软土地基上路堤沉降变形特征分析

The settlement of embankment on soft ground

经 绯, 刘松玉, 邵光辉
(东南大学 岩土工程研究所, 江苏 南京 210096)

摘 要: 在软土地基上修筑高速公路, 不同地基处理方法、不同填土高度下, 硬壳层和软土层厚度对路基沉降的影响不同。通过对某高速公路采用粉喷桩和砂垫层预压法两种方法加固软基后, 路基填筑过程中实测路堤沉降资料的深入分析, 总结出在该地区硬壳层和软土层厚度对路堤沉降变形的影响规律, 并提出了相应的填土临界高度(约2.5 m)。

关键词: 沉降; 硬壳层; 软土; 填土临界高度

中图分类号: TU 431 **文献标识码**: A **文章编号**: 1000-4548(2001)06-0728-03

作者简介: 经 绯, 女, 1964年生, 讲师。主要从事岩土工程教学和工程实践。

JING Fei, LIU Song-yu, SHAO Guang-hui

(Institute of Geotechnical Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Based on a lot of field test data, the settlement of embankment on soft ground with different improvement methods are discussed in this paper. With the soft ground improved respectively by DJM (Dry Jet Mixing) and preloading method, the settlements of embankment are analyzed. The results show that the crust with high strength and the thickness of the soft clay are the key factors to inference the settlement, and there is a critical embankment height (about 2.5 m) on the soft ground.

Key words: settlement; crust with high strength; soft clay; critical embankment height

1 前 言*

沿海地区大多沉积了较深厚的海相、滨海相淤泥和淤泥质软土, 其表层则被受风化、淋滤作用所形成的硬壳层所覆盖。软土地基具有高压缩、低强度、低渗透等特点; 硬壳层一般具有中等或低的压缩性, 较高的强度。这种复杂的地质条件对高速公路的设计和施工提出了很高的要求[1]。可以说, 在这种地基上修建高速公路, 设计采用的软基处理方法是否合理, 直接关系到工程的造价甚至工程的成败[2]。本文基于某高速公路A标段不同地质条件下沉降观测资料的整理分析, 就硬壳层、软土层厚度和不同地基处理方法的路基沉降规律进行了探讨。

工程沿线地层结构自上而下可分为: ①硬壳层(Q_4^{al+m}), 厚0~4 m, 为高液限软塑状粘土; ②软土层(Q_4^{m}), 厚5.6~13.3 m, 为淤泥、淤泥质高液限粘土, 呈流塑状, 厚度变化大; ③下伏层(Q_4^{ml}), 为细砂混淤泥及砾砂。其中软土层具有高含水率、高压缩性、低强度、低渗透性和高灵敏度的特点, 因此沉降变形量大, 地基稳定性差, 设计中采用粉喷桩和砂垫层预压对其进行处理。该软土层的物理力学特性见表1。

2 硬壳层对沉降变形的影响

标段沿线硬壳层厚度变化较大, 多数路段硬壳层厚度在2.0 m左右, 路堤沉降量随硬壳层厚度的改变而变化。路基经过喷粉搅拌桩或砂垫层预压处理后在填筑过程中曾有四处发生开裂现象, 其中三处位于硬壳层厚度较薄(1.0 m左右)地段, 还有一处出现滑塌现象, 该处软土层直接出露, 地表无硬壳层。不同地基处理方法时, 沉降量随硬壳层厚度的变化情况参见图1。从图中可以看出, 在相似的地质条件下, 沉降量随着硬壳层厚度变大而减小, 当硬壳层厚度较小时(小于1.0 m), 沉降量迅速增加, 且有向不稳定方向发展的趋势, 说明在软土地基上修筑高速公路时, 较厚的硬壳层在与下伏软土层共同承担填土荷载时能体现出一定的板体效应, 硬壳层越厚沉降变形量越小。

表1 软土层物理力学参数表

Table 1 Physical and mechanical parameters of soft clay

项 目	最小值	最大值	平均值
厚度 H / m	5.6	13.3	8.4
含水率 w / %	47.4	81.8	69.7
重度 γ / (kN·m^{-3})	15.0	17.4	16.0
孔隙比 e	1.4	2.56	1.92
液限 w_L / %	21.2	88.2	
塑性指数 I_P / %	19.0	50.6	32.2
压缩系数 a_{V1-2} / MPa^{-1}	1.1	3.6	2.43
固结系数 C_V / (cm·s^{-1})	10^{-4}	10^{-3}	
灵敏度 S_t	2.8	9.8	5.5

因此当在软土地基上修筑高速公路时, 应最大限度地利用硬壳层较高的强度, 对传递到软土地基中的应力起一定的分担效果, 从而降低总沉降量。工程实

* 收稿日期: 2001-04-23

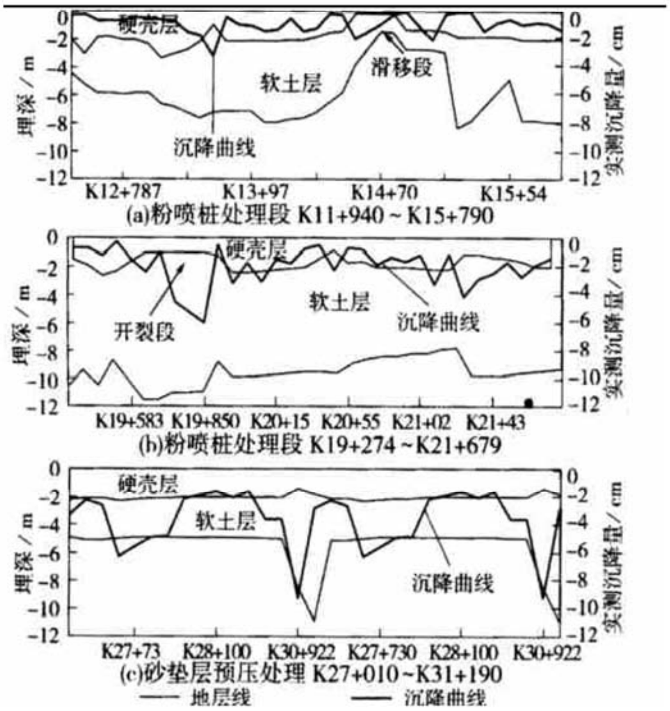


图 1　实测沉降量与硬壳层厚度的关系

Fig. 1　Relation between monitored settlement and the thickness of crust with high strength

践中在软土地基中存在某一填土临界高度, 当填土高度小于填土临界高度时, 填筑速率可以较大; 而当填土高度接近填土临界高度时, 填筑速率就要放慢。实际上这种通过控制填筑速率来减小沉降量的方法, 在某种程度上也是为了保证硬壳层结构不受破坏。

3　不同处理方法对沉降变形的影响

工程全线主要采用两种方法来处理软土地基, 即粉喷桩和砂垫层预压, 不同处理方法时的实测沉降量参见表 2。从表 2 可以看出: 不同的处理方法对沉降变形是有较大影响的, 相近填土高度情况下, 粉喷桩处理断面的实测沉降量普遍小于砂垫层处理断面, 这已为工程实践所验证; 沉降量随着填土高度的增加而增大, 而且不同处理方法时填土高度对沉降量的影响不同, 砂垫层预压处理时填土高度对沉降量的影响比粉喷桩处理时更为明显。实测资料显示, 粉喷桩处理段沉降量的变化很大, 粉喷桩处理质量是关键因素, 另外这类地区沉降主要发生在加载期间, 即加载后沉降稳定相对较快, 而砂垫层处理段加载后沉降速率减小较慢, 当填土高度较高时沉降量还有增大趋势。因此, 粉喷桩处理段, 复合地基的质量和地质条件则是影响沉降量的两个重要因素; 而砂垫层预压处理段的沉降主要受地质条件与填土高度影响, 在厚软土的高填方路段的沉降量很大, 部分路段施工沉降超过 1.0 m(如 K23+ 700 断面), 而且沉降速率仍比较大, 因而在该地区填土高度较高(大于 4 m)时, 仅仅采用砂垫预压处理是不够的。

表 2　不同处理方法时实测沉降量表

Table 2　Monitored settlement of soil improved with different methods

观测桩号	处理方法及参数			填土高度 /m	实测沉降量 /cm
	砂垫层预压厚度/cm	粉喷桩 桩长/m	粉喷桩 间距/m		
K13+ 100	30			1.88	28.0
K15+ 090		6	1.2	4.50	34.1
K16+ 150	30			3.26	46.1
K17+ 700	30			3.67	69.7
K18+ 219		9	1.6	2.90	43.7
K23+ 700	30			5.17	124.2
K24+ 950		8	1.4	5.39	39.5
K29+ 140		11	1.5	4.09	23.0
K29+ 700		9	1.6	3.64	47.5
K30+ 324		13	1.4	4.84	53.5
K30+ 600		13	1.4	6.13	79.7
K30+ 922	30			4.27	92.5

4　不同处理方法的沉降变形规律

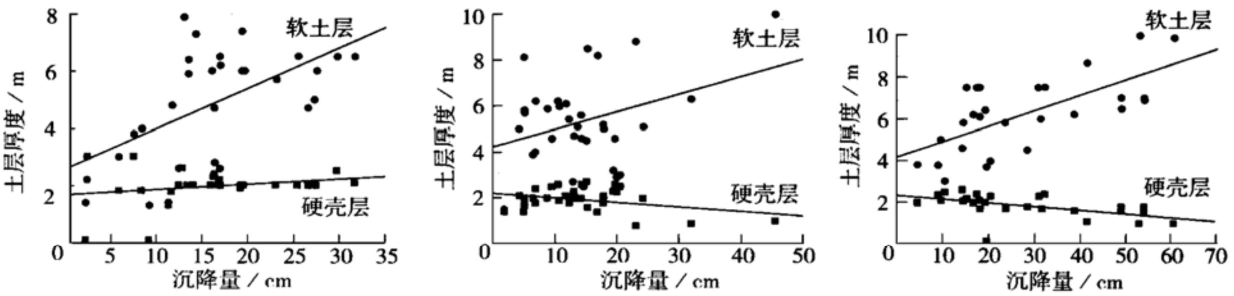
4.1　粉喷桩处理地段沉降变形规律

在全线软基处理设计中, 粉喷桩桩位在平面上呈正三角形布置, 桩间距一般在 1.2~ 1.6 m, 桩径 50 cm, 喷灰量在 50~ 70 kg/m 之间, 桩长的设计均打穿软土层并深入持力层内 50 cm, 故在相类似地质条件下, 桩间距越小、喷灰量越大、桩长越长, 沉降量越小。表 2 也显示, 在其他条件相近时, 沉降量随着粉喷桩间距的增大而增加, 因此, 当填土高度较高时, 过大的桩间距也是沉降量增大的原因之一。

粉喷桩处理地段, 沉降量不仅与粉喷桩处理的质量有关, 而且与地质条件、填土高度等因素密切相关, 由于实际观测的沉降量是几种因素共同作用的结果, 因此在分析某一因素对沉降量的影响时, 尽可能选取其他条件相近的点位进行比较。在对全线 395 个粉喷桩处理段的观测点数据分析的基础上, 得出不同填土高度情况下, 实测沉降量与软土层和硬壳层厚度的变化关系, 见图 2。从图中可以看出: 当填土高度小于 3 m 时, 软土层厚度是影响沉降的主要因素, 而硬壳层厚度对沉降变形的影响不十分明显, 这与实际观测时, 沉降标埋设前的填土高度不同有一定关系; 当填土高度大于 3 m 后, 软土层厚度对沉降的影响同样存在, 且影响的程度相当, 但硬壳层厚度与沉降量呈负相关关系, 而且随填土高度的增加, 负相关因子也随着扩大。

对上述观测数据进行线性拟合后可以看到, 沉降量 S 随着软土层厚度 H 的增加而增大, 当填土高度为 2.0~ 3.0 m 时, $S = 6.983 + 0.067H$; 当填土高度为 3.0~ 3.5 m 时, $S = 7.838 + 0.031H$; 当填土高度为 4.0~ 5.0 m 时, $S = 7.868 + 0.042H$ (S 单位 cm, H 单位 m)。

硬壳层厚度对沉降量的影响主要受填土高度因子



(a)填土高度2.0~3.0m (b)填土高度3.0~3.5m (c)填土高度4.0~5.0m

图 2 沉降量与软土层及硬壳层厚度的关系

Fig. 2 Relation between settlement and the thickness of soft clay or crust with high strength

的制约, 即沉降量 S 随着填土高度 x 的增加而增大, 随着硬壳层厚度 h 的增厚而减小, 当填土高度大于 3.0 m 后, 三者之间满足线性关系: $S = 0.617x - 0.018h$ (S 单位 cm, 其余为 m)

4.2 砂垫层预压处理地段沉降变形规律

在软基砂垫层预压处理设计中, 砂垫层厚度 30 cm, 在砂垫层下铺设一层有纺土工布并上裹 3 m, 利用路堤填土自重预压, 全线共布置 161 个观测点。通过观测资料分析, 当存在硬壳层(≥2.0 m) 而软土层较薄 (2.6~ 4.0 m) 时, 沉降量与填土高度之间的关系如图 3 所示。由图 3 可知: 当填土高度小于 2.5 m 时, 填土高度对沉降量没有太大的影响, 而当填土高度大于 2.5 m 时, 填土高度的变化对沉降量有很大的影响。由此可见, 当硬壳层厚度大于 2.0 m 而软土层厚度小于 4.0 m 时, 该地区的填土临界高度为 2.5 m 左右。

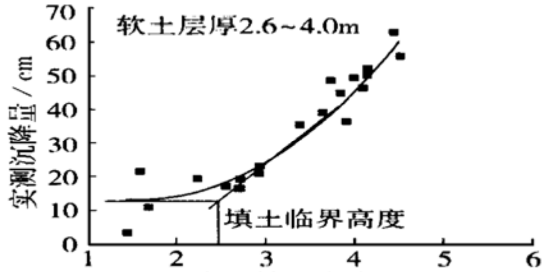
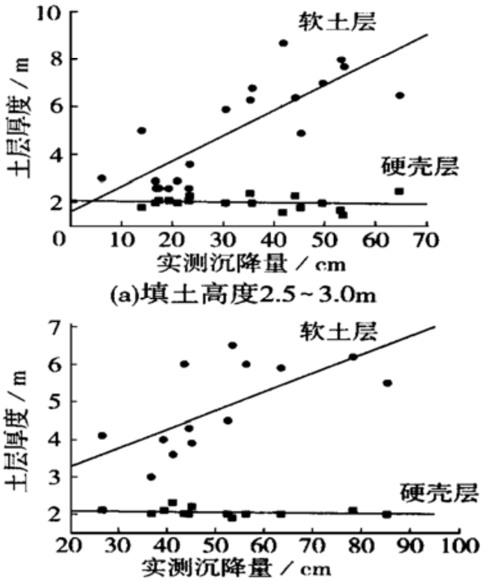


图 3 沉降量与填土高度的关系

Fig. 3 Relation between settlement and embankment height

当采用砂垫层处理时, 沉降量同样与地质条件、填土高度等因素密切相关, 比较观测数据后得到, 当其他条件相近时, 不同填土高度情况下, 实测沉降量与软土层和硬壳层厚度的变化关系见图 4。从图可看出: 硬壳层厚度的影响只有在填土较高(大于 4.0 m) 时才反映出来, 而软土层厚度对沉降的影响随填土高度的增加急剧变化, 因此, 笔者认为砂垫层预压处理软土地基的方法只适用于填土高度较小、软土层厚度较薄的工程条件。



(b)填土高度3.0~4.0m

图 4 沉降量与软土层及硬壳层厚度的关系

Fig. 4 Relation between settlement and the thickness of soft clay or crust with high strength

5 结 论

(1) 在相似的地质条件下, 沉降变形量与硬壳层厚度呈负相关关系, 与软土层厚度呈正相关关系。

(2) 用粉喷桩处理软土地基时, 粉喷桩的质量是关键, 而且沉降量随着桩间距的增加而增大, 填土越高, 桩间距的变化对沉降量的影响越剧烈。

(3) 用砂垫层处理软土地基, 当硬壳层厚度大于 2.0 m 而软土层厚度小于 4.0 m 时, 该地区的填土临界高度为 2.5 m 左右。而且砂垫层处理软土地基的方法只适用于填土高度较小、软土层厚度较薄的工程条件。

(4) 通常在地基土的硬壳层较薄、软土层较厚、填土高度又较高的观测点处, 沉降变形量较大。并且给出了粉喷桩处理时, 沉降量与硬壳层和软土层厚度的数学关系式。

参考文献:

[1] 张诚厚, 袁文明, 戴济群. 高速公路软基处理[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.

[2] 赵九斋. 连云港软土路基沉降研究[J]. 岩土工程学报, 2000, **22**(6): 643~ 649.