

平成30年7月豪雨災害を受けた盛土の崩壊喪失

下野 宗彦¹, 竹本 将²

¹西日本高速道路エンジニアリング中国(株) 調査設計部, ²(株)高速道路総合研究所 土工研究室

「平成30年7月豪雨」は、線状降水帯の多発により局地的な豪雨が各地で続いたことから、河川氾濫・浸水害や土石流等の土砂災害が広域で発生し、死者数200名を超える甚大な災害となった。NEXCO西日本管内の高速道路においても、瀬戸内側の路線で土石流を主体とした斜面災害が同時に多数発生した。7月8日早朝に発生した大規模な盛土崩壊箇所では、3ヶ月弱の間通行止めを余儀なくされ、沿線地域の孤立状態を招き多大な迷惑をおかけすることになった。本発表は、平成30年7月豪雨による被災の概要、7月8日早朝に発生した大規模盛土崩壊に至るメカニズムと復旧工法、土石流及び盛土崩壊に対する維持管理上の留意点等を紹介するものである。

キーワード：豪雨災害、土石流、盛土、復旧、維持管理

1. はじめに

平成30年6月28日から7月8日の期間にかけて、台風第7号と梅雨前線により、西日本から東日本にかけて広い範囲で記録的な大雨となった。中国地方では、この豪雨により多くの地域で河川の氾濫や浸水被害、土砂災害が発生し、甚大な災害となった。

表-1は、中国地方における人的被害、建物被害のデータである¹⁾。被害は、山陽側の岡山県、広島県、山口県が多く、鳥取県、島根県には大きな影響を与えていない。人的被害は、高梁川水系等で氾濫が多発した岡山県と河川氾濫や県内各地で土砂災害が発生した広島県に集中している。また、山口県では、県東部の周南市、岩国市で3名の死者が出ている。住宅被害に着目すると、岡山県での全壊被害が広島県と比べても圧倒的に多い。これは、高梁川水系の小田川が氾濫し大規模に浸水した倉敷市真備町地区の住宅約2,100棟について、倉敷市が一括して「全壊」と判定したことが影響している²⁾。全国計のデータと比較すると、人的被害及び住家被害の大多数が中国地方である。

表-2は、中国地方における土砂災害(土石流、地すべり、急傾斜地崩壊)による人的被害、建物被害のデータである¹⁾。このうち土石流は、全国で発生した791件のうち80.3%の635件が、全国の死者数96名のうち86.5%の83名が、広島県に集中している。平成30年7月豪雨災害における中国地方の土砂災害被害者数は、土石流が大きく影響を与えている。広島県内における平成30年7月豪雨災害の大きな特徴のひとつは、土砂災害によって交通インフラに被害を与えたことであり、これを裏付けるものとなっている。特に、道路や鉄道等への土石流による被害は、広島市東部近郊の東西交通網を寸断させ、社会経

済活動に大きな影響を与えた³⁾。

高速道路においても土石流を含む区域外からの土砂流入災害が多発し、その被災箇所は150箇所を超えた。道路を塞ぐ大きな影響を与えたものだけでも、50箇所以上に上る同時多発的な事象であった。土石流は、のり面崩壊や斜面崩壊に比べて流出する土量、流木量が遥かに多く、道路の早期啓開に苦勞することとなった。

表-1 中国地方の人的被害・建物被害¹⁾

都道府県名	人的被害				住家被害					非住家被害	
	死者 人	行方不明 人	負傷者		全壊 棟	半壊 棟	一部破損 棟	床上浸水 棟	床下浸水 棟	公共建物 棟	その他 棟
			重症 人	軽傷 人							
鳥取県	—	—	—	—	—	—	3	12	57	—	—
島根県	—	—	—	—	55	127	—	—	60	—	61
岡山県	66	3	9	152	4,828	3,302	1,131	1,666	5,446	2	50
広島県	115	5	61	85	1,150	3,602	2,119	3,158	5,799	—	—
山口県	3	—	3	10	23	522	106	143	723	—	—
中国地方計 (全国比率)	184 77.6%	8 100.0%	73 59.3%	247 79.9%	6,056 89.5%	7,553 67.2%	3,362 84.2%	4,979 69.4%	12,085 56.7%	2 1.6%	111 4.6%
全国計	237	8	123	309	6,767	11,243	3,991	7,173	21,296	126	2,403

表-2 中国地方の土砂災害被害¹⁾

県名	被災箇所	土石流・・・全国=791件								
		人的被害			住家被害			非住家被害		
		死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	一部損壊	公共建物	その他	その他
鳥取県	4件	—	—	—	—	—	—	—	1戸	—
島根県	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
岡山県	11件	—	—	2名	3戸	6戸	22戸	—	—	—
広島県	609件	80名	—	—	227戸	426戸	58戸	—	—	—
山口県	11件	3名	—	4名	4戸	2戸	3戸	—	—	—
計	635件	83名	—	6名	234戸	434戸	84戸	—	—	—

県名	被災箇所	地すべり・・・全国=56件								
		人的被害			住家被害			非住家被害		
		死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	一部損壊	公共建物	その他	その他
鳥取県	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
島根県	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
岡山県	10件	—	—	—	—	—	—	—	3戸	—
広島県	1件	—	—	—	—	—	—	—	—	—
山口県	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
計	11件	—	—	—	—	—	—	—	3戸	—

県名	被災箇所	急傾斜地崩壊(がけ崩れ)・・・全国=1,734件								
		人的被害			住家被害			非住家被害		
		死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	一部損壊	公共建物	その他	その他
鳥取県	14件	—	—	—	—	—	—	—	6戸	—
島根県	14件	—	—	—	—	—	—	—	—	—
岡山県	35件	3名	—	9名	16戸	11戸	12戸	—	—	—
広島県	632件	7名	—	—	41戸	35戸	76戸	—	—	—
山口県	173件	—	—	4名	3戸	9戸	31戸	—	—	—
計	868件	10名	—	13名	60戸	55戸	125戸	—	—	—
土砂災害計	1,514件	93名	—	22名	294戸	489戸	212戸	—	—	—

平成30年7月豪雨は高速道路において、切土のり面及び盛土のり面の変状・崩壊の他、土石流の流入やそれらに起因した崩壊等が管内の至る所で発生した。被災前に降雨による事前通行止めを行っていたため高速道路を利用されるお客様への人的被害がなかったことは幸いであった。今回の豪雨災害における特徴的な形態は、山陽自動車道 本郷IC～広島東IC間や広島呉道路において発生した土石流による被災及びこれに起因する自然斜面やのり面の崩壊が顕著であったことである。

土石流の発生には「長期の先行雨量」と「直前の降雨」が大きく影響する^{4) 5)} という考え方が一般的である。しかし、広島呉道路では土石流の発生想定時刻から38時間後

に盛土の崩壊喪失が発生した。極めて特異な現象である。

本論文は、この土石流が引き金となって盛土の崩壊喪失が発生した経緯と崩壊メカニズム、対策工法及び類似箇所に対する維持管理上の留意点を報告するものである。

2. 平成30年7月豪雨における高速道路の被災概要

図-1～図-4は、山陽自動車道土石流災害の一部の写真である。高速道路の4車線を覆いつくすような流木と泥流が流入しており、このような被害が30箇所以上で発生



図-1 山陽道土石流被害 志和 Tn 東坑口 (全景)



図-2 山陽道土石流被害 志和 Tn 東坑口



図-3 山陽道土石流被害 高屋 JCT 西側



図-4 山陽道土石流被害 高屋 JCT 東側

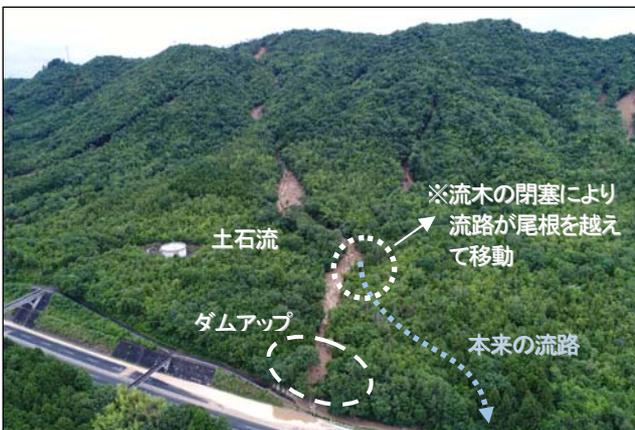


図-5 山陽道土石流被害 KP255.2



図-6 広島道土石流被害 坂 TB 付近

した。図-5は同じく山陽道の被災箇所であるが、本線への土砂流入はかろうじて免れているものの、側道脇で流木と土石が閉塞しダムアップしている状況である。同様な被災形態を示す箇所は現時点で10箇所以上存在している。図-6は、広島呉道路の被災箇所であり、山陽道と同じように車線を覆いつくすような流木と泥流が流入している。広島呉道路で本線に影響を与えた土石流災害は7箇所であった。平成26年8月に発生した広島土砂災害では、特に安佐南区八木付近では溪流の基盤岩ごと抉られ巨礫の流出が数多く見られた⁶⁾が、今回の高速道路ではそれは少なかった。しかし、車線を覆いつくすような流木と泥流の処理が、道路の早期啓開に大きく立ちはたかかったこととなった。

本災害では、事前通行止め措置が機能し、通行されるお客さまへ直接被害がなかったことは幸いであった³⁾。

3. 盛土喪失崩壊について

図-7～図-10は、土石流が発生したことによって広島呉道路の盛土のり面が崩壊し喪失した写真である。広島呉道路の坂町水尻地区において土石流が発生し大規模な盛土構造物が喪失する災害が発生した。図-7、図-10に示すとおり、盛土崩壊土砂は隣接したJR呉線及び国道31

号に流れ込み主要交通機能が失われ、結果として呉市の孤立状態を招き、多大な迷惑をおかけすることになった。図-8は坂(北側)から呉(南側)方面を見た路面喪失状況で、図-9は国道31号線側から見た盛土崩壊状況である。路肩ガードレールの波型ビームと支柱は全く損傷を受けずに残存しており、土石及び流木が路面上に堆積していなかったと推察される。また、図-9に示すとおり、盛土崩壊跡はV字谷形状を呈しており、道路縦断的に狭い範囲で盛土部分のみが崩壊していた。崩壊土砂は、粗粒のマサ土であり盛土材料として適切なものである。図-11は、崩壊箇所の平面図である。上流側の土石流跡と盛土の崩壊範囲を示している。上流側は盛土形状の谷である。盛土内には上流側からの排水用に径1.5m、長さ約80mの横断管(コルゲートパイプ)が埋設されており、上流側に呑口工、下流側に吐口工が設置されていた。尚、この横断管はその後の調査で損傷がなく健全であったことが確認されている。

4. 盛土喪失崩壊のメカニズムと対策工法

広島呉道路の盛土喪失崩壊の大きな特徴は、豪雨による土石流の想定発生時から24時間以上経過した後に盛土が崩壊したことである。図-12に当該箇所直近の観測

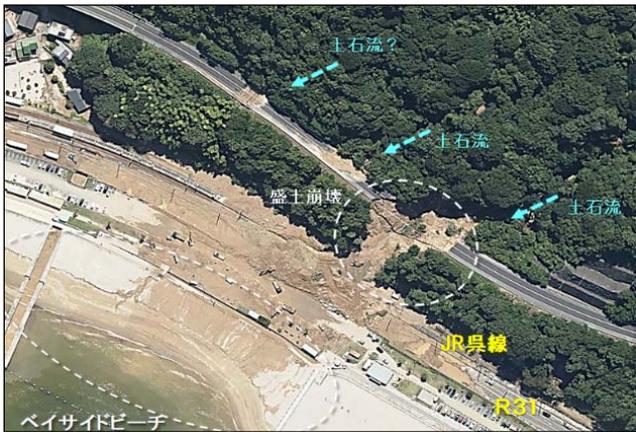


図-7 広島呉道路 盛土のり面崩壊 全景



図-8 広島呉道路 盛土のり面崩壊 路面喪失

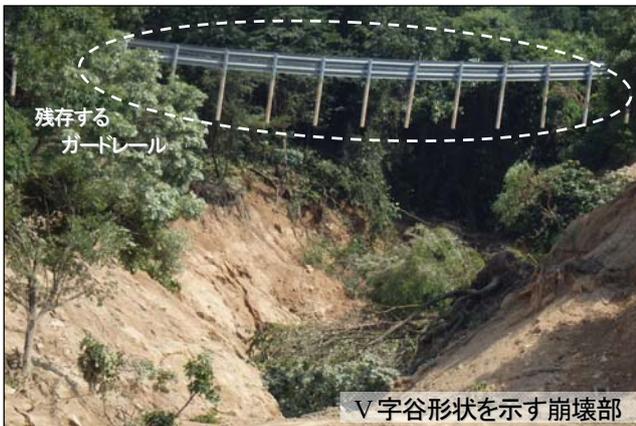


図-9 広島呉道路 盛土のり面崩壊跡 国道側から



図-10 広島呉道路 盛土のり面崩壊跡 のり尻部

による降雨状況を示す。NEXCO西日本では累積降雨が300mmを超えた7月6日の21:00から崩壊を確認した7月8日の8:35までの間に計10回の道路巡回パトロールを行っていたが、崩壊区間の路面上で泥流の冠水が報告されていた以外の異常は確認されていなかった。盛土の喪失崩壊は、道路巡回パトロールの記録から7月8日の7:05(未崩壊)～8:35(崩壊発見)の間で発生したことが確認されている。時間最大雨量74mmを計測した7月6日の19:00過ぎ頃に、当該盛土部上流側で土石流が発生したと想定すると38時間後、降雨が収まった7月7日の6:00頃に土石流が発生したと想定したとしても、少なくとも24時間以上経過した後に崩壊が発生したことになる。

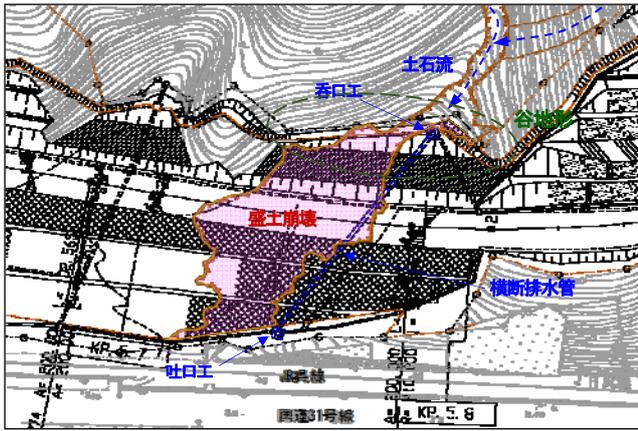


図-11 広島呉道路 盛土のり面崩壊 平面図

NEXCO西日本は発災直後に災害復旧に関する検討委員会(委員長:村田秀一山口大学名誉教授)を設置し、崩壊の原因と復旧対策の検討を行った。崩壊メカニズムの概念図を図-13に示す。委員会では、崩壊のメカニズムを「①時間雨量が最大となった7月6日19時頃に土石流が発生し流木と土石が渓流斜面と道路盛土間の谷部に堆積して横断管の呑口が閉塞する、②その後の降雨により谷部が滞水し谷部の貯留水及び雨水が浸透したことによる盛土の飽和と貯留量を超えた水が本線を越流し海側の盛土斜面の表層崩壊が進行する、③盛土内の雨水浸透により地下水位が高まり表層崩壊の進行に伴って安定性を失い7月8日8時過ぎに盛土が崩壊した」という3段階の過程

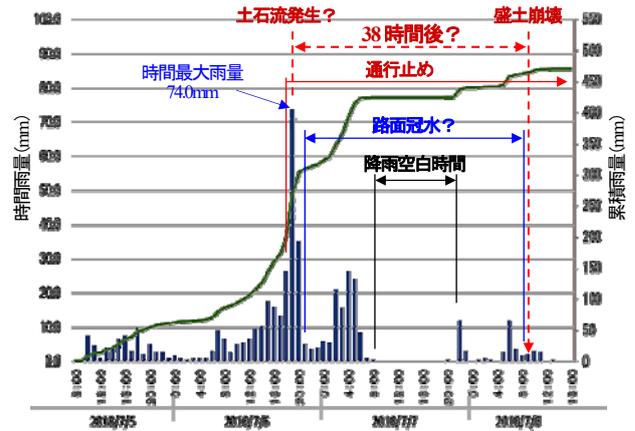


図-12 広島道 盛土のり面崩壊付近の降雨状況

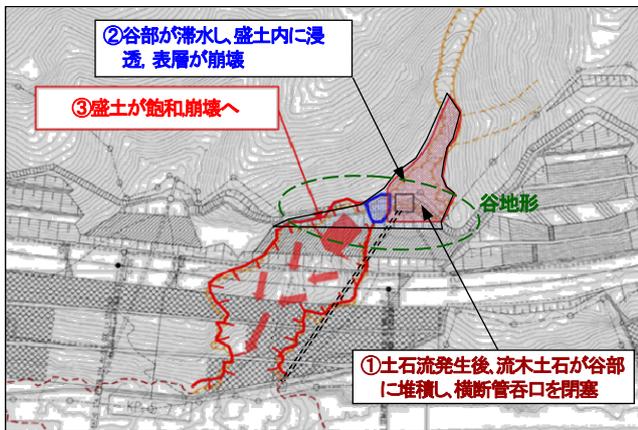


図-13 広島道盛土のり面崩壊メカニズム概念図

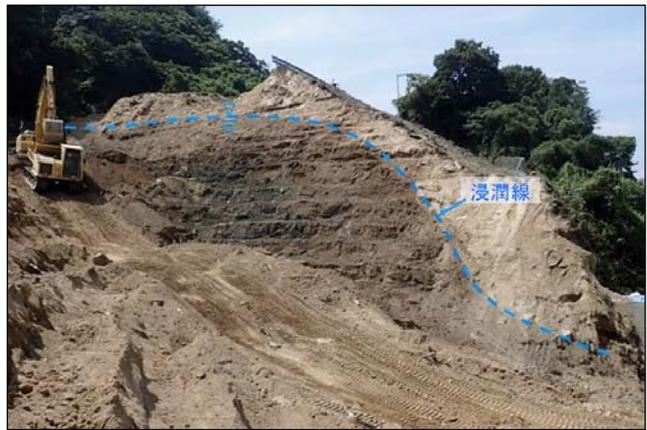


図-14 広島道 盛土のり面崩壊後の浸潤線

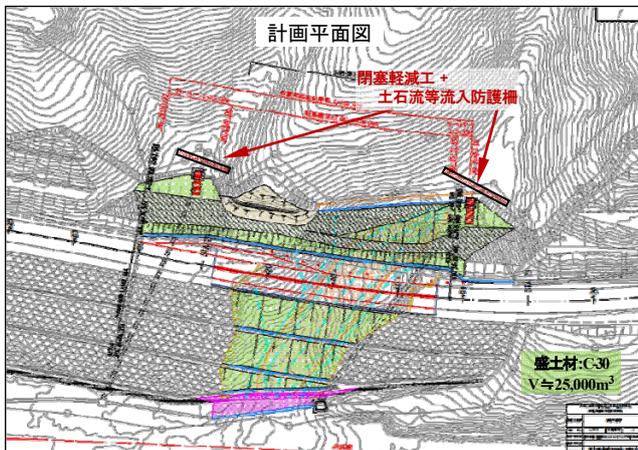


図-15 広島道 盛土のり面復旧 計画平面図

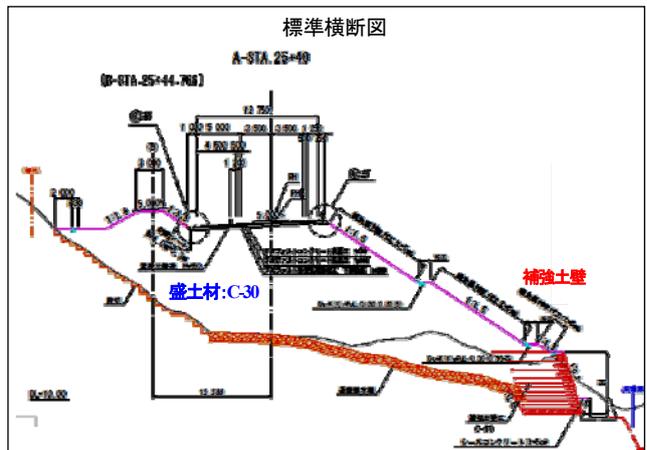


図-16 広島道 盛土のり面復旧 標準横断面図

を特定した⁷⁾。土石流が引き金になったことは事実であるが、横断管の呑口部が閉塞しなければ、その後の降雨により谷部が滞水し、貯留水及び雨水が浸透したことによる盛土の飽和による喪失崩壊はなかったと考えられる。図-14は、崩壊直後の対策工事中に出現した「浸潤線」である。盛土が崩壊した時には、この浸潤線以上に地下水位が上昇したのと考えられる。災害復旧に関する検討委員会で解析した地下水位線とほぼ同じであることが裏付けられた。尚、浸透流解析により、盛土が喪失崩壊した7月8日の7:00過ぎまでの間に、実況降雨で地下水位が「浸潤線」近くまで上昇することの再現を行っている⁸⁾。

図-15、図-16に復旧対策工の平面図と標準横断図を示す。土石流が引き金になり横断排水管呑口部の閉塞によって谷部が滞水し、盛土内の雨水浸透により地下水位が高まり表層崩壊の進行に伴って安定性を失ったことが誘因であるため、復旧工は透水性が高く内部摩擦角の大きい良質材(砕石：C-30)で原型復旧することを基本方針とした。のり尻の補強土壁を含めて全て砕石で盛土施工を行っている。また、溪流斜面と道路盛土間の谷部への土石流等流入防止及び横断排水管呑口部の閉塞防止を目的とした「閉塞軽減工」と「土石流等流入防護柵」を合わせて施工した。施工期間は当初予定を大幅に短縮し、発災直後から80日余りで施工を完了した。

5. 土石流と盛土崩壊における維持管理の留意点

平成30年7月豪雨災害における中国地方の高速道路土砂災害の形態は、土石流の同時多発が一つの特徴である。広島県道路で土石流が発生し大規模な盛土構造物が喪失する災害が発生した事例は、土石流が引き金になったことは事実であるが、横断排水管の呑口部が閉塞しなければ盛土の崩壊はなかったと考えられる。

従来、盛土は施工後の圧縮に基づく変形(クリープ変形)が収束すれば地山に類似するようになり、表面の保護工が機能していれば盛土内部の劣化進行は進まないであろうという考え方が基本であった。現在は、「盛土のり面の長期的な劣化は、長年に亘り繰り返される降雨とその降雨浸透によって形成される地下水に起因して、法面全体の排水機能が低下することが原因のひとつである」という考え方が一般的である⁹⁾。今回の盛土喪失崩壊を振り返り、高速道路で発生した盛土のり面の大規模崩壊について、災害の特徴的なことを述べてみる。

図-17は、平成11年9月の豪雨災害で発生した盛土のり面崩壊の平面図である。盛土構造は、上流側に「道路本線と同程度の高さに施工した本線外盛土(以下レベルバンクという)」を有し、地山はのり尻付近の間口が絞込まれたボトルネック地形である。上流側区域外流域の雨水等がレベルバンクから本線下に浸透し、下流側盛土の

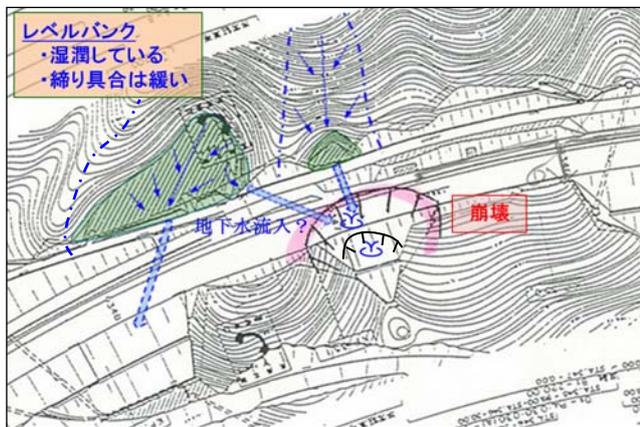


図-17 レベルバンクを有す盛土のり面崩壊 (1)

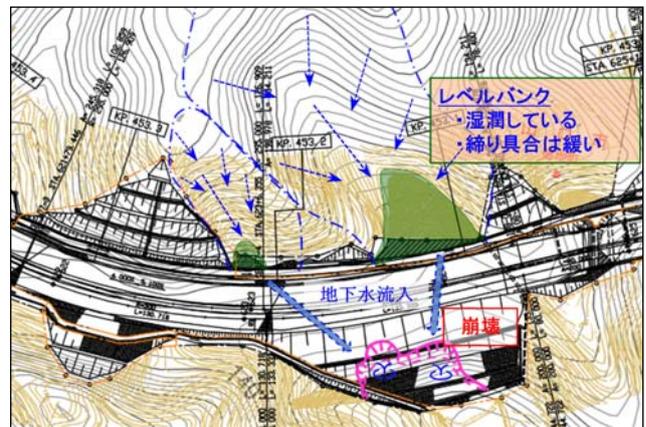


図-18 レベルバンクを有す盛土のり面崩壊 (2)



図-19 自衛対策工…高エネルギー吸収型防護工 (1)



図-20 自衛対策工…高エネルギー吸収型防護工 (2)

り面内の地下水に影響を与えたものである。図-18は、平成30年7月豪雨災害で発生した同様の地形を有している盛土のり面崩壊である。これらは近年多発傾向にある地形的素因で、レベルバンクに対する表層の浸透水排除処理不備と地下排水工の機能低下が原因の一つである。盛土構造が、上流側に「盛土で構築された谷地形」や「道路本線と同程度の高さに施工した本線外盛土(以下レベルバンクという)」を有している場合は、排水処理に留意が必要である。

次に、土石流に着目する。土石流の形態は、豪雨等により流域山腹や谷頭部に多量の水が供給され、流木、土砂、礫、岩石が崩壊に伴う噴出水や表流水とともに、非常に早い速度で一気に変状移動(崩壊)するものである。従って、土石流の運動はほぼ地形勾配によって支配される。土石流はその発生形態から見ると主に3つのタイプに分けられ、溪流に堆積している土砂が流水の増加に伴い流動化して土石流となる「Ⅰ.溪床堆積物移動型」、溪流上流域で崩壊が発生しその崩壊土砂が土石流となって流下する「Ⅱ.山腹崩壊型」、溪流内に一時的に堆積した崩壊土砂により天然ダムが形成されこれが決壊することにより土石流となって流下する「Ⅲ.天然ダム決壊型」がある。土石流の発生は、複合的な作用によるところが大きく、各々の関連性は未だに解明されていない¹⁰⁾。

土石流災害は局地的集中豪雨の増加という気候変動に伴いその規模や頻度の増加等が見られる¹¹⁾。最近の10年間だけでも、平成21年7月中国・九州北部豪雨、平成23年8月台風第12号紀伊半島豪雨災害、平成25年8月台風26号伊豆大島土砂災害、平成26年8月広島土砂災害、平成29年7月九州北部豪雨、そして記憶に新しい平成30年7月豪雨等で多くの土石流が発生し、甚大な被害を与えている。土石流は、のり面崩壊や斜面崩壊に比べて流出する土砂、泥流、流木等の量が遥かに多い。非常に早い速度で一気に変状移動(崩壊)するため、人命にかかわる重大災害となる可能性が高く、交通インフラの機能を著しく阻害する災害となり、長期間の通行止めや復旧工事を余儀なくされることになる。経済活動に与える影響は社会的に甚大であり、何らかの対応策が必要とされる。

土砂災害防止法等の法令は、基本的にその対象が人家等の保全対象を含むものとなっており、道路を含む交通インフラはその対象とはなっていない。しかし、飛騨川バス転落事故を契機に「道路土砂災害は道路用地内外問わず道路管理者が防災を実施する¹²⁾」こととなっており、道路管理者は何らかの自衛的手段を講じる必要がある。NEXCO西日本は、平成21年7月中国・九州北部豪雨災害を契機に実施した高速道路沿線の溪流調査と高速道路への影響評価結果に基づき、高速道路への土石流被害の減災を目的とした自衛対策を検討している¹¹⁾¹³⁾。図-19と図-20は、その参考事例である。

謝辞：本論文の作成にあたり、西日本高速道路(株)及び(株)高速道路総合研究所の関係方々に資料提示の御協力を頂いた。データ整理の一部については、山口大学大学院創成科学研究科中田幸男教授の指導を頂いた。災害事例の整理には(財)高速道路調査会シニアフェロー奥園誠之博士に、指導を頂いた。以上、ここに記して心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 内閣府：平成30年7月豪雨による被害状況等について、内閣府防災情報、平成31年1月9日17:00現在発表資料、pp.36-43, 2019。
http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/pdf/310109_1700_h30typhoon7_01.pdf
- 2) 2018年7月西日本豪雨災害調査団：2018年7月西日本豪雨災害調査(中国地区)報告書、土木学会、pp.1-7, 2019。
- 3) 土田孝、森脇武夫、後藤順治、今井卓也、川本暁、橋本涼太：平成30年7月豪雨での地域ごとの地盤災害の特徴(中国・広島その2)、地盤工学会誌、Vol.67, No.7, Ser.No.738, pp.14-17, 2019。
- 4) 矢野勝太郎：前期雨量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、第43巻、第4号、pp.3-11, 1990。
- 5) 牛山素行、大井戸志朗、寶馨：1999年広島豪雨災害資料による土砂災害発生危険雨量の設定とその実用性、河川技術論文集、第7巻、pp.167-170, 2001。
- 6) 平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団：平成26年広島豪雨災害合同緊急調査団調査報告書、公益社団法人土木学会・中国支部、公益社団法人地盤工学会、pp.118-125, 2014。
- 7) 広島県道路災害復旧に関する検討委員会：広島県道路災害復旧に関する検討委員会報告書、西日本高速道路(株)中国支社、西日本高速道路エンジニアリング中国(株)、pp.287-293, 2019。
- 8) 平井健太、川波敏博、秦二郎、竹本将、西垣誠：飽和・不飽和浸透流解析による盛土斜面安定評価、第54回地盤工学研究発表会講演集、E-13, No.0896, pp.1791-1792, 2019。
- 9) 山本剛、中井卓巳、丸木義文、小高猛司、岸田潔、大西有三：長期劣化の概念を導入した道路路面の健全性評価手法の提案、地盤工学ジャーナル Vol.4, No.1, pp.21-33, 2008。
- 10) 国交省河川局砂防部、(財)砂防・地すべり技術センター：土砂災害警戒避難に関わる前兆現象情報の活用の方について、土砂災害警戒避難に関わる前兆現象情報検討会、資料-1, pp.2-12, 2006。
- 11) 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)、No.75, No.1, pp.1-14, 2019。
- 12) 佐々木靖人、小橋秀俊、浅井健一：防災点検の有効性と災害の提言に向けて・道路防災総点検の手引き、pp.1_9-1_15, 全国地質調査業協会連合会, 2011。
- 13) 村上豊和、下野宗彦、中田幸男：高速道路に影響を与える土石流危険溪流の資料調査に基づく評価手法、地盤工学会中国支部論文報告集、Vol.34, No.1, pp.19-27, 2016。

(2019年9月27日 受付)