

神戸大学工学部

学生員 ○下田 潤一

神戸大学年都市安全研究センター

正会員 沖村 孝

神戸大学年都市安全研究センター

正会員 鳥居 宣之

神戸大学大学院自然科学研究科

学生員 大西 哲史

1. はじめに

兵庫県南部地震後、六甲山系では降雨に伴って多くの斜面で表層崩壊が発生した。鳥居ら¹⁾は、地震動が自然斜面に与える影響として土粒子間の骨格構造の破壊を考え、その結果斜面が持つ強度が低下し、斜面崩壊が多発したとしている。この原因として、骨格構造を持った不攪乱土と骨格構造が破壊された攪乱土では、降雨に伴う含水比の増加によって引き起こされる強度低下に差が生じたのではないかと考えた。そこで本報では、不攪乱土と攪乱土を対象として、含水状態がせん断強度に及ぼす影響を検討した。

2. 試料と試験方法

表層崩壊の多発した神戸市東灘区五助橋地区(図-1)の No. 1, No. 2 の2斜面のまき土を用い、ブロックサンプリングにより採取した試料を不攪乱試料、いったんほぐした試料を攪乱試料として、一面せん断試験を行った。試料はそれぞれ自然含水条件及び、24時間浸水条件、また、攪乱試料については含水比を5%から5%毎に上昇させ試験を行った。応力条件として、垂直応力を $\sigma = 7.35, 14.7, 22.05$ (kN/m²)と設定し、せん断速度 1mm/min でひずみ制御方式にて測定を行った。

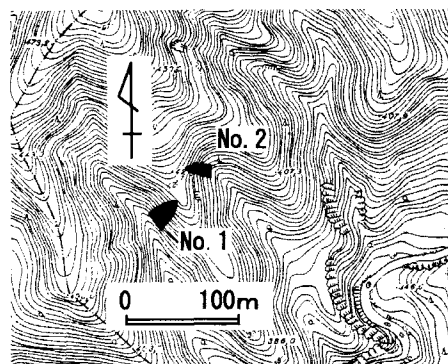


図-1 試料採取地

3. 試験結果および考察

No. 1, No. 2 斜面の自然含水状態および 24 時間浸水時の内部摩擦角、粘着力を表-1 に、図-2、図-3 に垂直応力-せん断強度の関係を示す。これらから不攪乱試料と攪乱試料では、不攪乱試料の方がせん断強度は大きくなり、不攪乱、攪乱試料ともに浸水させるとせん断強度は低下した。また、No. 1 斜面では攪乱土、不攪乱土の浸水に関わらず内部摩擦角はほとんど変化せず、粘着力の低下によって強度低下が起っている。No. 2 斜面では、不攪乱土の 24 時間浸水条件で内部摩擦角が大きく低下したが、それ以外はほとんど一定で、No. 1 斜面と同じく浸水により粘着力が低下している。

含水比を調整した攪乱試料について含水比-内部摩擦角、含水比-粘着力の関係を図-4、図-5 に示す。内部摩擦角は含水比によらずほぼ一定の値をとっているのに対し、粘着力は含水比の上昇により低下していることが分かる。ここで、含水比増加に伴い強度の低下という形で明瞭な関係が見られた粘着力に関して、その低下率を次式のように定義する。

表-1 粘着力及び内部摩擦角

		No. 1 斜面		No. 2 斜面	
		粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 (°)
不攪乱試料	自然含水	7.80	36.8	7.71	37.0
	24時間浸水	6.18	38.8	6.52	31.7
攪乱試料	自然含水	5.47	39.3	2.12	41.9
	24時間浸水	3.96	42.2	0.38	43.8

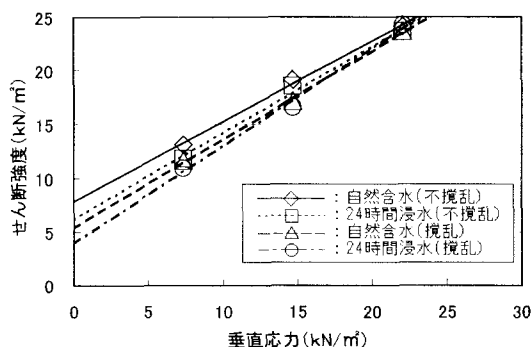


図-2 垂直応力-せん断強度の関係 (No. 1 斜面)

$$\Delta C = C_{Max} - C_{Min}$$

$$C^* = \frac{\Delta C}{C_{Max}} \times 100$$

ここで C_{Max} : 自然状態の粘着力 (kN/m²)

C_{Min} : 浸水後の粘着力 (kN/m²)

C^* : 粘着力低下率 (%)

この式を用い、粘着力低下率を求めたところ、No.1 斜面において不攪乱試料は 19.6%、攪乱試料では 27.6%、含水比を調整した試料では 70.1%、No.2 斜面においては不攪乱試料が 12.1%、攪乱試料では 82.1%、含水比を調整した試料では 85.5%と攪乱試料の方が圧倒的に大きな値をした (図-6 参照)。攪乱土は不攪乱土に比べ、粘着力の低下の度合いが大きい。この理由として、含水比の増加により土粒子の周りにあったメニスカス水が消失し、粘着力が低下するが、不攪乱土では骨格構造を持っているため、浸水によりサクシオンによる粘着力として働く成分が消失しても、セメンテーション等起因する土そのものの粘着力が働いたため強度低下があまり起らなかったものと考えられる。これは、骨格構造を失った土は、骨格構造が破壊されることでせん断強度低下を引き起こすだけでなく、その後の降雨浸透によってもより大きなせん断強度低下を引き起こすことを示している。

また、粘着力が低下するということは低垂直応力域での安全率に大きな影響を与えることを意味する。このことは、地震後の降雨により斜面の表層崩壊が多発した原因の一つと考えられる。

4. まとめ

不攪乱土と攪乱土の違いとして、浸水による粘着力低下率に差があり、不攪乱土では 20%前後だったのに対し、攪乱土においては 70~90%にも達した。このことから、骨格構造の破壊された土では骨格構造をもった土よりも粘着力の低下が大きく発生し、内部摩擦角の変化が少ないため、特に拘束圧の小さい表層部分でのせん断強度の低下率が大きいことが言える。これは表層部分における安全率に大きく影響を及ぼすことから、骨格構造の破壊が地震後の降雨により表層崩壊が多発した原因と考えられ、地震後の斜面の安定性を考える上で考慮する必要があると思われる。

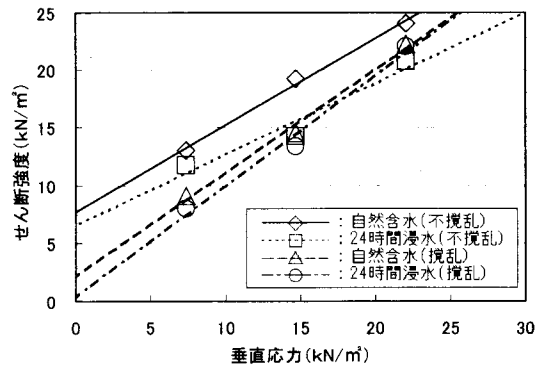


図-3 垂直応力-せん断強度の関係
(No.2 斜面)

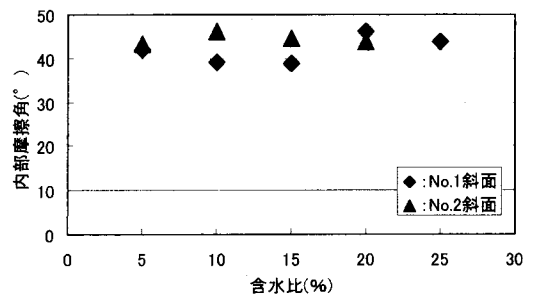


図-4 含水比-内部摩擦角の関係

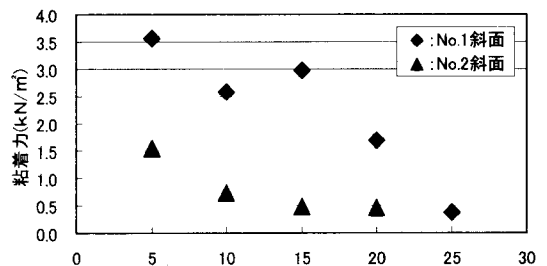


図-5 含水比-粘着力の関係

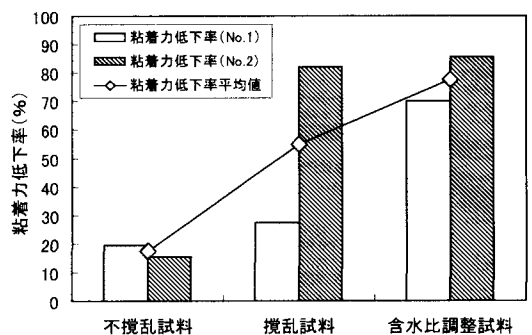


図-6 粘着力低下率

[参考文献] 1) 鳥居宣之, 沖村孝, 永井久徳: 地震動が表土層に与えた影響について (その2), 建設工学研究所論文報告集第 42-B 号, pp.129-143, 2000.