

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 17 日現在

機関番号：33302

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K05032

研究課題名(和文)並列タンクモデルによる土砂災害警戒情報の精度向上に関する実践的研究

研究課題名(英文)Practical research on improving the landslide alert information using a parallel tank model

研究代表者

高原 利幸 (Takahara, Toshiyuki)

金沢工業大学・工学部・准教授

研究者番号：20324098

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：土砂災害警戒情報に用いられている土壌雨量指数は降雨に対して時間差で発生する土砂災害に対応できないことから、新たに提案した並列タンクモデル指数を用いることで、捕捉率の向上を図った。地形・地質から短期豪雨型か長期降雨型の何れかに分類することが必要であるが、石川県内における2007年から2013年に発生した土砂災害において、短期豪雨型は44%の捕捉率を68%、長期降雨型は4%から39%となり、全体も19%から55%に向上させることができた。また、これまでのメッシュではなく、地形・地質を考慮した領域を設定することにより、空振りも大幅に減少させることができることを明らかにできた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

土砂災害の発生メカニズムは2つあり、1つは土石流などを発生させる集中豪雨による崖崩れタイプで、もう一つは地層の境界の地下水による地滑りタイプである。現在の土砂災害警戒情報は土石流型に合わせて作成されているため、短期豪雨による土砂災害の捕捉率は40%以上と高い反面、長期降雨で発生する土砂災害の捕捉率は10%以下であり、これが全体の捕捉率を低下させ、国民の信頼を得られず、避難率の低さにつながっていた。本研究により、崖崩れに分類されるものでも、長期降雨で発生するものもあり、地形・地質によってどちらかに分類することで捕捉率の向上が可能であることを示したことは学術的かつ社会的意義があると考えられる。

研究成果の概要(英文)：The present Soil Water Index for sediment disaster in Japan, could not express the layer boundary failure with time lag against rainfall. Then we propose new index called parallel tank index which improve capturing ratio. The capturing ratio is improved 44% to 68% in short time heavy rainfall failure, 4% to 39% in long term rainfall failure for sediment disasters in 2007 to 2013 at Ishikawa prefecture. So far missing rate is also high, because the estimated mesh area could not consider their topology and geology. It is confirmed that the missing rate is also reduce using new polygon area based on geology and watershed.

研究分野：地盤工学

キーワード：土砂災害 土砂災害警戒情報 短期豪雨 長期降雨 並列タンクモデル クリティカルライン

## 1.研究開始当初の背景

豪雨災害の多発を受け、土砂災害警戒・特別警戒区域の早期指定や警戒情報発表時に原則避難勧告とするなど多くの改善がなされてきていた。しかし、土砂災害警戒情報は広島型の広域土石流災害を念頭において開発された手法であり、小規模であったり、災害発生時の降雨タイプの異なる土砂災害への適応は十分ではなく、石川県における2007年から2013年の土砂災害では捕捉率は2割に満たなかった。これでは警戒情報や避難勧告が避難行動につながらない状況を打開することは難しいと考えられた。課題番号17k01335において、長雨で発生する土砂災害の捕捉率が10%以下と極めて低く、災害発生時の降雨パターンによって指数を分ける必要があることが明らかにされ、土砂災害時の降雨パターンによって警戒情報発表基準を変更することで空振りを減少させることができること、タイムラグを考慮できない土壌雨量指数に代えて提案した並列タンクモデルの有効性が示唆されていた。

ただし、このときは土砂災害発生時の降雨パターンを「短期豪雨型」、「長期小雨型」に加えて、どちらもはっきりと判別がつかないものを「中間型」として整理していた。これまで土壌雨量指数というひとつの指数であったものが3つになることは煩雑さを増すことになり、破壊パターンも大きくは2つと考えられるため、パターンを2つに減らすこと、警報を発表する領域をメッシュではなく、地形地質を考慮したものにすること、空振りを減少させる基準とすることが課題であった。

## 2.研究の目的

本研究では、土砂災害発生事例から「短期豪雨型」または「長期降雨型」の2種類に、地質を考慮しながら再度分類し、捕捉率が最も高くなる、並列タンクモデルのパラメータを決定することを第一の目的とした。従来の検討では、モデル地区に設置した地下水位計と雨量の実測データから推定していたが、実際には様々な地盤構成であるためである。

また、土砂災害発生の予測基準として、RBFN値に基づくクリティカルラインではなく、並列タンクモデル指数の過去最大値を用いる場合の妥当性を検証した。1年毎に基準を簡単に更新できるが、必ずしも過去最大だけではなく、一定水準の降雨があれば土砂災害が発生する地域もあり、その選別方法を検討することが、第二の目的である。

第三の目的は、これまでのメッシュによる分けではなく、地形・地質によって災害予測領域を決定し、空振り率の低減を図ることである。

## 3.研究の方法

石川県砂防課の協力を得て、2007年から2013年に発生した114件(同じ日の災害で同じ雨量店を用いる場合はまとめて74事象)の土砂災害について、近傍の1kmメッシュのレーダー・アメダス解析雨量の雨量データを用いて、土砂災害発生の前後3週間の降雨データによる並列タンクモデル指数(PTI)および土壌雨量指数(SWI)を計算した。土壌雨量指数の計算結果と地質から「短期豪雨型」と「長期降雨型」にわけ、1年毎にPTIの最大値を基準として、災害発生時に過去最大を示せば「補足できた」として、捕捉率の計算を行った。また、2014-2021年の災害に対して、上記で求めた基準が適用可能かどうかを検証した。

パラメータの妥当性は当初は原位置測定で確認する予定であったが、コロナ禍もあり、室内実験によって検証する予定であったが、令和6年能登半島地震による調査のため進行が遅れている。時間雨量を調整できる降雨装置を作成し、雨量計による検証は実施済みで、改造した土槽による浸透実験を実施

中である。斜面中の水分は徳島大学、上野博士による静電容量式水分計を用いているが、水位計と異なり、センサー部の銅線と同軸ケーブルの繋ぎ目の防水性を高める必要があるが、市販の防水コネクタではサイズが大きくなり、実験結果に影響を与えるため、3Dプリンタによる自作を行っている。

#### 4. 研究成果

(1) 2007～2013年に石川県で発生した土砂災害は、細分類の結果、短期豪雨型41件、長期降雨型が33件で、地域・地質で分類できることがわかった。(図1)

(2) 1kmメッシュ内で同じ降雨で複数の土砂災害が発生した場合は1事象であるとして、捕捉率を求めると表1のようになり、全体の捕捉率は2割を切り、短期豪雨型以外での捕捉率の低さが原因であることがわかった。しかし、クリティカルライン(CL)を単純に小さくしただけでは空振りが多くなり、現在の土壌雨量指数とCLを組み合わせた基準では的中率は改善できないことが明らかとなっていた。現在の直列三段タンクモデルである土壌雨量指数でのパラメータの変更では不十分であることが原因であり、並列タンクモデルを新たな指標とすることが有効であることが示された。

(3) 図2に示す並列タンクモデル指数において、降雨の流入： $R_{input} = R_t \exp(\alpha R_t)$ 、土中保持水の容量： $L_1$ 、土中保持水量： $l_t$ 、土中保持水からの流出： $q_t$ 、地下水からの流出： $P_1$ であり、ベルヌーイの法則にある程度従うように設定している。

ここに、 $q_t = \beta \times l_t^{0.5}$ 、 $P_t = \gamma \times h_t^{0.5}$ であり、パラメータは表2のとおりである。

(4) 図3に長期降雨型の補足事例を示す。赤線が災害発生時のPTI～時間雨量関係で黒線がそれ以前の降雨によるもので、横軸が黒線を超えて過去最大になった際に災害発生しており、補足できたとしている。これを全体でまとめたものが表3であり、左列のSWI+CLによる捕捉率を真ん中の列のPTIの捕捉率が大きく上回っていることを示している。

(6) ただし、2014-2021年の災害事例に当てはめたところ、捕捉率は高くないことが判明している(SWIよりは高い)。詳細検討を行った結果、 $20\text{m}^3$ 以下の小規模で人工斜面での災害事例が多く報告されており、この影響が大きいことがわかっている。災害意識の高まりから、報告される事例が多くなった可能性があり、今後これらを排して再検討を行う予定である。

(7) 一方で、捕捉率が上昇するように決めた表2に示すパラメータの問題で、捕捉率が低下した可能性も否定できず、室内実験に切り替えて検証中である。防水装置の作成に目処が立ち、室内実験を進め始めたところで、令和6年能登半島地震が発生し、計画がやや遅れている。

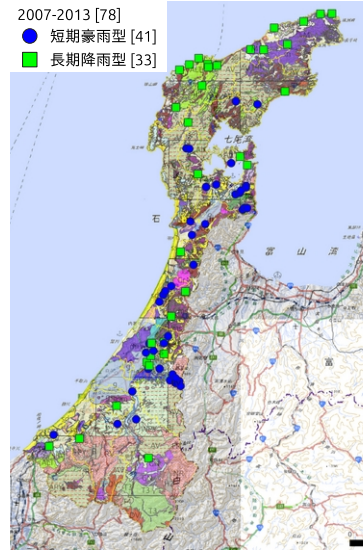


図1 土砂災害発生時の降雨パターン

表1 SWIでの捕捉率・空振り率内訳

	現CL	
	捕捉率%	空振り率%
全体	18.8 (15)	20.0 (16)
長期小雨型	4.0 (1)	13.8 (11)
中間型	9.7 (3)	6.3 (5)
短期豪雨型	44.0 (11)	0

年平均2.3箇所

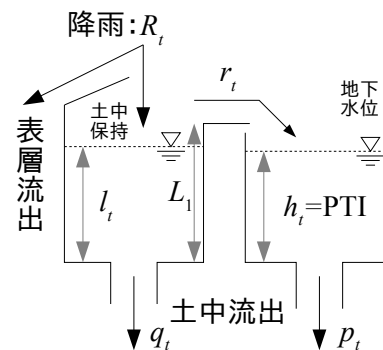


図2 提案する並列タンクモデル

表2 並列タンクモデルのパラメータ

	短期豪雨型	長期小雨型
$L_1$	10	100
$\alpha$	-0.0035	-0.01
$\beta$	2.0	0.020
$\gamma$	0.350	0.040

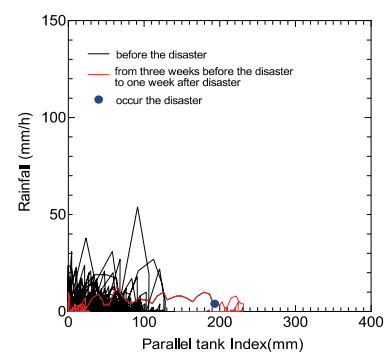


図3 長期降雨型での補足事例

<引用文献>

表 3 SWI と PTI の捕捉率の比較

- ① 高原利幸,近藤健太,上野勝利,並列タンクモデルを用いた災害時降雨パターンを考慮した土砂災害警戒基準の作成に関する研究,第61回地盤工学シンポジウム, 2018,PP.191-198
- ② 高原利幸, 上野勝利, 近藤健太, 並列タンクモデルのパラメータの検討, 第 55 回地盤工学研究発表会, 2020
- ③ 板橋瞳, 高原利幸, 土壌雨量指数に替わる並列タンクモデルパラメータの調整に関する研究, 令和 4 年度土木学会中部支部研究発表会, 2023
- ④ 板橋瞳, 高原利幸, 被災履歴に基づく並列タンクモデルパラメータの適用性, 第 58 回地盤工学研究発表会, 2023
- ⑤ 板橋瞳, 高原利幸, 土砂災害発生原因不明事例の特徴と予測精度の関連に関する検討, 令和 5 年度土木学会中部支部研究発表会, 2024

	捕捉率(%)		
	2007-2013 SWI(参考)	2007-2013 PTI	2014-2021 PTI
短期豪雨型	44.0	68.3 (28/41)	22.2 (8/36)
長期降雨型	4.0	39.4 (13/33)	20.0 (6/30)
全体	18.8	55.4 (41/74)	21.2 (14/66)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 上野 勝利, 高原 利幸, 渦岡 良介	4. 巻 Vol. 69, No.8
2. 論文標題 電線を埋設して浸水や空洞化を検知する静電容量型センサの提案	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 地盤工学会誌	6. 最初と最後の頁 31-36
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 板橋 瞳
2. 発表標題 被災履歴に基づく並列タンクモデルのパラメータ設定に関する研究
3. 学会等名 第58回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 村本 菜美
2. 発表標題 損傷した擁壁の住民協働による経過観察について 宅地擁壁の健全度評価・予防保全マニュアルによる調査結果
3. 学会等名 地盤工学会四国支部 令和4年度技術研究発表会講演概要集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 禎貴
2. 発表標題 静電容量型水位・水分計による現場計測と2022年1月15日フンガ・トンガ火山の噴火について
3. 学会等名 地盤工学会四国支部 令和4年度技術研究発表会講演概要集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋 禎貴
2. 発表標題 鳴門市で発生した豪雨による地下空洞について
3. 学会等名 令和4年度地盤と防災・環境に関するシンポジウム講演概要・技術論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 村本 菜美
2. 発表標題 損傷した擁壁の住民協働による経過観察について
3. 学会等名 令和4年度地盤と防災・環境に関するシンポジウム講演概要・技術論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高原利幸
2. 発表標題 斜面形状によるJanbu法およびFellenius法による必要抑止力の比較
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋 禎貴
2. 発表標題 静電容量式空洞センサによる空洞発生個所の原位置計測について
3. 学会等名 令和3年度地盤工学会四国支部技術研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 村本 菜美
2. 発表標題 閉回路レーダ法による空洞化検出方法の開発と原位置計測について
3. 学会等名 第56回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高原利幸
2. 発表標題 並列タンクモデルパラメータの検討
3. 学会等名 公益社団法人地盤工学会 第55回地盤工学研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 上野勝利
2. 発表標題 高度成長期に造成された宅地の擁壁の損傷に ついて
3. 学会等名 令和2年度地盤工学会四国支部技術研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 村本菜美
2. 発表標題 閉回路レーダ法による空洞化検出方法の開発と源位置 計測について
3. 学会等名 第56回地盤工学会研究発表会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	上野 勝利  (Ueno Katsutoshi)  (70232767)	徳島大学・大学院社会産業理工学研究部(理工学域)・准教授   (16101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------