

III-259 粗粒材料の静的・動的試験結果の比較

建設省土木研究所 正会員 木下靖 大久保雅彦 松本徳久

1. はじめに

近年、大規模なロックフィルダムの計画・建設がなされており、それに伴い有限要素法等を用いた堤体の静的あるいは動的な解析を行う機会も頻繁となってきた。これらの解析に必要な築堤材料の物性値は、一般に室内の静的および動的試験によって求められているが、ロック材料等の粗粒材料を対象とする場合は、供試体および試験装置が大がかりとなり、試験に多大な労力を要する。ところで、静的試験は弾性領域から破壊に至るまでの塑性領域($\varepsilon=0\sim0.15$)を対象とした試験であり、一方、動的試験は微小ひずみ領域($\varepsilon=10^{-6}\sim10^{-3}$)における試験であることから、静的試験は動的試験をも含んだ試験と言えなくはない。したがって、両試験がラップしているひずみ領域において両試験の関連性が見出せれば、静的試験だけでその材料の動的物性値をも推定でき試験の単純化につながる。そこで、粗粒材料の微小ひずみ領域における変形性に着目して両試験結果を比較したのでここに報告する。

2. 両試験の変形性の関係

Kondner¹⁾は、静的試験で得られる非線型材料の応力ひずみ曲線(図-1参照)は、次式に示す双曲線で近似し得るとしている。

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \varepsilon / (a + b \cdot \varepsilon) \quad \dots\dots ①$$

a, bは材料の種類, ひずみの速さ等によって決まる定数

一方、Hardin・Drnevich²⁾は、同材料の動的試験から得られる

応力ひずみ関係をモデル化する際、骨格曲線(図-1参照)に先ほ (a)静的試験

(b)動的試験

どのKondnerの双曲線を適用している。したがって、図-1に示 図-1 応力ひずみ曲線

す様に静的、動的試験のそれぞれから求まる初期弾性係数 E_0 とあるひずみ ε_A における弾性係数 E_A は、ともに両試験で一致するものと予想される。ここではこの E_0, E_A について両試験結果を比較した。

3. 試験方法

表-1 試験ケース

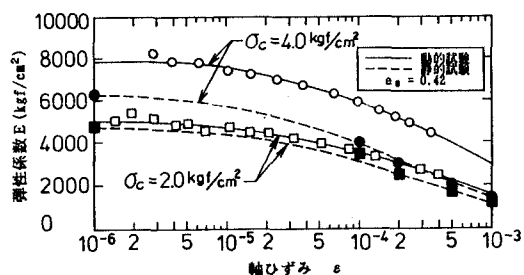
本試験に用いた試験装置は粗粒材料を対象とした大型せん断試験装置で、直径40cm高さ80cmの中実供試体を用いた静的および動的な三軸圧縮試験(以下中実試験という)が行える。また、アタッチメントを交換すれば外径80cm内径40cm高さ80cmの中空供試体を用いた静的、動的なねじり単純せん断試験(以下中空試験という)も行える。

		e_g	σ_o (kgf/cm ²)	ひずみ速度
中実	静的	0.42	2, 4	1 %/min
	動的		2, 4	0.2 Hz
中空	静的		2, 4	1 %/min
	動的		2, 4	0.2 Hz

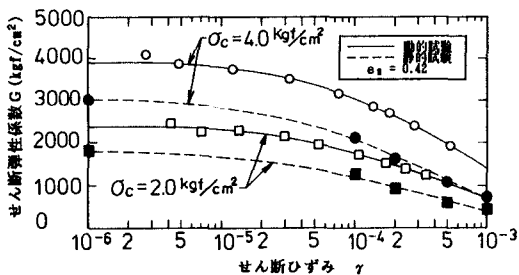
試験に用いた粗粒材料は、比重2.55含水比2.55%の石英安山岩であり、試験粒度は、最大粒径38.1mm, 均等係数7(最大間隙比0.722最小間隙比0.296)とした。試験ケースをまとめて表-1に示す。なお、試験はいずれもひずみ制御試験とした。

4. 試験結果

図-2に動的試験から求まった弾性係数Eと軸ひずみ ε (中空試験の場合はせん断弾性係数Gとせん断ひずみ γ)の関係を示す。同図には動的試験と同じ供試体条件で実施した静的試験の応力ひずみ曲線から求めたEと ε (Gと γ)の関係も同時に示してある。ただし、静的試験では測定精度の限界から $\varepsilon < 10^{-4}$ ($\gamma < 10^{-4}$)のE(G)は得られなかった。なお、 $\varepsilon = 10^{-6}$ ($\gamma = 10^{-6}$)のところにプロットしている静的試験結果は前述の初期弾性係数 E_0 である。 E_0 は①式より $1/a$ となるが、これは①式を変形すると $\varepsilon / (\sigma_1 - \sigma_3) = a + b \cdot \varepsilon$ (中空試験の場合は $\gamma / \tau = a + b \cdot \gamma$)となることから $\varepsilon / (\sigma_1 - \sigma_3)$ と ε の関係をプロットした時に得られる直線の切片から求めたものである。これより、いずれのケースにおいても当初の予想に反して静的試験から得られたE, Gの方が動的試験のそれよりも小さくなっており、両者の差はひずみの大きさに無関係にはば一定となっている。



(a) 中実試験 ($E \sim \log \epsilon$)



(b) 中空試験 ($G \sim \log \gamma$)

図-2 EおよびGとひずみの関係

このような差が生じた原因として、ひずみ速度（载荷速度）と応力履歴の影響が考えられる。図-3に今回の中空試験のGとひずみ速度 $\dot{\gamma}$ の関係を γ をパラメータとして示す。同図には、動的試験で繰り返し応力の周波数 f を0.01, 0.05, 0.1 Hzとした時の結果もプロットしている。静的試験の場合、 $\dot{\gamma}$ は一定であることからいずれのデータも $\dot{\gamma} = 1.67 \times 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ ($= 1\%/\text{min}$)のところにプロットされているが、動的試験の場合は、 $\dot{\gamma}$ は γ と f の両方に比例することからデータは γ や f が大きいものほど右側にプロットされている。動的試験結果のみに着目すれば、データはひずみごとに一定値となっていることからこの程度のひずみレベルでは粗粒材料のGは $\dot{\gamma}$ の影響を受けないことがわかる。それからすると、動的試験と同じひずみレベルの静的試験の結果は明かに逸脱したものであり、両試験のGの差は $\dot{\gamma}$ の影響によるものではないといえよう。

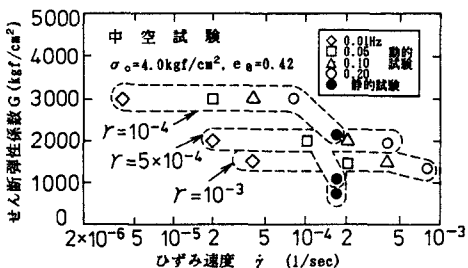


図-3 Gとひずみ速度の関係

また、静的試験のE, Gは、応力履歴を受けていない材料に対するものであるが、動的試験のそれは、一つのひずみで10回繰り返し载荷を行い10回目の履歴ループから算出しているため応力履歴を受けた材料に対するものである。しかも、一つの供試体で全ひずみのデータを求めているため、ひずみが大きくなるほど応力履歴も多く受けている。よって、この応力履歴の有無も上述の差の原因と考えられる。乾燥砂の場合、繰り返し回数（応力履歴）の増加に伴いEやGは増加する³⁾。これは、繰り返しによって供試体が締め固まるためである。ただし、このような繰り返し効果はダイレイタンスを伴うようなひずみレベル (10^{-3} 以上) でのみ発生する。当試験の場合、ひずみが最大でも 5×10^{-4} 程度であるため、試験前後の間隙比の変化量は0.01未満と小さかった。よって、繰り返しによる供試体の締め固まりはEやGに影響を及ぼすほどではなく、動的試験においても材料は応力履歴を受けていないとみなされ、両試験のEやGの差は応力履歴の影響とは考え難い。

5. まとめ

粗粒材料の静的、動的試験結果を比較したところ、静的試験で得られた弾性係数の方が同じひずみの動的試験から求まるそれよりも小さかった。この差の原因として、载荷速度と応力履歴の影響を考えたがいずれもその原因とはなり得ず、両試験の関連性は見出せなかった。今後、同一材料を用いて同一条件の静的、動的試験を数多く実施し、両試験の差を定量化する必要がある。

5. まとめ

粗粒材料の静的、動的試験結果を比較したところ、静的試験で得られた弾性係数の方が同じひずみの動的試験から求まるそれよりも小さかった。この差の原因として、载荷速度と応力履歴の影響を考えたがいずれもその原因とはなり得ず、両試験の関連性は見出せなかった。今後、同一材料を用いて同一条件の静的、動的試験を数多く実施し、両試験の差を定量化する必要がある。

参考文献

- 1) Kondner, R.L. (1963); 「Hyperbolic Stress-strain Response: Cohesive Soils」 Proc. ASCE, Vol. 89, No. SM1
- 2) Hardin, B.O., V.P. Drnevich (1972); 「Shear modulus and damping in soils」 Proc. ASCE, Vol. 89, No. SM1
- 3) 石原研而 (1976); 「土質動力学の基礎」 鹿島出版会