株式会社荒谷建設コンサルタント 岡山支社 技術部 地盤調査課 河村 圭亮

<u>1. はじめに</u>

地質状況が不明瞭な切土斜面では、どの範囲や深度ですべりが発生しているかについては判断が難しい 場合が多い。本事例では、県道沿いの切土のり面において確認された、引張キレツや押し出し等の変状に ついて、地質調査ボーリングおよび孔内傾斜計、地盤伸縮計による動態観測、孔内水位の観測等の地すべ り調査を行った。その結果、明瞭な地すべり性の地中変位が認められ、調査解析結果より安定解析、対策 工法の検討までを行ったものである。これらの一連の業務について紹介する。

2. 概要

当該地では、図1の平面図に 示す切土のり面において、第一 小段および第一のり面上部で、 明瞭な押し出し、クラック等の 変状が確認された。また、踏査 の結果、切土のり面上部の自然 斜面内に、明瞭な滑落崖、引張 キレツが生じていたため、地す べり性変動と考え、赤枠で示す 地すべりブロックを設定したも のである。

2-1. 地形概要

当該地は、標高250 ~ 300m 程度の南向きの斜面であった。 調査対象の切土のり面の勾配は 40~45°、のり肩付近における 自然斜面の傾斜角は15~20°で あることから、切土のり肩は遷 急線を形成しているといえる。

また、既往資料より、当該のり面は 施工時の勾配よりも緩勾配で切り直さ れており、過去に変状が発生したもの と考えられた。地すべりブロックの 地形的特徴については、表1に示す。 2-2. 地質概要

周辺の露頭や既往地質図より、当該 地の基盤地質は、主に粘板岩や凝灰質 泥岩からなる。これらの地層は、局所



図1 調査地平面図

	表1 地すべりブロックの地形的特徴					
ブロック幅	最大幅 Wmax=60 ~ 65m					
斜面長	水平長 64m、斜長 77m					
平均斜面勾配	$\overline{\alpha} \rightleftharpoons 35^{\circ}$					
標 高	275 ~ 320m (標高差Δ Hmax ≒ 44m、切土直高 hmax ≒ 47m)					
主測線方向	N4E					
ブロック面積	3,000 m ²					
	(a).変状の大半は切土のり面において観察される。					
変状発生範囲	(b).滑落崖、引張キレツの一部は自然斜面において観察される。					
	(c).地すべり頭部はのり肩より山側の自然斜面に位置し、地す					
	べり末端部は切土のり面のなかで認められる。					
遷急線	切土のり肩が遷急線を形成している。					
遷緩線	なし					

的に片理構造が認められる千枚岩状の露頭も認められたが、全体的に変成度も低いことから、本事例では これらをまとめて泥質岩類(P1)とした。その他に、泥質岩類(P1)のなかの挟在層として塩基性凝灰岩が認 められ、既往地質図より塩基性火山岩類(Bt)とした。

2-3. 地質構造

地すべりブロック周辺の露頭より層理、節 理の走向傾斜を数多く測定し、シュミットネ ットの南半球側に投影することで層理、節理 の統計解析を行った。この解析結果について 図2に示した。また、現地では片理構造を有 した岩盤露頭も認められたが、片理の走向傾 斜は層理方向と調和的であったことから、片 理の走向傾斜は層理に含めてシュミットネッ ト解析を行った。これより次のことがいえる。

(1). 層理ピークはN68°E80°N~
 N86°E85°Nで認められ、傾斜は非常に
 急勾配であり、当該切土のり面は70°以
 上の受け盤構造となると考えられた。
 また、走向については、概ね切土のり面
 と平行であった。

- (2). 節理ピークは N39°W85°SW~
 N17°W82°W で認められた。走向のピーク N39°W~N17°Wについては、層理ピークの N68°E~N86°Eと概ね直交する関係であり背後の自然斜面の痩せ尾根と平行であった。傾斜については、ピークの傾斜が 80°以上と急であった。
- この結果より、急傾斜角の受盤構造は、ク リープ・トップリングによる地すべりの発生

N N55° E33° SE E W -ク値 N68° E80° N データ総数:85 S N86° E85° N 0~4% 層理(B) 4~8% M 8~12% 12~13% •N39° W85° SW ►N17° W82° W W E データ総数:97 S 節理(J)

機構となり得ると考えた。また、急傾斜角の節理勾配は、地表の雨水を効率的にすべり面に供給する働き となり、地すべりの地質的素因の一つであると考えた。

3. 調査結果

<u>3-1. ボーリング調査結果</u>

調査ボーリングは、ブロック頭部、中部、末端部の3箇所で実施した。当該斜面の基盤地質は、粘板岩、 凝灰質泥岩の泥質岩類(P1)と、挟在層の塩基性火山岩(Bt)の互層状となっているが、泥質岩類(P1)が大き く優勢であったため、断面図の地層は地すべり地質区分によって区分した(図3参照)。ボーリング調査で 確認された各層の特徴を以下に示す。

(1). Dr~W1(破片状攪乱部~強風化岩)

各ボーリング孔の上部に分布し、風化の進行と熱水変質作用により、細粒分混じり砂礫~砂質土状 コアとして採取された。N値は 10~30 程度であり岩級区分は D_L~D_H級と判定した。最大層厚は 13m

図2 シュミットネット解析図

であった。

(2). W2~Dr(風化破砕岩~破片状攪乱部)

B-No.1 の GL-14.65m~18.60m で確認された。風化の進行と熱水変質作用により、コアは細粒分混じり砂礫~礫状コアとして採取された。N 値は 50 以上であり、岩級区分はD_H級と判定した。

(3). W2(風化破砕岩)

各ボーリング孔で土砂状風化部の下位に分布し最大層厚は 4.5m であった。礫状〜岩片状コアを示し、N 値は 50 以上であり、岩級区分は D_H〜C_L級で軟岩 I と判定した。岩組織を残し、層理・節理等の割れ目構造が確認できた。層理傾斜角は 60〜90°、節理傾斜角は 30〜60°であった。

(4). W3~W2(弱風化岩~風化破砕岩)

最大層厚は13m以上で礫状〜岩片状〜短柱状コアを示し、N値は50以上〜貫入不能であった。岩級 区分はC_L〜D_H級で軟岩 II と判定した。層理・節理が明瞭に発達しており、層理傾斜角は60〜90°、 節理傾斜角は10〜20°であった。

(5). W3~Rf(弱風化岩~基盤岩)

B-No.3のGL-7.15~16.00m で確認され、最大層厚は9m以上であった。柱状〜岩片状コアを示し、N 値は貫入不能で、中硬岩〜軟岩 II と判定した。層理・節理が明瞭に発達し、層理よりも節理に沿っ て割れやすい。層理傾斜角は50~80°節理傾斜角は60~90°であった。



3-2. 動態観測結果

(1). 地盤伸縮計

ブロック内のうち、頭部の自然斜面内にみられる明瞭な引張りキレツ・滑落崖を跨いで、それぞれ伸

縮計 S-1、S-2 を設置し、2019 年 5 月~2020 年 3 月まで観測を実施した。この観測結果グラフについて図 4 に示し、各地点の変位の特性について述べる。

(1). S-1

変動は断続的に確認されたが、降水量との相関がみとめられず、圧縮方向であったため、地すべり 性の変動ではないと考えた。

2. S-2

S-1 と同様に変動が断続的に確認されたが、降水量との相関がみとめらなかった。10 月 31 日に一時的に引張方向への変動が認められたが、すぐに収束したため、異常値とし地すべり性の変動ではないと考えた。



これらの結果より、観測期間中は当該斜面の地表面での明瞭な変動は生じていないと考えた。

(2). 孔内傾斜計観測結果

ボーリング位置 B-1~B-3 の 3 箇所で、孔内傾斜計観測を実施した。当初は 2020 年 3 月までの観測 であったが、2019 年は渇水年であったため、2020 年の 10 月まで観測業務の延長を提案した。観測結 果について図 5~7 に示す。

• B-No. 1

図5より、2019年5月から2020年9月までの観測期間のうち、実効雨量が150mmを超えると、GL-12.0~13.0m付近で地表側が明瞭に斜面下側に倒れ込む形状がみられた。さらに、GL-8.5~10m付近よ り地表側は、変位量が徐々に増大する傾向が現れていた。当該斜面は、傾斜角が70°以上の受け盤構 造であることから、B-No.1の変位形態は図8より"トップリング"と判定した。変動量は最大で 0.75mm/月であり、表2より"潜在変動"と判定した。

• B-No. 2

図 6 より、2020 年 6 月の観測以降、GL-10.50~13.0m 付近においてグラフは明瞭に屈曲した。これ により変位形態は、図 8 の"せん断変位"と判定した。変動量は GL-10.5m で、最大で 1.28mm/月であ り表 2 より"潜在変動"と判定した。





• B-No. 3

図7よりGL-3.0~7.0m付近において斜面下側に倒れ込む形状で傾斜しており、GL-3.0m以浅では変位量は小さくなっていた。このグラフの形状は図8の"トップリング"と"せん断変位"の中間的なものと判定した。変動量は最大で0.75mm/月であり、"潜在変動"と判定した。



図7 B-No.3 孔内傾斜計観測グラフ

各孔で、実効雨量 150mm を超える降水量を記録した後、地中変位が明瞭になっていた。また、B-No.2、 B-No.3 では、変位がみられ始める深度よりも高い位置で最高水位(HWL)が記録された。



表 2 孔内傾斜計変動種別一覧表

【参考一1】 扎內傾斜計変動種別一寬表									
3	変動 種 5	31J	日変動絶対値	月変動絶対値	備	考			
緊	急変	動	20mm/日以上	500mm/月以上					
確	定変	動	1mm/日以上	10mm/月以上					
準	確定変	動	0.2mm/日以上	2mm/月以上					
潜	在 変	動	0.02mm/日以上	0.5mm/月以上					
	the first state of the state of								

参考文献(2). 土木工事設計マニュアル

参考文献(1).地すべりにおける挿入式孔内傾斜計 計測マニュアル

4. すべり面の設定理由

4-1. 不安定土塊の最大層厚

不安定土塊の最大層厚は次の調査結果より13m程度と判定した。

(1). 孔内傾斜計観測結果

孔内傾斜計観測において、せん段変位もしくはトップリングの変位が認められる深度は、次に示すように最大で GL-13m 程度であった。

- ①. B-No.1 : GL-9.0∼10.0m、12.0∼13.0m
- ②. B-No. 2 : GL−10. 5~13. 5m
- ③. B-No. 3 : GL-3. $0 \sim 7$. Om

(2). ボーリングによる地質状況

N値が 50 未満を示し、土砂状コアが優勢な最大深度は、次に示すように概ね GL-13m 程度であった。

- ①. B-No. 1 : GL-12. 6m
- ②. B-No. 2 : GL-13. 0∼13. 45m
- ③. B-No.3:GL-3.45m
- (3). 参考文献

図9において「地すべりの深度はブロック幅の 1/5以下であることがほとんどである」と記して あることから、以下の検証を行った。

① ブロックの最大幅

表1より Wmax=60~65m

(2) $W_{max} \times 1/5 = (60 \sim 65m) \times 1/5$

=12~13m→今回の最大層厚と整合

これらのことから不安定土塊の最大層厚は13m 程 度と判定した。



参考文献(3).地すべり防止技術研修テキスト(令和元年度版)

4-2. すべり面設定根拠

ボーリング調査結果および孔内傾斜計観測結果

より、図 10 に示したように、SL-1、SL-2、SL-3、SL-4のすべり面を設定した。この設定理由について記述する。

(1). SL-1

B-No.1より約7m山側に位置する引張キレツをすべり面の最頭部とし、 B-No.1~B-No.2においては Dr~W1とW2の境界をすべり面深度と判定した。この境界は孔内傾斜計グラフの観測結果とも合致して いた。B-No.3においては、W2とW3~W2の境界付近を、細粒分を含有した礫状コアが採取され、岩質の 劣化部となっていたことからすべり面深度と判定した。B-No.3より9~10m県道側には、押し出しによ り吹付モルタルにキレツが発生しており、このキレツ位置をすべり面の末端とした。

(2). SL-2

SL-1 と同様に、B-No.1 より約7m山側に位置する引張キレツをすべり面の最頭部とし、B-No.1~B-No.2 においてはDr~W1とW2の境界をすべり面深度と判定した。B-No.3 においては、GL-3.00m以深 において地中変位量が増大する傾向が認められたことと、土砂状コアとDr~W1とW2の境界であった ため、すべり面深度と判定した。末端部については、SL-1と同様とした。

(3). SL-3

SL-1、SL-2と同様に、B-No.1より約7m山側に位置する引張キレツをすべり面の最頭部とし、B-No.1においては、地中変位量が徐々に増大する傾向が認められる、GL-9.00mをすべり面深度と判定した。B-No.2においては、GL-12.00~13.00m付近において明瞭な屈曲変位が認められたため、W1~Dr とW2級の地質境界であった。GL-13.00mをすべり面深度と判定した。B-No.3においては、SL-1と同様にGL-7.15mをすべり面深度と判定し、末端部についてもSL-1と同様とした。

(4). SL-4

その他のすべり面と同様に、B-No.1 より約 7m 山側に位置する引張キレツ跡をすべり面の最頭部とし、B-No.1 においては、GL-9.00~10.00m 付近より地表側において地中変位量が徐々に増大する傾向

が認められ、かつ GL-9.00~9.70m は、熱水変質作用を受けているコアであったため、GL-9.70m をす べり面深度と判定した。B-No.2 においては、SL-3 と同様に GL-13.00m をすべり面深度と判定した。B-No.3 においては、SL-1、SL-3 と同様に GL-7.15m をすべり面深度と判定し、末端部についても、その 他のすべり面と同様とした。



<u>5. 機構解析</u>

5-1. 素因、誘因

当該のり面の地すべりの素因と誘因について、調査より次のものが考えられた。

(1). 素因

地すべりの素因としては、地形・地質的要因があげられる。

①. 地形的要因

切土のり面と自然斜面の境界、すなわち切土のり肩は遷急線となっており、弱部となりやすく、 崩壊や地すべりの発生原因の1つであると考えられた。また、ブロック背後には"やせ尾根"があ り、当該斜面・のり面の基盤地質は、地下深くまで風化・変質、破砕作用等を受けていたといえる。

②. 地質的要因

基盤岩である泥質岩類(P1)は熱水変質を受けており、Dr~W1級の脆弱な地質体が形成されている。 層理の走向がのり面の走向と平行であり、傾斜が70°以上の受盤であることから、トップリング が発生しやすい地質構造であった。節理の走向についても、傾斜が80°以上と急であり、雨水を 背後の自然斜面からすべり面へと供給しやすい地質構造であった。

(2). 誘因

地すべりの誘因としては、人為的要因である切土工事の影響と強雨・豪雨による地下水の影響(地下 水流動)があげられる。

① 人為的要因(切土工事)

切土工事に伴って脆弱な Dr~W1(破片状攪乱部~強風化岩)層が地表に露出することにより、押さ え荷重が減少するとともに、地山強度が徐々に低下することで、のり面・斜面が不安定となった。 切土のり尻付近には軟岩 II 以上の硬質岩盤が分布するが、これを切り取ることで押さえ荷重が小 さくなり、さらに、高角度層理が開口することで緩みが進行し、トップリングが発生しやすくなっ たと考えられる。また、当該切土のり面は過去に一度切り直されており、切り直し後に再度地中で は強度低下、緩み等が徐々に進行し、ストレスが蓄積された状態であったと考えられた。

② 強雨·豪雨による地下水流動

高角度節理が地下水をすべり面に供給する働きをしていることから、強雨・豪雨に伴って不安定 地盤のなかに地下水が流入することで、異常間隙水圧が発生し、地すべり変動の原因となると考え られた。孔内傾斜計観測でも、実効雨量が 150~200mm を超えると、地下水位が上昇し地中変位が 増加する傾向がみられ、特に B-No.2、B-No.3 における最高地下水位(HWL)は、地すべり土塊の中ま で上昇する。このため、強雨・豪雨時には地下水位の上昇に伴って、斜面下方部の不安定土層のな かで間隙水圧が上昇することで、地すべりが発生したと考えられた。

6. 安定解析および対策工法選定

<u>6-1. 安定解析結果</u>

調査結果より安定解析を行った。安定解析結果について下記の表3に示す。孔内傾斜計観測で変位が認められることから、最高水位HWLのときの安全率を0.980と設定して対策工法選定を行った。

すべり面	c' (kN/m^2)	滑動力	法線力	間隙水圧	すべり面	すべり面	P・Fs に対す	計画安
(地下水位)	φ'(°)	T (kN/m)	N (kN/m)	U (kN/m)	長 1(m)	安全率 Fs	る不足抵抗	全率
	γ t (kN/m ³)						力 Pr (kN/m)	P•Fs
SL-1	c'=13.5							
	φ '=27.96	5937.921	9308.8	391.0	80.412	0.980	1009.36	
HWL(2020)	γ t=18							
SL-2	c'=13.5							
	φ '=25.82	5214.688	8438.0	94.7	79.706	0.980	883.96	
HWL(2020)	γ t=18							1.15
SL-3	c'=13.2							
	φ '=30.06	5810.091	8492.9	451.9	78.960	0.980	985.63	
HWL(2020)	γ t=18							
SL-4	c'=13.4							
	φ '=29.78	5876.366	8666.1	452.0	79.105	0.980	997.37	
HWL(2020)	γ t=18							

表3 安定解析結果

6-2. 対策工法選定

対策工法選定の結果、当該のり面では「排土工」、「横ボーリング工」、「アンカー工・吹付法枠工」を施 工することとした。

<u>7. まとめ</u>

- 当該業務は、シュミットネット解析を用いることにより、解析結果より地質構造を把握し、地すべりの変位形態の把握と地すべりの素因、誘因の考察に役立てることができた。
- ②. 当初の業務期間では、地盤伸縮計観測結果、孔内傾斜計観測結果共に明瞭な地中変位はみられなかったが、観測期間中の降水量が少なかったため、観測期間の延長の提案を行った。その結果、"潜在変動"に該当する地中変位が認められ、正確にすべり面推定を行うことができた。
- 各種調査結果を総合的に判断し、すべり面を推定したことにより、より現場に適した対策工法の選 定を行うことができた。

(参考文献)

- (1).地すべりにおける挿入式孔内傾斜計 計測マニュアル:(独行)土木研究所、応用地質(株)、坂田 電機(株)、日本工営(株)
- (2). 土木工事設計マニュアル:岡山県土木部
- (3).地すべり防止技術研修テキスト(令和元年度版):(一社)斜面防災対策技術協会、(一財)全国建設 研修センター、論文:山崎勉