

文章编号 1000 5013(2004) 03 0280 04

有侧限软基堆载与真空-堆载预压效果比较

郭 力 群

(华侨大学土木工程系, 福建 泉州 362021)

摘要 泉州市安吉路软基段的中间主车道路基采用排水固结法处理, 两侧非机动车道下的管沟地基采用粉喷桩复合地基处理. 通过对试验路段的地基总沉降、分层沉降、孔隙水压力等实测资料的分析, 比较堆载预压法和真空堆载联合预压法, 及其在有侧限条件下的处理效果. 分析结果表明, 在有侧限情况下, 真空堆载联合预压法比堆载预压法的加固效果要好, 但对工期不紧、非超软地基或存在强透水层地基的城市道路软基, 是否采用真空堆载联合预压法尚应进行技术经济比较.

关键词 真空堆载联合预压法, 堆载预压法, 有侧限软基, 处理效果, 城市道路

中图分类号 TU 41: TU 470⁺. 2 **文献标识码** A

1 工程概况

泉州市安吉路全长 5 km, 路面标准宽度 50 m, 软基路段长 2. 53 km, 几乎占道路全长的一半. 该工程的关键技术之一是软土路段的处理. 为了保证软土路基的稳定和质量, 选择了两个典型路段作为试验段(试验 I, II 区) 提前施工, 并埋设有关仪器, 进行原型观测和分析. 取得实测资料, 验证并优化设计, 以指导全线施工, 合理节省造价. 试验 I 区桩号为(K5+ 520) ~ (K5+ 700), 填土高度(不含砂垫层) 4. 5 m, 边坡斜率 1: 1. 5, 路基底宽约 65 m. 地层分布自上而下为: (1) 淤泥, 厚 8~ 14. 4 m(其中(K5+ 540) 处约为 14 m), 深灰色, 饱和、流塑, 局部夹薄层砂; (2) 中粗砂, 灰黄色、饱和、稍密, 大多厚约 1 m, 最厚处为 3. 2 m; (3) 残积砾(砂) 质粘性土, 灰黄色、褐黄色、饱和、硬塑. 淤泥层的代表性物理力学性质指标, 如表 1 所示. 表中水质量分数为 w , 重度为 γ , 孔隙比 e , 液限 ω_L , 塑限 ω_P , 塑性指数 I_P , 液性指数 I_L , 渗透系数 K , 有机质质量分数为 m . 由于在主车道两侧的非机动车道下需埋置各类管线, 为减少管道地

表 1 淤泥的物理力学性质指标

w	$\gamma / \text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$	e	$\omega_L / (\%)$	$\omega_P / (\%)$	I_P	I_L	直剪试验(快剪)		压缩试验		$K \times 10^{-7} / \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$	m
							C / kPa	$\varphi / (^\circ)$	$a_{1-2} / \text{MPa}^{-1}$	E_s / MPa		
0. 621	15. 9	1. 69	48. 2	30. 3	17. 9	1. 76	13. 4	1. 9	1. 71	1. 62	3. 3	0. 032

基的工后沉降和不均匀沉降, 在该范围内采用了粉喷桩复合地基. 试验 I 区对主车道软基采用两种软基处理方法. (1) 袋装砂井配合堆载(等载) 预压排水固结, 在(K5+ 540) 处设一个观测断面. (2) 袋装砂井配合真空-堆载(等载) 联合预压排水固结, 在(K5+ 680) 处设一个观测断面, 试验区面积为 1 292 m². 砂井直径 7 cm, 长约 13 m, 间距 1. 1 m × 1. 0 m. 砂井顶端穿过砂垫层出露 30 cm, 底端不得进入中粗砂层. 试验 I 区软基处理方法, 如图 1, 2 所示. 所观测项目有总沉降、分层沉降、孔隙水压力、侧向位移、土压力等. 2003 年 1 月 13 日钻机进场, 开始埋设观测仪器, 至 1 月 22 日完成. 观测点布置, 如图 1, 3 所示. 3 月 27 日在堆载预压路段填了第 1 层土, 经过 150 d, 直至 9 月 11 日填至设计标高. 真空预压处理路段从 2003 年 3 月 1 日开始抽真空, 至 3 月 5 日真空压力基本稳定在 76~ 84 kPa. 真空压力稳定在 80 kPa 左

右后 10 d, 开始在膜上铺设两层无纺土工布, 土工布间铺有 20 cm 厚细砂保护层, 然后进行正常路堤填

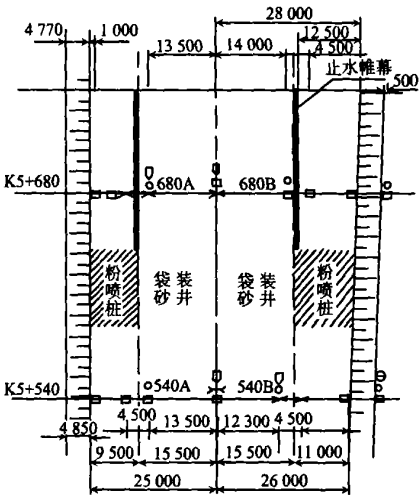


图 1 I 区的观测点布置及地基处理方法平面图

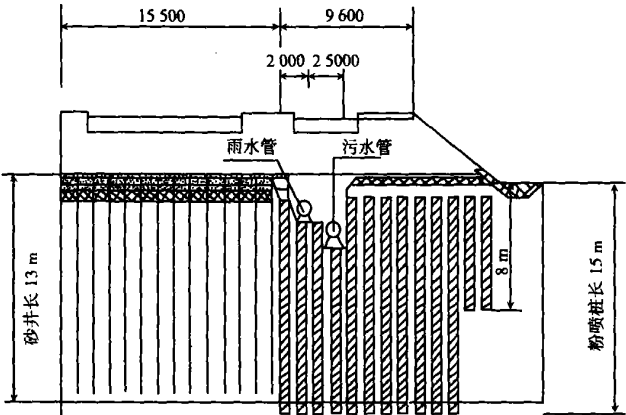


图 2 试验段 I 区软基处理标准断面图

土堆载。在填土达 3.1 m 后停止抽真空, 此后放置 24 d 才继续堆载至设计标高。本文着重对软基试验 I 区中堆载预压和真空堆载联合预压处理软土路基的效果进行评价和比较。

2 测试成果与分析

2.1 路基总沉降

图 4 为两个断面路中心沉降过程线, 两条沉降过程线分别对应于不同的加载(荷载 σ) 曲线。图 5 为两个断面的弯沉盆曲线, 表 2 为两个断面的路中心实测沉降(d)及沉降速率(v)。表中前期指真空预压区停止抽真空的时间, 后期指最后一次观测, 即停止抽真空后 114 d 的时间。从图及表中可以看出, (1) 真空预压区在开始抽真空阶段, 地基就产生急剧的沉

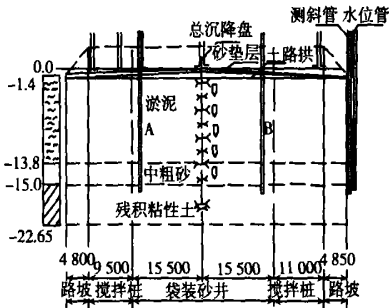


图 3 二个断面观测仪器埋设剖面图

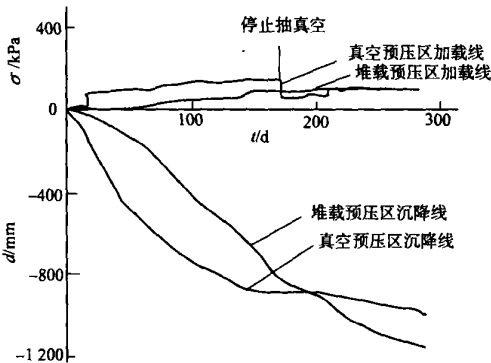


图 4 两个断面路中心沉降过程线

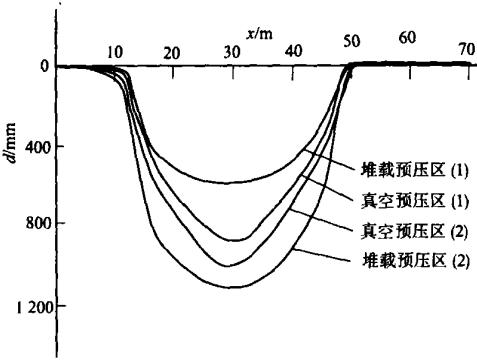


图 5 两个断面全断面沉降曲线

降, 停抽初期沉降发展突然停滞, 同断面其它观测点的沉降甚至略有反弹。待继续堆土加载后, 沉降再进一步发展。但由于此时的土体已处于超固结状态, 沉降速率变小, 填土达到设计标高后, 沉降速率仅为 $0.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$; 堆载预压区的沉降由于受加载速度的控制, 加载初期地基沉降增长较慢, 随着荷载的逐步增加, 沉降速率越来越大, 相应沉降量也快速增大。达到设计

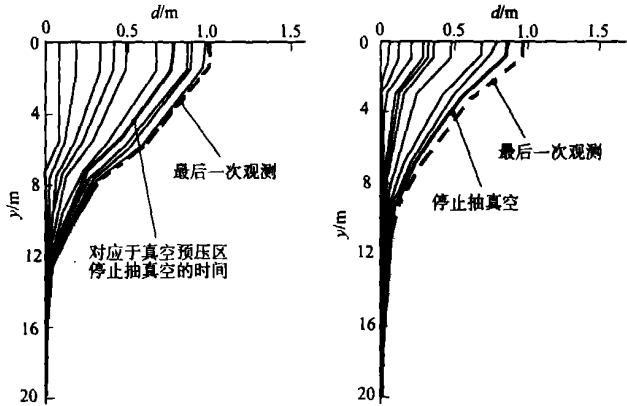
表 2 两个断面的路中心沉降及速率

堆载预压区(K5+ 540)			真空预压区(K5+ 680)		
d/mm		v/mm·d ⁻¹	d/mm		v/mm·d ⁻¹
前期	后期		前期	后期	
818	1 148	2.9	880	983	0.9

标高后, 沉降速率为 $2.9 \text{ mm} \cdot \text{d}^{-1}$. (2) 根据实测资料推算的两个断面的总沉降, 堆载预压区为 1 325 mm, 真空预压区为 1 065 mm. 填土到达设计标高后 60 d, 对应的固结度为 86. 6% 和 92. 3%. 对应的工后沉降为 177 mm 和 82 mm. 可见真空预压法不仅能减少工后沉降而且能减少总沉降^[1], 在本工程的情况下约分别减少 52% 和 20%. 真空预压区的大部分总沉降在抽真空期间已完成, 堆载预压区在同样时间内所完成的总沉降偏小.

2.2 路基分层沉降

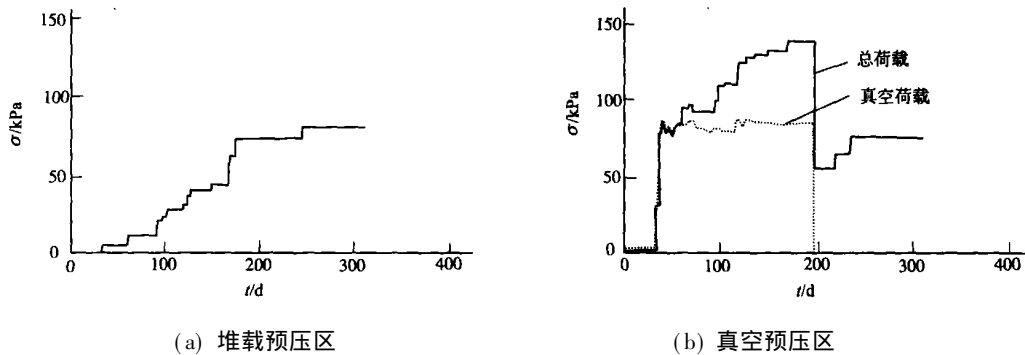
图 6(a) 为堆载预压区路中心的分层沉降曲线, 图 6(b) 为真空预压区路中心的分层沉降曲线. 图 6 中竖向坐标的菱形标记表示磁性爪的位置(y), 粗实线和粗虚线分别为真空预压区停止抽真空时和最后一次观测时的分层沉降. 从图 6 可以看出, (1) 路基沉降发生在土路拱下 12 m 的土层范围内, 可见压缩层厚度为 12 m 左右. 在有侧限条件下, 大面积堆载相对于 12 m 的压缩层, 可以认为堆载产生的附加应力沿深度不衰减. (2) 堆载预压区的 94% 沉降主要集中在土路拱下 10 m 范围内, 70% 集中在路拱下 7 m 以内且单位压缩量在该范围内比较均匀. (3) 真空预压区的 94% 沉降集中在土路拱下 9 m 范围内, 70% 集中路拱下在 5 m 以内, 单位压缩量随着深度递减, 这是由于真空压力随着深度增加而衰减, 总附加应力沿深度也就衰减, 在土层性质较均匀的情况下, 就表现出沉降更为集中在压缩层上部.



(a) 堆载预压区 (b) 真空预压区
图 6 预压区路中心分层沉降曲线

2.3 孔隙水压力

图 7(a) 是堆载预压区的填土荷载(σ)过程线, 图 7(b) 是真空预压区的真空压力和填土荷载过程线; 图 8(a) 和图 8(b) 分别是两个处理区孔压(P)消散过程线. 表 3 是两个处理区在填土过程(或抽真空过程)同放置期(或停止抽真空放置期)的孔压消散速率比较. 表中前后期消散速率分别为开始抽真空、停止抽真空的速率. 从图 7、8 和表 3 可以看出, (1) 两个处理区的前期孔压消散速率都较后期快, 压缩



(a) 堆载预压区 (b) 真空预压区
图 7 预压区荷载过程线
表 3 孔压消散速率

项 目	堆载预压区(K5+ 540)				真空预压区(K5+ 680)			
测试深度/m	3	6	12	平均速率	3	6	12	平均速率
前期消散速率/ $\text{kPa} \cdot \text{d}^{-1}$	0.43	0.37	0.53	0.44	1.44	0.61	0.91	0.99
后期消散速率/ $\text{kPa} \cdot \text{d}^{-1}$	0.03	0.15	0.22	0.13	0.14	0.10	0.03	0.09

层下有较厚的中粗砂层故 12 m 处孔压消散快. (2) 堆载预压区在前期由于填土速度较慢, 放置时间长, 孔压消散较快; 后期因填土速度快, 荷载大, 消散速率下降. (3) 真空预压区前期(抽真空时)孔压消散很快, 消散速率是堆载预压区的两倍, 浅层(3 m)处的孔压随着真空压力的增加迅速降低甚至为负压. 真空

压力维持在 80 kPa 左右时,随着填土增加孔压略微增长.后期(卸除真空荷载后)的填土阶段孔压急剧增长,达到峰值后缓慢消散,消散速率与堆载预压区接近.这是因为该区的土体固结程度较高,渗透系数降低的缘故.由于在真空预压区抽真空阶段压缩层始终存在着相对稳定的真空压力,其产生的负超静水

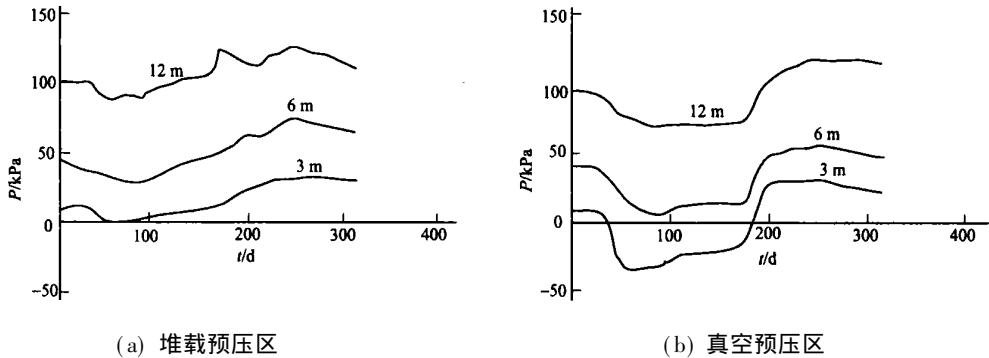


图 8 预压区孔压消散过程线

压力抵消了一部分堆载产生的正超静水压力^[2,3].使地基土层在加载过程中始终处于低孔隙水压力的稳定状态,增加了路堤的稳定性、迅速提高土体强度.也正因如此才大大缩短了堆载时间,可以缩短工期.但该工程填土进度慢,同时压缩层下方的中粗砂层的排水作用,使得真空预压法的优点没能充分体现.

3 结论

目前关于城市主干道软土路基处理中,同一个断面采用排水固结和复合地基两种加固方式的情况尚不多见,相关的现场观测试验资料更少.本文作为典型的工程实录为此类工程积累资料和经验. (1) 总体上有侧限软基中采取真空堆载联合预压法的处理效果较堆载预压法好. (a) 真空预压法不仅能减少工后沉降而且能减少总沉降,在本工程的情况下约分别减少 52% 和 20%,真空预压区的大部分总沉降在抽真空期间已完成,堆载预压区在同样时间内所完成的总沉降偏小,这说明真空预压法能使沉降较快趋向稳定; (b) 真空预压法使地基产生的沉降更为集中在压缩层上部; (c) 由于超静水压力在抽真空期间总处于低水平,故真空预压法可加快加载速度,使得工期可以缩短. (2) 若在工期不紧、非超软地基或存在强透水层地基的城市道路是否采用真空预压法处理软基应根据实际情况进行技术经济比较.

参 考 文 献

1 地基处理手册编写委员会编. 地基处理手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1988. 45~ 107
2 陈 环. 真空预压法机理研究十年[J]. 港口工程, 1991, 8(4): 5~ 10
3 彭 , 刘汉龙. 真空堆载联合预压法软基加固对周围环境的影响[J]. 岩土工程学报, 2002, 24(5): 656~ 659

Comparing the Precompressed Effect of Loading and That of Vacuum Loading on Soft Foundation with Lateral Restraint
Guo Liqun

(Dept. of Civil Eng., Huaqiao Univ., 362021, Quanzhou, China)

Abstract Anji road in Quanzhou is an arterial road of city. The foundation of main traffic lane in the centre of its soft foundation section is treated by adopting the method of drainage and consolidation, while the pipe duct foundation under bilateral bicycle lanes is treated by adopting DJM pile composite foundation. Through analysis of such measured data as general setting of subgrade, setting of subgrade in layers, and pore water pressure, the author compares the precompressed effect of loading and that of vacuum loading under lateral restraining condition. With lateral restraint, vacuum loading as a precompressed method shows a better consolidation effect than that of loading. However, whether or not vacuum loading precompression is suitable for the soft foundation of city road where construction period is not urgent, the foundation is not excessive soft, or there exists a layer of serious water permeability in the foundation, it needs a comparison in technical economy.

Keywords vacuum loading, preloading method, soft foundation with lateral restraint, effect of treatment, cityroad