

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.05.014

徐志峰, 赵晓明. 某船闸驳岸挡墙修护加固方案优化分析[J]. 水利水运工程学报, 2015(5): 103-108. (XU Zhi-feng, ZHAO Xiao-ming. Optimization analysis of repair-reinforcement scheme for shiplock revetment retaining wall [J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(5): 103-108.)

# 某船闸驳岸挡墙修护加固方案优化分析

徐志峰<sup>1</sup>, 赵晓明<sup>2</sup>

(1. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029; 2. 中国水利电力对外公司, 北京 100120)

**摘要:** 京杭大运河某船闸工程位于山东与江苏交界的苏北地区, 是运河上的重点船闸建设工程。由于工程所在地岩土地质勘察资料不完整和船闸驳岸挡土墙结构设计时采用了较低的安全系数, 因而在运行期间发生局部滑移变位, 使得整个船闸的安全性受到很大影响, 必须对原有驳岸挡土墙进行修护加固。主要针对船闸出现的驳岸挡土墙滑移事故, 采用理论分析对比和建立数学模型简化计算的方式, 进行修护方案的设计与可行性研究, 提出阻滑板和加筋土两种方案。从安全性角度对该方案对比分析, 最终确定驳岸挡土墙的修护加固方案, 为类似工程提供技术参考。

**关键词:** 驳岸挡土墙; 抗滑移稳定性; 阻滑板; 加筋土; 安全性

**中图分类号:** TU476+.6      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1009-640X(2015)05-0103-06

在特殊河段, 天然河岸一般不能满足护岸要求, 必须进行特殊的堤岸加固处理<sup>[1]</sup>, 特别是船闸工程的引航道或水闸工程的泄洪段。保护河岸抵抗水土侧压力的支挡结构称为驳岸挡土墙(护坡), 驳岸主体就是挡土墙结构<sup>[2]</sup>。

驳岸挡土墙的主要功能就是保护河岸堤防, 防止水流无限制地冲刷岸堤土体造成河岸垮塌, 因而驳岸必须具备一定的耐冲刷和防渗止水性能。船闸中应用的引航道驳岸挡土墙除承受水流冲刷作用之外, 还要经过过往船只靠岸时的撞击力等偶然荷载, 因而驳岸挡土墙一般采用重力式, 以保证有较高稳定性<sup>[3]</sup>。

## 1 工程概况

### 1.1 某船闸驳岸运行中出现的问题

某三线船闸下游靠船段长 400 m, 有 20 个靠船墩, 相邻靠船墩之间护岸长 302.5 m。下游靠船墩和靠船墩之间的驳岸挡土墙均为 C25 混凝土压顶, C20 混凝土底板, 墙身为 M15 浆砌块石重力式结构(图 1 所示)。运行期间发现该船闸下游靠船段 1#~4#护岸、16#~20#靠船墩(含其间护岸)位移变形过大, 整体破坏表现为墙体向前滑动, 墙趾土体出现松动, 部分护岸、靠船墩底板土层出现扰动, 但驳岸墙体本身并未出现较大裂缝。

由于驳岸挡土墙出现较大面积的滑动破坏, 驳岸的安全性已经不能得到满足, 如果不进行有效的修护加固, 开闸行船之后, 引航道驳岸受高频率高低水位交互影响, 驳岸挡土墙的安全系数势必会进一步降低。为保证船闸以及过闸船只的安全, 对已出现问题和未出现问题的驳岸挡土墙必须进行拆除重建或有效的加固修护。

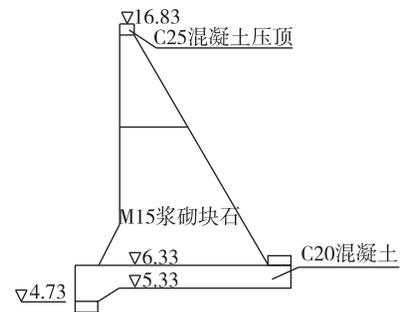


图 1 驳岸挡土墙横截面(单位:m)  
Fig. 1 Cross section of revetment retaining wall (unit: m)

收稿日期: 2014-12-07

作者简介: 徐志峰(1975—), 男, 内蒙古呼伦贝尔人, 高级工程师, 主要从事港航、岩土工程方面研究。

E-mail: zfxu@uhri.cn

### 1.2 驳岸挡土墙滑动失稳原因综合分析

经过对事故现场破坏情况的分析和驳岸挡土墙抗滑移数值计算,对挡土墙失稳原因大致可以做出如下推断:①驳岸挡土墙的抗倾覆稳定性能满足要求,其水平向位移主要是由滑移失稳引起<sup>[4]</sup>。②墙设计过程中,挡土墙底与地基土的摩擦系数选择偏大,设计中选用的摩擦系数为 0.35。在阻滑板和加筋土方案中的抗滑移稳定性计算中,假定挡土墙发生滑移时的滑移稳定性系数为 1.0,通过摩擦系数反演得到挡土墙与地基土间实际摩擦系数为 0.25。③作用在挡土墙上的水平向土压力比较大,如填土过快,土体来不及固结,那么作用在墙体上的实际土压力有可能超过驳岸挡土墙设计时采用的设计值,验算结果出现较大偏差,使得设计过于乐观。

## 2 驳岸挡土墙修护方案初选

根据驳岸挡土墙的实际破坏情况,从船闸与过往船只的安全角度考虑,初步采用阻滑板方案和加筋土方案。

### 2.1 阻滑板方案

阻滑板是设在挡土墙后的一段钢筋混凝土现浇板,一般与挡土墙底板浇注在一起。阻滑板工作原理是依靠自身重力和阻滑板上土压力,进而提高挡土墙的整体稳定性和抗滑移稳定性<sup>[5]</sup>。

**2.1.1 阻滑板计算模型的建立** 船闸驳岸挡土墙修护工程中,根据挡土墙工程设计相关要求以及墙后设置阻滑板的施工要求,挡土墙后设置一道长 1.5 m,厚 0.5 m 的现浇钢筋混凝土阻滑板,阻滑板采用 C20 混凝土(图 2)。

根据现场具体情况,为比较优选各个驳岸挡土墙修护方案,在阻滑板方案中采用墙后设计 1.5 m 阻滑板。由于驳岸挡土墙底板已经浇注,修护过程中不进行有效的基坑降水,直接浇注阻滑板。同时墙后填土采用现场素填土,不进行加筋或土体加固处理。

根据以上情况可建立图 3 中阻滑板方案的计算模型<sup>[6]</sup>,墙体自重和土体自重计算结果列于表 1 和表 2。根据图 2 中阻滑板方案计算简图,墙体自重和土体自重关于倾覆点的力矩平衡关系,可以得到挡土墙抗倾覆稳定系数。

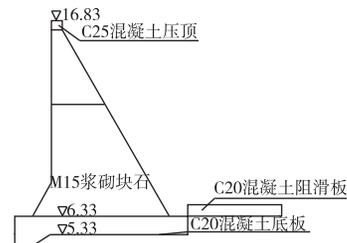


图 2 墙后阻滑板方案(单位:m)

Fig. 2 Slide-resistant slab behind wall (unit: m)

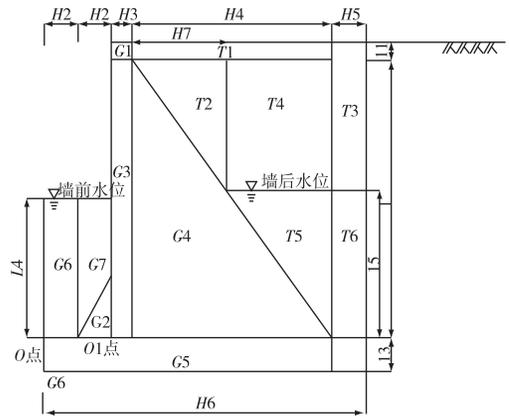


图 3 阻滑板方案计算简图

Fig. 3 Calculation diagram for slide-resistant slab

表 1 挡土墙体自重计算

Tab. 1 Self-weight calculation of the retaining wall

编号	墙体自重计算式	自重/kN	$L_0/m$	$L_{01}/m$	$M_0/(kN \cdot m)$	$M_{01}/(kN \cdot m)$
G1	24×1.49×0.5×1.0	25.5	2.74	0.74	69.93	18.93
G2	23×1.0×1.8×0.5	20.7	1.67	-0.33	34.5	-6.9
G3	23×1.485×8×1.0	273.2	2.74	0.74	749.4	202.9
G4	23×5.015×8×0.5	461.4	5.16	3.16	2 379.2	1 456.4
G5	24×1×11×1.0	264	5.5	/	1452	/
G6(水)	10×1.0×4.0×1.0	40	0.5	0	20	0
G7(水)	10×(2.2+4)×0.25	15.5	1.55	-0.55	24	-8.5

表2 墙后土体自重计算

Tab.2 Self-weight calculation of soil mass behind the retaining wall

编号	墙体自重计算式	自重/kN	$L_0/m$	$L_{01}/m$	$M_0/(kN \cdot m)$	$M_{01}/(kN \cdot m)$
T1	18.5×5.015×0.5	46.4	5.55	4.55	302.9	248.3
T2	18.5×2.8×3.8×0.5	98.51	4.47	3.47	440.2	341.7
T3	18.5×2.0×4.3	159.1	9.75	8.75	1 551.2	/
T4	18.5×3.1×3.8	217.75	6.95	5.95	1 513.7	1 295.9
T5	20.0×2.5×4.2	210.0	9.75	8.75	2 047.5	/
T6	20.0×3.1×4.2×0.5	130.1	7.47	6.47	971.5	841.4

**2.1.2 阻滑板方案计算结果分析** 根据已经建立的阻滑板方案计算模型和阻滑板方案稳定性计算最终结果,可以作如下几方面的分析:

①驳岸挡土墙后未设阻滑板,其抗倾覆稳定系数  $K_0 = 2.01$ ,布置阻滑板后  $K_0 = 2.17$ ,整体抗倾覆稳定性提高。

②驳岸挡土墙后未设阻滑板,其抗滑移稳定系数  $K_c = 1.08$ ,布置阻滑板后抗滑移稳定系数  $K_c = 1.19$ ,抗滑移稳定性提高。

③注意到无论是否设置阻滑板,驳岸挡土墙的抗滑移稳定系数始终小于 1.3,因而设置阻滑板虽然能提高挡土墙的抗滑移能力,但并不完全保证挡土墙的安全。

④挡墙基底与地基土的摩擦系数取为 0.25 时,两种计算结果均表明抗滑力小于挡墙滑动力,在发生事故现场,如果挡墙基础地基土存在局部薄弱段,挡墙有可能发生局部滑移破坏。

⑤阻滑板方案对解决驳岸挡土墙的抗滑移问题存在一定局限性,不能保证挡墙的抗滑移稳定性,选择该方案时要慎重考虑,但可与其他方案相结合采用。

## 2.2 加筋土方案

加筋土技术是在挡土墙后填土中铺设抗拉受力性能较好的加筋材料,改善墙后填土强度、稳定性等力学性能,这也是最近新发展起来并在工程中迅速得到推广应用的实用软土地基土体加固技术<sup>[7]</sup>。加筋土挡墙能够适应地基少量变形,施工要求较低<sup>[8]</sup>;挡土墙的主体是填土,抗震性能好;在墙后回填土不可避免时,加筋土挡土墙最为经济。

**2.2.1 加筋土挡土墙计算模型的建立** 根据现场具体情况,为比较优选各个驳岸挡土墙修护方案,在加筋土挡土墙方案中,墙后填土每 60 cm 设一层土工格栅,根据墙后回填土范围,土工格栅铺设长度为 8.14~13.74 m,并采用单向拉伸高密度聚乙烯土工格栅(TGDG80)。墙后填土铺设土工格栅后,土体得到了有效加固,黏聚力与内摩擦角得到有效提高。分层夯实后,挡土墙后不设阻滑板,挡土墙地基不进行地基处理。砌石挡土墙直接在原先混凝土底板上砌筑,由于没有大量的土方开挖施工,挡土墙底板已预先浇筑,施工过程中不采用有效的基坑降水。

在加筋土挡墙设计验算中,为简化计算,取土工格栅加固后的土体效果为提高墙后填土的黏聚力  $c$ 。基于已有工程经验和大量室内试验成果,取加固后土体黏聚力  $c = 30 \text{ kPa}$ <sup>[9]</sup>,加筋土挡墙修护方案见图 4。

**2.2.2 加筋土修护方案计算结果分析** 根据加筋土方案整体抗倾覆稳定性和墙体抗滑移稳定性验算最终结果,本文进行以下几方面分析:

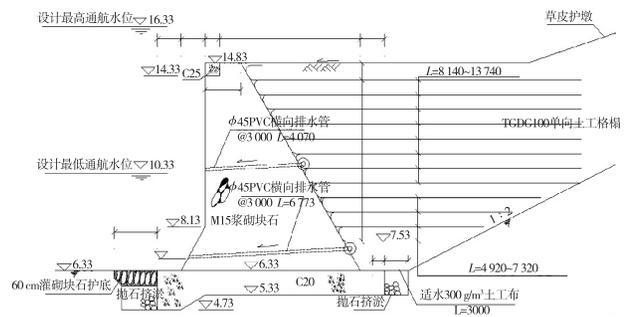


图4 加筋土方案(单位:高程 m,其他 mm)

Fig.4 Diagram of reinforced soil method  
(unit: elevation in m, other in mm)

①墙后回填土未作处理时,挡土墙的抗倾覆稳定系数  $K_0 = 2.01$ ,墙后回填土采用土工格栅加筋处理后,其抗倾覆稳定系数  $K_0 = 2.49$ ,驳岸挡土墙的整体抗倾覆稳定性显著提高,加筋效果十分明显。

②墙后回填土未作处理时,挡土墙的抗滑移稳定系数  $K_c = 1.08$ ,墙后回填土采用土工格栅加筋处理后,其抗滑移稳定系数  $K_c = 1.4$ ,驳岸挡土墙抗滑移稳定性大幅提高,加筋处理填土效果显著。

③墙后填土分层铺设土工格栅后,填土强度加强,作用在墙体的土压力大为减小,使得驳岸挡土墙的抗滑稳定系数大大提高,摩擦系数取为 0.3 时,可满足工程施工要求。

④挡墙基底与地基土的摩擦系数取为 0.25 时,其抗滑移稳定系数为 1.17,大于 1.0,但小于安全系数 1.3,因而选用该方案时仍应考虑与其他加固修护措施联合采用。

⑤加筋土挡墙修护加固方案工程效果显著,且施工较为简便,经济性很好,在驳岸挡土墙修护加固方案选择中应优先考虑。

### 3 驳岸挡土墙修护方案的优化分析

#### 3.1 安全性能比较

该船闸驳岸挡土墙在正常运行过程中发生了部分驳岸墙段过大的滑移变形,影响了船闸和过往船只的安全通航<sup>[10]</sup>。针对已经出现的工程事故,在挡土墙修护工程中,将结构安全性作为选择修护方案优先考虑的因素。

**3.1.1 阻滑板方案安全性能分析评价** 在上述阻滑板方案计算分析中,根据最终计算结果可以得到挡土墙抗倾覆稳定安全系数为  $K_0 = 2.17$ ,能够满足阻滑板抗倾覆稳定性要求;基底与地基土之间的摩擦系数取为 0.3 时,挡土墙抗滑移稳定系数  $K_c = 1.19 < 1.3$ ,不能满足抗滑稳定性安全性要求。挡墙基底与地基土的摩擦系数取为 0.25 时,挡土墙抗滑移稳定系数  $K_c = 1.0 < 1.3$ 。两种计算结果均表明抗滑力小于挡墙滑动力,如果挡墙基础地基土存在薄弱段,挡墙可能发生局部滑移破坏。

上述分析可以得出这样的结论:驳岸挡土墙后单纯设置 1.5 m 长,0.6 m 厚钢筋混凝土阻滑板不能满足挡土墙的抗滑稳定性要求。从安全角度来说,单一阻滑板方案并不能满足驳岸挡土墙修护工程的安全性要求,在方案选择中将不予考虑,但可与其他方案联合采用。

**3.1.2 加筋土方案安全性能分析评价** 在上述加筋土方案计算分析中,根据最终计算结果可以得到挡土墙抗倾覆稳定安全系数为  $K_0 = 2.49$ ,能够满足阻滑板抗倾覆稳定性要求;基底与地基土之间的摩擦系数取为 0.3 时,挡土墙抗滑移稳定系数  $K_c = 1.4 > 1.3$ ,满足抗滑稳定性安全性要求。挡墙基底与地基土的摩擦系数取为 0.25 时,挡土墙的抗滑移稳定系数为  $K_c = 1.17$ ,大于 1.0,但小于安全系数 1.3,其抗滑移稳定性能否完全满足安全性要求是个问题,因为如果挡墙基础地基土存在局部薄弱段,挡墙有可能发生局部滑移破坏。

上述分析表明:驳岸挡土墙后填土采用土工格栅加固土体,每隔 60 cm 布置一层土工格栅的方案可使挡土墙体获得较高的安全性能,一般情况下能够满足驳岸挡土墙修护工程的安全性要求。但是,在摩擦系数降低时,挡土墙的抗滑系数小于安全系数,仍存在修护加固失效的危险。从安全角度来说,单一的加筋土方案存在一定的安全隐患。

#### 3.2 最终修护方案的确定

为了充分保证挡土墙的安全性,有必要对加筋土方案进行局部修正。从前述 3.1 节修护方案的安全性比较分析中发现,阻滑板方案和加筋土方案分别在增大底板抗滑能力和增加墙后土体抗剪强度方面提高挡土墙结构的抗滑移稳定性,均有一定的加固效果,但单一方案都无法完全满足安全性要求,存在一定安全隐患,因此,为确保安全考虑,将两种单独的修护加固方案结合起来,形成图 5 中的阻滑板-加筋土方案。

下面就此方案的可行性进行具体分析。

(1)施工方案的安全性。加筋土方案本身可以基本满足要求,再设阻滑板进行补充辅助,驳岸挡土墙的稳定性能会更好,安全性更高<sup>[11]</sup>,完全满足驳岸挡土墙修护加固的安全性要求。

(2)施工过程的相容性。可在原先挡土墙底板一侧浇注钢筋混凝土阻滑板,但要保证新旧混凝土之间

的可靠连接,即混凝土底板与阻滑板之间的可靠搭接。这一点在工程中比较容易做到。同时在墙后填土的回填过程中分层铺设加筋土,从施工过程中来说,两个方案不矛盾,有很好的兼容性。

(3)施工方案的经济性。与单一加筋土方案相比,阻滑板-加筋土方案不会大幅增加工程量,反而提高明显抗滑安全性。根据最终计算结果可以得到挡土墙的抗倾覆稳定安全系数为  $K_0 = 2.56$ ,能够满足阻滑板抗倾覆稳定性要求;基底与地基土之间摩擦系数取为 0.25 时,挡土墙抗滑移稳定系数  $K_c = 1.32 > 1.3$ ,满足抗滑稳定性安全性要求。而且由于仍然利用原先挡土墙底板,还可以节约部分工程费用,降低工程成本,具备一定的经济性。

经过以上综合分析,阻滑板-加筋土方案比较适用于本次修护加固工程,因而可以确定为最终优选方案。

## 4 结 语

驳岸挡土墙结构滑移失效工程事故主要是由于挡土墙地基与下卧天然地基土之间摩阻力不足以及挡土墙地基局部竖向承载力不足,造成挡土墙水平向滑移所致。根据该船闸工程特点,对原有加筋土方案作优化修改,提出阻滑板-加筋土联合方案。通过对该方案的理论和施工方式的分析研究表明,本方案比较适合该船闸驳岸挡土墙修护加固工程,可以作为工程修护的最终优选方案。对该方案的研究分析可为处理类似工程事故提供技术参考。

## 参 考 文 献:

- [1] 连惠萍,赵婷. 黄河堤防隐患探测新技术的研究与应用[J]. 水利科技与经济, 2013, 19(3): 114-116. (LIAN Hui-ping, ZHAO Ting. Research and application of new technology for the detection of the Yellow River dyke hidden trouble[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2013, 19(3): 114-116. (in Chinese))
- [2] 苏宁. 驳岸墙滑移原因分析及对策[J]. 交通科技, 2008(2): 108-110. (SU Ning. Analysis and countermeasures of revetment wall slip reasons[J]. Transportation Science & Technology, 2008(2): 108-110. (in Chinese))
- [3] 魏建有. 驳岸整体失稳及应急措施的理论分析[J]. 水运工程, 2001(7): 19-26. (WEI Jian-you. Theoretical analysis of overall instability of barge terminal and emergency measures[J]. Port & Waterway Engineering, 2001(7): 19-26. (in Chinese))
- [4] 徐初来,苏达. 基于能量理论的重力式挡土墙结构可靠性分析[J]. 城市建设, 2012(29): 8-15. (XU Chu-lai, SU Da. Analysis of structure reliability of gravity retaining wall block based on the energy theory[J]. Urban Construction, 2012(29): 8-15. (in Chinese))
- [5] 薛文光. 浅谈堤防工程软土地基处理的几种措施[J]. 中国高新技术企业, 2008(12): 188-190. (XUE Wen-guang. Several measures of soft soil foundation treatment of dyke engineering[J]. China High Technology Enterprises, 2008(12): 188-190. (in Chinese))
- [6] 肖仕宝,周锡初,钟晓红. 随机波浪作用下矩形沉箱防波堤的动力分析模型[J]. 港工技术, 2005(4): 1-4. (XIAO Shi-bao, ZHOU Xi-reng, ZHONG Xiao-hong. Dynamic response analysis of rectangular caisson breakwater under random wave[J]. Port Engineering Technology, 2005(4): 1-4. (in Chinese))
- [7] 周志刚. 公路土工合成材料设计原理及工程应用[M]. 北京:人民交通出版社, 2001. (ZHOU Zhi-gang. The design principle and engineering application of geosynthetics in highway[M]. Beijing: China Communications Press, 2001. (in Chinese))

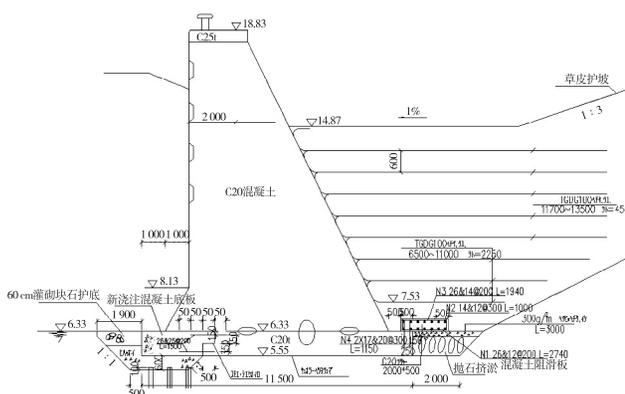


图5 阻滑板-加筋土方案(单位:高程 m,其他 mm)

Fig. 5 The resistance skateboard and reinforced soil method (unit: elevation in m, others in mm)

Chinese))

- [8] 王祥, 周顺华, 顾湘生, 等. 路堤式加筋土挡墙的试验研究[J]. 土木工程学报, 2005, 38(10): 119-124. (WANG Xiang, ZHOU Shun-hua, GU Xiang-sheng, et al. An experimental study on the reinforced retaining wall for embankment[J]. China Civil Engineering Journal, 2005, 38(10): 119-124. (in Chinese))
- [9] 何光春. 加筋土工程设计与施工[M]. 北京: 人民交通出版社, 2000. (HE Chun-guang. Design and construction of the reinforced soil engineering[M]. Beijing: China Communications Press, 2000. (in Chinese))
- [10] 张庆鹏. 降雨入渗条件下驳岸稳定性分析[J]. 科学技术与工程, 2014, 14(9): 253-256. (ZHANG Qing-peng. Stability analysis of revetment under rainfall infiltration[J]. Science Technology and Engineering, 2014, 14(9): 253-256. (in Chinese))
- [11] 胡满堂, 张梁. 深圳河罗湖口岸段堤岸塌陷原因分析及处理方法[J]. 水利快报, 2012, 33(6): 35-36. (HU Man-tang, ZHANG Liang. Analysis and treatment of collapse in Shenzhen river of Luohu port section of embankment[J]. Express Water Resources & Hydropower Information, 2012, 33(6): 35-36. (in Chinese))

## Optimization analysis of repair-reinforcement scheme for shiplock revetment retaining wall

XU Zhi-feng<sup>1</sup>, ZHAO Xiao-ming<sup>2</sup>

(1. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. China International Water & Electric Corp., Beijing 100120, China)

**Abstract:** The shiplock works located on the Beijing-Hangzhou Grand Canal at the junction of Jiangsu and Shandong Provinces is one of the most important shiplock works. In the design of shiplock works, due to lack of geological investigation data and the lower safety factor applied to the design of the revetment retaining wall, there occurs a local sliding deformation during the shiplock operation, which may have a danger to the entire safety of the shiplock. It is necessary to make repair and reinforcement of the existing revetment retaining wall for the safety of the shiplock. Considering this sliding failure, the feasibility of the repair-reinforcement scheme for the revetment retaining wall is studied based on theoretical analysis and simplified numerical simulation. Through the simulation calculation and optimization analysis, two kinds of schemes of the slide-resistant slab combined with the reinforced earth have been put forward in this study. From the angle of the safety of the wall works, comparative analyses are carried out for the schemes, and finally the scheme of the slide-resistant slab combined with the reinforced earth is determined as a repair-reinforcement scheme for the revetment retaining wall. The research and analysis of the works can be taken as a technical reference for dealing with the slide-resistant stability of the similar works.

**Key words:** revetment retaining wall; slide-resistant stability; slide-resistant slab; reinforced earth; safety