

法面モニタリングによる土構造物メンテナンス技術の高度化と地盤情報データとの統合による広域災害抑制への活用技術に関する研究

地盤工学会九州支部 2015－6 年度研究委員会 研究代表者 廣岡明彦
九州工業大学大学院 工学研究院建設社会工学系

概要：本研究委員会では、法面のモニタリング技術等により収集されたリアルタイム情報を「個々の土構造物・斜面の維持管理」へ活用する手法の開発並びに、複数構造物のモニタリング情報と地盤情報データベースとの地域的統合による「広域災害抑制」への活用技術を提案することを最終目的としている。今年度の研究では、現在ある法面モニタリングや地盤情報データベースの最先端技術について研究委員会で調査検討等を加えたので、それについて報告する。

1. はじめに

高度経済成長期に整備された社会資本ストックの多くが今後急速に老朽化することが橋梁・トンネルを実例として指摘されている。自然斜面を含め盛土・切土の様な法面を有する土構造物もその例外ではなく、むしろ土や岩というローカルでバラツキの多い材料で構成されている分、そのメンテナンスサイクルは難しい。その一方で、重要な土構造物や土石流・地すべりの発生が危惧される自然斜面における法面のモニタリング技術は多種開発されているが、そのリアルタイム情報を生かしたメンテナンス技術の高度化や地域全体を見据えた効率的なメンテナンスの実現には至っていない。

平成 24 年 7 月の九州北部豪雨災害の災害調査によると、災害には地域性が著しく反映されていたことや、山間部での土砂災害がダムや河川の閉塞を引き起こし、下流域の河川災害を拡大する複合的広域災害であったことが明らかとなった。地球温暖化の影響が抑制される見込みが全くないことから、近い将来、これに起因した「過去に経験のないような」豪雨に九州地区各所が見舞われる可能性は十分高く、再び複合的な広域災害の発生が危惧されている。

本研究委員会では、リモセンも含めた法面のモニタリング技術等により収集されたリアルタイム情報を「個々の土構造物・斜面の維持管理」へ活用する手法の開発並びに、複数構造物のモニタリング情報と地形情報やボーリングデータを含む地盤情報データベースとの地域的統合による「広域災害抑制」への活用技術を提案することを最終目的としている。

2. 今年度の研究委員会での検討事項

本研究委員会での最終的な目的は前項で述べた通りであるが、今年度の研究では、リモセンも含めた法面のモニタリング技術等により収集されたリアルタイム情報を地盤情報データベースと統合して「個々の土構造物・斜面の維持管理」へ活用する手法を開発することによってメンテナンス技術の高度化を図ることに加えて、複数構造物の法面モニタリング情報と地形情報やボーリングデータを含む地盤情報データベースとを地理情報システムを援用して地域的統合をすることによって「広域災害抑制」に活用する手法を開発するために、現在ある法面モニタリングや地盤情報データベースの最先端技術について研究委員会で調査検討等を加えた。

具体的には、種々の法・モニタリング事例、GNSS による法・のモニタリング、航空法改正後の無人航空機運用と空撮、九州地盤情報データベースを用いた 3 次元地盤モデル、点と面の土壌水分観測の最前線、豪雨災害の予知技術に項目分けして検討した。

3. 種々の法面モニタリング事例

法面モニタリングの代表例として道路管理でのモニタリングが取り上げられた。表 3-1 は道路管理の場面と求められる計測の目的と特徴についてまとめたものである。そこでは、日常管理から災害が発生した状況を想定し、それぞれについて計測目的、計測期間、一般的に要求される計測精度、自動化のニーズについて検討した結果を示している。すなわち、災害発生箇所では通行止めや交通開放の判断、規模の把握による対策方針・工法の検討、復

表 3-1 道路管理の場面と求められる計測の目的と特徴

計測管理の場面	Ⅰ 災害発生箇所	Ⅱ カルテ点検箇所		Ⅲ 日常管理 (路線・区間)
		Ⅱ' 要対策箇所	Ⅱ'' カルテ点検箇所	
計測の目的	(1) 変状の進行を把握し、 <u>通行止めや交通開放を判断する</u> (2) 変状の範囲、深度、規模等を把握し、 <u>対策方針・工法を検討する</u> (3) <u>作業の安全を確認する</u>	(1) <u>対策が実施されるまでの安全を確認する</u>	(1) 災害要因の安定性の変化について、進行状況を把握し、対策方法の検討に必要な情報を得る (2) 経年的な変状の進行の有無や進行の程度を確認して、 <u>対策を実施するか、点検を継続するか、点検対象外にするかを判断する</u>	(1) 安全な通行が可能か、異常が発生していないかを把握する
計測期間	短期～中期	中期～長期	中期～長期	長期
一般的に要求される計測精度	高	高～中	中～低	中～低
自動化のニーズ	(1) 現場に人が居る場合には、中～低 (2) 危険等の理由で現地に近づけない場合には、高	高～低	中～低	(1) 遠隔地、広範囲、路面から観察できない場合、高 (2) 道路近傍で目視観察の補助程度の場合、低

旧作業の安全確認が、モニタリングの主な目的となり、計測期間は比較的短期間であるものの要求される精度は一般的に高いのが普通である。加えて危険等の理由で現地に近づけない場合もあり、自動計測化の要求は高い。路線や区間単位での日常管理では、計測の目的は異常が発生しておらず安全な通行が可能であることを確認することであり、対象が遠

隔地であったり広範囲であったりする場合には自動計測が強く求められる。

表 3-2 は、計測（モニタリング）手法の推移を人力による第 1 世代からセンサによる計測データが無線伝送される第 5 世代に至る過程をその特徴、概念図、計測方式の違いについてまとめたものである。ここでは第 4 世代に分類される光ファイバセンサモニタリング

表 3-2 計測（モニタリング）手法の推移

世代	特徴	概念図	計測方式の区別	
第 1 世代	・ <u>人力にて計測</u> ・ <u>1 週間に 1 回程度の計測頻度</u>		手動方式	現在でも多くの地すべり防止区域における計測業務に採用されている。
第 2 世代	・ <u>アナログレコーダー</u> ・ 測定期間：1 週間～1 ヶ月 ・ 寒冷積雪地では冬期間測定困難			地盤伸縮計などは現在でもこの様な方式・使い方をすることが多い（特に災害など）。
第 3 世代	・ <u>デジタルレコーダー</u> ・ <u>冬期間測定可能</u> ・ 監視および予知は困難		半自動方式	簡便に設置でき、連続データが取れるため、半自動方式の計測は更に普及すると考えられる。
第 4 世代	・ <u>有線伝送方式</u> ・ 100V（商用電源）と NTT 等の回線が必要 ・ <u>リアルタイム監視が可能</u>		全自動方式	全自動計測方式における現状での主流。今後光伝送などの採用が予想される。
第 5 世代	・ <u>無線伝送方式</u> ・ 山間地でも OK ・ <u>電源と通信エリアの確保が必要</u> ・ <u>リアルタイム監視が可能</u>			設置は比較的簡便であるが、通信が困難と思われる現場が比較的多い。

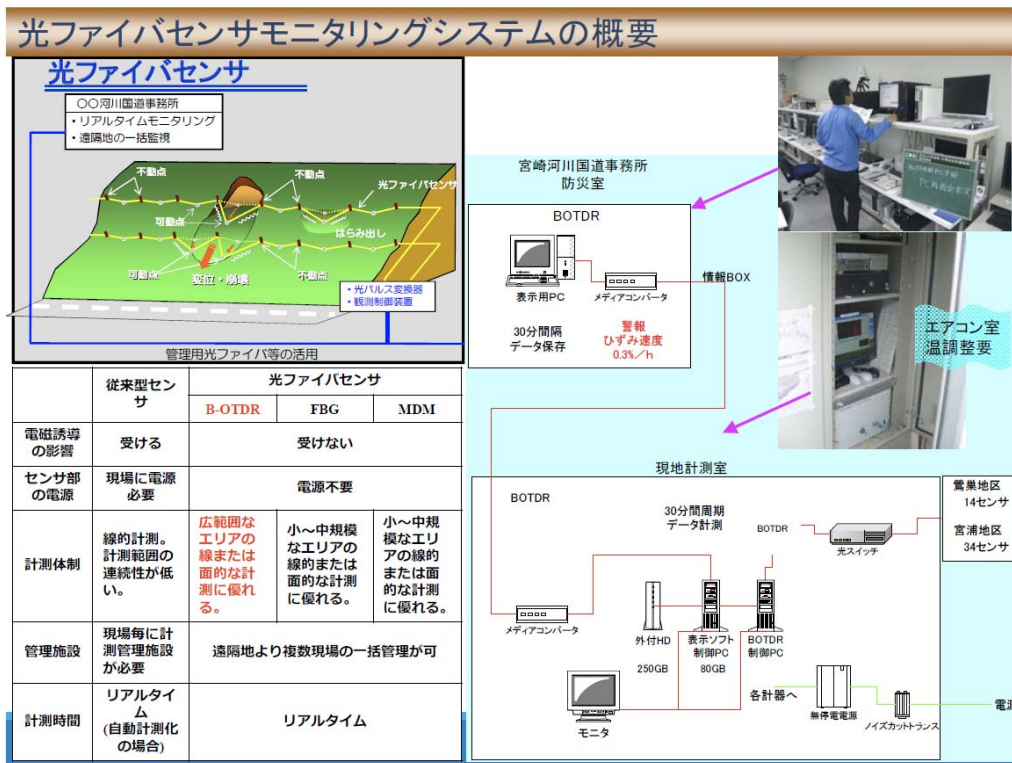


図 3-1 光ファイバセンサモニタリングシステム

システム(図 3-1)について詳細に検討した。光ファイバセンサは法面上に敷設され、BOTDR 形式ではセンサ部の光ファイバがひずむと反射光の周波数が変化することを利用して法面に発生する変形や崩壊を捉えようというものである。伸縮計等の従来型センサが、電磁誘導の影響を受け、現場ごとに電源や計測管理施設が必要であり、線の計測で計測範

囲の連続性が低いのであるが、光ファイバセンサは電磁誘導の影響を受けず、現場ごとの電源も不要で、広範囲なエリアを線的にも面的にも計測することが可能であり、遠隔地より複数現場の一括管理が可能である。すなわち、光ファイバセンサシステムを用いると、広域に斜面監視が実現でき、表層崩壊発生箇所の絞り込みが容易であり、効率的な段階的部

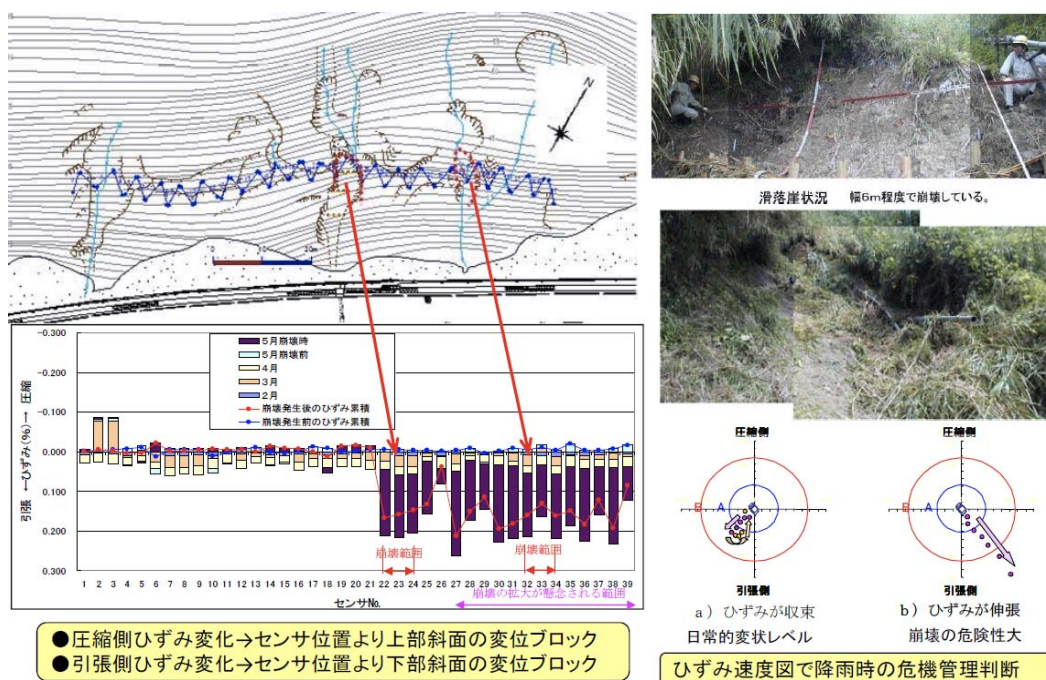
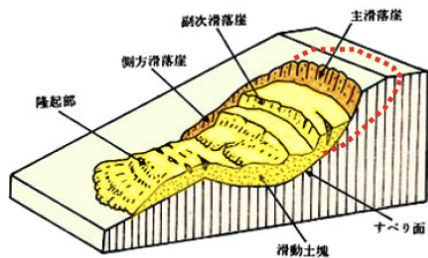


図 3-2 光ファイバセンサシステムによる法面崩壊の規模や位置の抽出事例

長者地すべり（高知県）

- ◆ 年間数10mmの変位が継続
- ◆ 降雨時の変位監視
- ◆ 対策工の効果確認



地すべりの模式図

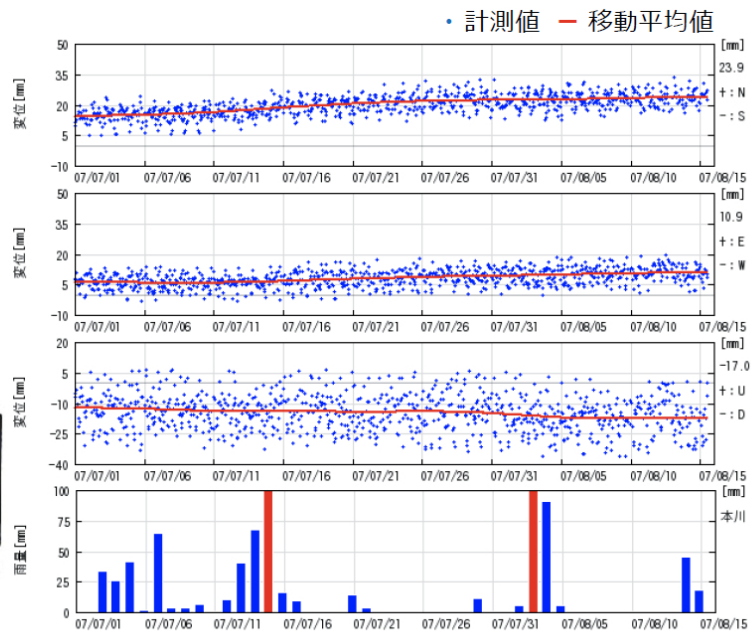


図 4-1 GNSS モニタリング事例（地すべり）

分ハード対策工が可能である。図 3-2 に光ファイバシステムによる法面崩壊の規模や位置の抽出事例を示す。これより、生じているひずみが圧縮側か引張側かで変位が発生している位置や規模を捉えることができることやひずみ速度図により降雨時の危機管理判断が可能であることが確認できる。しかしながら、このシステムにおいても計測器や特殊な材料の導入コストが高いことや斜面での施工性や拡張性が悪く、設置作業において光ファイバセンサが曲りやねじれ等で損傷することも少なくないといった解決しなければならない課題があることが指摘された。

4. GNSS による法面のモニタリング

GNSS とは、Global Navigation Satellite System の略であり、複数の GNSS 衛星からの信号を地上に設置した複数の GNSS 受信局で受信して、複数の GNSS 衛星の軌道（位置）とそれぞれからの受信局までの距離を測定し、それにより受信局の位置を、24 時間、どんな天候であっても、地球上のどこでも、ほぼリアルタイムで、正確に（cm 単位で）、無料（信号利用について）で知ることができるシステムである。GNSS を法面モニタリングに適用した場合、計測点の見通しが不要で、三次元の計測結果を得ることができ、荒天でも夜間でも計測が可能であり、計測レンジに限界は無く、自動計測で現地計測作業は不要であり、

機械的な可動部が無いいためメンテナンスはほぼ不要であるというメリットがある。

図 4-1 に、地すべりに対する GNSS モニタリング事例を示す。年間数 10mm の変位が継続するような地すべりに対しても、トレンド量を採れば十分な精度を確保でき、降雨時の変位監視や対策工の効果確認としても十分有効なモニタリング手法であることが確認できた。

特に最近では、GNSS センサが無線 LAN や 3G 通信モジュールを備え、現地設置直後から運用を開始できること、低消費電力化により、太陽電池と蓄電池で運用が可能であること、設置方法が簡便で、初期の設置作業の手間が軽減されてきていること、コストが従来型伸縮計の 3 倍程度まで大幅に低減して求め易くなり、多数の観測点によるモニタリングが実現可能となっていることが報告された。

5. 航空法改正後の無人航空機運用と空撮

小型無人航空機（UAV）の活用がインフラ整備の分野において、特に遠望目視が主流の橋梁点検に利用されることが増えてきている。点検に伴う交通規制などの負担減、仮足場を設ける必要が無いことから、点検作業の省力化・迅速性が向上し、それによって道路利用者と検査担当者の安全確保にも一役買っていることは間違いない。特に、UAV の機体制御技術の目覚ましい向上に加えて、ビデオカメラの小型化、画像解像度の著しい向上（4K カメ



図 5-1 無人航空機の安全な飛行のためのガイドライン (国土交通省)

ラ) もあって、視覚拡張手段としての空中撮影は今後様々な分野での利用が、特に危険で現場に近づけない災害対応の分野で増えることであろう。だが、急激なユーザの増加が事故や新たな社会問題を引き起こしていることも事実であり、それを受けて改正航空法が2015年12月10日施行されることとなり、小型無人航空機の運用はそれまでとは様相が異なることとなった。そこで研究委員会ではこの施行により防災・災害対応におけるどのような影響が及ぼされるかについて検討した。図 5-1 は国土交通省により新たに設置された無人航空機運用のガイドラインを示したものである。これによると、大幅な規制と行政サイドとの綿密な連絡が通常の運用においても災害時の運用においても必要になることが確認された。動画撮影と同時にレーザスキャナーによる測量を実施することで近接目視検査により近いモニタリングが可能となることにも注目したい。

6. 九州地盤情報データベースを用いた3次元地盤モデル

近年、九州地盤情報共有データベースをはじめとして、KuniJiban、みちのく GIDAS とちぎの地盤マップ、東京都地盤情報システム、かながわ地質情報 MAP、ほくりく地盤情

報システム、関西圏地盤情報データベース、こうち地盤情報公開システム等、多くの地盤情報が公開されている。しかしながら、その利活用については不十分というのが現状であり、災害の要因となる地盤条件について、わかりやすい「3次元モデルの構築」とその情報を共有するための「見える化」が必要である。研究委員会では、九州地盤情報共有データベースを利用した土質とN値の3次元地盤モデルの作成例について委員会で検討した。

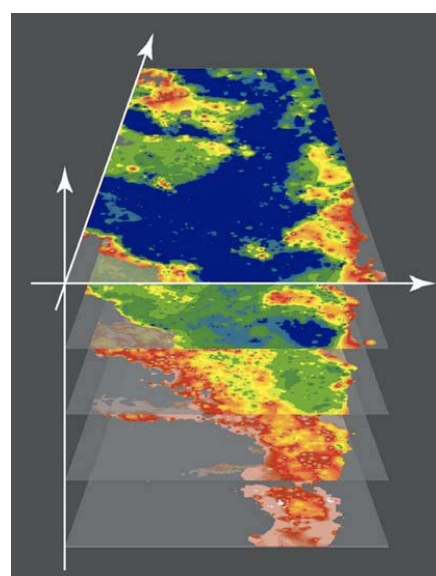


図 6-1 3次元地盤モデルの作成例

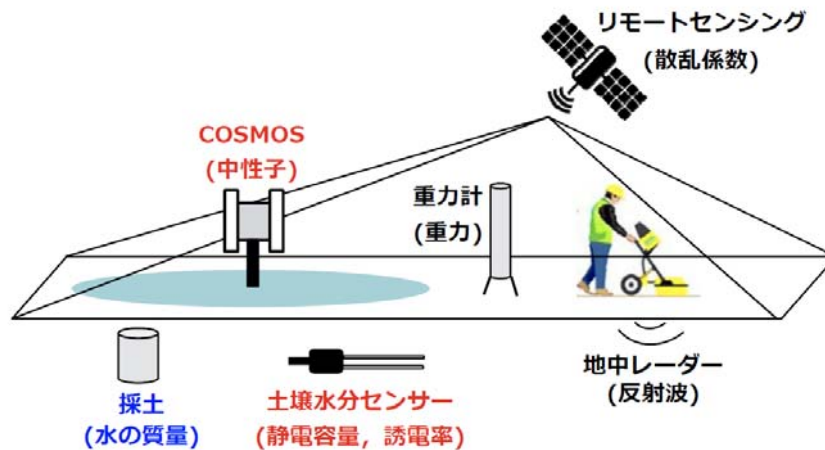


図 7-1 種々の土壌水分のモニタリング方法

図 6-1 に示された様に、ある程度のボーリングデータの密度があれば、地層境界等の解釈を必要とせずに地質の違いを表現できる 3 次元地質・地盤モデルが構築できることを確認した。

7. 点と面の土壌水分観測の最前線

法面の安定において、土中の水分量は非常に重要なファクターとなる。研究委員会では、土中の水分量を測定する方法でその測定深度や空間スケールの異なる方法について検討した。検討した土壌水分のモニタリング方法について示したものが図 7-1 である。点計測では TDT センサによる時間領域透過法が極めて優れた土壌水分の計測方法であることが確認された。ただ課題として、適用事例が少なく情報が乏しいことと、校正のノウハウ等を蓄積していく必要があることも指摘されており、土を乱さずにセンサが設置できないことも問題である。また、土壌水分の面計測の方法として地表面近傍の中性子数を測定する COSMOS (COsmic-ray Soil Moisture Observing System) についても解説された。ただ、その測定領域が約 300m と広いため、法面モニタリングの一つとして用いるには今後の検討がかなり必要であることが指摘された。

降雨時の法面崩壊を予測するということは、「何時」、「何処で」、「どのような（規模）」を事前に予測するということである。このためには、先ず斜面がどのような地盤材料で構成されているか、すなわち、事前に地盤調査と土質試験が実施され、それに基づく地盤モデルの構築が必要であり、かつ、豪雨により時々刻々と変化する法面の状態を計測によって把握する必要がある。その上で、法面の安定度を定量的にリアルタイムで評価する技術が必要である。これには、数値力学モデルの構築とそれに基づく不飽和浸透解析と斜面安定解析が欠かせない。また、安定度の定量的評価技術も室内土質試験結果との比較による妥当性評価が数値力学モデルの精度を上げるためには必要であり、室内土槽試験や現地斜面計測との比較による検証を不飽和浸透解析や斜面安定解析に対して実施することが必要である。

以上が可能となつてはじめて、個々の土構造物・斜面のメンテナンス技術の高度化を図ることができ、複数構造物の法面モニタリング情報と地形情報やボーリングデータを含む地盤情報データベースとを地理情報システムを援用して地域的統合をすることによって「広域災害抑制」に活用する手法に到達するものと考えられる。

8. 豪雨災害の予知技術(これまでのまとめ)