新都市社会技術融合創造研究会　＜中間・事後評価一覧表＞

	プロジェクト名（研究期間）	プロジェクトリーダー（所属）	評価時期	評価結果	判定
1	「海岸近接部において耐候性鋼材（無塗装仕様）を使用する橋梁の環境計測技術に関する研究」（H28～H30）	神戸大学大学院 工学研究科 准教授　橋本　国太郎	事後	本研究は、耐候性鋼材における腐食環境について計測する技術を開発するものである。飛来塩分量の少ない地域においても、凍結防止剤や塩分や水分の溜まりが生じやすい部位など、腐食環境が異なる。そこで、濡れ時間と塩分量に着目し、鋼材の腐食量の予測を可能とする腐食予測式を提案した。腐食状態の予測手法としては、目視点検に代わり3D画像により鋼材の補修の要否を判定する手法を提案した。また、犠牲腐食材を用いて腐食環境モニタリングについても実用化の可能性を見いだすことが出来た。これら研究の成果は、実現場への適用が期待され十分に目標を達成されたものと評価できる。	A
2	「事前道路通行規制区間の解除のあり方に関する研究」（H28～H30）	神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 教授　鳥居　宣之	事後	本研究は、事前道路通行規制区間における解除基準の設定方法を検討するにあたり、「時間的」規制基準及び「空間的」規制基準の設定方法の提案を行った。「時間的」規制基準は、現行の「連続雨量」による解除基準に代わり「土壌雨量指数」と「実効雨量」に着目した解除基準を提案し、規制の適正化が図られることを示した。「空間的」規制基準は、道路管理区間外も含めた土砂災害の発生危険度を定量的に評価する手法が提案され、規制区間の解除の判断材料としての活用が期待できる。以上のことから、規制区間の解除のあり方への有用な研究成果と判断され、十分に目標を達成されたものと評価できる。	A
3	「ETC2.0プローブ情報の利活用の提案と効果分析に関する研究」（H28～H30）	法政大学　デザイン工学部 都市環境デザイン工学科 准教授　今井　龍一	事後	本研究は、ETC2.0プローブ情報を活用した交通流動の総量把握を始め、渋滞分析手法、生活道路の交通状況分析手法、交通施策による交通流動変化の分析手法等について開発した。交通流動の総量把握については、道路事業の必要性、優先度、交通需要マネジメント等の検討に資するものとして有用な手法で有り、各種分析手法については、具体的なフィールドに適用した試行を行いその有用性を確認した。これら研究成果は、今後の実用化が期待でき、十分に目標を達成されたものと評価できる。	A
4	「道路ネットワークの整備がもたらす広範なストック効果の計量化手法に関する研究」（H28～H30）	京都大学防災研究所 総合防災研究部門 教授　多々納　裕一	事後	本研究は、道路網形成による道路交通の信頼性の向上をはじめ、道路整備がもたらす多様な効果に着目し、3便益（時間・費用・事故）以外の評価項目も活用したストック効果の計量化のための方法論の構築を目指すもので、道路整備による立地促進効果や雇用促進効果が発現されるためには、インターチェンジ等へのアクセスの容易さや、地区計画等の道路整備との相乗効果を期待しうる開発計画の存在等が重要であることを示した。また、災害に対する抵抗力と回復力の2つの側面を同時に計量化する方法を示した。これらの成果は、今後、地域性や道路の特性に応じた改良を加える等により、事業評価への活用が期待でき、十分に目標を達成されたものと評価できる。	A
5	「道路事業における3次元データの利活用に関する研究」（H28～H29）	大阪経済大学 情報社会学部 教授　中村 健二	事後	本研究は、3次元データを活用した道路施設毎の維持管理支援の方策を検討するもので、「道路法面の変状把握」と「車道部の舗装評価」について変異検出の可能性を評価した。そのため、点群データの抽出技術の精度向上を図る手法を開発し、これにより法面のはらみ出しや、舗装のわだち掘れ等の変位を検出できる事を明らかにした。また、点群データと画像データを相互補完する事で、点検作業の省人化に寄与できる事を確認した。これら研究成果は、今後の維持管理への活用が期待でき、十分に目標を達成されたものと評価できる。	A
6	「橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準の策定」（H28～H30）	大阪大学 名誉教授　奈良　敬	事後	本研究は、橋梁の耐久性向上を目的とし、排水不良や漏水等、多様な要因に起因する腐食損傷について、定量的に評価する手法として腐食マトリクスを提案した。腐食マトリクスは、腐食環境、腐食負荷、腐食耐性の3つの指標を3段階に分類することで、27の状態で評価している。これを用いて橋梁の効率的な維持管理や、長寿命化対策の適切な判断に寄与するものとして活用が期待できる。以上のことから、十分に目標を達成されたものと評価できる。	A
7	「鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究」（H29～H31）	関西大学　環境都市工学部 都市システム工学科 教授　坂野　昌弘	中間	本研究は、疲労亀裂が発生しやすい鋼床版の縦リブと横リブの交差部を対象として、既設橋に対してはより効率的な補強工法を、新設・更新される鋼床版に対しては新しい構造を提案し、疲労耐久性の向上効果を検証する事を目的としている。これまでの研究により、FEM解析により実橋の応力状態を再現の上、既設橋に対する補強工法についてFEM解析での検討、疲労実験での検証を経て実橋での補強効果の検証を行った。今後は、新設・更新のための新しい構造に対しても同様にFEM解析での検討、疲労実験での検証、実橋での補強構造の検証を行う事で目標が達成されるものと期待される。	A
8	「道路資産管理高度化のためのデータベース構築に関する研究」（H29～H31）	京都大学大学院 工学研究科 准教授　松島　格也	中間	本研究は、日常管理で得られる記録の情報共有のあり方や、道路資産マネジメントシステムの実現に必要なデータベースの構築を目指すもので、道路巡回業務から得られるデータを用いて路面正常を判定し舗装補修戦略を提案できるマネジメントの方策を提案した。引き続きライフサイクルコストの低減に資する高度化されたアセットマネジメント手法を提案し、その上で適切なデータベースを構成の検討し、情報提供の適切な手法の提言が期待される。	A
9	「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」（H29～H31）	大阪大学大学院 工学研究科 准教授　貝戸　清之	中間	本研究は、橋梁部材の目視点検データの統計分析を通して劣化要因を特定するとともに、劣化予測モデルを用いた劣化速度の異質性に着目した補修施策の統計的プロファイリング手法を提示し、その手法の実証を行う。開発した橋梁補修施策プロファイリング手法では、必要な保全の程度によりグルーピングしたグループ毎に最適な補修戦略を決定でき、実務的な有用性が高い。今後は、具体的なグルーピングを行った各グループの補修施策を提示するとともに、実務との整合性を比較検証するとともに、補修工法の相違による補修効果の評価手法の開発などを行う事としており、実務での活用に向けた研究成果が期待される。	A
10	「ICRT技術を活用した高精度かつ効率的な斜面・法面点検技術の開発」（H29～H31）	岡山大学大学院 環境生命科学研究科 教授　西山　哲	中間	本研究は、法面・斜面において3次元レーザデータを活用して危険箇所を抽出し、斜面崩壊・落石災害の未然防止の実現を目指す。そのため、電子基準点を利用した高精度測量が可能なドローンによる計測技術を構築し、計測したレーザ点群データの自動判読技術について、汎用債を備え、低コストで実現させた。これらにより効率良くかつ見逃しの無い点検を低コストで簡便な方法により高度化している。今後は、これを実用化させ普及化を図ることにより危険箇所を漏れなく確実に調査することが出来る事から、更なる研究成果が期待される。	A
11	「移動体通信データを活用した行動推定に基づく観光交通対策の優先順位最適化」（H29～H31）	京都大学　経営管理大学院 教授　山田　忠史	中間	本研究は、移動通信データを活用してパークアンドライドなどの観光交通対策における優先順位の最適化を図るもので、ETC2.0より得られるデータにより、自動車観光交通の経路や駐車場の選択行動の推定、及び公共交通との連携を考慮した駐車場の整備順序を明らかとする計算モデルを示した。このモデルを実際の交通ネットワークに適用して試算を行い、駐車場の位置・整備順序・規模・料金について有用な知見を得た。引き続き、より広範なエリアの交通ネットワークにおいて試算を行うことで一層の精緻化に取り組み、より実際的なものとすることで実社会への導入に向けた研究成果が期待される。	A
12	「トンネル点検支援技術の高度化に関する研究」（H30～H32）	日本工業大学　基幹工学部 准教授　石川　貴一朗	中間	本研究は、工期・コスト・安全・労働環境・精度・熟練技術者の確保等が課題となっている道路トンネル点検において、トンネル走行型計測により得られるデータ及びAI解析の活用による健全度診断システムの構築を目指すものである。初年度の研究成果としては、ひび割れやうき、はく落等の変状に対してトンネル走行型計測による検出能力、精度について検証を行った。また、画像データ、計測データへのAI技術の活用による変状抽出手法について検討した。今後は、点検～診断～対策のメンテナンスフローにおいて重要となる3次元データ、地山状況、施工方法等のデータベースの保管、活用方法について検討を行い、効果的・合理的なスマートインフラマネジメント手法の確立が期待される。	B

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「海岸近接部において耐候性鋼材（無塗装仕様）を使用する橋梁の環境計測技術に関する研究」

プロジェクトリーダー
・氏名：橋本　国太郎（はしもと　くにたろう）
・所属、役職：神戸大学大学院工学研究科市民工学専攻、准教授

研究期間：平成28年9月～平成31年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
富山大学、㈱横河ブリッジホールディングス、㈱セイコーウェーブ

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

近年，日本では耐候性鋼材を使用した鋼橋が多く建設されており，その維持管理に関する問題も多くなってきている．橋梁建設前の飛来塩分などの腐食環境調査により，飛来塩分が少ない地域では無塗装で耐候性鋼材を使用することができる．しかしながら，凍結防止剤の散布や橋梁の構造に起因する局所的な腐食環境の変化（湿気がこもり易い構造や塩分・ごみの堆積等）などにより，保護性さびが生成されず腐食損傷する場合がある．また，このような耐候性鋼橋を目視点検する場合，調査する人の技量の違いにより，調査結果にばらつきが生じることや定期点検間に腐食環境が変化し腐食が進行した場合，それを把握するすべがないことが懸念されている．さらに，塩分環境を調査する際に用いられるドライガーゼ法による飛来塩分調査では，橋梁の局所的な場所における塩分量の測定は難しく，そのような部位の腐食量を定量的に導き出すことが難しい場合もある．

そこで，本研究では，（1）ドライガーゼ法より精度が高く簡易な腐食環境調査により耐候性鋼橋の腐食環境を評価する手法，（2）定期点検時の目視点検の精度を補完する手法や詳細調査時の腐食状態をより簡易に評価する手法，（3）点検間の状態を把握するために簡易な腐食モニタリング手法を開発することを目的に研究を進めた．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

上述した目的を達成するために実施する具体的な研究内容として，（1）は，ドライガーゼ法に代わり，付着塩分量計測と濡れ時間計測を行うことでより高精度の腐食環境評価を行う手法を開発する（以下，腐食環境評価法の開発）．（2）は，目視点検に代わって，ポータブル 3D スキャナとさび厚測定を用い，判定結果のばらつきをなくし高精度かつ簡易に腐食状態を評価する手法を開発する（以下，腐食状態評価法の開発）．最後に（3）では，犠牲腐食材を設置し，それが腐食破断することで，アラームが作動する装置を開発し，簡易に腐食状態をモニタリングする手法を開発する（以下，腐食モニタリング手法の開発）．これまでに実施した研究内容を項目毎に分けて示す．

（1）腐食環境評価法の開発：平成30年度は，29年度実施した恒温恒湿試験によって得られた結果を分析した結果，鋼材の濡れ時間に大きく影響する因子として湿度および付着塩分の存在が挙げられた．また，風の影響によっても濡れ時間が変化する傾向があったため，それらの影響をより精緻に把握するため，パラメータとして温湿度だけでなく，付着塩分濃度やその種類，風速や風向の影響が濡れ時間に及ぼす影響を29年度と同様の試験機を用いて詳細に検討した．なお，29年度は種々のセンサを使用したが，ここでは対象が鋼材の濡れであるため，Fe タイプの ACM センサを用いた．温湿度の計測は昨年度と同様に USB タイプの温湿度ロガーを使用した．（図-1：試験の様子）



図-1　恒温恒湿試験

（2）腐食状態評価法の開発：昨年度までの成果を踏まえ，腐食状態をより精度よく評価するために，それまでのさびの表面凹凸計測以外に，さびの色調による評価ができるかどうか，検討を行った．色調は静止画像から画像分析を行い，RGB のばらつきなどによって評価する手法を考案した．また，ワッペン試験を実施している場所は腐食環境がマイルドな環境であるため，より厳しい腐食環境における耐候性鋼のさびや腐食状態のデータを収集するためにそのような環境での暴露試験を実施した．

（3）腐食モニタリング手法の開発：平成30年度は，犠牲腐食材に使用する耐候性鋼材ワイヤ（3種類の径を用意）による腐食促進試験を実施し，その結果を分析した．また，ワッペン試験片も同時に腐食促進試験することで，各耐候性ワイヤとの比較を行い，犠牲腐食材としての性能評価を行った．

※　本様式は中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。
※　本様式は成果報告書とともに、中間・事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

プロジェクトの研究成果の概要（図表・写真等を活用しわかりやすく記述）

（1）腐食環境評価法の開発

恒温恒湿槽を用いた試験で，温湿度や付着塩分濃度を変化させて得られた ACM センサの腐食電流量（μA）と湿度との関係（片対数グラフ）を図-2に示す．この図より，塩分濃度や湿度が増加すると腐食電流量（濡れ時間）が増加することがわかる．ただし，塩分濃度の値に限界値が存在することもわかる．さらに風速や風向を変えた結果，あまり図-2と変わらない傾向が得られ，風は腐食にあまり影響しないこともわかった．これは試験装置内の湿度が一定であることが影響したと考えられる．

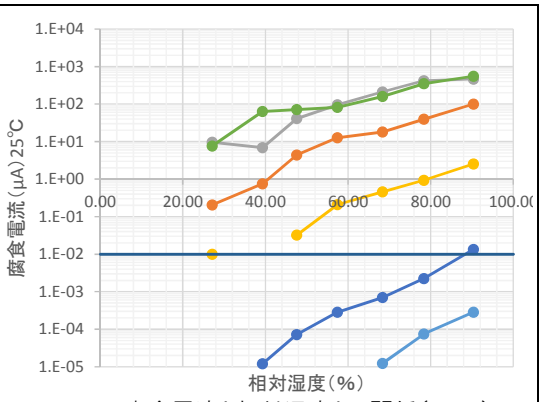


図-2　腐食電流と相対湿度との関係（25℃）

これらのパラメータ試験の結果，腐食電流量 A（μA）と温度 T（℃），相対湿度 H(%)，付着塩分量 Ca(mg/cm^2)には以下のような関係があることを導き出した．

$$A = a \cdot Ca^{b} \cdot e^{(c \cdot T + d \cdot H)}$$

ここに，a, b, cおよび dは定数である．なお，相対湿度 50 %以上，温度 10～35 ℃，塩分量 0.01～1 mg/cm^2 の範囲では，a=0.6，b=1.0，c=0.04，d=0.06 とすると式（1）による予測電流量と測定電流量との間に強い相関が見られた．さらにこの式と過去の知見で得られた腐食量と腐食電流量との関係式を用いることで，鋼材の腐食量を予測することができる．

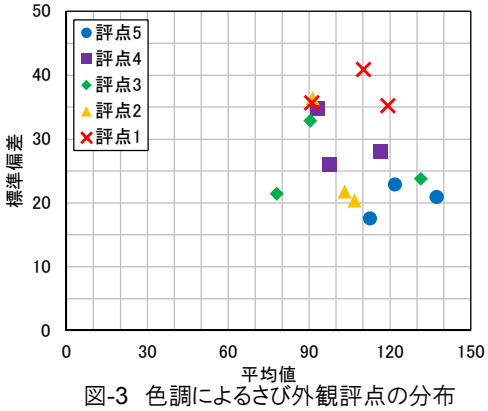


図-3　色調によるさび外観評点の分布

（2）腐食状態評価法の開発

色調による評価の一例として，RGBのうちR値の標準偏差と平均値と評点との関係を図-3に示す．これにより評点と色調にはあまり関連性がない結果となっていることがわかる．

また，3Dスキャナでさび表面の凹凸を測定し，その標準偏差とさび厚平均値をプロットしたものが図-4になる．図-4には昨年度得られた結果にさらに日本橋梁建設協会で販売されているさびサンプルに対して，同様の計測を行った結果も示している．この図より，昨年度来提案しているさびの評点2と3の閾値（3Dスキャナ標準偏差）は200 μm であること確認できる．

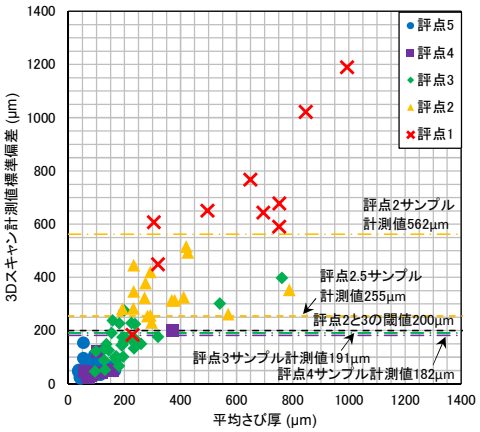


図-4　凹凸標準偏差とさび厚平均値との関係

（3）腐食モニタリング手法の開発

犠牲腐食材として耐候性鋼材ワイヤの腐食促進試験を行った．また板厚減少量として換算するためにワッペン試験も同時に試験した．その結果，図-5に示すように，犠牲腐食材のワイヤ径の減少量とワッペン試験片の板厚減少量との関係に比例関係が見られ，3種類のワイヤ径の影響はほとんど見られず，どの径に対しても，同じ板厚減少量として評価できることが分かった．

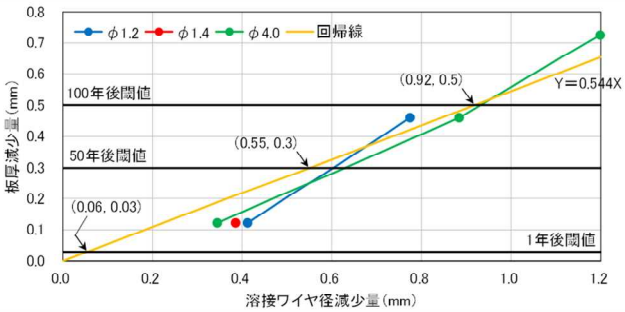


図-5　溶接ワイヤ径減少量と板厚減少量の関係

また，ワイヤに施されていた表面のメッキの関係上，φ1.4 がφ1.2 に比べ早期に腐食破断した．このため，実際に使用したい環境に応じてワイヤの種類や径を使い分ける必要があることが分かった．

※　本様式は中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。

※　本様式は成果報告書とともに、中間・事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「事前道路通行規制区間の解除のあり方に関する研究」

プロジェクトリーダー
・氏名（ふりがな）：鳥居宣之（とりいのぶゆき）
・所属、役職：神戸市立工業高等専門学校 都市工学科 教授

研究期間：平成 30 年 4 月～平成 31 年 3 月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
学：神戸市立工業高等専門学校，大阪産業大学，関西大学，立命館大学，大阪大学，（一財）建設工学研究所
産：（株）ダイヤコンサルタント，国際航業（株），（株）気象工学研究所，アーステック東洋（株），復建調査設計（株），応用地質（株），エイト日本技術開発（株），明星電気（株），計測技研（株），地球観測（株），i システムリサーチ（株）
官：国土交通省近畿地方整備局，近畿技術事務所，兵庫国道事務所，福知山河川国道事務所

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

道路ネットワークの信頼性を向上させるためには，異常気象時通行規制区間において，①適切な通行規制の解除基準を設けることで通行止め時間の適正化を図ること（「時間的」解除），②通行規制区間内で発生が想定される土砂災害に対して，その災害発生危険箇所と被災規模等を定量的に評価し，その評価結果に基づいて，斜面対策工などの適切な対策を行うことにより安全性を確保した上で通行規制区間を解除（もしくは短縮）すること（「空間的」解除）が重要である．本研究プロジェクトでは，地盤工学，斜面防災，砂防工学，気象，現地計測，数値解析の知見に基づいたこれら 2 つの解除基準のあり方の検討ならびにその設定方法を提案するため，3 つの WG（降雨特性評価研究 WG，「時間的」解除基準検討 WG，「空間的」解除基準検討 WG）による検討を行っており，得られた成果を今後の道路の効率的かつ効果的な管理に資することを目的としている．なお，本研究プロジェクトでは，国道 28 号線の炬口ならびに塩尾規制区間を対象に検討を行った．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

一般的な豪雨時の斜面崩壊の発生メカニズムについて考えてみると，①降雨によって雨水が斜面内の土中に浸透，②基盤となる不透水層で地下水の発生・上昇，③斜面方向へ浸透流の発生，④土塊の自重増加やせん断強度の低下，というプロセスで斜面崩壊が発生すると考えられている．すなわち，斜面崩壊の発生には土中の水分量が大きく影響しており，土中の水分量を考慮することが重要である．現行の国道の通行規制・解除基準である「連続雨量」は降雨指標であるため，斜面崩壊の発生メカニズムにおいて重要である土中の水分量を十分には考慮できていない．そこで，「時間的」解除基準検討 WG では，土中の水分量を考慮する指標として，「土壌雨量指数」と「実効雨量」に着目し，これらを用いた通行規制・解除基準の設定方法について検討を行った．

「土壌雨量指数」を用いた通行規制・解除基準として，土壌雨量指数と 60 分間積算雨量を併用した通行規制・解除基準の設定方法を提案することとし，基準となる CL の設定方法として，高速道路の通行規制基準の考え方を参考にした確率雨量を用いる方法（図 1 参照）と土砂災害警戒警報の考え方を参考にした RBFN を用いる方法（図 2 参照）を用いた．提案したいずれの基準も，過去の災害事例を捕捉しており，また，提案した CL を通行規制・解除基準とした場合，規制時間を 1/10 程度に低減できることを示した．

「実行雨量」を用いた通行規制・解除基準としては，降雨データのみから算出できる実効雨量を斜面安定解析より得られた安全率との相関性を調べ，実効雨量算出の際に重要となる半減期について，安全率と最も相関性の高

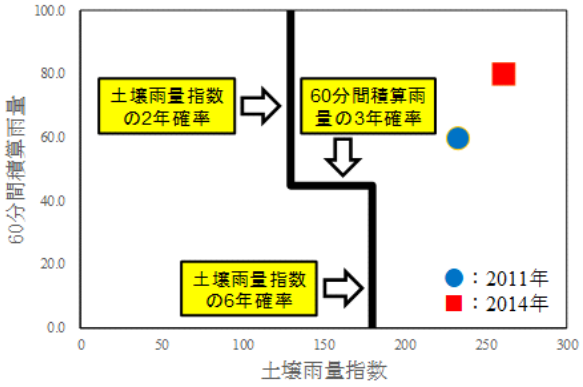


図 1 確率雨量を用いた通行規制・解除基準

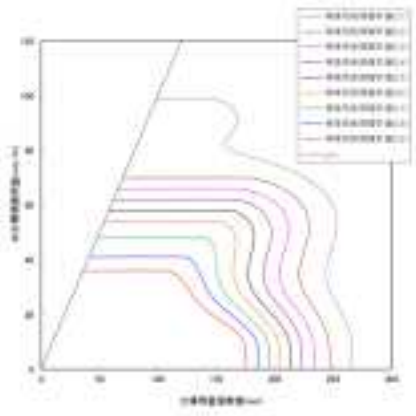


図 2 RBFN による通行規制・解除基準

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

いものを選定することで，実効雨量による雨量通行規制の基準雨量を設定する手法を提案した．その結果，半減期 96 時間，実効雨量 260mm で通行規制の発令・解除を行うことで，解析上，斜面の安全率が 1 を下回っている時間帯を概ねカバーすることができることがわかった．また，実効雨量が最大値をとってから 4 時間以内に，安全率が最小となる傾向があることから，このことを利用した通行規制解除の基準を設定したところ，長時間に及ぶ通行規制について適正化が図れることを示した．

国道における通行規制区間の解除や緩和は，管理区域外からの土砂災害（いわゆるもらい災害）が懸念されることなども要因となって，ピーク時の昭和 52 年度の 224 区間から平成 27 年の 175 区間と約 2 割しか減っていないのが現状である．したがって，規制区間の「空間的」解除を目指すには，通行規制区間内の道路管理区域内の斜面からの土砂災害だけでなく，管理区域外からの土砂災害に対する安全性についても検討しておく必要があるといえる．「空間的」解除基準検討 WG では，規制区間の「空間的」解除基準として，事前に規制区間に影響を及ぼす範囲（道路管理区域外も含めた）における土砂災害の発生危険度（場所や規模など）を定量的評価手法により評価し，さらにその評価結果に対する対応が現状の対策工等で十分に行われているか否かで評価する解除基準が必要であると考えた．

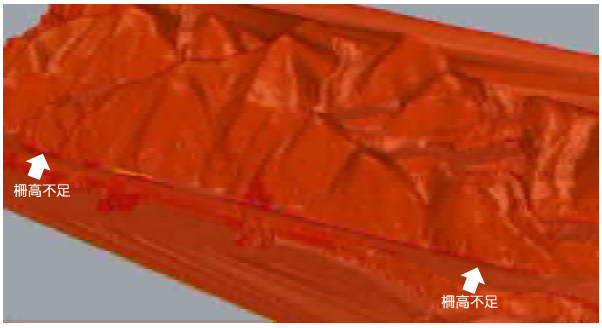


図 3　跳躍面高モデルと構造物モデルの重ね合わせ

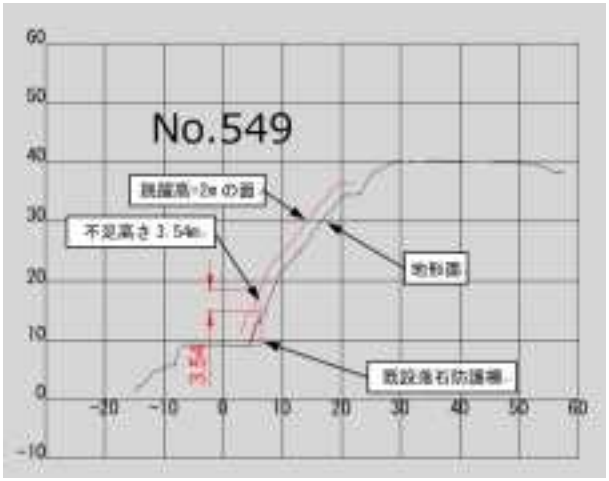


図 4　構造物高と跳躍高面の差分抽出状況

土砂災害の発生危険度評価手法として，「落石」については，航空レーザ測量等により計測された点群データを用いて落石の発生源を抽出する手法を，「表層崩壊」については，浸透流解析と斜面安定解析を組み合わすことで広域を対象とした表層崩壊の発生危険度を評価する手法を，「土砂流出」については，インターバルカメラによる渓流の流況の観察結果をもとにして流域内の貯留過程を再現し突発的な流出を表現できる流出解析モデルを示した，土砂災害に対する対策工効果の評価手法として，LP 計測による詳細な地形計測データを活用することで規制区間沿いの現状の対策工の効果を効率よく評価する手法（図 3，4 参照）を示した．これらの手法を規制区間に適用することで，管理区域外からのもらい災害も含めた土砂災害に対する安全性について，地盤工学ならびに砂防工学的な観点から定量的な評価を行うことができ，通行規制区間の「空間的」解除を検討する上での判断材料になると思われる．

短時間で急速に発達する積乱雲による集中豪雨の予測は，空間的にも時間的にも非常に困難である．通行規制区間近傍の国道沿いに設置された 1 点の雨量計（テレメータ）による観測値に基づいて，通行規制の発令・解除が行われている現在の雨量観測体制では，このような集中豪雨による降雨を十分に捉えきれない可能性も懸念されている．したがって，「時間的」かつ「空間的」解除の議論をするためには，通行規制区間における「時間的」かつ「空間的」な降雨特性を把握し，現状の雨量観測体制の評価を行うことが重要である．そこで，降雨特性評価研究 WG では，通行規制区間における降雨特性の把握ならびに観測体制の評価を実施した．その結果，規制区間近傍に設置した雨量観測点や気象庁のレーダーアメダス解析雨量の観測結果から，規制区間に跨る範囲内で顕著な雨量の南北勾配が存在していたこと（降雨量が多いほどその傾向が大きくなる）を示すとともに解析雨量値を観測雨量値で補正することにより，規制区間内のテレメータが設置されていない地点における雨量値も推定することが可能であることを示した．

さらに，規制区間内の 6 時間先までの雨量予測情報の高度化検討として，雨量観測情報を活用した気象庁降水短時間予報の補正する手法についても検討した．その結果，単一の補正予測手法に頼らない，アンサンブル予測の適用により予測精度が向上することを示した．

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「ETC2.0 プローブ情報の利活用の提案と効果分析に関する研究」

プロジェクトリーダー

・氏名（ふりがな）：今井　龍一　（いまい　りゅういち）

・所属、役職：東京都市大学工学部都市工学科、准教授

研究期間：平成28年9月～平成31年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）

中央復建コンサルタンツ株式会社、株式会社NTTドコモ、関西大学、大阪経済大学

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

社会全体で総人口と労働力人口が減少する中で、地域の経済力を維持するためには生産性の向上が必要となる。また、地方創生が進められる中で、地域観光の活性化に大きな期待が寄せられている。地域の経済力と活力の向上に資する道路インフラネットワークの戦略的な整備・管理運営が道路交通政策に対して求められている。

「関西広域地方計画（計画原案）」（平成 28 年2月　国土交通省）では、近畿圏の将来像として、①スーパー・メガリージョンの一翼を担うため、知的滞留拠点機能を強化した次世代産業を育成すること、②圏域中央部から北部・南部まで、各地の個性を活かした多様な観光インバウンドの拡大を図ることが示されている。近畿圏は、産業などの諸機能が集積し、個性的かつ多様な地域で構成されている特徴を有しているものの、ヒト・モノ・カネ・情報の東京一極集中により、相対的な格差が広がっている。近畿圏の将来像を実現する一方策として、道路交通政策においては、ミッシングリンクの解消や渋滞ボトルネック対策といった課題に対応する必要がある。

これらの道路交通課題に効率的かつ戦略的に取り組むには、マクロ・ミクロの多角的観点による道路交通流動の実態把握が極めて重要である。その中で、ETC2.0 プローブ情報は根幹を担う我が国の資産である。

本研究の目的は、上記の背景認識に基づき、近畿圏における各種道路事業の必要性および整備優先度の分析・検討や広域的かつ時間単位の道路交通需要マネジメントの検討・実施に資する新たな基礎技術の開発とする。具体的には、ETC2.0 プローブ情報から得られる知見の最大化を目指し、各種外生データも積極的に活用しながら、プライバシー保護を踏まえた個別車両の OD や走行経路の把握手法、時空間の連続性を担保した交通流動の総量把握手法の研究開発と、その利活用方策の検討および効果分析を行うものである。

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

本研究は、以下の5つの段階で実施した。

① ETC2.0 プローブ情報の基本特性分析
② 起終点判別手法の開発
③ 走行経路補完手法の開発
④ 走行経路付き OD の拡大手法の開発
⑤ 道路管理者ニーズに即した具体的利活用方策の考案

年度別の研究項目

	研究項目	H28 1年目	H29 2年目	H30 3年目
①	ETC2.0プローブ情報の基本特性分析 基礎集計、データ取得状況、エンジンON/OFF特性などデータ特性の把握	分析	（継続）	（継続）
②	起終点判別手法の開発 土地利用状況等を考慮したODの把握手法の開発（高度化）	仮説	仮説・一部実証	実証
③	走行経路補完手法の開発 RSU（ITSスポット、経路情報収集装置）の位置や道路種別などを考慮した走行経路の把握・補完手法の開発	仮説	仮説・一部実証	実証
④	走行経路付きOD拡大手法の開発 常時観測交通量や道路交通センサス交通量などを用いた拡大手法、交通流動の総量把握手法の開発	—	仮説	実証
⑤	道路管理者ニーズに即した具体的利活用方策の考案 近畿地方整備局における重点対策等の対象となっている実フィールドにおけるETC2.0 プローブ情報の利活用方策の考案、試行	—	仮説・一部実証	実証

平成 28 年度は、ETC2.0 プローブ情報の基本特性分析に主軸を置き、ETC2.0 プローブ情報の各様式に対する分析項目を体系化したうえで、網羅的かつ徹底的な基礎分析を実施した。さらに、ここで得られた基本特性に関する知見を踏まえた分析手法の仮説を立案した。

平成 29 年度は、基本特性分析を継続（関係者間で共通認識を持つべきモニタリング項目の具体化など）するとともに、起終点判別手法、走行経路補完手法の仮説の具体化、手法の深化に取り組み、交通流動の総量把握手法の全体構造を考案した。さらに、一般道の渋滞分析手法、生活道路の通過交通の分析手法など道路管理者ニーズに即した具体的利活用方策を考案した。

平成 30 年度は、3 年間研究のとりまとめとして、各開発手法を試行するとともに、実務展開を強く意識した道路管理者ニーズに即した分析を実施（具体的なフィールドに適用）し、その有用性を確認した。ここでは、データ取得状況をモニタリングできる国道事務所毎のカルテ自動生成ツールの作成、収集データの精度向上に向けた RSU の最適配置箇所の選定手法の開発もあわせて実施した。

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

プロジェクトの研究成果の概要

（1）ETC2.0 プローブ情報の基本特性分析

各分析手法の開発の基礎情報の獲得および定型的に把握すべき事項（モニタリング項目）の体系化を目的として、本分析を実施した。基本特性をモニタリングした結果、たとえば、ETC2.0 プローブ情報の取得状況が大幅に増加傾向であること（2016 年 4 月から 2018 年 4 月のデータ取得台数の推移は、小型車で約3倍、大型車で約 10 倍）など、関係者が共通認識を持つべき重要な知見が得られた。

（2）交通流動の総量把握手法の開発

交通流動の総量把握に向け、起終点判別手法、走行経路補完手法、自動車 OD 生成手法、拡大手法の一連の手法を開発した。ETC2.0 プローブ情報および携帯基地局運用データを用いた交通流動の推計を実施した。各手法のうち、起終点判別手法、自動車 OD 生成手法は実用可能な水準と考える。

（3）一般道主要渋滞箇所の交通状況分析

ETC2.0 プローブ情報の特長である右左折進行方向別の地点速度や区間速度（平均旅行速度）を活かした渋滞分析手法を開発した。地点速度を活用することで、面的かつ複数の交差点によるボトルネックの把握（抽出）する手法を開発した。さらに、京都市内を対象に本手法を試行し、現地調査により手法の有用性を確認した。

（4）生活道路交通の実態把握に関する分析

ETC2.0 プローブ情報の特長である生活道路の走行データを活かした生活道路の交通状況分析手法を開発した。ETC2.0 プローブ情報の OD・経路情報と組み合わせた通過交通の分析手法を開発した。さらに、兵庫県伊丹市内を対象に本手法を試行し、現地調査により手法の有用性を確認した。

（5）道路交通施策による交通流動変化の分析

新都市社会技術融合創造研究会の委員からも要望のあった道路交通施策による交通流動変化の分析（新名神高速道路開通の影響把握、高速道路料金体系シームレス化の影響把握）の手法を開発し、実データで適用した。

（6）その他（アウトリーチ活動）

積極的にアウトリーチ活動を実施するという方針のもと、国内・海外 20 編の論文を発表した（査読付き論文 3 編、講演論文 17 編、平成 31 年 3 月時点）。



3 年間研究の総括

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「道路ネットワークの整備がもたらす広範なストック効果の計量化手法に関する研究 」

プロジェクトリーダー
・氏名（ふりがな）：多々納裕一（たたのひろかず）
・所属、役職：京都大学・防災研究所、教授

研究期間：平成 30 年 4 月～平成 31 年 3 月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
京都大学、神戸大学、鳥取大学、日建シビル、システム科学研究所

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

道路事業の便益として、走行時間短縮、走行費用減少、交通事故減少といういわゆる３便益が計量化の対象とされてきたが、それ以外にも、所要時間信頼性の向上の効果、災害時においてもネットワークの連結性が保証されるリダンダンシー増加の効果など、直接的な効果ですら、評価の対象とされていな い。この直接効果は、道路の利用者が直接享受するものであるが、道路整備によって間接的にもたらされる産業や住宅立地の変化、それに伴う地域総生産や厚生水準の変化など、直接効果だけでは必ずしも 十分に評価しえない便益をももたらしていると考えられている。これは近年「ストック効果」として道路整備の効果として認識されつつある。本研究では、道路網形成による道路交通の信頼性の向上をはじめ、道路整備がもたらす多様な効果に着目し、3 便益以外の評価項目も活用した事業評価手法に関する研究を実施する。

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

(1) ストック効果計量化の意義と課題

道路ネットワークの整備がもたらす広範なストック効果の計量化手法に関する研究の基礎情報として、既往の研究やレポートをもとに、諸外国や都道府県等で実施されている便益評価項目をレビューした上で、道路ネットワークがもつ多様なストック効果の考え方を整理し，その計測可能性を検討した。

交通3便益として計量化されている便益は紛れもなくストック効果であるが、計量化が困難である等の理由によって便益として計量化されていない便益も少なからずあり、それらを便益に反映するための方法論の開発は今後とも継続していく必要がある。その一方で、道路整備の必要性を構成する要素（機能）に関しては、単に便益の変化として計量化することを目指すのではなく、機能そのものの改善状況を示し、それを国民に問うことの必要性が増してきているものと考えられる。これは、ストック効果の「見える化」であり、道路管理者が果たすべき説明責任として実施すべき内容である。道路整備が達成する機能の水準が実際に達成されたのか、否か、どういう条件でそれが可能となったのか（ならなかったのか）を明らかにするうえでも、特に、事後評価においてデータを収集・解析し、今後の道路整備へフィードバックしていく仕組みの確立が求められている。本研究では、このような問題意識から、①道路整備と立地変化、②道路整備に伴うレジリエンスの向上効果、に的を絞り、検討を進めた。

(2) 道路整備と立地変化に関する検討

道路整備によって生じる立地変化を把握するために、主として差の差分析を用いる方法を提案し、第二京阪道路の整備が実際に立地や他の社会経済指標に影響を及ぼしたのかを分析した。その結果、概ね 2km 圏までのエリアに対して道路整備の影響が見出されること、製造業の雇用に関しては概ね中間財投入比率の高い産業の雇用をもたらす効果があることが確認された。

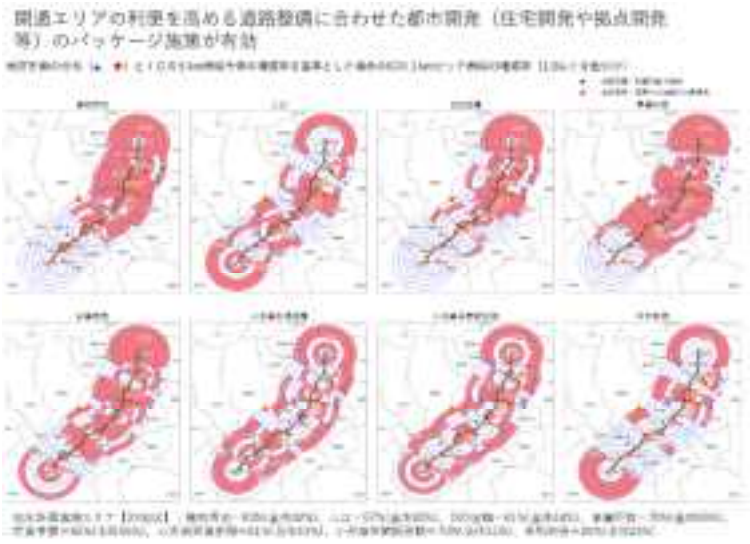


図-1 都市開発とのパッケージ施策の有効性

高速道路は多くの場合山間部等、本来は開発ポテンシャルの低い地域に計画されることが多い。このための高速道路が整備効果を発現するためには、整備に合わせた都市開発（住宅開発や拠点開発等）のパッケージ施策が有効であると考えられる。都市開発（住宅開発や拠点開発等）に関連する地区計画を持つエリアは他のエリアに比べて、建物用地、人口、小売業売

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

プロジェクトの研究成果の概要（図表・写真等を活用しわかりやすく記述）

り場面積、小売業年間販売額等が高くなる傾向が見出された。このことは、道路整備の「効果を引き出す」ためには、住宅開発や拠点開発等の都市開発と連携して進めていくことが有効であることが示唆された。

結果の一般性を検討するために全国の高速道路とその背後圏を対象とした分析も実施した。その結果、(1)高速道路整備が雇用密度に及ぼす効果はおおよそ 4km 圏まで波及し，とりわけ 2km 圏内で大きくなること、2)IC 周辺地域（2km 圏)において運輸業、の外側地域（4km 圏)において製造業の雇用が増加する傾向があること、3）JCT に併設する IC の開設は，通常の IC 開設と比べて約 8 倍の雇用促進効果があること等が明らかとなった。

表-1 IC が併設している JCT 周辺での雇用促進効果（DD 回帰）



(3) 道路整備に伴うレジリエンスの向上効果

小規模・多地域に対応した空間的応用一般均衡モデル(284 ゾーン、17 セクタ)を用いて、災害によって生じる道路ネットワークの寸断が経済活動に及ぼす影響を分析するためのモデルの改善方法を示し、和歌山県南部地域おけるケーススタディを通じて改良の効果を検討した。具体的には、労働や資本の移動可能性に制限を設け、短期の影響を分析する方法を提示するとともに、交通均衡をモデルに組み込み被災した道路ネットワークによって生じる混雑の影響も考慮したモデルの構築方法を示した。その結果、従来型の分析に比べると、紀勢線の整備に伴って生じるリダンダンシーの効果がより高く算定されうることが示された。

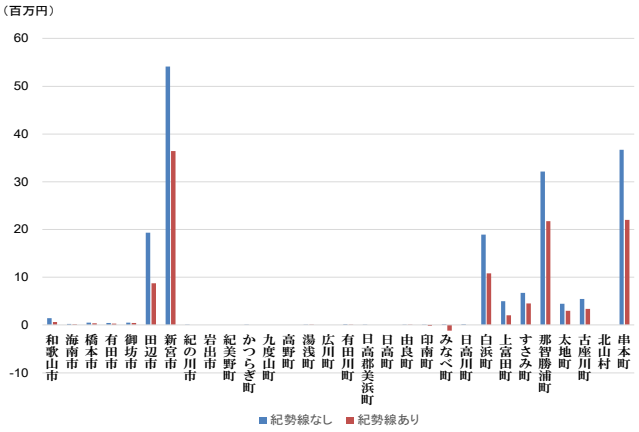


図-2 和歌山県内への帰着被害額

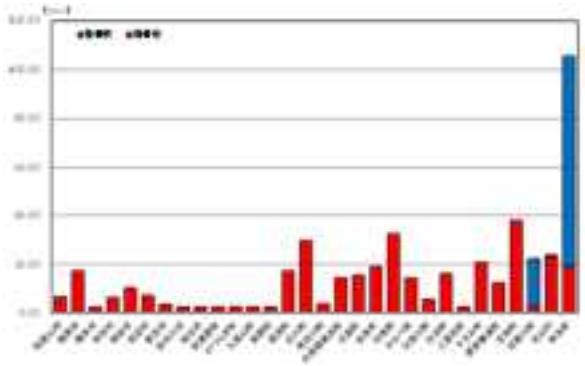


図-3 救命・救急機能に関するレジリエンスの評価結果

紀勢線の整備は、経済活動の維持のみならず、早期の道路啓開に貢献し、災害直後の救命救急を可能にし、また、緊急支援物資輸送の効率化（迅速化）にも資する。これらの効果を災害に対する抵抗力と回復力の 2 つの側面を同時に考慮した指標としてレジリエンス指標を定義した。その上で、紀勢線の整備によって生じるレジリエンス機能の向上を計量化する方法を示し、紀勢線の整備を事例としてその試算を行った。

以上、本研究は 2.道路整備と立地変化、及び、3. 道路整備に伴うレジリエンスの向上効果の計量化に関して、有益な知見を提供しえたものと考える。少なくとも、道路整備の進捗状況、社会経済変化はもとより、関連する開発計画を含む一層体系的なデータ整備が必要である。災害に関連した分析を行うには、被災状況と復旧日時の情報にとどまらず、復旧のための投入資源量や仮復旧時の道路機能（共用車線数、規制状況）、その際に特になされた工夫（民有地の一次借り上げ、仮設道路の建設）等もあわせたデータベースの構築が望まれる。

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「道路事業における 3 次元データの利活用に関する研究」

プロジェクトリーダー
・氏名（ふりがな）：中村　健二（なかむら　けんじ）
・所属，役職：大阪経済大学情報社会学部，教授

研究期間：平成 30 年 6 月～平成 31 年 3 月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
大阪経済大学，関西大学，東京都市大学，i システムリサーチ株式会社，大林道路株式会社

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

建設業界の生産性向上と高効率化を目的に，3 次元情報を積極的に活用する取り組みである「i-Construction」が推進されている．これらの 3 次元情報を下流工程にあたる完成図書の作成や検査，さらに維持管理に展開すると，発現効果が一層大きくなると期待できる．そこで，本研究では，施工中に生成される3次元情報を道路工事完成図書に関連付けし，その後の維持管理にて活用する技術の開発を目指す．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

本研究プロジェクトの平成 30 年度の実施内容と社会実装の取り組みとの関係を図1に示す．本年度はⅠ～Ⅴの実施項目と，研究成果の社会実装に関わる取り組みを実施した．それぞれの実施内容を概説する．

Ⅰ．道路施設毎の点群データ抽出技術の高度化

平成 29 年度に開発した，道路施設毎の点群データを抽出する手法の課題である「点群データと図面とのズレによる課題」と「道路面地物に高低差がある際の課題」を解消し，高精度化を目指す．

Ⅱ．道路地物毎の変状検出の可能性検討

本実施項目では，「道路土工構造物」と「小規模附属物」の点検項目に対して，点群データ（Mobile Mapping System 等）や画像データによる検出の可能性を整理し，点群データを用いた変状検出の可能性を明らかにする．

Ⅲ．点群データを用いた地物の変状検出技術

本実施項目では，平成 29 年度に施行結果により明らかとなった「2 時期の道路地物単位の点群データの重ね合わせによる差分では道路地物の部分的な変状（剥離やはらみ出しなど）を検出できない課題」を解消した新たな変状検出技術を開発する．本年度は，図2に示す通り，2 時期の点群データから基準となる値を抽出し，基準となる値を比較して差分を抽出することで，変状検出の可能性を評価する．

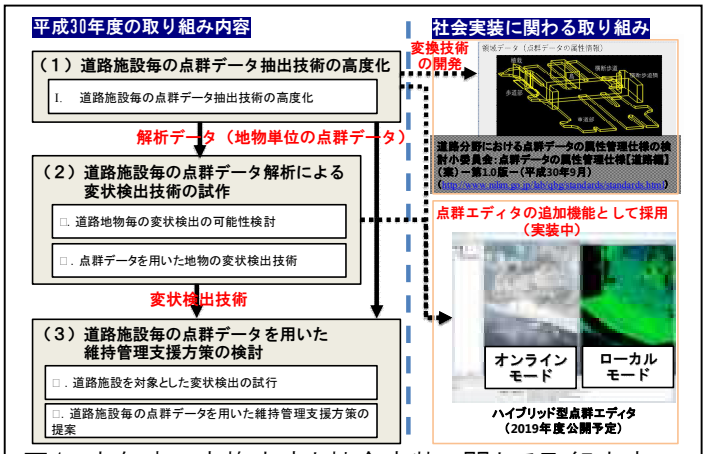


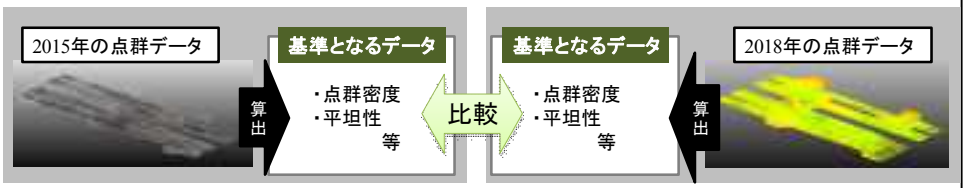
図1　本年度の実施内容と社会実装に関わる取組内容

Ⅳ．道路施設を対象とした変状検出の試行

本実施項目では，道路法面及び車道部の舗装を対象として，変状検出の可能性を評価する．なお，車道部の舗装の変状検出に関しては、大林道路社と土木研究所が共同研究にて開発したコンター図生成手法を用いて，車道部毎の変状検出の可能性を評価する．

Ⅴ．道路施設毎の点群データを用いた維持管理支援方策の提案

本実施項目では，提案プロジェクトの 3 か年の研究内容を踏まえ，点群データを活用した道路施設毎の維持管理支援の方策を検討する．



基準となるデータ	評価粒度	詳細
点群密度	グリッド	グリッド毎に内包する点群データから点群密度を算出
点群領域の外形の体積	全体	一定標高毎の外形線の面積から高さをかけることで外形の体積を算出
外形形状	全体	特定の方向（XY，XZ，YZ方向）に点群データを投影し，外形形状を算出
平坦性	グリッド	グリッド毎に点群データから近似平面を算出し，ばらつきを評価
標高値（最高最低値）	グリッド	グリッド毎に内包する点群データの高さ（最大－最小）を算出
グリッド（大）の法線ベクトル	グリッド	大きなグリッド毎に近似平面を生成し，面の向きを算出
グリッド（小）の法線ベクトル	グリッド	小さなグリッド毎に近似平面を生成し，面の向きを算出
反射強度	グリッド	グリッド毎に内包する点群データの反射強度の平均値を算出
ブレイクライン	グリッド	グリッド毎に法線ベクトルを算出し，周囲のグリッドとの最大差分値を算出

図2　点群データを用いた地物の変状検出技術の基本方針と比較項目

プロジェクト･研究成果の概要（2／2）

プロジェクトの研究成果の概要

Ⅰ．道路施設毎の点群データ抽出技術の高度化

本実施項目では，平成 29 年度に開発した道路施設毎の点群データ抽出技術の課題を解消するために新たなアルゴリズムを開発した．これにより，過年度の手法と比較して，最大で 9 ポイントの精度向上が見られた．大阪の橋梁部分の車道部の抽出結果を図3に示す．図3に示す通り，既存手法と比較して，車道部の点群データを高精度に抽出できていることがわかる．

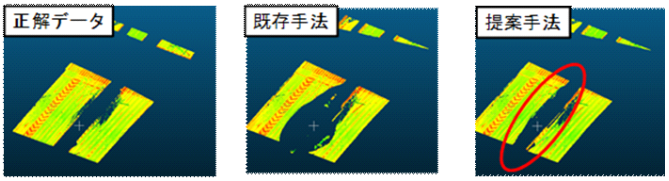


図3　道路施設毎の点群データ抽出技術の高度化の例

Ⅱ．道路地物毎の変状検出の可能性検討

本実施項目では，国土交通省が規定した「道路土工構造物点検要領」と「小規模附属物点検要領」を対象に整理した．その結果，MMS 点群データについては約 40%、MMS 画像については約 70%が，「大きな変状の場合は検出が可能」であることが明らかとなった．また，点群データと画像データから把握可能な点検項目は，相互補完的な関係であり，2 つの手法を併用することで，点検作業の省人化に寄与できることがわかった．

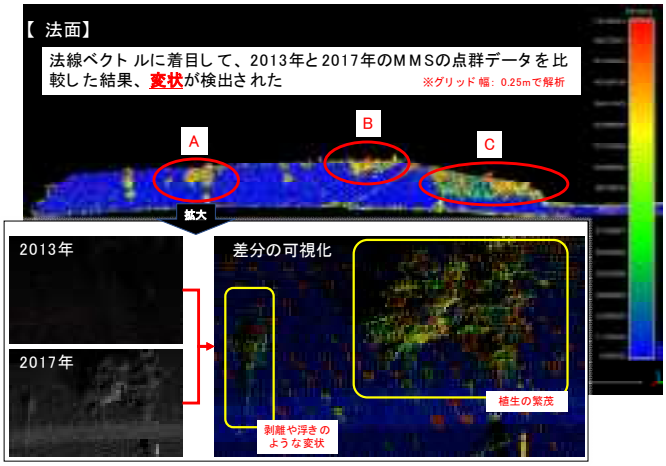


図4　道路法面を対象とした変状検出技術の試行

Ⅲ．Ⅳ．点群データを用いた地物の変状検出技術の開発と試行

実施項目Ⅲにて変状検出技術を開発し，その技術の有効性を評価するため，MMS 点群データを用いて道路法面と車道部の舗装の変状把握が可能であるかを評価した．

道路法面は，法線ベクトルでの差分抽出結果（図4）を確認したところ，3～5cm 程度の変状検出が可能であることが明らかとなった．図4の地点 A～C は同様の変状傾向であったため，地点 A を確認すると，2013 年の点群データには見られなかった剥離や植栽の繁茂が，2017 年の点群データには見られた．車道部の舗装は，コンター図生成結果（図5）を確認すると，数 mm 単位の変状検出が可能であることが明らかとなった．図中左の 2012 年の調査では見られなかった「車線の中央部分の 20mm 程度の膨らみ」や「25mm 程度のわだち掘れ」が 2018 年の点群データには見られた．

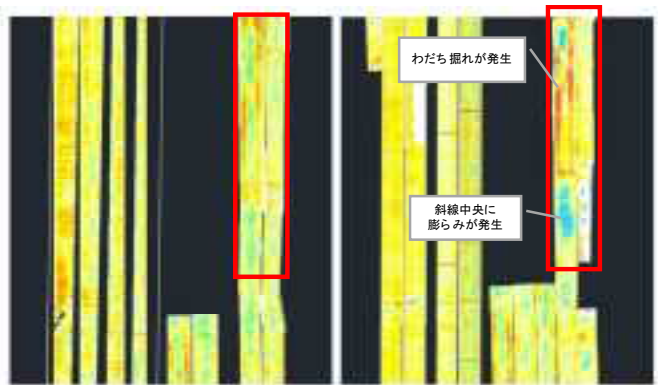


図5　車道部の舗装を対象とした変状検出技術の試行（左：2012 年、右：2018 年）

このように，各時期の点群データから基準値を算出して比較することで，MMS 点群データからはミリ単位程度の差分を検出可能であることが明らかとなった．

Ⅴ．道路施設毎の点群データを用いた維持管理支援方策の提案

国土交通省が提供する点検要領の点検フローを対象に，本研究成果の適用可能性を検討した（図6）．これに加えて，現在，進行中の他の研究プロジェクトとの連携を検討し，「点群データの属性管理仕様（道路編）への準拠」や「ハイブリッド型点群エディタとの連携」を実施しており，維持管理業務に活用可能な環境を構築予定である．

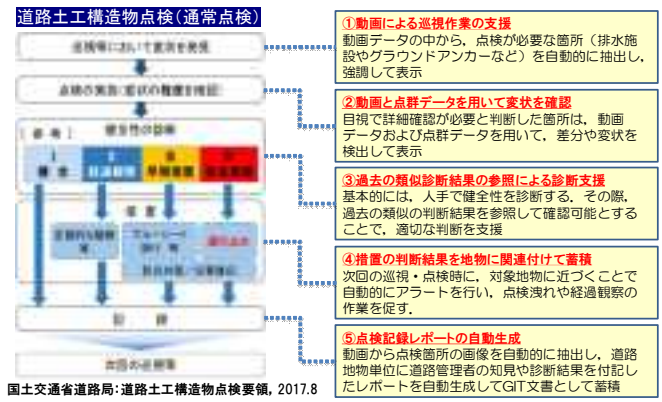


図6　道路土構造物の維持管理支援方策（案）

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準の策定に関する研究
－水を留めない、通さない、水による材料劣化を抑制し、排水設備の持続的機能保持が可能な構造とその保全－」

プロジェクトリーダー
・氏名：奈良　敬（なら　さとし）・廣畑幹人（ひろはた　みきひと）
・所属、役職：大阪大学、名誉教授・大阪大学大学院工学研究科、准教授

研究期間：平成30年9月～平成31年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
（一財）橋梁調査会、（一財）災害科学研究所、（一社）プレストレスト・コンクリート建設業協会、（一社）日本橋梁建設協会、（一社）建設コンサルタンツ協会、日本道路ジョイント協会、近畿地方整備局

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）
平成 25 年度から3年で橋梁排水の技術標準を目指した手引き案を提示した。試験施工した橋梁のモニタリングや手引き案を具体的に活用するためには、それらのスパイラルアップが必須である。したがって、水を制御した橋梁の耐久性向上の取り組みは、このプロジェクトによりスタートしたと言っても過言ではない。本プロジェクトは、技術標準（案）の策定を目的に、腐食損傷調査、補修・補強メニュー、モニタリングを通して、橋梁の耐久性向上の改善サイクルが機能する仕組みを確立することを目標とする。

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

1。成果の概要
目標とする次の5つの成果項目、（1）腐食マトリックスの提示、（2）試験施工橋梁のモニタリング方法の提示ならびに実施、（3）橋面排水の定量的把握ならびに実データ収集に基づく腐食負荷の定量化案を提示、（4）技術標準案の提示、（5）研究成果の取りまとめ、のいずれについても、当初の研究計画通りに目標を達成することができたが、主たる成果である技術標準(案)について記述する。

2。橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準（案）
主たる成果項目の 1 つである技術標準(案)の目次は次の通りである。
第1章　総論　　第2章　腐食マトリックス　　第3章　排水計画　　第4章　鋼橋　　第5章　コンクリート橋
第6章　付属物　　第7章　腐食マトリックスの適用による耐食性能の改善
第8章　継続的データ収集と技術標準の見直し
付録　損傷対策事例集
詳細な目次は別紙の通りである。

3。腐食マトリックスを用いた評価手法の提案
（1）はじめに
橋梁の耐久性向上に資する排水構造と排水設備に関する技術標準の策定にあたり、その核となる「腐食マトリックス」を用いる考え方を提案し、その活用について具体化を図った。

（2）腐食マトリックス提案の経緯
道路橋の劣化については、点検や補修・補強工事から多くの実例が収集されている。そして、これらの実例では、適切な長寿命化技術が開発、使用され、効果を挙げている事例も多い。しかし、架橋場所が異なるように、道路橋が供用後に受ける腐食環境と腐食負荷は様々であり、求められる腐食耐性が一律でないことは明らかである。有効な点検データに基づき、管理対象となる個々の橋梁毎に腐食環境と腐食負荷を制御または改善し、橋梁毎に腐食耐性を適切に選択することが可能となり、この選択を適切に行う手法を導入することが求められる。

（3）腐食マトリックスの基本的な考え方
道路橋の排水不良や漏水等に起因する腐食損傷は多様であるが、主として点検調書に基づく要因分析によって、腐食損傷に対する負荷ならびに環境と腐食損傷部位・程度との関連付けが可能となる。腐食損傷に対する負荷及び環境と、腐食損傷した部位及びその程度との関連性から、表1に示すように、部

表１　橋梁部位ごとの腐食損傷要因分析

①腐食箇所	②漏水個所	③漏水原因	④腐食負荷	⑤腐食環境
1)桁端部	・伸縮装置 ・地覆間	・短寿命 ・多水量 ・間隙	・雨水 ・凍結抑制 ・散水量	・陽当たり ・風通し ・植生
2)床版	・防水層 ・排水設備 ・張出部	・浸水漏水 ・浸水漏水 ・土砂流入 ・浸水	・雨水 ・凍結抑制 ・散水量 ・交通量	・陽当たり ・風通し ・水はけ ・植生
3)主構部	・排水設備 ・伸縮装置 ・床版	・浸水漏水 ・土砂流入 ・多水量 ・漏水貫通	・雨水 ・凍結抑制 ・散水量 ・交通量	・陽当たり ・風通し ・結露

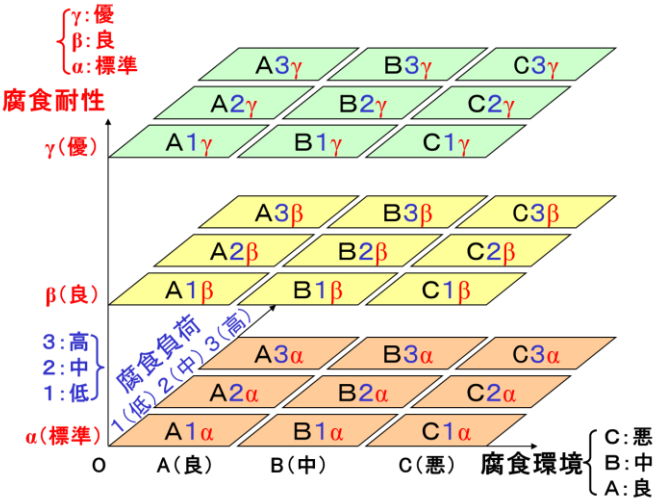


図１　腐食マトリックス

位毎に要因を整理すれば、影響する腐食負荷と腐食環境を部位毎に定量化でき、腐食負荷と腐食環境の 2 次元マトリックスで損傷を評価することができる。これらに個々の橋梁が持つ腐食耐性を加えて、図1に示すように、3 次元の腐食マトリックスを提案し、これを利用して個々の橋梁の耐腐食性能を評価する。腐食マトリックスは、腐食負荷、腐食環境及び腐食耐性の 3 要素から成り、個々の橋梁が置かれた状態を適切に評価するものである。そして、腐食負荷、腐食環境及び腐食耐性の 3 要素をそれぞれ 3 段階に分類することで、個々の橋梁が置かれている腐食レベルを 27 の状態で評価することになる。点検調査に基づき、上述の評価を継続すれば、個々の橋梁が保持すべき防食性能や腐食耐性の評価精度が改善されるので、点検結果を継続して活用し、橋梁毎に評価を改善していくことが可能となる。

(4)腐食マトリックスにおける腐食環境、腐食負荷、及び腐食耐性とその評価

3 次元で表現される腐食マトリックスの評価軸は、「腐食環境」、「腐食負荷」、及び「腐食耐性」の 3 つから成る。腐食環境は、架橋位置の自然環境に由来するものであり、腐食負荷は、橋梁の設置路線や道路線形等の影響も含め、人工的・人為的な要因による影響とする。また、腐食耐性は、橋梁が保有する耐腐食性能に由来するものとする。これら3つの評価軸に影響を与える項目として様々なものが考えられるが、点検調書を参考にして、重要かつ評価可能な項目を選定して評価項目とした。それぞれの評価項目毎に評価基準及び重み係数を設けることで、評価軸毎に評価レベルを算出でき、腐食マトリックスの 27 の区分のいずれかに位置づけることにより、対象橋梁が置かれている腐食レベルを視覚的に評価できるものとした。また、評価項目、評価基準、及び重み係数については、今後の点検や補修補強で更新されるデータに基づき、適宜見直していくことが望ましいことは言うまでもない。ここでは、3 つの評価軸について以下のように整理して評価することとした。

a)腐食環境の評価項目、評価基準、及び評価レベル

腐食環境を『人が制御できない自然環境条件』と定義し、表2に示すように、腐食に影響を及ぼすと考えられる評価可能な評価項目を 4 つ選定した。評価項目毎に評価基準と重み係数を設定して、表2の最右欄に示すように、評価レベルを算出することとした。表中、塩害地域区分は、道路橋示方書 コンクリート橋編(平成 29 年 11 月)に定められている区分であり、近畿地方整備局管内で整理されたものを利用するものとした。また、降水量については、管理の視点から、大まかな区分として路線ごとに評価することとした。

b)腐食負荷の評価項目、評価基準、及び評価レベル

腐食負荷を『人が制御できる人工的負荷条件』と定義し、表3に示すように、腐食に影響を及ぼすと考えられる評価可能な評価項目を 5 つ選定した。評価項目毎に評価基準と重み係数を設定し、表3の最右欄に示すように、評価レベルを算出できる。

(3)腐食耐性の評価項目、評価基準、及び評価レベル

腐食耐性を『橋梁の持つ特性(腐食耐性)』と定義し、表4に示すように、腐食に影響を及ぼすと考えられる評価可能な評価項目を 6 つ選定した。表中の架設年度は、道路橋示方書の改定を考慮した評価項目である。

評価項目毎に評価基準と重み係数を設定して、表4の最右欄に示すように、評価レベルを算出する。

表 2　腐食環境の評価

パラメータ		評価基準 a良	評価基準 b中	評価基準 c悪	重み係数	評価レベル
①	塩害地域区分	D	CⅢ	CⅡ以上 (BS,BⅠ,BⅡ, BⅢ,CS,CⅠ, CⅡ)	5	aを1、bを2、cを3点とする。
②	降水量	大阪、姫路(2)、兵庫	滋賀(161以外)、福知山、京都、姫路(29)、奈良、和歌山(42以外)	福井、滋賀(161)、豊岡、和歌山(42)、紀南	2	①×5+②×2+③×3+④×4 全て【a良】の場合:14点 全て【b中】の場合:28点 全て【c悪】の場合:42点となる。
③	桁下状況	河川・湖沼等以外	―	河川・湖沼等	3	
④	その他の環境特性	腐食しづらい	中位	腐食しやすい	4	A良:20点以下 B中:21～27点 C悪:28点以上

表 3　腐食負荷の評価

評価項目		評価基準 a低	評価基準 b中	評価基準 c高	重み係数	評価レベル
①	伸縮装置への路面排水負荷 (該当伸縮装置が受け持つ橋面排水面積)÷(当該範囲の排水桝個数)	120m2以下	120m2を超え、200m2未満	200m2以上	2	aを1、bを2、cを3点とする。 ①×2+②×1+③×5+④×2+⑤×2+⑥×2 全て【a低】の場合:14点 全て【b中】の場合:28点 全て【c高】の場合:42点となる。
②	合成勾配	3.5%以下	3.5%を超え、5%未満	5%以上	1	
③	凍結防止剤散布量	大阪、兵庫、和歌山、紀南	京都、姫路、奈良	福井、滋賀、福知山、豊岡	5	1低:20点以下 2中:21～32点 3高:33点以上
④	大型車交通量(台／日)(上下分離の場合は1／2とする。)	3000未満	3000を超え、10,000未満	10,000以上	2	
⑤	排水桝土砂詰り状況(対象範囲の全体桝数に対する土砂詰り桝数の割合)	0	5割未満	5割以上	2	

表 4　腐食耐性の評価

パラメータ		評価基準 a標準	評価基準 b良	評価基準 c高	評価基準 d優	重み係数	評価レベル
①	架設年度	1973年以前	1974年～1980年	1981年～2001年	2002年以降	3	aを1、bを2、cを3、dを4点とする。
②	伸縮装置からの漏水の有無(直近の点検結果)	有り・多い	有り・少ない	無し	―	2	①×3+②×2+③×3+④×1+⑤×2+⑥×1 全て【a標準】の場合:12点 全て【b良】の場合:24点 全て【c高】の場合:36点 全て【d優】の場合:45点となる。
③	定期点検結果の健全度	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	3	
④	橋梁の斜角	60度未満	60度以上75度未満	75度以上85度未満	85度以上	1	
⑤	塗装経過年数	21年以上	15年を超え20年以下	10年を超え15年以下	10年以下	2	
⑥	その他の腐食耐性	耐性が低い	中位	耐性が高い	―	1	・α標準:20点以下 ・β良:21～28点 ・γ優:29点以上

4。腐食マトリックスを用いた既設橋への適用とその改善例

(1)はじめに

腐食マトリックスは新設橋にも適用可能であるが、ここでは、既設橋を対象に、補修・補強工法を適用して改善を図った場合、改善による腐食レベルの変化を明確に評価できるように、腐食マトリックスの適用法と腐食損傷した橋梁の改善例を示す。

(2)腐食マトリックスの活用法

既設橋では、橋梁毎に腐食マトリックスの 3 成分である腐食環境、腐食負荷、及び腐食耐性が、それぞれに得られた評価レベルによって、定量的に評価される。この評価レベルに対して、補修･補強工法、改善効果がある工法を採用することで、3 成分の評価レベルを改善できる。腐食の 3 成分の改善のイメージを図2に示す。理論上は同図のように 3 成分の改善が可能であるが、既設橋については、腐食環境と腐食負荷は既に与えられており、その改善が難しいことから、腐食耐性の向上を図ることが実践的で有効な手段となる。

(3)腐食耐性の改善法

前述のように既設橋においては腐食耐性の向上が最も有効な手法であることから、腐食環境腐食負荷の改善評価については省略し、ここでは腐食耐性の向上について述べる。表5に腐食耐性の向上を考慮した評価表を示す。腐食マトリックスの腐食耐性を表す 5 つの評価項目に加えて、腐食耐性の向上効果の評価項目を追加している。

(4)対策工法の選択

表5中の腐食耐性の向上が期待できる工法についての詳細について、本文では省略するが、既存工法や新工法を整理、抽出し、現場での適用性、効果の優劣についてランクをつけ、重み係数も考慮して評価レベルを設定している。

(5)腐食マトリックスの既設橋への適用事例

既設橋腐食マトリックスを適用するにあたり、近畿地方整備局内橋梁のうち鋼橋 103 例について、腐食マトリックスによる評価を行った結果を図2に示す。この図より、健全な橋梁は腐食負荷が低く腐食環境の良好な原点に近い側に分布しており、損傷が著しい橋梁は腐食負荷が高めで、腐食環境が悪い側に分布していることが分かる。ここでは、腐食マトリックスの C3 α として評価された橋梁の改善事例を示す。

既設橋における耐腐食性能の向上については，防食性能の向上、構造的対策，橋面の滞水防止、支承防食性能向上、伸縮装置止水性能向上、排水構造の構造的対策が考えられる。これらの対策毎に期待できる評価基準

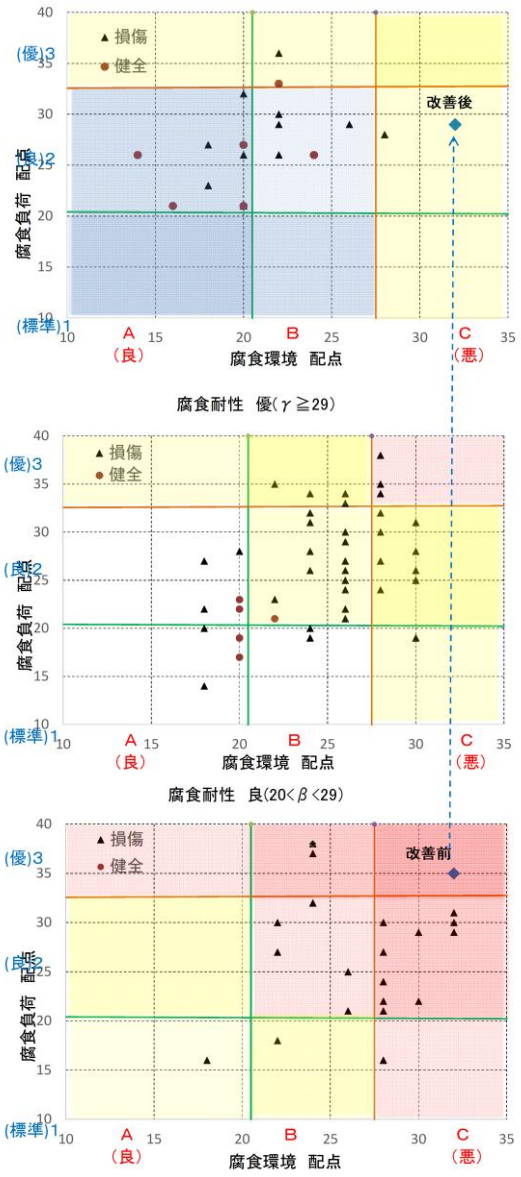


図３ 腐食マトリックスの改善イメージ

表５ 腐食耐性の評価表

腐食耐性（橋梁の持つ特性）							
パラメータ（評価項目）		評価基準 a標準	b良	c高	d優	重み係数	評価レベル
①	架設年度	1973年以前	1974年～1980年	1981年～2001年	2002年以降	3	aを1、bを2、cを3、dを4点とする。
②	伸縮装置からの漏水の有無（直近の点検結果）	有り･多い	有り･少ない	無し	―	2	①×3+②×2+③×3+④×1+⑤×2+⑥×1+Ⅲ
③	定期点検結果の健全度	Ⅳ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅰ	3	
④	橋梁の斜角	60度未満	60度以上75度未満	75度以上85度未満	85度以上	1	全て【a標準】の場合：12点 全て【b良】の場合：24点 全て【c高】の場合：36点 全て【d優】の場合：45点 となる。
⑤	塗装経過年数	21年以上	15年を超え20年以下	10年を超え15年以下	10年以下	2	
⑥	その他の腐食耐性	耐性が低い	中位	耐性が高い	―	1	･α 標準：20点以下 ･β 良：21～28点 ･γ 優：29点以上
Ⅲ	**腐食耐性の向上効果**	**【研究会内で既存工法や新工法を整理，抽出】ここでは詳細は省略**				1	

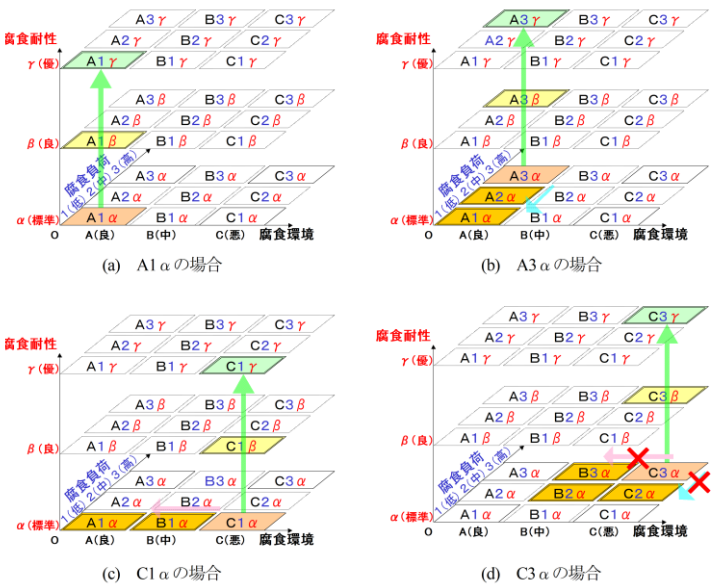


図２ 腐食耐性向上策の検討

を決め、その重み係数をつけることで評価レベルを合わせることとした。これらの合計点を現在の腐食耐性の評価レベルに足し合わせ、耐腐食性能の向上を評価した。

図4に示すように、桁端や支承部に金属溶射を採用して防食性能の向上を図り、図5に示すように、止水板を設置し、さらに、箱桁内の水抜き対策の構造的改善を図った場合を考える。これらの対策による腐食耐性の加点を表6に示す。改善前は腐食耐性がαであり、赤色が最も濃い色で評価されていた区分に位置づけられていたが、腐食耐性の向上を図ることにより、表 7 に示すように、腐食耐性がγへと大きく改善することができた.

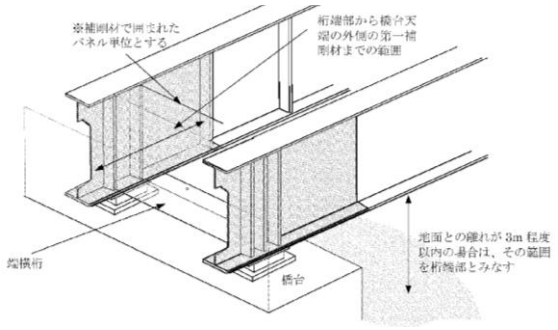


図４　金属溶射による対策

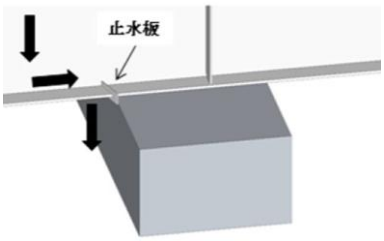


図５　止水板設置による対策

表６　腐食耐性の向上

評価項目		選択工法				評価点		
		aなし	b小	c中	d大	点数	重み係数	合計点
	評価点	0.0	1.0	2.0	3.0			
腐食耐性	防食機能の向上（金属溶射）				●	3.0	2.0	6.0
	防食対策(止水板)			●		2.0	1.0	2.0
	防食対策(水抜き箱桁)			●		2.0	0.5	1.0
	支承防食機能の向上（金属溶射）				●	3.0	1.0	3.0
	合　計							**12.0**

表７　各評価の効果

	現況	改善後	改善の効果
環境	32	32	B
負荷	32	32	3
耐性	18	30	α →γ

5. まとめ

個々の橋梁毎に、腐食環境、腐食負荷、及び腐食耐性を評価することにより、対象橋梁が立体的に位置づけられて、視覚的な評価が可能となる。腐食マトリックスが橋梁の効率的な維持管理や長寿命化対策の適切な判断に寄与する。さらに、腐食マトリックスの活用を継続して、設計施工ならびに維持管理の技術開発を促し、腐食マトリックスに基づく評価を持続的に改善できる仕組みの構築が重要である。

また、既設橋梁の腐食耐性の向上に関する事例を紹介したが、既設橋梁でも改築工事レベルの改善を行えば、腐食環境の改善や腐食負荷の低減も可能である。なお、新設橋の改善手法も提案しているが、新設橋においては、腐食耐性の向上に加え、計画ならびに設計時の工夫、施工時の提案などにより、腐食環境の改善、腐食負荷の低減を図ることが可能であり、3つの評価レベルの改善が可能になる。ただし、工法の選択による腐食耐性改善効果とコストとのバランスも重要な課題でなる。

さらに、例示した評価レベルは現時点でのものであり、今後も、点検による既設橋のデータ分析と、対策工法の効果確認を継続し、腐食マトリックスを活用しながら改良していくことが望まれる。

※　本様式は中間評価･事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。

※　本様式は成果報告書とともに、中間･事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト:「鋼床版の疲労耐久性向上に関する研究」

プロジェクトリーダー

・氏名（ふりがな）:坂野　昌弘（さかの　まさひろ）

・所属、役職:関西大学、教授

研究期間:平成29年6月～平成32年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）

【産】日本橋梁建設協会、建設コンサルタンツ協会近畿支部、日本非破壊検査工業会、本四高速道路、西日本高速道路、阪神高速道路 【官】国土交通省近畿地方整備局　道路部、和歌山河川国道事務所、近畿技術事務所 【学】関西大学、京都大学

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

長大橋梁や軟弱地盤上に架設される橋梁はもちろん、地震の多いわが国では死荷重の低減が極めて有利であること、またプレファブ化が容易なために工期短縮が可能なこと等から、鋼床版に対するニーズは高い。また、経年劣化したコンクリート床板を更新する際に、軽量化による下部工への負担軽減と、交通規制を要する工期短縮の面から、鋼床版構造は効果的であるとされている。しかしながら、近畿管内の橋梁点検においても、横桁と鋼床版縦リブとの溶接部等に疲労亀裂を多く確認していることから、鋼床版の疲労耐久性の向上が焦眉の課題となっている。

本研究では、鋼床版の縦リブと横桁・横リブの交差部等を対象として、既設鋼床版に対しては現在の補強工法よりもさらに合理的な工法を、また新設あるいは更新用の鋼床版については現在の疲労問題を根本的に解決できるような新しい構造をそれぞれ提案し、解析や疲労実験によってそれらの耐久性を検証、最終的にはそれらの工法や構造を実橋に適用して疲労耐久性の向上効果を検証することを目的とする。

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

鋼床版のメリットを活かしつつ、縦リブと横桁・横リブの交差部等を対象として疲労に対する耐久性が高い構造を提案する。さらに、その疲労耐久性の検証方法についても提案し、信頼性の向上を図る。 具体的な研究内容は以下のとおりである。

① 既設橋に対しては、従来 U リブ側に用いられてきた摩擦接合型のワンサイドボルトの問題点である U リブ内面の摩擦面の品質管理が不要で、密閉性も確保できる支圧接合型の新型ワンサイドボルトを用いた補強工法を提案し、解析や疲労実験によりその疲労耐久性を検証する。

② 新設および RC 床版等の更新用鋼床版に対しては、リベット継手と同様な支圧接合型の新型ワンサイドボルトを用いて疲労上の弱点となる溶接接手を使用しない構造を提案することにより、従来の鋼床版の疲労問題を根本的に解決する。これらの構造に対しても解析や疲労実験を行い、疲労耐久性を検証する。

③ ①および②で疲労耐久性を検証した補強工法と新しい構造を実際の橋梁で適用し、既設橋に対しては補強前後の実働応力計測により、新設橋や更新用の鋼床版に対しては設置後の実働応力計測により、それらの有効性を検証する。

年度ごとの研究内容

平成29年度
- ① 実橋での応力計測による疲労損傷状況の把握
- ② FEM 解析による実橋の応力状態の再現
- ③ 疲労実験による横リブと縦リブの交差部に生じる疲労亀裂の再現

平成30年度
- ① FEM 解析による既設橋に対する補強工法の検討
- ② 疲労実験による補強工法の疲労耐久性の検証
- ③ 実橋での補強工法の適用と応力計測による補強効果の検証
- ④ 垂直補剛材上端部の疲労対策に関する実験的検討（追加項目）

平成31年度
- ① FEM 解析による新設および更新用鋼床版構造の検討
- ② 疲労実験による新設および更新用鋼床版構造の疲労耐久性の検証
- ③ 実橋での新設あるいは更新用鋼床版構造の適用と応力計測による疲労耐久性の検証

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

プロジェクトの研究成果の概要

本年度の主な成果の概要は以下のとおりである。

（1） FEM 解析による既設橋に対する補強工法の検討 [1)]

紀の国大橋の実橋モデルを用い，Uリブ下面と横リブウェブをアングル材で接合する補強工法による効果について FEM による応力解析を行い評価した．

その結果，アングル補強を施すことにより，横リブスリット部の U リブ下面の橋軸方向と橋軸直角方向の水平方向の動きを抑えることができるため，疲労亀裂の原因となる横リブ側および U リブ側の溶接止端部の溶接線直角方向の応力を大幅に低減できることが示された．

（2） 疲労実験による補強工法の疲労耐久性の検証

・従来構造に当て板補強を施すことにより，横リブ交差部で最も大きな引張応力が生じる U リブ側の溶接止端部付近の応力を 30%程度低減できることが確認された．

・補強状態では，横リブ側，U リブ側ともに 200 万回の繰り返し載荷をしても，疲労き裂の発生は認められなかった．一方、補強を取り外すと，30 万回の繰り返し載荷で U リブ側の止端部に指示模様が確認され、補強効果があることが確認された。なお、それらの指示模様は、その後母材への進展は認められなかった．

（3） 実橋での応力計測による補強効果の検証 [2)]

・補強前・補強後に行った試験車走行試験により、最も大きな引張応力が生じていた U リブ止端部の応力は補強前の 21MPa から補強後の 10MPa へと 1/2 に減少しており、補強効果が確認された．

・応力頻度測定により、最も大きな引張応力が生じていた U リブについては，補強前の 46MPa から補強後の 22MPa とやはり 1/2 に減少しており、補強効果が確認された．

・横リブ下フランジでは，補強前後で発生応力の最大値（16MPa）はほとんど変わらなかった．これを試験車走行時に発生した応力（6MPa）と比較することにより、試験車両（後軸 8.5t）の 2.7 倍（23t）の軸重の車両が常時通過しているものと推定される．

・U リブについては，応力範囲の最大値は補強前の 54MPa から補強後の 38MPa に 30％程度減少した．

・横リブ下フランジの補強後の最大応力範囲は補強前の応力範囲よりも 1 割程度大きくなっており、交通荷重が厳しくなっていることが推定される．

・発生している応力範囲が小さく、特に横リブ下フランジの寿命が∞となってしまい比較できないため最低等級の H’等級の設計曲線を用い，さらに横リブ下フランジの疲労寿命の違いを補正して比較した結果，U リブの補強後の推定寿命は補強前の 1.4 倍となり、補強効果が確認された．

（4） 垂直補剛材上端部の疲労対策に関する実験的検討 [3)]

・垂直補剛材上端部については、TRS を用いてアングル材を取り付ける工法を適用することにより、溶接止端部の応力を 1/3 に低減することができた。疲労試験については、平成 31 年度に実施の予定である。

参考文献

1) 田辺篤史，松本理佐，國年滋行，坂野昌弘：鋼床版 U リブ横リブ交差部に対する補強工法の解析的検討，土木学会第 74 回年次学術講演会，CS， 2019.9.（発表予定）

2) Ichinose，H. Luiza，國年滋行，坂野昌弘：実橋における鋼床版 U リブ・横リブ交差部の補強効果の検証，土木学会第 74 回年次学術講演会，CS， 2019.9. （発表予定）

3) 坂本千洋，小西日出幸，奥村信太郎，坂野昌弘：U リブ鋼床版垂直補剛材上端部の疲労損傷に対する対策効果の実験的検討，土木学会第 74 回年次学術講演会，CS， 2019.9. （発表予定）

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト:「道路資産管理高度化のためのデータベース構築に関する研究」

プロジェクトリーダー

・氏名（ふりがな）:松島格也（まつしまかくや）

・所属、役職:京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻　准教授

研究期間:平成 29 年 4 月～令和 2 年 3 月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）

京都大学，大阪大学，土木研究所，近畿地方整備局道路部・近畿技術事務所・大阪国道工事事務所，株式会社パスコ

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

IT 技術の進展，ビッグデータ時代の到来をふまえて，舗装をはじめとした道路資産管理手法に関して活用できるデータの種類や量が大幅に拡大している．その一方で，これまで道路管理において一定の役割を果たしてきた路面性状調査の実施方針について見直しが提言されるなど，道路管理に必要なデータの取得のありかたについて再考すべきタイミングを迎えている．

上記のような背景をふまえて，本研究では，舗装をはじめとした道路資産を対象とした点検・維持補修・日常巡回の記録をデータベース化する上で必要となる要件についてとりまとめると共に，意思決定の階層性を考慮した高度な道路資産マネジメントシステムの実現に資する情報共有のあり方について提言する．より効率的なマネジメントを行うために，各階層間の情報共有のあり方や，膨大に蓄積された記録の活用方法について，詳細な検討を行い，意思決定の階層性を考慮した PDCA サイクルを回すためのマネジメントシステムの構築と，その実現のために必要なデータベースを構築する．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

来る少子高齢化時代において，社会資本の適切な維持管理の重要性がさけばれている．道路をはじめとした社会資本のアセットマネジメントシステムをより高度化するためには，各種点検結果や維持補修の記録を収集することが重要であるが，意思決定のために必要なデータベースが適切に構築されているとは言いがたい．一方，各地に配置されている工事事務所やその出張所では，現場の最前線において巡回・点検業務に携わっており，膨大な点検結果が蓄積されている．その結果は通常事務所や出張所単位において管理されており，アセットマネジメントの高度化の観点から有効に活用されているとはいえない．

本研究では，上記のギャップを埋めるためのデータベースのあり方を提案することを目的とする．特に道路舗装を対象とした点検・維持補修の記録をデータベース化する上で必要となる要件についてとりまとめると共に，意思決定の階層性を考慮した高度なアセットマネジメントシステムの実現に資する情報共有のあり方について提言する．具体的な研究内容項目は以下のとおりである．

〇道路舗装の点検・維持補修記録の統合データベースシステムの構築

〇意思決定の階層性を考慮した情報提供のあり方の提案

〇各意思決定段階に対応したマネジメントシステムの高度化に資するロジックモデルの構築

また，各年度における研究内容を図 1 に示す．

年　　度	研　究　内　容
平成29年度	過年度までの研究蓄積を活用し，高度化された道路管理マネジメントにむけて必要となるデータ収集についてとりまとめ 道路管理現場職員に対するヒアリングを通じて，道路管理作業の効率化につながるアウトプットデータについてとりまとめる．
平成30年度	タブレットシステムを用いて収集された日常点検，路面性状調査など各種データを統合的に管理するシステムの必要性について検討する． 現場の日常点検，維持管理業務の省力化，高機能化につながるアウトプット/アウトカム指標を設定する． 道路舗装アセットマネジメントの高度化に資する統合データベースシステムの全体構想を提案する．
平成31年度	提案したデータベースを各種意思決定に活用しPDCAサイクルを適切にまわすために，適切な情報共有のあり方について検討する． 意思決定の階層性を考慮した管理データ保有・整理のあり方を提案する．　PDCAサイクル実現のためのロジックモデルを構築し，意思決定主体の階層性に対応したマネジメントモデルを提案する．

図 1　研究計画

※　本様式は中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。

※　本様式は成果報告書とともに、中間・事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

プロジェクトの研究成果の概要（図表・写真等を活用しわかりやすく記述）

本プロジェクトの最終的な目的は，国が管理する国道の舗装に関して図 2 に示すようなマネジメントシステムを導入しその有用性を検証する点にある．その実現のために必要な，道路資産データベースの要件を検討し，具体的な構成について明らかにする．

2 年目にあたる昨年度においては，高頻度で行われている道路巡回業務から獲得できるデータを用いて路面性状の状態を判定し適切なマネジメント戦略を立案する舗装補修戦略プロファイリング方策を提案した．そのために，道路巡回業務において発見された事象の発生構造をベイジアンネットワーク分析により推定し，変状の依存関係に基づいてポットホールの発生および補修戦略立案を決定できる方法論を提案した．

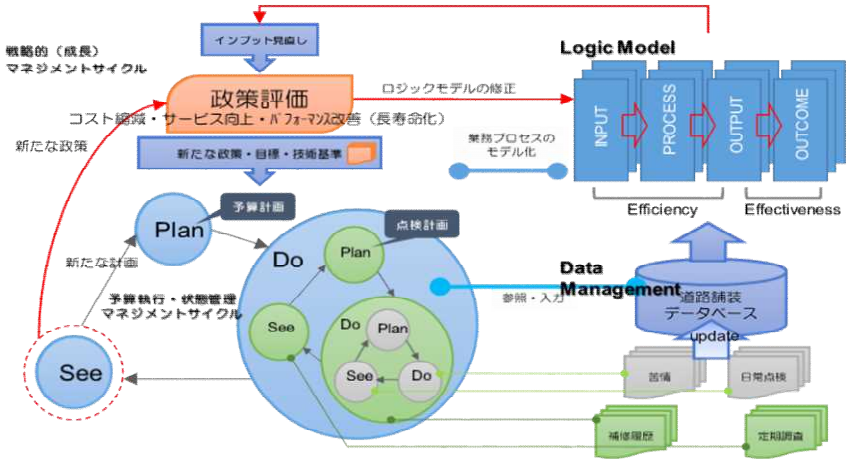


図2　マネジメントシステム



図3　相関分析結果

具体的には，道路巡回において発見された事象のうち，ポットホールの発生に密接に関係があると考えられる事象を抽出して，ポットホールが起こった近傍（区間 1）で発見された変状と，それ以外の区間（区間 2）で発見された変状との発生密度の比較を行った（図3）．その結果，つまり，ポットホールが発生した地点の周辺では，がたつき，クラック，雑草繁茂，水たまり，破損，剥離が比較的起こりやすいという傾向があることが分かった．さらに事後修繕を実施したポットホールと応急処置を実施したポットホールに対して同様の分析を行ったところ，がたつき，クラック，雑草繁茂，水たまり，破損，剥離が比較的起こりやすいという傾向にあることが分かった．

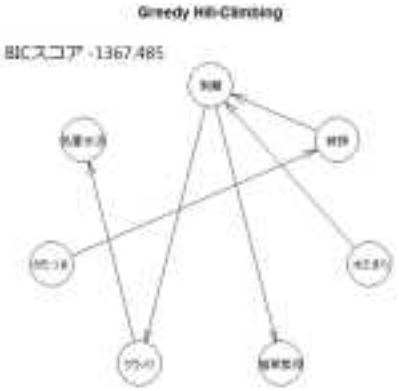


図 4　推定結果

その結果から，日常巡回記録データのうち，路面舗装の状態に関係する事象をとりだし，複数の事象間の発生構造を推定するためにベイジアンネットワーク分析をおこなった結果を図 4 に示す．これより，クラックが事前に発見されていたポットホールの場合，事後修繕を行っている確率が相対的に高いことや，剥離と，それぞれクラック，がたつき，破損などの相関が見られることが分かった．観測されたポットホールのうち事後修繕を行ったポットホールの割合は 24.9%であったが，事前にクラックが発生していたポットホールのうち事後修繕を行った割合は 36.6%，さらに事前に剥離とクラックが発生していた 74 個のポットホールのうち事後修繕を行ったものの割合は 39.2%となっている．このようにクラックや剥離の有無がポットホールの処置状況に対して相関があることが確認できた

最終年度にあたる次年度においては，上記の分析結果を用いたプロファイリング戦略の立案に取り組む．事前に発生した事象からあらかじめ想定される手法を決めるフローチャートを作成し，ライフサイクルコストの低減に資する高度化されたアセットマネジメント手法を提案する．その上で，日常巡回データ以外のデータとの連係方法を考慮した適切なデータベース構成を検討し，情報共有の適切な手法について提言する予定である．

※　本様式は中間評価・事後評価を公表する際に、評価コメントと併せてホームページで公開します。

※　本様式は成果報告書とともに、中間・事後評価の重要な判断材料となりますので、ポイントを整理し簡潔な表現とし、ポンチ絵などを用いてわかりやすく記述してください。

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「橋梁補修施策プロファイリング手法の開発」

プロジェクトリーダー

・氏名（ふりがな）：貝戸　清之（かいと　きよゆき）

・所属、役職：大阪大学大学院　工学研究科　地球総合工学専攻　准教授

研究期間：平成29年9月～平成32年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）

京都大学，近畿地方整備局，近畿技術事務所，京都国道事務所，オリエンタルコンサルタンツ，パスコ，パシフィックコンサルタンツ

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

5 年に一度の近接目視点検が義務化され，橋梁を対象とした目視点検データが蓄積されてきている．目視点検に代替し得る新技術の開発も進むなか，今後は長年にわたって蓄積された膨大な点検ビッグデータを実務的課題の解決や，アセットマネジメントの継続的稼働に向けて，どのように活用していくかが重要となってくる．申請者らの研究グループでは過去 15 年間，点検データを用いた劣化予測やライフサイクル費用に基づいた橋梁の最適補修計画の策定に取り組んできた．しかし，多くの管理者では予算・人員制約のために，全橋梁を対象に劣化曲線を作成し，厳密にライフサイクル費用最小化計画を立案することに実務的な意味を持たない．むしろ，劣化特性や損傷の種類に基づいて橋梁をグループ化し，グループ内における補修施策の標準化と，グループ間における補修施策の差別化を通じた補修施策プロファイリングを行うことが望ましい．

本研究プロジェクトでは，橋梁部材の目視点検データの統計分析を通して，劣化要因を特定するとともに，その劣化要因を説明変数として内包するような劣化予測モデルを用いた劣化速度の異質性のモデル化と，劣化速度の異質性に着目した補修施策の統計的プロファイリングのための方法論を提示する．さらに，近畿地方整備局管内の橋梁群を対象とした補修施策プロファイリングによって提案手法の妥当性を実証的に確認する．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

産官学の体制で研究プロジェクトを進める．具体的な研究内容は以下の通りである．

・目視点検データの統計分析（管理対象橋梁群のマクロな劣化要因の抽出）

・劣化過程モデリング（マルコフ連鎖モデルを中心に，複合的劣化などを適宜考慮したモデル開発）

・ベンチマーク分析と劣化速度の異質性評価

・補修施策の立案（予防保全，事後保全など）とライフサイクル費用評価（平均費用法の適用）

・補修施策に関する統計的プロファイリング手法の開発（劣化速度の異質性を判断指標とする）

・近畿地方整備局管内の橋梁を対象とした実証分析と，市町村への展開を視野に入れた方法論の汎用化

・プロファイリング手法のその他の実務的課題への適用

以上の研究内容に対して，学（大阪大学，京都大学）は劣化予測やライフサイクル費用評価など，プロファイリング手法の構築に必要となる方法論を数理統計学や確率論を用いて開発するなど，プロジェクト全体を通してその根幹となる要素技術や方法論の開発に主体的に取り組む．官（近畿地方整備局，近畿技術事務所，京都国道事務所）は分析対象となる橋梁群の選定や点検データ他の提供および方法論・解析結果に対する実務的観点からの示唆を与える．産（オリエンタルコンサルタンツ，パスコ，パシフィックコンサルタンツほか）は実際の目視点検業務や補修工事を通して得られた知見を方法論（補修工法の選定や単価の設定など，補修施策の立案など）に反映させるための助言や一部プログラムの学との共同開発を行う．なお，産官学の体制は年度ごとの研究内容に応じて，柔軟にメンバーを追加する．研究会は 2 ヶ月に 1 回程度の頻度で開催する．具体的に 1 年目は，近畿地方整備局管内の橋梁を対象とした目視点検データを統計分析することによって，主要部材と，その劣化の主要因を抽出する．また主要部材の劣化過程と部材間の関連性などをマルコフ劣化ハザードモデルを拡張する形でモデル化する．さらに，ベンチマーク分析を通して，劣化の主要因では説明できない個別橋梁の劣化速度の異質性を定量的に評価する．2 年目は想定され得る補修シナリオの立案とライフサイクル費用評価手法を検討する（同時に，マネジメントのためのデータベースの在り方についても協議する）．また，劣化速度の異質性，あるいは異質性間の相関構造に基づく統計的プロファイリング手法の開発を行う．3 年目は実証分析によって，具体的に緊急対策が必要な橋梁グループ，予防保全，事後保全グループに橋梁を分類するとともに，各グループの補修施策を提示するとともに，実務との整合性を比較検証する．さらに，統計的プロファイリング手法を援用する形で，補修工法の相違による補修効果の事後評価手法の開発や，塗膜劣化やひび割れに対する補修と目視点検を包括したような一括発注方式の可能性に関する確率論的考察を加える．

プロジェクト・研究成果の概要（2／2）

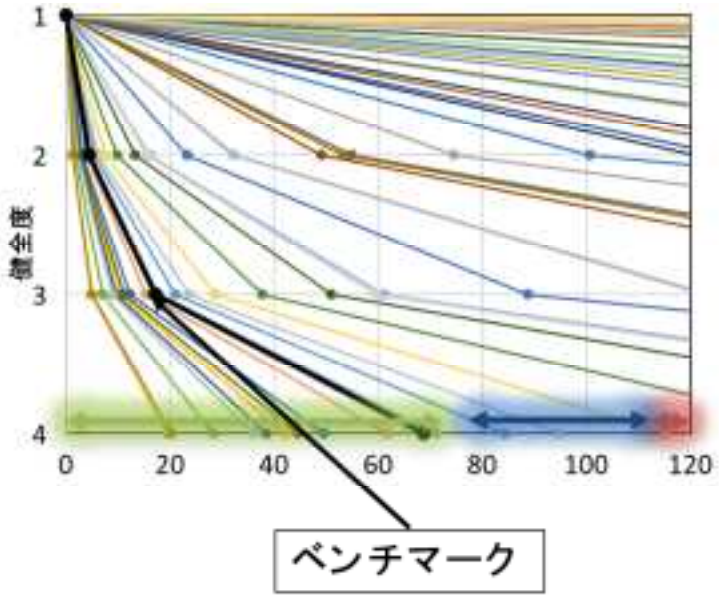
プロジェクトの研究成果の概要（図表・写真等を活用しわかりやすく記述）

本年度は当初の予定通り，橋梁補修施策プロファイリング手法の開発した．具体的には，混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いて，橋梁の劣化速度の差異により各橋梁の劣化曲線を算出した上で，平均費用法を用いて各橋梁グループに対する最適補修戦略となるLCCと全体の橋梁の最適補修戦略となるLCCの比により，同一グループ内で最適となる補修戦略を決定する．さらに，プロファイル集合に含まれなかった橋梁を全体橋梁のLCC費用がその次に小さくなる補修戦略を分母として再びプロファイリングし，各グループでの補修戦略を差別化する．

開発した手法を京都国道事務所管内に所在する54橋のRC床版橋に適用した．各橋梁の供用開始年は1954年から2003年であり，それぞれ2006年から2015年に実施された1回から3回の点検の結果が記録されていた．劣化予測の対象とする損傷として，床版ひび割れを選定した．記録されていた損傷段階は健全度1（良）から健全度5（悪）までの5段階であったが，健全度5の点検データが少数であったため，健全度5および4をまとめて健全度4と表現することとした．

混合マルコフ劣化ハザードモデルを用いて推定した個々の橋梁の劣化予測結果を図－1 に示す．同図の劣化予測結果にもとづいて，橋梁補修施策のプロファイリングを実施するために候補として設定した補修工法を表－1 に示す．同表に示すように，健全度ごとの補修工法とその単価および回復水準（その工法を適用した場合にどの健全度まで回復するか）を設定した．プロファイリング手法にもとづいて推定した橋梁ごとの最適補修戦略を表－2 に示す．異質性パラメータεが比較的大きい（劣化速度が大きい）橋梁グループに関しては，健全度が比較小さい段階で補修を行うような予防保全的な補修戦略が最適となることが判明した．一方で，異質性パラメータεが比較的小さい（劣化速度が小さい）橋梁グループに関しては，健全度が大きい段階まで補修を行わないような事後補修的な補修戦略が最適となることが判明した．

さらに，橋梁ごとの異質性パラメータおよび橋梁の特徴である塗装系，供用開始年，交通量，大型車混入率，排水施設，桁形式，構造形式との相関関係を分析し，劣化に大きな影響を及ぼす橋梁の特徴を抽出した．その結果，橋梁の供用開始年と異質性パラメータに大きな相関があり，供用開始年が古いほど，劣化速度が大きいことがわかった．このことから，管内の橋梁は長期間の供用による慢性的な構造の劣化が疑われ，補修だけでなく，建替えの検討も重要であると考えられる．



図－1　橋梁ごとの劣化予測結果

表－1　補修工法の設定

補修時健全度	補修工法	補修単価（千円/m^2）	補修後健全度
2	ひび割れ注入工法	20	1
3	断面修復工法	29	1
4	鋼板接着工法	60	1
5	床版取替工法	550	1

表－2　最適補修戦略

補修時健全度	補修戦略 A（$0.84 \leq \varepsilon$）	補修戦略 B（$0.15 \leq \varepsilon \leq 0.84$）	補修戦略 C（$\varepsilon \leq 0.15$）
2	○	×	×
3	○	×	×
4	×	×	○
5	○	○	○
平均費用値	80.87	99.56	71.63
対象橋梁数	10	8	36

プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「ICRT技術を活用した高精度かつ効率的な斜面・法面点検技術の開発」

プロジェクトリーダー
氏名（ふりがな）： 西山 哲 （にしやま さとし）
所属、役職： 岡山大学大学院 環境生命科学研究科 教授

研究期間：平成29年4月～平成32年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
国際航業株式会社，株式会社パスコ，株式会社開発設計コンサルタント，株式会社ブロードライン，ゼニス羽田株式会社，ゼニス建設株式会社，株式会社藤井基礎設計，株式会社アズティス，株式会社三重計測サービス，有限会社丸重屋

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

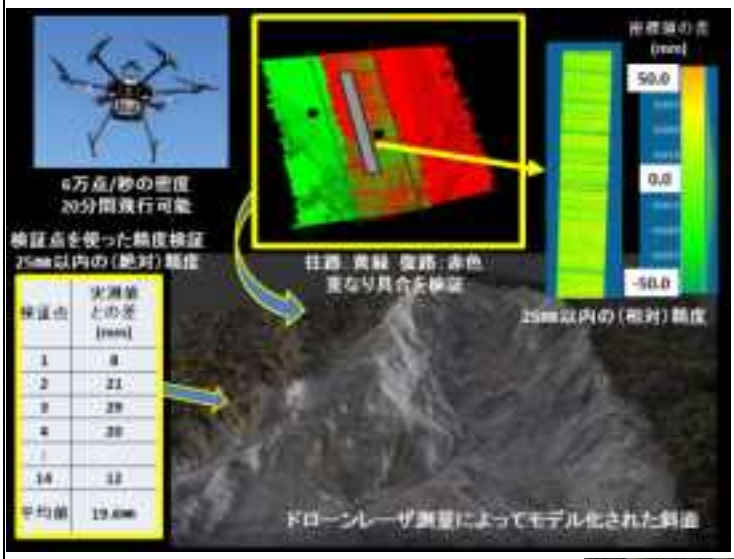
現在、技術者による目視によって斜面防災点検が実施されているが、対象とした着目点だけでなく当箇所以外からの落石・崩壊事例も多発している．本研究開発は，既存の航空レーザデータをベースとして，ドローンレーザ測量を使ったビッグデータを活用する詳細な 3 次元計測手法，および人工知能およびリアルアイム自動データ解析手法を開発し，見逃しの無い効率的かつ効果的な目視点検を支援する斜面災害の未然防止技術を実現させる．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

本プロジェクトの研究開発内容の各項目について，これまでの主な成果を説明する．

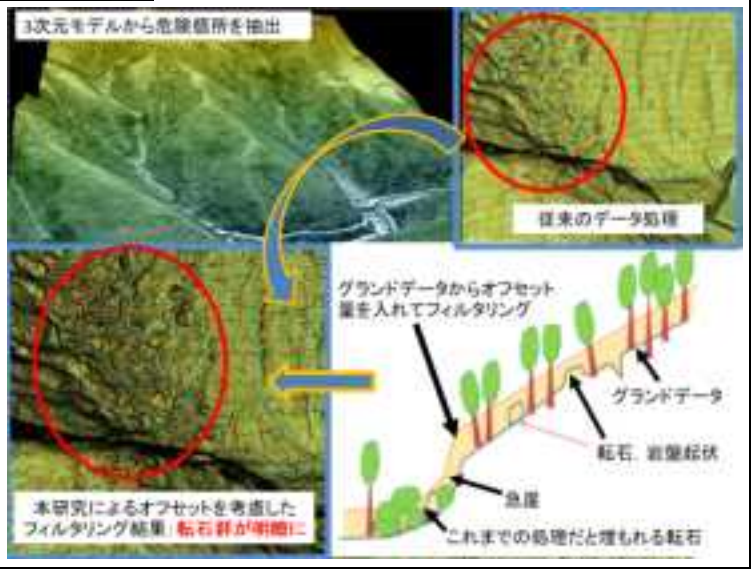
1） 斜面 3 次元データ取得法としての高精度レーザドローン測量技術の開発

現在，空中写真をもとにした森林基本図（：縮尺 5000 分の 1，精度 10m）や，道路防災点検時の情報から調査員が大まかな位置を示した手書きの図を基に，斜面の防災点検作業が実施されている．そのため現位置での目視点検が位置精度不良による非効率的な作業となり，調査対象箇所も見逃し易いという問題がある．この解決策として，広域を効率よく計測する航空レーザ測量(LP)の活用も検討されてきたが，熟練した技術が必要なために，限られた会社しか実施できず，また機器の低コスト化が難しいため汎用化できる手法になっていない．そこで本研究開発では，LP に代わり低コスト化が可能なドローンレーザ測量の活用を検討する．レーザドローン測量の課題は，高精度化のためには基準点の設置が必要となり斜面計測には適さないこと，ビッグデータとなる 3 次元点群処理が確立されていないことである．



まず，高精度レーザドローン測量を実施するために，国土地理院が全国に配置している電子基準点を利用した高精度測量を開発し，その精度を検証した結果が左図である．

ドローンの自己位置測位技術を高度化することで，レーザ写真測量のように，斜面上に多数の基準点を設置することなく，±50 ㎜以下の高精度測量を可能になったことが実証されている．また右図は，レーザ点群処理を工夫することにより，従来では検知できなかった微地形を机上抽出することが可能になったことを示すものである．汎用化されている各種フィルターを組み合わせることで，オープン化されたソフトを使って精密な微地形解析が可能なる．このようにハードとソフトの両面の技術開発により，いつでも，誰でも，低コストで斜面の危険個所を調査する基礎資料を作成できる工程を構築した．

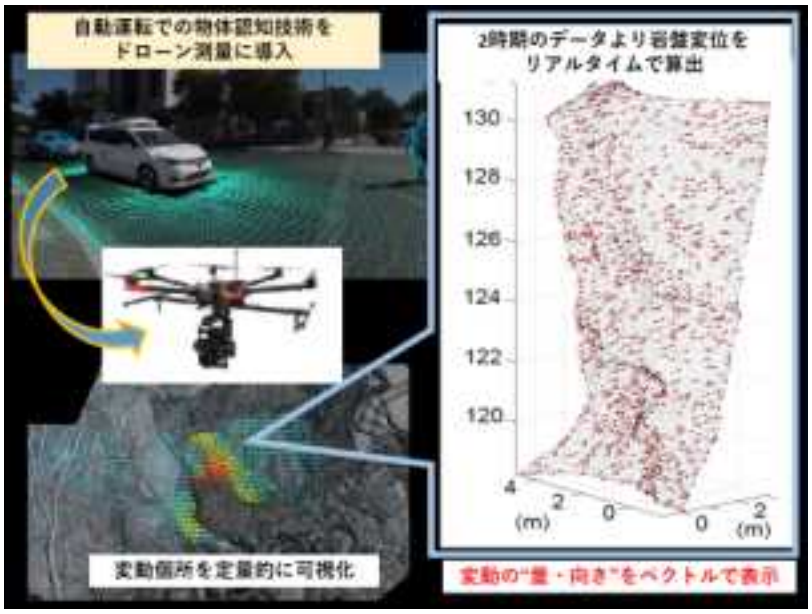


プロジェクト･研究成果の概要(2／2)

2) 人工知能による微地形自動判読処理およびリアルタイム変状定量化技術の開発



左上図のように微地形を詳細に可視化する計測技術は確立したが，レーザ点群で表現された図を判読するには相変わらず経験に頼った熟練技術が要求される．今後の技術者不足を考慮すると，その工程の自動化も必要である．この対策として，本研究開発では，医療分野で導入が進められている人工知能（AI）による画像診断支援技術を机上調査の工程に応用する．図 3 は，紀伊半島での豪雨災害前後の崩壊斜面データを教師として，図 2 に示したような微地形強調図から AI が崩壊危険個所を抽出した結果である．熟練技術者でも判読が難しいと言われる崩壊に特徴的な図形を容易に見出す成果が得られ，実用化レベルの自動判読技術を構築できた．



さらに抽出された危険個所が，どのように変動したのかを定量的に測量する技術を開発した成果を示すのが左下図である．これは自動運転で既に実用化されている SLAM という測位技術を応用したものである．具体的には，2 時期のレーザ点群を自動的に重ね合わせる技術であり，そこから変状を定量化に算出する．図 3 は，実斜面で発生した変状を定量化した結果が，現位置で調査した変状量と一致したことを実証する成果を示す．これらの一連のソフト技術により，ビッグデータである 3 次元レーザ点群に対して，労力を要することなく，経験を有する熟練技術者と同じレベルの解析を自動で行う工程を実現した．

最終年度は，これまでのハードおよびソフトの両技術の開発成果の実用と普及化を図る．具体的には，例えば，右図のように机上調査の解析結果を GNSS 付きタブレット型 PC にて収納し，目視点検ルートを表示するツールを実用化する．これにより，現位置ではタブレットに誘導された形で危険個所を漏れなく，確実に調査することができる．現地調査の結果と照合しながら，本提案技術の完成を目指す．



プロジェクト・研究成果の概要（1／2）

プロジェクト：「移動体通信データを活用した行動推定に基づく観光交通対策の優先順位最適化」

プロジェクトリーダー
・氏名：山田　忠史
・所属、役職：京都大学大学院　経営管理研究部　教授

研究期間：平成29年8月～令和2年3月

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）
京都大学大学院経営管理研究部，一般社団法人システム科学研究所，国土交通省近畿地方整備局

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

わが国の主要な観光地や観光都市では，自動車観光交通によって交通容量が逼迫している．訪日外国人旅行者が急増する状況も踏まえると，自動車観光交通への対策は喫緊の課題である．自動車観光交通に対する代表的な対策の1つが，観光パークアンドライド（以下，P&R．乗用車を郊外の鉄道駅などの近辺に設けた乗換用駐車場に停車させて，公共交通機関を利用して目的地に移動してもらうこと）である．本プロジェクトでは，P&R をはじめとした有効な自動車観光交通対策の実施に向けて，将来的に普及が期待される移動体通信データ（ETC2.0）も活用しながら，i)自動車利用者の経路や駐車場の選択行動を推定すること，および，それに基づき，ii)公共交通との連携を考慮したうえで，どこにどのような駐車場をどのような順番で整備すればよいかを明らかにする．

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

上記 i)と ii)から構成される計算手法は，前年度に基礎的枠組みを示した図1のような問題，すなわち，上位と下位のレベルから構成される二段階問題となる．上位レベルは，P&R を軸とした自動車観光交通対策の優先順位（および，位置と規模）の最適化であり，離散的な最適化問題に帰着する．下位レベルは，自動車利用者の経路や駐車場の選択行動，すなわち，自動車観光交通の行動推定である．本年度は，図1の二段階問題の精緻化に取り組んだ．すなわち，下位レベルの「①自動車観光交通行動の推定方法」，および，上位レベルの「②観光交通対策の優先順位決定手法」の精緻化であり，①と②は相互に関連するので，両者を結合させれば，「③観光交通行動の推定を内包した交通対策の優先順位の決定手法」の精緻化に相当する．

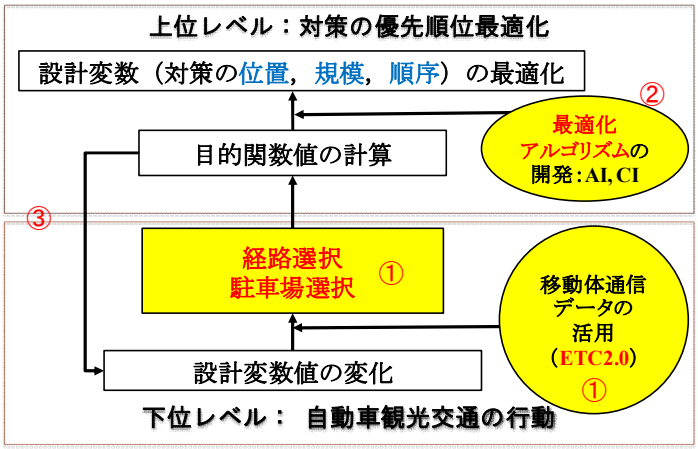


図 1　計算手法の全体構造

上記①については，平成30年11月に，図 2 のような経路選択実験を含む Web アンケート調査を実施して，昨年度に適用した多項ロジットモデル（駐車場と経路の同時選択モデル）の改良を図った．調査対象は，大阪府在住で，3 年以内に京都市を自動車で訪れたことがある400 名である．モデルの説明変数は，駐車場の収容可能台数，自動車乗車時間，電車・バス乗車時間，徒歩乗換時間，料金，乗換回数などである．Web アンケート調査の結果を利用して，モデルを推定した結果，モデル全体の推定精度が向上するとともに，昨年度の結果と比較して，駐車場の収容可能台数の影響が大きいことが示された．また，乗換回数が小さく，料金が最小となる経路が好まれる可能性も示唆された．



図 2　経路選択実験の一例

ETC2.0 データの活用については，昨年度よりも使用可能なデータ数が大幅に増大したことから，特に，昨年度においてトリップ数が少なかった OD において，最も利用される経路や，その所要時間に，変化が見られた．データ数の増大により，モデルへのインプットとなる経路と所要時間の値の信頼性が上昇したものと考えられる．

上記②については，上位レベルの解法として，AI 指向のメタヒューリスティクスの一種である遺伝的アルゴリズム

プロジェクト･研究成果の概要(2／2)

を適用した．乗換用駐車場の順序(位置も含む)，規模(最大収容可能台数)，料金の設定を表す 3 つの遺伝子型を生成し，個体の適応度を計算する際には，各遺伝子型を結合し，交叉などの遺伝子操作を行う際には，各遺伝子型に分解できるようにした．

図 1 に示したモデル(上記③)を，図 3の交通ネットワーク(大阪市－京都市嵐山間)に適用した．乗換用駐車場の候補地は，京都市の市街地外縁部の第 1 層に 6 箇所と，京都市郊外の第 2 層に 9 箇所である．多層型とした理由は，自動車利用者に複数の乗換機会を用意するためである．乗換駅から遠いほど大きな駐車場が整備できると仮定し(図3の四角形のサイズで表現)，いずれの候補地も 2 通りの料金を設定し，郊外の第 2 層の方が低廉であるとした．乗換用駐車場の大きさは，6 通り(主として第 2 層)，もしくは，4 通り(主として第 1 層)とした．なお，候補地 15 は，桂川 PA から嵐山まで運行するバスに転換してもらうという，仮想的なモーダルコネクト施策を表現している．

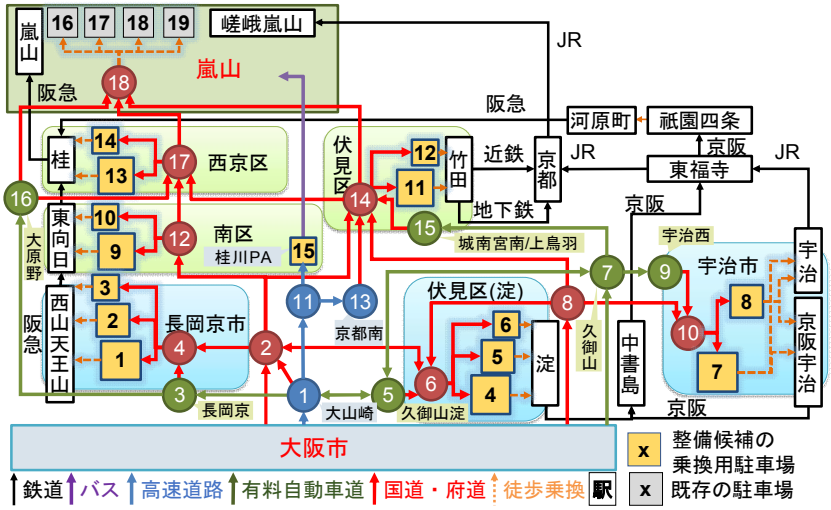


図 3　対象とする交通ネットワーク

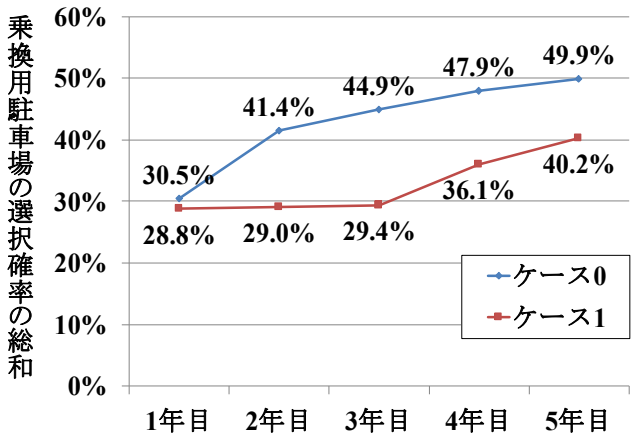


図 4　最適解の比較

目的関数を相違させることにより，2 つの計算ケースを設定した．1 つは，評価期間における乗換用駐車場の選択確率の総和を最大化するケース(ケース 0)であり，乗換用駐車場の整備効果のみに着目したケースに相当する．もう 1 つは，乗換用駐車場の整備や維持管理に要する費用，および，駐車場整備による当該エリアの交通混雑費用(混雑ペナルティ)を考慮して，「評価期間における乗換用駐車場の選択確率の総和」を「評価期間に要する乗換用駐車場の整備･維持管理費用と交通混雑費用の総和」で除したケース(ケース 1)であり，費用対効果のケースに相当する．乗換用駐車場の整備費用は駐車場ごとに要すると仮定する．一方，駐車場の維持管理費用は，図3の楕円で囲まれたエリアごとに，駐車場の規模の総計で決まるものとした．維持管理費用の関数には，京都市の公開情報を基にして，単調増加の凹関数を設定した．交通混雑費用については，各エリアにおける駐車場選択確率の総和が 0.3 を超えた期間において，維持管理費用の 2 倍の大きさのペナルティを付与した．

評価期間を 10 年として，最初の 5 年に毎年 1 箇所ずつ整備すると仮定した場合の，両ケースの計算結果を比較したものが，図 4 である．ケース 0 では，当然ながら，選択確率の大きい順で駐車場の整備順序が決定された．初年度には，乗換回数が最小の経路に含まれ，かつ，規模の大きい候補地 13 が選ばれて，その後に，料金最小経路に含まれる候補地 1 や 2 が続く．一方，ケース 1 では，初年度の候補地はケース 0 と一致したが，料金設定は高い方の値をとった．その後，候補地 13 と同エリアの 14，郊外部の同一エリア内の候補地 3,1,2 が，順に選ばれた．これらの結果から，初期段階において，乗換回数が小さいエリアに規模の大きな乗換用駐車場を整備することや，維持管理費用の抑制の観点から，同一エリア内に複数の駐車場を整備することが有効であること，ならびに，駐車場に起因する交通混雑解消の観点からは，乗換用駐車場の料金設定を高くすることも一案であることが示唆された．これらの知見や構築した手法は，観光交通対策の企図･計画段階において有益であると考えられる．

最終年度となる次年度は，図 1 のモデルを用いて，広範な試算(例えば，大阪から嵐山以外の OD も包含した交通ネットワークへの適用や，乗換用駐車場の位置や収容可能台数の設定を変更する)を実施して，P&R の効果や乗換用駐車場の最適整備計画について，より実際的に考究する．また，観光交通対策の優先順位決定手法のいっそうの精緻化にも取り組む．

プロジェクト・研究成果の概要（1／3）

プロジェクト：「トンネル点検支援技術の高度化に関する研究」

プロジェクトリーダー

氏名：石川　貴一朗

プロジェクト参加メンバー（所属団体名のみ）

日本工業大学機械工学科、岡山大学大学院環境科学研究科、関西大学社会安全学部、早稲田大学理工学術院基幹理工学部、i システムリサーチ（株）、（株）ウエスコ、応用地質（株）、（株）オリエンタルコンサルタンツ、計測検査（株）、（株）建設技術研究所、（株）鴻池組、国際航業（株）、（株）ニュージェック、パシフィックコンサルタンツ（株）、三井住友建設（株）、ライカジオシステムズ（株）、国土交通省近畿地方整備局道路部、近畿技術事務所、（一般）先端建設技術センター、（株）高速道路総合技術研究所、（一般）日本建設機械施工協会、（一般）近畿建設協会

プロジェクトの背景・目的（研究開始当初の背景、目標等）

道路トンネル点検は、厳しい環境条件の中で、熟練技術者による適切な判断が必要となっており、工期、コスト、安全、労働環境、精度、適任者の確保等が課題となっている。

本研究の目的は、走行型計測を有効に活用した道路トンネルマネジメント手法の確立である。その手段として、①走行型計測の性能・機能を理解した上での画像・レーザ等から得られたデータに対する自動解析や AI 技術の活用（支援）方法の検討　②設計～施工～維持管理のプロセスにおける建設時からの正確な 3 次元形状データ、地山状況、施工法、損傷状況等のデータベース保管・活用方法についての検討ーを行うものである。

プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等）

本研究は、デジタルツイン構造（フィジカル空間～サイバー空間）を基本とした統合型健全度診断システムの構築を目指すものである。研究項目を表-1 に示す。

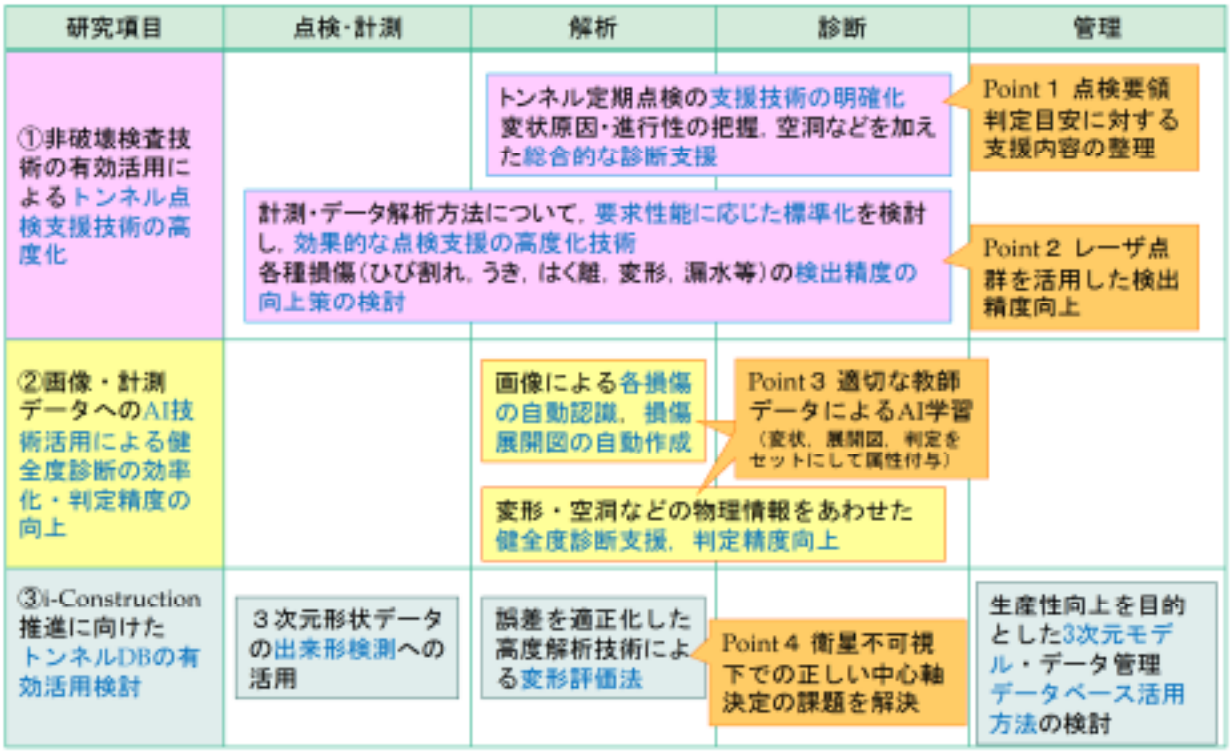
①非破壊検査技術の有効活用によるトンネル点検支援技術の高度化

②画像・計測データへの AI 技術活用による健全度診断の効率化・判定精度の向上

③i-Construction 推進に向けたトンネルデータベースの有効活用検討

それぞれの研究項目を、点検・計測、解析、診断、管理別に分類する。

表-1　研究項目



プロジェクト･研究成果の概要（2／3）

プロジェクトの研究成果の概要

(1) 非破壊検査技術の有効活用によるトンネル点検支援技術の高度化

従来の定期点検によって検出されるひび割れやうき･はく落などの変状に対して、トンネル走行型計測によってどこまでの支援が可能であるか、検出能力、精度について検証を行った。その結果を表-2 に示す。それぞれの変状に対して、走行型計測の画像、レーザデータからスクリーニング能力が確認でき、一定のばらつきや誤差原因を解明することもできた。

表-2 検証結果と課題

評価のポイント		検証結果と課題
ひび割れ	・外力性が判定できるか ・幅，長さが抽出できるか ・進行性がわかるか（客観的位置） ・ひび割れ密度 ・微細ひび割れが必要か ・遊離石灰，漏水で視認不可の場合	・△ 画像のみでは困難 ・○ 0.3mm程度以上可能 ・○ 前回との比較で可能 ・○ 抽出可能 ・△ 議論が必要 ・△ 画像のみでは困難 経験的に可能か？
うき	・画像からどの程度まで判定可能か ・閉合ひび割れ，交差・分岐内側 ・目地沿いのうきに繋がるひびわれ ・ジャンカ，はく落，欠け ・変色，劣化，漏水 ・打音との併用が必要	・△ 画像のみは限界あり ・○～△ 親指大程度可能 ・○～△ ひび伴うものは可 ・○～△ ある程度可能 ・○～△ 一部有効では？ ・△ 最終評価は打音が必要
変形	・ﾚｰｻﾞ点群活用の有効性 ・外力性か否かの判定	・○ 変形には有効 ・○ 有効　ルール必要
鋼材腐食	・付属施設の判定（重要度ｱｯﾌﾟ）	・○～△視認できれば可能
巻厚不足 背面空洞 有効巻厚	・覆工巻厚不足、背面空洞の判定 ・有効巻厚の判定	・×～△ 画像・MMSだけでは困難 ・×～△ 打音検査だけでも 困難
漏水	・漏水・遊離石灰　規模・位置判定 ・漏水量の判定	・○～△ 画像/点群輝度 可 ・△～× 量は困難

(2) 画像･計測データへの AI 技術活用による健全度診断の効率化･判定精度の向上

1)レーザ点群を活用した変状検出精度の向上策の検討

レーザ計測に関する特徴を整理したうえで、形状からのトンネル特徴量の抽出の可能性と、反射強度に着目した変状抽出の可能性について検討を行い、図-1 のように路面状況、補修跡、漏水、遊離石灰などレーザ反射強度から検出できることが確認された。

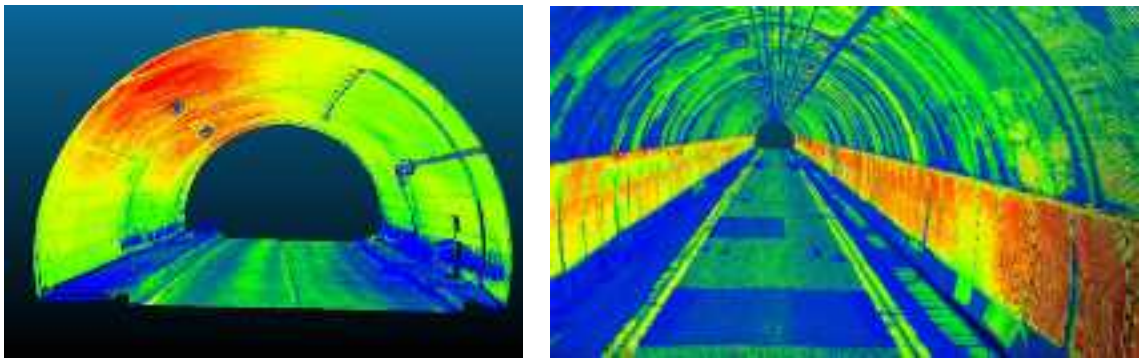


図-1 レーザ反射強度による検出状況

2）AI 技術活用による健全度診断の効率化・判定精度向上の検討

点検支援 AI 構築に向けて、機械学習を用いたレーザ点群からのトンネル覆工面変状の抽出、レーザ点群を用いたトンネル内構造物点検手法の構築、また診断支援 AI 構築に向けて、センサ情報統合による健全度診断の効率化・判定精度の向上について検討を行った。その結果、画像と点群の両方を使ったセンサ情報統合に基づく AI による変状抽出の検討から、現在の走行型計測では、画像と点群の位置の整合性が重要であり、特徴量を自動抽出し、特徴量マッチングを適用することで、位置同期精度が向上することが判明した。

点群を覆工面、照明・ケーブル、導水工、補修跡（図-2 参照）にセグメンテーションする手法の検討を行った。形状変化に着目することで、これらをセグメンテーションすることが可能であることが示唆されたが、トンネルによって、性能が異なることが分かった。今後は、セグメンテーション性能の向上と、画像との自動位置同期機能の開発を行う必要がある。

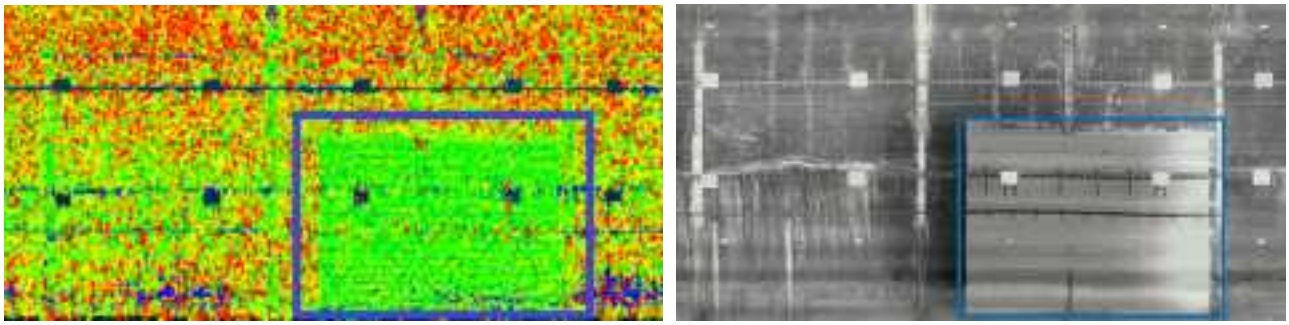


図-2 補修工跡の可視化結果

(3) Construction 推進に向けたトンネルデータベースの有効活用検討（今年度実施）

設計～施工～維持管理のプロセスにおいて、生産性向上を目的とした「i-Construction」が導入されており、建設時からの正確な 3 次元形状データ、地山状況、施工法等を把握しておくことは、今後の点検～診断～対策のメンテナンスフローにおいて重要と考えられ、これらのデータベースの保管や活用方法についての検討を行うものである。 i-Construction は、地形・地質データ、構造物データ、計測データ等を管理し、設計～施工～維持管理に係る生産性向上を目指すものである、本研究では、走行型レーザ計測による 3 次元形状データによる出来型検測への活用、従来手法よりも誤差を適正化した高度解析技術による変状評価法の検討、これらのデータベースの活用方法の検討を行う。

(4) 今年度の方向性

H26 年度に制定された道路トンネル定期点検要領にて運用されて 5 年が経過し、新たな点検要領に改訂された。改訂のポイントは、① 1 巡目の点検を踏まえた効率化・合理化、② 点検支援技術の積極的な活用であり、点検支援技術活用の方向性が位置付けられた。

本研究では、この流れを踏襲し、点検支援技術をいかに高度化して健全性診断に活用するかを第一の研究ポイントにしたうえで、AI、デジタルツインなど新技術の活用も踏まえ、一層効果的で合理的なスマートインフラマネジメント手法の確立に向け取り組んでいく。