

新 都 市 社 会 技 術 融 合 創 造 研 究 会 <令和元年度実施プロジェクトの中間・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	「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	事後	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合理的な補強工法を、新設・更新用の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、既設構造に対する補修補強工法および新設・床版取替に対する新たな提案構造ともに、FEM解析と疲労実験によって疲労耐久性の向上が検証できたことから、既存技術に比べて技術革新が図れることが実証された。更に、既設構造に対する補修補強工法に関しては、実橋に対する計測によって疲労耐久性の向上が検証できた。これら研究の成果は、実現場への適用が期待され、非常に優れたプロジェクトであったと評価できる。	S
2	「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	事後	本研究は、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事を目的としている。 本研究では、特に道路舗装に着目し、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した。また、提案したデータベースについて、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と共に、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を構築した。これら研究の成果から道路パトロール支援とそこから得られるデータマネジメントシステムの構築がなされており、優れたプロジェクトであったと評価できる。	A
3	「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	事後	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事を目的としている。 本研究では、主要部材の劣化過程と部材間の関連性をモデリングし、劣化速度の異質性を考慮した補修戦略プロファイリング手法を開発した。また、対策の必要性レベルに応じた補修施策を提示するとともに、主要部材のリスク発生確率を要素とする橋梁フォルトツリー分析を組合せた、費用-リスク分析を行った。これら研究で得られた成果を基に実業務に展開し劣化補修計画への反映につなげていくことが期待され、非常に優れたプロジェクトであったと評価できる。	S
4	「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	事後	本研究は、斜面崩壊・落石災害の未然防止の実現を目指し、法面・斜面において3次元レーザデータを活用して、コスト及び労力の負担の無い、効率的で確実に危険箇所を抽出する斜面及び法面の点検調査手法を構築する事を目的としている。 本研究では、現状のレーザ測量技術の課題と解決策を示し、IoTを用いた計測の効率化、ビッグデータによる緻密なデータ蓄積及びAIの活用により、効率的且つ“見逃し”の無い斜面点検を可能にする汎用的な技術を構築した。これら研究で得られた技術を活用し、蓄積されつつある3次元データを用いた斜面リスクのスクリーニング、斜面調査精度の向上などが期待でき、非常に優れたプロジェクトであったと評価できる。	S
5	「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	事後	本研究は、パークアンドライドをはじめとする自動車観光交通対策の実施に向け、移動体通信データを活用しながら、自動車観光交通の行動を推定し、それに基づき公共交通との連携を考慮したうえで、乗り換え用駐車場の整備優先順位を明らかにする事を目的としている。 本研究では、上位レベルで交通対策の最適優先順位を決定し、下位レベルで自動車観光交通の行動を推定する、といった計算手法を用い、実地的な交通ネットワークに適用して試算を行い、乗り換え用駐車場の位置・整備順序・規模・料金について有用な知見を導いた。これら研究で得られた知見は、観光交通対策の企画段階での意思決定サポートに活用が期待でき、非常に優れたプロジェクトであったと評価できる。	S
6	「トンネル点検支援技術の高度化に関する研究」 (H30～R2)	日本工業大学 基幹工学部 機械工学科 准教授 石川 貴一郎	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、走行型計測技術を活用し、得られたデータに対する自動解析やAI技術の活用・支援方法などによる点検支援技術の高度化を目指す事を目的としている。 本研究では、走行型レーザ計測技術の衛星不可視下でのSLAM技術及び変形モード解析による精度を検証した。また、実トンネルにおいて数種類のレーザ計測を行いSLAM技術による位置データ取得の最適化を検証した。更に、画像データを活用したAI用教師データ収集ツールを開発し、AIの試作に取り組んだ。引き続き、更なる高度化・精度向上に向けて実用化検証を図る予定であり、社会実装に向けた研究成果が期待される。	S
7	ETC2.0プローブ情報を活用した渋滞要因分析システムの開発に関する研究 (R1～R3)	京都大学大学院 工学研究科 教授 宇野 伸宏	中間	本研究は、交通渋滞の有効な対策の立案・実施のため、時々刻々と収集・蓄積されるETC2.0プローブ情報等のビッグデータを用いて渋滞要因分析を行い、その成果を踏まえた渋滞要因分析システムを道路管理者と共有可能な形式にて構築・実装する事を目的としている。 本研究では、国道24号を対象にETC2.0プローブデータ等の收集整理を行い、マクロ的視点での交通状態の可視化及び渋滞発生率・ボトルネック渋滞発生率の空間的推移分析、重回帰モデルを利用した渋滞要因分析を実施した。引き続き、渋滞要因分析モデルを改良し、道路管理者と分析者が共有可能な渋滞要因分析システム(アプリケーション)の構築に取り組む予定であり、実務での活用に向けた研究成果が期待される。	A
8	土壌水分を考慮した斜面監視システムの実装 (R1～R3)	京都大学大学院 工学研究科 教授 岸田 潔	中間	本研究は、土壌水分量を事前道路通行規制の指標として加えるため、地域の地盤特性を反映した近畿ローカルな土壌雨量指数決定法の確立を目指す事、及び室内実験と現地計測により、土壌土分量指数と地下水の関係を明確にする事を目標としている。 本研究では、国道28号における既存の計測管理システムのクラウド化を行うと共に、土壌水分量と地下水位の関係を把握した。また、国道42号における観測データを用い、熱・浸透連成解析を用いたFEM解析により、土壌水分量及び地中温度の深度特性を再現することができた。引き続き、計測斜面における斜面全体の安定性に対する土水連成解析を実施する。また、地中温度と土壌衰微雲量の相関について、カラム試験により検証する予定であり、斜面監視システムへの実装に向けた研究成果が期待される。	A
9	長大橋の観測データの活用による維持管理支援システムの検討 (R1～R3)	京都大学大学院 工学研究科 教授 金 哲佑	中間	本研究は、ケーブル構造を持つ特殊橋の維持管理に有益な情報抽出と、着目すべきリスク事象に対するモニタリングの可能性を明らかにし、特殊橋の劣化特性や実態に基づいた維持管理手法を検討する事を目的としている。 本研究では、ケーブル構造を持つ特殊橋の劣化特性やモニタリングの実態を調査し、橋梁の健全性に関わる特徴量(振動数、振動モード、変位等)を効率的に抽出すると共に、それらの長期変動と季節変動の関連性を検証した。引き続き、構造項目と劣化特性や実態との相関を分析のうえ実橋のモニタリングを行い、損傷シナリオを設定するとともに点検マニュアルに準じた資料を作成する予定であり、特殊橋の維持管理に有益な研究成果が期待される。	A
10	既設橋梁における高力ボルト継手の実態調査と安全性評価及び点検、補修方法の検討 (R1～R3)	大阪市立大学大学院 工学研究科 教授 山口 隆司	中間	本研究は、鋼橋における高力ボルトの軸力低下の実態を把握し、軸力低下の要因とメカニズムを調査するとともに、供用中の橋梁における部材連結部の安全性を評価、並びに高力ボルト継手の簡便な点検・補修方法を提案する事を目的としている。 本研究では、実橋に対するボルトサンプリングを行い残存軸力の実態把握と、ボルトの締め付け方法の変遷を調査した。また、ボルト長さ別の長期リラクゼーション実験、FEM解析による軸力低下の影響検討、画像処理による軸力評価検討に着手している。引き続きこれらの実験や検討を進め、高力ボルト摩擦接合部の残存性能評価法及び補修ガイドラインを策定する予定であり、高力ボルト摩擦接合継手の継手強度の管理に有益な研究成果が期待される。	A

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～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) 【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、兵庫国道事務所、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版を更新する際に、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、近年、近畿管内の橋梁点検においても、鋼床版の縦リブと横リブの交差部や垂直補剛材上端部等の溶接部に疲労亀裂を数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。 本プロジェクトでは、鋼床版の縦リブと横リブの交差部や垂直補剛材上端部等を対象として、既設鋼床版に対しては従来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従来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、縦リブと横リブの交差部や垂直補剛材上端部、デッキとUリブの溶接部等を対象として、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内面の摩擦面の品質管理が不要で密閉性も確保でき、かつデッキ下面から補強する際に上面の舗装も傷めない支圧接合型の新型ワンサイドボルト(Thread Rolling Screw; TRS)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 新設および劣化した RC 床版等の更新用の鋼床版に対しては、水密性とデッキ上面の平坦性を確保できる支圧接合型の新型ワンサイドボルト(TRS)を用い、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を実際の橋梁で適用し、補強前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)
令和元年度	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 実橋での補強工法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

3年間のプロジェクトで得られた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および新設・更新用構造の検討

- ・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、横リブスロット部の 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。なお、横リブ側の止端は、ダイヤフラムがある場合の方が、ダイヤフラムがない場合と比較し、応力が小さくなる傾向にあった。一方、U リブ側の止端は、ダイヤフラムがない場合の方が、ダイヤフラムがある場合と比較し、応力が大きくなる傾向にあった。
- ・新設および更新用の鋼床版構造に関して、U リブとデッキの接合部、および U リブと横リブの交差部については、提案する新型の支圧接合型ワンサイドボルト(TRS)を用いた接合構造が適切であり、垂直補剛材上端部については、R=30mmのフィレット構造を用いるのが良いと考えられる。なお、それぞれの接合構造で生じる局部応力および疲労寿命については、実物大の試験体を用いた静的載荷試験および疲労試験で検証する必要がある。

(2) 疲労実験による補強工法および新設・更新用構造の疲労耐久性の検証

実物大の試験体を用いて、実測された最大軸重相当の荷重で疲労試験を行い、以下の成果が得られた。

- ・U リブと横リブの交差部では、従来構造に TRS を用いたアングル材補強を施すことにより、U リブ下部の横リブスロット部の局部応力が 1/3 以下に低減され、横リブスリット部周辺では疲労き裂は発生せず、予防保全効果があることが確認された。ただし、8 万回程度で U リブとデッキの溶接部からデッキ進展き裂が発生し、50 万回程度でデッキ上面に貫通した。一方、TRS を用いた新設構造では、200 万回繰り返し載荷を行っても、U リブと横リブ交差部、デッキともに疲労き裂はまったく発生しなかった。
- ・垂直補剛材上端部では、TRS を用いたアングル材補強により、溶接部の局部応力が 1/3 以下に低減され、疲労き裂が発生しないことが検証された。また、補強なしで発生した疲労亀裂をグラインダーで削除し、補強を施すことで亀裂の再発を防止できることが検証された。一方、補剛材上端にフィレット加工を施した新設構造では、溶接部の応力集中を疲労強度の高い母材の切り欠き部に移すことで、疲労亀裂の発生を防止できることが検証された。

(3) 実橋での応力計測による補強効果の検証

紀の国大橋と浜手バイパスで、散水車を用いた動的載荷試験と 72 時間連続計測を行い、以下の成果が得られた。

- ・応力波形で見ると、補強前は、スロットの左側と表側が引張り、右側と裏側が圧縮となっていたが、補強後は左右、表裏でそれぞれ同符号となっており、補強によって U リブの橋軸および直角方向の水平の動きが抑えられたことが分かる。
- ・72 時間連続計測結果では、補強前の発生応力の最大値は、U リブ左側の 58 MPa であったが、補強後は 28 MPa に半減した。
- ・横リブ下フランジでの 72 時間連続計測時の発生応力の最大値 (補強前 14MPa, 補強後 16MPa) は動的載荷試験の最大値 (補強前 4.7MPa, 補強後 4.6MPa) の 3.0 倍 (補強前) と 3.5 倍 (補強後) であった。試験車の後軸重が補強前は 9.5t, 補強後は 9.3t であったので、補強前に 29t, 補強後に 33t 程度の軸重 (過積載) が橋梁を通過したと推定される。
- ・72 時間連続計測時の応力範囲の最大値で見ると、U リブの左側が補強前で 60MPa を超えていたが、補強後は 40MPa 以下となり、約 40% 減少した。
- ・72 時間連蔵計測結果から推定した疲労寿命を見ると、補強前で最も短いものは U リブ左側の 55 年 (G 等級) であったが、補強後は 3 年以上と大幅に改善され、疲労耐久性が大幅に向上したことが検証された。

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, 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, 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) 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げばれている。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いえない。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。 ○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 ○意思決定の階層性を考慮した情報提供のあり方の提案 ○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。

最終年度にあたる昨年度においては、道路巡回業務から獲得できるデータと路面性状調査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を提案した。その際、舗装マネジメントを実施する上で需要と考えられるポットホール発生の有無、ならびに発見されたポットホールへの処置方法（応急処置を行うか大規模補修を行うか）を予測するモデルを構築し、その推計結果に関して分析を行った。

図 3 にポットホールの発生に関するロジスティック回帰分析を行った結果を示している。多くの説明変数がポットホールの発生に対して有意にきいていることがわかる。またこの分析結果を用いて実績値との比較を行ったところ、74.5%が的中していた。推定ではポットホールが発生しないと求められた箇所のうち実際には発生していた箇所の特徴を調べたところ、歩道橋や橋梁部などの道路構造に関する特徴を持つ箇所が多く観測された。

図 4 にはポットホールの処置方法に関する推計結果を示している。処置方法に関しては轍惚れのみが有意に影響することがわかった。実績値との比較を行ったところ、的中率は 75.6%となった。また、非的中箇所に影響する要因としては、道路構造と苦情発生数があることがわかった。

以上の分析を通じて、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。

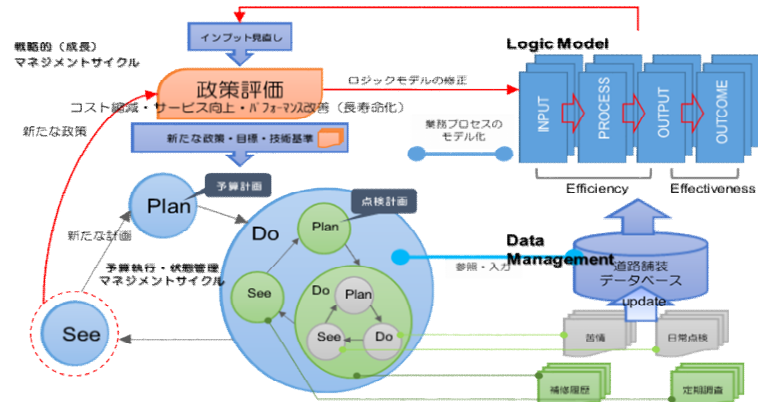


図2 マネジメントシステム

変数名	回帰係数	標準誤差	P値
大型車交通量(台/日)	9.272e-05	1.030e-05	< 2e-16 *
最新工事以降の累積交通量 (万台)	3.817e-06	1.233e-05	0.7569
事務所(寒冷地ダミー)	8.697e-01	9.426e-02	< 2e-16 *
車線数	3.219e-01	7.245e-02	8.87e-06 *
交差点	5.186e-01	1.104e-01	2.65e-06 *
路面種別*	3.688e-01	8.094e-02	5.20e-06
クラック率 (%) *	-3.739	1.769	0.345
シール率 (%) *	-3.716	1.772	0.0360 *
パッチング率 (%) *	-3.667	1.770	0.0383 *
ひび割れ率 (%) *	3.690	1.769	0.0370 *
わだち掘れ (平均) (mm) *	-8.253e-02	1.105e-02	8.03e-14 *
平坦性 (mm) *	-1.033e+01	1.596e+01	0.5174
IRI(mm)*	7.899	1.200e+01	0.5105
MCI*	-1.254	8.389e-02	< 2e-16 *
嵩上げ可否	4.532e-02	8.198e-02	0.5804

図3 ポットホール発生予測分析結果 (*は 5%有意)

変数名	回帰係数	標準誤差	P値
クラックの有無	3.448e-02	2.890e-01	0.9050
大型車交通量(台/日)	5.028e-05	3.780e-05	0.1834
最新工事以降の累積交通量 (万台)	2.436e-05	4.220e-05	0.5637
出張所	1.935e-01	1.666e-01	0.2453
車線数	5.815e-02	2.091e-01	0.7810
交差点	2.608e-01	3.455e-01	0.4503
わだち掘れ(平均)(mm)	1.066e-01	4.563e-02	0.0194 *
平坦性(mm)	2.281e+01	6.672e+01	0.7325
IRI(mm)	-1.672e+01	5.014e+01	0.7388

図4 ポットホール処置方法予測分析結果 (*は 5%有意)

※ 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: 貝戸 清之 ・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～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) 大阪大学, 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
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) 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な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) 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 (鋼桁端部) と、その劣化 (腐食) の主要因 (漏水の有無) 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レジームスイッチング・マルコフ劣化ハザードモデルを開発する。2年目は重要部材の一つである RC 床版を対象として、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ベンチマーク分析に基づいて実施する。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、統計的劣化予測モデル、ライフサイクル費用分析手法およびリスク評価手法としてのフォルト・ツリー分析を組み合わせた費用ーリスク分析を実施して、部材ごとの劣化の実態に即した点検周期の在り方について考察を加える。

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

【1 年目の研究成果】 鋼桁端部の腐食に対する伸縮装置の予防保全の効果

実際の目視点検データを用いた統計的劣化予測により鋼桁端部における腐食に対する寿命を約 12 年と推計した。その結果、これまでの塗装の塗り替え周期 (10 年～15 年) が実現象との比較を通して妥当性であることを確認できた。また、伸縮装置の破損による漏水が桁端部の腐食を加速していることをレジームスイッチング・マルコフ劣化ハザードモデルを用いて明らかにするとともに、伸縮装置のように主部材ではない部材であったとしても、主部材の劣化・損傷に多大な影響をもたらす場合があることから、今後点検周期を検討していく際には、部材間の関係性も考慮しなければならないことを示唆した。図-1 は解析結果である。青色の実線が桁端部に漏水がない場合 (通常モード) の期待劣化パスで、赤色の実線が桁端部に漏水がある場合 (異常モード) の期待劣化パスである。また縦軸の健全度は 1～5 が防食機能の劣化, 5～6 が腐食を表す。同図より、防食機能の劣化段階では桁端部の漏水の有無は劣化速度に影響はなく、腐食の進展速度に大きい影響を及ぼすことがわかる。最終的には、桁端部に漏水がある場合とない場合で、期待寿命が 22 年と 35 年になることが読み取れる。

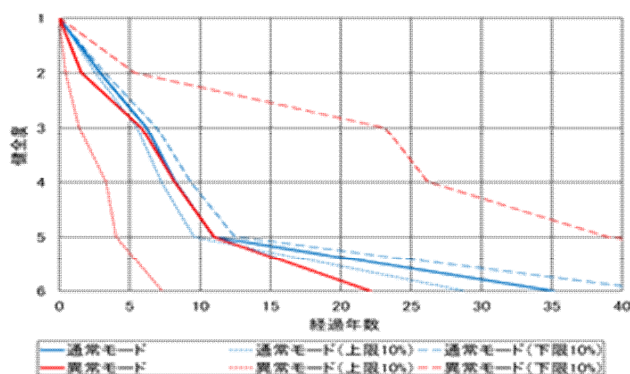


図-1. 鋼桁端部の腐食劣化過程

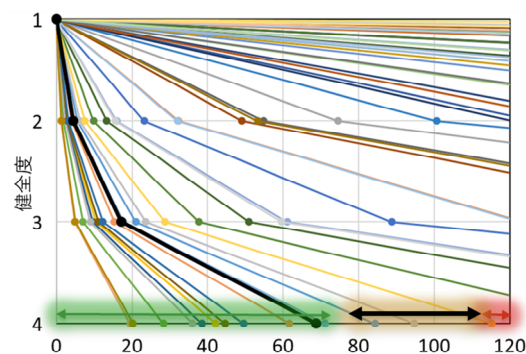


図-2. RC 床版の劣化プロファイリング

【2 年目の研究成果】 劣化速度の異質性を考慮した補修戦略プロファイリング

RC 床版を中心とした劣化予測、具体的にはベンチマーク分析とプロファイリングを実施して、RC 床版の劣化相対比較に基づく補修優先順位の設定を行った。さらに、実際の長寿命化計画における補修優先順位と比較することによって、両者の優先順位に差異が生じていることを確認した。ただし、この差異に関しては実際の補修計画が橋梁の損傷状態のみならず、様々な要因（補修工事のロット、対象橋梁の重要度）を加味した上で総合的に決定されていることから必然的に生じ得るものである一方で、実際の点検データに基づくプロファイリングにより重大な損傷を有する橋梁が補修優先順位で上位にくることを明らかにした。図-2 は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である。同図の劣化予測結果とプロファイリング手法に基づいて検討した結果、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予防保全的な補修戦略が、一方で異質性パラメータ ε が比較的小さい橋梁グループに関しては、事後補修的な補修戦略が最適となることがそれぞれ判明した。

【3 年目の研究成果】 橋梁部材種別間の点検頻度の相違を考慮した最適点検施策

主要部材（桁端部、RC 床版、伸縮装置、支承）のリスク発生確率を要素とする橋梁フォルト・ツリーを作成して、点検データから橋梁全体のリスク評価手法を開発し、部材ごとに実態に即した点検周期を検討するための方法論を手掛けた。これにより劣化が進行した部材や重要度の高い部材に関しては 5 年よりも短周期で目視点検を実施する一方で、劣化の進行が遅い部材に関しては 5 年よりも長周期の目視点検を実施することによって、現行の 5 年に一度の一括点検よりも費用・リスクともに同時に低下できる可能性があることを示唆した。

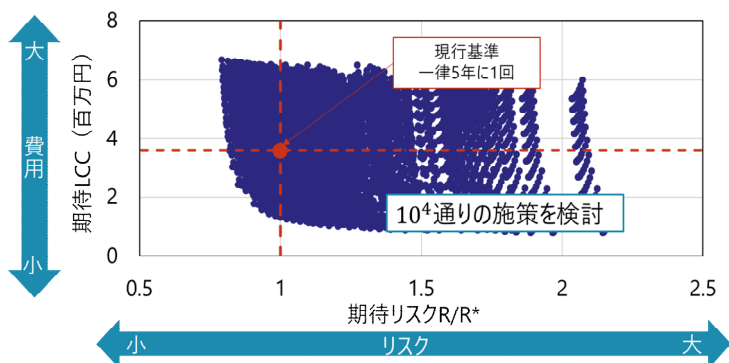


図-3. 費用ーリスクのトレードオフ関係

プロジェクト・研究成果の概要 (1/2)

プロジェクト: 「CRT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点検が実施されているが、着目点以外からの落石・崩壊事例も多発している。今後の技術者不足が懸念される中で、従来の調査手法の効率化が要求されるだけでなく、経験の無い豪雨災害にも備える危険個所の見逃しの無い斜面点検手法を構築する必要がある。本研究開発により、3次元レーザデータを活用して、コストおよび労力の負担の無い、効率的で確実に危険個所を見つける手法を実現させる。

プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等)

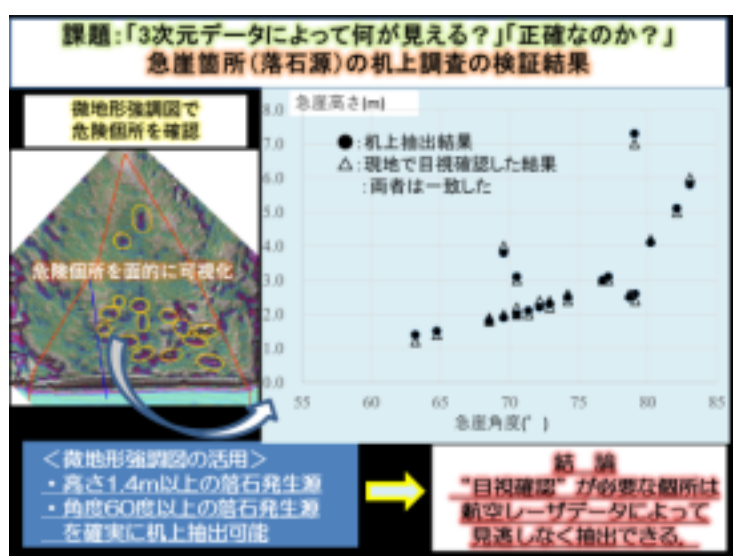


図1 航空レーザ測量と目視点検による抽出される急崖の違い

判読作業に熟練を要し、コストに見合う成果が得られているのかは疑問である。またドローンを使った簡便な3次元測量も普及が期待されているが、それを使うことによって、何が改善されるのか明確になっていない。すなわち、その利点を明確にした活用法を確立しなければ、3次元データの利用も普及しない。そこで本研究開発は、「3次元データの活用」に対する疑問であり課題であった「3次元を活用すれば斜面の何が見えるようになるのか?」「3次元データで見たものは、どこまで正確なのか?」あるいは「3次元データの活用は、どこまで低コスト化できるのか?」の解決に取り組み、次に報告する成果をあげることができた。

(1) 3次元にすることで「何が見えるのか?」また「どこまで正確なのか?」について

航空レーザ測量を使って再現した斜面において、机上で抽出できた急崖と、現位置調査によって抽出した急崖を比較したのが図1である。図に示すように、航空レーザ測量によって高さ1.4m以上、勾配60°以上の急崖は可視化できることが分かり、その結果は熟練技術者の調査結果と等しいことを明らかにした。ただし図2に示すように

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危険個所の位置を示した手書きの図を基に、調査員が目視で斜面の点検を行っている。そのため危険個所の位置精度が悪いことに因る非効率的な作業となる上に、調査対象箇所も見逃し易いという問題がある。将来予想される技術者不足や厳しい予算への対応、あるいは経験が通用しない想定外の災害に対して、効率的で確実な点検を実施するために「3次元データ」を活用することへの期待も大きい。i-Constructionの推進も考慮すれば、今こそ防災・減災用の3次元の活用は実現しておく必要がある。これまで、広域を効率よく計測する航空レーザ測量も利用されてきたが、データの

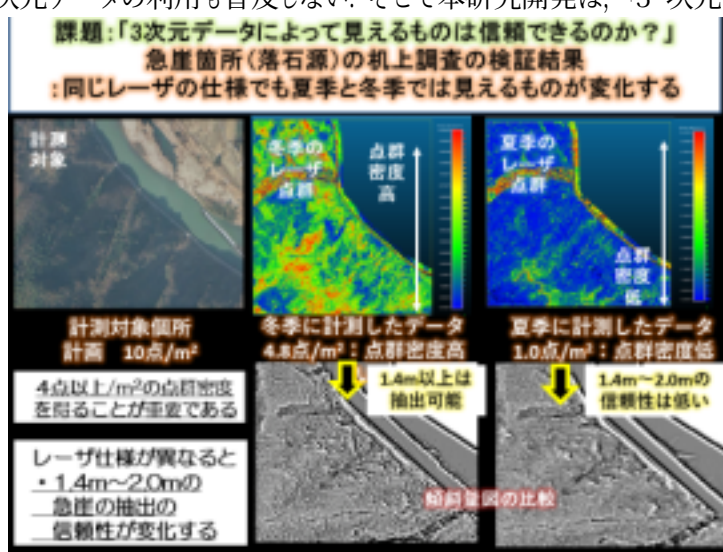


図2 航空レーザ測量の点群密度による調査結果の違い

プロジェクト・研究成果の概要 (2/2)

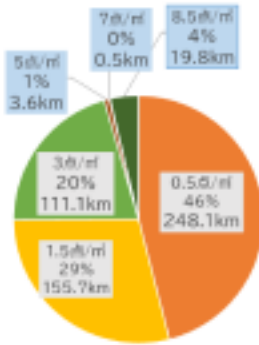


図3 整備局のデータの点群密度

レーザ点群密度により、机上調査結果の信頼性は大きく変わる。“誰でも”現地調査と同じ結果を出すには、4 点/m² 以上の点群密度を確保する計測を実施する必要がある。

(2) 3次元データの活用の「低コスト化は可能か？」について

レーザ点群を高密度にするためには、計測回数を増やしてデータを重ね合わせる、機器の性能を限りなく向上させる、などの措置をすれば可能になる。しかしながら、高コストになりデータ処理の労力が増える。これまで航空レーザ測量によるビックデータが普及しなかったのは、コストと解析に要する労力の過大な負担があったからである。図3は整備局管内に保存されているレーザ測量結果の点群密度を調べた結果である。現地踏査で確認できる危険箇所を机上調査で抽出できる

箇所は数%しかないことが分かった。また図3のレーザデータを詳細に分析した結果が図4である。これは複数の飛行コースのレーザデータを重ね合わせたもの(格子状と記載)を活用した場合でも、夏季に取得したデータでは2.0m以下の急崖のほとんどを机上で抽出できないこと、さらには飛行コースを重ね合わせない(単コースと記載)場合でも、冬季に計測すると格子状で計測したデータに匹敵する机上調査が可能なることを示すもので、航空レーザ測量を実施するには計測条件の最適化が必要であり、図3の結果は、この条件を加味することなく実施してきた結果であった。さらに、汎用的なレーザデータ処理あるいは人工知能(AI)を活用すれば、単コースのデータを使っても、十分に効果的な調査が実施できることが分かり、コストを抑えながらも有用な斜面調査が可能になる方法が明らかになった。例えば、地すべり地形を抽出するためにレーザ点群データ処理技術がいくつか提案されているが、上手く組み合わせることで岩盤崩壊や落石の危険がある箇所の抽出に役立つ微地形強調図が作成できること、また図5のように、AIによる自動処理を使うことによって、熟練技術者のノウハウと同等のレーザ判読処理が可能になり、崩壊の危険性のある箇所を単コースのデータから効果的に抽出できることを示せた。地上調査の結果に基づいて、現地の危険箇所に調査員を誘導するタブレット型ツールを加えて、“コスト・労力をかけることなく見逃しの無い斜面調査”を可能にする本研究の成果の全体像を図6に示す。これらの成果を、ドローンレーザ測量やMMS(車両を使ったレーザ測量)に対して適用することで、局所的な斜面の変位の定量化や法面点検の効率化ができることを具体的事例と共に示し、3次元の活用法を整理できた。



図4 航空レーザ測量の低コスト化の検討結果

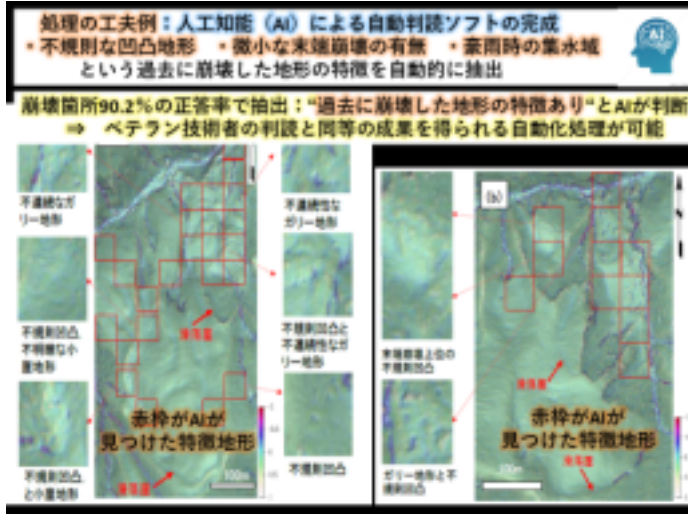


図5 人工知能による航空レーザ測量解析結果の概要



図6 3次元データを活用するために必要な各工程の改善内容例

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について明らかにする。上記 i)と ii)を包含した計算手法は、企画を含む計画段階での意思決定サポートツールとして有用であり、観光交通対策の企画・計画段階において、P&R の実施の是非を判断する材料として活用することが考えられる。	
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、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。 図1に示した計算手法の確立に向けて、本プロジェクト初年度の平成 29 年度には、下位レベルにおいて、既存手法を参照しながら、自動車観光交通の行動推定方法について検討するとともに、ETC2.0 データの活用可能性を示した。上位レベルにおいては、既存の最適化手法を援用することにより、優先順位決定方法を構築した。初年度を総ずれば、既存研究を参照しながら、図1に示した計算手法の基礎的枠組みの作成に従事したことになる。二年目に相当する平成 30 年度は、下位レベルにおいて、ETC2.0 データの活用を図りながら、Web アンケート調査を実施して、自動車観光交通の行動推定方法を改良した。また、上位レベルにおいては、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を適用することにより、最適化手法の拡張を図った。H30 年度を総ずれば、図1に示した計算手法の改良に努めることにより、その全体構造を確立したことになる。 本プロジェクトの最終年度に相当する令和元年度は、「①観光交通対策の優先順位に関する試算 (上位レベル、下位レベル、手法全体)」に取り組み、前年度までに開発した計算手法の精緻化を図るとともに、それを用いて優先順位に関する試算を行った。具体的には、Nested Logit(NL)モデルの適用による下位レベルの精緻化、上位レベルの解法アルゴリズムのさらなる改良、および、混雑ペナルティのより精緻な設定である。また、「②持続可能な観光の実現に有用な交通対策の検討」にも取り組み、構築した計算手法を用いて、複数の交通ネットワークを対象とした多様なケーススタディ (数値計算) を行うことにより、有用な観光交通対策について考究した。 上記①の下位レベルの精緻化については、昨年度に実施した経路選択実験を含む Web アンケート調査の結果を活用して、昨年度に適用した多項ロジットモデル (同時選択) から、段階選択 (P&R の利用の有無、および、P&R 利用経路選択) である NL モデルへと拡張した。その結果、自動車観光交通の経路と駐車場の選択行動を、昨年度よりも高い精度で表現することができた。また、経路や駐車場の選択において、乗換が無いこと、料金、駐車場の収容可能台数の影響が大きいことが示された。上位レベルの解法アルゴリズムのさらなる改良については、遺伝的	上位レベル：対策の優先順位最適化 設計変数 (対策の位置、規模、順序) の最適化 目的関数値の計算 最適化アルゴリズムの開発: AI, CI 経路選択 駐車場選択 移動体通信データの活用 (ETC2.0) 設計変数値の変化 下位レベル：自動車観光交通の行動 図 1 計算手法の全体構造

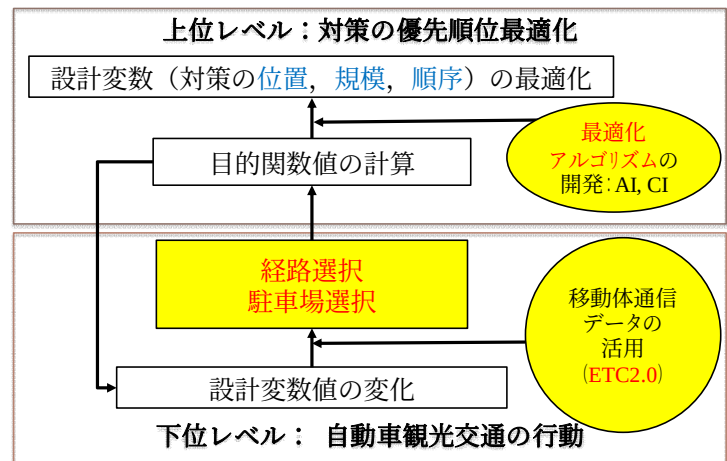


図1 計算手法の全体構造

プロジェクト・研究成果の概要 (2/2)

アルゴリズムを精緻化することにより、昨年度よりも適切なパラメータ値を推定し、解の精度を確保した状態で、計算時間の短縮に成功した。ETC2.0 データの活用については、経年的に使用可能なデータ数が増大しており、利用経路や所要時間に安定傾向が見られ、開発した計算手法へのインプットとしての信頼性が上昇した。

上記②に際しては、精緻化された計算手法を、昨年度までの単一 OD の交通ネットワーク(大阪市－京都市嵐山間)の他に、図 2 のような複数の出発地(大阪市、神戸市、名古屋市、米原市)から京都市東山エリアへと向かう交通ネットワーク、すなわち、複数の OD を包含した、より一般的な交通ネットワークに適用した。いずれのネットワークにおいても、乗換用駐車場の候補地は、京都市の市街地外縁部の第 1 層と、京都市郊外の第 2 層に設定した。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。ネットワーク内の各エリアにおいて、収容台数の異なる複数の駐車場が整備できると仮定し(図 2 の四角形のサイズで表現)、いずれの駐車場も 2 通りの料金を設定し、第 2 層の方が低廉であるとした。

観光交通対策の優先順位最適化においては、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。一つは、評価期間における乗換用駐車場の選択率の総和を最大化するケース(図 3 の case-2)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。もう一つは、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・維持管理費用と混雑ペナルティの総和」で除したケース(図 3 の case-3)であり、費用対効果のケースに相当する。整備費用は駐車場ごとに要すると仮定した。一方、維持管理費用は、図 2 の楕円で囲まれたエリアごとに、駐車場規模の総計に基づいて決まるものとした。維持管理費用の関数には、京都市の例を基にして、単調増加の凹関数を設定した。混雑ペナルティについては、各エリアの駐車場選択率の総和が 30%を超えた期間において、維持管理費用の 2 倍の大きさとした。

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 3 である。case-2 では、当然ながら、選択率の大きい順(図 2 の候補地 9,10,3,1,4 の順)で駐車場の最適な整備順序が決定された。この傾向は、単一 OD の交通ネットワーク(大阪市－京都市嵐山間)でも見られた。一方、case-3 では、図 2 の候補地 3,4,10,9,8 の順に整備するのが最適解となった。混雑ペナルティが発生しないような乗換用駐車場の規模や料金の範囲内で、複数の乗換用駐車場を同じエリア内に集中的に整備することが効果的であることが示された。この傾向は、単一 OD の交通ネットワーク(大阪市－京都市嵐山間)でも同様であった。さらに、case-3 では、5 番目に候補地 8 が選ばれており、利用率が小さくても、費用対効果に優れた乗換用駐車場が選択される可能性が示された。

上記①の混雑ペナルティのより精緻な設定については、case-3 において、ペナルティの大きさや、混雑ペナルティの発生する閾値(30%)を変更させることにより、最適解の変化を考察した。その結果、ペナルティの大きさは、維持管理費用の 2 倍で十分であることが示された。閾値については、その値が大きい場合には、上述の集中整備の傾向が強まり、小さい場合においても、混雑ペナルティによる費用増大を被っても、整備効果の大きな乗換用駐車場を同じエリア内に集中整備するのが有効であることが示唆された。

本プロジェクトで構築した計算手法は、観光交通対策の企図を含む計画段階での意思決定サポートツールとして活用可能であり、得られた知見は、企図・計画段階において、有用な情報となるものと考えられる。

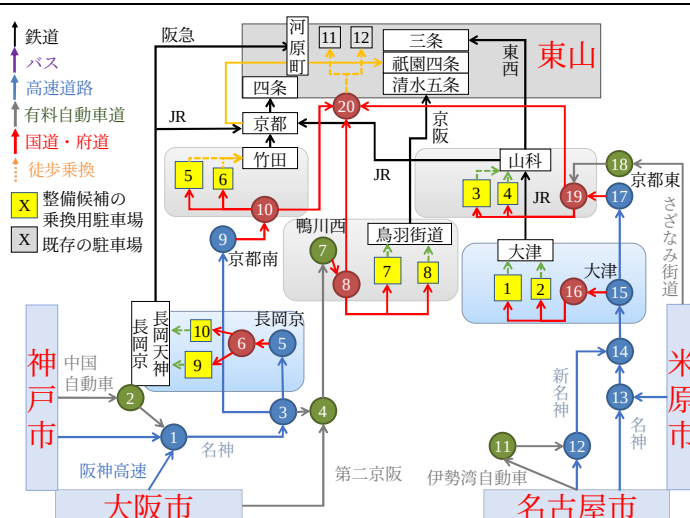


図 2 対象とする交通ネットワーク (4 都市～東山)

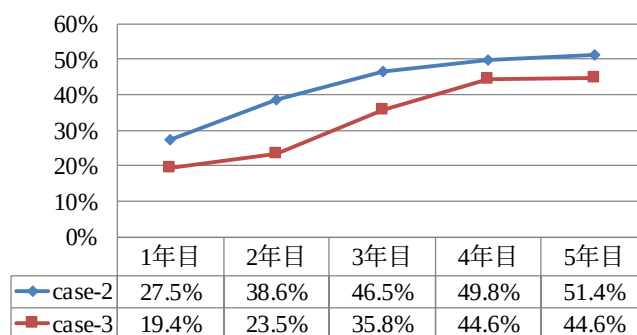


図 3 乗換用駐車場の総選択率の推移

プロジェクト・研究成果の概要 (1/2)

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 貴一郎 ・所属・役職:日本工業大学 基幹工学部 機械工学科、准教授				
研究期間:平成30年4月～令和3年3月				
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) ウェスコ、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・レーザー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) 本研究は以下の項目について実施する。 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 ②AI 技術活用による健全度診断の効率化・判定精度の向上 ③トンネルデータベースの有効活用検討 令和元年度は、これらの各項目に対して以下の研究を行った。まず①に関しては、 ・既存走行型レーザー計測技術によるトンネル断面計測精度の検証。走行速度による計測精度への影響検証。 ・衛星不可視下における SLAM 技術の検証 ・変形モード解析による進行性評価 (差分解析手法) の妥当性、精度の検証 を行った。 ②に関しては、 ・AI 用教師データ収集ツールの開発。 ・トンネル点検の実務経験を持つ技術者による教師データ収集 ・収集教師データを用いた AI の試作。 ③では、他時期差分比較のための SLAM 技術による位置推定精度の検証。過去の計測点群を用いたレーザースキャンマッチングによるトンネル内位置推定手法の開発と評価。 これらの検証を行うため、実トンネルにおいて、検証点、マーカーを設置し、静止計測をリファレンスとして検証を行った。				

研究項目	目的	平成30年度	平成31年度	令和2年度
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	✓ 変状原因 (外力 or 材質劣化、進行性) の評価法の確立とマニュアル化 ✓ 活用範囲、精度、運用方法の明確化	トンネル定期点検の支援技術の明確化 レーザー計測に対する検出能力、精度の検証	Point1 点検要領判定目安に対する支援内容の整理 レーザー計測に対する検出能力、精度の検証	社会実装に向けた外力変状のスクリーニング、変状進行性評価の高度化の検証 コスト削減省力化
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	✓ 支援技術によるスクリーニングにより打音・触診箇所の明確化	点群データによる各損傷の自動認識、損傷展開図の自動作成 課題の明確化	Point3 適切な教師データによるAI学習 (変状、展開図、判定をセットにして属性付与) AIによる健全度の診断、スクリーニング技術の開発	Point2 レーザ点群を活用した検出精度向上 スクリーニング技術の開発
③i-Construction推進に向けたトンネルDBの有効活用検討	✓ 活用範囲、精度、運用方法の明確化	誤差を適正化した高精度解析技術による変形評価法 Point4 衛星不可視下での正しい中心軸決定の課題を解決	AIによる健全度の診断、スクリーニング技術の開発	SLAMによる縦断方向計測精度の向上 3次元形状データの出来形検測への活用

計測



速度	回数
20km/h	往復2回
40km/h	往復4回
60km/h	往復2回

検証断面



検証点、マーカー設置

評価用データの計測

断面計測

P40, BLK360
+ TS基準点測量



新規開発手法

SLAM
スキャンマッチング
MIMM+OS1



SLAM/GNSS/IMU複合

VLP-16
STIM300
GNSS



移動体計測 (既存技術)

MS60, ProScan

TSによる
外部トラッキング



車載計測

GNSS/IMU複合航法
Pegasus2



MIMM

歩行計測

SLAM
GNSS/IMU
複合航法

Pegasus Backpack



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)

それぞれの項目に対して以下の研究成果を得た。

① 実トンネルにおいて、トンネル坑内に複数個所の検証点、検証用マーカーを設置し、その箇所においてトンネル断面計測精度の比較を行った。マーカー位置はあらかじめ基準点測量を行い、リファレンスには、マーカー上に設置した3Dスキャナ Leica P40 による計測結果を用いた。移動体計測は、車載計測 2 機種、バックパック型 SLAM 計測、TS によるトラッキング計測を行った。

走行型計測では以下の項目について検証した。

・断面計測精度(P40 との比較(図1))

アーチ部では、基準点補正がなしの状態、 $\pm 5.0\text{mm}$ 程度の誤差であった。路面部の誤差が左車線と右車線で反転する傾向がみられ、これはトンネル内位置推定で課題となっている回転による影響と考えられる。

・走行速度による誤差

誤差値は、速度が上がるにつれ、誤差が小さくなる傾向となった。これは GNSS 不可視時間が短くなるため、ジャイロの累積誤差が減少するためであり、理論と一致している。

・再現性の検証

アーチ天端付近での同一速度による複数回計測した結果、 $1\text{mm}\sim 4\text{mm}$ 程度の再現性であった。

② AI 教師データ収集のための簡易ツールを開発した。AI では、目視点検前のスクリーニングを目的としており、変状を発見するのではなく、正常な箇所を見つけ出すことにより、目視点検時に、点検不要な箇所を抽出する。教師画像は、正常、変状の可能性あり、付帯設備の三種類とし、点検業務従事者により、本ツールを使って分類収集した。収集した画像枚数はそれぞれ、18,499 枚、8,155 枚、7,375 枚となった。収集した画像を Sony Neural Network Console を使用して学習させ、分類器を試作した結果、F 値 0.95 となり、有効性が期待される結果となった。

③ 他時期に計測したトンネルの進行性を比較するために、過去に計測したトンネル点群データを地図としたレーザースキャンマッチングによる位置推定手法を開発した。本来レーザースキャンマッチングやレーザースLAM は特徴点がない場所や似た形状が続く場所では位置推定に失敗することが知られているが、本研究では、トンネル内の付帯設備を自動抽出し、それをランドマークとして位置推定する手法を新たに開発した。①の実験と合わせた評価試験の結果、表のように、従来に比べて高い自己位置推定精度を得ることができた。従来、位置補正のために、ランドマークアップデート処理を必要としていたが、本技術により自動化できる見通しとなった。今後は、本技術を使用した際の差分解析の精度検証を行っていく必要がある。

表 2 自己位置推定誤差結果

	X m(rms)	Y m(rms)	Z m(rms)
GNSS/IMU	0.612	0.543	0.360
開発手法	0.183	0.153	0.027

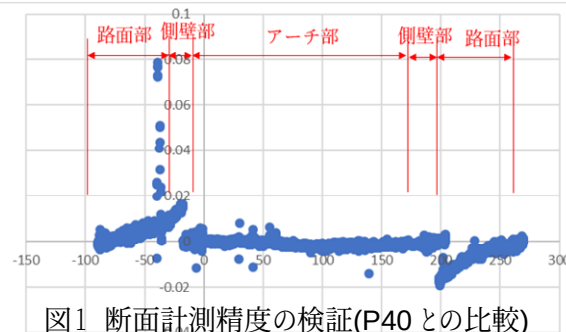
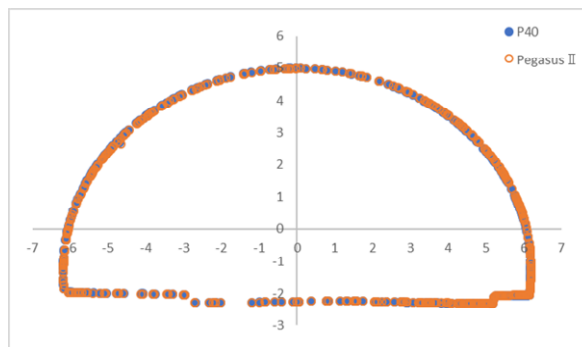


図1 断面計測精度の検証(P40 との比較)

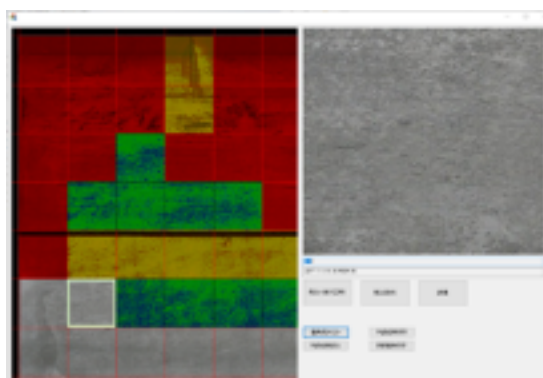


図 2 教師データ収集ツール

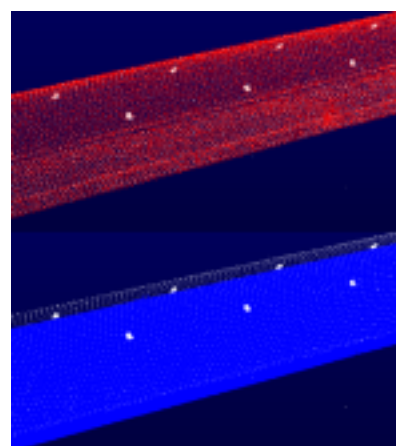
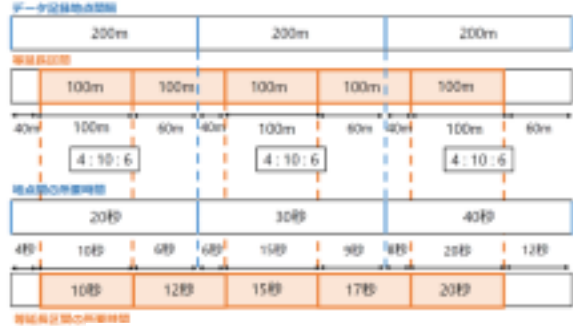


図 3 精度検証結果
(白:過去データ、赤:提案手法
青:GNSS/IMU 航法)

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「ETC2.0 プローブ情報を活用した渋滞要因分析システムの開発に関する研究」	
プロジェクトリーダー ・ 氏名:宇野 伸宏 ・ 所属, 役職:京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻, 教授	
研究期間:令和元年 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) 京都大学大学院工学研究科・立命館大学理工学部, (一社) 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 (研究開始の背景、目標等) 【背景】 交通渋滞は今も道路交通における課題である。渋滞要因を容易かつ的確に把握できれば、現状に即した有効な渋滞対策の立案・実施が容易になる。交通量・走行速度・走行環境等が変化の中で渋滞は生じるため、時々刻々と収集・蓄積される情報(ビッグデータ)を用いて分析することが有効と考えられる。 【課題】 ビッグデータの価値は、蓄積と有効活用の両方から生じるといえる。さらに、ETC2.0 プローブ情報については、①旅行速度分布や渋滞要因分析などへの活用、②①のプロセスを道路管理者と分析者が共有できるシステムを構築することが重要である。また、渋滞要因分析を行う際は、道路構造・交通事故・大規模イベント・天気などに関するデータも統合して活用する必要がある。また、ビッグデータ分析に適したプラットフォーム上で渋滞要因分析システムを構築することも重要な技術的課題といえる。 【目的】 ETC2.0 プローブ情報等のビッグデータによる渋滞要因分析を行い、その成果を踏まえた渋滞要因分析システムを道路管理者と共有可能な形式として、構築・実装することを本研究の目的とする。	
プロジェクトの研究内容 (研究の方法・項目等)。 令和元年度は、初年度として路線単位での渋滞要因分析に取り組んだ。その内容は以下の通りである。	
【今年度の主な研究項目】 (渋滞要因分析) ● 利用可能なデータの収集と整理 (クレンジング等) ● ETC2.0 プローブデータの可視化及び基礎集計 ● 渋滞要因分析モデルの推定 (交差点方向別交通量のバイズ推定) ● 車両感知器データと ETC2.0 プローブデータを用い、交差点方向別交通量を推定するモデルの推定 (試行)	
【研究方法 (渋滞要因分析)】  図-1 15 分間平均旅行速度の算出方法	
● <u>使用データ</u>:国道 24 号 (奈良県) の 34.3KP～60.2KP の ETC2.0 プローブデータ (2018/10, 約 320 万件) ● ETC プローブデータを用いた渋滞要因分析の流れ: ① 等延長区間 (100m) ごとの 15 分間平均旅行速度を既存手法¹⁾により算出する (図-1)。この結果を可視化 (速度コンター図) し、分析対象区間の速度状況をマクロ的視点から考察する。 ② 等延長区間各々について、渋滞発生率 (20km/h 以下の平均旅行速度の割合)、ボトルネック渋滞発生率 (ボトルネックはその区間か下流なのか) を算出する。 ③ 渋滞発生率またはボトルネック渋滞発生率を従属変数、交通量・交差点の車線構成・指定速度・合流部の有無・角地の利用状況等を説明変数とする重回帰モデル (線形) を推定する。 ④ パラメータの符号や有意性に基づき、③の結果を考察し、渋滞状況分析 (渋滞と交通量・道路構造との関係性分析) を行う。	
次年度以降の予定は次の通りである。令和 2 年度は渋滞要因分析モデルの改良・実装、すなわち道路管理者と分析者が共有可能な渋滞要因分析システム (アプリケーション) の構築に取り組む。当該システムが持つ機能は、データベース機能、施策立案のための渋滞要因分析機能、施策検索機能およびデータ管理機能である。令和 3 年度は渋滞要因分析モデルの移転可能性の検証、当該システムの運用方法に関する検討を行う。	
1) 加藤 哲, 橋本 浩良, 瀬戸下 伸介, 松田 奈緒子, ボトルネックとその影響範囲を特定するための ETC2.0 プローブ情報活用の有効性に関する研究, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), 2017, 73 巻, 2 号, p. L242-L250.	

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)

国道 24 号の区間別平均旅行速度による渋滞要因分析に関する研究成果を以下に示す。

【マクロ的視点での交通状態の可視化、及び、渋滞発生率・ボトルネック渋滞発生率の空間的推移】(図 2)

- ETC2.0 データによる平均速度コンター図から、7～9 時と 17～19 時(青枠内)の速度低下が目立つが、最混雑時間帯は交差点毎に異なるといえる。
- 渋滞発生率の推移からも(平均速度コンター図と同様の)時間帯による渋滞状況の違いがわかる。
- ボトルネック渋滞発生率の推移を 37KP 周辺(図左方の青枠内)に着目して見ると、37.4KP で正の絶対値が大きく、その上流側では負の絶対値が大きい。これは、37.4KP はボトルネック(の一つ)であり、その上流に渋滞が伝わっていたと解釈できる。

【交差点構造と渋滞発生率の関係】(図 3)

渋滞要因分析(重回帰モデル推定)の準備として、交差点構造と渋滞発生率の関係(図 3 に一例)について考察し、以下の様な仮説を立てた。

- 進行方向の車線数が多く、また右折専用車線が設置されている交差点ほど渋滞発生率が小さい。
- 交差道路の規模が大きく、また沿道利用や側道からの合流がある交差点ほど渋滞発生率が高い。

【渋滞要因分析の実施(重回帰モデルの推定)】

上で得られた仮説を踏まえて重回帰分析を行い、交通量・交差点の車線構成等から朝夕別に渋滞発生率やボトルネック渋滞発生率を推定する重回帰モデルを推定した。ここでは、平日下りの重回帰分析の結果について述べる(表 2)。

- 交差点のサービス水準に対応する「昼間 12 時間交通量 1」「指定最高速度 1」のパラメータは負であり、これらが大きいと渋滞は発生しにくいといえる。
- (進行方向に右左折専用車線があることに対応する)「右折車線数 1」や「左折車線数 1」の符号は負であり、渋滞を抑制することを示唆する結果が得られた。
- 交差点の土地利用に対応する「角地利用 12」の符号は「夕」に正であり、夕方の買物での立ち寄りによる渋滞の助長を示唆している。「角地利用 12」はボトルネック渋滞発生率のみで 5%有意であり、自動車の出入りのある角地利用のある交差点はボトルネックになりやすいことを示唆している。

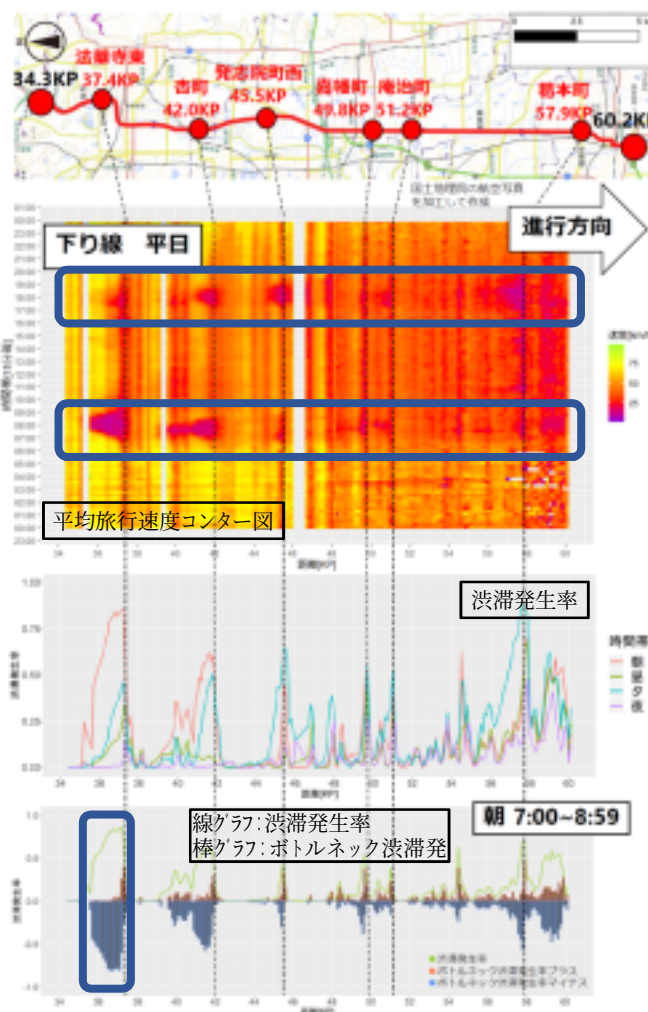


図 2 平均旅行速度コンター図・渋滞発生率・ボトルネック渋滞発生率の例(国道 24 号下り・平日)

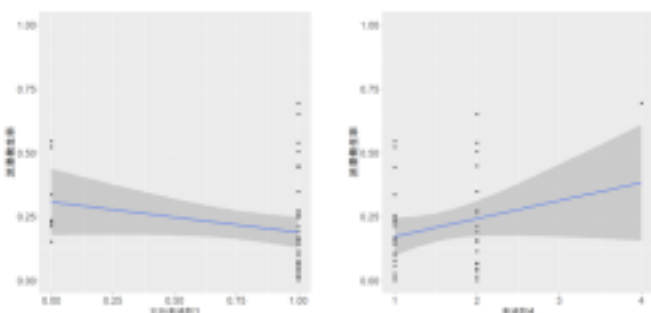


図 3 右折車線数・車線数と渋滞発生率の関係

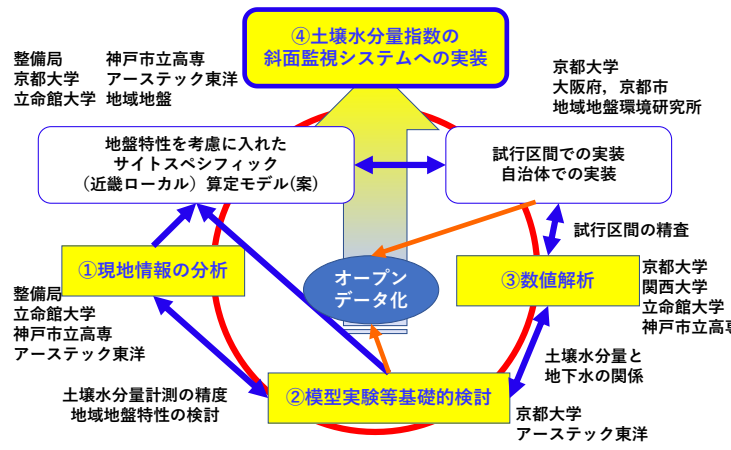
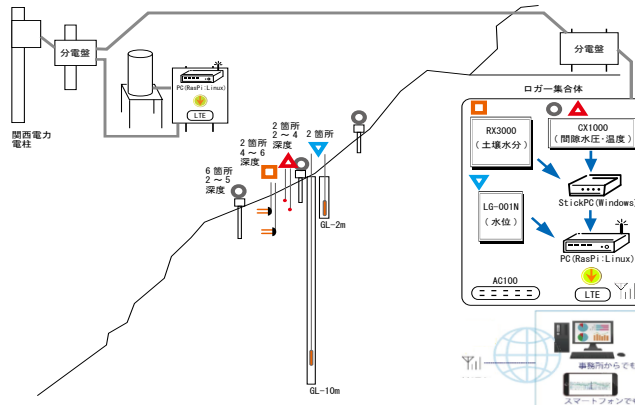
表 2 渋滞要因のための重回帰分析推定結果(平日下り)

指標：ステップワイズ法により投入 1…進行方向 / 2, 4…交差道路(東, 西)
標準化偏回帰係数 / *** $p < 0.001$, ** $p < 0.01$, * $p < 0.05$

下り線/平日	渋滞発生率		ボトルネック渋滞発生率プラス	
	朝	夕	朝	夕
(定数)	-1.34E-15***	-4.02E-16***	-5.62E-16***	-7.51E-16**
昼間12時間交通量1	-0.306*	-0.596***		
指定最高速度1			-0.401**	-0.414**
右折車線数1	-0.301*			
左折車線数1	-0.293*			
右折車線数2	0.304			
歩道幅2	0.542***	0.278*	0.445***	0.296*
車線数4	0.377*		0.395**	0.45**
右折車線数4	-0.311			
合流1	0.268*	0.249	0.314*	0.199
角地利用12		0.248		0.286*
角地利用41				
自由度調整済みR ²	0.4148	0.2855	0.4105	0.4784

本年度は国道 24 号(奈良県域)の交差点を対象に渋滞要因分析を行い、①右左折専用車線の設置、②沿道施設や側道からの合流の調整による渋滞抑制効果を示唆する結果を得た。今後は渋滞要因分析のためのモデルの改良、渋滞要因分析の対象区間の増加、及び、アプリケーションとしての実装に取り組む予定である。

プロジェクト・研究成果の概要(1/2)

プロジェクト:「土壌水分を考慮した斜面監視システムの実装」	
プロジェクトリーダー ・氏名:岸田 潔 (きしだ きよし) ・所属・役職:京都大学大学院 工学研究科 都市社会工学専攻 教授	
研究期間:令和元年 8 月～令和 2 年 4 月	
プロジェクト参加メンバー(所属団体名のみ) 学:京都大学, 神戸市立工業高等専門学校, 関西大学, 立命館大学, 産:(株)アーステック東洋, iシステムリサーチ(株), (一財)地域地盤環境研究所, (株)エイト日本技術開発, 応用地質(株), (株)ダイヤコンサルタント関西支社 官:国土交通省近畿地方整備局, 近畿技術事務所	
プロジェクトの背景・目的 事前道路通行規制の在り方については, 共通して「降雨」だけでなく「地下水の状況(土壌水分)」も考慮に入れるべき, と提案されている. しかし, 土壌水分量指数が対象とする地山(管理すべき法面)の不安定化メカニズムを説明できるパラメータとなっているか否かは明らかにされていない. 本プロジェクトの目標は次の二点である. 地域の地盤特性を反映した近畿ローカル(サイトスペシフィック版)な土壌雨量指数決定法の確立を目指すこと, また, 地下水と降雨量をパラメータとした室内実験を行い, 現地での計測の妥当性を検証しつつ, 土壌土分量指数と地下水の関係を明確にすること, である.	
プロジェクトの研究内容 本プロジェクトは, 上記に示す目的達成のため, 先行プロジェクトで対象とされた淡路島炬口地区における監視斜面を対象に, ①土壌水分量指数の比較検討, ②室内実験による土壌水分量指数と地下水の関係性の解明, ③実際の崩壊斜面に対する土一水連成解析による斜面安定の検討, ④土壌水分量指数の斜面監視システムへの実装, の 4 項目を検討している(図 1 参照). さらに, 近畿ローカルの斜面監視システム構築のため, 検討対象斜面を複数に増やす予定である. 以下に, 今年度の研究成果を整理する.	 図 1 プロジェクト体制
1) 研究成果のオープンソース化に向けて, クラウド型 web リアルタイム監視システムの運用を開始 先行プロジェクトの計測対象地点である, 兵庫県洲本市炬口において既存の計測管理システムにより集積される計測データのクラウド化を行った(図 2 参照). 打刻型雨量計を更新し, web リアルタイム監視システムを設置することで, 炬口計測斜面の地下水位, 土壌水分量, 間隙水圧のクラウドデータベースを構築した. また, 研究成果が広く社会に還元されることを目的に, 計測データをオープンソース化することを準備している.	 図 2 斜面監視システムの実装状況(炬口)
2) 土壌水分量と地下水位の関係性の把握 兵庫県洲本市炬口の計測斜面において, 2018/1/1～2018/9/28 の期間における降雨イベントについて, 土壌水分量と地下水位の関係性を調べた. 整理の結果, 間隙水圧値は地点により正圧値であるが,	

※ 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)

体積含水率の値は空隙率を考慮した場合の土の飽和状態の値に近い値を取らないなど、土壌水分量と地下水位の解釈に課題があり、その原因について実験による分析が必要であることが分かった。

3) 斜面監視システムの実装に向けて、土砂災害発生危険基準線(CL: Critical Line)の設定根拠を検討

国道の異常気象時通行規制に利用することを目的に、砂防から道路のための CL ライン基準の検討を行った。検証には、先行プロジェクトの計測成果を基に、RFBN(Radial Basis Function Network)を用いて CL ラインの設定根拠を検討した。検討の結果、炬口区間だけでは砂防 CL と RFBN による CL 案の優位性を明確にできないため、サンプル数を増やす必要があることがわかった(図 3 参照)。

4) 表層崩壊等の浅層における降雨浸透挙動が地中温度で把握できる可能性を確認

熱・浸透連成解析を用いた FEM により、紀南河川国道 42 号線畑地区観測データを解析した。解析の結果、土壌水分量および地中温度の深度特性を再現することができ、表層崩壊等の浅層における降雨浸透挙動が地中温度で把握できる可能性が推察できた。仮に地中温度により降雨浸透挙動が把握できる場合、低コストのばらまき型 MEMS 温度計により、広範な斜面監視システムの構築が可能となる。

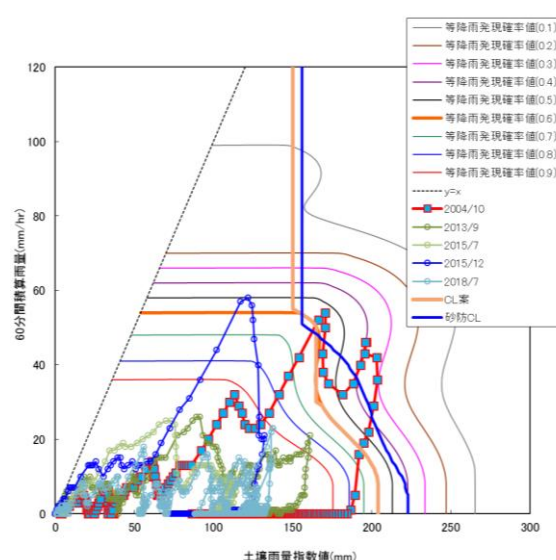


図 3 60 分積算雨量-土壌水分量指数
CL の再設定事例(炬口)



図 4 円筒カラムを用いた降雨浸透試験装置

次年度以降の研究方針は下記の点に集約される。

1) 降雨データの継続的な集積と計測値としての土壌水分量の妥当性検証

兵庫県洲本市炬口における計測断面において、モニタリングを継続する。現状課題の残る、土壌水分量と地下水位の相関についてデータを継続して集積する。

2) 計測斜面地の安定性を検証する土水連成解析の実施

地下水位、間隙水圧の計測データを基に、斜面全体の安定性に対する土水連成解析を実施する。斜面のモニタリングに加えて、斜面安定に関する分析を数値解析により補完する。

3) 近畿地方整備局管内の他の異常気象時通行規制区間についても、CL の再設定事例を収集

炬口における RFBN による CL の設定期間を検討した結果、正時 10 分間雨量と 60 分積算雨量で規制及び解除の関係が異なることが分かった。今後、近畿地方整備局管内の他の異常気象時通行規制区間についても随時検討していく。

4) 地域特性・地盤特性を考慮した降雨データによる土壌水分量指数の算定および地中温度と土壌水分量の相関を確認することを目的とした模型実験の実施

熱・浸透連成解析を用いた FEM により、表層崩壊等の浅層における降雨浸透挙動が地中温度で把握できる可能性が推察できた。地域特性・地盤特性を考慮した降雨データによる土壌水分量指数の算定、地中温度と土壌水分量の相関について、カラム試験により検証する。カラム試験では、降雨量、飽和度、地下水位をパラメータとした透水実験を行う(図 4 参照)。

※ 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：「長大橋の観測データの活用による維持管理支援システムの検討に関する研究」	
プロジェクトリーダー ・氏名：金 哲佑 ・所属・役職：京都大学大学院 工学研究科，教授	
研究期間：平令和元年 10 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） (株)長大，(株)エイト日本技術開発，本州四国連絡高速道路(株)，神鋼鋼線工業（株），東京製綱（株），近畿地方整備局，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） ケーブル構造を持つ特殊橋に適するモニタリング技術の把握と，モニタリングデータと点検データとの関連性の調査結果は，自治体保有のケーブル構造の特殊橋の点検にも有効活用できると考えられる．本プロジェクトは，ケーブル構造を持つ特殊橋の維持管理に有益な情報抽出と着目すべきリスク事象に対するモニタリングの可能性および限界を明らかにし「特殊橋の劣化特性や実態に基づいた維持管理手法の検討」を目的としている．なお，研究成果は，長大橋に限らず自治体が多く保有する中小のケーブル構造を有する特殊橋の維持管理に有効活用できるようにフィードバックするのが目標である．	
プロジェクトの研究内容（研究の方法・項目等） 吊り形式の特殊橋の維持管理支援システムを検討するため，図 1 に示すように自治体保有の吊り形式橋梁の維持管理やモニタリングに関する問いを明らかにし，その問いを解決するための実態調査と，構造物性能が徐々に低下する現象をセンサ情報の長期的なパターン変化から捉えるモニタリング手法を検討する．研究所年度は，大きく以下の 4 項目について研究を実施する． 1) ケーブル構造を持つ特殊橋の劣化特性の実態精査 自治体へのヒアリングにより，ケーブル構造を持つ特殊橋梁の維持管理に際しての問題点・課題を抽出する．また，自治体管理の特殊橋における劣化特性や実態を精査し，特殊橋の維持管理支援システム構築のための基礎データ整理を行う． 2) ケーブル構造を持つ特殊橋のモニタリングの実態調査 ケーブル構造を持つ特殊橋のモニタリングにおける問題点や改善点を把握するために，本州四国連絡高速道路株式会社が保有しているケーブル構造の特殊橋のモニタリング実態を調査し，維持管理に有効なモニタリング手法について検討する．また，長期計測データにおける季節変動の調査に活用するために，国内外のモニタリングデータを入手する． 3) 長大橋の長期計測データ分析向けのデータ解析手法の整備 ケーブル構造の長大橋の振動特性推定に有効な同定手法を検討し，長期のモニタリングデータから橋梁の健全性にかかわる特徴量（例えば，振動数，振動モード，変位など）の効率的な抽出法を整備する． 4) 長期計測データにおける季節変動の調査 長期モニタリングにおける特徴量（例えば，振動数，振動モード，変位など）の長期にわたる変動と季節変動（例えば，風速，交通量，気温の変化など）との関連性を調査する．また，長期モニタリングにおける季節変動の影響を考慮するためにデータの正規化について検討する．	

研究背景

「ケーブル構造を有する特殊橋の全てのケーブルを対象とした点検とモニタリングの難しさ」と「合理的で体系化された維持管理指針の不在」

課題解決における問い

- 自治体が多く管理している吊り形式橋梁の維持管理について，**管理者が抱えている現状の課題**は何なのか？
- 何を**モニタリング**するのか？

問いを解決するために

- 吊り形式橋梁の劣化特性や実態の精査
 - 橋梁形式と損傷
 - 損傷と構造物の挙動
 - 挙動と季節変動
- 吊り形式橋梁対象のモニタリングの実態調査

目標

自治体のニーズを考慮した
「点検マニュアルの役割を果たす資料やモニタリング技術」の提案

図 1 研究の全体像

※ 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) ケーブル構造を持つ特殊橋の劣化特性の実態調査（近畿 2 府 4 県の吊り橋および斜張橋の実態調査実施）

- 自治体へのヒアリング：部材毎の損傷についての判定区分判断の難しさなどの課題を整理した。
- 吊り橋および斜張橋の供用年数や損傷判定区分について実態調査：ケーブル関連の主な損傷として、主索および吊索の破断・腐食と斜材の定着部の腐食等を確認した。（図2参照）
- 実態が整理されていない吊り形式橋梁の損傷と構造形式の関連性を明らかにし、損傷実態に沿ったモニタリング法の検討を研究方針に反映。なお、次年度以降予定しているモニタリングの試行導入のための対象候補の選定を行った。

何らかの対策が必要なⅢ・Ⅳの損傷（主索および吊索の破断・腐食）：全体の約35%（68橋）

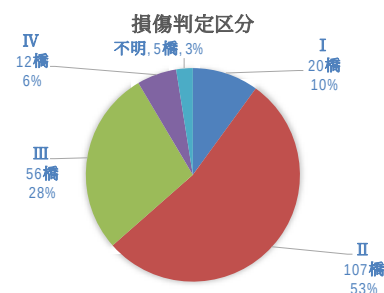


図2 吊り橋の損傷状況

2) ケーブル構造を持つ特殊橋のモニタリングの実態調査

- 明石海峡大橋・多々羅大橋・来島海峡大橋の動態観測の実態調査を行ったが、点検の目的よりは主に台風や地震時の挙動に着目していることが分かった。ただし、明石海峡大橋の長期計測データは長期モニタリングにおける季節変動の検討に有用と判断し、約1年間のデータを入手した。
- ケーブルを対象とした長期モニタリングが行われているオーストラリアの小規模斜張橋のデータを入手することになった。

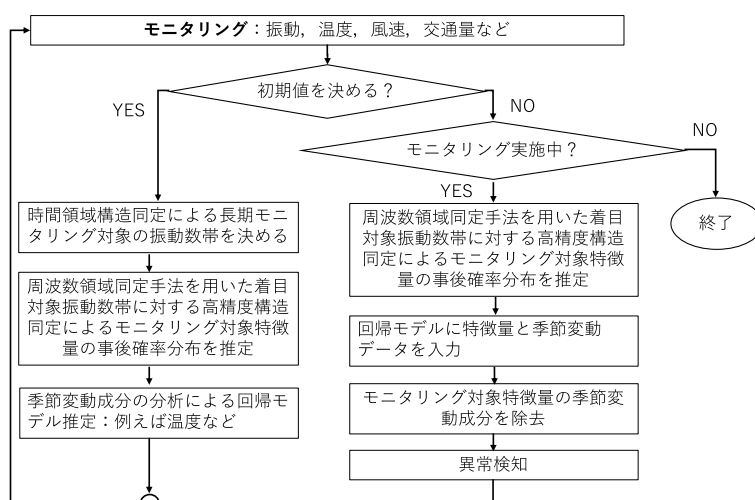


図3 整備した手法による長期モニタリングの概念

3) 長大橋の長期計測データ分析向けのデータ解析手法の整備

実稼働モード解析法の中、常時振動を用いた長大橋の振動特性を推定に有効であると判断した「確率部分空間法」と「ベイズ実働モード解析法」の整備を行った。また、長期モニタリングにおける季節変動などの外部因子の影響を考慮するために線形回帰モデルから非線形回帰モデルまでの多変量回帰分析手法の整備を行った。整備を行った手法による長期モニタリングの概念を図3に示す。

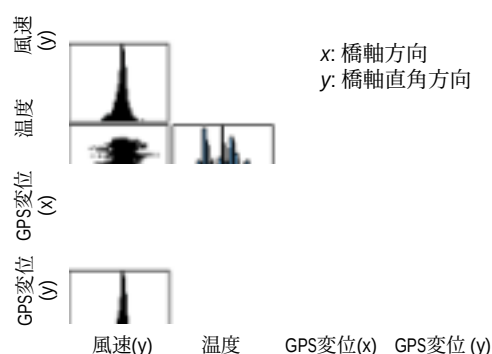


図4 明石海峡大橋の変位と季節変動の相関マトリクス

4) 長期計測データにおける季節変動の調査

明石海峡大橋の長期モニタリングにおける変位と季節変動との相関性と、回帰モデルによる季節変動の影響低減について検討を行なった。モニタリング対象の変位と温度、風速、風向の強い相関から回帰モデルの構築には温度、風速、風向を考慮する必要があることが分かった（図4参照）。長期モニタリングにおける突風や交通パターンの違いによる突発的な現象については、非線形回帰であるガウス過程回帰によるその予測精度の向上が期待できることが分かった。

※ 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: 「既設橋梁における高力ボルト継手の実態調査と安全性評価及び点検、補修方法の検討に関する研究」
プロジェクトリーダー ・氏名: 山口隆司(やまぐち たかし) ・所属、役職: 大阪市立大学大学院 教授
研究期間: 令和元年10月～令和4年3月
プロジェクト参加メンバー(所属団体名のみ) 大阪市立大学、京都大学、瀧上工業株式会社、株式会社ズームスケープ、高力ボルト協会
プロジェクトの背景・目的(研究開始当初の背景、目標等) 鋼橋において高力ボルトがリベットに代わって本格的に使用されるようになったのは昭和40年頃からであるが、ボルト強度はF7Tから始まりF13Tまで高強度化された。しかし、遅れ破壊が生じたため、現在ではF10Tが基本として使用されている。一方、高力ボルト摩擦接合の設計および施工ではボルト導入軸力が重要事項として管理されている。高力ボルト適用の当初から、リラクゼーションによる軸力低下が知られており、ボルト締付け時に設計軸力に対して約10%の増締めを行い、軸力低下をカバーしてきた。しかし、供用後30年から50年の鋼橋における高力ボルト軸力を調査したところ、設計軸力に対し約30～50%の低下したものが発見された。調査した橋梁では見かけ上の変状は見られないものの、ボルト軸力低下は従来、一般的に認知されているリラクゼーションの影響を超えた量となっている。また、調査の中にF11Tボルトが含まれており、遅れ破壊により脱落しているボルトはないものの、亀裂が内在しており容易に折損するボルトが発見された。脱落しているボルトがないため、遅れ破壊が生じていないとされ、補修対象ではなかったことが推察される。 本研究は、様々な橋梁形式、部位など広い範囲にわたって、高力ボルトの現存軸力の実態を把握し、設計で許容できる軸力低下を超えた軸力低下の場合の要因、メカニズムを調べるとともに、供用中の部材連結部の安全性を評価することを目的とする。併せて、高力ボルト継手の簡便な健全度の点検方法と補修方法を検討する。
プロジェクトの研究内容(研究の方法・項目等) ①残存軸力の実態把握および軸力低下の原因調査 様々な環境下で長期間供用された橋梁の、様々な部位の高力ボルト継手において、その高力ボルト残存軸力を調査する。この調査結果より環境や部位などが現存ボルト軸力に与える影響を考察し、軸力低下の原因、メカニズムを検討する。最も信頼ある残存軸力の調査方法は、ボルト頭部にひずみゲージを貼り付け、ボルトを取り外す際に生じる解放ひずみを実験室でのボルト軸力再負荷によって検証するキャリブレーション法である。これにより、軸力低下の範囲や軸力低下に影響を及ぼす要因を分析し、日本国内の多様な環境下で供用中の橋梁の高力ボルトの軸力低下を予測する。 ②供用中の鋼橋に関する安全性評価 仮にボルト継手の残存軸力が予想以上に低下している場合を想定し、FEM解析等によりボルト継手の軸力抜けがすべり耐力に与える影響を評価し、健全度判定と関連付ける。また、低下している場合はその対策方法を検討する。(例) 増し締めなどで対応可能か? など ③簡便な管理手法の検討 高力ボルトの管理・点検手法として現在一般的に行われている定性的な高力ボルトへのマーキング管理や高力ボルト頭部へのひずみゲージ貼り付けによる直接的な方法と比較してより簡便な管理方法として、デジタルカメラ撮影画像の画像処理による、非破壊ひずみ評価方法を試行し、高力ボルト軸力の管理・点検手法の省力化を検討する。



図1 遅れ破壊が生じていたF11Tの高力ボルト
(塗装の付着により脱落しているボルトがないものの、亀裂が内在しており容易に折損するボルトを発見)

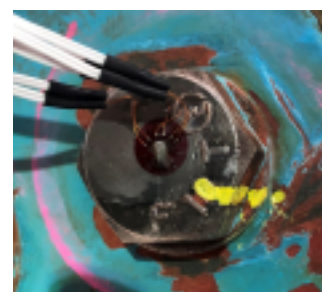


図2 高力ボルト頭部ひずみへのゲージ貼り付け



図3 デジタルカメラによる画像処理ひずみ評価法

※ 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)

研究の進捗状況

①対象橋梁図面および現地調査

選定された近畿地方整備局管内における補修工事实施予定案件の6橋に対して、現地踏査を行った。その中から、橋梁形式 (箱桁・鈑桁・支間長など)・高力ボルト継手仕様 (六角・トルシア・メッキ・無塗装など)・作業性 (足場等の有無)・工程等 (施工時期や工事幅員など) を考慮して 2 橋を選定した。さらに、橋梁カルテや詳細図面を取り寄せ、高力ボルトサンプリング位置を決定した。

②実橋ボルトサンプリング

【橋】 2019 年 11 月下旬に橋 (鋼床版箱桁橋) に高力六角ボルトのサンプリング 98 本を実施した。また、現場から持ち帰った高力ボルトの残存軸力を計測し、平均残存軸力は設計軸力に対し 88% であった。

【J 橋】 2020 年 2 月上旬に J 橋 (鈑桁橋) にトルシア形高力ボルトのサンプリング 102 本実施した。また、現場から持ち帰った高力ボルトの残存軸力を計測し、平均残存軸力は設計軸力に対し 102% であった。



図4 橋



図5 J 橋

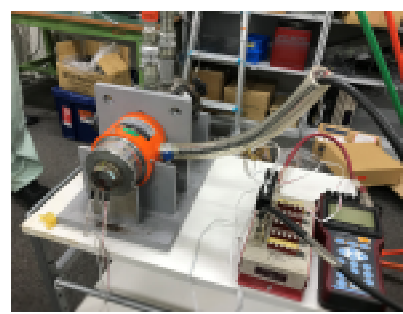


図6 ボルト軸力キャリブレーション

③ボルト長さ別の長期リラクゼーション実験

ボルト長さおよびボルト遊び長さの異なる長期リラクゼーション試験を行うための材料手配 (鋼板・高力ボルト) と実験装置の準備が完了し、本実験前の予備実験を実施している。

④トルクと軸力の関係調査

トルクと軸力の関係において、高力ボルトの締付け方法の変遷を調査した。調査の結果、年代によっては、締付け機械が入らず手締め工具およびそれ以外の方法で締付けられていた高力ボルトが存在したと想定される。

⑤高力ボルト摩擦継手の限界状態評価法の検討業務

FEMモデルの作成、解析モデルの妥当性検証が終了した。現在、解析ケースを検討している。

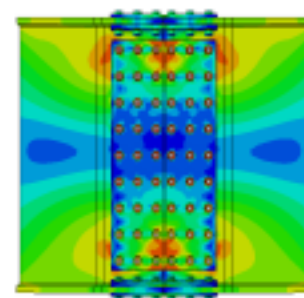


図7 FEM解析

⑥画像処理による軸力評価法の検討

画像処理による軸力評価法の予備実験を実施した。その結果、ひずみゲージによる計測値と画像によるひずみ値の間に約 20% 存在することを確認した。

現在、原因を調査している。



図8 デジタルカメラによる画像ひずみ計測



※ 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。