

既設道路橋の性能評価手法に関する検討

Research on Performance Evaluation Method for Existing Highway Bridges

(研究期間 平成 21 年度)

道路研究部 道路構造物管理研究室
 Road Department Bridge and Structures Division
 主任研究官 関谷 光昭
 Senior Researcher Mitsuaki Sekiya
 研究官 生田 浩一
 Researcher Kouichi Ikuta
 交流研究員 加藤 浩一
 Research Engineer Kouichi Kato

室長 玉越 隆史
 Head Takashi Tamakoshi
 研究官 池田 秀継
 Researcher Hidetsugu Ikeda
 交流研究員 小沼 恵太郎
 Research Engineer Keitaro Konuma
 交流研究員 藤田 知高
 Research Engineer Tomotaka Fujita

The influence of existing bridge's damage on its load-carrying capacity was examined. Through analytic approach, several models in each condition (sound, shifting and damaged) were made and load-carrying capacities in each condition were calculated. On the other hand, the load-carrying capacities of damaged girders were also tested with experimental approach.

【研究目的及び経緯】

複雑な構造体である道路橋では解析モデルにおいて省略された部材も応力を分担するなど設計上の仮定と実構造の挙動が基本的に一致せず、新設時にはこれらを考慮して安全側となるように設計される。しかし経年によって様々な変状が生じた既設橋に対してこのような新設時の設計手法をそのまま適用すると、実際には荷重分担している部材の効果が無視されるなどの不合理が生じると同時に、変状による部材性能の低下については適切に考慮されないため、安全が担保されない恐れもある。そのため現有性能を正當に評価し、合理的な維持管理を実現するためには、新たに設計する場合とは異なる、実構造系の耐荷力機構と損傷等の変状による影響を適正に評価できる耐荷力評価手法を確立する必要がある。

本研究では、基礎的検討として、損傷等によって設計時とは異なる特性を有する部材を考慮するに際し、異なる方法でモデル化して試算を行い、モデル化の相違が結果に及ぼす影響について検討を行った。

【研究内容及び研究成果】

既設橋における代表的な損傷に着目し、その影響を複数の異なるモデルで表現した構造解析モデルを作成して自動車荷重に対するそれぞれの耐荷力の試算を行った。

また実際に供用されていた部材を用いて作成した供試体による載荷試験と再現解析を行い劣化損傷の影響について検討を行った。

(1) 構造解析モデルの検討及び耐荷力の試算

既設道路橋の施工実績が多く、耐荷力への影響が懸念される代表的な損傷が発生している橋梁形式を検討対象として、損傷した部材の変状による有効断面、床版と桁間の結合状態、横桁等の荷重分配効果の程度及び幅員を変化させた構造解析モデルを構築し耐荷力の試算を行い、橋梁構造系全体の性能に及ぼす影響についてモデル化レベルと評価結果の関係について整理を行った。ただし、供用安全性に問題となる重大損傷は緊急個別対応案件として今回検討対象外としている。検討対象橋梁形式を表-1に、検討対象損傷及び構造解析モデルの一例を表-2、3にそれぞれ示す。

表-1 検討対象橋梁形式

橋梁形式	床版橋	1 RC中空床版橋
		2 PC中空床版橋
		3 非合成I桁橋
	鋼桁橋	4 合成I桁橋
		5 非合成箱桁橋
		6 鋼床版箱桁橋
	PC桁橋	7 プレテンI桁
		8 ポステンI桁
		9 箱桁
	構成部材	10 トラス橋
11 鋼床版		
12 床組(縦桁、横桁)		
	13 RC床版	

表-2 検討対象損傷
(鋼合成I桁橋)

対象損傷	検討想定 損傷状況
1 腐食	主桁剛性低下
2 き裂	対傾構の損傷
4 破断	対傾構の損傷
11 床版ひびわれ	主桁剛性低下
16 支承の機能障害	支承回転不能
24 土砂詰まり	支承回転不能

鋼合成 I 桁橋の解析モデルは主桁支間長 60m、横桁支間長 6m、縦桁支間長 8m、総幅員 10.7m (有効幅員 9.5m : 2 車線) の単純桁を標準形式として平面格子解析モデルにてそれぞれの損傷状態における耐荷力を試算した。主桁の外桁の桁端部又は支間中央部の下フランジが腐食損傷した場合の解析結果を図-1に示す。

図-1の解析結果より、腐食損傷の進行に伴い損傷部材 (G1) では断面力が減少し、健全部材 (G2) での断

表-3 構造解析モデル（鋼合成I桁橋）

損傷状態		解析モデル(平面格子解析)	
ヤング係数比 n=7	①健全時	G1 G2	①健全時
ヤング係数比 n=7	②移行 (下フランジ 50%腐食損傷)	損傷箇所 G1 G2	②移行 (下フランジ 有効断面50%)
ヤング係数比 n=7	③損傷 (下フランジ 100%腐食損傷)	損傷箇所 G1 G2	③損傷 (下フランジ 有効断面0%)

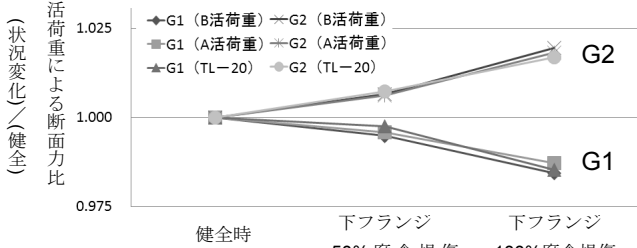


図-1 解析結果（支点反力：支点腐食時）
（鋼合成I桁橋）

面力は増加するという橋梁構造系全体の断面力のバランス変動が発生することは平面格子解析モデルにて評価可能と考えられる。しかしながら、実構造における腐食の影響としては、柱部材として設計される支点部の鉛直力に対する座屈強度の低下等を正確に反映する必要があることから、道路橋示方書に示される座屈強度について柱としての座屈（細長比）や局部座屈との連成を考慮した耐荷力照査式による試算を行い平面格子解析モデルとの比較を行った（図-2）。その結果、解析手法の相違による耐荷力の試算結果に乖離が確認され、平面格子解析モデルでの耐荷力評価手法における課題が抽出された。

今後、局部的な損傷等に対しても正確に照査を行える要素単位での影響を反映できる解析モデル化手法等の検討を行い、簡便かつ安全側に反映できる耐荷力評価手法の検討を行う。

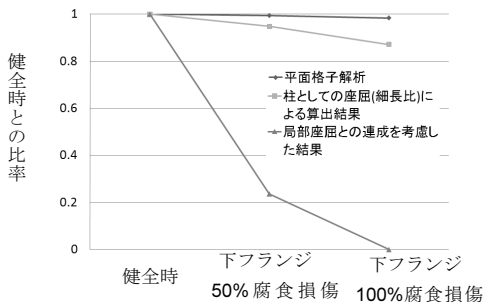


図-2 解析手法の違いによる耐荷力比較結果

(2) 損傷部材の耐荷力試験

経年劣化による腐食減厚やき裂損傷が、部材の耐荷性能に及ぼす影響を確認するため、実際に供用されていた部材を用いて支点部に腐食やき裂を人工的に発生させた供試体を製作し、表-4 に示す4パターン

の試験を実施した。

表-4 試験ケース

試験ケース名	具体の損傷	載荷位置
B-1	支点部腐食	支間中央
B-2	支点部腐食+き裂	支間中央
B-3	支点部腐食	支点直上
B-4	支点部腐食+き裂	支点直上



図-3 経年劣化した部材の試験体

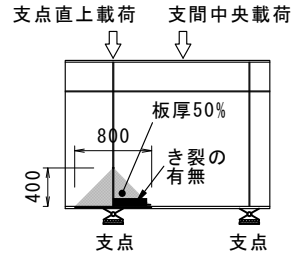


図-4 試験概要図（経年劣化）

図-5 より載荷位置に拘わらず、ウェブ及び垂直補剛材に発生する主応力度は、き裂の有無により異なり、き裂を伴う場合には垂直補剛材に応力が集中する傾向を示した。このことから、本試験で想定したレベルのき裂を伴う損傷がある場合には、ウェブ及びフランジへの応力伝達機構の不具合が発生し、本来ウェブが負担すべき応力を補剛材が負担することで、補剛材が早期に損傷し、主部材の損傷につながる危険性が示された。また、これらの試験結果はFEM解析による再現解析においても精度良く再現された。

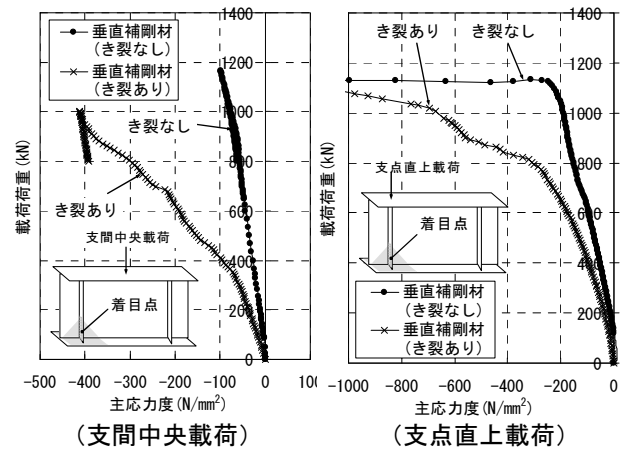


図-5 試験結果

[成果の発表]

各種論文等で発表する予定。

[成果の活用]

今後、既設道路橋の実構造系の耐荷力機構及び着目箇所にて特化した損傷等の変状を反映できる構造解析モデル及び評価手法の検討を進めるとともに、損傷部材の載荷試験及び再現解析を実施し、部材の損傷を反映した橋梁の評価手法を確立し現性能を最大限に活用した合理的な維持管理の実現に反映する予定。

道路橋の維持・管理標準に関する検討

Research on standardization for renewal investment of highway bridges

(研究期間 平成 21 年度～)

—道路橋定期点検等の合理化・標準化に関する調査—

—Research on the rationalization and standardization of highway bridge inspection—

道路研究部 道路構造物管理研究室

Road Department, Bridge and Structures Division

研究官 北村 岳伸

Researcher Takenobu Kitamura

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

交流研究員

Research Engineer

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

大久保 雅憲

Masanori Okubo

藤田 知高

Tomotaka Fujita

In order to establish a rational periodic bridge inspection manual which every road administrator can use, NILIM conducted analysis on trend of generation and progress of damage, recommendation of countermeasure, and so on using bridge inspection data collected by MLIT since 2004 when the periodic bridge inspection manual for national highway bridges was revised.

【研究目的及び経緯】

我が国の社会資本は、これまでに蓄積されてきたストックのうち高齢化したものの割合が今後急速に増加するという課題に直面することから、これからは、施設の状態を定期的に点検・診断し、異常が認められる際には致命的欠陥が発現する前に速やかに対策を講じ、ライフサイクルコストの縮減を図る「予防保全」の考えに立った戦略的な維持管理・更新を実施していく(平成 21 年 3 月 31 日閣議決定)とされている。このためには、データに基づく科学的な維持管理に移行する必要があり、さらには、管理者の別を超えて全国に形成された道路ネットワークとしての機能を維持、向上させていくことが重要となるものと考えられる。

これらを踏まえ、本研究では、効率的に地方公共団体が管理するものを含む全国の道路橋の状態を統一的な観点で把握するため、各道路管理者間に共通して適用される合理的な定期点検標準の策定に向けた検討を実施した。

【研究内容】

直轄道路橋における定期点検は、橋梁定期点検要領(案)(平成 16 年 3 月、国道・防災課)に基づき、供用後 2 年以内の初回点検、その後は 5 年間隔で実施しており、現在までにほとんどの橋梁について統一的な手法で把握された点検データが蓄積されている。一方、地方公共団体においては、定期点検の必要性を認識しつつも予算や人員の制約から点検が行われていないケースも多い。

本研究では、将来の維持管理の合理化・高度化に資

するよう、また地方公共団体の点検導入に資するよう、点検体系を整理した上で、直轄道路橋の近接目視で網羅的に取得されてきた膨大な点検データに対して、部位や架橋環境などの条件毎に損傷の発生状況や進行速度などに着目した傾向や特徴の分析、及び一次診断である対策区分の所見の分析を実施した。

【研究成果】

1. 点検体系(レベル)の整理

直轄道路橋における点検は、主として橋面に現れる重大な異常を早期に発見する通常点検、損傷状況や機能状態を網羅的かつ比較的詳細に調査する定期点検、塩害等の特定事象や、地震等の発災時など特定条件に対応した点検など、同じ橋に複数の点検を体系化し、組み合わせる実施している。各点検のレベルを表-1 に示す。各点検には損傷把握の限界もあり、これらの組合せと頻度の設定で、いわば管理水準が決定されることとなる。橋梁構造の安全性や第三者被害に関わる全ての事象をいかに把握するか、予防保全のために損傷発生の兆候をいかに早期に把握するかを、道路管理者として総合的に判断して体系化することが求められる。

2. 初回点検結果の分析

損傷の発生割合と橋梁の健全度に与える影響度を勘案し、初期損傷に対する対応方針を整理した結果を、図-1 に示す。②リスクの個別回避・低減及び③リスクの計画的回避・低減に該当する損傷については、詳細調査を行い損傷原因を特定して個別の対応を図るとともに、対策を設計・施工時の基準等へ反映させる等計画的に LCC 縮減と長寿命化を図ることが重要であると

表-1 各点検のレベル

点検の種類	目的	頻度	点検方法	把握可能な損傷			点検の限界	課題
				対象部位・部材	損傷の種類	損傷発生から把握までの期間		
通常点検	主として橋面に現れる重大な異常を早期に発見する	毎日	車内からの目視	・道路/バトの助手席から、通常の走行速度において、見渡せる範囲	・舗装の異常やたわみ等主として橋面に現れる異常で、前回(前日)からの変化が顕著なもの	・巡回間隔(ほぼ24時間)以内	・路面に現れる顕著な異常以外は、ほとんど把握不可能	・道路のサービス水準に応じた頻度の設定
定期点検	橋梁の損傷状況の全貌を把握し、健全度の診断を行う	供用後2年以内 その後5年毎	近接目視	・全部位・全部材(地中部・水中部・部材内部は除く。)	・近接目視で、症状が把握可能なもの	・突発的なものは、重大損傷であっても、次回定期点検時(最長5年後)	・症状が既に表面に現れているものに限られる。 ・地中部・水中部・部材内部の状況は、地表面又は表面に症状が間接的に現れるものに限られ、間接的把握が可能	・一律、全部材5年毎の合理化 ・水中部、地中部、部材内部の特定点検の制定 ・塩害…策定済み(予防保全) ・第三者被害…策定済み(突発的)
中間点検	定期点検を補う	定期点検の中間	可能な箇所は近接目視、その他は遠望目視	・全部位・全部材(地中部・水中部・部材内部は除く。)	・近接目視又は遠望目視で、症状が把握可能なもの	・同上	・遠望目視箇所では、小規模な損傷(き裂、ひびわれ等)は、通常、把握不可能 ・遠望目視不可箇所も存在	・遠望目視(不可)箇所の縮小・解消(検査路の設置等)
特定点検・塩害	塩害に対する予防保全を図る	10年毎	塩化物イオン試験	・下部構造、上部構造	・塩害を原因とする損傷	・一般的には、10年間で塩害が著しく進行し、手遅れとなることはない。	・特になし	・特になし
特定点検・第三者被害	コンクリート部材の一部が落下して第三者に与える被害を予防する	2~3年毎	打音検査	・第三者被害の可能性のあるコンクリート部	・うき	・適切な頻度は不明であり、被害の起きる危険性は否定できない。	・特になし	・恒久対策として、事前の落下防止策(落下防止ネットの設置等)の実施
異常時点検(災害時)	地震や台風などの災害が発生した場合に、橋梁の安全性を確認する	災害発生時	可能な箇所は近接目視、その他は遠望目視	・災害に応じて、損傷が想定される部位・部材を中心	・地震:下部構造の沈下、傾斜、大きなひびわれ、支承部の異常等 ・洪水:下部構造の洗掘、沈下、傾斜等	・災害に伴うある程度の規模を伴うものは、即時に把握可能	・遠望目視箇所では、小規模な損傷(き裂、ひびわれ等)は、通常、把握不可能 ・遠望目視不可箇所も存在	・遠望目視(不可)箇所の縮小・解消(検査路の設置等)
異常時点検(臨時点検)	橋梁に予期していなかった異常が発見された場合に、同種の事象が生じる恐れのある橋梁の安全性を確認する	異常事象発生後	個別に設定	・個別に設定	・当該異常事象	・部度にはなるもの、ほぼ即時に把握可能	・異常事象による	・(全国一斉)点検の必要性の判断

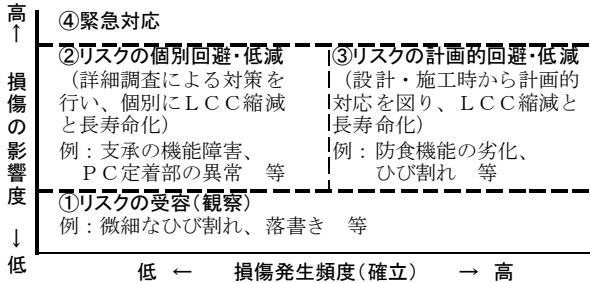


図-1 初期損傷に対する対応方針

考えられる。

3. 点検頻度に関する分析

損傷の特徴について、部位別、架橋環境別の分析を行った。鋼主桁の腐食の例を図-2、-3に示す。同一主桁において、桁端部が中間部に比べ損傷程度が悪く、損傷の進行も端部が中間部に比べて早い傾向がある。架橋環境においては、凍結防止剤の散布頻度と高い相

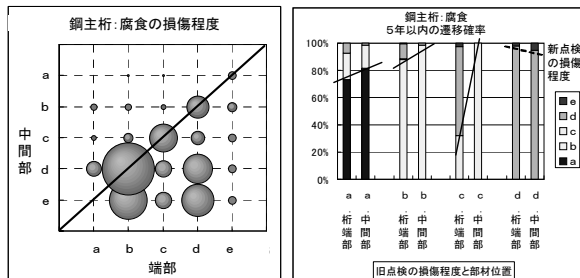


図-2 部位別の損傷状況

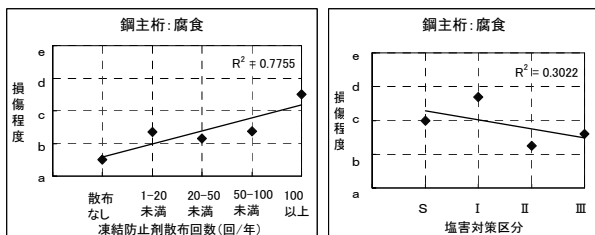


図-3 架橋環境の違いによる損傷状況

関が見られ、海岸からの距離が近くなるほど損傷程度が悪化する傾向が見られた。今後、他の部材においても同様な分析を進め、道路管理者が点検頻度を選択する際の参考資料としてとりまとめる予定である。

4. 対策区分の判定に関する分析

道路管理者が損傷に対する意思決定を行う際に参考となる対策区分と損傷程度との相関を、鋼主桁の腐食を例に図-4に示す。同一の損傷程度であっても、損傷原因、今後の進行、橋梁の安全性に与える影響等を技術者が総合的に判断していることから、当然、対策区分は様々であり、客観的事実の損傷程度と2本立て評価の必要性が確認された。一方、対策区分の判定理由は、「C：速やかな補修等が必要」においては、耐荷性(安全性)確保の観点からと耐久性確保(予防保全)の観点からに2分された。両者は趣旨を異にしており、対策区分の細分化の必要性が示唆された。

また、「S：詳細調査が必要」において、補修規模を明確にするための理由とするものも見られた。補修等を行う際は通常、原因を究明し、適切な補修工法、規模を決定するために詳細調査が行われることから、「S」は適切でないと考えられ、点検要領の解説を充実させる必要性が認められた。

【成果の発表】

国総研資料及び各種論文等で発表予定。

【成果の活用】

定期点検要領(案)の改訂、定期点検標準(案)の策定に反映。

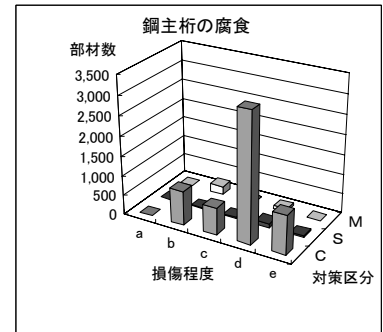


図-4 損傷程度と対策区分

道路構造物群の管理水準に関する検討

Research on maintenance level of road structures

(研究期間 平成 21 年度～)

道路研究部 道路構造物管理研究室
Road Department, Bridge and Structures Division

研究官 北村 岳伸
Researcher Takenobu Kitamura

室長 玉越 隆史
Head Takashi Tamakoshi
主任研究官 大久保 雅憲
Senior Researcher Masanori Okubo
交流研究員 藤田 知高
Research Engineer Tomotaka Fujita

From the viewpoint of the road network function, we identified functions required to road structures such as bridges, pavement, tunnels and earthworks, proposed common indices which indicate performance on those functions and are applied to any road structure, and developed the method to evaluate network by using the indices.

【研究目的及び経緯】

道路ネットワークは、橋梁、舗装、トンネル、土工等、様々な種類の構造物から成り立っている。一方、近年、新設構造物に対しては機能的な性能に着目した基準に基づく整備が進められつつあり、既設構造物に対しても機能面から性能状態に着目して合理的に管理しようとする検討が進められている。道路構造物も将来的には、橋梁、舗装、トンネル、土工等の個々の機能のみならず、道路ネットワークの機能との関わりの中でその性能を評価して、全体として調和のとれた合理的な整備や管理を行うことが必要と考えられる。

こうした状況を踏まえ、道路ネットワークの観点から道路構造物群に求められる機能を整理し、当該機能の性能状態を構造物の種類に拘わらず共通の指標で表す方法を検討し、得られた指標を用いてネットワークを評価する手法の検討を実施した。

さらに橋梁に関しては、他の道路構造物に先行して、将来の機能状態の予測を視野に、損傷の劣化予測を高度化する手法についての検討を実施した。

【研究内容】

1. 橋梁の劣化予測の高度化

直轄道路橋の定期点検で取得されてきたデータに対して、塩害地域や大型車交通量等の架橋環境の条件毎に損傷の発生時期と程度に着目した傾向や特徴の分析を実施した。

2. 道路構造物群の共通指標の設定

道路構造物の維持管理状態や現有性能についての最新情報を管理者や利用者をはじめ国民が等しく理解し、補修や補強、通行制限などの措置が適時適切に行われるようにするため、構造物の状態を分かりやすい形、すなわち、構造物の種類を問わず共通の指標で評価す

る手法について、既存の点検結果の活用を前提に検討した。

3. 道路ネットワーク上での評価手法

上記指標を用いて道路ネットワークの状態を俯瞰する一つの方法として、行政目的達成の検討に必要な情報あるいは企業BCP策定に有益と考えられる情報を抽出し、これらを指標と合わせてマップに表現する手法を検討した。

【研究成果】

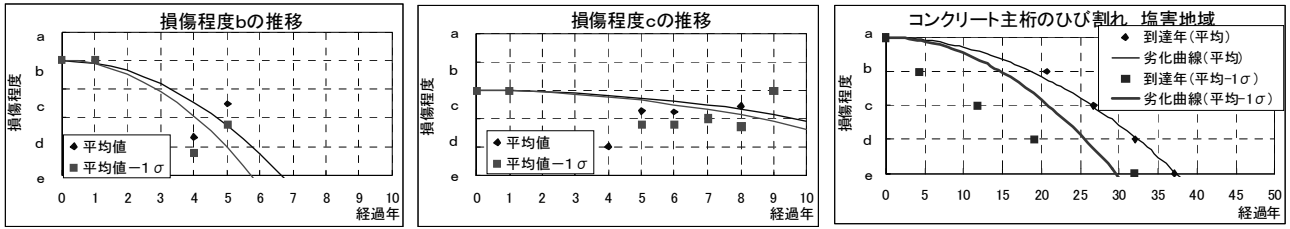
1. 橋梁の劣化予測の高度化

橋梁の健全度予測手法には、寿命を設定する方法、理論的な劣化予測式による方法、点検結果等の実績を統計的に分析する方法、遷移確率を用いた方法がある。コンクリートの塩害を例にとると、現在国土交通省で運用されている方法は理論式である。過年度、2回の点検結果の推移を分析し、遷移確率による方法の試案を作成した。今年度は、各損傷程度に至る経過年数の平均値を用いた予測式の試案を作成した。図-1に、過年度の結果とあわせて示す。橋梁毎に架橋環境は異なり、それを一つの方法で予測するには限界もあるものの、3方式の長短を検討しつつ精度向上に取り組む予定である。さらに、今後は、各損傷の劣化予測に加えて橋梁の機能状態（後述の指標）の将来予測、保全シナリオの違いによるライフサイクルコスト算出などの資産価値予測に取り組んでいく予定である。

2. 道路構造物群の共通指標の設定

(1) トンネル、土工の損傷程度の評価

開発中の橋梁の機能状態を現す指標は、各部材の損傷程度を客観的に評価した結果に対して、部材の重要度を勘案して算出するものである。トンネル、土工に



(ア) 遷移確率による劣化予測 (抜粋) (過年度) (イ) 経過年数の平均による劣化予測
 図-1 コンクリートの塩害の劣化予測

についても同様な考え方で指標を算出するため、現在各点検で行われている安全性に対する技術者評価に加え、損傷図と損傷写真を分析して、損傷程度を客観的に評価できるように、さらには損傷が構造体の健全度と与える影響をある程度反映できるように、橋梁定期点検要領(案)に準じた試算を作成した。なお、これによりデータが蓄積されれば劣化予測にも活用できるようになる。例えば、トンネル覆工のひびわれパターンの設定や規模の5区分化である。

(2) 道路構造物群の総合評価指標

上記試算を用いて算出した指標値を、点検時に技術者が安全性の観点から評価した結果と対比させて図-2に示す。指標は、全ての道路構造物に該当し、かつ、供用性や安全性の観点から不可欠と考えられる3機能、「交通荷重を安全に支持できることの信頼性」を表す耐荷性、「地震等の災害時に想定していた所要の安全性等の性能(緊急車両の通過、速やかな復旧など)が発揮されることの信頼性」を表す災害抵抗性、「日常的な利用において安全・快適な車両走行が保証されることの確実性」を表す走行安全性としており、トンネル、土工に求められるのは後2者である。図中に丸で囲った構造物は、技術者の判定よりも指標が安全側の結果となっている。トンネルにおける災害抵抗性での不一致は、技術者判定はコンクリート片落下などの走行安全性のみに着目したものであるためである。切土における不一致は、オーバーハングなどの地形が崩壊性要因を有する場合であり、本指標はこのような地形条件を算出に用いていないため、今後の課題である。

3. 道路ネットワークの性能マップの試作

構造物毎の指標をもとに区間の指標を算出する方法として、①相対的な安全性の評価には全構造物の平均値、②通行止めとなる可能性の評価には最低値、③健全性確保に必要な費用規模の評価には30点未満の構造物数、が考えられる。区間の持つ機能としては、①管理水準・優先度(災害時の啓開優先度)、②使用性能・機能性(交通量、走行性)、③代替性(通行止めの影響度)に分類することが考えられる。これらを組合せて地図表記するイメージとして、区間の指標は最低値(色で区分)、区間の機能は緊急輸送路の指定(太さで区分)として図-3に示す。ネットワーク状態の可視化が図れ、整備水準・管理水準の評価ツールとして有効となるものと考えられる。

[成果の発表]

国総研資料及び各種論文等で発表予定。

[成果の活用]

道路構造物群の管理状態の評価手段の一つとして行政等での活用を働きかけていくとともに、企業BCPへの支援情報としての価値をヒアリング予定。

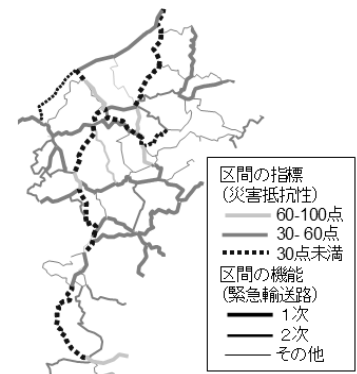


図-3 ネットワークの性能マップ (イメージ)

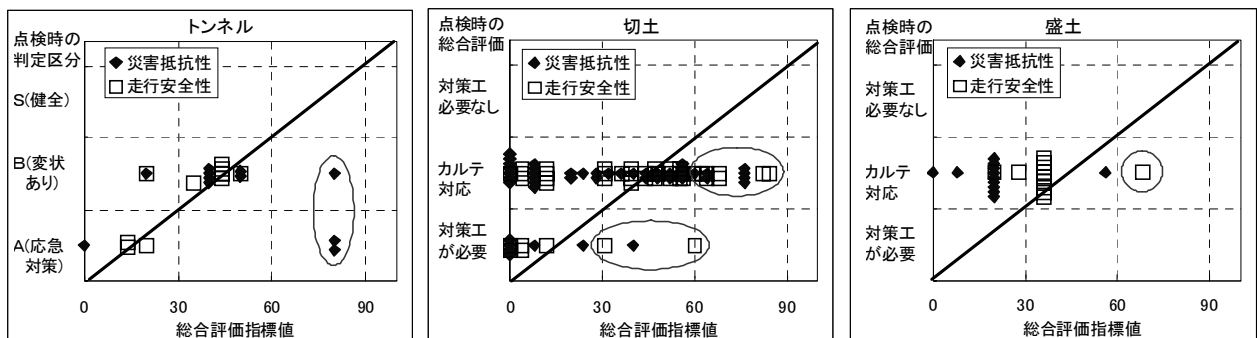


図-2 トンネル、切土、盛土の総合評価指標と点検結果の対比