

第三セクター事業者を対象とした鉄道の河川橋梁における洪水時流出リスク

中央大学大学院 学生会員 ○栗田 樹 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

近年、台風や豪雨による大規模水害により、鉄道が大きな被害を受け長期間不通になり、沿線住民の生活に影響を与える事態が多く発生している。2020年7月4日には、令和2年7月豪雨により、くま川鉄道湯前線の球磨川第四橋梁が流出し、2021年1月現在でも全線で運転を見合わせている。2005年に台風による豪雨被害を受けた高千穂鉄道高千穂線は、経営状態から自力での復旧が困難となり、廃線を余儀なくされた。

このような事態を防ぐためには、あらかじめどの鉄道事業者・路線が洪水に弱いのか、被害に合った場合自力での復旧が困難なのかを理解しておく必要がある。そこで本研究は、鉄道事業者の豪雨によるリスク評価を行う。鉄道事業者ごとに豪雨時のリスクを指標化し、それを比較することで危険な状態の路線を抽出する。また、被害が発生した場合、自力での復旧が可能であるか、各事業者の収益を元に検討する。

2. 研究対象

本研究の対象とする鉄道事業者は第三セクターとする。これは、第三セクター事業者は経営基盤が弱い企業も多く、そのような事業者の路線が被災した場合、自力での復旧は困難となることが予想できるからである。図-2に全国の第三セクター46路線の所在地を示す。赤線で示す路線は、営業係数が100を超える路線を示しており、本研究ではこれらの路線から、沿線への水害の可能性が小さい4路線を除いた28路線を研究対象とする。

本研究で対象とする構造物は、一度被害が発生すると他の構造物よりも復旧に時間を要するケースが多い²⁾河川橋梁とする。対象の災害としては、河川橋梁への被害事例数が最も多い豪雨による増水とする。また、本研究は後述するが、各路線の河川橋梁の水害による上部構造流出確率を導出し、それを用いて期待総費用を算出して各路線のリスク評価を行う。流出確率導出の対象とする橋梁及び河川は、以下の条件をすべて満たしたものとする。

- ・橋梁が位置する河川が水系の主河道であること
- ・その水系が支流を持ち十分に大きな流域面積があること
- ・橋梁周辺の地形から、増水時に水位が橋梁高さまで上がる可能性が高いこと

表-1に、本研究の対象とする第三セクター路線、各事業者の営業係数及び各路線の対象とする河川数を示す。



図-1 全国の第三セクター路線の所在地

表-1 対象とする第三セクター路線

鉄道事業者名	営業係数	対象の河川数
道南いさりび鉄道	100.0	9
阿武隈急行	110.6	2
三陸鉄道	194.5	16
会津鉄道	166.1	1
秋田内陸縦貫鉄道	312.0	4
由利高原鉄道	234.8	2
山形鉄道	159.1	3
北越急行	236.6	2
のと鉄道	239.7	1
万葉線	164.9	1
えちごトキめき鉄道	104.5	9
いすみ鉄道	248.7	2
野岩鉄道	151.1	2
真岡鐵道	171.9	3
わたらせ渓谷鐵道	193.8	2
長良川鉄道	161.3	7
天竜浜名湖鉄道	132.0	12
明知鉄道	176.8	1
樽見鉄道	140.7	2
えちぜん鉄道	124.7	2
伊賀鉄道	120.6	3
北条鉄道	161.7	2
井原鉄道	141.9	2
土佐くろしお鉄道	143.3	8
松浦鉄道	109.1	10
くま川鉄道	172.4	4
平成筑豊鉄道	143.2	5
肥薩おれんじ鉄道	121.2	10

キーワード 第三セクター、期待総費用最小化原則、R-Sモデル、貯留関数法

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

3. 研究手法

本研究では、鉄道事業者である第三セクターの洪水時の橋梁流出リスクを考慮した期待総費用を算出し、各路線の危険度や自力での復旧が可能かどうかを判断する。期待費用は式(1)のように表される³⁾。

$$C_t = C_i + \sum P_f \times C_f \quad (1)$$

C_t は期待総費用、 C_i は構造物補強にかかる初期コスト、 P_f は水害によって構造物に被害が発生する確率(上部構造流出確率)、 C_f は被害時コストである。上部構造流出確率 P_f は、R-S モデルの考え方をを用いて導出する。R-S モデルの式を式(2)に示す。

$$Z = R - S \quad (2)$$

R は河川橋梁が持つ横からの抵抗力、 S は上部構造に作用する流体力である。 Z の値が0以下になる場合、上部構造が流出するものとする。 R 及び S それぞれが従う確率密度関数を求め、それを用いてモンテカルロシミュレーションを行い各橋梁の上部構造流出確率を導出する。

抵抗力 R は以下に示す式(3)で定義する。⁴⁾

$$R = \mu(W - U) + R_b \quad (3)$$

μ は最大摩擦係数、 W が上部構造重量[N]、 U は上部構造に生じる浮力[N]、 R_b は橋梁支承部の構造的要因による抵抗力[N]である。これらのうち最大摩擦係数 μ は Rabbat の実験結果⁵⁾より平均 0.62、標準偏差 0.032 の正規分布に従うものとする。これと残りの諸元を用いて R の確率密度関数を橋梁ごとに求める。

流体力 S は以下に示す式(4)で定義する。

$$S = \frac{1}{2} \rho_w C_d A v^2 \quad (4)$$

ρ_w は水の密度[kg/m³]、 C_d は抵抗係数、 A は構造物を流れ方向に投影した面積[m²]、 v は流速[m/s]である。これらのうち流速 v は、橋梁が位置する点での河川の流量 Q [m³]を算出し、Manning 式を用いて流速 v に変換する。Manning 式を以下に式(5)として示す。

$$v = \frac{5}{3} \left(\frac{Q}{B} \right)^{0.4} \frac{i^{0.3}}{n^{0.6}} \quad (5)$$

B は橋梁が位置する点の川幅[m]、 i は河床勾配、 n は Manning の粗度係数である。式(4)・(5)から、流量 Q が分かれば流体力 S が導出できることが分かる。流量 Q は以下の式(6)から求める。

$$Q = \frac{1}{3.6} A q + Q_b \quad (6)$$

A は対象河川の流域面積[km²]、 Q_b は基底流量[m³/s]である。また、 q は貯留関数法における流出高[mm/h]である。流出高 q は、流域面積内での雨水の貯留量と流出量の間に一価の線形関係があると仮定した貯留方程式である式(7)及び式(8)を用いて、流域の降水量をもとに導出する。

$$s = k q \quad (7)$$

$$\frac{ds}{dt} = r_e - q \quad (8)$$

s は貯留量[mm]、 k はパラメータ、 r_e は有効降雨強

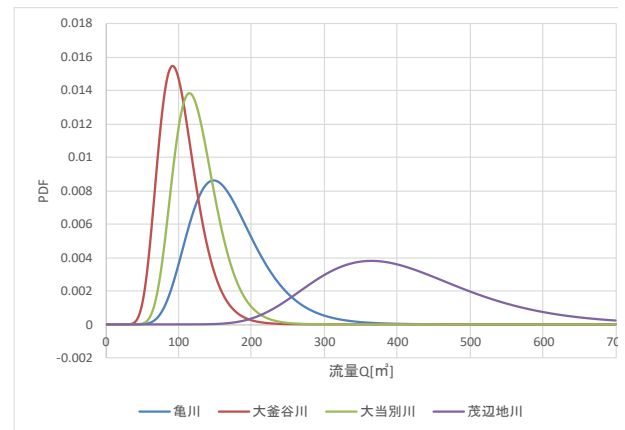


図-2 道南いさりび鉄道の各河川の年最大流量の確率密度分布

度[mm/h]である。上記の式を用いての流量 Q の計算を、国土技術研究センターの流出解析システムプログラムを用いて行う。有効降雨強度の算出に用いる1時間ごとの降水量データは気象庁の過去の気象データにあるものを用い、年ごとに年最大流量を算出する。橋梁の位置ごとに40年分の年最大流量を導出し、それをもとに流量および流速が従う確率密度関数を決定する。

4. 現在の進捗

河川橋梁の流出確率を算出するための、各河川の年最大流量の確率密度分布を作成している。図-2に、道南いさりび鉄道の各河川の年最大流量の確率密度分布を示す。

5. 今後の展望

学会当日は、各鉄道事業者の橋梁の上部構造流出確率まで発表する予定である。その後は各路線の収益や利用者数のデータを収集し、被害時コストを算出する。それらを元に期待総費用を算出し、各路線のリスクの比較を行う。また、各鉄道事業者の収益や国・自治体からの補助制度を元に自力での復旧が可能かどうかを判断する。

参考文献

- 1) 土木学会構造力学委員会 既設構造物を対象とした安全性評価研究小委員会 報告書 平成29年11月27日
- 2) 国土交通省鉄道局施設課 政策レビュー「鉄道の防災・減災対策」 平成30年10月4日
- 3) 和合 希世子 ゲーム理論を用いた防災投資の合意形成 第31回土木学会関東支部2004.3.
- 4) 光永 憲弘 河川増水における橋梁上部構造流出に関する信頼性の検討 第45回土木学会関東支部2018.3.
- 5) Rabbat, B.G. and Russell, H.G.: Friction coefficient of steel on concrete or grout, J.Struct.Eng., ASCE, Vol.111