

ネットワーク均衡配分を用いた道路耐震補強の対費用効果に対する一考察

神戸大学大学院 学生員 ○藤原 友
 神戸大学大学院 正会員 長江 剛志
 神戸大学大学院 正会員 朝倉 康夫

1. はじめに

近年、道路施設に対する耐震補強が重要視されている。しかし、その議論の多くは、地震に対して施設が壊れないことを保証する性能設計に注力されている。そのため、本来重要であるはずの、道路損壊による社会的便益の損失と補強費用とのバランスについては十分には議論されていない。そこで、本研究では、道路損壊による社会的損失を明示的に計量し、道路耐震補強の投資効果分析のための枠組を提案する。具体的には、道路損壊による社会的費用を、道路網全体の交通混雑の増加と定義し、その値を利用者均衡配分¹⁾を用いて計量する。その上で、有効な補強戦略を求めるための方法論を提案する。

2. 研究の枠組み

本研究では、地震発生前後の状態を考慮し、以下の2つの戦略の下での社会的総コストを比較する；

- ・継続的補強（CR：continuous reinforce）戦略
- ・事後的再建設（SR：scrap and rebuild）戦略

その際、以下の前提条件を設ける。

- 補強対象とする道路区間は1区間（与件）である。
- 対象道路区間について、地震発生後はCR戦略下では通行可能、SR戦略下では通行不可能とする。
- 対象道路以外の周辺道路の一部は、戦略によらず地震発生後に通行不可能となる。通行不可能となる周辺道路は与件とする。
- 社会的総コストは、交通コスト（ネットワーク利用者の総旅行時間をコストに換算したもの）、復旧コスト、補強コストから構成される。
- SR戦略およびCR戦略下での復旧期間をそれぞれ n_{SR} , n_{CR} とするとき、 $n_{SR} > n_{CR}$ である。

次に各戦略のコストの特徴を説明する。右上の図1は、地震の発生・非発生から生起するネットワーク

状態図である。2つの戦略下において、地震発生後、対象道路および周辺道路（の一部）が通行できず、不完全なネットワーク状態（以下被災状態）になる。その後、復旧期間を経て平常状態に戻る。

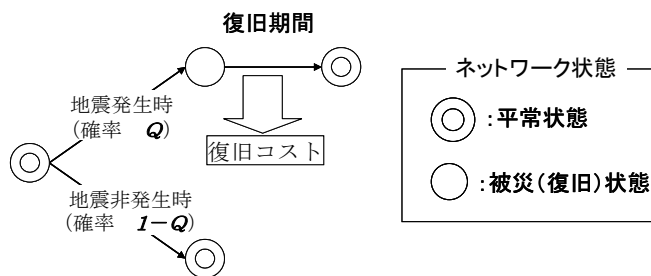


図1 状態推移図

このときに必要なコストは（復旧費用）+（交通コスト増分）×（復旧期間）で表すことができる。CR戦略の下では（平常期間）×（補強費用）を支払うことで、復旧期間時のコストをSR戦略下のそれより低く抑えられるものとする。

3. モデルの定式化

本章では上述の各戦略下での総コストを求める。まず、地震発生確率を Q 、1期あたりの割引率を ρ 、復旧期間を n_{SR} , n_{CR} とする。復旧費用を I 、補強費用を M 、地震時の交通コストの増分をそれぞれ ΔT_{SR} （対象道路+周辺道路が通行不可）、 ΔT_{CR} （周辺道路のみ通行不可）とする。

(1) 社会的総コストが従う再帰方程式

図1において◎は平常状態を示している。これら3つの状態での社会的総コストは一致しなければならない。これは戦略 $i \in \{SR, CR\}$ の下での社会的総コスト SC_i が以下の再帰方程式に従うことを意味する。

$$SC_i = Q \left\{ \frac{I_i + n_i \Delta T_i + \theta_i (1 - n_i) + SC_i}{1 + \rho} \right\} + (1 - Q) \left\{ \frac{\theta_i + SC_i}{1 + \rho} \right\}$$

但し、 θ_i は地震の発生に拠らない確定的費用である。

(2) SR戦略の総コスト

SR戦略下では補強費用は発生しない（i.e. $\theta_i = 0$ ）。よって、総コストは、以下の式で表される。

keywords: 耐震補強, 均衡配分

連絡先: 〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

TEL 078-803-6360 FAX 078-803-6360

$$SC_{SR} = \frac{Q(n_{SR}\Delta T_{SR} + I_{SR})}{\rho} \quad (1)$$

(3) CR 戦略の総コスト

CR 戦略下では確定的費用として補強費用が発生する (i.e. $\theta_i = M$). よって総コストは,

$$SC_{CR} = \frac{Qn_{CR}\Delta T_{CR} + I_{CR} + M(1 - Qn_{CR})}{\rho} \quad (2)$$

と求められる. ここで $\theta_i = M$ は補強費用である.

(4) 基準補強費と最適補強費

上述の 2 つの社会的総コストから, 基準補強費および最適補強戦略を求められる. ここで基準補強費

M^* とは $SC_{SR} = SC_{CR}$ となるときの補強費であり,

$$M^* = \frac{Q(n_{SR}\Delta T_{SR} + \Delta I - n_{CR}\Delta T_{CR})}{1 - Qn_{CR}} \quad (3)$$

と求められる. ただし, $\Delta I = I_{SR} - I_{CR}$ である.

この基準補強費を用いて, 最適戦略は以下のよう求められる;

- ・ $M < M^*$ の場合は $SC_{CR} < SC_{SR}$ となるため, CR 戦略が最適戦略となる.
- ・ $M > M^*$ の場合は $SC_{CR} > SC_{SR}$ となり, SR 戦略が最適な戦略となる.

4. 数値計算

実際に数値を代入して計算する際, 本研究では神戸市近辺のネットワークを対象に利用者均衡配分を行い, 交通コストを求める. さらに, 復旧期間および地震発生確率を変化させ, 感度分析を行う.

(1) ベースケースパラメータ

対象となる道路は, 阪神高速 3 号神戸線の一部 (約 22.3km) で, 周辺道路は対象道路近辺の一般道路および高速道路 (約 13.7km) と設定した. これをもとに均衡配分を行った結果, $\Delta T_{SR} = 11826$ (億円/年), $\Delta T_{CR} = 584$ (億円/年) という値が得られた. その他に必要な諸量を以下に挙げる.

- ・ 社会的割引率 ρ : 4 パーセント
- ・ 復旧費用 ΔI : 1253 (億円)
- ・ 復旧期間 n_{SR} : 1.17 (年), n_{CR} : 0.32 (年)

社会的割引率は費用便益分析マニュアルより, 復旧に関する諸量は阪神大震災資料より 1km あたりの費用および期間を求め, 算出した.

(2) 感度分析

上述のベースケースにおいて, 地震発生確率および復旧期間に対する基準補強費の感度分析結果を図 2 に示す. この図は横軸に Q , 縦軸に基準補強費 M^* をとり, ベースケースの復旧期間での計算結果を赤色, ベースケースの半分の復旧期間で計算した結果を青色, 1.5 倍で計算した結果を黄色で表した.

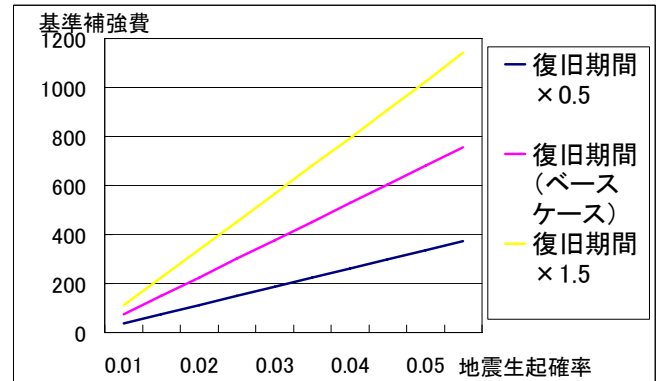


図 2 地震発生確率による基準補強費

(3) 考察

図 2 より, 以下の 2 つがわかる. まず, 地震発生確率が増えるに従い基準補強費が増加する. つまり高い確率で発生する地震を想定するならば, 補強戦略が有効となる範囲も大きくなる. 次に, 地震発生確率が小さければ, 復旧期間による基準補強費の差は小さい. 一方, 高い確率で発生する地震においては, 基準補強費の差は極端に大きくなる. これは, 地震発生確率が高いほど, 分析時に想定する復旧期間を慎重に決定する必要があることを示唆している.

5. おわりに

本研究では, 地震に対する道路補強の投資効果分析を, 利用者均衡配分から求まる交通コストを用いて分析する手法を提案した. そして, 有効な補強戦略を求め, その性質とメカニズムを明らかにした. 本研究の今後の課題として, 補強費用について弾力的な通行可能確率を考慮したモデルへの拡張が挙げられる. 本研究の提案枠組は, こうした拡張モデルの分析に対しても, 重要な基礎を与えるものである.

参考文献

1) 土木学会: 交通ネットワークの均衡分析, 最新の理論と解法, 1998.