

高速公路软基处理中袋装砂井间距研究^{*}

周爱国 史玉金

余启洋 李文豪

(中国地质大学工程学院, 武汉市, 430074) (湖北省高等级公路管理局, 武汉市, 430034)

【摘 要】 在简单论述袋装砂井间距与砂井数量、砂井间距与处理费用关系的基础上, 计算并对比分析了不同间距砂井经在不同时间预压后的固结度, 研究了砂井间距的优化问题, 从理论上提出了科学合理地确定袋装砂井间距的方法。对文中所用的实际软基路段, 袋装砂井间距以 1.5 m 较为合理。

【关键词】 高速公路 软土地基 袋装砂井 排水固结 固结度

在高速公路软土地基处理中, 袋装砂井排水固结法因施工简便, 费用较低, 加固效果较好, 成为应用最为广泛的软基加固方法之一。其处理费用、效果与砂井间距、直径、深度等参数密切相关, 然而, 目前对袋装砂井的参数研究还很不够。本文试图对如何合理地确定袋装砂井的间距进行探讨。

1 袋装砂井间距研究的意义

在一定面积的高速公路软土地基范围内, 假设为 30 m × 30 m, 袋装砂井按等边三角形布置, 可以计算出间距在 1.0~2.0 m 之间的袋装砂井数量及软基处理费用, 然后利用这些数据找出砂井间距与砂井数量、砂井间距与此面积范围内袋装砂井处理费用之间的关系。

1.1 砂井间距与砂井数量的关系

不同砂井间距所对应的砂井数量见表 1, 以砂井数量为纵轴, 砂井间距为横轴, 利用 Graf4win 软件来模拟二者之间的关系曲线(图 1)。从图上可看出, 砂井数量与砂井间距成反比, 井距越小, 砂井数量越多。且随着砂井间距的增大, 砂井数量的变化越不明显。

表 1 不同袋装砂井间距所对应的砂井数量

砂井间距/m	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
砂井数量/根	946	786	664	568	492	431	381	339	304	274	248

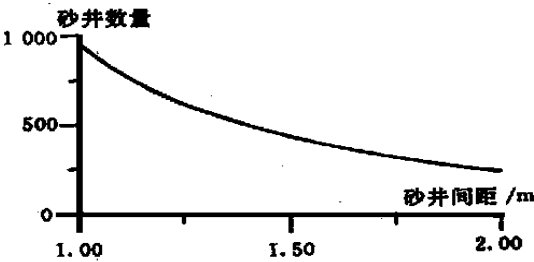


图 1 袋装砂井数量与间距关系曲线

1.2 砂井处理费用与间距的关系

假设以 1.0 m 间距的软基处理费用为基准, 设为 M , 且每根砂井的直径、长度为定值。则不同间距所对应的软基处理费用见表 2。

表 2 不同袋装砂井间距所对应的软基处理费用

砂井间距/m	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0
软基处理费/ M	1	0.83	0.70	0.60	0.52	0.46	0.40	0.36	0.32	0.29	0.26

以不同软基处理费用为纵轴, 砂井间距为横轴, 模拟二者之间关系曲线(图 2), 与图 1 曲线基本类似。间距越小, 软基处理费用越大。在图上可以找出一个临界点, 本文所说的临界点是指曲线切线斜率变化大与小的分界点。在图 2 上, 可找出临界点 A , A 点左侧曲线切线斜率变化很大, 而右侧变化甚微。 A 点所对应的砂井间距值大致在 1.5 m 左右。

由图 2 可看出袋装砂井间距的大小直接关系着软基处理费用的多少。且当间距较小时, 它的微小变化都会使软基处理费用产生显著变

^{*} 收稿日期: 2000-06-26

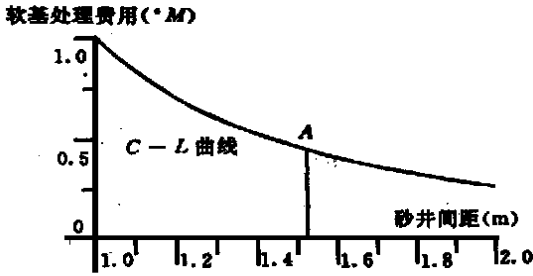


图2 软基处理费用与袋装砂井间距关系曲线(C—L 曲线)

化。因此, 确定一个既科学合理又能满足工程要求的砂井间距优化值是一个至关重要的问题。

2 袋装砂井间距的优化研究

目前对袋装砂井间距的研究还没有一套完整的理论, 砂井间距的确定往往是一个大概的值, 这对经费预算、施工期限的控制都会产生不良的影响。实际上可以利用软基处理费用、固结度与砂井间距的关系曲线来确定袋装砂井间距的优化值。

2.1 砂井间距与固结度的关系

根据一维固结理论, 在瞬时加载条件下, 总的平均固结度公式为:

$$\bar{U}_{\Sigma} = 1 - (1 - \bar{U}_z)(1 - \bar{U}_r) = 1 - 8e^{-[8C_h/(F_n d_e^2) + \pi^2 C_v/(4H^2)]T}/\pi^2}$$

式中: $\bar{U}_z$ 为竖向排水平均固结度; $\bar{U}_r$ 为径向排水平均固结度; $\bar{U}_{\Sigma}$ 为总的平均固结度; C_v 为竖

向固结系数; C_h 为径向固结系数; T 为固结时间; F_n 为与 n 有关的系数, $F_n = n^2 \ln(n)/(n^2 - 1) - (3n^2 - 1)/(4n^2)$; $n = d_e/d_w$; d_e 为砂井的有效影响范围直径, 对于等边三角形排列的砂井, $d_e = 1.05L$; L 为砂井间距; d_w 为砂井直径。

假设 d_w 为定值(一般为 7 cm), 则可建立砂井间距与固结度之间的关系式:

$$\bar{U}_{\Sigma} = 1 - 8e^{-\{8C_h/[F_n(L)(1.05L)^2] + \pi^2 C_v/(4H^2)\}T}/\pi^2}$$

式中: $F_n(L)$ 为有关 L 的函数, H 为土层竖向排水距离, 双面排水 H 为土层的一半。

此关系式非常复杂, 其关系曲线也很难描述出来。因此本文利用 Graf4win 软件来模拟二者之间的关系曲线, 从而确定砂井间距的优化值。

2.2 实际算例

这里选择某高速公路试验段的试验资料, 讨论有关袋装砂井间距问题。该试验段断面地层分布从上向下为: 0~1.2 m, 耕植土层; 1.2~14 m, 淤泥层; 14.0~19.0 m, 淤泥质土夹中细砂层; 19~28 m, 淤泥质粘土层; 28 m 以下, 弱风化粘土岩层。各土体层物理力学性质指标略。

根据前述平均固结度计算公式计算出砂井间距在 1.0~2.0 m 之间的固结度, 计算结果见表 3。依据表中数据模拟出固结度与砂井间距关系曲线, 见图 3。

表3 不同袋装砂井间距、不同固结时间的固结度

固结时间/d	在下列袋装砂井间距(m)下固结度 U /%										
	1 0	1 1	1 2	1 3	1 4	1 5	1 6	1 7	1 8	1 9	2 0
180	57. 49	54. 70	51. 82	49. 05	46. 47	44. 14	42. 06	40. 22	38. 60	37. 18	35. 93
360	64. 53	63. 61	62. 27	60. 60	58. 72	56. 74	54. 75	52. 83	50. 99	49. 28	47. 69
540	67. 32	67. 09	66. 62	65. 86	64. 83	63. 57	62. 14	60. 62	59. 06	57. 51	56. 00
720	69. 44	69. 38	69. 24	68. 93	68. 42	67. 71	66. 80	65. 74	64. 56	63. 31	62. 03

从图 3 可看出地基土的固结度随着砂井间距的增大而减小, 且间距较小时固结度变化不大, 固结时间越长, 这种现象就更为明显。可在图上近似找出四条曲线的临界点 B, B 点的左侧曲线切线斜率变化很小, 而右侧变化很大。此点所对应的砂井间距值大致为 1.5 m 左右。

2.3 砂井间距的确定

要确定袋装砂井间距的优化值, 应选择固结度大, 满足工程要求, 且费用最低的砂井间距。把表 2 中软基处理费用扩大 50 倍。然后再在同一坐标系内画出固结度与砂井间距关系曲线及软基处理费用与砂井间距关系曲线(图 4)。

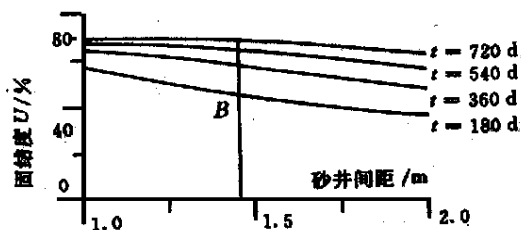


图3 不同固结时间的固结度与砂井间距关系曲线(U-L 曲线)

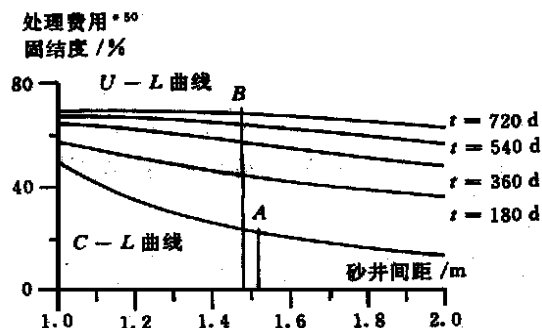


图4 固结度与砂井间距关系曲线(U-L 曲线) 软基处理费用与砂井间距关系曲线(C-L 曲线)

从图4可看出砂井间距在1.0~2.0m范围内, U-L 曲线及C-L 曲线上的临界点对应的砂井间距比较接近, A 点在1.5m的右侧, B 点在1.5m的左侧, 它们的平均值约为1.5m。间距大于1.5m 固结度小, 固结速度慢; 间距小于1.5m 则处理费用增大。因此砂井间距的优化值可取1.5m。

3 结论

袋装砂井间距的微小变化都会使软基处理费用产生显著变化, 研究如何确定科学合理

的袋装砂井间距对指导高速公路软基处理的设计和施工十分重要。如果砂井间距的值在某一范围内(一般为1.0~2.0m)都能满足工程要求, 那么可以在固结度与砂井间距关系曲线、软基处理费用与砂井间距关系曲线上找出相应的临界点, 此点两侧曲线切线斜率变化较大。两条曲线上的临界点所对应的砂井间距值比较接近, 其平均值即为袋装砂井间距的优化值。对于本文所讨论的实际软基试验路段的袋装砂井间距优化值应为1.5m, 可作为设计数据。本文得出的砂井间距的优化值可作为实际工程设计、施工的指导。但也存在一些有待进一步完善的问题, 如确定曲线的临界点有人为误差存在、对袋装砂井排水固结的影响因素分析不够等。因此袋装砂井间距的优化设计还需继续进行深入的探索。在高速公路软土地基处理中, 为了使袋装砂井排水固结的效果更好和指导工程施工, 进行预研究和设置典型软基试验路段是十分必要的。

参 考 文 献

- 1 林宗元. 岩土工程治理手册. 辽宁科学技术出版社, 1993
- 2 《地基处理手册》编写委员会. 地基处理手册. 中国建筑出版社, 1993
- 3 交通部第二公路勘察设计院. 公路设计手册: 路基. 北京: 人民交通出版社, 1997
- 4 张诚厚, 袁文明, 戴济群. 高速公路软基处理. 中国建筑工业出版社, 1997
- 5 哲学森. 软土地基沉降计算. 北京: 人民交通出版社, 1998

(上接第25页)

45% 粉煤灰掺量的 HFCC 应用于混凝土路面是完全可行的, 并且具有优于普通混凝土的耐久性。修筑高掺量粉煤灰混凝土路面不仅可以降低工程造价, 节约大量建设资金, 而且还可以有效利用资源, 变废为宝, 减轻污染, 改善环境。HFCC 路面具有巨大的经济效益、社会效益和广阔的发展前景。

参 考 文 献

- 1 王秉纲, 胡长顺. 碾压混凝土与沥青混凝土复合式路面结

构研究. 中国公路学报, 1996. 2

- 2 中华人民共和国交通部 JTJ012-94 公路水泥混凝土路面设计规范. 北京: 人民交通出版社, 1994
- 3 中国建筑科学研究院混凝土研究所. 混凝土实用手册. 北京: 中国建筑工业出版社, 1987
- 4 雍本. 特种混凝土设计与施工. 北京: 中国建筑工业出版社, 1993
- 5 P. L. Owens Assesses Four Decades of PFA progress in the U K; from lednock to the channel tunnel, Concrete BCI Journal, May/June, 1992