

福建漳州地区典型土动力特性的试验研究

连玉平, 张颖, 蔡辉腾, 张锦福, 郑师春, 赵志伟, 危福泉

(福建省地震局, 福建福州 350003)

摘要:通过对福建漳州地区淤泥、粉质粘土、粉质粘土与粉砂互层土、残积土等 4 类典型土的共振柱试验,探讨了围压大小、土的性质对这 4 类典型土的动剪切模量 G 及阻尼比 γ 的影响,给出了在不同围压下的 G/G_{\max} 和 λ/λ_{\max} 随 γ 变化的平均曲线及其参数的推荐值,并定量的给出围压对参数的影响规律。结果对实际工程具有一定的借鉴作用。

关键词: 福建漳州地区; 土动力特性; 动剪切模量; 阻尼比; 共振柱试验; 围压

中图分类号: TU411.8 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2010)04-0363-04

Testing Study on the Dynamic Properties of Typical Soils in Zhangzhou Area, Fujian Province

LIAN Yu-ping, ZHANG Ying, CAI Hui-teng, ZHANG Jin-fu,
ZHENG Shi-chun, ZHAO Zhi-wei, WEI Fu-quan

(Earthquake Administration of Fujian Province, Fuzhou 350003, China)

Abstract: Through the resonant column test on 4 typical soils as mud, silty clay, silty clay and silty sand interbedded strata, residual soil, the influence of confining pressure and soil property on dynamic shear modulus G and damping ratio γ of the 4 typical soils is explored in detail. The average curves of G/G_{\max} and λ/λ_{\max} with the change of γ under different confining pressures as well as their recommended values of parameters for the 4 typical soils in Zhangzhou are presented. Besides, the influence patterns of confining pressure on the average curve parameters are also quantified. The result could be used as reference for practical projects.

Key words: Zhangzhou area in Fujian province; Dynamic property of soil; Dynamic shear modulus; Damping ratio; Resonant column test; Confining pressure

0 引言

漳州地区是福建省经济最发达、人口最稠密的地区之一。位于长乐—诏安断裂带中南段弧形最大、地震较活跃的部位,区内地震地质构造复杂,历史上曾遭受多次破坏性地震的影响,尤以 1185 年漳州 6½ 级地震和 1445 年漳州 6¼ 级地震最为严重,最大地震影响烈度达到 VIII 度^[1]。

漳州为典型的第四纪断陷盆地地貌,地层复杂,起伏较大,软硬相间。数次地震震害表明,建在复杂地形上的软土地基具有长周期特征的建筑物在遭遇地震时,与基岩和硬土场地上相比破坏的程度要严

重的多^[2]。然而,迄今有关漳州各类土的动力特性的研究尚鲜见报道。因此对漳州典型土的动剪切模量和阻尼比进行研究具有实际意义。影响土动剪切模量与阻尼比的因素众多^[3-5],假如在一次试验中要全面考虑不同因素对试验结果的影响是比较困难的。为此本文利用共振柱试验仪进行一系列不同围压下动力试验,研究漳州地区典型土在动荷载作用下的剪切模量、阻尼比,通过理论分析给出典型土的动力变形 $G/G_{\max}-\gamma$ 和 $\lambda/\lambda_{\max}-\gamma$ 曲线;分析围压对不同土类试验结果的影响,并定量给出其影响规律。

收稿日期:2009-08-12

基金项目:地震科学联合基金(105087)

作者简介:连玉平(1967-),男(汉族),工程师,主要从事地震工程方面的工作。

1 试验概况

试验仪器采用中国地震局工程力学研究所研制的 GZ-1 型共振柱试验仪,试样尺寸:Φ39.1 mm×80 mm。在试验中,按文献[6]、[7]对试样进行成型,成型后在共振柱试验仪上对试样进行固结排水,对所有试样都采用各向等压固结,固结压力为 100、

200 和 300 kPa。全部试验过程均用微机控制。试样取自市区、诏安、漳浦、南靖和龙岩等地,取样深度范围从 1.90~18.10 m 不等。土样主要为漳州地区分布最多的淤泥、粉质粘土、粉质粘土与粉砂互层土、残积土。各试样的取样地点、取样深度、容重指标见表 1。

表 1 各试样取样地点、取样深度、容重指标

序号	取样地点	土类	取土深度/m	重度/[kN·m ⁻³]	序号	取样地点	土类	取土深度/m	重度/[kN·m ⁻³]
1	诏安南城中学	粉质粘土与粉砂互层土	1.90~2.20	1.95	16	云霄元光中学	残积土	5.20~5.50	1.76
2	诏安南城中学	粉质粘土与粉砂互层土	2.40~2.70	1.97	17	上杭税中	粉质粘土	1.10~1.40	1.94
3	诏安南城中学	粉质粘土	5.10~5.40	1.96	18	上杭税中	粉质粘土	1.60~1.90	1.94
4	诏安南城中学	粉质粘土	5.60~5.90	1.97	19	龙岩地震局	粉质粘土	3.70~4.00	1.85
5	诏安南城中学	残积土	17.30~17.60	1.91	20	龙岩地震局	粉质粘土	4.20~4.50	1.84
6	诏安南城中学	残积土	17.80~18.10	1.90	21	龙岩地震局	残积土	7.60~7.90	1.82
7	漳浦道同中学	粉质粘土	5.70~6.00	1.85	22	龙岩地震局	残积土	8.10~8.40	1.82
8	漳浦道同中学	粉质粘土	6.20~6.50	1.86	23	连城李彭中心小学	粉质粘土	1.65~1.95	1.97
9	漳浦道同中学	残积土	17.10~17.40	1.86	24	连城李彭中心小学	粉质粘土	1.95~2.25	1.97
10	漳浦道同中学	残积土	17.60~17.90	1.88	25	漳州金保大厦	淤泥	4.10~4.40	1.65
11	南靖江滨公园	残积土	14.60~14.90	1.85	26	漳州金保大厦	淤泥	4.60~4.90	1.57
12	南靖江滨公园	残积土	15.10~15.40	1.85	27	漳州金保大厦	粉质粘土与粉砂互层土	7.30~7.60	2.02
13	龙海一中	淤泥	4.10~4.40	1.52	28	漳州金保大厦	粉质粘土与粉砂互层土	7.80~8.10	2.05
14	龙海一中	淤泥	4.60~4.90	1.52	29	漳州金保大厦	残积土	14.70~15.00	1.78
15	云霄元光中学	残积土	4.70~5.00	1.77	30	漳州金保大厦	残积土	15.20~15.50	1.86

2 试验数据处理

假定在动载作用下土的动剪应力 τ 和剪应变幅值 γ 之间的关系符合双曲线关系

$$\tau = \frac{\gamma}{a + b\gamma} \quad (1)$$

式中 a 和 b 为试验参数,则土的动剪切模量可定义为

$$G = \tau/\gamma \quad (2)$$

则可得到如下关系式:

$$G/G_{max} = \frac{1}{1 + \frac{\gamma}{\gamma_r}} \quad (3)$$

式中, $G_{max} = 1/a$ 为土的最大动剪切模量; $\gamma_r = a/b$ 为参考应变。

土的阻尼比 λ 随剪应变幅值而变化,其经验关系可表示为

$$\lambda = \lambda_{max} [1 - (G/G_{max})]^M \quad (4)$$

式中, λ_{max} 为 γ 趋于无穷大时的阻尼比; M 为试验参数。

由试验测得的动剪切模量及阻尼比与剪应变的试验数据关系,利用式(1)~式(4)和最小二乘法进行回归分析,对不同试验回归得到的结果进行平均化处理^[6],结果如表 2 和图 1 所示。

表 2 平均化处理后的试验结果

土类	围压 σ=100 kPa				围压 σ=200 kPa				围压 σ=300 kPa			
	γ _r /10 ⁻⁴	G _{max} /100kPa	λ _{max} /10 ⁻²	M	γ _r /10 ⁻⁴	G _{max} /100kPa	λ _{max} /10 ⁻²	M	γ _r /10 ⁻⁴	G _{max} /100kPa	λ _{max} /10 ⁻²	M
淤泥	2.42	180.45	21.33	0.97	2.83	279.86	18.38	0.80	4.31	371.89	16.57	0.67
粉质粘土	4.38	619.10	17.60	0.84	5.33	768.17	15.36	0.68	6.15	953.83	13.17	0.58
粉质粘土与粉砂互层土	2.99	503.65	18.35	0.51	3.87	792.75	16.65	0.48	4.31	1057.72	14.79	0.44
残积土	3.72	375.03	17.03	0.82	4.92	523.88	14.12	0.63	6.41	618.70	12.11	0.43

需要说明的是,这里虽然给出了淤泥的试验结果,但从目前仪器功能来看,并不适于做这类软土试验^[8]。也就是说目前给出的软土结果可靠性还有待验证和修正,只能作为初步结果。

由表 2 可知围压对 G 和 λ 有显著的影响。据图 1, G 和 λ 经 G_{max} 和 λ_{max} 归一化后,不同初始围压下的试验回归结果较接近。

3 试验结果分析

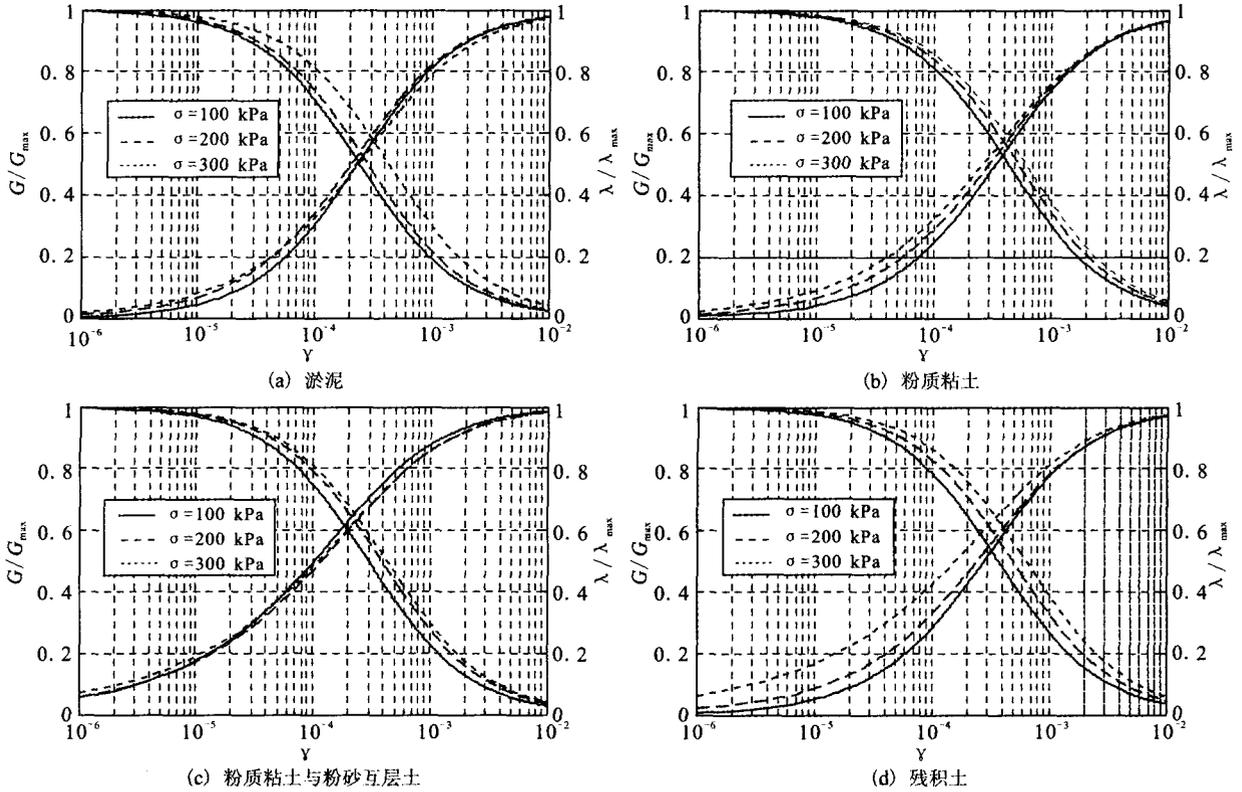


图1 漳州地区4类典型土 $G/G_{max}-\gamma$ 和 $\lambda/\lambda_{max}-\gamma$ 试验曲线

Fig.1 Testing curves of $G/G_{max}-\gamma$ and $\lambda/\lambda_{max}-\gamma$ for 4 typical soils in Zhangzhou area.

3.1 γ_r 的变化规律

由图2可见,4类典型土的 γ_r 在相同的围压下,以粉质粘土最大,淤泥最小;其值均随着围压的增加而增大,二者除淤泥外均具有良好的线性关系。其表达式为

$$\gamma_r = A + B\sigma \quad (5)$$

式中: σ 为围压,单位kPa;A为直线的截距;B为直线的斜率。A、B的值列于表3。

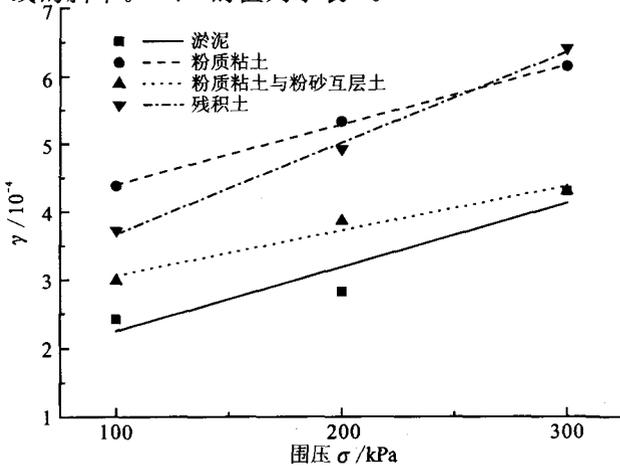


图2 γ_r 与围压的关系

Fig.2 Relation curves of γ_r and confining pressure.

表3 式(5)中A和B的取值

	淤泥	粉质粘土	粉质粘土与粉砂互层土	残积土
A	1.30	3.52	2.40	2.33
B	0.009 5	0.008 9	0.006 6	0.013 5

3.2 G_{max} 的变化规律

由图3可见,4类典型土 G_{max} 在相同的围压下,以粉质粘土、粉质粘土与粉砂互层土最大,淤泥最小;其值均随着围压的增加而增大,二者均具有良好的线性关系。其表达式为

$$G_{max} = A + B\sigma \quad (6)$$

式中: G_{max} 单位取100 kPa;其余同上。A、B的值列于表4。

表4 式(6)中A和B的取值

	淤泥	粉质粘土	粉质粘土与粉砂互层土	残积土
A	85.96	445.64	230.64	262.20
B	0.957	1.674	2.770	1.218

3.3 λ_{max} 的变化规律

由图4可见,4类典型土 λ_{max} 在相同的围压下,由大到小,依次为淤泥、粉质粘土与粉砂互层土、粉质粘土、残积土;其值均随着围压的增加而减小,二者均具有线性关系。表达式为

$$\lambda_{max} = A + B\sigma \quad (7)$$

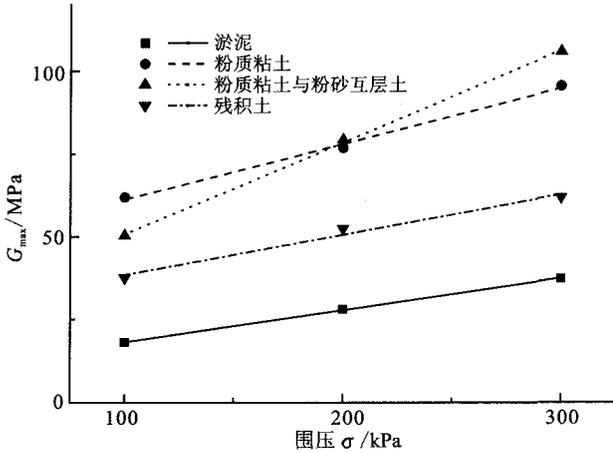


图 3 G_{max} 与围压的关系

Fig. 3 Relation curves of G_{max} and confining pressure.

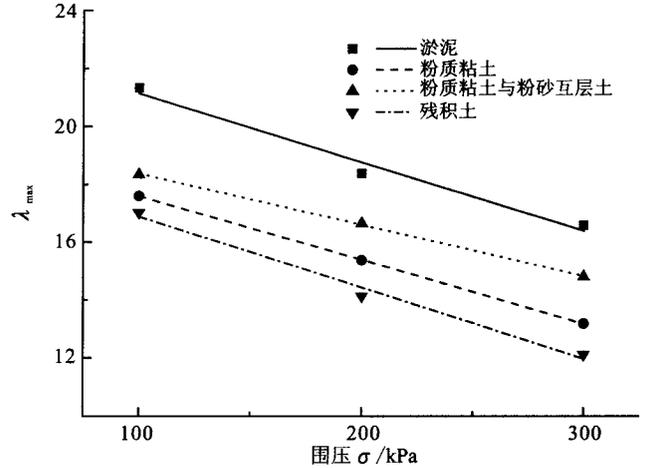


图 4 λ_{max} 与围压的关系

Fig. 4 Relation curves of λ_{max} and confining pressure.

式中 λ_{max} 单位取 10^{-2} ; 其余同上。A、B 的值列于表 5。

表 5 式(7)中 A 和 B 的取值

	淤泥	粉质粘土	粉质粘土与粉砂互层土	残积土
A	23.52	19.81	20.16	19.34
B	-0.023 8	-0.022 2	-0.017 8	-0.024 6

3.4 M 的变化规律

由图 5 可见, 4 类典型土 M 在相同的围压下, 以淤泥最大, 粉质粘土与粉砂互层土最小; 其值均随着围压的增加而减小, 二者均具有较良好的线性关系。其表达式为

$$M = A + B\sigma \quad (8)$$

式中参数同上。A、B 的值列于表 6。

表 6 式(8)中 A 和 B 的取值

	淤泥	粉质粘土	粉质粘土与粉砂互层土	残积土
A	1.11	0.96	0.55	1.02
B	-0.001 5	-0.001 3	-0.000 4	-0.002 0

4 结语

通过试验和理论分析, 定量的给出了漳州地区 4 类典型土在不同围压下的 G/G_{max} 和 λ/λ_{max} 随 γ 变化的平均曲线及其参数的推荐值。由于不同的地区土性不尽相同, 且影响土的动模量和阻尼比的因素很多, 因此, 所给出的推荐值对实际工程只起借鉴作用。

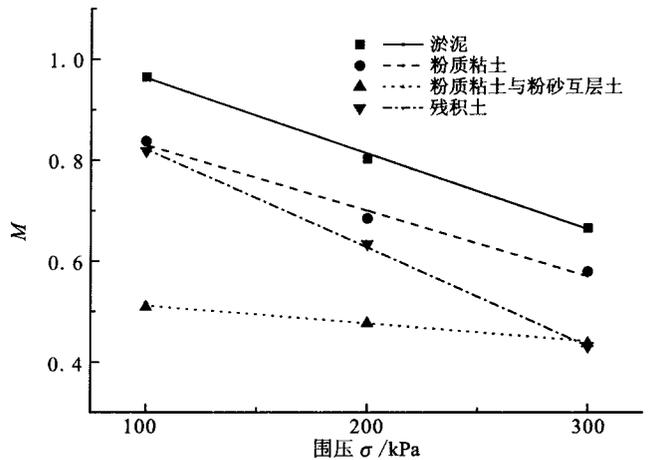


图 5 M 与围压的关系

Fig. 5 Relation curves of M and confining pressure.

[参考文献]

- [1] 朱金芳, 谢志招, 曲国胜, 等. 闽南地区城市活动构造与地震 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] 胡聿贤. 地震工程学 [M]. 北京: 地震出版社, 2006.
- [3] 陈国兴. 岩土地震工程学 [M]. 北京: 科学出版社, 2007.
- [4] 王兰民, 孙军杰. 特殊土动力学的发展战略与展望 [J]. 西北地震学报, 2007, 29(1): 88-93.
- [5] 吴志坚, 王兰民, 马巍, 等. 地震荷载作用下冻土的动力学参数试验研究 [J]. 西北地震学报, 2003, 25(3): 210-214.
- [6] 南京水利科学研究院. GB/T50123-1999 土工试验方法标准 [S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.
- [7] 南京水利科学研究院. SL237-1999 土工试验规程 [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999.
- [8] 袁晓铭, 孙锐, 孙静, 等. 常规土类动剪切模量和阻尼比试验研究 [J]. 地震工程与工程振动, 2000, 20(4): 133-139.