降雨に対する鉄道沿線斜面リスクを求めるための降雨ハザードの近似関数化

鉄道総研　正会員　○布川　修　正会員　森　泰樹
フェロー　杉山友康　正会員　太田直之
大成建設　正会員　畑　明仁　正会員　堀　倫裕
フェロー　亀村勝美

1．はじめに

筆者らは，降雨に対する鉄道沿線斜面のリスクを斜面の耐雨性や線区の重要度等を考慮して算出し，この結果を用いて斜面災害に対する防災投資の順位等を定量的に決定する方法について検討している[1), 2)]．本稿では，リスクを算出するために必要な降雨の年間発生頻度（降雨ハザード）を近似する方法について検討した結果を報告する．

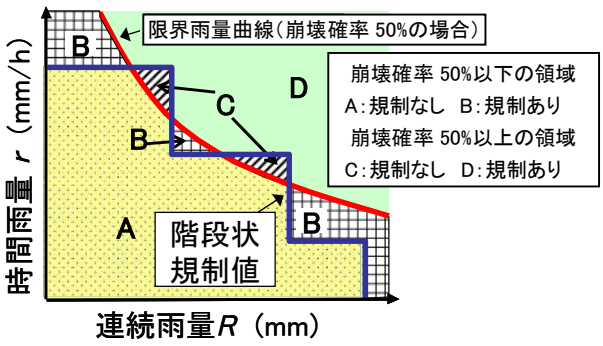

図 1　運転規制値と斜面の耐雨性（限界雨量）との関係

2．検討内容

検討しているリスク算出方法では，降雨時に発生する事象を崩壊発生の有無と運転規制の有無とを考慮して場合分けし，これらの事象の発生確率を求める[2)]．図 1 に連続雨量 R と時間雨量 r を軸とする平面上に表される鉄道の運転規制値と斜面の耐雨性（限界雨量曲線）を示す．連続雨量 R は 12 時間以上降雨が中断しない場合における降り始めからその時刻までの降雨量の累積値である．斜面の耐雨性の指標としては，鉄道総研が開発した斜面の危険度評価手法[3)]から求まる限界雨量という指標を利用することとした[1)]．図 1 に示した規制値を超える降雨が観測された場合に列車運行が規制（停止）され，限界雨量を超えた場合に斜面が崩壊する恐れが高くなる．

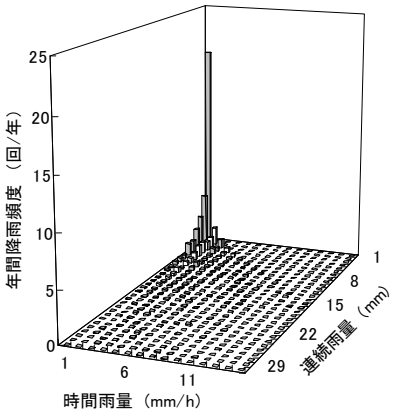

図 2　降雨の年間頻度分布の例

図 1 に示した崩壊発生の有無と運転規制の有無とを考慮して場合分けした事象の発生確率を用いてリスクを求めるためには，降雨の年間発生頻度を同じ平面上に示す必要がある．図 2 にアメダスデータから作成した降雨の年間発生頻度分布を例として示す．ここで，降雨頻度は連続雨量が 0 となるまでを一降雨とし，一降雨において限界雨量を平面上に表す式と同じ式を用いて求まる雨量指標 N（$=R^m r^n$，m，n は係数）が最大となるときの連続雨量 R と時間雨量 r を代表値とすることで求めた。

図 2 に示した降雨の年間発生頻度分布をこのままリスクを算出する際に用いる方法もあるが，ここでは，この分布を近似する方法について検討した．

3．近似方法の検討

近似方法は，①アメダスデータから降雨の年間発生頻度分布を作成する，②降雨の年間発生頻度分布から，時間雨量を 1 時間ごとに区分してそれぞれの区分で累積した頻度分布（以下，条件付き累積年間降雨頻度分布という）を作成する，③条件付き累積年間降雨頻度分布を関数式で近似する，④③で作成した条件付き累積年間降雨頻度分布から降雨の年間発生頻度分布（近似後）を作成する，こととした．

ここで，条件付き累積年間降雨頻度分布を近似する関数式を決定するため，以下に示す 3 つの近似関数型について検討した．なお，これらは既存の 2 次元確率分布から基準化条件等を除外した関数型を参考にして設定したものである．

キーワード　斜面災害，鉄道，リスク，年間降雨頻度，近似関数
連絡先　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　(財)鉄道総合技術研究所　TEL　042-573-7398

【対数正規型】

$$f_1(r,R)=\frac{A}{2\pi ab\sqrt{1-c^2}rR}\exp\left[\frac{-1}{2(1-c^2)}\left\{\left(\frac{\ln r-d}{a}\right)^2-2c\left(\frac{\ln r-d}{a}\right)\left(\frac{\ln R-e}{b}\right)+\left(\frac{\ln R-e}{b}\right)^2\right\}\right] \quad (1)$$

ここで，A,a,b,c,d,e：係数

【べき乗型】

$$f_2(r,R)=A\left(\frac{1}{R}\right)^a\left(\frac{1}{r}\right)^b \quad (2)$$

ここで，A,a,b：係数

【指数型】

$$f_3(r,R)=\frac{A}{ab(1-c)}\exp\left\{-\frac{r}{a(1-c)}-\frac{R}{b(1-c)}\right\}\times I_0\left(\frac{2\sqrt{c}}{(1-c)}\sqrt{\frac{rR}{ab}}\right) \quad (3)$$

ここで，A,a,b,c：係数，I_0：0 次の第 1 種変形ベッセル関数

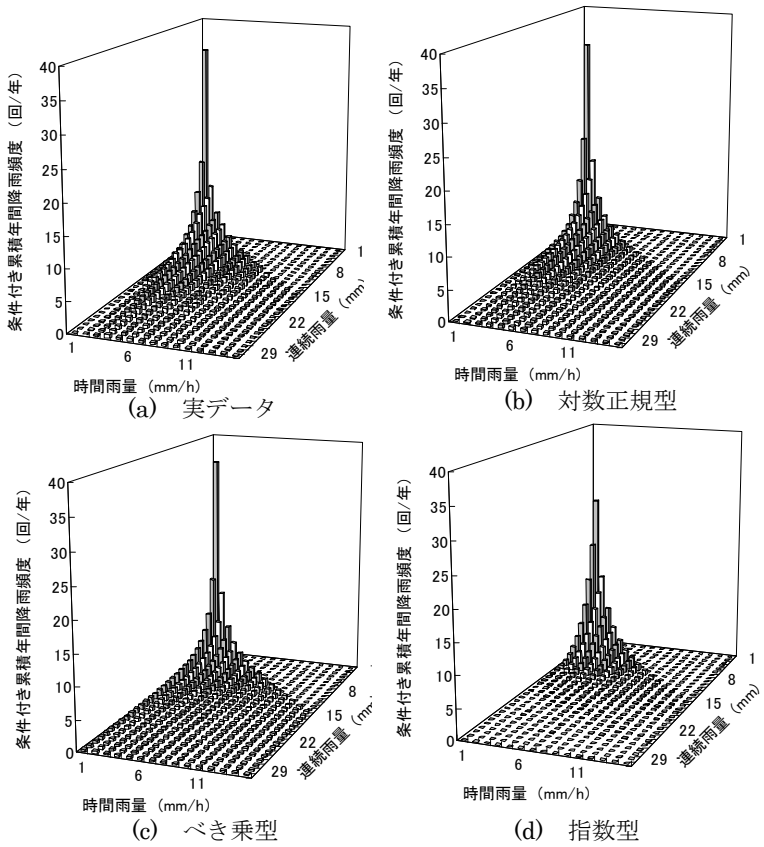

図 3 条件付き累積年間降雨頻度分布の近似例

図 3 に条件付き累積年間降雨頻度分布を上記関数型で近似した結果の例を示す．これらの図は，関数型ごとの式から時間雨量，連続雨量ともに 1mm の単位で離散化して近似した結果である．これらの図より，実データと比較して指数型は明らかに異なる傾向を示していることが分かる．

４．近似関数型ごとの精度の検証

各関数型の精度を検証するため，アメダス地点 3 箇所を対象として年間降雨頻度を近似し，近似精度を求めた結果を表 1 に示す．なお，降雨の代表値は盛土崩壊の係数を用いた雨量指標 N（$=R^{0.3}r^{0.3}$）を求めることで算出した．表 1 より，総頻度は対数正規型が最も実データに近く，年間降雨頻度について実データと近似後のデータを比較した結果である残差 2 乗和と相関から，対数正規型とべき乗型の精度が高いことが分かる．

表 1 各関数型の近似精度

		総頻度		年間降雨頻度の比較	
		実データ	近似データ	残差2乗和	相関
地点a	対数正規型	67.1	65.7	21.2	0.98
	べき乗型		79.7	18.2	0.98
	指数型		63.0	164.8	0.84
地点b	対数正規型	77.0	76.5	29.6	0.97
	べき乗型		91.3	24.1	0.98
	指数型		70.0	204.5	0.80
地点c	対数正規型	66.9	65.2	6.4	0.99
	べき乗型		78.3	31.1	0.98
	指数型		63.3	75.3	0.89

近似した年間降雨頻度から降雨時に想定される事象の発生頻度を求める場合，総頻度が実データと大きく異なると発生頻度も実際とは大きく異なる結果となる恐れがある．このため，総頻度が実データに近く，かつ，解析精度も高い対数正規型の関数式を用いて年間降雨頻度を近似し，これをリスク算出の際に用いるのがよいことが分かった．

５．おわりに

本稿では，降雨に対する鉄道沿線斜面のリスクを算出するための年間降雨頻度分布を近似する方法について検討した結果を示した．今後，異なるアメダス地点のデータを用いた検討を行うことで，今回の結果の妥当性を検証する予定である．

参考文献

1)淵脇晃，森泰樹，布川修，杉山友康，畑明仁，堀倫裕，亀村勝美：リスク評価における鉄道斜面災害の被害確率頻度算出の考え方，第 62 回年次学術講演会講演概要集，土木学会，2007.9 2)森泰樹，布川修，杉山友康，太田直之，淵脇晃，畑明仁，堀倫裕，亀村勝美：降雨に対する盛土・切土のリスク算出方法に関する検討，第 63 回年次学術講演会講演概要集，土木学会，2008.9（投稿中） 3)杉山友康：降雨時の鉄道斜面防災防止のための危険度評価手法に関する研究，鉄道総研報告特別第 19 号，1997.5