

# (IV-1) 損失の増幅効果を考慮した都市内高速道路高架橋の要求耐震性能の試算

東京大学 正会員 柴崎隆一  
東京大学 学生員 加藤渉  
東京大学 正会員 家田仁

## 1. はじめに

レベル2地震動に対しては、社会経済的重要度と勘案して要求耐震性能を決定すべきであるとされている。しかしながら、大地震のような災害によって引き起こされるような巨大損失は、限られた資源しか持たない個人や国家にとって、カタストロフィックな効果を持ち得るものと考えられ、単純に費用便益分析的な方法で損害の積み上げによるのでは、損失の過小評価となる恐れがある。そこで本研究では、専門家への調査により計測した損失の増幅効果をもとに、実在の都市高速道路網における各高架橋の最適耐震性能を試算し、損失の増幅効果とネットワーク性の考慮が道路高架橋の耐震性能の合理的な決定に資することを示す。

## 2. 損失の増幅効果関数

レベル2地震動によって生じる被害は、その発生確率は極めて希少なものの、ひとたび発生すれば極めて甚大であるため、限られた資源しか持たない個人あるいは国家にとって、損失がその保証限度額を超えた場合には、カタストロフィックなものとなる。このカタストロフィックな効果を考慮すると、個人や国家にとっての実質的損失額は、単なる金銭的な損失の積み上げによって算出される金額よりも大きなものとなる。これを損失の増幅効果と呼び、専門家へのアンケート調査などにより計測<sup>2)</sup>した増幅効果関数を以下に示す(図1参照)。

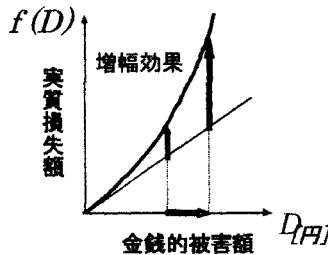


図1 損失の増幅効果

$$f(D) = D + 0.0404 D^{1.45} \quad (1)$$

D: 道路高架橋ネットワーク全体における総被害額 [億円]

## 3. 損失の増幅効果を考慮した道路高架橋の要求耐震性能決定方法<sup>1)</sup>

本研究で採用する道路高架橋の要求耐震性能決定方法は、道路高架橋の耐震性能が向上することによる被害軽減便益と、耐震性能を向上させるために必要な耐震強化費用との比較を行う費用便益分析を基本としている<sup>1)</sup>。

はじめに、道路高架橋の耐震性能ランクを設定し(表1参照)、また高架橋リンクを含む道路ネットワークを作る。高架橋リンクにはそれぞれ別々の耐震性能ランクが与えられ、そのように設定された道路ネットワークにレベル2地震動が発生したとする。この時、道路高架橋の経営主体が耐震投資を行う際のNPV(Net Present Value: 純便益)を計算し、その値を耐震投資の評価値とする。NPVの計算式を以下に示す。

$$NPV = \sum_{T=1}^{T_e} \frac{P}{(1+r)^T} \left\{ f\left(\sum_{j=1}^N D_j(G_i)\right) - f\left(\sum_{j=1}^N D_j(G_i)\right) \right\} - \left( \sum_{j=1}^N C_j(G_i) - \sum_{j=1}^N C_j(G_i) \right) \quad (2)$$

ここで、P: 地震発生確率、 $T_e$ : 高架橋の供用期間(50年)、r: 社会的割引率(4%)、N: 被災する高架橋数、 $D_j(G_i)$ : 高架橋jの耐震レベルをGRADE iに設定した場合の被害額、 $C_j(G_i)$ : 高架橋jの耐震レベルをGRADE iに設定した場合の耐震強化費用、 $f(\cdot)$ : 増幅効果関数。

つまり、この問題はどの高架橋リンクにどのGRADEを割り当てれば最大のNPVを得られるのかという、離散的最適化問題に帰着できる。そこで、このような離散的最適化問題を解くのに適した方法である遺伝的アルゴリズム(個体数=5,6)を用いてこの問題を解くことを試みた。

## 4. 福岡市都市高速道路ネットワークに対する適用結果

ここでは福岡市の都市高速ネットワーク(図2参照)にこの手法を適用した例を示す。都市高速道路はすべて高架橋リンクとし、一般道は主要な国道・県道のみを選んで、道路ネットワークを簡略化した。このネットワーク上に、平成6年度の道路交通センサスから作成したOD交通量(市区単位で一つのエリアとした)を、地震が発生したときの高架橋の損傷状態を考慮しつつ、利用者均衡原理に基づいて配分した。地震の発生確率、損失の増幅効果の考慮の有無別の試算結果を図2に示す。

Keywords: 耐震性能決定, 道路高架橋, 損失の増幅効果  
〒113-8656 東京都文京区本郷7-3-1 東京大学大学院  
工学系研究科社会基盤工学専攻 交通・都市基盤計画研究室  
Tel: 03-5841-6116, Fax: 03-5841-8507

表 1 道路高架橋の耐震性能の設定

耐震性能	GRADE1 崩壊	GRADE2 機能損傷	GRADE3 機能維持	GRADE4 無損傷	GRADE5 制震
被災時の状態					
設計水平加速度	800gal以下	800~1000gal	1000~1200gal	1200gal以上	1200gal以上 +制震構造
建設費(億円/km)	76	84	92	101	107
復旧費(億円/km)	91	8.9	1.5	0	0
復旧期間(日)	196	78	13	0	0
利用者の死亡率(%)	100%	50%	10%	5%	0%

地震の発生確率を 100 年に一度と仮定した時、損失の増幅効果を考慮しなかった場合は、大半の高架橋リンクの要求耐震性能は GRADE3 (機能維持) に設定されるが、増幅効果を考慮した場合においては、すべての高架橋リンクの耐震性能が GRADE4 (無損傷) に設定される結果となった。同様に、地震の発生確率を 1000 年に 1 度とした時、損失の増幅効果を考慮しなかった場合の耐震性能は、GRADE1 (崩壊) と GRADE 2 (機能損傷) が半々の割合で設定される結果となり、また、増幅効果を考慮した場合は、大半の高架橋リンクの耐震性能が GRADE2 に設定される結果となった。すなわち、いずれの場合も、損失の増幅効果を考慮することで、高架橋リンクの耐震性能が約一段階高く要求される結果となった。実際のところ、阪神淡路大震災後の福岡都市高速道路における耐震補強投資の結果は、7 割が GRADE3、3 割が GRADE2 に相当する<sup>3)</sup>。

これは、地震発生確率を 1000 年に 1 度と仮定したときには増幅効果を考慮した場合の試算結果に近く、100 年に 1 度と仮定したときには増幅効果を考慮しない場合の試算結果に近い。福岡市の地震発生確率は、東京などに比べると小さいと予想されているが、意思決定者が潜在的に想定している地震発生確率については、担当者へのインタビューや過去の地震の発生履歴の調査等によって慎重に定める必要がある。

5. まとめ

国家の存亡を脅かすような大災害に備えるための防

災投資においては、意思決定者の直感によれば、単なる機械的な費用便益分析の結果では投資量が不十分である場合が多い<sup>1),2)</sup>。本研究は、損失の増幅効果を考慮した場合の実際の耐震投資における意思決定結果が、機械的な費用便益分析により算出された計算結果と異なってくる可能性があることを示した。

参考文献

- 1) 家田・村上・斎藤,人の認知特性を考慮した費用便益分析とネットワーク分析に基づくインフラ施設の要求耐震性能決定法の基礎研究,土木計画論文集・講演集, No.22(1) p543-546 1999.10.2) IEDA H.・SHIBASAKI R., How Strong Should Elevated Roads Be? -Anti-Quake Cognitive Cost/Benefit Network Design, Journal of the School Engineering, The University of Tokyo, 47, pp.69-87, 2000.7. 3) 柴崎・亀井・家田, 防災投資の実績を用いた災害の『生起頻度と被害額』に関する社会的なリスク認知特性の計測,土木計画論文集・講演集, No.23(1) p275-278 2000.11.

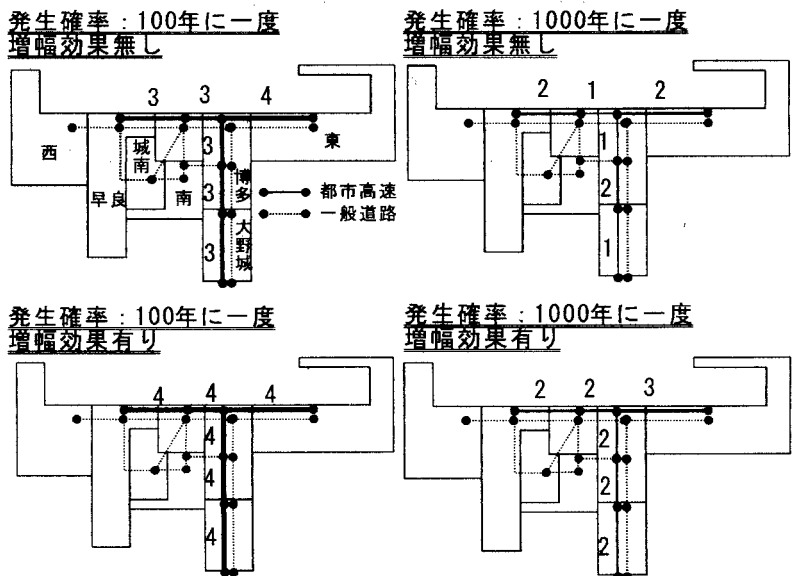


図 2 福岡都市高速道路において要求される高架橋の耐震性能 (図中の数字)