

道路橋システムの耐震性能レベル評価への MSS 手法の適用

パシフィックコンサルタンツ (株)	正会員	○森崎 啓
香川大学工学部	正会員	白木 渡
(有) シー・エー・イー	正会員	伊藤 則夫
(株) ニュージェック	正会員	保田 敬一
関西大学環境都市工学部	正会員	堂垣 正博

1. はじめに

Multi-State System¹⁾ (以下, MSS と称す) は, システムの部分損傷を定量的に評価できるシステム信頼性設計手法である.

MSS には「稼働率」, 「期待性能率」, 「性能充足率」の3つの信頼性指標があり, これら異なる3つの信頼性指標に関してそれらの目標値の満足の程度によって, システムの総合的な信頼性の評価が可能になる. この利点を橋梁の性能評価手法に応用できれば, さまざまな強度レベルの地震動に対して, 橋梁システムが保有すべき耐震性能レベルを, その構成要素である桁, 支承, 落橋防止構造, 橋脚, 基礎の性能値を用いて定量的に評価できる. 更には, 橋梁全体の性能と各構造要素の性能との関係が明確になり, 橋梁システム全体として均整のとれた耐震性能設計が可能になる.

筆者らは, MSS を橋梁の耐震設計へ応用し, 橋梁を構成する構造要素個々の性能発揮状態と, それらが橋梁全体の性能発揮状態に及ぼす影響度合いを定量的に評価することを試みている. ただし, 既往の研究^{2), 3)}では橋梁全体の性能評価への MSS の適用可能性の考究にとどまり, 構造要素間の具体的な損傷の重み付けを言及できていない.

そこで本論文では, 構造要素間の損傷の重み付けについて言及するにあたり, まずは構造要素(支承)の性能を変化させた構造解析を実施し, その結果に基づいて各構造要素の耐震性能がシステム全体の耐震性能へ及ぼす影響度合いを考察した. また, 各構造要素の橋梁全体に対する耐震性能発揮率の設定方法を提案した.

2. 構造解析条件

(1) 解析対象橋梁諸元

解析対象橋梁を図-1に示す. 当該橋梁は, 現行の耐震設計基準に準拠して設計されたものである⁴⁾.

(2) 解析モデル

解析全体モデルには, 二次元の平面骨組モデルを採用した. 橋脚を非線形部材とし, 橋脚基部に塑性回転バネを配置した. 支承は地震時水平力分散型のゴム支承とし, 弾性バネにモデル化した. 基礎は, 地盤~基礎の連成バネとしてモデル化した. 落橋防止装置は, 橋台パラペットと上部工を繋ぐケーブル式を想定した. なお, 落橋防止構造が有する強度や破壊特性等を考慮したモデル化⁵⁾は行っていない.

(3) 解析手法

構造解析手法には, 破壊が静的に進行し部分損傷プロセスが解析的に追跡しやすいプッシュオーバー解析を採用した.

(4) 解析ケース

解析ケースは, 下記の4ケースとした.

- ① Case 0: 現行の耐震設計法に基づいた支承諸元の場合
- ② Case 1: 橋脚が許容塑性率に達する時に橋脚上の支承にも許容せん断ひずみが発生する場合
- ③ Case 2: 橋脚が終局耐力に達する時に橋脚上の支承にも終局ひずみが発生する場合
- ④ Case 3: 橋脚が降伏耐力に達する時に, 橋脚上の支承に終局せん断ひずみが発生する場合

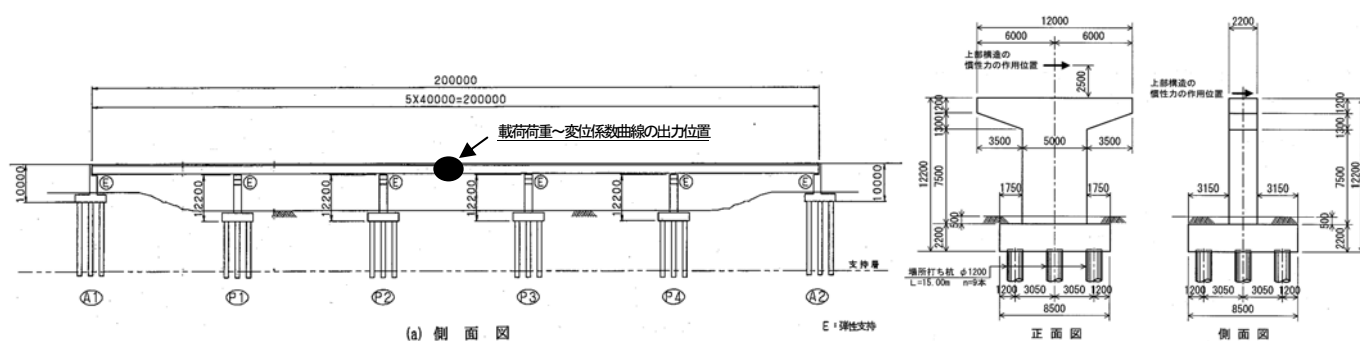


図-1 解析対象橋梁一般図⁴⁾

キーワード MSS, 性能設計, 性能発揮率, 道路橋システム

連絡先 〒541-0052 大阪市中央区安土町2-3-13 パシフィックコンサルタンツ (株) 大阪本社 TEL06-4964-2296

3. 解析結果に基づいた考察

(1) 橋梁全体の耐震性能の比較

Case 0 から Case 3 までの載荷荷重～変位係数曲線をまとめれば、図-2 を得る。ここで、変位係数とは各構造要素の終局変位を橋脚の終局時の変位で正規化した値で、橋梁全体の耐震性能発揮率を間接表現している。注目すべきは、Case 0 の変位係数～載加荷重曲よりも Case 1, 2, 3 の変位係数～載加荷重曲の方が部分的に上位に位置することである。

すなわち、支承の耐力、ここではせん断バネで評価した支承剛性、を低下させたことが、橋梁全体の耐震性能バランスへの各構造要素の寄与度を再配分させ、結果として橋梁全体の耐震性能を向上させたことを表している。しかし、Case 2 と Case 3 より、支承耐力の低下と橋梁全体の耐震性能向上との関係には限界があることがわかる。

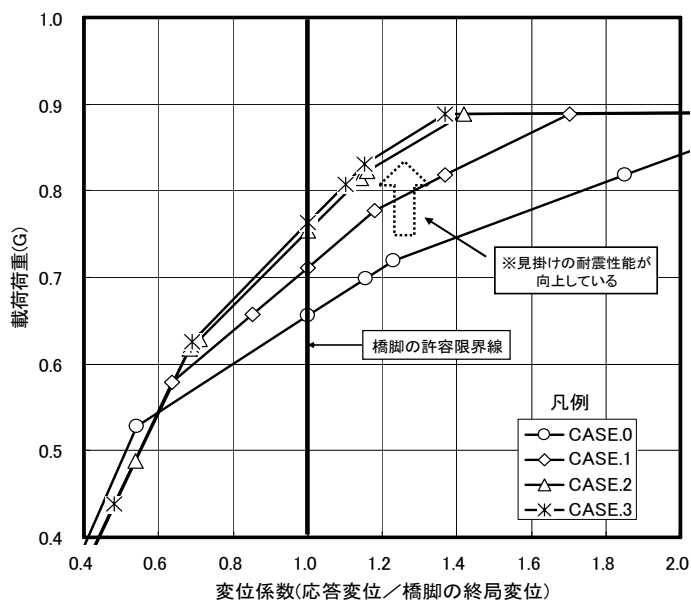


図-2 荷重－変位係数曲線 (case.0～case.3)

(2) 各構造要素の耐震性能発揮率の提案

Case 1 から Case 3 の解析結果に基づいて、各構造要素の耐震性能発揮率の設定を試みた。その具体は、各構造要素の橋梁全体に対する耐震性能発揮率を、各構造要素の終局状態に至るまでの変位をその終局変位で正規化した値と定義した。

紙面の都合上、Case 1 について、各構造要素の橋梁全体に対する耐震性能発揮率、載加荷重曲線と構造要素間の相対的な性能発揮率の関係を表-1 および図-3 に示す。なお、表-1 に示す性能発揮率は、橋梁システム全体に許容できる限界性能を「橋脚が許容塑性率」に達した時点とした場合の値である。この考え方に基づけば、橋梁システム全体に許容できる限界性能を任意に想定でき、例えば、この場合には図中の赤い波線の水平方向の位置に設定することで、各構造要素の性能発揮率をそのつど変化させて評価できる。

表-1 各構造要素の性能発揮率 (Case 1)

要素	性能発揮率
橋脚	0.85
支承 (橋台)	0.59
支承 (橋脚)	0.01

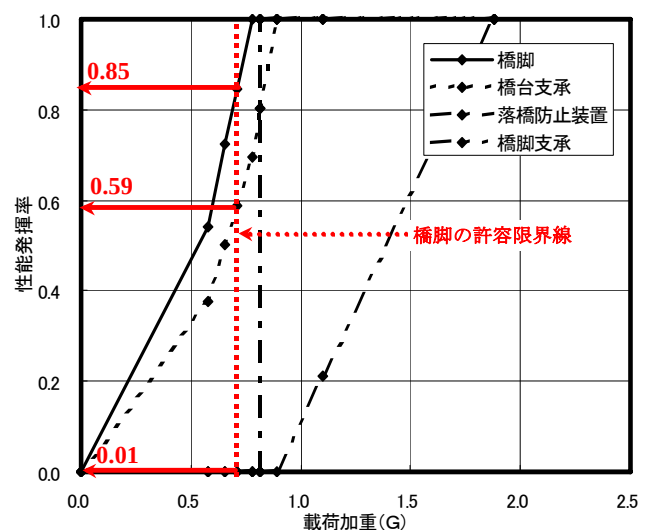


図-4 性能発揮率－荷重曲線 (Case 1)

4. あとがき

本論文では、道路橋を構成する各構造要素がシステムの性能レベルに及ぼす影響について検討した。しかし今回は、支承の剛性に着目した検討を行ったのみである。今後は桁、橋脚、基礎、等にも着目した検討を継続し、各構造要素が橋梁の耐震性能に及ぼす影響度を評価していく。また、各構造要素および橋梁システムの状態確率に関する検討を進めることで、MSS の信頼性指標 (規定性能稼働率、性能期待率、性能充足率) や橋梁システムの信頼性指標の設定に繋げ、コストのバランスも考慮した合理的な橋梁システムの信頼性設計法を提案していく。

参考文献

- 1) Lisnianski, A. and Levitin G : Multi-state System Reliability - Assessment, Optimization and Applications -, World Scientific, 2003.
- 2) 森崎啓・白木渡・堂垣正博・伊藤則夫・保田敬一 : Multi-State System による道路橋システムの最適耐震性能レベル設定法の提案, 第6回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム (JCOSAR2007), 2007.6.
- 3) Morisaki, H., Shiraki, W., Dogaki, M., Inomo, H., Ito, N., and Yasuda, K.: Evaluation of seismic performance of highway bridge system by multi-state system approach, 13th IFIP WG7.5 Working Conference on Reliability and Optimization of Structural Systems, Kobe, Japan, 2006.11.
- 4) 日本道路協会編 : 道路橋の耐震設計に関する資料, pp.2-1-2-139, 1997.3.
- 5) 土木研究センター編 : 落橋防止構造設計ガイドライン (案), pp.15-19, 2005.7.