

河川 感潮部に 있어서 鹽分の 長期變動에 관한 研究

金 元 圭

日本 九州大學 工學部 招請研究員
(1993년 8월 24일 접수)

Study on the long-term change of Chlorides in the tidal area of river

Won-Kyu Kim

Invited researcher, Faculty of Engineering Kyushu University, JAPAN
(Manuscript received 24 August 1993)

Abstract

Generally, it is difficult to predict water quality in a tidal river, because tidal flows make the transport phenomena more complicated.

The purpose of this study is to clarify long-term mass transport in a tidal river through suggestion of simulation model. A simulation model based on a Lagrangian coordinate system, which has the advantage reducing numerical dispersion, was used to calculate changes in concentration of chlorides. Several field surveys were conducted to verify calculated results. Concludingly, long-term behavior of mass transport in a tidal river can be represented using the model.

Key Words : tidal river, mass transport, Lagrangian coordinate, chlorides

1. 序 論

河口部와 河川 感潮部に 있어서 水質惡化는 주변주민의 생활환경유지와 水資源 이용등에 큰 영향을 미치고 있어 水質環境管理의 측면으로 보아 이곳에서의 水質 豫測法의 확립이 절실히 요망되고 있는 실정이다. 河川 感潮部に 있어서 物質輸送機構는 河川固有流외에 潮汐作用의 영향을 받아 매우 복잡하다. 그리고, 이곳에서의 物質輸送은 日潮不等과 半月週期的 潮齡 및 潮時에 따라 변하고 있기 때문에 이들의 변화에 따른 해석할 수 있을 정도의 장기간에 걸친 水質豫測法의 확립이 필요하다. 따라서 河川 感潮部に 있어서 物質輸送過程의 시뮬레

이션은 이곳에서의 흐름이 潮汐作用에 의해 상·하류로 왕복운동을 반복하고 있기 때문에 보통의 하천에 비해 물질의 平均 滯留時間이 길므로 數 潮汐間 연속으로 실시할 필요가 있다. 이에 따라 河口域에서의 物質輸送에 대한 수치 시뮬레이션 모델이 많이 제안되어져 왔고, 현재도 많은 연구가 진행되고 있다. 이러한 모델에서는 대부분 일반적인 고정좌표계에서 유한차분법을 이용하고 있다.(Hinwood and Wallis, 1975) 그러나, 이 방법은 몇 半日潮 동안에는 유효하지는 몰라도 장기간의 物質輸送現象에 대해서는 物質收支式中的 移流項의 차분화에 기인하는 數值擴散의 영향과 潮汐流의 영향으로 정확한 결과를 얻기가 힘들 것으로 생각된다. 따라서,

본 연구에서는 누적유량의 개념을 도입하여 고정좌표계에서의 관점에서 보면 상류로부터 유입되는 유량에 따라 좌표가 설정되고 조석류의 영향으로 좌표가 이동하게 되므로 계산점과의 거리가 일정하지 않는 Lagrange적 이동 좌표계를 이용하여 感潮域에서의 物質輸送現象을 예측하기 위한 보다 정확한 수치 시뮬레이션 모델을 제시 하고자 한다. 그리고 제안한 모델의 타당성을 검증하기 위해 實感潮河川을 대상으로 현지관측을 실시 하였다.

2. 現地觀測

2.1 對象河川

본 연구에서 제안하는 수치 시뮬레이션 모델의 타당성을 검증하고 계산에 필요한 자료를 얻기 위하여 현지관측을 실시 하였다. 그 對象河川인 六角川(ROKKAKU RIVER)은 日本의 九州에 위치하고 있는 佐賀縣 白石平野를 통하여 有明海(ARIAKE BAY)로 흘러 나간다. 六角川 河口部에서의 潮差는 大潮時에 5m에도 달할 만큼 매우 크다. 이 河川의 개요를 Fig.1에 나타내었으며, 河口로부터 4.5km 상류에서 牛津川(USAIZU RIVER)과, 26.5km 상류에서 武雄川(TAKEO RIVER)과 합류하고 있다. 主河川인 六角川의 感潮區域은 河口로부터 29km가

지 이고, 牛津川은 主河川과 합류지점으로 부터 14km까지이다. 그리고 이 河川 感潮部에서의 鹽分의 혼합형태는 Hansen and Rattray의 成層循環圖에 따라 정리하면 強混合形이다.(二渡,楠田, 1982)

2.2 관측방법

현지관측은 Fig.1에 나타낸 것과 같이 河口로부터 24.2km(St.A), 17.2km(St.B), 11.2km(St.C)상류의 세 지점에서 실시하였다. 각 지점에서 1시간 간격으로 수위 및 유속을 측정하고 河床으로부터 0.2-0.5m의 점에서 자동채수장치로서 채수하여 鹽分을 측정 하였다. 관측기간은 1988년 11월 27일부터 12월 26일까지 20일간이었으며, 12월 9일이 大潮期였고, 12월 1일 및 16일이 小潮期였다.

2.3 관측결과

Fig.2는 河道方向으로 潮時에 따른 유속을 고려하여 縱斷分布와 鉛直方向의 鹽分の 等濃度線을 나타낸 것이다. 鉛直方向의 鹽分の 等濃度線은 거의 연직으로 되어 이 河川의 感潮部가 強混合形임을 알 수 있고, $1\text{kg}/\text{m}^3$ 의 等鹽分線은 1潮汐間에 10km정도 이동하고 있다. 그리고 Fig.3에는 각 지점에서 관측한 斷面 平均濃度를 나타 내었다. 결과는 조령 및 潮時에 따라 주기적으로 변동하고

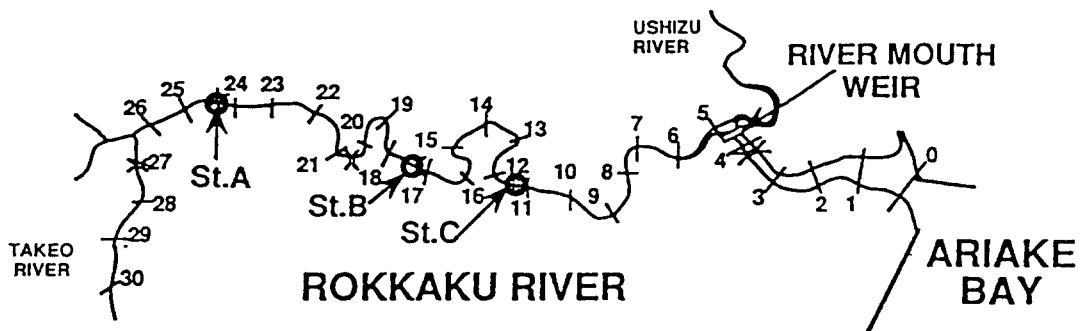


Fig. 1. Map of the ROKKAKU RIVER and monitoring station.

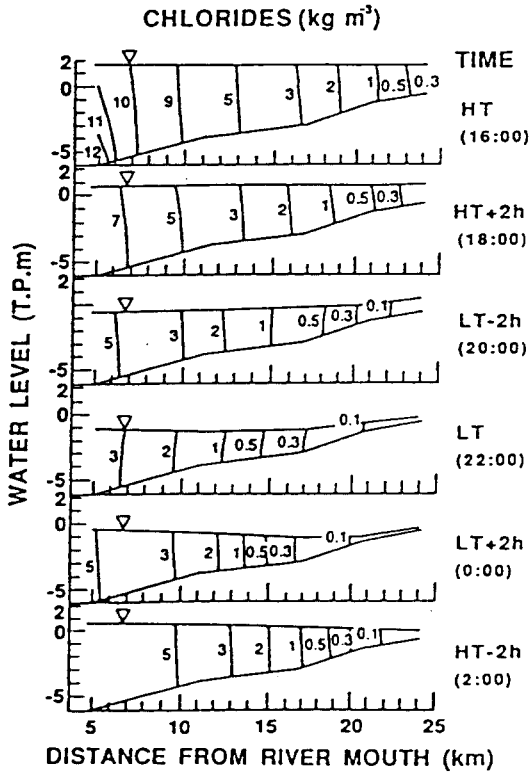


Fig. 2. Distribution of chlorides

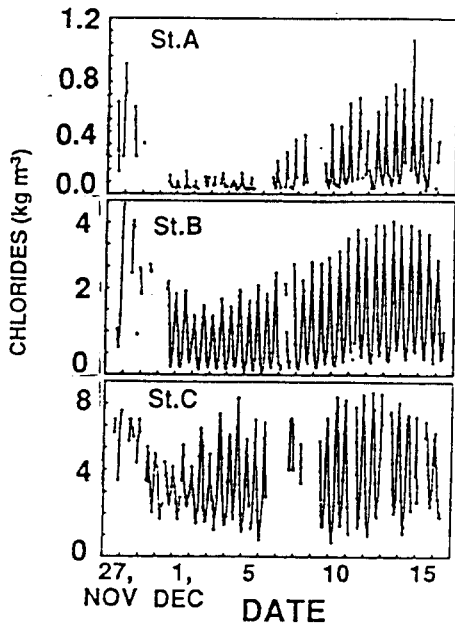


Fig. 3. Temporal changes of chlorides

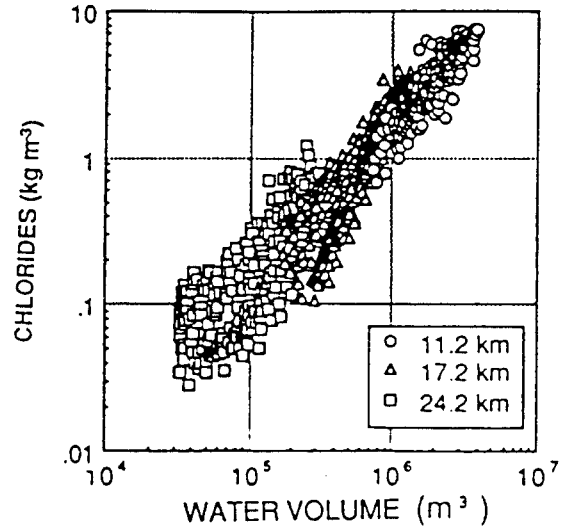


Fig. 4. Relationship between water volume and chlorides

있으나 각 지점마다 그 특징이 다르다. 즉, 상류측 St.A에서는 1일 2회의 고조시의 最大濃度만이 변동하고 있고, 반면에 하류측인 St.C에서는 最大, 最小濃度가 같이 변동하고 있다. 그리고, Fig.4에 장기관측시 각 관측지점에서의 감조부 상류단으로부터 관측지점까지의 저류량인 累積流量과 鹽分과의 관계는 명확한 관계가 보여지고 있고, 이것으로부터 鹽分은 유량의 함수로 나타낼 수 있는 것을 알 수 있다.

3. 基本式 및 計算方法

3.1 基本式

본 연구에서 취급한 흐름에 대한 것은 1차원 不定流 모델이고, 이것의 連續 및 運動方程式과 物質收支式을 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q \quad (1)$$

$$\frac{1}{gA} \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + \frac{\partial H}{\partial x} + \frac{n^2 |Q| Q}{R^{4/3} A^2} = 0 \quad (2)$$

여기서, q 는 주 흐름 방향에 직각으로의 단위길이, 단위시간당 橫流入量, H 는 수위, n 는 Manning 조도계수, R 은 경심, g 는 중력가속도, A 는 流水斷面積, Q 는 총유량이다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (AC) + \frac{\partial}{\partial x} (QC) = \frac{\partial}{\partial x} (AD_L \frac{\partial C}{\partial x}) + A \sum S_i(C_i) + q' \quad (3)$$

여기서, C 는 物質濃度, D_L 은 移流分散係數, $S_i(C_i)$ 는 i 물질로 부터의 내부변환속도, q' 는 側方流入flux이다.

좌표계를 거리기준의 (x,t) 로 부터 유량을 기준으로 하는 (V,t) 로 변환하기 위해 河川 感潮部의 상류단으로 부터 어떤 지점까지의 累積流量을 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$V = \int_0^x A(x,t) \quad (4)$$

식(4)의 개념을 이용하여 고정좌표계상의 物質收支式인 식(3)을 다음과 같이 이동좌표계상으로 나타낼 수 있다. (樁東, 1974). 여기서 염분의 내부 변환과 측방유입 flux는 없으므로 식(3)의 제2항 이하는 무시한다.

$$\frac{\partial C}{\partial t} + Q_f \frac{\partial C}{\partial V} = \frac{\partial}{\partial V} (A^2 D_L \frac{\partial C}{\partial V}) \quad (5)$$

여기서, $D_L = (\alpha u_* R)$, Q_f : 固有流量, u_* : 摩擦速度, α : 定數이다.

윗 식에서 인접한 水塊間의 交換flux는 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$j = -A^2 D_L \frac{\partial C}{\partial V} \quad (6)$$

그리고 兩水塊間의 交換流量 Q_e 를 이용하여 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$j = -Q_e \Delta C \quad (7)$$

여기서, ΔC 는 인접한 兩水塊間의 濃度差이다.

3.2 계산방법

먼저, 本 河川 感潮部에 대한 水理量 計算은 유

한차분법인 Leap-Frog법(日本土木學會, 1985)을 이용하였다. Leap-Frog법에서는 유량과 수위가 각각 $2\Delta x$ 마다의 단면에서 계산되고, 連續式과 運動方程式 사이에 엄밀하게 연립화 하지 않아도 Δt 간의 오차는 무시할 만큼 작고, 상하의 유량 계산단면간의 質量保存法則만은 만족시킨다. 본 방법에서는 시간-거리격자상에서 하나의 격자점에서는 수위, 유량중 어느 하나만이 계산되는 것이 특징으로 경계조건 적용이 용이하다. 본 계산에서는 下流端에서는 수위를, 上流端에서는 유량을 경계조건으로 주었다. Fig.5에 差分scheme를 나타낸다. 그리고 이 차분방정식의 안정조건으로서 C.F.L조건(Courant-Friedrichs-Lewy Condition)을 만족하기 위해 $\Delta x = 600m$, $\Delta t = 60sec$ 로 하였다.

$$C.F.L \text{ 조건} : \Delta x / \Delta t \geq \sqrt{gh} + |u|$$

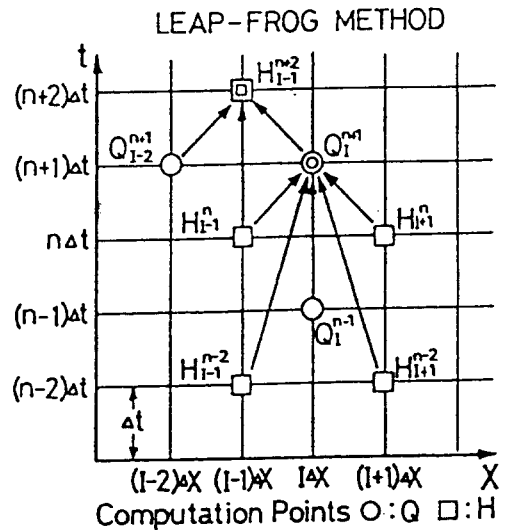


Fig. 5. Computation grid for discharge and water level

Fig.6에 나타낸 것 처럼 유량격자점과 수위격자점을 600m간격으로 번갈아 가며 취하였다. 그리고, 이러한 방법으로 계산된 水理量의 계산결과는 거리기준의 계산결과이다. 이 계산결과를 이용하여 이동좌표계의 미소요소인 分割水塊(ΔV)를 만조시에 있어서 각 경계간의 거리가 같은 간격이 되도록 설정하

고 각 시각(Δt)마다에서의 분할수塊의 위치를 구한다. 즉, 전 계산기간에서의 分割水塊 境界의 週時曲線이 얻어진다. 단, 본 연구에서는 分割水塊의 유량을 $\Delta V_1=10000m^3$, $\Delta V_2=100000m^3$, $\Delta V_3=1000000m^3$ 의 세종류로 설정 하였다. Fig.7에 累積流量概念을 도입한 이동좌표계에서의 차분화 개념을 나타내었다. 즉, 상류로부터 유량의 유입에 의해 ΔV 이 1개 추가되면 원래의 요소는 다음 원소의 위치로 1개씩 미끄러져 내려가는 것으로 한다. 그리고 상류로부터의 유입유량에 의해 ΔV_1 이 10개로 되어 ΔV_2 의 1개분으로 되었을 때에는 하류측으로부터의 ΔV_1 의 10개를 ΔV_2 가 1개 증가된 것으로 하여 계산한다. ΔV_2 와 ΔV_3 에 대해서도 같은 방법을 적용한다.

4. 計算結果 및 考察

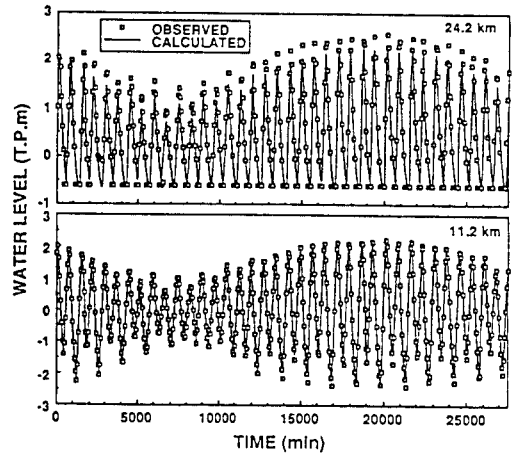


Fig. 8. Comparison between observed and computed water level

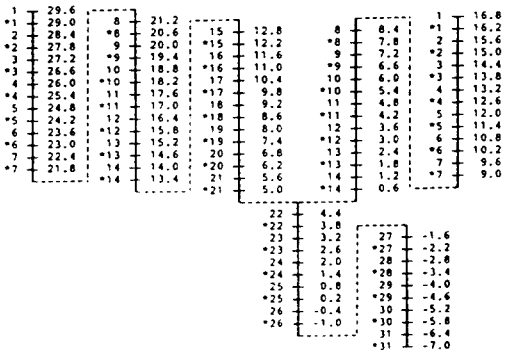


Fig. 6. Computation grid(Mark * shows the grid for water level and other are for water discharge)

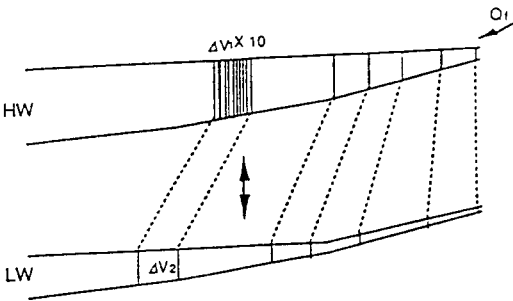


Fig. 7. Conception of the finite-difference with Lagrangian reference frame

각 지점에 있어서 수위에 대한 관측결과와 계산결과를 Fig.8에 나타낸다. 두 결과가 상당히 잘 일치하고 있어 본 計算領域에 있어서 水理量의 계산은 성공적으로 수행된 것을 알 수가 있다. 그리고 河川에서의 조도계수는 흐름에 미치는 영향이 아주 크기 때문에 수위계산을 실시할 때 구간에 따라, 潮齡 및 潮時에 따라 변화 시키면서 계산을 실시하였으며, Fig.8과 같은 두결과가 잘 일치할 때의 조도계수는 Table.1과 같다. 다음으로 이 水理量 계산결과를 가지고 이동좌표계상의 物質收支式인 식(6)의 交換係數 α 를 계속 변화시켜 가면서 鹽分을 계산하였다. 관측된 값과 계산결과를 Fig.9에 나타내었다. 두 결과는 비교적 잘 일치하고 있다. 그리고, 이 때의 각 水塊에 있어서 交換係數 α 의 값은 Table.2와 같다. 이상의 결과에서 알 수 있듯이 상류부분에서는 반일주주의 潮時에 대하여 각 濃度의 極大값만 변동하고 있으나 하류측에서는 極大, 極小濃度가 같이 변하고 있어 海水의 侵入狀態가 하구조석과 하천고유유량에 의해 주로 변동하고 있다는 것을 증명해 준다.

Table 1. Manning roughness coefficients

Rokkaku river			Ushizu river		
section (km)	spring tide	ebb tide	section (km)	spring tide	ebb tide
-7.0~0.2	0.020	0.017	0.6~7.8	0.020	0.020
0.2~11.0	0.020	0.020	7.8~10.2	0.028	0.025
11.0~20.6	0.032	0.024	10.2~16.2	0.028	0.025
20.6~24.2	0.030	0.028			
24.2~29.0	0.028	0.038			

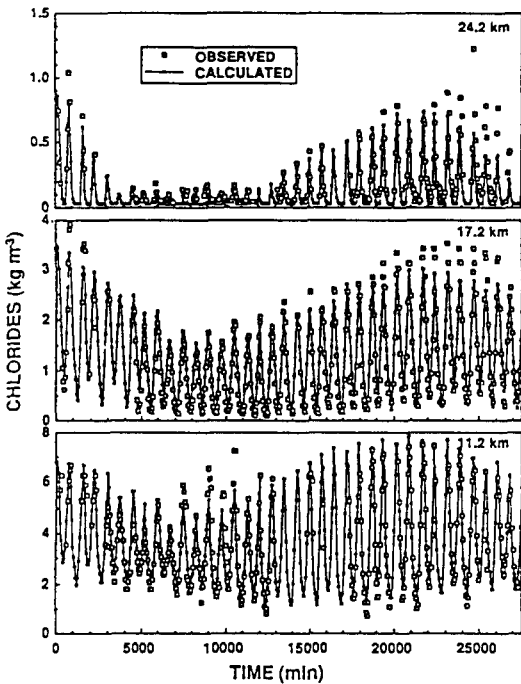


Fig. 9. Comparison between observed and computed chlorides

Table 2. Exchange coefficients of ΔV_n

	Rokkaku river			Ushizu river		
	ΔV_1	ΔV_2	ΔV_3	ΔV_1	ΔV_2	ΔV_3
α	10.0	2.5	1.5	10.0	5.0	1.0

5. 結 論

본 연구에서는 河川 感潮部에 있어서 物質輸送에 대한 시뮬레이션은 기본식을 일반적으로 행해지고 있는 거리기준의 고정좌표계상에서가 아니라 Lagrange적 유량기준 이동좌표계상으로 표현함으로써 물질의 平均滯留時間이 긴 河川 感潮部와 河口域에서의 장기적인 계산을 보다 정확히 수행할 수가 있었다. 그리고 본 연구에서 제시한 모델을 이용함으로써 鹽分の 계산 뿐만 아니라 여기서 얻은 擴散係數를 이용하여 該當水域에서의 汚染物質濃度の 장기적인 변동을 보다 용이하게 예측할 수 있으리라 생각된다.

(감사의 글)

본 연구자의 연구기간 동안 모든 자료를 제공해주고 많은 지도편달을 주신 九州大學 工學部 楠田教授와 二渡助手에게 심심한 감사를 드립니다.

參考文獻

Hinwood, J.B. and I.G. Wallis, 1975, Classification of models of tidal waters, J. Hydraul. Div. A.S.C.E 101(HY10), pp.1315-1331.

二渡了, 大石京子, 古米弘明, 楠田哲也, 强混合河川 感潮部における硝化, 脱窒過程に関する研究, 土木學會 論文集(投稿中).

二渡了, 楠田哲也, 1982, 感潮河川における物質輸送機構, 九大工學集報, 第60卷 4號, pp.419-426.

日本土木學會, 1985, 水理公式集, 日本土木學會, pp.60-62.

椿東一朗, 1974, 基礎土木工學全書7, 水理學II, 森北出版, p.213.