

文章编号:0559-9350(2009)05-0576-07

增强体复合土动弹性模量影响因素的研究

曾国红¹,白晓红¹,张卫平²,孙 晋³

(1. 太原理工大学 建筑与土木工程学院,山西 太原 030024; 2. 太原市建筑设计研究院,山西 太原 030012;

3. 山西建筑职业技术学院,山西 太原 030006)

摘要:通过水泥土、灰土、水泥砂浆3种增强体复合试样以及纯粉土试样的动三轴试验,研究了不同增强体对土体动弹性模量的影响,讨论了围压、置换率的影响程度。研究发现:增强体的设置使得土体的动弹性模量 E_d 及最大动弹性模量 E_{dmax} 显著提高,复合试样的 E_d 和 E_{dmax} 均随增强体刚度、置换率及围压的增大而增大。在各影响因素中,对水泥砂浆复合试样而言增强体设置对 E_{dmax} 的提高程度最大;置换率增加对 E_{dmax} 的提高程度随围压的增加而降低,且置换率对水泥土增强体复合土的影响最大,对水泥砂浆增强体复合土的影响最小;围压的增加对 E_{dmax} 的提高程度随置换率的增加而减小,低置换率下围压的影响随增强体刚度不同而不同,随着置换率的提高围压对不同增强体复合土的影响逐渐趋于一致。文中同时给出不同增强体、置换率及围压对复合试样 E_{dmax} 的影响规律表达式及各提高系数的回归公式。

关键词:水泥土增强体;灰土增强体;水泥砂浆增强体;复合土;动荷载;动弹性模量;最大动弹性模量

中图分类号: TU472

文献标识码: A

1 研究背景

各类土体的动力特性是岩土工程不可忽视的问题,高速公路、高速铁路路基所承受的交通荷载,海堤、港工建构筑物所承受的波浪荷载,抗震设防地区建筑物地基所承受的地震荷载等,都是土体动力问题的具体反映,我国地域辽阔,存在广大软弱土,各类复合地基均有广泛应用,其中又以水泥搅拌桩等柔性桩复合地基的动力特性较为特殊。由于此类复合地基在加固后桩间土性质并无大的改变,因此经柔性桩处理后的复合地基既有别于未加固前的天然场地,也无法像碎石桩等散体材料桩复合地基那样可借助自由场地的动力分析方法分析,所以,柔性桩复合地基的动力特性及液化特性问题更为复杂。到目前为止,对于水泥土桩、灰土桩等柔性桩复合地基动力性能的研究还不是很多,主要成果有:陈善民等^[1]研究了水泥土的动本构关系,结合一维剪切梁模型进行了复合地基的抗震特性分析;杨广庆^[2]研究了水泥改良土的临界动应力、累计弹塑性变形的变形规律及影响因素;侯永峰等^[3]通过水泥复合土研究了循环应力比、加荷周数等对应变及孔压的影响;蔡袁强等^[4]则着重研究了水泥土复合试样的动模量和阻尼比的变化规律及影响因素;白顺果等^[5]通过室内水泥土桩复合地基模型试验研究了竖向永久变形发展情况。现有文献表明,已展开的相关研究中处理对象为各种黏性土,并且加固材料以水泥居多,鲜见有针对粉土的报道。有鉴于此,本文选用太原地区粉土,对水泥土增强体复合试样、灰土增强体复合试样以及水泥砂浆增强体复合试样的动弹性模量进行研究,通过与纯粉土试样的对比,研究增强体等各种因素对粉土动弹性模量的影响,希望能加深对不同土质动力性能的认识,为进一步开展柔性桩复合地基动力特性及场地地震安全性评价积累基础资料。

收稿日期:2008-09-22

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50578104);山西省自然科学基金资助项目(20041061);太原市专项基金资助项目(07010779)

作者简介:曾国红(1968—),女,福建福清人,副教授,博士生,主要从事地基处理及土体特性研究。E-mail:yz23@tom.com

2 试验方法

所用土样为粉土,取自太原某工地。制备成的复合试样如图 1 所示。复合试样高 80mm,外直径 39.1mm。

通常复合地基的面积置换率一般在 3%~25%之间变化。所以,分别用内径 8mm、12mm、16mm 的不锈钢管模具制备复合土样的增强体芯,芯体材料分别为水泥土、灰土和水泥砂浆,复合试样置换率(m =增强体芯的面积/复合试样的面积 $\times 100\%$)为 4.2%、9.1%、16.7%。水泥土芯掺入比(掺加的水泥量/加固的粉土干重量 $\times 100\%$)为 20%,采用 32.5# 普通水泥,水灰比取 1.5;灰土(普通生石灰与粉土)芯含灰量取 10%,含水率为 25%;水泥砂浆芯采用 M7.5 水泥砂浆,其配比为水泥:砂:水=1:6.11:1.24(质量比);各增强体芯均养护 28d。

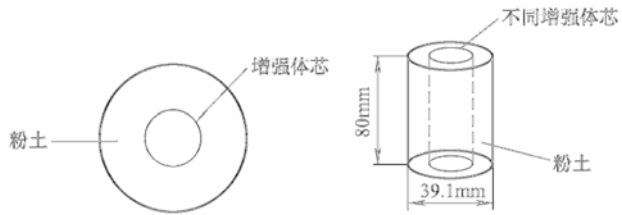


图 1 复合试样示意

按《土工试验方法标准》^[7]中的击实法制备重塑土样,重塑土样的制备需在加各体芯养护至预定龄期前 5 天进行。重塑土样制备完成后,在土样上钻孔,然后将增强体芯压入孔中,完成复合试样的制备。最后将复合试样再养护 5d 后进行动三轴试验。

3 试验结果及分析

3.1 不同增强体复合试样动弹性模量—动应变关系曲线 不同置换率下复合试样的动弹性模量 E_d —动应变 ε_d 关系曲线规律基本相同。图 2 为纯粉土试样及不同增强体复合试样的动弹性模量—动应变典型关系曲线(置换率 $m=9.1\%$,围压 $\sigma_3=100\text{kPa}$ 和 $\sigma_3=200\text{kPa}$ 时)。

由图 2 可以看出,水泥土增强体复合试样、灰土增强体复合试样、水泥砂浆增强体复合试样的动弹性模量—动应变关系曲线,形状与纯粉土试样的相关曲线形状基本一致。从各组曲线中的数值及曲线排列情况可以看到,动弹性模量值的大小与应变幅值和围压(σ_3)有关,不同增强体复合土的动弹性模量值均随动应变的增大而降低;在相同的动应变水平下,复合试样及纯粉土试样的动弹模量随围压的增大而增大;同时,与纯粉土试样相比,3 种不同增强体复合试样的动弹性模量都有提高,并且因增强体刚度不同,其提高的程度有所不同。增强体刚度越大,复合试样动弹性模量越大。

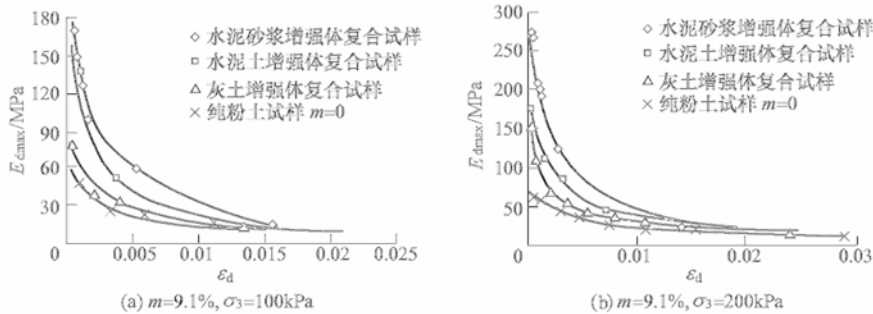


图 2 不同增强体复合试样 E_d — ε_d 关系曲线

3.2 增强体复合试样的最大动弹性模量 此外,由 E_d — ε_d 关系曲线在 $\varepsilon_d=0$ 处的截距可得到不同情况下的最大动弹性模量^[9] E_{dmax} 。图 3 所示为置换率 $m=9.1\%$,含水率 $w=14.26\%$,干密度 $\rho_d=1.6\text{g/cm}^3$ 时不同增强体复合试样 E_{dmax} — σ_3 典型关系曲线。

各复合试样的最大动弹模量见表 1。影响动弹模量的因素同样也会影响到最大动弹模量值,由表

中数值可知,随着增强体的设置,土体的最大动弹性模量得以提高,其提高的程度随增强体刚度的不同、置换率的不同及围压的不同而有所不同。

表 1 纯土及复合试样最大动弹性模量试验值

置换率 m	0%(纯粉土试样)			4.2%			9.1%			16.7%		
围压 kPa	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100	150	200
灰土增强体复合试样 E_{dmax}				88.6	118.7	147.6	130.4	166.6	191.3	171.4	187.8	222.0
水泥土增强体复合试样 E_{dmax}	57.4	59.6	75.1	89.0	139.2	177.7	194.5	226.4	276.4	260.1	288.1	312.4
水泥砂浆增强体复合试样 E_{dmax}				156.0	284.3	325.1	245.1	340.8	386.1	318.3	346.2	393.0

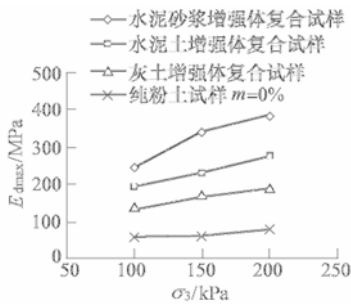


图 3 不同增强体复合试样 E_{dmax} — σ_3 关系曲线

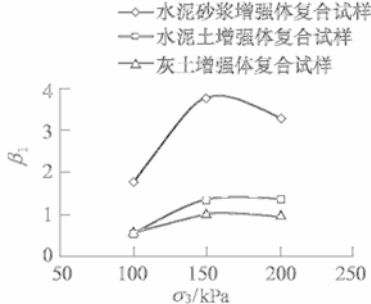


图 4 增强体设置对 E_{dmax} 的提高系数 β_1

表 2 增强体设置对 E_{dmax} 的提高系数 β_1

围压 kPa	100	150	200
灰土增强体复合试样	0.54	0.99	0.97
水泥土增强体复合试样	0.55	1.34	1.37
水泥砂浆增强体复合试样	1.72	3.77	3.33

表 3 增强体置换率对 E_{dmax} 的提高系数 β_2

置换率	$m=9.1\%$			$m=16.7\%$		
围压 kPa	100	150	200	100	150	200
灰土增强体复合试样	0.47	0.40	0.30	0.93	0.58	0.50
水泥土增强体复合试样	1.19	0.63	0.55	1.92	1.07	0.76
水泥砂浆增强体复合试样	0.57	0.20	0.19	1.04	0.22	0.21

3.3 影响复合试样最大动弹性模量的因素 为了更好地体现不同因素对最大动弹性模量的影响程度,在此对表 1 作不同处理后进行讨论。

(1)增强体的影响。因复合地基的面积置换率至少在 3% 以上,所以将 3 种增强体复合试样在 $m=4.2\%$ 时的 E_{dmax} 分别与相同围压情况纯粉土试样的 E_{dmax} 相比,就可以得到某一围压情况下由于增强体设置而对土体 E_{dmax} 产生的影响。在此以系数 β_1 来评价增强体的设置对最大动模量 E_{dmax} 的提高程度,称为提高系数 β_1 ,即:

$$\text{提高系数 } \beta_1 = \frac{\text{增强体复合试样在 } m = 4.2\% \text{ 时的 } E_{dmax}}{\text{纯粉土试样在相同围压下的 } E_{dmax}} - 1 \tag{1}$$

提高系数 β_1 计算结果如表 2 及图 4 所示。从表 2 及图 4 可以看到,增强体的设置使得土体的最大动弹性模量有明显提高, E_{dmax} 的提高程度与增强体的刚度有关,增强体芯的刚度越大, β_1 值越大。水泥砂浆增强体带来的 E_{dmax} 提高程度最大,水泥土增强体次之,灰土增强体带来的提高系数最小。图 4 中各曲线还表明 β_1 值与围压的大小也有关系。此外,水泥砂浆增强体的设置对 E_{dmax} 的影响程度及与围压的关系明显不同于其它两种增强体芯。

(2)置换率的影响。为了单纯考虑置换率的影响,将 $m=9.1\%$ 、 $m=16.7\%$ 时各增强体复合试样的 E_{dmax} 分别与相同增强体芯、相同围压情况下、 $m=4.2\%$ 时的 E_{dmax} 相比,可以得到由于增强体置换率的增加对土体 E_{dmax} 的影响。在此以系数 β_2 来评价增强体置换率增加对最大动模量 E_{dmax} 的提高程度,称为提高系数 β_2 ,即:

$$\text{提高系数 } \beta_2 = \frac{\text{增强体复合试样在 } m = 9.1\% \text{ 或 } m = 16.7\% \text{ 时的 } E_{d\max}}{\text{相同围压下 } m = 4.2\% \text{ 时复合试样的 } E_{d\max}} - 1 \quad (2)$$

提高系数 β_2 计算结果如表 3 及图 5 所示。从图形及表中数值可以看到,随着置换率的增加, β_2 值也在提高,也就是说,增强体置换率越高复合试样 $E_{d\max}$ 值越大。

从图中曲线排列顺序及数值大小还可看出,置换率增加对水泥土增强体复合试样 $E_{d\max}$ 的影响最大,低围压下尤其显著。反观水泥砂浆增强体复合试样,置换率对 $E_{d\max}$ 的影响最小,甚至小于灰土增强体复合试样。这说明,对于刚度较大的增强体, $E_{d\max}$ 的提高主要体现在增强体的设置上,而置换率的影响则相应地退到次要的位置。

比较表 3 或图 5(a)~(c)中数值我们还可以看到,无论何种增强体复合试样,随着围压的增加,增强体置换率对 $E_{d\max}$ 的提高系数 β_2 值都在减小,说明随着围压的增加置换率的影响在降低。

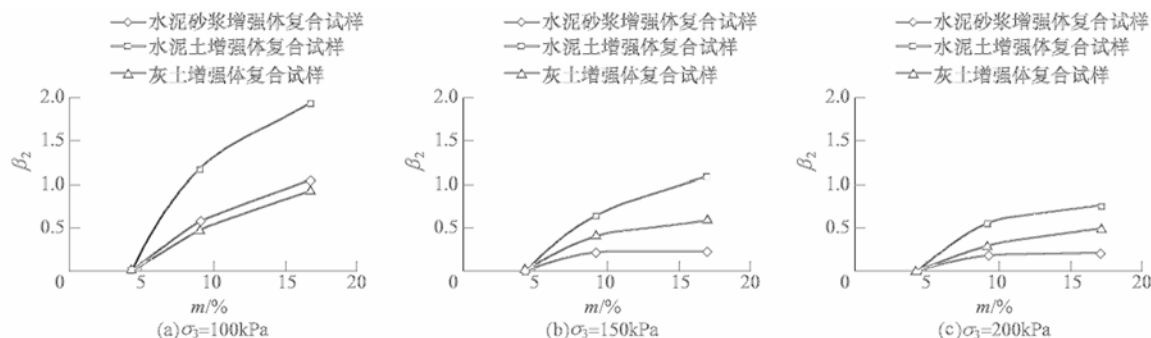


图 5 不同围压下增强体置换率对 $E_{d\max}$ 的提高系数 β_2

(3) 围压的影响。为了单纯考虑围压的作用,排除增强体及置换率不同带来的影响,将表 1 中同种增强体复合试样在 $\sigma_3 = 150 \text{ kPa}$ 、 $\sigma_3 = 200 \text{ kPa}$ 时的 $E_{d\max}$ 分别与同等置换率下围压 $\sigma_3 = 100 \text{ kPa}$ 时的 $E_{d\max}$ 相比,就得到了围压对土体 $E_{d\max}$ 的影响。在此以系数 β_3 来评价围压增加对 $E_{d\max}$ 的提高程度,称为提高系数 β_3 ,即:

$$\text{提高系数 } \beta_3 = \frac{\text{纯土或复合试样 } E_{d\max}}{\text{同等置换率下 } \sigma_3 = 100 \text{ kPa 时的 } E_{d\max}} - 1 \quad (3)$$

提高系数 β_3 计算结果如表 4 及图 6 所示。

表 4 围压的增加对 $E_{d\max}$ 的提高系数 β_3

置换率 m	0%(纯粉土试样)			4.2%			9.1%			16.7%		
围压 kPa	100	150	200	100	150	200	100	150	200	100	150	200
灰土增强体复合试样	0	0.04	0.31	0	0.34	0.67	0	0.28	0.47	0	0.10	0.30
水泥土增强体复合试样	0	0.04	0.31	0	0.56	1.00	0	0.16	0.42	0	0.11	0.20
水泥砂浆增强体复合试样	0	0.04	0.03	0	0.82	1.08	0	0.39	0.58	0	0.09	0.23

表 4 及图 6 表明, β_3 随围压的增加而增加,即围压的增加使 $E_{d\max}$ 增加。在置换率低的时候,围压的影响较大,随着置换率的提高,围压的影响程度降低。此外,在低置换率下,围压对不同增强体复合试样 $E_{d\max}$ 的提高程度随增强体刚度不同而显著不同,但随着置换率的提高,围压对不同增强体复合试样 $E_{d\max}$ 的影响逐渐趋于一致。

(4) 各因素对土体 $E_{d\max}$ 的综合影响。综合本次试验结果,可以将不同增强体复合试样 $E_{d\max}$ 的规律表述如下:

$$E_{d\max} = E_{d\max\text{纯土}} + \text{增强体影响} + \text{置换率影响} + \text{围压影响} \quad (4)$$

或

$$E_{d\max} = E_{d\max\text{纯土}} (1 + \beta_1)(1 + \beta_2)(1 + \beta_3) \quad (5)$$

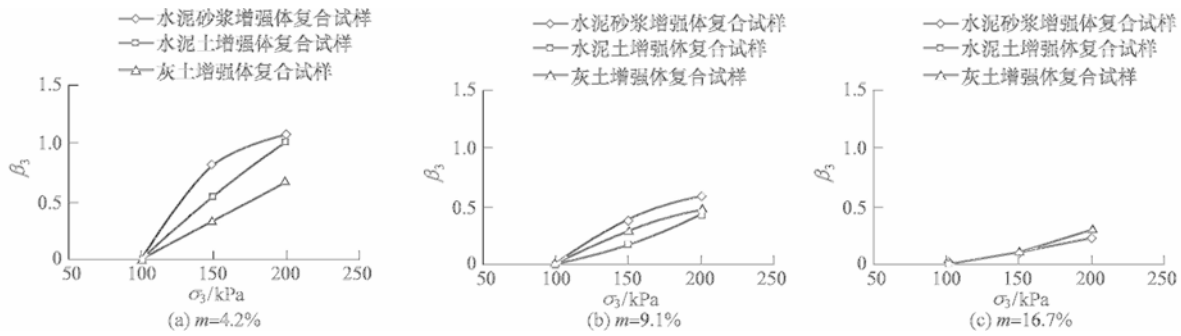


图6 不同置换率下围压对 E_{dmax} 的提高系数 β_3

其中: E_{dmax} 为增强体复合试样的最大动弹性模量; $E_{dmax\text{纯土}}$ 为纯粉土试样在 $\sigma_3=100\text{kPa}$ 时的 E_{dmax} 值; β_1 为同围压时增强体设置对 E_{dmax} 的提高系数; β_2 为同围压时增强体置换率增加对 E_{dmax} 的提高系数; β_3 为围压增加对 E_{dmax} 的提高系数。

将本次试验各提高系数的变化范围综合在表5中,各提高系数的回归公式如表6所示。

表5 不同提高系数的变化范围

	纯土	灰土增强体复合试样	水泥土增强体复合试样	水泥砂浆增强体复合试样
β_1	—	0.54~0.97	0.55~1.37	1.72~3.77
β_2	—	0~0.93	0~1.92	0~1.04
β_3	0.04~0.31	0~0.67	0~1.00	0~1.08

表6 不同提高系数的回归公式

提高系数	水泥土增强体复合试样	灰土增强体复合试样	水泥砂浆增强体复合试样
β_1	$(-1.52\sigma_3^2 + 538\sigma_3 - 33\ 100) \times 10^{-4}$	$(-0.94\sigma_3^2 + 325\sigma_3 - 17\ 700) \times 10^{-4}$	$(-4.98\sigma_3^2 + 1\ 655\sigma_3 - 98\ 500) \times 10^{-4}$
$\sigma_3=100\text{kPa}$	$(-11.74m^2 + 399.06m - 1468.87) \times 10^{-3}$	$(-2.83m^2 + 133.58m - 511.07) \times 10^{-3}$	$(-4.36m^2 + 174.3m - 655.16) \times 10^{-3}$
β_2	$\sigma_3=150\text{kPa}$ $(-5.65m^2 + 203.77m - 756.1) \times 10^{-3}$	$(-4.64m^2 + 143.29m - 520.04) \times 10^{-3}$	$(-3.05m^2 + 81.44m - 288.18) \times 10^{-3}$
	$\sigma_3=200\text{kPa}$ $(-6.77m^2 + 202.27m - 730.14) \times 10^{-3}$	$(-2.79m^2 + 98.37m - 363.88) \times 10^{-3}$	$(-2.89m^2 + 77.23m - 273.37) \times 10^{-3}$
	$m=4.2\%$ $(-0.24\sigma_3^2 + 172\sigma_3 - 14\ 800) \times 10^{-4}$	$(-0.02\sigma_3^2 + 73\sigma_3 - 7\ 100) \times 10^{-4}$	$(-1.12\sigma_3^2 + 444\sigma_3 - 33\ 300) \times 10^{-4}$
β_3	$m=9.1\%$ $(-0.2\sigma_3^2 - 18\sigma_3 - 200) \times 10^{-4}$	$(-0.18\sigma_3^2 + 101\sigma_3 - 8\ 300) \times 10^{-4}$	$(-0.4\sigma_3^2 + 178\sigma_3 - 13\ 800) \times 10^{-4}$
	$m=16.7\%$	3种增强体可使用同一公式 $(8.66667\sigma_3^2 - 166.667\sigma_3 - 70\ 000) \times 10^{-6}$	

注:表中 σ_3^3 为围压,单位 kPa ; m 为增强体置换率,代入表中公式时省去%。

表7 水泥土增强体复合试样最大动弹性模量预测值与试验值对比

E_{dmax}	预测值 实验值			预测值 实验值			预测值 实验值		
置换率 m	4.2%			9.1%			16.7%		
围压 kPa	100	150	200	100	150	200	100	150	200
蔡袁强等 ^[4] 预测公式(见式(6))	0.7403	0.4915	0.4851	0.3897	0.3476	0.3588	0.3505	0.3285	0.3818
本文预测公式(见表5)	0.9998	0.9972	1.0014	1.0019	0.9985	1.0012	0.9993	0.9923	0.9984

4 讨论

试验结果表明,定性地来讲,应变幅值、置换率、围压这几个因素对于各种增强体复合试样动弹模量的影响是基本相同的,只是程度会随着增强体的不同而不同。相似的影响规律也可以在蔡袁强^[4]针对萧山黏性土进行的水泥土复合试样动力特性研究中看到。

另外,蔡袁强等^[4]提出萧山水泥土复合体最大动弹模量的推导公式:

$$E_{dmax\text{复合样}} = E_{dmax} \left[1 + m \left(\frac{3.525 - A}{1 + \theta^{\frac{\sigma_3 - 2.825}{0.425}}} + A \right) \right] \quad (6)$$

式中： E_{dmax} 为相同围压下纯黏土最大动弹模量 σ_3 以 10^5Pa 表示； θ 为自然对数， A 为试验常数，取值 1.738。

将本文的回归公式与蔡袁强公式^[4]相比较，分别代入本次试验数据后得到表 7，可以看到，蔡袁强公式^[4]用于太原地区粉土具有一定的偏差，而本文预测公式(式(5)及表 6)对试验数据具有很高的拟合性。当然，这样的差异主要来源于黏性土与粉土土性的不同；其次，试样尺寸、试验仪器等的影响也不容忽视。由此可见，要想掌握复合土动力特性，必须针对不同的复合土体进行大量的试验研究及积累。

5 结语

对水泥土增强体复合试样、灰土增强体复合试样以及水泥砂浆增强体复合试样的动弹性模量及最大动弹性模量的试验研究表明：

(1) 3 种不同增强体复合试样的动弹性模量—动应变关系曲线形状与纯粉土试样的相关曲线形状基本一致，动弹性模量值的大小与应变幅值和围压有关。与纯粉土试样相比，不同增强体复合试样的动弹性模量 E_d 都有显著提高，并且因增强体刚度不同，其提高的程度有所不同。增强体刚度越大，复合试样动弹性模量越大。

(2) 随着增强体的设置，土体的最大动弹性模量 E_{dmax} 得以提高，其值随增强体刚度的增大而增大，随置换率的增大而增大，随围压的增大而增大；

(3) 在 E_{dmax} 的各影响因素中，对水泥砂浆增强体复合土而言，增强体设置对 E_{dmax} 的影响最大；置换率的影响随围压的增加而降低，且置换率对水泥土增强体复合土的影响最大，对水泥砂浆增强体复合土的影响最小；围压的影响随置换率的增加而减小，低置换率下围压的影响随增强体刚度不同而不同，随着置换率的提高围压对不同增强体复合土的影响逐渐趋于一致。

(4) 可以将增强体、置换率及围压对复合试样 E_{dmax} 的影响规律表述如下：

$$E_{dmax} = E_{dmax\text{纯土}} + \text{增强体影响} + \text{置换率影响} + \text{围压影响}$$

或

$$E_{dmax} = E_{dmax\text{纯土}} (1 + \beta_1)(1 + \beta_2)(1 + \beta_3)$$

其中： E_{dmax} 为增强体复合试样的最大动弹性模量， $E_{dmax\text{纯土}}$ 为纯粉土试样在 $\sigma_3 = 100 \text{kPa}$ 时的 E_{dmax} 值， β_1 为同围压时增强体设置对 E_{dmax} 的提高系数， β_2 为同围压时增强体置换率增加对 E_{dmax} 的提高系数， β_3 为围压增加对 E_{dmax} 的提高系数。

(5) 本文定性地给出了各因素的影响规律，并给出了基于本次试验的回归公式，可供选取复合土体动力参数时参考。但需要说明的是，增强体、置换率及围压等因素对复合试样 E_d 及 E_{dmax} 的影响复杂且相互关联，本文又是在小尺寸试验条件下得出，因此，各因素影响程度的准确数学模型还有待进一步研究。

参 考 文 献：

- [1] 陈善民,王立忠,李挺,等.水泥土动力特性室内试验及复合地基抗震特性分析[J].浙江大学学报(工学版), 2000,34(4):398—403.
- [2] 杨广庆.水泥改良土的动力特性试验研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(7):1156—1160.
- [3] 侯永峰,张航,周建,等.循环荷载作用下水泥复合土变形性状试验研究[J].岩土工程学报,2001,23(3):288—291.
- [4] 蔡袁强,梁旭,李坤.水泥土—土复合试样的动力特性[J].水利学报,2003(10):19—25.

- [5] 白顺果,侯永峰,张鸿儒.循环荷载作用下水泥土复合地基的临界循环应力比和永久变形分析[J].岩土工程学报,2006,28(1): 84—87.
- [6] 刘松玉,钱国超,章定文.粉喷桩复合地基理论与工程应用[M].北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [7] GB/T50123—1999,土工试验方法标准[S].
- [8] Hardin B O, Drnevich V P. Shear modulus and damping ratio in soil: Design equations and curves[J]. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Engineering Division, American Society of Civil Engineering, 1972, 98(7):667—691.
- [9] 谢定义.土动力学[M].西安:西安交通大学出版社,1988.
- [10] 何昌荣.动模量和阻尼的动三轴试验研究[J].岩土工程学报,1997,19(2):39—48.
- [11] 贺建清,阳军生,靳明.循环荷载作用下掺土煤矸石力学性状试验研究[J].岩石力学与工程学报,2008,27(1):199—20.
- [12] 袁晓铭,孙锐,孙静,等.常规土类动剪切模量比和阻尼比试验研究[J].地震工程与工程振动,2000,20(4):133—139.

Experimental study on factors influencing the dynamic elastic modulus of composite soil with different reinforcements

ZENG Gouzhong¹, BAI Xiaohong¹, ZHANG Weiping², SUN Jin³

(1. College of Architecture and Civil Engineering, Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China;

2. Taiyuan Institute of Architecture Design and Research, Taiyuan 030012, China;

3. Shanxi Architecture Technical College, Taiyuan 030006, China)

Abstract: The effect of composite soil with different reinforcement, including the cement-soil, lime-soil and cement mortar, on dynamic elastic modulus of soil was experimentally studied by dynamic triaxial test. It is found that the reinforcement remarkably elevate the soil dynamic elastic modulus E_d and maximum dynamic elastic modulus E_{dmax} , and these moduli increase following the increase of stiffness of reinforcement, replacement ratio and confining pressure. Among these three kinds of reinforcement to be study, the effect of cement mortar reinforcement on elevating E_{dmax} is the most. The effect of replacement increase on E_{dmax} decreases as the confining pressure increases. The replacement ratio has the greatest effect upon the composite silt with cement-soil reinforcement but the smallest effect upon those with cement mortar reinforcement. The effect of confining pressure decreases as replacement ratio increases, and it varies by different reinforcement at lower replacement ratio. However, following the increase of replacement ratio the influence of confining pressure on different reinforced composite soils tends to a same level. The formulas of E_{dmax} for different kinds of reinforcement with replacement ratio and confining pressure taken into account are given.

Key words: composite soil; reinforcement; dynamic elastic modulus; influencing factors

(责任编辑:李琳)