

実効雨量を用いた降雨警報の有効性の検証



島村 誠*

降雨時における列車の安全運行を確保するための基礎作業として、既往の災害発生記録および降雨統計記録にもとづいて降雨警報に用いる危険指標の構成方法について検討した。危険指標の候補として実効雨量を選び、JR東日本域内の降雨災害発生推定時刻および付近の観測点における時間雨量観測記録を根拠データとして、様々な半減期およびその組み合わせの有効性について検討した。その結果、半減期およびその組み合わせを適切に選べば、警報漏れ頻度が従来基準と等しくなるように実効雨量の警報しきい値を定めた場合の警報継続時間は、時雨量・連続雨量法による従来基準のそれと比較して3割程度短縮できる、という結果が得られた。

キーワード：降雨災害、実効雨量、降雨警報、危険指標、警報しきい値

1 はじめに

降雨災害を予知し、警戒態勢を整えるうえで、既往の災害事例から災害発生の限界降雨量を推定することは重要である。本研究では、降雨を誘因として生ずる鉄道災害を対象に、災害発生と降雨の関係を整理し、降雨量の観測値から災害の発生を予測し適切な警報を発するためにはどのような方法を用いるのが最も有効であるかについて検討した。この検討は、災害の発生・非発生に対応する危険指標を探索 各危険指標における災害発生警報しきい値を設定 その適合性を従来基準と比較して評価 という手順によって行った。

2 危険指標

本研究では、探索すべき危険指標を、これまでに提案されている降雨災害に対する代表的な危険指標のひとつである実効雨量のグループに限定し、これを従来JR東日本の降雨に対する運転規制等で用いられてきた危険指標である時雨量・連続雨量と比較した。

実効雨量は、次式の関係で定義される。

$$R(t) = \int_0^t I(\tau) \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t-\tau}{H}} d\tau \quad (1)$$

ここで、 $R(t)$:時刻 t における実効雨量、 $I(\tau)$:時刻 τ における降雨強度、 H :半減期。

指標値として当該時刻までの経過時間に応じた重み付き先行雨量合計をとり、その重みとして経過時間 H 毎に半分になるような減少率を採用したものが実効雨量の危険指標としての意味である。

降雨災害は多くの場合、地盤にしみ込んだ雨水によって引き起こされる。その量を表現する指標として、実効雨量は次のような点で従来の時雨量や連続雨量より優れていると考えられる。

一雨の降り始めを決定する条件を恣意的に与える必要性がない。

半減期を適切に設定することによって、地盤の地形、地質、土質条件による雨水の浸透条件の違いを表現することができる。

半減期を適切に設定することによって、雨量観測点の観測対象エリアの大きさと雨量評価時間とのバランスをとることができる。

図1に、観測地(旧信越本線熊の平駅構内付近斜面)における雨量とこれに対応する深さ30cmの位置における土中水の圧力水頭(サクシオン)および半減期1.5、6、24時間の実効雨量の観測事例を示す。この事例では、降雨に対する土中水分量の応答と実効雨量の時系列パターンが比較的良好に一致していることがわかる。

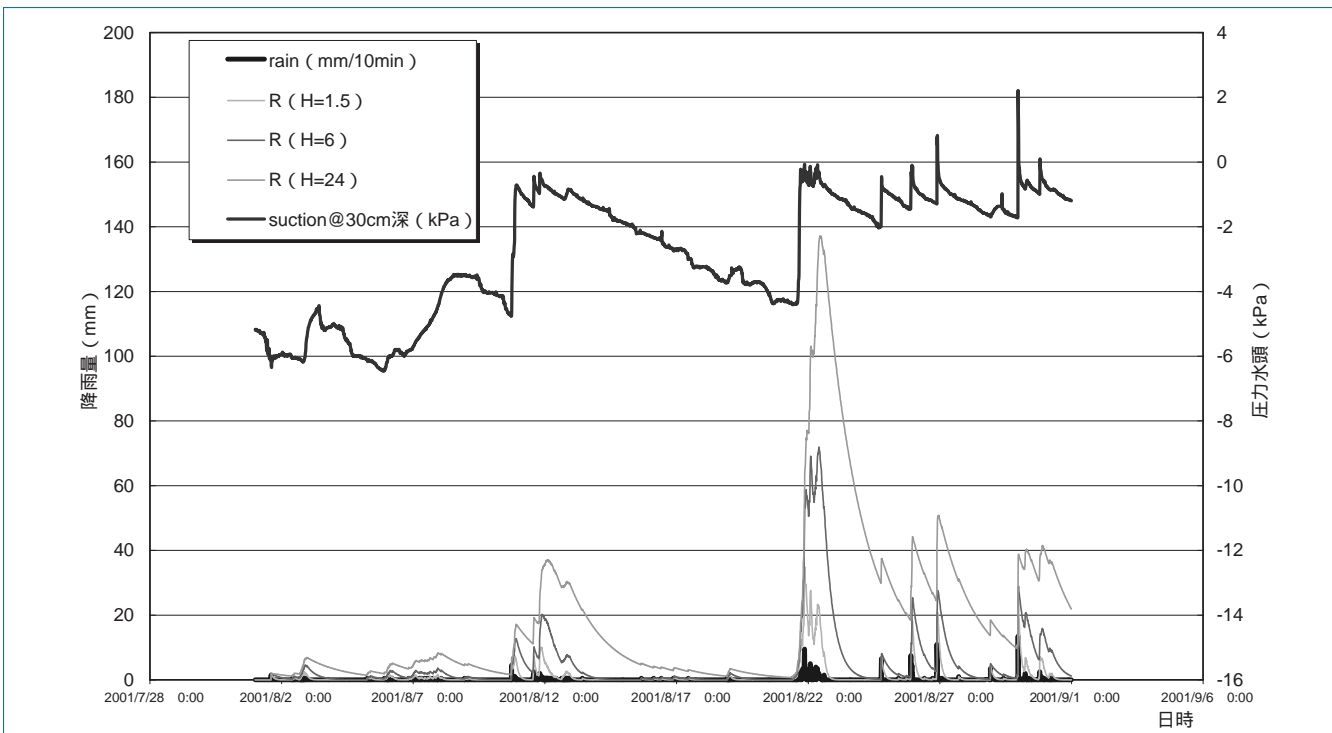


図1：降雨に対する実効雨量と土中圧力水頭の応答

3 災害毎の最適半減期の分布

実効雨量を降雨災害に対する警報に用いる場合、災害発生に対する警報漏れ頻度と無駄警報時間がともになるべく小さくなるように適切に半減期を選ぶ必要がある。そこで、JR東日本域内で発生した約1,000件の降雨災害(旧国鉄時代のものを含む)について、各災害の発生推定時刻において実効雨量による警報が正しく発せられているように警報しきい値を定めた場合に発生地点の降雨統計期間における警報継続時間が最小になる実効雨量の半減期(最適半減期)を調べた。この調査は、まず各災害の発生推定時刻における実効雨量値を候補となる複数の半減期のそれぞれについて計算し、ついでこれを超過する値が出現する単位期間当たり時間数を雨量統計にもとづいて算出し、さらにこれらを各半減期について比較することにより最適半減期を決定し、最後に各半減期を最適半減期とする災害数を集計するという手順で行った。結果を表1および表2に示す。

表1：最適半減期の分布
(候補半減期 H=1.5、3、6、12、24、48、96hの場合)

半減期 (h)	1.5	3	6	12	24	48	96
割合 (%)	25	10	13	14	13	8	18

表2：最適半減期の分布
(候補半減期 H=1.5、6、24、96hの場合)

半減期 (h)	1.5	6	24	96
割合 (%)	39	31	31	28

表1は、候補として選んだ半減期を1.5、3、6、12、24、48、96時間の7つとした場合、また表2は、階級数を1.5、6、24、96時間の4つに減じた場合である。いずれの場合でも、最適半減期はある特定の値に集中するのではなく広い範囲にわたってほぼ一様に分布していることがわかる。これは、ひとくちに鉄道の降雨災害といっても、線路冠水やのり面土羽の崩壊のような主として地表水や浅い層の浸透水が誘因となるものから深い層からの築堤崩壊や地すべりのように長い時間にわたって浸透した水に起因するものまで様々であり、さらにそこに関与する地形や地質、土質条件等の素因もそれぞれに異なるという要因の多様性を反映したものであると考えられる。

4 実効雨量による警報基準の有効性の評価

実効雨量を用いた降雨警報の有効性を検証するために、JR東日本域内約200箇所の鉄道雨量計の観測対象区間に関して収集されたデータにもとづいて、災害発生に対する警報漏れ頻度と警報継続時間の関係を調査し、これを時雨量・連続雨量を危険指標として用いる従来の警報基準と比較した。

表1で取り上げた7つの半減期について、警報漏れ頻度が従来基準と等しくなるように実効雨量の警報しきい値を定めた場合の警報継続時間を従来基準のそれとの比の平均値で比較した結果を表3に示す。

表3：実効雨量による警報継続時間の短縮効果

半減期 (h)	1.5	3	6	12	24	48	96
警報時間の比 (%)	86	67	64	70	96	139	188

この表から、警報継続時間の短縮効果から見た最適半減期は6時間前後であること、半減期3時間から12時間の範囲であれば従来基準と比較して3割強の警報時間短縮が期待できること、1.5時間未満の短い半減期あるいは24時間以上の長い半減期ではあまり大きな警報時間短縮が見込めず、特に48時間を超える長い半減期では、従来基準よりむしろ警報時間が増大してしまうこと、等が読み取れる。

5 実効雨量の組み合わせを用いた警報基準

従来の警報基準では、時雨量(過去1時間の雨量)と連続雨量(12時間以上の無降雨期間以降現在時刻までの合計雨量)のそれぞれに警報しきい値を設定し、どちらかの観測値がしきい値を上回った場合に警報を発令し、両方の観測値のいずれもがしきい値を下回った場合に警報を解除するようにルールを定めている。これは、前述のような鉄道降雨災害の発生要因の多様性を考慮して、短期的な降雨を発生要因とする災害にも長期的な降雨を発生要因とする災害にも適切な警報を発することができるようにするためのものである。実際、もし時雨量あるいは連続雨量のいずれかのみで警報基準を構成するとすれば、警報漏れの発生頻度を同一とした場合の警報継続時間は、時雨量・連続雨量の組み合わせによる場合に比べて著しく長くなってしまふことが経験的に知られている。

同様に、実効雨量の場合にも、単一の半減期のみで警報基準を構成すると、警報対象とする災害の最適半減期と警報基準を構成する実効雨量の半減期大きくかい離している場合、著しく長い警報時間が必要になるという不都合が生じる。

この問題を軽減する方法として複数の半減期を組み合わせる用いることが考えられる。

表1および表2に示したように、災害毎でみた最適半減期の出現確率の分布はほぼ均一であるとみなされることから、どの半減期を長期降雨、短期降雨それぞれの指標として用いるのがよいかは自明ではない。さらに、組み合わせる危険指標の数についても、従来基準と同じ2つに限定すべき必然性はないと考えられる。

そこで、表1で取り上げた7つの半減期の様々な組み合わせについて、表3と同様に警報漏れ頻度を従来基準と等しくなるような警報基準を設定した場合の警報継続時間を従来基準のそれとの比の形で比較することにより、最適な半減期とその組み合わせを探索することとした。

なお、異なる半減期の実効雨量を組み合わせる場合の警報基準としては、それぞれの半減期に対して降雨統計から推定される超過時間が等しくなるように警報しきい値を定め、実効雨量の観測値がそれらのいずれかを超過した場合に警報発令、すべてのしきい値を下回った場合に警報解除という警報ルールを仮定した。表4に調査対象とした実効雨量の組み合わせとそれらを危険指標として用いた場合の警報継続時間を従

表4：実効雨量の組み合わせを用いた警報基準の警報継続時間短縮効果

No.	半減期 (h) の組み合わせパターン							警報時間の比 (%)
	1.5	3	6	12	24	48	96	
1								64
2								66
3								75
4								86
5								94
6								65
7								74
8								81
9								86
10								76
11								84
12								87
13								91
14								96
15								122
16								79
17								71
18								77
19								89
20								80
21								80

来基準のそれに対する比の形で示す。

一般に、複数の半減期を組み合わせることには、災害発生時に最適半減期に近い実効雨量で警報を発することができる利点と、災害非発生時に無駄な警報が発せられやすくなる欠点の両方が指摘できるが、表4の結果から、異なる半減期の実効雨量を組み合わせた警報基準の警報継続時間短縮効果は、おおむね、それら半減期の単独での警報継続時間短縮効果の平均値に近いものとなっていることがわかる。

具体的には、任意の半減期により短い半減期を組み合わせた場合には警報時間が短縮し、あるいは少なくとも増大しないのに対し、より長い半減期を組み合わせた場合には警報時間が増大することがわかる。

一方、大規模ながけ崩れや土石流を対象とした降雨警報に関する既往研究¹⁾や実施事例²⁾においては、半減期24時間あるいはそれ以上の実効雨量を用いることが推奨されていることが多い。本研究で導かれた実効雨量の最適半減期がこれらと比較して小さめなのは、おそらく大規模な災害の観察されることが比較的稀な鉄道のデータをのみを対象として分析を行ったためであるとも考えられる。このことと、単に観測された災害のみでなく未だ発生したことはないが潜在的に発生する可能性のある災害に対しても適切な警報を発すべき警報基準の性質とを考え合わせると、最適半減期の6時間のほかに24時間あるいはそれ以上の長期半減期の実効雨量を組み合わせる警報基準の冗長化を図ることは、若干の警報継続時間短縮効果の低下を我慢してもむしろ必要なことであると考えられる。

そこで、表4の中から6時間および24時間以上の半減期の組み合わせからなるものについて検討すると、警報継続時間の短縮効果の最も大きいものとして1.5、6、24時間の組み合わせ(No.17)が選択される。

この組み合わせによる警報基準の従来基準に対する警報継続時間の比は71%で半減期6時間の実効雨量を単独で用いた場合の64%と比べてやや大きい。これを改善する方法として、半減期1.5、6、24時間の3つの実効雨量のうち最適値6時間以外のふたつを補助的な危険指標と考え、それぞれの警報しきい値を決める際の超過時間を表4の場合のように等しくせずに各指標の『重み』に応じて任意に変化させることが考えら

れる。表5に、1.5、6、24時間の各半減期の警報しきい値に対する超過時間の比を3:4:3、2:6:2、1:8:1とした場合の警報継続時間の計算結果を示す。2:6:2の重み付け比率を用いた場合、警報時間の比は67%と半減期6時間の実効雨量を単独で用いたのと比べてほぼ遜色ないものとなっている。

表5：組み合わせ実効雨量に対する警報しきい値の重み付けの効果

半減期 (h)	1.5	6	24	警報時間の比(%)
重み付け	3	4	3	69
	2	6	2	67
	1	8	1	68

6 おわりに

本報告では、実効雨量による降雨警報の有効性を従来基準と比較して示すとともに、警報基準の構成方法について新しい検討を行った。今後は、本検討で得られた結果を降雨時の安全な列車運行に反映させるよう努めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈴木雅一、小橋澄治：がけ崩れ発生と降雨の関係について、新砂防、Vol.121 (1981), pp.16-26.
- 2) 建設省河川局砂防部砂防課：土石流災害に関する警報の発令と避難の指示のための降雨量設定指針(案)(1984) pp.1-9.