

道路橋における地震と積雪による複合被害発生確率の検討

中央大学 学生員 ○佐竹 基治
中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

我が国が地震大国であることは周知の事実であるが、それに加え国土面積の約51%が豪雪地帯に指定された豪雪大国でもある。一方で、過去に豪雪地帯で積雪期に構造物に被害が生じるような地震が起こった事例は非常に稀である。近年、降雪が増加傾向にあることに加え、今後大型の地震が想定されていることからこのような事例が起こる可能性があると考え、そこで本研究では道路橋を対象構造物として、地震発生時に道路橋上の積雪荷重が設計基準を上回る状態にあるとき被害が発生するとしてその発生確率を検討することを目的とする。

2. 対象地域・対象構造物

本研究では関東甲信越地域から道路橋において積雪や地震による被害の発生が懸念される地域を絞り込み対象地域とした。また、対象構造物に関しては積雪の被害を受けやすいと考えられるものを対象構造物とした。以下に絞り込み条件と結果を示す。

2.1 対象地域の絞り込み条件

積雪に関しては、豪雪地帯対策特措法や関連する政令によって定められた豪雪地帯を条件とした。

地震に関しては、地震調査研究推進本部が公開している地震動予測地図¹⁾において最大地震カテゴリがカテゴリⅢとなる地域のうち今後30年で震度6弱以上の地震の発生する確率が高くなる地域を条件とした。

2.2 対象構造物の絞り込み条件

積雪に関する影響を受けやすい構造物として、冬季に通行止めとなり、除雪措置が行われない路線にある道路橋を対象構造物とする。

2.3 対象地域の気候特性

本研究が対象とする地域の気候特性として、日本海側気候がある。猪上らの研究²⁾や、近年の日本海の冬季海面温度の上昇から今後日本海側気候による影響が大きくなる事が分かる。そのため、今後対象地域では積雪量が増加すると推測できる。

また、図-1に対象地域内の気象庁アメダス観測点において積雪深データのある1989年から2013年までの年最大積雪深の合計値の推移を示す。対象地域において1990年代と比較すると近年は積雪が増加傾向にあることから今後の積雪量の増加が推測できる。

3. 地震時積雪荷重の考慮

道路橋示方書耐震設計編では、地震時活荷重や地震時積雪荷重について考慮しないとされている。

しかし、地方自治体や地方整備局が独自に定めた設計要領においてはその限りではない。管轄地域の多くが豪雪地帯もしくは特別豪雪地帯に指定されている北海道開発局や北陸地方整備局、地方自治体でも宮城県などでは、地震時積雪荷重について独自の基準を設けている。

これら地域の独自基準では、地震時設計積雪荷重を通

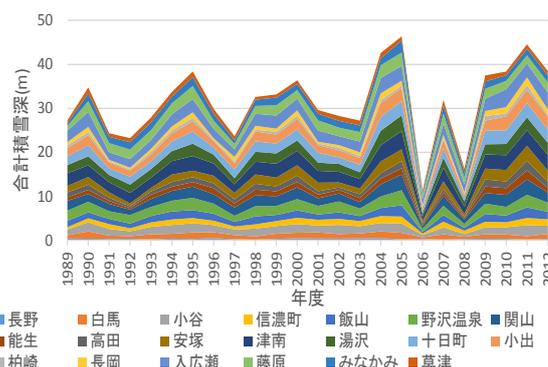


図-1 対象地域内の気象庁観測点における年最大積雪深の合計値の推移(1989-2013)

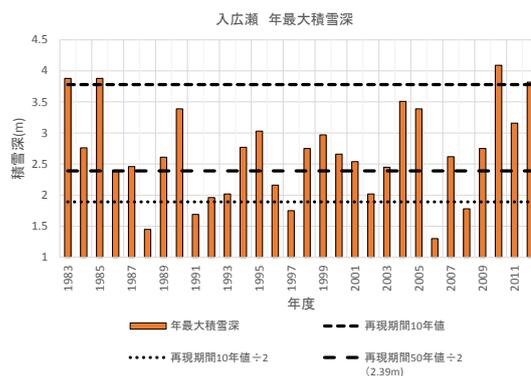


図-2 入広瀬観測地点の年最大積雪深と北陸地整設計要領の地震時雪荷重の基準値(1983-2012)

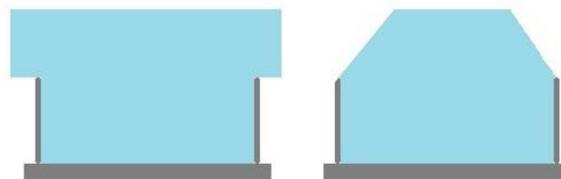


図-3 道路橋上の積雪形状

常の設計積雪荷重(年最大積雪深の再現期間10年値)の大積雪深と北陸地方整備局が独自に定めた値をそれぞれ示す。図-2から、丸点線で示した設計積雪荷重の1/2を超過しない年は頻度にして6年に1回と少ないことが分かる。同様に図-2に破線で示した建築物に対して用いられる再現期間50年の設計積雪深を用いて検討を行った。しかし、地震時設計積雪深を超過しない年は3年に1回ほどであった。

4. 積雪が道路橋の振動に与える影響

積雪が道路橋に与える影響を考慮する上で、積雪がどのように堆積するかが問題となる。一般に積雪の積雪層と平行方向に振動が加わると、積雪が弱層でせん断破壊することがある。しかし本研究では最大被害を考えるため水平方向のせん断破壊は生じないと仮定する。

キーワード : 積雪荷重, 複合災害, 複合被害発生確率

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

橋梁上に堆積する積雪の形状は、図-3の左図に示すように、高欄より上で雪庇が生じる。地震時には高欄より上に存在する雪庇が、安息角に沿って崩落し図-3の右図のような形状になると仮定する。この仮定に基づいて、1自由度の1質点系モデルを用いた簡易計算を行った。その結果、橋梁の周期が無積雪時に比べ1.15倍程度になったことから、無積雪状態の橋梁に比べて、積雪状態の橋梁のほうが地震による影響を受けやすいということが分かった。

類似する検討に千葉・宗像らによる一連の研究³⁾がある。千葉らは無落雪屋根に堆積した積雪が構造物の応答加速度に与える影響について実験を用いて検討を行っている。この研究結果から雪の密度が高く、屋根の表面が粗いとき構造物の応答加速度が大きくなることが分かっている。屋根に比べ道路舗装の表面の粗さが粗いことは自明であることから、この結果は道路橋に関しても同様であると言える。

簡易計算や千葉らの研究から総合的に考慮して、道路橋上に積雪が堆積することによって、地震による影響が大きくなる事が分かる。

5. 地震時積雪深の設定

通常、道路橋の設計積雪深の算出においては架橋地点における設計積雪深を用いることが求められている。これは地震時積雪荷重の算出に関しても同様のことが言える。建築物荷重指針・同解説では建設地点における設計積雪深の算出方法として再現期間100年の値を求める式(1)を提案している。

$$d_{100} = \alpha \cdot ls + \beta \cdot rs + \gamma \quad (1)$$

d_{100} :設計積雪深の再現期間100年の値(m)
 α, β, γ :建設省告示1455号に定められた定数
 ls :建設地点の標高[m]
 rs :建設地点の海率

なお、再現期間100年以外の値は、式(2)に示す再現期間換算係数 R を再現期間100年の値に掛け合わせることで求めることができる。

$$R = 0.40 + 0.13 \ln(r) \quad (2)$$

r :再現期間[年]

(1)、(2)式から任意の地点における地震時設計積雪深 S_d [m]を求めると(3)式が求まる。

$$S_d = \frac{R \cdot d_{100}}{2} \quad (3)$$

6. 地震発生確率の設定

地震時荷重が橋梁の設計値を超過する確率は、防災科学技術研究所が公開している地震動ハザードステーション(以下、J-SHIS)のハザードカーブより求める。

ただし、J-SHISから得ることのできる確率データは、30年確率である。よって本研究では積雪荷重の年超過確率を組み合わせるため、得られたデータを年発生確率に換算して用いることとする。

7. 地震時積雪による複合被害発生確率

積雪期に発生する地震に関する先行研究として、木村らの試論⁴⁾がある。木村らの試論は積雪期の地震発生確率に関する検討である。

本研究では、地震の発生確率を「橋梁の耐震設計基準を超える地震の年発生確率」とし、降雪確率を「地震時設計積雪荷重の年超過確率」に置き換えた。

表-1 大沢二号橋における複合被害発生確率

積雪日数 120日	再現期間10年最大値を用いた場合			
	5-	5+	6-	6+
全地震力カテゴリ	1.14%	0.39%	0.13%	0.03%
カテゴリⅢ	0.62%	0.33%	0.13%	0.03%
	再現期間50年最大値を用いた場合			
	5-	5+	6-	6+
全地震力カテゴリ	1.13%	0.39%	0.13%	0.03%
カテゴリⅢ	0.61%	0.32%	0.13%	0.03%

また、木村らの試論では雪日数を用いていたが、道路橋上の積雪を考えるため雪日数ではなく積雪日数を用いることとした。これらのことを踏まえて、本研究では式(4)を用いた検討を行う。

$$(EP \times SP) \times \frac{D_s}{365} \quad (4)$$

EP :橋梁の耐震設計基準を超える地震の年発生確率

SP :地震時設計積雪荷重の年超過確率

D_s :積雪日数[日]

8. 確率計算

前項で用いるとした式に基づいて、実在する橋梁において確率計算を試みる。

対象路線・対象橋梁は長野県道502号線の大沢二号橋(標高515m、今年度通行止めは年200日間)とする。

式(1)、(2)、(3)を用いて地震時設計積雪深を求めると、再現期間10年値を用いた場合は0.71[m]、再現期間50年値を用いた場合は0.75[m]となった。

これらの値を直近の気象庁観測地点である野沢温泉観測地点のデータから作成した積雪ハザード曲線に当てはめて、地震時設計積雪深の年超過確率を求める。その結果、再現期間10年値を用いた場合は98.9%、再現期間50年値を用いた場合は98.4%となった。

上記の地震時設計積雪深の年超過確率とJ-SHISから得た地震の発生確率データを年発生確率に直したものを式(4)に代入し、その結果を表-1に示す。

9. おわりに

冬季通行止め路線にある道路橋において複合被害発生確率の算出を行った。その結果から複合被害発生確率が積雪期の地震発生確率にほぼ依存する結果となった。これは地震積雪荷重の基準超過確率がほぼ100%となることが要因であると言える。

今後の展望としては、融雪剤による塩害や長期間供用による劣化や疲労による影響を考慮する。また、現段階で行っている1年あたりの発生確率だけでなく、対象構造物が供用終了までに複合被害が発生する確率に関する検討を行う。

参考文献

- 地震調査研究推進本部地震調査委員会：全国地震動予測地図 地図編，2010
- 猪上淳ら：バレンツ海の高氷減少がもたらす北極温暖化と大陸寒冷化，JAMSTECプレスリリース，2012
- 千葉隆弘，宗像真木彦ら：振動による屋根雪の滑動と構造体の動的相互作用に関する基礎的研究その1-その3，日本雪氷学会北海道支部機関紙「北海道の雪氷」No.26・No.27，2006・2007
- 木村智博ら：新潟県中越地域における積雪期地震の発生確率に関する試論，土と基礎第564号，pp34-36，2004