

せん断帯の変形量を考慮した Newmark 法による地震時滑動量予測と 火山灰質土斜面への適用

福岡大学
東亜建設工業（株）
茨城大学

福岡大学大学院
正会員 村上 哲
正会員 大森慎哉
フェロー会員 安原一哉

学生会員 ○ 村上晴菜
正会員 西 智美
正会員 浅田英幸
正会員 榎本忠夫

1. はじめに 平成 30 年北海道胆振東部地震における厚真町では火山灰質土が堆積した比較的緩斜面が地震時において表層崩壊したり。これらの斜面崩壊は、崩壊に伴う滑動土塊の移動量が大きく、その影響が斜面下部領域にまで達し、甚大な被害を及ぼした。このことから、斜面安定性のみならず、滑動土塊の移動量を予測することが防災・減災の観点から必要であると考え。著者らはこれまでに、Newmark 法を用いた表層すべりによる地震時滑動量予測法²⁾を提案した。しかし、既往の予測法²⁾は安全率 $F_s < 1$ となると瞬時に強度は残留強度に、間隙水圧は最大値に移行する瞬時強度低下を仮定したものである（図1）。また、斜面のすべりは、ある幅（せん断帯）を有していることが知られている（図2）。そこで本研究では、著者らが提案した予測法を強度低下と間隙水圧増加の過程を考慮する暫時強度低下を考慮した予測法に拡張し、瞬時強度低下と暫時強度低下の場合の滑動量を比較した。

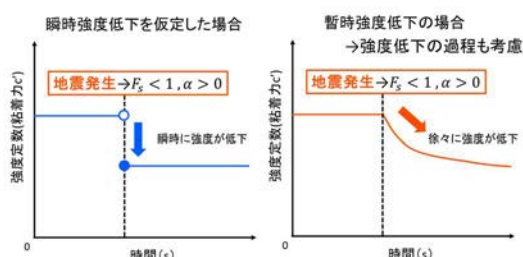


図1 瞬時強度低下と暫時強度低下の場合

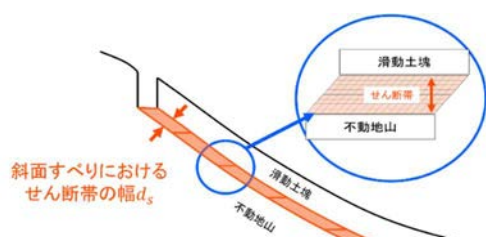


図2 斜面のすべりにおけるせん断帯

2. 繰返しに伴う強度推定式と強度特性 地震に伴う強度低下の推定式は、変位振幅一定試験の実験結果³⁾から求めた。この実験方法と条件は文献3に示す通りで、対象とした土は解析対象とした被災斜面のすべり線付近から採取された恵庭ロームである。静的せん断強度、および所定累積せん断変位で繰返した後の静的せん断試験から得られる強度と累積せん断変位の関係を調査した。図3に示すように、火山灰質土の強度定数は、繰返し载荷後もせん断抵抗角 ϕ'

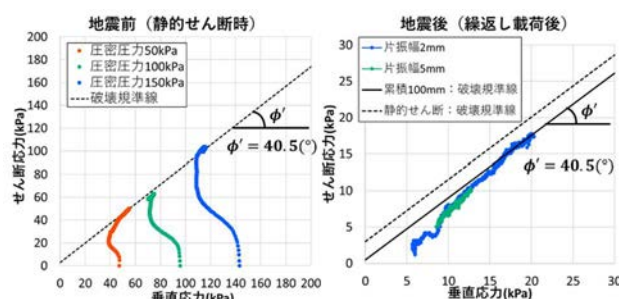


図3 静的せん断時と繰返し载荷後の応力経路

が大きく変化しないという結果から静的せん断試験で得られたせん断抵抗角 ϕ' を繰返し载荷後も一定とし、粘着力 c' を求めた。この粘着力 c' と累積せん断変位 D_s との関係を図4に示す。図4より粘着力は累積せん断変位の増加に伴って低下し、累積せん断変位が60mm以上になると一定値となる傾向にある。粘着力と累積せん断変位の関係を表すために、本研究では次式(1)で近似した。

$$c' = 3 - 2.5 \tanh \frac{D_s}{35} \quad (1)$$

本式を用いることにより、恵庭ロームの累積せん断変位の増加に伴う強度低下を概ね表すことができたと考え。

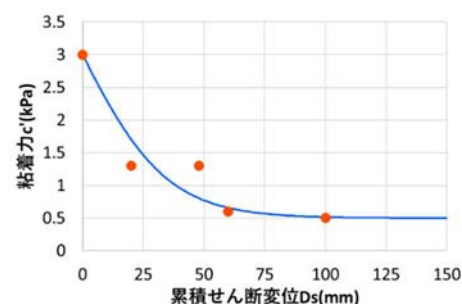


図4 強度(粘着力 c')の推定結果

3. 暫時強度低下とせん断帯を考慮した Newmark 法による火山灰質土斜面の表層すべり地震時滑動量予測 解析対象とした斜面は、既往の研究²⁾と同様の平成 30 年北海道胆振東部地震で被災した火山灰質土斜面である。この斜面を基にした解析のモデル斜面を図5に示す。本解析では、強度低下の過程を、瞬時強度低下を仮定した場合と暫時強度低下の場合の2ケースの予測を行った。2ケースとも、最初に土塊の加速度 $a_t > 0$ となるまでは、初期強度定数 c', ϕ' 、および初期間隙水圧 $u_e = 0.1$ (kPa)を用い、それ以降は、瞬時強度低下を仮定した場合に瞬時に強度低下すると考え、強度低下後の強

キーワード 斜面の安定解析, せん断帯, 表層崩壊, Newmark 法

連絡先 〒814-0180 福岡市城南区七隈 8 丁目 19-1 福岡大学工学部社会デザイン工学科 TEL 092-871-6631

度定数 c' 、 ϕ' と所定の u_e により計算を実行する。一方、暫時強度低下の場合には式(1)と既往の研究より得られた間隙水圧予測式³⁾よりその時刻の滑動量から間隙水圧と粘着力を求める。解析条件を表1に示す。解析に用いた地震動は、平成30年北海道胆振東部地震で観測された早来地震⁴⁾であり、地震波形から南東-北西成分に合成した波形(すべり面方向成分 α_T とすべり面垂直成分 α_N)²⁾を用いた。このとき、土塊の滑動停止に関わる滑動土塊③と地表面との摩擦をせん断抵抗力で仮定し、表1に示すように粘着力 c' を変化させた解析を行う。

解析から得られた瞬時強度低下の場合と暫時強度低下の場合の滑動量の比較結果を図6に示す。

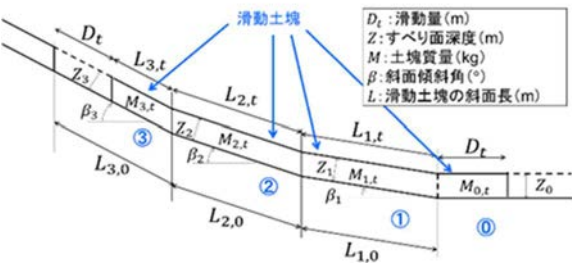


図5 解析のモデル斜面

表1 解析条件

	層厚(m)		3.2	滑動土塊 番号	傾斜角(°)	初期斜面長 (m)
初期強度	粘着力 c' (kPa)		3.0	③	22	58
	せん断抵抗角 ϕ' (°)		40.5	②	13	54
強度低下後	粘着力 c' (kPa)		0.5	①	10	37
	せん断抵抗角 ϕ' (°)		40.5	④	0	0
地表面土塊 の摩擦力	粘着力 c' (kPa)	右下参照		瞬時と暫時の比較解析 c' (kPa) 2.2 3.0 4.0		
	せん断抵抗角 ϕ' (°)		0			
	間隙水圧比(-)		0.86	nsと摩擦力の比較解析 c' (kPa) 0.0 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 3.0 4.0 4.5 5.0		
	初期斜面長(m)		149			

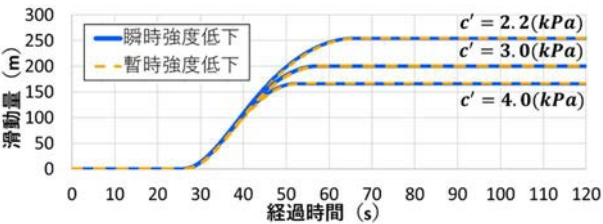


図6 瞬時強度低下と暫時強度低下の場合の比較

図6より、どちらの強度低下モデルでも滑動量はほぼ同じ結果となった。これは間隙水圧も粘着力も繰返しにより早期に水圧の増加と粘着力の低下が起こることが要因と考える。

続いてせん断帯の影響を考える。斜面のすべりにおけるせん断帯の幅を d_s とし、一面せん断試験におけるそれを d_t として表される比 $n_s = d_s/d_t$ を定義する。この n_s をせん断帯比と呼ぶことにする。このせん断帯比 n_s を用いることにより、斜面の滑動量 D と一面せん断試験における累積せん断変位 D_s との関係が次式(2)で表される。

$$D = n_s D_s \tag{2}$$

この n_s を表1右下記載内容の通り仮定して、暫時強度低下の場合の滑動量予測を行った結果が図7である。また、予測では地表面摩

擦力で仮定する粘着力 c' も変化させている。図7より、地表面摩擦力で仮定する粘着力 c' が2以上のとき、 n_s が1と10を比較すると、滑動量大きく変化しない。対して n_s が2のときの、粘着力 c' が2と5を比較すると、滑動量が大きく異なることから、せん断帯比の影響より地表面摩擦力で仮定した粘着力の方が地震時滑動量に大きく影響することが分かった。

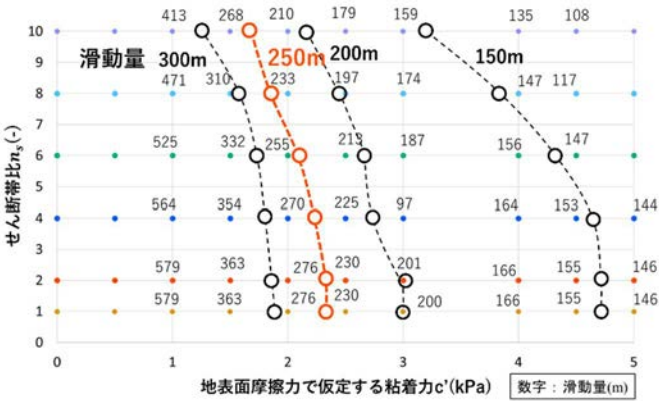


図7 せん断帯を考慮した滑動量予測結果

4. まとめ 本研究で得られた結果は次の通りである。

- 1) 火山灰質土斜面の地震時滑動量は、瞬時強度低下と暫時強度低下それぞれの場合でほぼ同じとなった。このことから、瞬時強度低下を仮定した場合の解析でも十分な予測が行えることが分かった。
- 2) せん断帯比の影響と摩擦力である粘着力を変化させた滑動量予測を行った結果、最終的な滑動量はせん断帯比より摩擦力に大きく依存することが分かった。

以上の結果より、暫時強度低下の場合の予測では、現地のせん断帯比を求めることも課題の1つだが、解析対象とする斜面の地表面の土地利用状況に応じた摩擦力を決定することが今後の大きな課題である。

【謝辞】 本研究を進めるにあたり知本康男氏（基礎地盤コンサルタンツ（株））のご協力をいただいた。また、本研究の一部は、科学研究費・基盤研究(B)(一般)(課題番号 20H02245)の助成を受けて実施した。記して謝意を表します。

【参考文献】 1)細矢ら：平成30年北海道胆振東部地震における斜面崩壊の特徴第61回地盤工学シンポジウム, 27-30, 2018 2)村上ら：Newmark法を用いた有限長斜面の表層すべり地震時滑動量予測法 第58回地盤工学学会研究発表会, 2023(投稿中) 3)村上ら：繰返し一面せん断試験の結果を利用した恵庭ロームの間隙水圧の推定式の提案 令和4年度土木学会西部支部研究発表会, III-107, 2023 4)防災科学技術研究所：防災科研 K-NET, KiK-net, 防災科学技術研究所, <https://doi.org/10.17598/nied.0004>, 2019. (参照日：2022/03/26)