

限界雨量の再現期間を用いたのり面工の耐雨性効果の定量化方法

鉄道総合技術研究所

正会員

○阪東

聖人

正会員

佐々木

智之

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

鉄道沿線斜面のように線上に長く多種多様な斜面の危険性を評価するひとつの方法として「限界雨量に基づく斜面の危険度評価基準¹⁾²⁾」（以下、評価基準という）がある。この評価基準を用いることでのり面工の耐雨性向上効果は定量的に把握できるが、限界雨量を算出するためには対象とするのり面において現地調査に加えて簡易な土質試験等を実施する必要がある。

一方、これまでの研究によりのり面工施工箇所は概ね 45～97 年を再現期間とする確率降水量を経験していることがわかっている³⁾。本稿では、机上においてのり面工施工箇所の降雨時連転規制値を検討することを目的として、文献 3)の結果を踏まえてのり面工の耐雨性向上効果を降雨量の再現期間を指標として定量化する方法を検討した。

2. 本稿で取り扱う雨量指標等について

評価基準では斜面条件等の評価点を加算し、連続雨量 R のべき乗と時間雨量 r のべき乗の積として限界雨量 S を求めることによって、対象箇所の危険度を評価する。ここで、限界雨量 S は以下の式で表される。

$$S=R^m \cdot r^n$$

・・・ (1)

$$S= \text{基本点}+\Sigma \text{ (評価点+のり面工の効果点)}$$

・・・ (2)

式(1)にのり面工施工後に観測した雨量値を代入することで、のり面工施工後に経験した限界雨量（以下、実績値という）が算出できる。式(2)のうち、のり面工の効果点をゼロとすることでのり面工施工前の限界雨量（以下、評価値という）が算出できる。また、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により再現期間を算出した。

3. 再現期間を用いたのり面工効果の定量化

3.1. 検討方法

(1) 使用するデータについて

使用するデータは、評価基準にのり面工の効果を組み込んだ際に使用したデータ²⁾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。

表 1 雨量指標の定義

雨量指標および限界雨量			再現期間	
名称	評価区分	記号	名称	記号
時間雨量	-	r	時間雨量の再現期間	P_r
12時間連続雨量	-	R_{12}	12時間連続雨量の再現期間	P_{R12}
24時間連続雨量	-	R_{24}	24時間連続雨量の再現期間	P_{R24}
24時間雨量	-	R_{24}	24時間雨量の再現期間	P_{R24}
実効雨量	半減期15時間	$R_{c1.5}$	実効雨量の再現期間	$P_{Rc1.5}$
	半減期6時間	R_{c6}		P_{Rc6}
	半減期24時間	R_{c24}		P_{Rc24}
	-	R_{24}		P_{R24}
12時間連続限界雨量	盛土	S_{12r}	12時間連続限界雨量の再現期間	P_{S12r}
	切土	S_{12c}		P_{S12c}
	表層崩壊	S_{12br}		P_{S12br}
	非表層崩壊	S_{12nbr}		P_{S12nbr}
24時間連続限界雨量	盛土	S_{24r}	24時間連続限界雨量の再現期間	P_{S24r}
	切土	S_{24c}		P_{S24c}
	表層崩壊	S_{24br}		P_{S24br}
	非表層崩壊	S_{24nbr}		P_{S24nbr}
24時間限界雨量	盛土	S_{24r}	24時間限界雨量の再現期間	P_{S24r}
	切土	S_{24c}		P_{S24c}
	表層崩壊	S_{24br}		P_{S24br}
	非表層崩壊	S_{24nbr}		P_{S24nbr}
限界実効雨量	半減期15時間	$S_{c1.5}$	限界実効雨量の再現期間	$P_{Sc1.5}$
	半減期6時間	S_{c6}		P_{Sc6}
	半減期24時間	S_{c24}		P_{Sc24}
	-	S_{24}		P_{S24}

表 2 再現期間の算出例

再現 期間 (年)	確率雨量(mm)				確率限界雨量											
	r	R_{12}	R_{24}	R_{24}	S_{12}			S_{24}			S_{24}			$S_{c1.5}$		
					S_{12r}	S_{12c}	S_{12br}	S_{24r}	S_{24c}	S_{24br}	S_{24r}	S_{24c}	S_{24br}	$S_{c1.5}$	S_{c6}	S_{c24}
2	22.5	94.9	105.1	86.9	8.5	36.2	9.8	8.8	36.9	10.3	8.5	36.0	9.7	33.1	52.1	75.0
3	26.7	107.5	119.3	99.1	9.3	43.3	10.6	9.5	43.9	11.0	9.2	43.1	10.4	38.2	59.5	84.9
4	29.3	115.5	128.4	106.9	9.7	47.9	11.1	10.0	48.4	11.5	9.6	47.6	10.9	41.5	64.3	91.1
5	31.3	121.5	135.1	112.7	10.1	51.3	11.5	10.3	51.7	11.8	9.9	50.9	11.2	43.9	67.8	95.8
8	35.4	133.6	148.7	124.4	10.8	58.1	12.2	11.0	58.5	12.6	10.6	57.6	12.0	48.8	75.0	105.2
10	37.2	139.2	155.0	129.7	11.1	61.3	12.5	11.3	61.6	12.9	10.9	60.7	12.3	51.0	78.3	109.6
15	40.5	149.1	166.2	139.4	11.7	66.9	13.1	11.8	67.1	13.5	11.5	66.3	12.9	55.0	84.2	117.3
20	42.8	156.1	174.0	146.1	12.1	70.9	13.6	12.2	71.0	13.9	11.9	70.2	13.3	57.9	88.3	122.8
25	44.6	161.5	180.1	151.3	12.4	73.9	13.9	12.5	74.0	14.2	12.2	73.1	13.6	60.0	91.5	127.0
30	46.1	165.8	185.0	155.5	12.7	76.4	14.2	12.8	76.4	14.5	12.4	75.6	13.9	61.8	94.1	130.4
40	48.4	172.7	192.7	162.2	13.1	80.3	14.6	13.1	80.3	14.9	12.8	79.4	14.3	64.6	98.2	135.7
50	50.1	178.0	198.7	167.3	13.4	83.3	14.9	13.4	83.2	15.2	13.1	82.4	14.6	66.7	101.3	139.9
60	51.6	182.3	203.6	171.5	13.6	85.7	15.2	13.7	85.6	15.4	13.3	84.8	14.8	68.4	103.9	143.2
80	53.8	189.1	211.2	178.1	14.0	89.6	15.6	14.1	89.4	15.8	13.7	88.6	15.2	71.2	107.9	148.6
100	55.6	194.4	217.2	183.2	14.3	92.6	15.9	14.4	92.4	16.2	14.0	91.5	15.6	73.3	111.0	152.7
150	58.8	204.0	228.0	192.4	14.9	98.0	16.5	14.9	97.7	16.7	14.5	96.9	16.1	77.2	116.7	160.1
200	61.1	210.8	235.6	199.0	15.3	101.9	16.9	15.3	101.5	17.1	14.9	100.6	16.5	79.9	120.7	165.4
250	62.8	216.0	241.5	204.1	15.6	104.8	17.3	15.6	104.5	17.4	15.2	103.6	16.8	82.1	123.8	169.5
300	64.2	220.3	246.3	208.2	15.8	107.3	17.5	15.8	106.8	17.7	15.4	106.0	17.1	83.8	126.4	172.9
400	66.5	227.1	254.0	214.8	16.2	111.1	17.9	16.2	110.6	18.1	15.8	109.7	17.5	86.3	130.4	178.2
500	68.2	232.4	259.9	219.8	16.5	114.1	18.3	16.5	113.6	18.4	16.1	112.7	17.8	88.6	133.5	182.3

表 3 実績値の再現期間の例

限界雨量	S_{12}			S_{24}			S_{24}			$S_{c1.5}$	S_{c6}	S_{c24}
	S_{12r}	S_{12c}	S_{12br}	S_{24r}	S_{24c}	S_{24br}	S_{24r}	S_{24c}	S_{24br}			
最大値	12.5	77.9	14.1	12.5	77.9	14.1	12.4	74.8	14.1	62.8	97.5	133.3
最小値	6.2	16.0	7.2	6.4	16.0	7.7	6.2	16.0	7.2	18.0	28.7	45.2
平均値	8.6	37.2	9.9	8.9	37.8	10.4	8.6	36.9	9.8	34.0	53.5	76.6
標準偏差	1.7	14.8	1.8	1.6	14.6	1.8	1.6	14.5	1.7	11.5	17.8	22.2
最大値の 再現期間 (年)	P_{S12}			P_{S24}			P_{S24}			$P_{Sc1.5}$	P_{Sc6}	P_{Sc24}
	P_{S12r}	P_{S12c}	P_{S12br}	P_{S24r}	P_{S24c}	P_{S24br}	P_{S24r}	P_{S24c}	P_{S24br}			
	25	30	30	25	30	25	30	30	40	30	40	40

(2) 再現期間の算出

(1) の斜面近傍の地上アメダス観測点の観測開始から 2016 年 12 月までの年間最大雨量値を算出した。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。この年間最大雨量値を基にガンベルの方法により 155 箇所のアメダス観測点ごとに再現期間を算出した。表 1 の雨量指標を対象とした再現期間の算出例を表 2 に示す。

(3) のり面工施工前の限界雨量の再現期間の抽出

評価基準の「防護工の効果点」をゼロとして評価値を算出する。この評価値と表 2 に示すような再現期間の一覧より、評価値の再現期間を抽出する。

(4) のり面工施工後の限界雨量の再現期間の抽出

のり面工が施工されたのり面の崩壊に関する報告事例は少ない。そこで、ここでは実績値の最大値を求め、この降雨までは少なくとものり面工により耐雨性が向上するものと仮定して検討する。(2) で算出した年間最大雨量値より、のり面工施工後に経験した最大限界雨量を抽出し、表 2 に示すような再現期間の一覧から対応する再現期間を抽出する。抽出例を表 3 に示す。このようにして 155 箇所の斜面について、のり面工施工前後の再現期間を抽出し相乗平均を算出した。

3.2. 再現期間を用いたのり面工効果の定量化方法

(1) 再現期間の差分から評価する方法

現行の評価基準では、評価値と実績値の差分を求めることにより、のり面工の効果を定量化している。同様の方法で整理した結果を表 4 に示す。再現期間の差分でのり面工の耐雨性効果を評価する場合、現地調査に加えて当該箇所近傍のアメダス観測点の降雨分析により再現期間を算出する必要がある。

(2) のり面工施工後に経験した限界雨量の再現期間から評価する方法

ここではのり面工種別の区分はしないこととし、実績値のみを用いて評価する方法を検討する。実績値の再現期間の一覧を表 5 に示す。表 2 に示すような 2~500 年の再現期間を基に、各雨量指標の対数近似式を用いて表 5 の再現期間に対応する限界雨量値を算出した。この限界雨量値と表 2 に示す確率限界雨量を基に盛土の限界雨量曲線 (P_{S12e}) を描くと図 1 ように表される。ここで、実績値の再現期間は表 5 より 46.2 年であることから、これに対応する曲線がのり面工施工箇所の耐雨性となる。図 1 に切土の限界雨量曲線および、これまでに観測された経験雨量を重ねて表示すると図 2 のように表される。経験雨量の値が盛土、切土の限界雨量曲線より概ね内方にあることから、これまで観測された降雨程度の耐雨性を有していることがわかる。

4. まとめ

経験限界雨量の統計分析から得られる実績値の再現期間を用いることにより、机上でのり面工の耐雨性効果を定量化できる可能性を示した。一方で、本手法は盛土、切土のみを対象としていることから、部外用地を発生源とする土砂流入や土石流のような事象には対応できないことに留意する必要がある。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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余価評価基準の提案、鉄道総研報告、Vol.15、No.2、2001年2月
- 3) 佐々木智之、阪東聖人、湯浅友輝、布川修、杉山友康：のり面工施工箇所の経験雨量分析、第72回年次学術講演会、2017年9月

表 4 再現期間の差分

評価基準記載の評価区分	施工前後の再現期間の差分(年)					
	P_{S12}	P_{S24}	P_{S24}	$P_{Sc1.5}$	P_{Sc6}	P_{Sc24}
盛土	プレキャスト格子枠工	46.3	47.9	46.8	76.7	86.9
	張ブロック工	40.5	35.9	46.3	77.2	85.4
切土	場所打ち格子枠工	70.1	64.6	55.3	68.1	54.4
	プレキャスト格子枠工	86.5	67.2	89.2	100.3	78.8
	張コンクリート工	47.5	44.2	49.0	57.8	64.4
切土 非表層崩壊	場所打ち格子枠工	34.4	36.3	37.0	-	50.0
	プレキャスト格子枠工	51.2	40.0	45.2	-	46.0
切土 表層崩壊	張コンクリート工	31.1	33.2	40.5	-	69.9
						67.6

表 5 実績値の再現期間

	施工後の再現期間 (年)		
	盛土	切土	
		表層崩壊	非表層崩壊
P_{S12}	46.2	59.2	40.7
P_{S24}	46.7	56.9	39.3
P_{S24}	49.7	60.1	42.1
$P_{Sc1.5}$	76.7	64.6	-
P_{Sc6}	81.6	58.5	57.8
P_{Sc24}	73.2	-	51.8

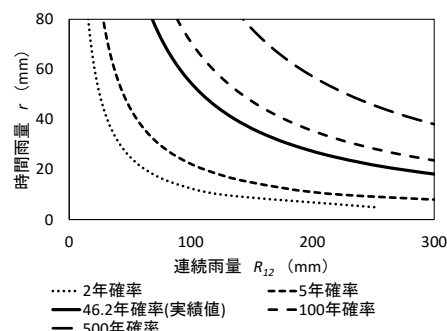
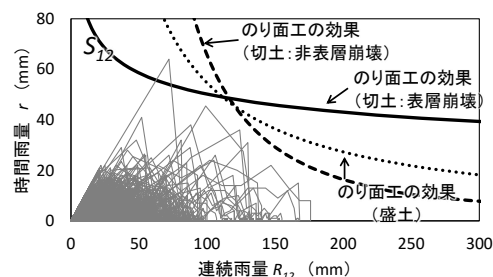
図 1 限界雨量曲線の例 (S_{12e})

図 2 のり面工の耐雨性向上効果