

## 第 部門

## 橋梁の維持管理に地震損傷を勘案したライフサイクルコスト分析

関西大学大学院 学生員 ○片岡宏文 関西大学総合情報学部 正会員 古田 均  
 関西大学工学部 正会員 堂垣正博

## 1. まえがき

橋梁の維持管理は、今日まで主として橋梁の耐力を低下させる経年劣化をターゲットに実施されてきた。周知のとおり、わが国は有数の地震多発国である。それゆえ、橋梁の維持管理も地震の発生による損傷被害を念頭に入れて維持管理計画を立てる必要がある。このような背景から、本研究では、図-1に示す単柱式RC橋脚<sup>1)</sup>を対象に、橋梁の維持管理問題を供用期間100年間のいつ、どのような工法で、補修・補強するか、の組合せ最適化問題に帰着し、耐震性能と地震リスクを考えながら適切に維持管理する計画案を導出する方法を提案する。その際、橋梁の維持管理計画案である組合せ最適化問題の準最適解は、離散最適化手法の遺伝的アルゴリズム（以下、GAと称す）によって求める。

## 2. 地震の不確実性を考慮した RC 橋脚の維持管理計画における LCC 評価法

地震損傷を勘案した橋梁の維持管理計画において、地震による損失を地震リスクと考え、それを初期建設費と経年劣化対策の補修・補強費に加えたライフサイクルコスト(以下、LCCと称す)から最適な維持管理計画案を決定する最適化問題に定式化する。すなわち、その目的関数と制約条件は、

$$\text{目的関数 (最小化): } LCC = C_I + \sum_{t=0}^T \frac{C_M}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^T \sum_{a=0}^{1000} \sum_{DI=D}^{As,A} \frac{P(a) \cdot P(DI/a) \cdot C_D(DI)}{(1+r)^t} \quad (1)$$

$$\text{制約条件} \quad : As(t) > 0.6 \quad (2)$$

である。ここに、 $r$ : 社会的割引率、 $t$ : 経過年数、 $T$ : 供用年数、 $a$ : 最大加速度 (gal)、 $DI$ : 地震発生時の損傷度、 $P(DI/a)$ : 地震損傷確率、 $P(a)$ : 地震発生確率、 $C_I$ : 初期建設費用、 $C_M$ : 補修・補強費用、 $C_D(DI)$ : 地震時損失費用、 $As(t)$ : 健全度である。組合せ最適化問題の解法に GA を用いる。

## 3. RC 橋脚の経年劣化による損傷度の評価

耐震性能を考慮した最適維持管理計画案の策定には、経年劣化と地震損傷確率との関係が必要である。ここでは RC 橋脚の劣化要因のひとつである塩害による鉄筋腐食に注目し、それを例に、経年劣化を勘案した場合の地震損傷確率を図-2のフローにそって算定する。この場合、限界状態関数は、

$$Z = P_u - k_{hc} W \quad (3)$$

である。ここに、 $P_u$ : 確定量としての地震時保有水平

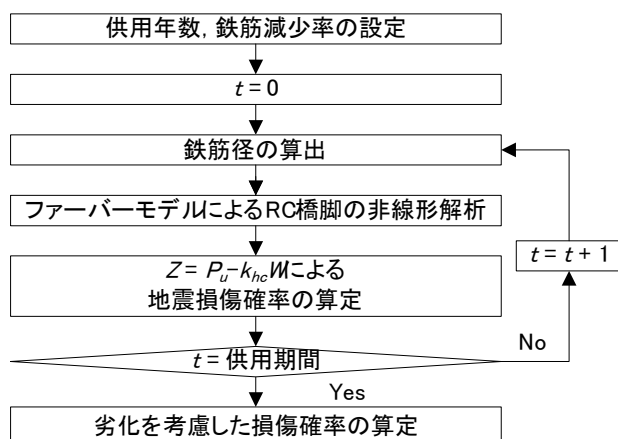


図-2 地震損傷確率算定の流れ

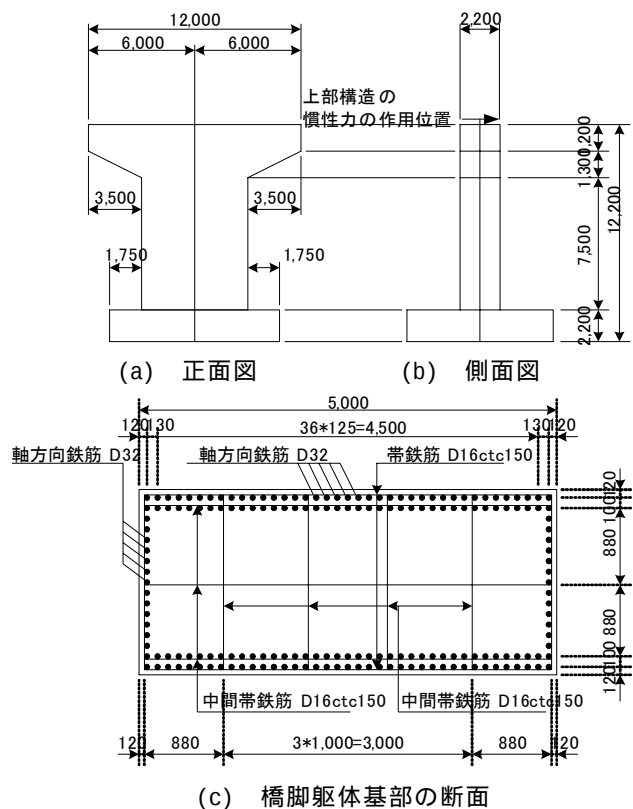


図-1 対象橋脚

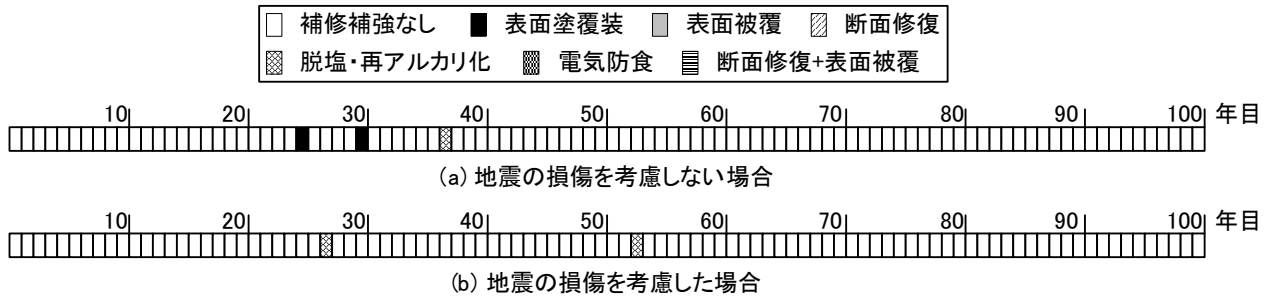


図-4 最適維持管理計画案（割引率 0%）

表-1 地震時損傷度の定義<sup>3)</sup>

| 被災度ランク | 最大応答塑性率 | 被災状況 |
|--------|---------|------|
| As     | 6.0～    | 落橋   |
| A      |         | 大被害  |
| B      | 4.0～6.0 | 中被害  |
| C      | 2.0～4.0 | 小被害  |
| D      | ～2.0    | 被害なし |

耐力<sup>2)</sup>， $k_{hc}$ ：確率量としての塑性率ごとの所要降伏震度， $W$ ：等価重量．ちなみに， $Z>0$ の場合に構造物は安全で， $Z\leq 0$ の場合に危険となる． $k_{hc}$ は，所要降伏震度スペクトルを地震動ごとに作成し，その分散を確率量で表現したものである．上述のようにして得られた経年劣化の変動および被災ランクごとの地震損傷確率を描けば，図-3を得る．ここに，RC橋脚の被災状況，被災ランク，最大応答塑性率の関係を表-1に示す．

#### 4. 最適計画案とその考察

地震リスクを考慮した場合としない場合を考え，地震リスクを考慮して橋梁を維持管理することの有意性について検討する．供用期間が100年，社会的割引率が0%と2%の場合に対し，橋脚一本のみの維持管理計画案を探索すれば，図-4を得る．地震リスクを橋脚の損失費用のみとし，最適計画案をGAによって探索したところ，最適維持管理計画案，計画案のLCCと費用対効果を図-4と図-5のように得た．まず，計画案の相違を明らかにする．地震リスクを考慮しない場合，維持対策が劣化開始時期に集中している．一方，地震リスクを考慮すれば，劣化開始後から供用年数の設定期間までほぼ等間隔に維持管理が行われ，当初の健全度が保持される．つぎに，各計画案のLCCを検討する．維持管理費だけに注目すれば，地震リスクを考慮した場合がしない場合よりもLCCは多くなった．さらに，地震リスクも含めたLCCによる維持管理を検討する．地震リスクを考慮した場合はしない場合に比べてLCCが少ない．このように維持管理費を増加することによって，地震リスクの減少に対応する費用対効果は1.2と2.3になり，地震リスクを考慮することの有意性がわかった．

#### 5. あとがき

地震時の損傷を考慮した橋脚の維持管理計画を策定した．その結果，地震リスクを考慮する場合としない場合において，地震リスクを考慮して維持管理計画を策定すれば，計画時に不利な場合でも地震発生時の損失がかなり削減できることがわかった．

参考文献 1)日本道路協会編：道路橋の耐震設計に関する資料，丸善，1997-3. 2)日本道路協会編：道路橋示方書・同解説，Ⅴ耐震設計編，丸善，2002-3. 3)庄司 学・藤野陽三・阿部雅人：高架橋道路システムにおける地震時損傷配分の最適化の試み，土木学会論文集，No.563/I-39，pp.79-94，1997-4.

