

〔日〕井口正男 著

漂沙与流沙的水力学

海洋出版社

漂沙与流沙的水力学

[日] 井口正男 著
张 忍 顺 译
苏 世 荣 校

海 洋 出 版 社

1991年·北京

内 容 提 要

本书从流体力学和模型实验的角度,较全面地论述了流沙和漂沙问题。全书共分三部分:基础篇、本论和参考篇。在基础篇中,主要讲述了水体的流动和波动现象以及碎屑物的性质;在本论中,论述了流沙和漂沙现象的基本理论;在书末参考篇中,则深入浅出地介绍了一些较深奥的有关内容。

本书是一本在泥沙运动的科学研究和实际应用方面较有实用价值的参考书。除可供专门从事泥沙运动研究的科技人员参考外,还可作为从事与之有关的专业——地貌学、地质学、海洋学、海洋工程、沉积学以及航运等部门的科技人员和有关院校师生的重要参考书。

责任编辑 盖广生

责任校对 刘兴昌

漂沙与流沙的水力学

[日] 井口正男 著
张 忍 顺 译
苏 世 荣 校

*

海洋出版社出版(北京市复兴门外大街1号)

新华书店北京发行所发行 昌平建华印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/32 印张: 10 字数: 180千字 插页: 3

1991年6月第一版 1991年6月第一次印刷

印数: 1—1000

•

ISBN 7-5027-0093-5/P·10 定价: 6.40元

序

前几年，访问冲绳的小孤岛，接触到日常用水不自由的情况时，忽然想起十多年以前的一条新闻报道。这篇报道说的是，南洋某小岛的一个村长结束了在日本几周的考察，归国前夕，记者们问他：“打算从日本进口什么？”他即席回答：“水龙头。”只要一拧水龙头，便可以得到想要的清洁用水，这看起来是何等便利。这虽是出乎我们想象的事，但这位村长没有理解到在水龙头之后，还要有必要的设备这一点，这也并不是没有道理的。

如果把漂沙与流沙现象比喻为水道的龙头，本书的意图，不仅是水龙头，而且还要追溯到与水龙头相通的后方设备。不言而喻，后方设备是复杂、错综而庞大的，然而，本书的第一部分只不过试图追溯它的一个管道，第二部分是相当于水龙头部分，第三部分可以说是从中途分叉的配管里取出的一部分。

在执笔时，我想让初学者将来学起来方便，尽可能叙述得使读者容易理解，故文章显得重复冗长而不厌其烦，这是因为这种方式对于初学者则是亲切的。在引用参考文献时，出于同样的宗旨，只引用那些关系最密切的。因此作者相信，本书将作为今后开始学习专业的大学生的入门书，或者在这方面缺乏素养，有时在现场不能直接看到这种现象的技术人员的基础参考书而被选用。然而也许由于我的误解和理解得不充分，而造成中断，或者有遗漏之处，如蒙批评指

正，则深感庆幸。

从学生时代起，在研究方面常常得到谷津荣寿教授（在加拿大）的启发，迟迟未能执笔的我曾蒙町井田贞教授的鼓励，并给予有益的指教，对他们深表谢意，此外，在本书执笔过程中，对于已达古稀之年的老师石川与吉先生多年来的指导表示敬意，对参加室内计算和参加十分困难的现场调查的各位先生、及时提供珍贵资料的各位先生以及在出版时给予帮助的古今书院桥本社长表示谢意。

井口正男

昭和五十年（1975年）四月

通用符号表

C : 波速 (相速)

C_D : 阻力系数

C_G : 群速

C_0 : 深水波速

H : 波高

H_0 : 深水波高

L : 波长和扬力

L_0 : 深水波长

R_s : 雷诺数

S : 水道坡度或能坡

T : 波周期或碎屑物层移动的
切应力

V : 碎屑物颗粒的沉降速度

a : 正弦波的振幅

a_0 : 振动流的振幅

d : 圆管和球的直径, 或碎屑
、物颗粒的粒径

g : 重力加速度

h : 水深

h_d : 水力半径

$K=2\pi/L$: 波数

K_s : 糙率 (长度)

m : 悬沙量

p : 压力或重量频率

p_d : 静压力

p_h : 静水压

r : 圆管或球的半径

u : x 方向或主流向的流速

u_m : 断面平均流速

u_0 : 单向流的均匀流速或振动
流的速度振幅

$u_*=\sqrt{\tau_0/\rho_f}$: 切应(摩擦)流速

u_{*c} : 临界切应(摩擦)流速

v : y 方向的流速

y_0 : 粗糙高度

ϕ : ϕ 尺度的表示符号

α_1 : 安息角

α_2 : 动摩擦角

γ 或 $\gamma_f=\rho_f g$: 流体的单位重量

$\gamma_s=\rho_s g$: 碎屑物比重

δ : 边界层厚度

ε 或 ε_m : 动量输送(扩散)系数

ε_s : 悬沙的扩散系数

η : 水面的位移量

η_p : 充填系数

k : 卡门常数

u : 粘滞系数

$\nu = \mu / \rho$: 动粘滞系数

ρ 或 ρ_f : 流体密度

ρ_s : 碎屑物颗粒的密度

$\sigma = 2\pi / T$: 圆频率

σ_0 : 标准偏差

τ : 切应力

τ_0 : 底面切应力或拖曳力

τ_c : 临界拖曳力

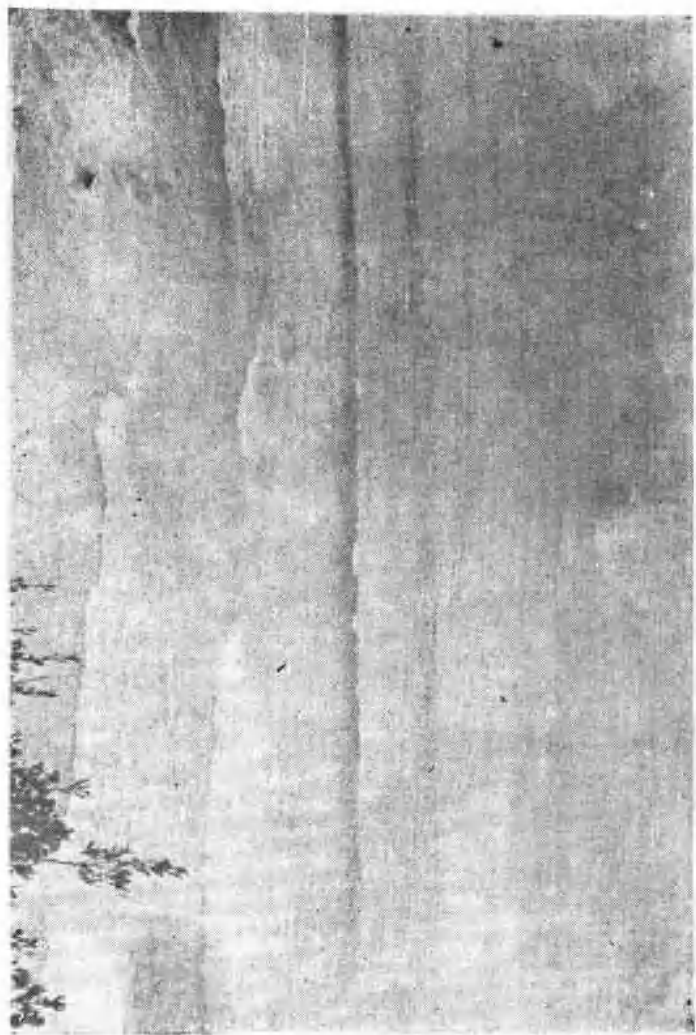
φ : 速度势

ψ : 单向水流的流动强度, 式
(5.40')

ψ_1 : 振荡水流的流动强度, 式
(6.20)

$\omega = \tau_0 u_m$ 水流功率 (stream
power) 式 (5.77)

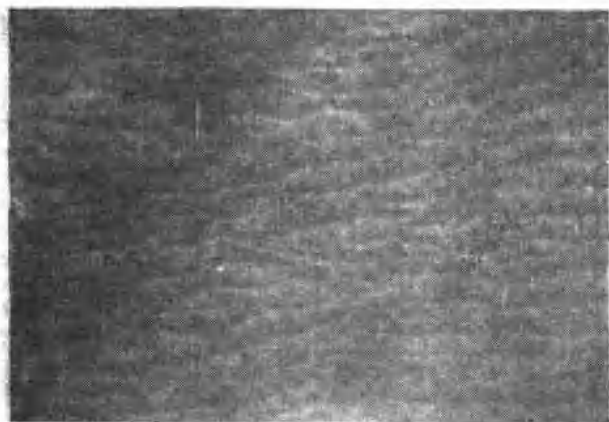
照片 I 接近砂质海滨的波浪



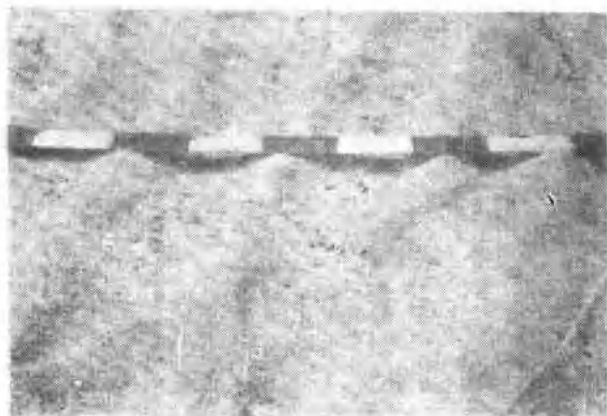
照片Ⅲ 浅水底上平行型沙涟

(水深约6米)

(摄影: 矶部一洋)



A 密布在海底上的情形



B 平行型沙涟的尺度

照片 I 床面 形态

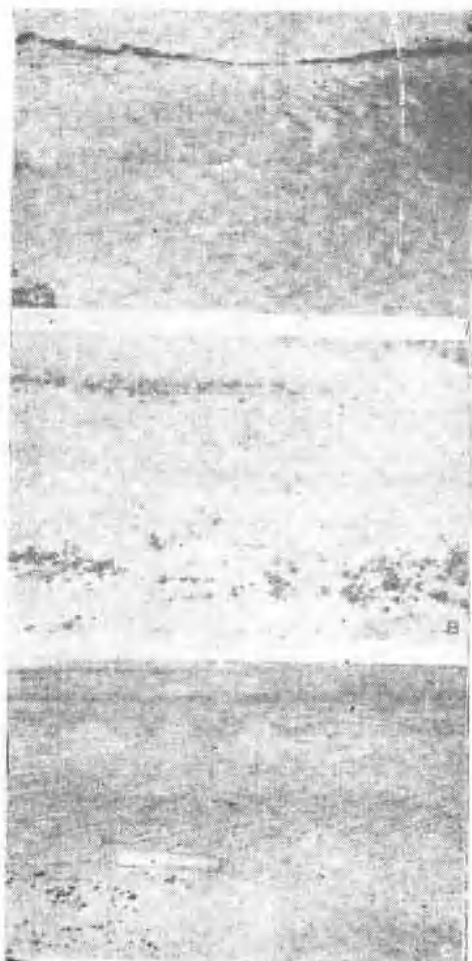
(单向水流)

A 沙涟

B 平滑型

C 拍摄的

是水面的驻波
(standing
wave) (照片
中央稍上部)。
这种水波对应着
水底的逆沙丘。
标尺长20厘米，
一格为10厘米。
水流均由左向右





照片Ⅳ 斜行
型沙涟

(水深3米)

(摄影: 佐佐木
巽)

照片Ⅴ 砂从
海底上卷
起

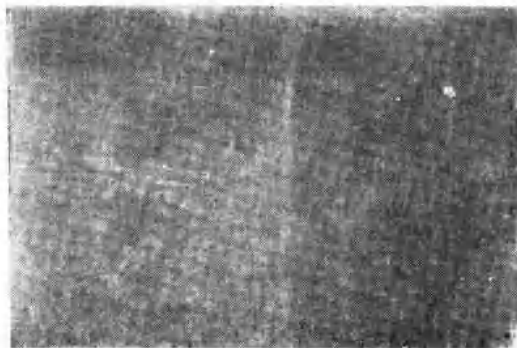
(摄影: 佐
佐木巽) 床面是
斜行型沙涟, 地
点与照片Ⅳ同



照片Ⅵ 浅水底上的莫尔摄影

(水深约17米)(摄影:松本荣次)

注:照片Ⅲ、Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ均为伊豆下田附近的多多户海岸



目 录

第一部分 基础篇

第一章 水的流动	1
1. 流体的运动	1
2. 粘性	2
3. 连续方程式	4
4. 运动方程式	9
5. 能量方程式	12
6. 无旋水流	16
7. 环流	19
8. 速度势及关于非定常流的能量方程式	21
9. 层流与紊流	24
10. 雷诺应力	26
11. 边界层	29
12. 阻力	32
13. 流速分布	35
第二章 水的波动	45
2-1 海浪	45
14. 风浪和涌浪	45
15. 代表性波	46
2-2 理论波	48
16. 各种波浪理论	48
17. 小振幅波	49
2-3 浅水波	64

18. 近岸波	64
19. 波浪按相对水深的分类	65
20. 波浪随着水深减小的变形	67
21. 孤立波	74
第三章 碎屑物	81
22. 粒径的划分与名称	81
23. 粒径分布的图解表示法	86
24. 粒径分布的统计特征	98
25. 正态分布	114

第二部分 本 论

第四章 碎屑颗粒的沉降	129
26. 沉速公式	129
27. 阻力系数(阻抗系数)	131
28. 沉速的计算	138
第五章 流沙	141
5-1 推移与床面形态	141
29. 1/6次方法则	141
30. 拖曳力公式	143
31. 临界拖曳力的实验研究	145
32. 拖曳力的无量纲表示法	149
33. 紊流系数的导入	154
34. 临界拖曳力公式的图示	159
35. 与上举力有关的推移	161
36. 吉尔伯特实验	171
37. 推移	173
38. 沙床形态	174
39. 床面形态形成的条件	177
40. 床面形态的形成域的分區	179

5-2 悬移	185
41. 扩散现象	185
42. 悬移理论	187
43. 有关悬沙量分布的实验	192
44. 河流中的悬沙量分布	195
5-3 流沙量	203
45. 流沙阶段	203
46. 高流沙阶中碎屑颗粒的推移	204
47. 推移碎屑物层的动摩擦系数 $\tan \alpha_s$	206
48. 碎屑物颗粒悬移界限	210
49. 流沙量公式	213
50. 流沙量公式的应用	215
第六章 漂沙	227
6-1 近底层海水的运动	227
51. 海底上海水的波动	227
52. 沿振动平面的层流边界层	229
53. 边界面的糙度及边界层的性质	230
6-2 砂的起动	236
54. 初期运动和全面运动	236
55. 层流边界层中砂的起动	236
56. 紊流边界层中砂的起动	239
57. 海底砂在波浪作用下移动的临界水深	241
6-3 水波形成的沙涟	245
58. 沙涟的产生和消灭	245
59. 沙涟的波长	250
60. 浅海底所能看到的沙涟类型	255
6-4 波浪造成的砂的悬浮	261
61. 沿沙涟床面的水运动	261
62. 悬沙扩散理论	263

63. 悬沙浓度分布	264
------------------	-----

第三部分 参 考 篇

64. 卡门常数	273
65. 达西-威斯巴赫公式	275
66. 谢才流速公式	276
67. 小振幅波的速度势	278
68. 群速与相速的关系推导	281
69. 求波浪动能的计算	282
70. 波能传播速度的计算	284
71. 求浅水波波高的计算	285
72. 世界各国标准筛筛目表	286
73. ϕ 和毫米的换算	288
74. 斯托克斯阻力定律	288
75. 二维非定常粘性流的奈维-斯托克斯方程的解	293
76. 振荡流形成的沙链消失阶段向高流沙阶 (单向水流) 的类推	294
77. 在沙链类型临界点上 ϕ' 值的算例	296
78. 扩散系数的计算	300
79. 碎屑物的安息角	304

第一部分 基础篇

第一章 水的流动

1. 流体的运动¹⁾

可以用流速直接表示水的流动情况。若能显示出流动着的水体内的各部分的流速，则水的流动情况更为清楚。若能表示出流速的时间变化情况，就能更精确地了解水的流动情况。若能知道流速，则可从它和水流断面积来求得流量。由于这种把握水流运动情况的方法，可以说是没有超出运动学的范围，所以在这种场合下，没有必要了解造成其运动的原因究竟如何。

为了要了解作用于水的力及其与所产生的水运动之间的关系，即要从动力学的角度来了解水的运动，则不得不涉及到运动第二定律：作用于物体上的力等于该物体的质量与加速度的乘积。对于以速度 q 移动的水体的单位质量 ρ 来说，这一关系可以写成如下形式：

$$F = \rho \frac{dq}{dt} \quad (1.1)$$

在作用于水体各部分的力 F 中，如下面讲到的，有压力、质量力以及基于水的粘性产生的力等。受压力和质量力作用而流动的水体，实际上不能达到非常大的流速，这是因为在水体内部和界面之间，由于粘性而产生的力作为水运动的阻力在起作用。