリートの劣化が内部で進行している危険性があり、ひびわれと損傷の卓越するパターンが類似していることから、ひびわれ同様に桁端部から2パネル程度について着目して評価するのが合理的であるといえる。

3.4 まとめ

既往の点検結果を分析した結果、従来から経験的に損傷が出やすいと考えられていた位置で、損傷発生率が高いなど特徴的な損傷パターンが設定できるものがあることが実証できた。

表-3は、端部のみ損傷の評価を実施した場合に、損傷を見逃してしまう確率 (リスク率) を示したものである。このような分析結果を活用すると、橋の状態を評価する場合に、必ずしも全ての部材・部位で詳細なデータがなくても、桁端部の損傷データを当該桁の代表値として評価すれば、リスクの増加を抑えつつ少ないデータで効率的に評価ができると考えられる。

4. 点検結果の指標化とその利用方法

4.1 指標値の算出方法

4.1.1 要素ごとの判定

まず、損傷の種類ごとにその進行程度が評価されている定期点検等の結果を用いて、着目要素の損傷状態を4つのグレード (I~IV) に区分する。このとき着目要素に現れる複数種類の損傷については適宜組み合わせで損傷グレードを定義した。例えばRC床版の損傷では、床版ひびわれと漏水・遊離石灰を併せて評価し、床版としては1種類の損傷グレードを設けた (表-4)。

一つの部材が複数の要素からなる場合には要素

表-4 床版の定期点検結果と損傷グレードとの対応

損傷グレード	床版ひびわれ+漏水・遊離石灰 床版ひびわれ	剥離・鉄筋露出	抜き落ち
I	e	e	e
II	e	d	e
	d	e	
	d	d	
III	e	c,a	
	c	e	
	c	d	
	d	c,a	
IV	b	e	d
	b	d	
	c	c,a	

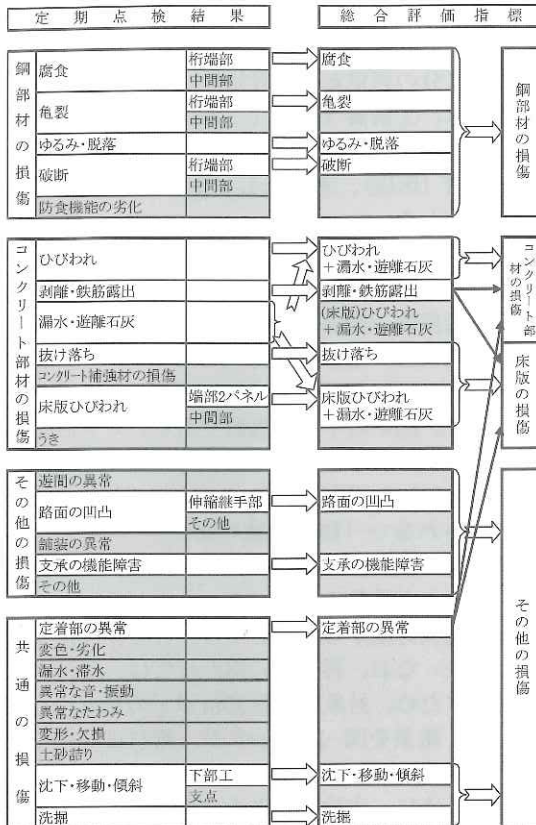


図-7 定期点検結果の指標化の概要

毎に損傷グレードが求められるが、3で述べた分析結果を活用し、それぞれの部材毎に代表値を設定できるものは代表値とした。図-7に橋梁定期点検要領（案）の点検結果から総合評価指標の算出に用いるデータの抽出・統合の概要を示す。

4.1.2 指標値の算出

表-5に部材の統合方法と重み係数を示す。多主桁のように同じ種類の部材が複数ある場合、部材ごとに図-8を用いて要素ごとの損傷グレードか

表-5 部材の統合方法と重み係数

		耐荷性		災害抵抗性		走行安全性	
		統合方法	重み係数	統合方法	重み係数	統合方法	重み係数
上部工	主桁	最悪値	1.0	平均値	0.4	平均値	0.2
	床版	平均値	0.6	平均値	0.2	最悪値	1.0
	横桁	平均値	0.2	平均値	0.2		
	縦桁	平均値	0.2	平均値	0.2		
	対傾構	平均値	0.2	平均値	0.2		
	横構	平均値	0.2	平均値	0.2		
下部工		平均値	0.2	最悪値	1.0		
支 承		平均値	0.2	最悪値	0.8	平均値	0.2
伸縮装置						最悪値	0.8

ら算出した損傷度評価点を統合して損傷度を算出する。図-9に総合評価指標の計算の流れを模式的に示す。部材ごとの判定については、それぞ

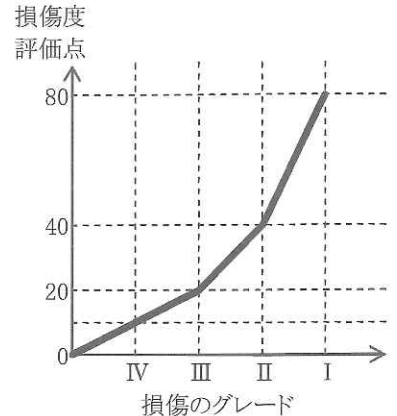


図-8 損傷グレードと損傷度評価点

重要性や橋梁全体の性能に与える影響度を考慮して、要素の最悪値または平均値を代表値とした。さらに部材ごとの代表値に対して、橋梁に与える影響を考慮した重み係数を付与し、構造単位（上部工、下部工など）毎に集約し、スパンの最悪値を用いて、その橋梁の総合評価指標とした。それぞれの重み係数の設定にあたっては、モデル橋梁に対して係数を様々に変化させた試算を行うとともに、実在する橋梁の損傷データでの試算を行い試行錯誤を重ねて設定した。

4.2 橋梁点検結果（対策区分の判定）との比較

橋梁定期点検要領（案）¹⁾では、橋梁部材の損傷程度の評価とは別に、損傷の進行状態や環境条件、構造形式等の様々な要因を総合的に判断し、当該橋梁の供用の安全性を確保するための対策区分の判定（部材ごと、損傷種類ごとに補修の必要性、詳細調査の必要性を判定）が実施されている。そこで平成15年～17年に定期点検を実施した橋梁を対象として、定期点検結果から算出した総合評価指標と、橋梁の専門的な知見を有する検査員による対策区分の判定を比較することで、総合評

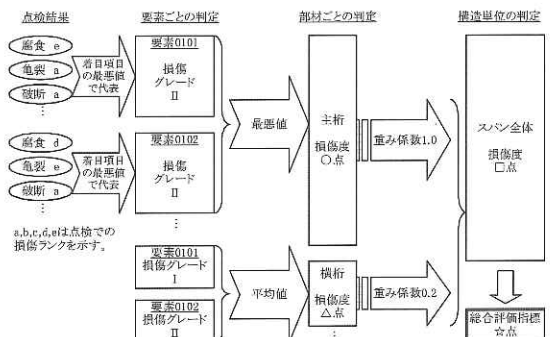


図-9 総合評価指標の計算の流れ

表-6 橋梁定期点検要領(案)における対策区分の判定

区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない
B	状況に応じて補修を行う必要がある
C	速やかに補修等を行う必要がある
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある
E2	その他、緊急対応の必要がある
M	維持工事で対応する必要がある
S	詳細調査の必要がある

価指標の妥当性を検証した。対策区分の判定は部材毎に、環境条件、構造形式、使用条件、各種履歴を勘案し、点検結果とは独立して、補修の要否や緊急対応の必要性など当該橋梁に維持管理上どのような対策をすべきと考えられるかという観点で判定されている(表-6)。したがって、総合評価指標と評価内容は一致しないが、緊急対策の要否の判定であるE1、E2を除くとSとMを詳細調査または維持工事での対応が必要な程度の状態としてBとCの間に位置づけ、A～B～S,M～Cの

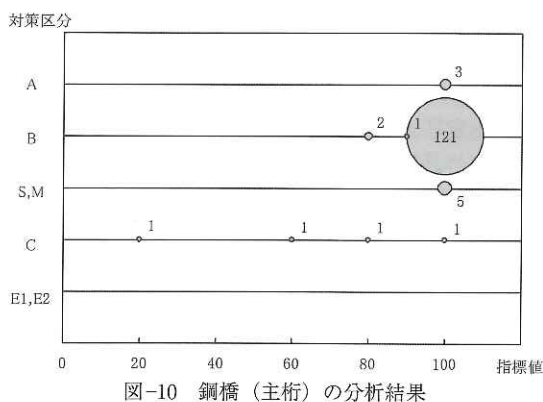


図-10 鋼橋(主桁)の分析結果

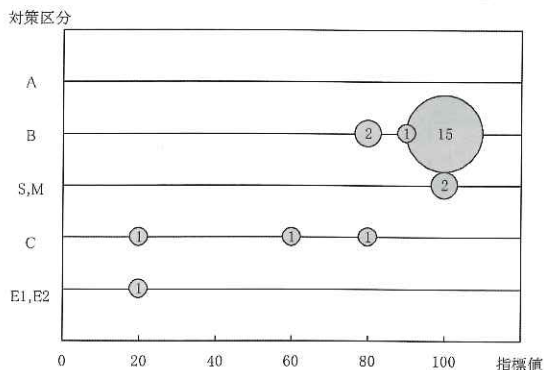


図-11 鋼橋(主桁)の再分析結果

序列で橋梁の健全性が損なわれている程度の大小に概ね関係づけられると考えた。

対策区分の判定と総合評価指標算出結果の関係の分析は、①鋼橋(主桁)、②鋼橋(床版)、③鋼橋(支承)、④コンクリート橋(主桁)、⑤コンクリート橋(床版)、⑥下部工(橋台、橋脚)の6項目で実施した。

なお、比較対象とする指標値は、表5に示している統合方法で最悪値としているもの、すなわち、主桁は耐荷性、床版は走行安全性、下部工と支承は災害抵抗性の指標値と比較した。

図-10に鋼橋(主桁)の分析結果をバブルチャートで示す。図中数字は該当数である。対策区分の判定がBやCにもかかわらず指標値が100点(健全)となるものが現れたが、これらは指標値の計算上考慮されない「防食機能の劣化」「コンクリート補強材の損傷」「うき」「漏水・滞水」が影響していることが乖離の原因であった。したがってこれらを比較対象から除外して再分析を実施することとした。なお、再分析にあたっては、データ数を増やすため、対象は橋長15m以下の橋梁にも拡大した。結果を図-11に示すが、概ね良好な結果が得られた。

このように、点検データから機械的に算出を行うことによる精度や信頼性の限界はあるものの、橋梁全体の状態を総合的な指標によって定量的に評価できる可能性のあることが示せた。

4.3 総合評価指標の活用方法

図-12に実在路線の橋梁群に対して本研究で構築した総合評価指標を計算した結果を示す。ネットワーク上のどの位置の橋梁がどのように機能上の障害となる危険性があるのかなどが視覚的に捉えやすくなっている。さらに迂回路の条件や緊急輸送路などの路線条件、交通量など様々な要素と組み合わせて評価する手法を確立することで、対策箇所の優先順位づけや対策効果の計測・説明など計画的な維持管理に資するツールとなる可能性があるものと考えている。

5. おわりに

点検結果をもとに道路橋の機能や性能の状態を示す定量的な指標の構築を試み、複数の観点の評価軸を用意することで専門的知見に基づく経験的な評価と概ね整合する実用的な総合評価指標が構築できる可能性を示せた。

今後は、さらに多くのデータを用いてキャリブレーションを行い、総合評価指標としての信頼性

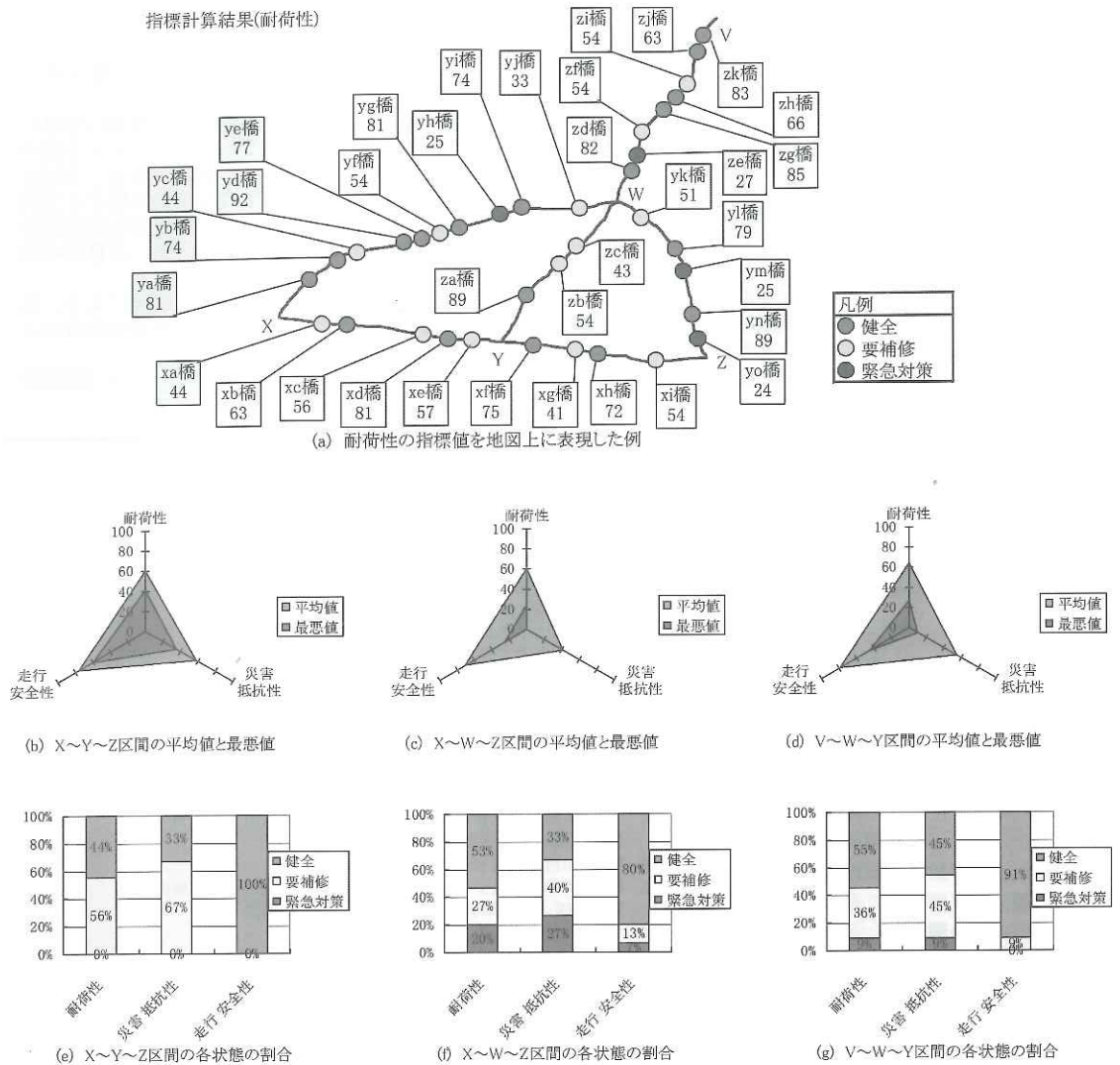


図-12 路線別橋梁群の管理状態を表現した例

を高めていくとともに、総合評価指標の活用手法についても現場のニーズにあうものとなるよう引き続き検討をすすめる予定である。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局国道・防災課：橋梁定期点検要領(案), 2004.3.

玉越隆史*



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室長
Takashi TAMAKOSHI

小林 寛**



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室主任研究官
Hiroshi KOBAYASHI

武田達也***



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室研究官
Tatsuya TAKEDA

平塚慶達****



国土交通省国土技術政策総合研究所道路研究部道路構造物管理研究室交流研究員
Yoshisato HIRATSUKA