

2.2.7 道路構造物研究部

部材連結部の損傷制御及び信頼性に関する調査検討

Study on the damage control reliability of bridge joints and members

(研究期間 平成 27～30 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

Road Structures Department

Bridge and Structures Division

主任研究官

Senior Researcher

研究官

Researcher

岡田 太賀雄

Takao OKADA

大西 諒

Ryo ONISHI

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer Fumisato TAKAYAMA

白戸 真大

Masahiro SHIRATO

猪狩 名人

Meito IGARI

高山 文郷

In the limit state design (partial factor design), the failure process must be clarified and controlled in a reliable manner. But the failure process of the headed stud shear connectors in composite steel I-girders is not clarified. In this study, with the aim of enabling rational and highly reliable design of joints, we examined the fracture processes for setting the limit state using earlier experimental data.

【研究目的及び経緯】

鋼とコンクリートの合成構造では、その接合にずれ止めが用いられる。道路橋の技術基準である道路橋示方書では、ずれ止めの方法が頭付きスタッド（以下、スタッドという）の場合の耐荷力や材質、断面形状及び構造細目等が示されている。道路橋示方書は平成 29 年に改定され、設計体系が許容応力度設計法から限界状態設計法（部分係数設計）へ移行した。許容応力度設計法では、許容応力度を超えていないことが照査されるだけであったが、限界状態設計法（部分係数設計）では、破壊過程が明らかであり、それが複数の限界状態で定義されていること、及びその再現性が明らかであることが照査されるようになった。

本研究では、スタッドを用いた接合部について、合理的で信頼性の高い設計が行えるようにすることを目的とし、破壊過程を明らかにし、限界状態を設定するための検討を行った。

【研究内容及び成果】

1. 実験結果からの限界状態の設定と特性値の抽出

スタッド 1 本あたりの荷重と接合面のずれ量の関係に着目し、既存の試験データ（31 データ）の調査を行い、スタッドの押抜きせん断試験による荷重-ずれ変位の履歴図から、損傷・破壊イベントの整理を行った。損傷・破壊イベントは、履歴図から読み取れる以下の 4 点を設定した。

限界状態 1：履歴図でずれ変位が 0 でなくなる点（12 データ）

限界状態 2：スタッドに張り付けられたひずみゲージ

をもとにスタッドが降伏したと推測される点（27 データ）

限界状態 3：履歴図を対数グラフ化してずれ変位が急増する点（15 データ）

限界状態 4：荷重の最大を示す点（31 データ）

図 1 に損傷・破壊点となる限界状態の概念を示す。

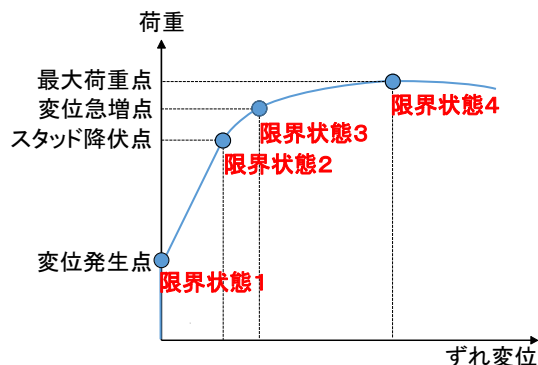


図 1 限界状態（概念）

2. 特性値の耐荷力評価式の整理

設定した 4 点の損傷・破壊イベントに対して、限界状態 1 は鋼とコンクリートの付着耐力の限界、限界状態 2 はスタッドのせん断に対して降伏する限界又はコンクリートの割裂ひび割れが発生する限界、限界状態 3 はスタッドの降伏又はコンクリートの割裂ひび割れ発生後のずれ変位が急増する限界、限界状態 4 はスタッドがせん断により破断又はコンクリートが割裂により破壊する限界と仮定したときに、既往提案式の提案の経緯にもとづいて実験結果を考察し、あてはめてみたのが表 1 である。式 1 及び式 2-①は本研究の試みで新たに設定してみた式である。

表1 提案した耐荷力評価式

	損傷・破壊イベント	提案式
限界状態1	鋼とコンクリートの接合面の付着切れ	$V_{0ad} = A_{0a} \cdot \tau_{0a} \dots \text{式1}$ ここに、 V_{0ad} : 鋼とコンクリートの付着耐力(N) A_{0a} : 鋼とコンクリートの接触面積(mm ²) τ_{0a} : コンクリートの許容付着応力度(N/mm ²) 本研究での検討式
限界状態2	スタッドの降伏又はコンクリートの割裂ひび割れ発生	スタッドの降伏に対して $V_{ssyd} = A_{ss} \cdot f_{ssyd} = 235 \cdot A_{ss} \dots \text{式2-①}$ ここに、 V_{ssyd} : スタッドの降伏耐力(N) A_{ss} : スタッドの断面積(mm ²) f_{ssyd} : スタッドの降伏強度(N/mm ²)で235N/mm ² とする。 本研究での検討式
		コンクリートの割裂ひび割れ発生に対して $V_{sscd} = 1.72 \cdot d_{ss} \cdot h_{ss} \cdot \sqrt{f'_{cd}} \dots \text{式2-②}$ ここに、 V_{sscd} : コンクリートの割裂ひび割れに対する耐力(N) h_{ss} : スタッドの高さ(mm) スタッドの降伏強度は235N/mm ² とする。 d_{ss} : スタッドの軸径(mm) f'_{cd} : コンクリートの設計基準強度(N/mm ²) 出典: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成24年3月 日本道路協会
限界状態3	ずれ変位の急増点	$V_{ssdd} = 0.5 \cdot V_{ssud} \dots \text{式3-①}$ ここに、 V_{ssdd} : スタッドのずれ変位に対する限界耐力(N) V_{ssud} : スタッドの終局耐力(N) スタッドの引張強度は400N/mm ² とする。 出典: 鋼・合成構造標準示方書 2016年制定 総則編・構造計画編・設計編 土木学会
		$V_{ssdd} = 9.4 \cdot d_{ss}^2 \cdot \sqrt{f'_{cd}} \dots \text{式3-②}$ ここに、 V_{ssdd} : スタッドのずれ変位に対する限界耐力(N) d_{ss} : スタッドの軸径(mm) スタッドの降伏強度は235N/mm ² とする。 f'_{cd} : コンクリートの設計基準強度(N/mm ²) 出典: 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 平成24年3月 日本道路協会
限界状態4	スタッドのせん断破壊又はコンクリートの割裂破壊	スタッドのせん断破壊に対して $V_{ssud} = A_{ss} \cdot f_{ssud} = 400 \cdot A_{ss} \dots \text{式4-①}$ ここに、 V_{ssud} : スタッドの終局耐力(N) A_{ss} : スタッドの断面積(mm ²) f_{ssud} : スタッドの引張強度(N/mm ²)で400N/mm ² とする。 出典: 鋼・合成構造標準示方書 2016年制定 総則編・構造計画編・設計編 土木学会
		コンクリートの割裂破壊に対して $V_{ssud} = 31 \cdot A_{ss} \cdot \sqrt{(h_{ss}/d_{ss}) \cdot f'_{cd}} + 10000 \dots \text{式4-②}$ ここに、 V_{ssud} : スタッドの終局耐力(N) h_{ss} : スタッドの高さ(mm) スタッドの引張強度は400N/mm ² とする。 d_{ss} : スタッドの軸径(mm) A_{ss} : スタッドの断面積(mm ²) f'_{cd} : コンクリートの設計基準強度(N/mm ²) 出典: 鋼・合成構造標準示方書 2016年制定 総則編・構造計画編・設計編 土木学会
	スタッドのせん断破壊又はコンクリートの割裂破壊	スタッドのせん断破壊に対して $V_{ssud} = 130 \cdot d_{ss}^2 \cdot \sqrt{f'_{cd}} \dots \text{式4-③}$ ここに、 V_{ssud} : スタッドの終局耐力(kgf) d_{ss} : スタッドの軸径(cm) スタッドの引張強度は4,850kgf/cm ² とする。 f'_{cd} : コンクリートの設計基準強度(kgf/cm ²) 出典: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 平成9年版 土木学会
		コンクリートの割裂破壊に対して $V_{ssud} = 24 \cdot d_{ss} \cdot h_{ss} \cdot \sqrt{f'_{cd}} \dots \text{式4-④}$ ここに、 V_{ssud} : スタッドの終局耐力(kgf) h_{ss} : スタッドの高さ(cm) スタッドの引張強度は4,850kgf/cm ² とする。 d_{ss} : スタッドの軸径(cm) f'_{cd} : コンクリートの設計基準強度(kgf/cm ²) 出典: 鋼構造物設計指針 PART B 合成構造物 平成9年版 土木学会

実験値と計算値を比較した結果を図2に示す。限界状態1と4については、計算値は実験値をモデル化できていると考えられる。限界状態2と3については、結果として限界状態2,3に相当する強度の違いは小さくなく、限界状態2と3をまとめて1つの限界状態と置きなおし、式2-①と式2-②を特性値とすることで、スタッドの降伏やコンクリートのひびわれという物理的な状態とも対応させやすく、また、ずれ変位が急増しない限界の状態を安全側に評価できると考えられる。

3. まとめ
 図1の過程を表す荷重-変位関係の特性を一定の信頼性で評価することができた。今後、この結果を踏ま

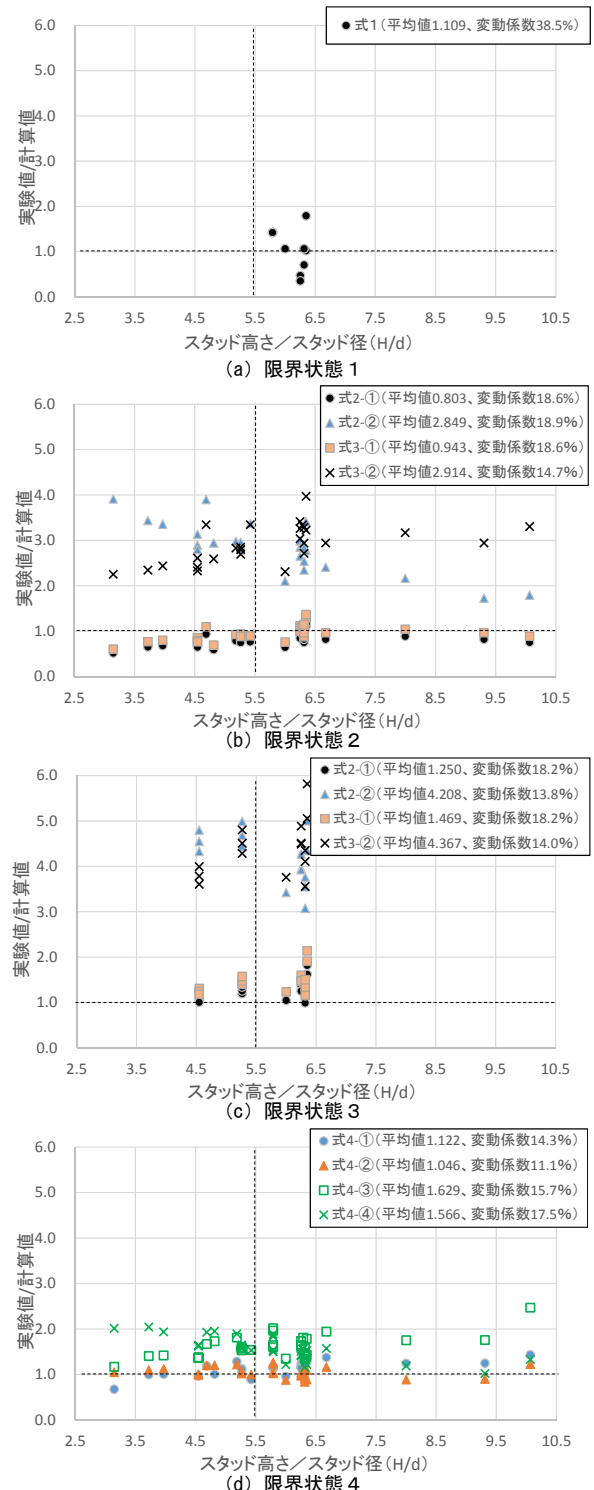


図2 提案する耐荷力評価式の信頼性の検証結果

えて、各限界状態の制限値を算出するための部分係数を設定できると考えられる。

【成果の活用】

本研究で得られた成果は、道路橋示方書等、技術基準改定のための基礎資料として活用予定である。

部分係数設計法の適用性向上に関する調査検討

Study on the enhancement of partial factor design for road bridges

(研究期間 平成 28～32 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 白戸 真大
主任研究官 猪狩 名人
交流研究員 横田 剛

主任研究官 岡田 太賀雄
研 究 官 高橋 慶
交流研究員 高山 文郷

[研究目的及び経緯]

本研究は、設計供用期間中に橋が置かれる稀な荷重同時載荷状況に対応する荷重の組合せや載荷方法、並びに、部材の限界状態を詳細に設定し、部分係数を評価するための載荷試験法も含めた限界状態の評価手順を一般化することを目的としている。

本年度は、材料の高強度化やそれに伴う部材の少数化など橋の形式、形状が変化するなかで、橋全体系の耐荷性能を直接評価するための荷重組み合わせを検討するために、補剛桁の形式を変えたアーチ橋などに対して、鉛直荷重と水平荷重の比率をいくつか設定し、同時に増加させる荷重漸増解析を行った。その結果、道路橋示方書における荷重組み合わせの充実や性能評価手法の高度化のための基礎資料を得た。

道路橋の点検体系に関する調査検討

Study on inspection system of road bridge

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 白戸 真大
主任研究官 前田 文雄
交流研究員 林 佑起

主任研究官 岡田 太賀雄
研 究 官 大西 諒

[研究目的及び経緯]

道路の老朽化や大規模な災害の発生の可能性等も踏まえた道路の適正な管理を図るため、平成 25 年に道路法の一部が改正され、道路管理者は適切な時期にトンネル、橋その他道路附属物について点検を行うことが義務付けられた。国では平成 26 年に「道路橋定期点検要領」を制定し、その要領によって行う定期点検開始から平成 30 年度末で 5 年が経過し点検が一巡した。本研究では定期点検で確認された損傷データの分析等を行い、点検の品質を確保しつつも合理的な点検体系の提案のための知見の抽出を行う。

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

道路橋管理におけるアセットマネジメント活用に関する調査検討

Study to utilize asset management for road bridges

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 白戸 真大
主任研究官 前田 文雄
交流研究員 林 佑起

主任研究官 岡田 太賀雄
研 究 官 大西 諒

[研究目的及び経緯]

道路橋維持管理に関する中長期計画を検討するにあたって、将来の維持管理費用（LCC）の計算値が指標の一つとして用いられ、様々な比較検討がなされる。しかし、様々な計算上の仮定が LCC の計算では必要であり、また、それらを精緻化できたとしても仮定と現実は一致しない。したがって、計算値を確定値として活用することはできず、使用目的に応じた仮定の与え方や結果を解釈する方法論を確立する必要がある。そのためには、網羅的な試算を積み重ね、ノウハウを構築することが求められる。

平成 30 年度は、計算上の劣化過程や修繕実施の判定式の与え方で LCC 計算値がどのように変わるのかを調べた。

部分係数設計法の補修補強設計への適用に関する調査検討

Study on application of partial factor design for existing bridges

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 白戸 真大
主任研究官 猪狩 名人
交流研究員 高山 文郷

主任研究官 岡田 太賀雄
研 究 官 大西 諒
交流研究員 横田 剛

[研究目的及び経緯]

既設橋の補修補強設計に適用基準として平成 29 年道路橋示方書を用いる場合には、そこに規定されている新設橋の設計に用いる設計活荷重や活荷重係数を適用して設計することとなる。一方で、規制の必要性、補強の必要性を検討するため、又は、対策を実施するまでの当面の間に供用させることができるかどうかの判断においては、新設橋の設計に用いる設計活荷重や活荷重係数をそのまま用いるのではなく、想定する供用期間や架橋地点特有の交通特性に応じて、架橋地点の特性を踏まえた活荷重や活荷重係数の調整をすることで、より合理的な判断を行える可能性がある。

本年度は、想定する供用期間に応じた活荷重規模を統計的に推定するために必要となる交通流の計測方法を提案するための基礎データを得るため、実在する複数の橋梁に対し活荷重実態調査から得られた交通流データを基に確率過程を考慮したモンテカルロシミュレーションを実施し、交通特性や構造特性をパラメータとして計測期間と断面力最大値との関係を整理した。

道路橋の補修・補強設計法に関する調査検討

Study on Design Standards for Repair and Reinforcement Works of Highway Bridges

(研究期間 平成 28～31 年度)

道路構造物研究部 橋梁研究室

室 長 白戸 真大
主任研究官 岡田 太賀雄
交流研究員 高山 文郷

主任研究官 猪狩 名人
研 究 官 高橋 慶

[研究目的及び経緯]

我が国の道路橋は高齢化の進展に伴い様々な劣化や損傷の事例が報告されており、既設の道路橋に対する補修補強の必要性は今後も増加が見込まれる。その中、平成 29 年の道路橋示方書（以下、道示）改定で、橋を構成する部材の一部に塑性化を考慮する限界状態設計法（弾塑性設計）が導入されたことにより、部材や橋の破壊過程を直接確認して設計することが可能となった。これにより、将来の車両大型化や大地震時に対する設計の合理化が可能となるとともに、既設橋の補修補強設計についても、部材の一部に塑性化を考慮することができる限界状態設計法のメリットを活かすことで合理化も期待できる。

部材の一部に塑性化を考慮する設計手法は、柱などの一部の部材では考慮されているものの、鋼上部構造に対する設計法は整備されていない。そのため、限界状態 2 の定義である、「損傷が生じているものの、耐力力が想定する範囲で確保できる限界の状態」について、耐荷機構を踏まえ、どういう事象が生じた時か、またその事象を工学的な指標と関連付けられるのか検討する必要がある。また、単調載荷ではなく、塑性化した状態を適切に評価するために必要な載荷方法について検討する必要がある。そこで、本年度は、鋼桁の塑性化後の限界状態及びその現象を工学的指標と関係付けるために必要な載荷試験方法を検討することとした。

盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

Research on Management method corresponding to required performance for cut slope and embankment

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部	構造・基礎研究室	室 長	七澤 利明	主任研究官	藤山 一夫
		主任研究官	森本 和寛	研 究 官	木村 崇
		研 究 官	上原 勇氣		

[研究目的及び経緯]

高度経済成長期に集中的に整備された道路構造物を将来にわたり効率的に維持管理していくことが求められており、平成 26 年度から、トンネル等の道路構造物について 5 年に 1 回の法定点検が行われている。

本研究は、道路土工構造物を効率的に維持管理していくために点検結果を分析し、点検要領の改定並びに資産管理への反映方法について検討するものである。

平成 30 年度は、平成 26～29 年度の 4 箇年で定期点検を実施した国が管理するシェッド 688 施設、カルバート 1907 施設を対象として、その定期点検結果から構造形式や設置環境などの条件毎の変状傾向や特性等を分析した。

道路トンネルの維持管理手法及び覆工の合理的な設計法の調査検討

Study on rational method for maintenance and lining design of road tunnel

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部	構造・基礎研究室	室 長	七澤 利明
		主任研究官	森本 和寛
		研 究 官	上原 勇氣

[研究目的及び経緯]

道路関係法令の改正により、平成 26 年度から、トンネル等の道路構造物について 5 年に 1 度の定期点検が義務付けられたことを踏まえ、本研究では定期点検を含む維持管理の効率化に関する研究・検討を行っている。

また、近年の自動車の排出ガス削減に伴う換気施設の減少や、海外で発生した重大な火災事故に関する知見及び新技術の開発状況等を踏まえて、トンネル内で火災が発生した際の利用者の更なる安全性確保に関する研究・検討を行っている。

本年度は、平成 26 年度～平成 29 年度に国管理の道路トンネル（山岳工法のトンネル（n=1,223））で実施した定期点検の結果から、変状の特性に関する分析を実施し、定期点検の合理化に向けた提案を行った。また、近年のトンネル火災の発生状況に関する分析を行い、基準改定に向けた提案を行った。

既設道路構造物基礎の耐荷性向上に関する調査

Research on improving loading capacity of foundation of existing road structures

(研究期間 平成 29～31 年度)

道路構造物研究部	構造・基礎研究室	室 長	七澤 利明
		主任研究官	宮原 史
		研 究 官	木村 崇

[研究目的及び経緯]

災害に強い強靱な道路ネットワークを実現するためには、大規模地震や大雨による洪水等に対しても、道路機能への影響を最小限に留められるようにすることが求められる。この状態を早期にかつ合理的に実現するために、必要に応じて順次対策を講じる必要があると考えられることから、既設道路構造物に要求される性能を確保するために道路構造物基礎（橋梁等）の耐荷性向上対策を実施すべき構造条件の提示を目的とする。

本年度は、橋梁基礎の洗掘に着目し、洪水等で洗掘した橋梁群に、同じ洪水等を経験したにも関わらず洗掘しなかった橋梁群を加えた橋梁群を対象に、構造条件、河川条件を説明変数とした洗掘の有無に関する統計的分析を行った。その結果、建設年次、橋長、径間数、河床勾配、河道形状が洗掘のしやすさに統計的に有意に影響していることが確認された。

デバイスを用いた道路橋の耐震対策技術に関する調査検討

Research on seismic performance improvement technology of road bridges installing seismic damping devices

(研究期間 平成 30～31 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

室長	七澤 利明
主任研究官	宮原 史
研究官	木村 崇
室長	星隈 順一
主任研究官	西田 秀明

社会資本マネジメント研究センター 熊本地震復旧対策研究室

[研究目的及び経緯]

道路橋の耐震性向上を図るため制震デバイスが取り付けられることがあるが、実挙動と制震デバイスの性能検証時の挙動の乖離等が生じる場合もあり、制震デバイスの効果が適切に橋の耐震設計に反映されるための環境整備が必要となっている。このため、制震デバイスに求める性能、性能を確認するための性能検証項目、標準的な試験方法、検証内容の示し方（性能評価書）を明確化するとともに、制震デバイスと橋の部材との接合部の地震時挙動の評価の高精度化及びこれを踏まえた設計法の構築を行う。

本年度は、地方整備局等における鋼アーチ橋への制震デバイスの設置（設計）状況について情報収集を行った。また、橋に求められる性能を踏まえ、部材としての制震デバイスに求められる性能を耐荷性能及び耐久性能の観点から明確化するとともに、そのうちの耐荷性能について、その性能を検証するための検証項目と試験方法の素案を提案した。

土工構造物等の要求性能に対応した変状評価、性能向上に関する調査検討

Study on deformed state evaluation according to required performance and performance improvement of earthwork structures

(研究期間 平成 29～31 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室

室長	七澤 利明
主任研究官	藤山 一夫
研究官	木村 崇

[研究目的及び経緯]

道路土工構造物については、平成 26 年に技術基準が制定され要求性能が示されたが、要求性能に対応した具体的な照査手法は十分ではない。本研究では道路土工構造物が存する区間の道路としての機能を評価する手法を検討する上で必要となる基礎資料の作成を目的に調査検討を行っている。

道路土工構造物のうちボックスカルバートの設計において、従来型カルバートにおける慣用設計法は示されているが、具体的な耐震設計法は示されていない。本年度は、ボックスカルバートの耐震設計等に関する既存資料及び設計事例を整理した。また、地震力が作用した際のボックスカルバートの損傷性状及び耐震性能を評価できる 2 次元解析モデルを作成し、応答変位法及び応答震度法の試算による比較を行っている。

土工構造物等の要求性能に対応した変状評価、性能向上に関する調査検討

Study on deformed state evaluation according to required performance and performance improvement of substructures

(研究期間 平成 29～31 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

室 長 渡邊 一弘
主任研究官 木村 一幸

[研究目的及び経緯]

盛土等の道路土工構造物の地震や豪雨による被害が依然として多い。平成 27 年 3 月に制定された「道路土工構造物技術基準」では構造物の重要性に応じ要求性能を性能 1～3 の 3 段階で求めているが、定性的な表現が多いため技術者により解釈が異なる可能性がある。また、災害時には緊急輸送道路とそれ以外の道路で同様に被災するなど実態もあり、既設土工構造物の性能評価手法の確立が急務である。そこで、災害における損傷事例、定期点検で把握した変状事例および現地調査から、常時、異常時(地震、豪雨)に対する性能の評価及び性能回復手法の確立を行うものである。平成 30 年度は、定期点検等で把握した変状箇所において設計図書、施工記録などの既存資料及び現地踏査による簡易照査による性能の推定を行うとともに、各種土質調査による詳細照査の性能を比較し推定結果の妥当性を検証した。

盛土・切土等の要求性能に対応した管理手法の調査検討

Survey and investigation on management method corresponding to required performance of road embankment and cut

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

室 長 渡邊 一弘
主任研究官 木村 一幸

[研究目的及び経緯]

道路土工構造物点検要領が平成 29 年 8 月に策定され平成 30 年度から全国的な点検が実施されている。本研究は切土・盛土の道路土工構造物を対象に、構造物の変状から崩壊に至る過程を明確にし、道路土工構造物の合理的な点検・診断を支援する技術資料の作成を目的とするものである。平成 30 年度は、道路土工構造物の変状から崩壊に至る過程を明確にするため、災害事例から災害に至った「素因」と防災総点検の記録から変状の発生・進行に至った「素因」を抽出し、相互に補完することで、「被災」に至るような重要度の高い「変状」を把握し、道路土工構造物点検における点検時の「着目点」を抽出し FT 図に整理した。

舗装の長期性能に関する調査検討

Study on long-term pavement performance

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 道路基盤研究室

室 長 渡邊 一弘
主任研究官 桑原 正明
主任研究官 谷口 聡

[研究目的及び経緯]

アスファルト舗装においては、使用目標年数に達せず早期に劣化する早期劣化区間が存在し、維持管理上の課題となっている。そのため、本研究は早期劣化原因の究明及び破損メカニズムの解明、ならびに早期劣化対策の提案を目的としている。平成 30 年度は、早期劣化対策の検討のため、複数の早期劣化区間において、コア採取ならびに FWD 調査を実施した。その結果、早期劣化の原因は上からのひび割れ、層間はく離、舗装体内の滞水であることが明らかとなった。

道路特性に応じた舗装の要求性能に関する調査検討

Study on pavement serviceability requirement based on road characteristics

(研究期間 平成 28～30 年度)

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

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher

渡邊 一弘
Kazuhiro WATANABE
桑原 正明
Masaaki KUWABARA

This study aims to promote performance specification and advanced techniques of pavement construction fitting for the road condition. This fiscal year, the relationship between various structural pavement deterioration and road conditions, are shown by the analysis of results of investigation on national highways.

【研究目的及び経緯】

我が国の道路構造物のストック量は膨大な量にのぼっているが、ライフサイクルコストを抑え効率的に管理するためには、一律の基準で管理するのではなく、地域性、沿道条件、劣化特性、道路構造等の道路特性に応じ、改築・管理していくことが合理的である。

特に舗装については、上記道路特性に応じて必要とされる性能が異なってくると考えられるため、一定のひびわれ率やわだち掘れ量などを目標値として敷設・管理することが効率的といえない可能性がある。

そのため、道路特性による劣化の特徴を把握した上で、各道路特性下における舗装に求められるべき性能を設定し、それに応じた設計・管理を行えるよう、技術検討を行うこととしている。

【研究内容】

今年度は、直轄国道の調査データ等をもとに、交差点部・橋梁部に着目し劣化状況を整理した。そのうえで特に橋梁上の舗装に要求される性能の検討を目的とし、橋梁床版と道路舗装の損傷の相互影響について整理した。また、舗装の特徴的な劣化形態の1つであるポットホールに着目してその発生状況を道路特性等の観点から整理した。

【研究成果】

(1) 道路特性に応じた舗装劣化特性の抽出

単路部よりも損傷の進行が早いと言われている交差点部、および橋梁部材の劣化との関係性に配慮すべき橋梁部において、平成28年度までに実施された全国の直轄国道の路面性状調査のデータを用い、舗装種別毎に早期劣化状況（ひび割れ率、わだち掘れ量、平坦性の3指標）を整理した。

交差点部においては、ひび割れ率については明確な

違いが見られなかったものの（図1参照）、わだち掘れに関しては交差点手前で顕著になり、さらに排水性舗装よりも通常のアスファルト舗装のほうが顕著になることを確認した。

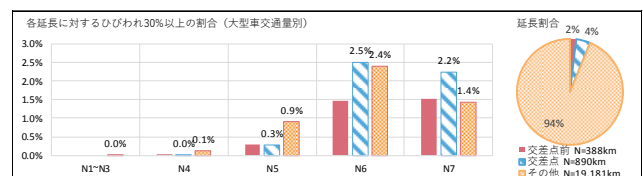


図1. 交差点部における交通量別のひび割れ状況 (アスファルト舗装の場合)

橋梁部においては、アスファルト舗装の場合、橋梁部以外よりも、ひび割れ率およびわだち掘れ量が少ない傾向にあることを確認した。（図2参照）

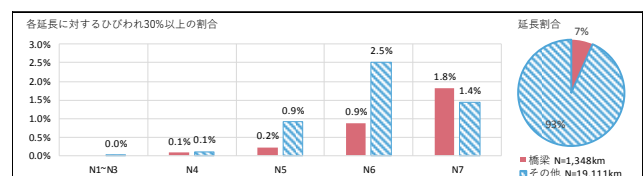


図2. 橋梁部におけるひび割れ率30%以上の割合 (アスファルト舗装の場合)

(2) 橋梁上の舗装と床版との関係性整理

1) 橋梁定期点検データによる整理 (全国)

全国のコンクリート床版を有する直轄国道の橋梁の定期点検（平成24～28年）における床版及び舗装の対策区分判定結果の関係を整理した結果、「床版の対策区分が芳しくないほど、舗装の対策区分が芳しくない（C判定以上）割合が高い傾向」及び「舗装の対策区分が芳しくないほど、床版の対策区分が芳しくない（C判定以上）割合が高い傾向」を確認した。（図3参照）

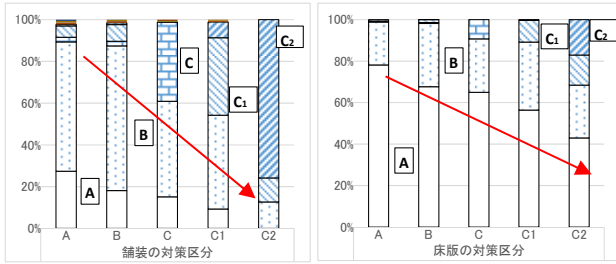


図3. 舗装対策区分と床版対策区分との関係

2) 橋梁定期点検データ及び路面性状調査結果による整理（全国）

床版の対策区分判定と路面性状調査におけるひびわれ率（当該径間上の最大値及び平均値）の関係について整理した。

結果としては、床版の対策区分が芳しくないほど、路面性状調査におけるひびわれ率20%以上の割合が高い傾向が確認できた。（図4参照）

一方で、床版の対策区分判定と路面性状調査におけるわだち掘れ、平坦性等との関連性については、特徴的な傾向は確認できなかった。これらのことから、床版損傷との関係性を検討すべき舗装の損傷内容として、ひび割れに着目すべきことがうかがえる。

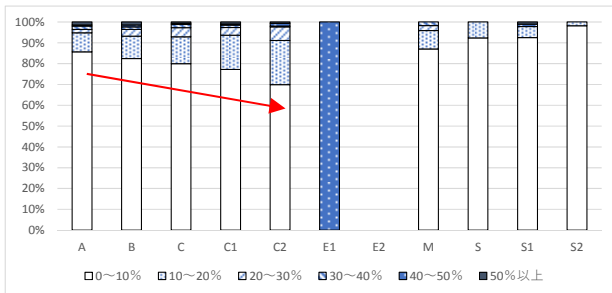


図4. 床版の対策区分とひびわれ率

3) 橋梁と舗装の損傷進行の関係性整理

また、床版の損傷程度が顕著なコンクリート床版橋を抽出し、それぞれの橋梁で複数回の定期点検結果を追跡して、舗装損傷と床版の損傷について整理した。

最新点検において比較的重度の床版ひびわれが発生している57橋を抽出し、過去2~3回分の定期点検における損傷図、損傷写真を確認し、床版ひびわれが生じている箇所、その上面の舗装状況、及びその進行性について整理した。

整理対象57橋のうち、34橋（約60%）において床版損傷位置直上の舗装に異常（ひびわれ、うき、凹凸、土砂の噴出し、補修跡等）が生じていることが確認できた。このことは、橋梁床版の損傷と舗装面の異常との関係性に着目することの意義を示唆するものである。

(3) ポットホールの発生状況整理

直轄国道の3出張所6路線のパトロール日誌2年分における写真やメモを用いて、道路特性等による、ポットホールの発生状況の特徴の概要を把握した。

道路横断方向におけるポットホール発生位置は、わだち部（左）が最も多く、次いでわだち部（右）、車線中央の順となっている。

発生車線については、走行車線での発生が多くなっており、沿道の出入りや重交通走行の影響を受けているものと推察される。

なお、水が多く集まると考えられる縦断サグ部について、発生状況をサグ部以外と比較したが、今回調査では明確な差が見られなかった。

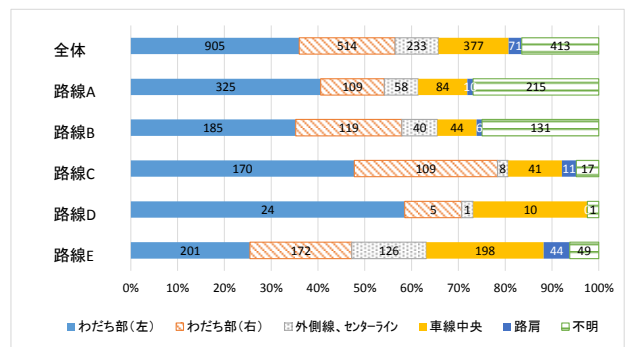


図5. ポットホール発生位置（道路横断方向）

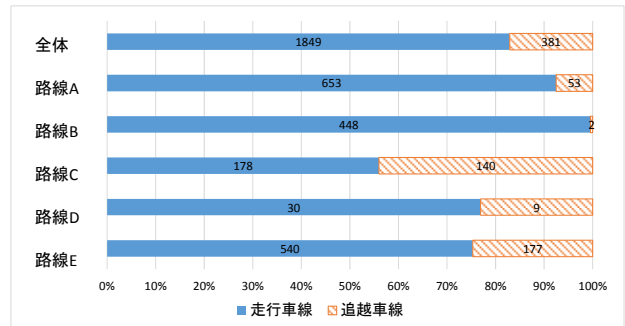


図6. ポットホール発生位置（車線別）

【成果の活用】

本研究の成果については、舗装への要求性能の在り方に関する検討材料とし、今後、舗装の設計基準書などに反映していく予定である。これらを通じ、ライフサイクルコストをより考慮した舗装の設計・管理の実現に取り組んでいく所存である。

インフラ被災情報のリアルタイム収集・集約・共有技術の開発

Development of Real-Time Collection, Integration, and Sharing Technology for Infrastructure Damage Information

(研究期間 平成 26～30 年度)

道路構造物研究部	道路地震防災研究室	室長	片岡 正次郎
Road Structures Department		Head	Shojiro KATAOKA
Earthquake Disaster Management Division		研究官	白石 萌美
		Researcher	Moemi SHIRAISHI
社会資本マネジメント研究センター		情報研究官	蘆屋 秀幸
Research Center for Infrastructure Management			Hideyuki ASHIYA
Research Coordinator for Advanced Information Technology			
社会資本情報基盤研究室		室長	関谷 浩孝
Information Platform Division		Head	Hiroataka SEKIYA
		主任研究官	糸氏 敏郎
		Senior Researcher	Toshiro ITOUJI
		研究官	今野 新
		Researcher	Arata KONNO
		交流研究員	森田 健司
		Guest Researcher	Kenji MORITA
土砂災害研究部	土砂災害研究室	室長	野呂 智之
Sabo Department		Head	Tomoyuki NORO
Sabo Risk-Management Division		主任研究官	野村 康裕
		Senior Researcher	Yasuhiro NOMURA
		研究員	鈴木 大和
		Research Engineer	Yamato SUZUKI

At the time of a disaster, it is necessary to grasp the damage situation based on the limited available information, establish a system for the initial response, and proceed with the disaster response. We have developed the technology to collect infrastructure damage information with the necessary promptness, coverage, and reliability, using every kind of technology available and providing the necessary information for decision making. This study conducted a survey of officials who had been engaged in earthquake response following the 2016 Kumamoto Earthquakes, among others.

【研究目的及び経緯】

南海トラフ地震や首都直下地震等の発生リスクが懸念されており、大規模で広域的な地震災害の発生時であっても、インフラ施設の被災情報等を迅速に収集・集約・共有できる技術の開発が求められている。そこで、本研究では、ICTや衛星画像処理技術等を活用することにより、インフラ管理者のニーズに応えられる即時性・網羅性・確度を確保してインフラ施設等の被災情報を収集・集約・共有する技術の開発を進め

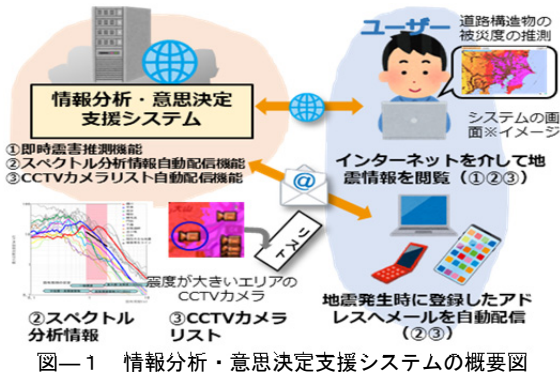
ている。これにより、災害直後の「情報空白期間」を可能な限り排除し、国土交通省地方整備局等の迅速な災害対応を支援することを目指している。

【研究内容と成果】

1. 情報分析・意思決定支援システムの開発

閾値震度以上の地震発生直後にインフラの被災規模を推測するための情報や優先して確認すべきカメラの情報の自動配信機能を付与したシステムや、道路橋・盛土・斜面の被災度や液状化の危険度の推測機能

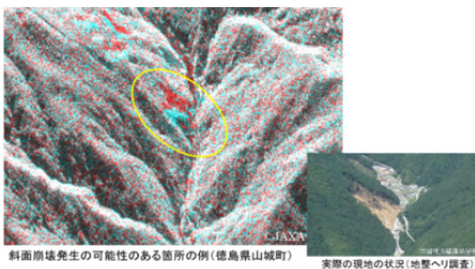
を構築した。本システムの概要を図—1に示す。本システムはクラウド上で管理・運用しており、ログインIDとパスワードを発行すればインターネットを介して閲覧可能である。現段階ではIDの発行は研究関係者に限られているが、平成29年4月から地方整備局の防災担当者等への配信を開始し、平成31年2月現在8地方整備局、国土地理院、沖縄総合事務局等への配信を行っている。平成30年度は6月の大阪府北部の地震や9月の北海道胆振東部地震等で情報提供を実施するなど、確実に社会実装を進めた。



2. 効果的に SAR 画像を活用するための技術

広域災害の初動調査として SAR 観測等の最適なオペレーションを検討する「初動調査計画立案支援システム」を構築した。平成30年7月からは本システムを用いて地方整備局で実証実験を行ない、その結果を踏まえ、システムの操作性や立案された調査計画の実効性の更なる改良を行った。

また、技術者が SAR 画像を用いて崩壊地等を効率的に判読できる「SAR 画像判読支援システム」を構築するとともに、判読支援機能の高度化および処理の高速化方法について検討した。国総研では本システムを用いて災害直後の山腹崩壊等の判読を行っている。平成30年7月の西日本豪雨災害(図—2)等で実際に判読を行い、その結果を国土交通省に提供し災害対応に活用された。また、地方整備局等の防災担当者への研修等も全国で実施し、活用を想定している担当者へ本システムの活用・操作方法を習得してもらうとともに、実習で実際に使用し、操作性や実効性等について改良意見を収集した。



図—2 SAR 画像判読支援システムでの土砂災害把握事例 (平成30年7月豪雨災害)

3. CCTV カメラ画像からの効率的な被害検出

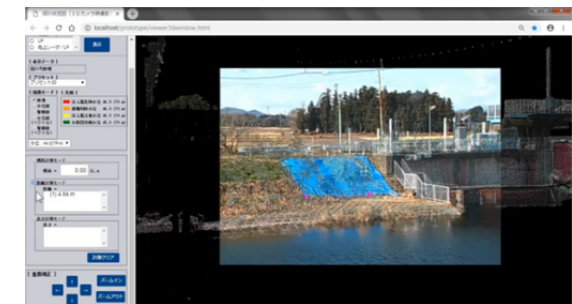
国土交通省が設置している CCTV カメラの映像から発災直後に被害を把握するため「パノラマ画像作成システム」や「画像計測システム」の技術開発を実施した。

「パノラマ画像作成システム」で作成したパノラマ画像の閲覧画面の例を図—3に示す。発災後に自動で広域の状況を把握した。

また、CCTV カメラ周辺の点群データと CCTV カメラ映像を用いて、遠隔からおおよその被害規模を計測する「画像計測システム」システムを構築した(図—4)。平成30年度は、本システムを河川事務所で運用中のカメラとその周辺の点群データを用いて試行した。また今後の普及に向けて画像計測システムの導入ガイドラインをまとめた。



図—3 統合災害情報システム (DiMAPS) での閲覧画面 (例)



図—4 画像計測システムの画面 (例)

4. 災害覚知技術の性能水準の設定

上記の技術開発を実施するとともに、適切な技術開発・導入に向け、災害覚知技術の性能水準を設定する取り組みを実施した。平成28年熊本地震の災害対応の詳細な調査から現場で必要とされる情報を整理した。平成30年度は道路分野における災害覚知技術の性能水準を即時性・網羅性・信頼性の観点から設定し、技術開発目標の提示を可能とするための枠組みを構築した。

【成果の活用】

本研究成果は、平成30年6月大阪府北部の地震や9月の北海道胆振東部地震等の災害発生時の情報提供に活用された。

災害対応時の管理基準に関する調査

Survey on management standards at the time of disaster response

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室
Road Structures Department
Earthquake Disaster Management Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher

片岡 正次郎
Shojiro KATAOKA
横田 昭人
Akito YOKOTA

In order to set a timeline and perform snow removal properly, it is required to know the exact snowfall situation on the site. This study aims to investigate snowfall prediction to improve their effectiveness. By organizing the relationship between the occurrence of stuck vehicles and the situation of snowfall at that time, it is examined whether the traffic regulation criteria can be set based on the snowfall prediction.

〔研究目的及び経緯〕

近年豪雪のため大規模に車両が滞留し、通行再開までに数日間要する事象が多数発生している。道路管理者は、降雪前、降雪時、滞留発生時の各段階で設定したタイムラインに基づいて対応を行う。降雪前では出控え、広域迂回の呼びかけを行うことや、チェーン未装着車両を通行させないため規制人員の体制構築、通行制限の実施判断を行う。

適切に降雪対応するために、現場では正確な降雪状況の把握が求められ、降雪予測の活用が有効とされている。本研究では降雪予測を用いたタイムラインの実効性を高めるため以下の調査を行った。

平成 29 年度までに XRAIN を活用しリアルタイムで降雪の範囲、降雪の量を把握する方法について研究を行った。

今年度は、雨量規制のような通行の制限を、降雪の予測値(路面の状態を要素としないもの)から設定し、通行規制の実施判断基準の設定が可能であるか調査を行った。

〔研究内容及び成果〕

道路管理者は降雪予測の情報として、気象庁から配信される予測解析情報を用いて、管理区間内の必要な地点毎で時間降雪量を把握している。この情報を活用し、規制実施の判断ができる基準を設定することがよい。そこで過去の走行不能車両の発生とその時の降雪の状況を整理して、関係性を見ることにより、規制判断基準の設定が可能か検討を行うこととした。

(1) 走行不能車両の発生時の降雪状況の推定

平成 23 年度から平成 28 年度に大型車両が直轄道路(北海道を除く)において、スタッドレスタイヤ装着の状態で行けなくなった 753 事象について、発生箇所の降雪状況の再現を行う。

降雪の状況としては、降り始めた時間から走行不能車両発生までの時間降雪深を推定する。図-1 は国道 18 号新潟県(湯沢)での 2017/2/21 に発生した事象を対象に再現したものである。走行不能車両発生時の気象庁が配信した 3 種類の解析結果を使用し、発生箇所の降雪状況を再現する。図-2 のフローに示す手順で、再現性が高い推定結果を用いた。

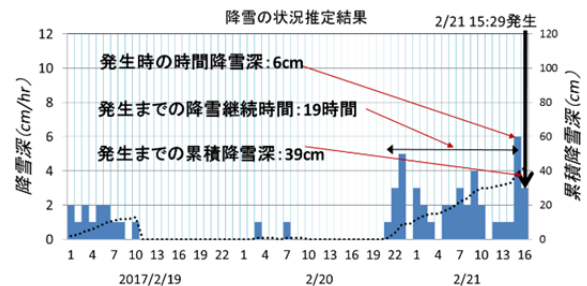
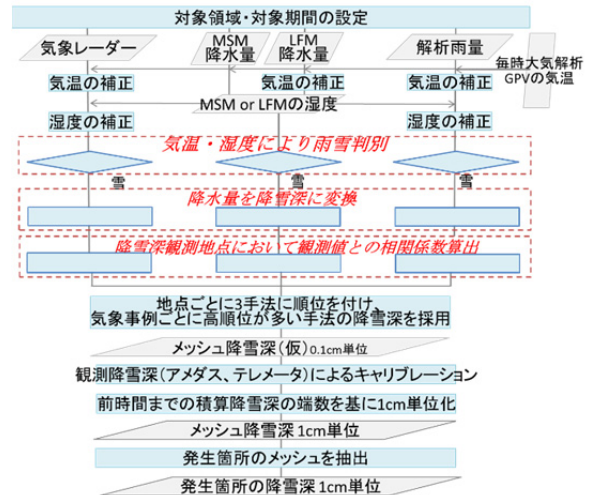


図-1 走行不能車両発生箇所の降雪の状況推定 (例)



MSM]日本及びその近海の大気を対象とした気象庁の数値予報モデル
LFM]日本領域の大気を対象とした気象庁の数値予報モデル
GPV]大気中もしくは地表などに設定された格子点上の気象要素などの値

図-2 降雪の状況推定のフロー

(2) 推定結果の検証

再現した降雪状況は、北陸地方整備局のテレメータによる降雪観測記録との検証を行い、24 時間降雪深では 0.954、1 時間降雪深で 0.771 の相関を得た。

(3) 降雪状況と走行不能車両発生 の整理

降雪の状況と走行不能車両発生 の関係性を表の①～⑨の要素で整理し、要素毎に相関を確認した。表には降雪の地域性と道路勾配との相関について示している。⑧に示す降雪の地域性は、気象庁の警報基準から雪の多い地域、少ない地域を設定した。

表 走行不能車両発生 の各要素との相関関係性

	⑧		⑨	
①発生までの降雪継続時間	A	0.214	B	-0.220
②発生までの累積降雪深	C	0.267	D	-0.267
③発生時の時間降雪深	E	0.113	F	0.115
④発生前3時間累積降雪深		-	G	0.075
⑤発生前6時間累積降雪深		-	H	-0.026
⑥発生前1.2時間累積降雪深		-	I	-0.186
⑦発生前2.4時間累積降雪深		-	J	-0.391
⑧発生箇所 の降雪の地域性			K	0.000
⑨発生箇所 の道路勾配	K	0.000		

(4) 降雪の状況と走行不能車両発生 の関係性分析

降雪継続時間と道路勾配 (B) では、道路勾配が大きい程、降雪初期から発生する傾向は見られたが 0.220 と相関は低い。継続時間が長くなるほど路面状況が悪化し発生すると想定すれば、初期で発生する傾向が強く見られたことから、道路勾配の要素が大きく影響することを示すと考えられる。

累積降雪深と降雪の地域性 (C) では、雪が多い地域ほど、降雪深が大きな値のとき、走行不能車両が発生している傾向はあるが、0.267 と相関は低い。

累積降雪深と道路勾配 (D) では、累積降雪深が少ない場合でも勾配が大きくなれば走行不能車両が発生する傾向が見られたが、この関係性も -0.267 と低い。

時間降雪深と道路勾配 (F) では、道路勾配が大きいほど少ない時間降雪深で発生する傾向があると想定したが、その傾向は見られず、1 時間の降雪量には左右されない結果となった。

降雪の地域性と道路勾配 (K) では、雪が多い少ないの地域性に関係なく、道路勾配が 4 % を越える箇所 で発生する傾向がある。

以上のように、降雪の状況と走行不能車両の発生には強い相関が見られず、降雪の予測結果のみから明確な規制の判断基準値を設定することは、可能性が低いという結果を得た。

(5) 管理基準の設定の方向性

今回の調査では、降雪の予測情報を活用して、チェーン規制の実施を判断する際、道路勾配は要素として取り入れるべきであることは把握できた。

降雪の予測情報として、1 時間降雪深、降雪継続時

間といった要素は有効でないが、表の (G) ~ (J) の相関を見るに、24 時間累積の降雪状況といった大まかな捉え方の方が相関は高い。これらを用いて管理基準の設定の方向性を次の様に示す。

大規模車両の滞留では以下の流れがある。降雪時に走行不能車両が発生し、除雪作業を中断して、この車両の排除作業に当たる。その作業が頻繁になり除雪ができず、更なる走行不能車両、大量の積雪、全車両が走行不可能となる。よって走行不能車両の排除を除雪作業の中で許容しつつ、車両滞留を発生させないことを前提とした判断基準の設定方法を提案する。

図-3 は道路勾配と 24 時間累積降雪深で見ると走行不能車両の発生分布であり、赤線はこれを下回る 24 時間累積降雪深で発生していた走行不能車両の割合を示す。例えば道路勾配 4 % 以上を含む管理区間において、走行不能車両を 40 % まで減少させなければ車両滞留が発生すると想定した場合、24 時間累積降雪深の予測値が 25cm 以上の時はチェーン規制を判断することになる。

しかしながら図-3 のばらつきは非常に大きく、降雪の状況だけでは、走行不能車両発生時の路面状況は表現されない。気温、除雪状況、交通量など、その他の要素で路面状況は変わるため今後降雪と路面状況の関係について把握する必要がある。

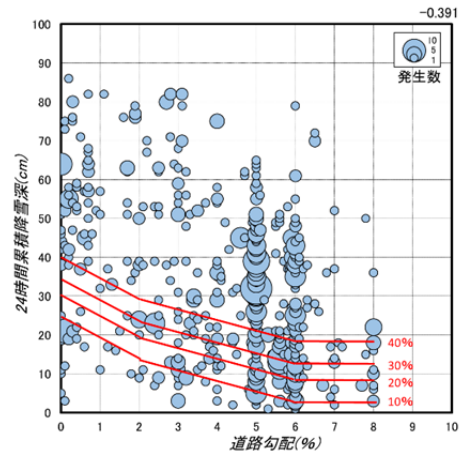


図-3 走行不能車両の発生分布 (管理目安)

[成果の活用]

前年まで行った降雪の範囲、降雪量を広い地域で把握することは、除雪部隊を他の場所へ応援に向かわせる可否判断をする上で必要な情報であり、現場での活用が期待される。降雪の予測結果は体制の構築を判断する上で有効な情報であるが、降雪の予測を基に制限実施の判断を行うタイムラインの設定にはさらに調査を進める必要がある。本研究の成果は、タイムラインの実効性を向上していく上での基礎資料として活用される。

河川施設における強震計点検調査

Observation of strong ground motion at river facilities

(研究期間 昭和 60 年度～)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室 長 片岡 正次郎
研 究 官 猿渡 基樹
研 究 員 石井 洋輔

[研究目的及び経緯]

国土交通省では、公共土木施設の耐震設計技術の向上などを目的とし、全国の堤防、堰などの河川構造物等において強震観測を行ってきており、これまでに実際に発生した地震にて多くの観測記録が得られている。これらの観測記録は河川構造物の耐震性能照査指針などをはじめとした各種設計基準に反映され、構造物の耐震設計技術の向上に寄与するとともに、ホームページなどを通じて情報提供がなされてきた。

平成 30 年度についても、これまでと同様に強震観測を継続・維持していくために、強震観測施設の点検を行い、必要に応じて補修を行い、観測された強震記録の整理、蓄積を行った。

地盤-橋全体系の耐震設計に用いる地盤震動特性の評価手法の検討

Study on evaluation method of ground shaking characteristics used for seismic design of soil-bridge system

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室 長 片岡 正次郎
研 究 官 猿渡 基樹
研 究 員 石井 洋輔

[研究目的及び経緯]

橋の基礎構造物の耐震設計および耐震補強設計は、地盤との動的相互作用を性能照査に取り入れることで、合理的な設計が可能となるものがある。本研究は、橋の耐震設計基準の合理化に資する地盤震動特性の評価手法の確立を目的としている。そのため、地盤の動的相互作用の影響を考慮した地震応答解析手法を構造物の地震観測記録等を用いて検証するなど、構造物に作用する地震動の低減効果を評価する手法等を検討している。

平成 30 年度は、道路施設に設置された強震計の点検と地震記録を収集し、地震時挙動の評価に有用な記録を取得した。既往研究等で提案されている地盤と橋の動的相互作用を評価できる解析手法を整理し、橋の地震被害の再現解析の結果を基に、地盤と橋を一体で解析する際の留意点を整理した。

斜面災害時における道路通行可否の把握技術に関する調査

Study on technologies to grasp whether the road at is passable the time of slope disaster

(研究期間 平成 30～32 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室

室 長 片岡 正次郎
研 究 官 猿渡 基樹

[研究目的及び経緯]

大規模地震が発生した際、道路管理者は、緊急通行車両が移動できるルートを切り開く道路啓開を実施している。国土技術政策総合研究所では、道路啓開活動前の被災箇所調査や道路啓開活動時の斜面の崩壊・再崩壊の危険性把握のため、航空機を含めた被災状況の早期把握技術の活用を検討している。本研究は、被災箇所調査時や道路啓開活動時の斜面の崩壊・再崩壊による二次被害を回避するため、無人航空機 (UAV) に着目し、斜面の崩壊・再崩壊の危険性が判断できる計測条件の検討を行い、道路啓開活動前後に UAV がどのように活用可能か検討するものである。

本年度は、UAV に搭載したカメラ及びレーザを用いて、段差や陥没などの斜面の状態を、どの程度の精度で計測可能か、試験フィールドで実施した計測結果を基に検討を行った。

道路橋の耐震補強効果の評価に関する調査

Study on effectiveness of seismic retrofit for highway bridges

(研究期間 平成 28～30 年度)

道路構造物研究部 道路地震防災研究室
Road Structures Department
Earthquake Disaster Management Division

室長
Head
研究官
Researcher

片岡 正次郎
Shojiro KATAOKA
猿渡 基樹
Motoki SARUWATARI

Damage to highway bridges caused by the 2016 Kumamoto earthquake has occurred in a wide range and various investigations have been carried out. There are highway bridges that are estimated to have been alleviated damages by seismic retrofit. In this study, in order to effectively carry out seismic retrofit of highway bridges, the effect of seismic retrofit that has been promoted mainly by directly controlled national highway is analyzed quantitatively and statically.

【研究目的及び経緯】

本研究は、道路橋の耐震補強を効果的に進めていくため、これまでに直轄国道等を中心に進められてきた耐震補強の効果を定量的、統計的に確認し、未補強橋梁に対する今後の耐震補強の進め方を検討するものである。

平成 28 年度は、熊本地震を対象に、道路橋の被害情報を、国土交通省、NEXCO 西日本、熊本県及び大分県から収集した上で、道路橋被害の分析を行った。

平成 29 年度は、平成 28 年度に収集した情報のほか、震度 6 弱以上の市町村から収集した道路橋の被害情報を基に、道路橋被害の分析を行った。また、道路橋被害が緊急活動に及ぼした影響の分析を行った。

本年度は、熊本地震を対象に、緊急輸送道路の道路橋の耐震補強の実施状況による社会経済活動に対する影響の分析を行った。

【研究内容】

1. 社会経済活動に対する影響の分析

緊急輸送道路が被災すると、緊急車両の走行距離の増加や速度の低下により移動時間が長くなるため、様々な活動に与える影響は大きい。そこで、熊本地震を対象に、緊急輸送道路の道路橋の耐震補強の実施状況により、旅行時間にどのような影響を及ぼすか分析した。分析するパターンは、i) から iii) とした。

出発地点及び到着地点は、社会経済活動に対する影響を分析するため、緊急物資の輸送ルートに着目した地点とした。そのため、出発地点及び到着地点は、熊本地震の際に民間物資拠点及び一次物資拠点として活用された場所とし、a) から d) とした。

分析するパターン

i) 熊本地震前の最適路線(パターン 1)

- ii) 熊本地震本震発生後 24 時間、24 時間後から 3 日目、4 日目から 7 日目、8 日目から 14 日目ごとに実際に使用された路線 (パターン 2～5)
- iii) 耐震補強の効果を評価するための路線 (パターン 6、7)

出発地点及び到着地点 (図-1)

- a) 福岡県久山町から KK ウイング
- b) 福岡県久山町からグランメッセ熊本
- c) 佐賀県鳥栖市から KK ウイング
- d) 佐賀県鳥栖市からグランメッセ熊本

道路橋の耐震補強の実施状況による被災度は、道路橋の被災度推定手法 (国総研資料第 485 号、平成 20 年 7 月) を用いて判定した。

【研究成果】

1. 社会経済活動に対する影響の分析



図-1 出発地点及び到着地点



図-1 耐震補強の効果を評価するための路線

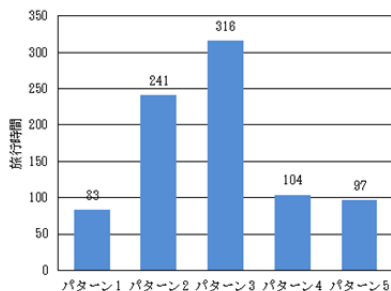


図-2 パターン別旅行時間
(福岡県久山町から KK ウイング)

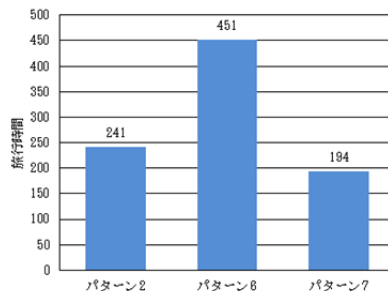


図-3 パターン別旅行時間（地震発生後 24 時間）
(福岡県久山町から KK ウイング)

分析するパターンのうち、耐震補強の効果を評価するためのパターン 6、7 (図-1) の考え方を以下に示す。

パターン 6: 「緊急輸送道路の橋梁耐震補強 3 箇年プログラム (平成 17~19 年度)」(以下、3 プロ) を基に耐震補強を実施した場合の通行可能ルート

パターン 7: 現在の耐震補強の状況に加えて、段差防止対策が実施済みだった場合の通行可能ルート

所要時間は、熊本地震本震発生後 24 時間のプローブデータを用い、ルート毎に時間帯別旅行時間を算出した。なお、プローブデータが欠測している時間帯は、道路交通センサスの時間帯別交通量を用いて、隣接区間の交通容量及び旅行時間から推定できる BPR 関数で算出した値とした。

九州自動車道は、熊本地震により橋梁のほか盛土も損傷し長時間通行止めとなっていたため、パターン 6、7 では通行不可能とする。また、パターン 6 に関して、地震発生前に 3 プロにより耐震補強されていた道路橋は、実被害を反映させることとした。

出発地点及び到着地点に対するパターンごとの分析結果のうち、福岡県久山町から KK ウイングに対するパターンごとの分析結果を整理した。なお、耐震補強未実施の場合は、全てのルートに通行不可能な被災度と評価される道路橋があり、通行可能ルートがなくなるため分析対象からはずしている。

図-2 に、地震発生後から 14 日目までに実際に使用されたルートのパターン別旅行時間を示す。旅行距離は、パターン 1、5 は同ルートで 111km であり、パターン 2~4 は同ルートで 113km である。地震発生後、道路施設の被災により九州自動車道の一部が通行止めとなったため、緊急車両のほか、一般車が国道 3 号などに集中して大規模な渋滞が生じ、地震発生後から 3 日目まで (パターン 2、3) の実旅行時間は地震前 (パターン 1) の 3~4 倍も増加している。なお、4 日目以降 (パターン 4、5) は地震前と同程度まで低下している。

図-3 に、地震発生後 24 時間の旅行時間を耐震補強別に示す。旅行距離は、3 パターンとも同ルートで 113km である。耐震補強が未実施だった場合、通行可能ルートがないため旅行時間はとてつもない長さとなるが、3 プロによる耐震補強を実施すると、通行可能なルートができるため、パターン 6 (3 プロ) の旅行時間はパターン 7 (現況+段差防止対策) の 2.3 倍に収まっている。このため、未補強橋梁をもつ路線は、少なくとも 3 プロによる耐震補強を実施することで、通行可能な路線を確保する必要がある。パターン 2 (実績) では、パターン 6 の 6 割弱まで減少しており、3 プロ以上の耐震補強を進めてきた効果も見られる。

[成果の活用]

耐震性の改善効果を取りまとめた上で、道路の震災対策に関する技術基準等に反映する。