

某高速公路软土地基处理设计方案分析

曹雪山

(河海大学土木与交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 由于软土地基具有低强度、高压缩性等特征, 规范规定在软土地基上建造高速公路时必须进行沉降变形监测。通过对某段路基填筑过程与预压期沉降情况分析, 路基填筑期和预压期的沉降监测数据表明该段路基沉降量和沉降速率均大, 且沉降速率收敛慢, 这与地质资料中显示有较厚的软弱土层基本相应; 在填筑期, 路基快速填筑, 产生沉降变形大, 已经基本体现了路基后期沉降变形情况; 设计方案中采用了超载预压基本合理, 路基在预压期表现为沉降量大, 虽然说明预压效果很好, 但本段沉降速率过大, 收敛速度慢, 需要较长时间才能达到最终预压效果, 这与地质勘察发现的淤泥质粉质黏土为中高压缩性土并不吻合, 因此需要根据实际沉降观测数据进行具体分析。

关键词: 软土地基; 地基沉降; 超载预压; 预压效果; 数据分析

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2011)S1-0220-03

作者简介: 曹雪山(1970-), 男, 副教授。主要从事非饱和土固结、道路路基沉降监测、基坑监测及岩土工程现场试验研究。E-mail: x.s.cao@163.com。

Analysis of ground improvement of a highway in the soft clay ground

CAO Xue-shan

(College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: It is necessary to monitor the settlement during construction of highways in the soft clay ground because of its characteristics of high compressibility and low strength. The settlement data during the time of filling and surcharge correspond with the geological data of the thick soft soil. They show that the plan of surcharge is necessary, and the effectiveness of the surcharge is obvious. The data also show both the large soil deformation and the high settlement velocity. Slow convergence have negative effect on the actual surcharge, and it will lead to large settlement at late stage, which is not corresponding to that of the silty clay with middle to high compressibilities. Therefore, other plans are put forward to meet the control requirements.

Key words: soft ground; settlement; surcharge; effectiveness; data analysis

0 引言

随着中国东部地区的经济快速发展, 交通量不断增大, 高速公路建设也迅猛发展, 但东部沿海地区, 区域土层多为淤泥、淤泥质黏土, 属于饱和软黏土。对于软土地区的公路地区处理是高速公路建设中的一个技术难点问题。尽管目前常用的软土路基处理方法有多种, 如排水固结法、复合地基法、垫层法等, 主要包含堆载预压、真空预压法、湿喷桩、粉喷桩及砂垫层等。由于地基处理造价高, 但地质条件处于不同处理方法的界限时, 如何选取合适的处理方法显得尤为重要, 保守地处理, 则大大增加造价, 造成资金浪费; 反之, 则风险过大, 工期及道路质量难以保证。因此如何正确认识地质条件, 合理选择地基变形计算参数, 在具体工程实践中选择合适的地基处理方法, 满足公路通车后工后沉降的要求, 这对于提高高速公路设计

水平具有重要的工程意义。

1 工程概况

某高速公路场区内属长江下游河湖相第四纪沉积物, 其中软土为全新统长江下游沉积物。土层由上至下分布为(见图1): ①表层粉质黏土: 灰色, 夹粉砂薄层, 顶部为耕植土, 层厚 3.1~4.8 m; ②淤泥质粉质黏土: 灰褐色, 高含水率, $w=32\%\sim 49\%$, 高孔隙比, $e=0.99$, 中高压缩性 $a_{1-2}=0.3\sim 0.85\text{ MPa}^{-1}$, 局部夹有多层粉砂, 含腐植物, 层厚 10 m 左右, 局部夹粉砂薄层, 埋深于 5~10.3 m; ③粉质黏土: 灰褐色, 中~高压缩性, 夹较多砂薄层, 层厚 2~4 m, 埋深于 18~22 m。

本段高速公路主线平均路基高度 4.41 m, 最大堤

高 5.89 m。本路段沿线地基未处理时总沉降量平均值为 493.8 mm，最大值 578 mm。

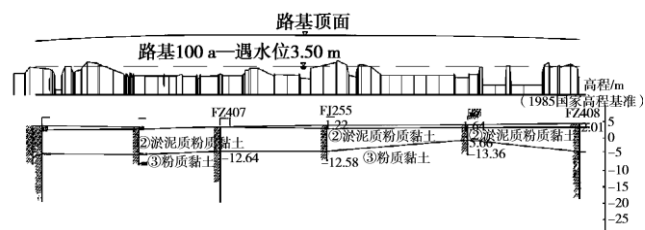


图 1 某段高速公路设计纵向断面

Fig. 1 Longitudinal design section of highway

2 沿线地基处理方案

根据地质勘察资料和所设计的路堤高度，沿线软土层主要为淤泥质粉质黏土，埋深较浅、层厚 10 m，介于超载预压与竖向排水井（塑料排板）超载预压之间，同时勘察报告显示还存在多处粉砂薄层，这缩短排水路径，大大加快路基沉降速率，减小路基固结时间，有利于路基工后沉降的控制^[1]，设计中通过现有的计算软件可知路基总沉降量及工后沉降量均不大，超载预压时间 6~9 个月^[2] 基本满足工期要求。

3 沉降观测与地基处理方案分析

路基沉降观测工作一般可分为填筑期观测、预压期观测、路面施工期观测和工后观测四个阶段^[5]。其中填筑期沉降观测资料实质上反映了不同荷载条件下地基对路基填筑荷载的敏感性，通过对已有沉降观测资料分析，不仅可保证路基填筑过程中路堤稳定性，而且可确定加载预压强度和可能的卸载时间，使不利的沉降量提早发生；其次是预压期的沉降观测工作，一方面是检验加载预压方案的效果，另一方面是进一步确定加载预压强度是否足够，确定卸载时间，以确定结构物和路面的施工时间，确保结构物安全，减小路面施工期沉降量；施工期实测沉降量还可为沉降土方的计量提供依据。路面施工期的沉降观测，主要是为确定路面结构各层的施工时间，尽量减少后期面层结构累计沉降量。而工后沉降观测，可进一步验证地基处理效果，验证沉降预测的精确性，对一些工后沉降量超标的路段，可根据观测结果进行反分析，总结经验教训，及时做好维护措施。

3.1 路基填筑阶段沉降分析

沉降板应在地基处理完毕、地面整平填筑 2~3 层后（填筑厚度不小于 60 cm）埋设。有砂垫层地段在砂垫层上压实二层土时埋设，无砂垫层地段在原地面以上压实三层土时埋设。表 1 为本路段路基填筑阶段沉降情况与路堤填筑高度情况表。从表 1 可知，尽

管本路段的填筑高度平均值仅有 1.2 m，填筑时间也仅有 110 d 左右，但路基沉降速率大多数在 40 mm/d 以止，累计沉降量平均值已达到 212 mm。图 2 为本路段路基填筑阶段沉降随路堤填筑荷载高度的发展曲线。从图 2 可见，由于埋板前路基已经填筑几层土，因此埋板初期即有沉降发生。随着路基不断增高，沉降速率不断增大，图 2（a）显示埋板填筑 1.4 m 后，路基沉降几乎是线性增长；图 2（b）显示埋板时路基沉降量增长是几乎线性的，当路堤增高 1.7 m 后，路基沉降进一步增大，在埋板后 131 d 后，累计沉降量达到 393 mm。这说明地基对于路基荷载是非常敏感的，地基沉降发生速率也很快，这与地质勘探资料中显示的软弱土层较厚，同时局部夹粉砂薄层相吻合。

表 1 高速公路路基填筑阶段沉降情况表

Table 1 Settlement of soils during filling of highway

桩号	月沉降速率/(mm·月 ⁻¹)			填高/m	持时/d	累计沉降量/mm
	2009-10	2009-11	2009-12			
k53+460	56.6	61.8	57.2	1.3	110	204.5
k53+590	13.2	19.0	28.0	1.4	131	100.5
k53+660	48.1	56.4	59.2	2.0	110	210.5
k53+740	49.7	93.1	114.1	1.7	131	348.0
k53+890	60.7	77.7	84.9	1.0	99	236.5
k53+978		0.0	40.7	0	35	47.5
k54+050	77.6	106.0	111.7	1.7	131	393.5
k54+130	63.4	106.7	115.5	1.3	110	335.0
k54+200	77.5	97.2	96.7	1.5	110	339.5
k54+280	26.0	22.4	22.7	1.2	110	91.5

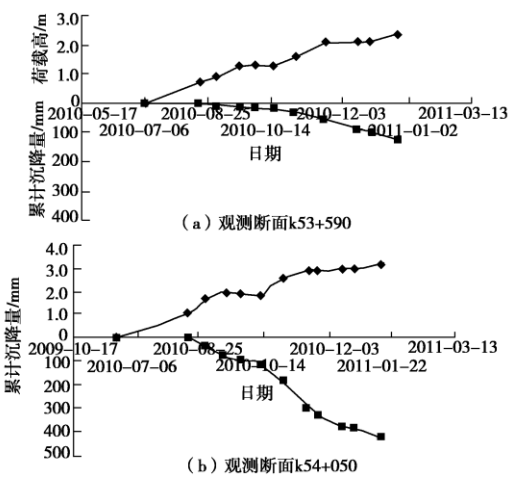


图 2 路基填筑阶段路堤荷载与实时累计沉降关系

Fig. 2 Relation between filling load and deformation of soils during period of filling

填筑期沉降数据与曲线显示，路基沉降量大，沉降速率衰减较慢，此时进行等超载预压设计，所需要的等超载预压土方量大，但为配合高速公路指挥部的工程进度安排，要求利用 2010 年初低温季节预压路基，于是根据沉降观测数据推算，基本同意原设计方案，提出了本路段的超载预压处理方案，预压时间不少于 9 个月。

3.2 预压阶段路基沉降分析

由于土源和天气问题, 本段超载预压荷载 2010 年 1 月 22 日前完成了 80% 的土方量, 后来 3 月中旬再对该段进行补载, 基本完成设计土方量。从表 2 可知, 该段路基沉降速率收敛慢, 且沉降量较大。历经 250 d 左右的预压, 所观测的累计沉降量平均 795.8 mm, 最大值 1180 mm, 其中预压期沉降量平均为 514 mm, 最大值 786.5 mm, 远超出设计总沉降量 550 mm。这充分说明超载预压的优化预压处理方案的合理性, 同时也说明公路地基规范中严格要求软土地基上高速公路建设施工期进行沉降观测的必要性。

图 3 为本路段预压阶段沉降随路堤荷载高度的发展曲线。从图 3 可见, 当预压荷载加载后, 路基沉降量快速发生, 这与路基填筑过程中沉降量快速发生的过程是一致的。随着路基荷载基本不变时, 沉降速率逐渐减小, 但沉降速率衰减初期较快, 逐渐变慢。如表 2 和图 3 所示, 观测断面 K53+590 即使 9 个月后, 沉降速率仍有 20 mm/月, 观测断面 K54+050 在 9 个月后, 沉降速率也有 10 mm/月, 因此本路段沉降特点是该段路基沉降速率收敛慢, 且沉降量较大。

表 2 路基预压期阶段沉降速率、沉降发展情况表

Table 2 Settlement of soils during surcharge of highway

桩号	月沉降速率/(mm·月 ⁻¹)			预压时间/d	预压期沉降量/mm	累计沉降量/mm
	2010-7	2010-8	2010-9			
k53+460	20.18	18.00	15.00	252.0	371.5	616.0
k53+590	31.36	24.55	20.39	263.0	573.5	696.5
k53+660	29.45	22.91	21.56	263.0	533.5	777.5
k53+740	37.09	30.55	28.12	263.0	786.5	1180.5
k53+890	24.55	21.27	19.69	273.0	673.0	909.5
k53+978	22.91	17.45	12.89	253.0	391.5	462.0
k54+050	18.00	13.09	9.37	253.0	602.0	1029.5
k54+130	13.09	11.18	7.97	252.0	441.5	859.0
k54+200	19.64	14.45	10.78	252.0	557.0	920.0
k54+280	30.55	20.18	18.75	194.0	433.0	594.0

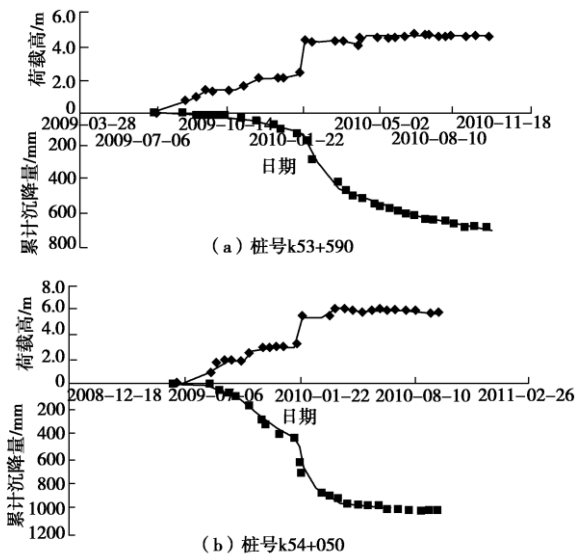


图 3 路基预压阶段路堤高度与累计沉降实时曲线图

Fig. 3 Relation between filling load and deformation of soils during period of filling and surcharge

预压期沉降数据与曲线显示, 在预压荷载作用下,

路基沉降量巨大, 远超出设计总沉降量, 因此按照原设计方案的超载预压土方量已经不足, 加载路段的等超载高度就已经出现了“超载变等载、等载变欠载、欠载变负载”的现象, 严重影响实际预压效果, 进而导致卸载后, 路基后期沉降仍然较大, 不能满足控制要求; 同时预压期沉降速率衰减较慢, 逐渐体现了淤泥质软土地基沉降速率衰减慢的特征。

4 讨论与结论

根据公路工程地质勘探规范, 一般 300 m 一个钻孔, 即使在地质复杂条件下, 最多也是 100 m 一个钻孔^[3]。同时由于地质条件的复杂性, 钻孔资料的稀少性, 使地质勘察资料不可能很详细, 而设计单位只能根据仅有地质钻孔资料和各标段的分层试验成果推广到全标段进行沉降计算, 这就难免与实际地质情况有出入。另一方面, 由于土体沉降变形特性的复杂性, 土工计算尚存在较大的误差, 也难以准确地与工程实际情况相符。因此, 必须在路基施工过程中进行沉降变形监测。

通过对本段路基施工过程进行沉降监测与分析中可知目前路基沉降量大, 沉降速率大, 收敛慢, 这与地质资料中显示有较厚的软弱土层相应。同时由于本段路基超载预压加载面为 93 区, 尽管目前加载高度基本满足, 但考虑加载土的压实度仅有 80%, 因此加载荷载高度就出现了“超载变等载、等载变欠载、欠载变负载”的现象, 影响实际预压效果, 进而导致卸载后, 路基后期沉降仍然较大, 不能满足控制要求。

参考文献:

- [1] 江苏省镇江 814 勘察测绘有限公司. 泰州大桥接线镇江段工程地质勘察报告[R]. 江苏省镇江 814 勘察测绘有限公司, 2008. (Jiangsu Province Zhenjiang No.814 Survey Mapping Co., Ltd. Geological survey report of Zhenjiang route from Taizhou Bridge[R]. Zhenjiang: Jiangsu Province Zhenjiang No.814 Survey Mapping Co., Ltd., 2008. (in Chinese))
- [2] 江苏省交通规划设计院. 泰州大桥接线镇江段设计文件[R]. 南京: 江苏省交通规划设计院, 2008. (Traffic Planning and Design Institute of Jiangsu Province. Zhenjiang, Design documents of Zhenjiang route from Taizhou Bridge[R]. Nanjing: Traffic Planning and Design Institute of Jiangsu Province, 2008. (in Chinese))
- [3] JTG D30—2004 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2004. (JTG D30 — 2004 roadbed design specifications[S]. Beijing: China Communications Press, 2004. (in Chinese))

（本文责编 孙振远）