

渤海海域典型场地土的动剪切模量比 和阻尼比的统计值*

兰景岩¹, 刘化淦², 吕悦军¹, 谢卓娟¹

(1. 中国地震局 地壳应力研究所, 北京 100085; 2. 中交路桥技术有限公司, 北京 100029)

摘要: 收集渤海海域内近 40 个海洋平台的钻孔资料, 结合室内振动三轴试验, 归纳整理出 372 组渤海原状土样动力学测试的原始数据, 利用数理统计方法给出渤海海域内不同类型土体、不同埋深的动剪切模量比和阻尼比随剪应变变化的平均曲线及统计值。研究结果可作为土动力学研究的补充, 同时有利于加深对不同土质动力学性能的认识, 为渤海海域内其它海洋建设工程的地震安全性评价工作提供借鉴和参考。

关键词: 海域土; 动剪切模量比; 阻尼比; 渤海海域

中图分类号: P315.93

文献标识码: A

文章编号: 1000-0666(2012)02-0260-08

0 引言

场地条件是影响震害的重要因素, 其中土动力学参数对地震波的放大作用也是地震工程界公认的影响震害的要素之一(袁一凡, 1992; 薄景山等, 2003; 贺秋梅等, 2006)。动剪切模量比($G/G_{\max} - \gamma$)和阻尼比($\lambda - \gamma$)作为土动力学特征重要的参数, 是工程地震研究中不可缺少的重要内容。就同一种土介质而言, 因试验条件、试验方法的不同, 以及土体埋深和土颗粒性能、含水量、坚硬密实程度等自身因素的差异, 其动力特性的测试结果存在着较大的不确定性和离散性。为此, 国内外许多学者对土动力学参数的室内测试工作以及它的不确定性对震害的影响等做了较深入的研究, 并得到了非常有价值的结论(刘红帅等, 2005; 兰景岩, 薄景山, 2008)。

土动力学参数对工程抗震有重要的影响, 在实际工作中动剪切模量比和阻尼比往往通过实测方法来获取, 但考虑到经济成本以及理论研究的特殊性, 也可以参考一些基于试验数据得到的经验值和推荐值。国外以 Seed 和 Idriss (1969) 计算出的砂土和粘性土的动剪切模量比和阻尼比曲线最具代表性, 其理论计算结果与实际得到的地表加速度记录和震害情况吻合良好, 在国外得到了广泛应用。国内石兆吉 (1989) 首次计算出全国

范围内常规土类的动剪切模量比和阻尼比的建议值, 之后中国地震局于 1994 年颁布的《工程场地地震安全性评价工作规范》(DB001-94) 将该建议值纳入其中, 使其成为规范值。然而限于当时的研究情况, 所使用的试验仪器是自行研制的试验样机, 软硬件都有所欠缺, 选用的试验土样均来自于大连的典型土类, 这样以点概面地给出全国各地土类的经验数据, 显然是片面的。鉴于以上情况, 袁晓铭等 (2000) 给出了全国范围内常规土类的动剪切模量比和阻尼比的推荐值, 其统计样本分布较广泛, 数量较丰富, 覆盖范围更大, 代表性也更强。通过数值计算表明其成果相对石兆吉 (1989) 的建议值更加接近实际情况(王绍博, 丁海平, 2001; 孙静等, 2004; 李自红, 2006)。

由于土的形成年代、沉积环境不同, 其动力学特征具有较强的区域性, 国内研究学者对于国内不同地区、不同岩性土的力学参数进行了大量的试验研究, 给出了适合特定地区、不同工程地质条件的经验估计值(祝龙根, 吴晓峰, 1988; 徐存森, 吴俊壁, 1992; 陈国兴等, 1995; 刘雪珠等, 2002; 骆亚生, 田堪良, 2005)。

目前对陆地上的不同地区、不同工程地质条件的土动力学参数研究较多而且较集中, 而对于海域内海相沉积层的土动力学特性, 尚无系统的研究成果。陆地上典型土动力学参数的经验值对

* 收稿日期: 2011-11-01.

基金项目: 中央级公益性科研院所基本科研业务专项 (ZDJ2012-12) 资助.

海域土体并不具备通用性，必须考虑海域土体的区域性。限于海上钻探工作存在的困难以及海域土动力学参数的重要性和不确定性，我们在有限的试验资料中，统计出合理且具有一定区域针对性的经验数据就显得尤为重要。

国内仅少数人针对海域土的特殊性和区域性做过研究。吕悦军等（2003）根据渤海石油平台3个深部钻孔，对58个不同埋深、不同类别土样进行了振动三轴试验，给出了渤海海域内海底泥面土的动剪切模量和阻尼比的拟合曲线和推荐值，与已有陆地土的动力特征研究成果有较大差别。虽然渤海面积不大，但是海底工程地质条件并非完全一致，海底地貌分海蚀地貌和海积地貌，其分布不均匀，样本量较少，统计结果难以反映数值的离散性。因此在对渤海海域场地土的动力学参数进行统计时应考虑海底的工程地质分区特征，并获取尽可能多的样本，才能保证统计结果真实、可信，对实际工作才有借鉴价值。

1 海域土的动力学参数测试方法

测定海域土的动剪切模量比和阻尼比的试验装置与方法与陆地土的类似，采用HX-100控制振动三轴试验装置测定动剪切模量比和阻尼比。试验参考《土工试验规程》（SI237-1999）和《海上平台场址工程地质勘察规范》（GB17503-1998）。

（1）将制备好的原状土样套上橡皮膜后安装在三轴压力室内。试验所用的土样尺寸为：直径3.91 cm、高8.0 cm。

（2）依据土样所代表土层的上覆有效压力，确定给试验土样施加等向固结压力，并使土样排水固结。

（3）土样固结后，在不排水条件下，采用逐级增加循环应力的方法沿土样轴向施加振动荷载。在振动过程中，测量土样轴向振动应变与超孔隙水压力。振动应力的频率为1.0 Hz。

（4）依据试验结果，按照式（1）与式（2）分别确定不同振动应变下的土样动压缩模量 E 、阻尼比 λ 。进而按式（3）与式（4）确定振动剪应变 γ 与相应的动剪切模量 G 。

$$E = \frac{\sigma_d}{\varepsilon_d}, \quad (1)$$

$$\lambda = \frac{A_1}{4\pi A_2}, \quad (2)$$

$$\gamma = (1 + \mu) \varepsilon_d, \quad (3)$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \mu)}. \quad (4)$$

式中， σ_d 为动应力； ε_d 为动应变； A_1 为试验测得的应力应变滞回曲线围成的面积； $A_2 = 0.5\sigma_d\varepsilon_d$ ； μ 为泊松比。

参考国内外已有的试验结果，采用逐级增加循环应力的方法沿土样轴向施加振动荷载，测定土类的动剪切模量 G 和阻尼比 λ 随剪应变 γ 的变化；采用折线曲线拟合动剪切模量比 G/G_{\max} 以及阻尼比 λ 随剪应变 γ 的变化关系。

2 海域典型土的动力学参数统计值

2.1 渤海海底工程地质条件概述

渤海是个内陆海，由辽东湾、渤海湾、莱州湾、渤海海峡和中央盆地5部分组成。它为北东—南西向浅海，平均水深18 m。海底地形平坦，坡度很小，平均为 $0^\circ 0' 28''$ 。

根据地貌发育因素及其所塑造的海岸和海底的各类地貌，以曹妃甸南缘至隍城岛一线为界，将渤海地貌分为南北两大地貌组合区（邢延，1989；董太禄等，1995）。南部堆积平原地貌组合区和北部侵蚀—堆积波状平原地貌组合区。其中，南区主要以入海的海流参与海洋沉积作用，塑造海底堆积平原地貌；北区除入海河流参与沉积作用外，还有潮流冲蚀作用改造渤海原始地貌而形成潮流地貌以及局部海蚀地貌。

渤海海底地势较为平坦，起伏不大，地层结构较为复杂，主要由粘土、粉砂、粉细砂等土类构成，根据钻孔钻探及剪切波速测试结果揭示，整个渤海海域内场地20 m内的等效剪切波速 V_{sc} 为140~250 m/s，覆盖层厚度超过100 m，按照《建筑抗震设计规范》（GB50011-2010）中场地类别的划分原则，可确定渤海海底场地类别为Ⅲ~Ⅳ类，属中软—软弱场地。

现以NB35-2及QHD32-6油田场址为例（图1），简要介绍渤海浅层海底的工程地质条件特征。

（1）NB35-2油田场址

I层：岩性以非常软到软的黄褐色粘土、砂

质粘土为主，含分散的贝壳碎屑。层厚为 4.2 ~ 5.1 m。

Ⅱ层：中密的棕色砂质细砂、稍硬的褐灰色粘土和粉质粘土互层。层厚为 5.7 ~ 7.5 m。

Ⅲ层：中密实的棕色砂质粉砂和砂质细砂，含粘土包和粘土微细层，底部局部颜色为黄褐色。层厚为 6.3 ~ 9.7 m。

Ⅳ层：以稍硬到硬的褐灰色粉质粘土为主，含密实的褐灰色粉砂及细砂、黄褐色砂质粉砂互层。厚度为 9.0 ~ 9.5 m。

Ⅴ层：密实到非常密实的褐灰色细砂和砂质细砂，底部为坚硬的黄褐色粘土。厚度为 5.1 ~ 6.7 m。

Ⅵ层：非常密实的黄褐灰色细砂与坚硬的褐灰色粉质粘土互层，局部含分散的云母碎片。厚度为 10 m。

(2) QHD32-6 油田场址

Ⅰ层：岩性以非常软到稍硬的粉质粘土为主，层厚为 1.62 ~ 2.8 m。

Ⅱ层：以中密到密实的砂质细砂为主，含粉质粘土与砂质细砂互层，底部有密实的砂质细砂。层厚为 6.4 ~ 11.8 m。

Ⅲ层：主要由粉质粘土与砂质粉砂互层。层厚为 2.9 ~ 3.9 m。

Ⅳ层：主要由非常密实的砂质细砂、粉砂、细砂互层。厚度为 6.4 ~ 9.5 m。

Ⅴ层：以非常密实的粉质粘土、细砂、砂质粉砂为主。厚度为 6.1 ~ 13.0 m。

Ⅵ层：主要是硬的粉质粘土。厚度为 3.7 ~ 9.0 m。

Ⅶ层：以密实的砂质细砂、砂质粉砂为主。厚度为 7.1 ~ 10.0 m。

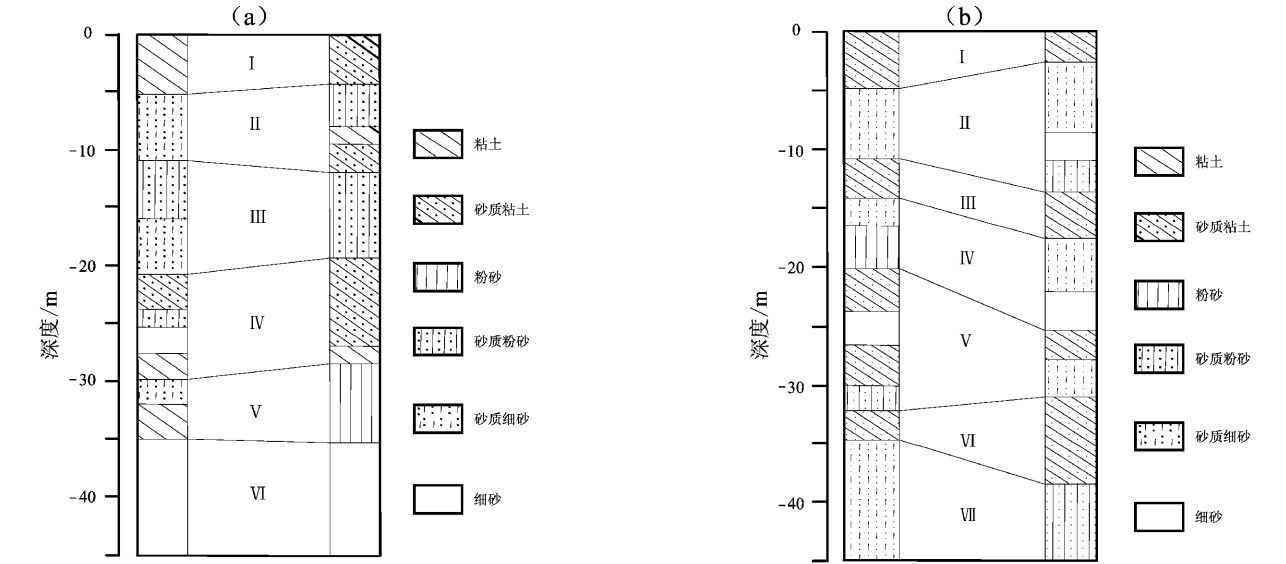


图 1 油田场址 NB35-2 (a) 与 QHD32-6 (b) 钻孔剖面对比

Fig 1 Comparison of the borehole profile between NB35-2 (a) and QHD32-6 (b) oilfields in Bohai sea

2.2 资料的来源及统计结果

本文收集渤海海域内 BZ19-4、BZ26-3、LD27-2、JZ25-1、NB35-2、CFD18-1、QK18-2、JX1-1、QHD32-6 等近 40 个石油平台项目的钻孔资料，整理出 372 个原状土样动剪切模量比 ($G/G_{\max} - \gamma$) 和阻尼比 ($\lambda - \gamma$) 试验的原始数据，采用折线双曲线拟合动剪切模量比和阻尼比随剪应变的变化曲线。

考虑到不同岩性、密实度、坚硬程度、物理力学性质等因素，将渤海海域典型场地土大致分为粉质粘土、粉砂质细砂、粉砂、砂质粉砂、淤

泥质细砂和粉土（粘质粉砂）6 组，归纳整理后可详细分为粉质粘土 163 组、粉砂质细砂 92 组、粉砂 43 组、砂质粉砂 61 组、淤泥质细砂 26 组、粉土（粘质粉砂）25 组，每类土均散落分布于 0 ~ 120 m 之间。

按照不同深度不同类别，运用数理统计方法得到以上 6 组渤海海域典型土类的动剪切模量比、阻尼比的平均值。各类典型土的动剪切模量比和阻尼比的统计值见表 1~6，图 2、图 3 为各类典型土的动剪切模量比和阻尼比的曲线图。

表 1 渤海海域粉质粘土动剪切模量比和阻尼比的统计值

Tab. 1 Statistical values of dynamic shear modulus and damping ratios of silty clay in Bohai Sea

埋深/m	样本量	参数	剪应变 γ ($\times 10^{-4}$)							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
0 ~ 5	26	G/G_{\max}	0.987 2	0.979 1	0.854 5	0.745 6	0.409 0	0.275 6	0.091 3	0.055 8
		λ	0.039 9	0.042 5	0.057 7	0.071 2	0.118 8	0.139 3	0.171 3	0.179 4
5 ~ 15	21	G/G_{\max}	0.994 5	0.988 0	0.884 0	0.781 9	0.446 9	0.308 3	0.104 3	0.062 4
		λ	0.030 9	0.032 4	0.044 8	0.058 2	0.111 3	0.136 1	0.180 2	0.191 9
15 ~ 30	20	G/G_{\max}	0.993 5	0.987 9	0.916 1	0.830 6	0.495 5	0.346 6	0.114 6	0.063 2
		λ	0.017 7	0.018 9	0.031 7	0.046 1	0.101 6	0.127 3	0.172 9	0.185 4
30 ~ 50	24	G/G_{\max}	0.996 0	0.991 9	0.933 0	0.858 8	0.558 8	0.414 2	0.147 7	0.077 4
		λ	0.012 0	0.013 8	0.025 2	0.037 5	0.087 0	0.112 0	0.164 1	0.180 6
50 ~ 70	25	G/G_{\max}	0.998 3	0.993 1	0.938 4	0.870 1	0.560 5	0.412 6	0.146 0	0.076 5
		λ	0.012 2	0.014 0	0.026 1	0.038 3	0.086 4	0.111 9	0.168 1	0.186 4
70 ~ 90	23	G/G_{\max}	0.997 1	0.991 6	0.946 6	0.882 0	0.593 7	0.448 7	0.172 2	0.096 0
		λ	0.010 5	0.012 3	0.022 8	0.032 7	0.072 7	0.097 4	0.163 6	0.186 0
90 ~ 120	24	G/G_{\max}	0.994 6	0.987 9	0.940 7	0.873 3	0.569 4	0.419 3	0.146 2	0.075 4
		λ	0.010 4	0.012 3	0.023 8	0.034 8	0.077 4	0.100 5	0.154 9	0.173 5

表 2 渤海海域粉砂质细砂动剪切模量比和阻尼比的统计值

Tab. 2 Statistical values of dynamic shear modulus and damping ratios of silty fine sand in Bohai Sea

埋深/m	样本量	参数	剪应变 γ ($\times 10^{-4}$)							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
0 ~ 20	18	G/G_{\max}	0.990 7	0.978 3	0.872 5	0.777 0	0.452 0	0.312 2	0.092 7	0.045 4
		λ	0.018 8	0.019 9	0.032 1	0.046 7	0.105 6	0.134 1	0.187 6	0.202 7
20 ~ 50	26	G/G_{\max}	0.993 2	0.988 1	0.949 4	0.897 3	0.656 7	0.518 5	0.196 1	0.097 2
		λ	0.006 5	0.007 1	0.014 2	0.024 4	0.071 5	0.099 3	0.167 9	0.190 5
50 ~ 90	29	G/G_{\max}	0.995 8	0.991 2	0.944 8	0.892 9	0.671 1	0.540 6	0.218 9	0.115 4
		λ	0.003 9	0.005 5	0.013 4	0.020 9	0.053 7	0.075 6	0.139 0	0.164 0
90 ~ 120	19	G/G_{\max}	0.997 2	0.993 9	0.951 8	0.905 9	0.707 7	0.578 9	0.227 2	0.110 4
		λ	0.002 2	0.003 5	0.011 0	0.017 4	0.044 8	0.064 1	0.121 4	0.142 3

表 3 渤海海域粉砂动剪切模量比和阻尼比的统计值

Tab. 3 Statistical values of dynamic shear modulus and damping ratios of silty sand in Bohai Sea

埋深/m	样本量	参数	剪应变 γ ($\times 10^{-4}$)							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
0 ~ 20	11	G/G_{\max}	0.988 1	0.974 4	0.875 6	0.784 9	0.463 7	0.322 4	0.095 5	0.044 9
		λ	0.023 9	0.025 9	0.038 4	0.052 3	0.107 9	0.134 0	0.180 5	0.193 5
20 ~ 50	15	G/G_{\max}	0.992 5	0.987 3	0.928 4	0.863 1	0.601 8	0.462 1	0.157 3	0.071 3
		λ	0.008 9	0.011 0	0.021 7	0.032 7	0.076 9	0.101 6	0.160 0	0.181 2
50 ~ 120	17	G/G_{\max}	0.996 1	0.992 4	0.942 2	0.888 8	0.669 0	0.534 8	0.205 5	0.097 9
		λ	0.006 2	0.007 6	0.016 6	0.025 8	0.062 8	0.085 0	0.144 1	0.166 4

表 4 渤海海域砂质粉砂动剪切模量比和阻尼比的统计值

Tab. 4 Statistical values of dynamic shear modulus and damping ratios of sandy silt in Bohai Sea

埋深/m	样本量	参数	剪应变 γ ($\times 10^{-4}$)							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
0 ~ 20	20	G/G_{\max}	0.988 8	0.981 6	0.897 2	0.806 3	0.472 6	0.325 9	0.096 1	0.046 4
		λ	0.025 0	0.026 6	0.038 4	0.052 1	0.107 0	0.132 7	0.177 3	0.189 2
		G/G_{\max}	0.996 9	0.991 7	0.931 2	0.867 0	0.612 0	0.474 8	0.169 2	0.077 7
20 ~ 60	18	λ	0.011 7	0.012 5	0.020 6	0.031 8	0.080 6	0.107 2	0.166 3	0.184 3
		G/G_{\max}	0.998 0	0.994 0	0.947 0	0.898 9	0.699 9	0.575 0	0.239 5	0.126 7
		λ	0.004 4	0.005 4	0.012 9	0.021 0	0.055 5	0.077 3	0.135 1	0.154 6

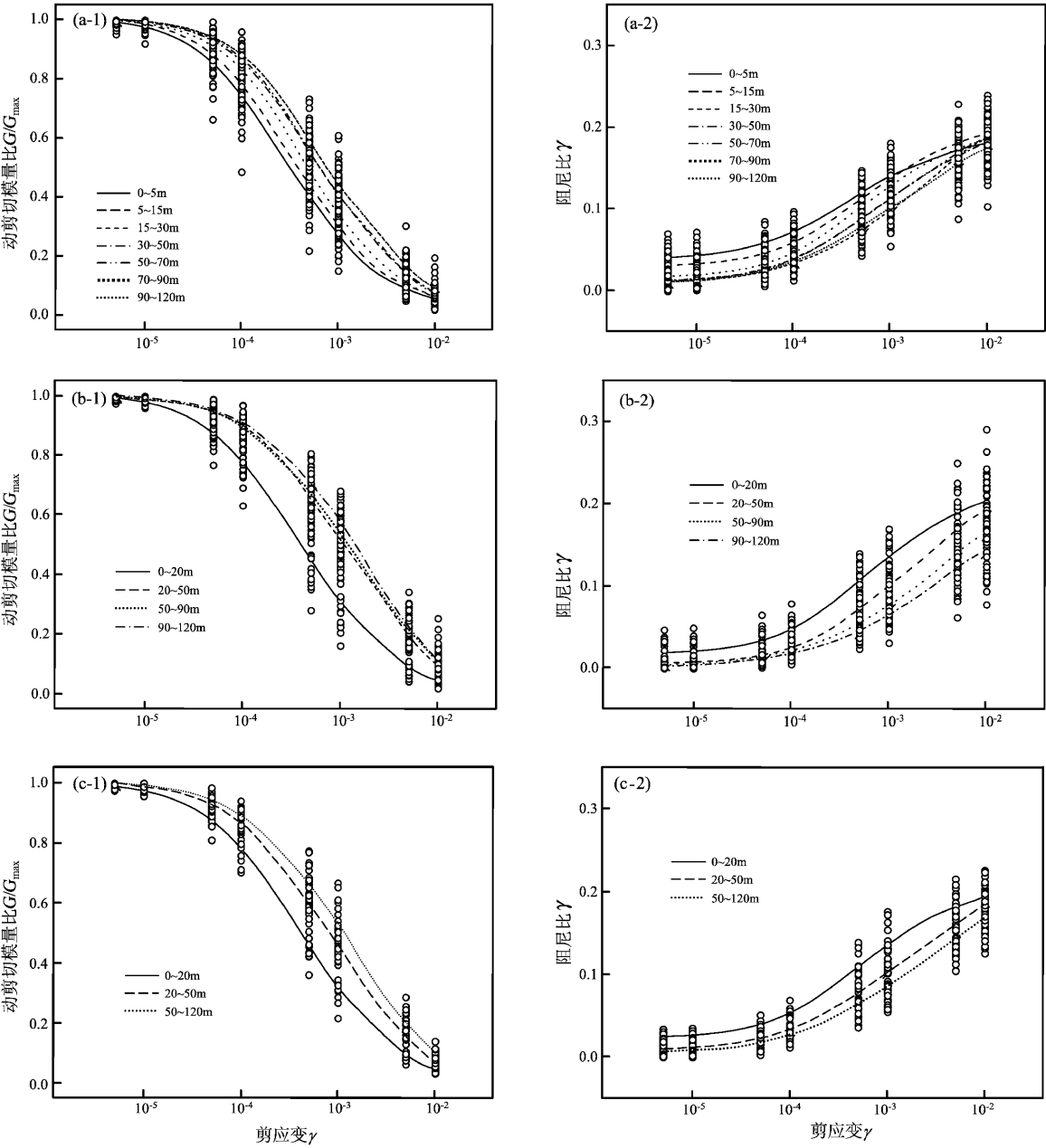


图 2 粉质粘土 (a)、粉砂质细砂 (b) 和粉砂 (c) 动剪切模量比和阻尼比的统计曲线图
Fig. 2 Statistical curves of dynamic shear modulus and damping ratios of silty clay (a)、
silty fine sand (b) and silty sand (c)

表 5 渤海海域淤泥质细砂动剪切模量比和阻尼比的统计值

Tab. 5 Statistical values of dynamic shear modulus and damping ratios of mucky fine sand in Bohai Sea

埋深/m	样本量	参数	剪应变 γ ($\times 10^{-4}$)							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
0 ~ 30	13	G/G_{\max}	0.988 8	0.982 4	0.920 5	0.842 4	0.518 8	0.368 5	0.118 7	0.059 8
		λ	0.022 4	0.023 5	0.034 7	0.048 2	0.102 3	0.128 5	0.179 2	0.194 6
30 ~ 80	7	G/G_{\max}	0.996 4	0.993 6	0.948 9	0.896 1	0.672 3	0.537 3	0.194 6	0.084 3
		λ	0.004 9	0.005 3	0.011 4	0.019 4	0.062 6	0.090 9	0.168 3	0.194 7
80 ~ 120	6	G/G_{\max}	0.999 8	0.997 2	0.955 0	0.906 7	0.704 5	0.574 8	0.222 3	0.105 2
		λ	0.001 7	0.002 7	0.009 3	0.016 8	0.050 3	0.073 2	0.136 7	0.154 0

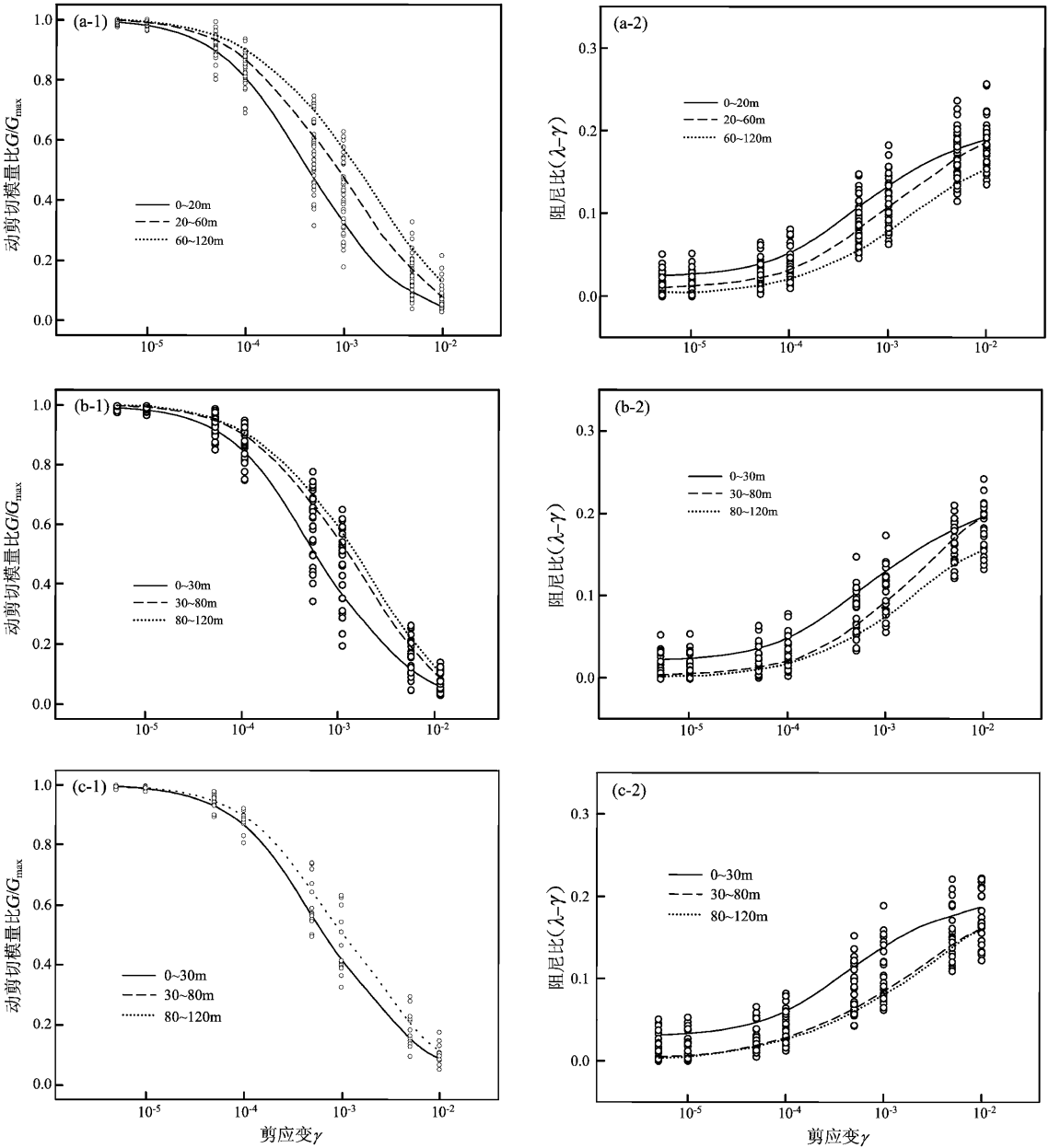


图 3 砂质粉砂 (a)、淤泥质细砂 (b) 和粉土 (粘质粉砂) (c) 动剪切模量比和阻尼比的统计曲线图

Fig. 3 Statistical curves of dynamic shear modulus and damping ratios of fine silty sand (a)、mucky fine sand (b) and silty (sand loam) (c)

表6 渤海海域粉土（粘质粉砂）动剪切模量比和阻尼比的统计值
Tab. 6 Statistical values of dynamic shear modulus and damping ratios of silty (sand loam) in Bohai Sea

埋深/m	样本量	参数	剪应变 γ ($\times 10^{-4}$)							
			0.05	0.1	0.5	1	5	10	50	100
0 ~ 30	12	G/G_{\max}	0.991 0	0.983 0	0.897 5	0.806 5	0.459 2	0.309 0	0.090 0	0.046 7
		λ	0.031 2	0.032 8	0.045 8	0.059 8	0.113 5	0.137 3	0.175 8	0.186 7
30 ~ 80	6	G/G_{\max}	0.994 3	0.988 8	0.934 7	0.864 8	0.564 3	0.417 8	0.153 7	0.086 3
		λ	0.004 0	0.006 0	0.018 3	0.027 8	0.063 5	0.084 5	0.139 8	0.159 7
80 ~ 120	7	G/G_{\max}	0.995 6	0.991 6	0.950 7	0.896 0	0.646 1	0.508 9	0.206 0	0.113 7
		λ	0.004 1	0.005 9	0.016 6	0.025 3	0.058 9	0.079 9	0.137 3	0.159 3

3 结语

本文收集了渤海近 40 个海洋石油平台的钻孔资料，整理出 6 种土类共 372 个海底原状土样的振动三轴试验数据，归纳分析了各种典型土类的动力性能，最终给出了渤海海域典型场地土的动剪切模量比和阻尼比的统计值，该结果能够比较真实可靠地反映渤海海域场地土动力性能的实际情况，可供渤海海上工作无试验资料和今后修订渤海海上土动力学参数规范值时参考使用，对工程抗震和地震安全性评价也具有一定的借鉴意义。

本研究的钻探、取样等工作由中海油田服务股份有限公司进行，室内振动三轴试验由天津大学建筑工程学院岩土工程研究所完成，在此表示感谢。

参考文献：

薄景山,李秀领,李山有. 2003. 场地条件对地震动影响研究的若干进展[J]. 世界地震工程,19(2):11-15.
陈国兴,谢君斐,张克绪. 1995. 土的动模量和阻尼比的经验估计[J]. 地震工程与工程振动,15(1):73-84.
董太禄,扬光复,徐善民. 1995. 渤海南部现代沉积特征[J]. 海洋地质与第四纪地质,15(4):131-134.
贺秋梅,闫维明,董娣,等. 2006. 震源机制和场地条件对近场强震地面运动特性的影响[J]. 地震研究,29(3):256-263.
兰景岩,薄景山. 2008. 土动力学参数对设计反应谱的影响[J]. 地震工程与工程振动,28(3):184-188.
李自红. 2006. 太原地区土动剪切模量和阻尼比几种值的合理性比较[J]. 山西地震,(1):29-37.

刘红帅,薄景山,吴兆营,等. 2005. 土体参数对地表加速度峰值和反应谱的影响[J]. 地震研究,28(2):167-171.
刘雪珠,陈国兴,胡庆兴. 2002. 南京地区新近沉积土的动剪切模量和阻尼比的初步研究[J]. 地震工程与工程振动,22(5):127-131.
吕悦军,唐荣余,沙海军. 2003. 渤海海底土类动剪切模量比和阻尼比试验研究[J]. 防灾减灾工程学报,23(2):35-42.
骆亚生,田堪良. 2005. 非饱和黄土的动剪模量和阻尼比[J]. 水利学报,36(7):830-834.
石兆吉. 1989. 土壤的动剪切模量和阻尼比,地震小区划-理论与实践[M]. 北京:地震出版社.
孙静,袁晓铭,孙锐. 2004. 土动剪切模量和阻尼比的推荐值和规范值的合理性比较[J]. 地震工程与工程振动,24(2):125-133.
王绍博,丁海平. 2001. 土动力参数对土层动力反应的影响[J]. 地震工程与工程振动,21(1):105-108.
邢延. 1989. 渤海南部海底土的工程性质[J]. 中国海上油气(工程),1(3):17-25.
徐存森,吴俊壁. 1992. 用扭转单剪/共振柱仪测定空心式样土的动剪切模量[J]. 大坝观测与土工试验,16(1):37-43.
袁晓铭,孙锐,孙静,等. 2000. 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,20(4):133-139.
袁一凡. 1992. 场地影响理论分析中的几个问题[J]//地震工程研究文集-纪念胡聿贤教授从事科学研究 40 年[C]. 北京:地震出版社.
祝龙根,吴晓峰. 1988. 低幅剪应变条件下砂土的动力特性的研究[J]. 大坝观测与土工测试,12(1):27-33.
DB001-94,工程场地地震安全性评价工作规范[S].
GB17503-1998,海上平台场址工程地质勘察规范[S].
GB50011-2010,建筑抗震设计规范[S].
Seed H B, Idriss I M. 1969. The Influence of soil conditions on ground motions during earthquakes[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Divison, ASCE, 95 (SM1): 99-137.
SL237-1999,土工试验规程[S].

**Statistical Value of Dynamic Shear Modulus Ratio and
Damping Ratio of the Soils in Bohai Sea**

LAN Jing-yan¹, LIU Hua-di², LU Yue-jun¹, XIE Zhuo-juan¹

(1. *Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China*)

(2. *CCCC Road and Bridge Consultants Co., Ltd, Beijing 100029, China*)

Abstract

Collecting the borehole records of nearly 40 ocean-platforms in Bohai Sea and combining indoor dynamic triaxial test, we sorted out 372 original data tested by undisturbed soil sample dynamics of the Bohai Sea. By use of the mathematical statistics method, we obtained the average curves and statistical values of dynamic shear modulus and the damping ratios, both of them varied with the shear strain in different soil types and different depth in Bohai Sea. The results could be used as a supplement to the soil dynamics study, was helpful of deepening the understanding about dynamic property of different soil, and provided experience and reference for the seismic safety evaluation of other engineering construction projects in Bohai Sea.

Key words: soil of sea; dynamic shear modulus; damping ratio; Bohai Sea