

高速道路における降雨時通行規制によるリスク管理手法

大阪大学大学院工学研究科	学生員	○音地拓
西日本高速道路株式会社	正会員	櫻谷慶治
大阪大学大学院工学研究科	正会員	小濱健吾
大阪大学大学院工学研究科	正会員	貝戸清之

1. はじめに

高速道路において、降雨時の通行規制は斜面災害から利用者への被害を未然に防ぐために実施され、現行の通行規制の評価基準には、連続雨量と時間雨量が採用されている。しかしながら、近年、局所的かつ短時間での豪雨が増加しており、高速道路において通行規制実施前に斜面災害が発生する事例のみならず通行規制実施後に斜面災害が発生しない事例も報告されている。これらの事例の発生数は、規制基準値により変動し、管理者は両者を考慮した上で規制基準値を設定する必要がある。しかしながら、現行の規制基準値設定手法では、2つの事例がリスクとして定量的に評価されていない。さらに、規制基準値の設定過程には、管理者の経験や主観に依存している部分が存在するため、現行の設定手法には改善の余地があると考えられる。

本研究では、斜面災害の発生確率（以下、斜面災害発生モデル）と斜面災害を誘発させる降雨の発生確率（以下、降雨量分布）を表現し、斜面災害の発生を定量的に評価する。さらに、2つの事例をリスクとして定量化し、両者を可能な限り低減させる降雨量を最適通行規制基準値として設定する方法論を提案する。

2. 現象のモデル化とモデルの推定

(1) 斜面災害発生モデル

斜面災害発生の有無は、2値変数で表されることから、2項ロジットモデル¹⁾²⁾を援用し、斜面災害発生モデルを定式化する。本研究では、斜面災害発生の誘因として最大連続雨量および最大時間雨量、素因としてのり面情報に着目し、斜面災害発生モデルの説明変数として採用する。具体的には、のり面情報として切土数、最大切土直高、合計切土面積を考慮する。斜面災害発生モデルは、

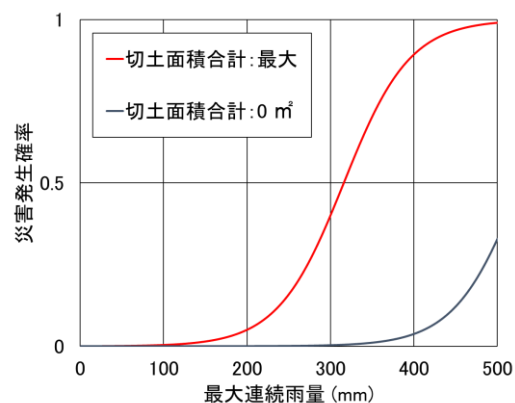


図-1 斜面災害発生モデル

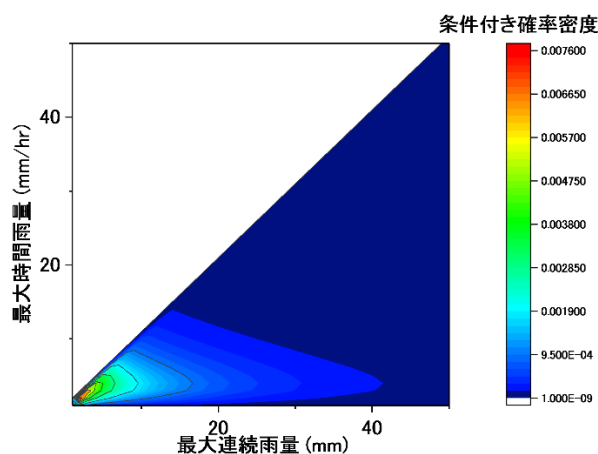


図-2 降雨量分布

$$p_a = \frac{\exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2)}{1 + \exp(\beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2)} \quad (1)$$

と定式化できる。ここで、 x_1 、 x_2 はそれぞれ最大連続雨量と各のり面情報を示す。のり面情報に関しては、それぞれ間に相関関係が存在するため、1つずつ考慮することとした。また、斜面災害発生モデルにおける未知パラメータ β は、最尤法により行い、推定に用いるデータは局地的に発生する豪雨を考慮して、高速道路沿道の1kmメッシュで記録されている2006年から2014年に観測された一連の解析雨量とした。これによ

Keywords：斜面災害 降雨時通行規制 高速道路 統計的手法

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 E4 棟 332 号室 TEL：06-6879-7622 Email：t.onji@civil.eng.osaka-u.ac.jp

り、図-1 に示すように任意の最大連続雨量での斜面災害発生確率を求めることが可能となる。なお、図-1 には考慮したのり面情報の中で最も対数尤度が大きく推計された切土面積合計を採用した斜面災害発生モデルを示している。

(2) 降雨量分布

斜面災害発生モデルの説明変数として採用した最大連続雨量をもたらし降雨の発生確率を降雨量分布として表現する。その際、最大時間雨量と最大連続雨量のそれぞれが従う確率分布の候補として、一般化極値分布、ガンマ分布、対数正規分布をとりあげる。また、最大連続雨量は、1 回の降雨イベントにおける時間雨量の累積値で定義されることから、最大時間雨量 y は最大連続雨量 x を超えないという制約を有する。したがって、最大時間雨量 y の従う条件付き確率 $g_2(y|x)$ を切断確率分布を用いて

$$g_2(y|x) = \frac{g_2(y)}{G_2(x) - G_2(0)} \quad (0 \leq y \leq x) \quad (2)$$

と表現する。さらに、最大連続雨量 x が従う確率分布 $g_1(x)$ を用いて、双方の雨量指標の条件付き同時確率分布を

$$f(x, y) = g_1(x)g_2(y|x) \quad (3)$$

と定式化する。また、候補としてとりあげた確率分布におけるパラメータ $\mathbf{a}$ は最尤法により行い、推定に用いるデータは、斜面災害発生モデルの推定と同様に一連の解析雨量を用いる。図-2 に推定された降雨量分布を等高線図で示す。なお、最大時間雨量、最大連続雨量のそれぞれが従う確率分布は、ともに対数正規分布という結果となった。

3. 降雨時通行規制基準値の最適化

(1) リスクの定式化

推定された斜面災害発生確率と降雨量分布の確率密度関数との積によりリスクを定義する。高速道路における現行の基準値を例に、規制基準値を連続雨量 $\bar{X}_1, \bar{X}_2 (\bar{X}_1 \leq \bar{X}_2)$ 、時間雨量 $\bar{Y}$ と設定した場合、安全面のリスクを通行規制実施前に斜面災害が発生する事例で定義し、

$$R_1(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{Y}) = \int_0^{\bar{X}_1} \int_0^{\infty} p_a(x|\beta) f(x, y|\mathbf{a}) dy dx + \int_{\bar{X}_1}^{\bar{X}_2} \int_0^{\bar{Y}} p_a(x|\beta) f(x, y|\mathbf{a}) dy dx \quad (4)$$

と定式化し、通行規制実施前に災害が発生する領域の体積で表現する。さらに、サービス面のリスクを通行規制実施後に斜面災害が発生しない事例で定義し、

$$R_2(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{Y}) = \int_{\bar{X}_1}^{\bar{X}_2} \int_{\bar{Y}}^{\infty} p_b(x|\beta) f(x, y|\mathbf{a}) dy dx + \int_{\bar{X}_2}^{\infty} \int_0^x p_b(x|\beta) f(x, y|\mathbf{a}) dy dx \quad (5)$$

と定式化し、通行規制実施後に災害が発生しない領域の体積で表現する。これらの 2 つのリスクは規制基準値を大きく設定すると安全面のリスクは増加するのに対し、サービス面のリスクは低減される。一方で、規制基準値を小さく設定すると安全面のリスクは低減されるのに対し、サービス面のリスクは増加する。このように両リスクの間にはトレードオフの関係が存在し、同時に低減させることは不可能でとなる。そこで、最適化モデルを定式化することにより、両リスクを可能な限り低減させる降雨量値を最適通行規制基準値として設定する。

(2) 最適化モデル

一般的に、管理者が安全面のリスクとサービス面のリスクを対等のリスクとして捉えることは考えにくい。そこで、両リスクの重要性を考慮するために安全面のリスク、サービス面のリスクのそれぞれに係数 A, B を掛け合わせる。さらに、両リスクの和を求め、それを最小化する値を降雨時通行規制基準値の最適値として決定するモデルを最適化モデルと呼び、

$$\min(A \times R_1(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{Y}) + B \times R_2(\bar{X}_1, \bar{X}_2, \bar{Y})) \quad (5)$$

と定式化する。これにより、双方のリスクの重要性を表す係数を設定することにより、リスク和が最小となる最適値 $\bar{X}_1, \bar{X}_2 (\bar{X}_1 \leq \bar{X}_2), \bar{Y}$ が一意に決定される。

4. おわりに

本研究で示した方法論により、高速道路管理者は両リスクの係数を設定することにより最適通行規制基準値を一意に決定することが可能となる。また、本研究で示した方法論を用いることにより、最新の斜面災害情報や気象特性の変化を逐次考慮し、最適規制基準値に反映することが可能となる。

【参考文献】

- 1) 川越清樹, 風間聡, 沢本正樹: 数値地理情報と降雨極値データを利用した土砂災害発生確率モデルの構築, 自然災害科学, Vol.27, No.1, pp.69-83, 2008.