

# 荆江近岸河床演变对水沙条件的响应探讨

彭玉明<sup>1</sup>, 夏军强<sup>2</sup>, 彭佳<sup>3</sup>, 沈健<sup>1</sup>

(1.长江委水文局荆江水文水资源勘测局,湖北荆州 434020;

2.武汉大学水资源与水电工程科学国家重点实验室,湖北武汉 430072;

3.华北水利水电大学水利学院,河南郑州 450045)

**摘要:**近岸河床的变化对于险工段河势稳定、护岸及堤防的安全产生影响。1990年代以来,尤其三峡水库蓄水运行后,上游来沙大幅减少,荆江河床普遍发生了冲刷,近岸河床发生了相应调整。主要结合荆江河段近岸河床监测资料及已有分析成果,从三个方面分析近岸河床演变对水沙条件变化的响应,一是近岸河床冲刷坑特征值与水沙条件的关系;二是近岸岸坡稳定性对水位变幅的响应程度;三是近岸河床平滩河道形态尺度对水沙过程的响应程度。通过计算分析得出近岸河床特征值与水沙定性及定量的关系。

**关键词:**近岸河床;演变;水沙条件;响应

中图分类号:TV147

文献标识码:A

文章编号:1000-0852(2018)05-0011-06

## 1 研究成果综述

唐日长等<sup>[1]</sup>认为荆江河段崩岸强度随时段内平均流量的平方及其历时的增大而增大,随河岸松散土层的厚度与岸滩高度的比值增大而增大。余文畴、卢金友将河道崩岸总量与相应时段内平均流量的平方与历时建立了相关关系<sup>[2]</sup>。姚仕明、岳红艳等<sup>[3]</sup>对长江中游典型崩岸进行了试验研究。夏军强、宗全利<sup>[4]</sup>对荆江河段崩岸机理进行了系统研究,将平滩河床河道形态尺度与水流冲刷强度建立了定量关系,并进行了数值模拟计算。近年,长江委荆江水文局对荆江近岸河床演变进行了系统的分析研究,对近岸河床变化特点进行分析总结。本文从近岸河床冲刷坑与水沙的关系、河岸稳定性对水位变幅的响应及平滩河道形态尺度与水沙相关性等三方面进行定性及定量分析研究。

## 2 荆江河道及水沙条件概况

荆江上起湖北省宜都枝城镇,下迄湖南省岳阳城

陵矶,全长约347.2 km。荆江以藕池口为界,分为上、下荆江,上荆江长约171.7 km,为微弯分汊河型,下荆江长约175.5 km,为典型弯曲蜿蜒性河道。荆州以上14.5 km有沮漳河入汇;荆江南岸有松滋口、太平口、藕池口和调弦口(1959年建闸控制)分流至洞庭湖,与湘、资、沅、澧四水汇合后,于城陵矶又汇入长江。河段平面示意图见图1。

河段来水量主要来自宜昌以上长江干流,将1993年以来的数据分成两个时段,即三峡水库蓄水运行前(1993~2002年)、蓄水后(2003~2015年),多年平均径流量分别为 $4.346 \times 10^8 \text{ m}^3$ 、 $4.098 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,三峡水库蓄水后来上游来水量略偏小,受三峡水库蓄水运行影响,汛期6~10月来水量占全年来水量比例较蓄水前有所减少,1~5月则有所增大,见表1。20世纪90年代以来,受长江上游来沙量逐渐减少影响,荆江河段输沙量呈减小态势<sup>[5]</sup>;三峡水库蓄水运行后,荆江河段来沙量大幅度减少。枝城站在三峡水库蓄水运行前(1993~2002年)、蓄水后(2003~2015年)多年平均输沙量分

收稿日期:2017-06-28

基金项目:国家科重点研发计划项目(2016YFC0402305)

作者简介:彭玉明(1970-),男,湖南邵东人,高级工程师,主要从事河流泥沙研究。E-mail:jjpengym@cjh.com.cn

通讯作者:夏军强(1974-),男,浙江绍兴人,教授,博士,主要从事河流动力学研究。E-mail:xiacijq@whu.edu.cn



刷下切。如石首河段荆 98 断面(图 2c)及监利河段荆 178 断面(图 2d)近岸河床变化。

### 4 近岸河床典型冲刷坑变化对水沙过程的响应

统计分析的典型近岸河床冲刷坑位于主流贴岸段。上荆江统计了 8 段冲刷坑特征值(见表 2, 10m 表示等高线围成的面积), 统计时段分汛前及汛后, 其中 5 段

汛期冲刷坑面积明显大于汛后, 2 段汛期冲刷坑面积略大于汛后, 只有一段冲刷坑面积汛后大于汛期。冲刷坑面积的年内变化与流量大小相关, 汛期流量大, 冲刷坑面积扩展, 汛后流量小, 冲刷坑面积小。下荆江统计了典型段冲刷坑面积年际分时段变化(见表 3), 冲刷坑面积沿时段逐渐扩展, 冲刷坑面积与含沙量相关, 含沙量大, 冲刷坑面积较小, 含沙量小, 冲刷坑冲刷扩展。

表2 上荆江典型冲刷坑特征值变化

Table2 The change of the typical scour hole characteristics in the upper Jingjiang reach

时期	观音矶(10m)		刘大巷矶(15m)		杨二月矶(5m)		箭堤矶(10m)	
	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m
汛期	21073	3.2	142547	9.4	8633	3.3	66908	5.8
汛后	12500	4.1	108122	10.6	8621	3.1	66846	5.6
时期	冲和观(10m)		祁家渊(10m)		灵光庙矶(10m)		铁牛矶(5m)	
	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m	面积/m <sup>2</sup>	最深点高/m
汛期	11671	0.7	18751	7.2	2228	2.7	7852	-0.4
汛后	4345	2.2	11537	7.9	2710	1.3	3153	-0.8

表3 下荆江典型冲刷坑面积变化

Table3 The change of the typical scour hole characteristics in the lower Jingjiang reach

时段	向家洲(5m)	北门口(-10m)	北碾子湾(5m)	调关(5m)	监利对应含沙量/kg.m <sup>-3</sup>
蓄水前(1992-2002)	7011	10755	3066	18163	0.794
蓄水后(2003-2008)	18778	8350	62832	41925	0.265
蓄水后(2009-2013)	21790	15581	104132	254015	0.167

### 5 水位过程对近岸岸坡稳定的影响

荆江河道河岸组成为二元结构, 一般上部为粘土, 下部为非粘性土, 上下荆江组成有所差别, 上荆江上层粘性土较厚, 沙层较薄, 下荆江上层粘性土较薄, 下层沙层较厚, 岸坡的稳定及边坡形态也有所不同。钱宁<sup>[6]</sup>、余文畴<sup>[2]</sup>、夏军强<sup>[4]</sup>等对岸坡崩塌的影响

因素进行了研究, 归纳起来, 影响因素通过三方面来改变边坡稳定状态: ①改变边坡的外形; ②改变边坡土体结构特征和力学性质; ③改变边坡土体的应力状态<sup>[7]</sup>。水位过程对河岸稳定的影响也是通过这三方面表现出来, 水位的高低直接影响到岸坡土体的含水率及地下水水面线, 从而改变土体力学性质及应力状态。

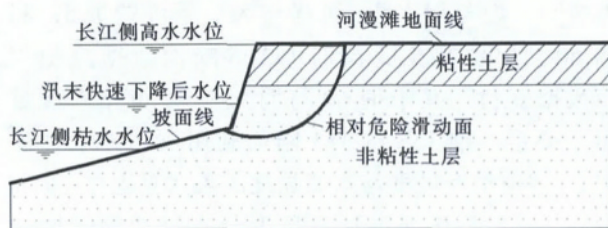


图3 荆 98 断面附近岸坡相对危险滑动面示意图

Fig.3 The relative dangerous sliding surface of the bank slope near the Jing 98 section



图4 石首水位站 5~9 月水位过程线

Fig.4 The water level process line of the station from May to September

对于水位变化过程对岸坡稳定的影响, 以石首河弯北门口段荆 98 附近断面进行分析。稳定计算采用圆弧条分法<sup>[8-9]</sup>, 河岸组成参照已有地勘成果, 为了

分析岸坡在不同水位时的抗滑稳定系数的变化, 在长江处于高水时利用圆弧滑动将圆心固定在岸坡顶端进行相对危险滑动面搜索, 将此滑动面固定, 再计算汛末



表4 不同水位对应抗滑稳定系数

Table4 The anti-sliding stability coefficients at the different water levels

长江水位/m	35.0	29.3(汛期水位快速下降)	26.5
安全系数	1.34	0.99	1.21

水位快速下降及枯水水位时的该滑动面抗滑稳定系数。河岸组成上约4m为粘性土层,下层为非粘性土层,概化计算断面见图3。岸坡稳定计算结果表明(见表4),江水位较高时期安全系数较大,岸坡处于稳定状态,江水位快速降落期,岸坡处于不稳定状态,由于岸坡上部崩退后,枯水期岸坡变缓,抗滑稳定系数大于1.0,在枯水期该坡面发生崩塌的可能性相对较小。实测的水位过程线(见图4)与岸坡形态(见图5)可以验证水位过程对岸坡的影响,水位过程分为:水位快速上升期(对应时段6月15日~7月4日);高水相对稳定期(7月4日~8月6日);水位快速降落期(8月16日~9月3日);低水平稳期(9月3日~10月7日)。水位过程对应岸坡崩退速度见表5,快速退水期岸坡崩退速度最快,快速上升期岸坡退崩次之,高水及低水平稳期岸坡相对稳定。

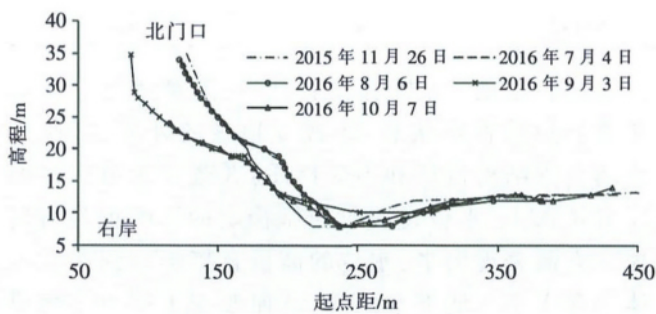


图5 北门口各时段岸坡形态

Fig.5 The bank slope forms of Beimenkou in the various durations

表5 水位过程与崩岸速度关系统计

Table5 The relationship between the water level process and collapsing velocity

水位过程	水位上涨速度/ $m \cdot d^{-1}$	崩退速度/ $m \cdot d^{-1}$
快速上升期	0.21	0.25
高水平稳期		0
快速退水期	0.25	2.50
低水平稳期		0

对于快速退水过程中发生崩岸的概率较大及崩退速度较大,最根本的原因是在退水过程中改变了决定岸坡稳定的因素,即退水过程改变了土层力学

性质及应力状态。快速退水过程对岸坡稳定的影响具体归纳为三方面:①在快速退水过程中上层粘性土体渗透性较低,土体内水分来不及排出而对河岸产生额外渗透压力;②洪水期对河岸土体长时间的浸泡,粘性土体的强度指标降低<sup>[10]</sup>,改变土体结构性;③高水期岸坡下面沙层受到淘刷,岸坡形态改变,水位降低时静水压力减小,从而使得岸坡稳定性降低。

## 6 近岸河床形态尺度与水沙过程的关系

对于河道形态尺度与水沙变化的相关关系,Wu及Xia等<sup>[11]</sup>认为冲积河流的平滩河槽尺度与前期多年汛期水沙条件有关,并建立了定量的关系。针对已有护岸段及未护段近岸河床变化的差异,以下从水深及河宽因素进行探讨。为从定量上统计分析近岸河道形态尺度与水沙条件的关系,计算模式见式(1),通过试算得到 $n$ 值。

$$\bar{F}_f = \frac{1}{N_f} \sum_{j=1}^{N_f} (Q_j^2 / S_j) / 10^8 \bar{F}_{nf} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{F}_{fi} \quad (1)$$

式中: $N_f$ 为汛期(5~10月)总天数; $Q_j$ 为汛期日平均流量( $m^3/s$ ); $S_j$ 为悬移质含沙量( $kg/m^3$ ); $n$ 为年数; $F_f$ 为冲刷强度。

在已有护岸段选择沙市段近岸河床观测的枯水水深(对应宜昌5000 $m^3/s$ 下的水深)及沙市水文站1997~2014年汛期(5~10月)平均流量及平均含沙量,近岸河槽枯水水深与冲刷强度在 $n=5$ 时相关系数达到最大,枯水水深与前5年的汛期水沙相关性最好(见图6)。在未有护岸段,近岸河床的水深及河宽两方面均可能发生变化,对于冲积性平原河流,当河道尺度增大时,一般规律为平滩河槽河宽增加较水深为快<sup>[12]</sup>。为分析水深、河宽与水沙条件的关系,利用荆60、荆98、荆133及荆181等断面数据及相关水沙数据资料,其中荆60与荆98与沙市站水沙数据建立关系,荆133荆181断面利用监利站水沙数据建立关系,河道形态尺度与水流强度的关系见图7~图10及表6。近岸河床河道形态尺度与水流冲刷强度的关系表现为:(1)在河岸岸坡稳定(具有护岸等)段,近岸河床枯水水深与水流冲刷强度密切相关,其平滩水深与水流冲刷强度关系不甚明显;(2)在未有护岸等岸坡不稳定段,河道形态尺度即平滩河宽与水流冲刷强度密切相关,其水深与冲刷强度有一定相关性,但关系较弱。

表6 河道形态尺度与水流冲刷强度相关系数

Table6 The correlation coefficients of the channel morphology scale and intensity of current scour

位置	平滩河宽	平滩水深	枯水水深
沙市河弯近岸	—	—	0.96
荆 60	0.94	0.41	0.42
荆 98	0.99	0.41	0.52
荆 133	0.92	0.16	0.25
荆 181	0.96	0.54	0.45

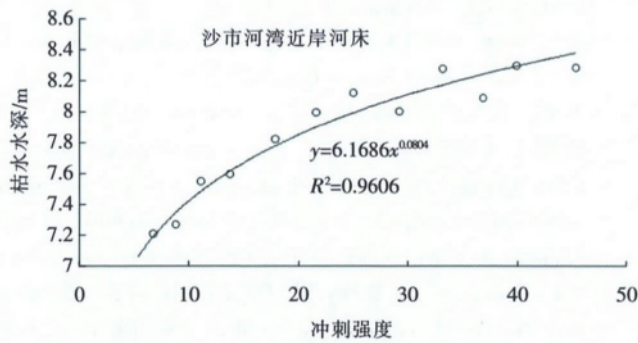


图 6 沙市段近岸河床枯水水深与冲刷强度关系 (n=5)

Fig.6 The relationship between the low water depth and scour intensity of the nearshore riverbed in the Shashi reach

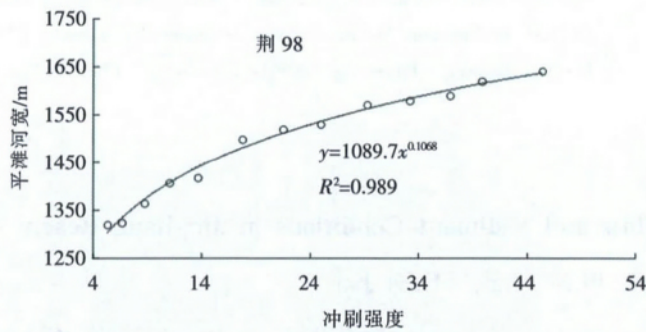


图 7 荆 98 断面平滩河宽与冲刷强度关系 (n=5)

Fig.7 The relationship between the bankfull width and scour intensity on the at the Jing 98 section

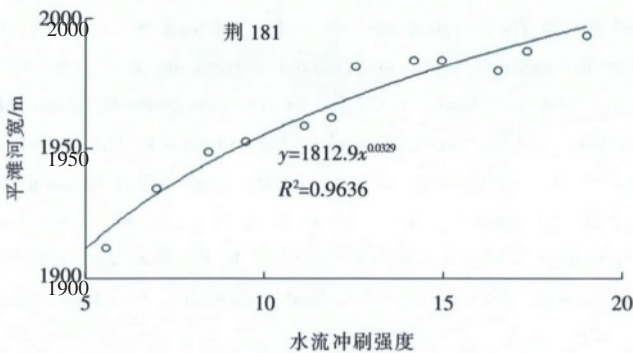


图 8 荆 181 断面平滩河宽与冲刷强度关系 (n=5)

Fig.8 The relationship between the bankfull width and scour intensity at the Jing 181 section

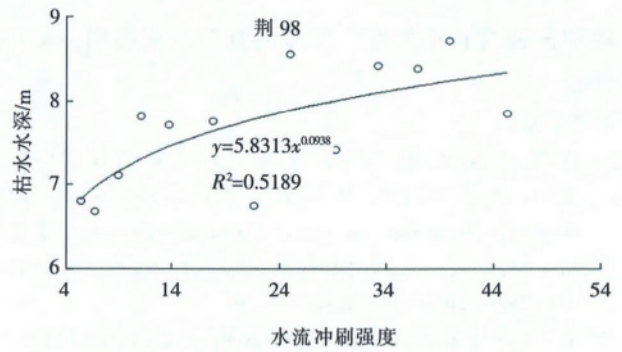


图 9 荆 98 断面枯水水深与冲刷强度关系 (n=5)

Fig.9 The relationship between the low water depth and scour intensity at the Jing 98 section

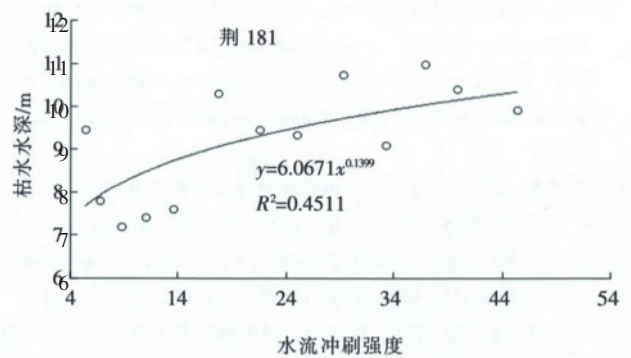


图 10 荆 181 断面枯水水深与冲刷强度关系 (n=5)

Fig.10 The relationship between the low water depth and scour intensity at the Jing 181 section

## 7 主要结论

(1)三峡水库蓄水后荆江河段近岸河床的变化在护岸段及未护段存在差别,在已有护岸段近岸河床主要表现为冲刷下切,近岸河床高程降低;在未有护岸段,近岸河床的变化表现为冲刷下切及河岸崩退,而河岸崩退更为明显。

(2)近岸河床冲刷坑面积与含沙量在定性上具有相关性,含沙量大,冲刷坑面积小,含沙量小,冲刷坑发生冲刷扩展。

(3)水位过程对河岸稳定的影响,其根本原因是改变了土层力学性质及应力状态。水位从高水快速消退时最容易发生崩岸,同时,高水期近岸河床冲刷下切,河岸岸坡变陡,水位下降时失去水压力,从而导致河岸更易崩塌。

(4)近岸河床特征值(河道形态尺度)与水沙条件即水流冲刷强度有相关关系。在已有护岸段,近岸河床深槽枯水水深与水流冲刷强度关系密切;在未有护岸段,近岸河床枯水水深、平滩水深及平滩河宽与水

流冲刷强度有相关性,平滩河宽与水流冲刷强度相关性强。

参考文献:

- [1] 唐日长, 贡炳生. 荆江大堤护岸工程初步分析研究[A]. 唐日长论文集[C]. 北京: 中国水利水电出版社, 2011. (TANG Richang, GONG Bingsheng. Preliminary analysis of revetment engineering of Jingjiang levee [A]. Proceedings of TANG Richang [C]. Beijing: China Water-Power Press, 2011. (in Chinese))
- [2] 余文畴, 卢金友. 长江河道崩岸与护岸[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008. (YU Wenchou, LU Jinyou. Bank Failure and Protection in the Yangtze River [M]. Beijing: China WaterPower Press, 2008. (in Chinese))
- [3] 姚仕明, 岳红艳. 长江中游河道崩岸机理与综合治理技术[M]. 北京: 科学出版社, 2016. (YAO Shiming, YUE Hongyan. Mechanism and Comprehensive Treatment Technology of Bank Failure in the Middle Yangtze River [M]. Beijing: Science Press, 2016. (in Chinese))
- [4] 夏军强, 宗全利. 长江荆江段崩岸机理及其数值模拟[M]. 北京: 科学出版社, 2015. (XIA Junqiang, ZONG Quanli. Mechanism and Numerical Simulation of Bank Failure in Jingjiang Reach of the Middle Yangtze River [M]. Beijing: Science Press, 2015. (in Chinese))
- [5] 许全喜, 朱玲玲, 袁晶. 长江中下游水沙与河床冲淤变化特性研究[J]. 人民长江, 2013, 44 (23): 16-21. (XU Quanxi, ZHU Lingling, YUAN Jing. Research on water-sediment variation and deposition-erosion in middle and lower Yangtze River [J]. Yangtze River, 2013, 44 (23): 16-21. (in Chinese))
- [6] 钱宁, 张仁, 周志德. 河道演变学 [M]. 北京: 科学出版社, 1987. (QIAN Ning, ZHANG Ren, ZHOU Zhide. Fluvial Processes [M]. Beijing: Science Press, 1987. (in Chinese))
- [7] 姚爱军, 薛廷河. 复杂边坡稳定性评价方法与工程实践[M]. 北京: 科学出版社, 2008:19-42. (YAO Aijun, XUE Tinghe. Evaluation Method and Engineering Practice of Complex Slope Stability [M]. Beijing: Science Press, 2008:19-42. (in Chinese))
- [8] 常士骠, 张苏民. 工程地质手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1992:582-585. (CHANG Shibiao, ZHANG Sumin. Engineering Geological Manual [M]. Beijing: China Construction Industry Press, 1992:582-585. (in Chinese))
- [9] GB50286-98, 堤防工程设计规范[S]. (GB50286-98, Code for Design of Levee Project [S]. (in Chinese))
- [10] 夏军强, 宗全利, 许全喜, 等. 下荆江二元结构河岸土体特性与崩岸机理[J]. 水科学进展, 2013, 24(6):816-818. (XIA Junqiang, ZONG Quanli, XU Quanxi, et al. Soil properties and erosion mechanisms of composite riverbanks in lower Jingjiang reach [J]. Advances in Water Science, 2013, 24(6):816-818. (in Chinese))
- [11] Wu B S, Xia J Q, Fu X D, et al. Effect of altered flow regime on bankfull area of the lower Yellow River, China [J]. Earth Surfer Processes and Landforms, 2008, 33(10):1585-1601.
- [12] 武汉水利电力学院河流泥沙工程学教研室. 河流泥沙工程学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1983:227-234. (Teaching and Research Section of River Sediment Engineering of Wuhan Water Conservancy and Hydropower Institute. River Sediment Engineering [M]. Beijing: Hydraulic Power Press, 1983:227-234. (in Chinese))

## Response of the Nearshore Riverbed Evolution to Flow and Sediment Conditions in Jingjiang Reach

PENG Yuming<sup>1</sup>, XIA Junqiang<sup>2</sup>, PENG Jia<sup>3</sup>, SHEN Jian<sup>1</sup>

(1. *Jingjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission, Jingzhou 434020, China;*

2. *State Key Laboratory of Water Resources and Hydropower Engineering Science, Wuhan University, Wuhan 430072, China;*

3. *School of Water Conservancy, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)*

**Abstract:** Nearshore riverbed evolution has great impacts on the stability of river regime and the safety of bank-revetment works and dikes. Since the 1990s, especially after the Three Gorges Reservoir running, significant channel degradation has occurred along the Jingjiang Reach because of the sharp decrease in the incoming sediment load, which led to the corresponding adjustment in nearshore riverbed. According to the monitored data of the nearshore riverbed in this reach, the response of the nearshore riverbed evolution to the flow and sediment conditions have been investigated in three aspects: (1) the relationship between the characteristic value of scour hole and flow-sediment conditions; (2) the response degree of the stability of nearshore riverbed on the variation of water level; (3) the response degree of the channel geometry scale of nearshore riverbed to the flow and sediment process. Through the calculation and analysis, the qualitative and quantitative correlations were obtained between the characteristic values of nearshore riverbed and the flow-sediment regime.

**Key words:** nearshore riverbed; evolution; flow and sediment condition; response