

上秋津区域の治山対策に関する技術検討会（第2回）

資料-3：移動特性の検討

- 3. GPS 及び干渉 SAR による移動状況
- 4. 観測機器による移動状況

令和2年 1月21日
近畿中国森林管理局

3. GPS 及び干渉 SAR による移動状況

平成 25 年から平成 26 年に実施した GPS 観測及び平成 27 年から平成 29 年に人工衛星 ALOS-2 で計測された合成開口レーダーを使用した干渉 SAR 解析結果による地すべり地周辺の地表面の変動状況を確認した。

(1) GPS 観測結果 (H25～H26)

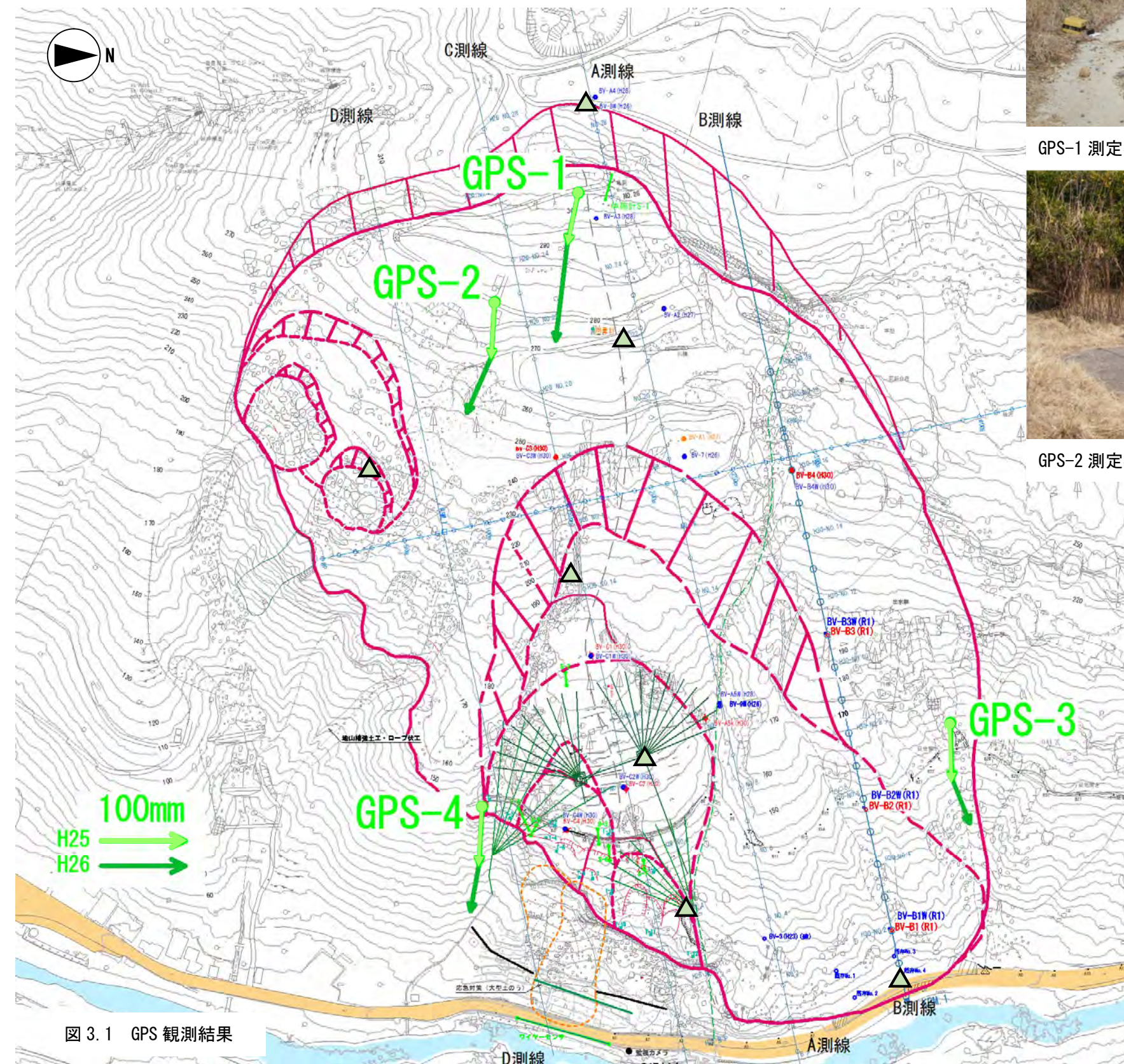


図 3.1 GPS 観測結果



GPS-1 測定状況 (H25)



GPS-3 測定状況 (H25)



GPS-2 測定状況 (H25)



GPS-4 測定状況 (H25)

【GPS 観測結果】

平成 25 年 3 月 5 日、11 月 22 日、平成 26 年 11 月 7 日に測定。平成 25 年 3 月 5 日と 11 月 22 日の変化を緑色矢印で、平成 25 年 11 月 22 日から平成 26 年 11 月 7 日の変化を深緑色矢印で示す。

- ・ GPS-1、2、4 は東南東、GPS-3 は東北東の変位が確認された。
- ・ 孔内傾斜計観測結果による A0 ブロック下面 (Ls2 下面) の変位方向は東北東であることから、地表面で観測される変位は、A-1 ブロックや地すべり活動に伴う表層部の変形の影響も受けていると判断される。
- ・ 平成 25 年(約 8.5 か月)の水平変位は 61～69mm であった。
- ・ 平成 26 年(約 1 年)の変位は、GPS-1 が最も大きく 117 mm、次いで GPS-2 の 72mm、GPS-3、4 は 56 mm であった。
- ・ 平成 26 年日換算変位速度は 0.15～0.3 mm/day であり、現在の変位とほぼ同等である。
- ・ 地すべり地内の地表面の移動方向を確認するの GPS 観測が可能な箇所を△で示した。

（２）干渉 SAR 解析

平成 27 年から平成 29 年に人工衛星 ALOS-2 で計測された合成開口レーダーを使用した干渉 SAR 解析結果による地すべり地周辺の地表面の変動状況を確認した。干渉 SAR 解析は、人工衛星 ALOS-2 に搭載された合成開口レーダー (PALSAR-2) の 2 時期の位相差を用いて地表面の標高（高さ）や微小な変位を観測する技術である。干渉 SAR による変位計測の概念図と原理を図 3.2 に示す。

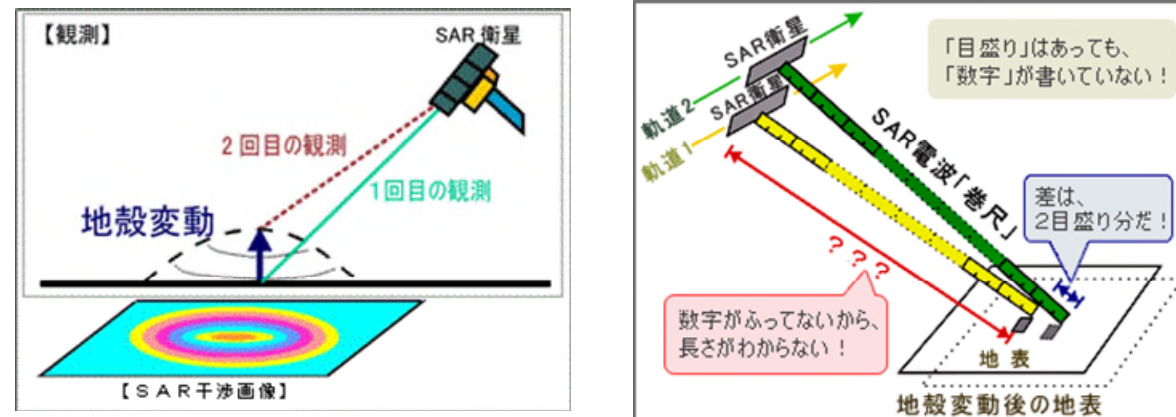


図 3.2 干渉 SAR による変位計測の概念図

(<http://vldb.gsi.go.jp/sokuchi/sar/mechanism/mechanism03.html>)

解析は、北行軌道と南行軌道の各 4 シーン、6 ペアで行った。干渉 SAR 画像には衛星軌道の誤差や電離層、水蒸気等に起因するノイズ成分が含まれるため、誤差除去のフィルタリング処理を行っている。解析により顕著な変動が捉えられた平成 26 年 9 月 15 日と平成 27 年 6 月 22 日の北行軌跡と南行軌跡により変動縞を検出した結果を図 3.4 に、北行軌跡の解析結果を図 3.3 に示す。北行軌道と南行軌道で検出範囲が違っているのは、斜面の方位角と傾斜角によって、軌道ごとに検出感度が異なるためであると考えられる。一般に当該箇所のようにほぼ東向きの斜面変動の場合は、北行軌道（右側観測）の方が検出感度が高いとされている。

図 3.3 の変動縞検出の範囲は、地表地質踏査とボーリング調査により設定した地すべりの範囲に概ね一致する。図 3.4 の ab 間では衛星から遠ざかる色階変化を示す。さらに、df 間のうち、de 間は干渉性が悪く色階変化を読み取ることができないが、ef 間の色階変化は f よりも e の範囲の方が変動量大きいことを示している可能性がある。

【解析結果のまとめ】

- ・干渉 SAR 解析により、地すべりブロック全体の地表変動の傾向を捉えることができる。
- ・北行軌道の解析結果より、A ブロックの頭部の変形（沈下）が地すべり中腹部や末端部よりも顕著であることが読み取れる（GPS 観測結果とも調和的）。
- ・崩壊が頻発している地すべり末端部（A-1-1、A-1-2）及び南東側側方崖は変動が検出されていない。
- ・地すべり末端部は圧縮領域となるため、上部の変動によるひずみが蓄積されている可能性も高く、今後も局所的に崩壊が発生する懸念が残る。

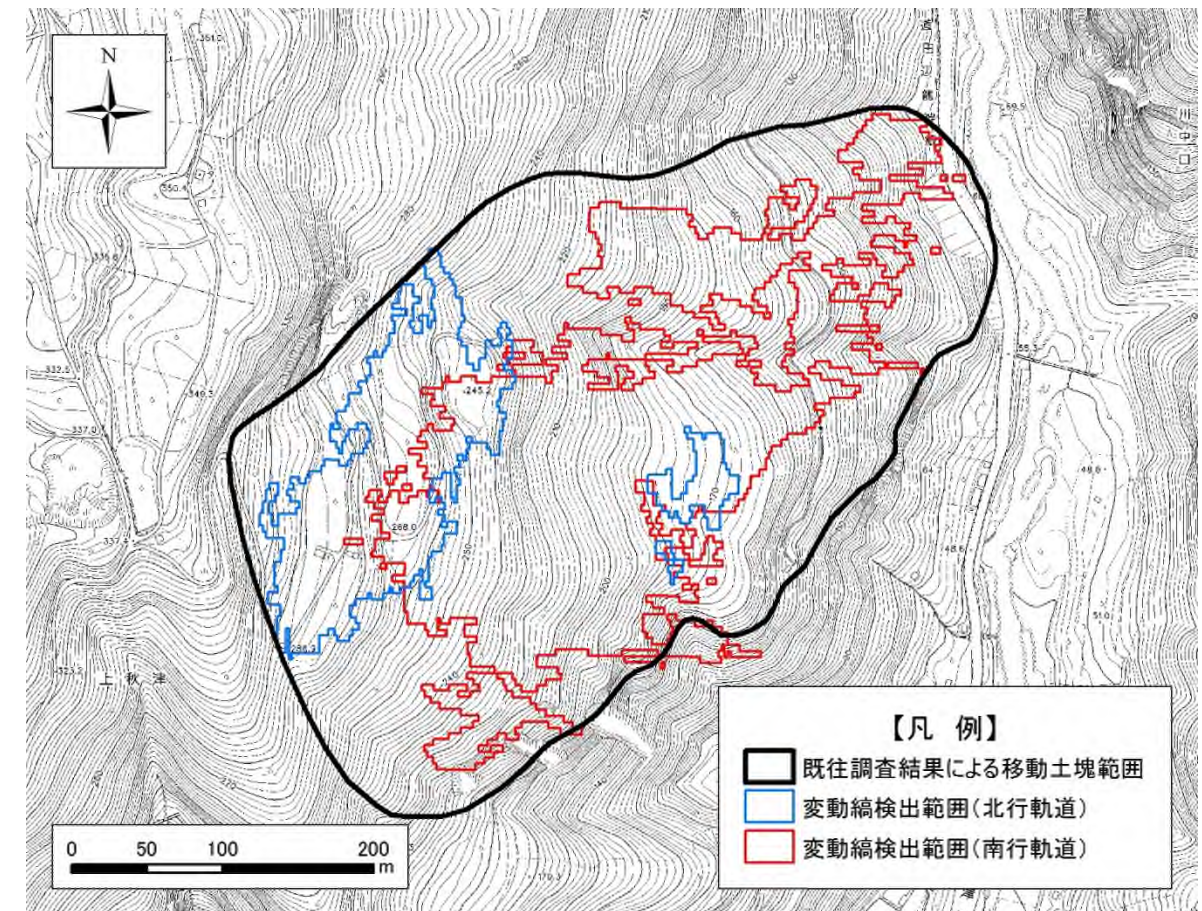


図 3.3 変動縞検出結果 (H26.9.15-H27.6.22)

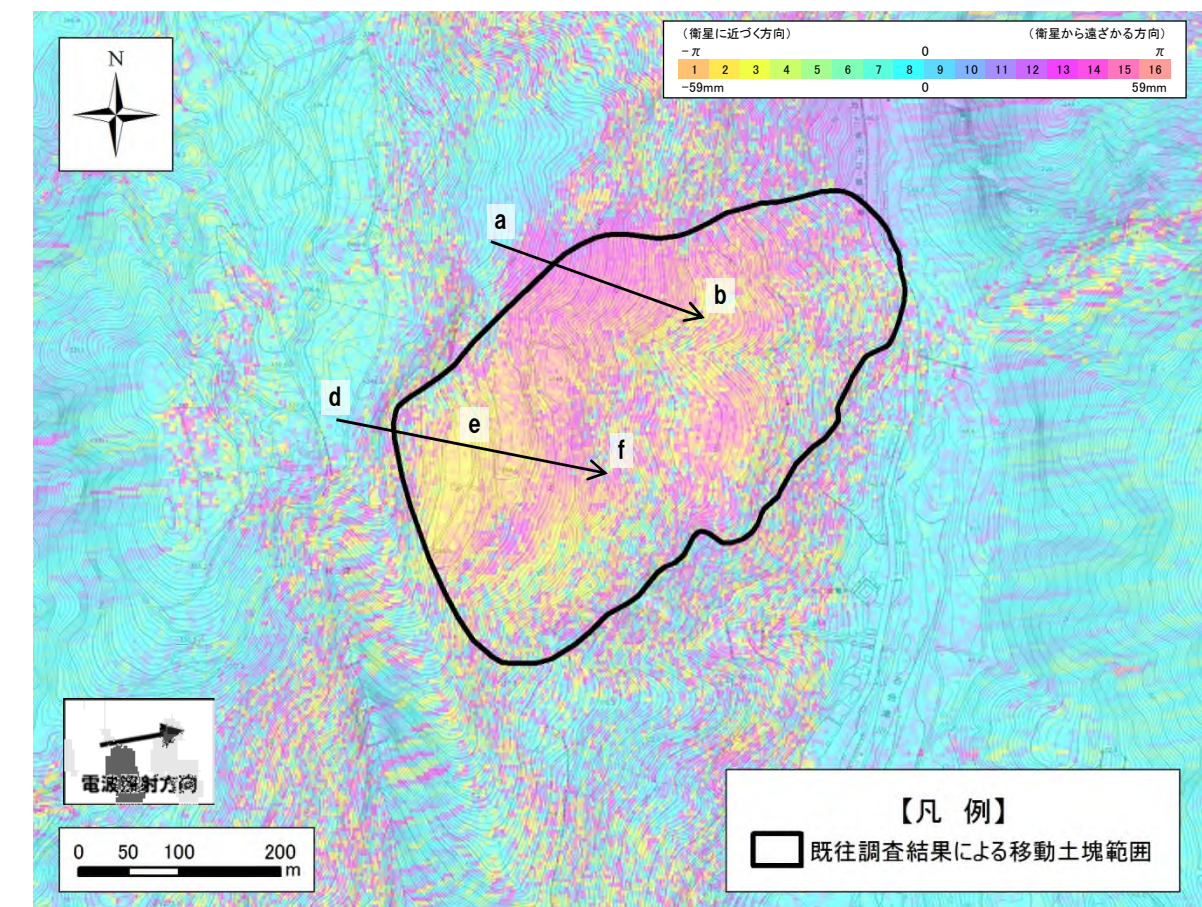


図 3.4 北行軌跡解析結果 (H26.9.15-H27.6.22)

4. 観測機器による移動状況

観測機器等の配置図を以下に示す。既存の地すべりの観測機器として、地表面伸縮計（7基）、孔内傾斜計（6孔）、地下水位計（13孔）、地盤傾斜計（15基）を設置している。また、ブロック末端にて岩盤崩壊の監視の一環として、ワイヤーセンサー（1基）、監視カメラ（1基）、画像解析カメラ（1基）を設置している。なお、今年度は、B測線でボーリングを実施している。次ページ以降に地表での観測機器（地表面伸縮計、地盤傾斜計）、地下水位、降雨の観測結果から地すべりブロックの活動状況を示す。

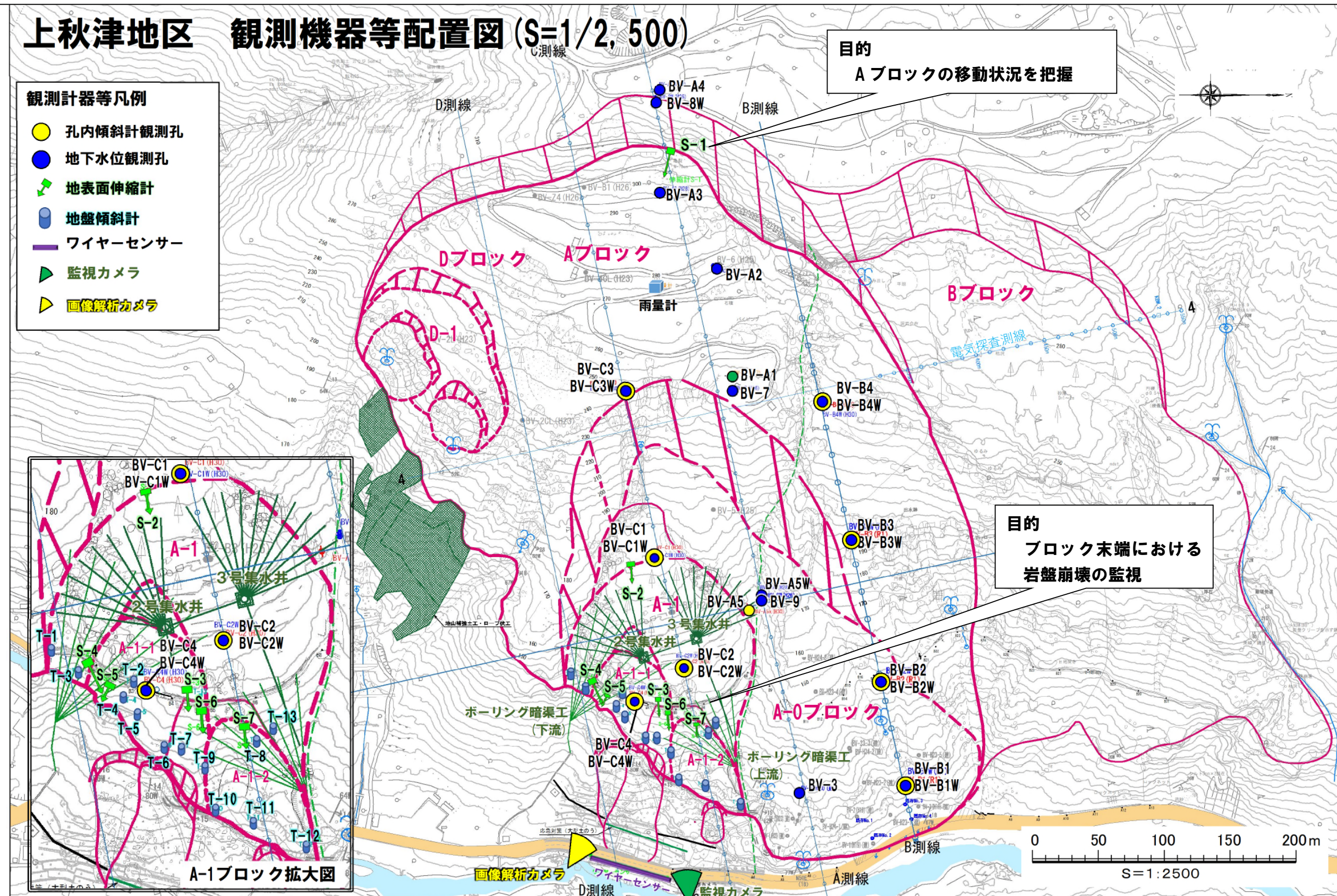


図 4-1 観測機器等配置図

黄色い棒グラフは、月あたりの変位量を示す

4.1 観測結果

(1) 地表面伸縮計観測結果

- ・ブロック頭部にある S-1 は多雨期の降雨時に変位が活発化し、寡雨期には緩慢となる。寡雨期は、3～5mm/月の変位が認められる。
- ・ブロック末端付近にある S-3～6 は、多雨期の降雨時に変位が活発化し、寡雨期にはほぼ静止する。
- ・なお、S-2, 6, 7 は変位の累積はほとんどみられない。

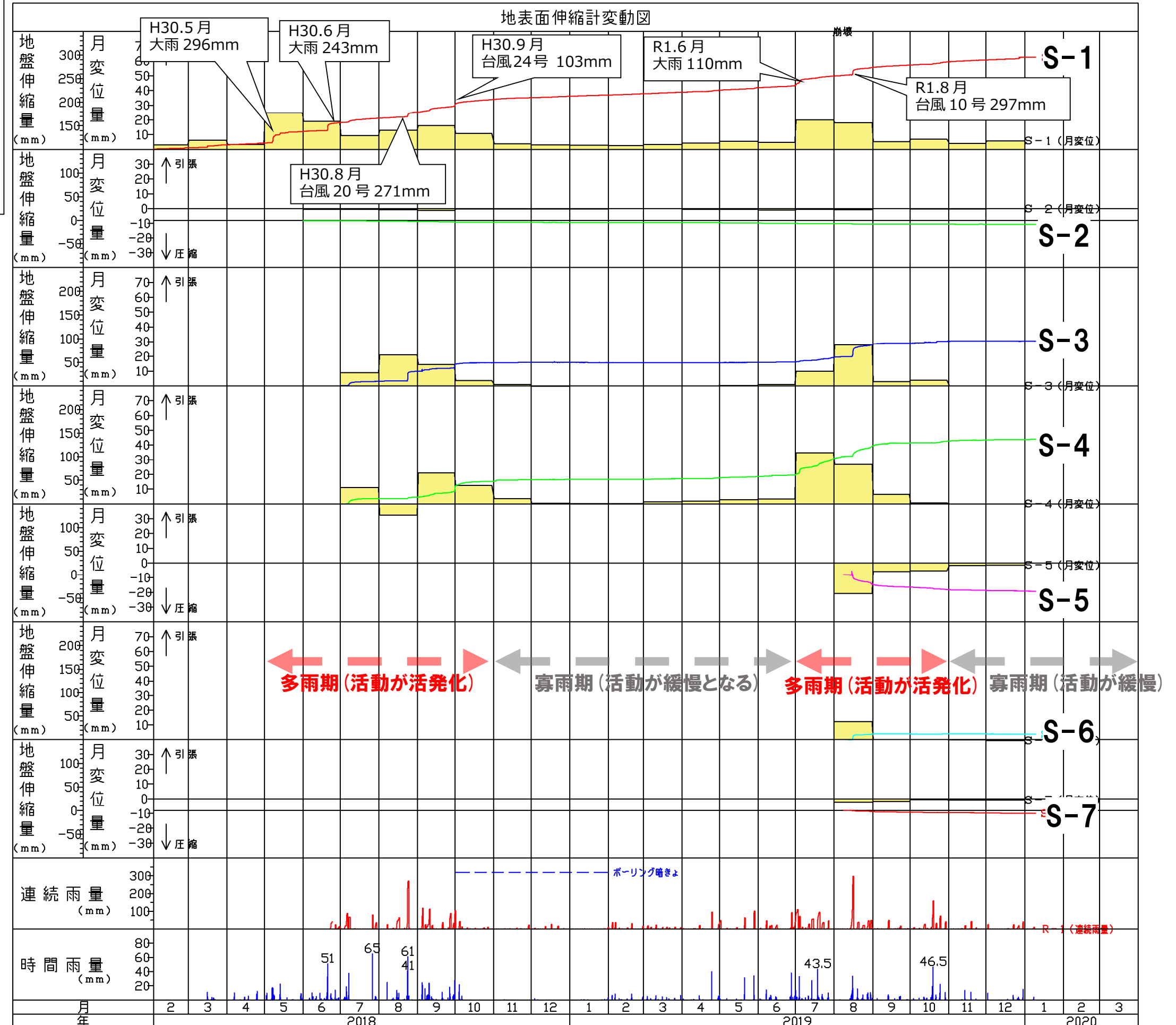


図 4-2 地表面伸縮計観測結果図

(2) 地盤傾斜計観測結果

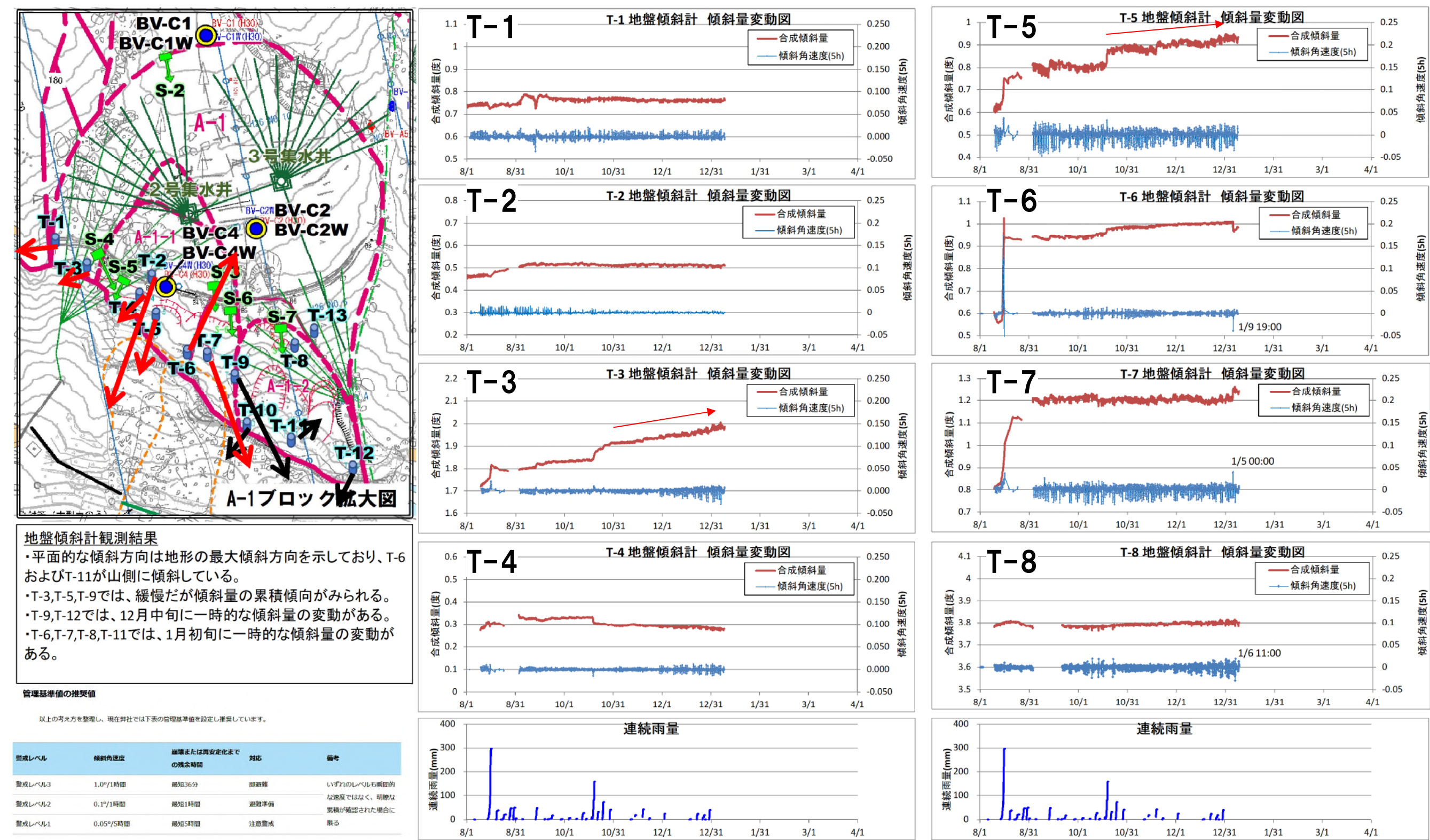
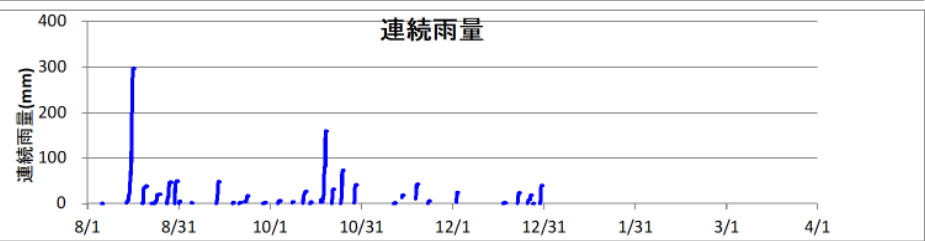
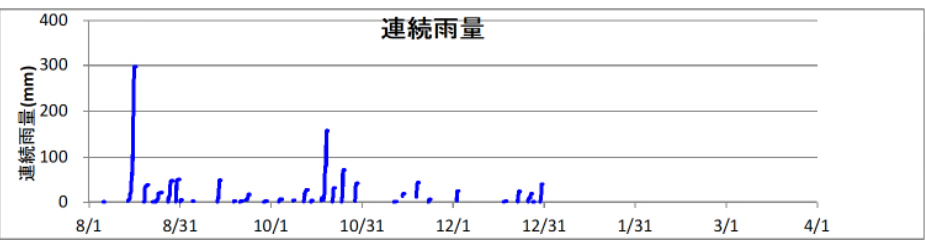
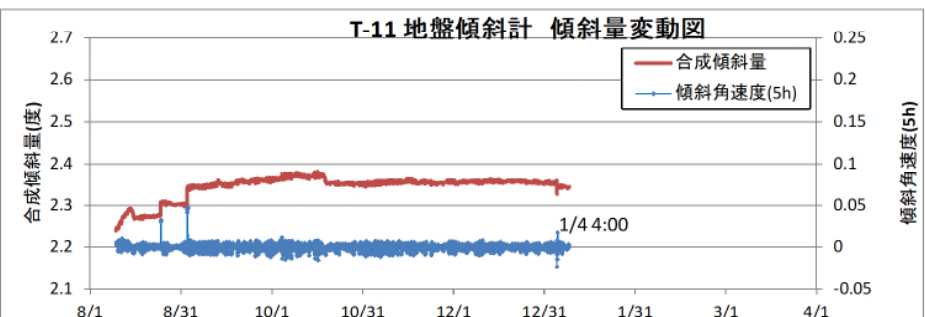
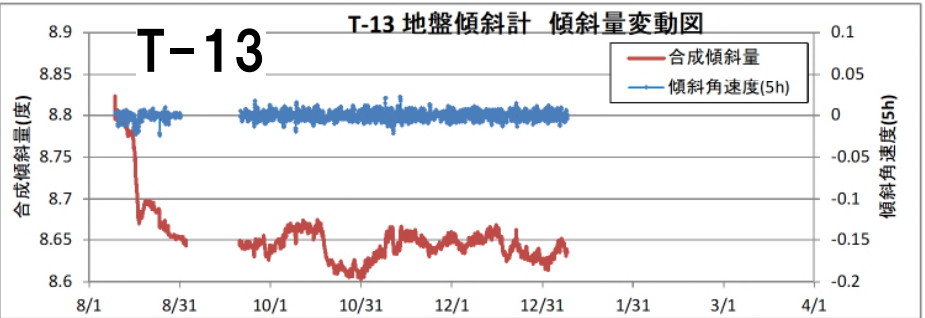
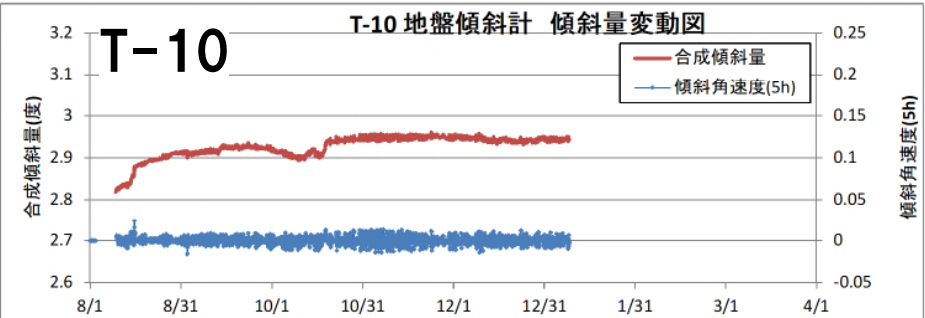
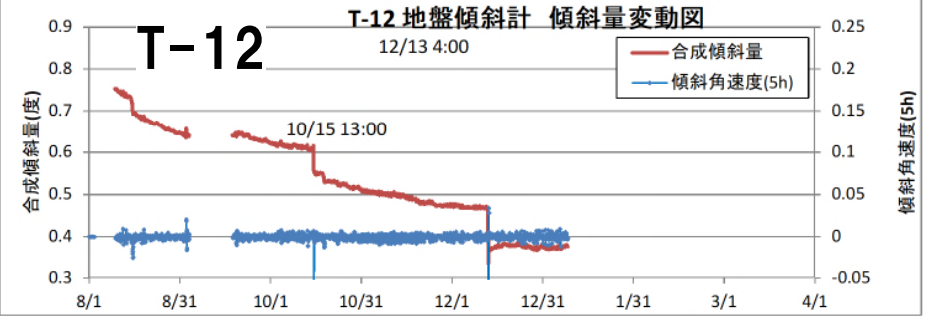
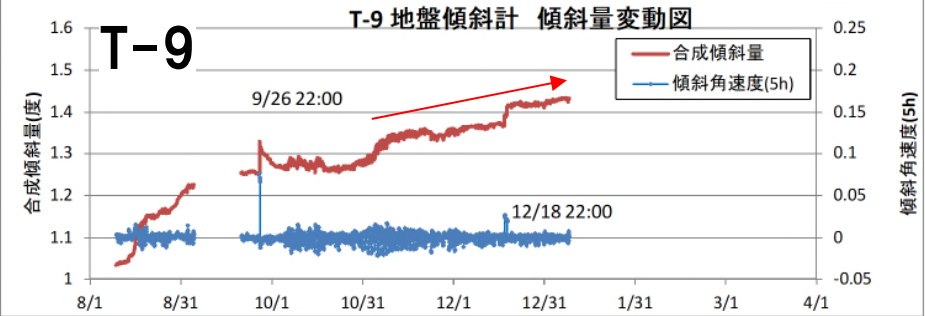
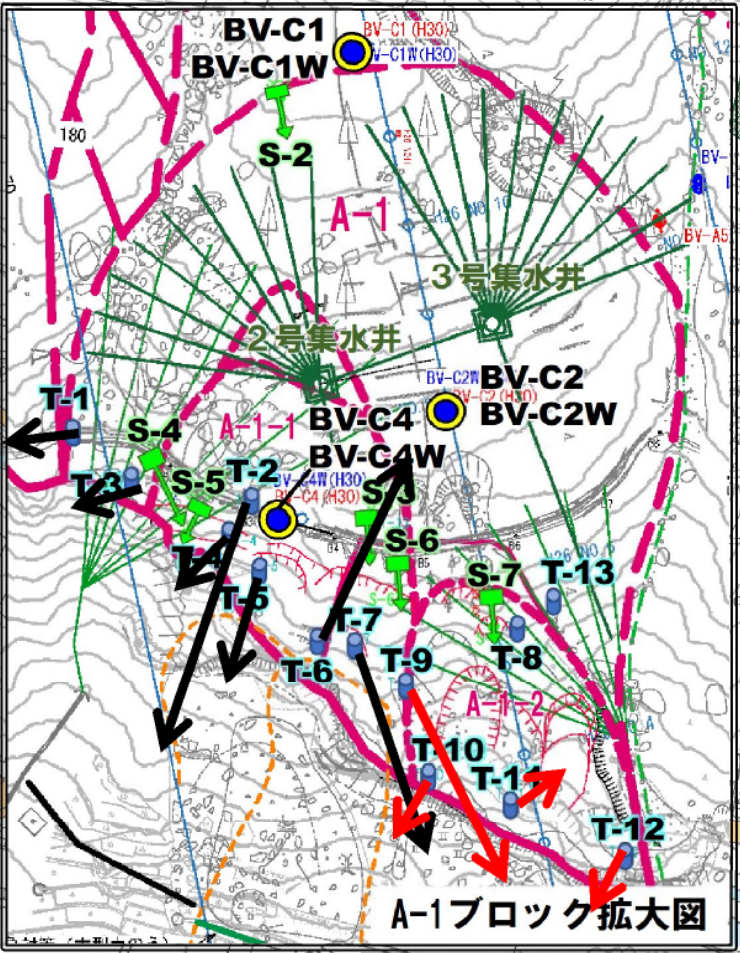


図 4-3 地盤傾斜計観測結果 (1)



管理基準値の推奨値

以上の考え方を整理し、現在弊社では下表の管理基準値を設定し推奨しています。

警戒レベル	傾斜角速度	崩壊または再安定化までの残余時間	対応	備考
警戒レベル3	1.0°/1時間	最短36分	即避難	いずれのレベルも瞬間的
警戒レベル2	0.1°/1時間	最短1時間	避難準備	な速度ではなく、明瞭な
警戒レベル1	0.05°/5時間	最短5時間	注意警戒	累積が確認された場合に
				限る

中央開発株式会社 H.P. より引用
<https://www.ckcnet.co.jp/technology/observation/kantarou/>

図 4-4 地盤傾斜計観測結果 (2)

(3) 地下水位観測結果

■ 孔内水位とすべり面の関係 (A 測線 : 全 7 孔)

- ・ 各孔ともに、降雨に伴って孔内水位が上下することが観測される。
- ・ BV-A4、BV-8W は、地すべりブロックより背後の観測孔である。
- ・ BV-A2、BV-A5W 孔はすべり面深度より深い水位を観測している。
- ・ BV-7 孔は、すべり面より高い水位を継続的に観測している。
- ・ BV-9、BV-3 孔は、降雨に伴い高い水位となったときにすべり面深度より高い位置に水位が観測される。

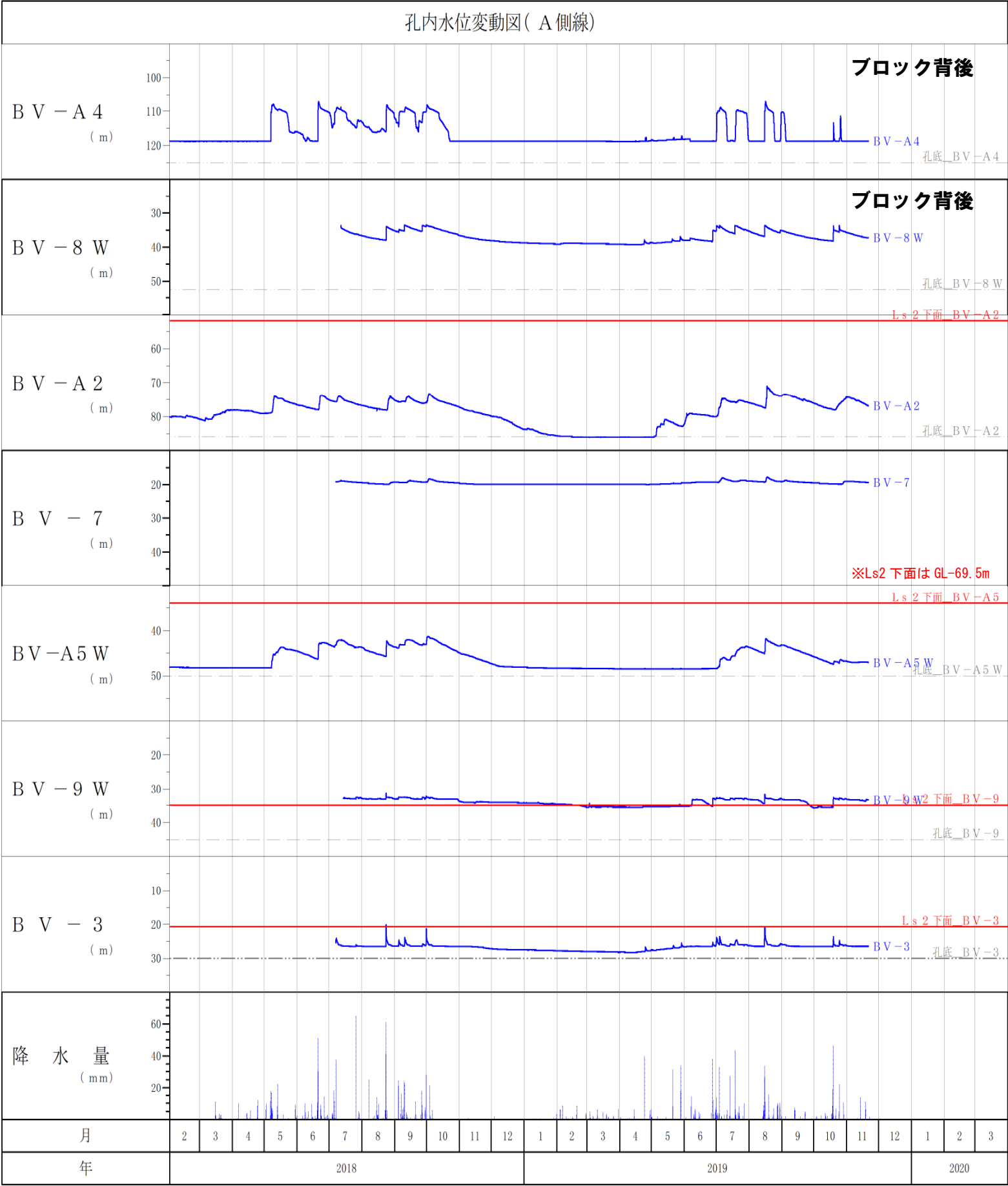
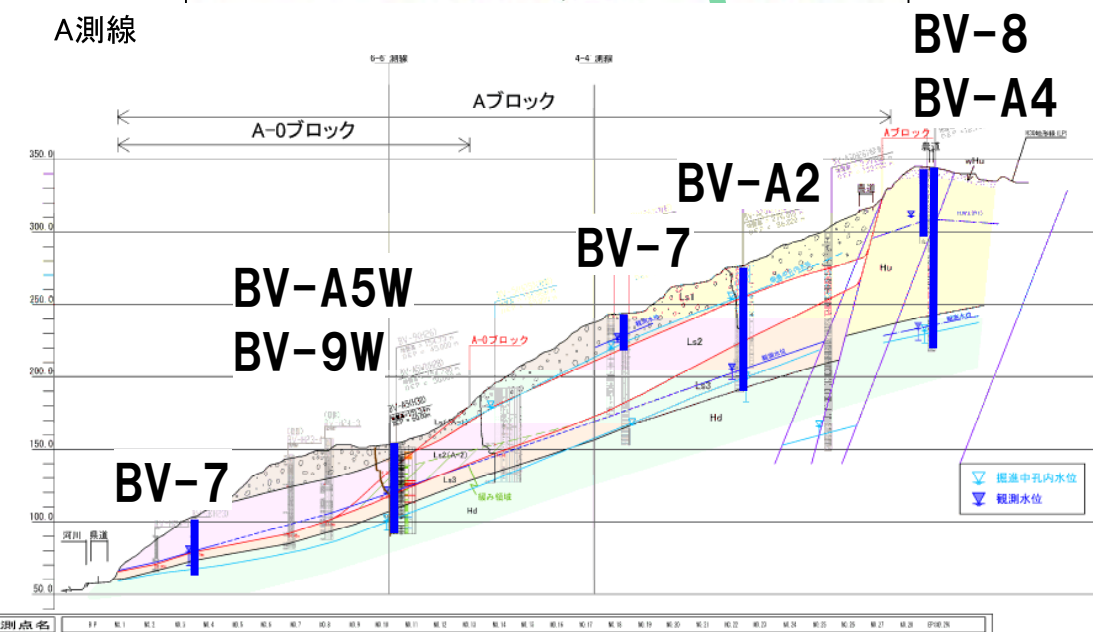
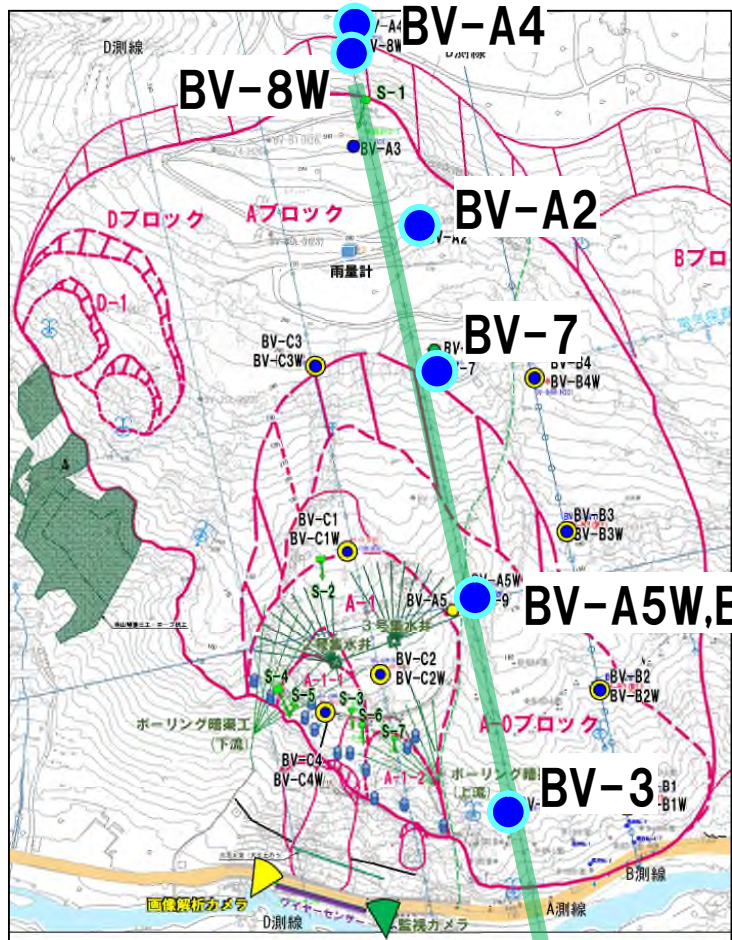
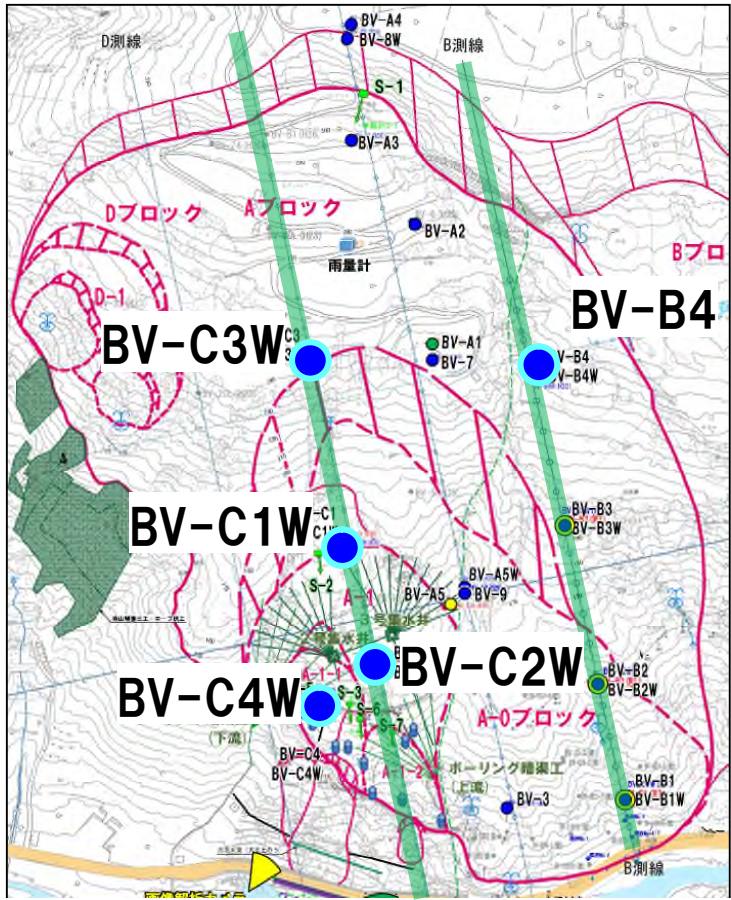
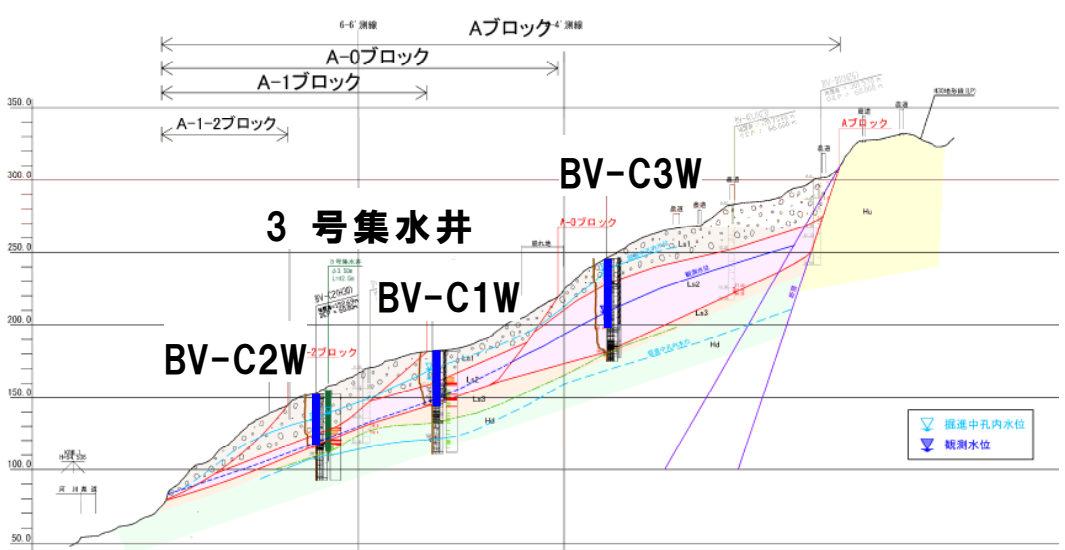


図 4-5 地下水位観測結果図(1)

■ 孔内水位とすべり面の関係 (B 測線 : 全 1 孔、C 測線 : 全 4 孔)
 ・ BV-B4 孔は、令和元年 7 月の降雨時に水位上昇が認められた。なお、すべり面深度より深い深度での水位変動となっている。
 ・ BV-C3W 孔は、すべり面より浅い深度で水位変動がみられ、令和元年 7 月の降雨時にも水位上昇が認められた。
 ・ BV-C1W、C2W、C4W の 3 孔は、観測孔の水位が孔底付近に位置しており、降雨にともなう水位変動は認められない。



C測線



地下水位観測孔位置図

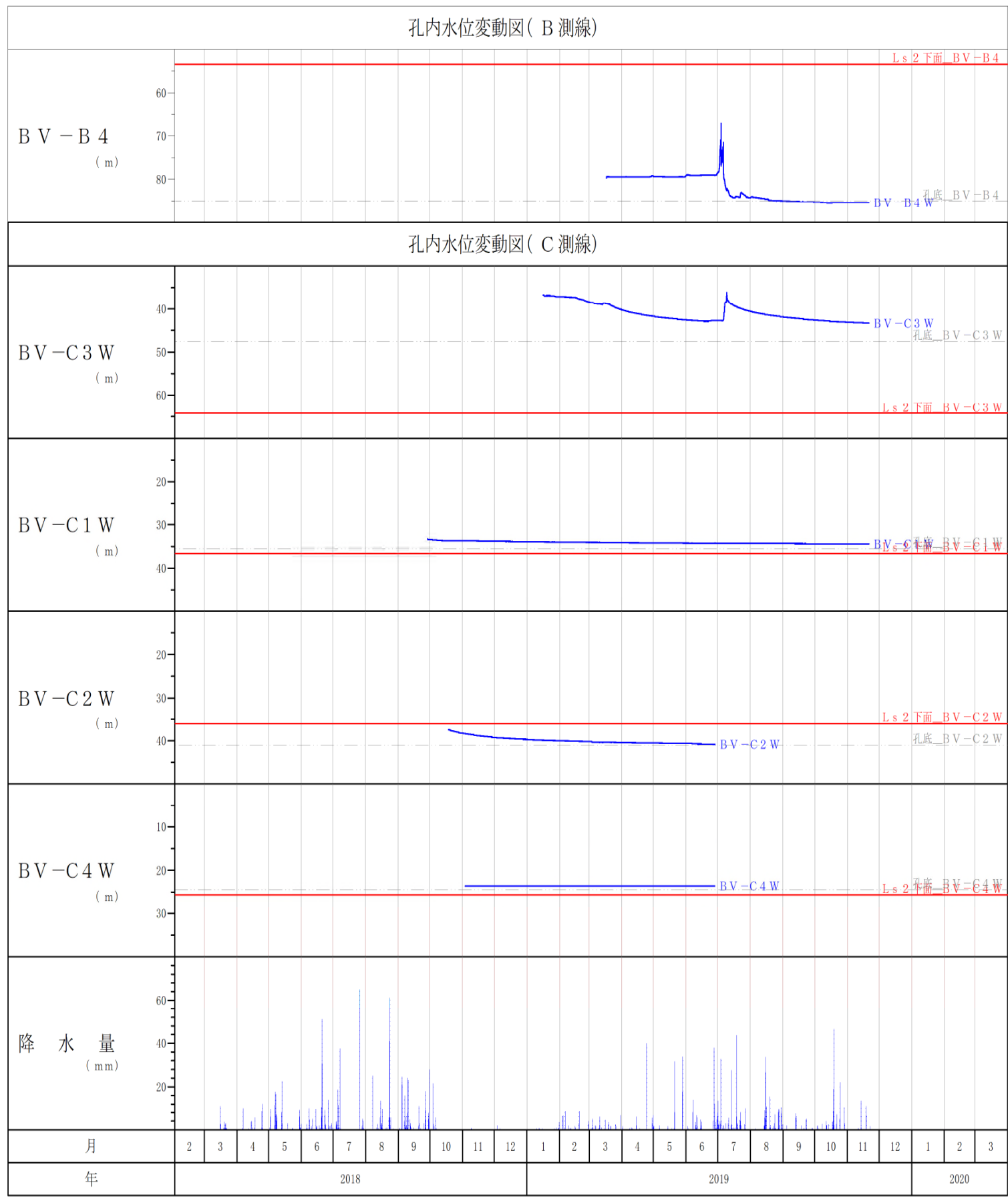


図 4-6 地下水位観測結果図(2)

4.2 すべり面と地下水位

A 測線のすべり面と地下水位の関係を図 4-2 に示す。

水位観測でとらえられている水位(青線)は、斜面上方では、基盤中に認められるが、斜面下方ではすべり面よりも浅い位置に観測される。なお、BV-7 の水位観測孔は、他孔に比べて、浅い深度に水位が観測され、前後の水位観測孔との連続性は不明瞭である。但し、となりあう C 測線の集水井においても浅い深度(GL-16.5m 付近)からの湧水が認められているため、水位が多段に形成されている可能性が示唆される。

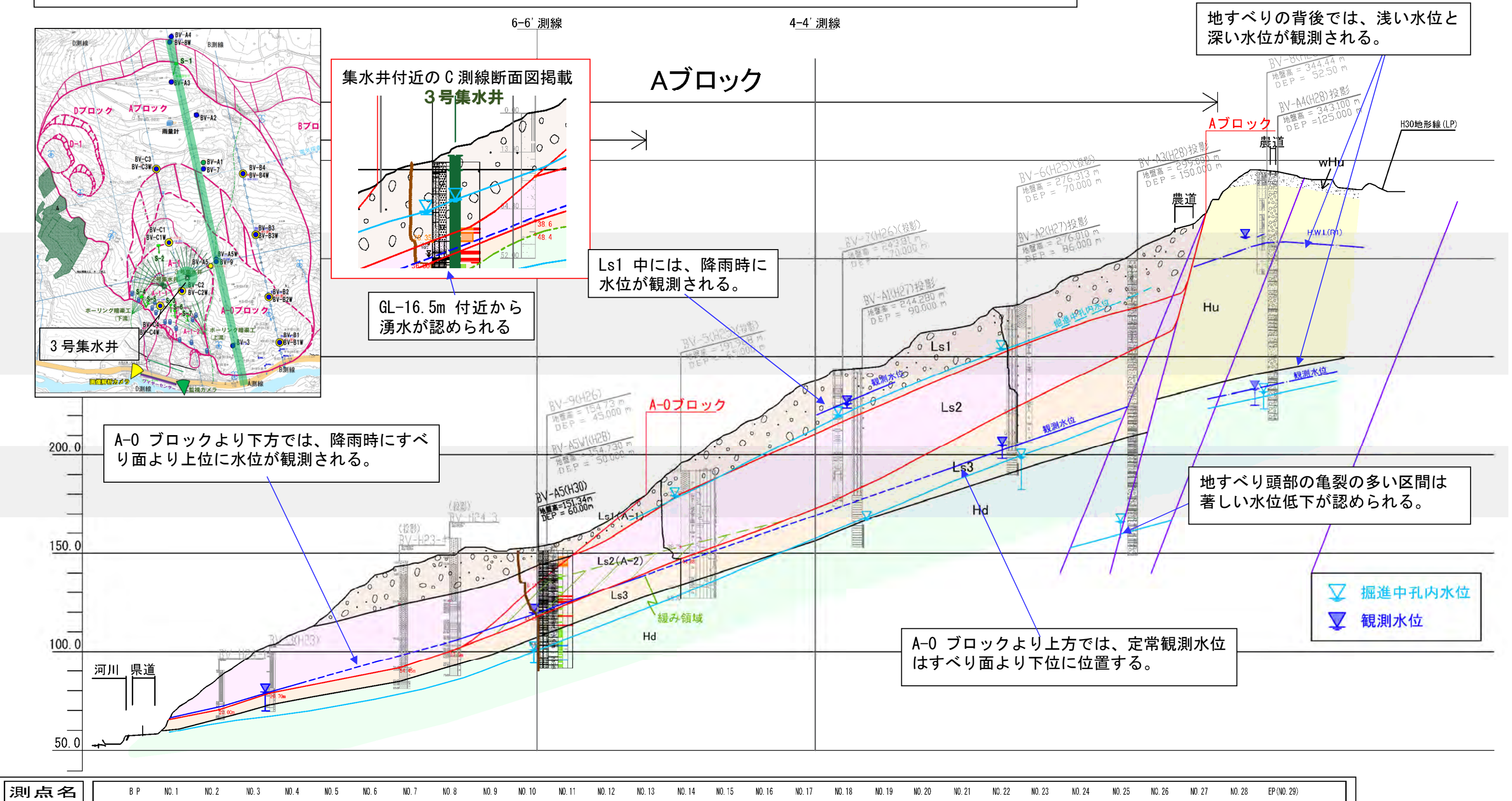


図 4-7 すべり面と地下水位 (A 測線)

C測線

C 測線では、ボーリング掘進中の水位(水色線)が、Ls1 内と基盤内の 2 深度で確認される。
観測水位は、観測孔の孔底付近に位置している。

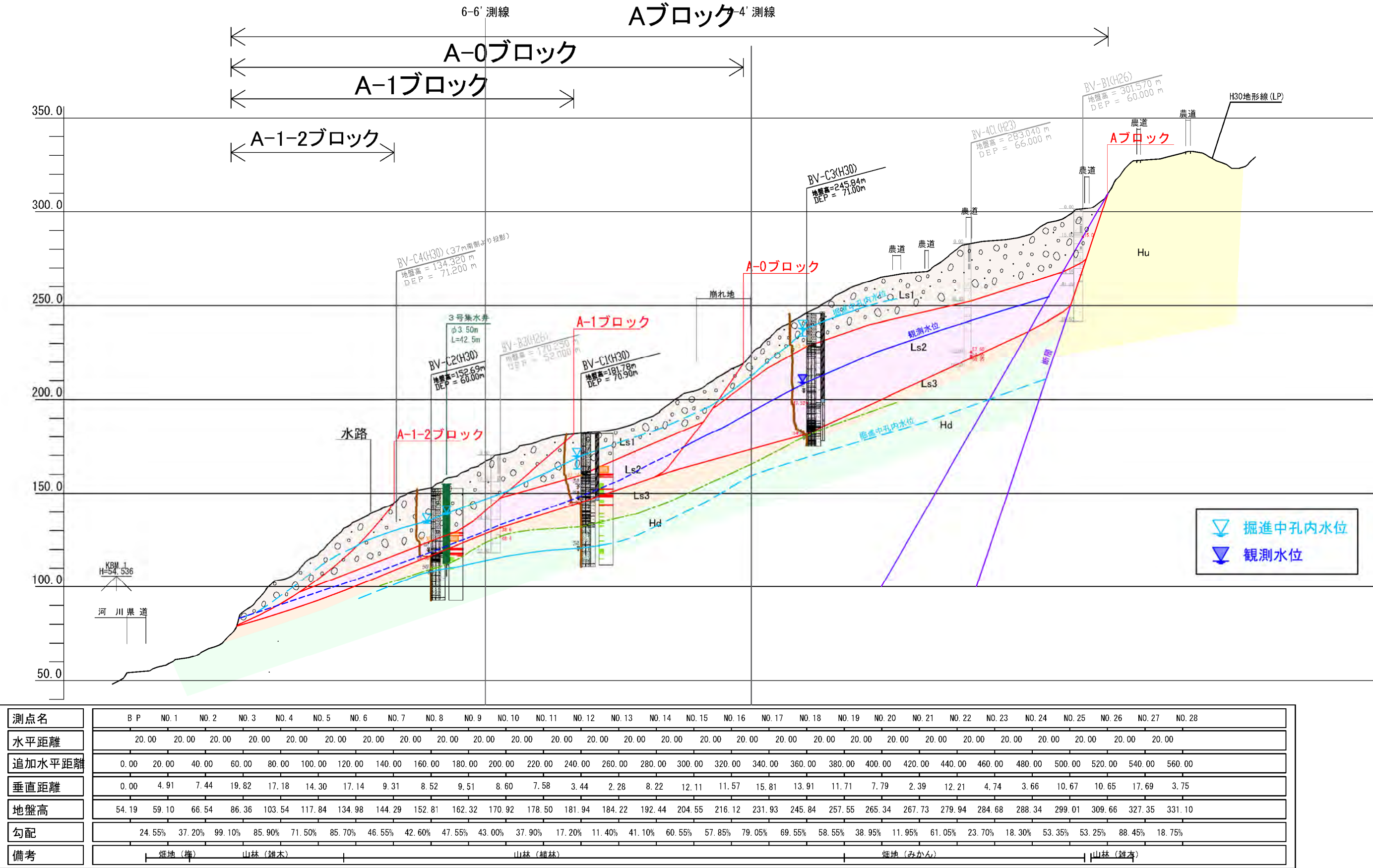


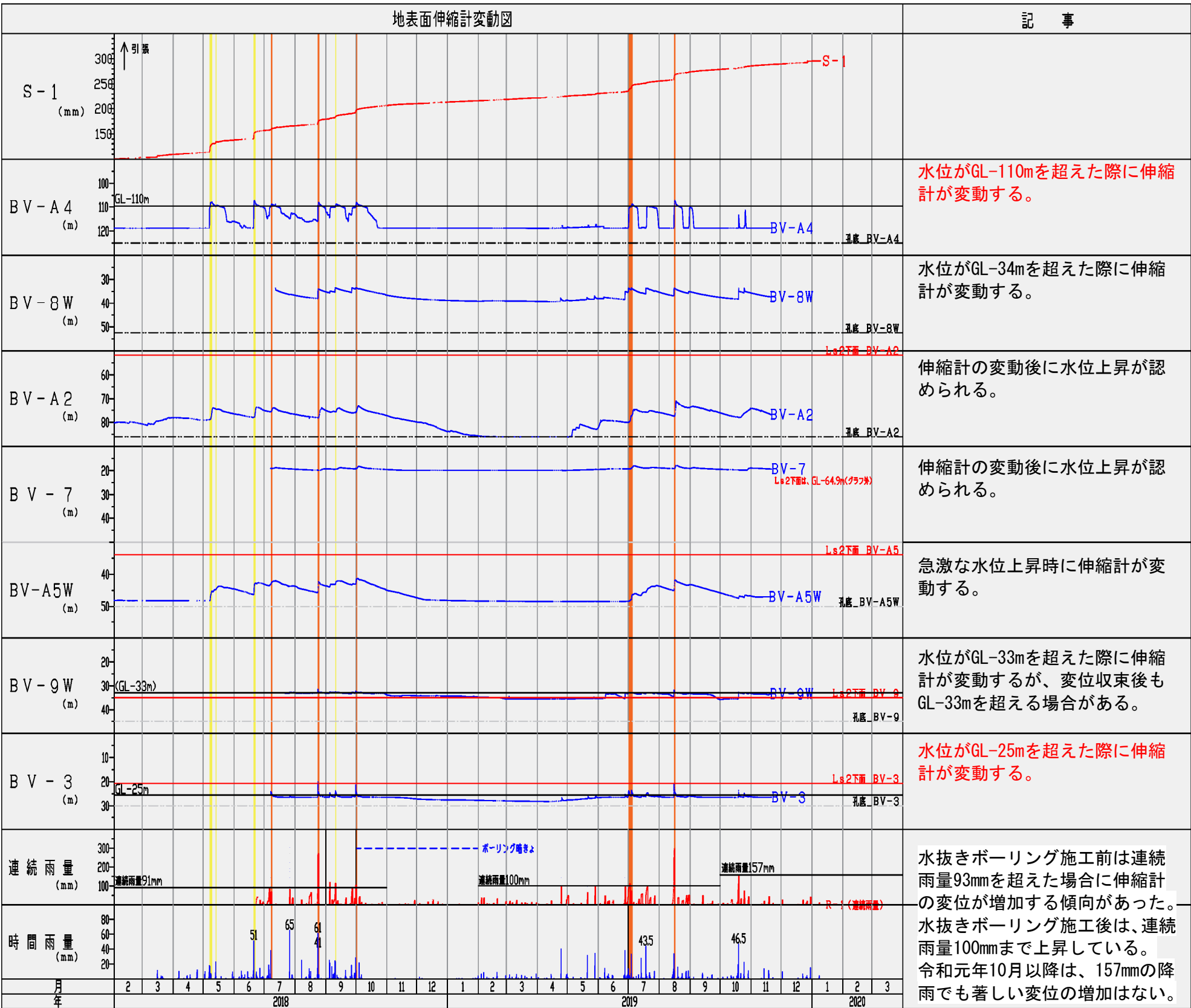
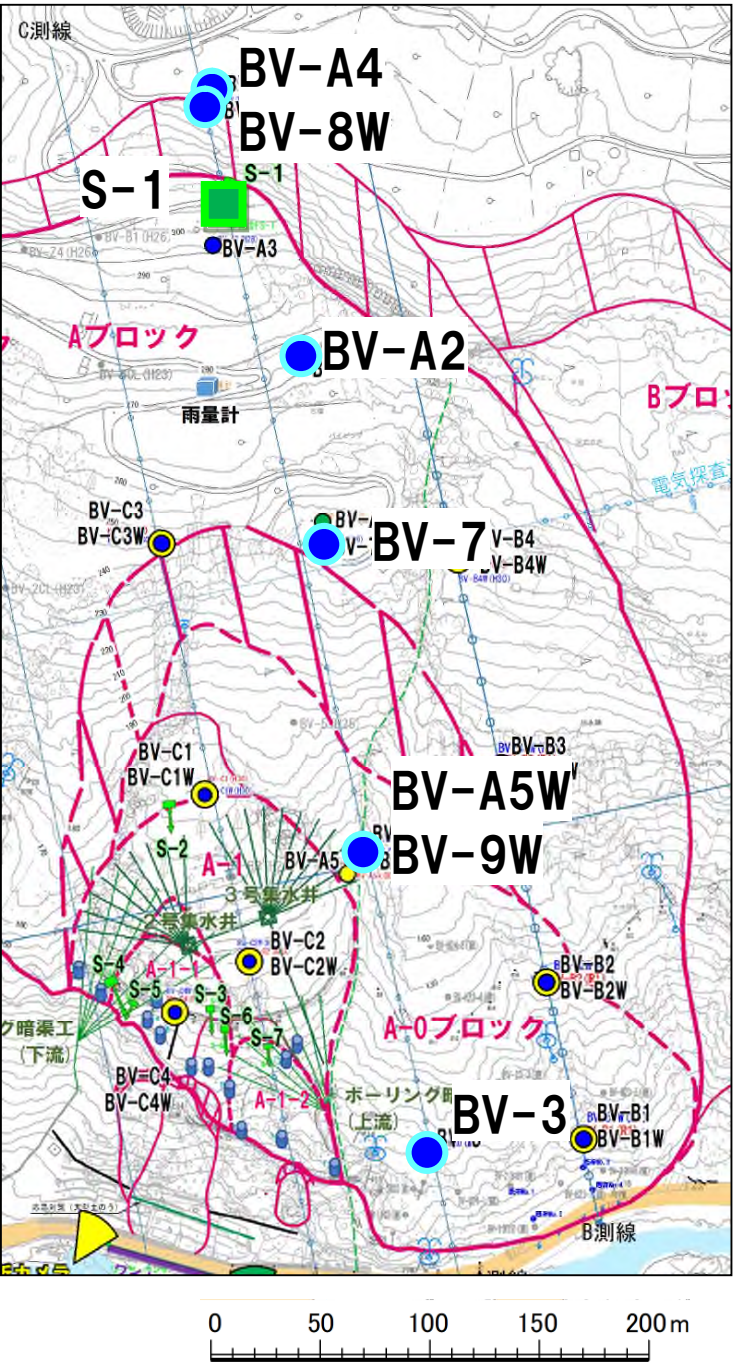
図 4-8 すべり面と地下水位 (C 測線)

4.3 伸縮計の変位状況と地下水位、降雨の関係

降雨に伴う変位の増加が認められる地表面伸縮計 S-1, S-3, S-4 と地下水位観測データが豊富な A 測線の地下水位観測孔において、変位、地下水位、降雨の関係性を整理した。

■伸縮計(S-1)、降雨と地下水位の関係

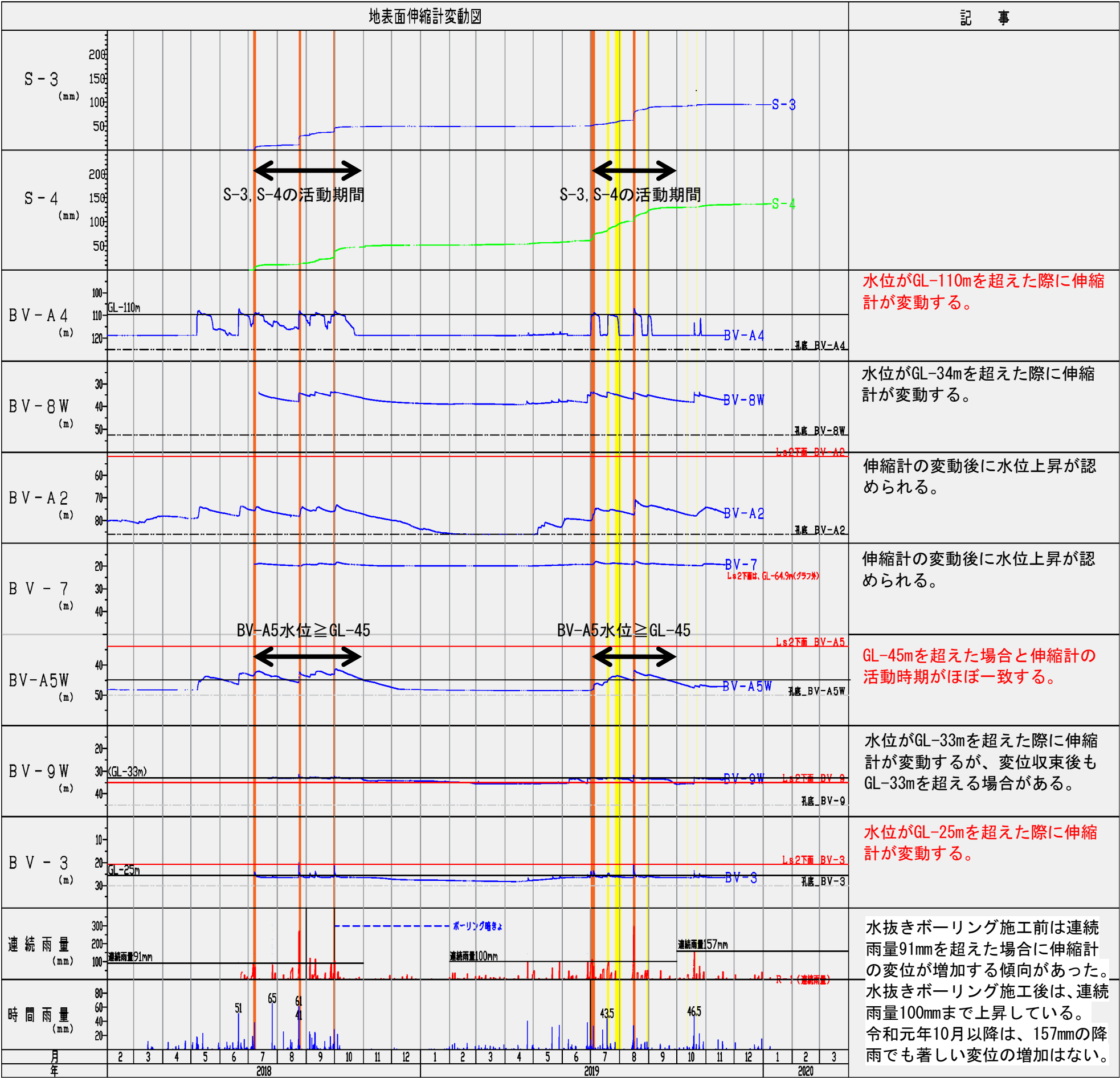
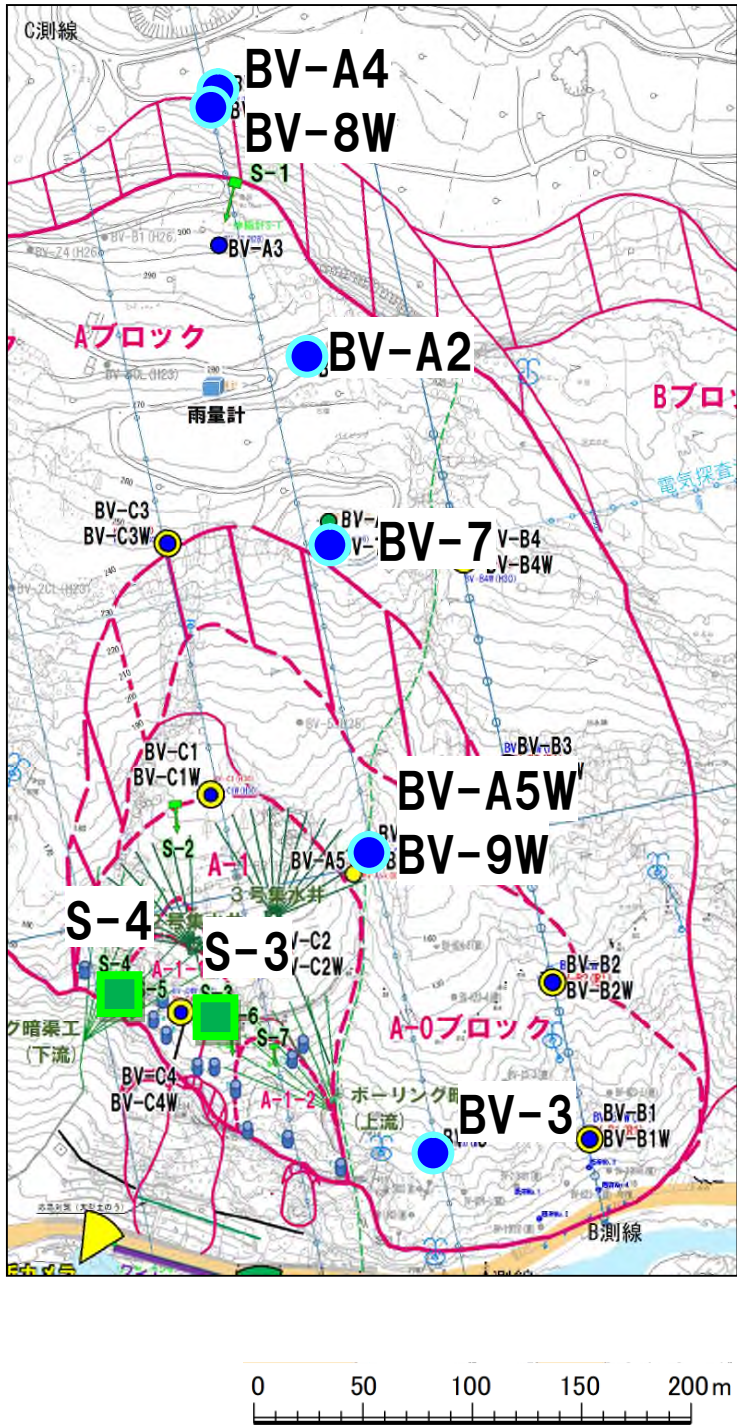
ブロック頭部に設置している S-1 伸縮計の変動は、降雨による孔内水の上昇に伴って、増加する傾向がある。



※伸縮計変位が加速した時期を黄色線、橙線で示した。
黄色線はS-1のみの変位、橙線はS-1, S-3, S-4で共通した変位を示す。

図 4-9 伸縮計と地下水位変動状況 (S-1)

■伸縮計(S-3, S-4)、降雨と地下水位の関係
 ブロック末端の動きを計測している S-3, S-4 の変動状況および降雨と関連性が高い地下水位観測孔は、BV-A4, BV-8, BV-A5, BV-9W, BV-3 の 5 孔である。それぞれ一定の水位を超えた場合に、伸縮計の変動が加速する傾向がある。
 特に BV-A5 の水位が GL-45m を超える期間と S-3, S-4 の活動が活発化する期間はほぼ一致する。



※伸縮計変位が加速した時期を黄色線、橙線で示した。
 黄色線はS3, S-4の変位、橙線はS-1, S-3, S-4で共通した変位を示す。

図 4-10 伸縮計と地下水位変動状況 (S-3, S-4)

4.4 観測機器の移動方向および移動量

【整理条件】

- ・現在の観測体制が概ね整った 2018/8 月以降の値を、年間変位量に換算して表示した。
- ・GPS および孔内傾斜計は、移動量とともに移動方向を明示した。

【移動方向と移動量の整理結果】

- ・孔内傾斜計の深い深度の変位は、概ね測線方向に変位しており、BV-A5, BV-B4, BV-C3, BV-C4 の変位量は同程度である。
- ・浅い深度での変位は、東南東方向に変位しており、GPS の移動方向とほぼ一致する。
- ・BV-C1 および BV-C2 は、観測開始から観測不能となるまでの観測期間が極端に短いため、参考値として破線で記載する。

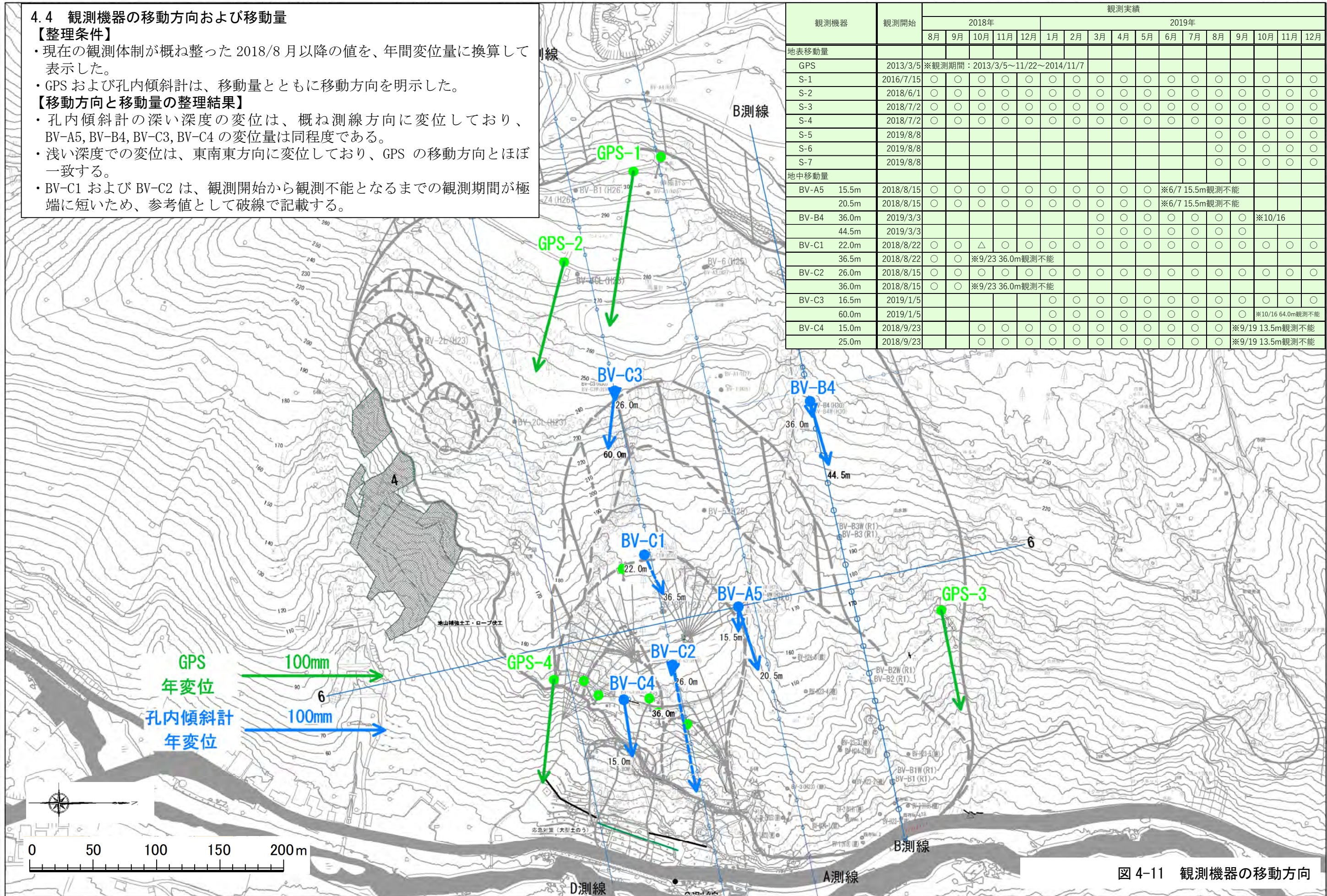


図 4-11 観測機器の移動方向

移動量の比較

Aブロック頭部に位置するGPS1と伸縮計S-1の
年平均変位量は、ほぼ同程度である。

GPS1
年平均変位 105mm
(2013/3～2014/11, 20ヶ月)

S-1
年平均変位 91mm
(2018/8～2019/12, 17ヶ月)

A測線

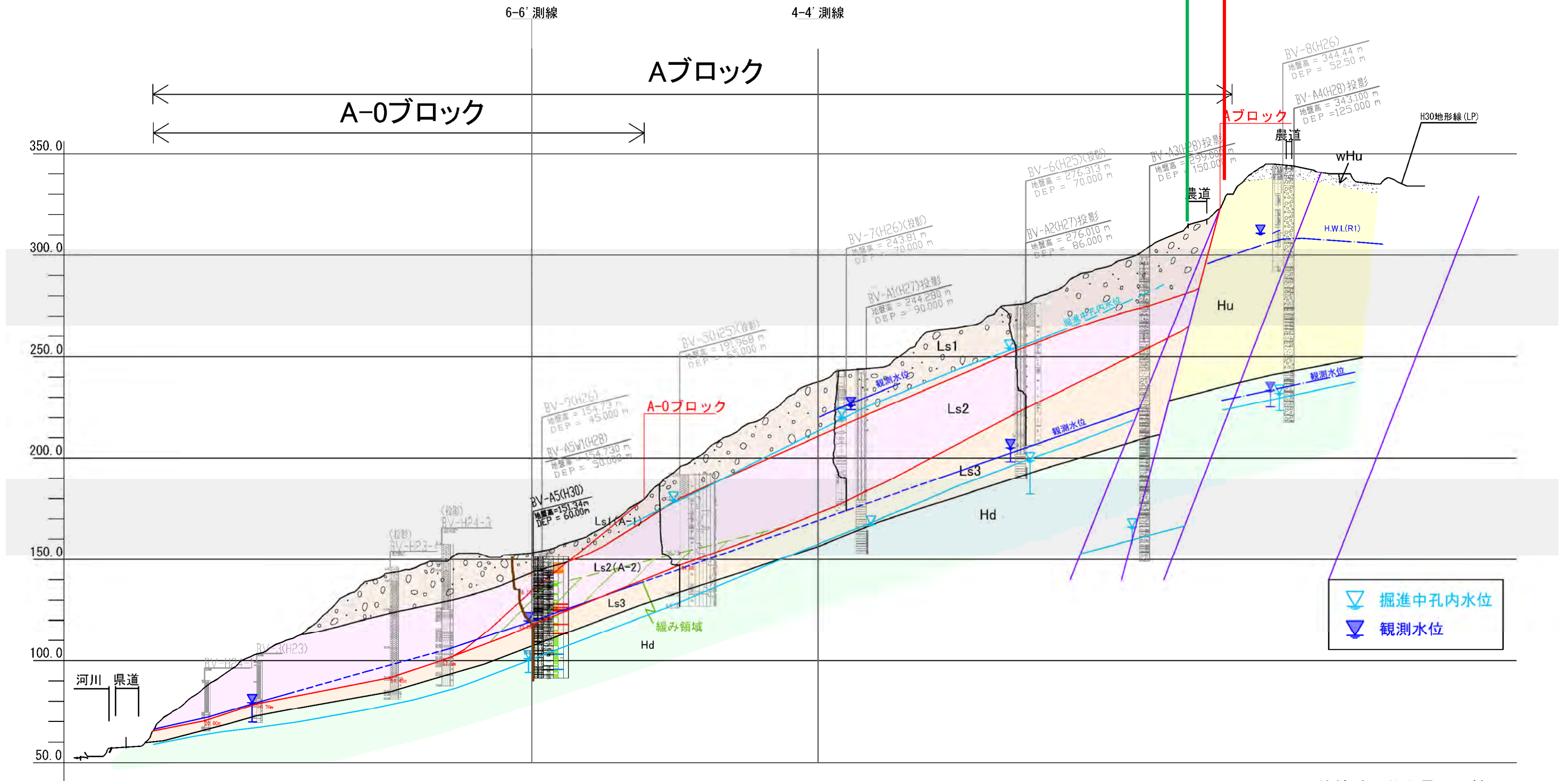


図 4-12 GPS と伸縮計の移動量の比較

令和元年 8 月 15 日の台風 10 号における地すべりの挙動から、ブロックの活動状況を整理した。
 観測機器の配置は、A ブロック頭部に S-1 が、末端の A-1-1 ブロックに S-2～S-7 の伸縮計を設置している。

- ・ 台風 10 号では、A ブロック全体 (S-1) が活発化したあとに、A-1-1 ブロックが活発化している。
- ・ 変位の収束は、A ブロック、A-1-1 ブロックともにほぼ同時である。
- ・ 各ブロックの活動における関連性を把握するためには、現状では観測機器が不足している。このため、A-0、A-1、A-1-2、D ブロックを対象とした地表面伸縮計の追加設置が必要と考える。

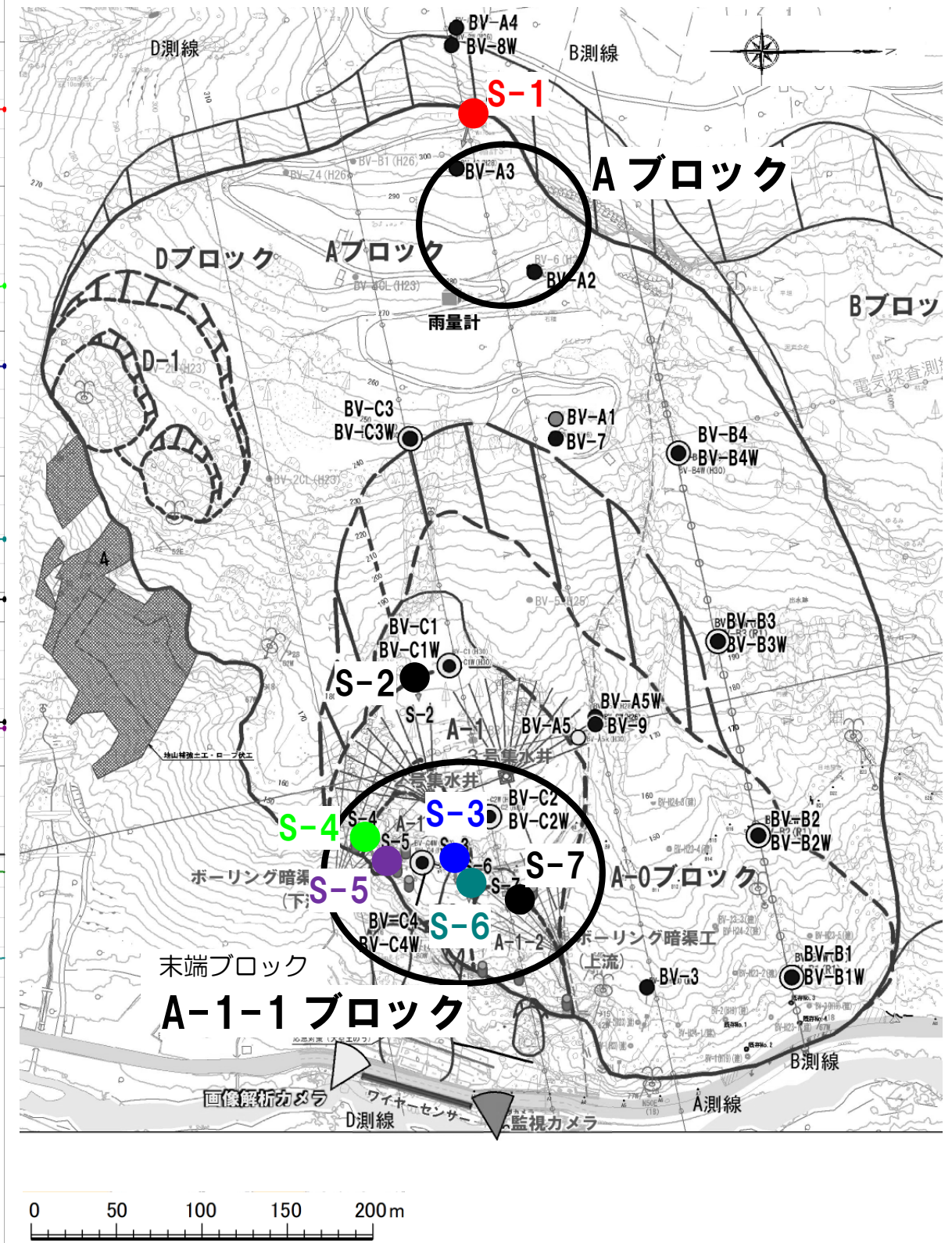
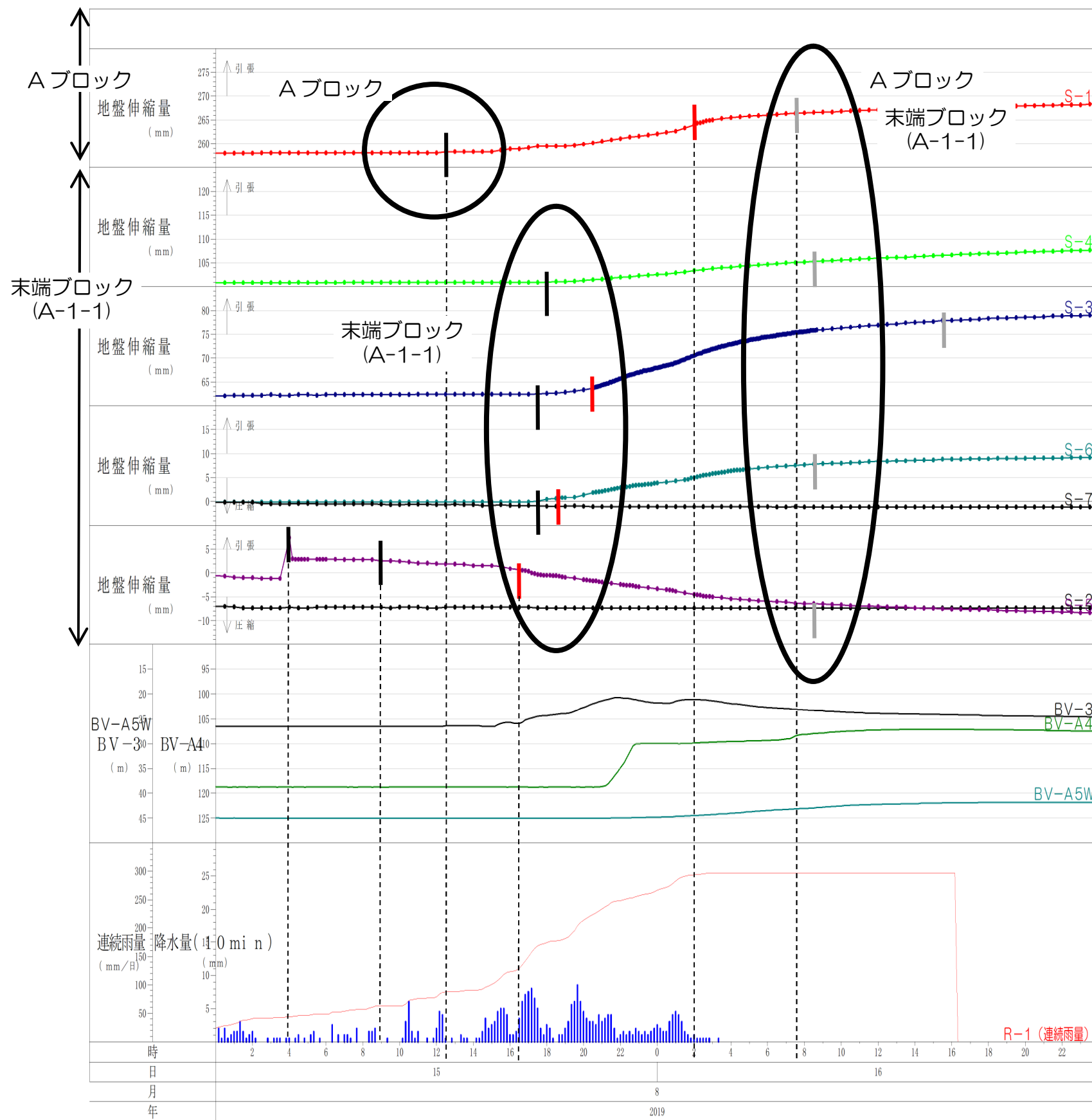


図 4-13 台風 10 号における地すべりブロックの活動状況

4.4 観測機器の追加設置

