

软基处理技术在市政道路中的应用

洪 峰

湖北建科国际工程有限公司浙江分公司 浙江 杭州 310051

摘 要：道路软土路基处理经历这么多年的发展，取得了很多的研究成果。一些新技术，新材料、新工艺在工程中得到推广应用，让软基处理技术水平有了很大的提高。

关键词：本文主要总结了浙江省内近年来，市政道路软基处理方法。

1 软基介绍

1.1 什么是软基

软基即指软土路基，是指路基中有软土层分布的土质地基。

软土是一类土的总称。具有天然含水量高、天然孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低、固结系数小、固结时间长、灵敏度高、扰动性大、透水性差、土层层状分布复杂、各层之间物理力学性质相差较大等特点。^[1]

软土主要有淤泥、淤泥质黏土、淤泥质粉质黏土、软塑至流塑黏土、软塑至流塑粉质黏土、稍密粉土、有机质土、泥炭质土、泥炭等，其中按有机质含量可以分为无机土、有机质土、泥炭质土、泥炭土^[2]。

软土的主要鉴别指标是天然含水率和天然孔隙比。当土的指标：天然含水率 $\geq 35\%$ （或液限），天然孔隙

比 ≥ 1.0 ，十字板剪切强度 $< 35\text{kPa}$ ，即可判定为软土。

1.2 软基常见的工程问题

一般软土路基问题以及危害主要是以下两个方面。

1.2.1 地基承载力和稳定性问题

在道路荷载作用下，地基产生剪切破坏，引起道路破坏。

1.2.2 沉降、水平位于及不均匀沉降问题

在荷载作用下，地基产生变形。当沉降超过相应的规范允许值时，将会影响道路的正常甚至破坏道路。

1.3 软基沉降和稳定标准

1.3.1 沉降标准

当新建工程设计计算工后沉降不满足下表要求时，应针对沉降进行处理设计。

容许工后沉降表

单位：m

道路类型	道路等级	桥梁与路基相邻路段	通道与路基相邻路段	涵洞与路基相邻路段	一般路段
公路	高速公路、一级公路	≤ 0.10	≤ 0.15	≤ 0.20	≤ 0.30
	二级公路 (干线公路)	≤ 0.15	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.40
	其它等级公路	≤ 0.20	≤ 0.25	≤ 0.30	≤ 0.20
市政道路	快速路、主干路	≤ 0.10	≤ 0.20	≤ 0.20	≤ 0.30
	次干路、支路	≤ 0.20	≤ 0.30	≤ 0.30	≤ 0.50

[3]、[4]

1.3.2 稳定标准

软土地基稳定安全系数应满足下表的规定值。

稳定安全系数

采用指标	计算方法				简化 Bishop 法、Janbu 法
	有效固结应力法		改进总强度法		
	不考虑固结	考虑固结	不考虑固结	考虑固结	
直接快剪指标	1.1	1.2	—	—	—
静力触探、十字板剪切指标	—	—	1.2	1.3	—
三轴有效剪切指标	—	—	—	—	1.4

[3]

2 软基的常用处理方式

根据地基处理的加固原理，地基处理方法可以划分

为五类：置换法、排水固结法、灌入固化物法、振密法、挤密和加筋法。

2.1 置换主要有换土垫层法、挤淤置换法、强夯置换法和石灰桩法；

2.2 排水固结主要有加载预压法、超载预压法、真空联合堆载预压法和降低地下水位法；

2.3 灌入固化物主要有深层搅拌、高压喷射注浆、挤密灌浆；

2.4 振密、挤密主要有强夯、挤密砂石桩；

2.5 加筋主要有加筋垫层、低强度混凝土桩、钢筋混凝土桩、长、短桩复合地基。

3 市政道路中的设计应用

3.1 市政道路中常用的软基处理情况

3.1.1 换填、浅层加固及抛石挤淤

常规项目一般会遇到局部填土路基现状为水系、河塘、浜路段，且浅层软土深度不超过3m。这时候主要还是采用换填、浅层加固。当地基位于湖塘、滩地及常年积水的洼地，表层无硬壳层，软土呈流塑状，层厚较薄时，可采用抛石挤淤。

对于换填，厚度不宜大于3m，宜采用强度较高的砂砾、碎石、宕渣；对于浅层加固，厚度一般为0.5~2m，采用水泥稳定土或石灰稳定土；对于抛石宜采用中~微风化硬质岩，小于30cm粒径含量不宜大于20%。

3.1.2 水泥搅拌桩

水泥搅拌桩是市政道路中常见的处理软基方法。一般适用于十字板抗剪强度不小于10kPa；路基填土高度不大于6m；处理软基深度不宜超过8~10m的软土地基。

水泥搅拌桩分为粉体喷射搅拌桩和浆液喷射搅拌桩两种。对含水率在30%~50%之间的软土处理一般采用浆液喷射桩，含水率大于50%时，多采用粉液桩。

对于浆液桩：一般为单向搅拌工艺，有条件时宜采用双向搅拌。施工应严格按照按“四搅两喷”程序进行，并要求全长进行复搅。

对于桩直径：一般情况下桩的直径不宜小于0.5m，采用双向搅拌工艺时不宜小于0.7m。

对于桩平面布置：一般情况按照正方形或者等边三角形的方式进行布置，相邻桩的桩净距不应大于4倍的桩径。

对于桩体抗压强度设计：桩体的抗压强度宜按九十天龄期无侧限抗压强度来进行设计。现场检测可在成桩二十八天后进行，要求其无侧限抗压强度平均值不小于0.6MPa。

对于褥垫层设计：水泥搅拌桩复合地基应在基础和桩之间设置褥垫层，其厚度宜为300~500mm，其材料可

选用灰土、级配砂石、砂砾及含泥量小于15%的宕渣，垫层填料最大粒径不宜大于150mm。

对于水平加筋体材料的选用：水平加筋体材料的指标宜满足以下基本要求：延伸率 $\leq 10\%$ ，抗拉强度 $\geq 80\text{kN/m}$ 。

3.1.3 排水固结

对于沿海或者围垦区，软土深度大于5m，处理深度小于30m，一般采用排水固结法。（注意：灵敏度大于5的软土不宜采用）

排水固结 = 竖向排水体+预压加载方式+预压期，例如塑料排水板+真空预压+预压期12个月。

对于竖向排水体：一般优先选用塑料排水板。若当地粗砂料源丰富，可考虑采用袋装砂井和普通砂井。

对于预压加载方式：对于与构造物相邻的路段，一般应采用超载预压，超载的高度一般为填高的20%~40%，填方较高且填筑工期较紧的路段可采用真空联合堆载预压。

对于预压期：排水固结法的预压期应根据路堤设计高度、地质情况等计算确定以满足路堤工后沉降的要求，其预压期不应小于8~10个月。

3.1.4 轻质回填料

道路工程中的轻质回填料例如：EPS(泡沫聚苯乙烯)、SLS(聚苯乙烯泡沫塑料轻质填土)。

如在软基上修路堤用作填料，地基沉降量将大幅度减小；用于桥台与路基交接处填料，可以减小沉降差；边坡处理减轻荷载，防止位移过大和滑动；应急修复道路等。

轻质材料主要应用在软土地基处理中有以下三个方面：（1）路基不均匀沉降和沉降量过大处；（2）软基侧向变形，造成滑坡处；（3）桥台引起差异沉降及路堤对桥台侧向力作用过大处。

3.2 加筋

一般土工合成材料用于加筋时，宜选用强度高、变形小且界面粗糙的土工格栅类；用于反滤、隔离、排水同时兼顾加筋目的时，宜选用渗透性好，拉伸断裂强度大，界面糙度大的土工布类。

浅层处理:可选用编织土工布、复合土工布、塑料土工格栅、经编土工格栅、土工格室。

排水固结处理:可选用复合土工布、塑料土工格栅、经编土工格栅。

水泥搅拌桩:可选用塑料土工格栅、经编土工格栅、钢塑土工格栅、土工格室。

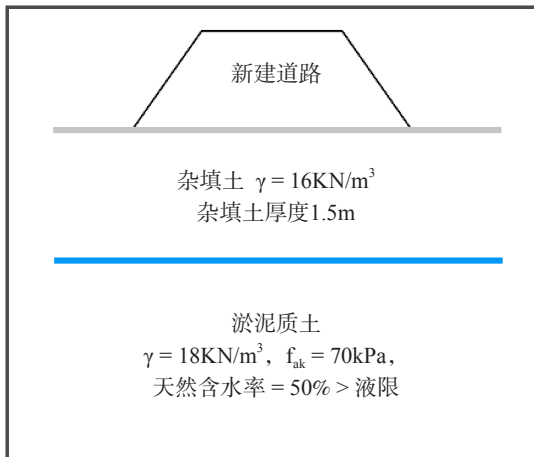
桩承式路堤:可选用钢塑土工格栅、整体式钢丝土工

格栅^[2]。

4 计算案例

本次针对常规的换填处理进行案例计算演示。

如下图所示，无地下水，道路采用换填处理地基，换填采用灰土换填，灰土垫层承载力特征值取 $f_{ak} = 200\text{kPa}$ ，灰土垫层重度取 18KN/m^3 ，道路填土高度为 3m ，路基底面宽度为 30m ，填土及路面结构层重度取 20KN/m^3 ，问道路换填深度多少能满足软弱下卧层淤泥质土层承载力验算的要求？



设计思路：先假定换填深度，确定计算界面；计算出界面上的自重应力和附加应力与界面下的修正后地基承载力；对界面上下两者比对即可得出结论。

主要公式如下：

$$P_z + p_{cz} \leq f_{az}$$

$$P_z = \frac{bp_0}{b + 2z \tan \theta}$$

P_z ：软弱下卧层的附加应力（地面附加应力扩散至软弱下卧层）

P_{cz} ：软弱下卧层顶面处的自重应力

f_{az} ：软弱下卧层经深度修正后的承载力

f_{ak} ：承载力特征值

P_0 ：路基填土附加应力

θ ：换填材料的压力扩散角

z ：换填深度

b ：路基底面宽度

其中要注意的是：软弱下卧层承载力修正时，只进行深度修正，不进行宽度修正。 $z/b < 0.25$ 时，仍按表中 $z/b = 0.25$ 取值。

具体计算过程：

4.1 假设换填 1.5m ，找到计算界面，即淤泥质土顶面位置。经过换填后，取 $\eta_d = 1.0$ 。

4.2 计算淤泥质土顶面承载力修正 f_{az} 。

$$f_{az} = f_{ak} + \eta_d \gamma_m (d - 0.5) = 70 + 1 \times 16 \times (1.5 - 0.5) = 86\text{kPa}$$

4.3 计算软弱下卧层顶面处的自重应力 p_{cz} 。

$$P_{cz} = \sum \gamma_i h_i = 18 \times 1.5 = 27\text{kPa}$$

4.4 计算软弱下卧层的附加应力 P_z 。

$$P_0 = 3 \times 20 = 60\text{kPa}$$

$z/b = 1.5/30 = 0.05 < 0.25$ ，仍按 $z/b = 0.25$ 取值。换填灰土，查表可知， $\theta = 28^\circ$ 。

换填底面宽度 $b' \geq b + 2z \tan \theta = 2 \times 1.5 \times \tan 28^\circ = 31.6\text{m}$ 。

$$P_z = \frac{bp_0}{b + 2z \tan \theta} = \frac{30 \times 60}{31.6} = 56.96\text{kPa}$$

4.5 计算 $P_z + p_{cz} \leq f_{az}$ 。如果该式成立，即 1.5m 换填可满足软弱下卧层验算。

$$P_z + p_{cz} = 56.96 + 27 = 83.96\text{kPa} < f_{az} = 86\text{kPa}$$

本案例只为阐述换填原理。在实际工程中应灵活运用。例如存在地下水，则需考虑水的浮力，采用浮重度计算等。

结束语

本文对软土地基处理进行简单介绍，同时也梳理了市政道路中常用的软基处理方法及注意要点。对道路工程设计人员可以起到学习指导作用。

文中的算例可适用于常规项目，只需对所计算的模型稍作修改，工程设计人员便可参考使用。

参考文献：

[1] 《公路软土地基路堤设计与施工技术细则》(JTG/T D31-02-2013)

[2] 《浙江省公路软土地基路堤设计要点》2009年人民交通出版社

[3] 《公路软土地基路堤设计规范》DB33/T 904-2021

[4] 《城市道路路基设计规范》CJJ 194-2013