

〈 論 文 〉

# 微小振幅波에 의한 底質의 浮遊濃度에 關한 研究

A Study on Suspended Sediment Concentration Due to Small Amplitude Wave Action

呂 運 光\*

Yoe Woon Kwang

安 守 漢\*\*

Ahn Soo Han

## ABSTRACT

It has been very difficult to analyse, clearly, the mechanism of the suspended sediment that changes, largely, the coastline, on-shore and off-shore. It is due to not only the complexity of the factors in nature but the measurement technique of suspended sediment characteristics both in nature and laboratory.

The purposes of this paper are to obtain the time-rate of change in the concentration of suspended sediment, the vertical distribution of it and the effect of the fall velocity of its particle, and to make clear the mechanism of sand transportation in suspension, analysing the diffusion equation, by the computer, due to the small amplitude wave theory.

## 要 旨

海岸地形 變化의 主原因인 浮遊砂에 대한 研究가 理論的·實驗的으로 多少 있었으나 그의 性質을 完全히 解析하기에는 상당한 難點이 있다. 그 理由는 自然狀態의 變形因子들이 너무 많고 서로 複合的으로 連結되어 있어 實驗室內에서는 實驗할 때 考慮되어야 할 많은 因子들의 制約이 뒤따르며, 實際 海岸에서의 實測은 많은 人力 및 經費와 時間的·空間的 制約이 隨伴되기 때문이다.

本研究는 微小振幅波에 의한 非定常 擴散方程式을 解析하여 浮遊砂 濃度의 時間的 變化와 鉛直濃度分布 및 沈降速度의 影響을 밝힘으로써 浮遊砂의 基礎的 性質을 料明하는데 目的이 있다.

## 1. 序 論

最近 海岸에서 港灣施設, 海岸保全施設, 開干 및 干拓事業으로 인한 大規模 各種 開發事業이 活發하게 行하여지고 있으나 그에 따르는 새로운 問題點도 提起되고 있다. 特히 自然的 海岸에 이러한 人爲的 構造物이 設置될때 自然的 平衡狀態가 깨져 予測하지 못한 結果를 招來하기도 한다. 波浪, 潮流의 變化, 漂砂의 移動, 海濱의 變形 등으로 海岸地形을 變化시켜 海岸施設物의 安全을 危險케 하는 경우도 있어 이러한 施設物을 設

置할때는 充分한 研究 檢討後 施工해야 한다.<sup>1)</sup>

그러나 이러한 變形因子들을 간단한 것은 水理模型 實驗 등으로서 解釋될 수 있으나 大部分 서로 複合的으로 連結되어 根本的 原因料明 및 對策의 樹立에는 實際 상당한 어려움이 뒤따른다.

海岸地形을 變化시키는 直接的 原因인 漂砂의 移動에 대하여는 波浪, 潮流, 潮水干滿의 差, 海底構造物質 및 海岸地形의 特性에 따라 複雜한 機狀을 띄고 있으므로 그 메카니즘을 完全히 理解하기란 힘들다. 漂砂의 移

\* 서울大學校 大學院 土木科

\*\* 서울大學校 工科大學 土木科 教授

動現狀인 浮遊砂의 研究는 그간 實驗的, 理論的으로 多少 進行되어 왔으나 完全한 解析은 아직 나오지 않고 있다. 重複波, 進行波, 碎波等 波에 의한 浮遊砂의 研究<sup>2)</sup>~<sup>6)</sup>가 많이 이루어져 왔으며, 浮遊砂의 濃度測定方法論<sup>7)</sup>이 實驗室內 혹은 現地海岸<sup>8)</sup>을 對象으로 있어왔고, 場所的으로는 주로 浮遊砂에 影響이 큰 碎波帶內에서의 研究 및 河口에서의 浮遊砂特性<sup>9)</sup> 潮流의 影響 등이 研究되어 왔다. 또한 요즘은 航空촬영이나 放射能을 利用한 觀測方法<sup>10)</sup>이 開發되고 있다.

底質이 浮遊하는 原因은 크게 나누어 海潮流와 波浪에 의하여 이루어진다.

어떤 浮遊砂의 供給源으로부터 海潮流나 波浪에 의하여 떠오르거나, 河口浮遊砂와 같이 上流의 浮遊土砂가 밀력과 일단 떠오른 浮遊砂는 주로 波浪에 의하여 뜨고 擴散되며, 海潮流에 의하여 運搬堆積되어 海岸地形의

變化에 直接的인 影響을 준다.

그러므로 海岸地形의 變化를 알기 위하여는 波浪에 의한 浮遊過程 및 擴散에 관한 理解가 要求되며, 本 研究는 이에 微小振幅波의 理論을 밑바탕으로 擴散方程式을 數值解析함으로써, 底面으로부터 擴散이 進行되는 過程과 沈降速度가 擴散에 미치는 影響을 究明하였다.

### 2. 擴散方程式의 差分化<sup>11)</sup>

그림 - 1 과 같이 座標軸을 잡고 單位時間동안 微小六面體에 流入되는 浮遊物質量과 流出되는 量을 생각하면 다음과 같다. 여기서  $u, v, w$ 는  $x, y, z$  方向의 流速이고  $\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z$ 는  $x, y, z$  方向의 擴散係數,  $\delta_x, \delta_y, \delta_z$ 는 六面體의 微小距離,  $w^*$ 는 沈降速度이며  $C$ 는 浮遊物質의 濃度를 表示한다.

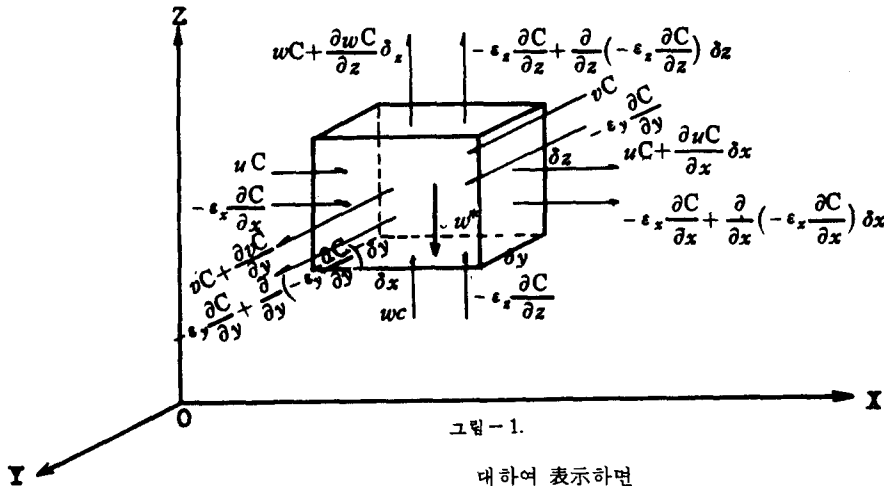


그림 - 1.

$x$  方向을 생각하면,

流入量은

$$uC \delta y \delta z - \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \delta y \delta z \dots\dots\dots (1)$$

流出量은

$$\left( uC + \frac{\partial uC}{\partial x} \delta x \right) \delta y \delta z + \left\{ -\epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \delta y \delta z + \frac{\partial C}{\partial x} \left( -\epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \delta x \right\} \delta y \delta z \dots\dots\dots (2)$$

이며, 流入量과 流出量의 差는

$$-\frac{\partial uC}{\partial x} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \dots\dots\dots (3)$$

이다.

같은 方法으로 單位時間에 流出入量을  $y, z$  方向에

대하여 表示하면

$y$  方向 :

$$-\frac{\partial vC}{\partial y} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \delta x \delta y \delta z \dots (4)$$

$z$  方向 :

$$-\frac{\partial}{\partial z} \{ (w - w^*) C \} \delta x \delta y \delta z + \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \delta x \delta y \delta z \dots\dots\dots (5)$$

이며,

$x, y, z$  方向 全部를 合한것은 單位時間當 六面體의 内部濃度의 變化量과 같으므로

$$\frac{\partial C}{\partial t} + \frac{\partial uC}{\partial x} + \frac{\partial vC}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} (w - w^*) C = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \epsilon_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \dots\dots (6)$$

이라는 沈降速度를 考慮한 擴散方程式을 얻는다.

式(6)을 2次元으로 생각하며 다시쓰면

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + (w - w^*) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) \dots \dots \dots (7)$$

이다.

差分間隔을

x 軸으로  $\Delta x_0, \Delta x_1, \Delta x_2, \dots, \Delta x_i$

z 軸으로  $\Delta z_0, \Delta z_1, \Delta z_2, \dots, \Delta z_j$

t 軸으로  $\Delta t_0, \Delta t_1, \Delta t_2, \dots, \Delta t_k$

으로 하고

$C(i, j, k)$ 는  $(i, j)$  點에서의  $C$ 를 나타내고,  $\epsilon_x(i + \frac{1}{2}, j, k)$ ,  $u(i + \frac{1}{2}, j, k)$ 는  $(i, j)$  點과  $(i+1, j)$  點의 중간,  $\epsilon_x(i, j + \frac{1}{2}, k)$ 는  $(i, j)$  點과  $(i, j+1)$  點의 중간값을 나타낸다

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{1}{\Delta t_k} \{C(i, j, k+1) - C(i, j, k)\} \dots \dots (8)$$

$$\frac{\partial C}{\partial x} = \frac{1}{4\Delta x_i} \{C(i+1, j, k+1) + C(i+1, j, k) - C(i-1, j, k+1) - C(i-1, j, k)\} \dots (9)$$

$$\frac{\partial C}{\partial z} = \frac{1}{4\Delta z_j} \{C(i, j+1, k+1) + C(i, j+1, k) - C(i, j-1, k+1) - C(i, j-1, k)\} \dots (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \epsilon_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) = \frac{1}{\Delta x_i + \Delta x_{i-1}} \left\{ \frac{1}{\Delta x_i} \cdot \epsilon_x \left( i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i+1, j, k+1) + C(i+1, j, k) - C(i-1, j, k+1) - C(i-1, j, k)\} - \frac{1}{\Delta x_{i-1}} \cdot \epsilon_x \left( i - \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i+1, j, k+1) + C(i+1, j, k) - C(i-1, j, k+1) - C(i-1, j, k)\} \dots \dots \dots (11) \right.$$

$$\left. \frac{\partial}{\partial z} \left( \epsilon_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) = \frac{1}{\Delta z_j + \Delta z_{j-1}} \left\{ \frac{1}{\Delta z_j} \cdot \epsilon_z \left( i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i, j+1, k+1) + C(i, j+1, k) - C(i, j-1, k+1) - C(i, j-1, k)\} - \frac{1}{\Delta z_{j-1}} \cdot \epsilon_z \left( i, j - \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i, j+1, k+1) + C(i, j+1, k) - C(i, j-1, k+1) - C(i, j-1, k)\} \dots \dots \dots (12) \right.$$

$$u = u \left( i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) \dots \dots \dots (13)$$

$$w = w \left( i + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) \dots \dots \dots (14)$$

으로 表示되며 式(8)~(14)를 式(7)에 代入하여  $C(i, j, k+1)$ 로 정리하면 다음과 같은 最終的인 式을 얻는다.

$$C(i, j, k+1) = \frac{C_A}{C_B} \dots \dots \dots (15)$$

$$C_A = \frac{1}{\Delta t_k} \cdot C(i, j, k) - \frac{1}{4\Delta x_i} \cdot u \left( i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) \cdot [C(i+1, j, k+1) - C(i-1, j, k+1) + C(i+1, j, k) - C(i-1, j, k)] - \frac{1}{4\Delta z_j} \{w \left( i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) + w^*\} \cdot [C(i, j+1, k+1) - C(i, j-1, k+1) + C(i, j+1, k) - C(i, j-1, k)] + \frac{1}{\Delta x_i + \Delta x_{i-1}} \left[ \left( -\frac{1}{\Delta x_i} \cdot \epsilon_x \left( i + \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) \right) \cdot \{C(i+1, j, k+1) + C(i+1, j, k) - C(i, j, k+1) - C(i, j, k)\} - \frac{1}{\Delta x_{i-1}} \cdot \epsilon_x \left( i - \frac{1}{2}, j, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i+1, j, k+1) + C(i+1, j, k) - C(i-1, j, k+1) - C(i-1, j, k)\} \right] + \frac{1}{\Delta z_j + \Delta z_{j-1}} \left\{ \frac{1}{\Delta z_j} \cdot \epsilon_z \left( i, j + \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i, j+1, k+1) + C(i, j+1, k) - C(i, j, k+1) - C(i, j, k)\} - \frac{1}{\Delta z_{j-1}} \cdot \epsilon_z \left( i, j - \frac{1}{2}, k + \frac{1}{2} \right) \cdot \{C(i, j+1, k+1) + C(i, j+1, k) - C(i, j-1, k+1) - C(i, j-1, k)\} \right\} \dots \dots \dots$$

上記의 解를 얻기 위하여는 流速  $u, w$ , 沈降速度  $w^*$ , 擴散係數  $\epsilon_x, \epsilon_z$  와 適當한 境界條件이 必要하다.

1) 流速의 決定<sup>12)</sup>

本研究에서는 微小振幅波에 의한 流速을 使用하였다.

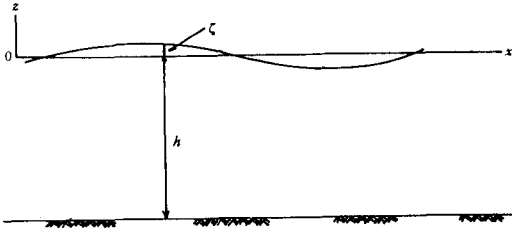


그림-2.

座標軸을 그림-2와 같이 取하고, 波形은 sim 波라고 할 때  $x, z$  方向의 流速  $u, w$ 는 다음 式으로 表示된다.

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cosh \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (16)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh \frac{2\pi}{L}(h+z)}{\sinh \frac{2\pi h}{L}} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (17)$$

여기서  $H$ 는 波高,  $T$ 는 週期,  $L$ 은 波長,  $h$ 는 水深을 나타낸다.

### 2) 沈降速度的 決定

沈降速度는 浮遊粒子的 粒徑, 比重, 粘性의 影響을 많이 받으며 實際로 正確한 값을 얻기는 힘들다. 더구나 海水에서의 沈降速度는 海水中的 鹽度에 相當한 關係가 있으므로 一律的으로 값을 決定하기는 더욱 困難하다. 一般的으로 浮遊粒子的 中央粒徑은 海底로부터의 높이에 따라 적어지는 것으로 되어 있으며 淡水에서는 Brown 運動에 의하여 콜로이드狀態가 되어 沈降하지 않는 粒徑을 가진 浮遊物도 海水中에서는  $Na^+$ 의 影響으로 凝集되어 沈降速度가 增大된다고 한다. 허나 그 速度가 어느 程度로 되는냐는 아직 의문이나 여러가지 實驗結果 대개의 海水中 沈降速度는  $0.03 \sim 0.06 \text{ cm/sec}$  로서  $0.05 \text{ cm/sec}$ 의 값을 提案<sup>15)</sup> 하고 있다. 本研究에서는 沈降速度를 여러가지 값으로 變化시켜 沈降速度에 따른 濃度의 影響을 求해 보았다.

### 3) 擴散係數의 決定

波에 의한 濃度의 分布를 알기 위한 理論的 研究가 많이 있어 왔으나 그때마다 擴散係數의 明確한 性質의 料明을 要하게 되었다. Fukushima, Kashiwamura<sup>14)</sup>以來 많은 研究가 되어 왔으나 ① 擴散係數는 Exp. 曲線과 같이 變한다<sup>15)</sup>, ② 擴散係數는 底面으로부터의 距離에 따라 變한다<sup>16)</sup>, ③ 擴散係數는 底面에서 아주 얇은 層만을 除外하고는 거의 一定하다<sup>17)</sup>, ④ 擴散係數는

亂流理論에 의한 渦動粘性係數와 關係가 있다<sup>18)</sup>는 등등의 研究가 있었으나 完全한 理論은 아직 確立되지 않고 있다.

本研究에서는 Homma, Horkawa가 提案한 渦動粘性係數와 關係가 있다는 理論을 使用하였다. 이들은 많은 實驗에서 擴散係數  $\epsilon_x, \epsilon_z$ 는 등方質亂流에서는 서로 같고 다음과 같은 實驗式을 이끌어 내었다.

$$\epsilon = \beta b^2 \left| \frac{\partial u}{\partial z} \right| \dots \dots \dots (18)$$

여기서  $\beta$ 는 波의 性質과 波高에 따라 變化하는 값이며  $b$ 는 水粒子的 鉛直移動全振幅을 表示하며  $\beta$ 의 性質一部와  $b$ 의 性質에서 混合距離를 使用한 一般的인 式을 表示하면

$$\epsilon = \kappa \frac{\left| \frac{\partial u}{\partial z} \right|^3}{\left( \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right)^2} \quad \kappa = \text{Const} \dots \dots \dots (19)$$

을 얻는다. 여기에 微小振幅波에서 얻은 流速을 代入하면

$$\epsilon = \kappa \frac{LH}{2T} \frac{\sinh^3 \frac{2\pi}{L}(z+h)}{\sinh \frac{2\pi h}{L} \cdot \cosh^2 \frac{2\pi}{L}(z+h)} \cdot \left| \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \right| \dots \dots \dots (20)$$

을 얻는다.

### 3. 境界 條件

底面의 濃度는 浮遊物質의 供給源으로서 浮遊濃度가 平衡을 이룰 때까지 繼續的으로 供給할 수 있다고 보며 따라서 底面의 濃度는 항상 最大値의 濃度를 갖는다고 假定한다.

側面은 波動의 週期性에 비추어 하나의 週期를  $i_{max}$ 個의 微小길이로 나누면  $n$ 點의 값은 各各  $C(n, j, k) = C(i_{max} + n, j, k)$ ,  $u(n, j, k) = u(i_{max} + n, j, k)$ ,  $w(n, j, k) = w(i_{max} + n, j, k)$ ,  $\epsilon(n, j, k) = \epsilon(i_{max} + n, j, k)$ 로 表示할 수 있다.

水面의 條件은 濃度의 鉛直分布가 어떤 形態를 이루느냐에 따라 달라지지만 實驗 및 實測에 의하면 그림-3과 같이 2次 拋物線형과 같이 된다고 하여 假定하면 水面에서는  $\frac{\partial C}{\partial z} = 0$ 가 成立하고 이것을 差分式으로 表示하면

$$\frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=h} = -3C(i, j_{max}, k+1) + 4C(i, j_{max} - 1, k+1) - C(i, j_{max} - 2, k+1) + \Phi \quad (21)$$

이 되고, 여기서  $\Phi (\Delta Z)^2$  은 Error 項이며 微小길이를 생각할 때  $\frac{\partial C}{\partial z} \Big|_{z=h} = 0$  이므로

$$C(i, j_{max}, k+1) = \frac{1}{3} \{ 4C(i, j_{max} - 1, k+1) - C(i, j_{max} - 2, k+1) \} \quad (22)$$

을 얻는다.

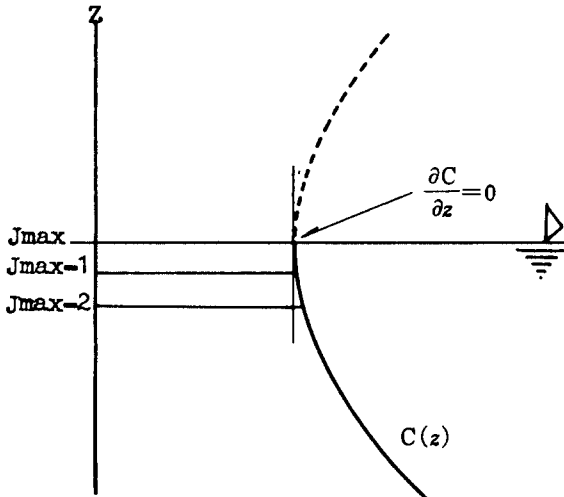


그림 - 3.

#### 4. 計算結果 및 考察

本研究의 프로그램에서는 座標軸을 底面을 基準으로 하여 그림-4 와 같이 취하고 波形은 波高 H, 週期 T, 波長 L 인 sin 波로서  $\zeta = \frac{H}{2} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)$  로 주어지고 式(16), (17), (20) 을 座標移動시켜 아래의 式으로서 使用하였다.

$$u = \frac{\pi H}{T} \frac{\cos h \frac{2\pi}{L} z}{\sinh \frac{2\pi}{L} h} \sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (23)$$

$$w = \frac{\pi H}{T} \frac{\sinh \frac{2\pi}{L} z}{\sinh \frac{2\pi}{L} h} \cos 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (24)$$

$$e = \kappa \frac{LH}{2T} \frac{\sin h^3 \frac{2\pi}{L} z}{\sinh \frac{2\pi}{L} h \cos h^2 \frac{2\pi}{L} z} \Big|_{\sin 2\pi \left( \frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right)} \quad (25)$$

아래와 같은 流通圖를 갖는 프로그램의 節次를 거쳐 波高 10 cm, 週期 2 秒, 水深 50 cm, 底面濃度 1.0 으로 하고  $\Delta t = 0.5$  秒로 하여 計算한 結果는 다음과 같다.

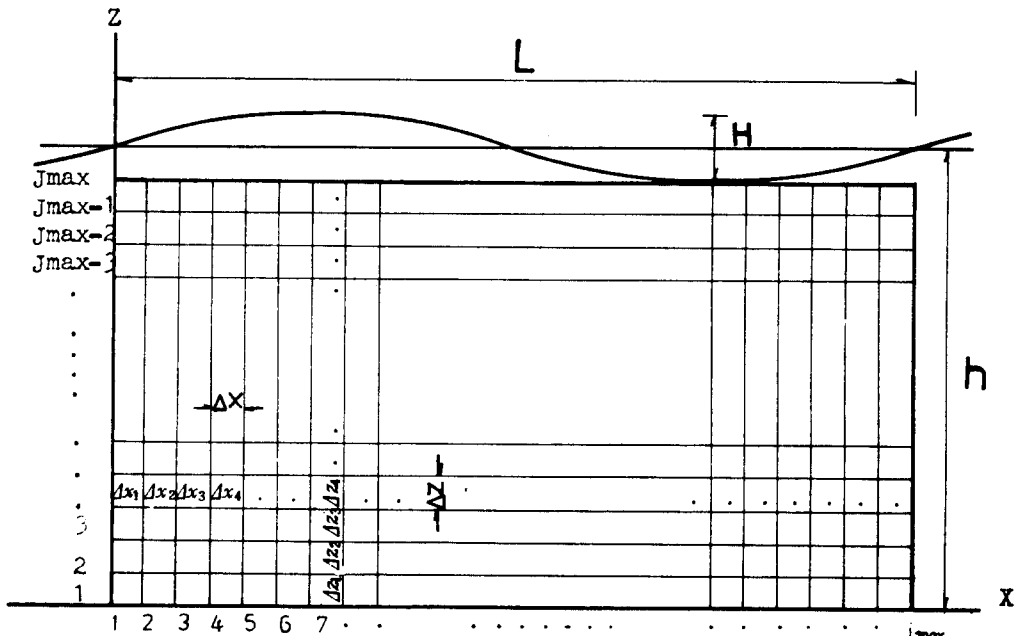
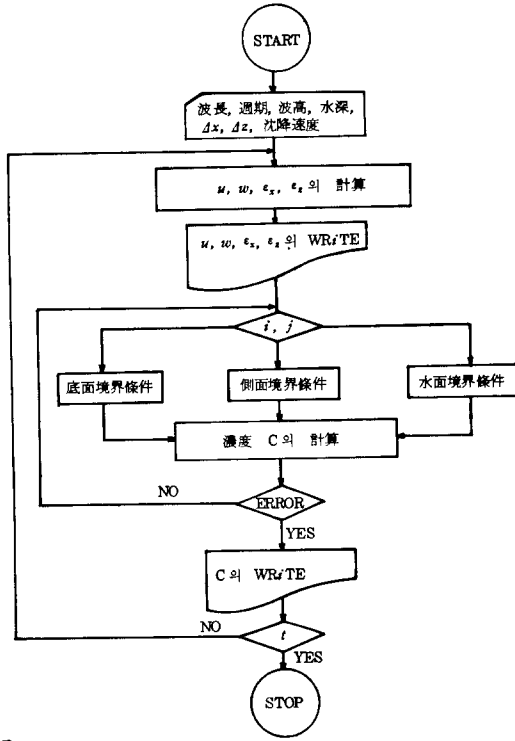


그림 - 4.



流通圖

1) 流速과 擴散係數

微小振幅波에 의한流速  $u, w$  에 의한 擴散係數의 分布를 나타낸것이 그림-5이다. 그림에서 보는 바와 같이 擴散係數는 週期성을 가지며 底面에서 水面으로 올라갈수록 값과 變化率도 커진다. 擴散係數가 底面에서의 값이 水面보다 相當히 작은 것은 流速의 函數이기 때문이며 그 結果 底面에서의 擴散速度는 水面附近에서보다 느리게 進行되어진다.

2) 沈降速度의 影響

沈降速度에 따른 水面附近, 中間, 底面附近의 各地點別 變化를 表示한 것이 그림-6이다. 그림에서 보는 것과 같이 沈降速度가 增加할수록 浮遊濃度에 미치는 影響은 더 크며 또한 沈降速度가 같은 값을 가질 때 水面附近보다 底面附近에서의 影響이 또한 크다. 이것은 底面의 擴散速度가 水面의 것보다 작기 때문이며 이 結果는 大西亮<sup>19)</sup>의 研究結果와도 一致된다.

3) 鉛直濃度分布

그림-7은 鉛直濃度分布를 Semi-log 紙에 表示한 것이며 時間이 지남에 따라 曲線의 모양이 점차 直線化하는 傾向이 있으며 이것은 濃度가 定常狀態가 되면 E-

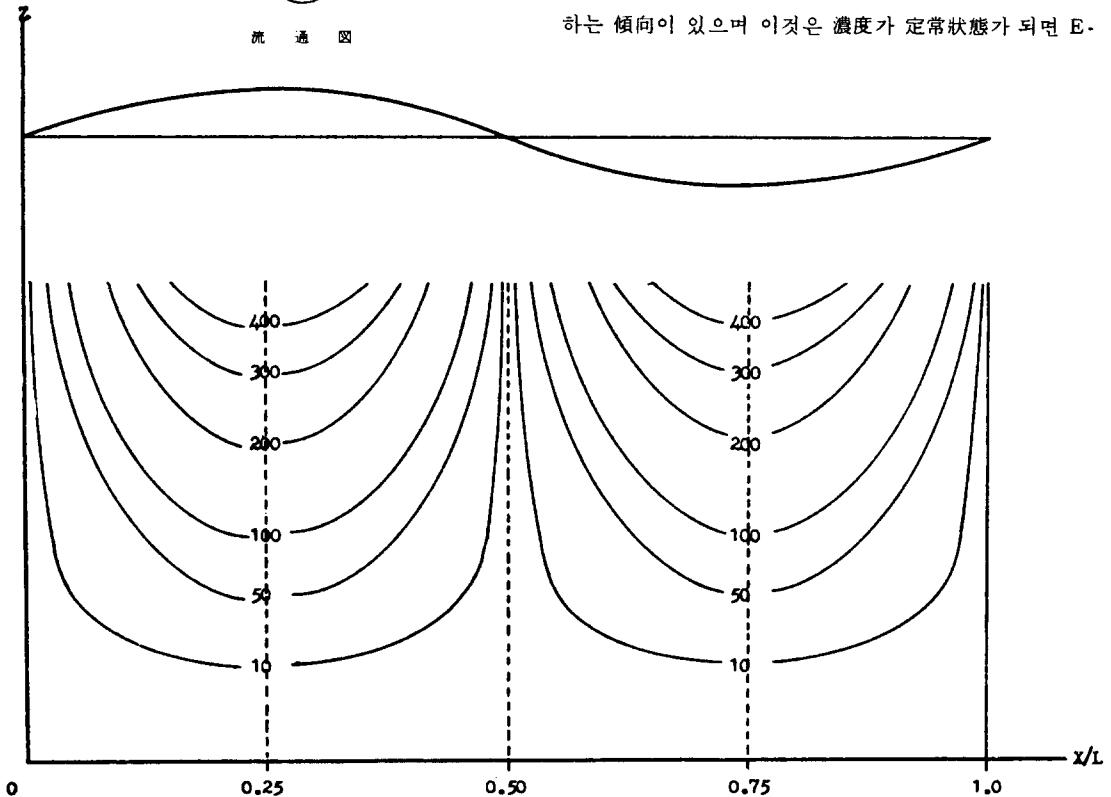


그림-5 擴散係數의 分布

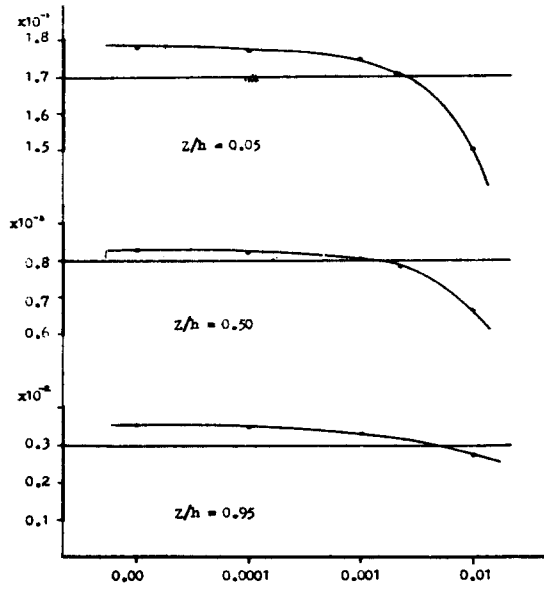


그림 - 6. 沈降速度에 의한 濃度の 變化

xp. 函數를 이룬다는 것을 볼때 充分한 妥當性을 찾을 수 있다. 東京大學 實驗室<sup>20)</sup>에서 行한 結果值도 거의 비슷한 形態를 이룬다.

또한 一定地點에서의 濃度を 沈降速度에 따라 나타낸 것이 그림-8이며 이것은 濃度の 變化가 一定한 週期性을 가지고 沈降速度가 클수록 잘 나타내진다.

또한 沈降速度가 크면 變化하는 굴곡도 커지며 거의 pulse 型으로까지 된다. 이것은 粒徑이 크거나, 比重이 커서 沈降速度가 크면 波가 進行하는 동안 鉛直方向의 上向流速과 擴散에 의하여 粒子가 浮上하더라도 粒子의 큰 沈降速度와 다음의 下向方向의 流速에 의하여 곧 底面으로 떨어질 것이라고 생각할 때 妥當性을 찾을 수 있다.

以上과 같이 計算結果를 考察하여 보았으나 浮遊砂의 擴散에 있어 가장 問題가 되는 것은 擴散係數의 決定이며 底面에서의 擴散係數의 糾明이 특히 要求되는 重要

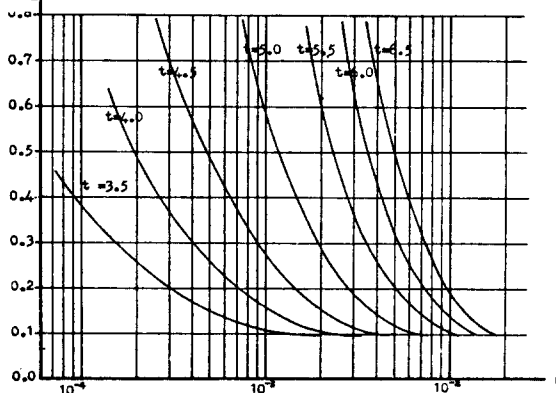


그림 - 7. 鉛直濃度分布의 時間的 變化

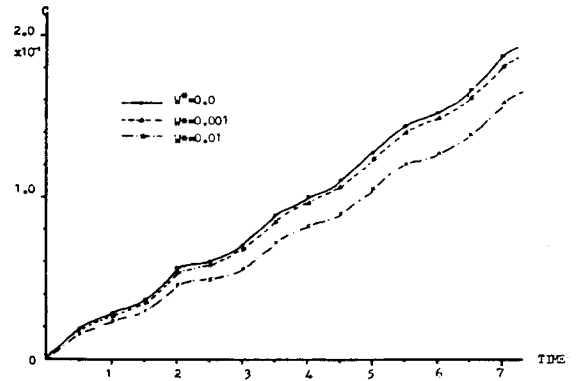


그림 - 8. 一定地點에서의 濃度變化

課題이다.

### 5. 結 論

微小振幅波에 의한 浮遊物質의 擴散方程式을 解析함으로써 底面의 浮遊砂源으로부터 浮遊濃度の 變化過程과 浮遊濃度の 時間的 變化 및 沈降速度의 濃도에 미치는 影響을 알 수 있었으며 다음과 같은 結論을 얻었다.

① 微小振幅波에 의한 流速과 擴散係數는 各各 一定한 週期性을 가지고 底面에서 水面으로 올라갈수록 크게 變하며 따라서 底面에서의 擴散은 水面보다 相當히 느리게 進行되어진다.

② 沈降速度가 增加할수록 浮遊濃도에 미치는 影響은 더 크며, 同一한 沈降速度의 값을 가질 경우 水面附近보다 底面에서의 濃도에 더 影響이 크다.

③ 擴散이 進行되는 동안 鉛直濃度分布는 Semi-log 紙에서 時間이 지남에 따라 점차 直線化하는 傾向이 있고 定常狀態가 되면 Exp. 函數形態를 이룬다.

그러나 波에 의한 擴散을 좀 더 確實하게 理解하기 위하여는 擴散係數의 性質을 完全히 糾明하는 것이 우선 主要한 課題라고 思料된다.

### 參 考 文 獻

1. 本間仁, 堀川清司, 鮮于澈; 波浪, 漂砂および 海岸變形につて.
2. Homma, Horikawa: *Laboratory Study on Suspended Sediment Due to Wave Action*. IAHR, Sep., 1963.
3. Homma, Horikawa, kashima: *A Study on Suspended Sediment Due to Wave Action*. *Coastal Eng. in Japan*, Vol. 8, 1975.
4. Horikawa, Watanabe: *Turbulence and Suspended Sediment Concentration Due to Wave Action*. *Coastal Eng. in Japan*, Vol. 13, 1970.

5. 岩垣雄一, 平山秀夫: 重複波による浮遊粒子の挙動につりて.
6. 細井正延, 稲垣青生: 進行波による浮遊砂の測定法につりて.
7. 本間仁, 堀川青司, 間淵昭次: 浮遊砂濃度の測定法につりて.
8. 入江功: 現地海岸での浮遊砂濃度の測定法につりて.
9. 鷺見榮一: エステヤワ-における懸濁物質の浮遊機構.
10. 佐藤昭二, 入江功, 杉山茂信: 天然放射能による漂砂の供給源および卓越方向の推定につりて.
11. Brice Carnahan, H.A. Luther, James O. Wilkes: *Applied Numerical Methods*. John Wiley & Sons, Inc.
12. Ippen: *Estuary and Coastline Hydrodynamics*.
13. 白石英彦, 大西亮一: 潮流による底質の浮きよりおよび浮遊砂の擴散
14. Fukushima, H and M. Koshinamura: *Drift Sand and Its Measurement*. Proc. of 6th Conf. Coastal Eng. in Japan, 1959.
15. Shinohar, Tsubaki, Yositaka, Aqemori: *Sand Transport along a Model Sandy Beach by Wave Action*. Coastal Eng. in Japan Vol. 3, 1960.
16. Kishi: *Suspension of Sediment due to Surface Waves*. J.S.C.E., 1966.
17. Noda: *Suspension of Sediment due to Wave Action*. Coastal Eng. in Japan, 1967.
18. Homma, Horikawa: *Suspended Sediment due to Wave action*. Coastal Eng. in Japan, 1962.
19. 大西亮一: 非定常擴散方程式の數値解法.
20. 東海村海岸調査報告書.