DOI：10.3969/j.issn.1004-4701.2015.02.02

软弱地基不同置换深度及宽度对堤防应力变形及稳定性影响研究

周英雄，袁晓峰，敖跃飞，黄浩智

（江西省河道湖泊管理局，江西 南昌 330009）

摘 要： 软弱地基对堤防稳定性有很大影响. 本文采用数值计算方法分析了不同置换深度、不同的坡脚外置换宽度对堤防应力变形及稳定性影响规律. 结果表明，当软土厚度一定时，随着置换厚度增大，新填筑堤防地基表面沉降减小，安全系数有所增大；当置换厚度一定时，增大堤脚外地基置换宽度对加固区堤身及地基变形影响不大，但对稳定性影响较大；置换深度越小，堤脚外加固宽度就越大. 其成果对软基置换设计具有一定指导意义.

关键词： 堤防；软基；置换；影响

中图分类号： TU471.8 **文献标识码：** A **文章编号：** 1004-4701(2015)01-0081-06

鄱阳湖区大部分堤防都是座落在冲湖积层上，其主要由疏松沉积物组成。由于沉积原因复杂，常常出现淤泥、淤泥质土等互相掺杂、交叉、互层复杂地质情况，在老堤外坡地基中有时也存在由于水塘、取土坑等形成的淤泥、淤泥粘土这类软土层，这类软土常导致堤坡失稳，因此在对迎水面培厚加固中必须对软土进行处理，而对软土置换是地基处理设计中常用的方法。但由于软土厚度不一，在设计中是全置换还是部分置换，置换区离坡脚外宽度多少也没有相应的规范规定，仅凭设计人员经验确定。目前多用圆弧滑动法为代表的极限平衡法来验算堤坡稳定性(Terzaghi,1926;Fellenius,1927、1936;Talor,1937、1948等)，也有用塑性区的大小评价地基稳定性。随着近代计算技术的发展，用有限元法来分析堤坝坡的应力和变形，以及用有限元法结合圆弧法进行稳定验算也日益多起来。有限元法可以考虑二维或三维问题[1-2]，能考虑土体的非线性，根据土的变形特性采用不同的本构模型，可以方便地处理形状不规则、复杂边界、逐级加荷及土层的各向异性。其在岩土工程中得到广泛应用，但目前对软土地基上堤坝应力变形分析文献较少，大多集中于公路路基、基坑开挖等方面[3-6]。本文采用数值分析方法对共青某典型堤防段软土地基上堤防应力变形进行分析，探讨不同软土地基置换厚度及置换宽度对堤防稳定性影响。

1 工程概况

共青联圩在桩号 0+000~3+300 段迎水面培厚加固中遇到软弱地基，设计中一般采用置换方法进行处理。为了分析软土地基置换厚度及置换宽度对堤防稳定性的影响，选取一典型标准堤断面，堤防高度 10m，原堤上游坡比1:2，加固后上游坡比为1:3(见图 1)。

图中地层界限土层如下：①为堤身老填土；②为地基粉质粘土；③为细砂；④为圆砾；⑤为淤泥质粘土；⑥为新填土。图中 H 为假定的软土层厚度，Z 为处理的厚度。根据现场情况，软土层厚度最深达 7 m，因此，H 取7 m；考虑置换厚度为 1 m、2 m、3 m、4 m、5 m、6 m 及 7 m 共 7 种工况，置换材料采用填土。

2 有限元分析

2.1 计算边界条件及材料参数

有限元分析时，堤基边界的水平、铅直位移固定；堤防临河、背河边界的水平位移固定。新填土、粉质粘土、淤泥质粘土采用邓肯—张模型，其它土层采用 D-P

收稿日期：2014-10-29
基金项目：江西省水利厅科技项目(KT201224).
作者简介：周英雄(1964-)，男，大学专科，工程师.

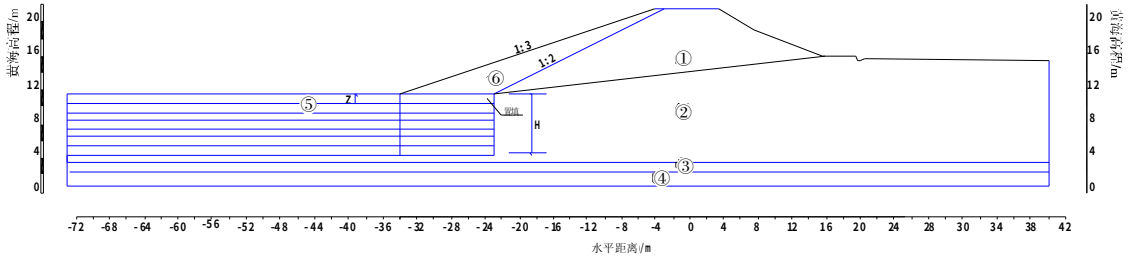

图 1 标准断面图

模型。有限元计算参数见表 1。

2.2 初始地应力场

在有限元分析中,初始地应力场对计算结果影响很大。计算初始应力场可以确定土层中各点的初始模量和开挖计算的初始应力条件和位移条件。地层的初始应力,主要是由于土体的自重和地质构造作用的结果。按照堤防未加固前运行多年和堤防固结变形早已完成的实际情况,模拟堤防在重力作用下一次性加载计算所得到的堤基及堤身应力场作为初始应力场。在此基础上进行软基处理和堤防迎水面分层填筑施工过程计算,从而得到施工过程堤基及堤身的应力变形。

2.3 堤身施工及运行过程模拟

有限单元分析中通过施加的自重荷载模拟堤防加固过程,具体可根据加固堤防的实际施工程序,参照网格剖分情况,在有限元分析中可利用激活填筑单元材料来实现加固填筑过程。

表 1 有限元计算参数

土层编号	土性	干密度/(kg/m³)	湿密度/(kg/m³)	饱和容重/(kg/m³)	孔隙比	含水率/%	渗透系数/(cm/s)	变形模量/MPa	k	n	R_f	γ	c/kPa	ø/°
1	新填土	1 720	2 050	2 080	0.64	33.0	3.07E-6	7.28	98.15	0.62	0.74	0.30	32.5	22.79
2	粉质粘土	1 680	2 050	2 060	0.69	22.4	4.0E-6	6.47	97.01	0.473	0.73	0.30	52.05	16.64
3	淤泥质粘土	1 305	1 747	1 823	1.128	33.0	6.9E-6	3.28	33.2	0.68	0.71	0.42	23.74	11.2
4	老填土	1 680	2 030	2 060	0.60	20.8	1.0E-5	7.28	-	-	-	0.30	22	13
5	细砂	-	1 950	1 950	-	-	1.0E-3	14	-	-	-	0.25	0	20
6	圆砾	-	2 200	2 200	-	-	1.0E-1	21	-	-	-	0.20	0	35

3 有限元分析成果

3.1 不同置换厚度对堤防应力变形影响分析

图 2~5 为没有置换情况下施工完成后堤和地基中位移、应变云图及稳定性滑弧图;图 6~9 为置换厚度为 3 m 下施工完成后堤和地基中位移、应变云图及稳定性滑弧图;图 10~13 为置换厚度为 5 m 下施工完成后堤和地基中应变云图及稳定性滑弧图。从不同置换厚度下的水平位移场云图看, 随着置换厚度增大, x 方向位移最大值逐渐变小,置换厚度为 0 m、3 m、5 m 时,最大位移分别 9.96 cm、6.03 cm、4.883 cm,方向向临水面;地基中最大水平位移均位于堤身加固区下软土层表面以下至 5 m 深处,该区域周围向外地基土体都发生向外侧挤出。加固部分填土荷载在老堤及粘土地基上引起的最大水平位移为均位于老堤下部粘土地基位置。

堤和地基中竖向位移场由于填土的影响,置换厚度为 0 m、3 m、5 m 时,最大竖向位移分别 21.95 cm、12.73 cm、11.79 cm,最大竖向位移发生在填土高度 2 m 位置。在距加宽路堤坡脚约附近,地表面有微量隆起,隆起量随着置换厚度增大而减小,置换厚度为 0 m、3 m、5 m 时,外坡脚最大隆起量分别为 16 mm、10.6 mm、8.3 mm。

从小主应变等值线图可以看出,如果按土的允许拉应变为 0.3 %,置换厚度为 0 m 时,在新填土与老堤大部分接触部位小主应变均超过 0.3 %,最大达 1.8 %,该部位将产生裂缝;置换厚度为 3 m 时,在新填土与老堤大部分接触部位局部小主应变超过 0.3 %, 最大为 0.6 %;而当置换厚度为 5 m 时, 新填土小主应变超过 0.3 %区域很小,最大为 0.5 %。

图 14 为加固堤堤脚沿深度方向水平位移,置换厚

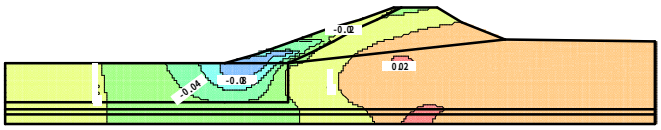

图 2　竣工后水平向位移等值线图(无置换)

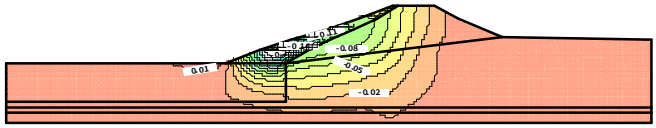

图 3　竣工后竖向位移等值线图(无置换)

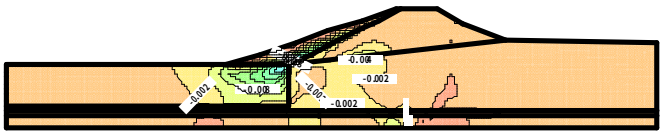

图 4　竣工后小主应变等值线图(无置换)

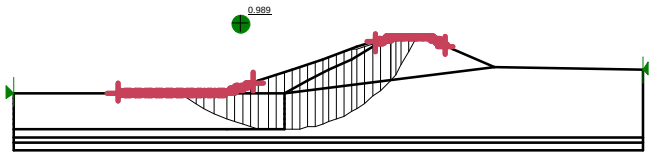

图 5　竣工后稳定性系数(无置换)

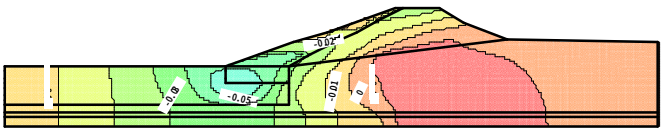

图 6　竣工后水平向位移等值线图(置换 3 m)

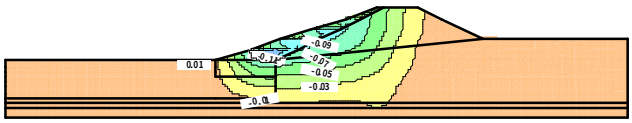

图 7　竣工后竖向位移等值线图(置换 3 m)

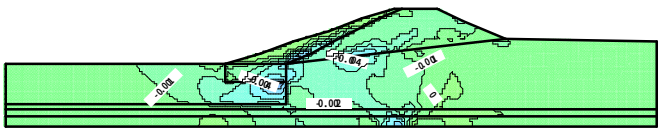

图 8　竣工后小主应变等值线图(置换 3 m)

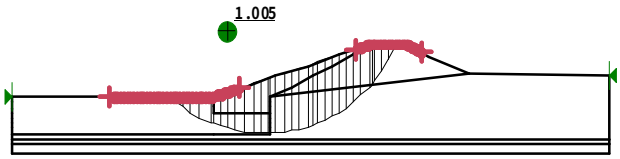

图 9　竣工后稳定性系数(置换 3 m)

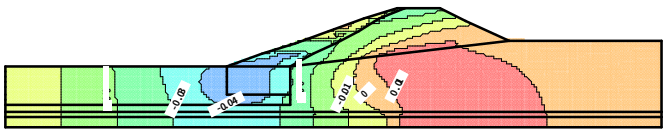

图 10　竣工后水平向位移等值线图(置换 5 m)

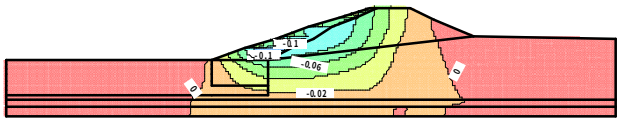

图 11　竣工后竖向位移等值线图(置换 5 m)

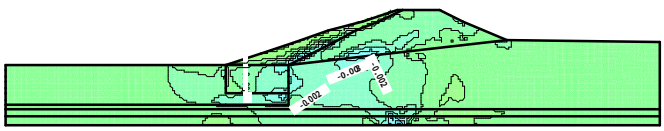

图 12　竣工后小主应变等值线图(置换 5 m)

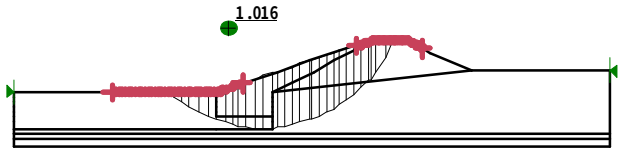

图 13　竣工后稳定性系数(置换 5 m)

度一定下,水平位移随着深度先增大后减小,这主要是因为附加应力随着深度逐渐减小缘故。随着置换厚度增大,向坡脚外的水平位移在逐渐减小,当置换厚度达到 5 m 后,减小幅度不明显。

图 15 为加固堤基础表面竖向位移沉降分布图,可以看出新堤坡脚处沉降最小,距老堤坡脚大约 1 m 处沉降最大。当置换厚度超过 5 m 后,增大置换厚度对新堤基底面沉降影响不大。图 16 为堤外坡脚地面隆起值随着置换厚度变化曲线,置换厚度越大,地表隆起越小,当置换厚度超过 5 m 后,增大置换厚度对减小隆起效果不明显。图 17 为不同置换厚度下稳定系数,随着置换厚度增大,安全系数在逐渐增大,置换厚度为 6 m 前,增大不明显,置换厚度为 6 m,其安全系数为 1.03,满足不了安全系数 1.05 要求。

综合上述分析,从地基的沉降变形、新堤的小主应

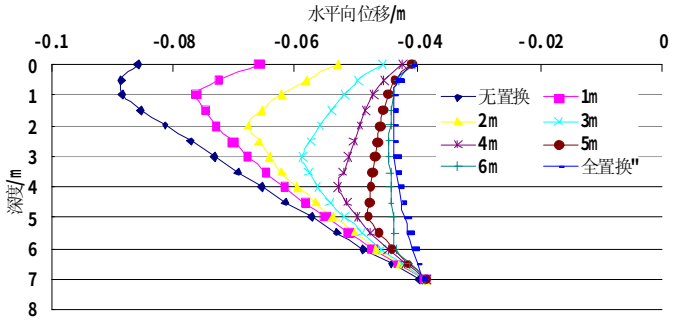

图 14 加固堤堤脚处沿深度方向水平位移

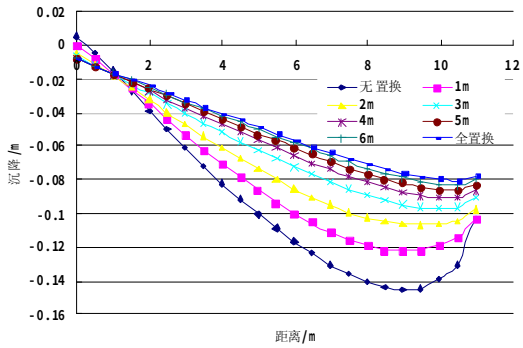

图 15 加固堤地基表面竖向位移

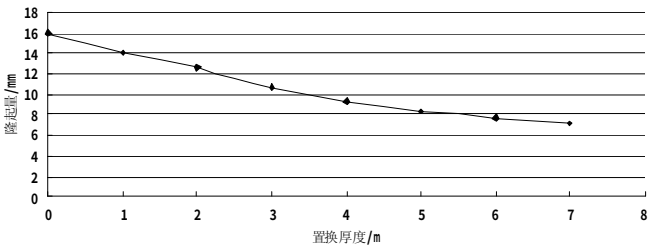

图 16 堤外坡脚地面隆起值

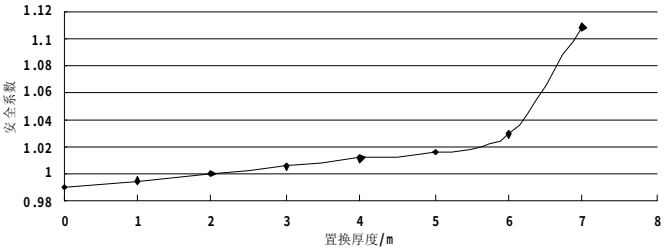

图 17 不同置换厚度下安全系数

变以及稳定系数 3 方面,可以得出,软土厚度为 7 m 时,置换厚度应不小于 6.3 m。

3.2 不同坡脚外置换宽度对堤防应力变形影响分析

以软土层厚度 7 m 为例,分别分析置换厚度 5 m、3 m 两种情况,在不同的堤脚外置换宽度下堤防应力变形及稳定性。对每一种置换厚度分别取堤脚外置换宽度为 2 m、4 m、6 m、8 m 及 10 m 五种工况进行分析。分析断面见图 18,其断面尺寸同图 1。图 19~22 是置换厚度为 5 m 时上游堤脚外置换宽度分别为 2 m 及 10 m 情况下堤和地基应变等值线及危险滑动面图。从不同的置换宽度可以看出,置换宽度改变对堤防位移及应变影响很小。

图 23 为加固堤基础表面沉降分布图,可以看出不同的堤坡外加固宽度对其地表沉降很小,增大置换区的宽度并不能够减小基础沉降。图 24 为加固堤堤脚处沿深度方向水平位移趋势,改变堤坡外置换宽度对水

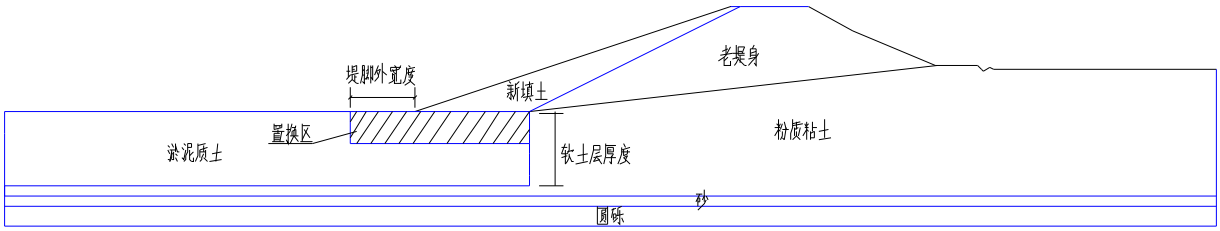

图 18 分析断面图

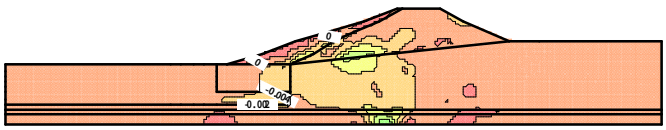

图 19 小主应变等值线(堤脚外 2 m)

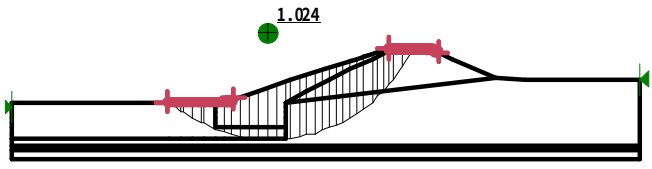

图 20 最危险滑动面(堤脚外 2 m)

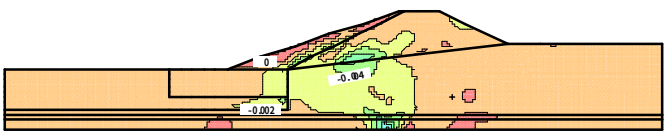

图 21 小主应变等值线(堤脚外 10 m)

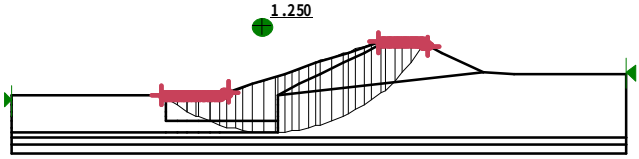

图 22 最危险滑动面(堤脚外 10 m)

平位移有一定影响,但影响也不是很大。图 25 为不同置换宽度下稳定系数,随着置换宽度度增大,安全系数在逐渐增大,置换宽度为 2 m 前,增大不明显;当置换宽度超过 10 m 后,安全系数变化也不大,这主要是因为最危险滑动面出口离堤脚距离大约 10 m,当置换宽度超过 10 m 后,超过部分位于滑弧外,对稳定系数没影响。

综合上述分析可以得出,当置换厚度一定时,增大置换宽度对加固区堤身及基础应力变形影响不大,但对稳定性影响较大。

图 26 为置换厚度 3 m 时不同堤脚外置换宽度下加固堤基础表面沉降分布图,其规律与置换厚度 5 m 情况相同。可以看出不同的堤坡外加固宽度对其地表沉降影响很小,增大置换区的宽度并不能够减小基础沉降。图 27 为加固堤堤脚处沿深度方向水平位移,改变堤坡外加固宽度对水平位移影响也不大。

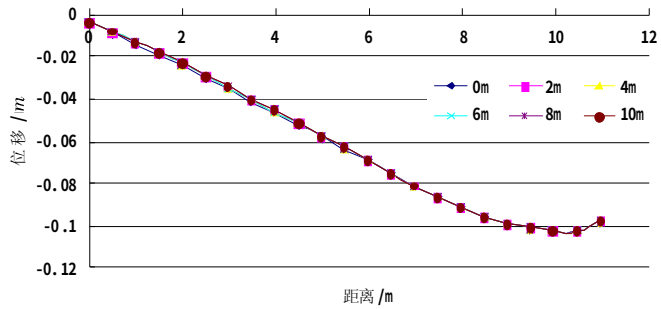

图 23　加固堤基础表面竖向位移图

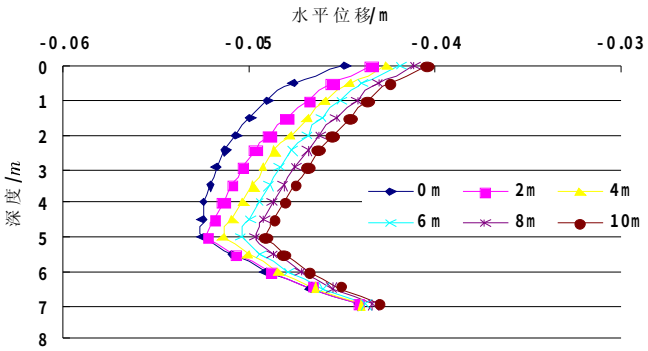

图 24　加固堤堤脚处沿深度方向水平位移图

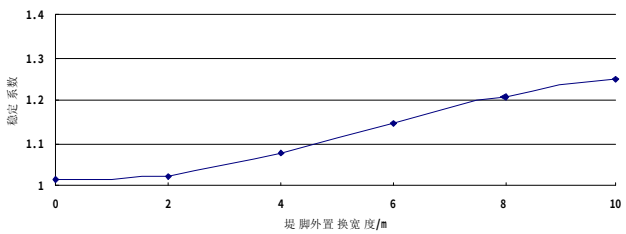

图 25　不同堤脚外置换宽度与安全系数关系

图 28 为置换厚度 3 m 时不同堤脚外置换宽度下稳定系数。随着置换宽度增大,安全系数在逐渐增大,置换宽度为 6 m 前,增大不明显;当置换宽度超过 10 m 后,安全系数变化也不大,这主要是因为最危险滑动面出口离堤脚距离大约 10 m,当置换宽度超过 10 m 后,超过部分位于滑弧外,对稳定系数没影响。

综合上述分析,可以得出,当置换厚度一定时,增大置换宽度对加固区堤身及基础应力变形影响很小,但对稳定性影响较大。一般从堤脚外加固宽度在 2~10 m 之间较合理,置换深度越小,堤脚外加固宽度就应该越大。

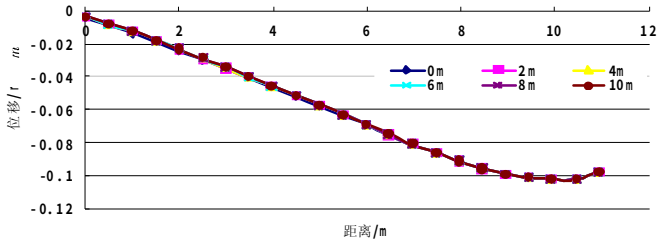

图 26　加固堤基础表面竖向位移图(置换厚度 3 m)

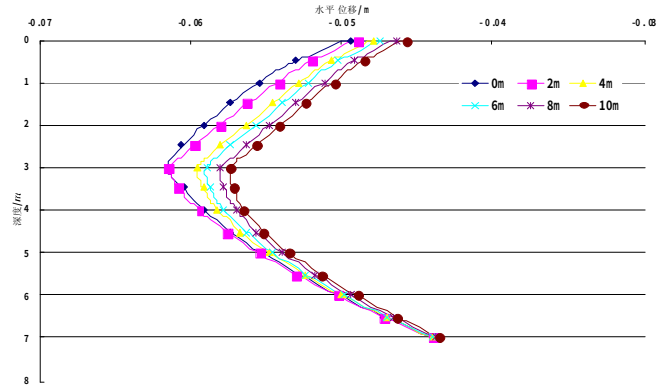

图 27　加固堤堤脚处沿深度方向水平位移图

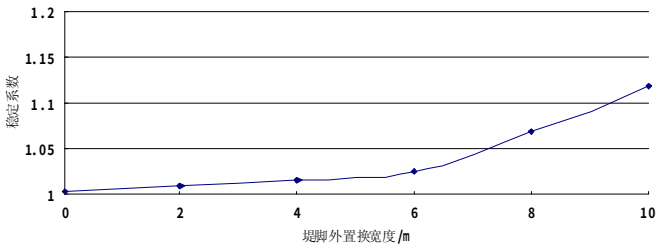

图 28　不同置换宽度与安全系数关系(置换厚度 3 m)

4　结论

(1)当置换厚度一定时,增大堤脚外地基置换宽度对加固区堤身及地基应力变形影响不大,但对稳定性影响较大。一般从堤脚外加固宽度在 2~10 m 之间较合理,置换深度越小,堤脚外加固宽度就应越大。

(下转第 126 页)