

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

【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 27 年度は、のり肩部からの雨水の侵入に対する排水対策に関する模型実験を実施するとともに、吹付工背面の土砂化・空洞化の定量的簡易調査方法として「貫入土壌硬度計測手法」を考案し、室内試験および現地フィールド試験を実施した。また、これまで実施してきた研究成果をとりまとめ、吹付のり面のアセットマネジメントにおける点検・評価および対策の考え方について整理した。

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。

国土交通省で開催された「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生じており、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 27 年度は、のり肩部からの雨水の侵入に対する排水対策に関する模型実験を実施するとともに、吹付工背面の土砂化・空洞化の定量的簡易調査方法として排水孔を活用した「貫入土壌硬度計測手法」を考案し、室内試験および現地フィールド試験を実施した。また、これまで実施してきた研究成果をとりまとめ、吹付のり面のアセットマネジメントにおける点検・評価および対策の考え方について整理した。

2. 吹付工背面の土砂化・空洞化に関する技術検討

2.1 のり肩排水対策に関する検討

(1) 吹付工における雨水等の水への対応の現状

吹付工の背面地山の風化による土砂化・空洞化を抑制するためには、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2)については必要に応じてひび割れ補修により外部からの対応が可能である。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」¹⁾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、背面からの侵入水に対しては昨年度に実施した簡易な模型実験により、累積雨量が多いと吹付工背面部に水が侵入することを確認している²⁾。したがって、吹付工の外周部にのり肩排水溝を設けたとしても上方の斜面で浸透し地山の表土層境界を流れる雨水への対応は困難である。このため、吹付工の肩部における侵入水に対する効果的な排水対策が必要である。

(2) 吹付工肩部の排水材の要件設定と試作

吹付工肩部の背面に排水材を設置する場合、吹付工の施工方法にも配慮することが必要である。吹付工は、構造上一体性を持たせるために一般にラス金網を敷設しており、ラス金網は吹付厚の中間に位置するように施工される。一般的な吹付厚は5~10 cmであり、ラス金網の内側に排水材を敷設することや肩部の巻込施工のためのラウンディング処理を行うことを踏まえて邪魔にならないようにしなければならない。このため、排水材の要件を以下の5つと考えた。

- ・必要な排水能力を有すること。
- ・耐久性があり地山の地形形状に合わせた敷設が可能ないようにフレキシブルな構造であること。
- ・排水の際の土砂の流出がない構造であること。
- ・排水材の径は数cm程度に抑えること。
- ・現地で安価かつ容易に準備・加工ができること。



写真1 巻込処理の施工状況の例

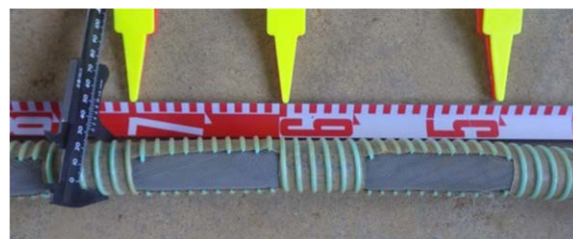





写真2 試作品の状況

そこで、排水材の構造を検討するため、容易かつ安価に調達できる市販の洗濯用排水ホース(内径28 mm、約400円/m)および網戸に用いる網(約500円/〈2m×1m2枚組〉)に着目して、実験に用いる排水材の試作を行った。写真2に試作品の状況を示す。排水ホースは5 cmピッチで幅10 cmで周長の1/4をカットして開口部を設け、網はホース内部で広がって密着した際に3層以上になるように巻いて挿入したものである。

(3) 実験概要

実験模型は、図1(a)に示すような吹付工肩部の背面に侵入する水を、吹付背面の地山と表土層の境界位置に排水材を設置して集・排水する方法を模擬したものである。

表1 比較実験に用いた市販の排水材の諸元

		排水材A	排水材B	排水材C
外観				
材質・形状		2/3周開孔コルゲート管	化学繊維カール構造	プラスチック製立体網目構造
規格寸法	外径(縦)	89 mm	70 mm	70 mm
	内径(横)	75 mm	70 mm	30 mm
	開孔率	1.2%	不明	80~97%

実験土槽は、図1 (b)に示すように長さ150cm、深さ40cm、奥行き100cmの内部を遮水塗装した木製箱型土槽を用いて、一般的な表土層をイメージして山砂（土粒子密度：2.689(g/cm³）、細粒分含有率：30%）を締め度85%で詰め、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ったものである。排水材は下端部に1%勾配で這わせ、排水材により排水された水を回収するため片側面の下端部に穴を開けて排水材の片端を外部に出している。また、下端部の底面および中央位置に土壤水分計を設置し、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、排水材からの排水量および下端部の含水状態の変化を計測した。また比較用として、のり面の湧水を排水する際に用いられる市販の排水材3種類（表1）を準備した。これらは溝切をして敷設するため径が比較的大きなものでかつ地山の凹凸に対する柔軟性が低いものである。なお、排水材BおよびCについては導水路部分がないことから、塩ビ管を半割したものを敷設して導水路を確保して実験を行った。写真3に模型実験状況を示す。

(4) 実験結果

表2に排水材毎の排水開始時間、排水開始から降雨停止時までの排水量、停止後1時間経過時および停止後2時間経過時の1時間排水量、それまでの全排水量を示す。また、図2に試作品および全排水量が最も多い排水材Cの土壤水分計の計測結果を示す。全排水量をみると、いずれの排水材も60リットル程度であり、また浸潤線の上昇に伴い反応する中段位置の飽和度の上昇傾向も類似しており、今回の降雨条件における排水能力はほぼ同等であるものと判断される。ここで、他の排水材は背面に回った水も集水可能な開孔となっているが、試作品は集水

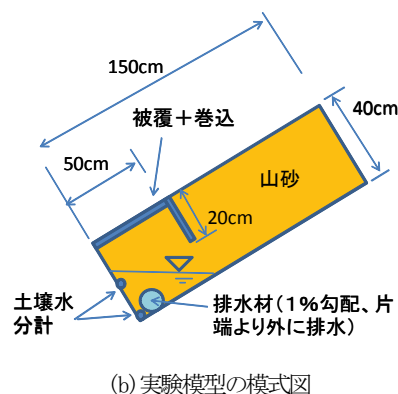
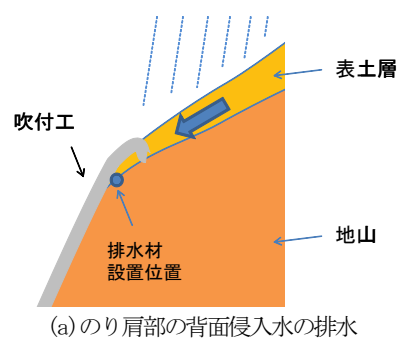


図1 実験イメージと模型の模式図



写真3 模型実験状況

するための開孔が一方に限定されており、排水条件が不利であるにもかかわらず同等量の排水が行われている。なお、実施工では、図1a)のように排水材の背面側は吹付モルタルで覆われるため、本実験で生じるような背面側からの集水は想定されない。

試作した排水材は、市販の湧水用の排水材と比較しても同等に排水でき、のり肩排水材の構造として適したものであることが確認できた。今回の実験は、構造と排水性について検討したものであり、用いた材料の耐久性に関する評価は行ってはいない。排水材の評価に当たっては、耐久性および排水能力の限界（適用限界）についても適切に評価する必要があり、これらについては今後の課題である。

2.2 吹付工背面の土砂化・空洞化の定量的簡易調査・評価手法の検討

(1) 吹付工背面の土砂化・空洞化の調査・評価の現状

のり面保護工の健全性評価においては、のり面保護工本体の評価のほか背面地盤の状態の評価も必要となる。このため、のり面保護工の適切な維持管理のためには、定期的な点検によりのり面保護工背面の地盤の状態を把握してその健全性を評価する必要があり、詳細な調査を行う必要性を判断するための簡易な調査・評価手法が求められる。現状の吹付工の一般的な点検・詳細調査(対応検討)の流れは次のとおりである。

①まず、目視および打音検査により変状の状況を確認し、ひび割れの状況（分布、位置、形状等）および打音による密着不良（モルタル・コンクリートの浮き・剥離も含む）と推察される範囲の推定を行う。

②①の結果から変状の要因を推定し、変状の要因に応じた詳細調査を実施し、対応の検討を行う。

ここで、吹付工の変状の要因としては、1)吹付工本体の劣化によるもの、2)背面地山との密着性の低下によるもの（土砂化・空洞化）、3)地山の滑り等地山自体の変状によるもの、の3つに大きく分類される。1)に関しては、吹付モルタル・コンクリートの浮き、剥離が対象であり、通常の見視および打音検査でほとんど評価が可能である。

表2 排水材毎の排水開始時間および排水量

排水材	試作品	排水材A	排水材B	排水材C	
排水開始時間(h:m:s)	1:41:37	2:10:34	1:56:58	1:48:20	
排水量 (リットル)	降雨停止時	37.264	33.672	33.754	35.598
	停止後1h	14.556	15.740	16.490	15.362
	停止後2h	7.392	8.952	9.976	9.298
	全排水量	59.212	58.364	60.220	60.258

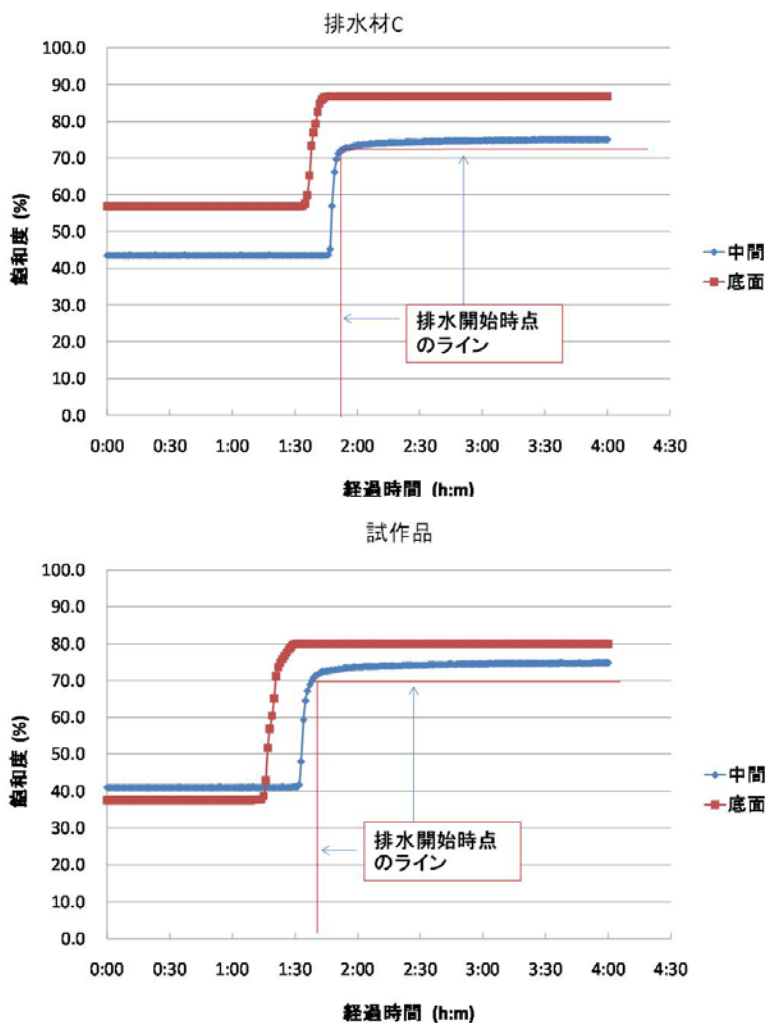


図2 土層下端面の飽和度の変化

また、3) に関しては、吹付工自体で対応できる変状ではないことから、ボーリング調査等の詳細な地盤調査を行い、地山の滑り等の評価を行い、適切な対応を行うことになる。

一方、2) に関しては、熱赤外線映像等により空洞分布を推定する間接的な調査手法が用いられるが定性的なものであり、空洞深を調べるためコア抜きを行い直接深度の計測を行って、補完している。これらにの手法についてはあくまでも空洞化に関する調査手法である。図3に

吹付工の構造と土砂化・空洞化の模式図を示す。一般にラス金網を固定し地山と一体化するためにアンカーピンが用いられており、一般に長さが40cmのもの20cmのものがあり、20cmのもの使用量が多い。吹付工背面の空洞化のみならず土砂化が進行してもアンカーピンを保持する耐力が低下するため、地山の勾配、強度、凹凸の状況、ひび割れの状況等の組合せによってアンカーピンが機能する限界は異なるが、吹付工の崩落（抜落ち）や滑動等が発生することになる。

例えば、吹付厚さが10cmの場合、長さ20cmのアンカーピンではラス金網を固定する頭部約5cm分を除いた約15cmが地山に打設されている。アンカーピンの機能限界に関して現状では明確な力学的な根拠はないが、吹付工の補修・補強等の対応を考慮し、図3中に示すように一つの目安として打設長の約1/2である7cm以上の土砂化・空洞化が進行している場合には、崩落（抜落ち）、滑動等の変状の危険性が高いものとするなど、背面地山の土砂化・空洞化に関しては何らかの管理値を設定する必要がある。

このため、土砂化も含めた簡易かつ定量的な調査手法が必要であり、以下に述べるようにその検討を行うこととした。

(2) 貫入土壌硬度計測手法の考案

新たな調査方法は、①目視点検および打音検査の際に合わせて実施できるように取り扱いが容易であること、②新たな機器開発の必要がなく既存品を活用して行えること、③水抜き排水孔の点検・清掃を兼ねて検査孔に水抜き排水孔を用いることを要件とした。これらの要件を踏まえ、図4に示すような市販の土壌硬度計とピンポールを組み合わせてごく浅層部の地盤の深度方向の土壌硬度を得ることにより、土砂化の状態を定量的に評価する方法を考案し、計測手法の検討を行った。図5に計測

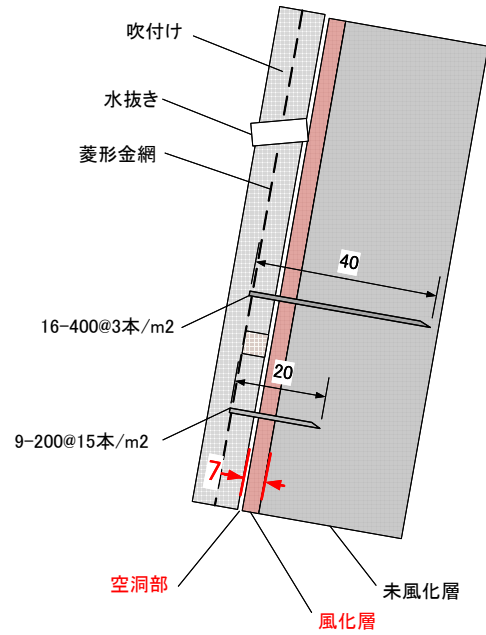


図3 吹付工の構造と土砂化・空洞化の模式図

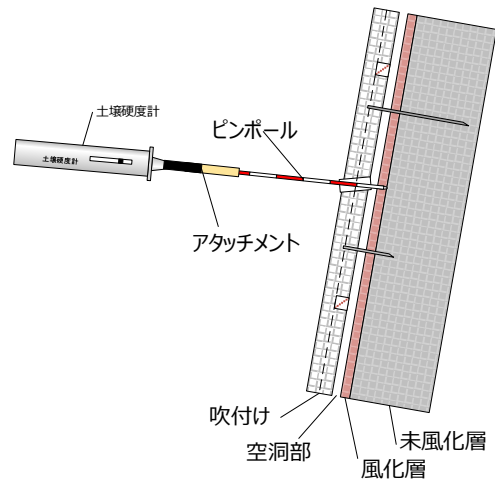


図4 水抜き排水孔における調査の概念図

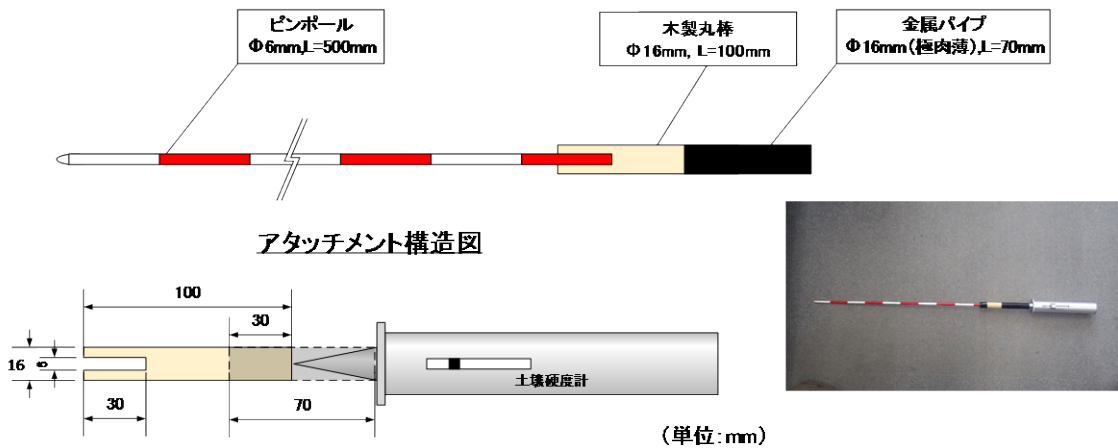


図5 計測機器の構造

機器の構造を示す。

(3) 室内試験による検討

1) モールド缶での貫入土壌硬度計測

山砂を用いて、φ5×10cmのモールド缶に締固め度82、85、87、90、93、95%で詰めた供試体を各3本作製し、中心位置で山中式土壌硬度計にて表面の土壌硬度を計測したのち、ピンポールを取り付けて同じ箇所でも表面から5cm、9cm位置での貫入土壌硬度の計測を行い、その平均値を整理した(写真4)。また参考として供試体の状態が良好なものを1本抽出して、側部から1cm付近で1cm毎にピンポールでの貫入土壌硬度の計測を行った。

図6に計測結果を示す。全体的な傾向としては、締固め度に比例して土壌硬度は大きくなり、深度方向の貫入土壌硬度の増加傾向も同様であることが確認できる。ここで、モールド中心位置(左図)での深度0は山中式土壌硬度計のみの値で、実験では先端部は2cm程度貫入していた。モールド側方の2cm位置でのピンポールによる貫入土壌硬度と比較すると大きめの値となっている。これは土壌硬度計の先端部が押し広げた範囲が、ピンポールよりも大きいうえ、直径5cmのモールド缶では表面の大半を土壌硬度計本体円盤部(直径3.8cm)で押さえつける拘束効果もあり、その影響で大きくなったと考えられる。また、締固め度が小さく地盤のゆるみを想定したものでは、深度方向での貫入土壌硬度の増加はあまり見られず、この計測手法により深度方向での地盤状態の評価が可能であると考えられる。

2) 小型土槽での貫入土壌硬度計測

幅60×奥行30×高さ30cmの小型土槽に、上記で用いた山砂を締固め度90%で詰めた供試体12個を作製し(写真5)、供試体中心部および各角から10cmの位置で、モールド缶の試験と同様に山中式土壌硬度計で計測したのち表面から5cm毎に貫入不能となるまでピンポールで貫入土壌硬度を計測した。図7に計測結果を示す。左の図は、各土槽の平均値とさらにその平均値を示したものである。モールド缶と比して側壁等による拘束効果の影響はかなり小さく、表面の土壌硬度計の値も15mm前後で、モールド側方の2cm付近の締固め度90%のピンポールによる貫入土壌硬度とほぼ等しい値であり、先端の形状は異なるがほぼ1:1の関係と考えてよいものと思われる。また、貫



写真4 モールド缶での貫入土壌硬度計測



写真5 小型土槽

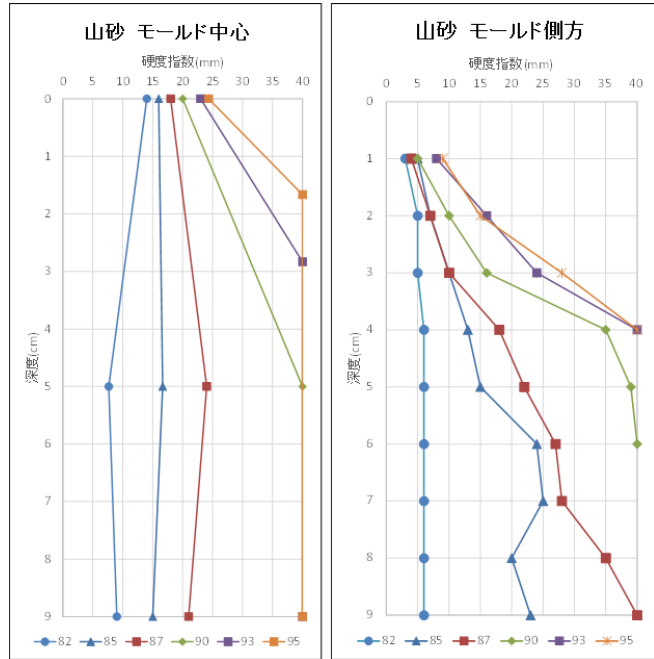


図6 モールド缶での計測結果

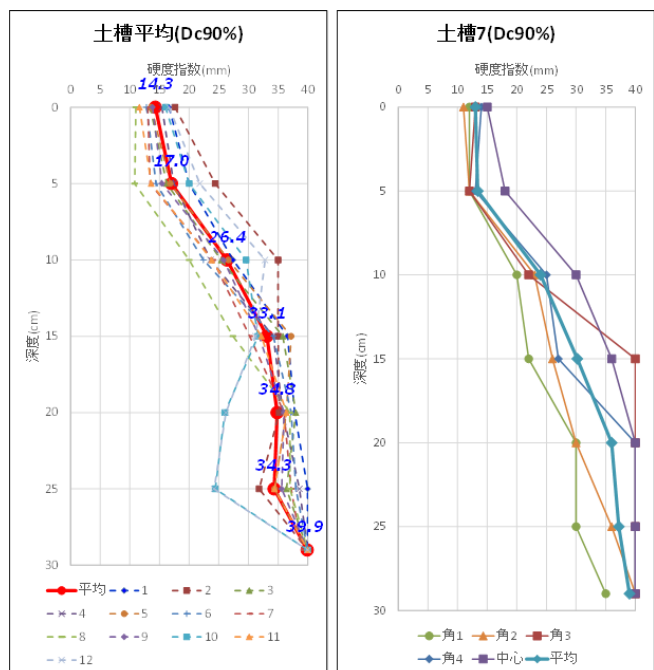


図7 小型土槽での計測結果

入土壌硬度の変化は、ばらつきはあるがモールド缶の締固め度 90%の結果よりも緩やかな一様の増加傾向がみられる。

右の図は土槽の計測結果の一例（左図の土槽 7。全体平均とほぼ一致）だが、いずれの供試体でも角部に比べ中心部が大きめの土壌硬度となり、構造物境界など締固めが難しい部分ではゆるくなる傾向も捉えているものと考えられる。

3) 判定の目安

これらの結果を踏まえて、判定の目安の貫入土壌硬度は、「道路土工一切土工・斜面安定工指針」¹⁾を参考に、植物の根が侵入できる土壌硬度を想定して 25mm 以下とし、それより小さい場合には風化（土砂化）やゆるみが生じており、より小さい値になるほどその程度が進行しているものと判定することとした。同指針では、切土のり面に植生する場合、27mm 以上であれば軟岩以上と判定して比較的亀裂が入った状態であれば植物の根が侵入できるものとし、それ以下の場合は土砂として土質（砂質土または粘性土）と土壌硬度 23mm 以上・以下に応じて植生方法の判定を行っている。また、盛土のり面で用いられる張芝工や植栽工等の目安としても、粘性土で 23mm 以下、砂質土で 27mm 以下とされており、25mm はこれらの平均値を採用したものである。

図 7 で見ると、貫入土壌硬度 25mm の深度が 10cm 前後に分布しており、試験条件は盛土の表層部の状態に類似しているものと考えられる。

(4) 吹付のり面におけるフィールド調査

1) 調査概要

フィールド調査は、宮崎県および（一社）全国特定法面保護協会の協力により、宮崎県内の道路のり面において実施した。写真 6 に調査箇所の全景、図 8 に位置図を示す。当該箇所は施工後 49 年経過している。また、平成 17 年に吹付けを一部撤去し、再度吹付けする補修を行っており、補修後 10 年が経過している（写真 6：のり面中央および左側）。写真 7 に調査状況を示す。

調査は次の①～③の手順で実施した。

- ①はじめに吹付のり面の水抜きパイプにピンポール（アタッチメント付）を挿入し水抜きパイプ長及び吹付と背面地盤との間に空洞の有無を確認し計測する。
- ②次にアタッチメントに山中式土壌硬度計（以降硬度計と略す）を取り付け、可能な限り調査面と直角となるようにピンポールを設置し、地山にゆっくりと



写真6 フィールド調査箇所全景



図8 調査箇所位置図



写真7 調査状況

貫入を行い、深度 5cm 毎の土壌硬度を記録する。

- ③土壌硬度が硬度計の上限値 40mm に達するかピンポールが計測可能な長さ 40cm に達した時点での土壌硬度を記録し計測を終了する。

2) 貫入調査結果

当該地における水抜き孔は計 352 箇所確認され、そのうち 104 箇所(30%) においてモルタルや植物による水抜き孔の閉塞により貫入調査ができない状況であった。以下、閉塞していない水抜き孔（以降有効孔とする）に着

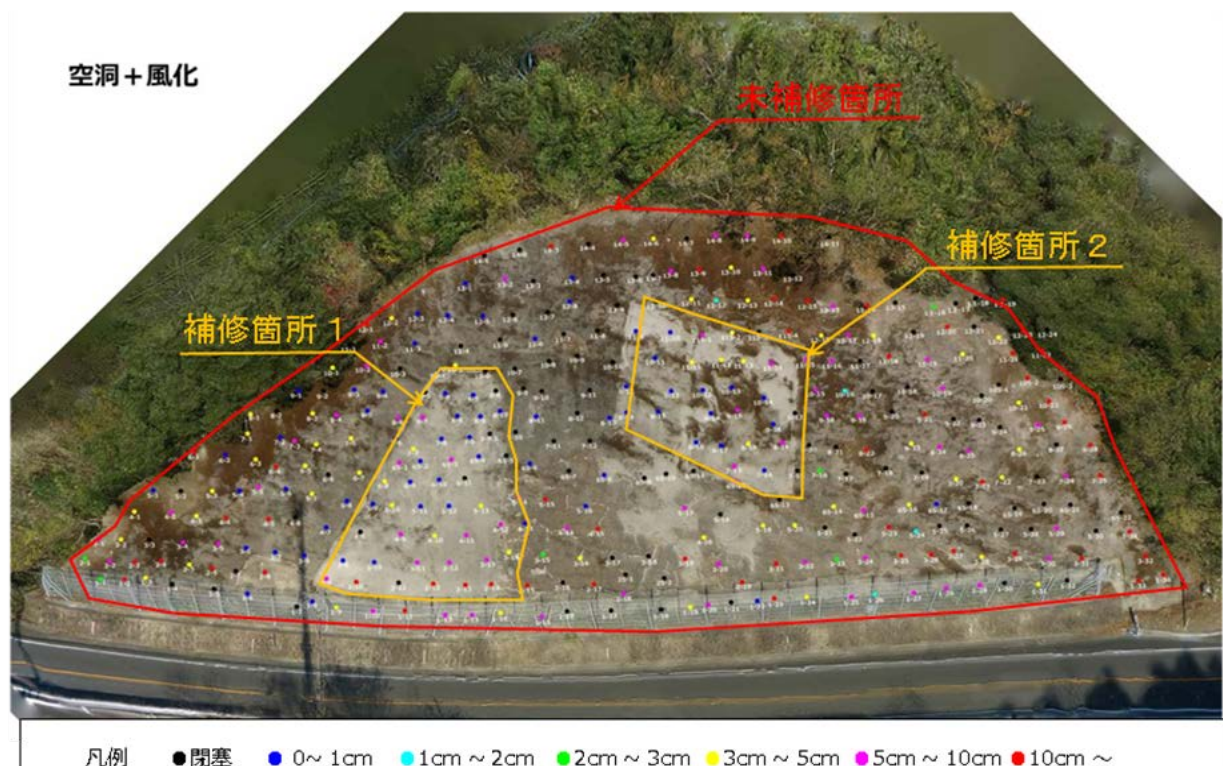


図9 調査箇所と空洞・風化の調査結果

目し、吹付背面の空洞や地山の風化吹付の補修履歴における傾向について整理した結果を示す。有効孔は全数の70%で計248箇所であった。また、風化の判定のしきい値は、前述のとおり土壌硬度25mm以下とした。なお、本計測方法は、機具の先端形状および人力かつ目視による貫入計測の性質から、貫入深さが1cm未満に対する計測精度を持ち合わせていないため、貫入深さが1cm未満の箇所については、未風化の地山であると評価することとした。

図9に水抜き排水孔の位置と空洞・風化調査結果を示す。また、図10に補修箇所について整理した結果、図11に未補修箇所について整理した結果を示す。

補修箇所において、空洞は44%で確認され、空洞深さ5~10cm以下で最も多く21%であった。風化は、風化深さ1~2cm以下が最も多く4%であった。空洞・風化を合算した深さは5~10cm以下で最も多く25%であった。

未補修箇所において、空洞は76%で確認され、空洞深さ2~3cm以下及び5~10cmで最も多く各々22%であった。風化は、風化深さ3~5cm以下で最も多く14%であった。空洞・風化を合算した深さは、5~10cm以下及び10cm~で最も多く各々27%であった。空洞化・土砂化の進行の経年変化についてみると、前述したように当該箇所は施工

後49年経過しており、平成17年に部分補修が行われ補修後10年が経過している。図12は、空洞・風化について経年毎の深さ別割合を再整理したものである。施工後の期間が短い場合は浅層において空洞及び風化の割合が高く比較的健全であると推察されるが、経年によりその割合が深い領域に移行している傾向が読み取れる。次に、背面地山の土砂化・空洞化をもとに劣化曲線について検討する。劣化曲線に関しては、地形の影響による水の侵入状況や地質条件の違い、のり面上方、下方、側方といった位置の影響もあるため、これらを踏まえた区域ごとに数か所の代表点において作成し、のり面内における劣化の進行傾向を把握するものとするが、ここでは、全体的な傾向を確認することを目的に、未補修箇所と補修箇所における排水孔の平均値を用いて図13に示すように整理した。補修後10年、施工後49年の空洞深さは、それぞれ2.4cm、4.1cm、風化深さではそれぞれ1.0cm、2.8cmとなった。地質的な特性や施工箇所によって数値の大小などはあるものの、経過年数と相関を持って増加していることが伺える。本調査では全数を調査した結果であるが、前述のように一般には吹付けのり面の地形等を考慮して、代表点を数箇所設定して、施工直後より定

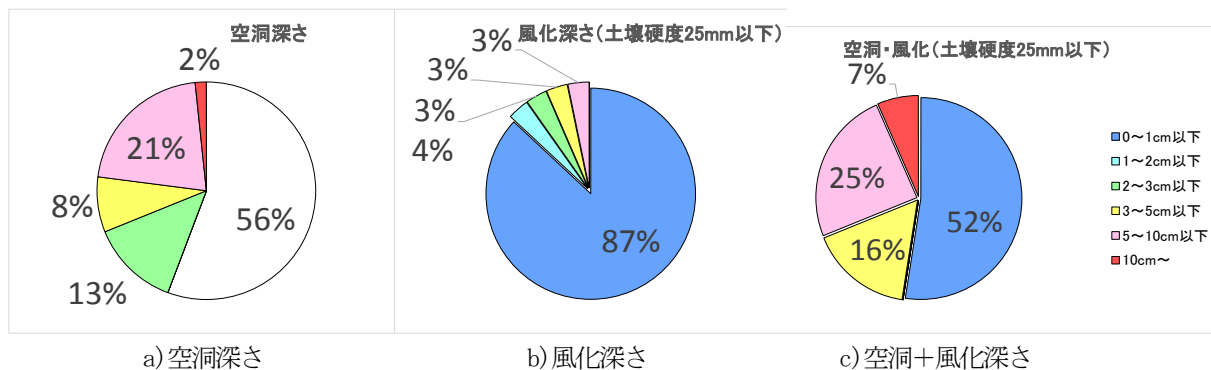


図10 補修箇所における調査結果

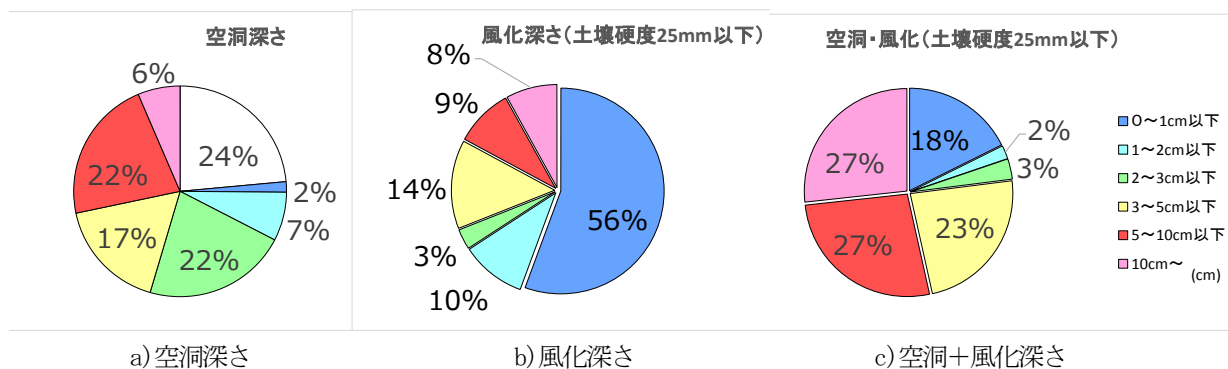


図11 未補修箇所における調査結果

期的に計測することで地山の劣化曲線の作成をすることが適当であると考え。

3) 熱赤外線画像との重ね合わせ

フィールド調査では、マルチコプターを利用して熱赤外線撮影及び三次元形状計測も実施しており、図14に可視画像及び熱赤外線撮影画像に水抜き孔の空洞・風化調査結果を重ね合わせた画像を示す。右側のエリアで空洞と風化深度が10cm以上となっている点が多く分布しており、その近傍でも大きな値となっている。熱赤外線の結果と、水抜き孔調査により空洞が確認された部分は概ね一致していることが読み取れる。前述のように定期的な貫入計測により劣化傾向を概略を把握し、状況に応じて熱赤外線によりその分布を把握することで、点検および健全度評価の効率化が図れるものとする。

4) 吹付けの構造と健全性

吹付け厚さを10cmとした場合、一般に打設数の多い短尺アンカーピン（長さ20cm）では頭部5cmを吹付けとの付着に、残り15cmを地山に挿入している構造となる。許容される空洞・風化

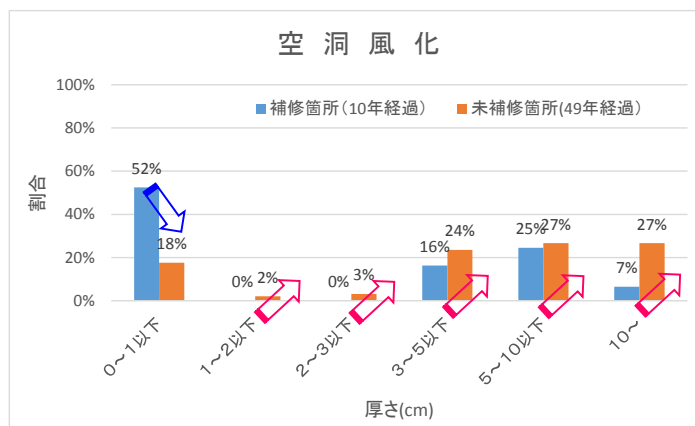


図12 補修箇所・未補修箇所の空洞・風化深の比較



図13 補修箇所・未補修箇所の空洞・風化の平均深度

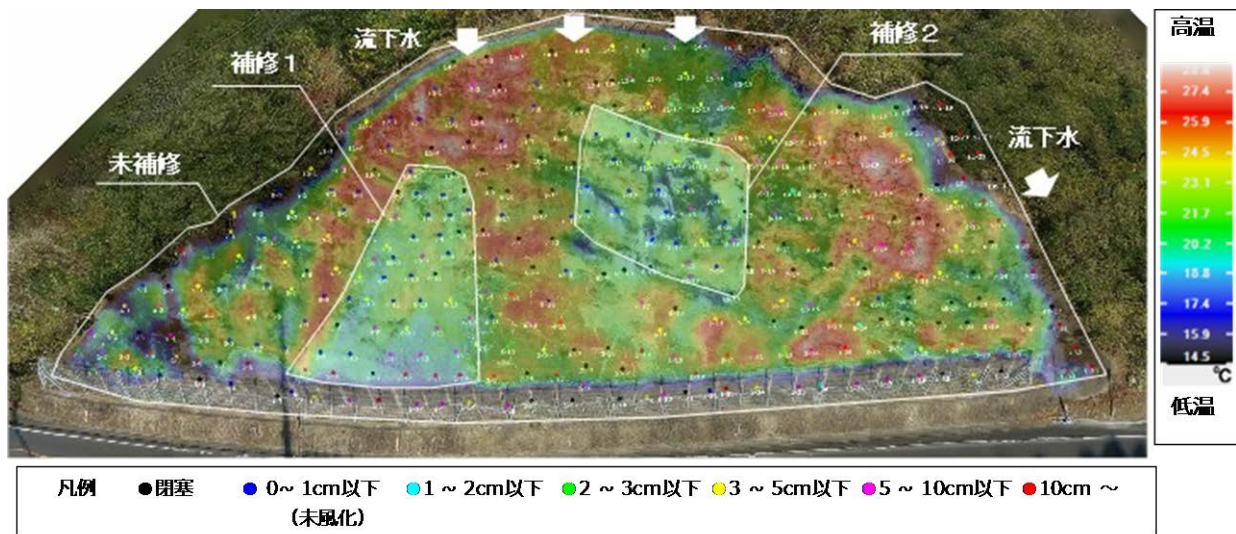


図14 熱赤外線映像と空洞・風化深の重ね合わせ

深さは吹付けの勾配や形状等によるものであるが、ここでは5cmと仮定し、前項の図12の未補修箇所(49年経過)の空洞・風化を見ると全体の54%が5cmよりも大きな空洞・風化となっている。すなわち、短尺アンカーピンに限って考えれば約半数が機能していない可能性が推察できる。補修箇所については約10年が経過しているが、水抜き孔の調査結果によれば50%以上が概ね密着し、図12では空洞・風化のうち5cmよりも深い割合は30%程度となっている。これは、徐々に土砂化・空洞化が進行しているものと推察される。

5) 全体評価

図14より、のり肩側方部では熱赤外線で温度差が少ない箇所においても空洞化が著しい箇所がみられる。これは、のり側方部の巻き込み処理が良好でない部分で、土砂化・空洞化が吹付上方から段階的に進行しているものと考えられ、健全性の確認のためには水抜き孔における貫入調査が必要と考えられる。側方の流下水は流入により浸食及び風化の要因となるため、吸出防止処理や排水処理などが必要であると考えられる。

当該地の地質構造は砂岩泥岩の互層で、特に泥岩層がスレーキングし泥濘化する傾向にある。補修箇所においても一部空洞・風化が進行しているところが見られるが、補修後ののり面形状から推察すると、補修にあたり部分補修であることから地山を大きく掘削してのり面形状を大きく改変することができないため、地山のごく表面の清掃を行う程度で再吹付が行われたものと思われる。こ

のため、弱層である泥岩部の風化・土砂化については補修により水の侵入が緩和されたが、少なくとも39年経過時まで進行した風化・土砂化した部分が残っていたものと推察される。

このような場所では閉塞箇所においても、同様に風化・土砂化が著しい状態となっている可能性がある。補修に関しては、一様な地質構造であれば一様な補修も適用可能であるが、当該地のように砂岩泥岩が層状となった地層状態の箇所においては、可能な限り風化部分を除去するとともに排水材を風化しやすい泥岩の走向傾斜に沿って配置し、速やかに水抜きパイプ等から吹付け表面に排出するなど、地質構造に配慮した排水対策も含めた補修が必要であると考えられる。

3. 吹付工のアセットマネジメントの考え方

(1) 劣化・損傷・補修・補強の定義

アセットマネジメントの考え方を導入する場合、ライフサイクルコスト(LCC)を考慮する必要があるが、のり面・斜面对策においては、上記の観点から地山の経年変化や調査の不確実性による地山の変状を踏まえて、実務におけるのり面・斜面对策のマネジメントフローおよびLCC評価の考え方を整理する必要がある。整理に先立ち「劣化」、「損傷」、「補修」、「補強」の用語について、ここでは以下のように定義することとした。

○劣化：地山の変状以外の自然作用による経年的な耐久性の低下等の性状の変化に伴う、のり面・斜面对策工の機能低下。

○損傷:地山の変状による性状の変化に伴う、
のり面・斜面对策工の機能低下。

○補修:低下した機能を、おなじ構造体のま
まで機能を修復すること。

○補強:低下した機能を、新しい構造体を付
加して複合構造として機能を修復す
ること。

(2) アセットマネジメントフロー

のり面保護工・斜面安定工は、地盤調査結
果を踏まえて想定される地山の変状(災害)
に対して計画されており、のり面保護工・斜
面安定工が健全に機能している場合は地山の
変状は発生しないことが基本である。しかし
ながら、地盤の不均質性に伴う地盤調査の不
確実性があるため、設計当初では想定してい
ない変状が発生することがあり、追加対策を
行うことが多い。「道路土工一切土工・斜
面安定工指針」(日本道路協会)におい
ても、のり面・斜面安定工の基本方針のな
かで、「維持管理の段階でも弱点を見つけて
対応し、地盤の不均質性や風化等による経
年変化等の不確実性に段階的に対応して
設計で想定した性能を確保するように努め
る」ことが記述されている。このように、
のり面保護工・斜面安定工の維持管理にお
いては、構造物の経年劣化に対する維持補
修と合わせて、地山の滑り等に対する防災
の観点からも対応が必要である。

日本の国土の約7割が山地部で、生活圏
には非常に多くののり面保護工・斜面安
定工が構築されている。のり面保護工・
斜面安定工は防災の観点から設けられて
いるものであることから、のり面保護工・
斜面安定工の基本は地山の滑り等に対
する防災の観点から「のり面保護工・斜
面安定工や地山がどのような状態にある
かを把握(ハザード評価)し、それが社会
的にどのような影響を持つかを評価(リ
スク評価)し、その影響(リスク)を解
消する上で、災害に至る可能性や規模を
踏まえて適切な対応策を組み合わせ、投
じた予算による社会的影響(リスク)の
低減効果(投資効果)が最大となるよう
、緊急性や効率性の観点から検討し対
応を行うこと」が求められる。

そして、構築されたのり面保護工・斜
面安定工には、設計で想定している性能
・機能を確保するために、「ライフサイ
クルを通じて対象の劣化状況を踏まえて
効率的な補修・補強・更新となるよう
な管理を行っていくこと」が求められる。
したがって、様々な工種・工法がある
なかでそれぞれの特徴と現地条件等を
勘案し、イニシャル

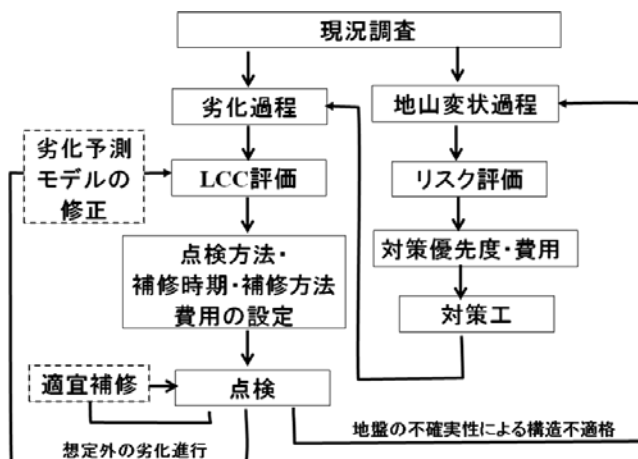


図15 のり面保護工・斜面安定工のアセットマネジメントフロー

コストのみではなく長期的な維持管理における効率性、
すなわちライフサイクルコストを踏まえて効率となる
ように工種・工法の選定が必要である。実務においては、
構築されたのり面保護工・斜面安定工について、健全な
状態から劣化過程を通じて「補修時期」や想定される「補
修方法」による「健全度の回復の程度」、「更新時期と方
法および程度」、「トータルでの経済性」を総合的に検討
した上で、予防保全の観点から対応方針を設定して管理
を進めていくことが求められる。

図15に上記の内容をフローとして整理したものを示
す。

(3) 吹付工の劣化

現状の維持管理においては、斜面の滑動に伴う変状と
のり面保護工・斜面安定工自体の劣化による変状を分離
して考えてはいない。吹付工のアセットマネジメントを
考える上で、図15に示したのフローの右側の構造上の
不適格に当たる「本来設計で想定していない外力による
変状(損傷)」と、「吹付工自体の劣化」について定義す
る必要がある。

吹付工の役割は、切土のり面の岩の風化・侵食防止で
あり、地山の滑動を抑制することは本来の目的ではない
ため、地山の滑動に起因する変状は、損傷に分類される。
一方、地山の経年変化による風化・侵食に伴う吹付工背
面の空洞化による変状は、吹付工に新たな外力として作
用するものではなく、吹付けモルタル(コンクリート)
の自重や温度変化に伴う膨張収縮等によるクラックの発
生や崩落であると考えられる。土砂化により部分的に土
圧が作用して抜け落ちることもあるが、土砂化について
は空洞化の過程で生じるものでアンカーピンの機能低下
の要因であることから、吹付工自体の劣化の範疇で扱

うものとする。このことを踏まえて、吹付工の劣化の要因（作用）と（劣化により生じる）変状を整理すると表3のようなものが考えられる。表からも分かるように、吹付工の背面地山の風化に伴う土砂化・空洞化は、吹付工自体の崩落につながるものであり、吹付工の維持管理上最も注意すべき点であるといえる。

(4) 劣化曲線と点検の位置づけ

図16に、平成17年に宮崎河川国道事務所で検討した吹付工の劣化曲線の例を示す。宮崎河川国道管内の地質は大きく日南層群と宮崎層群とに大別され、吹付工の健全度を5つに分類し（詳細は割愛する）、個々の吹付工の過去の点検結果から、次の健全度ランクに移行するまでの経過年数を平均しプロットして、地質という素因をベースに統計的に整理したものである。

図17は宮崎河川国道事務所の管轄を示したものであるが、国道10号線は宮崎県の中北部の海岸線および宮崎市と都城市を結ぶ県南内陸部を通る路線で、国道220号は宮崎研南部の海岸線を通り鹿児島県につながる道路である。国道10号線の海岸線部は平地を通りり面は少ないが、国道10号線の内陸部および国道220号線は山間部あるいは山際を通り斜面と隣接しており、り面吹付工が比較的多く施工されている。また所在する地域も県南の内陸部および海岸線の近接部と異なり、劣化傾向を比較するのに適しているものと考えられる。地質分類では国道10号線は日南層群が主体、国道220号線は宮崎層群が主体で、図16で示した劣化曲線では12年程度経過すると何らかの変状の進行が早まる傾向があり、若干ではあるが宮崎層群に位置するり面の方が早い。

表4は、図16の作成に用いられた吹付工について、施工後から最初の補修あるいは補強対策を行うまでの経過年数を整理したものである。左側が国道10号線、右側が国道220号線のもので、上段は各路線にあるり面吹付工の施工時期と現時点の防災点検の評価結果を、中段はそれらの内で施工後に補修があった箇所数を、下段はそれらの施工後から最初の補修までの経過年数をまとめたものである。全箇所を見ると、施工時期のほとんどが昭和40年代に施工されたものである。また、これらのうちで補修を行った履歴があるものの件数を見ると、内陸部の国道10号線では3箇所（約1割）に対し、沿岸部の国道220号線では22箇所（約5割）で補修・補強履歴がある。さらに、施工後からの経過年数を見ると、国道10号線の3件は20年以上経過しているのに対し、国道220号線では15件が20年以下でさらに10年以下も6件と比較的短期間で多くの箇所補修・補強が必要

表3 吹付工の劣化要因と主な変状

要因	変状
凍結融解	はく離
乾・湿繰り返し	はく離
温度膨張・収縮	亀裂
中性化	ラス腐食
塩害	ラス腐食
背面地山の風化・空洞化	亀裂・崩落

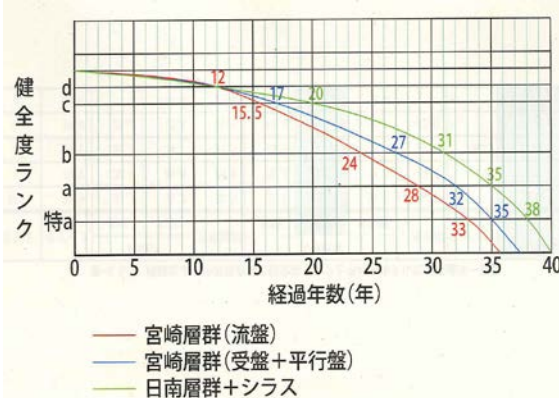


図16 吹付けのり面工の劣化曲線の例
(宮崎河川国道事務所提供資料より)



図17 国道10号線および国道220号線の位置
(宮崎河川国道HPより)

表4 国道10号および国道220号のり面吹付工の補修・補強状況

●国道10号線						●国道220号線					
<施工時期と防災点検結果>						<施工時期と防災点検結果>					
施工年	全数	要対策	カルテ	対策不要	対象外	施工年	全数	要対策	カルテ	対策不要	対象外
S-S44	11		3	7	1	S-S44	16	3	8	3	2
S45-49	6	1	3	2		S45-49	27	4	12	4	7
S50-54	0					S50-54	0				
S55-59	8			8		S55-59	2			1	1
S60-H1	1		1			S60-H1	0				
H2-H6	0					H2-H6	2	1	1		
H7-H11	0					H7-H11	1	1			
計	26	1	7	17	1	計	48	9	21	8	10
<補修・補強履歴のあったもの>						<補修・補強履歴のあったもの>					
施工年	全数	要対策	カルテ	対策不要	対象外	施工年	全数	要対策	カルテ	対策不要	対象外
S-S44	1			1		S-S44	10	2	5	2	1
S45-49	1	1				S45-49	12	2	6	2	2
S50-54						S50-54					
S55-59	1			1		S55-59					
S60-H1						S60-H1					
H2-H6						H2-H6					
H7-H11						H7-H11					
計	3	1		2		計	22	4	11	4	3
<施工後から最初の補修・補強までの経過年数>						<施工後から最初の補修・補強までの経過年数>					
補修・補強年数	国道10号	要対策	カルテ	対策不要	対象外	補修・補強年数	国道220号	要対策	カルテ	対策不要	対象外
1-5年						1-5年					
6-10年						6-10年	6	2	4		
11-15年						11-15年	4		2	2	
16-20年						16-20年	5		2	1	2
21-25年	1			1		21-25年	6	1	3	1	1
25-30年	1			1		25-30年					
31-35年						31-35年	1	1			
不明	1()		1			不明					
計	3	1		2		計	22	4	11	4	3

な状況にあり、ほぼ同時期に施工されたのり面吹付工であっても、路線の地域性の影響が大きいことがわかる。

このように、図16で示した全域の地質区分のみの劣化曲線で全面吹付工の劣化を判断することは危険であり、より詳細な分析を行い個々ののり面に適した劣化曲線を検討するとともに、定期的な経過観察が重要であることがわかる。劣化曲線の運用においては、劣化曲線はあくまでも想定を目安であり、絶対ではないという認識が必要である。このように統計的手法により劣化曲線を作成する場合には大きなばらつきを含んでおり、実際の点検結果では個々の斜面毎に劣化曲線の上下にばらついてプロットされることになる。したがって、実プロットに基づいて個々の劣化曲線を修正するとともに、点検の頻度や補修等の優先度などを見直すことが重要である。また、様々な要因が複合しており、図18に示すように健全度の低下の度合いが要因毎に異なることを認識し、点検で確認された変状を踏まえ、どのような現象でありそれに対する適切な対応を判断することも必要であると考えられる。このためには、劣化曲線自体も個別の吹付工毎に作成することが望ましく、一つの手法として2.2で提案した貫入土壌硬度計測手法により地山の土砂化・空洞化の状態

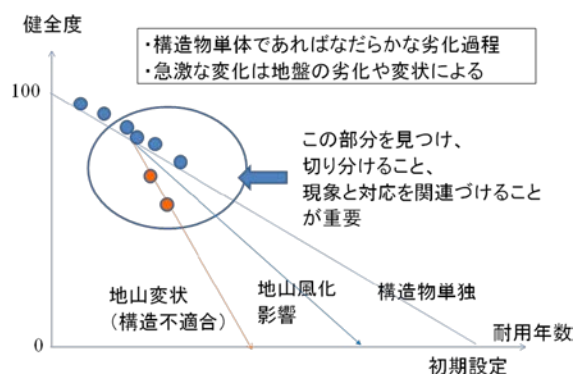


図18 劣化曲線と点検の関連づけ

を定量的に評価して、劣化曲線を作成・運用することが考えられる(図13参照)。

(5) 劣化に対する健全性評価と対応検討

吹付工の劣化に関しては、日常的なパトロールにおいて、吹付工のひび割れの進行状態、排水孔やひび割れからの湧水・排水の位置や状態の経時変化を観察することで、目視によりある程度定性的に判断することができる。

しかしながら、背面地山の風化・空洞化の状況については判断ができない。このため、定期的に打音検査や排水孔等を活用した風化・空洞深の調査を行い、進行状況

表5 健全度判定の目安と対応の考え方(案)

経過段階 (背面地山の状態を考慮した評価)	初期(施工直後)	中期(前半)	中期(後半)	末期	備考
経過段階の土砂化・空洞化深さの目安の例 (小アンカーピン深さの半分程度を目安・アンカーピン長20cm-吹付厚(10cmを想定)×0.5)	0~1cm程度 (施工むら)	1~3cm程度	3~7cm	7cm以上	劣化曲線は、定期点検により代表箇所での土砂化・空洞化の進行状況と経過年数の関係等より作成する等よい
地山の劣化 <風化(土砂化)・空洞化>	なし(密着)	肩部から徐々に土砂化が進行(のり面~のり面中腹位置程度までを目安) 湧水箇所では部分的に土砂化が進行	のり面中腹~のり面付近まで土砂化・空洞化が進行	全面的に土砂化・空洞化が進行	背面の集水地形の状況によって、侵入水の流入状況が異なるので、切り取り前の元地形(集水状況)等にも留意する。
排水孔からの排水・湧水等状況	湧水箇所から排水。	上部の土砂化が進行に伴い、上方の排水孔より排水。周辺に亀裂がある場合には亀裂より染み出しが見られる。 湧水箇所では部分的に土砂化が進行。周辺下方の亀裂や排水孔からの染み出しや排水。排水孔には若干の土砂流出が確認される。	土砂化・空洞化が進行した範囲ののり面内の排水孔は、地山との密着性が失われているため機能しておらず、のり面下部の排水孔に土砂がたまっている。一部の排水孔では植物の生育が見られることがある。	土砂化・空洞化が進行した範囲ののり面内の排水孔は、地山との密着性が失われているため機能しておらず、のり面下部の排水孔に土砂がたまっている。一部の排水孔では植物の生育が見られることがある。	
モルタルの変状	乾燥収縮ひび割れ	養生不良等による過剰な収縮ひび割れ。(通常の乾燥収縮ひび割れよりも開口幅が大きく、広範囲に発生することが多い。)	土砂化・空洞化の進行に伴い、乾燥収縮ひび割れが進展し徐々に開口。部分的に亀裂が亀甲状に連結。亀裂から、部分的に植物の生育が見られることもある。	肩部付近に水平クラックが生じる。あるいはのり面付近にせり出すような水平クラックが生じ、鉛直方向にも連続する亀裂が進展。	凸部の下端からその側面に沿って亀裂が進展。 亀裂から、部分的に植物の生育が見られることもある。
健全性の判定	健全である	短期的には影響はないが、地質によっては長期的には水の流入による土砂化が懸念される。	早期にモルタル崩落や滑動等の危険性はない。	モルタルの崩落の危険性が高い、もしくは部分的に崩落している。せり出すような水平クラックが生じている場合には、水平クラックより上部の排水機能は損なわれている危険性が高い。急勾配ののり面の場合には、空洞化・土砂化の状況および亀裂の進行状況(面として連結してせり出しが進行)によっては、崩壊する危険性あり。吹付工としての機能はない。	土砂化に伴い凸部に土圧が作用、ラスの腐食状況によっては部分崩落の危険性あり。吹付工としての機能は失われている。
補修・補強等の対応方法	不要	ひび割れ部分にUカット等による補修材の注入	定期的にひび割れの進展や亀裂等の水の染み出し位置の移動状況、範囲を観察する。 亀裂連結や剥落の危険性などの状況に応じて、充填工や排水対策等を行うことで、土砂化・空洞化の進行を遅延する方法を検討する。	地山の土砂化の進行状況を踏まえた部分的な補強または全面補強を検討する。	土砂化・空洞化等の進行状況から部分的な補強で対応可能なものか全面補強も必要か検討する。
対策工の例			・増厚工(既設モルタルとの一体化を考慮した補強鉄筋を含む。) ・充填工 ・排水工 ・地盤注入 ・補強鉄筋棒(地山未風化層と、風化層+吹付工の一体化を目的) ・のり面切り直し(既設モルタル取り壊し)+他の保護工法 ※補強鉄筋棒の長さは、土砂化・レキ化など風化の厚さを考慮する。	・増厚工(既設モルタルとの一体化を考慮) ・充填工 ・排水工 ・地盤注入 ・地山補強土工 ・のり面切り直し(既設モルタル取り壊し) +別の保護工法 ※吹付モルタル自体の老朽化が進んでいる場合は、取り壊しも検討する。 ※地山補強土工の長さは、土砂化・レキ化など風化の厚さを考慮する。	排水工(排水孔、排水溝など)の有効な設置位置を決めるに当たっては、湧水箇所からのり面内の微地形から流下水路を調査することが有効となる。 表中の経過段階、地山の劣化、排水孔からの排水湧水等状況、モルタルの変状、健全性の判定は地質によって異なるため、必ずしも一致しないことがあるが、背面地山の風化程度(土砂化・空洞化深さの目安)によって、健全性と対策工の組み合わせを検討するのが望ましい。

を踏まえて必要に応じて赤外線映像等による面的調査を行って総合的に健全性を判定し、適切な対応を実施するのがよいと考える。

吹付工に発生する変状は、通常の構造的な劣化によるものと地山自体の、滑り・崩壊に起因するものがあるが、吹付工のひび割れが地山の変状に起因すると判断されるものについては、地山の変状に対する詳細調査を行い、必要な対策を検討することが必要である。

地山の変状によらない吹付工のひび割れについては、吹付工の施工条件や背面状態(背面地山の風化・土砂化

および空洞化を含む)に起因して生じるので、ひび割れの生じている範囲および連続性、背面地山の風化のしやすさ等の性状や空洞化・土砂化の進行状況を考慮した判定と対応を実施するのが望ましい。

また、新規に吹付工を検討する場合や施工した吹付工の維持管理に当たっては、現地条件等を踏まえて事前に劣化の傾向と想定される変状に対するコスト比較を実施し、予防保全の観点から維持補修・更新の計画を作成しておくことが望ましい。

表5に空洞化・土砂化、ひび割れ等の状況による吹付

工の健全性の評価の考え方と対応について整理したものを示す。

4. まとめ

本研究では、現地調査・模型実験等を通じて吹付工の維持管理上の課題や経年劣化を考慮したアセットマネジメント手法に関する検討を行ってきた。要素技術として、吹付工のり肩部からの背面への侵入水を排水するための対策方法、ピンポールにアタッチメント加工して土壤硬度計に装着し、排水孔から挿入して背面地山の空洞深および風化深を定量的に調査する「貫入土壤硬度計測手法」を提案した。

また、ひび割れ状態、地山の空洞化・土砂化の状態等に応じた吹付工の経年劣化を考慮した健全性評価および対応の考え方を提案した。

これらの成果については、吹付工実施時における調査・設計・施工段階における確認事項、維持管理段階での点検および調査の考え方、健全度の判定の考え方およ

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

び各段階での対応の考え方を案として取りまとめた「吹付のり面のアセットマネジメントの手引書(案)」およびのり面被覆構造物の背面地山の風化・土砂化を評価するための調査手法のマニュアルとして「貫入土壤計測手法(案)」の作成を行っているところである。

本研究で得られた成果に関しては、今後もデータの蓄積を行うとともに、吹付工以外ののり面保護工についても検討を進めていく予定である。

参考文献

- 1) (公社) 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
- 2) 加藤、佐々木、梶取：「吹付工の背面侵入水への巻込処理の効果に関する検討」、土木学会第70回年次学術講演会概要集、p.177～178、平成27年9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

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. The results were as follows. It was carried out that for weathering of the ground on back of shotcrete, it was confirmed on influence of the invasion water from crazing of shotcrete, and effect of measures on the shoulder part of slope by model experiment. It was developed the simple investigation method for foundation covered slope protections by penetration test of soil hardness measurement. It was arranged the deterioration model of shotcrete on the road slope maintenance.

Key words : asset management, road slopes, countermeasures