

# 土工格栅在治理软土路基沉降问题中的研究

刘 春<sup>1,2</sup>, 赵洪波<sup>3</sup>, 白世伟<sup>2</sup>

(1. 武汉工业学院 土木工程系, 湖北 武汉 430023; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071;

3. 绍兴文理学院 土木工程系, 浙江 绍兴 321000)

**摘 要:** 对土工格栅在治理某高速公路软土地基的沉降问题进行了研究, 介绍了加固软土路基的处理方法和治理机理, 并采用有限元分析方法, 对处理后的路基沉降进行了计算, 所得结果与实测沉降值偏差较小, 证明本研究采用的计算理论和结构模型以及编写的程序是正确的。

**关 键 词:** 土工格栅; 沉降计算; 有限元方法

**中国分类号:** TU413 **文献标识码:** A

## Research on using geogrids to control settlements of subgrades

LIU Chun<sup>1, 2</sup>, ZHAO Hong-bo<sup>3</sup>, BAI Shi-wei<sup>1</sup>

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. Wuhan Polytechnic University Civil Engineering Department, Wuhan 430023, China; 3. Shaoxing College of Art and Science Department of Civil Engineering, Shaoxing 321000, China)

**Abstract:** The mechanism and method of Geogrids in harnessing soft foundation of expressway are analyzed. According to finite element method, the settlement calculation results approach the practical measurement results. The calculation method and construction model are proved to be correct.

**Key words:** geogrids; settlement calculation; finite element method

## 1 前 言

土工合成材料系应用于土木工程中的各种合成纤维织物的统称。随着高分子化学工业的飞速发展, 合成纤维新品种和新型高分子合成材料不断出现, 如土工网(Geonets)、土工格栅(Geogrids)、土工薄膜(Geomembranes)和土工席垫(Geomats)等<sup>[1]</sup>。土工格栅就是一种以高强度聚乙烯或高密度聚乙烯等高分子聚合物为原料的片材, 在一定温度条件下, 经过挤板压延、冲孔、定向拉伸、冷却定型后形成的片网状结构物。它具有变形模量大, 抗拉强度高, 耐腐蚀、抗老化, 与土颗粒之间的摩擦系数大, 连锁作用强的特点。其加筋效果强于土工布等材料。将土工格栅埋至土体内, 作为软弱地基的加固补强材料, 可增强地基的承载力。同时, 通过约束土体的侧向剪胀变形, 可改善土体的整体受力条件, 提高土体的整体强度和土工构筑物的整体稳定性。因此, 土工格栅较多地应用于软基处理、

陡坡及挡土墙的稳定加固方面。

汉一十高速公路某段为高填方路堤, 属深厚软基情况, 其承载力极低<sup>[2]</sup>。如不对此进行处理, 定会产生大的工后沉降, 并会导致路面早期破坏, 甚至会引起路基坍塌。因此, 工程中采用了以土工格栅为主的土工织物, 来处理深厚软弱路基问题。经过一年多的使用和监测, 证明该治理方法成功地加固了软基, 沉降的实测值与理论计算值吻合较好。为将土工格栅的应用扩展到处处理高速公路软弱路基问题上做出了有益的尝试。

## 2 处理方法

图1为该高速公路填土路堤下深厚软基的地质剖面 and 沉降观测仪器布置图。土层从上至下为: 粘性土硬壳层厚约1m; 淤泥层厚约为14~17m; 地下水位约在地表下1m处。其代表性土性指标见表1。

由表1中数据可知, 路堤地基属于高液限、高压缩性、低透水性的饱和软粘土。

表 1 土的物理力学指标  
Table 1 Indexes of soil mechanical properties

含水量	重度	孔隙比	液限	塑性指数	压缩系数	不排水抗剪强度	固结系数
$\omega/\%$	$\gamma/\text{kN}\cdot\text{m}^{-3}$	$e$	$\omega_L/\%$	$I_P$	$a_{1-2}/\text{MPa}^{-1}$	$c_u/\text{kPa}$	$C_v/10^{-3}\text{cm}^2\cdot\text{s}^{-1}$
64~87	14.1~16.3	1.5~2.3	48.6~59.8	23~27	1.72~3.36	6.8~14.2	0.25~0.72

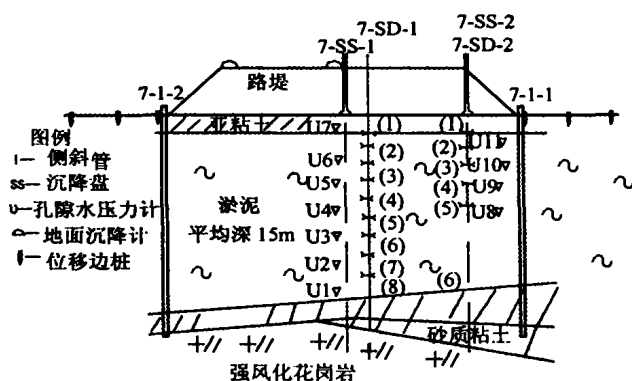


图 1 代表性地质剖面 and 观测仪器布置图  
Fig. 1 Geological profile and the arrangement of observation apparatus

观测断面的填土形状和尺寸如图 2 所示。填土设计高度为 5.2 m。加筋砂垫层的施工要点为：砂垫层厚 50 cm，先铺 20 cm；插打塑料排水板；然后，沿路堤横向铺设土工格栅，并应按要求进行张拉固定。最后，在施工水泥路面时，在路面中沿断面设置了 5 个路基沉降观测管，以测量路基的工后沉降，评定处理效果。

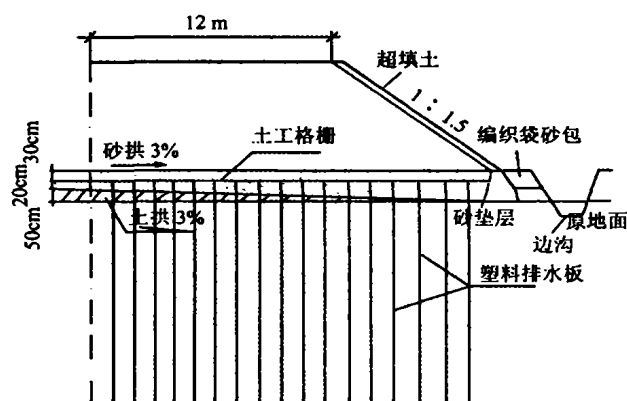


图 2 路基处理示意图  
Fig. 2. Schematic diagram subgrade treatment

### 3 土工格栅的处治机理

在室内进行的大量实验证明：在土体中合理布置土工格栅，可使土体的垂直应力、水平应力明显降低，土体剪应力明显提高，土体的抗剪强度得到

充分发挥，可以大大地提高土体的承载能力、抗变形能力和抗裂能力。

将土工格栅用于处理软土地基以提高其承载力，通过格栅将其上部填料的垂直变形向水平方向扩散，致使其上部填料的抗剪切变形能力得以充分发挥，使得软土地基表面的承载区大大增加，表面的压强大大减小，从而，达到提高其承载力的目的。

## 4 路基沉降的有限元分析

### 4.1 土的本构关系

在有限元分析中，首先，应建立土的性质模型，由于土的应力-应变关系是非线性的，可以选用非线性弹性体来描述土的应力-应变特征，实践表明，这种模型在很多情况下可以得到满意的结果。目前，在很多工程计算中，土的非线性弹性体采用的数学模型为邓肯-张模型，其参数可由常规试验确定，并且，具有特定的物理意义，其方法简单、实用。因此，在本次分析中，采用邓肯-张模型来描述土的本构关系。

### 4.2 计算模型

针对土与土工格栅相互作用的系统，在本次研究中，采用三种单元，即等参 8 节点单元、界面单元和土工格栅单元分别表示。填土采用 8 节点等参单元，即抛物线型二维 8 节点等参单元模拟，它具有好的单元特性及对曲线边界的适应性<sup>[3]</sup>。田小革在文献[4]中提出了界面单元和土工格栅单元模型。

根据土与土工格栅间的作用机理，在土与土工格栅间设 Goodman 接触面单元，模拟接触面上可能产生的错动、滑移或开裂。接触面单元有 4 个节点，如图 3 所示。接触面单元与相邻的接触面单元或二维单元之间，只有通过节点才能联系，在节点力  $\{F\}^e$  作用下，两片接触面间的弹簧所受应力为

$$\{\sigma\} = \{\sigma_n, \tau\}^T \quad (1)$$

相应地，在两片接触面之间产生相对位移为

$$\{\omega\} = \{\omega_n, \omega_s\}^T \quad (2)$$

在线弹性假定下，应力  $\{\sigma\}$  与相对位移  $\{\omega\}$  成正比，其关系式如下：

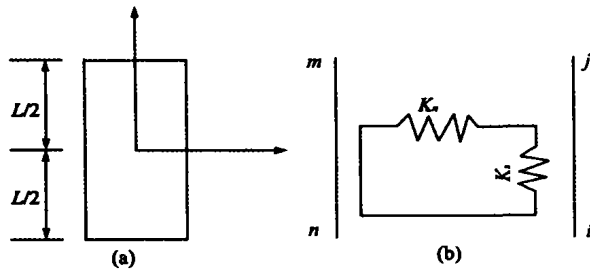


图 3 接触面单元  
Fig 3. Interface element

$$\{\sigma\} = [K_0]\{\omega\} \quad (3)$$

$$\text{其中 } [K_0] = \begin{bmatrix} K_n & 0 \\ 0 & K_s \end{bmatrix}$$

式中  $K_n$ ,  $K_s$  分别为法向和切向的单元长度劲度系数,  $K_n$  可取与土料相接触的土工格栅的压缩模量,  $K_s$  为剪切试验结果在弹性阶段应力-应变关系的斜率, 即

$$\tau = K_s \omega_s \quad (4)$$

土工格栅单元用二维薄模单元表示, 它近似于埋入土中的薄膜, 只能承受张力, 不考虑弯曲和压力。土工格栅单元刚度矩阵为

$$[K_e] = \frac{ET}{R} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中  $E$  为土工格栅抗拉模量;  $T$  为土工格栅宽度, 即单元宽度;  $R$  为土工格栅径向长度。

#### 4.3 计算参数的选取

为取得土的力学参数, 对工地所取的土样进行了室内常规三轴试验 (共计两组), 图 4. 5 为应力-应变曲线。从这些关系曲线可得如下结论:

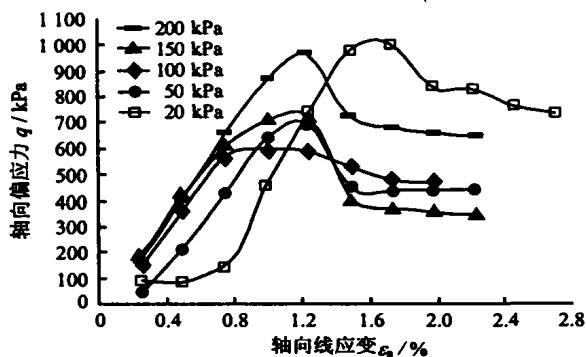


图 4 第一组土样应力-应变曲线  
Fig.4 Stress-strain curves of first group soil samples

(1) 土样无论是在低围压还是在高围压下,

均呈变显形软化特征。当围压  $\sigma_3 \leq 150$  kPa 时, 土样一般在应变  $\epsilon_a \approx 1.2\%$  左右发生塑性破坏; 当围压  $\sigma_3 \geq 200$  kPa 时, 土样一般在应变  $\epsilon_a \approx 2\%$  左右发生塑性破坏。

(2) 土样塑性破坏后, 其残余强度较高, 且其数值基本保持不变。

(3) 由于  $(\sigma_1 - \sigma_3) - \epsilon_a$  关系不是线性问题, 从数值分析角度, 可考虑采用非线性模型。

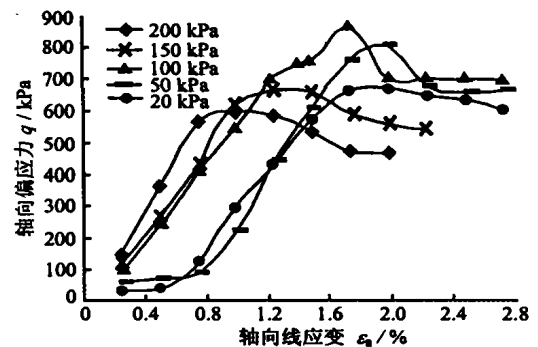


图 5 第二组土样应力-应变曲线  
Fig.5 Stress-strain curves of second group soil samples

尽管土样的应力随应变呈显变形软化特点, 但考虑到其残余强度较高, 在一定程度上其应力-应变呈理想塑性。可用邓肯和张提出的双曲线模型来拟合应力-应变曲线, 即

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{\epsilon_a}{a + b\epsilon_a} \quad (6)$$

邓肯-张模型弹性模量  $E$  和泊松比  $\mu$  随应力水平而变化。切线模量  $E_t$  和切线泊松比  $\mu_t$  表达式如下:

$$E_t = \left[ 1 - \frac{R_f(1 - \sin \phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \phi + 2\sigma_3 \sin \phi} \right]^2 KP_s \left( \frac{\sigma_3}{P_s} \right)^n \quad (7)$$

$$\mu_t = \frac{G - F \lg \frac{\sigma_3}{P_s}}{\left\{ 1 - \frac{D(\sigma_1 - \sigma_3)}{KP_s \left( \frac{\sigma_3}{P_s} \right)^n \left[ 1 - \frac{R_f(1 - \sin \phi)(\sigma_1 - \sigma_3)}{2c \cos \phi + 2\sigma_3 \sin \phi} \right]} \right\}^2} \quad (8)$$

式中  $P_s$  为大气压强;  $R_f$  为破坏比, 即破坏偏应力与偏应力渐进线的比值;  $D$  为反映轴向应变  $\epsilon_a$  与径向应变  $\epsilon_r$  之间关系的参数;  $F$ ,  $G$  为反映起始切线泊松比  $\mu_t$  与围压  $\sigma_3$  之间关系的两个参数;  $K$ ,  $n$  为

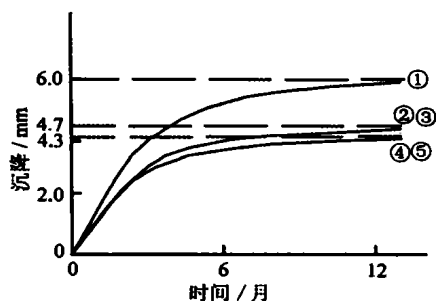
反映起始切线模量  $E_t$  与围压  $\sigma_3$  之间关系的两个参数;  $\phi$  为内摩擦角;  $c$  为粘聚力;

根据三轴试验数据, 经过回归拟合, 得到邓肯-张模型 8 参数值, 见表 2。

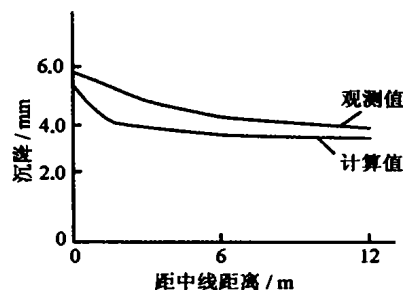
表 2 邓肯-张模型 8 参数值  
Table 2 Duncan-Zhang model 8 parameters

$R_f$	$D$	$K$	$n$	$G$	$F$	$\phi/(^\circ)$	$c/\text{kPa}$
0.763	12.36	1458	0.44	0.140	0.145	27.6	151.8

工程中采用的是山东泰安塑料一厂生产的土工格栅 (产品型号 SR1)。根据厂家提供的材料数据, 计算中采用的参数见表 3。



(a) 时间-沉降观测曲线



(b) 沉降观测与计算值比较

图 6 路基沉降的观测与计算值比较

Fig. 6 Comparison between settlements calculated with FEM and measured ones of subgrade

## 5 结 语

加固后的路段经过近半年的观测、运营, 证明应用土工格栅加固软土地基是行之有效的一种方法。研究中所采用的计算理论与模型以及编写的计算程序, 也是正确的, 可以大力推广使用。

### 参 考 文 献

- [1] 孙钧, 迟景魁, 曹正康等. 新型土工材料与工程整治 [M]. 北京: 中国建筑出版社, 1998.
- [2] 武汉公路设计院. 汉一十高速公路岩土工程地质勘察报告[R]. 武汉: 武汉公路设计院, 2001.

表 3 土工格栅计算参数

Table 3 Calculation parameters of geogrids

$K_a / 10^3 \text{ MPa}$	$E / 10^3 \text{ MPa}$	$T / \text{mm}$	$R / \text{mm}$
40.4	38.7	2.68	34.42

## 4.4 沉降计算与实测对比分析

按上节有限元分析, 采用 Visual Fortran 编写了有限元计算程序。为了分析方便, 将计算分析结果与实测的沉降值绘于图 6 中, 从图 6 可以看出(①~⑤分别代表 5 个沉降观测管), 采用土工格栅处治后的路基沉降趋于稳定, 最大沉降值仅为 0.6 cm。处治效果良好, 采用有限元计算分析得到的沉降值与实测值偏差较小。

- [3] 王勖成. 有限单元法基本原理和数值方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995.
- [4] 赵川. 土工格栅加筋碎石土大型三轴试验研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(4): 419—422.
- [5] 田小革, 应荣华, 张起森. 应用土工格栅处理软土地基上的桥头跳车问题. 岩土工程学报, 2000, 22(6): 744—746.
- [6] 翁升. 土工布加筋垫层对路基变形和稳定的影响[J]. 岩土力学, 2001, 22(1): 42—46.
- [7] 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会. 土工合成材料工程应用手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1994.