

影响塑料排水板加固效果因素的探讨

王景环, 陈志成, 周俊磊, 徐典

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌 330013)

摘要: 对塑料排水板法加固软粘土地基而言, 塑料排水板的固结系数、排水板的间距、处理深度极其井阻与涂抹作用等都直接影响着加固效果. 以浙江台金高速公路软土路堤试验断面工程地质条件为例, 分别分析影响塑料排水板加固效果的几个主要因素, 得出固结系数在设计计算中可以用室内试验的竖向固结系数代替径向固结系数. 同时, 排水板的间距和深度并不能无限制的减小或加大, 而应根据实际工程情况进行合理的取值.

关键词: 软基; 塑料排水板; 间距; 处理深度; 井阻与涂抹

中图分类号: TU47

文献标识码: A

塑料板排水处理软土地基是根据排水固结和设置竖向排水通道(插入塑料排水板)、缩短排水距离的原理在地基土上施加荷载, 土中孔隙水通过塑料排水板通道排出, 从而使土中孔隙水体积逐渐减少, 地基土固结变形, 同时随着超静水压力逐渐消散, 有效应力提高, 地基土强度得到增长. 塑料排水板排水法已在软土地基处理方面得到广泛应用, 影响其加固效果的预压因素很多. 软土本身的物理力学性能是首要因素对于指定地质条件, 塑料排水板间距、塑料排水板间距、处理深度、井阻与涂抹等对其加固效果的影响较大. 结合台金高速公路探讨这些因素的影响.

1 工程概况

台金高速公路(仙居段)全长约180 km, 包括36座大桥, 3座高架桥, 19座互通式立交桥, 中小桥若干座. 设计路面宽26 m, 计算行车速度: 120 km/h. 设计荷载: 桥涵汽车-20, 挂车-100. 路面标准轴载 BZZ-100. 该路段位于仙居平原区, 其大部分路段穿越软土地基, 且沿线河网交错, 村庄密布, 结构物众多, 填土高度大. 全线软土为高含水量、高压缩性、低强度、低渗透性; 局部路段为深厚软土地基. 台金高速公路沿线水网交织, 地质情况复杂, 软基路段

长达40.796 km, 占线路总长的22.24%.

1.1 设计概况

根据工程地质实际情况, J10 仙居段标 K53 + 180 ~ K53 + 280、K54 + 250 ~ K54 + 350、K55 + 110 ~ K55 + 210、K52 + 820 ~ K52 + 920、K56 + 020 ~ K56 + 120、K57 + 420 ~ K57 + 520、K56 + 630 ~ K56 + 730、K57 + 380 ~ K57 + 480 采用塑料排水板处理软土地基, 布置形式为梅花形, 排水板的间距为1.0 ~ 2.0 m, 平均填土高度分别为3.612 m、3.983 m、2.973 m、2.374 m、2.205 m、3.105 m、3.782 m、2.316 m.

1.2 工程地质

取 K56 + 670 ~ K56 + 720 进行详细分析说明:

该路段表层为②₁层亚粘土, 厚度为2 ~ 2.6 m, 物理力学性质一般, 中偏高压缩性; 其下为③₂层淤泥质亚粘土, 物理力学性质差, 厚度8.6 ~ 15.4 m, 高压缩性; ⑥₂层亚粘土, 厚度为6.1 ~ 8.9 m, 物理力学性质一般 ~ 较好, 低 ~ 中压缩性; ⑦₁层亚粘土, 厚度为8.9 ~ 11.6 m, 物理力学性质较差, 具有高压缩性; ⑦₂层亚粘土, 厚度为4.5 ~ 6.6 m, 物理力学性质较差, 具有高压缩性; 下部⑧₃、⑧₄层亚粘土, 厚度为12.3 ~ 13.5 m, 物理力学性质较差, 地质剖面见图1, 具有高压缩性, 其具体物理力学指标见表1.

收稿日期: 2008-03-05

作者简介: 王景环(1980-), 男, 江西抚州人, 在读研究生, 研究方向为软土地基处理.

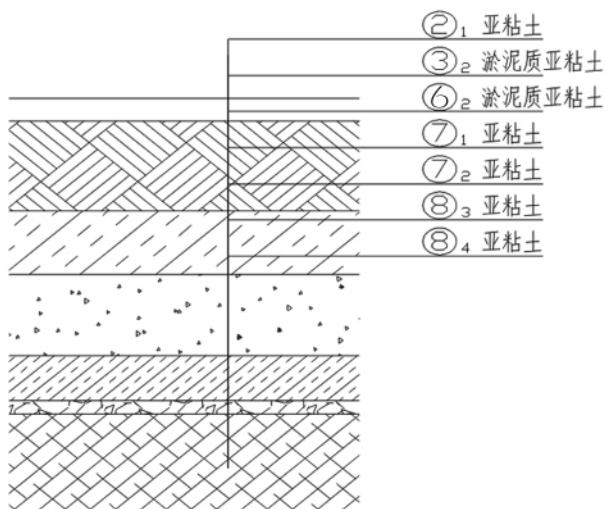


图1 地质剖面图

表1 台金高速公路(仙居段)塑料排水板土壤物理力学指标表

分层代号	岩土名称	土层厚度 /m	天然含水量 w/%	孔隙比 e	压缩模量 E_s /MPa	塑性指数 I_p /%	渗透系数 /cm·s ⁻¹	直 C_q	剪 ϕ_q
② ₁	亚粘土	2-2.6	32.1	0.936	9.6	16			
③ ₂	淤泥质 粘土	8.6-15.4	43	1.381	9.9 10.9	19	4.41×10^{-8} 3.12×10^{-8}	10	8.2
⑥ ₂	淤泥质 亚粘土	6.1-8.9	29.2	0.833	11.3 11.9	19		23	9.3
⑦ ₁	亚粘土	8.9-11.9	30.5	0.912	12.2	16		12	6.7
⑦ ₂	亚粘土	4.5-6.6	28.6	0.856	12.4	15		16	9.4
⑧ ₃	亚粘土	0.2-3.4	28.1	0.846	12.3	13		14	8.5
⑧ ₄	亚粘土	10.1-12.1	33.7	0.934	12.1	17		94.9	

在台金高速公路(仙居段)区域地基工程监测项目中,我们对 K56+690 断面加固前的原状土样进行了水平向和垂直向固结对比试验,通过现场观测的沉降和孔压变化可推求径向固结系数 C_h ,固结理论推导法推求竖向固结系数 C_v 。得到了 1 组 C_v 、 C_h 的对比结果(见表 2)。

结果表明:不同深度、不同性质土层,其相应的 C_v 、 C_h 值比较接近,所以在设计计算中可以用室内试验的 C_v 值代替 C_h 值。但是室内试验测定 C_v 值受取样过程、运输过程的扰动及试验方法等因素的影响,室内试验结果不易真正反映实际情况,因此结合室内固结系数与实测沉降曲线反分析的方法,将取得更好效果。

2.2 间距的影响

软基加固处理的效果主要是指经过一段时间排水预压处理后的固结度大小,相同时间,固结度大则效果好;反之则差。对于任一时刻,土体所达到的平均固结度可表述为^[8]

$$U = aU_{rh} + (1-a)U_{\text{下}} \quad (1)$$

式中: $a = A_1 / (A_1 + A_2)$, a 为附加应力面积比, A_1 、 A_2 分别为处理区与未处理区的附加应力面积, U_{rh} 为处理区的固结度, $U_{\text{下}}$ 为下卧层的固结度。处理区的固结度用三维公式计算,分径向与竖向,为:

2 塑料排水板参数对沉降固结的影响

2.1 固结系数的影响

由于软土加固地段的地质条件和人为活动影响因素复杂,而室内现有测试手段所能提供的设计参数与实际出入较大,所以在固结理论分析中,一个很重要的问题就是固结系数值的确定,若是固结系数选取不当,无论采用多精确的理论或公式,计算结果都会与实际情况相距甚远。 $C_v^{\text{固}} = [k(1+e)] / a\gamma_w$ 式中: k 、 a 、 e 分别指渗透系数、压缩系数、孔隙比。工程上确定这个参数的方法主要有:室内试验测定、原位试验测定和现场资料反分析。

$$U_{rh} = 1 - (1 - U_r)(1 - U_h) \quad (2)$$

$$\text{径向固结度 } U_r: U_r = 1 - e^{-\beta t} \quad (3)$$

$$\text{式中 } \beta = C_r / (F_n d_e^w) \quad (4)$$

$$F_n = n / [n^2 - 1] \ln(n) - (3n^2 - 1) / (4n^2) \quad (5)$$

式中: n 为塑料排水板有效影响范围 d_e 与换算直径 d_p 之比, t 为固结时间。

由于地基属单面排水,竖向固结度 U_h ,按附加应力实际分布分两部分计算。

$$U_h = U_a + (r-1)(U_a - U_b) / (r+1) \quad (6)$$

式中: $r = \sigma_{\text{上}} / \sigma_{\text{下}}$, $\sigma_{\text{上}}$ 为附加应力顶面压力, $\sigma_{\text{下}}$ 为附加应力底面压力。附加应力分布图可分解为矩形图与三角形图叠加而得。对于矩形图分布,其固结度 U_a 近似取级数第一项,算式为:

$$U_a = 1 - 8e^{(-\pi^2 C_h T / 4H^2)} / \pi^2 \quad (7)$$

对于三角形图分布,其固结度近似取级数第一项,算式为: $U_b = 1 - 32e^{(-\pi^2 C_h T / 4H^2)} / \pi^3$

式中: C_h 、 C_r 分别为竖向、径向固结系数, H 为土层竖向排水距离,本文为处理区深度。下卧层的固结度用一维公式计算,仅考虑竖向排水固结。

下面同样结合断面 k56+590 来分析塑料排水板间距对其加固效果的影响。其物理力学指标见表 2,根据上述公式及不同的处理深度和工程地质条

件,分别选用不同的塑料排水板间距进行计算工程固结度达到 85% 的时间 t_{85} ,并综合沉降观测资料进行

整理,结果见图 2. 由图 2 可以看出,在实际工程中可以利用减小塑料排水板的间距来缩短加固时间.

表 2 K56+690 剖面室内试验 C_v 、 C_h 值的对比表

土层范围	0.0 ~ -2.6 m 亚粘土 $10 \leq I_p \leq 17$	-2.6 ~ -13.8 m 淤泥质亚粘土 $17 \leq I_p \leq 20$	-13.8 ~ -20 m 亚粘土 $10 \leq I_p \leq 17$	-20 ~ -30 m 亚粘土 $10 \leq I_p \leq 17$
C_v	13.7	13.1	15.2	15.7
C_h	13.5	12.8	15.3	15.5

注: C_v 、 C_h 的单位为 $10^{-4} \text{ cm}^2/\text{s}$

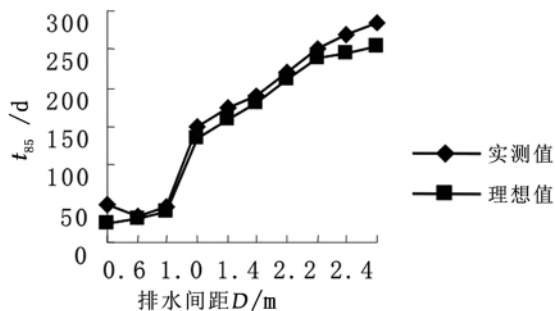


图 2 固结时间 t_{85} - 排水板间距 D 的关系图

同时,塑料排水板间距与固结时间的实际曲线在理想曲线的上方,很靠近理想曲线,之所以没有重合是因为井阻效应和涂抹作用是客观存在的,而非理想井.当塑料排水板的间距小于 0.8 m 时实测曲线偏离理论曲线较大,说明再减小排水板间距对加固时间影响不明显;当塑料排水板的间距大于 2.2 m 时,由于间距过大对加固时间影响不大.因此,在工程中应根据实际情况选取合适的排水板间距.间距太小,施工时排水板周围的土体受到扰动,地基土的强度和固结系数都有一定程度的降低,会引起总沉降的增加.间距过大,起不到快速加固的效果^[9].

2.3 深度的影响

塑料排水板属深层排水处理措施,其打设深度直接影响着土体的加固效果^[9].一般应达处理软土层的层底,若软土层较厚(如超过建筑物底宽的 2 倍时),排水通道的打设深度为 1/2 建筑物底宽,但排水板必须穿过土体稳定计算的弧形滑动面至少 2 m,并且满足《塑料排水板施工规程》(JTJ/256)要求,塑料排水板平均打插深度为 13.28 m,插板范围超出软基处理范围.下面对塑料排水板间距 1.0 m,选取不同的处理深度对断面 K56+690 达到某一固结度所需的时间进行计算,该断面软土深度 6.5 m,结果见图 3.从图 3 可看出,在固结度较小时,不同处理深度对固结度影响很小,但在处理区固结完成后,较小处理深度的固结度提高十分缓慢.

如处理深度为 15 m 时,达到 90% 固结度所需的时间为 3 037.1 天,这么长的时间对实际工程来说是无法想象的.加大处理深度对不同间距的固结

均有较明显的加速作用,如处理深度为 25 m,间距为 1.0 m 时,达到 95% 的固结度仅需 66.2 天.因此,实际工程中在施工能力允许的情况下,应优先考虑加大处理深度,这比减小间距的排水效果更好.

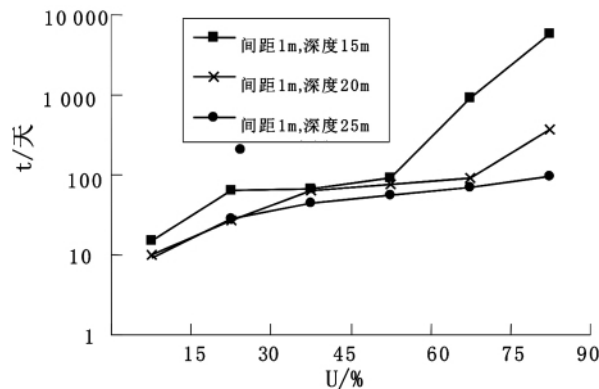


图 3 塑料排水板处理深度对固结度的影响示意图

但是,这并不意味着排水板的深度可以任意选取.其深度的选择和土层分布、地基中附加应力的大小等因素有关.当软粘土层较浅时,应打穿软土层.当粘土层较厚时,可以先确定某一排水板的深度、直径和间距,通过对沉降和固结度的计算,判断预压期满后的剩余沉降量能否满足建筑物的要求,若不能,则重新假定,直到满足为止.合理的排水板深度在实际工程中是非常重要的,这不仅可以最快最好的达到加固的目的,而且还可以大幅度的节省建设资金^[9].

2.4 井阻与涂抹的影响

上述计算是建立在塑料排水板排水能力理想性的假定上,实际上,打设塑料排水板的机具对周围土体产生扰动及涂抹作用,使土体的渗透性降低,且塑料排水板的柔度大,易挠曲,对渗流会产生阻力,导致水头损失,影响塑料排水板的排水固结效果.

下面以 K56+690 断面处理区的固结度计算为例作一分析,为方便仅考虑径向固结度^[9].

$$U = 1 - e^{(-\beta_F t)} \quad (8)$$

$$\beta_F = 8C_v / (F d_e^2) \quad (9)$$

$$G = Z(2L - Z) k_h / q_w \quad (10)$$

式中: G 为考虑井阻作用的影响因子, L 为竖向最大排水距离, Z 为土体离水平排水面的距离, q_w 为塑料排水板排水量.

$$J = (k_h/k_s - 1) \ln(d_s/d_p) \quad (11)$$

式中: J 为考虑涂抹作用的影响因子, k_h/k_s 分别为原状土和涂抹区土的渗透系数, d_s 为涂抹区直径, 一般取机具成孔直径的 2.5 ~ 3 倍, d_p 为塑料排水板直径。

$$F = F_n + J + \pi G \quad (12)$$

其它符号意义同前。例如, 时间为 50 天时, 对间距为 1.0 m 理想井的固结度为 89%, 而井阻因子 πG 为 5 时, 固结度只有 50.2%, 几乎下降了 40%。从计算中可知, 井阻作用对固结度有较大的影响, 特别是当时间较短时, 影响尤为显著。

$$\text{而在} \quad \beta_L = 8C_r / (F_n d_e^2) \quad (13)$$

$$\beta_J = 8C_r / (F_J d_e^2) \quad (14)$$

$$F_J = F_n + J \quad (15)$$

式中: β_L, β_J 分别为不考虑井阻、仅考虑涂抹作用的 β 因子, 其它符号意义同前。对间距为 1.0 m, 若取 d_s/d_p 为 4, k_h/k_s 为 5 时, 涂抹影响因子为 $J = 3.4$, 50 天时固结度为 58%, 而理想井的固结度为 89%, 降低了 31%。可得出: 涂抹作用对固结度的影响主要因素为渗透系数比 k_h/k_s , 其次为涂抹区直径与塑料排水板直径比 d_s/d_p , 均随它们的增大而增大, 但涂抹作用的大小与深度无关。这说明涂抹作用的影响是比较显著的。塑料排水板的间距越小, 涂抹作用越大, 因此, 塑料排水板的间距不宜太小。

3 结语

(1) 塑料排水板加固软基, 设计参数选取及计算应根据各地经验综合考虑, 只要指标选取得当, 完全可以较准确的预测实际加固效果。

(2) 塑料排水板的间距和深度直接影响着软基加固的效果, 设计时应考虑工期、施工能力及非理想性等因素, 选取合理的间距和深度, 才能达到经济合理的目的。

(3) 在固结度较小时, 不同处理深度对排水效果影响不大, 在处理区固结完成后, 处理深度对固结度影响很大, 增大处理深度比减小间距加速固结的效果好得多。因此, 在施工能力允许的条件下, 应优先考虑加大处理深度。

(4) 对塑料排水板处理中的井阻与涂抹作用进行了分析, 在实际工程中应考虑塑料排水板非理想性的影响。采用通水能力大的塑料排水板及少涂抹和扰动的打设机具可减少非理想性的影响。

参考文献:

- [1] 刘玉卓. 公路工程软基处理 [M]. 北京: 人民交通出版社, 2002.
- [2] 刘成宇. 土力学 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1990.
- [3] 赵维炳, 施建勇. 地基处理及基础工程 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [4] 许莹. 塑料排水板在软土地基中的应用探讨 [J]. 公路, 1995, 9(1): 34-37.
- [5] 朱向荣, 等. 超载预压加固宁波机场场道软基 [J]. 岩土工程学报, 1992, 14(增刊): 34-37.

Research on Factors Affecting the Consolidation by Using Prefabricated Drains

WANG Jing - huan, CHEN Zhi - cheng, ZHOU Jun - lei, Xu Dian

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: For soft clayey foundations consolidated with the prefabricated drains method, coefficient of consolidation, separation and depth of the prefabricated drains and the effects of well resistance and smear, etc. all directly contribute to consolidation. Taking the engineering geological condition of soft embankment test section in Zhejiang Taijin Highway for example, this paper analyzes factors affecting the consolidation results by using prefabricated drains. Coefficient of consolidation may use C_v of indoor test to take place of C_h ; at the same time, separation and depth of the prefabricated drains should not be reduced or oversized unrestrictedly in the case of the geological conditions. Instead, they should be determined rationally according to practical cases.

Key words: soft foundation; prefabricated drains; the gap between prefabricated drains; the depth of treatment; the effects of well resistance and smear

(责任编辑: 刘棉玲)