

重塑与原状风化土阻尼比试验对比研究

赵 玉¹, 李衍赫², 赵 科³, 张 培³

(1. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043; 2. 浙江大学 建筑工程学院, 浙江 杭州 310058;
3. 石家庄学院 经济管理学院, 河北 石家庄 050035)

摘要:对一砂质泥岩风化土在 300, 400, 500 kPa 及 600 kPa 固结围压下, 分别进行了原状土样与重塑土样的动三轴试验, 得到了该砂质泥岩风化土的阻尼比曲线。试验结果表明, 原状土与重塑土在各固结围压试验下, 阻尼比随归一化剪应变 γ 取值的增大而增大, 且在 γ 取值相同时, 原状土阻尼比值大于相应重塑土; 原状土与重塑土试样的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线均随固结围压的升高而逐渐降低, 且降低幅度随着 γ 值的增大而减小, 并在 γ 值接近于 1 时各关系曲线基本交叉重合; 在同等试验条件下, 通过经验公式与绘图两种方式求得的最大阻尼比值相差很小, 但随着固结围压的增大, 两种方式求得的最大阻尼比值相差变大。

关键词: 阻尼比; 砂质泥岩风化土; 动三轴试验; 归一化剪应变

中图法分类号: P642

文献标志码: A

DOI: 10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.09.019

岩土的动力学参数和阻尼比是土动力学的重要参数, 在工程场地地震安全性评价工作和土层地震反应分析中不可缺少, 它对土体的抗震性能和地基基础稳定性研究有着极大的意义^[1-2]。在目前场地地震反应分析、土工构筑物地震稳定性评价、土-桩-结构体系动力相互作用分析中, 多数是采用等效线性化方法, 在用等效线性化方法考虑土的非线性性能时, 必须用到表示土的动力特性曲线, 即阻尼比随应变变化的 $\lambda_d/\lambda_{dmax} \sim \gamma$ 关系曲线^[3]。土在中等至大应变条件下的阻尼比一般由常规动三轴试验得出。

国内外学者对软土、一般黏性土、砂卵石土、粉土等的阻尼比进行了较为广泛的研究, 已积累了大量成果^[3-8]。但到目前为止, 关于砂质泥岩风化土阻尼比特性的研究还较少。风化土结构性破坏后, 其力学特性将发生很大变化, 本文旨在通过动三轴试验比较原状土样阻尼比曲线和相应的重塑土样试验曲线, 给出两种土样的试验结果差异, 为室内风化土动力特性试验提供参考。

1 试验设备、样品及方法

1.1 试验设备

本次试验在长江科学院的英国 GDS 单向激振动力三轴试验仪上进行。仪器测定的动应变范围为 $10^{-4} \sim 10^{-2}$ 。考虑到在试验过程中轴向荷载作用时, 活塞的运动会引起围压波动, 因此, 该试验使用了平衡锤技术, 保证试验过程中围压稳定不变。

1.2 试样制备

试验所用原状风化土与重塑土均取自同一砂质泥岩风化土层, 在室内采用环刀法测定原状土的天然密度, 并采用烘干法测定其天然含水率, 其基本物理指标见表 1。试验所用原状试样在室内用切土盘制成, 制样过程尽量避免扰动。重塑土样按该风化土的天然含水率和天然密度制备, 先配成含水率为 18.1% 的土样, 在限制蒸发条件下保持 24 h 以使其含水率及结构均匀, 然后分层装模, 按设计要求的干密度将土夯实压密^[9], 试样尺寸均为 39.1 mm × 80 mm 的圆柱体。

收稿日期: 2014-10-28

基金项目: 石家庄学院博士科研启动基金资助项目(13BS012)

作者简介: 赵 玉, 男, 硕士, 副教授, 主要从事土的工程特性、土体本构、土动力学、土工合成材料等方面的研究工作。E-mail: zhaoyu790113@163.com

原状土样和重塑土试样均采用抽气饱和。将装有试样的饱和器置于无水的抽气缸内进行抽气,当真空度接近 1 个大气压后,继续抽气 0.5 h 以上,再徐徐注入清水,并保持真空度稳定;待饱和器完全被水淹没即停止抽气,并释放抽气缸的真空,试样在水下静置时间在 10 h 以上^[9]。

1.3 试验方法

试验研究了原状风化土与重塑土试样分别在不同固结围压状态下的阻尼比特性,固结围压参考土层深度取经验值,具体试验方案见表 2。对于每一个试样,待固结变形稳定后,采用对同一试样逐级加大动应力的分级试验方法,向试样施加等幅正弦波荷载。

表 1 试验用土的物理指标

天然含水率/ %	土粒 比重	塑性 指数	特征值					颗粒组成/%				
			c_u	c_c	2.0~0.5 mm	0.5~0.25 mm	0.25~0.075 mm	0.075~0.005 mm	<0.005 mm			
18.1	2.72	15.8	23.0	0.39	1.5	5.6	23.8	41.0	28.1			

表 2 试验方案

土样	围压/kPa	频率/Hz	固结比	土样	围压/kPa	频率/Hz	固结比
原状土	300	0.2	1.5	重塑土	300	0.2	1.5
	400	0.2	1.5		400	0.2	1.5
	500	0.2	1.5		500	0.2	1.5
	600	0.2	1.5		600	0.2	1.5

2 试验成果及分析

将土体作为一个振动体系,其质点在运动过程中由于内摩擦作用而有一定的能量损耗,这种现象称为阻尼。土体振动中的内摩擦类似于黏滞液体流动中的黏滞摩擦,因此也称为黏滞阻尼^[10-11]。

在土动力反应分析中,其阻尼常用阻尼比来描述。阻尼比为实际阻尼系数 c 与临界阻尼系数 c_{cr} 的比值,即

$$\lambda_d = \frac{c}{c_{cr}} = \frac{\psi}{4\pi} = \frac{\delta}{2\pi} \quad (1)$$

式中, ψ 为能量损失系数; δ 为对数衰减率。

在土动力学研究中,一般的阻尼比计算公式为

$$\lambda_d = \frac{A_0}{4\pi A_T} \quad (2)$$

式中, A_0, A_T 分别为动应力应变关系曲线滞回圈的面积与原点到最大幅值点连线下的三角形面积(见图 1)。

则阻尼比的计算可写为

$$\lambda_d = \frac{A_0}{\pi S_{\Delta abc}} \quad (3)$$

式中, $S_{\Delta abc}$ 为三角形 abc 的面积。

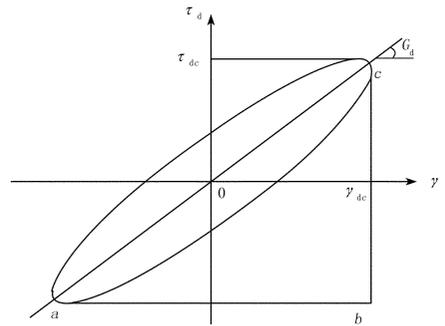


图 1 滞回曲线与阻尼比

2.1 阻尼比函数曲线的对比分析

Hardin 等根据试验资料对应力应变滞回圈几何特征进行对比分析时发现,卸载曲线的起始坡度总是等于或接近于最大动剪模量 G_{dmax} ,与应变变幅大小无关。据此通过一系列推导得出^[10-12]

$$\lambda_d = \lambda_{dmax} \left(1 - \frac{G_d}{G_{dmax}}\right) \quad (4)$$

为了使式(4)有更好的适用性,有时在括号外再引入一个指数 n , 写为^[10]

$$\lambda_d = \lambda_{dmax} \left(1 - \frac{G_d}{G_{dmax}}\right)^n \quad (5)$$

式中, λ_{dmax} 为最大阻尼比; G_d 为动剪模量。

在试验数据处理过程中发现,式(5)对本次试验研究更加适用,同时引入关系式

$$\frac{G_d}{G_{dmax}} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma_d}{\gamma_r}} \quad (6)$$

式中, γ_r 为参考应变,且 $\gamma_r = \frac{\tau_{dmax}}{G_{dmax}}$, τ_{dmax} 为最大动剪应力。

将式(6)代入式(5),可得阻尼比函数

$$\lambda_d = \lambda_{dmax} \left(\frac{\gamma_d/\gamma_r}{1 + \gamma_d/\gamma_r}\right)^n \quad (7)$$

在此,将 $\gamma = \frac{\gamma_d/\gamma_r}{1 + \gamma_d/\gamma_r}$ 称为归一化剪应变。

在双对数坐标系下绘制各固结围压下的原状土与重塑土的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线,如图 2 所示。

在 300 kPa 固结围压下,由原状土的动三轴试验得到的阻尼比拟合曲线为

$$\lambda_d = 0.2454 \left(\frac{306.05\gamma_d}{1 + 306.05\gamma_d}\right)^{0.5009} \quad (8)$$

重塑土得到的拟合曲线为

$$\lambda_d = 0.2514 \left(\frac{461.09\gamma_d}{1 + 461.09\gamma_d}\right)^{0.7412} \quad (9)$$

400 kPa 固结围压下,由原状土的动三轴试验得到的拟合曲线为

$$\lambda_d = 0.2584 \left(\frac{387.96\gamma_d}{1 + 387.96\gamma_d} \right)^{0.6653} \quad (10)$$

$$\lambda_d = 0.2696 \left(\frac{355.45\gamma_d}{1 + 355.45\gamma_d} \right)^{0.7858} \quad (14)$$

重塑土拟合曲线为

$$\lambda_d = 0.2721 \left(\frac{383.32\gamma_d}{1 + 383.32\gamma_d} \right)^{0.9542} \quad (15)$$

由图2可以看出,在各固结围压下,原状土与重塑土的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线较相似:重塑土动三轴试验得到的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线均位于相应的原状土关系曲线下方,即在归一化剪应变 γ 取值相同时,原状土动三轴试验得到的阻尼比大于相应重塑土的试验值,且两者之间的差值随 γ 的增大而减小,在取值接近于1时,两条曲线基本交叉;不论是原状土还是重塑土,在各固结围压下阻尼比曲线在双对数坐标系下都表现出了良好的线性关系,阻尼比值随 γ 取值的增大呈幂指数增长,且重塑土关系曲线的增长速率要大于原状土,这点亦可从各拟合曲线试验参数 n 值看出。

2.2 原状土与重塑土阻尼比函数分析

在双对数坐标系下分别绘制原状土与重塑土的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线,如图3所示。

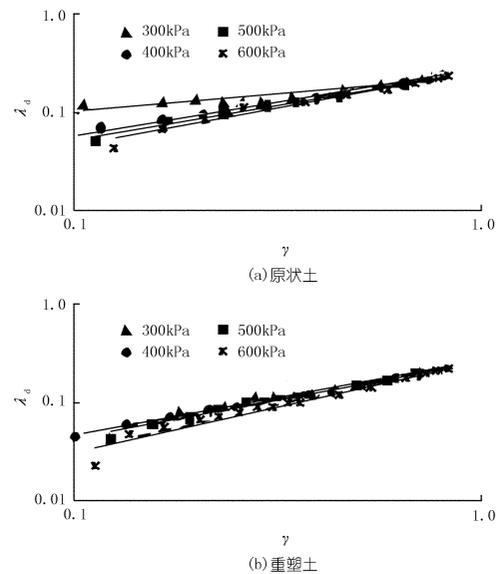


图3 各围压下原状土与重塑土 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线

由图3可以看出,不论是原状土试样还是重塑土试样, $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线随着固结围压的升高而逐渐降低,且降低幅度随着归一化剪应变 γ 的增大而减小,并在其值接近于1时各固结围压下的关系曲线基本交叉重合。通过比较图3(a)与图3(b)可以看出,重塑土得到的各固结围压下的阻尼比关系曲线更加紧凑,随围压的增长关系曲线下降幅度较小,这可能是由于重塑土各试样之间结构特性更加接近,而原状土由于其成因过程及取样、制样过程中可能发生重塑,造成各试样之间的离散性相比重塑土更大。

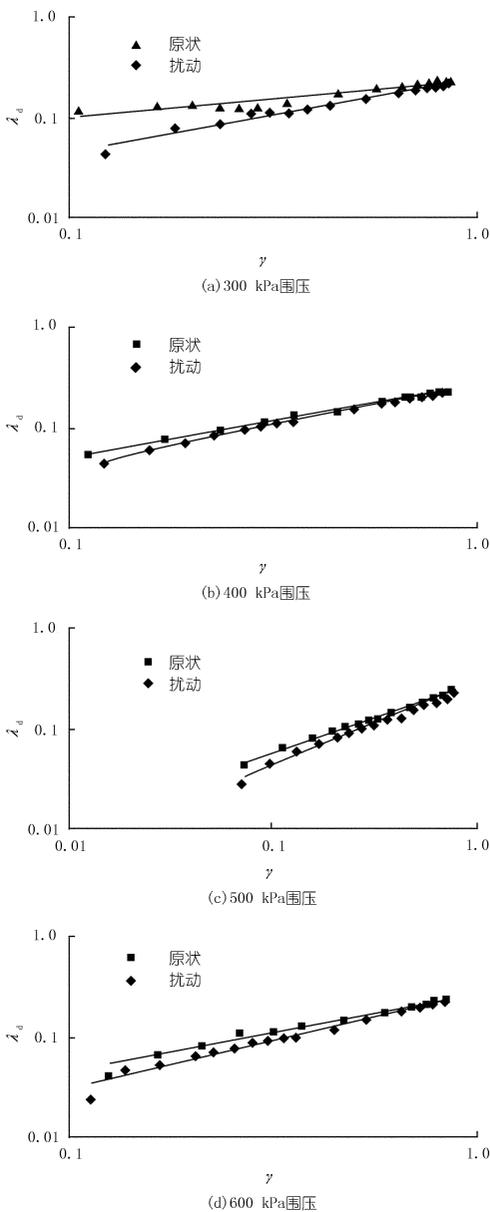


图2 各固结围压下 $\lambda_d \sim \gamma$ 曲线

重塑土得到的拟合曲线为

$$\lambda_d = 0.2643 \left(\frac{372.93\gamma_d}{1 + 372.93\gamma_d} \right)^{0.7671} \quad (11)$$

同理,可得到500 kPa固结围压下原状土拟合曲线

$$\lambda_d = 0.2608 \left(\frac{316.35\gamma_d}{1 + 316.35\gamma_d} \right)^{0.7014} \quad (12)$$

重塑土拟合曲线为

$$\lambda_d = 0.2557 \left(\frac{369.54\gamma_d}{1 + 369.54\gamma_d} \right)^{0.8101} \quad (13)$$

600 kPa固结围压下原状土拟合曲线为

2.3 最大阻尼比对比研究

Hardin 等人提出了几种砂性土和黏性土最大阻尼比 λ_{dmax} 的经验计算公式^[13],国内外其他文献也提出了一些求取方法和公式可供参考。依据大量试验和文献资料的分析发现,应力应变水平较高以后(如 ϵ_d 大于 5×10^{-4}),足够大的滞回圈可以较准确地确定 λ_d , λ_d 的变化和增幅也较小。 $\lambda_d \sim \epsilon_d$ 曲线的右上边趋于平缓,渐近于某一常数,取该渐近常数为 λ_{dmax} ^[14]。

由式(8)~(15)得到了原状土试样和重塑土试样的最大阻尼比 λ_{dmax} 的值,再通过绘制 $\lambda_d \sim \epsilon_d$ 曲线图(图略)得到最大阻尼比 λ_{dmax} 值,分别对它们进行对比,结果见表 3。

表 3 λ_{dmax} 值对比

土样	围压/ kPa	公式 拟合值	绘图		相差/ %	土样	围压/ kPa	公式 拟合值	绘图		相差/ %
			求取值	%					求取值	%	
原状土	300	0.245	0.231	5.72	重塑土	300	0.251	0.246	1.99		
	400	0.258	0.240	6.98		400	0.264	0.258	2.27		
	500	0.261	0.241	7.66		500	0.256	0.231	9.77		
	600	0.269	0.245	8.92		600	0.272	0.241	11.40		

由表 3 可以看出,原状土与重塑土在各固结围压下的最大阻尼比值比较接近,原状土最大相差约 8.9%,且对比 2 种试样在同等试验条件下的最大阻尼比值也可以看出,各围压的拟合值均比较接近。因此,可以认为固结围压对最大阻尼比的影响不大。

通过对比经验公式与绘图两种方式求得的最大阻尼比值可以看出,各围压下的计算值相差很小,最大相差约 11.4%,且对于同一土样,随着固结围压的增大,最大阻尼比值相差越大。说明围压越大,这两种方法求得的最大阻尼比的误差亦越大。

3 结论

(1) 原状土与重塑土的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线对比图比较相似,各固结围压下,阻尼比随归一化剪应变 γ 取值的增大而增大,且重塑土动三轴试验得到的 $\lambda_d \sim \gamma$

关系曲线均位于相应原状土关系曲线的下方。

(2) 原状土与重塑土试样的 $\lambda_d \sim \gamma$ 关系曲线均随固结围压的升高而逐渐降低,且降低幅度随着归一化剪应变 γ 的增大而减小,并在其 γ 值接近 1 时各固结围压下的关系曲线基本交叉重合。

(3) 分别通过经验公式与绘图两种方式求得两种土样的最大阻尼比值,在同等试验条件下,最大阻尼比值相差很小,最大相差约 11.4%;但是,随着固结围压的增大,两种方式求得的最大阻尼比之差会增大。

参考文献:

[1] 孙静. 岩土动力学参数测试技术与应用[M]. 哈尔滨:黑龙江大学出版社,2007.

[2] 孙静,袁晓铭. 土的动模量与阻尼比研究述评[J]. 世界地震工程, 2003,19(1):88-95.

[3] 尚守平,卢华喜,任慧,等. 动荷载作用下土阻尼比的试验对比研究[J]. 地震工程与工程振动,2006,26(2):161-165.

[4] 毛尚礼,余娟娟,张富有. 昆明黏性土动力特性试验研究[J]. 地震工程与工程振动,2011,31(2):170-174.

[5] 黄芮,张延军,李洪岩,等. 辽河三角洲相沉积软土动力特性试验[J]. 吉林大学学报:地球科学版,2010,40(5):1115-1120.

[6] 孙静. 岩土动剪切模量阻尼试验及应用研究[D]. 哈尔滨:中国地震局工程力学研究所,2004.

[7] 何昌荣. 动模量和阻尼比的动三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 1997,19(2):39-48.

[8] 沈珠江,徐刚. 堆石料的动力变形特性[J]. 水利水运科学研究, 1996,6(3):143-150.

[9] SL237-1999 土工试验规程[S].

[10] 谢定义. 土动力学[M]. 北京:高等教育出版社,2011.

[11] 陈国兴. 岩土地震工程学[M]. 北京:科学出版社,2007.

[12] 王宏,殷力涛,赵剑明,等. 穿黄工程隧洞段饱和砂土的动强度特性研究[J]. 人民长江,2011,42(8):107-110.

[13] Hardin B O, Drnevich V P. Shear modulus and damping in soils [J]. Geotechnical Division of ASCE,1972,98(6):603-624.

[14] 何昌荣. 动模量和阻尼比的动三轴试验研究[J]. 岩土工程学报, 1997,19(2):39-48.

(编辑:郑毅)

(下转第 105 页)



工程,2008,34(5):113-115.

(编辑:胡旭东)

[5] 袁雨飞,王有为. 移动商务[M]. 北京:清华大学出版社,2004.

Construction and application of mobile information portal of large – scaled hydropower enterprises

ZHOU Jingliang¹, LI Yangzhao¹, HAN Jiuju²

(1. *China Three Gorges Corporation, Beijing 100038, China*; 2. *Beijing MLK Tech Co., Ltd., Beijing 100029, China*)

Abstract: With the development of mobile information technology, many enterprises begin to establish its mobile application system (e. g. mobile office system), but the comprehensive mobile information portal in enterprises is rare. In combination with the construction practice of mobile information portal in Three Gorges Project Company, the construction process of large – scale hydropower enterprises is introduced in detail, including the requirement analysis, system design, software development, system test, application implement and other links. Furthermore, the experiences and understandings in construction process such as core requirement discrimination, technical route selection, system safety design and architecture design are summarized, which can give reference for similar hydropower enterprises.

Key words: mobile information technology; information portal; application implementation; large – scale hydropower enterprises

(上接第83页)

Comparative study on damping ratio test of remodeled and undisturbed saprolite

ZHAO Yu¹, LI Yanhe², ZHAO Ke³, ZHANG Pei³

(1. *School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China*; 2. *College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China*; 3. *School of Economics and Management, Shijiazhuang University, Shijiazhuang 050035, China*)

Abstract: This paper focuses on the dynamic triaxial test of remodeled and undisturbed sandy mudstone saprolite samples under confining pressures of 300kPa, 400kPa, 500kPa and 600kPa, and the damping ratio curves of the saprolite samples were obtained. The results show that the damping ratio of all saprolite samples will increase with the increment of normalized shear strain γ under different confining pressure; furthermore, for the same γ value, the damping ratio of the undisturbed saprolite is higher; the $\lambda_d - \gamma$ curve of all saprolites goes downward with the increment of confining pressure and the reducing amplitude declines with the increment of value γ , when the γ value gets close to 1.0, all the curves intersect and coincide; under the same test conditions, the maximum damping ratios obtained by empirical formula and drawing are close, however, with the increment of confining pressure, the difference of the maximum damping ratio calculated by the two ways becomes larger.

Key words: damping ratio; sandy mudstone saprolite; dynamic triaxial test; normalized shear strain