

韓国 林業研究院 ○ 李 昶 雨
 (財) 林業土木コンサルタンツ 東條 将之
 韓国 江原大学校大学院 藤 圭 眞

1. はじめに

山地の自然災害に対する正確な予測手段を開発することは防災の面で非常に重要な課題である。一般に、山地災害対策においては現象を再現・予測する部分とそれによる実行上の警戒避難の基準を設定する部分と分けられる。予測モデルにおいては過去から様々な方法が開発されているが、応答モデルによる方法と物理モデルを基本とするモデルによる方法の2つに大別できる。応答モデルは、モデルが非常に簡単である長所を持つが、過去のデータを絶対的に必要とし、雨水の浸透と土質特性などの物理現象を全然考慮していない欠点も持っている。物理モデルをベースにした方法は、細かい地形のデータを用いることから、崩壊に対して「いつ」だけではなく、「どこで」起きるかまでの一括した予測ができる利点を持つ。しかし、必要としている斜面、土質特性などの情報の質と量が要求されることと、モデルが非常に複雑で、計算機の性能などが問題になるなどまだ残された問題が多い。

ある地域での災害資料を基で統計的な処理を行っている応答モデルでは、地域性と崩壊形態などの影響が大きいため、一般性を持ち、幅広い地域に適用する場合が適当である。一方、物理モデルは非常に複雑であり、必要としている斜面、土質特性などの情報が多いため、災害が集中して起きる狭い地域を対象に適用する場合が適当であると考えられる。つまり、用いられるデータの特徴と目的に合うモデルを選択する必要があるだろう。

ここでは、物理モデルの適用が難しく、かつ数少ない崩壊データを用いて広い対象地域の災害を予測する場合適用する応答モデルによる危険指標計算方法について検討を行なうものである。とくに、危険度指標として知られている実効雨量（単一パラメータによって求められる指標、貯留関数法）ではなく、雨量－流量のデータがない地域でのタンクモデル貯留量（複数のパラメータによって求められる指標）の適用方法を提案、その方法による結果を貯留関数法による結果と検討した。

2. タンクモデル

土砂災害に対する警戒避難基準雨量を算定には、半減期をパラメータとしている貯留関数法がよく用いられている。ところが、その算定にはタンクモデルを適用することは可能であり、実際行った結果によると、危険度の指標が高い時に指標の値の時間的減少率が大きいというタンクモデルの特性が減少率を常に一定とする貯留関数法より危険度推定には適しているといわれている。ただし、危険指標の計算モデルとしてタンクモデルを用いる場合は対象とする地域の雨量－流量データの入手を必要とする。つまり、タンクモデルの適用には、対象地域の制約があることになる。

ここでは、降雨－流出データがない地域でもタンクモデルが適用できるように、危険指標計算に適用可能なタンクモデルのパラメータ同定法を提示する。

2. 1 用いられたタンクモデルの基本構造及びモデルのパラメータ同定方法

本タンクモデルの構造は、タンク3つで、1段目のタンクは流出口が2つ、2段目以下は流出口が1つであり、簡単な構造を用いた。パラメータの総数は11個である。

タンクモデルによるパラメータ決定は雨量－流出関係を用いて、流出量を良く再現するようなパラメータセットを試行錯誤の作業によって決めるが、ここでは対象地域の流出量観測値がないことから、崩壊データを用いて適したパラメータを同定する。そのため、以下のような手順で同定を行った。

まず、ある同一地域で発生した全崩壊に対して、これらの崩壊が発生した時刻での各タンク貯留量は同一のある値を持ち、崩壊の瞬間はこの値を超える瞬間であることを前提とする。すなわち、

- ①災害が発生した時刻での貯留量はその時刻までの最大（ピーク）貯留量であること。
 - ②災害が発生したデータからの最大（ピーク）貯留量の値は同一のある一定値である。
- を満足させることを前提条件とする。

そこで、①、②を満足させるために、次のような操作を行った。

- ①全崩壊データより崩壊発生に影響した降雨の発生時刻からの降雨データを入力する
- ②タンクモデルのパラメータに適当な初期値を与える。
- ③各崩壊ごとに、初期値による各時刻ごとの貯留量計算を行う。
- ④各崩壊ごとに、貯留量が最大を示す時刻を出力する。
- ⑤ピーク貯留量を示す時刻の平均と標準偏差を求める。
- ⑥ピーク貯留量の平均と標準偏差を求める。
- ⑦⑤の時刻の平均が実際崩壊が発生した時刻に近づくように、その標準偏差が少なくなるように、ピーク貯留量の標準偏差が少なくなるように、新たなパラメータ入力し、手順③へ。
- ⑧③～⑦の計算を試行錯誤で繰り返し、ここでは、ピーク発生時刻の平均が3時間差以下、標準偏差が5時間以下、

ピーク貯留量の標準偏差は平均を基準としてできる限り10%以内になるパラメータを決定する。

2. 2 タンクモデルの適用

用いられたデータは九州地方の最近の15年間の崩壊データを地質ごとに3区分して、各地質ごとの崩壊データを用いて、2.1の手順に従い、パラメータ同定を行った。

3. タンクモデルの評価

上記のタンクモデルの実用的応答を調査するために、そのモデルを用いて実際のパラメータの同定と危険指標の計算を行い、貯留関数法による結果との比較を行う。貯留関数法の半減期は24hrとし、ここでは崩壊に影響する時間を任意で崩壊発生以前の48時間として適用した。

タンクモデルのパラメータを用いて、各崩壊降雨を入力して各時刻の貯留量を計算した場合、貯留量の時系列変化を図-1に示す。結果は古第3紀・中生層（堆積岩）の場合を示す。また、図-1には貯留関数法による計算結果を比較するために、併記して示している。

図-1によると、タンクモデルによる貯留量の値より貯留関数法の方が、バラツキが大きく、崩壊時刻にいたる前に実効雨量が最大になっている場合もより多いことがわかる。計算結果によると、ピーク貯留量の時刻の平均はタンクモデルの方が48に近く、標準偏差も少ない。また、その時ピーク貯留量の標準偏差（平均値を基準としたもの、（標準偏差/最大危険貯留量））はわずか7%で非常に小さかった。

さらに、その結果を評価するために、図-1の結果から、各危険指標計算方法による計算結果を用いて、見逃し率が0%になるような値を危険雨量として設定した。評価にあたっては、危険雨量が設定された時点で、各地域の発生崩壊降雨によって計算された実効雨量とタンク貯留量が危険雨量を超える時間を計算してその時間を避難待ち時間と定義し、モデル別にその時間を計算した。ここでは、①崩壊が発生する前と②その前後で危険雨量を超える時間の2つに分けて検討する。①の評価は、実際崩壊が発生した場合に、崩壊発生何時間前から避難して待たなければならないのかを示す指標になる。避難時間が少ないほど効率のよい基準である。また、②の評価は、崩壊発生の一連の降雨によるタンク貯留量が危険雨量を超える時間を示すものであり、崩壊に対して総何時間避難しなければならないのかを評価する指標である。これも時間が少ないほど、効率がよい基準になる。両方の評価結果は、図-2、図-3に示す。

図-2によると、各地質においてタンクモデルによる方法が避難待ち時間が明らかに少なくなっていることを分かる。また、図-3の避難解除時間までの時間を比較したもので、タンクモデルに従った場合が半分あるいは1/3ぐらい避難時間が少ないことを示している。

次に、各地質ごとに決められたタンクモデルパラメータと危険雨量を用いて実際に対象地域に適用する場合の検討を行なうために、各3つの地域を代表する観測点を1ずつ選択して、その観測点での最近5年間の降雨を用いて年避難回数と時間を比較した結果、古第3紀・中生層の場合、年平均避難時間と避難回数が貯留関数法によるものが240時間と10回に対して本タンクモデルによるものは150時間と7回であった。

4. まとめ

最近の土砂災害対策に関する研究報告によると、既存の基準雨量設定方法が安全側に置きすぎる基準になっている点を指摘し、警戒避難の発令及び指示の的確性向上（すなわち、的中率が高く、避難回数と時間が少ない基準）を図るため、警戒避難基準雨量設定方法に対する工夫した報告が多い。ところが、警戒避難の発令及び指示の的確性向上には、当然予測モデルの改選にも可能なことであり、本文で提示しているタンクモデルは既存の貯留関数法に比べ、計算方法は複雑であるが、対象地域の特性によっては、効率のよい警戒避難基準雨量設定に十分活用できると思われる。

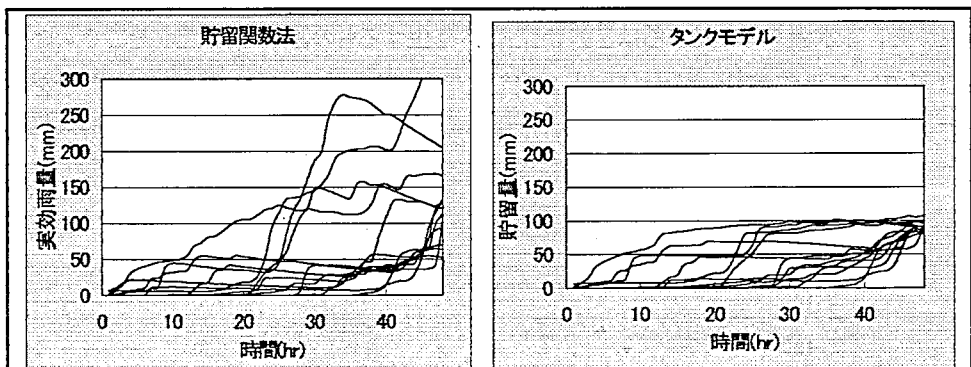


図-1 古第3紀・中生層(堆積岩)における貯留関数法の実効雨量とタンクモデルの貯留量

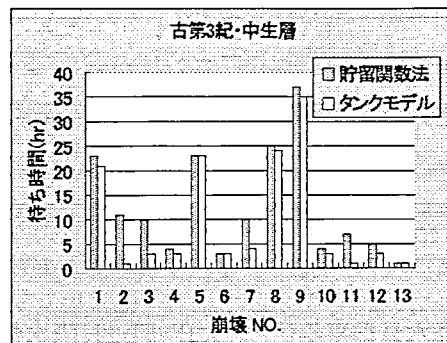


図-2 崩壊発生データにおける各モデルごと崩壊発生までの待ち時間の比較

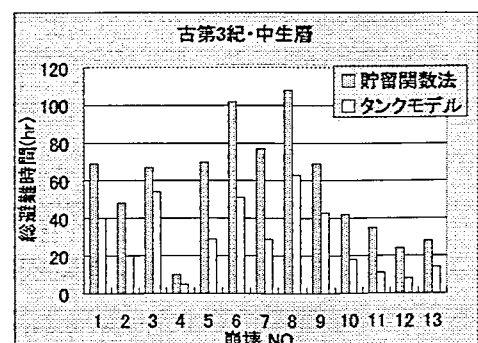


図-3 崩壊発生データにおける各モデルごと総避難時間の比較