

斜面災害発生確率の時系列変化に基づく通行規制基準値の設定

| | | |
|--------------|-----|-------|
| 大阪大学大学院工学研究科 | 学生員 | ○橋詰遼太 |
| 大阪大学大学院工学研究科 | 学生員 | 二宮陽平 |
| 西日本高速道路株式会社 | 正会員 | 堤 浩志 |
| 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

我が国の高速道路は、全供用延長の約 7 割が土工区間であり、降雨に伴う斜面災害に対して十分な対策が求められる。斜面災害による利用者への被害を防ぐため、ソフト対策として事前通行規制が行われている。しかしながら、近年の集中豪雨の増加に伴い、通行規制基準値に達する前に斜面災害が発生する「見逃し」や、通行規制実施中に斜面災害が発生しない「空振り」が報告されている。現行基準値では、過去の降雨履歴をもとに定性的な判断が加えられて設定されているが、定量的な手法を用いることにより改善の余地があると考えられる。そこで、本研究ではハザードモデルを援用し、過去の降雨の時系列データ、斜面災害の発生履歴、斜面特性に基づき、災害発生確率の時系列変化を求める。また、災害発生確率をもとにした規制実施方法を検討し、斜面災害による被災車両台数の期待値と規制時間を指標とした規制基準値の設定方法を提案する。以下 2. では斜面災害発生確率、3. では規制基準値設定方法、4. では実証分析を通して本研究の有用性を確認する。

2. 斜面災害発生確率

一般的に、災害発見時刻は記録されているが、災害発生時刻は不可観測となる。そこで、本研究では災害発生時点が降雨開始時刻から災害発見時刻までの間に存在すると仮定し、ハザードモデルを用いて災害発生確率の時系列変化を求める。これにより、災害発生時刻が不明なデータに対して、ある期間内で災害が発生する確率を求めることが可能となる。ハザードモデルの説明変数には、雨量の時系列データを採用する。現行の規制基準では、雨量指標として時間雨量と連続雨量を用いているが、モデルの定式化にあたって時間雨量と N 時間累積雨量を説明変数として用いる。累積雨量の期間は、モデルを実データに適用して比較することによって、最も適切なものを決定する。IC 区間 k のメッシュ i_k ($i_k = 1, \dots, I_k$)、メッシュ i_k の降雨イベント j_{i_k} ($j_{i_k} = 1, \dots, J_{i_k}$)、時刻 t ($t = 1, \dots, T_j$) におけるハザード

関数は、

$$h_{i_k}^{j_{i_k}}(t) = \exp\{\alpha + \beta_1 r_{i_k}(t) + \beta_2 \sum_{s=t-N}^{t-1} r_{i_k}(s) + \sum_{m=1}^M \gamma_m x_{i_k,m}\} \quad (1)$$

と表される。 I_k は区間 k におけるメッシュ数、 J_{i_k} はメッシュ i_k における降雨イベントの回数、 T_j は降雨イベント j における降雨の期間を表す。 $r_{i_k}(t)$ はメッシュ i_k 、時刻 t における時間雨量、 $x_{i_k,m}$ は斜面特性、 $\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$ は未知パラメータである。説明変数が離散値となるため、生存関数は、

$$S(t) = \exp\left\{-\sum_{u=1}^t h(u)\right\} \quad (2)$$

と表される。IC 区間 k のメッシュ i_k において、時刻 t における時間雨量 $\bar{r}_{i_k,t}$ と、メッシュ i_k における素因の特性ベクトル $\bar{x}_{i_k,m}$ に関するデータが得られたと考える。記号「 $\bar{\cdot}$ 」は観測値を示す。

IC 区間 k のメッシュ i_k において、時刻 t で得られる観測値ベクトルは、 $\bar{\xi}_{i_k}^t = (\bar{r}_{i_k,t}, \bar{x}_{i_k,m})$ と表される。また、パラメータ $\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma$ を $\phi = (\alpha, \beta_1, \beta_2, \gamma)$ と表す。さらに、全ての IC 区間の全てのメッシュにおいて得られる観測値集合を $\Xi = \{\xi_{1,1}^1, \dots, \xi_{K,I_k}^J\}$ とする。このとき、個々の降雨イベント、斜面災害は独立に生起すると仮定すると、尤度関数は、

$$L(\phi, \Xi) = \prod_{k=1}^K \prod_{i_k=1}^{I_k} \prod_{j_{i_k}=1}^{J_{i_k}'} 1 - S(t') \prod_{j_{i_k}=j_{i_k}'+1}^{J_{i_k}} S(T_j) \quad (3)$$

と表される。 $j_{i_k} = 1, \dots, j_{i_k}'$ は災害が発生した降雨イベント、 $j_{i_k} = j_{i_k}' + 1, \dots, J_{i_k}$ は災害未発生時の降雨イベント、 t' は災害発見時刻を示す。本研究においては、マルコフ連鎖モンテカルロ法によりモデル推計を行い、推計されたパラメータを用いて災害発生確率を導出する。メッシュ i_k 、時刻 t における災害発生確率 $p_{i_k,t}(r_{i_k,t}, x_{i_k,m}, \hat{\phi})$

Key Words : 斜面災害, 通行規制, 高速道路, ハザードモデル

〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 工学研究科 AR 棟 605 号室 TEL:06-6879-7622

は、時刻 $t-1$ までに災害が発生しないという条件のもと、時刻 t までに災害が発生する条件付き確率で表される。

$$p_{i_k,t}(r_{i_k,t}, x_{i_k,m}, \hat{\phi}) = \frac{1 - S(t)}{S(t-1)} \quad (4)$$

3. 規制基準値設定方法

現行の規制開始基準値は時間雨量と連続雨量を用いて各 IC 区間で設定されている。本研究では、降雨の時系列変化、斜面特性を定量的に考慮するために規制開始基準値に災害発生確率を用いて、全区間統一の施策変数 u とする。規制解除は現行基準同様に無降雨 6 時間経過後とする。規制基準値の設定において、見逃しによる通行車両の期待被災台数と規制時間を指標とする。期待被災台数と規制時間はトレードオフの関係にあり、双方を同時に最小化することはできない。本研究では、規制基準値を一意的な値として算出するのではなく、現行基準による規制よりも期待被災台数と規制時間が大きくなるように制約条件を設けた規制基準値の範囲を提案する。メッシュ i_k において、通行規制を実施していないにも関わらず、斜面災害が発生する見逃しの確率を $P_{i_k}(p_{i_k,t}(r_{i_k,t}, x_{i_k,m}, \hat{\phi}), u)$ とする。ある IC 区間 k のメッシュ i_k で斜面災害が 1 件発生したときの被災台数を C_k とすると、全区間における期待被災台数は、

$$R(u) = \sum_{k=1}^K \sum_{i_k=1}^{I_k} C_k P_{i_k}(p_{i_k,t}(r_{i_k,t}, x_{i_k,m}, \hat{\phi}), u) \quad (5)$$

と表される。IC 区間内のいずれかのメッシュにおいて、規制基準値を超えたとき規制開始となり、IC 区間内のすべてのメッシュで無降雨 6 時間経過後に規制解除となる。各 IC 区間内の規制時間をすべての区間に関して合計したものを規制時間と定義する。

4. 高速道路路線における実証分析

対象となる高速道路路線上の過去数年分の解析雨量と各メッシュの斜面特性を用いて、定式化されたハザードモデルの未知パラメータを推定した。斜面特性には、メッシュ内の切土合計面積を採用した。また、時間雨量のパラメータは符号条件により棄却された。モデルに採用する累積雨量の期間を 1 時間ずつ増加させ、各モデルを AIC によって比較したところ、9 時間累積雨量を用いたモデルが採用された。したがってハザード関数は、

$$h_{i_k}^{j_{i_k}}(t) = \exp\{-15.771 + 3.153 \sum_{s=t-8}^t r_{i_k}(s) + 5.967x_{i_k}\} \quad (6)$$

と表される。大津等¹⁾は、時間交通量、走行速度、崩壊土砂の到達幅を用いて災害が 1 件発生したときの被災

表-1 現行基準による規制

| 規制件数 | 見逃し件数 | 空振り件数 | 規制時間 (h) | 期待被災台数 |
|------|-------|-------|----------|--------|
| 35 | 2 | 30 | 406 | 0.750 |

表-2 提案手法による規制

| 基準値 (%) | 規制件数 | 見逃し件数 | 空振り件数 | 規制時間 (h) | 期待被災台数 |
|---------|------|-------|-------|----------|--------|
| 0.07 | 32 | 2 | 27 | 448 | 0.696 |
| 0.08 | 27 | 2 | 22 | 393 | 0.710 |
| 0.09 | 23 | 2 | 28 | 349 | 0.729 |
| 0.10 | 22 | 2 | 27 | 330 | 0.735 |
| 0.11 | 20 | 2 | 15 | 304 | 0.740 |
| 0.12 | 20 | 2 | 15 | 300 | 0.744 |
| 0.13 | 19 | 2 | 14 | 291 | 0.747 |
| 0.14 | 17 | 2 | 12 | 275 | 0.754 |

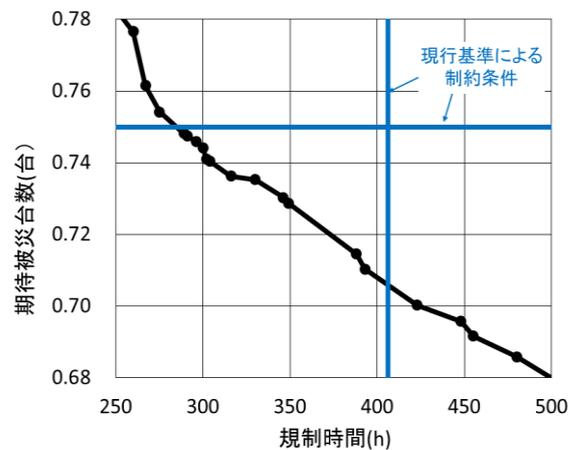


図-1 規制時間と期待被災台数の関係

台数を求めている。本研究では大津等の手法を用いて、IC 区間ごとに被災台数を設定した。現行基準による規制と提案手法による規制の試算結果をそれぞれ表-1、表-2 に示す。また、提案手法による規制時間と期待被災台数の関係を図-1 に示す。規制開始基準値を 0.08% から 0.13% としたとき、現行基準による規制より期待被災台数と規制時間を低減することが可能となる。

5. おわりに

本研究においては、高速道路における通行規制基準に着目し、雨量や斜面特性、斜面災害の発生履歴に基づいた斜面災害確率の算出、期待被災台数と規制時間を用いた規制基準値の設定方法を提案した。今後の課題として、災害発生確率を用いた規制解除基準の検討が必要とされる。

【参考文献】

1) 大津宏康, 梅川祐一郎: 社会経済的損失を考慮した豪雨時の事前通行規制に関する検討, 建設マネジメント研究論文集, 土木学会, Vol.15, pp.1-11, 2008.