

橋梁の地震・積雪複合作用に対する破壊確率評価

中央大学大学院 学生員 ○佐竹 基治  
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

災害大国である我が国では、時として複数の災害に見舞われ、いわゆる複合災害の様相を呈する事例が見受けられる。一般的に複合災害は、単独の災害に比べて被害が深刻化しやすい傾向にある。加えて我が国は地震大国である一方、国土面積の半分以上が豪雪地帯に指定された豪雪大国である。近年、降雪量が増加傾向にあることや、大規模地震が想定されていることから、今後地震と積雪による複合災害が発生する可能性は高い。

現在、我が国は人口減少社会にあり、都市部への人口流入に起因して、地方では人口が減少する傾向にある。図-1 に雪寒県の将来推計人口を示す。図-1 から雪寒県においては将来的に人口減少が見込まれることがわかる。今後、人口減少に伴う税収減によって地方財政が悪化し「橋梁などの構造物に対して十分なメンテナンスができない」といった問題や、「除雪路線を厳選する」、「除雪を行わずに冬期通行止めとする」といった対策が行われると見込まれる。既に、北海道道では除雪出動基準となる積雪深の基準値引き上げ<sup>2)</sup>が行われており、国土交通省冬期道路交通の確保のあり方に関する検討委員会<sup>3)</sup>の提言においても除雪路線の厳選が提案されている。

上記のような背景から本研究では、「劣化した橋梁に対して冬期通行止め等の理由から積雪が多量に存在する状況で地震力が働いた」事象を考える。これにもとづいて、地震時に橋梁上に積雪が存在することが橋梁の破壊確率にどのような影響を与えるかを作用 (Stress resultant)-耐力(Resistance)モデル(以下、「R-S モデル」)を用いて評価をすることを目的とする。本稿では評価の前段階として、橋梁に損傷をもたらすような複合作用による破壊シナリオを勘案する。

2. 現行規定における地震・積雪複合作用

現行の道路橋示方書耐震設計編では、活荷重や雪荷重を地震時に考慮しない荷重としている。その理由として、活荷重などの荷重が満載となる状態が、時間的・空間的に同時発生しにくいことを挙げている。しかし、雪荷重に関しては冬期通行止め路線などにおいて、除雪が行われないために比較的長期間にわたり橋梁に積雪が堆積した状態が継続する可能性が考えられる。一方で多雪地帯である北海道や東北地方では、地方整備局や行政の設計要領等に独自基準を定めている。この基準では、地震時の設計積雪荷重を道路橋示方書共通編に示された再現期間 10 年の積雪深の 1/2 としている。この基準を上回るような積雪の再現期間は、概ね 1 年から 2 年(年超過確率 50%から 100%)という結果となる。他の荷重と組み合わせる作用の一つであることを考慮したとしても、基準値が低いことは明白である。

3. 破壊確率の評価方法

本研究で破壊確率 $P_f$ の導出法として R-S モデルを用いることは既に触れた。R-S モデルを用いた破壊確率 $P_f$ は

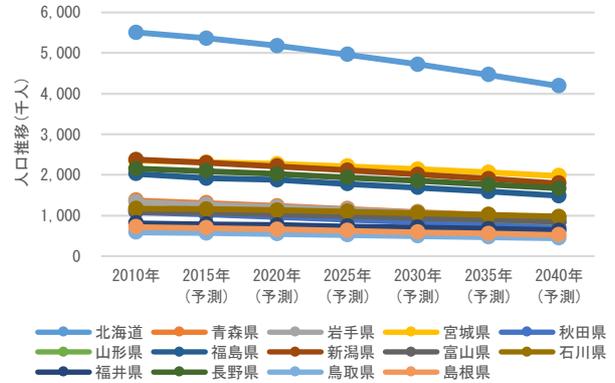


図-1 雪寒県の将来推計人口<sup>1)</sup>

式(1)のように表される。

$$P_f = \int f_{st}(x) \cdot F_R(x) dx \tag{1}$$

ここで、 $f_{st}(x)$  : 作用 $x$ の発生確率

$F_R(x)$  : 作用が $x$ である時の条件付破壊確率

式(1)の式を用いて、地震作用のみを考慮した場合の橋梁の破壊確率 $P_{f[E]}$ を式(2)に、積雪作用が働く橋梁の地震作用による破壊確率 $P_{f[E+S]}$ を式(3)に示す。

$$P_{f[E]} = \int f_{st[E]}(s) \cdot F_{R[E]}(s) ds \tag{2}$$

$$P_{f[E+S]} = \int f_{st[E+S]}(s) \cdot F_{R[E+S]}(s) ds \tag{3}$$

著者らは既往研究<sup>5)</sup>で地震作用の発生確率 $f_{st[E]}(s)$ と地震と積雪による複合作用の発生確率 $f_{st[E+S]}(s)$ の比較を行った。その結果、地震時積雪の基準超過確率が 75%から 90%と非常に大きくなることから、地震と積雪による複合作用の発生確率は、地震作用の発生確率とほぼ同じであることがわかっている。そのため地震と積雪による複合作用に対する破壊確率の評価は耐力側である「冬期の地震作用条件下での破壊確率」と「冬期の地震積雪複合作用条件下での破壊確率」によるといえる。

4. 劣化要因と劣化予測

4.1 劣化要因

橋梁への劣化要因は一般環境下での材料劣化、塩害、疲労、凍結融解作用(凍害)、アルカリ骨材反応などが挙げられる。本研究で対象とする冬期に通行止めとなるような路線は、一般的に交通量が少ないため、大型車交通等による疲労劣化は他の要因と比べて影響が小さいと考えられる。逆に積雪地域特有の劣化要因として、融雪剤や凍結防止剤に含まれる塩化物イオンによる塩害劣化や、凍結融解作用によるコンクリート部材の凍害劣化などの影響が大きくなると考えられる。

キーワード 破壊確率評価, R-S モデル, 積雪荷重

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

4.2 劣化予測

実際の橋梁点検で用いられる指標として健全度があ  
る。健全度の例を表-1に示す。一般的に、補修が行われ  
ない構造物では、健全度の推移が図-2に示すような形を  
とる。本研究では前述のように適切なメンテナンスがな  
されなくなる可能性を考慮するため、供用開始から補修  
は行われていないものとする。健全度の評価は部材ごと  
に行われており、地震と積雪の複合作用の影響を受け  
ると考えられる部材ごとに検討を行う必要がある。

5. 地震と積雪の複合作用条件下での破壊シナリオ

耐力側の条件付破壊確率の評価を行う場合、どの部材  
がどのように破壊するのかといった破壊形態を考慮する  
必要がある。しかし、本研究で対象とする事象は、将  
来的に発生することが予見される災害であるため、過去  
の損傷事例から破壊形態を推定することが不可能であ  
る。そのため、雪作用と地震作用において、各々の過去  
の被害事例や、一般に地震や積雪の作用の影響が大き  
いと考えられる部材を選定し破壊形態の推定を行った。  
推定した破壊形態における破壊とは、図-3に示すよう  
な限界状態のうち、修復限界(復旧限界)に該当するよ  
うな状態である。

5.1 橋脚

積雪荷重が載荷された状態の橋梁は、いわゆるトップ  
ヘビーな構造となる。地震時にはそれを支える橋脚への  
影響が大きくなる可能性が考えられる。複合作用条件  
下においても曲げやせん断といった過去の地震による損  
傷事例に見られるような破壊形態をとると考えられる。

5.2 支承

前述のようにトップヘビー構造となるため、上部構造  
と下部構造への荷重伝達がなされない可能性が考えら  
れる。また、融雪剤などが用いられる場合、塩化物イ  
オンによる塩害劣化の影響を強く受ける可能性がある。  
また、過去の地震による損傷事例においてもアンカーボ  
ルトの破壊や支承のずれなどが見受けられる。

5.3 橋台

過去の地震による損傷事例において、桁が橋台に衝突  
し橋台が損傷するケースがある。衝突荷重は衝突する桁  
の重さによることから、積雪がある状態は桁の重量が大  
きくなり衝突荷重が大きくなる。そのため、積雪が存在  
しない場合に比べて破壊に至る可能性が高くなると考  
えられる。また、橋台自体が損傷に至らない場合でも、  
橋台の支承が損傷する可能性も考えられる。

5.4 主桁

積雪荷重が満載状態の場合、主桁への曲げ作用が考  
えられる。北野ら<sup>7)</sup>によれば、冬期に除雪がなされず自動  
車交通のない路線の橋梁において、鋼主桁の下フランジ  
の引張応力度が当時の設計基準(昭和55年度版道路橋示  
方書)の許容応力度を超過する可能性があることを指摘し  
ている。当時は雪荷重の基準も現在より低く、旧基準に  
よって設計された橋梁や供用開始から補修等が行われ  
ず劣化の進んだ橋梁では、主桁においても損傷を生じる  
可能性が考えられる。

6. おわりに

本研究では地震積雪複合作用条件下での破壊確率の導出  
の前段階として、複合作用を受ける部材の仮定と破壊形  
態について図-4に示すような劣化を考慮したシナリオ  
の作成を行った。

表-1 健全度の判定区分例

健全度 ランク	判定区分	備考
5	健全	損傷は認められない
4	対策不要	損傷が軽微で補修を行う必要がない
3	状況に応じて早めに対策	状況に応じて補修を行う必要がある
2	早急に補修補強	速やかに補修等を行う必要がある
1	緊急対応の必要	緊急対応の必要がある

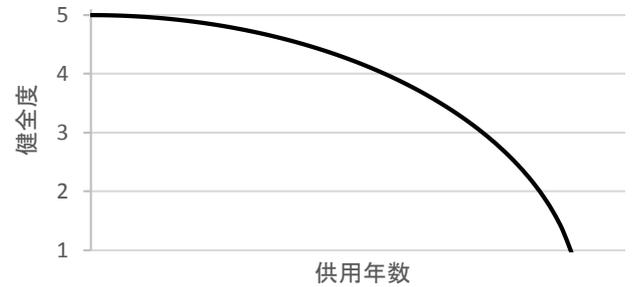


図-2 劣化による健全度の推移の概念図

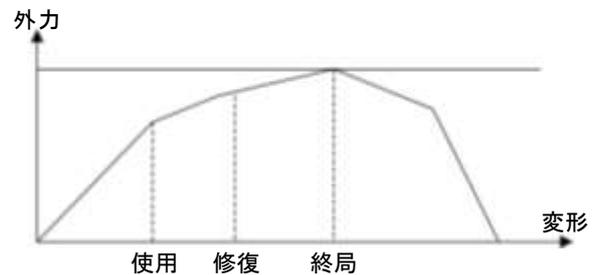


図-3 限界状態のイメージ<sup>6)</sup>

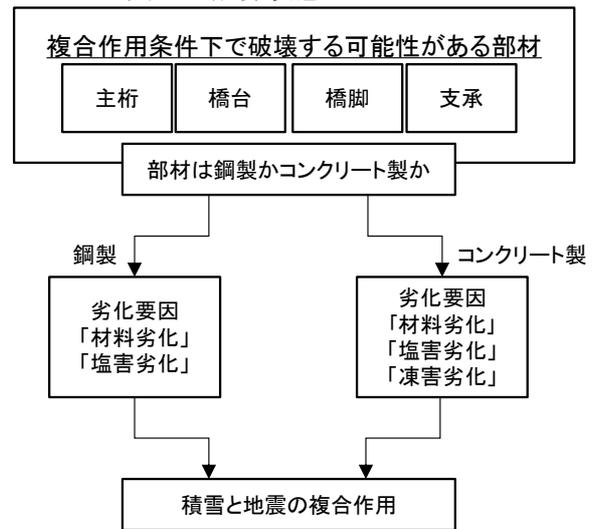


図-4 部材の劣化を考慮したシナリオ

今後はこれら部材の耐力の評価を行い、複合作用に対  
する破壊確率を導出する。

出典・参考文献

- 1) 国立社会保障・人口問題研究所「日本の地域別将来推計人口(平成25年3月推計) 2013年
- 2) 北海道建設部道路課「道道の除雪に関するご理解とご協力について」
- 3) 国土交通省「冬期道路交通の確保のあり方に関する検討委員会 提言(案) 2013年1月
- 4) 福島県「福島県橋梁点検調査マニュアル(案)付録-2」2013年3月 <http://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/41035c/manuaru-jissiyouryou.html>
- 5) 佐竹基治「道路橋における地震と積雪による複合作用発生確率の検討」2013年度中央大学卒業論文
- 6) 国土交通省「土木・建築にかかる設計の基本」2002年
- 7) 北野初雄ら「橋梁の雪荷重について(第1報) 北海道開発局土木試験所 月報 No.331, pp1-9, 1980年