

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究状況報告書（2年目の研究課題対象）】

①研究代表者	氏名（ふりがな）		所属	役職
	八嶋 厚 （やしま あつし）		岐阜大学	教授
②研究 テーマ	名称	レーザー波干渉を利用した亀裂性岩塊の遠隔からの安全な安定性調査法の確立に関する研究開発		
	政策 領域	[主領域] (7)防災・災害復旧対策	公募	タイプⅡ
		[副領域]	タイプ	
③研究経費（単位：万円）	平成20年度	平成21年度	平成22年度	総合計
※H20、21は委託金額、H22は計画額を記入。端数切り捨て。	273	913	913	2,099
④研究者氏名	（研究代表者以外の主な研究者の氏名、所属・役職を記入して下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加して下さい。）			
氏名	所属・役職			
沢田 和秀	岐阜大学・流域圏科学研究センター・准教授			
馬 貴臣	岐阜大学・工学部・准教授			
⑤研究の目的・目標	（提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入して下さい。）			
<p>亀裂性岩盤斜面の安定度評価法として、レーザー波の干渉を利用する方法を提案する。これまでの、煩雑で危険を伴う方法に比べ、遠隔から非接触で安全に調査できる手法である。模型実験を通して、提案手法の実務への適用性を確立する。亀裂性岩塊による災害発生危険度について、現状把握を実施し、亀裂性岩塊に対する既存の安定性調査法の整理を行い、提案する簡易評価法の提案が社会ニーズとして高いことを示す。次に、斜面上の模型岩塊による計測実験により現場計測への適用性を検討する。基礎実験として、既往の接触型計測手法と提案する非接触型計測手法を比較し、提案する計測手法の利便性と得られるデータが高精度であることを確認する。今後実施予定の現場計測への適用性確認として、岐阜県内で数多く実施した接触型計測による安定性評価をとりまとめる。以上の成果に基づいて、提案手法の実務への適用性を確認する。</p>				

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、必要に応じて図表等を用いながら、具体的に記入して下さい。)

(1) 震動計測方向などに関する検討

1) レーザー波干渉による適切な振動計測方向の検討

レーザー波干渉を用いた非接触型計測は、1方向の振動により安定性の判定を行うため、評価対象とする岩盤、転石および浮石の形状や周辺地形に応じた適切な計測方向を見出す必要がある。従来から実施されている速度計もしくは加速度計を用いた接触型計測で得られる3方向成分の微動観測結果との比較を実施し、岩の形状や周辺地形に基づく最適な観測方向を検討するとともに、その決定方法の提案を行った。

図-1に示す亀裂性岩盤（この図の場合は、地震計番号5,6,7,8を設置したくさび型すべりが想定される岩塊）および基岩（この図の場合は、地震計1,2,3,4を設置した基岩と想定した岩塊）について、鉛直方向の常時微動を4.5Hz速度計および水平、前後、鉛直3方向の常時微動を28Hz速度計でそれぞれ計測した。計測は、静寂な環境での常時微動と、起振機を用いて振動を加えた場合について、それぞれ5回ずつ計測した。亀裂性岩盤の速度時刻歴と、基岩の速度時刻歴との間で、RMS速度振幅比を計測・解析した。

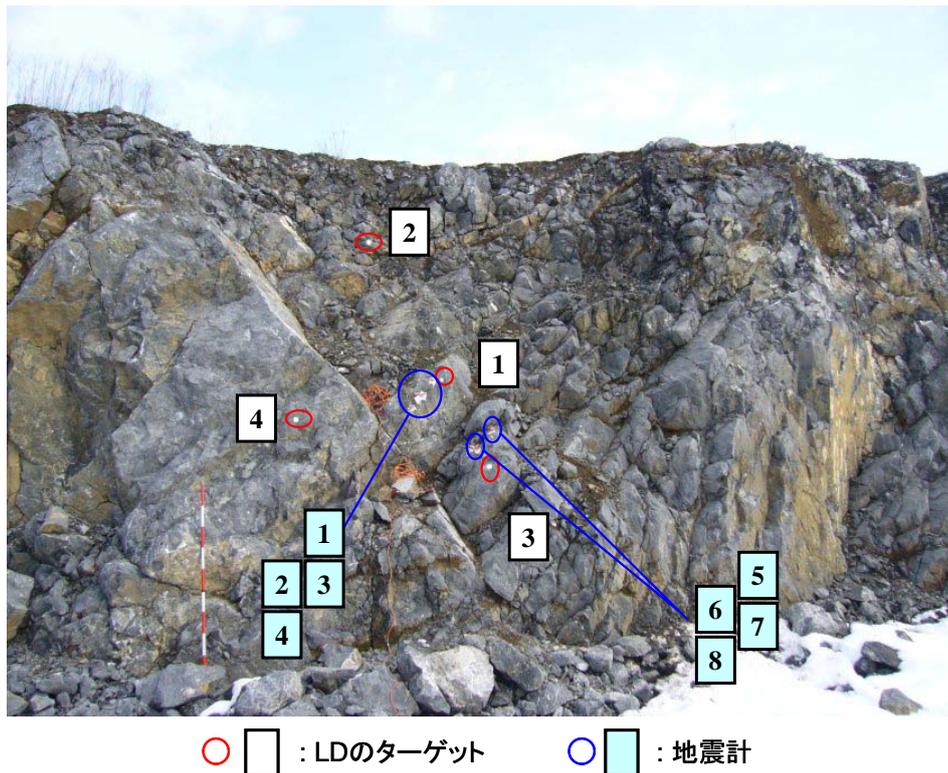


図-1 ターゲットと地震計の設置状況

表-1に水平、前後、鉛直3方向の、基岩と不安定岩塊のRMS速度振幅比を示す。鉛直や水平方向のRMS速度振幅比に比べて、くさびが滑ろうとする前後方向のRMS速度振幅比がかなり大きいことがわかる。このような不安定形態を示す岩塊については、すべりの卓越方向のRMS速度振幅比を測定しておけば、岩盤の安定性評価ができることがわかる。

表-1 計測で得られたRMS速度振幅比

試験条件	地震計 回数	4.5Hz	28Hz		
		鉛直方向	鉛直方向	前後方向	水平方向
常時微動	1回目	1.80	1.45	4.63	2.45
	2回目	1.95	1.56	6.25	2.77
	3回目	2.21	1.66	6.63	2.83
	4回目	2.21	1.56	6.51	2.73
	5回目	2.33	1.66	6.28	2.01
	平均	2.10	1.58	6.06	2.56
起振機による加振	1回目	2.01	1.42	8.01	3.77
	2回目	2.06	1.46	7.51	3.49
	3回目	2.05	1.42	7.85	3.54
	4回目	2.25	1.46	8.04	3.52
	5回目	2.13	1.43	7.80	3.43
	平均	2.10	1.44	7.84	3.55

本現場においては、別途オーバハンクしている岩塊についても同様の計測を実施している。これについても、研究評価会で報告し、最終報告書の中では詳しく考察する予定である。

2) レーザー波の計測データの安定性評価

レーザー波干渉を用いた非接触型計測では、不安定でない基岩および計測対象を同時に計測し安定性評価を行う。このため、2台のレーザー波干渉計測装置を用いた場合や、レーザー波干渉計測装置と地震計を用いた場合など、数パターンの計測を実施し、計測結果・費用および現場への適用性などの検討を行った。

まず、2台のレーザー波干渉装置を用いて、加振中の小型振動台を計測した。振動台の天板側面を計測したケース(ケースA)と天板側面と振動台の台座部分を計測したケース(ケースB)について、5回ずつ2台のレーザー波干渉装置を用いて、同期計測を実施した。両ケースの計測時間は60秒、記録サンプリング速度は200Hzである。小型振動台の入力地震動の周波数は1Hzに設定した。図-2,3に実験の概略図およびターゲットの設置状況を示す。

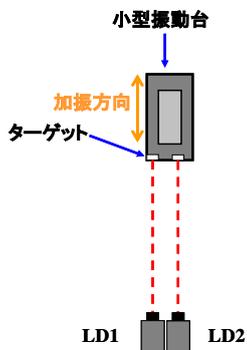


図-2 実験の概略図



(a)ケースA



(b)ケースB

図-3 ターゲットの設置状況

図-4,5に両ケースで得られた速度振幅スペクトルおよびスペクトル比の平均をそれぞれ示す。図-4に示すように、振動台の天板を計測した場合(ケースA(LD1,LD2)およびケースB(LD1))は、1Hzの卓越周波数が確認できた。図-5に示すように、ケースBでは、スペクトル比が1Hzで卓越した。また、ケースAはケースBと比べて、スペクトル比は小さい値となった。これは、同一の対象物を測定しているためである。したがって、2台のレーザー波干渉計測装置を同期して計測することで、正確な速度振幅計測が可能であることがわかった。

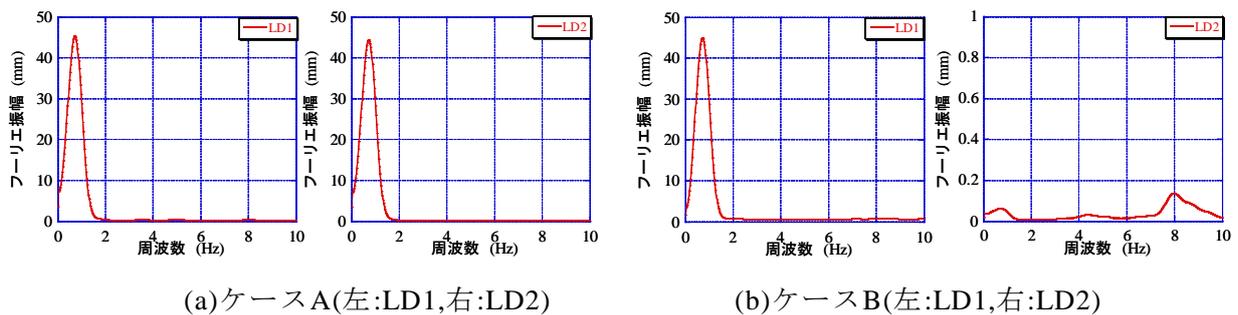


図-4 速度振幅スペクトル(5回の平均値)

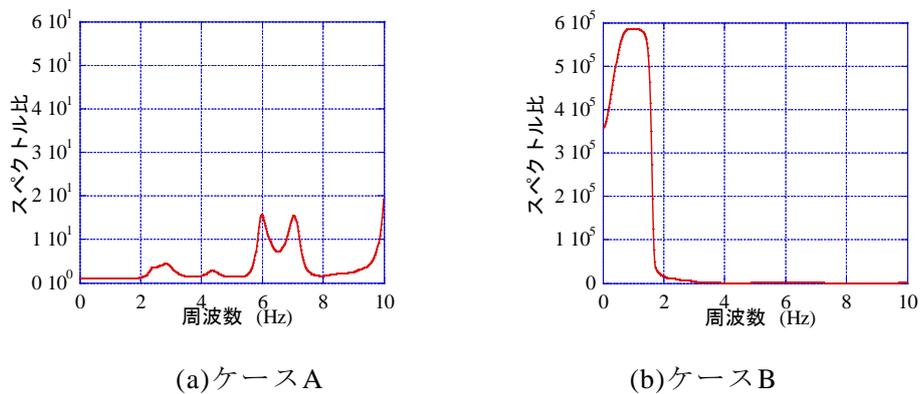


図-5 スペクトル比(5回の平均値)

次に、図-6,7に示すように、堤防の天端に不安定岩塊に見たてたコンクリートブロックを二段積み(上段:15×15×29cm, 下段:10×10×23cm)で設置し、上段のコンクリートブロックの前後方向にターゲットと28Hzの速度計をそれぞれ取り付けた。また、堤防ののり面を基盤部と見たて、のり面に前後方向の速度振幅を計測するために、28Hzの速度計を設置し、地震計の頭頂部にターゲットを貼付した。レーザー波干渉装置2台と速度計を用いて、不安定岩塊と基盤部の同期計測を行った。計測は、常時微動、堤防の天端から振動を加えた場合、堤防下から振動を加えた場合の3ケースについて、それぞれ各5回の計測を行った。各ケースの計測時間は35秒、記録サンプリング速度は500Hzである。得られた結果から、卓越周波数、RMS速度振幅比およびスペクトル比を求める。不安定ブロックの評価については、2月上旬までにまとめる。

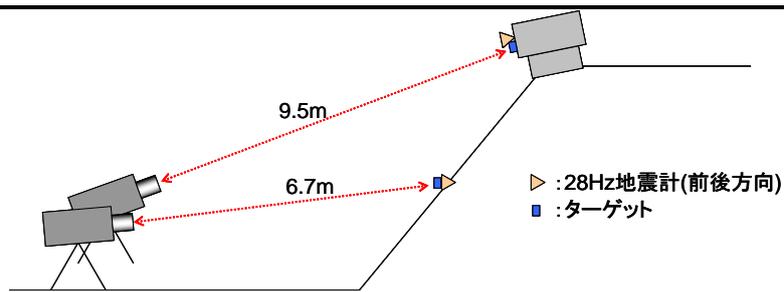


図-6 実験の概略図



図-7 ターゲットと地震計の設置状況

図-8,9に示すように、2台のレーザー波干渉装置および28Hzの速度計を用いて、二段積みコンクリートブロックおよび基盤部の同期計測を行った。計測時間は35秒、記録サンプリング速度は500Hzである。計測は、常時微動、振動を加えた場合の2ケースについて、それぞれ各5回の計測を行った。各ケースの計測時間は35秒、記録サンプリング速度は500Hzである。得られた結果から、卓越周波数、RMS速度振幅比およびスペクトル比を求める。不安定ブロックの評価については、2月上旬までにまとめる。

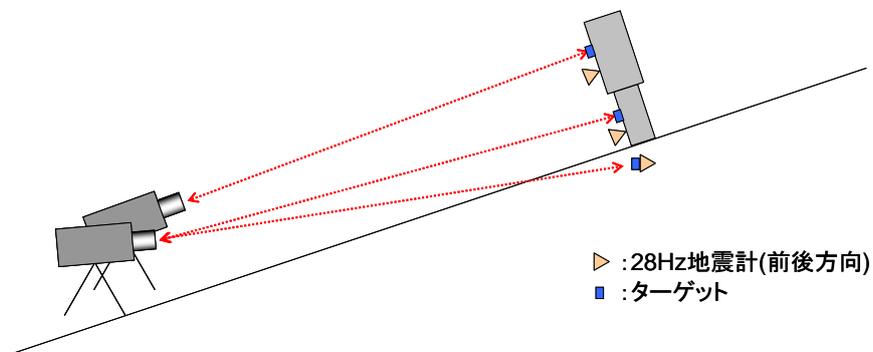


図-8 実験の概略図



図-9 ターゲットと地震計の設置状況

図-1に示した現場においても、2台および3台のレーザー波干渉装置および地震計を用いて、不安定岩塊と基盤部の同期計測を行う予定である。3方向成分の速度を計測できる速度計を岩盤に設置するとともに、1つのターゲットを異なる位置から3台のレーザー波干渉計測装置で計測することによって、速度計で得られる鉛直、水平、前後方向成分が再現できるかどうか確認する。

岐阜大学が保有する以外の2台のレーザー波干渉装置を借り上げて計測しなければならない。装置保有機関の都合により、現場計測が1月29日および2月上旬となる。したがって、本報告書を記述している時点で、現場計測は完了していない。現場計測より得られる結果から、卓越周波数、RMS速度振幅比およびスペクトル比を求める。詳細については研究評価会で報告し、最終報告書で記述する。

(2) 反射板と塗布方法に関する検討

1) 最適な反射マーカ素材と貼付（塗布）方法の検討

過年度の検討よりレーザー波干渉を用いた非接触型計測では、計測ターゲットとして、光波測量用反射板を用いることが理想的であるとともに、反射板の貼り付け方向が、計測結果に大きな影響を及ぼすことが明らかとなった。このため、光波測量用反射板ではない材料を計測ターゲットとして用いることおよび計測に最適な貼り付け方向に関する検討を行った。

異なる計測ターゲットを用いて、対象物に対するレーザー波干渉装置の設置角度を変えて加振中の小型振動台を計測した(図-10)。計測ターゲットとして、光波測量用反射板を用いた場合、再帰反射性高輝度スプレーを用いた場合、および振動台の天板に直接にレーザーを照射した場合の3種類の場合を実施した。

それぞれの計測ターゲットを用いて計測した回数を表-2にまとめる。各ケースの計測時間は60秒、記録サンプリング速度は200Hzである。小型振動台の入力地震動の周波数は1Hzと設定した。

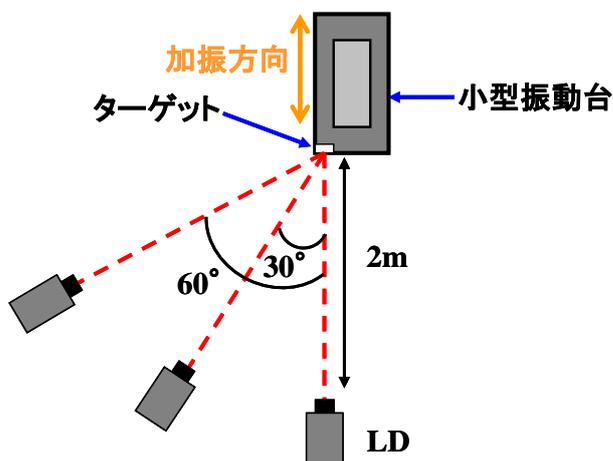


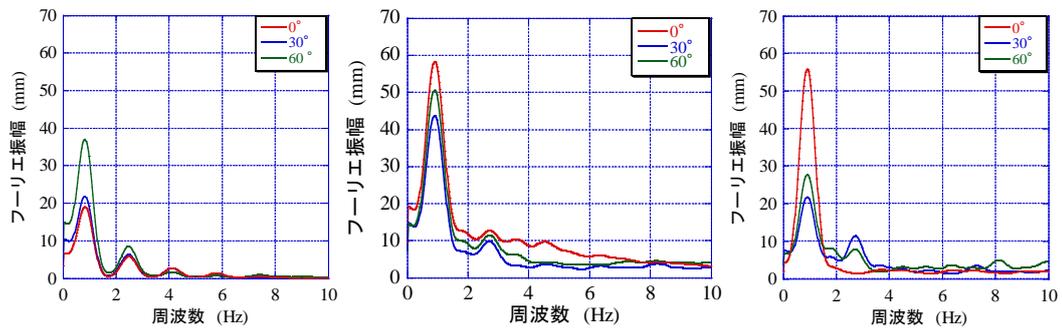
図-10 実験の概略図

表-2 試験回数

ターゲットの種類 \ 設置角度	0°	30°	60°
光波測量用反射板	5	5	5
再帰反射性高輝度スプレー	5	5	5
直接天板に照射	3	3	3

図-11に、計測ターゲットに、光波測量用反射板を用いた場合、再帰反射性高輝度スプレーを用いた場合、および直接天板に照射した場合のそれぞれについて、得られた速度振幅スペクトルを示す。なお、レーザー波干渉装置の設置位置が30° および60° の時の速度振幅スペクトルは、振動台の加振方向成分の値に着目するために、 $\cos 30^\circ$ および $\cos 60^\circ$ で除し、小型振動台方向の速度振幅として補正した。なお、振動台の変位振幅は1cmであることから、レーザー波干渉装置が照射する位置が振動中にずれていることに注意しておかなければならない。

図より、光波測量用反射板を用いた場合は、照射位置のずれにより、斜めから照射した方が速度振幅が大きくなっている。再帰反射性高輝度スプレーを用いた場合では、角度の影響はさほど見られない。直接天板に照射した場合は、天板部分で再帰性反射ではなく、乱反射したため、角度補正をしても、精度がよくならなかったと考えられる。常時微動のような微小な変位振幅においては、光波測量用反射板を用いた場合、再帰反射性高輝度スプレーを用いた場合は、かなり高精度な計測ができるものと期待される。



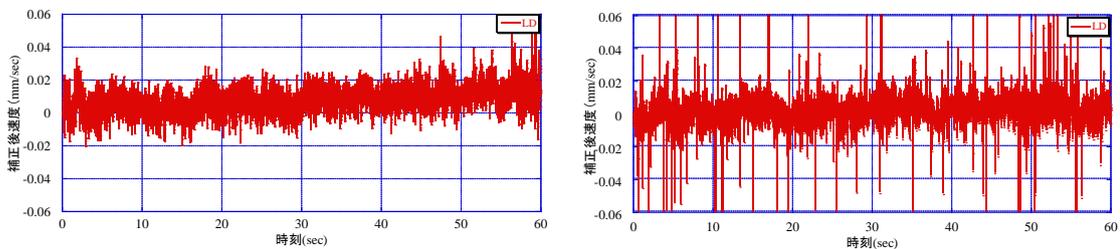
(a)光波測量用反射板 (b)再帰反射性高輝度スプレー (c)直接天板に照射した場合
 図-11 速度振幅スペクトル(平均値)

(3) レーザー波干渉を用いた非接触型計測データによる安定性評価およびその妥当性の検討

1) 計測安定性に及ぼす気候・気象条件の影響の検討

レーザー波干渉を用いた非接触型計測では、気候・気象条件などの外気状況に影響を受けることが想定されるため、夏季および冬季、晴天時および降雨時といった異なった気象環境で、数多くの現場計測実験を実施した。異なる気候・気象条件下で観測された計測データの整理方法の検討を行うとともに安定性の評価を行う。

気象条件の違いが計測結果にどう影響を及ぼすか確認するために、曇りの時と降雨時に計測を実施した。両ケースともに、同一の建物の外壁を計測した。計測は、それぞれ5回実施した。図-12に、曇りの時と降雨時の速度時刻歴の結果の一例を示す。



(a)曇りの時 (b)降雨時

図-12 異なる気象条件のときの速度時刻歴

図-12に示すように、降雨時は、曇りに計測されない、スパイク状のノイズが多数計測された。他の4回の計測でも同様に、降雨時にスパイク状のノイズが計測された。このことから、雨天時において、レーザー波干渉装置を用いた常時微動計測は、誤差が大きいことがわかる。

2)提案手法による岩塊の安定性評価の妥当性確認のための研究

図-1で示した現場において、すでに接触型計測データとレーザー波干渉装置を用いた計測データを得ている。さらに、レーザー波干渉装置2台および3台を用いた計測を実施する。岐阜大学が保有する以外の2台のレーザー波干渉装置を借り上げて計測しなければならない。装置保有機関の都合により、現場計測が1月29日および2月上旬となる。したがって、本報告書を記述している時点で、現場計測は完了していない。

対象は、くさび型すべりが想定される岩塊、およびオーバーハングした岩塊である。これらの2つの岩塊と、同じ斜面において安定した岩塊のそれぞれについて、接触型計測による安定性評価とレーザー波干渉装置を用いた計測による安定性評価を比較する。その詳細については研究評価会で報告し、最終報告書で記述する。

⑦研究成果の発表状況

(本研究から得られた研究成果について、学術誌等に発表した論文、および国際会議、学会等における発表状況等があれば記入して下さい。)

1. 斎藤秀樹・大塚康範・上半文昭・小島謙一・村田修・馬貴臣・沢田和秀・八嶋厚・深田隆弘、レーザードップラー振動計による遠隔非接触岩盤振動計測の基礎実験、物理探査学会第121回学術講演論文集、p39-42、(2009)
2. 馬貴臣・沢田和秀・八嶋厚・斎藤秀樹：模型実験による岩盤安定性評価への遠隔計測手法の適用性に関する検討、第44回地盤工学研究発表会発表講演集、DVD-ROM、(2009)
3. 馬貴臣・沢田和秀・八嶋厚・斎藤秀樹：レーザー干渉を利用した遠隔計測による岩塊安定性評価、第64回土木学会年次学術講演会発表講演集、DVD-ROM、(2009)
4. 山崎智久・八嶋厚・沢田和秀・馬貴臣・野々山栄人：レーザー波干渉装置を用いた岩盤の微動計測に関する基礎的研究、平成21年度土木学会中部支部研究発表会講演概要集、CD-ROM、(2010)投稿中

⑧研究成果の活用方策

(本研究から得られた研究成果について、その活用方法・手段・今後の展開等を記入して下さい。)

非接触で安全な計測方法と簡便な評価方法のマニュアルを作成する。

防災インフラや自然斜面の点検・維持補修に関する高度人材育成を実施している岐阜大学社会資本アセットマネジメント技術研究センターにより、計測・評価方法の実習を伴うフィールド実習を実施する。1年間に、発注者および受注者技術者30名以上を対象とした高度・集中研修を実施している(90分の座学・演習・フィールド実習が80コマ)。今年度までの斜面上の岩盤および転石・浮石の安定性評価は、目視のみにより実施・指導してきたが、22年度以降の研修においては、21年度までに試行した本研究成果を利用して岩盤および転石・浮石の安定性評価研修を実施する。これにより、本事業で開発する新技術を県内外の技術者に普及を試みる。この実習においては、従前の接触型速度計を用いた計測も実施し、提案非接触計測・評価方法の優位性を強調する。

なお、岐阜大学社会資本アセットマネジメント技術研究センターが実施している「社会基盤メンテナンスエキスパート養成講座」は、(独)土木研究所および長崎大学との相互協定に基づいた事業であり、提案手法については、土木研究所などを通じて広く普及を試みる。

⑨特記事項

(本研究から得られた知見、学内外等へのインパクト等、特記すべき事項があれば記入して下さい。また、研究の目的・目標からみた、研究成果の見通しや進捗の達成度についての自己評価も記入して下さい。)

防災インフラや自然斜面の点検・維持補修に関する高度人材育成「社会基盤メンテナンスエキスパート養成講座」を実施している岐阜大学社会資本アセットマネジメント技術研究センターにより、1年間に、発注者および受注者技術者30名以上を対象に、21年度までに試行した本研究成果を利用して岩盤および転石・浮石の安定性評価研修が実施できることが大きな特徴である。この実習においては、従前の接触型速度計を用いた計測も実施し、提案非接触計測・評価方法の優位性を強調できる。また、高度人材育成「社会基盤メンテナンスエキスパート養成講座」は、(独)土木研究所および長崎大学との相互協定に基づいた事業であり、提案手法については、土木研究所などを通じて広く普及することができるのも大きな強みである。

これまでに蓄積したデータと、今後現場計測で得られるデータを比較することにより提案手法の有効性を検討できる。また、申請者らは、(社)地盤工学会において、「レーザースキャナによる斜面地形情報取得技術の高度化とその利活用に関する研究委員会」の委員長、幹事として活躍しており、レーザーデータの有効活用法を熟知している。さらに、不安定岩の対策が遅れた場合を想定し、馬は、亀裂性岩盤の落石シミュレーションを得意としており、もし落石が発生した場合に、どのように落下するかを予測することができる。また、八嶋・沢田は、これまでに、地盤材料を利用した落石防護工を提案しており、その工法は国内外で高く評価されている。本申請研究で、落石の安定性の評価を非接触で効率的に安全に実施できる方法を確立できれば、発生源対策から防護工まで一連の落石対策を網羅できるシステムが構築できる。