

締固め土の静的強度と減衰定数の関係について

愛知工業大学 正会員 ○奥村哲夫
 同 成田国朝
 同 大根義男

1. はじめに

近年、詳細な検討を要する重要なダムにおいては、地震応答解析を行ってダムの耐震性を確認することが行われている。このため、土質調査に当たって動的物性試験が不可欠な要素となるが、これを全ての構築材料に対して実施することは経済的にも技術的にもかなり困難を伴うことが少なくない。しかし、常時の安定性を確保するための静的圧縮試験は各ゾーンに対して綿密に実施されるので、静的強度と動的変形特性との関係を調べて両者に相関が見出せれば、予備設計の段階で剛性率や減衰定数を概略推定する際の有用な資料になると考えられる。

本報告では、アースダムの築堤材料を対象として、締固め土の減衰定数と静的強度の関係性を調べ、関係式の適用性に関して考察を加える。

2. 試料および実験方法

実験に用いた試料は、粘性土から砂質土に至る8種類の土と基礎実験のための豊浦砂である(表-1参照)。締固め供試体の作製は、予め含水比調整した試料を三ツ割モールド内に入れ、各層が所定の密度となるように圧縮量を規定して準静的に締固めて行った。

実験はステージ方式とし、1ステージの荷重回数20~30回、変位制御、1~2Hzの正弦波である。拘束圧は98~690kPaの間で数種類変化させた(CU条件)。

3. 実験結果

図-1は豊浦砂の同一拘束圧における減衰定数 h と剛性率 G の関係をせん断ひずみ γ をパラメータとして示したものである。図を見ると、 h と G との間に両対数紙上での直線関係が認められ、 $h \sim G$ 関係は次式の形で表すことができる¹⁾。

$$h = h'(\gamma) \cdot G^{F(\gamma)} \quad (\text{単位: kgf/cm}^2) \quad \text{--- (1)}$$

ここに、 $h'(\gamma)$ は各ひずみレベルに依る直線の $G = 1 \text{ kgf/cm}^2$ 線との切片、 $F(\gamma)$ はその勾配である。

図-2は同一拘束圧における剛性率 G と静的強度 τ_{sf} との関係を示したものである。ここで、

表-1 試料の性質

試料	Gs	粒 度 組 成				最大粒径 (mm)	Uc	LL (%)	PL (%)	IP
		粘土 (%)	シルト (%)	砂 (%)	礫 (%)					
A	2.666	10.0	58.0	32.0	0.0	2.0	11	45.4	15.8	29.6
B	2.487	11.0	31.0	52.0	6.0	4.76	64	-	-	-
C	2.675	26.0	68.0	6.0	0.0	0.84	-	48.5	28.5	20.0
D	2.714	10.0	40.0	22.0	28.0	4.76	60	44.6	26.6	18.0
E	2.648	10.0	16.0	54.0	20.0	4.76	90	21.4	9.4	12.0
F	2.649	7.0	10.5	82.5	0.0	2.0	37	NP	-	-
G	2.636	4.0	13.0	66.0	17.0	4.76	27	NP	-	-
H	2.638	4.0	5.5	90.5	0.0	2.0	5	NP	-	-
T	2.650	0.0	0.0	100.0	0.0	0.42	1	NP	-	-

(注) T: 豊浦砂

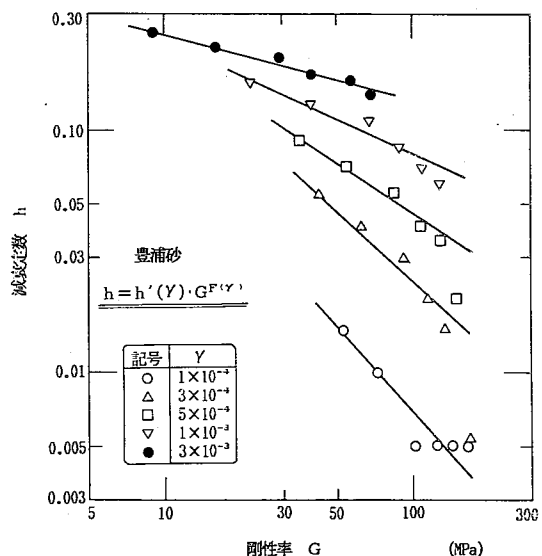


図-1 減衰定数 h と剛性率 G の関係(豊浦砂)

Relation Between Static Undrained Strength and Damping Ratio of Compacted Soils:

T. OKUMURA, K. NARITA and Y. OHNE (Aichi Institute of Technology)

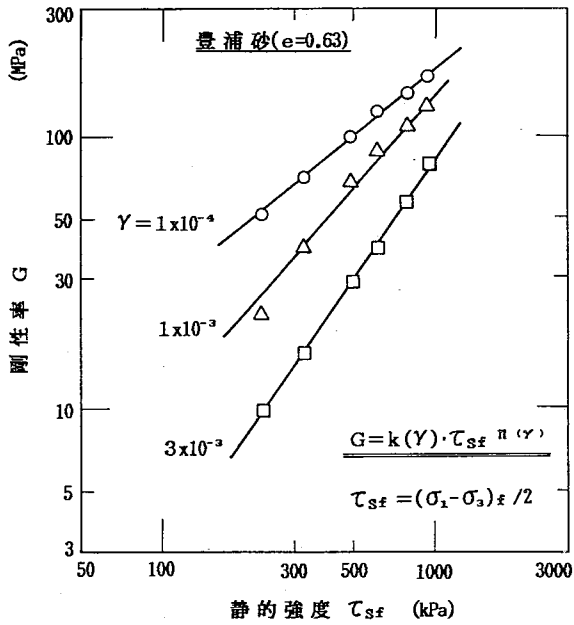


図-2 剛性率Gと静的強度 τ_{sf} の関係(豊浦砂)

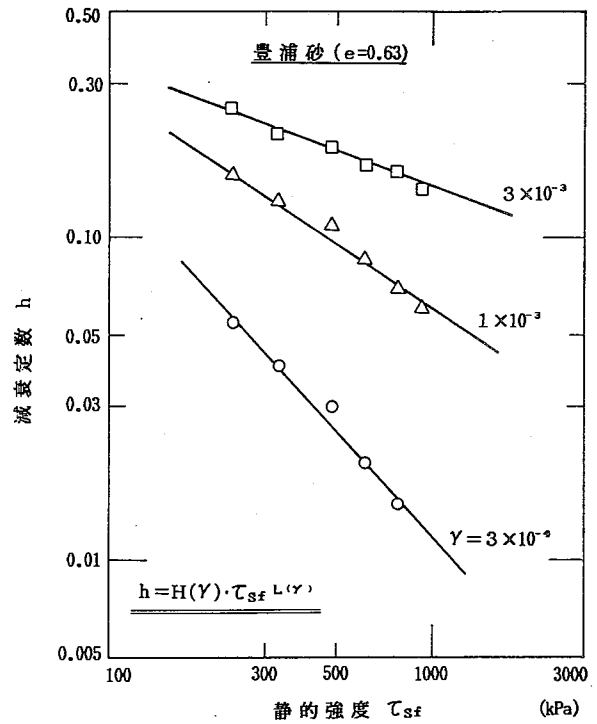


図-3 減衰定数hと静的強度 τ_{sf} の関係(豊浦砂)

τ_{sf} は静的三軸圧縮試験で得られる圧縮強さ $(\sigma_1 - \sigma_3)_f$ の1/2の値としている。Gと τ_{sf} の間に両対数紙上での直線関係があるので、両者の関係は次式で表すことができる^{2,3)}。

$$G = k(\gamma) \cdot \tau_{sf}^{n(\gamma)} \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 $k(\gamma)$ は各ひずみレベルごとの直線の $\tau_{sf} = 1 \text{ kgf/cm}^2$ 線における値、 $n(\gamma)$ は直線の勾配である。

$$h = H(\gamma) \cdot \tau_{sf}^{L(\gamma)} \quad \text{----- (3)}$$

式(2)を式(1)に代入すれば形式的に $h = H(\gamma) \cdot \tau_{sf}^{L(\gamma)}$ を得る。ただし、 $H(\gamma) = h'(\gamma) \cdot k(\gamma)^{F(\gamma)}$ 、 $L(\gamma) = n(\gamma) \cdot F(\gamma)$ である。従って、減衰定数hは静的強度 τ_{sf} を関数として表し得ることになる。図-3は減衰定数hと静的強度 τ_{sf} との関係を整理した結果であり、いずれのひずみレベルにおいても式(3)が成立することが分かる。

以上は豊浦砂の結果であるが、締固めた土についても同様の整理を行うと以下ようになる。図-4は締固め土(試料A~H)の同一拘束圧における減衰定数hと静的強度 τ_{sf} の関係を示したもので、同図a)は74 μm 以下の細粒分含有率FCが $FC \geq 20\%$ 、同図b)は $FC < 20\%$ の結果ある(ただし $\gamma = 1 \times 10^{-3}$)。図から明らかなように、個々の試料ごとにhと τ_{sf} との間に両対

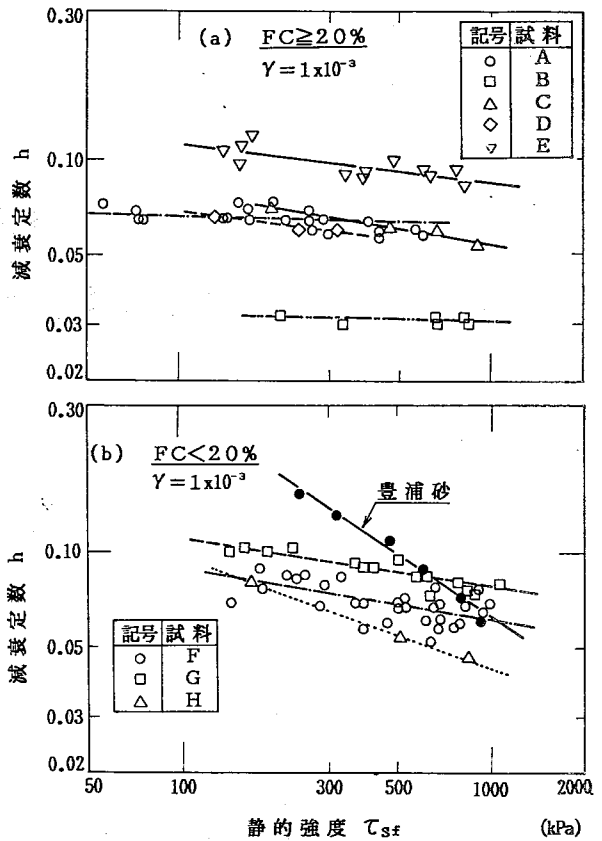


図-4 減衰定数hと静的強度 τ_{sf} の関係(締固め土)

数紙上で直線関係が認められ、式(3)が成立する。しかし、 h の絶対量や $h \sim \tau_{sf}$ 線の傾きは個々の試料で異なっており、式(3)の係数 $H(Y)$ および $L(Y)$ には土質の違いが含まれることが分かる。特に、比較の意味で示した細粒分を含まない豊浦砂の結果(●印)は他の試料と比べて大きな差が認められる。そこで、図-5および図-6において代表的な二つのひずみレベルに対する係数 $L(Y)$ および $H(Y)$ と細粒分含有率 FC との関係を調べた。両図から、ベキ定数 $L(Y)$ の絶対値および係数 $H(Y)$ の値は細粒分含有率 FC が低くなるほど増加する傾向が見られる。これは次のように考えることができる。すなわち、砂質土の h は粘性土と比較して拘束圧依存性が高く、また静的強度 τ_{sf} も拘束圧の影響を大きく受ける。したがって、 τ_{sf} や σ_m' の変化に対し h が大きく変動し、 FC が小さい粗粒土ほど $L(Y)$ の絶対値が大きくなる。一方、 h の絶対量は土質の違いによる影響が大きいことから、 $H(Y)$ すなわち基準強度に対する h の値も主に土質の影響を受け、やはり FC が小さい粗粒土ほど $H(Y)$ が大きくなる。

また、図-5および図-6にはブロックサンプリングによって採取した不攪乱土の結果も示しているが、 $L(Y)$ 、 $H(Y)$ のいずれも締固め土の結果に近いことが分かる。

以上のように、 $h \sim \tau_{sf}$ 関係には材料特性の影響が現われるが、各式の係数と細粒分含有率 FC との間にある一定の関係を見出すことができ、これらの関係を用いて減衰定数 h を概略推定することが可能になる。一例として、図-7は締固め土および不攪乱土の $h \sim \tau_{sf}$ 関係から求めた $H(Y)$ 、 $L(Y)$ とせん断ひずみ Y との関係を細粒分含有率 FC をパラメータとして整理し直したものである。図には豊浦砂の結果も示しているが、締固め土(不攪乱土)とclean sandでは両係数の値に大きな差が認められる。これは、締固め土では供試体作成時の先行圧縮効果、不攪乱土では長期堆積に伴う固結効果が存在し、これによって粒子間にある程度の構造強度(骨格強度)を形成していると言われているが^{4,5)}、この種の構造強度を有する土とclean sandのように全く有しない土では、減衰定数や

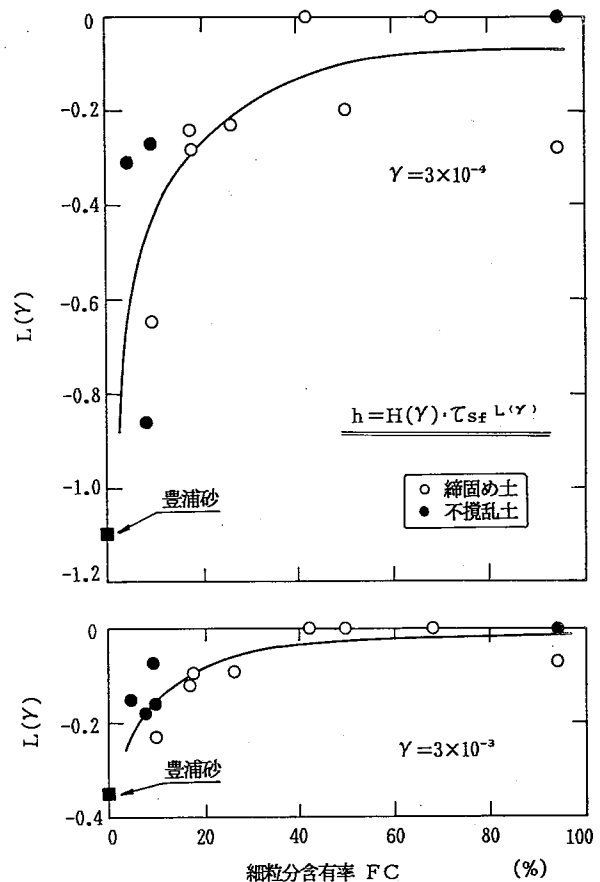


図-5 $L(Y)$ と細粒分含有率 FC の関係

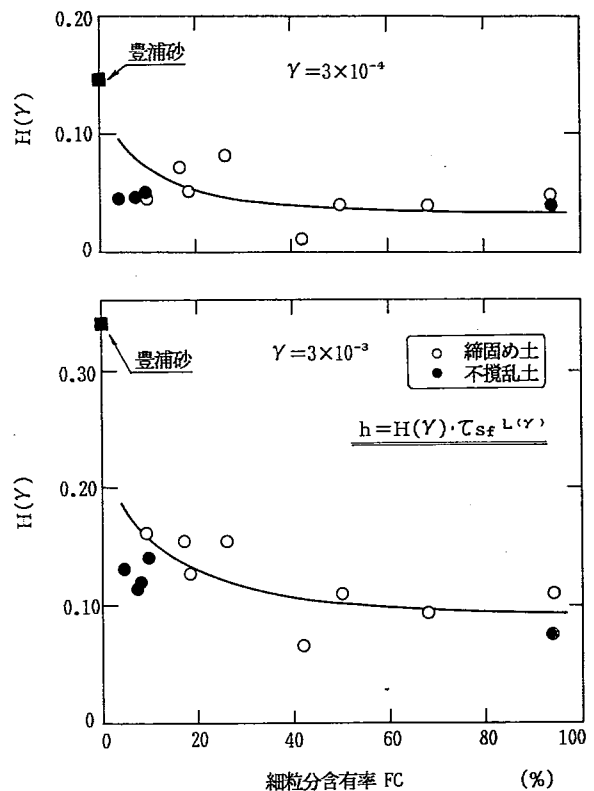


図-6 $H(Y)$ と細粒分含有率 FC の関係

静的強度に対する影響の仕方が両者の間で急変するためと考えられよう。

4. まとめ

図-7で土質ごとに静的強度 s_f から h を概略推定するガイドラインが得られたわけであるが、この図の基礎となった図-5および図-6の実験値のバラツキはかなり大きいことを承知しておく必要がある。また、 h に関する測定誤差が大きいこと⁶⁾、あるいはこれらの関係に細粒分含有率以外の要因が含まれているため、今後さらにデータの蓄積により詳細な検討が必要である。

実際のダムの動的解析にあたっては、材料減衰の他にダムと基礎地盤の間の逸散減衰の決定も必要であるがその決定方法は確立してない。このため、現状においては解析に用いる減衰特性にはかなりの誤差が含まれることは止むをえないとされているが、上述の方法は概略設計など簡便的に h を推定する場合に有用であると考えられる。

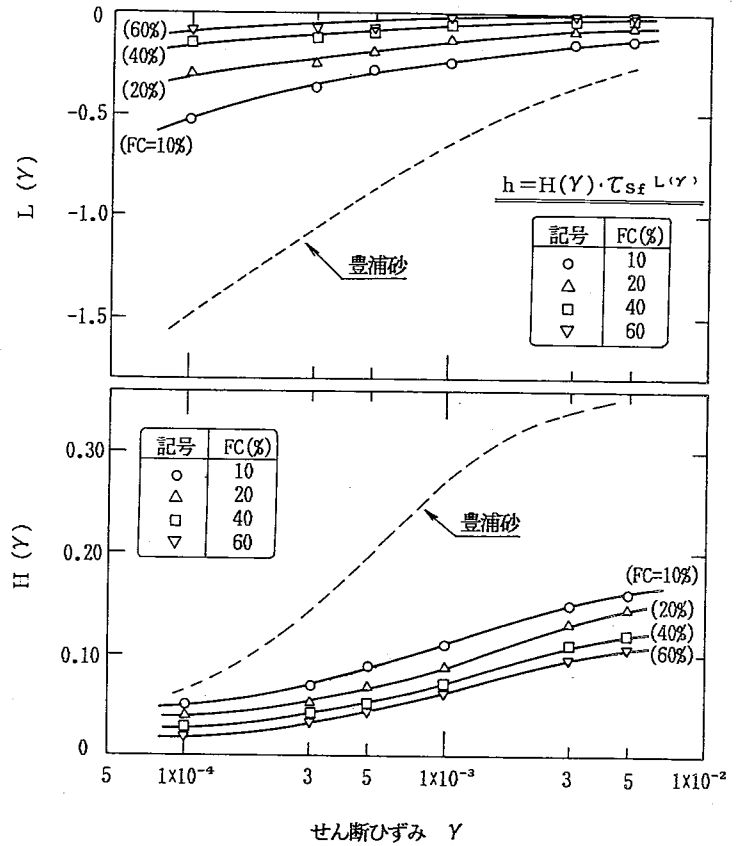


図-7 $L(Y)$, $H(Y)$ とせん断ひずみ Y の関係

【参考文献】

- 1) 奥村哲夫・成田国朝・大根義男(1990): 締固めた土の動的変形特性に関する研究, 「愛知工業大学研究報告」, Vol.25, B.
- 2) Hara, A., Ohta, T., Niwa, M., Tanaka, S. and Bannno, T. (1974): Shear Modulus and Shear Strength of Cohesive Soils, Soils and Foundations, Vol.14, No.3, pp.1~12.
- 3) 赤司六哉・永津忠治・江藤義孝・川畑清一郎・溝上建(1985): 地盤材料の動的変形特性と静的せん断強度の相関性について, 「第20回土質工学研究発表会講演概要集」, pp.543~546.
- 4) 奥村哲夫・成田国朝・大根義男(1989): 締固めた土の減衰定数について, 「土木学会第44回年次学術講演会」, pp.576-577.
- 5) 社本康広・西尾伸也(1982): 泥岩塊の工学的性質に関する実験的研究(その3)-動的変形特性におよぼす締固め履歴の影響, 「第17回土質工学研究発表会講演概要集」, pp.1605~1608.
- 6) 国生剛治(1986): 地震応答解析のための土の動的性質・地盤材料の減衰特性, 「土と基礎」, 34-1, pp.75-81.