

国土防災技術(株)名古屋支店 ○伊藤 英男

御子柴三男

はじめに

斜面の安定性は、斜面を形成している物質すなわち、土の強度、種類、密度、構造およびその中に含まれる水、水圧等が複雑に作用して発生する現象と考えられる。

自然斜面の崩壊に対する安定性についての土質工学的な検討事例は、極めて少ない。

その一因は、上記にのべた斜面の安定性に大きく影響を与える因子の調査の困難性にある。

特に砂防等でとりあつかう斜面の土は、粒径が極めて大きく、その分布は、粘土から数 m にも及ぶ大礫から成っており、不攪乱資料の採取が極めて困難、あるいは不可能と考えられているからである。

斜面の安定性は、土のもつせん断強度により評価する必要がある、京都大学で開発された、サンプルの大きさ $20 \times 20 \times 10 (cm)$ の一面せん断試験機を用いて一面せん断試験を実施した。

この報告は、砂防計画対象地内におけるせん断試験の可能性および、その結果にもとづき、斜面状況等のちがいによる斜面の安定性を検討したものである。

尚、この報文をとりまとめるにあたり、調査資料の貸与を快諾いただいた建設省北陸地方建設局立山砂防工事事務所の担当諸官に、また、一面せん断試験実施について、京都大学の佐々先生、丸井研究員に多大な御指導、御助言をいただき、謝意を表します。

1 調査方法

1-1 調査位置

調査対象区域は、常願寺川水系上流の水谷・多枝原付近の浸食崖である。(図-1参照)

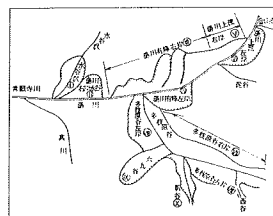


図-1 調査区域模式図

浸食崖の調査位置は、概略的に下記のように入列した。

- ① 本谷口
- ② 常願寺川水谷
- ③ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ④ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑤ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑥ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑦ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑧ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑨ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑩ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑪ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑫ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑬ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑭ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑮ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑯ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑰ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑱ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑲ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)
- ⑳ 常願寺川水谷(常願寺川水谷付近)

1-2 現地調査方法

現地調査として、浸食崖の概略的な規模・地形、地質、湧水、土質状況(湿潤・中湿潤・乾燥斜面)を調査し、地形図(1:1000~1:2500)を用いてガリー発達状況・尾根残留状況を調査して、斜面区分毎に、面積、勾配、方位、標高等を計測した。

1-2 土質定数

一面せん断試験は不攪乱試料・攪乱試料で行い、また、含水比を変化させるため、水中にて試料を飽和状態に近づけても試験を行った。土質資料の作成方法は図-2に示す。

また、垂直荷重(σ)は、土かぶり圧として、試料採取深度と同程度にとる事が一般的で、今回の試料採取深度が0.5~1.0 m 付近であるため、 σ は次のように決定した。

$$\sigma_1 = 26.2 (g/cm^2) \quad \text{深度} \quad 0.15m \text{ 相当} \quad \sigma_2 = 94.9 \quad \text{深度} \quad 0.50m \text{ 相当}$$

$$\sigma_3 = 149.5 \quad \text{深度} \quad 0.75m \text{ 相当} \quad (\text{注}) \text{土の湿潤密度} \quad 2.0 g/cm^3$$

2 調査結果

2-1 地形条件

崩壊斜面勾配は $35^{\circ}\sim 60^{\circ}$ で、斜面の乾湿状況により、斜面勾配は概ね次のようになった。

。現況斜面が湿潤で湧水等が多い斜面 : (湧水があり十分に湿った斜面)

(湿潤斜面)..... 斜面勾配 $35\sim 45^{\circ}$

。現況斜面が普通程度に湿っている斜面 : (湧水があり適度に湿っているか、湧水はなくても

(中湿潤斜面)..... 斜面勾配 $50\sim 60^{\circ}$ 湿った斜面)

。現況斜面が乾燥している斜面 : (湧水はなく乾燥している)

(乾燥斜面)..... 斜面勾配 $55\sim 60^{\circ}$

崩壊堆砂面勾配は $30\sim 40^{\circ}$安息角 未崩壊斜面は $35\sim 45^{\circ}$

各斜面の崩壊・未崩壊斜面の斜面勾配(α)と斜面高(H)を対比したものが図-3であり、斜面状況別に崩壊危険度境界としての斜面高と斜面勾配を対比させたものが表-1の対比表である。

これによると各斜面高における境界勾配は、乾燥斜面は、中湿潤、湿潤斜面に対し、境界勾配は $4\sim 7^{\circ}$ 程度高くなった。また、湿潤斜面と中湿潤斜面では、中湿潤斜面がやや高くなった。

2-2 土質定数条件

(1) 一面セン断試験結果

自然状態の一面セン断試験結果を図-4 一面セン断試験による ϕ - σ 図に示し、斜面状況毎の自然状態と含水比変化状態でのセン断抵抗角 ϕ と粘着力 C を表-2 斜面状況・含水状況別一面セン断試験結果表にまとめた。土質試験結果は表-3に示す。

(2) セン断強度と飽和度

土の飽和度とセン断強度を図-5 セン断強度と飽和度対比図に示す。セン断強度は飽和度 $60\sim 75\%$ で最も高く、飽和度がより高くなれば再び低下する。

3 考察

(1) 現況斜面特性

斜面状況別に斜面現況を整理すると表-4 現況斜面区分のようになる。

この表によると、斜面の乾湿状況により斜面勾配、セン断抵抗角(ϕ)に明瞭な差がみられる。

このように斜面の安定性を支配する重要要因は、現況斜面の乾湿状況により大きな差を有する。

(2) 土質定数と地形条件

セン断抵抗角(ϕ)と斜面勾配(α)とを図-6 セン断抵抗角と斜面勾配对比図に示した。

中湿潤斜面ではセン断抵抗角と斜面勾配はほぼ対応するが、湿潤斜面の場合は水の影響のため、セン断抵抗角に比べて斜面勾配は低くなっている。

(3) 湧水状況と斜面勾配

単位面積(ha)当りの湧水数を湧水密度とし、崩壊斜面勾配を図-7 湧水密度と斜面勾配对比図に示した。湧水密度が高くなれば、斜面状況は湿潤になり、崩壊斜面勾配も低くなる。

(4) 含水状況と斜面安定

斜面の安定性は、土の乾湿状況により変化している。そこで、現況の崩壊斜面、未崩壊斜面の斜面高、斜面勾配の相関図を用い、間隙水圧の変化および間隙水圧、土質常数 (C, ϕ) の変化と斜面安定状況を検討する。

検討方法は、申らの“基岩面条件と斜地の安定”(新砂防第124号 Vol135 第1 P19~30)の考え方を用いこなう。基岩面条件としては、対象土砂が安政5年の崩積土であることから、均質斜面としてとりあつかい、安全率は $F = 1.00$ とし、各斜面勾配における臨界高さを求めた。

C, ϕ については、一面セン断試験による自然状態と飽和状態による ϕ, C の結果を用いた。この検討結果を、図-8 斜面高・斜面勾配相関と臨界高曲線対比図に示した。

これによると、自然状態の C, ϕ を用いた結果では、間隙水圧比(崩壊深さに対する間げき水圧高の比) $u/h = 0.75$ で表わされる臨界高曲線より右側(不安定側)に位置する斜面では、ほぼ全ての斜面で崩壊している。 $u/h = 0.75 \sim 1.00$ の間では、崩壊、未崩壊斜面が混在し、 $u/h = 1.00$ の曲線より左側では、特殊条件による崩壊(土石流流下による攻撃斜面や温泉による影響を受けた斜面)を除いて、ほぼ全ての斜面で未崩壊となった。

また、飽和状態での C, ϕ を用いた場合は $u/h = 0.25$ の曲線より右側は、崩壊斜面、 $u/h = 0.25 \sim 0.5$ では、崩壊、未崩壊斜面の混在、 $u/h = 0.5$ の曲線より左側では、ほぼ未崩壊斜面となった。

5 まとめ

斜面の崩壊は、土の種類、密度、構造、強度および、その中に含まれる水、水圧等が複雑に作用して発生する現象と考えられる。

この報告では、京都大学で開発された、サンプルの大きさ $20 \times 20 \times 10 (cm)$ の一面セン断試験機を用いて、土の強度を求め、現地の崩壊状況とを対比した。この結果は概ね現況と合致したものとなったことから、巨礫を含む地区でも、試験地を選定すれば、試験は可能で、その結果も概ね適応できるものと判断された。

試験結果では、土のセン断抵抗角(ϕ)が 45° 以上と大きくなったものが相当数みられたが、土の密度が高く、間隙比が小さく、礫径も大きく、インナーロッキング効果や表面エネルギー効果の土の構造効果が働いたためと考えられる。

斜面の安定性は ϕ, C 、土の飽和度、間隙水圧に強く影響を受ける。自然状態と飽和状態での C, ϕ を用い現地の適合する間隙水圧比 (u/h) を求めてみると、飽和状態では自然状態の間隙比の $1/2$ 程度で適応し、飽和状態の ϕ はかなり低下していた。

今後は、間隙水圧の上昇と土の含水量の変化等の検討が問題点となる。

表-1 崩壊危険度境界としての斜面高と斜面勾配対比表

斜面状況	斜面高			
	50m	40m	30m	20m
湿潤斜面	38°	40°	41°	44°
	$38 \sim 45^\circ$	$40 \sim 45^\circ$	$41 \sim 46^\circ$	$44 \sim 49^\circ$
中湿潤斜面	40°	40°	42°	45°
	$40 \sim 48^\circ$	$40 \sim 50^\circ$	$42 \sim 51^\circ$	$45 \sim 54^\circ$
乾燥斜面	44°	46°	48°	51°
	$44 \sim 49^\circ$	$46 \sim 50^\circ$	$48 \sim 52^\circ$	$51 \sim 55^\circ$

(注) ○ 湿潤斜面の特殊条件斜面は除く
○ 上段：崩壊、未崩壊斜面の境界
○ 下段：崩壊、未崩壊斜面の混在範囲

表-2 斜面状況・含水状況別一面セン断試験結果表

斜面状況	含水状況	ϕ_r	差	$Cr (t/m^2)$	差
湿潤	自然	$51.0 \sim 51.2^\circ$	0.2°	$0.48 \sim 0.62$	0.12
	変化	$38.6 \sim 40.9^\circ$	2.3°	$0.20 \sim 0.67$	0.47
中湿潤	自然	$52.8 \sim 53.0^\circ$	6.2°	$0.57 \sim 0.63$	0.06
	変化	$43.4 \sim 47.3^\circ$	3.9°	$0.46 \sim 0.65$	0.19
乾燥	自然	63.5°	—	0.43	—
	変化	64.0°	—	0.34	—

表-3 土の相 構 成

○比 重(γ_s)	2.58~2.67 g/cm^3
○含 水 比(w)	自然状態 7~20%
	含水変化状態 9~18%
○間 隙 比(e)	0.3~0.6
○飽 和 度(S_r)	自然状態 40~90%
	含水変化状態 60~95%
○湿潤密度(γ_t)	自然状態 1.85~2.21 g/cm^3
	含水変化状態 2.04~2.20 g/cm^3
○徑 径	最大粒径 9.5~50.8 mm
	D_{60} 0.5~0.8 mm
	D_{10} 0.0025~0.14 mm

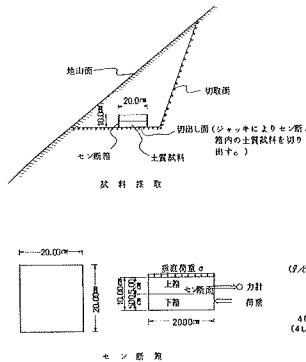


図-2 現場一面セン断試験試料作成模式図

表-4 現 況 斜 面 区 分

斜面勾配	35~45°	50~60°	55~60°
形	小	大	大
雨水密度	大	中	小
土質定数			
自然含水比	51.0~51.2°	52.8~59.0°	63.5°
自然含水比変化	38.6~40.9°	43.4~47.3°	64.0°
自然含水比	0.48~0.62	0.57~0.63	0.43
自然含水比変化	0.20~0.67	0.46~0.65	0.34
炭化角の境界角	38°	40°	44°

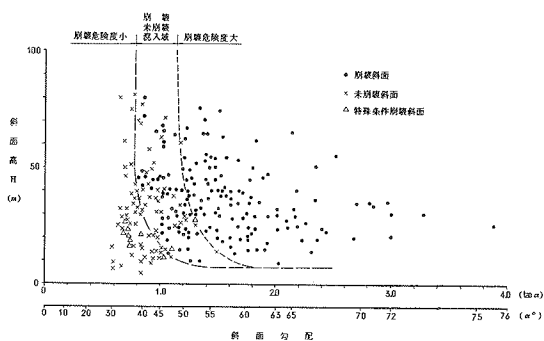


図-3 斜面高・斜面勾配相関図

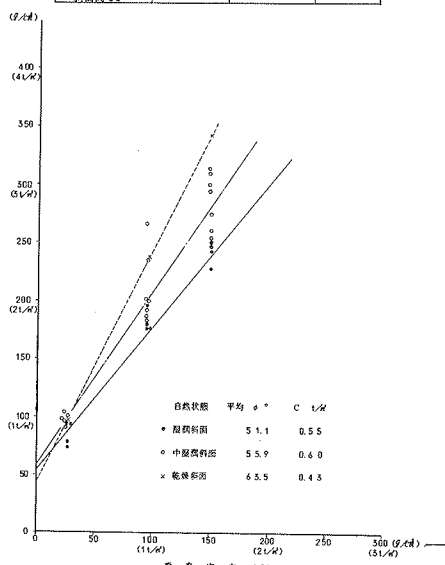


図-4 一面セン断試験による τ - σ 図

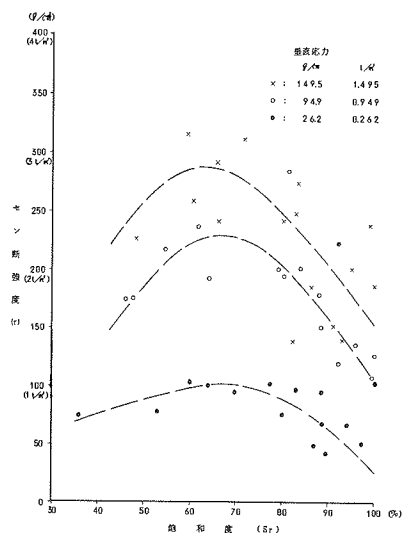


図-5 セン断強度と飽和度対比図

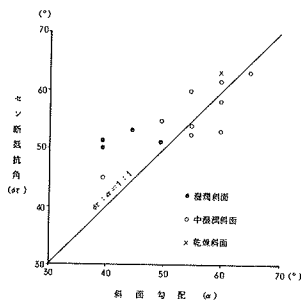


図-6 セン断抵抗角と斜面勾配対比図

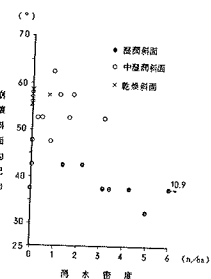


図-7 雨水密度と斜面勾配対比図

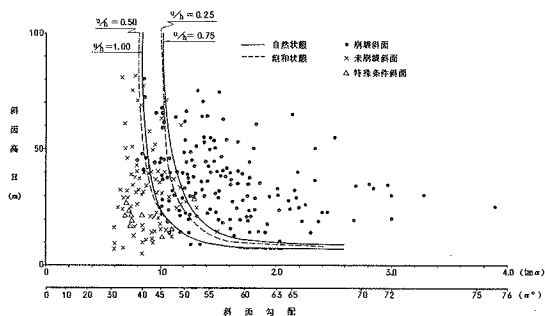


図-8 斜面高・斜面勾配相関図と臨界曲線対比図