

主成分分析を用いた鉄道路線のリスク評価

九州大学大学院 学生会員 ○伊藤 旭 九州大学大学院 フェロー会員 善 功企
 九州大学大学院 正会員 陳 光斉 九州大学大学院 正会員 笠間 清伸
 J R 九州 深江 良輔

1. はじめに

鉄道沿線災害の約 90%が、建設基準が不十分であった古い時期に建設された盛土や切取などの土構造物の周辺で発生しており、その発生時期は台風や梅雨時に多く集中しているのが現状である。また、路線の大部分は、盛土、切土および自然斜面に接するため、落石や斜面災害といった土砂災害の脅威につねに晒されている。さらに鉄道路線は、ひとたび大きな被害を受けると、道路では可能な迂回や仮線による一時的なリスク回避が極めて困難であるという特性がある。このように、鉄道路線は特異な条件に晒されているため、個別の局所的な災害対策に加えて、鉄道路線全体を対象として広域的にリスクを算出することで適切な対策をとることが重要となる。本文では、過去の災害資料を利用した統計分析を基に、鉄道路線に発生する災害に関する発生予測の定量化を試みた。

2. 分析概要

図-1 は、分析対象とした路線図(全長約 350 km)であり、路線横にある点は、気象データの入手可能な気象観測点(全 11 地点)である。鉄道事業者の災害データ(発生場所、発生日時、災害種類、運転支障の有無、応急費、復旧費等)を基に災害のデータを駅間単位でまとめていき、気象庁のデータを参照し災害発生日の気象観測データを調査した。最終的に、発生した災害種類、発生日時、当日の日降水量、最大時間雨量、最大風速、1 日間～6 日前の日降水量、および運転支障の有無のデータを揃えた。災害の種類として、倒木、築堤・切取崩壊、土砂流出、道床流失およびその他の災害として分類を行った。

2.1 リスク分析

誘因外力の強度を階級分けし、各階級の災害発生日数を誘因発生日数で割ることで災害発生確率 p と定義し、最終的な累計災害発生確率 P は、以下の式で定義した。

$$P_{i+1} = 1 - (1 - p_{i+1}) \times (1 - P_i)$$

実際に発生した災害だけでなく、起こり得た災害も組み込んだ累計確率となる。誘因外力の発生確率、誘因外力強度と想定被害額の関係から、年超過確率と想定被害額の関係をグラフ化したものをリスク曲線とし、倒木災害のものを図-2 に示す。横軸とリスク曲線で囲まれた面積は、年間想定被害額(年間リスク)であり、6038 万円となった。実際 1 年あたりの倒木被害額が 1356 万円であるので、過大評価している。

鉄道路線災害、リスク、主成分分析



図-1 研究対象エリア

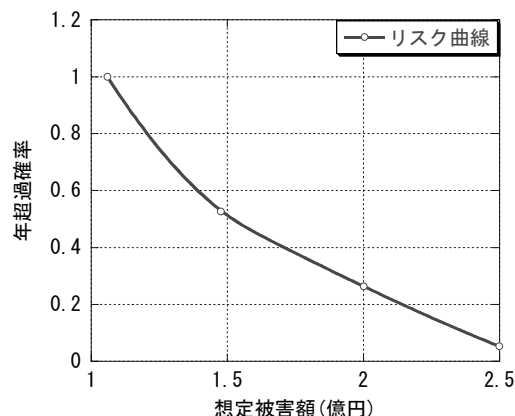


図-2 リスク曲線(倒木)

表-1 主成分分析の結果

固有ベクトル	主成分Z ₁	主成分Z ₂
日降水量	0.6358	-0.1505
1日前降水量	0.3177	0.1116
2日前降水量	0.1377	0.3520
3日前降水量	0.0972	0.4601
4日前降水量	0.1023	0.4792
5日前降水量	0.0936	0.4422
6日前降水量	0.0643	0.3231
最大風速	0.2021	-0.2849
最大時間雨量	0.6342	-0.1364

2.2 災害発生誘因に関する主成分分析

複数の誘因外力から災害の発生に関する指標を分析するために、各誘因外力と災害件数の単相関係数を算出すると、全てにおいて小さい値となり、重相関係数も0.46と比較的小さな値であった。そこで、誘因外力と災害件数を直接関連付けるのではなく、主成分分析を用いて9つの誘因外力を正規化した値をもとに新しい指標を作成した。各誘因の固有ベクトルを表-1に示す。第1主成分 Z_1 は、全て符号が正であることから6日前から当日の全誘因の総合力を表すと判断する。第2主成分 Z_2 は、1日前～6日前までの事前項目が正であるのに対し当日の項目が負であるので、事前の影響と当日の影響の関係を示すと判断する。

横軸に第1主成分 Z_1 、縦軸に第2主成分 Z_2 をとり、災害の発生状況を19年間各日に対しプロットした。被害額を4段階に分類しプロットしたものを図-3に示す。正規化したことで、平均値が0、標準偏差が1となる。右下にあるプロット点は、観測至上2番目の日降水量を示した日のものである。図-3より、第1主成分 Z_1 が正、第2主成分 Z_2 が負になるに従って被害額が増加する傾向にある。

道床流失の場合を図-4に示す。全災害よりも第1主成分 Z_1 が正、第2主成分 Z_2 が負の部分に集中しており、第2主成分 Z_2 が小さい場合よりも、0に近い部分の方が被害額が大きいといった他災害と異なった特徴がある。

築堤崩壊、切取崩壊、土砂流出および道床流失をまとめた土砂災害の災害件数における分類を図-5に示す。図より土砂災害は、第1主成分 Z_1 が4以上と大きな値をとる部分に集中しており、3件以上では92%がこの部分に属している。これより、土砂災害は事前の降水量と共に当日降水量も一定以上ある場合に発生しやすいと判断できる。

3. まとめ

鉄道路線における災害の予測、災害の発生しやすさの定量化を目的とし、災害ごとの被害額、発生件数から各災害の特性および発生確率の算出を行った。

1. 誘因外力強度を階級化し、発生確率・想定被害額を算出し、リスク曲線を作成した。
2. 9つの誘因外力を用いて主成分分析を行い、新しく2つの指標を作成した。道床流失では第1主成分 Z_1 が4以上、第2主成分 Z_2 が負に災害が集中しており、土砂災害では第1主成分 Z_1 が4以上の部分に発生が集中した。土砂災害は一定以上の事前の降雨ならびに当日の降雨時に発生しやすく、特に道床流失は事前の降水量が重要な発生誘因となっているとわかる。
3. これからの課題として、誘因だけでなく、地質などの素因も組み込んだ分析を挙げる。

参考文献 田中鏡介 統計分析を用いた鉄道路線のリスクマネジメントに関する一考察 土木学会西部支部研究発表会 2008

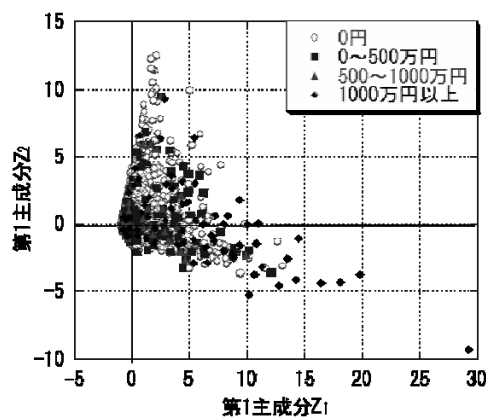


図-3 全災害(被害額別)

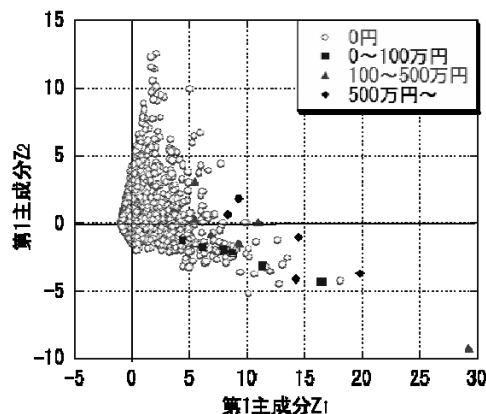


図-4 道床流失(被害額別)

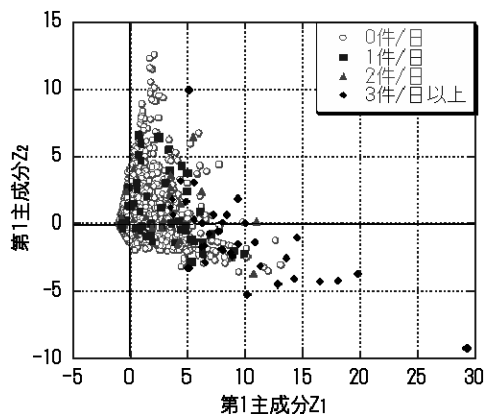


図-5 土砂災害(発生件数別)