

道路橋における地震と劣化要因ごとによる複合被害発生 の検討

中央大学 学生会員 ○松尾 翔太 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

日本は地震大国であり、近年では大規模地震が発生している他、今後も大規模地震の発生が想定されている。それに加えて、全国各地で橋梁の劣化が問題となっている。写真-1は、実際に2016年4月に発生した熊本地震で損傷した緑川橋である。橋台部の支承は地震時に損傷を受けやすい部位であるが、雨水排水などの影響を受けやすい。これが原因で腐食により劣化したことが地震発生時の損傷を顕在化させたと思われる。このことから今後、劣化した橋梁への地震による損傷被害がより多く発生することが予想される。

地震発生に伴う橋梁の損傷被害は交通機能に大きく影響を及ぼし、その結果、避難や救助活動などに支障をきたす。地震時の橋梁の損傷被害に伴う交通機能への影響を緩和するためには、橋梁の補修優先度の把握が課題となる。そのためには地震発生による各橋梁の損傷被害、そして、橋梁の劣化の要因、程度による被害の評価、検討が必要となる。

そこで本論文では道路橋を対象とし、劣化による構造性能の評価を行い、地震発生時の橋梁の複合被害の発生確率を算出・検討することを目的とする。

2. 対象地域の選定

対象地震は南海トラフ巨大地震とし、詳細は表-1¹⁾に示す。対象地震の発生で特に被害が大きいと想定される地域として近畿地方と四国地方が挙げられる。その中で国土交通省が公表している長寿命化修繕計画に基づく修繕実施状況の割合が低く、また、最新の橋梁の定期点検結果を比較して、橋梁被害が大きいと想定される近畿地方の和歌山県、京都府、福井県の3府県を対象とする。

3. 研究手法

複合被害発生確率を算出するにあたり、R(耐力)とS(作用力)それぞれの確率分布に従う乱数を発生させてシミュレーションを行い、モンテカルロ法を用いて算出することとする。

3-1 作用力(S側)の設定

評価する地震力を作用力Sとして考える。また、今回は水平方向のみを考慮し、地震力は震度法を用いて式(1)で算出する。

$$S = \frac{\alpha_h}{g} W = k_h W \quad (1)$$

ここで α_h は地震によって地盤が受ける水平加速度[cm/s²]、gは重力加速度[cm/s²]、Wは重量[N]である。式(1)で加速度を用いるが、対象地震は加速度データが存在しない。そこで、加速度を算出するために、計測震度と地震加速度の関係を示した式(2)を用いる。²⁾



写真-1 緑川橋の支承の損傷状況

表-1 S側で考慮する地震動

	マグニチュード	震源深さ
南海地震	7.0~9.0	10~30km
東海地震		
想定東南海地震		

表-2 健全度と許容応力度設計法における各種応力の設定

健全度	設定値
I	許容応力度 σ_a の1.5倍
II	許容応力度 σ_a の1.25倍
III	許容応力度 σ_a
IV	許容応力度 σ_a の0.5倍

$$\alpha = 10^{\frac{1}{2}(I-0.94)} \quad (2)$$

ここで α は地震加速度[cm/s²]、Iは計測震度である。また、震度は式(3)の距離減衰式³⁾を用いて算出する。

$$I = 1.36M_j - 4.03 \log_{10}(X + 0.00675 \times 10^{0.5M_j}) + 0.0155h + 2.05 + C_i \quad (3)$$

ここで M_j はマグニチュード、Xは震央距離[km]、hは震源深さ[km]、 C_i は岩盤相当の地震動に補正する係数(=0.416)である。予測震源域で過去に発生した地震の震央位置を基に範囲を設定し、その範囲の中心点を震央位置とする。また、 M_j はマグニチュード発生頻度がGutenberg-Richter則より、指数分布に当てはまるため、指数分布に従う乱数を発生させ求める。hは一様乱数を用いて変動性を与えることとした。

3-2 耐力(R側)の設定

地震力が作用した際に橋梁が損傷する箇所は、主

に支承や橋脚である。よって、考慮する耐力は、支承部と橋脚における耐力の2つとしていくが、本報告では支承部に限定して結果を紹介する。また、耐力Rは劣化の影響で時間経過によって低下していく。この劣化推移を劣化要因別に算出できるように、内山⁴⁾により構築された進行型変数マルコフモデル修正法を用いて予測し、算出した遷移確率行列から劣化による耐力低下の確率モデルを作成する。確率モデルについては佐竹⁵⁾が作成したGammaモデルを用いた耐力劣化モデルがある。このモデルを用いるにあたり、使用する健全度と許容応力度設計法における各種応力の設計値を表-2のように設定し、耐力を算出する。

3-3 解析モデル

解析するモデルは、1径間30m、計2径間全長60mで図-1⁶⁾に示す設計例とする。また、支承は1径間に8つとし、そのうちの1箇所の耐力を地震力が上回った時、破壊とする。橋脚においては、せん断耐力と曲げ耐力のどちらかを地震力が上回った場合に破壊とする。

このモデルを用いて、橋梁における地震と劣化の複合破壊確率を算出していく。

3-4 劣化要因について

対象地域の福井県は塩害地域区分Bに指定されているため、本論文では塩害を劣化要因として検討を進める。塩害による影響はコンクリート標準示方書に示されている離岸距離ごとの表面塩化物イオン濃度の関係を用いて考える。支承部では塩分到達後、直ちに腐食が始まり、橋脚部では塩分がコンクリート内部へ浸透し、鉄筋に到達後、鉄筋腐食が始まる。ここでは前者について考える。また、離岸距離別の鉄筋腐食速度の算出を行い、この速度に与える影響を確率指数で算出し、これを劣化要因変数としてマルコフモデルに導入した。

4. 解析結果

塩害を考慮した東海地震と想定東南海地震における複合被害の発生確率算出結果を図-2、図-3に示す。支承部の場合腐食が始まり、複合被害発生確率も速やかに増大する。図-2、図-3から、東海地震ではほぼ同じ震源距離の福井県と京都府で発生確率に差が表れており、このことから、塩害が劣化進行速度に影響を与え、塩害による劣化が橋梁の補修優先度を高める要因の一つであると考えられる。しかし、東南海地震では塩害地域に指定されている福井県とその他2府県の劣化推移にあまり変化が見られない。その理由としては、震源からの距離に大きな差があり、塩害の影響に関係なく、地震動の大きさが被害発生の要因に大きく影響しているためであると考えられる。

5. おわりに

本論文では、耐力劣化を表す確率モデルを算出し、作用力では、地震力算出において必要な確率分布を設定した。また、塩害における劣化要因変数を算出し、複合被害の発生確率の算出を行った。

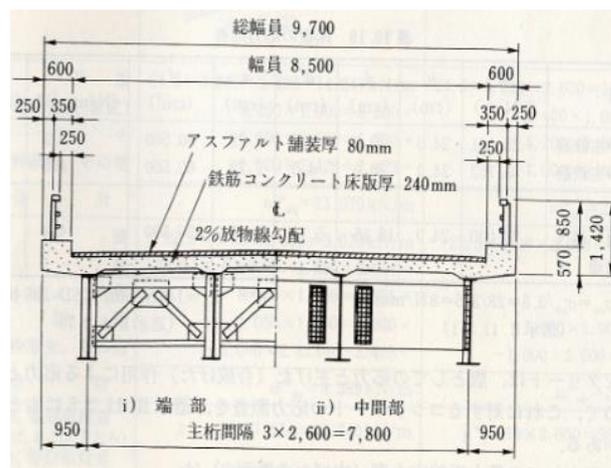


図-1 解析モデルの断面図

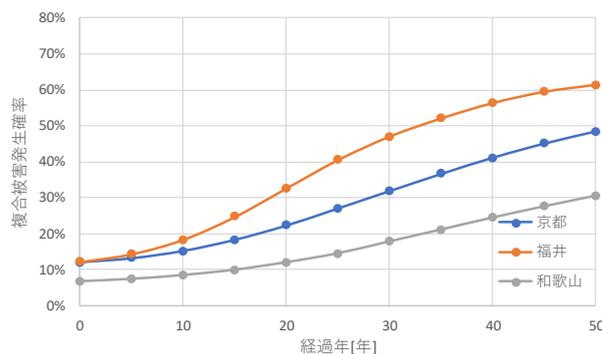


図-2 東海地震での複合被害発生確率

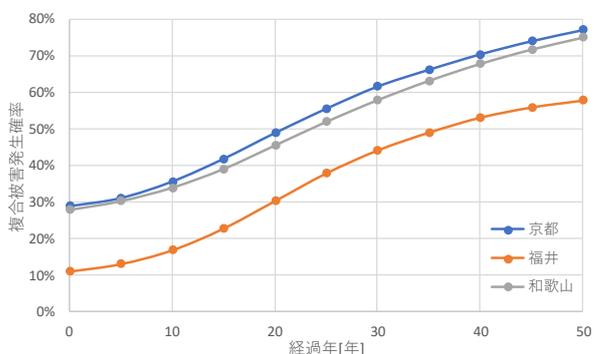


図-3 想定東南海地震での複合被害発生確率

今後の課題として、橋脚の解析を進めていき、複合被害の発生確率の算出を行う。その後、塩害以外の要因の解析も行っていくこととする。

参考文献

- 1) 南海トラフ地震で想定される震度や津波の高さ, 気象庁, 2013年
- 2) 計測震度の算出方法, 気象庁
- 3) 断層近傍まで適用可能な震度の距離減衰式の開発, 松崎伸一ら, 2006年
- 4) 床版の劣化予測を考慮した橋梁維持管理システムの構築, 内山典之,
- 5) 劣化橋梁の地震・積雪複合作用に対する破壊確率評価, 佐竹基治, 2015年度中央大学修士論文
- 6) 新編橋梁工学(第5版)共立出版株式会社, 中井博・北田俊行, 2013年