

京沪高铁软土地基物理力学参数的选取方法

马正文¹, 周春梅²

(1. 中铁第四勘察设计院集团有限公司地质路基设计研究处, 湖北 武汉 430063;

2. 武汉工程大学环境与城市建设学院, 湖北 武汉 430074)

摘 要:软土地基沉降估算的准确性和可靠性,在很大程度上取决于计算参数的准确性. 为了合理选取计算参数,在试验工点进行钻探取样、土工试验及多种原位测试手段的综合勘探. 通过对不同手段获得的地基土参数的对比分析,提出了较为合理的地基土物理力学设计参数选取方法,对软土地基沉降预测具有一定的参考价值.

关键词:软土地基;参数选取;原位测试

中图分类号:TU443

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2011.01.010

0 引 言

地基沉降估算的准确性和可靠性取决于计算模式和计算参数两个重要因素,在某种程度上,计算参数比计算模式更重要. 这就对路基地基的工程地质勘察精度和地基设计计算参数选取等,提出了更高的要求. 京沪高速铁路沿线分布有大量软土地基,软土路基占全线总长 26.55%;而软土因具有天然含水量高、压缩性大、渗透性小、强度低、易发生流变、结构灵敏度高等特点^[1-3],路基沉降更为显著.

本文以京沪高速铁路昆山试验点软土为研究对象,对试验工点进行钻探取样、土工试验及多种原位测试手段的综合勘探,在综合分析不同手段获得的地基土参数基础上,提出相对合适的地基土物理力学设计参数选取方法.

1 研究区软土工程性质

1.1 工程地质性质

研究区地层为湖沼积成因,由流入湖中的水流挟带来的细粒物质和可溶性盐类及湖岸边受波浪冲击而坍塌的岸边物质堆积而成. 湖积土的产状特点具有比较规则而明显水平层理,成层一般较薄. 分布的宽度范围变化很大,从数十米到数千米不等,软土层厚度、埋深变化亦很大,其厚度一般在 3~20 m 之间,埋深一般在 1~5 m,部分地段埋深较大,最大达 12 m 左右,在空间上的变化更加复杂. 其岩性为淤泥质黏土、粉质黏土,并多夹

薄层粉砂或与薄层粉砂互层,呈千层饼状.

按其物理力学性质的差异,可划分为三个主要层次,同时根据土性的不同,将第 3 层可分为 5 个亚层,各层地层岩性自上而下分述如下:

a. 黏土,灰黄色,软~硬塑,夹有少量铁锰结核,表层 0.2~0.5 m 为种植土,含有植物根系,该层厚 0.76~3.60 m,属中等压缩性土,工点范围广泛分布.

b. 淤泥质粉质黏土,深灰色,流塑,含少量腐植物,局部夹有薄层粉砂,具高压缩性、低强度的特点,且大多数灵敏度超过 16,为流动黏土,具高触变性,工点范围广泛分布,厚 3.2~16.5 m.

c. 黏土,粉质黏土,局部夹薄层粉砂,呈交错断续沉积,层理清晰,分布如下:

①粉质黏土夹薄层粉砂,绿灰色,软塑,厚 0~4.1 m,分布于 0+000~0+475. 具中等压缩性.

②黏土,深灰色~浅灰色,硬塑,厚 0~8.1 m,呈透镜体分布于 0+090~+315,呈透镜体分布. 属中等偏低压缩性土.

③黏土,灰绿色,黑灰色,软塑~硬塑,厚 0~7.4 m,分布于 0+405~0+845,层位较为稳定. 属中等偏低压缩性土.

④粉质黏土局部夹薄层粉砂或黏土,灰黄色,软~硬塑,厚 0~5.4 m,分布于 0+405~0+845,层位较为稳定. 属中等偏低压缩性土.

⑤粉质黏土,浅灰色,灰黄色,软塑,厚 0~9.8 m,分布于 0+405~0+845,层位较为稳定. 属中等压缩性土.

收稿日期:2010-11-12

基金项目:国家自然科学基金青年基金项目(41002112);湖北省教育厅中青年人才项目(Q20101509)

作者简介:马正文(1975-),男,湖北浠水人,工程师. 研究方向:铁路工程地质勘察设计.

1.2 地基土物性参数

本文对京沪线昆山试验点地基土进行了研

究,试验点软土物性指标统计结果见表 1,表 2.

表 1 昆山试验点物性指标统计结果

Table 1 Statistical results of physical index, Kunshan experimental sites

指标名称	单位	指标值	地层						
			1	2	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5
天然含水率 w	%	均值	31.9	44.0	35.0	26.0	24.5	35.5	36.4
		变异系数	0.088	0.14	0.20	0.18	0.068	0.21	0.12
颗粒密度 ρ_s	g/cm^3	均值	2.75	2.73	2.73	2.73	2.75	2.72	2.72
		变异系数	0.007	0.005	0.006	0.004	0.004	0.005	0.006
天然孔隙比 e		均值	0.89	1.22	0.97	0.73	0.69	0.98	0.99
		变异系数	0.081	0.15	0.19	0.17	0.083	0.21	0.11
液限 WL	%	均值	40.9	35.8	33.2	33.5	36.2		34.8
		变异系数	0.12	0.10	0.19	0.054	0.099		0.099
塑限 WP	%	均值	19.7	19.9	19.8	16.4	17.1		20.4
		变异系数	0.12	0.078	0.16	0.17	0.13		0.11
塑性指数 IP		均值	21.1	16.0	15.5	17.0	19.1		14.4
		变异系数	0.29	0.21	0.30	0.13	0.16		0.27
液性指数 IP		均值	0.62	1.53	0.95	0.58	0.39		1.09
		变异系数	0.42	0.24	0.33	0.33	0.41		0.34

表 2 相关力学参数统计结果

Table 2 Statistical results of related mechanical parameters

	统计组数	最大值	最小值	平均值	标准差	变异系数
压缩系数/ MPa^{-1}	66	2.98	0.17	0.87	0.48	0.55
不排水抗剪强度/ kPa	4	45	12	24.3		

由表 1、2 可以看出,地基土天然含水率、天然孔隙比、液限、液性指数随深度变化较大,颗粒密度、天然孔隙比、塑限、塑性指数随深度变化较小;各物性指标统计值的变异系数较小,随深度的变化不大.该软土天然孔隙比大于 1,天然含水量均值大于液限,压缩系数大于 0.5 MPa^{-1} ,不排水抗剪强度小于 30 kPa ,符合《岩土工程勘察规范》中软土判定的条件.第 2 层软土的含水率及孔隙比较高,其算术平均值分别达到了 44.0% 和 1.22 ,属典型软土.研究区软土物理性质具有高含水率、高孔隙比、高压缩性、低强度的特征.

2 物理力学参数选取方法

2.1 物理力学参数选取的几种方法

- 2.1.1 常规的统计土力学方法
- 岩土参数按工程地质单元、层位,采用概率统计方法计算出统计量,并按 t 函数分布,估算规定保证限下总体平均值的单侧置信限.采用的失效概率一般为 0.05 .
- 2.1.2 综合分析法
- 综合分析得到的资料,包括地质背景的、室内试验的、原位测试的及地区性经验的,分析这些资料差异的原因,并对可能偏高偏低的参数作出判断,提出合理的设计参数.
- 2.1.3 反演分析法
- 根据实际工程的监测资料,用反演分析法对岩土参数在工程实体宏观水

平上进行反算,检验室内土工与原位试验所提供参数的可靠性与准确性.

本文对监测资料进行反演分析,并认为反演得到的结果最接近于实际;利用反演得到的结果对土工试验、原位测试结果进行验证,以选取确定合理的参数选择.

2.2 试验工点原位测试

在昆山试验点,选取 $0+160$ 、 $0+574$ 、 $0+725$ 三个综合勘探横断面,采用静力触探(单桥、双桥)、孔压静力触探、十字板剪切、应力铲、螺旋板载荷试验等原位测试手段,结合机动钻探及土工试验进行综合勘察对比.勘探点平面布置见图 1.

2.3 参数反演

参数反演,是相对于正分析而言,通过已知的应力应变等物理量及相应的分析理论,反求物理力学参数^[4-5].土的沉降计算中,所需的已知参数有压缩系数、压缩模量、孔隙比、上覆荷载、侧膨胀系数、侧压力系数、超固结比、固结系数等^[6].本文根据现场试验得到的结果对相关参数进行反演分析,现以软土沉降计算的关键参数:压缩模量、水平向固结系数的反演为例.对于压缩模量 E_s 和水平向固结系数 C_{α} ,可以通过公式(1)~(4)^[7]推导得出.

$$C_v = \frac{k(1+e_1)}{a\gamma_w}$$

(1)

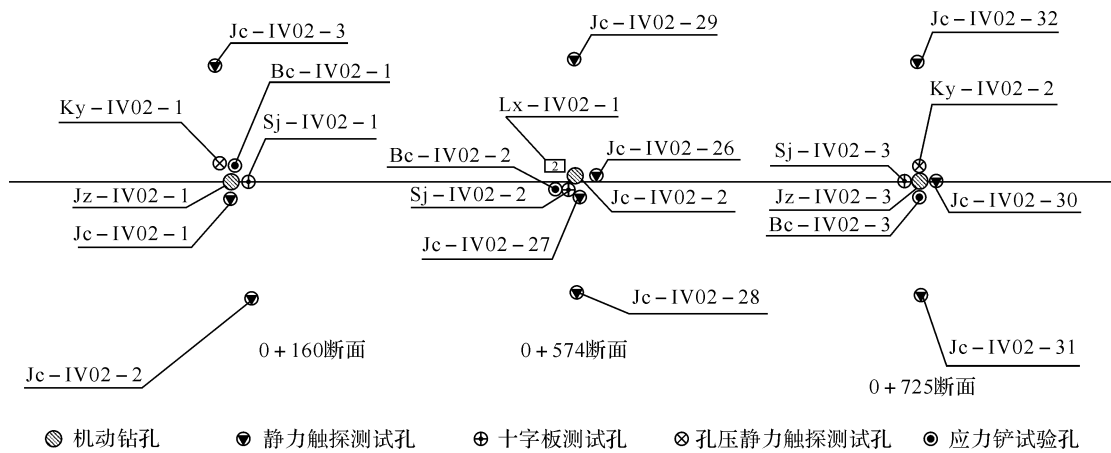


图 1 昆山试验点代表性断面勘探点平面布置图

Fig. 1 Plane layout of representaive section exploration sites, Kunshan experimental sites

$$C_{v2}=\frac{1+K_0}{2}C_v$$
 (2)

$$C_{v2}=\frac{1+2K_0}{3}C_v$$
 (3)

$$K=\frac{\sigma_x}{\sigma_z}$$
 (4)

式(3)(4)中:渗流固结前土的孔隙比 e_1 、土的压缩系数 α 、土的渗透系数 k 和土的侧向压力 σ_x 、竖向

压力 σ_z 可直接通过室内和现场试验得到求得. 压缩模量 E_s 和水平向固结系数 $C_{\alpha\alpha}$ 反演分析的结果如表 3、表 4 所示.

2.4 土工试验与原位测试结果比较

本文对昆山试验点软土的压缩模量和水平向固结系数的反演分析结果与几种试验方法的结果进行比较,结果如表 3.

表 3 各种方法得到的软土压缩模量结果对比表

Table 3 Comparison to the soft clay compression moldulus obtained by several methods

断面 里程	软土 厚/m	路堤填 高/m	填筑荷载/ kPa	地基处理方法	实测分层 沉降/m	压缩模量/MPa				
						土工试验①	静力触探②	反演③	①/③	②/③
0+342	16.5	6.09	122.8	真空预压, 塑料排水板, 间距	169.3	1.4	2.72	2.3	0.61	1.18
0+448	11.8	6.25	127.4	1.2 m, 梅花型布置	74.9	2.78	2.23	4.0	0.70	0.56
0+535	7.2	7.6	148.8	塑料排水板, 间距 1.8 m, 梅花型	4.82	2.78	2.85	2.28	1.22	1.25
0+573	5	7.6	149.4	布置, 超载 1.8 m	37.7	4.32	1.9	3.13	1.38	0.61
0+628	4.5	6.88	135.4	塑料排水板, 间距 1.2 m, 梅花型	18.3	3.45	2.9	3.17	1.09	0.91
0+681	4.0	6.88	135.4	布置, 超载 1.2 m	12.0	3.08	2.6	4.65	0.66	0.56

室内土工试验得到的压缩模量为反演结果的 0.61~1.38 倍, 平均 1.00 倍, 静力触探得到的压缩模量为反演结果的 0.56~1.57 倍, 平均 0.92 倍. 总的来看, 室内土工试验得到的压缩模量与实测沉降反演得到的压缩模量平均值基本相等, 静

力触探得到的压缩模量比实测沉降反演得到的压缩模量小. 因而压缩模量可采用室内实验得到的平均值作为沉降计算的依据.

各种方法得到的软土水平向固结系数对比见表 4.

表 4 各种方法得到的软土水平向固结系数对比

Table 4 Comparison to horizontal consolidation coefficient obtained by the methods above mentioned (10⁻³cm²/s)

断面里程	地基类型	室内土工 试验①	原位测试		实测反演		①/④	①/⑤
			孔压静力触探②	应力铲③	孔隙水压力法④	沉降三点法⑤		
0+535	超载预压, 塑料排水板间	0.743			0.739	1.385	1.01	0.54
0+573	距 1.2 m, 超载 1.2 m	0.535		43.5	0.478	2.160	1.12	0.25
0+628	超载预压, 塑料排水板间	0.535			0.422	1.142	1.27	0.47
0+681	距 1.8 m, 超载 1.8 m	0.535			0.273	0.746	1.96	0.72
0+735	砂桩等载预压	0.483	45.2	25.3	0.524	1.195	0.92	0.40
0+785		0.483			0.117	1.363	4.13	0.35
0+825	砂桩超载预压	0.483			0.344	0.890	1.40	0.54

由表 4 可知, 孔隙水压力法与沉降三点法反演得到的水平向固结系数悬殊较大, 而沉降三点法具有较高的推算精度^[8], 因而可以沉降三点法

反演的数据为参考标准. 土工试验得到的软土水平向固结系数普遍比用实测沉降反演的固结系数小, 为其 0.25~0.72 倍, 平均 0.47 倍, 其结果用

于设计偏于安全.若采用室内土工实验平均值的 2 倍作为设计值,即 0.94 倍,仍然偏于安全.孔压静力触探和应力铲得到的结果比室内土工试验和实测反演结果均大很多,故不予采用.可见土工试验所得大部分参数具有较高的可靠性,但由于取样及室内试验的局限性,完全依靠土工试验参数也是不合理的.软土地基设计参数的选取可在土工参数统计分析的基础上、结合地质背景、原位测试、地区经验综合分析后进行.

3 结论及建议

- a. 室内土工试验得到的压缩模量与实测沉降反演得到的压缩模量平均值基本相等,静力触探得到的压缩模量比实测沉降反演得到的压缩模量略小.可采用室内试验得到的压缩模量统计平均值作设计依据.
- b. 室内土工试验得到的软土水平向固结系数普遍比用实测沉降反演的固结系数小,为其 0.25~0.72 倍(平均 0.47 倍),其结果用于设计偏于安全,但过于保守;若采用平均值的 2 倍,即 0.94 倍,则更为可靠且仍偏于安全.孔压静力触探和应力铲得到的结果比室内土工试验和实测反演结果均大很多,故不予采用.
- c. 土工试验所得的大部分参数具有较高的可靠性,但由于取样及室内试验的局限性,完全依靠土工试验参数也是不合理的.软土地基设计参数的选取可在土工参数统计分析的基础上、结合地质背景、原位测试、地区经验综合分析后进行,提

出合理的设计参数.

d. 研究区软土产状具有成层的特点,不同土层物理力学性质差异较大,因而对室内土工试验成果在进行指标统计前,应根据地层的成因、时代、物理力学特征等进行分析,划分工程地质单元体(分层),然后按照各单元体分别进行资料的汇总统计.

参考文献:

[1] 刘勇健,李彰明,伍四明,等.南沙地区软土物理力学性质指标与微结构参数的统计分析[J].广东工业大学学报,2010,6(2):21-26.

[2] 陈晓平,黄国怡.珠江三角洲软土特性研究[J].岩石力学与工程学报,2003,22(1):137-141.

[3] 颜庆智,付长波,饶江,等.东营软土工程特性及参数相关方程[J].中国石油大学学报:自然科学版,2010,6(3):130-134.

[4] 向衍,苏怀智,吴中如.基于大坝安全监测资料的物理力学参数反演[J].水利学报,2004,8(8):1-6.

[5] 张春会.基坑开挖的数值模拟及土体本构模型和参数反演研究[D].青岛:中国海洋大学,2007.

[6] 折学森.软土地基沉降计算[M].北京:人民交通出版社,1998.

[7] 方云,林彤,谭松林.土力学[M].武汉:中国地质大学出版社,2003.

[8] 周全能.软土路基后期沉降推算方法及误差分析[J].岩土力学,2007,3(3):512-516.

[9] 高大钊.软土地基理论与实践[M].北京:中国建筑工业出版社,1992.

[10] 杨顺安,冯晓腊,张聪辰.软土理论与工程[M].北京:地质出版社,2000.

Discussion on selection of physical and mechanical parameters for Jing-Hu high speed railway soft foundations

MA Zheng-wen¹, ZHOU Chun-mei²

(1. Department of Geological Roadbed Design, China Railway Siyuan Survey and Design Group CO., Ltd. Wuhan 430063, China;

2. School of Environment and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: To a great extent, the veracity and reliability of soft foundation settlement estimation was determined by the veracity of calculating parameters. In order to reasonably selecting calculation parameters, comprehensive explorations were carried out in test points, such as sampling drilling, soil test and several in-situ test means. Through comparative analysis to the foundation soil parameters which obtained by different methods, relatively resonable parameter selecting method was put forward, it has a certain reference value to soft foundation settlement prediction.

Key words: soft foundation; parameter selection; in-situ test

本文编辑: 龚晓宁