

道路通行規制に用いる雨量指標の特徴と基本的な考え方

市川智史・中根 淳

1. はじめに

近年、雨の降り方は、誰もが実感できる程に変化し、『ゲリラ豪雨』とも表現される局地的な大雨や、線状降水帯の発生による長時間の大雨などにより、毎年のように道路にも被害が生じている。道路分野では災害に繋がるような降雨の変化を一早く把握するため、既往の連続雨量に加え、組合せ雨量（時間雨量－連続雨量）、実効雨量、土壌雨量指数などの雨量指標について検討が行なわれている¹⁾。ここでは、これら雨量指標の特徴と基本的な考え方について紹介する。

2. 雨量データ

雨量指標の基となる雨量データは、連続雨量、組合せ雨量、実効雨量ではテレメータ雨量が、土壌雨量指数には解析雨量が用いられており、各々の特徴を以下に示す。

2.1 テレメータ雨量

テレメータは、道路に沿って設置条件（風、木立、建物などの影響を回避）を考慮して地上に設けた計測装置により、雨量、風向・風速、気温、路温、積雪深等を観測し、交通規制等のためのデータ収集を自動的に行うものである。雨量データは、その多くは転倒ます型雨量計（降水量0.5又は1.0mm単位）を用いて観測されている。事前通行規制区間では、計測装置は概ね1区間に1箇所の割合で設置されており、この観測データを規制区間の雨量として代表している。

2.2 解析雨量²⁾

解析雨量は、浸水、洪水、土砂災害などの誘因となる大雨をはじめとした雨量を的確に把握するために、気象庁が開発した1時間雨量分布である。開発当時は気象レーダーとアメダス雨量計の観測値を使用した5kmメッシュの解析資料であったが、現在は、国土交通省のレーダー雨量計、国や地方機関などの雨量計のデータも取り込まれ、約1km

メッシュの「国土交通省解析雨量」として30分毎に、また、降水短時間予報として、6時間先までの1時間降水量予想を10分毎に配信している。

3. 各種の雨量指標

3.1 連続雨量³⁾

一般の道路に用いられる雨量指標で、降り始めからの時間雨量の累積を連続雨量と称し、事前通行規制区間では所定の基準値を超えた場合に規制が行われる。降り始めから災害も起きず、一定時間（3時間程度）、降雨がゼロもしくは極めて少ない（時間2mm以下等）状況では、連続雨量はゼロに戻される。図-1は、時間雨量と連続雨量の推移を時間軸に示した例である。ここに、基準値を超過して発生した災害を捉えた場合を“捕捉”、基準値を超過したものの災害が起きなかった場合を“空振り”、基準値に未達の状況で災害が起きた場合を“見逃し”と称する。

連続雨量の値のみで判断する規制基準ではあるが、通行止め開始時間を予測しやすく、通行止めのための人員・資機材の準備・配置等の運用も比較的容易に対応することができる。一方で、降雨強度を直接的な指標としないため、ゲリラ豪雨のような短時間の局所的・集中的豪雨による災害には対応が難しいとされている。また、規制を実施しても無被災（空振り）が多いことも指摘されている。この空振り率が上昇する要因には、災害に

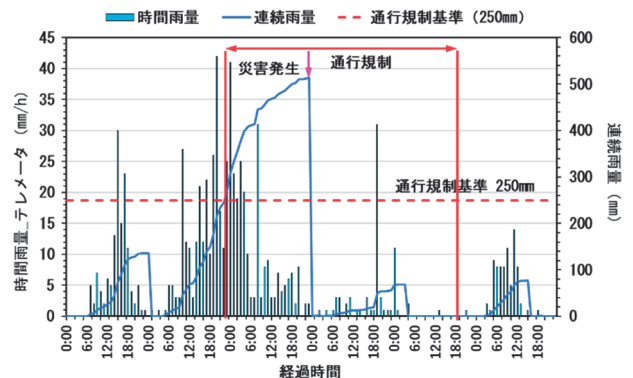


図-1 時間雨量と連続雨量の推移（災害捕捉の例）

は直接結び付かないような弱い雨が降り続いた場合でも、連続雨量は加算されて基準値を超過し、通行止めを実施することになる。また、近年では、道路防災対策が着実に実施された結果、降雨災害に強い自然斜面やのり面等に置き換わり、通行止めを実施しても災害が発生しないこと等が挙げられる。このため、防災対策工事の完了とその後の降雨実績等を踏まえた緩和や、地震などの緊急時の処置としての強化など、現地の状況に応じた運用がされている。

3.2 組合せ雨量⁴⁾

「組合せ雨量」とは、短時間の局所的・集中的豪雨への対応を、時間雨量を基準値として設定することで補う方法で、「連続雨量」とその時点における「時間雨量」の組み合わせで定められる基準値をいう。国土交通省では平成27年6月より、「連続雨量－時間雨量」の組合せ雨量の適性を検証するための試行が行われている。

「連続雨量」の基準値の設定には、各区間に道路管理用に設置した雨量計の特性に応じて降雨確率年を設定する。その場合、概ね5～6年に一度出現する降雨量（5～6年確率雨量）を一つの目安とする。なお、路線の重要性や各区間の特性により、10～20年確率またはそれ以上の出現確率雨量に設定することもある。各区間の特性として考慮するのは、供用年数、降雨経験、被災履歴、被災の規模・影響、道路構造（切盛土比率、構造物比率等）、のり面構造（のり面種別、のり面形状等）、地形・地質 等となる。

ここで概ね5～6年確率雨量を一つの目安とするのは、過去観測史上最大規模の降雨量があった場合に、災害の発生確率が高くなるという経験から、20年間で上位1～2番目の降雨は除き、3～4回出現する雨量を目安としている。また、過去の

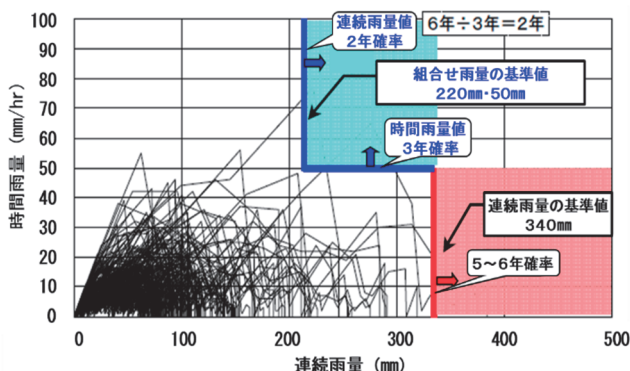


図-2 組合せ雨量の設定方法

災害記録から、対象区間に被災履歴がある場合には、被災要因、種別、規模や降雨履歴を考慮のうえ、基準値に反映させるか否かを判断する。

組合せ雨量の具体的な設定方法を図-2に示す。まず、「組合せ雨量」の時間雨量値は、用排水工の設計に用いる「3年確率雨量」を主に採用している。次に、「組合せ雨量」の連続雨量値は、「組合せ雨量」の時間雨量値で採用した「確率年」（3年）との積が、「連続雨量の基準値」で採用する「確率年」（5～6年）と同等の「確率年」を設定する。例えば、「連続雨量」の基準値に「6年確率雨量」を採用した場合は、「組合せ雨量」の時間雨量値は「3年確率雨量」、連続雨量値は「2年確率雨量」となる。

3.3 実効雨量⁵⁾

実効雨量は、降雨量のうち土壌中に残留する水分量を半減期毎に1/2に減少する単一のパラメータを用いて表現した指標であり、長期的な影響と短期的な影響を半減期により調整できる。実効雨量の概念図を図-3に示す。

ある時刻に降った雨量の影響が半減期の時間だけ経過すると半分になり、時間と共に降雨の影響が減少していくことを表現している。半減期を長く設定すると、降雨による土壌中の水分量への影響は、より長時間持続することになる。

時刻 t における半減期 $M[h]$ の実効雨量 $R(t)[mm]$ は次式で定義し、土中に残留した水分量の収支特性を1つの定数 α をパラメータとする数学モデルである。

$$R(t) = r(t) + \alpha R(t-1) \quad \cdots (1)$$

ここに、 $r(t)$ は時刻 t における単位時間雨量であり、 $R(t-1)$ は1時間前の実効雨量である。減少係数 α は、半減期 M を用いて次式で求められる。

$$\alpha = \ln(0.5)/M \quad \cdots (2)$$

規制基準としての適用にあたって半減期は、

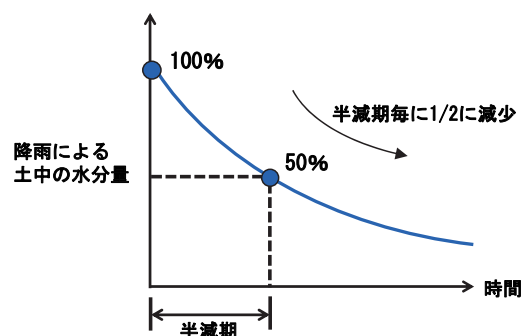


図-3 実効雨量の概念図

土研センター

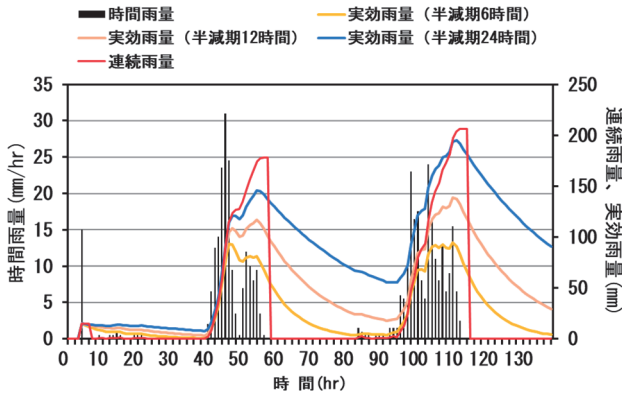


図-4 異なる半減期による実効雨量の推移 (例)

災害発生の見逃しや空振りの頻度を、共に出来るだけ少なくなる適切な時間を設定する必要がある。そこで、過去（20 年間程度）に発生した災害を含め、規制を行った時刻における実効雨量値を、候補とする複数の半減期（例えば、6h、12h、24h）についてそれぞれ計算し、降雨に起因する災害を全て補足できるように基準値（しきい値）を定める。その基準値による確率降雨年や「見逃し」および「空振り」の頻度が最小となるような、各半減期を比較することで最適な半減期を決定するという手順で行われる。図-4 は、これら半減期の違いによる実効雨量の推移の傾向を示したものである。

降雨による道路土工構造物や自然斜面の被災は、多くの場合、地盤にしみ込んだ雨水によって引き起こされる。その量を表現する降雨指標として、実効雨量は次のような特徴を有している。

- ① 先行雨量を考慮できるため、一雨の降り始めを決定する条件を恣意的に与える必要がない。
- ② 半減期を適切に設定することにより、対象区間毎の地形、地質、土質条件による雨水の浸透条件の違いを表現できる。
- ③ 半減期を適切に設定することによって、観測対象範囲の地盤に浸透した雨量の、時間に伴う変遷を把握することができる。

3.4 土壌雨量指数²⁾

土砂災害は、数週間以上前から直前までの降水による土壌の水分量と関係が深い。そこで、土砂災害が発生することの多い風化花崗岩のモデル的な斜面の水分量を、解析雨量を用いた直列3段タンクで表し、5km間隔で全国分布にしたのが土壌雨量指数である。このように土壌雨量指数は、実際の斜面の土壌水分量を表しているわけではない

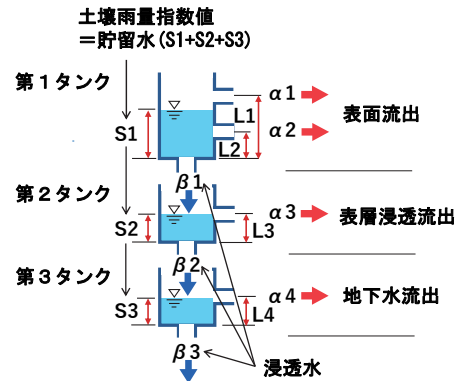


図-5 直列3段のタンクモデル

が、土砂災害の発生件数や発生確率との間に正の強い相関がある。実際、大雨警報の基準として使用されていた1, 3, 24時間の各降雨量と比べると、精度は明らかに高い。また、土砂災害を対象とした大雨警報（土砂災害）、大雨注意報の基準として使用されており、大雨特別警報の規準の1つとして使われている。さらに、気象庁と各都道府県が共同で発表している「土砂災害警戒情報」の規準にも、1時間降水量と組み合わせて使用されている。気象庁では図-5に示すIshihara & Kobatakeによる直列の3段タンクモデルとそのパラメータ（ α_1 、 α_2 、 α_3 、 α_4 、 β_1 、 β_2 、 β_3 ）を用い、土壌雨量指数の指数値は各タンクの貯留高の和（ $=S_1+S_2+S_3$ ）として定義している⁶⁾。

降雨が終了しても継続した算定が可能であり、降雨開始時点における先行雨量の影響も考慮できることから、降雨中および降雨後の土壌中の水分環境を考慮できる土壌雨量指数のような雨量指標は、道路土工構造物や自然斜面が被災する可能性の評価には有効と思われる。

砂防における土砂災害警戒情報の土砂災害発生基準線(CL)は、図-6に示すように1km四方のメッシュ毎に以下の手順に沿って描かれる。①気象庁の解析雨量、土壌雨量指数を収集する。なお、必要な過去資料の収集期間は、10年以上を原則とする。②降雨資料の対象期間内に発生した土砂災害について、発生箇所、箇所名、発生年月日、災害種別、被災状況、避難勧告等の発令の有無などの収集・整理と、災害時の降雨データを抽出する。③横軸・縦軸をそれぞれ土壌雨量指数・60分間積算雨量とし、平面上の任意の座標点の発生頻度をニューラルネットワーク法の一つである動径基底関数法（出現頻度法）により算出する。この

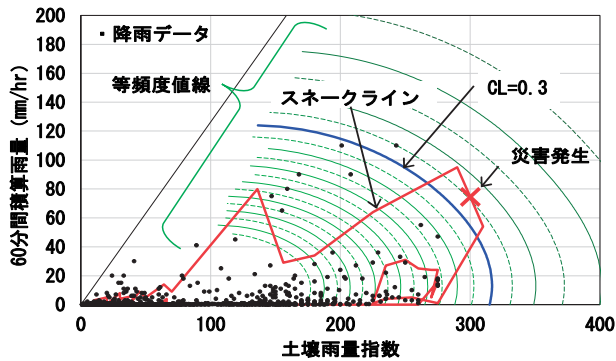


図-6 時間雨量と土壌雨量指数によるCL

頻度値が同値となる点を結んだ線を等頻度値線と呼ぶ。降雨データが密にプロットされる領域では頻度値は高く、疎な領域では頻度値は低くなる。④既に抽出した土砂災害発生時の降雨データを基に、スネークラインを書き入れ、土砂災害発生推定時刻を下回る等頻度線を基準線（CL、その候補）とする⁷⁾。また、1時間先、2時間先（6時間先まで可）の将来の降雨の予測データを入力できる状況にあるため、CLの超過・戻りの時刻を推定し、規制の開始や解除のタイミングや所要時間などに、ある程度の目途が付けられるという特徴も有する⁷⁾。

気象庁による土壌雨量指数の計算に利用する「タンクモデル」やCLの特徴を以下に示す。

- ・土壌雨量指数は、土砂災害の危険性の把握を目的とした指数であるが、土壌中に貯まる雨水量を正確に計算して求めたものではない。
- ・土壌雨量指数は、全国一律のパラメータを用いて算出しており、土壌中に貯まる雨水の量を模式的に計算している。土砂災害の危険性は、植生や地質等により地域毎で異なり、土壌雨量指数の値のみでは判断できない。このため、過去に発生した降雨災害との関係に基づいて作成された等頻度値とCLを比較して、危険性の程度を判断する必要がある。
- ・土壌雨量指数の値が高いことはメッシュ周辺を含む広い範囲に土砂災害の発生する危険性が全体的に高くなることを意味する。
- ・同じ地点では、土壌雨量指数が大きいほど土砂災害のポテンシャルは高いとは言えるが、地域の異なる地点の土壌雨量指数と比較して、どちらの地点が土砂災害の危険性が高いかという判定はできない。
- ・土壌雨量指数は比較的表層の地中を対象にモデ

ル化したものであり、深層崩壊や大規模な地滑りなど地中深い部分を要因とする災害と関連付けるのは適当ではない。ただし、過去の事例検証では、大規模な事象はCL超過期間に発生している。

- ・自然の斜面・溪流を対象とする警戒情報においては、CL基準自体を設定する必要がなく、除外する対応が図られている。

4. まとめ

大雨による災害の発生の危険性を把握する道路通行規制用の雨量指標として、連続雨量、組合せ雨量、実効雨量、および土壌雨量指数の各特徴と基本的な考え方について整理した。雨の降り方の変化を一早く把握し、災害を回避するなど、実態に即した合理的な雨量指標の確立に寄与できれば幸いです。

参考文献

- 1) 国土交通省 社会資本審議会 道路分科会 第13回道路技術小委員会、資料-2 昨今の災害を踏まえた検討の方向性について、2020.9
- 2) 牧野康隆、「気象防災の知識と実践」気象学ライブラリー1、2020.10
- 3) 国土交通省 道路局 国道・防災課道路防災対策室、「ゲリラ豪雨に対応した新しい事前通行規制の試行～災害補足率の向上と通行止め時間の適正化～」、道路行政セミナー、pp.1～9、2015
- 4) 西日本高速道路株式会社、「異常降雨時における道路通行規制基準設定マニュアル」、平成18年1月
- 5) 国土技術政策総合研究所資料、「土砂災害警戒避難基準雨量の設定手法」国総研資料第5号、平成13年9月
- 6) Ishihara, Y. and S. Kobatake: Runoff model for flood forecasting, Bulletin of the D. P. R. I., Kyoto Univ., Vol. 29, pp. 27-43, Jul., 1979.
- 7) 土砂災害警戒情報関係各種マニュアル等 - 国土交通省水管理・国土保全局砂防部、https://www.mlit.go.jp/river/sabo/doshakei_manual.html

市川智史



(一財) 土木研究センター
技術研究所 土工構造物研究部 主幹研究員
博士 (工学)
Dr. ICHIKAWA Satoshi

中根 淳



(一財) 土木研究センター
技術研究所 土工構造物研究部 部長
技術士
NAKANE Atsushi