

氾濫原の鉄道盛土の洪水越流破壊の経験的確率関数の構築

名古屋大学大学院	正会員	○椿 涼太
Delft University of Technology	正会員	Jeremy D Bricker
広島大学大学院	正会員	一井康二
広島大学大学院	フェロー正会員	河原能久

1. はじめに

河川氾濫や高潮にともなう洪水が、鉄道盛土を越水すると、しばしばバラストや盛土部分が流失して、復旧するまで車両が通過できなくなる。鉄道盛土が流失するような事象では、橋梁の流失や駅などの施設の浸水も発生することになる。これらの被害に比べると、バラストや盛土の流失は、費用や工数の観点から相対的に復旧は容易であるが、バラスト・盛土は多発的に生じる可能性が高い。近年の国内の人口動態を踏まえると、大きな被害を受けた鉄道網は、復旧せず営業を廃止することも検討されるようになってきている。大規模な河川氾濫や高潮により、鉄道盛土のどの区間がどれくらいの長さで被害を受けるかを事前予測することができれば、鉄道事業者は設備や資材の事前準備に利用できる。また、地域自治体や住民にとっても、そのような事前評価をもとに、鉄道被害を念頭においた避難や災害復旧を検討したり、地域計画を策定することができる。コンパクトシティという概念では、公共交通を軸とした都市計画が推進されるため、鉄道を含む交通網への依存度は高まる方向にある。したがって、交通網への自然災害は地域への被害ともより直結することになる。自然災害の中でも、洪水は周辺の地形により集中したり拡散したりするという特徴がある。極端な規模の河川氾濫や高潮を対象とした減災を考える上で、洪水流に影響を与える地形の一つである鉄道盛土の被害を予測し、地域計画と連携しながら、必要であれば鉄道盛土自体やその後背地が被害を受けないようにしていくことも検討に値する。著者等の知る限り、洪水越流による鉄道盛土の被害条件については、海外も含めこれまで整理されておらず、本研究では、中山間地での2箇所での被害事例を元に、単線非電化の鉄道盛土を対象として、被害発生確率と災害レベルを関連づけた被害関数の構築を試みた。なお、本論文は文献¹⁾をもとに再構成したものである。

2. 方法

2009年8月に兵庫県佐用町周辺²⁾および、2010年7月に山口県山陽小野田市M地区で発生した³⁾、鉄道盛土流失をともなう洪水氾濫事象について、洪水氾濫および鉄道盛土の越流状況を水文・水理解析により再現した^{2),3)}。

鉄道盛土の被害状況については、金子⁴⁾による報告、現地の被害直後および復旧後の現地および航空写真をもとに、無被害区間、バラスト流失区間、盛土流失区間に分類した。災害レベル a に対応する被害関数 $P(a)$ は、構造物の地震による被害、津波による建物への被害などの評価に利用されている¹⁾、エラー関数 Φ を用いた

$$P(a) = \Phi \left[\frac{a - \mu}{\sigma} \right] \quad (1)$$

および、災害レベルに対数をとった

$$P(a) = \Phi \left[\frac{\ln(a/c)}{\zeta} \right] \quad (2)$$

を利用した。ここで、 μ および c は50%の被害が生じる災害レベルであり、 σ および ζ は被害関数の広がりに対応する。被害レベル a について、本研究では盛土の越流を対象としており、盛土上の越流水深や越流量と

水理学的に対応する盛土の上流側での水深（盛土上の高さを基準とした）を利用した^{1),5),6)}。

3. 結果

2009 年 8 月に発生した兵庫県佐用町周辺での氾濫事例において、8 地点での無被害、3 地点でのバラスト流失、10 地点での盛土流失での越流水深を算定した。同様に、2010 年 7 月に山口県山陽小野田市 M 地区で発生した洪水氾濫事例において、4 地点でのバラスト流失、6 地点での盛土流失の越流水深を算定した。バラスト流失や盛土流失が発生すると、氾濫水の流れがその影響をうけて変化するが、本研究での越流水深の算定に際しては、このような効果は考慮せず、鉄道盛土を含む地形は変化しないという条件で水理解析を行っている。

得られた被害状況と越流水深の対応関係を調べると、盛土流失にくらべ、少ない越流流量で生じると推察されるバラスト流失が起きる越流水深は、盛土流失が生じる越流水深より高めに算定された。盛土流失の被害確率が 0 から立ち上がる条件（越流水深）は、上田らの実験で得られたバラスト流失の開始条件⁵⁾とよく対応していた。したがって、本研究で得られたデータでは、バラスト流失と盛土流失を適切には区別できておらず、本研究の範囲では、バラスト流失と盛土流失を併せて被害を受ける条件として得られた、

$$P(a) = \Phi \left[\frac{\ln(\Delta h / 0.21)}{0.46} \right] \quad (3)$$

が、鉄道盛土の被害評価に適していると判断した。

作成した被害関数(式 3)を用いて、水理解析で得た鉄道盛土の越流水深をもとに、鉄道に沿って、被害確率を算定し、実際の被害状況と比較したところ、兵庫県佐用町周辺で、大きな被害が確認された区間について、被害確率が高く評価されていた。一方で、鉄道盛土の縦断勾配がなだらかな、佐用町周辺の区間や山口県山陽小野田市 M 地区については、実際の被害発生位置と、被害関数で評価した被害確率分布はあまり対応していなかった。

4. おわりに

鉄道盛土の越流による被害を、水理解析により評価する盛土の越流水深をもとに評価する、単線非電化の鉄道盛土を対象とした経験的被害関数を作成した。被害関数の構築に際して利用できるデータが限られていたこともあり、一般性についてはさらに検討していく必要があるが、地形的に鉄道盛土の越流区間が集中する区間については、過去の被害状況を適切に再現することができた。

今後の課題として、被害状況と越流水深のデータを増やすことで、被害関数の適用性を高めていくこと、バラスト流失や盛土流失といった、被害形態別の被害関数を作成していくことが挙げられる。また、河川堤防や道路盛土の破壊についても、被害関数による評価が可能である。氾濫現象に関わる地形変化をとまなう被害について、一貫して評価することで、ある区間での堤防や盛土が破壊されることで周辺の氾濫状況が変化してくような被害の連鎖を、包括的に分析できる可能性があり、今後も検討を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) Tsubaki, Bricker, Ichii and Kawahara: Development of fragility curves for railway embankment and ballast scour due to overtopping flow, Natural Hazards and Earth System Sciences, Vol. 16, pp.2455-2472, 2016.11.
- 2) 椿, 河原, 佐山, 藤田: 豪雨災害時の氾濫流による鉄道盛土の被災機構, 土木学会水工学論文集, 第 55 巻, pp.919-924, 2011.3.
- 3) 椿, 朝位, 中村, 戸村, 河原, 永野: 土木学会論文集 B1(水工学), Vol.70, No.4, I_1441, 2014.2.
- 4) 金子: 平成 21 年度台風 9 号災害による姫新線播磨徳久・美作土居間土砂災害, 日本鉄道施設協会誌, Vol. 6, 2010.
- 5) 上田, 椿, 河原, 吉田: 鉄道盛土の越水による上部構造の流失機構・条件の解明, 河川技術論文集, Vol.18, pp.375-380, 2012.6.
- 6) 小野田, 早野: 土木学会論文集 E1 (舗装工学), Vol. 71, No. 2, pp.97-107, 2015.