

領域4：コスト構造を改革し、
道路資産を効率的に形成する（つくる）

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 29～令和 2 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 猪狩 名人
Senior Researcher IGARI Meito
交流研究員 横田 剛
Guest Research Engineer Yokota Go

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher
交流研究員
Guest Research Engineer

白戸 真大
SHIRATO Masahiro
岡田 太賀雄
OKADA Takao
高橋 慶
Takahashi Kei
高山 文郷
TAKAYAMA Fumisato

The performance of whole bridge system is usually evaluated as per individual parts, because there are no standards to evaluate the system reliability considering the evolution of plasticity at parts. This study seeks a standard design method to evaluate the bridge performance as a system including loads and load combinations as well as the limit states of structural members.

〔研究目的及び経緯〕

H29.7 に道路橋示方書が改定され、従来の許容応力度法に替えて部分係数法が導入された。橋の限界状態を部材の限界状態で代表させ、部材単位で照査するという設計体系となった。部材毎の照査に用いる制限値には部分係数を考慮することとされ、限界状態の評価に関わる統計的な信頼性を考慮する部分係数のみならず、ぜい性的であるかどうかなど部材の非弾性挙動の違いを考慮する部分係数も導入された。一方で、部材の損傷や破壊が橋全体に与える影響も加味し、橋全体での性能を直接評価する方法は未だ確立していない。橋全体での性能を直接評価できれば、部材単位の設計を合理化しつつも、橋全体として粘り強い形式を創出したり、既設橋梁の性能をよりの確に評価できると考えられる。

橋全体の破壊過程を調べている既往の研究事例では、活荷重を想定した鉛直荷重、または、地震の影響を想定した水平荷重など、一つの種類の荷重を漸増させたときの挙動に基づき、様々な考察がされていることが殆どである。しかし、実際の橋は、複数の荷重の同時載荷状況に置かれる。そこで、平成 30 年度は、橋全体の耐荷性能を評価するにあたって、鉛直荷重と水平荷重を組み合わせた荷重漸増解析を行った。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 荷重漸増解析

図-1 に試算対象とした鋼アーチ橋（ニールセンローゼ橋、支間長 123m）を示す。主部材の形式の違いに

よる橋全体の耐荷力の差を確認するために、補剛桁を箱桁形式とした場合と鉸桁形式とした場合を対象とする。なお、諸元の設定にあたって、いずれの橋梁もレベル 2 地震動に対する設計までは行っていないが、その他の項目については道路橋示方書を満足するように設計している。

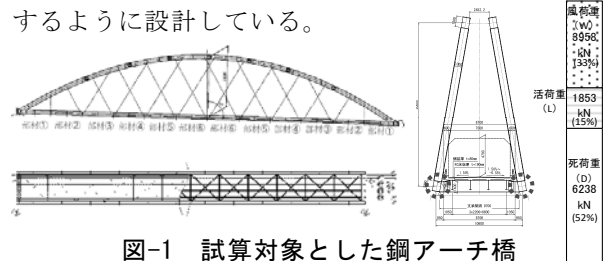


図-1 試算対象とした鋼アーチ橋

先に記述したとおり、全体の破壊挙動を検討する方法は基準には規定されていないが、既往の研究では、鉛直荷重の漸増載荷、又は、水平荷重の漸増載荷を行い、各部材の損傷の進展に伴う全体の挙動の変化を考察することが多い。しかし、実際の橋は複数の荷重の同時載荷を受けるので、橋の性能の検討方法を高度化するためには、鉛直荷重だけではなく、組み合わせ荷重に対しても橋全体の挙動を制御できるのがよいと仮定し、その必要性について検討することにした。

まず、荷重の同時載荷状況に関するモンテカルロシミュレーションを実施し、各部材の曲げモーメントの 100 年最大値を評価した。結果を図-2 に示す。断面力最大値分布は稀な荷重同時載荷状況として道示設計断面力を上回る規模となった。そこで、本研究では、図-2 の結果を参考に 1.05D を載荷した状態で、

道路橋示方書では考慮していない比率の組み合わせとして $0.5L+1.50W$ (Dは死荷重、Lは活荷重、Wは風荷重) を基本に、この比率を保ったまま荷重を漸増される荷重漸増解析を実施した。

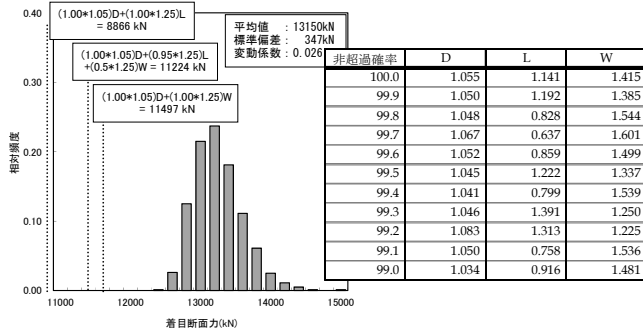


図-2 補剛桁(支間 1/4 点)の断面力最大値分布

2. 鉛直荷重と水平荷重の組み合わせの影響

漸増解析は、既往の研究で多く行われるように、各部材の曲げ挙動についてのみ非線形性を考慮して行った。図-3 に示すとおり、U 点(部材が終局を迎える点)を超えた後でも部材強度は低下しないというモデルになっている。図-4 に鉛直荷重のみの場合及び鉛直荷重と水平荷重を組み合わせた場合の鉛直方向変位の漸増解析結果、図-5 に水平荷重のみの場合及び鉛直荷重と水平荷重を組み合わせた場合の橋軸直角方向変位の漸増解析結果を示す。LFy とは部材が降伏したとき(図-4、図-5 の Y 点)の荷重倍率、LFu とは部材が終局を迎えたとき(図-4、図-5 の U 点)の荷重倍率である。

箱形式と鉸桁形式の二つの橋では、鉛直荷重に対しては挙動に大きな差が生じなかったものの、水平荷重に対する挙動の差が大きい。たとえば、水平荷重のみを漸増させたときは、水平方向の剛性が小さい鉸桁形式の方が荷重倍率が小さい値で部材が終局に達している。鉛直荷重と水平荷重を同時に漸増させたときにも、水平荷重のみを漸増させたときと挙動が類似する。したがって、一般的な材料や部材配置の橋であり、かつ、各部材の曲げに対する非線形挙動についてのみ着目した今回の例では、大地震に対する設計を適切に行うことで、設計計算では考慮していない荷重組み合わせに対しても計算上は脆弱な挙動をしない結果になった。しかし、写真-1 に示すように既存の橋の損傷事例からは、床組み等が損傷したのちには、ねじりが厳しい状態におかれるが、図-4、図-5 の解析では各部材の強度が低下するような挙動は考慮できていない。今後の技術の発展を考えると、これまで着目することがあまりなかったねじり挙動についても安全側に考慮できるように、モンテカルロシミュレーションの方法やシミュレーション対象とする橋の諸元の与え方、荷重漸増解析の方法など、検討方法を抜本的に見直す必要がある

と考えられる。

また、図-5 では、鉛直力のみを漸増させたときに比べて、鉛直力の漸増と水平力の漸増を組み合わせることで部材①が終局に達する変位は逆に大きくなっている。この結果からは、逆に、地震の鉛直動も考慮すれば、橋の挙動の特性は異なる可能性がある。

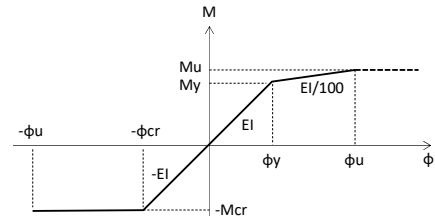
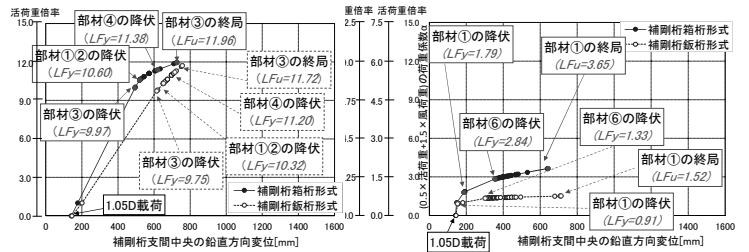


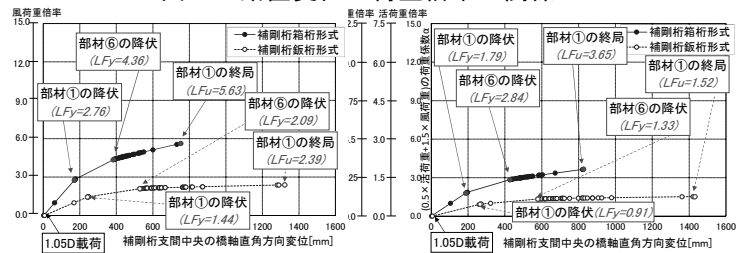
図-3 本検討で考慮した曲げモーメントを受ける部材の骨格曲線



1) 鉛直荷重のみ

2) 鉛直荷重と水平荷重

図-4 鉛直変位と荷重倍率の関係



1) 水平荷重のみ

2) 鉛直荷重と水平荷重

図-5 水平変位と荷重倍率の関係

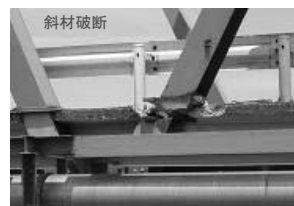


写真-1 橋が厳しいねじれの状況に陥る損傷の例

3. まとめ

橋全体系の耐荷力を評価するための荷重組合せやねじり挙動を生じさせる載荷方法や計算モデルの構築等、引き続き、様々な構造形式や分析の観点でシミュレーションを行い、データを蓄積したい。

〔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

OKADA Takao

大西 諒

ONISHI Ryo

室長

Head

主任研究官

Senior Researcher

交流研究員

Guest Research Engineer TAKAYAMA Fumisato

白戸 真大

SHIRATO Masahiro

猪狩 名人

IGARI Meito

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。

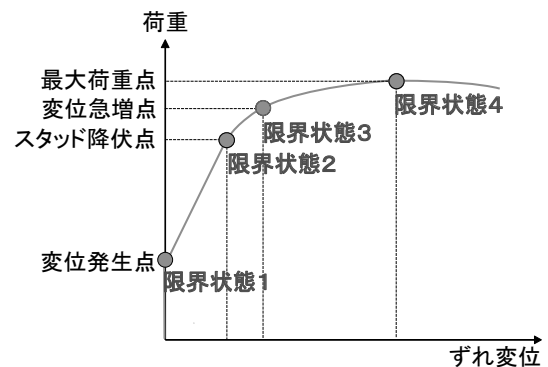


図-1 限界状態（概念）

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 $V_{ssvd} = A_{ss} \cdot f_{ssvd} = 235 \cdot A_{ss} \dots \text{式2-①}$ ここに、 V_{ssvd} : スタッドの降伏耐力(N) A_{ss} : スタッドの断面積(mm ²) f_{ssvd} : 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	$V_{ssud} = 0.5 \cdot V_{ssud} \dots \text{式3-①}$ ここに、 V_{ssud} : 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
	$V_{ssud} = 9.4 \cdot d_{ss}^2 \cdot \sqrt{f'_{cd}} \dots \text{式3-②}$ ここに、 V_{ssud} : 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) 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) スタッドの引張強度は4,850kgf/cm ² とする。 h_{ss} : スタッドの高さ(cm) 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大きくなく、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

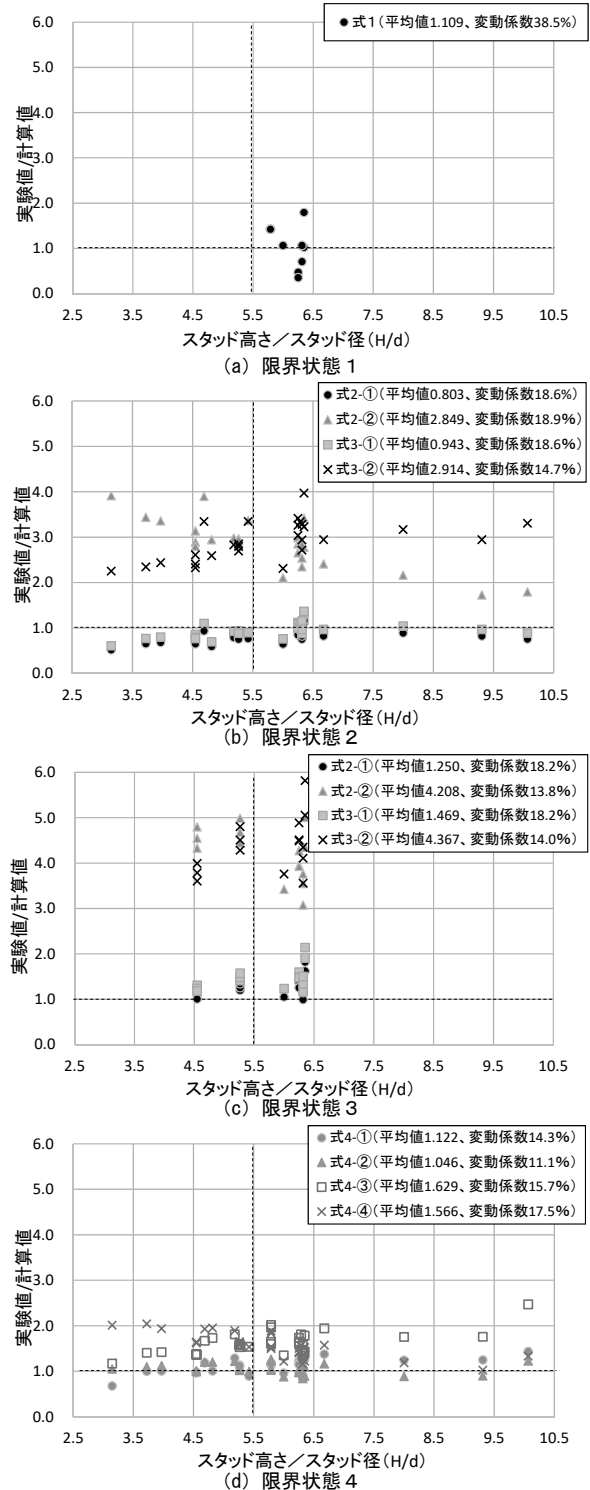


図-2 提案する耐荷力評価式の信頼性の検証結果

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。

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～令和 2 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室
Road Structures Department
Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

七澤 利明
NANAZAWA Toshiaki
森本 和寛
MORIMOTO Kazuhiro
上原 勇氣
UEHARA Yuki

The purpose of this research is to improve the efficiency of maintenance including periodic inspections and securing the safety of users in the event of a fire in a tunnel. For this purpose, the authors analyzed tunnel inspection results and the frequency of fire occurrence in the tunnel.

[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。

[研究成果]

1. 道路トンネル定期点検結果の分析

これまでの定期点検結果の分析から、材質劣化が健全性に大きな影響を与えており、そのうちうき・はく離が大部分を占めていることが確認されている。このうき・はく離について、発生個所の傾向を把握するため、建設年次の異なる 40 トンネルを施工法の違いを考慮して選定し、変状展開図に記載されている発生位置を整理した (n=815)。整理に当たっては、変状展開図上の発生位置を読み取り、「目地部（横断方向目地・縦断方向打継ぎ目を中心とした 2m の範囲）」「過去の変状箇所や補修箇所（変状箇所、補修箇所の外縁から 1m の範囲）」「その他（過去の変状箇所周辺（変

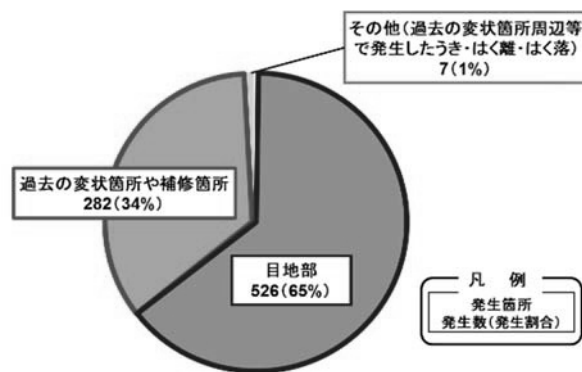


図-1 うき・はく離の発生傾向

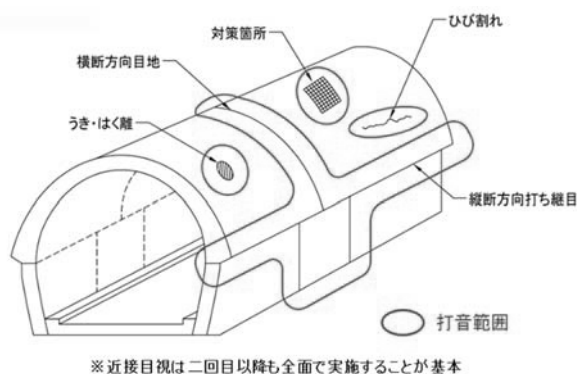


図-2 二回目以降の打音検査範囲イメージ

状箇所として定義した範囲の外側 2m の範囲) 等で発生したうき・はく離、はく落)」に分類した (図-1)。

図-1 から、うき・はく離等の変状は、「目地部」が 65%、「過去の変状箇所や補修箇所」が 34%であり、その他の箇所は 1%程度であることが確認された。

通常、国管理の道路トンネルにおいては、トンネル完成後 2 年以内に行う初回の点検に際し、覆工全面に

対して打音を行っている。また、うき・はく離は、覆工表面上の変化を伴わずに新たに発生又は進行が生じているとは考えにくい。これらと図-1の結果を考慮すると、一度覆工全面に対して打音を行い、うき・はく離箇所を把握したトンネルについては、打音範囲の限定による点検作業の合理化が図れるものと考えられる(図-2)。

一方、今回の定期点検においては、変状の評価に当たって一部評価が分かれる事例等も見受けられたことから、点検における健全性の診断の質の向上に資する検討が必要であると考えられる。

2. トンネルにおける火災発生状況の把握

平成18年から平成27年までの過去10年以内にトンネル内で発生した火災(n=272)に関する資料等を基に、それぞれの等級における火災の発生状況について分析した。

はじめに、火災発生件数の内訳(道路の種類別)と原因について整理を行った(図-3, 4)。

図-3から、火災は高速道路等(自動車専用道路を含む)で多く発生しており、全体の約8割を占めていることが確認できる。高速道路等では、走行速度が高く、一般に移動距離が長い傾向にある。図-4から、車両火災の主な原因が車両の不具合であることが確認できる。具体的な不具合箇所としてエンジン部や排気管・マフラー等が多いことは、こうした高速道路での交通特性が影響しているものと考えられる。

次に、火災発生頻度について分析を行った。なお、トンネル延長、交通量、道路種別(一般道、高速道路等(自動車専用道路を含む))等の各要素の影響度を考慮するため、交通量の判明している火災(n=242)を対象とし、発生頻度を「過去10年間のトンネル内火災件数/現在のトンネル本数(件数/本数)」としている。また、非常用施設設置基準に定める等級区分表を参考に、トンネル等級別の整理を行っている(図-5)。

図-5より、AA等級とA等級で火災の発生頻度が大きく異なっており、従前の等級区分が実際のトンネル火災の発生状況をよく表していることを改めて確認した。その他、A等級でも発生頻度に差が生じていることが明らかとなった。具体的には、交通量が10,000台/日以上又は延長3,000m以上の場合において、火災発生頻度が高くなる傾向にあることが確認できた。従って、この範囲に該当するトンネルについては、非常用施設の設置検討にあたって留意が必要であると考えられる。

[今後の課題]

定期点検の質の向上に資する道路管理者・点検者向

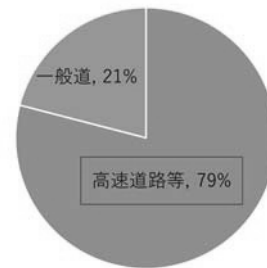


図-3 火災発生件数内訳(道路の種類別)

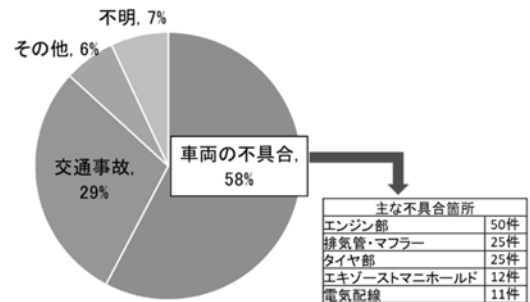


図-4 火災発生件数内訳(火災発生原因別)

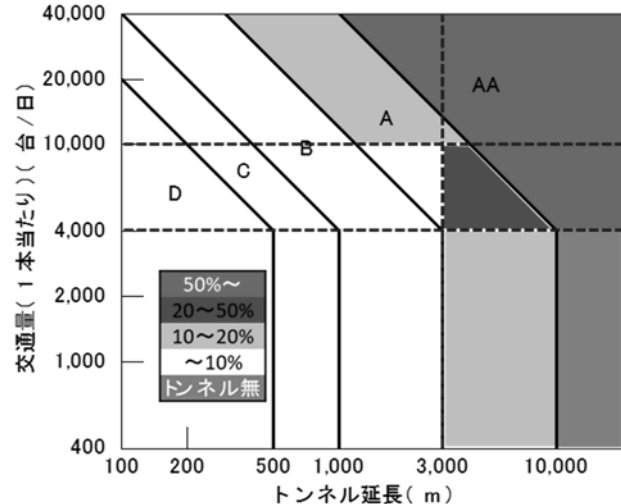


図-5 火災発生頻度(高速道路等)

けの参考情報を充実化させていく必要がある。また、今後の維持管理の合理化に関する検討に向けて、変状の状態や進行性がトンネルに及ぼす影響とその評価手法について整理する必要がある。加えて、非常用施設の合理化に資する新技術の導入を可能とするための評価指標等の検討が必要と考えられる。

[成果の発表]

各種論文等で発表した。

[成果の活用]

道路トンネル定期点検要領や道路トンネル非常用施設設置基準・同解説の改定に反映された。

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～令和元年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室
Road Structures Department
Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

七澤 利明
NANAZAWA Toshiaki
宮原 史
MIYAHARA Fumi
木村 崇
KIMURA Takashi

The purpose of this research is to clarify the conditions of road structures that need to be reinforced, aiming for robust road network against for huge disasters. In FY2018, structural and hydraulic characteristics of the bridges across the rivers that tend to be scoured by floods were analyzed applying linear discriminant analysis to disaster records and periodic inspection data.

〔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、耐荷性向上対策を実施すべき既設道路構造物基礎（橋梁基礎等）の構造条件等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と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。

〔研究内容及び成果〕

1. 洗掘の有無に関する線形判別分析

洗掘しやすい構造条件、河川条件を抽出する目的から、統計的分析の手法として、洗掘の有無を目的変数とした線形判別分析を行った。

(1)分析対象とする橋梁群データの抽出

a)洪水等で洗掘した橋梁群データ

平成 23 年から 28 年までに洪水で被災した道路災害査定データ（347 橋）と、平成 30 年 7 月豪雨で被災した橋梁データ（169 橋）を用いた。データ上の被災内容に洗掘が含まれている橋梁に加え、洗掘が含まれていないものの沈下、傾斜、倒壊、流出のいずれかが含まれている橋梁についても、洗掘していると判断し、分析対象とした。また、洪水規模の条件の影響を極力排除するため、位置が特定可能であり、かつ、同水系において b)に示す橋梁データが確認された橋梁のみを分析対象とした。以上により、前述の 347 橋、169 橋のうち、それぞれ 108 橋、40 橋を抽出した。これらに b)で後述する定期点検結果において洗掘している

ことが確認された橋梁群（35 橋）を加えた合計 183 橋を分析対象とした（以後「A 群」と呼ぶ。）。

b)洪水等で洗掘しなかった橋梁群データ

線形判別分析を行うため、a)で抽出した A 群と同水系の河川を渡河する、洗掘していない橋梁群を抽出する。今回は、橋梁諸元データなど比較的多くのデータが利用可能であることから、国土交通省地方整備局、同北海道開発局、内閣府沖縄総合事務局が平成 29 年度までに橋梁定期点検要領に基づいて実施した定期点検データを用いた。洗掘していないことの判断は、直近の定期点検結果において洗掘に関する損傷程度の評価が a（洗掘なし）のみであることと、洗掘に関する補修履歴が記録されていないことに基づいて行った。その結果、207 橋を抽出した（以後「B 群」と呼ぶ。）。ここで、B 群のうち、平成 23 年から 28 年までに洪水で洗掘した橋梁群と同水系の河川を渡河する橋梁群は、いずれも当該洪水以後に定期点検が行われていることを確認している。また、B 群のうち、平成 30 年 7 月豪雨で洗掘した橋梁群と同水系の河川を渡河する橋梁群は、いずれも当該豪雨以前に定期点検が行われているものの、平成 30 年 7 月豪雨で被災していないことを別途調査により確認している。なお、以上の抽出過程で定期点検結果において洗掘していることが確認されている橋梁群（35 橋）も抽出されたため、これらは a)に示したとおり A 群に加え分析対象としている。

(2)説明変数の設定

a)既往研究のレビュー

洗掘深の推定式には、Tarapore、Andru、小川ら、須賀らなど多くの提案式がある¹⁾。これらの提案式では、説明変数として、流速、水深、円柱径、河床材料

の粒径が用いられている。鉄道橋脚周りの河床低下量の推定を試みた佐溝²⁾では、これらに加え、流量、河道の曲率が用いられている。さらに、佐溝は鉄道橋脚周りの洗掘の有無の予測も試みており、推定式には分担阻害率（橋脚毎の河積阻害率）、流路内位置比、橋脚と水際線の距離、植生の有無が含まれている。

b)統計的分析における定量的説明変数の設定

(1)で選定した分析対象の橋梁群が有する定量的データを表-1に示す。統計的分析を行うには、a)で示した既往研究で用いられている説明変数を極力揃えることが望ましい。しかし、今回は利用可能なデータの制約から、建設年次、橋長、径間数、最大支間長、流域面積、河床勾配、河川形状を用いることとした。なお、これらの説明変数の内部相関の有無を確認した結果、いずれの組合せも相関係数は0.7以下であったため、内部相関は見られないと判断し、いずれの説明変数も線形判別分析に用いることとした。

c)定性的説明変数の取扱

橋脚形式、橋脚基礎形式といった定性データは線形判別分析にそのまま適用し難い。そこで、A群とB群間での傾向を整理した結果、橋脚形式、橋台形式は洗掘しやすさに影響していることが想定された。そこで、橋脚形式、橋台形式の観点から予め分析対象をグルーピングした上での線形判別分析も行うことで、洗掘しやすさへの影響を考慮することとした。

(3)線形判別分析の結果

(2b)で設定した定量的説明変数を用いて、洗掘の有無に関する線形判別分析を行った。線形判別分析では、分析対象とする変数の組合せによって、有意な説明変数として採用される変数が異なる可能性がある。そこで、全ての説明変数の組合せが考慮されるよう網羅的に分析を行った上で、実際の洗掘の有無との適合率の高い説明変数について考察することとした。

分析結果から、代表として2つのケースにおける判定結果を表-2に示す。ケース1は最も適合率が高かつ

表-1 洪水による被災要因分析のために抽出した項目

	洗掘した橋梁群 (A群：183橋)	洗掘しなかった橋梁群 (B群：207橋)
建設年次	114	206
橋長	135	206
径間数	139	206
最大支間長	115	204
橋脚幅	34	13
流域面積(※)	84	129
河川勾配(※)	142	206
河川形状(※)	183	207
河川幅	9	6
河床材料	4	0
被災時流量	12	0

※流域面積、河床勾配、河川形状は国土数値情報データから推定

表-2 洗掘の有無に関する線形判別分析の結果

ケース	建設年次	橋長	径間数	最大支間長	流域面積	河床勾配	河道形状	適合率
1	-0.4273	-0.8830	0.8208	—	—	0.4530	—	74%
2	—	—	0.5198	—	—	0.9375	-0.2521	65%

たケースである。建設年次が古いほど、橋長が小さいほど、径間数が多いほど、河床勾配が急であるほど洗掘しやすいという結果となった。ケース2は、適合率は比較的低いものの、河道形状が説明変数として採用されたケースである。河道形状が湾曲の方が直線よりも洗掘しやすいという結果となった。最大支間長と流域面積はいずれのケースにおいても有意な説明変数として採用されなかった。以上の分析結果から、建設年次、橋長、径間数、河床勾配、河道形状が、洗掘のしやすさに優位に影響していることが確認された。

次に、(2c)で示したように橋脚形式、橋台形式の観点から予め分析対象をグルーピングした上で線形判別分析を行った。その結果、グルーピングをしたことで分析対象橋梁が減少するものの、洗掘有りに限ればケース1を上回る適合率が得られる結果も得られた。この結果から、橋脚形式、橋台形式も洗掘のしやすさに影響する可能性があると考えられる。

2. 判別式が適合しなかった橋梁の洗掘要因の考察

線形判別分析の結果最も適合率の高かったケース1にて洗掘無しと判別されるものの実際には洗掘した橋梁(33橋)は、線形判別分析で考慮した説明変数とは別の要因が洗掘原因となった可能性が高い。そこで、滯筋の経年変化の影響を検証するため、橋梁毎に空中写真により砂州の変遷を空中写真で確認した。その結果、滯筋の変化が確認されたのは1橋に留まった。

3. まとめ

1. 線形判別分析に用いたB群は国管理の橋梁から抽出したため、比較的橋長や径間数が大きい橋梁が多く、この偏りが分析結果にも影響した可能性がある。今後、国管理の橋梁以外からも対象橋梁を抽出するとともに、2.で考察した滯筋の経年変化の有無なども説明変数として分析対象とすることが考えられる。

[成果の活用]

より信頼性の高い道路網を構築するための施策、通達等に反映させる予定。

[参考文献]

- 1) 建設省土木研究所：治水上から見た橋脚問題に関する検討，土木研究所資料第3225号，1993
- 2) 佐溝昌彦他：統計的手法による鉄道橋梁の増水時における被災注意橋脚抽出手法，No.3，Vol.69，土木学会論文集D3（土木計画学），2013

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
WATANABE Kazuhiro
桑原 正明
KUWABARA Masaaki

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、それに適した設計・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。

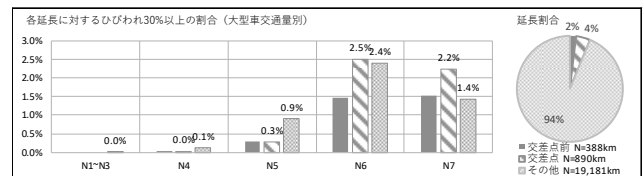


図-1. 交差点部における交通量別のひび割れ状況 (アスファルト舗装の場合)

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）

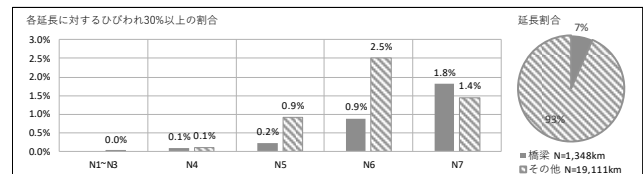


図-2. 橋梁部におけるひび割れ率30%以上の割合 (アスファルト舗装の場合)

(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）

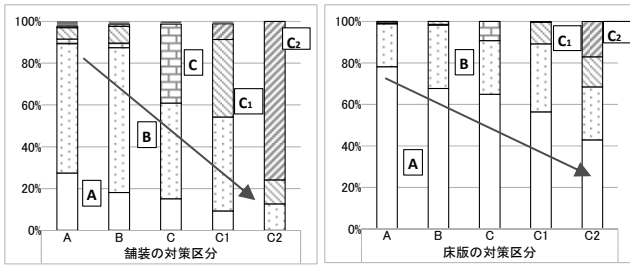


図-3. 舗装対策区分と床版対策区分との関係

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。

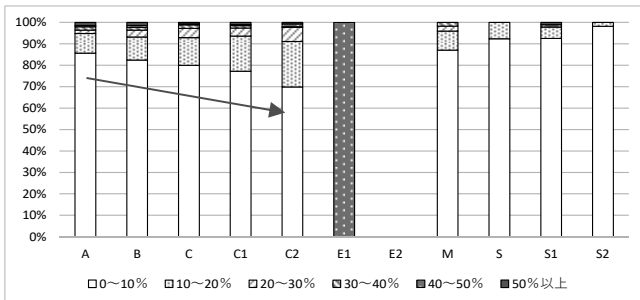


図-4. 床版の対策区分とひびわれ率

3) 橋梁と舗装の損傷進行の関係性整理

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。

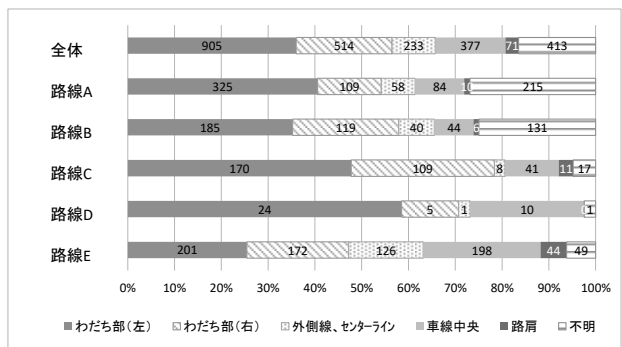


図-5. ポットホール発生位置（道路横断方向）

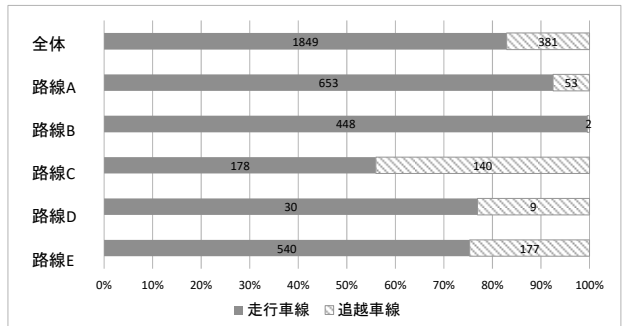


図-6. ポットホール発生位置（車線別）

[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。

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～令和 2 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 片岡 正次郎
Head KATAOKA Shojiro
研究官 猿渡 基樹
Researcher SARUWATARI Motoki
研究員 石井 洋輔
Research Engineer ISHII Yosuke

The purpose of this research to propose the evaluation method of ground shaking characteristics that contributes to the improvement of seismic design of bridges. The evaluation method of the bridges considering the reduction effect of the earthquake motion is verified using the damage reproduction analysis and the earthquake observation record of the highway bridges.

〔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。これは、橋の基礎構造物に地震動が作用する際、基礎構造物と周辺地盤の相互作用の働きで地震動が低減する効果を期待するものである。

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が目的である。そのため、地盤との相互作用など、地震動の低減効果を考慮した橋の耐荷性能照査手法を被災再現解析や橋の地震観測記録等を用いて検討している。

平成 30 年度は、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モデル化手法を整理し、橋の地震被害の再現解析の結果を基に、地盤と橋を一体の解析で得られる被災再現性のばらつきを整理した。

〔研究内容〕

既往研究で提案されている地盤や構造物のモデル化が解析結果に及ぼす影響を確認するため、東北地方太平洋沖地震で杭のせん断破壊等により基礎構造物が被災した橋(図-1)を対象に被災再現解析を行った。解析は、地盤と橋を一体でモデル化し(図-2)、工学的基盤面に地震動を作用させる地震応答解析手法を用いた。

モデル化する際の地盤パラメータによる解析結果の違いを整理するため、地盤の非線形特性やバネの設定を変更して解析し、それぞれの解析で得られた変位量を確認した。さらに橋全体で解析した結果と、橋台や橋脚をそれぞれ地盤と一体で解析し、変位を算出して結果のばらつきを確認した。

〔研究成果〕

P1 橋脚を対象に地盤の構成則の設定による解析結

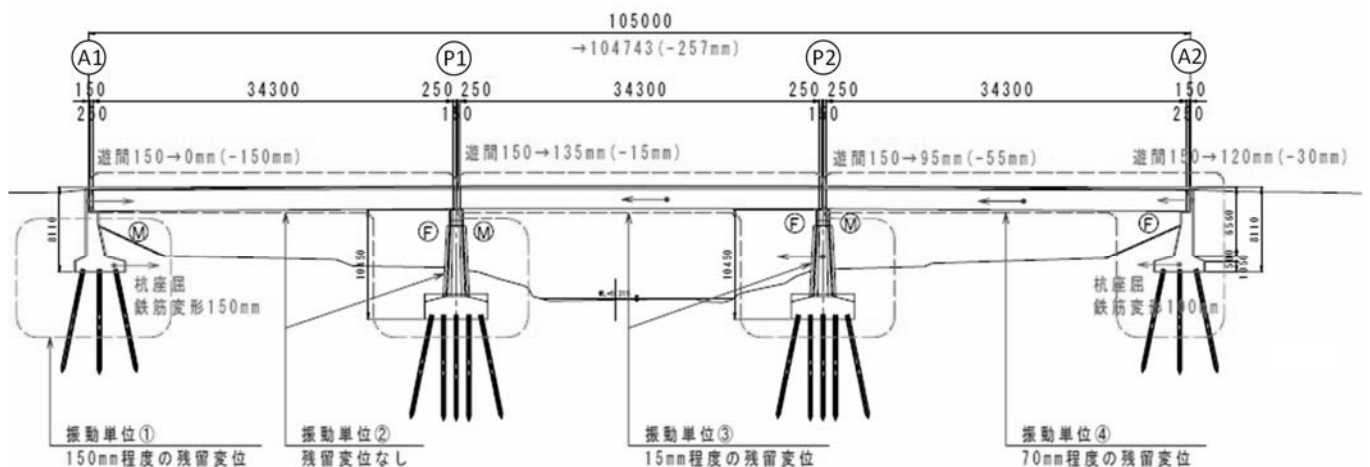


図-1 解析対象とした橋の被災状況

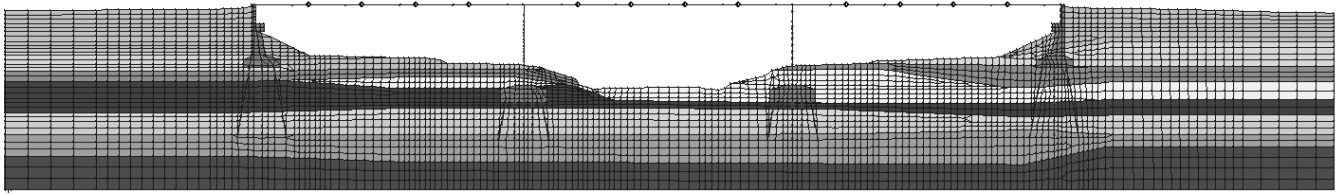


図-2 橋全体系と地盤を一体とした地震応答解析モデル

表-1 地盤と橋を一体とした解析での照査結果の整理

解析範囲	解析コード	地盤の構成則	地盤と構造物の相互作用バネ	桁と橋台の衝突バネ	被災後変位量(mm)	
					解析値	実測値
P1橋脚	A	i	考慮しない	-	0.0 (橋脚基部)	0
		ii			0.0 (橋脚基部)	0
		iii			0.0 (橋脚基部)	0
	B	iv	考慮する		0.0 (橋脚基部)	0
A1橋台	B	iv	考慮する	考慮する	126 (前面杭頭)	150
					345 (前面杭頭)	150
				C	考慮しない	考慮しない
	67 (前面杭頭)	150				
						76 (前面杭頭)
A2橋台	B	iv	考慮する	考慮する	76 (前面杭頭)	100
橋全体	B	iv	考慮する	考慮する	A1 : 101 (前面杭頭)	150
					P1 : 52 (橋脚基部)	0
					P2 : 9 (橋脚基部)	15
					A2 : 112 (前面杭頭)	100

果のばらつきを検討した。構成則は既往研究で提案されているモデルを3つ選定した。次に、A1橋台を対象に地盤と構造物の相互作用や衝突バネの設定等、モデルの間のバネの設定を検討した。最後にモデル化の範囲の影響を検討するため、同じ解析コード等を用いるなど、同条件で橋全体系をモデル化して解析し、それぞれの部位ごとの解析で得られた変位量と比較した。

それぞれの再現解析で得られた変位量を整理した結果を表-1に示す。P1橋脚を対象に、解析コードAを用いた3つの構成則での解析結果では、有意な差は見られなかった。A1橋台の解析では、桁と橋台の衝突を考慮することで変位量が実測値に近づく傾向がある。これは、実際の地震中に発生する衝突による影響が大きいことが考えられ、モデル化を行う際に衝突の影響を精度よく設定する必要がある。

橋全体の解析では、同じ解析コードを用いた個別の解析結果と比較すると、P1橋脚やA1橋台の変位量は、個別の解析範囲での結果が実測値に近く、A2橋台の変位量では、橋全体の解析結果の方が実測値に近い。これより、解析対象橋では、全体系で解析を行っても結果に有意な差は得られないことが考えられる。また、図-3より、深さごとのせん断力にばらつきはあるものの、全体系と個別範囲の両方の解析で杭頭付近のせん断耐力を超える結果となり、実際の被災状況と同様の傾向が得られた。本解析で得られた成果を以下にまとめる。

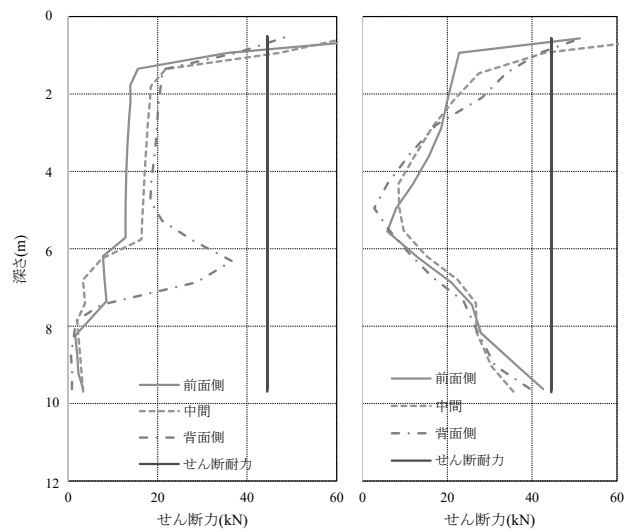


図-3 A1橋台の杭一本あたりの最大せん断力 (左側:A1橋台のみの解析, 右側:橋全体の解析)

- ①解析範囲や地盤の構成則を変えても被災後の変位量に及ぼす影響は小さい結果となった。
- ②橋台と桁の衝突が解析結果に影響する可能性があるため、衝突バネを精度よく設定する必要がある。
- ③本稿で検討した地盤と一体とした解析は、被災後に確認された変位量を概ね再現できている。

【成果の活用】

一体解析を行う際のモデル化手法や地盤に起因する地震動の低減効果等を取りまとめ、構造物に関する技術基準に反映し、耐震設計基準の合理化に貢献する。

道路事業における入札・契約制度の改善効果の評価に関する検討

Study on the evaluation of improvement effect on the bidding and contracting system

(研究期間 平成 28~30 年度)

社会資本マネジメント研究センター 社会資本マネジメント研究室

Research Center for Infrastructure Management

Construction and Maintenance Management Division

室長	中洲 啓太	主任研究官	吉野 哲也
Head	NAKASU Keita	Senior Researcher	YOSHINO Tetsuya
主任研究官	菊田 友弥	研究官	島田 浩樹
Senior Researcher	KIKUTA Tomoya	Researcher	SHIMADA Hiroki
研究官	光谷 友樹	研究官	鈴木 貴大
Researcher	MITSUTANI Yuki	Researcher	SUZUKI Takahiro
交流研究員	川上 季伸	交流研究員	石本 圭一
Guest Research Engineer	KAWAKAMI Toshinobu	Guest Research Engineer	ISHIMOTO Keiichi
交流研究員	後藤 和彦		
Guest Research Engineer	GOTO Kazuhiko		

In order to improve the quality and productivity of public works, NILIM is carrying out study on cross staging construction and maintenance management system from survey, planning to management. The objective of this study is to improve diverse procurement methods such as the technical proposal and negotiation method and Public Private Partnership for project acceleration.

[研究目的及び経緯]

「公共工事の品質確保の促進に関する法律」の成立を契機に、国土交通省発注の工事では、平成 17 年度より総合評価落札方式を拡大し、また、調査・設計等業務においても、平成 20 年度より発注方式の 1 つとして同方式を本格導入している。2014 年 6 月 4 日に公布され、即日施行された「公共工事の品質確保の促進に関する法律の一部を改正する法律（平成 26 年法律第 56 号）」を踏まえ、国土技術政策総合研究所では、工事の性格、地域の実情等に応じた多様な入札契約方式に関する研究を行っている。

本稿は、技術提案・交渉方式及び事業促進 PPP に関する検討結果を、工事・業務の入札・契約制度の改善・試行の改善効果の評価について報告する。

[研究内容・研究成果]

(1) 技術提案・交渉方式




技術提案・交渉方式は、2019年2月現在、国土交通省直轄工事では、6工事で技術提案・交渉方式が適用されている。施工に着手している3工事について、詳細設計や技術協力の報告書等により技術協力、工事の実施状況を確認するとともに、発注者・施工者双方にヒアリングを行い、技術提案・交渉方式の適用効果、課題、

及び課題への対応策を整理した。

1) 技術提案・交渉方式の適用効果の整理

技術提案・交渉方式の適用工事のうち、施工中もしくは施工を完了した工事の実施状況を表-1に示す。例えば、犀川大橋橋梁補修工事では、施工契約前に損傷の原因や範囲の特定や、狭隘部の施工性等に配慮した設計等ができ、工期の延長や工事費の増加は生じていなかった。技術協力期間をある程度確保できた工事では、追加で地質調査や損傷原因を特定する調査を行うことで、設計変更に関係すると思われる想定外の条件変更が少なくなっており、受発注者双方の発注・設計変更の事務手続、工程に対して有効なことがわかった。

表-1 技術提案・交渉方式の実施状況

淀川大橋	二重峠トンネル	犀川大橋
		
設計段階の実施事項 ・合同点検 ・施工性に優れる構造への変更 ・契約前の警察協議 ・新たな損傷発見時の設計変更の考え方協議 【実施設計：約2ヶ月】	技術協力実施事項 ・追加地質調査 ・沈下量モニタリング ・代替機の配置 ・濁水プラント増設 ・工期毎の完成予定時期に応じた施工延長変更 【技術協力：約4ヶ月】	技術協力実施事項 ・合同点検 ・損傷原因、範囲を特定する追加調査 ・施工性に優れる構造への変更 ・契約前の警察協議 【技術協力：約6ヶ月】
施工段階の状況 ・新たな損傷発見等は、概ね想定範囲内	施工段階の状況 ・順調に進捗(H31.2に本坑貫通式)	導入効果(施工完了) ・工期延長なし ・工事費増額なし

CIM 展開のための 3 次元データ利活用の高度化に関する調査

Research on highly utilizes 3D data for spread CIM

(研究期間 平成 29～令和元年度)

社会資本マネジメント研究センター
社会資本情報基盤研究室
Research Center
for Infrastructure Management
Information Platform Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

関谷 浩孝
SEKIYA Hiroataka
青山 憲明
AOYAMA Noriaki
寺口 敏生
TERAGUCHI Toshio

The Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism is working on the introduction and diffusion of CIM (Construction Information Modeling / Management). In this research, the authors study the inspection simulation of bridges and the management method of inspection results.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では、インフラの安全安心と建設生産性の向上を図るために 3 次元モデルを活用した建設生産システムを構築し、公共調達の品質向上、コスト縮減、維持管理の高度化を達成することを目標として、CIM (Construction Information Modeling / Management) の導入普及に取り組んでいる。具体的には、CIM 導入推進委員会を設置し、CIM の運用に関する基準として「CIM 導入ガイドライン」や「CIM 事業における成果品作成の手引き」等を策定してきた。

しかしながら、3 次元モデルの利活用については、設計・施工段階での利活用が進み、その有効性も確認されつつあるが、維持管理での利活用および建設生産プロセス全体で 3 次元モデルを円滑に利活用する方法やその有効性については、未だ十分な検証が行われていない。

そこで、本研究では、3 次元モデルの維持管理における利活用場面として、橋梁点検時に近接目視が確実に実施できる構造物の設計を支援する事を目的とした橋梁 3 次元モデルの点検等シミュレータや、橋梁点検の結果を効率的に管理するシステムの機能要件および運用案を検討した。

〔研究内容〕

1. 設計段階で設計照査に用いる「点検等シミュレータ」の開発

本研究では、橋梁を対象に、維持管理しやすい設計になっているかを確認するための点検等シミュレータを検討している。点検等シミュレータでは、点検路や橋梁点検車両、高所作業車を用いて近接目視が可能な範囲を可視化し、設計照査時に確認する際に用いること

を想定している。平成 29 年度は、従来の橋梁設計や点検計画立案の場面で要点となる項目を整理し、点検等シミュレータが確認すべき項目とそれに対応した機能要件を整理した。その成果を受けて、平成 30 年度にデモンストレーション用のモデルを構築し、専門家へのヒアリングを通じてその有効性を確認した。また、想定する機能の一部を備えた点検等シミュレータを試作した。

2. 維持管理段階において取得する点検結果を 3 次元データ上で効率的に管理する方法の整備

本研究では、橋梁点検の結果を効率的に管理するため、CIM モデルに紐付ける方法を検討している。平成 29 年度には、点検結果の「紐付け方法 (モデルに直接紐づけるか外部リンクか)」と「紐付け単位 (構造物全体に紐づけるか部材単位か)」を検討し、利用場面にに基づき比較した。また、実際にデータを保存する際のフォルダ構成の案を作成し、ヒアリングを通じて評価した。その成果を受けて、平成 30 年度は、複数のユースケースを想定し、どのようにデータを管理すれば点検業務の効率化に資するかを、デモンストレーションを通じたヒアリングにより調査した。

〔研究成果〕

主な研究成果の概要を以下に示す。

(1) 設計段階で設計照査に用いる「点検等シミュレータ」の開発

専門家へのヒアリング結果を受けて作成した設計時の点検等シミュレータの利用場面を表-1 に示す。また、表-1 の各利用場面にに基づき作成した点検等シミュレーションのデモンストレーション例を図-1 に示す。

デモンストレーション例を通じて、改めて専門家に有効性をヒアリングしたところ、特に複雑な形状をした橋梁の場合は、橋梁点検車両や高所作業車を用いて点検可能な範囲を確認する際に、点検等シミュレータは有効であることを確認した。その一方で、単純な構造をした橋梁の場合は、2次元図面でも十分であるとの指摘があった。また、橋梁の場合は、植生等の自然環境の影響を考慮する必要があるとの指摘があった。これらの成果を基に、点検等シミュレータに求められる機能を具体化した。

(2) 維持管理段階において取得する点検結果を3次元データ上で効率的に管理する方法の整備

鋼橋やPC橋の点検時におけるユースケースを以下の5種類想定し、デモンストレーション(図-2)を用いた専門家へのヒアリングを通じて、CIMにおける点検記録の管理方法を整理した。

- 画像からひび割れを検出してCADデータを自動的に作成し、時系列で比較
- 点検結果を条件に色分け表示等で描画し、その表示結果から修繕計画の要否や修繕範囲を判断
- 対象部材の変状が進展しているかを確認するため、過去の変状図を抽出し、並べて比較
- 正確なひび割れの位置や変状を記録・管理
- 劣化の進行度の高い構造物の点検結果推移を確認

ヒアリングの結果、橋梁の場合、従来は過去の損傷位置の確認に苦労していることから、BIM/CIMの導入により、現場でタブレット等を用いて損傷の種類や区分、位置及び経年変化が確認できるとよいとの回答がえられた。また、時系列順に並べて表示し、ひび割れをスケッチしたり、AR(Augmented Reality)技術を活用し、過去の写真と重ね合わせて表示することで変化を確認する等の活用場面が提案された。さらに、GPS(Global Positioning System)を搭載したカメラを用いて撮影された写真を自動的に3次元モデルに紐付けすることで、登録作業や管理作業の軽減につながるなどの提案があった。その一方で、橋梁調査会が提供する点検調査作成システム等と連携が必要との指摘があった。

点検記録等を3次元モデルに紐付けする方法として、ファイル名をメタタグとして扱う方策(オブジェクトストレージ)を検討した。その結果、従来のフォルダ単位でデータを管理する方策に比べ、データの格納に係る手間が軽減できることが明らかとなった。

表-1 設計時の点検等シミュレータの利用場面

検査路を用いた点検方法	検査路の設置位置、上部工と下部工での検査路の接続、検査路のアプローチ方法、検査路を用いた点検可能範囲
橋梁点検車等を用いた点検方法	地上点検、梯子点検、高所作業車、橋梁点検車、ロープアクセス、点検可能範囲
その他	マンホールの位置、作業限界の確認、箱桁内の点検

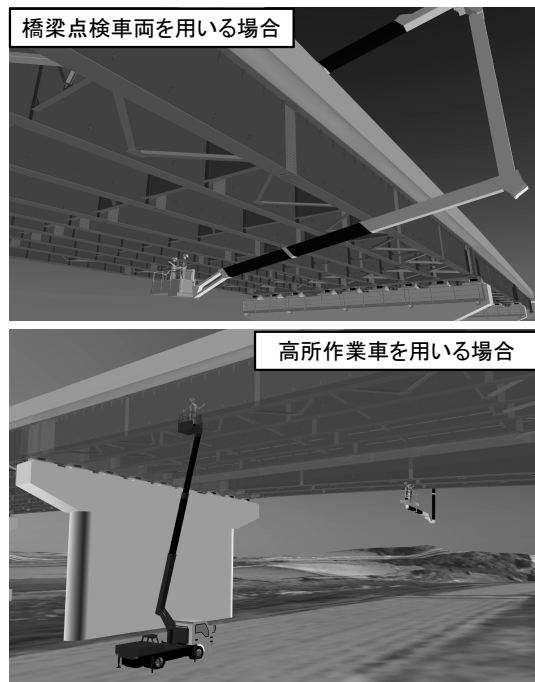


図-1 点検等シミュレータのデモンストレーション例

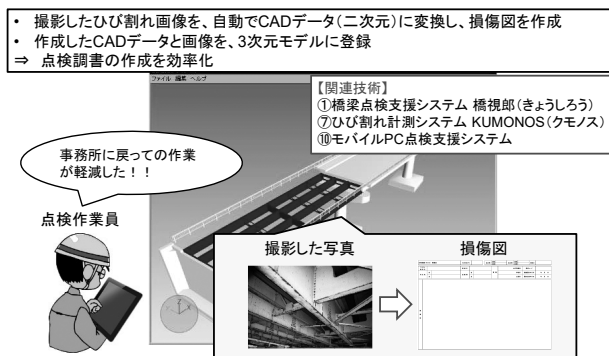


図-2 橋梁の紐付け単位(クラス構造)の例

[成果の活用]

本年度の成果を受けて試作した点検等シミュレータの設計照査等での有効性を検証する。また、3次元モデル上での点検記録の管理方法は、既存のシステムやデータベースとの連携を考慮した検討を進める。

道路整備等の生産性向上に資するロボット及び ICT 技術の利活用に関する調査

Survey on utilization of robot and ICT technology that contributes to productivity improvement such as road construction

(研究期間 平成 28～令和元年度)

社会資本マネジメント研究センター
社会資本施工高度化研究室
Research Center
for Infrastructure Management
Advanced Construction
Technology Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

森川 博邦
MORIKAWA Hirokuni
大槻 崇
OTSUKI Takashi
川邊 好世
KAWABE Yoshitsugu

In this research, our research team tested verification method of the accuracy in order to utilizing machine as-built data to calculate the yield of earthwork and prototyped a viewer for supervision and inspection that complies with the standard for exchanging control data for embankment compaction.

〔研究目的及び経緯〕

国土交通省では、i-Construction 施策として、平成 28 年度から ICT 土工を、平成 29 年度から ICT 舗装工を導入している。これら ICT 活用工事では、①3 次元起工測量、②3 次元設計データ作成、③3 次元出来形管理等の施工管理、④3 次元データの納品の各段階で ICT 技術を活用することとしている。

本研究では、上記の③に関し、「施工履歴データによる土工の出来高算出要領(案)」等に規定する精度確認試験方法の検証を行い、精度確認試験を実施する際の手引き作成のための資料整理を行った。さらに、監督・検査の合理化を検討する目的で、「TS・GNSS による盛土締固め管理データ交換標準(案)」に対応した監督・検査での使用を想定したビューワの作成を行った。

〔研究内容・研究成果〕

1. ICT 施工により取得される施工履歴データの出来高や出来形への活用を想定した精度確認方法の検証

(1) 施工履歴データの精度確認試験方法の検証

「施工履歴データによる土工の出来高算出要領(案)」等に規定する精度確認試験方法について、市場で流通する ICT 油圧ショベルを使用して検証を実施した。検証の状況を図-1 に示す。また、試験方法

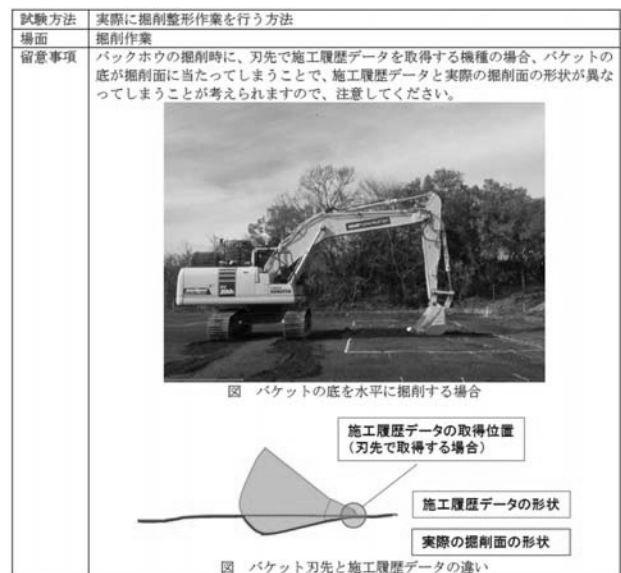


図-1 検証試験

は、要領に記載されている「実際に掘削整形作業を行う方法による検証」等にて行った。

(2) 精度確認試験方法の手引き資料の整理

上記の精度確認試験で収集した写真等を用いて、精度確認試験を実施する際の注意点やノウハウを含む手引きおよび解説動画を作成した。



2. TS・GNSS による盛土締固め管理データ交換標準(案)に対応した監督・検査での使用を想定したビューワの作成

(1) ビューワ機能検討

「TS・GNSS による盛土締固め管理データ交換標準

(案)への対応と並行し、監督・検査での使用を想定したビューワの必要機能検討を行った。

ICT活用工事では、3次元設計や3次元出来形管理が行われているが、監督員や検査官が確認するときには、**図-4,5**のような2次元（紙で印刷できる形式）の情報で活用されることが多い。そのため、監督・検査で3次元情報をタブレット等の情報機器で手軽で便利に使えるソフトウェアの機能について検討を行い、最低限必要と考えられる機能を整理した。

(2)ビューワの作成

ビューワの作成に際して、締固め判定アルゴリズムの検討のほか、詳細画面・帳票の設計を行い、締固め回

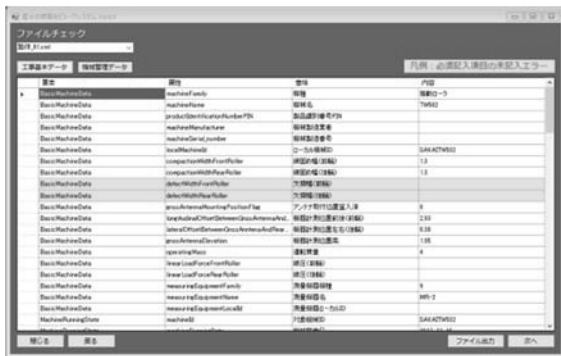


図-3 XMLファイルチェック画面

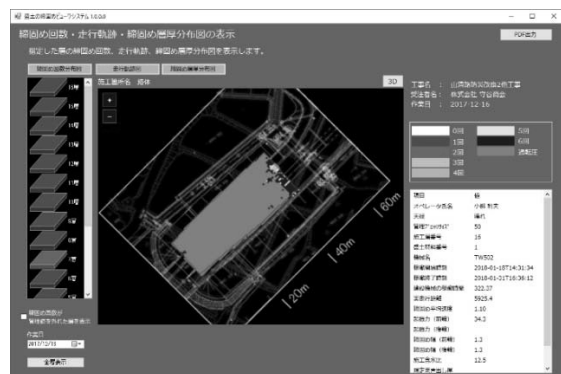


図-4 締固め回数分布図の2D表示画面

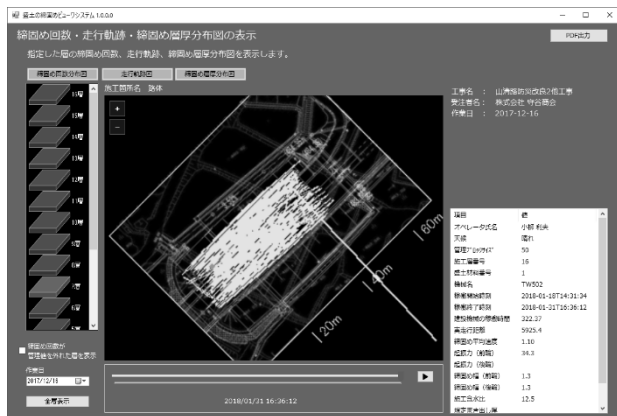


図-5 締固め走行軌跡図の2D表示画面

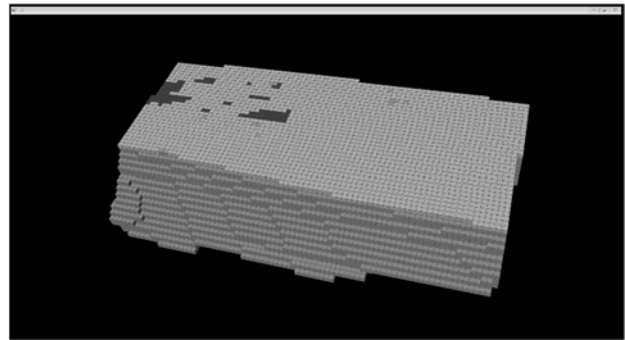


図-6 締固め層厚分布図の3D表示画面

数分布図、走行軌跡図、締固め層厚分布図を表示、帳票のPDF出力に加えてボクセルモデルによる3次元表示を可能とした。また、ビューワは、ブルドーザ及び振動ローラに対応するものとした。**図-3**にXMLファイルチェック画面、**図-4**に締固め回数分布図の表示画面、**図-5**に締固め走行軌跡図の表示画面、**図-6**に締固め層厚分布図の3D表示画面を示す。

(3)ビューワに関する監督等職員へのヒアリング

当該ビューワの使用が想定される、工事の監督等の経験のある検査官にヒアリングを行った。ヒアリングで得られた主な意見を**表-1**に示す。

表-1 主な意見・要望

No	意見・要望
1	時系列で全層分の走行軌跡、回数分布の情報を重ね合わせて見られると、監督作業の効率化につながる。現在は5分単位で閲覧しているため、ここを動画で確認できるとよい。
2	3次元のボクセルをクリックして、実際の転圧回数を確認できる機能があると良い。
3	出来形を3次元表示する機能があると良い。
4	データチェック画面の要素/属性は右側に、データの内容を左側に表示したほうがよい。
5	建設機械が走行するに従い、メッシュが塗られていくのが時系列で確認できるとよい。
6	背景図面を3次元オブジェクト上に表示する機能があると良い。

[成果の活用]

ICT施工により得られる施工履歴データの精度検証方法と検証の結果については、要領にかかる施工会社等からの問い合わせ対応に活用していく。また、ビューワについては、ヒアリングでの意見やデータ標準の修正等への追加的対応を行い、令和2年度の活用試行に向けて、地方整備局へ提供する予定である。

道路トンネルの要求性能及び維持管理に関する調査検討

Study on required performance and maintenance of road tunnel

(研究期間 平成 27～30 年度)

道路構造物研究部 構造・基礎研究室
Road Structures Department
Foundation, Tunnel and Substructures Division

室長
Head
主任研究官
Senior Researcher
研究官
Researcher

七澤 利明
NANAZAWA Toshiaki
森本 和寛
MORIMOTO Kazuhiro
上原 勇気
UEHARA Yuki

The purpose of this research is to improve the efficiency of maintenance including periodic inspections and securing the safety of users in the event of a fire in a tunnel. For this purpose, the authors analyzed tunnel inspection results and analyzed smoke behavior in the tunnel.

〔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 28 年度に国管理の道路トンネル（山岳工法のトンネル（n=954））で実施した定期点検¹⁾の結果から、変状の特性に関する分析を実施した。また、道路トンネル内で火災が発生した際の煙挙動について縦断勾配や歩行速度を考慮した試算を行い、避難環境への影響について分析を実施した。

〔研究内容〕

1. 道路トンネル定期点検結果の分析

トンネルの施設単位の健全性の割合を図-1 に示す。健全性 I（健全な状態）と診断された割合が少なく、II（予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態）と診断された割合が約半数を占めている。また、III（早期に措置を講ずべき状態）及びIV（緊急に措置を講ずべき状態）の合計も全体の約半数弱を占めていることが確認でき、総じてトンネルの施設単位の健全性が悪いと見受けられる結果となっている。しかし、変状区分（変状現象の要因を外力、材質劣化、漏水の

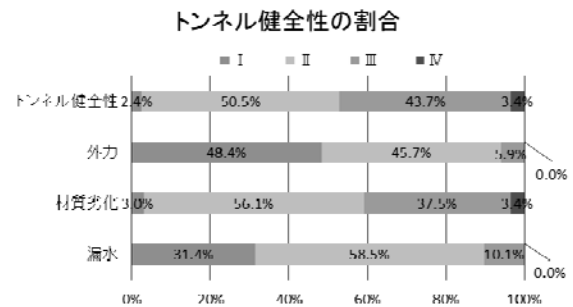


図-1 トンネルの健全性割合

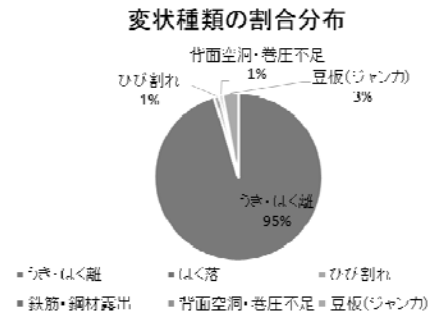


図-2 変状種類の割合分布(材質劣化かつ健全性Ⅲ・Ⅳ)

3 種類に区分したもの）毎に分類すると、外力や漏水と比較して材質劣化における II、III または IV の割合が大きく、トンネルの健全性が材質劣化による影響を大きく受けていることが確認できる。ここで、材質劣化により III または IV と診断されたトンネルに発生した実際の変状を代表的な 6 種類に分類すると（図-2）、うき・はく離が全体の 95% を占めていることが確認できた。

※本報告は平成 29 年度から平成 30 年度へと継続して実施した研究の成果を平成 30 年度研究成果としてまとめたものである。

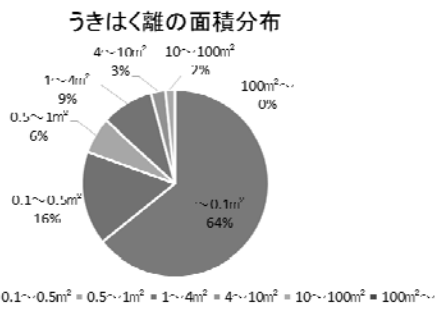


図-3 うき・はく離の面積分布 (健全性Ⅲ・Ⅳ)

さらにうき・はく離を面積毎に分類すると(図-3)、 0.5m^2 以内のうき・はく離が全体の約8割を占めていることが確認できた。うき・はく離は変状の状態(閉合ひび割れの有無等)や発生した位置(天井アーチ部等)によっては、利用者被害に繋がるおそれがある。

これらのことから、トンネルにおいては構造安定性の観点よりも利用者被害の観点から施設としての健全性の診断に大きく影響していることが確認できた。

2. トンネルにおける煙挙動の把握

縦断勾配の違いによる煙挙動を、既往の火災実験の結果との適合性が確認されている数値解析手法により試算した(図-4)。火災規模等は既往の知見を参考にしているが、主な試算条件は以下のとおりである。

- ・ 縦断勾配：0, 2.5%
- ・ 構内風速：0m/s
- ・ 火災規模：30MW (大型車火災に相当)
- ・ 試算時間：火災発生後 10分
(既往の知見より、火災発生後火勢が拡大するまでの時間として設定)

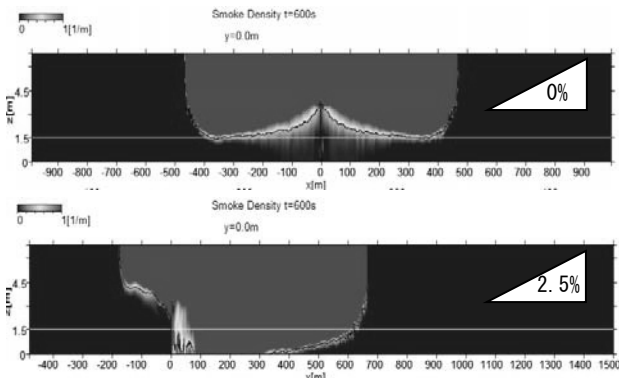


図-4 縦断勾配と煙挙動の変化

図-4より、縦断勾配が0%の時には、煙は成層流を維持し、縦断方向に等長に拡散していくことが確認さ

れた。一方、縦断勾配 2.5%の場合は、勾配の上側に煙が拡散していき、火災発生地点遠方への拡散速度が速くなることが確認された。

この結果と、利用者の歩行速度との比較から、火災発生地点の近傍にいる利用者の避難環境について検討を行った。検討にあたっては既往の知見等を参考に、見通し距離を示す煙濃度に関する指標であるCs濃度(減光係数、単位 m^{-1})を避難環境に関する評価指標とし、歩行者位置で煙濃度が指標値(0.4)に達するまでの避難開始地点からの歩行者の移動距離を比較した。解析結果から、縦断勾配が0%に対し2.5%では移動距離が約3割程度となり、縦断勾配が移動距離に大きな影響を及ぼしていることが確認された。これは、縦断勾配に応じて煙が拡散する速度が速くなることにより、1.5m高さ地点(利用者の目の高さを想定)での煙の先端が避難中の歩行者に追いつくまでの時間が短くなることを意味している。したがって、縦断勾配が厳しい条件においては、非常用施設の設置等に関して以下の検討を行うこと等により、利用者の避難環境の確保・向上を図っていくことが考えられる。

- ・ 移動距離の低減(非常口間隔を密にする等)
- ・ 避難開始時間の前倒し(火災発生時の利用者への迅速な周知等)
- ・ 歩行速度の向上又は低下の抑制(誘導表示を密にする等)
- ・ 縦断勾配による煙の拡散の偏りの解消(排煙設備の高度な操作による煙の制御等)

[今後の課題]

定期点検結果の整理・分析を進め、定期点検の合理化に向けた検討を引き続き行っていく必要がある。

また、近年の国内外のトンネル内火災の発生状況等を踏まえ、利用者の安全性向上が必要なトンネル条件について整理を実施する必要がある。

[成果の発表]

各種論文等で発表した。

[成果の活用]

道路トンネル定期点検要領や道路トンネル非常用施設設置基準・同解説の改定に反映された。

[参考文献]

- 1) 国土交通省 道路局:道路トンネル定期点検要領 平成26年6月

盛土・切土・軟弱地盤対策工・自然斜面对策工の要求性能及び 基準体系に関する調査検討

Study on required performance and framework of guidelines for embankment, cut slope and countermeasures for weak ground and natural slope

(研究期間 平成 29～30 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
WATANABE Kazuhiro
木村 一幸
KIMURA Kazuyuki

As one means of natural slope measures, the entry to the section is prohibited based on the weather condition and the road condition. With regard to “pre-passing regulations”, in recent years changes in meteorological conditions and the accuracy of observation methods have improved, so we examined the introduction of a radar rain gauge and the application of a new rainfall index.

〔研究目的及び経緯〕

盛土・切土・軟弱地盤対策工・自然斜面对策工の要求性能及び基準体系に関する調査検討において、特に自然斜面对策の 1 つとして、大雨や台風による土砂崩れや落石等の恐れがある箇所については、過去の記録などをもとに規制の基準等を定め、災害が発生する前に通行止めなどの規制を実施し、道路利用者の安全を確保する事前通行規制を実施している。しかし、近年の増加傾向にある短時間・局地的な集中豪雨への対応など課題も多い。このため、雨量観測の精度向上を目的としてレーダー雨量計の適用性を検討するほか、通行規制基準のもととなる新たな雨量指数について調査検討を行うものである。

〔研究内容及び研究成果〕

1. 事前通行規制におけるレーダー雨量の適用性

直轄国道の事前通行規制区間 175 区間 (H26.4 時点) について検討を行った。事前通行規制区間には基準となる実測雨量観測所が 1 箇所以上設置されている。事前規制区間は 1 区間あたり 0.5km～26km であり、1 基当たりがカバーする範囲は概ね 5km となる。そのため、観測精度の向上として、区間を代表観測所で評価する「点」での降雨データの取得から、区間全体をレーダー雨量により「面」での降雨データの取得について検討した。

レーダー雨量を活用することで、実測雨量計を密に設置するものと同程度の精度であることを確認が出来れば、省コストで精度が高い観測が可能となると共に、事前通行規制区間外を含む周辺地域の降雨量の把握も可能となる。

今回の検討にあたり道路管理者で取得できる特徴の異なる 2 つのレーダー雨量 (表-1) について、175 区間のうち「被災の実績」有するもの、ある程度の「区間延長」を有するもの、降雨特性における「地域」の偏りなどを考慮し、30 区間を抽出し検討を行った。

表-1 レーダー雨量計の特徴

	XRAIN	レーダー雨量解析
所管	国土交通省(河川局)	国土交通省(気象庁)
名称	合成レーダー雨量	解析雨量
雨量計	CバンドMPレーダー+XバンドMPレーダー	Cバンドレーダー+地上雨量計(補正)
解像度	250mメッシュ	1kmメッシュ ※5kmメッシュは1kmメッシュを換算
配信時間	1～2分遅れ	30分更新(15分速報値)
予想	なし	あり(6時間後) ※5kmメッシュ15時間後
エリア	北海道除く(17.8現在)	全国
特徴	MP化+雨量算定アルゴリズムにより算出。地上雨量計の補正を必要としない	気象庁・国交省レーダー+気象庁・国交省・都道府県地上雨量計によりレーダー雨量で面的にとらえ地上雨量で補正

検討手法としては各区間において検証期間内の降雨を一連の降雨に整理したうえで、実測雨量と解像度 (250m、1km、5km メッシュ (図-1)) の異なるレーダー雨量について累計雨量の相関を分析した。(図-2、表-2)

検証期間については、レーダー解析雨量は 2006/1～2017/12、XRAIN 2016/7～2017/11 とし、一連の降雨については、前後に 24 時間以上の無降雨期間があるひとまとまりの降雨とした。なお、事前通行規制区間の運用では、一連の降雨の間隔は 3 時間 2mm/h 以下としているが、後述する新たな雨量指数の検討 (断続で続く長雨などを評価) との関係から、本検討においては無降雨期間を 24 時間以上としている。

※本報告は平成 29 年度から平成 30 年度へと継続して実施した研究の成果を平成 30 年度研究成果としてまとめたものである。

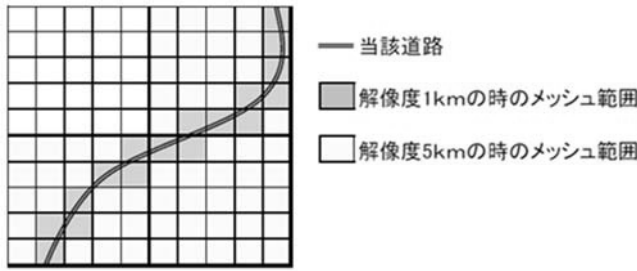


図-1 解像度のイメージ (メッシュ割図の作成)

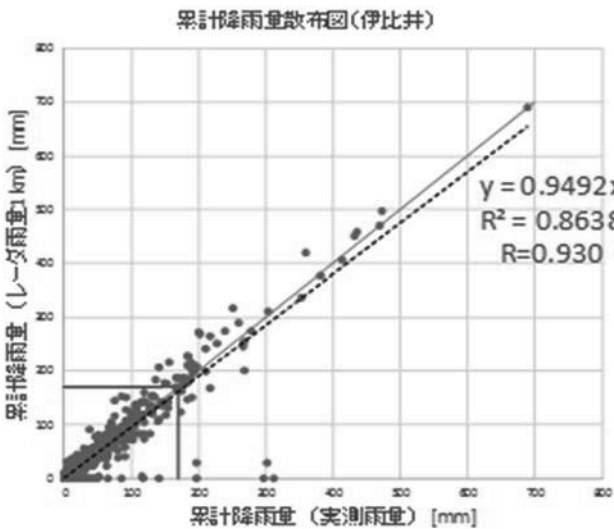


図-2 事前通行規制区間のレーダー雨量 (1kmメッシュ) 平均累計降雨量と実測雨量の散布図例

表-2 各雨量規制区間のレーダー雨量との相関結果

番号	事前通行規制区間名	区間延長 (km)	250mメッシュ	1kmメッシュ	5kmメッシュ	被災箇所数	1kmメッシュ(平均)と実測雨量との相関係数	1kmメッシュ(平均)と実測雨量との相関の傾き	5kmメッシュ(平均)と実測雨量との相関係数	5kmメッシュ(平均)と実測雨量との相関の傾き	250mメッシュ(平均)と実測雨量との相関係数	250mメッシュ(平均)と実測雨量との相関の傾き
1	日の出	17.7	95	24	5	1	0.844	0.876	0.851	1.037		
2	金山(北海道)	12.0	67	17	3	1	0.954	1.161	0.961	1.325		
3	金山(山形)	4.7	41	8	2	1	0.956	0.897	0.947	1.006		
4	横川	15.6	71	17	2	1	0.958	0.972	0.951	1.184		
5	野平	17.7	100	28	4	6	0.958	1.165	0.948	1.348		
6	大巻水	4.8	21	5	1	1	0.932	0.896	0.924	1.067		
7	方沢	4.8	19	5	2	1	0.950	0.870	0.956	0.995		
8	吉野敷	2.4	13	4	2	1	0.974	1.138	0.968	1.292		
9	築山	4.5	22	6	2	1	0.972	0.949	0.978	1.115		
10	上原生	11.4	58	14	4	2	0.984	1.050	0.978	1.198		
11	馬山	11.4	44	14	4	3	0.985	0.870	0.980	0.985		
12	小山	6.2	34	8	2	5	0.939	0.999	0.923	1.155		
13	大比田	10.7	61	14	3	2	0.955	1.199	0.949	1.479		
14	小浜	5.0	26	7	1	1	0.899	0.975	0.890	1.182	0.924	0.775
15	木戸山	4.0	22	5	1	1	0.985	0.965	0.974	1.065	0.886	0.922
16	美折	4.4	20	4	2	1	0.924	1.066	0.922	1.226	0.948	0.965
17	野井	1.2	7	2	2	1	0.968	1.032	0.968	1.158	0.964	1.450
18	高崎	0.5	4	2	1	1	0.986	1.086	0.981	1.225	0.957	1.525
19	三原上	8.7	43	8	2	1	0.975	0.962	0.966	1.083	0.768	0.726
20	横倉	20.3	96	24	5	1	0.984	1.015	0.978	1.280	0.941	0.427
21	福井	10.1	54	11	3	4	0.968	1.000	0.968	1.183	0.978	1.088
22	佐野沢	8.9	54	15	4	1	0.968	1.174	0.952	1.415	0.842	1.120
23	四家	1.5	10	3	1	1	0.983	1.043	0.981	1.210	0.939	0.756
24	庵ヶ水	11.3	53	15	2	1	0.991	1.019	0.995	1.236	0.984	0.802
25	雲仙	8.2	29	6	2	1	0.966	0.866	0.964	1.063		
26	藤葉	3.3	10	2	1	1	0.993	1.091	0.989	1.205	0.927	1.222
27	八木山	2.4	14	4	2	1	0.829	0.844	0.825	0.988	0.967	1.327
28	伊比井	4.5	27	6	2	1	0.930	0.949	0.921	1.071	0.854	0.604
29	宮瀬 - 風田	11.2	63	13	3	3	0.984	1.063	0.973	1.260	0.823	0.589
30	宮瀬	10.4	54	13	3	2	0.935	0.940	0.927	1.125		

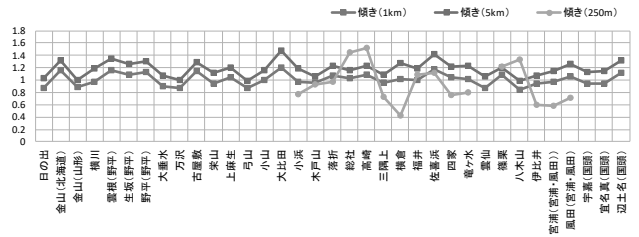
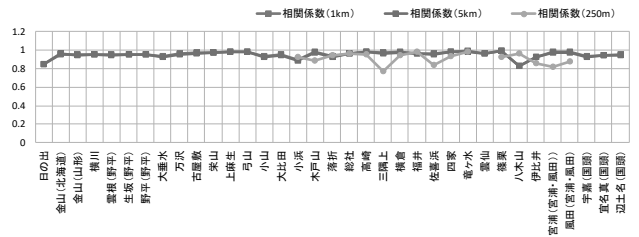


図-3 レーダー雨量および実測雨量の累計降雨量の相関係数 (上) 及び傾き (下)

実測雨量と解像度の異なるレーダー雨量との相関分析の結果について以下に示す。

- 地上の実測雨量で補正される 1km メッシュレーダー雨量と 5km メッシュレーダー雨量については、ほとんどの区間で実測雨量と高い相関 (相関係数 0.9 以上) を示している。(図-3 (上))
- 地上の実測雨量で補正されない 250m メッシュレーダー雨量については区間によっては実測値と多少のばらつきが有る。(図-3 (上))
- 事前通行規制区間延長や、対象となるメッシュ数による相関低下は今回の区間では確認できなかった。
- 5km メッシュレーダー雨量は 1km メッシュレーダー雨量から気象庁の作成方法にない算出している。5km メッシュレーダー雨量は、1km メッシュレーダー雨量より安全側に算出されるため、その結果は傾きにも現れている。(図-3 (下))
- レーダー雨量 (250m メッシュ) については傾きに傾向は無く、実測雨量観測所と C・X バンドレーダー観測所からの距離による精度低下を確認したが相関は確認できなかった。

次に事前通行規制区間において、「点」である実測雨量と「面」であるレーダー雨量について降雨状況の相違を確認するため、選定した 30 区間の 1km メッシュレーダー雨量を用い、事前通行規制区間を構成する 1 メッシュ毎の累計降雨量について実測雨量との比較を行った。

分析の結果について以下に示す。

- 降雨ごとに分布傾向は異なるが、同一の事前通行規制区間内においても、メッシュ単位で累計降雨

量がそれぞれ異なる。(図-4)

- ・降雨規模が大きいと各メッシュ間で累計降雨量に降雨量 200mm 当たり 50mm 程度の差異が出る箇所もある。
- ・各メッシュの累計雨量と実測雨量の相関は概ね高い結果が得られたが、近似式の傾きにはバラツキがあり、また規模の大きい降雨の場合は累計雨量に大きな差異が発生することも確認された。

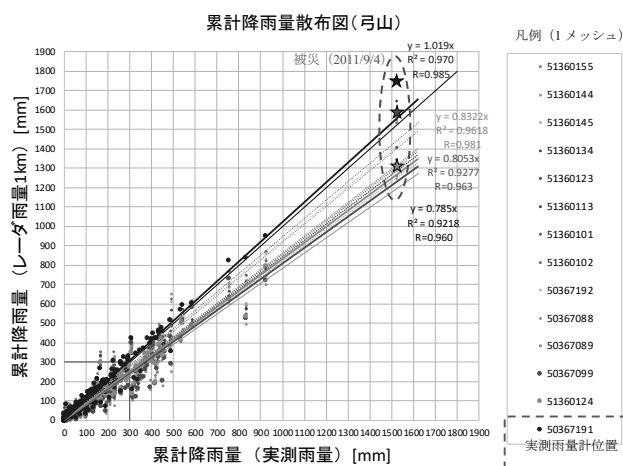


図-4 1メッシュ毎のレーダー雨量と実測雨量の累計雨量散布図例

また、事前通行規制区間において特徴的な降雨特性があるか確認するため、選定した30区間の「被災した降雨」、「基準雨量を超過した降雨」における一連の降雨について、メッシュ割図(1kmメッシュ)を基に累計雨量による降雨分布図を作成し確認した(図-5)。

確認の結果について以下に示す。

- ・降雨イベントごとに累計雨量の分布傾向は異なり、ある一定メッシュが常に降雨が多いといった偏りは認められない。
- ・降雨イベントごとに降雨分布には空間的なばらつきがあることから、実測雨量観測所が必ずしも区間を代表する降雨とは限らない。(図-5 NO.208, 266)
- ・降雨分布図を集計し累計分布図を作成したが、事前通行規制区間周辺で累計雨量が多い地区や、山地の縁辺部で累計雨量が多い地区も認められる区間もあるが、一連の降雨の集計ではなく、特定の降雨のみの集計のため、規模の大きい降雨の影響が大きいことから、地形要因等による特定の地域に雨が降りやすいか否かなどの降雨特性については引き続き調査が必要である。(図-5(右下)累計降雨分布図)

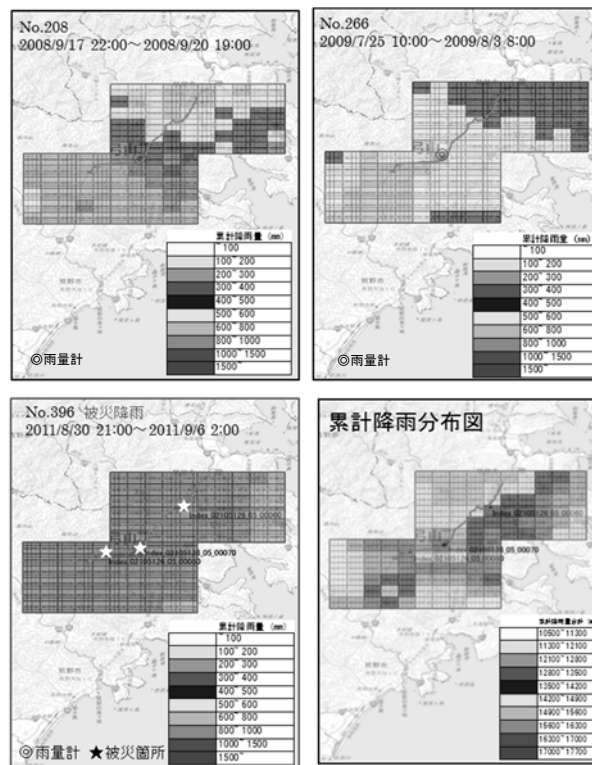


図-5 一連の降雨累計分布図例

これまでの結果から新たなデータ収集方法として、レーダー雨量の適用性について以下にまとめる。

- ・一連の降雨累計分布図などから、事前通行規制区間における降雨分布は一様で無く、実測雨量計が必ずしも区間を代表するとは限らないことから、レーダー雨量による補完が望ましい。
- ・適用するレーダー雨量については解像度を分析した結果から、レーダー解析雨量が地上雨量計での補正もあり相関が高い。事前通行規制区間へ適用については1メッシュ毎の累計降雨量と実測雨量の比較において路線の再現性が高い1kmメッシュ、事前通行規制区間外も含む広域監視については、土砂災害警戒基準の算定根拠となっている5kmメッシュの適用が考えられる。
- ・XRAINは特徴であるリアルタイムな情報収集のリットがあるが、観測地点によってはバラツキがある。また、250mメッシュとなるとデータ量が膨大になり今回の検証期間も短くなった。特長を生かした適用についてはさらに調査が必要である。
- ・レーダー解析雨量は特徴である実測雨量の補正によりタイムラグが発生する。一方で降雨予測(6時間先)が可能となっており、道路管理体制(注意体制、警戒体制、解除)への利用や、精度の高い道路利用者及び地域への情報提供も可能となる。(例:土砂災害警戒情報の避難勧告では2時間先

までの予測値が土砂災害警戒情報の判断基準以上となる場合に発令している。)

2. 道路管理における土壌雨量指数の適用の調査

1. で抽出した降雨データを基に複数の被災箇所を有する7区間を選定し、「国土交通省砂防部と気象庁予報部の連携による土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法(案)」に倣い、土壌雨量指数の適用について検討を行った。

設定手法(案)では短期降雨指数である60分間積算雨量と長期降雨指標である土壌雨量指数(地下への浸透を評価したタンクモデル)の2指標の組み合わせ(スネーク曲線)から基準を設定し、基準線(土砂災害発生基準線)は過去の災害の非発生降雨を用いて設定した災害が発生する危険性が低いとされる安全領域と、過去の災害発生状況を総合的に判断して設定している。なお、算定で対象とする災害規模は、設定手法(案)では、土石流や集中的に発生するがけ崩れを対象としているが、本検討では道路災害で発生する単発的な「表層崩壊」も対象とし分析を行った。

分析の結果について以下に示す。

- ・災害を捕捉できるように土砂災害発生危険基準線(CL)の設定を捕捉率100%となるように設定したが、降雨ピーク後に発生し本手法では評価が難しい災害もあり課題を残した。
- ・土壌雨量指数下限値の設定においては、各区間の災害数が少なく、少ない事例をもとにした下限値が設定されることとなり、下限値の設定に当たって課題を残した。(図-6)

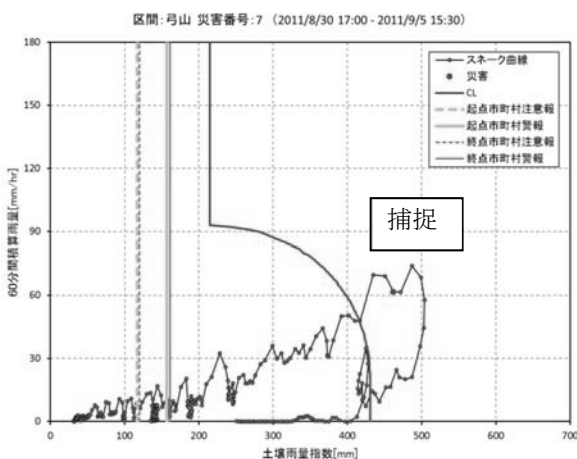


図-6 スネーク曲線と基準曲線の設定例

また、新たな雨量指数に基づく事前通行規制を実施した際には、解除するための基準も必要となる。直轄国道での連続雨量における解除基準は3時間2mm/h以下としている。これは、道路利用者、地域活動への影響も考慮した運用である。このため、基準雨量を超過した降雨から、時間雨量、土壌雨量指数との時系列の関係を整理し解除を判断する材料の抽出を行った。(図7)

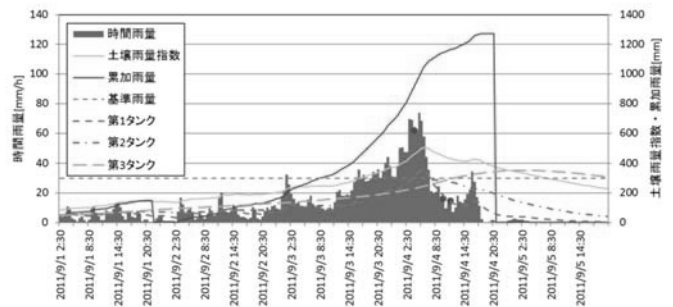


図-7 時間雨量、及び土壌雨量指数及び各タンクモデルのグラフ例

図-7の様に連続雨量では降雨が3時間2mm/h以下でリセットされる。しかし土壌雨量は高い位置にあり解除のタイミングを判断するには難しい。そこで、土壌雨量を構成する3つのタンク(「表面流出」第1タンク、「表層浸透流出」第2タンク、「地下水流出」第3タンク)別に確認するが、表層崩壊に係わると考えられる第2タンクを中心に見ても適切な解除のタイミングが判断できる材料が少なく解除の基準についても課題を残す結果となった。

3. まとめ

事前通行規制におけるレーダー雨量の適用について今年度の検討結果について整理する。

事前通行規制におけるレーダー雨量の適用については、実測雨量の補完として、区間全体の降雨状況を把握出来るレーダー解析雨量の導入するメリットは高い。また、レーダー解析雨量の特徴である降雨予測は管理体制の構築、情報提供への活用期待できる。

道路管理における土壌雨量指数の適用については、小規模な降雨で発生する災害への対応、検証材料となる災害が少ない中でのCL設定方法の確立、解除基準の検討について引き続き検討が必要と考える。

[成果の活用]

事前通行規制基準への反映予定。