

(公社)日本地すべり学会新潟支部
「第44回地すべり現地検討会」資料
2024.11.7

広田地すべり

～融雪期に発生した大規模地すべり～



◇主催 (公社)日本地すべり学会新潟支部
◇共催 (一社)日本応用地質学会北陸支部
◇後援 新潟県

目 次

1. 広田地すべりの概要	1
1.1 位置	1
1.2 地形	2
1.3 地質	4
2. 地すべりの状況	5
2.1 地すべり状況	5
2.2 応急対応	18
3. 調査結果	21
3.1 調査項目と測線設定	21
3.2 ボーリング調査結果	23
3.3 簡易揚水試験と掘進水頭	30
4. 観測結果	34
4.1 観測体制	34
4.2 地下水位観測	36
4.3 パイプ式歪計観測	45
5. 地すべり機構解析	56
5.1 地質構成と分布	56
5.2 地下水状況	61
5.3 すべり面判定とすべり面形態	64
5.4 比抵抗構造	67
5.5 地すべり発生機構	68
6. 対策工の検討	71
6.1 基本方針	71
6.2 地すべり安定解析	72
6.2.2 3次元安定解析条件	72
6.2.3 解析結果	76
6.3 集水井工配置計画	77
7. 今後の課題	84

1. 広田地すべりの概要

1.1 位置

地すべり防止区域「広田地区」は、JR 北陸線糸魚川駅から東南東に約 12km 離れた、糸魚川市大字北山地内に位置し、二級河川早川流域に位置する地すべり防止区域である。早川は焼山に源を発し日本海にそそぐ延長約 14 km の河川であり、上流部は焼山の火山体を下刻する急流河川であるのに対し、中・下流域では谷底平野を伴う緩勾配の河川となっている。また谷底平野の上流側では、焼山起源の火砕流堆積物が表層を覆っており、土塩集落付近まで火砕流堆積物がつくる段丘状の地形が分布している。この火砕流堆積物の下流端付近で、早川左岸を流下する大滝川(上流部はニゴリ川)が早川に合流している。広田地区は大滝川の右岸斜面に広がる防止区域で、大滝川沿いに約 3 km にわたって狭長な防止区域が広がっている。

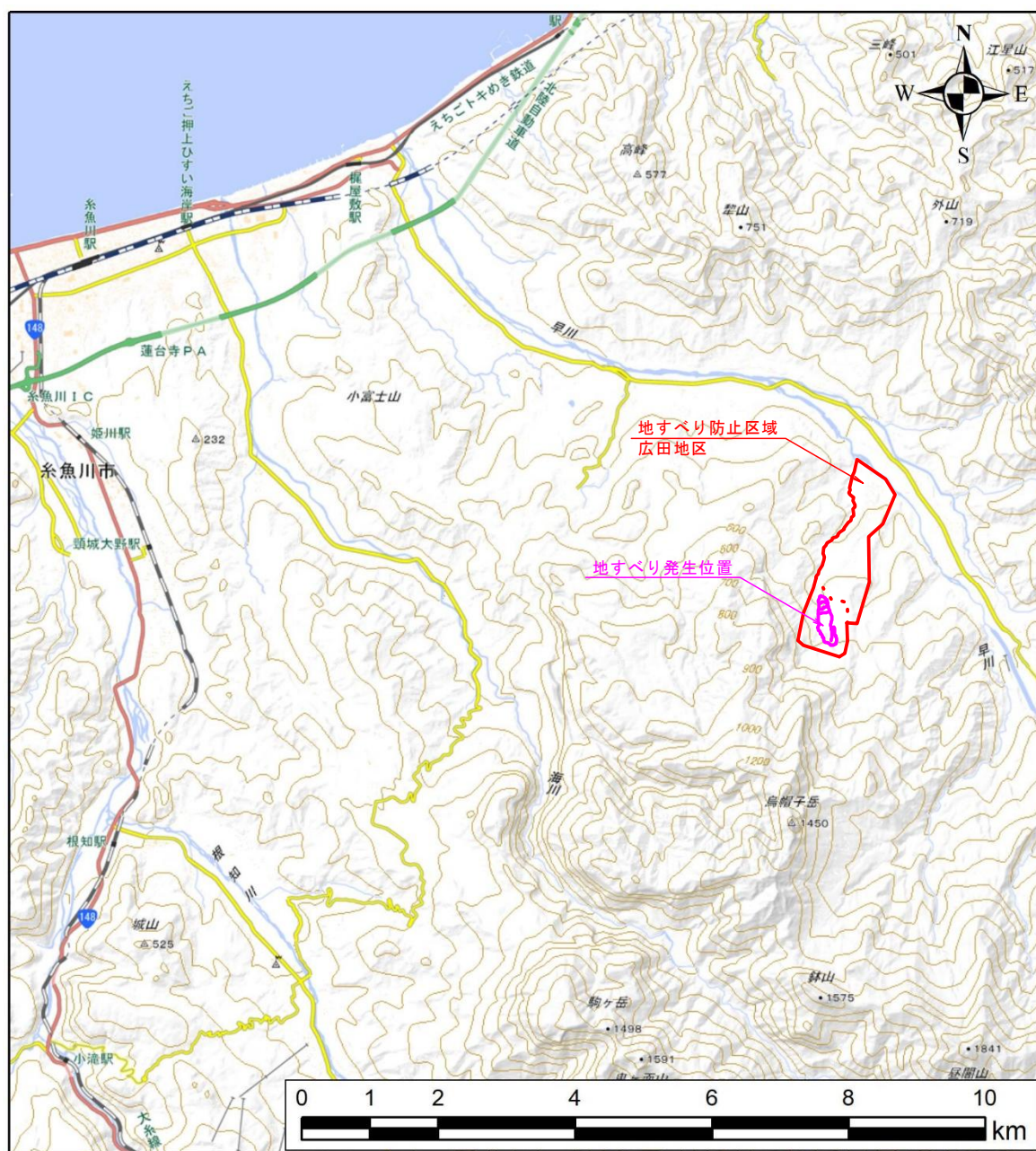


図 1. 1 広田地区位置図(S=1:100,000) (地理院地図)

目 次

1. 広田地すべりの概要	1
1.1 位置	1
1.2 地形	2
1.3 地質	4
2. 地すべりの状況	5
2.1 地すべり状況	5
2.2 応急対応	18
3. 調査結果	21
3.1 調査項目と測線設定	21
3.2 ボーリング調査結果	23
3.3 簡易揚水試験と掘進水頭	30
4. 観測結果	34
4.1 観測体制	34
4.2 地下水位観測	36
4.3 パイプ式歪計観測	45
5. 地すべり機構解析	56
5.1 地質構成と分布	56
5.2 地下水状況	61
5.3 すべり面判定とすべり面形態	64
5.4 比抵抗構造	67
5.5 地すべり発生機構	68
6. 対策工の検討	71
6.1 基本方針	71
6.2 地すべり安定解析	72
6.2.2 3次元安定解析条件	72
6.2.3 解析結果	76
6.3 集水井工配置計画	77
7. 今後の課題	84

1. 広田地すべりの概要

1.1 位置

地すべり防止区域「広田地区」は、JR 北陸線糸魚川駅から東南東に約 12km 離れた、糸魚川市大字北山地区内に位置し、二級河川早川流域に位置する地すべり防止区域である。早川は焼山に源を発し日本海にそそぐ延長約 14 km の河川であり、上流部は焼山の火山体を下刻する急流河川であるのに対し、中・下流域では谷底平野を伴う緩勾配の河川となっている。また谷底平野の上流側では、焼山起源の火砕流堆積物が表層を覆っており、土塩集落付近まで火砕流堆積物がつくる段丘状の地形が分布している。この火砕流堆積物の下流端付近で、早川左岸を流下する大滝川(上流部はニゴリ川)が早川に合流している。広田地区は大滝川の右岸斜面に広がる防止区域で、大滝川沿いに約 3 km にわたって狭長な防止区域が広がっている。

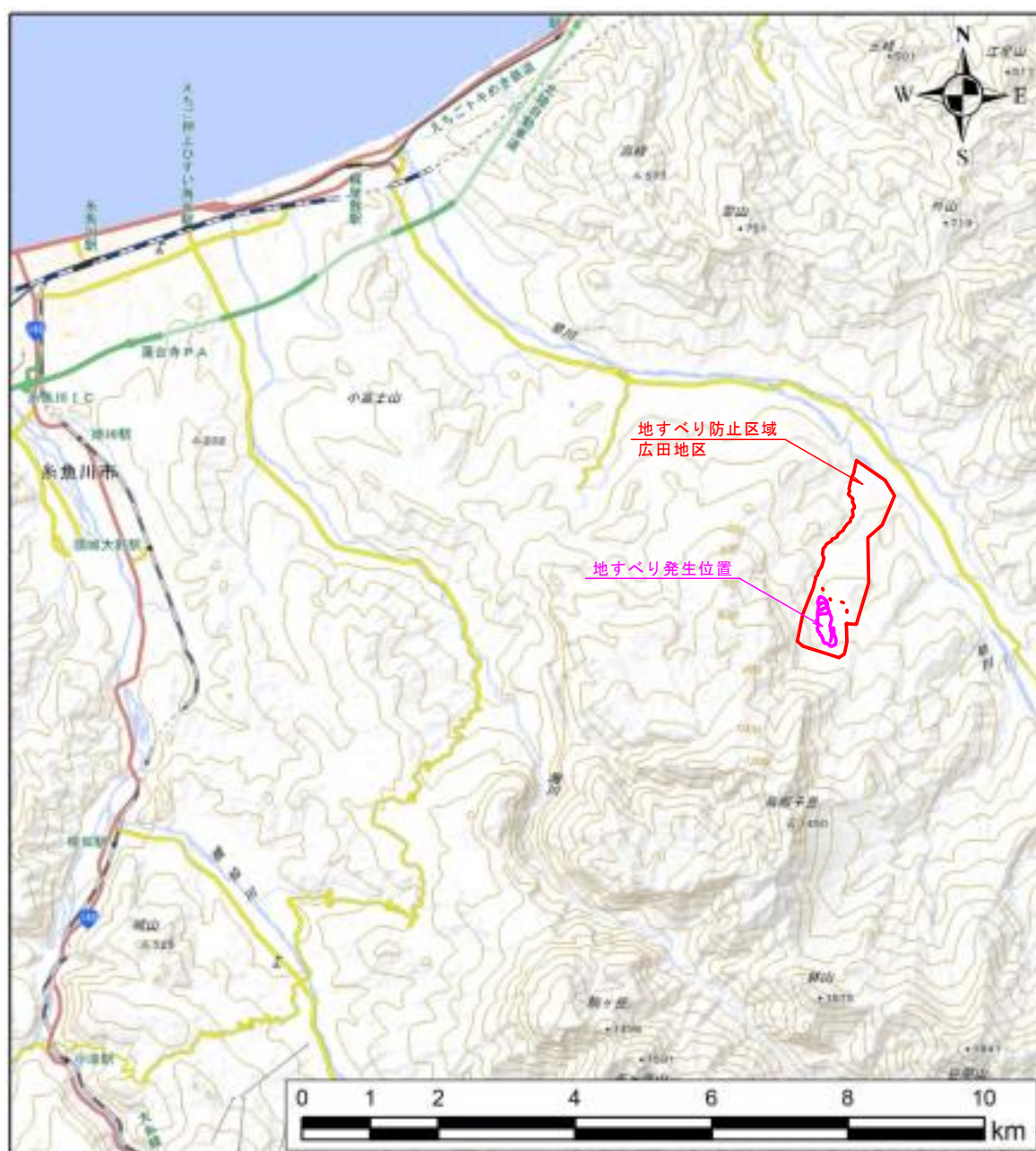


図 1. 1 広田地区位置図(S=1:100,000) (地理院地図)

1.2 地形

早川流域の地形は、地質条件を強く反映した地形が発達している。主に分布する地質体は新第三系の堆積岩類・火山岩類で、流域全体にわたり早川の左右岸に広く分布している。このうち、稜線を中心とした高標高部には硬質な岩盤を形成する火山岩類が分布し、急峻で溪流発達乏しい岩盤斜面が広がっている。一方、早川に面する低標高部には堆積岩類が分布し、相対的に傾斜の緩やかな斜面が広がるとともに、溪流発達や地すべり地形の発達が顕著となる(図 1. 2・図 1. 3)。とくに地すべり地形の発達は特徴的で、緩やかな山容が地すべり活動の営力により形作られたことを示している。

広田地区は新第三系の堆積岩類分布域に位置しており、大局的には平均傾斜 7° 前後の緩やかな北向き斜面に相当している。広田地区の西側約 500m には火山岩の作る急崖斜面が南北方向に延び、防止区域内の地形とは対照的な地形的コントラストを形成している。

防止区域内の地形は、防止区域西縁を北方に流下する大滝川(ニゴリ川)と東縁となるやや不明瞭な稜線で挟まれた北向きの平坦な緩斜面が主体である。さらに防止区域の東側には大滝川に平行な溪流が流下しており、広田地区は 2 つの溪流に挟まれた狭長な台地上の形状をなしている。台地の頂部には平坦な地形が広がり、下流側(広田(追加)地区)では宅地に、上流側(広田地区)では水田に利用されている。台地面の地形を河川横断方向で切ると、緩やかに大滝川に向かって標高を減じる傾向が認められる。一方、大滝川左岸や、防止区域東方の東向き斜面は溪流に向かう比較的急峻な傾斜をなしており、溪流の左右岸で非対称な地形を形成している。この地形は、堆積岩類の地質構造(走行・傾斜)を反映したもので、ケスタ前面の急斜面と背面の緩斜面の組み合わせで形成されていると解釈できる(図 1. 4)。

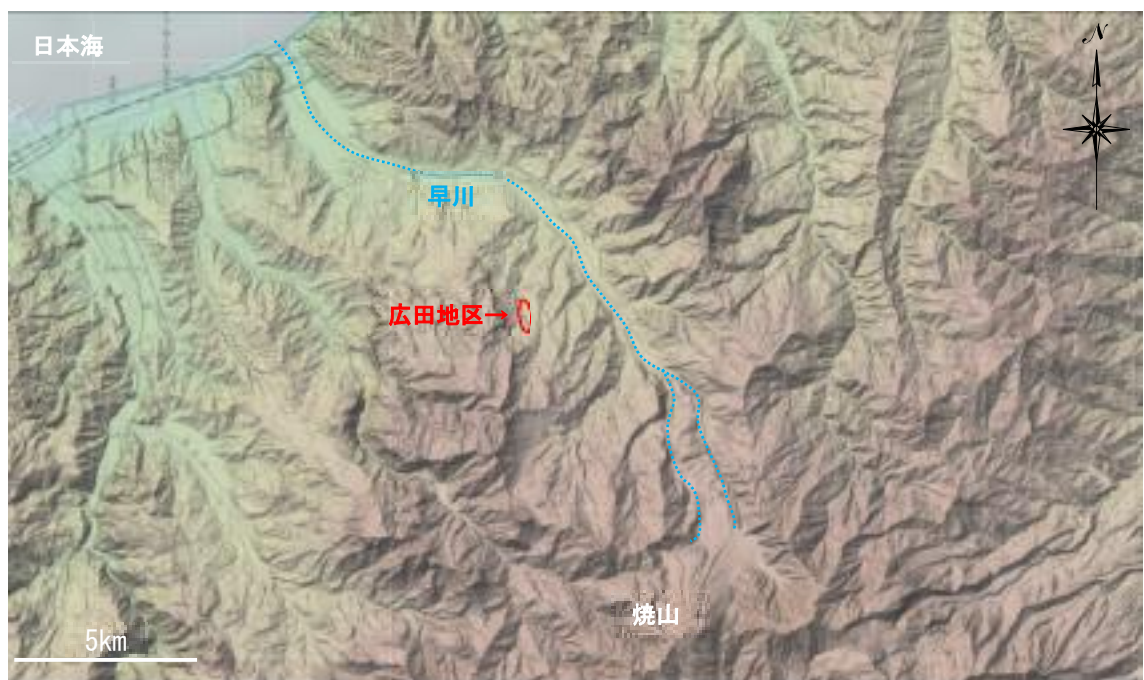


図 1. 2 早川流域の地形(地理院地図を用いて作成)



図 1. 3 早川流域の地すべり地形分布図(地理院地図を用いて作成)

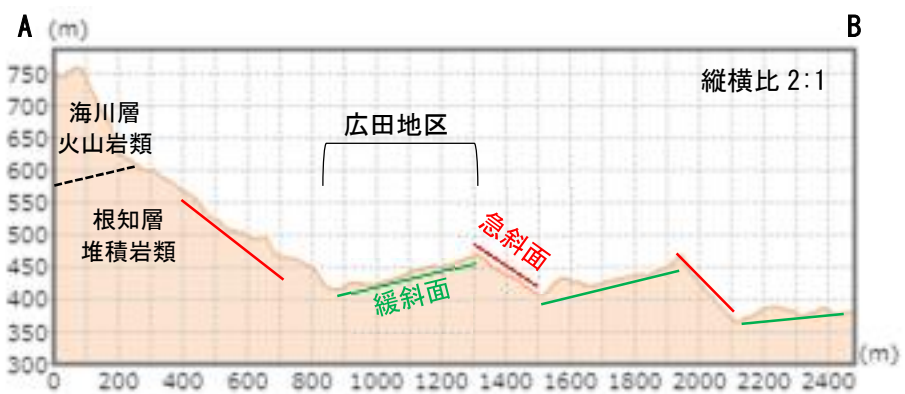
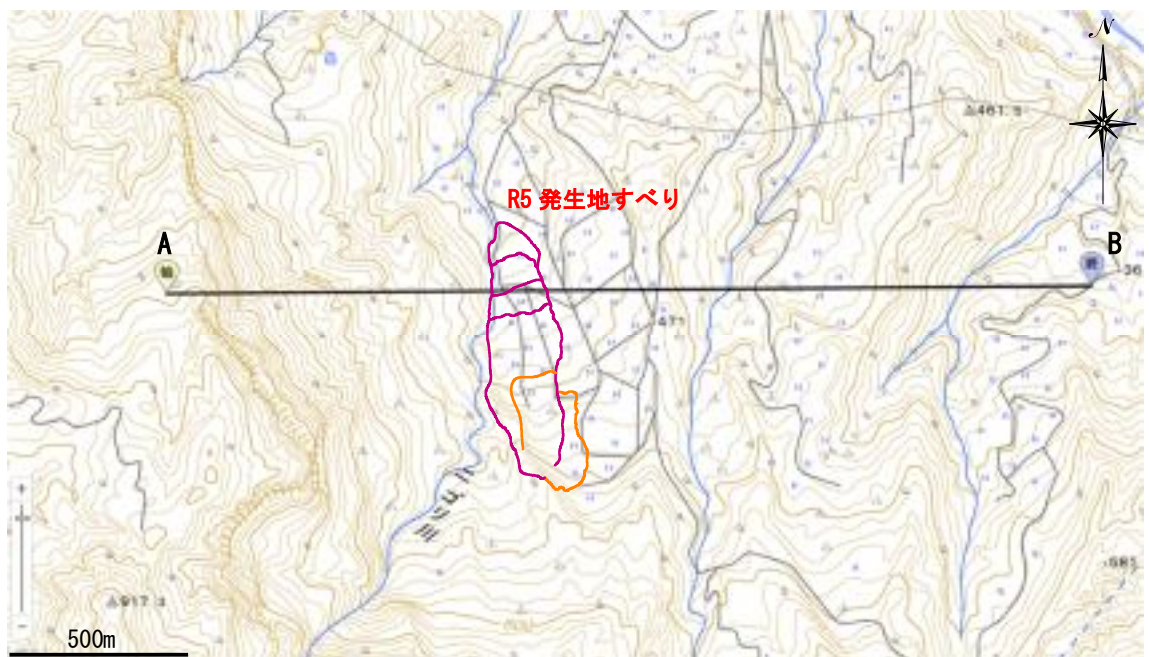


図 1. 4 広田地区河川横断方向の非対称地形

1.3 地質

広田地区は、糸魚川静岡構造線の東側でフォッサマグナ西縁部にあたる。周辺では地質構造を反映した北北東方向に伸びる稜線が発達し、その間を早川の支渓が下刻している。斜面傾斜は稜線の西側で緩く東側で急なケスタ地形を示しており、今回の地すべりは稜線西側で標高 400～500m の緩斜面にて発生した。この緩斜面はかねてから水田として利用され、昭和 50 年代には大規模なほ場整備が実施されている。

周辺の地質は、新第三系泥質岩(根知層)を母岩とし、北北西走向で西に 20～30° 傾斜するため、地すべりは大局的に走向～流れ盤構造を示す。地すべり西側の斜面上方には、泥質岩の上位を安山岩質火砕岩(海川層)が広く覆って分布する(図 1. 5)。これは典型的なキャップロック型地すべりの特徴をなすものであり、周辺地域においては同タイプの地すべりがここ数年の融雪期や豪雨時において多発している(谷根広田地すべりなど)。

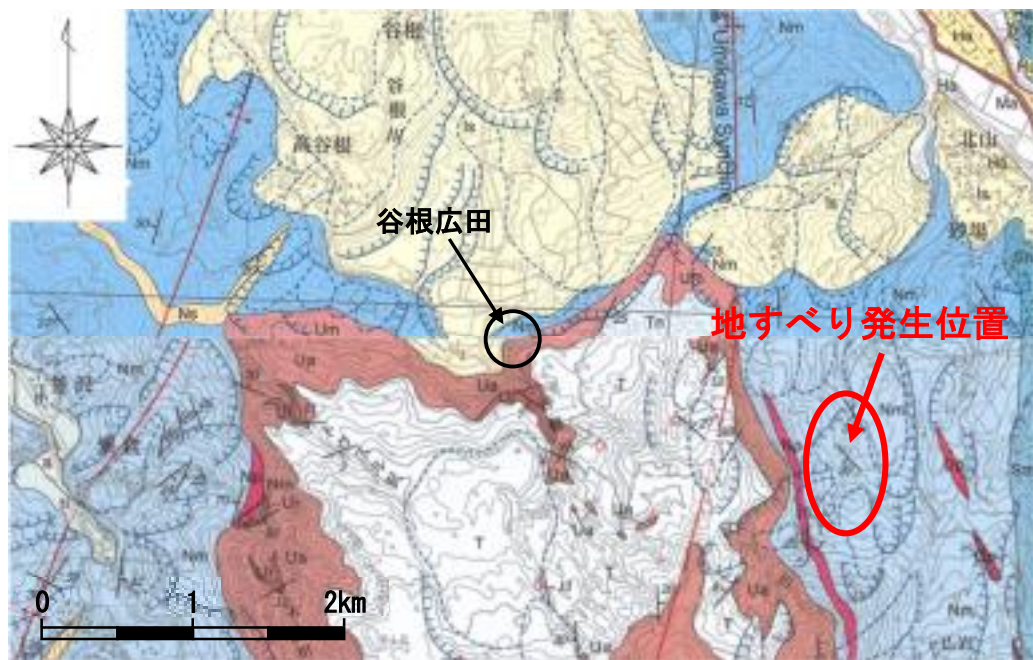


図 1. 5 広田地区周辺の地質

産業技術総合研究所 5 万分の 1 地質図幅 「糸魚川」「小滝」より

2.地すべりの状況

2.1 地すべり状況

(1)地すべり発生の経緯

本地すべりは地域住民による下流域での用水路の濁りの報告をきっかけに、令和5年4月1日に発生が確認された。地すべり発生域が積雪期に人の立ち入りが少ない水田地帯のため、正確な地すべり発生時期は把握できていない。

近傍の気象観測データ(図2.1)によると、令和5年3月20日頃より急激な気温上昇があり、これに伴う融雪が大きく進行したことが推定される。積雪深の低下を基に算出した換算雨量と降水量を合算すると、3月21日から4月1日までの間に、295mmの累積降雨に匹敵する地表水供給があったと考えられる。確たる根拠はないものの、3月下旬の融雪の進行が地すべり発生の誘因になったものと推察される。

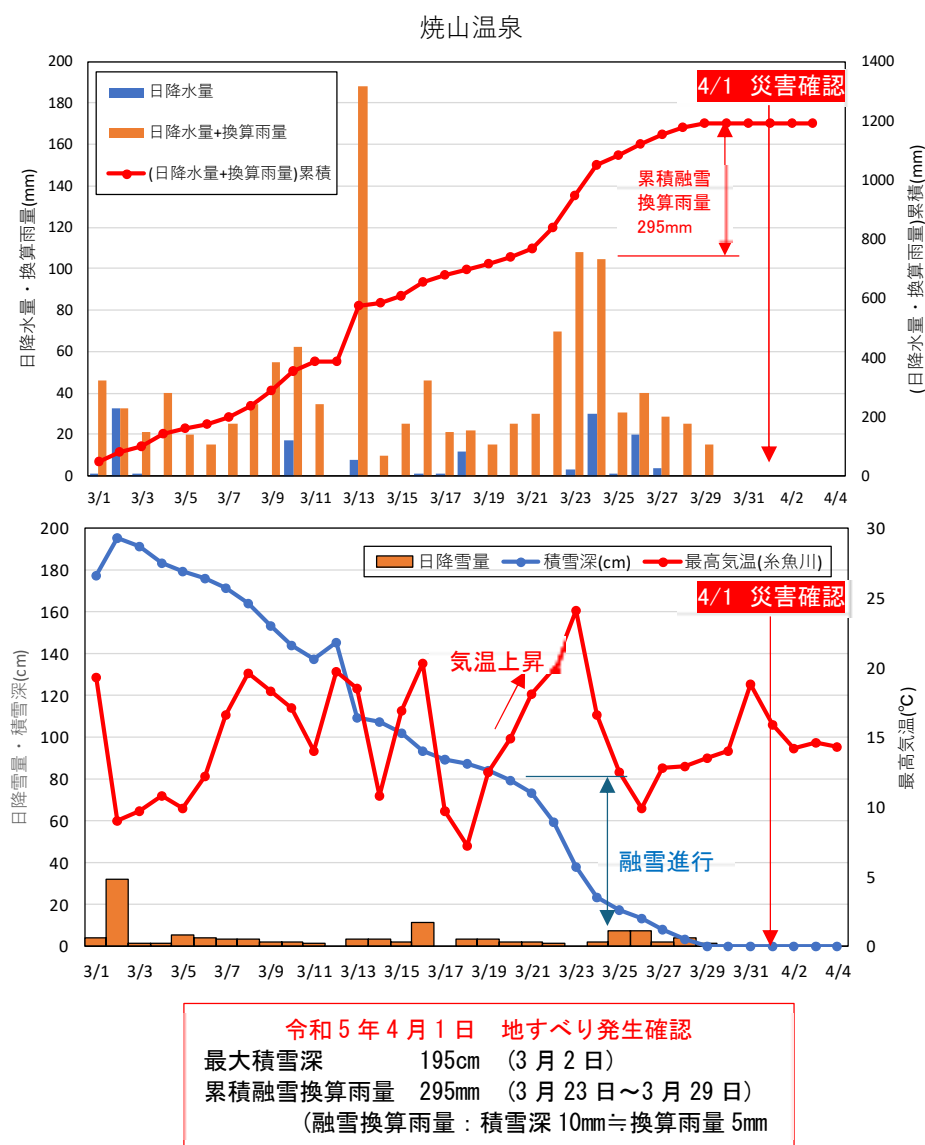


図2.1 地すべり発生時の気象

(2) 地すべり状況

地すべりが発生した斜面は、大規模なほ場整備が行われた大局的には北傾斜の緩斜面（平均傾斜 6° ）であるが、やや西側に傾いた地形を形成しており、地表水は西縁を流れる大滝川に集まる地形をなしている。令和5年4月1日に発生が確認された地すべりは、この緩斜面の西側に位置し、西側方の下部は大滝川に接している。地すべり変状が確認された斜面は、延長750m、幅200mで、その面積はおよそ7.9haに及ぶ大規模な地すべりであった。もともと、当該斜面の高標高部には過去の地すべり活動で形成された比高20mの滑落崖が形成されており、その下に複数の地すべりブロックが存在していた。今回発生した地すべりは、これら複数の過去の地すべりを包括して活動するとともに、滑落崖背後の岩盤斜面を含んで発生したより大規模な地すべりであった。また過去の地すべりはすべり面深度が20m以下の規模であったが、今回発生した地すべりのすべり面最大深度は約37mに達するものであった。その移動体堆積は $1.9 \times 10^6 \text{m}^3$ におよび、「大規模地すべり（移動体体積 $1 \times 10^6 \text{m}^3$ 以上・最大深さ30m以上）※1」に相当するものであった。

現地踏査の結果、移動体は二つに区分されることが明らかとなり、Aブロック、Bブロックに区分した（表2. 1）。Aブロックの末端押し出し部の変状が、Bブロックの右（東）側部のせん断亀裂により切断される前後関係より、Aブロックが活動し、その後Bブロックが活動したと判断される。

地すべり斜面内の土地利用は、下部斜面および上部斜面の一部がほ場整備された水田となっており、その大半が現在も耕作が行われている。ほ場整備が行われていない斜面中腹から上部については、休耕地もしくは山林となっており、現在は土地利用がなされていない。また、地すべり斜面最上部には、「西側用水」が管路やトンネルで地すべり斜面を横断していたが、今回の地すべり活動によりこれらは完全に破壊され、機能を損失している。滑落崖には「西側用水」の水路トンネルの一端が露出した状態にある。

表 2. 1 地すべりブロック区分

	A ブロック	B ブロック
延長 (m)	330	710
幅 (m)	160	200
平均傾斜 ($^{\circ}$)	12.3	10.6
備考		災関対象ブロック

※1 「我が国の大規模地すべりの形態と規模」、荻田茂・相楽渉・大規模地すべりの機構解明研究委員会、地すべり vol. 53, No. 5, pp21-25

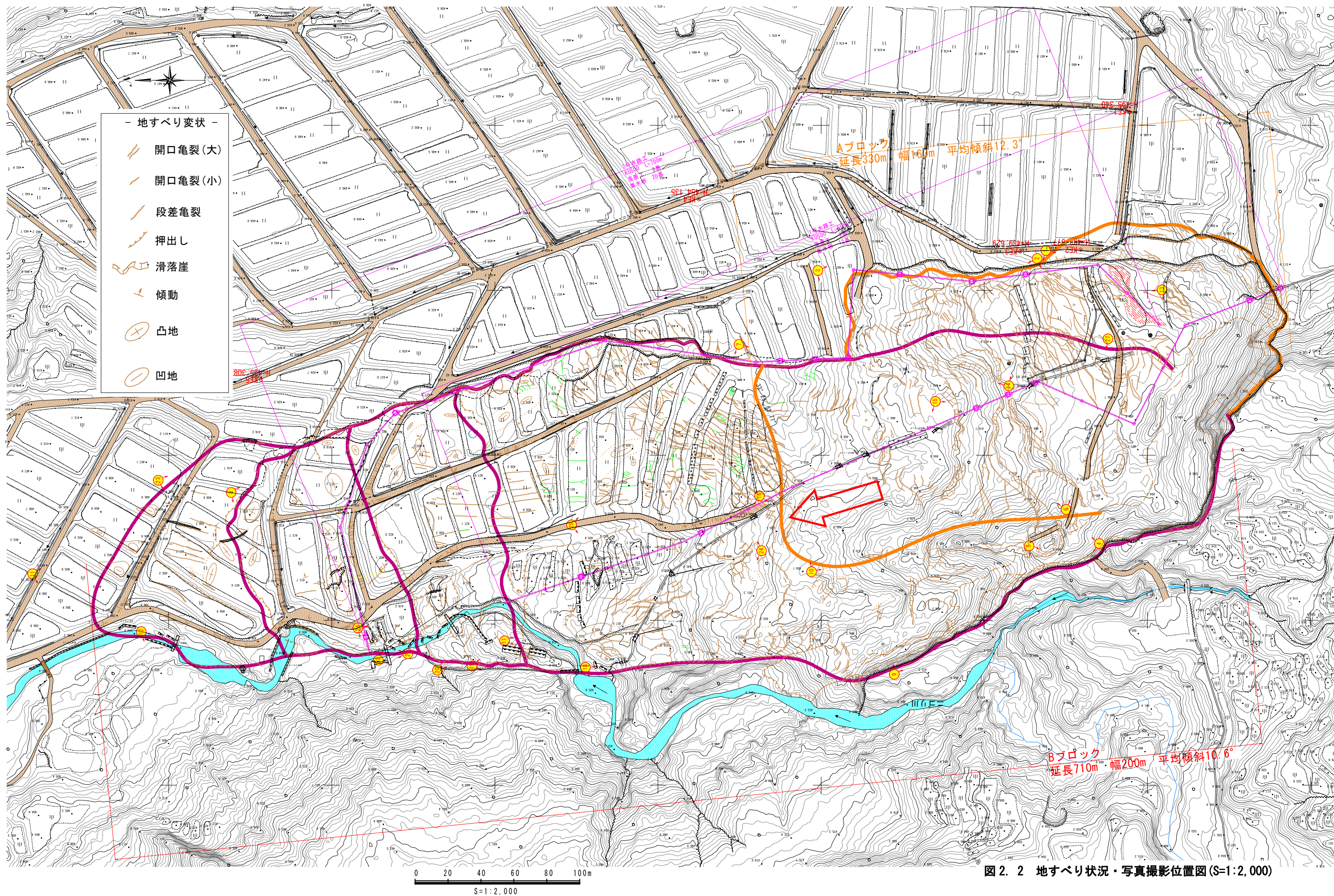


図 2. 2 地すべり状況・写真撮影位置図(S=1:2,000)

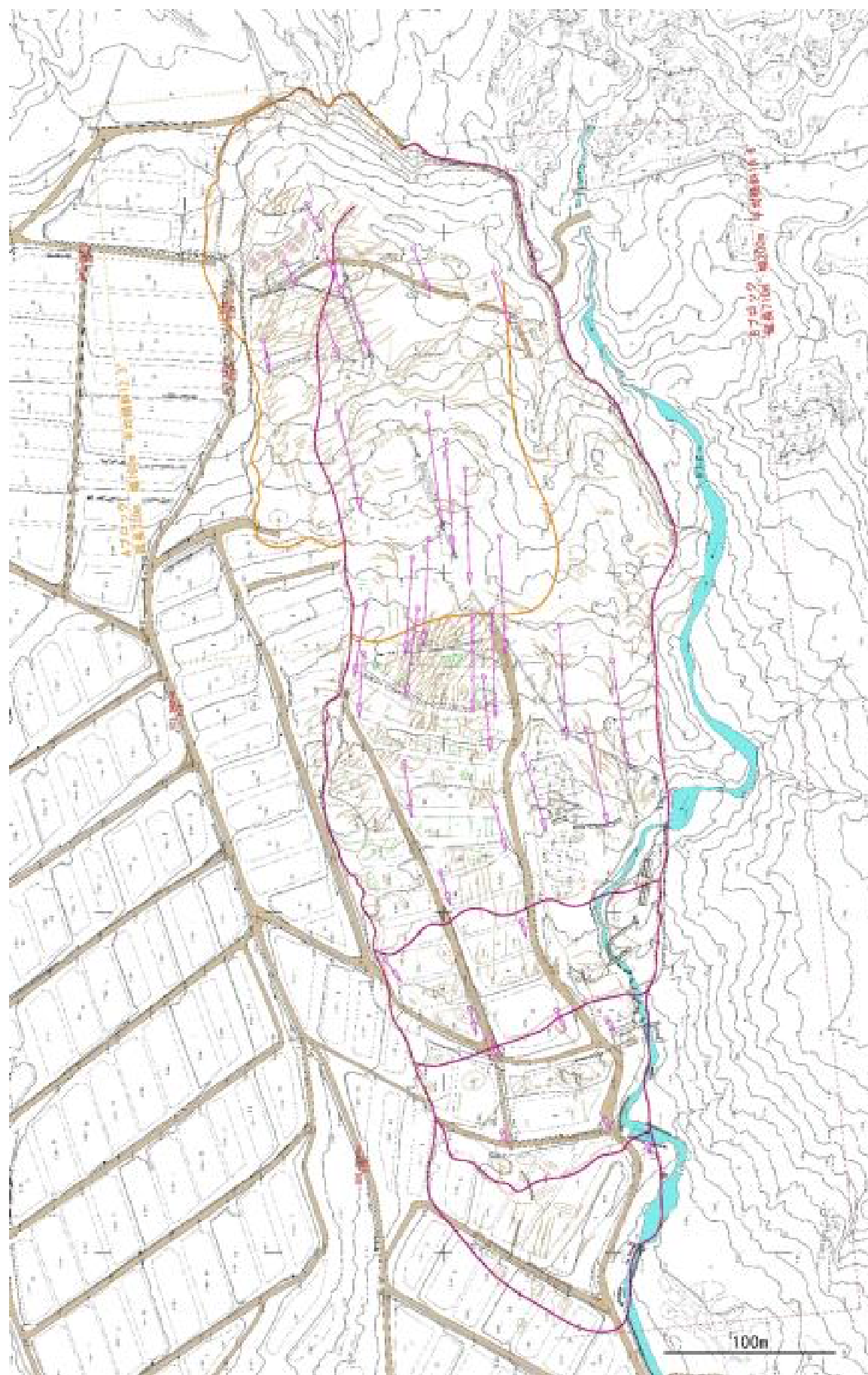


図 2. 3 水平移動ベクトル図

被災前オルソ画像(e まっぷ糸魚川)と重ね合わせ、移動した特徴点を比較

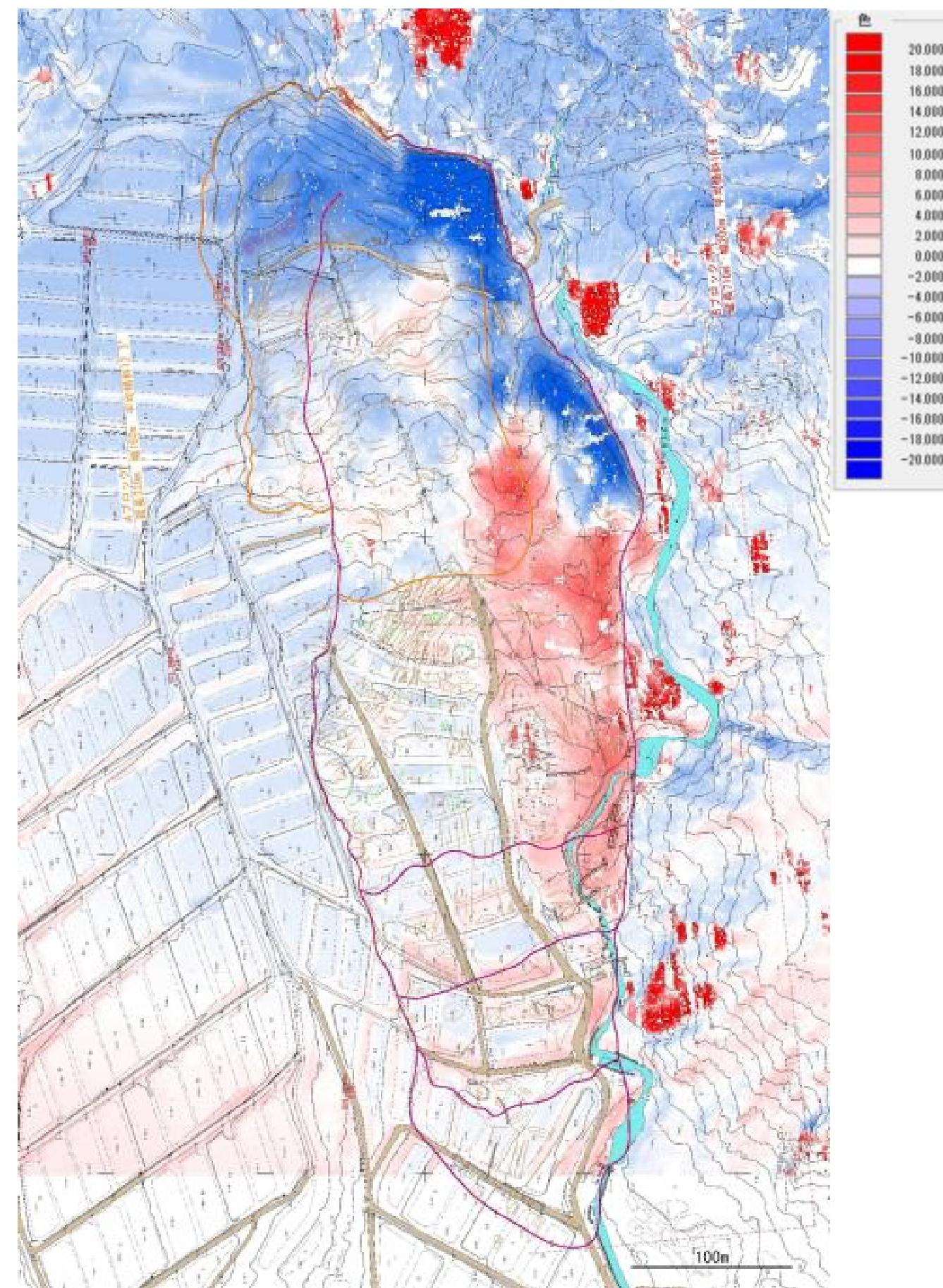


図 2. 4 標高差分図

2013 年航空レーザー測量成果(松本砂防事務所)と地すべり発生後レーザー測量の差分



写真 2. 1 頭部滑落崖状況

A ブロック滑落崖：延長約 100m, 比高 10~30m

B ブロック滑落崖：延長約 70m, 比高 20~30m



写真 2. 2 A ブロック東側方部状況



写真 2. 3 A ブロック末端部 押出し状況

押出し部：隆起量約 3m



写真 2. 4 B ブロック西側方部状況
尾根を分断する線状凹地が認められる
側方崖：比高最大 15m



写真 2. 5 B ブロック西側方部 露岩状況
尾根を分断する線状凹地内部には、基岩を形成していた弱風化泥岩の岩塊が多数分布することから、岩盤に達する新たなすべり面が形成されたと想定される



写真 2. 6 B ブロック副次崖状況
副次崖：比高 2~3m



写真2. 7 Bブロック東側方部状況
上部ブロック末端部を切って斜面上部へ連続する
側方リッジ：比高2～3m



写真2. 8 Bブロック末端部状況
押し変状が認められる。押し出し部：隆起量最大1m



写真2. 9 Bブロック西側方部状況
尾根を分断する線状凹地が認められる
側方崖：比高最大15m



写真 2. 10 Bブロック西側方部 露岩状況
線状凹地内部には弱風化泥岩が認められる
弱風化岩盤に達する地すべりが想定される

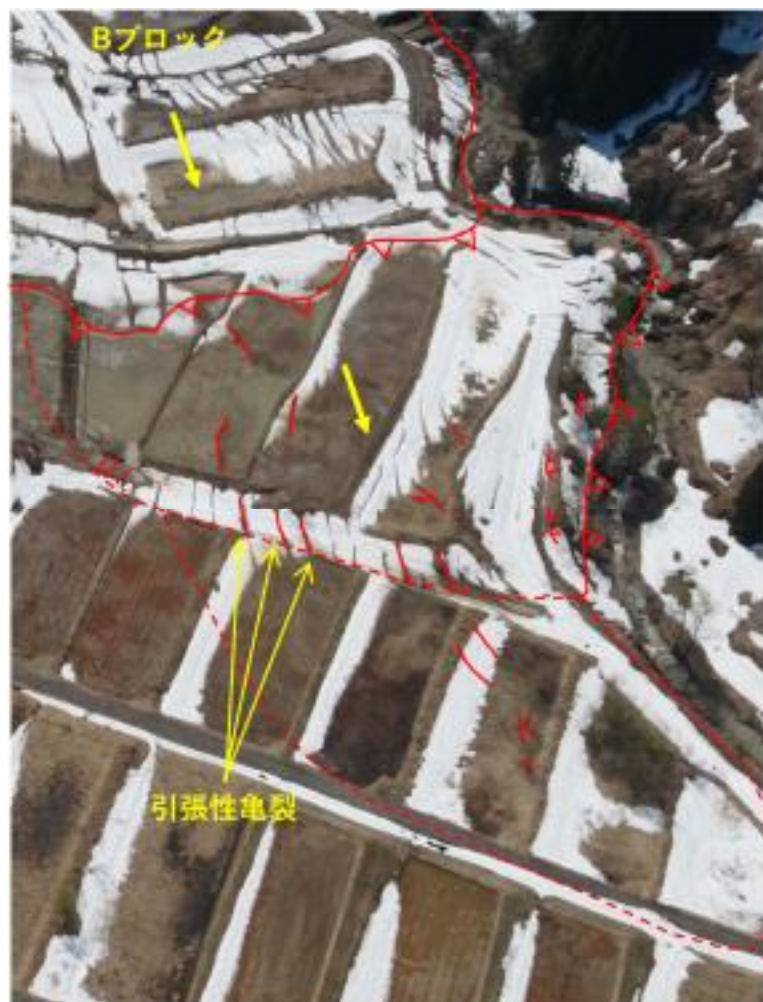


写真 2. 11 地すべり末端の状況
Bブロックからの押出しに伴うせん断亀裂が
認められるが、地すべり範囲はやや不明瞭である。



写真 2. 12 Bブロック末端部西側方部状況
側方への押出しにより、護岸工が破損



写真 2. 13 集水井工 02(上 17)被災状況
東側方側へ傾倒し、抜け上がっている



写真 2. 14 集水井工 03(上 20)被災状況
斜面下方へ傾倒している
井筒内は湛水している



写真 2. 15 横孔 Bo 工被災状況
保護壁が前面へ傾倒している



写真 2. 16 水路工被災状況



写真 2. 17 横孔 Bo 工被災状況



写真 2. 18 床固工被災状況



写真 2. 19 護岸工被災状況



写真 2. 20 砂防堰堤被災状況



写真 2. 21 護岸工被災状況



写真 2. 22 砂防堰堤被災状況



写真 2. 23 農地被災状況全体写真



写真 2. 24 農地被災状況



写真 2. 25 農道被災状況



写真 2. 26 農業用水取水施設被災状況

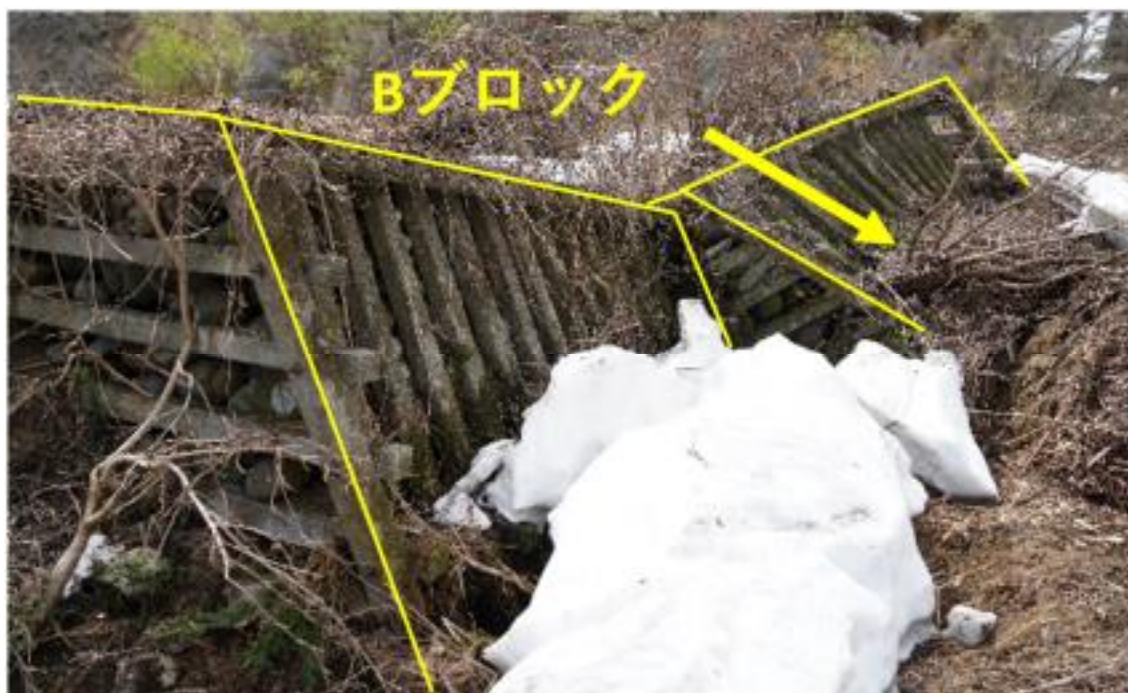


写真 2. 27 片法枠工被災状況

2.2 応急対応

大規模地すべりの発生をうけ、再び地すべり活動が活発化した際に危険を早期に察知できるように、警戒監視・警報体制を構築した。想定されるリスクとして、大滝川湛水池の決壊による土石流発生による被災と、地すべり再活動や地すべり拡大時の直接被害の二つが考えられた。これらに対し、計測機器を設置し被災リスクが高まった場合の、現地での警報発令体制と関係者へのメール通報体制を構築した。また、大滝川で発生した湛水解消や、背後斜面からの地表水供給遮断を目的とした応急対策工事を実施した。

(1) 土石流警報

地すべり活動に伴い発生が予想される土石流は大滝川を流下し、早川の谷底平野まで流出する可能性がある。土石流発生時には早期に現象を察知し、危険個所にその情報を伝達する必要がある。そこで、地すべり斜面直下の砂防ダム水の通しに土石流センサを設置し、下流域で警報発令する体制を構築することとした(図 2. 5)。

(2) 地すべり警報

令和 5 年 4 月 1 日の地すべり確認後、目視レベルでは地すべり活動の継続は認められず、地すべり活動は小康状態にあった。しかしその後の豪雨や地震等で、地すべりが不安定化する懸念があり、現地での農作業、工事、調査作業時に地すべり活動に巻き込まれ、被災するリスクが想定された。これに対し、地すべり斜面およびその周辺斜面に立ち入っている者に、地すべりによる被災リスクの高まりを周知させるための警報体制を構築した。

地すべりの活動状況をとらえるセンサとして、変動量を直接把握可能で警報発令の閾値を設定しやすい地中伸縮計を採用し、地すべり斜面の上(BVR5-10)・中(BVR5-5)・下部(BVR5-7)の 3 地点に設置した。



図 2. 5 被害想定区域鳥観図(事業採択協議資料より)

(3) 応急対策工事

緊急地表踏査の結果、①地すべり背後斜面の既設水路工が、滑落崖位置で完全に破壊され、大量の融雪水が地すべり斜面内に流入していること(写真 2. 28)、②地すべり左側方リッジが大滝川を閉塞し小規模な湛水が生じていることが明らかとなった(写真 2. 29)。

融雪水の流入は、地すべりの主誘因となりうることから、応急対策として可能な限りこれを遮断し、間接的に地すべり活動沈静化に働きかけることとした。具体的には地すべり斜面より上流側で仮回し水路を設置し、健全な水路まで導く計画を提案した。

大滝川の湛水池は、旧河道が地すべり土塊で完全に閉塞されており、側方リッジの外側を越流している状況が確認された(写真 2. 29)。この状況を放置すると、河川を閉塞している土砂ダムの浸食がすすみ、最悪のシナリオとして土砂ダムの決壊～土石流発生が想定される状況であった。大滝川下流域には、人家や公民館、発電所といった重要な保全対象が数多く存在しており、有事の際には甚大な被害が生じる懸念があった。そこで、開削流路工を設けることで湛水を解消し、土石流リスクの低減を図ることとした。開削流路の位置は、おおむね旧河道付近を目安とし、下流端は残存していた既設護岸工(片法枠)の上に導くこととした。既設護岸工には床固工的な機能を期待し、下方浸食を制限する計画とした。



写真 2. 28 滑落崖より流入する地表水(既設水路工が破損) (R5. 4. 6 撮影)



写真 2. 29 地すべり活動により形成された大滝川の湛水池 (R5. 4. 6 撮影)
移動土塊が溪流を閉塞し、側方リッジの外側を越流する

3.調査結果

3.1 調査項目と測線設定

地すべり規模が大きく、すべり面形状に横断方向の非対称性が予想されることに加え、早期の機構解析完了を目指し、調査ボーリングと高密度電気探査を併用する調査計画とした。

表 3. 1 調査項目概要

項目	内容	数量	備考
測量	UAV-Lider 測量	1km ²	
ボーリング調査 (18 地点)	φ66 mmコアボーリング	18 孔 ΣL=493m	
	φ66 mmノンコアボーリング	11 孔 ΣL=265m	
	標準貫入試験	12 孔 計 227 回	ノンコアボーリング対象
	簡易揚水試験	120 回	
	地下水位観測	18 孔	
	パイプ式歪計観測	12 孔	
	地中伸縮計観測	3 孔	
高密度電気探査	比抵抗 2 次元・3 次元探査	10 測線 総延長 3.25km	
警戒監視体制	土石流警報	1 式	
	地中伸縮計警報	1 式(センサ 3 基)	

表 3. 2 ボーリング調査仕様

孔番号	掘削深度 (m)	簡易 揚水試験	標準 貫入試験	パイプ式歪計	地下水位観測	地中伸縮計観測
BVR5-1	65.0	○	○	31-65m : 1 方向	○	—
BVR5-2	44.0	○	○	1-44m : 1 方向	○	—
BVR5-3	32.0	○	○	1-32m : 1 方向	○	—
BVR5-4	26.0	○	○	0-26m : 2 方向	○	—
BVR5-5	28.0	○	○	0-28m : 2 方向	○	○
BVR5-6	20.0	○	○	0-20m : 2 方向	○	—
BVR5-7	20.0	○	○	0-20m : 2 方向	○	○
BVR5-8	15.0	○	○	0-15m : 2 方向	○	—
BVR5-9	12.0	○	○	0-12m : 2 方向	○	—
BVR5-10	30.0	○	○	1-30m : 1 方向	○	○
BVR5-11	13.0	○	○	0-13m : 2 方向	○	—
BVR5-12	30.0	○		—	○	—
BVR5-13	15.0	○		—	○	—
BVR5-14	16.0	○		—	○	—
BVR5-15	43.0	○		—	○	—
BVR5-16	40.0	○		—	○	—
BVR5-17	24.0	○		—	○	—
BVR5-18	20.0	○		—	○	—

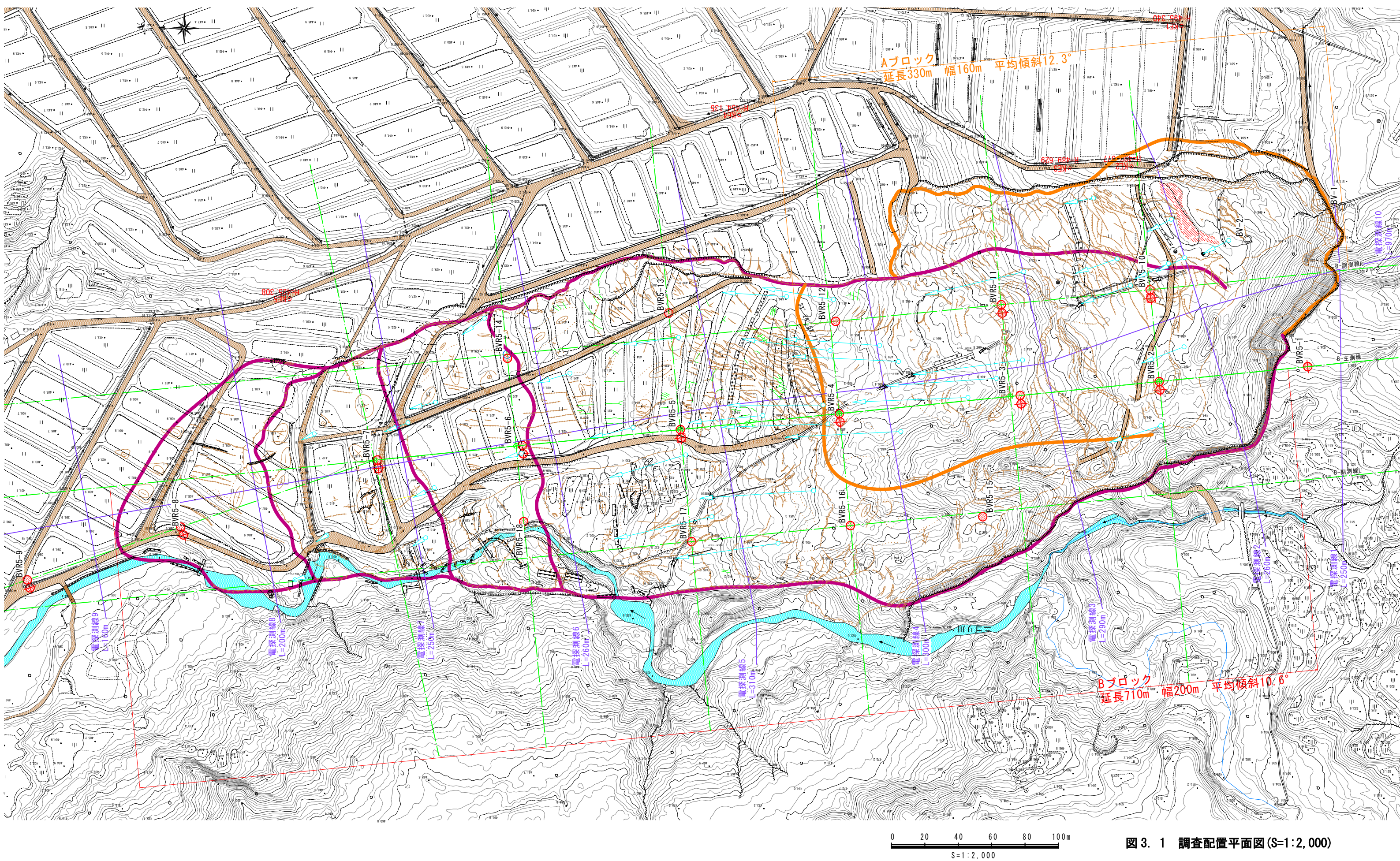


図 3. 1 調査配置平面図(S=1:2,000)

3.2 ボーリング調査結果

各孔の基本的な地質構成は共通しており、表層を覆う層厚数 m 程度の崩積土類の下に根知層に属する堆積岩類が分布している。堆積岩類は砂質泥岩を主体とし、礫岩や凝灰岩の薄層を伴う。また、砂質泥岩は、ラミナの発達状況や海綿化石混入、偽礫混入などの特徴からいくつかの岩相に区分することができた(表 3. 3)。このようなコア判読結果に基づき、図 3. 2 に示す地質層序を整理した。

表 3. 3 砂質泥岩の細区分

大区分	細区分	岩相	代表岩相
砂質泥岩	sMs (nf)	偽礫や海綿化石を含まない、砂質泥岩の主要岩相。塊状岩相主体だが、弱いラミナを伴うことも多い。局所的にラミナが発達した薄層を伴う。	
	sMs (rc)	径数cmの泥岩偽礫を含む。偽礫の混入量や偽礫の形状は多様で地点により異なる。上位の砂岩とは岩相変化が明瞭だが、下位は sMs (nf) に漸移する。	
	sMs (mc)	海綿化石 (Makiyama chitanii) を伴う。弱いラミナがみられることが多く、海綿化石の配列も認められる。	

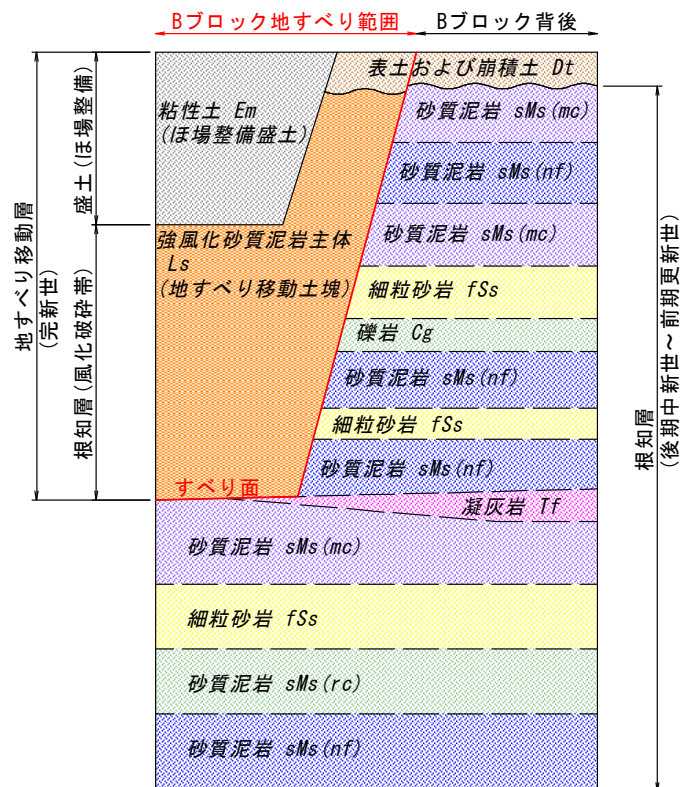


図 3. 2 災関Bブロック周辺の地質層序

(1) BVR5-1 (深度 65.00m)

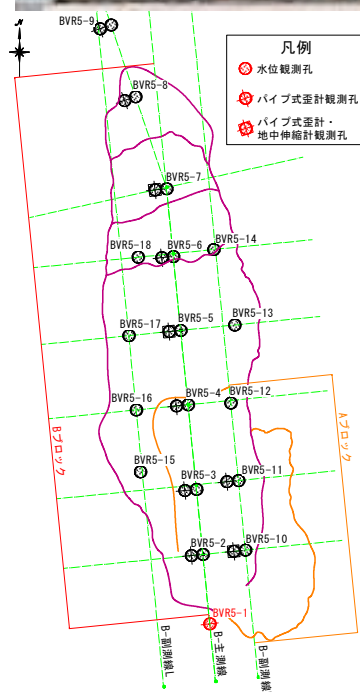
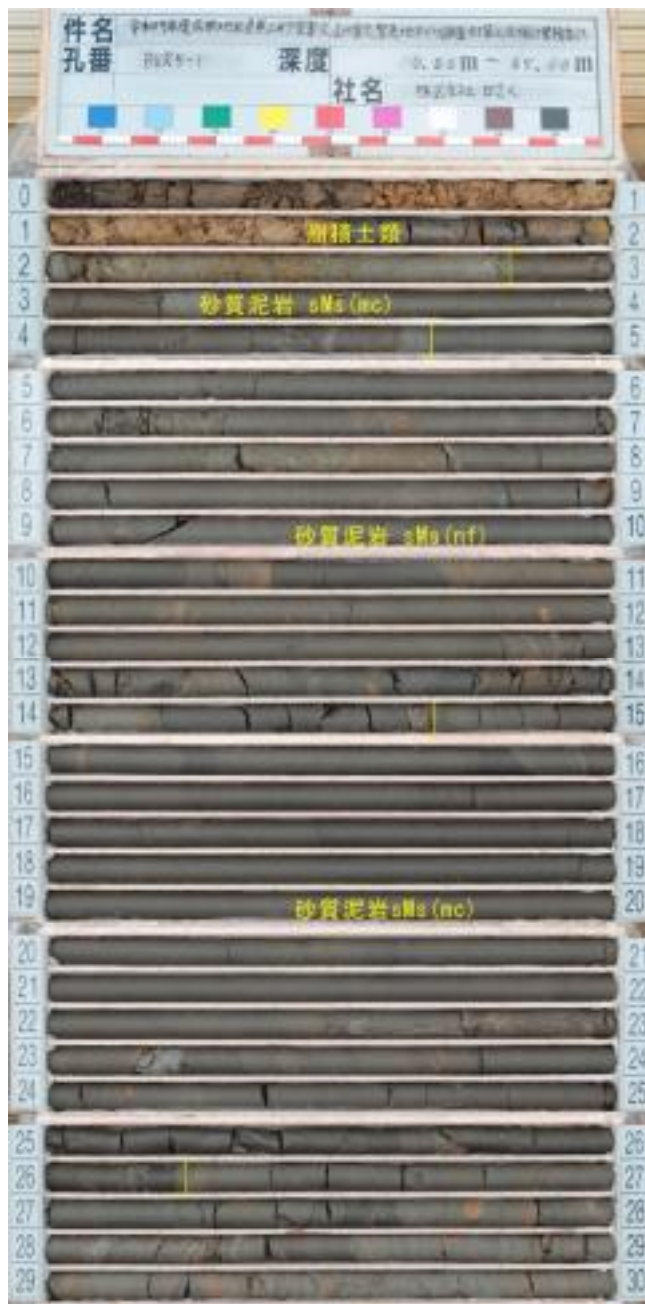
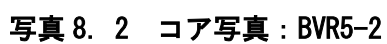


写真 8. 1 コア写真 : BVR5-1 (地すべり斜面背後)



-25-

(3) BVR5-4 (深度 26.00m)

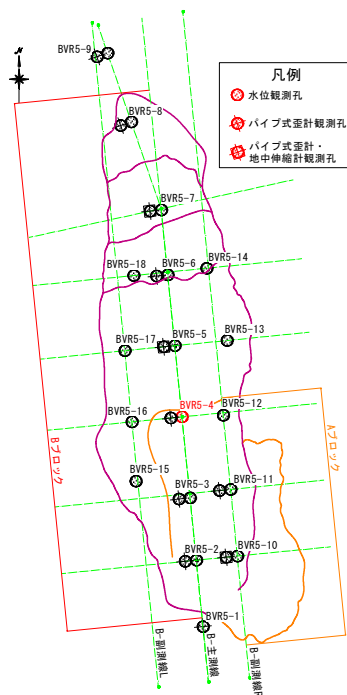


写真 8. 3 コア写真 : BVR5-4

すべり面

(4) BVR5-7 (深度 20.00m)

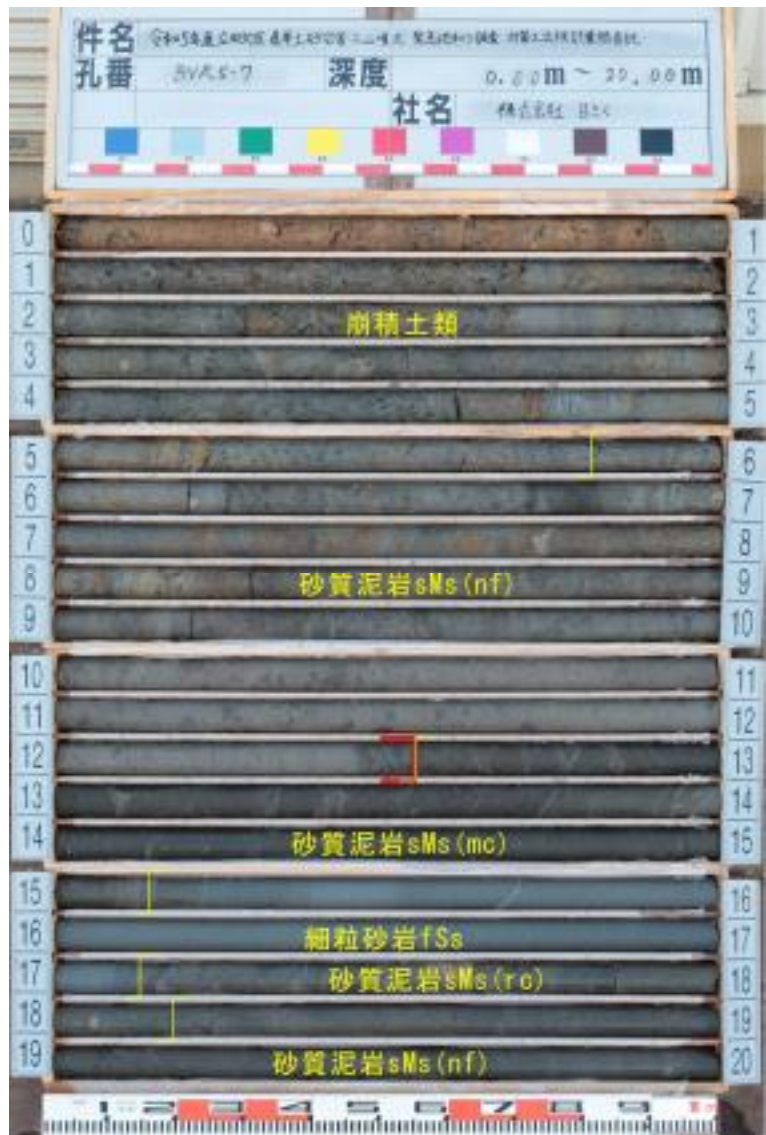
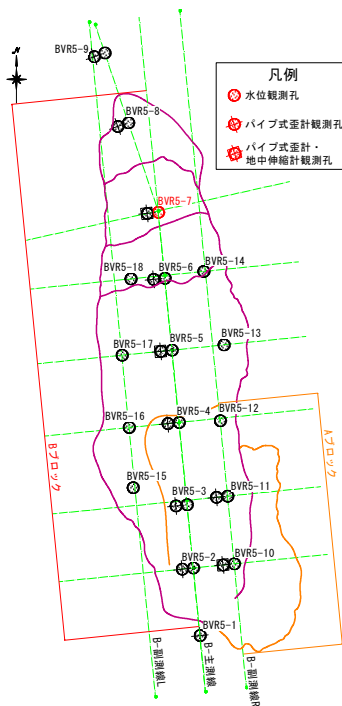


写真 8. 4 コア写真 : BVR5-7

すべり面

(5) BVR5-15 (深度 43.00m)

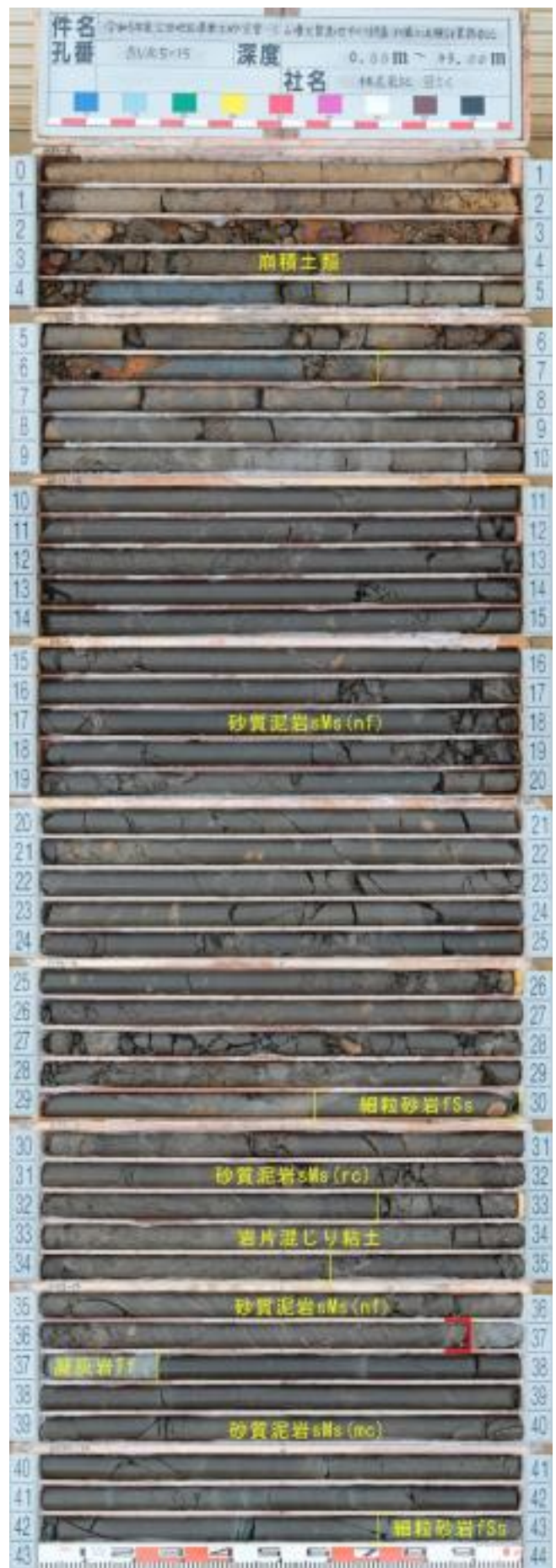
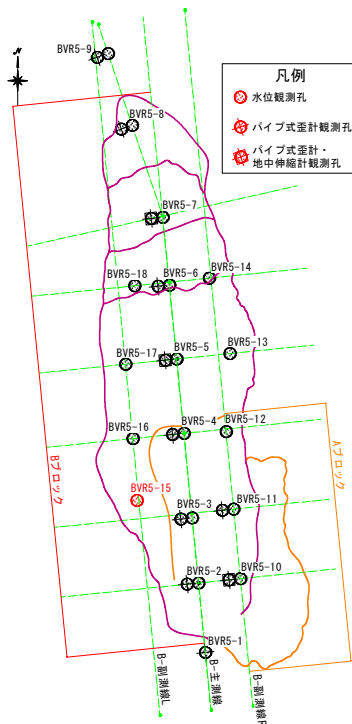
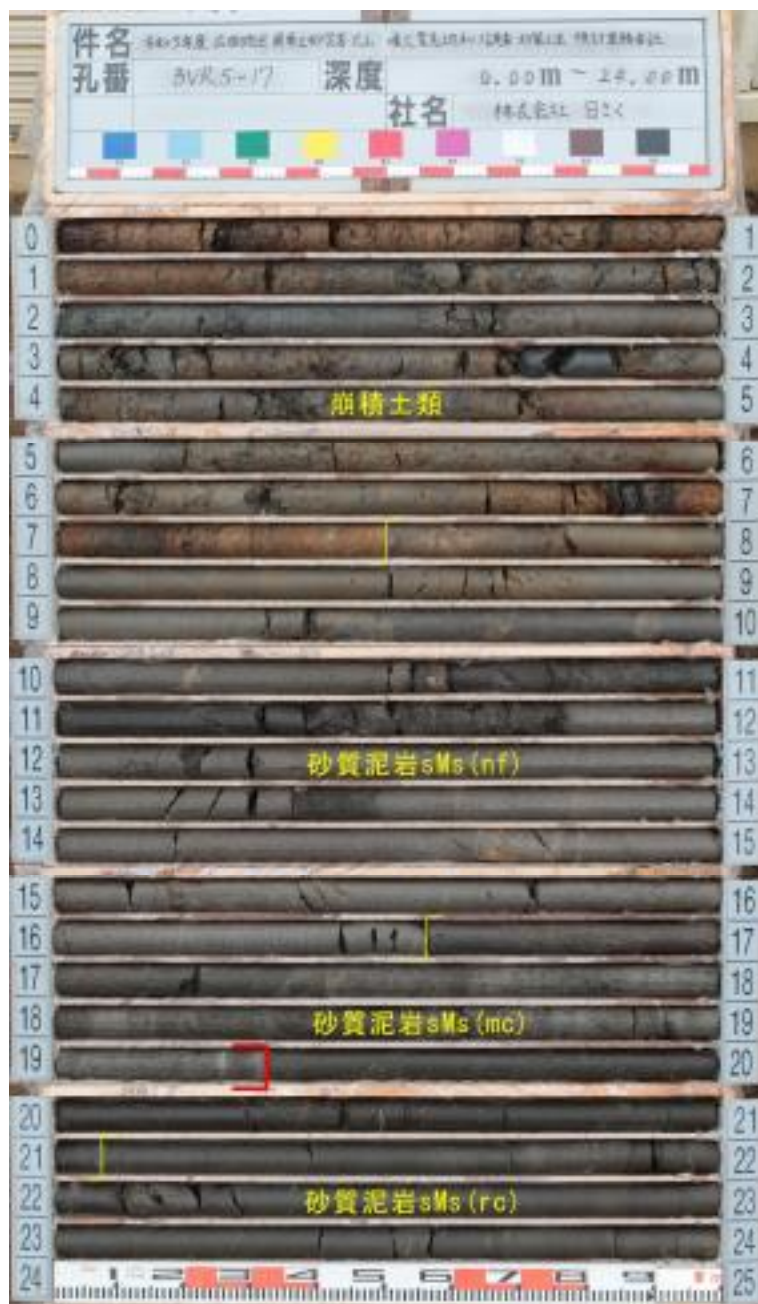


写真 8. 5 コア写真 : BVR5-15

すべり面

[illegible]

すべり面

3.3 簡易揚水試験と掘進水頭

ボーリング掘削時には地下水の賦存状況を把握するため、簡易揚水試験を実施した。代表的な試験結果を、試錐日報解析と合わせて図 3. 3～図 3. 7 に示す。

簡易揚水試験で確認された地下水賦存状況は、地すべり斜面上部と下部で大きく異なる結果となった。毎分 1L 以上の揚水量が得られた試験区間を表 3. 4 に整理した。

地すべり斜面上部から左(西)側部(BVR5-1・2・3・12・16・17・18)では、賦存形態に若干の違いはあるものの、すべり面～移動層中間区間で数 L/min の揚水量があり水頭回復が極めて良好であった。地下水賦存量が多く水頭回復も早いため、揚水時の水位降下は所定の水位まで下げることができないほどであった。透水係数は概ね $10^{-4} \sim 10^{-6}$ m/s オーダーが算出された。堆積軟岩地帯の地すべりとしては極めて透水性が高いといえる状況である。これらの帯水層は、層厚が 6m～20m と厚く、回復水頭も一定レベルで安定している。また地下水 BVR5-1 や BVR5-15 では揚水試験時に濁った水が汲みあがるとともに、それらの電気伝導度は 1,700～2,000mS/m と大きく硫黄臭も伴うなど、深層地下水の性質を示すものであった。

一方で、地すべり斜面下部～右(東)側部では揚水量はほとんどなく、透水係数も $10^{-7} \sim 10^{-8}$ m/s オーダーの低い値であった。

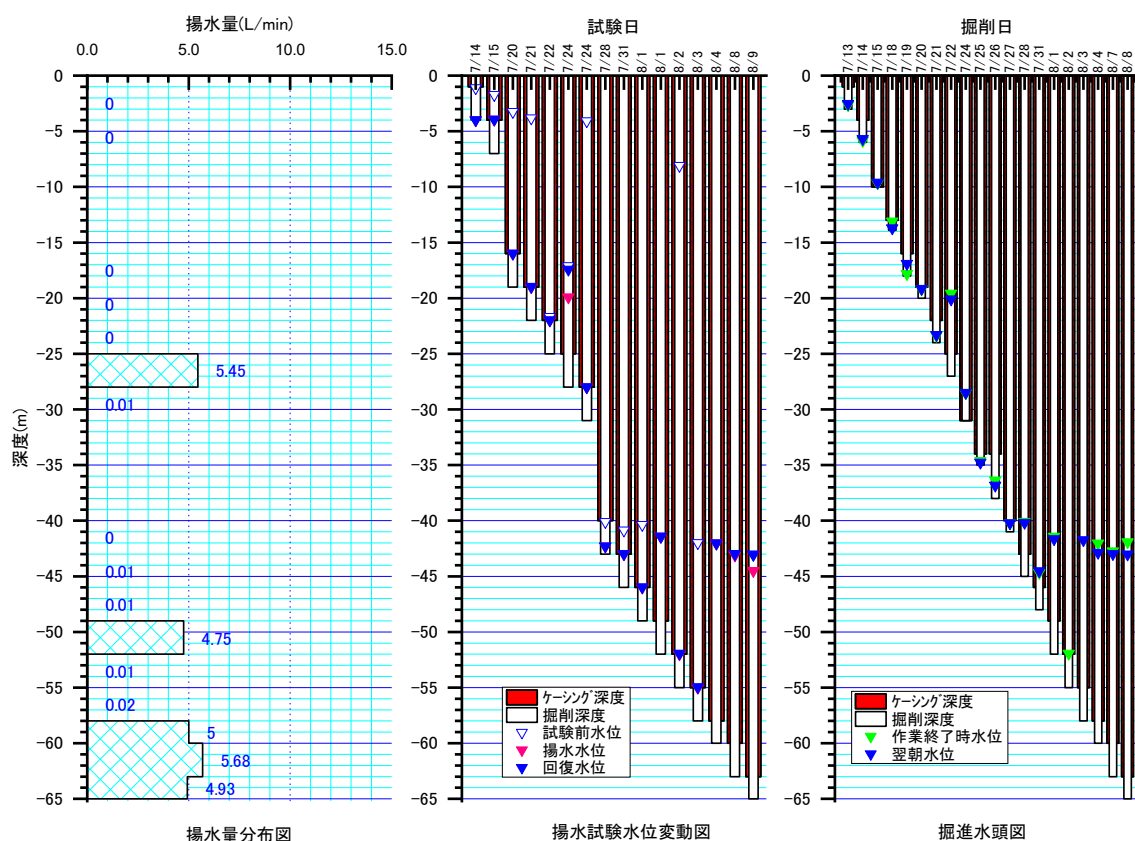


図 3. 3 地下水総合図 : BVR5-1

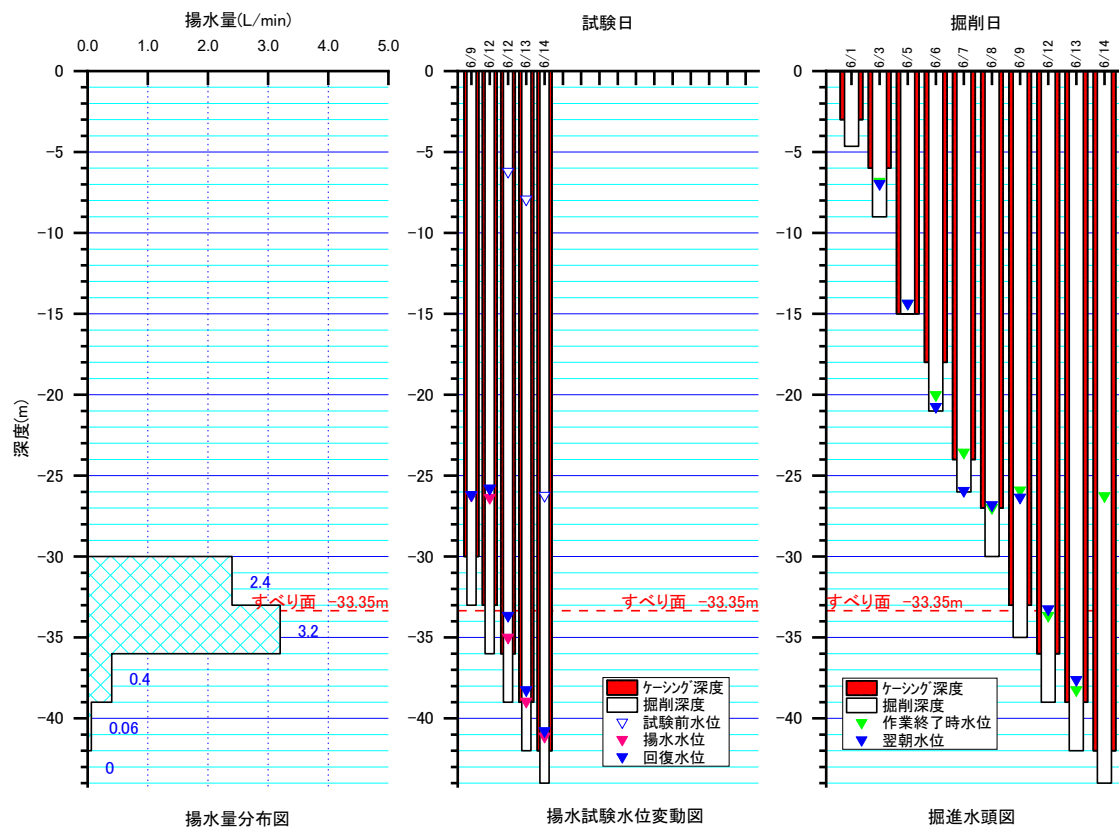


図 3. 4 地下水総合図 : BVR5-2

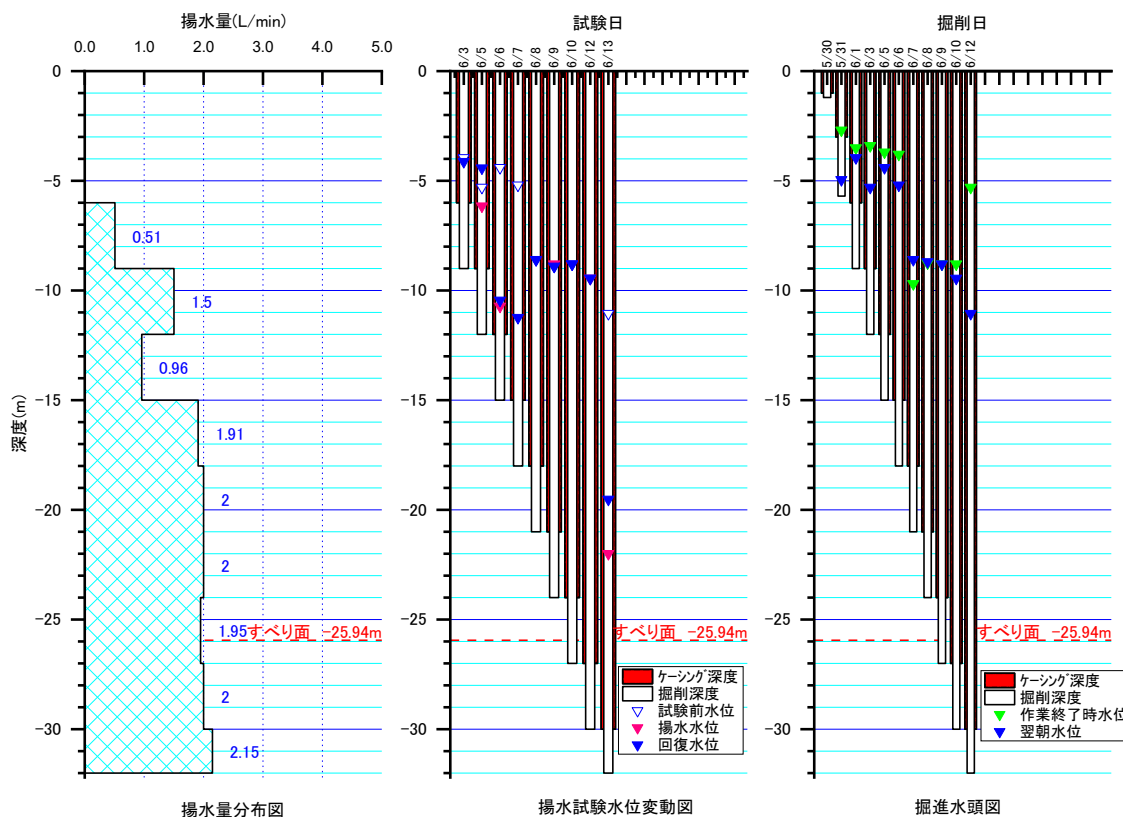


図 3. 5 地下水総合図 : BVR5-3

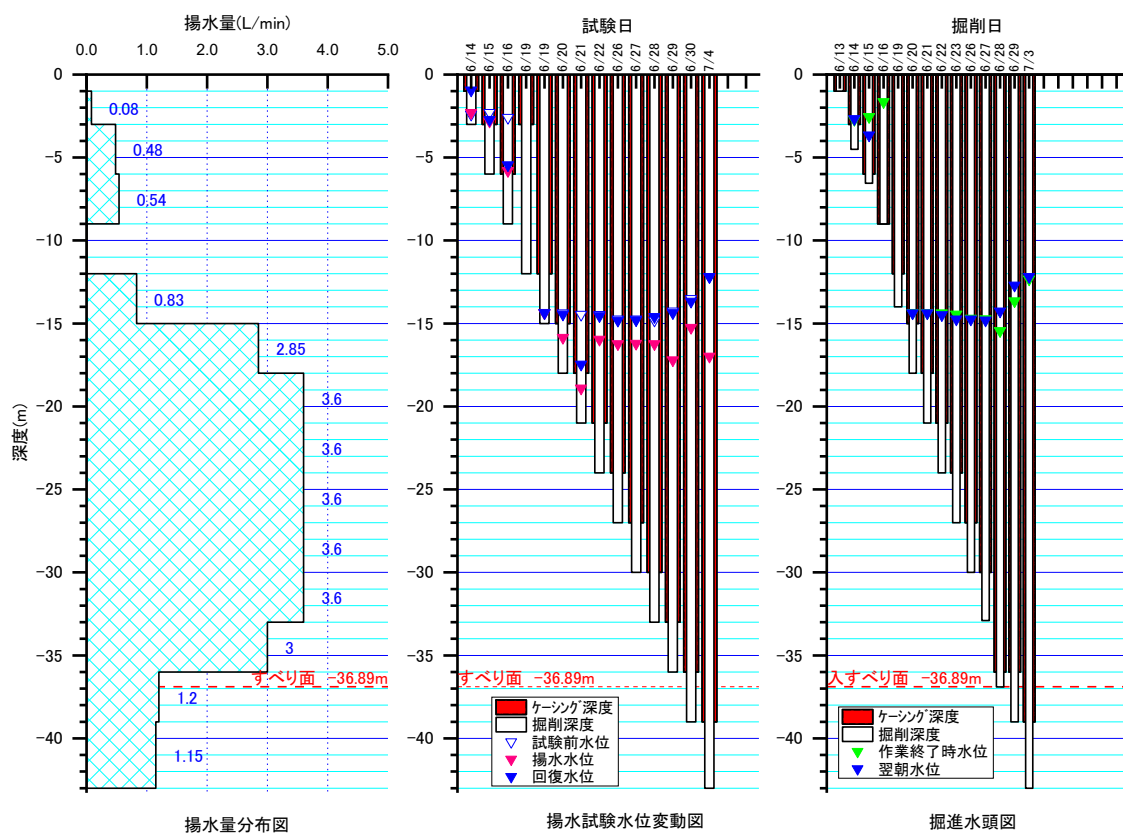


図 3. 6 地下水総合図 : BVR5-15

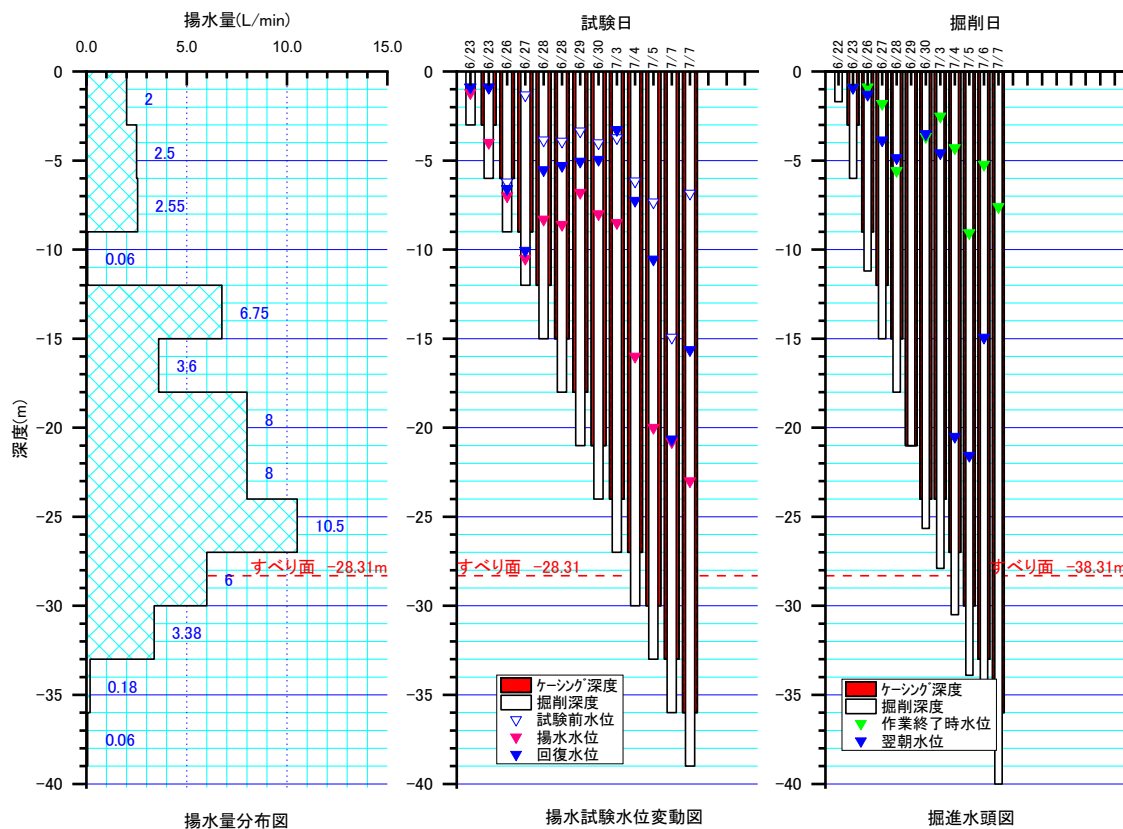


図 3. 7 地下水総合図 : BVR5-16

表 3. 4 簡易揚水試験結果(揚水量 1L/min 以上のみを抜粋)

孔番号	試験日	試験区間 (m)	ケーシング 深度(m)	地下水位 (m)			揚水量 (L/min)	透水係数 (m/s)	備考
				試験前	揚水時	回復			
BVR5-1	R5. 7. 24	25.00-28.00	25.00	17.10	19.92	17.42	5.45	2.06.E-06	
BVR5-1	R5. 8. 1	49.00-52.00	49.00	41.43	41.43	41.43	4.75	#DIV/0!	
BVR5-1	R5. 8. 4	58.00-60.00	58.00	42.02	42.04	42.04	5.00	#DIV/0!	
BVR5-1	R5. 8. 8	60.00-63.00	60.00	42.98	43.12	42.99	5.68	#DIV/0!	
BVR5-1	R5. 8. 9	63.00-65.00	63.00	43.02	44.50	43.05	4.93	3.18.E-06	
BVR5-2	R5. 6. 9	30.00-33.00	30.00	26.20	0.00	26.18	2.40	#DIV/0!	26.2m以深まで下がらず
BVR5-2	R5. 6. 12	33.00-36.00	33.00	25.79	0.00	0.00	3.20	#DIV/0!	26.35m以深下がらず
BVR5-3	R5. 6. 3	6.00-9.00	6.00	3.95	0.00	4.13	0.51	1.46.E-06	
BVR5-3	R5. 6. 5	9.00-12.00	9.00	5.30	6.16	5.31	1.50	3.15.E-06	
BVR5-3	R5. 6. 7	15.00-18.00	15.00	5.20	0.00	11.24	1.91	3.71.E-05	
BVR5-3	R5. 6. 8	18.00-21.00	18.00	8.60	0.00	8.60	2.00	#DIV/0!	
BVR5-3	R5. 6. 9	21.00-24.00	21.00	8.90	8.80	8.90	2.00	#DIV/0!	
BVR5-3	R5. 6. 10	24.00-27.00	24.00	8.80	0.00	8.80	1.95	#DIV/0!	
BVR5-3	R5. 6. 12	27.00-30.00	27.00	9.45	9.45	9.45	2.00	#DIV/0!	
BVR5-3	R5. 6. 13	30.00-32.00	30.00	11.05	22.00	19.52	2.15	3.94.E-06	
BVR5-8	R5. 5. 30	3.00-6.00	3.00	1.86	4.00	0.54	1.13	3.79.E-07	
BVR5-8	R5. 6. 1	9.00-12.00	9.00	1.92	3.50	2.28	12.00	1.74.E-05	
BVR5-8	R5. 6. 3	12.00-15.00	12.00	0.78	2.20	1.83	16.00	6.70.E-05	
BVR5-10	R5. 6. 29	9.00-12.00	9.00	2.44	0.00	3.50	3.00	2.09.E-06	
BVR5-10	R5. 6. 29	12.00-15.00	12.00	6.33	0.00	6.34	4.00	1.93.E-06	
BVR5-10	R5. 6. 30	15.00-18.00	15.00	9.07	0.00	9.05	3.00	1.84.E-06	
BVR5-12	R5. 6. 14	10.00-13.00	10.00	2.12	9.00	4.53	2.04	1.13.E-06	
BVR5-12	R5. 6. 15	13.00-17.00	13.00	3.23	12.00	5.51	2.30	1.22.E-06	
BVR5-15	R5. 6. 20	15.00-18.00	15.00	14.38	15.85	14.45	2.85	#DIV/0!	
BVR5-15	R5. 6. 21	18.00-21.00	18.00	14.46	18.90	17.47	3.60	2.08.E-04	
BVR5-15	R5. 6. 22	21.00-24.00	21.00	14.48	15.96	14.55	3.60	#DIV/0!	
BVR5-15	R5. 6. 26	24.00-27.00	24.00	14.75	16.23	14.82	3.60	2.17.E-04	
BVR5-15	R5. 6. 27	27.00-30.00	27.00	14.75	16.21	14.80	3.60	#DIV/0!	
BVR5-15	R5. 6. 28	30.00-33.00	30.00	14.81	16.23	14.81	3.60	1.37.E-06	
BVR5-15	R5. 6. 29	33.00-36.00	33.00	14.26	17.21	14.36	3.00	2.99.E-06	
BVR5-15	R5. 6. 30	36.00-39.00	36.00	13.52	15.25	13.67	1.20	6.26.E-07	
BVR5-15	R5. 7. 4	39.00-43.00	39.00	12.18	16.98	12.18	1.15	3.58.E-07	
BVR5-16	R5. 6. 23	0.00-3.00	0.00	0.90	1.20	0.88	2.00	2.66.E-05	
BVR5-16	R5. 6. 23	3.00-6.00	3.00	0.90	4.00	0.88	2.50	1.20.E-06	
BVR5-16	R5. 6. 26	6.00-9.00	6.00	6.22	7.00	6.59	2.55	5.61.E-05	
BVR5-16	R5. 6. 28	12.00-15.00	12.00	3.86	8.30	5.53	6.75	3.61.E-06	
BVR5-16	R5. 6. 28	15.00-18.00	15.00	3.93	8.60	5.29	3.60	1.37.E-06	
BVR5-16	R5. 6. 29	18.00-21.00	18.00	3.36	6.80	4.94	8.00	5.36.E-06	
BVR5-16	R5. 6. 30	21.00-24.00	21.00	4.02	8.00	4.95	8.00	6.91.E-06	
BVR5-16	R5. 7. 3	24.00-27.00	24.00	3.73	8.50	3.27	10.50	3.61.E-06	
BVR5-16	R5. 7. 4	27.00-30.00	27.00	6.16	16.00	7.25	6.00	1.20.E-06	
BVR5-16	R5. 7. 5	30.00-33.00	30.00	7.34	20.00	10.55	3.38	1.23.E-06	
BVR5-17	R5. 6. 14	0.00-3.00	0.00	1.40	1.80	1.52	3.00	0.00.E+00	
BVR5-17	R5. 6. 14	3.00-6.00	3.00	0.85	1.50	0.99	12.00	1.20.E-04	
BVR5-17	R5. 6. 15	6.00-9.00	6.00	0.93	2.50	1.03	12.00	1.01.E-04	
BVR5-17	R5. 6. 16	9.00-12.00	9.00	1.05	2.30	0.99	12.00	1.56.E-05	
BVR5-18	R5. 5. 30	16.00-20.00	16.00	7.46	10.96	8.62	3.70	2.59.E-06	

※透水係数のエラー表示は、水頭回復が極めて速く、解析不可(算出不可)

4.観測結果

4.1 観測体制

地すべり観測は、地すべり発生直後に開始した移動杭観測と、調査ボーリング孔を利用した地下水位・パイプ式歪計および地中伸縮計観測の4項目を実施した。

地下水位観測は、すべての観測孔を対象に実施した。パイプ式歪計観測は主測線上の9孔および、副測線RのうちAブロック範囲の2孔を対象とした。これにより、地すべりが活動した際に、各ブロックの活動状況とその関係性を把握することができる。地中伸縮計は、現地での警報発令のトリガーとしての機能を持たせることとし、Bブロック上・中・下部斜面の3か所に配置した(表4.1・図4.1)。

表 4. 1 ボーリング調査仕様

ブロック		孔番号	掘削深度 (m)	地下水位観測	パイプ式歪計	地中伸縮計 観測	測線
A	B						
ブロック外		BVR5-1	65.0	○	31-65m:1 方向		主
○	○	BVR5-2	44.0	○	1-44m:1 方向		
○	○	BVR5-3	32.0	○	1-32m:1 方向		
○	○	BVR5-4	26.0	○	0-26m:2 方向		
	○	BVR5-5	28.0	○	0-28m:2 方向	○	
	○	BVR5-6	20.0	○	0-20m:2 方向		
	○	BVR5-7	20.0	○	0-20m:2 方向	○	
	○	BVR5-8	15.0	○	0-15m:2 方向		
ブロック外		BVR5-9	12.0	○	0-12m:2 方向		
○	○	BVR5-10	30.0	○	1-30m:1 方向	○	副 R
○	○	BVR5-11	13.0	○	0-13m:2 方向		
○	○	BVR5-12	30.0	○			
	○	BVR5-13	15.0	○			
	○	BVR5-14	16.0	○			
	○	BVR5-15	43.0	○			副 L
	○	BVR5-16	40.0	○			
	○	BVR5-17	24.0	○			
	○	BVR5-18	20.0	○			

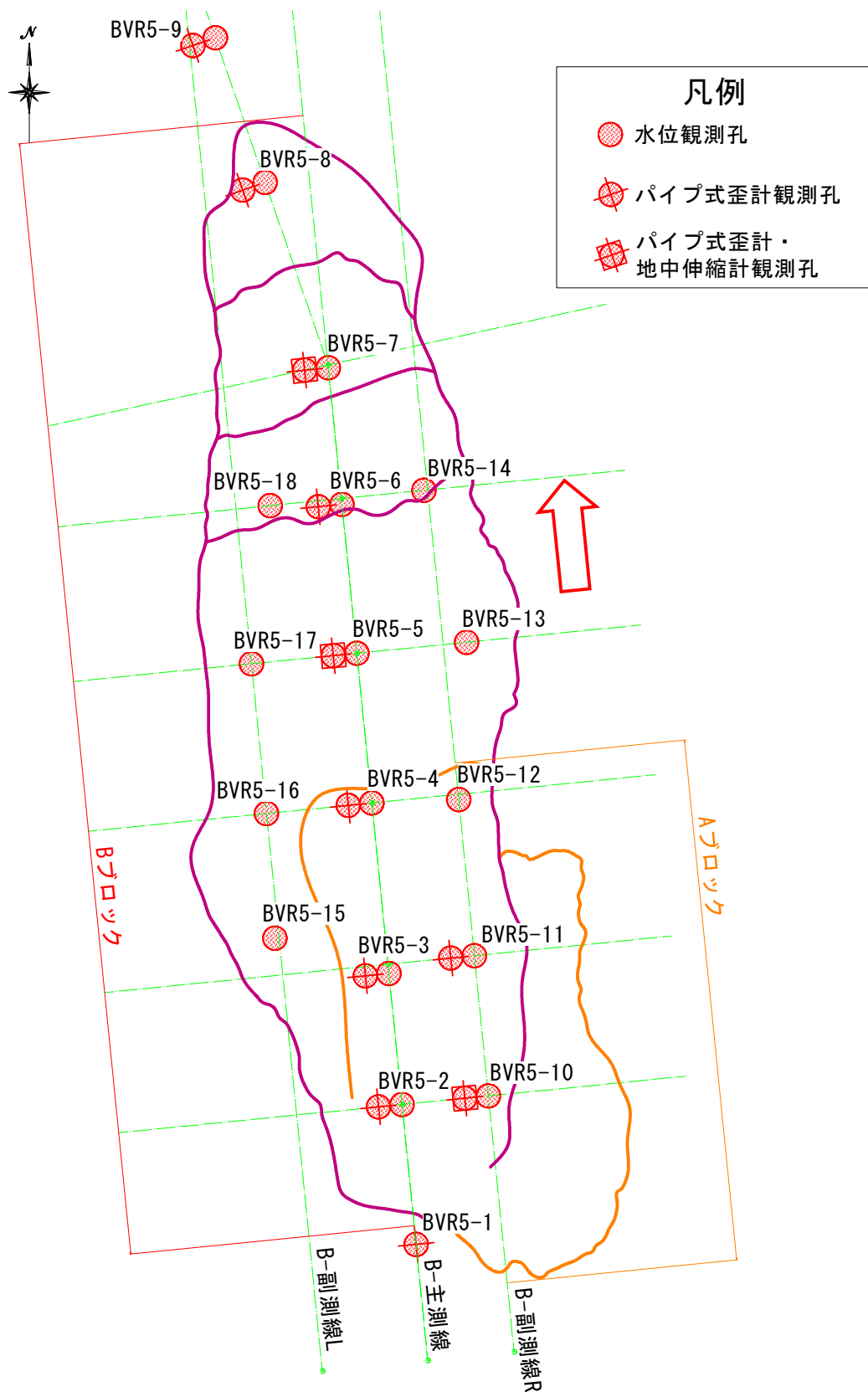


図 4. 1 観測施設配置概略平面図 (S=1:4,000)

4.2 地下水位観測

地下水位観測結果の概要について、地下水位の変動傾向ごとにグループ分けし、以下にその特徴をまとめた。

● A グループ (BVR5-1～4、10・15～16)

斜面上部から西側にかけての観測孔に多いグループ。7 月後半から渇水期にかけて水位が低下し 9 月上旬～下旬まで水位が低下し続けた。その後、10 月にかけて水位が大幅に上昇した。以降は、降雨に反応して急激に水位が一定程度上昇した後すぐに水位が低下する変動を、降雨のたびに繰り返した。観測孔によっては、12 月上旬まで水位が漸増し積雪後に漸減傾向に転じた。

● B グループ (BVR5-9、12～13、17～18)

グループ A と似ているが、渇水期の水位低下量が小さく、10 月ごろに降雨に対する反応が見られた。降雨に対する水位上昇量は A グループより小さいが、鋭敏に反応を示した。

● C グループ (BVR5-7、11)

観測初期に最高水位を記録した後に、降雨に対する反応と季節変動がほとんど見られず、水位が漸減し続けた。

● D グループ (BVR5-8、BVR5-14)

降雨に対してほとんど反応を示さず、季節変動も見られなかった。地下水位は安定しているか、もしくは漸増傾向が見られた。

その他 (BVR5-5、BVR5-6)

上記のいずれにも当てはまらない独自の水位変動傾向が見られた。

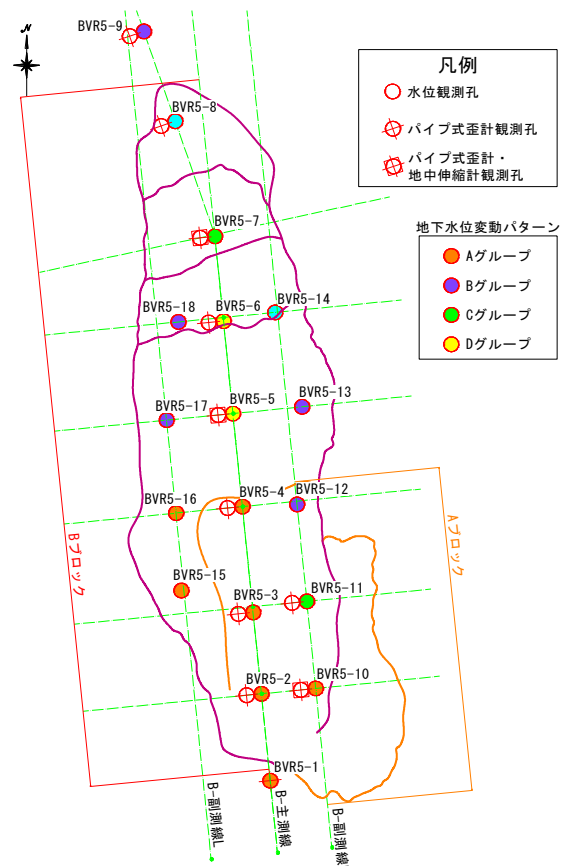


図 4. 2 地下水変動グループ区分平面図 (S=1:8,000)

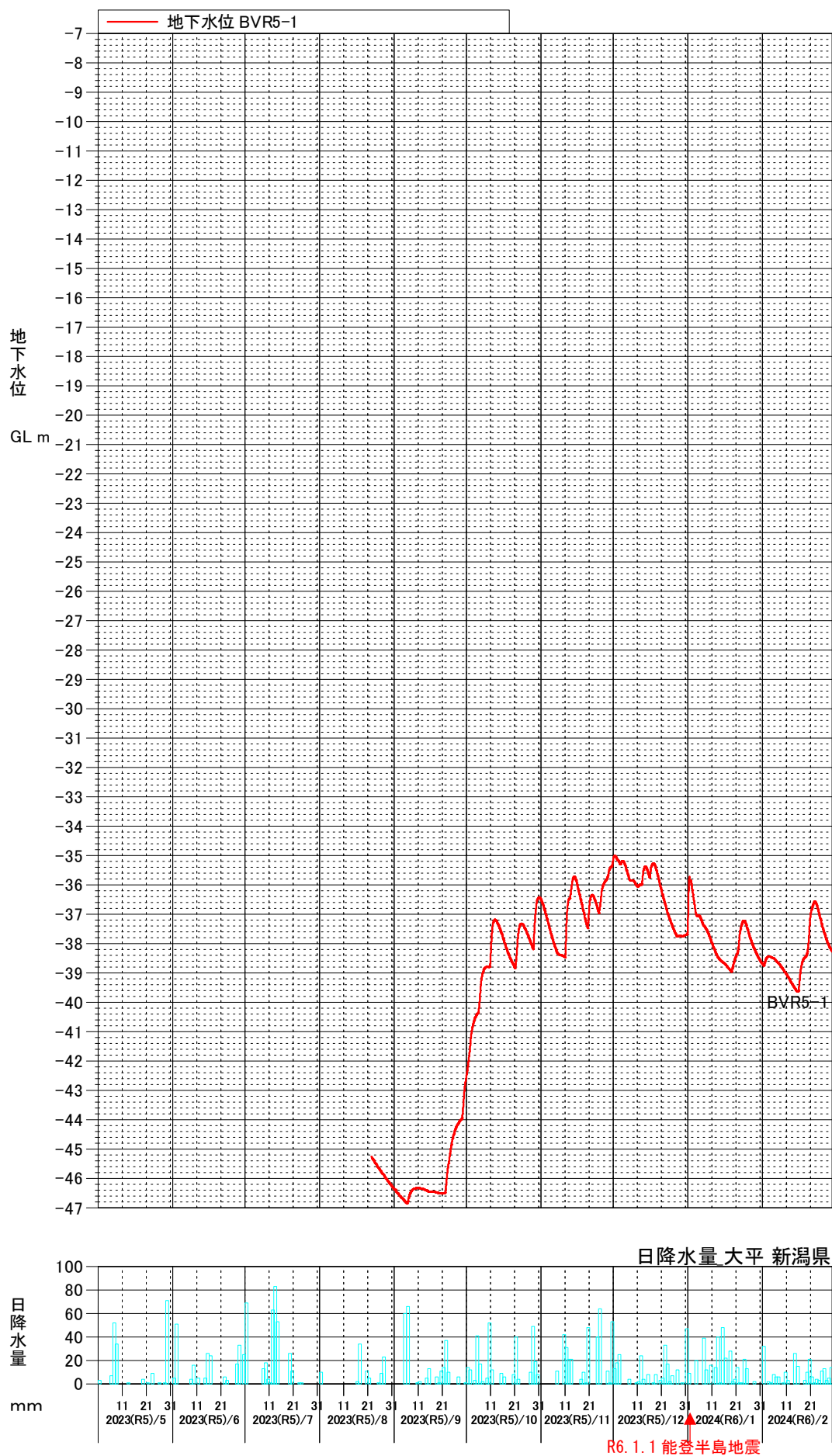


図 4. 3 BVR5-1 地下水位変動グラフ

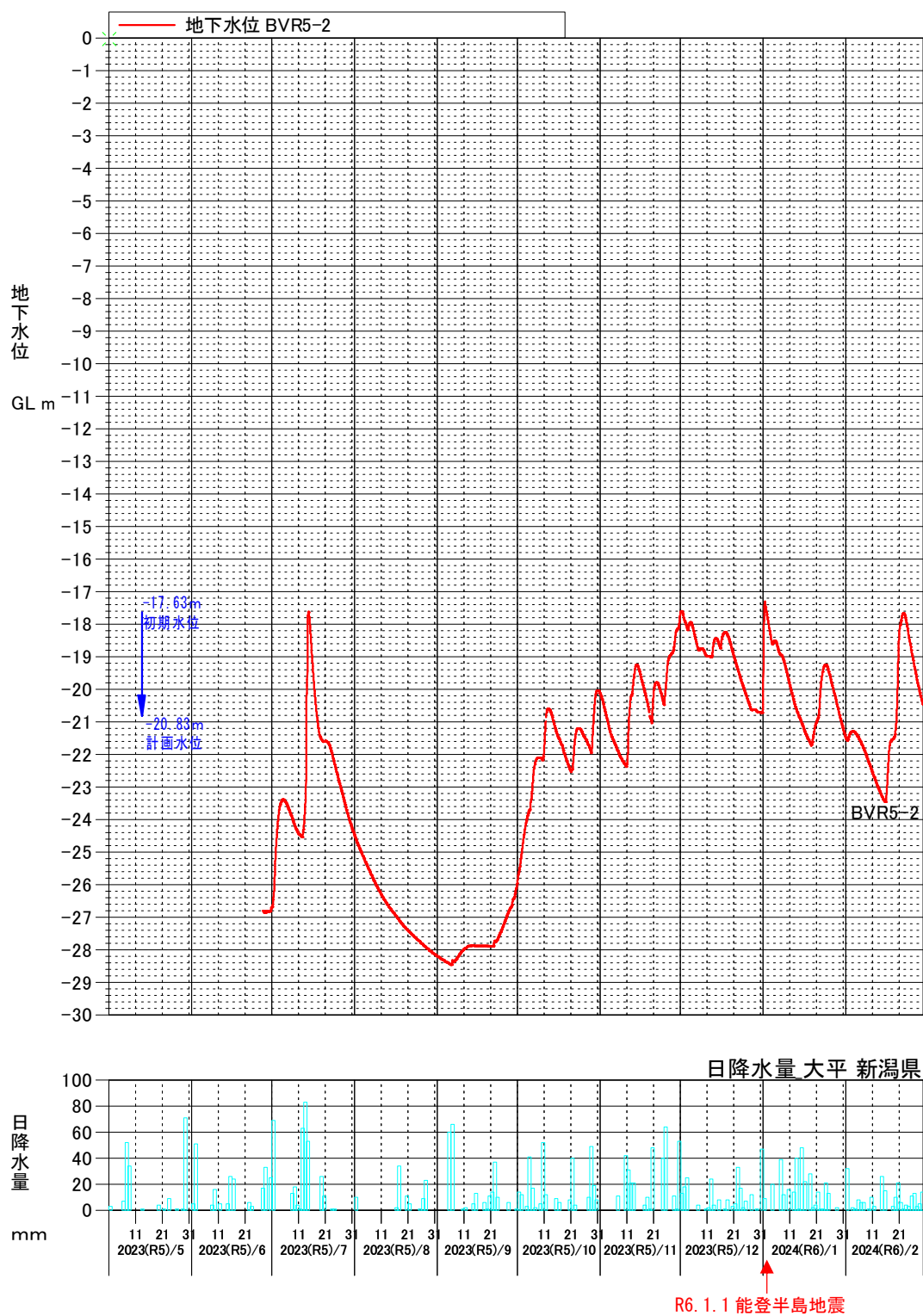


図 4. 4 BVR5-2 地下水位変動グラフ

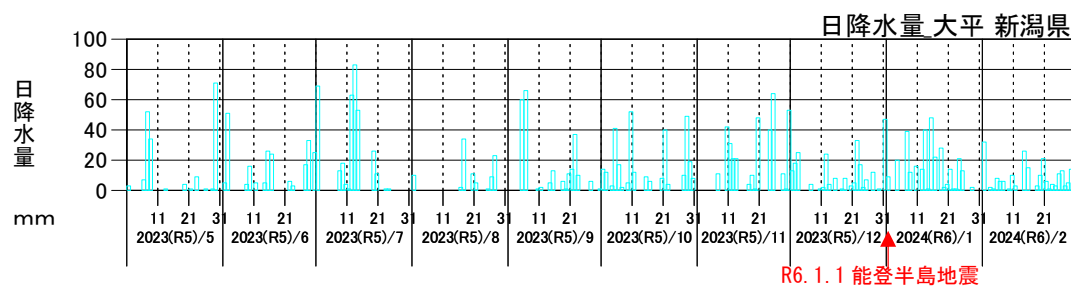
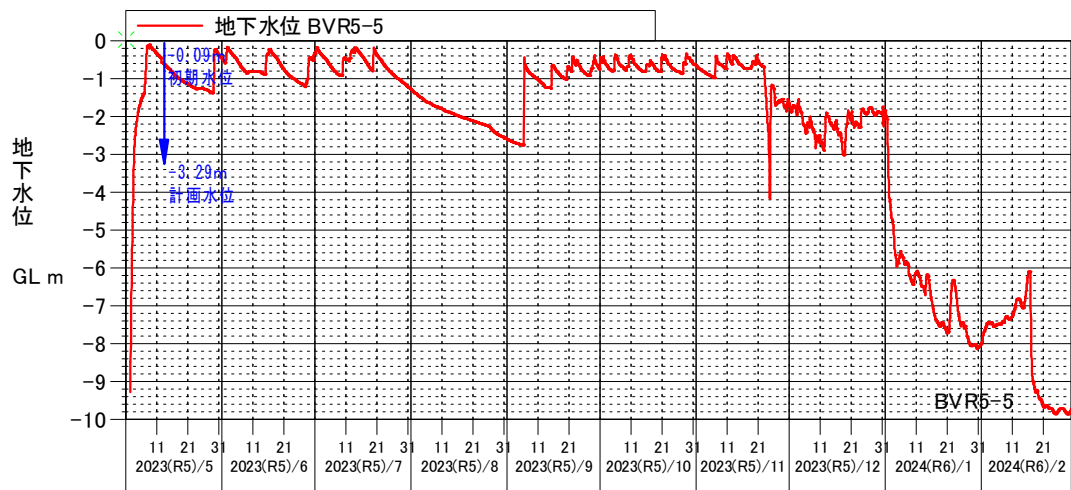
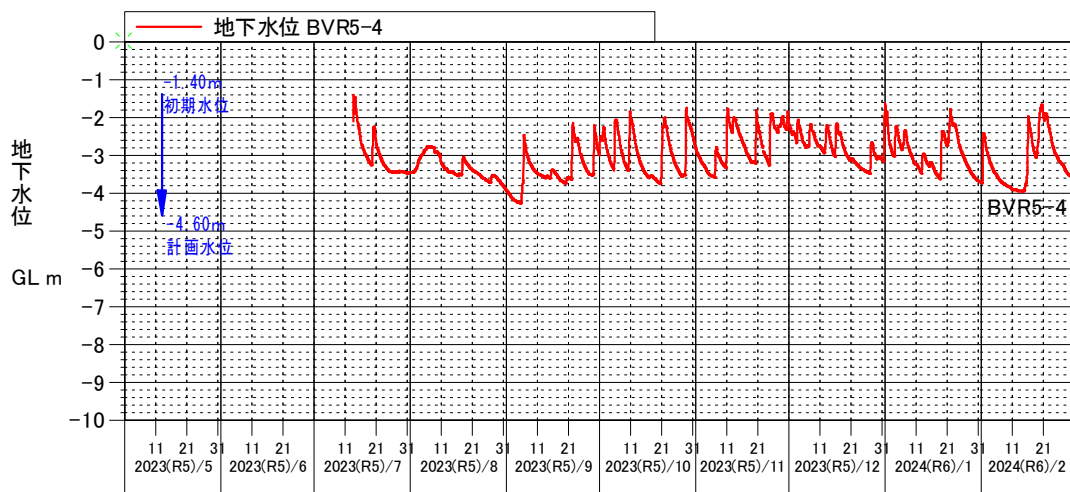
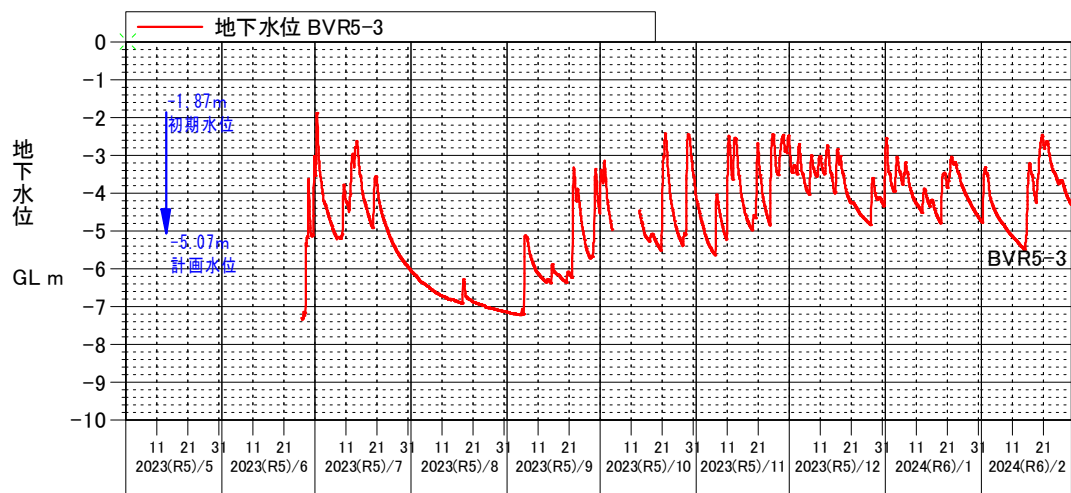


図 4. 5 BVR5-3～5-5 地下水位変動グラフ

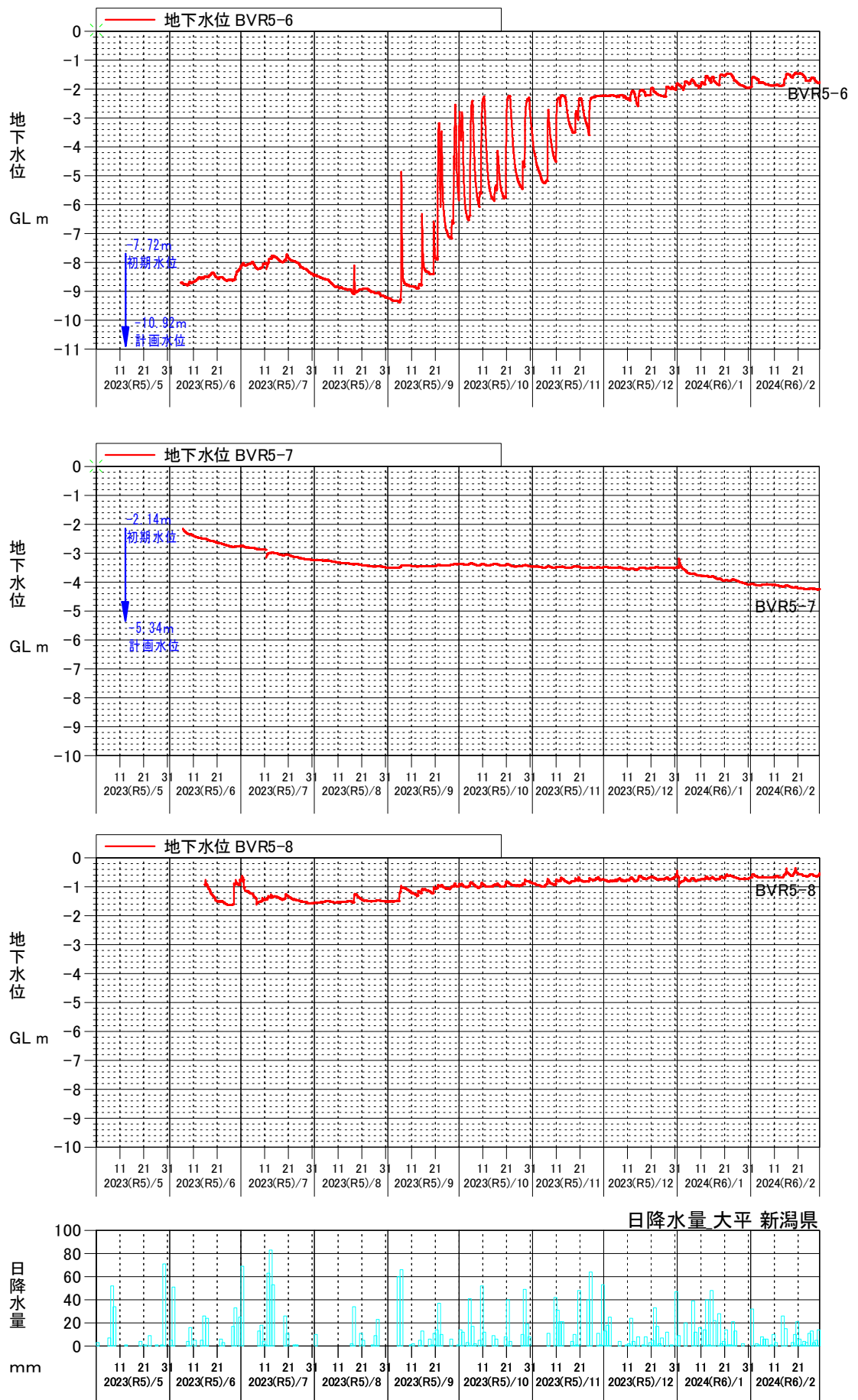


図 4. 6 BVR5-6～5-8 地下水位変動グラフ

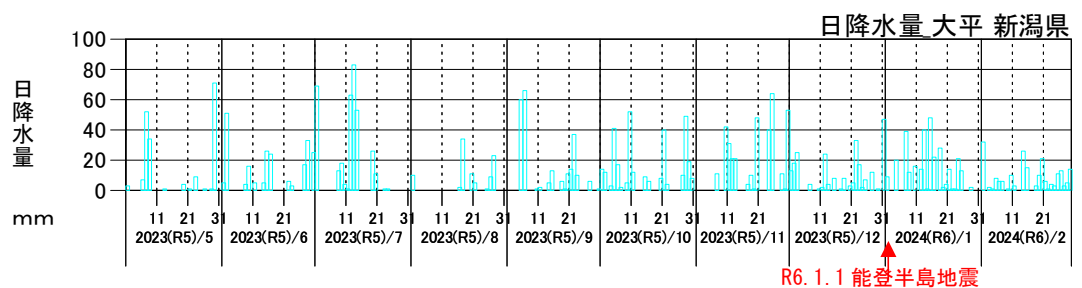
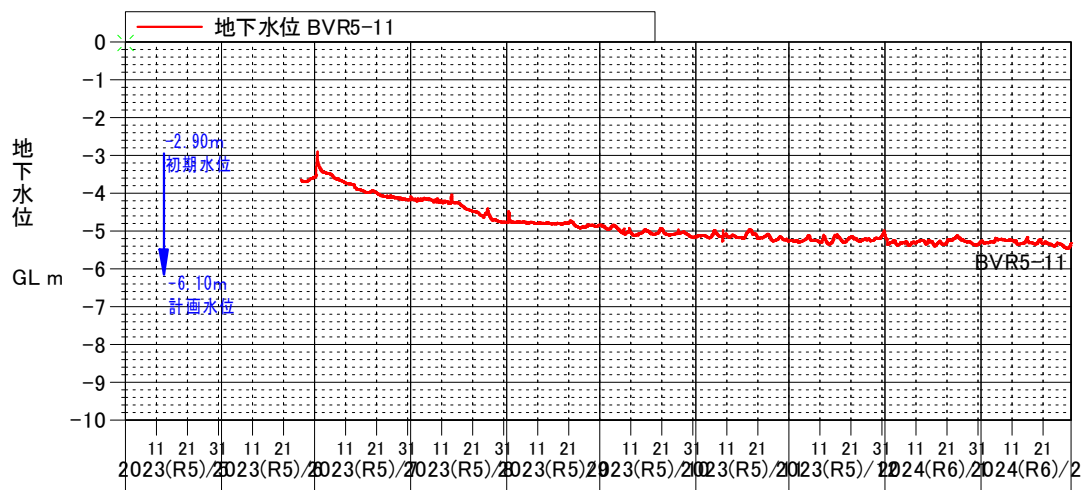
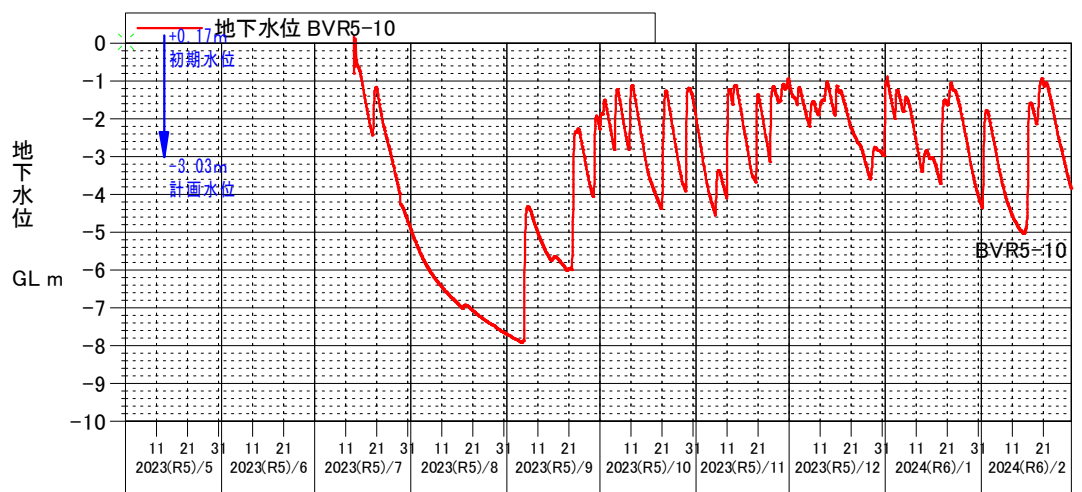
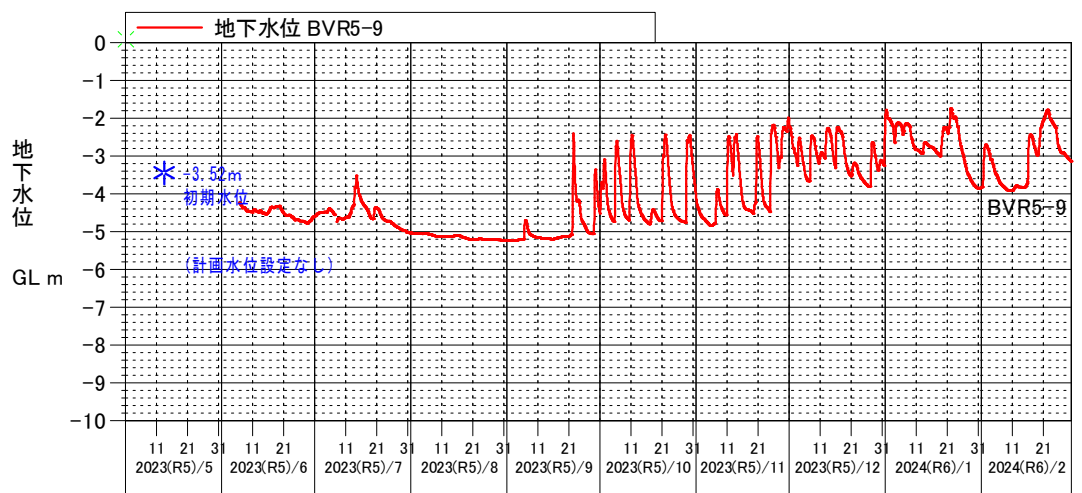


図 4. 7 BVR5-9～5-11 地下水位変動グラフ

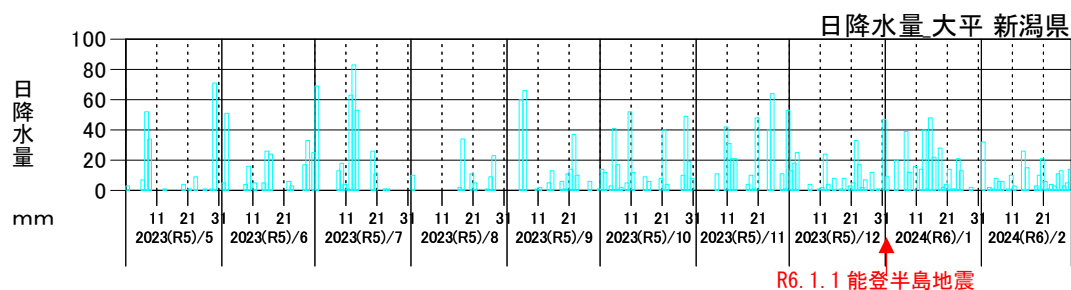
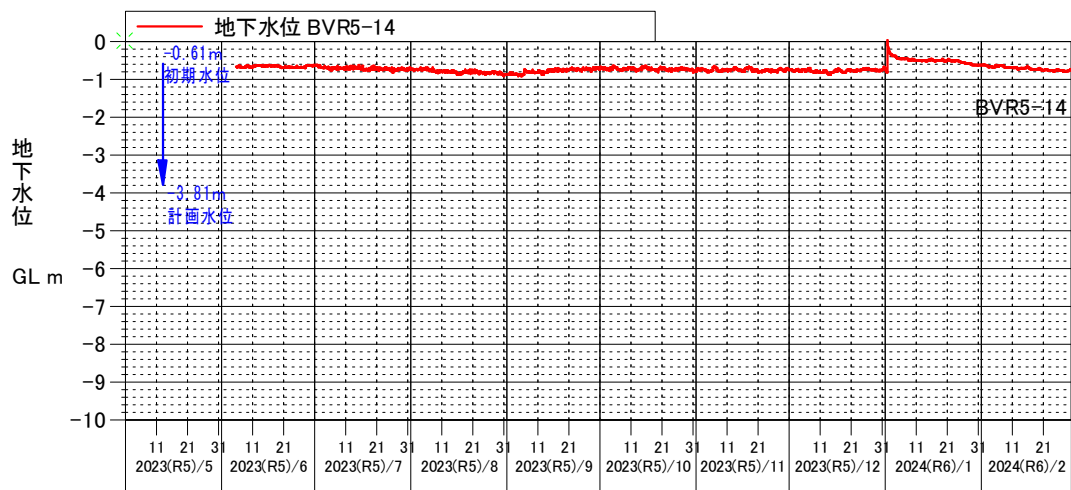
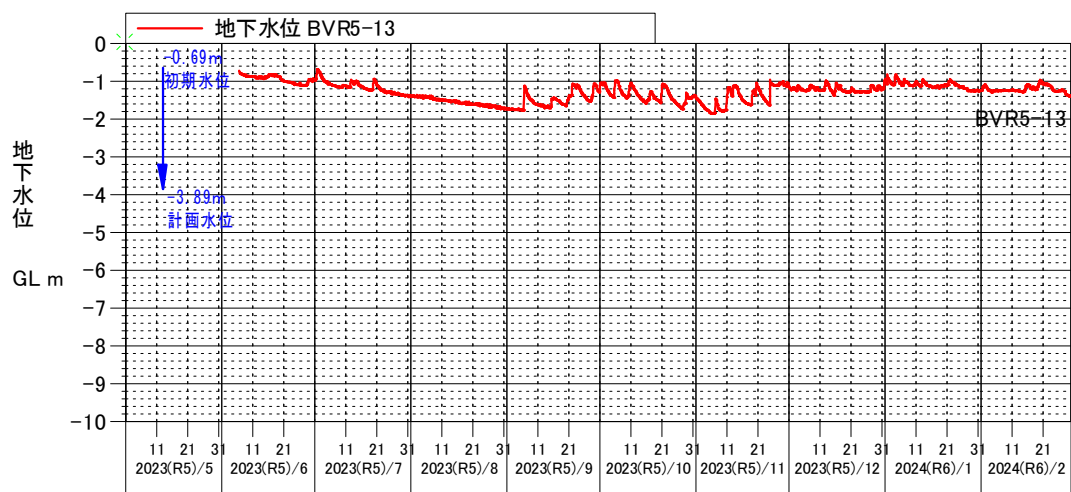
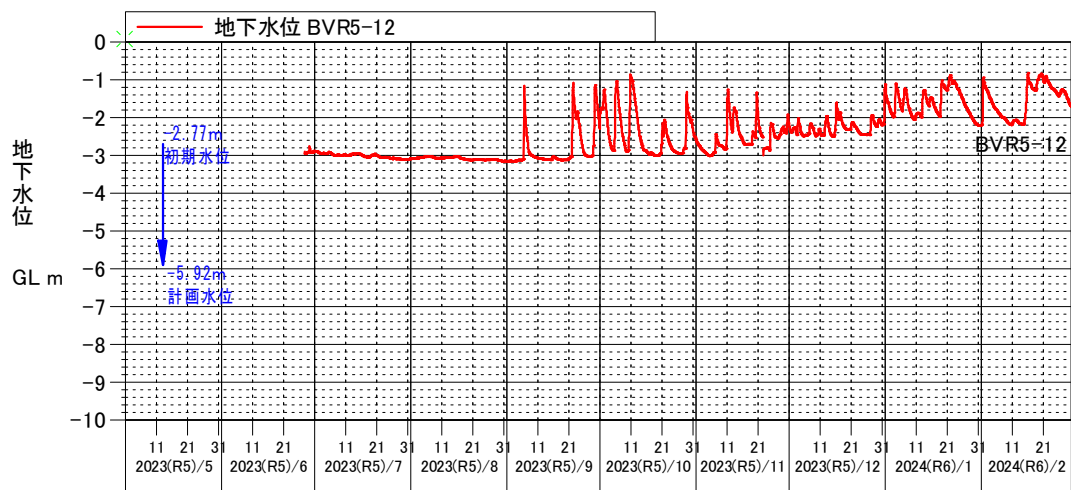


図 4. 8 BVR5-12～5-14 地下水位変動グラフ

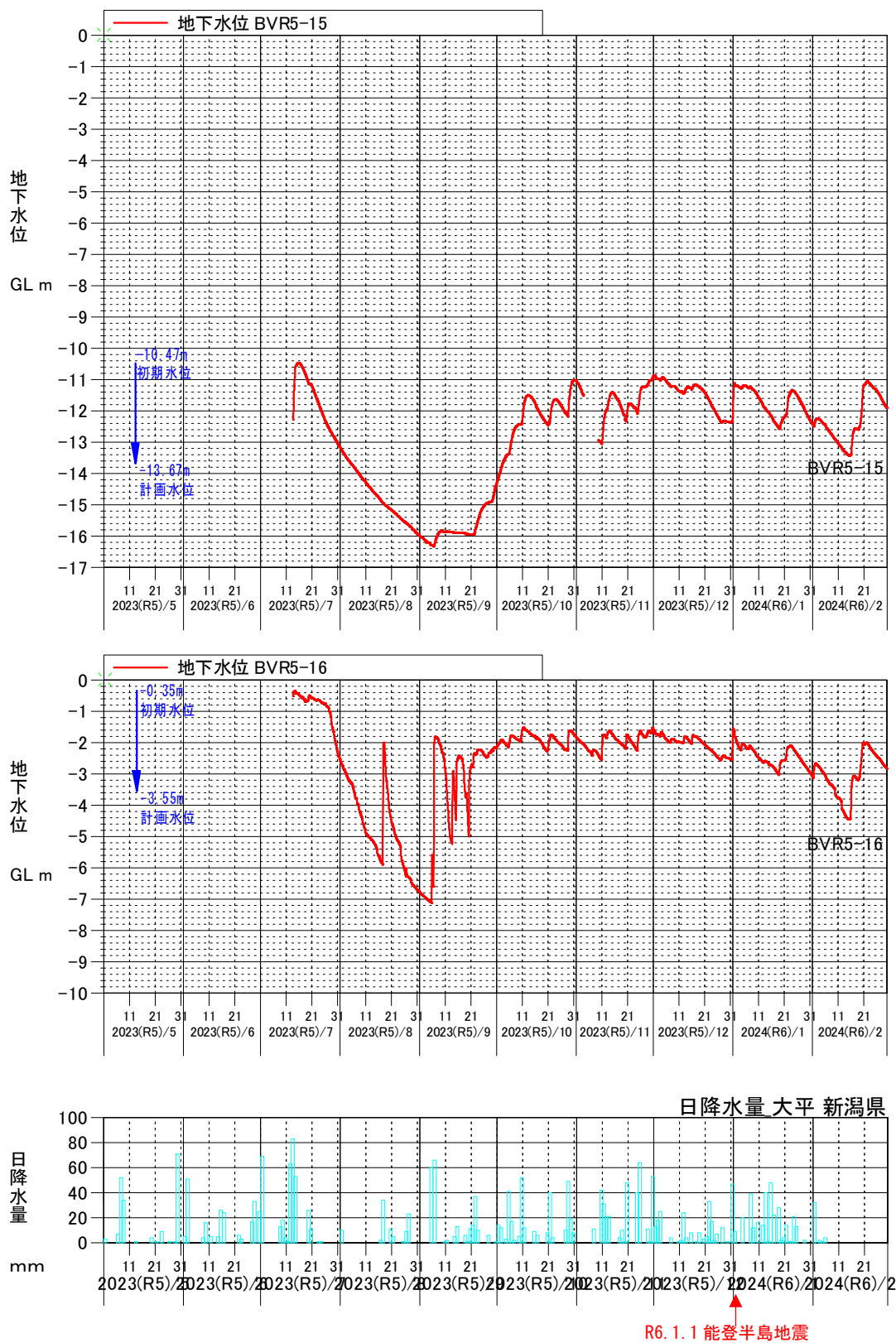


図 4. 9 BVR5-15～5-16 地下水位変動グラフ

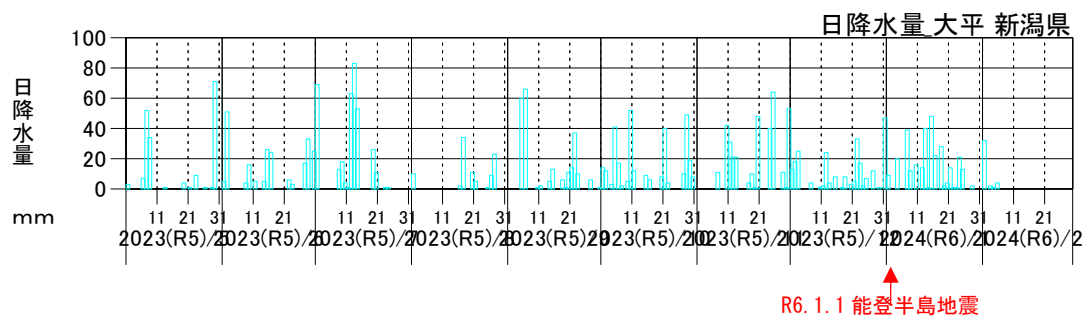
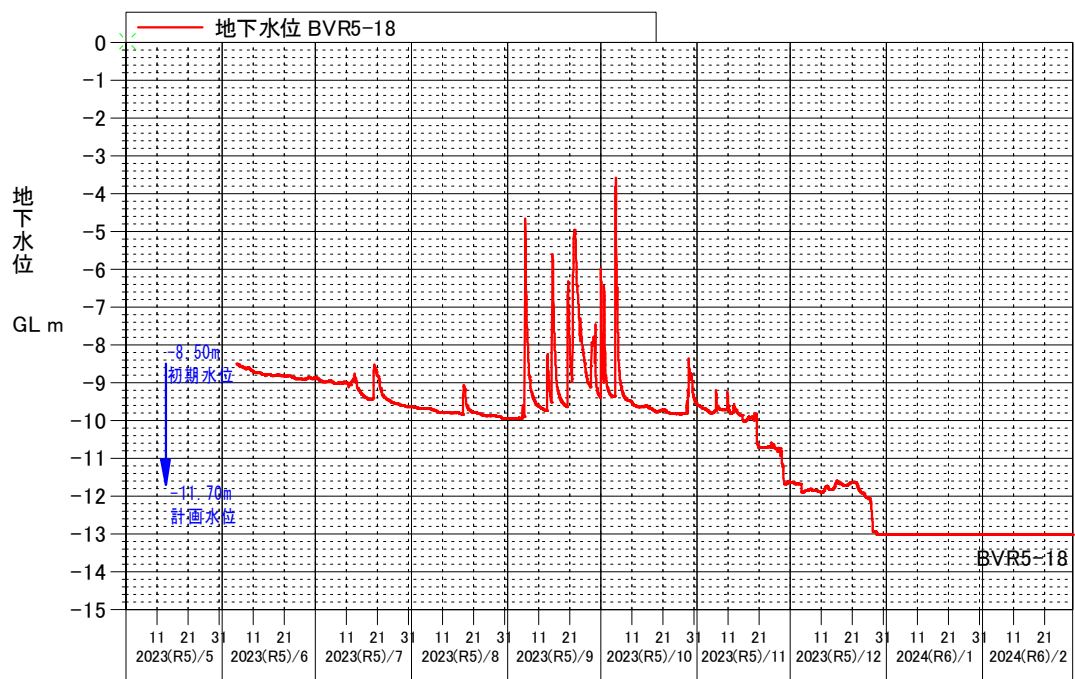
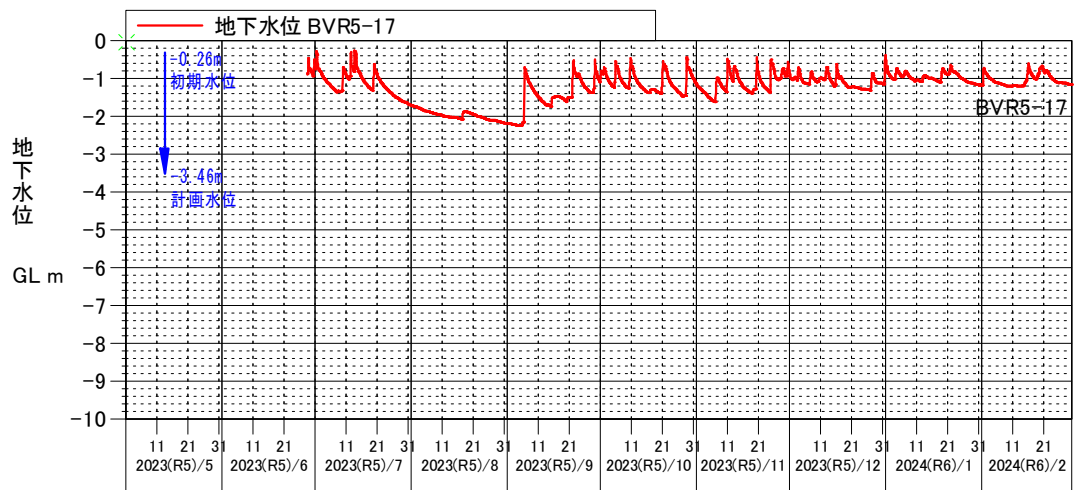


図 4. 10 BVR5-17～18 地下水位変動グラフ

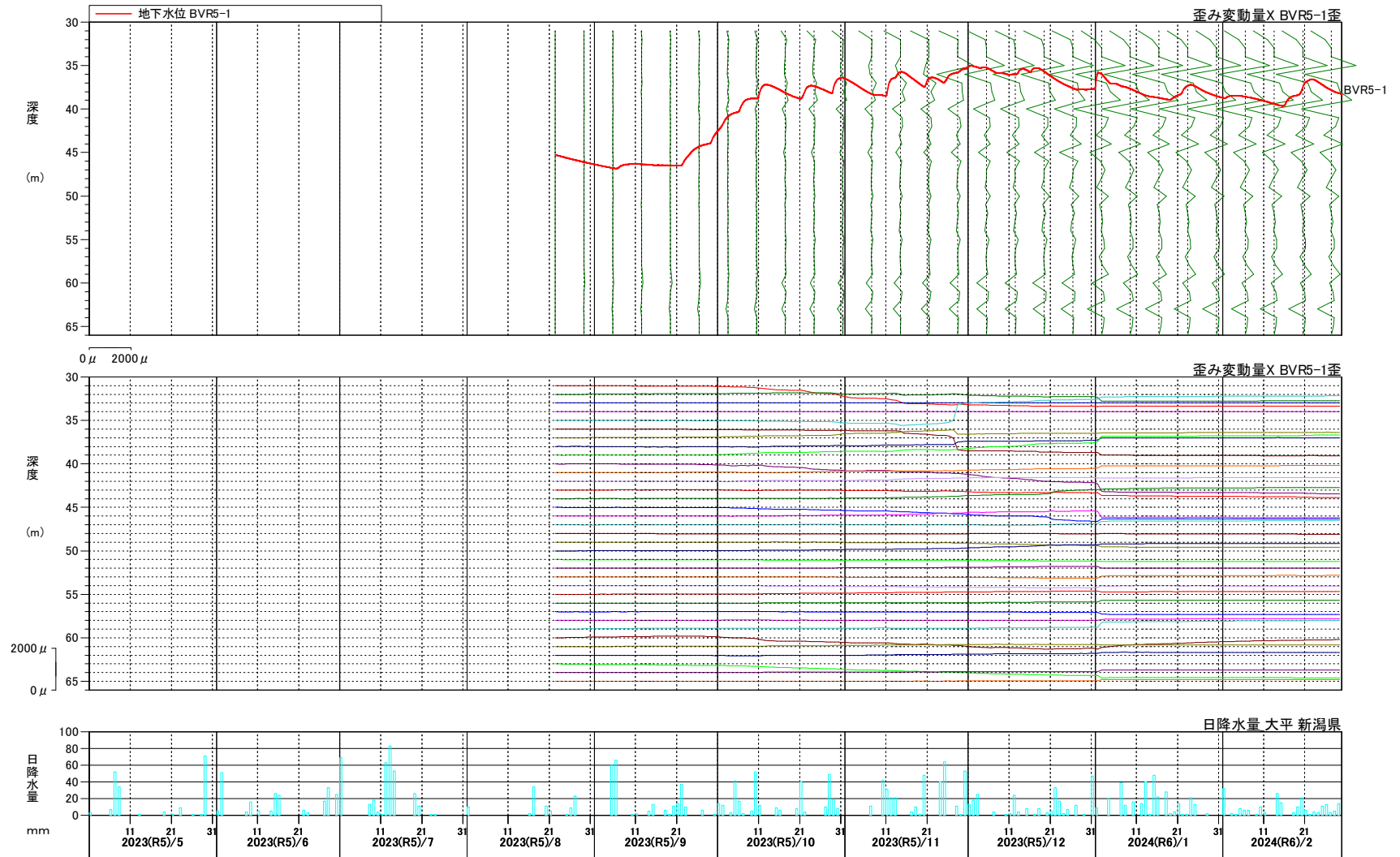


図 4. 11 パイプ式歪計変動図：BVR5-1

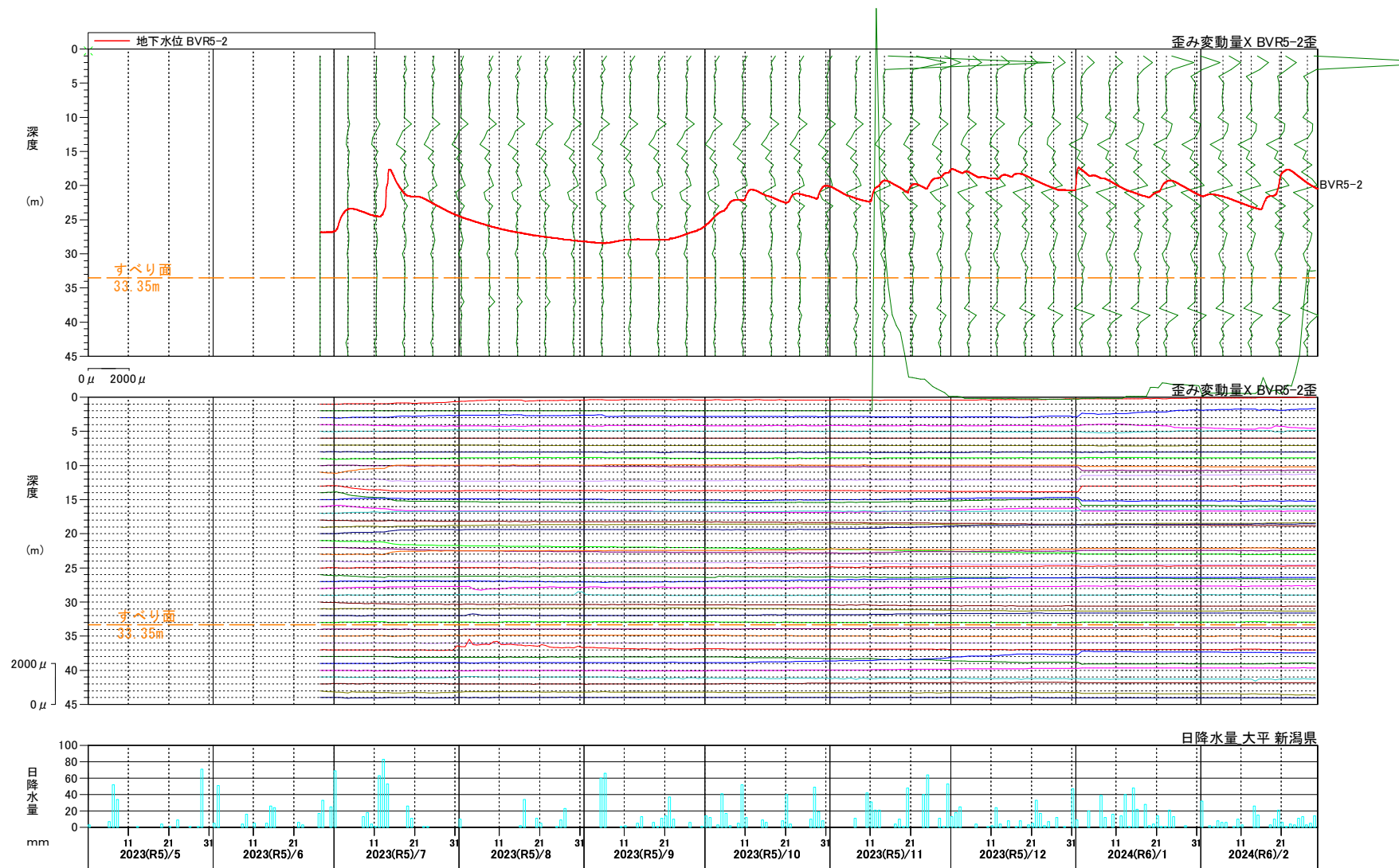


図 4. 12 パイプ式歪計変動図 : BVR5-2

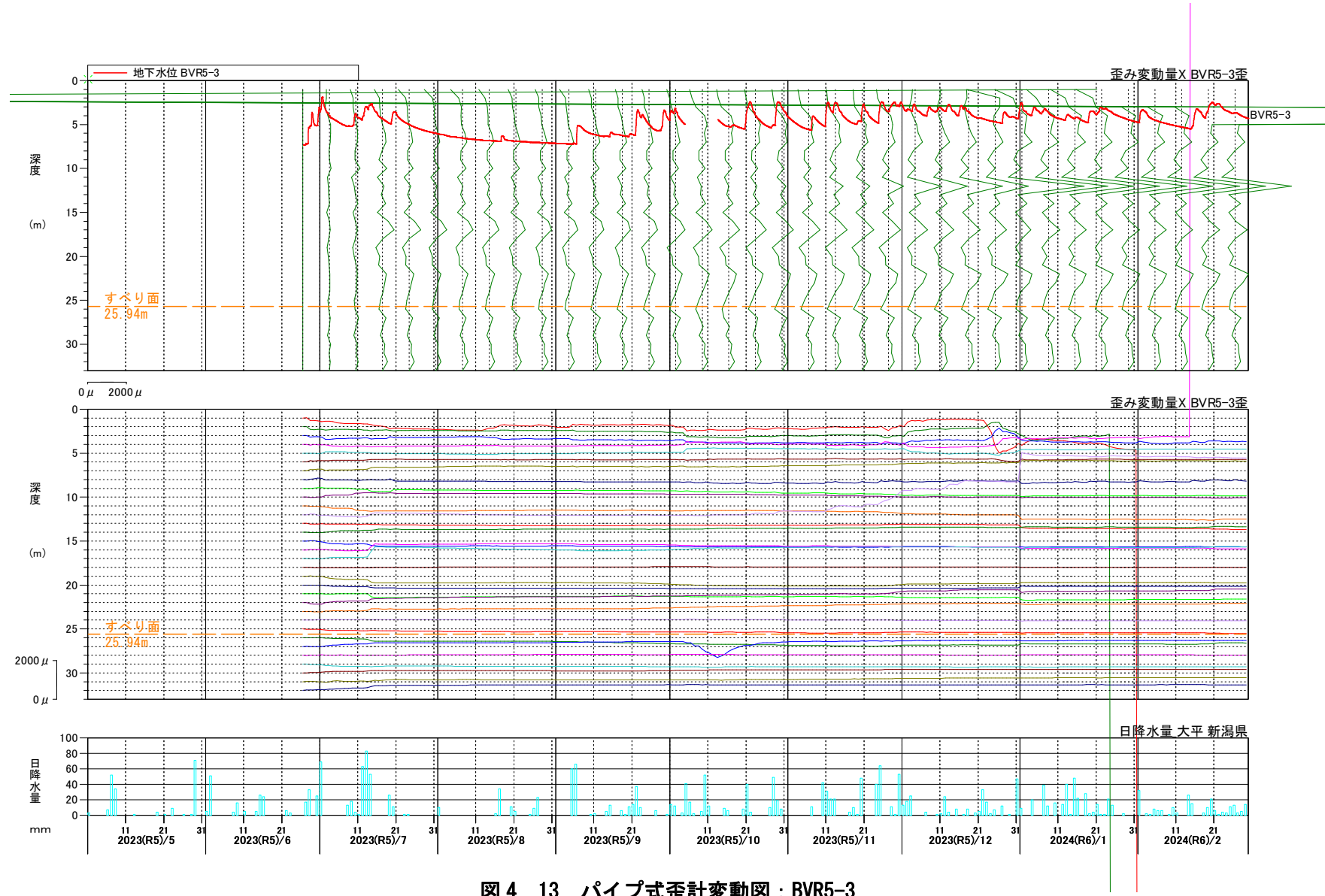


図 4. 13 パイプ式歪計変動図 : BVR5-3

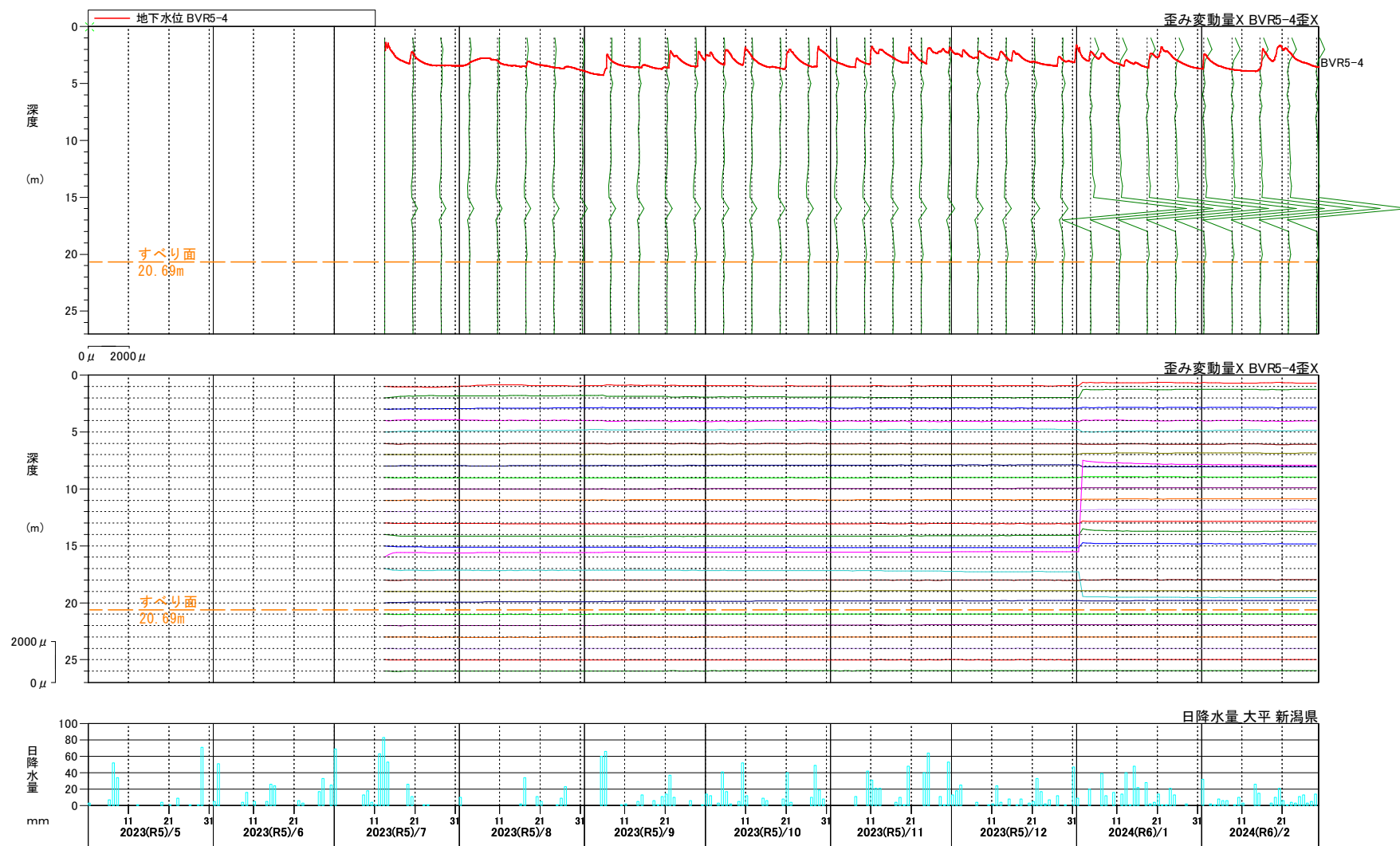


図 4. 14 パイプ式歪計変動図 : BVR5-4X

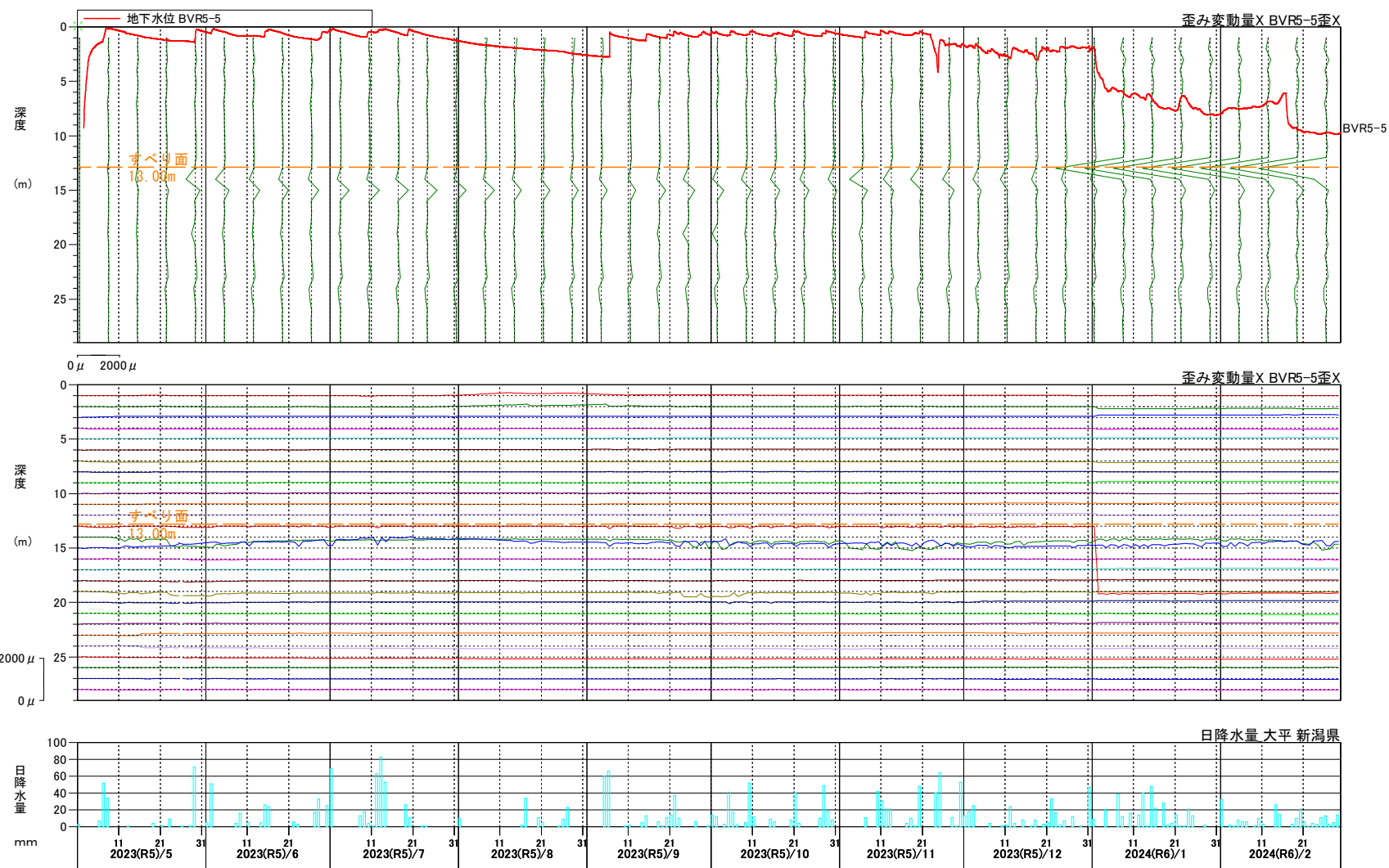


図 4. 15 パイプ式歪計変動図 : BVR5-5X

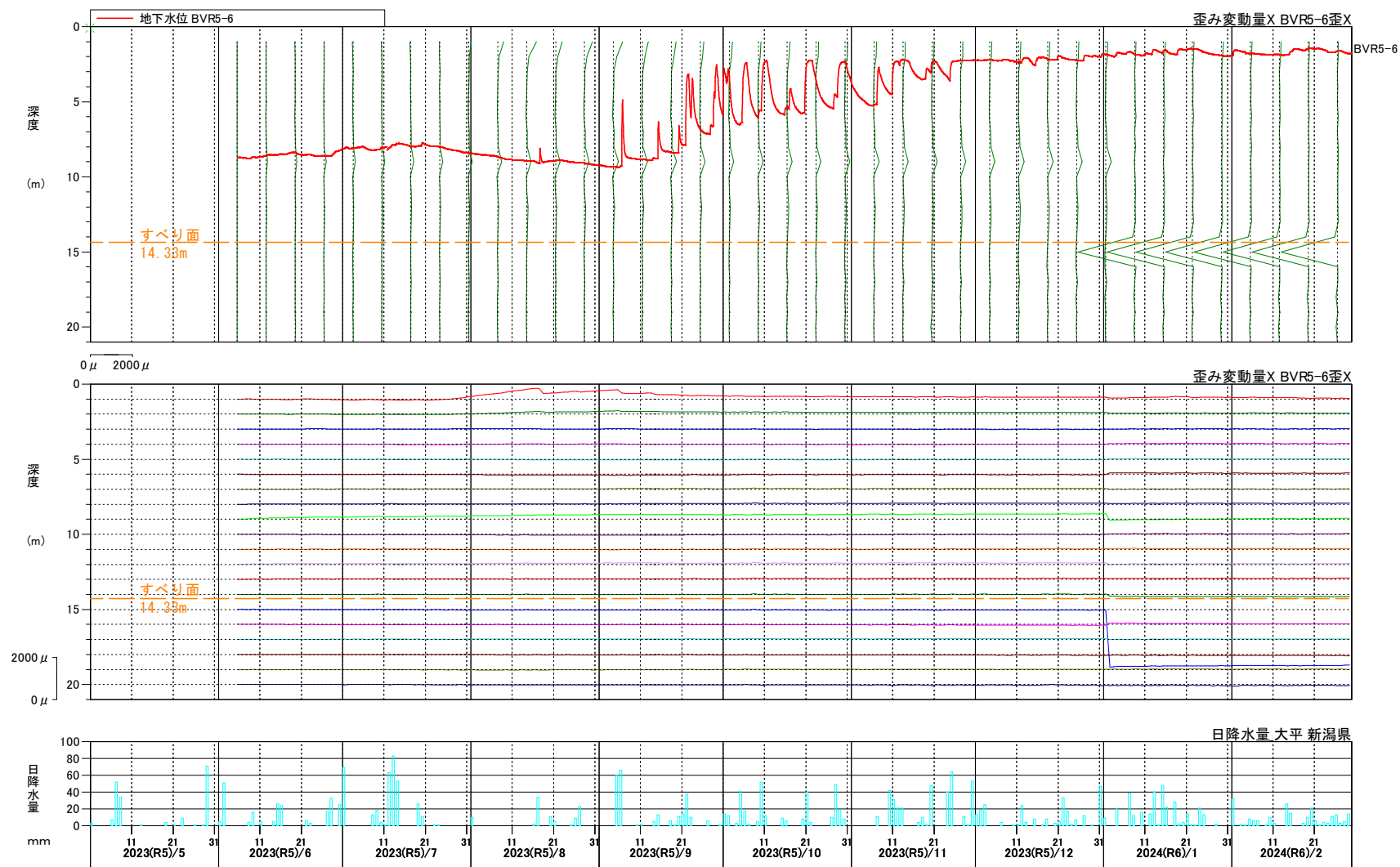


図 4. 16 パイプ式歪計変動図 : BVR5-6X

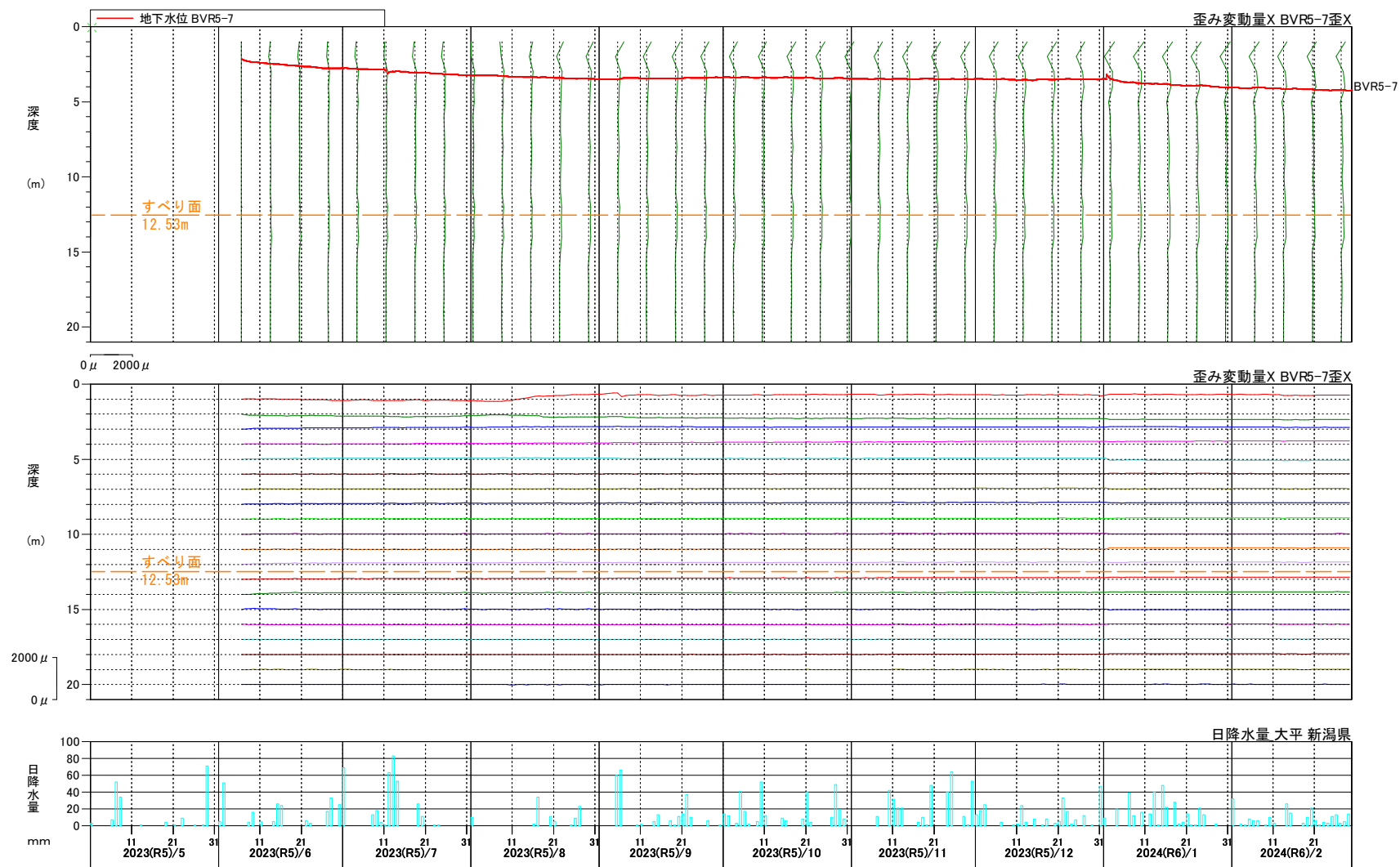


図 4. 17 パイプ式歪計変動図 : BVR5-7X

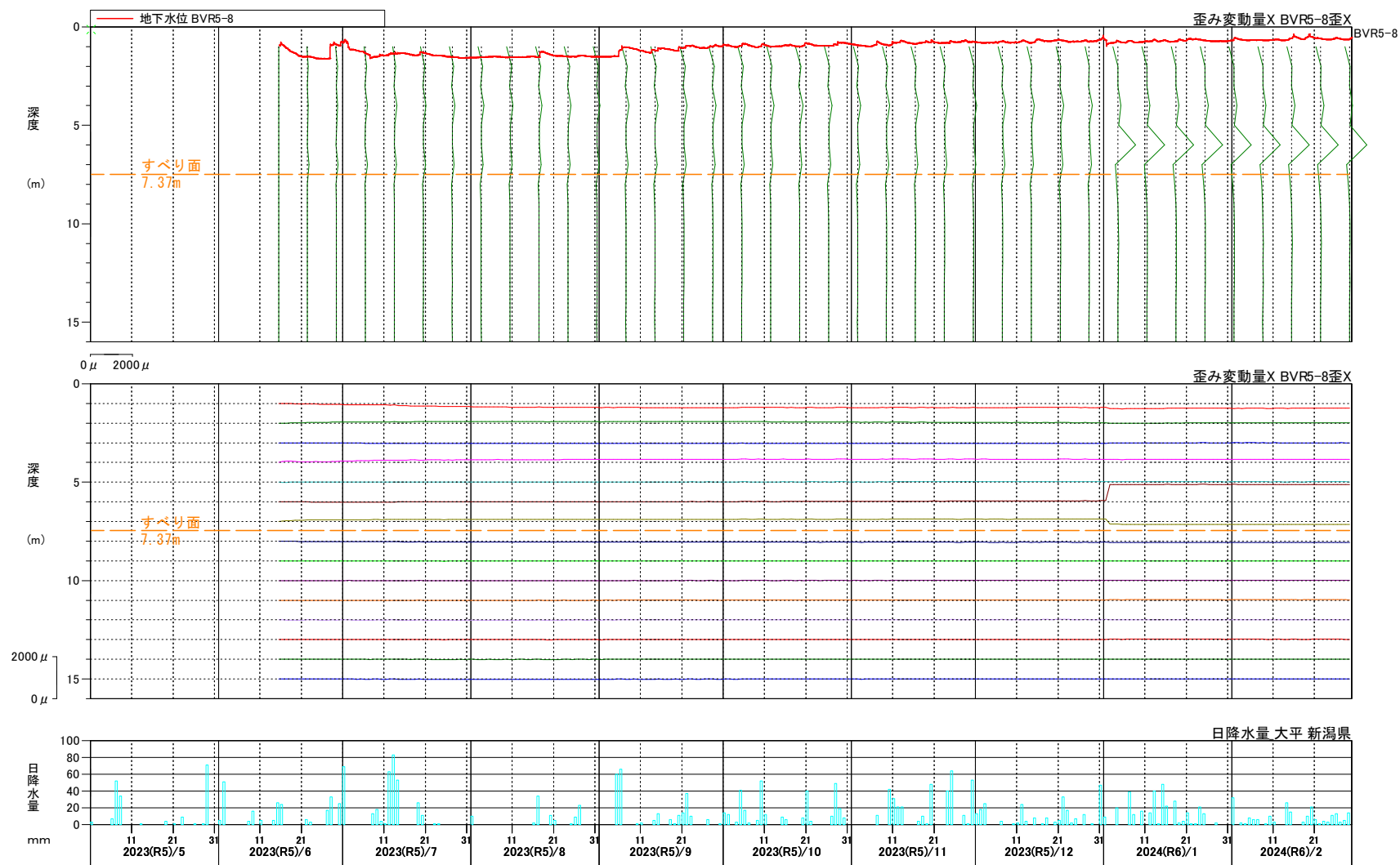


図 4. 18 パイプ式歪計変動図：BVR5-8X

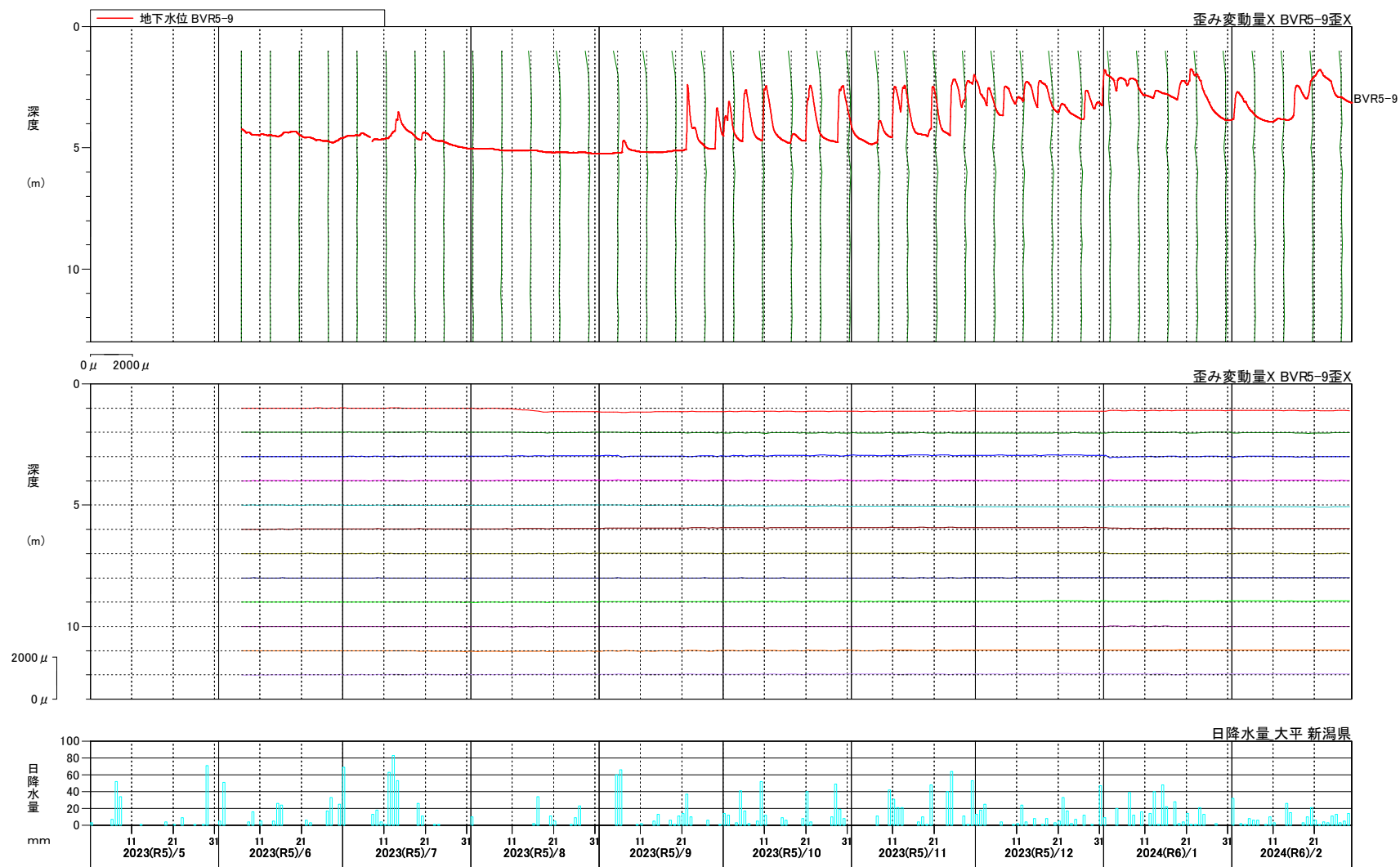


図 4. 19 パイプ式歪計変動図 : BVR5-9X

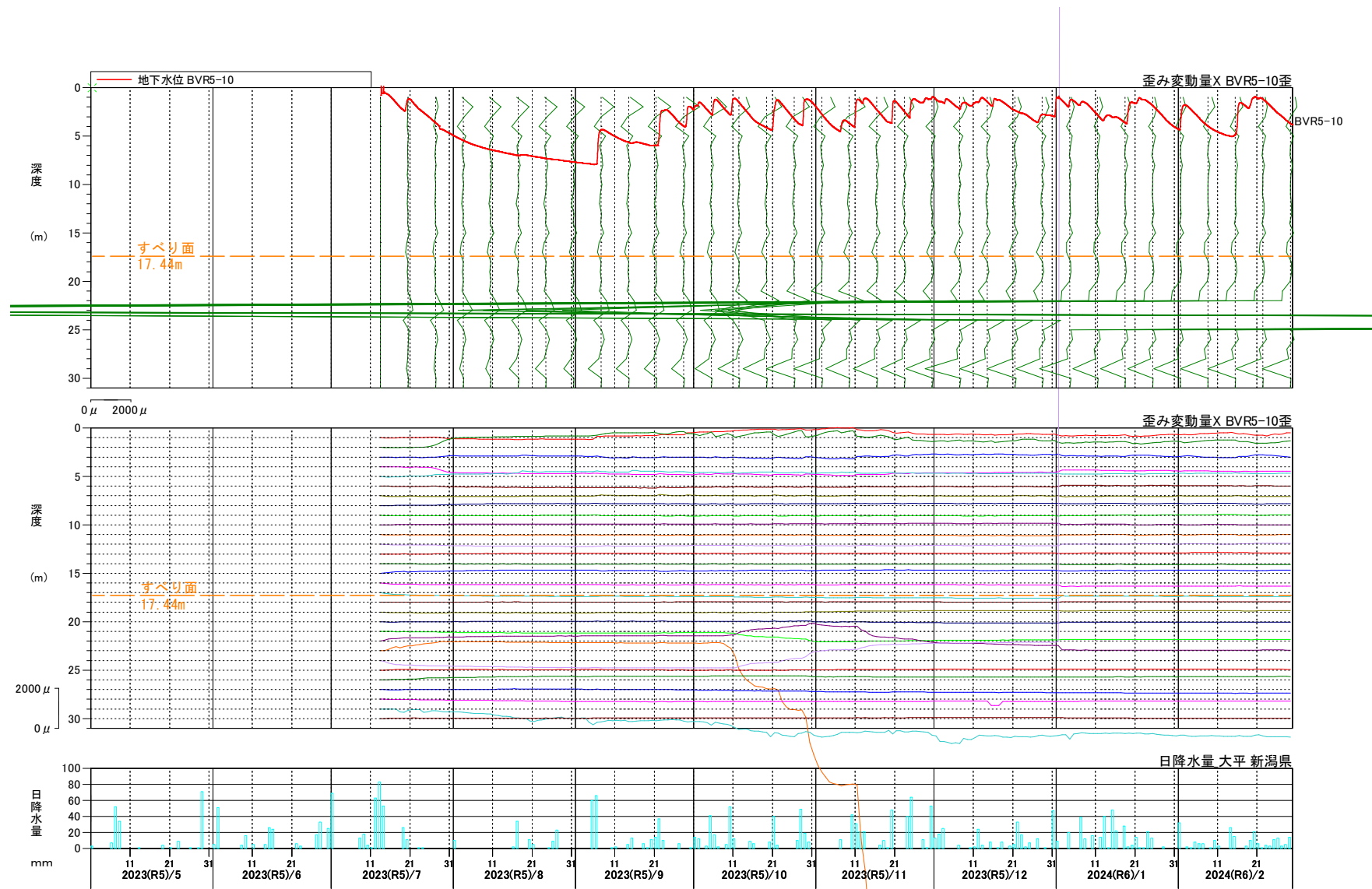


図 4. 20 パイプ式歪計変動図 : BVR5-10

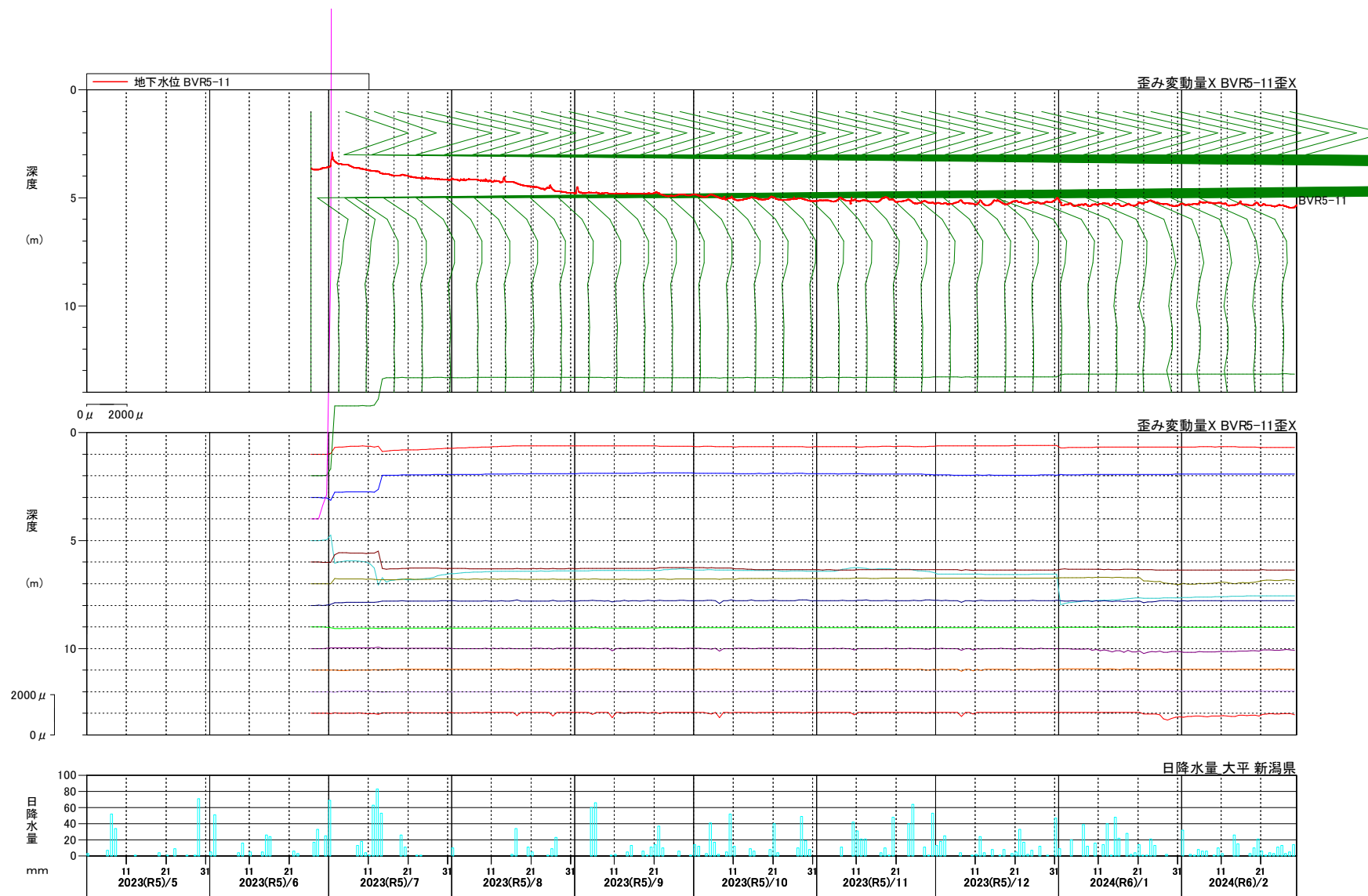


図 4. 21 パイプ式歪計変動図 : BVR5-11X

5.地すべり機構解析

5.1 地質構成と分布

(1)地質構成

地すべり移動層およびすべり面以深の基岩は砂質泥岩を主体とし、砂岩や凝灰岩の薄層を伴う。砂質泥岩は、海綿化石混入の有無や偽礫混入の有無で、細区分が可能である(図 5. 1・表 5. 1)。これらの地層は、各ボーリング孔の深部(すべり面以深)で連続的に分布しており、概ね北北東-南南西走向で、西側に 10° 前後の低角度で傾斜している。この地質構造は、ボーリングコアで確認されるラミナの傾斜角度や、A ブロック右側部の露頭で確認された地質構造と調和的である。

一方すべり面以浅では、風化が進むとともに地すべり活動で堆積構造が乱され、地層の連続性は確認できなかった。全体的な傾向として、地すべり斜面上部では弱風化砂質泥岩が移動層の主体をなしすべり面付近のみ顕著な破碎・粘土化を被っているのに対し、地すべり斜面中部～下部では移動層全体で風化が進行した、強風化砂質泥岩が主体となっている。B ブロックは、古い地すべり斜面背後の岩盤斜面を巻き込んで発生したため、移動土塊の大半を堅固な岩塊が占めているものと考えられる。一方、地すべり斜面中部～下部には過去繰り返し発生した地すべりの移動土塊が厚く分布し、地下深部まで風化が進行しているものと解釈できる。なお地質断面図上ではこれらの分布区分が難しいため、一括して地すべり移動土塊(Ls)としている。ただしこのような地質性状の違いは、地下水賦存状況(簡易揚水試験結果)との関連性もうかがえることから、水理地質を解釈するうえで重要な要素となる。

これらの堆積岩類の上位には、粘性土層が斜面全体を覆って分布している。粘性土層は粒度、岩片の混入状況が多様で、系統的にこれらを区分しその分布を把握することは困難であった。ただし、地すべり斜面下部では、比較的層厚が厚い(2～7m)であるのに対し、斜面上部では 2m 以下と薄い傾向にあった。

粘性土層が厚く分布する地すべり斜面下部では、昭和 52～57 年頃にかけて大規模なほ場整備が行われて、人為的な地形改変が行われている。ほ場整備が行われる前の当該斜面の地形を空中写真(S51 撮影)(図 5. 2)を見ると、B ブロック右側部付近に谷が存在するほか、所々勾配が急で、狭小な棚田の密集地帯が存在する。現在のは場整備斜面はこれらの不陸が解消されていることから、急傾斜部を切り盛りで調整するとともに、谷埋めによる大規模な土工が行われたと推察される。

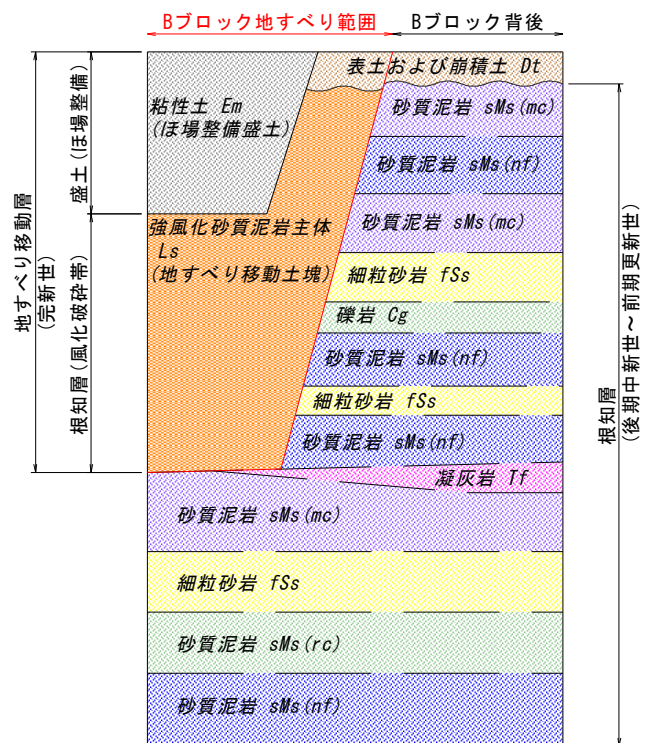


図 5. 1 広田地区 B ブロックの地質層序

表 5. 1 代表的な岩相

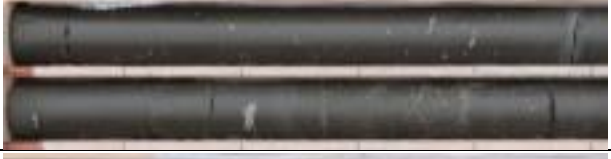
岩相区分	岩相	代表岩相
砂質泥岩 sMs (nf)	偽礫や海綿化石を含まない、砂質泥岩の主要岩相。塊状岩相主体だが、弱いラミナを伴うことも多い。局所的にラミナが発達した薄層を伴う。	
砂質泥岩 sMs (rc)	径数cmの泥岩偽礫を含む。偽礫の混入量や偽礫の形状は多様で地点により異なる。上位の砂岩とは岩相変化が明瞭だが、下位は sMs (nf) に漸移する。	
砂質泥岩 sMs (mc)	海綿化石 (<i>Makiyama chitani</i>) を伴う。弱いラミナがみられることが多く、海綿化石の配列も認められる。	
細粒砂岩 fSs	淘汰の良い塊状岩相の細粒砂岩主体であるが、やや粗粒な中粒砂岩も混じる。ラミナの発達する岩相も存在する。	
礫岩 Cg	赤褐色の泥岩礫と細粒砂岩からなる。泥岩礫はやや偏平化しラミナに沿って配列する。上方細粒化し、細粒砂岩に漸移する。	
凝灰岩 Tf	粘土化し岩相は不鮮明。石英・長石・岩片からなる流紋岩質凝灰岩。層厚 15cm 以下の薄層として砂質泥岩中に挟まれる。	

表 5. 2 すべり面以浅の砂質泥岩

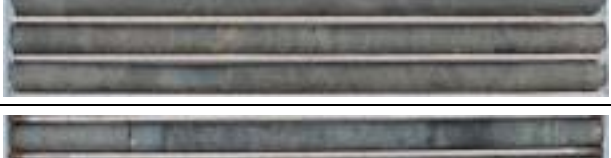
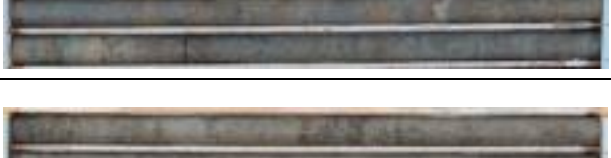
岩相区分	岩相	代表岩相
弱風化 砂質泥岩	弱い風化で褐色を帯びるものの、硬質な岩盤。局所的な破碎部をしばしば挟み、亀裂沿いに細粒化する。	
風化破碎 砂質泥岩	亀裂が発達し、片状～角礫状コアがかみ合った状態を示す。亀裂沿いは粘土が充填する。風化により褐色変色し、岩片もろく崩れやすい	
強風化破碎 砂質泥岩	風化により著しく軟質化した泥岩片と粘土基質からなり、岩片混じり粘土状を呈する。コアは容易に崩れる。	
強風化 砂質泥岩	強風化破碎砂質泥岩に類似するが、岩片が識別できないほど風化による粘土化が顕著。コアは容易に崩れる。	
すべり面付近 破碎部	完全に岩石組織を失い、角礫化した砂質泥岩と軟質な粘土基質で構成される。	

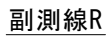


図 5. 2 ほ場整備前の地形と災関 B ブロックの関係
(S51 撮影空中写真を SfM 解析で 3 次元化)

(2) 地質分布 (地質縦断面図・地質横断面図)

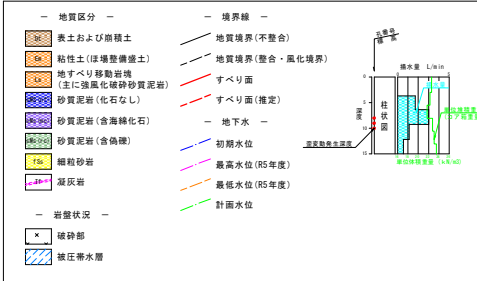
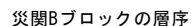
コア判読の結果と後述するすべり面判定やすべり面形状の検討結果を踏まえ、地質断面図 (2 次元) を作成した (図 5. 3・図 5. 4)。ボーリングコアで確認された層相は、一部で欠如したり薄層化したりすることはあるものの、基本的には連続的に分布している。地すべり縦断面図上では見かけ傾斜約 7° で分布し、高標高部でやや傾斜角度が大きくなる傾向にある。一方地すべり横断では、西側に見かけ傾斜約 $3\sim 10^{\circ}$ で傾斜し、高標高部ほど傾斜角度が大きくなる。基岩の走向は $N50\sim 60^{\circ} E$ で西側に $5\sim 15^{\circ}$ 傾斜しており、地すべりと地質構造の関係は流れ盤と走向すべりの中間の関係にある。

S=1:1,000 (A0)
S=1:2,000 (A2)



Bブロック

测点名称	单距	油距	站距
BP	0.000	0.000	393.027
NO0+25.00	25.000	25.000	394.116
NO1	25.000	50.000	396.262
NO0+25.00	25.000	75.000	397.110
NO2	25.000	100.000	397.420
NO0+25.00	25.000	125.000	398.823
NO3	25.000	150.000	404.373
NO0+25.00	25.000	175.000	407.376
NO4	25.000	200.000	408.544
NO0+25.00	25.000	225.000	413.305
NO5	25.000	250.000	415.820
NO6	25.000	300.000	423.330
NO0+25.00	25.000	325.000	426.484
NO7	25.000	350.000	427.833
NO0+25.00	25.000	375.000	428.327
NO8	25.000	400.000	430.355
NO0+25.00	25.000	425.000	435.173
NO9	25.000	450.000	443.479
NO0+25.00	25.000	475.000	444.961
NO10	25.000	500.000	449.479
NO0+25.00	25.000	525.000	454.077
NO11	25.000	550.000	457.516
NO0+25.00	25.000	575.000	459.945
NO12	25.000	600.000	462.574
NO0+25.00	25.000	625.000	464.728
NO13	25.000	650.000	467.668
NO0+25.00	25.000	675.000	471.618
NO14	25.000	700.000	480.420
NO0+25.00	25.000	725.000	483.011
NO15	25.000	750.000	481.508
NO0+25.00	25.000	775.000	491.873
NO16	25.000	800.000	501.744
NO0+25.00	25.000	825.000	503.325
NO17	25.000	850.000	501.390
NO0+25.00	25.000	875.000	507.915
NO18	25.000	900.000	514.898



令和 5 年度		委託番号 災関地保 第 01-00-00-91号	
糸 魚 川 市 大 字 北 山 地 内			
広田地区 災害関連緊急地すべり(治水) 調査・対策工検討業務委託			
災関Bブロック地質縦断面			
縮 尺	1:1,000 (A0) 1:2,000 (A2)	図面全 7 葉の 5	
測 量	(株)日さく	年 月 日	主任 技師 署名

図 5. 3 地質縦断図 (S=1:3, 000)

S=1:1,000 (A0)
S=1:2,000 (A2)



5.2 地下水状況

(1) 地下水賦存状況

簡易揚水試験および水頭解析結果より、本地すべりに賦存する地下水は、浅層の自由地下水と深部の被圧地下水の 2 つの存在が明らかとなった。後述する水質面でも異なる起源の地下水の存在が明らかである。二つの帯水層が明瞭に区分された例として、BVR5-15～16 の揚水量と水頭図を図 5. 5 に示す。両孔とも、深度 9-12m 間の難透水層区間を挟み、上下に 2 層の地下水賦存が確認される。地すべり移動土塊中では、浅層地下水と深層地下水の混合が見られ、帯水層は単純な二層構造ではないと考えられる。

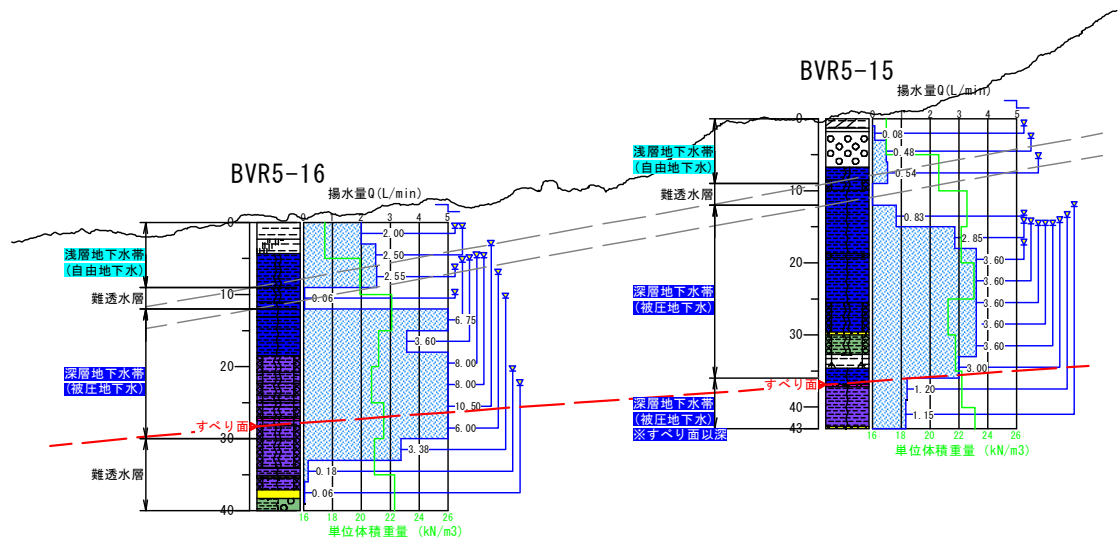


図 5. 5 揚水試験・水頭図(抜粋)

[浅層地下水(自由地下水)]

地すべり斜面全体に広がっていると考えられるが、地形形状や構成地質の影響を受け、連続性や透水性、地下水賦存状況は多様。

[深層地下水(被圧地下水)]

地すべり斜面上部(とくに西側)に分布する。BVR5-15 付近より湧昇した深層地下水が、地すべり移動土塊中に流入している。

(2) 水質

1) 観測孔内の地下水比抵抗値分布(比抵抗値検層)

本業務で掘削した観測孔のいくつかを対象に、地下水検層器を用いて孔内水の比抵抗値分布を測定した(図 5. 6)。

- ・一般的な地下水の比抵抗値($2 \sim 10 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$)に比べ、大半が $2 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 以下の低い値を示す。
- ・いくつかの孔では $0.1 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ を下回る著しく低い比抵抗値が検出された。
- ・最も低い比抵抗値は、BVR5-15 の深度 21m 以深の $0.06 \text{ k}\Omega \cdot \text{cm}$ 。
- ・BVR5-1 を除くすべての孔で 2～3 層の比抵抗層に区分できる。
- ・比抵抗値分布を概観すると、著しく低い比抵抗値を示す深層地下水帯(被圧地下水)と、一般的な比抵抗値を示す浅層地下水帯(不圧地下水)に区分可能である。
- ・両者の境には明瞭な躍層が認められ、明らかに性質の異なる地下水といえる。

- ・降雨の影響による、地表面からの比抵抗値の高い水の流入も読み取ることができる。
- ・孔内よりくみ上げた低比抵抗値を示す深層地下水には、塩味やわずかな油膜と油臭が認められる。

2) 地表水・地下水の電気伝導度、pH 測定

地表踏査で確認された地表水や湧水、滞留水およびボーリング掘削中の孔内水について、ポータブル EC 計・pH 計を用いた簡易水質測定を行った(表 5. 3、図 5. 7)。

BVR5-2 と BVR5-15 で 2,000mS/m に近い電気伝導度が確認され、比抵抗値検層の結果と調和的であった。地表水でも 50mS/m 前後の比較的高い電気伝導度が複数の地点で確認された。基本的に電気伝導度の高い水は地下深部に存在していると解釈できる。

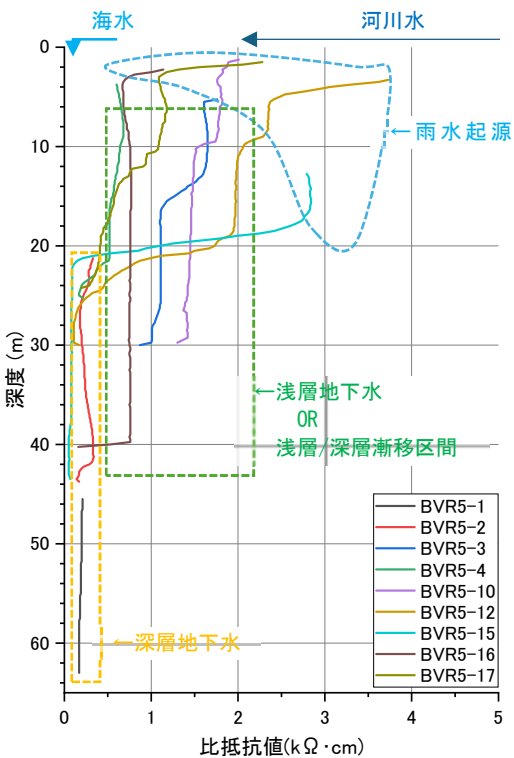


図 5. 6 観測孔内の地下水比抵抗値 (地下水検層器を用いて測定)

表 5. 3 地表水・地下水の水質

場所	測定日	時刻	EC(mS/m)	ρ (kΩ・cm)	pH	温度(EC計:°C)	温度(pH計:°C)
BVR5-10 揚水試験(15～18m)	2023/6/30	11:58	61.8	1.618	8.36	19.0	18.9
BVR5-10 取水用の池	2023/6/30	12:05	49.9	2.004	8.23	21.9	21.9
東端水路 (黒パイプ)	2023/6/30	13:27	15.11	6.618	8.27	17.3	17.4
BVR5-15 (約14m)	2023/7/5	11:47	1986	0.050	6.91	13.8	13.4
BVR5-3,15 取水口	2023/7/6	12:44	9.48	10.549	8.00	16.8	16.4
BVR5-3	2023/7/6	13:29	66.6	1.502	7.78	13.4	13.1
BVR5-17 (4m)	2023/7/7	11:17	86.6	1.155	7.55	16.1	16.1
BVR5-2	2023/7/7	12:14	1742	0.057	6.81	17.1	16.1
BVR5-9	2023/7/7	13:44	193.9	0.516	7.70	13.6	13.5
大濁川(橋付近)	2023/7/7	13:54	43.8	2.283	7.92	20.9	20.9
BVR5-8	2023/7/7	14:11	49.8	2.008	7.49	14.0	14.0
BVR5-7 付近の沢水	2023/7/11	14:02	61	1.639	8.09	27.4	27.4
BVR5-7 (10m)	2023/7/11	14:10	202	0.495	7.41	12.9	13.1
BVR5-18 (14m)	2023/7/11	14:27	149.4	0.669	6.98	12.5	12.5
BVR5-6	2023/7/11	14:46	111.4	0.898	7.62	14.0	14.2
BVR5-10 (20m)	2023/7/28	12:13	61.3	1.631	7.81	14.2	13.9
BVR5-16 (12m)	2023/7/28	13:33	391	0.256	7.06	15.1	14.6
BVR5-4 (9m)	2023/7/28	13:50	142.3	0.703	7.87	14.1	13.0

EC・pH分布図(標高・深度考慮なし)

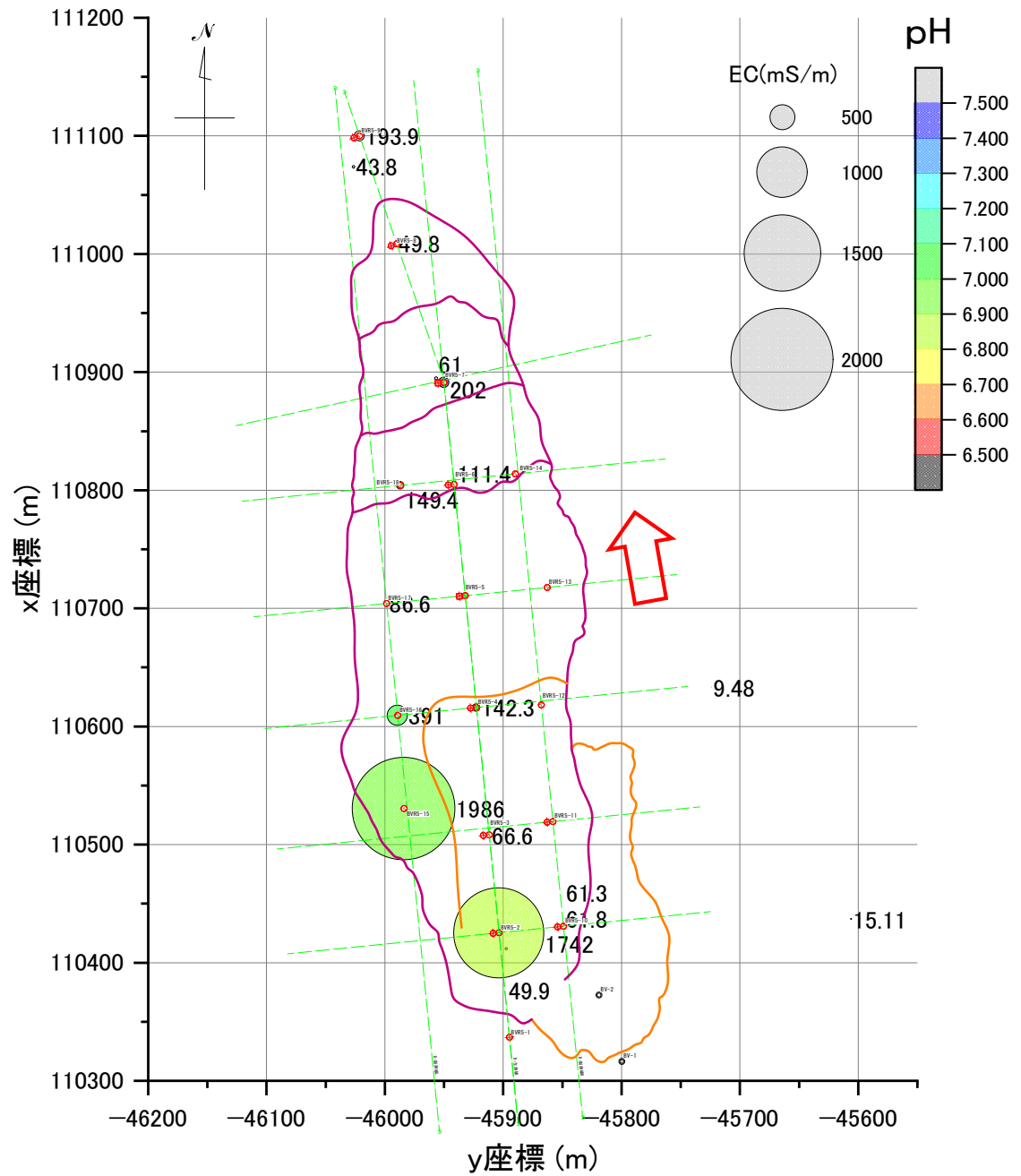


図 5. 7 EC・pH 分布図

5.3 すべり面判定とすべり面形態

地すべり斜面の深部では、sMs(mc)/fSs/sMs(rc)/sMs(nf)の地質構成が連続的に確認された。各層の層厚変化や一部欠如があるものの、亀裂や破砕部はなく連続した一体の岩盤(不動層)と判断される。これら一連の地質構成の上位には明瞭な不連続面を介して破砕された岩盤や粘性土が重なっている。この不連続面は直線的かつ堆積構造に平行で、地すべり斜面全体に連続するものであった。また地すべり横断方向についても不連続面が地質構造に平行に形成されており、左(西)側部では不連続面深度が約 37m(BVR5-15)と著しく深くなっている。

また、副測線 L ではすべり面付近に粘土化した軟弱な凝灰岩が存在していることが確認された(BVR5-10・15・16)。この凝灰岩は風化粘土化が著しく、硬質な岩盤に挟まれた弱層を形成している。ボーリングコアで確認されたものは、この2孔のみであったが、BVR5-17のすべり面直上では、礫状の凝灰岩片が風化破砕砂質泥岩中に取り込まれている状況も確認されている(写真5.2 写真5.1)。この凝灰岩は、地すべり背後のBVR5-1にも連続している。層厚は薄く、地すべりブロック全体で連続的に分布しているとは限らないが、すべり面形成の一因となっている可能性が高い。凝灰岩の分布が確認されなかった孔についても、大きな変位により薄い凝灰岩層が削剥され移動土塊中に取り込まれている可能性が考えられる。

本地すべりでは、移動層内に堅固な岩盤を含むことから、層理面を利用した岩盤すべりの形態をなすと考えられ、すべり面は主要区間で直線的に連続するものと考えられる。また鉛直に近い滑落崖は、平滑ではなくすべりに伴う条線も見られないことから、並進的な岩盤の動きの引張応力により形成された分離面と考えられる(写真5.1)。このような運動機構より、すべり面と滑落崖(分離面)が高角度で交わり、すべり面の主要区間が直線的な椅子型のすべり面形態をなすものと推定される。また横断方向では左(西)側のすべり面深度が深い非対称な地すべり形態が推定される。横断方向の非対称性(すべり面勾配)は、地すべり斜面上部が急で下部ほど緩やかになるため、すべり面は緩やかにねじれていると考えられる。このすべり面形状は、地質構造に規制された結果によるものと考えられる。



写真 5. 2 風化破砕砂質泥岩中に
取り込まれた礫状の凝灰岩



写真 5. 1 滑落崖の状況

表 9. 1 すべり面判定根拠 (1)

測線	孔番号	すべり面深度	地質状況	地下水状況 (簡易揚水試験結果)	歪変動 深度	コア写真
主測線	BVR5-2	33. 35m	風化砂質泥岩と弱風化砂質泥岩に挟まれた、岩片混じり粘土状コア部。岩石組織を完全に失う。強い指圧で変形する程度の硬さであるが、下位の弱風化砂質泥岩とは明瞭な不連続面で接している。	すべり面付近で 2.4 ～ 3. 2L/min の揚水量があり、回復水頭は GL-26m 付近で安定している。	10 月～12 月に GL-38 m・39m で 100～270 μ / 月程度の潜在変動が発生。 すべり面付近は変動なし。	
	BVR5-3	25. 94m	風化破碎泥岩の基底部。風化破碎泥岩は岩片混じり粘土状を呈し、粘土化が顕著で基質支持。指圧で容易に変形する。基底部はとくに含水量が多く軟質。下位の弱風化砂質泥岩とは明瞭な不連続面で接している。	深度 15m 以深で、2L/min 前後の揚水量があった。すべり面付近および移動層では水頭回復が GL-10m 付近で安定。	GL-27m で BVR5-2 と相関が見られる、100 μ / 月程度の潜在変動が発生。 すべり面付近は変動なし。	
	BVR5-4	20. 69m	弱風化～未風化砂質泥岩中の風化破碎砂質泥岩基底部。傾斜方向の異なる傾斜 30-40° の亀裂と、粘土化を伴う網状亀裂が発達する。網状亀裂部、傾斜 10-20° が卓越し、指圧で容易に崩れる。	すべり面付近、移動層とも揚水量はほとんどなかった。	観測開始直後に GL-16m で変動があったが、それ以降は 1/1 の地震時を除き全深度で変動は見られない。	
	BVR5-5	13. 00m	角礫状に破碎された風化破碎泥岩の基底部。深度 12m 以深でとくに破碎が顕著となり 10mm 程度の泥岩角礫の混じる粘土状コア。下位の弱風化砂質泥岩は、密着亀裂はあるものの硬質な岩盤で、急激に岩相が変化する。	孔全体で揚水量はほとんどなかった。	GL-14・15m で不安定な微小歪が見られるが、堅固な岩盤区間であり非地すべり性と判断。1/1 の地震時を除き、その他に歪変動なし。	
	BVR5-6	14. 33m	硬い粘土状コアで採取される強風化破碎砂質泥岩の基底部。基底部は、含水量が多く軟弱な粘土層。下位層とはほぼ水平に接する。明瞭な不連続面を形成するが、境界面は凹凸があり、条線は見られない	孔全体で揚水量はほとんどなかった。	1/1 の地震時を除き、歪変動は見られない。	
	BVR5-7	12. 53m	著しい風化により粘土化した強風化砂質泥岩の基底部。礫混じり粘土状を呈する硬い粘土状コア。基底部は風化残留核が多い。下位層との境界は凹凸のある水平面で、明瞭な不連続面となっている。	孔全体で揚水量はほとんどなかった。	観測開始直後の微小な変動と 1/1 の地震時を除き、歪変動は見られない。	
	BVR5-8	7. 37m	硬い粘土状コアで採取される強風化砂質泥岩の基底部。著しく風化、粘土化し、掘削時にはディスクングによりコアが乱れる。下位の弱風化砂質泥岩とは明瞭な不連続面で接する。	すべり面付近の揚水量は 0. 3L/min と乏しいが、移動層で 1. 1L/min を確認。すべり面以深で 10L/min 以上の揚水量があり、GL-3 付近まで水頭回復した。	観測開始直後の微小な変動と 1/1 の地震時を除き、歪変動は見られない。	
副測線 R	BVR5-10	17. 44m	角礫～片状の泥岩片と粘土基質で構成される風化破碎砂質泥岩の基底部。基質はやや硬い粘土で、強い指圧でわずかに変形する。下位の弱風化砂質泥岩は硬質で、明瞭な不連続面で接している。	すべり面付近および移動層で、3. 0～4. 0L/min の揚水量があった。水頭回復も 7m 以上あり、良好であった。	夏季に GL-1m で地盤の乾燥収縮と思われる慢性的な微小歪累積が見られる。1/1 の地震時を除き、その他に歪変動なし。	

表 9. 2 すべり面判定根拠 (2)

測線	孔番号	すべり面深度	地質状況	地下水状況 (簡易揚水試験結果)	歪変動 深度	コア写真
副測線 R	BVR5-11	13.00m 以深	(孔底深度以深にすべり面が推定される)	—————	GL-1～-5m で浅層部の小崩壊に起因する大きな歪変動あり。その他の深度では 1/1 の地震時を除き、変動なし。	(孔低深度以深にすべり面が推定される)
	BVR5-12	7.59m	軟質な粘土基質からなる岩片混じり粘土の基底部。風化破碎砂質泥岩との境界面が明瞭な不連続面を形成している。境界面は水平に近い。	すべり面付近の揚水量は 0.12L/min にとどまる。	—————	
	BVR5-13	9.15m	岩石組織は残るが、風化が進み硬い粘土状の強風化砂質泥岩と、硬質な砂質泥岩の境界が、明瞭な不連続面を形成。境界面は水平に近い。	孔全体の揚水量が 0.1～0.3L/min と乏しい。	—————	
	BVR5-14	10.40m	角礫状の泥岩片と粘土基質からなる強風化破碎細砂質泥岩と硬質な砂質泥岩の境界が、明瞭な不連続面を形成。境界面は 2～3° の低角度。境界面直上は含水量多く、極軟粘土で粘性大。	表層部を除き、孔全体の揚水量が 0.1～0.3L/min と乏しい。	—————	
副測線 L	BVR5-15	36.89m	弱風化砂質泥岩基底部の粘土化を伴う角礫状コア部。含水量多く軟質で、コアは指圧で容易に変形する。下位には風化粘土化の顕著な流紋岩質凝灰岩が分布する。軟質な凝灰岩であるが、岩相に乱れなし。	すべり面付近で 1.2L/min、地すべり移動層中で 2.1～3.6L/min の揚水量があった。水頭は GL-14m 付近で安定。	—————	
	BVR5-16	28.31m	風化破碎泥岩に挟まれた凝灰岩薄層の基底部。凝灰岩は粘土化が顕著で、強い粘性を有する。傾斜 20° の平滑な面で砂質泥岩に接する。	すべり面付近および地すべり移動層中で 3.4～10.5L/min の揚水量があった。水頭も GL-5m 付近で安定。	—————	
	BVR5-17	19.33m	網状亀裂が発達し、角礫化した岩片と粘土基質からなる風化破碎泥岩の基底部。基底部付近には径 2cm の流紋岩質凝灰岩礫を混入し軟質。下位層とは、層厚約 8mm の粘土薄層(傾斜 5°)を介して接する	すべり面付近の揚水量は 0.1L/min と乏しい。	—————	
	BVR5-18	14.20m	角礫化した砂質泥岩からなる礫層(強風化砂質泥岩)が深度 14.00m まで分布し、その下位に安山岩礫を含む砂礫層が層厚 0.2m で分布する(旧河床堆積物)。基質は同質の粗砂～粘土。その下位には硬質な風化砂質泥岩が分布し明瞭な不連続面となっている。	すべり面付近の揚水量は 0.1L/min と乏しいが、直下で 3.7L/min の揚水量があり、水頭はすべり面より高い位置にある。	—————	

5.4 比抵抗構造

電気探査解析とボーリング調査の結果を照らし合わせると、概ね図 5. 8 に示すように解釈できる。すべり面が推定される深度付近には比抵抗値が $5\sim6\Omega\cdot\text{m}$ 程度の低比抵抗ゾーンが帯状に形成されている。分解能の低い 3 次元解析ではすべり面よりやや深い位置まで低比抵抗ゾーンが分布するが、2 次元解析では、すべり面に沿う低比抵抗ゾーンの分布が明瞭に識別される。

すべり面以深では $10\sim15\Omega\cdot\text{m}$ の中比抵抗ゾーンが主体となるが、すべり面沿いの低比抵抗ゾーンから深部に伸びる低比抵抗ゾーンが地すべり斜面上部～左(西)側部に形成されている。この低比抵抗ゾーンは、電気伝導度の高い地下水が豊富に確認された観測孔の分布に良く対応しており、深層地下水の地下水供給経路を示していると考えられる。

地すべり移動層中では、2 次元解析において浅部に高比抵抗部、深部に中比抵抗部が分布している。この分布形態は概ね地下水面と合致していることから、地下水の飽和状態を反映しているものと考えられる。また、滑落崖直下の高～中比抵抗ゾーンは、引張応力場で開口亀裂が発達した不飽和帯を示していると考えられる。

このような比抵抗値分布の特徴は副測線にも現れており、主測線から副測線 L にかけて深層地下水が浸入している状況を読み取ることができる。地すべり横断方向では、深部に連続する低比抵抗ゾーンが、すべり面が深くなる西側に偏って分布している様子が伺える。

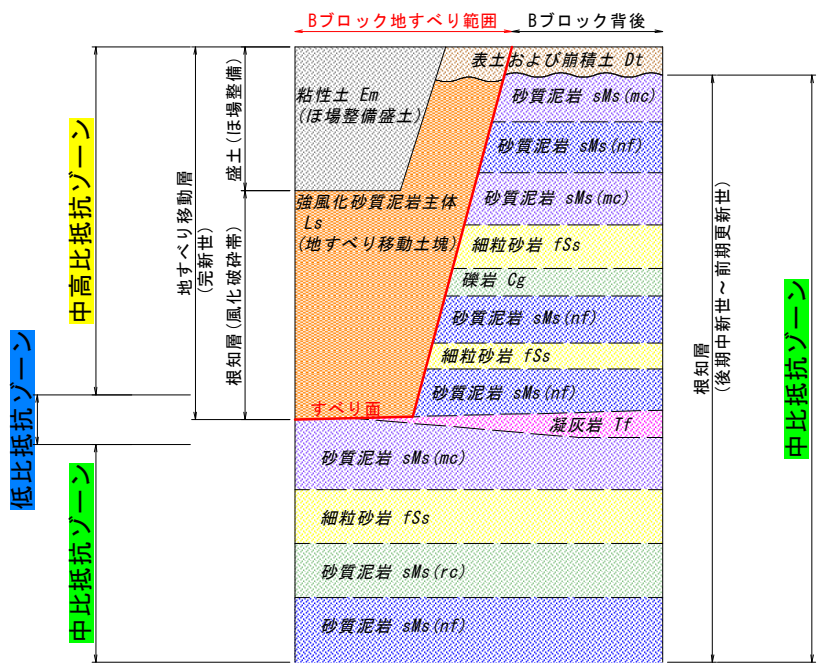


図 5. 8 地質と比抵抗値の概略関係

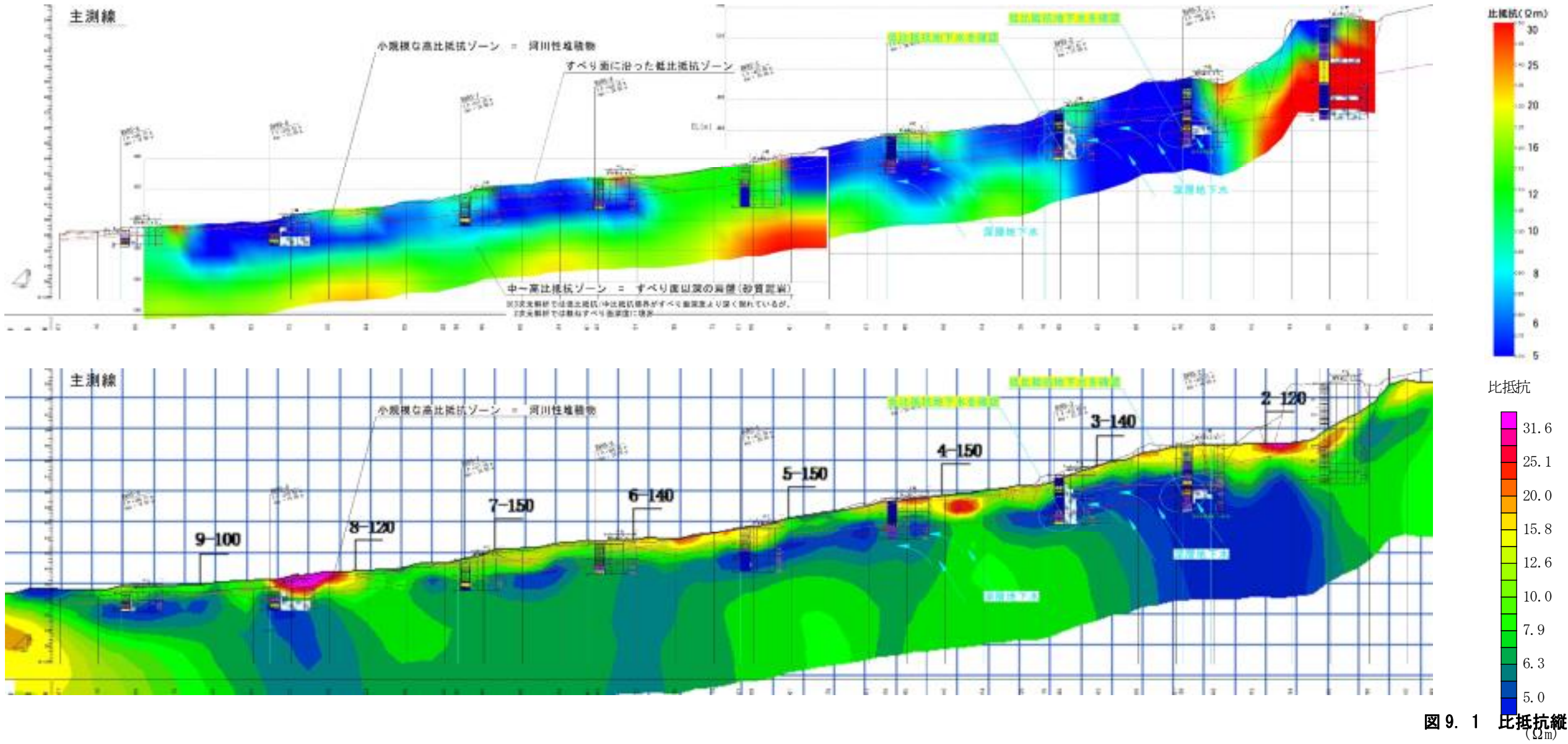


図 9. 1 比抵抗縦断面図 ($\Omega\cdot\text{m}$)

5.5 地すべり発生機構

(1) 地すべり発生機構

各種調査の結果、当該斜面の地すべりは、AブロックとBブロックの二つの移動体に区分できることが明らかとなった。両者の地すべり地形の切断関係から、Aブロックが先行して発生し、その後Bブロックが活動したことが読み取れる。

また地すべり発生前後の地形を比較すると、今回の地すべり範囲の大半は、Bブロック滑落崖～左(西)側部は不動地であった尾根を巻き込んで発生していた。そのため滑落崖～左(西)側方崖では、新鮮で硬質な砂質泥岩の露頭が延長 350m にわたり連続的に形成された。ボーリング調査の結果では、すべり面深度が最大 37m と非常に深く、移動層の主体が硬質な堆積岩類主体(とくに上部斜面)といった特徴も明らかとなった。今回のすべり面深度は過去の地すべり対策事業で対応されてきた地すべり(すべり面深度 15m 程度)と比較して大幅に深く、初生的な岩盤すべりであったといえる。ただしすべり面深度が深くなる下部斜面は、過去の地すべりと同程度のすべり面深度であるとともに、移動層の風化・粘土化が著しく軟質化しているため、過去の地すべりとの関連が伺える。

このような特徴や、地表で確認された各種地すべり変状から読み取れる応力場(引張・圧縮およびせん断応)から、地すべり運動機構について図 5. 9 のようにまとめられる。

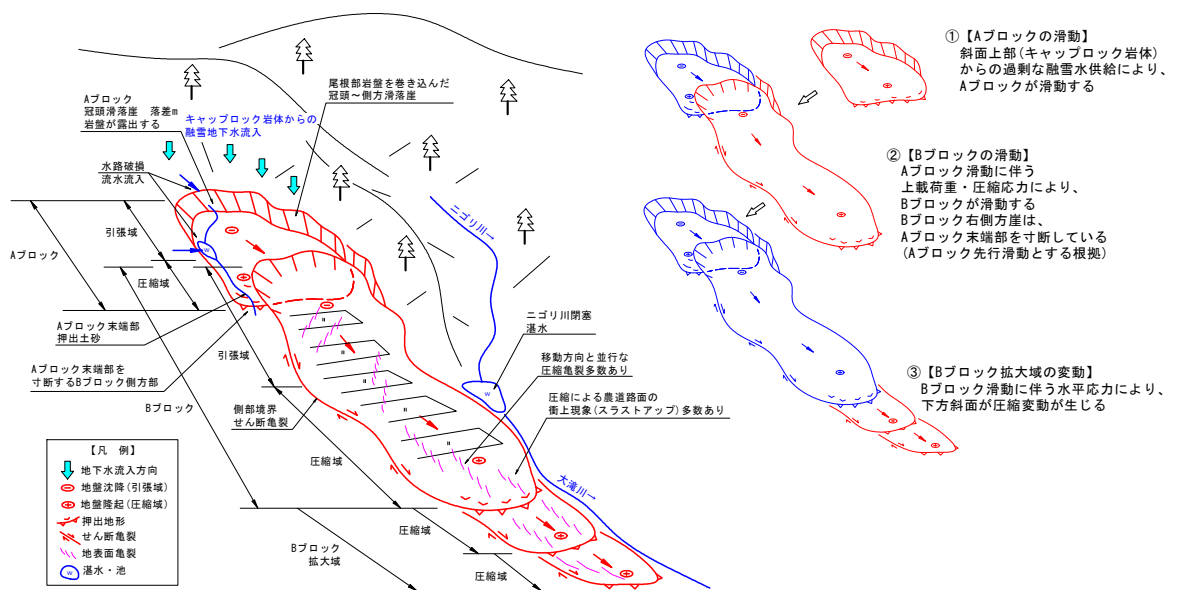


図 5. 9 地すべり発生機構

(2) 素因と誘因

【素因】

- 走向すべり～流れ盤の地質構造(図 5. 11)。
- 恒常的に高い水頭を地すべり斜面にもたらし、深層地下水の存在(図 5. 11)。
- 岩盤中の弱層となっている凝灰岩の存在(図 5. 11)。
- 滑落崖の形成に関する NNW-SSE 方向の断層・節理系の存在(図 5. 11)。
- 当該斜面の頂部に地表水が集中する、集水地形(約 0.1km²)の存在(図 5. 10)。
- 地すべり斜面下部の大滝川沿いに分布する透水性の高い河川性堆積物の存在。
- 広大な集水域(約 2.0km²)をもつニゴリ川(大滝川)が地すべり斜面下部のを流下し、

地下水涵養源を形成(図 5. 11)。

- h. 地すべり左(西)側部の外側で、地すべり斜面に対し天井川(流出河川)状態となっているニゴリ川からの地下水涵養。

【誘因】

- a. 融雪水を起因とする地下水位上昇と、それに伴うすべり面に働く間隙水圧の上昇。
- b. 融雪水を起因とする地下水位上昇と、それに伴う地盤の飽和度上昇による土塊の脆弱化。
- c. 先行して発生した災関 A ブロックの移動土塊による、災関 B ブロック上部斜面に対する上載荷重付加。
- d. 融雪期のニゴリ川(大滝川)の水位上昇に起因した地下水涵養の増加と、それに伴うすべり面に働く間隙水圧の上昇。
- e. 融雪期のニゴリ川(天井川区間)の水位上昇による地下水涵養の増加と、それに伴うすべり面に働く間隙水圧の上昇。
- e. 深層地下水の季節的な水頭変動の上昇期における、すべり面に働く間隙水圧の上昇(推察)。

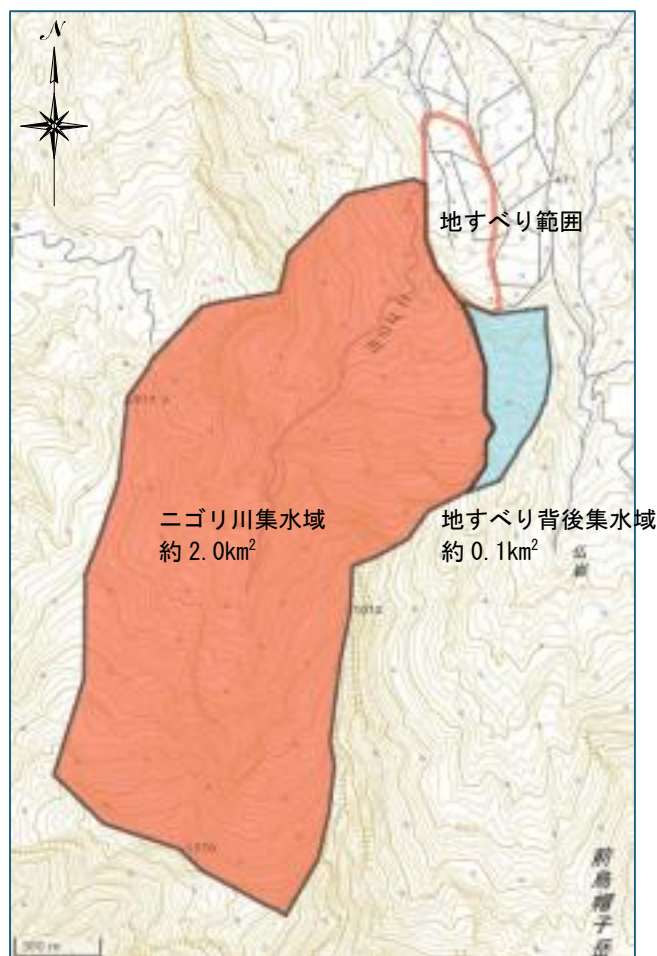


図 5. 10 地すべり地背後の集水域(地理院地図で作製)

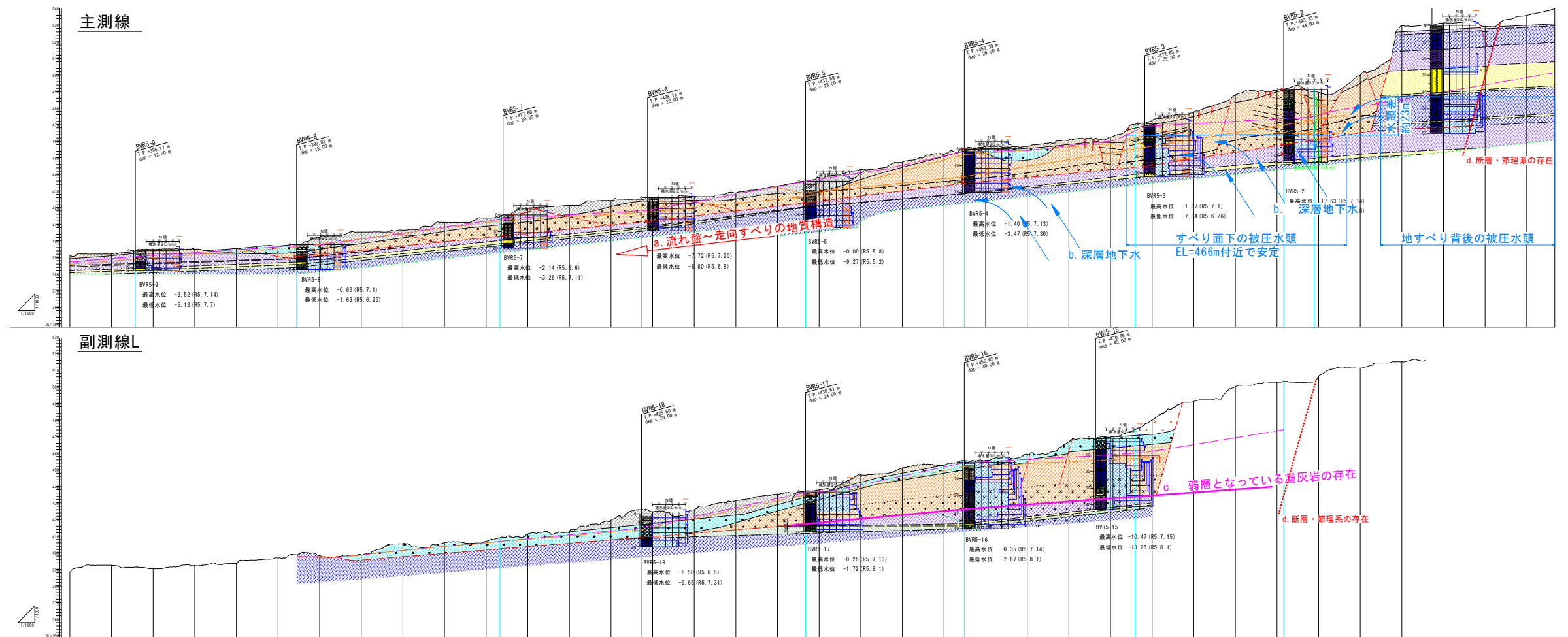


図 5. 11 地すべりの素因・誘因 (S=1:3,000)

6.対策工の検討

6.1 基本方針

(1)地すべり誘因の除去

地すべり発生が融雪期であったことから、融雪に起因する地表水・地下水供給の増加がすべり面に働く間隙水圧を上昇させ、地すべり活動につながったと考えられる。また、地下深部からの深層地下水供給の存在も明らかとなっている。したがって、これらの地すべり誘因を除去するための地下水排除工を必須の対策工とした。

(2)滑動力の低減、抵抗力の付加

地すべり滑動力を低減させる工種として、頭部排土工がある。ただし当該地では背後斜面や隣接斜面に地すべり地形が広がる。そのため、頭部排土工は、周辺斜面の地すべりを不安定化させる懸念があるため採用すべきではない。

抵抗力を付加する押え盛土工も、下方斜面の不安定化や土地利用条件から、採用は困難である。

また、抵抗力を付加する代表工種である抑止工については、勾配の緩やかな地形形状を考慮すると、杭工(もしくはシャフト工)が候補となりうる。ただし、災関Bブロックはすべり面深度が最大 37m に及ぶ大規模地すべりであるため、抑止工は経済性の面で大きく劣るものとなる。

(3)地すべりの活動状況

令和5年4月の地すべり発生後、移動杭観測・パイプ式歪計観測で災関Bブロックの活動は認められず、地表面変状も発生していない。したがって、地すべり状況は小康状態にあると判断し、現状安全率を $F_{S0}=1.00$ と設定する。

(4)地すべりの規模

Bブロックは、延長 750m、幅 200m、最大すべり面深度 37m の大規模地すべりである。移動体の体積も $1.9 \times 10^6 \text{m}^3$ におよぶ。そのため抑止工は工事規模が極めて大きく、経済性に難題があることから、基本的には採用しない方針とする。また、地すべりの長期的安定確保の観点から、抑制工を中心とした地すべり対策工を採用する。

(5)対策工の施工位置

すべり面形状の横断方向非対称性や地下水賦存状況に偏りがあることから、地質・地下水状況を3次元的に把握し、安定解析も3次元安定解析で行った。この成果を用い、効果的な対策工(集水井)配置について、3次元地質モデル上で検討した。

6.2 地すべり安定解析

地すべり規模が大きく、地すべり横断方向に顕著な非対称性があることから、3次元安定解析手法を用いて解析を行うこととした。

表 6. 1 3次元解析の適用性

3次元解析の適用が望ましいケース	・地すべりブロック形状や地すべり層厚が横断方向で大きく変わる場合(左右非対称な場合等)。 ・地すべりブロック中央と側部で地下水位の分布傾向が異なる場合。 ・地すべりブロック側部で対策工を施工している場合。
3次元解析の適用が不要/困難なケース	・地すべりの断面形状が主測線で代表できる場合(横断方向で概ね同じ場合)。 ・主測線以外の調査結果が得られない場合。

「土地改良事業計画設計基準 計画「農地地すべり防止対策」 技術書」、p. 502

6.2.2 3次元安定解析条件

(1) 基本条件

解析方法：3次元安定解析

計算手法：修正 Hovland 法

解析地形：令和5年6月の UAV レーザー測量により取得した点群データ。

水位条件：災害関連緊急地すべり対策の工事計画を早急に確定するため、令和5年8月1日までの観測期間を対象に、最高水位条件を抽出。

土質定数：地すべり層厚を基に逆算法により設定

粘着力 C (kN/m²)：地すべり層厚に基づく推定値(表 6. 4)

内部摩擦角 ϕ (°)：逆算法による推定値(表 6. 4 エラー! 参照元が見つかりません。)

単体体積重量 γ_t (kN/m³) → $\gamma_t = 18$ kN/m³ (地すべり安定解析における一般値)

初期安全率： $F_{S0} = 1.00$ 観測期間中に歪変動は発生していない。

目標安全率： $pF_s = 1.12$ 地すべり地内の直接保全対象は、一般河川大滝川(砂防指定河川)、農地および農地関連施設であるため。

検討条件： 1) 初期水位条件

2) 水位低下トライアル計算

表 6. 2 3次元安定解析モデル作成条件

項 目	条 件	備 考
3次元安定解析ソフト	PowerSSA 3D Ver1.13	(株)五大開発 製
モデル化要素	地形・すべり面・地下水面	3次元安定解析で必要となる要素のみモデル化
地形情報	UAV レーザー測量成果 (約 2.5 点/10m ² に間引き)	本業務成果データ
メッシュサイズ	10×10m	
すべり面情報	主・副・横断面図および平面図	2次元断面データを3次元に拡張
地下水位情報	主・副・横断面図	2次元断面データを3次元に拡張

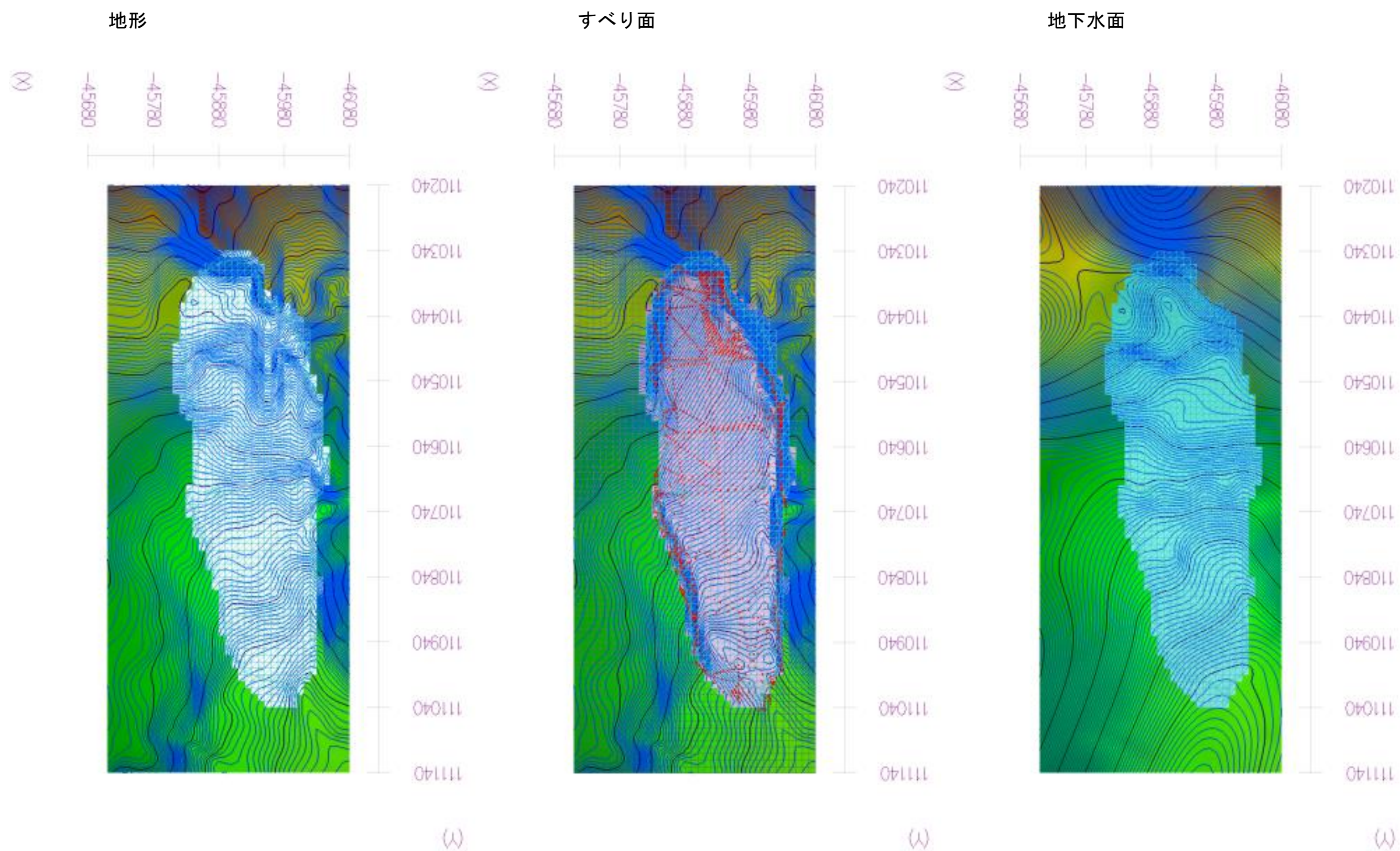


図 6. 1 3次元安定解析モデル

(4)すべり面せん断強度の検討

地すべりブロックの層厚変化が顕著なことから、平均鉛直層厚から粘着力を推定した。3次元安定解析モデルにおける鉛直平均層厚は15.97mより、粘着力を $C=15.97(\text{kN/m}^2)$ と設定した場合、内部摩擦角は逆算により $\phi=10.0059(^{\circ})$ となる。この値は、表6.3に照らし合わせるとやや小さな値であるが、すべり面の傾斜角度の中央値が 10.5° である(図6.2)ことを考慮すれば、妥当な値といえる。

表 6. 3 地質帯ごとのすべり面の土質強度(内部摩擦角)

時 階	岩 相	事例数	ϕ (平均値) 度
V	砂 岩	5	21.7
	砂岩・泥岩	4	20.5
	泥 岩	29	21.9
	凝 灰 岩	20	17.5
IV	砂岩・泥岩	7	17.2
	泥 岩	47	23.4
	凝 灰 岩	6	22.0
III	砂岩・泥岩	14	19.0
	泥 岩	43	24.5
	凝 灰 岩	23	19.2
II	凝 灰 岩	6	21.6
I	泥 岩	12	22.3
	凝 灰 岩	21	22.4

「砂防・地すべり(計画と設計) 地すべり編」、新潟県土木部砂防課

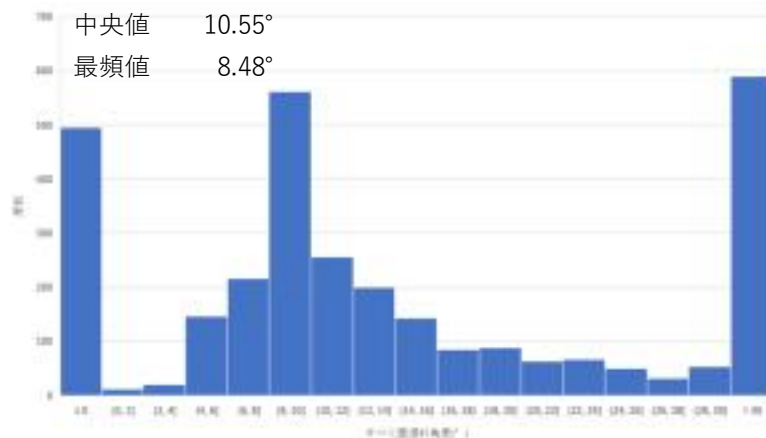


図 6. 2 3次元安定解析モデル上のすべり面傾斜角
(コラム毎の最大傾斜角度を集計)

表 6. 4 採用したすべり面せん断強度

項目	単位	採用値
粘着力 C	kN/m^2	15.97
内部摩擦角 ϕ	$^{\circ}$	10.0059
$\tan \phi$	—	0.17643

6.2.3 解析結果

(1) 解析結果概要

最初に地下水排除工による水位低下効果を見積もるため、初期水位を 1m 毎に低下させた条件でトライアル計算を行った。この計算により目標安全率到達可能な水位低下量の目処をつけ、さらに 0.1m 毎の水位低下により必要水位低下量を 0.1m 単位で求めた。その結果、3.2m の水位低下で目標安全率 ($p \cdot F_s = 1.12$) に達する結果となった(図 6. 1)。集水井工配置は地下水賦存ゾーンを中心に計画しており、必ずしもブロック全体で水位低下効果が得られるわけではないが、地下水賦存ゾーンの高い透水性を考慮すれば、集水井工にて目標安全率到達可能と判断できる。

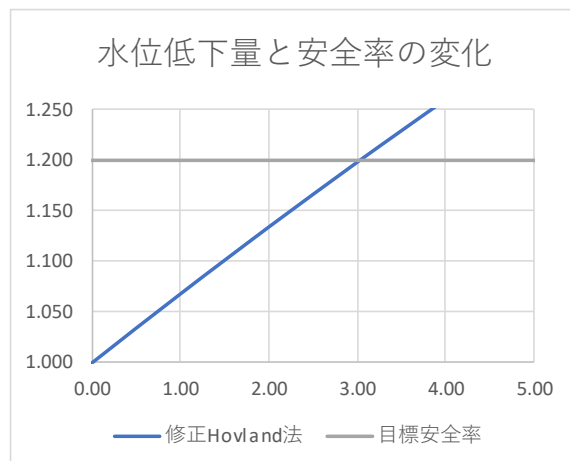
なお、2 次元解析による必要水位低下量を試算した場合、主測線で-4.0m、副測線 L で-5.3m となり、3 次元解析に比べ大きな水位低下が必要な結果となった。

表 6. 5 3 次元安定解析概要

項 目		条 件	備 考
計算方法		3次元解析	
計算式		修正Hovland法	
安全率	初期安全率 F_{s0}	1.000	地すべり活動収束
	目標安全率 $p \cdot F_s$	1.120	保全対象 一般河川
地層条件	単位体積重量 $\gamma_t(\text{kN/m}^3)$	18.00	地すべり解析の一般値
すべり面強度	設定方法	逆算	
	粘着力 $C(\text{kN/m}^2)$	15.97	平均層厚より推定
	内部摩擦角 $\phi(^{\circ})$	10.0059	
	$\tan \phi$	0.176433	
3Dモデル	地表	UAV LIDER地形データ	
	すべり面	ポーリング調査結果からの推定すべり面	
	地下水位	観測開始から令和5年8月1日間の最高水位	
	メッシュサイズ	10m	
計算条件	安定計算1	初期水位	F_{s0} 条件
	安定計算2	必要水位低下量	初期水位-3.2m
	トライアル計算	初期水位より-5mまで1m毎に計算	

参考： 2 次元解析 主測線 必要水位低下量 初期水位-4.0m
2 次元解析 副測線 L 必要水位低下量 初期水位-5.3m

(2) 必要水位水位低下量トライアル計算結果



初期安全率 $Fs0=$ 1.00

目標安全率 $p \cdot Fs =$ 1.12

水位低下量(m)	修正Hovland法
0.00	0.999
1.00	1.039
2.00	1.077
3.00	1.114
4.00	1.149
5.00	1.184
3.20	1.121

図 6. 3 水位低下量と安全率の関係

6.3 集水井工配置計画

すべり面形状は横断方向の非対称性が顕著で、左(西)側部側が深くなっていることが明らかとなった。また地下水賦存は、地すべり斜面上部から中部にかけて豊富であったが、その分布形態はすべり面の横断方向非対称性と良く関連しており、とくに中部では西側に大きく偏っている(図 6. 4 の赤着色エリア)。また、このエリアでは深層地下水の浸入も確認されている。この地下水帯が高い透水性を有し、地すべり安定度に大きく影響していると考えられることから、大きな地下水排除効果が期待できる。よってこのエリアに集中的に集水井工を配置する計画とした。

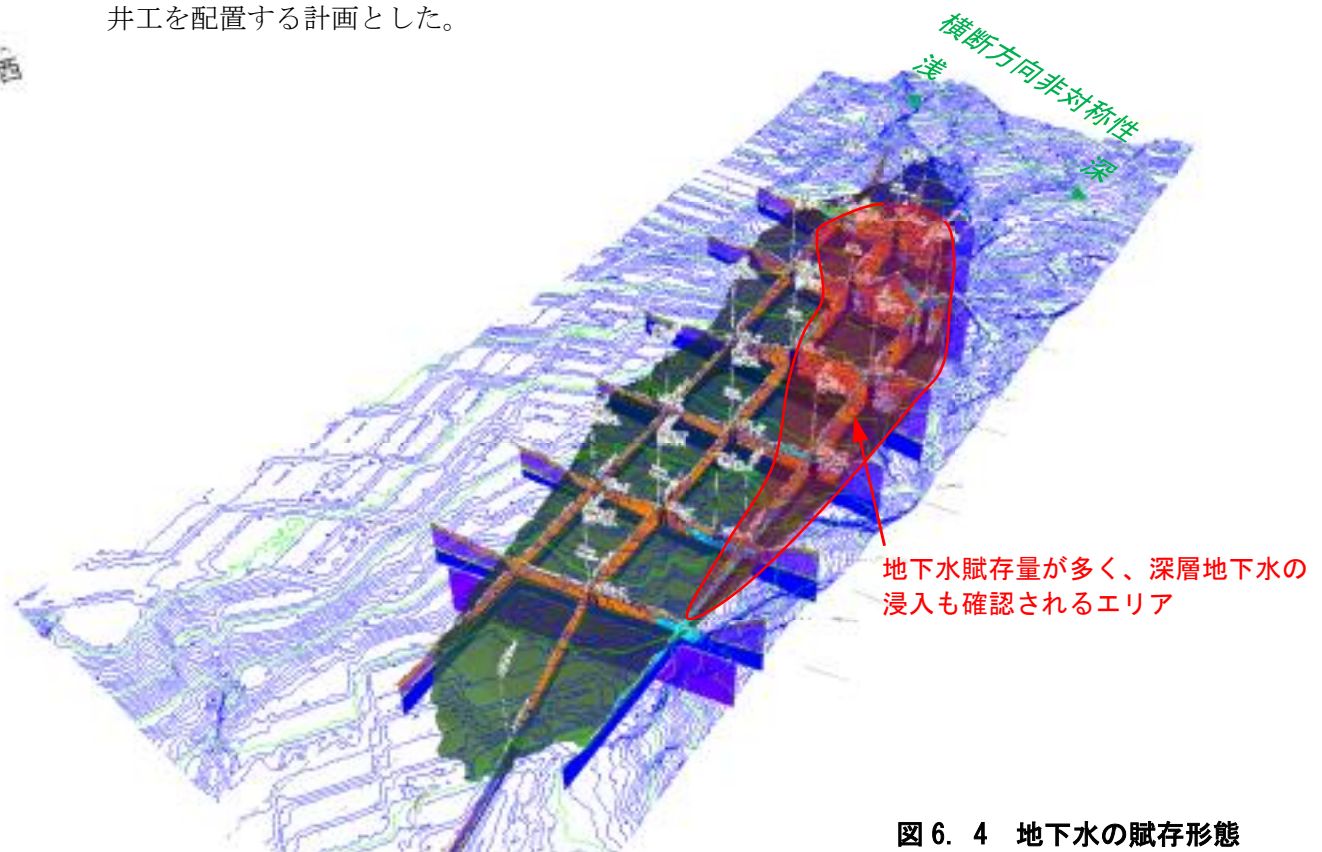


図 6. 4 地下水の賦存形態

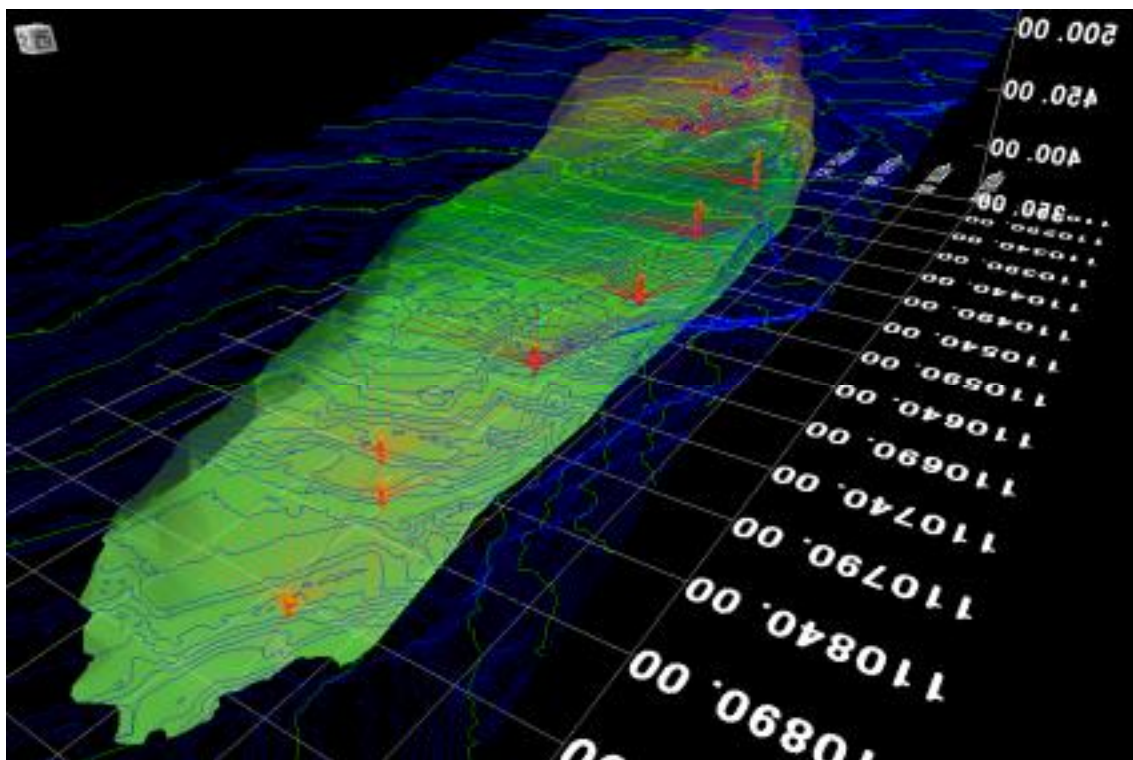


図 6. 5 3次元地質モデル上での集水井工配置検討結果(上空からの俯瞰)

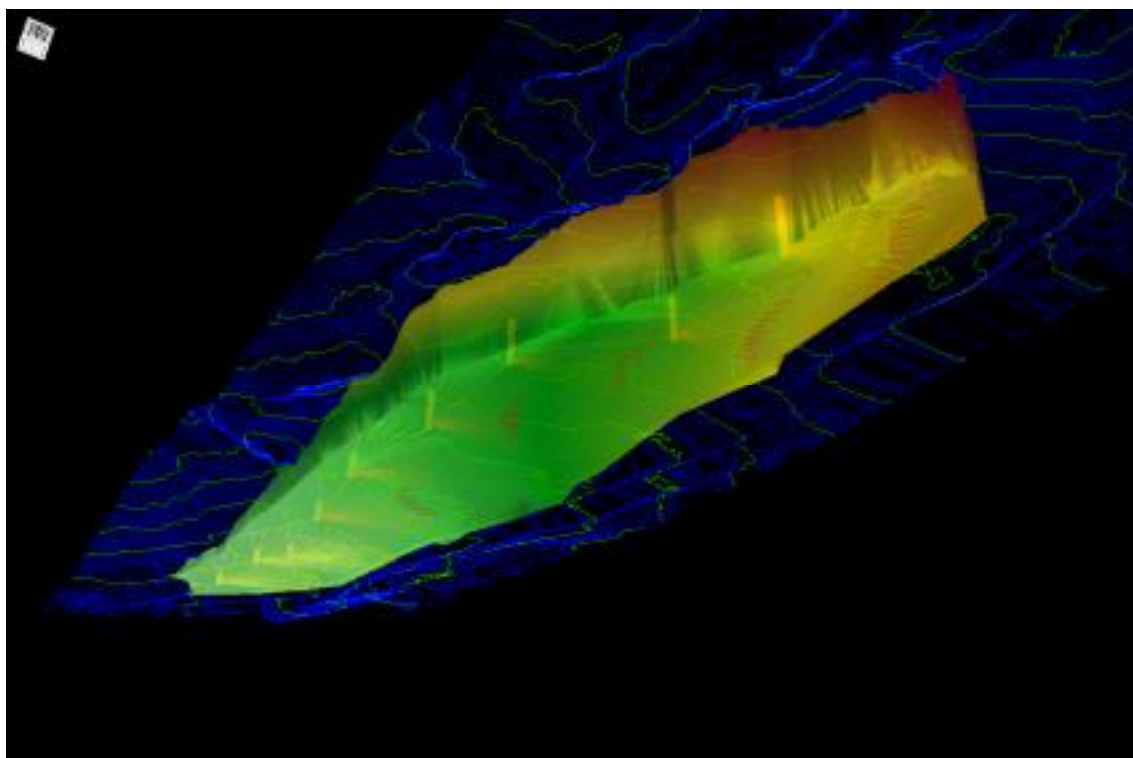


図 6. 6 3次元地質モデル上での集水井工配置検討結果(地下からの俯瞰)

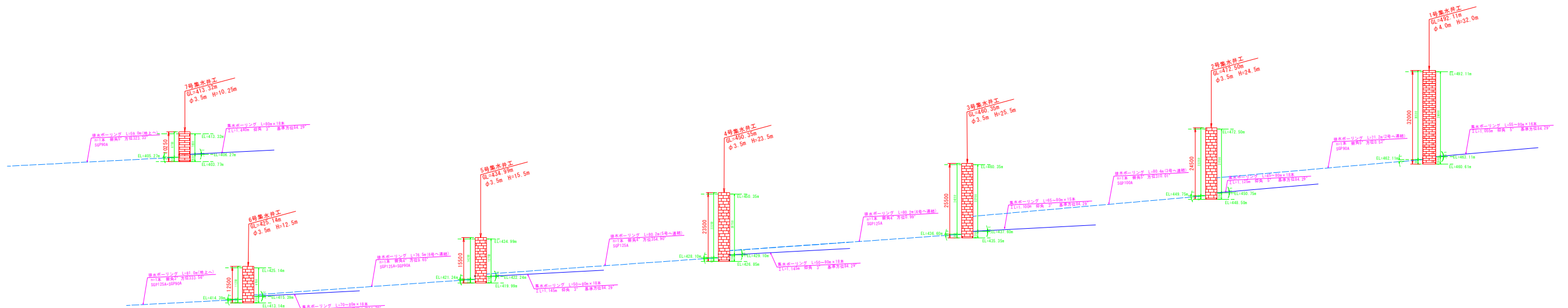


図 6. 7 集水井連結関係図(2次元) (S=1:1,500)

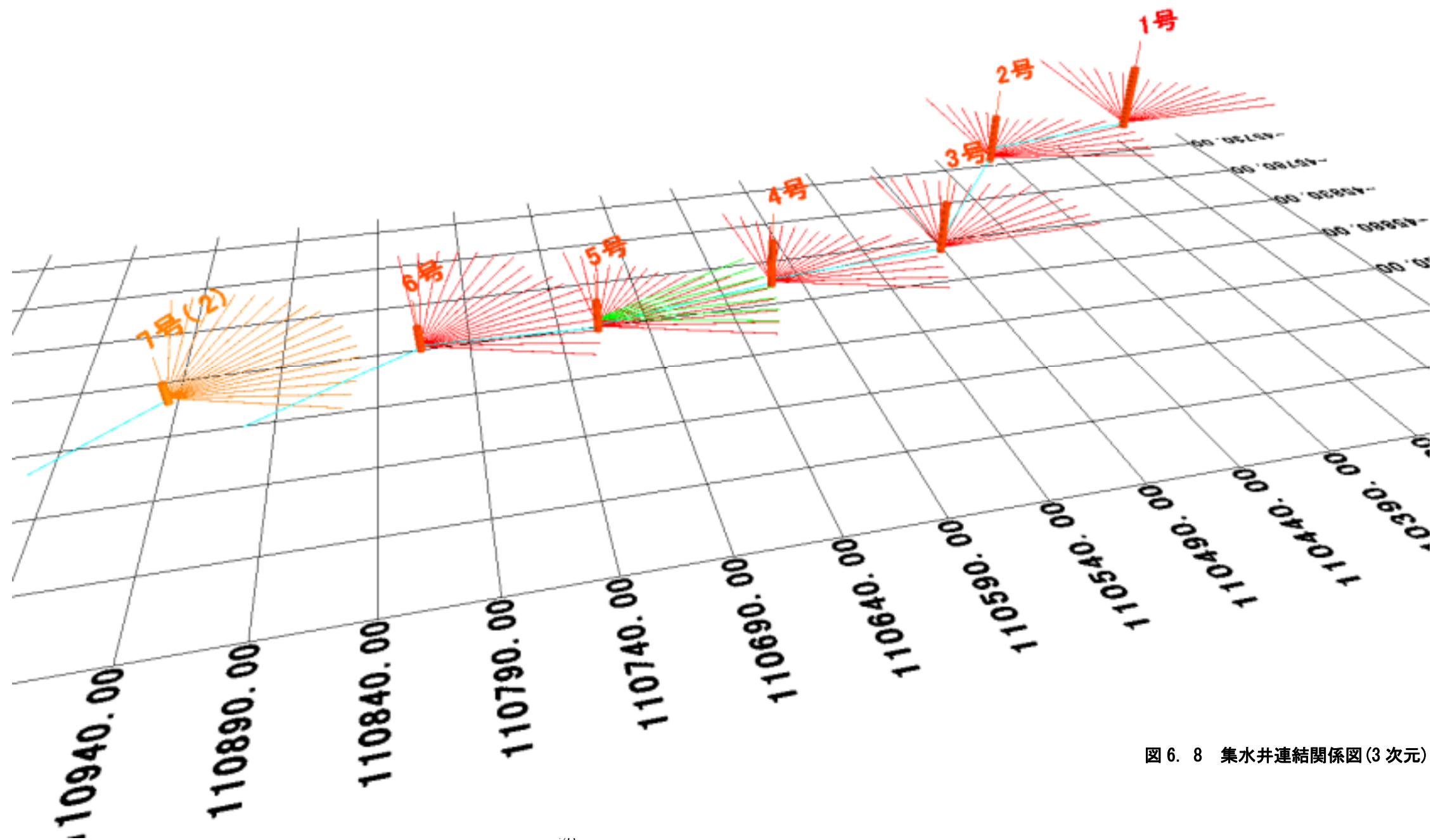
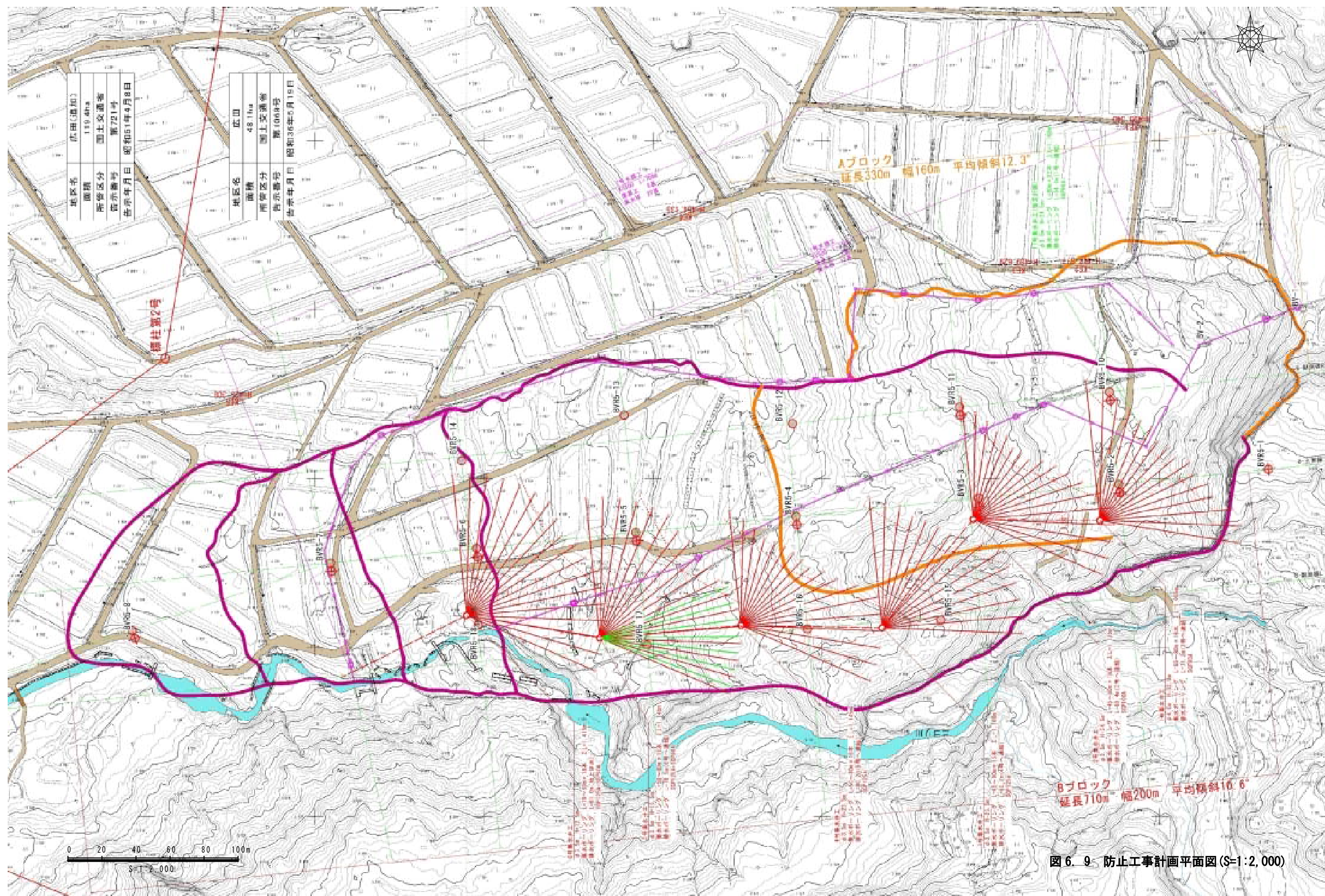


図 6. 8 集水井連結関係図(3次元)

表 6. 6 対策工計画

工種	番号	仕様		数量	単位	備考
集水井工	1号	井	φ 4.0m ・ H=32.0m	1	基	2号へ連結排水
		集	L=55～80m×16本 Σ L=1,055m			
		排	SGP90A L=71.2m			
	2号	井	φ 3.5m ・ H=24.5m	1	基	3号へ連結排水
		集	L=45～80m×18本 Σ L=1,125m			
		排	SGP100A L=80.4m			
	3号	井	φ 3.5m ・ H=25.5m	1	基	4号へ連結排水
		集	L=65～80m×15本 Σ L=1,100m			
		排	SGP125A L=80.2m			
	4号	井	φ 3.5m ・ H=23.5m	1	基	5号へ連結排水
		集	L=50～80m×18本 Σ L=1,145m			
		排	SGP125A L=80.2m			
	5号	井	φ 3.5m ・ H=15.5m	1	基	6号へ連結排水
		集	L=50～80m×18本 Σ L=1,145m			
		排	SGP125A+SGP90A L=76.5m			
	6号	井	φ 3.5m ・ H=12.5m	1	基	地上排水
		集	L=70～80m×18本 Σ L=1,415m			
		排	SGP125A+SGP90A L=81.0m			
	7号	井	φ 3.5m ・ H=10.25m	1	基	地上排水
		集	L=80m×18本 Σ L=1,440m			
		排	SGP90A L=59.0m			
	計			7	基	
横孔ボーリング工	計画なし			0	m	
水路工	1号	PU500		550	m	
		落差工		7	基	
		集水枘		12	基	
	2号	PU500		700	m	
		落差工		8	基	
		集水枘		20	基	
	計	PU500		1,250	m	
		落差工		15	基	
		集水枘		32	基	



広田地区 災関Bブロック 地質縦断面図

S=1:1,000 (A0)
S=1:2,000 (A2)

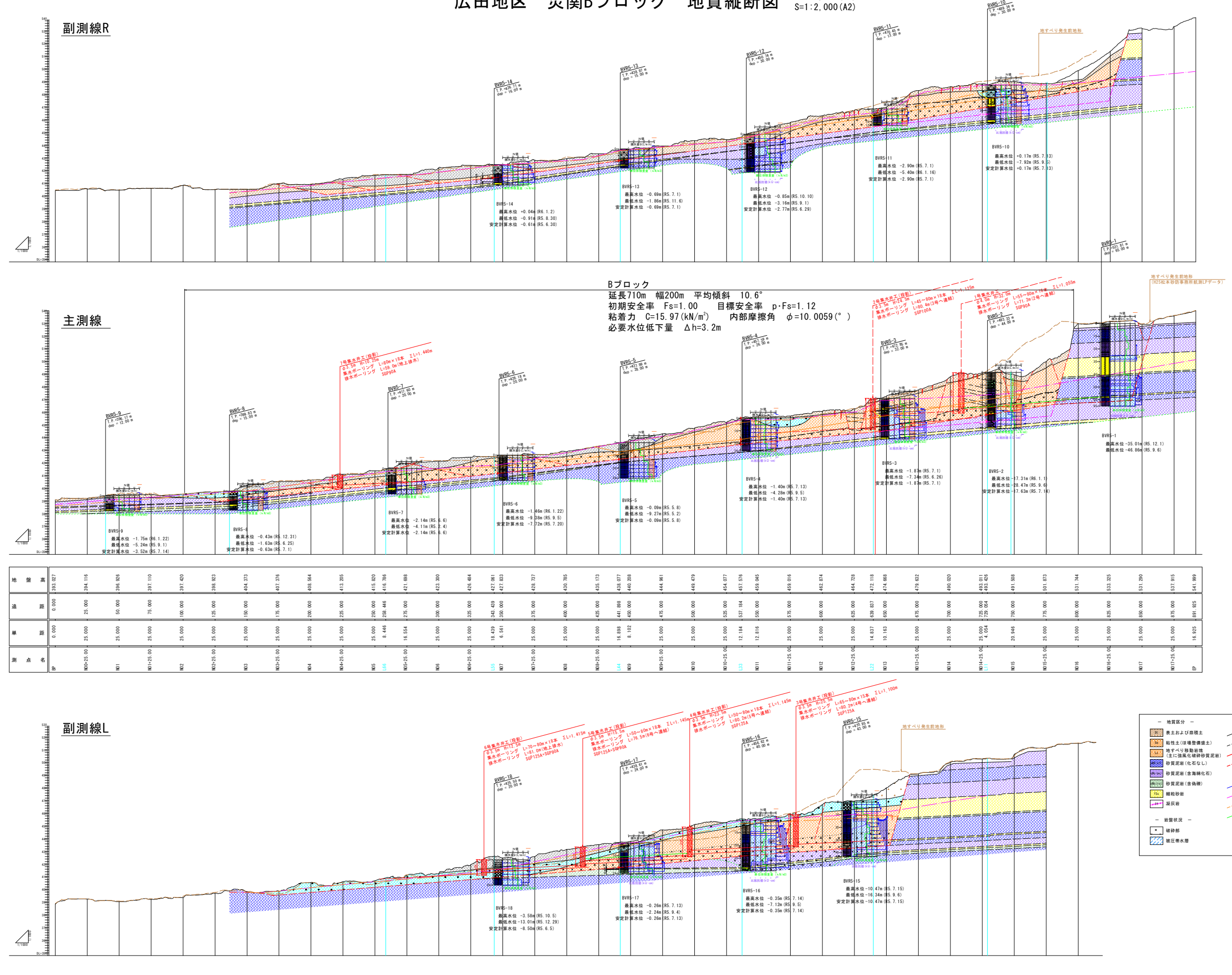
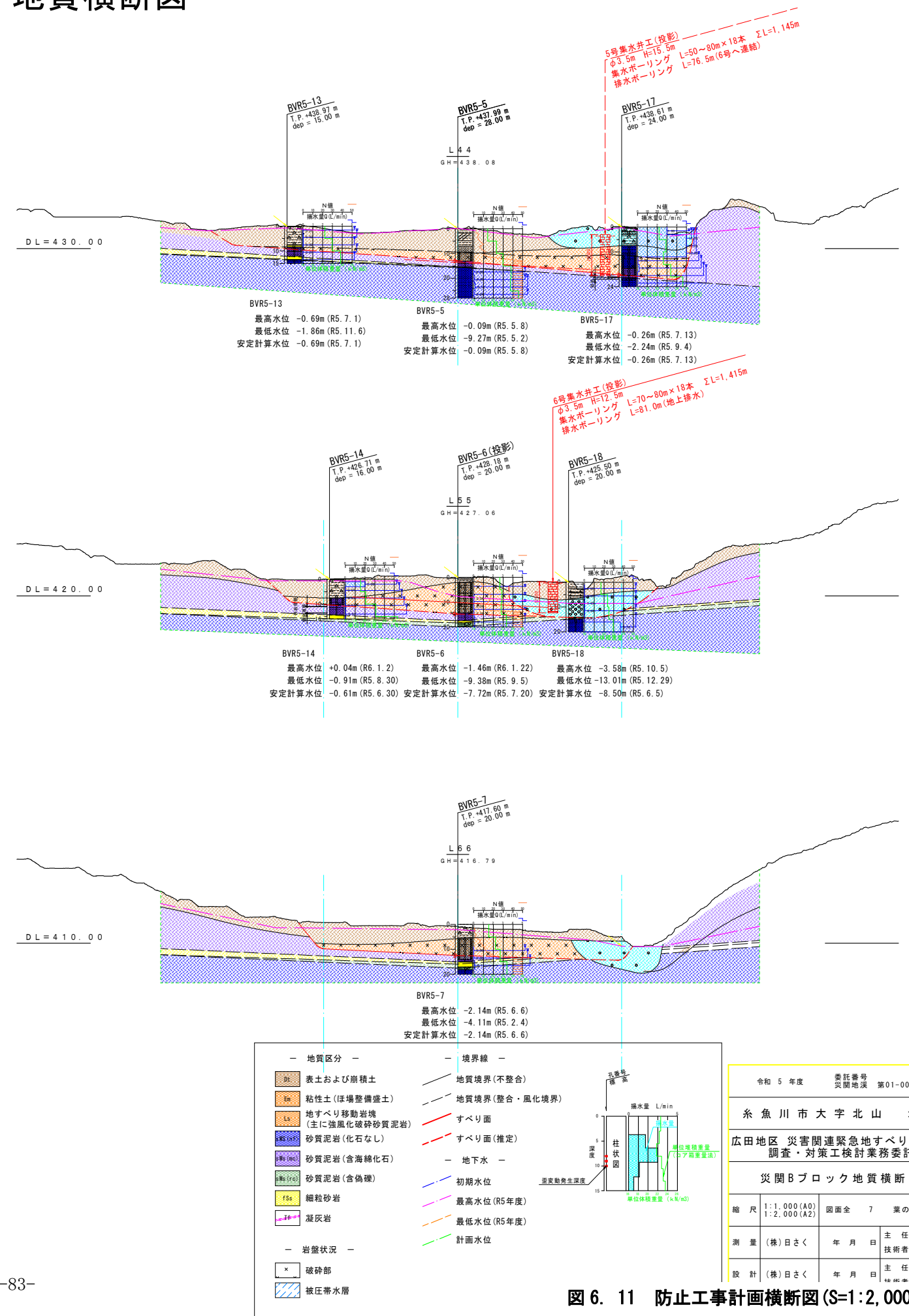


図 6. 10 防止工事計画縦断面図(S=1:3,000)

S=1:1,000 (A0)
S=1:2,000 (A2)



-83-

7.今後の課題

(1)Bブロックの防止工事

Bブロックに対して計画された地すべり防止工事は令和5年11月より着手され、積雪期間の中断を経た令和6年4月より本格的に施工が進められた。現在、その施工は末期に差し掛かっており、間もなく工事完了の予定である。

抜本的な地すべり対策として計画された集水井工は排水状況が良好で、施工の進捗とともに地下水位観測でもその効果が表れている。とくに深層地下水が確認されている地すべり上部の中央～左側部では、必要水位低下量(3.2m)を大きく上回る10m以上の水位低下が現れている(図7.1 集水井工による地下水位低下状況の例(BVR5-3)図7.1)。今後は、積雪期～融雪期の地下水位状況と地すべり活動状況に注意し、工事効果を評価する必要がある。

また安定解析では、地すべりブロック全体で一律に地下水位が低下する条件で必要水位低下量を設定している。実際の水位低下状況は場所により異なることから、融雪期を経た観測データをもとに集水井施工後の地下水位状況を再設定し、安全率を評価する必要がある。

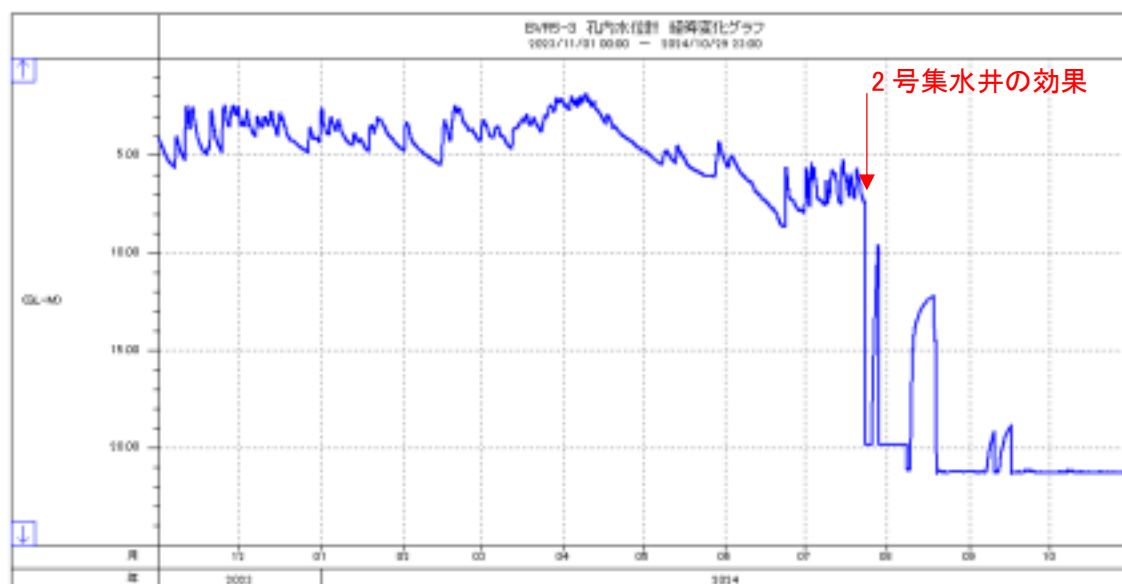


図7.1 集水井工による地下水位低下状況の例(BVR5-3)

(2)Aブロックの防止工事

地すべり規模が大きく、より大きな変位を生じたBブロックを優先して対策を進めてきたため、Aブロックに対する直接的な防止工事は施工されていない。AブロックとBブロックは斜面の一部を共有しており、互いに影響を及ぼしあう関係にあることから、Bブロックの長期的な安定のためには、Aブロックの安定化も欠かせない。今後はAブロックに対する抜本的な地すべり対策を順次進めていく必要がある。

(3)深層地下水の供給源・供給経路と地すべりへの影響

本地すべりでは深層地下水(高塩分濃度地下水)の存在が確認された。この深層地下水が地すべりに対してどのようなメカニズムで影響を与えているのか、また高塩分濃度地下水の

起源や供給経路についてはいまだ不明確である。高塩分濃度地下水が関与している大規模地すべりの存在は渡部直喜ほか(2009)などでも指摘されており、本地すべりもこれに類するものと考えられる。集水井の効果により地すべりは安定化すると考えられるが、引き続き地すべりと高塩分濃度地下水の関係を明らかにしていきたい。

〈2023 年広田地すべりに関する参考資料〉

- ・渡部直喜ほか(2009)：新潟地域の大規模地すべりと異常高圧熱水系，地学雑誌，Vol. 118，No. 3，pp. 543-563.
- ・宮沢健児ほか(2024)：2023 年融雪期に発生したキャップロック型地すべりの事例，第 62 回日本地すべり学会研究発表会講演集
- ・竹内均(2023)：2023 年融雪期に発生した糸魚川市広田地区の大規模地すべり，2023 年最近の地すべり・土石流災害調査報告会
- ・沼澤輝久ほか(2024)：広田地すべりにおける能登半島地震時の観測データとその考察，日本地すべり学会 新潟支部 第 49 回地すべりシンポジウム
- ・沼澤輝久ほか(2024)：上越地域における令和 6 年能登半島地震の地すべり観測事例，全地連「技術フォーラム 2024」新潟 技術発表論文
- ・竹内均ほか(2024)：新潟県糸魚川市広田地すべりの発生要因，第 63 回日本地すべり学会研究発表会講演集，
- ・古谷元ほか(2024)：新潟県糸魚川市広田地すべりに出現する高塩分濃度地下水の起源，第 63 回日本地すべり学会研究発表会講演集
- ・沼澤輝久ほか(2024)：2024 年能登半島地震に伴う地下水の挙動 -新潟県糸魚川市広田地すべりの例-，第 63 回日本地すべり学会研究発表会講演集

本資料は、新潟県糸魚川地域振興局発注の下記業務委託成果を基に作成した。

「令和 5 年度 災関地溪 第 0001-00-00-91 号

広田地区 災害関連緊急地すべり(治水) 調査・対策工検討業務委託」

執筆：株式会社 日さく

竹内 均