

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

維持管理を定期的実施することで、橋梁の長寿命化を実現できる。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、維持管理計画に耐震性を考慮する必要がある。このような背景から、本研究では、鉄筋コンクリート (Reinforced Concrete : RC) 単柱式橋脚を対象として、耐震性を考慮した最適維持管理計画の策定を試みる。また、最適維持管理計画案の探索には、効率的な探索最適化手法である遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm : GA) を適用する。

2. 耐震性能評価を導入した維持管理計画モデル

本研究では、維持管理に耐震性能評価を導入する手段として、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。その際、劣化した構造物と地震に対する損傷確率の関係が必要となる。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を参考にして、時間経過に伴う構造物の耐力低下に応じた年損傷確率を算定した。その結果、Fig.2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に示すとおりである。ここに、 δ_u 、 δ_y 、 μ_a は、それぞれRC橋脚の骨格線上における終局変位、降伏変位、および、許容塑性性率である。

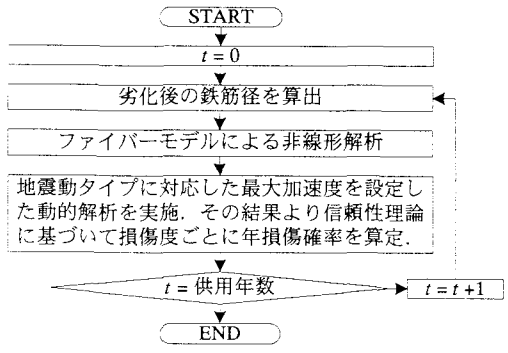


Fig.1 耐力低下を考慮した損傷確率算定の流れ

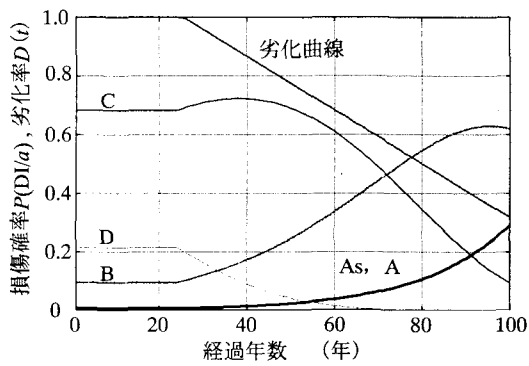


Fig.2-(a) 劣化曲線と年損傷確率(タイプ I 地震動, 400gal)

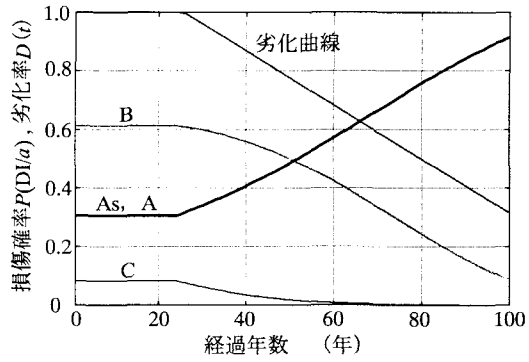


Fig.2-(b) 劣化曲線と年損傷確率(タイプ II 地震動, 800gal)

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	$0 \sim \delta_y$

3. 目的関数と制約条件の設定

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。耐震性を考慮する場合、年ごとの地震リスクをLCCに含めて算出する。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)

Minimize $LCC = C_f + C_m$ (1)
Subject to $D(t) > 0.6$ (2)

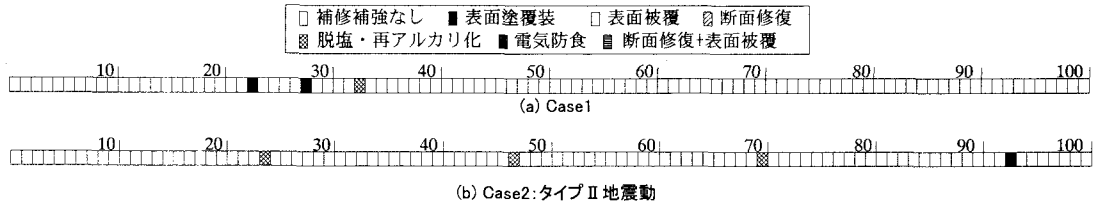


Fig.3 最適維持管理計画案

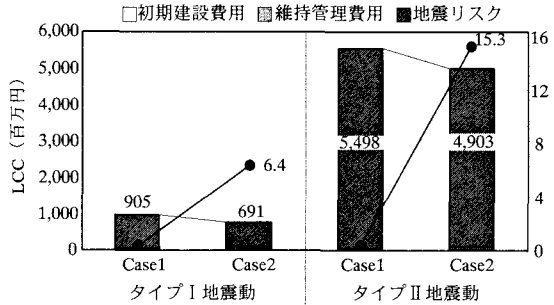


Fig.4 計画案のLCCと費用対効果

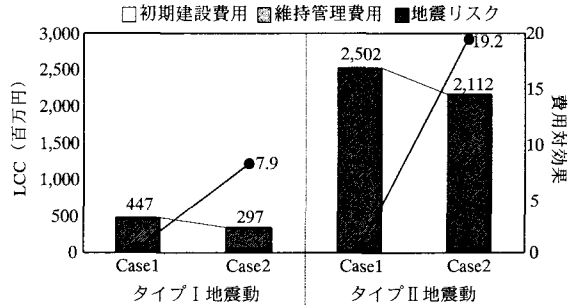


Fig.5 計画案のLCCと費用対効果(割引率2%)

Case 2 (耐震性を考慮する場合)

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

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

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。

4. 数値解析結果と考察

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GAで最適計画案を探索した結果、最適維持管理計画案、および、計画案のLCCと費用対効果の関係が、それぞれFig.3, Fig.4のように得られた。

Fig.3において、計画案に大きな違いが見られる。Case1は、初期に補修を行うのみであるが、Case2では供用年間に平均的に補修を行い、常に初期の性能を維持している。維持管理費用はCase2が高い。Fig.4には、維持管理費用を増や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を示している。費用対効果は15.3と極めて大きな値となる。すなわち、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。また、耐震性を考慮することで地震荷重に対してロバストな計画案を提示することができた。

つぎに、LCCに及ぼす影響が大きいとされる社会的割引率を考慮した場合を検討する。Fig.5, 6は、割引率をそれぞれ2%, 6%とした場合の解析結果である。図から明らかなように、Fig.4と同様にCase2のLCCがいずれもCase1より小さくなった。

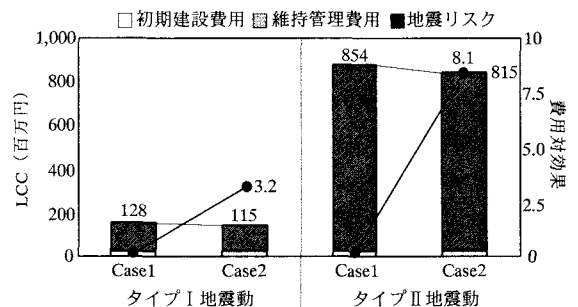


Fig.6 計画案のLCCと費用対効果(割引率6%)

タイプII地震動の費用対効果は、割引率が2%, 6%で、それぞれ19.2, 8.1である。このように、割引率を考慮した場合も、耐震性を考慮した計画案が有益である。

また、紙面の都合上、すべての計画案を載せることはできなかったが、割引率を考慮した場合、全体的として安価な補修を定期的に行うことが有効であるという結果が得られた。

5. むすび

本研究では、耐震性を考慮して最適維持管理計画を策定した。耐震性を考慮するか否かで比較した結果、費用対効果の検討により、耐震性の考慮が有益であることを示した。また、割引率を考慮した場合にも耐震性を考慮することが有益であること示した。

過去、維持管理問題は劣化損傷と常時荷重に注目して検討されてきたが、今後維持管理問題を耐震問題のひとつとして捉えることで、性能設計体系確立への架け橋となるであろう。