

蒲原沢源頭部崩壊地付近の地下水の挙動について

丸井英明*¹・渡部直喜*¹・佐藤一幸*²・吉川正徳*²・南雲政博*³・外山裕一*⁴

Behaviour of Groundwater in the Slope Failure Area of the Gamahara Torrent

by

Hideaki MARUI, Naoki WATANABE, Kazuyuki SATOU,
Masanori YOSHIKAWA, Masahiro NAGUMO and Yuichi TOYAMA

(Abstract)

In the previous paper the background and mechanism of the Gamahara Torrent debris flow of 6 December 1996 were reported on the basis of the results of various geotechnical investigations. This report deals with results of the geological survey in two bore holes just behind of the slope failure scar and observation results of the behaviour of the groundwater in the same bore holes due to the continuous measurement of the water table.

As a result of the initial field survey it was estimated that the debris flow was triggered by the slope failure which occurred at the geological formation border at an elevation of about 1,300m and further the soil layer above the formation border probably contained very much water due to antecedent rainfall before the occurrence of the slope failure.

Two bore holes for surveying are dug just behind of the slope failure scar in order to clarify the geological formation structure and to grasp the behaviour of the groundwater regulated by the geological formation border. It was confirmed that the geological formation structure of the target area is generally corresponding with the structure estimated from the in situ field survey in the slope failure scar. The upper soil layer, the formation of the quaternary volcanics, is classified into two layers namely the upper pyroclastic flow deposit layer and the lower andesite lava layer according to the observation results of the boring core from the two bore holes. The observation results of the water table in one of the bore holes showed that the water table has significantly risen up by snow melt and quickly dropped down in the middle of April 1998.

Keywords : triggering slope failure, groundwater, Quaternary Kazafuki volcanics, Kuruma Group, snow melt, electric conductivity, geotechnical investigations

キーワード : 崩壊誘起土石流, 地下水, 第四紀風吹火山噴出物, 来馬層, 融雪, 電気伝導度, 調査ボーリング

*¹新潟大学積雪地域災害研究センター
*³ (株) 興 和

*²建設省北陸地方建設局 松本砂防工事事務所
*⁴ジオテクサービス株

I はじめに

平成8年12月6日に発生した蒲原沢土石流災害の概要と、土質工学的観点からの考察結果に関しては前報で報告した。本報では、土石流の発端となった源頭部崩壊の直接の誘因と考えられる地下水の挙動に関する調査並びに考察結果を報告する。なお、この調査は砂防学会「12.6 蒲原沢土石流災害調査委員会」の提言を受けて、建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所が砂防学会に委託した「12.6 蒲原沢土石流崩壊原因調査業務」によるものであることを明記しておく。従って、本調査業務の骨子は可及的速やかに砂防学会誌に報告されるべきものであるが、印刷に至る所要時間と、許容原稿枚数の自由度を考慮して、本研究年報に可能な限り調査結果を掲載し、取り急ぎ報告するものである。

本調査の遂行に当たっては多くの方々のご協力を頂いた。本調査の意義を理解され、資材搬入路のない標高1,300m地点における困難な調査ボーリングの実施に御尽力頂いた建設省北陸地方建設局関係各位には大変御世話になった。また調査ボーリング結果の検討に参画頂いた砂防学会検討部会委員の方々には有益な御示唆を賜った。ここに深甚なる感謝の意を表する。

II ボーリング調査目的

平成8年12月6日に発生した蒲原沢土石流の発生源となった流域源頭部、標高1,300m付近の斜面崩壊の発生機構を詳細に検討するためには、その直接の誘因と考えられる崩壊地背後の土層内における地下水の挙動を把握することが必要である。そのため、以下の2点を目的としてボーリング調査を行った。

- ①崩壊地背後の地質構造の確認
- ②地下水の挙動の確認

ボーリング調査に付随する検討項目は以下の通りである。

(1) 地表地質調査

崩壊地周辺の地表踏査を行い、上部を覆う安山岩類の分布と下位の来馬層群との関係を確認する。

(2) 調査ボーリング

地表踏査の結果を踏まえて、崩壊地背後の尾根部に2孔の調査ボーリングを実施し地層の立体的分布状況を把握する。同時に、地下水の水位、水質等の調査を行う。

(3) 地下水の継続観測

調査ボーリング孔を利用して、地下水位、水温、電気伝導度を継続的に観測する。

(4) 崩壊発生機構の検討

平成9年7月の砂防学会「12.6 蒲原沢土石流災害調査報告書」等の既往調査資料を参考とし、本調査結果に基づき蒲原沢源頭部（標高1,300m付近）での崩壊発生機構の検討を行うものとする。

III ボーリング掘削作業結果

1. ボーリング調査孔の配置

本調査のため掘削したボーリング孔2本の配置図を図-1の平面図並びに図-2の縦断面図に示す。2孔とも崩壊地内ほぼ中央部を通る測線の延長上に位置し、No.2孔は崩壊地滑落崖上端から7.5mの地点に位置し、No.1孔はそこからさらに13.3m奥の位置にある。

図-2 ホーリソク調査孔位置縦断面図

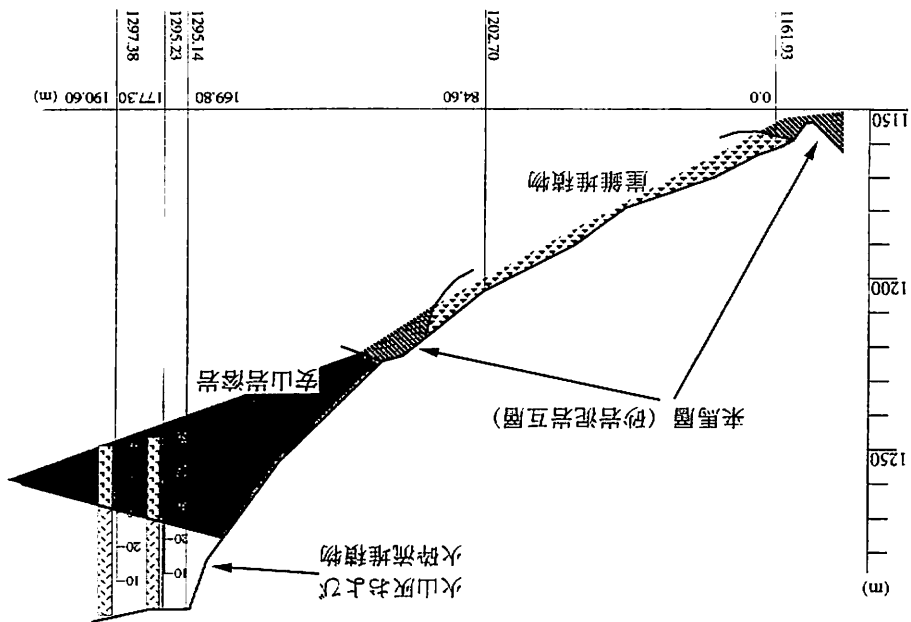
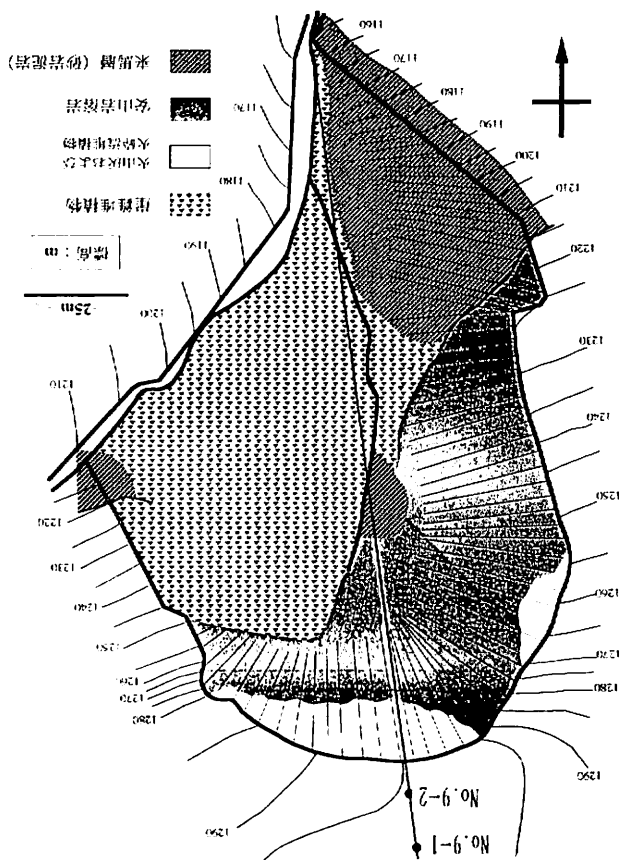


図-1 ホーリソク調査孔位置平面図



2. ボーリング掘削数量並びにセンサー設置位置

本調査ボーリングの最終掘削深度並びにセンサー設置位置を図-3に示す。No.2孔の最終掘削深度は51.10mであり、塩ビ管ケーシングは48.82mまで挿入されている。No.1孔の最終掘削深度は49.70mであり、塩ビ管ケーシングは49.70mまで挿入されている。

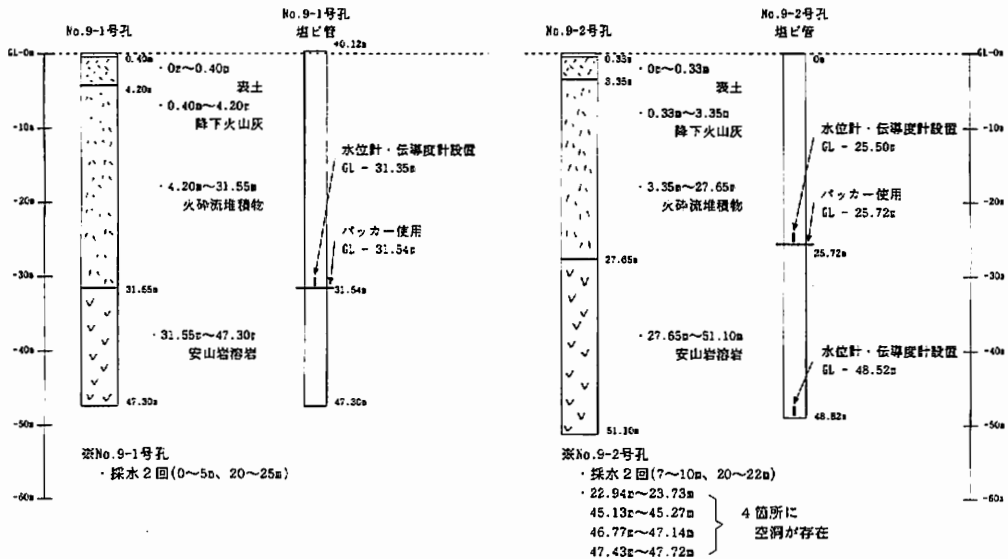


図-3 ボーリング掘削数量及びセンサー設置位置図

水位観測のため、No.2孔では25.72mの位置でパッキングし、25.50mの位置と48.52mの位置の2箇所に水位観測センサーを設置している。No.1孔では深さ31.54mの位置でパッキングし、31.35mの位置に水位観測センサーを設置している。その他、両孔でそれぞれ2回水質試験のため採水を行っている。

No.2孔では、0mから25.90mまでは転石混じりの砂質シルト層が続き火砕流堆積物と考えられる。なお、22.94mから23.73mの間に空洞が確認されている。このような空洞は地下水の流動する水みちとなりうるものと考えられる。25.90mから27.70mの間は破碎された安山岩である。さらに、27.70mから51.10mまではかなり硬い安山岩溶岩と考えられる。なお、45mから48mの間に3箇所の空洞が見られた。

No.2孔では掘進中地下水の存在は確認されなかった。地下水は多数確認された空洞あるいは安山岩の割れ目から流出しているものと考えられる。

No.1孔では、0mから31.57mまで礫混じり砂質シルト層が続き火砕流堆積物と考えられる。31.57mから49.70mまではかなり硬い安山岩溶岩と考えられる。

No.1孔では掘進中16m付近から31.57mの安山岩溶岩との境界までの間で地下水の存在が確認されたが、安山岩層に到達した時点で同層内の亀裂から流出したものと考えられる。下層の安山岩中には割れ目が多数存在するものの、基本的には上部の火砕流堆積物と下部の安山岩の境界面が地下水の挙動を規定する透水性の不連続面を形成するものと考えられる。

なお、来馬層の上面は当初の推定より深くNo.2地点、No.1地点ともに来馬層に到達しなかった。

3. ボーリングコア判定結果

ボーリングコアの観察結果に基づき柱状図を作成した。例として、ボーリング孔No.2のコア写真の一部を写真-1から写真-4に示す。両孔とも、基本構造は地表から3~4mまでが降下火山灰、30m付近までが火砕流堆積物、それ以下が安山岩溶岩となっている。また、両孔とも来馬層には到達せ

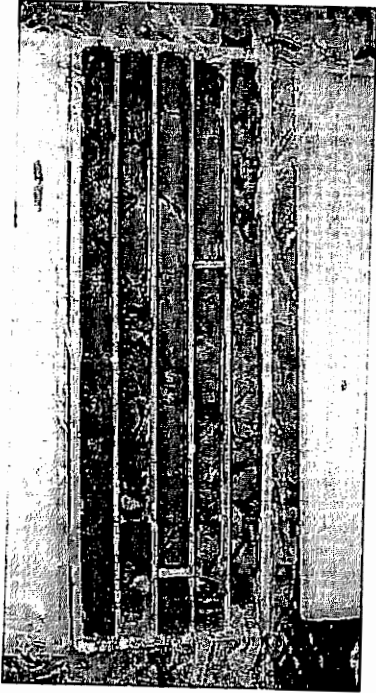


写真-2 ボーリング孔No.2 コア写真, 深度15~20m
(火砕流堆積物)

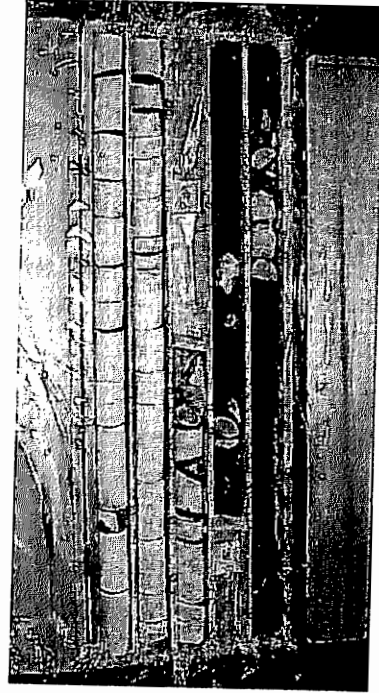


写真-4 ボーリング孔No.2 コア写真, 深度40~45m
(安山岩溶岩, 空洞有り, 堆積物層が介在)

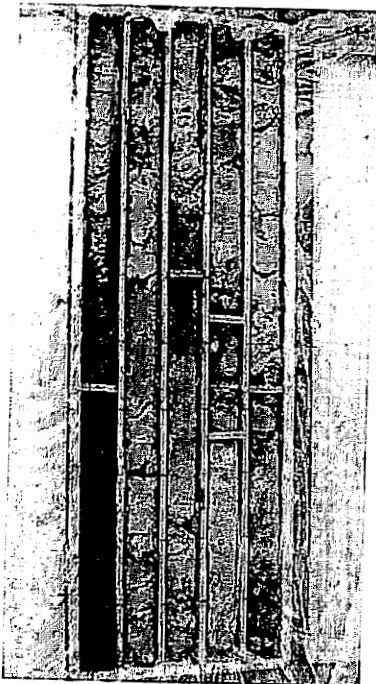


写真-1 ボーリング孔No.2 コア写真, 深度0~5m
(降下火山灰)

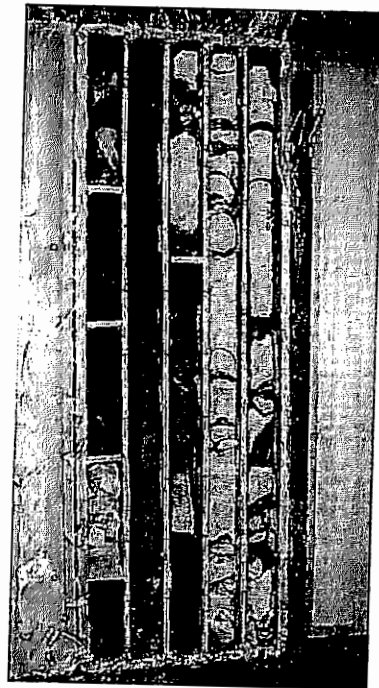


写真-3 ボーリング孔No.2 コア写真, 深度25~30m
(27.65mが地質境界面, 上層は火砕流堆積物, 下層は安山岩溶岩)

ず、安山岩層と来馬層の境界はかなり下にあるものと考えられる。火砕流堆積物層内の変化は著しく、粘土分を多く含む部分と安山岩礫を多く含む部分とが交互に現れる。安山岩層内では、上部ほど割れ目が多く分布し、下層になるほど割れ目が少なく硬質になっているものと推定される。

Na 2 孔と Na 1 孔を比較すると次のような特徴が見られた。

- ① Na 2 孔と比べて Na 1 孔の含水比が大きく、コアが濡れた状態であった。
- ② 黄褐色のローム（降下火山灰）と溶岩流は、Na 2 孔と Na 1 孔で各層部位の対比が可能である。しかしながら、火砕流堆積物の内部では層相変化が激しく、Na 2 孔と Na 1 孔の各層部位の対比は困難であった。
- ③ Na 2 孔の溶岩層に比べ、Na 1 孔の方が割れ目が多い。また、板状節理と思われる割れ目も傾斜している。

今回のボーリングの結果、降下火山灰からなる表層土、火砕流堆積物、安山岩溶岩の 3 層について、その層序と岩相が確認できた。火砕流堆積物は 2 層に区分できる。すなわち、①細粒分 (clay～silt) に富む層と②粒径分布が比較的よい亜角礫を含む層である。各層にはそれぞれ地下水の介在を示す痕跡が認められる。特に Na 2 孔の GL-16.00～27.65m では細粒分の層が顕著に構成されており、粘土化している。従って、この付近内で不透水層が形成されていた可能性が示唆される。安山岩層についても 2 層に区分できる。安山岩は緻密であり、発泡はほとんど見られない。このことから、安山岩自体は不透水であると考えられる。しかしながら、上位層では岩に亀裂が卓越しており、15～20本/cm 程度の間隔で亀裂が見られる。さらに、部分的には板状節理も見られる。一方、下位層にも同様に clinker 状に岩の亀裂が見られる。安山岩自体は緻密であっても亀裂を通じて地下水の帯水があった可能性は高い。また、コアが採取できなかつた部分もあり、岩盤内に空洞が存在していた可能性がある。

IV 地質構造の推定

標高 1,300m 地点の崩壊は図-4 に示す蒲原沢流域地質図から丁度地質の境界付近に位置すると考えられた。その後、崩壊地内部の踏査による地質調査結果に基づき、崩壊斜面表層部の地質は写真-5 と図-1 に示すような状況であることが解った。

- ① 崩壊斜面表層部の地質調査結果は基本的にはボーリング調査結果と整合する。
- ② 安山岩溶岩と来馬層の境界面の位置はこれまでの推定よりかなり低い。
- ③ 来馬層と上部火山噴出物（安山岩溶岩及びその上部の火砕流堆積物）の境界が 1 つの明瞭な地下水の挙動を規制する不連続面と考えられたが、さらに上部の安山岩溶岩と火砕流堆積物の境界も地下水の挙動を規制する不連続面と考えられる。
- ④ 安山岩溶岩と火砕流堆積物の境界面は、図-2 に示されるように崩壊面から奥の尾根方向に向かって下がっている。おそらく来馬層と上部火山噴出物との境界面も水平に近い面ではなく、同様に尾根方向に下がっているものと推定される。この傾斜は蒲原沢中流域に広範囲に見られる来馬層の傾斜と調和的である。

V ボーリング孔内水位観測結果

ボーリング孔内に設置した水位計により、1997年11月11日から1998年5月14日まで水位の経時変化を観測した。水位計の設置位置は図-3 に示すように Na 2 孔では地質境界面と孔底の 2 箇所、Na 1 孔では地質境界面の 1 箇所である。水位観測結果を図-5 に示す。温度変化から見て融雪が急速に進ん

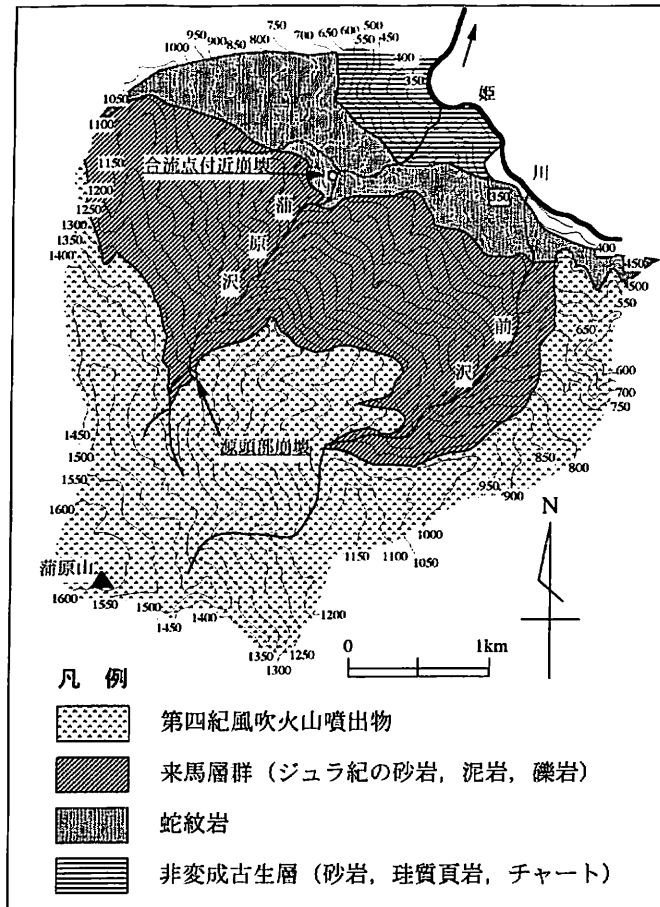


図-4 蒲原沢周辺地質図 (白石, 1992を一部簡略化)



写真-5 標高1,300m付近崩壊斜面の状況写真

だと考えられる1998年4月半ばに、No 1孔の地質境界面上で10mを超える水位の上昇が観測された。また、同時期にNo 2孔の孔底でも変化量は2～3 m程度であるが、同様の水位変化が観測されている。

ボーリングコアで観察されたように地質境界面下部の安山岩溶岩部分も割れ目が多いために、平常時の降雨や僅かの融雪による地下水の流量では、通常は仮に地下水が通過しても速やかに下部に浸透してしまい、水位計に観測されないものと考えられる。図-5の4月半ば頃に見られたような、融雪量が極めて多い時期には、下部の安山岩溶岩と上部の火砕流堆積物との地質境界面上に顕著な水位上昇が見られるものと考えられる。

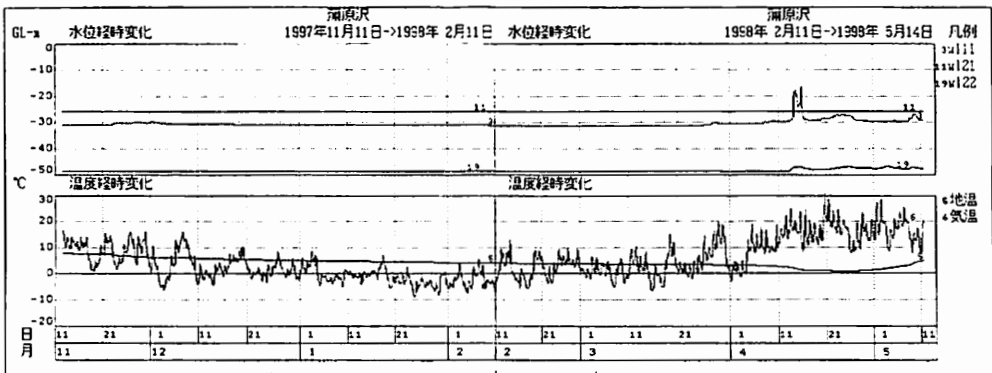


図-5 ボーリング孔内水位観測結果

VI 崩壊発生機構の推定

ボーリング調査に先行した、崩壊地内部の踏査によって崩壊地の詳細な位置関係、形状、規模、表面地質、地下水の湧水状況などが確認された。

12.6土石流の発生源となった標高1,300m付近の崩壊の発生を規定する基本条件として、地形的には崩壊箇所が流域源頭部の緩斜面から中流域の急斜面に移行する傾斜変換点に位置し、崩壊足下が蒲原沢本流の侵食前線に相当していたこと、また地質的には上部の脆弱な第四紀火山噴出物と下部の堅硬なジュラ紀堆積岩層の境界に相当していたことが指摘される。さらに素因に関連して、今回の崩壊が平成7年7月11日に既往最大規模の豪雨によって生じた崩壊斜面の拡大崩壊であって、それ以前の状態と比較して、応力解放や土層の変質という素因の変化があったことが前提条件となったと考えられる。また、誘因としては降雨と融雪水が透水性の高い火山噴出物層と難透水である堆積岩の境界面上を地下水となって流動し、崩壊地に供給されたことが推定された。

今回のボーリング調査孔は、第四紀火山噴出物層とジュラ紀堆積岩層との境界まで到達することができなかった。しかしながら、表面の降下火山灰層は別として火山噴出物層の内部において、さらに上部の火砕流堆積物層と下部の安山岩溶岩層との2層構造が把握され、明瞭な層の境界面が確認された。さらにボーリング孔No 1においては深度31.5mの境界面より上の火砕流堆積物層の深度16m付近までの間で掘進中に地下水の存在が確認された。

ボーリングコアの観察結果からは、素因に関連して火砕流堆積物層は粘土化した軟らかい領域を含むこと、安山岩溶岩層は、安山岩自体は堅硬であるものの亀裂が卓越しており、全体としては脆弱であると考えられる。このことは崩壊地内部の表面地質の調査結果と整合している。

一方、誘因に関連して、ボーリング実施時期は年間を通じて最も渇水期であったにも関わらず、掘

削中に地下水の存在が確認されたが、通常はこの地下水は空洞あるいは亀裂を通じて下方へ浸透するものと考えられる。一方、ボーリング孔内水位の経時観測結果から、融雪期等の豊水期には相当量の地下水の滞留があることが確認された。火砕流堆積物中に地下水流によって細粒分が脱落したと見られる箇所が存在することや、安山岩溶岩層内には亀裂が多数存在する事などにより、火山噴出物中に帯水可能な領域がかなり広範に存在すると考えられる。また、火砕流堆積物層と安山岩溶岩層との地質境界面が、透水性の顕著な差異に基づきその上に地下水が滞留する条件を形成していることが確認された。安山岩溶岩層とジュラ紀堆積岩層との境界面もより明瞭な不透水層を形成しているものと考えられる。

以上の事を総合して、平成7年7月11日の豪雨により生じた崩壊により応力の解放と地盤の風化・変質が進行し、崩壊地上部に連なる未崩壊斜面の足下が不安定な状態で残っていたところに、降雨、融雪、地下水による水の供給によって、さらに不安定となり崩壊に至ったものと推定される。

Ⅶ 今後の課題

今回のボーリング調査によって、深度50mに至るまでの地質構造が明らかになった。すなわち、第四紀火山噴出物層が上部の火砕流堆積物層と下部の安山岩溶岩層に区分され、その境界面上に地下水が滞留しやすい構造であることが確認された。但し、工期の制約によりボーリング孔はジュラ紀堆積岩層まで到達していない。従って、第四紀火山噴出物とジュラ紀堆積岩との地質境界を確認することはできなかった。

今回の調査成果を踏まえて、今後以下の課題を追求することが必要と考える。

- 1) 今回のボーリングコアサンプルを用いて可能な物理試験や化学分析を実施することが望まれる。物理試験としては粒度試験、土粒子密度試験、自然含水比測定、力学試験等、また化学分析としては粘土鉱物の分析などが挙げられる。
- 2) 可能であればもう1本ジュラ紀堆積層に到達するボーリング孔を掘削することが望ましい。崩壊は安山岩溶岩層とジュラ紀堆積岩層との地質境界面における地下水の介在により発生したと推定されており、やはりジュラ紀堆積岩層に到達するまで掘削する必要がある。新規掘削に際しては、地質境界面の確認に加え、簡易貫入試験、現場透水試験、さらに物理試験、力学試験をも実施することが望ましい。

参考文献

- 丸井英明・佐藤 修・渡部直喜 (1997)：平成8年12月6日新潟・長野県境蒲原沢土石流災害(速報)，砂防学会誌，Vol.49，No5，pp.60-62。
- 丸井英明・佐藤 修・渡部直喜 (1997)：12.6新潟・長野県境蒲原沢土石流災害緊急報告，新潟応用地質研究会誌，第47号，pp.57-62。
- 砂防学会 (1997)：12.6蒲原沢土石流災害調査報告書，70p。
- 丸井英明・渡部直喜 (1997)：平成7年姫川土砂災害と平成8年12月6日蒲原沢土石流災害，地球，Vol.19，No10，pp.606-611。
- 丸井英明・渡部直喜・佐藤 修・前川峰志(1997)：蒲原沢土石流災害について，新潟大学災害研年報，第19号，pp.23-48。
- 丸井英明 (1997)：蒲原沢土石流に関するその後の検討結果について，平成8年12月6日蒲原沢土石流災害シンポジウム報告書，砂防学会蒲原沢土石流災害ワークショップ編，pp.1-12。
- 渡部直喜 (1997)：蒲原沢源頭部崩壊地の地質構造について，平成8年12月6日蒲原沢土石流災害シンポジウム報告書，砂防学会蒲原沢土石流災害ワークショップ編，pp.13-16。