

# 山区公路软基病害研究

刘雪岭, 苏生瑞, 周新民

(长安大学 地质工程与测绘工程学院, 陕西 西安 710054)

[摘要] 随着高等级公路建设规模的扩大,山区公路所面临的路基病害特别是软土路基病害问题也逐渐增多。结合对陕南勉(县)—宁(强)高速公路工程实例分析,对山区软土成因及其特性进行了初步分析,认为山区软土属以坡洪积、湖积和冲积为主的软土,也有少量是由坡残积物堆积而形成。山区软土的特殊性表现在成分的复杂性、分布的不均匀性、隐蔽性和物理力学性质的特殊性。根据其特性以及中国山区公路软基普遍存在的病害问题,总结了山区公路软基的主要病害类型为剪切拉裂破坏、浸水沉陷破坏、剥蚀坍塌破坏、推挤滑动破坏。还提出了相应的软基处理方法及建议。

[关键词] 山区软土;山区公路软基;病害;处理方法;处理建议

[中图分类号] U416.1+6 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)01-0065-05

[作者简介] 刘雪岭(1978-),男,河南项城人,从事岩土工程勘察与设计研究。

中国对软土理论研究已有数十年的历史,对软土基本工程性质也进行了大量的试验与总结,但以往的研究大都以中国东部及东南沿海地区软土为研究对象,对中西部山区的软土特别是工程地质环境十分复杂的西部地区却研究很少。随着西部大开发战略的实施,对山区软土特性及其对道路工程危害性的研究日益受到人们的重视,由此,结合实际工程对山区软土的成因和特性进行了研究和分析,初步总结了山区软基的主要病害类型,并提出相应的软基处理方法和建议。

## 1 山区软土成因及其特殊性

### 1.1 山区软土成因

在中国广大山区,沉积着一类在形成环境和性质上不同于一般东部平原和沿海地区的软土,一般称为“山地型”软土,其在中国南部、西南部山区或丘陵区分布最广。成因主要由于当地软岩风化物 and 地表有机物质经过流水的搬运,沉积于地形低洼处,并经过长时间的饱水软化以及微生物的分解作用而形成<sup>[1,2]</sup>。属以坡洪积、湖积和冲积为主的软

土,也有少量是由坡残积物堆积而形成。

位于陕西南部秦巴山区的GZ40勉(县)—宁(强)高速公路全长54.487 km,经陕西省水利电力勘测设计研究院详细勘察得知,该段内地基大都为山区软土地基,由于受地形地貌和母岩出露位置的控制,软土大都分布在冲沟、谷地、河流阶地和各种洼地处。从分布上看,其总特点是分布面积小,厚度变化大,多呈透镜状或鸡窝状。

### 1.2 山区软土的特殊性

根据资料,本区软土作为山地沉积类型的软土具有一定的代表性,它既有一般软土的含水量高、孔隙比大、压缩性高等特点,又具有其自身的一些特性。

#### 1.2.1 软土成分的复杂性

本区软土多以坡洪积、重力堆积物质为主,其沉积物质分选条件极差,土质不纯,既有经过长距离搬运的粘土、砂粘土及有机物质,还有滞留在原地的残积土,甚至还保持母岩结构的碎屑状基岩风化物。时常发生的崩塌、滑坡、暴雨、泥石流等山区地质灾害正是这些不同软土成分不断搬运和堆积的动力,这种由搬运到堆积甚至经过再搬运到再堆积的过程就导致山区软土组成成分的多样性和复杂性。

#### 1.2.2 软土分布的不均匀性

本段软土在分布上具不连续性和不均匀性。

[收稿日期] 2004-05-16

[基金项目] 陕西省交通科技项目(2002)

主要由于地形、地貌条件的不同决定了山区地表高差较大,加上基岩大都埋藏较浅,且基岩表面倾斜,使得软土随地势的变化呈现出不连续分布状态。在一些沟谷段,软土水平分布面积和总厚度都不大,有时相距仅几米,厚度竟相差数十米。对路基来说,由于软土层的厚薄不匀、软硬不一,软土地层本身的坡度又较大,使得同一场地软土的承载力和沉降变形也有很大差异,所以,极易造成道路变形和破坏。

### 1.2.3 软土的隐蔽性

本段山区软土成因类型中,以坡洪积相分布最广,所以,沉积过程中常有腐殖质夹层及一些透镜体形成。由于不同成分软土其渗透性有差别,在这些深度不同的夹层处常易形成饱水带,使得土体长期浸水并进一步软化,大大削弱了路基的承载力,常导致路基沉陷。同时,软土在地表长期与周围大气环境相连,加上降雨形成的集中地表径流的影响,使得软土在自然界风化、淋蚀作用下形成一硬壳层,导致软土具有较强的隐蔽性。

### 1.2.4 软土的物理力学性质的特殊性

对软土的主要特性,一般认为,含水量高达 40%~50%,大于液限,孔隙比  $> 1.0$ ,塑性指数 20 左右,压缩系数  $0.5 \sim 1.0 \text{ MPa}^{-1}$ ,灵敏度系数  $4 \sim 8^{[3]}$ 。山区软土也不例外,同样具有压缩沉降量大、排水固结慢、地基稳定性差的特点。但是,对于以软粘性土、淤泥性土为主,淤泥和泥炭土较少的山区软土来说,由于其成分和分布的不均匀性以及特殊的地域性,使得其与别的成因类型软土的物理力学性质有所差异,以本工程段为代表的秦巴山区软土及华南谷地的山区软土与其他类型软土作简单比较,如表 1。

表 1 山区软土与其他成因类型软土物理力学性质比较

**Table 1 Comparison between the physical mechanical properties of soft soil of mountains and other soft soils**

成因 类型	泻湖相	滨海相	三角 洲相	河漫 滩相	山区软土	
	温州	连云港	上海	南京	秦巴山区	华南谷地 <sup>[4]</sup>
含水量 $w/\%$	63	40~61	50	40~50	44.3	50~67
孔隙比 $e$	1.79	1.04~1.63	1.37	0.93~1.32	1.38	1.20~1.80
液限 $w_L/\%$	53	47~53	43	35~44	34.9	43~58
塑性指数 $I_p$	30	20~29	20	17~20	20.3	16~23
压缩系数 $_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	1.93	0.9~1.5	1.24	0.5~0.8	0.67	0.9~1.7

注:秦巴山区指陕西境内 GZ40 勉(县)—宁(强)高速公路软基段

## 2 山区软土路基病害类型

通过对陕西南部秦巴山区软土分析可知,山区软土成因及其工程性质有其特殊性,从而使山区软土路基在破坏形式上也有别于一般内陆平原和东部沿海地区的软基。在山区,大多路段与沟谷或河道并行,许多还经过冲、洪积扇的前缘,使软土路基很容易遭水的浸透和冲蚀,尤其是暴雨、滑坡和泥石流等灾害的频繁发生,更使软土路基遭到严重破坏。针对此类状况,笔者对山区软土路基破坏形式进行了分析和总结,将山区软土路基破坏的主要类型初步归纳为剪切拉裂破坏、浸水沉陷破坏、剥蚀坍塌破坏和推挤滑动破坏 4 种类型。

### 2.1 剪切拉裂破坏

该类型破坏主要指软土路基在强烈行车荷载及自重作用下发生的破坏。具有高触变性的软土在振动荷载或自重力的作用下,强度下降,表现出很强的流变性,导致软土层侧向滑动挤出,路基发生不均匀沉降(图 1)。主要表现为临空面一侧或两侧的车道发生沉陷,道路出现隆起现象;在剪切和拉裂作用下,路面形成裂缝,裂缝不断发展,并不断贯通,最终导致公路毁坏。尤其在公路弯道处,路面受力极不均匀,更易发生此类破坏。该类型的破坏以内(江)—宜(宾)高速公路 K98+360~K98+460 软基段最为典型,该段位于山区谷地处,软基出现下伏软弱地基土侧向塑性挤出并伴随剪切拉裂作用所导致的局部坍塌现象,从 1997 年 11 月至 1999 年 12 月软基被挤出宽近 30 m,导致该路段沥青砼路面不均匀下沉,纵横向开裂、网裂等,严重影响公路交通安全,使该段路基和路面遭到严重破坏<sup>[5]</sup>。

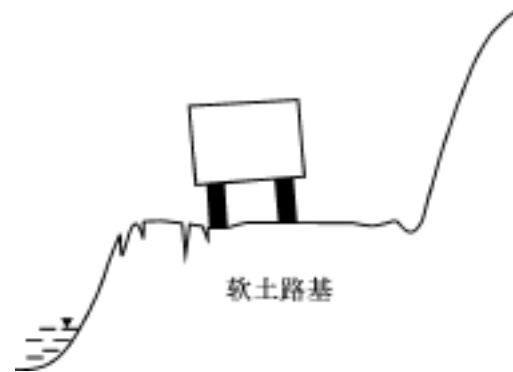


图 1 剪切拉裂破坏

**Fig. 1 Shear and tension failure**

### 2.2 浸水沉陷破坏

在山区,雨水较集中,且在地表易于汇集,因此在排水不畅的路段,水很容易浸入路基,在土体自

重、行车荷载及水温变化等诸多因素作用下,路基发生不均匀沉陷变形,引起路面破损开裂,水渗入裂缝后常导致路面“翻浆”,形成“橡皮路”。常表现为路面局部凹陷,行车震颤、颠簸及桥头错台跳车等现象。有些路段位于冲、洪积扇的前缘,往往是地下水溢出带,若路基处理不当,很容易被水浸入而导致公路毁坏(图 2)。位于云南渣巴山区的黄(泥堡)一八(大河)线 K8~K10 段,该段为软土路基地段,夏秋季节雨天时常阻车,路面受车轮翻淘,路基沉陷、翻浆,并出现峰谷隆起、弹簧现象,原修筑宽 7.5 m 的路基,通过逐年的行车碾压变形,自然增为 9~10 m 不等,使陷车阻塞事故时常发生<sup>[6]</sup>。

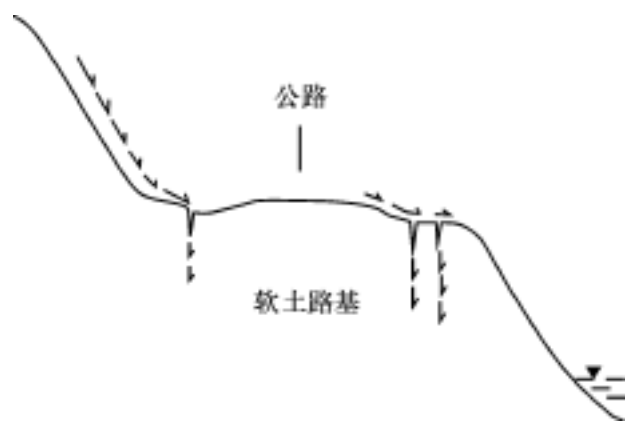


图 2 浸水沉陷破坏

Fig 2 Water permeating failure

### 2.3 剥蚀坍塌破坏

山区公路路基的坍塌破坏由剥蚀作用引起,如风蚀、流水冲蚀、泥石流剥蚀等,主要是以水的冲蚀作用为主。软土松散,抗蚀能力弱,在雨季期,洪水或泥石流不断冲刷沿河路基,严重的侧淘蚀作用常使路基边坡被淘空,导致路基边坡下滑和坍塌,毁坏临河路基。尤其是高填土路堤,在全防护的情况下,裸露部位更易遭流水冲刷,造成路堤滑塌和路面损坏(图 3)。湘黔线 K121+145.68 处软土路基,投入运营仅 4 个月,就发生路基溜坍 3 次,其中最严重的仅一场暴雨就引起线路下沉 2.0 m,路基外移 2.8 m,坍体长度约 100 m<sup>[7]</sup>。

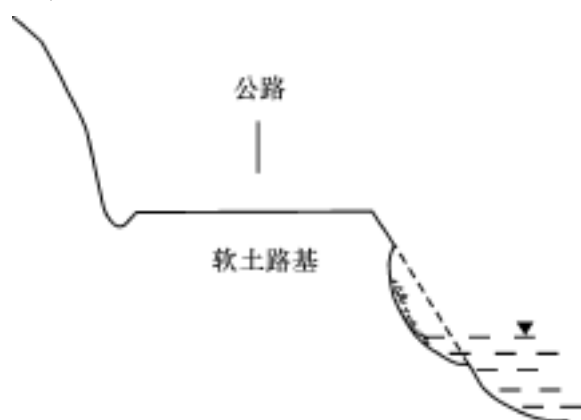


图 3 剥蚀坍塌破坏

Fig 3 Erosion and collapse failure

### 2.4 推挤滑动破坏

该类型破坏主要指滑坡推挤作用对路基、路面的破坏,其结果常导致路基路面下滑、断裂、错台和沉陷。随着滑坡体与路基位置关系的不同(图 4),路基破坏程度也有所不同。如果路基处在滑坡体上,一旦滑动,整段路基和路面都将被毁掉,如国道 214 线西宁—景洪,在山岭重丘区 K2479+500~K2546+400 和 K2429+300~K2433+100 软基路段上分别有路基滑坡 33 处,中小型泥石流 8 处,对公路路基的毁坏相当严重<sup>[7]</sup>。

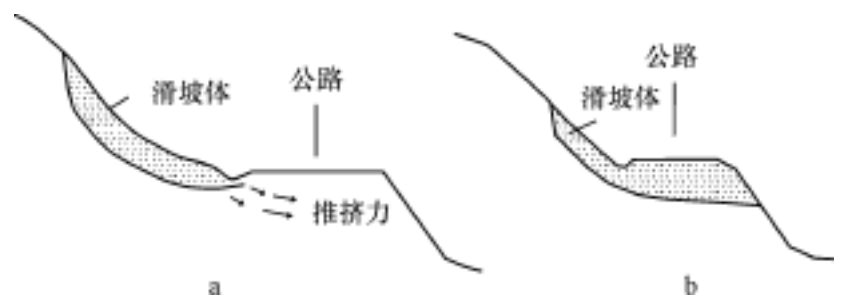


图 4 推挤滑动破坏

Fig 4 Pushing and sliding failure

综上所述,由于山区软土的特殊性以及地形地貌的因素,使得山区软土路基的破坏形式也有别于内地平原区和滨海区。因此,必须针对山区软土进行有关研究工作,在山区软土地基处理方面,也很有必要提出新的适宜于山区软土特性、施工条件的方法。

## 3 山区软土路基处理方法及效果分析

根据对软土路基常见破坏类型的分析,在 GZ40 勉—宁高速公路工程中有针对性地对不同软基段采用了相应的处理措施,并提出了山区公路软基处理的新方法——孔内强夯挤密法,即采用螺旋钻(或沉管法)成孔,孔内采用重锤(1.5~2.0 t)夯实的挤密桩法。着重对粉喷桩法和孔内强夯挤密法分别在六标段和十二标段处的处理效果进行分析,并从软基处理效果及经济效益、适用性和社会效益等方面对两种处理方法进行比较。

### 3.1 处理方法及效果分析

在 GZ40 勉—宁高速公路六标段采用粉喷桩处理;在十二标段采用孔内强夯碎石挤密桩处理,设计要求上覆总荷载为 200 kPa,处理后的复合地基为均匀地基,在公路施工完成后允许残余沉降量 < 20 mm。根据静载荷试验参数,绘制出六标段的  $p-s$ ,  $s-lgt$  曲线和十二标段的  $p-s$ ,  $t-s$  关系曲线(图 5)。

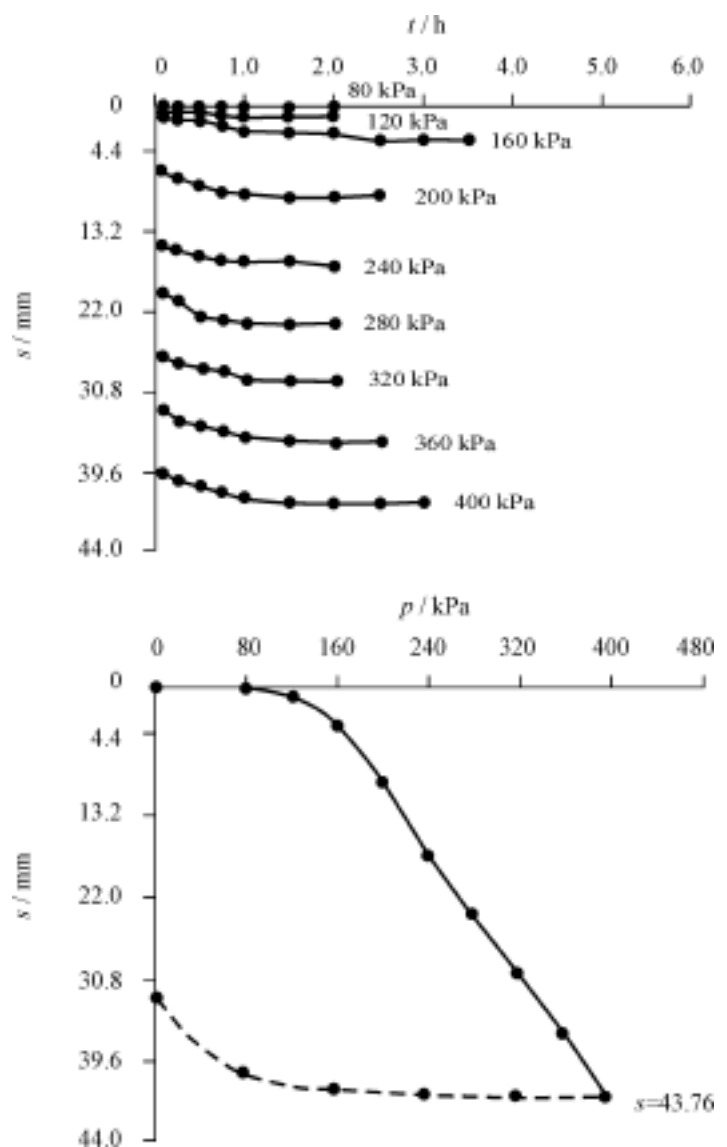
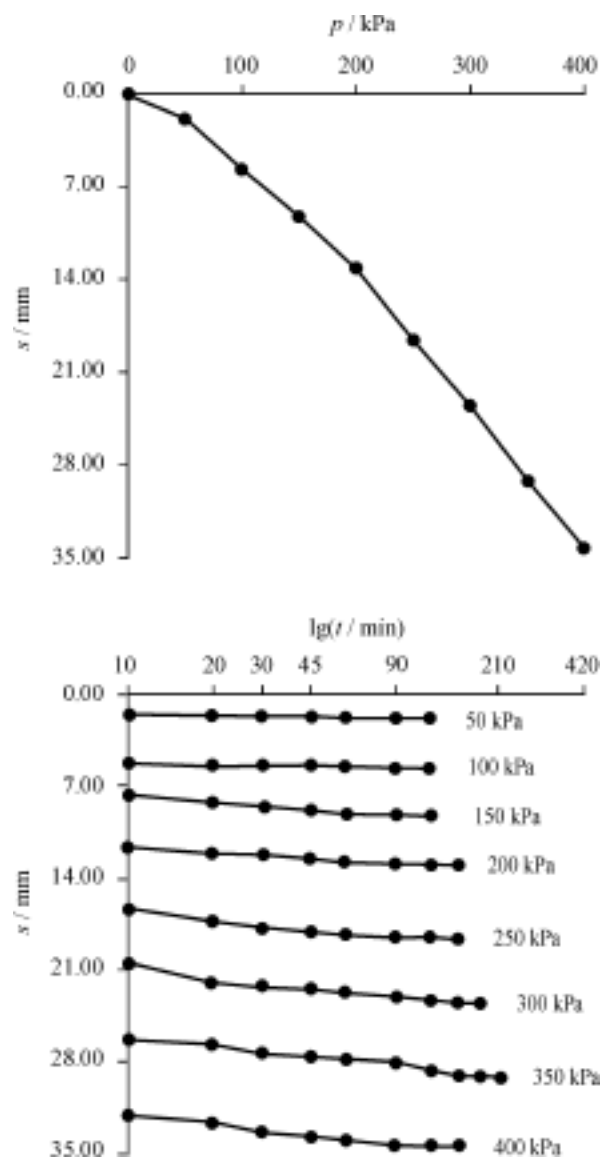


图 5 GZ40 勉—宁高速公路六标段软基处理段静载试验曲线

Fig 5 Curve of dead load test on foundation on sixth marked section of GZ40 Mianxian-Ningqiang highway

图 6 GZ40 勉—宁公路十二标段软基处理段静载试验曲线

Fig 6 Curve of dead test on foundation on twelfth marked section of GZ40 Mianxian-Ningqiang highway

从图 5 和图 6 可以看出,采用粉喷桩法和孔内强夯碎石挤密桩对 GZ40 勉—宁高速公路软基处理后,路基承载力和沉降量均达到设计要求,处理效果如表 2。由此证明,粉喷桩法和孔内强夯碎石挤密桩法处理山区高等级公路软弱地基是适用的,但从经济效益、适用性和社会效益等方面考虑,两者各有其特点。

工艺复杂;孔内深层强夯挤密法和冲填法施工工艺类似,只是成孔方式不同,可用大量废料和垃圾作为填料,节约钢材、水泥,减少开挖地基和地基处理所用材料的往返运输,降低了工程造价,大大节约了工程费用。

表 2 GZ40 勉—宁高速公路各软基段处理效果

Table 2 Treatment effect on some soft foundations on GZ40 Mianxian-Ningqiang highway

软基段	处理方法	复合地基承载力/ kPa		复合地基沉降量/ mm	
		设计值	检测值	设计允许残余沉降量	荷载 200 kPa 时最大沉降量
六标段	粉喷桩法	200	206	20	13.19
十二标段	孔内深层强夯挤密法	200	210	20	10.92

从适用性上看,粉喷桩是将干的固化剂拌入地基,属于化学处理方法,当软基中含水量  $< 30\%$  时,为保证粉体充分固化,必须在搅拌过程中加入适当水分,因此当选用粉喷桩时,土层的含水量宜  $> 30\%$ ;而孔内深层强夯挤密法不仅适用于加固松散的饱和粘性土,而且也适用于非饱和粘性土、砂土等,适用范围广泛。

从社会效益方面考虑,粉喷桩具有施工工期短、无公害、施工过程无噪音、不排污、对相邻建筑物无不利影响等优点;同样,由于孔内深层强夯挤密法施工时是由深及浅在孔内填夯,因此减少了振动及噪声对周围环境的影响,并且该方法可大量消耗废料和垃圾,变废为宝,不仅不造成污染,而且还起到保护环境的作用。

### 3.2 处理方法比较

从处理效果上可知,在该工程中孔内强夯碎石挤密桩法优于粉喷桩法。

总之,由该工程可以看出,对山区软土路基的处理,粉喷桩法和孔内强夯挤密桩法在适用性和环

从经济效益上看,粉喷桩法由于使用水泥、石灰等材料,需要特殊的搅拌钻机,所以造价高,施工

境效益方面具有相似性,所以工程造价的高低就成为决定两者中哪一种更适合处理山区软土路基的重要因素。在山区,由于地形地貌条件的限制,使山区交通极为不便,往往导致造价的上升,所以笔者认为,对山区软土路基处理时,在保证处理效果好、施工方便的前提下应尽量遵循就地取材和减少运输量的原则,显然,孔内强夯挤密桩更适合对山区软土路基的处理。

#### 4 对山区软土路基处理的建议

根据山区公路软基常见病害类型以及对 GZ40 勉—宁高速公路工程中山区公路软基处理方法的工程实践,笔者针对山区软土面积小、厚度变化大、隐蔽性强等特点,对山区软土路基处理提出以下建议:

(1)对厚度较小(一般  $< 3\text{ m}$ )的软土采取换填方法,利用山区大量存在的透水性较好的砂类或碎石类土作软土换填物,不仅施工方便、迅速,而且又能降低造价。

(2)当软土层较厚且难以清除时,在交通便利的山区采用粉喷桩法处理较适宜,该法加固效果好,施工速度快,但在交通条件比较差的山区,原料的运输费用会成倍增加,施工速度快的优势也会受到影响。所以,此种情况下建议采用孔内强夯挤密法,该法的优越性已经在 GZ40 勉—宁高速公路软基处理实践中得以检验,其施工机械简单,一台车载钻机和一台夯实机即可;孔内填料可就地取材于碎石,能大大节约原料成本和运输费用。

(3)在邻近河道或处在冲、洪积扇前缘的软土

路段,土的含水量一般较大,应尽量把软土清除,用透水性强的土质换填,提高路基的渗透能力;若在常年积水、表层无硬壳、软土液性指数又大、片石能沉至下卧硬层的情况下,可采用抛石挤淤法处理。特别是在冲、洪积扇前缘的地下水溢出带,不应截断地下水路,应采取相应措施使地下水顺利排泄,以免给公路的运营埋下安全隐患。

总之,工程施工前都应进行详细地地基勘察,针对场地的具体情况采取适宜的处理措施,特别是在地质条件比较复杂的山区,软土的成因和分布比较特殊,更应该注意,只有在详细勘察基础上,才能提早采取有针对性的措施,做到有备而无患。

#### [ 参 考 文 献 ]

- [1] 王晓谋,袁怀宇.高等级公路软土地基路堤设计与施工技术[M].北京:人民交通出版社,2001.
- [2] 毛新虎.大同一运城高速公路某软基复合地基检测结果分析[J].地球科学与环境学报,2004,26(1):33~37.
- [3] 冯仲仁,朱瑞康.我国高速公路软基处理研究的现状与展望[J].武汉理工大学学报,2002,24(1):78~80.
- [4] 金建荣.华南山间谷地型软土的特性及处理方法[J].广西地质,2001,14(4):71~74.
- [5] 罗永忠,祝世强,张远明,等.内宜高速公路 K96+800~K99+380 段路基病害成因及防治方法探讨[J].水文地质工程地质,2000,27(3):35~37.
- [6] 黄建书.浅谈渣巴山软土路基综合治理[J].云南交通科技,2000,16(4):27~28.
- [7] 刘亚非.整治软土(裂土)路基病害的有效措施[J].铁道建筑,2000,(12):24~26.
- [8] 马兴举.海漫公路路基病害及防治措施[J].云南交通科技,2001,17(2):20~23.

## Study of diseases in the soft foundation of highway in mountainous area

LIU Xue-ling, SU Sheng-rui, ZHOU Xin-min

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** With the development of highway construction in mountainous area, more and more diseases in the soft foundation is suffered. By researching into the Mianxian-Ningqiang highway in south Shaanxi Province, the origin and characteristics of soft soils in mountainous area is probed. It is found that most of the soft soils in mountainous area belongs to deposits of alluvial and lake. The specialty of soft soils in mountainous area is the complexity of composition, inhomogeneous and hidden distribution and the specialty of physical and mechanical properties. The types of diseases in soft foundation in mountainous area are summarized as shear and tension fracturing, subsidence due to water permeating failure, erosion and collapse failure and pushing and sliding failure. Meanwhile, the suggestions of treatment measures for the soft foundation are given.

**Key words:** soft soil in mountainous area; soft foundation of highway in mountainous area; disease; treatment method

[英文审定:苏生瑞]