

沪宁高速公路软土的工程特性研究

③

8-12

徐泽中 方涤华 姜 朴

蔡家范[✓] 许道化

U412.366

U416.1

(河海大学 南京 210098)

(江苏宁沪高速公路股份有限公司 南京 210049)

摘要 用统一的国家土工试验方法标准和规范,对沪宁高速公路沿线工程勘察、室内试验、沉降估算和软基处理进行了系统研究,并辅以各标段补充勘探试验和现场观测成果进行校验。结果表明:沪宁高速公路东段大多数的 $w_{L100} < 40\%$,属中压缩性土;沿线地基土上部土层中的前期固结压力 p'_0 值大于覆盖土压力,处于超固结状态。应尽量选用先期固结压力和反映土的原位压缩特性的 $e - \lg p'$ 曲线分层总和法来估算最终固结沉降量。

关键词 软土 沉降估算 软基处理 高速公路

软土地基,地基处理,地基施工。

沪宁高速公路位于长江三角洲经济发达地区,连接上海、苏州、无锡、常州、镇江、南京六个大中城市,全长 274 km,其中江苏段 248.6 km,上海段 25.4 km。沿线大部分地区为河相、海相冲积平原,地势平坦,形成历史久远,地质情况复杂。鉴于沪宁高速公路线路长、勘察设计工作量大、任务繁重,在设计阶段,为加快高速公路的建设步伐,多家设计单位共同开展工作,所属各队组分别担负各标段勘察设计工作,各单位沿用各自惯用的土工试验方法标准和地基设计计算方法,给公路地基土的统一分类造成了一定的难度,对软土的工程特性认识也不一致。由于沪宁高速公路路堤设计是以变形控制为主,因此,有必要采用统一的国家土工试验方法的标准和规范,对沪宁高速公路沿线工程勘察、室内试验等进行研究,并辅以各标段补充勘探试验和现场观测成果校检,以便重新认识沪宁高速公路全线软土的工程特性。

1 软土工程特性

1.1 淤泥质土的分类

沪宁高速公路地基的液、塑限试验采用

联合测定法(即塑限也用圆锥仪测定),圆锥仪的质量 76 g,以入土深度恰好为 10 mm 时土的含水量定为液限。然而,卡萨格兰德塑性图中的液限是碟式仪液限。两种仪器测得的液限是不同的。《土工试验方法标准》(GBJ123—88)和《公路土工试验规程》(JTJ051—93)都推荐用圆锥仪测定土的液限,但 GBJ123—88 则以 76 g 圆锥,入土深度恰好为 17 mm 时土的含水量定为液限;JTJ051—93 则以质量为 100 g 的圆锥,入土深度恰好为 20 mm 时土的含水量定为液限,并认为这样求得的液限为当量碟式仪液限。于是,便可直接利用在西方国家流行的塑性图进行细粒土分类。

不同液限时,将有不同的塑性指数和液性指数,从而可导致对土定性认识的差异。为此,我们对 200 多个土样进行了两种圆锥仪液限分析对比试验。得到下列关系:

$$w_{L100} = -3.13 + 1.26 w_{L76} \quad (1)$$

$$\text{或} \quad w_{L76} = 2.48 + 0.79 w_{L100} \quad (2)$$

式中 w_{L100} 和 w_{L76} 分别为用 100 g 圆锥和 76 g 圆锥测定的液限值。

第一作者简介:徐泽中,男,教授,从事土与结构相互作用研究,曾发表《江海船闸闸首计算机辅助设计系统》等论文。

根据上述关系,对沪宁高速公路 A,B,C 三个标段的 1400 多个淤泥质土样的稠度资料和它们的属类进行了研究,探讨了两种液限对淤泥质土定名的影响,从而发现 A,B,C 标段的绝大多数淤泥质土落在塑性图上的 C_1 区,属中液限粘土,且多数的 w_{L100} 小于 40%。属于高液限土的 ($w_{L100} > 50\%$) 为数极少。也就是说,若按塑性图定性地评估淤泥质土的压缩性,则绝大多数属中压缩性土。再者,若采用碟式仪液限时,沪宁高速公路 A,B,C 三个标段内至少有一半原划为淤泥质土的应划为一般性粘土。总之,原设计单位对沪宁高速公路判定淤泥质土的标准是偏于安全的。

1.2 地基土的超固结特性^[1]

通过对各勘察单位提供的沪宁高速公路 A,B,D 三个标段领先路段地基钻探试验成果的再分析整理,发现沿线地基土上部土层中的先期固结压力 p'_c 值大于覆盖压力,其程度由东向西逐渐增强,深度从 7 m 至 10 ~ 20 m,其中 A 标段较弱,B,D 标段较强。从这些土层先期固结压力 p'_c 与上覆的有效土重应力 p_c 的比值 OCR 随深度减小判断,该土层处于超固结状态,由此得出如下结论:

a. 由钻探取样做室内压缩试验,用 $e \sim \lg p'$ 曲线推得的先期固结压力 p'_c 值是可信的。在勘察设计中认识和精确确定超固结土的变形特性,对正确评判、合理选择软基路段的加固处理方案,具有现实指导意义。美国、新加坡、马来西亚等国都有实例证明,由于充分考虑了所在地区软粘土的超固结土的变形特性,使一些工程节省了大量的基础和地基处理费用。

b. 实践证明,为准确测定先期固结压力,必须有高质量的试样、正确的试验和资料整理方法。试验和观测资料表明, p'_c 值随应变速率的增加而增大,在 p'_c 出现之前采用 $\Delta p/p' = 0.5$,每级荷载历时 24 h,能测得接近原位的 p'_c 值。考察了沪宁高速公路原设计中已有的 $e \sim \lg p'$ 曲线后,发现设计单位采用

的固结试验尚不规范,固结试验应分别采用 25,50,75,100,150,200,400,800,1600,3200 kPa 的加荷等级,同时要作回弹试验,并应在 p'_c 前后开始。

c. 鉴于当时高压固结资料数量少,取样质量差,在江苏省高速公路建设指挥部的统筹安排下,由河海大学对 A,B,C,D 四个标段选择 8 个断面 16 个钻孔位置进行补充勘察和室内试验,得知除 A 标段只有 5 ~ 7 m 外,其它标段,自地面以下 15 ~ 20 m 范围内的土层中先期固结压力 p'_c 均大于覆盖应力 p'_0 ,属超固结比土。从而验证了原设计单位初勘、详勘为数不多的高压固结试验资料的结果是正确的。各标段超固结比 OCR 随深度变化情况见图 1 和图 2。

超固结土的压缩曲线如图 3 所示。 p'_c 为先期固结压力, p'_0 为现有的覆盖压力, p'_c 至 p'_0 的实线为压力减少引起的回弹曲线,如果在原位土层中增加压力,土层压缩将沿着虚线所示的原位再压缩曲线发生。若压力超过 p'_c ,就沿着原位原始压缩曲线的延长线发生。

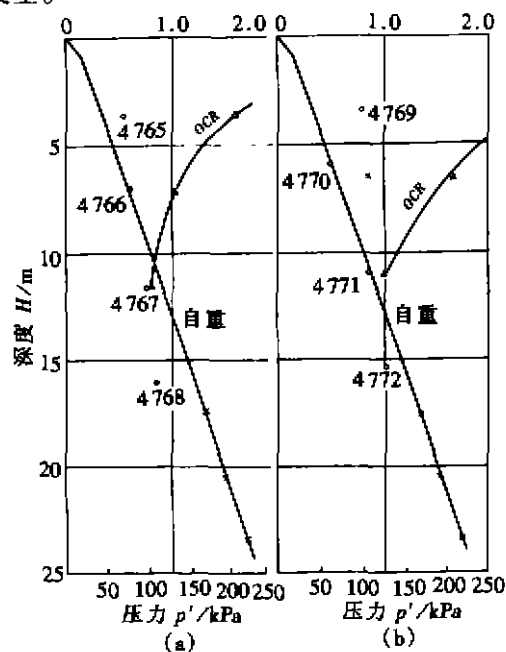


图 1 A 标段 7 号、8 号孔 OCR

(a) 7 号孔; (b) 8 号孔

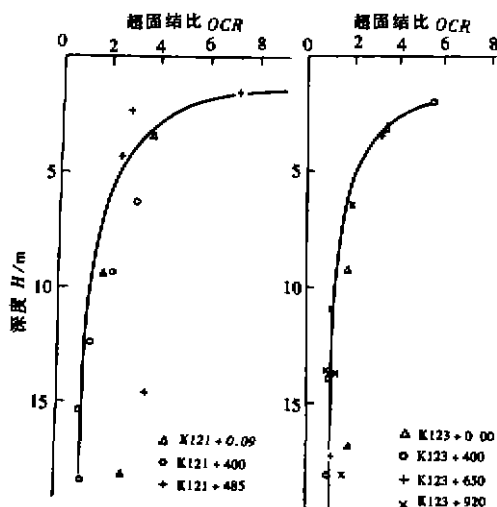


图2 D标段 OCR

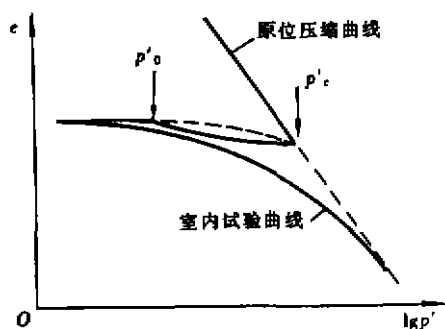


图3 有效固结压力与孔隙比关系

由全线不处理或仅用砂垫层处理现场观测结果可知,实测与用 a_{v1-2} 法预估的总沉降量的比值在 0.68 ~ 1.20 之间(见表 1)^[2],说明沪宁高速公路东段地基土受荷载后,基本上处于再压缩状态。而回弹指数 C_e 与压缩指数 C_c 两者之比可达到 $C_e/C_c = 1/5 \sim 1/10$ 。由此看来,设计不计超固结土的压缩特性;仅用正常固结土的压缩指数 C_c 计算沉降必然

表1 实测与 a_{v1-2} 法预估的总沉降量比值表

处理方法	桩号	路堤高度/m	实测量 $s_{\text{实测}}/\text{cm}$	预估量 $s_{\text{预估}}/\text{cm}$	$m_s = \frac{s_{\text{实测}}}{s_{\text{预估}}}$
	AK4+450	2.86	36.2	45	0.80
砂垫层处	AK16+250	6.24	91.6	76	1.20
理、堆	CK96+100	6.3	70.5	103	0.69
载预压	DK119+800	4.2	30.5	40.5	0.75
	EK177+680	6.32	28.4	42	0.68
仅堆载预	AK11+400	3.62	46.2	41	1.12
压法处理	BK40+600	3.9	32.2	34.8	0.93

会得出偏大的结果,这对超固结比大且影响深度较深的 B、C、D、E 标段和低路堤可能造成的偏差更大。

1.3 粉质土层的沉降时间

沪宁高速公路沿线的土层属于成层地基,且大都存在粉质土层,厚度从数厘米至十几米,包括塑性指数小于 7 的粉土或亚砂土。众所周知,因固结作用排出的水量是极其有限的,在没有水源补给的情况下,大致和固结沉降量相适应。如每天下沉 1 cm,每平方米面积排出的水量也仅 10 L/d,只要具有一定透水性的土层,相邻土层的渗透系数如相差 50 倍以上,渗透系数较大的土层可按完全透水边界处理。计算表明,透水性强砂性土不但压缩量小,而且压缩稳定所需的时间短;透水性弱的粘土不但压缩量大,而且压缩稳定所需时间也长。如若透水性差的土层很厚(30 ~ 35 m),而且处于单面排水的固结边界下,要满足工后沉降小于 10 cm 时的固结时间长达 40 年左右。然而,同样厚度的土层中部含有砂层时,固结时间可缩短至 1 ~ 2 年。因而在地基钻探中,必须查清砂层的位置和厚度,即使是 5 cm 左右的砂层,它的排水能力对加速土层固结也相当有效,计算成果越接近实际。沪宁高速公路全线观测成果均证实了路基经施工期加预压期(2 年左右)后,固结度可达 90% 左右。

2 设计断面参数的取得和整理

计算参数的准确程度,将直接影响设计成果的可靠性和工程投资。目前获得地质计算参数最常用的方法仍然是传统的地质钻探法。然而,从有限的几个钻孔来全面了解和掌握软土地基纵、横、竖方向的情况是有一定困难的,它与钻孔的数量,钻孔的质量,钻孔的代表性等因素密切相关。因此,在有条件时,可在分析掌握已有资料的基础上,辅以物探、动力触探、静力触探等原位测试手段来提高地质资料的可靠程度是十分必要的。另一方面,对软土钻探取样,应采用固定活塞式薄

壁取土器,尽量避免试样的扰动。试验表明,薄壁取土器与传统的敞口式厚壁取土器相比,无侧限抗压试验破坏应变可减小 50%左右,不排水强度增加达 60%以上,压缩指数增大 20%左右。说明薄壁取土器取出的土样扰动小,质量好。目前高速公路的部分软土路段采用了薄壁取土器,它对取土质量的提高提供了保证。

对软土试验成果的整理,设计单位将软土路基分若干段给出了各层土的物理力学特性指标统计值,由于土的性质沿土层深度和路线长度的变化很大,这样统计的数据往往掩盖了上层的最软弱部分,或反之把最软弱层的资料引伸到全段。为了准确估算其沉降量和地基稳定安全系数,应采用计算断面所在位置钻孔取样的实测数据和反映土的原位特性的现场压缩曲线资料,以便较合理地评定地基的变形特性和合理选择软基路段的加固处理方案。

3 结 语

a. 通过评估发现,沪宁高速公路东段大多数的 $w_{L100} < 40\%$,多数落在塑性图的 C_1 区内,属于中压缩性的一般性粘土。可见,沪宁高速公路设计原判定的淤泥质土的标准是偏于安全的。

b. 通过对设计单位提供的钻探试验成果的再分析和对 A, B, C, D 四个标段补充钻探及室内试验发现,沿线地基土上部土层中的先期固结压力 p'_c 值大于覆盖土压力,处于超固结状态,其程度由东向西递增,深度从 7 m 至 10 ~ 20 m。设计单位忽略超固结土层的压缩特性,所得计算沉降成果必然偏大。

c. 针对沪宁高速公路地基土中存在超固结土层的特点,应尽量选用先期固结压力和反映土的原位压缩特性的 $e \sim \lg p'$ 曲线分层总和法来估算最终固结沉降量。

参考文献

- 1 太沙基·派克,工程实用土力学(中译本),北京:

水利出版社,1960

- 2 吴钰,徐泽中,陈景扬,不同方法估算路基最终沉降量的分析研究,见:江苏宁沪高速公路股份有限公司,江苏省高速公路建设指挥部合编,沪宁高速公路江苏段建设论文集,北京:人民交通出版社,1997.97 ~ 105

(收稿日期:1997-12-23 编辑:许宇鹏)

· 简讯 ·

日本开发边坡坍塌预测系统

在道路、大坝工程中预测边坡坍塌灾害是工程安全管理的一个重要课题,日本清水建设公司已开发出一种精度较高、经济可行的边坡坍塌预测系统。

下面以开挖坡面的位移测量及边坡坍塌预测情况为例介绍该系统。坡面位移可借助坡面上设置的觇标和自动跟踪式测量站随时进行远距离三维测量。觇标可根据坡面开挖施工情况及山体的稳定性任意增设,因此有较大的灵活性。由于进行远距离测量,可以看到整个坡面,而且能够掌握坡面的位移情况,因此在坍塌征候不明显的情况下,也能够掌握滑动范围。自动跟踪式测量站的控制及量测数据的分析用微机进行。

运用该系统时,首先设置 2 个以上已知座标值的地面点,以便确定测量站的位置。然后在坡面上设置量测位移用的觇标,同时把测点、控制值及量测时间间隔等条件输入微机,自此自动量测便可开始。在量测过程中,位移超过某一控制值时,系统即发出警报。警报按边坡坍塌危险程度分为“加强观测”、“严重警告”和“劝告撤退”三种。前两种情况下报警装置分别亮黄色和红色灯,而当达到“劝告撤退”的程度时,则鸣器作响。

根据工程施工进度,可以增设或移设觇标,测点数目最多可达 100 个。根据量测数据可绘制位移-历时变化曲线,并求得正常变形速率,进而作出边坡位移坍塌预测。为了提高系统的量测精度,对自动跟踪式测量站测得的数据,剔除其误差较大者,计算出数十次测量数据的平均值。从试用情况来看,在观测距离小于 100 m 时,量测精度可达到 ± 2.0 mm,这样的精度足以满足实用的要求。

(摘自 1998 年 2 月 5 日《水信汇报》)