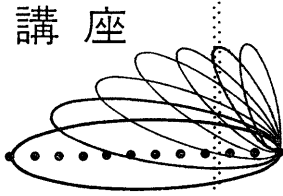


講座



# 豪雨時における斜面崩壊のメカニズムと危険度予測

## 5. 豪雨時における斜面崩壊危険度予測（その1）

森 脇 武 夫（もりわき たけお）

呉工業高等専門学校教授 環境都市工学科

谷 茂（たに しげる）

独立行政法人農業技術研究所 造構部上席研究官

寺 田 秀 樹（てらだ ひでき）

国土交通省国土技術政策総合研究所 砂防研究室長

天 野 淨 行（あまの きよゆき）

日本道路公団試験研究所 道路研究部土工研究室

斜面崩壊に伴う被害の防止・軽減には崩壊の危険度予測が必須であり、様々な方法で危険度予測が行われている。本章では、まず過去に斜面災害を引き起こした降雨条件を示し、斜面崩壊の直接の原因となる降雨量に着目した崩壊危険度予測を紹介する。その後、不飽和浸透解析と斜面安定解析に基づく崩壊危険度予測と計測機器による測定結果を利用した崩壊危険度予測を紹介する。

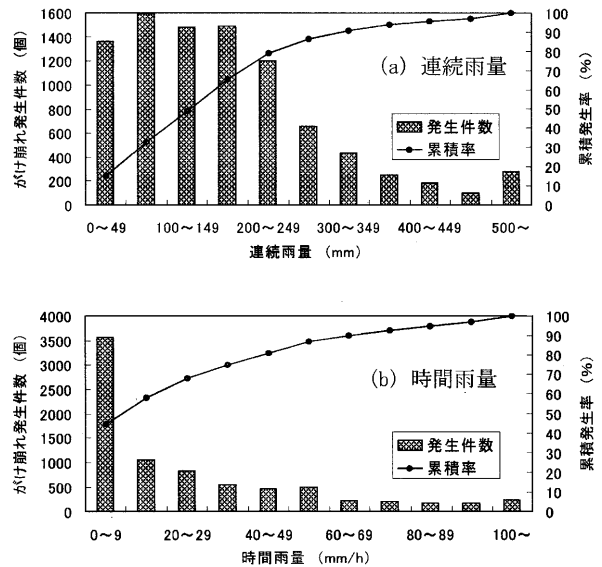
### 5.1 過去に発生した崩壊時の降雨量

#### 5.1.1 自然斜面

図—5.1は昭和47年から平成7年の間の崩壊発生までの連続雨量および崩壊発生時の時間雨量と崩壊件数を示したものである<sup>1)</sup>。この図より、連続雨量が250 mm までで大部分の崩壊が起きているものの連続雨量が100 mm 以下でもかなりの数の崩壊が起きていることや、時間雨量10 mm 以下での崩壊が最も多いことが分かる。これらの事実は降雨量を用いた崩壊予測が一筋縄ではいかないことを示している。その原因の一つに、斜面崩壊の素因である地形と地質の影響があり、これらの違いを無視して降雨条件だけで一律に斜面崩壊の発生条件を議論できないことを示している。そこで、降雨による斜面災害を度々引き起こしている代表的な地質であるまさ土（風化花崗岩）斜面としらす斜面を取り上げ、崩壊が発生するときの降雨特性を過去の災害記録をもとに検討する。

表—5.1は県内の大半が花崗岩で覆われている広島県内で戦後発生した降雨による斜面災害の代表的事例を示したものである。この表より、連続雨量が約180 mm 以上になるか、あるいは時間雨量が約25 mm 以上になると大災害が起きていることがわかる。また、降雨条件と被害規模の関係を見ると、近年になるほど斜面崩壊対策が進み降雨条件が同じでも、あるいは逆に厳しくても被害規模は小さくなっていることがわかる。さらに、網干ら<sup>2)</sup>や瀬尾ら<sup>3)</sup>などによって従来から指摘されているように、斜面崩壊の発生にはそれまでの累積雨量とその時点の降雨強度の両者が強く関係している。

これらの点を考慮して佐々木ら<sup>4)</sup>は、累積雨量と降雨強度の二つの指標を一つに集約し、その値の空間的分布と時間的変化から斜面崩壊の危険地域を判定するための雨量指標  $R_t$  を提案している。図—5.2は広島県内でこれ

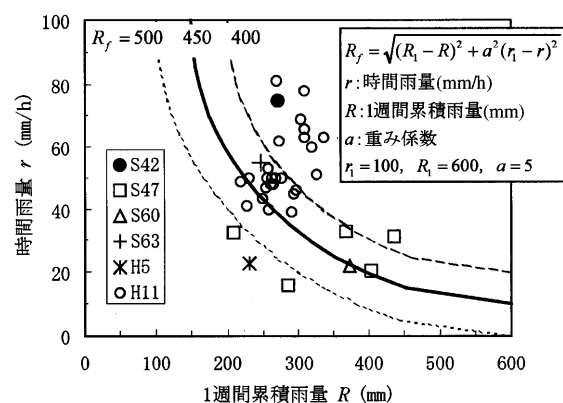


図—5.1 崩壊発生までの連続雨量と崩壊発生時の時間雨量

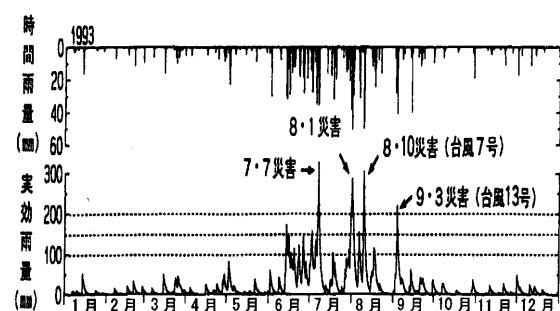
表—5.1 広島県内での戦後の豪雨による主な斜面災害

| 災害                        | 被害                                              | 降雨条件                                                             |
|---------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 昭和20年<br>9月災害<br>(枕崎台風)   | 呉市、江田島町、大野町、宮島町を中心に、死者・行方不明者 2,012名、損壊家屋 6,832戸 | 連続雨量 218.7mm (広島)、250.7mm (呉)、時間最大雨量57.1mm (広島) 4時間雨量113.3mm (呉) |
| 昭和26年<br>10月災害<br>(ルース台風) | 大竹市、佐伯郡を中心に、死者・行方不明者 166名、損壊家屋 2,333戸           | 連続雨量189.8mm (広島)、283.4mm (加計)、時間最大雨量 26.2mm (広島)                 |
| 昭和42年<br>7月災害<br>(豪雨)     | 呉市を中心に、死者・行方不明者 159名、損壊家屋 1,119戸                | 連続雨量 317mm (呉)、時間最大雨量 74.7mm (呉)                                 |
| 昭和47年<br>7月災害<br>(豪雨)     | 三次市、庄原市、加計町を中心に、死者・行方不明者39名、損壊家屋 3,008戸         | 連続雨量 622mm (三次)、時間最大雨量 40mm (呉市)                                 |
| 昭和60年<br>6月災害<br>(豪雨)     | 福山市、呉市、広島市を中心に、死者・行方不明者2名、損壊家屋                  | 連続雨量 471mm (呉)、時間最大雨量 35mm (呉)                                   |
| 昭和63年<br>7月災害<br>(豪雨)     | 加計町を中心に、死者・行方不明者名 14名、損壊家屋 73戸                  | 連続雨量 264mm (加計)、時間最大雨量 57mm (加計)                                 |
| 平成5年<br>7月災害<br>(台風5号)    | 県北西部(戸河内町、筒賀村)を中心に、死者・行方不明者名 3名、損壊家屋 819戸       | 連続雨量 228mm (加計)、時間最大雨量 33mm (加計)                                 |
| 平成11年<br>6.29災害<br>(豪雨)   | 広島市、呉市を中心に、死者・行方不明者名 32名、損壊家屋 582戸              | 連続雨量 232.5mm (広島)、184mm (呉)、時間最大雨量 81mm (広島)、73mm (呉)            |

までに発生した主なまさ土斜面崩壊地点の近傍の雨量観測所において  $R_t$  が最小（最も危険）になったときの1週間累積雨量と時間雨量の関係を示したものである。この図より、広島地域のまさ土斜面において崩壊が発生する降雨条件は、 $R_t$  が500 mm 以下になるような1週間



図—5.2 まさ土地帯で斜面崩壊が起こる1週間累積雨量と時間雨量の関係



図—5.3 垂水市における1993年の実効雨量と地盤災害発生との関係<sup>5)</sup>

累積雨量と時間雨量の組合せであることがわかる。

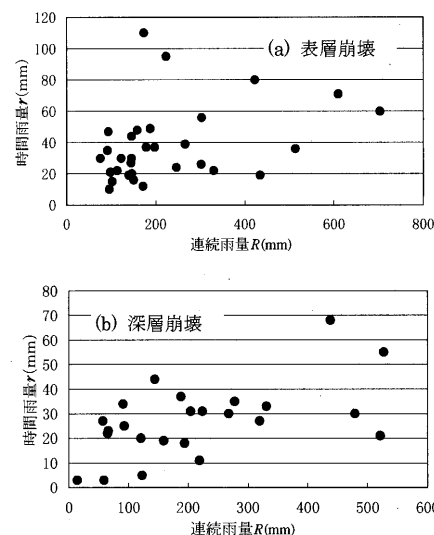
次に、しらす地帯において斜面崩壊が発生する降雨条件を紹介する。鹿児島県では平成5年6月から9月までの4カ月間に2598.5 mmもの多量の降雨量と時間雨量が100 mmを越える強い降雨によって多数の土砂災害や河川の氾濫などが繰返し起こり、死者・行方不明者121名を出す大災害となった。これらの災害の詳細は2.1で紹介されている。図—5.3は、7月7日、8月1～2日、8月9～10日、9月3日にしらす斜面で斜面崩壊や土石流が多発した垂水市における時間雨量の時間的变化を表したハイレートグラフと24時間半減期を用いた実効雨量の時間的变化を示したものである<sup>5)</sup>。鹿児島県北部域で大きな災害が発生した8月6日は垂水市付近では災害は発生しておらず、このときの実効雨量は150 mm程度であるが、災害の発生した時の実効雨量はいずれも200 mmを越えていることがわかる。また、災害発生場所と実効雨量200 mm以上の地域とも良く一致しているため、しらす斜面で崩壊が起こる降雨条件は、24時間半減期を用いた実効雨量で200 mm以上が一つの目安とされている。

### 5.1.2 切土斜面

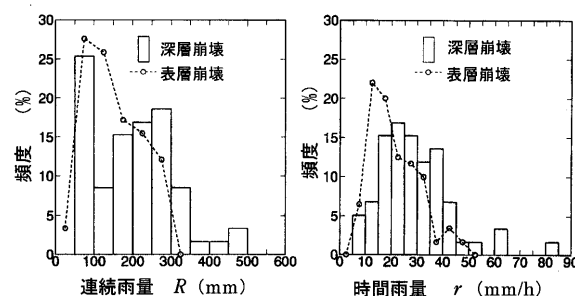
道路<sup>6)</sup>における切土斜面が崩壊するときの降雨特性を調べるために、過去の崩壊履歴から、崩壊面が比較的浅い表層崩壊と円弧すべりを伴う深層崩壊に分けて、連続雨量と時間雨量の関係を図にしたのが図—5.4である(高速道路除く)。表層崩壊が31事例、深層崩壊が24事例である。また、切土の崩壊形態ごとの崩壊雨量の平均

表—5.2 切土における降雨量の平均と標準偏差

|    |      | 連続雨量 $R$ (mm) |      | 時間雨量 $r$ (mm) |      |
|----|------|---------------|------|---------------|------|
|    |      | 平均値           | 標準偏差 | 平均値           | 標準偏差 |
| 道路 | 表層崩壊 | 229           | 155  | 38.3          | 23.7 |
|    | 深層崩壊 | 216           | 149  | 27.2          | 14.7 |
| 鉄道 | 表層崩壊 | 150           | 69   | 22.7          | 10.3 |
|    | 深層崩壊 | 202           | 106  | 27.9          | 14.4 |



図—5.4 道路の切土崩壊と降雨条件



図—5.5 崩壊時の連続雨量  $R$  と時間雨量  $r$  の頻度分布

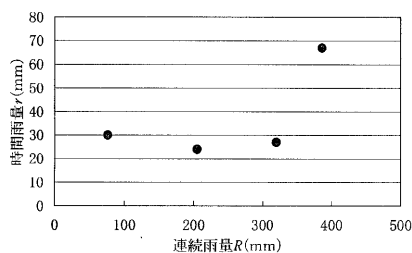
値と標準偏差は表—5.2に示すとおりである。これらの図表で表層崩壊と深層崩壊にあまり明瞭な違いは認められないが、表層崩壊では連続雨量の比較的小さいところ(200 mm程度以下)にデータが集中し時間雨量の大きなもの(40 mm程度以上)が多数見られるが、深層崩壊では時間雨量の大きなものが比較的少ないことが分かる。

口絵写真—83は、高速道路における代表的な崩壊事例である<sup>7)</sup>。平成11年9月に来襲した台風16号が、岐阜県全域に大きな被害をもたらした。さらに引き続いた台風18号の影響で、美濃市地域は豪雨となった。この雨の影響により、東海北陸自動車道美濃～美並間の6段切土法面の崩壊が発生した。被災地に近い観測所では、前日の未明より降り始めた雨が断続的に降り続き、秋雨前線の活性化に伴い、連続雨量530 mm、時間最大雨量73 mmを記録した。9月の累計降雨量は年平均降雨量の約半分、およそ1000 mmにも達した。崩壊原因は、多量の雨水が地山に供給され、地下水により地山が飽和され

## 講座

表—5.3 道路盛土における降雨量の平均と標準偏差

|      | 連続雨量 $R$ (mm) |      | 時間雨量 $r$ (mm) |      |
|------|---------------|------|---------------|------|
|      | 平均値           | 標準偏差 | 平均値           | 標準偏差 |
| 盛土崩壊 | 247           | 118  | 37.0          | 17.4 |



図—5.6 道路の盛土崩壊と降雨条件

地山強度が低下し崩落したものと推定されている。

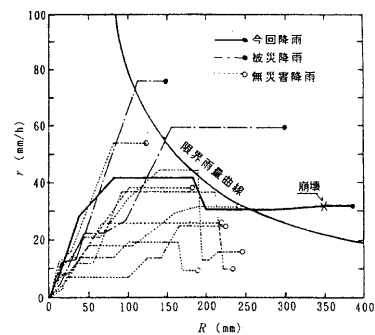
一方、鉄道<sup>8)</sup>における切土斜面の崩壊について、表層崩壊60例、深層崩壊50例を崩壊までの連続雨量  $R$  と時間雨量  $r$  の頻度分布を図—5.5に示す。用いたデータの時期や地域等が異なるため一概に比較はできなが、鉄道切土では、表層崩壊より深層崩壊の方がより強い降雨条件で発生していることになる。

## 5.1.3 盛土斜面

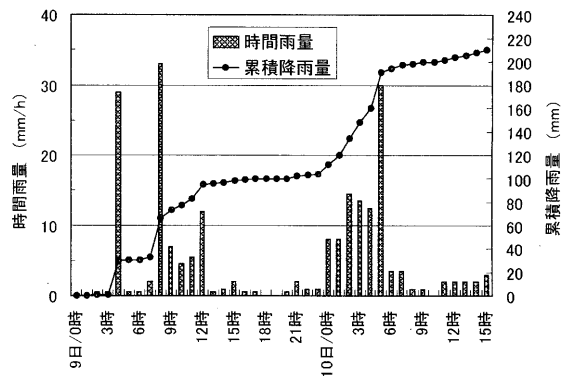
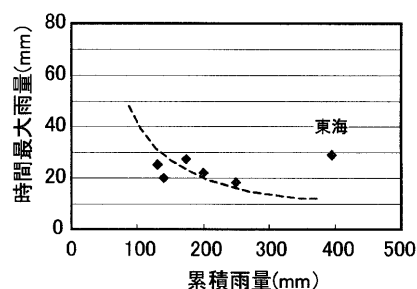
道路<sup>6)</sup>の盛土において、盛土が崩壊した時の降雨特性を調べるために、過去に起きた崩壊時の連続雨量と時間雨量の関係を示したのが図—5.6である。また、雨量の平均値と標準偏差は表—5.3である。盛土は、盛土する材料や施工方法などを決めることができるため、切土と違い、崩壊が発生しにくい構造物となる。そのため、崩壊事例も切土に比べ極端に少なくなっている。

鉄道沿線の盛土は集中豪雨によって崩壊する事があり、列車の安全性を確保する上から降雨による崩壊を精度良く予測することが必要となる。岡田ら<sup>9)</sup>は鉄道盛土の被災の限界雨量を連続雨量と時間最大雨量の積値で与えている。さらに盛土の構造・土質条件、基礎の構造・地質条件、集水・浸透条件、および経験雨量条件等の変数で与えている。図—5.7は昭和63年7月の三重県を襲った梅雨末期の、最大時間雨量  $r=41.5$  mm、連続雨量390 mmに達する集中豪雨により、高さ  $H=6.6$  mの盛土が延長50 mにわたって崩壊した事例についての限界雨量曲線の例である。図中の実線はこの事例の崩壊データであり、また図中には過去の降雨履歴10例についても示しており、その内2例は付近の同じような条件の盛土が崩壊したものである。残りの事例はいずれも崩壊を起こさなかったもので、限界曲線の下にあり、提案された限界雨量曲線に妥当性があるといえる。

アースダムに関しては、平成14年の台風6号豪雨により、7月10日未明に石川県羽咋郡のため池で、決壊には至らなかったが、下流斜面2カ所でのすべりとすべり面における複数箇所でのパイピングが発生した（口絵写真—85参照）。被害発見時（10日未明）の貯水位は天端まで達しており、越流があったものと推定されている。図—5.8に降雨記録を示したが、9日未明と10日未明に



図—5.7 被災した鉄道盛土の限界降雨曲線

図—5.8 被災したアースダム付近の降雨記録  
(2002年7月9日0時～10日15時)

図—5.9 アースダムの豪雨災害と降雨条件

集中的に降雨があり、被害は降雨の3回目のピーク（7月10日4時頃）直後に発生している。過去のため池被害でも同様に、時間最大雨量の発生した前後で決壊のような大きな被害が発生している。10日午前12時までの総雨量は197 mm、時間最大雨量は34 mmが記録されている。過去の被害事例から豪雨によるアースダムに被害が発生した時の限界降雨条件として図—5.9に示す概略の関係が得られている<sup>10)</sup>。被害の発生条件として、時間雨量、累積雨量条件との相関が提案されているが、過去のアースダム被害が、最大時間雨量が発生した前後に多く発生していることから、ここでは単純に最大時間雨量、累積雨量条件のみから限界降雨条件を決めている。雨量観測ポイントが現在のように多くなかった事などにより、降雨条件が正確に求められない場合もあるが、概略の判断基準にはなり得る。なお、この限界降雨条件と異なった傾向を示しているのは平成12年の東海豪雨での被害事例である。アースダムの構造条件にそれほど大差はないので、この原因としてその地方における降雨履

歴の違いがあげられる。したがって、地域に応じた降雨の限界値を設定していくために、降雨特性の異なる地区ごとに限界降雨条件のデータを蓄積していくことが必要である。

## 5.2 降雨量による崩壊危険度予測

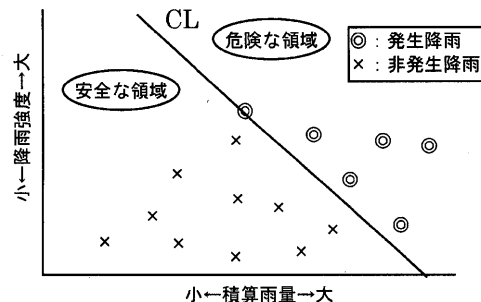
全国に土砂災害危険箇所は約18万箇所存在する<sup>11)</sup>。これは、人家5戸以上（5戸未満でも重要な公共施設のある場合も含む）に危険の及ぶ恐れのある箇所を対象としているため、それ以外にも斜面崩壊の発生する恐れのある箇所は膨大な数に上る。一方、砂防ダム等の防災施設の整備状況は極めて低い水準にあるため、土砂災害による被害を防止・軽減するための防災施設の整備を一層進めていかなければならないが、これらの整備には多大な経費と時間がかかり、一朝一夕で被害の防止・軽減を行うことは困難である。そのため、少なくとも人的被害を出さないように斜面崩壊の発生を事前に予測し、避難するシステムを構築する必要がある。

### 5.2.1 崩壊危険度評価のための雨量指標

降雨による土砂災害に対する警戒・避難システムを確立するために、斜面崩壊と降雨特性の関係が調べられている。それらは大別して以下の三つの方法に分類される。

- ① 雨量指標による統計的方法
- ② 土中の水分量に着目した水文学的方法
- ③ 雨水浸透を考慮した斜面安定に基づく土質工学的的方法

①は、どのような降雨によって斜面崩壊が起こるかを過去の事例から統計的に調べたもので、その際の降雨特性は様々な指標によって表現されている。すなわち、累積雨量、日雨量、3時間雨量、1時間雨量、および10分間雨量などで、多くの場合、これらの二つ以上を組合せて斜面崩壊発生の可能性が論じられている。代表的なものに、前日までの累積雨量と当日の日雨量からまさ土斜面における災害の発生を予測する限界雨量曲線を求めた網干・低引<sup>2)</sup>の方法、降雨が強くなり始めてからの累積雨量とその間の平均的な雨量強度から土砂災害の規模を予測する限界雨量曲線を求めた瀬尾・船崎<sup>3)</sup>の方法、累積雨量と降雨強度の二つの指標を一つの雨量指標  $R_t$  に集約し、その空間分布と時間的な変化から斜面崩壊の危険域を判定する佐々木<sup>4)</sup>の方法などがある。なお、累積雨量に相当する雨量指標として、連続雨量と実効雨量とがある。連続雨量とは降雨の前後に24時間以上の無降雨期間（JH では6時間、JR では12時間とする場合もある）を有するひとまとまりの降雨（一連の降雨）の総雨量で、実効雨量とは過去になるほど小さくなる減少係数を日雨量あるいは時間雨量に乗じて累積した雨量である。連続雨量や実効雨量を用いた警戒避難のための雨量基準に関しては次項で詳しく紹介する。また近年、降雨量以外に地形・地質など土砂災害の発生にかかわり深い要因を取り上げ、それぞれの要因が災害発生に関与する重みを統計的に評価・選別することで、土砂災害の発生・非発生の判別式を求める重判別分析による手法も提



図—5.10 土石流発生危険基準線（CL）の概念図

案されている<sup>12)</sup>。

②は、降雨による斜面崩壊は土中の水分量がある値に達したときに発生すると考えて、対象とする斜面または流域の限界貯留量を求めようとするものである。代表的なものに、斜面集水域を一つの貯水池と見なして超過保留量を水理学的に求めた大滝<sup>13)</sup>の方法、比較的広い流域を対象に直列3段タンクモデルによって限界貯留量を求めた道上ら<sup>14)</sup>の方法、道上と同タイプのタンクモデルを用いて土壌雨量指数を算出する気象庁<sup>15)</sup>の方法などがある。タンクモデルとは、降雨が土層に浸透し貯留され流出する状況を、タンクに設定した流出孔の位置や大きさとタンクを何段か組み合わせたモデル構造によって表現しようとした手法である。

③は、雨水が不飽和状態の斜面中に浸透し、地下水面が形成される過程を飽和・不飽和浸透解析を行って求め、その結果を考慮した斜面安定解析を行って、特定の斜面に対する降雨による安定性の変化を評価しようとする方法である。この方法は三つの方法の中で最も合理的であるが、対象となる斜面の集水特性、浸透特性、土質・地層特性および強度特性を事前に特定しておく必要がある。したがって、この手法によって地域および流域全体の警戒・避難の判断を下すためには、その地域を代表する斜面条件の設定が必要不可欠である。

### 5.2.2 各種基準雨量の設定方法

#### 1) 土砂災害警戒避難基準雨量

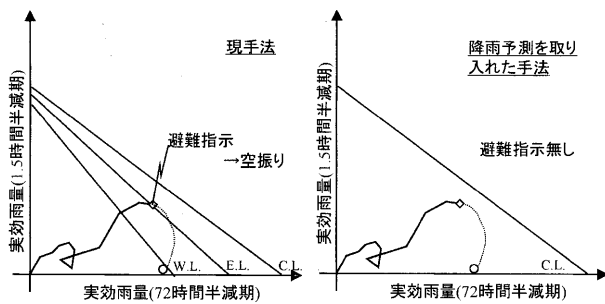
土石流や崖崩れなどの土砂災害に対する住民等の警戒避難のための雨量基準として現在多く使われている「土石流災害に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針（案）」による手法（以下、指針案<sup>16)</sup>と「総合土砂災害対策検討会により提言された手法」（以下、提言案<sup>17)</sup>）について紹介する。

両者の手法とも、図—5.10のように縦軸に降雨強度、横軸に積算雨量を取り、土石流が発生する降雨と発生しない降雨とを土石流発生危険基準線（Critical Line; CL と呼ぶ）によって区分しようとするものであるが、縦軸と横軸の取り方が異なっている。

指針案には、縦軸に1時間雨量を取ったA案と有効降雨強度（降雨が強くなり始めてからの累積雨量をその間の降雨時間で除したもの）を取ったB案の2種類があるが、横軸は共に（5.1）式で定義される実効雨量  $R_w$  が取られている。

$$R_w = R_{wA} + R_c \quad \dots\dots\dots (5.1)$$

## 講 座



図—5.11 降雨予測の取り入れによる空振りの回避

ここに、 $R_{wA}$  は一連の降雨の降り始めから24時間以上の無降雨期間を含めた1～2週間程度前までの期間の降雨（前期実効雨量）で、 $R_c$  は24時間以上の無降雨期間に挟まれた降雨（一連続雨量）である。また、 $R_{wA}$  は  $t$  日目の24時間雨量  $R_{dt}$  と半減期  $T$  日からなる減少係数  $\alpha_t$  ( $=0.5^{t/T}$ ) との積で次式より求められる。

$$R_{wA} = \sum \alpha_t \cdot R_{dt} \quad (5.2)$$

指針案では、一連の降雨の定義から、 $R_c$  は24時間以上の無降雨時間が出現しない限り増大し続けるため、実効雨量  $R_w$  も増大し続けることになる。このため、一旦CLを超過した場合には雨量が積算され続けるため、 $R_w$  の値は危険領域を示し続けることになり、単独では避難解除の指標にはなりがたい面がある。

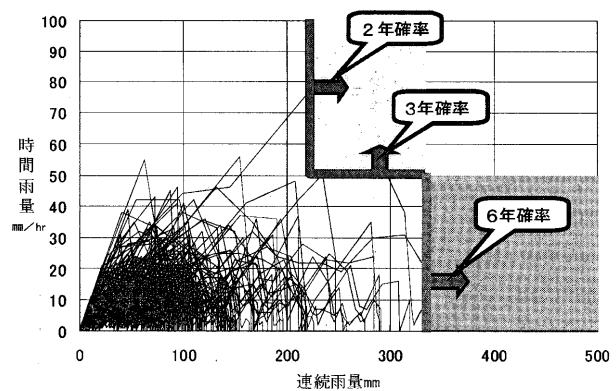
一方、提言案は、集中的に発生する崖崩れに対する警戒避難基準雨量の設定手法として提言された手法で、縦軸の降雨強度を半減期1.5時間の実効雨量、横軸の積算雨量を半減期72時間の実効雨量で取ったものであり、提言案における実効雨量  $R_w$  は土砂災害発生1時間前までの降雨をすべて前期降雨として次式によって計算される。

$$R_w = \sum \alpha_{li} \cdot R_{li} \quad (5.3)$$

ここに、 $R_{li}$  は  $i$  時間前の1時間雨量、 $\alpha_{li}$  は  $i$  時間前の減少係数で  $\alpha_{li} = 0.5^{i/T}$ 、 $T$  は半減期（時間）である。

提言案では1時間前までの降雨がすべて減少係数を乗じた実効雨量として扱われるため、降雨が終了しなくても降雨が弱まるのに応じて実効雨量が減少していく特性を持っている。そのため、時間雨量の減少とともにスネーク曲線が原点方向に移動するため基準解除の指標としても利用可能である。

土石流発生基準雨量（CL）は土砂災害が発生する基準であるから、雨量が発生基準雨量に達してから避難をしては、土砂災害からの安全を確保することはできない。そのため、図—5.11に示すように雨量が発生基準に達する前に、避難を終えるための避難基準雨量（EL）、避難の準備を行うための警戒基準雨量（WL）が設定されている。この設定において、避難時間を長く、その間の雨量を大きく設定するほど避難基準雨量の値が小さくなり、避難の発令頻度が高くなるとともに“空振り”の頻度も増すことになる。逆の場合には、避難の発令を行う前に発生基準雨量に達し土砂災害が発生してしまうような“見逃し”が生じる恐れがある。そこで、空振りを減少させ、避難行動のための時間的余裕を確保するため



図—5.12 日本道路公団の道路通行規制基準の一例

に、短時間降雨予測を利用することが考えられている。

現在使われている短時間降雨予測の対象となる予測時間は2～3時間先までで、予測計算の間隔、すなわち更新時間が1時間の場合と10分間の場合がある。10分間更新の場合は1時間更新に対して更新頻度が多く実効雨量をより現在時刻の雨量に近い雨量で得られるため、警戒避難をより早い時点で判断できるなど警戒避難情報としてのメリットが大きい。これまでの検討結果<sup>18)</sup>から、短時間10分間更新降雨予測は実用レベルにあると考えられ、一部の県では実際に運用が開始されている。

## 2) 道路および鉄道の通行規制基準

日本道路公団では「異常降雨時における道路通行規制基準」として、図—5.12に示すような「連続・時間雨量法」と呼ばれる方法を用いている<sup>19)</sup>。この方法は、前述した指針案・提言案と似ているが、実効雨量ではなく連続雨量を用いている点異なる。また、この方法における連続雨量は6時間の無降雨（2 mm/hr 以下）でリセットされる。

通行規制の基準値を設定する際には、過去の降雨履歴と災害履歴からおおむね20年間で3～4回出現する降雨量（5～6年確率雨量）を、各インターチェンジ間の「降雨通行止め仮基準値」として設定し、この値を地域特性に応じて修正したものを最終基準値としている。具体的な例として、6年確率雨量を仮基準値とした場合には、まず連続雨量だけから見た規制基準値は6年確率の連続雨量となる。また、時間雨量の確率年を日本道路公団の用排水工設計で採用されている3年確率とすると、組合せ雨量領域では確率年を等しくするために連続雨量の確率年は2年確率となる。

基準値の設定手法を前述の指針案・提言案と比較すると、指針案・提言案では過去の災害履歴に基づいて基準線が設定されるのに対して、この手法では仮基準値としての確率雨量を導入することで、災害履歴がない新たな路線に対しての基準設定が可能となっている。

なお、JRにおいても組合せ雨量を用いた類似した方法で運転規制が行われているが、時間雨量の基準値があることと基準値が線区の防災強度によっていることなどが異なっている<sup>20)</sup>。

## 3) 土壌雨量指数

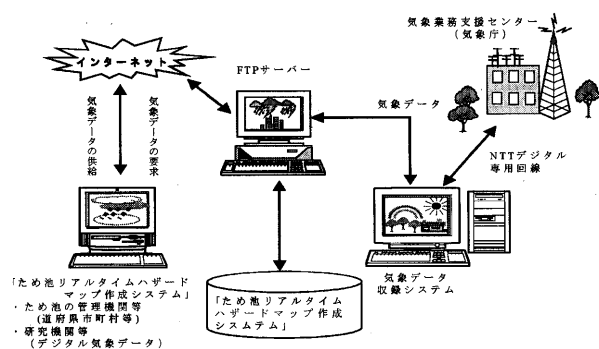


図-5.13 ため池リアルタイムハザードマップ作成システムの概要

気象庁では花崗岩地帯を対象に開発された3段のタンクモデルによる貯留高の合計値を「土壌雨量指数」として土砂災害の危険性の評価手法として全国を対象に用いている<sup>15)</sup>。指数値が高いほど山崩れ・崖崩れの発生危険性が高いと解釈することになるが、同じ指数値であっても対象となる地域の降雨特性や地盤条件などで土砂災害の発生危険性は異なることになる。そこで、気象庁では、レーダーアメダス解析雨量（気象レーダーとアメダスとを組合せて求めている全国5km格子毎の雨量）を用いて、ある場所での過去の雨による指数値と比較して、現在の指数値がその場所で何番目の高さになったかということを示す履歴順位として表現している。現在は、履歴1位を更新した場合などには「過去数年間で最も土砂災害の危険性が高まっている」といった表現で公表されている。今後、対象期間が増加した場合には、同じ指数値であっても履歴順位が異なってくることが考えられる。特に履歴1位が更新された場合などに、履歴2位以下であっても高い指数値の場合などの表現に注意する必要があると考えられる。

### 5.2.3 アースダムの危険度評価

アースダムの豪雨時における危険度を、前述したような降雨強度と累積雨量の関係から、リアルタイムに災害を判断するための「ため池リアルタイムハザードマップ作成システム」について述べる。このシステムでは、降雨等に関する情報（アメダス観測降雨量、レーダーアメダス現況雨量、予測雨量、警報）を気象支援センターから高速デジタル専用回線を経由して取得し、得られた気象データを一定のデータ形式に編集し、既開発の「ため池防災データベース」（45道府県で稼動中）<sup>21)</sup>にメッシュ単位で表示することができる。図-5.13はこれらのシステムの流れを模式的に示したものである。実際の豪雨時にはリアルタイムのレーダーアメダスデータ、アメダスデータによる現況雨量や予測データ、および災害の発生する可能性がある降雨条件に基づいて、アースダムに災害の発生する可能性をリアルタイムに判断できる。

口絵写真-86は、降雨状況と危険度予測をそれぞれ「ため池リアルタイムハザードマップ作成システム」上に表示したものである。危険度判定の関数を任意に定義できることから、ため池以外の盛土や斜面の危険度判定

システムとしても活用できる。このシステムではインターネットを経由して、端末での気象情報の表示、危険度判定が可能であるが、今後このシステムから豪雨災害の予測を行っている研究機関等に対しても、インターネットを経由してリアルタイム気象データ（デジタルデータ）を供給し、それぞれの機関で開発されたモデルによる災害予測を可能にすることが考えられている。

### 参考文献

- 1) 門間敬一・武士俊也：かけ崩れ災害の実態調査，土木研究所資料，第3484号，pp. 143～213，1997。
- 2) 網干寿夫・低引洋隆：真砂土自然斜面の崩壊について，第7回土質工学研究発表会概要集，pp. 507～510，1972。
- 3) 瀬尾克美・船崎昌雄：土砂害（主に土石流的被害）と降雨量について，新砂防，Vol. 26，No. 2，pp. 22～28，1973。
- 4) 佐々木康・森脇武夫・加納誠二・白石芳樹：1999年の広島県斜面災害をもたらした降雨特性と警戒・避難のための雨量指標，土と基礎，Vol. 49，No. 7，pp. 16～18，2001。
- 5) 土質工学会1993年鹿児島県豪雨災害調査委員会：1993年鹿児島県豪雨災害一繰り返される災害一，pp. 1～176，1995。
- 6) 災害復旧工法研究会編：災害復旧のり面対策工法事例集，(株)全国防災協会，1994。
- 7) JH名古屋建設局：平成11年9月豪雨による東海北陸道のり面災害，EXTEC，52号，Vol. 13，No. 4，p. 7，2000。
- 8) 杉山友康：降雨時の鉄道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，鉄道総合技術研究所，1997。
- 9) 岡田勝也・杉山友康・村石 尚・野口達雄：統計的手法による鉄道盛土の降雨災害危険度評価手法，土木学会論文集，No. 448/Ⅲ-19，pp. 25～34，1992。
- 10) 谷 茂：小規模アースダムの豪雨災害，第36回地盤工学研究発表会講演集，pp. 2443～2444，2001。
- 11) 建設省砂防部：砂防便覧（平成11年度），pp. 655～668，2000。
- 12) 荒木義則・古川浩平・松永 悟・小笠原貴人・石川芳治・水山高久：土石流危険渓流における地形特性を考慮した土砂崩壊の発生限界線の設定に関する研究，土木学会論文集，No. 574/Ⅵ-36，pp. 33～47，1997。
- 13) 大滝俊夫：降雨によるがけくずれの水文学的研究，気象庁研究時報，Vol. 17，pp. 351～395，1965。
- 14) 道上正規・檜谷 治：タンクモデルによる豪雨時の斜面崩壊予測例，第6回日本自然災害学会学術講演会要旨集，pp. 11～12，1987。
- 15) 牧原康隆・平沢正信：斜面崩壊危険度予測におけるタンクモデルの精度，気象庁研究時報，Vol. 45，No. 2，pp. 35～70，1993。
- 16) 建設省河川局砂防部：土石流災害に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針（案），1984。
- 17) 建設省河川局砂防部：総合土砂災害対策検討会における提言および検討結果，1993。
- 18) 山越隆雄・山田 孝・仲野公章・渡 正昭：10分間更新短時間降雨予測の土砂災害警戒避難への適用，土木技術資料，Vol. 43，No. 11，pp. 26～31，2001。
- 19) 後藤順治：降雨時における道路通行規制基準の見直し，EXTEC，58号，Vol. 16，No. 2，pp. 15～17，2001。
- 20) 日本鉄道施設協会：鉄道土木構造物の維持管理，pp. 671～673，1999。
- 21) 谷 茂：高度地理情報を有する「ため池防災データベースの構築」，情報地質，10，pp. 118～119，1999。