

文章编号: 1000-7598-(2000)01-0049-04

盾构法施工对地层扰动的试验研究^{*}

朱忠隆 张庆贺

(同济大学 地下建筑与工程系, 上海 200092)

摘要: 采用静力触探试验来研究盾构推进这种动态施工对地层扰动的影响, 通过对土层力学参数的试验数据进行整理分析, 总结了盾构法施工对周围地层扰动的一般影响规律, 并初步定量地描述了这种变化情况。

关键词: 盾构法隧道, 静力触探, 压缩模量

中图分类号: TU 413.5 文献标识码: A

作者简介: 朱忠隆, 男, 24 岁, 硕士, 现攻读博士学位, 从事软土隧道施工环境控制方面的研究工作。

Test research on the behavior of the disturbed soil by shield tunnelling

Zhu Zhonglong, Zhang Qinghe

(Department of Geotechnical Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract This paper performs an experimental study on disturbed ground during tunneling through static cone penetration test. Based on the analysis of soil mechanics parameters collected from the test, general influence laws of disturbed ground in shield tunnel are obtained, and quantitative description of disturbed ground is also discussed.

Key Words shield tunnel, static cone penetration test, compressibility modulus

1 引言

上海地区浅层土为第四纪沉积层, 地质年代较新, 比较软弱, 土层呈带状分布, 地下水埋藏较浅, 离地表年平均深为 0.5~0.7 m。目前, 已建隧道大多数是处于饱和含水的淤泥质粘土层中, 这种土的灵敏系数高, 在这种地层环境中采用盾构法掘进隧道容易对地层产生过大的扰动从而影响周围环境^[1]。

国内外考虑盾构法隧道施工对地层扰动影响时, 多采用理论计算和实测地面沉降的方法, 对深层土体的土性变化研究较少^[2,3]。日本曾对砂砾性硬土采用标准贯入试验检验土体扰动的动静力学性质的变化。本文采用的是静力触探的试验方法, 该方法的优点在于: 连续、快速、简便、高灵敏度。在静力触探试验的应用方面, 国内外已积累了大量丰富的资料和经验, 综观各方面的应用成果可以发现, 大多应用都局限于对土体(层)的静态研究, 即使用于诸如检验地基加固效果方面, 也只是采用起始和终了两种状态的对比, 可以说仍是一种静态研究。因此, 采用静力触探试验方法来研究盾构推进这种动态施工对地层的扰动是有一定意义的, 比较适合上海淤泥质软粘土的地质条件。其一, 静力触探试验所测得的比贯入阻力能够反映实际土体(软土)的物理和力学参数, 这种方法比其它监测方法更为直接; 其二, 试验是随着盾构推进施工动态地进行

的, 试验包含了一种时间和空间的变化, 能够真实反映实际土层受扰动的动态变化。

2 工程概况

上海市地铁 2 号线为快速轨道交通网中东西向主干线。本次试验段位于浦东某区间隧道工程, 隧道穿越的地表无重要建筑物, 地表覆土约在 8.5~9.5 m 之间。该隧道上行线以地铁龙东路车站西为起点, 以地铁中央公园站南端头井为终点。隧道的外径为 6.2 m, 内径为 5.5 m, 由厚 0.7 m 预制钢筋混凝土衬砌而成, 采用法国 FCB 公司生产的土压平衡式盾构掘进机施工。

本区间隧道主要穿越上海地区海相沉积第②—2 层灰色砂质粉土, 第③层淤泥质粉质粘土和第④层灰色淤泥质粘土。第②—2 层灰色砂质粉土渗透系数小, 含水量在 32.5% 左右; 第③层泥质粉质粘土和第④层灰色淤泥质粘土土层具有饱和、流塑、土质均匀、夹极薄层粉砂土的特征, 属高压缩性土; 其它各层土分别为第①层杂填土; 第⑤层灰色粘土。

3 试验布置

试验累计触探孔 14 个, 其中 1 号孔离刀盘有一定

收稿日期: 1999-04-29。

^{*} 国家自然科学基金资助项目(No. 59738160)。

距离,能够保证其未受任何施工和环境的影响,因此可称此孔为未扰动土触探孔。为了探索不同的施工效应对土体性质的影响,于盾构刀盘前后左右不同位置布

孔,如图 1。由于隧道推进施工纵向坡度在 1%左右,可以近似认为推进是水平进行的。

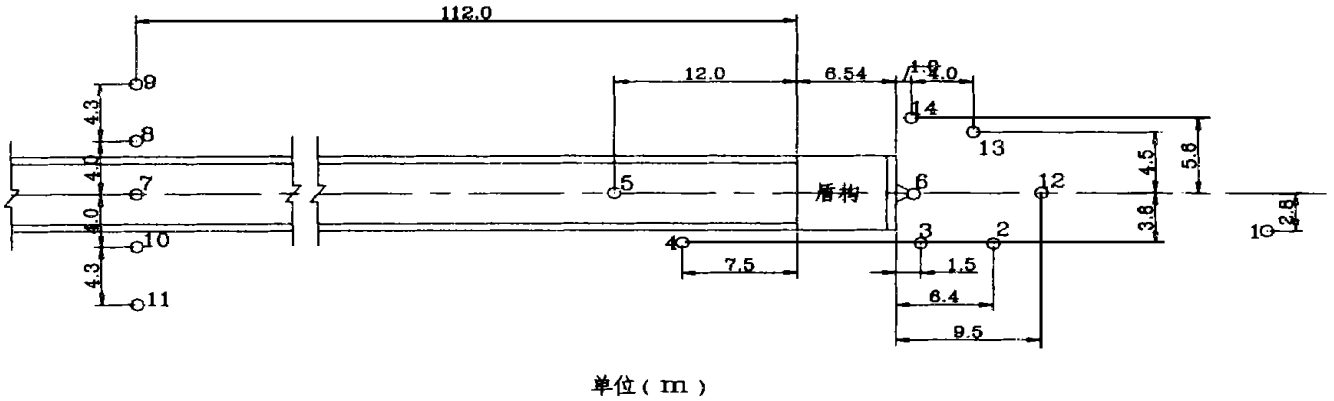


图 1 静力触探孔平面布置图
Fig. 1 Plane layout of boreholes for static sounding

4 试验成果与分析

由静力触探试验采集的比贯入阻力 P_s - h 曲线以及工程地质剖面图的土体分层情况,可以计算得到各层土体的比贯入阻力 P_s 的平均值,为了从变形指标上评定地层受扰动影响情况,根据“比贯入阻力与软土、一般粘土的主要力学指标的关系”^[4] 经换算整理得到各层土体的压缩模量值,文中研究将以各层土的压缩

模量值作为比较对象来分析地层受扰动的影响情况。

4.1 盾构推进对纵向轴线土体的影响^[5]

图 2、表 1 充分反映了施工对土体的影响。从触探孔 12、孔 6 以及孔 1(原土)的数据来看,可以认为:盾构力盘前方的土体可以划分为二个区,以 45°斜线为分界面,如图 2 所示,45°线上方为松弛区,45°线下方为压缩线(挤密区)。从这个假定出发,可以推断出③层土从孔 12 到孔 6 的这段距离压缩模量值是减小的,但压模值大于原土的压模值。

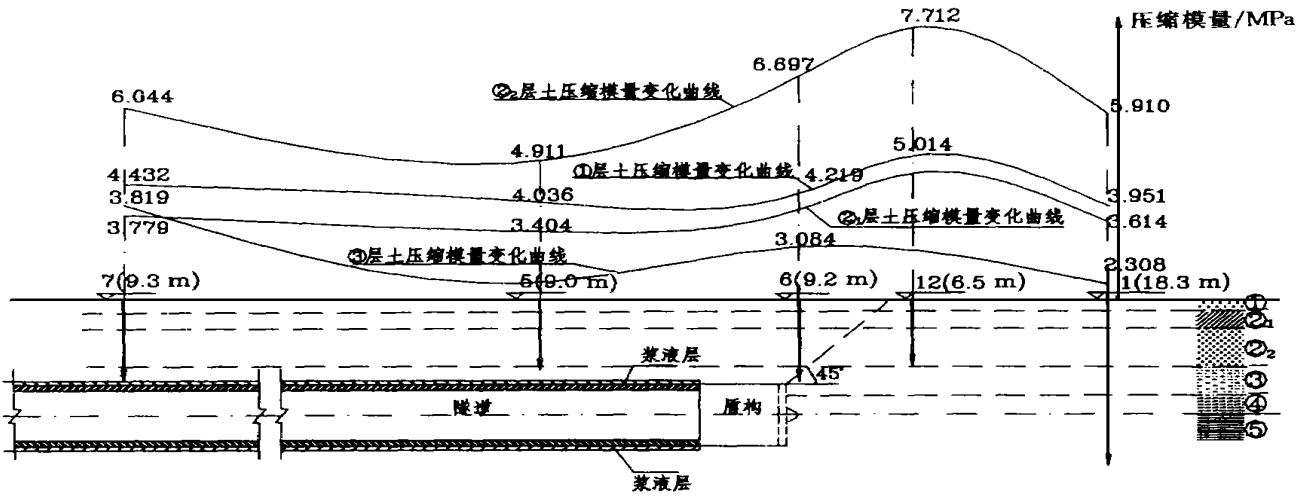


图 2 隧道轴线上触探孔剖面图及压缩模量变化曲线图
Fig. 2 Section boreholes along tunnel axis and diagram of curve for compressive modulus variation

从触探孔 6 到孔 5 的过程,各层压缩模量值衰减很快,幅度分别为 -4.6%, -13.2%, -30.2%, -31.7%, 在这段推进过程中,土层的影响是自下往上逐渐减小的。地层压缩模量变化呈现以下一个过程:盾构通过时,松弛区土体 E_s 仍保持缓慢的减小,而当

盾构尾部脱出管片时,由于管片与土体存在的空隙,导致土体剧烈地受到扰动,形成 E_s 自下往上、由大到小的衰减规律,在及时注浆后,形成的浆液层能及时地缓解这种模量的衰减,而浆液层有一个固结的过程,这也导致了土体 E_s 值在衰减停止后有个增加至稳定的过

表 1 静力触探孔压缩模量 E_s 的比较
Table 1 Comparison of compressive modulus of static sounding boreholes

土层 编号	孔 7		孔 5		孔 6		孔 12		孔 1(原土) E_s
	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	
①	4.432	12.2	4.036	2.2	4.219	6.8	5.014	26.9	3.951
② ₁	3.779	4.6	3.404	-5.8	3.882	7.4	4.655	28.8	3.614
② ₂	6.044	2.3	4.911	-16.9	6.697	13.3	7.712	30.5	5.910
③	3.819	65.5	2.352	1.9	3.084	33.6			2.308
④									2.760
⑤									3.555

$\Delta/\%$ 表示各孔与原土的比较结果。

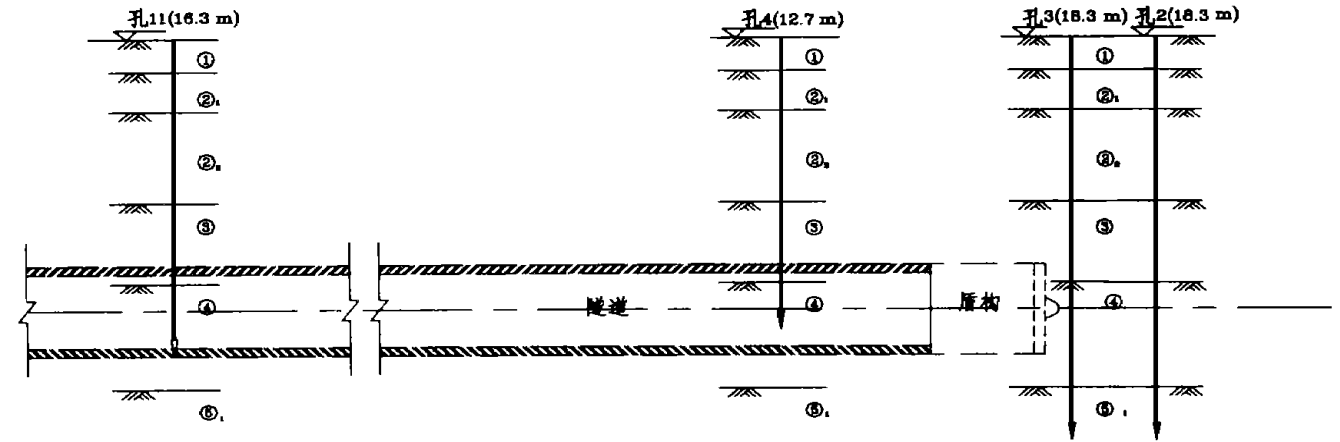


图 3 隧道轴线右侧触探孔剖面图
Fig. 3 Diagram of cross section of static sounding boreholes on the right side of tunnel axis

表 2 土层压缩模量 E_s 的比较
Table 2 Comparison of compressibility modulus of soil layers

土层 编号	孔 11		孔 4		孔 3		孔 2		孔 1 (原土) E_s
	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	
①	4.677	18.4	3.874	-1.9	3.507	-11.2	3.379	-14.5	3.951
② ₁	3.808	5.4	3.492	-3.4	3.288	-9.0	3.364	-6.9	3.614
② ₂	5.730	-3.0	5.136	-13.1	5.930	0.3	6.332	7.1	5.910
③	2.860	23.9	<2.300	<-0.3	3.020	30.8	2.924	26.7	2.308
④	2.900	5.1	<2.300	<-16.7	3.072	11.3	2.960	7.2	2.760
⑤					3.955	11.3	3.878	9.1	3.555

①, ②₁ 层土均处在松弛区内, E_s 值都比未扰动土小, 并且呈现减小的趋势, ②₂ 层也同样减小, 而③, ④, ⑤ 层土受到挤压, 压缩模量都有增加。

比较触探孔 4 与孔 3 可以看出: 变化规律同轴线土体, 自下往上 E_s 呈现由大到小的衰减规律, 以盾构穿越的③, ④土层扰动最大, 同时注意到孔 3, 孔 4 的①, ②₁ 层土的 E_s 变化不大, 说明距离轴线越远, 上层土体受扰动影响越小。

触探孔 11 与原土的比较: 各层土的 E_s 值均有增加, 只有②₂ 层土有 3% 的衰减, 但可以认为该层土尚处在固结初期, 因为从孔 4 到孔 11 其值是在增加的。

程, 这可以从触探孔 7 的基本稳定后的 E_s 值看出。
从触探孔 7 与原土的比较可以看出, 土体在经过较长时间(约 11 ~ 12 d)的扰动后, 通过管片背部的注浆来稳定土体受扰动的状态, 各层土的 E_s 值均有不同程度的提高, ①, ②₁, ②₂ 层土提高较小, ③ 层土由于浆液劈裂至地层中使其 E_s 值明显提高, 试验中探头仅接触到浆液表层。

4.2 盾构推进对侧向土体的影响
(1) 隧道右侧土体

如图 3, 表 2 所示, 触探孔 2 到孔 3 这段距离, 由于

(2) 隧道左侧土体
如图 4, 表 3 所示, 触探孔 13 与右侧孔 2 的变化相似: 从触探孔 14 与孔 3 的比较来看, 孔 14 的①, ②₁, ②₂ 层土的 E_s 值都有增加, 出现比原土的 E_s 值大的情况, 说明 14 孔远离隧道轴线, 受扰动影响比孔 3 要小。

表 3 静力触探孔压缩模量 E_s 的比较
Table 3 Comparison of compressive modulus of static sounding boreholes

土层 编号	孔 9		孔 14		孔 8		孔 13		孔 1 (原土) E_s
	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	E_s	$\Delta/\%$	
①	3.672	-7.1	4.609	16.7			3.765	-4.7	3.951
② ₁	<2.300	-36.4	3.832	6.0	3.800	5.1	3.721	3.0	3.614
② ₂	3.256	-44.9	6.270	6.1	5.992	1.4	6.262	6.0	5.910
③	<2.300	<-0.3	2.756	19.4	2.648	14.7	2.548	10.4	2.308
④	<2.300	<-16.7	2.813	1.9	2.571	-6.8	2.780	0.7	2.760
⑤									3.555

触探孔 8 与原土的比较: 符合稳定后土体 E_s 值增加的规律, 但孔 9 的 E_s 值出现普遍减小的情况, 原因是由于钻孔位附近积水过多, 触探时, 探头周围有水渗入引起 P_s 值的减小, 影响了试验结果。

综合以上的分析, 隧道两侧的土体受扰动情况基本上与沿隧道轴线土体的规律相同。

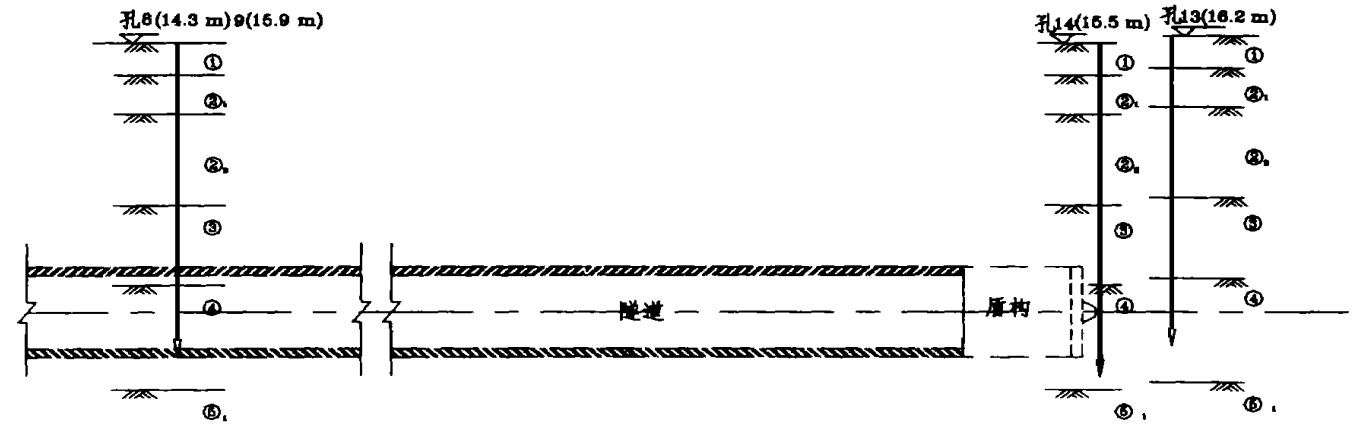


图 4 隧道轴线左侧土体触探孔剖面图
Fig. 4 Diagram of cross section of static sounding boreholes on the left side of tunnel axis

5 结论及建议

(1) 文中采用了动态跟踪盾构推进的静力触探试验方法来研究地层受扰动的情况, 总结出了盾构施工对周围土体影响的三个变化阶段, 即三个土体区域, 包括盾构刀盘前方 45°线土体区、盾构周围土体区以及盾构尾部后方土体区, 可以初步定量地描述土体受扰动后的有关力学参数。

(2) 盾构推进引起一定范围内土体结构性的破坏, 使得土体的变形指标如压缩模量值发生变化, 同时土体的强度指标 c , φ 值也相应地发生变化, 通过静力触探试验成果的换算得到的土体物理和力学参数值对模拟盾构施工的数值分析有一定的参考价值。

(3) 文中着重对地层受盾构施工扰动影响的现场试验结果作了一定的分析, 今后尚需在理论分析中对

盾构施工引起地层扰动的机理作进一步研究, 以取得更加深入的认识, 从而能指导盾构隧道的施工。

参 考 文 献

1 陈仲颐, 叶书麟. 基础工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990. 82~85.

2 王鍾琦. 岩土工程测试技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1986. 256~275.

3 Ulf Zishinsky. Wirkungsmechanismen Geologischer Störungen in Tunneln. Felsbau 14. 1996.

4 沈 杰. 地基基础手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 57~59.

5 朱忠隆. 隧道沉降预测的随机方法及盾构推进对地层扰动的试验与监测研究:[硕士学位论文][D]. 上海: 同济大学, 1998. 45~52.

3 Domaschuk I, Villiappan P. Nonlinear settlement analysis by finite element [J]. J. of Soil Mech. and Found. Div., ASCE, 1975, 101: 601~614.

4 殷建华, 袁建新. 土的增量非线性模型[J]. 岩土力学, 1985, 6(1): 5~14.

5 Yin J H. Constitutive Modeling of Time-dependent Stress-strain Behavior of Soils; [Ph. D. thesis] [D]. Winnipeg: University of Manitoba. 1990. 314.

6 Yin J H, Saadat F, Graham J. Constitutive modeling of a compacted sand-bentonite mixture using three-modulus hypoelasticity [J]. Canadian Geotechnical Journal. 1990, 27: 365~372.

7 Coon M D, Evans R J. Recoverable deformation of cohesionless soils [J]. J. of Soil Mech. and Found. Div., 1977, 97: 375~391.

(上接第 19 页)