

繰返し三軸試験（変形特性）実績を踏まえた動的パラメータの推定 Estimation of soils dynamic properties based on a series of cyclic triaxial tests

吉田 貴司

YOSHIDA Takashi

1. はじめに 農林水産省では平成23年度より農業用ダムのレベル2地震動に対する耐震性能照査手法の検討を進め、「国営造成農業用ダム耐震性能照査マニュアル」が取りまとめられた。国営造成農業用ダムを対象に、レベル2地震動に対する耐震性能照査が実施されてきた。この耐震性能照査の一環として実施されている堤体の動的解析では、各種解析パラメータを室内土質試験や文献値等から設定することとなるが、このうち繰返し三軸試験（変形特性）[JGS 0542]¹⁾によって設定される動的パラメータは解析結果に与える影響が大きいと言われている。本稿では、これまでに自社で実施した繰返し三軸試験（変形特性）実績について、H-Dモデルパラメータ（基準ヒズミ）と物理定数（粒度条件、密度条件等）の相関（関連性）に着目し、物性値が把握されている場合の変形特性パラメータの設定方法について整理を行った。

2. 試験実績整理 フィルダムの堤体材料で実施された変形特性を求める繰返し三軸試験について、107供試体の試験結果（遮水性～半透水性材料）を整理した。今回収集した試験結果全体の傾向を把握するため、せん断剛性低下率(G/G_0)と減衰率(h)を求め全ての試験結果をプロットした。さらに、基準ヒズミ γ_r や最大減衰率 h_{max} については、ダム耐震性能照査における一般的な整理方法であるHardin-Drnevich(H-D)モデル曲線にて整理した。その結果、基準ヒズミ $\gamma_r = 1.09 \times 10^{-4} \sim 2.15 \times 10^{-3}$ 、最大減衰定数 $h_{max} = 0.119 \sim 0.183$ となり、ばらつきが非常に大きい結果となった。一方、基準ヒズミ γ_r と間隙比 e 、および乾燥密度 ρ_d との関係について整理を行った。その結果、間隙比 e が小さいほど基準ヒズミ γ_r は大きくなる傾向、或いは乾燥密度 ρ_d が大きいほど基準ヒズミ γ_r は減少する傾向が確認された。これは下図に示す文献値²⁾と同様の傾向である。

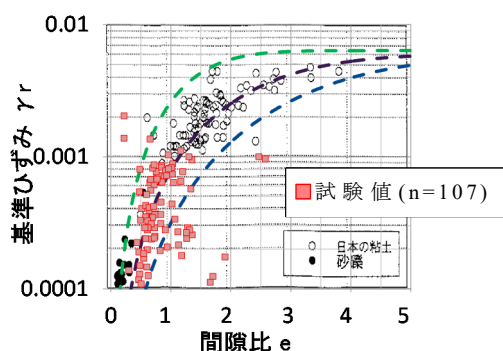


図.1 間隙比 e -基準ヒズミ γ_r の相関図
Void ratio versus reference strain

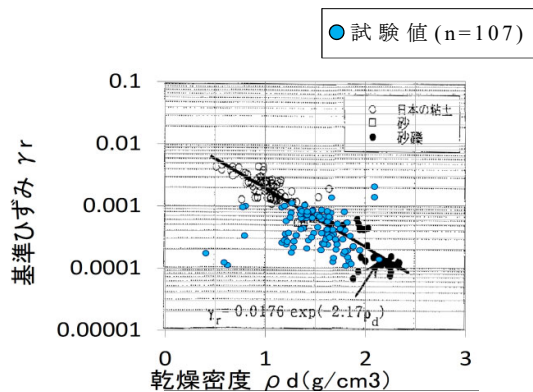


図.2 乾燥密度 ρ_d -基準ヒズミ γ_r の相関図
Dry density versus reference strain

NTC コンサルタンツ(株) NTC Consultants Inc キーワード：土の動力学的性質

3. 各物性値や力学特性と繰返し三軸試験（変形特性）結果との比較

これまでの試験結果では間隙比や乾燥密度については、文献値と同様な傾向が確認されたものの、データに偏りがあること等から、物性値と繰返し三軸試験結果について評価分析することとした。各物性値の比較項目は、試験結果に影響を与えると考えられる7項目〔土粒子の密度 ρ_s 、礫率 $P_{+4.75mm}$ 、細粒分含有率 $F_{c-0.075\mu m}$ 、塑性指数 I_p 、間隙比 e 、乾燥密度 ρ_d 、締固め度 D 値〕を選定した。各物性値については最小値から最大値を7~9区分した範囲について、基準ヒズミ γ_r や最大減衰率 h_{max} との関連性(最小値, 最大値, 平均値)に着目し、直線近似による関連性にて評価した。その結果、基準ヒズミ γ_r は塑性指数 I_p が最も関連性が高く ($R=0.95$)、締固め度 D 値 ($R=0.59$) や細粒分含有率 F_c ($R=0.50$) もある程度関連性が高いことが確認された。最大減衰率 h_{max} は土粒子の密度 ρ_s ($R=0.55$) や細粒分含有率 F_c ($R=0.54$) の関連性が高いことが確認された。

4. 相関式の整理 基準ヒズミ γ_r や最大減衰率 h_{max} との関連性が高いことが確認された物性値について、これらの関係式を再整理すると次のとおりとなる。(相関式によって算出する算定結果を γ_r 相, h_{max} 相と定義)

$$\gamma_{r相} = 1.0 \times 10^{-5} I_p + 0.0002, \quad \gamma_{r相} = -1.0 \times 10^{-5} D \text{ 値} (\%) + 0.0014$$

$$h_{max相} = 0.1967 \rho_s - 0.3689, \quad h_{max相} = 0.0004 F_c (\%) + 0.1616$$

5. 既往試験結果との比較 相関式とこれまでに実施した繰返し三軸試験結果事例との比較を行い、相関式の適応を検証することとした。相関式の検証手法としては、[(試験結果-相関式)/試験結果]とした結果、基準ヒズミ γ_r は15.0~27.7%、最大減衰率 h_{max} は1.3~7.1%であった。

表.1 相関式と試験結果の比較

Comparison between correlation equation and test results

試料	上段:相関式による算定 γ_r 相			試験結果 基準ヒズミ γ_r	上段:相関式による算定 h_{max} 相		試験結果 最大減衰率 h_{max}
	下段:($\gamma_r - \gamma_r$ 相)/ $\gamma_r \times 100$ (%)				下段:($h_{max} - h_{max}$ 相)/ $h_{max} \times 100$ (%)		
	I_c	D 値	F_c		ρ_s	F_c	
①	4.51E-04	4.89E-04	4.68E-04	5.75E-04	0.166	0.175	0.173
	21.6	15.0	18.5		4.0	-1.3	
②	3.99E-04	4.20E-04	4.82E-04	3.29E-04	0.160	0.178	0.172
	-21.3	-27.7	-46.4		7.1	-3.5	
③	4.51E-04	4.89E-04	4.68E-04	5.75E-04	0.166	0.175	0.173
	21.6	15.0	18.5		7.1	-3.5	

6. 結論 農業用ダム安全性評価の一環として、レベル2地震動に対する耐震性能照査(動的解析)が実施されているが、より精度の高い動的解析を行うために、自社の試験実績を用い変形特性を得る方法を検討した。本手法により基準ヒズミ γ_r は I_p 、 D 値、 F_c 、最大減衰率 h_{max} は ρ_s や F_c の相関式を得ることができた。本手法は、ため池などの耐震性能照査に対して施工時の情報が不足、あるいは予算上繰返し三軸試験などの実施により現在の健全性を評価できない場合の有効な変形特性パラメータ導出方法となるものと考えている。さらには、繰返し三軸試験を行った場合に、その試験の信頼性を確かめるために用いられることが十分に期待される。今後も試験データの蓄積とこの相関式の精度向上に努めていければと考えている。

参考文献 1) 公益社団法人地盤工学会:地盤材料試験の方法と解説 -二分冊の2-,2020
2) 國生剛治, 本山隆一:等価線形解析の大ひずみレベルへの適用の試み(せん断剛性比, 減衰定数のひずみ依存性の定式化)」第26回地盤工学研究発表会, 1998