土石流シミュレーションによる山口県内の 複合災害発生ポテンシャルの検討 STUDY ON COMPLEX DISASTER BASED ON DEBRIS FLOW SIMULATION IN YAMAGUCHI PREFECTURE

大中臨1・赤松良久2・杉田唯3 Nozomu ONAKA, Yoshihisa AKAMATSU and Yui SUGITA

 1学生会員 山口大学大学院 創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
 ²正会員 博(工) 山口大学大学院教授 創成科学研究科 (〒755-8611 山口県宇部市常盤台2-16-1)
 ³非会員 独立行政法人 鉄道建設・運輸施設整備支援機構 九州新幹線建設局 (〒812-8622 福岡県福岡 市博多区祇園町2丁目1 (シティ17ビル))

In recent years, heavy rainfall disasters have become severer in Japan. Moreover, the complex disasters and railways damages caused by debris flow have increased. However, there are few studies that reported the risks of the complex disasters. Therefore, we extracted the high rick areas for complex disaster by using the map data files of the debris flow damage potential zone, the river, and the railway (excluding Shinkansen). Moreover, we evaluated the risk of the complex disaster in detail by debris flow simulations. As a result, the 164 zones of the 9805 debris flow damage potential zones specified in Yamaguchi Prefecture had high risks of the complex disaster due to the debris flow. In addition, the complex disaster potential map and sediment deposition potential map were created. Our results suggested that the debris flow simulation is useful for clarifying the risks of the complex disasters.

Key Words : Complex disaster, Potential map, Debris flow, ArcGIS, Yamaguchi prefecture

1. はじめに

近年の日本では、海面水温の上昇に伴う台風の巨大化 やジェット気流の長期停滞などの影響によって多くの水 害が発生し、甚大な被害を引き起こしている.特に、平 成28年度台風第10号によって発生した小本川災害、平成 29年九州北部豪雨,平成30年7月豪雨では,土石流に よって運ばれた土砂や流木が河川に流入することによっ て河川氾濫が発生する、いわゆる複合災害の発生による 被害が中山間地域で多く発生し、その実態解明に関する 研究が行われている1,2,3. しかしながら、それらの研究 は実態の解明に留まり、複合災害に対する減災対策につ いて検討した例は少ない.また,近年は土砂災害や河川 の氾濫に伴う鉄道の被害も増加が報告されており、国土 交通省の、鉄道の防災・減災対策に関する評価では、地 震および豪雨災害への対策の重要性が指摘されている4. 鉄道が豪雨災害によって受ける被害は土石流によるもの も少なくない. 例えば, 長野県南木曽町では, 最大時間 雨量57mmの降雨の影響で発生した土石流により、JR中

央線の橋梁が全壊し、復旧まで1か月の時間を要した⁵. また、広島を通るJR 呉線では、平成30年7月豪雨によっ て発生した土石流によって線路が埋没して運休を余儀な くされ、運休中は呉線利用者の約173万人・日に影響が 及んだ⁶. 水災害について現在評価されているリスクは、 土砂災害と河川氾濫でそれぞれ土砂災害警戒区域・土砂 災害特別警戒区域、浸水想定区域という形で公表されて いるが、それらは個々の災害のみの評価にとどまり、土 石流を起因とした河川氾濫の複合災害に関するリスク評 価や、鉄道への被害へのリスク評価は行われていない⁷.

以上の背景を踏まえ、本研究では、土石流による流下 物が河川に流入して洪水氾濫を引き起こすことを土石流 と河川氾濫の複合災害、土石流による流下物が運行途中 の列車に衝突する、または線路を損傷させ運行途中の列 車が脱線する、もしくは線路が分断され、流通が阻害さ れることを土石流と鉄道災害の複合災害とし、土石流シ ミュレーションによって上述の複合災害発生の危険性を 評価し、複合災害発生ポテンシャルの高い箇所を明らか にすることを目的とする.具体的には、平成30年7月豪 雨で土石流によって河川氾濫の複合災害が発生し、



図-1 山口県における鉄道の種類

土砂災害によって鉄道の被害も多く発生した山口県を対象として、土石流警戒区域、鉄道、河川に関する地理情報を、ArcMAPを用いて解析し、土石流を起因とした複合災害発生の可能性が高い地域を抽出し、当該地域に関して土石流数値シミュレーションを実施して複合災害の発生ポテンシャルマップを作成する.

2. 山口県内の土石流による複合災害と鉄道被害

山口県は、平成21年から平成30年の期間における土石 流の発生件数が128件と、当該期間において、全国で9番 目に土石流の発生件数が多い県である⁸.特に,平成21 年7月中国・九州北部豪雨と平成25年7月28日の島根県と 山口県の大雨によって、山陰地方を中心に土石流が多数 発生した.また、平成30年7月豪雨では、山口県岩国市 瀬越地区で,浸水想定区域に指定されていないにもかか わらず、土石流が土石流警戒区域(土石流の発生のおそ れがある渓流において、扇頂部から下流で勾配が2度以 上の区域⁹)を超えて、大量の土砂と流木を巻き込みな がら河川に流入し、氾濫が発生するという土石流と河川 氾濫の複合災害が発生した?).また、鉄道に関して、山 口県は図-1に示すように、山陽本線、錦川清流線、岩徳 線、山口線、山陰線、美祢線、宇部線、小野田線の8つ の路線が存在しており、前述した豪雨災害によって、JR 美祢線では第3厚狭川橋梁の流出(平成21年7月中国・九 州北部豪雨),JR岩徳線では、高水-勝間駅間で盛土の 流出(平成30年7月豪雨)などの被害も発生している.

3. 複合災害発生の可能性が高い箇所の抽出

(1) 解析方法

1章および2章で述べたような複合災害の事例から、複 合災害は、土石流を起因としたものが数多いため、土石



図-2 複合災害発生の危険性が高い箇所の抽出結果





流警戒区域に指定されている区域に河川や鉄道が存在す る場合, 複合災害発生の可能性は高くなると考えられる. 従って本研究では、土石流警戒区域、河川、鉄道の シェープファイルをArcMAP 10.6.1 (ESRI社) に出力し, 以下の手順で複合災害発生の危険性が高い箇所の抽出を 行った. ①「インターセクト機能」を用いて、土石流警 戒区域と鉄道網のポリゴンが重なる地点(地点A-Rail), 十石流警戒区域と河川網のポリゴンが重なる地点(地点 A-Riv)を抽出する。②シェープファイルに入力されてい る各土石流警戒区域の名称を基に、河川網と鉄道網が重 なる土石流警戒区域(A-Riv-Rail)を抽出する. なお、山 口県を通る新幹線はほとんどが高架橋であり、十石流警 戒区域と鉄道網が重なっていたとしても、在来線と比べ て土石流や河川氾濫による被害を受ける可能性が極めて 低いため、本論文における解析では、山口県を通る新幹 線(山陽新幹線)は対象外とした.また,土石流特別警 戒区域は土石流警戒区域の領域に含まれているため、

土 石流警戒区域のみを解析の対象とした.



図-4 A-RailおよびA-Riv-Railの路線内訳

(2) 解析結果

ArcMAP上に地理情報システムのデータを入力し,解 析を行った結果,山口県に指定されている9805箇所の土 石流警戒区域の内,A-Rivの区域は5487箇所,A-Railの 区域は420箇所,A-Riv-Railの区域は164箇所であった. これらの結果を図-2および,図-3に示す.なお,図-2の 青い線が河川網,黄色い点および赤い点が土石流警戒区 域に鉄道が重なっている地点(A-Rail),赤い点が土石 流警戒区域に河川網および鉄道網が重なっている地点

(A-Riv-Rail) を示しており、全体の54%が河川のみに 重複,3%が鉄道のみに重複,2%が河川と鉄道に重複, 41%がいずれにも重複しないことが明らかとなった. ま た、周防灘の沿岸をはしる山陽本線では、危険箇所はほ とんど抽出されなかったが、その他の山口県の沿岸をは しる山陽本線と山口県の内陸をはしる路線(山陰線、美 袮線,山口線,岩徳線,錦川清流線)では,危険箇所が 半分以上数存在することが明らかとなった. それぞれの 路線での内訳をみると、A-Railに該当する区域は、山陽 本線で96地点, 錦川清流線34地点, 美祢線で62地点, 山 口線で44地点,岩徳線で45地点,山陰本線で136地点, 宇部線で3地点であった(図-4). また, A-Riv-Railに該 当する区域は、山陽本線で26地点、錦川清流線で7地点、 美祢線で33地点、山口線で20地点、岩徳線で19地点、山 陰線で58地点,宇部線で1地点であった.美祢線の線路 と土石流警戒区域が重なる箇所は、8路線中3番目に多 かったが、その半数以上(53%)が河川と重複しており、 最も鉄道および河川の重複率が高いことが明らかとなっ た.一方、山陽本線の線路と土石流警戒区域が重なる箇 所は、8路線中2番目に多かったが、河川も重複している 箇所の割合は、27%と8路線中7位であった.これは、山 陽本線が沿岸部に沿って敷設されているためだと考えら れる.以上,ArcMAPを用いて土石流の複合災害が発生 する可能性の高い箇所を抽出した結果、それぞれの路線 における土石流警戒区域と河川、鉄道の重複に関する特 徴が示され,山陰線,美祢線,山口線,岩徳線,錦川清



図-5 iRICの解析対象範囲

流線,周防灘以外の沿岸をはしる山陽本線で複合災害発 生の可能性が高いことが明らかとなった.

4. 土石流シミュレーション

(1) 解析方法

複合災害発生の危険性を,詳細に評価するため,3章 で抽出したA-Riv-Railの土石流警戒区域において土石流 シミュレーションを実施することとした. なお、当該研 究では解析対象範囲は、複合災害発生の危険性が高い路 線であり、かつ平成30年7月豪雨で路線への被害が多 かった、徳山駅から岩国駅間の山陽本線と岩徳線におけ るA-Riv-Railの箇所と、錦川清流線に重なるA-Riv-Railの 箇所とした(図-5).また、抽出した箇所だけでなく、 抽出した箇所と近い十砂災害警戒区域についても同時に 解析を行った(合計59箇所の谷筋).なお、複数の土石 流警戒区域・特別警戒区域が重なる区域、もしくは、か なり隣接している区域もあったため、図-5に示すように、 路線ごとに独自に地点(岩徳線沿いはStg、山陽本線沿 いはSts, 錦川清流線沿いは、Stn)を設定し、それぞれ の地点内の土石流の挙動をみて、複合災害発生の危険度 を評価した. 土石流シミュレーションには, iRICの Morpho2DHソルバを用いた. Morpho2DHソルバは,一 般曲線座標で境界適合座標を用いた非定常平面2次元の 土石流・泥流モデルを主体とした解析ソルバであり、土 石流・泥流の発生・流動・堆積過程を表現し、視覚的に 捉えるツールとして非常に優れたモデルである.本モデ ルでの解析には、初期条件として、斜面崩壊の位置、深 さ,最大浸食深さ(浸食が予想される渓床堆積土砂の平 均深さ),土砂濃度(土砂と水の合計量に対する土砂の 割合),静止堆積濃度(静止堆積層の砂礫の堆積濃度), 液体として振る舞う土砂の割合(流体として振る舞る微 細土砂の割合)、最小流動深(土石流・泥流の最小の深 さ),土砂の内部摩擦角,層流層の厚さ,層流層の厚さ



図-6 源頭部の位置および計算格子の例

の比、抵抗係数(泥流の抵抗に関する係数)を設定する 必要がある.本研究では、Morpho2DHに関する技術報 告書¹⁰を参考にして、初期条件を表-1のように定めた. なお、最大浸食深さに関しては、現地での観測が困難で あるため,各地点で,解析における土石流の流動の様子 を見ながら、0.05m-0.5mの範囲で設定した. また、層流 層の厚さに関しても、土石流の流動の様子に合わせて、 各地点で計算中に層流層の厚さが変化する条件, 0.2か ら0.4の一定値を保つ条件のいずれかを適用した. 斜面 崩壊の位置は、図-6に示すように、土石流警戒区域・土 石流特別警戒区域の扇頂部もしくは、その周辺の谷型の 斜面または、遷急点とした. 地形データには、国土地理 院の数値標高モデル(10mメッシュおよび5mメッシュ) のみを用いた.計算格子は、はじめに全ての地点におい て5mメッシュに設定して計算を行い、メッシュが粗い ために土石流が現実的に流動しなかった箇所に関しては 1mメッシュに変更して計算を行った.計算時間間隔は 0.01秒または0.001秒とした.

(2) 解析結果

本研究では、土石流シミュレーションによる解析の結 果を土石流が鉄道にも河川にも到達しなかった地点 (Case1),土石流が鉄道にのみ流入した地点(Case2), 土石流が河川のみに流入した地点(Case3),土石流が 鉄道と河川に流入した地点(Case4),Case4の内、土石 流が河川と鉄道の交差している箇所に流入した地点

(Case5)に分類した.図-7(a)には、Case1となった解析 結果の一例を示している.土石流警戒区域内に鉄道と河 川が存在しているが、土石流は鉄道にも河川にも到達し ていない.現地で確認すると、当該地点は平坦な地形が 広く、源頭部から下流の勾配も他の地点に比べて比較的 緩やかなため、土石流が発達しなかったと考えられる. 図-7(b)には、Case2となった解析結果の一例を示してい る.土石流の到達範囲は鉄道に留まっているが、線路上

表-1 土石流解析計算パラメータ

斜面崩壊(m)	0.3
土砂濃度	変化
静止堆積濃度	0.6
液体として振舞う 土砂の割合	0.2
最小流動深(m)	0.01
内部摩擦角(degree)	34
平均粒径(m)	0.01
抵抗係数	72

に2m以上土砂が堆積する可能性が示され、土石流によ る鉄道災害発生の危険性が極めて高い箇所であることが 明らかとなった. 図-7(c)には、Case3となった解析結果 の一例を示している. 十石流の到達範囲は河川に留まり 鉄道には到達していないが、住宅密集地近くの河川に土 石流が2m程度堆積することが示され、土石流による河 川氾濫の被害が発生する危険性の高い箇所であることが 示された. 図-7(d)には、Case4となった解析結果の一例 を示している.河川,鉄道ともに土石流が到達し,鉄道 災害、河川氾濫、両ケースが土石流に伴って発生する危 険性が高いことが示された.しかし,河川氾濫が鉄道に 被害を与える可能性は低いと思われる. 図-7(e)には, Case5となった解析結果の一例を示している.鉄道災害 への複合災害につながる恐れがあるだけでなく、河川氾 濫がさらに鉄道災害を引き起こす可能性も示唆され、非 常に複合災害発生のポテンシャルが高いことが分かる. これらの解析結果を色ごとに分け、山口県の地図にプ ロットした結果を複合災害ポテンシャルマップとして図 -8に示す. Case1, Case2, Case3, Case4, Case5の結果は それぞれ, 白色, 緑色, 黄色, 桃色, 赤色で示されてお り、どの地点でどのような複合災害の発生する可能性が 高いのかが示されている. 岩徳線は, 鉄道のみに到達す る箇所や、鉄道と河川に別々に到達する箇所が、他の路 線に比べて多いことが明らかとなった. また、山陽本線 は、河川と鉄道が平面的に重複する箇所に土石流が流入 する地点が多く, 由宇駅から神代駅の間では特に複合災 害発生の危険性が高いことが明らかとなった. 図-9は、 各地点において土石流が流動した範囲内における堆積厚 の最大値を示した図(土砂堆積厚マップ)である.各地 点の十砂堆積厚の平均が山陽本線では3.6m、 錦川清流線 では4.1m、岩徳線では4.8mであった、全体の平均堆積厚 さはおよそ4.2mであり、凡例で4.2m以上の値を示してい る地点は、土石流が生じた場合、マップ内で比較的下流 に土砂が溜まりやすい地形であり、かつ鉄道や河川も存 在しているため、複合災害の発生する可能性が高いと言 える.特に、岩徳線の欽明路駅付近の危険地域は土砂堆



(a) 鉄道および河川への流入なし (Casel)



(b) 土石流が鉄道に流入 (Case2)



(c) 土石流が河川に流入 (Case3)



(d) 土石流が鉄道と河川に流入 (Case4)



(e) 土石流が鉄道と河川の交差箇所に流入 (Case5)

図-7 iRICの解析対象範囲

積のポテンシャルが極めて高く,当該土石流警戒区域で は、砂防ダムなど、土石流による大量の土砂流入を防ぐ 対策をする必要が示された.また、複合災害ポテンシャ ルマップと、土砂堆積厚マップを比較すると、複合災害 の発生しやすい箇所は、土砂の堆積厚さが高い箇所と対 応していることが明らかとなった.このことは、土石流 が鉄道と河川に到達する地域は土砂の堆積厚さも高いこ とを示しており、当該地点の複合災害への早急な対応が 必要である可能性が示された.

以上,複合災害発生の可能性が高い区域で土石流シ ミュレーションを行った結果,土石流が到達する範囲や 土砂の堆積厚さの観点から、3章の抽出結果よりもさら に詳細に複合災害発生の危険性のリスクが評価でき、山 ロ県の地図上に示すことが出来た.また、土砂の堆積厚 の観点からも複合災害発生の可能性が高い箇所が示され た.また、図-7(b)、図-7(e)に示すように、土石流の到達



図-8 複合災害ポテンシャルマップ

範囲が土石流警戒区域外まで広がる地点もあれば,図-7(a)のように、土石流警戒区域に鉄道や河川が重複しているが、いずれの場所にも到達しない箇所もあることが示され、複合災害の発生する可能性の高い土石流警戒区域および土石流特別警戒区域のリスク評価に土石流シミュレーションが有用であることが示唆された。

5. まとめ

地理情報システムを用いた解析の結果、山口県に指定 されている土石流警戒区域と河川網が重複する地点は、 全体の56%,鉄道網が重複する地点は全体の4%,河川 網および鉄道網と重複する地点は全体の2%存在するこ とが明らかとなり、同じ十石流警戒区域に指定されてい る区域の中でも、複合災害発生の可能性の高い箇所が多 数存在することが明らかとなった. また, 山口県内の路 線別に複合災害発生の高い地点を示すことができた. ま た、岩国駅から徳山駅間の山陽本線、岩徳線、錦川清流 線における複合災害が発生する可能性が高い箇所の土石 流シミュレーションの結果、土石流が鉄道にも河川にも 到達しなかった地点, 土石流が鉄道にのみ流入した地点, 土石流が河川のみに流入した地点、土石流が鉄道と河川 に流入した地点、土石流が河川と鉄道の交差している箇 所に流入した地点に分類し、複合災害発生の危険性のリ スクを詳細に評価することで、どの地域でどのような複 合災害の発生する可能性が高いかをポテンシャルマップ として示すことができた. また, 各地点における土砂堆 積厚の観点から、 複合災害の発生する可能性が高い地点 を評価し、特に岩徳線の欽明路駅付近で、土石流による 大量の土砂流入を防止するための対策が必要であること が示された.以上より、複合災害の発生する可能性の高 い土石流警戒区域を評価する上で、土石流シミュレー ションが有用であることが示唆された.



図-9 鉄道での土砂堆積厚マップ

を広げると共に、複合災害発生の危険性が高い箇所の特 性を明らかにし、効果的な対策案を検討していきたい. また、河川や鉄道軌道、住宅地などの微地形を考慮した 土石流シミュレーションを実施したい.

参考文献

- 原田大輔,江頭進治:流砂・流木を伴う洪水流の解析-2017 年7月九州北部豪雨による赤谷川洪水を対象として-,土木 学会論文集B1(水工学), Vol. 74, No.4, pp. I_937-I_942, 2018.
- 2)大中臨,赤松良久,山口皓平,河野誉仁:平成30年7月豪雨 における島田川水系東川の土石流・河川氾濫の複合災害の実 態解明,土木学会論文集B1(水工学), Vol.75, No.1, pp.260-269, 2019.
- 3) 原田大輔, 江頭進治, 萬矢敦啓, 岩見洋一:2016年度小本川 災害における流路・河床変動を伴う洪水流の解析, 河川技術 論文集, 第23巻, pp.43-48, 2017.
- 4) 国土交通省,政策レビュー「鉄道の防災・減災対策」,鉄道 局施設課,2018.
- 5) 萬徳昌昭:速報 南木曽町梨子沢で発生した土石流災害, sabo, vol.116, pp.2-7, 2014.
- 6) 国土交通省:平成30年7月豪雨における土砂災害の被害実態, pp.9, 2018.
- 7)国土交通省:大規模広域豪雨を踏まえた水災害のあり方について~複合的な災害にも多層的に備える緊急対策~,社会資本整備審議会,pp.16,2018.
- 8) 国土交通省:過去の土砂災害発生件数,災害速報, http://www.mlit.go.jp/river/sabo/saigai_sokuhou.html, (最終ア クセス日:2020年3月24日)
- 9) 国土交通省:土砂災害防止法の概要, https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sabo/linksinpou.html, (最終 アクセス日:2020年3月24日)
- 10) 田中春樹: iRICを用いた土石流解析, 応用技術株式会社, OGI Technical Reports vol.24, pp. 39-44, 2016.

(2020.4.2受付)

今後は、複合災害発生の危険性が高い区域の解析範囲