

岐阜県内を対象とした社会基盤施設 のリスクマネジメント その1：研究概要と経済損失評価

岩田麻衣子¹・高木朗義²・倉内文孝³・本城勇介⁴

- ¹ 岐阜大学学術研究補佐員 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
E-mail:iwata_m@gifu-u.ac.jp
- ² 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
E-mail:a_takagi@gifu-u.ac.jp
- ³ 岐阜大学准教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
E-mail:kurauchi@gifu-u.ac.jp
- ⁴ 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)
E-mail:honjo@gifu-u.ac.jp

本研究は、岐阜大学の研究グループが、岐阜県と共同で進めている「リスクに基づくアセット総合マネジメントによる社会基盤の戦略的整備意思決定に関する研究」プロジェクトの一環を成すものであり、リスクマネジメント手法構築に向けて、岐阜県飛騨圏域の道路斜面の落石および岐阜県岐阜市の54橋を対象とした基礎的研究について報告するものである。本論文では、落石の発生および橋梁の損傷による機能停止をリスクと定義し、リスク事象の発生により生じる社会的経済損失の評価を行った。経済損失は、事故損失、復旧費用、迂回損失、救急医療損失、孤立集落損失の5種類として評価した。試算結果は、道路斜面と橋梁という異なる2つの社会基盤施設の特徴を捉えた結果を示していることを確認した。

Key Words : *risk management statistical analysis, economic losses*

1. 序論

(1) 研究の背景

道路や橋梁などの社会基盤施設は、国民の生活に不可欠なものであり、限られた予算の中で、既存の膨大な社会基盤施設を効率的に維持管理していかなければならない。そのため、これを実現するアセットマネジメント手法の開発が極めて重要な命題である。このような背景のもと、岐阜大学では、岐阜県内の社会基盤施設を対象として、その施設を取巻くリスクに基づき整備維持管理の合理的な優先順位決定モデルを作成することを目的とした「リスクに基づくアセット総合マネジメントによる社会基盤の戦略的整備意思決定に関する研究」を実施している。これまでに、道路斜面の落石と橋梁についてリスクマネジメントの手法を開発し、県内の一部地域を対象としてプロトタイプを構築している。

本論文では、リスク評価のために行った道路斜面および橋梁を対象とした経済損失評価について報告する。道路斜面および橋梁のリスクマネジメント評価結果はそれぞれ関連論文^{1,2)}に示す。

(2) 研究の目的

本研究では、限られた予算の中で構造物の維持管理を合理的に行うための手法を提案することを目的として、岐阜県下の構造物を対象に、社会基盤アセットマネジメントのためのリスク総合的評価を実施する。岐阜県下に存在する社会基盤施設について、これまでに蓄積されている施設の情報および関連情報を活用し、危機的状況の発生確率と経済損失を評価することで、各社会基盤施設のリスク評価を行う。本研究ではプロトタイプ構築として、評価対象を限定し、道路斜面および橋梁に対してリスク評価を行うが、最終的に達成しようとする社会基

盤施設のリスク評価は、以下の項目を満足するものである。

- ・ 施設の種類の枠を超える
- ・ 施設の社会的・経済的な重要性を考慮する
- ・ 経年変化（施設の劣化など）を考慮する
- ・ 対策補修効果を考慮する
- ・ 降雨・降雪・地震などの外乱を考慮する

これらの項目を満足するリスク評価結果に基づいて、以下の項目を研究成果の目標とする。

- ・ 各社会基盤施設の対策・補修に対する優先順位の明確化
- ・ 今後の社会基盤整備計画の提案

リスクという統一の指標に基づいて全ての社会基盤施設を統一的に評価し、リスク評価結果をもとに、社会基盤整備の実施規模や優先順位などを戦略的に決定する手法を開発する。

2. リスク対象とリスクの定義

(1) リスク対象

本論文では、リスク対象を道路斜面（落石）および橋梁に限定している。以下に、落石および橋梁で対象とする地域について説明する。

a) 道路斜面（落石）

本論文では、道路斜面に関する研究の対象地域を岐阜県飛騨圏域（図-1）に限定している。図-1(a)に示すように、飛騨圏域は、飛騨市、高山市、下呂市、白川村の3市1村で構成されている地域であり、図-1(b)のように、岐阜県の3つの土木事務所（古川・高山・下呂）によって社会基盤の整備や維持管理が行われている。対象地域は大部分が山岳地帯であり、落石に対する危険度が非常に高い。図-2 は、岐阜県内の土木事務所別の落石に関する道路斜面の点検箇所数を示したものである。これを見てわかるように、対象地域の古川・高山・下呂土木事務所が管理する道路斜面の数は上位3位を占め、これらの数を合計すると岐阜県全体の総数の58%にも及ぶ。また、この地域には、孤立可能性のある集落も含まれており、幅広い経済損失の評価が可能であるとして対象地域に選定した。

b) 橋梁

橋梁に関する研究の対象地域は、岐阜県が管理する約1600橋の橋梁のうち、橋梁の設置条件や環境条件が概ね同一の岐阜市内の54橋に限定した（図-3）。また、岐阜市内の54橋については既に2回の定期点検が完了していることから、本研究の検討地域に選定した。

(2) リスクの定義

本論文中に示すプロトタイプでは、リスクは「リスク

事象（危機的状況）の生起確率と、そのリスク事象のために生じる各種損失の積」として次式で定義する。

$$R = P(D_1 + D_2 + D_3 + D_4) + D_5 \quad (1)$$

ここで、 R はリスク、 P はリスク事象の発生確率、 $D_1 \sim D_5$ はリスク事象のために発生する各種経済損失であり、 D_1 は事故損失、 D_2 は復旧費用、 D_3 は迂回損失、 D_4 は救急医療損失、 D_5 は孤立集落損失である。ここで、上式では、孤立集落損失に落石の発生確率を乗じていないことに着目したい。詳細は後述するが、孤立集落損失は孤立に対する平常時の不安感を含んだものとして算出されるため、常に存在するリスクであるといえる。したがって、他の経済損失とは性質が異なり、リスク事象の発生確率を乗じない独立したリスクとして取り扱っている。

(3) リスク事象の定義

本研究では、様々な道路施設をネットワークの一部として捉え、使用性という統一の尺度で施設を評価する。つまり、対象となる社会基盤施設のリスク事象を、道路ネットワークの機能停止状態と定義する。

道路斜面では、岩石が発生源から道路に落下して交通や人命などへ直接影響を及ぼす状態とする。また、橋梁では、桁の変形や床板の損傷などの構造的な損傷により使用性が低下するとともに、補修に長期間車両が通行できなくなるような状態に至るまでの過程とする。

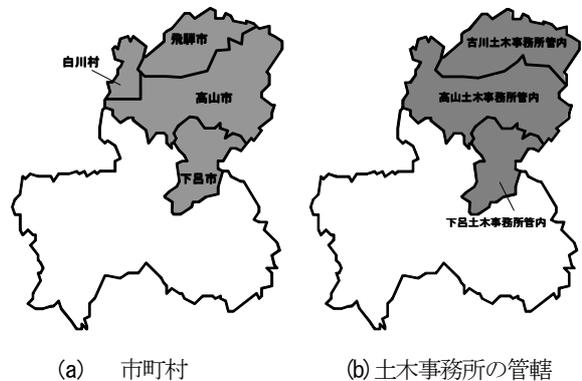


図-1 研究対象地域（岐阜県飛騨圏域）

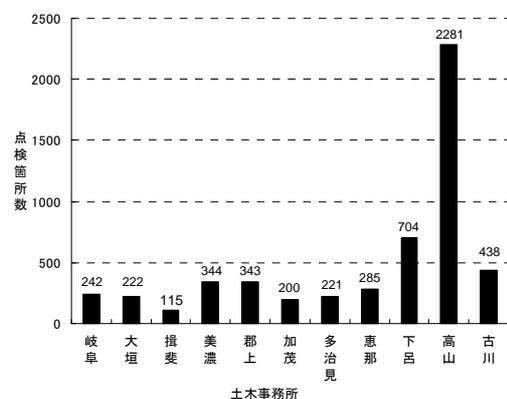


図-2 事務所別落石点検箇所数

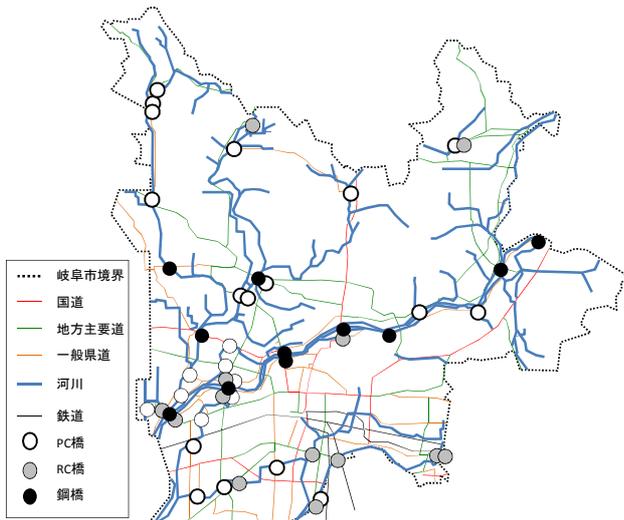


図-3 岐阜市道路ネットワーク図と橋梁位置

3. 経済損失評価

(1) 経済損失の評価項目

道路斜面に対しては落石の発生に伴う道路途絶を、橋梁に対しては橋梁の損傷に伴う機能停止を前提とした上で、落石および橋梁に対する社会的経済損失について評価を行う。いずれも「道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案)」³⁾(以下、マニュアル(案))で提案されている評価方法を基礎とする。マニュアル(案)を基に、道路利用者や地域住民が被る損失として、「事故損失」、「復旧費用」、「迂回費用」、「救急医療損失」、「孤立集落損失」の5種類の損失を対象とする(図-4)。以下に、各経済損失の評価方法について説明する。

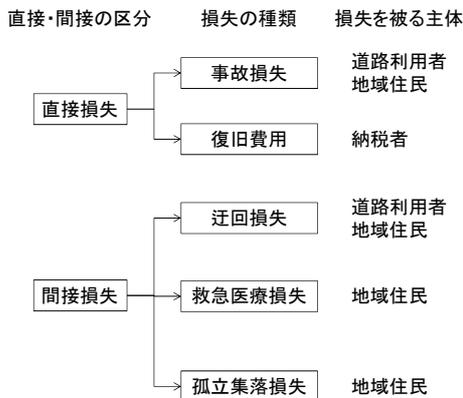


図-4 対象とする経済損失評価項目

a) 事故損失 D_1

道路斜面に対しては崩壊してきた落石が車両を直撃する、あるいは、道路に到達した落石に車両が制動できず

衝突することによって、死亡、負傷、物損を被る災害被災者の被害額を事故損失として算定する。マニュアル(案)では、土砂災害を対象として、堆積高さが車両高さとなる土量 V_{DS} (m³) \leq 到達土量 V_0 (m³) の場合の人的損失と物的損失を含めた1人当たりの被災者事故損失を、図-5のように台形分布でモデル化する。被災形態は、(I)土砂に車両が埋没する(埋没被災(被災者死亡))、(II)土砂を被るが埋没しない(端部被災)、(III)制動しきれずに土砂に衝突する(衝突被災)、の3種類に分類される。本論文でも、この考え方に従い、事故損失を評価した。このモデルにより、端部被災と衝突被災の損失額の平均は、埋没被災の損失の半額と設定した。埋没被災者1人を1.0(人)、端部被災と衝突被災の被災者を0.5(人)として合計した人数を換算被災者数とし、事故損失 D_2 を換算被災者数 M と1人当たりの死亡時の損失(生命の価値⁴⁾) I の積として以下の式で評価する。

$$D_1 = M I \quad (2)$$

$V_{DS} \geq V_0$ の場合の換算被災者数は、到達土量が少なくなるほど減少し、車道に到達しない土砂崩壊で0になると考えて、車道端部の到達土砂堆積高さ H_1 (m) に比例すると設定した。便宜上、 H_1 を路側堆積高と呼ぶ。本論文では、落石を対象としているため、直径 H_R (m)の落石の被害額が、路側堆積高 $H_1=H_R$ の土砂崩壊の被害額と等しいと仮定した。なお、本論文では、落石規模については考慮しないため、落石の直径は全斜面で一定と仮定して、平成19~21年度の落石被災データに記載されている落石径の平均値0.7mを用いた。

上述の考え方に基づいて、あるリンクにおける人身損失を評価するためには、①時間交通量、②走行速度と静動停止距離、③平均乗車人数、④生命の価値が必要となる。時間交通量と車両の走行速度については、利用者均衡配分を用いて通常時のリンク交通量、リンク平均速度をそれぞれ求めた。静動停止距離、平均乗車人数、死亡時の1人あたりの生命の価値⁴⁾は、それぞれ参考資料より引用した。

一方、橋梁に対しては、橋梁の劣化に伴う走行環境の悪化に起因して発生する交通事故による損失を算定する。また、第三者被害も考慮する。第三者とは当該橋梁の下を通過あるいは橋梁に近接するものをいい、第三者被害とは橋梁を構成するコンクリート部材の一部が落下し第三者に対して人的・物的被害や交通障害などを与えること、またはその恐れを生じさせることをいう。ただし、事故に関する情報が少ないことから、本論文では、平成16年から21年に発生した道路事故のデータから、総賠償金額と事故件数を引用し、事故1件当たりの平均賠償金額を事故損失として計上する。

b) 復旧費用 D_2

岐阜県では、道路面に到達した落石の履歴データをGISによる道路防災点検データベースに蓄積している。そのうち、平成19年度以降については、落石が発生した個所について、落石や対策の情報を蓄積しており、応急復旧費の情報も含まれている。表-1は、復旧費用について平成19年~21年度のデータを整理したものである。また、図-6は、復旧費用の頻度分布を示したものである。データ総数は115件であり、点検個所の種類別についてもそれぞれ結果を示している。全体的に、標準偏差が大きい結果となっていることが確認できる。また、復旧費用が高額になっているケースを詳細に調べた結果、落石の規模が大きい、広範囲の応急復旧となるなどの原因が確認された。

本論文においては、落石の規模は考慮しておらず、蓄積されているデータ数も十分ではないという理由から、復旧費用算出の詳細モデルの作成は避け、落石に伴う復旧費は各斜面で一律同金額とし、これまでに蓄積されている応急復旧費の平均値(41.8万円)とした。図-6の復旧費用の頻度分布では、大部分が50万円以下となっており、41.8万円として一律の金額を仮定しても、概ね現実を再現できるものと考えられる。

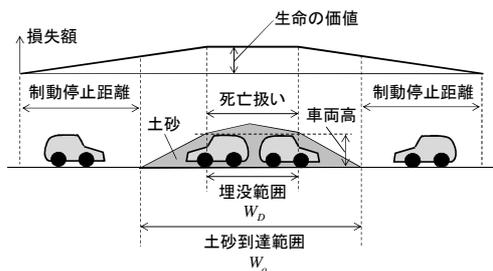


図-5 土砂災害による人身損失額分布モデル (1人当たり)

表-1 落石被害に対する復旧費用

データの種類(データ数)	復旧費(万円)			
	平均	標準偏差	最小値	最大値
全データ(115)	41.8	85.0	0.0	600.0
要対策(31)	37.5	55.6	0.0	200.0
カルテ対応(18)	38.1	77.1	0.5	300.0
対策不要(16)	75.4	149.0	1.0	600.0
点検箇所外(50)	34.9	70.8	0.0	500.0

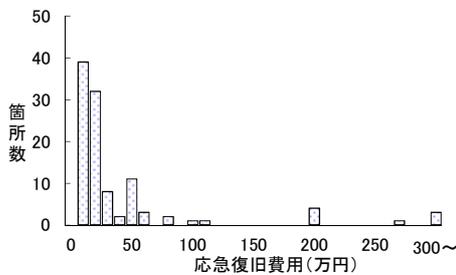


図-6 復旧費用の頻度分布

橋梁に対しては、全面通行止めを伴う補修・修繕を行うことを想定し算出する。表-2は、橋梁に対する対策工

法と復旧費用を示したものである。本論文では、鋼橋については「鋼桁」と「RC床板」のそれぞれについて評価を行う。鋼桁では、桁端部の損傷部を切断し、工場制作した取替部材を現場接合する対策を基本とする。桁端部の大規模な腐食欠損状態を想定していることから、支承部も同様に機能不全に陥っていると考え、支承取替え費を計上する。また、伸縮装置部でも段差が生じていることを想定し、伸縮装置取替え費も計上する。RC床板では、打替えによる更新を基本とし、プレキャスト床板への交換を想定する。なお、打替え作業に際して舗装打替えも必要となることから、舗装打替え費も計上する。コンクリート橋では、部材取替え(架替え)を基本とし、架設期間が短いプレテンションT桁への架替えを想定する。

表-2 橋梁に対する対策工法と復旧費用

種類	対策工法	対策費用
鋼橋	鋼桁 桁端部を切断 →新規部材を現場接合	ジャッキアップ 170(千円/支点) 主桁補強 350(千円/桁)
	RC床板	床板打替え (舗装打替えも実施)
コンクリート橋	部材取替え(架替え) (舗装打替え、伸縮装置・ 支承取替えも実施)	架替え 330(千円/㎡)

c) 迂回損失 D_3

迂回損失は、落石の発生もしくは橋梁の機能停止に伴い通行止めになることにより発生する社会経済的損失である。対象地域の詳細なネットワークと北関東から福岡までの幹線道路を含む道路ネットワークでの走行時間と走行距離の増加に伴う消費者余剰の変分と道路の途絶日数の積として次式で評価する。

$$D_3 = D'_3 T \tag{3}$$

ここで、 D'_3 は消費者余剰、 T は道路途絶日数である。消費者余剰の評価には、以下の式を用いた。

$$D'_3 = \alpha(t_1 - t_0) + \beta(l_1 - l_0) \tag{4}$$

ここで、 α は時間価値原単位、 β は走行費用原単価、 t と l はネットワーク全体の総走行時間と総走行距離、添え字の1と0は、それぞれ、道路途絶が発生した状態と通常時を意味する。時間価値原単位と走行費用原単価は、便益分析マニュアル(2008)⁵⁾に記載されている値を引用した。

道路ネットワーク全体での走行時間と走行距離の変分については、利用者均衡配分により道路途絶時の走行時間と走行距離を算出し、通常時との差分により求める。計算に用いる道路ネットワークは、対象地域を含む中京圏全体のものを用いた。なお、利用者均衡配分の計算では、①全ての道路利用者は常に移動時間が最小となるよ

うに行動する、②道路利用者は常に利用可能な道路について完全な情報を得ている、という2つの仮定を設けている。また、空間的相関（同時発生）は考慮しないため、複数のリンクの同時途絶は考慮していない。

d) 救急医療損失 D_4

救急医療損失は、落石の発生もしくは橋梁の機能停止に伴う道路途絶により、住民が救急医療の享受の機会を失い、死亡者が発生するという損失である。図-7 に救急医療損失のイメージ図を示す。

救急医療損失は、地域住民の行政サービスを受用する公平性を正確に評価する目的で考慮している。本来は、救急医療だけでなく、消防・警察・通勤・通学といった場合にも、地域住民の被る損失は存在する。しかし、通勤・通学の場合には、迂回することにより目的が達成できることから、迂回損失 D_3 と重複して計上されることとなる。このため、災害により医療を受用するまでの時間がかかることで発生する間接的な損失に限り、迂回損失では評価できない損失として救急医療損失を計上している。この考えで損失額を算出した場合、大部分を「迂回することによって死亡する」損失額が占めると考えられ、迂回によって生じる傷害の症状が悪化した程度の損失額増分、警察・消防に関わる損失額は無視できる範囲にあると想定される。そのため、救急医療損失は、通行止めの影響で救急医療の享受の機会を失い死亡した場合の人身損失によって近似できるものとしている。

対象とする疾患については、マニュアル（案）では心臓停止、呼吸停止、多量出血の3種類が対象となっているが、本研究では橋本ら⁹⁾に従い、脳出血、くも膜下出血、急性心筋梗塞、急性心不全、肺炎、CPA、脳梗塞の7種類を対象とした。各リンクの救急医療損失は、各リンク毎の人口 N 、疾患発生確率 P_{Ei} 、平常時の救命率 P_{Li}^o 、災害時の救命率 P_{Li}^d 、道路途絶日数 T 、および生命の価値 I^9 を用いて以下の式で評価する。

$$D_4 = \sum_i \left[N \times P_{Ei} \times (P_{Li}^o - P_{Li}^d) \times \frac{T}{365} \times I \right] \quad (5)$$

ここで、 i は疾患の種類を意味する。

7種類の疾患の発生確率は、岐阜大学医学部と飛騨市・高山市および下呂市の消防本部に蓄積されている平成20年度の救急医療データを分析し、7種類の疾患に対する緊急車両の出動回数と人口から求めた（表-3）。また、各疾患の救命率については、橋本ら⁹⁾の示した収容所要時間と救命率の関係式を用いて算出した。

e) 孤立集落損失 D_5

岐阜県道路維持課では、平成20年度に岐阜県内全市町村を対象とした孤立する可能性のある集落（孤立予想集落）の調査を行った。その結果、107集落、11,433人が孤立する可能性のあることがわかった。孤立集落の解消は、県民の生活保護の観点から道路行政上重要な課題

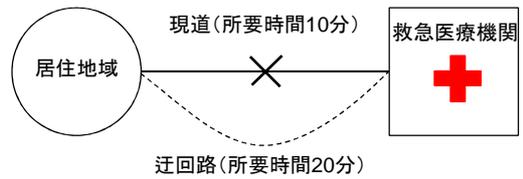


図-7 救急医療損失のイメージ図

表-3 対象地域における疾患発生年確率（ $\times 10^4$ /日）

疾患名	飛騨市	高山市	下呂市
脳出血	6.2	10.5	5.4
くも膜下出血	4.7	12.4	1.9
心筋梗塞	6.2	14.3	8.2
心不全	5.5	11.4	6.0
肺炎	9.9	0.0	9.8
心肺停止	7.3	40.9	4.9
脳梗塞	14.6	33.3	11.2

表-4 各項目に対する WTP

調査項目	WTP(円/月/世帯)
水道	3242
電気	2904
ガス	2682
情報通信手段	2986
医療	2111
介護	2928
郵便・宅配便	3511
合計	20364

となっている。以上のような背景から本研究では孤立集落損失を経済損失の1つとして計上している。孤立集落損失は、落石の発生もしくは橋梁の機能停止による道路途絶に伴って影響を受ける各種サービスの途絶回避に対する支払意思額（以下、WTP）と、孤立集落地域の世帯数の積で評価するものとする。WTPの算出には仮想市場評価法（以下、CVM）を用いる⁷⁾。具体的には、各種サービスの途絶が回避されることに対するWTPを、普段使用しているサービス料金に上乗せする金額として把握するためのアンケート調査を実施した。本アンケートの有効サンプル数は1,357であった。ライフライン（水道、電気、ガス）の途絶と、孤立予想集落における高齢化を考慮して、①水道の断水、②電気の停電、③ガスの供給停止、④情報通信手段の途絶、⑤医療サービスの停止、⑥介護サービスの停止、⑦郵便・宅配便サービスの停止の7項目をアンケートの項目とした。表-4は、アンケート結果から得られた各項目のWTPを示したものである。ここで、表-4に示したWTPは、いつ発生するか判らない災害に対して、発生したときのことを考えて平常時に支払ってもよいと考える額を調査した結果であり、平常時の集落の孤立に対する不安感を含んだ評価

結果である。そのため、他の経済損失とは性質が異なり、取り扱いには注意が必要となる。なお、本研究では橋梁に関する評価は岐阜市内を対象としているが、岐阜市内には孤立する可能性のある集落はないため、橋梁の機能停止に伴う経済損失の評価では孤立集落損失は考慮しないものとする。

(2) 経済損失評価結果

落石の発生に伴う経済損失評価結果の1例として、経済損失の合計が上位10位となるリンクの損失額を図-8に示す。ここで、損失額の合計とは、事故損失、復旧費用、迂回損失、救急医療損失の合計であり、孤立集落損失は含まれていない。図-8より、迂回損失と事故損失が支配的であることがわかる。これらの損失は、リンクの交通量に依存するものであり、交通量が全体の損失額に大きな影響を与えると考えられる。現に、図-8に示した10のリンクのうち9リンクは国道であり、交通量が比較的小さい県道や地方主要道に比べて、交通量の多い国道の方が上位となる傾向があることを確認している。

続いて橋梁の損傷による機能停止に伴う経済損失評価結果を図-9に示す。ここでは、落石での評価結果と同様に経済損失の合計が上位10位となる橋梁の損失額を鋼橋とコンクリート橋に分けて示す。上述の落石による経済損失の傾向とは異なり、鋼橋では、復旧費用および迂回損失が支配的であることがわかる。一方、コンクリート橋では迂回損失が支配的である。また、損失額を比較すると、コンクリート橋の損失額が大きく評価されていることがわかる。これは、交通規制日数に相当する復旧日数が大きく影響しており、落石では1日としているのに対して、コンクリート橋では長いもので1~2年となるためである。

4. 結論

本論文では、岐阜県飛騨圏域の道路斜面および岐阜市内の橋梁を対象として、落石の発生および橋梁の損傷による機能停止により生じる経済損失の評価結果について報告した。損失額の試算結果は、落石および橋梁に対していずれも迂回損失が支配的であったが、落石では路線の交通量が大きく影響するのに対して、橋梁では復旧日数が大きく影響する結果であり、それぞれの社会基盤施設の特徴を捉えた結果を示しているといえる。

しかしながら、本論文で示した経済損失評価結果は、評価対象や地域、条件等を限定したもとの評価結果であるため、今後は、他の社会基盤施設を含めて統一的にリスクマネジメントを行うために、社会基盤施設や対象地域の特性を反映した経済損失算定方法の検討を進める予定である。

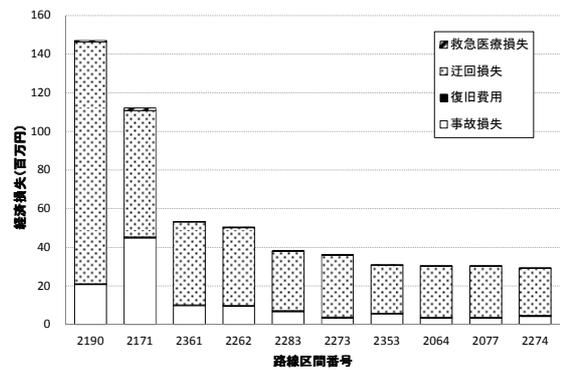
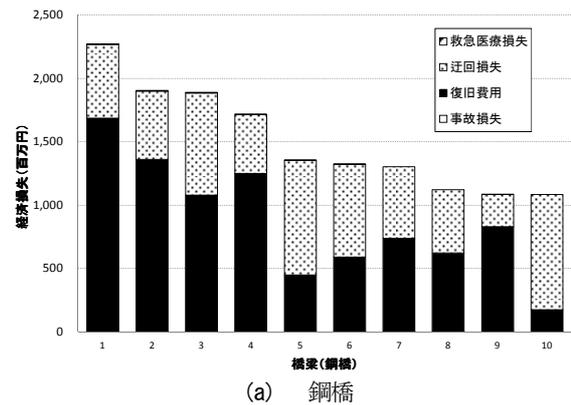
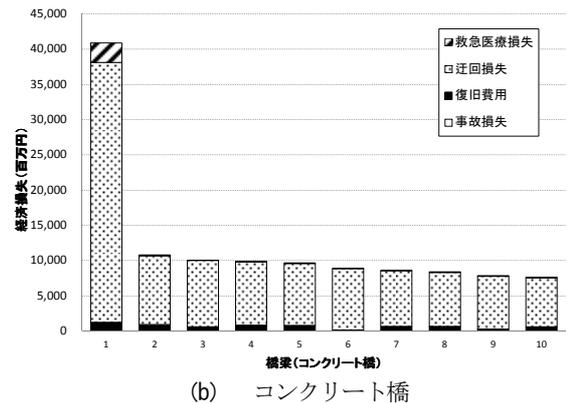


図-8 損失合計が上位10位のリンクにおける各損失額（落石）



(a) 鋼橋



(b) コンクリート橋

図-9 損失合計が上位10位の橋梁における各損失額

参考文献

- 1) 森口周二, 本城勇介, 沢田和秀, 原隆史, 浅野憲雄, 高木朗義, 岐阜県内を対象とした社会基盤施設のリスクマネジメント その2: 道路斜面落石のリスクマネジメント, 第44回土木計画学研究発表会, 2011.
- 2) 大竹雄, 流石堯, 森本博昭, 村上茂之, 小林孝一, 本城勇介, 高木朗義, 岐阜県内を対象とした社会基盤施設のリスクマネジメント その3: 橋梁のリスクマネジメント, 第44回土木計画学研究発表会, 2011.
- 3) 独立行政法人土木研究所, 道路斜面災害のリスク分析・マネジメント支援マニュアル(案), 土木研究所資料, 2004.
- 4) 内閣府政策統括官(共生社会政策担当), 交通事故の被害・損失の経済的分析に関する調査研究(報告書), 2007.
- 5) 国土交通省道路局都市・地域整備局, 費用便益分析マニュアル, 2008.
- 6) 橋本他, 救急患者収容所要時間と救命率の関係, 日臨救医誌, 5, pp.285-92, 2002.
- 7) 伊多波良雄編著, 公共政策のための政策評価手法, 中央経済社, pp.181-202, 2009.