

文章编号 :1006 - 2106(2006)09 - 0010 - 06

斜坡软弱地基填方工程特性及工程技术研究^{*}

魏永幸^{1**} 罗 强² 邱延峻²

(1. 铁道第二勘察设计院 , 成都 610031 ; 2. 西南交通大学 , 成都 610031)

摘要 研究目的 斜坡软弱地基填方工程是西南山区铁路、公路、城镇建设中经常遇到的工程问题之一 ,是工程建设突出的薄弱环节 斜坡软弱地基填方工程特性及其工程技术需要研究。

研究方法 作者及其课题组采用数值分析、离心模型试验、现场测试、综合分析等手段 ,系统研究了斜坡软弱地基填方工程特性及斜坡软弱地基填方工程技术。

研究结果 基于变形控制理念 ,提出斜坡软弱地基填方稳定当量安全系数建议值和以限制斜坡软弱地基水平变形为核心的斜坡软弱地基填方工程设计原则意见。

研究结论 基于变形控制的思想 ,在采用安全系数法对斜坡软弱地基的稳定性进行评价分析的基础上 ,应充分考虑斜坡软弱地基变形特性的因素 ,适当提高路堤稳定安全系数取值 ,以使斜坡软弱地基具有与水平软弱地基相当的稳定程度。在斜坡地基上填筑路堤 ,要查明地基土体的可压缩特性和基底横坡 ;为保证斜坡软弱地基路堤的稳定性 ,应采取限制斜坡地基水平变形的措施。

关键词 斜坡软弱地基 ;当量安全系数 ;侧向约束 ;设计原则

中图分类号 :TU4 **文献标识码** :A

Research on Engineering Characteristics and Engineering Techniques for Filling of Slope Weak Foundation

WEI Yong - xing¹ ,LUO Qiang² ,QIU Yan - jun²

(1. The Second Survey and Design Institution of China Railway , Chengdu , Sichuan 610031 , China ; 2. Southwest Jiaotong University , Chengdu , Sichuan 610031 , China)

Abstract **Research purposes** :The filling of slope weak foundation is the common matter encountered in construction of railway , highway and city in mountain area , which is the weak link in the construction , so it is necessary to make research on the engineering characteristics and engineering techniques for filling of slope weak foundation.

Research methods :The systematical research on the engineering characteristics and engineering techniques for filling of slope weak foundation is made by the means of numerical analysis , centrifugal model testing , field monitoring and synthetic analysis.

Research results :Based on the concept of deformation control , the suggested limit of equivalent safety coefficient and suggestion to design principle are put forward respectively for stabilizing the filling of slope weak foundation and mainly for limiting lateral deformation of slope weak foundation.

Research conclusions :According to the concept of deformation control and on the basis of the evaluation and analysis of stability of slope weak foundation by adopting safety coefficient method , the factors of deformation features of slope weak

* 收稿日期 2006 - 10 - 14

基金项目 :铁道部科技发展计划项目(2001G011)

** 作者简介 :魏永幸 , 1964 年出生 ,男 ,教授级高级工程师、注册土木(岩土)工程师。

foundation should be taken into consideration fully and the sampling safety coefficient for stabilizing embankment should be increased rationally in order to make slope weak foundation having the same stable level as that of lateral weak foundation. When filling embankment is conducted on slope weak foundation, the compressibility of soil of foundation and the bottom transverse slope should be inspected clearly and some measures should be taken for limiting the lateral deformation of slope weak foundation in order to guarantee the stability of slope weak foundation.

Key words : slope weak foundation ; equivalent safety coefficient ; lateral restraint ; design principle

1 问题的提出

西南山区铁路、公路、城镇、机场建设,常常需要在斜坡坡地上填筑土石方。斜坡填方工程,根据斜坡地基岩土特征,可分为一般斜坡填方工程和斜坡软弱地基填方工程。斜坡软弱地基填方工程,指地基系软弱岩土,承载力相对较低,在填土荷载作用下,地基会产生变形,填方工程安全问题除填方边坡稳定性外,主要是填方连同地基的变形及失稳。工程实践表明,在斜坡地基上填筑土石方,易产生地基以及填方工程破坏^[1-3]。斜坡软弱地基上填筑路堤是针对工程实际提出的,它不能简单看成是软弱地基和斜坡地基二者的简单综合。国内外对水平软弱地基(软土地基)填方工程研究较多,对斜坡地基填方工程研究较少且多限于一般斜坡地基。本文作者及其课题组采用数值分析、离心模型试验、现场测试、综合分析等手段,研究了斜坡软弱地基填方工程特性,提出基于变形控制的斜坡软弱地基填方稳定当量安全系数建议值,提出了以限制斜坡软弱地基水平变形为核心的斜坡软弱地基填方工程设计原则意见。本文简要介绍研究方法及其取得的研究成果。

2 工程地质力学模型

斜坡软弱地基是相对于水平软弱地基而言的一种填方工程地基类型,其特征是地基表层相对软弱,而且地基表面或软弱层底部具有一定的横向坡度,在填方荷载作用下,软弱土层在产生压密变形的同时产生指向下方一侧的横向变形,与水平软弱地基软弱土层变形集中于地基中部不同,斜坡软弱地基软弱土层变形集中在下方一侧坡脚附近,下方一侧坡脚地基的剪应变会更大,更容易引起地基失稳。

常见的斜坡软弱地基主要有以下4种类型^[4]:

- (1) 丘间槽谷坡洪积软土或软黏土;
- (2) 非沉积型斜坡软弱岩土;
- (3) 湖泊相软土的边缘地段;
- (4) 斜坡上松散堆积体。

课题组研究了斜坡软弱地基填方工程特点,归纳并提出斜坡软弱地基填方工程地质力学模型如图1。

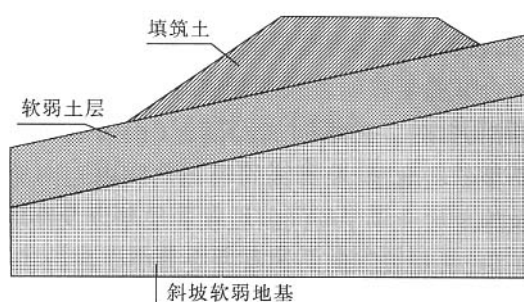


图1 斜坡软弱地基填方工程地质力学模型

3 研究内容及研究方法

课题研究内容主要包括:斜坡软弱地基填方工程特性研究、试验工点斜坡软弱地基加固方案研究、试验工点现场测试研究、斜坡软弱地基填方工程设计技术研究。研究方法主要包括:数值分析、离心模型试验、现场测试、综合分析。

3.1 斜坡软弱地基填方工程特性研究

课题组采用数值分析、离心模型试验方法研究了斜坡软弱地基填方工程特性。

采用平面有限元数值分析方法研究了斜坡地基填方工程特性,研究了水平软弱地基与1:10坡度斜坡软弱地基填方工程应力应变特性,研究了斜坡软弱地基填方工程对斜坡坡度、填方高度、软弱地基厚度以及软弱地基参数变化的响应。

采用稳定分析方法研究了斜坡软弱地基填方施工过程稳定特性。

采用离心模型试验研究水平软弱地基与1:10斜坡软弱地基填方工程特性,研究了不同加固措施(打入桩群加固斜坡软弱地基、坡脚锚固桩侧向约束)条件下斜坡软弱地基填方工程特性。

3.2 试验工点斜坡软弱地基加固方案研究

采用平面有限元数值分析方法研究了试验工点斜坡软弱地基填方工程特性,研究了不同加固措施(打入桩群加固斜坡软弱地基、坡脚锚固桩侧向约束)

条件下试验工点斜坡软弱地基填方工程特性。

采用稳定分析方法研究了试验工点斜坡软弱地基填方施工过程稳定特性。

采用三维有限元数值分析方法研究了试验工点斜坡软弱地基填方工程特性。

采用离心模型试验研究了试验工点斜坡软弱地基填方工程特性,研究了不同加固措施(打入桩群加固斜坡软弱地基、坡脚锚固桩侧向约束)条件下试验工点斜坡软弱地基填方工程特性。

3.3 试验工点现场测试与试验

结合试验工点斜坡软弱地基填方工程,布置 2 个测试断面,针对 2 种不同加固措施(钢筋混凝土桩群加固斜坡软弱地基、坡脚锚固桩侧向约束),对施工过程以及施工后一年半时间斜坡软弱地基以及路堤变形进行了测试,对坡脚侧向约束桩应力应变进行了测试。

3.4 斜坡软弱地基填方工程设计技术研究

综合数值分析、稳定计算、离心模型试验、现场测试结果,对斜坡软弱地基填方工程稳定特性和变形特性进行了系统分析与研究,结合工程实践,系统地研究了斜坡软弱地基填方工程设计技术。

4 斜坡软弱地基填方工程变形特性

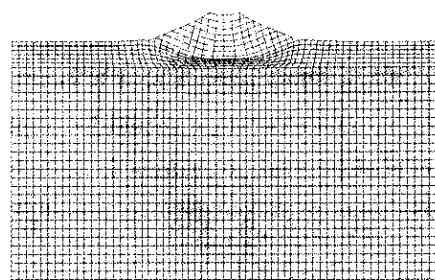
本课题采用数值仿真计算分析、离心模型试验、现场原型监测等多种方法,研究了水平软弱地基和斜坡软弱地基在填土荷载作用下的应力应变特性^[5],初步揭示了斜坡软弱地基填方工程变形特性。

4.1 斜坡软弱地基变形特性

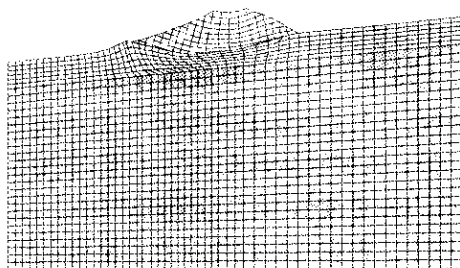
对于水平软弱地基和斜坡软弱地基在填土荷载作用下地基变形的研究,数值分析和离心模型试验结果具有较好的一致性。研究结果揭示:水平软弱地基变形性状表现为以路堤中心线为轴左右对称,而斜坡软弱地基则为以斜坡下方明显偏大的非对称;因此,斜坡软弱地基较之水平软弱地基而言,下方一侧坡脚地基的剪应变会更大,更容易发生地基变形乃至失稳。数值分析和离心模型试验表明:斜坡软弱地基坡脚的位移、竖向位移都较水平软弱地基大为增加;1:10 斜坡软弱地基最大剪应变较水平软弱地基情况下增加了近 2 倍,斜坡软弱地基塑性区范围明显大于水平软弱地基,且有向下坡脚附近继续发展的趋势。

图 2 为变形后单元网格示意图,可以看出:水平软弱地基变形呈以中心线对称的锅底状,而斜坡软弱地基表现为在下方一侧坡脚集中。

万方数据



(a) 水平软弱地基



(b) 斜坡软弱地基

图 2 水平和斜坡软弱地基填方工程变形后的单元网格

4.2 斜坡软弱地基变形对路堤高度变化的响应

随路堤高度增加,斜坡软弱地基的水平变形显著增大。图 3 为地层坡度一定(1:10),软弱土层厚度一定(6 m),不同填土高度条件下的斜坡软弱地基水平变形。

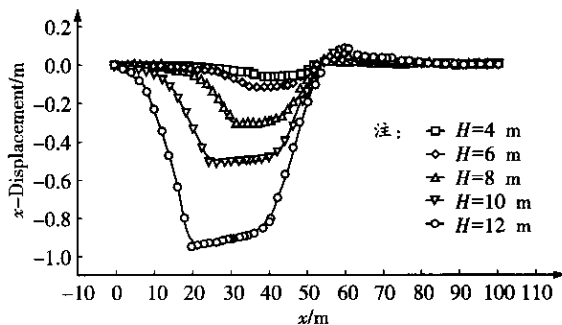


图 3 斜坡软弱地基表面水平位移随路堤高度增加变化图

4.3 斜坡软弱地基变形对软弱地基厚度的响应

软弱地基厚度增加,斜坡软弱地基水平变形增加。图 4 为地层坡度一定(1:10),路堤高度一定(8 m),不同软弱土层厚度(1 m、2 m、3 m、4 m、5 m、6 m、7 m、8 m)条件下斜坡软弱地基水平变形。

4.4 斜坡软弱地基变形对斜坡坡度的响应

路堤高度一定(8 m),软弱土层厚度一定(6 m),斜坡坡度增大,斜坡软弱地基坡脚处地层表面水平位移、路堤中心线处地层表面的竖向位移都将增加,尤其是当地层坡度大于 1:10 时,坡脚处地层表面水平位移、路堤中心线处地层表面竖向位移陡然增大。图

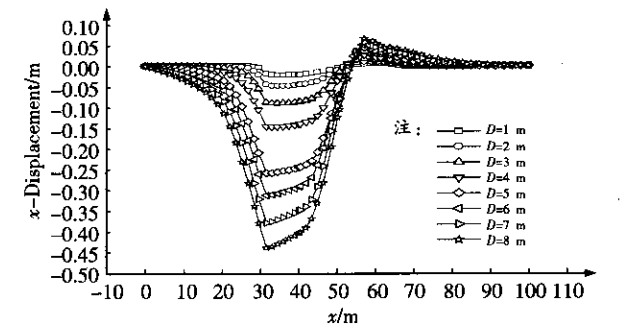


图4 地层表面水平位移随软弱土层厚度增加变化图

5 为不同斜坡坡度(水平、1 : 20、1 : 10、1 : 5、1 : 2.5) 条件下斜坡软弱地基水平变形。

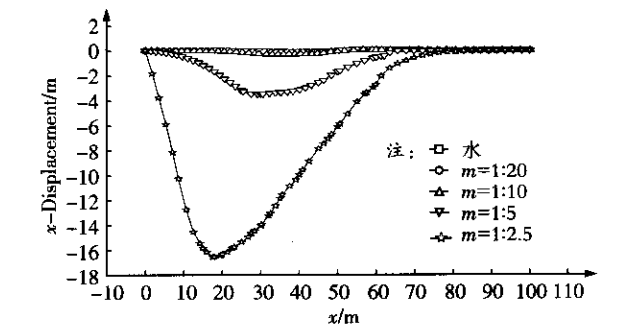


图5 地层表面水平位移随地层坡度增加变化图

4.5 斜坡软弱地基变形对软弱土层弹性模量的响应

软弱土层弹性模量减小 ,斜坡坡脚处地层表面水平位移、路堤中心线处地层表面的竖向位移都将增加。针对渝怀铁路涪陵西车站实验工点 ,假定软弱土层弹性模量分别为 2.5 MPa、5.0 MPa、7.5 MPa 3 种情况下 ,路堤、地基的最大位移、水平位移、竖向位移、最大剪应变、最大主应力、最小主应力、最大剪应力等对比较见表 1。

表1 软弱土层不同弹性模量条件下斜坡地基的响应

		软弱土层弹性模量/MPa		
		2.5	5.0	7.5
最大位移/m		0.291 32	0.166 09	0.124 46
水平位移/m	Max	0.010 829	0.010 799 3	0.011 108 3
	Min	-0.212 352	-0.115 656	-0.084 998 4
竖向位移/m	Max	0.057 715 4	0.029 738 5	0.020 469 4
	Min	-0.221 017	-0.129 969	-0.099 937 4
最大剪应变	Max	0.091 003	0.046 907 6	0.031 698 8
	Min	2.018 86e -007	1.976 29e -007	1.941 92e -007
最大主应力/kPa	Max	618.429	615.37	613.495
	Min	-0.862 925	0.272 923	0.963 722
最小主应力/kPa	Max	265.018	263.69	262.842
	Min	-30.083 2	-12.341 6	-4.788 87
最大剪应力/kPa	Max	178.182	177.015	176.279
	Min	0.942 689	0.421 85	0.081 608 6

万方数据

5 斜坡软弱地基填方稳定当量安全系数

针对斜坡软弱地基在路堤荷载作用下易产生较大的变形 ,进而引起地基失稳破坏的现象 ,应用稳定分析和有限元计算等方法 ,对斜坡软弱地基的地层坡度与稳定安全系数特性、变形特性的相互关系进行了系统分析 ,重点分析研究了同一稳定系数下地层坡度对软弱地基变形的影响和同一变形条件下地层坡度对软弱地基稳定系数的影响。研究表明 ,在相同的稳定系数下 ,地基的变形随地层坡度的增加而变大 ,采用传统的针对水平地基的稳定判别标准(安全系数值)来判断斜坡软弱地基的稳定性将趋于危险。根据实际的斜坡软弱地基的坡度 ,相应提高安全系数的限值 ,能保证斜坡软弱地基的稳定程度与水平地基基本相同。

5.1 相同稳定系数不同坡度斜坡软弱地基变形特性

有限元计算与稳定分析结果表明 ,在相同的安全系数条件下 ,地层坡度越陡 ,地基土层的抗剪强度需越大 ,软弱地基的水平位移明显增大 ,竖向沉降无明显变化。根据稳定分析和有限元计算数据 , $F_{smin}=1.2$ 时 ,地层坡度由水平增至 1 : 20、1 : 10、1 : 7.5、1 : 5 等 ,软弱土层的抗剪强度需由 10.4°增至 12.8°、15.2°、15.8°、19.9° ,软弱地基的水平位移由 0.052 m 增至 0.059 m、0.069 m、0.076 m、0.091 m ,分别较水平地基增大了约 13%、33%、46%、75% ;软弱地基的竖向沉降由 0.076 m 变化至 0.076 m、0.077 m、0.078 m、0.083 m ,分别较水平地基增大了约 0.13%、2.6%、9.2% ,软弱地基的变形系数(定义变形系数为地基最大水平变形与最大竖直变形的比值 ,其值大小反映地基稳定性)由 0.684 增至 0.776、0.896、0.974、1.096 ,分别较水平地基增大了约 13%、31%、42%、60%。综合研究结果分析 ,具有相同安全系数的斜坡软弱地基填方工程具有不同的变形系数。

5.2 相同变形系数不同坡度斜坡软弱地基稳定特性

有限元计算与稳定分析结果表明 ,在相同的变形系数条件下 ,斜坡软弱地基的水平位移、竖向沉降及剪切应变等受到了严格的约束 ,最大主应力、最小主应力、最大剪应变等变化不大 ,地基土层抗剪强度需显著提高。在相同的变形系数下 ,地层坡度越陡 ,软弱地基的安全系数需越大。根据计算数据(计算结果见表 2) ,在变形系数为 1.1 时 ,地层坡度由水平增至 1 : 20、1 : 10、1 : 7.5、1 : 5 等 ,地基的安全系数分别增大了约 4.7%、9.2%、13.4%、31.3%。

表 2 不同坡度斜坡软弱地基稳定系数
(变形系数 1.1)

地层坡度	水平	1 : 20	1 : 10	1 : 7.5	1 : 5
ϕ 值/(°)	5.2	7.7	10.4	12.6	19.4
C 值/kPa	10				
最小安全系数	0.9	0.942	0.983	1.021	1.182
增量/%	—	4.7	9.2	13.4	31.3
归一化取值	$[F_{smin}]$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.05}$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.1}$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.15}$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.3}$

注 $[F_{smin}]$ 为水平软弱地基稳定安全系数。

5.3 斜坡软弱地基稳定当量安全系数

上述研究表明,具有相同安全系数的斜坡软弱地基填方工程具有不同的变形系数,具有相同变形系数的斜坡软弱地基填方工程具有不同的安全系数。

基于上述发现,我们认为:在采用安全系数法对斜坡软弱地基的稳定性进行评价分析的基础上,应充分考虑斜坡软弱地基变形特性的因素,适当提高路堤滑动稳定判别标准,以使斜坡软弱地基具有与水平软弱地基相当的稳定程度。定义提高后的安全系数为当量安全系数,以变形系数 1.1 为基准,不同坡度斜坡软弱地基填方工程当量稳定安全系数取值见表 3。

表 3 不同坡度斜坡软弱地基填方工程当量稳定安全系数
(变形系数 1.1)

地层坡度	水平	1 : 20	1 : 10	1 : 7.5	1 : 5
当量稳定安全系数	$[F_{smin}]$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.05}$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.1}$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.15}$	$[F_{smin}] + \frac{0.05}{0.3}$

6 斜坡软弱地基填方工程设计原则

斜坡软弱地基在路堤荷载作用下,路堤下方一侧坡脚附近地基的剪应变、水平变形均较水平软弱地基大,这是斜坡软弱地基较水平软弱地基更容易引起地基失稳的根本原因。对于斜坡软弱地基填方工程,应采取以消除或限制地基剪应变、水平变形为主的工程措施,以保证斜坡软弱地基填方工程安全。课题组综合分析研究,提出以下 3 方面工程措施:(1)挖除软弱土层;(2)提高地基抵抗变形的能力;(3)限制地基侧向变形。

6.1 清除软弱土层

当斜坡较陡且软弱地基土层厚度较薄时,可采取清除斜坡软弱土层这种简单而有效的措施。一般情况,软弱地基土层厚度小于 4 m,可考虑采用清除办法。地面或软弱地基土层底面横坡缓于 1 : 10,可与增加反压护道方案作技术和经济方面的比较,择优选择。地面或软弱地基土层底面横坡陡于 1 : 10 且软弱地基土层厚度小于 4 m,一般应采取清除斜坡软弱土

层方案。

6.2 提高地基抵抗变形的能力

提高地基抵抗变形的能力的途径主要有 2 个方面:一是通过强夯或重锤夯实,使地基土体的密实度提高;二是通过在地基土层中置换或增加竖向增强体,如各种低强度桩体,形成复合地基。

当软弱地基土层底面横坡较陡时,采用强夯或重锤夯实施工时,容易出现夯锤歪斜的情况,甚至出现地基向下坡方向一侧的变形。因此,斜坡坡度较大的斜坡软弱地基,一般不宜采用强夯或重锤夯实加固。

6.3 限制地基侧向变形

限制地基侧向变形的途径,可分为被动限制和主动限制 2 种完全不同的途径。被动限制,如在路堤坡脚设置钢筋混凝土侧向约束桩,抵抗地基侧向变形。主动限制,如采用钢筋混凝土桩基础(桩-网结构),由桩基础承受路堤及上部荷载,从而有效限制斜坡地基水平变形。

6.3.1 钢筋混凝土侧向约束桩

被动限制地基侧向变形,对于水平软弱地基,可采用放缓填方坡或增设反压护道,对于斜坡地基,由于地面具有一定横坡,用放缓填方坡率或增设反压护道,其效果通常较差。表 4 为路堤边坡 8 m、软弱地基厚度 6 m、地基土层参数 $C_u = 10$ kPa、 $\varphi_u = 10^\circ$ 条件下,水平软弱地基与不同坡度(1 : 10 和 1 : 5)斜坡软弱地基路堤采用放缓边坡、增加反压护道情况下圆弧滑动稳定性分析结果。

表 4 放缓填方边坡或增设反压护道改善路堤稳定性计算结果

填方工程特征	水平 软弱地基 (1 : ∞)	斜坡 软弱地基 (1 : 10)	斜坡 软弱地基 (1 : 5)
边坡 1 : 1.5	1.22	1.09	0.99
放缓边坡至 1 : 1.75	1.27	1.14	1.03
放缓边坡至 1 : 2.00	1.32	1.19	1.07
边坡 1 : 1.5 增设反压护道 (宽 5 m × 高 4 m)	1.42	1.21	1.02
边坡 1 : 1.5 增设反压护道 (宽 6 m × 高 4 m)	1.46	1.23	1.03

因此,对于地面横坡较陡的斜坡软弱地基填方工程,一般宜采用钢筋混凝土侧向约束桩来限制地基水平变形。

6.3.2 钢筋混凝土桩基础(桩-网结构)

桩-网结构基础由钢筋混凝土稀疏桩群以及桩顶加筋褥垫层组成,在填土逐渐增加的缓慢加载作用下,由于桩顶加筋褥垫层的作用(网兜效应),钢筋混凝土

稀疏桩群相互牵制、形成复合桩群,使桩体主要受到竖向力作用;同时,由于地基土体得到竖向增强体——“桩”(钢筋混凝土稀疏桩)的加强形成复合地基加固区,桩顶得到水平向增强体——“网”(加筋褥垫层)的加强形成复合地基加固区,从而使网-桩-土三者协同作用,构成一个整体共同承担上部荷载的人工地基。离心模型试验和现场测试均表明,钢筋混凝土桩基础(桩-网结构)在控制斜坡地基沉降方面的效果好于坡脚设置钢筋混凝土侧向约束桩方案。因此,对于沉降变形要求严格的工程,可采用钢筋混凝土桩基础(桩-网结构)。

6.4 以桥代路

对于铁路、公路工程,当斜坡软弱地基路堤加固工程可靠度较低或工程造价较高时,采用以桥代路是一种合理的选择。以下情形应采用以桥代路方案:

(1)斜坡软弱地基工程地质复杂,难以查明软弱基底横坡;

(2)斜坡软弱土层强度低,难以采用复合地基加固时;

(3)斜坡软弱土层较厚,路基工后沉降难以有效控制时。

6.5 斜坡软弱地基填方工程设计原则

综合分析研究,结合工程实践,课题组总结归纳提出以限制斜坡软弱地基水平变形为核心的斜坡软弱地基填方工程设计原则如下:

(1)当斜坡较陡且软弱土层较薄时,应优先采取清除软弱土层的措施;

(2)斜坡坡度较缓,软弱土层较厚且为非饱和土时,应采取强夯或重锤夯实强夯,提高地基土层密实度;

(3)斜坡坡度较缓,软弱土层较厚且为饱和土时,应采取地基加固措施;

(4)斜坡坡度较陡,软弱土层较厚时,应优先采取限制地基侧向变形的措施;

(5)对填方工程变形要求严格时,宜优先采用刚性桩-网结构基础;

(6)斜坡坡度较陡时,不宜单一采用复合地基加固方案,可采用坡脚锚固桩侧向约束与复合地基综合加固方案;

(7)斜坡软弱地基路堤加固工程可靠度较低或工程造价较高时,采用以桥代路方案。

7 结束语

(1)斜坡软弱地基在填土荷载作用下,地基土被压密压实的同时产生较大的侧向变形,将在下坡脚处发生相当明显的推移、隆起等,较水平地基情况,斜坡软弱地基填筑路堤更容易发生失稳现象,对此,工程界应引起高度重视。


(2)研究表明,具有相同安全系数的斜坡软弱地基填方工程具有不同的变形系数,具有相同变形系数的斜坡软弱地基填方工程具有不同的安全系数。基于变形控制的思想,在采用安全系数法对斜坡软弱地基的稳定性进行评价分析的基础上,应充分考虑斜坡软弱地基变形特性的因素,适当提高路堤稳定安全系数取值,以使斜坡软弱地基具有与水平软弱地基相当的稳定程度。

(3)在斜坡地基上填筑路堤,要查明地基土体的可压缩特性和基底横坡;为保证斜坡软弱地基路堤的稳定性,应采取限制斜坡地基水平变形的措施。斜坡较陡且软弱土层较薄时,可优先采取清除软弱土层的措施;斜坡坡度较陡,软弱土层较厚时,应优先采取限制地基侧向变形的措施;对填方工程变形要求严格时,宜优先采用桩-网结构基础;斜坡软弱地基路堤加固工程可靠度较低或工程造价较高时,则采用以桥代路方案。

参考文献:

- [1] 何振宁.当前铁路建设中主要地质工程问题探讨[J].铁道工程学报,1999(4):70-73.
- [2] 魏永幸.内昆铁路李子沟斜坡软土特性及路基工程对策[J].地质灾害与环境保护,2000(2):104-106.
- [3] 魏永幸.松软倾斜地基填方工程安全性评价方法[J].地质灾害与环境保护,2001(2):73-75.
- [4] 魏永幸.基于填方工程的斜坡软弱地基及其成因[J].地质灾害与环境保护,2006(1):58-63.
- [5] 魏永幸.斜坡软弱地基填方工程特性理论研究[C]//第八届全国岩石力学与工程学术大会论文集.北京:现代知识出版社,2004:411-417.

(编辑 王英娜 赵立兰)

作者: [魏永幸](#), [罗强](#), [邱延峻](#), [WEI Yong-xing](#), [LUO Qiang](#), [QIU Yan-jun](#)
作者单位: [魏永幸, WEI Yong-xing \(铁道第二勘察设计院, 成都, 610031\)](#), [罗强, 邱延峻, LUO Qiang, QIU Yan-jun \(西南交通大学, 成都, 610031\)](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2006(9)
被引用次数: 4次

参考文献(5条)

1. [何振宁](#) 当前铁路建设中主要地质工程问题探讨[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 1999(04)
2. [魏永幸](#) 内昆铁路李子沟斜坡软土特性及路基工程对策[期刊论文]-[地质灾害与环境保护](#) 2000(02)
3. [魏永幸](#) 松软倾斜地基填方工程安全性评价方法[期刊论文]-[地质灾害与环境保护](#) 2001(02)
4. [魏永幸](#) 基于填方工程的斜坡软弱地基及其成因[期刊论文]-[地质灾害与环境保护](#) 2006(01)
5. [魏永幸](#) 斜坡软弱地基填方工程特性理论研究[会议论文] 2004

本文读者也读过(10条)

1. [魏永幸](#) 基于填方工程的斜坡软弱地基及其特性研究[会议论文]-2005
2. [蒋鑫](#), [魏永幸](#), [邱延峻](#) 斜坡软弱地基填方工程数值仿真[期刊论文]-[交通运输工程学报](#)2002, 2(3)
3. [蒋鑫](#), [魏永幸](#), [邱延峻](#) 斜坡软弱地基路堤填筑全过程稳定性[期刊论文]-[交通运输工程学报](#)2003, 3(1)
4. [魏永幸](#), [WEI Yong-xing](#) 基于填方工程的斜坡软弱地基及其成因[期刊论文]-[地质灾害与环境保护](#)2006, 17(1)
5. [刘云辉](#) 斜坡软弱土地基路堤的变形特性分析[学位论文]2003
6. [刘金龙](#), [陈陆望](#), [汪东林](#), [LIU Jin-long](#), [CHEN Lu-wang](#), [WANG Dong-lin](#) 基于倾斜软弱地基的填方工程特性分析[期刊论文]-[岩土力学](#)2010, 31(6)
7. [黎鹏](#) 山区高填路堤沉降研究及有限元分析[学位论文]2007
8. [黄红友](#) 路基填方工程施工方案[期刊论文]-[科技创新导报](#)2008(2)
9. [徐中敏](#), [王运昌](#) 土方填筑与压实问题探讨[期刊论文]-[科学与财富](#)2011(3)
10. [蒋鑫](#), [邱延峻](#), [魏永幸](#), [JIANG Xin](#), [QIU Yan-jun](#), [WEI Yong-xing](#) 基于强度折减法的斜坡软弱地基填方工程特性分析[期刊论文]-[岩土工程学报](#)2007, 29(4)

引证文献(4条)

1. [王开云](#) 铁路堤坝稳定性分析方法[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2009(6)
2. [邱延峻](#), [阳恩慧](#), [向可明](#), [廖志勇](#) 斜坡路基沥青路面结构动力响应分析[期刊论文]-[公路交通科技](#) 2009(2)
3. [刘晋南](#), [蒋鑫](#), [邱延峻](#) 软弱层特性对斜坡软弱地基路堤变形的影响[期刊论文]-[西南交通大学学报](#) 2013(2)
4. [雷进生](#), [张振华](#), [蔡启龙](#) 堆积体休止角边坡运输通道设计关键问题分析[期刊论文]-[水利水电技术](#) 2009(11)

引用本文格式: [魏永幸](#), [罗强](#), [邱延峻](#), [WEI Yong-xing](#), [LUO Qiang](#), [QIU Yan-jun](#) 斜坡软弱地基填方工程特性及工程技术研究[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(9)