

サウンディングロッドによる築堤土強度の 簡易測定法について

福 岡 正 己*
座 親 勝 喜**

1. ま え が き

既設の築堤土の強さ、または安全性を的確に知ること
は今後の設計、施工または維持、管理上きわめて重要で
ある。しかし、このことに関しては現在まであまり考慮
されていない観がある。その原因の一つとして築堤土の
強さを簡単に求められないことが考えられよう。すなわ
ち、この強さを求めるには、まず試料を採取してセン断
試験を行わなければならないが、長い延長を有する築堤
土について試験を行っていたのでは、時間と労力が相当
なものになってとうてい実用上不可能である。

そこで、この強さをきわめて概略的ではあるが迅速に
求める方法としてスウェーデン式サウンディングロッドに
よる貫入試験（以下簡単にサウンディングと呼ぶ）、土
木研究所型貫入試験、ペーン試験を実施したが、比較的
好成果を得たサウンディングについて以下に述べる。

2. サウンディング

1) 試験機とその使用方法

機械の構造は、図-1 に示すようなもので荷重及びね
じ込み抵抗によって地盤
の成層状態を比較的簡便
かつすみやかに知ること
ができ、相当深いところ
まで測定が可能である。

構造は、2.5 cm 平方
の底を有する高さ 20 cm
の細長い角錐をねじって
造ったスクリーポイン
トに径 2 cm、長さ 1m
のロッドを順次継足せる
ようになっている。試験
は次のようにして行う。
ロッドに荷重装置（重量
5 kg）を取り付け、地表
面に鉛直に立ててそのと
きの貫入量を記録する。

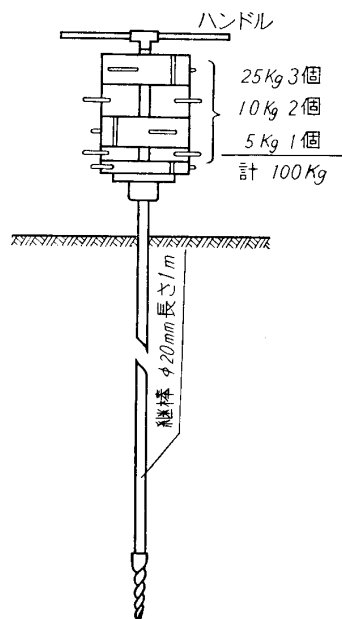


図-1 サウンディングロッドの構造図

次いで 15, 25, 50, 75, 100 kg になるように载荷して
ゆき、その都度貫入量を記録する。100 kg 载荷して貫
入しなくなれば、ハンドルを静かに右回りに回転して
ロッドを地中に貫入させる。半回転を 1 回として数え、
貫入量とそれに対応する回転数を記録する。作業は記録
係 1 名、その他 3 名で可能である。引き抜きは 4~5 m
の貫入量では大体人力で行えるが、それより深くなると
チェーンブロックかジャッキを必要とする。

2) 試験とその結果に対する検討

a 試 料

(1) 関東ローム

この土はきわめて変わった物性を有している。すなわ
ち、吸水性に富んだ褐色の火山堆積物で一般に 100% 以
上の含水比があり、相当に締まっているようでもその乾
燥密度は 1 g/cm³ にも達しないような状態である。物理
試験の結果は表-1 に示す。

表-1 物理試験結果

試 料	粒 度 試 験							三角 坐標 分類	L	P	L	P	I	比重
	レキ 分 %	砂分 %	シル ト分 %	粘土 分 %	フルイ 2.0 通過量 %	フルイ 0.40 通過量 %	フルイ 0.075 通過量 %							
関東ローム	—	46	38	16	100	92	63	ローム	101	60	41	—	—	2.65
砂町砂	—	96	3	1	100	96	6	砂	—	—	—	—	—	2.66
粗砂	10	90	—	—	90	28	2	砂	—	—	—	—	—	2.64

(2) 砂町砂、粗砂

砂町砂は、江東区南砂町 5 丁目にある東京都砂町ポン
プ場基礎の切取斜面から採取した灰褐色細砂である。粗
砂は砂防研究室に保存されていたもので青灰色を呈して
いる。両試料ともその物理的性質を表-1 に示した。

b サウンディング（その一）

試験は関東ロームと砂町砂を使用して行い、密度を適
当に変化させてそれに対する結果を求めた。

まず、関東ロームの場合について述べる。試料は次の
ようにして作成した。不純物等を取り除き、塊をほぐし
た後均質にするため、鉄板の上でショベルをもって十分
に混合した。その後含水比の変化を防ぐため、試料をゴ
ム膜でおおい、その上にさらに湿ったボロ布を加えて周
囲に撒した。このようにして得られた試料を内径 28 cm、
高さ 65 cm の大型三軸圧縮試験用モールドに 6 層に詰

* 工博，建設省土木研究所砂防研究室長

** 建設省土木研究所砂防研究室

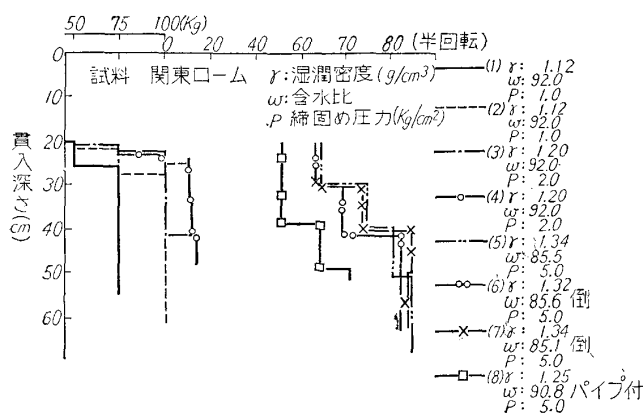


図-2 サウンディングの結果 (φ 28 cm)

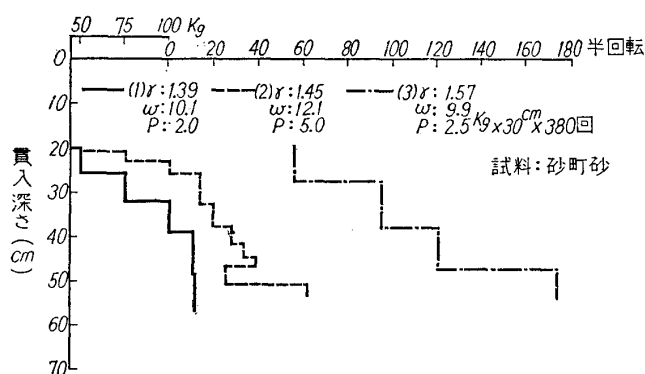


図-3 サウンディングの結果 (φ 28 cm)

めて各層毎に静荷重を加えた。載荷は試料填充後、表面を水平にならし、モールドにちょうど挿入できるような鉄製の円板を用い、これを通じて行った。含水比は試験後試料の上、中、下より求めてその平均値を採用した。

試験結果を図-2 に示す。同図からわかるように深さとともに貫入抵抗が増えている。この傾向は密度が大きくなるといじむしい。

砂町砂も関東ロームと同様な方法で試料を作成した。ただし静荷重で得られないような大きな密度に対しては JIS 規定の突固め試験用ランマーを使用した。結果は図-3 に示すように関東ロームの場合と同じく深さとともに抵抗を増しているが、その傾向はさらに顕著となっている。

このように貫入抵抗が深さによって変化するのは、密度が深さとともに増加しているためか、ロッドと土の摩擦によるのか、または、モールド周

壁による影響が原因しているのかのいずれかであろう。まず、密度の影響を調べるため、モールドを倒立にして底部より試験した。結果は図-2 に示すように判然たる影響は認められなかった。また、深さ毎に密度を求めたが、深くなるにつれて少しは増加しているもののその傾向はきわめて僅少であった。次に、ロッドと土の摩擦による影響を検討するため、ハンドオーガーの継ぎ足し管にロッドを挿入した。ロッドと管の間に土が入り込んでくるのを防ぐため、グリースを圧入したが、あまり効果はなかった。モールド周壁の影響についてはもっと大きなモールドを使用した。これについては次に述べる。

c サウンディング (その二)

使用したモールドは内径 38 cm、高さ 75 cm で試験するときはこれを二つ重ねた。試料には関東ロームと粗砂を用いた。

まず、関東ロームについて述べる。試料の突き固めには CBR 試験用ランマーを用いた。試験は同一密度について3回行い、その1回は排土した。ここに述べる排土とはロッドと土の間に生ずる摩擦を除去するため、ロッドに接する部分の土を排除したことを意味する。結果は図-4 に示すように深さによる貫入抵抗の変化はややあるにしても前試験の結果に比すれば無視出来る程度に少ないといえよう。

次に粗砂について述べる。最初に試料をモールドに入れ、突き固めを行わないで試験を実施し、その後、突き固めたものについて試験した。突き固めは重量 20.7 kg、径 15 cm、高さ 15 cm の錘を 112 cm の高さから

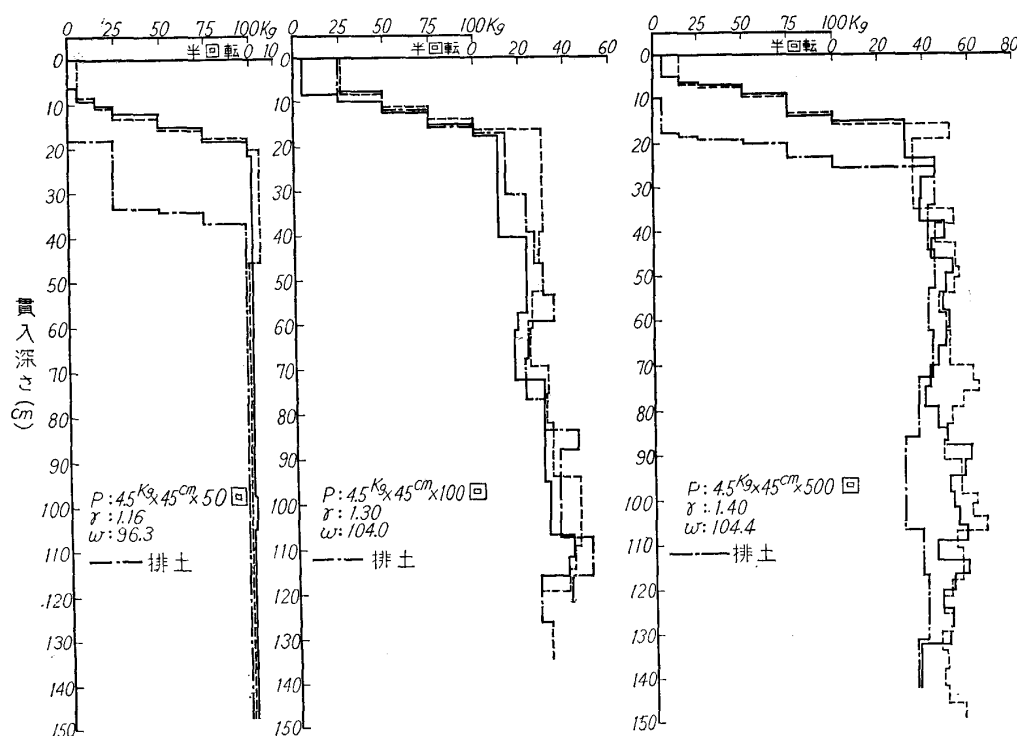


図-4 関東ロームのサウンディング結果 (φ 38 cm)

落下させることによって行った。結果は図-5 に示すように突き固めをしない試料では、深さによる貫入抵抗の増加はあまり認められないが、突き固めた試料ではこの傾向が顕著であり、半回転数は実に 0 から 800 回まで増加している。そしてモールドの継目に相当する部分がこの値を減少している。これは周壁の影響によるのかも知れない。ともあれ、この粗砂のように大きな抵抗を有する試料については、さらに大きなモールドを使用して試験する必要がある。

d サウンディング (その三)

粗砂については前述のように内径 38 cm のモールドを使用しても深さによる貫入抵抗の変化がいちじるしいので今度は 1 m 平方の深さ 1.5 m の穴を地中に掘り、これに試料を填充して試験を行った。突き固めは 20.7 kg の錘を 112 cm の高さから落下させて行った。突き固め層数は 7 層とした。結果は図-6 に示すように深さによる貫入抵抗の規則的变化はあまり認められない。

3. 一面セン断試験および三軸圧縮試験

一面セン断試験機の径は 10 cm, 高さ 5.2 cm で試料を 3 層に詰め、各層毎に垂直荷重を加える装置を利用して締め固めた。荷重は垂直ヒズミが無くなるまで加え、それに要する時間は関東ロームで約 30 分、砂町砂と粗砂では 1 分も要しなかった。試験は載荷直後、1 分間 1.2 mm のセン断速さで非排水急速セン断試験を実施した。結果を表-2 に示す。

三軸圧縮試験に用いた供試体の直径は 7 cm, 高さ 16.5 cm である。

試料をモールドに 6 層に詰め、各層毎に締め固めを行って供試体を作成した。試験は側圧を加えた後、1 分間 1.7 mm の載荷速さで非排水急速試験を実施した。結果

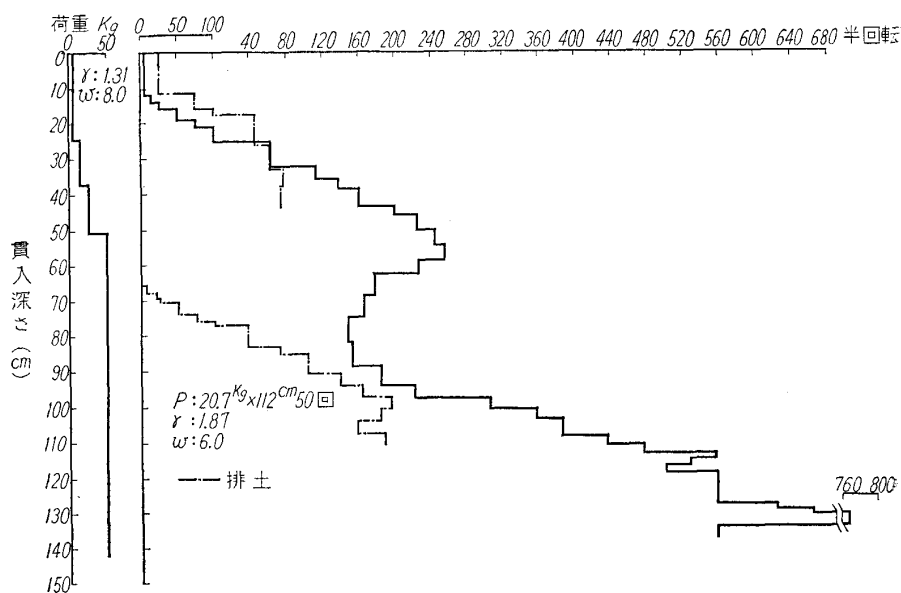


図-5 粗砂のサウンディング結果 (φ 38 cm)

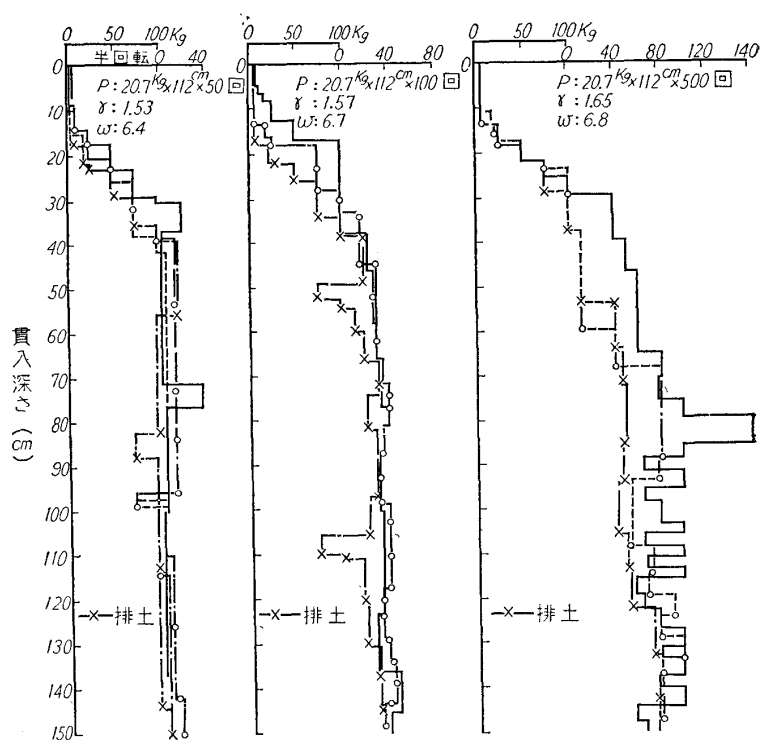


図-6 粗砂のサウンディング結果 (1×1 m)

表-2 一面セン断試験結果

試料名	関 東 口 一 人						砂 町 砂						粗 砂					
乾燥密度 (g/cm ³)	0.604	0.645	0.654	0.687	0.714	0.737	1.21	1.22	1.30	1.40	1.41	1.47	1.41	1.46	1.55	1.58	1.82	
含 水 比 (%)	90.5	106.0	106.0	106.0	90.5	102.2	12.0	10.6	12.4	11.1	12.3	14.2	6.2	11.0	9.8	5.8	11.0	
粘 着 力 (kg/cm ²)	0.08	0.13	0	0.19	0.42	0.50	0.05	0	0.23	0.38	0.25	0.38	0.13	0.15	0.11	0.11	0	
内部摩擦角 (°)	18.20	6.30	18.20	14.1	9.10	6.20	20.50	17.30	16.50	44.50	50.45	48.30	21.40	26.00	21.00	19.20	74.10	

を表-3 に示した。

4. 築堤土斜面の安全率

粘着力, 内部摩擦角, 湿潤密度などがわかれば, 斜面

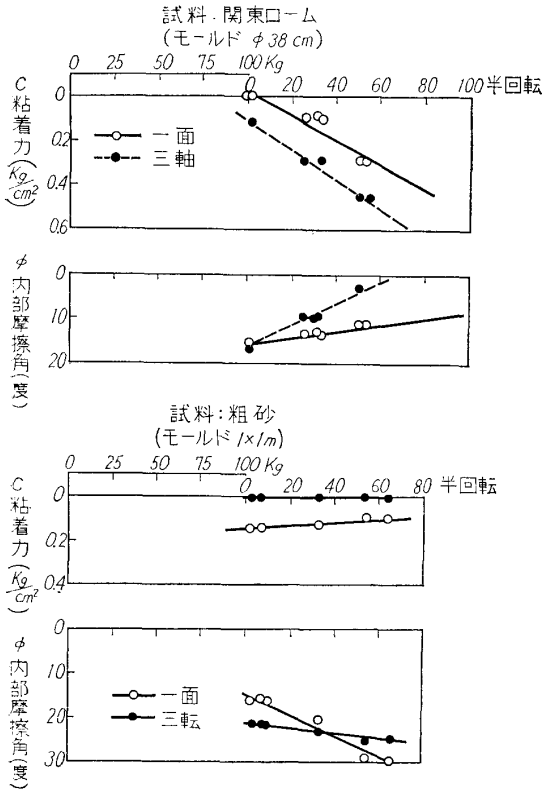


図-7 セン断常数とサウンディングによる貫入抵抗との相関図表

表-3 三軸圧縮試験結果

料試名	関東ローム			砂 町 砂				粗 砂		
乾燥密度 (g/cm³)	0.591	0.631	0.651	1.22	1.31	1.40	1.58	1.49	1.75	1.86
含水比 (%)	99.7	98.3	99.7	11.0	11.0	11.0	11.0	9.1	9.0	8.9
粒着力 (kg/cm²)	0.11	0.29	0.32	0	0.07	0.02	0.04	0	0	0.08
内部摩擦角 (°)	17.00	9.10	9.20	23.10	24.40	29.10	37.40	23.20	31.10	33.40

表-4 斜面の安全率

試料	斜面傾度 (割)	荷重 kg		100	100	100	100	備考
		m 当り半回転		0	20	40	60	
関東ローム $r=1.28$	1	直	4	2.0	3.0	4.0	5.0	$\phi 38 \text{ cm}$ のモールドを使用した場合 (三軸圧縮試験)
		高	8	1.0	1.5	2.5	3.0	
		m	12	破壊	1.0	1.5	2.0	
	2	直	4	2.5	3.5	5.0	6.0	
		高	8	1.5	2.0	2.5	3.0	
		m	12	1.0	1.5	2.0	2.0	
	3	直	4	3.0	4.0	5.5	6.0	
		高	8	2.0	2.5	3.0	3.5	
		m	12	1.5	2.0	2.0	2.5	

の安定計算ができる。サウンディングにより求められた貫入抵抗とセン断常数の相関性を求めれば図-7 のようになる。

安定計算の方法にはいろいろあるが, 簡単のため図-8 を利用して行うことにした。安全率はセン断強さに関するものを採用した。セン断強さとセン断応力をそれぞれ

$$S_a = C_a + n \tan \phi_a, \quad S = C + n \tan \phi$$

で表わした場合, 粘着力ならびに内部摩擦角の安全率を

$$F_c = \frac{C_a}{C}, \quad F_\phi = \frac{\tan \phi_a}{\tan \phi}$$

とすれば,

$$F_c = F_\phi \text{ の場合,}$$

$$F_s = \frac{C_a}{C} = \frac{\tan \phi_a}{\tan \phi} \text{ となる。}$$

このようにして得られた安全率をセン断強さに関する安全率という。

ここに参考までに関東ロームについて斜面の安全率を求めた結果を表-4 に示した。

5. あとがき

以上はごくわずかの試料についてしかも限られた条件のもとに行った試験結果ではあるが, 粘着力, 内部摩擦角とサウンディングの結果との間にはある程度の相関性が存在し, それも土の種類により異なることがわかった。ただ今回の試験ではモールドによる影響が考えられるの

でさらに今後は既設築堤土についてサウンディングを行い, 同時に試料を採取してセン断試験を実施し, 両者の相関性を求めたいと思っている。また, 浸透水による影響もあわせて検討したい。

とにかく, 幾多の代表的試料土について種々の条件のもとにおける相関図表を求めておけば, 築堤土の安全率を求める上に便利である。しかし, このサウンディングの結果から求めた斜面の安全率は, あくまで推定値に過ぎないのできわめて安全率の高い築堤土を大ざっぱにより分けることはできても極限值に近いものに対してはさらに三軸圧縮試験などを行って正確を期すべきであろう。

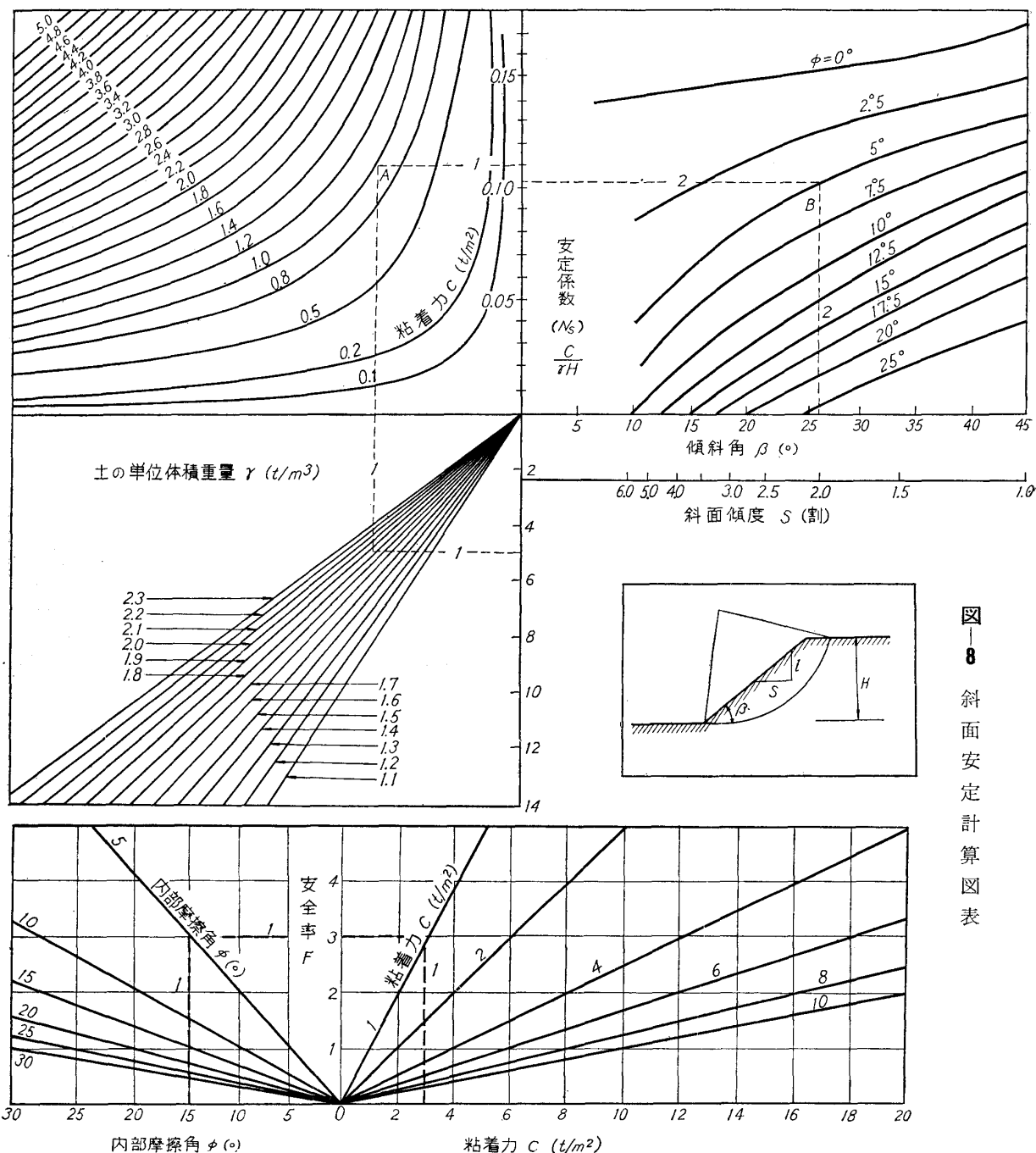


図 8 斜面安定計算図表

討 論

○西村光生 (中央開発KK)

スクリーポイントは特殊鋼を使っても次第に摩耗すると思うが、これが測定結果の判定に及ぼす影響はどうか。

○座親勝喜 (発表者)

摩耗はまぬがれないので、その影響については今後検討したい。

○難波直彦 (農林省九州農業試験場)

現場でサウンディングを実施する場合にどのくらいの深さまで実用性があるか。深くなった場合のロッドの摩擦抵抗については、それをなくすことを考えるような必要はないか。

○座親勝喜 (発表者)

現場で深いところでは 20 m 以上まで実施することがある。この場合にロッドの摩擦抵抗を切る方法については考えていないが、これとロッド重量の増加とが測定値の上である程度相殺することもあると考えられる。いずれにしてもさらに検討したい。

○福田 (運輸省)

サウンディング試験結果と一面セン断試験結果との相関性を考える場合に、土が同じ状態であることは何で判断したのか。

○座親勝喜 (発表者)

乾燥密度と含水量とが同じ状態であるように選定した。