

地すべり対策集水ボーリング末端における閉塞の要因と対策

奥山武彦*・黒田清一郎**

目次

I 緒言	1	1 排除地下水の水量・水質	3
II 調査方法	1	2 延長パイプによる閉塞抑制効果	3
1 調査地区	1	IV 結言	5
2 調査方法	2	参考文献	5
III 調査結果と考察	3	Summary	6

I 緒言

地すべりは、「土地の一部が地下水等に起因してすべる現象又はこれに伴って移動する現象」と定義されている（地すべり等防止法第二条）ように、間隙水圧やブロックの荷重として地下水が大きく影響している。実際、新潟県下での地すべりの発生件数は融雪期である4月と梅雨期である7月に多い（古谷，1996）。地すべり対策は抑制工と抑止工に大別されるが、地すべりブロックへの地下水流入を減少させ、すべり面に作用する間隙水圧を低減させる目的で抑制工である排水ボーリング、集水井＋集水ボーリングなどの地下水排除工を施工することが多い。2004年の新潟県中越地震の後の調査では抑制工が施工された地すべりブロックが活動した事例が少なかったことが報告されている（池田ら，2006）。

還元状態で地中にあった地下水が地下水排除工によって大気に触れると、溶存物質が化学変化を起こすことがある。排水ボーリング末端にヘドロ状物質が生成して閉塞を生じ、排水を阻害するまでになることが珍しくない。この問題については多くの地すべり地を対象とした実態調査と分析が行われており（丸山ら，2003；小島ら，2004），閉塞物質は鉄細菌が関与して生成するものが主であるが、藻類などから構成されている場合もあることが報告されている（岸ら，2006）。地すべり防止施設は人里離れた山中に設置されることが多く、完成後に点検されることが少ないのが実情である。地すべり抑制機能を維持するためには閉塞等による排水機能の低下を防ぐことが必要である。

地形改変が行われた斜面における地すべり地に設置された集水井において排除地下水の水質と閉塞物質生成量の経時的調査を実施し、地すべりブロックの水利地質条件とあわせて閉塞要因の検討を行うとともに、簡易な閉塞対策の試みを行った。現地調査にあたって宮城県北部地方振興事務所栗原地域事務所に便宜を図っていただいたことに謝意を表す。

II 調査方法

1 調査地区

調査対象とした地すべり斜面は宮城県北部の栗原市内に位置し、南側と北側が川の侵食を受けたために東西に延びる標高約70mの尾根状丘陵地の南斜面にある。本地域の地質は下位から砂岩、シルト岩からなる新第三紀鮮新世小野田層、礫岩主体の第四紀更新世高清水層、軽石凝灰岩主体で細粒凝灰岩を伴う池月凝灰岩層とその上位の段丘堆積物層からなる。池月凝灰岩は鬼首火山を噴出源とし、年代は (0.25 ± 0.08) 百万年とされている（宮城県築館産業振興事務所・株式会社テクノ長谷，2003）。南斜面の平均傾斜は約10度であるが、1970年頃にひな壇状に造成された。盛土は凝灰岩質砂質土が用いられ、最大盛土厚さは10m余りと推定される。

2003年5月26日に宮城県沖深さ72kmを震源として発生したM7.1の地震の際に、標高50m付近を頂部として長さ約70m、幅約40m、移動土塊の厚さ3～5mの崩壊が発生した。原地形を重ねて見ると、Fig.1のように旧谷部に盛土された層の中で崩壊が発生したことがわかる。筆者らは同年11月に滑落崖の上方に間隙水圧計、雨量計、地表加速度計を設置して連続観測を開始するとともに、浸入能試験や自然電位探査などの調査を行ってきた（奥山ら，2006）。同ブロックでは2004年3月に地表排水路、集水井1基等による対策工が完成した。集水井は深さ約7mであり、滑落後の地表から1.6mと5.5

* 企画管理部防災研究調整役

** 施設資源部基礎地盤研究室

平成20年12月10日受理

キーワード：地すべり対策，地下水排除，水質，水酸化鉄，

Eh - pH ダイアグラム

mにそれぞれ13本、17本の集水ボーリングが設けられている。集水ボーリングは長さ35～50mで、塩化ビニル管(VP40)が設置されている。集水管は4列0.1m間隔に直径5mmの吸水口を穿孔されており、管表面の開口率は約0.5%である。対策工事によってすべり面に相当する深度6.1mの間隙水圧は1m以上低下したことが観測および実効雨量法による解析で確認されている(奥山・黒田, 2007)。2003年災害後に実施された調査ボーリング、スウェーデン式サウンディングの結果(宮城県・株式会社テクノ長谷, 2003)をもとに作成した、下段集水ボーリング深度における地層区分をFig.2に示す。西端の集水管をNo.1として番号をつけると、No.2～4はほとんど切盛土前の原表土と谷埋め盛土層の中にあり、北～東側のNo.9～17は基盤である凝灰岩層の中に位置している。

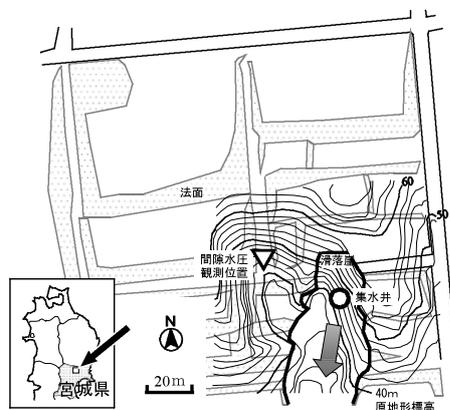


Fig.1 調査ブロック平面図
Location map of study site

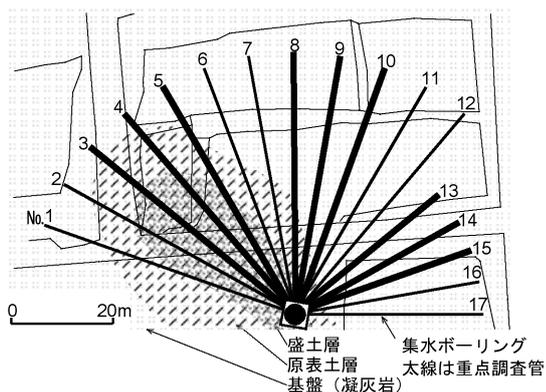


Fig.2 下段集水ボーリング深度の地層区分
Geological feature at the depth of lower drainage pipes

2 調査方法

a 集水ボーリング排水の水量・水質

常時排水がある下段集水ボーリングを対象として、2005年7月、2007年7月、9月、10月、2008年1月、10月に排水量と水質の調査を行った。排水量はメスシリンダーを使って測定し、水質は現場での携帯型測定器

Table 1 分析項目
Water quality analysis

場所	項目	分析方法
排除水	水温 電導度 (EC) pH 酸化還元電位 (Eh) 溶存酸素濃度 (DO)	携帯型電導度計 〃 携帯型 pH 計 〃 ポラログラフ式 溶存酸素計
	HCO ₃ ⁻ K ⁺ , Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ , 全鉄, Fe ²⁺ , その他 Na ⁺	pH4.8 滴定 吸光度計 イオンメータ
集水管内 空気	空気圧 酸素分圧	半導体ゲージ式 圧力センサ ポラログラフ式 溶存酸素計

による分析と実験室での吸光度法等による分析を行った。分析項目をTable 1に示す。

b 集水管末端閉塞状況と管内空気圧等の測定

集水管出口の付着による閉塞状況は写真撮影して岸ら(2006)の方法によってA(閉塞断面積率70%以上), B(50～70%), C(30～50%), D(10～30%), E(10%未満), F(閉塞なし)に分類した。集水管出口の付着物量は、付着物をヘラでかきとってポリ袋に採取し、実験室で炉乾後に秤量したが、集水管が集水井のライナープレートから突出する部分に取り付けられている保護用の太い塩化ビニル管と集水管との間の付着物は除外した。

17本の集水管のうち盛土層を貫通しているNo.3, 4, 5, 盛土層に覆れた基盤を貫通しているNo.8, 9, 10, 切土域にあるNo.13, 14, 15を重点調査管として、期間毎の付着物発生量の測定を行った。2007年9月に水中ポンプとブラシ付きホースを用いて集水管末端から10mまでの内部に水を噴射して簡易洗浄を行ってから試験を開始し、集水管出口の付着物採取を40日後(2007年10月)、それから99日後(2008年1月)、さらに282日後(2008年10月)に行った。

c 延長パイプによる閉塞抑制試験

通常、集水管は満流で流れることはないで、排除された地下水は管内の空気に触れながら流下する。水酸化鉄の生成が集水管末端に集中していることは、集水管末端で大気に触れて溶存鉄が酸化されることによると考え、Fig.3のように集水管に延長パイプを取り付けて排除水を大気に触れないまま集水井内に溜まっている水の中に直接放流する構造の適用を3本ずつの重点調査管群の中央の集水管No.4, 9, 14で試みた。延長パイプは2007年9月に管内洗浄を行った後に取り付けた。集水管末端に取り付ける硬質塩化ビニル製チーズ上端のふたを外して空気圧センサと溶存酸素濃度計を取り付け、集水管内

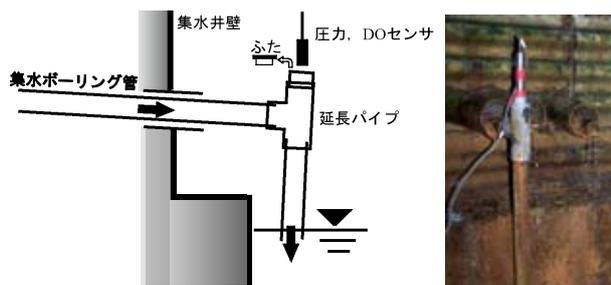


Fig.3 集水管末端の延長パイプと酸素濃度センサの取り付け状況

An additional pipe and oxygen sensor attached to the end of a drainage pipe

部の空気圧とその酸素濃度を測定できるようにした。

III 調査結果と考察

1 排除地下水の水量・水質

排水量は Fig.4 に示すように集水ボーリングによって大きく異なる。盛土層内を貫通している割合が高いNo.3, 4の排水量が少なく、ブロックの北東方を貫通しているNo.9～12の排水量が多い。自然電位探査によってブロック北東方の範囲が地下水の流出域と推定されている(奥山ら, 2006) ことと符合する。No.13～17の排水量

が少ないのは集水ボーリングの延長が短いことも一因であろう。2007年9月に管内簡易洗浄を行った9本については、洗浄直前の平均排水量が0.4L/min, 洗浄翌日が0.41L/min, 排水量が増えた管は4本で顕著な差はなかった。

集水ボーリング別排出水の電導度と溶存酸素濃度を Fig.5 に示す。電導度は原地形表土層, 盛土層内に位置する西側のNo.1～5が凝灰岩層を貫通するそれ以東の管より約2倍高く, 溶存酸素濃度はNo.10以東が高い値を示していることは, 地下水が盛土層の土壌を通過中に電解質が溶解するとともに微生物の活動等によって酸素を消費されるのに対し, 凝灰岩層では亀裂などを通る速い浸透が生じていることを反映していると考えられる。Fig.6の水質ヘキサダイアグラムにおいてNo.4は明瞭な重碳酸カルシウム型のパターンを示している。

2 延長パイプによる閉塞抑制効果

集水井建設後3.5年経過した2007年9月4日, 簡易洗浄を行った後(同月5日), 付着除去後282日経過した2008年10月31日の各集水管末端の状況写真を Fig.7 に示す。試験期間40日, 99日, 282日での付着物の炉乾質量は Fig.8 に示すように集水管No.3, 5で多い。282日で採取した付着物を土の粒度試験で砂分に相当する

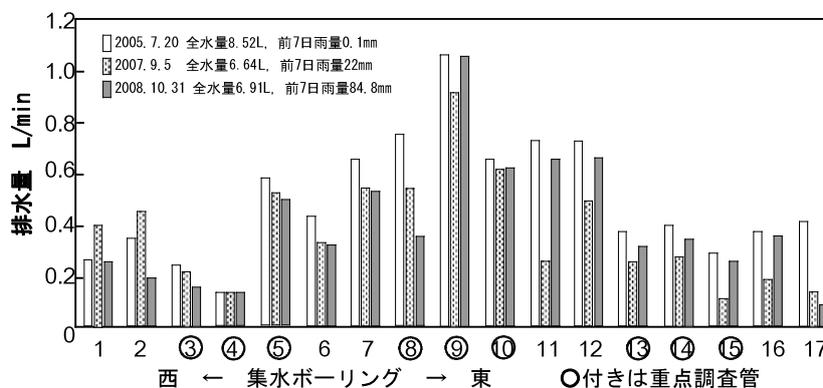


Fig.4 集水ボーリング別排水量
Discharge of drainage pipes

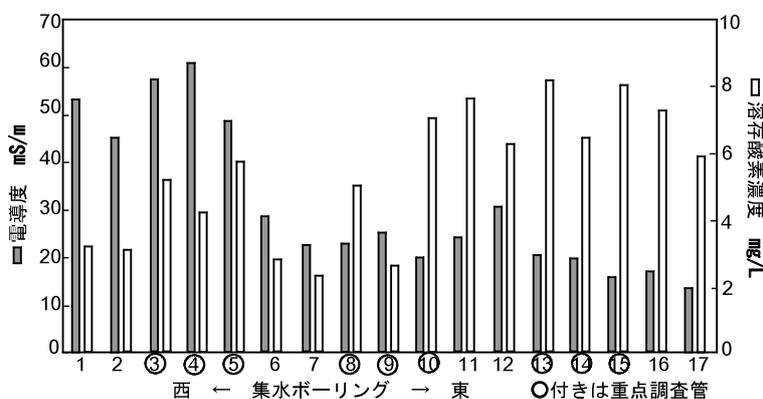


Fig.5 集水ボーリング別排出水の電導度と溶存酸素濃度 (2007.9.5)
Electric conductivity and dissolved oxygen of drained water

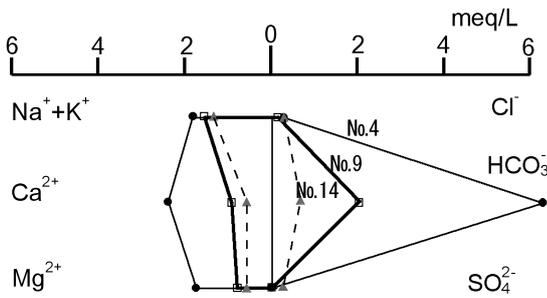


Fig.6 排水水の水質
Hexadiagram of drained water quality

75 μ m のふるい分けしたところ、付着物が多いNo. 3, 5でふるい残留分が多かった。盛土層の粒度組成は砂が60%前後を占めており(奥山ら, 2006), この試験期間中は大雨に伴って地下水排除量が大幅に増えた日があったので、地下水が表土層、盛土層中の集水ボーリングに流入する際に浸食した土が運ばれて捕捉されたものと考えられる。

簡易洗浄前の2007年9月4日の全管と2008年10月31日の重点調査管9本について集水管末端の付着度(前述)と排水水量に全鉄濃度を乗じた全鉄流出量との関係をFig.9に示す。全鉄濃度は試水中の鉄を2価鉄に転化させてから1, 10フェナントロリン試薬による発色を吸

光光度計で測定した。両者には概ね相関傾向が見られ、全鉄流出量が5mg/min以上であると管断面の半分以上の閉塞を表す付着度ランクBになる傾向を示している。鉄はpH, 酸化還元電位が低い条件では2価の溶存状態になる。水のpHと酸化還元電位による鉄の存在形態を示すEh - pHダイアグラムに付着度を重ねたFig.10に示すように、排除水の酸化還元電位が低いほど、すなわち大気に触れる管末端で酸化されやすいほど付着度が高くなる。岸ら(2006)によると、 Fe^{2+} 安定領域では含鉄細菌タイプの生成物質が分布する傾向がある。

集水管No. 4, 9, 14で2007年10月15日と2008年11月1日に測定した管内空気の圧力, 酸素分圧をTable 2に示す。管内は酸素分圧が大気の45~72%と低い空気がわずかながら大気より高い圧力で存在しており、排除水量が多い管ほど酸素分圧が低い傾向があった。すなわち、低酸素状態の集水管内を流下してきた2価鉄を含む地下水が末端で大気に触れると酸化して管出口に付着する付着物を生成する。末端に延長パイプを付加して排除水が大気に触れないようにしたNo. 4はNo. 3, 5に比較して酸化物を減少させる効果が現れた。No. 9は酸素濃度が低い、重点調査管の中では全鉄流出量が高いレベルにあるために長期間には水酸化鉄の生成が徐々に進行したと考えられる。

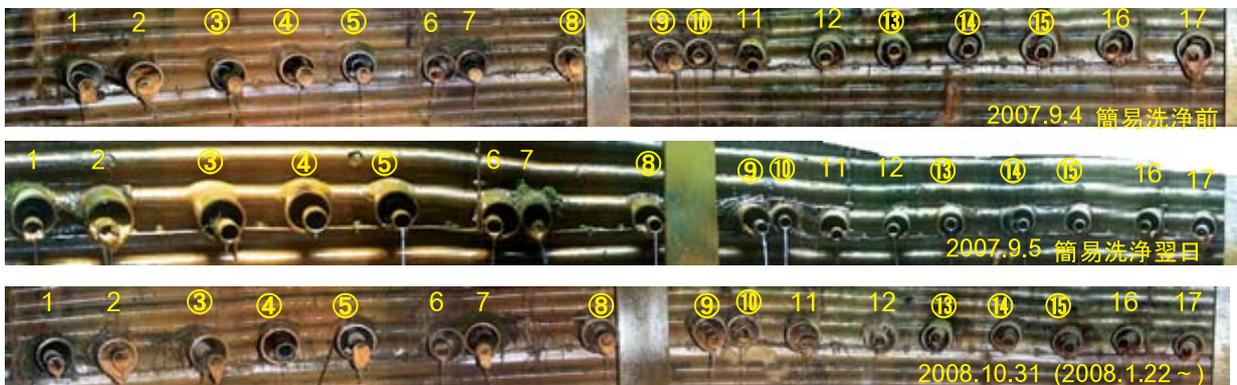


Fig.7 集水管末端のパノラマ写真
Blockage at the end of drainage pipes

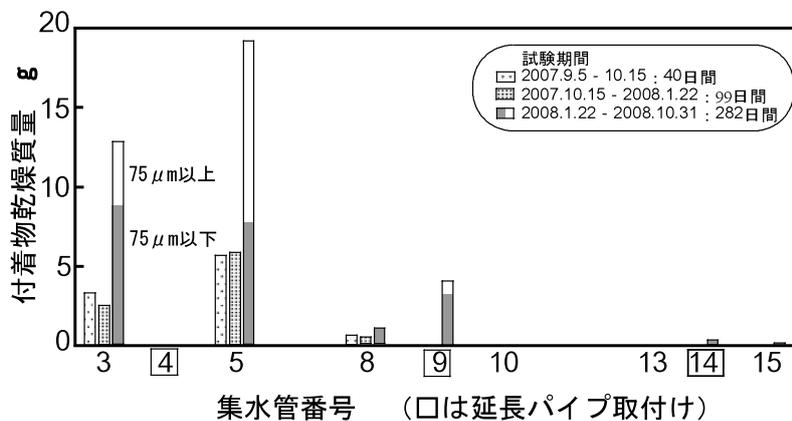


Fig.8 管末端の付着物量
Amount of blockage at the end of drainage pipes

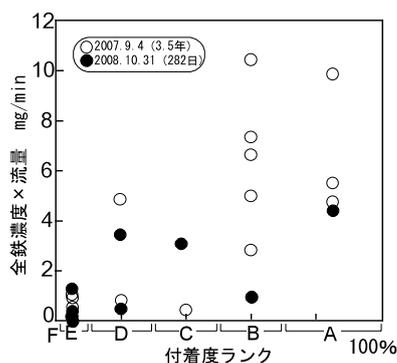


Fig.9 全鉄流出量と付着度ランク
Iron ion discharge and blockage level

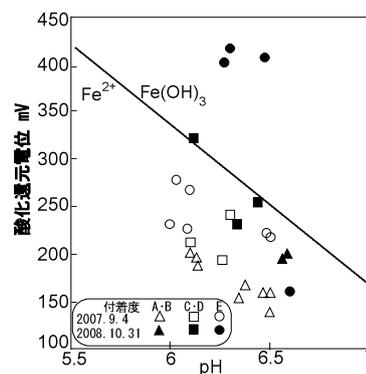


Fig.10 鉄の存在形態と付着度
Eh-pH diagram and blockage level

Table 2 集水管内空気の状態
Features of air in drainage pipes

集水管 No.	4		9		14		気中	
測定日	07.10.15	08.11.1	07.10.15	08.11.1	07.10.15	08.11.1	07.10.15	08.11.1
空気圧力 (Pa) *	40	18	0	18	0	15	0	0
酸素分圧 (%)	14.5	14.87	9.2	10.45	11.9	11.73	20.5	20.5
付着度	E	E	F	C	E	E		
排水量 (L/min)	0.14	0.145	0.74	1.06	0.24	0.355		

*1Pa ≒ 水柱 0.1 mm, 付着度 C : 閉塞断面積 30 ~ 50%, E : <10%, F : 0

IV 結 言

地すべり頭部に設置された集水井の集水管末端における沈殿物発生状況の経年的調査を実施した。同一集水井の集水ボーリングでも集水量、水質に大きな違いがあることは谷埋め盛土を含む地すべりブロックの地層構成の複雑さを反映している。盛土部からの排水は量が少ないが電導度、イオン濃度が高かった。集水管末端の閉塞の原因となる水酸化鉄の付着状況も管によって大きな差異があった。付着は盛土層側で著しく、付着度は排除地下水の鉄排出量（鉄濃度×排水量）との相関が見られた。集水管内は酸素分圧が低い空気が微正圧で存在しているため、排除水に含まれる 2 価鉄が集水管末端で酸化されて水酸化鉄を生成し、流下してきた土粒子も捕捉して閉塞が進むと考えられる。

現地ですべて測定できる排除水の pH と酸化還元電位によって鉄の存在形態と酸化の可能性を推定し、閉塞対策の必要性を事前に評価することができる。排除地下水や管内空気には大気より割合は低いものの、酸素が存在しているため水酸化鉄の生成を完全に止めることはできないが、集水管末端に延長パイプを取り付けて集水管末端を大気から遮断する方法について、1 年余りの試験によって閉塞の抑制効果が確認できた。この構造は集水管内に排除水を滞留させないので流出土砂の堆積を引き起こすことがない。対策工として実施件数が多い地上の排水ボーリング工への本提案法の適用性について検討をす

すめたい。

参考文献

- 1) 古谷尊彦 (1996) : ランドスライド, 古今書院, 46
- 2) 池田伸俊・坂井俊介・新保直人 (2006) : 新潟県中越地震による地すべり防止施設の被災状況, 日本地すべり学会誌, 43(4), 16-24
- 3) 岸 智・河野剛士・浅野将人・森田健太郎 (2006) : 北陸地方の地すべりに関する水抜きボーリング工の目詰まりの実態と要因, 日本地すべり学会誌, 43(4), 1-8
- 4) 小嶋伸一・丸山清輝・佐藤宗吾・武士俊也 (2004) : 簡易な水質調査法による地下水排除施設へのスライム付着可能性調査, 日本地すべり学会誌, 41(4), 67-70
- 5) 丸山清輝・安藤達弥・飯田正巳 (2003) : 地下水排除施設集水管の目詰まりに関する検討, 日本地すべり学会誌, 39(4), 23-29
- 6) 宮城県築館産業振興事務所・株式会社テクノ長谷 (2003) : H15 館下地区地すべり調査測量業務報告書
- 7) 奥山武彦・中里裕臣・黒田清一郎・有吉 充 (2006) : 2003 年宮城県沖地震で発生した地すべり地の水理地質特性, 日本地すべり学会誌, 42(5), 51-56
- 8) 奥山武彦・黒田清一郎 (2007) : 地すべり対策集水井の排水状況調査事例, 第 4 回地盤工学会関東支部発表会講演集, 391-392

Factors of blockage at the end of groundwater drainage pipes for landslide mitigation and a countermeasure

OKUYAMA Takehiko and KURODA Seiichiro

Summary

Investigation of groundwater drainage conditions with a drainage well in the course of landslide mitigation was conducted in Miyagi Prefecture. Large differences in drainage rate and water quality of drained groundwater through the horizontal drain pipes installed in the same drainage well reflected a complex geological structure of the landslide block. As for drainage from the soil bank area, drainage rate was low, and electric conductivity and ion concentrations were high compared to another area.

Formation of iron hydroxide that caused blockage in the drainage pipes depended on the conditions of each pipe. Pipe end blockage was remarkable on the banked side, and a correlation was seen between the amount of iron discharged from the drained groundwater (iron concentration x drainage rate) and the blockage level. Concentration of Fe^{2+} in drained groundwater was as much as 3.94 mg/L. The low oxygen air controlled oxidation of Fe^{2+} in the drainage pipes. Iron hydroxide was formed by exposure to the atmosphere at the end of the drainage pipes. Soil particles trapped by iron oxide enlarged the blockage. Formation of iron oxide was not able to be completely stopped because some oxygen was dissolved in the groundwater. However, an extension pipe attached to the end of the drainage pipe isolated the drained water from the air and controlled formation of the blockage in our experiments. The possibility of a blockage can be easily estimated in the field by measuring the pH and oxidation-reduction potential (Eh) of the drain.

Keywords : landslide mitigation, groundwater drainage, water quality, iron hydroxide, oxidation-reduction potential