

鉄道盛土の不安定要因が災害発生時の再現期間に与える影響の統計分析

(公財) 鉄道総合技術研究所
東日本旅客鉄道株式会社

正〇大谷礼央 正 長谷川 淳 布川 修
正 中淵遥平 正 佐藤 大輔

1. はじめに

降雨時における盛土崩壊等の災害を防止するためには、広範囲に敷設された盛土等の中から降雨時に被災が懸念される箇所（以下、降雨時弱点箇所）を事前に抽出し、対策を施す必要がある。降雨時弱点箇所の抽出においては、鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）土構造物（盛土・切土）（以下、維持管理標準）を用いることが基本となるが、机上で得られるデータから降雨時弱点箇所の候補地を事前に抽出することができれば、効率的に現地調査を実施することが可能となる。そこで本検討では、盛土の構造条件や盛土の立地条件から判断される不安定要因と、災害データの頻度、および降雨の再現期間との関係について統計分析により把握した。

2. 統計分析に用いる災害データの検討

2.1 災害データの概要

使用した災害データは、2006年～2018年に発生した51件の降雨による鉄道盛土災害事例である。この災害事例はいずれも、写真や平面・断面スケッチなどにより崩壊状況がわかる事例であり、また、河川氾濫や融雪水により発生した事例など、降雨が主要因とされる以外の事例は除外した。

2.2 実効雨量指標の検討

本検討では、鉄道の運転規制に利用されている実効雨量を用いて統計分析をおこなった。具体的には、災害発生箇所近傍の鉄道雨量計で観測された災害時の降雨データから、被災時の一連の降雨の最大値（災害時の最大雨量値）を読み取り、読み取った災害時の最大雨量値を用いて、実効雨量の半減期1.5時間、半減期24時間のそれぞれの再現期間を求めた。また、求めた各半減期の再現期間を比較し、最も大きな再現期間でその盛土災害が発生したものと仮定することで、災害事例を災害が発生した半減期ごとに分類した。その結果、半減期1.5時間の雨量が最大の再現期間であった災害事例は23事例（以下、短指標型災害）、半減期24時間の雨量が最大の再現期間であった災害事例は31事例（以下、長指標型災害）となった。なお、3事例は短指標と長指標の再現期間がほぼ同程度であったため、両方に分類した。

2.3 盛土崩壊に寄与する不安定要因の抽出

盛土崩壊に寄与する不安定要因は、オープンデータや鉄道事業者が所管している財産図などを用いて抽出できるものとした。具体的には、1) 鉄道事業者が独自で定めた集水等の要注意箇所、2) 維持管理標準による盛土の不安定要因を参考に、表1のように定義した。不安定要因の抽出は主に災害時の現地状況写真やスケッチなどの断面図、平面図、地理院地図（国土地理院）、地質図ナビ（産総研）等を用いて抽出した。

3. 統計分析

3.1 災害発生頻度と再現期間及び不安定要因の関係（短指標型災害）

短指標型災害における盛土の不安定要因と災害発生頻度の関係を図1に示す。ほぼすべての不安定要因に該当す

表1 盛土崩壊に寄与する不安定要因

不安定要因	定義等
片盛	片側のみ盛土の場合
谷との交差	谷と線路が交差する箇所
段丘崖等	段丘崖等の急勾配の崖状の地形に隣接
切土上方に道路等	切土のり面付近に道路や宅地、耕作地等が存在
両盛	盛土高さが左右でほぼ同じ場合
構りよとの接合部	下り勾配側の橋台背面盛土
落込勾配点	当該箇所の線路勾配が直方から、轉方からのいずれも下り勾配となる箇所
路切から下り勾配	路切から約100m以内で下り勾配の箇所
切盛境界から下り勾配	切盛境界から約100m以内で下り勾配の箇所
トラフが敷設	盛土のり面にケールトラフが敷設
軟弱地盤等	谷底平野や沖積低地等の低地の盛土
河川隣接	盛土のり面に河川
部外用排水路隣接	盛土のり面に部外用の排水路あり
盛土高さ	盛土のり面から施工基面までの高さ
盛土勾配	盛土のり面の勾配
排水設備の有無	排水溝、伏び、下たきよの有無

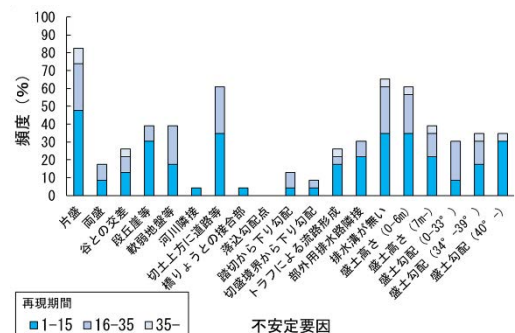


図1 不安定要因の頻度分布（短指標型災害）

キーワード 盛土崩壊, 評価手法, 降雨弱点箇所, 抽出, 統計解析

連絡先〒185-0034 東京都国分寺市光町 2-8-38 (公財) 鉄道総合技術研究所 地盤防災 TEL 042-573-7263

る場合において、再現期間が 15 年以下の比較的小さい降雨で被災する割合が高い。特に「部外用排水路隣接」や「段丘崖等」に該当する場合は大半が再現期間 15 年以下の降雨による被災事例であり、35 年以上の再現期間が大きい降雨による被災事例はない。

3.2 災害発生頻度と再現期間及び不安定要因の関係（長指標型災害）

長指標型災害における盛土の不安定要因と災害発生頻度の関係を図 2 に示す。橋りょう等との接合部に位置する被災事例のすべてが、再現期間 15 年以下で被災している。また、切盛境界から下り勾配箇所位置する被災事例は、大半が再現期間 15 年以下の降雨の被災事例である。

3.3 数量化 I 類解析

(1) 解析の概要

各実効雨量指標の再現期間を目的変数、盛土の不安定要因を説明変数とした数量化 I 類による多変量解析を実施し、各不安定要因が盛土崩壊時の再現期間に与える影響を数値化した。解析は、実効雨量指標毎に表 1 に示す不安定要因を説明変数として実施した。解析にあたり、過去に経験した降雨よりも大きな降雨で被災した事例については、暫定的に過去最大の雨量値と災害時の最大雨量値の平均値を算出し、その雨量値に対する再現期間を求めたうえで、これを再現期間とした。なお、数量化 I 類解析には「Excel 数量化理論 Ver.4.0（株式会社エスミ）」を利用した。

(2) 解析結果

解析により得られた不安定要因毎のカテゴリースコア及び偏相関係数を表 2、表 3 に示し、再現期間の予測値と実測値を比較したものを図 3、図 4 に示す。表 2 より、短指標型災害では、目的変数（再現期間）の寄与度を表す偏相関係数は、特に「部外用排水路隣接」の値が最も大きく、再現期間に最も影響を与える不安定要因である。これは 3.1 で述べた傾向と概ね一致している。また表 3 より、長指標型災害では、特に「橋りょう等との接合部」の偏相関係数が最も大きく、再現期間に最も影響を与える不安定要因である。これは 3.2 で述べた傾向と概ね一致している。図 3、図 4 より、再現期間の予測値と実測値の傾向は概ね一致する。したがって、降雨時弱点箇所を抽出できる可能性がある。一方、実測値と予測値に乖離がみられることが課題である。

4. まとめと今後の方針

本検討では、盛土の構造条件や盛土の立地条件から判断される不安定要因と、災害データの頻度、および降雨の再現期間との関係について統計分析により把握した。本検討では、事例数が限られるものの、盛土の立地条件から判断される不安定要因を用いて、降雨弱点箇所を抽出することが可能であることが示唆された。一方、再現期間の実測値と予測値には乖離がみられる。この点は、今後災害事例データを蓄積するなどにより、さらなる検証が必要である。

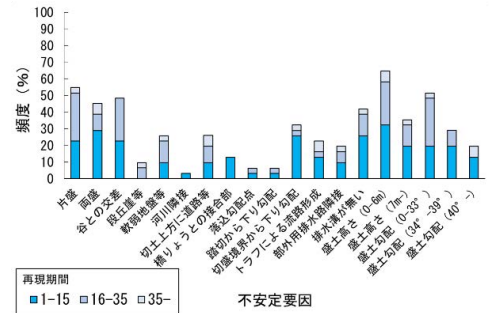


図 2 不安定要因の頻度分布（長指標型災害）

表 2 偏相関係数とカテゴリースコア（短指標型災害）

不安定要因	カテゴリ（上段） カテゴリースコア（下段）		偏相関係数
	1	2	
部外用排水路隣接	該当	非該当	0.29267
	-6.34	2.77	
段丘崖等	該当	非該当	0.16518
	-4.63	2.98	
盛土勾配	0° ~ 33°	34° ~	0.14119
	4.04	-1.77	
切盛境界から下り勾配	該当	非該当	0.10444
	-5.09	0.48	
切土上方に道路等	該当	非該当	0.09526
	-1.27	1.98	
谷との交差	該当	非該当	0.06325
	-2.43	0.86	
踏切から下り勾配箇所	該当	非該当	0.04377
	-1.55	0.23	
定数項	17.80		

表 3 偏相関係数とカテゴリースコア（長指標型災害）

不安定要因	カテゴリ（上段） カテゴリースコア（下段）		偏相関係数
	1	2	
橋りょう等との接合部	該当	非該当	0.47286
	-27.70	4.10	
谷との交差	該当	非該当	0.34635
	-9.47	8.87	
切盛境界から下り勾配	該当	非該当	0.31602
	-6.40	3.05	
構造	片盛	両盛	0.27827
	-3.78	4.58	
トラフによる道路形成	該当	非該当	0.26308
	-10.55	3.08	
排水設備の有無	該当	非該当	0.24529
	2.51	-3.48	
踏切から下り勾配	該当	非該当	0.20865
	-13.90	0.96	
部外用排水路隣接	該当	非該当	0.16884
	-3.88	0.93	
軟弱地盤等	該当	非該当	0.06508
	-1.60	0.56	
定数項	19.05		

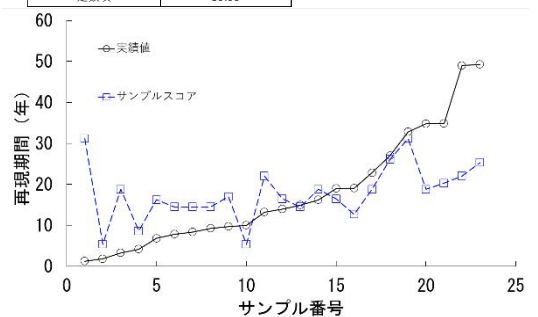


図 3 実測値と予測値の関係（短指標型災害）

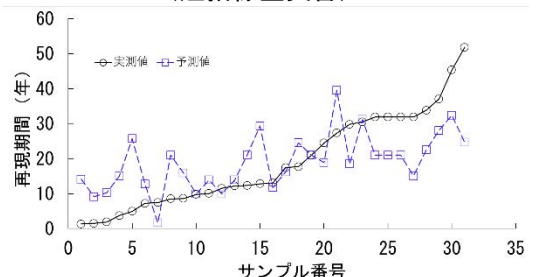


図 4 実測値と予測値の関係（長指標型災害）