

耐震性能評価を導入した橋梁維持管理がもたらす経済的効果

関西大学総合情報学部

○学生員

大井 美樹

関西大学総合情報学部

正会員

古田 均

関西大学大学院総合情報学研究科

学生員

小山 和裕

関西大学大学院工学研究科

学生員

片岡 宏文

1. まえがき

近年、性能設計の確立へ向けさまざまな研究が活発に行われている。しかし、ほとんどが旧来の設計法と性能設計法との関連に関するもので、その効用についてはあまり議論されていない。性能設計を確立するためには、性能設計がもたらす社会的、経済的効果を示す必要がある。そこで、本研究では耐震性能評価を導入した RC 橋脚の維持管理を例として、性能設計がもたらす経済的効果について検討する。

2. 耐震性能評価を導入した最適維持管理計画

現在まで、橋梁の耐力を低下させる要因として経年劣化に注目し、常時荷重による終局限界状態を対象とした研究が行われてきた。しかし、わが国は有数の地震多発国であるので、地震荷重による終局限界状態を対象とし、維持管理に耐震性を考慮すべきである。維持管理問題において耐震性を考慮する場合、供用期間中の性能を明確に評価する必要がある。本研究では、供用期間中の耐震性を信頼性理論に基づいて破壊確率によって評価する。そして、ライフサイクルコスト（Life-Cycle Cost : LCC）に地震リスクを導入する。ここでは、RC 橋脚の劣化要因として塩害による鉄筋腐食を取り扱い、Fig.1 に示す供用期間中の劣化曲線と年損傷確率の関係を得た。なお、RC 橋脚の地震時損傷度は Table 1 のようである。

つぎに、維持管理計画は耐震性を考慮するか否かで2つの場合を考える。それぞれの目的関数と制約条件は次のようである。

Case 1（耐震性を考慮しない場合）

$$\text{Minimize} \quad LCC = C_I + C_M \quad (1)$$

$$\text{Subject to} \quad D(t) > 0.6 \quad (2)$$

Case 2（耐震性を考慮する場合）

$$\text{Minimize} \quad LCC = C_I + C_M + \text{Seismic Risk} \quad (3)$$

$$\text{Seismic Risk} = P_D(DI/a) \cdot P_H \cdot C_D \quad (4)$$

ここに、 C_I ：初期建設費用、 C_M ：維持管理費用、 P_D ：損

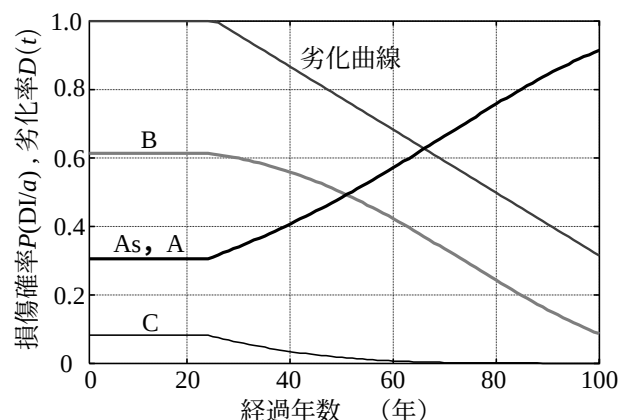


Fig.1 劣化曲線と年損傷確率（タイプII地震動，800gal）

Table 1 地震時損傷度の定義

被災度ランク	被災状況	水平変位
As	落橋	$\delta_u \sim$
A	大被害	
B	中被害	$\mu_a \delta_y \sim \delta_u$
C	小被害	$\delta_y \sim \mu_a \delta_y$
D	被害なし	$0 \sim \delta_y$

傷確率， DI ：損傷度， a ：最大加速度， P_H ：地震発生確率， C_D ：損失費用である。

以上の条件の下、地震時の損失を橋脚の補強費用とユーザーコストとして遺伝的アルゴリズムで探索した結果、耐震性を考慮した場合に Case2 の計画案が有益であった。つまり、維持管理を数多く実施することにより、地震リスクを削減し、LCC を小さくすることができた。

3. 兵庫県南部地震被災地域を対象としたシミュレーション

2節では、1橋梁を対象として耐震性を考慮する有用性を示した。ここでは、1橋梁から複数橋梁対象へと問題を拡張し、兵庫県南部地震被災地域を対象としたシミュレーションを行う。橋梁数 50 から構成される道路ネットワークを作成し、Case1 および Case2 の計画案に対して、地震動タイプに適した再現期間を設定してシミュレーションする。その結果を Fig.3 に示す。なお、図中には維持管理費用を増や

キーワード 性能設計，維持管理，耐震性能，ライフサイクルコスト，信頼性理論

連絡先 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1 関西大学総合情報学部 TEL 06-6368-1121

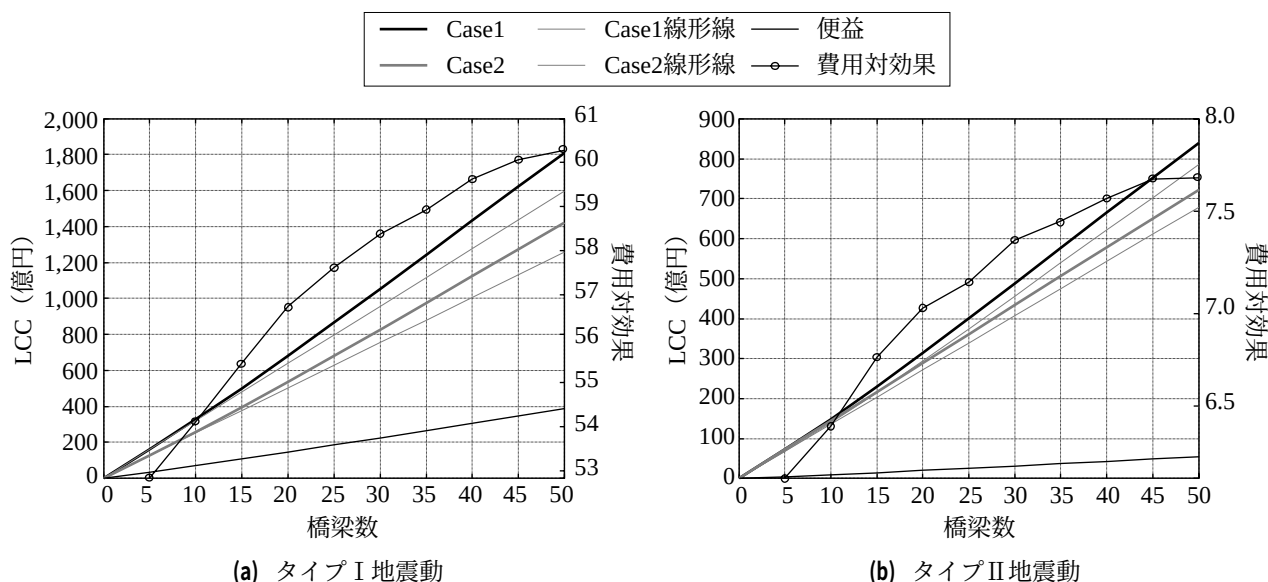


Fig3 道路ネットワークを対象としたシミュレーション結果

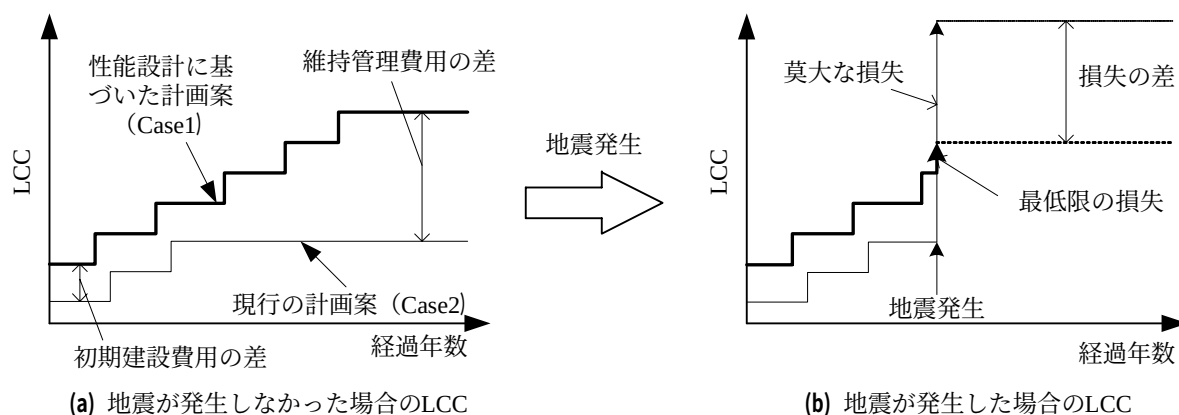


Fig4 耐震性を考えるか否かでのLCCの差

したことによる地震リスクの減少効果を表す費用対効果についても示している。図から明らかなように、橋梁数が増加するにつれ費用対効果が増加していることがわかる。すなわち、橋梁数が増えた場合、地震時の損失を大きく削減できる。また、費用対効果の増加率は橋梁数に比例して減少している。この理由は、橋梁数が多い場合、すべての橋梁が破壊した時に道路ネットワークが機能なくなり、ユーザーコストが限界値となるためである。

4. 耐震性を考慮した維持管理の経済的效果

本研究では、1橋のみならず複数橋梁を対象とした場合についても耐震性を考慮した計画案の有用性を検討した。1橋梁を対象とした場合、Fig4に示すように維持管理にかなりの投資が必要であるが、ひとたび地震が発生した場合には損失を最低限に抑えることができる。ところで、起こるかどうかわからない地震を想定し、維持管理を行う必要があるのであろうか。1橋梁で考えた場合、利益を得る可能性

は低い。わが国の社会経済情勢を考慮すると、多額の投資が必要な維持管理計画案を認められる可能性は低い。しかし、Fig3に示すように橋梁数が増加することで莫大な利益を得ることが可能となる。言い換えると、複数の橋梁を対象とした時に耐震性を考慮する意義が出てくる。そして、費用削減が重視されている今日、多額の投資をして維持管理をする必要性を提示することが可能である。

5. まとめ

本研究では、耐震性能評価を導入した維持管理がもたらす経済的效果について検討した。その結果、複数の橋梁を対象とした場合に耐震性を考慮した維持管理の意義があることを示した。性能設計体系への移行へ向けて、数々の研究が行われている中、本研究で明らかにした結果は有益なものであり、かつ、今後さらに検討が必要な事項である。今後、耐震設計とともに、その設計がもたらす効果を定量的に明らかにした研究の発展が期待される。