

領域 8 : 大切な道路資産を科学的に保全する

道路構造物の総合的アセットマネジメントシステムの構築のための調査

Study to establish comprehensive asset management system for road structures

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室
Road Structure Department
Bridge and Structures Division

研究官 宮原 史
Researcher Fumi MIYAHARA
交流研究員 中邨 亮太
Research Engineer Ryota NAKAMURA

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
交流研究員
Guest Researcher

星隈 順一
Takashi TAMAKOSHI
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
河野 晴彦
Haruhiko KONO
松村 裕樹
Yuki MATSUMURA

NILIM studies how to utilize inspection data to make bridge management more strategic and rational. Using periodic bridge inspection data this study has modeled mean variant deterioration characteristics as a function of applied design specifications, materials types, structural element types, surrounding conditions and so on. This study also has shown that such deterioration characteristics will affect a huge variation in the life cycle costs estimation.

[研究目的及び経緯]

中長期的な維持管理の合理化のために道路構造物の維持管理に関わるデータを収集・蓄積し、分析することが期待されている。国が管理する道路橋では、効率的な予防保全を行うための知見を得ることも目的に、平成 16 年以降、定期点検において、従来の部材単位での診断に加え、さらに細かく分けた要素単位での客観的かつ詳細な状態記録を蓄積してきている。この詳細な状態記録を統計的に整理することで、劣化特性の把握や部材の状態予測のための遷移確率及び劣化曲線の作成ができる。また、これらの劣化特性が得られ、さらに、補修を行うと判定する状態指標と補修を行う範囲、補修単価を仮定すれば、将来の維持管理費(以下、LCC)について何らかの計算値は得られる。しかし、問題は信頼性と解釈である。

橋梁の劣化過程は、本来ばらつきが大きいことから、LCC の計算結果を確定的に扱うことができず、計画策定時には、計算結果の取り扱いに注意を要する可能性が高い。また、実際の補修判断は、その時々で工学的に行うが、LCC 計算上の補修判断は、補修を行うと判定する状態指標と補修を行う範囲、補修単価の仮定に応じて得られるが、実際とは常に異なる。仮定方法には正解がないため、仮定方法の違いが LCC 計算結果にどのように影響を及ぼすのかも維持管理計画策定時に、注意を払うべきと考えられる。

そこで、本研究では、まず、点検結果を分析し、ばら

つきを含めた経年劣化特性をモデル化した。次に、劣化のばらつきと補修を行う状態の違いが個々の橋梁の LCC 計算結果に与える影響を整理した。

[研究内容及び成果]

1.劣化特性に関するデータ集の作成

本研究では、必ずしも実際の劣化を再現するものではないものの、様々な推計に使えるように、橋梁定期点検結果から要素データを集計し、主要な部材の主要な損傷に対して、劣化特性をモデル化した。

国の定期点検では、診断とは別に詳細かつ客観的な状態データを取得している利点を生かし、劣化モデル

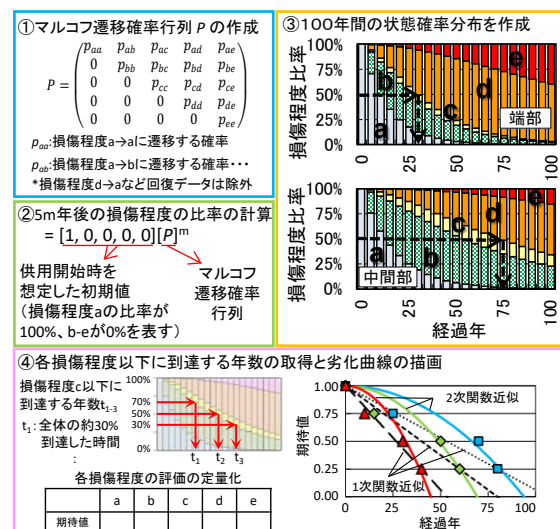


図 1 劣化特性データの作成の流れ(鋼主桁腐食の例)

は、架設環境、構造形式、部材の平面的な位置などの条件を組み合わせた合計 272 通りの条件で求めた。それぞれ、マルコフ遷移確率行列、状態確率分布、劣化曲線を作成し、データ集として取りまとめた。劣化のばらつきは上位・中位・下位の劣化曲線として、状態確率分布を基に期待値および期待値周りのばらつきを求め、数種の関数近似によって表した。(図 1)

2. LCC 推計の課題

一般的に、状態データを利用した LCC の計算は、以下の流れで行われる。

- ①各部材と各損傷種類に劣化特性を仮定
- ②試算条件 i)~vi)の仮定
 - i)評価期間、ii)補修を行う状態、iii)補修を行う範囲
 - iv)補修工法、v) 補修単価、vi) 補修後の部材の状態
- ③各部材の劣化予測と補修判定
- ④補修が必要な場合、部材状態の回復と費用の計上
- ⑤評価期間中、③~④を繰り返し計算

しかし、部材の劣化はばらつきが大きく、損傷種類や損傷部位などにも劣化の特徴が異なる。また、補修を行う状態や補修を行う範囲の与え方については、予め仮定する必要があり、その設定法に正解はない。

そこで、これらのばらつきや仮定の違いが LCC の計算結果に与える影響をモンテカルロシミュレーション(以下、MCS)を用いて調べた。劣化のばらつきは、1. で作成した遷移確率を基に、5年毎に各部材、各要素の損傷程度を確率的に得ることで考慮できる。

補修の判定方法の仮定は、以下の 2 通りを考えた。いずれも定期点検と同じ損傷程度評価 a~e (a は最小の被害、e は最悪の被害を示す) を用いるが、一つ目の仮定は、1 つの要素が損傷程度 d または e に達した時に補修を行うと判定する。このとき、その要素を含む部材のみならず径間全体を損傷程度 a に回復させ、補修費用を計上し LCC を算出する。これは、全体的に劣化の進行が早く、ばらつきが小さい特性を有する部材に対して合理的と考えたものである。何故ならば、1 つの要素が d に達した時、他の多くの要素も劣化が生じ始めており、次の点検時には一斉に劣化が広がっている場合が想定されるためである。

もう一つの仮定は、状態確率分布(図 1-③)の損傷程度の推移を利用し、径間内の損傷程度 d 及び e の発生率が 20%を超えた時に補修を行うと判定する。このとき、損傷程度 d や e の要素のみならず径間全体を損傷程度 a に回復させ、補修費用を計上し LCC を算出する。これは、全体的に劣化の進行が遅く、ばらつきが大きい特性を有する部材に対して合理的と考えたものである。何故ならば、1 つの要素が d や e に達した時、他の多くの要素は損傷がないか軽微な損傷状態あり、時間を掛

けて劣化が広がる場合が想定されるためである。

3. 将来の維持管理費用の試算

対象は、1970 年代に架設された単径間単純非合成鉄桁橋(橋長 20.2m、全幅員 10.45m)である。当該橋の点検結果を参考に経過 0 年での部材の損傷状態を設定した。

図 2 に対象橋梁の LCC の MCS 計算結果を示す。各 5 年の LCC の分布から、平均値 μ と標準偏差 σ を算出し、 μ 、 $\mu \pm \sigma$ として表した。 μ は平均的な LCC の推移を示す。図から、劣化のばらつきが縦軸及び横軸方向の計算結果の幅として反映されている。また、補修を行うと判定する状態指標の仮定の違いが計算結果の平均値の違いとして表れている。要素が 1 つでも d や e に達したら補修を行う場合は、累積費用が 60 百万円になるまでに、 μ で約 18 年、 $\mu \pm \sigma$ で約 15~25 年と同水準までの到達年に関がある。30 年時点で必要な補修費用を見ると、 μ で約 80 百万円、 $\mu \pm \sigma$ で約 70~90 百万円と幅がある。また、損傷程度 d 及び e の発生率が 20%に達したら補修を行う場合は、60 百万円になるまでに、 μ では約 30 年、約 25~40 年と同水準までの到達年に関がある。30 年時点で必要な補修費用を見ると μ では約 60 百万円、 $\mu \pm \sigma$ では約 50~70 百万円と幅がある。

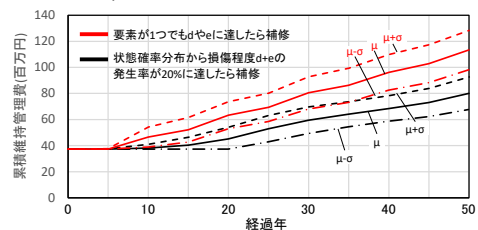


図 2 異なる補修判定を用いた LCC 推計結果の比較

4. まとめ

一般的な桁橋 1 橋について、劣化のばらつきを考慮し、かつ、補修を行う状態指標を 2 つ仮定して LCC の計算を行い、結果を比較した。その結果、劣化のばらつきも補修を行うと判定する状態指標の仮定も LCC の計算結果に影響を及ぼすこと、そして、計算値はばらつくとため確定的には扱うことはできないことを確認した。

したがって、計画の策定にあたっては、LCC 計算結果がばらつくことを認識して慎重に取り扱う必要がある。また、LCC 計算時の補修の判定方法に用いる状態指標や補修範囲などの仮定方法には正解はなく、実際の補修時には、それらの仮定を工学的判断として用いることはできない。そのため、LCC の計算結果の通りに計画を実施することができないことにも注意を払うべきである。

今後は、各管理者に共有するため LCC 計算や計算結果の取り扱いなどの留意事項をまとめる必要がある。

[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] 長寿命化計画策定に関する参考資料に反映。

道路橋の補修・補強設計法に関する調査検討

Study on Design Standards for Repair and Reinforcement Works of Highway Bridges

(研究期間 平成 28～31 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大
Senior Researcher Masahiro Shirato
研究官 宮原 史
Researcher Fumi Miyahara
交流研究員 正木 守
Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer
交流研究員
Guest Research Engineer

星隈 順一
Junichi Hoshikuma
加藤 豊
Yutaka Katou
松村 裕樹
Yuuki MATSUMURA
中邨 亮太
Ryota NAKAMURA

With the rapid increase in the number of aging highway bridges, needs for repair works or reinforcement works will be increasing. However, the design standards for repair works and reinforcement works have not been developed in Japan. For the purpose of developing the design standards for repair works and reinforcement works, NILIM studies the deterioration characteristic of repaired bridges and reinforced bridges, through analyzing inspection data and load carrying test.

[研究目的及び経緯]

我が国の道路橋は高齢化の進展に伴い様々な劣化や損傷の事例が報告されており、既設の道路橋に対する補修補強の必要性は今後も増加が見込まれる。一方、補修補強設計には技術基準が無く、様々な技術図書を参考に行われる。これらの技術図書に示される内容はまちまちであり、結果として、当該技術図書に基づいた補修補強設計の成立性は必ずしも明らかでない場合もあると考えられる。このため、個別の条件に応じて各補修補強設計の成立性が判断できるよう、補修補強設計の成立性に関する要求事項をとりまとめる必要がある。これをまとめたものを仮に「道路橋補修補強マニュアル案」と呼べば、同マニュアル案は、図-1に示すように補修補強設計全般に共通する事項をとりまとめた共通編、対象部材・材料毎にとりまとめた各工種編、さらに補修補強原理毎にとりまとめた各原理編と階層毎に整理できると考える。

平成 28 年度は、図-1 において破線で囲んだ範囲にあたる、コンクリート部材の補修補強設計法に対する要求事項の整理と、既存技術図書の調査を行った。

[研究内容及び研究成果]

1. コンクリート部材の補修補強設計法に対する要求事項の整理

コンクリート部材の補修補強設計の成立性に関する普遍的な要求事項を整理するため、コンクリート部材の補修補強の最上位の要求事項から、設計における具

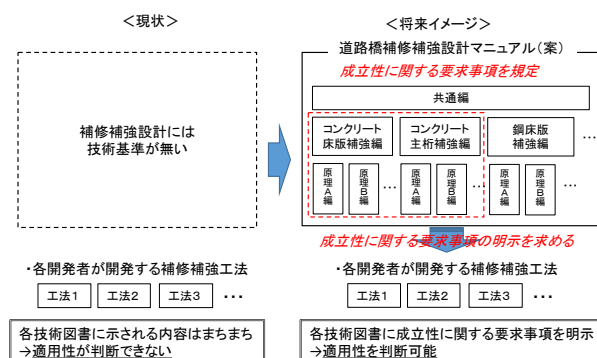


図-1 本研究の成果イメージ

体の照査方法までの階層における、各要求事項と各要求事項を満足するとみなすことができる条件の主従関係の体系化を試みた。普遍的な要求事項を整理するためには、まずは我が国の道路橋の補修補強設計において既に多くの適用実績がある個別の工法において用いられている補修補強原理を念頭に要求事項の体系化を行い、それらに共通する事項を抽出することが有効と考え、以下の補修補強原理を対象に要求事項の体系化を試みた。体系化にあたっては、主従関係が視覚的に分かるよう樹形図を用いて整理した。

<コンクリート床版に対する補修補強原理>

部分又は全面のコンクリート打ち替え、上面又は下面のコンクリート増厚、下面コンクリートへの補修補強材料貼り付け

<コンクリート桁に対する補修補強原理>

断面修復、補修補強材接着、プレストレス導入

補修補強設計の成立性に関する要求事項の体系化の例を図-2に示す。図-2の要求事項は3層から成る階層構造となっている。上位の階層はコンクリート部材一般に共通する要求事項を表しており、設計時における要求事項を表す要求事項1と、完成後の維持管理段階における要求事項を表す要求事項2に分けた。中位の階層は工種毎に上位の要求事項を具体化した要求事項を示しており、図-2はコンクリート床版の補修補強を対象に整理した例である。下位の階層は補修補強原理毎に中位の要求事項をさらに具体化した要求事項を示しており、図-2は床版下面コンクリートへの補修補強材料貼り付けを対象に整理した例である。本整理結果からは、下面に補修補強材料を貼り付けることによりコンクリート床版を補修補強しようとする設計法が成立性を有することが確認できるためには、補修補強材料によらず図-2に示す要求事項1~16を満足することが要求される。当該原理による補修補強設計法の開発者がこれら要求事項を満足していることを工学的根拠をもって示せば、設計者はその妥当性を判断することで、補修補強効果の成立性を間接的に判断することが

できるようになると考えられる。

図-2に示した原理毎の要求事項を、補修補強材料として鋼板を用いることを前提にさらに具体的に書き下せば、表-1に示すように具体の照査事項が得られる。

2. 既存技術図書の調査

各学協会、各道路管理者が作成する技術図書を収集し、1.で体系化した補修補強設計の成立性に関する要求事項の記載の有無を整理した。例として、コンクリート床版に対する鋼板接着に関する既存技術図書の整理結果を表-2に示す。表-2の整理から、1.で整理した要求事項だけをみても、各技術図書に示される内容がまちまちであることが分かる。

[今後の課題]

今年度対象としなかった工種である鋼部材に対する補修補強設計に対しても同様の整理を行い、成立性に関する要求事項を体系化する必要がある。

[成果の発表]

国総研資料や論文等で公表。

[成果の活用]

補修補強設計基準や補修補強設計便覧に反映する予定。

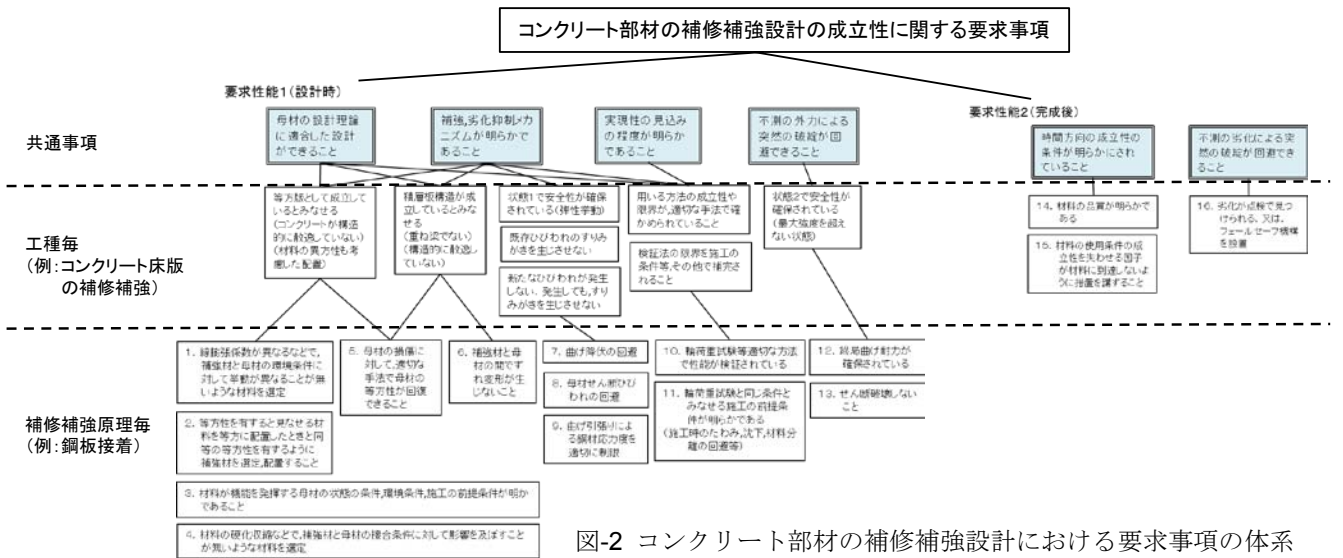


図-2 コンクリート部材の補修補強設計における要求事項の体系

表-1 コンクリート床版に対する鋼板接着工法の成立性に関する要求事項

要求性能	工法における要求性能の読み替え		具体の照査
	要求性能1	要求性能2	
1	鋼板とコンクリート、接着剤の線膨張係数の違いによる影響検証		補強鋼板とコンクリートの線膨張係数は同等であり影響は無いが、接着剤は異なるため、その影響を確認する必要がある。
2	必要鋼板厚さとアンカーピッチの照査		施工性を加味した厚さの鋼板を、ほぼ等間隔のアンカーで固定
3	鋼板接着工法が成立する母材劣化度の適用限界の設定		変形の程度とひびわれ間隔
4	接着剤の硬化収縮の影響検証		接着剤は硬化収縮が生じるのでその影響を確認する必要がある。
5	ひびわれ注入工法の適用範囲の設定		ひびわれ注入により樹脂が充填され、当方性(剛性)が回復する。
6	析コンクリートと樹脂の界面、樹脂と鋼板の界面ですれを許容しない。		施工時にコンクリート表面の引張試験を実施。鋼板との接着強度は施工時にテストピースを採取して室内試験で強度を確認。
7	断面計算方法、制限値の設定		実として応力計算し、曲げ応力度が制限値内であることを確認。
8	断面計算方法、制限値の設定		斜め引張応力度の照査
9	断面計算方法、制限値の設定		曲げ応力度の照査
10	耐荷機構の把握		既往研究によるはり試験での性状確認
11	施工時の振動対策の照査		既往研究による試験結果での確認
12	終局曲げ耐力の照査		破壊抵抗曲げモーメントによる照査
13	せん断破壊に対する照査		ウェブコンクリートの圧壊に対する断面耐力照査
14	接着樹脂の耐久性照査		暴露試験による品質変化の把握
15	接着樹脂の劣化を抑制する手法の検討		接着樹脂が紫外線によって劣化しないことを確認
16	点検項目の設定と第三者被害防止対策の照査		橋梁点検項目(鋼板のうき、等) 鋼板の落下防止策の照査

表-2 既存技術図書における補修補強設計の成立性に関する要求事項に関する記載の有無

要求性能	調査対象の図書番号															
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
2	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
3	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△	△
4	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
5	X	O	△	△	△	△	△	△	X	O	O	O	O	O	X	X
6	X	△	△	X	△	X	X	△	△	O	X	X	X	X	X	X
7	O	O	X	O	X	O	△	O	O	O	O	O	O	O	O	O
8	X	O	X	O	△	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
9	O	O	X	O	△	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O
10	△	O	△	O	X	X	△	O	X	X	X	X	X	X	X	X
11	X	△	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
13	X	△	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
14	X	O	X	X	X	X	X	△	△	X	X	X	X	X	X	X
15	O	O	△	△	X	X	X	△	△	△	△	△	△	△	△	△
16	X	X	X	△	△	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

補修補強設計に係わる部分係数に関する調査検討

Study on partial factor design for existing bridges

(研究期間 平成 27-29 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro SHIRATO

研究官 河野 晴彦

Researcher Haruhiko KOUNO

交流研究員 正木 守

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

室長

Head

研究官

Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Masayuki KUBOTA

交流研究員

Guest Research Engineer Ryota NAKAMURA

星隈 順一

Junichi HOSHIKUMA

宮原 史

Fumi MIYAHARA

窪田 真之

Masayuki KUBOTA

中邨 亮太

Ryota NAKAMURA

The present study has been developing the partial factor design formant for the structural assessment of existing road bridges. In the earlier year, we conducted the Monte Carlo simulation considering a stochastic loading model based on the B-C model and proposed a concept that the load and load combination factors should be divided so that the load factors should be changed with the given design life which may be optional for existing structures. This year, we have tested and proposed a practical method to modify load factor values with a given design life based on their statistics.

[研究目的及び経緯]

国土技術政策総合研究所では、信頼性設計の考え方を基礎とし、国際的技術基準の標準書式でもある部分係数設計体系への転換を視野に道路橋の技術基準の見直しに必要な検討を進めてきた。

既設橋の補修補強設計においては、新設橋の設計に用いる荷重係数をそのまま用いるのではなく、補修補強設計において想定する供用期間や架橋地点の交通特性に応じて荷重極値分布を評価し直すことで、架橋地点の特性を踏まえた部分係数を調整し、より合理的な設計を行える可能性がある。

そこで、平成 27 年度は、既設道路橋に用いる荷重係数を「荷重ばらつき係数」と「荷重組合せ係数」に分解することを提案した。荷重ばらつき係数は、主として活荷重、温度変化、風荷重、地震荷重など、想定する期間内に常に変動する性質を有する変動荷重に対して、想定期間の最大値（極値）分布に基づき、荷重の最大値をあらかじめ定めた確率水準に調整するための係数である。

荷重組み合わせ係数は、複数の荷重が組み合わせとして橋に同時荷重されるときに、確率過程として、想定期間における最大値どうしが同時に重なることは稀であることを調整するための係数である。

例えば、活荷重は橋に常に荷重されているものと考えられるのがよく、荷重組み合わせ係数は 1.0 に近い数値になるが、風や地震のようなものは、他の変動荷重と組み合わせにおいては、0.50~0.75 に近い数値に設定できる可能性があることを過年度までに提案している。

過年度には、荷重ばらつき係数と荷重組み合わせ係数を B-C モデルの考え方に基づく、確率過程を考慮したモンテカルロシミュレーションから算出した。しかし、荷重ばらつき係数は、本来、荷重単体の統計量から決定できると考えられる。そこで、本年度は、実務において、詳細なシミュレーションをせずとも荷重ばらつき係数を決定できることを検証した。

[研究内容及び研究成果]

1. 荷重シミュレーション

ある橋の交通流データを用いて支間中央の活荷重断面力力の 100 年最大値をシミュレーションで 1000 回求めた。シミュレーションでは、大型車の混入率は平均的な値として 30% と仮定し、交通量モデルを調整した。その結果、100 年最大値分布は正規分布を用いて、B 活荷重断面力に対して、平均値 0.95 程度と変動係数 0.15 程度で近似できることが分かった。ただし、近似にあたっては安全側に評価するため、分布の裾野部分の一致度はあまり高くないようにしておく必要がある。

べき乗則を用いれば、これを10年最大値分布、30年最大値分布、50年最大値分布に変換できる。各供用期間の最大値分布非超過確率95%の活荷重断面力が算出されるように荷重ばらつき係数を丸めれば、供用期間10年で0.95、30年で1.05、50年で1.10、100年で1.15程度の値となる。

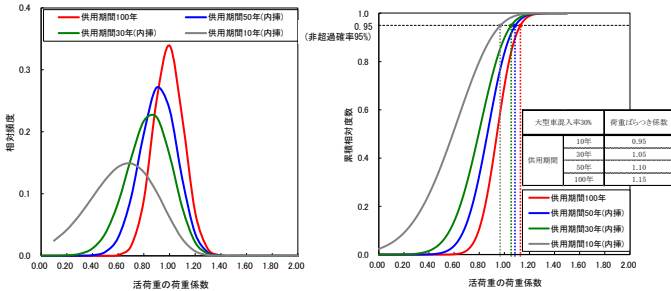


図1 活荷重係数の分布と累積相対度数

2. 実橋に対する荷重シミュレーション

いくつかの橋梁に対して異なる期間を仮定し、荷重シミュレーションを実施した。幅広い橋梁形式に適用できる可能性を確認するために、今年度は表1に示す鋼橋およびコンクリート橋の計8橋に対して検証を実施した。橋梁の選定においては、活荷重の荷重係数が著しく小さな値にならないように、鋼橋及びコンクリート橋の単純橋を対象とした。また、活荷重の荷重係数が大きい連続橋やトラス橋等の構造も対象とした。

表1 対象橋梁の概要

No	橋梁形式	最大支間長	着目断面	B活荷重係数 (供用期間100年)
1	鋼単純非合成鉄桁	18.3m	主桁支間曲げ	1.01
2	PC単純バルブT桁	30.5m	主桁支間曲げ	0.93
3	鋼単純鋼床版箱桁	75.0m	主桁支間曲げ	0.99
4	鋼2径間連続非合成鉄桁	49.0m	主桁端径間曲げ	1.01
5	PC2径間連続箱桁	49.0m	主桁端径間曲げ	0.98
6	鋼2径間連続非合成鉄桁	40.8m	主桁端径間曲げ	1.09
7	PC5径間連続コンポ橋	35.2m	主桁端径間曲げ	1.21
8	鋼単純トラス橋	95.1m	上弦材軸力	0.92

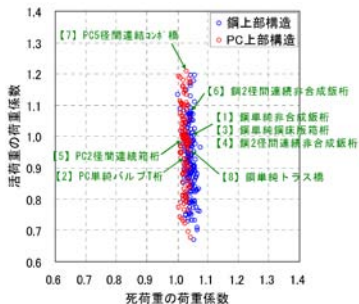


図2 対象橋梁の荷重係数(大型車混入率30%)

これらの橋梁に対して、供用期間中の平均大型車混入率を平均的な30%と仮定し、供用期間を10年、30年、50年、100年と仮定した荷重シミュレーションを実施した。検討結果を単純化するために、死荷重(D)、活荷重(L)が支配的になる断面に着目した。

過年度までの検討から、D+Lの時のLの荷重組合せ係数は1.00と仮定したときに逆算で得られるDやLの荷重ばらつき係数を求めた。

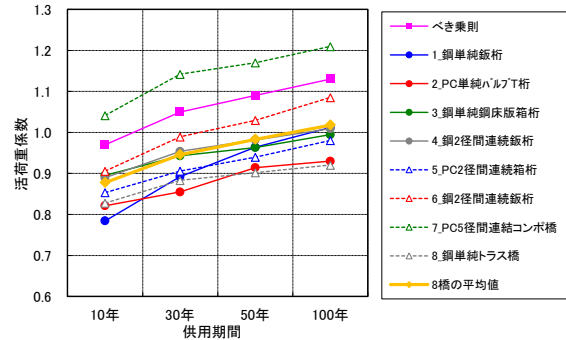


図3 供用期間に荷重ばらつき係数

表2 各橋の活荷重ばらつき係数

平均大型車混入率30%	べき乗則	対象橋梁番号									
		1	2	3	4	5	6	7	8	平均	
供用期間	10年	0.95	0.78	0.82	0.90	0.89	0.85	0.91	1.04	0.83	0.88
	30年	1.05	0.89	0.86	0.94	0.95	0.91	0.99	1.14	0.88	0.95
	50年	1.1	0.96	0.91	0.96	0.98	0.94	1.03	1.17	0.90	0.98
	100年	1.15	1.01	0.93	0.99	1.01	0.98	1.09	1.21	0.92	1.02

図3および表2に、供用期間に対する活荷重の荷重ばらつき係数をまとめた。

1.にて統計的にべき乗則を用いて算出した結果と比較すると、対象とした実橋8橋の荷重シミュレーション結果に対してべき乗則で求めた結果の方が荷重ばらつき係数が安全側(大きな値)であった。これは1.で極値分布のあてはめにて裾野を安全側に評価したり、数値を丸めたことが理由として考えられる。詳細の確認は今後必要であるが、各荷重の極値分布のあてはめを安全側に行い、べき乗則を用いると、現地で荷重計測を十分、密に行うことで詳細なシミュレーションを実施しなくても、現地の計測データに基づき、荷重ばらつき係数を供用期間に応じて見直せる目途を得ることができた。

【今後の課題】

既設橋の損傷事例を考慮し、主として新設橋の設計を想定している荷重モデル(荷重形状や載荷方法)の見直しの必要性がないか検討を進める必要がある。

また、既設部材の劣化を考慮する方法について検討を進める必要がある。

【成果の発表】

本研究の成果を国総研資料として公表する予定である。

【成果の活用】

補修補強設計の技術資料作成の基礎資料として活用する予定である。

道路構造物の健全性把握に関する調査検討

Study on soundness grasp of road structures

(研究期間 平成 27～29 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室
Road Structures Department
Bridge and Structures Division

研究官 河野 晴彦
Researcher Haruhiko KOUNO

構造・基礎研究室
Foundation, Tunnel and Substructures Division
主任研究官 西田 秀明
Senior Researcher Hideaki NISHIDA
研究官 西藤 淳
Researcher Jun NISHIFUJI

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher

星隈 順一
Junichi HOSHIKUMA
白戸 真大
Masahiro SHIRATO
松村 裕樹
Yuuki MATSUMURA

間瀬 利明
Toshiaki MABUCHI
阿部 稔
Minoru ABE

This study analyzes road structures inspection results to feedback into design standards, inspection standards, and asset management strategies. This year, NILIM analyzed the inspection result of pedestrian bridges, sheds, and culverts. The data analysis has characterized the difference in distribution depending on structural types and surrounding environment.

[研究目的及び経緯]

高度経済成長期に集中的に整備された道路構造物を将来にわたり効率的に維持管理していくことが求められており、平成 26 年 7 月から、全国でトンネル等の道路構造物について定期点検が行われている。

本研究は、道路構造物を効率的に維持管理していくために点検結果を分析し、点検要領の改定並びに資産管理への反映方法について検討するものである。

平成 28 年度は、横断歩道橋の平成 26、27 年度定期点検結果から、損傷程度の進行を遷移確率により推定し、劣化予測式を作成した。また、シェッド、カルバートの平成 26、27 年度定期点検結果から、構造形式や設置環境などの条件毎の変状傾向や特性等を整理した。

[研究内容及び成果]

1. 横断歩道橋の損傷程度の特徴整理

歩道橋定期点検要領(平成 26 年 6 月 国道・防災課)制定以降、約 2 カ年に渡って蓄積された直轄横断歩道橋約 1,000 橋の定期点検データを用いて、年代別に分布を整理すると、架設後 40 年以上経過したものが 5 割以上を占める(図-1)。また、部材毎に対策区分判定を整理した結果、主桁や床版、階段部において対策区分判定 C1(予防保全の観点から速やかな補修が必要なもの)以上の早期に対策が必要な割合が大きく(図-2)、

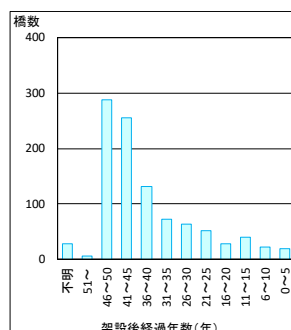


図-1 架設後経過年ごとのストック数

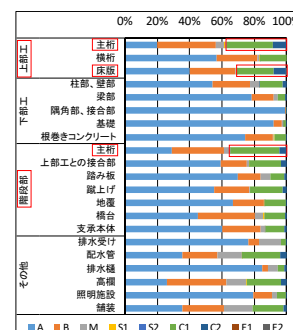


図-2 部材別の対策区分判定の割合

損傷の内訳を見るとその殆どを腐食及び防食機能の劣化が占めていた。

上部構造の主桁の腐食を例に、架設後経過年数毎に径間単位で整理した損傷程度の比率を図-3 に示す。損傷程度 a は健全とみなせる状態、e は損傷が顕著であるなどリスクの高い状態であり、損傷程度は a から e の 5 段階で表される。主桁の腐食は早期に発生し、10 年経過後には既に約半数が d 以上の判定結果となっているが、以降、分布に大きな変化は見られない。この原因として、補修を実施した横断歩道橋が一部含まれている可能性が考えられる。

速やかな補修が必要な割合が比較的大きい部材の損

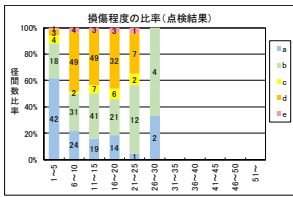


図-3 損傷程度比率（上部構造の主桁の腐食）

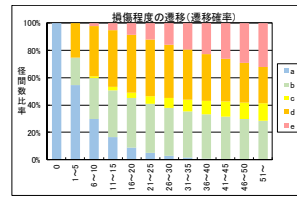


図-4 損傷程度の推移予測（上部構造の主桁の腐食）

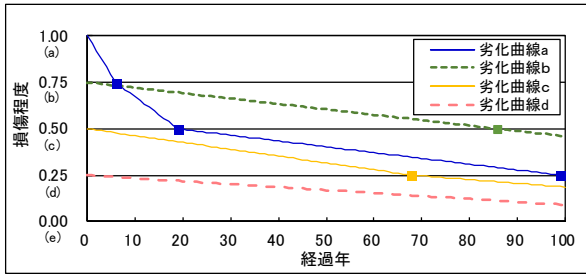


図-5 劣化曲線（上部構造の主桁の腐食）

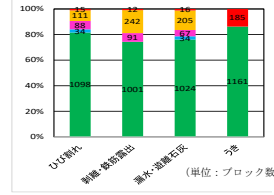
傷について、予防保全時期の目安が得られないかどうかを検討するために、構造形式の類似した横断歩道橋約 500 橋を抽出し、損傷の発生及び進行の経年変化をモデル化する遷移確率行列を推定した（図-4）。遷移確率行列の推定では、各年代の損傷程度の比率を予測したときに実際との誤差が最小となるように遷移確率を繰り返し調整した。遷移確率の予測結果から、損傷程度 a~e を重み付けして各損傷程度の劣化進行を線形補間により求め、劣化予測式を作成した。上部構造の主桁の腐食に対する劣化予測を図-5 に示す。

上部構造の主桁の腐食に対する劣化予測結果では、約 20 年程度で損傷程度 c となる結果が得られた。効率的な維持管理の観点から対策時期等の計画立案に活用できる可能性があることから、今後も引き続きデータを蓄積し、架設環境の違いや、補修等による影響について分析し、資産管理への活用方法を検討する。

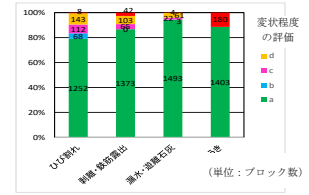
2. シェッド及びカルバートの定期点検結果分析

平成 26 年度及び 27 年度の直轄国道を対象とした定期点検結果（シェッド約 290 施設、カルバート約 650 施設）より変状及び健全性に関する分析を実施した。

シェッドでは、構造形式別で建造物の健全性Ⅲの割合は、PC 製約 5 割、鋼製約 6 割で RC 製（約 3 割）に対して高い。構造形式別の点検実施施設数が最も多い PC 製で部材の健全性がⅢの割合が相対的に高い上部構造及び谷側構造（柱・受台・基礎）のコンクリート部材の変状程度の評価（a~e）を図-6 に示す。ひび割れは上部、谷側構造とも約 2 割（b~e の合計）で生じている。これに対して、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰は上部構造でも 2 割程度に対して谷側構造では 1 割程度と少ない。これを塩害対策区別で比較すると、塩

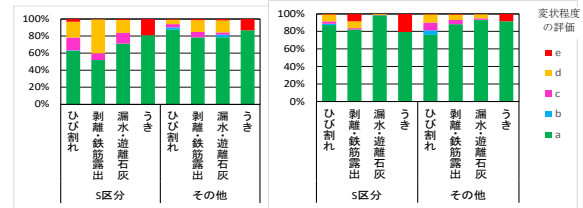


(a) 上部構造

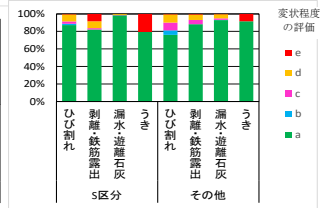


(b) 谷側構造

図-6 PC 製シェッド（逆 L 式と単純梁式）の変状種類と変状程度



(a) 上部構造



(b) 谷側構造

図-7 PC 製の塩害対策区別の変状

害の影響区域（S 区分）の方がその他の区域にあるものより剥離・鉄筋露出に対して e 判定の割合が多いこと（特に谷側柱）、上部構造のひび割れ発生（b~e）の割合が 3 倍高い特徴がある（図-7）。これより、PC 製シェッドでは、塩害の影響の有無が建造物の健全性評価に比較的大きな影響を与える要因であるといえる。

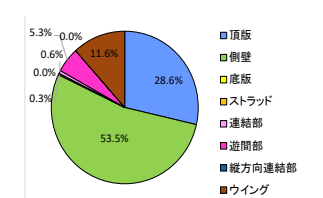


図-8 カルバートの部材の健全性の内訳（Ⅲのみ）

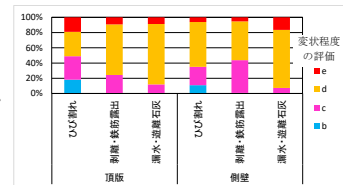


図-9 カルバートのコンクリート部材における変状種類と変状程度の評価（頂版・側壁）

カルバート（構造形式は 2/3 が場所打ちボックスカルバート）の建造物の健全性の診断結果は、Ⅰが約 4 割、Ⅱが約 5 割、Ⅲが約 1 割で、Ⅳはなかった。このうち建造物の健全性Ⅲの判定に支配的となった部材の健全性がⅢである割合は、頂版と側壁で 8 割強を占める（図-8）。頂版及び側壁の変状（コンクリート部材）は、ひび割れが最も多いが、剥離・鉄筋露出、漏水・遊離石灰、うきも生じている。変状の程度は、頂版ではひび割れ、側壁では漏水・遊離石灰でそれぞれ e 判定が 2 割程度と他の変状種類より変状程度が悪い評価である（図-9）。これらから部材により損傷内容と程度に差があるといえる。

【成果の発表】

国総研資料や各種論文で発表予定。

【成果の活用】

定期点検要領の改定や設計基準原案の検討に反映。

既設土中構造物等の補修・補強基準に関する調査検討

Survey study on repair and reinforcement criteria for existing underground structures

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室
Road Structures Department
Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

間渕 利明
Toshiaki MABUCHI
阿部 稔
Minoru ABE
西藤 淳
Jun NISHIFUJI

This research aims to propose the repair and reinforcement criteria for existing damaged underground structures (culvert, shed, etc.) to be used for long term. In FY 2016, the contents of repair methods and the situation of the re-deterioration for damaged structural members of culverts and sheds were analyzed, and it was shown the point to keep in mind in the repair design of underground structures.

[研究目的及び経緯]

本研究は、既設土中構造物等の総点検等の点検結果及び被災経験等を踏まえ、重大事故に至る可能性のある損傷形態を対象に、損傷状況及び補強効果の調査分析を行い、補修・補強要領の提案のための課題を明らかにすることを目的としている。

本年度は、平成 27 年度の定期点検を行った大型カルバート及びシェットのうち、過年度に補修補強履歴がある部材を対象に、補修補強内容や、補修補強後の部材の変状等の状態とその要因について整理・分析した。

[研究内容及び成果]

1. カルバートの補修補強の内容と再劣化状況

カルバートの定期点検結果より、補修・補強(以下、補修等)履歴がある 83 施設を対象にその内容を整理した。具体的には、定期点検調査書において 1) 補修履歴の欄に記載がある、2) 所見やメモ欄に「補修跡」「再劣化」のコメントがある、3) 損傷状況写真から補修跡がある、ものを対象として抽出した。補修・補強内容が実施された部材・部位とその工法の内訳を図-1 に示す。なお、1つの施設で複数工法実施されている場合は全て計上している。補修等はその多くが側壁及び頂版を対象としており、その大半は断面修復工、表面保護工、ひびわれ注入工であった。

定期点検において補修等が行われたことが確認された部材のうち、変状が生じているものを対象に、変状の内訳を図-2 に示す。ここで、変状が生じているもののみを示しているのは、補修等を行った後に変状が生じていない場合は記録されていないものがあるため

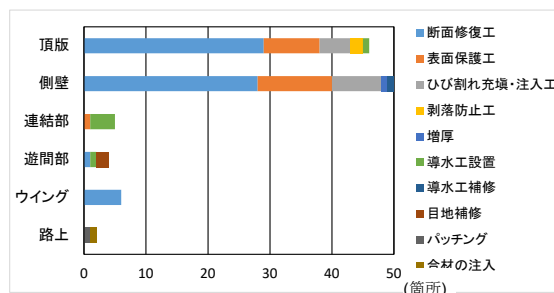


図-1 補修補強した部材と工法内訳 (カルバート)

ある。また、1施設で複数の補修等を行っている場合は補修内容毎にそれぞれ計上している。変状の種類としては、補修・補強材の変状、うき、ひびわれ、漏水・遊離石灰が多く発生していた。この

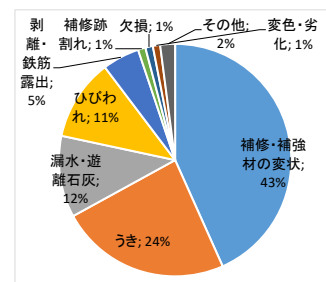


図-2 補修補強部材に確認された変状種類 (カルバート)

うち補修等の実績が多い工法に着目すると、断面修復工を行った部材についてはうき及び補修・補強材の変状が、表面保護工を行った部材については、補修・補強材の変状がそれぞれ多い。再劣化の例を図-3 に示す。事例(a)では、断面修復が行われた箇所であらうきが発生している。また、事例(b)では表面保護工が行われた後に、保護工を行っていない範囲から連続する鉛直ひびわれが生じている。このような損傷は補修部周辺の変状が



(a) 断面修復工 (b) 表面保護工
図-3 補修箇所の再劣化の例(カルバート)

ある箇所(図-3の場合はひび割れ)や断面端部(目地部、出入口付近)で生じているものが多い傾向がみられる。

2. シェッドの補修補強の内容と再劣化状況

カルバートと同様に、定期点検結果より補修等の履歴がある39施設を対象にその内容を整理した。その結果、補修等の多くは山側・谷側柱及び頂版(頂版上も含む)で実施されており、工法としては、断面補修工、ひびわれ注入工、表面保護工及び防水工が多い(図-4)。

補修補強を行った部材の変状は、うき及び補修・補強材の変状が多く発生していた(図-5)。断面修復工を実施した部材ではうき及び補修・補強材の変状、表面保護工を実施した部材は補修・補強材の変状がそれぞれ多く、これらはカルバートと同様の傾向であった(図-6)。

補修補強を行った施設のうち、海岸部及び海岸から100mまでの位置にある施設が約半数の21施設ある(他の18施設は海岸線から1km以上に立地)が、海岸からの距離で補修等を行った部材の変状程度の評価を比較すると、海岸から遠い位置に設置されたものより近いものの方が変状程度の大きい箇所数が多い(図-7)。

3. 既設土中構造物の補修補強における留意点の整理

定期点検結果から見られるカルバート及びシェッドの補修・補強内容とその後の変状状況から、断面修復やひび割れ注入などの断面形状を元に戻す対策が多くを占めること、これ以外の対策を行った場合も含め再劣化している事例が少なくないことが明らかとなった。

この理由としては、1)当該変状が生じた要因の推測が適切でない、または、十分に行われていないこと、2)変状要因の除去や必要な耐荷力・耐久性の確保ができる対策が選定されていないこと、等が考えられる。このうち、1)については、変状が生じた箇所やその周辺の変状の状況、土圧や上部道路の活荷重などによる発生応力の変化や、継続的な水の供給の有無など当該変状を生じた要因を適切に推定する必要がある。これを踏まえて、要因に応じて補修等の効果が十分に期待できる適切な対策を選定する必要がある。しかし、カ

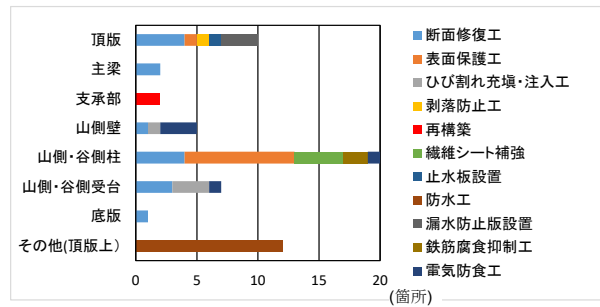


図-4 補修補強した部材と工法内訳(シェッド)

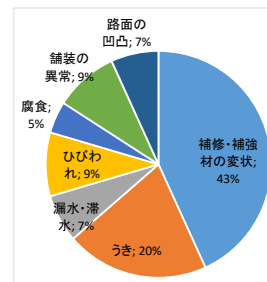


図-5 補修補強部材に確認された変状種類(シェッド)



(a) 断面修復工(谷側柱)



(b) 止水板

図-6 補修箇所の再劣化の例(シェッド)

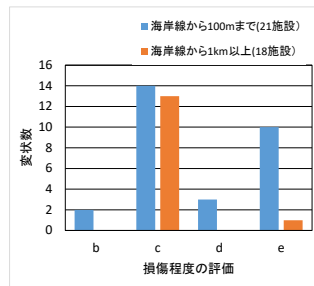


図-7 海岸からの距離別の変状程度割合

ルバートやシェッドの山側壁のように背面に容易には除去ができない土砂がある場合、補修は一般的に内空側からしか行えないため、例えばカルバート外部からの水の浸入が変状要因と推定できても、外部に防水対策を施せず結果的に再劣化につながっていることも考えられる。したがって、既設土中構造物の補修等に際しては、構造物本体だけで行える対策に限界があることを前提に、土かぶり部や裏込め部の表層からの水の供給を減らす排水対策など構造物本体以外の対策との併用や、定期的な交換・更新を前提とした補修材料の選定や取付け方等についても考慮する必要がある。

[今後の課題]

荷重や気象などの外的条件、構造条件、補修補強の内容の詳細や再劣化までの経過変化等について、更なる分析を進め、合理的な補修補強基準の提示を目指す。

[成果の活用]

補修補強設計・施工基準原案への反映を目指す。

盛土・切土・軟弱地盤対策工・自然斜面对策工の リスクマネジメント手法に関する調査研究

Study on risk management method for embankment, cut slope and countermeasures for weak ground and natural slope

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室
Road Structures Department,
Pavement and Earthworks Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

久保 和幸
Kazuyuki Kubo
谷川 征嗣
Masatsugu Tanigawa
榎本 忠夫
Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the rational inspection method for earth structures in terms of the disaster management. In the third fiscal year, some important inspection points were summarized based on the qualitative case studies of the earth structures with rain-induced damage. Furthermore, to predict the geo-disaster risk of earth structures, actually observed precipitation data led to rain-induced failure in the past were analyzed. As a result, it may be seen that the precipitation parameter taking into account the water content of ground tended to be effective in predicting the disaster risk of earth structures.

〔研究目的及び経緯〕

これまでに建設された道路施設が今後急速に高齢化しつつあるが、道路土工構造物は老朽化よりも大雨等の災害によって損傷することが多いため、道路ネットワーク機能とリスク管理の観点から維持管理手法の構築が必要である。このため、道路土工構造物の点検結果や維持管理実態、災害発生要因等の調査を行い、リスク低減の観点から合理的な維持管理手法を検討するものである。

今年度は、既往の防災カルテ点検結果等から危険性の高い変状・損傷及び箇所について、日常の巡回における着目点及び対応等の留意事項を整理した。また、異常気象時の事前通行規制で用いている連続雨量のほかに他分野での手法により、災害発生と雨量指標との関係について分析・整理した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 道路のり面・斜面の点検の留意事項の整理

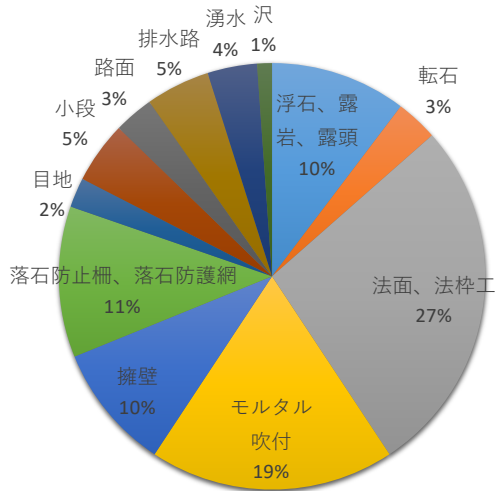
直轄国道の「落石・崩壊」及び「盛土」の防災カルテ点検結果から以前より評価がランクアップした箇所や変状着目点に進行が認められる 220 事例を抽出し、図 1 に示すように防災カルテに記載されている着目すべき点や点検項目から着目すべき変状、災害に至る危険性が高い変状の分析・整理を行い、巡回時の留意事項等を取りまとめた。



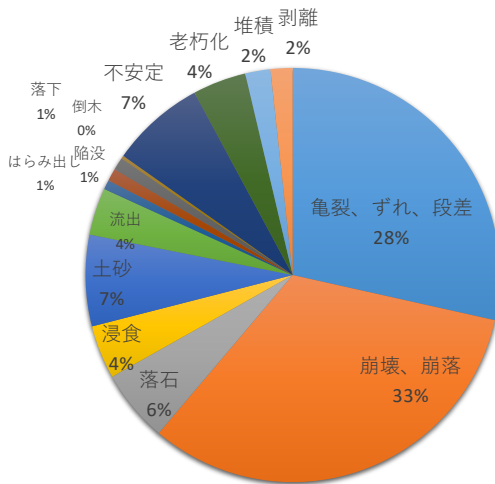
図 1 防災カルテに記載されている着目点（例）

抽出した事例を対象に、「施設・構造物・自然対象物」と「変状・現象」に分類し、施設・対象物の着目点のキーワードで分析した。図 2 に山側施設が対象となる「落石」「切土のり面崩壊」「自然斜面崩壊」の 166 事例における着目点の割合を示す。施設等ではのり面・のり

砕工が 27%、次いでモルタル吹付が 19%、落石防護柵・落石防護網が 11%と多く、のり面保護工や落石対策工が約 70%を占めている。同様に着目している変状等では崩壊・崩落が 33%、亀裂・ずれ・段差が 28%と多い。



(施設・構造物・自然対象物)



(変状・現象)

図 2 山側施設における着目点の割合

一方、谷側施設となる「盛土」の 54 事例における着目点の割合は、施設等では路面、のり面・盛土が 51%、擁壁が 16%と多く、変状等では亀裂が 64%と多くなっており、主に路面や路面に近い第 1 段目法面における崩壊・崩落、亀裂・ずれ・段差を点検の着目点としていることが判明した

また、災害が発生する危険性の高い変状・損傷および箇所としては、例えば、山側施設のモルタル吹付法面では、水平方向の開口亀裂、モルタルの剥離・小崩壊の発生が崩壊に至る危険性の高い変状・損傷例としてあげられ、谷側施設では路面の亀裂、路肩の沈下があげられる。

上記の結果から日常の巡回（通常巡回および定期巡回）における着目点について、切土のり面、自然斜面および斜面安定工の山側施設、盛土の谷側施設に区分して整理した。また、災害発生の前兆現象を捉える観点から巡回時に車上または路上から目視確認できると推定される着目点を選定し、巡回時の留意事項等を整理した。

切土のり面及び自然斜面では、カルテ点検で特に着目されていた路面や最下段のり面または擁壁、第 2 段のり面において次の事項に留意する必要がある(図 3)。

- ・のり砕や砕内に亀裂の発生、砕内モルタル吹付等の崩落
- ・のり面からの湧水の増加
- ・擁壁目地のズレ、擁壁面の転倒、水平亀裂の発生
- ・のり尻部路面の隆起、側溝の閉塞
- ・複数の立木の倒木状況

また、留意事項に対して異状・変状が見られた場合には次の対応が考えられる。

- ・のり砕や砕内の亀裂の拡大が進行していないか、変状の見られたのり面・斜面の上方や周辺含めて点検確認
- ・土砂の吸出しや亀裂やはらみ出しなどの、のり面・斜面の変状を点検確認
- ・擁壁の傾斜が進行していないか点検確認
- ・のり尻部路面周辺の状況が進行していないか点検確認
- ・倒木が路上へ影響するか点検

なお、成育中の立木が、複数本傾倒するような現象が確認された場合、斜面崩壊等の可能性もあるため、倒木周辺の斜面状況や構造物の状況等を確認する必要がある。



図 3 山側施設の巡回時の留意事項

同様に、斜面安定工について、落石には既往の発生地点での反復性があるため、過去に発生した落石箇所において次の事項に留意する必要がある。

- ・落石防護柵工および落石防護網工の背面に堆積し

た土石・岩塊（落石）等の増加状況

- ・のり尻や路面に認められる（小）落石の状況
- また、留意事項に対して異状・変状が見られた場合には次の対応が考えられる。

- ・落石防護施設の損傷を点検確認
- ・落石発生源の変状を点検確認

一方、谷側施設では、カルテ点検で最も多く着目されていた路面（車道・歩道）、路肩及び路肩と連続するのり面、横断排水施設において次の事項に留意する必要がある（図4）。

- ・路面に発生している馬蹄形状または並行の亀裂及び段差
- ・オーバーレイ等補修箇所での新たな亀裂等の発生
- ・山岳部沢地形の盛土内横断管呑み口の土砂堆積状況

また、留意事項に対して異状・変状が見られた場合には次の対応が考えられる。

- ・盛土のり面の湧水や崩壊などの変状を点検
- ・擁壁と盛土の沈下の拡大を点検
- ・縁石、路面の横方向に生じた亀裂や段差、歩道部の段差の拡大を点検
- ・土砂撤去と排水施設の損傷を点検

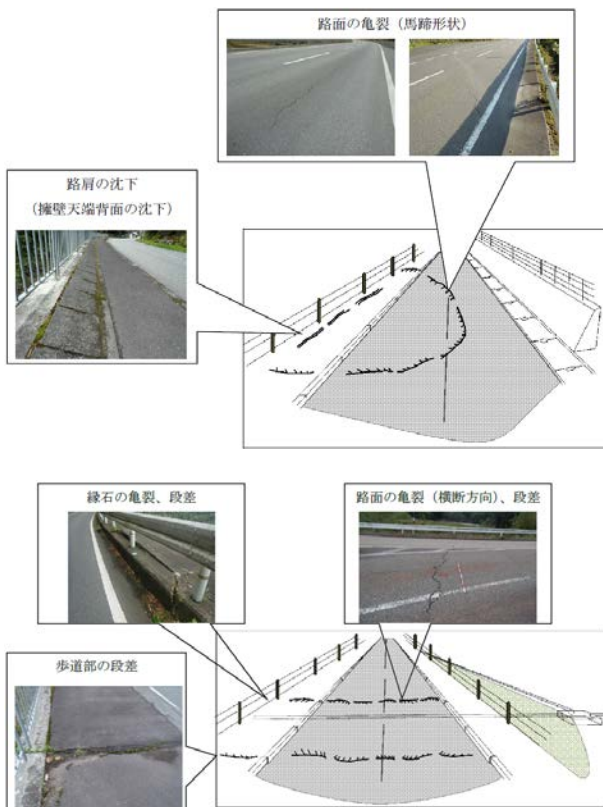


図4 谷側施設の巡回時の留意事項

なお、路面の亀裂については、盛土の変形ではなく、

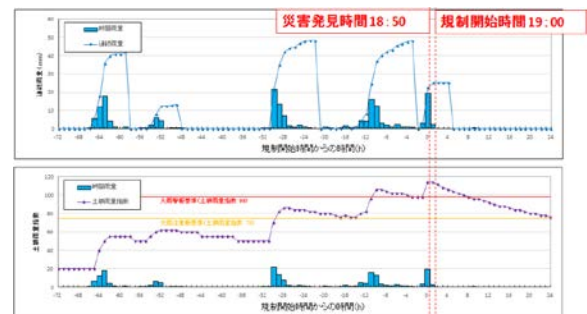
舗装の損傷・劣化によって発生している場合があるため、亀裂の発生方向、連続性など、盛土構造との関係を考慮して判断する必要がある。

2. 降雨状況による災害危険性の分析・整理

直轄国道の異常気象時通行規制では連続雨量を用いているが、通行規制区間以外でも災害は発生することから、平成20～23年度に発生した直轄国道の災害のうち50事例を対象として、災害発生時の降雨状況を気象庁のレーダー解析雨量及び土壌雨量指数を用いて、事例ごとに次に示す雨量指標を整理し、降雨特性の分析、降雨パターンの分類を行い、災害発生と降雨状況との関係を整理した。

- ① 時間雨量
- ② 連続雨量
- ③ 土壌雨量指数
- ④ 実効雨量（半減期1.5時間、24時間、72時間）
- ⑤ 連続雨量及び連続雨量と時間雨量の組み合わせ雨量の併用法による雨量基準
- ⑥ 「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法(案)」の指標及び基準

分析の結果、図5に示す断続的な降雨の事例では災害発生危険性の把握に連続雨量よりも土壌雨量指数のほうが有効であることが確認された。



【考察】

- ✓ 断続的な降雨であり、降雨の終盤に災害が発生
- ✓ 降雨期間中に数回の無降雨時間帯があったため、連続雨量はリセット
- ✓ 災害発生時の連続雨量は30mm未満
- ✓ 一方、土壌雨量指数は気象庁の大雨警報基準値を超えてピークとなり、災害発生の危険性を示唆

図5 断続的な降雨の事例

また、災害非発生時間も含め1988年4月以降の各事例位置に対応する雨量データから図6に示すように各災害発生降雨の時間雨量最大値及び土壌雨量指数最大値の履歴順位を整理した結果では、表1に示すとおり

50 事例のうち約 5 割の 24 事例の災害は時間雨量最大値の履歴順位が 5 位以内、約 8 割の 41 事例の災害は土壌雨量指数最大値の履歴順位が 5 位以内となっており、土壌雨量指数が災害発生危険性の把握に有効な指標であることを示唆していることがわかった。

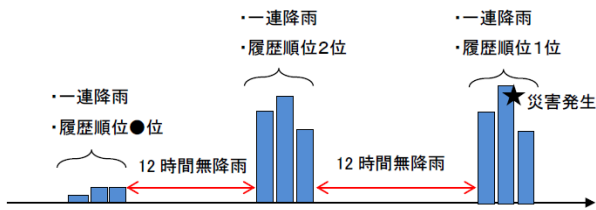


図 6 履歴順位の整理イメージ

表 1 履歴順位 5 位以上の降雨数 (全 50 事例)

	履歴順位 5 位以上の降雨	
	最大時間雨量	最大土壌雨量指数
降雨 (事例) 数	24	41
割合	48%	82%

表 2 災害形態ごとの災害発生危険性

災害形態	地域特性	降雨特性
切土のり面	のり面が 40° 以上の急勾配で、半固結～固結類や火山性類、花崗岩類の地山強度が低く、表層部が風化しやすい地質条件である切土のり面は、降雨時に雨水の浸透により崩壊発生しやすいと考えられる。	降雨形態は断続的な降雨で長時間降雨が多く、長時間にわたる降雨イベントにより総雨量が上昇し、災害が発生した事例が多く、連続雨量等の長期降雨指標による災害発生危険性の判断は重要であると考えられる。
自然斜面	道路上方の斜面が 40° 程度の急勾配で、半固結～固結類や花崗岩類の地山強度の低い、または表層部が風化しやすい地質条件の自然斜面は、降雨により崩壊し、崩壊土砂が道路まで到達して道路災害を引き起こす可能性が高いと考えられる。	降雨形態は、後方集中および中盤集中の降雨で長時間降雨が多く、長時間にわたる降雨イベントの中盤や後方に現れる降雨ピークにより、土層の飽和度や地下水位の上昇により災害発生した事例が多いと見られ、長期降雨指標と短時間降雨指標の併用により災害発生危険性の判断は重要であると考えられる。
盛土	のり面勾配は 27° ~ 63° の範囲に分布し、特徴はなく、勾配より盛土材料の土質条件の影響が大きいように思われる。	降雨形態は、中盤集中の降雨が比較的多いものの、降雨期間や降雨強度は、ほかの災害形態のような特徴的な降雨パターンは明確ではなかった。盛土災害は、地域特性の影響要因が大きく、地形や地質条件から災害発生危険性のある箇所を洗い出して、降雨時に路面の冠水や近傍河川の増水等、水の状況を監視することは重要であると考えられる。

さらに、各事例の整理結果から切土のり面、自然斜面及び盛土ごとに災害発生危険性と地域特性（地質条件、法面勾配）及び降雨特性の関係を分析した結果を表 2 に示す。

同様に、災害発生危険性に関する災害形態別の雨量指標ごとの考察は次のとおりである。

① 切土のり面

- 時間雨量や半減期 1.5 時間の実効行雨量といった短期雨量指標による把握が困難であるが、連続雨量や土壌雨量指数、または半減期の長い実行雨量といった長期雨量指標が有効であると考えられる。
- 連続雨量については、先行降雨の影響をよりよく反映できるよう、リセット条件（現状 2mm 以下 3 時間リセット）の見直しが望ましい。

② 自然斜面

- 連続雨量や土壌雨量指数、または半減期の長い実効雨量といった長期雨量指標は極めて有効である。
- 降雨ピーク時に発生したことも多く、この場合には短期雨量指標である時間雨量や半減期 1.5 時間の実効雨量により把握可能であり、短期雨量指標と長期雨量指標の組合せ案の適用はより有効と考えられる。

③ 盛土

- 短期雨量指標より長期雨量指標のほうがやや有効である。
- ほかの災害形態と比べて傾向が不明瞭であるが、短期雨量指標と長期雨量指標の組合せ案は時間雨量または連続雨量の単独の運用より効果が期待できると考えられる。

【成果の活用】

道路土工構造物点検要領（仮称）や道路土工指針類の改訂に反映予定。

舗装の管理状態評価に関する調査検討

Research on management state evaluation of pavement

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室
Road Structures Department
Pavement and Earthworks Division

室長 久保 和幸
Head Kazuyuki KUBO
主任研究官 谷口 聡
Senior Researcher Satoshi TANIGUCHI
研究官 船越 義臣
Researcher Yoshiomi FUNAKOSHI

This research consider about long life technique of pavement and rational state evaluation method according to each type of characteristic of pavement.

In this study, the authors analyzed the features and degradation cause of early deterioration section of asphalt pavement based on the results of state investigation of the road surface. And the authors conducted structural survey of pavement in the actual road.

As a result, the authors found that the early deterioration of the pavement occurs in particularly cold areas. In addition, about 60% of the early deterioration section did not have the necessary performance, which is shown in the technical standards. The authors found that the early deterioration section has occurred reduction in rigidity and the outflow of the fine fraction of the roadbed and the roadbed, from the structural survey of pavement.

[研究目的及び経緯]

2014 年 4 月の社会資本整備審議会道路分科会建議「道路の老朽化対策の本格実施に関する提言」においては、「舗装、照明柱等構造が比較的単純なものは、経年的な劣化に基づき適切な更新年数を設定し、点検・更新することを検討」とされた。また、2016 年 10 月には舗装の点検に関する基本的な事項を記した「舗装点検要領」が公表されている。これに伴い舗装の維持管理においては、舗装の「更新年数」を意識した維持管理を行うとともに、舗装の長寿命化による長期的なコスト削減を図ることが求められている。

これらを踏まえ、本研究は、各種舗装の特性等に応じた合理的な状態評価方法及び舗装の長寿命化手法について検討するものである。

今年度は、舗装の点検手法検討に係る基礎資料を得るため、舗装に関する各種調査結果の整理や、舗装の早期劣化区間における構造調査を行うとともに、予防的舗装修繕工法の延命効果を整理した。

[研究内容]

1. 舗装に関する各種調査の整理

国土交通省が実施した舗装関連の各種調査について、早期劣化区間の抽出、及び延命効果の整理に活用するため、過年度の調査結果を整理した。

2. 早期劣化区間の構造調査

劣化区間と健全区間の舗装各層の材料試験や現地調査を行い、劣化区間と健全区間の構造状態を比較・分析した。

3. 予防的舗装修繕工法の延命効果の整理

1. で整理したデータ及び気象情報等を活用して、主要な予防的舗装修繕工法であるクラックシールの延命効果を算出し整理した。

[研究成果]

1. 舗装に関する各種調査の整理

舗装関連の各種調査結果を、分析等を効率的に実施できるよう同一のファイルにデータ化した。データ整理においては、設計条件や劣化環境等の「特性」が類似するものは一纏めにして整理し、複数の劣化要因を組み合わせて分析を行った。また、経過年、累積 49kN 換算輪数、その他（温度、降水量等）の影響を確認するためデータをグラフ化し、傾向を確認した。

一例として、図-1 に「初期のたわみ量 D_0 」と「破壊までの累積 49kN 換算輪数 N 」との関係を示すが、これによると初期のたわみ量から疲労破壊輪数を超過している 5 箇所 (②) について M6 (①) についてはひび割れ率 20%以上であるが、他 4 箇所は 20%未満であり、全体における累積 49kN 換算輪数と路面性

状（ひび割れ率）との関係を踏まえると、舗装性能評価法（日本道路協会）に定義される「たわみ量 D_0 から疲労破壊輪数を算出する推定式、及びそのグラフ」は概ね妥当であると考察される。

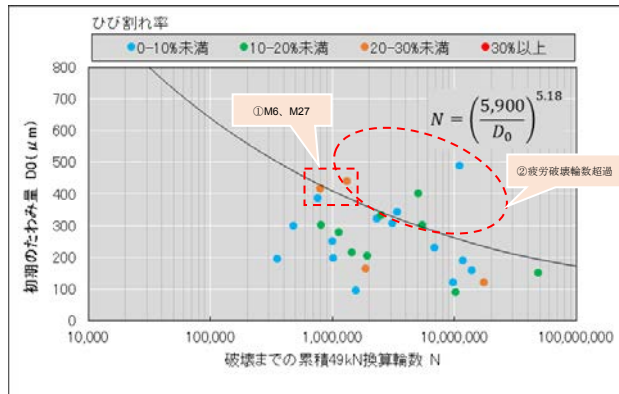


図-1 傾向確認の例
(たわみ量 D_0 と累積 49kN 換算輪数との関係)

2. 舗装の早期劣化区間の構造調査

構造調査は、早期劣化区間（経年数 10 年未満でひび割れ率 40%以上またはわだち掘れ量 40mm 以上）及び比較用の健全区間（早期劣化区間と同じ経年数かつ近接しており路面性状が健全）について、栃木県内の国道 4 号バイパス上においてボーリングコアにて試料採取し、各種試験を実施した。試験内容を表-1 に示す。

表-1 試験内容

材料	調査項目	試験方法	単位	数量	備考
舗装体	支持力	FWD によるたわみ量測定方法 (S047)	箇所	10	
	クラック状況	目視観察	個	4	φ20cm コア
	舗装の厚さ	舗装の厚さの測定方法 (G006)	個	4	目視観察用コア
	密度	密粒度アスファルト混合物等の密度試験方法 (B008-1)	個	24	φ10cm コア
路盤	圧裂強度	圧裂試験方法 (B006)	個	24	密度試験後コア
	厚さ		個	4	φ15cm ボーリング
路盤	骨材粒度	骨材のふるい分け試験方法 (A003)	個	8	上層路盤、下層路盤

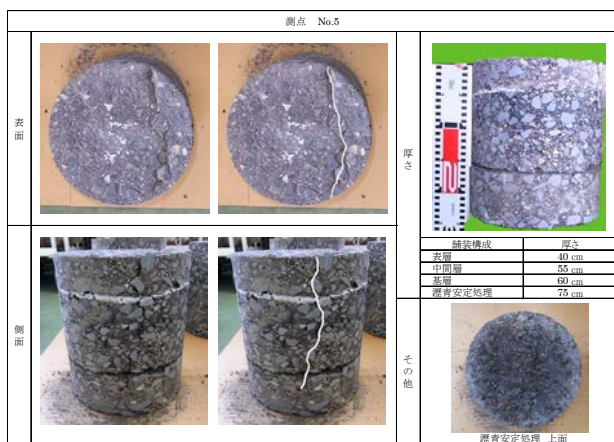


図-2 構造調査の例（劣化部における目視観察）

調査例として図-2 に、目視点検結果を示す。これによると、ひび割れは舗装上面から瀝青安定処理の途中にまで達しており、基層と瀝青安定処理は界面で剥離していた。路面ひび割れから水が浸入したこと、及び繰り返しの荷重を受けたことにより劣化が早期に進行したものと考えられるが、これについては今後、同じ調査箇所において開削調査を実施し、詳細に原因等を究明していく予定である。

3. 予防的舗装修繕工法の延命効果の整理

1. で実施した舗装関連の各種調査結果をもとに、クラックシールの適用箇所と非適用箇所におけるひび割れ率及びわだち掘れ量の変位量から進行速度を推定し、比較することで延命効果を求め、評価した。

結果の例として、予防的舗装修繕工法をを施した区間と施していない区間において、ひび割れとわだち掘れの進行度から、予防的舗装修繕工法を施す水準（対策水準：ひび割れ率 40%、わだち掘れ量 40mm）に至る年数（期間）を求めたものを表-2 に示す。これによると、予防的舗装修繕工法を施した方が未対策に比べて対策水準までの年数が延びており、予防的舗装修繕工法を適用することによる延命効果が確認された。また、ひび割れについては、大型車交通量が多いほど対策水準までの年数が長く、逆にわだち掘れについては、大型車交通量が少ないほど対策水準までの年数が長いという傾向も見受けられた。

表-2 延命効果推定の例

	平均ひび割れ進行度(%/年)	平均わだち掘れ進行度(mm/年)	対策水準(ひび割れ率 40%)までの年数	対策水準(わだち掘れ 40mm)までの年数
N7 対策適用区間	1.2	1.0	8.2	9.7
N7 対策非適用区間	1.7	1.3	6.0	7.4
N6 対策適用区間	2.9	—	3.5	—
N6 対策非適用区間	4.1	—	2.4	—
N5 対策適用区間	3.4	0.7	3.0	13.7
N5 対策非適用区間	4.9	0.7	2.1	13.6

[成果の発表]

各種論文（日本道路会議等）で発表予定。

[成果の活用]

「舗装設計施工指針」及び「舗装の維持修繕ガイドブック」等へ反映予定。