No.7　土質強度設定と安定検討

安達和夫

1　まえがき

我が県は、大半が山地であり、又降雨、降雪も比較的多くノリ面の安定が建設時及び維持管理時に当って重要な問題と成っている。

これらノリ面の崩壊にはさまざまの原因が考えられるが一般にいくつかの原因が重なっていることが多く崩壊の形態も複雑である。したがってノリ面の安定の問題については未知の分野が多く強度設定にむずかしい問題がある。

一般に地スベリによる切土ノリ面崩壊が生じた場合スベリ面の位置が比較的分りやすいので、対策工法検討のため安定計算を行い、スベリ面の平均せん断強さ（C, φ）を逆算で求め、この値を使って計画断面の安定計算を行い対策工法を決定することが多い。

安定計算において最もむずかしい問題は、土の強度をいかにして見積るかということである。

その一に、土の強度は一定ではなく、荷重条件、水の影響によって大きく変わるという点にある。　特に水の影響による変化は非常に大きい。

その二に、斜面内の土の強度分布はきわめて不均一である。特に切土ノリ面、自然斜面は成層構造をなしていることが一般的で、強度は不均質である。

その三に、その強度を正確に測定しにくいということである。　試料を乱さず採取し室内試験によって現地での条件下の土の強度常数を測定することは非常にむずかしい。

従ってここでは、1つの事例により、次の3つの方法で、土質強度の設定及び対策工として一般に中小規模の地スベリに用いられる排土工の安定検討について検討するものである。

2．強度設定方法

方法1　土かぶり厚さによってCを決定する方法

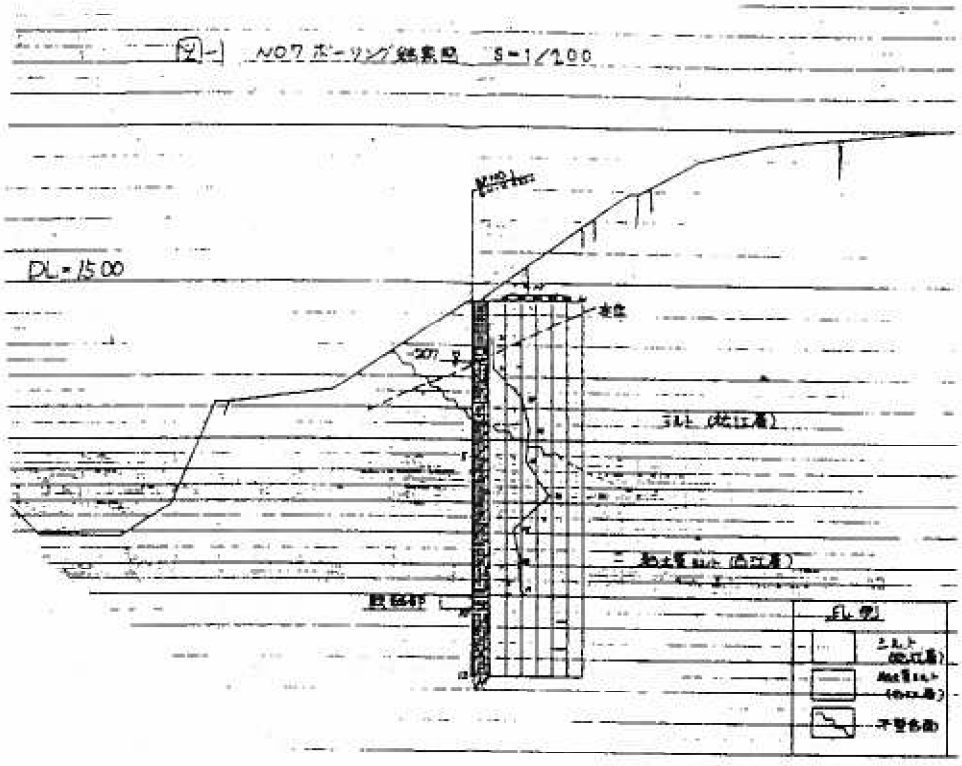
方法2　スベリ面付近の土の粒度からφを推定する方法

方法3…実際のスベリの形状からC, φを推定する方法

3 法面崩壊の事例

3-1 地盤状況

被災した地区は、下位に粘土質シルト、上位にシルトが分布している。
2層の境界が非常に不規則であり、これを不整合面として下位の粘土質シルトを古江層、上位のシルトを松江層で構成されている。



3-2 強度設定

崩壊状況、ボーリング結果、歪測定値から、スベリ面の形状は図-2に示す円弧状のものが想定される。又現況斜面の安全率を $F_S=1.0$ として強度設定を行う。

すべり土塊の単位重量は土質試験結果より

$\gamma_t = 1.85\ t/m^3$

$\gamma_{sat} = 1.90$ 〃

とした。

土質試験結果一覧表

		シルト(松江層)	シルト質粘土(古江層)
含水比		29.4%	34.3%
比重		2.686	2.723
LL		53.8%	45.3%
PL		26.1%	29.1%
土質分類		CH	MH
湿潤密度		1.85 g/cm³	1.87 g/cm³
せん断強度	C	0.55 kg/cm²	0.8 kg/cm²
	φ	16.5°	12°

方法 1　土かぶり厚さによってCを決定する方法

この方法は土かぶり厚が深い程Cが大きくその両者の関係は表-2で示される。即ちスベリ厚1.0mにつきC=0.1 t/m²と考えて安定計算を行い、Fs=1.0からφを決定する方法である。

表-1 地スベリの垂直厚(m)とC(t/m²)の関係

地すべりの垂直厚(m)	C(t/m²)
5	0.5
10	1.0
15	1.5
20	2.0
25	2.5

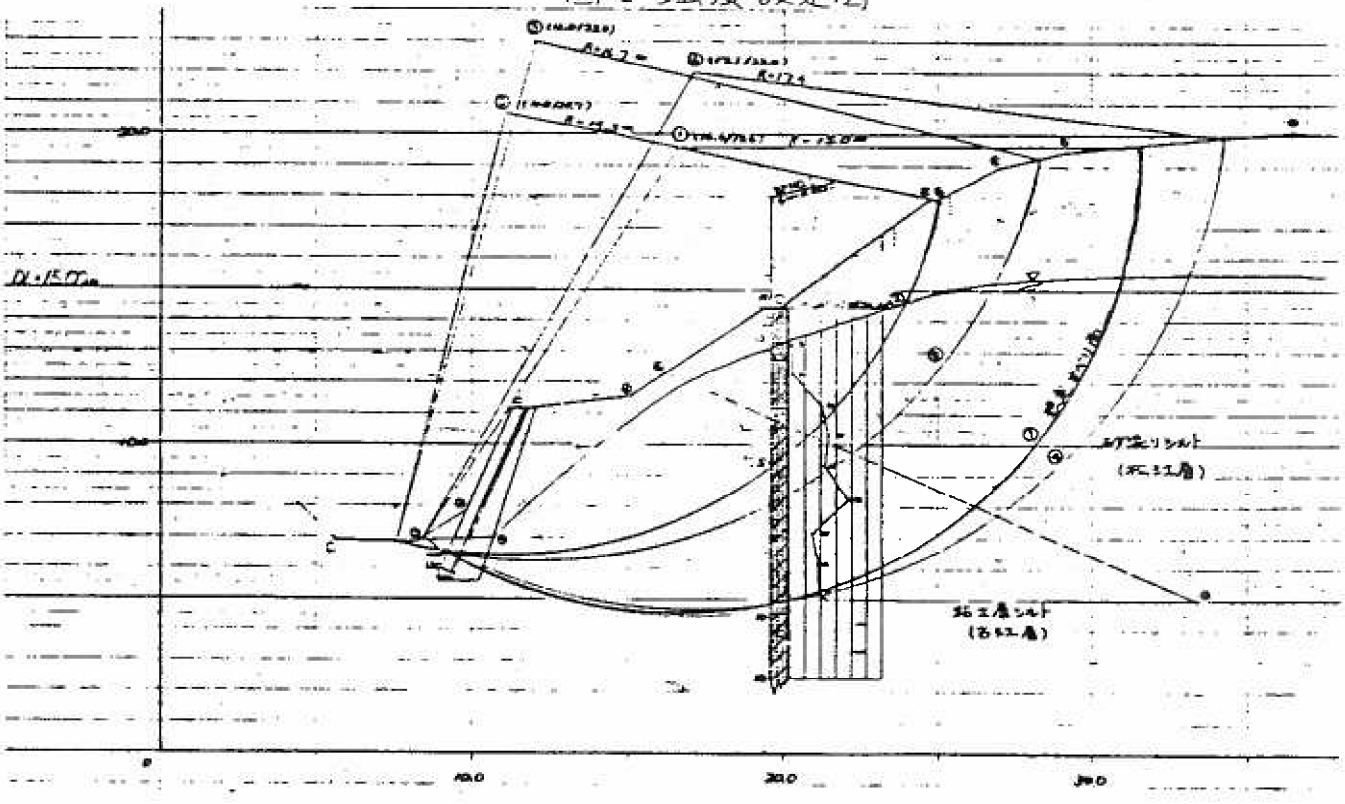
(注) 地すべりの垂直厚とは鉛直方向で測定したすべり土塊の最大厚である。

(道路土工のり面工・斜面安定工指針より)

図-2 強度設定図より地スベリの垂直厚 9.0m ⇒ C=0.9 t/m² F=1.0

∴ φ=35.7°　C=0.9 t/m²

図-2 強度設定図



方法2　すべり面付近の土の粒度からφを推定する方法

この方法は、土の粒度から先にφを決定し、その中で安定計算を行い Fs=1.0 から C を決定する方法である。粒度とφの関係は表-1に示す。

表-2 粒度と内部摩擦角の関係

統一分類法の記号	土　質	内部摩擦角φ(°)
MH・CH・OH	粘　土	15 ～20
ML・CL・OL	粘質土	20 ～25
SM・SC	砂質土	25 ～30
SW.SP・GW・GC	砂、砂レキ	30 ～35

（道路土工　のり面工斜面安定工指針より）

土質試験結果と Fs=1.0 より（安定計算結果）

区分＼強度設定値	土質分類	φ(°)	C(t/m²)	備　考
シルト（松江方）	CH	15	2.02	表-2よりφは min を取った
シルト質粘土（石江方）	MH	20	1.56	

方法3　実際のすべり形状からC.φを推定する方法

現況断面でのすべりが起った時点の断面形状の安全率を1.0と仮定し、安定計算を行い（計算結果は表-3による）想定すべり面①のせん断強さ（C,φ）を逆算すると C-φ図（図-3）に示す様な関係式となった。

表-3 仮想すべり面の安定計算結果

円弧すべり面＼土質強度	安全率 a	b	c	d	e	f	g	h
① R=15.0 (11.6/19.6)	0.999	0.999	1.000	1.000	1.001	0.999	1.001	1.001
② R=14.3 (11.0/20.7)	1.441	1.390	1.300	1.209	1.118	1.025	0.935	0.844
③ R=16.7 (12.0/23.0)	1.187	1.159	1.109	1.060	1.010	0.959	0.910	0.860
④ R=20.5 (13.0/25.0)	0.891	0.916	0.962	1.008	1.054	1.077	1.149	1.189

図-3 C－φ図

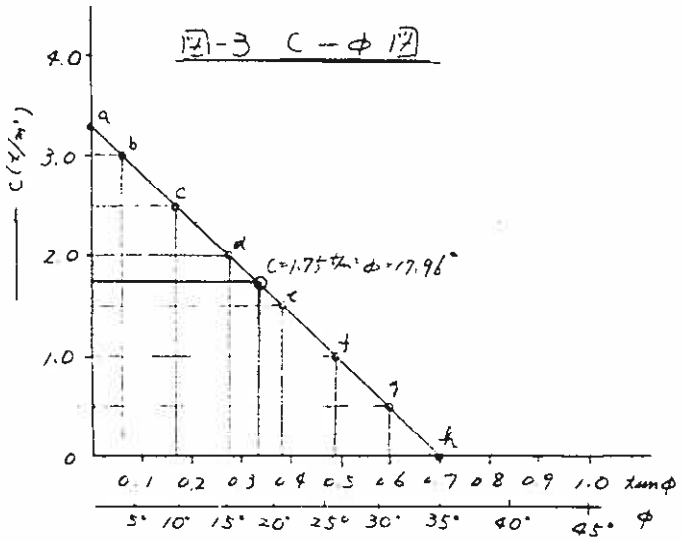


表-4 土質強度

記号	C (t/m²)	tanφ	φ (°)
ⓐ	3.28	0	0
ⓑ	3.00	0.059	3.4
ⓒ	2.50	0.166	9.4
ⓓ	2.00	0.272	15.2
ⓔ	1.50	0.378	20.7
ⓕ	1.00	0.482	25.75
ⓖ	0.50	0.589	30.5
ⓗ	0	0.695	34.8

これらの各点のC, φは, スベリ面①で常に安全率が1.00を示す値である。他に仮想スベリ面を3ケ設定し 表-4 で求めた各土の強度と安全率との関係をグラフで示すと図-4 の示す通りである.

この図でまず浅いスベリ②③について考えると大部分は安全率が1.0より大きいが ⓕⓖⓗ の強度の場合③のスベリ面が1.0を下まわっている. すなわち真の強度が ⓕⓖⓗ のなかにあれば, 実際のスベリは③の位置に発生しなければならないことになり, ⓕⓖⓗの強度はこの場合不適ということになる.

次に深いスベリについて考えるとスベリ④の位置では ⓐ～ⓒ はみな1.0以下の値を示しており真の強度がⓐ～ⓒのなかにあれば実際のスベリは④の位置に発生しなければならないことになる.

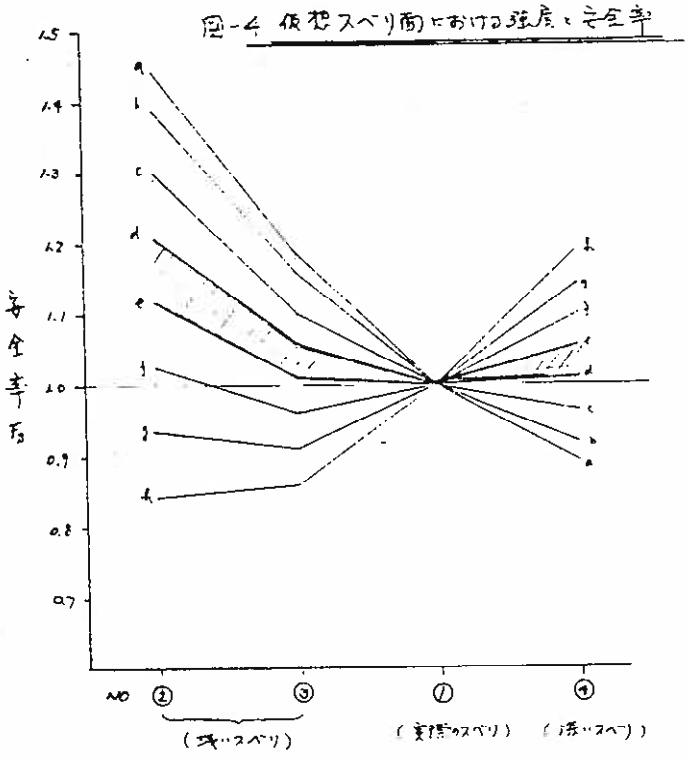
結局, 残されたⓓⓔ すなわち

ⓓ : C = 2.00 t/m² φ = 15.2°

ⓔ C = 1.50 〃 φ = 20.7°

ならば他の円弧②③④は安全率が1.0以上となりしかも実際のスベリ面と最低の1.0を示すことになり

図-4 仮想スベリ面における強度と安全率



実際のスベリがこの位置に発生したことが納得される.

∴ 強度設定値

$C=1.75\ t/m^2$ $\phi=17.96°$	(ⓐⓔの平均をとった)

3-3 安定検討

前記の強度設定に基づいて排土工の安定規模の検討を行う.

1) 円弧スベリ計算方法

$$F_s=\frac{\Sigma(c\cdot l+W\cdot\cos\theta\cdot\tan\phi)}{\Sigma W\cdot\sin\theta}$$

せん断強さ $S=c+\sigma\tan\phi$ で示され, $\sigma=\frac{P}{l}$

$P=W\cdot\cos\theta$ である。

F_s：安全率

σ：垂直応力 (t/m^2)

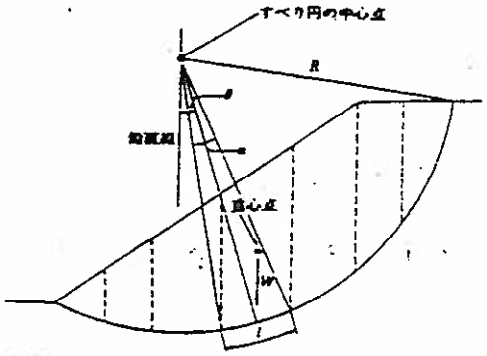
P：分割片の底面に作用する垂直反力 (t/m)

W：分割片の重量 (t/m)

l：各分割片で切られたすべり面の弧長 (m)

c：粘着力 (t/m^2)

ϕ：内部ささつ角 (度)



円形すべり面の安定計算法

2) 安定計算結果

NO.	項目	現況断面 強度設定時	計画断面（排土） 方法1 $\phi=26.7°\ C=0.9t/m^2$	方法2 $\phi=20.0\ C=1.56$	方法3 $\phi=15.0\ C=2.02$	$\phi=17.96\ C=1.75$	備考
①	想定すべり	1.000	1.496	1.383	1.324	1.360	計画断面図参照（図-5）
②	小崩壊	——	1.112	1.162	1.199	1.178	
③	（浅い〃すべり）	——	1.200	1.200	1.200	1.200	
④	すべり拡大時例	——	1.637	1.503	1.427	1.475	
⑤	〃 (2)	——	1.512	1.428	1.372	1.408	
排土比率		0	1.00	0.84	0.79	0.87	

4 あとがき

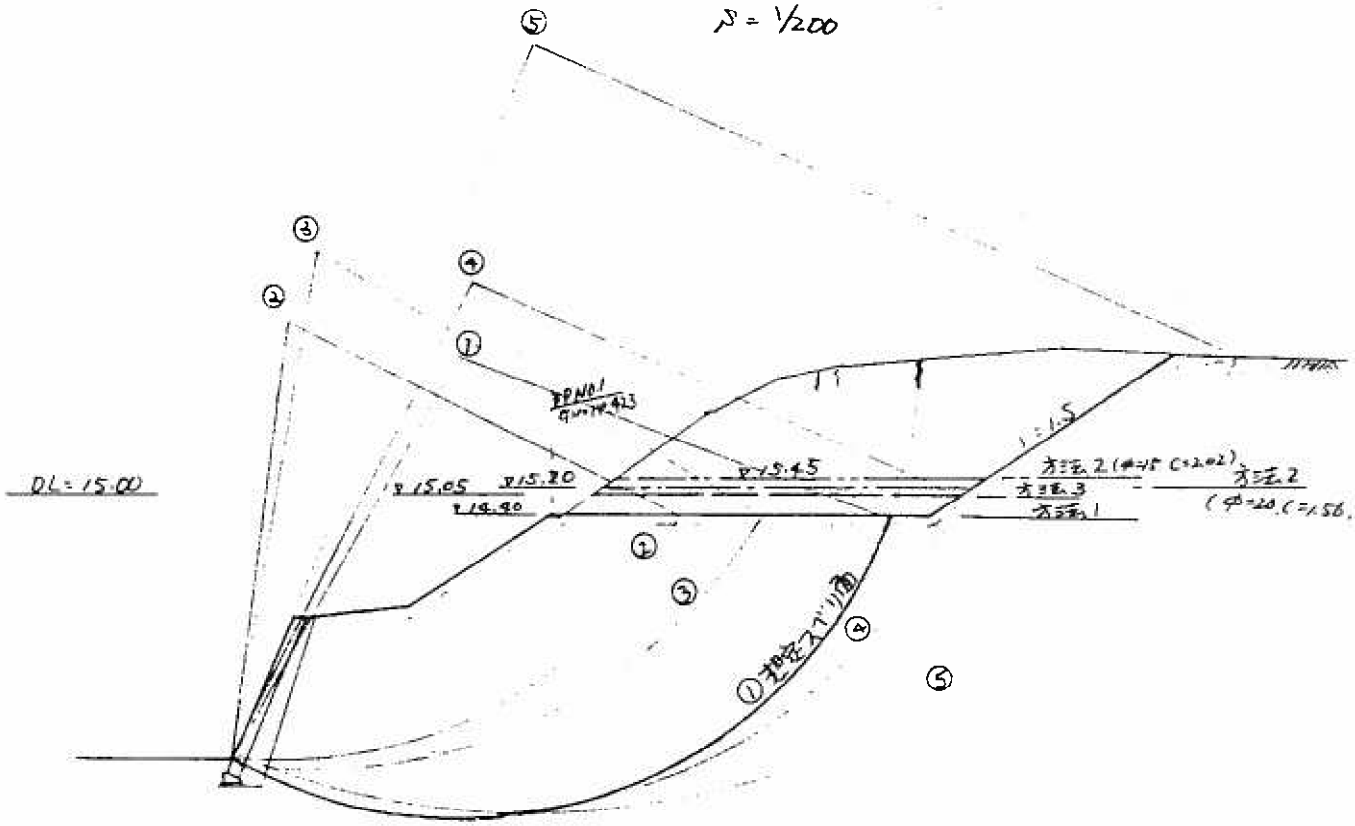
今回3つの方法で強度設定し斜面安定の検討を行ったが方法1以外はほぼ同じ結果が得られた。

方法1についてはのり面工・斜面安定工指針でも述べられており, 今回の検討結果からも安全側の設計と成り, 今後充分検討する必要があると思う.

又スベリ崩壊が既に発生した場合には、図-3.4の逆算で求める手法も有力な方法と思われる。

土の強度は一定ではなく 水の影響等によっても大きく変化する。従って水位が変化した場合の安定の検討については今後の課題にしたいと思う

図-5 対策工(排土)計画断面



参考文献 地すべり調査と対策講座(2)

土と基礎

道路土工 のり面 斜面安定工指針