

文章编号:1671-8879(2006)06-0001-05

饱和软土地基固结沉降的现场测试

李又云, 刘保健, 谢永利

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064)

摘要:工后沉降与差异沉降是影响公路工程质量的关键。为加快施工期及预压固结期间的沉降速度,减小工后沉降,对四川达州—重庆高速公路软土地基进行了塑料排水板预压固结处理,并利用沉降探头、沉降杯对其进行了沉降观测,得到软基沉降变形的规律;同时通过孔压探头对其进行了现场孔隙水压力消散测试,得到孔隙水压力发展变化的规律。测试结果表明:该方案能有效地加快软基的沉降速率,缩短预压时间,加快施工进度,减小工后沉降变形与差异沉降。

关键词:道路工程;软土地基;塑料排水板;沉降速率;差异沉降

中图分类号:U416.1 文献标识码:A

Spot test of consolidation settlement of soft clay foundation

LI You-yun, LIU Bao-jian, XIE Yong-li

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China)

Abstract: The settlement transformation and difference settlement are the key factors that affects the highway engineering quantity. In order to speed the settlement of foundation during the construction and reduce the settlement after construction, the soft clay foundation of Dazhou—Chongqing freeway is treated with plastic drain straps. The settlement is observed and the rule of settlement is gained. At the same time the pore-prepressing is observed and the rule of pore-prepressing is found. The test result expresses that this method can speed the settlement velocity, shorten the time of prepressing, expedite the construction velocity and reduce settlement transformation and difference settlement. 4 tabs, 12 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; soft clay foundation; plastic drain strap; settlement velocity; difference settlement

0 引言

达川地区处于四川盆地西北部,属低山丘陵区,地形总体呈梁洼相间形,俗称“梳状”地形。洼地常为稻田或池塘,其下分布 6~14 m 厚的第四纪全新世坡洪积饱和粘土层。梁上分布有较薄的坡积物,

下部为强风化泥岩和新鲜泥岩。达渝(达州—重庆)高速公路达州段横跨其间,路基呈现较大的挖方或填方,地基表现为软、硬相间型。工后不均匀沉降较为显著,成为工程质量关注的焦点,亟待解决^[1-3]。为减少工后差异沉降,本文选取达渝高速公路百节至大竹 C1—C4 合同段的高填方路段的软土地基进

行处理,并进行现场观测研究,为上述问题的解决提供可靠的技术依据。

1 工程概况

达渝高速公路为双向四车道,路面宽为 25 m。根据实际情况,路堤的填筑时间确定为 180 d,预压固结期为 180 d,然后铺筑路面。百节一大竹段全长 24 km,冲沟甚多,沟中的粘土一般厚 6~12 m,最深达 14 m。路堤填方高度一般大于 6 m,最高可达 18.35 m,且填方路段多呈软基。具体工程分析确定在 K26+283 标段和 K25+325 标段,根据具体情况,将 K26+283 断面作为主要的研究断面。该断面填土高度 8.11 m,底面宽度 50.1 m。该段软基土层属于低液限粘土加粉土,厚 8~11 m,路基中心下

软基厚度为 10.2 m^[4-7]。K26+283 标段的断面如图 1 所示。

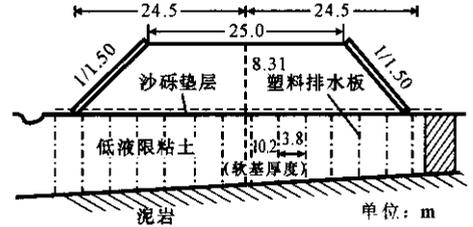


图 1 K26+283 标段断面

K26+283 断面下的地基软土均呈饱和状态或接近饱和状态(饱和度大于 96%),在表层掺有少量有机质。根据实际工程需要,对地基土层进行了土工试验,其物理力学指标见表 1。

表 1 达州软土物理力学指标

原样编号	取样深度/ m	密度 ρ / ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	孔隙比 e_0	含水量 ω / %	液限 ω_l / %	塑性指数 I_P	液性指数 I_L	饱和度 S_r	压缩模量 E_s / MPa
18-1	1.50~1.70	1.98	0.755	26.8	46.0	24.5	0.22	0.97	4.69
21-2	3.20~3.40	1.96	0.797	29.0	47.0	25.5	0.29	0.99	4.48
24-5	6.00~6.20	1.95	0.802	29.7	43.4	22.6	0.39	1.00	4.31

从室内试验结果来看,该粘土压缩性较其他软土较小,但呈现中等偏高的压缩性。

2 地基处理和测试方案

2.1 地基处理方案

该方案是在天然地基上打设竖向排水体,利用填土荷载进行预压,使土体中的孔隙水排出,加速土体的固结速度,达到加速地基施工沉降,减小工后沉降,同时提高工后地基强度的目的。软基顶部铺设 0.5 m 厚的砂垫层,地基采用塑料排水板预压固结处理,排水板采用三角形布设,间距为 3.8 m,其长度贯穿整个软基,具体方案见图 1,地表水平排水则是利用砂沟。

2.2 测试方案

在 K26+283 断面,沿路基横断面方向,在软基表面的排水砂砾石垫层上布置两条静力水准连续剖面沉降观测线,以测量该段面软基不同时刻、不同位置的地基变形。第一条观测线下部有 4 个钻孔,钻孔位置见图 2,中间 2 个孔位,在地基中部与底部分别埋设一孔隙水压力探头;两侧的 2 个钻孔中,分别在软基底部安设一孔隙水压力探头,仪器埋设方案见表 2。

表 2 K26+283 断面仪器埋设位置

断面	K26+283 断面					
	U ₁	U ₂₋₁	U ₂₋₂	U ₃₋₁	U ₃₋₂	U ₄
孔压探头编号	U ₁	U ₂₋₁	U ₂₋₂	U ₃₋₁	U ₃₋₂	U ₄
埋设位置	坡脚	路肩	路肩	路基中心线	路基中心线	路肩
埋设深度/m	7.6	5.8	2.9	2.9	7.0	5.6

K26+283 断面测试方案如图 2 所示。

K25+325 断面测试方案如图 3 所示,沉降杯埋设位置见表 3。

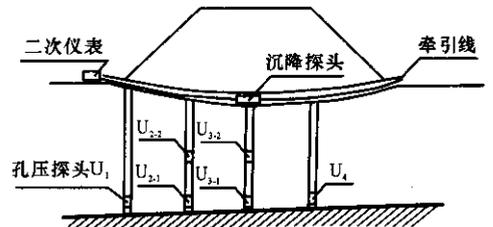


图 2 K26+283 断面软基测试元件布置方案

表 3 K25+325 断面仪器埋设位置

断面	K25+325 断面		
	S ₁	S ₂	S ₃
沉降杯编号	S ₁	S ₂	S ₃
埋设位置	左路肩	路基中心线	右路肩
埋设深度	路基表面	路基表面	路基表面

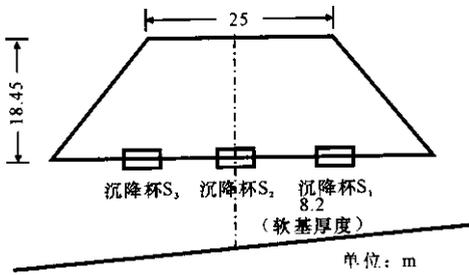


图 3 K25+325 断面软基测试元件布置方案

3 沉降测试结果分析

3.1 地表沉降

为分析施工期间及工后沉降情况,所有测试元件均在 1999 年 1 月埋设完成,同时进行观测。根据实测数据,绘出了 K26+283 标段的路基横断面表面在不同时间的沉降过程曲线(图 4);图 5 为该断面路基中心的沉降过程曲线。由图 4 可以看出,随着填方高度的增加,地基固结沉降随时间不断地增加,且地基沉降从中心到两侧由大逐渐变小;在路堤一侧坡脚外的地基不降反升,其主要原因是高填方路堤载荷作用下,此处地基土体有较大的侧向变形,造成地表的隆起所致,该现象发生在软基较厚的一侧^[8-9]。

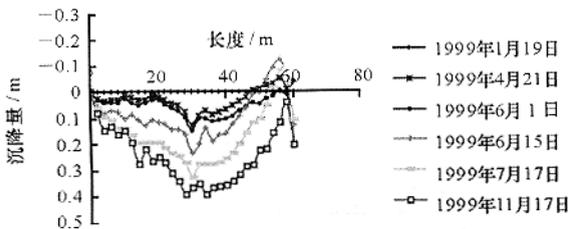


图 4 K26+283 路基横断面表面沉降曲线

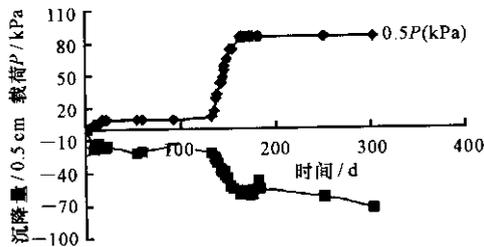


图 5 K26+283 路基横断面中心沉降曲线

由图 5 可以看出,路基中心处的地基土体沉降与填方载荷的关系。在开始时随着填方的增加,地基沉降较快,后来因进入雨季,施工不能正常进行,地基沉降变形基本终止;后期填方速度较快,地基沉降变形则很迅速,填方完成接近 90 d 后,地基土体固结变形基本完成,沉降量约为 40 cm。

为验证地基处理方案的效果,取不同时间的沉降量,用三点法推出地基最终沉降量,并计算出未处

理地基填土竣工后不同时刻的固结度和沉降量,并与观测结果相比较,结果见表 4。

表 4 K26+283 断面不同时刻的固结度与沉降量

项 目	处理后的地基			未经处理的地基		
	固结度/ %	沉降量/ cm	残余沉降/ cm	固结度/ %	沉降量/ cm	残余沉降/ cm
	最终沉降量 38.6 cm			最终沉降量 38.6 cm		
预压时间						
填土竣工后	74.5	38.7	9.9	28.6	11.05	27.55
预压 30 d	81.9	31.6	7.0	32.4	12.50	26.10
预压 60 d	87.3	33.7	4.9	35.8	13.83	24.77
预压 90 d	91.2	35.2	3.4	39.2	15.11	23.49
预压 180 d	94.3	36.4	2.5	43.0	16.58	22.92
预压 270 d	96.7	37.4	1.3	47.5	18.42	20.17
预压 360 d	98.7	38.1	0.5	56.2	21.71	16.89

由表 4 可以看出,K26+283 断面地基处理后,在填方结束时固结度为 74.5%,残余沉降为 9.9 cm;预压 30 d 后,固结度达到 81.9%,残余沉降为 7.0 cm;在预压固结 180 d 后,地基土体的固结度达到 94.3%,主固结基本完成,残余沉降仅为 2.5 cm,满足工后沉降的要求。且在条件允许的情况下可以缩短预压期,或者在预压期不变的前提下,还可适当的放大塑料排水板的间距。

如地基不进行处理,土体固结完成需要较长的时间,由表 4 可以看出,当填土完成时,地基土体的固结度仅达到 28.6%,工后的残余沉降达到 27.55 cm;即使预压 180 d,地基土体的固结度仅为 43.0%,残余沉降为 22.92 cm,这样会造成较大的不均匀沉降,对工程质量有严重影响。

图 6 表示 K25+325 断面地基沉降随路堤填方载荷的变化关系。从图 6 中可以看出,测点 S₂ 的沉降量最大,达到 71 cm;S₃ 次之,沉降量为 62.3 cm;S₁ 测点的沉降量最小,其沉降量为 38 cm。这是因为测点 S₂ 位于路基中部,地基土体受到的附加应力较大的缘故。虽然测点 S₃ 与 S₁ 位于路肩的下部,但测点 S₃ 的沉降较大,主要原因是测点 S₃ 处于软基的斜下坡,软土层较厚。

3.2 填筑速度与沉降速率

为了保证施工期间地基的稳定性,合理地控制填筑速度是关键,填筑速度的大小主要是根据地基土体的沉降速率来反映,《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》(JTJ017-96)规定地表的日沉降量应不超过 10 mm。在 K25+325 断面,对地基的沉降速率进行了观测,由图 7 可以看出,地基表面的沉

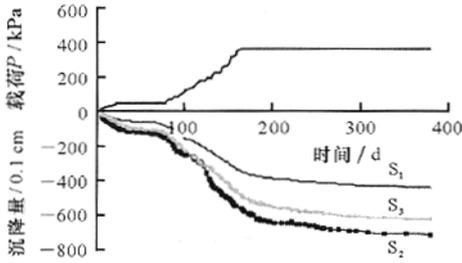


图 6 K25+325 断面填土、沉降与时间的关系

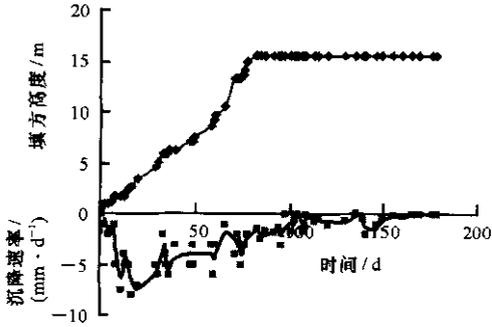


图 7 K25+325 断面路基中心线地表沉降速率

降速率最大不超过 10 mm/d, 满足规范的要求。从图 7 中还可以看出, 在加载初期土体的沉降速率较大, 后期则较小, 这主要是随着地基土体固结的发展, 导致土体强度不断增加的缘故。在填方完成后, 随着固结度的进一步增加, 地基沉降速率逐步地减小直至接近为 0, 沉降变形达到稳定。从图 7 中还可以看出, K25+325 断面填方结束时间在第 82 d。这说明填土完成后, 地基土体固结变形稳定所需时间为 90 d 左右, 这也印证了 K26+283 断面所测结果的可靠性。

4 孔隙水压力测试结果分析

为准确判断在施工期间地基土体的孔隙水压力的增长和消散过程以及地基土体稳定性, 在 K26+283 断面还进行了孔隙水压力观测。所有孔压探头均于 1999 年 1 月埋设完成, 同时开始填土进行观测。在观测过程中除发现 U_3 孔压探头异常外, 其余均良好, 观测历时大于 300 d。观测结果如图 8~图 12 所示。由图可以看出, 孔隙水压的增长与填方

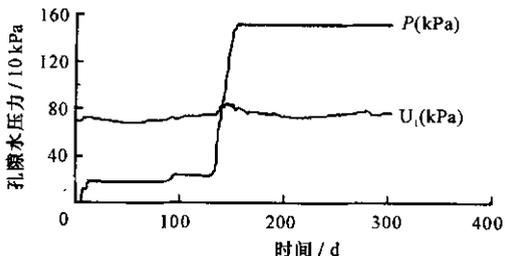


图 8 U_1 孔压探头孔隙水压力的变化

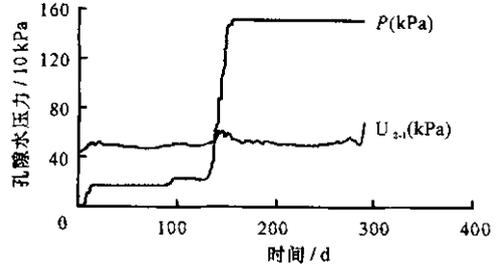


图 9 U_{2-1} 孔压探头孔隙水压力的变化

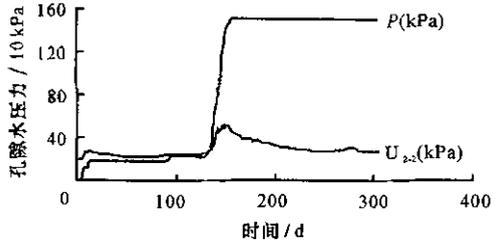


图 10 U_{2-2} 孔压探头孔隙水压力的变化

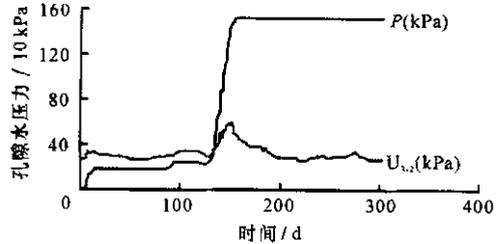


图 11 U_{3-2} 孔压探头孔隙水压力的变化

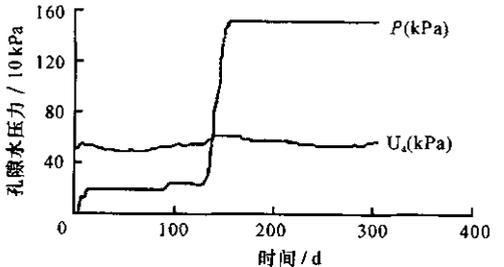


图 12 U_4 孔压探头孔隙水压力的变化

载荷增长的同时性。从图 2 可知道, 孔压探头 U_1 、 U_{2-1} 和 U_4 位于软基的底部, 埋设深度较大, 因此填方荷载引起的超孔隙水压力较小; 孔压探头 U_{2-2} 与 U_{3-2} 位于地基的中部, 距离地基表面为 2.9 m, 因此填土荷载引起较大的超孔隙水压力。根据埋设的位置, 可知道 U_1 与 U_4 的高差为 2 m, 从两点测试的静水压力来看, U_4 点为 50 kPa, U_1 点为 70 kPa, 相差为 20 kPa, 相当 2 m 的水位差, 与两点的高差相吻合, 说明了孔隙水压力探头观测结果的精确性和可靠性。根据观测的结果, 上部的孔压探头所测的超孔隙水压力较大, 下部的超孔隙水压力较小, 验证了在填方荷载作用下地基土体中附加应力的分布规律; 更重要的是根据同一钻孔上部实测值与下部实测值相差不大这种现象, 说明附加应力在土层深度

方向的分布是较均匀的。例如 U_{2-2} 测点的超孔隙水压力为 31 kPa, U_{2-1} 测点的超孔隙水压力为 9 kPa, 相差仅为 22 kPa, 说明对于基础底面尺寸较大, 而软土压缩层厚度较小, 且基础刚度相对地基刚度不太大的软基, 采用太沙基一维固结理论计算软土地基固结沉降变形是合理的, 也是可靠的。

另一方面, 由图 8~图 12 可以看出, 填方完成后, 超孔隙水压力的消散时间大约为 80 d, 即填方完成后, 地基土体固结变形的完成需要约 90 d, 这也表明了上述沉降观测曲线变化规律的可靠性。同时也说明对于达渝高速公路类似场地, 采用塑料排水板预压排水处理软土地基, 可以加速地基土体的固结沉降变形速度, 提高地基的强度, 有效地减少工后沉降与差异沉降, 以满足规范对工后沉降与差异沉降限制的要求, 从而有效地保证公路运营的质量。

5 结 语

(1) 软土地基经塑料排水板预压排水固结方案处理后, 可加快地基土体的固结沉降变形速率, 沉降变形在填方完成后经预压 90 d 左右的时间即可完成, 残余沉降仅为 3.4 cm, 减少了地基工后沉降与差异沉降, 有效地保证了公路运营的质量。

(2) 通过对施工期间及其工后的孔隙水压力的观测, 得到孔隙水压力的变化规律, 从孔隙水压力的消散快慢, 验证了地基土体固结变形稳定所需的时间, 说明了沉降变形观测的正确性。

(3) 通过对达渝高速公路百节一大竹段 C1-C4 合同段的高填方路段软土地基的现场观测研究, 表明塑料排水板处理高填方情况下的软土地基的方案是可行的, 为类似场地的进一步研究提供了依据。

参考文献:

References:

- [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.
ZHANG Cheng-hou, YUAN Wen-ming, DAI Ji-qun. Treatment of freeway soft foundation [M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 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): 663-649.
ZHAO Jiu-zhai. Research on settlement of soft clay

- foundation in Lianyungang [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2000, 22(6): 663-649.
- [3] 张惠明, 徐玉胜, 曾巧玲. 深圳软土变形特性与工后沉降[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(4): 509-514.
ZHANG Hui-ming, XU Yu-sheng, ZENG Qiao-ling. Deformation behavior of Shenzhen soft clay and post-construction settlement [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2002, 24(4): 509-514.
- [4] 张仪萍, 曹国强, 李 涛, 等. 分级加载条件下沉降预测方法[J]. 中国公路学报, 2005, 18(1): 30-33.
ZHANG Yi-ping, CAO Guo-qiang, LI Tao, et al. Prediction method of settlement under multi-stage loading[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 30-33.
- [5] 李又云. 同时考虑加荷、变形和时间的公路软基固结沉降理论及其仿真的研究[D]. 西安: 长安大学, 2000.
LI You-yun. Research on the theory of highway soft clay ground on considering load, transformation and time at the same time and CAE [D]. Xi'an: Chang'an University, 2000.
- [6] 丁洲祥, 龚晓南, 李又云, 等. 考虑变质量的路基沉降变形协调分析法[J]. 中国公路学报, 2005, 18(2): 6-11.
DING Zhou-xiang, GONG Xiao-nan, LI You-yun, et al. Method of stress-deformation compatibility analysis considering variable mass for roadbed settlement[J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(1): 30-33.
- [7] 刘保健, 谢永利, 李又云. 公路软基在变荷载条件下的沉降计算[J]. 中国公路学报, 2000, 13(4): 21-25.
LIU Bao-jian, XIE Yong-li, LI You-yun. Settlement calculation of highway soft foundation under the changeable load [J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(4): 21-25.
- [8] 冯忠居, 张永清. 粗粒土路基的压实试验[J]. 长安大学学报: 自然科学版, 2004, 24(3): 9-12.
FENG Zhong-ju, ZHANG Yong-qing. Compaction test of coarse-grained soil subgrade [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2004, 24(3): 9-12.
- [9] 姜 蓉, 李昌宁. 软土地基 CFG 桩加大技术[J]. 交通运输工程学报, 2004, 4(3): 4-7.
JIANG Rong, LI Chang-ning. CFG pile strengthening technology of soft ground [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2004, 4(3): 4-7.