

令和 4 年 6 月 28 日現在

機関番号：10106

研究種目：若手研究

研究期間：2019～2021

課題番号：19K13432

研究課題名（和文）同時多点位置観測から地すべり発生プロセスを解明する

研究課題名（英文）Observing initiation process of a landslide by using multiple high-precision GNSS positioning

研究代表者

渡邊 達也（Watanabe, Tatsuya）

北見工業大学・工学部・助教

研究者番号：80636168

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、低価格・高精度の小型GNSS測位モジュールを使用した長期野外観測システムを構築し、このシステムを多数設置することで、低コストでの地すべり変動の同時多点高精度観測を実現させた。北海道浜中町の海岸地すべりを対象に約2年間の連続観測を実施し、その間に計5回の大滑動イベントを観測することができた。この地すべりでは、大滑動イベント発生前から微小変動が生じており、同時多点高精度観測では、従来手法では捉えられないような、地すべりが大滑動に至るまでの複雑な挙動を捉えることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、小型GNSSモジュールを用いた低コストの長期野外観測システムにより、地すべりの精密動態観測に成功した。同様の観測手法が他の地すべり地でも応用されれば、多くの地すべりにおいてこれまで捕捉できなかった多様な挙動が明らかになると予想される。これは効率的な地すべりの抑止策や早期警戒監視指標の開発にもつながる。また、地すべり観測はもとより、中小規模の地形変化の観測が必要な他の分野においても、その応用が期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study constructed long-term field observation stations for landslide monitoring using low-cost, high-precision and compact GNSS positioning modules. Ten or more observation stations were installed on a landslide in Hamanaka, Hokkaido, to realize simultaneous multipoint high-precision observation of landslide fluctuations at low cost. The monitoring network recorded five major sliding events during the 2 years monitoring period. Minor fluctuations were also recorded before the occurrence of the major sliding events in the landslide. Multiple high-precision GNSS positioning applied to this study was able to detect a series of complex behaviors of the landslide from minor fluctuation to major sliding.

研究分野：地形学

キーワード：地すべり GNSS 地形観測

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究は、近年登場した低価格・高精度の小型 GNSS 測位モジュールを利用した長期野外観測システムを構築し、このシステムを観測対象範囲内に多数設置することで、低コストでの地すべり変動の同時多点高精度観測を実現させることを目標として開始した。

数百メートル四方以下の規模の地形上に配置された複数点を対象に、一斉同時に数秒～数分の時間間隔で数 cm 以下の変化距離の観測を行うという「同時多点高精度位置観測（以下、多点観測）」は、複数の高精度 GNSS 測位機器を利用すれば理論的には実現可能であるものの、もし実施しようとするれば高いコストが予想され、科学研究では不可能であった。そのため、地形変化メカニズムが推定できても、その実態を捉えられていない場合もある。例えば、活動・停止を繰り返す再活動地すべりは、すべり面の不均質性により、すべりの開始が地中のある場所から開始し、それが周囲に伝播して全体移動に至る挙動、他には、すべり面上の大部分で緩やかにすべりを開始する一方で、局所的に変位速度の小さな部分であるアスペリティが形成され、全体的な変位の増加によってアスペリティの部分が破壊されると全体の急速な大変位が発生するという挙動などがあると予想される。しかし、上記の多点観測が実現できなかったために、地すべりが全体移動に至るまでに発生すると想定されるそのような運動の観測結果は、これまでのいずれの研究でも得られていない。従来のワイヤー伸縮計を用いた方法では、連続観測が可能であるが、設置点数が限られ、さらに、全体か一部が移動した距離しか得ることができない。長期間かつ連続的な多点観測が実現すれば、従来の観測手法とは比較にならないほどの情報をもたらす、地すべりの科学研究・防災技術への応用において革新的な知見が得られる可能性がある。

2. 研究の目的

高精度 GNSS 測位技術の進歩はきわめて速く、低価格化・高精度化が著しい。近年、低コストでの地形変化多点観測を実現可能にするであろう、低価格・高精度の小型 GNSS 測位モジュールが登場した。このモジュール自体は様々な用途への応用が可能であるが、長期野外観測を想定した規格のものは本研究を開始した時点で登場していなかった。そこでまず初めに、このモジュールを使用して地形変化の多点観測に応用できる観測ステーションの開発を進めた。そして、この観測ステーションを活動的である地すべり地に多数設置し、地すべりの精密な動態の観測を行うとともに、地すべり内部構造や気象・波浪といった基礎的観測データと統合的に解析することですべりの発生に関わる作用の解明を行うことを目的とした。

3. 研究の方法

(1) 調査地

本研究では、北海道浜中町後静の海岸地すべりを観測対象とした。周辺の地質は白亜系根室層群厚岸層の砂岩泥岩互層から構成され、所々に凝灰岩や炭酸塩岩が挟在する。地すべり地の規模は、長さ約 120 m、幅約 65 m である。地すべり移動体頭部では、すべり面が露出しており、南南東方向に約 16～17° 傾斜している。

(2) 観測方法

1 周波 GNSS モジュール(センサコム社製 SCR-u2C)と高感度アンテナ(Tal lysman 社製 TW3740)からなる長期連続観測ステーション(図 1)を構築し、地すべりの移動体上に 10 基(移動局)、不動域に 1 基(基準局)の計 11 基を設置して連続観測を開始した(図 2)。観測は 2018 年 10 月 6 日か

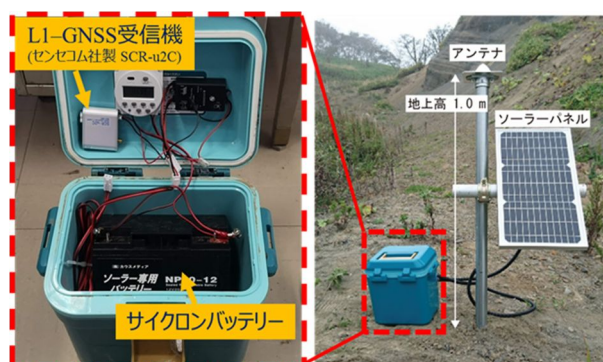


図 1 長期連続観測ステーション

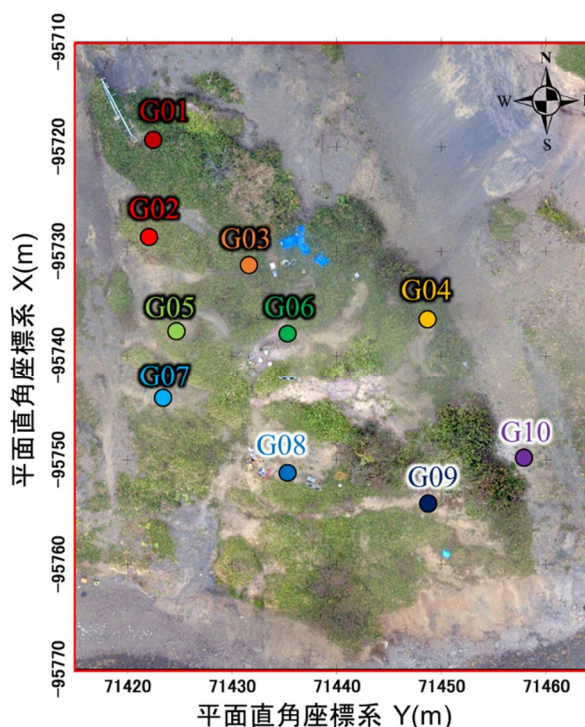


図 2 観測開始時の移動局配置

ら 2020 年 9 月 20 日までの約 2 年間に渡って実施し、地すべりの変動状況に応じて観測ステーションの追加、移設を適宜行った。搬送波データは 1 秒間隔で連続的にサンプリングし、月 1 回の頻度でデータ回収を行った。

各観測ステーションの測位値は、オープンソースプログラム RTKLIB2.4.2 による後処理解析で算出した。解析には GPS 及び BeiDou の搬送波データを使用した。測位方式は、地すべりが停止あるいは変動が微小である期間はスタティック方式、大滑動イベント前後の変動が大きい期間はキネマティック方式とした。

4. 研究成果

(1) 大滑動イベントの特徴

GNSS 連続観測期間中に計 5 回 (A: 2019 年 2 月 23 日, B: 2019 年 8 月 10 日, C: 2020 年 1 月 9 日, D: 2020 年 3 月 9 日, E: 2020 年 9 月 18 日) の大滑動イベント (数時間で 5~10 m の滑動) が捉えられた (図 3)。GNSS 観測地点の累積水平変位量を比較すると、移動体下方の観測地点ほど変位量が大きく、大滑動イベント発生時に移動体は引き伸ばされる傾向が認められた。

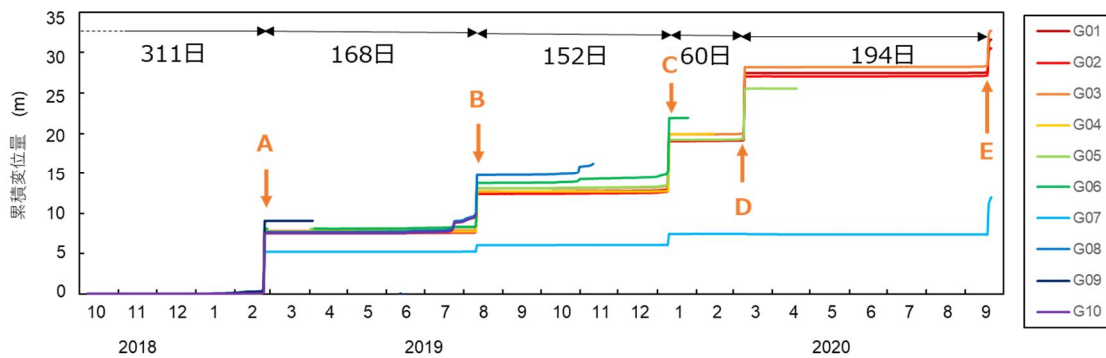


図 3 G01 ~ G10 の累積変位量

(2) 微小変動時の地すべり挙動

大滑動イベント後の移動体は安定化して全体的に停止しているが、末端侵食や開口亀裂の閉塞などの影響とみられる局所的な変動が散発的に観測された。末端侵食が進行した後、低気圧の通過により海象が荒れると末端部付近で継続的な微小変動 ($10^{-3} \sim 10^{-1}$ m/day) が発生し、それはやがて移動体全体へ波及していった (図 4)。微小変動は不安定化とともに徐々に加速化していくが、それは末端部ほど顕著であり、移動体が徐々に間延びしていく傾向がある。その後、強雨あるいは融雪といった気象現象により大滑動イベントへと至るが、その際も加速化は末端部から開始して全体へ波及していく傾向がみられた (図 5)。

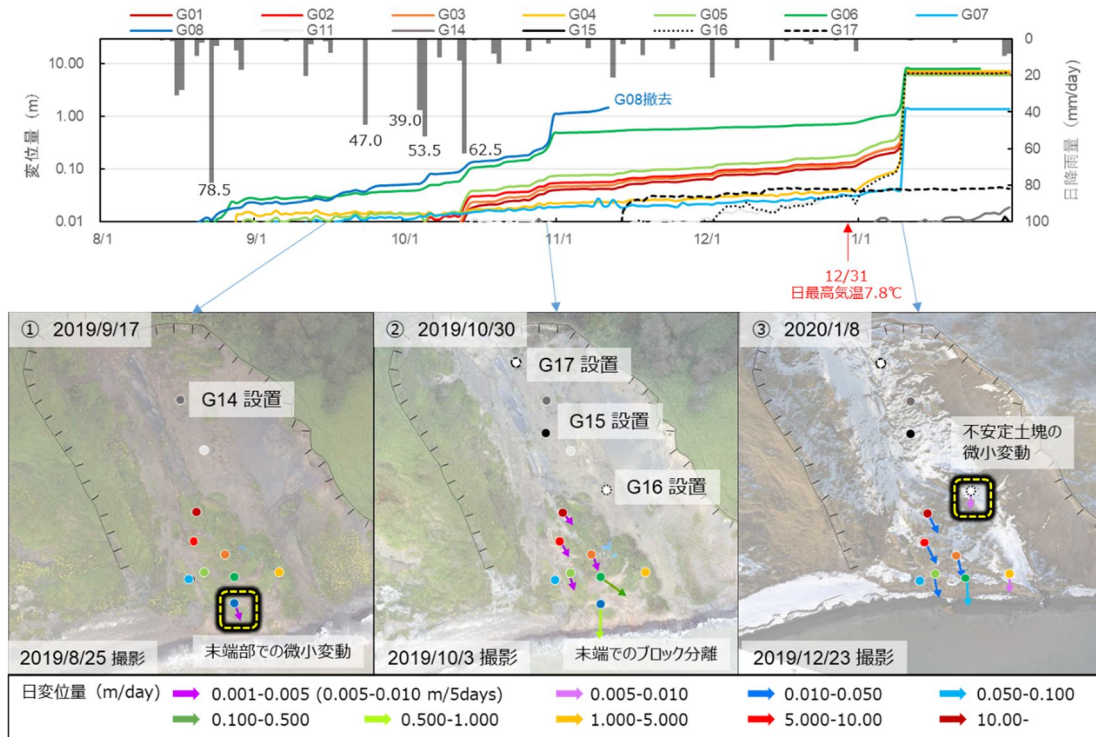


図 4 大滑動イベント C に至るまでの微小変動

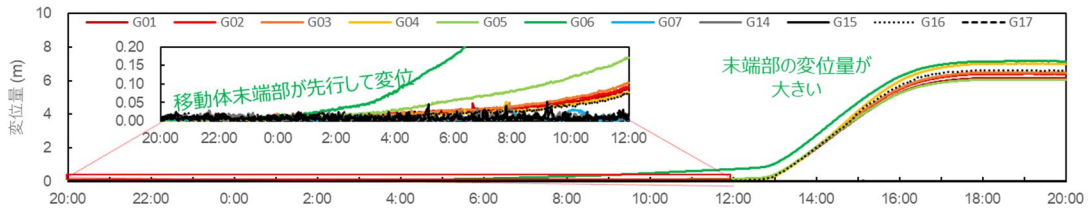


図5 大滑動イベントC発生直前の変位量(2020/1/8 20:00~2020/1/9 20:00)

大滑動イベント前の微小変動は移動体末端部からだけでなく、移動体後方から波及する場合もみられた(図6)。2020年3月9日の大滑動イベントDは、前回イベントからわずか2か月経過後に発生したが、このときはまず初めに移動体後方の崖錐堆積物起源の不安定土塊で微小変動が観測された。微小変動の影響は徐々に移動体へも波及していったが、不安定土塊の方が変位量は大きいため、次第に不安定土塊が移動体に付加していったと推定される。そのため移動体の重量が上方側から増加して重量バランスが不安定になり、非常に短期間の間に大滑動イベントが繰り返し発生したと考えられる。実際に、大滑動イベントD発生直前は移動体と後方の不安定土塊が同速度で変位しており、後方からの押し出しから大滑動へ至っていることが伺える(図7)。

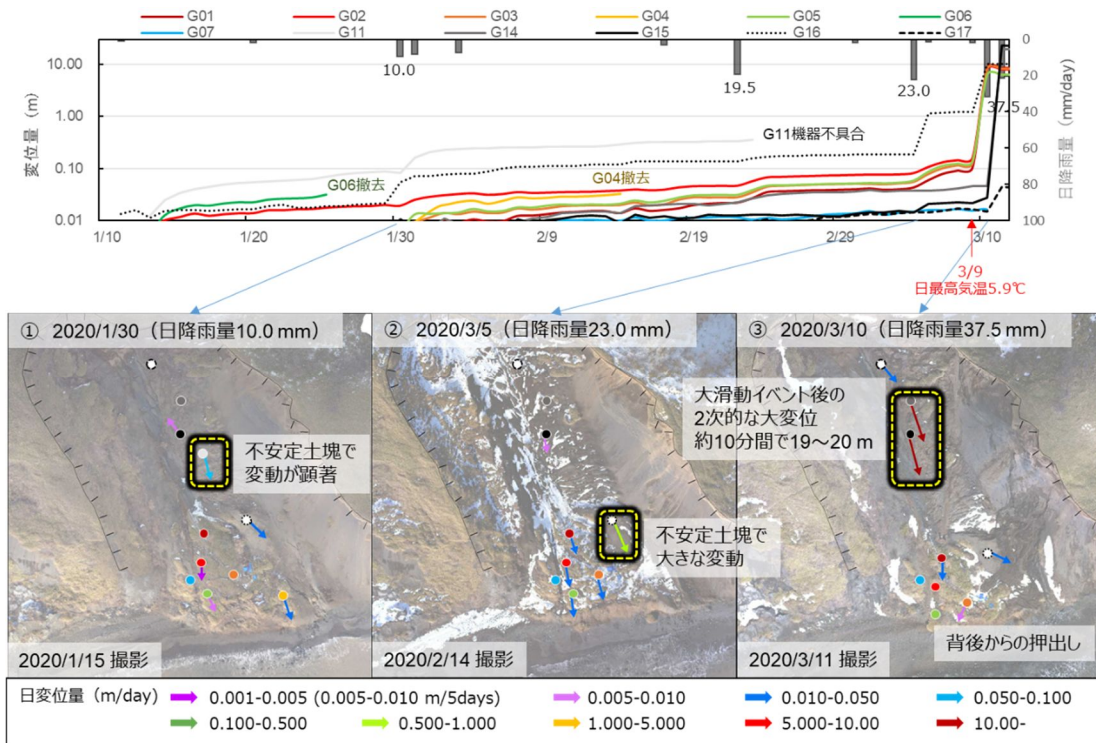


図6 大滑動イベントDに至るまでの微小変動

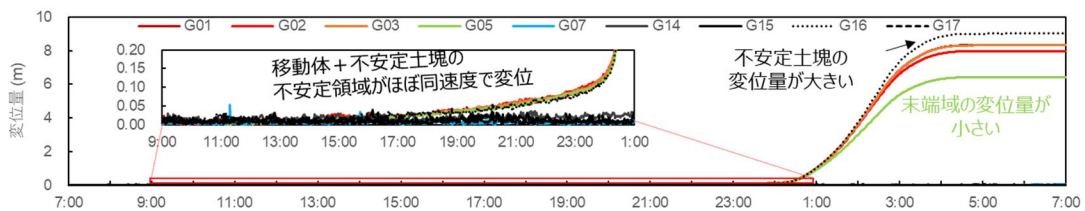


図7 大滑動イベントD発生直前の変位量(2020/3/9 7:00~2020/3/10 7:00)

本研究では、再活動型の海岸地すべりを対象に、低価格・高精度の小型GNSS測位モジュールを利用した同時多点高精度観測を実施した。当初、想定していたすべり面のアスペリティの検出までには至らなかったが、従来方法では捉えられないような地すべりの複雑な挙動を捉えることができた。今後、本研究と同様の観測システムを山地斜面の大規模地すべりに適用することにより、従来の観測手法とは比較にならないほどの情報が得られるようになり、地すべりの科学研究・防災技術への応用において新たな知見が得られる可能性がある。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 0件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|---------------------------------------|-----------------------|
| 1. 著者名 渡邊達也 | 4. 巻 63(A) |
| 2. 論文標題 地すべりの発生プロセスを捉える多点位置観測の実現 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 京都大学防災研究所年報 | 6. 最初と最後の頁 144-145 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である） | 国際共著 - |

| | |
|--|-------------------|
| 1. 著者名 渡邊達也・三浦竜・對馬健・山崎新太郎・松浦純生 | 4. 巻 - |
| 2. 論文標題 同時多点GNSS観測で捉えた海岸地すべりの複雑な挙動 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 日本地すべり学会北海道支部・北海道地すべり学会特別講演および発表研究会予稿集 | 6. 最初と最後の頁 3-8 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし | 査読の有無 無 |
| オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難 | 国際共著 - |

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

| |
|--|
| 1. 発表者名 渡邊達也・三浦竜・對馬健・山崎新太郎・松浦純生 |
| 2. 発表標題 同時多点GNSS観測で捉えた海岸地すべりの複雑な挙動 |
| 3. 学会等名 日本地すべり学会北海道支部・北海道地すべり学会特別講演および発表研究会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|-------------------------------------|
| 1. 発表者名 三浦竜・渡邊達也・山崎新太郎・土井一生・松浦純生 |
| 2. 発表標題 沿岸部で発生した再活動型地すべりのすべりプロセス |
| 3. 学会等名 第58回日本地すべり学会研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 渡邊達也・三浦竜・山崎新太郎・松浦純生 |
| 2. 発表標題 1周波GNSSモジュールを利用した地すべり同時多点観測システムの構築 |
| 3. 学会等名 第58回日本地すべり学会研究発表会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊達也・三浦竜・山崎新太郎・松浦純生 |
| 2. 発表標題 海岸地すべりが大滑動に至るまでの地形変化 |
| 3. 学会等名 令和元年度京都大学防災研究所研究発表講演会 |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊達也・三浦竜・對馬健・山崎新太郎・松浦純生 |
| 2. 発表標題 海岸地すべりが大滑動に至るまでの地表面変動 |
| 3. 学会等名 第60回日本地すべり学会研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 渡邊達也・對馬健・三浦竜・山崎新太郎・松浦純生 |
| 2. 発表標題 大滑動を繰り返した海岸地すべりの時系列変化 |
| 3. 学会等名 第60回日本地すべり学会研究発表会 |
| 4. 発表年 2021年 |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

| | 氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号) | 所属研究機関・部局・職 (機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

| 共同研究相手国 | 相手方研究機関 |
|---------|---------|
|---------|---------|