

## ・戦-13 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（一般勘定）

研究期間：平 21～平 24

担当チーム：土質・振動チーム

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 22 年度は、道路斜面防災における優先度判定の基礎資料となる災害による通行止め時間を調査・整理するとともに、斜面の表層崩壊に対して段階的に補強していく際に有効と考えられる地山補強強度工による部分補強効果に関する実験検討を行った。

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について検討するものである。

平成 22 年度は、道路斜面防災における優先度判定の基礎資料となる災害による通行止め時間を調査・整理するとともに、斜面の表層崩壊に対して段階的に補強していく際に有効と考えられる地山補強強度工による部分補強効果に関する実験検討を行った。

### 2. 災害による道路の通行止め時間と対策の考え方

のり面・斜面で土砂崩壊等が発生して道路が被災した際、通行止めが行われる。道路の通行止め方法は、路線全部を通行止めとする「全面通行止め」（以下、「全止め」という）、片側の路線のみを開放して交互通行を行う「片側通行」（以下、片止めという）があり、道路の被災状況および発生源の状況、復旧方法および対策の考え方により通行止めの実施方法が異なり、「全止め→片止め→開放」、「全止め→開放」、「片止め→開放」の 3 パターンに分類される。道路交通の観点からは全面通行止めとなるような被災は望ましくなく、道路利用者の安全性を考慮すると万が一被災したとしても軽微で片側通行止めで対応できるような状態とすることが、保有するリスクを段階的に軽減していく際の最低限の防災上の目標水準と考える。

以下、1990 年～2004 年に発生した道路災害記録について災害形態別（土砂崩壊、落石、土石流、地すべり、岩盤崩壊の 5 つ）に通行止めのパターンおよび全面交通開

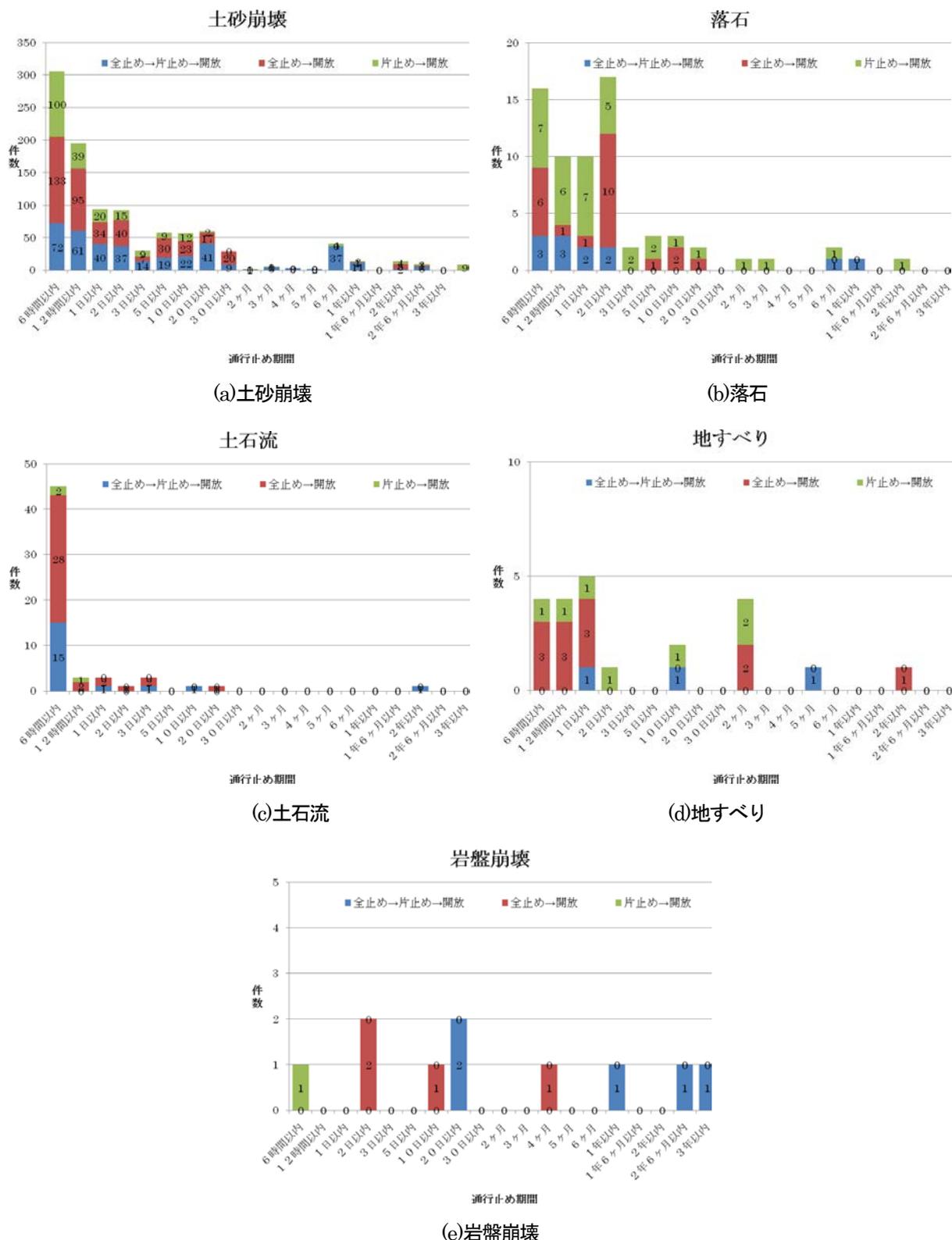
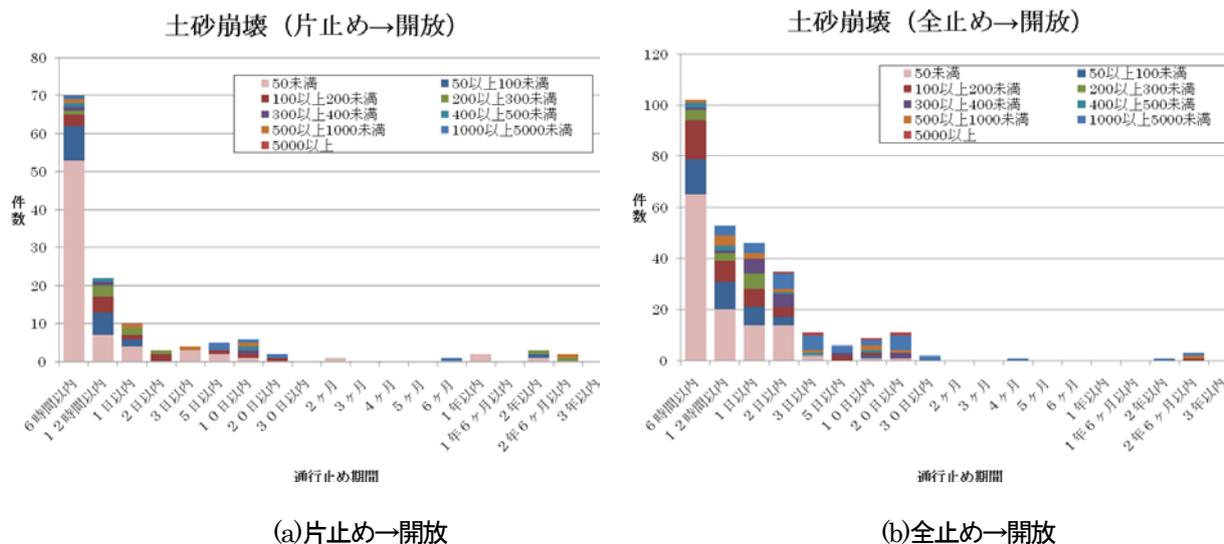


図1 土砂災害による通行止めの状況

放までに要した通行止め時間を整理し、災害形態と対応の考え方についての現状を踏まえながら<sup>1)</sup>、災害形態別の段階的な対策の可能性について検討した。

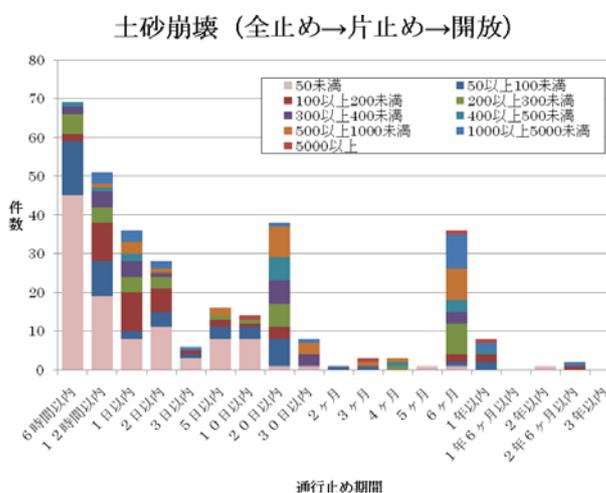
図1に災害形態毎の通行止めパターンと通行止め時

間を整理したものを示す。道路における災害形態の約8割が土砂崩壊であり、落石、土石流を含めると9割以上がこの3つに分類される。これらの3つに分類されるものは発生件数も非常に多いため戦略的に対応していくこ



(a)片止め→開放

(b)全止め→開放



(c)全止め→片止め→開放

図2 災害規模と通行止め期間

とが必要である。

図1(a)の土砂崩壊を見ると、約7割は2日以内に全面開放しているが、3割は通行止め期間が長期化している。土砂崩壊が発生した場合、土砂の大半が道路に堆積するためその撤去作業を行い、その後引き続き崩壊の発生源の対策を行っていく。図2は通行止めパターン毎に道路に到達した土砂量と通行止め期間を整理したものである。「片止め→開放」の対応を行っているケースは軽微なものが多く、発生源の対応も容易であるため、通行止め期間が短い傾向にあると考える。「全止め→開放」の対応を行っているケースは、土砂が道路に到達して被覆している範囲が全線にわたっているため「全止め」となっているものも多く、土砂の撤去量が増えている分だけ開放までの期間は若干長くなっているが、「片止め→開放」のケースと同様に軽微な場合が多く、開放までの時間が

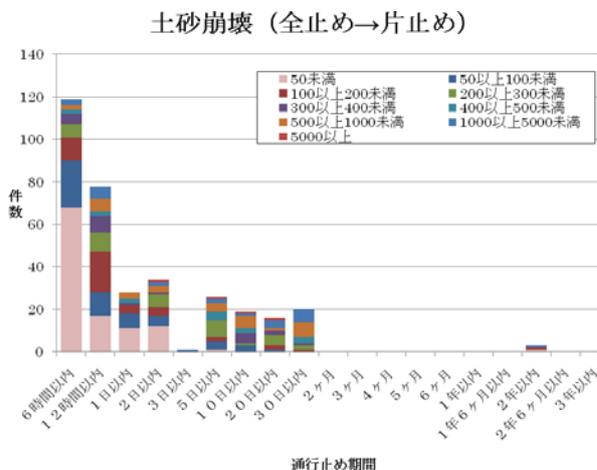


図3 「全止め」から「片止め」までの通行止め期間

長期化しているものは比較的少ないと考えられる。

一方、「全止め→片止め→開放」と段階的に交通開放を行っている場合は、発生源の規模が大きいものが多いことが考えられ、発生源の対策にも時間を要することから長期化していると推定される。図3は「全止め」から「片止め」に移行するまでの期間を整理したものであるが、道路に到達したものでも比較的小規模なものについては、ほぼ2日以内に「片止め」に移行しているが、被災規模の大きいものは「片止め」に移行するまでにも1か月近くを要している。発生源の対策は、発生規模や位置および二次崩壊の危険性を考慮して「片止め」あるいは「全止め」の通行規制を行った上で実施される。災害が軽微なものであれば短期間の「片止め」で復旧も完了するが、災害の程度が大きくなり二次災害による道路への影響が懸念されるとともに復旧に時間を要する場合には、「全止め」期間が長期化することになる。

土砂崩壊の危険箇所については、予防保全の考え方から事前に対策を実施して被災規模を段階的に軽減していく場合、上記の結果を踏まえると災害から全面交通開放までの時間で2日間が1つの目安になるものと思われ、これを目標として発生源の位置や規模を考慮して原位置対策や待ち受け対策を段階的に実施して災害規模を軽減していくことが必要と考えられる。

次に、図1(b)の落石についてみると、土砂崩壊同様ほぼ2日間以内に交通開放されている。落石の規模（ボリューム）は土砂崩壊と比べると小さいが、発生源の特定が難しかったり、発生源が山の上部の急崖地の露岩部であるなど、災害後の安全性の確認に時間を要するケースが多く、交通開放に2日間程度を要することが多い。また復旧対策を行う場合は落石発生源に不安定岩が残存していることもあり、その除去や固定を行う場合には規制が長期化することがある。落石の場合には原位置で規模を抑制するような部分補強による段階的対策は難しいため、従来の考え方のように落石防護柵などの待ち受け対策により小規模のものを補足しながら発生源を特定して除去していくとともに、発生源が大規模なものについては原位置での対策が不経済となる場合もあることから回避策もあわせて検討することが必要である。

次に、図1(c)の土石流について見ると、ほとんどが6時間以内に交通開放されている。通常、土石流という非常に大規模に発生するイメージが強いが、道路における土石流は、非常に小規模の溪流で発生し崩壊土量も少ない場合が多い。また、発生した場合にはほとんどの土砂が道路上を流れるように反対側に流出するため、道路

に残存する土砂もほとんどないため、交通開放までの時間は短いことが多い。ただし、大規模な場合には発生源の対応も含め長期化することもある。土石流のもとになる土砂の発生源の規模を段階的に抑制していくことが必要であり、小規模なものではカルバート等による回避策や待ち受け柵を併用することで、段階的な対応を行っていくことが可能である。また大規模なものについても、流下する溪流にえん堤を設けたり床固め工などの対策を順次行い、段階的に災害規模を軽減する対応を実施していくことが考えられる。

次に、図1(d)の地すべりおよび(e)の岩盤崩壊を見ると、これらは発生件数が少ないが道路への影響は大きく、長期の全止めを伴うことが多い。特に、地すべりや岩盤崩壊といった道路への影響が大きい災害が想定される箇所については抜本的な対策を行うことは長期的な維持管理も含めて経済的に難しい場合が多いため、できるかぎり路線回避することが望ましい。しかしながら、バイパスによる路線変更やトンネル等の対応が可能であってもその間に時間を要するケースが多いため、監視を併用しながら部分的な補強を行うような対応も併行して進めていくことが必要である。

斜面災害の段階的なリスク軽減を図る場合、斜面に対しての縦断方向での対応と路線の縦断方向（路線に沿った方向）での対応が考えられる。路線区間全体のリスクを軽減していく場合は、土砂崩壊や土石流は発生源の軽減策を併用できることから、斜面縦断方向での段階的対応が可能であり、目標水準を設定して路線の縦断方向で突出しているリスクを段階的に軽減していくことは適当と考える。一方、地すべりや岩盤崩壊といった大規模災害は斜面縦断方向での段階的な軽減は難しく、最後まで残存する可能性が高いうえ、維持管理も容易ではないことが多い。このため、可能であれば早期にバイパス等で路線回避することを検討し、区間内のリスクから除去するような対応が望ましいと考える。

### 3. 地山補強土工による部分補強効果の検討

平成21年度の検討において、土砂崩壊について地山補強土工（鉄筋挿入工ともいう）による段階的な対策で、安全性の段階的な向上、コスト効果の観点から効果が得られることを試算により確認した。そこで、平成22年度は地山補強土工により部分補強を行ったときに、適切な補強効果が得られるかを実験的に確認するため、模型実験を行った。

### 3. 1 実験概要

図4に斜面の表層を模擬した実験土槽の概要を示す。土槽は、幅100cm×奥行き150cm×深さ40cmの木製で、崩壊実験で下端となる壁面に土圧計を設置し、また崩壊の誘発およびはらみ出しなどの状況の観察を目的として10cmの切欠きを設けている。

図5に模型の作製および実験手順の概要を示す。図は実験土槽を側面から見た状況である。まず基盤層10cmを整形し、その上に補強材を所定の配置で定着した厚さ10mmの有孔板をのせた後、土槽の形状に整形する。この際の締固め度は、崖錐や風化斜面を想定して締固め度を85%とし、降雨実験は表層崩壊の発生を想定して斜面勾配40度とし、急激な勾配の変化による影響を避けるため、勾配20度までリフトアップした後24時間放置、さらに勾配30度までリフトアップし24時間放置、最後に勾配40度までリフトアップして5日間の放置を行った後、時間雨量40mmの降雨を与えることとした。

試験に用いた土は、細粒分含有率10%の山砂で、主な物性値は表1の通りである。また、補強材にはφ1cmのねじ綱棒を用いた。

### 3. 2 降雨による表層崩壊挙動

地山補強土工による効果検討に先立ち、比較対象となる無補強での挙動確認実験を行った。無補強では初期含水の影響を考慮して、試料を最適含水比-5%、最適含水比、最適含水比+5%に調整して実験を行った。

図6に最適含水比-5%で、図7に最適含水比+5%で行った崩壊実験での、降雨開始以降の土圧の変化および崩壊時の状況写真を示す。ここで、図中に吹き出しで示している開口幅は、実験土槽上端部での土の移動に伴う開口幅を計測した結果を示している。また、土圧計は、図4で左側からNO.1、NO.2、NO.3の順である。

最適含水比-5%のケースを見ると、降雨開始後約1時間半は土圧の変化はほぼ平衡状態で、開口幅も降雨開始以前に生じた値と変化はない。その後、土圧の変化の程度にあわせるように開口幅も徐々に変化し、最終的に約1分間で5kPa程度の急激な土圧の上昇を伴い、約10秒で全体が滑るような崩壊（ここでは滑り型と定義する）が生じた。最適含水比での実験条件では、崩壊形態および土圧の変化挙動は最適含水比-5%のケースとほぼ同じ挙動を示し、違いとしては開口幅が若干大きいことと30分程度時間圧縮するような土圧の変化履歴を示していた。

一方、最適含水比+5%のケースでは、降雨開始直後から開口幅が大きくなり始め、それに伴い下端部でのせ

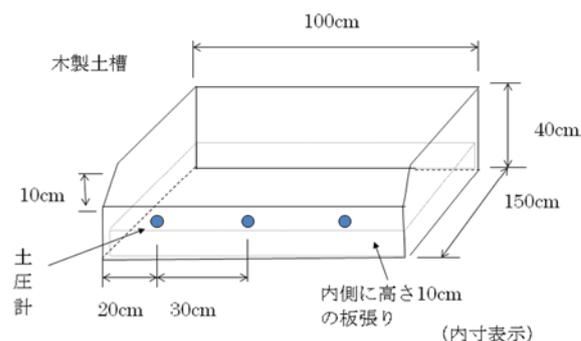


図4 実験土槽の概要

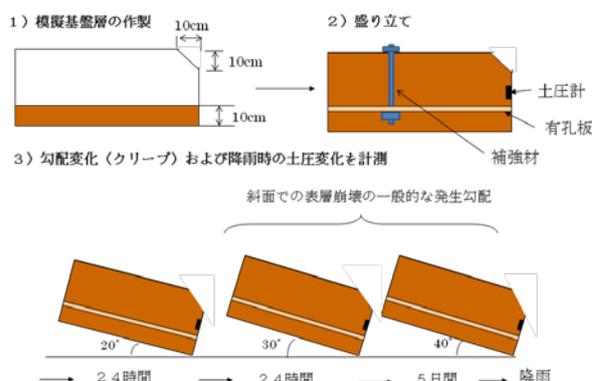


図5 模型の作製および実験手順の概要

表1 試料の主な物性値

最大乾燥密度 (g/cm <sup>3</sup> )	最適含水比 (%)	土粒子の密度 (g/cm <sup>3</sup> )
1.685	18.6	2.689

り出しが発生し、降雨開始後約30分程度で下端部が崩落するとともに表面が泥濘化しはじめ、それ以降は表層が土砂流出（ここでは土砂流出型と定義する）を続け、泥濘化開始後約50分で表層部の深さ約10cm分が流出していた。この間の開口幅の変化や土砂流出の状況には土圧の変化は連動しているような傾向は見られなかった。

降雨強度および透水係数により傾向は異なるが、降雨時の初期含水比の違いで崩壊形態が異なり、今回の実験では飽和度に換算すると60~70%付近に、滑り型崩壊と土砂流出型崩壊の境界域があるのではないかと推定される。

この結果を踏まえると、部分対策を検討する場合には、滑り型の崩壊に対しては、土圧の急激な変化に現れるように速い速度で大きなエネルギーで全体崩壊するため、崩壊規模を減らすなどの崩壊時のエネルギーの減少を図

る方法を検討し、あわせて土砂流出型に対して植生などによる表面部の流出の影響を考慮した検討が必要と考える。

### 3.3 地山補強土工の部分補強効果の検討

ここでは、滑り型崩壊に対しての部分補強効果を検討することを目的に、最適含水比-5%での実験を行った。今回の実験は、補強により100%土塊を保持することは想定しておらず、部分補強による問題点を想定して、その場合の挙動を踏まえた適切な配置検討のための基礎資料を得ることを目的としているため、極端な実験条件を設定することとした。補強材の定着の水平位置は左右の土圧計の上方とし、鉛直位置および定着方法は、以下の各ケースの実験結果で述べる。

#### 1) 無補強

無補強については 3.2 でも触れているが、**図6**に示すように降雨開始後約90分間は特段の変化はなく、その後土圧の変化が始まり、約140分経過時点で急激な土圧の上昇が発生してのり尻部の崩壊とともに約10秒程度で全体が崩壊したが、のり尻部の泥濁化は見られなかった。

#### 2) 補強材の降伏を想定した中間部補強

表層崩壊の場合、崩壊範囲を正確に特定することは難しく、部分補強を行った際に想定量以上の土塊が作用する可能性があり、その場合には補強材が降伏して崩壊することも考えられ、ここでは補強材の降伏を想定したケースを行った結果を示す。

補強材は斜面の中間部に配置し、実際に補強材を降伏させるほどの土量がないため、補強材の降伏を想定して定着部で底板が圧縮破壊して転倒が発生するように有孔板の定着部の補強をせず、引抜けのみを防止するため有孔板の下面に1辺の長さ6cm厚さ1cmの木製の角板をかませてボルト止めをした。

**図8**に降雨開始以降の土圧の変化および崩壊時の状況写真を示す。降雨開始後約90分間は特段の変化はなく、その後土圧の変化が始まり、約200分経過時点で急激な土圧の上昇が発生して約10秒程度で全体が崩壊した。崩壊に至るまでの変状の進行状況は、約170分経過時点でのり尻部の崩落が発生した。その後土槽上端部開

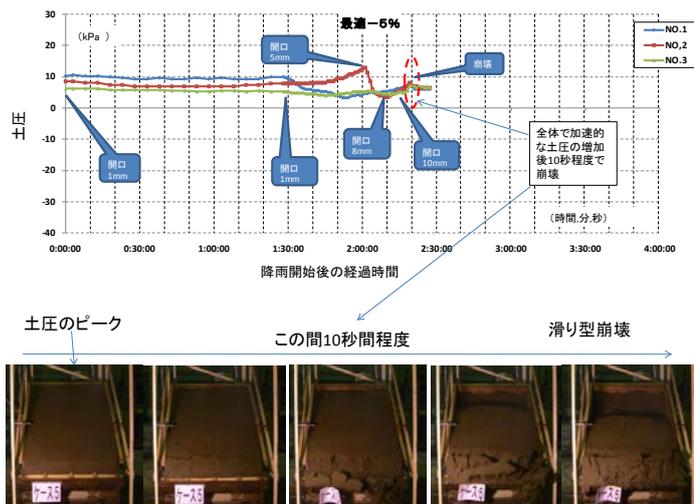


図6 降雨実験結果（最適含水比-5%）

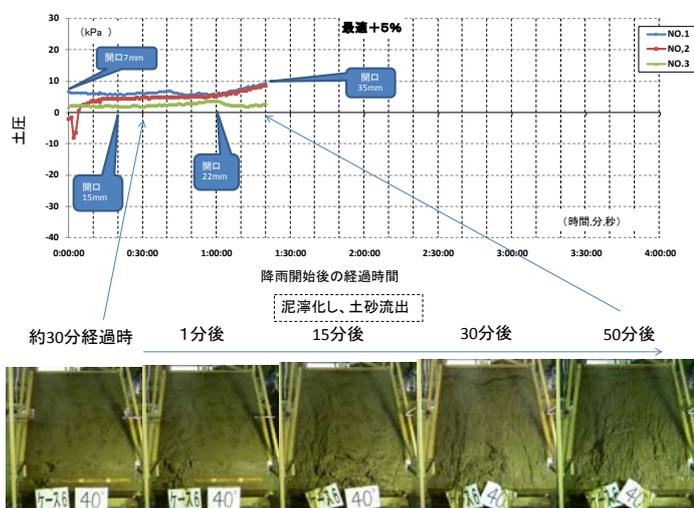


図7 降雨実験結果（最適含水比+5%）

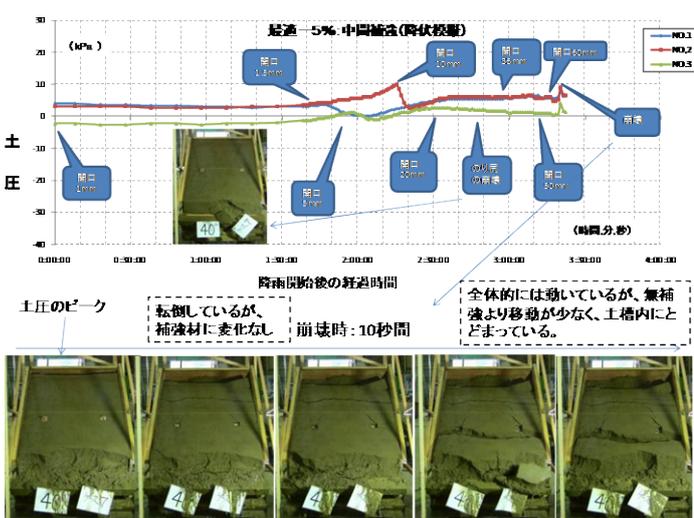


図8 降雨実験結果（補強材の降伏想定）

口の増加とともにのり尻部が徐々に遷移的に崩落し（約20cm程度）、上部の開口にあわせて補強材が斜面下方に倒れ、補強材が土塊を保持するようにゆっくり移動していた。また、のり尻部の内部の土は泥濘化しており、その部分を押し出すように崩壊した。

無補強のケースと比較すると、のり尻部の崩落が発生してもすぐに全体崩壊に至らず、また全体崩壊に至るまで約120分間の遅延効果があり、中間部を補強することは効果的である。今回の実験では、転倒を発生させるため定着部の補強を行っていないが、定着部を補強して中間部以上を保持するような対応を行えば、より効果が得られると考えられる。

### 3) 斜面上部を制御した補強

上記のケースでは、中間部を補強することで効果が得られることが確認できた。このケースでは補強範囲を極端に限定するため、斜面上部1/4の変形を制御することを想定したケースの結果を示す。

補強材の定着は、2)で発生させた転倒が生じないように角板で有孔板を上下面で挟み込むように補強してボルト止めをした。

図9に降雨開始以降の土圧の変化および崩壊時の状況写真を示す。このケースも同様に降雨開始後約90分間は特段の変化はなく、その後土圧の変化が始まり約180分経過時点で急激な土圧の上昇が発生して約10秒間で崩壊した。崩壊に至るまでの変状の進行状況は、崩壊発生の10分程度前からのり尻部の泥濘化が始まり、崩壊の約2分前にのり尻が崩落するとともに、補強材部分を境に水平クラック発生し、補強材部分で分断するように補強材以下の部分が全体的に崩壊した。

無補強のケースと比較すると、上記の中間部を補強した場合のケースと同様に、のり尻部の崩落が発生してもすぐに全体崩壊に至らず、また全体崩壊に至るまで約80分間の遅延効果があり、上部1/4補強でも部分効果は得られることが確認できた。ただし、中間補強による効果と比べるとその効果は小さい。

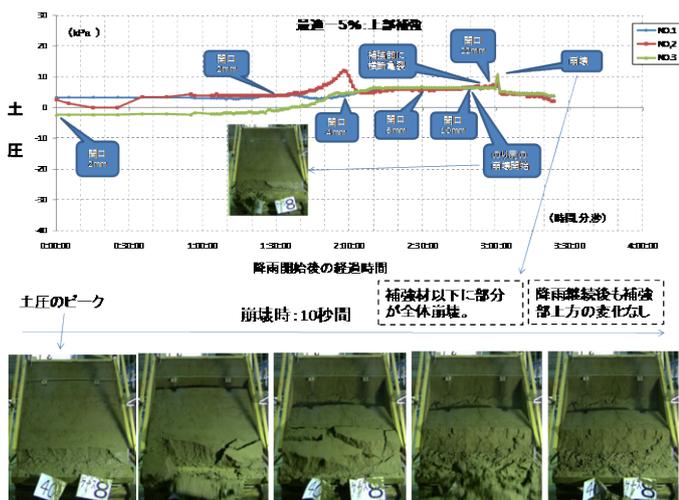


図9 降雨実験結果（上部補強）

## 4. まとめ

今年度は、防災対策における対策の考え方および災害復旧時の通行止め方法と復旧時間の観点から、災害形態毎に段階的対策の適用性を検討し、路線での保有リスクをしていく際の考え方を整理した。道路災害のほとんどが土砂崩壊であり、部分補強による段階的対策は路線区間の保有リスクを低減していくうえで効果的な方法と考える。地山補強土工は、斜面の部分補強を行うことに適した工法であり、実験的にも部分補強による効果を確認することができた。今後は、さらに災害事例から対策工の補強効果についての分析を進めるとともに、引き続き地山補強土工による補強効果実験により補強配置の検討や異なる土質材料での補強効果に関する検討を行う予定である。

## 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.

## 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, it was arranged the road regulation time and way on the past disasters (Surface failure, Rock fall, avalanche, landslide and Rock collapse that occurred during 15 years from 1990 to 2004) as the basic document for priority judgment in the road slope disaster prevention. And also, it was confirmed effect on partial reinforcement by model tests using soil nailing to surface failure.

**Key words** : road slope, disaster prevention measures, road regulation time, partial reinforcement