

插接式子堤理论计算与有限元分析

霍学平¹ 王如代² 杨蒙¹

(1. 河北省水利科学研究院,河北 石家庄 050051;

2. 任丘市水务局,河北 任丘 062550)

【摘要】 插接式子堤是一种便于在汛期使用的应急防洪产品。为验证其作为应急防洪产品的可行性与有效性,在理论分析的基础上,结合模拟计算,分析子堤在承受设计挡水高度荷载情况下的力学反应。结果表明,子堤支架的下横梁处应力位移反应值相比其他部位较大,但其值均在允许范围内,由此可推断子堤作为防洪产品是可行的。

【关键词】 防洪;子堤;有限元;结构

中图分类号: TV871

文献标志码: A

文章编号: 1005-4774(2018)06-041-05

Theoretical calculation and finite element analysis of plug-in dike

HUO Xueping¹, WANG Rudai², YANG Meng¹

(1. Hebei Institute of Water Resources Science, Shijiazhuang 050051, China;

2. Renqiu Water Bureau, Renqiu 062550, China)

Abstract: Plug-in dike is an emergency flood control product which can be used in flood season. In order to verify the feasibility and effectiveness thereof as an emergency flood control product. Simulation calculation is combined for mainly calculating the mechanical response of dikes during endurance of water load at designed water blocking height on the basis of theoretical analysis in the paper. The results show that the stress displacement reaction value of lower crossbeam of the dike support is larger than that of other positions. However, the value is within the allowable scope. Therefore, the feasibility of the dike as a flood control product can be deduced.

Key words: flood control; dike; finite element; structure

洪水灾害是一种破坏力巨大的自然灾害,直接或间接地给人民造成重大的生命与财产损失。1996年及1998年发生的洪水灾害中,长江中下游3600km的干堤发生各类险情6000多处,其中较大险情(溃口性险情,有的管涌直径达到1m多)4000多处。因此为了保护城市及重要基础设施的防洪安全,专家提出,技术创新是发展的关键突破口,必须开发快捷、有效、经济的防洪产品。

防洪子堤主要用于沙壤土、壤土、黏土和混凝土等

软硬质堤防的应急防漫堤抢险。一方面可用于应对江河水头猛涨超过堤顶高程时造成的漫溢灾害;另一方面可用于应对在汛期堤顶由于遭受强风大浪,而江河水面翻越堤顶面而造成的局部堤段险情。在现有技术中,子堤主要采用钢材焊接成子堤框架,将防水面板用螺栓固定于框架之上,起到防水作用。这种子堤所用原材料笨重、运输不便,且易于生锈腐蚀。此外,繁琐的施工给抗洪抢险工作的开展带来诸多不利影响。插接式子堤是一种原材料可折叠、易运输且施工工艺简

单的产品,在原材料运输、产品安装过程中,可降低劳动强度,提高作业效率,方便在汛期中灵活使用,切实保障人民群众的生命安全,最大程度地减轻洪涝灾害损失。

1 材质与结构尺寸

插接式子堤由铝合金支架与玻璃钢堤面板组合而成,具体结构如图1所示,具体材料属性见表1。

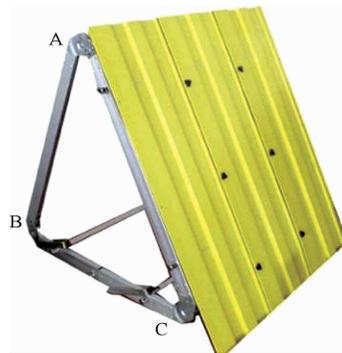


图1 插接式子堤

表1 插接式子堤材料属性

构件名称	材质	弹性模量/(N/mm ²)	泊松比	密度/(g/m ³)	抗拉强/(N/mm ²)	抗剪强度(N/mm ²)
铝合金支架	6063-T5	7×10^4	0.3	2730	175	55
堤面板	玻璃钢	2.8×10^4	0.22	1750	350	50

本文计算子堤在承受设计挡水高度0.833m水荷载情况下,插接式子堤结构的强度、刚度等是否符合允许条件。

子堤所承受的水压力如图2所示,插接式子堤挡水高度为 $h=0.833\text{m}$,考虑动水压力影响,涉及到的动力系数 K_d 取1.2。

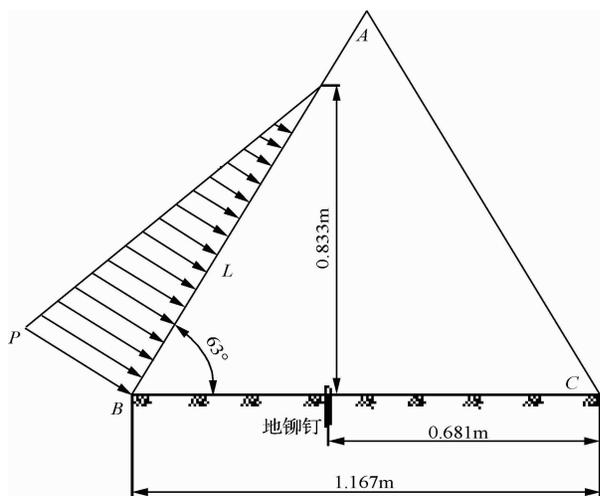


图2 子堤所受水压力

2 结构理论计算

2.1 计算过程

2.1.1 整体抗倾覆计算

将总压力按水平 X 方向及竖直 Y 方向分解,求得 F_x 与 F_y ,进而求得 C 点处的水平力矩 M_x 为 $1133.49\text{N}\cdot\text{m}$,

垂直力矩 M_y 为 $1133.49\text{N}\cdot\text{m}$, $M_y > M_x$,因此子堤在使用过程中不会发生倾覆。

由于洪水在流动时,岸边涡流较多,除了考虑动力系数之外,还应考虑洪水反复冲击的加卸载作用,因而在确定设计倾覆荷载时应考虑安全系数 K ,按照锚固装置的差异,对于土质大堤, $K=2$ 。针对 C 点列弯矩平衡可得:

地铆钉所提供的锚力, $F=196.80\text{N}$ 。

在一般的黏土中,长260mm、直径30mm的钢钎可提供的锚固力为1003~1040N,远大于上述地铆钉所提供的锚力,因此满足抗倾覆条件。

2.1.2 面板强度及刚度计算

a. 面板强度计算。将插接式子堤面板强度计算模型简化为简支梁,根据面板横截面,已知面板的截面积 $A=1925.4\text{mm}^2$,惯性矩为 $I=9630990\text{mm}^4$, $y_{\text{max}}=10.367\text{mm}$,抗弯截面系数 $W=9289.572\text{mm}^3$,荷载计算模型如下图3所示。

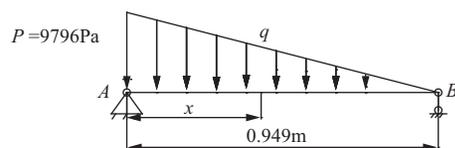


图3 子堤面板计算模型

求解可得:最大弯矩 $M=565.95\text{N}\cdot\text{m}$,最大剪力 $F=-3098.8\text{N}$,最大弯矩所对应的正应力值与最大剪

力所对应的切应力分别为:

$$\sigma = \frac{M}{W} = 60.92 \text{MPa} < 350 \text{MPa}$$

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{3098.8}{1925.4 \times 10^{-6}} = 1.605 \text{MPa} < 50 \text{MPa}$$

所以抗拉强度与抗剪强度均满足要求。

b. 面板刚度计算。根据计算可知,当 $x = 0.456 \text{m}$ 时,挠度值 w 最小为 -0.0192m 。即最大变形为 0.0192m , 竖直向下。一般情况下,对插接式子堤总变形量控制在 0.05m 范围内为宜,因此设计满足要求。

2.1.3 支架强度及刚度计算

a. 横梁强度计算。在计算横梁的受力时,将面板按照连续梁考虑,横梁考虑为杆约束,一次超静定结构,计算可得横梁处荷载 $F_b = 3329.08 \text{N}$, 因此横梁上的均布荷载 $q = 3329.08 \text{N/m}$ 。

横梁进而可简化为受均布荷载的简支梁,横梁计算模型如图 4 所示:

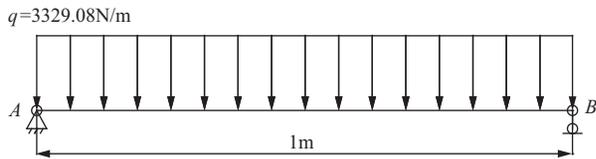


图 4 横梁计算模型

经计算可知,最大弯矩在中点处 $M = 208.7 \text{N} \cdot \text{m}$, 对应的正应力 $\sigma = \frac{M_{\max} y_{\max}}{I} = 134.45 \text{MPa} < 175 \text{MPa}$, 满足强度要求。

b. 横梁刚度计算。综合面板和横梁的受力情况,计算得到横梁的跨中挠度为 5.518mm , 小于铝合金设计规范的挠度允许值 $l/180 = 5.622 \text{mm}$, 符合设计要求。

c. 三角架强度计算。对支架简化为简支梁受力模型,经计算可得,梁内最大弯矩 $M_b = 521.31 \text{N} \cdot \text{m}$, 对应的应力值 $\sigma = \frac{M y_{\max}}{I} = 129.7 \text{MPa} < 175 \text{MPa}$, 满足强度要求。

d. 三角架刚度计算。通过计算可知,当 $x = 0.526 \text{m}$ 时,三角架挠度值 w 取最大值: $w = 1.67 \text{mm} < \frac{1012}{180} = 5.622 \text{mm}$, 满足变形要求。

2.2 计算结果分析

子堤在承受设计挡水高度 0.833m 水荷载情况下,不同结构构件的应力位移结果如表 2 所列,数据显示各个构件的强度和刚度均符合要求。

表 2 插接式子堤计算汇总

工 况	项目名称	计 算 内 容			允许值	满足否
设计水头 0.833m 水荷载	整体稳定	抗 倾 覆 计 算				满 足
	挡水面板	强度计算	最大拉应力	60.92MPa	350MPa	满 足
			最大剪应力	1.61MPa	50MPa	
		刚度计算	最大变形	19.2mm	50mm	满 足
	支 架	三角架强度计算	最大拉应力	129.7MPa	175MPa	满 足
		三角架刚度计算	最大变形	1.67mm	5.56mm	满 足
		横梁强度计算	最大拉应力	134.5MPa	175MPa	满 足
		横梁刚度计算	最大变形	5.52mm	5.56mm	满 足

3 有限元受力分析

3.1 计算模型

通过进行三维有限元模拟计算,对结构进行三维模拟,其有限元模拟如图 5 所示,进而对防洪子堤构件

在不同工况下的整体受力与变形情况进行分析,并作相应的校核评判。

3.2 计算结果

当支架的工作水头位于设计水头时,对结构施加梯度水荷载并进行计算,单元支架各方向最大位移值

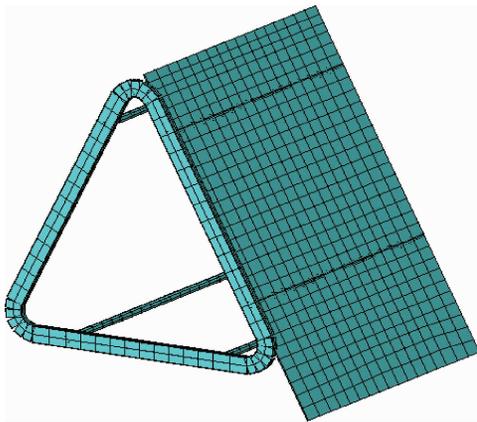


图5 模拟单元网格划分

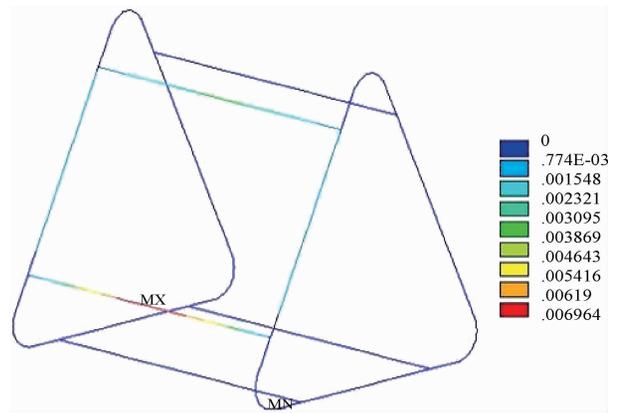


图7 支架总位移

及最大位移所处位置见表3。

表3 整体最大位移大小及位置 (单位:mm)

方向	位移值	位移位置	方向	位移值	位移位置
顺河向	19.21	面板中部	竖向	9.79	面板中部
横河向	0.14	面板中部	总位移	21.56	面板中部

由表3可知,结构的各个方向最大位移均出现在面板中部,位移主要以顺河向位移为主,总位移最大值为21.56mm,一般情况下,对于防洪子堤总变形量以控制在50mm范围内为宜,所以面板位移结果符合一般控制要求。对于铝合金支架构件,最大位移为6.96mm,位于下侧横梁的中间位置,方向仍主要以顺河向为主,由结果可知支架横梁处的位移相对较大。整体结构的总位移以及支架构件的总位移如图6和图7所示。

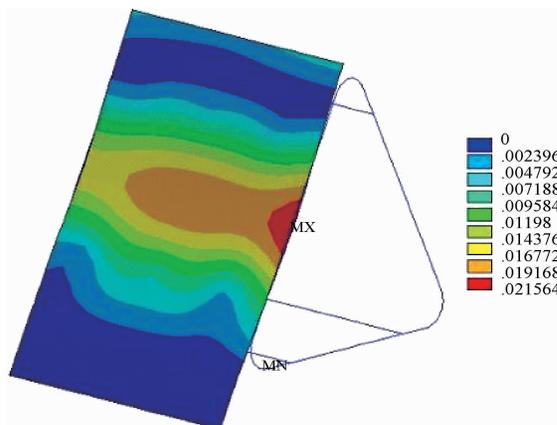


图6 整体结构总位移

当支架的工作水头位于设计水头时,面板及支架局部构件各个方向最大应力值及最大值所处位置见表4。

表4 结构最大应力大小及位置 (单位:MPa)

部件	方向	应力值	应力位置	方向	应力值	应力位置
面板	顺河向	8.29	卡子处	竖向	32.00	卡子处
	横河向	36.10	卡子处	第一主应力	51.50	卡子处
支架	侧向	74.6	横梁中部	轴向	25.80	横梁中部

由表4可知,面板构件的各个方向应力最大值均位于卡子附近,这与卡子是面板的支撑点有关;面板各方向最大应力中以横河向的应力最大,其值为36.10MPa,小于面板的抗拉强度设计值350MPa,因此面板强度结果符合控制要求。对于铝合金支架结构,最大应力为74.6MPa,位于横梁中部,方向为横梁的受力方向即横河向,最大应力值小于铝合金抗拉强度设计值90MPa,因此也符合规范设计要求。面板以及支架两构件的各个方向应力见图8~图13。

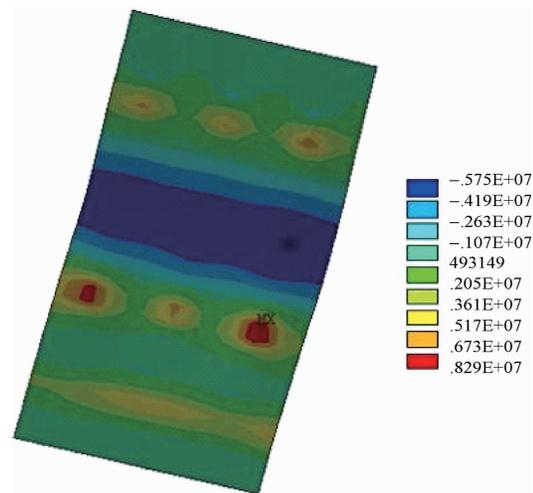


图8 面板X方向应力

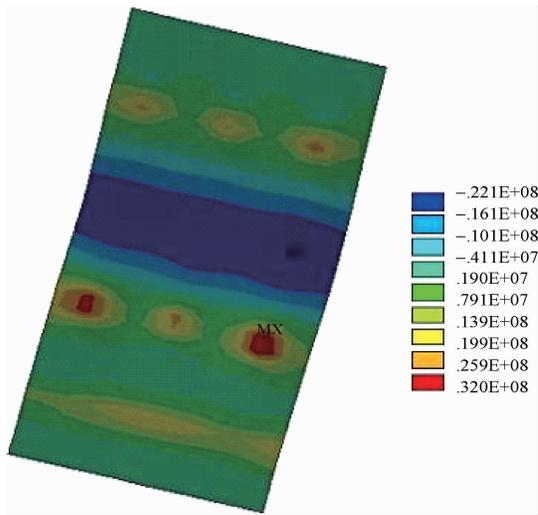


图9 面板Y方向应力

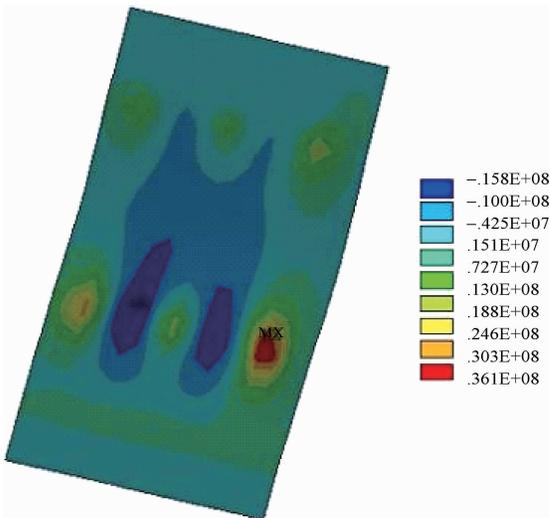


图10 面板Z方向应力

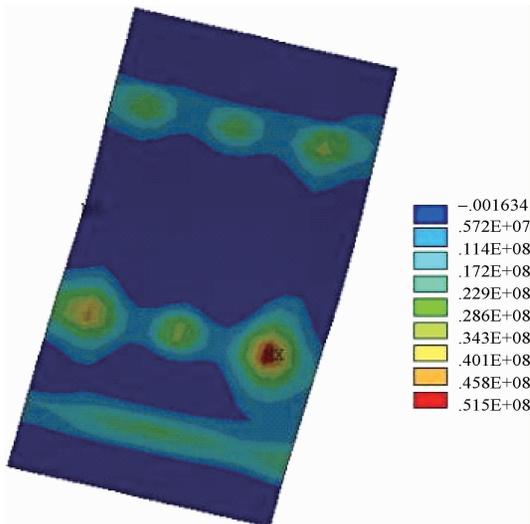


图11 面板第一主应力

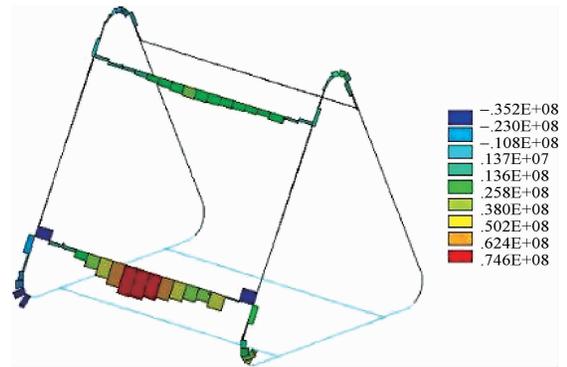


图12 支架侧向应力

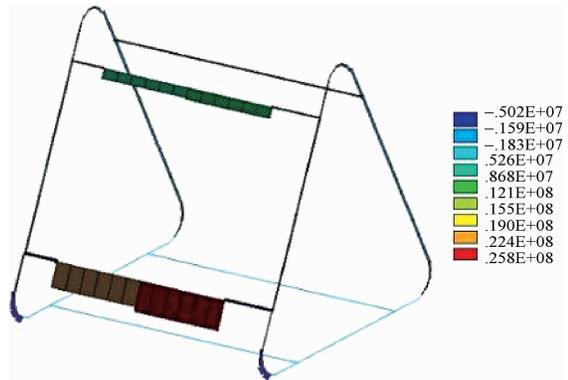


图13 支架轴力分布

4 结论

a. 在子堤的抗倾覆验算中,单元地铆钉所提供的锚固力大于地铆钉所提供的锚固力,即在承受水荷载的情况下,水荷载作用在铆钉的力小于地面的锚固力,因此不会发生倾覆。

b. 理论与模拟分析均表明,子堤在正常受力情况下,支架与面板两种构件的应力与位移均满足强度与刚度要求。

c. 通过理论与模拟计算可知,子堤在正常受力情况下,支架的下横梁处应力位移反应值相对其他部位较大,但数值均在允许范围内。

插接式子堤已在防洪训练演习中得到应用,其中在堤坝加固训练中证明子堤产品确实可达到快速加高堤坝、密封不漏、牢固可靠的效果,所以,子堤可作为应急防洪产品应用于沙壤土、壤土、黏土及混凝土等软硬堤防的加固等。◇

参考文献

刘政. 堤防工程常见的险情及抢险方法[J]. 科技资讯, 2011(23):44.