

## 領域 8 : 大切な道路資産を科学的に保全する

# 道路橋の点検体系に関する調査検討

Study on inspection system of road bridge

(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  
Bridges and Structure Division

主任研究官 前田 文雄  
Senior Researcher MAETA Fumio  
交流研究員 林 佑起  
Guest Research Engineer HAYASHI Yuki

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher  
研究官  
Researcher

白戸 真大  
SHIRATO Masahiro  
岡田 太賀雄  
OKADA Takao  
大西 諒  
ONISHI Ryo

This study examines inspection data to obtain practical knowledge to improve both the quality and the efficiency of inspection procedure. This year, three cycles of data set for regular inspections has been utilized to examine characteristics of deteriorations focusing on younger bridges, bridge locations, repair work experiences and interactions of different deteriorations.

## [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 年に道路法の一部が改正され、道路管理者は適切な時期にトンネル、橋その他道路附属物について点検を行うことが義務付けられた。国では平成 26 年に「道路橋定期点検要領」を制定し、その要領によって行う定期点検開始から平成 30 年度末で 5 年が経過し点検が一巡した。本研究では定期点検で確認された損傷データの分析等を行い、点検の品質を確保しつつも合理的な点検体系の提案のための知見の抽出を行う。

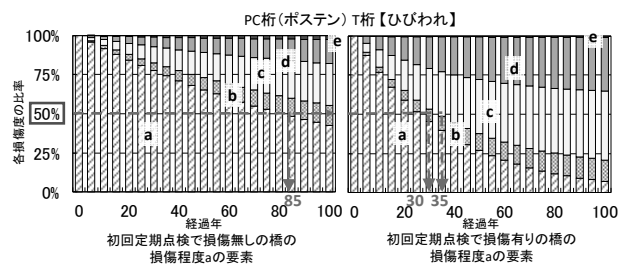
平成 30 年度は、国が管理する道路橋の定期点検で平成 16 年～29 年度に蓄積された 3 巡分の点検データを活用し、供用後早期に発生した損傷の特徴や補修補強の有無、複合的損傷の影響等による劣化傾向の違いについて分析した。

## [研究内容及び研究成果]

### 1. 初回定期点検の損傷の有無による劣化特性の違い

供用後 2 年以内に実施される初回定期点検での損傷の有無の違いによる劣化特性の違いを把握するため、着目する損傷について、初回定期点検で全要素の損傷程度の評価が a (損傷無し) の上部構造と損傷程度の評価が b 以上 (損傷有り) が 1 要素でも存在した上部構造の損傷程度の評価が a の要素を抽出し、初回定期点検から 2 回目定期点検のそれぞれの遷移確率を算出した。図-1 は PC 橋 (ポステン) の T 桁のひびわれの劣化曲線を示したものである。それぞれの劣化曲線に

おいて、損傷程度の評価が b 以上となる割合が 50% を超える年齢を矢印で示している。これらと比較すると、初回定期点検で損傷無しの上部構造では b 以上となる割合が 50% を超える年齢が 85 年であるのに対して、初回定期点検で損傷有りの上部構造では 30 年であることがわかる。さらに、初回定期点検で損傷有りの上部構造では損傷程度の評価が c 以上となる割合が 50% を超える年齢が 35 年であることがわかる。これらの結果から、初回定期点検において損傷が発生している上部構造の場合、健全な要素であっても劣化が進行しやすいことがわかった。



評価区分	a	b	c	d	e
損傷の程度	小	-----	-----	-----	大

図-1 初回定期点検での損傷の有無による劣化傾向

### 2. 早期に劣化が進行した事例

早期に劣化が進行する橋の特徴を把握するため、供用から 15 年以内の定期点検において「構造物の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態」と診断された橋の損傷種類を図-2 に示す。

それらの橋を対象に定期点検調査に記載の損傷原因を集計したところ、かぶり不足や初期ひびわれに代表される「施工品質のばらつき」、水処理の問題や耐候性鋼材の異常に代表される「環境条件のばらつき」が主な損傷原因であった。一方、橋の規模や交通量には依存しないことがわかった。

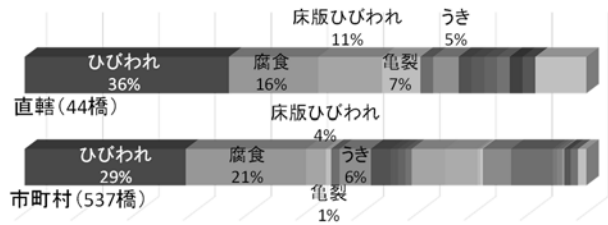


図-2 供用から15年以内に「早期に措置を講ずべき状態」と診断された橋の損傷種類

### 3. 損傷程度の評価が2段階以上進行する条件

i 回目の定期点検と i+1 回目の定期点検における損傷程度の評価が2段階以上進行した部材が、部位・環境条件、同一要素に生じた別の損傷、着目部材の近傍の別の部材に生じた損傷の有無などの観点でどのような特徴を有しているかを確認するため、i 回目定期点検から i+1 回目定期点検で損傷程度の評価が2段階以上進展した損傷の発生状況を統計的に整理した。図-3は鋼鉄桁橋の床版ひびわれに着目したときの同一要素における他の損傷の発生状況を示したものである。鋼鉄桁橋の床版ひびわれで損傷程度の評価が2段階以上進行した要素の60%は漏水・遊離石灰が生じていることがわかる。

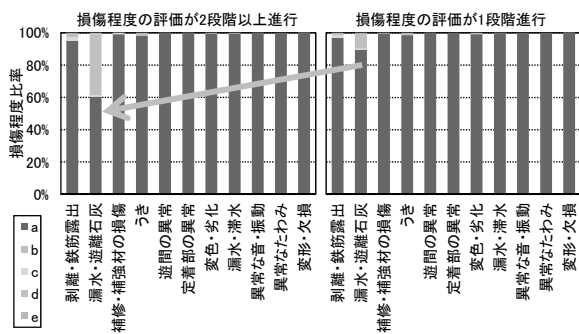


図-3 同一要素における別の損傷の発生状況と損傷程度の評価の進行の関係（鋼鉄桁橋の床版ひびわれ）

### 4. 同一要素に別の損傷が発生している事例

3.の結果を踏まえて、漏水・遊離石灰の有無による床版ひびわれの劣化特性の違いを把握するため、i 回目定期点検で漏水・遊離石灰が生じている要素と漏水・遊離石灰が生じていない要素における i 回目定期点検から i+1 回目定期点検の床版ひびわれの遷移確率を算出した。図-4にその結果を示す。この結果から

も、漏水・遊離石灰が生じていると床版ひびわれの劣化が進行しやすいことがわかる。

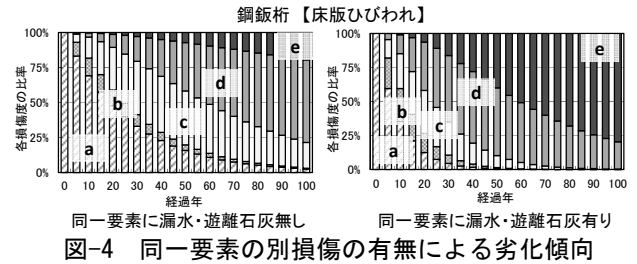


図-4 同一要素の別損傷の有無による劣化傾向

### 5. 補修した部材が再劣化した事例

補修の有無の違いによる劣化特性の違いを把握するため、i 回目定期点検から i+1 回目定期点検の間に損傷程度の評価が回復した（補修された）要素とそれ以外の要素に着目し、i+1 回目定期点検から i+2 回目定期点検の劣化傾向を整理した。図-5は鋼主桁（鉄桁）における補修の有無による腐食の劣化傾向を示したものである。この結果から、補修無し部材に比べて補修有り部材の方が劣化が進行しやすいことがわかる。この鋼主桁の腐食について、代表橋梁の点検調査を確認したところ、再劣化の要因として飛来塩分の影響や伸縮装置からの漏水が推定された。このことから、補修効果をできるだけ長く保つには採用する工法の適用範囲や劣化要因の除去などを考慮したうえで適切な施工を行う必要があることがわかった。

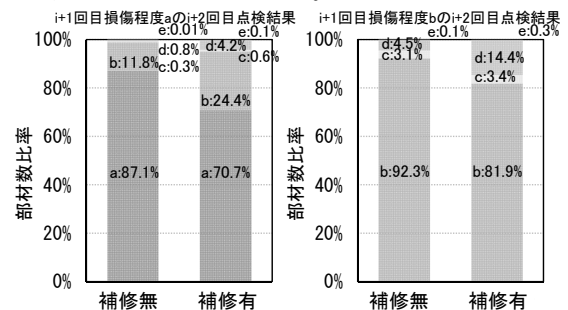


図-5 補修の有無による劣化傾向

### 6. まとめ

点検データを統計的に集計することによって得られる結果は物理化学的な原理を再現するものではないが、損傷の種類や発生傾向が把握でき、劣化の現在状態や将来状態を知る手段として有効である。これらの結果をもとに、点検の品質を確保しつつも合理的かつメリハリのある点検体系の実現が可能であることが明らかになった。

#### 【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（H31.2）、橋梁定期点検要領（H31.3）の改定に反映された。

# 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 30～令和 2 年度)

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

主任研究官 前田 文雄  
Senior Researcher MAETA Fumio  
交流研究員 林 佑起  
Guest Research Engineer HAYASHI Yuki

室長 白戸 真大  
Head SHIRATO Masahiro  
主任研究官 岡田 太賀雄  
Senior Researcher OKADA Takao  
研究官 大西 諒  
Researcher ONISHI Ryo

Life cycle costs (LCC) are commonly utilized as one of the indicators to investigate and plan long-term bridge management. However, many parameters are involved in LCC analyses with various uncertainties. This research tackles to clarify the uncertainty in the estimation of LCC and give notices to bridge owners on the planning for long-term bridge management. This year a parametric study was conducted for estimating the uncertainty in LCC varying with the difference in the assumption of repair and maintenance timings.

## [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、様々な計算上の仮定がLCCの計算では必要であり、また、それらを精緻化できたとしても仮定と現実とは一致しない。したがって、計算値を確定値として活用することはできず、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。そのためには、網羅的な試算を積み重ね、ノウハウを構築することが求められる。

図-1 に LCC を計算するときに必要な仮定の例を示す。平成 30 年度は、図-1 に示す各種設定のうち、計算上の劣化過程や修繕実施の判定式の与え方で LCC 計算値がどのように変わるのかを調べた。

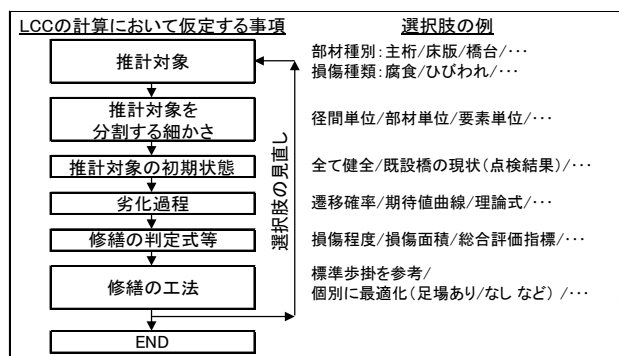


図-1 LCC 推計のフローと選択肢の例

## [研究内容及び研究成果]

### 1. LCC 推計を行う対象

#### (1) 推計を行う対象橋梁

橋梁群単位の LCC 推計を行うために、既設橋の構造形式や橋長の内訳を調査し、実際の分布を模擬した 30 橋の群の橋長および橋梁形式の内訳を図-2 に示す。

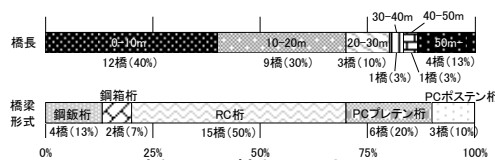


図-2 橋長及び橋梁形式の内訳

#### (2) 対象部材・損傷種類と分割の細かさの仮定

対象の部材は、上部構造の主桁と横桁と RC 床版、下部構造の橋台と橋脚、支承、伸縮装置とした。さらに、主桁については、図-3 に示すとおり、各径間では、各主桁はそれぞれ橋軸方向を端部とそれ以外（中間部）に分割した。また、RC 床版は橋軸方向で端部と中間部、橋軸直角方向で一般部と張出部に分割した。損傷の種類は鋼部材では腐食、コンクリート部材ではひびわれ及び床版ひびわれと剥離・鉄筋露出、支承は支承部の機能障害、伸縮装置は路面の凹凸とした。橋には他にも様々な部材、損傷の種類があるが、これらについては考慮している部材・損傷種類について補修されるときに必要なに応じて同時に補修されるという仮定である。計算開始時点のそれぞれの分割単位における損傷の状態は、損傷種類毎に定期点検で得られた損傷程度を当てはめた。

### (3) 劣化過程の仮定

各部材の劣化予測手法として、国管理の定期点検で記録する損傷程度の評価の移り変わりをパラメータとする「遷移確率」とその期待値を表す「劣化曲線」とを用いる。主桁については、外桁と内桁で異なるパラメータを与え、相対的には、外桁が劣化の進展を速くした。いずれも国総研資料第 985 号の巻末データ集から与えた。

### (4) 修繕判定式、修繕範囲の仮定

修繕を行う判定式には様々な考え方があるが、ここでは、径間単位で判定した。判定式は以下のとおり仮定した。

**判定式 1:** 主桁については、損傷種類別に、損傷程度 d 又は e の発生している単位数を径間内の単位数で除した値を指標にした。例えば、鋼主桁の腐食の場合、約 4 割の区画で d および e が発生した時点で修繕を行うこととした。本来は、たとえば主桁については、桁端と中間部で長さや面積が異なるため、その影響を考慮する必要があると考えられるが、ここでは簡単のため考慮していない。また、下部構造や伸縮装置は、損傷程度が d 又は e に達したとき、支承については主桁と同様で、1 基の下部構造上の支承数に対して、d 又は e に達した支承数の比率を用いて判定した。以上は、分割した単位毎の損傷が進展したときにその部分だけを修繕するというのではなく、部材種類全体として状態を考察し、補修の判断をすることもあり得ることを意図している。

**判定式 2:** 判定式 1 と組み合わせて、国総研資料第 822 号で構造物の状態を区分する指標として用いている「総合評価指標」を指標とし、耐荷性・災害抵抗性・走行安全性の指標値のいずれか一つでも 100 点（満点）から 30 点に低下したときに修繕を行うという判定式を与えた。これは、各部材種別だけでなく、橋全体の状態も加味して補修等を判断することもあり得ることを意図している。

次に、修繕の判定式だけでなく、修繕する方法や範囲も計算上の仮定が必要である。

**修繕方法:** 標準的な歩掛かり等が明らかになっている方法から選んで与えた。

また、修繕範囲は、損傷程度が悪化している分割単位のみとする考え方もある。さらに、径間内の部材全体を対象とする考え方もある。さらに、損傷種類についても、判定された損傷のみを対象とするのか、修繕する部材等の範囲に含まれる損傷種類全てを対象とするのかでも、LCC の計算値は異なる。ここでは、以下のとおり仮定した。

**修繕範囲 1:** 判定式 1 で判定された損傷種類のみが修繕されると仮定した。

**修繕範囲 2:** 判定式 2 で判定された径間の全ての損傷種類が修繕されると仮定した。

いずれも現実には、このような判断が行われるわけでも、求められるわけでもないことの注意を要する。

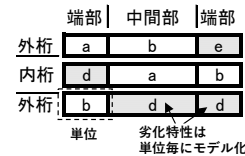


図-3 径間の分割の概要（鋼鉄桁の場合）

## 2. LCC 計算値の比較

計算は、50 年を対象に行った。各橋の 50 年間の LCC 累計値の 30 橋分の合計値を求める。さらに、劣化過程の仮定に遷移確率を用いる場合には、LCC 累計合計値の計算をモンテカルロシミュレーションにより 100 回繰返し、合計値 100 通りに対して、平均値と変動係数を算出した。

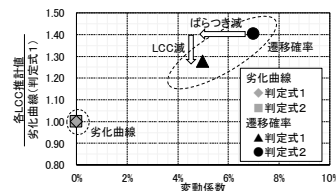


図-4 LCC 推計結果の比較

計算結果を図-4 に示す。図の縦軸は、劣化曲線（判定式 1）による推計値 1.0 として無次元化した。図の横軸は、変動係数を示す。劣化曲線を用いる場合は、劣化過程は各橋で 1 通りにしかならないので、劣化過程の仮定に対して計算値も 1 通りであり、ばらつかない（ばらつきの幅は 0 になる）。劣化について遷移確率と劣化曲線を用いた計算値は、4 割程度異なった。これは、劣化曲線を用いる場合、劣化曲線の関数形に依存し、今回用いた曲線は、損傷程度が一定値を下回りにくいためである。また、モンテカルロシミュレーションの計算値どうしも判定式の違いに応じて 2 割程度の差が生じた。これは、判定式 2 にて総合評価指標が一定点を下回った時に、その径間に含まれる全ての損傷種類と部材種類を対象に修繕が行われ、判定式 1 よりも多くの費用が累積されたためである。

## 3. まとめ

LCC 推計では、閾値や劣化予測手法などの設定にそれぞれ特徴があり、設定の内容に応じて推計値が大きく変動することが確認できた。設定方法とその結果の解釈について普遍的な留意点をまとめるように、さらに試算等を通じた分析を行う必要がある。

### 【成果の活用】

国総研資料等で公表する予定。

# 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 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

主任研究官

岡田 太賀雄

Senior Researcher

OKADA Takao

研究官

大西 諒

Researcher

ONISHI Ryo

交流研究員

横田 剛

Guest Research Engineer YOKOTA Go

室長

白戸 真大

Head

SHIRATO Masahiro

主任研究官

猪狩 名人

Senior Researcher

IGARI Meito

交流研究員

高山 文郷

Guest Research Engineer TAKAYAMA Humisato

The present study has been developing the partial factor design method for the rational structural evaluation of existing road bridges. This year, a statistical estimation method of live load and live road factor corresponding to the assumed service period using measured values of traffic flow of existing road bridge was studied by the Monte Carlo simulation considering a stochastic loading model.

## [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目的に道路橋の技術基準の見直しに必要な検討を進めており、新設橋の設計を対象とした成果は平成29年に改定された道路橋示方書に反映された。既設橋の補修補強設計においても新設橋の設計と同様に、求める性能の水準と適用基準を明らかにし設計作業を進める必要があり、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、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荷重極値分布を評価し、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。従来、以上の判断にあたっての交通流計測を行うときには72時間連続計測によることが多い。しかし、想定する供用期間に生じる主要部材の最大断面力に与える影響の大きな大型車の単位時間あたりの通過台数は橋ごとに異なるため、例えば通過台数が少ない橋では72時間で計測される大型車の影響だけでは、次回の定期点検までの数年間に橋が経験する応答の最大値と

の乖離が大きくなる可能性も考えられる。そこで本年度は、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基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、交通特性や構造特性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。

## [研究内容及び研究成果]

### 1. 荷重シミュレーション

対象橋梁は平成29年道路橋示方書の活荷重係数の検討に用いられた国総研資料第1031号の8橋を用いた(表-1)。交通流を模擬するために参照する交通流モデルは、国総研資料第295号の活荷重実態調査において得られた3橋の交通流データ(BWIM記録)を基に平均大型車混入率を調整した交通流モデルを用いた(表-2)。荷重参照期間は3日、6日、12日、1年、3年、5年、10年、25年、50年としてそれぞれ1,000回実施した。

### 2. 荷重参照期間と断面力最大値の関係

荷重参照期間と断面力最大値の関係は、既往の応力頻度測定との関連を考慮して、断面力最大値分布の上位11番目値とTL20荷重による断面力との比率で整理した。各シミュレーションで得られた1,000個の断面力は

全て各荷重参照期間の断面力最大値であるが、今回は試みに非超過確率99%値に対応する断面力最大値を尺度として比較してみる。荷重参照期間と断面力比率の関係を整理した例として図-1(a)～(c)に橋梁番号01～03の結果を示す。

表-1 対象橋梁の概要

(活荷重係数は参照期間100年、大型車混入率30%)

橋梁形式	橋長 (m)	最大支間長 (m)	活荷重係数
01 鋼単純非合成鉄桁橋	19.8	18.3	1.01
02 PC単純ポステンT桁橋	31.7	30.5	0.93
03 鋼単純鋼床版箱桁橋	75.0	75.0	0.99
04 鋼2径間連続非合成鉄桁橋	83.0	40.8	1.01
05 鋼2径間連続非合成鉄桁橋	98.0	49.0	0.98
06 PC2径間連続箱桁橋	98.0	49.0	1.09
07 PC5径間連続合成桁橋	181.3	35.2	1.21
08 鋼単純トラス橋(下路式)	97.0	95.1	0.92

表-2 交通流ケース

交通流ケース	BWIM記録	特徴	平均大型車混入率
ケース1	データ1	大型車混入率30%以下の代表点。車重上位5%を占める車種が比較的均一に出現する。	15%
ケース2	小山跨道橋		30%
ケース3	データ2	既往の活荷重研究の検討地点。最大120tonを越える大型車両が0.2%程度の確率で出現する。	30%
ケース4	有明曙橋		45%
ケース5	データ3	大型車混入率30%以上の代表点。混入率の大きい橋梁の中で車重上位5%値が大きい。	45%
ケース6	甲子橋		60%

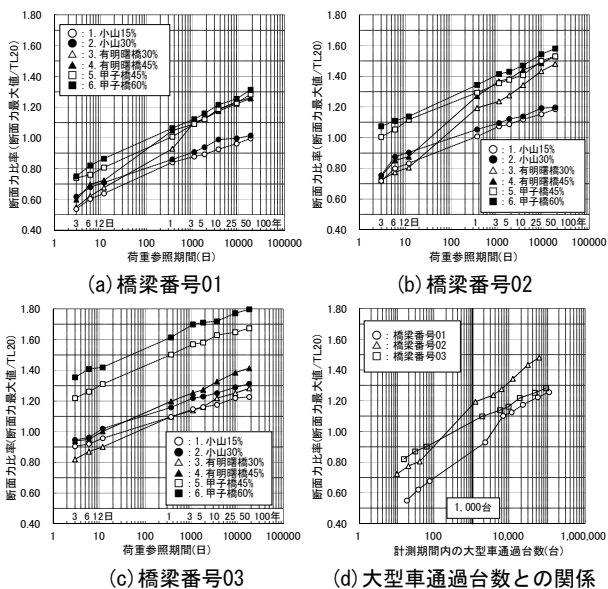


図-1 荷重参照期間と断面力比率の関係

荷重参照期間1年を超えると断面力比率の増加傾向に変化が見られる。この傾向は稀に車重の重い大型車両が出現するケース3,4に顕著である。これは参照期間が長くなると出現確率の低い車重の重い大型

車両が出現し断面力最大値に影響を与えているからだと考えられる。図-1(d)は交通流ケース3における大型車通過台数と断面力比率の関係である。大型車通過台数が概ね1,000台を超えると傾きが変化している。これより、大型車両の通行が想定される場合には、従来実施されてきた72時間の計測時間を越えた場合でも大型車通過台数が少なくとも1,000台程度以上となるまで計測をしなければ大型車両の影響を把握しきれない可能性があることがわかった。

### 3. 支間長と断面力との関係

図-2(a)は、大型車通過台数10,000台程度における支間長と断面力比率の関係である。支間長が長くなるほど断面力比率は概ね大きくなる傾向だが、ケース3,4では支間長30.5m(橋梁番号02)に対して75.0m(橋梁番号03)の比率が小さくなっている。これは、図-2(b)に示すケース3の断面力比率の頻度分布のとおりに、支間長が短い橋梁番号01,02では出現確率の低い大型車両単体の影響が支配的になり頻度分布のばらつきが大きくなる一方で、支間長の長い橋梁番号03では大型車の車両列として与えられる荷重が支配的になり出現確率の低い大型車両単体の影響が低減さればらつきが小さくなるためと考えられる。これより、大型車の合計通過台数が同じでも支間長が異なる場合には断面力最大値に対する大型車の同時載荷の影響が異なるため、計測期間の設定には支間長や交通特性に応じた場合分けが必要となることが分かった。

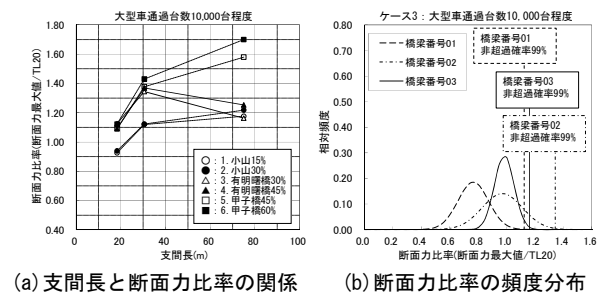


図-2 支間長と断面力最大値の関係

#### [今後の課題]

本年度は、荷重シミュレーション結果を整理することで、交通流計測において留意しなければならない観点を統計的に抽出することができた。今後は、交通流計測結果から想定する供用期間に応じた活荷重規模を推定するための方法について検討する必要がある。

#### [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～令和元年度)

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 岡田 太賀雄  
Senior Researcher OKADA Takao  
交流研究員 高山 文郷  
Guest Research Engineer TAKAYAMA Fumisato

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher  
研究官  
Researcher

白戸 真大  
SHIRATO Masahiro  
猪狩 名人  
IGARI Meito  
高橋 慶  
TAKAHASHI Kei

The purpose of this test is to collect basic data to decide the allowable range of damage to bridge after yielding and establish the steel girder design method considering plasticity. For this purpose, one-sided cyclic loading experiments of three I-girders were conducted. The results suggested that the limit state of I-girders under bending moment can be clarified by focused on the sudden increase of residual out-of-displacement in web panel.

## [研究目的及び経緯]

平成 29 年の道路橋示方書改定で、橋を構成する部材の一部に塑性化を考慮する限界状態設計法(弾塑性設計)が導入されたことにより、部材や橋の破壊過程を直接確認して設計することが可能となった。これにより、将来の車両大型化や大地震時に対する設計の合理化が可能となり、既設橋の補修補強設計についても、部材の一部に塑性化を考慮することができる限界状態設計法のメリットを活かすことで合理化も期待できる。

部材の一部に塑性化を考慮する設計手法は、柱などの一部の部材では考慮されているが、上部構造に対する設計法は整備されていない。特に桁に関しては、活荷重や地震荷重の繰り返しに対して、塑性化しつつも残留変位が急増しないなど、桁として機能を発揮しつつ、かつ耐荷力を失うまでには十分余裕がある状態にあること、そしてその再現性が一定の信頼性で制御される必要がある。

鋼桁、コンクリート桁のそれぞれに対して多様な補修補強材料や方法があり、それぞれの材料、方法が信頼性を評価するためのデータを蓄積するためには、载荷試験の方法やデータ整理の方法のルール化が必要である。そこで、平成 30 年度は、鋼桁を対象に一方向繰り返し载荷試験を行い、塑性化後の限界状態及びその現象を工学的指標と関係付けることを試みた。

## [研究内容及び研究成果]

### (1) 曲げ载荷試験概要

#### 1) 供試体

供試体は鋼 I 桁断面とし、フランジとウェブに共に同

じ鋼種を用いた。表-1 に供試体の諸元、図-1 に供試体概要図及び供試体断面図を示す。既設橋に多い非合成設計された鋼桁を想定し、テストパネル内には水平補剛材を 1 段配置している。

表-1 供試体の諸元

鋼種	ウェブ高	ウェブ厚 $t_w$	フランジ幅	フランジ厚	テストパネル	ウェブの幅厚	ウェブ幅厚比
	$D_w$		$b_f$	$t_f$	長さ $L_b$	比 $D_w/t_w$	パラメータ $R_w$ <sup>※</sup>
	mm	mm	mm	mm	mm	—	—
SM 490Y	1250	6	410	22	1875	208	1.888

※幅厚比パラメータは、弾性係数  $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$  で算出

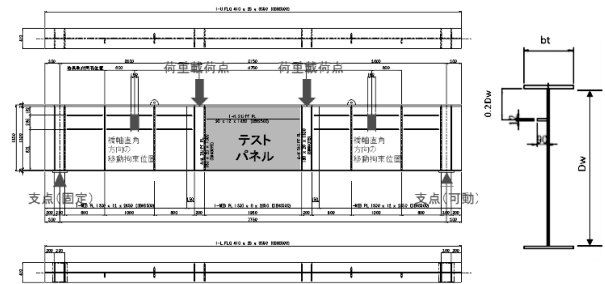


図-1 供試体概要図・供試体断面図

### 2) 载荷試験方法

供試体の境界条件を図-1 に示す。曲げ载荷試験の荷重载荷方法は、単純桁の 2 点载荷とし、供試体のテストパネルに等曲げモーメントが作用するようにし、同荷重値で 3 回の片押し繰り返し载荷を行った。同荷重値で片側繰り返し载荷を行った理由は、部材が供用中に何度か塑性化を経験したとしても、残留変位が増加しないための桁の塑性化の範囲や変形モードが制御できれば、そこからの変化点を限界状態として設定できると考えたためである。



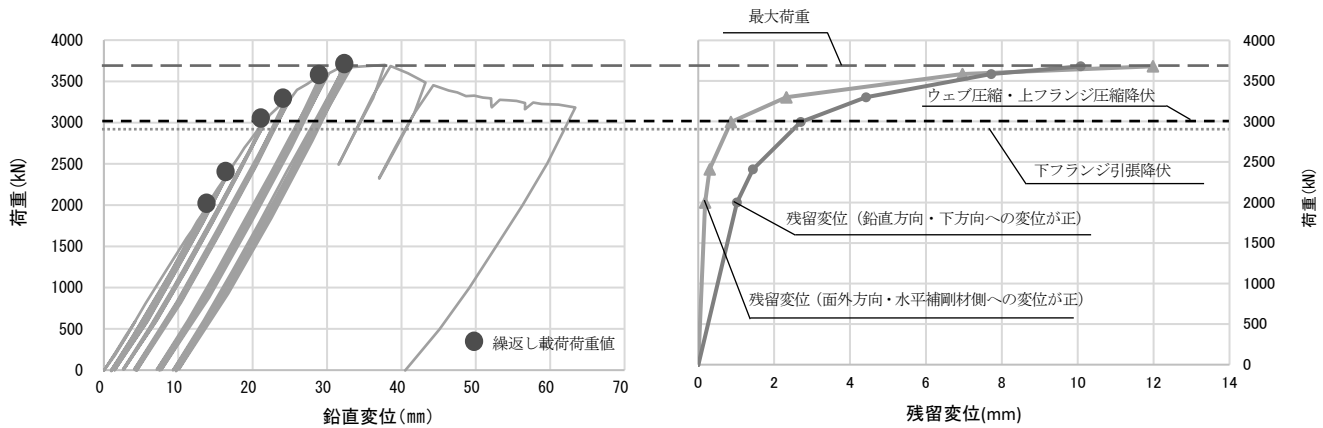


図-2 (左) 荷重-鉛直変位関係図 (右) 3回繰返しの後の残留変位

また、繰返し回数を3回としたのは、繰返しを行いつつ、低サイクル疲労の発生を避けるためである。

(2) 繰返し曲げ載荷試験結果

図-2(左)に荷重-鉛直変位関係、図-2(右)に鉛直方向と面外方向の残留変位を示す。鉛直方向の変位は、テストパネル部の下フランジ中央部での変位である。写真-1に示すように最終的には上フランジの変形による横倒れ座屈が生じている。また、図-3に、各荷重ステップにおいて計測した面外変位の最大値を示す。図-3のとおり、計測点は、テストパネル中心線に沿った鉛直方向に7点であるが、計測点のうち最も面外変位が大きかったのは、水平補剛材の直下の位置であった。図-2(右)には、各載荷ステップの載荷荷重とそれぞれの計測点における鉛直、面外の残留変位の関係を整理した。残留変位は、各載荷ステップ3回繰返しの後に除荷したときの变位である。表-2に実験で確認された事象と計算値との比較結果を示す。表-2に示す残留変位の急増点は、図-2(右)に示す荷重-残留変位関係で勾配が急増した荷重である。

以上を相互に比較すると、鉛直方向の残留変位の増加点と面外方向の残留変位の増加点は、同じ載荷荷重であり、鉛直方向の残留変位は下フランジが降伏しても急増することはないが、ウェブが圧縮降伏に伴い増加していることがわかる。面外方向にはらみだしが生じ残留変位が急増することで、最終的に横倒れのような破壊性状に至ったと考えられる。したがって、単調載荷し、材料の降伏点や荷重の最大点に着目して実験結果を整理するだけでなく、繰返し載荷をすることで、残留変位の急増に着目した限界状態点を明らかにできる可能性が確認された。また、鋼桁の場合には、ウェブの変形モードを制御できるように補強することで、既設桁にある程度の塑性化も許容し、合理的な補強設計ができる可能性が分かっ

た。

表-2 実験で確認された事象と設計計算値の比較

イベント	荷重	計算値
下フランジ引張降伏	2882kN	3691kN
ウェブ圧縮降伏 <sup>※1</sup>	2996kN	3885kN
上フランジ圧縮降伏 <sup>※1</sup>	2985.7kN	3691kN
鉛直方向の残留変位の急増点	2996kN	-
面外方向の残留変位の急増点	2996kN	-
横倒れ座屈荷重	-	3623kN
最大荷重 (計算値は全塑性時の荷重値)	3700kN	-
座屈応力発生時荷重 (ウェブパネル上部)	-	4790.7kN

※1 圧縮降伏は、各部位のひずみゲージに始めて圧縮降伏ひずみが見られた時としている。

なお、降伏ひずみは引張試験より得られた結果を用いている。

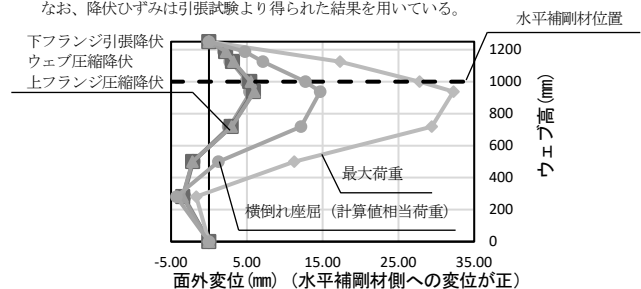


図-3 面外変位



写真-1 実験後テストパネル

(3) まとめ

引き続き、同じ載荷ステップでの繰返しの履歴ループの一致度など、さらに様々な観点での分析を行うことや、様々な桁材料、補強方法についても様々な載荷パターンでの載荷試験を行うことで、載荷試験法の適用性拡大や、合理的な鋼桁、コンクリート桁の補修補強設計法確立に向けた検討を行う予定である。

【成果の活用】

塑性化後の上部構造の耐荷力評価に向けた試験法の開発のための基礎データとして活用予定である。

# 盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

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

七澤 利明

Head

NANAZAWA Toshiaki

主任研究官

藤山 一夫

主任研究官

森本 和寛

Senior Researcher

FUJIYAMA Kazuo

Senior Researcher

MORIMOTO Kazuhiro

研究官

木村 崇

研究官

上原 勇氣

Researcher

KIMURA Takashi

Researcher

UEHARA Yuki

It is required to efficiently maintain and manage road structures concentrated in the high economic growth period in the future, and from July 2014, road structures such as tunnels are once every five years Legal inspections are conducted. 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 30 年度は、平成 26～29 年度の 4 箇年で定期点検を実施した国が管理するシェッド 688 施設、カルバート 1907 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。

## [研究内容及び研究成果]

### 1. シェッドの定期点検結果分析

平成 26～29 年度の直轄国道を対象とした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。

図-1 に管理者別のシェッドの施設数比率を示す。

北海道、北陸、中部で全体の約 7 割を占めており地域により施設数にばらつきが見られる。

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 4 割、III (早期措置段階) が 5 割で、IV (緊急措置段階) は無かった。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 製に対して高い結果となっている。

また、健全性の診断結果について、構造物の建設年次との関係を建設年次別に整理した結果を図-3 に示す。建設年次が古い施設ほど健全性 III の割合が高くなり、健全性 I の割合が低くなる傾向が見られる。

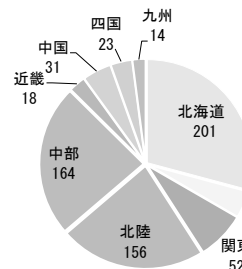


図-1 管理者別施設数の比率(シェッド)

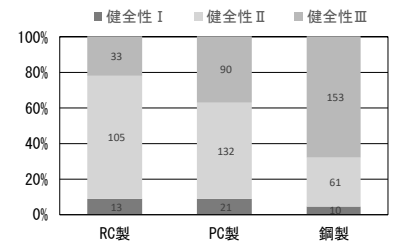


図-2 材料別の健全性の割合(シェッド)

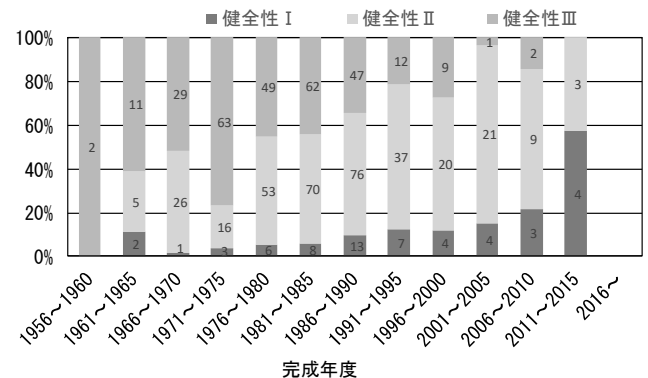


図-3 建設年次別の健全性の割合(シェッド)

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、PC製シェッドの谷側構造（谷側柱・谷側受台）における剥離・鉄筋露出について、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の程度が大きいeの割合が大きくなり、またその発生位置は下部に限らず、全体に見られる。

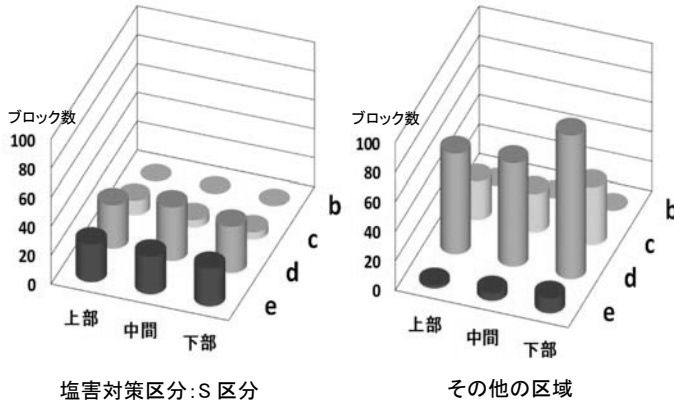


図-4 塩害の影響と剥離・鉄筋露出の程度（PC製シェッド谷側構造）

## 2. 大型カルバートの定期点検結果分析

大型カルバート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は無かった。

構造形式と建設後の経過年数毎の健全性の割合について図-5に示す。供用開始後5年程度で健全性IIIとなっている施設や、供用開始間もない施設でも健全性IIが存在している。断面規模（全幅員）と健全性との関係を図-6に示す。全幅員が15m以上となると健全性IIIの割合が大きくなる傾向となっている。このうち、部材の健全性において約8割の施設で頂版が軸方向のひびわれにより健全性IIIと診断されており、これはスパンが長いこと、施工時の盛土や車両等の上載荷重の影響を受けやすく、曲げひびわれが発生していると考えられる。

大型カルバートの部材毎の健全性の判定結果と割合を図-7に示す。大型カルバート本体を構成する「頂版」、「側壁」の健全性の判定区分の割合については、同じような傾向となっており、健全性においては差が見られなかった。また、健全性IIIの占める割合が最も高い部材は、「その他（付属物）」の約10%であった。これは道路照明等の付属物の異常について、利用者被害防止の観点から健全性IIIと診断されていることが考えられる。

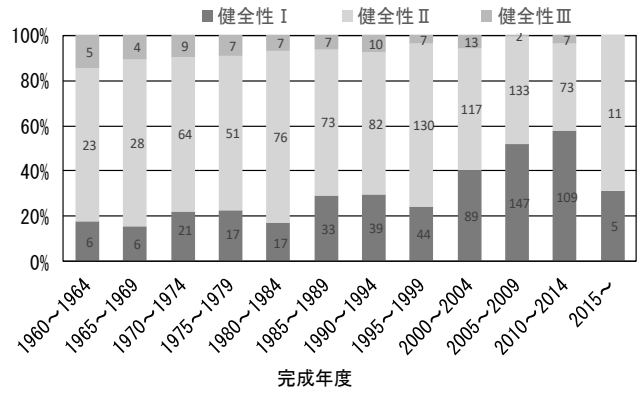


図-5 建設年次別の健全性の割合（大型カルバート）

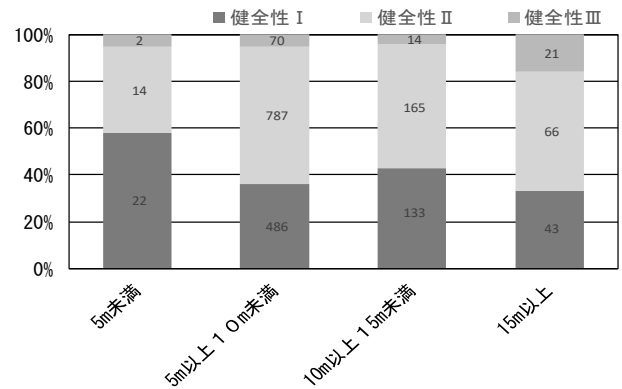


図-6 断面規模別（全幅員）の健全性の割合（大型カルバート）

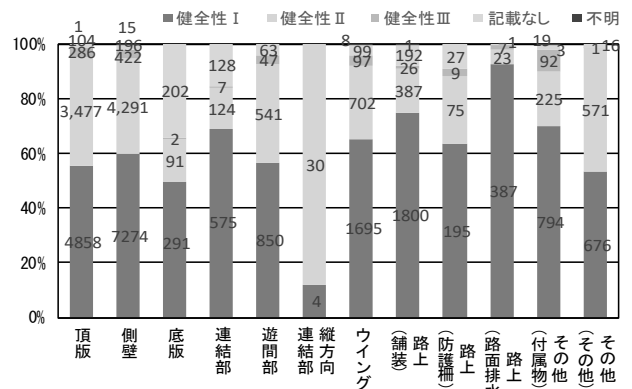


図-7 部材毎の健全性の割合（大型カルバート）

### [まとめ]

現時点では1巡目の点検結果しかないが、引き続き、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につなげていくことが重要である。

### [成果の発表]

各種論文等で発表した。

### [成果の反映]

「シェッド、大型カルバート等定期点検要領（平成31年2月）」、「シェッド、大型カルバート等定期点検要領（平成31年3月）」に反映された。

# 盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

Survey and investigation on management method corresponding to required performance of road embankment and cut  
(研究期間 平成 29～30 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  
木村 一幸  
KIMURA Kazuyuki

In addition to preparing a tree diagram that clarifies the process leading to the transformation and collapse of structures for the purpose of rational inspection and diagnosis of earth-work structures, prepare a collection of examples of disaster restoration work.

## 【研究目的及び経緯】

道路土工構造物点検要領が H29.8 に策定され H30 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とするものである。

## 【研究内容】

本研究では、道路土工構造物の変状から崩壊に至る過程を明確にするため、災害事例と防災点検結果をもとに分析・整理する方法で行った。手順としては災害事例から災害に至った「素因」と防災総点検の記録から変状の発生・進行に至った「素因」を抽出し、相互に補完することで、「被災」に至るような重要度の高い「変状」を把握し、道路土工構造物点検における点検時の「着目点」を抽出するものである。

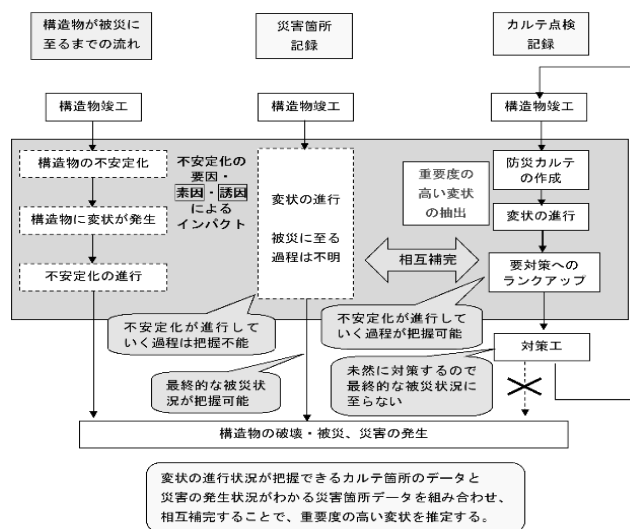


図-1 構造物における変状の進行・崩壊の発生過程とカルテ点検による変状の把握

## 【研究成果】

### (1) 切土・盛土の変状・崩壊過程の抽出

#### 1) 災害記録の整理

災害事例として災害記録約 400 件から災害ごとに分類し「切土の崩壊」131 箇所、「盛土の崩壊」94 箇所を抽出した。抽出した切土・盛土の災害記録から「誘因」別に「素因」及び「崩壊」を抽出しマトリクス図により整理した。なお、素因として抽出すべき評価項目については、『道路防災点検の手引き（豪雨・豪雪等）』（財）道路保全技術センター、H19.9) の安定度調査表、『防災カルテ作成・運用要領』（財）道路保全技術センター、H8.12)、『道路土工構造物点検必携』（財）日本道路協会、H30.7) の記載の項目を参考として設定した（表-1）。

表-1 素因における評価項目（災害記録の例）

切土の崩壊		盛土の崩壊	
大分類	小分類	大分類	小分類
地形	崖地形	盛土区分	片切・片盛(覆け含む)
	崩壊跡地		深流通過(谷埋)
	オーバールン		両盛土
	集水型地形		傾斜地
	地すべり地形		平地
地下水・表面水	湧水	基礎地盤・地形	地すべり・クレーブ
	ガリ浸食		軟弱地盤
	洗掘		崖
	凍上		沼地・湿地
	パイピング孔		集水型地形
土質・地質	脆弱な土質・地質	地下水・表面水	河川・波浪の影響
	風化岩		湧水
	流れ盤		ガリ浸食
崖高・勾配	受け盤	盛土高	洗掘
	H≧15m		パイピング孔
	30° ≦ θ < 45° θ ≧ 45°		H≧10m
排水不良	水路断面不足	排水不良	路面(表面)排水
	水路閉塞		水路断面不足
	水路・管渠漏水		水路閉塞
	地下水排除施設		水路・管渠漏水
		盛土材	地下水排除施設
			材料不良

#### 2) 点検記録の整理

防災点検の記録（以降「防災カルテ」）約 4 万件から、「落石・崩壊」、「盛土」約 2 万件を抽出し、さらに変状が進行している箇所（ランクアップ箇所）から「切土の崩壊」156 箇所、「盛土の崩壊」119 箇所を抽出

出した。抽出した防災カルテから「誘因」毎に「素因」及び「変状」を抽出しマトリクス図により整理した。抽出した素因の評価項目は災害事例との整合を図るため共通とした。

### 3) 崩壊プロセスの作成

災害事例、防災カルテにおける各素因の全体箇所数に対する割合について、災害事例とカルテ箇所における差異を確認するため、散布図を作成し切土、盛土の素因ごとのマッチングを確認した(図-2、3)。

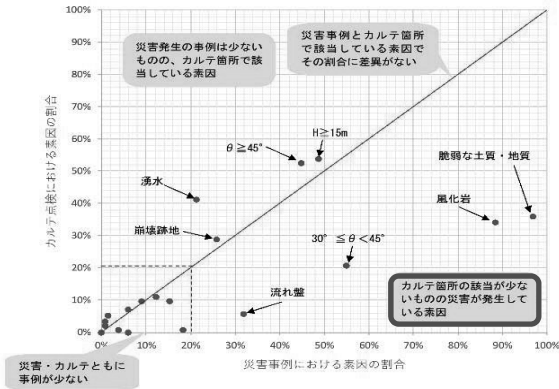


図-2 切土法面におけるカルテ点検と災害事例における素因の割合

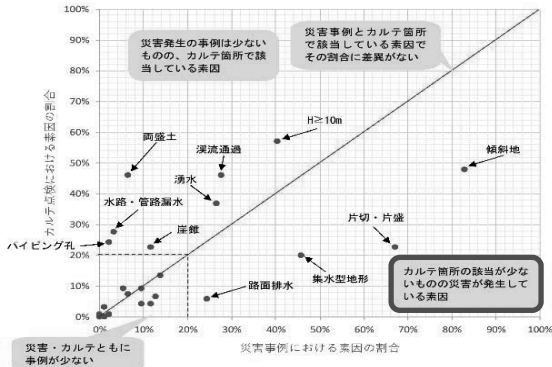


図-3 盛土におけるカルテ点検と災害事例における素因の割合

素因のマッチング結果から、切土・盛土とも災害事例、防災カルテの間に素因の分布の偏りが認められる。切土では「流れ盤」「 $30^\circ \leq \theta < 45^\circ$ 」「風化岩」「脆弱な土質・地質」は、災害箇所において多数認められている素因にも関わらず、防災カルテでは災害事例と比較して比率が低い。盛土では「路面排水」「集水型地形」「片切・片盛」「傾斜地」は、災害箇所において多数認められる素因にも関わらず、防災カルテにおいて災害事例と比較して比率が低く、特に「路面排水」はカルテ着目点において 20%に満たない。以上の災害時に注視する素因を抽出し、防災カルテの着目点(変状)と素因との対応関係に加え星取り形式に整理した(表-2)。

表-2 素切土法面におけるカルテ箇所の着目点(変状)と素因との対応

点検時の着目点(変状) 小分類	崩壊跡地		湧水		脆弱な土質・地質		風化岩		流れ盤		H $\geq$ 15m		30° $\leq$ $\theta$ <45°		$\theta \geq$ 45°		
	大分類	小分類	大分類	小分類	大分類	小分類	大分類	小分類	大分類	小分類	大分類	小分類	大分類	小分類	大分類	小分類	
法面 状態	亀裂の発生・拡大		×	●	●	●	●	●	×	●	×	●	×	●			
	はらみだし・陥没		●	●	×	×	×	×	×	●	×	×	×	●			
	剥離の発生・拡大		×	●	●	●	●	●	×	×	●	×	×	●			
	地山の露出		×	●	●	×	×	×	×	●	×	×	×	●			
湧水・地下水	湧水・地下水		×	●	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×			
	小崩壊の発生 状態	小崩壊の発生		●	●	×	●	●	×	×	●	×	×	×	●		
		はらみだし		●	●	●	●	×	×	×	●	×	×	×	●		
		浸食の発生・拡大		●	×	●	×	×	×	×	●	×	×	×	●		
崩落			●	●	●	●	×	×	×	●	×	×	×	●			
植生異常	植生異常		×	●	●	×	×	×	×	●	×	×	×	●			
	等小規模の段 階状土	傾斜・変形の発生・進行		×	●	●	●	●	×	×	●	×	×	×	●		
		排水工の機能低下(閉塞)		●	●	×	×	×	×	×	●	×	×	×	●		
		排水工の機能低下(漏水)		●	●	●	●	●	×	×	●	×	×	×	●		
路			●	●	●	●	●	×	×	●	×	×	×	●			

※ ●は着目点と素因の相関をヒストグラムにより高いものを抽出した結果を記載

### 4) 崩壊プロセスの整理

これまでの抽出・整理した結果をから切土、盛土の構成する部材(工種)毎に3段階の階層のFT解析図で整理した。最も上位の階層から、「被災」「変状」「素因」とし、それぞれに「被災内容」「点検時の着目点」「カルテ箇所、被災事例における素因」を整理した(図-4)。

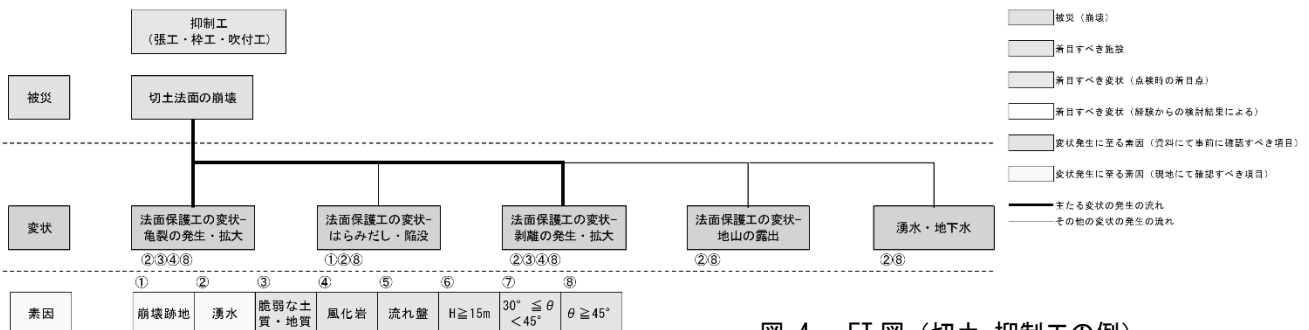


図-4 FT図(切土-抑制工の例)

### [成果の活用]

道路土工構造物は複合施設であり、また不確実性を内包する構造物である。今回の検討は崩壊プロセスを記録類から分析し整理した。今後は工学的な知見による検証を行ない崩壊プロセスの検証を進め、点検者・道路管理者の技術力向上を図る点検時の技術資料として本研究は活用される。

# 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 29～30 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  
木村 一幸  
KIMURA Kazuyuki

The purpose of this research is to make full-scale inspection of road workmanship structures occupying the majority of roads, and an efficient inspection method is required from now on. Inspection of stability by existing materials such as design report, construction record, maintenance record, etc. verify accuracy by inspection of in-situ position and soil quality test etc.

## 〔研究目的及び経緯〕

道路土工構造物点検要領が H29.8 に策定され H30 年度から全国的な点検が実施されている。本年度は既設盛土構造物の効率的な照査方法に関する調査研究を実施し、不確実性を内包する道路土工構造物について、合理的かつ効率的な照査方法の確立を目的とするものである。

## 〔研究内容及び研究成果〕

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。

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 ( $\gamma, c, \phi$ )、盛土内水位に着目し、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について整理した。

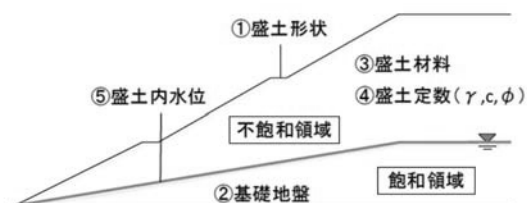


図-1 安定性の照査で着目したパラメータ

## 1. 検証箇所の選定

検証箇所として直轄国道の盛土のり面緊急点検箇所 (H23) 等から、以下の条件に該当する北陸地方整備局管内の 6 箇所 (長岡 1、富山 3、金沢 2) を検証

箇所として選定し、表-1 に示す資料を収集した。

- ・ H22 年の盛土工指針改訂前の 10 年間に完成した盛土 (H22 指針では排水施設の重要性に着目)
- ・ 盛土高が 10m 程度以上 (大規模構造物)
- ・ 集水地形の盛土 (水の影響)
- ・ 道路周辺に泥岩、頁岩、凝灰岩等の地質が分布している (盛土材料として使用の可能性)
- ・ 変状進展や崩壊履歴がある (変状進行の可能性)

表-1 収集する資料

	調査方法	主な資料
既往資料調査	既往資料から読み取る調査	設計図書 (土質報告書、設計報告書) 施工図書 (完成図、品質管理データ) 管理図書 (防災カルテ、H21 緊急点検資料) その他 (地形図、道路土工指針等)
簡易調査	盛土表面で行う調査	簡易動的コーン貫入試験、土壌水分測定、現場密度試験、室内土質試験
詳細調査	盛土内部で行う調査	ボーリング、標準貫入試験、室内土質試験、水位観測

## 2. 既存資料調査の結果

既存資料調査から、照査に必要な情報の有無を表-2 に示す。その結果、盛土・基礎地盤の形状に関する情報は得られるが、盛土材料、盛土定数、盛土内水位に関する情報は殆ど無く、既存資料では安定性の照査の条件設定が難しい状況にあることがわかった。

表-2 既存資料から確認できる情報

	設計図書	施工図書	管理図書 (防災カルテ)	管理図書 (緊急点検)
盛土形状	×実際の形状は確認できない	○完成図より読み取れる	×概略図面しかない	×概略図面しかない
基礎地盤形状	○地形図や設計図で読み取れる	○完成図より読み取れる	×情報なし	×情報なし
盛土内水位	×実水位は確認できない	×情報なし	×法面湧水の有無しかない	×法面湧水の有無しかない
盛土材料	×実際の盛土材は確認できない	×土質試験結果等が少ない	×情報なし	×周辺地山の情報しかない
盛土定数 $\gamma, c, \phi$	×実際の物性値は確認できない	×土質試験結果等が少ない	×情報なし	×情報なし

○: 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

### 3. 土質調査

詳細調査の未実施の富山3箇所について、図-2に示す簡易調査と詳細調査を実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ 盛土表層部の簡易調査では内部材料・物性値が推定できない。(施工図書で同材であれば推定可)
- ・ 盛土のせん断強度は深さ方向に強度増加する。
- ・ 不飽和せん断強度は飽和せん断強度の約2~3倍である。
- ・ 砂質土は粘性土より強度が大きく、盛土材の土質区分に応じて強度設定が必要である。
- ・ 盛土内水位は、砂質土では降雨応答が高く、粘性土では低い傾向にある。

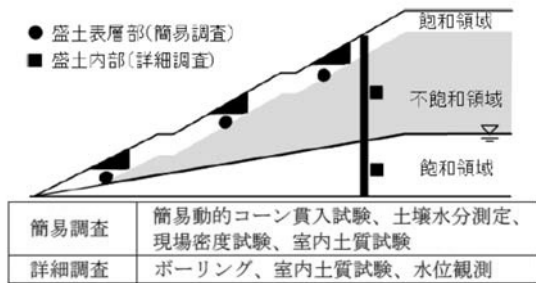


図-2 現地調査の内容

### 4. 安定性の照査

盛土6箇所について得られた照査条件に基づき、円弧すべり法による安定性の照査を実施した。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ・ 設計時のN値からの推定や指針の仮定値や簡易調査による照査では現状の安定性を評価することは出来ない。
- ・ 盛土のせん断強度は、盛土内水位によっては間隙水圧だけでなく、飽和・不飽和強度を反映し評価した方が精度の高い照査結果が得られる。

### 5. 今後の照査のあり方

これまでの結果を踏まえ、既設盛土構造物の安定性の照査条件の設定方法とその留意点を表-3に示す。現状を把握するために照査に影響を及ぼす盛土材料、盛土定数、盛土内水位の情報を得るには、基本的に詳細調査が必要であることがわかった。

新設盛土構造物の照査では、土工構造物は多くの不確実性、例えば使用材料の不均質性・不均一性、地下水・気象条件の変化、照査・施工精度等があり、設計段階では十分な情報が得られない場合が多い。調査→設計→施工→管理のプロセスの中で、設計段階では仮定値で設計し、施工段階でより詳細な情報により再照査を行い、不確実性を低下させながら施工して行くこととなる。したがって、盛土構造物の設計段階では、盛土

材料、盛土定数、盛土内水位が明らかでないことから、設計段階で安定性を満足する盛土強度の組み合わせの範囲を求めておき、施工段階で使用材料にて再照査を行い、使用材料の強度から適用性を判断し、必要に応じて安定処理等を行い施工する方法が考えられる。盛土内水位については、施工段階に任意場所で盛土内水位を観測し、降雨量と盛土内水位の関係から、常時、降雨時の水位を求める方法も考えられる。また、スレーキングし易い脆弱岩等のように時間の経過とともに土の性状、強度、透水性等が変化する盛土材を使用する場合は、施工段階でも強度低下を見越して照査を行うほか、管理段階で盛土材料のチェックや盛土内水位の観測を行い、耐震性を照査、検証することにより、設計、施工、管理の各段階で不確実性を低下させていくことが重要となる。

表-3 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"> <li>・ 完成図</li> <li>・ 完成図が無い場合は現地測量により設定</li> <li>・ 供用後に改変している場合もある</li> </ul>
基礎地盤形状	○	×	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 完成図</li> <li>・ 完成図が無い場合は施工前の地形図等から推定</li> <li>・ 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</li> </ul>
盛土水位	×	△	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 水位観測</li> <li>・ 水位観測がない場合は盛土表面の湧水箇所から推定</li> <li>・ 盛土内の雨水にも注意</li> </ul>
盛土材料	×	△	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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</li> <li>・ 詳細調査ができない場合は盛土表面の土質から推定</li> <li>・ 盛土材料とその施工範囲は重要</li> <li>・ スレーキングし易い脆弱岩等は時間の経過に伴い性状が変化する</li> </ul>
盛土定数	×	△	○	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 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</li> <li>・ 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</li> <li>・ <math>\gamma, c, \phi</math> は、土質区分や飽和度により値が変わる</li> <li>・ N値(Nd値)から <math>c, \phi</math> を推定する方法は <math>c</math> 材(<math>\phi=0</math>)又は <math>\phi</math> 材(<math>c=0</math>)と仮定している</li> <li>・ 盛土工指針の値は中間土の特性を表していない</li> </ul>

○：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設定できない  
 ×：その情報だけでは耐震性照査の条件が設定できない

### 6. まとめ

道路土工構造物技術基準(H27.3)4-1(3)では「道路土工横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も確認が出来た。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予定である。

#### [成果の活用]

道路土工構造物の維持管理に必要な設計・施工情報の記録のあり方について具体的な提案

# 舗装の長期性能に関する調査検討

Study on long-term pavement performance

(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  
主任研究官  
Senior Researcher

渡邊 一弘  
WATANABE Kazuhiro  
桑原 正明  
KUWABARA Masaaki  
谷口 聡  
TANIGUCHI Satoshi

This study aims to investigate cause of early deterioration pavement to reduce long-term costs by prolonging the life span of pavement. This fiscal year, core sampling and FWD survey were conducted in 6 early deterioration pavement sections of the national highway managed by the MLIT. As a result, it is found that the causes of the early deterioration are top-down cracking, detachment of the asphalt concrete layer and stagnant water in the asphalt concrete layer.

## [研究目的及び経緯]

アスファルト舗装においては、使用目標年数に達せずに早期に劣化する区間（以下、「早期劣化区間」という）が存在し、維持管理上の課題となっている。そのため、本研究は早期劣化原因の究明及び破損メカニズムの解明を目的としている。

平成 29 年度は、早期劣化原因の究明と破損メカニズムを解明するため、直轄国道の 1 路線において、非破壊調査及び開削調査を実施し、ひび割れ部、パッチング箇所、施工目地等からの水の供給や層間はく離が早期劣化の原因であると推察した。

## [研究内容]

平成 30 年度は、平成 29 年度に確認した早期劣化現象が一般的なものかどうか確認するため、直轄国道 4 路線 6 区間の早期劣化区間においてコア採取及び FWD 調査を実施した。

## [研究成果]

### (1) 調査区間の概要

早期劣化区間における調査は、舗装種別、大型車交通量、気象条件、沿道状況（以下、「基礎条件」という）を勘案し、表-1 のとおり区間 A～F の 6 区間を設定した。

表-1 調査区間の基礎条件

調査区間名	舗装種別	交通量	気象条件	沿道状況
区間 A	密粒度	N7	一般地域	平地
区間 B	ポーラス	N6	一般地域	市街地
区間 C	ポーラス	N6	一般地域	山地
区間 D	ポーラス	N6	雪寒地域	平地
区間 E	ポーラス	N6	雪寒地域	平地
区間 F	密粒度	N7	雪寒地域	平地

### (2) コア採取及び FWD 調査の概要

それぞれの調査区間の早期劣化区間及び比較的健全であるその近傍においてコア採取及び FWD 調査を実施した。調査は基本的には図-1 に示すとおり、コア採取は 1 区間あたり外側車輪通過部(以下、「OWP」という)より 2 点、車輪非通過部(以下、「BWP」という)より 1 点から計 3 試料を採取し、また、FWD 調査は 1 区間あたり OWP から 4 点、BWP から 1 点の計 5 点で実施した。なお、BWP 及び内側車輪通過部(以下、「IWP」という)にひび割れが発生している場合等、区間の状況によっては、コア採取及び FWD 調査の点数を増やし対応した。結果、表-2 に示すとおり、コアは早期劣化区間の 22 点及び早期劣化区間近傍 23 点の計 45 点で採取した。また、FWD 調査は早期劣化区間の 36 点及び早期劣化区間近傍 42 点の計 78 点で実施した。

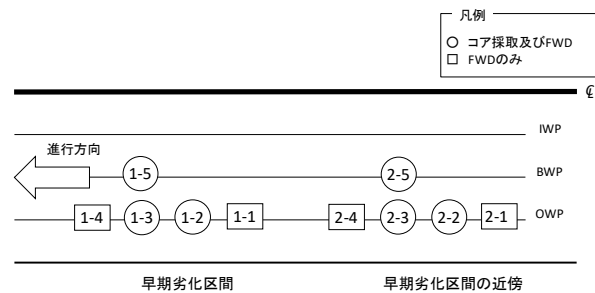


図-1 調査区間での測点（基本）



表-2 コア採取数及びFWD測定点数

早期劣化区間／近傍	コア	FWD
早期劣化区間	22	36
早期劣化区間近傍	23	42
計	45	78

### (3) コア採取結果

#### ① ひび割れ発生状況

早期劣化区間のコア 22 試料のひび割れを観察した結果、ひび割れの発生が著しい OWP については全層崩壊しているコアは 4 試料、上からひび割れが発生しているコアは 10 試料あり、下から発生しているコアは見られなかった。そのうち 5 試料が中間層に、3 試料が基層に、ひび割れが達していることが確認された。BWP については、ひび割れが発生している 1 区間から採取した結果、3 層目まで達していた。なお、平成 29 年度の調査においても表層からのひび割れが確認されている。以上のことから、今回の早期劣化区間におけるひび割れは、表層で発生した上下方向ひび割れが発達したものと推察される。

#### ② 層間はく離発生状況

車輪通過位置の観点からみた、層間はく離の有無を図-2 に示す。層間はく離については、OWP29 試料、IWP14 試料の計 43 試料を調査したところ、OWP で 29 試料中 9 試料、BWP で 14 試料中 4 試料と、いずれも約 3 割の区間で層間はく離の発生が見られた。

層間はく離が発生したのは 13 試料であるが、発生深さで見ると、表層と中間層の間で発生したものが 5 試料、中間層と基層の間で発生したものが 5 試料、基層とアスファルト安定処理層（以下、「アス安層」という）の間で発生したものが 6 試料であり、様々な深さで発生している傾向が見られた。また、複数の層間で発生している試料が 3 試料あった。

なお、平成 29 年度の調査でも層間はく離がみられたことから、層間はく離が早期劣化の原因の 1 つであると推察される。

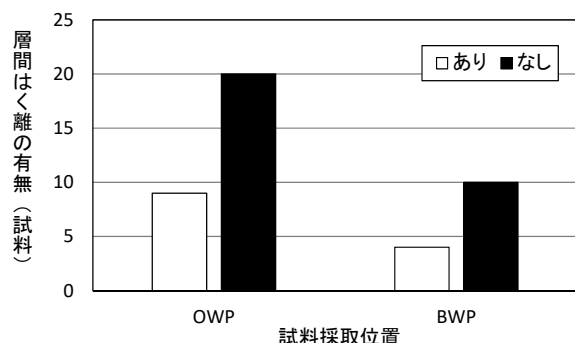


図-2 試料採取位置による層間はく離の有無の違い

#### ③ 滞水状況

ドライカッターで切削した 30 試料のコアについてアスファルト混合物の滞水状況の確認を行った結果、滞水が見られなかったのは 3 試料のみであり、27 試料については滞水が見られた。なお早期劣化区間全てのコアが滞水していた (13/13 試料)。

したがって、アスファルト混合物層の滞水も早期劣化の原因の 1 つと推察される

#### ④ FWD たわみ量

各調査区間の測点毎において、FWD 調査を実施し、載荷版直下のたわみ量から舗装全体の健全度を評価した。今回は一例として区間 A の結果を図-3 に示す。調査の結果、早期劣化区間で許容たわみ量を超過する傾向が見られた。

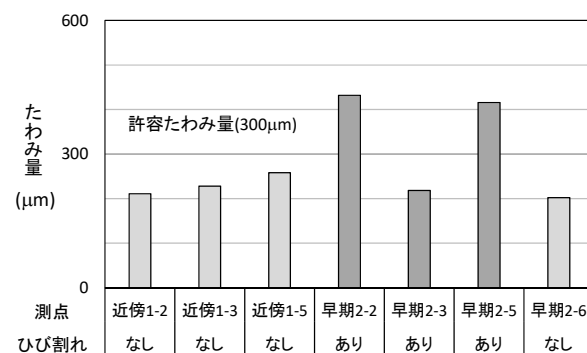


図-3 ある区間 A におけるたわみ量

### (4) 総括

アスファルト舗装の早期劣化の原因として、路面からの上下方向ひび割れ、層間はく離、滞水があることを確認した。

もとより、ひび割れ・層間剥離を起こさない舗装構造とすることが好ましいが、起きてしまった場合は早期に発見したうえで、シール材などで止水を行うなど水の供給を抑制することが劣化の進展を遅らせるためには有効であると考えられる。

#### [成果の活用]

本研究の成果は、早期劣化への対応の留意点としてとりまとめられ、その内容は関連する技術図書にも反映される予定である。

# 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

星隈 順一  
HOSHIKUMA Jun-ichi  
西田 秀明  
NISHIDA Hideaki  
瀧本 耕大  
TAKIMOTO Kodai  
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 2018, a shear loading test for a prototype model of the damage-controlled rubber bearing support was performed and the test result showed that only the damage-controlled structural member was deformed though it was not broken. Additionally, useful data which should be taken in the restoration work of the bridge damaged by the earthquake were proposed to utilize the bridge maintenance.

### 〔研究目的及び経緯〕

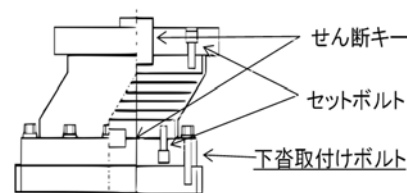
平成 28 年熊本地震では、地震動の揺れとともに地盤変位の影響も伴って、橋梁等の構造物に被害が生じた。このような被害を受けた橋の復旧においては、地盤変状等の不確実性の高いリスクが橋に及ぼす影響を軽減する観点や、損傷した橋の状態評価とその復旧設計への見立てに含まれている不確実性に配慮する観点を考慮して復旧の信頼性の向上等を図る必要がある。また、速やかな復旧が行えるようにする観点から、道路構造物の地震被災リスクを低減できる構造形式にするとともに、早期復旧を合理的・効果的に行うための調査・診断技術や対策技術が必要となっている。

### 〔研究内容〕

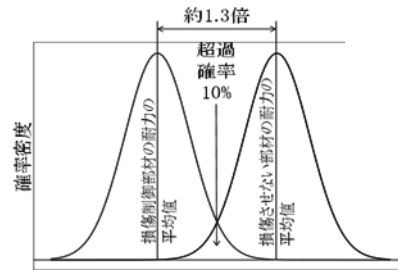
#### (1) 地盤変状が橋に及ぼす影響の最小化に向けた検討

本研究では、斜面崩落等による地盤変状に伴い上下部構造間に大きな相対変位が生じて橋の機能回復に及ぼす影響を最小限に留めることができる橋の破壊形態について検討している。このような橋とするために破壊を誘導する箇所として支承部を選定するとともに、さらに、支承部の中でどの部位を最初に破壊させるのかをあらかじめ定め、その破壊形態が一定の信頼性をもって実現するように設計する考え方を昨年度検討した。本年度はこの設計思想により試作した積層ゴム支承（以下、「損傷制御型支承」という）が、その設計思想通りの破壊形態となるかを検証するために、一定の面圧を作用させた状態でせん断試験を行った。支承部

を構成する部材はゴム支承本体や取付けボルトなど複数あるが、破壊によって生じる桁端部での段差を小さくする等の機能回復性とともに、損傷制御の確実さ、交換のしやすさ等の観点を考慮し、今回試作した損傷制御型支承では下査取付けボルトを最終



(a) 損傷制御部材



(b) 耐力階層化

図-1 損傷制御型支承の設計思想

的に破壊させる部材として選定した。また、破壊形態の制御は、破壊を生じさせる部材と、それ以外の部材の間に有意な耐力の差（耐力階層化）を設けることにより行った。耐力階層化については、ゴム支承のせん断ひずみ（水平変位／ゴム支承本体高さ）が 300%のときのせん断力に対して、下査取付けボルトは終局せん断応力度に達するが、下査取付けボルト以外の部材はその 1.3 倍以上の耐力が確保されるように設計した（図-1）。

(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検討

地震の影響によって何らかの損傷や変状が生じている橋を所要の性能を有するように復旧するためには、新設の橋を設計する時にはない復旧工事特有の不確実性があることを考慮した上で、補修補強の効果が得られるようにする必要があり、このような不確実性は、復旧設計や施工の段階でも考慮して行う。しかし、損傷状況によってはこのような不確実性を全て定量的に評価することが難しい場合もあり、このような残余の不確実性については、復旧後の維持管理段階において、補修補強を行った部材の状態確認や補修補強した部材の維持管理段階で懸念される事象が生じていないかを確認できるようにする等、監視が適切に実施できるように措置しておく必要がある。このような観点から、震災復旧した橋の状態確認を的確に実施できるようにするために、復旧工事の過程で得ておくべきデータとその維持管理段階での活用方法を補修工種ごとに整理した。

[研究成果]

(1) 損傷制御型支承の破壊形態確認検証試験結果

せん断試験では、積層ゴム支承のせん断ひずみが300%までを4段階で正負交番载荷した後、使用した試験装置の耐衝撃性も考慮したうえで最大350%まで片押し载荷した(図-2)。試験の結果、350%の载荷レベルではどの部位も破壊には至らなかった。ただし、試験後に詳細に調査をすると、損傷制御部材である下沓取付けボルトには残留変形が生じ、ゴム支承本体や他のボルトなどには損傷や変状は確認されなかった(図-3)。また、250%の载荷レベルを超えると、载荷途中で瞬間的に荷重が低下したのち再び増加する挙動が見られた(図-4)。これは、ボルト遊間(ボルト孔のキリ径とボルト外径の差)を超える相対変位が下沓とベースプレート間に生じていたことから、すべりによると推測される。以上の結果から、耐荷力のばらつきがより小さい部材に損傷を誘導する観点から、(a)設計で想定した耐荷力を超えることのない損傷制御構造への改良 (b) 損傷制御部材の耐荷力の評価精度の向上(特性値の評価、ばらつきの評価)、が必要であることが明らかとなった。



図-2 支承のせん断試験状況

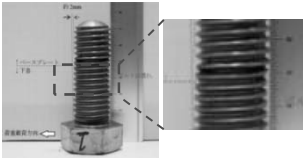


図-3 下沓取付けボルトの変形状況

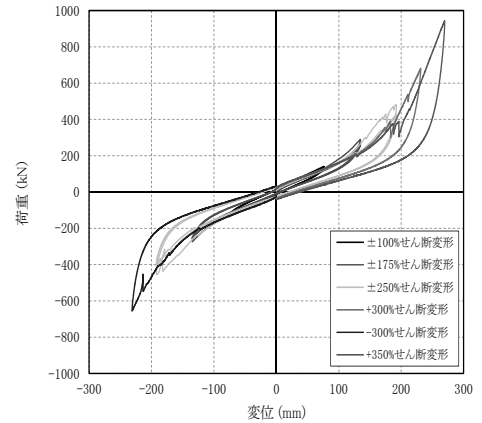


図-4 積層ゴム支承の荷重変位履歴

表-1 維持管理に活用するために取得しておくべき情報の整理項目

損傷部位	損傷・変状の種類と程度	損傷・変状が生じた原因(破壊形態など)	補修・補強の目的(左記を踏まえて補修・補強により確保する必要がある性能)	適用する補修・補強工法		①補修・補強工法で懸念のある不確実性	②補修・補強に関する不確実性を踏まえて維持管理段階において確認する必要がある事項	③の事象(不具合)が生じる要因	④に対応するために取得しておくべき情報	⑤情報の取得方法
				主工法	詳細工法					
										うち、補修・補強の施工段階に取得しておくべき情報

(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

取得すべき情報の整理にあたっては、地震後の橋の点検、診断、措置(補修)を行うにあたって有用であった情報や、データを取得していれば不確実性を低減することができたと考えられる情報、施工段階までに得られるデータでは不確実性を解消しきれないと考えられる要因を踏まえて、供用再開後の維持管理段階において適宜確認が必要になると考えられる項目などを、熊本地震など既往の地震の復旧対応などを考慮して行った。これらの観点を踏まえて、震災復旧工事で用いられる補修工種毎に表-1の項目に対して整理した。

例えば、鋼板巻立法であれば、巻立てる鋼板の内面側に水の浸入が生じると点検が不可能な箇所では鋼材の腐食が進行し、最終的には減肉して設計で考慮している補強効果が低下する懸念がある。この場合に、維持管理段階に引き継いでおくべき復旧工事段階での情報としては、巻立て鋼板の上端部における止水材の特性とその施工状況に関する情報とともに、当該部位への水の供給ルートや供給源対策の措置状況などが考えられる。

[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。