

地震動の不確実性を考慮した既設橋梁の耐震信頼性評価に関する一考察

広島工業大学工学部 正 員 中山 隆弘 (株)四電技術コンサルタント 正 員 ○長谷川 賢路
広島工業大学大学院 学生員 児玉 明日香 広島工業大学大学院 学生員 竹本 康弘

1. はじめに

わが国における現在の道路橋示方書(耐震設計編)¹⁾では、今までに観測された最大規模の地震動を設計用地震動とする考え方が取り入れられている。したがって、新設橋梁はもちろん、既設橋の耐震補強における耐震性レベルも、一応、それらの地震動を念頭に置かなければならない²⁾。しかし、将来発生する地震動の予測においては、予測に関わる様々な不確実性を考慮することが望ましい。そこで、本研究では、観測地震動をベースにして、初期位相の不確実性を考慮してシミュレートした模擬地震動と非線形動的解析とによって、既設鉄筋コンクリート橋脚の信頼度について検討した。

2. 解析概要

対象とした既設鉄筋コンクリート橋梁³⁾を図-1 に示す。本橋梁は昭和 43 年 3 月に改訂された「道路橋下部構造設計指針」に従って設計されたものであり、上部工重量は 1607.7tf である。また、現行の道路橋示方書の分類に代え、建設地点の地域区分は B、地盤種別は I 種（洪積地盤）、橋梁の重要度は 1 級である。

図-2 に動的解析モデルを示す。モデル化においては、上部工を線形はり要素、橋脚を非線形はり要素、橋脚基部に生じる塑性ヒンジを非線形ばね要素でモデル化した。なお、はり要素の非線形特性については、静的解析である保有耐力法によって算定した「曲げモーメント-曲率関係」を、ばね要素については「曲げモーメント-回転角関係」を Tri-linear モデルで評価し、その履歴特性は Tri-linear 型武田モデルで与えられるものとした。減衰については、Rayleigh 型の減衰モデルを用い、橋脚に 2%、上部工に 3%、基礎に 10%を与えた。

次に、入力地震動については、兵庫県南部地震時に神戸海洋気象台地盤上で観測された実際の観測地震動をベースとし、非定常スペクトル解析で得られた位相と振幅の非定常性を考慮したシミュレーション法⁴⁾によって発生させた 50 ケースの模擬地震動とした。ただし、模擬地震動の最大加速度の平均値は 548Gal である。また、本研究における地震応答解析は非線形動的解析とし、市販の汎用動的 FEM プログラム TDAPⅢを使用した。

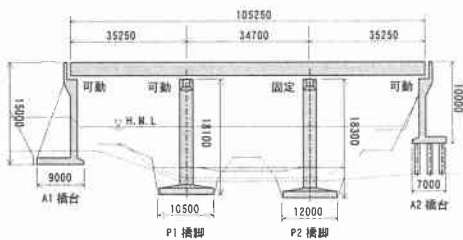


図-1 対象橋梁一般図

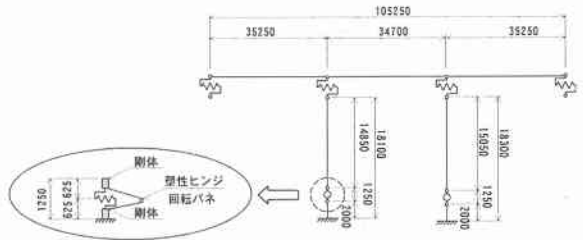


図-2 動的解析モデル

橋梁の耐震安全性については、非線形動的解析によって算定される「P2 橋脚基部の塑性ヒンジ部に生じる最大回転角」が「橋脚の終局回転角」を超過するかどうかで評価するとともに、各模擬地震動に対する最大回転角を最大値分布である Gumbel 分布にあてはめて、最大回転角が終局回転角を超過する確率（以後、破壊確率と略す）を算定した。なお、今回は橋軸方向の耐震安全性のみを評価の対象としている。

3. 解析結果

模擬地震動 50 ケースに対する P2 橋脚基部の塑性ヒンジ部に生じる最大回転角を図-3 に示す。

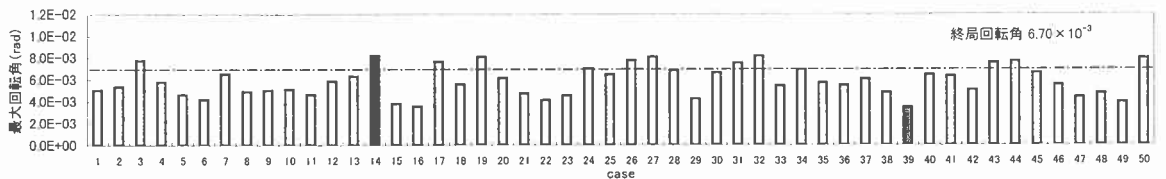


図-3 橋脚基部の塑性ヒンジ部に生じる最大回転角

この結果より、橋脚基部の塑性ヒンジ部に生じる最大回転角はcase39とcase14の比較によって、およそ2.4倍の差が生じており、地震動の違いによって大きく異なることがわかる。case39の地震動は最大加速度が529Gal、case14は605Galと、地震動の最大加速度の違いも一つの要因であると考えられるが、それ以上に地震動の特性の違いが、このような大きな差の要因であるものと考えられる。

表-1に最大回転角をGumbel分布に当てはめて算定した破壊確率と、動的解析によって算定した破壊確率とを比較した結果を示す。これより、今回、解析の対象とした既設橋梁の、平均最大加速度を約550Galとした地震動に対する耐震信頼性はかなり低いと言える。なお、図-4に示すように、最大回転角の頻度分布がGumbel分布からかなりずれていることは明らかである。これについては、今後さらに解析数を増やしてシミュレーションを行う必要があると考えられ、現在、模擬地震動を100ケースとした検討を行っている。参考のために、図-5に、入力地震動の最大加速度の頻度分布を示しておく。

さらに、応答解析結果の中で、橋脚の最大回転角が最大となったcase14と最小となったcase39の入力地震動の時刻歴波形を図-6に、橋脚の回転角の時刻歴応答波形を図-7に示す。これらの図からも、入力地震動の特性の違いが、応答結果に極めて大きな差をもたらすことが確認できる。

ともかく、今回の解析結果は、将来の予測が不可能な地震動を模擬的に作成し、橋梁の安全性を確率論的に照査する方法の必要性を示唆しているものとする。

4. まとめ

本研究では、地震動の初期位相の不確実性に着目して、その不確実性が橋梁の安全性に及ぼす影響を定量的に検討し、確率的に橋梁の安全性を照査する方法の重要性を示した。今後、初期位相のみでなく、他の不確実性も考慮した模擬地震動をシミュレートできる手法を確立し、橋梁建設あるいは既設橋梁のリスク解析手法を確立する必要がある。

4. まとめ

本研究では、地震動の初期位相の不確実性に着目して、その不確実性が橋梁の安全性に及ぼす影響を定量的に検討し、確率的に橋梁の安全性を照査する方法の重要性を示した。今後、初期位相のみでなく、他の不確実性も考慮した模擬地震動をシミュレートできる手法を確立し、橋梁建設あるいは既設橋梁のリスク解析手法を確立する必要がある。

なお、本研究は文部省私立大学ハイテク・リサーチ・センター整備事業の一環として実施されたものであり、関係各位に本紙面を借りてお礼を申し上げる。さらに、位相の非正常性を考慮した新たな地震動シミュレーション法によって発生させた地震動を提供していただいた藤原豪紀氏（梶谷エンジニアリング（株））に謝意を表する。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V耐震設計編，1996年12月。
- 2) Nakayama T., Sakate M., Okada T.: Numerical study on the enhancement of earthquake-resistance of reinforced concrete bridge piers, Structural Safety and Reliability (Proc. of ICOSSAR'97), Balkema, Rotterdam, pp. 1941-1944, 1998.
- 3) 坂手道明, 中山隆弘, 井上陽介, 長谷川賢路：既設橋の合理的耐震補強法に関する一提案，構造工学論文集, Vol. 45A, pp. 915-923, 1999. 3.
- 4) 藤原豪紀・中山隆弘：位相の非正常性を考慮した新たな地震動シミュレーション法の開発。（土木学会論文集投稿中）

表-1 破壊確率の比較

入力地震動	
動的解析による破壊確率	0.28
Gumbel分布に基づいた破壊確率	0.30

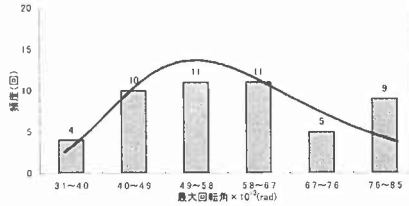


図-4 最大回転角の分布

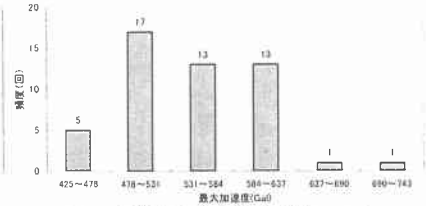


図-5 入力地震動の最大加速度の分布

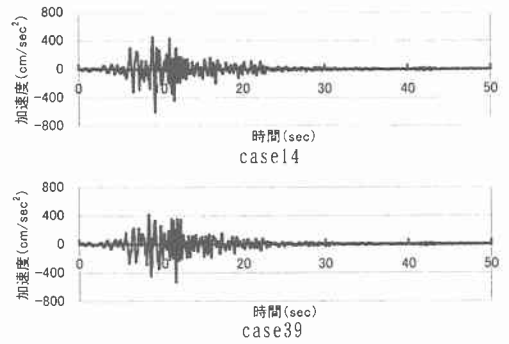


図-6 入力地震動の時刻歴波形

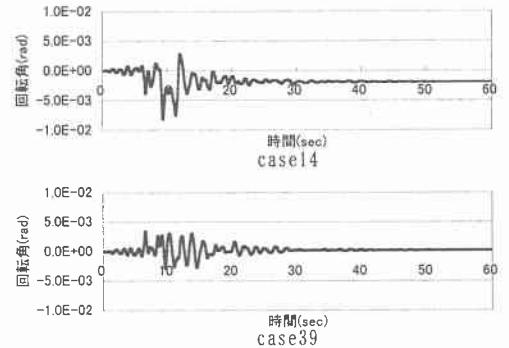


図-7 P2 橋脚の回転角の時刻歴応答波形