



(社)日本地すべり学会新潟支部
第28回地すべり現地検討会資料
2000.9.13～9.14



地獄山 地すべり

大規模岩盤地すべりにおける融雪期の特徴的な滑動について

- ◆主催／(社)日本地すべり学会新潟支部
- ◆共催／(社)地盤工学会北陸支部
- ◆後援／新 潟 県
(社)新潟県地質調査業協会
(社)地すべり対策技術協会新潟支部

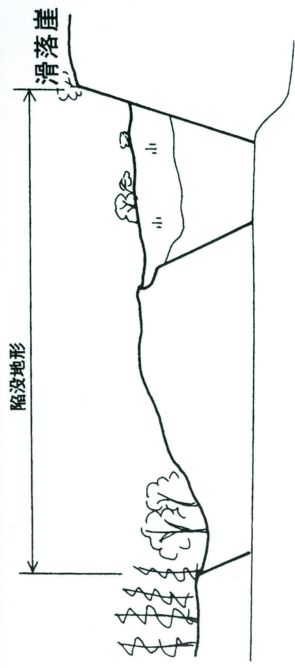


写真.1 頭部排土工により現れた陥没帯上下流壁



写真.2 末端部地獄沢川にみられる崩壊域

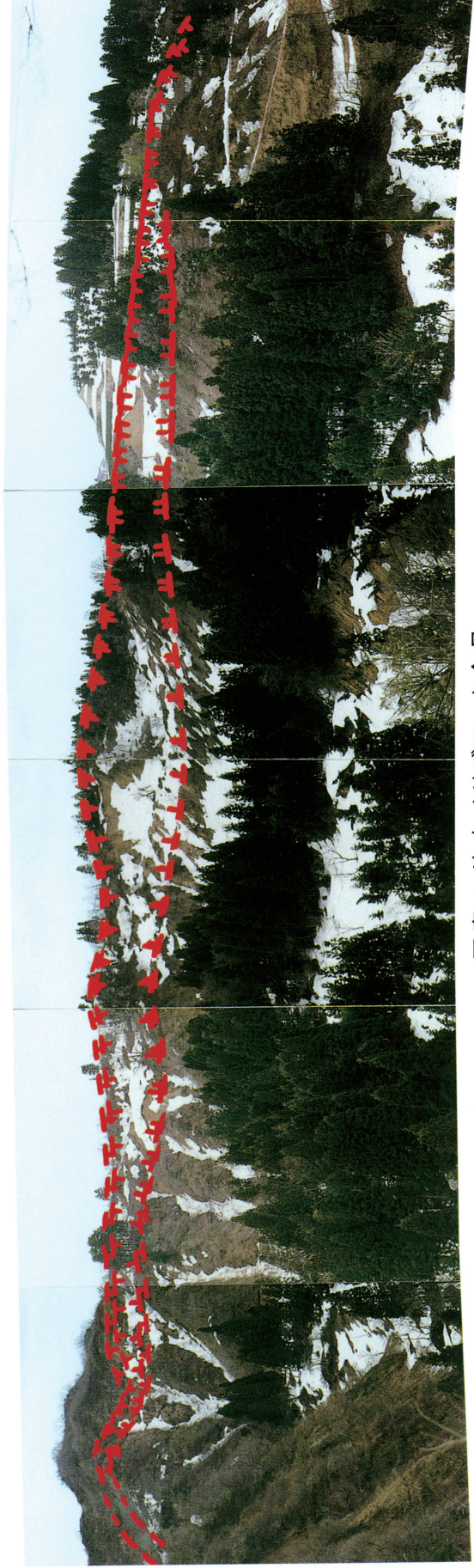


写真.3 地すべりブロック全景

目次

口絵写真

1. 概要	1
1.1 調査地概要	1
1.1.1 位置	1
1.1.2 地形概要	2
1.1.3 地質概要	3
1.1.4 地すべり概要	4
1.1.5 年次別調査および工事概要	10
1.1.6 既往調査結果の要約	12
2. 地すべり機構	13
2.1 地下水の変動特性	13
2.1.1 陥没帯内地下水位の経年変動	13
2.1.2 日融雪量の推定および実効融雪降水量の算定	13
2.1.3 陥没帯内水位変動と実効融雪降水量	14
2.1.4 地下水変動特性のまとめ	16
2.2 地すべりの移動特性	17
2.2.1 標柱移動量観測結果	17
2.2.2 地中変位計観測結果	17
2.2.3 移動量を決定する要因	18
2.2.3 地すべり移動特性のまとめ	19
3. 対策工の設計	20
3.1 全体工事計画	20
3.1.1 基本方針	20
3.1.2 全体工事計画の流れ	24
3.2 頭部排土工	27
3.3 末端盛土工	28
3.4 地下水排除工	29

参考文献

1. 概要

1. 1 調査地概要

1. 1. 1 位置

当地すべりは、十日町市街地の北東方向約 7.0km に位置し、新水集落の後背山地の北側斜面にあたる。平成元年 9 月 25 日に地すべり指定地の指定を受け、指定地面積は 42.2ha を有する。当調査地の周辺には、「学校裏地すべり地」「新水地すべり地」「地獄沢地すべり地」（いずれも建設省所管）の地すべり指定地が存在しており、「地獄山地すべり地」は、上記の建設省所管の「地獄沢地すべり地」の南側に隣接している。

水系は、信濃川支流飛渡川の支溪「地獄沢川」であり、末端部（指定地としては「地獄沢地すべり地」）を地獄沢川の左岸側溪岸部として位置している。

保全対象としては、地内に存在する林地・耕地が主体であるが、地すべり規模が大きいことから地すべりが発生した場合には、地獄沢川の右岸側に位置する国道 252 号線および土石流による下流側集落への被害も想定される。

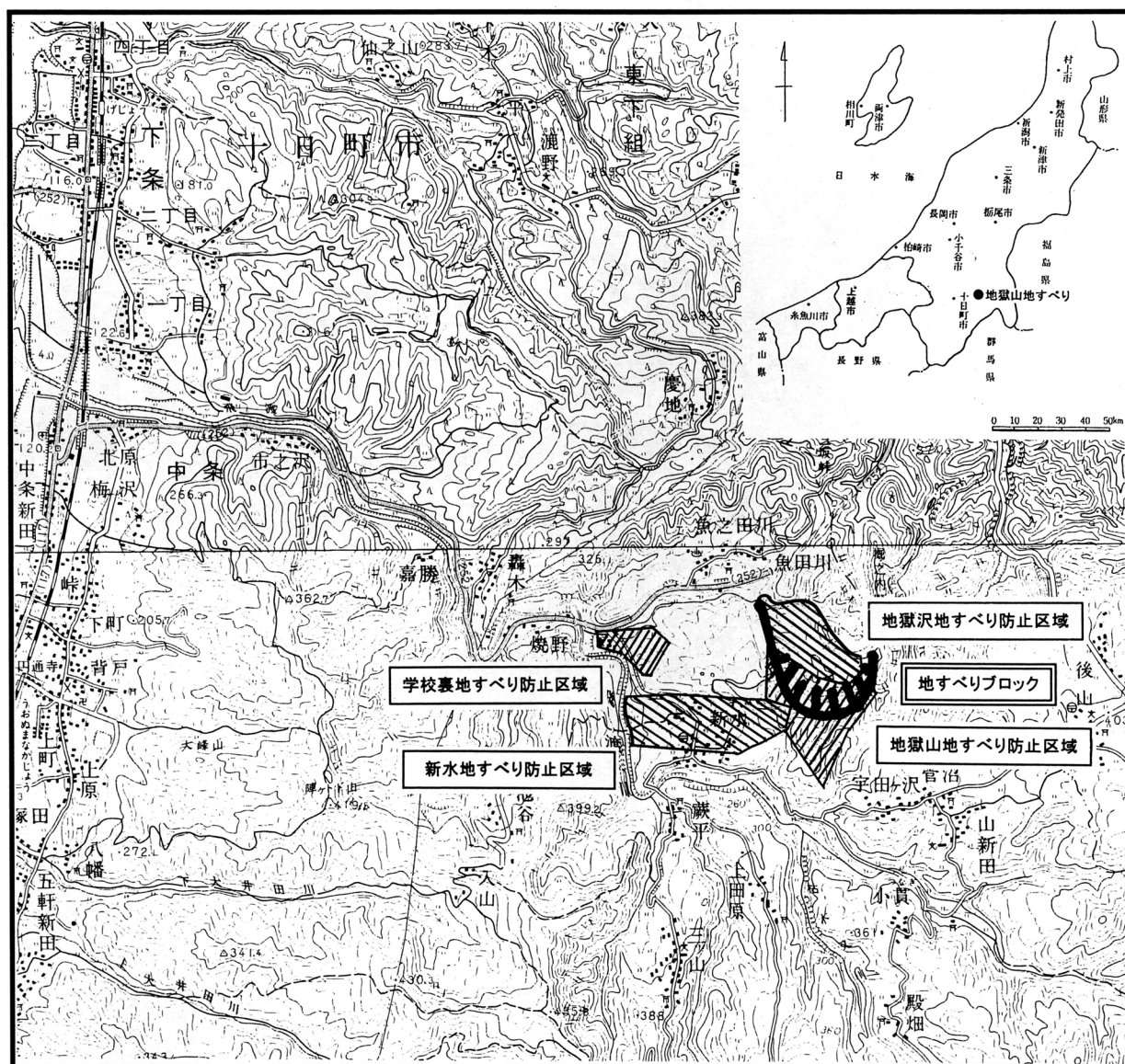


図1. 1 調査位置図 S=1:50,000

小千谷・十日町

1. 1. 2 地形概要

当地区一帯は、標高 400 ～ 500m 前後の山地からなるが、河川溪流の浸食が著しく、地形開析はかなり進行している。当地すべりが存在している山地も開析を受け、やせ尾根状を呈している。

周辺には新水集落の北縁から東縁にかけて、信濃川支流飛渡川の段丘面が計 4 段形成され、新水集落はこの内の 2 段目の段丘面に発達している。

地獄山／地獄沢地すべり地は、4 段目の段丘面よりさらに上方の斜面に発達しているが、地すべり地内に段丘礫と判断される $\phi=50 \sim 100\text{mm}$ の玉石層が局部的に残留していること、地すべり地の頭部にあたる標高 350 ～ 370m に平坦面がやや広範囲にわたって認められることから、さらに上位に段丘面が存在していると判断できる。



図1. 2 調査地空中写真 (H7撮影)

1. 1. 3 地質概要

地獄山地すべり地の周辺には、新第三紀から第四紀にかけて新潟堆積盆地に堆積した一連の地層のほぼ最上部を占める魚沼層が広く分布する。

魚沼層は陸成から海成までの複雑な層相構造をその特徴とし、最大層厚は3,000mにも及ぶ。

地すべり地内には、魚沼層中部の礫シルト相、砂シルト相の2層が分布しているが、ボーリングコアからは礫シルト相が優勢である。また、ボーリングコアのシルト層では、亜炭片の挟在が認められている。

礫シルト相は、主として礫層とシルト砂互層の繰り返しから構成される。

礫層は、5～10mで塊状の中礫層および小礫層を含む斜交成層砂礫層から構成される。

シルト砂互層は、通常0.5～3.0mの層厚を呈するが、砂シルト相との層界に近づくにつれて厚くなる(5～10m)。

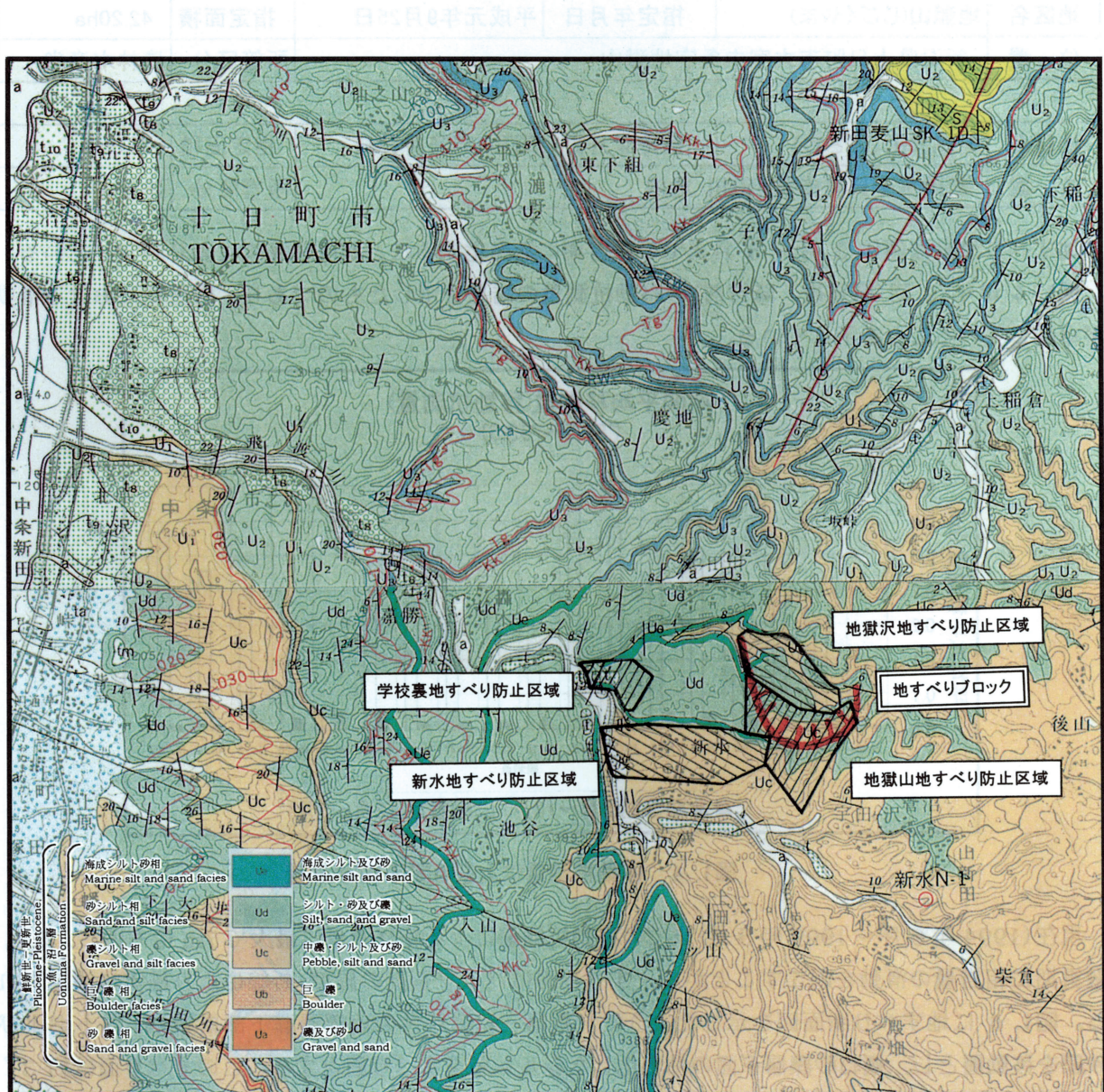


図1. 3 調査地周辺地質図< S = 1/50,000 >

小千谷・十日町

1. 1. 4 地すべり概要

地獄山／地獄沢地すべりは新潟県十日町市北東約 7.0km に位置する。標高約 400m の尾根を頭部（陥没帯）とする斜面長 750m，最大すべり面深さ 120m を有する岩盤型地すべりで，明瞭な陥没帯を有する融雪期卓越の再活動型の地すべりである。

この地すべりは林野庁所管指定地の尾根に頭部にもち，建設省所管指定地の地獄沢川溪岸を末端部とする地すべり，つまり地すべり防止区域に分割して指定された「地獄山地すべり」，「地獄沢地すべり」はそれぞれ単独に活動する地すべりではなく，それらを一体化した大規模地すべりであることが現在までの調査によって明らかとなっている。

地獄山／地獄沢地すべり地の指定地概要を表1. 1 に記すとともに，次ページ図1. 5 に平面図を示す。

表1. 1 地すべり防止区域指定地概要

地区名	地獄山(じごくやま)	指定年月日	平成元年9月25日	指定面積	42.20ha
位置	新潟県十日町市大字中条字地獄山			所管区分	農林水産省
地区名	地獄沢(じごくさわ)	指定年月日	昭和36年5月18日	指定面積	36.0ha
位置	新潟県十日町市魚ノ田川 地内			所管区分	建設省

地すべり滑動は例年 3 月～ 5 月までの融雪期に活発化することが既往調査により判明している。

図1. 4 は年 2 回（融雪後，降雪前）の移動杭測量の結果を示したものであり，融雪期における滑動が卓越していることを示している。

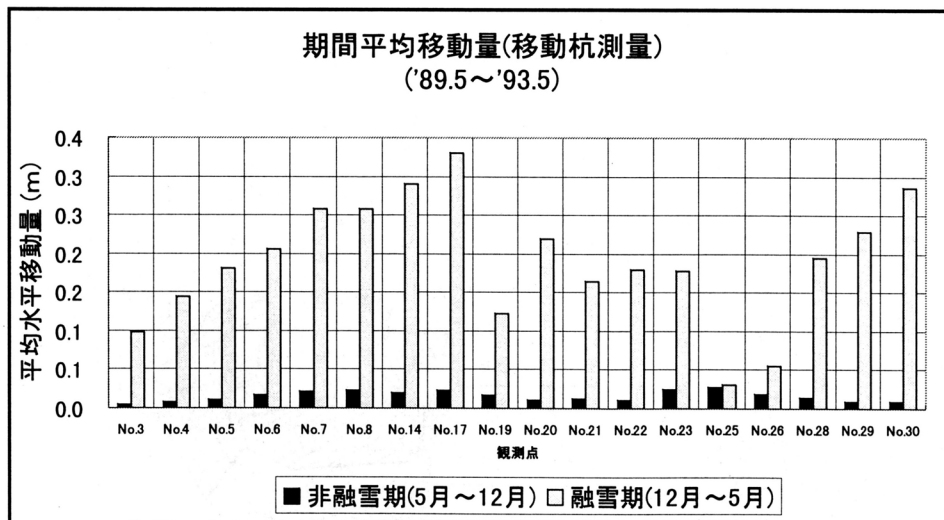


図1. 4 移動杭測量による期間平均移動量

現在(1994年6月～1999年5月)までの移動杭測量による総移動量は最大で7mにも達し，また，融雪期に相当量の滑動を起こすことから，すべり面はパイプ歪計の累積・断線により確実に決定される。図1. 6 に地すべり断面図を示したように，新第三紀鮮新世の魚沼層群下部累層のシルトおよび砂礫を移動層とし，概ね砂礫層下面の粘土化したシルト層をすべり面とする。このすべり面は約 3° の傾斜を持ち，ほぼ直線状を呈することが明らかとなっている。

地すべり地内では、①明瞭な陥没帯が特徴的である頭部 ②比較的顕著な現象が少ない中腹部 ③崩壊域を形成する末端部 といった状況であり、以下にこれらの詳細を記す。

<頭部～中腹部：「地獄山地すべり地」>

融雪期直後の現地踏査により、例年新規の段差が認められる。

主滑落崖のみならず、陥没帯下流壁の山落ち亀裂の連続性も認められており、大規模陥没帯地すべりであることが確定的である。

頭部滑落崖(上流壁)は、堀之内町方向の尾根沿いに約 600m にわたり連続しており、一部では尾根を挟んで逆斜面での発生が認められ、尾根地形自体が地すべり活動の規制条件となっていないことがうかがわれる。

中腹部は、地すべり地を横断している農道(左側壁位置)において例年、段差や開口等の変状が認められるが、その他では顕著な変状は乏しい。これは中腹部でのすべり面深度が 50m 程度と深いため、水田や地内を通る農道およびスギ林を乗せたまま一体となって滑動しているためと思われる。

<末端部：「地獄沢地すべり地」>

末端部は、地獄沢川が想定されており、押し出し現象は溪岸崩壊として認められている。

近年は、この溪岸崩壊により押し出された土砂が泥流となり、踏査が困難な状況も認められている。

また、末端付近での水田での盛り上がり、左岸側溪流での溪岸崩壊およびそれに伴う水田畦畔部の崩壊が認められている。この現象は近年特に顕著となっており、地獄山地すべりの活発化により現れた地表面象と判断される。

表1. 2 地すべりブロック概要表

	規模(m)	斜面長	700m	幅	600m	深さ	max120m	すべり面傾斜	約 3°	
	地すべり層区分	移動層	第四紀魚沼層		基岩層	第四紀魚沼層				
全 体 ブ ロ ッ ク	地すべり 規制条件/状況	すべり面	岩盤型すべりを現す椅子形を呈し、軟質凝灰岩を挟む場合が多い。							
		冠頭部	標高 390m 程度の尾根部を切る形態で主滑落崖を形成し、直下には当地すべりの特徴でもある大規模な陥没帯が形成されている。							
		末端部	地獄沢川に面し、崩壊域を形成する。現時点では地獄沢川下へ潜り込み対岸の不動地に規制される形態が推定できる。							
		側壁	左側壁はシャープな面を成して無名沢へ消失する。右側壁は平成 11 年度に伸長し、開口キレツ～ 10cm 程度の段差を形成した。地獄沢川までは追跡不能。							

地獄山地すべり防止区域(農林水産省)

地獄沢地すべり防止区域(建設省)

砂防指定地

凡例

- 調査ポイント
- ✕ 移動杭
- 移動方向

至 堀之内町

国道252号線

至 十日町

図1.5 地すべり平面図(S=1:5,000)

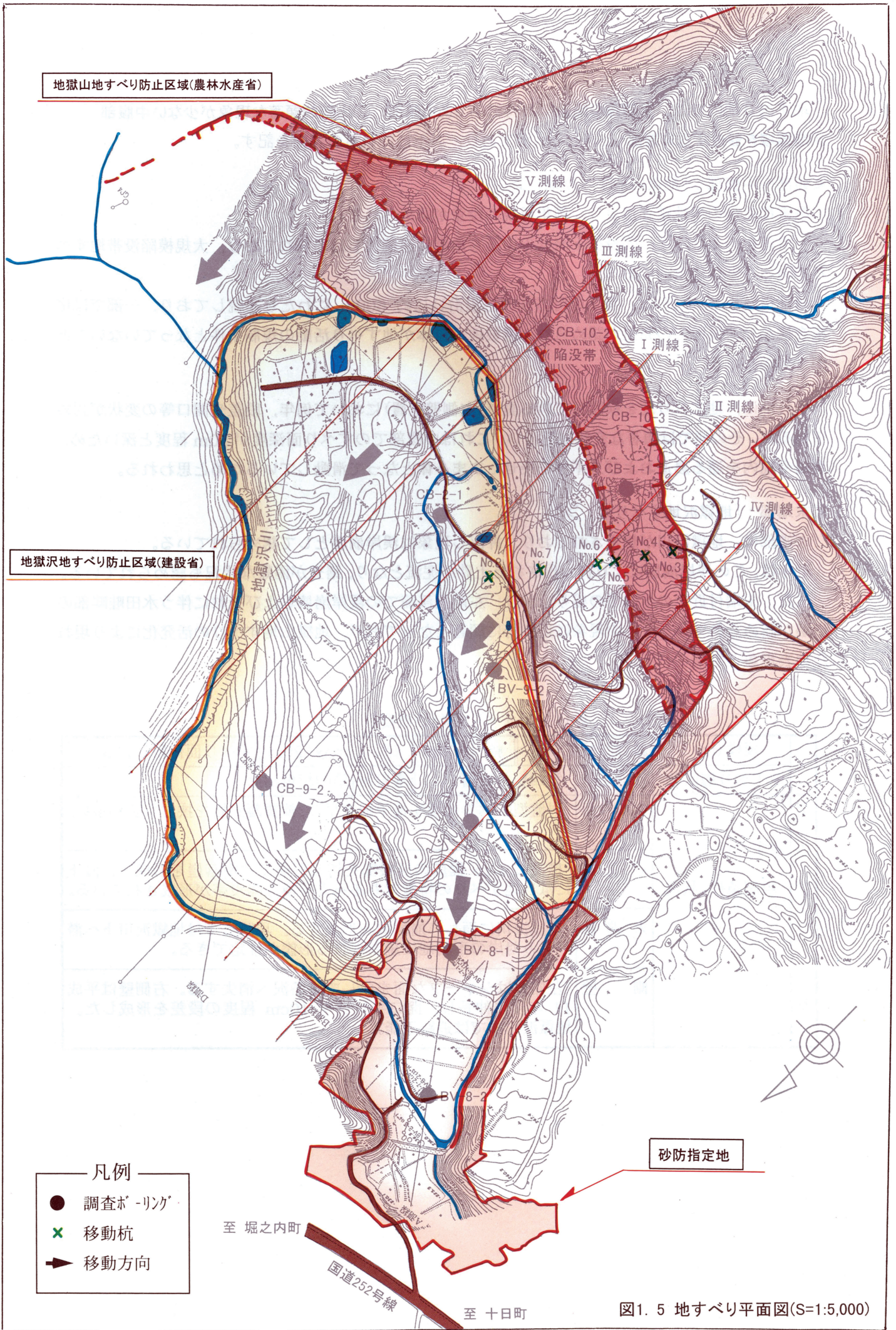
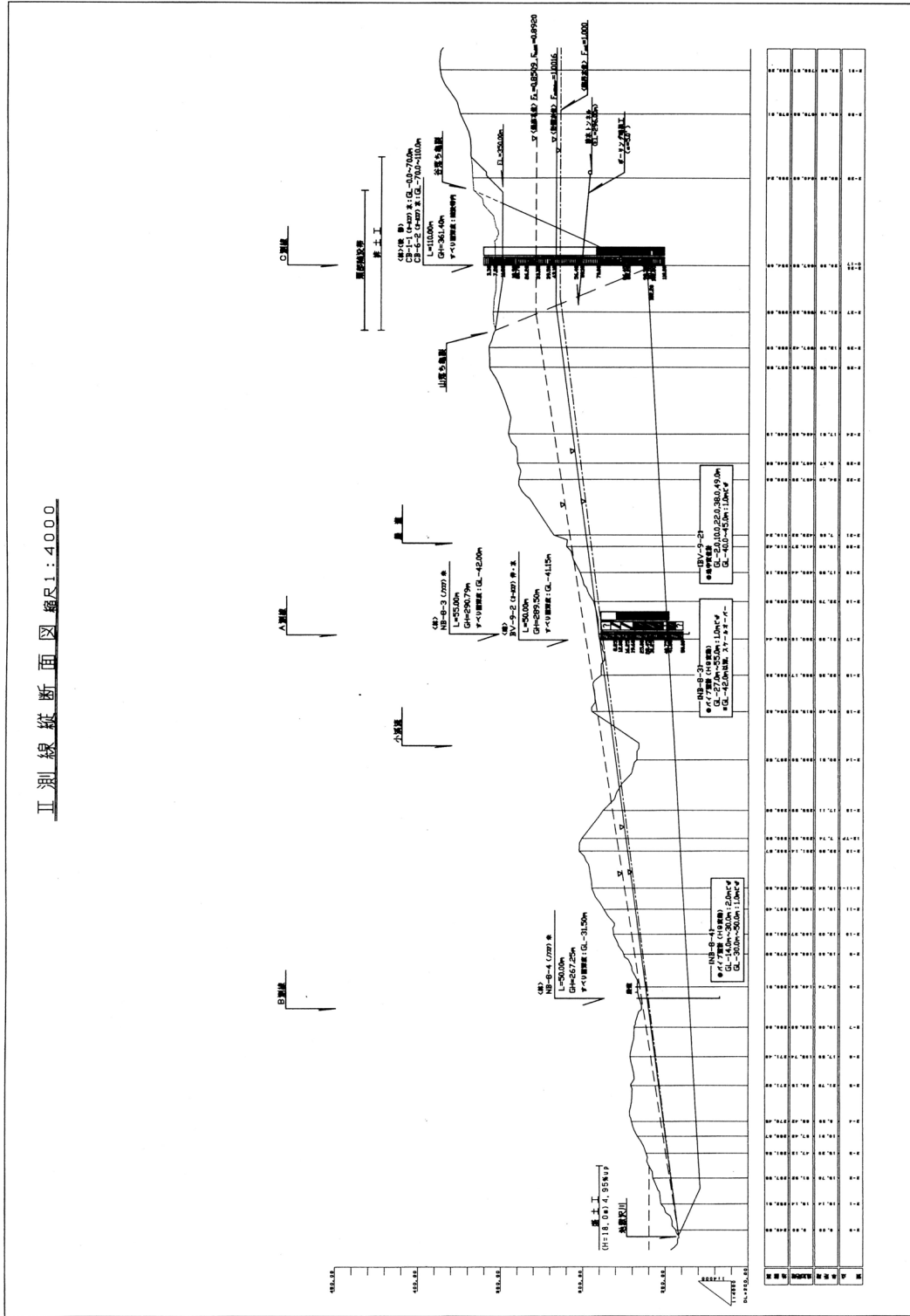


図1.6 (2) 地すべり断面図(Ⅱ測線:S=1:4,000)



1. 1. 5 年次別調査および工事概要

地獄山地すべり地は昭和 63 年度に基本計画樹立調査を実施し、翌平成元年度より調査の導入が図られ、現在に至っている。これまでに実施された調査および工事の概要を表1. 3 に示す。

表1. 3 地獄往調査-工事概要表(1/2)

調査年度	調査の概要	主な対策工事	主な調査種	備考
平成元年度	調査を開始した当時は、頭部滑落層の存在が確認されていたが、末端部の現象が認められず、(地すべり活動が発生していることは確実であるものの)その位置が不確定の状態での調査を導入している。 当初の解析としては、末端部は現在の中腹部の水田位置を想定しており、その上部斜面において20mから50mの調査ボーリングを実施した(一部動態観測計器設置)。それと並行して標柱移動量調査を頭部位置から水田位置下方斜面まで包括した範囲で実施している。 当地すべり活動は、融雪期のみ活動していることから、調査開始年度である平成元年度には、地すべり活動を捉えることはできなかった。	【林業】…集水井1基、ボーリング暗渠工540m、コンクリート谷止工1基 (小ブロック対応)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位観測および標柱移動量観測。 【土木】…調査ボーリング、歪み・水位・孔内傾斜計および標柱移動量観測(観測エリア拡大)。 【年平均水平移動量:0.106m】	調査および工事の発注者は小千谷林業事務所。 対象ブロックは小ブロックのみ。現在のよるな全体ブロックは想定されていない。【年平均水平移動量:0.106m】
平成2年度	融雪期の地すべり活動(頭部での変状により確認)により、前年度設置した動態観測計器(パイプ歪計)において変動が認められ、実際には変動は認められなかった。一方標柱移動量調査においては、各測点とも10cm程度の水平移動量が認められ、頭部での変状状況と照合される結果を得た。 このことから、平成元年度に設置した調査孔がすべり面より浮いていることが想定され、当初末端部として想定していた水田位置において、L=50mの調査ボーリングを実施した(CB-2-1号孔:孔内傾斜計設置)。さらに、標柱移動量調査の測点を地獄沢川まで範囲を拡大し、増設した。 なお、解析観測は、頭部陥没帯(頭部滑落層)に直交する方向に設定し、再測量を実施した。	【林業】…集水井1基 (小ブロック対応)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・孔内傾斜計および標柱移動量観測(観測エリア拡大)。 【年平均水平移動量:0.356m】	調査および工事の発注者は小千谷林業事務所。 調査結果により大規模地すべり(現在の全体ブロック)の存在が判明した。 小千谷林業事務所より十日町土木事務所へ今後の対応について打診が行われた。 【年平均水平移動量:0.135m】
平成3年度	融雪期の地すべり活動による地表の変状、標柱移動量調査および平成元年度からの動態観測計器の結果は、昨年度と同様顕著な活動が確認された。この状況と標柱移動量調査結果より、末端部位置は当初の想定とは異なり地獄沢川位置であり、斜面長約700mを有する大規模地すべりが存在していることが判明した。 当年度は、大規模すべり対応の調査孔を追加導入したが、既存の小ブロック対応位置に導入しており、平成2年度設置の主測線上には反映されていない。	【林業】…集水井1基、コンクリート谷止工1基 (小ブロック対応)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・孔内傾斜計・地中変位計移動量観測および標柱移動量観測。 【土木】…歪み・水位・孔内傾斜計・地中変位計および標柱移動量観測の継続観測。 【年平均水平移動量:0.269m】	調査および工事の発注者は小千谷林業事務所。 調査結果により大規模地すべり(現在の全体ブロック)の存在が判明した。 小千谷林業事務所より十日町土木事務所へ今後の対応について打診が行われた。 【年平均水平移動量:0.135m】
平成4,5年度	主に継続観測を主体とし、大規模地すべりの活動状況の把握に努めた。 また、パイプ歪計での活動/停止の状況と陥没帯内地下水水位の関係から、臨界水位(CB-1-1号孔:GL-46.60m)が判明し、これにより至り全体ブロックに対する対策工計画の基本方針樹立へ向けての足掛かりができ、後の応急対策としての頭部非土工の実施に至った。	【林業】…コンクリート谷止工2基 (大規模地すべりブロック外)	【林業】…歪み・水位・孔内傾斜計・地中変位計移動量観測の継続観測。 【土木】…踏査。 【年平均水平移動量:0.167m】	【年平均水平移動量:0.269m】
平成6年度	過去の標柱移動量調査の結果から、経年的かつ平面的な移動方向に一定性が認められ、地すべり移動方向と決定した。 この地すべり移動方向が、平成2年度～平成3年度に設定した主測線方向と異なることから、新たな主測線を設定し、なおかつブロック幅約700mを有することから、100m毎の副測線を設定した。 当年度は、新主測線上での調査孔の追加(1孔:NB-6-1号孔)を実施した。	【林業】…コンクリート谷止工1基 (大規模地すべりブロック外)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・孔内傾斜計・地中変位計移動量観測および標柱移動量観測。 【土木】…踏査。 【年平均水平移動量:0.269m】	調査に関する発注内容について林業事務所と土木事務所との協議(?)を実施した模様。 今年度より頭部非土工(全非土量約45万㎡)が着手された。 【年平均水平移動量:0.648m】
平成7年度	継続観測を実施した。 地中変位計と地下水水位の関係から、臨界水位(NB-6-1号孔:GL-1.00m)が判明した。 また、昨年度の林業事務所-土木事務所間の協議を受けて、当年度より土木事務所所管の地獄沢地すべり防止区域内での調査ボーリングが開始され、全体としての地すべり活動の機構解明へ向けて、より面的な解析が可能となった。	【林業】…切工(頭部非土工)開始 (大規模地すべりブロック対応)	【林業】…歪み・水位・地中変位計および標柱移動量観測の継続観測。 【土木】…調査ボーリング、歪み・水位・地中変位計、GPS観測。 【年平均水平移動量:0.648m】	調査に関する発注内容について林業事務所と土木事務所との協議(?)を実施した模様。 今年度より頭部非土工(全非土量約45万㎡)が着手された。 【年平均水平移動量:0.648m】

表1.3 地盤往調査・工事概要表(2/2)

調査年度	調査の概要	主な対策工事	主な調査種	備考
平成8年度	主測線および副測線(2本)上での調査ボーリング(5孔)の追加導入を実施した。なお、各調査孔位置でのすべり面深度の確定を基本方針とし、初年度にはパイプ歪計を設置した。→次年度以降のすべり面が決定された後に、コア採取および水位観測専用孔、地中変位計を設置する。	【林業】…法切工(頭部排土工) (大規模地すべりブロック対応)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・地中伸縮計および標柱移動量観測。 【土木】…調査ボーリング、歪み・水位・地中変位計、GPS観測。 【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・地中伸縮計および標柱移動量観測。 【土木】…調査ボーリング、歪み・水位・地中変位計、GPS観測。	【年平均水平移動量:1.794m】
平成9年度	平成8年度にパイプ歪計を設置した5箇所すべてにおいて変動が認められ、各位置でのすべり面深度が決定された。上記の5箇所内、主測線上2孔に対して水位観測専用孔の設置を実施し、さらにコア採取をしていない箇所に対してコアボーリングを実施した。	【林業】…切工(頭部排土工) (大規模地すべりブロック対応)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・地中伸縮計および標柱移動量観測。 【土木】…調査ボーリング、歪み・水位・地中変位計、GPS観測。	【年平均水平移動量:0.460m】
平成10年度	平成9年度につづき測線上に調査ボーリングを1孔設け、水位観測専用孔と地中変位計観測に供する計画とした。また、平成2年度より継続して観測を行っている標柱移動量観測では将来の樹木の繁茂や、測量杭の劣化による観測精度の低下が懸念される段階にあることから、新たにGPS観測点を4点新設し、これを観測を実施した。	【林業】…法切工(頭部排土工) (大規模地すべりブロック対応) 【土木】…砂防堰堤覆付盛土 (砂防事業)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・地中伸縮計および標柱移動量観測(GPS観測追加)。 【土木】…歪み・水位・地中変位計および標柱移動量観測の継続観測。	【年平均水平移動量:0.248m】
平成11年度	IおよびIII測線への陥没帯内水位観測孔を設置し、さらに、II測線上に調査ボーリングを設けすべり面の判定材をおこなった。昨年度と同様に標柱移動量観測および既設観測種の継続観測を実施した。 既往の調査結果を用いて滑落崖背後からの地下水排除工を検討し、その概略結果を示した。	【林業】…法切工(頭部排土工) (大規模地すべりブロック対応) 【土木】…砂防堰堤覆付盛土 (砂防事業)	【林業】…調査ボーリング、歪み・水位・地中伸縮計および標柱移動量観測(GPS観測追加)。 【土木】…歪み・水位・地中変位計および標柱移動量観測の継続観測。	【年平均水平移動量:1.131m】

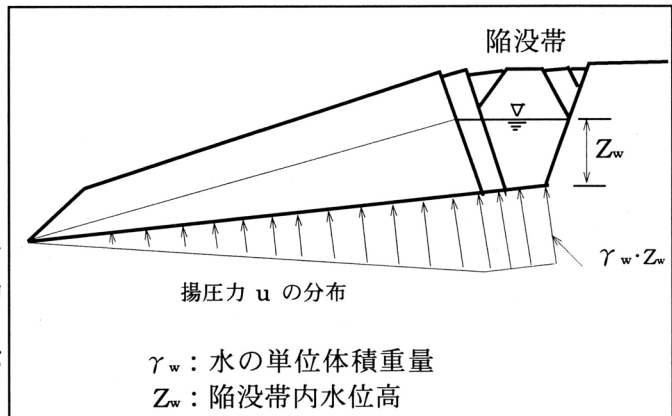
1. 1. 6 既往調査結果の要約

調査結果の要約は以下の通りである。

(1) 地下水状況

- (i) 地下水位は例年 3 月～ 4 月までの融雪期に急激な上昇を示す。なお、非融雪期間では豪雨時においても顕著なピークは認められず、概ね EL=300～310m の低水位を維持する。
- (ii) 水位の上下降変動支配する大きな要因、特に地すべりを再滑動させるに至る水位上昇の要因は融雪量であると判断される。この融雪量の多寡が最高水位を決定するものと思われるが、現時点では赤津モデルによる推定融雪量を用いた検討であるため、両者間の明確な関連は不明であり、その傾向が読みとれるのみである。

(iii) 後述する地すべり活動の移動特性で示すように、毎融雪期、すなわち陥没帯内地下水位が上昇のピークを迎える時期に地すべり活動を再発する機構は次のように推定される。すなわち、融雪期における陥没帯内水位の上昇は陥没帯底面での地下水圧を増加させ、左図に示すように増加した水圧 Z_w はすべり面を介して下流側へ伝達され、移動ブロックに対して揚圧力 u の増加となって作用し、これによって融雪期に滑動が再発する。



(2) 移動状況

- (i) 地すべり活動はその移動量の大半が 3 月～ 4 月までの融雪期に発生する。
- (ii) 標柱移動杭観測における垂直移動量(沈下・陥没量)は陥没帯において卓越している。
- (iii) 地すべり移動は概ね陥没帯内での最高水位が GL-50m 以上で、また、実効融雪降水量が 300mm 以上で開始し、水位の上昇に伴って移動速度も速まる。
- (iv) 地すべり移動量の大小と最高水位の間には相関は認められず、臨界以上の水位状態の継続期間によって支配される。

(3) 地すべりブロックの状況

	規模(m)	斜面長	700m	幅	600m	深さ	max120m	すべり面傾斜	約 3°
	地すべり層区分	移動層	第四紀魚沼層		基岩層	第四紀魚沼層			
全 体 ブ ロ ッ ク	地すべり 規制条件/状況	すべり面	岩盤型すべりを現す椅子形を呈し、軟質凝灰岩を挟む場合が多い。						
		冠頭部	標高 390m 程度の尾根部を切る形態で主滑落崖を形成し、直下には当地すべりの特徴でもある大規模な陥没帯が形成されている。						
		末端部	地獄沢川に面し、崩壊域を形成する。現時点では地獄沢川下へ潜り込み対岸の不動地に規制される形態が推定できる。						
		側壁	左側壁はシャープな面を成して無名沢へ消失する。右側壁は平成 11 年度に伸長し、開口キレット～ 10cm 程度の段差を形成した。地獄沢川までは追跡不能。						

2. 地すべり機構

2.1 地下水位の変動特性

地獄山地すべりは融雪期卓越型の地すべりであり、その活動は例年3月～5月の毎融雪時に限って認められている。ここでは、地すべり活動を再発させる最も大きな誘因としての陥没帯内地下水の変動と、これに影響をおよぼすであろうと思われる降雨量、最深積雪深および推定融雪量との関連について検討を行う。

2.1.1 陥没帯内地下水位(CB-1-1号孔)の経年変動

図2.1は陥没帯内地調査孔(CB-1-1号孔)における地下水位の経年変動グラフである。これによれば、地下水位のピークは例外なく毎年3月～5月の融雪期間に出現している。この水位の変動形態の特徴としては、ピークが非常に鋭く突出した形態を示し、平常時の水位標高300～310mに対して10～20m程度の大幅な水位上昇を伴うことが読みとれる。また、日降水量を併せて示したが、日降水量と水位変動のピークとの相関は極めて低いことも特徴的である。

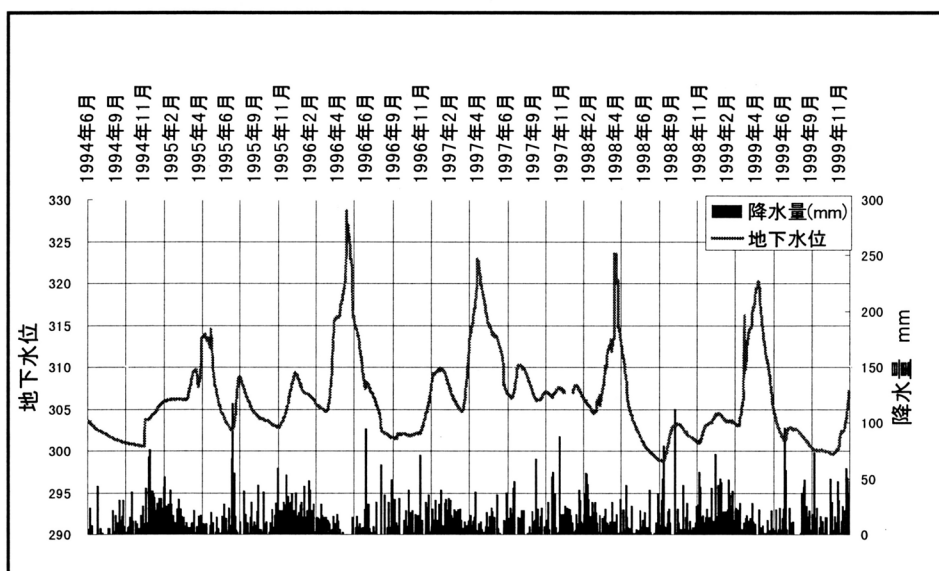


図2.1 陥没帯内地下水位変動の経年変動図

一般に、豪雪地帯に発生する地すべりは融雪期に多く活動しており、その誘因として日降水量に代わる融雪量の影響が大きいことがいわれている。地獄山地すべりも融雪期卓越型の典型的な豪雪地帯に発生する地すべりであり、地下水位変動の特性を検討するにあたっては、この融雪量データが必須となる。しかし、実際に地すべり地内で融雪量観測を実施している例は少なく、本調査においても融雪量の観測は今後の調査計画として位置づけているのみである。

よって、融雪量の算定式を用いた推定融雪量を使った検討を行うこととする。

2.1.2 日融雪量の推定および実効融雪降水量の算定

融雪量を簡単なモデルを用い推定し、融雪量と水位の関係を検証する。日単位の融雪量の簡単な推定モデルとしては菅原モデルと赤津モデルがある。前者は気温に関する熱量と降雨に関する熱量の2つの要因を用いた熱収支法の1つの解であり、後者は日平均に変わる指標として日平均融雪気温を提案している。菅原モデルも赤津モデルも気温のみから日融雪量が推定され、その推定値も大きな差はない。本調査では十日町観測所の気象データを用いて、赤津モデルによる日融雪量の推定を行った。

赤津モデルにおける日融雪量は次式のように定義される。

$$M'd = ms \cdot T_{\text{plus}} + p \cdot c \cdot T_{\text{plus}} / 80 = ms(t_{\text{max}} - \theta) + p \cdot c(t_{\text{max}} - \theta) / 80$$

ここに、M'd:積雪層外へ流出する日融雪流出量, mm/day

ms:気温定数, mm/°C

T_{plus}:日平均融雪気温, °C

p:日降雨量, mm/day

c:水の比熱, cal/g·°C

θ:流域定数(≥0°C), °C

80:氷の融解熱, cal/g

t_{max}:日最高気温, °C

日降水量の降水・降雪の区分(t_{max}=5°Cを臨界気温とする)、融雪水の流出・保留は次に示したとおりである。

- (1) t_{max} ≥ 5°Cの場合…………… 日降水量=日降雨量とする。また、t_{max} < 5°Cの場合、日降水量=日降雪量とする。
- (2) t_{max} > θ°Cの場合…………… 積雪層で融雪現象が起こり、層外へ流出する水量はM'dである。
- (3) 0°C < t_{max} ≤ θ°Cの場合…………… 融雪は起こるが、積雪層外への流出はない。融雪水は層内に保留される。
- (4) t_{max} ≤ 0°Cの場合…………… 積雪層で融雪は起こらない。

また、その他の計算条件としては、気温定数 ms=6、流域係数 θ=3 として、十日町観測所(EL=170m)と地獄山地すべり地(EL=300m)との標高差より-0.78°Cの標高補正温度を日最高気温データに加算した。

2. 1. 3 陥没帯内水位変動と実効融雪降水量

先に得られた日融雪流出量と地下水位変動との関係の検証に先立ち、実効雨量について述べる。

実効雨量は過去の降雨状況から土の水分量を表現するための指標であり、たとえば、現在の地下水位形成に寄与した降雨は必ずしも当日の降雨のみではない。前日あるいは前々日にみられた降雨の影響を受けて現在の水位が形成されていることは容易に想像される。このように現在の水位を形成するに至った降雨の影響を過去にまでさかのぼって考慮するものが実効雨量の考え方である。

このため、実効雨量は地下水位および崩壊や土石流などの斜面の土砂移動現象と密接な関係があるとされており、それらと降雨の関係をみる場合によく用いられている。これまでに複数の研究者が算出式を提案しているが、ここでは日単位の重み付き累積計算による算出法を用いる。以下に実効雨量の算出方法を示す。

日単位の实効雨量 E₀ は、

$$E_0 = \alpha \cdot R_0 + \alpha^2 \cdot R_1 + \dots + \alpha^{n-1} \cdot R_n$$

ここに、R₀:当日雨量, R_n:n日前の日雨量

α:1日単位の減少係数(0<α<1)

となる。ここで、nを何日とするかが問題となる。α_{n+1} ≥ 0の場合はnの決定に恣意的な判断が含まれる可能性があり適切でない。α_{n+1} ≒ 0(現実的には10⁻³程度以下)と判断されるnを選択すべきである。

よって、上式は、

$$E_0 = \alpha \cdot R_0 + \alpha \cdot E_{-1}$$

ここに、 E_{-1} ：1日前の実効雨量
と表現することができる。

減少係数 α は 1 日の雨の効果の減少度合いを示すものである。雨の効果の期間を明らかにする表現として、雨の度合いが半分 (0.5) になる期間、半減期 M で表現する方法があり、半減期 M と減少係数 α との関係は以下の通りである。

$$M = \log 0.5 / \log \alpha \quad \text{または} \quad \alpha = (0.5)^{1/M}$$

一般にはこのようにして実効雨量は算出されるが、ここでの地獄山地すべり地の特性を考慮して、当日の雨量を「当日降雨量+先に得られた日融雪流出量」とした場合の実効雨量 (= 実効融雪降水量) を求め、これによる水位変動との関連を検証する。

得られた実効融雪降水量と陥没帯内地下水位との関連を図2. 2 に示した。これで明らかなように、水位変動のピークと実効融雪降水量とのピークはきれいに一致しており、水位の上昇に関わる要因として融雪量が大きく寄与していることがうかがえる。

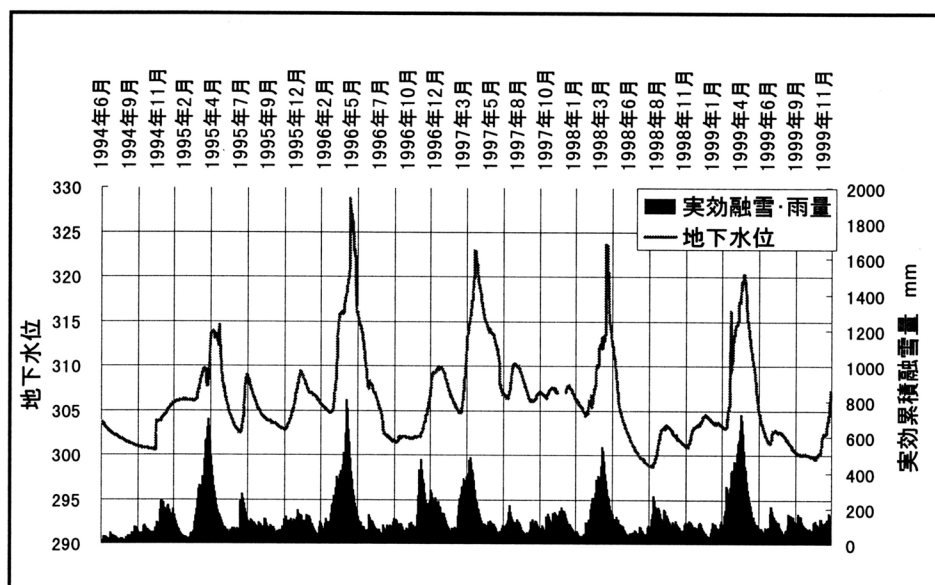


図2. 2 陥没帯内水位—実効融雪降水量の対比

2. 1. 4 地下水位変動特性のまとめ

これまで地獄山地すべりにおける地下水位の変動特性を、主に CB-1-1 号孔について検討を加えた。CB-1-1 号孔は地すべり活動に最も影響をおよぼすといわれる陥没帯内地下水位の観測孔であり、設置年度は古く、このため十分な量の観測データが得られている。

以下に地下水位変動特性の検討結果をまとめて列記する。

(i) 地下水位は例年 3 月～ 5 月までの融雪期に急激な上昇を示す。なお、非融雪期間では豪雨時においても顕著なピークは認められず、概ね EL=300～310m の低水位を維持する。

(ii) 水位の上下降変動支配する大きな要因、特に地すべりを再滑動させるに至る水位上昇の要因は融雪量であると判断される。この融雪量の多寡が最高水位を決定する。

(iii) 後述する地すべり活動の移動特性で示すように、毎融雪期、すなわち陥没帯内地下水位が上昇のピークを迎える時期に地すべり活動を再発する機構は次のように推定される。すなわち、

融雪期における陥没帯内水位の上昇は陥没帯底面での地下水圧を増加させ、図 2.3 に示すように増加した水圧 Z_w はすべり面を介して下流側へ伝達され、となって作用し、これによって融雪期に滑動が再発する。

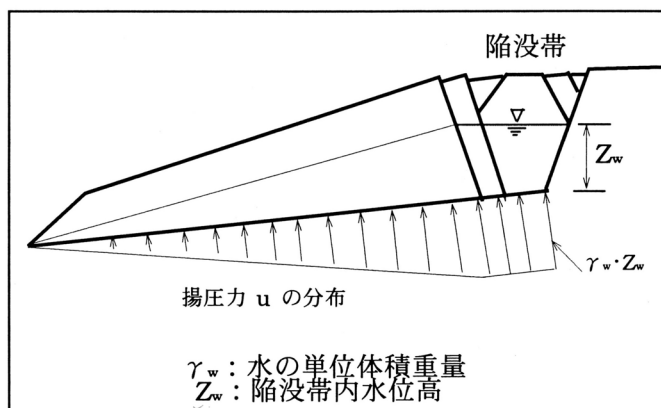


図 2.3 陥没帯内水位 Z_w と揚圧力 u

----- 【Memo】 -----

2.2 地すべりの移動特性

地すべりの移動特性を把握するためには誘因である降雨及び地下水位との関係を知ることが重要である。これらの関係を知ることにより、地すべりの警戒基準値の検討が可能となるほか、臨界間隙水圧の把握やこれによる初期安全率の決定に定量的な裏付けを持たせることができる。また、それらの関係の変化から、対策工の効果判定を行うことも可能である。

ここでは地すべり移動の特徴的な現象について示す。移動状況を検証する観測種としては、ブロック全体の移動状況として年 1 回の観測を実施している標柱移動量観測(移動杭観測, GPS 観測)と、地下水位との対比が可能な調査孔における地中変位計(半自動観測)結果についての検討を行う。

2.2.1 標柱移動量観測結果

標柱移動量観測は平成 2 年度より平成 6 年度までの間は移動状況の詳細把握を目的として、年数回の観測が実施されている。このうち、降雪前(概ね 12 月)までの移動量と融雪後(概ね 5 月)までの移動量をそれぞれ、非融雪期移動量と融雪期移動量として図 2.4 (再掲)に示した。

これによれば、ブロック全体として融雪期に活動し、その後の非融雪期には休止するといった移動状況の特徴が明瞭に認められている。

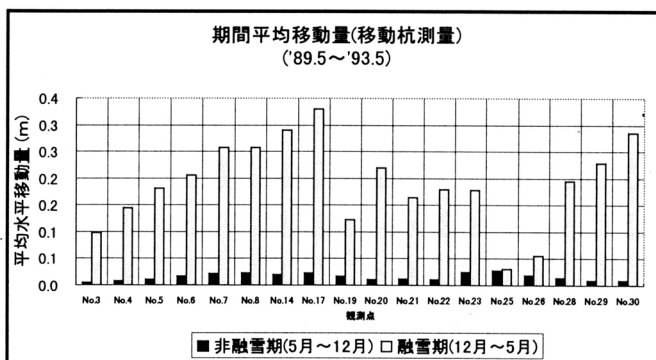


図 2.4 融雪期—非融雪期の平均移動量対比図

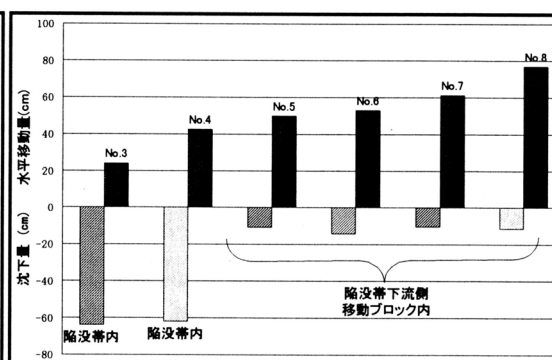


図 2.5 陥没帯内移動杭の沈下状況

また、図 2.5 は年平均垂直移動量(沈下量)について、陥没帯内と陥没帯下流側(移動ブロック)にそれぞれに設置された移動杭の変動状況を示したものである。ここで明らかなように、陥没帯内の沈下量は移動ブロックのそれに比べて概ね 5～6 倍にもものぼることが判る。

2.2.2 地中変位計観測結果

図 2.7 には地下水位として陥没帯内水位(CB-1-1 号孔)と地すべりの時系列移動量としての地中変位計(BV-8-1,2 および BV-9-1,2 号孔)との関連を示したものである。

先に示した標柱移動量の融雪期-非融雪期変動と同様に、地下水位がピークを迎える 3 月～5 月の融雪期に地中変位計の変動が現れる。

なお、初回の変動量(BV-8-1,2 号孔では 1997 年の融雪期, BV-9-1,2 号孔では 1998 年の融雪期)には地中変位計の構造に起因する初期無感帯が関係するため低めの移動量として観測される傾向があるものの、BV-8-1,2 号孔の 1998,1999 年の変動を見る限り、最高水位と移動量の大小には特に相関があるとは認めにくい。むしろ、ある一定水位(臨界水位)以上をどれだけ継続しているかが移動量の大小と関係するものと判断される。

2. 2. 3 移動量を決定する要因

図2. 7 で地中変位計における移動量と最高水位との間には相関が認められないことを示した。図2. 6 は移動杭測量での各観測年における年平均水平移動量と年最高水位をプロットしたものである。これによっても、陥没帯内水位 (CB-1-1 号孔) と地すべり移動量との間には明瞭な相関関係は認められない。

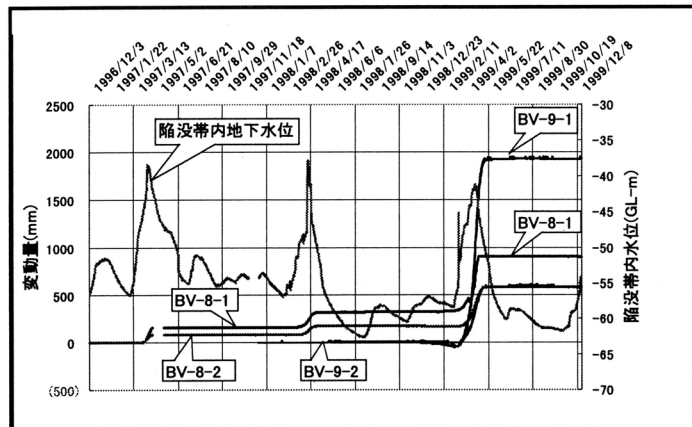


図2. 7 地下水位—地中変位計の変動図

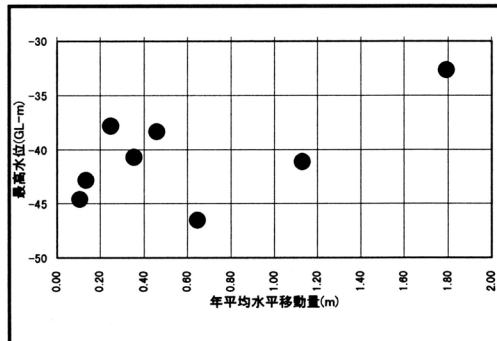


図2. 6 最高水位—平均水平移動量

一般に地すべり活動を活発化させる誘因として間隙水の圧上昇があげられる。地獄山地すべりは前述したとおり融雪期卓越型の地すべり活動形態を示し、融雪時における間隙水圧の上昇が滑動を誘発する。この滑動を誘発する間隙水圧は陥没帯内を埋める自由地下水の水位によって支配されており、一般には陥没帯内水位が高いほどすべり面に揚圧力として作用する間隙水圧は高くなる。

しかし、これまで示したように陥没帯内水位の高さ、いわゆる最高水位に比例して地すべり移動量が大きくなるわけではない。これは、地すべり滑動は水位が臨界水位に達した時に開始することから、臨界以上の水位状態がどの程度継続しているかが地すべり移動量の大小を決定していることを示している。

図2. 8 は 1998 年 6 月～1999 年 4 月までの間の CB-1-1-号孔地下水位と BV-9-1 号孔地中変位計の日移動速度(日移動量)をプロットしたものである。これによれば、地下水位が概ねに GL-50m に達した時点で地すべり滑動が開始され、陥没帯内地下水位の上昇と共にその移動速度も速まることが判る。

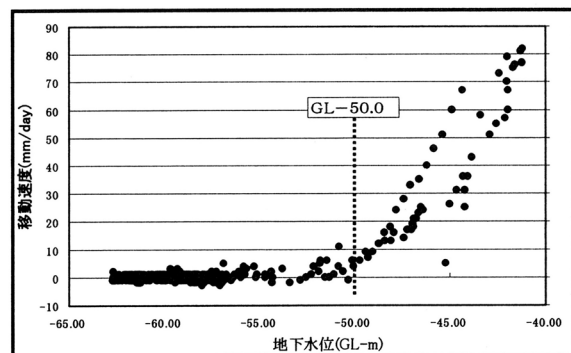


図2. 8 地下水位—移動速度(水位計—地中変位計)

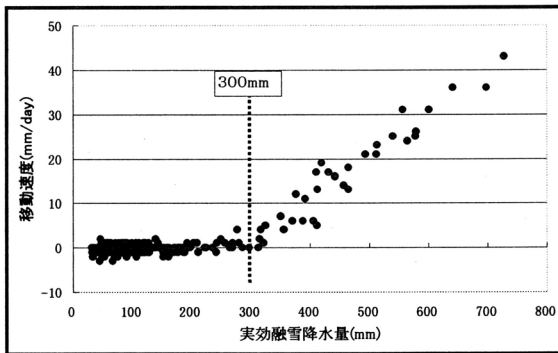


図2. 9 実効融雪降水量—移動速度

また、図2. 9 は地下水位の上昇をもたらすものとしての実効融雪降水量と日移動量(図2. 8 と同じく BV-9-1 地中変位計による)をプロットしたものである。

図に示すように地すべりの移動量は実効融雪降水量との間に顕著な相関があり、実効融雪降水量が

概ね 300mm を越えた時点で移動が活発になることが確認できる。

地すべり移動量は、臨界以上の水位状態の継続期間により決定されることは前述したとおりである。

次に、臨界水位以上を示す指標としての実効融雪降水量 300mm に着目し、300mm 以上の実効融雪降水量を累積して得られた値(E300積算値)と、移動杭測量結果による年平均水平移動量との関係について検討を行う。図2. 10 (a)は先の E300 積算値と年平均水平移動量とをプロットしたものである(平成 2 ～平成 11 年)。これによれば両者には顕著な相関関係が認められ、指数回帰による相関係数は $r=0.985$ と非常に高い。また、(b)に年度別の年平均水平移動量と E300 積算値との関係を示した。図から明らかなように、移動量の大きな年(平成 8 年, 11 年)では E300 積算値も突出しており、逆に移動量の少ない年(平成 2 年, 4 年)では E300 積算値は低い。

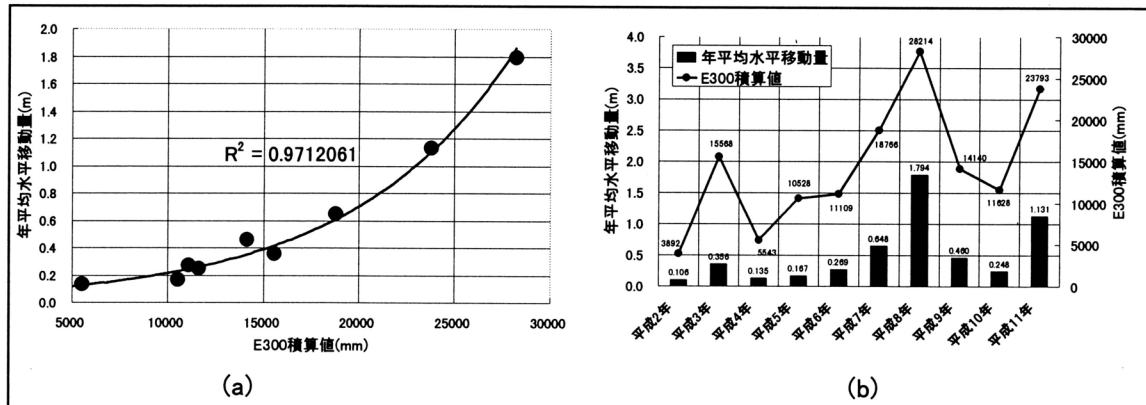


図2. 10 E300積算値—年平均水平移動量

なお、参考として図2. 11 に十日町観測所における最深積雪深と対応年度の年平均水平移動量との関係を示した。最深積雪深の経年の変動パターンは E300 積算値のそれと大局的には同様な傾向を示していると言える。

このことは、地獄山地すべりにおける移動量の大小は対応年の最深積雪深によってある程度支配されていることを示している。

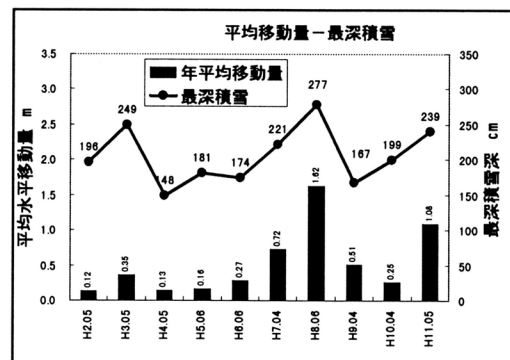


図2. 11 最深積雪と平均移動量

2. 2. 4 地すべり移動特性のまとめ

これまで地獄山地すべりにおける地すべり活動の移動特性を検討した。以下に検討結果をまとめて列記する。

- (i) 地すべり活動はその移動量の大半が 3 月～ 5 月までの融雪期に発生する。
- (ii) 移動杭測量における垂直移動量(沈下量・陥没量)は陥没帯において卓越してる。
- (iii) 地すべり移動は概ね陥没帯内での最高水位が GL-50m 以上で、また、実効融雪降水量が 300mm 以上で開始し、水位の上昇に伴って移動速度も速まる。
- (iv) 地すべり移動量の大小と最高水位の間には相関は認められず、臨界以上の水位状態の継続期間によって支配される。

3. 対策工の設計

3.1 全体工事計画

3.1.1 基本方針

地獄山地すべりにみられる特徴的な要因としては、

- ① 前述したように、地すべり活動(移動量)は、陥没帯内の水位上昇と密接な関係にあり、陥没帯下流壁に掛かる水圧 Q_w とすべり面に作用する間隙水圧(揚圧力)が地すべり発生の誘因となっている。
- ② また、地すべり断面形は下部緩斜面の移動層厚が約 50m に対して、地すべり頭部尾根の移動層厚はその倍の 100m 前後もある。すなわち、地すべり推力のかなりの部分がこの地すべり頭部で発生していることになる(全体の地すべり推力の 90%)。

といった 2 点が挙げられる。

陥没帯を満たした自由地下水は平常時には EL=300 ~ 310m 程度の低水位を形成しているものの、融雪期には概ね EL=320 ~ 325m まで上昇し明瞭なピークを迎える。実に 20m の水位上昇が起こる。

また、移動状況から当地すべりは融雪期に活発化するという活動特性が認められ、この活発化の度合いは対応する最深積雪に比例して増減する。すなわち、最深積雪が多い年には多量の融雪水を生じこれが陥没帯内自由地下水の水位を上昇させ、すべり面に作用する間隙水圧の増加を招く。

最深積雪に起因する実効融雪降水量と陥没帯内水位、あるいは実効融雪降水量と平均移動量との相関は極めて高い。いずれにせよ、地すべり活動を開始させる直接的な要因は陥没帯内地下水の上昇と判断される。

よって、上記の要件から地獄山地すべり地への対策工の基本方針としては、地すべり頭部荷重の軽減つまり尾根部における頭部排土工と末端部における末端盛土工および陥没帯内での地下水排除工を基本方針とする。

排土工は、大規模地すべりの対策工としては、最も一般的かつ確実な工法である。許容最大限の排土工を先行し安全率の不足分を他の工種で補うといった原則が守られれば、大規模一体すべりにおいても、地下水排除工導入後に排水施設が被災する危険性は低いといえる。また、排土工は排土した分だけの効果が期待される、つまり部分施工が可能な、ほとんど唯一の工法といえる。

(1) 安定解析

ここでは平成 12 年度融雪時観測データ(主に安定解析に供している 3 つの測線に対応した陥没帯内水位データ)を用いた安定解析を実施する。

なお使用した融雪時データは、陥没帯内水位観測孔 CB10-2(Ⅲ測線)、CB10-3(I 測線)、CB1-1(Ⅱ測線)号孔および CB9-2 地中伸縮計(移動ブロック末端付近)を用い、これにより臨界水位を決定するとともに、観測内最高水位を初期水位として対策工計画における出発点としての初期安全率を決定する。

① 臨界水位(F=1.00対応の水位)の決定

対策工立案における出発点としての初期安全率は、たとえば F=0.95 あるいは F=0.98 等として与

える場合がある。しかし、一般にはその地すべりの安全率が 0.98 なのか 0.95 であるのかは現象の上では識別し得ず、われわれが与えられる安全率は移動開始時(または停止時)の安全率、つまり $F=1.0$ の時だけである。この状態での水位を臨界水位(臨界間隙水圧)といい、パイプ歪計(あるいは変位計)と地下水位の観測データを対比することで得られる。

図3. 1 は平成 12 年度融雪期における陥没帯内水位変動(Ⅱ側線：CB-1-1 号孔)と、これに対応した地中伸縮計変動(CB-9-2)を表したものである。CB9-2 地中伸縮計は 1 月 15 日と 4 月 3 日に計 2 回の変動が観測されている。

1 月 15 日の変動時の CB1-1 陥没帯内水位は GL-49.78m であり、同じく 4 月 3 日における変動時の水位もほぼ同様の GL-49.79m であった。すなわち、CB1-1 水位観測孔の位置するⅡ断面での臨界水位(地すべり活動が開始あるいは停止する水位： $F=1.00$ の状態を現す)は概ね GL-49.8m と決定される。

同様に、Ⅲ側線(CB-10-2)陥没帯内水位観測孔およびⅠ側線(CB-10-3)陥没帯内水位観測孔における臨界水位は、図3. 2 および図3. 3 に示したとおりである。

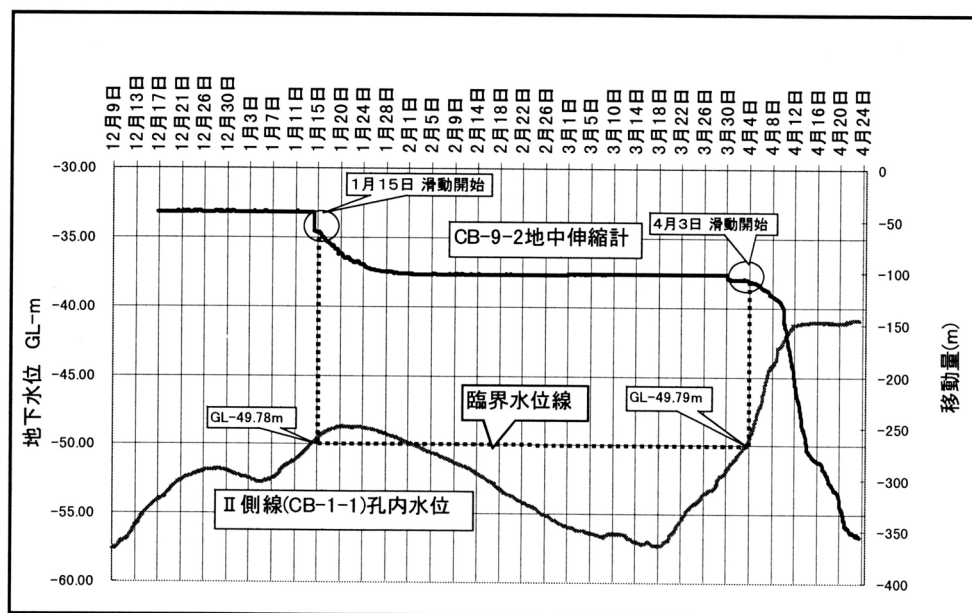


図3. 1 陥没帯内水位—地中変位計(Ⅱ測線)

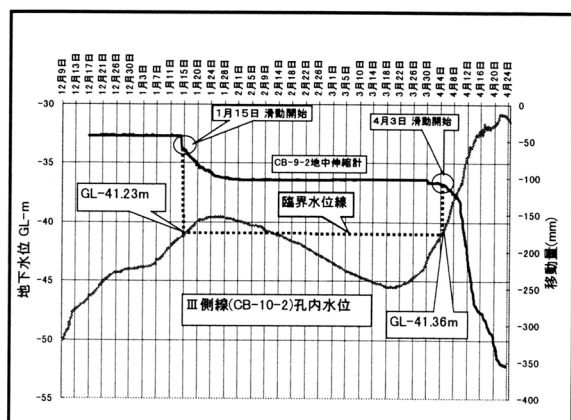


図3. 2 陥没帯内水位—地中変位計(Ⅲ測線)

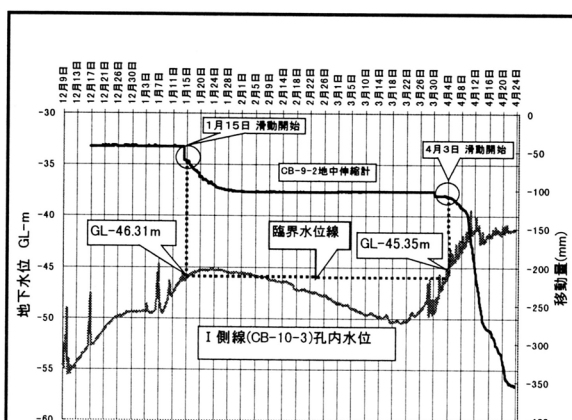


図3. 3 陥没帯内水位—地中変位計(Ⅰ測線)

すなわち、CB-10-2 号孔での 1 月 15 日および 4 月 3 日での地中伸縮計変動に対応した水位はそ

れぞれ、GL-41.23m、GL-41.36m であり、当孔が位置するⅢ側線での臨界水位は概ね GL-41.2m と決定され、同様に CB-10-3 号孔における地中伸縮計変動に対応した水位は GL-46.31m、GL-45.35m であり、Ⅰ側線における臨界水位を GL-45.0m と決定される。

以上をまとめて表3. 1 に示す。

表3. 1 臨界水位一覧表

安定解析断面	水位観測孔(孔口標高)	臨界水位(F=1.00 対応水位)
Ⅱ側線(左側壁側)	CB-1-1 (EL=361.40m)	GL-49.8m (EL=311.60m)
Ⅰ側線(中央断面)	CB-10-3 (EL=365.50m)	GL-45.0m (EL=320.50m)
Ⅲ側線(右側壁側)	CB-10-2 (EL=363.99m)	GL-41.2m (EL=322.79m)

② 安定解析結果

表3. 1 に示した各側線における臨界水位を安定解析上の陥没帯内水位 Z_w とし、これと末端部を結んだ水位線(既往の水位観測により、ほぼ陥没帯水位を末端部まで延長した水位線を示す結果が得られている)を与えて安定解析をおこなった。なお、すべり面におけるせん断強度はすでに残留強度値に達しているものと考えられることから、粘着力 $c' = 0$ として内部摩擦角 ϕ' を逆算して求めた。

表3. 2 安定解析結果(臨界安全率)

[計算条件]	[二次元解析]			
	断面	Ⅰ測線	Ⅱ測線	Ⅲ測線
単位体積重量 $\gamma = 17.640$ kN/m ³	地下水条件(臨界水位)	H12CWL	H12CWL	H12CWL
	脚部スライス No.	53	54	50
粘着力 $c' = 0.0$ kN/m ²	修正係数 f_0	1.0563	1.0562	1.0595
	水圧水平成分 Q_w (kN/m)	15464.82	14356.41	10563.04
内部摩擦角 $\phi' = 15.2509^\circ$	陥没帯水位高 Z_w (m)	56.16	54.11	46.41
	断面積 $\Sigma A'$ (m ²)	33859.07	32507.67	26000.56
摩擦係数 $\tan \phi' = 0.2726$	抵抗力 ΣS (kN/m)	120063.7	119559.3	99500.3
	すべり力 ΣT (kN/m)	113651.0	97126.9	112416.2
	二次元安全率	0.9822	1.1327	0.8572
[三次元安全率] $F_3 = \frac{\sum A_i F_i}{\sum A_i} = 1.00$				

③ 初期安全率の決定

先に臨界水位 $F=1.00$ の状態で安定解析を行い、これにより得られたせん断強度定数(粘着力 c' 、内部摩擦角 ϕ')と、観測期間内の最高水位を与えて初期安全率を決定する。

解析結果は表3. 3 に示したとおりである。

臨界安全率 F_c

ぎりぎりの安定を保っている斜面状態の安全率 ($F = 1.0$)。この状態対応の間隙水圧を臨界間隙水圧という。

現状安全率 F_s

間隙水圧は、臨界間隙水圧を境として常に上下しており、地すべり断面形やせん断強度ともに現状のまま一定とすると、これにともなって斜面の安全率も減・増している。このそれぞれの間隙水圧に対応した安全率を現状安全率という。つまり現状安全率は、一定ではない。

表3.3 安定解析結果(初期安全率)

[計 算 条 件]	[二 次 元 解 析]			
	断 面	I 測 線	II 測 線	III 測 線
単位体積重量 $\gamma = 17.640$ kN/ m ³	地下水条件(最高水位)	H12HWL	H12HWL	H12HWL
粘着力 $c' = 0.0$ kN/ m ²	脚部スライス No.	53	54	50
内部摩擦角 $\phi' = 15.2509^\circ$	修正係数 f_0	1.0563	1.0562	1.0595
摩擦係数 $\tan \phi' = 0.2726$	水圧水平成分 Q_w (kN/m)	18708.80	16855.07	15838.25
	陥没帯水位高 Z_w (m)	61.77	58.63	56.83
	断面積 $\Sigma A'$ (m ²)	33859.77	32507.67	26000.56
	抵抗力 ΣS (kN/ m)	112658.8	114181.7	86504.9
	すべり力 ΣT (kN/ m)	113651.0	97126.9	112416.2
	二次元安全率	0.8991	1.0581	0.7146
[三次元安全率] $F_3 = \frac{\sum A_i F_i}{\sum A_i} = 0.9031$				

よって、初期安全率は $F_0 = 0.9031$ と決定し、以降で検討を行う対策工計画はこの初期安全率を出発点として実施する。

3.1.2 全体工事計画の流れ

(1) 対策工計画の変遷

現在までに施工されている対策工種は頭部排土工(治山課にて施工)のみであり、これにしても現在進行中(現在までの排土量約 98,500 m³)のものであるためその効果は十分発揮されておらず、地すべり活動の鎮静化にまでは至っていない。

以下に対策工種の変遷を記す。

H1～H2	小ブロック(と当時は想定されていた)対応の集水井工，ボーリング暗渠工，谷止工等を単独(ブロック毎)に施工。
H3～H5	全体ブロックの存在が判明。対策工の基本方針は地すべり頭部荷重の軽減を目的とした頭部排土工と，地すべり誘因の除去を目的とする地下水排除工とした。具体的な対策数量は応急対応としての頭部排土工のみ示され，地下水排除工の具体的な数量は調査の不足から決定されなかった。 なお，この時点で建設省所管の地獄沢地すべり防止区域を巻き込んだ(すなわち，現実に活動している全体ブロックを対象とした)全体地すべり機構解明のための調査計画が示された。
H6～H11	前期に示された対策工基本方針に則り，より詳細な仕様・数量が示された。ただし，地すべり機構調査の拡大・充実に伴い提案された仕様・数量はその適宜修正されている。

(2) 対策工計画について

これまでは，地獄山地すべりにおける直接的な誘因である陥没帯内水位観測孔は，CB-1-1 号孔のみであった。延長 600m にもおよぶ陥没帯内の水位状況をこの 1 孔をもって代表させていた訳であり，これによる対策工検討結果には精度の点で問題が残った。しかし，平成 11 年度には 2 孔の陥没帯水位観測孔(CB-10-2, 10-3 号孔)が設置され，これにより安定解析に供している 3 断面にそれぞれ 1 孔(CB-1-1, CB-10-2, CB-10-3)の陥没帯内水位のデータが得ることとなった。

ここでは，これら 3 孔の観測データによる安定解をおこない，前述した基本方針に沿った対策工

計画を検討する。

なお、地下水排除工あるいは末端部盛土工は地すべりによる被災を避けるため、本来は頭部排土工により排土工施工後の安全率が 1.00 以上となった時点での導入が望ましい。が、地すべり規模が大きいことから $F \geq 1.00$ に達する排土量は 600,000 m³ 超と試算され、残土捨て場の確保の点からも現実的な施工とは言い難い。

よって以下では、

- ケース1：地下水排除工(単年度施工を原則)を先行し、これにより $F \geq 1.00$ を確保する。 $F \geq 1.00$ であることから、末端部盛土工が被災する恐れはなく、目標安全率までの不足分を頭部排土工および末端部盛土工の同時施工により対応する。
- ケース2：末端部盛土工(施工完了時までは仮設的な盛土)を頭部排土工と同時に施工し、排土に伴う土捨て場確保の問題を解消する。これにより $F \geq 1.00$ を確保し、目標安全率までの不足分を地下水排除工により対応する。

の2つのケースを検討する。

個々の対策工検討の詳細は後述するが、ここではその概要を表3.4 全体工事計画の流れとして以下に示すとともに、次頁図3.5 に対策工計画平面図を掲げる。

表3.4 全体工事計画の流れ

対策工数量	施工順序	
ケース1(地下水排除工先行)		
排水トンネル延長: 730m	$F_0=0.9031$	初期状態(H12 最高水位)
	↓ (15.79%UP)	
トンネル内ボーリング暗渠: 80m × 104本	$F_{Bor}=1.0610$	排水トンネル+トンネル内ボーリング暗渠工施工後
	↓ (1.52%UP)	
末端盛土工: 148,000m ³	$F_{Bor+Bank}=1.0762$	末端部盛土工施工後
	↓ (2.45%UP)	
頭部排土工: 137,000m ³	$F_{Bor+Bank+Cut}=1.100$	頭部排土工施工後
ケース2(排土+盛土工先行)		
末端盛土工: 380,000m ³	$F_0=0.9031$	初期状態(H12 最高水位)
	↓ (3.94%UP)	
頭部排土工: 266,600m ³	$F_{Bank}=0.9425$	末端盛土工施工後
	↓ (4.72%UP)	
排水トンネル延長: 730m	$F_{Bank+Cut}=0.9897$	頭部排土工施工後
	↓ (13.81%UP)	
トンネル内ボーリング暗渠: 80m × 52本	$F_{Bank+Cut+Bor}=1.127$	排水トンネル+トンネル内ボーリング暗渠工施工後

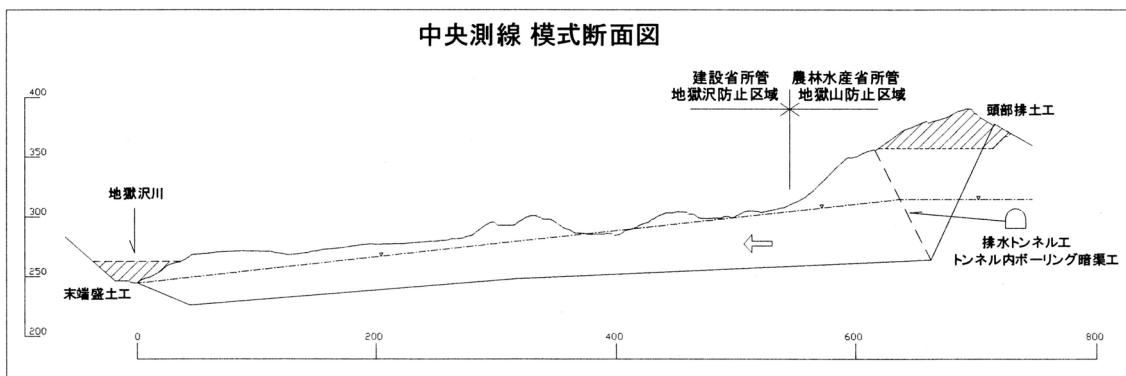


図3.4 対策工計画模式断面図

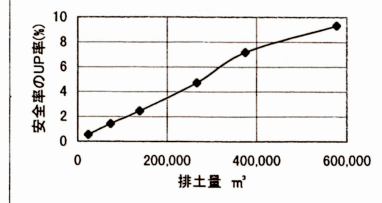


地獄山地すべり防止区域(農林水産省)

地獄沢地すべり防止区域(建設省)

頭部排土工

排土標高	排土量	対応測線	断面積	体積	安全率UP率%
EL=375	23,100	II測線	0	-	0.54
		I測線	0	0	
		III測線	125	6,250	
		V測線	106	11,550	
		VI測線	0	5,300	
		0	0	0	
EL=370	72,800	II測線	0	-	1.43
		I測線	0	0	
		III測線	348	17,400	
		V測線	380	36,400	
		VI測線	0	19,000	
		0	0	0	
EL=365	137,800	II測線	0	-	2.45
		I測線	0	0	
		III測線	624	31,200	
		V測線	754	68,900	
		VI測線	0	37,700	
		0	0	0	
EL=360	266,600	II測線	0	-	4.72
		I測線	510	25,500	
		III測線	966	73,800	
		V測線	1,190	107,800	
		VI測線	0	59,500	
		0	0	0	
EL=355	374,800	II測線	0	-	7.16
		I測線	1,027	51,350	
		III測線	1,048	103,750	
		V測線	1,673	136,050	
		VI測線	0	83,650	
		0	0	0	
EL=350	576,700	II測線	0	-	9.31
		I測線	1,660	83,000	
		III測線	1,907	178,350	
		V測線	2,200	205,350	
		VI測線	0	110,000	
		0	0	0	

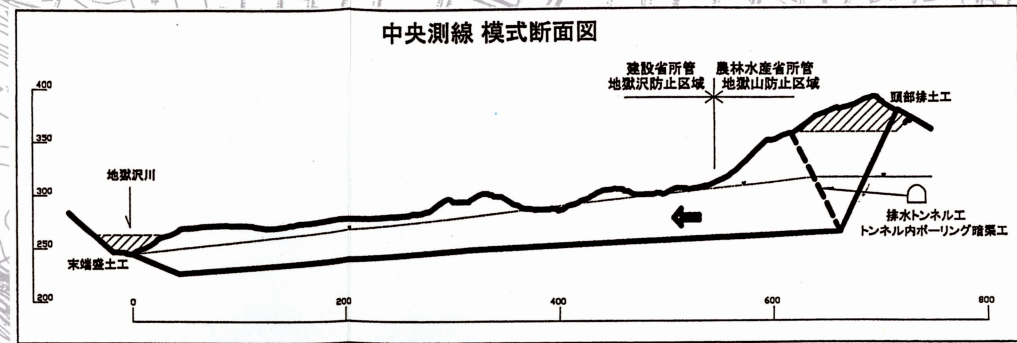
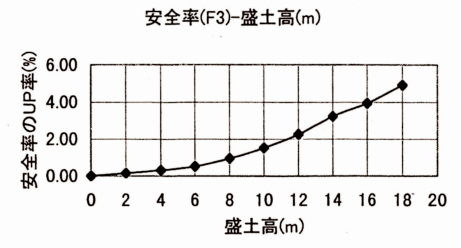


No.3 床固工

No.2 床固工

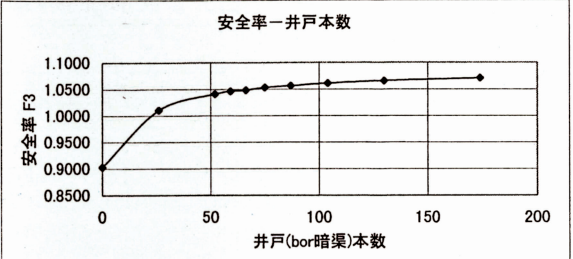
末端盛土工

盛土高(m)	盛土量(m³)	UP率%
0	0	0.00
2	6,000	0.16
4	24,000	0.32
6	54,000	0.53
8	95,000	0.96
10	148,000	1.52
12	214,000	2.26
14	291,000	3.23
16	380,000	3.94
18	481,000	4.90



地下水排除工

先端間隔	ボーリング本数	安全率F3	安全率UP率	陥没帯内水位高			2次元安全率				
				2測線	1測線	3測線	2測線	1測線	3測線		
3	174	1.0706	16.75	174	308.12	316.77	321.69	174	1.2633	1.0378	0.8722
4	130	1.0655	16.24	130	308.43	317.02	322.19	130	1.2582	1.0341	0.8654
5	104	1.0610	15.79	104	308.69	317.23	322.65	104	1.2539	1.0309	0.8591
6	87	1.0564	15.33	87	309.04	317.48	322.97	87	1.2481	1.0272	0.8548
7	75	1.0535	15.04	75	309.25	317.62	323.20	75	1.2446	1.0251	0.8516
8	66	1.0484	14.53	66	309.62	317.91	323.56	66	1.2385	1.0208	0.8467
9	59	1.0460	14.29	59	309.77	318.03	323.80	59	1.2360	1.0190	0.8434
10	52	1.0412	13.81	52	310.11	318.28	324.17	52	1.2304	1.0153	0.8384
20	26	1.0107	10.76	26	321.76	323.68	322.71	26	1.1919	0.9894	0.8119
0	0	0.9031		0	320.52	326.11	333.21	0			



No.1 床固工

砂防指定地

至 堀之内町

国道252号線

至 十日町

図3.5 対策工計画平面図(S=1:4,000)

3. 2 頭部排土工

全体工事計画の基本方針で示したとおり、当地すべりに特徴てきな要因として、

地すべり断面形は下部緩斜面の移動層厚が約 50m に対して、地すべり頭部尾根の移動層厚はその倍の 100m 前後もある。すなわち、地すべり推力のかなりの部分がこの地すべり頭部で発生している(全体の地すべり推力の 90%)。

が挙げられる。ここでは、地すべり頭部荷重の軽減を目的とした対策工として、頭部排土工の検討をおこなう。

計画排土標高 375m ~ 350m まで、5m ピッチで排土線を設定し、各排土線において安定解析を実施した。

図3. 6 および表3. 5 に計画排土工により達成される安全率の上昇率および排土量を示した。

これによれば、計画排土標高 365m までは上昇率は鈍く、これ以深の排土標高で上昇率が大きくなる(図3. 6 a)。

なお、排土範囲は概ねⅡ測線~Ⅴ測線までの間とし、排土量は各測線間での平均断面法により算出した。

また算出された排土量は、陥没帯位置より 1:10 勾配で切り上げた範囲までとし、土砂搬入出のための迂回路等は計上していない。

参考までに、当地すべりは冠頭部が尾根を切って発達しており、頭部排土工により拡大ブロック(退行性)が発生する恐れは皆無である。

表3. 5 排土量計算表

排土標高	排土量	対応測線	断面積	体積	UP率%
EL= 375	V= 23,100	Ⅱ測線	0	-	0.54
		Ⅰ測線	0	0	
		Ⅲ測線	125	6,250	
		Ⅴ測線	106	11,550	
		Ⅵ測線	0	5,300	
EL= 370	V= 72,800	Ⅱ測線	0	-	1.43
		Ⅰ測線	0	0	
		Ⅲ測線	348	17,400	
		Ⅴ測線	380	36,400	
		Ⅵ測線	0	19,000	
EL= 365	V= 137,800	Ⅱ測線	0	-	2.45
		Ⅰ測線	0	0	
		Ⅲ測線	624	31,200	
		Ⅴ測線	754	68,900	
		Ⅵ測線	0	37,700	
EL= 360	V= 266,600	Ⅱ測線	0	-	4.72
		Ⅰ測線	510	25,500	
		Ⅲ測線	966	73,800	
		Ⅴ測線	1,190	107,800	
		Ⅵ測線	0	59,500	
EL= 355	V= 374,800	Ⅱ測線	0	-	7.16
		Ⅰ測線	1,027	51,350	
		Ⅲ測線	1,048	103,750	
		Ⅴ測線	1,673	136,050	
		Ⅵ測線	0	83,650	
EL= 350	V= 576,700	Ⅱ測線	0	-	9.31
		Ⅰ測線	1,660	83,000	
		Ⅲ測線	1,907	178,350	
		Ⅴ測線	2,200	205,350	
		Ⅵ測線	0	110,000	

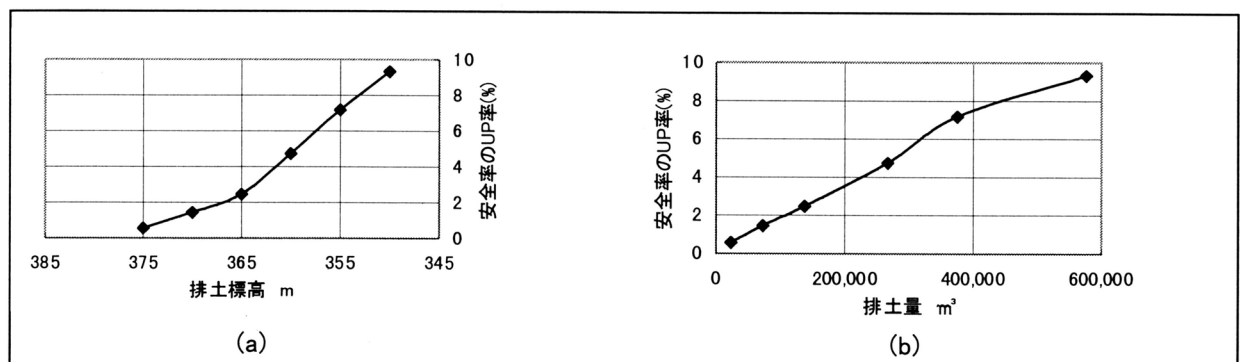


図3. 6 排土工による安全率の上昇

3.3 末端盛土工

当地すべり地の末端部を流れる地獄沢川では、左岸側(地すべりブロック側)で崩壊域を形成している。これらの崩壊域の安定および地すべり対策を目的とした末端部盛土工を計画する。

なお、末端部盛土工は地すべりによる被災を避けるため、地すべり活動が小康状態($F \geq 1.00$)を保っていることを前提とするが、たとえば、 $F \geq 1.00$ を確保する排土量は600,000 m^3 超と試算され残土捨て場の確保の点からも現実的な施工とは言い難い。

よって、 $F < 1.00$ 状態での盛土工施工に際しては、当初より多少の被災を前提とし、これに対処した構造(あらかじめ被災を考慮したフレキシブルな構造等)の検討を要する。

図3.7は盛土工の施工高を2~18mまで2mピッチずつ変化させ、各々の盛土高によって得られる安全率の上昇率(a)と、対応する排土量(b)を示したものである。これによれば、盛土高6m程度までは安全率の上昇幅が低く、概ね8mを越えた時点より安全率は急な曲線を描き上昇傾向を示すことが読みとれる。

なお、図3.7(b)中の盛土量の算出にあたっては、2,000分の1地形図を用いて、地獄沢川の流心変化点を目安に概ね50~250m間隔で6断面の横断図を作成し、これによる平均断面法を用いた。

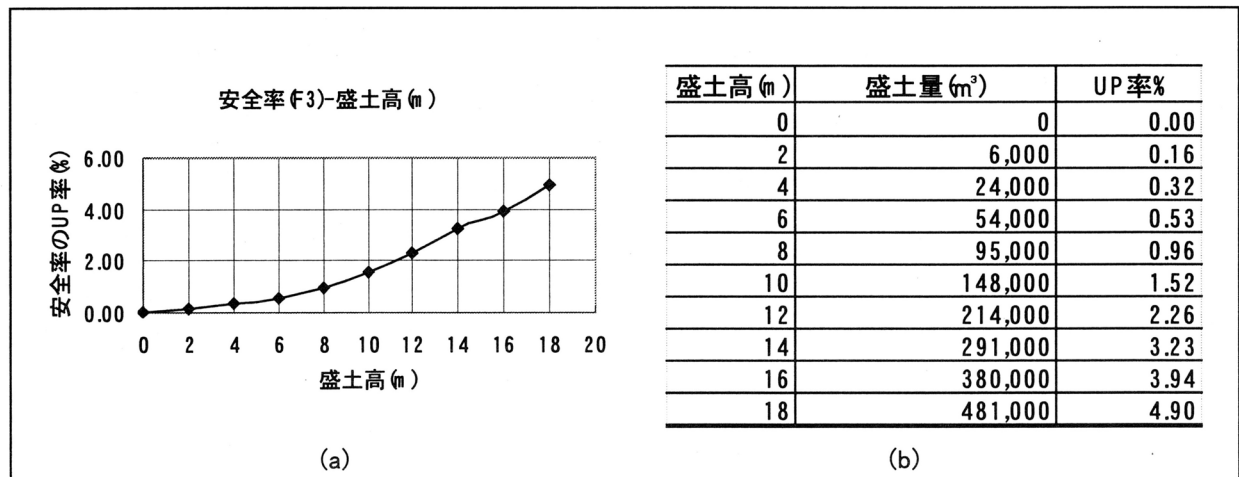


図3.7 盛土高-安全率

3. 4 地下水排除工

当地すべり地には明瞭な陥没帯が形成されており、融雪水は容易に地中に浸透し、全体的に自由地下水帯を形成しているものと判断される。陥没帯内に形成される自由地下水は、陥没帯下流壁の脚部スライスに大きな外圧として働き、融雪時に地すべり推力を増大させることは前述したとおりであり、さらに、陥没帯内地下水位(臨界水位)と地すべり滑動とは密接な関連を有していることも観測データにより検証した。

よって当地すべりのような場合には、陥没帯内の自由地下水を対象とした地下水排除工が極めて有効な手段となり、ここでは、融雪時における地下水位が臨界水位以下に留まるような地下水排除工の仕様を検討する。

地下水排除の形態は、①ボーリング暗渠工(横孔ボーリング工) ②集水井工 ③排水トンネル+建上げボーリング が考えられるが、すべり面深度や排水対象の地下水位さらに融雪期活動型という地すべり形態等を勘案し、ここでは、ブロック背後の不動地からの排水トンネル工およびこのトンネルを足場としたトンネル内ボーリング暗渠工とする。

表3. 6 ボーリング本数による安全率一覧表

先端 間隔	ボーリング 本数	安全率 F3	安全率 UP率		陥没帯内水位高				2次元安全率		
					2測線	1測線	3測線		2測線	1測線	3測線
3	174	1.0706	16.75	174	308.12	316.77	321.69	174	1.2633	1.0378	0.8722
4	130	1.0655	16.24	130	308.43	317.02	322.19	130	1.2582	1.0341	0.8654
5	104	1.0610	15.79	104	308.69	317.23	322.65	104	1.2539	1.0309	0.8591
6	87	1.0564	15.33	87	309.04	317.48	322.97	87	1.2481	1.0272	0.8548
7	75	1.0535	15.04	75	309.25	317.62	323.20	75	1.2446	1.0251	0.8516
8	66	1.0484	14.53	66	309.62	317.91	323.56	66	1.2385	1.0208	0.8467
9	59	1.0460	14.29	59	309.77	318.03	323.80	59	1.2360	1.0190	0.8434
10	52	1.0412	13.81	52	310.11	318.28	324.17	52	1.2304	1.0153	0.8384
20	26	1.0107	10.76	26	321.76	323.68	322.71	26	1.1919	0.9894	0.8119
	0	0.9031		0	320.52	326.11	333.21	0			

表3. 6 および図3. 8 は地下水排除工におけるボーリング本数および先端間隔と安全率の上昇率の推移を試算した結果を示す。これによれば、ボーリング本数が概ね 90 本以上では本数増に対して大きな効果が発揮されない傾向が判る。

なお、地下水排除工の検討に供した設計条件を表3. 7 に示し、設計の手順を以下の示す。

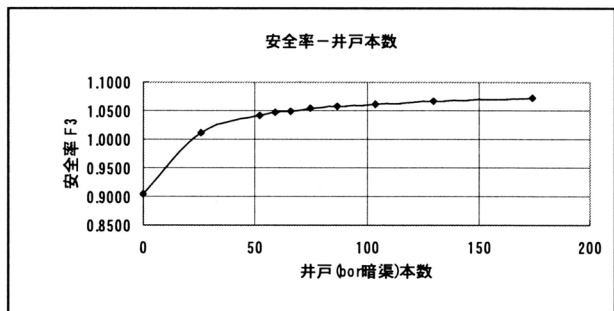


図3. 8 ボーリング暗渠本数-安全率

明瞭な陥没地形を有することから陥没帯上下流壁を涵養源とみなし、境界面条件は両側涵養壁の互いに平行な2つの境界面を持つ場合とした自由地下水対応揚水公式を用いる。

揚水公式にしたがって、それぞれのボーリング位置における集水量を求め、平面的な水位低下高の分布を算出し、ボーリング本数 n と陥没帯に位置する各スライスで実現される陥没帯内平均水位低下高(横断方向の各点で実現される低下水位高の平均値から求める)を求める。さらに、陥没帯内の各スライスにおける水位低下高を陥没帯部分での平均水位低下高(陥没帯部分での縦断方向における平均水位低下高)を算出し、これを陥没帯下流壁面に作用する水圧 Z_w とし各々について三次元安全率 F_3 を試算する。

表3.7 地下水排除工の設計条件

【設計条件】	
境界面条件	: 両側涵養壁 (側壁なし)
上部涵養壁位置	: 冠頭部滑落崖位置
下部涵養壁位置	: 主測線 (I 測線) のスライ No.53 上流側を通り, 上部涵養壁に平行
地下水形態	: 自由地下水
透水係数 k	: 1.0×10^{-3} (cm/s)
影響半径	: 100 (m)
井戸仕様	: 不完全井
井戸半径	: $r_w = 0.033$ (m:VP-65 集水管使用)
原水位高	: $H = 65.16$ (m:H8 最高水位相当)
井戸内水位高	: $h_w = 37.89$ (m)
帯水層内井戸長さ	: $h_s = 1.48$ (m)
井戸配置	: 単列配置

地下水排除工の計画位置は図3.5 対策工計画平面図に示したとおりであり, トンネル内ボーリング暗渠1本当たりの延長は80mとした。

(文責:国土防災技術㈱ 新潟支店 岩名 忠行)

----- 【Memo】 -----

参 考 文 献

地獄沢地区 県単地すべり対策観測委託 報告書(平成5~11年度) 新潟県土木部 十日町土木事務所
地獄沢地区 県単公共対応砂防調査(地質調査)委託 報告書(平成7~平成8年度) 新潟県土木部 十日町土木事務所
地獄山地すべり地 地すべり防止(山腹)調査委託 報告書(平成1~11年度) 新潟県治山課 小千谷林業事務所
地すべり便覧 (社)地すべり対策技術協会
赤津邦夫・須東博樹・正務章 積雪層外へ流出する日融雪量の算定モデル 日本雪氷学会誌「雪氷」52巻1号13-23頁
(1990)

社団法人 新潟県地質調査業協会会員名簿

事務局 〒950-0911 新潟市笹口1-20-5 ファイ・ビル3F
TEL (025) 248-3511
FAX (025) 248-3513

会員28社 H12.9.1

会 員 名	代 表 者	住 所	電 話 番 号	F A X 番 号
旭 調 査 設 計 (株)	仲林 進	新潟市幸西1-1-11	(025) 245-8345	(025) 245-8349
応用地質(株)北信越支社	河本 光司	ゝ 紫竹7-27-35	(025) 274-5656	(025) 271-6765
開 発 技 研 (株)	大塚 健	ゝ 文京町22-21	(025) 265-2261	(025) 267-8912
梶谷エンジニア(株)新潟営業所	大塚 光治	ゝ 新島町通1-1977-2	(025) 228-3520	(025) 225-2009
川崎地質(株)北陸支店	高橋 廣	ゝ 紫竹5-7-5	(025) 241-6294	(025) 241-6226
(株)キ タ ッ ク	中山 輝也	ゝ 新光町10-2	(025) 281-1111	(025) 281-0001
基礎地盤コンサルタンツ(株)北陸支店	石川 亨	ゝ 弁天橋通1-2-34	(025) 257-1888	(025) 257-1880
(株)興 和	五十嵐 武	ゝ 新光町6-1	(025) 281-8811	(025) 281-8833
国土防災技術(株)新潟支店	宮嶋 寛治	ゝ 坂井1035-1	(025) 260-2245	(025) 260-7522
三 祐 (株) 新 潟 支 店	田中 春男	ゝ 上所上1-16-8	(025) 285-0301	(025) 285-0302
サンコーコンサルタント(株)新潟支店	加藤 真二	ゝ 寺尾上4-4-15	(025) 260-3141	(025) 268-4950
(株)新 協 地 質	川島 隆義	ゝ 紫竹4-13-1	(025) 244-7866	(025) 244-1673
(株)新研基礎コンサルタント	児玉 芳彦	ゝ 山二ツ309-1	(025) 286-7188	(025) 287-0096
(株)大東設計コンサルタント新潟支店	椎谷政之助	ゝ 花園2-1-16	(025) 246-1320	(025) 247-3740
大日本コンサルタント(株)新潟事務所	野村 邦男	ゝ 米山4-1-23	(025) 241-0114	(025) 244-7328
(株)ダイヤコンサルタント関東支社新潟支店	池田 龍一	ゝ 西小針台1-4-21	(025) 234-2110	(025) 234-2111
中央開発(株)北陸支店	吉岡 良三	ゝ 堀之内南3-1-21	(025) 283-0211	(025) 283-0212
利根コンサルタント(株)新潟支店	須藤 貞美	ゝ 寄居町704-5	(025) 229-4098	(025) 229-4097
東邦地水(株)新潟事務所	岡田 久夫	ゝ 関屋新町通2-96-10	(025) 230-3741	(025) 230-3730
(株)日 さ く 新 潟 支 店	住吉 功	ゝ 上木戸1-10-1	(025) 273-6301	(025) 271-1110
日特建設(株)新潟支店	滝澤 紀夫	ゝ 南出来島1-10-1	(025) 285-2231	(025) 285-2229
日本基礎技術(株)新潟支店	與儀 喜吉	ゝ 寺山3-6-18	(025) 271-6311	(025) 271-7778
日本物理探鉱(株)北陸支店	柳 徹義	ゝ 神道寺3-10-37	(025) 241-2960	(025) 241-2959
北 陸 鑿 泉 (株)	永井 基之	ゝ 弁天1-1-15	(025) 244-5222	(025) 244-5223
三菱マテリアル資源開発(株)新潟営業所	成田 直弘	ゝ 上所中2-15-10	(025) 283-2081	(025) 283-2082
(株)村 尾 技 研	村尾 建治	ゝ 女池1433-11	(025) 284-6100	(025) 283-0368
明治コンサルタント(株)新潟支店	高坂 雄二	ゝ 青山1-1-22	(025) 265-1122	(025) 265-1126
ライト工業(株)新潟支店	磯部 守	ゝ 弁天3-3-19	(025) 247-8251	(025) 247-8254

(社) 地すべり対策技術協会新潟県支部会員名簿

〒950-0965 新潟市新光町6-1 興和ビル8F TEL (025) 281-8811

直通TEL (025) 281-8828 内線 830

FAX (025) 281-8832

<正 会 員>

24社 H12. 4.27日現在

会 社 名	代 表 者	〒	住 所	T E L	F A X
株式会社アドヴァンス	諸 橋 通 夫	950-0912	新潟市南笹口1-12-12	025-244-4131	025-244-5251
応用地質株式会社 北信越支社	洪 木 雅 良	950-0864	新潟市紫竹7-27-35	025-274-5656	025-271-6765
川崎地質(株) 北陸支店	高 橋 廣	950-0914	新潟市紫竹山5-7-5	025-241-6294	025-241-6226
株式会社キタック	中 山 輝 也	950-0965	新潟市新光町10-2	025-281-1111	025-281-0001
グリーン産業株式会社	荒 川 義 信	950-0983	新潟市神道寺2-2-10	025-242-2711	025-242-2700
(株)グリーン・アート	五十嵐 誠	940-0083	長岡市宮原1丁目2-5	0258-33-9115	0258-33-9116
株式会社 興 和	五十嵐 武	950-8565	新潟市新光町6-1	025-281-8811	025-281-8833
国土防災技術株式会社 新潟支店	宮 嶋 寛 治	950-2042	新潟市坂井1035-1	025-260-2245	025-260-7522
サンコーコンサルタント(株) 新潟支店	加 藤 眞 二	950-2055	新潟市寺尾上4-4-15	025-260-3141	025-268-4950
新越開発株式会社	穴 澤 繁 男	946-0000	北魚沼郡広神村大字下田351-32	02579-9-3232	02579-9-2118
株式会社 新協地質	川 島 隆 義	950-0864	新潟市紫竹4-13-1	025-244-7866	025-244-1673
(株)ダイヤコンサルタント 関東支社新潟支店	池 田 龍 一	950-2015	新潟市西小針台1丁目4番21号	025-234-2110	025-234-2111
中央開発株式会社 北陸支店	吉 岡 良 三	950-0982	新潟市堀之内南3-1-21	025-283-0211	025-283-0212
東邦地下工業株式会社 新潟営業所	河 内 弘 志	950-0941	新潟市女池1443	025-284-5164	025-284-5168
利根コンサルタント株式会社 新潟支店	須 藤 貞 美	951-8113	新潟市寄居町704-5	025-229-4098	025-229-4097
新潟植生株式会社	小 野 正 強	940-1153	長岡市要町1-9-50	0258-36-7533	0258-36-7695
(株)日さく 新潟支店	住 吉 功	950-0891	新潟市上木戸1-10-1	025-273-6301	025-271-1110
日特建設株式会社 新潟支店	滝 澤 紀 夫	950-0963	新潟市南出来島1丁目10-1	025-285-2231	025-285-2229
日本基礎技術株式会社 新潟支店	新 堀 幸 夫	950-0892	新潟市寺山3-6-18	025-271-6311	025-271-7778
三菱マテリアル資源開発(株) 新潟営業所	成 田 直 弘	950-0933	新潟市上所中2-15-10	025-283-2081	025-283-2082
緑物産株式会社	小 林 幸 一	950-2004	新潟市平島1丁目13-6	025-267-7700	025-233-6500
株式会社 村尾技研	村 尾 建 治	950-0941	新潟市女池1433-11	025-284-6100	025-283-0368
明治コンサルタント(株) 新潟支店	高 坂 雄 二	950-2002	新潟市青山1丁目1-22	025-265-1122	025-265-1126
ライト工業(株) 新潟支店	磯 部 守	950-0901	新潟市弁天3-3-19	025-247-8251	025-247-8254

<賛 助 会 員>

岡田土建工業株式会社	岡 田 巖	944-0047	新井市白山町2-11-6	0255-72-3231	0255-72-9663
株式会社 野 本 組	野 本 孝 利	944-0016	新井市美守1-13-10	0255-72-3194	0255-73-7523
久保田建設株式会社	久保田 洋 子	943-0132	上越市大字辰尾新田1	0255-24-4510	0255-22-7780
(株) 笠 原 建 設	笠 原 忠 次	949-1352	西頸城郡能生町大字能生1155-6	0255-66-3181	0255-66-4852
(株) 後 藤 組	後 藤 幸 雄	941-0064	糸魚川市大字上刈1530	0255-52-5820	0255-52-2855
(株) 保 坂 組	保 坂 武 司	944-0083	新井市大字上四ツ屋274	0255-72-4121	0255-72-9205
(株) 山 崎 組	山 崎 健 吾	944-0047	新井市大字高柳410-2	0255-72-3129	0255-72-1196

地獄山地すべり

2000. 9

編 集 行 (社)日本地すべり学会新潟支部
発 行

印 刷 株式会社 文 久 堂
