

古期地すべりの安定性

Stability of Old Landslide

稲垣 秀輝 (いながき ひでき)
 ㈱環境地質 代表取締役

大久保 拓郎 (おおくぼ たくろう)
 ㈱環境地質 技術部

長谷川 修一 (はせがわ しゅういち)
 香川大学 工学部

矢田部 龍一 (やたべ りゅういち)
 愛媛大学 工学部

1. はじめに

我が国は地質的に構造帯に属し、全般に地山が劣化している。そのうえ急峻な斜面が多く、地すべりの誘因となる豪雨や地震・火山活動も頻繁に発生する。

このため、山地を中心として数多くの地すべりが認められる。これらの地すべりの中で現在活動している地すべりもあるが、少なくとも20~30万年以降の古い時代に形成された古期地すべりについては地すべり地形が認められるものの、現在活動を停止しているものも少なくない。

これらの化石化した古い地すべりについてその安定性を論じた文献は少なく¹⁾、これらの地すべりが現在どの程度の安全率を示しているか興味あるところである。稲垣ほか^{2),3)}、および大久保ら⁴⁾は、古期地すべりが地質年代に依存し、その安定性が変化する可能性を示した。近年、これらの古期地すべりにかかわる大規模工事が増加しており、これらの古い地すべりの安定性が、施工計画や工事の経済性に大きく影響することが多い。

ここで、我が国の古期地すべりのなかで、年代測定や地形解析などにより形成時代がわかっている地すべりについて、その安定性を安定計算により評価し、地すべりの古さと安全率との関係を検討した。

対象地点は図-1に示した16地点である。これらの地すべりは地すべりの末端が人工の切土や河川の急激な侵食等による除荷が行われているサイトである。さらに、形成時期の把握された地すべりでもある。この形成時期については、1は稲垣⁵⁾、2~3は稲垣ほか²⁾、4~16は柳田・長谷川⁶⁾が認定したものである。

2. 古期地すべりの安定性の考え方と安定計算

古期地すべりは主として更新世に形成された化石地すべりで、空中写真では地すべり地形として判読される。その発生時期は多様であるが、様々な時代の段丘面の形成時期と関連して発生したものも多い。これらの化石化した古期地すべりの安定性について、どのようなメカニズムで安定化しているかは明確でないが、現在認められる古期地すべりの安定性を安定計算により評価し、地形解析などによるその形成時代との比較を行った。

古期地すべりの安定性については、図-2に示したように、人工的に古期地すべりの末端を掘削して滑らせた例がある場合には、切土して滑らせた断面で $F_s=1$ とし、掘削前の地形を復元した古期地すべりの安全率を求めることにより評価した。ただし、人工的に掘削した例は少ないため、他の地点では「ナチュラルアナログ」による方法を利用した。

つまり、地点3以外は図-3のBブロックのように、地すべりの末端が河川の侵食により人工の切土と同じような作用が発生しているサイトである。この場合、自然による急激な切土(侵食)の行われている現状の断面で $F_s=1$ とし、切土前の地形を復元し、古期地すべりの安全率を求めた。この方法により計算された安全率は、切土を受けた古期地すべりが現在動いていれば正しい値を示すが、切土を受けてもお動いていなければ実際の安全率より小さいはずであり、切土前の古期地すべりの安全率は計算された値よりも大きいものと考えられる。今後、これらの地すべりが新たな掘削を受け動き出したときにはその掘削量を考慮し、さらに正確な安全率を求めることができると期待している。



図-1 調査地すべり位置図

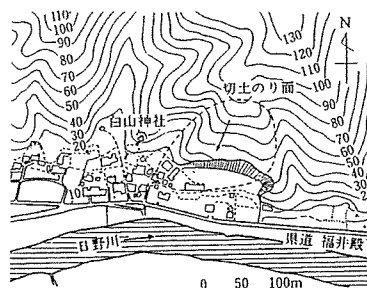
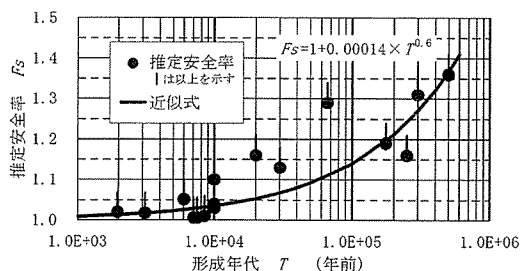


図-2 福井西部の古期地すべり平面図⁷⁾

表一 古期地すべり推定安全率一覧表

番号	場所	発生時期 (千年前)	面積 (km ²)	推定安全率
1	赤石山脈西	300	0.80	1.31 以上
2	手取川流域	66	0.25	1.29 以上
3	福井西部	20	0.015	1.16
4	平	250±50	0.39	1.16 以上
5	井ノ久保	30	0.068	1.13 以上
6	池田新山	500	0.92	1.36 以上
7	千栄	10	0.15	1.10 以上
8	ト子沢	175±25	0.16	1.19 以上
9	冷水西	10	0.023	1.04 以上
10	藤倉北	10	0.027	1.03 以上
11	徳田	6	0.083	1.05 以上
12	吉居	1.97±0.13	0.065	1.02 以上
13	鬼首	3.13±0.24	0.30	1.01 以上
14	根田森	8.5	0.70	1.01 以上
15	葛温泉	7.5±2.5	5.3	1.01 以上
16	無意根山	7.09±0.17	1.4	1.01 以上



図一 古期地すべりの形成年代と推定安全率

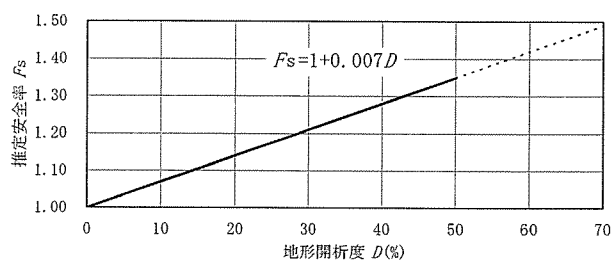
安全率の下限を示し、実用的には安全側の設計となっている。したがって、古期地すべり周辺部の切土や盛土の施工にあたっては、その施工による古期地すべりへの影響を事前に予測する目安になるのではないかと期待している。今後、地質の違いや地下水の変化、地形発達史などを含め、古期地すべりにおける安定化のメカニズムの解明が課題であると考えている。

参考文献

1) 例えば、横山俊治・田近 淳・野崎 保：地すべりのハザードマップ そのⅡ—ハザードマップへの試み—、平

表二 限界安全率一覧(藤原, 1970⁹⁾を一部略)

調査地区	土塊強度		限界安全率 (%)	直接および間接誘因
	C(t/m ²)	φ(°)		
大迫	1.5	24	11.2	斜面末端カット
霧積	0.5	20	5.6	〃
織笠	1.2	12	9.0	〃
知多	2.0	7	4.3	〃
人利	2.0	13	5.7	〃
滑石	1.5	7	6.5	頭部盛土, 末端カット
赤坂	1.0	15	12.9	斜面末端カット
下笠	1.0	20	7.8	ダム湛水に伴う残存水圧
平均	1.3	15	7.9	—

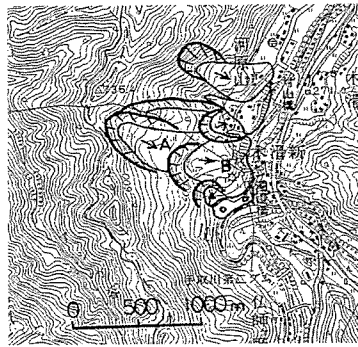


図一 古期地すべりの地形開析度と推定安全率

成12年度シンポジウム「斜面ハザードマップの現状と課題」予稿集, 日本応用地質学会, pp. 45~57, 2000.

2) 稲垣秀輝・小坂英輝：古期地すべりの安定性について, 第36回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2453~2454, 2001.
 3) 稲垣秀輝・大久保拓郎・長谷川修一：古期地すべりの安定性について(その2), 第37回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2235~2236, 2002.
 4) 大久保拓郎・稲垣秀輝・長谷川修一：古期地すべりの安定性について(その3), 第38回地盤工学研究発表会講演集, pp. 2125~2126, 2003.
 5) 稲垣秀輝：活断層による地すべりの活動時期の推定, 土と基礎, Vol. 48, No. 2, pp. 31~33, 2000.
 6) 柳田 誠・長谷川修一：地すべり地形の年齢—地すべり地形の形成から消失までの時間—, 第39回日本地すべり学会研究発表会講演集, pp. 591~594, 2000.
 7) 齊藤迪孝：実証土質工学, 技報堂出版, pp. 165~167, 1992.
 8) 日本道路協会：道路土工—のり面工・斜面安定指針, pp. 347~349, 2003.
 9) 藤原昭敏：地すべり調査と解析, 理工図書, p. 350, 1970.

(原稿受理 2004.6.18)



図一 3 手取川流域の古期地すべり平面図

解析した16地すべりの断面図を図一4に示した。黒色の部分が掘削前の復元部である。安定計算は白抜き部分(現地形)で $F_s=1.0$ として、逆算により c, ϕ を求め、その c, ϕ を使用して黒色の部分を加えた F_s を掘削前の現状での古期地すべりの安全率とした。

なお、安定計算は道路土工一りの面工・斜面安定工指針⁸⁾などに広く使われているスライス分割による簡便法を用いた。この計算方法は、分割片の側面に作用する力の釣合いを無視した簡便な式であるが、今回のような古期地すべりの概略的な安全率を求めるのには支障がないと判断し、採用した。また、便宜上 c は同指針⁸⁾にも示されている土被り厚さ(H)により求める一般的な経験式 $c=0.1H$ により決定している。地下水についてはデータがなく、考慮していない。

3. 形成時期と安全率との関係

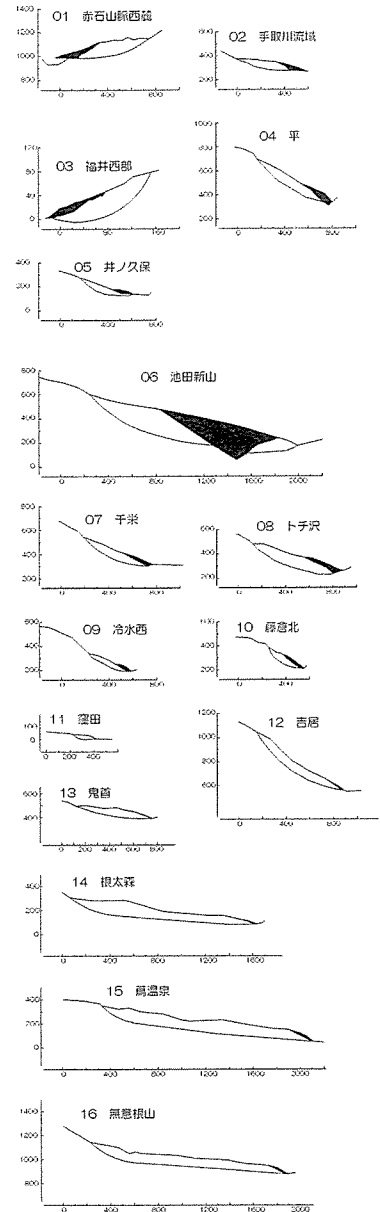
解析を行った16の古期地すべりの計算結果をまとめ、表一1に示した。解析の結果は、図一5から $F_s=1+0.00014 \times T^{0.6}$ の関係として示され、時代が古いほど安全率が高くなる傾向を示すことがわかる。目安としては立川期にあたる約2万年前の古期地すべりで現状の安全率が1.05、下末吉期にあたる約10数万年前のもので安全率1.15、約50万年前のもので安全率1.35程度となる。

一般的には10数万年前くらいまでの古期地すべりが切土の対象となることが多く、これらの古期地すべりについては5~15%の安全率上昇を見込むことが出来る。藤原⁹⁾は切土などの人為的要因による地すべりの滑動事例を研究し、表一2に示すように限界安全率という考え方を示している。つまり、古期地すべりを含む地すべり発生前の自然地形を改変し、安全率が5~10%低下した時点ですべりが発生することが多いとして、この5~10%の安全率の低下率を限界安全率と呼んだ。

この5~10%の値は今回検討した10数万年前までの古期地すべりの安全率増分5~15%とよく一致している。藤原は時代を区分していないことを考慮すると、今回の値はより適応性が高いと判断している。

4. 地形開析度と安全率の関係

地すべりはその発生から長い時間の経過とともに、地すべり地全体の地形開析が進んでいく。この考え方に基づき、柳田・長谷川⁶⁾は古期地すべりの地形開析度(D :



図一 4 古期地すべり断面図(単位はm)

地すべり体の面積に対する地すべり体を侵食した谷部の面積の割合)と地すべりの形成時期(T)との間には $D=0.02 T^{0.6}$ の関係式があるとした。この式と今回算出した $F_s=1+0.00014 T^{0.6}$ を統合すると、 $F_s=1+0.007 D$ という図一6のような関係が求まる。この関係式を用いると古期地すべりの地形開析度から地すべりの安全率を予測することが可能となり、建設計画上、大変実用的な式といえる。ちなみに、地形開析度が10%の古期地すべりの現状 F_s は1.07となり、20%のものでは $F_s=1.14$ というように利用できる。

5. まとめおよび今後の課題

今回行った解析では、今までどのくらい安全であるか分からなかった古期地すべりの安定性を安全率という値で評価することができた。また、古期地すべりの形成時期と安全率の関係も求めることができた。これらの値は図一5に示したように計算上古期地すべりの予想される