

扁板侧胀试验在高速铁路软土地基勘察中的应用研究

储团结 王中华 黄俊杰

(铁道第四勘察设计院, 湖北武汉 430063)

The Applicable Research on the Band Plate Side Swelling Test in the Survey of the Soft Ground in High Speed Railway

Chu Tuanjie Wang Zhonghua Huang Junjie

摘要 扁板侧胀试验(DMT)是兼具旁压试验和静力触探双重功能的原位测试技术。在京沪高速铁路昆山试验段的软土地基勘察中应用了该项技术,并与其他测试手段和土工试验成果进行对比分析。试验表明,扁板侧胀试验在软土地基勘察方面具有独特优势。

关键词 软土 扁板侧胀试验 静力触探 土工试验

扁板侧胀试验(DMT)是国际上岩土工程勘察领域近年来迅速发展起来的一项原位测试技术,兼旁压试验和静力触探双重功能,具有操作简便、重复性好、人为影响因素小且较经济的优点,并能为设计提供可靠的土性参数,特别是沉积土的变形参数和原位土的强度。美国运输部联邦公路管理局(1992)发布《扁板侧胀试验》规程后,该项技术在国际土工界得到普遍认可。

1 试验过程

该项技术所用板头形如厚板状平头铲,板厚14~16 mm,宽94~96 mm,高230~240 mm,通过穿在探杆内的一根柔性管路和地面上的控制箱连接。其一侧板面中部装直径为60 mm、厚0.2 mm的钢膜片,周边被8个螺钉锚定(见图1)。采用静力触探设备或液压钻机把板头贯入土中预定的试验深度后,用控制箱加气压,使膜片膨胀,向土体作小量位移,中心最大位移(挠度)为1.1 mm。测定膜片向土中膨胀之前作用在膜片上的接触压力 p_0 、膜片膨胀1.1 mm时的膨胀压力 p_1 、膜片回到0.05 mm时受到的终止压力 p_2 。据此获得4个DMT指数:侧胀仪模量 E_D 、土性指数 I_D 、水平应力指数 K_D 、孔压指数 U_D 。

$$E_D = 34.7(p_1 - p_0) \quad (1)$$

$$K_D = (p_0 - u_w)/\sigma'_{v0} \quad (2)$$

$$I_D = (p_1 - p_0)/(p_0 - u_w) \quad (3)$$

$$U_D = (p_2 - u_w)/(p_0 - u_w) \quad (4)$$

式中 σ'_{v0} ——土的有效自重压力/kPa;

u_w ——土的静水压力/kPa。

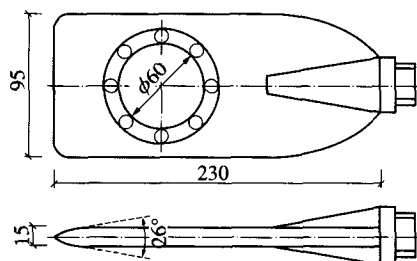


图1 扁板侧胀仪板头外形(单位:mm)

高速铁路设计对地基的要求很高,地基不仅应有足够的强度,能安全地支承路堤,不发生基底破坏,同时还应具有一定的刚度,使地基不致发生过量下沉。在京沪高速铁路昆山试验段软基勘察中,通过与其他原位测试手段和室内土工试验的对比,并结合国外的经验,取得了一系列可供设计的地基参数。

2 成果应用

2.1 利用 I_D 值划分土层和定名

DMT的所有试验参数(土性指数 I_D 、比贯入阻力 P_s 、孔压指数 U_D 、侧胀仪模量 E_D 、水平应力指数 K_D)随深度 D 的分布曲线如同静力触探(CPT)测深一样,可视为连续的,因此将其用于土层划分便顺理成章。图2示出4幅测深曲线,可以得知 I_D-D 与 p_s-D 曲线在层位划分上是等效的;进一步表明,对所谓均质土即正常固结或轻微超固结土而言, p_s 值随深度近乎线

收稿日期:2005-09-08

第一作者简介:储团结(1971—),男,1994年毕业于长春地质学院水文地质与工程地质专业,工程师。

性递增, I_D 、 U_D 保持相对稳定, 而水平应力指数 K_D 则随深度呈递减趋势, 其中的曲线起伏表明该层土的沉积韵律具“千层饼”组构特点。

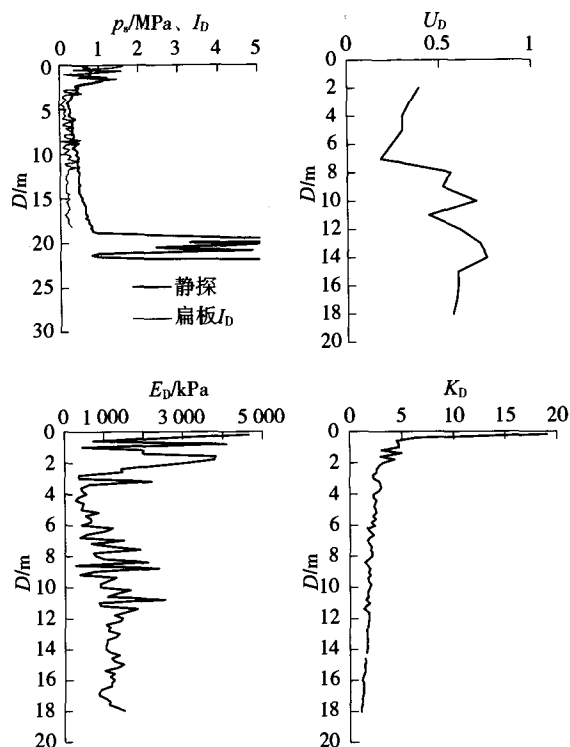


图2 I_D 、 p_s 、 U_D 、 E_D 、 K_D 与 D 的关系曲线

受扁板侧胀仪器本身的限制, 这次试验在深度上没有达到砂性土层, 因而不能反映黏性土与砂性土明显的区别。

根据文献[4]的土类划分标准, 将同一深度处的平行试验结果列于表1。从中可以看出: 对于稳定的均质土, 二者定名基本一致。在深度5.8~8.8 m之间, 因地层的“互层”现象, 略有不同。

表1 定名对照

深度 D/m	扁板侧胀试验		土工试验	一致性
	土性指数 I_D	定名	定名	
2.8	0.12	黏土	黏土	√
5.8	0.15	黏土	粉质黏土	
6.8	0.09	黏土	粉质黏土	
7.8	0.13	黏土	粉质黏土	
8.8	0.44	粉质黏土	黏土	
9.8	0.14	黏土	黏土	√
10.8	0.5	粉质黏土	粉质黏土	√
11.8	0.19	黏土	黏土	√
12.8	0.18	黏土	黏土	√
13.8	0.15	黏土	黏土	√
14.8	0.19	黏土	黏土	√
15.8	0.21	黏土	黏土	√
16.8	0.14	黏土	粉质黏土	

2.2 测定土的稠度状态

扁板侧胀试验参数 m 按下式计算

$$m = (\lg E_D + 0.748) / (\lg I_D + 7.667) \quad (5)$$

文献[4]给出用 m 划分黏性土的状态标准见表2。

表2 根据 m 值判定稠度状态

$m \leq 0.53$	$0.53 < m \leq 0.62$	$0.62 < m \leq 0.71$	$m > 0.71$
流塑	软塑	硬塑	坚硬

昆山试验段第二层淤泥质粉质黏土塑性状态为流塑、软塑两种, 现将通过静力触探、扁板侧胀、土工试验3种途径得到的塑性状态列于表3。

表3 塑性状态对照

土名	深度 D/m	a 静力触探		b 扁板侧胀		c 土工试验		一致性	
		p_s /MPa	状态	参数 m	状态	I_L	状态	a, c	b, c
黏土	0~2.1	0.87	软塑	0.540	软塑			a, b 一致	
	2.8	0.44	流塑	0.487	流塑	0.75	软塑	a, b 一致	
淤泥质黏土	5.8	0.24	流塑	0.521	流塑	1.5	流塑	√	√
	6.8	0.34	流塑	0.503	流塑	1.79	流塑	√	√
	7.8	0.35	流塑	0.532	流塑	1.46	流塑	√	√
	8.8	0.49	流塑	0.565	软塑	1.8	流塑	√	
	9.8	0.43	流塑	0.544	软塑	1.41	流塑	√	
	10.8	0.43	流塑	0.564	软塑	2.05	流塑	√	
	11.8	0.46	流塑	0.554	软塑	1.9	流塑	√	
	12.8	0.5	流塑-软塑	0.548	软塑	1.85	流塑	√	
	13.8	0.47	流塑	0.550	软塑	1.62	流塑	√	
	14.8	0.56	流塑-软塑	0.554	软塑	1.74	流塑	√	
	15.8	0.63	流塑-软塑	0.545	软塑	1.51	流塑	√	
	16.8	0.69	流塑-软塑	0.541	软塑	1.39	流塑	√	

从中可以看出: CPT 与土工试验结果基本一致。而 DMT 则与之存在出入, 说明表2的划分标准不适合昆山地区, 有必要进一步开展更大范围的对比试验, 对 m 的合理界值提出修订意见。

2.3 测定静止侧压力系数 K_0

采用 K_0 三轴仪确定 K_0 值固然是国际公认的试验方法, 但因试验设备普及程度低, 而且取样和制样所造成的原位应力释放、结构扰动无法完全避免, 故工程实践中针对不同土层和工程对象, 多采用旁压试验、应力铲试验(SST)、DMT 试验或经验公式法等。采用 DMT 时, 对于水平应力指数 K_D 为1.5~4.0的一般饱和黏性土, 可按式计算

$$K_0 = 0.30 K_D^{0.54} \quad (6)$$

图3和表4系采用 SST、DMT 和经验公式法所得出的对比图表。其中经验公式采用阿尔潘所推荐的方法

$$K_0 = 0.19 + 0.233 \log I_p \quad (7)$$

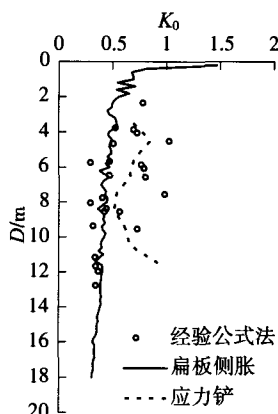


图3 K_0 和 D 关系曲线

表4 K_0 值对比

方法类别	经验公式法	扁板侧胀	应力铲
统计个数	25	80	9
最大值	1.04	0.56	0.93
最小值	0.30	0.31	0.52
平均值	0.578	0.413	0.688
标准差	0.222 8	0.060 6	0.134 3
变异系数	0.385 4	0.146 7	0.195 3
修正系数	0.865 8	0.971 9	0.877 8
标准值	0.50	0.40	0.60

从表4中可看出:在淤泥质粉质黏土层, K_0 平均值应力铲为0.688, 经验公式法为0.578, 扁板侧胀为0.41; 扁板侧胀所得 K_0 在均质土中随深度递增有减小的趋势, 并且线性较好, 很直观。由于 I_p 值的离散性, 经验公式法所得 K_0 比较离散, 有近一半的散点落在扁板侧胀所得 K_0 线附近, 总体上存在“应力铲 $K_0 >$ 经验公式法 $K_0 >$ 扁板侧胀 K_0 ”, 同时也验证了 K_0 与土质结构及应力历史密切相关。室内试验常因取样和试样制备等原因, 造成土样的扰动, 易于模糊土的应力史, 而原位试验则可减少这种扰动的影响。

2.4 确定不排水剪切强度 S_u

扁板侧胀试验创始人 Marchetti 1980 年提出了不排水剪切强度 S_u 与水平应力指数 K_0 的相互关系

$$S_u = 0.22 \sigma'_{v0} (0.5 K_0)^{1.25} \quad (8)$$

该关系是根据现场十字板试验、UU 三轴试验和无限限压缩试验得出的。针对昆山试验段, 将扁板侧胀 S_u 与十字板 S_u 、静力触探估算 C_u 、土工试验进行对比, 结果如表5。扁板侧胀 S_u 平均值为16.0 kPa, 静力触探估算 C_u 平均值为16.9 kPa, 十字板 S_u 平均值为22.8 kPa, 前二者相接近, 是后者的70%。据文献[2], 一般认为十字板测得的不排水抗剪强度是峰值强度, 其值偏高。长期强度只有峰值强度的60%~70%。

综合分析可得出: 扁板侧胀 S_u 相当于该地区的不排水抗剪长期强度。

表5 剪切强度对比

统计项目	土工试验					原位测试		
	直剪		三轴剪		无侧限抗压强度	十字板抗剪强度	静力触探	扁板侧胀试验
	快剪	固结快剪	不排水剪	固结不排水剪				
	黏聚力	黏聚力	黏聚力	有效应力法				
	C_u	C_u	C_u	C'_u	C_u	q_u	S_u	S_u
统计个数	2	3	4	4	4	3	14	34
最大值/kPa	4	18	45	25	15	34.1	29.7	26
最小值/kPa	2	7	12	2	9	24	17.2	10.8
平均值/kPa	3.0	11.0	24.3	12.8	11.8	30.0	22.8	16.9
标准差/kPa							4.395 0	3.581 4
变异系数							0.192 5	0.211 5
修正系数							0.907 7	0.937 3
标准值/kPa							20.7	15.9

2.5 测定饱和和软黏性土的不排水杨氏模量 E_u

采用 DMT 时, E_u 按下式计算:

$$E_u = 3.5 E_D \quad (9)$$

扁板侧胀试验所得不排水杨氏模量 E_u 与对应静力触探所得 E_u 的对比如图4。全试验段第二层淤泥质黏土 E_u 对比统计数据见表6。

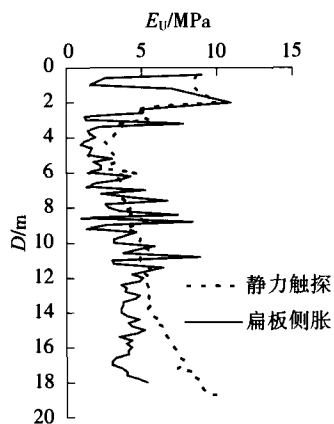


图4 E_u 值的对比曲线

表6 E_u 对比统计

统计项目	扁板侧胀	静力触探
统计个数	198	34
最大值/MPa	11.4	6.8
最小值/MPa	0.6	2.5
平均值/MPa	4.4	4.3
标准差/MPa	1.955 2	1.020 7
变异系数	0.445 2	0.239 9
修正系数	0.946 0	0.928 9
标准值/MPa	4.2	4.0

岫庄铁路线路走向方案研究

张学斌

(中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100020)

Research on the Route Strike Scheme of Xiuzhuang Railway

Zhang Xuebin

摘 要 新建铁路岫岩至庄河线与东北东部铁路通道——前庄线同期规划,且终点均为庄河地区。通过对不同走向线路方案的研究,考虑新建线路与规划铁路的关系,得出走向顺直、工程可靠、经济合理的线路走向方案。

关键词 岫庄铁路 线路方案 比选

1 项目概况

新建铁路岫岩至庄河线位于辽宁省东南部,北起鞍山市岫岩满族自治县,南至大连市庄河境内。沿线地形稍有起伏,海拔多在 45 ~ 350 m 之间,相对高差在 50 ~ 150 m 之间,地形总趋势呈北高南低。

本项目是一条地方开发线,主要承担海城及以远货物通过本线与岫岩及庄河地区的交流,是庄河电厂原材料和庄河港货物最便捷的运输通道,对地方经济的发展具有一定的促进与带动作用;也是东北铁路网,特别是辽东半岛铁路网的组成部分。本线北端与海岫

线相连,通过哈大线、沟海线,沟通东北北部、辽宁西部广大地区;向南与东北东部通道——前庄线相接,形成哈大线与前庄线的联络线。

2 线路走向方案研究

2.1 影响线路走向方案的重要因素

(1) 岫岩满族自治县:隶属于辽宁省鞍山市,位于辽东半岛的北部,总面积为 4 502 km²。矿藏丰富,岫岩玉储量和质量属全国之首,享有中国国石之美誉。

岫岩县是本线的北端起点,目前仅有地方铁路海(城)岫(岩)线接入该县城,岫岩站为尽头式车站。根据既有海岫线情况,结合岫岩城市规划,本线从海岫线终点岫岩站 2 道引出,以隧道方式穿越规划的西山公园后,向西南行进。北端再无其他的接轨比选方案。

收稿日期:2005-09-14

作者简介:张学斌(1972—),男,1992年毕业于西南交通大学铁道工程专业,工程师。

从平均值角度看,两种手段得到的 E_u 值是基本吻合的。在扁板侧胀试验膨胀压力 $\Delta P \leq 100$ kPa 时,饱和黏性土不排水杨氏模量 E_u 计算公式适合本试验段。

3 结束语

利用扁板侧胀试验与其他多种原位测试手段以及室内土工试验进行对比,在高速铁路软基勘察中已显示出该手段的独特优势,尽管目前已经取得一定的经验,但仍然需要不断接受工程实践检验,以满足充分利用综合勘探、进一步提高岩土工程勘察水平的实际要求。

致谢 本文在撰写过程中得到教授级高工谢树彬的帮助与指导,特此感谢。

参 考 文 献

- [1] 铁道第三勘察设计院. 京沪高速铁路设计暂行规定(上册). 北京:中国铁道出版社,2003
- [2] 岩土工程试验监测手册编委会. 岩土工程试验监测手册. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1994
- [3] 铁道科学研究院. 新建时速 200 公里客货共线铁路设计暂行规定. 北京:中国铁道出版社,2003
- [4] TB10018—2003 铁路工程地质原位测试规程
- [5] TB10012—2001 铁路工程地质勘察规范
- [6] 常士骝. 工程地质手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1997