

第 I 部門

地震リスクを勘案したモノレール橋脚の維持管理におけるライフサイクルコスト分析

関西大学大学院 学生員 ○田中新也 パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 藤井久矢
 関西大学総合情報学部 正会員 古田 均 関西大学環境都市工学部 正会員 堂垣正博

1. まえがき

わが国は有数の地震多発国で、兵庫県南部地震では深刻な被害を被った。社会基盤の維持管理に関わる研究がこれまでも多くなされているが、主に経年劣化を対象としている。ここでは、橋梁の維持管理計画に地震による損傷を考慮する。すなわち、橋梁の維持管理問題を検討期間中の①いつ、②どの工法で補修・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慮した維持管理計画を導出する。この場合、橋梁の維持管理計画案、いわゆる組合せ最適化問題の準最適解を遺伝的アルゴリズムで求める。

2. RC 橋脚の維持管理計画における地震を考慮した LCC 評価法

対象構造物を図-1 に示す単柱式の RCT 型モノレール橋脚とした。モノレール橋脚は活荷重に大いに影響され、偏心載荷時に橋脚基部に大きな負荷がかかる。それゆえ、地震による影響を強く受けるため、その地震リスクと維持管理との関係を明らかにする。

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 (= 地震発生確率 × 地震時損傷確率 × 損失費用) 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、

目的関数 (最小化) :

$$LCC = C_i + \sum_{t=0}^T \frac{C_M}{(1+r)^t} + \sum_{t=0}^T \sum_{a=0}^{1000} \sum_{DI=D}^{As,A} \frac{P(a) \cdot P(DI/a) \cdot C_D(DI)}{(1+r)^t} \quad \dots \dots (1)$$

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

である。ここに、 C_i : 初期建設費、 C_M : 補修・補強費、 $C_D(DI)$: 地震時損失費、 r : 社会的割引率、 $P(a)$: 地震発生確率、 $P(DI/a)$: 地震損傷確率、 t : 経過年数、 T : 検討年数、 a : 最大加速度 (gal)、 DI : 地震発生時の損傷度、 $As(t)$: 健全度 (t 年後の鉄筋の断

面積 / 初期の鉄筋の断面積) である。

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維持管理計画案の策定には、RC 橋脚の経年劣化と地震時損傷確率の関係が必要である。ここでは中性化による鉄筋腐食に注目し、経年劣化を勘案した地震損傷確率を図-2 に示す手順で算定する。この場合、限界状態関数²⁾は、

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

である。ここに、 P_u : 地震時保有水平耐力(確定量)²⁾、 k_{hc} : 塑性率ごとの所要降伏震度(確率量)で、所要降伏

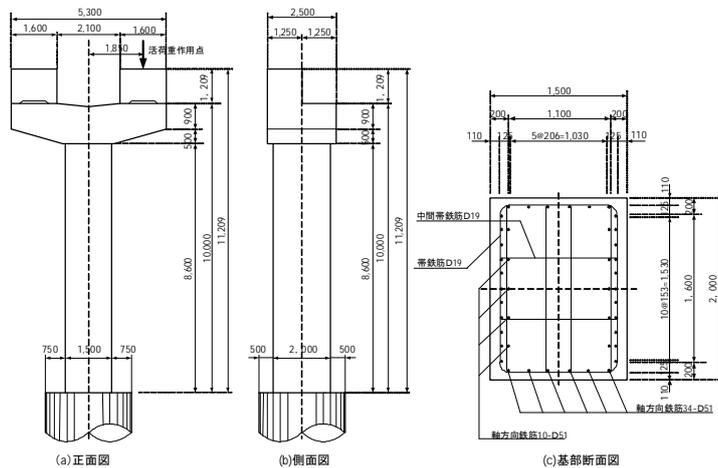


図-1 解析対象のモノレール橋脚

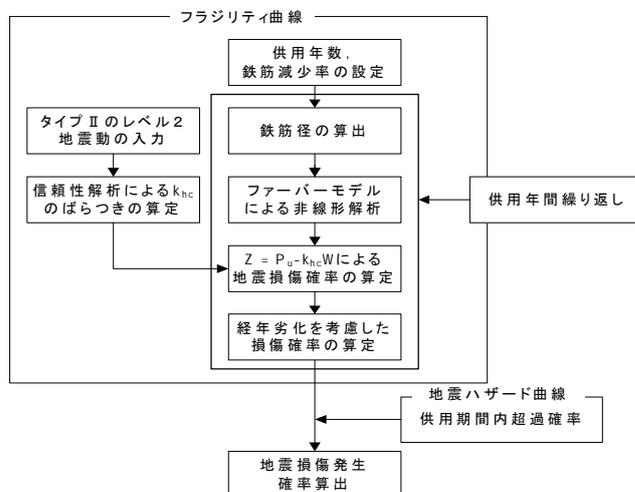


図-2 地震時損傷確率の算定手順

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。W：等価重量。ちなみに、 $Z>0$ ：安全、 $Z\leq 0$ ：危険となる。

得られた経年劣化の変動と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、図中の注釈は被災度ランクを示す。これとRC橋脚の被災状況、最大応答塑性率との関係は表-1のとおりである。

4. 数値解析結果とその考察

地震リスクを考慮した場合としない場合の維持管理計画を比較し、地震リスクの考慮の有意性について検討する。検討期間が100年、社会的割引率を0%とした場合の維持管理計画案を求めれば、図-4を得る。ただし、地震リスクを橋脚の損失費用とした。ここに、図-4(a)、(b)はそれぞれ地震リスクを考慮しない場合(Case 1)とした場合(Case 2)の100年間にわたる補修・補強の時期と工法を示す。図から明らかなように、地震リスクを考慮しない場合、補修・補強が劣化開始から数年に集中している。一方、地震リスクを考慮すれば、維持管理が劣化開始後から検討期間終了までほぼ等間隔に行われる。いずれもサービス水準とした健全度を保持するように、維持管理がなされている。

つぎに、地震リスクを考慮しない場合とした場合の最適維持管理計画案のLCCを算定したところ、図-5を得た。ここに、割引率が0%と4%の場合である。

検討期間内の維持管理費を比較すると、図から明らかなように、地震のリスクを考慮した管理費は、しない場合に比べて、1.5倍(0%)、2.25倍(4%)になる。一方、地震リスク費用は、地震のリスクを考慮した場合は、しない場合に比べて、0.21倍(0%)、0.19倍(4%)に減少する。

以上のように、日常の維持管理費が地震リスクを考慮して増額されれば、地震による損傷が少なくなり、維持管理費の総額が抑えられることになる。

社会的割引率を考慮すれば、維持管理対策は費用が軽減できる検討期間の後半に集中し、かつ地震リスクの割合が減少することが分かった。

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、地震リスクを考慮して維持管理計画を策定すれば、日常の維持管理費は増加するものの、

地震発生時の損失がかなり削減できることが分かった。

参考文献

- 1)大阪府土木部・大阪高速鉄道(株)編：大阪モノレール建設記録，1990-6.
- 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.

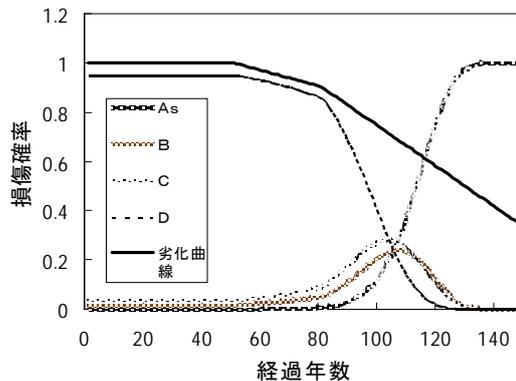


図-3 経過年数と地震時損傷確率の関係

表-1 地震による損傷度の定義

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



図-4 最適維持管理計画案 (割引率 0%)

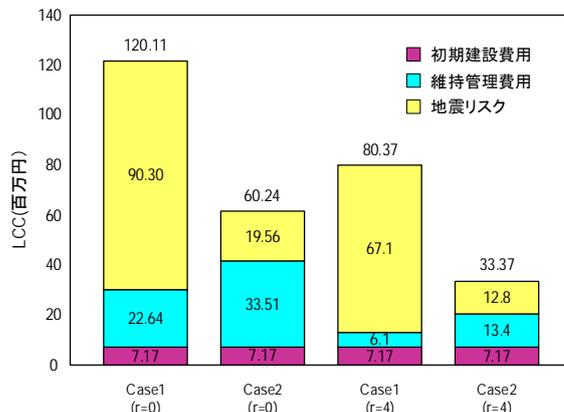


図-5 各計画案のLCCの比較