

リスク評価に基づく道路構造物・ネットワークの耐震設計

岐阜大学 学生会員 佐藤雄斗 岐阜大学 正会員 高木朗義 岐阜大学 正会員 倉内文孝

1. はじめに

新潟県中越地震では、道路斜面の大規模な崩壊や橋脚のせん断破壊など、社会基盤施設が被害を受けただけでなく、道路途絶による道路ネットワーク全体の機能低下、孤立集落の発生など、被害は広範囲に及んだ。岐阜県飛騨圏域でも新潟県中越地震と同様な地震災害が発生する恐れがあり、早急な対策が求められている。一方で、今日の財政状況は厳しく、全ての道路構造物に対して万全な対策を講じることは難しい。これを踏まえると、橋梁や斜面など複数種類の道路構造物において、耐震補強の必要があるものとないものを明確にするための計画を策定することが望まれる。以上の問題意識のもと、本研究では地震災害を想定し、岐阜県飛騨圏域の山間地を主とする道路ネットワークの安全性向上のために、リスク評価に基づく道路構造物の戦略的な耐震補強計画のための方法論を構築することを目的とする。

2. 本研究の位置づけ

道路構造物におけるリスクとは、供用中の道路構造物が地震等により平常時の機能を果たせなくなったことにより発生する費用と、道路構造物が機能不全に陥る確率の積として定義できる。

以上のようなリスクに基づいた道路構造物の維持管理手法の研究として、長江ら¹⁾は、神戸市ネットワークを対象としてリスクである経済的期待被害額を最小化させるような橋梁の耐震化計画のための方法論を構築している。なお、長江らでは橋梁のみを対象とし、耐震戦略は耐震補強「する or しない」の2段階であった。本研究では長江らが算出した災害リスクの方法論をベースとし、対象とする道路構造物を橋梁と斜面、盛土の3種類に拡張する。また、レベル1地震動とレベル2地震動の異なる2種類の地震動に対応すべく橋梁の耐震グレードを新たに4段階とし、対象領域を山間地に適用する。以上より、異なる3種類の道路構造物の災害リスクを一元的に評価し、種類に関わらず道路構造物を効率的に耐震補強していくための方法論を構築する。

3. 道路構造物の耐震戦略の決定方法

本研究では、地震の規模や地震動分布の異なる複数種類の地震動を想定する。このようなそれぞれの地震シナリオに対して、破壊される道路構造物が決定され、道路ネットワーク全体の経済的損失が推定できる。以上のような複数種類の地震による社会の被害シナリオに対応すべく、道路構造物にある耐震補強戦略を施すことにより、期待災害リスクを最小化できるような道路構造物の耐震グレードおよび組み合わせを決定する。これを本研究では耐震戦略と呼ぶこととする。

本研究における道路構造物の耐震戦略決定方法は、それらの種類によって異なる。

(a) 橋梁の耐震戦略

橋梁は、以下のような年度別の設計示方書による設計基準に基づく耐震性能を有する4種類を仮定する。

- S39 年 示方書
- H8 年 ハーフコスト
- H8 年 示方書準拠
- H8 年 5G 対応

本研究では、飛騨圏域の橋梁は全て S39 年示方書の設計基準で建設されたものと仮定する。耐震戦略は、耐震化しないか、H8 年度設計のいずれかの橋梁に架け替えるという4種類の意思決定を選択するものとする。

(b) 斜面および盛土の耐震戦略

斜面および盛土は、地震外力により破壊する危険性をそれぞれ1種類のみの被害関数で評価する。これより耐震戦略は「耐震化する or しない」の2種類となる。なお、斜面および盛土については、耐震補強後は破壊されないものと仮定する。

4. 耐震補強戦略決定モデル

(1) 数理最適化問題の定式化

本研究の目的を達成するために、期待費用であるリスクを最小化する問題を、以下のような数理最適化問題として定式化する。ここで、制御変数 $\mathbf{u}$ とは道路構造物の耐震グレードを表す状態ベクトルであり、リスクを最小化する耐震戦略 $\mathbf{u}^*$ を求める。

$$\min .R(u)=\frac{1+\rho}{\rho}\left\{\sum_s \lambda(s)\{T(s, u)+r(s, u)\}\right\}+K(u)$$

ここで、 $\lambda(s)$:地震シナリオ s の生起確率、 $T(s, u)$:交通費用、 $r(s, u)$:道路構造物の復旧費用、 $K(u)$:道路構造物の耐震化費用、 ρ :年間利子率

本研究では、道路構造物が抱える期待災害リスクを、a)交通費用、b)復旧費用、c)耐震化費用の、3つの費用の和と定義する。ここで、費用 a)b)についてはある地震動の生起確率との積により、期待費用としている。なお、費用 c)は補強を施した時点に一括で支払われるストック費用であるが、費用 a)b)は継続的に支払われる。ゆえに、それらについては年間利子率を用いて重み付けをする。

(a) 交通費用

交通費用は、道路ネットワークが被災したことによる、道路利用者の総走行時間増加分を不便益として以下の式により計上する。

$$T(s, u)=T(u) \Delta t$$

ここで、 $T(u)$:耐震戦略 u のもとでの1日あたりの総走行時間増加分、 Δt :リンク途絶期間(所与の定数)

本試算で用いる道路ネットワークデータは道路交通センサスによる全国版のリンクデータとOD交通量データを用いる。平常時のリンクと地震発生による途絶後のリンクを用いてそれぞれ利用者均衡配分計算を行い、そこから岐阜県全体のリンク交通量だけを取り出し、岐阜県内における道路利用者の総走行時間を評価する。

(b) 道路構造物の復旧費用

復旧費用は、耐震戦略 u のもとで地震動 s が生じた場合に、破壊される道路構造物に対して支払われるものであり、それぞれ復旧に要する費用原単位から求める。道路構造物が破壊されるか否かは、個々の破壊確率が0.5以上となる場合は破壊されるものと仮定して判定する。各道路構造物の破壊確率は、それぞれ定義される fragilityカーブ(被害関数)より求める。

(c) 道路構造物の耐震化費用

耐震戦略 u に要する耐震化費用は、斜面および盛土についてはそれぞれ耐震補強に要する費用原単位より、橋梁についてはより耐震性能の高い橋梁の初期建設費用から、既設の橋梁の初期建設費用を差し引いた額を耐震化費用として計上する。

(2) 耐震戦略決定までの流れ

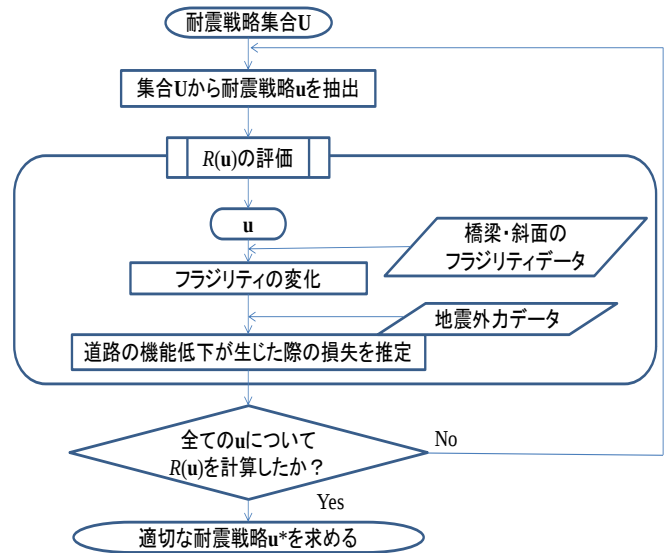


図1 リスク評価のフローチャート

本研究におけるリスク評価のフローチャートを図1により示す。耐震戦略集合 U の中からある耐震戦略 u を抽出し、その場合の道路構造物の fragilityカーブを設定する。そして、震源断層を特定した想定地震動の外力を道路構造物に与え、道路構造物の破壊確率の予測をし、道路ネットワーク内のどこのリンクが途絶するかを推定する。最後に道路の機能低下が生じた際の経済損失を推定し、耐震戦略 u におけるリスクを求める。これを全ての耐震戦略について繰り返し計算を行い、リスクを最小化させる適切な耐震戦略 u^* を求める。なお、道路斜面および盛土についての fragilityデータは広島工業大学の酒井久和准教授、橋梁のデータについては日本大学の中村普教授から、想定地震動は J-SHIS 地震ハザードステーション²⁾から入手し計算を進める。

5. おわりに

本稿では、本研究の背景と目的、耐震戦略の決定方法、モデルの説明とそれを用いて耐震戦略を決定するまでの流れについて述べた。具体的な耐震戦略の決定結果は発表会にて報告する。

参考文献

- 1) 長江ら：経済性照査に基づく新しい耐震設計法の実施に向けての検討 ―経済性照査ワーキング活動報告書一、地震工学委員会耐震基準小委員会、平成20年3月
- 2) 防災科学技術研究所、J-SHIS 地震ハザードステーション：<http://www.j-shis.bosai.go.jp/> 2012/11/28 10:57 現在