

地震時における砂の強度定数に関する研究

鳥取大学工学部（国）榎 明潔

株式会社桑原組（正）○堤 祐輝

1.はじめに 強度定数は通常「地盤工学会」が定める方法による一面せん断試験や三軸圧縮試験等で求めるが、地震時におけるすべり面でのせん断速度は上記の試験より圧倒的に速い。また、せん断方向も変化するため、地震時の斜面崩壊等の解析に使用する強度定数を、通常的一面せん断試験等で求めた値を用いて良いのかどうかを検討する必要がある。そこで本研究では、振動台を用いた一面せん断試験と簡易一面せん断試験を行い、強度定数がせん断速度に影響されるかどうか比較検討した。

2.各試験の諸条件 振動台実験と簡易一面せん断試験の実験試料の条件を表 1 に鳥取県西部地震との比較を図 1 に示す。実験試料は不飽和砂を用いた 2)。層厚はせん断面以外ですべり面が発生しないように薄くした。せん断速度、上載圧は試験装置の限界よりそれぞれ 12 cm/s、3.1 kPa を最大とした。

3.振動台を用いた一面せん断試験の試験方法 地震状態をモデル化し、振動台を用いてせん断実験を行った。実験装置の概略図を図 2 に示す。振動台上にアクリル板を固定しその上に紙やすりを貼る。さらにその上に砂を敷き詰め、底面に紙やすりを貼った 20×20 cm の上板を置く。加速度計、レーザー変位計で基岩、表層土の加速度と変位のデータを収録間隔 1ms で測定した。便宜上、図 2 に示すように振動台の動く方向を正方向、負方向に分けて呼ぶ。垂直応力 σ は 1.1、1.4、2.1、2.6、3.1 kPa で実験を行った。

4.振動台を用いた一面せん断試験の結果と考察 振動数 6.0 Hz(最大加速度 765 gal)の時の加速度波形を図 3 に示す。振動数 6.0Hz の時はすべりが起こった後、一体運動をし、またすべるという運動を繰り返していることがわかる。そこでこの振動数 6.0 Hz の時のデータを用いて強度定数を求めることにした。図 3 の表層土加速度からせん断応力 τ を求めた。 τ とせん断変位 d との関係を図 4 に示す。図 4 から τ の Peak、Residual と剛塑性体近似した τ の値からそれぞれの τ - σ 線を図 5 に示す。正方向と負方向との強度定数の違いについて検討する。表 2 に示すように正方向、負方向でほぼ同じ強度定数となった。このことから、地震時に任意の方向にせん断しても、強度定数に影響が無いと考えられる。 τ と相対速度 v の関係を図 6 に示す。これよりすべりが生じた $t=0.22$ sec から、すべり終わるまでの $t=0.27$ sec の間は τ が大きく変化していないので、 τ が速度に依存しないと考えられる。

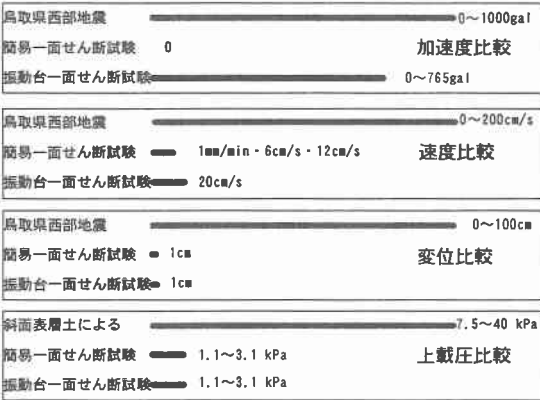


図 1 各試験と鳥取県西部地震との比較

表 1 実験試料の条件

実験試料名	土粒子の密度 $\rho_s(\text{g/cm}^3)$	間隙比	層厚(cm)
豊浦標準砂	2.638	0.7	0.2

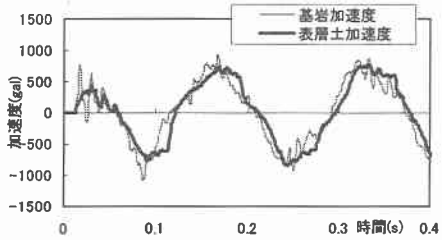
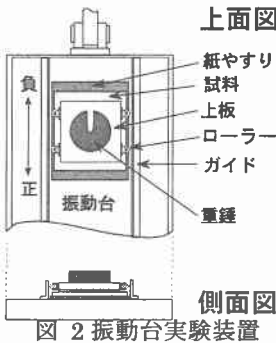


図 3 6Hz 時の基岩、表層土加速度波

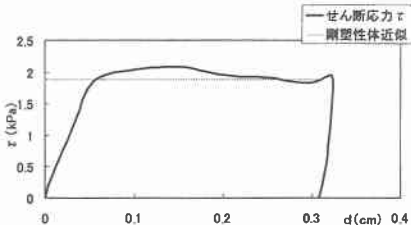


図 4 6Hz 時の τ - d 線

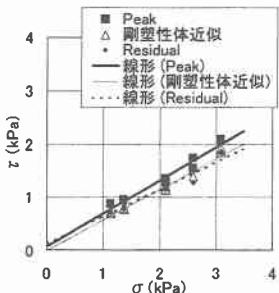


図 5 τ - σ 線

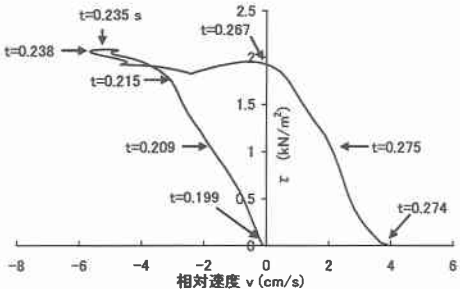


図 6 τ - v 関係

5.簡易一面せん断試験機による試験方法 実験装置の概略図を図7に示す。この実験装置はモーターの回転に伴いスクリュージャッキが押し引きし、その運動と連動してロードセル、ネジ、上板とが一体として動くようになっている。便宜上、スクリュージャッキが上板を押す方向を正方向、引く方向を負方向と呼ぶことにする。試料の豊浦標準砂は紙やすりを貼った下板の上に敷く。試料の上に紙やすりを下面に貼った上板を置いた。せん断力はロードセルで測定し、変位はレーザー変位計で測定した。高速でせん断実験を行う時に注意すべき事として慣性力の問題がある。通常的一面せん断試験と違い、今回の試験のように高速でせん断すると、せん断し始める時に無視できない大きな慣性力がロードセルに働く。そこで重錘を上板の上に直接置かずに、上板の上にローラーのついた載荷板を置きその上に載せた。その際、載荷板が動かないように周りにガイドを設けた。これによりスクリュージャッキが上板を押し引きしても、重錘を載せた載荷板は上板の上をローラーが回転するだけで載荷板に加速度は生じない。つまり載荷板に載せた重錘の慣性力は働かないので、板の質量分だけ慣性力を補正すれば良いことになる。実験は正方向、負方向を2回ずつ正、負、正、負の順番でせん断速度1mm/min、6cm/s、12cm/sで行った。

6.簡易一面せん断試験の結果と考察 せん断速度12cm/sの τ - d 曲線を図8に示す。この図よりPeakとResidualが現れているのが判る。図9はPeakとResidual及び剛塑性体近似から求めた τ - σ 曲線である。表3に正方向、負方向それぞれ1回目、2回目の強度定数を示す。全ての結果が概ね等しい値となった。このことからせん断の方向を逆にした場合、又せん断の回数を重ねた場合も強度定数はほとんど変わらないと考えられる。地盤工学会が定める方法による一面せん断試験を同一試料で行ったところ $\phi=36.2^\circ$ という結果が得られた。この結果と振動台を用いた実験、簡易一面せん断試験機での実験と比較してみると多少の違いが見られるが、これは垂直荷重の違いなどの影響が考えられる為、今後の実験で再度検討する必要があるだろう。

7.結論

・地震動を想定した加速度を加振できる振動台を用いて、一面せん断試験を行うことが可能である。

・地震動の振幅運動を想定した、せん断方向の変化する一面せん断試験を行ったところ、せん断方向の変化による砂の強度定数への影響はないと考えられる。

・高速一面せん断試験の結果と低速一面せん断試験の結果を比較したところ、せん断速度が異なっても、砂の強度定数は概ね等しいと判断できる。

参考文献

- 1) 地盤工学会：土質試験の方法と解説－第1回改訂版－, pp.563－595,2000
- 2) 村上巧一：地震時の斜面表層土の挙動, 鳥取大学大学院工学研究科修士論文, 2001.

表2 振動台一面せん断試験結果

	Peak		Residual		剛塑性体近似	
	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$
正	30.8	0.10	28.8	0.02	29.7	0
負	31.9	0.10	27.2	0.10	30.0	0

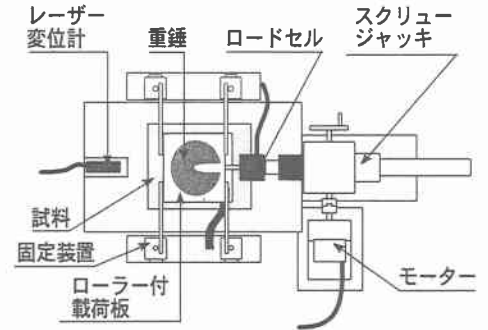


図7 簡易一面せん断試験機

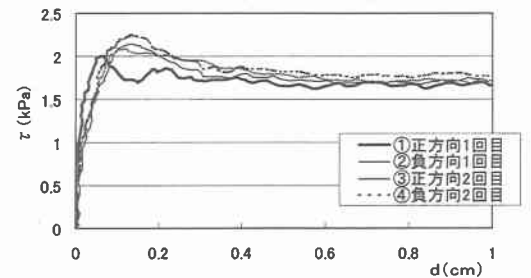


図8 τ - d 線 (せん断速度: 12 cm/s)

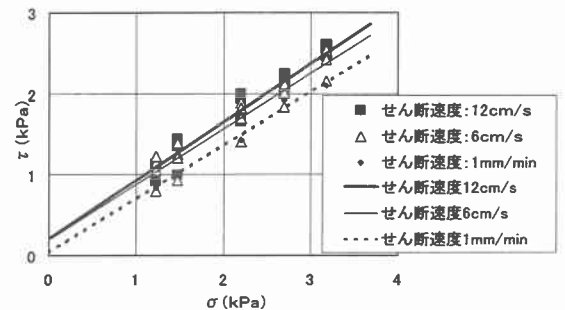


図9 τ - σ 線

表3 せん断速度、方向の違いによる強度定数の比較

		Peak		Residual		剛塑性体近似	
		$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$	$\phi(^{\circ})$	$c(\text{kPa})$
12cm/s	正1回目	36.9	0	32.1	0	32.3	0
	負1回目	33.1	0.38	33.0	0.02	33.0	0.04
	正2回目	36.0	0.25	32.8	0.03	33.0	0.06
	負2回目	35.1	0.33	33.7	0	34.0	0
6cm/s	正1回目	33.7	0	32.1	0	31.8	0
	負1回目	35.1	0.27	33.7	0	34.0	0
	正2回目	34.3	0.21	32.9	0	33.5	0
	負2回目	33.1	0.42	33.8	0	33.8	0.03
1mm/min	正	33.6	0.04	31.2	0.04	30.4	0.06