

耐震性に着目した予防保全型の維持管理手法に及ぼす余震活動の影響

鹿児島大学大学院 学生会員 ○大森広哉
鹿児島大学 正会員 木村至伸

1. はじめに

高度経済成長期において大量の橋梁が建設され、その多くが現在も使用されている。橋梁を長期にわたり安全な状態で供用し続けるためには、定期的な点検や適切な時期に修繕を行い、橋梁の長寿命化を目指す必要がある。現在は予防保全型の維持管理が多く採用されているが、その修繕時期の管理水準に耐震性は考慮されていない。既往の研究¹⁾においては、耐震性を考慮した維持管理シナリオの検討が行われている。しかし、地震大国である我国においては断続的に発生する地震動による累積的な損傷も考慮しておく必要がある。そこで本研究では、本震-余震型の地震活動を対象に、余震が維持管理シナリオに与える影響について検討を行った。

2. 経年に伴う剛性低下

中島ら¹⁾は、鹿児島県薩摩川内市が管理するコンクリート橋を対象に、耐震性に着目した予防保全型の維持管理シナリオを提案している。ここでは、次式によって鉄筋の腐食前後の断面積の比を表わす断面欠損係数 ξ と経年の関係、および断面欠損係数 ξ と剛性比の関係から経年に伴う剛性低下の導出を行い、経年に伴う損傷拡大を基に維持管理シナリオを検討している。詳細は文献¹⁾を参考にされたい。

$$\xi = A_s^*/A_s = ((D_s) - 2v(t - T_i))^2 / (D_s)^2 \quad (1)$$

$$M_u = bd^2pf_y(1 - pf_y/1.7f'_c) \quad (2)$$

$$M_u^* = bd^2\xi pf_y(1 - pf_y/1.7f'_c) \quad (3)$$

$$M_u^*/M_u = k^*/k = ((1.7f'_c - \xi pf_y)/(1.7f'_c - pf_y))\xi \quad (4)$$

ここで、 D_s は軸方向鉄筋(mm)、 t は経年(year)、 A_s は鉄筋の断面積(mm²)、 A_s^* は t 年後の鉄筋の断面積(mm²)、 v は腐食速度(mm/year)、 T_i は剛性低下開始時期(year)、 M_u はRC部材の曲げ耐力、 M_u^* は腐食後のRC部材の曲げ耐力である。本研究では、この手法に従い剛性低下ならびに損傷指標 D を算出した。解析モデルは、Tri-Linear型復元力特性を有する1自由度振動系である。減衰定数は5%、初期固有周期は0.5(sec)としており、降伏変位は限界状態IIを想定し設計地震動(本震)に対して目標塑性率 $\mu=2.0$ を満足する値である。図1に、剛性低下開始時期の不確定性を考慮した経年と剛性低下の関係¹⁾を示す。図2は図1に示した剛性低下を用いた際の経年に伴う損傷指標の拡大を示したものである。これらの結果は中島ら¹⁾が示している結果と同等であることを確認した。本研究では、図2に示した経年に伴う損傷指標の拡大、つまり、耐震性に着目した予防保全型の維持管理シナリオに余震が及ぼす影響について検討を行う。

3. 余震を考慮した模擬地震動の作成

本研究では、本震後に同様の震動特性を有する余震が1波発生するものとし、模擬地震動を作成した。余震の最大加速度は距離減衰式²⁾に従うものとした。

$$\log_{10}PGA = 0.5M_j - \log_{10}(R + 0.006 \times 10^{0.51M_j}) - 0.0033R + 0.59 \quad (5)$$

ここで、 PGA は最大加速度(gal)、 M_j は気象庁マグニチュード、 R は震源距離(km)を示す。図3に余震マグニチュー

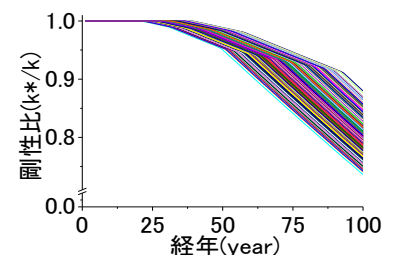


図1 不確定性を考慮した剛性低下¹⁾

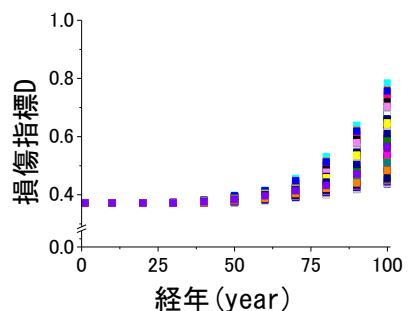


図2 経年に伴う損傷拡大¹⁾

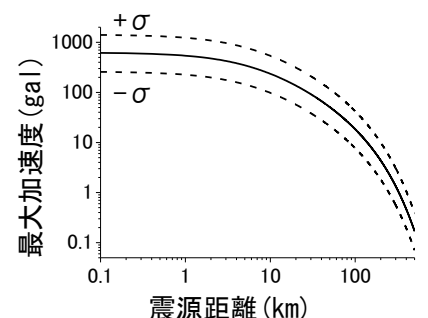


図3 距離減衰式($M_j = 6.0$)

キーワード 維持管理, 剛性低下, 余震, 損傷拡大

連絡先 〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学 PG Tel 099-285-8469

ドを 6.0 とした場合の震源距離と最大加速度の関係を示す。余震の最大加速度は、震源距離に応じた値を用いた。一例として、レベル 2 地震動の II-II-1 波形を対象に、震源距離 10km 地点で余震活動が発生したと仮定した場合の最大加速度を反映させた模擬地震動を図 4 に示す。

4. 経年に伴う損傷評価

図 2 と同様の手法により、模擬地震動が作用した場合の損傷評価を行う。図 5 に模擬地震動を作用させた場合の経年に対する損傷拡大を示す。図より、経年に伴い損傷指標 D のバラツキが拡大しており、100 年経過時の損傷評価は最大で $D=0.82$ であることが分かる。図 2 に示した本震に対する評価と比較した結果、本震のみを対象とした場合は 100 年目経過時の損傷が $D=0.44\sim 0.78$ であるのに対し、余震の影響を考慮することによって $D=0.45\sim 0.82$ を示しており、余震活動に伴い損傷がより拡大することが示唆された。

次に、余震発生位置の影響について検討した。余震の震源距離を 0.1, 10, 50km とし、式(5)より得られる余震の最大加速度を反映させた模擬地震動を用いて同様の損傷評価を行った。図 6 に、各震源距離に対する損傷指標の平均値を示す。本震のみの場合と比較した結果、震源距離が 50km 以上離れた場合、本震のみとした場合と差異が認められず、余震の影響はないと判断される。震源距離が 10km の場合は、僅かながら損傷が拡大している。しかし、震源距離が 0.1km の場合においては、余震の影響により建設当初から許容される損傷を上回っている。また、本震のみ作用した場合の損傷が建設時から 100 年経過時にかけて $D=0.38$ から $D=0.53$ と割合にして 1.4 倍ほどの損傷拡大が認められているのに対し、震源距離 0.1km においては $D=0.45$ から $D=0.75$ と約 1.7 倍の損傷拡大が認められた。これらの結果を踏まえて、耐震性に着目した維持管理シナリオに対して余震が与える影響について検討する。

5. 耐震性に着目した予防保全型の維持管理シナリオへ及ぼす余震の影響

耐震性に着目した維持管理シナリオにおける橋梁の修繕時期に対して余震が与える影響について検討するため、経年に伴い損傷が拡大する結果を基に超過確率を算出した。中程度の損傷まで許容するものとして、損傷の状態が中程度の損傷から大被害へと拡大する損傷指標の境界となる $D=0.4$ をしきい値とした際の超過確率を図 7 に示す。図より、例えば超過確率 50% について比較すると、本震のみの場合は 65 年、震源距離 10km において余震が発生することを考慮した場合には 60 年経過時に修繕を検討する必要があると判断できる。このように、想定する余震の震源距離に応じた超過確率の推移を確認できた。つまり、任意地点で余震が発生した場合の構造物の損傷拡大を推定し、余震による影響を考慮した予防保全型の維持管理シナリオを計画することが可能であると示唆された。

6. まとめ

本研究では、余震活動が耐震性に着目した予防保全型の維持管理シナリオに及ぼす影響について検討した。その結果、余震の発生位置によっては、本震に着目した予防保全型の維持管理シナリオよりも事前に対策を行う必要があることを示した。今後は、余震規模や余震の震動特性に着目した検討が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 中島祥太ら:劣化速度を考慮した耐震性能評価に基づく維持管理手法についての一考察, 土木構造・材料工学論文集 第 38 号, pp42-49, 2) 福島美光:断層近傍まで適用可能な最大加速度の距離減衰式の導出, 清水建設研究報告, 第 63 号平成 8 年 4 月

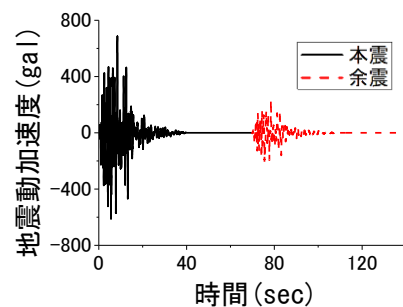


図 4 余震を考慮した模擬地震動

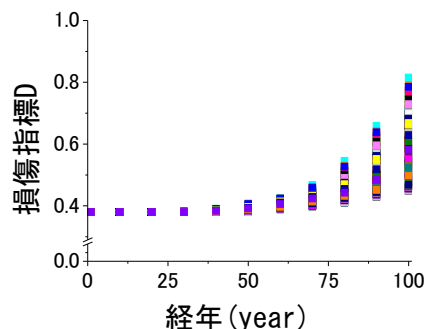


図 5 経年に伴う損傷拡大
(余震の震源距離 10km)

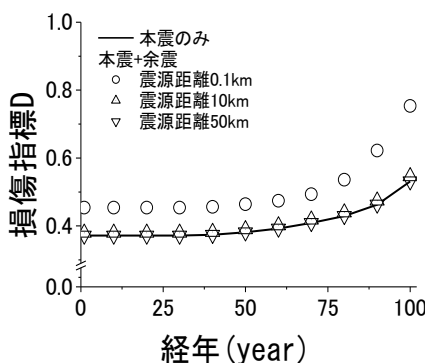


図 6 経年ごとの損傷の平均値

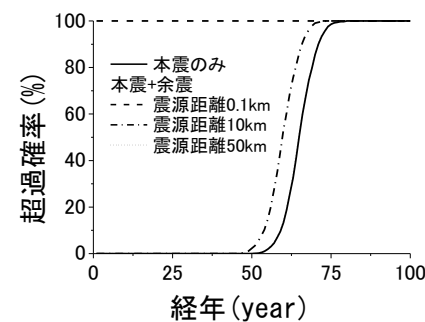


図 7 超過確率