

## 2.6 道路のり面斜面对策におけるアセットマネジメント手法に関する研究①

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 23～平 27

担当チーム：地質・地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、加藤俊二、梶取真一

### 【要旨】

今後、維持・更新の時代に遷移していく中、道路斜面防災事業においても限られた予算を有効に活用するためには、アセットマネジメントの考え方を導入して、中長期的な展望を踏まえた上での効率的かつ効果的な防災対策を行い、斜面災害の減災を図ることが必要である。このため、本研究では、のり面・斜面の点検・診断技術、対策効果の評価手法・対策の考え方といった、道路のり面・斜面对策におけるアセットマネジメント手法の検討を行っている。平成 26 年度は、のり面の吹付工背面の土砂化・空洞化に関して、のり肩部からの雨水の侵入に対する巻込処理の効果や、ひび割れからの侵入水の影響に関する模型実験を行い、点検および対策の考え方についての考察を行った。

キーワード：道路のり面・斜面、防災対策、維持管理、アセットマネジメント

### 1. はじめに

昭和 40 年代後半から昭和 50 年代の高度成長期に整備された社会資本は、現在約 30～40 年程度経過している。今後、これらが維持・更新の時代に遷移していく中、限られた予算を有効に活用しなければならない。道路のり面・斜面の防災対策においても同様であり、公共事業費の縮減に伴い防災対策に充てられる維持管理予算も年々減少する中、この時代に構築されたのり面保護工や斜面安定工の維持・更新も含めたのり面・斜面の維持管理および防災対策を進めていく必要がある。

国土交通省で開催した「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方に関する委員会」では、2003 年 4 月の提言において「道路を資産としてとらえ、道路構造物の状態を客観的に把握・評価し、中長期的な資産の状態を予測するとともに、予算的制約の中でいつどのような対策をどこに行うのが最適であるかを考慮して、道路構造物を計画的かつ効率的に管理すること」と、道路構造物のアセットマネジメントに関する大枠の方針を示している。道路のり面・斜面の防災対策においても、既設の防災対策工および自然斜面の災害危険箇所の状態を踏まえた中長期的な視点で、効率的かつ効果的に対策を実施し斜面災害の減少や災害規模の軽減を図っていくことが求められる。

実際の業務においては、上記の考え方に基づいて現場の実務レベルに合わせたアセットマネジメント手法を構

築して運用する必要がある。本研究は、道路のり面・斜面の防災対策工におけるアセットマネジメント手法について検討するものである。のり面・斜面の防災対策工のうち、特にモルタル・コンクリート吹付工（以下、吹付工）は、簡便に切土のり面を被覆できることから風化・侵食対策として昭和 40～50 年代に多数施工された。近年、その後の地山の風化等の経年劣化により、場所によっては吹付工の背面が著しく土砂化・空洞化し、それらが要因で吹付工が部分崩落する等の問題も多数発生しており、維持管理が課題となっている。このため、本研究では吹付工を主として検討を行っている。

平成 26 年度は、吹付工の背面の土砂化・空洞化に対するのり肩部の巻込処理の効果および吹付面のひび割れからの侵入水の状況に関する模型実験を行い、点検および対策の考え方についての考察を行った。

### 2. 吹付工背面の土砂化・空洞化に関する実験・検討

吹付工の背面地山の風化による土砂化・空洞化を防ぐためには、雨水が吹付工の背面に供給されることを防ぐことが必要である。吹付工の背面に雨水が供給されるケースは、1) 背面地山を切土した際にその上の肩部に残る表土層からの侵入、2) 吹付工表面亀裂からの侵入、3) 亀裂性の地山である場合等の地山からの湧水、の大きく 3 つに大別される。このうちに 3) については、本来は開放型の対策を検討すべきケースであるが、部分的であるこ

とからやむを得ず吹付工を行う場合には、適切に集・排水対策を行うこととされている。一方で、1)の肩部からの侵入水に関しては、「道路土工・切土工・斜面安定工指針」<sup>1)</sup>においては、肩部を地山まで掘削して巻込むように吹付工を行う巻込処理による対応を行うものとされている。しかしながら、実施工を考えた場合、地山と表土層との境界部では凹凸があるため地山まで完全に密着した巻込処理を行うことは困難であり、表土の一部が残ることになる。さらに、巻込処理のための掘削は人力によるため深い掘削も困難で、一般的に行われている巻込深さは20~30 cm程度である(写真1参照)。このような状況で、巻込処理が雨水の侵入に対してどの程度の効果があるのかは不明であり、これまでに巻込処理の効果を検討した事例もない。このため、巻込処理の効果がどの程度あるか簡易な模型実験による検証を行うとともに、背面侵入水への対応に関する考察を行った。また2)に関しては軽微なひび割れは補修による対応が可能であるが、ひび割れからの侵入水の影響についても十分に把握されておらず、目地からの侵入水の影響も懸念されているとともに、ひび割れ補修の必要性等の考え方が整理されていないことから、初期段階で発生する乾燥収縮で生じるクラックについても補修を行っているケースもある。このため、ひび割れからの水の侵入状況に関する簡易な模型を行うとともに、侵入水の影響と補修の考え方に関する考察を行った。

## 2.1 巻き込み処理の効果に関する模型実験

### (1) 実験概要

ここでの実験は、図1に示すような二次元断面でのり肩部への背面侵入を模擬したものである。実験では、写真2(a)に示すような、内部を遮水塗装した深さ30cm幅40cm長さ1.5mの木製箱型土槽を3つ併設した三連土槽を用いて、一般的な表土層をイメージして山砂(土粒子密度:2.689(g/cm<sup>3</sup>)、細粒分含有率:30%)を厚さ30cm、締固め度85%で詰め、(b)に示すように下端部底面に土壌水分計を設置し、(c)に示すように土槽を30度に傾斜

させ、時間雨量50mmを4時間継続(総雨量200mmを目標)した人工降雨を与え、下端部への雨水侵入状況の計測を

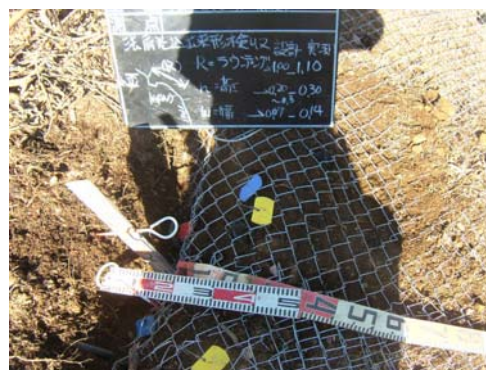
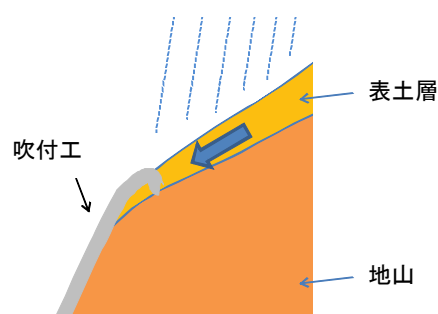
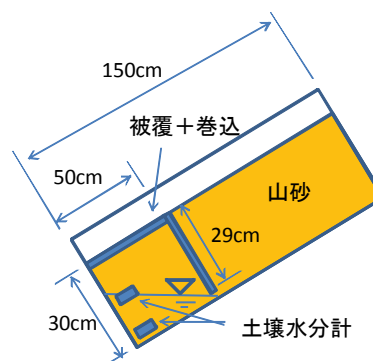


写真1 巻込処理の施工状況の例



(a)のり肩部の背面侵入

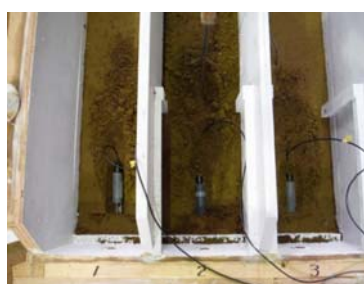


(b)土槽の模式図(ケース3)の例

図1 吹付背面への雨水の侵入イメージと土槽模式図



(a)三連土槽の状況



(b)土壌水分計の設置状況



(c)降雨実験の状況

写真2 実験模型の状況

行った。撥水塗装を施した木製合板を用いて部分被覆と巻込処理を行い、(c)の左から1)無処理、2)表面50cm被覆+15cm巻込、3)表面50cm被覆+29cm巻込(地山の凹凸を考慮し1cm減じた)とした。なお、3)のケースのみ末端部の深度15cmの位置にも土壌水分計を設置している。

### (2) 実験結果

図2は降雨開始時からの、土中の体積含水率の変化状況を示したものである。無処理の場合は、下端部で直接浸透するため、降雨開始後30分程度で体積含水率が急激に変化している。巻込処理を行ったケースでは、上面50cmを被覆していることからその移動経路分の遅延効果があることが推察される。さらに、巻込深の違いを見ると土槽底面付近までの巻込処理では侵入水に対する遅延効果が大きく見られる。しかしながら、約2時間経過した時点(累積雨量100mm超)で底面および中央位置の土壌水分計のいずれも大きく反応している。したがって、短期の少降雨であれば巻込による侵入の防止効果はあるが、累積雨量が多くなると遅延効果はあるものの吹付背面に雨水が侵入することが推察される。

### (3) 背面の土砂化・空洞化に対する考察

実験結果を踏まえると、長雨等の累積雨量が比較的多い場合は吹付のり面上部の斜面に浸透した雨水が肩部から吹付背面に回り込み、それが地山の風化・空洞化の要因の1つになっているものと考えられる。また、吹付のり面の横断面の基本形状は図3に示すように大きく3つのパターンが想定され、横断面の形状によって雨水の移動・侵入状況が異なり、それにより土砂化や空洞化の発生位置や進行の程度も異なるものと推察される。

(a)の単純な凸型は比較的小規模のり面で多く見られ、吹付背後の斜面に降った雨水は、地山境界面に沿って表土層中を側方に流れるため吹付背面への侵入はほとんど無いと考えられる。(b)の比較的幅のある饅頭型は、小丘陵地を切土した場合などに見られ、この場合は吹付背後斜面に降った雨水は吹付背面にも若干流入しながら地山境界面に沿って表土層中を側方に流れ、端部で下方に流下することが想定される。その結果、状況によって吹付端部で土砂化・空洞化が顕著になり、状況によっては端部ほどではないが他の部分でも面的に背面の密着性が低下し空洞化が生じることも考えられる。(c)の小溪流等(微地形含む)をまたぐ凹型は、主に連続する山間

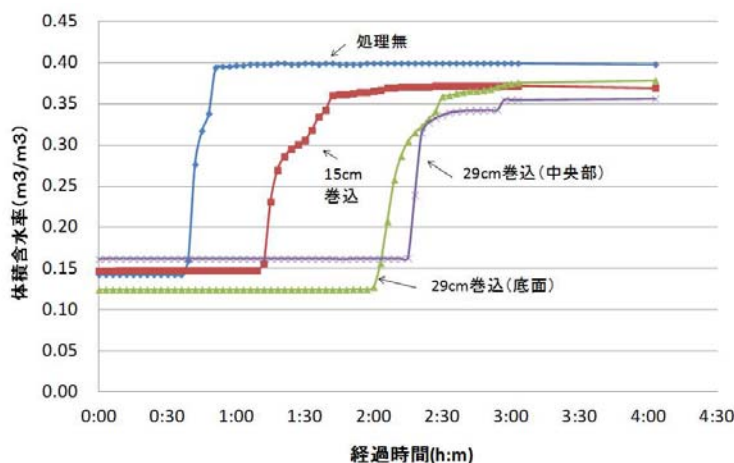


図2 体積含水率の経時変化



※矢印の大小や太さで量の大小をイメージ。

破線囲み部分が土砂化・空洞化の起こりやすい部分

図3 吹付のり面形状と吹付背面の地山境界部の水の流れと被災パターン

部の斜面を切土したのり面で多く見られ、この場合は吹付工の上方斜面に降った雨水は吹付背面にも若干流入しながら元の小溪流等の窪んだ部分に集水され、そこから下方に侵入することが想定される。その結果、状況によって溪流部の下方に位置する部分で土砂化・空洞化が顕著になり、抜落ちもこれが主な要因と考えられる。また、(b)と同様に他の部分でも面的に背面の密着性が低下し空洞化が生じることも考えられる。この3つはあくまで基本的な形状あり、実際には地形や切土条件によってこれらの3つが複合しているので、留意が必要である。上

記の観点から、新設時の対応、既設の維持管理時の対応について考えることとする。新設の場合には、吹付面における表土層と地山の境界の形状を考慮して、地山境界位置での侵入水の集・排水工を検討することが必要と考える。ただし、背後の集水域が小さいのり面では侵入水の影響も小さく、背後の集水域が比較的大きいのり面では侵入水の影響も大きいと考えられ、背後斜面の集水条件を考慮して対応の要否を検討する必要があると考える。一方、既設の場合は、背面の空洞化の範囲を推定する調査法として、一般に熱赤外線とコア抜きによる方法が用いられるが、熱赤外線はある程度空洞化が進行している必要があり、すべての吹付工を定期的実施することは非効率的である。またコア抜き自体も、熱赤外線の結果を踏まえて行っており、合理化を図ることが必要である。

このため、地山形状と水の移動経路を考慮して既設の排水孔を活用した湧水や土砂の流出状況の確認、可能であれば排水孔内にピンポール等を挿入して空洞の状況や貫入状況から空洞や土砂化している深さの確認等の土砂化・空洞化に関する定期点検を行い、土砂化・空洞化の進行状況に応じて熱赤外線による面的調査を行う箇所を効率的に選定することが考えられる。

土砂化・空洞化の起こりやすさは地質のちがいはによるが、極めて短時間で進行するものではない。昨年度の宮崎での点検結果をもとにした吹付工の劣化曲線および補修実態の結果ではおよそ10年程度で吹付工に何らかの変状が生じ、早いものでは施工後5年程度で補修等が行われている。点検頻度に関しては、この結果を考慮すると通常は排水孔からの湧水や土砂の流出状況を確認する程度で、排水孔内の土砂化・空洞化の調査は5年に1回程度を目安とし、5年ごとの点検結果を踏まえて土砂化・空洞化の進行が顕著な斜面においては点検頻度を変えることで、変状の早期発見と維持管理の効率化が図れるものとする。

比較的初期の軽微な段階では、新設と同様の観点で排水孔を追加することが考えられ、ある程度土砂化・空洞化や進行している段階では、補強工や充填工等の補強対策工を行う等の段階的な対応も可能と考える。

対応の判断にあたっては、ひび割れ

の位置・範囲、土砂化・空洞化深さと、吹付工のアンカーピンの入っている位置、深さを考慮して、想定される変状（吹付工自体の滑動、部分崩落等）を踏まえて検討する必要がある。

## 2.2 ひび割れからの侵入水に関する模型実験

### (1) 実験概要

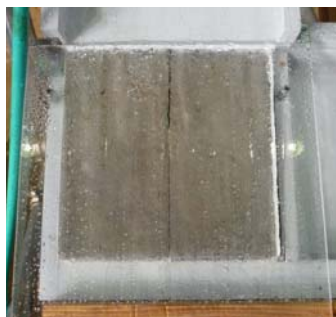
ここでの実験は、吹付工の背面の地山が土砂化・空洞化することで吹付工と地山の密着性が失われた状態を想定して、吹付工の勾配、ひび割れ幅およびひび割れの向きの違いによる、降雨時の雨水の侵入状況を把握することを目的としたものである。実験模型の状況を写真3に、実験ケースを表1に示す。実験模型は、市販のコンクリート平板（縦30cm×横30cm×厚6cm）を半分にカットしたものを水に浸漬して十分に吸水させた後に、突き合わせて開口幅をクラックゲージで確認しながら0.25mm、0.5mm、1mm、2mmの4段階で調整して架台に設置し、ひび割れ部以外から水が集水されないように止水を行い、背面に浸透してきた雨水を集水している。また、上部からの流入を考える際には、ひび割れ上部の集水面積を統一するため鉛直ひび割れ上部にはコンクリート平板と同じ面積の集水平板を、水平ひび割れ上部にはコンクリート平板の1/2の面積の集水平板を設置し、ひび割れ位



(a) 実験状況（鉛直ひび割れ）



(b) ひび割れ背面での集水



(c) 鉛直ひび割れのケース



(d) 水平ひび割れのケース

写真3 実験状況

表1 実験ケース一覧

実験方法		ガイド付き降雨(横方向:ガイド+平板半分、縦方向:ガイドのみ)								コンクリート平板直接降雨							
降雨量 (mm/h)		40								80		40		80		120	
亀裂幅 (mm)		0.25		0.5		1.0		2.0		0.25		0.25		0.25			
方向		水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直	水平	鉛直		
勾配 (度)	0	○	●	○	●	○	●	○	×	○	●	●	●	×	○	×	
	30	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	○	×	
	50	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	○	×	
	70	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×	○	×	

● : 水平ひび割れの勾配0度と同じ値となる

× : 影響が小さいため今回の実験では行っていないが、場合によっては今後実施

置に到達するまで側部に流出しないようにガイドを設け、さらにひび割れ部に雨水があたらない様にアクリル板で保護している。実験は、傾斜角を 0、30、50 (軟岩相当の勾配)、70 (硬岩相当の勾配) 度に変化させ、架台上方に散水装置を設置し、集水範囲となる部分の中心位置(鉛直ひび割れ:集水平板の中心、水平ひび割れ:コンクリート平板と集水平板の境界線中心)での計測値で時間雨量 40mm 相当の降雨を 1 時間与えて 5 分ごとに計 12 回上部からのひび割れへの雨水の流入状況を調べた。ただし、勾配0度に関しては、集水平板およびガイド無しでコンクリート平板全面に降雨があたるようにしている。また、ひび割れ幅 0.25mm については、水平ひび割れで時間雨量 80mm を与えた場合、集水平板およびガイド無しでコンクリート平板面に直接時間雨量 40mm、80mm、120mm を与え降雨強度の影響についても確認した。

(2) 実験結果

まず始めに、予備的な実験として乾燥した状態でのコンクリート平板でひび割れ幅 0.25mm、勾配 0 度の条件で時間雨量 80mm の降雨を与えた際の、1 分ごとの排水量の変化を確認した結果を図 4 に示す。降雨開始 2 分後には排水を確認したが、コンクリート平板自体が吸水しているため少ないものと考えられるが、およそ 5 分経過した当たりで排水量が一定となっているのがわかる。極めて少ない降雨であれば、コンクリート表面の吸水でとどまり背面への侵入はないと考えられるが、比較的まとまった雨になると、背面への流入が起こるものと考えられる。本実験では吸水させた平板を用いてはいるが、排水の安定を考慮して最初の 10 分の 2 回分の排水量は除外し、10

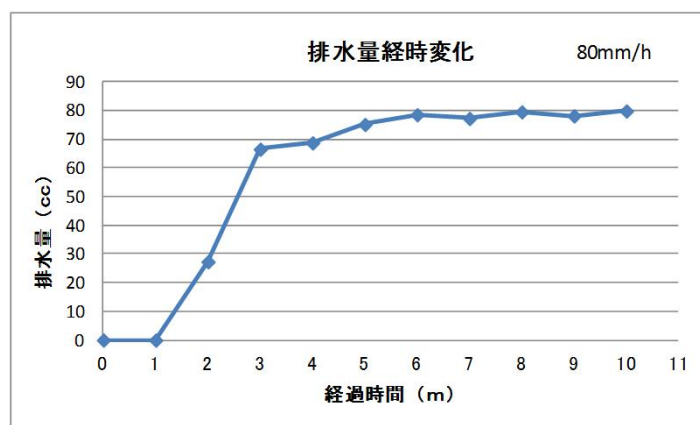


図4 乾燥平板での実験結果 (0.25mm、傾斜0度)

分経過後からの計測データ 10 回を用いて整理を行うこととした。図 5 にひび割れの向きおよび幅、勾配を変化させた際の、排水量の変化を整理した結果を示す。この結果は、ひび割れへの上部からの流入を想定したものであるが、鉛直ひび割れに関しては、ほとんど流入は無いことがわかる。また、水平ひび割れに関してみると、亀裂幅、降雨強度による流入量の違いについて、明確な差異は見られず、ほぼ勾配に依存していることが伺える。30 度勾配で、5 分当たり平均すると 315cc 程度、50 度勾配で 230cc 程度、70 度勾配で 100cc 程度である。ここで、集水部分同一面積であるため、勾配を付けた場合の鉛直投影面積が異なることから時間当たりの総集水量が異なり、そのため、30 度勾配を 1 とした場合の鉛直投影面積比率で補正をすると、50 度勾配は鉛直投影面積比率から 1.35 倍すると約 310cc、70 度勾配は鉛直投影面積比率から 2.53 倍すると約 250cc となる。30cm×30cm の集水面を水平にした場合、時間雨量 40mm の降雨を与えると、1 時間当たり 3600cc、すなわち 5 分当たり 300cc の雨量と

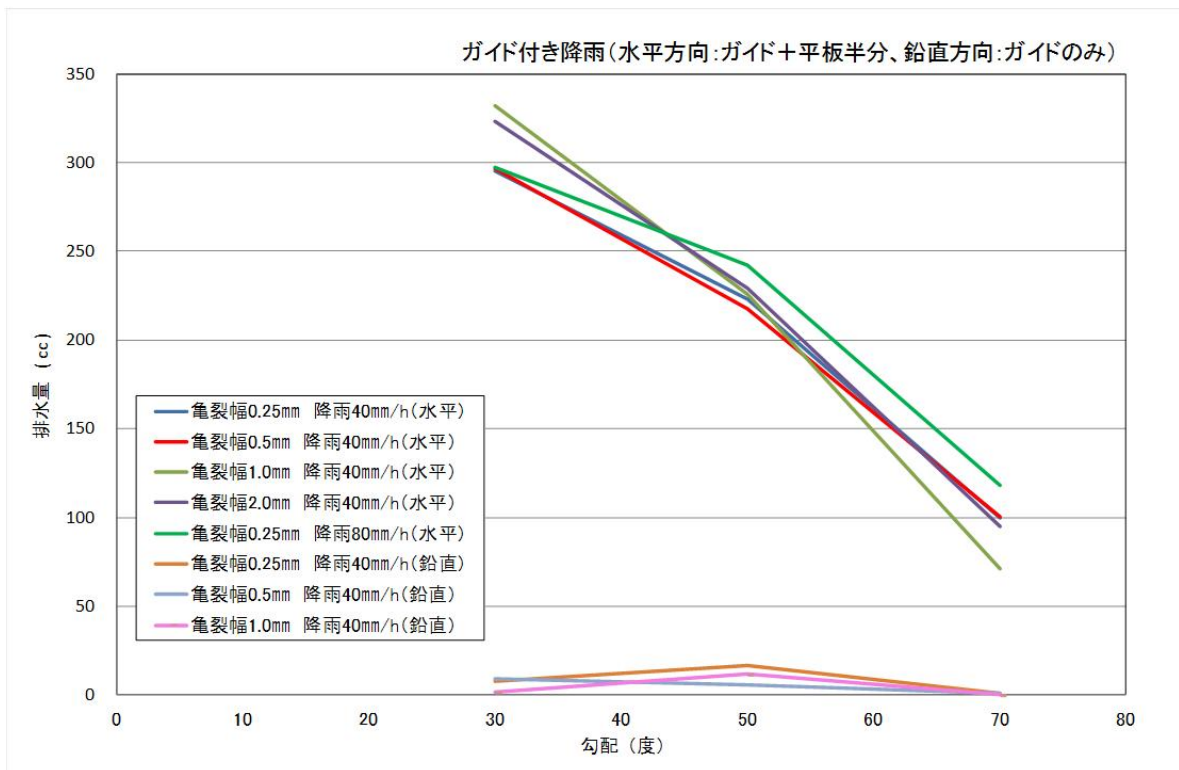


図5 ひび割れ上部からの流入を想定した場合の勾配と排水量の関係

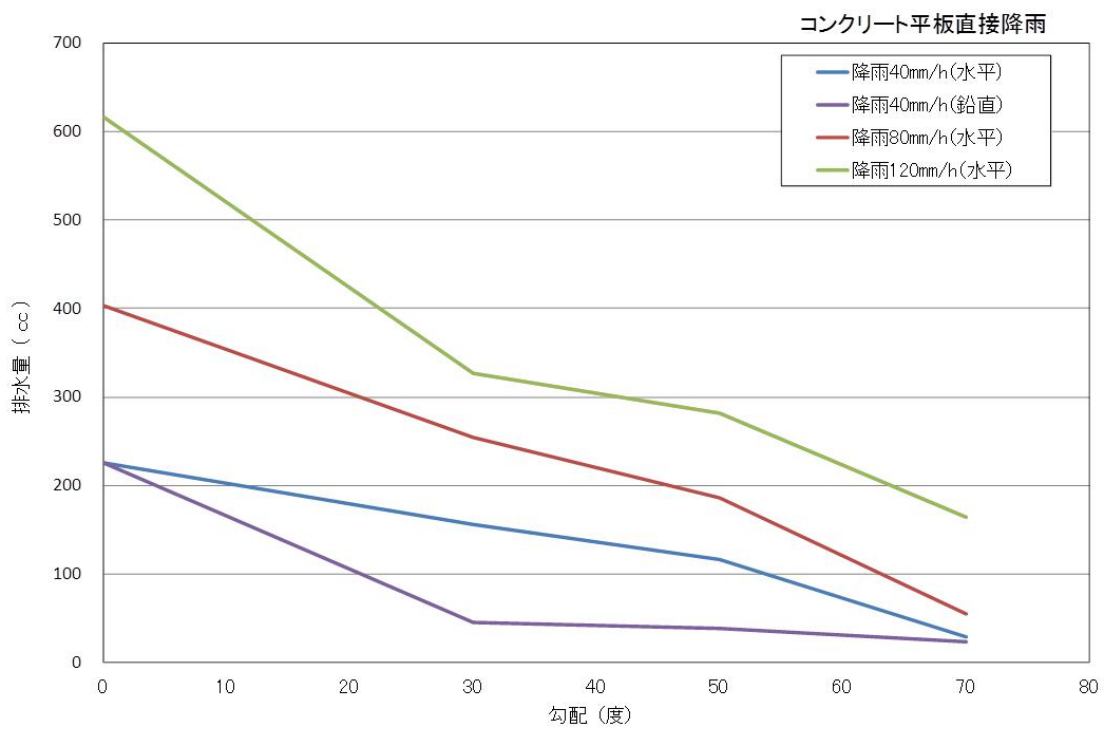


図6 コンクリート平板に直接降雨を与えた場合の勾配と排水量の関係

なる。流入量の計測値が計算値より若干大きくなっているが、雨量強度に多少の誤差があるためと考えられる。勾配が大きくなると流下速度が増してひび割れ上面を流下する量が増加して、ひび割れからの流入量が減少することが想像されるが、この実験では勾配の影響は50度より大きくなると、降った雨のほとんどが流入する結果となっている。

次に、図6にコンクリート平板面に直接降雨を与えた場合の結果を示す。この実験は降雨の中心がひび割れ中心になり、水平ひび割れの場合には、集水面積が上記実験の半分となる。鉛直ひび割れに関しては、ひび割れ周辺からの流入も若干はあるが、さほど大きなものではない。一方、水平ひび割れに関してみると、勾配の変化に関して上記の結果と同様の傾向を示しているが、雨量強度に比例して流入量が増加していることが確認された。前述の実験では、30度勾配で時間雨量80mmの結果が、他の結果と傾向から見ると小さい値となっており、水道を利用した簡易降雨装置を用いていることから水道の水圧変動の影響を受けて実験中の降雨強度が小さくなった可能性があり、この実験での傾向が正しいものとする。また、流入量も前述の実験の半分程度となっており、ひび割れ上部の集水面積に比例して流入量も大きくなると考えられ、複数のひび割れがある場合はその間隔から集水面積を求めることで、流入量の推定が可能と考える。

### (3) ひび割れへの対応に関する考察

実験結果を踏まえると、縦方向のクラックに関しては、沢筋の凹部の底のような集水位置になれば、雨水が侵入することはほとんどないと考えられ、施工直後の背面地山が健全な状態からも含めて目地部からの流入に関しても問題はないものと考えられる。一方、水平方向に入ったクラックに関しては、のり面から流下してくる水が侵入するため、背面が土砂化・空洞化が始まっている部分では、流入の影響はあるものと考えられる。

ここで、地山の滑りによるひび割れ以外で吹付工に水平クラックが入る主な状態は、背面からの土圧伴う外的応力が生じた場合、密着性が損なわれて自重により滑動して肩部の開口あるいは下部で挫屈する場合である。これらのケースは地山が土砂化や空洞化が生じた後の状態で生じるものであり、位置と進行状況を踏まえてひび割れの補修とともに補強等の対応を検討することが必要である。

一方、モルタル・コンクリートの施工直後に入る乾燥収縮クラックは、表面部分の水分が蒸散して乾燥して収縮しやすく内部にいくほど乾燥しにくくなり拘束されて

いることから、ひび割れ形状は狭小のV字型となる。吹付工は厚さが比較的薄い場合によっては地山面まで貫通する可能性も懸念されているが、吹付工の目的は岩の風化防止であり適切に施工されていれば吹付工が地山と密着していることから拘束されるため、その可能性は低いと考えられる。

仮に貫通した場合でも地山と密着していることから、微量の水が狭小のV字部分に溜まるものの実験のような水の流入が生じることはなく、ほとんどがのり面を流下することが容易に推察され、乾燥収縮クラックが背面の土砂化や空洞化に大きく関与するものではないと考える。このため、適切な施工が行われている場合、施工直後に水の侵入の観点から乾燥収縮によるひび割れの補修を行う必要はないと考える。ただし、夏季施工で施工中の養生を適切に行われないケース等の施工条件によっては、乾燥収縮も著しくなり亀甲状にひび割れが入ることがある。このような場合には、ひび割れ端部と地山との接触面が多くなるとともに早期で密着性が損なわれる可能性が高いため、ひび割れの補修を行うことが望ましい。

また、2.1で述べたように、湧水や肩部からの侵入水が長期的に作用し、土砂化や空洞化が進行すると土圧や自重の作用等で亀裂が進展して、状況によっては部分崩落することも考えられる。このため、ある程度の開口と伸長が見られるようになった場合には、背面の土砂化や空洞化が始まっている可能性もあるので、2.1(3)に述べたように排水孔の状況等の点検により状況を確認し、状況に応じて対応の検討をする必要がある。

### 3. まとめ

今年度は、吹付工の背面の土砂化・空洞化に関して、巻込処理の効果およびひび割れからの侵入水の影響に関する模型実験を行うとともに、実験結果を踏まえて維持管理を行う上での考え方を考察した。背面の土砂化・空洞化に関しては、発生位置等から地質的および地形的な素因によるものと考えられ、地形条件から発生しやすい位置を推定するとともに、既設の排水孔を用いた点検による手法による効率化が図れるものとする。これらの方法については、モデル路線での熱赤外線等による空洞調査結果とあわせて、提案手法の検証を進めていく予定である。

### 参考文献

- 1) (社)日本道路協会：道路土工一切土工・斜面安定工指針、平成21年6月

## RESEARCH ON THE ASSET MANAGEMENT FOR THE ROAD SLOPE DISASTER PREVENTION MEASURES (1)

**Budgeted** : Grants for operating expenses

General account

**Research Period** : FY2011-2015

**Research Team** : Geology and Geotechnical  
Engineering Research Group  
(Soil Mechanics and Dynamics)

**Author** : Tetsuya SASAKI

Shunji KATO

Shinichi KAJITORI

**Abstract** : In this study, it is examined the asset management for countermeasures on road slopes, such as inspection, evaluation of countermeasures effect, maintenance and etc. In 2014FY, for weathering of the ground on back of shotocreat, it was confirmed on influence of the invasion water from crazing of shotcreate, and effect of measures on the shoulderart of slope by model experiment.

**Key words** : asset management, road slopes, countermeasures