

京都府立大学 石川芳治, 水原邦夫, 三好岩生
 京都大学大学院 ○杉江友介

1. はじめに

我国では数十年以内に、東海地震、南海地震などの海溝型の巨大地震が発生すると予測されているが、地震による斜面崩壊に関しては発生予測等不明な点が多く、防災体制は十分に検討されていないのが現状である。近年発生した1999年台湾集集地震、2000年神津島災害等地震による災害においても、これまでの研究でも報告されているように急勾配斜面での崩壊が多発している。これら地震による急勾配斜面の崩壊では、引張領域における土のせん断強度が大きく関係しているのではないかと考えられる。そこで本研究では、引張領域での土のせん断強度(引張強度)を明らかにするために、引張試験および一面せん断試験により、引張強度と粘着力の関係を検討した。

2. 地震による斜面崩壊機構の検討

無限長斜面において、水平震度 k_h あるいは θ が大きくなると $N < 0$ (N はすべり土塊からすべり面に対して垂直に作用する力で $N = W \cos \theta - k_h W \sin \theta$) となる。この時すべり土塊に作用する力は図-1 のようになり、すべり面方向における力の釣り合いからすべり土塊の安全率 F は次式で表される。

$$F = \frac{cl + (W \cos \theta - k_h W \sin \theta) \tan \phi_t}{W \sin \theta + k_h W \cos \theta}$$

$$= \frac{cl + N \cdot \tan \phi_t}{W \sin \theta + k_h W \cos \theta}$$

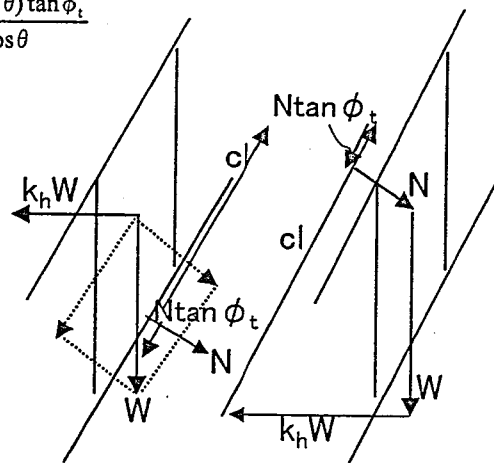


図-1 震度法による無限長斜面の安定検討

また、 ϕ_t は $N < 0$ のときの土塊の内部摩擦角であり、土塊のせん断強度 τ は図-2 に示すように変化すると考えられる。一般の土塊では $\phi_t > \phi$ であり、垂直応力 σ が引張力となる領域ではせん断強度は急速に減少する。したがって $N < 0$ のとき土塊のせん断強度は急速に減少するために斜面は急速に崩壊しやすくなると考えられる。

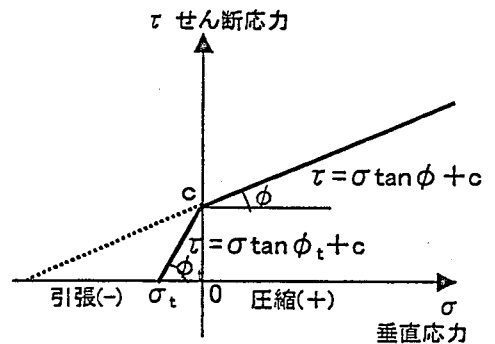


図-2 土のせん断強度の変化

3. 実験方法

引張領域における内部摩擦角 ϕ_t を測定するためには、負の垂直応力を加えて一面せん断試験を行えばよいのであるが、現実的には負の垂直応力を加えて一面せん断試験を行うことができる試験装置は開発されていない。そこでここでは、土の引張強度 σ_t (負) を測定し、これと通常的一面せん断試験により得られた粘着力 c を結ぶことにより引張領域における内部摩擦角 ϕ_t を求めることとする。土の引張強度 σ_t (負) を測定す

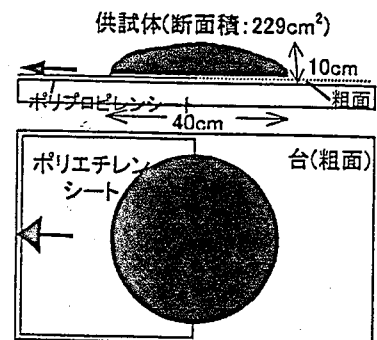


図-3 土の引張強度試験模式図

る手法として、静的な手法と動的な手法を採用することとした。引張強度試験においては、図-3 に示す形状の供試体を作成した。供試体の片側半分は粗面の台の上に置き、反対側半分はポリプロピレンシート（厚さ1mm）の台の上にポリエチレンシート（厚さ0.1mm）を敷きその上に土を載せた。

静的な引張強度試験では、ポリエチレンシートの端を水平に引くことにより供試体を静的な引張により破断して引張破壊時の荷重 P_{max} を測定し、その後、破断した部分の土を載せたままでポリエチレンシートの端を水平に引いてシート間の摩擦により発生する荷重 P_f を測定することにより、供試体の破断による静的引張荷重 $P_s (=P_{max}-P_f)$ を算出した。この静的引張荷重 P_s を供試体の破断断面積 A で除することにより供試体の静的な引張強度 σ_{ts} ($=P_s/A$) を求めた。

動的な引張強度試験では、振動台の上に図-3 に示す供試体を作成し、振動台に振動数 $f=2\text{Hz}$ (周期 $T=0.5$ 秒) で振幅 a の異なる、つまり最大加速度 $\alpha \{=a(2\pi/T)^2\}$ の異なる水平方向の振動のみを10秒間与えることにより供試体を破断した。供試体が破断する最小の振幅を求めてこの時の引張破壊時の振幅から供試体に作用した最大加速度 α を測定し、これから供試体に作用した最大引張荷重 $F_{max} (=m\alpha)$ 、ただし m は破断した部分の供試体の質量) を算出した。その後、破断した部分の土を載せたままでポリエチレンシートの端を静的に水平に引いてシート間の摩擦荷重 P_f を測定することにより、供試体の破断による動的引張荷重 $P_d (=F_{max}-P_f)$ を算出した。この動的引張荷重 P_d を供試体の破断断面積 A で除することにより供試体の動的な引張強度 $\sigma_{td} (=P_d/A)$ を求めた。なお、土の粘着力 c および内部摩擦角 ϕ (圧縮領域) は通常の一せん断試験を実施することにより求めた。

土の試料としては、六甲山系の花崗岩風化土であるマサ土と伊豆諸島の神津島から採取した秩父山火砕流堆積物(第四紀更新世)を用いた。マサ土については攪乱試料を用いて含水比を1.2%、4.0%、7.0%の3種類に変化させて実施した。神津島の試料については現地から不攪乱試料を採取し、静的引張強度試験と通常の一せん断試験を実施した。

4. 実験結果および考察

引張強度試験および一せん断試験の結果を表-1に、マサ土における引張強度と粘着力の関係を図-4に示す。表-1、図-4から土の引張強度は粘着力よりも小さく、引張領域では内部摩擦角が大きくなる。このため地震により引張力が作用すると土のせん断強度は急速に低下し、斜面の安全率も急速に低下する。また表-1より、動的引張強度は静的引張強度よりも大きい値を示した。これは、動的引張強度として最大加速度発生時の引張強度を採用しているが、最大加速度は短時間しか作用していないため、実際に土を破断するのに効果のある引張力(有効力)は、これらよりも低い値を示すものと考えられる。

表-1 引張強度試験および一せん断試験結果

土の種類	含水比 (%)	静的引張強度 (kN/m ²)	動的引張強度 (kN/m ²)	引張領域の内部摩擦角 ϕ_t	一せん断試験結果	
					粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 ϕ
マサ土 (六甲山系)	1.2	0.089	0.105	87.8	2.3	40
	4	0.115	0.139	88.1	3.4	31.8
	7	0.278	0.383	84.3	2.8	29.7
神津島 火砕流堆積物	24~29	0.437	—	77.7	2.0	33.2

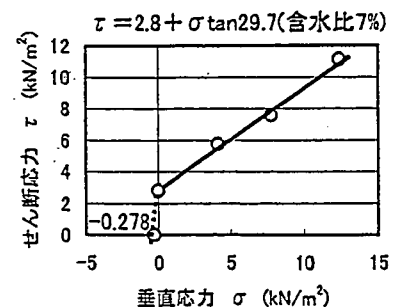


図-4 マサ土における引張強度と粘着力の関係

5. まとめと今後の課題

本研究によって、引張強度は粘着力よりもかなり小さい値を示しており、急勾配斜面においては地震動により引張力が作用することにより、土のせん断抵抗力が急速に低下することが斜面崩壊の発生を多くしていることが裏付けられた。今後は、供試体の大きさや含水比を変化させて、引張領域における内部摩擦角の検討を進めていく必要があると考えられる。