

①5/64-65

淤泥 波浪 运动 悬移质 性质

波浪作用下的淤泥运动性质

郑金海 编译

TV 142

(河海大学海洋及海岸工程研究所 南京 210098)

研究表明,当波浪在软淤泥上行进时,产生了水层与泥层间的内波,风暴条件下水层和泥层的交界面形成高含水量的浮泥层。内波使淤泥层中产生了质量运输,它和水层中的悬移质输运被认为是海岸带淤泥输运的主要机理。后者在分析海岸环境问题及考虑建筑物对环境的影响时是重要的,而前者在许多情况下所占比重更大些,因而更重要。

Shibayama 等在第 22 届海岸工程国际会议上对波浪作用下淤泥运动性质问题提交了自己的研究成果^[1]。波浪作用下淤泥输运模式的图解(见图 1)表明,淤泥运动性质或淤泥输运率受淤泥属性和波浪条件控制。

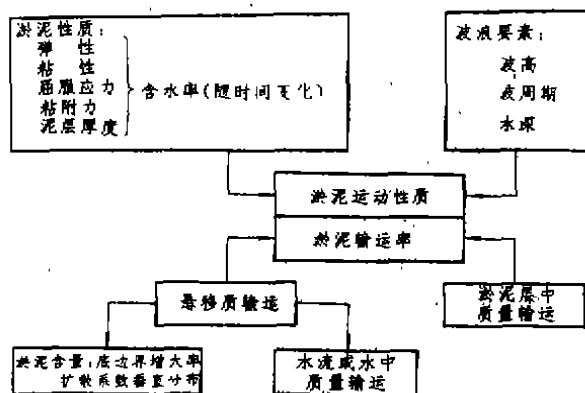


图 1 淤泥输运率计算图解

首先考察淤泥属性,Otsubo 等根据淤泥的沉降特性,流动曲线(应力-应变曲线)和单向流作用下重起动形态等把淤泥分为两类。第一类是用含 Al^{3+} , Ca^{2+} , H^{+} 等离子的高岭土表示;第二类是用含 Na^{+} -蒙脱石的膨润土表示。当颗粒下沉并在流动曲线上达到屈服值时,第一类淤泥在水层和泥层间形成显著

中界面,而第二类淤泥则不形成中界面且无屈服值。Shibayama 等认为第一类淤泥中需考虑悬移质及泥层中的质量输运,第二类淤泥中仅需考虑悬移质输运;同时,在考虑海岸带淤泥的运动性质时只需考虑第一类淤泥,因为海水中的盐分可提供足够的离子,使大部分淤泥属性为第一类。

由淤泥输运率计算图解可知,为了计算输运率,需要计算淤泥中的质量输运和水层中的悬移质输运。悬移质输运可以根据淤泥含量分布及水流和水中质量输运的情况来计算。下面主要介绍 Shibayama 等人关于淤泥层中的质量输运的研究成果。

Shibayama 等人认为,自从 Nagai 等进行波浪槽实验获得一些定性描述以来,许多学者在估算淤泥层中的淤泥质量输运方面进行许多尝试。如 Dalrymple 和 Liu 推导出把水和淤泥模拟为粘性流体的“完全模型”,Metha 和 Maa 假设淤泥具有粘弹性流体性质的“多层模型”,以及 Shibayama 等基于“把浮泥层看作粘弹性流体,如果泥层中最大应力大于屈服应力,则把泥层看作粘塑性流体”而提出的“粘性-弹性-塑性模型”。

上述模型建立的理论公式、控制方程为忽略非线性项的 N-S 方程,即

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p_j}{\partial x} + \nu_{ij} \left(\frac{\partial^2 u_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u_i}{\partial z^2} \right) \quad (\text{水平方向}) \quad (1)$$

$$\frac{\partial w_j}{\partial t} = -\frac{1}{\rho_j} \frac{\partial p_j}{\partial z} + \nu_{ij} \left(\frac{\partial^2 w_j}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w_j}{\partial z^2} \right) \quad (\text{垂直方向}) \quad (2)$$

以及连续方程

$$\frac{\partial u_j}{\partial x} + \frac{\partial w_j}{\partial z} = 0 \quad (3)$$

Mcpherson 认为淤泥层中的 v_{ej} 是复函数, 即

$$v_{ej} = v_j + i \frac{G_j}{\rho_j \sigma} \quad (4)$$

式中 G_j 是弹性模量; ρ_j 是密度; σ 是圆频率; 实部是粘性影响, 虚部是弹性影响。

在“粘性-弹性-塑性模型”中, 先计算淤泥层中的最大切应力, 若它大于淤泥屈服值, 则假定该层(多层中的淤泥层)为粘塑性层, 在该层内设定弹模 G 为 0, 以固定的屈服应力值代替。在实际计算中, 为了得到粘塑性假定中的动量守恒方程[式(1), (2)]的屈服应力, 用假定的弹模值 G_y , 其表达式为

$$G_y = \frac{\tau_{yx} \sigma}{(\frac{\partial u_j}{\partial x} + \frac{\partial w_j}{\partial z})i} \quad (5)$$

式中 τ_{yx} 为淤泥屈服应力, 即粘弹性和粘塑性模型的边界值。

结合边界条件:

水面 ($Z = \eta_1 + h_1$)

$$\frac{\partial \eta_1}{\partial x} = w_1 \quad (6)$$

$$p_1 - 2\rho_1 v_1 \frac{\partial w_1}{\partial z} = 0 \quad (7)$$

$$\rho_1 v_1 (\frac{\partial u_1}{\partial x} + \frac{\partial w_1}{\partial z}) = 0 \quad (8)$$

界面 ($z = -\sum_{i=2}^j h_i, z = 0$)

$$\frac{\partial \eta_{j+1}}{\partial x} = w_j \quad (9)$$

$$u_j = u_{j+1} \quad (10)$$

$$w_j = w_{j+1} \quad (11)$$

$$p_j - 2\rho_j v_{ej} \frac{\partial w_j}{\partial z} - \rho_j g \eta_j = p_{j+1}$$

$$- 2\rho_{j+1} v_{e(j+1)} \frac{\partial w_{j+1}}{\partial z} - \rho_{j+1} g \eta_{j+1} \quad (12)$$

$$\rho_j v_{ej} (\frac{\partial u_j}{\partial x} + \frac{\partial w_j}{\partial z})$$

$$= \rho_{j+1} v_{e(j+1)} (\frac{\partial u_{j+1}}{\partial x} + \frac{\partial w_{j+1}}{\partial z}) \quad (13)$$

底部 ($z = -\sum_{i=1}^n h_i$)

$$u_n = 0 \quad (14)$$

$$w_n = 0 \quad (15)$$

那么可以得到瞬态方程组, 通过计算机可以求得未知函数的数值解。

运用上述方法, 可以计算水层和淤泥层中的速度场, 则质量输运的拉格朗日分量为

$$u_L = \frac{\partial u}{\partial x} \int_0^t u dt + \frac{\partial u}{\partial z} \int_0^t w dt \quad (16)$$

而从动量守恒方程中得到的欧拉分量为

$$\overline{(uw)}_j - \overline{(uw)}_\infty = v_j \frac{dU_{Ej}}{dz} \quad (17)$$

式中 $\overline{\quad}$ 上横线表示一个波周期内的时间平均, ∞ 是指边界层外缘位置。拉格朗日分量和欧拉分量之和为总的质量输运速度。

Shibayama 等在波浪槽中进行实验研究, 在淤泥层中加入许多示踪物, 根据示踪物的运动可定量获得质量输运。根据研究成果, “粘性-弹性-塑性模型”与实验结果较为吻合(见图 2), 由此可以得到这样的结论: 基于粘弹性或粘塑性假定的数值模型对于预报波浪作用下的淤泥输运是有用的。

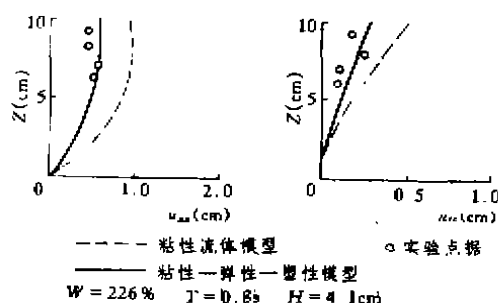


图 2 淤泥质点漂移距离对比示意图

参考文献

- 1 Tomoya Shibayama et al. Mud transport rate in mud layer due to wave action. In: Proc. of 22nd Coastal Eng. Int., 1990. 3037~3049

(收稿日期: 1995-05-26)