

## 領域 8

### 大切な道路資産の科学的な保全

# 道路橋の点検体系に関する調査検討

## Study on inspection system of road bridges

(研究期間 平成 30～令和元年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridges and Structure Division

室 長 白戸 真大  
Head SHIRATO Masahiro  
研 究 官 高橋 慶  
Researcher TAKAHASHI Kei

主任研究官 藤田 裕士  
Senior Researcher FUJITA Yuji  
交流研究員 鍋田 仁人  
Guest Research Engineer NABETA Kimihito

This study analyses nation-wide bridge inspection data to improve both the quality and the efficiency of inspection procedure. This year, statistic characteristics were examined for three cycles of bridge inspection data to clarify the issues to be solved in the data analysis for bridge inspection data.

### 【研究目的及び経緯】

道路の老朽化や大規模な災害の発生の可能性等も踏まえた道路の適正な管理を図るため、平成 25 年に道路法の一部等が改正され、道路管理者は、平成 26 年より、トンネル、橋などは 5 年おきに定期点検を行うことが義務付けられた。国では平成 26 年に道路橋の定期点検に関する技術的助言である「道路橋定期点検要領」を全道路管理者に発出するとともに、平成 31 年には、それまでの定期点検結果の分析結果など本研究課題の成果も踏まえて、技術的助言の改定を行った。

最終年度である令和元年度は、国が管理する道路橋の定期点検で平成 16 年～29 年度に蓄積された 3 巡分の定期点検データを用い、今後の道路橋の設計・点検基準の改定や充実に有用な知見を得るための統計分析の課題を整理することにした。

### 【研究内容及び研究成果】

#### 1. 定期点検の実施期間の違いによる統計的な劣化傾向の変化

国が管理する道路橋約 24,000 橋については、平成 16 年から、現在の法定事項だけでなく、部材等を要素と呼ばれる単位で分割し、要素内の損傷の種類や外観を客観的に区分する、損傷程度の評価を記録している。これを用いると、ある橋について 2 回の定期点検結果 ( $i$  回目とその 5 年後の  $i+1$  回目) があれば、定期点検間隔 5 年の間の同一要素の損傷程度の変化を追跡できる。これまでも全国の道路橋の統計的な劣化特性を調べてきており、その結果は、例えば国総研資料第 985 号等でまとめている。

本年は、平成 16 年度から平成 29 年度の間で 3 回 ( $i$  回目 → その 5 年後の  $i+1$  回目 → その 5 年後の

$i+2$  回目) の損傷程度の評価が行われている道路橋約 2 万橋を取り上げ、 $i$  回目から  $i+1$  回目の要素の状態の遷移確率行列と  $i+1$  回目から  $i+2$  回目の遷移確率をそれぞれ求めた。確率値だけではその違いの特徴を考察しにくいことから、遷移確率行列をべき乗し、経年の状態の確率を計算して、結果を比較してみた。

鋼主桁の腐食について、比較した結果を図-1 に示す。損傷程度  $a$  は変状が見られないかあっても軽微、 $e$  は腐食であれば腐食面積が大きく、深さも深い。なお、 $i$  回目から  $i+1$  回目、又は、 $i+1$  回目から  $i+2$  回目の間で状態が改善している要素は、遷移確率の行列でデータから取り除き、参照した要素数は、 $i$  回目から  $i+1$  回目が約 110,000、 $i+1$  回目から  $i+2$  回目が約 162,000 である。これを見ると、 $i$  回目から  $i+1$  回目のデータより  $i+1$  回目から  $i+2$  回目のデータから得られた劣化特性のほうが経過年が増えても損傷程度  $a$  に留まる確率が高いことが分かる。たとえば、損傷程度が  $b$  又は  $b$  よりも悪い状態となる割合が計算上 50% を超える年数を矢印で示しているが、 $i$  回目から  $i+1$  回目のデータからの計算結果では 15 年、 $i+1$  回目から  $i+2$  回目のデータからの計算結果では 20 年となっている。

一般的に、橋は損傷程度  $e$  に至る前に修繕されることが多く、どの損傷種類についても損傷程度  $e$  のデータ数はそもそも少ないので、 $e$  の割合でデータ間を比較することは適当でない可能性がある。しかしながら、 $d$  と  $e$  を合算して比較しても、 $i$  回から  $i+1$  回のデータより  $i+1$  回から  $i+2$  回目のデータから計算した方が、経年でそれらの状態に達する確率が低い。

同じ主桁でも桁端と支間中央部付近の要素を区別して、遷移確率行列を求めてみると、同様の傾向がみら

れた。

以上の傾向は、状態の悪い要素を含む橋について、修繕が進み、結果的に、状態のよい橋が増えていることが原因と考えられる。i 回目から i+1 回目の定期点検より、i+1 回目から i+2 回目の定期点検では補修後の要素が多く含まれた結果、d、e のデータ数が減っているものと考えられる。

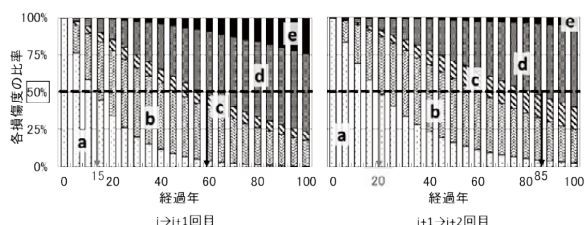


図-1 鋼主桁の腐食

図-2 にプレテン PC 主桁の端部のひびわれについての分析結果を示す。これも、i+1 回目から i+2 回目のほうが、劣化の進展が遅いという結果になる。これも、補修後の要素が多く含まれると考えられる。

以上から、統計的に橋の劣化特性を把握するにあたっては、たとえば、分析結果の活用目的に応じて、遷移確率を計算するサンプルとする定期点検結果を変えるなどの注意が必要となること、様々な部材種別や変状種類について既に遷移確率をまとめているところであるが、それで終わりということではなく、定期的に作り直すことが良いことが分かった。

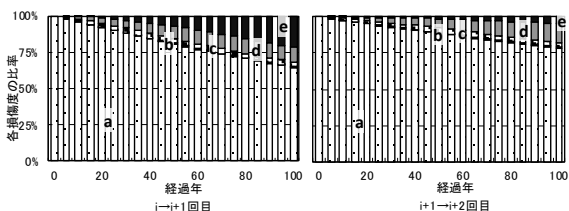


図-2 プレテン PC 主桁端部のひびわれ

## 2. データ数の少ない材料等に関わる統計分析

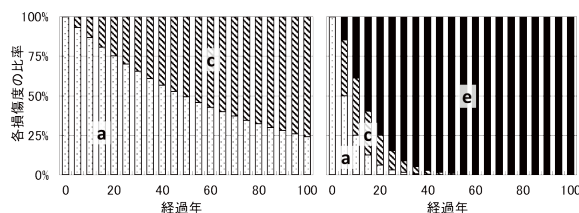
今後、補修補強が進むにつれ、様々な材料や工法が補修補強で用いられると考えられる。それらの材料や工法の適用にあたっての留意点等の助言を充実していくためにも点検データの分析が期待される。しかし、個々の材料や工法に着目すれば、必ずしも多くのデータが集まらないことも想定される。点検データ数が少ない場合、遷移確率の信頼性が劣ることは既に国総研資料第 985 号でも実例で示しており、少なくとも数百橋のデータが必要と考えられる。また、そのような材料や工法が現場で使用され始めてからの期間が短いと損傷程度が d や e に至るデータが得られにくいことも予想され、かなり長期のデータの蓄積を待たなければならない。

そこで、データ処理上の工夫により、有用な知見を

早期に得られる可能性を見出したい。今回、過去に補修された記録があるプレテンの PC 主桁について、補修後の 2 回分の点検結果がある橋 (28 橋) 及び要素 (540 要素) を取り出し、その要素の i 回目から i+1 回目の状態の推移から遷移確率を異なる統計手法で求めてみた。1 つは国総研資料 985 号で用いているマルコフ数え上げによる集計的な手法、もう 1 つは劣化過程に斉時性を仮定したハザード関数を用いた非集計的な手法である。なお、将来は、補修材料や工法毎にも分析したいところであるが、今回は簡単のため区別していない。

マルコフ数え上げは、図-1 や図-2 の結果を得たのと同じ計算方法であり、遷移確率を用いて、これをべき乗し、経年の状態の確率を計算したものである。その結果を図-3(a) に示す。これは、データに含まれる損傷程度の種類やその比率に依存するため、たとえば永遠に e には至らないという非現実的な結果であることが分かる。一方のハザード関数は、a から e の全てが現れ得ることを数学上の仮定としているものであり、その結果を図-3(b) に示す。これを見ると、補修後 20 年程度で 7 割程度が非常に悪い状態に再び達することが分かる。

どちらの方法でも材料や工法等の違いによる劣化速度の違いを相対的に比較できる可能性が見出される可能性があるが、ハザード関数を用いた方が、計算上は大きな差が現れやすいと考えられる。今後、比較的データ数が多い補修補強材料等を対象に、たとえば補修補強材料や母材の違い、変状の種類の違いごとにハザード関数の形状を決める方法について検討を進めるのがよいと考えられる。



(a) マルコフ数え上げ (b) ハザード関数  
図-3 算出モデルの違いによる劣化傾向の違い

## 3. まとめ

点検データを統計的に集計することにより得られる結果は物理化学的な原理を再現していないが、損傷の種類や発生傾向が把握できる手段として有効である。統計分析の活用範囲の拡大に向けて、引き続き調査を行うのがよいことが分かった。

### 【成果の活用】

本研究で得られた成果は、道路橋定期点検要領の改定に反映される予定である。

# 道路橋管理におけるアセットマネジメント活用に関する調査検討

## Study to utilize asset management for road bridges

(研究期間 平成 29～令和元年度)

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

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher

白戸 真大  
SHIRATO Masahiro  
藤田 裕士  
FUJITA Yuji

研究官  
Researcher  
高橋 慶  
TAKAHASHI Kei

交流研究員  
Guest Research Engineer  
鍋田 仁人  
NABETA Kimihito

Life cycle cost (LCC) is commonly utilized as one of the indicators to make a plan of long-term bridge management. However, many parameters are involved with various uncertainties in the estimation of LCC. Accordingly this research tackles to clarify the major sources of uncertainty in the estimation of LCC and give notices to bridge owners on the planning for long-term bridge management. This year, we proposed a relevant set of parameters and assumptions to estimate LCC and ascertained the degree of unavoidable error in the calculation of LCC.

### [研究目的及び経緯]

道路橋維持管理に関する中長期計画を検討するにあたって、将来の維持管理費用（以後、この報告では、ライフサイクルコスト又はLCCと呼ぶ）の計算値が評価指標の一つとして用いられ、様々な比較検討がなされる。しかし、計算を行う上での様々な仮定の違いによってLCCの計算値はばらつく。図-1にLCCを計算する際に必要となる仮定の例を示す。劣化や補修の実績を調べることでこれらの仮定の方法を改善する努力は必要だが、それでも、仮定と現実とは一致しないので、計算値を確定値として活用することはできない。そこで、使用目的に応じた仮定の与え方や結果を解釈する方法論を確立する必要がある。

令和元年度は、図-1の計算上の劣化過程や修繕実施の判定式の与え方についてパラメトリックスタディーを行った上でそれらの設定方法を提案するとともに、それでも残る推計の不確実性を明らかにした。

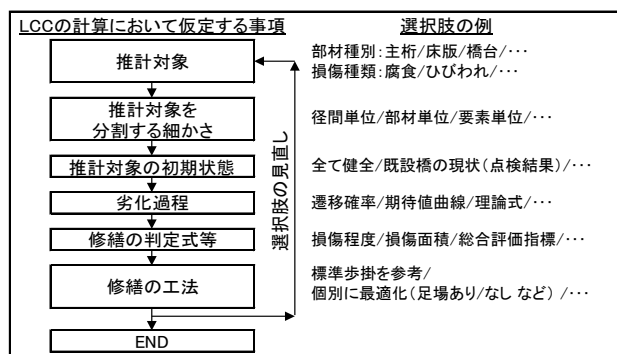


図-1 LCC 推計のフローと選択肢の例

### [研究内容及び研究成果]

### 1. 推計方法の設定

図-1に示すように、どの程度細かくパラメータを区分するか、また、それぞれのパラメータにどのような仮定を置くかには無数の選択肢がある。そこで、劣化の進行のモデル化や修繕実施の判定に様々な仮定を組み合わせる様々な試算を行った。その結果、国総研資料第776号の総合評価指標を算出するときの部材や要素等の評価単位に合わせるのが、様々な橋について平均的には最も実情に近いLCC推計になりそうなのが分かった。表-1に示すように、劣化過程は要素単位でモデル化する一方で、補修補強を行うのかどうかの判断と補修補強の実施の単位は、基本は部材単位とすることや、その中でも主桁については桁端部とその他部位に分けて行うこと、さらに支承や伸縮装置は、劣化の進行に関わらず、一定年で修繕や交換することを仮定する方が現実的な計算値となった。

### 2. 道路橋の状態推移や維持修繕費用の実績値と計算値の比較

過去の修繕の時期や費用の記録が比較的残っている道路橋50橋を対象に計算をする。各部材は要素に分割したうえで、要素単位で複数の変状の種類と劣化の推移を仮定する。ただし、亀裂については、個々の橋の特性に大きく依存するため、劣化曲線等を当てはめて検討することは適切でないと考え、対象としていない。推計劣化の推移は、国総研資料第985号にまとめている国管理の道路橋の定期点検結果を統計処理した劣化曲線を用いる。実際には、平成30年度に検討したように劣化に関する遷移確率を用いたモンテカルロ

シミュレーションによる予測の方が現実に近いLCCの推計値を与えたが、実務での適用を考えて以下では劣化曲線によったときの結果を紹介する。

計算上の修繕の判断と実施の単位は前述のように総合評価指標の計算単位に合わせ表-1のように仮定し、5年ごとに判定、積み上げを行う。また、計算上の修繕の判断と工法は表-2のように仮定した。修繕工法は、積算単価が定まっている工法を基本にした。これは、全国の道路橋という母集団において広く用いられている基本的な工種と見なせること、また、その平均的な費用を代表すると考えられる単価が仮定できると考えられるためである。

なお、付属物（排水設備、高欄、検査路設置など）、橋の耐荷性能に直接は関連しない工種（剥落防止など）は試算の対象には含まない。

表-1 実績の費用推移を考慮した推計単位

橋種	部材	損傷種類	劣化予測	修繕判断*	修繕範囲
鋼橋	主桁など	防食機能の劣化、腐食	要素単位	桁端:径間単位 中間:径間単位	桁端:径間単位 中間:径間単位
	コンクリート床版	床版ひびわれ	要素単位	径間単位	径間単位
RC橋 PC橋	主桁など	ひびわれ、剥離・鉄筋露出	要素単位	要素単位	部材単位
下部構造		ひびわれ	要素単位	要素単位	要素単位
支承・伸縮装置		—	—	定期修繕交換	径間単位

※総合評価指標の評価単位による

表-2 計算上の修繕の判断規範と工法

橋種	部材	損傷の種類	修繕の判断指標	修繕工法
鋼橋	主桁など	防食機能の劣化	桁端部: 損傷程度 e 中間部: 損傷程度 a の残存率<10%	部分塗装塗替え (Rc-III) 20%
		腐食	桁端部: 損傷程度 d 中間部: 損傷程度 d+e の発生率>10%	全面塗装塗替え (Rc-I) 100%
	コンクリート床版	床版ひびわれ	損傷程度 a の残存率<50% 損傷程度 d+e の発生率>10%	ひびわれ注入 炭素繊維接着
RC橋 PC橋	主桁など	ひびわれ、剥離・鉄筋露出	損傷程度 c	ひびわれ注入
		ひびわれ、剥離・鉄筋露出	損傷程度 d	ひびわれ注入 + 断面修復
下部構造		ひびわれ	損傷程度 c	ひびわれ注入
			損傷程度 d	ひびわれ注入 + 断面修復
支承		—	50年経過	支承本体及び杓座モルタル補修
伸縮装置		—	30年経過	取替え

(1) 橋梁群での実績値と計算値の比較

各橋の修繕費の50年目までの累計値を算出し、その後、50橋分を足し合わせた計算値と実績値の比較結果を図-2に示す。実績値は合計費用の25%まで積み上がるのに20~25年を要し計算値も同じであった。比較の結果、50年目の計算値と実績値の比率は0.73となり、最も実績値に近い30~35年での比率は0.93となった。つまり、計算結果の活用にあたっては、大凡30%程度の誤差があると考えられることを前提にすることがよいか分かった。

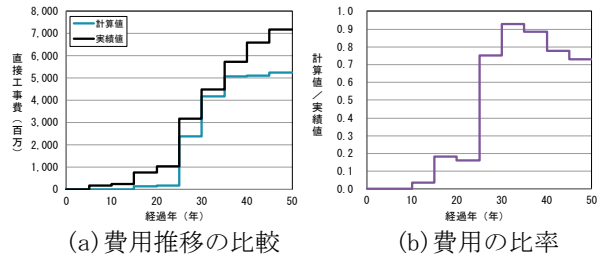


図-2 LCC算出結果(50橋足し合わせ)

(2) 橋梁個別での実績値と計算値の比較

あるポステンT桁橋を取り上げ、計算値と実績値の比較結果を図-3に示す。実橋では塩害に対して断面修復と表面被覆を繰り返しており、計算値も適用している工法に違いはないが実績値の方が対策範囲や修繕数量が大きく取っていたことで差がでたと考える。

このように1橋1橋で見れば、LCC額も補修時期も全く一致せず、表-1及び表-2の仮定の組合せでの補修時期や金額の計算は、個々の橋の修繕計画を立てる際には補修時期や金額についてはあまり参考にできないと考えるのがよいことが分かった。一致しない理由は、多くの橋についての統計的な平均的な性質を個別の橋に当てはめて仮定していることにあると考えられる。たとえば、劣化の仮定も多くの橋の平均的かつ統計的な性質を表すに過ぎない。修繕工法も、積算単価が定まっている工法を基本にしているが、これは、全国の道路橋という母集団において広く用いられて基本的と考えられる工種で、その平均的な費用を代表すると考えられる単価を用いていることになる。個々の橋の劣化も修繕の方法も、統計的な性質に対するばらつきが非常に多い。したがって、統計的な仮定の組合せ下でのLCC推計の結果は、個々の橋について着目するよりも、橋の集団をまとめて扱うことで意味を持つようになると思われる。

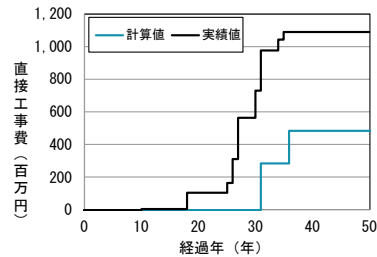


図-3 LCC算出結果(ポステンT桁橋の例)

3. まとめ

複数の橋のLCCの総計を行うための標準的なLCC推計方法を提案した。それでも、30%程度の誤差は避けられないことは、結果の活用にて反映することが必要である。

[成果の活用]

LCC推計マニュアルを作成する際に活用する予定。

# 部分係数設計法の補修補強設計への適用に関する調査検討

## Study on the application of partial factor design for existing bridges

(研究期間 平成30～令和2年度)

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

室 長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher  
研究 官  
Researcher

白戸 真大  
SHIRATO Masahiro  
藤田 裕士  
FUJITA Yuji  
高橋 慶  
TAKAHASHI Kei

The present study has been developing for the rational structural evaluation of existing road bridges. Live road factors may change with changing the assumed service period. This year stochastic simulations were conducted to estimate live load factors with different reference periods based on a WIM dataset.

### 【研究目的及び経緯】

既設橋の補修補強設計に適用基準として平成29年道路橋示方書を用いる場合には、そこに規定されている新設橋の設計に用いる設計活荷重や活荷重係数を適用して設計することとなる。一方で、規制の必要性、補強の必要性を検討するため、又は、対策を実施するまでの当面の間に供用させることができるかどうかの判断においては、新設橋の設計に用いる設計活荷重や活荷重係数をそのまま用いるのではなく、想定する供用期間や架橋地点特有の交通特性に応じて、架橋地点の特性を踏まえた活荷重や活荷重係数の調整をすることで、より合理的な判断を行える可能性がある。

本年度は、想定する供用期間に応じた活荷重規模を統計的に推定するために必要となる交通流の計測方法を提案するための基礎データを得るため、実在する複数の橋梁に対し活荷重実態調査から得られた交通流データをもとに確率過程を考慮したモンテカルロシミュレーション(以下、「荷重シミュレーション」という。)を実施し、大型車混入率や橋梁形式、支間長をパラメータとして計測期間と断面力最大値との関係を整理した。

### 【研究内容】

#### 1. 荷重シミュレーション

荷重シミュレーションに用いる対象橋梁は、表-1の8橋を選定した。

荷重シミュレーションは、平成29年道路橋示方書の部分係数の設定においても参考にされた国総研資料第1031号「道路橋の設計状況設定法に関する研究」によった。車種や重量の比率は、国総研資料第295号「道路橋の設計自動車荷重に関する試験調査報告書-全国活荷重実態調査-」に収録されている有明曙橋における72時間のWIM(Weigh-in-Motion)記録に基づくものとした。大型車の混入状況による荷重係数の計算値の変

化を調べるため、橋上に表れる車両列の期間中の平均大型車混入率が30%、45%になるようにした。断面力最大値を得るための評価期間は、3日、6日、1年、5年、10年とした。そして、各期間の最大値1,000個から最大値分布を作れるように、それぞれの期間等の設定ケースに対して1,000回のシミュレーションを行った(表-2)。

表-1 対象橋梁の概要

橋梁形式	支間長
単純鋼合成鈹桁	20m, 40m, 60m
単純鋼非合成鈹桁	20m, 40m, 60m
単純PCプレテンションT桁	20m
単純PCポストテンションT桁	40m

表-2 荷重シミュレーションの条件

BWIM計測	平均大型車混入率	評価期間	繰り返し回数
有明曙橋	30%, 45%	3日、6日、1年、5年、10年	1,000回

#### 2. 支間長と断面力最大値分布の変動係数の関係

荷重シミュレーション1,000回の各ケースの曲げモーメントとせん断力それぞれの最大値の分布(以下、「断面力最大値分布」という。)が正規分布に従うと仮定した場合のばらつき(以下、「変動係数」という。)について、橋梁形式・支間長をパラメータとして関係性を整理した。例えば、大型車混入率が45%のとき、外桁の端支点断面におけるせん断力について、計算結果を表-3に示す。いずれの橋梁形式でも支間長の増加につれて、断面力最大値分布の変動係数が減少する傾向がみられた。これは、支間長の増加につれて、橋梁上に載荷される車両台数が多くなり、個々の大型車の重量や軸配置のばらつきが桁発生断面力に与える影響

が小さくなったことによるものと考えられる。また、期間が短いほど、断面力最大値のばらつきが大きくなる。現在、現地でのWIM計測は、72時間（3日間）で行われることが多いが、これを6日間にしても橋が受ける断面力最大値の推定に関わる信頼性水準が改善される程度は限定的である。

表-3 断面力最大値分布の変動係数

		橋梁形式・支間長								
		鋼合成鉄桁			鋼非合成鉄桁			PC		
		20m	40m	60m	20m	40m	60m	20m	40m	
参照期間	3日	31%	23%	21%	30%	23%	20%	32%	46%	
	6日	28%	21%	18%	27%	22%	18%	27%	55%	
	1年	16%	12%	10%	15%	12%	10%	15%	47%	
	5年	13%	9%	8%	13%	9%	8%	12%	14%	
	10年	11%	8%	7%	11%	8%	7%	11%	9%	

### 3. 評価期間の断面力最大値分布の傾向

現在、現地でのWIM計測は、72時間（3日間）で行われることが多い。ここでは、それは、計測される応力の最大値を荷重シミュレーションによる断面力最大値分布の荷重評価期間3日間平均値（非超過確率50%値）と一致すると仮定し、評価期間3日間非超過確率50%値に対する各期間の同じ断面での断面力最大値分布における非超過確率50%値・95%値の比率について、整理した。

まず、全体的な傾向を把握するために、支間長40mの鋼合成鉄桁・鋼非合成鉄桁・PCポストテンションT桁に対して、大型車混入率30%の交通流により外桁・内桁それぞれの端支点せん断力及び支間中央の曲げ応力について、評価期間を変えて試算した結果を表-4a)に示す。これをみると、橋梁形式、内桁外桁、せん断力曲げ応力によらず、概ね同様の傾向であった。

このことを踏まえ、評価期間・支間長・大型車混入率を変えて試算した結果のうち、代表事例として、鋼合成鉄桁橋の外桁の端支点せん断力に関する結果を表-4b)に示す。これをみると、評価期間が増加するほど、支間長が短いほど、大型車混入率が小さいほど、荷重評価期間3日間非超過確率50%値に対する比率が大きくなる傾向があった。

これらの試算から、例えば3日程度の応力計測を現地で行ったときに得られた最大値（非超過確率50%値）に2~3倍程度することで、1年から10年程度までの最大値分布の非超過95%~50%程度に調整できそうであることが分かった。したがって、地点ごとの大型車の車種比率等、交通特性の違いについての検討を増やし、このような傾向が一般化できるか、引き続き、検討を続ける必要がある。

表-4 断面力最大値分布の

荷重評価期間3日間非超過確率50%値に対する比率

a) 評価期間・橋梁形式・せん断・曲げによる違い

(支間長40m、大型車混入率30%、荷重非超過95%値)

		外桁					
		鋼合成鉄桁		鋼非合成鉄桁		PCポストテンションT桁	
		せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ
評価期間	1年	2.59	2.72	2.58	2.74	2.72	2.88
	5年	2.89	2.99	2.89	3.01	3.05	3.17
	10年	2.97	3.07	2.96	3.10	3.17	3.28

		内桁					
		鋼合成鉄桁		鋼非合成鉄桁		PCポストテンションT桁	
		せん断	曲げ	せん断	曲げ	せん断	曲げ
評価期間	1年	2.69	2.42	2.68	2.42	2.78	2.34
	5年	3.09	2.66	3.08	2.66	3.20	2.59
	10年	3.23	2.71	3.20	2.71	3.35	2.64

b) 評価期間・支間長・大型車混入率・荷重非超過確率による違い

(鋼合成鉄桁・外桁の端支点せん断力)

		荷重非超過95%値					
		大型車混入率45%			大型車混入率30%		
		20m	40m	60m	20m	40m	60m
評価期間	1年	3.11	2.33	2.09	4.05	2.59	2.43
	5年	3.57	2.56	2.28	4.81	2.89	2.57
	10年	3.70	2.67	2.35	5.13	2.97	2.70

		荷重非超過50%値					
		大型車混入率45%			大型車混入率30%		
		20m	40m	60m	20m	40m	60m
評価期間	1年	2.28	1.88	1.75	2.80	2.05	1.92
	5年	2.78	2.20	1.98	3.49	2.43	2.22
	10年	3.00	2.30	2.07	3.78	2.55	2.35

### 【今後の課題】

今後は、様々な交通流を考慮した荷重シミュレーションを行うとともに、過年度の結果と併せて、既設橋の補修補強設計に用いる荷重組合せ係数・荷重係数の提案、及び、現地で活荷重計測を行った結果から当面の供用可否に関する判定をするときの活荷重係数の設定法について、提案することとしたい。

### 【成果の活用】

補修補強設計の技術資料作成の参考資料として活用する予定である。



# 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～令和 2 年度)

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

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

白戸 真大  
SHIRATO Masahiro  
中尾 勝  
NAKAO Masaru  
大西 諒  
ONISHI Ryo  
鈴木 克弥  
SUZUKI Katsuya

Bolted doubler plates are widely used to repair existing steel bridge girders and columns. This method requires to ensure a degree of the friction at the junction surface between the added plate and the existing plate. Existing corroded plates have an uneven thickness and the corroded part is usually disregarded as the junction surface, sometimes resulting in the enlargement of doubler plates. This study has conducted specimen friction tests of bolted doubler plates between new adding plates and corroded plate specimens. Corroded plate specimens were made by cutting out of a decommissioned bridge girder that had corrosion. The test result has shown that corroded plates may mobilize a friction coefficient around 0.40 in average but the variation in the coefficient tends to increase with increase in the unevenness of corroded plate surface.

### 【研究目的及び経緯】

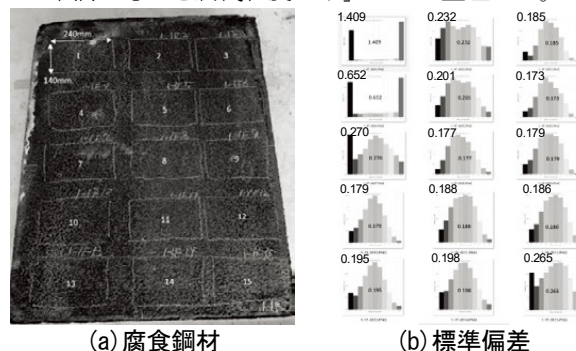
鋼桁の補修補強工法のひとつとして用いられるあて板工法は、摩擦接合によって既設部材とあて板部材を一体化し作用力を協同で分担させるものである。腐食等によって凹凸が生じている既設部材では、その凹凸の影響で板と板との接触面で片あたりが生じ、新設部材の継手で期待しているような摩擦力が発揮されないことが懸念される。そこで従来の設計では、腐食の程度によらず、凹凸部を避けた位置まであて板を延長して定着を行っており、補修補強範囲が大きくなることもある。一方で、腐食程度に応じて継手としての性能がある程度確保できることが確認できれば、あて板を既設部材の腐食箇所に着することでより合理的な設計が可能となる。令和元年度は、撤去した鋼道路橋から切り出した腐食鋼材を用いてあて板箇所を模擬した小型試験体を製作し、その引張試験により鋼材の腐食程度に応じた性状を把握することを試みた。

### 【研究内容及び研究成果】

#### (1) 鋼材の腐食程度の評価

試験体の製作に先立って、腐食鋼材の腐食程度を定量的に評価することを目的に、3D スキャナーを用いて鋼材表面の形状計測を行い、凹凸の標準偏差によって腐食程度を分類した。分類した鋼材の一例を図-1 に示す。形状計測は縦横 0.4mm 毎に鋼材表面の標高を計測し、その平

均標高と各測定点との差の度数分布と標準偏差を算出し、標準偏差が 0.3 以上のものを腐食程度「大」、標準偏差が 0.2 以上、0.3 未満のものを腐食程度「中」、標準偏差が 0.2 未満のものを腐食程度「小」として整理した。



(a) 腐食鋼材 (b) 標準偏差

図-1 腐食程度の評価結果

#### (2) すべり試験片の製作

(1) で分類した腐食鋼材を用いて標準すべり試験<sup>1)</sup>用試験片を製作した。実施工においては、母材に腐食鋼材、あて板に新規鋼材を用いる。しかし、本試験で用いた腐食鋼材の板厚が 10mm 程度と薄いこと、結局は摩擦面でのすべり係数が評価できればよいことから、本試験片においては、母材に新規鋼材、あて板に腐食鋼材を用いた。各試験片の諸条件を表-1 及び図-2 に、試験片の一例を写真-1 に示す。実施工においては、ケレン後の母材の防せいや不陸修正の目的で、母材とあて板との間に充填材を



塗布することがあり、充填材によるすべり係数への影響を確認するために充填材ありの試験片も製作した。

表-1 すべり試験片の諸条件

試験片No.	母材		あて板			充填材
	使用鋼材	素地調整	使用鋼材	腐食程度	素地調整	
T-A-1~5	新規鋼材	1種ケレン	腐食鋼材	大	2種ケレン	無
T-B-1~5				中		
T-C-1~5			小			
T-D-1~5			—	1種ケレン		
T-Asa-1~3			新規鋼材	大	2種ケレン	
T-Asb-1~3	腐食鋼材	大	b			
T-Asc-1~3	大	c				

充填材 a: エポキシ樹脂系接着剤、b: 金属用補修材、c: 高摩擦有機ジンクリッチペイント

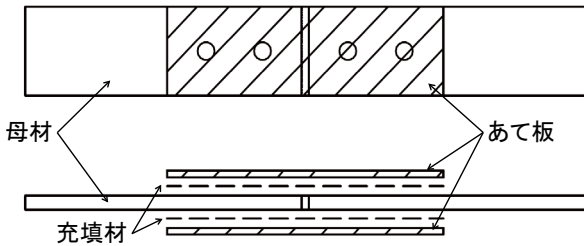


図-2 すべり試験片



写真-1 すべり試験片

### (3) 腐食鋼材を用いたすべり試験

#### 1) すべり試験

(2)で製作したすべり試験片を用いて標準すべり試験を実施した。試験状況を写真-2に示す。荷重は、母材とあて板の間にすべりが生じるまで行うものとし、ボルト軸力のリラクセーションの影響を考慮して、ボルト締付け後12時間以上経過したのちに実施するものとした。なお、充填材を塗布した試験片は充填材の養生期間(約1か月)を確保したのちに荷重を行った。

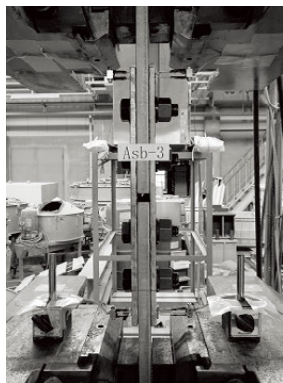


写真-2 すべり試験の状況

#### 2) すべり試験結果

図-3 に鋼材の凹凸の標準偏差とすべり係数の関係を

示す。すべり係数は導入ボルト軸力から算出した。なお、図中では新規鋼材の凹凸の標準偏差は0として整理している。

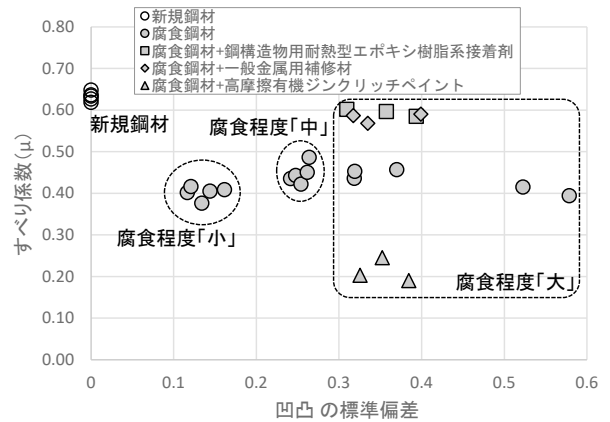


図-3 鋼材の凹凸の標準偏差とすべり係数

本試験から得られた知見は以下のとおりである。

- ・本試験の範囲では、腐食程度(凹凸の標準偏差)の違いによるすべり係数の明確な違いは見られない。
- ・2種ケレンによる素地調整を行った腐食鋼材であて板したときのすべり係数は、新規鋼材であて板したときのすべり係数に比べて25~40%程度低い値となるが、平均するとすべり係数0.4程度は期待できそうである。ただし、新規鋼材であて板したときに比べてばらつきの程度が大きくなる傾向が見られる。
- ・腐食程度「大」の試験結果と腐食程度「大」に充填材を塗布した試験結果から、充填材がすべり係数に影響を与えることがわかった。ただし、充填材は付着強度を持つため、本試験結果を摩擦の効果として整理することの是非は今後の検討の課題である。
- ・充填材の種類によっては、すべり係数が低下し、継手の設計として危険側となる場合もあることがわかった。

#### (4) 今後の課題

引き続き、あて板工法の既設部材への適用性や設計施工時の留意点を把握するため、試験結果の分析をすすめること、またここでのような要素試験だけでなく、局部腐食した鋼桁を模擬した供試体にあて板を設置した曲げ・せん断荷重試験により、要素試験の結果を実構造へ適用することが可能か検証を行う必要がある。

#### 【成果の活用】

あて板を用いた補修補強の留意点をとりまとめ、腐食鋼材に対する補修補強設計手法の確立に活用する。

#### 【参考文献】

- 1) 土木学会, 高力ボルト摩擦接合継手の設計・施工・維持管理指針(案), 平成18年12月

# 盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

## Study on Management method corresponding to required performance for cut slope and embankment

(研究期間 平成 30～令和 2 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室  
Road Structures Department

Foundation, Tunnel and Substructure Division

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

研究官

Researcher

七澤 利明

NANAZAWA Toshiaki

伊藤 浩和

ITO Hirokazu

佐々木 惇郎

SASAKI Atsuo

It is required to efficiently maintain and manage road structures concentrated in the high economic growth period in the future, and from July 2014, once every five years Legal inspections are conducted for road structures such as tunnels. This research analyzes the inspection results in order to maintain and manage the road structure efficiently, and examines how to reflect it on asset management in the revision of inspection request.

### 【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 年度からトンネル等の道路構造物について 5 年に 1 回の法定点検が行われている。

本研究は道路土工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、点検の合理化及び資産管理への反映方法について検討するものである。

令和元年度は平成 26 年度～30 年度の 5 箇年で定期点検を実施した国が管理するシェッド等約 810 施設及びカルバート約 2,660 施設を対象としてその結果を整理した。あわせて、構造形式や設置環境などの条件ごとの変状傾向や特性等も分析し、部材の重要度の設定も試みた。

### 【研究内容及び研究成果】

#### 1. シェッドの定期点検結果の分析

国が管理している施設を対象に、平成 26 年度～30 年度の定期点検結果より変状及び健全性に関する分析を実施した。

健全性の診断結果は I (健全) が約 1 割、II (予防保全段階) が約 5 割、III (早期措置段階) が 4 割で、IV (緊急措置段階) は無かった (図-1)。これを材料別 (上部構造) で整理した結果を図-2 に示す。施設数では鋼製シェッドが約 7 割の施設で健全性 III となっており、RC 製・PC 製に対して高い比率となっている。これは、鋼製シェッドが完成年度の古い施設で多

くを占めていること (図-3) や厳しい環境条件に多く設置されていることが影響していると考えられる。

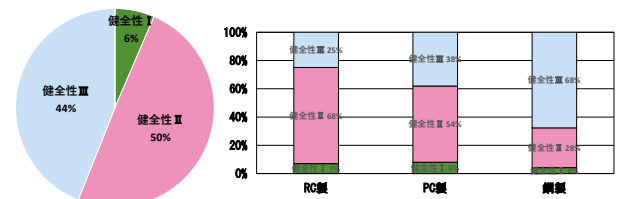


図-1 判別区分ごとの比率 図-2 材料別の健全性の比率 (シェッド)

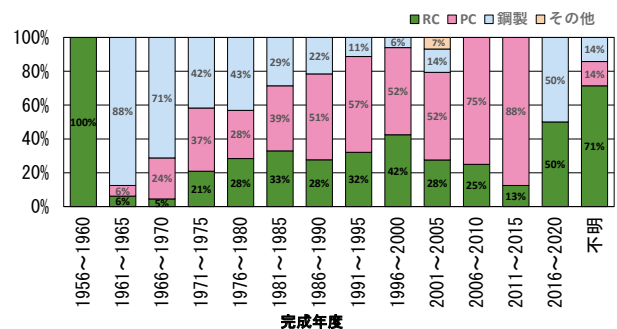


図-3 材料別の完成年度の比率 (シェッド)

シェッドの設置環境と部材の変状程度 (a: 変状無し～e: 変状程度大) 及び発生位置の傾向を確認するために、RC 製シェッドの谷側構造 (谷側柱・谷側受台) におけるうきについて、塩害対策区別に整理した結果を図-4 に示す。塩害の影響が激しい S 区分ではその他の区域に比べ変状があったとされる e の比率が高い。これは、谷側構造が飛来塩分に曝さ

れ、内部鋼材の腐食等の塩害劣化が生じやすい環境にあったためと考えられる。その他の区域については、S区分よりも比率は低いものの、下部でeの比率が高くなっている。これは、散布した凍結防止剤等が下部に付着し塩害劣化が生じやすいことが影響していると考えられる。

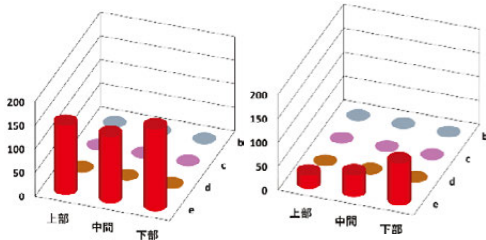


図-4 塩害の影響とうきの程度(RC製シェッド谷側構造)

シェッド等の部材の重要度の評価は、以下の流れで検討した。図-5に頂版(RC製シェッド)での設定例を示す。

- ①部材で発生する恐れのある最も影響が大きい変状とそれらの要因(外力作用、環境、材料劣化)及び対策工を、「機能の確保」、「構造形式の形状保持」及び「利用者被害の懸念」に着目して整理した。
  - ②整理した事項に対して懸念事項の「発生頻度」、「発生影響度」及び「補修・補強工事(対策工)の難易度」を設定した。なお、補修・補強工事の難易度は、国土交通省で運用されている工事難易度評価の小項目別運用表を参考に「難、やや難、容易」で評価した。
- 前述のRC製シェッドは谷側の擁壁基礎を重要度の高い部材と評価しており、図-4の整理結果からも今後重点的に管理することも検討する必要が示唆された。

部位	部材	整理の着目点	懸念	対策工	重要度の設定		
					懸念の発生 A:頻度	C:補修・補強の難易度	被害度評価
上部構造	頂版	機能の確保	緩衝設置なし	基石を置き、部材を取り換える	⇒ 中	高	⇒ 高
		機能の確保	実物が痒う	部材取換え工	⇒ 低	高	⇒ 高
		構造形式の形状保持	部材の破壊や腐蝕力増	部材取換え工	⇒ 低	高	⇒ 高

図-5 頂版(RC製シェッド)の重要度の設定(一部抜粋)

## 2. 大型カルバートの定期点検結果の分析

大型カルバートの健全性の診断結果はIが約3割、IIが約6割、IIIが約1割でIVは無かった(図-6)。

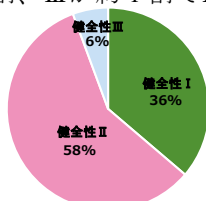


図-6 判定区分ごとの比率(カルバート)

全施設を対象とした変状種類及び変状発生数の傾向

を把握するため変状を種類ごとに集計した(図-7)。変状は「ひびわれ」が最も多く、全変状数の約52%(33,116/62,933箇所)を占めている。

カルバートの構造形式と部材の変状程度及び発生位置の傾向を確認するために、場所打ちボックスカルバートにおけるひびわれについて、変状の生じている各部材ごとに変状程度の比率を整理した(図-8)。頂版と側壁で変状程度の大きいd~eの比率が高くなっている。頂版については上部道路からの活荷重や鉛直土圧が常態的に作用し、曲げひびわれが発生しやすい状況が影響していると推察される。一方、側壁では鉛直方向のひびわれが多くなっている。ひびわれの発生状況から、多くは底版部の拘束による温度ひびわれや乾燥収縮ひびわれであることが推察される。

カルバートにおいてもシェッドと同様に部材の重要度の設定を行った。頂版は、変状時の部材落下による利用者被害の懸念等から重要度の高い部材と評価している。

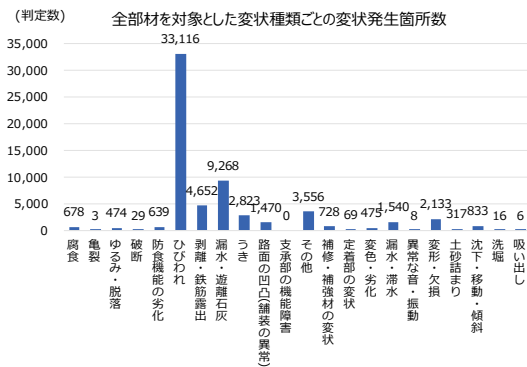


図-7 変状種類ごとの変状発生箇所数

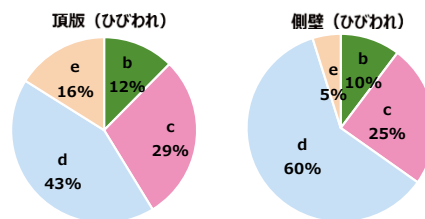


図-8 ひびわれの変状程度の比率(場所打ちボックスカルバート)

## 【まとめ】

今年度の研究では1巡目の点検結果を整理し、構造形式や設置環境などの条件ごとの変状傾向や特性等を分析した。既に2巡目の定期点検が開始されており、今後とも劣化傾向等の健全性に影響を与える変状や変状の進行性等を分析し、維持修繕計画や定期点検の合理化等の提案につなげていく予定である。

[成果の発表] 国総研資料や各種論文で発表予定

[成果の反映] 定期点検要領や各種基準へ反映予定

# 盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

Survey and investigation on management method corresponding to required performance of road embankment and cut  
(研究期間 平成 30～令和 2 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

渡邊 一弘  
WATANABE Kazuhiro  
藤原 年生  
FUJIHARA Toshio

The purpose of this study is to analyze the inspection results of directly controlled national roads, to organize trends in variation, and to propose an organized evaluation method for damage cases that are helpful in determining soundness.

## 【研究目的及び経緯】

平成 27 年 3 月に「道路土工構造物技術基準」が、平成 29 年 8 月には「道路土工構造物点検要領」が定められ、体系的な観点から設計・施工・点検を含む維持管理などを行うこととなった。本研究では、直轄国道の点検結果を分析し、変状の傾向に関する整理等を行うとともに健全性の判定を行う上で参考となる損傷事例を施設別に整理し、今後の点検精度を向上させることを目的とするものである。

## 【研究内容】

本研究では、平成 30 年度の道路土工構造物の点検結果を基に信頼性向上、効率化の方法及び効果的な補修・補強手法の検討に必要な基礎資料を得るため、点検結果を整理し、変状の傾向に関する分析を行っている。

## 【研究成果】

### 1. 点検データ整理

各地方整備局、北海道開発局及び沖縄総合事務局が管理する道路土工構造物の平成 30 年度定期点検結果（有効施設数：1,926 施設）を用いて整理した。なお、変状要因との関係を明確にするため、「単純集計」手法に加えて、確率統計手法の一つである因子分析（数量化理論Ⅱ類）を用いて、対象とする変状に対して各要因が与える影響の有無やその程度を定量的に示した。点検結果のうち切土及び盛土対象箇所の 1,926 施設を対象に、単純集計した結果を図-1 に示す。なお、初年度の結果であり地域における点検結果に偏りがあることに留意が必要である。変状有無・健全度判定区分に関してクロス集計した結果、施設毎における変状有無を図-2 に示すが、コンクリート・モルタル吹付や排水施設が他の施設と比較して変状が発生している傾向が確認される。また、最大斜面高毎における判定区分を

図-3 に示すが、切土（のり面：崩壊等）の変状に関して、斜面高が高くなるに伴って、変状発生の傾向が確認される。これは、盛土も同様の傾向である。

土工構造物（切土・盛土）としてのデータ整理結果（建設年度）として、図-4 に完成年度別における健全

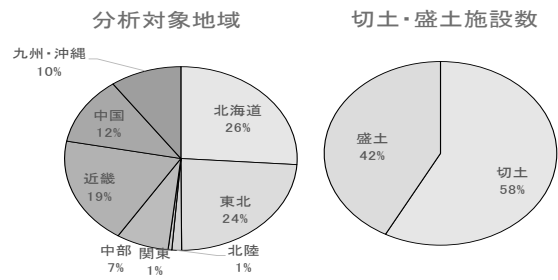


図-1 単純集計結果

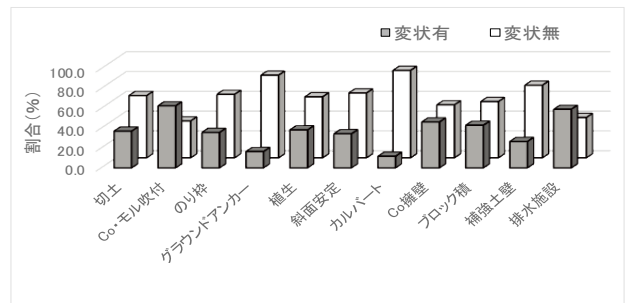


図-2 クロス集計結果（切土：施設－変状発生有無）

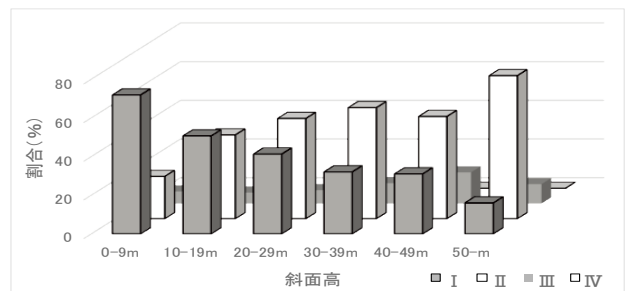


図-3 クロス集計結果（切土：最大斜面高-判定区分）



完成年度別における健全性の数

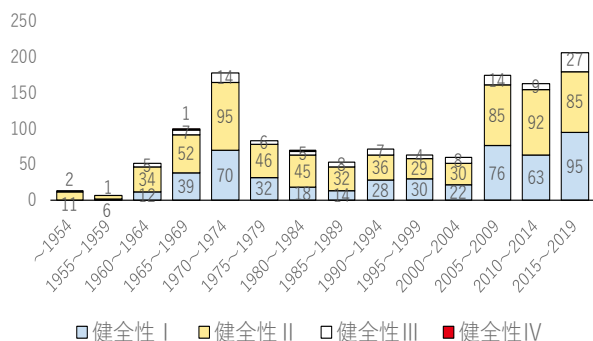


図-4 完成年度（建設年度）毎における健全性の分布

性の状況を示すが、一般的に考えられる完成年度と健全性との間には、明確な関係性が示されなかった。このことは、鋼・コンクリート構造物とは異なる土工構造物の特性であると示唆される。

各因子の違いが各変状に与える影響に関して、数量化理論Ⅱ類による分析結果を、図-5 に示す。なお、図左側に示す各因子が、変状の発生有無に与える影響度に関して、棒向き（右向+：影響有、左向-：影響無）と棒長とで表している。「延長・最大斜面高（斜面規模、面積）」の大きさ、「日最大降水量」の多さが「変状」に

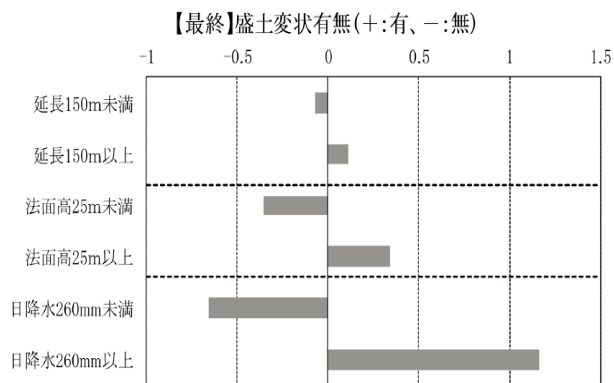


図-5 数量化理論Ⅱ類分析結果（盛土：812 施設）



判定区分Ⅲ  
ひびわれは滑落崖に沿って連続し、割れ目に沿って植生が成長している。吹付背後の土砂化・空洞化が認められる。  
周辺を打音調査し、背面との密着状況を確認する必要がある。

図-6 変状事例（吹付けモルタル-亀裂・空洞化）

影響を与えることについては、一般的に妥当性があると考えられる。今後、「斜面規模」の大きな盛土のり面において、特に、一般的な長期降雨等の発生時に留意する必要があると考えられる。

## 2. 点検留意事項の整理

点検結果の診断を行う上での留意事項と点検様式などの改善点を抽出した。

- ・写真撮影に関する留意点  
定点での継続可能な撮影、変状状況が把握可能な近接撮影
- ・変状把握に関する留意点  
次回点検時ひび割れ幅等の継続計測が可能となるマーキングや計測用ピン設置、切土法肩上部の崩壊可能性の把握
- ・点検記録様式作成に関する留意点  
記載の脱字や矛盾、健全性の分散ばらつきがある
- ・点検表の種別が「その他変状」の場合に関する留意点  
安易に「その他変状」に分類されているものがある。

## 3. 変状事例の整理

点検データの中から変状事例を抽出してとりまとめた（例：図-6）。その際、変状の規模や特徴等について、着眼して整理した。

## 4. まとめ

- ・点検は、初年度であり、次年度以降整理を継続しデータの蓄積を行う必要がある。
- ・点検の留意事項では、「写真撮影」における継続性の観点や遠近の撮影位置などに留意する必要があることが再確認できた。
- ・変状事例については、一定の事例収集ができたが、各構造物の事例としては不足するものがあり、継続的な事例収集・確認が必要である。
- ・健全性判定区分の精度向上のため、定量化指標の検討が必要である。
- ・点検結果の整理を効率化するための支援ツールの活用を検討が必要である。

## 【成果の活用】

道路土工構造物点検要領の改定に向けた基礎資料であり、また、点検者・道路管理者の道路土工構造物に対する技術力向上を図る技術資料として本研究は活用される。

# 舗装の長期性能に関する調査検討

## Research on the long-term performance of road pavement

(研究期間 平成 29～令和元年度)

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

渡邊 一弘  
WATANABE Kazuhiro  
桑原 正明  
KUWABARA Masaaki  
若林 由弥  
WAKABAYASHI Yuya

Since the renewal cycle of pavements is short and the amount of stock is huge, it is an urgent issue to reduce the life cycle cost by extending the service life under an appropriate maintenance cycle. In this background, the "pavement inspection guidelines" formulated in October 2016 requires road administrators to try to extend the life of pavements by maintaining them with an awareness of the number of years they will be renewed.

The purpose of this research is to organize the issues for the revision of the guideline in order to further streamline the pavement management.

### 【研究目的及び経緯】

道路構造物を管理する国や地方自治体等では人口減少や少子高齢化等に伴う技術者不足や財政難が深刻化している。その中でも舗装は更新周期が短いストック量が膨大であるため、メンテナンスサイクルを確立し、長寿命化によるライフサイクルコスト削減を目指すことが喫緊の課題である。こうした中、平成 28 年 10 月に「舗装点検要領」が策定され、道路管理者は舗装の更新年数を意識した維持管理を行うことで舗装の長寿命化を図ることが示された。

本研究では、舗装マネジメントのさらなる合理化のため、舗装点検要領の改定に向けた検討を目的とし、要領に基づき実施された過去 2 年分の直轄国道の点検結果について整理するとともに、実際に早期劣化したアスファルト舗装の各種調査に基づく劣化メカニズムの推定、詳細調査結果に基づいて修繕工法が決定された修繕事例の整理を実施した。

### 【研究内容】

#### (1) 直轄国道の点検結果の整理

平成 29 年度および平成 30 年度に実施した舗装点検結果について、点検データの整理を実施した。図-1 に地方整備局等における点検実施延長を示す。これらのデータについて、診断結果やデータの入力率などの整理を行った。

#### (2) アスファルト舗装の早期劣化区間の各種調査

前回修繕時または新設施工時から間もない時期に路面のひび割れが進展したアスファルト舗装の早期劣化区間および周辺の劣化の進展が予想される区間を対象

点検実施延長 (km)

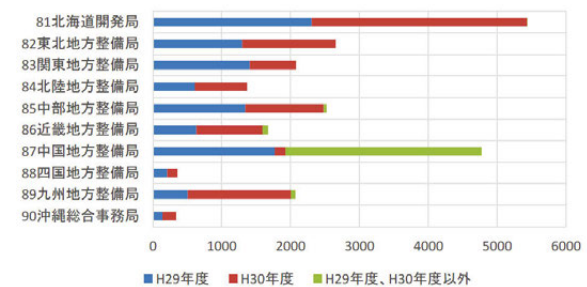


図-1 各地方における点検実施延長

表-1 早期劣化区間の調査概要

調査年度	調査対象区間	調査内容
H29	前回修繕後13年以内にひび割れ率30%以上(1路線)	開削調査、コア採取、たわみ量調査
H30	前回修繕後13年以内にひび割れ率30%以上(6路線)	コア採取、たわみ量調査
R1	新設後6年でひび割れ率15%以上(1路線)	コア採取、たわみ量調査

に、各種調査を実施した。表-1 に調査内容を示す。また、調査結果に基づき劣化メカニズムの推定を行った。

#### (3) 舗装修繕工事の整理

平成 29～30 年に実施した舗装修繕工事の工事データ 81 件の工事内容を整理し、その中から詳細調査結果に基づいて修繕工法が決定された事例を抽出した。

### 【研究成果】

#### (1) 直轄国道の点検結果の整理

図-2 にアスファルト舗装およびコンクリート舗装それぞれの診断区分の割合を示す。アスファルト舗装における診断区分 III は全体の 15%であり、うち 3%が



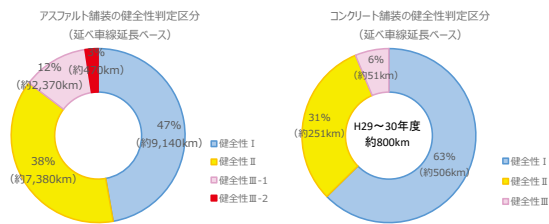


図-2 診断区分の割合

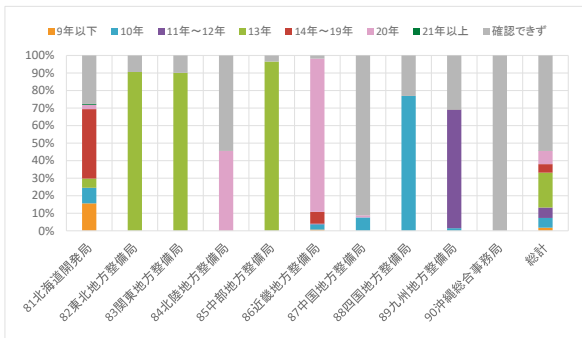


図-3 使用目標年数の設定状況

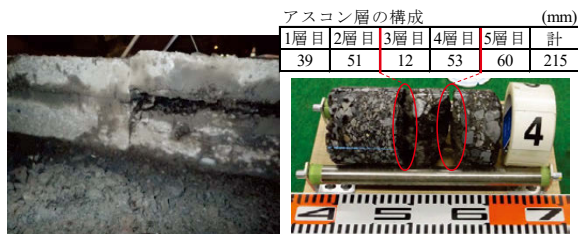


図-4 アスファルト混合物内の滞水・層間はく離

早期劣化区間であった。コンクリート舗装における診断区分 III は全体の6%であり、概ね健全な状態が保たれていることが分かった。

図-3に各地方整備局におけるアスファルト舗装の使用目標年数の設定状況を示す。整備局ごとに地域特性などを考慮し多様な設定がされていることが分かった。一方、何らかの理由により使用目標年数が確認できないデータも存在し、様式への入力方法や確認方法など、今後対策を検討する必要がある。

## (2) アスファルト舗装の早期劣化区間の各種調査

平成29年度の調査では、修繕後早期にひび割れが発生した1路線のアスファルト舗装区間およびその付近を対象に開削調査やFWDたわみ量調査を実施した。その結果、早期劣化区間では、図-4のようにアスファルト混合物層内の滞水及び層間はく離が確認されるとともに、図-5のようにFWDたわみ量が大きくなっていることから舗装支持力の低下が確認された。これらの結果から、図-6に示すように、アスファルト混合物層内部での水の滞水や層間はく離に伴い、劣化が進行していくと推察された。

上記の劣化メカニズムについて検証するため、平成30年度に修繕後早期にひび割れが進展した複数の箇所を対象にコア採取やたわみ量調査を実施したところ、劣化メカニズムの各段階に対応した損傷の進展が確認

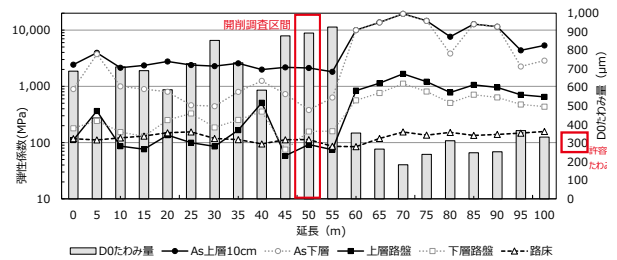


図-5 早期劣化区間前後のFWDたわみ量調査結果

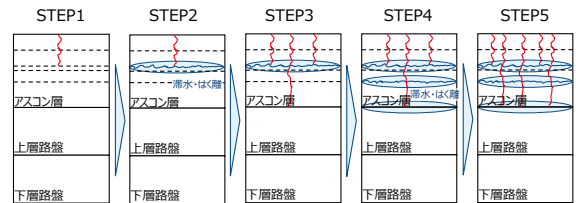


図-6 層間はく離に伴う早期劣化メカニズム

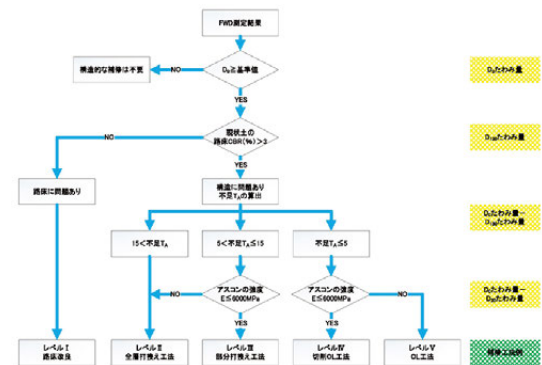


図-7 たわみ量調査結果に基づく修繕工法の選定例

された。さらに、令和元年度は新設工事後6年で部分的にひび割れが進展した区間でコア採取を実施した結果、層間はく離は生じていないもの、アスファルト混合物層内への滞水が確認され、劣化メカニズムの初期状態に該当すると推察された。

以上の結果から、図-6に示す劣化メカニズムが早期劣化の大きな劣化要因の1つであることが確認された。引き続き、水の浸入を防ぐための予防的措置やはく離の生じにくい層間の性能照査法などの対策を検討する必要がある。

## (3) 舗裝修繕工事の整理

収集した81件の修繕工事データを整理し、その中から詳細調査を実施しその結果に基づき修繕工法を選定した事例を11件抽出した。図-7に工法選定のフローの例を示す。抽出した事例はいずれも既存の詳細調査(コア採取、たわみ量調査)に基づくものであり、他の工事で十分適用可能なものであった。

## 【成果の活用】

本研究成果は、点検要領の改定において点検時の留意点や措置の考え方の基礎資料として活用するとともに、早期劣化の対策として技術資料に反映していく予定である。

# 地震災害復旧対策技術に関する研究

## Research on Recovery Technique of the Bridge damaged by Earthquake

(研究期間 平成 29～令和 3 年度)

社会資本マネジメント研究センター  
熊本地震復旧対策研究室  
Research Center for Infrastructure  
Management  
Kumamoto Earthquake Recovery  
Division

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

西田 秀明  
NISHIDA Hideaki  
宮原 史  
MIYAHARA Fumi  
田中 謙士朗  
TANAKA Kenshiro  
鈴木 慎也  
SUZUKI Shinya

This study performs the rational diagnosis, investigation, design method and the improvement of the reliability of restoration of the road structures damaged by the earthquake so as to perform prompt recovery of road function. In FY 2019, a pushover analysis for the steel I-girder bridge supported by rubber bearings was carried out, and it was found that the rupture of rubber bearing was occurred before the strength of the main girder support point was deteriorated. Additionally, a case study was given of reasonably recording/storage useful data which should be taken in the restoration work of the bridge damaged by the earthquake through the use of BIM/CIM.

### 【研究目的及び経緯】

平成 28 年熊本地震では、地震動の揺れとともに地盤変位の影響も伴って、橋梁等の構造物に被害が生じた。このような被害を受けた橋の復旧においては、地盤変状等の不確実性の高いリスクが橋に及ぼす影響を軽減する観点や、損傷した橋の状態評価とその復旧設計への見立てに含まれている不確実性に配慮する観点を考慮して復旧の信頼性の向上等を図る必要がある。また、速やかな復旧が行えるようにする観点から、道路構造物の地震被災リスクを低減できる構造形式にするとともに、早期復旧を合理的・効果的に行うための調査・診断技術や対策技術が必要となっている。

### 【研究内容】

#### (1) 地盤変状が橋に及ぼす影響の最小化に向けた検討

熊本地震では、地震動だけでなく斜面崩壊等による地盤変状の影響も伴って、道路橋の上下部構造間に大きな相対変位が生じ、橋の機能回復に長期間を要した事例があった。これを踏まえ、橋の早期機能回復に及ぼす影響をできるだけ小さく留めることができる橋の破壊形態として、支承部に破壊を誘導する形態を選定し、この破壊形態が一定の信頼性を持って実現する設計の考え方について検討を行っている。本年度は、支承部よりも先に上部構造支点部が破壊しない構造設計の考え方の確立に向けて、ゴム支承に支持された鋼 I 桁橋を対象に、支点部構造や外力の入力方向の違いが

支承及び支点部の破壊形態に及ぼす影響について検討するための解析を行った。

#### (2) 震災復旧工事を行った橋の維持管理に必要な施工段階で取得すべき情報の記録・保存方法の検討

震災復旧した橋では、新設の橋を設計する場合にはない特有の不確実性を考慮したうえで所要の性能を確保できるように補修・補強を行っている。しかし、補修効果の経年劣化による耐荷力低下など、補修設計や施工の段階では考慮することが困難な不確実性が残る。このため、残る不確実性については、補修・補強した部材の状態を維持管理段階で確認できるようにすることが有効である。このためには、維持管理段階で必要となる情報をあらかじめ整理し、復旧工事の過程で適切に取得する必要がある。さらに、それらの情報を維持管理段階で有効に活用するためには、情報の相互関係が分かるように記録・保存を行うことが重要であり、その方法の一つとして BIM/CIM モデルの活用が考えられる。本年度は、維持管理段階で活用する観点から、震災復旧した鋼橋を対象に 3 次元モデルを作成する過程を通じて、BIM/CIM モデルを活用した合理的な情報の記録・保存方法について検討した。

### 【研究成果】

#### (1) 鋼 I 桁橋支点部の耐荷力に関する解析

橋長 128m の 3 径間連続鋼 I 桁橋を対象とし、支点部付近の変形を精度よく表現するために上部構造を図

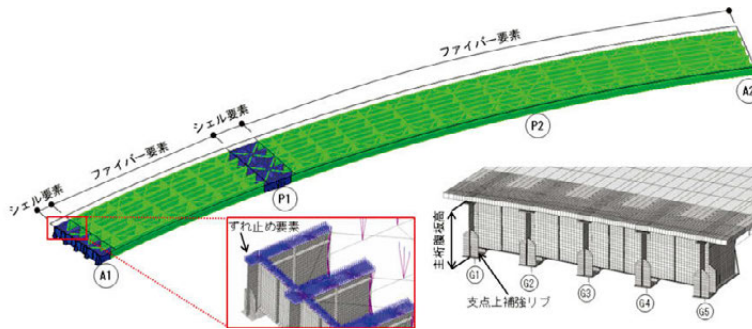


図-1 対象橋梁のモデル化

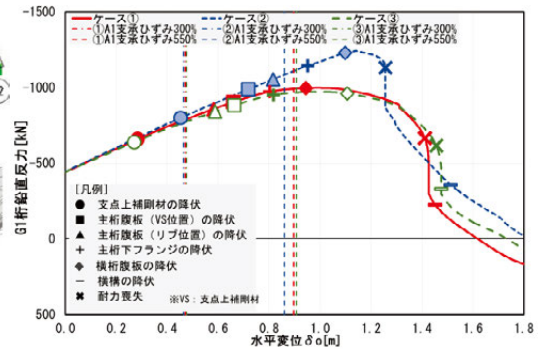


図-2 G1 桁鉛直反力-水平変位関係

-1 のとおり 3次元有限要素でモデル化した。また、支承部はバネ要素でモデル化し、支承下端には仮定の剛部材を接続し端部を拘束するモデルとした。作成した解析モデルに対し、各部材に死荷重を載荷したうえで、床版の全節点に対し G5 桁から G1 桁方向に水平力を漸増させる解析を実施した。解析は、表-1 に示す、支点上補強リブ高さおよび外力の入力方向をパラメータとした 3 ケースで実施した。

表-1 解析ケース

	支点上補強リブ高	載荷水平力が A1 支承線となす角度
①	主桁腹板高の 1/2	0°
②	主桁腹板高	0°
③	主桁腹板高の 1/2	約 10°

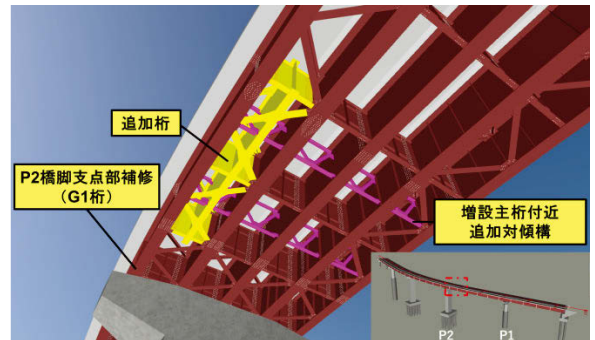


図-3 作成した 3次元モデル (追加桁付近)

各ケースの G1 桁鉛直反力と水平変位の関係を図-2 に示す。支座位部構造や外力の方向によらず、支座位部の耐力喪失がゴム支承 (支承ひずみ 550%) の破断に先んじて生じることはない一方で、ゴム支承の破断よりも先に支座位部主桁腹板の降伏が生じることや、支座位部構造により部材の降伏順序が異なることが確認された。主桁腹板など一次部材に損傷が生じると、復旧作業は容易ではなく、速やかな機能回復を阻害することとなる。以上から、橋の機能回復に及ぼす影響をできるだけ小さく留めることができるように支承と支座位部の関係を制御する観点からは、上部構造と支承部の破壊順序にのみ着目して鉛直耐荷力が保持できるかどうかだけではなく、早期復旧を合理的に行えるように、主桁腹板など一次部材の降伏がゴム支承の破断に先んじて生じないことを一定の信頼性をもって実現する設計法の検討が引き続き必要であるといえる。

(2) 震災復旧した橋の維持管理に必要な情報の抽出

熊本地震で主桁の一部が座屈する等の損傷が生じた 5 径間連続曲線鋼 I 桁橋を対象とした。本橋は特に P1 ~ P2 間の曲線外側にあたる主桁 2 本に、面外変形を伴う損傷が比較的大きく生じたため、復旧に際しては、主桁を撤去した場合に部材内に残留している応力が他の部材に与える影響の程度に不確実性を伴うことなどを勘案し、大きな損傷が生じた主桁は戦略的に残置しつつ、損傷に伴い低下した主桁の耐荷力を補えるような断面剛性を有する主桁 (以下、追加桁) を設置した

ことに特徴がある。

本橋の維持管理段階に必要な情報を抽出したうえで、既存の 2 次元の構造一般図に基づいた全体構造の 3 次元モデルを、外形形状を正確に表現して作成したうえで、追加桁や追加対傾構などの追加部材のモデル化を行った (図-3)。追加部材は既存部材との違いが分かりやすいよう配色を工夫した。

一方で、残置した主桁の損傷箇所は、位置をマーキングするに留め、このマーキングの属性情報として、損傷状況が分かる写真にファイルリンクするように設定した。これは損傷の 3 次元的な形状は目視により確認することが合理的であり、モデル化までする必要はないと考えたためである。また、桁の連結部についても添接板の位置を示すのみで、ボルト形状といった詳細については属性情報として図面にファイルリンクするように設定した。これは、部材の状態を把握するうえでは、接合位置をモデル化することは有効であるものの、ボルト形状までモデル化する必要はないと考えたためである。以上のように、熊本地震で被災し復旧した橋を対象に、維持管理段階で必要になる情報を抽出するとともに、BIM/CIM モデルを活用して合理的に情報を保存する一例を示した。

【成果の活用】

本研究で得られた橋の早期復旧に資する構造や、震災復旧工事を行う橋の維持管理での活用を考慮した情報等に関する知見は、技術資料として取りまとめ提示していく。