

2.2.7 道路構造物研究部

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 年度～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% を超える年数を灰色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。

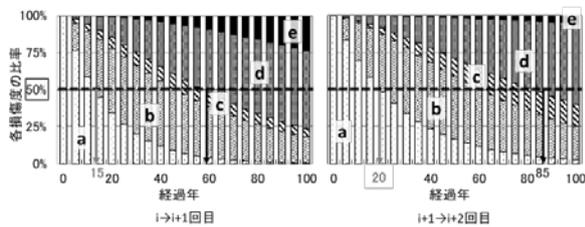


図-1 鋼主桁の腐食

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。

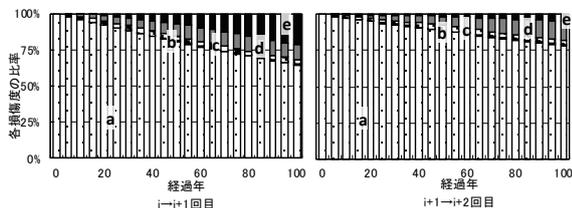


図-2 プレテン PC 主桁端部のひびわれ

2. データ数の少ない材料等に関する統計分析

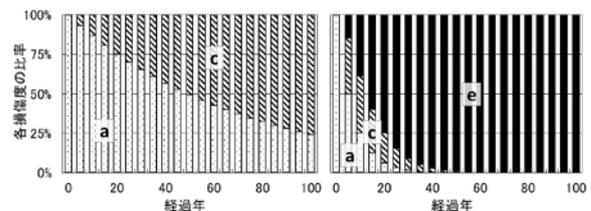
今後、補修補強が進むにつれ、様々な材料や工法が補修補強で用いられると考えられる。それらの材料や工法の適用にあたっての留意点等の助言を充実していくためにも点検データの分析が期待される。しかし、個々の材料や工法に着目すれば、必ずしも多くのデータが集まらないことも想定される。点検データ数が少ない場合、遷移確率の信頼性が劣ることは既に国総研資料第 985 号でも実例で示しており、少なくとも数百橋のデータが必要と考えられる。また、そのような材料や工法が現場で使用され始めてからの期間が短いと損傷程度が d や e に至るデータが得られにくいことも予想され、かなり長期のデータの蓄積を待たなければならない。

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 年度～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
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

研 究 官 高橋 慶
Researcher TAKAHASHI Kei

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、仮定と現実是一致的しないので、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。

[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。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 年度で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

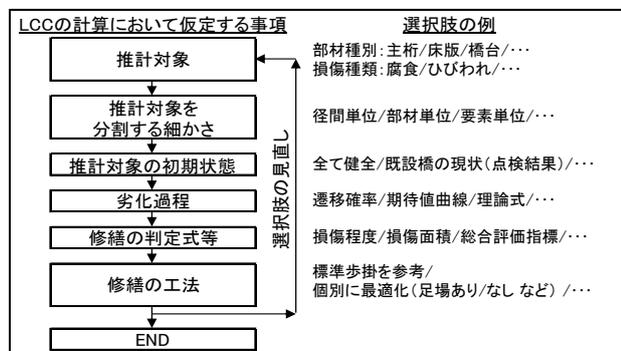


図 1 LCC 推計のフローと選択肢の例

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 損傷程度d	ひびわれ注入 ひびわれ注入 +断面修復
下部構造		ひびわれ	損傷程度c 損傷程度d	ひびわれ注入 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のがよいことが分かった。

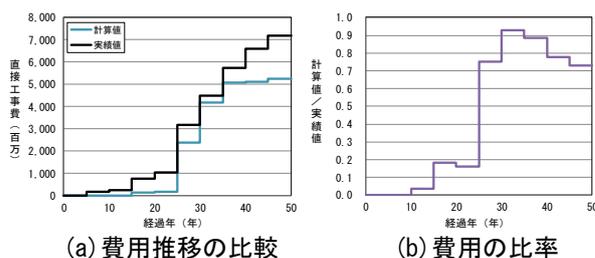


図2 LCC算出結果(50橋足し合わせ)

(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した結果を図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考えられる。

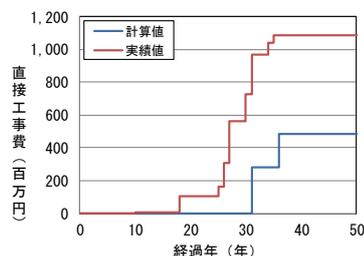


図3 LCC算出結果(ポステンT桁橋の例)

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。

部分係数設計法の適用性向上に関する調査検討

Study on application of partial factor design for existing bridges

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 29 年度～令和 2 年度)

室 長 白戸 真大
主任研究官 中尾 勝
研 究 官 大西 諒
交流研究員 平野 義徳

[研究目的及び経緯]

本研究は、設計供用期間中に橋が置かれる稀な荷重同時載荷状況に対応する荷重の組合せや載荷方法、並びに、部材の限界状態を詳細に設定し、部分係数を評価するための載荷試験法も含めた限界状態の評価手順を一般化することを目的としている。

本年度は、道路橋に対して、荷重同時載荷シミュレーション等を実施し、道路橋全体系としての安全性を評価するための荷重組合せや部分係数の設定など、道路橋の安全性評価方法の高度化や適用性の拡大のための検討を行った。

平成 29 年道路橋示方書の荷重組合せおよび荷重係数の目標とされた断面力 100 年最大値分布の非超過確率 95% を平成 24 年道路橋示方書の施工時荷重の許容応力度の割増係数で除した断面力が、確率統計的に参照期間何年の極値に相当するかという観点から、施工時の荷重組合せおよび、荷重係数を試算した。その結果、架設時の状況を想定した荷重組合せおよび、荷重係数の設定にあたって、その目標とする確率水準は、評価期間を 1 年とした断面力最大値分布の非超過確率 95% とできる可能性がわかった。

高強度材料の活用による橋梁構造の合理化に関する調査検討

Investigation on rationalization of bridge structure by utilizing high-strength materials

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 令和元年度～令和 4 年度)

室 長 白戸 真大
主任研究官 中尾 勝
研 究 官 大西 諒
交流研究員 鈴木 克弥

[研究目的及び経緯]

材料の高強度化が進む一方で、その応力ひずみ関係は従来の材料と異なる特徴を有する。そこで、多様な材料の活用を進めるためには、材料の特徴だけでなく、部材としての非弾性挙動の特徴も踏まえて安全性を付与できる設計体系の確立が必要である。

令和元年度は、過年度に行った異なる材料を用いた鋼桁の載荷実験を行った結果から、材料の応力ひずみ関係の違いが桁の非弾性挙動に与える影響を分析した。

その結果、材料の応力ひずみ関係の違いが桁としての非弾性挙動や残留変形に違いをもたらすことが分かった。また、高強度鋼材については、これまで用いられてきた鋼材と組みあわせて部材を構成するなどの方が効果的な活用となり得ることも分かった。今後、これらの特徴も考慮できる桁の耐荷力式や部分係数を提案するとともに、さらに部材載荷試験を追加し、その適用性を検証する予定である。

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 application of partial factor design for existing bridges

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度)

室 長 白戸 真大
主任研究官 藤田 裕士
研 究 官 高橋 慶

[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。その結果、3 日程度の交通流計測を現地で行ったときに得られた最大値（非超過確率 99%値）に一定の係数を乗じることで 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。

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

道路構造物研究部 橋梁研究室

(研究期間 平成 28 年度～令和 2 年度)

室 長 白戸 真大
主任研究官 中尾 勝
研 究 官 大西 諒
交流研究員 鈴木 克弥

[研究目的及び経緯]

既設橋の補修補強において、腐食が生じている鋼部材にあて板するときは、腐食部の摩擦特性が不明なことから、その範囲を避けて健全部まであて板を延長してボルトで定着する。その結果、施工範囲が大きくなり全体鋼重の増につながることもある。

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にあて板した小型試験体の引張試験を実施した。その結果、素地調整を行った腐食鋼材にあて板したときのすべり係数は、新規鋼材にあて板したときに比べて低い値となるが、平均すると道示で規定される接触面を粗面とした場合のすべり係数 0.4 程度は期待できそうであること、一方で新規鋼材にあて板したときに比べてばらつきの方が大きくなることを把握した。

トンネルの維持管理手法及び覆工の合理的な設計法の調査検討

Study on rational method for maintenance and lining design of road tunnel

道路構造物研究部 構造・基礎研究室	(研究期間	平成 30 年度～令和 2 年度)
	室 長	七澤 利明
	主任研究官	伊藤 善裕
	研 究 官	矢野 慎一

[研究目的及び経緯]

道路関係法令の改正により、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 度の定期点検が義務付けられたことを踏まえ、本研究では定期点検を含む維持管理の効率化に関する研究・検討を行っている。また、トンネルの合理的な設計手法および性能規定化にむけた要求性能の提示に向けた研究・検討を行っている。

本年度は、平成 26 年度～平成 30 年度に国管理の道路トンネル（山岳工法のトンネル（1,610 施設））で実施した定期点検の結果から、変状の特性に関する分析を実施し、定期点検の合理化に向けた提案と維持管理の実務において参考となる変状事例集を作成した。また、覆工の耐荷性能に関する検討を行うための解析方法について整理した。

既設道路構造物基礎の耐荷性向上に関する調査

Research on improving loading capacity of foundation of existing road structures

道路構造物研究部 構造・基礎研究室	(研究期間	平成 29 年度～令和 2 年度)
	室 長	七澤 利明
	主任研究官	藤田 智弘
	研 究 官	佐々木 惇郎

[研究目的及び経緯]

災害に強い強靱な道路ネットワーク構築を実現するためには大規模地震や大雨による洪水等に対しても道路機能への影響を最小限に留められるようにすることが求められる。この要求を早期かつ合理的に実現するために、優先度を付けて対策を実施していくことが求められ、道路構造物基礎の構造条件や構造物の立地条件などから、被害が生じる可能性が高い構造物を明らかにする手法（リスク評価手法）の確立を目的とする。

本年度は、線形判別分析による橋梁基礎の洗掘要因の抽出を試みた結果、既往の研究等で洗掘要因とされている河積阻害率や流速との関連が強いと考えられる橋長径間数や河床勾配が洗掘要因となる結果が得られた。また、検討手法の台風第 19 号の被災橋梁への適用性を調査したところ、現地調査結果と整合する結果が得られた。

盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

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

道路構造物研究部 構造・基礎研究室	(研究期間	平成 30 年度～令和 2 年度)
	室 長	七澤 利明
	主任研究官	伊藤 浩和
	研 究 官	佐々木 惇郎

[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、道路土工構造物の効率的な維持管理を目的として点検結果の分析等を行い、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。

本年度は、平成 26 年度～平成 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約 770 施設、カルバート約 2,660 施設を対象として、その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分析した。

土工構造物等の要求性能に対応した変状評価、性能向上に関する調査検討

Study on deformed state evaluation according to required performance and performance improvement of earthwork structures

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

(研究期間 平成 29 年度～令和 2 年度)
室 長 七澤 利明
主任研究官 伊藤 浩和
研 究 官 佐々木 惇郎

[研究目的及び経緯]

道路土工構造物については平成 26 年に技術基準が制定され要求性能が示されたが、要求性能に対応した具体的な照査手法は十分ではない。本研究では道路土工構造物が存する区間の道路としての機能を評価する手法を検討する上で必要となる基礎資料の作成を目的に調査検討を行っている。

道路土工構造物のうちボックスカルバートの設計において、大型カルバートに対する具体的な耐震設計法は確立されていない。本年度は常時の荷重に対して設計されたボックスカルバートを対象に応答変位法及び応答震度法の二つの静的照査法により耐震設計を実施し、両設計法によるボックスカルバートに生じる断面力及び変位について比較分析を行い、耐震設計法の確立に向けた今後の課題を整理した。

施工品質等を考慮した信頼性の高い道路土工構造物の設計に関する基礎的研究

Research on improving loading capacity of foundation of existing road structures

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

(研究期間 令和元年度～令和 2 年度)
室 長 七澤 利明
主任研究官 藤田 智弘

[研究目的及び経緯]

道路土工は多くの不確実性を内包している。その不確実性への対応として、道路土工構造物は過去の経験にしたがって設計し、施工段階や供用後において現地の状況に応じて通行止めなどの事後対応が行われている。ただし、一部で緊急輸送道路・重要物流道路などの災害時の通行止めなどを許容しない道路のニーズがあるため、本研究では本ニーズに対応した施工品質等を考慮した信頼性の高い道路土工構造物の設計法等を検討する。

本年度は設計の中で構造決定に最も影響が大きい作用の一つである土圧に着目し、橋台、擁壁、カルバート等に作用する土圧計測事例を収集した。また今後、信頼性解析を行ううえで必須となる土圧算出に必要な強度定数や荷重条件等もあわせて収集し、900 件程度を収録したデータベースを構築した。

土工構造物等の要求性能に対応した変状評価、性能向上に関する調査検討

Study on deformed state evaluation according to required performance and performance improvement of substructures

(研究期間 平成 29 年度～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

渡邊 一弘
Watanabe Kazuhiro
藤原 年生
Fujihara Toshio

The purpose of this study is to establish a rational and efficient investigation method and inspection method for the method of understanding and examining structures that contain uncertainty in existing embankments and long-precious soils.

〔研究目的及び経緯〕

道路土工構造物の地震や豪雨による被害が依然として多い。平成 27 年に「道路土工構造物技術基準」が制定されて要求性能を求めているが、定性的な表現が多くなっており、既設構造物の損傷形態の解析や性能評価手法の確立が急務となっている。本研究は、既設盛土や長大切土において不確実性を内包する構造物の変状把握方法や照査方法について、合理的かつ効率的な調査方法や照査方法の確立を目的とするものである。

〔研究内容〕

研究内容としては、設計図書、施工図書、管理図書などの既存資料及び、簡易調査、詳細調査結果に基づく盛土の安定性の照査を実施し、課題の抽出及び各照査結果の比較を行うなどの検証を行った。また、切土法面の点検方法と新技術の整理を行い、点群データを活かした技術に着目して導入上の課題検証を行い、点群密度や計測方法の精度確認と留意点を整理した。

〔研究成果〕

1. 既設盛土の安定性照査の条件設定方法と留意点

安定性の照査では、図 1 に示す盛土形状、基礎地盤形状、盛土材料、盛土定数 (γ, c, ϕ)、盛土内水

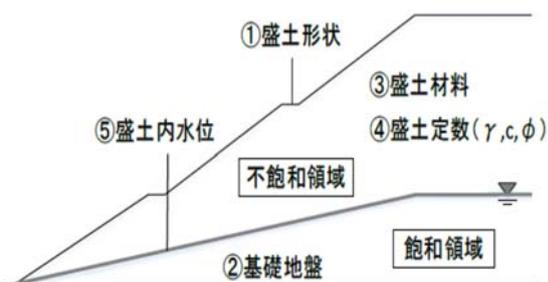


図 1 安定性の照査で着目したパラメータ

表 1 安定性の照査条件の設定方法と留意点

	情報の有無			照査条件の設定方法及び設定にあたっての留意点
	資料	簡易	詳細	
盛土形状	○	×	×	<ul style="list-style-type: none"> 完成図 完成図が無い場合は現地測量により設定 供用後に改変している場合もある
基礎地盤形状	○	×	○	<ul style="list-style-type: none"> 完成図 完成図が無い場合は施工前の地形図等から推定 地形図等から推定する場合は、沖積層の厚さや地盤改良の有無が読み取れない
盛土水位	×	△	○	<ul style="list-style-type: none"> 水位観測 水位観測がない場合は盛土表面の湧水箇所から推定 盛土内の宙水にも注意
盛土材料	×	△	○	<ul style="list-style-type: none"> 盛土材に関する記録が殆どないので詳細調査(ボーリング)で設定 詳細調査ができない場合は盛土表面の土質から推定 盛土材料とその施工範囲は重要 スレーキングしやすい脆弱岩等は時間の経過に伴い性状が変化する
盛土定数	×	△	○	<ul style="list-style-type: none"> 盛土材に関する記録が殆どないので詳細調査(土質試験)で設定 詳細調査ができない場合は盛土表面の土質や盛土工指針の一般値から推定 γ, c, ϕ は、土質区分や飽和度により値が変わる N 値(Nd 値)から c, ϕ を推定する方法は c 材 ($\phi=0$) 又は ϕ 材 ($c=0$) と仮定している 盛土工指針の値は中間土の特性を表していない

○ : その情報に基づいて耐震性照査の条件が設定できる
△ : その情報に基づいて耐震性照査の条件が推定できる
× : その情報だけでは耐震性照査の条件が設定できない

位に着目し、既存資料調査、簡易調査、詳細調査から得られる情報量の違いによる安定性の照査結果について取りまとめ、照査にあたっての課題を整理し、既設盛土構造物及び新設盛土構造物における効率的な照査のあり方として安定性の照査条件の設定方法と留意点について整理 (表 1) した。

2. 長大切土法面の変状検出技術の課題の検証

広範囲で変状を抽出する技術として、レーザー測量による点群取得技術が有効であり、その中で適用性が高い技術を抽出して現場検証を行った。

(1) 実現場でのデータ取得

西九州自動車道(唐津伊万里道路)の長大切土法面に

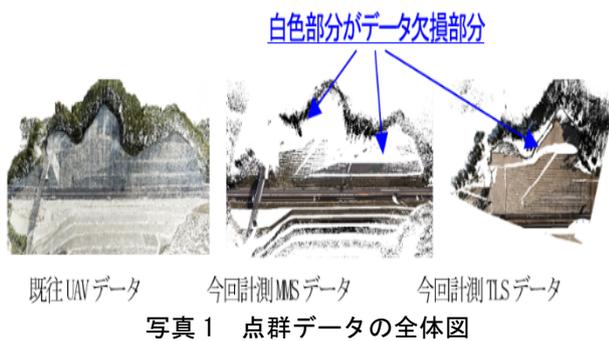


写真1 点群データの全体図

て、現地計測（MMS（モバイルマッピングシステム）、TLS（地上レーザスキャナ））と既存 UAV 計測データを整理した。写真1にそれぞれで計測したデータを示す。

(2) 計測範囲の検証

MMS では、切土法面高さ 12.0m 程度まで再現することができるが、小段のある 5.0m 付近については、点群データ欠損部があるため、細部形状が再現できない部分がある。MMS は通常の車両走行で高精度なデータを短時間で低コストに取得が可能である。しかし、小段部や法面上部では点密度が低下することから、調査対象の範囲や規模、法面形状などに応じて、TLS や UAV での補足が必要である。

UAV は、広範囲なデータ取得が必要な現場においては有効である。しかし、点群密度が比較的粗いことや飛行許可等に留意が必要である。

TLS のデータ取得範囲は、UAV と MMS の中位に位置する。遮蔽物などによる点群欠損が一部みられるが、高精度で MMS の計測範囲より広いデータ取得が可能である。道路上への機器設置条件、計測時間、コストなどに留意が必要である。

(3) はらみだしの模擬検証

MMS で取得したデータにより、基準面解析を利用したデータ解析を行った。MMS 計測で 2cm 程度のはらみ出しの検出に適用できることを確認した。

計測した点群データを活用することにより、目視で把握できない変状を把握できるようになれば、点検精度の向上や作業の効率化に寄与すると考えられる。

なお、基準面解析の特性より、対象法面の形状や基準面の選択方法が抽出精度に影響を及ぼすため、他の法面形態に対する同手法の適用については個別の検討が必要である。

(4) 2 時期点群データの解析手法の検証

2 時期の点群データの差から、法面の変状（はらみだし）の検出精度の確認と計測方法の組み合わせについて、現場での作業効率や、解析の効率、変状の抽出精度の整理と評価を行った。

解析手法の初期値は TLS などにより高密度な点群を

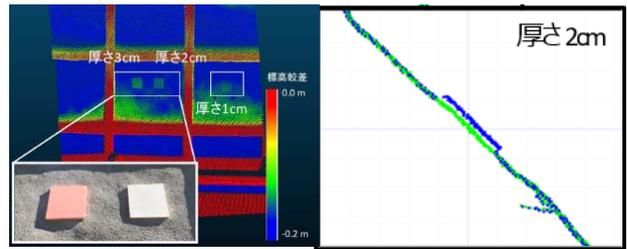


図2 模擬はらみだしの抽出結果

取得し、初期値に対する比較データは MMS で点群を取得し、自動で誤差を補正する方法が最も効率よく、抽出精度も高いことが明らかとなった。なお、TLS で広範囲の点群データを整備するには、コスト面などに課題がある。

なお、変状規模が大きい場合は、変状の抽出精度に対する高い要求性能が求められないと考えられるため、経済的なデータの取得方法を選択できる可能性がある。

(5) 一連区間の点検における点群データの適用性

一連の区間（IC 間）の定期点検を想定した効率的な MMS や TLS などの点群データの取得方法や点群データの重ね合わせを行う上での課題を整理した。

実証現場での一連区間では、切土 3 段未満は MMS で計測し、その他は目視点検かあるいは TLS 計測することが、コスト面等から当面活用できる範囲と考えられ、切土法面の約 3.9 万 m² のうち 2.5 万 m²（64%）がカバーできると想定された。

3. まとめ

道路土工構造物技術基準（平成 27 年 3 月）4-1(3)において「道路土工構造物の設計にあたっては、その施工条件を定めるとともに、維持管理の方法を考慮しなければならない」としている。既設盛土構造物の照査の結果から、既存資料から得られる情報が少ないことがわかる一方で、建設プロセスの中で残すべき情報を整理し残すことで維持管理での精度の高い照査が可能であることを確認した。

また、点群データの活用により、切土法面の変状を把握するうえでの留意点を確認した。

今後は調査報告書、完成図書で残すべき記録の詳細について検討するとともに、路線としての点群データのデータ管理や活用方法を整理していく必要がある。

【成果の活用】

道路土工構造物の維持管理に必要なデータの蓄積方法と設計条件等への反映の基礎データの取得方法についての具体的な提案

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 年度～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、適切な詳細調査結果に基づく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 に各地方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)

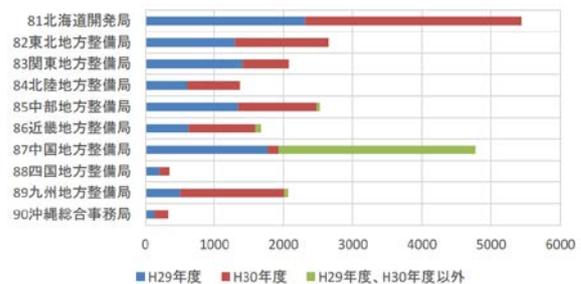


図-1 各地方における点検実施延長

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、その中から適切な詳細調査結果に基づく修繕工法の選定事例を抽出した。

[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

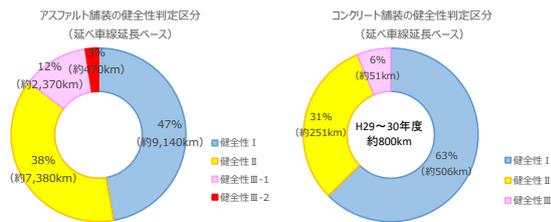


図-2 診断区分の割合

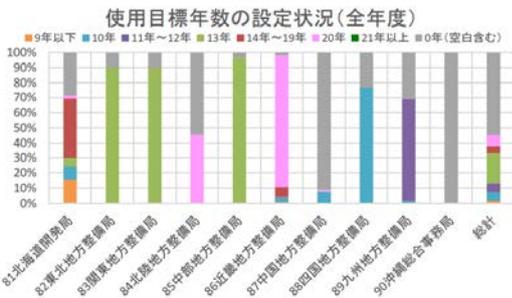


図-3 使用目標年数の設定状況

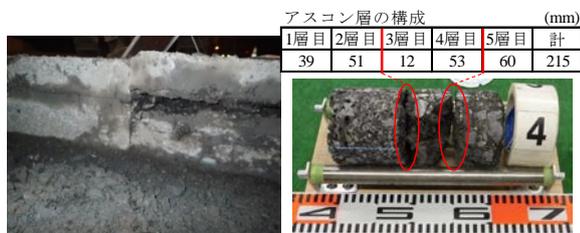


図-4 アスファルト混合物内の滞水・層間はく離

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の入力値が空白になっているデータも存在し、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たわみ量調査を実施した。その結果、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された。さらに、令和元年度は新設工事後 6 年で部分

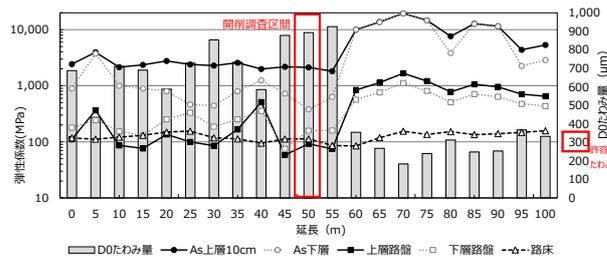


図-5 早期劣化区間前後のたわみ量調査結果

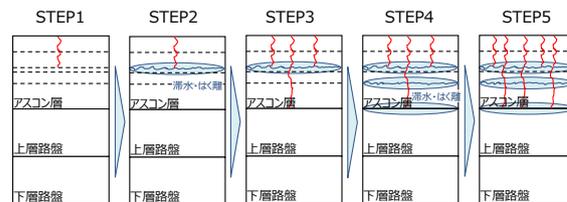


図-6 層間はく離に伴う早期劣化メカニズム

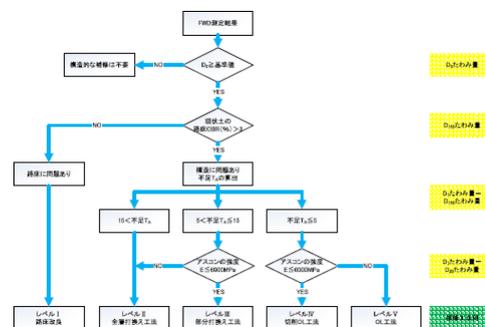


図-7 たわみ量調査結果に基づく修繕工法の選定例

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) 舗装修繕工事の整理

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。

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

道路構造物研究部 道路基盤研究室

(研究期間 平成 30 年度～令和 2 年度)
室 長 渡邊 一弘
主任研究官 藤原 年生

[研究目的及び経緯]

道路土工構造物点検要領が平成 29 年 8 月に策定され平成 30 年度から全国的な点検が実施されている。本研究は切土・盛土の道路土工構造物を対象に、構造物の変状から崩壊に至る過程を明確にし、道路土工構造物の合理的な点検・診断を支援する技術資料の作成を目的するものである。令和元年度は、初年（平成 30 年）の点検結果を収集し、変状事例の整理・分析を行い、変状傾向の整理及び損傷事例集の素案をとりまとめた。また、点検結果の記録にあたっての留意点についての分析を行った。

道路構造物としての舗装の要求性能に関する調査検討

Research on the required performance of pavement as a part of road structure

道路構造物研究部 道路基盤研究室

(研究期間 令和元年度～令和 3 年度)
室 長 渡邊 一弘
主任研究官 桑原 正明
研 究 官 若林 由弥

[研究目的及び経緯]

本研究は、道路構造物の一部としての舗装に求められる性能について検討を行うものである。今年度は、基盤構造物（橋梁・土工）も考慮した舗装の要求性能・設計手法に関する海外の情報を整理・収集するとともに、本省施策（コンクリート舗装の適材適所でのさらなる活用）に向けて、近年施工されたコンクリート舗装工事の収集・整理、供用性確認を行った。後者について、コンクリート舗装の供用性は概ね良好であったが、特定の工事において早期の損傷が確認された。

重要インフラの即時被害検知・強震モニタリングシステムの開発

Development of early damage detection and strong earthquake monitoring system for critical infrastructures

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室長	片岡 正次郎
研究官	大道 一步
研究員	石井 洋輔

[研究目的及び経緯]

液状化が生じる地盤上にある既設橋や土工構造物等の中には、液状化によって被害を受けるおそれのあるものがある。これらのインフラが被災した場合、災害後の二次被害や緊急活動の遅延に直結するため、被害の早期発見が必要となる。また、液状化が生じる地盤上における橋や土工構造物全体の複雑な地震時挙動を解明し、その結果を踏まえた構造物の設計法・対策法の開発も併せて必要である。そのため、本研究は、重要インフラの地震時の即時被害検知及びインフラ全体の挙動データの取得が可能な即時被害検知・強震モニタリングシステムを開発し、実際のインフラで技術検証を実施することで、重要インフラの地震被害の早期把握に資するとともに、構造物の設計法・対策法の高度化・合理化に貢献するデータの取得を目的としている。

本年度は、即時被害検知・強震モニタリングシステムの設計及び構築を行った。また、モニタリングシステムのセンサ・機器類を実際のインフラに設置するための計画を策定し、一部のインフラでモニタリングシステムを実装している。

地盤-橋全体系の耐震設計に用いる地盤震動特性の評価手法の検討

Study on evaluation method of ground shaking characteristics used for seismic design of soil-bridge system

(研究期間 平成30年度～令和2年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室長	片岡 正次郎
研究官	大道 一步
研究員	石井 洋輔

[研究目的及び経緯]

橋の基礎構造物の耐震設計および耐震補強設計は、地盤との動的相互作用を性能照査に取り入れることで、合理的な設計が可能となるものがある。本研究は、橋の耐震設計基準の合理化に資する地盤震動特性の評価手法の確立を目的としている。そのため、地盤の動的相互作用の影響を考慮した地震応答解析手法を構造物の地震観測記録等を用いて検証するなど、構造物に作用する地震動の低減効果を評価する手法等を検討している。

本年度は、現行設計の安全余裕の明確化を目的として、様々な特性の入力地震動を作成し、入力地震動ごとの橋の応答のばらつきを整理した。また、橋と土工構造物で観測された加速度波形を収集し、地震応答解析を行い各構造物の地震時の応答特性を整理した。

災害時調査支援のための道路管理技術の高度利用に関する調査

Study on enhanced use of road management technologies for disaster investigation support

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

(研究期間 令和元年度～令和2年度)

室長 片岡 正次郎
研究官 梅原 剛

[研究目的及び経緯]

地震や豪雨災害等による道路施設の被災状況をいち早く把握することを目的として、現在用いられている道路管理技術やリモートセンシング技術を活用した災害時の調査支援の検討を行っている。

本年度は、ケーススタディとしてある国道事務所管内における災害時の道路被災情報の取得方法の現状を整理するとともに、道路管理者が意思決定を行うための詳細な情報ニーズについてヒアリングを行い整理した。また、現状のリモートセンシング技術に関して災害種類別、適用条件別に、情報提供時間、計測可能範囲、計測精度等を整理し、現場のニーズに合わせ選択可能なものとなるよう適用条件早見表を作成した。上記の結果を踏まえ、当該国道事務所管内におけるリモートセンシング技術を用いた効率的な情報取得方法の提案を行った。

本検討により、発災後3時間以内の調査においては、夜間活用可能な被災情報取得技術が少なく、昼間晴天時の約16%の範囲の情報しか取得できないこと、また現場ニーズに合った技術でも運用に関する規制や課題があり、現場での検証が必要であることがわかった。

斜面災害時における道路通行可否の把握技術に関する調査

Study on technologies to grasp road trafficability after slope disaster

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

(研究期間 平成30年度～令和2年度)

室長 片岡 正次郎
研究官 梅原 剛

[研究目的及び経緯]

地震や豪雨等に起因する斜面災害により、現場立ち入り不可能となった箇所や道路啓開活動時の斜面の再崩壊による二次被害を回避することを目的として、早期把握技術である無人航空機(UAV)に着目し、斜面災害時における効果的な活用方法の検討を行っている。

本年度は、UAVを用いたレーザ計測により、どの程度の斜面再崩壊危険箇所の把握が可能であるか検討するため、危険箇所の判読事例を収集・整理するとともに、実際の斜面崩壊現場において崩壊箇所周辺状況のUAVレーザ計測を行い、計測データを異なった3種類の方法を用いて加工・処理することにより、各々の処理方法における危険箇所判読の可能性や特徴を整理した。

結果、今回の現場では、計測データを加工・処理して立体地形表現図を作成することで、危険箇所となり得る段差や亀裂を明瞭に確認することができた。

冬期道路管理を踏まえた降雪予測情報に関する調査

Study on snowfall forecast information based on winter road management

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

(研究期間 令和元年度～令和2年度)
室長 片岡 正次郎
主任研究官 横田 昭人

[研究目的及び経緯]

大雪が想定される箇所で大域な応援体制を伴い、集中除雪を的確に準備・実施するためには、場所・時間帯について精度の高い路面積雪量推定が必要となる。また大雪が想定される2日前や1日前に判断に必要な積雪情報が道路管理者には必要である。本研究では判断時点で取得可能な気象庁配信予測情報をもとに路面への積雪把握を推定するための路面積雪量推定方法を開発するものである。

令和元年度より着手し、熱収支法による融雪量の考慮と、粘性圧縮理論により圧密の考慮を取り入れた基礎的な路面積雪量推定方法を概成した。あわせて国道48号作並除雪ステーションにて積雪量を観測、推定手法への入力値を現地観測し、概成した推定方法の検証を行った。

さらに観測された積雪量について、48時間前、24時間前、12時間前に気象庁から配信された予測情報を、推定方法取り込み、積雪量の推定誤差について確認した。結果については24時間前での推定情報は概ね良好な精度が得られ、事前除雪判断に活用可能なことを確認した。

河川施設における強震計点検調査

Observation of strong ground motion at river facilities

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

(研究期間 昭和53年度～)
室長 片岡 正次郎
研究官 大道 一步
研究官 石井 洋輔

[研究目的及び経緯]

国土交通省では、公共土木施設の耐震設計技術の向上などを目的とし、全国の堤防、堰などの河川構造物等において強震観測を行ってきており、これまでに実際に発生した地震にて多くの観測記録が得られている。これらの観測記録は河川構造物の耐震性能照査指針などをはじめとした各種設計基準に反映され、構造物の耐震設計技術の向上に寄与するとともに、ホームページなどを通じて情報提供がなされてきた。

本年度についても、これまでと同様に強震観測を継続・維持していくために、強震観測施設の点検を行い、必要に応じて補修を行い、観測された強震記録の整理、蓄積を行った。