

復建調査設計 k k ○ 低引洋隆
京都大学農学部 中島 皇

1. はじめに

著者らは、1994年12月に(財)海外建設防災協会の依頼により、スリランカの土砂災害について一週間現地調査の機会を得た。その際に得た情報を紹介する。なお、低引他は、1994年度からこのワタワラ地すべりについて日本学術振興会からの援助を受け、スリランカのペラデニヤ大学と共同研究を行っている。

2. ワタワラ(Watawala)地すべり災害

＜位置＞ワタワラは、コロンボの東約70kmの、標高約1,000mの山岳地帯に位置している¹⁾。この地すべり地内をコロンボ~バドゥーラ間を結ぶ鉄道が走っている(図1)。地すべり周辺の斜面の大部分は、紅茶のプランテーションとして利用されている。

＜発生日時＞この地すべりは、スリランカにおいて非常に有名である。その理由の一つに、

(1) 1886年8月16日、及び11月10日にこの地すべり地近辺で、大規模地すべりが発生し、目撃者の通報でかろうじて列車転覆が避けられたという経緯がある。

(2) また、1992年6月3日にワタワラ地すべりが発生したが、3,000名の乗客を乗せた列車が通り過ぎた約1時間後に通りかかった貨物列車がこの地すべり地に突っ込んだ。その後、ちょうど1年目の1993年6月3日に再活動をした。

(3) この地すべりは、スリランカで最も詳細な地すべり調査が実施されている場所である¹⁾。

＜降雨量＞1993年6月3日地すべりの発生前の13日間連続雨量は、1,140mmであり、1日前の降雨量は210mmであった²⁾。ちなみにこの地域の年間雨量は、5,000mm以上に達する¹⁾。

＜規模＞地すべりの規模は、図1及び図2に示されているように、幅約20~70m、長さ約300m、最大深さ約25mであり、移動土塊量は、322,700m³と推定されている¹⁾。

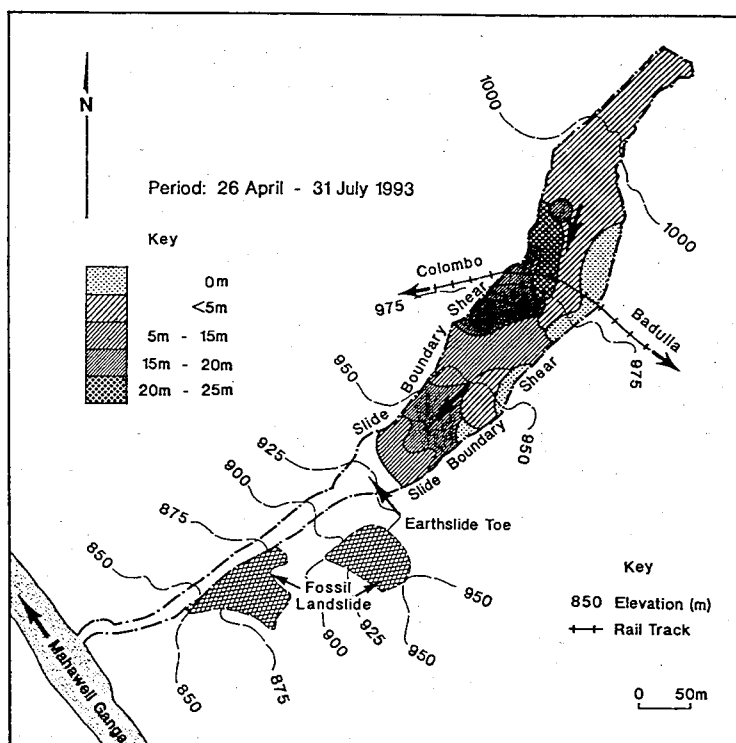


図1 ワタワラ地すべり平面図

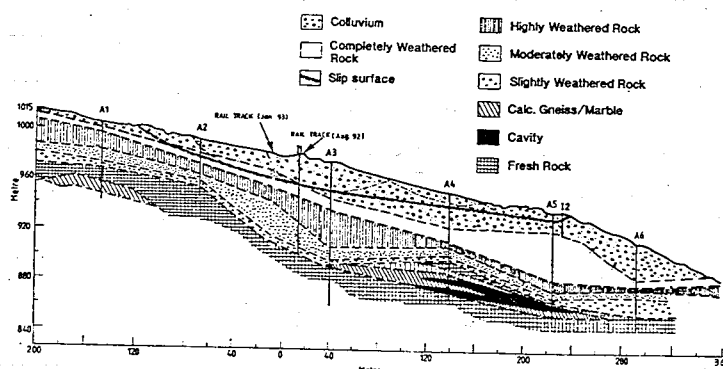


図2 ワタワラ地すべり縦断面図

＜被害状況＞この地すべりの過去20年間の総移動量は250mに達するとされている。1992年の地すべりに際して、前述のように貨物列車が地すべり地に突っ込んだ。1993年の地すべりに際しては、最大移動速度は2m/日に達し、線路は20~25mも移動させられた¹⁾。

＜地形・地質＞地すべり地は、北西方向に延びる尾根の南西向き斜面に位置し、脚部をマハウリ川が尾根と平行に流れている。地すべり頭部は、尾根頂部から90m下の標高1,010mにあり、脚部は河床から約90m上方にある(図1、写真1)。

基盤岩は、プレカンブリアンのチャノッカイト片麻岩を主体とし、北西方向の背斜・向斜軸を有するしゅう曲構造をなしている。尾根と河川はこの構造に規制されている。また、2つの主要な亀裂系が、構造軸と平行及び直交して発達している。つまり、河川はこの平行亀裂系に、地すべりはこの直交亀裂系と調和的である。

基盤岩は、多数のボーリングコア観察から深度方向に強風化岩から新鮮岩へと規則的に変化している¹⁾(図2)。このような風化構造はスリランカ特有なものと少し様相を異にし、むしろ日本における風化断面構造と良く似ており、興味深い。

この基盤岩(強風化岩)の上に、厚さ3~33m厚さで崩積土が分布している。この崩積土は、3m以下の巨礫(5%)を含む礫混じり(10%)砂質シルト粘性土(赤褐色)である。この崩積土は、深度10m~20mで上下2層に分かれており、下部層は70~100以上のN値を示している。地すべり面は概ねこの境界付近となっている^{1) 3)}(図2)

＜土質＞地すべり土塊の崩積土に関しては、NBROで室内及び原位置で土質試験を実施している⁴⁾。これらの結果を表1に示す。なお、すべり面における原位置直接せん断試験結果では、 $C' = 0$; $\phi'_r = 16^\circ$ という値を得ている。

＜発生機構＞当地すべりは、その形態また動きからして日本で言う「第三紀層地すべり」に良く似ている。つまり、数個の移動土塊がクリープ性の移動を日常的に示し、大雨に際しその動きを早め、急激な変位を引き起こし、降雨の終了とともにまた元の緩慢な移動に戻る。この様な移動を繰り返している。



写真1 ワタワラ地すべり全景

表1 土質試験結果一覧表

SAMPLE	UDS-1 BH-A1	UDS-2 BH-A1	UDS-3 BH-A1
Depth(m)	1.29-1.89	4.56-5.10	8.53-9.13
Specific gravity	2.57	2.82	2.58
Initial Moisture content (%)	29.6	64	26.6
Liquid limit (%)	34.5	73.5	50.8
Plastic limit (%)	25.5	44.9	31.9
British soil Classification	SML-SMI	MVS	MIS-MHS
Peak shear strength	c' /KPa ϕ'	35.6 28.1 28.6°	45.3 26.8° 28.5°

SAMPLE	UDS-7 BH-A4	UDS-4 BH-A5	UDS-3 BH-A5
Depth(m)	2.05-2.65	11.0-11.6	8.30-8.90
Strain rate (mm/min)	0.058	0.058	0.058
Natural Moisture content (%)	28.32	21.73	27.75
Shear strength	(A) c' KPa	10	9
	(A) ϕ'	26.5°	23°
	(B) c' KPa	4	8.5
	(B) ϕ	24°	21°

(A) Forward shear test

(B) Reverse shear test

しかし、この地すべりの際だった特徴は、降雨（間隙水圧上昇）と変位との間に非常によいレスポンスが認められることである³⁾。これは、地すべり土塊が、主に砂質シルト粘性土であり、活性度の高い粘性土（例えばすべり面がスメクタイトで構成されているようなもの）でなく、むしろ上述したように主に砂、シルト分を含み、カオリナイト鉱物を多く含む活性度の低い粘性土であることによると考えられる。

当地すべりは、数個の土塊に分けられると考えられているが、今の所土塊同士の相対的な動きについてのデータに乏しく、後退性の地すべりかそうでないかは定かではない。しかし、断面形状からすると脚部のブロックが最も不安定と考えられ、後退性の地すべりである可能性が高い。

次に、何故ここに選択的にこのような地すべり地が形成されたかは、非常に興味のあるところであるが、これは今後の地形学的・地質学的な問題として残る。現時点で言えることは、前面の河川との比高が大きいことよりすると、この地すべりはかなり古い歴史を持っているようである。また、何故ここにこのような崩積土が地すべり土塊として存在したかという点に関しては、やはり、この方向に卓越した弱線（断層、亀裂密集帯等）が基盤岩の中に存在していることが素因となっていると考えられる。

＜対策工法＞ 1992年6月3日の災害以来の精力的な調査結果に基づき、R.K.Bhandariの指導により応急対策工が施工された。その主なものを列記すると以下のようになる。

1) 切り替え水路工・・・地すべり地域からの地表面水の排除のため、頭部に水路工を設ける。写真2参照。

2) 排水工・・・地すべり地を縦断する開削水路を設ける。

3) 斜面工・・・地すべり地内の階段工、のり面工、植生工等。

4) クラックの充填工・・・織布を利用して、クラックへの水の進入を防ぐ。

これらの応急対策工は、当地すべりに地に大量の地表面水・地下水が存在する



写真2 頭部の水路工



写真3 水平ボーリング孔口

ことより応急的に行われた。これらによって、1993年6月3日の災害は、最小限に食い止められたと考えられている。

その後、応急対策工の維持補修に当たると共に、鉄道の線路については、毎日作業員がその補修に当たっている。

恒久対策工については、種々検討提案され、排水ボーリング及び集水井の施工によって大量の地下水を排除し地すべりを抑制する、あるいはこの路線を放棄し、ループで地すべりを避けること等であった。結局、延長400mの排水ボーリングを11本、集排水ボーリング(200l/minの水中ポンプ使用)を6ヶ所、そして地すべり脚部へのロックファイルによる擁壁工が、来年4月の完成を目指して、オーストラリアのコントラクターによって実施されている(写真4)。

2. あとがき

今回の調査を含め、スリランカ各地の土砂災害地を見てきたが、ワタワラ地すべりのような現在本格的に活動している地すべりはごく希の様である。しかし、地形的には恐らく地すべりであろうと思われる所、あるいは小規模ではあるが動きそのものが地すべり的であるところはいくつか見ることが出来た。特に、地すべり地形については、非常に大規模なものがあるようで、しかもその中の一部土塊が明らかに変状しているところもある。今後、さらに広範囲な調査を行う必要がある。

ワタワラ地すべりについては、低引他は当初より共同研究のフィールドとして最適だと考えていたが、現在、オーストラリアのコントラクターが恒久対策工を実施しており、当初の計画は実施できなくなった。しかし、スリランカの鉄道局との間で、工事終了後共同研究に着手できることになり、現在、伸縮計10台及びGPS測量杭の設置の準備を進めている。

参考文献

- 1)Bhandari,R.K.:Watawala Earthslide in Sri Lanka, Landslide News, pp.28-30, 1994.
- 2)Rajaratnam,K. & Bhandari, R.K. : Prediction of Rainfall Return Periods for the Watawala Earthslide Area, National Symposium on Landslides in Sri Lanka, pp.145-150, 1994.
- 3)Rajaratnam,K. and Bhandari,R.K.:Back Analysis of the Watawala Earthslide in terms of Effective Stress, National Symposium on Landslide in Sri Lanka, pp.113-118, 1994.
- 4)Abeyakoon,A.W.W., Dissayanake, D.M.A.S. and Gurullawala, S.:A Geoscientific Study of Watawala Earthslide, National Symposium on Landslide in Sri Lanka, pp.99-112, 1994.