

II-282

蒸発、拡散を伴う相似性に関する研究

東洋大学大学院 学生会員 原 康晃
 東洋大学工学部 フェロー 荻原 国宏
 東洋大学工学部 正会員 田中 修三

1. はじめに

水理現象を解明する手法のひとつとして、模型実験を用いることは一般的であり、また、頻度も非常に高い。この際、実験によって得られた結果を原型に対しても適用し得るかどうかについては、模型と原型における相似性に着目する必要がある。開水路のように重力が卓越している現象においては、フルード相似則を適用するのが一般的であるが、空気が混入された流れや、蒸発拡散を伴う現象のように、主たる現象以外の2次的な現象が発生している状態では、同様にフルード相似則が成立しているとは限らず、この2次的な現象についての相似性も考慮する必要がある。

本研究ではインドネシア (Indonesia) のスラバヤ市 (Surabaya) 東部に位置する、潮汐運動をもつラモン川 (Kali Lamong) に結合している塩田を対象とした模型実験を行い、蒸発、拡散を伴う水理現象の相似性について考察した。

2. 基礎理論

基礎方程式は以下の3式である。

$$\frac{\partial c}{\partial t} + u \frac{\partial c}{\partial x} = K \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \quad (1)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} = q_e \quad (2)$$

$$\frac{\partial(hc)}{\partial t} + \frac{\partial(hcu)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

ここで、 c は塩分濃度、 K は拡散係数、 h は水深、 q_e は蒸発量であり、式(1)は単位体積あたりの拡散方程式、式(2)は蒸発を考慮した連続の式、式(3)は塩分濃度の連続の式である。

各パラメータについて、模型と原型における縮尺比を、

$$\begin{aligned} C_s &= c_p / c_m, \quad T_s = t_p / t_m, \quad L_{hs} = x_p / x_m \\ L_{ys} &= h_p / h_m, \quad U_s = u_p / u_m, \quad K_s = K_p / K_m \\ Q_{es} &= q_{ep} / q_{em} \end{aligned} \quad (4)$$

と表すと、式(1)、(2)、(3)より、

$$\frac{C_s}{T_s} = \frac{U_s C_s}{L_{xs}} = \frac{K_s C_s}{L_{xs}^2} \quad (5)$$

$$\frac{L_{ys}}{T_s} = \frac{L_{ys} U_s}{L_{xs}} = Q_{es} \quad (6)$$

$$\frac{L_{ys} C_s}{T_s} = \frac{L_{ys} C_s U_s}{L_{xs}} \quad (7)$$

となり、上記の3式より以下の式が求められる。

$$\frac{L_{xs}}{T_s} = U_s, \quad \frac{L_{xs}^2}{T_s} = K_s, \quad \frac{L_{ys}}{T_s} = Q_{es} \quad (8)$$

これらより、流速、拡散係数、蒸発量それぞれの縮尺によって時間縮尺が決定されている。そこで、塩田内における状態の流れが主現象である *stage1*、蒸発が主現象である *stage2*、拡散が主現象である *stage3* に分けて考慮することにする。

*stage1*では、堰、ゲートからの水の流入が発生しており、これは重力の作用下にあるため、*Froude* の相似則を適用でき、時間縮尺は以下となる。

$$T_s = \sqrt{L_{xs}} = \sqrt{n_s} \quad (9)$$

*stage2*では蒸発が主現象となっており、蒸発の割合は模型と原型において等しいとすると、時間縮尺は

$$T_s = L_{ys} = n_y \quad (10)$$

となる。*stage3*は拡散が主現象であり、拡散係数は模型と原型で同程度であるから、時間縮尺は

$$T_s = L_{xs}^2 = n_x^2 \quad (11)$$

と表される。

3. 模型実験

実験に用いた水路の概要図を Fig-1 に示した。模型はアクリル製矩形断面水路で、全長 8.0m、幅 25cm とし勾配はない。また、初期水深は 2cm とした。これは、現地における全長 80m、水深 0.4m の塩田を想定している。これより奥行きを x 、水深方向 y とすると、縮尺はそれぞれ、

Key Words : 相似性, 模型実験, 蒸発, 拡散, 塩分濃度

連絡先 : 〒350-0815 埼玉県川越市鯉井 2100 東洋大学工学部 TEL 0492-39-1301

$$n_x = 10, \quad n_y = 20 \quad (12)$$

となり、現地において *stage1* を 4 時間、*stage2* を 10 時間、*stage3* を 10 時間で 1 サイクルとすると、模型における時間間隔は *stage1* で、式(9)より

$$t_m = 4/\sqrt{20} = 54 \text{ min} \quad (13)$$

stage2 では、式(10)より

$$t_m = 10/10 = 60 \text{ min} \quad (14)$$

stage3 では、式(11)より

$$t_m = 10/20^2 = 6 \text{ min} \quad (15)$$

となる。

池への塩水の流入には小型ポンプを用いた。また現地における漏水を再現するための流出用のポンプも同様に設置した。実験条件については Table-1 に示した。塩田内の初期塩分濃度はおよそ 2.5% とした。 *stage1* では毎分 13cc で 2.0% 塩水を 54 分間供給する。 *stage2* では塩水の供給を止め、毎分 8cc の割合で排水しつつ、60 分間蒸発させた。この際、蒸発のための熱源として、水路上に均等に設置した 100W 電球を 20 個点灯させた。 *stage3* では電球を消灯し、排水を 6 分間継続させた。実験は水路内の塩分濃度を測定し、 *stage1*~*3* を繰り返し 6480 分までおこなった。これは現地における 54 時間に相当する。

4. 実験結果

結果を Fig-2,3 に示した。 Fig-2 は各測定点における塩分濃度の時間変化を示している。ほぼ 400cm を境に塩水の流入口側では、時間経過による塩分濃度の増減がはっきりと現れず、それ以降では時間とともに増加する傾向が見られた。

Fig-3 は各時間ごとの塩分濃度と位置との関係を示している。現地観測でも見られた塩田の奥にいくにつれての塩分濃度の増加が確認された。

しかしながら、測定点によっては濃度分布が一様でない点が見られる。これは、熱源の設定に伴う蒸発量の関係とみられる。

5. おわりに

蒸発、拡散を伴う塩田内の現象についての、模型実験における相似性について研究を行った。実験における蒸発量等についてさらに検討を重ね、2 次的な現象を含んだ相似性について考察を進めていきたい。

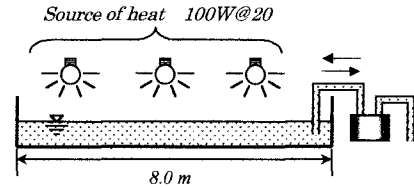


Fig-1 Apparatus of channel

Table-1 Condition of model test

	stage1	stage2	stage3
discharge	13cc/min (supply)	8cc/min (drain)	
Time interval	54min	60min	6min
Source of heat	off	on	off

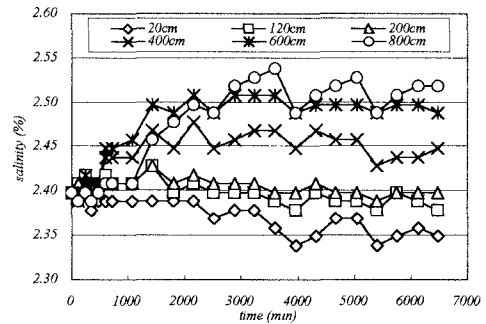


Fig-2 The relation of salinity and time

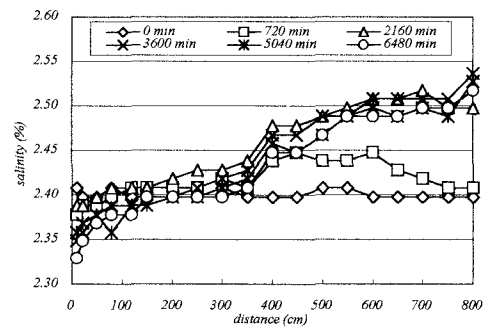


Fig-3 The relation of salinity and distance