

土石流災害による高速道路の被害分析と対策箇所の選定 —平成 30 年 7 月豪雨に見る中国地方の被害と分析—

Analysis of damage to expressways caused by debris flow disasters and selection of countermeasures.

Damage and analysis of the Chugoku region in heavy rains in July 2018

竹本 将¹⁾, 下野 宗彦²⁾, 中田 幸男³⁾

1) Masaru TAKEMOTO, 斜面防災研究担当部長, (株) 高速道路総合技術研究所, m.takemoto.aa@ri-nexco.co.jp

2) Munehiko SHITANO, 技師長, 西日本高速道路エンジニアリング中国(株), m-shitano@w-e-chugoku.co.jp

3) Yukio NAKATA, 教授, 山口大学大学院創成科学研究科, nakata@yamaguchi-u.ac.jp

近年の度重なる豪雨により, 日本全国において土砂災害が多発しており, 効果的な対策が求められている. 本報では, 過去に高速道路で発生した土石流災害について, 地形的特徴や発生土砂量などを分析し, 事前実施している調査の妥当性や例外事例について考察を行った. また, 道路区域外で発生した土石流が高速道路本線に到達する溪流と到達しない溪流の違いについても分析を行い, 対策の必要な溪流を選定するうえで補助となる指標についても報告する.

キーワード: 土石流災害, 高速道路, 地形的特徴, 対策溪流選定

(IGC : B-00)

1. はじめに

近年の度重なる豪雨により, 日本全国において土砂災害が発生している. 図-1 に示すように, 気象庁のデータでは時間あたり 50mm 以上の降雨が発生する回数が年々増加している. 全国の土砂災害について, 下野ら²⁾は公表された降雨量データ等を収集整理し, 降雨量の増加と土砂災害発生件数の増加の関連性を示している. また, 気象庁気象研究所, 東京大学大気海洋研究所, 国立環境研究所及び海洋研究開発機構の研究チームは数値シミュレーションを用いて, 平成 29 年 7 月九州北部豪雨及び平成 30 年 7 月豪雨に相当する大雨の発生確率を示した. 地球温暖化の影響がなかったと仮定した場合と比較して, それぞれ約 1.5 倍と 3.3 倍の発生確率となったことを示すことにより, 地球温暖化が豪雨に与える影響を評価³⁾するなど, 災害を発生させる豪雨の影響が明確化されつつある. このような中, 高速道路でも近年, 土砂災害に見舞われることが多くなり, 通行止めの回数や, 通行止めの解除に時間のかかる事象が増加している.

度重なる災害に対し, 国土交通省は令和元年に「高速道路における安全・安心基本計画」を策定し, 災害時の通行止め時間の最小化を施策のひとつとして掲げている. これに対し, NEXCO3 社は, 各々で「高速道路における安全・安心実施計画」を策定し, 災害に対するハード対策を計画するなど, 災害に対する備えは徐々に進んでいる.

高速道路の建設初期, 名神高速道路や東名高速道路を建設する時代では, 土石流の懸念される溪流は基本的に橋梁で横過しており, 発生した土石流は橋梁下を流下さ

せる構造とした. 橋梁にできない箇所では極力大きな断面のカルバートボックスを設置し, 土砂の流路工としての役割ももたせてきた. しかし, 縦貫道と呼ばれる新規 5 道以降は, 山岳地帯を通過する道路となり, 傾斜地盤上に高盛土を施工⁴⁾するなど土工バランスをとる工夫がなされ, 砂防指定地を除き, 安価で修復性の良い土工化を図ってきた経緯がある. 結果的には土石流に被災しやすい土工構造となった箇所が増えたことは致し方ないことではあるが, 豪雨の増加する近年では, 土砂災害対策を併せて実施していくことも重要な取り組みとなっている.

本報では, 1982 年から 2019 年の間の 38 年間に高速道路沿線で発生した土石流について, 地形的特徴などの傾向を報告する. また, 被災前に取得していたレーザーブ

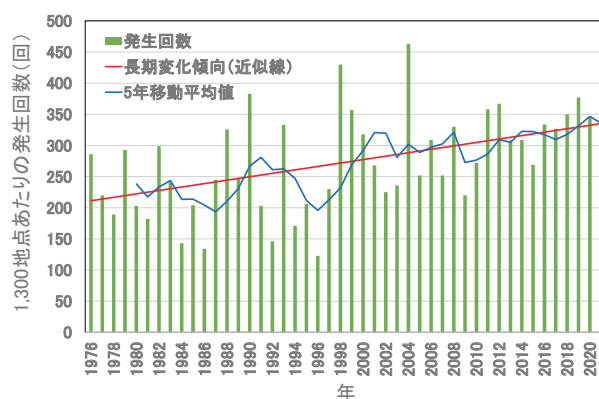


図-1 全国アメダスによる 1 時間降水量 50mm 以上の年間発生回数¹⁾

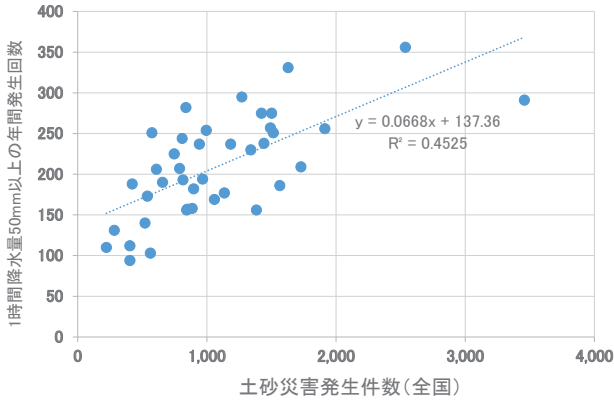


図-2 土砂災害年間発生件数と1時間降水量50mm以上の年間発生回数の関係

ロファイラー（以下、「LP」という。）データや被災前の地形で作成された森林基本図を基に現地調査を行った結果、並びに被災後に取得したLPデータを用いた地形図を基に計画流出量と実際の流出土砂量を比較するとともに、発生した土石流が高速道路本線に到達する溪流と到達しない溪流の差についても分析を行ったので、併せて報告する。

2. 全国の土砂災害

下野ら²⁾では全国で発生した災害から、1時間あたり50mm以上の降水量が発生した回数の経年変化は、土砂災害発生回数の経年変化の増加率と類似するとしている。そこで、1時間あたり50mm以上の降水量が発生した回数と土砂災害発生回数の関係を図-2に示す。相関係数は比較的低いが、増加傾向にあり、土砂災害は1時間雨量に影響を受けていることがうかがえる。1時間あたり50mm以上の降雨量が年々増加する中、土砂災害も今後増加する傾向を示唆している。

次に、土砂災害の内訳を図-3に示す。1975年から2021年の間に全国で発生した48,893件の土砂災害を土石流、がけ崩れ、地すべりに分類したものである。大半はがけ崩れであるが、土石流が2割を、地すべりが1割を占める。がけ崩れは発生件数が多いものの、比較的規模は小さいものが多く、被害は限定的となる。また、地すべりは移動土塊が比較的大きく、移動速度は崩壊直前まで緩慢なため、住民等の避難が可能である。一方、土石流は場所、時間ともに発生の兆候が分かりにくく、避難の困難な場合が多い。また、図-4に示す土石流災害発生件数の経年変化からも明らかなように、相関係数は低いものの年々増加の傾向にある。さらに、土石流災害は被災後の復旧作業も広範囲にわたり、土砂や流木が混在して散乱するため、撤去作業に時間を要する場合が多く、社会インフラに与える影響は大きく、減災への事前の取り組みが必要である。

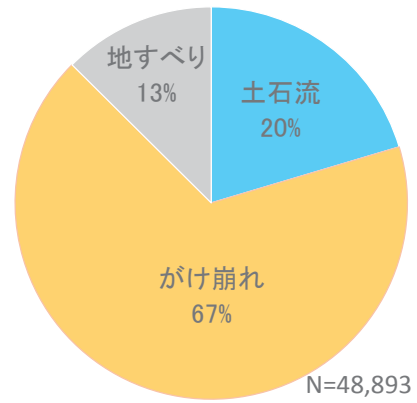


図-3 土砂災害の内訳

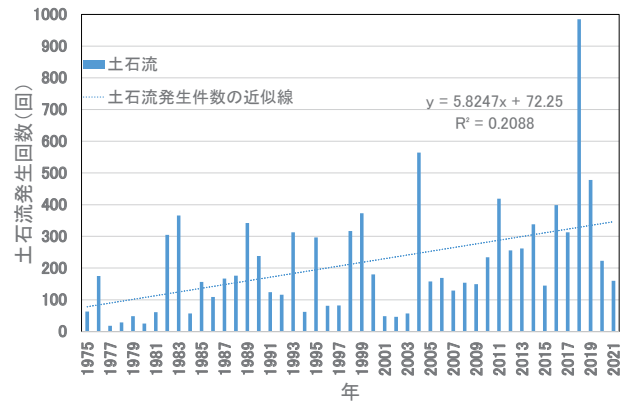


図-4 土石流災害発生件数の経年変化

3. 高速道路沿線の土石流災害と地形的特徴

東日本高速道路株式会社、中日本高速道路株式会社及び西日本高速道路株式会社（以下、「NEXCO」という。）では、度重なる降雨災害に対し、お客様の安全を確保するとともに、被災時における早期復旧によりインフラの確保を目指し、事業を進めている。近年、のり面崩壊や地すべりの他に、土石流による災害が増えてきており、被災した際、復旧までに多くの時間を要している。そこで、道路区域外から発生した土石流で被災した事例について取りまとめた。図-5は1982年（昭和57年）から2019年（令和元年）の間に発生した99件の土石流を対象に、各年次の発生数を示したものである。1992年以前はほとんど発生していない土石流も、それ以降から西会社と中会社管内を中心に2~3年毎に発生している。また、過去に記録のなかった東日本管内でも2016年（平成28年）の北海道において1件発生した。なお、2018年（平成30年）に突出したカウントは7月に発生した西日本豪雨災害であり、他年次と比べ規模の大きな災害であったことが分かる。

次に、地形別区分を行った。図-6は、99件のうち、地形情報の不明な3件を除いた96件を対象に、発生源の傾斜別の頻度を示している。傾斜30°から40°がほぼ半数

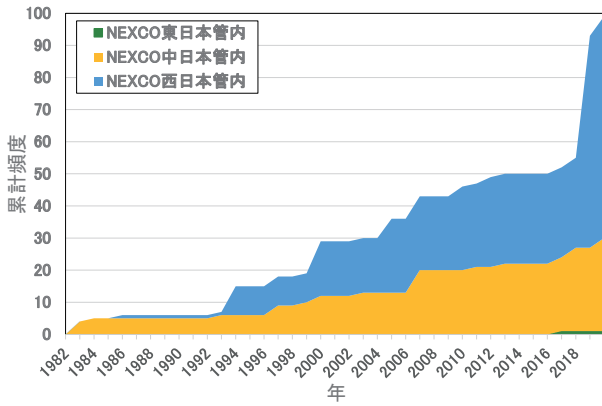


図-5 年次別土石流発生回数（累計）

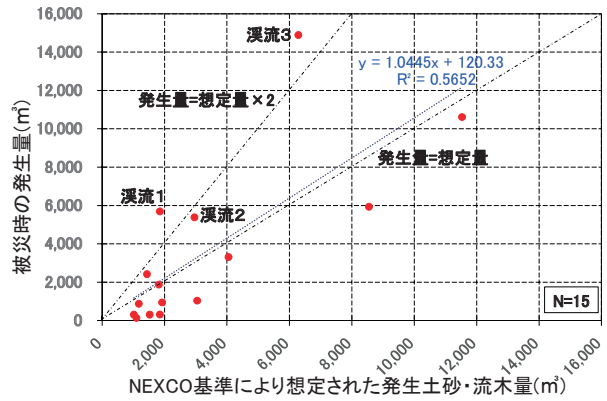


図-7 計画土砂流出量と流出土砂量の関係

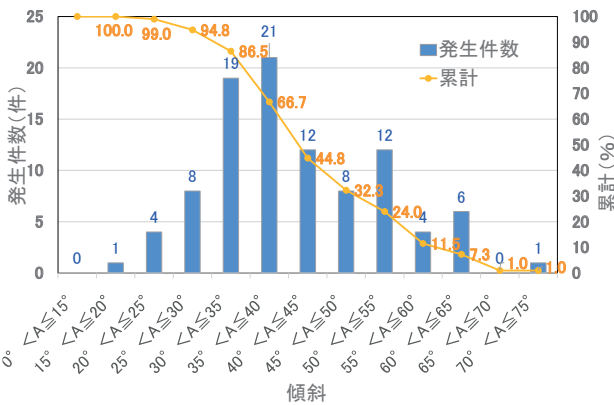
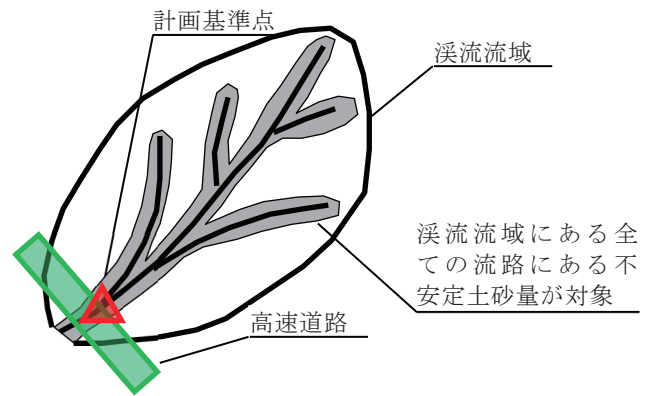


図-6 傾斜毎の発生頻度（累計を逆に）



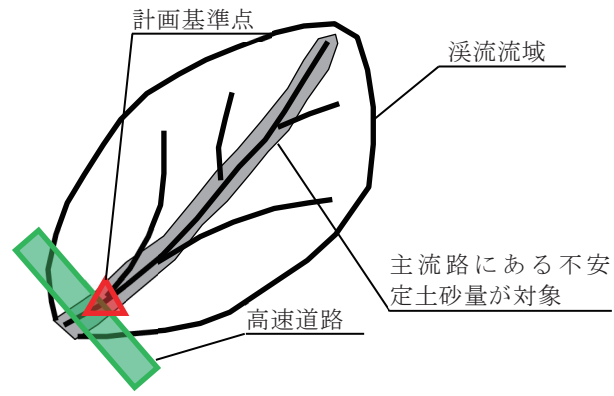
(a) 砂防基準による土砂量

を、傾斜 30° 以上が 9 割近くを占めており、勾配の急な傾斜地を発生源として発生していることがわかる。

4. 事前溪流調査による計画流出量と流出土砂量（平成 30 年 7 月西日本豪雨）

NEXCO では、机上調査により流域面積が 1ha 以上の溪流を対象に、高速道路交差箇所における溪流勾配が 2% 以上で最急溪床勾配 10% 以上の溪流について現地調査を実施し、高速道路と溪流の交差条件等を考慮して、土石流が発生した場合に被害の大きくなる溪流を選定している。これらの溪流については、森林基本図を基に流域等から計画流出土砂量⁵⁾を算出している。今回、被災件数の多かった平成 30 年 7 月西日本豪雨のケースで 15 溪流について整理した。当該区域では、統一して計画流出土砂量が整理されており、被災後の流出土砂量計算も LP データを用いて高い精度で算出されている。

図-7 は事前に算出された計画土砂流出量と実際に流出した土砂量の関係を示す。計画土砂流出量は想定される浸食断面に溪流延長を乗じたものであるが、砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説⁶⁾による計画土砂流出量は原則として流域内すべての溪流を対象に算定される。一方、NEXCO では図-8 に示すように主溪流のみを対象に算定する（以下、「NEXCO 基準」という。）。



(b) NEXCO 基準における土砂量

図-8 計画土砂量の算定対象

15 溪流中、11 溪流では、計画量とほぼ同等か、あるいはそれ以下で安全側となっているが、特に 3 溪流にあっては、計画量を大きく上回り、想定量の 2 倍程度となっている。表-1 に示す 3 溪流について、以下のとおり個別に原因を究明した。

ケース 1 を図-9 に示す。計画土砂流出量は森林基本図から求めているが、実際の地形と相違があり、流域面積が小さく計上された。被災後、LP で地形測量を行うと流域面積が広がったケースである。当初の流域の主溪流長

表-1 差異の大きい3 溪流の計画土砂流出量と流出土砂量

溪流番号	計画流出土砂量 (m ³)	流出土砂量 (m ³)	主溪流長 (LPデータ) (m)	集水面積 (m ²)	調査時平均浸食幅 (m)	調査時平均浸食深 (m)
1	1,849	5,696	650	53,065	4.8	1.0
2	2,957	5,389	410	51,386	8.0	0.9
3	6,287	14,895	490	275,000	6.9	0.8

表-2 溪床堆積土砂の堆積厚さの判断基準の目安

溪床の状況		堆積物の厚さの目安
溪床全体に基盤が露出しており堆積物はほとんどない。		0.1~0.3m程度
溪床の所々に基盤が露出しており堆積物は少ない。		0.3~0.5m程度
溪床にほとんど基盤はみられない。		
溪床幅 5.0m 程度と狭く、礫径は 0.5m 未満で小さい。 (礫径は平均値)	礫径は 0.5m 以上で大きい。	0.5~1.0m 程度 最大礫程度
溪床幅 10.0m 程度で、礫径は 0.5m 未満で小さい。 (礫径は平均値)	礫径は 0.5m 以上で大きい。	0.5~2.0m 程度 最大礫程度~3.0m 程度

と被災し流出した溪流延長はほぼ同じであるが、想定した断面あたりの移動可能土砂量に差があったと思慮される。断面あたりの移動可能土砂量の推定は現地において行うが、調査員の主観により堆積深に大きな差が生じる可能性がある。また、簡易的なサウンディングを用いる場合もあるが、礫の含有量が多い場合、適切に判断されない。このため、NEXCO では表-2 に示すような溪床の状況で溪床の堆積厚さを想定する目安を作成しており、精度の向上に努めている。地形が正しく表示されていれば、溪流上流まで現地調査を行い、溪床状態から目安に基づく統一的な堆積厚さを算出できた可能性がある。

ケース 2 を図-10 に示す。土石流の発生した源頭が複数存在し、各源頭において大規模な斜面崩壊を伴うケースである。計画土砂流出量は、溪流延長に単位断面あたりの流出土砂量を乗じて算出するため、局所的に大規模な崩壊を伴う場合は、差異が生じる。図-11 は溪流 2 における被災前後の標高の差分解析結果を示す。地形は被災後の LP から作成したものである。当該箇所の源頭では 0 字谷からの斜面崩壊が主体的でかつ複数箇所あり、計画土砂流出量と実際の流出土砂量の差異を大きくするとともに、風化した地盤が残存することによって、表-2 の目安に適合しなかったものと推測される。

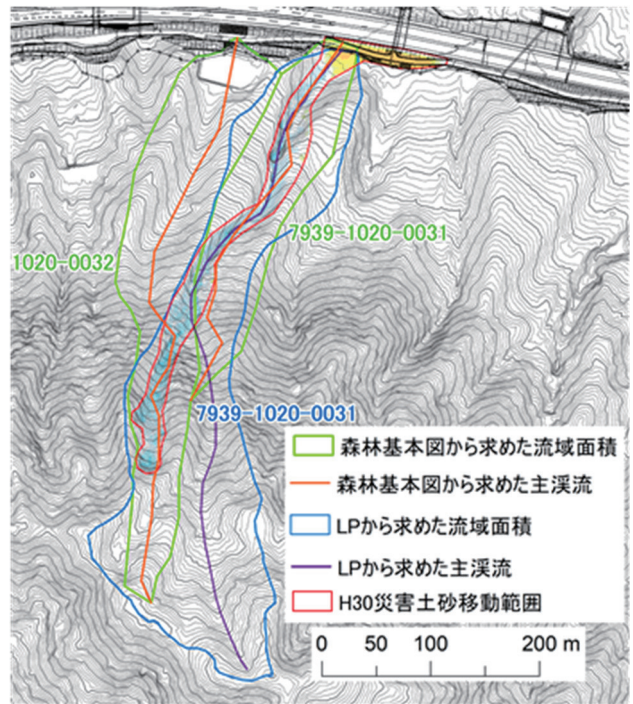


図-9 ケース 1：流出土砂量の相違（流域の相違）

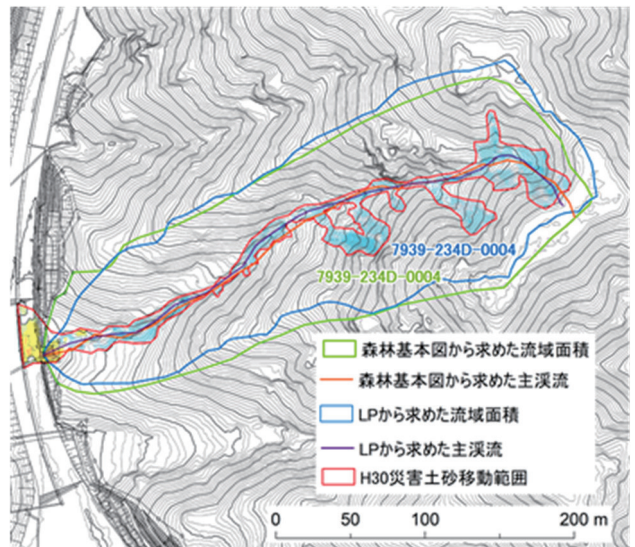


図-10 ケース 2：溪流 2 の大規模崩壊

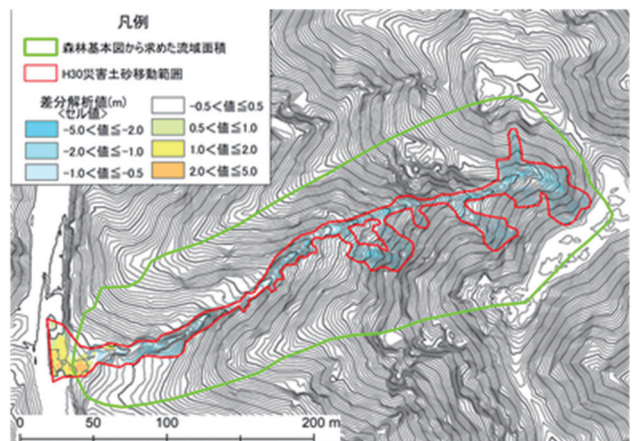


図-11 溪流 2 の標高の差分解析結果

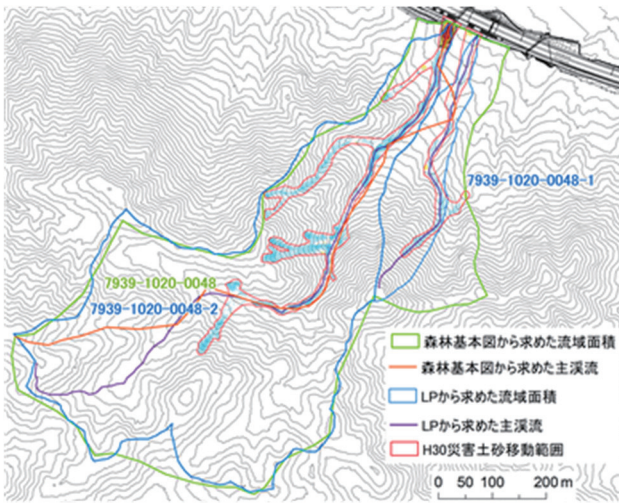


図-12 ケース 3：複数の溪流からの土石流

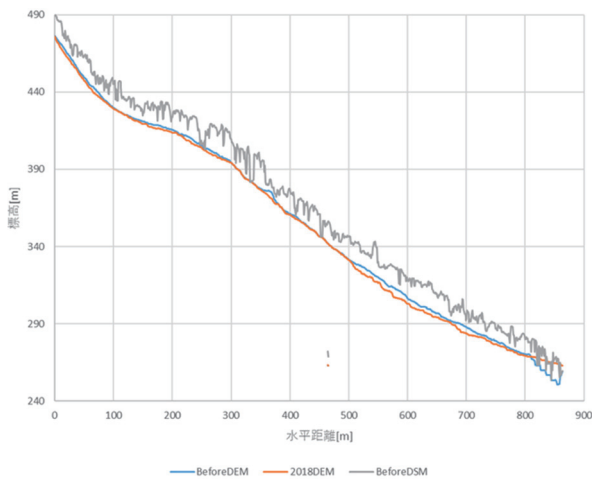


図-13 主溪流の溪床縦断面



写真-1 標高 300m 付近の溪床状況

ケース 3 を図-12 に示す。前述のとおり、NEXCO では主溪流で流出土砂量を想定するが、主溪流長自体長くはないが、集水面積が大きく、複数の支流から土砂が流出したため計画を上回る土砂が流出する結果となった。図-13 に主溪流溪床の縦断勾配を示す。山頂から標高 400m から 420m の間、並びに 270m から 3300m の間に緩勾配が見られ、被災前に比べ溪床が連続的に削られている。

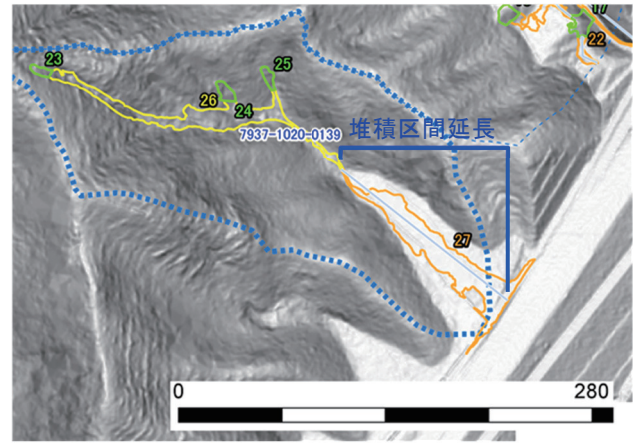


図-14 高速道路に未到達の土石流の例

写真-1 は被災から約 9 ヶ月後の調査時に標高 300m 付近で撮影したもので、基盤岩上の堆積土砂が流出しており、標高の低下は図-13 の縦断面と整合している。写真-1 から溪床には 4m 程度の土砂堆積物があり、緩勾配で堆積していたところに上流からの土石流により押し流されたと推測され、溪流調査時には溪床の緩急にも注意が必要である。

ケース 2 とケース 3 は計画土砂流出量の算出方法に基づく差異であるが、その他の溪流ではほぼ合致した結果を示しており、道路事業者として使用する計画土砂流出量として、NEXCO 基準による算定は 7 割の溪流に対して安全側の算定であり、適切であったと考えられる。

5. 土石流が高速道路に到達する溪流と到達しない溪流の分析

平成 30 年 7 月西日本豪雨を対象に、中国地方の高速道路における被害について検討を行った。当該地域では多くの溪流から土石流が発生し、39 溪流からの土石流が本線に堆積或いは横断し、甚大な被害を出した。一方で、高速道路手前で土石流が停止した溪流も 31 存在した。図-14 は本線未到達の例である。高速道路と溪流の交差条件や高速道路上流側の堆砂容量、土石流発生箇所、発生土量等の条件により本線への到達、未到達は変わってくるが、特徴的な関係を次に示す。被災後、新たに土砂が堆積した区間の延長（以下、「堆積区間延長」という。）と堆積区間の被災前地山勾配の関係、堆積区間延長と崩壊土砂量の間をそれぞれ図-15、図-16 に示す。図-15 の被災前地山勾配は、高速道路が盛土構造の場合は、盛土も地山として勾配の算出をしている。いずれの図からも、堆積区間の地山勾配や崩壊土砂量の因子では到達と未到達が混在しているものの、堆積区間延長 144m を超えると本線まで到達していないことが確認できる。なお、崩壊土砂量と堆積区間延長の間には有意な関係は見られなかった。

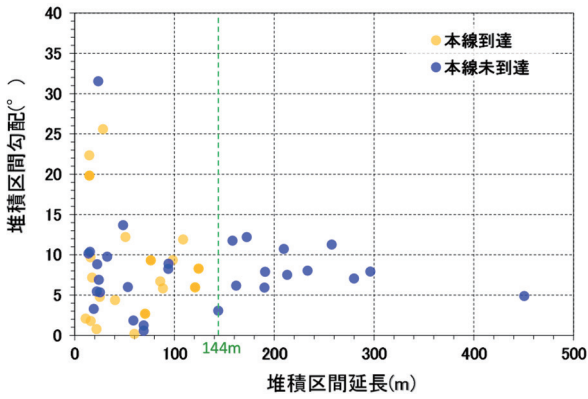


図-15 堆積区間延長と堆積区間被災前地山勾配の関係

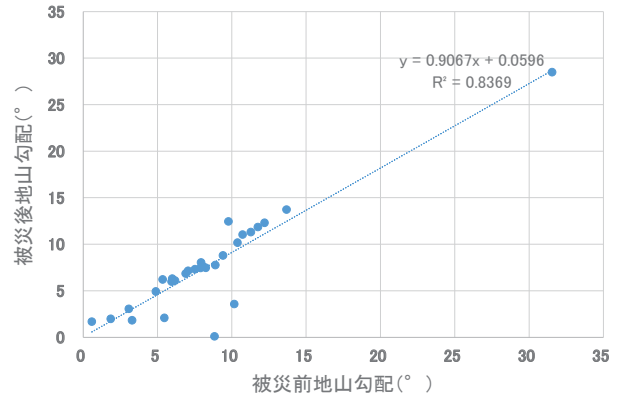


図-17 被災前と被災後の地山勾配の関係

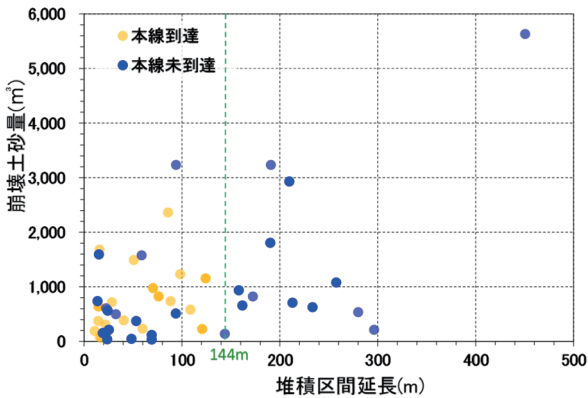
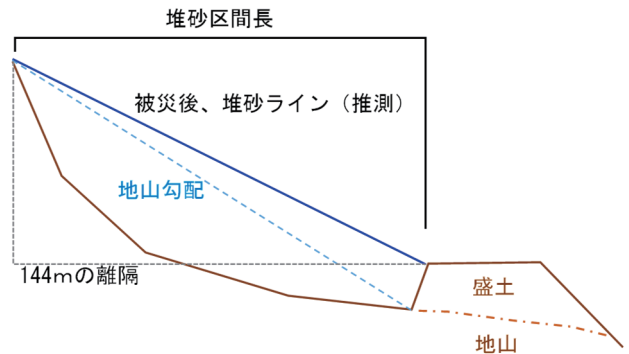
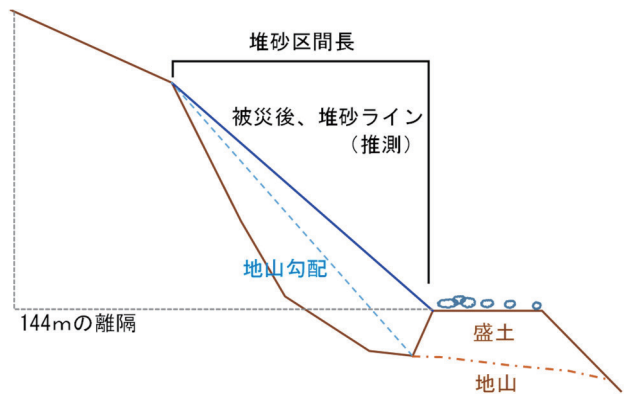


図-16 堆積区間延長と崩壊土砂量の関係



(a) 本線未到達の例 (144mの離隔あり)



(b) 本線到達の例 (144mの離隔なし)

図-18 土石流の本線到達と未到達のイメージ図

図-17に本線未到達の31溪流における被災前と被災後の地山勾配の関係を示す。当該地域においては、被災後、地山勾配が被災前勾配の9割程度に低下する傾向にある。

図-15からの考察と合わせると現況の高速道路のり肩部から144m離隔した地山までの地山勾配を確認し、現況地山勾配と比較し、元地盤の9割程度緩勾配で堆砂スペースが取れば本線未到達と推測され、土石流被害を受ける危険な溪流並びに対策工設置優先順位作成の参考となる。イメージを図-18に示す。(a)は高速道路本線から堆砂区間長144mの確保されており、本線上流側に土砂が堆積することで本線に到達しない例、(b)高速道路から堆砂区間長144mが確保できず、土石流が本線に到達する例である。青色破線は被災前の地山勾配を、青色実線は被災後の堆砂ラインをイメージしており、本線未到達の箇所では青色破線は実線の9割程度に低下していることをイメージしている。

6. 結論

年々増加する土石流災害について、高速道路沿いで発生した過去からの統計データから傾向の分析を行った。また、被災前後のLP(レーザープロファイラー)データにより作成した地形データをもとに検討分析を行い、以下の事象が明らかとなった。

高速道路沿いで発生した土石流災害は、年々増加傾向にあり、従前被害のなかった東日本でも発生し始める特徴があった。また、発生した溪流の発生源は、地山勾配30°以上が9割を占め、比較的急勾配な傾斜地から発生するという傾向があった。

LPのような詳細な地形図を用いることで、正確に溪流範囲を把握でき、精度の高い調査が可能となった。ここでは、高速道路に対し、主溪流のみで計画流出土砂量を算定する方法の妥当性が評価され、7割の溪流で安全側の評価となった。また、計画流出土砂量と実際の流出土砂量が大きく異なる溪流では、主溪流以外の溪流からも

土砂が供給されたことや源頭などで大きな崩壊が発生しているなどの特徴をまとめることができた。

調査に基づき対策工を実施するには対象溪流が多く、時間と費用が必要となる。計画的な取り組みを行うには効果的な優先順位をつける必要がある。平成30年7月豪雨では、堆砂区間延長が144mを超える溪流からは土石流は本線に未到達となっており、優先順位付けの補助になると推測される。

今後、これらの知見を活かし、高速道路の安全安心に寄与できるよう、引き続き検討を行っていききたい。

謝辞

本研究を行うにあたり、差分解析に用いた崩壊前LPデータの収集に際しては、西日本高速道路エンジニアリング中国（株）の関係者を通じ、広島県砂防課の関係者にご協力を頂いた。また、図表の作図に当たっては西日本高速道路エンジニアリング中国（株）の柳迫新吾氏と中本昌希氏にご協力を頂いた他、（株）高速道路総合技術研究所の村上豊和氏と中村淳氏には、現地調査の協議調整など多岐にわたりご協力頂いた。記して、感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 気象庁 HP : https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, (参照 2022.9.1).
- 2) 下野宗彦・村上豊和・中田幸男：中国地方における高速道路斜面の崩壊と表層地質区分の関連性，土木学会論文集 C, Vol.71, No.2, pp.92-107, 2015.
- 3) Imada, Y., Kawase, H., Watanabe, M., Arai, M., Shiogome, H., and Takayabu, I : Advanced risk-based event attribution for heavy regional rainfall events, npj Climate and Atmospheric Science, Article number 37, vol.3, pp.1-8, 2020.
- 4) (公財) 高速道路調査会：高速道路の土工技術史, 2-33, 2019.
- 5) 村上 豊和・下野 宗彦・柳迫 新吾・中田 幸男：現地調査による地質毎の移動可能土砂量および侵食特性の統計的評価，土木学会論文集 C (地圏工学), Vol.75, No.1, pp.1-14, 2019.
- 6) 砂防基本計画策定指針 (土石流・流木対策編) 解説，国土技術政策総合研究所資料, No.904, pp.14-15, 2016.

(2022年6月16日 受付)

