

のり面工施工箇所を経験雨量分析

鉄道総合技術研究所 正会員 ○佐々木 智之 正会員 阪東 聖人
 正会員 湯浅 友輝 正会員 布川 修
 京都大学大学院 国際会員 杉山 友康

1. はじめに

鉄道では降雨による盛土や切土ののり面の崩壊を防止するために、コンクリートでのり面表面を覆うなどのり面工が施工されている。のり面工が施工されているのり面は崩壊が少ないことから経験的には耐雨性が向上することはわかっている。このため、のり面工施工箇所を対象に列車運行の利便性を向上させることを目的として降雨時の運転規制値を緩和する検討が行われることがある。しかしながら、のり面工によるのり面の耐雨性向上効果を定量化する方法に関する研究が少ないため、これまでの実績などから経験的に降雨時の運転規制値を検討している場合がある。

そこで、本稿ではのり面工の耐雨性向上効果を定量化することを目的として、経験雨量の再現期間に着目して分析した結果について報告する。

2. 本稿で取り扱う雨量指標等の考え方

2.1. 雨量指標の定義

降雨時の運転規制に用いられる雨量指標は様々あるが、本稿では表1に示す雨量指標を用いて経験雨量の分析を行った。

2.2. 確率雨量と再現期間の算出方法

日本では地域により雨の降り方が大きく異なる。このため、降雨量を全国的に統一して表現するためには、絶対値としてではなくある降雨量を超過する確率年数として表現することが一般的である。この超過確率年数は、ある期間にある値を上回る確率上の年数を表しており、その時の降雨量を確率雨量、年数を再現期間と呼ぶ。再現期間を算出する方法として、本稿では計算が簡便で近年の使用実績が多いガンベルの方法¹⁾により分析を行うこととした。ここで、ガンベルの方法で算出される再現期間の頻度分布は再現期間が大きくなるほど指数関数的に頻度が少なくなる形状となることから本検討では分布の代表値として相乗平均を用いることとした。

2.3. 限界雨量に基づく斜面の危険度評価基準

冒頭に示した課題を考慮したのり面工の耐雨性評価の方法として、「限界雨量に基づく斜面の危険度評価基準²⁾³⁾」(以下、評価基準という)がある。この評価基準は、過去の降雨によって発生した崩壊データを基に統計分析を実行し、表2に示すような条件から崩壊に至る雨量の予測式(限界雨量)を求めたものである。しかし、限界雨量を算出するためには現地調査を実施するなどの課題がある。

表1 雨量指標の定義

雨量指標	記号	概要
時間雨量	r	毎正時における1時間前からの降雨量の合計
12時間連続雨量	R_{12}	任意の時刻に対して降雨が12時間以上の中断を伴わずその時刻まで継続した降雨量の合計
24時間連続雨量	R_{24}	任意の時刻に対して降雨が24時間以上の中断を伴わずその時刻まで継続した降雨量の合計
24時間雨量	R_{a24}	任意の時刻に対して24時間前からその時刻までの降雨量の合計
実効雨量	半減期1.5時間	$R_{e1.5}$
	半減期6時間	R_{e6}
	半減期24時間	R_{e24}

表2 盛土の危険度評価基準

$R^{0.2}, r^{0.2}$ = 基本点 + Σ (評価点)

基本点		13.14			
条件		条件(上段)と評価点(下段)			
盛土の構造条件	盛土高さ H (m)	$P = -3.18 \times 10^{-3} H^2 - 7.09 \times 10^{-2} H + 7.87 \times 10^{-1}$			
	土質 S_s	粘性土	砂質土	礫質土	
		-1.05	0.07	0.14	
	貫入強度 N_c	$P = -9.79 \times 10^{-3} N_c^2 + 4.75 \times 10^{-1} N_c - 2.24$			
基盤条件	表層地盤の地質 S_b	沖積地盤		その他	
		-0.38		0.22	
	地盤の傾斜角 θ_b	平坦		10°以上	
		1.34		-1.10	
集水・浸透条件	透水係数 k (cm/s)	$k < 10^{-4}$	$10^{-4} \leq k < 10^{-3}$	$10^{-3} \leq k < 10^{-2}$	$10^{-2} \leq k$
		-0.17	0.26	-0.41	0.86
	集水地形 W_c	なし	対象側	反対側	
		0.52	-3.23	-1.83	
縦断形態 T_v	切盛境界・落込勾配		平坦・単勾配		
	-0.53		-0.30		
	純盛		片切片盛・腹付		
横断形態 T_h	0.21		-0.16		
経験雨量条件	経験雨量 R_e	$P = -1.06 \times 10^{-10} R_e^2 + 5.50 \times 10^{-5} R_e - 2.96$			
防護工(効果率100%の場合)	防護工種類		効果点		
	プレキャスト格子枠		4.26		
	張ブロック		3.35		

キーワード のり面工、経験雨量、再現期間
 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 防災技術研究部 地盤防災 Tel.(042)573-7263

そこで本稿では、机上で整理した雨量分析の結果を用いる手法を検討した。具体的には、評価基準に記載されている、盛土（プレキャスト格子砕工、張ブロック工）と切土（プレキャスト格子砕工、場所打ち格子砕工、張コンクリート工）に対して工種ごとの経験雨量を分析した。

3. のり面工施工箇所の経験雨量分析

3.1. 年間最大雨量値の算出

ここで用いるデータは、評価基準にのり面工の効果を組み込んだ際に使用した斜面データ³⁾で、盛土 54 箇所、切土 101 箇所（表層崩壊のみ：46 箇所、非表層崩壊のみ：37 箇所、表層崩壊と非表層崩壊：18 箇所）である。この 155 箇所の斜面を対象に、当該箇所近傍の地上アメダス観測点の観測開始から 2016 年 12 月までの雨量値を分析した。なお、155 箇所のアメダス観測点の分析期間の平均は 34 年である。

3.2. 再現期間の算出

3.1節で算出した年間最大雨量値を基に、ガンベルの方法により再現期間を算出する。ここでは、2~500 年を再現期間とする確率雨量を算出した。155 箇所の斜面データのうち、あるのり面を対象に再現期間を算出した例を表 3 に示す。

3.3. のり面工施工後に経験した最大雨量の再現期間の抽出

3.1節で算出した年間最大雨量より、各箇所ののり面工施工後に経験した雨量を抽出する。155 箇所の斜面データのうち、あるのり面を対象に雨量を抽出した例を表 4 に示す。のり面工施工後に経験した時間雨量の最大値は 45.5mm であることから、表 3 より時間雨量は 30 年を再現期間とする確率雨量であるといえる。このようにして 155 箇所について雨量指標ごとの再現期間を算出し、盛土、切土の種別および対策工種ごとに相乗平均値を算出した。のり面工施工後に経験した雨量に対応する再現期間の頻度分布の算出例を図 1 に、平均値の一覧を表 5 に示す。時間雨量（盛土：プレキャスト格子砕工）に着目すると、最小で 10 年、最大 500 年、相乗平均で 66.5 年を再現期間とする確率雨量を経験していることがわかる。

4. まとめ

のり面工の耐雨性効果を確認するため、のり面工施工箇所の経験雨量分析を行った。経験雨量の再現期間は、盛土 65~92 年、切土（表層崩壊）50~97 年、切土（非表層崩壊）45~90 年となることがわかった。

参考文献

- 1) GUMBEL, E. J: The Return Period of Flood Flows, Ann. Math. Stat., 12, 163-190, 1941
- 2) 杉山友康：降雨時の鉄道沿線斜面災害防止のための危険度評価法に関する研究、鉄道総研報告、特別第19号、1997年5月
- 3) 杉山友康、村石尚、斎藤善樹、奈良利孝：のり面防護工の耐雨性を考慮した新しい斜面評価基準の提案、鉄道総研報告、Vol.15、No.2、2001年2月

表 3 再現期間の算出例

再現期間 (年)	確率雨量 (mm)						
	r	R ₁₂	R ₂₄	R _{a24}	R _{cl.5}	R _{c6}	R _{c24}
2	22.5	94.9	105.1	86.9	33.1	52.1	75.0
3	26.7	107.5	119.3	99.1	38.2	59.5	84.9
4	29.3	115.5	128.4	106.9	41.5	64.3	91.1
5	31.3	121.5	135.1	112.7	43.9	67.8	95.8
8	35.4	133.6	148.7	124.4	48.8	75.0	105.2
10	37.2	139.2	155.0	129.7	51.0	78.3	109.6
15	40.5	149.1	166.2	139.4	55.0	84.2	117.3
20	42.8	156.1	174.0	146.1	57.9	88.3	122.8
25	44.6	161.5	180.1	151.3	60.0	91.5	127.0
30	46.1	165.8	185.0	155.5	61.8	94.1	130.4
40	48.4	172.7	192.7	162.2	64.6	98.2	135.7
50	50.1	178.0	198.7	167.3	66.7	101.3	139.9
60	51.6	182.3	203.6	171.5	68.4	103.9	143.2
80	53.8	189.1	211.2	178.1	71.2	107.9	148.6
100	55.6	194.4	217.2	183.2	73.3	111.0	152.7
150	58.8	204.0	228.0	192.4	77.2	116.7	160.1
200	61.1	210.8	235.6	199.0	79.9	120.7	165.4
250	62.8	216.0	241.5	204.1	82.1	123.8	169.5
300	64.2	220.3	246.3	208.2	83.8	126.4	172.9
400	66.5	227.1	254.0	214.8	86.5	130.4	178.2
500	68.2	232.4	259.9	219.8	88.6	133.5	182.3

表 4 のり面工施工後に経験した雨量の例

雨量指標	のり面工施工後に経験した雨量 (mm)						
	r	R ₁₂	R ₂₄	R _{a24}	R _{cl.5}	R _{c6}	R _{c24}
最大値	45.5	168.0	183.0	168.0	62.8	97.5	133.3
最小値	11.0	61.0	65.0	56.5	18.0	28.7	45.2
平均値	23.0	97.2	107.1	88.6	34.0	53.5	76.6
標準偏差	8.2	28.8	32.0	27.3	11.5	17.8	22.2

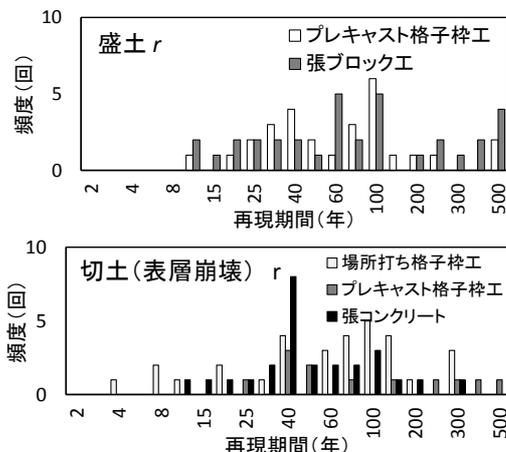


図 1 経験雨量の再現期間の頻度分布

表 5 経験雨量の再現期間の相乗平均値

雨量指標	のり面工施工後に経験した雨量の再現期間 (年)							
	盛土		切土: 表層崩壊			切土: 非表層崩壊		
	A	B	C	A	D	C	A	D
r	66.5	79.7	59.5	97.3	50.3	51.6	65.1	66.0
R ₁₂	77.7	92.0	65.8	61.5	60.9	56.0	90.3	66.4
R ₂₄	69.1	65.2	56.5	52.5	68.8	50.3	53.8	53.7
R _{a24}	87.9	83.1	57.2	56.4	63.5	49.7	65.3	65.3
R _{cl.5}	77.5	73.3	58.0	95.8	61.5	54.7	52.6	66.3
R _{c6}	85.3	83.8	52.5	66.1	72.0	49.6	58.5	80.3
R _{c24}	72.7	73.3	54.4	47.4	61.3	44.9	57.2	62.1

A: プレキャスト格子砕工 B: 張ブロック工
C: 場所打ち格子砕工 D: 張コンクリート工