

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を検討

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。



写真-1 緑川橋の支承の損傷状況

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。

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

ここで a_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⁾

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		
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

キーワード 補修優先度、マルコフモデル、劣化要因、塩害、疲労

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 Tel 03-3817-1816 Fax 03-3817-1803

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

支承の劣化要因として主に塩害による腐食劣化と交通荷重による疲労劣化が挙げられる。そこで本論文では、塩害と交通荷重による疲労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、この速度が劣化に与える影響を確率で算出し、これを劣化要因変数とした。

疲労による影響は、平成27年度の一般交通量調査から対象地域の24時間平均交通量の結果⁷⁾より、支承に作用する荷重を算出し、その荷重を用いて支承への影響度を確率で算出し、劣化要因変数とした。

上記で算出した劣化要因変数をマルコフモデルに導入し、劣化を考慮していく。

4. 解析結果

塩害と疲労を考慮した京都府と福井県の東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。図-2、図-3から、京都府では塩害に比べて疲労による劣化の方が、被害発生確率が少し小さくなっていることが分かる。一方、福井県では塩害による劣化の被害発生確率が疲労による劣化よりも大きくなっていることが分かる。これは、京都府においては交通量が多く、塩害による影響も小さいためであり、疲労が劣化進行を速め、補修優先度を高める要因となることが考えられる。福井県においては、塩害の影響を大きく受け、また、交通量もそこまで多くないためであり、塩害が劣化進行を速め、補修優先度を高めていることが分かる。この結果よ

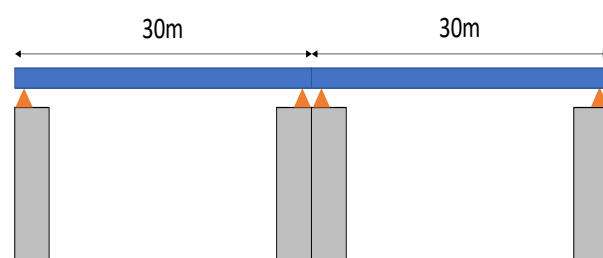


図-1 解析モデルの側面図

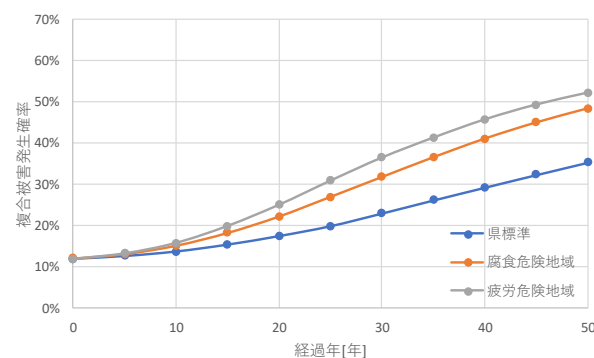


図-2 京都府の東海地震での複合被害発生確率

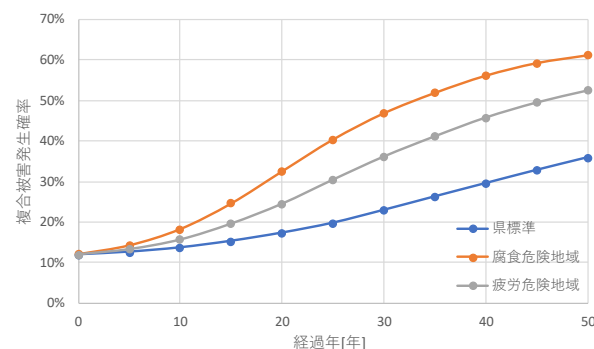


図-3 福井県の東海地震での複合被害発生確率

り、各府県によって補修優先度に影響を与える劣化要因が異なり、各府県でそれぞれ異なる補修対策を行っていくことが必要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、塩害と疲労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。

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・疲労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
- 7) 平成27年度全国道路・街路交通情勢調査，国土交通省，2016年