

地震時における橋脚及び支承の健全度評価に関する研究

熊本大学大学院 学生会員 ○濱田 祐輔 熊本大学工学部 正会員 松田 泰治
熊本大学工学部 正会員 藤見 俊夫

1. はじめに

日本の土木分野が扱う社会基盤は、運輸関連施設、エネルギー、ライフライン関連施設など、公共性の高い施設が多い。これらの施設が何らかの原因で機能停止した場合には人的被害、経済的被害など社会的影響は甚大なものとなる。本来、道路や橋梁などをネットワークとして捉え、その機能を定量評価し、運用していかねばならない。そのために、社会基盤施設をネットワークとして捉えたリスクマネジメントの考え方の導入が不可欠である。しかし、ネットワーク機能を定量評価するには、前段階として個別の施設における機能の定量評価が必要不可欠であるのだが、現状では確定論的にしか評価が行われていないといえる。

本研究では、実在する施設の様々な不確定性を考慮し、定量評価を行うことを目的としており、今回、橋梁システムに着目し定量評価を行った。道路網をネットワークとして捉えたとき、その中には、過去の耐震基準法で建てられたものなど様々な橋梁が混在しており、同一の地震荷重に対して、それぞれの破壊確率を評価する必要がある。そのため、橋梁の動的特性に影響を及ぼす支承及び橋脚基部の構造パラメータに不確定性を与えるとともに、橋脚基部の降伏耐力を変化させて解析を行い、地震時の最大加速度と損傷の関係を示す、損傷度曲線を作成した。

2. 対象構造物と解析条件

道路橋示方書に示されるⅡ種地盤 A 地域の支承条件を固定として断面設定された非免震橋脚（杭基礎）、PC 箱桁及び反力分散ゴム支承から構成される 12 径間の連続 PC 箱桁橋の橋脚 1 本を対象とした。解析モデルを図-1 に示す。桁は桁の中心で

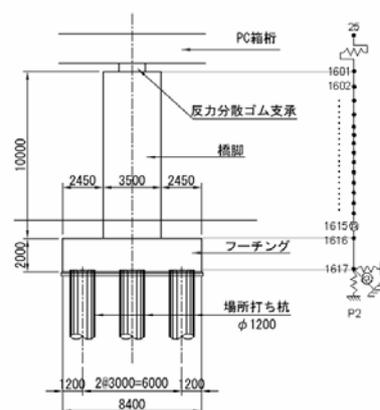


図-1 解析モデル

一質点にモデル化（節点 25）し、フーチングを含む RC 橋脚は線形の二次元はり要素、橋脚基部の塑性ヒンジ部に弾塑性回転ばねを設けた。また、これらの復元力特性として武田モデルを用いた。基礎は道路橋示方書に基づき、水平、鉛直、回転及び水平と回転の連成ばねでモデル化した。反力分散ゴム支承は弾性ばねでモデル化した。減衰定数は橋脚基部の弾塑性ばね及び橋脚の線形の二次元はり要素を 2%、反力分散ゴム支承の弾性ばねを 3% とした。減衰タイプはひずみエネルギー比例型と等価な減衰行列としている。

解析には T-DAPⅢを用い、解析方法は直接積分法による時刻歴応答解析とした。用いた数値計算法は Newmark β method ($\beta=0.25$) である。時刻刻みは既往の研究で実績のある 0.001 秒とした。検討用の入力地震動は道路橋示方書の標準波である、Type II-II-1、Type II-II-2、Type II-II-3 を用い、それぞれの最大加速度が 100gal、200gal、…、1000gal の 10 段階に倍率を変化させた 30 波を用いた。

3. モンテカルロシミュレーション

不確定性を考慮した構造パラメータは、非線形を考慮する必要のある橋脚基部の弾塑性回転ばねにおけるばね定数、ひび割れ回転角、降伏回転角、剛性低下率 1、剛性低下率 2 と反力分散ゴム支承の水平ばねにおけるばね定数の計 6 パラメータとした。このパラメータを変動係数 10% としてばらつかせ、100 ケース作成した。さらに橋脚基部の降伏耐力を 1.0、0.9、…、0.5 の 6 段階に低減させた場合の影響についても検討した。

4. 損傷度の基準

結果を検討する際、既往の研究を参考に、応答値である反力分散ゴム支承の変位と橋脚の曲率について地震作用に対する部材の健全性や、損傷度合いを示す健全度レベルの組み合わせに基づく性能水準を、表-1 のように設定した。また、図-2 は曲げ破壊型の鉄筋コンクリート橋脚の荷重と変位の関係における健全度レベルを示してい

る。

表-1 性能水準と健全度レベルの組合せ

	使用限界状態	損傷限界状態			終局限界状態
性能水準	性能水準1	性能水準2	性能水準3	性能水準4	性能水準4
反力分散 ゴム支承	健全度レベル1 せん断ひずみ 150%未満	健全度レベル2 せん断ひずみ 150%以上 250%未満	健全度レベル3 せん断ひずみ 250%以上 350%未満	健全度レベル4 せん断ひずみ 350%以上	健全度レベル4
橋脚基部	健全度レベル1 図・2参照	健全度レベル2 図・2参照	健全度レベル3 図・2参照	健全度レベル4 図・2参照	健全度レベル4

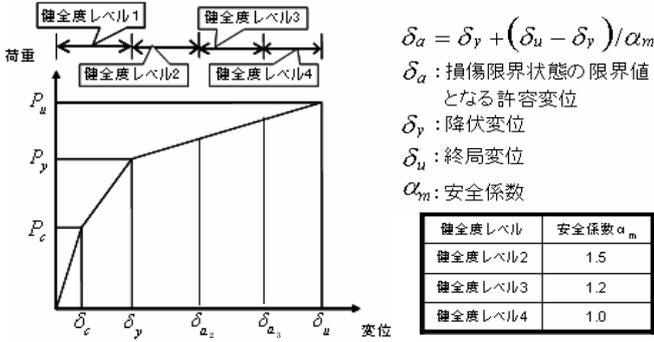


図-2 荷重と変位の関係

結果として得られた応答値が、それぞれの健全度レベルの範囲に存在するときの確率を求め、加速度との関係を示した損傷度曲線として以下の図に示す。

また、損傷度の領域を次のようにする。

- ①：健全度レベル 1 ②：健全度レベル 2
- ③：健全度レベル 3 ④：健全度レベル 4

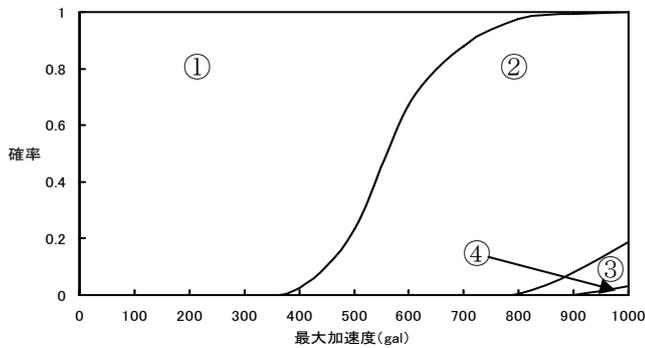


図-3 橋脚基部の損傷度(基部の耐力 1.0)

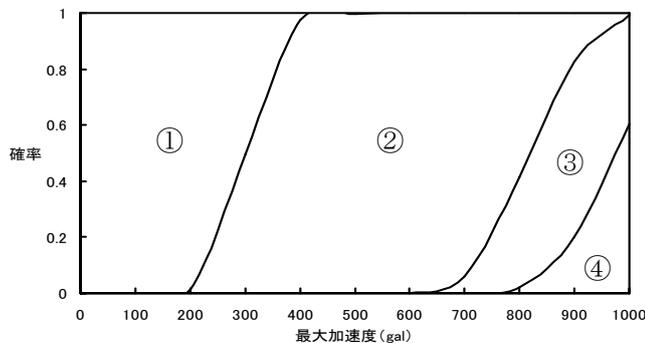


図-4 橋脚基部の損傷度(基部の耐力 0.5)

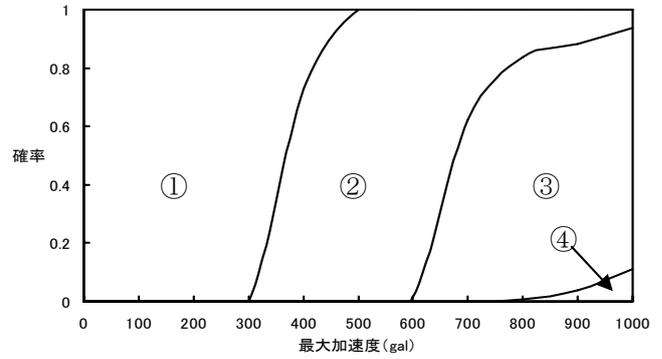


図-5 支承の損傷度(基部の耐力 1.0)

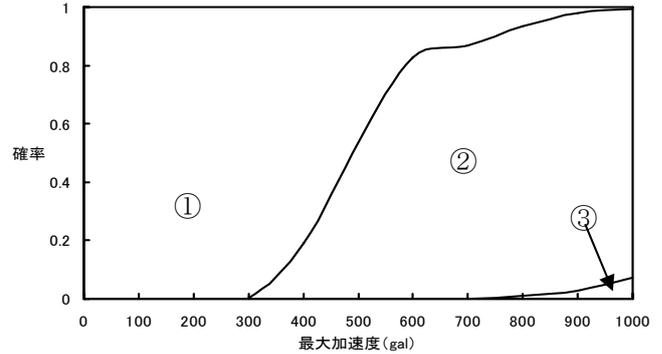


図-6 支承の損傷度(基部の耐力 0.5)

最大加速度 500gal において、基部の降伏耐力 1.0 の橋脚基部では健全度レベル 2 に達する確率がおよそ 0.2 なのに対し、降伏耐力 0.5 では全てのケースで健全度レベル 2 に達している。一方で、支承は基部の降伏耐力 1.0 の場合、全てのケースで健全度レベル 2 に達しているのに対し、降伏耐力 0.5 の場合、健全度レベル 2 に達する確率はおおよそ 0.5 である。

6. まとめ

橋脚基部の降伏耐力を低減させるにつれて、橋脚基部では健全度レベルが低い領域に存在する確率が増加する(損傷度曲線が左へ移動)。逆に反力分散ゴム支承では健全度レベルが高い領域に存在する確率が増加する(損傷度曲線が右へ)傾向が見られた。

今後、この損傷度曲線を利用し、地震リスクの定量評価および評価手法の検討に取り組んでいく。

7. 参考文献

- 1) 松田泰治, 高森麻有美他: 不確定性を考慮した免震橋梁の性能評価に関する一考察, 構造工学論文集 Vol.53A
- 2) 日下部毅明, 谷屋秀一, 吉澤勇一郎: 道路施設に対する地震の防災投資効果に関する研究, 国土技術政策総合研究所資料, 第 160 号, 2004 年 3 月
- 3) 土木学会: 橋の動的耐震設計