

原状花岗岩风化残积粘性土在地震荷载作用下的动弹性模量和阻尼比

向大济

(土木工程系)

摘 要

本文用数理统计方法分析泉州地区花岗岩风化残积粘性土的动弹性模量和阻尼比试验成果,验证了土的动应力应变非线性关系,得到估算最大动弹性模量的经验公式及动弹性模量相对比值和阻尼比随动应变幅值的变化规律。

一、前 言

地基土具有较强的应力-应变的非线性性质,为了能更实际地进行地基土的地震反映分析,需要用实验的方法去寻求地基土从小应变到大应变的变化过程中动态的应力-应变关系特征。而反映这一关系的主要指标为动弹性模量和阻尼比。

近年来,除原位测试研究外,国内外许多学者在实验室内用动三轴、共振柱、动扭剪、动直剪等不同仪器和方法,对一般粘性土的动弹性模量和振动过程中的阻尼特性进行了大量的研究。而对花岗岩风化残积粘性土的这些参数的研究目前还很欠缺。我们在比较大量试验的基础上,用统计方法寻求这些参数的主要影响因素,并建立适用于本地区的数学表达式。

二、试验仪器与方法

本试验采用的仪器为华侨大学土木系自己组装的国产DSD-160/80型电磁激振式动力三轴仪。土样为泉州地区原状花岗岩风化残积粘性土,尺寸均为 $\phi = 5 \times 10 \text{cm}$ 。

用应力-应变法^[1],即直接用动应力与动应变的关系来确定土的动弹性模量与阻尼比。在试验中,分别采用固结比 $K_0 = \sigma_{1c}/\sigma_{3c} = 1.0$ 和1.43,固结压力为49、98、147、196和294 KPa下固结,在不排水的条件下,施加频率为1Hz的循环荷载,每个试样的循环荷载分7-8

本文1987年3月27日收到。

级施加，在每级荷载下振动30次。循环荷载的波形为正弦波。试验时用光线记录示波器记录动应力和动应变的幅值。等效动弹性模量 E_d 与等效粘滞阻尼比 η 由下列式子确定

$$E_d = \frac{\sigma_d}{\epsilon_d} \tag{1}$$

$$\eta = \frac{1}{4\pi} \times \frac{A_L}{A_T} \tag{2}$$

其中， σ_d 为轴向动应力； ϵ_d 为轴向动应变； A_L 为滞回圈面积； A_T 为三角形面积。

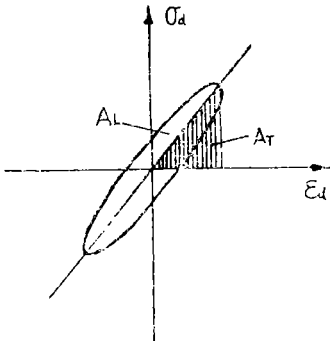


图 1 应力-应变滞回圈

三、试验资料的整理与分析

1. 动应力-应变分析

对原状土样在不同的饱和度和不同的初始应力状态的条件下进行动力试验以及常规土工试验，将有关的原始数据范围列于表1。由表1能很清楚地看到花岗岩风化残积粘性土具有低含水量和高饱和度这一基本特性。

表 1

取土深度 (m)	容 量 r (KN/m³)	含水量 W (%)	饱和度 Sr (%)	孔隙比 e	塑性指数 Ip (%)	平均固结 压 力 σ _r (KPa)	室内最大动弹 性模量(动三 轴试验结果) Ed _{max} (Mp _a)
0.9-3.7	18.23-19.70	16.13- 23.42	72-81	0.53- 0.79	10-13.7	40-300	88-287

由试验结果得到典型的应力-应变关系曲线如图2所示。用Hardin和Drnevich(1972) 等人提出的双曲线型方程

$$\sigma_d = \frac{\epsilon_d}{a + b\epsilon_d} \tag{3}$$

来描述土的应变软化型应力-应变关系。在引用式(3)对每个试验的应力应变关系进行拟合过程中，我们定义： $E_{dmax} = 1/a$ 为室内最大动弹性模量； $\sigma_f = 1/b$ 为破坏时的动应力。从而，将双曲线表达式(3)转化为式(4)的型式

$$E_d = E_{dmax}(1 - \sigma_d/\sigma_f) \tag{4}$$

对每个试验结果，用线性回归的方法配制出 E_d - σ_d 直线，同时求出 E_{dmax} 和 σ_f 值。回归直线

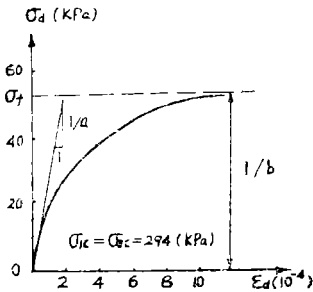


图 2 σ_d-ε_d关系曲线

的相关系数 r 的范围为 0.984—0.999, 平均值为 0.995。由此证实用 (3)、(4) 二式对试验结果进行模拟, 基本上是可行的。

此外, 用 Hardin 等人的方法^[2], 对动应变幅值进行标准化处理

$$\frac{E_d}{E_{dmax}} = \frac{1}{1 + \varepsilon_d / (a/b)} \quad (5)$$

该式可简记为

$$R = \frac{1}{1 + \varepsilon_r} \quad (6)$$

R 是模量的相对比值, ε_r 是标准应变。(5)、(6) 二式是由式 (3) 演变的结果。从实际的试验结果出发, 将所有试验的 107 个应变值化为标准应变后用统计的方法得到以下的回归方程

$$R = \frac{1}{1.04 + 0.97\varepsilon_r} \quad (7)$$

式 (7) 具有良好的统计参数, 且差异显著性试验也表明 (7)、(6) 二式的对应常数和系数之

间无显著差异。这就更加全面地说明, 该土在一定动应力-应变范围内 ($\varepsilon_d < 10^{-2}$), 其动应力-动应变关系可用未加任何修正的双曲线函数关系式 (3) 来描述。

2. 动弹性模量

在分析过程中, 考虑平均固结压力 $\bar{\sigma}_0$ ($\bar{\sigma}_0 = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)/3$) 对最大动弹性模量 E_{dmax} 的影响。分别对二种不同的固结比 $K_c = 1.0$ 和 $K_c = 1.43$ 的 $E_{dmax}-\bar{\sigma}_0$ 关系曲线进行拟合。分析结果表明: 固结比 K_c 对 $E_{dmax}-\bar{\sigma}_0$ 关系曲线的影响不大。因此, 在不考虑固结比影响的情况下, 将试验得到的最大弹性模量 E_{dmax} 与平均固结压力 $\bar{\sigma}_0$ 的关系画在图 3 上。散点图的回归方程

$$E_{dmax} = 11198 \bar{\sigma}_0^{0.5526} (KPa) \quad (8)$$

上式的相关系数 $r = 0.92$, 这就说明了此类土动弹性模量的变化主要是由平均固结压力来确定的。同时式 (8) 可作为估算 E_{dmax} 的经验公式, 其适用范围为:

$$\bar{\sigma}_0 = 40 - 300 KPa.$$

在进一步分析中, 我们对动弹性模量相对比值 R 与动应变幅值 ε_d (107 对) 关系

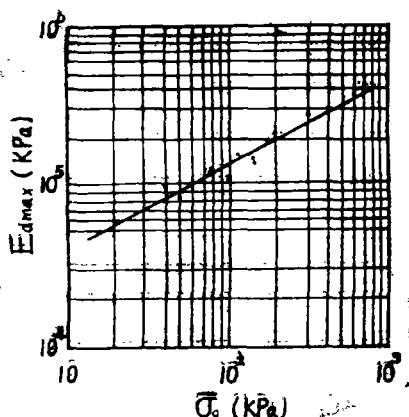


图 3 $E_{dmax}-\bar{\sigma}_0$ 关系曲线

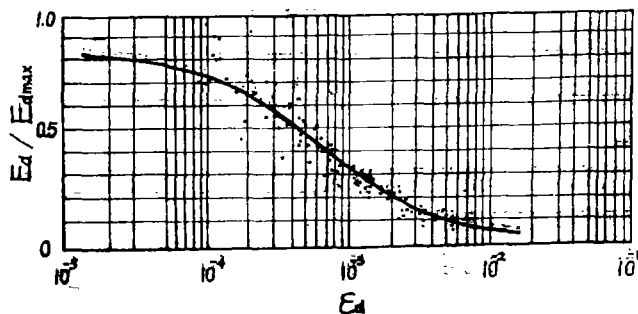
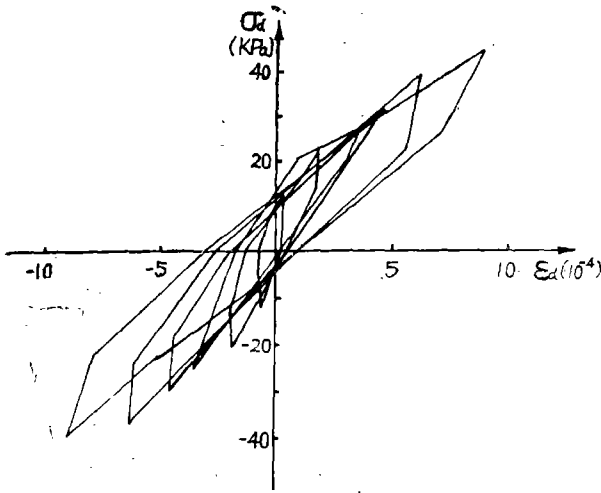


图 4 $E_d/E_{dmax}-\varepsilon_d$ 关系曲线



5 同一试样不同应变量级的滞回圈

应变量级时的滞回圈。它明确地表示出该土的应力-应变关系的非线性性质,从图5可清楚的看到,在试样破坏前随着应力或应变量的增加,动弹性模量降低,而阻尼比增大。

将试验得到的等效粘滞阻尼比 η 与应变 ε_d 的关系画在图6上,散点图的回归方程为

$$\eta = 0.36\varepsilon_d^{0.19} \quad (10)$$

式(10)的相关系数 $r = 0.953$, 说明其回归效果是显著的。该土的阻尼比几乎由动应变幅值唯一地确定,且大致遵循式(10)的变化规律。

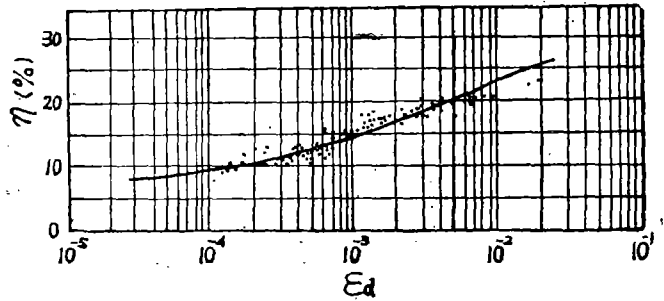


图 6 η - ε_d 关系曲线

四、结 论

1. 花岗岩风化残积粘性土的最大动弹性模量随平均固结压力的增加而增加,它们之间的关系可用经验公式(8)来描述。而动弹性模量相对比值随动应变的变化规律可近似地由式(9)表示。

2. 动应变幅值是使花岗岩风化残积粘性土阻尼比产生变化的主要影响因素,其变化规律可近似地用式(10)表示。

由于土样的物理力学指标变化幅度不是很大,故应注意上述结论的适用范围。

本文承吴炳副教授帮助,试验数据由华侨大学土木系、土力学实验室提供。在此一并表示感谢。

进行拟合。如图4所示,得到便于使用的统计表达式

$$R = \frac{1}{1.17 + 1973.5\varepsilon_d - 9232\varepsilon_d^2} \quad (9)$$

上式的相关系数 $r = 0.95$, 说明在 R 值的变化过程中,有90%左右是由于动应变幅值的变化而引起的,并可由式(9)加以控制。同时表明动弹性模量的相对变化,主要是由动应变幅值确定的,并基本上遵循着式(9)的统计规律。

3. 阻尼特性

图1所示动应力-动应变滞回圈阻尼比的定义为式(2),图5为本试验结果中所得到的有代表性的在不同

参 考 文 献

- [1] 刘颖, 谢君斐等编著, 砂土震动液化, 地质出版社, 3 (1984).
- [2] Hardin, B.O., Drnevich, V.P., Shear Modulus and Damping in Soils—Design Equations and curves, J.SMF Dn, ASCE, 98, SM7, July (1972), 667—692.

Dynamic Elastic Modulus and Damping Ratio of Weathered Granite Residual Cohesive soil Affected by Earthquake

Xiang Daji

Adstract

In this paper, the results of dynamic elastic modulus and damping ratio of crude weathered granite residual cohesive soil affected by earthquake are analysed; a nonlinearity is proved for the dynamic stress strain of the soil; an empirical formula is obtained for estimating maximal dynamic elastic modulus; and a regular pattern is obtained with respect to the variation of dynamic elastic modulus relative ratio and damping ratio with dynamic strain.