

道路構造物の総合的アセットマネジメントシステムの構築のための調査

Study to establish comprehensive asset management system for road structures

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室
Road Structures 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
研究員
Research Engineer
宮原 史
Fumi MIYAHARA
岡田 紗也加
Sayaka OKADA

研究官
Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer

河野 晴彦
Haruhiko KONO
松村 裕樹
Yuki MATSUMURA

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. This study has created degradation characteristic data in combination standards and environmental conditions of the main member to major damage by using the stored inspection data. Using the deterioration characteristic data, performs the estimate of the life-cycle costs in multiple method, the results were compared.

[研究目的及び経緯]

本研究は、ライフサイクルコスト（以下、LCC という）の推計信頼性を踏まえた信頼値活用手法の検討に必要な基礎資料を得るために、定期点検データの質や量、劣化曲線推定の不確実性、措置実施時期評価の不確実性などが、維持更新費用、次期の推定誤差に与える影響を整理する。

平成 27 年度は、主要な部材の主要な損傷に対して、橋梁形式、部位、架橋環境等を組み合わせた劣化パターンについて、損傷発生状況及び損傷進行状況の予測データの作成を行った。また、損傷程度毎の予防保全と事後保全の典型的な補修補強工法を設定し、直轄橋梁の過去の補修履歴データを用いて、補修補強目的、補修補強費及び工種ごとの単価のばらつきに着目した統計値を算出した。さらに 500 橋程度のそれぞれの橋について、予測データと補修補強単価を用いてライフサイクルコストの試算を行い、試算結果の比較によって、推計手法の特徴を整理した。

[研究内容及び研究成果]

1. 劣化特性に関するデータ集の作成

本研究では、平成 26 年 4 月時点で蓄積された定期点検結果を基に統計分析を行い、各部材、橋軸および橋軸直角方向の部位、適用基準や環境条件などの属性を組み合わせた劣化パターンに対して 5 年以内の遷移確率行列、状態確率分布と劣化曲線を作成した。各部材

の劣化パターンは、要素単位以外に部材や径間などの単位で取得された点検結果にも対応するよう要素単位のデータを統合して部材、部位、径間、橋梁単位について作成した。

劣化曲線は、将来推計においてばらつきの影響を考慮できるように上位・中位・下位推計用劣化曲線として、状態確率分布をもとに、期待値および期待値周りのばらつきを求め数種の関数近似によって作成した。劣化曲線は、同時点損傷程度評点と同損傷程度評点への到達時間に着目して2種類作成した。(図-1)

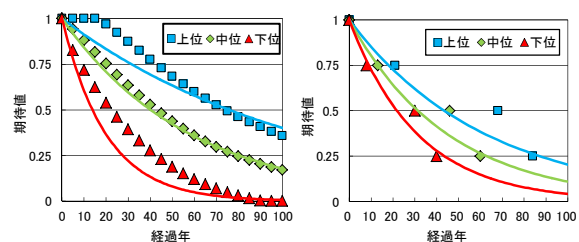


図-1 期待値曲線と上位下位推計用劣化曲線

(左：同じ時点の損傷程度評点の $\mu \pm \sigma$ 、

右：同じ損傷程度評点への到達時間の $\mu \pm \sigma$)

2. 補修補強事例の分析

LCC の試算に必要な予防保全と事後保全の典型的な補修補強工法の設定のために、道路管理者が実際に LCC 試算に用いている仮定事例と直轄国道の道路橋で実際に用いられている工法を調査した。各補修補強工法の標準的な補修単価は、「建設物価土木コスト情

報」、「橋梁架設工事の積算」、「土木工事積算標準単価」等を基に設定した。また、直轄道路橋 468 橋を対象に、補修補強工事資料（数量表、図面、特記仕様書）を用いて、補修補強工種別の補修数量、仮設数量を整理し、標準的な補修単価から実際に掛かった補修費用を推計した。推計に用いるための補修補強単価として、一般的な橋梁を支間長 30m の桁橋とした場合の単価と実績数量の統計値から平均値及び標準偏差を仮定してばらつきを考慮した単価を算出した。このとき、各補修工法毎に橋面積、表面積、有効幅員あたりの費用に換算した。補修補強工事資料にトラス橋などの特殊橋梁が含まれている場合や複数橋梁の補修数量が一度に計上されている場合は、補修単価として異常値となるため除外した。

表-1 推計用補修補強単価

補修工法	再塗装 (Rc-I)	再塗装 (Rc-III)	ひびわれ注入工 (上部工)	断面修復工 (上部工)	ひびわれ注入工 (下部工)	断面修復工 (下部工)	伸縮装置取替工
単価の単位	円/橋面積 m ²	円/橋面積 m ²	円/橋面積 m ²	円/橋面積 m ²	円/表面積 m ²	円/表面積 m ²	円/有効幅員 m
一般的な橋梁を支間長30mの桁橋を仮定した場合の補修単価							
補修単価	24,500	10,700	13,000	33,000	13,000	66,000	252,000
実数量の統計値を基に算出した単価の平均値と標準偏差							
データ数	17	71	53	135	13	27	27
平均	11000	7700	2000	3700	1,300	1,500	300,000
標準偏差	12,000	6,400	4,100	6,600	780	6,100	160,000

3. LCC 算定の信頼性評価

劣化予測データと補修補強工法とその単価を用いれば、予防保全と事後保全の2つのパターンで将来推計を行い、健全度と累積費用 (LCC) の推移を計算できる。不確実性を考慮した将来推計手法は、遷移確率行列を用いてモンテカルロシミュレーション（以下、MCS という）を行う方法と 1. で求めた上位中位下位推計用の劣化曲線を用いる方法が考えられる。

本研究では、直轄道路橋 468 橋を対象に、各部材毎と橋全体の 100 年間の LCC の推移を 2 つの方法で算出し、比較を行った。

MCS は、供用開始時点の損傷程度 a として、5 年後の損傷程度を確率的に予測することを 100 年間行う。この計算を 1 万回繰り返して遷移確率に基づいたあらゆる劣化過程による LCC を予測する。管理水準は、予防保全の場合では損傷程度 c 以下になった時点、事後保全の場合では損傷程度 d 以下に達した時点として補修を行い、損傷程度 a に回復させる。このとき、管理水準以下になった部材に対して補修費用を計上する。

劣化曲線による推計では、求めた上位中位下位推計用劣化曲線それぞれが管理水準に達した時点でその部材の損傷程度を a（期待値 1.0）に回復させて、補修費用を計上する。このとき、管理水準は MCS と同じ水準とした。

3 径間単純鋼合成鉄桁橋（4 主桁）橋長 66.6 m、支

間長 21.6 m、C 系塗装材料使用、非塩害地域に架設された新設橋梁に対して実施した試算結果を紹介する。試算では、鋼主桁、RC 床版、RC 下部工、鋼支承、鋼製伸縮装置の 5 部材で橋梁が構成されているものとし、これらの部材の LCC を予測した。表-2 に各部材の対象とする損傷および補修工法と各補修を行うために必要な仮設足場費用を加えた単価、1 回の補修に掛かる費用を示す。このとき、実数量に基づく単価は極めて大きなばらつきを有することから、確定的に一般的な桁橋を仮定した場合の補修単価（表-1）を用いた。下部工の補修単価は、全体の 30% を補修するものと仮定した。

表-2 各部材の補修工法及び補修費用

部材	鋼主桁	RC床版	RC下部工 (橋台・橋脚)	鋼製支承	鋼製伸縮装置
対象とする損傷	防食機能の劣化	ひびわれ	ひびわれ	機能障害	路面の凹凸
補修工法	再塗装工 (Rc-I)	炭素繊維接着工+橋面防水工 (塗膜系)	ひびわれ注入工+断面修復工	支承補修工 (溶射)	伸縮装置取替工
補修単価	29.7 (千円/橋面積m ²)	69 (千円/橋面積m ²)	24.2 (千円/表面積m ²)	122.8 (千円/基)	252 (千円/延長m)
補修費用 (百万円)	17.7	41.1	5.92	2.9	8.1

図-2 に橋全体の MCS と劣化曲線による推計の比較を示す。管理水準は、損傷程度 d（期待値 0.25）とした。図から遷移確率行列を基にした MCS による推計では、50 年時点で、 μ 、 $\mu \pm 2\sigma$ を見ると、およそ 40 ± 30 百万の幅があり、大きくばらついていることがわかる。劣化曲線による推計では、MCS よりも大きくばらついており、50 年時点の上位下位推計結果は 4 倍以上の差がみられ、下位推計では、大きく乖離している。これは同じ速度で劣化する劣化曲線を何度もつなげたことが原因である。

以上から、道路橋の劣化過程のばらつきを考慮した推計では、将来の維持管理費を確定的に予測することはできないと考えられる。

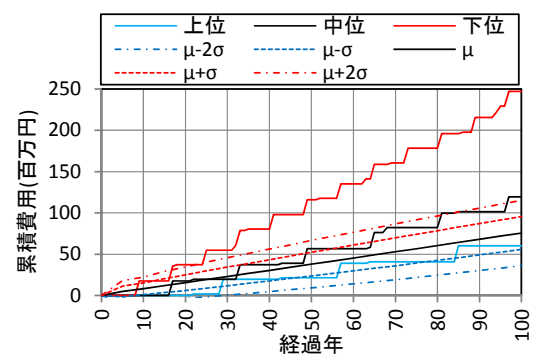


図-2 MCS と劣化曲線による推計の比較（橋全体）

【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】

橋梁マネジメントシステムの改良等への反映

既設道路橋の補修・補強設計基準に関する調査検討

Development of 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 Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官 白戸 真大

Senior Researcher Masahiro Shirato

研究官 河野 晴彦

Researcher Haruhiko Kouno

室長

Head

研究官

Researcher

研究員

Research Engineer Sayaka Okada

玉越 隆史

Takashi Tamakoshi

宮原 史

Fumi Miyahara

岡田 紗也加

General principles and standards for investigation, design, and repair and reinforcement works have been desired recently with the rapid increase in the number of aging highway structures. This project has gathered basic scientific data to establish new standards for major investigation and repair works for decks and girders. Limit states of reinforced RC decks, test methods for the load bearing capacity evaluation of decks and girders, and the hot bending work standards for steel members through experiments and numerical simulations.

[研究目的及び経緯]

高齢化の進展により我が国の道路橋では様々な劣化や損傷の事例が報告されている。既設橋の補修補強の増加が見込まれる中、調査法や代表的な補強原理に対する設計施工法の体系化を進める必要が高まっている。

損傷した橋梁の調査は目視や非破壊検査により行われることが多いが、耐荷性能の低下程度を評価するためには、目視情報に加えて、出来るだけ多角的かつ定量的に情報が得られるのがよい。また、補修補強設計では、損傷部材に対する補強材料の一体化や荷重分担の評価、また、補修補強後の点検方法など新設橋の設計とは異なる技術的課題に対処する必要がある。

本研究では、鋼板接着補強の RC 床板の点検や設計に必要な限界状態に関する実験、床板や桁の健全性評価のための合理的な耐荷力評価試験方法のフィージビリティスタディ、及び鋼部材の断面形状矯正を鋼材の機械的性質をできるだけ損なうこと実施するための施工条件に関する実験を実施した。

[研究内容及び研究成果]

1. 既設RC床版の輪荷重走行試験

RC 床版の疲労損傷は、橋に生じる最も代表的な損傷の一つである。補強方法の一つとして、鋼板や炭素繊維を床版下面に接着するものがあり、製作した床版供試体に輪荷重走行試験機を用いて損傷を生じさせたいと、補強を行い、さらに輪荷重走行試験を行うことで、実験室レベルの検証では一定の補強効果が確認されている。しかし、既往の研究は、あくまでも輪荷重走行試験機で模擬損傷を与えた場合に対して実施され

たものであり、実際の供用・暴露状態で損傷を受けた床版に対する補強効果に関する定量的な実験データは蓄積されていない。そこで、本研究では、長期間供用されていた実際の道路橋から、ひび割れが同程度（幅、間隔）の部分をもつて切り出し、供試体 No. 1（鋼板なし）、No. 18（鋼板あり）および 28（鋼板あり）とした。供試体 No. 18 は、鋼板接着が剥がれた状態を再現するため、試験前に床版下面に剥離剤を塗布後、鋼板補強を施した。

実験の結果（図-1）、無補強の供試体 No. 1 は、輪荷重走行回数が 2 万回で破壊に至ったのに対し、No. 18、28 は走行回数 30 万回においても破壊には至らなかった。すなわち、模擬損傷に対して検証されているように、実橋にて進行した劣化に対して鋼板接着補強の効果があることがわかった。ただし、供試体 No. 28 よりも No. 18 のたわみの進行が速かった。この結果は、鋼板の付着切れが生じているときには補強効果が低下することを示唆している。点検にて鋼板の浮きが確認されたときには床版およびアンカーの状態の把握を慎重に行う必要性が高いと考えられる。今後、炭素繊維を用いた場合なども含めて、さらなるデータの蓄積が課題である。

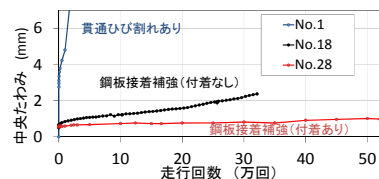


図-1 試験結果（床版中央たわみ）

2. 活荷重に対する耐荷力性能評価の検討

非破壊検査やサンプル採取だけでは部材内部の損傷状態すべてを定量的に把握することが困難であり、特に損傷が深刻であると想定される場合には、耐荷性能を評価するために橋上で载荷試験を行うことがある。現状では重量調整を行った大型車両を橋上に多数配置し、それらを連動させて载荷し、橋の応答を計測する方法がとられることが多いが、迅速性や容易さ等の課題も多い。そこで、極力橋梁側には計測機器等の設置を必要とせず、かつ重量調整を行った大型車を橋上に多数配置することなく载荷試験を実施できる試験車両について、フィジビリティを検討した。

まず、試験車両の基礎的要求性能と仕様を検討した。要求性能は、荷重载荷機能と载荷荷重計測機能を兼ね備えていること、また、車両メーカーからの聞き取り結果や過去の载荷試験事例を参考に、試験車の概要図は図-2のとおりとし、橋軸方向及び橋軸直角方向へアウトリガー張出し長を調整することに加えてトラバーサ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しながら载荷する仕組みである。

次に、橋の数値モデルを作成し、試験車両により载荷したときの橋の挙動をシミュレーションした。実際に载荷試験が行われた橋梁を解析対象として、それぞれ载荷試験結果が模擬できるように橋の数値モデルを作成した。試験車両による载荷シミュレーションでは、橋に生じるたわみができるだけ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载荷した。解析対象橋梁及びたわみ計算値を表-1及び表-2に、A橋の試験車の载荷モデルと解析結果例(変位図)を図-3に示す。試験車の载荷荷重による発生応力は、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。しかし、D橋のように支間長が30mを大きく超える橋では試験車重量では応答が小さく、耐荷性能の評価に有用な試験結果が得られないことがわかった。

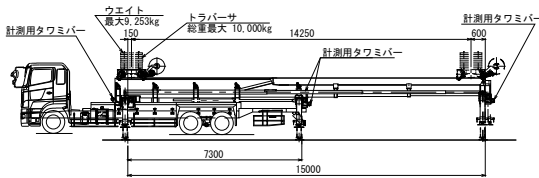


図-2 試験車の概要図

表-1 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	
					静的载荷	動的载荷	ひずみ (μm)	たわみ (mm)
A橋	鋼3径間連続非合成桁	2主桁、2版桁	24.6+32.8+24.6	6.00	○	○	○	○
B橋	鋼単線鋼床版桁	2主桁	19.4	4.50	○	○	○	○
C橋	PRCS径間連続2主版桁	2主桁	30.3+3#31.0+30.3	11.55	○	○	○	○
D橋	PC4径間連続複桁	1主桁	64.2+2#65.2+64.2	10.00	○	○	○	○

表-2 試験車による再現可能性

橋梁名	解析対象支間 (m)	既往载荷試験		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 発生応力 43.6N/mm ²	1台(前方アウトリガ反力) 17.220t, 7.522t	たわみ 10.66mm 発生応力 55.0N/mm ²	再現可能
B橋	19.4	1台 (19.4t)	ひずみ 16.9μ	1台(前方アウトリガ反力) 12.033t, 12.033t	ひずみ 25.0μ	再現可能
C橋	30.3	1台 (20.0t)	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

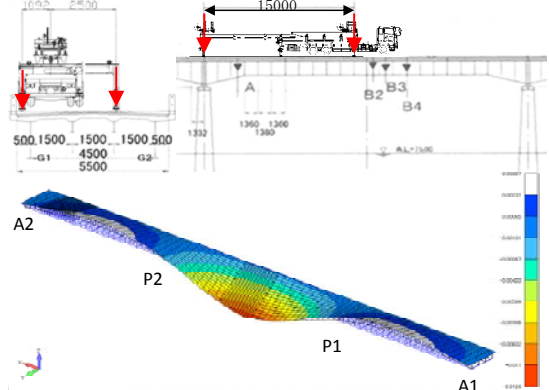


図-3 試験車载荷モデルと解析結果 (A橋)

3. 矯正加工を行った鋼材の機械的性質

通行車両の衝突等により鋼部材に生じた変形を、熱間加工等により矯正を行うことがある。しかし、矯正により鋼材の機械的性質が変化するならば、その程度によっては、耐荷力に対する安全率も見直さなければならなくなる。したがって、機械的性質を極力変化させないような施工基準の確立が必要である。

そこで、各種矯正方法が鋼材の機械的性質に与える影響を明らかにするため、鋼道路橋に一般的に多く用いられている溶接構造用圧延鋼材 (SM490Y材) の試験片を作成し、冷間曲げ加工 (内側曲げ半径200R) 後、加熱矯正 (900℃以下) または、冷間曲げ加工後冷間曲げ戻しを行った。これらの試験片及び未加工の試験片について引張試験を行い、比較した (表-3)。加熱矯正をした鋼材は、降伏点がJIS規格値を10%下回ったが、伸びの低下は見られない。また、冷間曲げ戻しをした鋼材は、降伏点と引張強度が高くなり伸びが低下した。今後、矯正に関する施工基準案を作成するためには、加熱温度等の違いが強度に与える影響について明らかにする必要があり、実験データの蓄積が課題である。

表-3 引張試験結果

試験体の種類	外観	破断面	降伏点または0.2%耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
素材	AT	AT	396	534	49.1
加熱矯正後	HT	HT	320	519	51.5
冷間曲げ戻し後	MT	MT	451	576	43.0

[SM490YB JIS規格値]降伏点または0.2%耐力: 355N/mm²、引張強さ: 490~610N/mm²、伸び: 19%以上

【成果の発表】

国総研資料や論文等で公表。

【成果の活用】

点検基準に反映するとともに、補修補強設計に関する資料案を作成、反映する予定。

補修補強設計に係わる部分係数に関する調査検討

Study on partial factor design for existing bridges

(研究期間 平成 27-29 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官

白戸 真大

Senior Researcher

Masahiro SHIRATO

研究官

河野 晴彦

Researcher

Haruhiko KOUNO

交流研究員

正木 守

Guest Research Engineer Mamoru MASAKI

室長

玉越 隆史

Head

Takashi TAMAKOSHI

研究官

宮原 史

Researcher

Fumi MIYAHARA

交流研究員

窪田 真之

Guest Research Engineer Masayuki KUBOTA

The present study has been developing partial factor design formats for the assessment of existing bridges. To take advantage of partial factor design, the present study seeks a practical method to modify load factors with change of the reference period and statistical load characteristics at sites. This year, stochastic simultaneous loading simulation results are reexamined covering over more than 40 bridges with different types and sizes and single load factors for each load are resolved into load combination factors and load variation factors, so that a practical rule can be established with further study to modify load variation factors with site-specific load statistics or any reference period.

[研究目的及び経緯]

国総研では、信頼性設計の考え方を基礎とし、国際的技術基準の標準書式でもある部分係数設計体系への転換を視野に道路橋の技術基準の見直しに必要な検討を進めている。過年度までに、Borges-Castaneta(B-C)過程という確率過程にしたがって荷重を同時載荷し、主要部材の組合せ断面力 100 年最大値分布(極値分布)を求めるシミュレーションを多様な道路橋に対して行い、荷重組合せ、及び荷重組合せごとの荷重係数を求めるコードキャリブレーションを実施した。コードキャリブレーションの過程では、ある組合せに対する個々の荷重係数値はばらつくが、提案した荷重係数は、平均的な値で代表して設定したものである。このように決定された荷重係数は、従来と同等の性能を有する諸元の橋が作られるように調整されたものになるが、荷重同士の組合せ頻度と荷重単体のばらつきの両者が一つの係数に含まれており、荷重単体のばらつきの違いが荷重係数に与える影響を見通しにくいものという欠点も有していた。

また、過年度には、想定する期間や大型車交通特性を変化させたときに、活荷重係数を始めとする荷重係数値が変化することも示した。これは、荷重の極値分布が変化することが主な理由と考えられる。すなわち、既設橋の補修補強設計においては、新設橋の設計に用

いる荷重係数をそのまま用いるのではなく、補修補強設計において想定する供用期間や架橋地点の交通特性に応じて荷重極値分布を評価し直すことで、架橋地点の特性を踏まえた部分係数を調整し、より合理的な設計を行える可能性がある。しかし、上述のように、一つの荷重係数が有する統計的性質には荷重の載荷頻度のばらつきと個々の荷重のばらつきが内包されるので、係数を調整しようにも、原理的には、例えば荷重極値分布のバイアスと変動係数等を用いて何らかの換算を行うような単純なものにはならず、実用的な調整ルールを一般化することが難しい。

既往の全体安全率設計法と比べて部分係数設計法では、不確実性の原因ごとに安全率を分解し、それぞれの部分係数を立てておくことで、各不確実性の統計的性質に応じた係数値の見直しを容易にできるというメリットがある。そこで、平成 27 年度は、これまで提案してきた荷重係数を、荷重の載荷頻度に依存する「荷重組合せ係数(仮称)」と、荷重単体の極値分布のバイアスと変動係数に依存する「荷重ばらつき係数(仮称)」に分解することを検討した。2 つの係数に分解することで、例えば、補修補強設計のために、架橋条件や補修補強設計条件に応じて荷重極値分布のバイアスと変動係数を見直し、「荷重ばらつき係数」を調整するプロセスの一般化を計れる可能性がある。

[研究内容及び研究成果]

荷重係数は、設計基準で与える荷重特性値に乘じるものであり、荷重の組合せに応じて、特性値よりも大きな荷重値を組み合わせたり、小さな荷重値を組み合わせたりするためのものである。荷重係数は一概にばらつきが大きい荷重で 1.00 を越えるというわけではなく特性値の統計的な性質にも依存する。

様々な諸元、形式を有する道路橋 42 橋を対象にシミュレーションを行って、各断面で断面力 100 年間最大値が生じたときの死荷重と活荷重の組合せを取り出し、現行基準で与えている死荷重、活荷重の値（すなわちそれぞれの特性値）で各々除した結果を図 1 に示す。死荷重係数と活荷重係数は、おおむね 1.00 付近にあるが、荷重係数値のばらつきは死荷重と活荷重とで異なっている。

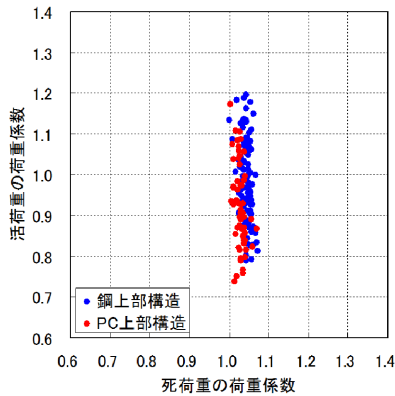


図 1 死荷重と活荷重の荷重係数

図 2 に、ある橋の死荷重のばらつきと活荷重極値分布を示す。死荷重と活荷重では、活荷重のばらつきの方が大きく、図 1 において、死荷重係数よりも活荷重係数のばらつきが大きいことに対応している。他の荷重組み合わせについても分析した結果、ある荷重組み合わせにおける各荷重係数値のばらつきは、もともとの荷重極値分布のばらつきに依存する傾向があった。したがって、荷重組み合わせを代表する係数である荷重組み合わせ係数と荷重単体のばらつき分を考慮する荷重ばらつき係数に分離できることがわかった。

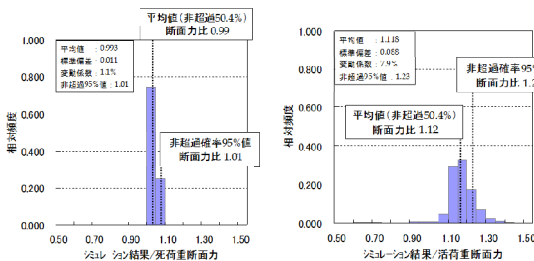


図 2 死荷重・活荷重断面力の極値分布

例えば、死荷重は常に組合せられるので、死荷重に対する荷重組み合わせ係数は 1.00 となるが、ばらつき分も考えると、死荷重を 1.05 倍しておくのが安全側と考えられる。他方、活荷重については、毎日渋滞が発生すると考えれば、渋滞時の活荷重と死荷重の組合せは日常的に発生するため、死荷重と活荷重の組合せにおける活荷重組み合わせ係数は 1.00 と仮定でき、図 1 を見ても、荷重ばらつき係数は 0.8-1.2 程度になる。

死荷重と活荷重の組合せの場合にはたまたま組み合わせ係数が 1.00 と仮定できるケースがあったが、荷重組み合わせ係数を常に 1.00 と想定するのが合理的でない場合もある。例えば、風荷重を含む組合せについては、他に組合せられる荷重の種類が増えるほど暴風の同時載荷頻度が小さくなるため、風荷重係数は小さくなった。しかし、想定する期間は同じであるので、風荷重のばらつきだけに着目し、風荷重ばらつき係数値は一定であるべきとも考えられる。

過年度までのシミュレーションで得られた個々の橋梁、個々の断面に対するコードキャリブレーション結果を見直し、荷重係数を荷重組み合わせ係数と荷重ばらつき係数に分解した結果を表 1 に示す。このように荷重係数を分解できたことで、想定する期間に応じ、荷重係数、すなわち荷重ばらつき係数の見直しが容易になるものと考えられる。例えば、風荷重については、地域毎の暴風・強風特性も異なるため、荷重組み合わせ係数は変えず、荷重ばらつき係数を調整するなどの活用が考えられる。

表 1 荷重組み合わせ係数と荷重ばらつき係数

荷重組合せ	状況	係数値											
		D		L		T		WS		WL		EQ	
		組合せ係数 _{yp}	γ _q	組合せ係数 _{yp}	γ _q	組合せ係数 _{yp}	γ _q	組合せ係数 _{yp}	γ _q	組合せ係数 _{yp}	γ _q	組合せ係数 _{yp}	γ _q
D		1.00	1.05	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
D+L	永続作用が支配的、又は、これに準じる状況	1.00	1.05	1.00	1.25~1.30	—	—	—	—	—	—	—	—
D+L+SW		1.00	1.05	1.00	1.25~1.30	—	—	—	—	—	—	—	—
D+T	変動作用が支配的な状況	1.00	1.05	—	—	1.00	1.00	—	—	—	—	—	—
D+T+WS		1.00	1.05	—	—	0.75	1.00	0.75	1.25	—	—	—	—
D+L+T		1.00	1.05	1.00	1.25~1.30	0.75	1.00	—	—	—	—	—	—
D+L+WS+WL		1.00	1.05	1.00	1.25~1.30	—	—	0.50	1.25	0.50	1.25	—	—
D+L+T+WS+WL		1.00	1.05	1.00	1.25~1.30	0.50	1.00	0.50	1.25	0.50	1.25	—	—
D+WS		1.00	1.05	—	—	—	—	1.00	1.25	—	—	—	—
D+T+EQ		1.00	1.05	—	—	0.50	1.00	—	—	—	—	0.50	1.00
D+EQ		1.00	1.05	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	1.00
D+CO	偶発作用が支配的な状況	1.00	1.05	—	—	—	—	—	—	—	—	1.00	1.00

[今後の課題]

荷重ばらつき係数の調整ルールの検討を行う必要がある。

[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。

道路構造物の健全性把握に関する調査検討

Study on soundness grasp of road structures

(研究期間 平成 27～29 年度)

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

研究官 河野 晴彦
Researcher Haruhiko KOUNO

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

室長 玉越 隆史
Head Takashi TAMAKOSHI
主任研究官 白戸 真大
Senior Researcher Masahiro SHIRATO
交流研究員 松村 裕樹
Guest Research Engineer Yuuki MATSUMURA

室長 間渕 利明
Head Toshiaki MABUCHI
主任研究官 阿部 稔
Senior Researcher Minoru ABE

This project analyzes road structures inspection results to feedback into design standards, inspection standards, and asset management strategies. This year, the applicability of "general evaluation index" NILIM has proposed are tested. Based on the calculation results, when the relevant repair is conducted and the inspection result is improved, the index is also improved. However, when the inspection result is not improved because of re-deterioration, the index is not improved. Accordingly, the proposed general evaluation index can be used as one of the representative indices to measure the activity level of road administrators in road structure preservation.

【研究目的及び経緯】

本研究は、道路構造物の点検及び診断結果を分析し、設計基準や点検要領の改定、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 27 年度は、平成 16 年以降定期点検結果が蓄積されている道路橋について、過年度国総研で提案した総合評価指標の実務での活用方法の実証的検討を行った。また、シェッド及び大型カルバートの平成 26 年度定期点検結果より、構造物の構造特性や設置環境特性から変状の発生傾向を整理した。

【研究内容及び成果】

1. 総合評価指標による道路橋の機能評価

過年度国総研が提案している道路橋の総合評価指標とは、橋梁定期点検において各要素単位での損傷程度客観評価データから、「交通荷重を安全に支持できることの信頼性」を表す耐荷性、「地震等の災害時に想定していた所要の安全性等の性能（緊急車両の通過、速やかな復旧など）が発揮されることの信頼性」を表す災害抵抗性、「日常的な利用において安全・快適な車両走

行が保証されることの確実性」を表す走行安全性を表す 3 種類の指標を、それぞれの指標に関連する部材の重要度を勘案して算出するものである。具体には、それぞれの性能に関連する部材の損傷程度に性能に関わる部材重要度に応じた重み係数を乗じることで損傷程度の評価点を計算し、100 点からの減点方式により各指標値を算出している。各指標値の評価区分は、60 点、30 点を閾値として健全（60 点以上）、要補修（30 点以上 60 点未満）、要緊急対策（30 点未満）の 3 つに区分することを提案している。これは、複雑な損傷等要因の複合評価から機械的に定量化する指標のため点差には厳密性を求めておらず、3 つの区分に判別することの精度を重視して重み係数等を調整し、区分している。

今年度は、補修履歴があり、かつ補修後に点検を実施した橋梁に着目して補修前後の総合評価指標を比較し（表-1）、補修内容と効果について分析を行った。

A 橋は、求める性能に対して必要な補修がなされたことで、損傷程度の評価が改善されたことが、各指標に反映された結果となっている。

B 橋は、防食機能の回復を主桁に実施したことによ

表-1 補修前後の総合評価指標の比較

橋梁諸元	橋梁形式	A橋		B橋		C橋		
		1975年	1976年	1971年	1972年	1966年	1967年	
架設年		1975年	1976年	1971年	1972年	1966年	1967年	
橋長		40.0m	40.0m	52m(2連)	52m(2連)	291.4m(10連)	291.4m(10連)	
総合評価指標	耐荷性	主に主桁の損傷程度評価に依存	69	97	36	82	49	55
	災害抵抗性	主に下部工・支承部の損傷程度評価に依存	0	89	6	56	0	52
	走行安全性	主に床版・伸縮装置の損傷程度評価に依存	87	100	53	59	56	58
	主な補修内容	主桁塗装 ・支承補修 ・下部工断面修復 ・伸縮装置取替			主桁塗装 ・床版断面修復 ・支承補修		主桁部分補修塗装 ・床版断面修復 ・支承取替	

り、耐荷性指標が回復している。同様に、防食機能の回復を支承にも実施したことで災害抵抗性指標が回復しているが、60点に達していない。これは、その後点検に至るまでに一部再劣化したことが反映されたものである。また、床版の補修を実施しているが、走行安全性指標が60点に達していない。これは、部分的な補修を行ったものの、その後点検に至るまでに、補修箇所以外で劣化が進展したことが原因である。結果として、状態の悪化が防げているが、逆に言えば、更なる範囲で予防保全的な補修を行っておけば、橋として状態の改善が図れた可能性もある。

C橋は、支承の取替、それに合わせた防食機能の回復を主桁支承周りで、また、床版の部分補修を実施したものである。補修前後の点検結果から指標値を求めて比較した結果は、B橋と同様であり、同様になった原因も同じであった。

以上より、総合評価指標値や区分の変化から、定期点検の結果を受けて適切に補修が行われたこと、また、予防保全の効果も計れる可能性があることがわかった。引き続き検証を進めることで、適切な補修補強を適時行っていることを計る指標としての総合評価指標の活用が可能か見極めていきたい。

2. シェッド・大型カルバートの損傷状況調査

平成26年度に直轄国道で行われた定期点検結果を用いてシェッド(129箇所)及び大型カルバート(224箇所)の健全度の分析を行った。

建設からの経過年数別の構造物の健全度の判定結果を図-1、2に示す。建設からの経過年数が長いほど、シェッドについては構造物の健全度がⅢと判定される割合が高くなっている。一方、大型カルバートについては健全度Ⅰの割合が小さく逆にⅡの割合が大きくなる傾向があるものの、シェッドほどⅢの割合の経年依存性は見られない。

部材別の健全度の判定結果を図-3、4に示す。シェッドでは主梁、頂版、壁・柱、受台が、大型カルバートではカルバート本体で、部材別の健全度がⅢの割合が10%程度以上と他部材と比較して大きくなっている。また、このうちPC構造のシェッド(47箇所)に着目

した部材別の健全度判定結果(図-5)をみると主梁、壁・柱で健全度Ⅲの割合が特に高くなっている。なお、RC構造では頂版で健全性が低いものが比較的多く、鋼構造では部材別で傾向が見られなかった。これらの分析より、構造形式等により部材毎の健全性の傾向が異なることが明らかとなった。

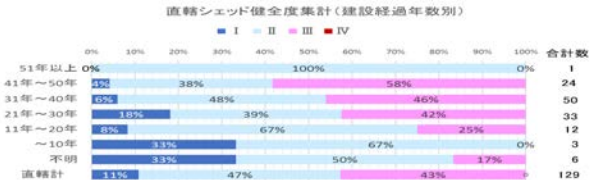


図-1 経過年数別健全度(シェッド)



図-2 経過年数別健全度(大型カルバート)

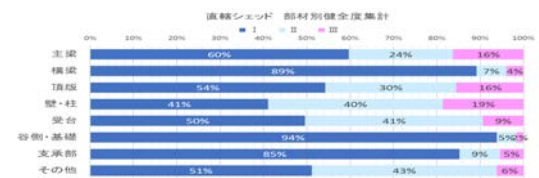


図-3 部材別健全度(シェッド)



図-4 部材別健全度(大型カルバート)

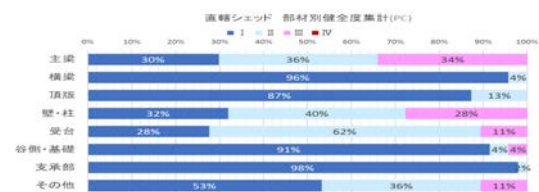


図-5 PC構造のシェッドにおける部材健全度

[成果の発表]

国総研資料や各種論文で発表予定。

[成果の活用]

定期点検要領の改定や設計基準原案の検討に反映。

盛土・切土・軟弱地盤対策工・自然斜面对策工の

リスクマネジメント手法に関する調査研究

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

(研究期間 平成 26 年度～28 年度)

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

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

藪 雅行
Masayuki Yabu
谷川 征嗣
Masatsugu Tanigawa
榎本 忠夫
Tadao Enomoto

The objective of this study is to establish the rational inspection method for earth structures in terms of the disaster management. In the second fiscal year, some important inspection points were summarized based on the past rain-induced disasters. In addition, by analyzing their precipitation data, it may be seen that both continuous and hourly rainfalls should be considered for detecting disaster of natural and cut slopes while the combination of the hourly rainfall data and the parameter taking water content of ground into consideration tends to be effective in predicting disaster of road embankments.

〔研究目的及び経緯〕

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

今年度は、大雨によるのり面・斜面の災害事例から発生要因等を分析し、点検における対応を整理するとともに、災害発生と雨量指標との関係性を検証し、その適合性や今後の活用についての課題を整理した。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 道路のり面等点検の実態

直轄国道では、図 1 のように巡回におけるのり面・斜面の着目点として、防災カルテ点検に準ずる内容をあげているが、パトロール車内からの目視、もしくは徒歩による路上からの目視で行う巡回では、確認可能な範囲が限定され、上部又は下方ののり面・斜面の一部では目視は困難と考えられる。

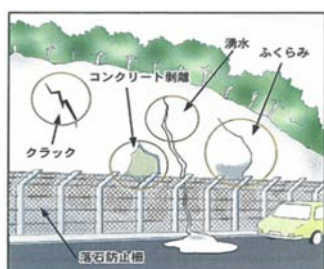


図 1 通常巡回の着目点例

2. 道路のり面等災害の発生要因等の分析

平成 24～26 年度に発生した直轄国道の災害のうち 10 事例の発生要因等を分析するとともに、その結果及び平成 20～23 年度の直轄国道斜面災害の既往調査資料をもとに発生要因等を整理・分析した。災害発生要因は、以下の (A)～(C) が多い傾向がうかがえる。

- (A) 水が集まりやすく、かつ脆弱な地質
- (B) 急勾配やオーバーハングなど不安定な形状
- (C) 排水施設の集中、機能低下および機能不足

3. 発生要因別の点検内容の検討

上記の 3 要因から異常を早期に発見することを目的に、通常巡回、定期巡回、異常時巡回やカルテ点検において、重点的に確認すべき事項を整理した。表 1 に「(A) 水が集まりやすく、かつ脆弱な地質が要因となる区間」の例を示す。

表 1 重点的に確認すべき事項

(A) 水が集まりやすく、かつ脆弱な地質の区間 (通常巡回・異常時巡回)	
模式図	
点検区間	■ 集水地形 ○ 谷状の自然斜面が道路に面する区間 (上図 1)

	<ul style="list-style-type: none"> ○上部に谷状自然斜面がある切土区間 (上図2) ○切土脇に小規模な谷状自然斜面がある区間(上図3) ※のり面・斜面尻に擁壁がある場合を含む ■地形改変や土地利用 ○のり面・斜面上方に平地地があり、工業用地、宅地、墓地などに利用されている区間 (上図4) ○のり面・斜面上方に道路がある区間 (上図5)
点検範囲	○のり尻・斜面尻(擁壁含む)～路面
点検方法	○車中から遠望目視(異常を発見した場合は、停車し徒歩で写真撮影および位置記録)
点検項目	<ul style="list-style-type: none"> ○湧水・表流水の有無 ・のり尻・斜面尻の湧水 ・擁壁水抜き孔や目地からの湧水 ・日常的に湧水がある場合は、量やにごりの変化 ○土砂や小落石の有無 ○斜面上での土地の造成、道路構築等の改変や伐採行為(車中から確認可能な範囲)
点検の考え方	<ul style="list-style-type: none"> ○通常巡回・異常時巡回では、車中から遠望目視可能な範囲と項目を基本に点検する。 ○湧水・表流水は、水が集まりやすい状況にあること、土砂や小落石は、地質・土質が脆弱であることを示唆しており、これらの変状は、降雨時などに崩壊が発生する兆候と考えられ、両方の変状が確認される箇所は特に注意を要する。 ○地形改変や伐採によって、水の流れが変わり、斜面に水が集まりやすくなることがある。また、上方の土地利用先の排水処理が不十分であった場合、その水が斜面に集中する可能性がある。加えて、中腹に道路がある場合は、路面排水が斜面に集中して流れ込む可能性がある。このため、地形改変や伐採、上方で土地利用が行われている箇所は、降雨後の湧水・表流水、土砂や小落石の有無を十分確認する必要がある。
その他	○巡回結果は、その他巡回および防災カルテ点検と共有

4. 道路災害発生と雨量の関係性の分析

平成 24～26 年度に発生した直轄国道の災害のうち 2. の 10 事例を含む 20 事例を対象として、災害降雨特性と斜面条件(斜面種別、災害要因)別の有効な雨量指標の分析・整理を行った。雨量指標は①時間雨量及び連続雨量、②土壌雨量指数、③実効雨量(半減期 1.5 時間、24 時間、72 時間)、④連続雨量及び連続雨量と時間雨量の組み合わせ雨量の併用法による雨量基準、⑤「国土交通省河川局砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定方法(案)」の指標及び基準(土壌雨量指数、1 時間雨量)とした。図 2 に連続雨量と時間雨量の組合せ、図 3 に土壌雨量指数と時間雨量の組合せの分析例をそれぞれ示す。

分析の結果、災害降雨特性と斜面条件(斜面種別、災害要因)別の有効な降雨指標について、表 2、表 3 のような傾向が見られた。今後は災害事例の分析数を増やし、災害発生・発見時における土壌雨量指数や実効雨量等と災害発生の関係について、整理・検討が必要である。

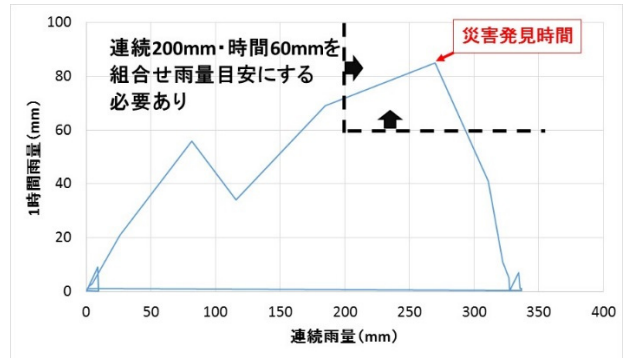


図 2 連続雨量と時間雨量の組合せの例

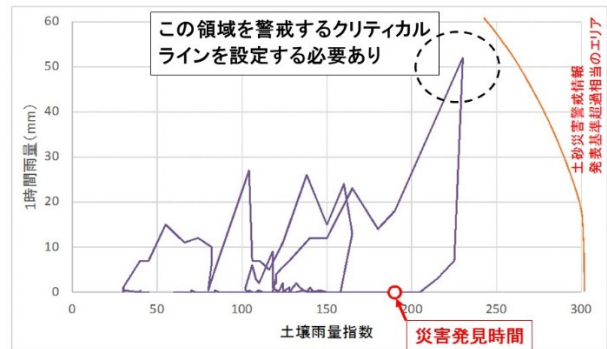


図 3 土壌雨量指数と時間雨量の組合せの例

表 2 降雨特性格別の有効な雨量指標

降雨特性	有効な雨量指標の考察
豪雨	・強度を増す豪雨、集中豪雨は、 連続雨量と時間雨量の組合せ雨量指標 が有効
連続する長雨	・ 連続雨量や土壌雨量指数 が有効 ・後半に強度の大きい降雨では、 連続雨量と時間雨量との組み合わせ が有効
断続的長雨	・降雨休止中の斜面内水分量の評価が可能な 土壌雨量指数 が有効 ・後半に強度の大きい降雨では、 土壌雨量指数と時間雨量との組み合わせ が有効

表 3 斜面条件別の有効な降雨指標

斜面条件	有効な雨量指標の考察
自然斜面	・豪雨による災害が特徴的 ・ 連続雨量と時間雨量の組合せ による警戒が有効
切土のり面	・降雨特性は多様 ・脆弱な切土や集水地形隣接切土は豪雨時の 連続雨量と時間雨量の組合せ による適用 ・地すべり等脆弱箇所は長雨時の 土壌雨量指数 の適用
盛土	・構造物周りの盛土部、路肩崩壊 ・用地外の盛土(土捨て場等) ・後半に強い強度の降雨を伴う断続的長雨で被災 ・ 土壌雨量指数と時間雨量の組合せ の適用

[成果の活用]

更に研究を進め、道路土工指針類の改訂に反映予定。

舗装の管理状態評価に関する調査検討

Research on management state evaluation of pavement

(研究期間 平成 26～28 年度)

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

室長 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.

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

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

[研究目的及び経緯]

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

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

[研究内容]

1. 舗装の早期劣化区間の特徴、劣化要因の調査

アスファルト舗装については、劣化速度にばらつきが多く、補修を行っても早期に劣化が進行する早期劣化区間が存在する。舗装の平均的な更新年数を延ばしコスト削減を図るためには、こうした早期劣化区間の解消が必要である。

全国の直轄国道の路面性状調査データ及び舗装工事データに基づき早期劣化区間を抽出し、早期劣化に影響を及ぼすと考えられる各種道路条件について整理することにより、舗装の早期劣化区間の特徴、早期劣化に影響の大きい要因について整理を行った。

2. 舗装の早期劣化区間の構造調査

舗装の早期劣化区間のうち4区間について、たわみ量測定、コア採取及び室内試験を実施し、劣化が著しい箇所と比較的健全な箇所での舗装の内部構造を比較・分析することにより、舗装構造の面から早期劣化原因について検討するとともに、舗装の早期劣化を評価するために必要となる構造調査方法(調査項目)について検討した。舗装の構造調査は、表-1に示す直轄国道の4区間で実施した。区間選定にあたっては、①損傷形態(ひびわれ卓越、わだち掘れ卓越)による早期劣化要因の違い、②一般地域と雪寒地域による早期劣化要因の違いに着目し、車両走行範囲の中で劣化の著しい箇所(以下、非健全部という)と比較的健全な箇所(以下、健全部という)の両方がある区間から選定した(舗装構成は図-1のとおり)。

構造調査項目としては、現地においてFWDによるたわみ量測定を行うとともに、アスファルト混合物層のコア採取(φ300mm×1本、φ100mm×3本)を行った。

表-1 構造調査箇所一覧

調査区間	経過年数	ひび割れ率(%)	最大わだち掘れ量(mm)	大型車交通量(台/日・方向)	一般/雪寒の区分
A	9	44.6	12	2,012	雪寒
B	7	43.3~48.0	9~11	1,042	雪寒
C	9	8.6	50	1,208	一般
D	7	47.0	9	1,898	一般

FWD によるたわみ量からは路床の CBR 及び残存等値換算厚 T_{A0}' を算出するとともに、多層弾性理論に基づく逆解析により舗装各層の弾性係数を求めた。

またコア採取については、 $\phi 300\text{mm}$ 削孔部において路盤・路床材料を人力掘削により採取するとともに、路盤及び路床の表面において簡易支持力測定（キャスポル試験）を実施し、CBR を計測した。採取したアスファルト混合物層のコアについては、圧裂強度試験を行うとともに、アスファルト抽出を行い骨材の粒度試験、針入度試験を行った。また、採取した路盤・路床材料の粒度試験を行った。

【研究成果】

1. 舗装の早期劣化区間の特徴、劣化要因の調査

全国の直轄国道の早期劣化区間について、路面性状調査データにより特徴を整理するとともに、舗装工事データにより舗装構成を確認し、等値換算厚 T_A' 及び必要等値換算厚 T_A を算出し、両者の関係について検討した。

その結果、東北地整の大型車交通量 250~1,000 台/日に早期劣化が多く、一般地域より雪寒地域で早期劣化区間が多い傾向が見られた。また、早期劣化区間のうち約 4 割は、 T_A' が T_A を満足しているにもかかわらず早期劣化が発生しており、このような区間は特に DID 地区に多い傾向が確認された。

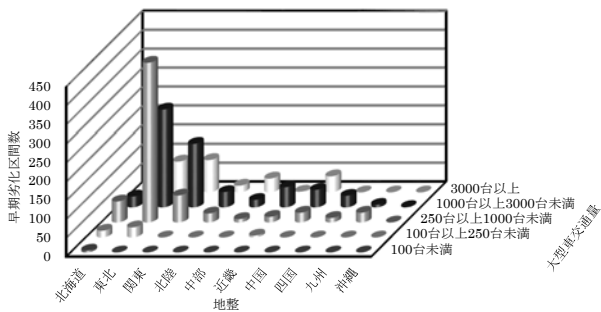


図-1 早期劣化区間の特徴

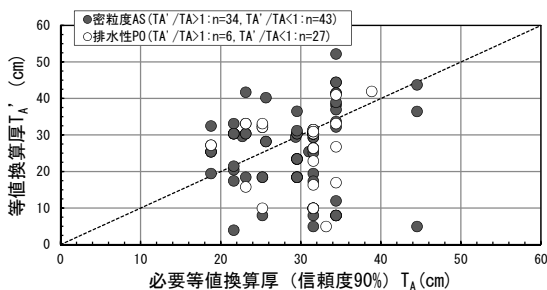


図-2 早期劣化区間の等値換算厚

2. 舗装の早期劣化区間の構造調査

図-3 に、FWD によるたわみ量及び算出した CBR、逆解析により算出した各層の弾性係数を示す。4 区間と

も非健全全部は健全全部と比較してたわみ量が大きく、アスファルト層の弾性係数が低い傾向を示している。一方、路盤の弾性係数及び路床の CBR については、積雪寒冷地域である調査区間 A と B については健全全部に比べて非健全全部が明らかに低い傾向が見られるが、一般地域である調査区間 C、D は非健全全部と健全全部の差が小さい傾向が見られる。

路盤材料の細粒分含有率を図-4 に示す。調査区間 A の路盤を除き、非健全全部は健全全部より細粒分含有率が低くなっており、路盤の細粒分の流出により粒子のかみ合わせのバランスの崩れが発生しているものと推測される。

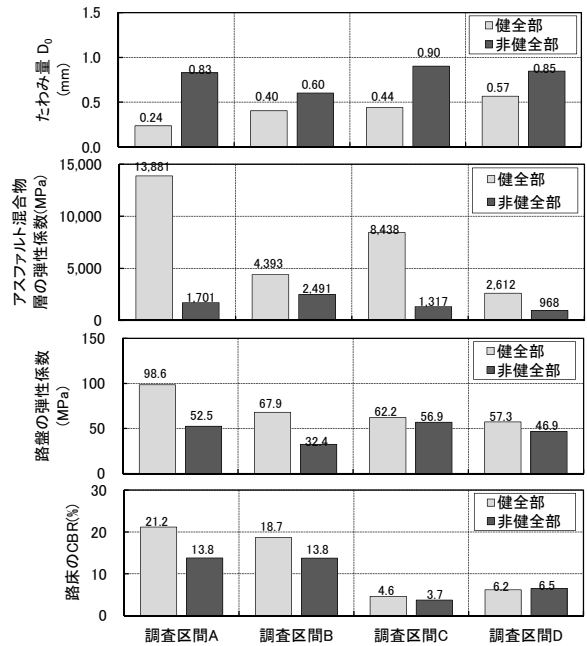


図-3 構造調査結果 (FWD 調査)

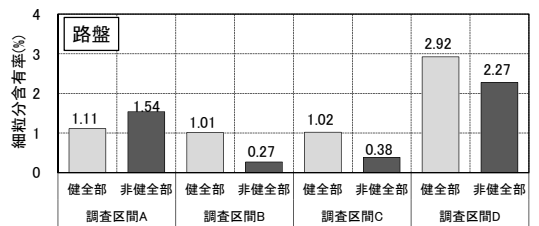


図-4 路盤の粒度試験結果 (細粒分含有率)

【成果の発表】

各種論文 (土木学会第 71 回年次学術講演会) 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。