

降雨時の斜面崩壊危険度と鉄道における運転規制

Risk Estimation for Railway Slope Failure and Train Operation Control during Rainfall

杉 山 友 康 (すぎやま ともやす)

財鉄道総合技術研究所 研究室長

布 川 修 (ぬのかわ おさむ)

財鉄道総合技術研究所 副主任研究員

1. はじめに

鉄道では、盛土・切土をはじめとして線路周辺の斜面が降雨によって崩壊する事例が毎年100件以上発生しているが、崩壊土砂に列車が進入し事故となる例はまれである。これは、列車が安全に運行出来ないと判断される雨量をあらかじめ設定し、これを超える雨量が観測された場合は列車の徐行や運行を停止する安全措置がとられているからである。

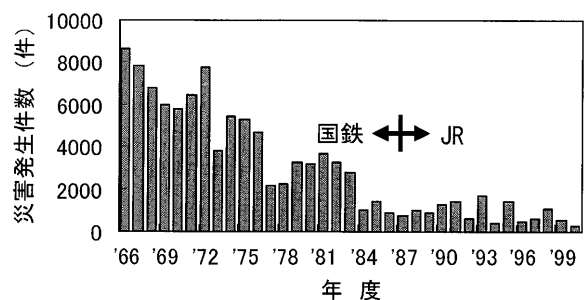
本稿では、鉄道における災害の実態を述べたうえで、運行停止の規制雨量設定方法や運行停止後の規制解除の判断について実際の実例を基に示し、降雨に起因する斜面崩壊などの災害から列車事故を防止するために鉄道が実施している降雨時の運転規制の基本的な考え方を述べる。

2. 鉄道の災害実態と防災の基本

我が国は、急峻な山地や急流河川を特徴とする地形的条件や、多くの地震・火山・台風や梅雨期の長雨や集中豪雨といった厳しい気象条件下に置かれていることは周知のとおりである。こうした厳しい自然条件を有する国土に、山裾を縫うようにして線路が敷設されてきた。すなわち、鉄道施設は、斜面災害などを受けやすい立地条件に置かれているといえる。

図一1は国鉄およびJR旅客6社における1966年から2000年までの災害発生件数の推移を示したものである。発生件数は、年により降水量や台風の上陸回数等の気象条件による変動がみられるが、確実にしかも大幅に減少してきている。これは、専門的な立場から土木構造物の健全性を判定する機関を設け、弱点となる箇所を抽出した上で防災工事を行ってきたことの成果によるものである。なお、図一1に含まれる自然災害の種類は多岐にわたるが、降雨が原因で発生したものは半数以上を占めている。

降雨時において鉄道が安全・安定輸送を提供するためには、降雨に対する鉄道施設の耐雨強度を増す防護工の施工などのハード対策を完全に行うことが理想である。しかし、斜面災害を対象とした場合、誘因である降雨と素因である斜面がともに自然現象であるため、予期せぬ事態が発生することもあり、想定以上の降雨まで耐えうるようなハード対策をすべての線区に施すことのみで対処することは現実的ではない。そこで、必要なハード対



図一1 鉄道における自然災害発生件数の推移

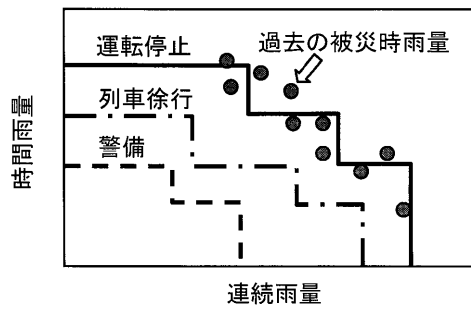
策とともに、斜面崩壊のみならず、降雨によって運転阻害の要因となりうるすべての事象を確実に予測して列車の運転を規制するというソフト対策をバランス良く施していくことが基本となる。特に、最近では、これまで観測されていない豪雨や、管理用地外が発生源となる災害も見られるようになり、ますます降雨時の運転規制が重要になっている。

3. 雨量に基づく運転規制

3.1 運転規制の考え方

鉄道における降雨時の運転規制は戦前から実施されていたが、昭和47年9月に「降雨に対する運転規制基準作成要領」が定められ、国鉄における降雨時の列車運転規制や災害警備に関する統一した実施ルールが示された¹⁾。その主な点は以下のとおりであり、その考え方の基本理念を図一2に示す。

- ① 規制の発令は沿線雨量計による測定雨量に基づいて行うこととし、その判断基準となる雨量は区間毎に斜面・法面等の過去の耐降雨実績データ等に基づいて定めておく。
- ② 警報種別は、警備と運転規制とし、運転規制に速度規制（徐行）と運転中止（停止）の2段階を設ける。
- ③ 雨量の計量は、時間雨量および連続雨量とし、これらの組み合わせによって運転規制発令基準値を定める。ただし、時間雨量とは任意の時刻に対して1時間前からその時刻までの降雨量の合計を指し、連続雨量とは、降り始めからの累積雨量であるが12時間以内の降雨中断は連続した降雨とみなす、すなわち12時間以上の降雨中断があって初めてゼロクリアーされる雨量である（ただし、国鉄九州総局では災害実態を踏まえ降雨中断時間を24時間として



※時間雨量と連続雨量のグラフ上に警備、列車徐行、運転停止の基準値を階段状に設定し、それぞれの基準値を上回る雨量が観測された場合に規制の発令を行う。

図一 2 降雨時の運転規制の基本理念

いた)。

- ④ 運転規制区間は、駅間または数駅間を単位として設ける。

このようなルールに基づいて、当時の国鉄各鉄道管理局において線区の耐雨性、降雨履歴、災害履歴等を考慮した運転規制基準の改正が行われた。

国鉄の民営分割に伴い JR がスタートしたが、時間雨量と連続雨量に基づく規制基準の基本的な考え方はほぼ踏襲された。JR 発足後は、各社の災害の実態などを踏まえて、前節で示した時間雨量と連続雨量に基づく規制基準の基本的な考え方に加え、各社で独自の方法が採用されてきている²⁾。なお、新幹線に関しては、前述した連続雨量の考え方とは異なり、任意の時刻に対して24時間前からその時刻までの雨量の積算値である「24時間積算雨量」を連続雨量として用いている。

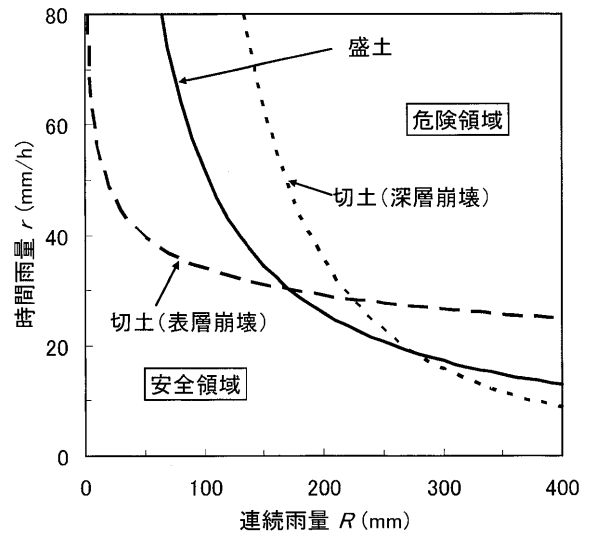
3.2 斜面の耐雨強度と規制基準値

前述したように運転規制の規制基準値は、線区の耐雨性(斜面の耐雨強度)、降雨履歴、災害履歴等を考慮して定められているが、防災工事により防災強度が向上した場合や斜面の健全性が低下している箇所を発見した場合などには、規制基準値を見直す必要性が生じる。この際、限界雨量に基づく危険度評価手法^{3),4)}を利用して、斜面の耐雨強度を求めることがある。

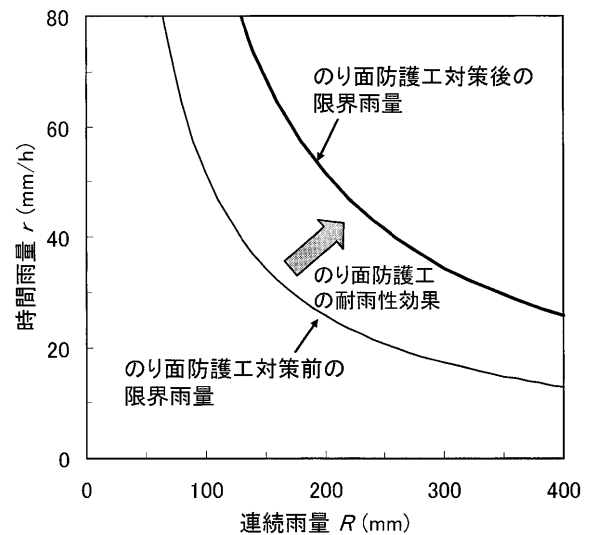
この手法は、昭和50年から昭和63年までに鉄道沿線で降雨により崩壊した盛土、切土の詳細なデータを基に、判別解析や数量化Ⅱ類解析といった統計的な解析を実行し、盛土や切土の各種斜面条件から崩壊の恐れが高くなる雨量(限界雨量)を求めるものである。限界雨量は図一3で示すように、現行の運転規制の雨量指標上に崩壊種別(盛土、切土(表層崩壊)、切土(深層崩壊))ごとに、曲線で表される。また、図一4のように、法面防護工施工後の限界雨量を示すことが可能である。この手法を用いて鉄道沿線斜面の耐雨強度を求め、規制基準値見直しの参考としている鉄道事業者も見られる。

3.3 規制解除の考え方

前述した連続雨量の考え方により、連続雨量が規制基準値を超えた場合には、連続雨量がゼロになる、すなわち12時間無降雨状態が続かないと規制を解除することができないことになる。しかし、旅客サービスの点から、



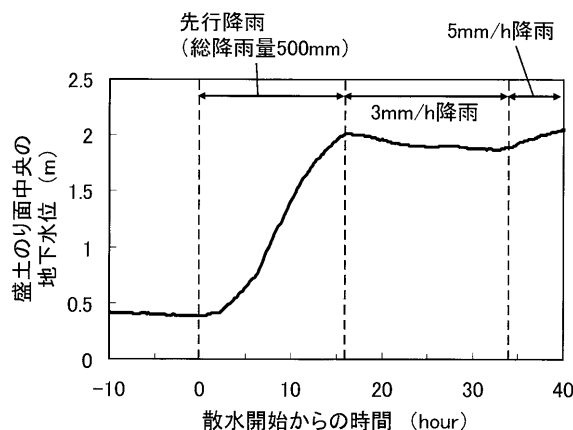
図一 3 限界雨量曲線の例



図一 4 法面防護工施工後の限界雨量の例

斜面崩壊等の危険性がなくなった場合には、可能な限り早期に運転を再開する必要性が生じる。そこで、現在、多くの JR 各社では、無降雨状態となり今後降雨が観測されないと判断した場合に、運転規制区間を詳細に調査し、明らかに斜面崩壊等の危険がなく列車の走行に支障がないと判断した上で、運転を再開している。しかし、このためには、線区の状況を事前に把握しておく等の技術的な経験や多くの災害経験を必要とする。

そこで、ほぼ同じような規模、土質の盛土が連続する線区を対象とし、実物大の模型盛土を用いた散水実験と数値解析の結果を踏まえて、連続雨量による規制解除の指標を検討した事例がある^{5),6)}。この事例の実験と解析では、連続雨量が500 mm 程度観測された後でも、時間雨量 3 mm/h 以下の降雨が3時間以上続けば、盛土内の地下水位が低下傾向を示す(図一5)ことを明らかにし、対象とした区間では、降雨が終息に向かい時間雨量 3 mm/h 以下の降雨が4時間以上経過した場合で、線路状態に異常がない場合において運転を再開するという判断基準が加えられた。このように、ある線区、範囲に限



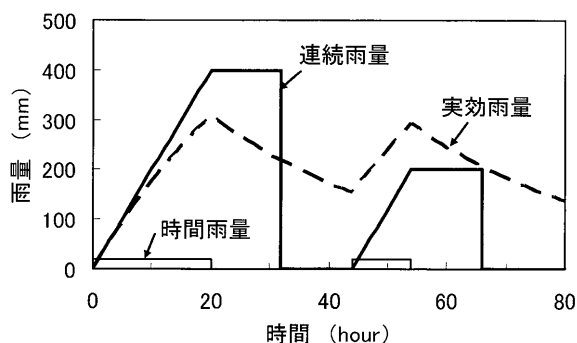
図—5 散水実験結果の例

定し、降雨パターンと斜面崩壊に対する安定性との関係を明らかにすれば、地盤工学的な観点で規制解除の考え方を示すことが可能であるが、地形、地質、土質等が複雑な線区を対象とした場合には、より詳細な技術的検討が必要になる事はいうまでもない。

JR で用いられている連続雨量は12時間以上の降雨中断があった場合にゼロとする割り切った考え方であり、実際の降雨では、12時間以上の降雨中断を伴いながら断続的に長期的に続く場合がある。JR各社においては、過去に発生したこうした長雨による斜面崩壊を踏まえ、長雨に対する危険箇所を設定する、従来の規制基準に追加して規制基準を設ける等して、安全運行を確保している。

最近では、斜面内に浸透した雨水は、ほぼ同時に量の程度はあれ、少しずつ斜面外に流出しているといった考え方に基づく「実効雨量」を鉄道の運転規制に導入する検討がなされている⁷⁾。図—6に示すように、これまでの連続雨量による値は12時間以上の降雨中断が伴うとゼロクリアされてしまうが、実効雨量では断続する降雨でも以前の雨量を考慮して現在の雨の量に反映できるという点や、降雨の終息に伴いその値が減少することから、規制解除の判断をしやすい点などの利点を有している。

しかし、一方で実効雨量は、流出する量をどの程度に見積もるかが課題となる。鉄道沿線には膨大な数の斜面が存在し、地盤の透水性を一義的に決定することは困難な上に、降雨による崩壊形態も雨水浸透による崩壊、表面流の流下による侵食、渓流からの土砂の流入、線路の冠水等、様々である。このため、今後実効雨量のような



図—6 連続雨量と実効雨量の例

斜面の安定性と密接に関連づけられた雨量による運転規制が行われるようになることが期待されるものの、こうした多くの土質、地質、地形条件や被災形態に合わせた指標を地盤工学的なアプローチによって解明していくことが重要である。

4. おわりに

本稿では、鉄道における降雨時の斜面崩壊と運転規制との関係について述べた。鉄道の基本は安全・安定した輸送を提供することである。前述したように、最近では、これまで観測されていない豪雨等による災害も見られることから、降雨時の運転規制の重要性を再認識し、線区の特性に見合った規制方法によって、より安全・安定した輸送を確保することに貢献していきたい。

参 考 文 献

- 1) ㈲日本鉄道施設協会：「鉄道施設技術発達誌」，1994。
- 2) ㈲地盤工学会：降雨時の斜面モニタリング技術とリアルタイム崩壊予測に関する研究報告書，pp. 14～16，2006。
- 3) 杉山友康：降雨時の鉄道沿線斜面災害防止のための危険度評価手法に関する研究，鉄道総研報告，特別第19号，1997。
- 4) 杉山友康・岡田勝也・秋山保行・村石 尚・奈良利孝：鉄道盛土の限界雨量に及ぼす防護工の効果，土木学会論文，No. 644/Ⅳ-46，pp. 161～171，2000。
- 5) 太田直之・杉山友康・村石 尚・今井卓也：豪雨終息時における盛土の安定性の解析的評価，地盤工学会，豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度評価予測に関するシンポジウム発表論文集，pp. 119～124，2003。
- 6) 近藤拓也・今井卓也・杉山友康・太田直之：連続雨量による運転規制の解除指標の検討について，㈲日本鉄道技術協会，JREA，Vol. 46，No. 6，2003。
- 7) 島村 誠・友利方彦：降雨時列車運転規制に用いる危険指標の選択について，第58回土木学会年次講演会概要集，2003。

(原稿受理 2007.5.31)