

BSPE 00267-461-2

波浪에 의한 底泥의 浮游메카니즘에
관한 實驗研究

Experimental study on mechanism of
bottom mud resuspension due to waves

1992. 6.

韓國海洋研究所

提 出 文

韓國海洋研究所長 貴下

本 報告書를 “波浪에 의한 底泥의 浮遊메카니즘에 관한 實驗研究” 事業의 最終
報告書로 提出합니다.

1992. 6. 30.

研 究 員 : 朴 光 淳

李 東 永

秋 珞 植

要 約 文

1. 題目 : 波浪에 의한 底泥의 浮遊메카니즘에 관한 實驗研究

2. 研究의 必要性

內海域에서는 河川으로부터 流入되는 토사 등에 의해 다량의 汚染底泥가 堆積하고 있다. 그 특징은 1) 微細한 土粒子에 의해 구성되고 2) 自然含水比가 대단히 높고 3) 함유유기물이 많은 점이 알려져 있다. 이들의 底泥는 潮流나 波浪 등의 수리 조건에 의해 再浮遊, 沈降, 堆積, 流動 등의 복잡한 舉動을 나타내고 港灣 航路 埋沒, 水質汚染 등의 다양한 環境問題를 일으키고 있다. 이러한 문제를 밝히기 위해서는 흐름이나 波가 존재하는 場에서 底泥의 輸送現象을 분명히 해서 底泥의 舉動을 豫測할 필요가 있다.

海底에 堆積한 저질 粘土가 表面波의 작용에 의해 다시 海水中에 浮遊하는 過程을 해석해서 浮遊量의 評價方法을 開發하기 위해서는 現場觀測 등의 방법이 있으나 현재 微細堆積物에 대해서는 측정장치가 거의 없으므로 波에 의한 저질粘土의 輸送現象의 경우 특히 粘土 표면층으로 부터 수층으로의 浮遊現象 및 波浪과 mud의 相互作用을 규명하기 위해서는 實驗的 解析을 할 필요가 있다. 또한 우리나라 沿岸海域에 널리 분포되어 있는 微細堆積物에 대한 site-specific한 移動豫測 모델의 開發 및 適用을 위해서는 먼저 그 基礎研究로서 微細堆積物의 波浪에 의한 輸送과정에 대한 메카니즘이 實驗的으로 해명되어야 할 필요가 있다.

3. 研究目標

- 波 作用下에서 底泥의 浮遊 메카니즘(底面剪斷應力과 浮遊率과의 關係)의 實驗的 調査

4. 研究內容 및 範圍

- 2次元 造波水路에서 波作用下에서 底泥의 舉動 조사 및 輸送 메카니즘 조사
- 波 作用下에서 底面의 限界剪斷應力과 底泥의 浮遊率과의 關係 推定

Summary

There have been numerous studies on sediment transport in the water where waves and currents coexist. However when we deal with fine-grain sediment of mud-type, the transport processes are very complicate due to the lack of understanding of erosion, resuspension and deposition rates, particularly in the wave-current coexisting environments. One way to make the problem simple is to assume based on the field and/or flume experiments that the resuspension is controlled mainly by the wave action while the advection is due to the currents. So it has been widely assumed that the shear stress due to wave motion at the bottom during the passage typhoon or storm play an important role in the resuspension of mud. But until now, a quantitative approach to estimate the resuspension rate of mud under the wave action has not been accepted.

In the present study, the resuspension experiments for mud was carried out in a wave flume 5.5m x 0.3m x 0.2m wide in which a flap-type wave generator is installed. The resuspensional process and resuspension rate of soft mud under wave action was examined. It was found that the erosional flux depends on bed shear stress by wave action and on the water content of mud.

On the basis of these experimental results, an empirical relationship between the erosion rate of mud and the bottom shear stress under wave action was obtained, which can be readily applied to the sediment transport model.

目 次

要約文	3
第 1 章 序 論	13
第 2 章 波-흐름 共存場에서의 底面 剪斷應力	15
第 3 章 波浪에 의한 底泥의 浮遊實驗	25
第 4 章 結 論 및 提言	36
參考文獻	39

Contents

Chapter 1. Introduction	13
Chapter 2. Bottom shear stress for a wave-current coexistent system	15
Chapter 3. An experiment of mud suspension under water wave	25
Chapter 4. Conclusions	36
Reference	39

List of Figures

Fig.2.1	Time series of wave, shear stress, SS and current in Youngkwang	16
Fig.2.2	Friction coefficient f_{cw} for $\ln(z_h/z_o)=6.0$ and $\phi=0$	21
Fig.2.3	Friction coefficient f_{cw} for $\ln(z_h/z_o)=8.0$ and $\phi=0$	21
Fig.2.4	Friction coefficient f_{cw} for $\ln(z_h/z_o)=10.0$ and $\phi=0$	22
Fig.2.5	Comparision of friction coefficients f_{cw} for wave motion alone ..	23
Fig.3.1	Wave flume and experimental set-up	26
Fig.3.2	Particle size distribution of mud	28
Fig.3.3	Vertical distribution of suspended solids concentration	30
Fig.3.4	Variation of amount of suspenden solids with elapsed time (W=73%, H=2.2cm)	31
Fig.3.5	Variation of amount of suspenden solids with elapsed time (W=161%, H=4.0cm)	31
Fig.3.6	Variation of amount of suspenden solids with elapsed time (W=73%, H=7.5cm)	32
Fig.3.7	Variation of amount of suspenden solids with elapsed time (W=161%, H=2.2cm)	32
Fig.3.8	Variation of amount of suspenden solids with elapsed time (W=161%, H=4.0cm)	33

Fig. 3.9 Variation of amount of suspended solids with elapsed time

(W=161%, H=7.5cm) 33

Fig. 3.10 Relationship of the initial rate of erosion and shear stress 34

第1章 序論

海底 저질이 粘土, 실트 등 微細한 粒子에 의해 형성되고 있는 沿岸域에서는 波나 潮流 등에 의해 쉽게 底泥가 부상하고 이동을 함으로써 때때로 심각한 航路埋沒 등의 문제와 水質汚染의 문제를 일으키고 있다. 한편 河川으로부터 유입되는 토사 등에 의해 底泥가 工場廢水나 生活下水로 汚染되어 있는 경우, 이러한 汚染底泥의 특징은 1) 미세한 土粒子에 의해 구성되고 2) 自然含水比가 대단히 높고 3) 함유 유기물이 많은 점이 알려져 있다. 이들의 底泥는 潮流나 波浪 등의 수리조건에 의해 再浮遊, 沈降, 堆積, 流動 등의 복잡한 舉動을 나타내고 港灣 航路 埋沒, 水質汚染 등의 다양한 環境問題를 일으키고 있으며, 예로 재부상 등에 의한 영양염의 용출에 의해 赤潮의 발생이라고 하는 문제도 생기고 있다. 따라서 이러한 문제를 밝히기 위해서는 흐름이나 波가 존재하는 場에서 底泥의 輸送現象을 분명히 해서 底泥의 舉動을 豫測할 필요가 있다.

海底에 堆積한 저질 粘土가 表面波의 작용에 의해 다시 海水中에 浮遊하는 과정을 해석해서 浮遊量의 평가방법을 개발하기 위해서는 현장관측 등의 방법이 있으나, 현재 微細堆積物에 대해서는 測定 장치가 거의 없으므로 波에 의한 저질粘土의 輸送現象의 경우 특히 粘土 표면층으로부터 水層으로의 浮遊現象 및 波浪과 mud의 相互作用을 규명하기 위해서는 實驗的 해석을 할 필요가 있다. 또한 우리나라 沿岸海域에 널리 분포되어 있는 微細堆積物에 대한 site-specific한 移動豫測 모델의 개발 및 적용을 위해서는 먼저 그 基礎研究로서 微細堆積物의 波浪에 의한 輸送過程에 대한 메카니즘이 實驗的으로 해명되어야 할 필요가 있다.

本 研究에서는 2차원 造波水路에서의 實驗을 통하여 波 作用下에서 底泥의 浮遊 메카니즘의 特性을 把握하고 底面剪斷應力과 浮遊率과의 關係를 도출하고자 하였다.

第 2 章 波-흐름 共存場에서의 底面 剪斷應力

海底저질이 底泥에 의해 형성되고 있는 沿岸域에서 底泥는 潮流나 波浪에 의해 浮遊 輸送되고 沈降 堆積된다. 沿岸域에서 이러한 底泥의 輸送문제 있어서 지배적인 요인은 흐름보다는 波浪條件과 底泥의 含水比가 보다 지배적인 요인이라는 사실이 알려져 있고 含水比의 변화는 底泥의 粘度의 변화를 수반하여 底泥의 輸送量에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다. 淺野敏之(1986)은 波만이 작용한 경우의 浮遊率과 같은 浮遊率을 흐름만으로 생기게 하기 위해서는 20배 정도의 剪斷應力이 필요하다고 보고하였다. 이것은 波가 작용한 경우의 파동운동에 의한 剪斷應力의 변동이나 壓力의 변동이 底泥의 浮遊에 관여하고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 剪斷應力의 변동이나 壓力의 변동이 어느 정도의 비율로 관여하고 있는지는 잘 알려져 있지 않다.

예로 흐름과 波가 공존하는 場에서의 底泥 濃度の 변화는 Fig.2.1과 같다. 이 그림은 1991년 12월 우리나라 서해 영광해역의 수심 약 10m 지점에 설치한 波高計와 底面으로부터 약 1.2m에 설치한 AQUASensor를 사용하여 관측한 波高分析結果와 剪斷應力, 浮遊物 濃度 그리고 流速의 시간 변화율을 보여주고 있다. 동 관측기간 중 storm이 통과하여 波高가 높을 때의 浮遊濃度도 관측할 수가 있었다. Fig.2.1에서 나타난 바와 같이 波高가 클 때 剪斷應力도 크고 이에 따라 浮遊物의 濃度도 波高가 작을 때보다 현저하게 높아짐을 볼 수 있다.

底泥를 浮遊시키는 外力으로서의 底面 附近의 振動流가 중요한 역할을 하고 있는 것이 알려져 있다. 따라서 波浪과 흐름이 공존하는 조건에서 堆積物의 移動을 研究할 때 底面剪斷應力에 대한 보다 정도 높은 지식이 필요하다. 한편 底面에서

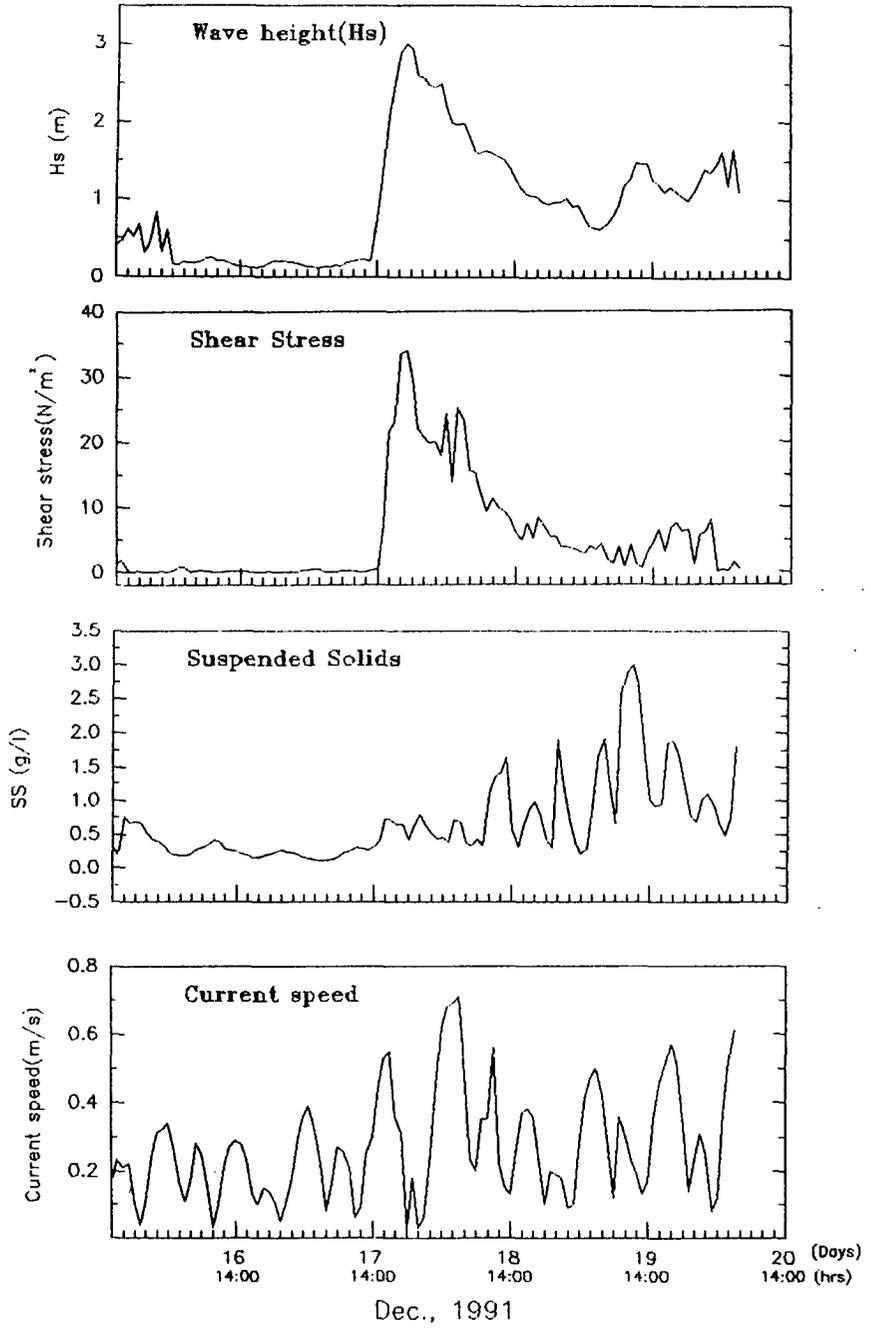


Fig.2.1 Time series of wave, shear stress, SS and current in Youngkwang

剪斷應力은 堆積物의 이동과 밀접한 관계를 가지고 있다. 따라서 본장에서는 波浪과 흐름이 공존하는 조건하에서 摩擦係數와 底面剪斷應力에 대해 文獻調査를 통해 고찰하였다.

Kajiura(1964)에 따르면 전수심에 있어서 渦動粘性 係數는 底面으로부터의 연직 거리에 따라 선형적으로 변한다.

$$K_y = \kappa u_{cw}^* y \quad (2.1)$$

여기서 u_{cw}^* : 底面摩擦 速度의 最大值 ($u_{cw}^* = \sqrt{\tau_{om} / \rho}$)

κ : Karman constant (= 0.4)

K_y : eddy viscosity

먼저 흐름 (시간에 불변인 부분)에 대해서 고찰하면

$$\tau_c = \rho u_c^{*2} = \rho u_{cw}^* y \frac{\partial u_c}{\partial y} \quad (2.2)$$

따라서

$$u_c = \frac{u_c^{*2}}{\tau u_{cw}^*} \ln \frac{y}{y_0} \quad (2.3)$$

여기서 y_0 : 粗度길이, 첨자 c는 흐름에 관한 제량을 나타낸다. 식(2.3)은 그 형태로 부터 분명하듯이 波와 흐름의 相互干涉의 영향을 maximum shear velocity u_{cw}^* 의 형태로 포함하고 있다. 식(2.3)에서 u_c^* 를 결정하기 위해 bottom $z=z_0$ 로부터 표면 $z=z_h$ 까지 적분하면

$$u_c^{*2} = \frac{\kappa u_c u_{cw}^*}{\ln(y_h / y_0) - 1} \quad (2.4)$$

여기서 y_h : 수심(total water depth)

\bar{u}_c : current의 연직평균速度

다음에 주기적인 부분에 대해서 고찰하면 기본방정식으로서 선형화한 2차원 境界層 方程式을 이용한다.

$$\frac{\partial}{\partial t} (u_w - U_w) = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \tau_w}{\partial y} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left(\rho \kappa u_{cw}^* y \frac{\partial u_w}{\partial y} \right) \quad (2.5)$$

여기서 u_w : 水平流速, U_w : 境界層 밖의 流速이다.

식(2.5)에서 $U_w - u_w = v = \bar{v} \exp(i\sigma t)$ 로 놓고 대입하면

$$y v'' + v' - icv = 0 \quad (2.6)$$

로 된다. 여기서 $c = \sigma / (\kappa u_{cw}^*)$ 이다. 식(2.6)에서 $Z = 2 \exp(-i\pi/4) \sqrt{cy}$ 로 변수변환하면 0차의 Bessel 미분방정식을 얻는다. 이것을 2개의 경계조건 즉, $y=y_0$ 에서 $u_w=0$, $y=y_h$ 에서 剪斷應力이 0을 기초로 풀면 해는 다음과 같이 표시된다.

$$u_w = U_w \text{Real} \left[\left\{ 1 - \frac{N_1(z_h) J_0(z) - J_1(z_h) N_0(z)}{N_1(z_h) J_0(z_0) - J_1(z_h) N_0(z_0)} \right\} \exp(i\sigma t) \right] \quad (2.7)$$

여기서, $z_h = 2 \exp(-i\pi/4) \sqrt{cy_h}$

$$z_0 = 2 \exp(-i\pi/4) \sqrt{cy_0}$$

J_0, J_1 : 0차 및 1차의 Bessel 함수

N_0, N_1 : 0차 및 1차의 Neumann 함수

Real은 실수부를 취하는 것을 나타내고 U_w 의 진폭 U_w' 는 포텐셜 이론으로부터 다음 식으로 표시된다.

$$U_w = \frac{\pi H/L (L/T - U_c \cos \alpha)}{\sinh(2\pi h/L)} \quad (2.8)$$

여기서 α 는 흐름의 방향과 波向間的 角度이고 H와 L은 각각 波高와 波長이다. 그러므로 波浪과 흐름이 공존하는 境界層에서 유속은 식(2.3)과 식(2.7)의 선형결합에 의해 $u = u_c + u_w$ 로 주어진다. 底面 부근에서는 對數則에 따라 constant stress layer가 존재한다고 가정한다. 따라서 底部剪斷力은 식(2.9)로 표시된다.

$$\begin{aligned} \tau_o &= \rho \kappa u_{cw}^* y \left. \frac{\partial u}{\partial y} \right|_{y=y_o} \\ &= \rho u_c^2 + \rho \sqrt{\kappa u_{cw}^* \sigma y_o} U_w' \text{Real}[A \exp(i(\sigma t + \theta))] \end{aligned} \quad (2.9)$$

여기서 A, θ 는

$$\exp(i\pi/4) \frac{N_1(z_h) J_1(z_o) - J_1(z_h) N_1(z_o)}{N_1(z_h) J_o(z_o) - J_1(z_h) N_o(z_o)}$$

의 절대치 및 편각이다. 따라서 식의 최대치를 고려해서

$$\tau_c = \rho u_{cw}^*{}^2 = \rho u_c^2 + \rho \sqrt{\kappa u_c^* \sigma y_o} U_w A \quad (2.10)$$

식(2.10)에 식(2.4)를 대입해서 양변을 $u_{cw}^* U_w$ 로 나누면

$$\frac{u_{cw}^*}{U_w} = \frac{\kappa}{\ln(y_h/y_o) - 1} \frac{\bar{u}_c}{U_w} \sqrt{\frac{\kappa \sigma y_o}{u_{cw}^*}} A \quad (2.11)$$

여기서 흐름과 波가 共存하는 場에서의 摩擦係數 f_{cw} 를 다음과 같이 정의한다.

$$\tau_{om} = \rho u_{cw}^*{}^2 = \frac{\rho}{2} f_{cw} U_w^2 \quad (2.12)$$

따라서 식(2.11)의 좌변은 $\sqrt{f_{cw} / 2}$ 로 되고 또 우변은 y_h/y_o , u_c/U_w , $\sigma y_o/U_w$ 및 f_{cw} 의 함수로 된다. 이들의 수치계산 예는 Fig. 2.2, Fig. 2.3, Fig. 2.4와 같다. 그리고 여기서 $u_c/U_w \rightarrow 0$ 및 $u_c/U_w \rightarrow \infty$ 에 있어서 f_{cw} 의 變動에 대해서 고찰하면 다음과 같다. Fig. 2.2, Fig. 2.3, Fig. 2.4에 있어서 $u_c/U_w=0$ 에서 f_{cw} 의 값을 그린 것이 Fig. 2.5이고 Kajiura(1964), Jonsson(1966), Riedel(1972) 등이 구한 振動流에 있어서 摩擦係數와 근사한 값을 나타내고 있다. 다음에 $u_c/U_w \rightarrow \infty$ 의 경우에 대해서 고찰하면 對數則으로 부터 용이하게 다음식이 구해진다.

$$f_{cw} = \frac{2\kappa^2}{\{\ln(y_h/y_o) - 1\}^2} \left(\frac{\bar{u}_c}{U_w} \right)^2 \quad (2.13)$$

Fig. 2.2, Fig. 2.3, Fig. 2.4의 점선은 식(2.13)을 나타내고 $u_c/U_w \rightarrow \infty$ 때 f_{cw} 가 점선에 접근해 가는 것을 알 수 있다.

그런데 식(2.11)을 이용해서 f_{cw} 를 구하는 데는 복소 Bessel 함수의 계산이 필요하고 실용상 매우 불필요하다. 그래서 다음과 같은 모양으로 해서 실함수에 의한 표시식을 구한다. 일반적으로 $|z_h| \gg 1$, $|z_o| \ll 1$ 이기 때문에 식(2.11)에 있어서 $J_1(z_h)$, $N_1(z_h)$ 를 점근 전개식으로 치환하고 $J_0(z_o)$, $N_0(z_o)$, $J_1(z_o)$, $N_1(z_o)$ 을 급수전개식으로 數項으로 近似한다. 약간의 계산후에 식(2.11)을 식(2.14)의 모양으로 실함수로 표시한다.

$$\sqrt{\frac{f_{cw}}{2}} = \frac{\kappa}{\ln(y_h/y_o) - 1} \frac{u_c}{U_w} \frac{\kappa}{\pi} \{ 0.25 +$$

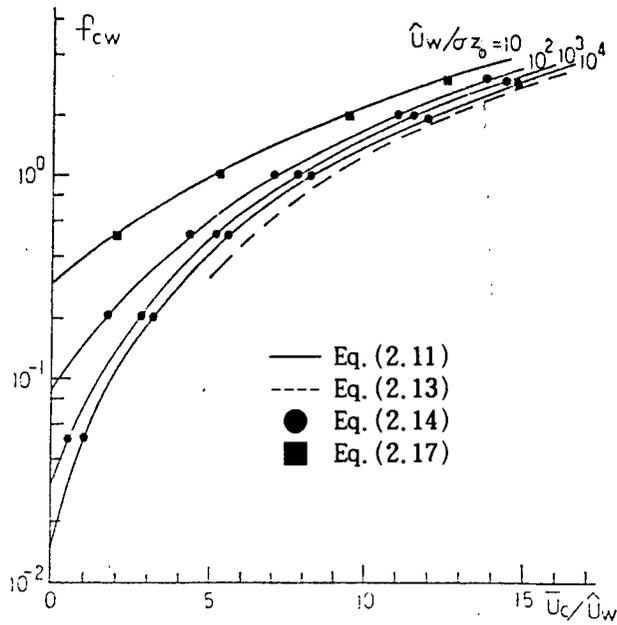


Fig.2.2 Friction coefficient f_{cw} for $\ln(z_h/z_o)=6.0$ and $\phi=0$

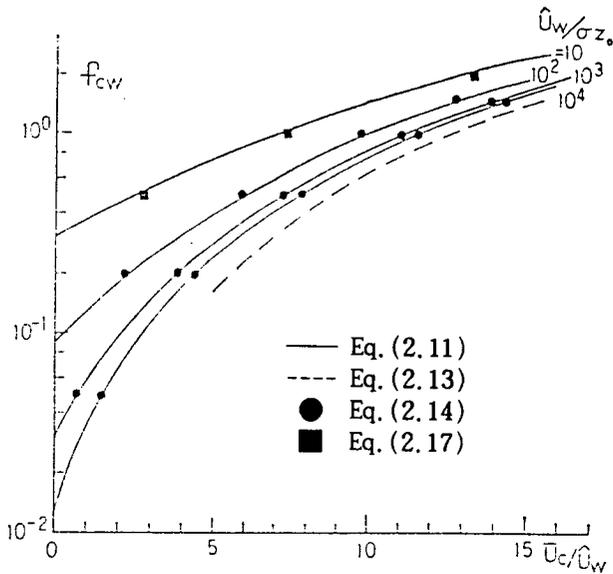


Fig.2.3 Friction coefficient f_{cw} for $\ln(z_h/z_o)=8.0$ and $\phi=0$

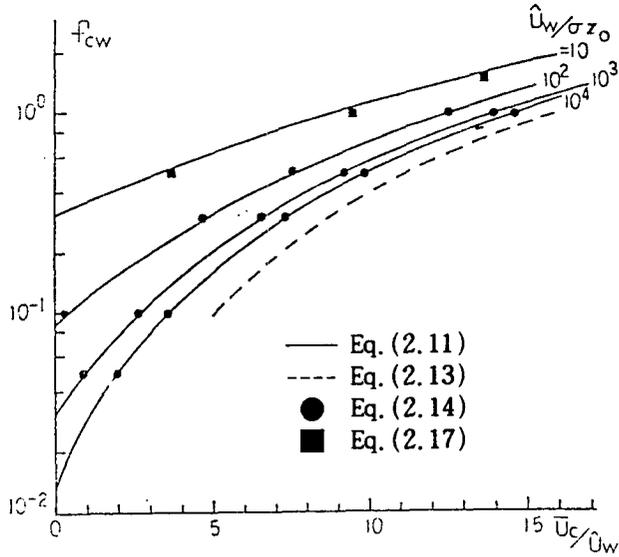


Fig.2.4 Friction coefficient f_{cw} for $\ln(z_h/z_o)=10.0$ and $\phi=0$

$$+ 0.101 \left(\ln \frac{\sigma y_o}{U_w} - \frac{1}{2} \ln f_{cw} + 2.42 \right)^2 \}^{-1/2} \quad (2.14)$$

Fig.2.2, Fig.2.3, Fig.2.4의 ● 표시는 식(2.14)를 이용해서 계산한 f_{cw} 의 값을 나타내고 있고, $U_w/\sigma y_o \gg 50$ 에서는 근사식을 이용해도 충분한 정도를 얻을 수 있는 것을 알 수 있다. 또 식(2.14)에서 $u_c=0$ 일 때는 식 (2.15)의 모양으로 변형할 수 있고 Jonsson(1966)의 摩擦係數와 유사한 식을 얻는다.

$$\ln \frac{1}{4 \sqrt{f_{cw}}} + \frac{1}{1.77} \sqrt{\frac{1}{f_w} - 7.72} = \ln \frac{U_w}{\sigma y_o} - 3.80 \quad (2.15)$$

식(2.15)에 의한 계산치를 나타낸 것이 Fig.2.5와 같다.

한편, $U_w/\sigma y_o \ll 50$ 에 있어서 f_w 는 거의 식(2.16)으로 표시될 수 있기 때문에 이것을 기초로 흐름과 波가 공존하는 場에 있어서 摩擦係數로서 식(2.17)을 이용한다.

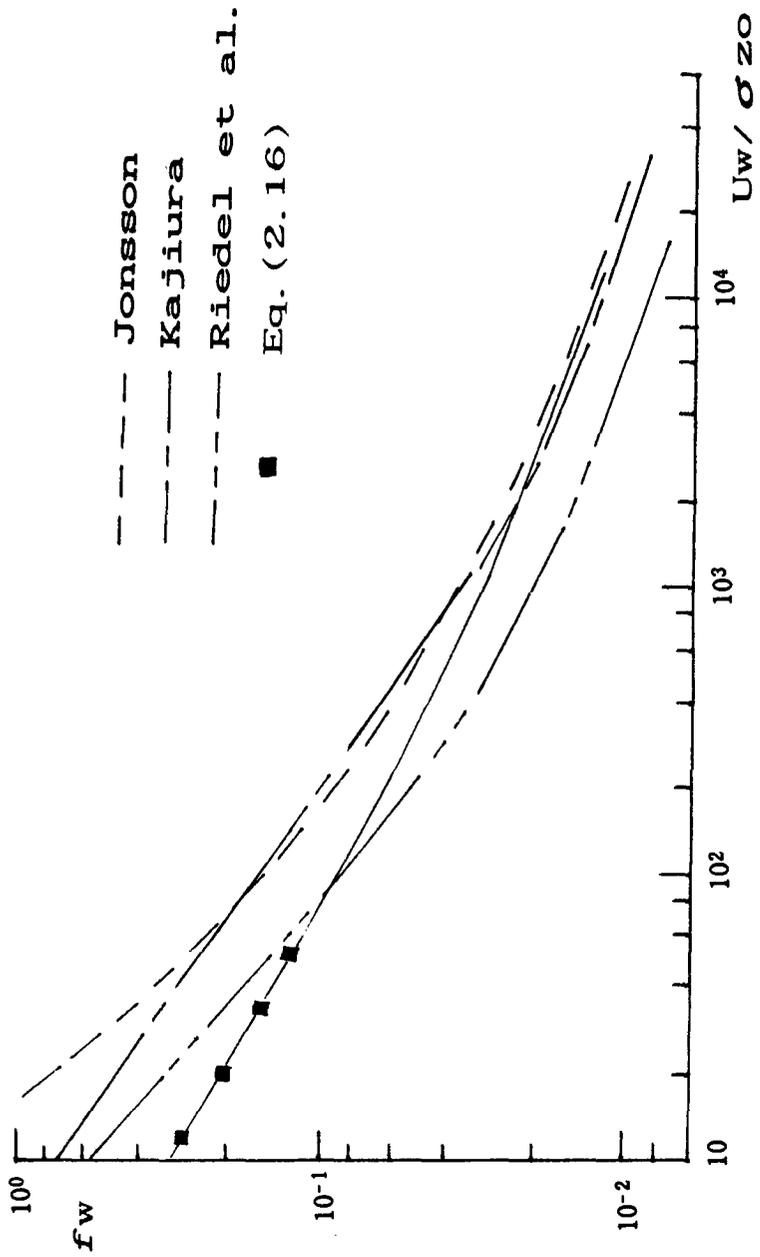


Fig.2.5 Comparison of friction coefficients f_w for wave motion alone

$$f_w = 1.06 (U_w / \sigma y_o)^{-0.547} \quad (2.16)$$

$$\sqrt{\frac{f_{cw}}{2}} = \frac{\kappa}{\ln(y_h/y_o) - 1} \frac{u_c}{U_w} + 0.728 f_{cw}^{-0.25} \left(\frac{U_w}{\sigma y_o}\right)^{-0.408} \quad (2.17)$$

식(2.16) 및 (2.17)에 의한 값을 각각 Fig. 2.5 및 Fig. 2.2, Fig. 2.3, Fig. 2.4에 나타내었다.

또 파향선과 흐름이 각도 ϕ 를 가지고 교차하는 때에도 마찬가지로 이론의 전개로부터 식(2.18)을 얻고 $\phi=0$ 일 때는 식(2.14)와 일치한다.

$$\sqrt{\frac{f_{cw}}{2}} = B^2 \left(\frac{\bar{u}_c}{U_w}\right)^2 + 2BC \frac{\bar{u}_c}{U_w} \cos \phi + C^2 \quad (2.18)$$

여기서

$$B = \frac{\kappa}{\ln(y_h/y_o) - 1}$$

$$C = \frac{\kappa}{\pi} \left\{ 0.25 + 0.101 \left(\ln \frac{\sigma y_o}{U_w} - \frac{1}{2} \ln f_{cw} + 2.42 \right)^2 \right\}^{-1/2}$$

波만이 존재하는 場에서 底面 단위면적당에 作用하는 剪斷力은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\tau_{om} = \frac{\rho}{2} f_w U_b^2 \quad (2.19)$$

第 3 章 波浪에 의한 底泥의 浮遊實驗

1. 概要

波 作用下에 있어서 浮遊濃度의 분포에 대해서는 저질이 모래인 경우 과거부터 많은 研究가 행해져 왔다. 한편 저질이 粘土나 실트인 微細粘着性 堆積物인 경우 浸蝕, 堆積, 압밀, 擴散 등 개개의 現象에 관한 기초적인 研究가 있지만 堆積物 輸送과 堆積量 豫測 등의 응용적인 研究는 충분하지 않은 실정이다. 특히 波 作用下에서 微細粘着性 堆積物의 浮遊 浸蝕에 관한 研究는 충분하지 않은 실정이다.

本 研究에서는 2차원 造波水路에서의 實驗을 통하여 波 作用下에서 底泥의 浮遊 메카니즘의 특성을 파악하고 波 作用에 의한 底面剪斷應力과 底泥의 浮遊率과의 관계를 도출하고자 하였다.

2. 實驗裝置 및 方法

實驗은 Fig. 3.1에 나타난 바와 같이 길이 5.5m, 폭 0.2m, 높이 0.3m의 유리製 造波水路를 제작하여 사용하였고, 여기에 모터를 이용한 造波裝置를 제작하여 수조에서 規則波를 발생시켰다. 이 수조에는 중앙부에 길이 1.5m, 두께 5cm의 오목部를 만들어 소정의 含水比로 조정된 底泥를 넣어 泥層을 만들고, 海水를 사용하여

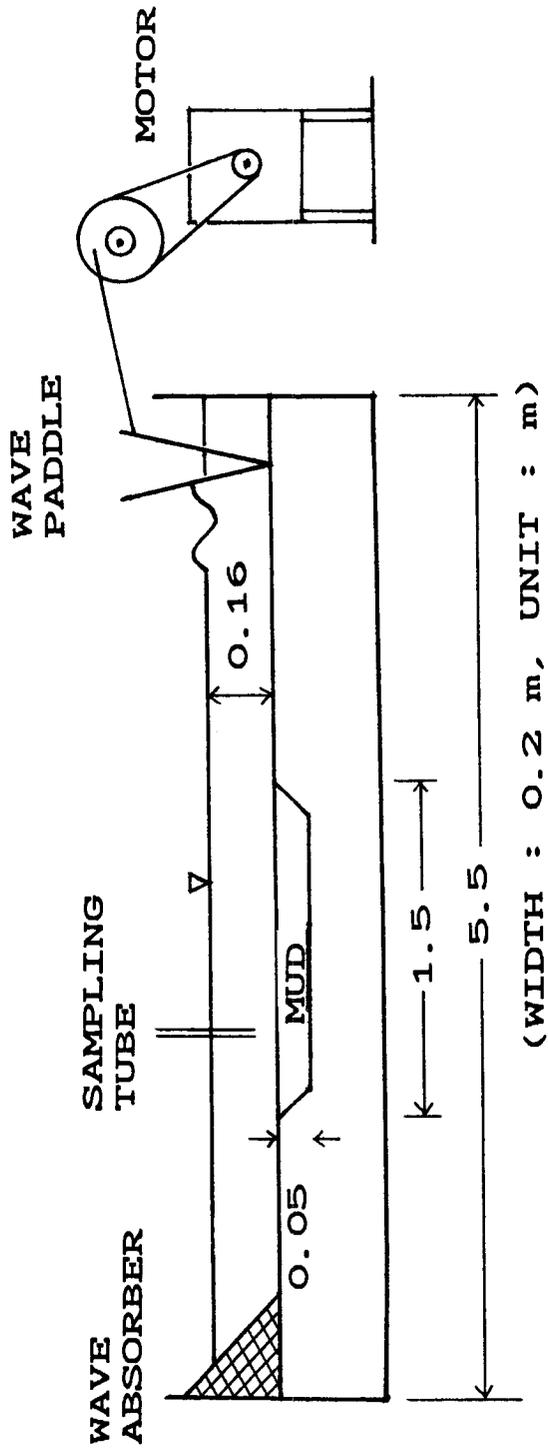


Fig. 3.1 Wave flume and experimental set-up

水深을 16cm로 유지시키고, Table 3.1과 같이 여러가지 波高의 비쇄파 規則波를 작용시켜 길이 1.5m의 底泥層의 중앙에서 振動流에 의해 浮遊되는 底泥의 濃度를 測定하였다. 實驗에 이용한 底泥는 남양만에서 채취한 底泥를 사용하였으며, 이 試料의 粒度分析 結果는 Fig.3.2와 같다. 한편 底泥의 含水比 73%, 161% 2가지 범위에서 波高를 변화시켜 합계 6 케이스의 實驗을 실시하였다. 實驗의 내용은 波作用下에서 底泥의 舉動을 관찰해서 浮遊 flux를 測定하고 波에 의한 底面에서의 剪斷應力과 浮遊率과의 관계도출을 위한 實驗을 실시하였다.

Table 3.1 The conditions of experiment

Case	Water content(%)	Wave height (cm)	Period (sec)	Water depth (cm)	Shear stress (N/m ²)
1	73	2.2	1.0	16	0.050
2	73	4.0	1.0	16	0.119
3	73	7.5	1.0	16	0.297
4	161	2.2	1.0	16	0.050
5	161	4.0	1.0	16	0.119
6	161	7.5	1.0	16	0.297

濃度の 測定은 각 case 별로 波高를 증가시켜 suspension을 샘플링해서 濃度를 測定하였다. 샘플링은 정해진 시간마다 shepon을 이용해서 鉛直方向으로 3점 (底泥層 中央의 底面으로부터 1cm, 5cm, 10cm 지점)에서 샘플링하여 濃度를 測定하였다. 이번 實驗에서 이용한 試料의 鉛直方向의 含水比는 海水와 試料를 충분히 혼합함에 의해 鉛直方向으로 일정하게 하였다.

3951 stnd l#10164x

High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	High Size	Under %	Span
180	100	64.4	83.8	23.0	38.5	8.25	19.0	2.95	8.4	1.06	1.9	Span 2.33
164	99.5	58.7	79.9	21.0	35.9	7.51	17.8	2.69	7.6	0.96	1.6	DL[4, 31]
149	99.0	53.4	75.5	19.1	33.5	6.84	16.7	2.45	6.9	0.88	1.3	37.59µm
136	98.3	48.7	70.8	17.4	31.4	6.23	15.6	2.23	6.2	0.80	1.1	DL[3, 21]
124	97.6	44.3	66.0	15.9	29.4	5.67	14.5	2.03	5.5	0.73	0.9	8.65µm
113	96.6	40.4	61.2	14.4	27.6	5.17	13.5	1.85	4.9	0.66	0.7	
103	95.5	36.8	56.6	13.2	25.9	4.71	12.6	1.68	4.3	0.60	0.6	DL[1, 0.91]
93.6	94.1	33.5	52.2	12.0	24.3	4.29	11.7	1.53	3.7	0.55	0.4	77.73µm
85.2	92.3	30.5	48.0	10.9	22.9	3.91	10.8	1.40	3.2	0.50	0.3	
77.6	90.0	27.8	44.6	9.94	21.5	3.56	10.0	1.27	2.7			DL[1, 0.11]
70.7	87.1	25.3	41.4	9.05	20.2	3.24	9.2	1.16	2.3			3.57µm
Source =		:Sample		Beam length = 2.2 mm		Model indp						
Focal length = 100 mm				Residual = 0.359 %		Obscuration = 0.1440		Volume Conc. = 0.0208%				DL[1, 0.51]
Presentation = stnd				Volume distribution		Sp. S. A 0.6936 µ ² /cc.						31.86µm

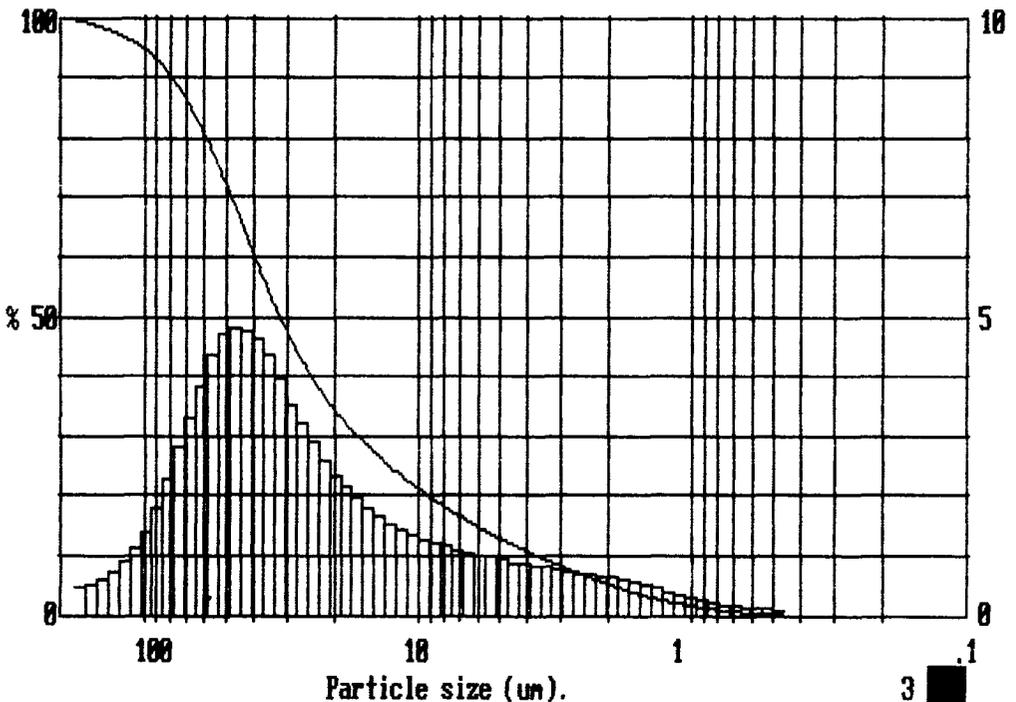


Fig.3.2 Particle size distribution of mud

지금까지 행했던 波에 의한 浮遊實驗에서 가장 底泥層이 얇았던 경우는 2.5cm(Thimakon, 1980) 이다. 底泥層이 어느정도 두께를 가지면 底泥 内部의 壓力 勾配에 의해 底泥는 波動運動을 하지만, 底泥層이 0.5cm와 같이 극단히 얇은 경우에는 底泥는 底面의 영향을 받기때문에 波動運動은 생기지 않는다고 보고되고 있다 (鶴谷廣一 등, 1990). 底泥에 作用하는 힘은 底泥表面의 剪斷應力뿐이다.

底泥床의 前後에서 波를 測定함과 동시에 造波 시작후 1, 3, 5, 7, 10, 15, 30, 45, 60분 마다 浮遊된 底泥의 量을 測定해서 이것에 기초해서 각 기간에 있어서 平均 浮遊 flux를 算定하였다.

3. 實驗結果

底泥는 입사파가 커짐에 따라 여러가지 舉動을 나타낸다. 本 實驗의 경우 입사 파가 커짐에 따라 ripple이 발생하고 底泥의 浮遊가 보여지며, 그 후 底泥層 表層 部分에서 振動, 波狀運動, 破壞의 舉動을 나타낸다.

波를 작용시키면 底泥의 表面에서 高濃度의 두께 1-2cm 정도의 泥層이 波의 주기와 함께 往復運動을 하고 얼마안있어 波의 進行方向과 上層으로 擴散되어 가는 것이 관찰되었다. 또 波高에 따라 약간의 차이는 있지만 實驗 개시로부터 급격히 濃度가 증가해서 3-7분 경과하면 濃度의 증가가 일시적으로 적게되어 10분정도 경과한 때부터 다시 증가가 시작되고 시간경과에 따라 부유량은 일정치에 달하거나 감소함을 보였다. Fig. 3.3은 實驗 case 1의 경우에 있어서 濃度의 鉛直分布를 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 저층이 상당히 高濃度로 되는 것이 測定되었다.

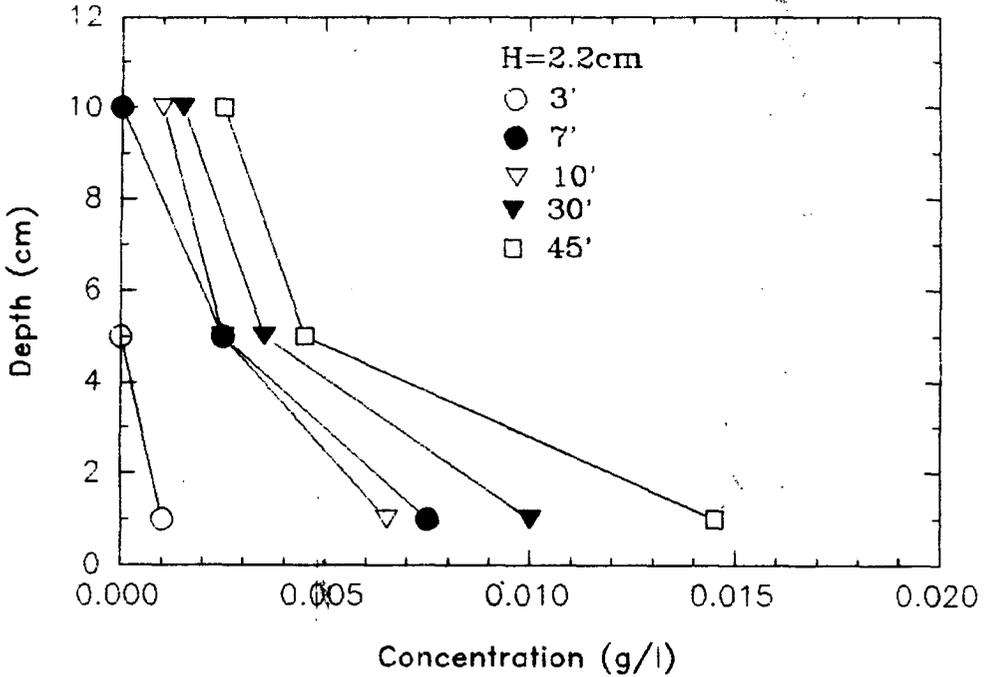


Fig. 3.3 Vertical distribution of suspended solids concentration

Fig. 3.4-Fig. 3.9는 波浪의 作用下에 있어서 底泥의 浮遊量의 經時變化를 보여 주고 있다. 實驗시작 初期에 있어서 浮遊量이 급격히 증가하고, 그 후 어떤 일정한 값에 가깝게 되거나 감소해 가는 것을 볼 수 있다. 이것은 造波水路를 이용하여 이와 마찬가지로의 實驗을 실시한 楠田哲也 등(1989)의 結果와도 일치한다. 또 剪斷應力이 큰 만큼 浮遊量이 크게 되는 것도 楠田哲也 등(1988)의 結果와 마찬가지로이다. 浮遊가 생기는 底泥表層이 波浪에 의한 剪斷應力을 받아 시간의 경과와 함께 서서히 底泥 表層이 단단해 짐으로써 浮遊는 정지한다고 생각된다. 최종 浮遊量으로의 도달시간은 底泥로부터 上層水中으로의 浮遊의 供給源인 底泥表層部の 硬化를 가져오는 경과시간으로 생각할 수 있다.

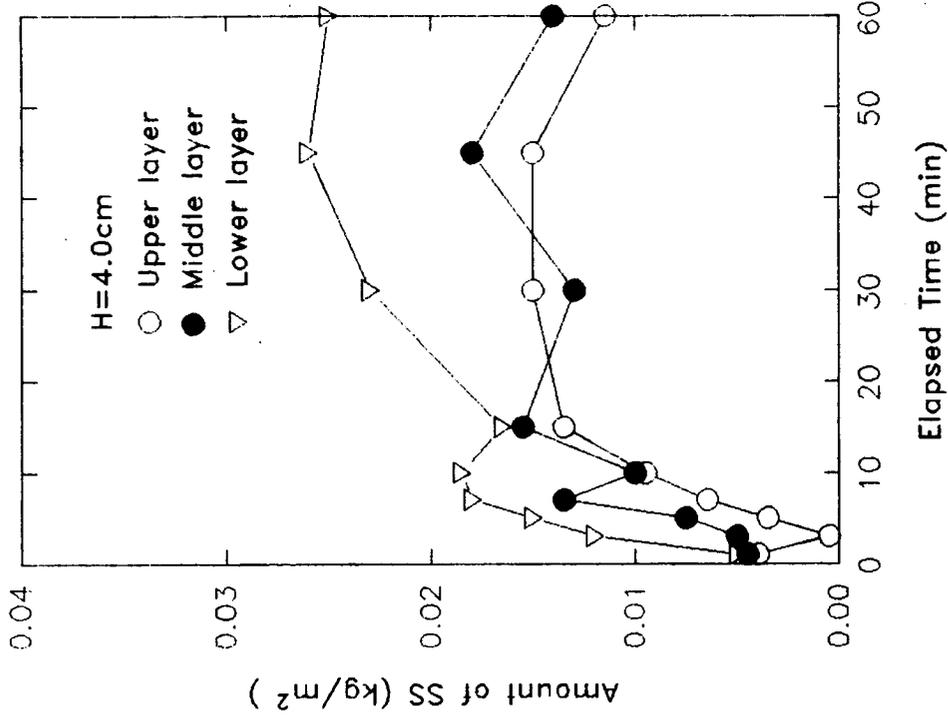


Fig. 3.5 Variation of amount of suspended solids with elapsed time (W=161%, H=4.0cm)

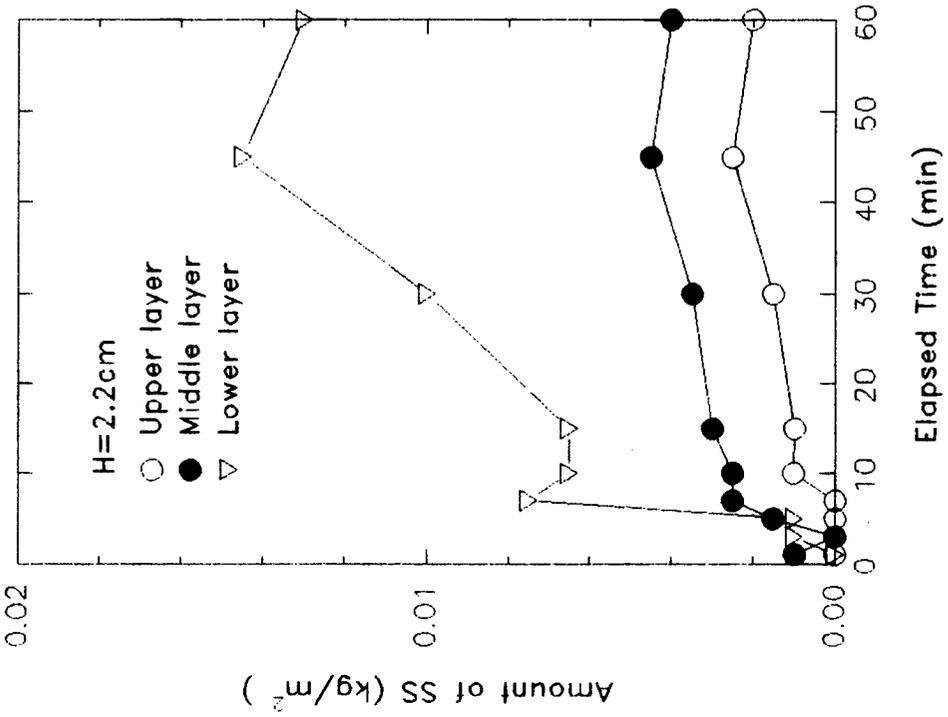


Fig. 3.4 Variation of amount of suspended solids with elapsed time (W=73%, H=2.2cm)

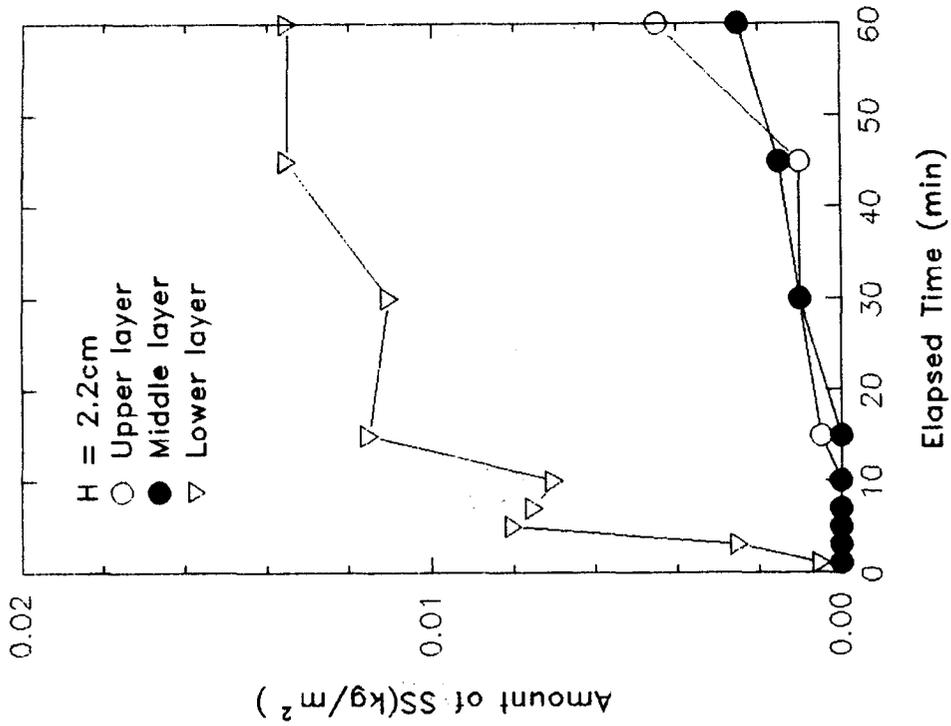


Fig.3.7 Variation of amount of suspended solids with elapsed time ($W=161\%$, $H=2.2\text{cm}$)

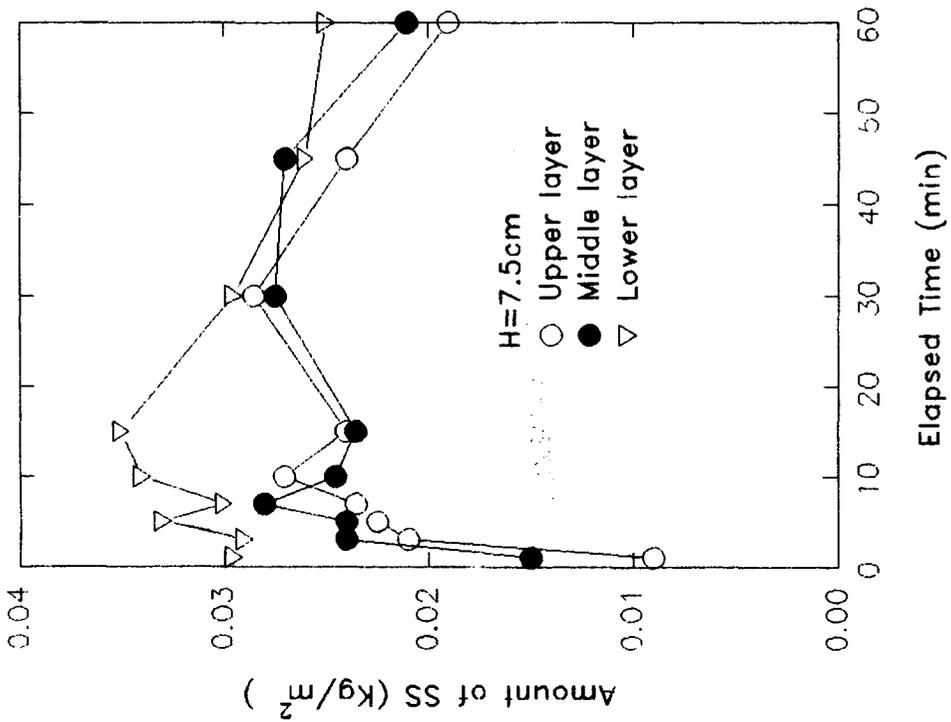


Fig.3.6 Variation of amount of suspended solids with elapsed time ($W=73\%$, $H=7.5\text{cm}$)

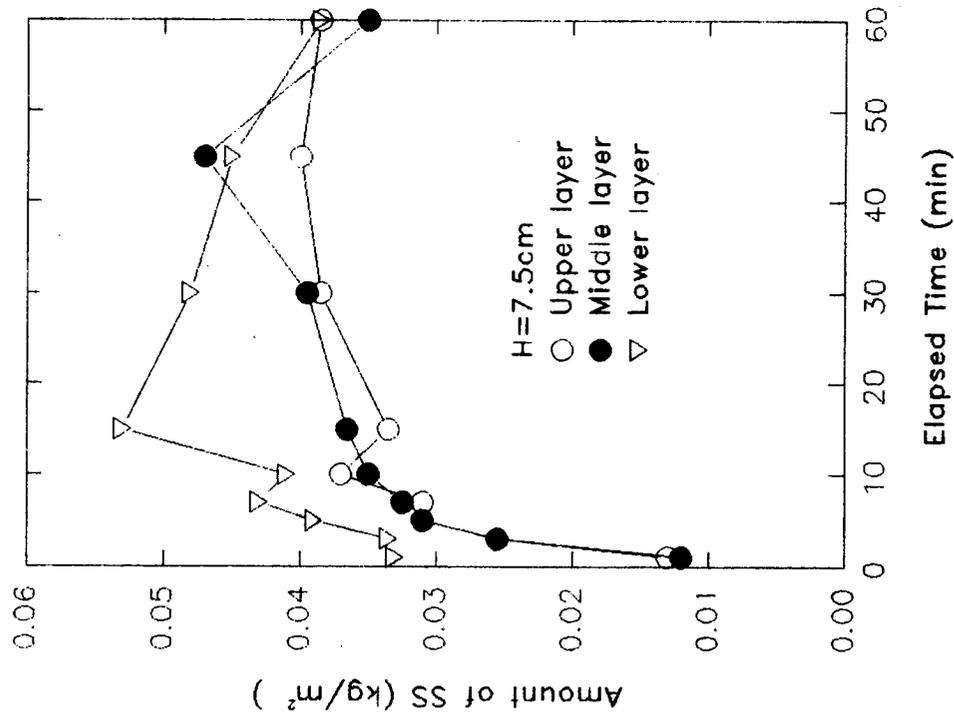


Fig.3.9 Variation of amount of suspenen solids with elapsed time (W=161%, H=7.5cm)

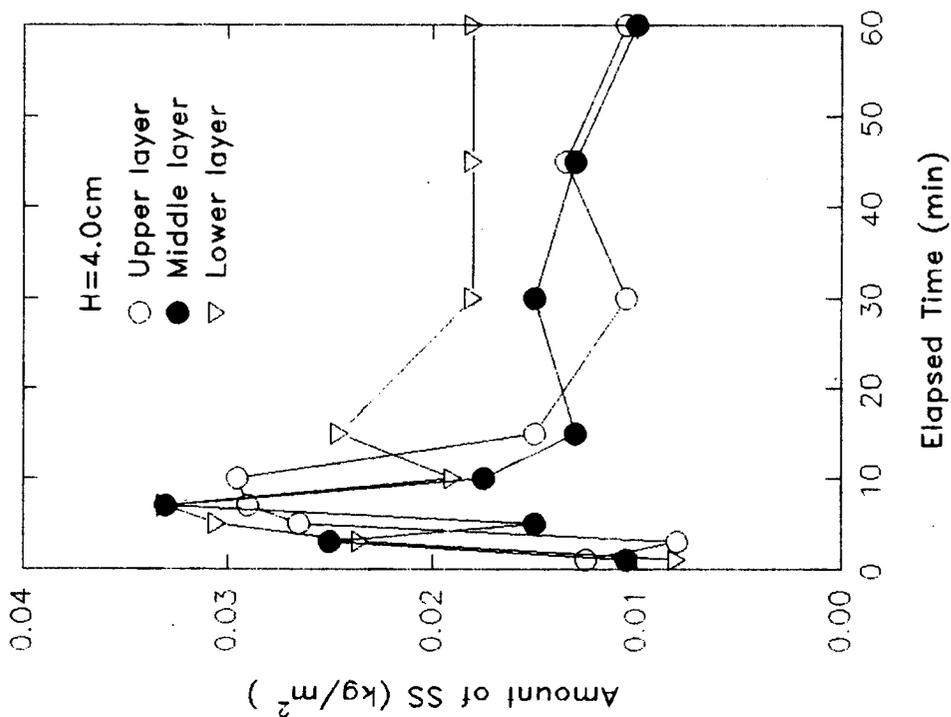


Fig.3.8 Variation of amount of suspenen solids with elapsed time (W=161%, H=4.0cm)

○ 浮遊限界 底面 剪斷應力

Fig. 3.10은 初期浮遊量과 剪斷應力과의 관계를 보여준다. 實驗結果 浮遊限界底面 剪斷應力 τ_{ce} 는 0.12 N/m^2 이었다. 波動下에 있어서 τ_{ce} 를 산출할 때, 동일 시료에 있어서 τ_{ce} 가 含水比의 함수로서 표현될 수 있다.

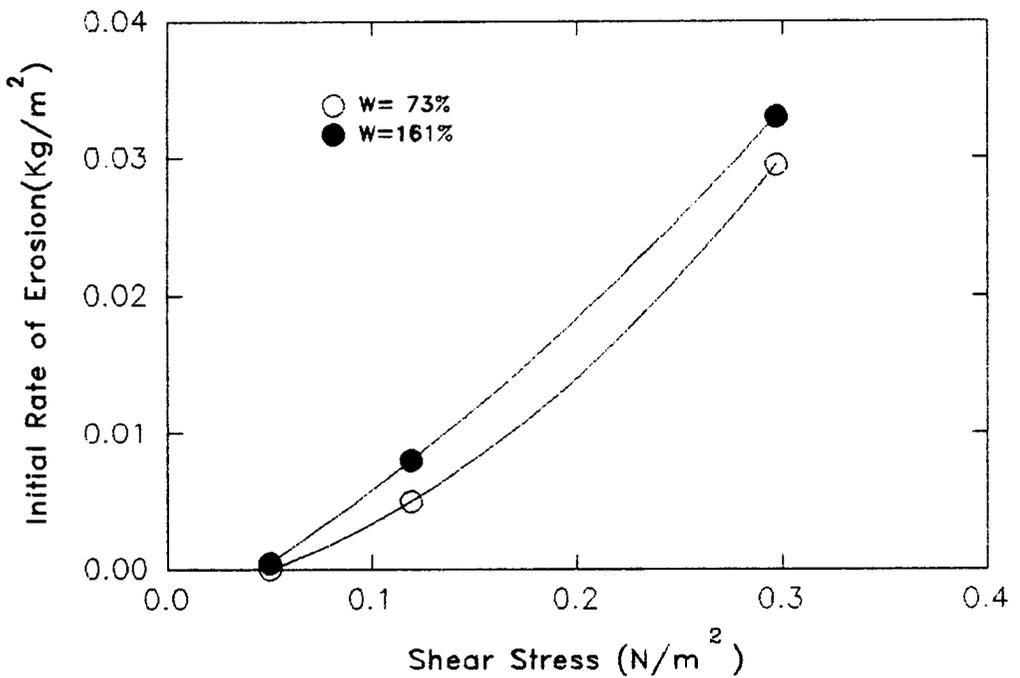


Fig. 3.10 Relationship of the initial rate of erosion and shear stress

本 實驗에서는 일련의 波動下에 있어서 浮遊實驗에 의해 底泥表層으로부터 浮遊되는 總量이 시간의 경과와 함께 감소해 가는 것을 측정하였다. 이러한 사실은 底泥가 부드러운만큼 浮遊되기 쉽고, 底泥가 부드러우면 상층수와 연계된 振動을 일으켜 境界面에서의 剪斷應力이 작게 되고, 또 底泥의 表層部에 있어서 粒子間 구

조의 변화에 수반한 底泥의 硬化現象에 원인이 있는 것으로 생각할 수 있다.

흐름에 의한 浮遊量의 豫測式으로서는 剪斷應力 τ 만의 함수로서 표현한 것 (예를 들면 Mehta, 1981)이나 시간의 함수로서 표현한 것 (Fukuda, 1980) 등이 있고, 初期浮遊速度를 무차원 剪斷應力 ($\tau / \tau_{ce} - 1$) (有效剪斷應력과 浮遊限界剪斷應력과 의 比)를 이용해서 표현하는 방법이 있다. 이러한 初期浮遊速度에 미치는 영향요소로서 剪斷應力외에 底泥의 含水比, 주기, 底泥의 性狀, 水溫, 鹽分 등이 열거될 수 있으며, 이 경우 底泥 性狀의 영향이 가장 크기때문에 作用하는 剪斷應力이 그 대로 浮遊에 관련된다고 볼 수 있다.

浮遊現象을 모델하는데에 研究者에 따라 약간의 차이는 있지만 일정한 剪斷應力을 超過하면 급속히 浮遊量이 증가하는 특성을 표현하기 위해 浮遊의 限界剪斷應力 τ_{ce} 를 이용하는 것이 일반적이다. 예를들면 부유 flux E와 부유전단응력 τ 와의 관계는 다음식으로 주어질 수 있다.

$$E = \alpha (\tau / \tau_{ce} - 1)^n \quad (3.1)$$

여기서 α 는 비례상수로 底泥의 含水比, 底泥의 종류 등에 의해 변화하는 값이다. τ / τ_{ce} 는 浸蝕의 限界應力으로부터의 超過應力으로 浸蝕에 관련된 有效剪斷應力으로 생각할 수 있다. τ_{ce} 의 정의방법은 研究者에 따라 여러가지 이나, 實驗的으로 τ_{ce} 를 구하는 경우 목측에 의한 底泥表層의 粒子가 이동하기 시작할 때의 剪斷應力으로 하는 방법이 있다. 식(3.1)로부터 미지수 τ_c , n , α 를 실험결과로부터 구하면 $\tau_{ce} = 0.12 \text{ N/m}^2$, $n = 0.64$, $\alpha = 0.0067 \text{ kg/m}^2\text{s}$ 이었다.

第4章 結論 및 提言

海底저질이 底泥에 의해 형성되고 있는 沿岸域에서 底泥는 潮流나 波浪에 의해 浮遊 輸送되고 沈降 堆積된다. 沿岸域에서 이러한 底泥의 輸送問題 있어서 支配的인 要因은 흐름보다는 波浪條件과 底泥의 含水比라는 사실이 알려져 있고 특히 底泥를 浮遊시키는 外力으로 颱風이나 storm시 高波浪에 의한 底面 附近의 振動流가 중요한 역할을 하고 있는 것이 알려져 있다. 이러한 사실은 우리나라 영광해역에서 AQUAsensor를 이용하여 흐름만이 우세할 때와 storm시 흐름과 波浪이 복합된 경우의 堆積物 浮遊濃度の 현장관측 결과에서도 잘 나타나고 있다. 한편 波만이 작용한 경우의 浮遊率과 같은 浮遊率을 흐름만으로 생기게 하기 위해서는 20배 정도의 剪斷應力이 필요하다는 보고도 있다. 이것은 波가 작용한 경우의 波動運動에 의한 剪斷應力の 변동이나 壓力의 변동이 底泥의 浮遊에 관여하고 있기 때문이라고 생각된다. 그러나 剪斷應力の 변동이나 壓力의 변동이 어느 정도의 비율로 관여하고 있는지는 잘 알려져 있지 않은 실정이다. 底面에서 剪斷應力은 堆積物の 移動과 밀접한 관계를 가지고 있다.

波 作用下에 있어서 浮遊濃度の 분포에 대해서는 저질이 모래인 경우 과거부터 많은 研究가 행해져 왔으나, 저질이 粘土나 실트인 微細粘着性 堆積物인 경우 波 作用下에서 微細粘着性 堆積物の 浮遊 浸蝕에 관한 研究는 충분하지 않은 실정이다. 따라서 本 研究에서는 波 作用下에서 微細粘着性 堆積物の 浮遊 實驗을 위한 2次元 造波水路를 제작하였고, 實驗을 통하여 波 作用下에서 底泥의 浮遊 特性을 파악하고 波 作用에 의한 底面剪斷應力과 底泥의 浮遊率과의 實驗的인 關係를 導出

하였다.

本實驗에서 底泥는 입사파가 커짐에 따라 여러가지 舉動을 나타낸다. 本實驗의 경우 입사파가 커짐에 따라 ripple이 발생하고 底泥의 浮遊가 보여지며, 그 후 底泥層 表層部分에서 振動, 波狀運動을 나타내었다. 波를 작용시키면 底泥의 表面에서 高濃度의 두께 1-2cm 정도의 泥層이 波의 주기와 함께 往復運動을 하고 얼마안 있어 波의 進行方向과 上層으로 擴散되어 가는 것이 관찰되었다. 또 波高에 따라 약간의 차이는 있지만 實驗 개시로부터 급격히 濃度가 증가해서 3-7분 경과하면 濃度의 증가가 일시적으로 적게되어 10분정도 경과한 때부터 다시 증가가 시작되고 시간경과에 따라 부유량은 일정치에 달하거나 감소함을 보였다. 한편 本實驗에서는 일련의 波動下에 있어서 浮遊實驗에 의해 底泥表層으로부터 浮遊되는 總量이 시간의 경과와 함께 감소해 가는 것을 측정하였다. 이러한 사실은 底泥가 부드러운만큼 浮遊되기 쉽고, 底泥가 부드러우면 상층수와 연계된 振動을 일으켜 境界面에서의 剪斷應力이 작게 되고, 또 底泥의 表層部에 있어서 粒子間 구조의 변화에 수반한 底泥의 硬化現象에 원인이 있는 것으로 생각할 수 있다.

波浪의 作用에 의해 발생된 剪斷應력과 浮遊量과의 관계는 實驗적으로 다음과 같다.

$$E = 6.7 \times 10^{-3} (\tau / 0.12 - 1)^{0.64}$$

海底에 堆積한 저질 粘土가 表面波의 作用에 의해 다시 海水中에 浮遊하는 과정을 해석해서 定量的인 浮遊量 推定方法을 開發하고 상기의 관계를 확정하기 위해서

는 向後 광범위한 조건에서 實驗結果를 蓄積할 필요가 있다. 또한 우리나라 沿岸海城에 널리 分布되어 있는 微細堆積物에 대한 site-specific한 移動豫測 모델의 開發 및 適用을 위해서는 먼저 그 基礎研究로서 微細堆積物의 波浪에 의한 輸送過程에 대한 메카니즘이 現場實驗과 實驗을 통해서 해명되어야 할 必要가 있다.

参 考 文 献

- 楠田哲也 等. 1988. 波による底泥の浮遊及び挙動に関する研究.
海岸工学論文集 第35巻, pp 352-356.
- 楠田哲也 等. 1989. 攪亂.不攪亂底泥の巻き上げ特性に関する実験的研究. 海岸工学論文集 第36巻, pp 314-318.
- 李東永 等. 1990. 西海沿岸 微細堆積物 移動研究 (I). 韓國海洋研究所 BSPG 00126-382-2.
- 李東永 等. 1991. 西海沿岸 微細堆積物 移動研究 (II). 韓國海洋研究所 BSPG 00126-382-2.
- 浅野敏之. 1986. 波と流れの共存場における水理特性に関する研究, 京都大學學位論文, 152p.
- 鶴谷廣一 等. 1990. 流れおよび波による底泥の巻き上げ限界値の検討.
海岸工学論文集 第37巻, pp 235-239.
- Fukuda, M. K. and W. Lick. 1980. The entrainment of cohesive sediments in fresh water, J. Geophys. Res., Vol. 83(C5), pp 2813-2824.
- Josson, I. G. 1966. Wave boundary layers and friction factor, Proc. 10th Conf. on Coastal Engng., pp. 127-148.
- Kajiura, K. 1964. On the bottom friction in an oscillatory current, Bull. Earthquake Res. Inst., Vol. 42, pp. 147-174.
- Mehta A. J. 1981. Review of function for cohesive sediment beds, Proc. First Indian Conf. on Engrg., Indian Inst. of Technology, Madras, India, pp. 122-130.

- Riedel, H. P., J. W. Kamphuis and A. Brebner. 1972. Measurement of bed shear under waves. Proc. 13th Conf. on Coastal Engng., pp. 587-603.
- Tanaka, H. and Shuto N. 1981. Friction coefficient for a wave-current coexistent system, Coastal Eng. in Japan, Vol. 24, pp.105-128.
- Thimakorn P. 1980. An experiment on clay suspension under water waves, Proc. of 17th Conf. on Coastal Eng., pp. 2894-2907.