

戦-12 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調査（1）

研究予算：運営費交付金

研究期間：平 21～平 24

担当チーム：材料地盤研究グループ（土質・振動）

研究担当者：佐々木哲也、加藤俊二、榎本忠夫

【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・診断技術について地質チーム、対策効果の評価手法・対策の考え方について土質・振動チームで分担して、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 21 年度は、道路斜面防災におけるアセットマネジメントの考え方（素案）を整理するとともに、防災費用の分散投資による斜面災害リスクの分散・軽減を考慮した防災対策の考え方についての検討を行った。

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しており、この時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り、本研究は、道路のり面・斜

面の防災対策におけるアセットマネジメント手法(以下、斜面アセットマネジメントと呼ぶ) について検討するものである。

平成 21 年度は、斜面アセットマネジメントの考え方（基本構成の素案）を整理するとともに、防災費用の分散投資による斜面災害リスクの分散・軽減を考慮した防災対策の考え方についての検討を行った。

2. 斜面のアセットマネジメントの検討

2.1 アセットマネジメントの定義

道路のり面・斜面の維持管理においては、既存構造物と自然斜面という人工物と自然物（構造物背面の地山と未対策の自然斜面の両方）を管理対象とする特殊事情を有している。よって、道路のり面・斜面の対策においては、このような事情を踏まえて道路利用者の安全性を考慮した管理が可能となるようなアセットマネジメント手法を検討する必要がある。このためには、アセットマネジメントの基本的な定義を明確にして考え方を整理するとともに、現状の実務を踏まえてできるだけ単純な手法となるように構築しなければならない。

ここではまずはじめに本来のアセットマネジメントの定義を踏まえて、道路における斜面アセットマネジメントの考え方を整理する。

「ニッポニカ・プラス（小学館）」によると、アセットマネジメントは元々金融分野の用語であり、次のように記述されている。

「資産 (asset) を効率よく管理・運用 (management) すること。株式、債券、預貯金、金などの商品や不動産などの資産全般を対象に、投資先を分散することで安全性を確保しながら、投資利回りを最大化する目的をもつ。狭義には、資産の管理・運用を代行する業務一般をさす。現代ポートフォリオ理論 (modern portfolio theory) を活用し、預貯金や金などの安全資産と株式などのリスク資産への分散、円、ドル、ユーロなど内外通貨建て資産への分散、短期資産と長期資産への分散などで、最適な投資先の組合せ (ポートフォリオ) をつくることを意味する。同時に、会計制度に合致した資産の最適評価や、運用コストの低減・効率化も求められる。」

ここで、アンダーラインを引いた部分がアセットマネジメントにおける基本的なキーワードである。今後、道路のり面・斜面の維持管理および防災における個々のキーワードに対する定義を詳細に検討し、斜面アセットマネジメントの枠組みおよび手法を構築していく必要があるが、基本的考え方としては、「道路のり面・斜面の既設構造物や地山がどのような状態にあるかを把握し、それが道路交通に対してどのようなリスク (指標の例としては、通行止め時間など) を持つかを評価し、その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、道路のり面・斜面の維持管理および防災対策として投じた予算によるリスクの低減効果が最大となるような対応を行うこと」と考える。

2. 2 斜面アセットマネジメントの枠組み (素案) 検討

次に、上記の基本的な定義を具体化するための枠組みを明確にし、斜面アセットマネジメント手法を構築する上での、技術的課題と実務を踏まえた考え方を整理する。

(1) 斜面アセットマネジメントの位置づけ

図1に道路のり面・斜面の防災マネジメントの枠組みにおける維持管理業務と斜面アセットマネジメントの位置づけについて整理したイメージ図を示す。これまでの、道路のり面・斜面の維持管理業務および防災対策の進め方は、「点検」によりり面・斜面の状況を確認し、それぞれの変状の進行状況から安定度に関する「状態評価」を実施し、その状況に応じて「現状維持」あるいは「ハード対策」を行い、再び「点検」に戻る作業を繰り返すとともに、必要なソフト対策を実施している。

斜面アセットマネジメントは、上記「維持管理」の枠組みの「ハード対策」までを包括 (考え方によっては一部ソフト対応も含む) して、維持管理における「状態評価」の結果、周辺施設や交通量などの「地域情報」、「予

算の制約」等の条件から、それぞれの箇所における「緊急性」および「効率性」を分析し、その結果を維持管理および防災対策における「対応方針」に反映し、投資予算に対する対策効果を最大限にすることである。

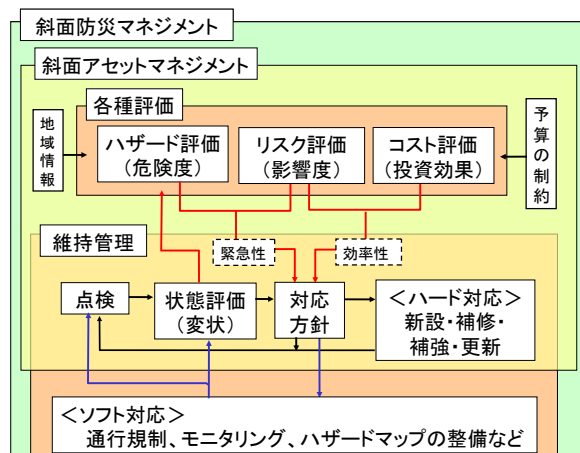


図1 道路のり面・斜面の防災マネジメントにおけるアセットマネジメントの位置づけ (イメージ)

ここで、橋等の構造物におけるアセットマネジメントの考え方は、「ライフサイクルを通じて対象の劣化曲線を踏まえて補修・補強による効率的な管理を行っていくこと」である。より具体的にすると、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である。

同じような考え方で枠組みを考えた場合、図1に示すように斜面アセットマネジメントの基本的な枠組みは、点検結果に基づき、ハード対応やソフト対応を実施する現状の道路のり面・斜面の維持管理および防災対策の枠組みと大きく変わることは無い。これまでの道路のり面・斜面の維持管理業務においてアセットマネジメントの考え方を導入して大きく異なる点は、①点検による状態評価において構造物の劣化状態を評価して長期的な視点で対応方針を決定すること、②ライフサイクルコスト (LCC) を踏まえて効率的な対応策を選定すること、の2つである。後者については枠組みや算定方法を明確にする必要があり、そのためには前者の劣化進行を考慮した評価が重要となる。

(2) 防災対策の現状と劣化状態評価の課題

り面・斜面の状態評価における劣化予測については、現状では難しい問題が含まれている。防災対策に用いられるり面保護工や斜面安定工 (以下、これらを総称し

て防災対策工と呼ぶ）は、対象となる自然斜面の状態（地山の地表面以深の内部の状態）を地盤調査によって確認し、その状況に応じて災害形態と規模を想定し必要と考えられる対応策を実施しているが、地盤調査結果には地盤の不均質性による調査の不確実性が含まれている。このため、防災対策工においては、地山の変状に伴い防災対策工自体にも変状が発生することが多い。このような観点から、「道路土工一切土工・斜面安定工指針（平成21年度版）」（社）日本道路協会）においては、設計段階においてはこの不確実性を含んでいることを認識し、施工段階および維持管理段階において対処して、目標とする性能となるように段階的に性能向上を図っていくことが、基本方針として示されている¹⁾。

また、防災対策工の多くは地山を被覆するように設けられるため、地山の変状による防災対策工の変状であるのか防災対策工そのものの劣化による変状であるのかの判断や、地山の性状が不均質である上に気象等の環境条件も異なる様々な不確実性を含んだ地山の劣化（風化等の経年変化）の進行状態の把握と将来予測について、現状ではその評価が難しくこの点は今後の技術開発の課題である。したがって、状態評価の考え方については現状の実務レベルで対応できる考え方を検討し、劣化予測の考え方については今後の技術開発も踏まえて、将来導入することを前提として整理しておく必要がある。

（3）現状の防災対策の進め方

道路のり面・斜面における現状の防災対策の進め方は、自然斜面および既存の防災対策工について、防災点検によりその健全性（安定度）を評価して「要対策箇所」、「カルテ対応箇所（カルテによる監視箇所）」、「対策不要箇所」等に分類し²⁾、「要対策箇所」について箇所毎に予算を集中して順次対策を進めている。道路のり面・斜面の維持管理対象となる自然斜面は広大で未対策箇所も多いために豪雨等で災害に至ることもあり、現在の防災対策の進め方が事後保全的にとらえられがちである。しかしながら、「要対策箇所」は災害に至る前に対策を行うことが必要であるという前提条件のもとに設定してある。したがって、道路のり面・斜面の維持管理においては既に予防保全の観点からの基本的な枠組みが導入されているといえる。

また、防災点検におけるこれらの分類は、概略的には自然斜面については長期間の自然の作用による現状の状態、防災対策工については地山の変状も含めた変化の現状の状態を評価した結果を表しているといえる。すなわち、「対策不要箇所」と判断されているところは、それな

りに健全であると評価されたところ、「カルテ対応箇所」と判断されているところは、経過観察が必要な劣化過程にあり場合によっては何らかの対応も必要な箇所であり、「要対策箇所」と判断されているところは何らかの対応を行わないと今後安定を維持できない可能性のある状態と評価された箇所である。

さらに、「カルテ対応箇所」および「要対策箇所」と判断されて未対策の箇所においては、定期的な経過観察により変状の進行状況を記録しながら点検を行っており、現状では実務レベルで劣化状況の調査を行い、将来の対策の必要性について判断を行っていると考えられる。

（4）斜面アセットマネジメントの概念

前述のように地山の劣化（風化等の経年変化）の進行は不確実性を含んでおり、場所毎に異なるため一律の劣化過程の設定は不可能であるが、目安となる状態を設定することは必要である。防災点検結果においても、当然のことながら地盤の様々な不確実性を含んではいないが、前述のように地盤調査の不確実性から状態評価に厳密性を追求することは難しく、アセットマネジメント手法の導入の第一歩としてこれらの分類を劣化状態の目安として用いることが、実務の観点からは現実的と考える。劣化状態の目安については、調査技術の進展やデータ蓄積等による状態評価の向上が可能となった際に、より細分化を図ればよいと考える。

一方、防災対策の本来の目的は、不健全なり面・斜面を健全な状態にすることにある。したがって、のり面・斜面の維持管理にアセットマネジメントの考え方を当てはめる場合、図2の斜面アセットマネジメントの概念に示すように、現状で災害の危険性があると評価されている「要対策箇所」や、「カルテ対応箇所」と評価されている箇所について、どのような方針で対策を行って、のり面・斜面を健全な状態にしていくかを検討し、効率的に維持管理を行っていくことが斜面アセットマネジメントの進め方と考える。

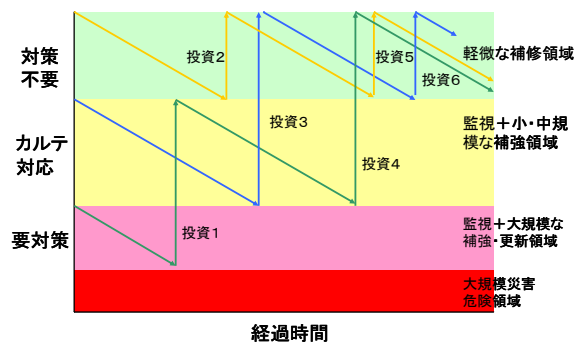


図2 斜面アセットマネジメントの概念（素案）

(5) 対策効果の評価

斜面アセットマネジメントにおいては、対策の効率化を図るために、投資コストの効果についての検討が必要となる。これについては、未対応の場合には個々に評価されるリスクを保有し続けるといった、リスクの保有期間の概念を導入することが考えられる。すなわち、投資によりどの「要対策箇所」をどれだけ対策して、その保有リスクをどれだけ低減させ（例えば図2に示すように「カルテ対応箇所」と判断できるレベルまで）、残りの部分のリスクについてどれだけの期間保有することが効率的かを考えて、対策を行っていくことである。

図3に、リスク保有の概念図を示す。この図では、ある箇所において現状の健全度を状態Bとし、m年後に対策をして状態Aにし、n年までその状態を継続すると仮定している。

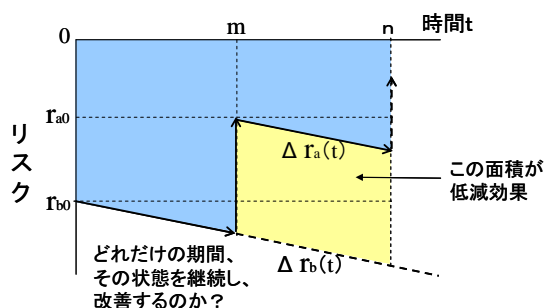


図3 リスク保有の概念図

状態Bでの現時点での保有リスクを r_{b0} 、状態Aに改善した時点での保有リスクを r_{a0} 、とし、状態Aおよび状態Bからの経年劣化によりリスクが増加するとしてその増加関数を $\Delta r_a(t)$ 、 $\Delta r_b(t)$ とする。

状態Aおよび状態Bを継続する場合、その間に求められるリスクを保有し続けることになる。それぞれの累積保有リスクを R_a 、 R_b とすると、図中の面積として求められることから、

$$R_a = \int_0^n (r_{a0} + \Delta r_a(t)) dt$$

$$R_b = \int_0^n (r_{b0} + \Delta r_b(t)) dt$$

で表される。

したがって、状態BからAに改善した効果は累積保有リスクの低減量 (B) として、その期間の累積保有リスクの差分として求められ、

$$B = R_b - R_a$$

$$= \int_m^n (r_{b0} + \Delta r_b(t)) dt - \int_0^{n-m} (r_{a0} + \Delta r_a(t)) dt$$

となる。

投資効果 (E) を、投資コスト (C) による保有リス

クの低減量 (B) として表すとし、経年劣化によるコストの増加を $\Delta C(t)$ とすると、

$$E = B / (C + \Delta C(t))$$

となる。

経年劣化の推定方法を導入する場合には、各のり面・斜面においてこのEが最大となるような年数 m 、 n を考えた対応を検討することになる。

なお、現状レベルでは経年劣化等の考慮が難しいため、同じ箇所のリスクの増加関数は便宜的に状態が変化しても経年劣化の条件は同じと仮定し、

$$\Delta r(t) = \Delta r_a(t) = \Delta r_b(t)$$

とすると、保有リスクの低減量 (B) は、

$$B = R_b - R_a$$

$$= \int_m^n (r_{b0} + \Delta r(t)) dt - \int_0^{n-m} (r_{a0} + \Delta r(t)) dt$$

$$= \int_m^{n-m} r_{b0} dt - \int_0^{n-m} r_{a0} dt$$

$$= (r_{b0} - r_{a0}) (n - m)$$

なり、投資効果 (E) は

$$E = (r_{b0} - r_{a0}) (n - m) / (C + \Delta C(t))$$

と単純化される。この式は経年劣化によりリスクは変化していないことから、コストの増加分も省略して、

$$E = (r_{b0} - r_{a0}) (n - m) / C$$

として求めてもよいと考える。また、経年劣化によるリスク変動を考慮する場合でも、その影響が極めて小さいと判断される場合も同様である。

3. 分散投資による道路斜面防災対策の検討

3.1 分散投資によるリスク分散と区間評価

道路のり面・斜面における「要対策箇所」と判断される箇所は、優先的に投資を行うことになる。また、予算の制約から対応可能な箇所も限定されるため、投資可能な総予算に対して、各のり面・斜面における前述の投資効果Eの総和が最大となるように、さらに優先度を考えて防災対策を検討する必要がある。この場合、道路はネットワーク機能を有していることから、道路交通を考慮した区間評価を行うことが必要と考える。

前述の投資効果算定の際のリスクの評価手法は、評価の厳密性をどこまで追求するかは別にして、概略検討のための簡易なものから、最終評価のための詳細なものまで検討段階に応じて、目的とするリスクの相対的な比較が可能であればよいと考える。ここでは、道路の区間として保有しているリスクの評価を踏まえた上での、概略の比較検討を行うことを前提としたマクロなリスク評価

方法を想定し、道路斜面災害のリスク分散の考え方について考察する（図4参照）。

山地部の道路においては、前述のように防災点検により「要対策箇所」と判断された道路に隣接するのり面斜面について、一般に図4中の右上に示す一括施工により順次実施されてきた。この図では、道路における斜面災害のリスクを「潜在通行止め時間」として示し、同じ投資で通行止め時間を「1」減らすことができることを仮定して、潜在通行止め時間を「6」減じることができる投資を行っているものである。同じ投資条件であることから、一括施工であっても分散による段階的的施工であっても区間として保有する全リスクは同じで、この図の場合には区間内の全潜在通行止め時間は「23」から「17」になる。一括施工の場合には潜在通行止め時間「6」を保有しているB斜面を一括して対策しているため、第2番目の潜在通行止め時間「5」を保有しているE斜面が残る。この場合、E斜面が崩壊した際に長時間の通行止めが発生することになる。

一方、図4の下に示すような分散投資を行う場合、それぞれの斜面の持つ「潜在通行止め時間」が平準化され、どの斜面が崩壊しても崩壊が単独であれば通行止めになる時間が「3」以下と長時間の通行止めが発生しないように、リスク分散を図ることが可能となる。

このように道路におけるリスク評価を行う場合には、個別の斜面のみではなく道路ネットワークを踏まえた区間全体のリスク評価を行うことも必要であり、区間内で保有する総リスク（各斜面の保有するリスクの和）が同じであれば、一括施工よりもリスク分散による平準化を図ることがリスク保有の観点からは効果的であると考えられる。

3.2 段階的施工の可能性検討

前述のように、概念的にはリスク分散を行うことが効率的であると考えられるが、分散投資型の防災対策を進めるためには、防災対策を段階的に進めてリスクを分散保有することが可能か、工法選定、仮設工の設置回数、通行規制時間等も含めたコスト面、運用面、安全面から

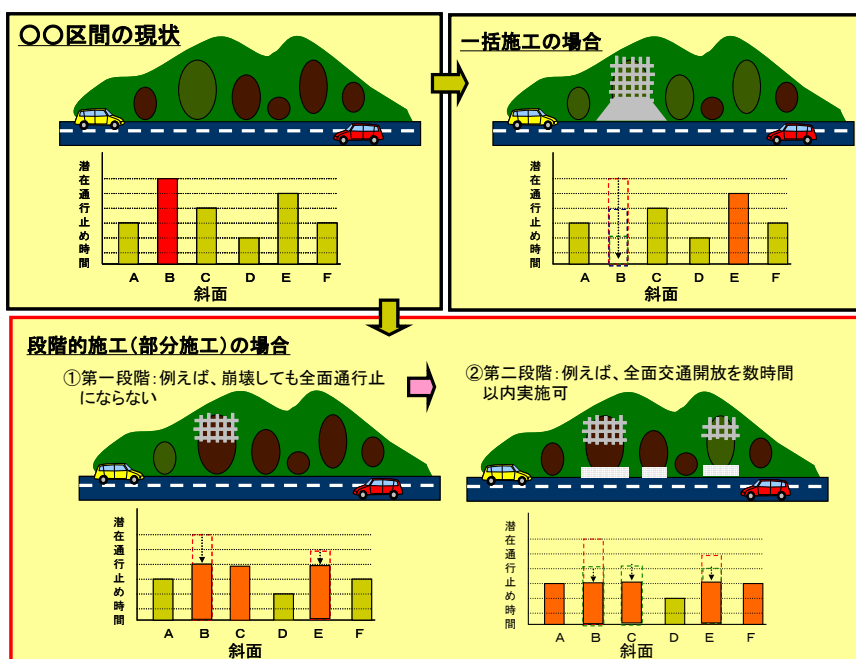


図4 分散投資によるリスク分散の概念図

総合的な検討が必要である。段階的施工の方法としては、道路縦断方向で分けをする方法と斜面縦断方向で分けをする方法の2つが考えられるが、ここでは後者の可能性について検討することとした。段階的施工については、一つの工法で分割施工する「単一工法型」と複数の工法を組み合わせる「複数工法型」の2通りが考えられる。

このため、ここでは一般に斜面上方から施工していくことから比較的段階的の施工の検討が容易な地山補強土工（のり砕工+鉄筋挿入工）を基本ベースにして、複合型の対策工として擁壁工（重力式）を用いた場合の試算を行い、安全率の向上とコスト効果について整理することとした。試算条件は、斜面勾配（30°、45°）、斜面高さ（5m、10m、20m）、崩壊深（2m、5m）を変えてそれぞれの抑止力を求め、図5に示すように100%地山補強土工

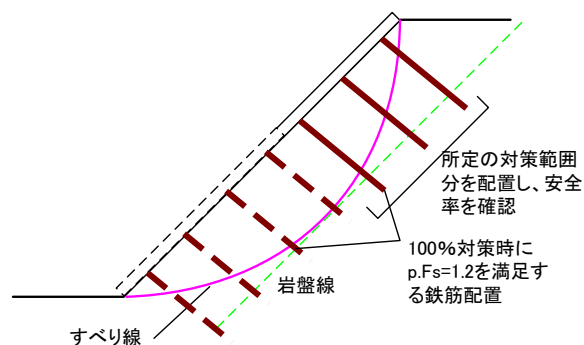


図5 地山補強土工の段階的対策の考え方

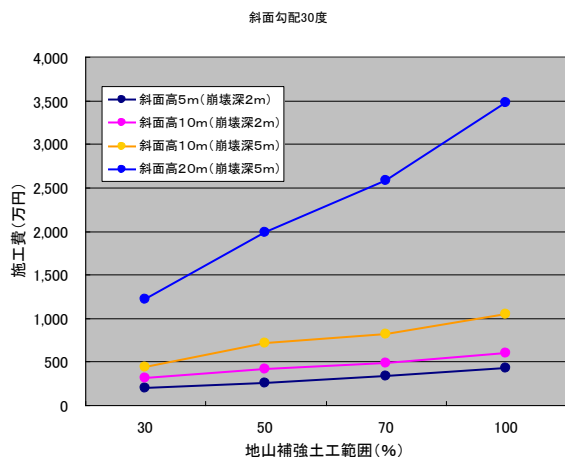


図6 斜面勾配30° の試算結果

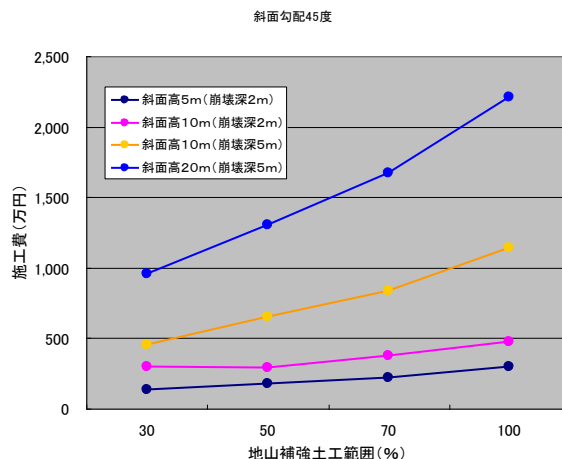


図7 斜面勾配45° の試算結果

を行うことを基本として、地山補強土工の対策範囲を斜面上部より30%、50%、70%、100%を覆う4ケースとした。また、地山補強土工を設置しない斜面（残斜面）に対しては、円弧すべりによる最小安全率を探し、その時の必要抑止力に対応できる擁壁を土木設計標準図集より選定し、それぞれについて幅10m当たりの仮設工も含めたコスト試算を行った。

地山補強土工を100%実施する「単一工法型」については、施工回数を分割することから単純に仮設工の回数も増加するため、当然のことながらその分だけ工費も増加する。今回の試算では、一括施工の場合と比して2分割した場合には工費が10%程度高くなった。一方、残斜面对策を擁壁工にて対応した「複数工法型」の場合には、仮設工の回数は同じであるが、対策工費の縮減効果から、図6、図7に示すように、地山補強土工単独と比して工費が15%以上低減し、元の崩壊規模が大きいものほどその効果が大きい結果となった。安全率の変化は、無対策時を1.0、100%対策時を1.2（計画安全率）で設計しており、30%対策時には $F_s \approx 1.05$ 、50%対策時には $F_s \approx 1.10$ 、70%対策時には $F_s \approx 1.15$ であった。段階的施工中の安全率および残存リスクが対策範囲に比例すると考えると、対策工の概算工事費の対策範囲に応じた変化が、段階的施工が有利となるか否かの判定に大きな影響を及ぼす。

対策効果や残存リスクの考え方については今後さらなる検討が必要であるが、例えば段階的施工中の目標安全率を1.10として対策範囲を設定すると、全体の計画安全率1.20との差である $\Delta F_s = 0.1$ の重みを持つリスクを保有していると言える。今回試算を行ったケースでは、安全性の向上、コスト効果の観点から見ると、斜面高さ10m以上で上部の施工範囲50%~70%以内が段階的施工の効

果が得られる範囲と考えられる。

N. まとめ

今年度は、斜面アセットマネジメントの基本的な考え方、実務において斜面アセットマネジメントを想定した状態評価の考え方、投資効果を判断する上で必要なリスク保有およびリスク分散の考え方を整理した。

斜面アセットマネジメントにおいてリスク分散の考え方を導入する場合には、部分対策によるリスク保有を踏まえた段階的施工による対策検討が必要であり、単純な試算レベルにおいては、コスト効果も含めて段階的施工の可能性について確認することができた。ただし、今回の検討は単純モデルであくまでも工法を限定した比較検討であり、また実際の対策効果については規模や工法の適用の可・不可も含めて現場状況が変化するため、全ての斜面对策に分散投資が可能であるわけではないと考えている。

しかしながら、斜面防災マネジメントの第一段階では分散投資の可否を判断した上で長期的視点で防災計画を検討し、分散できないものは早期に一括対策を進めその後可能なものは分散して平準化を図る等、道路ネットワークとしての区間評価も踏まえて保有リスクの低減と優先度を検討することが必要であると考え。今後は、地盤模型による補強効果実験も含めたリスク保有に関する検討を行っていく予定である。

参考文献

- 1) (社)日本道路協会編：道路土工一切土工・斜面安定工指針，2009.
- 2) (財)道路保全技術センター編：道路防災点検の手引き，2007.

Research on the asset management for the road slope disaster prevention measures (1)

研究予算 : Grants for operating expenses

研究期間 : FY2009-2012

担当チーム : Soil Mechanics and Dynamics

Research Team

研究担当者 : Tetsuya SASAKI

Shunji KATO

Tadao ENOMOTO

Abstract : This year, we arranged a basic way of the road slope asset management, the risk possession and the risk dispersion. When we introduce a way of the risk dispersion in the asset management for the road slope disaster prevention measures, the way of the partition measure is necessary on the point of risk possession. So we confirmed about the possibility of the partition measure by a simple test design including the cost.

Key words : road slope, disaster prevention measures, maintenance, asset management