

III-342 粗粒材料の静的・動的試験結果の比較（その2）

建設省土木研究所 正会員 松本徳久 安田成夫
大久保雅彦○芳岡良一

1. はじめに

近年、大規模なロックフィルダムの耐震設計において、有限要素法等を用いた地震応答解析により堤体の安定性を評価する機会が頻繁となってきたが、それらの解析に必要な築堤材料の動的な物性値を得るには、ロック材料等の粗粒材を対象とする場合、大がかりな装置と多大な労力が必要となる。したがって、筆者らは、この動的な物性値をできるだけ簡易な試験の結果から推定する方法を見いだすため、微小ひずみ領域における変形性（弾性係数 E ）に着目し静的試験結果と動的試験結果の比較を行った。¹⁾ その結果、ひずみが $10^{-4} \sim 10^{-3}$ の範囲では静的試験で得られた弾性係数は動的試験の値を下回っていたが、静的試験のひずみの測定精度の限界から $\varepsilon < 10^{-4}$ のひずみ領域での比較はできなかった。そこで、今回は静的試験の測定精度の向上を図り、 $10^{-6} < \varepsilon < 10^{-4}$ の領域での弾性係数を得たことから、その結果を報告し若干の考察を加えるものである。

2. 試験方法

試験は、直径30cm、高さ60cmの供試体を用いた大型三軸試験装置により気乾・排気状態で静的および繰返しせん断試験を行った。特に、軸ひずみの測定は供試体上部ペダスタルの両端二箇所に設置した差動トランス型微小ひずみ計で行い、その平均値をひずみ量とした。

試験に用いた粗粒材料は比重2.65、含水比0.5%の砂岩・泥岩混合材であり、試験粒度は最大粒径63.5cm、均等係数6とし、相対密度70%（最大間隙比0.74最小間隙比0.24）まで締固めたものである。また、粗粒材料の試験に先立ち豊浦標準砂でも同様の試験を行った。試験ケースを表-1に示す。

表-1 試験ケース

		e_0	σ_c (kgf/cm ²)	ひずみ速度
標準砂	静的	0.65	2, 4	1%/min
	動的			0.2 Hz
粗粒材	静的	0.39	1, 2, 4	1%/min
	動的			0.2 Hz

3. 試験結果と考察

図-1は豊浦標準砂による静的試験と動的試験の E を比較したものであるが、静的試験のデータサンプル数を多くし測定精度を上げることにより静的試験から求めた E は $\varepsilon = 2 \times 10^{-6}$ の微小ひずみ領域まで得られており、 $\sigma_c = 2, 4 \text{ kgf/cm}^2$ ともに静的、動的の両試験から得られた E は $2 \times 10^{-6} < \varepsilon < 5 \times 10^{-5}$ の範囲で一致している。この結果は、動的試験の履歴ループの骨格曲線に静的試験の応力～ひずみ曲線を適用したHardin・Drnevich²⁾の考えに適合するものであり、静的試験で求まる E から動的試験の E を推定する可能性を示すものと言える。

一方、粗粒材における結果も図-2に示すように、標準砂の場合同様、全ての拘束圧 σ_c で $2 \times 10^{-6} < \varepsilon < 2 \times 10^{-5}$ の範囲において静的試験と動的試験の E がほぼ一致した。しかし、 $\sigma_c = 2, 4 \text{ kgf/cm}^2$ の場合にひずみレベルが 2×10^{-5} を超えると静的、動的両者の E の大きさに違いが生じ、ひずみレベルが大きくなるに従って静的試験の E が動的試験の E より小さくなり、その差が広がっている。このことは、前報¹⁾において $10^{-4} < \varepsilon < 10^{-3}$ の範囲で静的試験の E が動的試験の E を下回ったことと整合するものである。

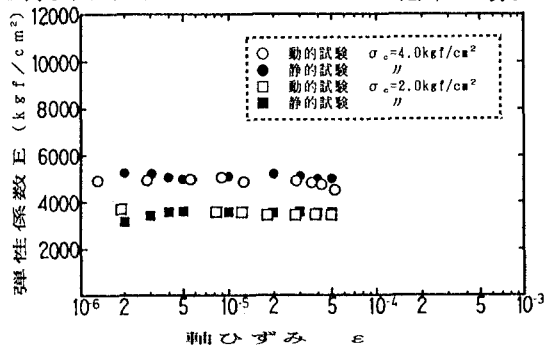


図-1 静的・動的試験結果の比較（豊浦標準砂）

この様に、あるひずみレベルを超えると両試験によるEの大きさに差が生じる原因としては動的試験における応力履歴の影響を考えざるをえない。なぜなら、動的試験のEは10回目の繰返し载荷の履歴ループから算出したものであり、また、各ひずみレベルのデータは一つの供試体を連続使用して得られた値であることからひずみレベルが大きくなるほど多くの応力履歴を受けており、このことと試験結果がよく対応している。

乾燥砂の場合、応力履歴の影響が見られるのはダイレイタンスを伴うようなひずみレベル $\varepsilon > 10^{-3}$ とされているが³⁾、粗粒材の場合は、それよりもかなり小さいひずみレベルから繰返し载荷による締固め効果が現れ、供試体の剛性が増すことにより動的試験のEが静的試験に比べ大きくなっているものと考えられる。粗粒材の動的試験における微小ひずみ領域での繰返し応力履歴の影響の度合いに関しては、試料の粒度、初期間隙比、初期せん断力等種々の要因に依存すると考えられるがこのことを明らかにすることは今後の課題である。

つぎに、静的・動的の両試験のEが一致している微小ひずみ領域（ $10^{-6} < \varepsilon < 10^{-5}$ ）での弾性係数に着目してみると、この範囲の静的試験における応力～ひずみ関係は線形性を示し（図-3） E_{max} （ $10^{-6} < \varepsilon < 10^{-5}$ でのE）はほぼ一定値となった。この様な E_{max} を静的試験により実測できれば動的な物性値としても代用できると考えられるが、実際の測定は特別なひずみ計測装置が必要となるため、 E_{max} を他の物性値で推定できれば便利である。その一つの試みとして E_{50} との関連性をみたが有効な相関が得られず、ここでは初期間隙比 $e_0=0.27$ （相対密度90%）の静的試験結果を加えて静的強度 τ （ $=(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ ）と E_{max} の関係をプロットしてみたものを図-4に示す。データの数はいくつか少ないが、 τ と E_{max} の間には初期間隙比の違いによる依存性はなく、リニアな相関がみられる。このデータは静的強度から微小ひずみ領域の弾性係数を推定する可能性を示すものであるが両者の関連性を定性的に把握するには、異なる材料特性、試験状態でのデータの蓄積が必要である。

4. まとめ

微小ひずみ領域（ $10^{-6} < \varepsilon < 10^{-4}$ ）における静的試験の弾性係数を得たことから、動的試験結果との比較及び静的強度との関連性を検討した結果、 $2 \times 10^{-6} < \varepsilon < 2 \times 10^{-5}$ の範囲で動的・静的両試験の弾性係数は一致する事を示したが、静的強度との関連性の把握までには至らなかった。また、 $\varepsilon = 10^{-4}$ のかなり小さいひずみ領域から繰返し応力履歴の影響が現れ、動的試験の弾性係数が大きくなる傾向にある。

参考文献

- 1) 木下・大久保・松本「粗粒材料の静的・動的試験結果の比較」44回年次学術講演会（1989）
- 2) Hardin, B.O., V.P. Drnevich 「Shear modulus and damping in soils」 Proc. ASCE, Vol. 89, No. SM1 (1972)
- 3) 石原研而「土質動力学の基礎」鹿島出版会(1976)

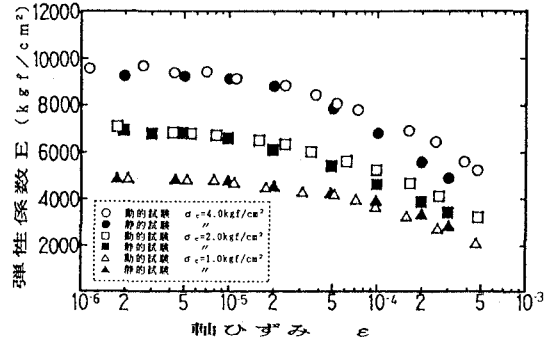


図-2 静的・動的試験結果の比較（粗粒材）

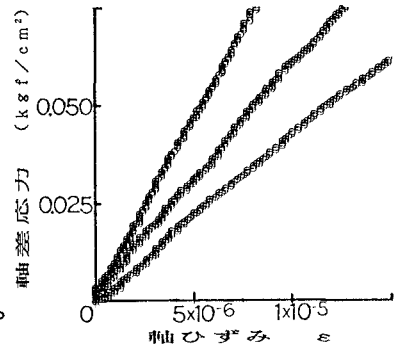


図-3 静的試験の応力・ひずみ曲線

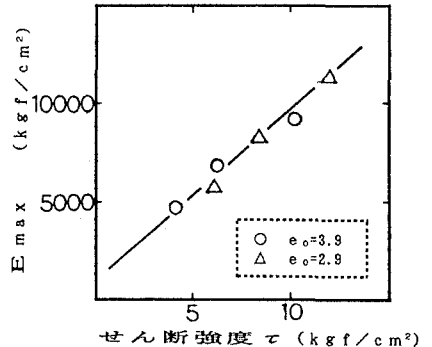


図-4 E_{max} と静的強度の関係