実効雨量指標を用いた 降雨時運転規制に 関する研究







给木 修*

山村 啓一*

島村 誠*

JR東日本では、土砂災害が発生する恐れのある豪雨時に列車の運転を中断する運転規制が行われている。現在、運転規制に用いられている指標は、時雨量・連続雨量であるが、実際の斜面等に生じる物理現象を合理的に説明できない点があるなどの問題点がある。そこで、国鉄時代より土中に浸透・貯留された水の減少をより合理的に反映できる実効雨量指標を用いた降雨時運転規制手法の検討が行われてきた。その結果、半減期1.5時間、6時間、24時間の3つの半減期の実効雨量を組み合わせて使用することにより、安全性を現行と比較して非悪化としつつ、運転規制時間を平均で2割程度減少させることが可能であることがわかった。これらの研究結果にもとづく新しい降雨時運転規制方法は、部外学識経験者を交えた技術検討会の審議を経て、2007年9月より水戸支社管内の各線区に先行導入されており、2008年度からは全支社に導入される予定である。

●キーワード:降雨災害、運転規制、実効雨量、半減期、警報しきい値

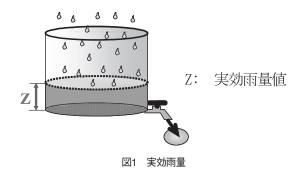
1. はじめに

JR東日本の路線は戦前に開通したものが多く、当時の技術的・財政的な制約から長大トンネルや橋りょうを避けて建設されており、切取や盛土などの土構造物が多いのが特徴である。そのため、降雨による土砂災害から運転保安を守ることが大きな課題となっている。

JR東日本では、土砂災害による列車事故を防ぐため、 土砂災害の発生そのものを防ぐのり枠工の施工や、線路 内への土砂の進入を防ぐ土砂止擁壁の施工といったハー ド対策、土砂災害発生の恐れが高まった際、当該箇所に 列車を進入させない運転規制というソフト対策が行われ ている。

ソフト対策である運転規制は時雨量・連続雨量を指標 として旧国鉄時代から行われているが、実際の斜面等に 生じる物理現象を必ずしも合理的に説明できない点があ ることや、降雨時に運転規制を発令したものの災害が発 生しなかった事例による列車遅延等が多いといった問題 点があり、安全性を維持した上でのより合理的な運転規 制手法の導入が望まれている。

より合理的な運転規制を行うためには、地表に降った 雨が土中に浸透・貯留し、貯留量が多くなると盛土等が 崩壊に到るといった、より現実の斜面で発生している物 理現象に近いモデルにもとづく雨量指標を採用すること が必要であると考えられる。その代表的なもののひとつ が図1に示すLeaky-barrel model¹¹ (LBモデル) の考え方に



もとづく『実効雨量』と呼ばれる雨量指標である。実効雨量指標を鉄道の降雨時運転規制に用いるための検討は国鉄時代より行われており、1985年に設置された「降雨時の災害防止に関する研究委員会(委員長 池田俊雄長岡科学技術大学教授)」において、1985年7月に発生した能登線盛土災害後に導入された長雨重点警備箇所の運転規制に用いる指標として、実効雨量の検討が行われた。ところが、実効雨量指標(ただし、検討された実効雨量は連続雨量と低減された先行降雨の和で定義され、本報告で議論されている実効雨量とは部分的に内容が異なる。)が合理的な指標であることが確認されたものの、実効雨量のモデルパラメータである半減期(減少率)を土質別の最適な値に決定することが困難なこと、および雨量の計算が複雑である等の理由で採用は見送られた。

その後、平成2年に雨量計等の気象観測機器をネットワーク化した防災情報システムが導入され、計算の煩雑さの問題が解決されたため、再度、実効雨量指標を用いた降雨時運転規制方法の検討を開始した。降雨による災害

の発生頻度が高く、降雨と災害発生との関係についての統計的分析が比較的容易な6線区をモデル線区として、単一半減期の実効雨量の適用について検討を行い、平成8年に「降雨災害の予知に関する研究委員会」(委員長 池田俊雄 長岡技術科学大学名誉教授)を設けて審議を行った。その結果、半減期24時間の実効雨量を用いた場合、現行規制より短い運転規制時間で同等の安全性を実現できる可能性があることが示された。ただし、この段階では全線区、全運転規制区間での実効雨量導入の有効性の確認や各運転規制区間における具体的な雨量の警報しきい値の設定方法については最終的な結論に至らなかった。

そこでさらに、当社管内のすべての線区を対象とし、 鉄道の運転規制に用いる実効雨量指標の最適半減期の選 定³⁾ と運転規制に用いる警報しきい値の設定方法を検討 し、2004~2006年に開催された「降雨時の運転規制に用い る新しい雨量指標に関する技術検討会(委員長 龍岡文 夫 東京大学名誉教授)」において審議を行い、最終的な 運転規制方法の決定に至った。本報告では、この技術検 討会で審議された内容について報告する。

2. 降雨時の運転規制

2.1 現在の運転規制方法

JR東日本では、降雨災害による列車事故を防止するため、災害の恐れが高まる豪雨時に列車の運転を中止する運転規制を行っている。運転規制の仕組みは以下の通りである。駅間を基本とした規制区間を設定し、それぞれの規制区間内に設置された雨量計で観測された雨量値と各規制区間に対してあらかじめ定めた警戒しきい値を常時比較して、雨量値がしきい値を越えた場合に、その規制区間に進入する列車の運転を取り止める。この降雨時運転規制は、旧国鉄時代の昭和40年代から行われており、しきい値の設定には、ある時刻からの雨量を積算して求める時雨量・連続雨量を組み合わせて用いている(図2)。なお、連続雨量は12時間の降雨中断でゼロにリセットされる。

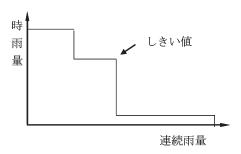


図2 現行の降雨時運転規制のしきい値

時雨量・連続雨量は過去のある時点からの降雨量の単純な合計であるため、数値の直感的な把握や算出が容易であるという利点があるが、実際の斜面等に生じる物理現象を必ずしも合理的に説明できないという問題点があることが古くから指摘されてきた。また、運転規制を行う上で、連続雨量は降雨降り止み後12時間以内に、わずかな降雨であっても、降雨があれば値が大きく変わり運転規制の継続時間が変化する、しきい値の設定が時雨量と連続雨量の組み合わせのため、しきい値が一義的に定まらない等の課題がある。

3. 実効雨量指標を用いた運転規制

3.1 実効雨量

地表に降った雨は、土中に浸透・貯留することなどにより、盛土等を崩壊に到らせる。この土中に貯留した雨水は、地中深くに浸透したり、地表面から蒸発したりすることにより、時間の経過とともに減少する。実効雨量は、この地中に貯留した水分量の収支特性を表現する1つの定数(減少係数)をパラメータとしてもつ数学モデルで表現した雨量指標で、物理的なアナロジーとしては、1.に述べたLB.モデルと等価である。減少係数は貯留量が半分となる時間(半減期)と関連付けて表現され、これを用いて実効雨量は、下記の数式で定義される。

$$R_{t} = r_{t} + \alpha r_{t-1} + \alpha^{2} r_{t-2} + \dots + \alpha^{n} r_{t-n} + \dots + \alpha^{\infty} r_{-\infty}$$
$$= r_{t} + \alpha R_{t-1}$$

ここで、 R_t : t 時における実効雨量

 r_t : t 時における単位時間雨量

α :減少係数 α=0.5^{1/H}

H : 半減期

実効雨量には半減期の設定により、雨量の減少率を変更 することができ、様々な降雨災害の危険度を表現できる という特徴がある。

3.2 現行指標と実効雨量指標の違いの一例

時雨量・連続雨量と実効雨量の違いを端的に示す事例 として、2006年7月に磐越西線徳沢駅雨量計と日出谷駅雨 量計で観測された降雨履歴を図3に示す。

この期間に観測された総雨量は、徳沢駅雨量計が 441mm、日出谷駅雨量計が491mmとほぼ同じであるにも かかわらず、徳沢駅雨量計の連続雨量の最大値は、7月14 日に12時間以上の降雨中断があるため連続雨量が一旦ゼ

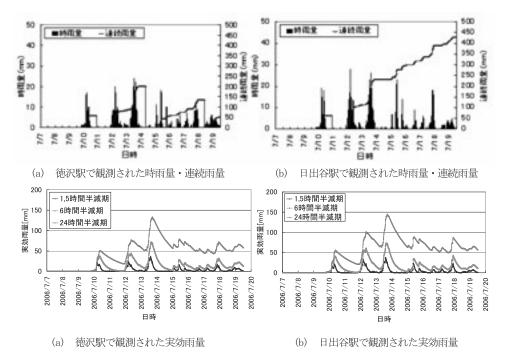


図3 時雨量・連続雨量と実効雨量の違い

ロにリセットされ、200mmとなり、12時間以上の降雨中 断がなかった日出谷駅の連続雨量の最大値429mmの半分 以下の値となった。

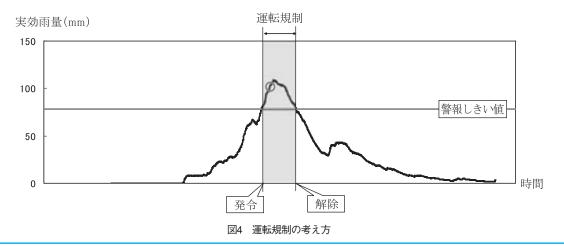
一方、実効雨量はゼロリセットされることなく、時間とともに連続的に減少する。そのため、徳沢駅雨量計、日出谷駅雨量計の実効雨量値の最大値は、1.5時間半減期で36.6mmと37.4mm、6時間半減期で71.9mmと73.8mm、24時間半減期で133.5mmと144.8mmとほぼ等しくなった。

このように、現行の連続雨量では、降雨降り止み後12時間以内に生じる物理的にはほとんど影響のないわずかな降雨の有無によって値が大きく変わってしまうという雨量指標の不安定性の問題が、実効雨量指標では解消されることがわかる。

3.3 実効雨量指標を用いた運転規制の考え方

実効雨量指標を用いた運転規制を行う場合の警報しきい値設定方法には、1つの半減期に対して1つのしきい値を設定する方法、2種類の半減期の実効雨量を組み合わせたしきい値を設定する方法などがある。2種類の半減期の実効雨量を組み合わせたしきい値とする場合、自由度が1増加するため、特に災害発生数の少ない区間ではしきい値を一義的に決定することが困難である。そこで、本検討では、しきい値設定に担当者の主観が入ることを避けるため、前者の1つの半減期の実効雨量に対して、1つのしきい値を設定する方法を採用することとした。図4に運転規制の考え方を示す。

運転規制は、図4に示すように雨量計ごとに常時実効雨 量値を算出し、雨が降り始め、しきい値に達したら規制



を発令し、実効雨量値がしきい値未満となったら、規制を解除することとなる。このためには、各雨量計で規制する区間の土構造物の崩壊等をもっとも良く代表する半減期(最適半減期)を選定すること、及び選定した半減期の実効雨量に対して災害が発生する前に安全に列車を止めるしきい値を定める必要がある。

3.4 最適半減期の選定

実効雨量は、半減期の設定により様々な降雨災害の危険度を表現することができるが、捉えるべき現象にあわせた最適な半減期を選定しなければ、実効雨量値を算出することができない。そこで、鉄道沿線の土構造物の降雨災害を代表する半減期を選定することを目的に、過去の降雨および災害データを使用した統計的な解析を行った。

解析に用いた降雨データには、統計的な手法により解析する場合、母集団が大きいほうがより正確な解析を行うことができるという理由から、鉄道雨量計より観測期間が長いアメダス雨量データを用いることとし、JR東日本管内582箇所の鉄道雨量計の観測対象区間に過去25年間に収集された気象庁アメダスデータを「アメダス補完法」。による処理を行ったものを使用した。また、災害データは、雨量データと同一期間に記録されているJR東日本管内のすべての災害データを用いた。これらの災害には、伏びの土砂堆積といった運転保安に直接影響しない軽微な変状も含まれるが、①結果として軽微な変状であったものの大きな災害の要因の1つである、②運転保安に影響するような災害は件数が少なく、それらのみでは統計手法による客観的な解析が困難になる、ことから軽微な変状についても災害数に含めた。

3.4.1 最適半減期の考え方

1つの半減期の実効雨量値に対して、1つの警報しきい値を設定して運転規制を行う場合、しきい値を下げれば、確実に災害発生前に列車の運転を中断する(災害を捕捉する)ことができるが、しきい値を超えている時間は長くなる。逆に、しきい値を上げれば、捕捉することのできない災害数が増えるものの、しきい値を超える時間が短くなるという関係がある。

様々な半減期による実効雨量値から、各半減期におけるしきい値を災害の捕捉性が等しくなるように揃えた場合、しきい値を超えている時間が短い半減期ほど、災害を捕捉する精度が高いといえる。以下、この半減期を「最適半減期」と呼ぶ。

3.4.2 過去の災害毎に求めた最適半減期の分布

既往の研究では、最適半減期は、地質や地形、水文特性等を反映した路線区間や地域ごとに定まる値であると考えられていることが多い。しかし、同じ区間や地域内で発生する任意の災害について、解析等から特異な最適半減期を決定することは困難である。

そこで本検討では、場所ごとの最適半減期を議論する前に、個々の災害について算出した最適半減期に基づいて、JR東日本管内で発生した災害群の最適半減期の分布を調査した。なお、最適半減期の候補は、1.5、3、6、12、24、48、96時間の7種類とした。

半減期ごとに最適となる災害の件数の構成割合を表1に示す。また、同様の最適半減期の分布調査を半減期1.5、6、24、96時間の4種類の半減期を用いて行った(表2)。これらの結果から、全箇所の平均値で見ると、最適半減期はある特定の値に集中するのではなく、広い半減期の値の範囲にわたってほぼ一様に分布していることがわかる。

表1 最適半減期の分布(7種類)

半減期(h)	1.5	3	6	12	24	48	96
件数割合(%)	24	10	14	15	13	8	17

表2 最適半減期の分布(4種類)

半減期(h)	1.5	6	24	96	
件数割合%)	30	26	24	21	

また、規制区間ごとの最適半減期の分布を調査したところ、区間ごとの最適半減期の分布にはバラツキが多く、系統的、特徴的な傾向が見られなかった。これは、鉄道沿線で発生する災害が、地形や地質の違いだけでなく、雨水の集中流下による土砂流入、のり面の表層崩壊、深層崩壊など多様なメカニズムの災害を含んでいることを示していると考えられる。

3.4.3 運転規制区間毎の最適半減期

前項では、発生区間別には最適半減期の特性がないことがわかった。そこで、実際の運転規制の運用を考慮し、 JR東日本管内の土構造物の崩壊等を代表する(全区間に 共通な)最適半減期を定められないか検討した。

先に述べたように、ある一定の条件で各半減期の警報 しきい値を揃えた場合には、災害を捕捉するために、し きい値を超える時間が短いほどより適切な半減期である といえる。

ここでは、最適半減期を選定するため、前述の降雨デ ータ、および災害データを用いて、災害発生に対する規

制漏れ件数としきい値超過時間の関係を調査し、これを 現行の時雨量、連続雨量を用いた運転規制と比較した。 なお、規制漏れ件数とは、現行の各雨量計のしきい値を そのまま仮定的に過去25年間運用したものとし、過去の 災害がしきい値に達する前に発生した数を意味する。現 行のしきい値は、災害箇所を補強するとともに類似箇所 について防災強化工事を行い、さらに、その後の経験降 雨により、当時より高く見直されている場合もあり、現 在の規制で規制漏れが生じるという意味ではない。

規制区間ごとに、前述した災害を対象に、現行のしきい値を適用した場合の規制漏れ件数と実効雨量指標を用いた場合の規制漏れ件数を同様にするという条件を設定し、その条件のもとで、どの半減期が過去25年間で最もしきい値を超える時間が短いか調査することによって、最適性を検討した。

表3に上記の条件でしきい値を設定した場合のしきい値 超過時間と現行規制のそれとの比の幾何平均とばらつき (比の対数が正規分布に従うとみなした場合の標準偏差に 相当する比の値)を示す。この結果から、しきい値超過 時間比の平均から見た最適半減期は6時間前後であるこ と、1.5時間より短い半減期や24時間を超える長い半減期 では、現行規制よりしきい値超過時間が増大すること等 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^{5,5,6} や実施事例においては、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奨励されていることが多い。本検討で導き出さ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発生が比較的まれな鉄道の災害データのみを対象として分析を行ったためであると考えられる。

表3 現行規制とのしきい値超過時間比およびそのばらつき(単独半減期)

No.	半減期(h)	しきい値超過時	しきい値超過時	
		間比の	間比の	
		平均	ばらつき	
1	1.5	1.08	3.26	
2	3	0.75	2.89	
3	6	0.66	2.99	
4	12	0.74	3.32	
5	24	1.00	3.46	
6	48	1.48	3.87	
7	96	2.61	4.66	

3.4.4 半減期の最適な組み合わせ

ある半減期の実効雨量を単独で用いる場合、捕捉すべき災害の最適半減期がその実効雨量の半減期と大きく乖

離していると災害捕捉できない、もしくはしきい値超過 時間が増大するといった不都合がある。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た運転規制 手法を構築することが考えられる。

そこで、表3で取り上げた7種類の半減期の様々な組み合わせについて、表3と同じ計算を行い、最適な半減期の組み合わせを探索した。複数の半減期の実効雨量を組み合わせる場合、各半減期の実効雨量間の重みを考慮する必要があるが、最適半減期の分布が表1に示すようにほぼ一様であるので、各半減期の実効雨量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しきい値を定めることとした。なお、超過時間の推定には、気象の各分野で一般的に用いられているワイブル分布関数を用いることとした。ワイブル分布関数のあてはめ例を図5に示す。

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x^m}{\alpha}\right)$$

ここで、m, α :パラメータ

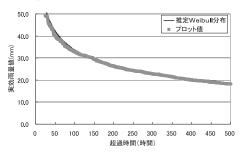


図5 ワイブル分布関数のあてはめ例

異なる半減期の実効雨量を組み合わせる場合の規制基準は、実効雨量の観測値が、いずれかのしきい値を超過した場合に規制発令、すべてのしきい値を下回った場合に規制解除という規制ルールを仮定した(図6)。

半減期の組み合わせによるしきい値の具体的な設定方法の一例として、半減期1.5時間、6時間、24時間の例を以下に示す。

- ①雨量指標の構成を決定する(ここでは、1.5時間、6時間、 24時間の3種類)。
- ②しきい値の決め方:上記3種類のそれぞれの半減期について、観測期間内の超過時間が等しくなるように雨量値を変化させ、その雨量値以上で発生した災害数が、現行規制で捕捉することのできる災害数以上となった雨量値をしきい値とする。
- ③上記3種類の半減期のいずれかについて、実効雨量の観 測値がそれぞれのしきい値を超過している場合に規制

発令、すべてのしきい値を下回っている場合に規制解 除とする。

最適な半減期の組み合わせ結果を表4に示す。

一般に複数の半減期を組み合わせて用いることは、災害発生時において最適半減期に近い指標で規制を発令することができる利点と、災害非発生時においても規制が生じやすくなる欠点の両方が指摘できるが、表の結果から、異なる半減期の実効雨量を組み合わせた規制基準は、おおむね、それらの半減期の単独での場合の平均に近いものとなっていることがわかる。

一方、規制時間比のばらつきでみると、組み合わせる 半減期の数が多いほど、ばらつきは小さくなり、各規制 時間比を平準化する効果があることがわかる。

表4 現行規制との規制時間比およびそのばらつき(複数半減期の組合せ)

No.	半減期(h)の	規制時間比	規制時間比
INO.		100.0	
	組合せ	の平均	のばらつき
9	1.5+6	0.69	2.74
10	1.5+12	0.68	2.71
11	1.5+24	0.76	2.50
12	1.5+48	0.84	2.43
13	1.5+96	0.94	2.49
14	3+12	0.68	2.87
15	3+24	0.75	2.64
16	3+48	0.80	2.55
17	3+96	0.88	2.51
18	6+24	0.76	2.95
19	6+48	0.82	2.85
20	6+96	0.87	2.75
21	12+48	0.91	3.17
22	12+96	0.98	3.15
23	24+96	1.27	3.47
24	1.5+6+24	0.72	2.58
25	1.5+12+96	0.78	2.43
26	3+12+48	0.76	2.61
27	6+24+96	0.90	2.80
28	1.5+6+24+96	0.79	2.39

表3および表4の結果から、平均的な規制時間比が小さく、かつそのばらつきが小さいのは、1.5h+6h (No.9)、1.5h+12h (No.10)、3h+12h (No.14) のように比較的短い

半減期を組み合わせた場合であることがわかる。

しかし、鉄道以外の分野における既往研究で得られた知見から、単に観測された災害のみではなく、未発生だ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規制を発令する上では、規制時間を若干犠牲にしても、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て規制基準の冗長化を図ることが望ましいと考えられる。

以上、JR東日本における過去の統計データならびに鉄道以外の分野における既往研究の成果に基づく雨量指標の構成案として、以下においては、半減期24時間を含む組み合わせでは最も規制時間比の平均が小さく、ばらつきが少ない1.5h+6h+24h(No.24)を用いることを前提として、検討を行う。

3.5 実効雨量を指標としたしきい値設定

3.5.1 安全性の現行非悪化

現行の時雨量・連続雨量を用いた運転規制から実効雨量指標を用いた運転規制へ変更する際、安全性を現行非悪化とすることは絶対条件である。ところが、連続雨量は降雨降り止みから12時間後にリセットされ、0となるまで単調増加をする指標である一方、実効雨量は時間の経過により増減を繰り返す指標であり、指標の特性が異なる。そのため、現行規制で捕捉できる災害を実効雨量指標では捕捉できない、または実効雨量指標では捕捉できるが、現行規制では捕捉できない災害がありうる。

本検討で用いた災害データは過去25年間のデータであり、規制区間によっては過去25年間に数件の災害しかない区間もある。したがって、現行規制で捕捉できる災害を実効雨量指標では捕捉できない、または実効雨量指標では捕捉できるが、現行規制では捕捉できない災害が多く占める区間もありうる。ある規制区間において、現行

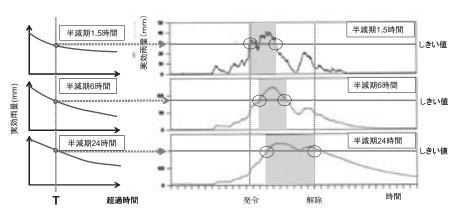


図6 しきい値の設定方法および規制発令解除

規制で捕捉でき、実効雨量指標では捕捉できない災害が多く発生していた場合は規制時間が必要以上に増大し、その逆の場合、規制時間が必要以上に短縮されてしまう可能性がある。そこで、本検討では、そのような状況を避けるため、複数の規制区間を含む線区を設定し、線区において安全性が現行非悪化となるようにしきい値を設定することとした。なお、線区は輸送体系が同等の区間を基本とすることとした。

3.5.2 警報しきい値設定方法

3.4.4で、実効雨量の最適半減期は1.5時間、6時間、24時間であることがわかったので、それらの半減期の実効雨量を指標とした警報しきい値設定方法を検討する。本検討では、各半減期の実効雨量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3つの半減期のしきい値を定めることとしたため、ある規制区間に対し、しきい値超過時間を定めると、しきい値が一義的に決定する。そこで、しきい値超過時間を基本としたしきい値設定方法を考えた。

捕捉できる災害の数は、しきい値が小さくなるほど、つまり、しきい値超過時間が長くなるほど増大する。また、雨量が大きなところで災害が発生しやすいため、しきい値超過時間が短い間に多くの災害が発生する。一方、規制区間には、切取や盛土、自然斜面が連続する山間区間や盛土が点在するような田園区間など、さまざまな防災強度の区間があり、災害発生数はそれぞれ異なる。そのため、1つの線区に含まれる規制区間(1~n)のしきい値超過時間と災害捕捉数の関係はそれぞれ異なり、図7のように表すことができる。

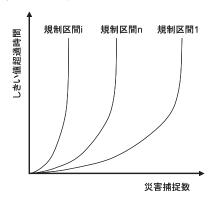


図7 災害捕捉数としきい値超過時間の関係

線区で安全性を現行非悪化とする場合、それぞれの規制区間のしきい値の重み付けを検討する必要がある。より合理的に運転規制を行うためには、防災強度が弱く、災害が多く発生する区間のしきい値を低めに設定し、防

災強度が強く、災害がほとんど発生しない区間のしきい値を高めに設定することが重要である。そこで、本検討では、災害1件を捕捉するのに必要なしきい値超過時間が線区内のすべての規制区間で同一となるようにしきい値を設定することとした。しきい値設定方法の考え方を図8に示す。図中の直線の傾きは、災害を1件捕捉するのに必要なしきい値超過時間を表しており、この直線と各規制区間のしきい値超過時間と捕捉災害数の関係を表す曲線との交点が、それぞれの規制区間でのしきい値超過時間(T1~Tn)と災害捕捉数(X1~Xn)となる。それぞれの

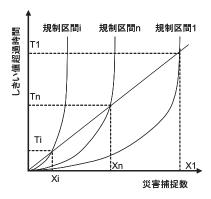


図8 線区内の各規制区間のしきい値設定の考え方

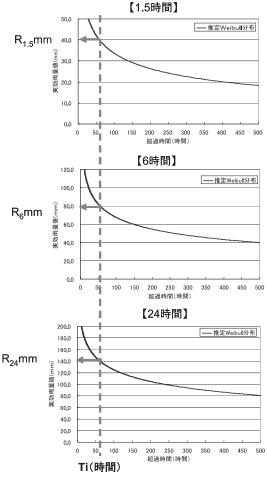


図9 しきい値超過時間としきい値

規制区間での災害捕捉数の合計が現行規制での災害捕捉数を上回るように災害を1件捕捉するのに必要なしきい値超過時間を設定し、そのときのしきい値超過時間 (Ti)から求まる実効雨量値が、運転規制に用いるしきい値 (R₁₅, R₆, R₂₄)となる (図9)。なお、各規制区間のしきい値は、各規制区間における実効雨量の既往最大値以下の値とすることとした。

4. 現行指標と実効雨量指標の比較

アメダス補完法データと災害データを用いて、現行規制と実効雨量指標の規制漏れ災害数および警報しきい値超過時間の比較を行った。比較に用いたしきい値は、現行規制は現在のしきい値を、実効雨量指標は3.5により定めたしきい値を用いた。

4.1 規制漏れ災害数の比較

現行規制と実効雨量指標の規制漏れ災害数の比較を行った。3.3で述べたように、しきい値を規制漏れ災害数が現行規制より悪化させないように設定した。各線区の規制漏れ災害数の比の幾何平均は0.84となり、結果的に現行規制より16%多くの災害を捕捉することとなった。

4.2 基準値超過時間の比較

現行指標と実効雨量指標の規制区間ごとの基準値超過時間を比較した。図9より、実効雨量指標の基準値超過時間は現行規制に比べて平均で約22%減少することがわかった。

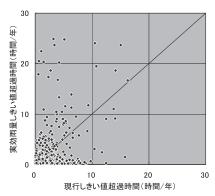


図10 現行規制と実効雨量指標のしきい値超過時間の比較

5. 実効雨量指標を用いた運転規制の運用

5.1 運用に用いるしきい値の設定

運用に用いる実効雨量指標のしきい値は、基本的に3.3 で議論したしきい値の設定方法を用いることとしたが、 この方法は、過去に発生したすべての災害発生箇所が修繕・補強されたことを前提としている。そこで、類似災害の発生の恐れがある場合は、それらの災害を捕捉できるよう実運用に用いる実効雨量指標のしきい値を安全側に設定する。また、大地震等の発生後等の現行規制以上の安全性が要求される場合についても、実効雨量指標のしきい値を安全側に設定することとした。

5.2 しきい値の更新

実効雨量指標導入に向けて設定されたしきい値は、その後の降雨履歴の蓄積や設備改良により、規制区間の防災強度の実態と一致しなくなる。そこで、しきい値は、5年を目安に、その間に蓄積された降雨履歴や設備改良を考慮して、更新することとした。

6. まとめ

本研究の結果、鉄道の運転規制に使用する実効雨量指標として、半減期1.5時間、6時間、24時間の3つの半減期の実効雨量を組み合わせた指標を用いることが最適であり、その指標を用いると安全性を現行非悪化とした場合、しきい値超過時間は、約2割程度減少することがわかった。この実効雨量指標を用いた降雨時運転規制は、平成19年9月より水戸支社にて運用されており、現在、2008年度からの全社展開に向けた準備を行っている。

参考文献

- Wilson, R.C.; Rainstorms, pore pressures, and debris flows: a theoretical framework. in Sadler, P.M., and Morton, D.M. (editors), Landslide in a Semi-Arid Environment, Publications of Inland Geological Society, Riverside CA, Vol.2, pp.49-59, 1989.
- 新川 正則;長雨重点警備箇所の運転規制と災害警備,鉄 道土木, Vol.28, No.6, pp.47-51, 1986.
- 3) 島村 誠; 実効雨量を用いた降雨警報の有効性の検証, JR East Technical Review, No.3 pp.45-48, 2003.
- 4) 村石 尚, 岡田勝也;アメダス補完法による斜面災害地雨量の推定方法,鉄道総研報告, Vol.2 No.8 1988.
- 5) 鈴木雅一, 小橋澄治; がけ崩れの発生と降雨の関係について, 新砂防, Vol.121, pp.16~26, 1980.
- 6) 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),pp.1~9, 1984.