

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

福岡大学大学院 学生会員 ○村上晴菜
 正会員 村上 哲 正会員 西 智美
 福岡大学 正会員 大森慎哉 正会員 浅田英幸
 東亜建設工業(株) フェロー会員 安原一哉 正会員 榎本忠夫
 茨城大学

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¹⁾。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。これらの要因とされている火山灰質土の力学特性の把握と、斜面安定性のみならず、滑動土塊の移動と影響範囲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られる。筆者らはこれまでの研究²⁾で、火山灰質土斜面は地震時滑動量予測に間隙水圧を考慮する必要があると考えた。そこで本研究では、地震時滑動量予測に必要なパラメータを求めるための繰返し一面せん断試験結果を利用して、累積せん断変位と間隙水圧の関係を整理し、累積せん断変位による間隙水圧の推定式を得ることを目的とする。

ぼ同じ 50kPa で圧密を行った後、せん断速度 0.2mm/min でせん断を行った。応力振幅一定試験の試験条件を表-1 に、変位振幅一定試験のそれを表-2 に示す。

2.2 鉛直応力から求める間隙水圧の推定手法

本研究では、実験結果から得られる、鉛直応力と累積せん断変位の関係を用いて間隙水圧の推定を行った。繰返し一面せん断試験から得られる鉛直応力は、初期値以下のピークを持ちながら増減を繰り返して、累積せん断変位の増加に伴い、徐々に低下する。そこで鉛直応力の波を平均化し、低下傾向を調査した結果、どの条件も似たような低下傾向を示し、累積せん断変位が 40mm を超えると一定の範囲に収束することが分かった。この結果から、鉛直応力と累積せん断変位の関係を一本の曲線で近似できると判断した。

間隙水圧の推定について、一面せん断の定体積試験では累積せん断変位の増加に伴う鉛直応力の減少を間隙水圧の増加とみなすことができるため、関係式 (1) に示す通り、鉛直応力の変化に応じて、間隙水圧の近似曲線を引くことができる。

$$\sigma' = \sigma - u \tag{1}$$

ここで、 σ' ：鉛直応力(kPa)、 σ ：初期の鉛直応力(kPa)、 u ：間隙水圧(kPa)とする。

間隙水圧の推定式は、以下の式 (2) を仮定した。

$$u = u_{max} \left[1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{D_s}{A}\right)} \right]^m \tag{2}$$

ここで、 u ：間隙水圧(kPa)、 u_{max} ：すべての実験の間隙水圧の最大値(=43.03(kPa))、 D_s ：累積せん断変位(mm)、 A ：係数、 m ：指数である。なお、間隙水圧 u は $\sigma=50$ (kPa)として、式 (1)よりせん断過程の値を逐次求めた。式 (2) を用いて、各実験結果の係数 A と指数 m を求め平均化し、推定式を求めた。このとき実験結果より供試体が繰返しにより破壊していないと判断できる結果と他の結果と大きく異なる傾向を示したものは除いて整理を行った。

2.3 間隙水圧の推定結果

図-1(a)、(b)は、各実験結果における係数 A を示した図である。図-1(a)は応力振幅一定試験に着目した結果で応力振幅ごとの係数 A を示している。本試験結果からは応力振幅の増加に伴う係数 A に特定の傾向が見られなかった。応力振幅一定試験の結果について、累積せん断変位と間隙水圧に着目し整理した結果、供試体の初期状態の違いが結果に影響を与えたと考える。図-1(b)について、

2. 繰返し一面せん断試験から求める間隙水圧の推定

2.1 繰返し一面せん断試験の概要

本研究の実験で用いた試料は、北海道厚真町被災斜面の想定すべり線付近で採取した恵庭ローム(火山灰質土の恵庭降下軽石が表面浸食や崩壊により再堆積したと思われる層の土)の攪乱試料である。供試体は、2mm 以下に粒度調整した試料を浅田ら³⁾を参考に不攪乱供試体と同等の乾燥密度 $0.8g/cm^3$ を目標に鋼製リング内で静的に締固め、直径 60mm、高さ 20mm の再構成供試体を作製した。実験は応力振幅一定と変位振幅一定の繰返し一面せん断試験で、供試体に対してすべり面の上載圧とは

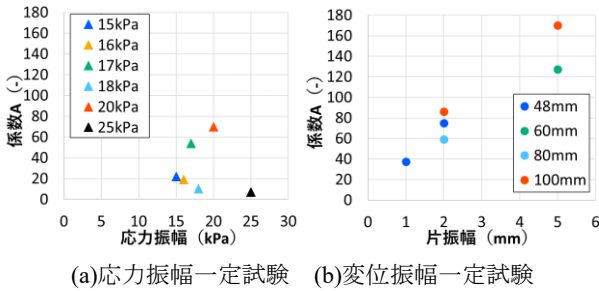
表-1 応力振幅一定試験の試験条件と供試体状態

		せん断強さ $\tau_{f,static}=33.0$ (kPa)					
応力振幅(kPa)		15	16	17	18	20	25
($\tau_{f,static}$ に対する割合)		(45%)	(49%)	(52%)	(55%)	(61%)	(76%)
初期状態	含水比(%)	66.8	74.3	76.8	74.3	67.7	76.8
	乾燥密度(g/cm^3)	0.800	0.801	0.811	0.803	0.802	0.799
	間隙比(-)	2.456	2.521	2.475	2.512	2.447	2.527
	飽和度(%)	75.2	83.0	87.5	83.3	76.5	85.7
圧密後	乾燥密度(g/cm^3)	0.975	0.928	0.895	0.892	0.949	0.882
	間隙比(-)	1.835	2.039	2.150	2.160	1.913	2.197
	飽和度(%)	94.8	93.5	94.1	93.1	93.7	95.9

表-2 変位振幅一定試験の試験条件と供試体状態

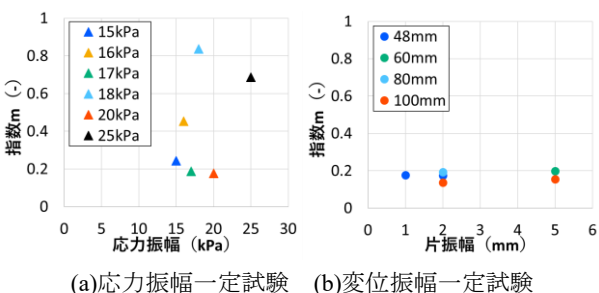
片振幅(mm)		1	2	5	2	2	5
累積せん断変位(mm)		48	48	60	80	100	100
圧密圧力(kPa)		50	50	50	50	50	50
初期状態	含水比(%)	66.8	74.3	74.3	76.8	67.7	67.7
	乾燥密度(g/cm^3)	0.800	0.800	0.800	0.802	0.800	0.801
	間隙比(-)	2.456	2.523	2.526	2.514	2.456	2.453
	飽和度(%)	75.2	83.0	82.9	86.2	76.2	76.3
圧密後	乾燥密度(g/cm^3)	0.999	0.911	0.892	0.899	0.942	0.939
	間隙比(-)	1.767	2.093	2.159	2.136	1.936	1.954
	飽和度(%)	92.2	95.2	91.3	96.5	92.5	92.4

この図は変位振幅一定試験に着目した結果で片振幅ごとの係数 A を示している。応力振幅一定試験とは異なり、変位振幅一定試験から得られた係数 A は、片振幅の増加に伴い、係数 A は増加していくことが分かった。係数 A は、初期の間隙水圧の増加率によって変化するため、初期の片振幅が 1mm 以下であった 15、16、17、18kPa は変位振幅一定試験の結果から係数 A は 40 前後、初期の片振幅が 1.6mm 前後だった 20kPa は 50 前後、初期の片振幅が 3mm の 25kPa は変位振幅一定試験の片振幅 2mm と 5mm の係数 A の間の数値になるのではないかと考えられる。



(a)応力振幅一定試験 (b)変位振幅一定試験
図-1 間隙水圧の推定式における係数 A

図-2(a)、(b)は、各実験結果における指数 m を示した図である。図-2(a)は応力振幅一定試験に着目した結果で応力振幅ごとの指数 m を示している。応力振幅一定試験では係数 A 同様に値のばらつきが見られた。これも実験データの累積せん断変位と間隙水圧を整理した結果から、供試体の初期状態の違いによる影響と考えられる。一方の図-2(b)について、変位振幅一定試験では、片振幅によらず指数 m は 0.13~0.20 付近の値となった。この結果から、変位振幅一定試験については片振幅に拘らず指数 m は比較的近似した値を取ることが分かった。応力振幅一定試験についても、それぞれの初期状態に近い 15、17、20kPa の供試体に着目すると、指数 m は 0.17~0.25 となり、変位振幅一定試験と比較的近い範囲に分布しているので、同一試料では試験法によらず同じ指数 m が得られる可能性があることが分かった。



(a)応力振幅一定試験 (b)変位振幅一定試験
図-2 間隙水圧の推定式における指数 m

図-1 および図-2 より、係数 A と指数 m の平均値を用いて、恵庭ロームの間隙水圧の推定式を示すと、式 (3) のようになる。

$$u = 43.03 \left[1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{D_s}{61.39}\right)} \right]^{0.24} \quad (3)$$

ここで、 u : 間隙水圧(kPa)、 D_s : 累積せん断変位(mm)とする。得られた間隙水圧推定式を実験結果と比較したものを図-3に示す。図-3より、推定式と実験結果を比較すると、恵庭ロームの累積せん断変位の増加に伴う間隙水圧の変化を推定式は概ね表すことができたと考えられる。また、係数 A と指数 m については平均値を用いたが、間隙水圧の最大値 u_{max} はすべての実験の最大値を用いたため、恵庭ロームの間隙水圧を安全側に推定することができた。

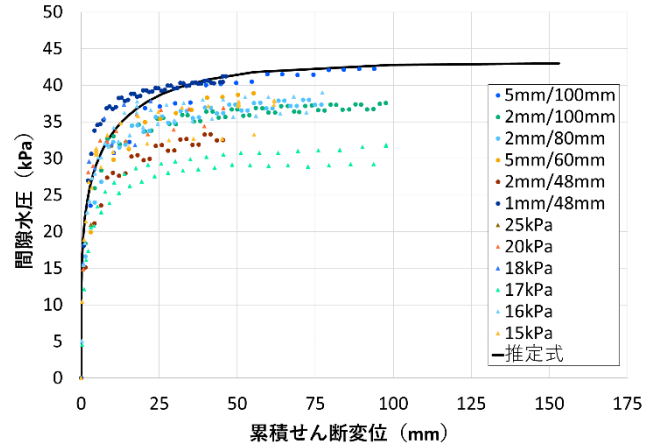


図-3 繰返し一面せん断試験の間隙水圧の推定結果

3. まとめ

恵庭ロームの再構成供試体を用いた繰返し一面せん断試験の結果から、累積せん断変位による間隙水圧の推定式を求めた。得られた結果は次の通りである。

- ① 恵庭ロームの間隙水圧は、 $u = u_{max} \left[1 - \frac{1}{\exp\left(\frac{D_s}{A}\right)} \right]^m$ を用いて推定することができる。
- ② 変位振幅一定の累積せん断変位による間隙水圧の推定式 (1) の係数 A と片振幅には正の相関がある。
- ③ すべての実験結果の間隙水圧の最大値 u_{max} を推定式の算出に用いることで、その試料における間隙水圧の推定を安全側に行うことができる。

これらの結果より、繰返し一面せん断試験の結果から、累積せん断変位の増加に伴う間隙水圧の変化を推定できることが分かった。今後この結果を地震時滑動量予測で用いるには、累積せん断変位を地震時変位にどう対応させるのか検討していく必要がある。

【謝辞】 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) 細谷ら：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 法を用いた表層すべりによる地震時滑動量予測法の被災斜面への適用，令和 4 年度土木学会全国大会第 77 回年次学術講演会，III-94, 2022
- 3) 浅田ら：一面せん断試験による火山灰質粘性土のせん断・残留強度に及ぼす諸要因の影響評価，第 57 回地盤工学研究発表会，21-4-1-04, 2022