

# 道路構造物の総合的アセットマネジメントシステムの 構築のための調査

Study to establish comprehensive asset management system for road structures

(研究期間 平成 26~28 年度)

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

研究員 岡田 紗也加  
Research Engineer Sayaka OKADA

室長  
Head  
主任研究官  
Senior Researcher  
研究官  
Researcher

交流研究員  
Guest Research Engineer  
Yoshiteru KOWASE

玉越 隆史  
Takashi TAMAKOSHI  
白戸 真大  
Masahiro SHIRATO  
宮原 史  
Fumi MIYAHARA

強瀬 義輝

NILIM studies foreign management systems for road structures and quality of inspection to establish comprehensive asset management system for road structures in JAPAN. For the purpose of providing basic data for this study, this paper investigated the systems in some Europe countries and compared indicator to evaluate condition of a bridge in Germany to that of Japan. Furthermore, this paper analyzed the difference of inspection results between inspectors.

## [研究目的及び経緯]

本研究は、道路構造物の点検や長寿命化修繕計画の品質確保に資する制度や技術基準類等を確立するための技術的知見を得ることを目的とする。

平成 26 年度は、今後、我が国の合理的な維持管理制度や技術基準類等を検討していく上で参考とすることを目的に、法体系が我が国とは異なる欧州 3 カ国の制度や技術基準類の調査を行った。

また、道路構造物の管理水準の定量化や可視化の実現方策の一つとして過年度までに国総研が提案した道路橋の状態評価指標について、適用性の向上などの改良のための参考となる情報を得るために、既に実務で導入されているドイツの状態評価指標について調査を行った。

さらに、技術者の知識や能力に依存する要素の大きい道路構造物の定期点検において従事技術者の技術力と点検結果のばらつきや品質の関係を明らかにするために実際の道路橋の点検で得られるデータをもとに分析を行った。

## [研究内容及び成果]

### 1. 欧州における道路構造物の維持管理に関する調査

#### (1) ドイツの道路構造物の維持管理

##### a) 法体系

ドイツの基本的な行政区分は、連邦、州、郡、市町村の 4 つである。立法権は連邦と州にあり、憲法に相

当する「基本法」に特段の規定が無い限り、州が国の権限を行使する。連邦は主要な道路である連邦長距離道路の所有者である。一方、連邦長距離道路の管理行為は全て州に委託している。

##### b) 維持管理の制度

連邦は、連邦長距離道路の管理の受託者である州に、連邦長距離道路の管理に適用する技術基準「道路に関する一般通達 (ARS)」を通知している。このことにより、連邦は自ら管理行為を行わないものの、連邦長距離道路の管理については連邦が必要と認める技術レベルの管理が担保される仕組みとなっている。また、州に対して、連邦長距離道路の管理に必要な予算を配分し、上記の技術レベルの管理の実行を担保している。

他方、ARS 自体は地方道路には拘束力をもたない。また、基本法には、州道の管理に対して連邦が財政支援を行うことができるとはされているものの、その対象は「州の行う投資が連邦経済全体の均衡の維持、経済力の調整のために重要な場合や経済成長のために特に重要な場合」と限定されている。

### (2) スウェーデンの道路構造物の維持管理

#### a) 法体系

スウェーデンの行政区分は、国、ランスタング (県に相当)、コミューン (市町村に相当) の 3 つである。国は社会全体の発展とナショナルミニマムの保障に全体的に責任を持ち、地方自治体の各分野の事務につい

て目標と指針を示し、地方自治体はそれに沿って事務を実施するとされている。道路区分には公道（国道と県道）、民間道路があり、国は全ての公道と一部の民間道路を管理している。

#### b) 維持管理の制度

国は自ら定める橋梁点検要領に基づいて点検を行っている。また、国の出先機関が策定する修繕計画に対し予算を配分している。以上のように、国が責任を持つ「社会全体の発展とナショナルミニマム」の解釈として、県道も含む全ての公道を国が直接管理していると考えられる。

### (3) オーストリアの道路構造物の維持管理

#### a) 法体系

オーストリアの行政区分は、連邦、州、市町村の3つである。連邦道は連邦とオーストリア道路公社（ASFINAG）が契約を締結している道路としていない道路に分かれ、前者はASFINAGが管理し、後者は連邦が管理する。契約を締結している場合は、連邦の全ての義務と権利がASFINAGに移行することが連邦道路法に定められている。

#### b) 維持管理の制度

連邦とASFINAGが契約を締結している道路は、ASFINAGが定める橋梁点検要領に基づいて点検を行っている。契約していない道路は連邦が定める橋梁点検要領に基づいて行っている。地方道路の維持管理に関する技術的事項の取扱は今回の調査では全貌が明らかにならなかった。しかし、一例としてチロル州道路法では、基本的な定期点検の頻度は連邦と同じであるものの、連邦とは異なる例外規定がみられることから、技術的事項の取扱は州以下の各道路管理者の裁量に任されていることが推察される。

## 2. ドイツにおける状態評価指標の導入事例

ドイツでは、「DIN1076 による点検結果の統一、分類、評価、記録及び報告に関するガイドライン（RI-EBW-PRüF）」に基づいて道路構造物の状態を表す点数に換算することがARSに定められている。RI-EBW-PRüFでは、客観的 point 検査データを用いて安定性、交通安全性、耐久性の3つの観点から構造物の状態が点数化される。

算出された状態評価指標は、修繕が必要となる時期を含む観点から1.0から4.0の間で6段階で区分される。基本法において、連邦長距離道路の整備・維持計画の策定が連邦の業務として定められていることを考慮すると、RI-EBW-PRüFによる状態評価指標の算出は、連邦が長距離道路の状態を把握し、中長期の予算計画を策定することを目的としている可能性が高いと考えられる。

一方で、措置の必要性や緊急度の判断には技術者による診断が必要と考えられ、状態評価指標と実際の措置の有無は必ずしも対応していないことが推測される。

なお、ARSでは状態評価指標をデータベース「SIB-Bauwerke」に登録することも定めている。さらに、現在ドイツではこれと連動した橋梁マネジメントシステム（BMS）を開発中である。しかし、状態評価指標のBMSへの反映方法や、BMSにより算出された維持管理計画の実務への活用方法は、今回の調査では全貌が明らかにならなかった。

## 3. 橋梁点検の品質に関する分析

2橋を対象に7者が橋梁定期点検要領（案）に基づき定期点検を行った結果を分析した。分析にあたっては、主要な損傷種類の対策区分の判定を対象に、点検者にアンケート調査を行い、それぞれの判定において考慮した事項及びその内容を選択式で確認した。

その結果、概ね損傷の種類によらず、判定において考慮した事項の数が多し点検者と少し点検者に分かれる結果となった。

例えば、路面の凹凸に対する対策区分に着目すると、最も多くの事項を考慮したB者は、全者が考慮した「損傷の進展」と比較して考慮した者が少なかった「別の損傷が誘発される可能性」や「更なる調査や専門家による調査の必要性」についても根拠をもって判定に考慮していたことが分かった。その結果、他の6者がB判定をした中、B者は唯一C判定としていた。

他方、考慮した事項が最も少なかったA者は、「損傷の進展」について、前回点検からの進展のみから今後の進展を推測する等、根拠に乏しい点も見られ、B者と比較すると考慮した事項のみならずその内容にも明確な差があった。

これらの結果からは、点検者の技術力に起因し定期点検の品質にばらつきを生じている可能性は高いと考えられる。

### 【今後の課題】

今後我が国においても、状態評価指標の算定、データベースの活用、マネジメントシステムの活用等、点検結果を活用した維持管理手法の導入について議論がなされるものと考えられる。今回必ずしも明らかにならなかった海外における点検結果の実務への活用方法の詳細については、引き続き調査を行うことで、我が国における技術基準類の作成や道路管理者への技術支援項目の検討に有益な情報が得られると考えられる。

### 【成果の発表】

各種論文で発表予定。

### 【成果の活用】

長寿命化修繕計画策定に関する参考資料等に反映。

# 道路構造物群の管理状態評価に関する調査検討

Study on prediction method for future states of bridges and evaluation method for road structure states  
(研究期間 平成 24 年度～27 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室 Road Structure Department Bridge and Structures Division	室長 Head 主任研究官 Senior Researcher	玉越 隆史 Takashi TAMAKOSHI 白戸 真大 Masahiro SHIRATO
研究官 Researcher	宮原 史 Fumi MIYAHARA	研究官 Researcher
研究員 Research Engineer	岡田 紗也加 Sayaka OKADA	交流研究員 Guest Research Engineer
		横井 芳輝 Yoshiteru YOKOI 強瀬 義輝 Yoshiteru KOWASE

NILIM has been developing a strategic maintenance and management approach for aging road structures that can evaluate and optimize the levels of movability and structural safety of roads. Accordingly, this study has examined models to estimate the deterioration curves of individual distress types using bridge inspection data and evaluated the influence of element-level deteriorations on the time-dependent collapse risk of bridge systems. In addition, because various types of damage usually tend to appear simultaneously in structural elements such as crack and water seepage in concrete members, this study has also investigated the change in deterioration rates when different distress types appear simultaneously.

## [研究目的及び経緯]

道路構造物群全体の維持管理の合理化のためには、道路橋の将来の資産状態について信頼性を考慮して評価できる手法や、管理水準について統一かつ定量的な尺度で評価する手法の確立が求められている。

本研究では、実測されたデータからの母集団推計や傾向分析等を実績のある代表的な統計的手法を直轄道路橋の点検データに適用し、劣化予測手法や構造の状態評価手法としての適用性について検討してきた。また、代表的な道路橋形式に対して、各部材と橋全体の性能の関連性に着目してFTAを適用したリスク構造の分析を行い、道路橋毎の構造的な冗長性の設計や維持管理の優先度付けなどに反映させるための定量的な評価方法の検討を行った。さらに、様々な予測や評価の元となる点検の高度化を視野に、複数の変状が複合的に発生・進展する劣化過程の分析および劣化予測の信頼性向上に関わる損傷の特徴整理を行った。

## [研究内容及び研究成果]

### 1. 道路橋の劣化予測

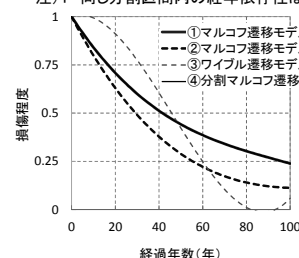
道路橋の部材の状態推移の特徴について、遷移確率の経年的依存性や時間的連続性などの観点から、それぞれ異なる捉え方となる複数の劣化予測モデルから、道路構造物などに適用実績のあるものを選定し、直轄管理の道路橋の点検データ約22,000橋に適用して予測結果について比較を行った。表-1に劣化特性の捉え方と適用した劣化予測モデルの関係を示す。図-1には各

手法毎に得られた状態遷移確率から求めた劣化曲線の例を示す。劣化曲線は各年の損傷程度の期待値を回帰して求めた。この例では①と③の手法では近い予測結果が得られたが、④はこれらと大きく乖離している。このように採用する劣化予測モデルにより、将来状態の予測結果は大きく異なる可能性があること、予測モデル相互の結果の相違の状況が損傷種類や着目部材毎にも大きく異なることを実データにより明らかにした。

表-1 損傷の劣化特性の捉え方と劣化予測モデル

劣化予測モデル	時間的連続性 (観測時点以外での状態遷移)		経年依存	
	離散	連続	なし (斉時性)	あり (非斉時性)
①マルコフ遷移モデル(集計)	○	○	○	○
②マルコフ遷移モデル(最尤推計)	○	○	○	○
③ワイル遷移モデル(最尤推計)	○	○	○	○
④分割マルコフ遷移モデル(集計)	○	○	△注1)	△注1)

注)1 同じ分割区間内の経年依存性は無視される。



劣化予測モデル	決定係数
①マルコフ遷移モデル(集計)	1.00
②マルコフ遷移モデル(最尤推計)	1.00
③ワイル遷移モデル(最尤推計)	1.00
④分割マルコフ遷移モデル(集計)	1.00

期待値の回帰曲線

図-1 劣化予測結果(鋼板橋\_腐食\_A・B塗装系)の例

### 2. FTAを適用した道路橋のリスク構造の分析

供用期間中の道路橋の構造安全性は、構造形式にも大きく依存する構造系のリダダンシーにも左右され

る。一方、各部材の安全余裕は劣化などにより経時的に変化するため供用中の構造安全性の評価には、橋全体の構造安全性に対する各部材の位置づけとその性能の経年的変化の両方を考慮することが必要である。

そこで本研究では、代表的な道路橋条件に対して、構造システムとしてのリスク構造をFTA法により分析するとともに、実際の点検データから得られた劣化特性を用いて損傷発生確率を求めて経年に伴うリスクの変化を試算した。頂上事象は「橋梁が致命的となる状態（国の点検における対策区分E1に相当）」として図-2に示すようなFT図を構築した。基本事象の確率 $X_1$ は、損傷種類、部位毎にマルコフ過程を前提に点検データから推定した状態遷移確率分布を使って経過年ごとに算出したリスク発生確率とした。基本事象を部材・損傷種類ごとのE1発生確率とするため、劣化予測式等から定めた損傷程度 $e$ に対し、対策区分E1となる割合をANDゲートで結んだFT構造とした。

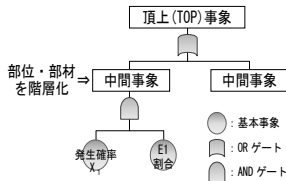
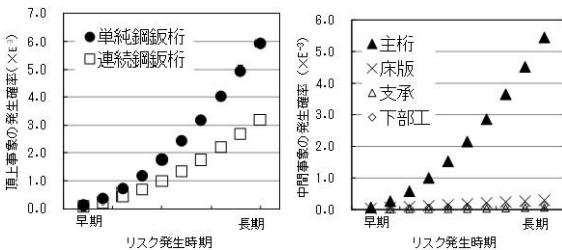


図-2 FT図の構造のイメージ

単純4主鋼桁(2連)と2径間連続4主鋼桁について頂上事象発生確率を比較した例を図-3(a)に示す。横軸の左側を早期(供用初期)、右側を長期に頂上事象が発生する確率として表している。早期の頂上事象の発生確率は同等であるが、経年により単純桁と連続桁に差が生じ、長期(100年想定)で単純桁の発生確率が連続桁の約2倍程度となった。中間事象である部材の破壊確率(図-3(b))をみると、主桁の腐食によるE1発生確率が頂上事象の発生確率に大きく影響している。主桁の腐食発生確率とE1発生割合は同じ値を用いているものの、腐食の進行が早い桁端部の数が単純鋼桁4箇所に対して連続鋼桁3箇所と少ないことから、頂上事象の発生確率が高くなっているためと考えられる。



(a) 頂上事象(単純橋と連続橋) (b) 中間事象(単純鋼桁)

図-3 事象発生確率の比較

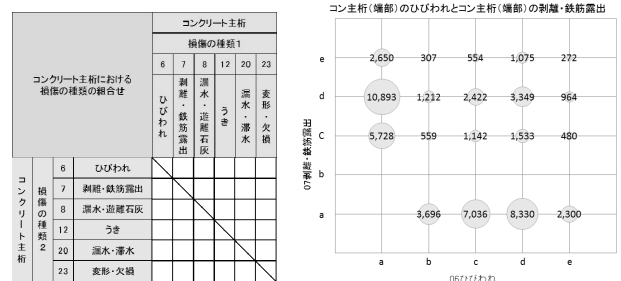
このように、構造系や材料の相違によっても経年で頂上事象が生じる確率やそのクリティカルとなる部材は様々に変化しうることが明らかにできた。一方で、道路橋の場合、部材の損傷や破壊が構造系全体へ及ぼ

す影響は設計の仮定と実態で乖離があることが多く、実構造物の構造特性を正確に反映した適切なFT図の設定、劣化や損傷の程度と部材の耐荷力性能の正確な対応付けが信頼性のあるリスク評価を行うためには極めて重要であるという課題も明らかとなった。

### 3. 特定の損傷特徴に係る整理

全国の直轄道路橋(約28,000橋)で蓄積された定期点検のデータを用いて、同時に生じる種類の異なる複数の損傷が部材の状態変化に及ぼす影響を分析した。

まず、同一要素に生じる複数の損傷種類の同時発生傾向について整理した。図-4(a)にコンクリート主桁を対象に、同一要素に発生しうる損傷の種類の組合せを示す。これらの損傷種類の組合せごとに、損傷程度の評価の相関関係を整理した。一例として、図-4(b)にコンクリート主桁のひびわれと剥離・鉄筋露出の損傷程度の評価の関係を示す。どちらかの損傷がない場合を除いて、ひびわれよりも剥離・鉄筋露出の程度が悪くなる傾向も窺えた。これらの結果を基に、コンクリート主桁において確認された複合的に発生する損傷の特徴を整理行ったものを、表-2に示す。ひびわれと剥離・鉄筋露出の劣化損傷進行過程を比較したとき、ひびわれの損傷程度が悪化する後を追うように、剥離・鉄筋露出の損傷が進行していることが分かる。このように部材としての評価の信頼性向上のためには、併発する種類の異なる損傷の影響も考慮した劣化過程を反映した評価が不可欠であるといえる。



(a) 組み合わせの種類 (b) 桁端部(ひびわれ・剥離・鉄筋露出)

図-4 コンクリート主桁の損傷の組み合わせの例

表-2 コンクリート主桁 複合損傷の劣化進行過程

状態	損傷の状況	点検における損傷の程度			
		ひびわれ	剥離・鉄筋露出	うき	うき
①	-損傷なし -ひびわれ(0程度)が発生している。 -うきが発生している。	a	a	a	a
②	-剥離・鉄筋露出は確認されない。 -剥離・鉄筋露出は確認されない。	b,c	a	a	e
③	-ひびわれ(0程度)が発生している。 -ひびわれから剥離・鉄筋露出が確認される。 -うきの進展により、コンクリートに剥離が確認される。 -剥離した周囲にうきを確認される。	b,c	c,d,e	c	e
④	以下の損傷のいずれかが発生している状態。 -ひびわれ(0程度)が発生している。 -ひびわれから剥離が確認される。 -鉄筋が露出し、腐食が確認される。 -剥離・鉄筋露出した周囲にうきを確認される。	d	-	d	e
⑤	-ひびわれ(0程度)が発生している。 -ひびわれから剥離が確認される。 -鉄筋が露出し、著しい腐食が確認される。 -剥離・鉄筋露出した周囲にうきを確認される。	e	-	e	e

#### [成果の発表]

国総研資料及び各種論文等で発表予定。

#### [成果の活用]

定期点検要領(案)の改定や設計基準原案の検討に反映。

# 既設道路橋の補修・補強設計基準に関する調査検討

Research to Develop Design Standards for Repair and Reinforcement Works of Existing Highway Bridges

(研究期間 平成 24～27 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structure Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大  
Senior Researcher Masahiro Shirato  
研究官 横井 芳輝  
Researcher Yoshiteru Yokoi  
交流研究員 山崎 健次郎  
Guest Research Engineer Kenjiro Yamasaki  
交流研究員 強瀬 義輝  
Guest Research Engineer Yoshiteru Kowase

室長 玉越 隆史  
Head Takashi Tamakoshi  
研究官 宮原 史  
Researcher Fumi Miyahara  
研究員 岡田 紗也加  
Research Engineer Sayaka Okada  
交流研究員 川見 周平  
Guest Research Engineer Shuhei Kawami  
交流研究員 狩野 武  
Guest Research Engineer Takeshi Karino

In order to evaluate the existing bridge performance and to carry out rational bridge maintenance, NILIM has verified loading test capability by the numerical analysis and studied the specifications of loading test truck with loading system and measurement sensors.

## [研究目的及び経緯]

我が国の道路橋では供用数の増加と高齢化の進展により様々な劣化や損傷の事例が報告されている。今後も高齢化の進展により劣化や損傷の事例は増加することが予測され、将来的にも地震などの災害や火災などにより損傷を生じることが避けがたい。

損傷を生じた道路橋では、供用性の判断のための不可欠な基礎的情報として、現状における自動車荷重に対する耐荷力性能を迅速に把握することが求められることも多い。現状では都度重量調整を行ったダンプトラックなどの大型車両を多数橋上に配置して、橋の応答を計測する方法が行われることがあるものの、迅速性及び容易さの観点からは課題も多く、より簡便で信頼性の高い手法の確立が求められている。

## [研究内容及び研究成果]

本研究では、従来行われてきた大型車を多数配置する実橋載荷試験にかわる、より合理的で信頼性の高い耐荷力評価試験方法として、極力橋梁側には計測機器等の設置を必要とせず、かつ多数の大型車の荷重調整を行って現地でそれらを連動させて載荷するという困難な作業を必要としない載荷試験方法の検討を行った。

このとき、既往の載荷試験の実績や耐荷力評価が必要とされた橋梁の損傷等の事例の収集・分析を行い、これらの多くの場合に適用可能となることを開発する

試験方法への要求性能として設定した。

様々な机上検討の結果、実現可能で優位性のある方法として、荷重載荷機能と計測機能を兼ね備えた耐荷力性能試験車（以下「試験車」という。）を選定し、実車の製作が行えるレベルで試験車の仕様を検討した。また載荷シミュレーションによる試験能力の検証を行った。

### 1. 試験車の仕様

本年度は過年度までの基礎的検討結果を踏まえ、車両の製作が実際に可能なレベルで車両の主構造、反力載荷装置等の各種機器や計測システムの設計仕様を検討した。試験車に対する基礎的要求は開発目的を踏ま

表-1 試験車の主な仕様

耐荷力性能試験車 車両本体	車両形式	20tクラスPTO動力付トラックタイプ
	車両寸法	車両幅: 2.5m以内、車両高: 3.8m以内、車両延長: 12.0m以内
	軸重	10ton
振動試験機	車両総重量	移動走行時: 20ton以内
	起振機	加振力: 444N
計測センサー	衝撃振動試験機	最大衝撃荷重: 20kN
	傾斜計	測定可能傾斜範囲: ±1度
環境計測装置	振動加速度計	対衝撃3G程度(ばね下設置50G)
	温度センサー	容量: -20℃～+50℃、分解能: 0.1℃
記録装置及び計測ソフトウェア	風向風速センサー	容量: 風向0°～360°、分解能: 風向1°、風速0.1m/s
	記録機器仕様	試験車キャビネット内に搭載
	計測ソフトウェア	試験車キャビネット内に搭載

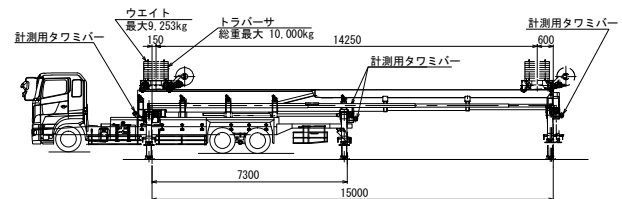


図-1 試験車の概要図

えて以下の2点とした。

- 1) 荷重装置は架装構造とし、走行時の車両規格は一般制限値内で自走が可能である。
- 2) 荷重装置は、4点の荷重で荷重位置の橋軸方向幅を5～15mの範囲で任意に設定でき、車両本体で荷重荷重が計測できる。

検討の結果、設定された試験車の主な仕様と概要図を、表-1及び図-1に示す。

## 2. 対象橋梁の整理

過年度までに、試験車の試験能力に対する要求水準の決定のために、過去に道路橋で大型車を用いた荷重試験が行われた事例について、荷重試験の目的、損傷箇所、試験実施期間、交通規制の有無などの項目を調査している。

今年度は、過去に調査した静的（動的）荷重試験、ひずみ又はたわみ測定、FEM 解析の実施の有無を考慮して、試験実績例から表-2に示す鋼橋2橋、コンクリート橋2橋を選定し、これらに対する荷重シミュレーションにより検討した試験車と試験方法の適用性の検証を行った。

## 3. 試験車による耐荷力性能の評価

### (1) FEM 解析モデルのキャリブレーション

2. で選定した4橋の荷重試験事例に対して、静的数値解析により大型車による荷重試験が再現可能か検証した。解析モデルは、鋼橋はシェル要素と梁要素、コンクリート橋はソリッド要素でモデル化する。モデル化にあたっては、それぞれの荷重事例で用いている大型車の荷重を荷重し、荷重試験時の計測応答値を再現可能なものとした。

表-2 解析対象橋梁一覧

橋梁名	上部工形式	桁数	支間長 (m)	総幅員 (m)	測定の種類		実測値	
					静的荷重	動的荷重	ひずみ (μm)	たわみ (mm)
A橋	鋼3径間連続非合成桁	2主桁、2縦桁	24.6+32.8+24.6	6.00	○	○	○	○
B橋	鋼単純床版版桁	2主桁	19.4	4.50	○	○	○	○
C橋	PC5径間連続2主桁桁	2主桁	30.3+3@31.0+30.3	11.55	○	○	○	○
D橋	PC4径間連続箱桁	1主桁	64.2+2@85.2+64.2	10.00	○	○	○	○

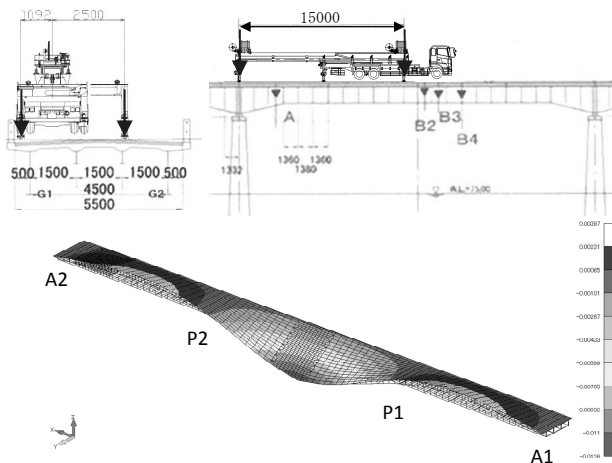


図-2 試験車荷重モデルと解析結果 (A橋)

### (2) 試験車の実橋への適用性評価

(1)で再現性を検証した4橋の解析モデルを用いて、試験車が実橋に対してどの程度の精度の試験が実施可能であるかの評価を行った。

試験車は、アウトリガーを橋軸方向及び橋軸直角方向へ張出し長を調整することに加えてトラバースを移動させることで、4点のアウトリガー支点反力を調整可能であり、たわみが大きくなるように各解析モデルの支間中央部に前方アウトリガーを配置し荷重した。図-2にA橋を代表例として、試験車の荷重モデルと解析結果例（変位図）を示す。

試験車の荷重荷重による発生応力は、鋼橋のB橋で55N/mm<sup>2</sup>、コンクリート橋のC橋で0.7 N/mm<sup>2</sup>、D橋で1.0 N/mm<sup>2</sup>程度の発生応力であった。これは、鋼橋で常時の許容値の1/3程度、コンクリート橋で常時の許容値程度の発生応力であり、試験車1台のみで弾性挙動の把握は十分に可能であることを確認できた。

また、大型車を荷重した既往荷重試験の再現結果を表-3に示す。実橋への適用性評価に際しては、経済性、簡便性を踏まえた検討も必要であるが、少なくとも鋼橋及びコンクリート橋で支間長30m程度までであれば、大型車を使った荷重試験を試験車1台で再現可能であることが確認できた。D橋のように支間長が30mを大きく超える橋梁では、試験車1台のみでは十分な応答を得ることが難しい場合がでてくる。

## 4. まとめ

荷重試験結果の評価にあたっては、応答を正確に把握することに加えて、損傷等の影響を反映した道路橋の応答そのものが部材や橋の耐荷力性能に及ぼす影響について、設計基準との関係も踏まえて精度よく評価できる手法の確立も不可欠である。これは補修補強内容の決定のみならず補修補強効果の確認にも必要であり、引き続きこれらに必要な研究を進める予定である。

### [成果の発表]

国総研資料や論文等で公表。

### [成果の活用]

荷重試験の実施への参考。

表-3 試験車による再現可能性

橋梁名	解析対象支間(m)	既往荷重試験		試験車による再現		検証結果
		トラック台数	解析結果	試験車台数	解析結果	
A橋	32.8	2台 (20.5t×2)	たわみ 9.42mm	1台 (前方アウトリガ反力 17.220t、7.522t)	たわみ 10.66mm	再現可能
B橋	19.4	1台 (19.1t)	発生応力 43.6N/mm <sup>2</sup>	1台 (前方アウトリガ反力 12.033t、12.033t)	発生応力 55.0N/mm <sup>2</sup>	再現可能
C橋	30.3	1台 (20.0t)	ひずみ 16.9μ	1台 (前方アウトリガ反力 12.371t、12.371t)	ひずみ 25.0μ	再現可能
D橋	64.2	6台 (20.0t×6)	たわみ 6.65mm	1台 (前方アウトリガ反力 12.371t、12.371t)	たわみ 1.07mm	再現不可

# 既設土中構造物等の補修・補強基準に関する調査検討

## Study on repair and reinforcement criteria for existing underground structures

(研究期間 平成 26～28 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

Road Structures Department

Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

間渕 利明

Toshiaki MABUCHI

稲本 義昌

Yoshiaki INAMOTO

It was investigated what kind of technical standards were used when designed underground structures. Moreover, relationship between design condition and structural damage of the existing culverts were analyzed based on the damage examples of actual structures.

### 〔研究目的及び経緯〕

本研究は、既設土中構造物等の総点検等の点検結果及び被災経験等を踏まえ、重大事故に至る可能性のある損傷形態を対象に耐荷力試験やFEM解析等を行い、損傷状況及び補強効果の評価手法の検討を行う。また、定期点検要領の未策定構造物の現状、点検状況等を調査し、点検のあり方等の検討を行い、補修・補強基準や点検要領査定のための課題について明らかにすることを目的としている。

本年度は、検討に必要な基礎資料を得るため、土工構造物の技術図書類の内容に関する資料を整理するとともに、実際に施工された土工構造物の施工状況に関する調査・整理を行った。また、既存のカルバートを対象に損傷事例を収集し、それらの設計・構造条件を整理し、損傷との関連の分析を行った。さらに、8事例については数値解析による分析を行った。また、直轄国道の道路総点検データの整理や活用についての課題を整理した。

### 〔研究内容及び成果〕

#### 1. 土工構造物に関する調査・整理

実際に施工されたシェッド（計 20 箇所）について、設計図書及び完成図書から①諸元の決定方法、②形式選定の経緯、③材料や付属物などの性能を確保するための前提条件について整理を行った。

また、以上の整理結果と土工構造物の点検結果および周辺法面、路面の点検結果について比較を行い、主な変状要因について考察を行った。

今回対象とした構造物における構造物本体の変状は、コンクリート部ではクラック、遊離石灰が多く、鋼材部分では腐食等の変状が多く確認された。（第三者被害につながる恐れがある変状ではない。）

対象の構造物の設計図書を確認したところ、コンク

リート強度および設計計算書等は、施工当時の基準書どおりに検討が実施されていることが確認できた。しかし、施工当時の写真や施工に関する図書などがなく、設計どおりに施工されたとは断定することはできなかった。いずれの構造物も施工後 25 年以上経過しており、周辺法面の点検結果からも斜面の変状などの大きな外力も確認できなかったこと、積雪寒冷地域であることなどから、経年的な老朽化が原因と考えられる。

#### 2. 土工構造物の損傷事例の収集

土工構造物（補強土壁、シェッド）、基礎を対象に、損傷事例等を学会誌、専門誌等より収集するとともに、それらの変状状況、変状要因、対策工法を整理した。

損傷との関連の分析を行うため、損傷程度を 5 段階評価で分類し、損傷との関連を分析するため設計、構造条件等については設計条件、地形条件および変状要因等について要因区分として分類し、整理した。

損傷程度に対して複数の要因との関係性についての分析を行うため、要因区分を点数化し、損傷程度との相関関係を確認した。

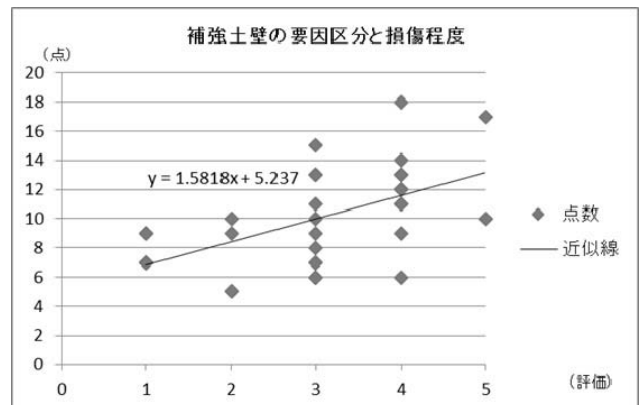


図-1 補強土壁の要因区分と損傷程度

文献から得られた限られたデータを、重回帰分析等の手法を用いて、以下の傾向を確認することができた。

補強土壁については、主たる要因以外で、その誘因となるような要因区分について、要因区分の点数が多いと、変状規模も大きくなるという比例の関係性を確認することができた。(図-1)

なお、シェッドについてはデータが少なかったこと、基礎に関しては、要因区分の合計値と損傷程度の関係についてバラツキが多かったことから、補強土壁のような相関は得ることができなかつた。

また、全国の土工構造物点検結果から、カルバート(709箇所)について抽出した。損傷の各データより、カルバートに生じる損傷としては、主の部位(頂版、側壁部、底板部)に多く発生することが確認できた。

損傷のうちひび割れ・クラック・亀裂が約4割を占める結果となった。(図-2)

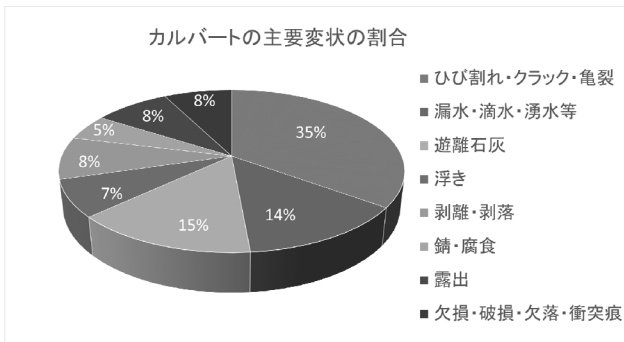


図-2 主要変状の割合

変状等が明確な既存のカルバート(8事例)に対し数値(FRAME)解析を行い、解析結果と実際に損傷している箇所に生じている応力等の対比を行った。

具体的な損傷事例としては、主に頂版に損傷が生じているものが多く、解析結果についても頂版内空側に引っ張りが発生する結果となっており、実例と同じ傾向であった。(図-3)

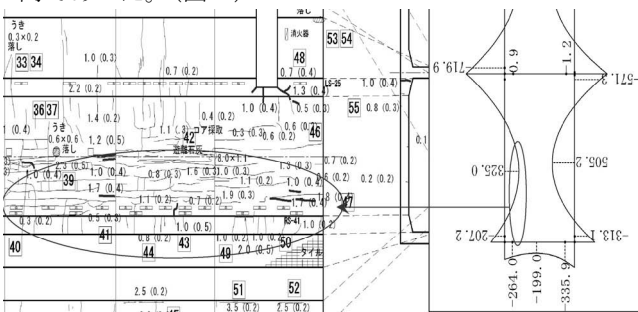


図-3 変状展開図と解析結果

### 3. 土工構造物の道路防災点検に係る整理

道路土工構造物の損傷の特徴を把握するため、土工構造物(擁壁、カルバート、シェッド)の道路防災総点検結果(カルテ点検を含む)の損傷図、損傷写真等を確認し、記録単位および要素区分、道路土工構造物

の損傷種類を分類して、損傷程度の評価基準等(シェッド・大型カルバート等の定期点検要領平成26年6月国土交通省道路局国道・防災課)を適用し、損傷の特徴整理を行った。

また、土工構造物ごとに損傷事例集として、損傷別に損傷状況の解説等を記載し整理を行った。

既存の点検結果のみを用いて損傷程度の評価を行うため、個人差の判断に委ねられる部分が多く、バラつきが生じる可能性がある。そのため、作成した損傷一覧表の損傷程度の評価について、作成の基になった道路防災総点検結果、ストック総点検結果の所見、スケッチ、平面図、現状記録写真等を確認し、見直しを行った。

設定した要素区分、ID、損傷等の区分、損傷程度の区分、諸元区分(損傷要因)について損傷パターンの区分を一覧表に整理した。

損傷の特徴整理は、構造形式、部位ごとに損傷の要因と損傷評価の割合が把握できるよう、グラフ化し、考察を表に整理した。(図-4)

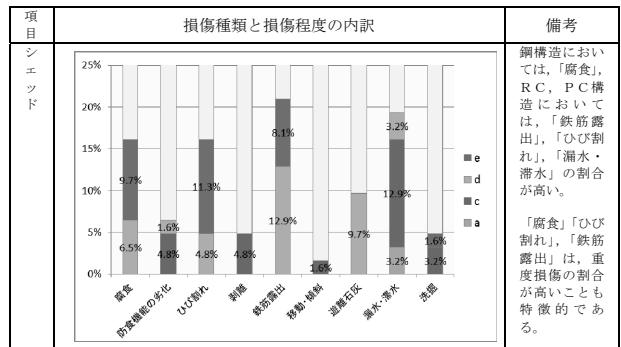


図-4 シェッドの損傷種類と損傷程度の内訳

シェッドにおいては、腐食やひび割れ、鉄筋露出に重度損傷の割合が高いことがわかった。

道路防災総点検結果から損傷事例を土工構造物ごとに損傷事例(損傷別に損傷状況解説等を記載)として該当する項目について整理した。

#### [今後の課題]

材質劣化や損傷した既設構造物の損傷程度や残存強度など不明な点が多く残されており、特に重大事故に至る可能性のある構造物について、損傷程度と残存強度や補強効果との関係を検討する必要がある。

#### [成果の発表]

各種論文等で発表予定である。

#### [成果の活用]

土中構造物等の補修・補強基準、定期点検要領未策定構造物の点検要領の策定等に反映させる。



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

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

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

Road Structures Department, Pavement and Earthworks Division

室長

Head

研究官

Researcher

藪 雅行

Masayuki Yabu

榎本 忠夫

Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the rational inspection method for earth structures in terms of the disaster management. In the first fiscal year, analyses of data from inspection results conducted by MLIT were conducted. Consequently, earth structures aged more than 20 years tended to have the riskiness of earthquake- and rain-induced severe damage.

## 〔研究目的及び経緯〕

我が国の社会資本は、これまでに蓄積されてきたストックのうち高齢化したものの割合が急速に増加しつつある。そのような現状において、限られた予算や人的資源の下で、道路土工構造物の健全性を将来にわたり適切な水準に維持し、必要な道路ネットワークの機能を維持できる方策の確立は急務となっている。そのため、様々な道路土工構造物の状態を把握するとともに、それらの情報に基づく合理的な点検手法の提示が求められている。

道路橋については、橋梁定期点検要領（案）（平成 16 年 3 月）制定以降、5 年に一度の点検が実施され、同要領による客観的なデータが蓄積されてきている。一方で、土工構造物については、第三者被害を防止する観点から、のり面工・土工構造物の変状等の変状（部材の落下等により災害、第三者被害につながるおそれのある変状等）を把握するため、総点検実施要領（案）【道路のり面工・土工構造物編】が平成 25 年 2 月に作成された。さらに、シェッド、大型カルバート等の定期点検要領が平成 26 年 6 月に制定されたところである。

本研究では、土工構造物（切土のり面・盛土のり面・グラウンドアンカー工・擁壁工・ロックシェッド・スノーシェッド・落石予防工・落石防護工・カルバート工・その他）に関する「総点検実施要領（案）【道路のり面工・土工構造物編】（平成 25 年 2 月 国土交通省道路局）」に基づく約 1 万件の別紙 2 調査記録表（記載内容：土工構造物の種別、位置情報、施工履歴、災害

履歴、補修履歴、事前通行規制の有無、点検結果、平面図等）を用いて、土工構造物における損傷の特徴等を分析するとともに現状の課題を抽出した。

## 〔研究内容及び研究成果〕

### 1. 総点検結果の分析および土工構造物における現状の課題抽出

表 1 に今回対象とした土工構造物の施設種別毎の施設数と割合を示す。

表 1 土工構造物の施設種別毎の施設数と割合

「施設種別」の項目	施設 総計	施設種別割合
切土のり面	1111	10.7%
盛土のり面	1727	16.7%
グラウンドアンカー工	77	0.7%
擁壁工	6263	60.6%
ロックシェッド・スノーシェッド	29	0.3%
落石予防工	7	0.1%
落石防護工	750	7.3%
カルバート工	376	3.6%
総計	10340	100.0%

### 1.1 施工時期と判定区分の関係

表 2 に点検における判定区分の定義を示す。図 1 に

完成年と判定区分の割合の関係を示す。この図より総点検時から20年（1990年程度）より以前に設置された施設では、変状を有する施設の割合が顕著に増加する傾向が認められる。また、図2に示す、完成年と最終補修年の両方のデータが記入されていた「施設種別詳細毎の完成年から最終補修年までの経過年数と補修された施設数の関係」から、分析の数は少ないものの、施工から概ね18年～20年以上の施設においては補修が必要な傾向にあると推察できる。これは上述の設置20年以降の施設に変状を有する割合が高くなる傾向と一致するものである。

表2 判定区分の定義

判定区分	判定の内容
A	異常あり(第三者被害につながるおそれのある変状がある場合)
B	今後第三者被害につながる異常に進展するおそれのある変状がみられる場合
C	A, Bには該当しないが、今後道路構造物の機能の低下につながる恐れのある変状がみられる場合
O	異常なし
その他	記入無し(空欄)、△などの独自の判定基準が記載されている場合、本業務においてはその他に統一

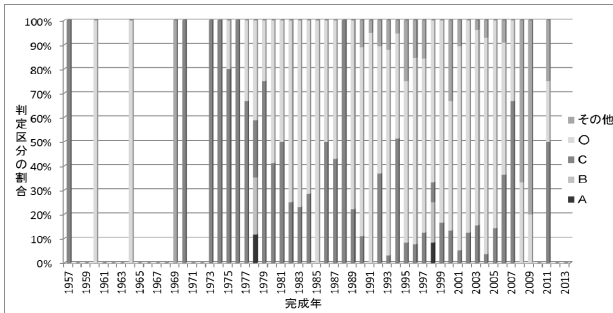


図1 完成年と判定区分の割合

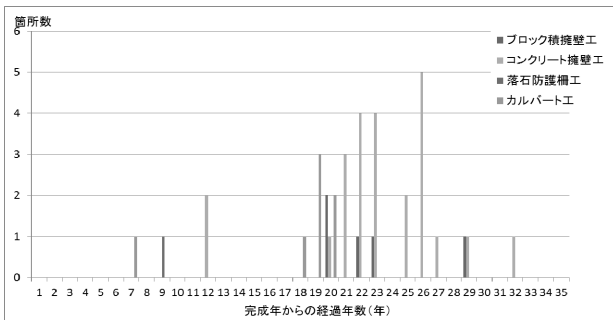


図2 完成年から最終補修年までの経過年数と補修された施設数

### 1.2 補修履歴と判定区分の関係

図3に示す最終補修年と判定区分の関係図から、過去に補修を行った箇所については、その後も変状が認められ、その変状の危険度も高い(A, B)傾向にあることがわかる。このことから、補修履歴を有する土工構造物に対しては、点検等を通じて補修後の経過を把握することの必要性が示された。

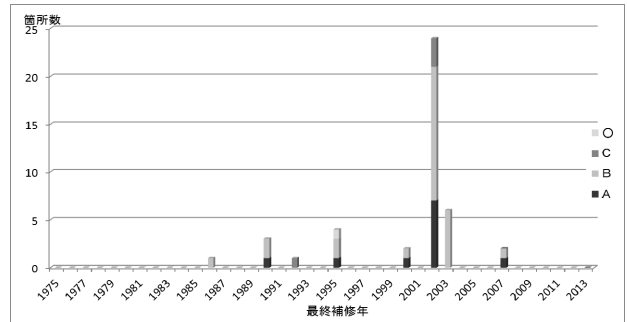


図3 最終補修年と判定区分の関係

### 1.3 施工時期と変状形態の関係

図4に示す完成年と変状形態の関係と、図5に示す完成年と1施設当たり発生している変状形態の数の関係から、施工時期が古い施設では、施設自体の老朽化に伴い、複数の変状が同時に発生していると考えられる。また、表面からでは確認できない他の変状形態を内在している可能性も考えられる。したがって、点検時においては、それらを念頭に置いて変状の有無を確認していく必要があると考えられる。

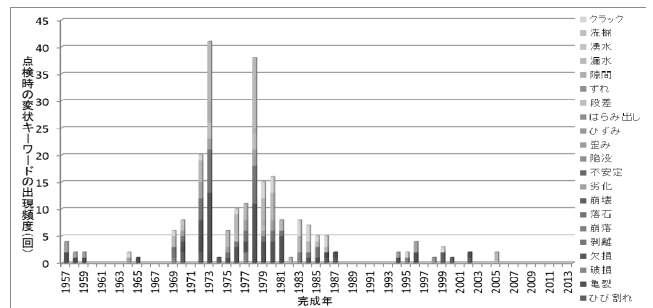


図4 完成年と変状形態の関係

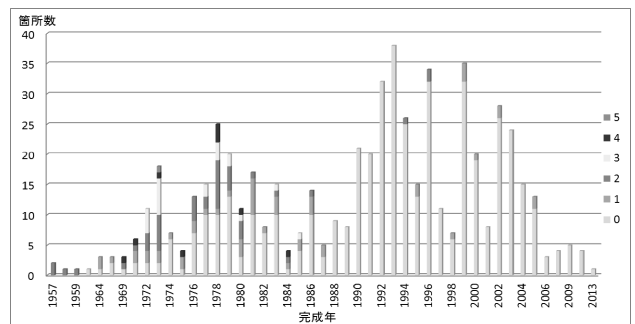


図5 完成年と1施設当たり発生している変状形態の数

#### [成果の発表]

各種論文等で発表予定。

#### [成果の活用]

道路土工指針類の改訂に反映する予定。

# 舗装の管理状態評価に関する調査検討

Research on management state evaluation of pavement

(研究期間 平成 26～28 年度)

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

室長	藪 雅行
Head	Masayuki YABU
研究官	東 拓生
Researcher	Takuo AZUMA
研究官	石原 佳樹
Researcher	Yoshiki ISHIHARA

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

We investigated evaluation method of aggregate scatter from a literature search and a field survey. As a result, we found out that the area ratio from appearance surveys and a result of measurement of unevenness in a road surface can estimate severity of aggregate scatter correctly.

In addition, we investigated about the effect of the maintenance methods for life extension of pavement. As a result, a seal material injection method to a crack of a pavement was effective against fewer traffic road. On the other hand, a cutting method of surface of deformed pavement was effective, to heavy traffic road and less snowfall road, and this method was effective against both crack of pavement and rutting deformation of pavement.

## [研究目的及び経緯]

直轄国道における舗装状態の評価には主にひび割れ率、わだち掘れ量が用いられてきた。しかし近年、排水性舗装が普及するとともに、コンクリート舗装の活用も進められている。排水性舗装及びコンクリート舗装は、従来の密粒度舗装とは構造及び損傷形態が異なることから、それぞれの舗装の特性を考慮した適切な維持管理を行うことが必要である。

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

## [研究内容]

### 1. 排水性舗装の損傷形態に関する文献調査

排水性舗装特有の破損形態である骨材飛散、空隙詰まり、空隙つぶれ等については、その発生メカニズム、損傷事例、修繕事例、発生抑制のための新技術等については、これまで体系的に整理されてこなかった。このため過去 10 年に出版された文献調査を行い排水性舗装特有の損傷形態について体系的な整理を行った。

### 2. 排水性舗装の評価指標に関する検討

既設の排水性舗装 (12 箇所、延長約 13km) について、目視調査による骨材飛散の状況 (面積率で表現) の調査を行うとともに、路面性状値、平均プロファイル深さ (MPD)、タイヤ近接音レベル等の調査を行い、

骨材飛散状況と各評価指標の関係を分析・整理した。

## [研究成果]

### 1. 排水性舗装の損傷形態に関する文献調査

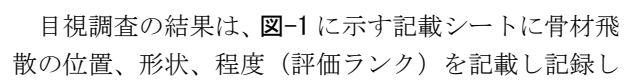
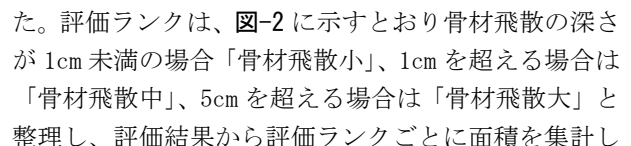
文献調査において損傷事例として最も多く取り上げられているのは骨材飛散であり、特に交差点内での事例が多く確認された。交差点部の骨材飛散のメカニズムについては、特に大型車の加減速、旋回などが原因であることが報告されていた。

現場における骨材飛散の評価方法としては、プロファイル測定装置を用いた MPD による評価、タイヤ/路面騒音レベル、目視調査による損傷評価方法などが確認された。また、目視調査の評価方法として面積率の計算方法などが確認された。

### 2. 排水性舗装の損傷状態の調査・整理

#### (1) 目視調査方法及び骨材飛散の整理方法

現地での目視調査結果については、骨材飛散の面積率 (以下、骨材飛散率  $R_{ds}$  という) により評価した。以下にその整理・算出方法の概要を示す。

目視調査の結果は、-1 に示す記載シートに骨材飛散の位置、形状、程度 (評価ランク) を記載し記録した。評価ランクは、-2 に示すとおり骨材飛散の深さが 1cm 未満の場合「骨材飛散小」、1cm を超える場合は「骨材飛散中」、5cm を超える場合は「骨材飛散大」と整理し、評価結果から評価ランクごとに面積を集計し

た。集計した面積から式(1)を用いて骨材飛散率を算出した。

$$R_{AS} = \frac{\alpha_L \Sigma A_L + \alpha_M \Sigma A_M + \alpha_H \Sigma A_H}{A} \times 100 \quad (1)$$

$R_{AS}$  : 骨材飛散率(%)

$A_L, A_M, A_H$  : 骨材飛散の評価レベルごとの面積(m<sup>2</sup>)

$\alpha_L, \alpha_M, \alpha_H$  : 骨材飛散の評価レベルごとの重み係数

$A$  : 評価区間の舗装面積(m<sup>2</sup>)

なお、評価区間は延長10m単位で整理した。

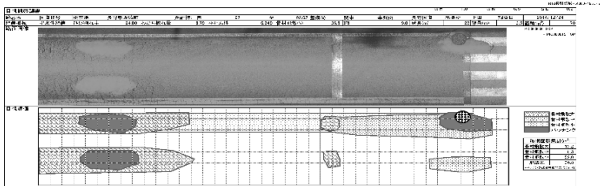


図-1 骨材飛散の目視調査評価シートの例

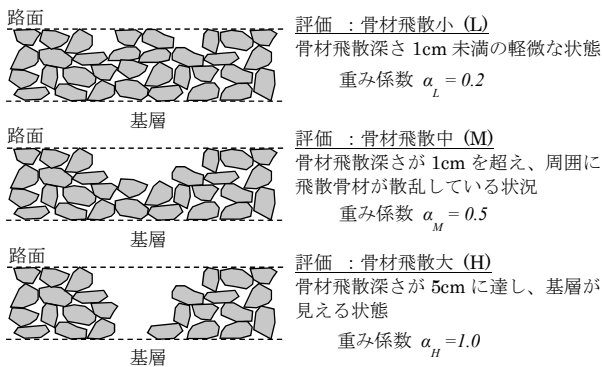


図-2 骨材飛散程度の評価レベル設定

### (2) 骨材飛散状況の評価する指標の測定

目視調査は、舗装の損傷状況を精度良く把握可能な方法であるが、広範囲に調査を行うには多くの労力と時間を要する。このため、道路上で簡易に測定可能な指標として、従来の路面性状値の測定・算出に加えて、車載型のプロファイル測定装置により現地測定された路面の縦断プロファイルを基に平均プロファイル深さ (MPD) を算出するとともに、タイヤ近接音レベルを現地調査・算出し、目視調査の整理結果である骨材飛散率との相関を分析した。

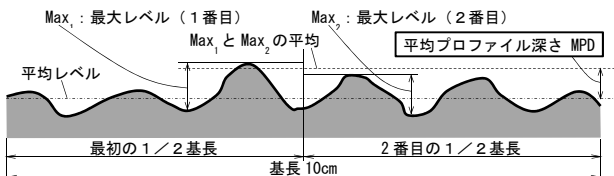


図-3 平均プロファイル深さ MPD 算出方法

MPDの算出方法を図-3に示す。プロファイル測定装置による測定結果を10cmごとに分割し、10cmの区間内の1番目の最大レベル(路面凹凸のピーク)と2番目の最大レベルを読み取り、式(2)によってMPDを算出する。この値を延長10m単位で平均することで10m

ごとの代表的なMPDを算出した。

$$MPD = \frac{Max_1 + Max_2}{2} - \text{平均レベル} \quad (2)$$

### (3) 骨材飛散率と各指標の相関分析

目視調査による骨材飛散率と平坦性の関係を図-4に示す。骨材飛散率は、平坦性との相関が見られるものの、ばらつきが大きい結果となった。

一方、骨材飛散率と平均プロファイル深さMPDの関係を図-5に示す。MPDについては骨材飛散との相関がみられ、平坦性よりばらつきは少なくなっている。

また図-6に骨材飛散率とタイヤ近接音レベルを示す。これによると、特に比較的低周波の250Hz帯のタイヤ近接音レベルと骨材飛散率に一定の相関が見られた。

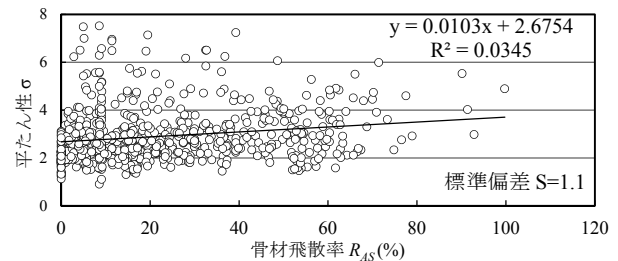


図-4 骨材飛散率と平坦性の関係

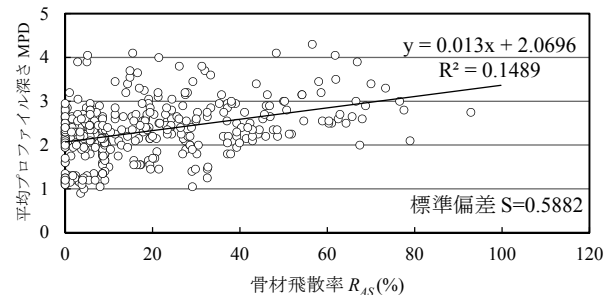


図-5 骨材飛散率と平均プロファイル深さ(MPD)の関係

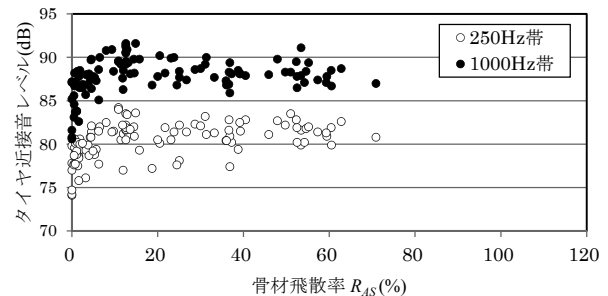


図-6 骨材飛散率とタイヤ近接音レベルの関係

### [成果の発表]

各種論文等で発表予定。

### [成果の活用]

各種舗装の特性等に応じた合理的な状態評価方法及び舗装の長寿命化手法について今後さらに検討を進め、舗装の維持管理に関する技術資料をとりまとめる予定である。