

文章编号: 0451-0712(2005)07-0082-05

中图分类号: TU472.99

文献标识码: A

# 土工编织袋在路基工程中的应用的研究

邵介贤<sup>1</sup>, 黄健<sup>1</sup>, 周伯明<sup>1</sup>, 周兴顺<sup>2</sup>, 李浩<sup>2</sup>,  
徐永福<sup>3</sup>, 吴新<sup>2</sup>, 梁龙玲<sup>2</sup>, 杨滨<sup>3</sup>

(1. 江苏省高速公路建设指挥部 南京市 200004; 2. 江苏省交通规划设计院 南京市 200004;

3. 上海交通大学船舶海洋与建筑工程学院 上海市 200030)

**摘要:** 介绍一种新兴的加筋加固方法——土工编织袋法, 可以很好地处理软弱地基。土工编织袋的加固原理是利用土工织物的拉伸强度约束土体, 增加土体的强度, 减小土体的变形。土工编织袋有广泛的应用前景, 可以用于软土地基、弱—中膨胀土地基、沟塘填筑、路堤护坡、高岩石边坡的绿化以及桥头处理等。

**关键词:** 高速公路; 路基; 土工编织袋; 地基加固

目前, 我国的高速公路建设正蓬勃发展, 方兴未艾。在高速公路的设计与施工中经常会遇到软土地基、膨胀土地基、水沟、鱼塘等的填筑问题, 通过长期的工程实践, 虽然对这些问题有了解决方案, 但也还有值得研究和改进的地方<sup>[1, 2]</sup>。譬如说, 软土地基多数采用搅拌桩复合地基, 是不是有必要全部采用搅拌桩复合地基姑且不谈, 就连搅拌桩的质量控制以及掺水泥量的检验和控制都无法做到准确把握; 再如沟塘回填问题, 清淤后用碎石填筑沟塘的处理方法就值得商榷, 一方面碎石填筑沟塘的费用较高, 另一方面用碎石填筑沟塘, 在长期通车过程中, 汽车引起的振动会使碎石挤进周围的软土中, 易使得用碎石填筑的沟塘处产生较大的沉降变形, 碎石填筑的效果会大大降低。国外的工程经验表明, 用土工编织袋填筑路堤能有效地减小行车振动、控制沉降、增强路基的稳定性<sup>[3, 4]</sup>。本文主要介绍土工编织袋的增强机理, 及其在公路路基工程中的应用。

土工编织袋是国外常用来处理软弱地基的一种简单方法, 在日本已被广泛应用于新干线铁路、公路路基和房屋基础中<sup>[4]</sup>。土工编织袋是将素土、掺石灰或水泥的普通土、砂砾、矿渣、建筑垃圾等装在织物袋中做成的, 可以用来增强地基承载力、控制地基沉降(特别是不均匀沉降)并减小行车振动对路基的影响。这种方法操作简单, 施工人员能随学随会, 也能进行机械化施工, 便于推广应用。在路基工程中, 应

用土工编织袋主要有以下优点。

(1) 有效地控制路基沉降变形并增强路基的承载力。

土工编织袋填筑的路基能减小行车振动、具有较高的强度和刚度, 能有效地抑制填土的侧向变形, 从而有效地减小路基沉降。同时, 也能满足路基的稳定性要求。这种方法在处理桥头跳车现象时的效果也很好。

(2) 有效地降低路基建造成本。

相对于路基的其他加固方法, 土工编织袋加固路基的造价较低。以江苏省镇溧高速公路 ZL-LY1 施工标段填筑沟塘路基为例, 将土工编织袋与沟塘填筑的其他方法(山皮土填筑、石灰土填筑、素土填筑)进行了比较。山皮土的价格参照宁沂高速公路, 在计算山皮土填筑沟塘的造价时, 考虑了运输、挖装、推平碾压、税金和整个过程中的损耗, 运输距离取为 10 km; 素土单价、取土坑费用和石灰土的单价也都采用镇溧高速公路 ZL-LY1 施工标段的合同单价。土工编织袋的单价是 1.5 元/个, 沟塘填筑时土工编织袋填筑只要求填筑在沟塘的四周, 中间仍用素土填筑, 假设土工编织袋的填筑体积占整个沟塘填筑体积的 1/5; 在用建筑垃圾填筑土工编织袋时, 考虑到可以与垃圾处理费用抵消, 因此不计垃圾的运输费用。镇溧高速公路 ZL-LY1 施工标段沟塘各种填筑方法造价的比较列于表 1 中。从表 1 可以看

出,土工编织袋填筑沟塘的经济效益比较明显,如果在土工编织袋里灌装的是建筑垃圾,那么在经济和综合效益方面都是最为节约的。

表 1 沟塘填筑方法造价比较

| 比较内容                   | 山皮土填筑 | 石灰土   | 素土    | 土工编织袋 |        |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|--------|
|                        |       |       |       | 内装素土  | 内装建筑垃圾 |
| 单价/(元/m <sup>3</sup> ) | 25.40 | 30.50 | 18.10 | 28.60 | 10.50  |

(3) 可以节约用地。

用土工编织袋填筑路堤的边坡角可以达到 90°, 对于同样宽度的路面,用土工编织袋填筑路堤的用地面积远比其他方法填筑的用地面积小,有效地节省了用地面积。

(4) 有很好的护坡效果。

垒在填土外层的土工编织袋,类似于重力式挡墙,具有很好的护坡效果。因此采用土工编织袋填筑的路堤无需采取专门的护坡措施,只要进行适当的绿化或美化处理,而且绿化较易实施。

(5) 环保效果明显,属于“绿色”填筑方法。

土工编织袋是无毒无害的加固方法,具有环境保护效果。土工织物袋中不单单能装普通的土、砂或其他建筑材料,也可以装固体的建筑、工业垃圾等废弃物,有益于环境保护。

## 1 土工编织袋的力学模型

### 1.1 土工编织袋的增强机理

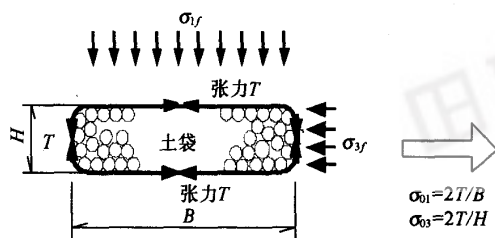


图 2 土工编织袋内土体的受力模型<sup>[3]</sup>

根据土力学理论,土工编织袋被压破时,最大和最小主应力满足以下条件:

$$\sigma_{1f} + \sigma_{01} = K_p(\sigma_{3f} + \sigma_{03}) \quad (2)$$

整理后得到<sup>[3]</sup>:

$$\sigma_{1f} = \sigma_{3f} K_p + 2c \sqrt{K_p} \quad (3)$$

从而得到凝聚力  $c$  为:

$$c = T(K_p B / H - 1) / (B \sqrt{K_p})$$

将一个装满土体的土工编织袋沿某个断面切开,剖面如图 1 所示。一开始,土工编织袋装满土后用图 1 所示的正方形表示(图 1 中实线表示的图形)。假设正方形的边长是 2 cm,则其周长为 8 cm,截面积为 4 cm<sup>2</sup>。土工编织袋经过压实后,由原来的正方形变成了长方形(图 1 中虚线表示的图形),如果土体的体积不变(土体的体积肯定会压缩变小,但不会影响后面的结果),截面积也还是 4 cm<sup>2</sup>,但其周长已变为 10 cm。由于土工编织袋的周长增加了,土工编织袋内产生了张力,张力表示为:

$$T = \epsilon E = E \Delta l / l$$

式中: $E$  是弹性模量; $\Delta l$  是周长的增量; $l$  是周长。

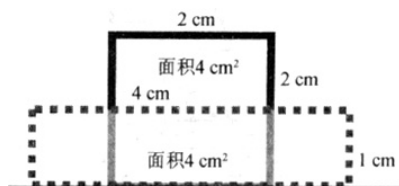
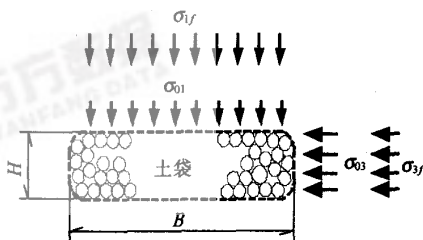


图 1 土工编织袋的张力来源

土工编织袋内的土体在外荷  $\sigma_1$  和  $\sigma_3$  作用下的受力状态如图 2 所示。如果将土工编织袋的张力转化为土体的应力,那么土体破坏时的应力由 2 个部分组成:外荷  $\sigma_{1f}$ 、 $\sigma_{3f}$  和由土工编织袋内张力引起的附加应力  $\sigma_{01}$ 、 $\sigma_{03}$ 。附加应力和内张力  $T$  表示为:

$$\sigma_{01} = \frac{2T}{B} \quad (1a)$$

$$\sigma_{03} = \frac{2T}{H} \quad (1b)$$



土工编织袋的破坏线表示在图 3 中。从图 3 可以看出,用土工编织袋灌装土后,土由原来的散粒  $\varphi$  材料变成了具有凝聚力  $c$  的  $c-\varphi$  材料。凝聚力公式可以改写为:

$$c = \frac{T}{\sqrt{K_p}} \left( \frac{K_p}{H} - \frac{1}{B} \right) \quad (4)$$

从式(4)可以看出,凝聚力随土工编织袋的厚度减小而增大。这一结论与土工编织袋的力学模型

是一致的,随着土工编织袋的厚度减小,土工编织袋的拉伸应变增加,土工编织袋的张力增加,土工编织袋内土体受到的约束增加,相当于土体的围压增加,土体的强度增加,变形减小。

土工编织袋堆砌的边坡有很好的稳定性,对土工编织袋边坡稳定性分析采用  $c-\varphi$  材料的强度特性。土工编织袋堆砌的坡角不同,其稳定性也略有差异(图4)。从图4可以看出,土工编织袋堆砌边坡的坡角是  $90^\circ$  的情况下,坡高达 80 m 时,边坡仍处于临界稳定状态。

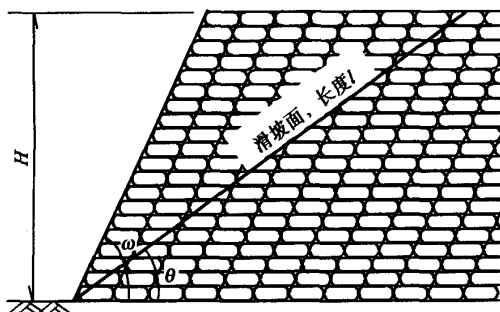


图4 土工编织袋堆砌边坡的稳定性<sup>[4]</sup>

## 1.2 土工编织袋的抑制沉降机理

土工编织袋铺设在路基上可以减小路基沉降,土工编织袋抑制沉降的机理主要有以下2个方面。

### (1) 土工编织袋的应力扩散效果。

土工编织袋的弹性模量要比其下伏土体的弹性模量大,从而将上覆应力扩散到下面的土体中,减小土体受到的应力,抑制地基变形(图5)。

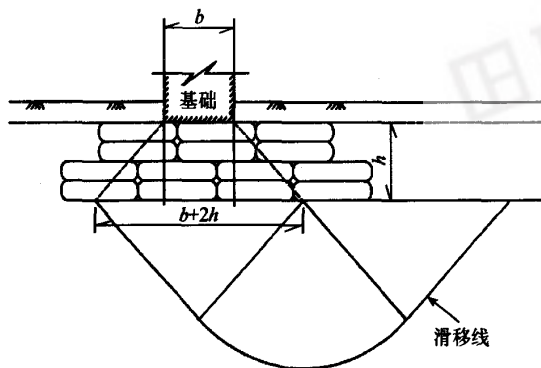


图5 土工编织袋引起的应力扩散

### (2) 土工编织袋本身的变形小。

路基沉降主要是由土体侧向变形和土体本身压缩变形引起的,土工编织袋很好地限制了土体的侧向变形,从而有效地抑制路基沉降。

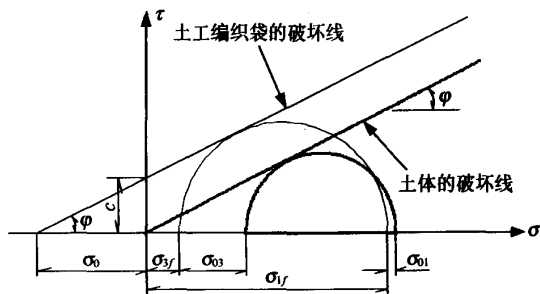
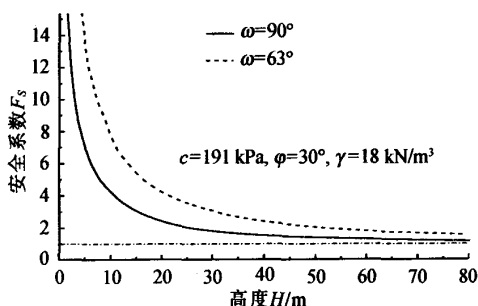


图3 土工编织袋的强度特性<sup>[3]</sup>



## 2 路基工程中的应用

路堤分层填筑压实施工引起变形的有限元分析结果如图6所示。图6的分析结果表明:路堤的沉降主要是由水平方向变形引起的,只要有效地控制水平方向变形,就能很好地减小沉降。土工编织袋力学模型(图2)表明:土工编织袋能很好地控制土体的水平方向变形,土工编织袋自身水平方向和竖直方向的变形都很小,用土工编织袋堆砌路堤的沉降变形易控制为很小值。

### 2.1 加固软土路基

软土路基的处理主要有2个方面的考虑:一方面是增加土体的强度,增加路堤的稳定性;另一方面是减小路基沉降。用土工编织袋堆砌路堤可以起到这2个作用。土工编织袋处理软土路基的示意图如图7所示。由图7可以看出,土工编织袋堆砌的路堤本身具有很好的稳定性,路堤本身是不会滑塌的;由于土工编织袋堆砌路堤的应力扩散作用,上部荷载传递到下卧软土层的应力会降低,增强了软土层的稳定性并减小了软土层沉降。土工编织袋堆砌的路堤本身有很大的刚度,能很好地调节软土路基的不均匀沉降,可以避免出现路面开裂和凹凸不平的现象。土工编织袋处理软土路基的经济效益比搅拌桩复合地基好,质量能很好控制,效果也很好。

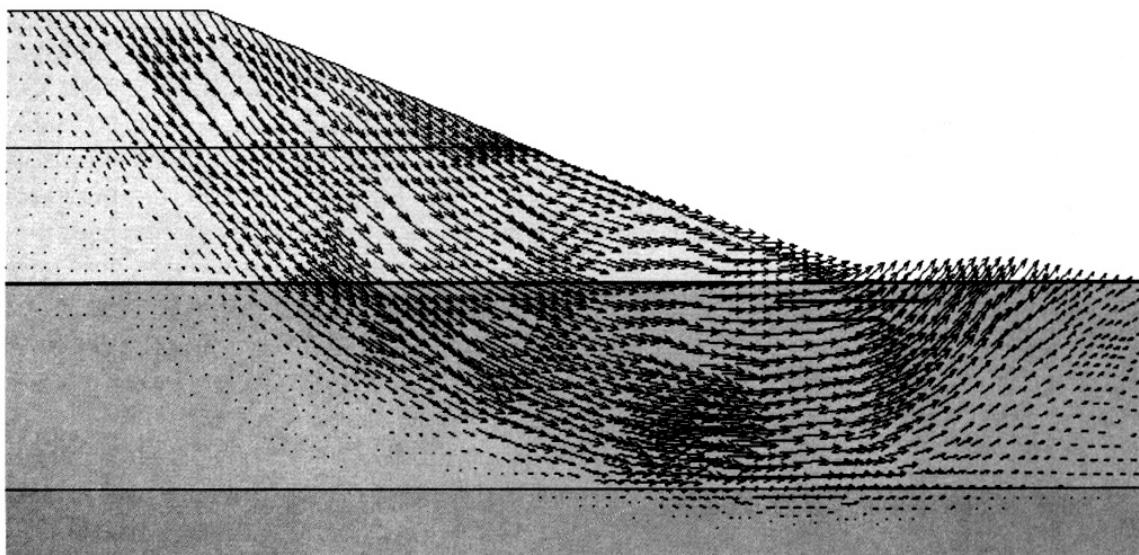


图 6 路堤变形的有限元分析结果

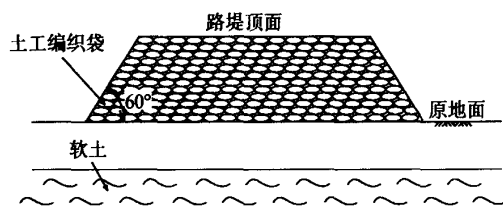


图 7 土工编织袋处理软土路基的横断面示意

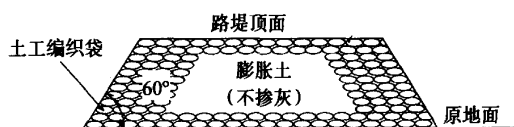


图 8 土工编织袋处理弱—中膨胀土路基的横断面示意

## 2.2 处理弱—中膨胀土

弱—中膨胀土路基的问题主要在于膨胀土失水收缩、吸水膨胀,从而引起胀缩变形,如何抑制膨胀土的胀缩变形是处理膨胀土路基的关键所在。土工编织袋处理膨胀土路基的示意图如图 8 所示。路堤下面的土工编织袋的作用是调节地基的不均匀变形,延缓地下水和土工编织袋内土中水的流动,延缓膨胀土中的水分迁移。路堤两侧的土工编织袋起到重力挡土墙的护坡作用和延缓墙内膨胀土水分的迁移作用。路堤最上面的土工编织袋起到压制膨胀土的膨胀变形,减缓从路面上渗入水的迁移和膨胀土中水分的蒸发,抑制膨胀土路堤的胀缩变形。土工编织袋填筑的路堤有很好的整体性,如果膨胀土中有少许水分变化引起小量的胀缩变形,也能被土工编织袋调节消化了。土工编织袋处理弱—中膨胀土的成本比掺石灰处理低。

## 2.3 沟塘填筑

公路工程建设中经常要跨越沟塘,沟塘填筑多

采用碎石土和石灰土,碎石土和石灰土填筑沟塘的造价高,随着时间推移效果会降低。用土工编织袋填筑沟塘如图 9 所示,沟塘底部清淤找平后,堆砌 2 层土工编织袋,路基的外围堆放 3~4 列土工编织袋,内侧填筑不掺石灰的素土,填至地面高度附近时再堆放 2 层土工编织袋,这样就将整个素土包在里面,阻止素土的侧向位移,减小地面沉降。路基外侧的 3~4 列土工编织袋形成一个整体,起到重力挡土墙的作用。研究土工编织袋填筑沟塘的稳定机理和抑制沉降的原理,取得了一些新进展,将于另文讨论。

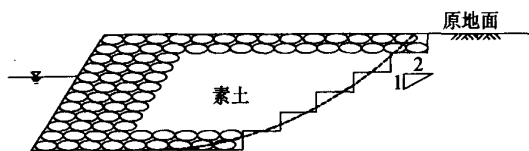


图 9 土工编织袋填筑路基沟塘的横断面示意

## 2.4 桥头处理

高速公路桥头跳车现象很常见,也很难消除,主要是由于路基与桥梁之间的差异沉降引起的。为了



减小桥头跳车程度,大多采用搅拌桩复合地基或超载预压处理,这样处理的效果较好,但造价很高。土工编织袋填筑桥头路基能减少造价并减小桥头跳车程度,土工编织袋填筑桥头路基如图 10 所示。土工编织袋填筑桥头路基减小路基沉降的机理主要是:土工编织袋抑制了本身的沉降;同时,土工编织袋路堤具有应力扩散作用,可以减小路堤下的地基沉降。

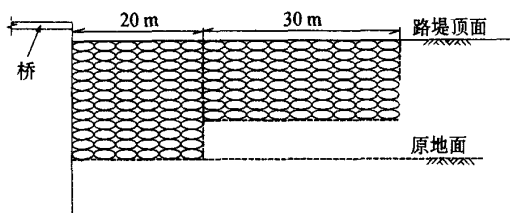


图 10 土工编织袋处理桥头跳车的纵断面示意

## 2.5 老路拓宽中的应用

目前,老路拓宽工程越来越多,老路拓宽要解决的问题是新路堤沉降与老路堤沉降差的关系。老路堤沉降已经趋于稳定,而新路堤沉降刚刚开始,存在有很大沉降差的可能,并且没有很长的固结沉降时间。因此,在老路拓宽工程中,对新路堤大多采用预应力薄皮管桩基础(如沪宁高速公路江苏段),或搅拌桩复合地基等形式,这些措施能控制新路堤的沉降,但造价高,且施工质量难以保证。用土工编织袋填筑新路堤的示意图如图 11 所示。根据理论分析,用土工编织袋填筑的新路堤能有效地控制新路堤的沉降,解决新、老路堤之间的沉降差异问题。

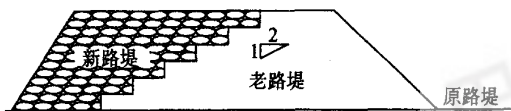


图 11 土工编织袋填筑新路堤的横断面示意

## 3 结语

土工编织袋能有效地增强土体的强度、减小路基沉降变形,可以用来处理软土路基、膨胀土路基及桥头跳车现象,也可以用来填筑路基沟塘和老路拓宽工程中的新路堤。可以认为,只要是路堤沉降和稳定性不能满足设计要求的地方,都可以采用土工编织袋来填筑路堤。采用土工编织袋填筑路堤还有以下问题需要研究并解决。

(1)土工编织袋的拉伸强度、延性和尺寸。土工编织袋的拉伸强度大小直接决定土工编织袋堆砌路堤的稳定性,拉伸强度越大,土工编织袋堆砌路堤稳定性越大,一般建议选取 $1.2 \text{ tf/mm} \sim 1.5 \text{ tf/mm}$ 的土工编织袋;土工编织袋延性小,碾压过程中编织袋可能会断裂,土工编织袋延性大,土工编织袋堆砌的路堤沉降可能会稍微大一些,延性一般以碾压中不拉断为准;土工编织袋的力学模型表明,土工编织袋的强度增量随其厚度减小而增大,随其长度和宽度增大而增大;土工编织袋过大,搬运起来不方便,土工编织袋过小,增强效果会打折扣,一般情况下采用 $20 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$ 的土工编织袋。

(2)土工编织袋内装填材料的性质。土工编织袋装填材料也决定了土工编织袋的强度和变形特性,一般来说,编织袋内最好装填自身压缩性小的碎石、石灰土等材料。实际上,路基工程中取土坑的土性是多种多样的,有时不可能获取到碎石,这时,在编织袋内装填取土坑内的土是可以的,但土体的含水量最好控制在最优含水量附近,略大于最优含水量也可以。

(3)土工编织袋的碾压。土工编织袋的碾压最好先用轻型振动机将编织袋内的土振平、铺匀,再采用重型压路机碾压到指定要求。土工编织袋的压实度最好与填土的压实度一致,如果达不到填土的压实度,可以适当降低压实度要求,但土工编织袋的碾压遍数必须比填土的碾压遍数多 $2 \sim 3$ 遍,具体的压实要求建议在正式施工前做碾压试验后确定。

(4)土工编织袋计算理论。土工编织袋填筑路堤的稳定性和沉降计算方法还不完善,现在都是根据经验方法设计和施工,土工编织袋填筑路堤的稳定性和沉降计算方法还需要进一步研究。

## 参考文献:

- [1] 徐永福,陈冠军. 高速公路软土路基的特性及其处理方法比较[J]. 山西交通科技, 1998, (4).
- [2] 徐永福,陈冠军. 高速公路软土路基加固方法的研究[J]. 华东公路, 1998, (3).
- [3] 陈越. 二次元“土のう”模型的变形、强度特性与“土のう”活用した式补强地盘的设计法[Z]. 1999.
- [4] 松冈元. 地盘工学の新しいアプローチ构成式、试验法、补强法[M]. 京都大学学术出版社, 2003.

文章编号: 0451-0712(2005)07-0087-05

中图分类号: U418.55

文献标识码: B

# 采用工程地质钻机处治滑坡一例

张文德<sup>1</sup>, 朱天璋<sup>2</sup>, 莫百金<sup>3</sup>

(1. 湖南省怀化市公路勘察设计院 怀化市 418000; 2. 湖南省交通规划勘察设计院 长沙市 410011;

3. 洪江市公路局 洪江市 418100)

**摘 要:** 通过一个非传统方法处治滑坡的成功实例,介绍了 100 型工程地质勘探钻机在滑坡处治中的应用,对采用小型钻孔桩传递滑坡动荷载处治滑坡这一工艺的设计与施工进行了初步探讨,说明在滑坡处治中,对于一些特殊情况下的滑坡处治,不一定要采用传统的处治方法,也能取得理想的效果,并能节省大量的建设费用。

**关键词:** 100 型钻机; 钻孔; 混凝土槽钢桩; 滑体动荷载; 爆破; 荷载传递; 主动土压力

2004 年 8 月,320 国道 K1566+190~K1566+280 段由于邵怀高速公路施工便道的开挖(如图 1),使该段路基所在山体失去稳定,发生山体滑坡,致使该段路面中部开裂,裂缝宽度达 3 cm 以上;半幅路基下沉,沉降量达 10 cm,且沉降与滑移还在进一步发展之中。如果不立即对该段路基进行处治,很快就会影响正常的交通运营。

2004 年 10 月,怀化市公路管理局邀请怀化市公路勘察设计院岩土工程技术人员及相关专家对该处滑坡进行诊断。大家提出了多种处治方案,有人建议对该段路进行改线,将 K1566+300 处的山嘴挖掉,避开滑坡所在山体;有人建议在路基下方砌高挡墙;也有人建议采用抗滑桩方案。当时笔者提出,采用工

程地质勘探钻机在原有路基上打密集的钻孔,钻孔中加插槽钢,形成槽钢混凝土桩,将车流的动荷载传递到滑面以下的基岩中,同时,嵌入基岩中的槽钢也有直接的抗滑作用。由于滑坡处治费用有限,而此处治方案费用最省,因而被怀化市公路管理局采纳,并作为一个科研项目进行实施。

## 1 滑坡形成的机理及特征

要对滑坡进行有效的处治,必须首先弄清滑坡形成的机理及其特征,这样处治方案才有针对性。

该段公路是已运营多年的老公路,路基稳定,如果没有外界因素的改变,破坏其平衡,路基所在的山体是不会产生滑坡的。高速公路施工便道开挖无疑

收稿日期: 2005-02-20

## Application of Fabriform to Subgrade Engineering

SHAO Jie-xian<sup>1</sup>, HUANG Jian<sup>1</sup>, ZHOU Bo-ming<sup>1</sup>, ZHOU Xing-shun<sup>2</sup>, LI Hao<sup>2</sup>,XU Yong-fu<sup>3</sup>, WU Xin<sup>2</sup>, LIANG Long-ling<sup>2</sup>, YANG Bin<sup>3</sup>

(1. Construction Headquarter of Jiangsu Highway Engineering, Nanjing 200004, China;

2. Planning and Design Institute of Communication of Jiangsu Province, Nanjing 200004, China;

3. School of Naval, Ocean and Civil Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

**Abstract:** A new method fabriform method is introduced to improve the subgrade of highway engineering. The soils in fabriform are reinforced by the tensile strength of fabriform. The fabriform can be widely used in the engineering such as improvements of soft soils and expansive soils, backfill in rivers and ponds, embankment protection, planted high rock slopes, improvement of soils in the bridgeheads, etc..

**Key words:** expressway; subgrade; fabriform; strengthening of subgrade