

DOI:10.3880/j.issn.1006-7647.2019.02.007

非淹没刚性植被影响下孤立波在岸滩上的爬高

姚 宇^{1,2}, 唐梦君¹, 唐政江¹, 蒋昌波^{1,3}

- (1. 长沙理工大学水利工程学院, 湖南 长沙 410114;
2. 河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
3. 水沙科学与水灾害防治湖南省重点实验室, 湖南 长沙 410114)

摘要:为探究海岸刚性植被对海啸波的削弱效应,通过物理模型试验和数值模拟研究了孤立波与不同坡度岸滩上非淹没刚性植被的相互作用问题。物理模型试验在波浪槽中进行,测试了不同的入射波波高、植被密度和岸滩坡度对孤立波爬高的影响,并运用物理模型试验数据校核改进后的 Boussinesq 方程,得到植被的拖曳力系数。结果表明:拖曳力系数随植被密度的增大而增大,随坡度增大而减小;植被后的无量纲透射波高和无量纲岸滩爬高随着无量纲的入射波高的增大而减小,随着植被密度的增大而减小;当岸滩坡度增大时,无量纲透射波高增大而无量纲爬高并无显著差异。最后根据回归分析得出了岸滩爬高与相对入射波高、植被密度和岸滩坡度的幂函数型经验关系式。

关键词:岸滩坡度;波浪爬高;海岸植被;Boussinesq 方程;拖曳力系数

中图分类号:TV139.2 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2019)02-0031-06

Solitary wave run-up on beach slopes influenced by unsubmerged rigid vegetation//YAO Yu^{1,2}, TANG Mengjun¹, TANG Zhengjiang¹, JIANG Changbo^{1,3}(1. School of Hydraulic Engineering, Changsha University of Science & Technology, Changsha 410114, China; 2. Key Laboratory of Coastal Disasters and Defense of Ministry of Education, Hohai University, Nanjing 210098, China; 3. Key Laboratory of Water-Sediment Sciences and Water Disaster Prevention of Hunan Province, Changsha 410114, China)

Abstract: To investigate the mitigation of tsunami waves by coastal rigid vegetation, the interaction between a solitary wave and unsubmerged rigid vegetation on different beach slopes was studied by both laboratory experiments and numerical simulations. The laboratory experiments were conducted in a wave flume, and the effects of different incident wave heights, vegetation densities and beach slopes on the wave run-up were examined. Boussinesq equations were improved and validated by the experimental data, based on which the drag force coefficient of vegetation was obtained. The results show that the drag coefficient increases with the increase of vegetation density but decreases with the increase of beach slope. The dimensionless transmitted wave height behind the vegetation and the subsequent dimensionless run-up height on the slope decrease with both the increase of the dimensionless incident wave height and the vegetation density. When the beach slope is increased, the dimensionless transmitted wave height increases but the variation of the dimensionless run-up height is insignificant. Finally, an empirical power-law relation is obtained to predict the dimensionless wave run-up height through the dimensionless wave height, the vegetation density and the beach slope by regression analysis.

Key words: beach slope; wave run-up; coastal vegetation; Boussinesq equations; drag coefficient

海啸是由海底地震、火山爆发、海底滑坡或气象变化产生的破坏性海浪,海啸波与海岸相互作用后产生的海面爬高可能会给沿岸地区造成严重的洪涝灾害。对 2004 年印度洋大海啸的灾后调查研究发现,沿岸生长的红树林类刚性植被能对海啸波起到显著的削弱作用^[1-2],培植海岸植被被认为是未来一种积极的海啸防御措施。因此研究海啸波与红树林类刚性植被的相互作用对海啸灾害的防治具有一定的指导意义。

由于海啸波的首波与孤立波十分接近,因此学术界多采用孤立波来模拟海啸波的首波^[3]。物理模型试验是研究孤立波与植被相互作用问题的主要手段之一,国内外学者在波浪水槽中对孤立波与平底海岸上刚性植被的相互作用问题进行了大量的研究工作^[4-8],而关于孤立波与斜坡海岸上刚性植被的研究则相对较少。Irtem 等^[9-10]通过物理模型试验,研究了孤立波在非淹没刚性植被存在条件下的斜坡

基金项目:国家自然科学基金(51679014);湖南省科技计划(2017RS3035);河海大学海岸灾害及防护教育部重点实验室开放基金(201602)

作者简介:姚宇(1982—),男,副教授,博士,主要从事近海水动力研究。E-mail:yaoyu821101@163.com

上的爬高问题,但未考虑岸滩坡度变化对刚性植被存在下孤立波爬高的影响。

植物的阻力系数一般难以直接测量^[11],数值模型是获取植被阻力系数的一种可行的方法。对于长波与植被相互作用的模拟,常用的数值模型有求解浅水波方程的模型^[12],求解 Boussinesq 方程的模型^[4-5]和直接求解 Navier-Stokes 方程的 CFD 方法^[13],其中 Boussinesq 方程兼顾计算精度和计算效率,得到了较为广泛的应用。姚宇等^[14]首次采用 Boussinesq 方程模拟了孤立波与斜坡上非淹没刚性植被的相互作用,并通过添加拖曳力项对植被阻力进行描述,得出了拖曳力系数随波高和植被密度的变化关系,但是尚未涉及不同斜坡坡度的情况。

本文拟在改进 Yao 等^[10]物理模型试验的基础上,对非淹没刚性植被影响下孤立波在不同斜坡上的传播变形及爬高特征进行试验,并采用校核后的 Boussinesq 数值模型与试验结果进行对比验证,研究结果可为通过培植近岸植被来防治海啸灾害的实践活动提供参考。

1 物理模型试验

长沙理工大学水利实验中心波浪水槽长 45 m、宽 0.5 m、高 0.8 m,水槽左端配备有一台活塞式造波机,可产生包括孤立波在内的多种波况。物理模型在水槽中的布置如图 1 所示,岸滩斜坡采用 PVC 板来模拟,坡脚设置在距造波机 17 m 处,在距坡脚水平距离 1.16 m 的斜坡上布置有长 0.6 m、宽与槽宽一致的植被区,区内单株刚性植物采用直径为

1 cm,高度为 30 cm 的 PVC 圆管来模拟。将植株按照一定的排列方式垂直固定在预留孔洞的 PVC 板上(图 2(a)),固定板悬挂于斜坡上方,植株的下端与斜坡接触并用玻璃胶固结(图 2(b))。

植被排列的密度可采用固体体积分数 $\varphi = V_s/V$ 进行计算,其中 V 为控制体体积; V_s 为控制体中植被固体所占的体积。采用图 2(c)所示的 3 种植株交错布置的方案,分别命名为排列 A、排列 B 和排列 C,密度分别为: $\varphi_A=0.087$ 、 $\varphi_B=0.109$ 、 $\varphi_C=0.196$ 。

设置坡度分别为 1:6、1:8、1:10 的 3 种岸滩坡度,在改变坡度的过程中植被位置保持不变。测试水深固定为 30 cm,入射波波高分别设置为 2 cm、4 cm、6 cm、8 cm 和 10 cm,所有工况下植株顶部均处于非淹没状态。使用 4 个超声波浪高仪 S1~S4 测量自由液面的变化;采用 CCD 高速相机记录孤立波的爬坡过程,孤立波的爬高通过分析图像中波浪在标有刻度的斜面上的最大上爬位置而得。

2 数值模型模拟

采用一维高阶强非线性 Boussinesq 方程来模拟波浪沿礁的传播变形过程^[15]。由于植株模型呈圆柱状,植被的阻力可采用拖曳力来描述。拟定 x 轴的正向为波浪传播方向, t 为时间,仿照姚宇等^[14]通过添加拖曳力项来模拟植被阻力,改进后的一维 Boussinesq 方程为

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} [(h + \eta)u] + F_c = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} + F_M + \frac{1}{2} C_d d_l N_l |u_p| u_p + \frac{\tau_b}{\rho D} = 0 \quad (2)$$

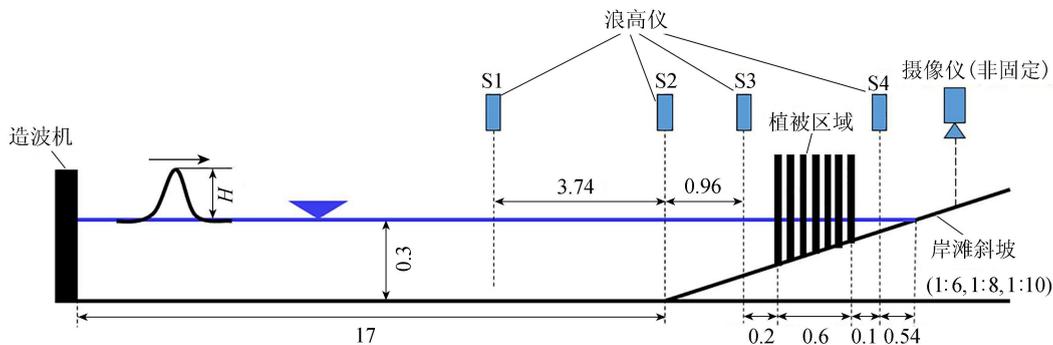


图 1 物理模型布置(单位:m)

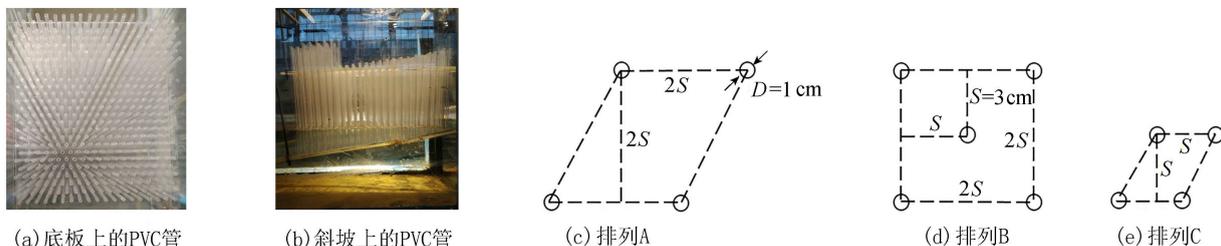


图 2 植被区域的排列方式

式中: η 为自由液面的位移; h 为平均水深; D 为总水深, $D=h+\eta$; u 为高程 $-z_a$ 处水平方向速度($z_a=0.531h$); u_p 为植被区内沿 x 方向的孔隙流速; ρ 为水的密度; d_i 为植株直径; N_i 为单位面积内的植株数; C_d 为植被拖曳力系数; τ_b 为底床摩擦力; F_C 和 F_M 为浅水波方程的 Boussinesq 校正项。

u_p 与 u 关系通过下式确定:

$$u_p = u \frac{\cos \theta}{1 - \varphi} \quad (3)$$

式中: θ 为斜坡角度。

τ_b 可由曼宁系数 n 求得:

$$\tau_b = \frac{gn^2}{D^{1/3}\rho} |u| u \quad (4)$$

式中: g 为重力加速度。

此外,由于沿水深积分的 Boussinesq 模型不能描述自由表面的翻转和详细的波浪破碎过程,因此需要添加半理论半经验的破碎波模型来模拟波浪破碎所造成的能量损失,以求更好地模拟波浪传播变形过程。破碎波模型采用 Kennedy 等^[16] 提出的涡黏模型。该模型中需设置 4 个经验参数,参照 Lynett 等^[17] 的建议取 $\delta=6.5$, $\alpha_1=0.65$, $\alpha_2=0.08$, $\alpha_3=8.0$ 。

采用有限差分法对控制方程进行离散,通过预测-矫正法进行求解。计算区域的长度与图 1 中的区域大致相同,计算域总长为 21 m;在距离计算域左边界 5 m 处通过源函数法产生孤立波;在左边界造波机附近设置海绵层吸收反射波能量,海绵层宽度设为 1.25 倍入射波波长,孤立波的波长 L 可采用公式 $L=2.12h/\sqrt{H/h}$ (其中 H 为波高) 进行近似估算,其代表了 95% 以上波面分布的区间长度。为确保数值模型的收敛性,计算中采用的 Courant 数为 0.4;计算域采用结构网格进行划分,网格大小选定为 1.5 cm,测试发现进一步加密网格后模拟结果无明显改进,说明网格尺寸满足计算精度要求。孤立波爬坡时干湿边界线的处理采用 Lynett 等^[15] 建议的外插法。

3 模型试验与数值模拟结果对比分析

3.1 底床摩擦因数和植被拖曳力系数的校核

由于波浪在斜坡岸滩上的爬高受到底床摩擦的影响,首先必须对式(4)中的摩擦因数进行校核。校核的原则是选取有代表性的工况首先调整入射波高使 S1 测点的波高 H_1 与试验测量一致,随后调整曼宁系数 n 使计算的 S2~S4 位置波高 $H_2 \sim H_4$ 以及岸滩爬高 R 与试验测量的符合程度达到全局最优,经校核得到 $n=0.003$ 。图 3 比较了坡度为 1:6 且

无植被时 $H_2 \sim H_4$ 以及 R 间的实测和模拟结果,总体而言两者符合程度较好。

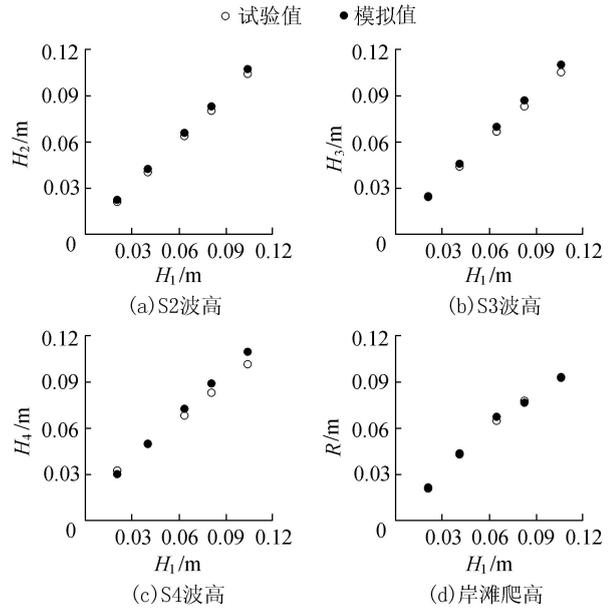


图 3 无植被时波高和爬高的试验与数值模拟结果对比

除植被区外采用校核的摩擦因数,植被拖曳力系数的校核通过调整式(2)中的 C_d 值确定,校核的原则是使计算的透射波高 H_4 与试验结果符合程度达到最优。考虑到对波高的测量较对爬高的测量更为精确,选用 H_4 而不是 R 作为校核标准。各测试波高下校核得到的拖曳力系数 C_d 的平均值如表 1 所示。由表 1 可以看出, C_d 值随着植被密度的增加而增加,随斜坡坡度的增大而减小。 C_d 的取值范围在 1.5~3.5 之间,与 Huang 等^[4] 孤立波与平底植物相互作用的范围 1.5~2.5 和 Iimura 等^[5] 孤立波与斜坡植物相互作用的范围 0.6~2.2 类似,一定的差异与植被密度不同及坡度不同有关。

表 1 不同坡度时的平均拖曳力系数

植物排列方式	不同坡比下的拖曳力系数		
	1:6	1:8	1:10
A	1.60	1.67	2.40
B	1.74	1.78	1.87
C	2.04	2.37	3.13

3.2 自由液面时间序列的比较分析

图 4 为波高 6 cm 的入射波与植被排列 B 作用时,不同岸滩坡度 S1~S4 位置测量和模拟的自由液面 η 的历时曲线对比。图 4 表明:S1~S3 位置测量的自由液面均存在 3 个明显的峰值,首先出现的为入射波波峰,随后出现的为植被区反射造成的反射波波峰,最后为岸滩反射造成的波峰,3 个波峰在靠近远海侧(S1)且岸滩坡度最小时(1:10)分开得最为明显;S4 处仅存在透射波波峰和岸滩反射造成的波峰,这种反射波也是在岸滩坡度 1:10 的时候更

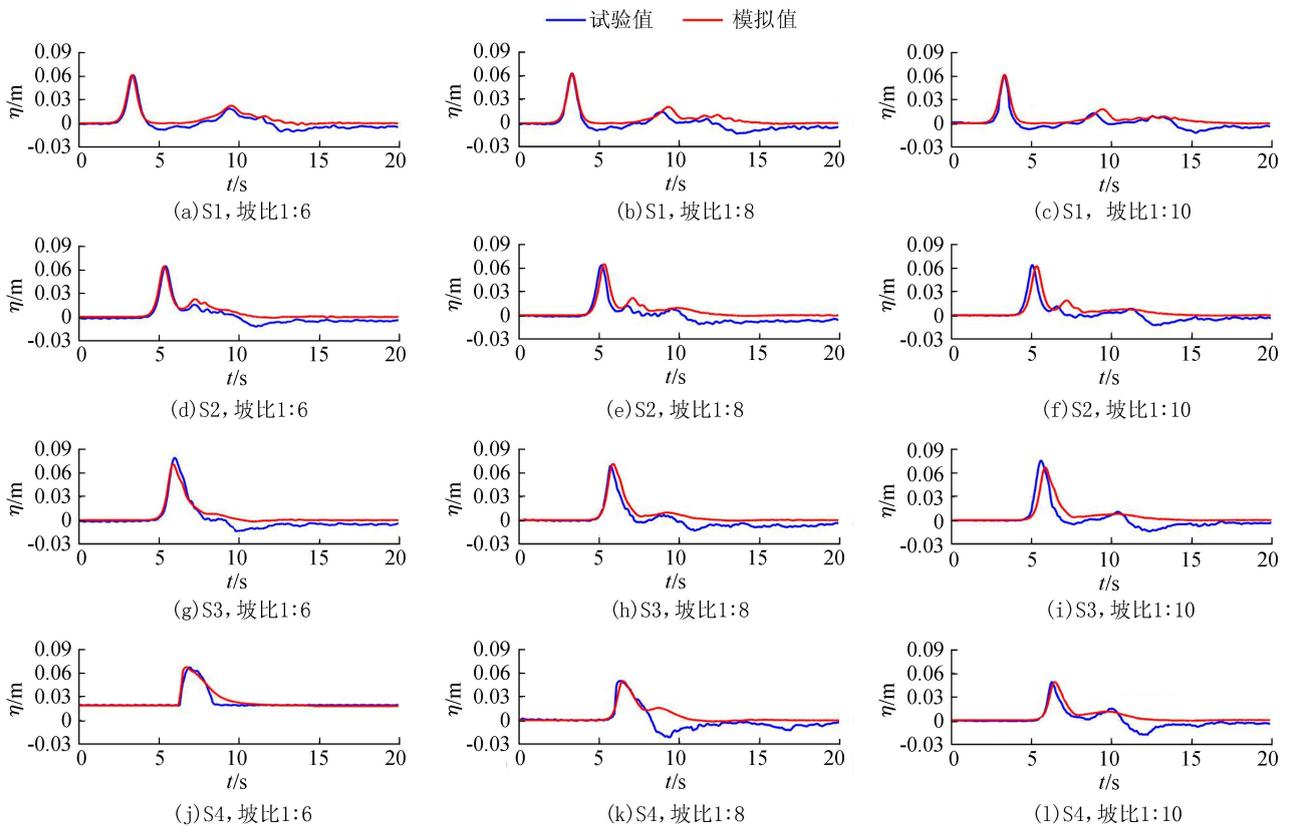


图4 不同测点试验和数值模拟的 η 过程对比

加明显。同时在反射波后面紧接着出现一个明显的水位降低,这是波浪回退的阶段产生了水跃现象造成。当岸滩坡度为 1:6 时,S4 位置岸滩高程位于静水位以上,故透射波传播到此时已接近爬坡的最高点,S4 处除了透射波的主峰外,并无岸滩反射波和回落水跃现象。对于数值模拟而言,所采用的 Boussinesq 模型对于 3 种岸滩坡度的入射波峰的模拟较为准确,仅在反射波的模拟方面略有差异;此外沿水深积分的 Boussinesq 方程无法捕捉到 S4 处的回落水跃存在。

3.3 透射波高的比较分析

图 5 为不同植被密度和岸滩坡度影响下,无量纲透射波高 H_4/H_1 随无量纲入射波高 H_1/h 的变化规律。图 5 表明:对于所有植被排列和岸滩坡度而言, H_4/H_1 随 H_1/h 的增大而减小;对不同密度的植

被排列进行对比发现,当入射波高一定时,透射波高随植被密度的减小而增大,这与表 1 中密度越小阻力系数越小的结论相对应;通过对比不同岸滩坡度发现,当植被排列相同时,岸滩坡度越大,透射波高亦越大,大部分工况的 $H_4/H_1 > 1$,即出现透射波高大于入射波高的情况,这主要是由于坡度较陡时,波浪与斜坡上植被相互作用时过水面积减小导致阻水效应减小,且小于斜坡上由于波浪浅化作用造成的波高变陡。同时,图 5 中所有工况下的实测和模拟的透射波高吻合度均较好。

3.4 岸滩爬高的比较分析

图 6 为不同植被密度和不同岸滩坡度影响下,无量纲岸滩爬高 R/H_1 随 S1 处无量纲入射波高 H_1/h 的变化情况规律。图 6 表明: H_1/h 越小, R/H_1 越大;对比不同密度的植被排列表明,当入射波高和

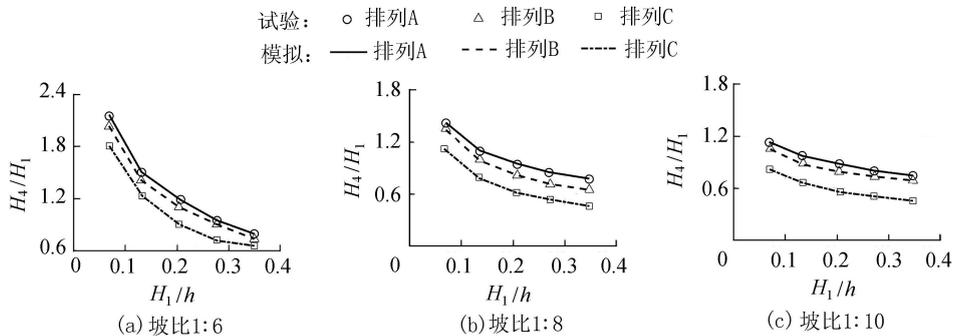


图5 无量纲透射波高 H_4/H_1 随 H_1/h 的变化

试验: ○ 排列A △ 排列B □ 排列C
 模拟: — 排列A - - - 排列B ···· 排列C

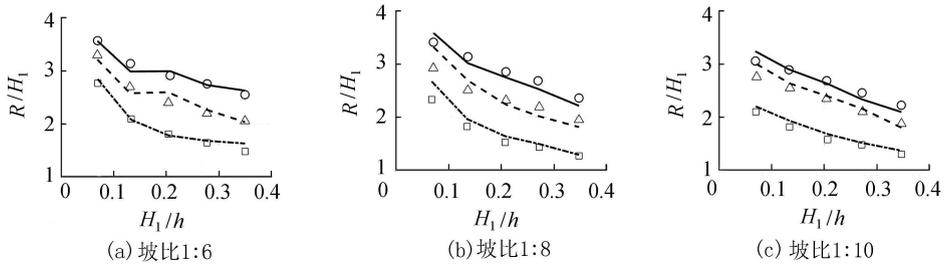


图6 无量纲透射波高 R/H_1 随 H_1/h 的变化

斜坡坡度不变时,岸滩爬高随着植被密度的减小而增大,这与3.3节的结论一致,均是由于植物密度的增大加强了植物的阻水效应造成^[14],这也与表1中拖曳力系数随着植被密度的增大而增大的现象一致。当对比不同岸滩坡度的爬高发现,虽然S4处透射波高在坡度陡时较大(图5),相同的植被排列在相同的入射波作用下的无量纲爬高并无显著差异,这是因为陡坡的存在抑制了透射波在岸滩上的进一步上爬,造成不同岸滩坡度间的爬高值比较接近。总体而言,所采用的数值模型能较好地模拟植被区后岸滩上孤立波的爬高变化规律,对某些工况存在一定的误差,可能是物理模型试验中干湿分界线沿槽宽分布不均造成的测量误差所致。

3.5 关于爬高的进一步讨论

参照Synolakis^[18]提出的预测平直海岸的孤立波爬高关系式,经回归分析得无量纲波浪爬高随无量纲入射波高、植被密度和岸滩坡度3个因素变化的幂函数型经验关系式为

$$\frac{R}{h} = 0.647 \left(\frac{H_1}{h} \right)^{0.748} \varphi^{-0.598} \beta^{0.21} \quad (5)$$

式中: β 为试验中的岸滩坡度。式(5)的拟合情况如图7所示,拟合精度为 $r^2 = 0.98$,表明式(5)可以较好地预测不同坡度的岸滩斜坡上的孤立波爬高。

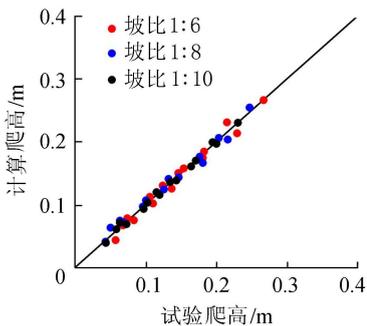


图7 实测与式(5)计算的岸滩爬高对比

对式(5)进行了显著性检验以及对3个自变量进行了 F 检验,显著性分析及自变量的 F 值的检验结果如表2所示。通过3个影响因子对相对爬高的

显著性检验分析得到3个自变量的显著性值均小于0.05,因此它们对爬高均存在显著影响。

表2 自变量的显著性检验(置信水平为0.005)

自变量	显著性	F 值
H_1/h	0.000	413.882
φ	0.000	230.739
β	0.000	12.748

4 结论

a. 无量纲透射波高和无量纲岸滩爬高随着无量纲入射波高的增大而减小,同时它们也随着植被密度的增大而减小;当岸滩坡度增大时,无量纲透射波高增大而无量纲的爬高却无显著差异。

b. 通过添加拖曳力项改进了的Bounssinesq方程能较好地模拟孤立波与不同坡度上的非淹没刚性植被的相互作用;由数值模型所得拖曳力系数随植被密度的增大而增大,随坡度增大而减小。

c. 根据回归分析得出了岸滩爬高与相对入射波高、植被密度和岸滩坡度的幂函数型经验关系式,实测数据的相关分析与显著性检验均显示该关系式具有较高的精确度。

参考文献:

- [1] DANIELSEN F, SØRENSEN M K, OLWIG M F, et al. The Asian tsunami: a protective role for coastal vegetation [J]. Science, 2005, 310: 643.
- [2] VERMAAT J E, THAMPANYA U. Mangroves mitigate tsunami damage: a further response [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2006, 69(1/2): 1-3.
- [3] LIN P. A numerical study of solitary wave interaction with rectangular obstacles [J]. Coastal Engineering, 2004, 51(1): 35-51.
- [4] HUANG Z, YAO Y, SIM S Y, et al. Interaction of solitary waves with emergent, rigid vegetation [J]. Ocean Engineering, 2011, 38(10): 1080-1088.
- [5] IIMURA K, TANAKA N. Numerical simulation estimating effects of tree density distribution in coastal forest on tsunami mitigation [J]. Ocean Engineering, 2012, 54(4): 223-232.

- [6] 蒋昌波,王瑞雪,陈杰,等.非淹没刚性植物对孤立波传播变形影响实验[J].长沙理工大学学报(自然科学版),2012,9(2):50-56. (JIANG Changbo, WANG Ruixue, CHEN Jie, et al. Laboratory investigation on solitary wave transformation through the emergent rigid vegetation[J]. Journal of Changsha University of Science & Technology (Natural Science),2012,9(2):50-56. (in Chinese))
- [7] STRUSIŃSKA-CORREIA A, HUSRIN S, OUMERACI H. Tsunami damping by mangrove forest: a laboratory study using parameterized trees[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences,2013,13(2):483-503.
- [8] 何飞,陈杰,蒋昌波,等.植物带影响下孤立波沿程波高衰减特性试验[J].水利水电科技进展,2018,38(1):75-82. (HE Fei, CHEN Jie, JIANG Changbo, et al. Experimental study on characteristics of solitary wave height attenuation under effects of a vegetation belt[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2018,38(1):75-82. (in Chinese))
- [9] IRTEM E, GEDIK N, KABDASLI M S, et al. Coastal forest effects on tsunami run-up heights[J]. Ocean Engineering, 2009,36(3/4):313-320.
- [10] YAO Y, DU R, JIANG C, et al. Experimental study of reduction of solitary wave run-up by emergent rigid vegetation on a beach[J]. Journal of Earthquake and Tsunami,2015,9(5):1-17.
- [11] 闫静,陈扬,戴坤,等.含淹没植物明渠近床面区紊流特征高度试验研究[J].水利水电科技进展,2016,36(5):28-33. (YAN Jing, CHEN Yang, DAI Kun, et al. Experimental study on turbulence characteristic height near bed area in open channel flow with submerged vegetation[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2016,36(5):28-33. (in Chinese))
- [12] TANG J, CAUSON D, MINGHAM C, et al. Numerical study of vegetation damping effects on solitary wave run-up using the nonlinear shallow water equations[J]. Coastal Engineering,2013,75(5):21-28.
- [13] MAZA M, LARA J L, LOSADA I J. A coupled model of submerged vegetation under oscillatory flow using Navier-Stokes equations[J]. Coastal Engineering,2013,80:16-34.
- [14] 姚宇,杜睿超,袁万成,等.斜坡非淹没刚性植被影响下孤立波爬高的研究[J].水动力学研究与进展: A 辑,2015,30(5):506-515. (YAO Yu, DU Ruichao, YUAN Wancheng, et al. Investigation of solitary wave run up on a slope under the effect of emergent, rigid vegetation[J]. Chinese Journal of Hydrodynamics, 2015, 30(5):506-515. (in Chinese))
- [15] LYNETT P J, WU T R, LIU L F. Modeling wave runup with depth-integrated equations[J]. Coastal Engineering, 2002,46(2):89-107.
- [16] KENNEDY A B, CHEN Q, KIRBY J T, et al. Boussinesq modeling of wave transformation, breaking, and runup. I: 1D[J]. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering,2000,126(1):39-47.
- [17] LYNETT P J, LIU P L F, SITANGGANG K I, et al. Modeling wave generation, evolution, and interaction with depthintegrated, dispersive wave equations COULWAVE code manual[R]. Ithaca: Cornell University,2002.
- [18] SYNOLAKIS C E. The runup of solitary waves[J]. Journal of Fluid Mechanics,1987,185:523-545.

(收稿日期:2018-03-18 编辑:郑孝宇)

(上接第15页)

- [12] ULGIATI S H T, ODUM E C. The prosperous way down [J]. Ecological Modeling,2004,178(1/2):247-250.
- [13] 蓝盛芳,钦佩,陆宏芳.生态经济系统能值分析[M].北京:化学工业出版社,2002.
- [14] FAN J L, MCCONKEY B G, JANZEN H H, et al. Emergy and energy analysis as an integrative indicator of sustainability: a case study in semi-arid Canadian farmlands[J]. Journal of Cleaner Production,2018,172:428-437.
- [15] HEANEY J P. History of the department of environmental engineering sciences, University of Florida [J]. Environmental and Water Resources (Milestones in Engineering History),2007,251(4):29-35.
- [16] 吴瑾.基于能值生态足迹的江苏省可持续发展分析[J].统计与决策,2017,24:104-106. (WU Jin. Analysis of sustainable development in Jiangsu based on emergy ecological footprint[J]. Statistics & Decision,2017,24:104-106. (in Chinese))
- [17] 王鹏,刘小鹏,姚晓艳,等.基于能值分析的宁夏生态经济系统可持续发展评价[J].生态经济,2018,34(1):70-73. (WANG Peng, LIU Xiaopeng, YAO Xiaoyan, et al. Evaluation of sustainable development of Ningxia ecological economic system based on emergy analysis[J]. Ecological Economy,2018,34(1):70-73. (in Chinese))
- [18] 曹景迎.平原水库供水效益与可持续发展对策研究[J].水利经济,2007,25(1):54-56. (CAO Jingying. Study on water supply benefit and sustainable development countermeasures of plain reservoir [J]. Journal of Economics of Water Resources,2007,25(1):54-56. (in Chinese))
- [19] 席宏正,康文星.洞庭湖湿地资源能值-货币价值评价与分析[J].水利经济,2008,26(6):37-40. (XI Hongzheng, KANG Wenxing. Evaluation and analysis of emergy monetary value of wetland resources in Dongting Lake[J]. Journal of Economics of Water Resources,2008,26(6):37-40. (in Chinese))
- [20] 郭溪,吴泽宁,王慧亮.区域农业生产系统用水正负效益分析及能值评估[J].水利水电科技进展,2016,36(4):1-5. (GUO Xi, WU Zening, WANG Huiliang. Emergy evaluation of positive and negative effects of water utilization in regional agricultural production system[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2016,36(4):1-5. (in Chinese))

(收稿日期:2018-06-30 编辑:骆超)