

# 滨江地带路堤结合工程中关键问题分析

董学刚

(上海市市政工程设计研究总院,上海市 200092)

**摘 要:**结合漳州市江滨大道工程,对路堤结合工程中的高填土软土地基处理、防渗处理等关键问题进行了分析和研究,提出了堆载预压+塑料排水板及砂垫层+土工格栅的联合地基处理方案,迎水坡堤脚打设混凝土防渗墙+坡面铺设复合土工膜综合防渗处理措施。根据理论计算分析和现场监测数据表明,处理效果比较成功,可为类似工程设计参考。

**关键词:**路堤结合;软土地基处理;防渗处理;有限元

**中图分类号:**U416.12 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)05-0035-03

## 0 前言

随着国民经济的迅速发展,沿江临海城市更加注重滨江地带的城市开发,城市防洪与城市环境结合建设已成为目前城市建设的亮点。在建设滨江地带的道路工程中,沿江大道几乎都采用路堤结合形式,集交通、防洪、景观等功能为一体,利用原有的防洪堤向单侧或双侧加宽,使之满足道路交通功能的需要。然而,防洪堤的填土高度一般较高,而沿江地带的地质条件往往较差,通常分布着相当广范围的软土层,滨江地带路堤结合工程中存在的沉降、稳定、渗流等一系列具体问题还没有得到很好的解决。该文结合福建省漳州市江滨大道工程,对路堤结合工程中的高填土软土地基处理、防渗处理等关键问题进行了比较全面的分析和研究,并提出了相应的解决措施。根据现场监测的数据和计算分析表明,处理效果还是比较成功的,对于类似工程的设计和建设具有一定的借鉴意义。

## 1 工程概况

漳州市江滨大道工程起于洋老洲土、石堤相接处,终至西溪桥闸,线路走向基本沿九龙江西溪北岸现有防洪堤线,总长度约为11.3 km。根据漳州市总体规划,江滨大道定位是集观光、休闲、旅游、交通功能为一体,路堤相结合的综合型滨江景观生态道路。属于城市Ⅱ级次干道,设计车速40 km/h,路堤防洪标准为百年一遇。该工程地处漳州市一级冲海阶地,沿线地势低洼平坦,沟港纵横密布,海拔高程4 m~6 m,工程地质条件较差,地层分布主要为第四系冲、洪积粘土、淤泥、砂类土、残积土及花岗岩等。

## 2 高填土软土地基处理

江滨大道堤顶路段路面设计标高为12.0 m左右,沿线均为高填方路段,其中部分路段填土高达9.0 m左右。而由工程地质勘察报告可知,江滨大道全线地质情况变化较大,软土分布较厚,部分路段淤泥层几乎露于地表。这样的地基承载力极差,压缩性高。因此采取地基处理措施,除保证路堤稳定外,另一个重要的目的就是控制工后沉降。

### 2.1 地基处理方案比选

软土地基的处理方式基于经济性、可行性和工期等综合因素考虑,可采用堆载预压+塑料排水板、低能量强夯+降排水法、土工格栅+砂垫层、旋喷桩、搅拌桩等五种方案。

从控制沉降、缩短工期的因素出发,旋喷桩、搅拌桩方案的效果要明显优于其它方案,但这两种方法的造价要远高于其它方案,用于江滨大道的小部分软土地基路段尚可以考虑,但软土地基处理全部采用此类方案则极不经济。而堆载预压+塑料排水板方案则通过加快软土中空隙水的排出,以加快地基固结沉降的完成,同时可提高地基土的承载力。该方法技术成熟、工艺简单、造价经济,对地基土的扰动较小,但施工周期较长,在高速公路软土地基处理中应用较为广泛。对于低能量强夯+降排水方案,强夯施工对环境的影响较大,对周边建筑物、防洪堤的安全存在着严重威胁,可能造成防洪堤开裂甚至失稳,因此强夯施工的应用可能会受到限制,并且该法对粉性土的处理效果较好,对淤泥质土采用该法时容易产生“弹簧土”等现象,处理效果难以保证。土工格栅+砂垫层方案施工简便,可操作性强,土工格栅作为加筋材料应用于软土地基,可以大大提高路堤整体性,有效控制不均匀沉降,可提高地基的承载力,但却无法控制下伏软卧层的固结沉降。

综合以上地基处理方案比选,结合该工程实际

收稿日期:2006-07-10

作者简介:董学刚(1972-),男,江苏江都人,工程师,从事市政工程设计工作。



特点,在高填土软土地基路段采用堆载预压+塑料排水板及砂垫层+土工格栅的联合处理方案。

## 2.2 沉降计算分析

分层总和法计算沉降得到路堤中心的最终沉降量,但很难求得路堤各点随时间变化的沉降。采用邓肯-张弹性非线性模型进行有限元计算,结合太沙基固结理论,按平面应变问题求解。路堤(基)部分采用平面四边形等参单元模拟,土工格栅则采用只能受拉的线性杆单元模拟,假定土工格栅与土体交界面二者之间无相对位移。

选取两个典型断面进行有限元计算模拟分析,分别计算了填土到设计标高时未加筋处理沉降值、加筋处理沉降值和最后一个监测时间点的沉降值,并和现场实测的沉降值进行了比较,详见表1及表2。现场实测填土-沉降-时间关系曲线参见图1及图2,根据空隙水压力计监测的数据表明,最后一个监测时间点的固结度分别达到了89.2%和86.4%。

表1 填土到设计标高时沉降值比较

桩号	填土高度(cm)	不处理沉降计算值(mm)	加筋处理沉降计算值(mm)	实测沉降值(mm)	差值百分比(%)
K8+300	660	574	487	517	-5.80
K9+300	660	752	635	690	-7.97

表2 最后一个监测时间点沉降值比较

桩号	填土高度(cm)	计算沉降值(mm)	实测沉降值(mm)	差值百分比(%)
K8+300	660	550	553	-0.54
K9+300	660	738	819	-9.89

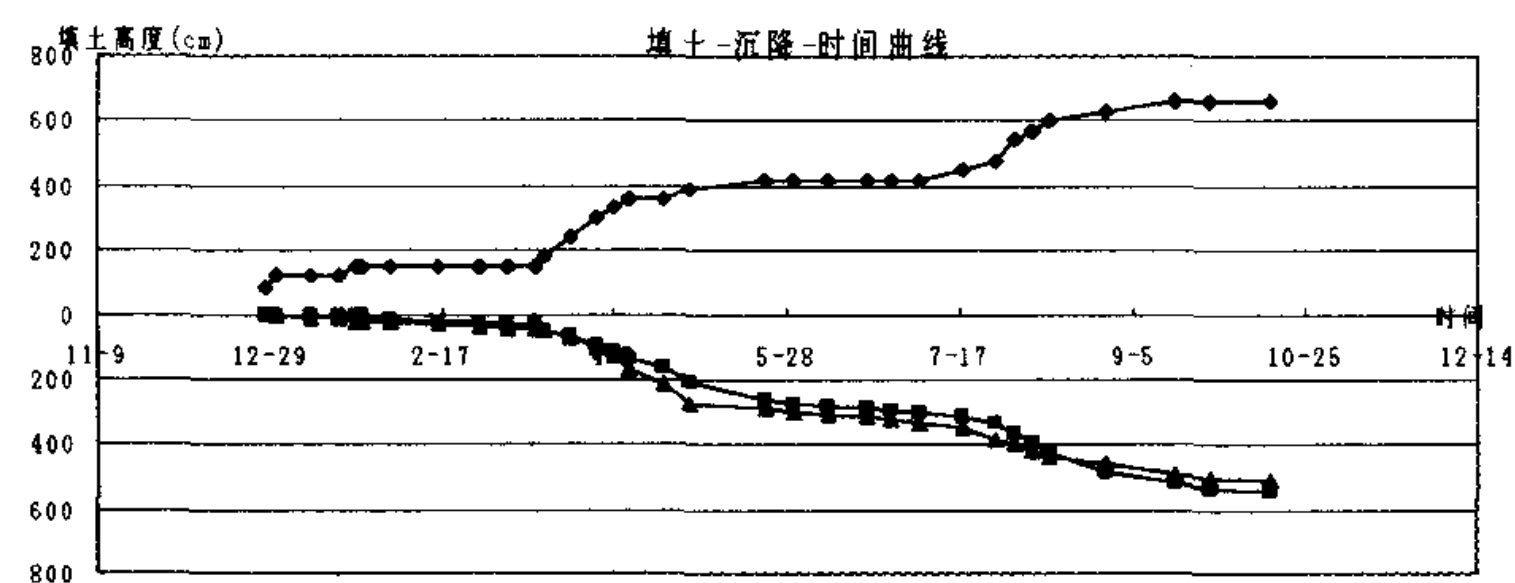


图1 K8+300 填土-沉降-时间关系曲线

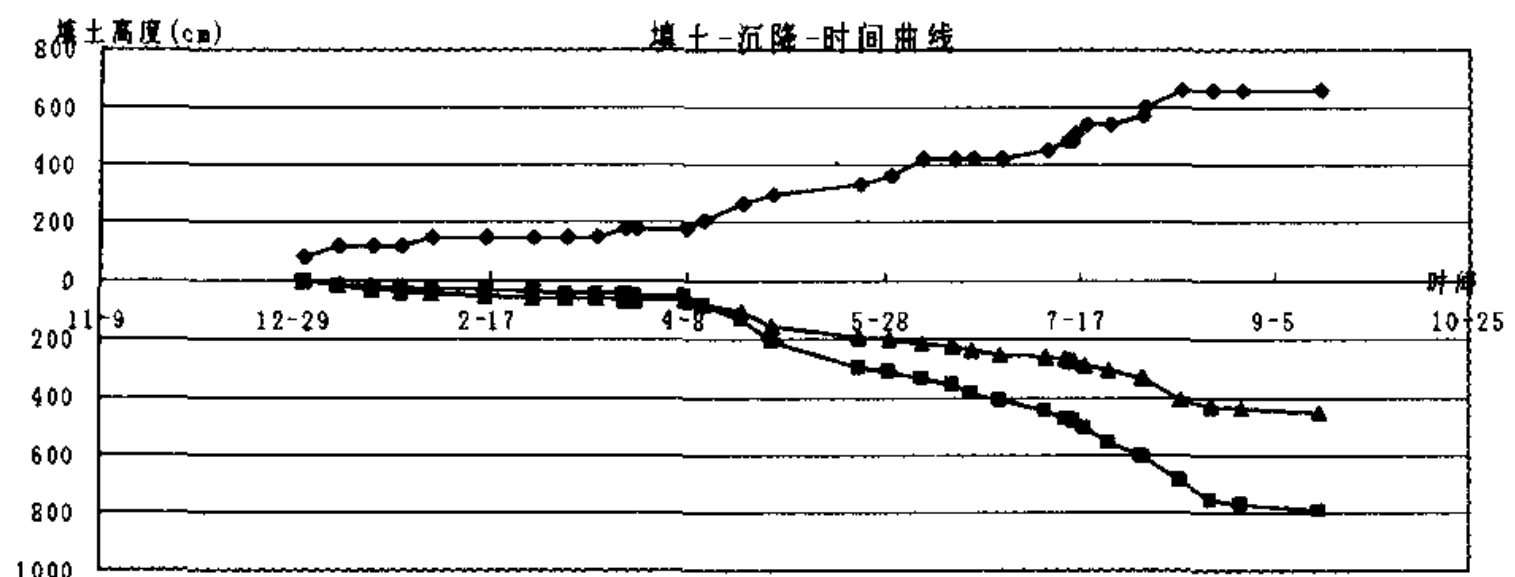


图2 K9+300 填土-沉降-时间关系曲线

## 2.3 处理效果评价

通过以上表格(表1、表2)和现场实测填土-沉降-时间关系曲线(图1、图2)比较分析可以得到如下结论:

(1)土工格栅的主要作用是控制路堤稳定,但

根据土工格栅加筋处理的原理,锚固作用约束了土体的两端变形,根据变形协调,从而限制了土体的竖向沉降。由表1可知,虽然实测沉降值略大于加筋处理沉降计算值,但均小于不处理沉降计算值10%左右,说明土工格栅加筋处理确实对控制沉降有一定的效果。

(2)实测填土-沉降-时间关系曲线基本反映了填土高度和沉降量之间的相关关系。采用邓肯-张弹性非线性模型进行有限元模拟分析,表2计算结果表明沉降计算值与实测值误差相对较小,差距在10%以内,说明采用弹性非线性有限元计算沉降精度较高。

(3)塑料排水板可以加速软土中空隙水的排出,从而加快地基固结沉降的完成,使得后期的沉降提前完成。现场监测数据表明淤泥层固结度实测值均达到了85%以上,实测值高于计算值,这是实测沉降值大于计算沉降值的主要原因。说明塑料排水板对加快淤泥层的排水固结起到了良好的效果,从而有效地减小了工后沉降。

(4)在新、旧路堤结合部位采取开挖台阶的方法增强两者之间的结合效果,同时在台阶处铺设土工格栅,增强该处的刚度,从而控制差异沉降的发生。现场监测数据表明新、旧路堤结合部位采用挖台阶+土工格栅方案处理效果明显,纵向未发现任何由于不均匀沉降引起的裂缝,有效地控制了差异沉降。

## 3 路堤防渗处理

江滨大道为路堤结合的城市次干道,路堤防洪标准为百年一遇。路堤的稳定问题包括整体稳定和渗透稳定两个方面,即路堤的稳定应考虑洪水水位下的渗流作用的影响。

根据工程地质勘察报告可见,沿线地层分布属于“上层透水性弱,下层透水性强”的典型二元结构地基。因此路堤防渗处理也是江滨大道建设中需要重点考虑的问题之一,其目的在于防止渗流作用下堤后管涌、流土现象的发生。

### 3.1 防渗处理方案

渗流控制总的原则是“前堵后排”,即在上游采用“堵”的方法,截断上游来水;在下游采用“排”的措施,将上游渗流过来的水顺利地排出,使之能够安全出逸,不致发生渗透破坏。

“前堵”的主要措施有水平防渗与垂直防渗,根据防渗材料的不同主要有回填粘土水平铺盖防渗、复合土工膜水平铺盖防渗、混凝土垂直防渗墙防渗、复合土工膜垂直防渗墙防渗等方法。



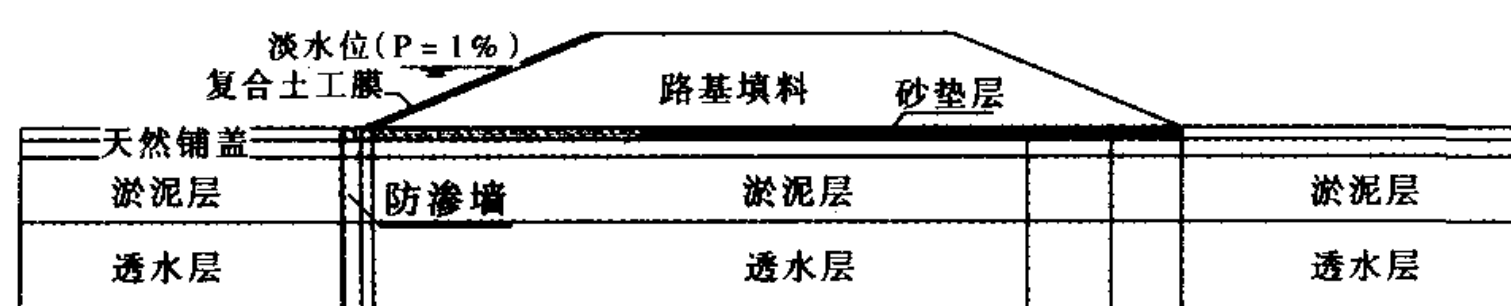


图 3 计算模型简图

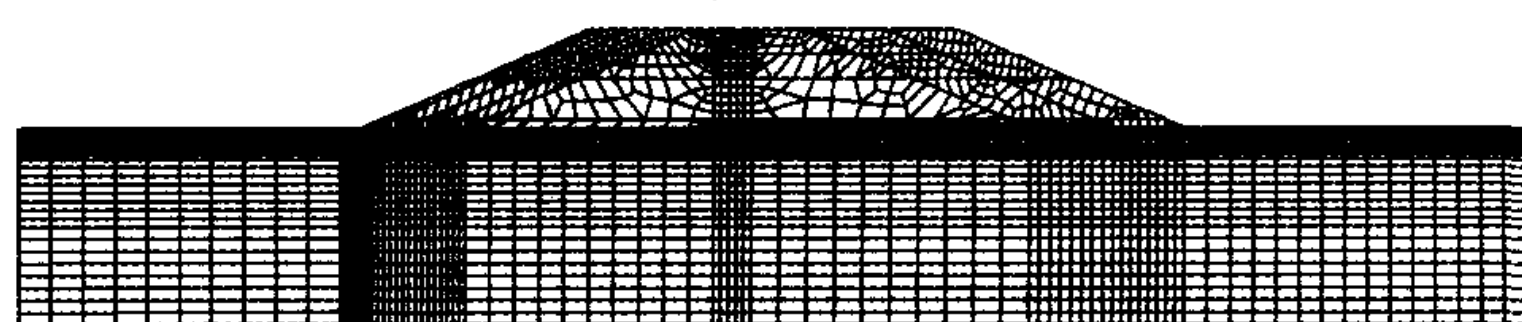


图 4 渗流有限元计算网格

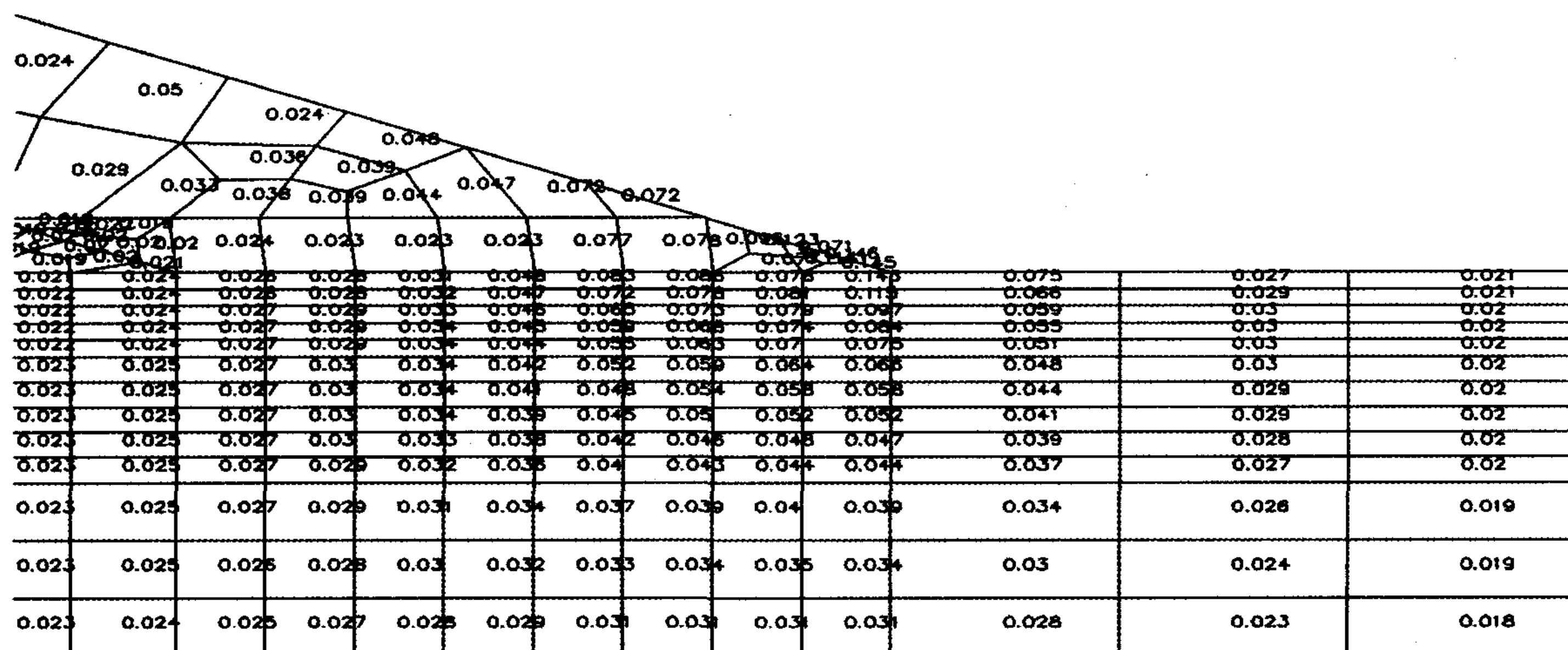


图 5 背水坡坡脚侧各单元渗透坡降

针对该工程沿线地层分布特点和堤基处理方案，防渗处理考虑采用迎水坡堤脚打设混凝土垂直防渗墙 + 坡面铺设复合土工膜综合处理措施，既解决了地基的防渗问题，也保证了堤身的防渗安全。

### 3.2 渗透稳定计算

从渗流的基本微分方程出发,采用伽辽金方法推导出饱和-非饱和渗流有限元计算格式,最后的有限元求解方程为<sup>[1][2]</sup>:

$$([K]+[S])[h_c]^t+[g]=[f]$$

根据有限元求解方程,结合定解条件,即可对渗流问题采用有限元求解方法。通过建立二维平面渗流有限元计算模型,对百年一遇洪水位下稳定(非稳定)渗流情况进行了渗流有限元计算,得到计算网格各节点的渗流压力值、总水头值以及各单元的出逸坡降,从而判断采取工程措施后是否能够达到渗透稳定要求。对复合土工膜的计算模型处理,假定其相当于 1 m 厚度的粘土层,这样就避免了土工膜单元过薄带来计算上的不便。

典型断面计算模型简图、有限元计算网格剖分、背水坡坡脚侧各单元渗透坡降见图 3、图 4 及图 5。

### 3.3 处理效果评价

如不考虑防渗措施作用影响,由《堤防工程设计规范》中双层地基坡降计算公式计算可得,背水坡坡脚侧出逸坡降在 0.75 以上。采取迎水坡堤脚打设混凝土垂直防渗墙+坡面铺设复合土工膜综

合防渗处理方案后,根据渗流有限元计算结果表明,背水坡坡脚侧渗透坡降减小到了 0.15 以下,有效地保证了百年一遇洪水位作用下的渗透稳定。另外,迎水坡堤脚打设混凝土防渗墙可以在路堤填筑完成沉降稳定后进行施工,可避免路基不均匀沉降造成的防渗墙开裂等问题。

## 4 结语

滨江地带路堤结合工程中的高填土软土地基处理、防渗处理等关键问题目前还没有得到很好的解决。结合漳州市江滨大道工程,提出了堆载预压+塑料排水板及砂垫层+土工格栅的联合地基处理方案,迎水坡堤脚打设混凝土防渗墙+坡面铺设复合土工膜综合防渗处理措施,并从理论分析计算入手,分析了软土地基沉降计算的有限元法、路堤渗流计算的有限元法,并将上述计算方法运用到工程实践中。根据现场监测的数据和计算分析表明,处理效果还是比较成功的,对于类似工程的设计和建设具有一定的借鉴意义。

## 参考文献

- [1]毛昶熙,段祥宝,李祖貽等.渗流数值计算与程序应用[M].南京:河海大学出版社,1999
- [2]刘洁,毛昶熙.堤坝饱和和非饱和渗流计算的有限单元法[J].水利水运科学研究,1997(3)
- [3]赵维炳,殷宗泽等.土工数值分析方法[M].南京:河海大学出版社,1995