

IV-113

限界雨量を用いた降雨時の鉄道運転規制値決定のための一考察

鉄道総合技術研究所 正員 藤井 昌隆 正員 岡田 勝也
正員 杉山 友康 正員 村石 尚

1. はじめに

現在JR各社の降雨による運転規制は、図-1のような連続雨量と時間雨量の2つの指標を組み合わせた、階段上の規制値を基本に行われている。ところが、本来これらの規制値を定める元となるべきのり面の評価基準は、①耐降雨量が日雨量で示されているため、運転規制に使用される雨量指標と一致していないこと、また、②全国一律の基準であるため地域特性などが反映されていないなどの問題点があった。筆者らはこれまでに、これらの問題点を解決するため、地域特性や土質力学的要因を考慮し、連続雨量と時間雨量を指標とする新しいのり面の危険度評価基準を作成し、のり面の耐降雨強度を連続雨量と時間雨量の積値で表した「限界雨量」の考え方を提案した。¹⁾ しかしながら現在のところ、限界雨量から運転規制基準、警備基準を定めるための手法が確立されていないために、実際にこれらの基準を定めるにあたっては、人の経験や勘に頼らざるを得ない状況である。今回の発表は、盛土のり面に関しての限界雨量曲線の持つ意味をさらに掘り下げ、実際に規制値を決定する際に参考となる手法を提案するものである。

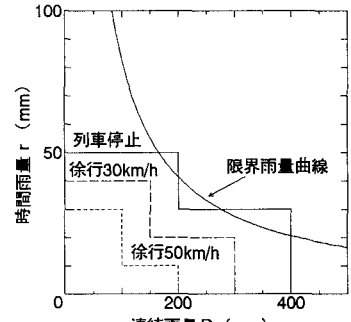


図-1 運転規制の例

2. 限界雨量曲線の求め方

盛土の限界雨量の予測式は、崩壊事例より盛土の諸条件を説明変数、連続雨量Rと時間雨量rのべき乗の積 $R^m \cdot r^n$ を目的変数として、数量化I類による解析を行って求めている（式(1)）。限界雨量の予測値は、基本点に評価しようとする盛土の諸条件に該当する評価点を加えることによって得られ、この値をもとに、図-1に示すような連続雨量R-時間雨量rを軸とする平面上に限界雨量曲線を描くことができる。したがって、盛土毎に1本ずつの限界雨量曲線を引くことができ、当該盛土の耐降雨強度が予測できるとともに、ある区間での盛土強度の優劣を判定することもできる。

$$R^{0.3} r^{0.3} = f(H, S_E, N_c, S_B, \theta_B, K, W_G, T_L, T_H, R_E) + a_0 \cdots \cdots (1)$$

3. 限界雨量曲線の意味

解析に用いたサンプルデータの限界雨量予測値と実測値との相関は図-2のようになる。数量化理論より、予測式は予測値と実測値との残差 ε が $(0, \sigma^2)$ の正規分布に従い、かつ平方和 $\sum \varepsilon^2$ が最小となるように求められているので、今回の解析のようにサンプル数が多い場合は $\sum \varepsilon = 0$ と考えてよい。これはすなわち予測値より少ない雨量で崩壊する盛土と、予測値以上の雨量で崩壊する盛土が半分ずつ存在することを意味しており、求められた限界雨量の予測値は、多数の盛土の内の半分、つまり50%は崩壊してしまうという値を示している。

さらにここで、解析に使用していない1つの全く新しい盛土データについて、限界雨量の予測式を適用した場合、この盛土の実測値は、

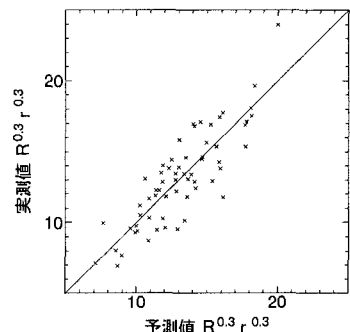


図-2 予測値と実測値の相関

予測値より少ない雨量となる確率が50%，多い雨量となる確率が50%と推定できる。すなわち，限界雨量の予測値はある1つの盛土に対し，その盛土が崩壊する確率が50%であることを示しており，描かれた限界雨量曲線は50%の崩壊確率線であるといえる。

4. 崩壊確率線

ここで，任意の崩壊確率線を求めることを考える。残差 ε の条件は，3.でも示したように

①残差 ε は $(0, \sigma^2)$ の正規分布に従う

② $\sum \varepsilon^2$ は最小

である。これは，重回帰分析の条件と全く同じであるので，信頼限界の考え方をそのまま導入することができる。全く未知の新しいサンプルを取った場合の信頼限界の式は次のように表される。

$$\eta_0: Y_0 \pm t(n-p-1; 100-\alpha) \sqrt{\{(1+1/n+D_0^2/(n-1)) V_e\}}$$

ここで η_0 は $\alpha\%$ の信頼限界の期待値， Y_0 は予測式より得られた予測値， $t(n-p-1; 100-\alpha)$ は自由度 $n-p-1$ の t 分布， n はサンプル数， p は次元， D_0^2 はマハラノビス汎距離， V_e は残差変動の不偏分散である。

図-3より， $\alpha\%$ の信頼限界を考えた場合，信頼域から外れる確率すなわち，ある予測値に対し実測値がそれより少ない雨量あるいは多い雨量となる確率がそれぞれ $(100-\alpha)/2\%$ ，であることがわかる。したがってこれらの値を結んだ線はそれぞれ $(100-\alpha)/2\%$ ， $100-\{(100-\alpha)/2\}\%$ の崩壊確率線とみなすことができる。各崩壊確率線を図-2に重ね合わせると図-4のようになり，実際に連続雨量 R と時間雨量 r の平面上で表すと図-5のようになる。

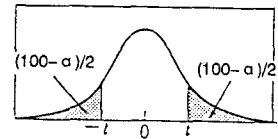


図-3 信頼限界（ t 分布）

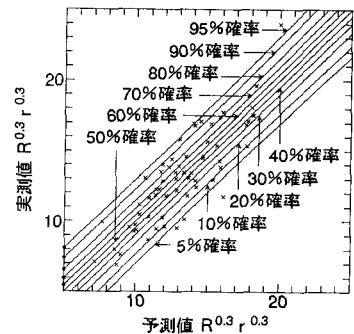


図-4 崩壊確率線

5. 基準値の決定手法

基準値決定の一手法として，例えばある区間に対しては，巡回警備は5%，固定警備および徐行は20%，列車停止は50%の崩壊確率で行うといったように，各規制ランクに対して目標とする崩壊確率を設定し，その確率線を基準線とする方法が考えられる。これにより，各基準値の理論的根拠が明確化されるとともに，基準値設定の考え方を統一できるものと考えられる。また，当該線区の重要度，保守区の要員などを考慮して線区毎に目標数値を変化させることも可能であり，きめ細かな運用にも耐え得るものと考えている。

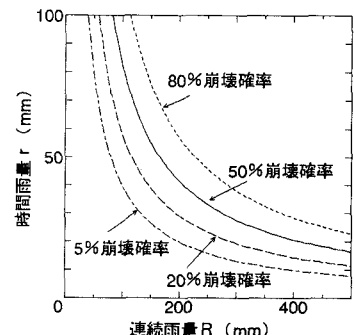


図-5 崩壊確率曲線

6. おわりに

今回盛土のり面に対して崩壊確率の概念を導入し，これを用いた基準値設定の1手法を提案した。この手法は盛土のみならず，切取や，自然斜面に対しても同じように適用でき，従来経験に基づいて設定されていた規制値の検討に際し，本研究が少しでも役立てていただければと考えている。

〔参考文献〕1) 岡田，杉山，村石，野口：統計的手法による鉄道盛土の降雨災害危険度の評価手法，土木学会論文集，NO.448/Ⅲ-19，PP25-34，1992.6