

山东东明黄河标准化堤防裂缝成因数值分析

沈细中^{1,2}, 冯夏庭²

(1. 黄河水利科学研究院 工程力学研究所, 河南 郑州 450003; 2. 中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

摘要: 采取淤背方式加固黄河下游堤防时, 山东东明一期标准化堤防多处出现纵向裂缝, 严重危及黄河大堤安全。放淤固堤对堤身的影响非常复杂, 相关研究成果较少, 目前尚无此类裂缝成因的定量研究成果, 因而难以从根本上进行防治。通过开展典型堤段试验, 利用非饱和渗流、非饱和流-固耦合、湿化变形、有限元分析等理论与方法, 模拟标准化堤防的施工过程, 并进行多种特定工况分析, 探讨堤防裂缝的形成机制及其主要影响因素。研究成果表明, 计算结果能反映堤身裂缝的扩展过程, 并与实际情况相符; 大堤开裂的主要原因为背河侧放淤、淤背施工过快、湿化变形、排水不畅、堤顶堆载、车辆作用等。该成果可供标准化堤防及类似工程的裂缝防治时参考。

关键词: 水工结构工程; 黄河; 标准化堤防; 裂缝; 淤背; 有限单元法

中图分类号: TV 642

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2007)02-0347-08

NUMERICAL ANALYSIS OF FORMING MECHANISM OF CRACK IN STANDARDIZATION DIKE ON YELLOW RIVER IN DONGMING OF SHANDONG PROVINCE

SHEN Xizhong^{1,2}, FENG Xiating²

(1. Institute of Engineering Mechanics, Yellow River Institute of Hydraulic Research, Zhengzhou, Henan 450003, China;

2. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

Abstract: In the course of building the downstream standardization dike in Yellow River, the method of reinforcing dike with silt was adopted. By far, longitudinal cracks appear in the first stage project in Dongming of Shandong Province, which would endanger the safety of dike. It has huge complex impacts on dike body to reinforce dike with silt, and little study is carried out. There are no quantitative results about the forming cause of crack, so it is very difficult to prevent and deal with radically. By experiment on typical dike section, and theories and methods such as unsaturated seepage, liquid-solid coupling, soak deformation, finite element analysis and so on used to simulate the process of construction, the forming mechanism is analyzed and the main factors are discussed by analyzing several special working conditions. Study shows that the cracking course of dike body can be reflected by simulation; and the results are in accord with the fact. The main factors are reinforcing dike with silt, construction in high speed, soak deformation, poor drainage, stacking load at the tip of dike, impact of vehicle and so on. The results can provide references to building the standardization dike and similar projects.

Key words: hydraulic structure engineering; the Yellow River; standardization dike; crack; reinforcing dike with silt; finite element method

收稿日期: 2006-04-03; **修回日期:** 2006-04-27

基金项目: 科技部科研院所社会公益研究专项(2005DIB3J054)

作者简介: 沈细中(1969-), 男, 博士, 2004年于武汉大学土木建筑工程学院岩土工程专业获博士学位, 现任工程师, 主要从事岩土数值分析方面的研究工作。E-mail: shenxz@126.com

1 引言

近年来, 国家投资 514 亿启动了黄河标准化堤防建设^[1-2], 利用水力管道将河道中的泥沙输送至大堤背河侧沉放(简称淤背), 将现有黄河下游堤防建设成防洪保障线、抢险交通线、生态景观线。一期工程, 因淤背施工速度过快, 淤背体压载浸湿下堤防产生湿化变形, 且存在堤顶堆载, 重载车辆行驶、交叉施工等不利工况, 已有多处堤防出现了裂缝, 其中山东东明标准化堤防全长约 27 km, 70% 的堤段出现了纵向裂缝^[3], 黄河大堤安全隐患重重。

目前, 国内外对大坝、公路的裂缝问题研究较多^[4-8], 多采用现场观测、试验、数值分析方法对裂缝形成过程、成因及防治等进行了研究, 但堤防与土坝、公路等运行工况不同; 且放淤固堤施工时, 需在大堤背河侧机淤, 情况特殊, 淤背引起大堤开裂与土坝与公路裂缝的形成机制不同, 大坝、公路方面的研究成果难以直接应用。目前堤防裂缝方面的研究成果较少。20 世纪 70 年代以来, 淤背方法用于治理黄河, 并积累了丰富的经验, 但人们对淤背及其影响的研究以定性分析为主, 未进行过定量研究^[1-2], 从而制约了标准化堤防裂缝的防治进程。现拟以山东东明一典型裂缝堤段为例, 在开展调研、试验的基础上, 利用有限单元法模拟堤背放淤、堤顶堆载、车辆行驶等因素对堤身的影响, 探讨堤防纵向裂缝的形成机制, 从而为制定堤防裂缝防治对策提供理论依据与技术支持。

2 放淤固堤工程施工过程模拟方法

2.1 分析原理

2.1.1 非饱和渗流分析

黄河大堤长年不靠水, 堤身浸润线很低, 堤身土体多属于非饱和土。堤侧淤背施工时, 淤背体中的水分不断向堤身侧入渗, 堤身的饱和区不断扩大, 浸润线抬高, 因而需采用非饱和渗流理论^[9]进行分析。分析时, 可根据淤背施工的实际进度确定边界条件及入渗时间等。

2.1.2 非饱和流固耦合分析

实际上, 土体的渗流与应力之间是相互作用的, 如果考虑堤防及其淤背体中孔隙水压力的消散过

程, 就能较详细地反映淤背施工及堤防变形的时程变化情况, 且理论上更加接近于土体的实际受力状态, 因而需要采用非饱和流固耦合理论模拟施工过程^[10-11]。当考虑流固耦合时, 只要直接将水压力施加于淤背体与堤防相接触的边界上, 无需考虑淤背体与堤身土体容重的变化, 因而计算方便。

2.1.3 湿化变形分析

放淤固堤施工时, 淤背体中的水分不断向堤身侧入渗, 堤身土体会产生湿化变形, 因而有必要进行湿化变形分析^[6]。采用有限单元法计算湿化变形时, 分别作土体试样在干态(填筑时的状态)和湿态下的三轴试验, 求出相应的双曲线应力-应变关系, 以干、湿态应变差作为湿化应变, 由湿化应变去求等效节点荷载; 然后将其与浮力、重力及水压力加在一起计算。

2.2 堤防纵向裂缝分析基本过程

2.2.1 计算范围及边界条件

有限元分析时, 对于平面应变问题, 堤基边界取堤防高度的 5~6 倍; 堤防临河、背河边界取堤底宽度的 3~4 倍; 其中堤基底部边界的水平、铅直位移固定; 堤基临河、背河边界的水平位移固定; 渗流边界条件可根据具体工况予以确定。

2.2.2 有限元分析模型

二维有限元分析时, 对于堤基、堤身土体可采用实体单元进行模拟。将堤防土体划分为平面四节点或八节点单元。在土工有限元分析中, 对在外荷载作用下土体体积不可压缩的情况, 可采用单元简缩积分格式求解^[10]。

2.2.3 土的本构模型

土体采用 Duncan-Chang E-B 模型, 并考虑土体卸荷的影响及土体开裂后的应力转移^[6]。

2.2.4 初始地应力场

对于无限大的水平地面, 在任意竖直面和水平面上均无剪应力, 可以将初始地应力直接作为离土层表面深度的函数来计算^[6]。具体处理时, 由计算程序自动将堤防填筑完成以后产生的位移直接减掉, 而将其应力保留即可。

2.2.5 淤背施工过程模拟

分析时, 可通过施加的自重荷载模拟堤防放淤固堤过程, 并通过堤防背河侧水压力的变化模拟水位的变化。淤背施工按分级加载考虑^[10]; 在考虑堤防土体湿化变形的基础上, 进行非饱和流固耦合分析; 根据施工的实际情况, 考虑堤顶道路修建、堤

顶堆载、车辆荷载作用等。

2.2.6 计算结果后处理

利用 ABAQUS 软件强大的后处理功能^[10], 直接将有限元计算结果提取出来进行分析, 也可经过相应的计算后得出所需结果。

3 堤防纵向裂缝判别方法

3.1 倾度法

倾度法是计算土层不均匀沉陷后水平面的倾度 γ 。破坏临界倾度 γ_c 值与土质相关, 一般在 0.5% ~ 1.8% 内变化。当 $\gamma/\gamma_c > 1$ 时, 土体发生裂缝破坏; 当 $\gamma/\gamma_c = 1$ 时, 土体处于临界状态; 当 $\gamma/\gamma_c < 1$ 时, 土体处于安全状态。倾度^[12]计算方法如下:

$$\gamma \approx \tan \gamma = \frac{\Delta s}{\Delta l} = \frac{s_a - s_b}{x_a - x_b} \quad (1)$$

式中: Δs 为堤防体内同一水平面上两点的沉降差; Δl 为该两点间的水平距离; s_a, s_b 分别为同一水平面 a, b 两点相应的沉降量; x_a, x_b 分别为同一水平面 a, b 两点的 x 坐标。

3.2 拉应变法

当堤防土体的拉应变大于土的极限拉应变时, 就会产生裂缝, 据此可用拉应变来判别堤防的变形状况。据研究, 黏性土的临界拉应变大致为 0.1% ~ 0.3% 之间。拉应变法^[12]判别方法可表示如下:

$$\varepsilon = \left[\sqrt{1 - \frac{2(v_a - v_b)}{\Delta l}} - 1 \right] \times 100\% \quad (2)$$

式中: ε 为拉应变; v_a, v_b 分别为 a, b 两点的水平位移; Δl 为 a, b 两点间的水平距离。

4 实例分析

4.1 工程概况

168+050 断面计算剖面见图 1。该处堤防背河侧路面整体下沉, 在堤顶路中心出现较宽的纵向裂缝。该堤段修路与淤背主体施工系 2004 年 12 月开始, 2005 年 6 月结束。因工期紧, 淤背施工基本上是连续进行的, 淤背表层有积水; 2005 年 3~5 月在堤顶堆有 3 m 左右的土层。

4.2 计算模型与计算工况

4.2.1 计算模型与参数

根据图 1, 168+050 断面计算网格见图 2。其中该模型的节点 12 489 个, 单元 12 180 个。堤防临河边界地下水位取 0.5 m; 背河边界地下水位取 1.0 m; 堤防背河侧渗流边界按淤背体干湿状态确定。考虑堤顶堆载时, 直接将上覆土重作为荷载直接加至堤顶及堤侧。该堤段堆土的位置为堤顶道路中线至堤坡侧, 高为 3 m, 宽 9 m, 堆土的密度取 1 350 kg/m³。堤防道路运用时, 路面的车辆荷载形式采用竖向均布标准轴载^[8], 压力为 0.7 MPa, 单轴双轮组重 10 t。168+050 断面的计算参数见表 1(表中 $k, n, R_f, k_b, m, A_{ur}, c, \varphi$ 为 Duncan-Chang 模型参数)。堤防道路作为弹性材料考虑, 道路宽 6 m 道路材料中^[8], 弹性模量为 9.66×10^5 kPa, 泊松比为 0.33, 密度为 2 050 kg/m³, 厚度为 0.34 m。参照类似土体的水分运移规律, 选取土体的饱和度与孔隙负压的关系^[9, 10]见表 2。

4.2.2 计算工况

(1) 基本工况

168+050 断面计算工况包括: 堤基与堤身的初始应力场计算^[10]; 堤防的道路施工; 淤背施工; 堤防道路运用等, 具体见表 3。

(2) 特定工况

为分析各因素对标准化堤防裂缝的影响程度, 设定堤防土体力学特性、排水条件的影响、放淤固

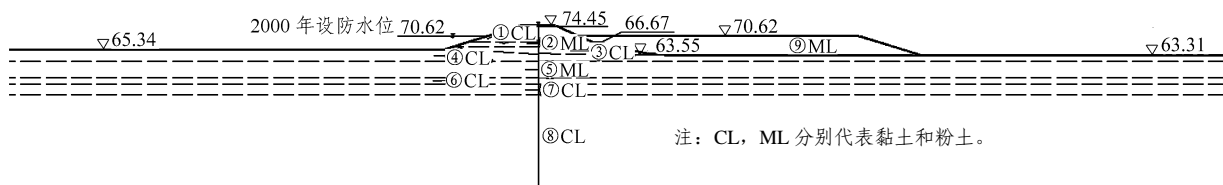


图 1 168+050 断面计算剖面(单位: m)

Fig.1 Calculation profile of section 168+050(unit: m)

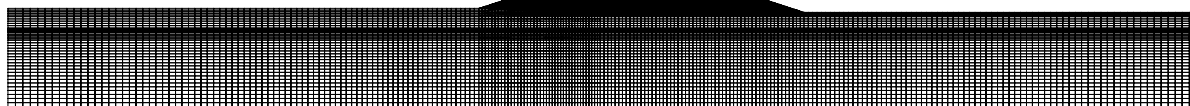


图 2 168+050 断面计算网格

Fig.2 Calculation mesh of section 168+050

表 1 168+050 断面计算参数
Table 1 Calculation parameters of section 168+050

土层 编号	土性	土粒 相对 密度	干密度 /(kg·m ⁻³)	湿密度 /(kg·m ⁻³)	饱和 密度 /(kg·m ⁻³)	孔隙比	含水率 /%	渗透 系数 /(cm·s ⁻¹)	<i>k</i>	<i>n</i>	<i>R_f</i>	<i>k_b</i>	<i>m</i>	<i>A_{ur}</i>	<i>c</i> /kPa	<i>φ</i> /(°)
1	天然 低液限黏土	2.70	1 520	1 699	1 955	0.78	11.80	6.79×10 ⁻⁴	290.4	0.32	0.67	169.0	0.32	2.5	27.8	18.0
	饱和 低液限黏土								195.4	0.42	0.68	112.2	0.33	2.5	20.8	14.0
2	天然 低液限粉土	2.70	1 460	1 755	1 919	0.85	20.20	1.73×10 ⁻⁴	150.1	0.63	0.83	60.3	0.65	2.5	16.3	22.0
	饱和 低液限粉土								121.8	0.66	0.72	60.0	0.64	2.5	13.0	22.0
3	天然 低液限黏土	2.70	1 520	1 699	1 955	0.78	11.80	6.79×10 ⁻⁴	290.4	0.32	0.67	169.0	0.32	2.5	27.8	18.0
	饱和 低液限黏土								195.4	0.42	0.68	112.2	0.33	2.5	20.8	14.0
4	天然 低液限黏土	2.72	1 300	1 750	1 905	0.90	22.00	6.18×10 ⁻⁷	103.2	0.60	0.74	39.3	0.40	2.5	27.8	18.0
	饱和 低液限黏土								78.2	0.34	0.70	22.9	0.55	2.5	20.8	14.0
5	天然 低液限粉土	2.70	1 460	1 755	1 919	0.85	20.20	1.73×10 ⁻⁴	150.1	0.63	0.83	60.3	0.65	2.5	16.3	22.0
	饱和 低液限粉土								121.8	0.66	0.72	60.0	0.64	2.5	13.0	22.0
6	天然 低液限黏土	2.70	1 520	1 699	1 955	0.78	11.80	6.79×10 ⁻⁴	290.4	0.32	0.67	169.0	0.32	2.5	27.8	18.0
	饱和 低液限黏土								195.4	0.42	0.68	112.2	0.33	2.5	20.8	14.0
7	天然 低液限粉土	2.70	1 460	1 755	1 919	0.85	20.20	1.73×10 ⁻⁴	150.1	0.63	0.83	60.3	0.65	2.5	16.3	22.0
	饱和 低液限粉土								121.8	0.66	0.72	60.0	0.64	2.5	13.0	22.0
8	天然 低液限黏土	2.72	1 520	1 699	1 966	0.78	11.80	6.79×10 ⁻⁴	290.4	0.32	0.67	169.0	0.32	2.5	27.8	15.0
	饱和 低液限黏土								195.4	0.42	0.68	112.2	0.33	2.5	20.8	15.0
9	天然 低液限粉土	2.70	1 460	1 755	1 919	0.85	20.20	1.73×10 ⁻⁴	150.1	0.63	0.83	60.3	0.65	2.5	11.3	22.0
	饱和 低液限粉土								121.8	0.66	0.72	60.0	0.64	2.5	6.9	22.0

表 2 土体饱和度与孔隙负压的关系

Table 2 Relation between saturation and negative pressure of soil

饱和度	低液限黏土 (吸水)/Pa	低液限黏土 (脱水)/Pa	低液限粉土 (吸水)/Pa	低液限粉土 (脱水)/Pa	粉土质砂 (吸水)/Pa	粉土质砂 (脱水)/Pa
0.04	-130 000	-156 000	-90 000	-101 000	-20 000	-25 000
0.05	-115 000	-136 000	-60 000	-80 000	-18 000	-21 000
0.10	-85 000	-100 500	-57 000	-67 000	-15 000	-17 500
0.18	-51 500	-70 000	-27 000	-33 000	-8 000	-10 000
0.45	-30 000	-40 000	-14 000	-17 000	-5 000	-6 500
0.91	-20 000	-30 000	-9 000	-11 000	-1 000	-1 600
1.00	0	0	0	0	0	0

堤合理施工速率、湿化变形、堤顶堆载、车辆荷载、堤顶道路与淤背施工顺序等特定工况进行分析。

4.3 计算成果与分析

4.3.1 基本工况分析

根据图 2 的计算网格，利用表 1, 2 的土性参数，采用 ABAQUS 软件^[10]，通过自编的 Duncan-Chang 子程序及湿化变形子程序，对表 3 的计算工况进行

分析，现将第 10 级淤背施工完成后的应力与位移情况列于图 3。利用倾度法、拉应变法等对堤防的裂缝情况进行评价。据现场观测结果^[3]，以 1.1% 为土体破坏的临界倾度值；以 0.3% 为土体破坏的临界拉应变值^[12]。堤身的堤顶面铅直以下区域的倾度值、拉应变值是判断堤防是否开裂的重要指标。为分析放淤固堤对大堤的影响，将第 10 级淤背施工

表 3 168+050 断面计算工况

Table 3 Working conditions of calculation of section 168+050

时间/年-月	工况	淤背计算高程/m	淤背实际高程/m
2004-12	未淤背 道路施工	63.30	63.30
2004-12	第 1 级淤背	64.10	64.55
2005-01	第 2 级淤背	64.90	65.00
2005-02	第 3 级淤背	65.70	65.70
2005-03	第 4 级淤背	66.50	66.70
2005-04	第 5 级淤背, 堆载 1 m 第 6 级淤背, 堆载 2 m 第 7 级淤背, 堆载 3 m	68.17	68.30
2005-05	第 8 级淤背 第 9 级淤背 第 10 级淤背	69.91	70.00
2005-06	堤顶卸载 车辆荷载	70.62	70.62

完成后堤身的倾度法、拉应变法评价结果列于图 3; 将标准化堤防整个建设过程中, 堤身的堤顶面竖直以下区域的最大倾度值、最大拉应变值的变化情况列于图 4。整个淤背施工完成后的堤身的湿化变形情况列于图 5。

(1) 由图 3, 4 可知, 淤背施工至第 6 级时(2005 年 4 月), 堤身的拉应变值超过 0.3%; 淤背施工至第 7 级时, 堤身的倾度值超过 1.1%; 随着施工的不断推进, 堤身的倾度值、拉应变值均继续上升, 至堤顶堆载消除后, 堤身的倾度值、拉应变值才下降; 而且两者的变化规律相近。

该断面的实际情况^[3]是, 2005 年 4 月份堤顶路中心开始出现纵向裂缝, 随着时间的推移, 裂缝会继续扩展, 特别是堤身在堤顶堆载与车辆超载作用下, 裂缝在堤内的进一步扩展, 裂缝的范围进一步

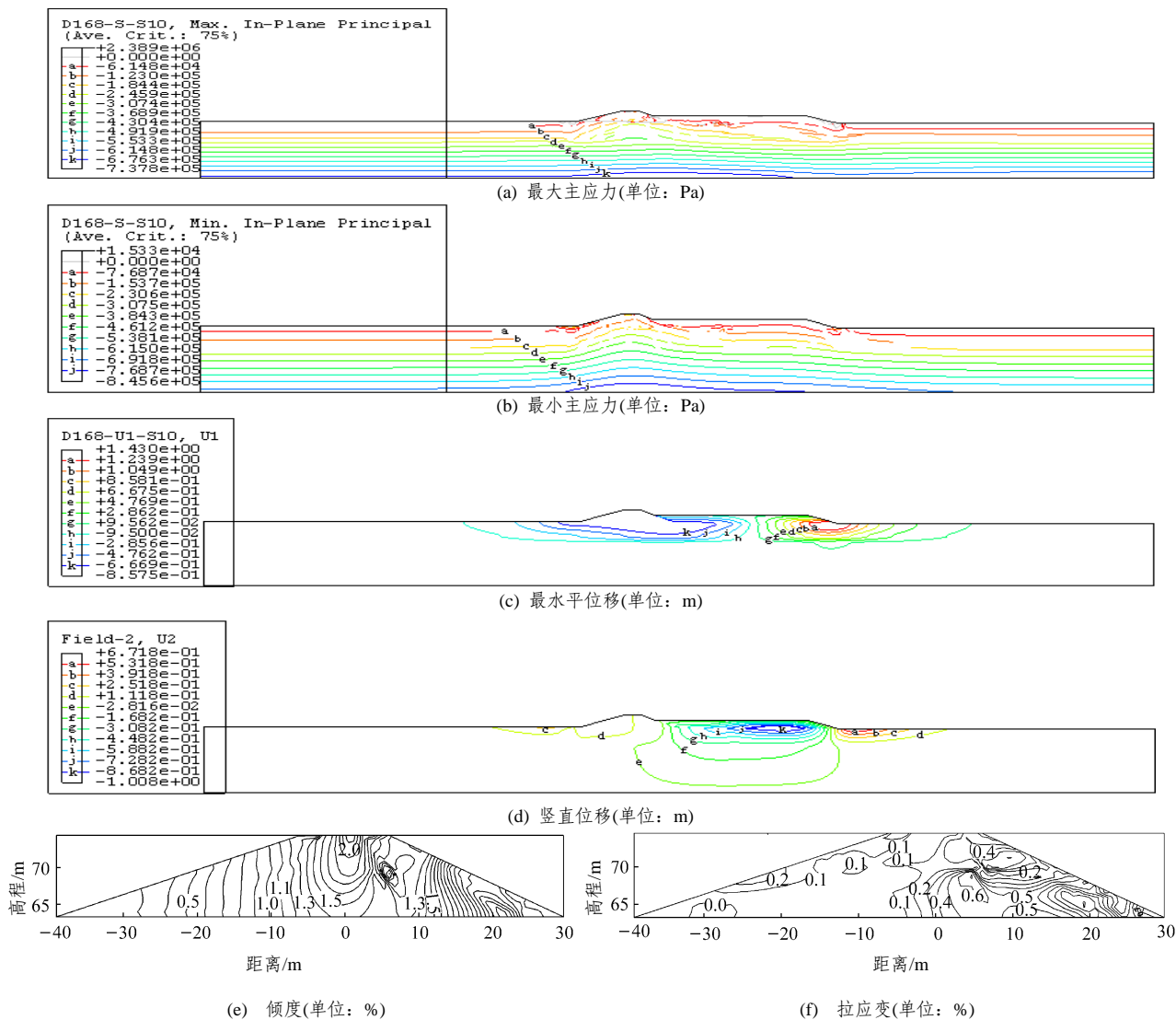


图 3 第 10 级淤背施工完成后的应力、位移及裂缝评价

Fig.3 Contours of stresses and displacements and evaluation of cracks after the 10th construction of reinforcing dike with silt

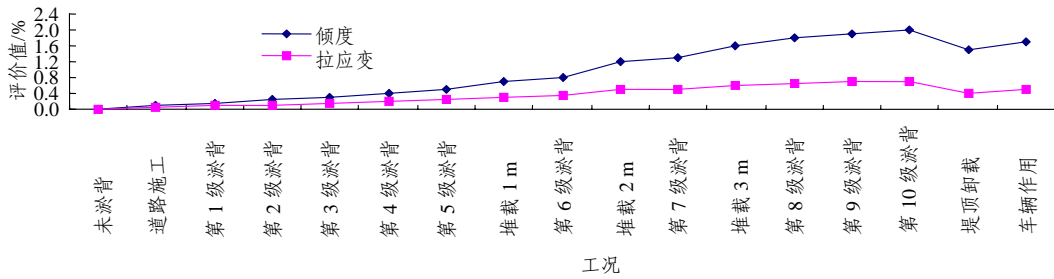


图4 整个施工过程评价结果

Fig.4 Evaluation results of the whole construction process

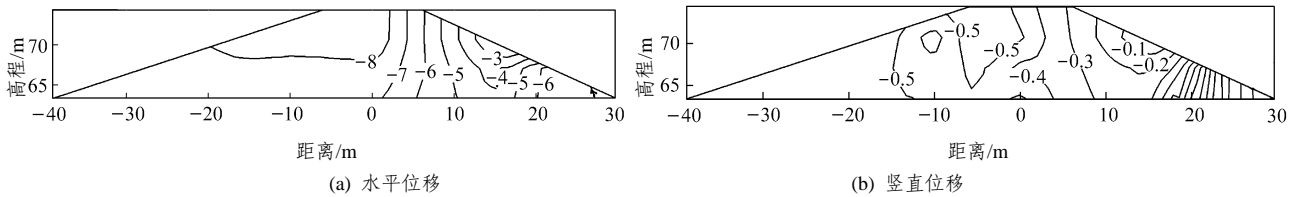


图5 湿化变形引起位移等值线图(单位: cm)

Fig.5 Contours of displacements by soaked deformation(unit: cm)

扩大，最后整个堤身发生了破坏，并出现多条纵向次生裂缝。由此可见，计算结果与实际情况完全一致。可见采用的分析参数符合实际情况；分析方法合理。

(2) 堤顶堆载后，堤身的倾度值、拉应变值显著增大，可见堤顶堆载会加剧堤身裂缝的产生与发展(见图4)。实际情况表明，凡是存在堤顶堆载的堤段，裂缝均相对较多且深。由此可见，本断面的分析结果与实际情况相符。

(3) 施加车辆荷载后，堤身的倾度值、拉应变值均显著增大，可见车辆超载作用会加剧裂缝的产生与扩展，裂缝的范围会进一步扩大，如图4所示)。实际上，车辆超载行驶后，原来有1条裂缝的堤段会出现2~4条次生裂缝，计算结果与实际情况吻合。

(4) 整个施工完成后，堤身因湿化产生的最大水平位移为8.0 cm，最大竖直位移为1.4 cm(见图5)。说明湿化变形引起的水平位移远大于竖直位移，因而会加剧堤身的剪切破坏。

(5) 初步分析表明，淤背施工、湿化变形、堤顶堆载、车辆作用等是导致堤身开裂的主要原因。

4.3.2 特定工况分析

取168+050断面进行特定工况分析，基本资料同前。除特别说明外，分析时将不考虑堤顶堆载与车辆荷载的作用，并将堤身的堤顶面竖直以下区域的最大倾度值、最大拉应变值分析结果列于图6，其中图6(a)分析淤背施工速率的影响时，排水情况

为充分排水；图6(b)分析排水条件的影响时，淤背施工速率为1.0 m/月；图6(c)分析土体力学参数的影响时，排水情况为充分排水，淤背施工速率为1.0 m/月。

(1) 由图6(a)可知，淤背施工速率与堤身的最大倾度值、最大拉应变值成正比，可见淤背施工速率是导致堤身开裂的重要原因。对168+050断面而言，如果排水情况较好时，采取1.0 m/月的淤背施工速率，即可保证堤防不会开裂。

(2) 由图6(b)可知，充分排水时堤身的倾度值、拉应变值相对较小；不排水时堤身的倾度值、拉应变值相对较大。可见加速排水有利于减轻或避免堤身产生裂缝。

(3) 由图6(c)可知，堤身、堤基土质的变化对堤身的倾度值、拉应变值的影响较大。在排水条件良好的前提下，对于土质较好，土体湿化变形较小，渗透性较强的堤段，淤背施工速率可采用1.0 m/月左右；对于土质较差，土体湿化变形较大，渗透性较弱的堤段，淤背施工速率可采用0.7~0.8 m/月。

(4) 由图6(d)可知，堤顶堆载以后，堤身的倾度值、拉应变值变化很快，可见堤顶堆载显著地加剧了堤身的破坏与裂缝的产生。

(5) 由图6(e)可知，单轴双轮组重10 t的车辆荷载比单轴双轮组重6 t对堤身的影响要大得多，由此可见，淤背施工及堤顶道路投入使用以后，应尽量限制重型车辆的行驶。

(6) 由图6(f)可知，堤顶竖直位移呈斜倒梯形

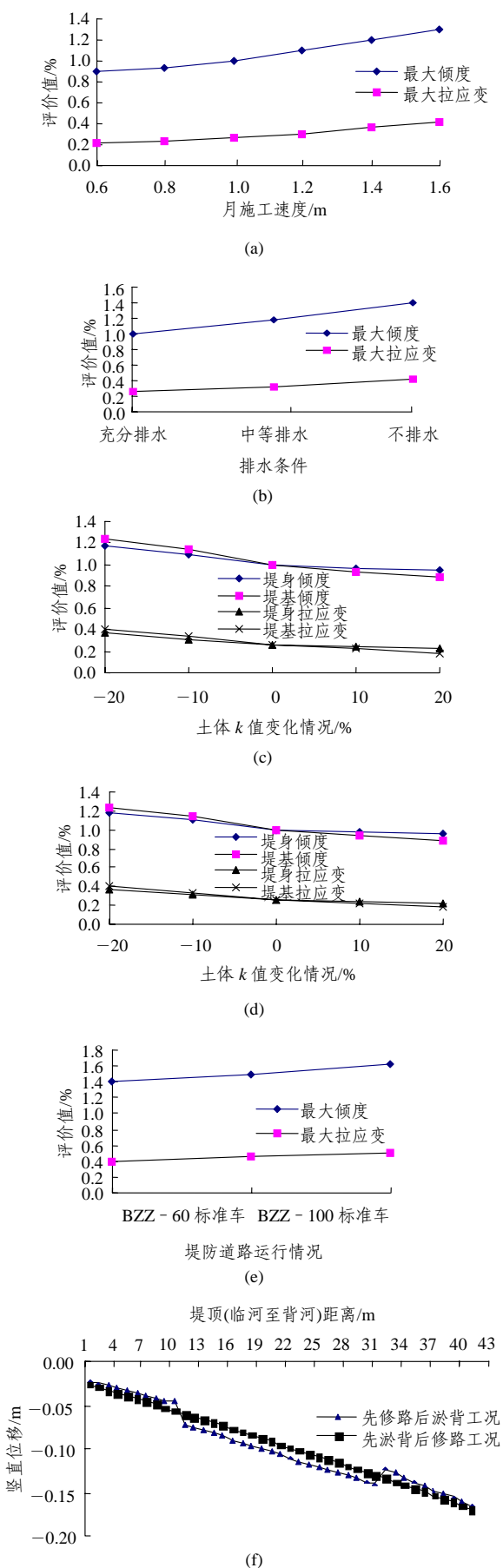


图 6 特定工况分析结果

Fig.6 Analysis results of special working conditions

分布; 而先淤背后修路时, 堤顶垂直位移均呈线性变化。说明先淤背后修路时, 堤顶垂直位移的变化趋于平稳时, 可以避免堤顶道路与堤身接触处因变形不协调而产生较大拉应力, 从而避免或减少堤顶道路裂缝的产生。

(7) 基于各因素对堤身的倾度值、拉应变值的影响大小, 得出影响因素的重要性排序为: 淤背体荷载 > 淤背施工速率 > 湿化变形 > 排水速度 > 堤顶堆载 > 堤顶道路施工顺序 > 车辆荷载。

5 结 论

(1) 168+050 断面基本工况分析表明, 分析成果与该段堤防的实际情况相符。由此可见, 本课题采用的分析参数符合实际情况, 分析方法合理, 研究成果可供标准化堤防及类似工程的裂缝防治时参考。

(2) 黄河标准化堤防建设时, 需采取多种措施相结合进行施工与运行管理, 如在坚持合理的施工速率的前提下(土质较好堤段, 淤背施工速率为 1.0 m/月; 土质较差堤段, 淤背施工速率为 0.7~0.8 m/月), 采取加速排水等措施, 尽量避免堤顶堆载, 控制重载车辆行驶, 从而避免或减少堤防裂缝的产生。

(3) 倾度法与拉应变法所得出的结论基本相近, 但不完全一致。主要原因是这两种判别方法考虑的影响因素不完全相同。倾度法是以不均匀沉降作为判别标准的, 而拉应变法是以土体水平位移与垂直位移的变化作为判别标准的, 因而得出的结论不完全一致。

参考文献(References):

[1] 崔建中, 张喜泉. 黄河下游标准化堤防建设的思路与对策研究[J]. 人民黄河, 2002, 24(4): 11 - 14.(CUI Jianzhong, ZHANG Xiquan. Research on reflections and strategies of the standardization dike construction in lower Yellow River[J]. Yellow River, 2002, 24(4): 11 - 14.(in Chinese))

[2] 杜玉海. 黄河下游淤背固堤技术研究与实践[M]. 郑州: 黄河水利出版社, 2002.(DU Yuhai. Research and practice on technique of reinforcing dike with silt in lower Yellow River[M]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Press, 2002.(in Chinese))

[3] 黄河水利科学研究院. 山东东明黄河大堤纵向裂缝形成机制及防治对策研究报告[R]. 郑州: 黄河水利科学研究院, 2006.(Yellow River Conservancy Institute. Report on the formation mechanism and prevention strategy of longitudinal cracks in the dam of Dongming Yellow River [R]. Zhengzhou: Yellow River Conservancy Institute, 2006.)

River Institute of Hydraulic Research. Research report on forming Mechanism and methods of preventing and dealing with lengthways crack of Yellow River dike in Dongming of Shandong Province[R]. Zhengzhou: Yellow River Institute of Hydraulic Research, 2006.(in Chinese))

[4] 盛金保, 王昭升. 社上水库一号坝坝顶裂缝成因分析[J]. 水利水电工程学报, 2003, (2): 41 - 45.(SHENG Jinbao, WANG Zhaosheng. Analysis of cracking in the 1st dam of Sheshang Reservoir[J]. Hydro-science and Engineering, 2003, (2): 41 - 45.(in Chinese))

[5] 杨松林, 黄启平, 李平生. 堆石坝面板表面裂缝影响因素的有限元数值分析[J]. 水电能源科学, 2005, 23(3): 71 - 73, 82.(YANG Songlin, HUNG Qiping, LI Pingsheng. FE numerical analysis of factors influencing surface crack of concrete face of rock fill dam[J]. Water Resources and Power, 2005, 23(3): 71 - 73, 82.(in Chinese))

[6] 卢廷浩, 高贵全, 陈 剑. 蓄水后土石坝应力变形有效应力算法[J]. 岩土力学, 2005, 26(2): 247 - 250.(LU Tinghao, GAO Guiquan, CHEN Jian. Effective stress method of stress and deformation for soil-rock fill dam after water impounding[J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(2): 247 - 250.(in Chinese))

[7] 李青云, 张建红, 王洪瑾, 等. 同马大堤施工裂缝情况下的堤坡稳定性分析[J]. 长江科学院院报, 2002, 19(1): 25 - 27, 34.(LI Qingyun, ZHANG Jianhong, WANG Hongjin, et al. Stability analysis of Tongma Levee with construction cracks[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2002, 19(1): 25 - 27, 34.(in Chinese))

[8] 白琦峰, 陈荣生, 杜 骋. 半刚性基层沥青混凝土路面反射裂缝模拟试验及有限元分析[J]. 公路, 2004, (8): 97 - 101.(BAI Qifeng, CHEN Rongsheng, DU Cheng. An investigation of reflective cracking in semi-rigid pavement with simulating test and finite element method[J]. Highway, 2004, (8): 97 - 101.(in Chinese))

[9] SUN Y, MIKI S. A study on coupling calculation of manifold method and saturated-unsaturated flow analysis[C]// Proc. of the 4th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation. Glasgow: University of Glasgow Press, 2001: 401 - 412.

[10] KARLSSON H S Inc.. ABAQUS theory manual[R]. [S. l.]: Karlsson H S Inc., 2003.

[11] 沈珠江. 非饱和土简化固结理论及其应用[J]. 水利水电工程学报, 2003, (4): 1 - 6.(SHEN Zhujiang. Simplified consolidation theory for unsaturated soils and its application[J]. Hydro-science and Engineering, 2003, (4): 1 - 6.(in Chinese))

[12] 王 韦. 横山坝的变形、应力及开裂(原体观测资料的分析)[R]. 南京: 南京水利科学研究所, 1981.(WANG Wei. Deformation, stress and cracks of Hengshan Dam(analysis of original data of observation)[R]. Nanjing: Nanjing Institute of Hydraulic Research, 1981.(in Chinese))

2006 年度在本刊上发表论文较多(前 20 名)的单位

(按第一作者第一单位计, 不计增刊)

No.	单位	论文篇数	No.	单位	论文篇数
1	中国科学院武汉岩土力学研究所	39	11	河海大学	9
2	中国矿业大学(北京)	21	12	中国科学院地质与地球物理研究所	9
3	清华大学	17	13	北京交通大学	7
3	同济大学	17	13	中国矿业大学(徐州)	7
3	武汉大学	17	15	四川大学	5
3	西南交通大学	17	15	上海交通大学	5
7	浙江大学	15	15	山东科技大学	5
8	中南大学	12	18	东北大学	4
9	西安理工大学	11	19	石油大学(北京)	3
9	大连理工大学	11	19	华南理工大学	3

注: 2006 年本刊正刊共发表文章 372 篇, 上述 20 个单位发表 234 篇, 占 63%。

(本刊编辑部)