

昨今の災害事例から見た道路斜面防災の在り方と留意点



Ideal Way of Road Slope Disaster Prevention and Points to Keep in Mind Based on Recent Disaster Cases

下野宗彦 Munehiko SHITANO (西日本高速道路エンジニアリング中国(株))

我が国では、大災害後の具体の法律の下で防災・減災に関わる施策が推進されてきた。その成果は非常に大きなものであったと考えられるが、災害発生の根絶には至っていない。道路斜面防災は、その対象数量の多さと現場条件の多様性等から効率的な遂行に対し何らかの工夫が必要である。道路斜面災害対応には、地域特性に応じた素因と誘因の類似点や防災・減災及び道路早期啓開に対する維持管理上の工夫点があり、災害後は数多くの教訓を学ぶことができる。特に、大災害では多面的にその事例分析が必ず実施されているが、対策工検討や新設道路斜面の設計等を考えると、これらの特徴から得られる教訓が配慮されていないのではないかと思う場合もある。本論文は、昨今高速道路で発生した災害事例を挙げ災害後の対応等を紹介するとともに、素因と誘因の類似点や防災・減災及び道路早期啓開に対する維持管理上の留意点等について述べたものである。

キーワード：防災，斜面，のり面，土石流，災害事例 (IGC：A-09, B-03, C-00)

1. はじめに

我が国は、急峻な地形と複雑かつ脆弱な地質が広く分布しているという素因を有しており、降雨等による斜面災害が後を絶たない。総務省統計局資料の「昭和57年度国土数値情報作成調査」によると、国土は約70%が山地や丘陵地で占められており、戦後の経済発展と人口増加に伴い山地や丘陵地にまで開発が進んだために道路や鉄道等の社会資本整備が進展し、その結果斜面災害を受ける危険性が上昇した¹⁾。このため、道路に影響を及ぼす自然斜面と設計施工された人工斜面(切土・盛土のり面)で構成される「道路斜面」は、約4万km²という膨大な数量を抱えることになり、そのエリアの拡大とともに災害発生に伴う危険性と社会的影響のリスクが非常に高くなっているということに繋がっている²⁾。

昨今では、高度経済成長期に建設された多くの土木構造物の老朽化が問題視され、維持管理の実施に対する重要性は大きくなっている。膨大な数量を抱える道路斜面の維持管理は、災害発生に伴う危険性と社会的影響の軽減を目的として効率的かつ効果的に行っていく必要があるため、現在では、損傷や変状の発生発見によって対応する「対症療法型管理(事後保全)」から、道路斜面の安定性が損なわれる前に対応する「予防保全型管理(予防保全)」という考え方が取り入れられてきている³⁾。予防保全型の維持管理は、アセットマネジメントや構造物の延命化等とほぼ同じ意味で使われており、「損傷が発生してから対応する対症療法型管理ではなく、損傷の発生や推移を適切に予測し事故の発生を未然に防ぐことによりトータルコストを縮減する」という考え方が基本にある。道路斜面の予防保全を遂行するためには、道路斜面の点検

やその結果に基づく防災対策から、現時点で明確な損傷や崩壊挙動が現れていない道路斜面を含んだものにまで対象斜面が広がっていくことになり、膨大な数量であるがゆえにその実施は困難を極めている¹⁾。また、道路斜面を含む「土構造物」は、橋梁やトンネル、舗装等の構造物と違い、材料の不均一性や地域的な地質特性等の素因及び風化・劣化の進行具合の違いが顕著であり、画一的な管理が難しいという特徴を有している。こうした中、毎年のように発生する道路斜面災害は、直接的な人的被害や道路空間及び生活空間の破壊のみならず交通機関の遮断、社会経済活動の停滞等各方面にわたって多大な被害をもたらす結果となっている。

道路斜面災害の多くは豪雨による自然災害であり、特に中国地方ではその傾向が顕著である。道路斜面災害の素因と誘因は多岐にわたること、自然災害は誘因となる自然現象を消滅させることが不可能に近いこと等から、道路ネットワークの信頼性向上のためには、これを阻害する道路斜面災害を軽減(減災)させる防災対策や早期道路啓開のための対策(工夫)等を効率的に進めることが重要である。そのためには、発生し得る災害現象について既存資料と事例分析により、道路斜面災害の素因を把握したうえで、現在の法令と照し合せて戦略的に対応する必要がある。斜面防災に携わる多くの研究者や技術者は、過去の災害事例の蓄積と分析が基本であることを十分に理解して課題と向き合っている。災害報告の事例報告は数多く発表されているが、その大部分は「災害発生の素因と誘因に対する詳細な解明と対策工法の検討及びその選定に主眼を置いたもの」であり、復旧対策後の評価や施策への提案、維持管理の視点から見た技術提案等は非常に少ないと感じられる。

本報では、道路斜面災害や土砂災害防止に関する法整備の変遷とこれら法令や維持管理施策のきっかけとなった斜面災害と維持管理のその後を振り返り、道路斜面の現状把握技術について雑感を述べてみたい。我々技術者は、確立された技術と理論を実践する側であり、道路斜面災害を軽減(減災)させる防災対策や早期道路啓開のための対策(工夫)等を効率的に進めることを目的としている。不確かな理論を採求する研究者が仮説を裏付けていくという研究論文や報文とは一線を画した内容であるが、技術展望として今後の研究テーマの一助として役立てて頂ければ幸いである。なお、土砂災害は一般的に「土石流、地すべり、崖崩れ」に大分され、いずれも自然斜面が対象である。切土及び盛土のり面は、災害の発生防止を目指して設計・施工された人工斜面であるため、これらと区分される。従って、本論文中の「土砂災害」は、自然斜面における土石流、地すべり、崖崩れを対象とし、切土及び盛土のり面の崩壊を含むものは、「斜面災害」と定義した。

2. 降雨と災害発生の傾向

道路斜面災害の誘因の多くは豪雨であり、特に中国地方ではその傾向が顕著である。誘因の多くを占める降雨と災害発生の一般的な傾向について述べる。

昨今の我が国の降雨について、国土交通省水資源部及び気象庁のデータを基に、1979年(昭和54年)から2018年(平成30年)までの40年間の年降水量の推移^{4),5)}を図-1に、時間降水量50mm以上の年間発生回数の推移⁶⁾を図-2に、国土交通省等のデータを基に、土砂災害の年間発生回数の推移^{7),8)}を図-3に取りまとめた。但し、データの一部はグラフの読み取りであり端数に誤差があることに留意して頂きたい。

図-1に示した年降水量の推移は、ほとんど変化が見られないが、図-2の時間降水量50mm以上の年間発生回数

及び図-3の土砂災害の年間発生回数の推移は、年毎の変動が大きく増加傾向が明瞭であるとは言い難いが幾分右肩上がりの傾向を示している。10年毎の平均で40年間分を比較しても同様な傾向であることがわかる。しかし、図-1～図-3のデータは各々のグラフ縦軸の単位と尺度が違うため、増減傾向を客観的に表現しているとは言い難い。

図-4～図-6は、1979年(昭和54年)から2018年(平成30年)までの40年間の平均値を基礎データとした10年毎の偏差(10-Year Average Deviation Value)の推移を示したものである。グラフの近似式は、最小二乗法による回帰直線で、各々の決定係数(R^2)からかなり高い相関があることがわかる。図-4に示す年降水量の推移は、10年毎に増減があるものの増加傾向にあることを示している。図-5に示す時間降水量50mm以上の年間発生回数と図-6に示す土砂災害の年間発生回数は、10年毎の増加勾配(近似式の傾き)が類似しており、年降水量の推移と比較して大きな違いがある。土砂災害の年間発生回数は、年降水量よりも時間降水量50mm以上の年間発生回数に影響される。

40年間の我が国の降雨傾向は、年降水量が大きく変化していないにもかかわらず、時間降水量50mm以上の年間発生回数に代表されるような局地的集中豪雨の増加が顕著である。土砂災害の年間発生回数は、局地的集中豪雨の発現とともに増加しており、今後もこの傾向が続くと考えられる。

3. 土砂災害防止に関する法整備の変遷

我が国は古くから治水事業を始めとした防災への取り組みと、それにより定着している「防災文化」がある。近代化以降は、積極的に欧州から技術を学び法体系の整備にも取り組んできた結果、現在は防災先進国と呼ばれる

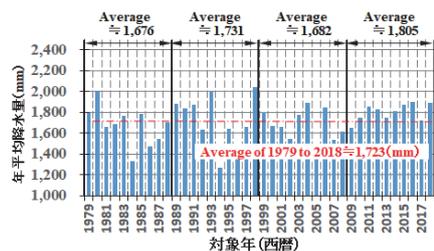


図-1 年平均降水量

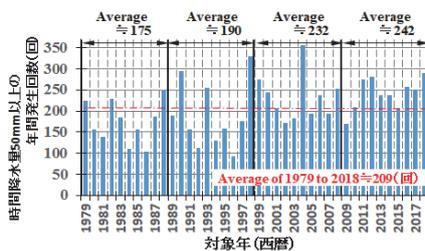


図-2 時間降水量50mm以上の年間発生回数

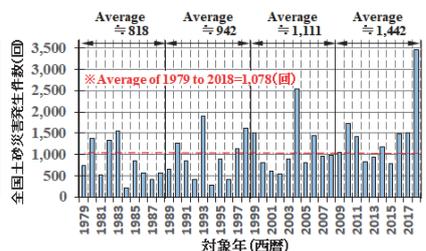


図-3 土砂災害の年間発生回数

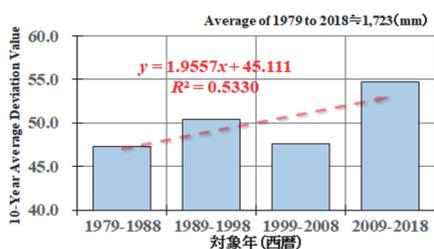


図-4 年平均降水量 (10年平均偏差)

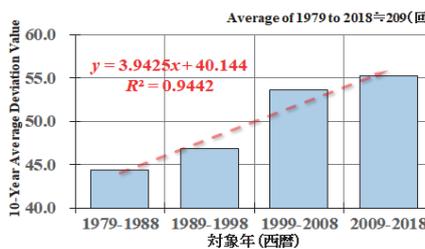


図-5 時間降水量50mm以上の年間発生回数 (10年平均偏差)

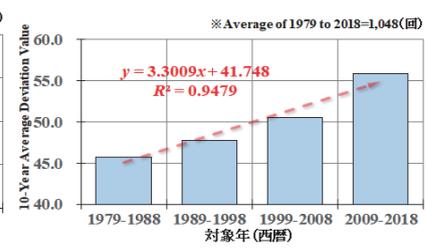


図-6 土砂災害の年間発生回数 (10年平均偏差)

表-1 治水3法から土砂災害防止法までの変遷

和暦	施策	大災害
明治29年	河川法, 森林法の制定	明治29年水害(淀川, 木曾川, 多摩川等氾濫) 明治三陸地震(M8.2~8.5)
明治30年	砂防法の制定	
昭和20年	終戦	枕崎台風
昭和22年	日本国憲法施行	カスリーン台風
昭和23年	建設省河川局砂防課の設置	九州北部 秋雨前線大雨
昭和31年	日本道路公団設立	
昭和32年		西九州地方 豪雨災害(地すべり)
昭和33年	地すべり等防止法の制定	
昭和42年	急傾斜地崩壊対策事業の開始	昭和42年7月豪雨(北部九州~関西:崖崩れ)
昭和43年		飛騨川バス転落事故
昭和44年	急傾斜地の崩壊による災害の防止に関する法律の制定 道路防災点検, 異常気象時事前通行規制等開始	
昭和57年	総合土石流対策スタート	長崎豪雨災害
平成元年	「土石流対策技術指針(案)」等策定	
平成11年		平成11年広島豪雨災害(土石流, 崖崩れ) 福岡水害
平成12年	土砂災害防止法の制定 「土石流対策技術指針(案)」改定(建設省河川局)	東海豪雨
平成16年		平成16年7月豪雨災害(新潟・福島・福井) 新潟県中越地震(M6.8)
平成17年	水防法, 土砂災害防止法の一部改正(ハザードマップによる周知徹底) 道路関係四公団民営化関係法令公布(道路公団民営化)	
平成20年		岩手・宮城内陸地震(M7.2)
平成22年	土砂災害防止法の一部改正 (大規模土砂災害における緊急調査実施等を規定)	
平成23年		東日本大震災(M9.0)
平成26年		平成26年広島土砂災害
平成27年	土砂災害防止法の一部改正 (基礎調査の是正と結果公表・ハード対策の実施状況把握等)	
平成28年		台風第10号による水害(東北・北海道)
平成29年	土砂災害防止法の一部改正 (土砂災害の防止のための警戒避難体制の充実・強化等)	
平成30年		H30年7月豪雨災害

ようになってきている⁹⁾。土砂災害防止に関する法整備の変遷を表-1に示す。

明治政府は、経済発展のインフラ整備としてまず船舶による物資の輸送を重視し、同時に鉄道網の整備を行った。殖産興業政策は近代日本の経済発展を促し、国力の増大を目指すものであったが、国土の約70%が山地・丘陵地であり脆弱な地質という素因を有す斜面を膨大に抱える我が国では、交通インフラ整備に対し、自然災害が大きな阻害をもたらすものであった。従って、我が国は、近代化以降、河川、林野、砂防のそれぞれの分野で、欧州を範とした施策(治水三法)等を展開し防災減災を試みるのである¹⁰⁾。河川法、森林法は明治29年に、砂防法は翌年の明治30年に制定された。明治前期から半ばにかけて進行した山林荒廃と水害激化を共通の背景に、これら三法は全体として水害に対する安全の確保ひいては国土の保全を図るための実効的な法体系を形成したものと見え、その中で砂防法は事業と規制の手法(ハード・ソフト)を組み合わせつつ、上・下流における対策の総合性を確保する仕組みとして、重要な役割を果たしたものと評価できると考えられている。この治水三法を踏まえ、それぞれの行政分野における基本的な所掌がルール化され、各行政分野における施策の充実化が図られて現在に至っている¹¹⁾。

戦後は大災害のフォローアップである具体の法律の下

で、減災・防災に関わるハード対策を中心とした施策が推進されてきており、その成果は、非常に大きなものであったと考えられる。しかし、ハード対策には、「膨大な予算が必要、計画超過外力に耐えられない、社会活動の拡大に伴い対策を実施すべき危険箇所が増加し整備が追いつかない」等の問題があり、これだけでは限界があるという認識が、次第に高まってきた。平成11年6月広島豪雨災害をきっかけとして、平成13年に「土砂災害警戒区域等における土砂災害防止対策の推進に関する法律(土砂災害防止法)」が制定され、従来のハード対策に加えソフト対策の拡充が図られることとなった。これにより、土砂災害に対する調査を行い危険度評価した結果(ハザードマップ)の公開、土地利用制限、避難勧告・避難訓練の実施、情報伝達体制の整備等を行いつつ、土砂災害に対する危険度評価結果に応じて効率的にハード対策を進めることが行われている。

一方、道路斜面から見ると、土砂災害防止法を含め表-1に示した法令は、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いるため、道路管理者が防災対策を進めることになっている。道路用地外は、道路管理区域外ではあるが、1968年(昭和43年)の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⁾」こととなり、異常気象時事前通行規制や道路防災点検及び防災対策工事の実施等に

繋がっている。異常気象時事前通行規制は、自動車専用道路では実施が容易であるが、一般道ではその実施に限界がある。また、防災対策工事は、道路用地内の自然斜面やのり面では容易に実施可能であるが用地外では地元地権者の同意を得る必要がありその実施には常に難しい協議が伴う。また、2018年(平成30年)4月には道路法の一部が改正され、道路管理の充実による安全性の更なる向上を目指して「道路区域外からの落石(土砂流入含む)等を防ぐため道路沿道区域内の土地管理者への損失補償を前提とした措置命令権限」が規定された。平成29年7月九州北部豪雨に続き平成30年7月豪雨災害で道路区域外からの土砂流で非常に大きな影響を受けた道路管理者は、非常に難しい立場に立たされており、道路を守るために何らかの自衛的手段を講じる必要を迫られている。

4. 道路斜面災害と維持管理の今後

道路斜面災害は、地域特性に応じた素因と誘因の類似点や防災・減災及び道路早期啓開に対する維持管理上の工夫点があり、災害後は数多くの教訓を学ぶことができる。特に、社会的影響が大きい災害では、多方面からその事例分析が必ず実施されているが、応急・恒久対策や新設道路斜面の設計及び道路斜面災害に対する維持管理等を考えると、これらの特徴から得られる教訓が配慮されていないのではないかと思う場合もある。道路斜面災害に直面する道路技術者にとっては当たり前の事かもしれないが、昨今高速道路で発生した災害事例を挙げて少し

整理してみたい。

4.1 切土のり面

まず、のり面災害の特徴を少し整理してみる。図-7に示すように切土及び盛土のり面災害は、そのおよそ半数が供用後5年以内に発生する。その後は比較的安定し減少傾向にあるが、局地的集中豪雨の増加によって災害の発生がやむことはない。

このうち、中国地方における切土のり面災害は該当箇所の後背地を含めた地質が大きく影響しており、特定の地質に比較的偏っている。被災箇所数を該当地質分布面積(km²)で除し、各地質に対する100km²あたりの災害発生指数 β と比較したものが図-8である。災害発生指数 β が高い地質は、新生代第三紀から第四紀初期のグリーンタフを中心とした火山岩・砕屑岩の堆積層、中生代の関門層群(砕屑岩と火山岩の堆積層)、美祢層群・厚保層群(砕屑岩と火山岩及び生物岩の堆積層)であり、斜面崩壊は、その素因の一つである地質に支配されている¹⁾。奥園¹³⁾は、建設中に変状を起こした切土のり面は管理段階に移ってから再び崩壊を起こすことが数多くみられること、急速切土施工はその後の崩壊を招く一因となること、のり面崩壊のほぼ100%が深度5m未満で生じていることを指摘している。また、中国地方の高速道路斜面の表層崩壊箇所では、80%以上の確率で深度5mまでの平均N値が23未満の緩んだ層であることも判明している¹⁴⁾。これらの特徴を踏まえ、10年以内に発生した数少ない大規模切土崩壊の一事例についてその特徴を整理した。

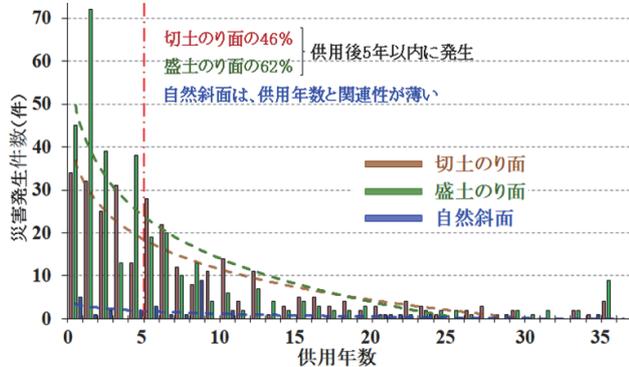


図-7 中国地方の高速道路災害発生件数と供用年数

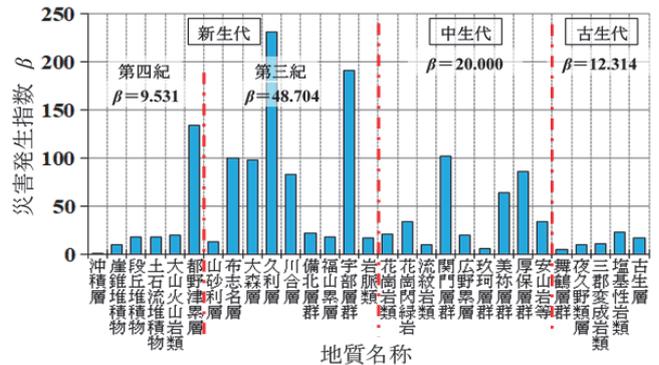


図-8 中国地方の高速道路災害発生指数

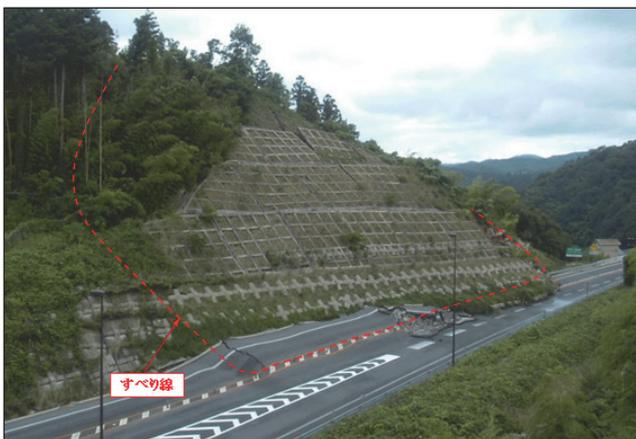


図-9 山陰道 切土のり面崩壊 全景



図-10 山陰道 切土のり面崩壊 路面隆起

図-9、図-10は、平成18年7月に山陰で発生した切土のり面崩壊の全景写真である。凸型地すべり地形の端部を掘削しており、すべり面が背後に位置する鞍部まで及んでいる。鞍部には明瞭なリニアメントが存在している。地質は、凝灰質な中～粗粒の塊状砂岩を主体とした第三紀中新世の大森層で、表層5mまでの平均N値が12程度の緩い層であった。建設時の切土施工中に変状が発生したため平成12年～13年にアンカー工による抑止対策を行っている。平成13年3月の供用開始に間に合わせるために急速施工を行ったという記録が残っていた。

供用後約5年を経過したのり面であること、建設工事中に変状を来したのり面で変状対策工事が急速施工であったこと、災害発生指数 β が高い地質であったこと、表層5mまでのN値が12程度(23未満)の緩い層であったこと、後背地形に崩壊性素因を有していたこと等が留意すべき事項である。先に述べた特徴と合致している。

また図-11、図-12に示すとおり、本災害箇所は暫定2車線区間で発生しており側道等も設置されていなかったため、応急復旧及び恒久対策工事に向け、通行車線確保のための線形計画に苦労した。崩壊のり面西側が橋梁区間であったため、設計速度30(km/hr)という厳しい線形を選択せざるを得なかった。自動車専用道路の早期道路啓開の点から見ると4車線化及び管理用道路を兼ねた側道等の設置が望まれる。

4.2 盛土のり面

盛土のり面は、図-7のようにそのおよそ半数が供用後5年以内に発生する。その後は比較的安定し減少傾向にあるが、供用後20年を過ぎたあたりから僅かではあるが徐々に増加する傾向がある。高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会の報告書では、過去の斜面災害等の発生状況から切土に比べて盛土の変状実態が多発傾向にあることを指摘している¹⁵⁾。盛土のり面の詳細な点検は、平成17年の発生した山陽自動車道廿木地区の盛土災害を契機として始まった。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¹⁶⁾。中国地方で発生した盛土のり面の大規模崩壊について、最近の事例を整理し、特徴的なことを述べてみる。

図-13は、平成17年9月に山陽自動車道で発生した盛土のり面崩壊の全景空中写真である。台風14号の影響による豪雨により、高速道路盛土が上り線側車線の路面を含めて道路延長方向に約50m、高さ約23mにわたり崩壊

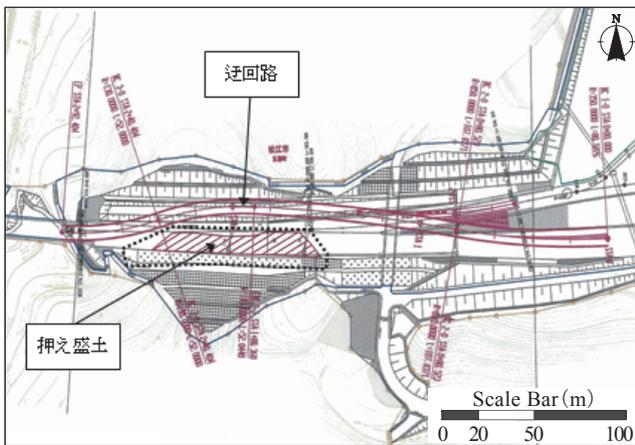


図-11 切土のり面崩壊箇所迂回路 平面図



図-12 切土のり面崩壊箇所迂回路 全景



図-13 山陽道盛土のり面崩壊 全景

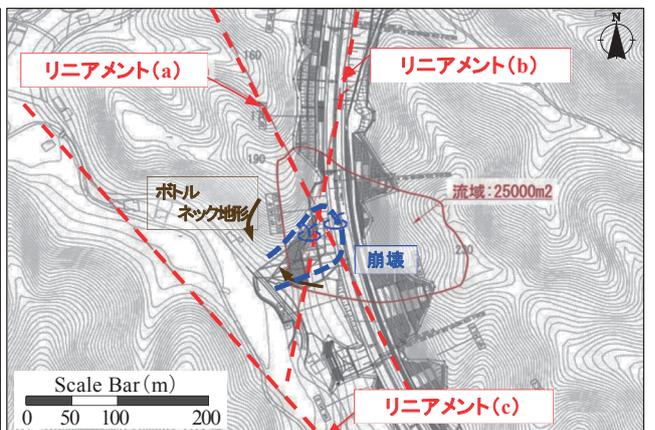


図-14 山陽道盛土のり面崩壊 地形図



図-15 中国道盛土のり面崩壊 全景

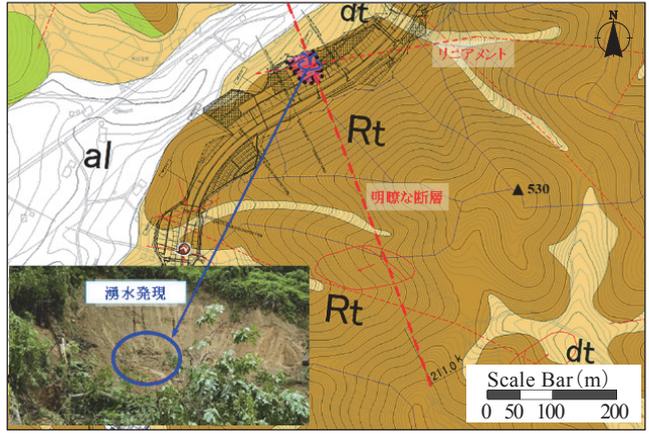


図-16 中国道盛土のり面崩壊 地形図

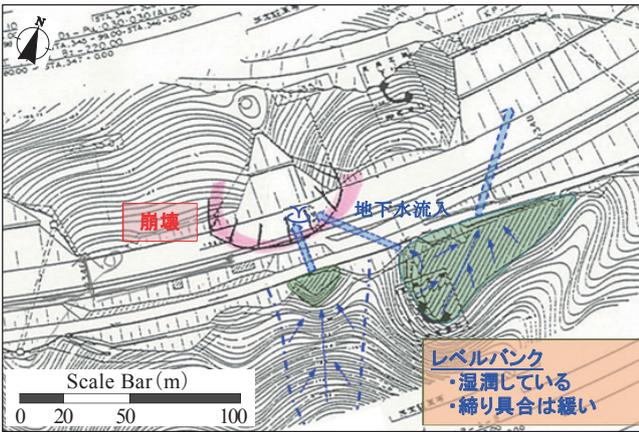


図-17 レベルバンクを有す盛土のり面崩壊 (1)

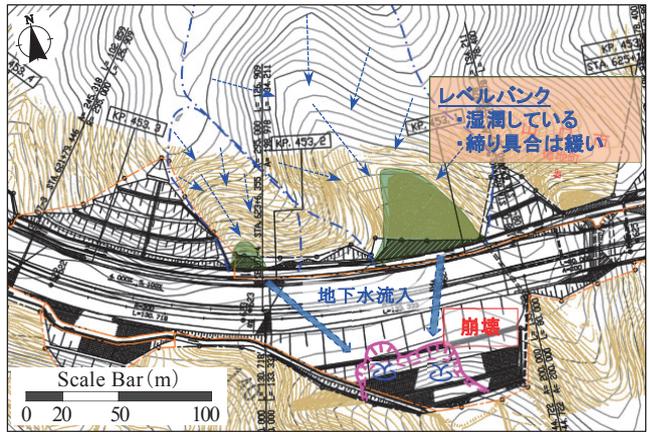


図-18 レベルバンクを有す盛土のり面崩壊 (2)

したものである。

崩壊した約 13,800m³ の土砂は高速道路に隣接した民家 2 軒を巻き込み、4 名の方が行方不明となった。2 軒とも夫婦 2 名が居住されており幸いに 1 名は救出されたものの、残念ながら他 3 名は遺体で発見されることとなった。決して忘れてはならない災害である。

本災害では、「山陽自動車道災害調査検討委員会」を設置して原因究明等の検討を行った。その結果、当該盛土の崩壊原因は「①観測史上初の異常降雨であったこと、②断層破碎帯による地下水供給の急増したこと、③地下水を排出しにくい地形構造であったこと、④地下排水溝の欠損」の 4 つの複合的要因により崩壊に至ったと結論付けられた^{17),18)}。この災害箇所では留意すべき特徴は、「②断層破碎帯による地下水供給の急増したこと、③地下水を排出しにくい地形構造であったこと」が挙げられる。図-14 の地形図に示したとおり、当該箇所は明瞭なリニアメントが複数存在しており周辺調査により断層が確認された。崩壊した盛土の源頭部付近にはリニアメント(a), (b)の交差部が存在し、崩壊直後には谷筋と交わる付近で湧水が見られた。竹國ら¹⁹⁾はその後の追跡調査で、断層破碎帯から供給される地下水の急増が災害の大きな引き金になったということを定量的に示している。中田ら²⁰⁾は断層が地下水位に与える影響を定量的に把握するために、断層からの距離に着目して地下水位計測を数年に亘って計測した事例を報告している。断層の遮水性の機能

により上流で堰き止められた地下水の流下や、断層の透水層の機能による地下水供給によって地下水位の上昇の影響を受けた可能性を定量的に示しており、流域外からの地下水流入が推定されると考えられる。また、崩壊した盛土の施工箇所は、盛土内地下水を排出するのり尻付近の間口が絞り込まれ(以下、ボトルネックという)供給される地下水及び盛土内への浸透水が排出されにくいという地形的素因を有していた。流域外からの地下水流入が推定される上に地下水を排出しにくい地形構造であったことが大きな特徴であり留意すべき点である。

図-15 は、平成 30 年 7 月豪雨災害で発生した中国自動車道の盛土のり面崩壊の全景空中写真である。図-16 の地形図に示したとおり、本現場はボトルネック地形ではなかったが、山陽道の災害と同様に、リニアメントの交差部付近で比較的多量の湧水が見られた。本現場においても、流域外から断層破碎帯に沿って地下水流入が推定される。地形的素因の把握は重要である。

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、地山はボトルネック地形である。上流側の区域外流域から雨水等がレベルバンクを通じて本線下に浸透し、下流側盛土の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図-17 と同様の地形を有している中国自動車道

の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。道路上流側谷部の盛土構造と排水処理には留意が必要である。

4.3 道路に影響を及ぼした土石流災害

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、非常に速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.渓床堆積物移動型」、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²¹⁾。

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²²⁾。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石、泥流、流木等の量が遥かに多い。非常に速い速度で一気に変状移動(崩壊)するため、道路に影響を及ぼす被災を受けると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。

図-19、図-20は、平成21年7月に中国自動車道で発生した土石流災害の全景写真と本線部被災写真である。2箇所の溪流から土石流が発生し本線とインターチェンジランプを埋没させる被害を与えた。巨礫の流入はなかったが、本線側道上の谷出口とランプの切盛境界から流木と泥流が流入して冠水したものである。この災害を契機に、NEXCO西日本では高速道路沿線の溪流調査を行い、高速道路への影響評価を行うこととなった^{22),23)}。

図-21、図-22は、昨年の平成30年7月豪雨で発生した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40箇所以上で発生した。事前通行止め措置が機能し、利用客へ直接被害がなかったことは幸いであった。道路公団時代まで遡っても、このような重篤な災害が広範囲にわたって発生した事例は初めての経験である。平成26年8月に発生した広島土砂災害では、



図-19 中国道土石流被害 (1)



図-20 中国道土石流被害 (2)



図-21 山陽道土石流被害 (1)



図-22 山陽道土石流被害 (2)

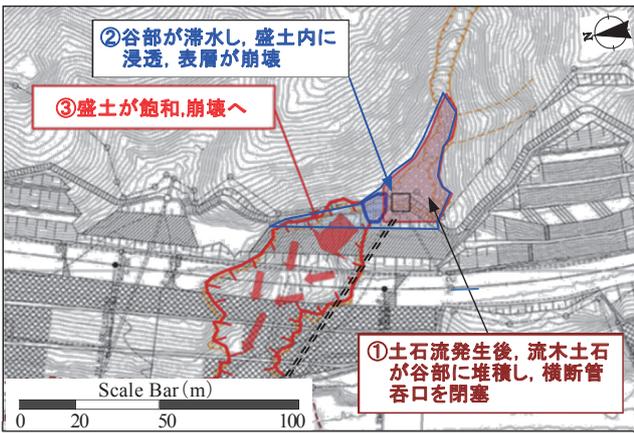


図-23 広島県道盛土のり面崩壊 平面図

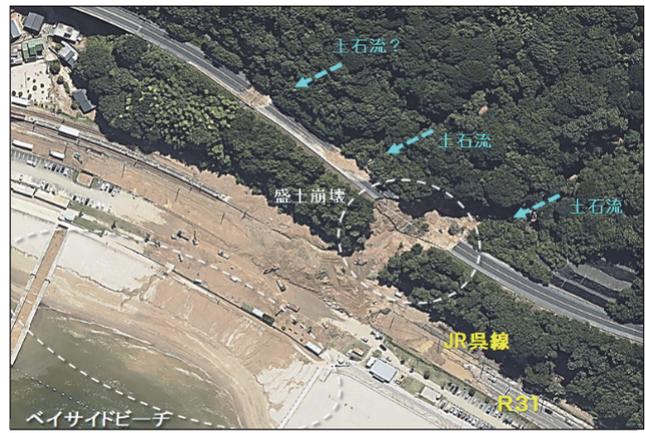


図-24 広島県道盛土のり面崩壊 全景写真



図-25 高エネルギー吸収型防護工 (1)



図-26 高エネルギー吸収型防護工 (2)

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²⁴⁾が、今回の高速道路ではそれは少なかった。しかし4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だかることとなった。図-23、図-24は、土石流が発生したことによって広島県道路の盛土のり面が崩壊し喪失した図面と写真である。広島県道路の坂町水尻地区において大規模な盛土構造物が喪失する災害が発生し、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いた。この災害の大きな特徴は、豪雨による土石流の発生からおおよそ37時間後に盛土が崩壊したことである。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。委員会で検討した崩壊のメカニズムは、「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溪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越えた水が本線を越流し盛土側斜面の表層が崩壊する、③盛土内の雨水浸透により地下水位が高まり7月8日8時過ぎに盛土が崩壊した」という3段階の過程を特定した²⁵⁾。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。4.2で述べた

「道路上流側谷部の盛土構造と排水処理に留意が必要である」ことにも繋がる。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。図-25、図-26はその参考事例である。

5. 道路斜面防災のための現状把握(アーカイブデータの重要性)

今まで切土のり面災害、盛土のり面災害、土石流災害で述べてきたことのうち、極めて重要な類似事項が地形把握である。斜面防災に携わる研究者と技術者にとって、広域地形判読が重要であることは衆目の一致するところである。土砂移動の運動はほぼ地形勾配によって支配されるため、マクロ的な地形把握が重要である。地形判読には縮尺1/5,000程度のものを使用するが、国土地理院等から一般的に入手できるものは一部の居住地域に限られる。従って、対象となる個別斜面に応じて空中写真や



図-27 土石流被災箇所の鉛直オルソ画像

航空機レーザー測量のデータを入手し判読作業実施している。効率的な地形把握のためには、縮尺 1/5,000 程度の全国地形図の整備が望まれる。特に、汎用性のある航空機レーザー測量データのアーカイブは、災害発生後の分析等に非常に役立つものである。

図-27 は、平成 30 年 7 月豪雨で発生した土石流被災箇所を撮影した鉛直オルソ画像である。激しく挟られた土石流痕は確認できるが、広島県道盛土のり面崩壊のきっかけとなった小規模な土石流は確認できない。樹木の枝葉に覆われて詳細な被災箇所が不明瞭である。図-28 は、過去に計測された航空機レーザー測量データと災害発生後に計測したデータの差分解析図である。これを見ると、小規模な土石流痕を含めたものが明確に把握でき、溪流の途中でダムアップされ高取まっている箇所も抽出可能である。被災土量も早期に算出することが出来、災害対応に大きく役立った。これらデータの基本となったアーカイブは、平成 26 年 8 月広島土砂災害後に広島県が計測したものである。広島県域の大部分が計測されており、過去に計測された航空機レーザー測量データのアーカイブが如何に重要なものであるか、被災の概要把握に如何に役立つかとういうことを見事に立証した。また、被災前後の地形を比較することで、山腹崩壊箇所、ダムアップされ高止まっている箇所、土石流の尾根越え箇所、土石流到達エリア等の地形素因分析に大きく貢献するものである。アーカイブデータを提供頂いた広島県の関係方々にはあらためて感謝の意を表したい。

6. まとめ

道路斜面防災は、その対象数量の多さと現場条件の多様性等からその効率的な遂行に対し何らかの工夫が必要であり、そのためには、初心に立ち返る意味を含め、災害事例から得られる教訓を理解した上で事業執行に工夫を凝らすことが重要である。前項までに述べてきたことをまとめると以下のようになる。

- (1) 40 年間の我が国の降雨傾向は、年降水量が大きく変化していないにもかかわらず、時間降水量 50mm



図-28 土石流被災箇所レーザー計測差分解析図

以上の年間発生回数の増加が顕著である。土砂災害の年間発生回数は、集中豪雨の発生とともに増加しており、今後もこの傾向が続くと考えられる。

- (2) 我が国は、大災害後の具体的法律の下で防災・減災に関わる施策が推進されてきた。その成果は非常に大きなものであったと考えられるが、災害発生の根絶には至っていない。
- (3) 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いるため、道路用地内外問わず道路管理者が防災を実施することには限界がある。道路管理者は、何らかの自衛的な防災手段を講じる必要を迫られている。
- (4) 切土のり面の崩壊に対する留意点は、①供用後 5 年以内であること、②過去に変状を来したのり面であること、③(対策)工事が急速施工であること、④災害が発生しやすい地質であること、⑤表層 5m までの N 値が 23 未満の緩い層であること、⑥後背地形に崩壊性素因(断層が疑われるリニアメント)を有していることが挙げられる。
- (5) 盛土のり面の崩壊に対する留意点は、①盛土内に崩壊性素因(断層が疑われるリニアメント)を有していること、②ボトルネック地形であること、③道路を挟む盛土上流側にレベルバンクや集水地形を有していることが挙げられる。
- (6) 土石流に対する留意点は、道路は基本的に土砂災害防止法の保全対象から外れるため、道路管理者として何らかの自衛的な防災手段を講じる必要あるという認識を持つことが必要である。
- (7) 側道の設置や 4 車線化は、被災を受けた道路の早期啓開に対し有効である。
- (8) 道路斜面防災には、まず現状把握として地形把握のためのアーカイブデータを構築することである。被災の概要把握や地形素因分析に大きく貢献する。

道路斜面防災に関係する留意事項は、上記以外にも数多くある。道路斜面災害に直面する道路技術者にとっては当たり前の事であるが、昨今の災害分析から得られる共通認識と災害事例から得られる教訓として類似するよ

うなものを敢えて取り上げた。本文は、研究論文や報文とは一線を画した内容であるが、技術展望という視点で、今後の研究テーマや事業執行の一助としてこの中の一部でも役立てて頂ければ幸いである。

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氏に、指導を頂いた。平成30年7月豪雨の分析については、平成26年8月広島土砂災害後に取得したアーカイブデータを広島県から提供頂いた。以上、ここに記して心より感謝いたします。

参考文献

- 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(地圏工学), No. 71, No. 2, pp. 92-107, 2015.
- 佐々木靖人, 浅井健一: 防災点検の有効性と災害の提言に向けて(10年間の防災対策の進捗と課題), p.2, 全国地質調査業協会連合会, 2013.
- 下野宗彦, 中田幸男, 清水則一: 道路のり面・斜面に対する予防保全へのアプローチ, 中国地方建設技術交流会2013(安全・安心な社会を目指して 社会資本の予防保全), 講演集, No. 4-1, pp.1-6, 2013.
- 気象庁 気象統計情報: 気温・降水量の長期変化傾向, 日本の年降水量, 2019.
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/temp/an_jpn_r.html, (参照2019.)
- 国土交通省 土地・水資源局水資源部: 平成26年版日本の水資源について, pp.56-58, 2014.
- 気象庁: 全国(アメダス)の1時間降水量50mm以上の年間発生回数, 気象統計情報, 2018.
https://www.data.jma.go.jp/cpdinfo/extreme/extreme_p.html, (参照2019.)
- 国土交通省砂防部: 2018(平成30)年の土砂災害の概要, 土砂災害情報, 2018.
<http://www.sabo.or.jp/saigai/2018saigai.html>, (参照2019.)
- 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(地圏工学), No.71, No.2, pp.93-94, 2015.
- 独立行政法人国際協力機構: 災害に強い社会を人々に-持続的な開発に向けた防災の挑戦-, JICA Position Paper, pp.3-6, 2019.
<https://www.jica.go.jp/activities/issues/disaster/index.html>, (参照2019.)
- 綿谷真一, 森俊勇, 坂口哲夫, 西本晴男: 砂防法改正に関わる歴史的一考察-砂防法改正が最小限にとどまった理由について-, 平成22年度砂防学会研究発表会概要集, No.5-05, pp.1-2, 2010.
- 栗島明康: 砂防法制定の経緯及び意義について-明治中期における国土保全法制の形成-, 砂防学会誌, Vol.66, No.5, pp.76-87, 2014.
- 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.
- 奥園誠之: 斜面防災100のポイント, pp.70-171, 鹿島出版会, 2006.
- 下野宗彦: 中国地方における高速道路の斜面災害と地盤特性に関する研究, 山口大学(大学院理工学研究科)博士(請求)論文, pp.88-99, 2016.
- 高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会: 長期保全及び更新のあり方に関する技術検討報告書, pp.31-32, 2014.
- 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法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.
- 村田秀一, 竹國一也, 中田幸男: 台風14号による山陽自動車道盛土法面崩壊を経験して, 土と基礎, Vol.54, No.12, Ser.No.587, pp.8-9, 2006.
- Murata, H., Takekuni, K. and Nakata, Y.: Slope failure of embankment in Sanyo expressway due to passage of typhoon, No.14 in 2005, Soils and Foundations, Vol. 49, No.5, pp.797-806, 2009.
- 竹國一也, 秦二郎, 中田幸男: 盛土構造物における地下水流と地表流の現地計測および排水対策工の効果検証, 土木学会論文集C(地圏工学), No.74, No.3, pp.289-299, 2018.
- 中田幸男, 下野宗彦, 中本昌希, 村上豊和: 断層と交差する土石流発生溪流内の地下水位計測, 土木学会論文集C(地圏工学), No.74, No.4, pp.513-523, 2018.
- 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あり方について, 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 広島呉道路 災害復旧に関する検討委員会: 広島呉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.

(2019年9月12日 受付)