

2. 基準雨量設定手法の種類

2.1. 基準雨量の設定手法の種類と概要

2.1.1. 設定手法の種類

基準雨量の設定手法は、研究者等によって様々な分類がなされている。主要な分類方法には、

- ① 基礎とする学問に応じた分類
- ② 崩壊・土石流等の発生・非発生の境界を定める方法に着目した分類
- ③ 入力値に応じた分類

があげられる。

①の分類では、物理的な発生モデルに基づく「物理的手法」や、流出解析法を応用して水の挙動と崩壊・土石流等の発生を関連付ける「水文学的手法」、雨量と崩壊・土石流等の発生関係を統計的処理により求める「統計的手法」に大別される。

②の分類では、せん断力とせん断抵抗力が不均衡となる境界を物理的に求める「物理的手法」と、発生に関わる要因を過去の発生・非発生実績に基づき評価して経験的にその境界を求める「経験的手法」に大別される。

③の分類では、降雨量のみを入力値として用いる「降雨による手法」と、その他の条件（地形・地質等）を入力値に加える「その他の手法」に大別される。

実用面からは、いくつかの危険箇所を含んだ広がりのある地域に適する手法と局所的な地域に適する手法に分類され、基礎となるデータ取得の難易性や行政運用上の利便性などを考慮して、前者による基準雨量の設定が主流となっている。

以下では、広がりのある地域に適する主な手法として、

- ① タンクモデルによる手法
- ② 実効雨量による手法
- ③ 流出水到達時間内の降雨強度による手法
- ④ 重判別分析による手法

をとりあげ、設定手法の概要を述べる。

2.1.2. 設定手法の概要

(1) タンクモデルによる手法

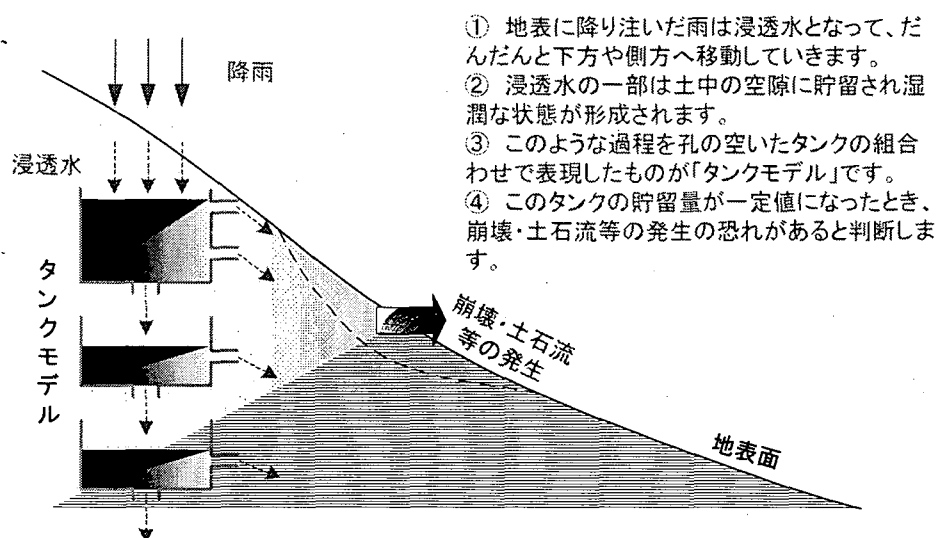


図 2.1 タンクモデルによる手法の概念

タンクモデルは、流出解析手法の一種で斜面や流域における水の浸透量や流出量の変化を追跡する手法である。流出孔の位置や大きさによって浸透や流出の非線形特性が地域ごとに表現される。

タンクモデルを利用した基準雨量の設定手法は、降雨による浸透水が土質特性等に応じて階層的に土中に貯留される様を追跡し、過去の崩壊・土石流等が発生した時点のタンク貯留高（土中の水分量）をもとに発生基準を定めるものである。さらに、今後の降雨によるタンク貯留高が基準を超過したときに発生の恐れがあると判断する（図 2.1）。

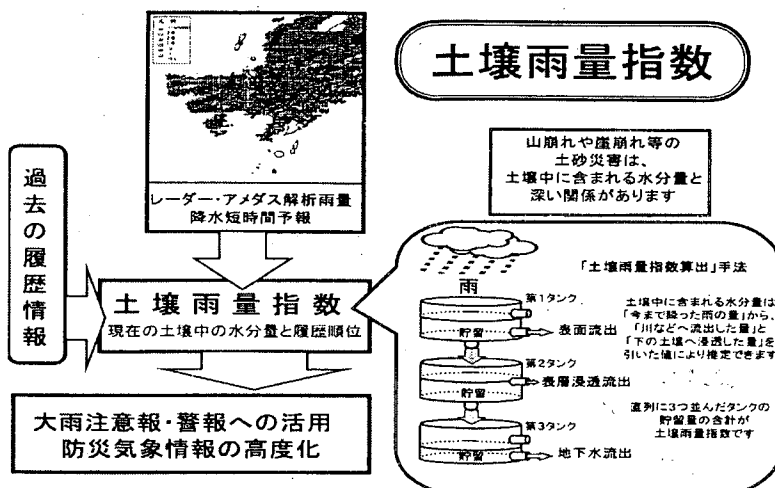
タンク構造については、1段から複数段など様々なものが提案されている。近年、気象庁では3段のタンクモデルによる貯留高を「土壌雨量指数」と称して土砂災害発生の危険性を予測し、危険が予測される場合その旨を大雨注意報・警報に併せて発表している。

◆トピック

「土壌雨量指数とは」

土壌雨量指数は、土壌中の水分量を3段のタンクモデル貯留高の合計値として求めるものであり、降雨による地盤の湿潤の度合いを表す。指数値が高いほど山崩れ・がけ崩れの発生危険性は高いと解釈する。しかし、同じような高い指数値が出現した場合、普段から雨が深い地域よりも雨が浅い地域の方の発生危険性が高い傾向にあるので、指数値から直接危険性を判断することは困難である。また、指数値の大小だけで2地点の危険性を比較することは無意味どころか危険でさえある。そこで、土壌雨量指数に履歴順位という概念を導入し、ある場所での過去の降雨による指数値と現在の値を比較して、現在の指数値が過去何番目の高さかというような相対的な表現が行われて

いる。



「発表時の表現」

土壌雨量指数は現行の手法では大雨注意報・警報の対象とすることが困難な土砂災害も対象と出来ることを第一の目的として開発を進めており、履歴1位を更新するような大雨だけを対象として開発しているのではない。ただし、履歴1位を更新した場合には、気象情報の中で警戒を呼びかけることにしている。

なお、現時点では、「〇〇市で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。

参考文献：岡田憲治(2000)：土砂災害の軽減に向けた「土壌雨量指数」の開発，消防科学と情報，No.60

(2) 実効雨量による手法

実効雨量は、指数関数を用いて降雨の浸透・貯留過程を表現しようとするもので、1つの流出孔をもつ1段のタンクモデルとも言い換えられる。流出孔の大きさを表す係数は減少係数と呼ばれる。実際の斜面・流域の浸透量や流出量の変化を追跡することに終止するならば、前項で述べたタンクモデルのように複数の階層を設けたほうが適合しやすいとされている(図2.2)。

基準の設定や判定方法は、タンクモデルによる手法と同じく、過去の崩壊・土石流等の発生時点の実効雨量値をもとに発生基準を設定し、今後の降雨による実効雨量値が基準を超過したとき発生の恐れがあると判断する。

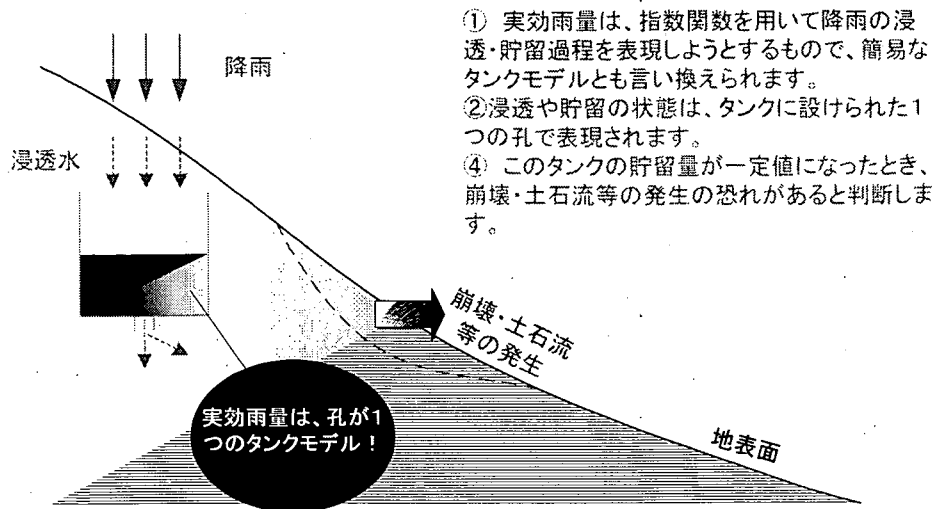


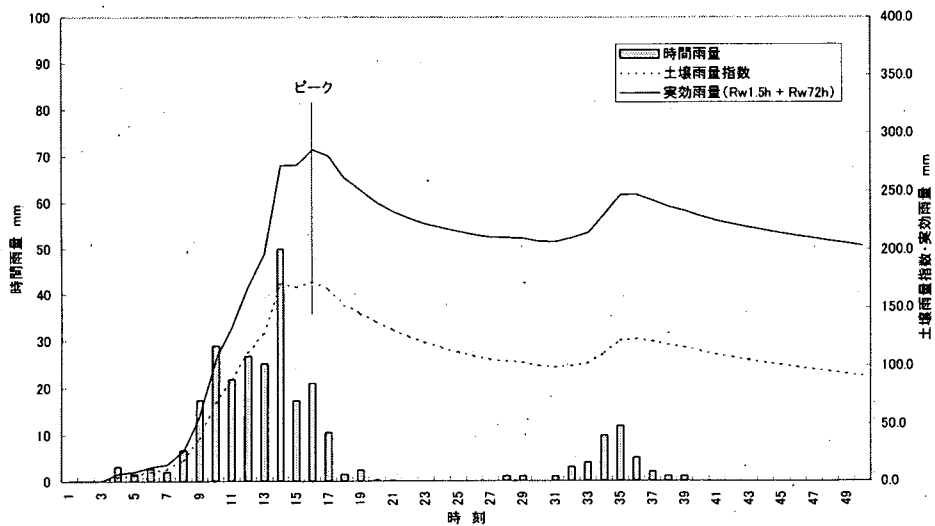
図 2.2 実効雨量による手法の概念

◆トピック

「実効雨量と土壌雨量指数の類似性」

建設省（現国土交通省）では、地表と地中の水分量を独立する二つの実効雨量を用いて近似し、降雨強度（短時間の降雨量）が大ききときは総雨量（長時間の降雨量）が少なくても土砂災害が発生すること、また降雨強度が小さくても総雨量が大きければ土砂災害が発生していることを表現した土砂災害の予測手法を示している（後述する「総合土砂災害対策検討会による手法（提言案）」²⁴⁾）。

同手法による実効雨量と土壌雨量指数は、諸定数の違いにより値の差異はあるものの、下図のようにピークの位置や減衰特性が類似する³⁸⁾。



(3) 流出水到達時間時間内の降雨強度による手法

この手法は、タンクモデルや実効雨量が地中の湿潤状態を指標とするのに対し、地表の流出水量を左右する指標として流出水到達時間時間内の降雨強度を用い、それが一定値となった時点で崩壊や土石流等が発生する恐れがあるとするものである。

ある地点における地表の流出水量（ピーク流量 Q_{max} ）と流出水到達時間時間内の降雨強度の関係は下式が代表的であり、合理式（ラショナル式）として一般に活用されている。

$$Q_{max} = \frac{1}{3.6} \times r_e \times A = \frac{1}{3.6} \times r \times f \times A$$

- Q_{max} : ピーク流量 (m³/sec)
- r_e : 流出水到達時間内の有効降雨強度 (mm/h)
- r : 流出水到達時間内の降雨強度 (mm/h)
- f : 流出係数
- A : 流域面積 (km²)

流域を図 2.3 (左) に示すように長方形で模式化すると、流域の上流端 (M) から末端 (N) までの距離を l とし、ここに継続時間 t_r の一様な降雨強度 r の雨が降ったとき、M から N までの地表水の到達時間を t_l とする。簡便のため、 $t_r > t_l$ のときの流量図を考えると、雨の降り始めから $t = t_l$ までの流量はほぼ直線的に増加し、 $t = t_l$ になれば N には全流域からの流出水が到達しているので流量の最大値、すなわちピーク流量 Q_{max} は前式で表される。

したがって、流出水到達時間内の降雨強度は、物理的に土砂移動の発生と関連深いとされる流量を左右し、地域の固有値とみなせる流出係数 (f) や流域面積 (A) が類似する地域においては有効な指標と考えられている。

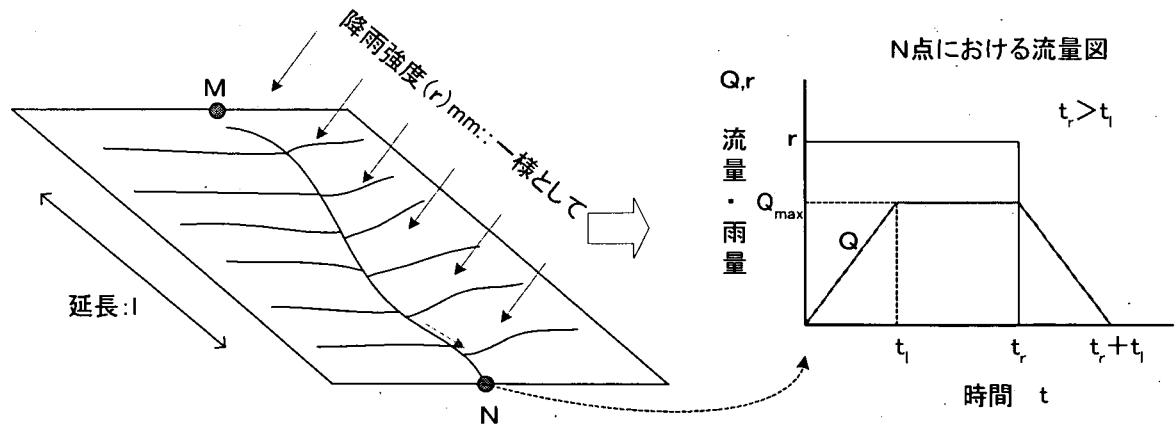


図 2.3 合理式の模式図

(4) 重判別分析による手法

前項までで紹介した手法は、降雨量のみを入力値とし、流出解析法の応用によって崩壊や土石流等の発生を予測しようとするものであった。

降雨量以外に降雨の質的条件や地形・地質などの条件を加味することで、よりの確な予測を行おうとするアプローチがある。

重判別分析による手法は、降雨や地形・地質など崩壊・土石流等の発生に関わり深い要因を取り上げ、それぞれの要因が発生・非発生に関与する重みを統計的に評価・選別することで、発生・非発生の判別式を定めるものである。

(5) 各手法の比較

以上で概説した手法は、細部の取り扱い等の違いによりさらに分類される。それらの手法の概要等を整理すると、表 2.1 のようである。

表 2.1 主な基準雨量の設定手法の分類と概要

手法名	手法名(細分類)	指標	対象現象	概要	特徴	出典
タンクモデルによる手法	鈴木らによる手法	① 1段目の貯留高 ② 2段目の貯留高	崩壊 土石流	下方への流出孔と側方への流出孔を設けたタンクを直列3段に配置したモデルであり、雨量の入力値に対してタンクに貯留される水量の変化と崩壊・土石流等の発生タイミングにより適合性がみられるとしたもの。	地域の浸透特性を表すタンクの諸定数は、流量観測結果などとの整合性の検討によって定めることが望ましいが、観測資料が不足することが多く、定数の同定に困難な面がある。 牧原らの研究によると、四国一帯の災害事例をもとに複数のタンク諸定数により解析した結果、花崗岩地帯の定数を用いた場合、異なる地質条件下でも比較的良好な災害予測が可能であるとしている。	鈴木雅一・福島義宏・武居有恒他：土砂災害発生の危険雨量, 新砂防, No. 110, pp. 1-7, 1979
	道上らによる手法	① 1段目の貯留高 ② 1・2段目貯留高の合計	崩壊 土石流			道上正規・小島英司：集中豪雨によるがけ崩れの発生予測に関する研究, 鳥取大学工学部研究報告, 第12巻, 第1号, pp. 167-178, 1981
	牧原らによる手法	3つのタンク貯留高の合計値	崩壊	最近では、気象庁が土壌雨量指数と称して公表している。		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, 1993
実効雨量による手法	指針案による手法(A案)	実効雨量(前期日半減)	土石流	降り始めからの連続雨量に前期の実効雨量を加算した指標を用いて基準の設定や判定を行うもの。	検討段階では、当該時刻の時間雨量と当該時刻1時間前までの実効雨量に分解して基準の検討を行うが、判定は当該時刻までの実効雨量とするため、検討過程に理解を得にくい面がある。 降雨指標が単一で連続雨量と類似するため、周知しやすい反面、長雨や断続的な降雨下での不適合が指摘されている。	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
	指針案による手法(B案)	① 有効降雨強度 ② 実効雨量(前期日半減)	土石流	A案と同じ実効雨量と有効降雨強度を組合わせて評価するもの。組合わせ指標となるため、XYのグラフ上で基準の設定や判定を行う。	A案と同じ実効雨量を用いるため、長雨や断続的な降雨下での不適合が指摘されている。 指針案の中では、A案によって良好な設定が困難な場合の参考手法として位置付けられており、具体的に利用されている事例はA案と比べて少ない。	同上
	矢野による手法(矢野案)	① 実効雨量(1段タンクモデル)	土石流	A案における実効雨量の演算方法を改良し、土中水分量の推移に調和的な指標としたもの。	実効雨量の演算方法の変更により、長雨や断続的な降雨下での不適合が改善されている。また、基準の解除にも有効な指標となっている。 ここで取り扱われる実効雨量は、下方への流出孔を1つとするタンクモデルと言い換えられる。 半減期の設定方法については、地域特性を反映するよう検討を要しているが、具体的な設定方法が示されていない。	矢野勝太郎：前期降雨の改良による土石流の警戒・避難基準雨量設定手法の研究, 新砂防 Vol. 43 No. 4 (171), 1990
	総合土砂災害対策検討会による手法(提言案)	① 実効雨量(半減期1.5時間) ② 実効雨量(半減期72時間)	崩壊 土石流*)	矢野案による実効雨量の演算方法を用い、3段のタンクモデルによる災害予測手法を応用して半減期1.5時間と半減期72時間の組合わせ指標としたもの。	矢野案と同様の実効雨量を用いるため、A案における長雨や断続的な降雨下での不適合が改善されている。また、基準の解除にも有効な指標となっている。 半減期は、花崗岩地帯におけるタンクモデルと類似性の高いものとしている。 異なる地域における適用に関しては、いくつかの地域における検討結果よりその汎用性が確認されている。	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 松沢昌志・大原正則・今井一之・杉原忠広：がけ崩れ発生限界雨量について, 砂防学会研究発表会概要集, 1993 瀬尾克美・原口勝則・菊井稔宏・吉田真也：土砂災害警戒避難基準雨量の課題と改良について, 新砂防 Vol. 53, No. 6, 2001
流出水到達時間内の降雨強度による手法	平野による手法	流出水到達時間内の降雨強度	崩壊 土石流	土石流や崩壊の発生モデル(物理モデル)をもとに、発生に関与する流出水到達時間内の降雨強度を指標とするもの。	流出水到達時間は、地形・地質などの条件によって異なるが、過去の発生・非発生降雨を解析することで、経験的に求める方法を示す。 取り扱う過去の災害発生降雨が適切でない場合、流出水到達時間を一義的に決定しがたい場合などがある。 山地災害危険区域における警戒避難基準雨量の設定指針(林野庁)で利用されている。	岩元賢・原田民司郎・平野宗夫：土砂災害に対する警戒・避難基準雨量の設定について, 新砂防, Vol. 43, No. 3(170), pp. 3-8, 1990
重判別分析による手法	荒木らによる手法	地形要因と降雨要因の組合わせ	土石流 崩壊**)	発生に関連深い地形要因を土石流危険渓流ごとに調査・計測し、様々な降雨指標とともに重判別式を定めるもの。	事前の作業として多くの地形計測作業を要するが、地形図を用いた作業が主体でDEM等の利用によって省力化が望まれる。 渓流ごとの基準値の設定や類似する渓流の集合ごとに基準値の設定が可能。	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, 1997

*)：がけ崩れに限定して手法が提言されているが、背景するタンクモデルが土石流に対しても有効性を示すため、土石流への適用も可能な手法と評価できる。

**): 文献のタイトルでは、土石流危険渓流を大きく取り上げているが、崩壊の発生と土石流の発生を同一視している。

