

浮遊砂에 관한 調査研究

—특히 群山港에 대하여—

An Investigation of the Suspended Load

安	守	漢*
Ahn,	Soo	Hahn
李	正	圭**
Lee,	Jong	Kyu
呂	暹	光***
Yeo,	Woon	Kwang

Abstract

The siltation of the Gun-San New Harbour is a serious problem to keep the available water depth of the basin.

So, in order to make clear the behaviour of the suspended load flowing in and out of the Gun-San New Harbour obviously, the samples of the suspended load at the appropriate points were collected in the estuarine area near the Harbour and at the same time the tidal current velocities measured.

Their suspended load concentrations and salinities were analyzed, and emphasis has been placed on the characteristics of the suspended load concentrations and on the relationship between the concentration and the tidal flow as well as the wave.

As a result, the authors obtained the followings;

- 1) The main source of the suspended load in the Geum River estuarine area is transported from its upstream during floods and deposited rapidly due to the salt water, and the settled sediment is resuspended due to the tidal flow and the wave action, transported and settled again. Such a process is periodically repeated according to the tidal curve.
- 2) The concentrations are, in general, becoming larger with the increase of the tidal range and the wave height, and vice versa. Especially, the concentrations are relatively large in the winter season of which the wave height is larger than another seasons.

要 旨

本 研究는 群山外港에 流出入하는 浮遊砂의 舉動을 明確히 하기 위하여 群山外港부근 一帶에서 부유사의 試料採取와 流速測定을 실시하였으며, 浮遊砂의 濃度 및 鹽度 등을 分析 檢討하고 潮汐流

* 正會員·서울大學校 工科大學 土木工學科 教授

** 正會員·漢陽大學校 工科大學 土木工學科 副教授

*** 正會員·明知大學 土木工學科 專任講師

의變動 및 波浪과의 관계를 研究하였다.

여기서 얻어진 結果는 다음과 같다.

- 1) 錦江河口의 浮遊砂의 原因은 일차적으로 洪水時에 금강上流에서 많은 浮遊砂가 流下하며 海水로 因하여 河口에서 빨리 침전하고 河口에 침전된 土砂는 潮流와 波浪作用에 의하여 再浮上되며 조류에 의하여 流送, 침전이 이루어지며 이와 같은 과정이 潮汐曲線에 따라 주기적으로 반복되고 있다.
 - 2) 錦江河口의 浮遊砂의 濃度는 一般的으로 潮差와 波高가 크면 濃度는 증가하고 反對로 潮差와 波高가 작으면 濃度는 감소한다.
- 계절적으로는 波高가 큰 겨울철에 濃度가 비교적 크다.

1. 緒 論

群山外港은 1974年에 着工하여 5년간의 工事 끝에 1976年 6月에 完工한 河口港이다.

특히 群山外港은 우리 나라에서는 보기 드문 河口에 만든 掘込式 港灣이며 大河川의 河口港인 동시에 最大潮差가 약 7m나 되는 感潮區間에 위치하여 있다. 群山外港처럼 潮差가 큰 大河川의 河口에 位置한 掘込式 港灣의 예는 東洋에서는 별로 없고 유럽의 독일, 불란서, 화란 등의 서해안에서 볼 수 있다.

이들 西歐의 항만에서 浮遊砂의 퇴적은 항만의 維持 管理에 가장 힘든 問題이며 群山外港도 例外는 아니어서 西歐의 항만과 마찬가지로 浮遊砂의 처리가 가장 어려운 問題중의 하나로써 1979年 開港이후 浮遊砂에 의한 港內埋沒量이 증가하여 浚渫에 依하여 水深을 維持하고 있는 實情이다.

海水의 浮遊砂중에서 실트나 점토와 같은 미세한 粒子는 Floc을 형성하기 때문에 같은 粒徑의 粒子라도 海水中の 침강속도가 淡水에서보다 대단히 빠르기 때문에 淡水에서와는 전혀 다른 特性을 가지고 있다^(3,6,39).

또한 海水의 浮遊砂는 潮汐流의 주기적 變動과 波浪으로 因하여 浮遊砂의 濃度分布는 아주 복잡한 양상을 나타내게 된다.

지금까지의 研究결과를 간추려 보면 現地觀測을 통한 研究, 室內에서 水路 또는 모형실험을 통한 研究 및 擴散基本式을 수치해법으로 푸는 方法으로 大別될 수 있다.

現地觀測의 예로는 문헌^(1,2,3,5,6,10~16)의 研究가 있으며 이들의 研究結果는 特定地域에 국한되어 있어 浮遊砂의 一般의 特性을 얻지 못하고 있으며, 특히 定量的인 것보다는 주로 定性的인 研究라 할 수 있다⁽¹⁷⁾.

따라서 浮遊砂에 관한 연구의 가장 중요한 점인 연직농도의 分布, 基準點의 濃度, 바닥으로부터의 浮上量, 擴散係數와 같은 아직 未解決의 問題가 많이 남아 있다⁽³³⁾.

室內實驗을 통한 研究는 활발히 進行되고 있으며 研究대상은 주로 砂質土를 이용하여 波動作用으로 因한 농도의 연직분포, 變動特性 및 擴散係數를 研究하였으 며^(4,8,9,21~26,29,30,32,33,36) 최근에는 光電管式濃度計^(22,27,28,30)와 같은 浮遊砂 濃度測定方法이 개발되어 점성토(cohesive soil)에 대한 研究^(34,39)가 집중적으로 행해지고 있다.

이밖에 擴散方程式을 수치해법으로 푸는 연구^(18,19,20,37)도 시도되고 있으나 수치해법으로 正確한 해석을 얻기 위하여는 精確한 境界조건과 擴散係數를 아는 것이 先決問題로 남아 있다.

浮遊砂에 관하여 전반적으로 가장 중요한 問題는 室內실험을 통한 研究結果와 現地觀測值와 의 차이가 너무 크기 때문에 실험결과를 직접 이용할 수 없으며⁽¹³⁾ 이것은 아직 縮尺效果 問題⁽²⁹⁾가 해결되어 있지 않기 때문이다.

다음으로 現地浮遊砂의 測定方法⁽³⁵⁾이 확립되어 있지 않다. 即 各 研究者마다 浮遊砂의 測定方法으로 竹竿式^(1,31), 冪探水法^(13,31), 採水器를 이용하는⁽¹²⁾등 다양하기 때문에^(5,14) 측정농도를 서로 비교할 수 없는 등 浮遊砂의 測定方法도 무

시할 수 없는 문제이다⁽³¹⁾.

2. 研究目的 및 內容

本 研究는 群山外港을 중심으로 적절한 地點에서 浮遊砂를 채취하고 流速 및 염분을 측정하여 자료를 分析 檢討하여 群山外港에 流出入하는 浮遊砂의 舉動을 명백히 하는 데 目的이 있다.

群山外港부근은 廣大한 地域이며 試料採取와 流速測定을 外港에 流出入하는 浮遊砂와 관련시켜서 실시하려면 觀測地點의 선정이 대단히 重要하다.

本 研究에 있어서 錦江河口 河川水와 海水出入을 감안하여 1차 조사때 6개 地點, 2차 조사때 14개 地點을 選定하여 觀測하였다(그림 1-(a)와 1-(b)).

이들 觀測地點 중에서 몇 地點에 대해서는 精密觀測을 실시하였다.

3. 觀測方法

觀測은 그림 1의 各 地點에 對하여 試料를 채취하는 동시에 流速을 관측하였다. 관측종류는 정밀관측과 간이관측의 두 가지가 있으며 測定方

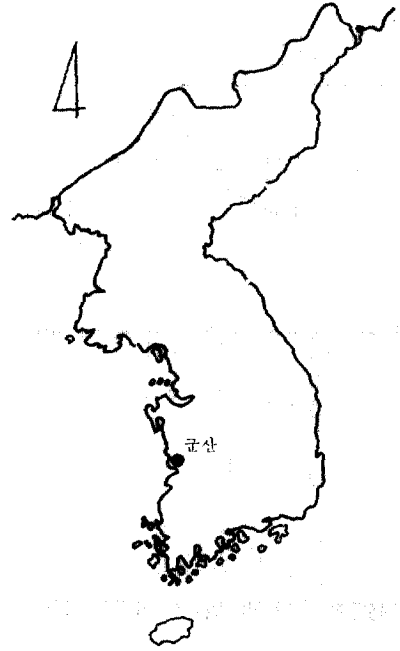


그림 1-(a) 調查地點 位置圖

法 및 測定計器는 다음과 같다.

3.1 정밀관측

정밀관측은 約 12時間(1주기)에 걸쳐서 1시간

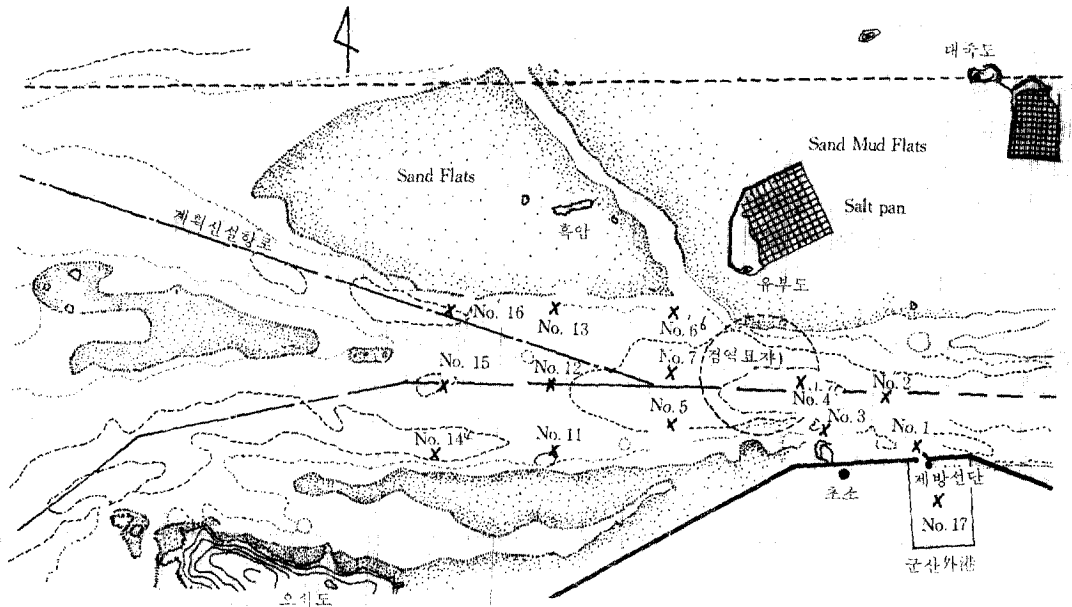


그림 1-(b) 群山外港 浮遊砂 觀測地點圖

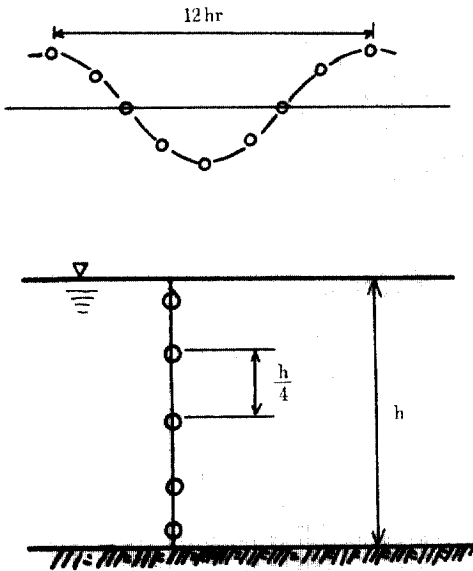


그림 2. 精密觀測 時間과 位置

~1.5 시간마다, 연속적으로 관측하였다. 정밀관측하는 사이 수심이 변화하나 水深方向의 측정은 그림 2와 같이 5점에 대하여 시료채취 및 유속측정을 하였다. 즉 水深 h 를 4 등분하여 水面과 바닥을 포함한 各分點에서 측정하였다. 정밀관측은 수심방향의 浮遊砂의 농도분포와 유속분포를 알기 위한 것이고 또 그 지점의 1주기 사이의 濃度の 時間的인 變化를 알 수 있다.

3.2 간이관측

간이관측은 약 6時間(반주기) 사이에 1시간~1.5 시간마다 연속적으로 관측하였으며 그림 3과 같이 干潮에서 滿潮사이와 滿潮에서 干潮사이를 주로 관측하였다. 水深方向은 水面과 $0.6h$ 의 2점에 대하여 시료채취와 유속을 측정하였다.

3.3 부유사濃度

부유사는 Nansen 轉倒型 Water Bottle 을 이용하여 1/씩 채수하여 그 속에 含有된 土砂의 重量으로써 그 濃度로 하였다.

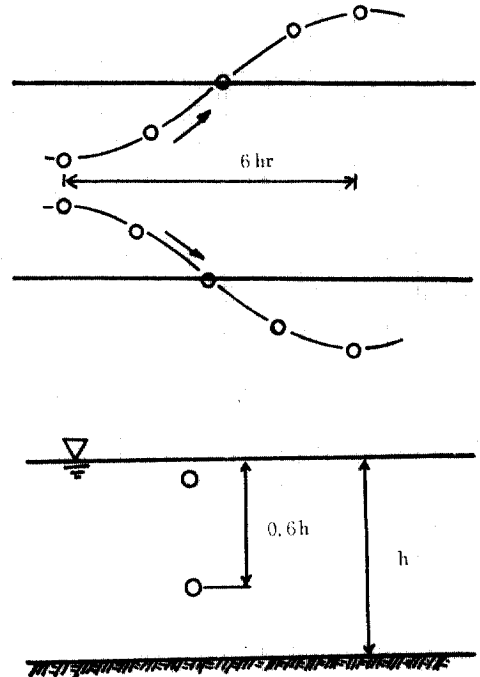


그림 3. 간이관측시간과 위치

3.4 流速測定

유속은 부유사의 試料採取時에 동시에 측정하였으며 유속계는 아날로그식 Doho Dentan 型을 사용하였다.

3.5 鹽分測定

염분측정은 부유사를 일단 침전시킨 試料를 사용하여 電氣傳導度計(Denki Kagaku Keiki 會社製 DDK A₀-6)에 의한 전기전도도(25°C로 보정된 값) 측정법과 乾燥法(105°C 恒溫 oven 使用)에 의한 鹽分檢出法을 併行하였다.

4. 觀測實績

本 研究期間중 관측한 실적의 개요는 表 1과 같다(자세한 것은 문헌(12) 참조).

表 1. 觀 測 實 績

年 月	日	觀測種類	地 點	潮 汐	試料數	流速測定數	備 考
80. 2	19	簡 易	No. 1~6	大 潮	55	30	波 高(H)
80. 2	20	精 密	No. 1	"	60	49	H=0.5~1.0 m

80. 3	29	精 密	No. 2	中 潮	59	47	H=0.1~0.3 m
80. 3	30	簡 易	No. 1~6	"	57	60	
80. 4	20	簡 易	No. 1~6	大 潮	56	55	H=0.1~0.2 m
80. 4	26	"	No. 1~6	小 潮	65	50	
80. 4	26	精 密	No. 4	"	45	18	
80. 5	17	精 密	No. 1	大 潮	43	45	H=0.1~1.5 m
80. 5	17	簡 易	No. 1~6	"	67	50	5月 25日 豪雨
80. 5	18	"	No. 1~6	"	80	60	50~80mm
80. 6	18	簡 易	No. 1~2	中 潮	8	0	6月 16日 豪雨
80. 6	19	精 密	No. 2	"	45	45	H=0.1~0.5 m
80. 6	19	簡 易	No. 1~6	"	70	50	
80. 6	21	"	No. 1~6	小 潮	80	54	
80. 7	7	簡 易	No. 1~6	小 潮	80	60	H=0.1~0.4 m
80. 7	8	"	No. 1~6	"	77	60	
80. 8	29	簡 易	No. 1~7, 11~17	大 潮	123	65	
80. 8	31	"	"	"	114	58	
80. 8	31	精 密	No. 1	"	40	40	H=0.1 m
80. 9	19	簡 易	No. 1~7, 11~17	小 潮	140	57	H=0.1~0.3 m
80. 9	27	"	"	大 潮	130	60	H=0.1~0.7 m
80. 9	27	精 密	No. 17	"	40	38	H=0.1~0.3 m
80. 10	18	簡 易	No. 1~7, 11~17	小 潮	136	70	H=0.1~0.3 m
80. 11	1	精 密	No. 2	小 潮	39	10	H=0.1~0.3 m
80. 11	1	簡 易	No. 1~7, 11~17	"	126	12	H=0.1~1.0 m
80. 11	14	"	"	"	127	50	H=0.1~0.6 m
80. 11	15	"	No. 1~7, 11~17	"	123	45	H=0.1~0.4 m
80. 11	15	精 密	No. 1	"	39	35	H=0.1~0.2 m
80. 12	19	簡 易	No. 1~7, 11~17	中 潮	42	23	H=0.5~2.5 m
80. 12	22	"	No. 1~7, 11~17	大 潮	81	48	H=0.1~0.8 m
80. 12	22	精 密	No. 17	"	31	30	
81. 1	23	精 密	No. 2	大 潮	40	6	H=0.1~0.4 m
81. 1	23	簡 易	No. 1~7, 11~17	"	100	—	H=0.1~0.4 m
81. 1	24	"	No. 1~7, 11~17	"	88	—	H=0.1~1.2 m

5. 考 察

5.1 潮位曲線과 浮遊砂의 變化

(1) 外港入口와 港內의 浮遊砂의 濃度變化

群山外港入口의 No. 1 지점에 대한 1 주기 사이의 정밀관측과 반주기사이의 간이관측의 결과를 分析 檢討해 본 결과 대체적으로 다음과 같은 特性을 나타내고 있다.

① 滿潮位에서 干潮位로 되는 사이 即, 上流

에서 下流로 河水가 흐를 때는 No. 1 지점과 No. 17 지점의 부유사의 濃度는 점차적으로 감소되고 干潮位로부터 水面이 상승함에 따라 浮遊砂의 濃度가 증가하며 干潮位로부터 2~3 시간후에 濃度의 peak 가 나타나는 경우가 많다. 그림 4가 하나의 觀測例이며 이 그림에서 아는 바와 같이 浮遊砂의 濃度는 干潮位가 되기 전부터 증가하기 시작하고 있다. 水位의 상승과 함께 부유사의 농도는 증가하나 滿潮位가 되기 2~3 시

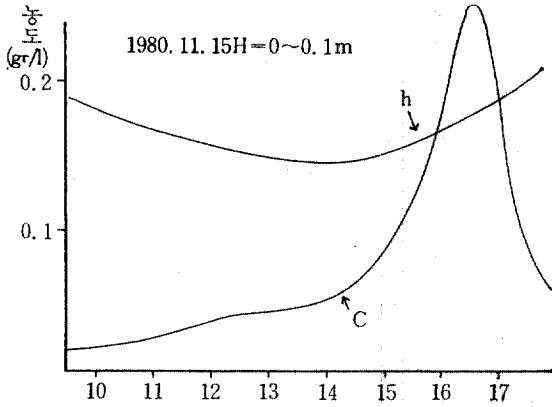


그림 4. No. 1 地點

간 전에 다시 농도는 감소하기 시작한다.

② 그러나 어떤 觀測値는 干潮位前부터 浮遊砂의 濃도가 증가하기 시작하여 干潮位부근에서 농도의 peak 가 한번 나타나고 이것이 점차적으로 감소되다가 다시 농도가 증가하기 시작하는 경우도 있다. 이와 같은 경우의 예가 그림 5이며 제 2의 濃도의 peak 는 滿潮位의 約 2時間前에 나타난다.

No. 1 지점의 부유사의 時間的 變化가 雙峯型이 되는 것은 다음과 같은 現象때문이라고 생각된다.

干潮位가 되기 전과 그 직후에는 上流의 河川水가 계속적으로 流下하게 되는데 外港부근에서 海面의 영향을 받기 시작하여 河川水와의 混舍이 일어나게 된다. 이로 인해서 流下하는 河川

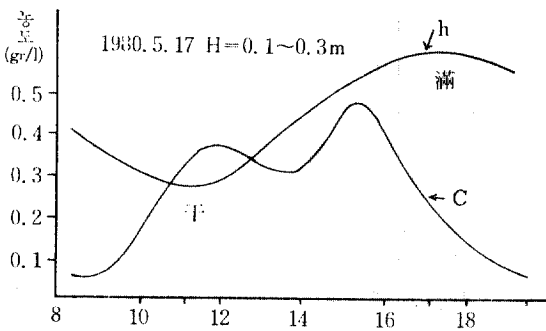


그림 5. No. 1 地點

水의 일부는 外港의 下流端에서 港內로 流入하고 그로 인하여 防砂堤附近에서 港外로 流出하게 된다(그림 6 참조).

이와 같은 現象을 위에서 설명한 것과는 反對로 생각할 수도 있을 것이다. 即, 防砂堤의 先端부근에서 河川水에 의한 港內水의 連行流때문에 下流端에서 河川水가 港內로 流入할 수 있는 것이다. 그 原因은 어느 쪽이 되는지는 明白하지 않으나 결과적으로는 No. 1 지점을 中心으로 대단히 큰 渦가 생긴다는 것은 觀測한 결과 명백한 사실이다. 이 渦는 高濃度의 浮遊砂를 港內로 流入시키게 되는 하나의 原因이 될 것이다. 이와 같은 渦는 干潮位부근에서만 생기는 것이고 水位가 점차적으로 높아지면 下流의 河川水가 大量으로 港內로 流入하게 되므로 이 渦는 소멸된다.

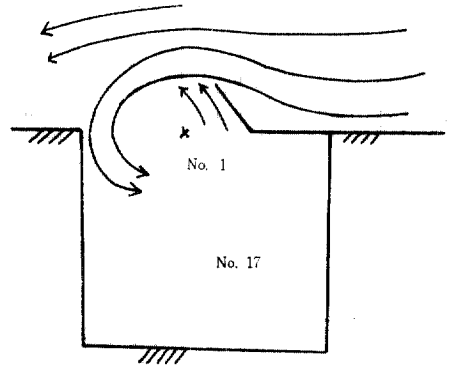


그림 6.

그림 5와 같은 雙峯型濃度分布가 發生하는 또 하나의 原因은 波浪의 質量수송에 의한 것이 관측되었다. 干潮位부근에 있어서 北風 또는 北西風에 의한 波浪이 發生하게 되면 高濃度의 浮遊砂를 含有한 河川水가 波浪의 질량수송에 의하여 港內로 流入하게 되는 것이다.

이와 같은 사실은 그림 4와 5와 함께 外港의 中心에 位置한 No. 17 地點의 浮遊砂의 濃度變化를 나타낸 그림 7을 참고해 보면 알 수 있다. 그림 7은 1980. 9. 27 No. 17 지점의 浮遊砂의 농도분포이며 當日의 潮差는 7.3 m 정도이고 波高는 0.1~0.7 m이다. 따라서 이 날은 渦에 의

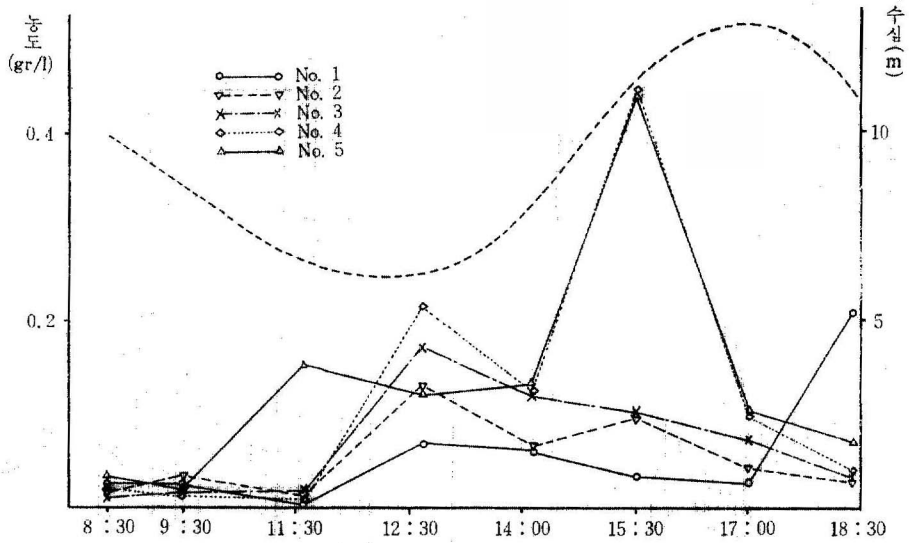


그림 7. No. 17 地點의 濃度變化(1980. 9. 27)

한 河川水의 港內流入量이 대단히 많은 동시에 波浪의 질량수송에 의한 河川水의 流入量이 많았다고 생각할 수 있다. 外港入口와 港內中心의 부유사의 농도의 관측결과에 의하면 간조위부근에서 만조위까지의 사이에 浮遊砂가 流入하여 滿潮位前後에 침전하고 滿潮位에서 干潮位로 될 때까지 대단히 많은 물이 流出한다. 이와 같은 사실은 港入口와 港內의 浮遊砂의 모든 觀測결과에 명백히 나타나고 있다.

(2) 河心部の 浮遊砂의 特性

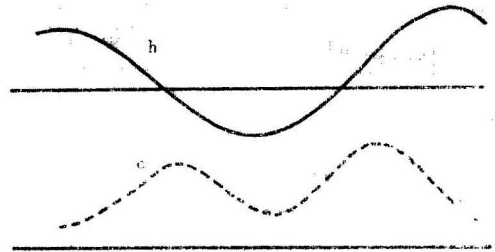


그림 8.

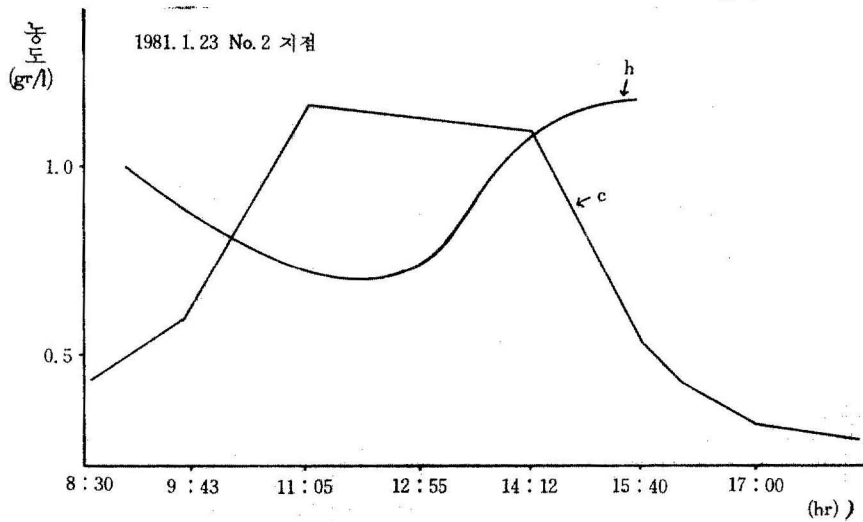


그림 9.

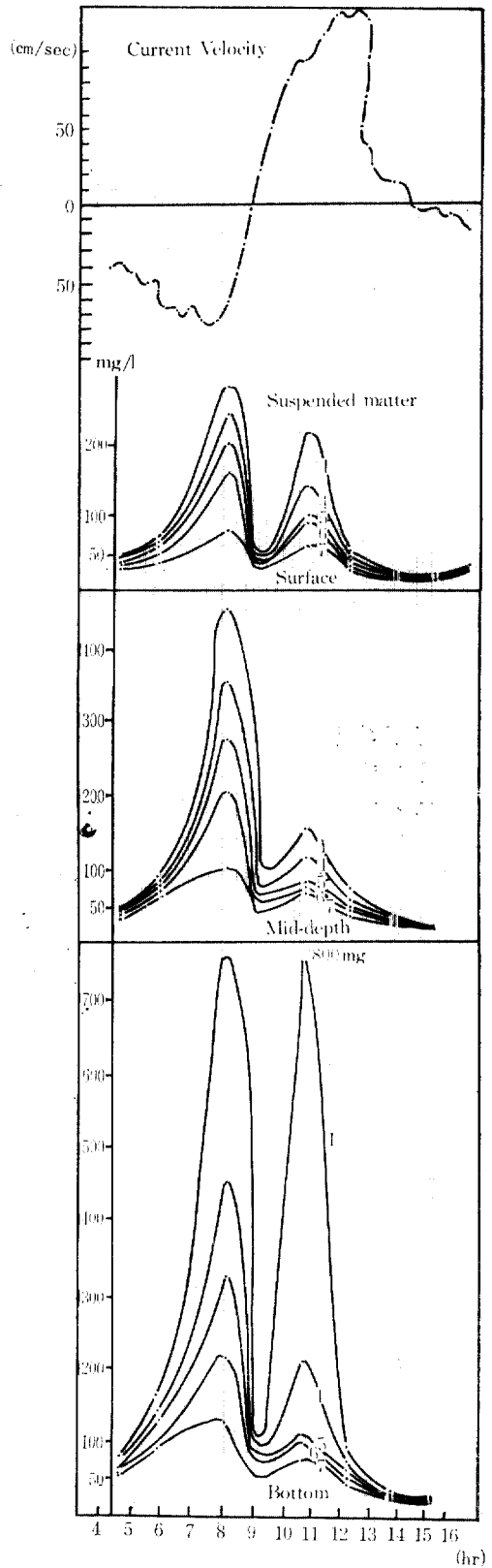
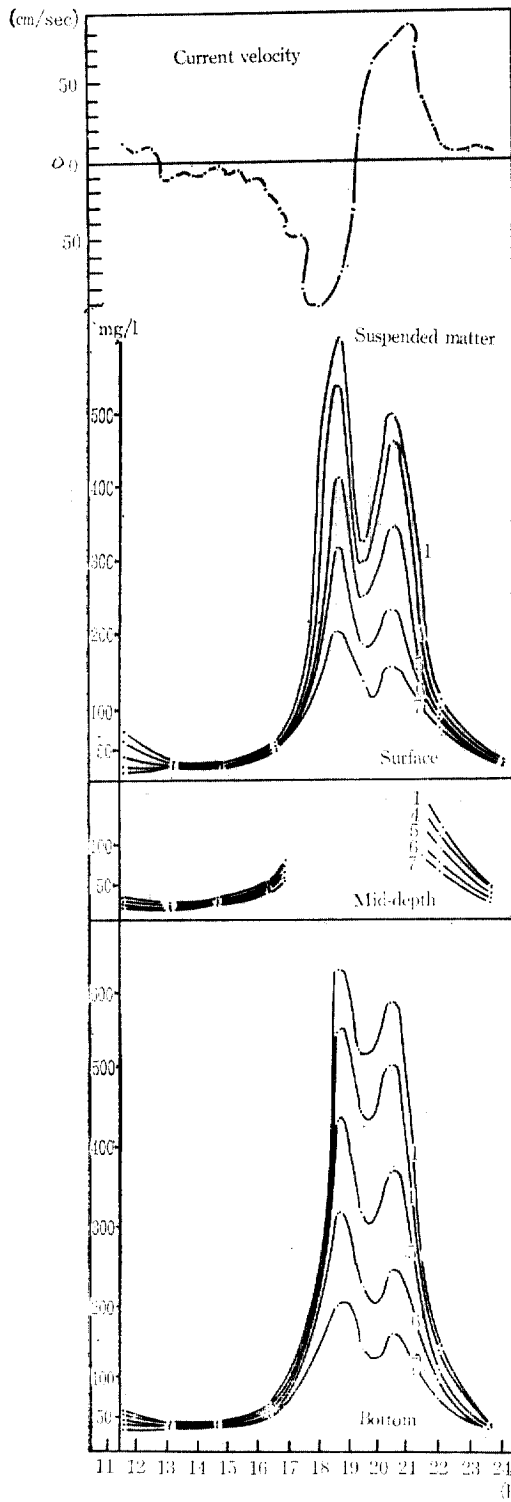


그림 10. Wadden zee의 두 지점에서 측정된 유속 및 부유사 농도곡선의 번호중 1은 총부유량이고 4, 5, 6, 7은 최대입경에 따른 구분이다.

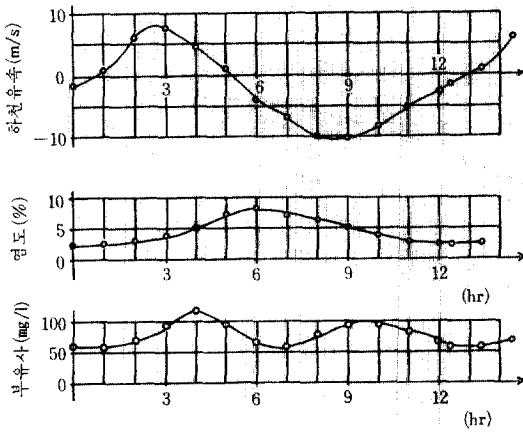


그림 11.

① 河心部の 浮遊砂의 濃度の 時間的 變化를 관측치에서 고찰해 보면 大部分의 경우가 그림 8과 같은 M字型이 된다.

濃度の peak는 滿潮位에서 干潮位로 水位가 하강할 때와 干潮位에서 滿潮位로 上昇할 때 생기고 潮流의 速度가 비교적 작을 때 부유사의 濃度は 작아진다. 그러나 波高가 비교적 높은 경우는 그림 9와 같이 浮遊砂의 濃度分布는 M字型이 되치 않고 干潮位부근에 있어서도 濃度減少는 적다. 이것은 波浪에 의하여 河床土砂가 浮上하는 同時에 떠 있는 부유사가 침전하지 못하기 때문이라고 생각된다.

波浪이 없을 때의 觀測值의 特性은 Postma⁽³⁾가 1961년도에 Wadden zee에서 관측한 결과와 비슷하다. 即 그림 10이 Postma가 관측한 것이며 浮遊砂의 濃도는 M字型이다.

최근에 Rotterdam⁽³⁸⁾에서 관측한 결과에 의하면 그림 11과 같이 M字型이 된다.

以上과 같이 河心部에 있어서는 부유사가 滿潮位에서 干潮位로 되는 사이와 干潮位에서 滿潮位로 되는 사이의 潮流에 의해서 浮上하여 流送되는 것으로 推定된다. 이것을 다시 말하면 滿潮位에서 干潮位로 되는 사이에 上流의 浮遊砂가 下流로 流送되고 干潮位에서 滿潮位로 되는 사이에 下流의 浮遊砂가 上流로 流送되는 것이라고 할 수 있다.

5.2 潮差—波高—濃度와의 관계

(1) 河心部の 浮遊砂의 特性

여러 測定點中에서 No. 2, No. 4, No. 7, No. 12 및 No. 15의 5개의 測點은 주로 河心部에 位置하고 있으므로 兩岸의 影響을 적게 받고 潮流에 의한 浮遊砂의 流送特性을 나타낼 수 있는 地點이라고 인정할 수 있다.

一次的으로 생각되는 것은 一般的으로 潮差가 크면 潮流流의 流速이 크게 되므로 浮遊砂의 濃도도 크게 될 것이라는 것이다. 그리고 이 경우 潮差가 크면 潤邊이 크게 되고 따라서 넓은 面積의 河床土砂를 浮上시키는 결과가 되어 浮遊砂의 濃도는 더욱 크게 될 것으로 推定된다.

이와 같은 推定을 확인하기 위하여 1년간 觀測한 河心部の 浮遊砂의 最大濃도와 潮差와의 關係를 그린 것이 그림 12이다. 그림에서 Δh 는 潮差이고 C_{max} 는 最大濃度이다. 이 관측치에서 두 가지의 特性을 찾아볼 수 있다.

1) 河心部の 浮遊砂의 最大濃度は 一般的으로 潮差에 關係가 크다. 즉, 潮差가 크면 濃도는 크고 潮差가 작으면 濃도는 작다.

2) 관측치는 波高에 따라서 差異를 보이고 있으나 浮遊砂의 濃도는 潮差와 波高外에 다른 여러 가지의 복합적인 影響을 받기 때문에 엄격한 區分을 할 수는 없으나 群山外港은 대부분 水面이 정온에 가까운 때가 많았으며 파랑이 있다 하더라도 0.5m 이상의 경우는 많지 않았다.

그림 12에서는 실측치를 중심으로 (a) 群은 波高가 0.1m 이하의 정온에 가까운 때의 값이고 (b) 群은 波高가 대략 0.5m 이상으로 클 때의 값이다.

以上과 같이 群山外港부근의 浮遊砂의 濃度は 潮差에 밀접한 關係가 있고 同一한 潮差인 경우에는 波高가 클수록 浮遊砂의 濃도도 크게 된다. 이와 같은 관측결과에서 다음과 같이 말할 수 있을 것이다. “錦江河口의 浮遊砂는 潮流流의 流速이 클 때 바닥에서 浮上하여 流水의 亂流擴散과 波浪에 의한 擴散에 의하여 流水中에 떠서 上下流로 移動한다고 推定된다.”

이와 같은 사실은 群山外港의 浮遊砂의 문제를 論할 때는 대단히 중요한 事實이다. 부유사의 침강속도는 대단히 작으므로 一般的으로는

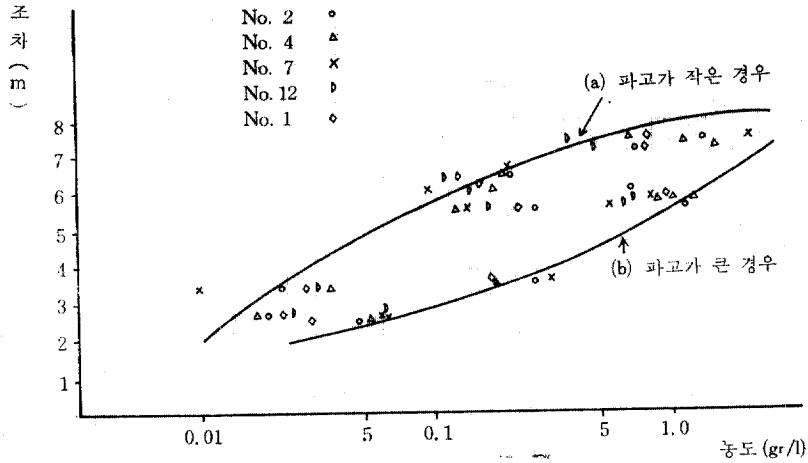


그림 12. 河心部の 최대 농도와 조차

Stokes의 式에서 구할 수 있으나 河口부유사를 취급할 때는 Stokes의 式에서 구할 수 없다.

왜냐 하면 염수중의 부유사는 Na^+ 의 영향으로 Floc를 형성하게 되어 沈降속도가 대단히 크게 된다. (7,18)

Massie⁽³⁸⁾는 海水中の 침강속도는 淡水中の 침강속도의 약 50 배가 된다고 하고 白石과 大西⁽¹⁸⁾의 실험에 의하면 1%의 염분이 함유되어 있는 염수중의 침강속도는 淡水中の 침강속도의 약 10 배가 된다고 한다.

이상과 같이 부유사가 上流에서 운반될 때 河水에서는 침전하지 않았으나 河口的 海水中에

서는 빠른 속도로 침전되므로 外海로 나가기 前에 河口부근에서 침전되는 것이다. 이 침전된 부유사는 潮流의 速度가 크게 되면 浮上하고 潮流의 速度가 작으면 빠른 속도로 침전되어 결국은 洪水時 上流에서 流下한 부유사는 河口에서 浮上和 침전을 되풀이하고 있는 것이다.

(2) 河岸部の 부유사의 特性

群山外港의 下流 左岸部の 測點 No. 3, No. 5, No. 11, No. 14와 右岸部 No. 6, No. 13, No. 16에 대한 最大濃도를 河心部の 경우와 같이 潮差에 대하여 프롯트한 것이 그림 13과 그림 14이다. 그림에서 보는 바와 같이 右岸과 左岸에

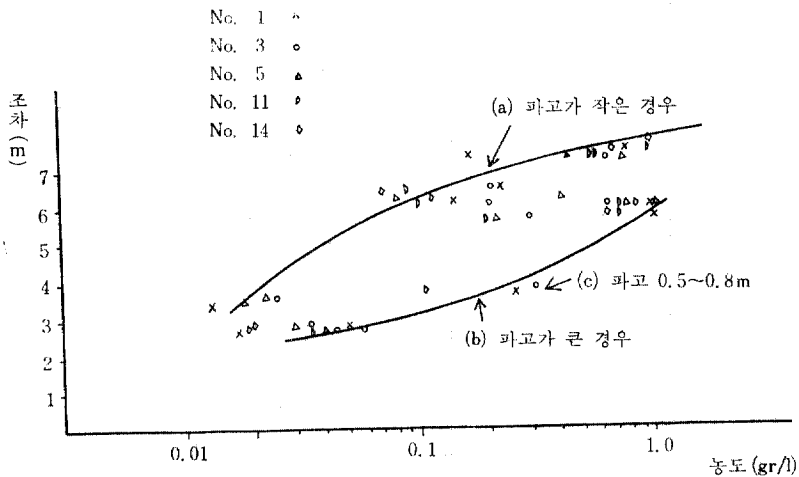


그림 13. 左岸의 최대농도와 조차

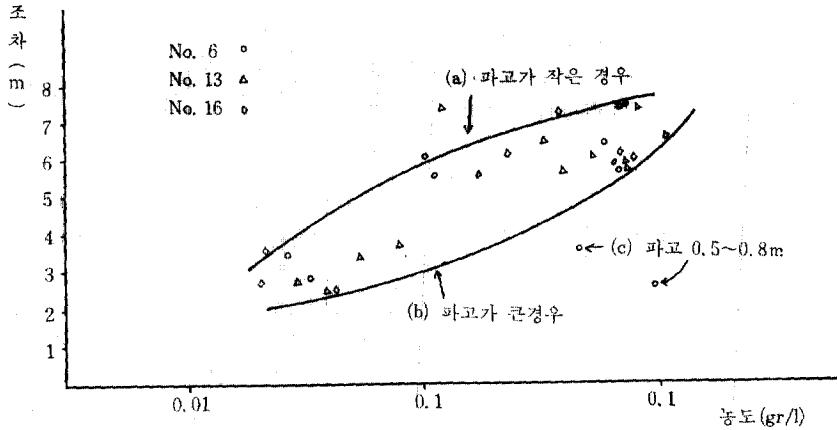


그림 14. 右岸의 최대농도와 조차

있어서 河心部와 마찬가지로 潮差의 증가에 따라서 浮遊砂의 농도도 크게 된다.

이 경우도 波高가 작은 경우와 큰 경우의 두 종류로 나눌 수 있다. 兩岸의 汀線에 가까운 부분에 있어서는 부유사의 농도가 波浪의 영향을 많이 받게 된다. 汀線부근에 있어서는 水深이 작고 쇄파가 발생하는 경우는 濃도가 크게 된다 특히 北風 또는 北西風이 부는 경우는 左岸에는 쇄파가 발생하므로 부유사의 농도는 대단히 크게 된다.

한 예로써 1980. 10. 26은 大潮인 동시에 風速 17 m/sec의 北西風이 있었으며 外港부근에는 有義波高 0.6 m의 波浪이 내습하였다. 이와 같은 異常海象時는 河心の 관측이 불가능하였으므로 河岸에서 관측하였다. 2 個지점에서 관측한 부유사의 농도는 表 2와 같다.

특히 1980. 10. 26은 폭풍인 동시에 大潮였으므로 潮差가 약 7.5 m나 된다. 이와 같이 浮遊砂의 농도를 크게 하는 두 가지의 조건이 모두 具備되어 있었으므로 外港부근의 부유사의 최대농도

는 5.5 gr/l에 달하고 있다. 이 농도는 波高가 작고 小潮때의 최대농도 0.02~0.06 gr/l에 비교하면 약 100 배의 농도가 된다.

5.4 外國의 觀測例

앞에서 說明한 바와 같이 錦江河口의 浮遊砂의 原因은 潮流와 波浪이라고 규정하고 潮差가 클수록 또 波高가 높을수록 濃도가 크다고 決定한 바 있다.

이와 같은 결정은 群山外港의 관측치를 土臺로 결정한 것이지만 外國에서도 유사한 觀測例

表 2. 1980. 10. 26. 暴風時觀測值

地點	時間	浮遊砂濃度	備考
堤防先端	10:00	5.02 gr/l	$H=0.6\sim 1.0\text{ m}$ $\Delta h=7.5\text{ m}$
	11:00	1.32	
	12:30	5.50	
哨所 앞	11:00	1.1	

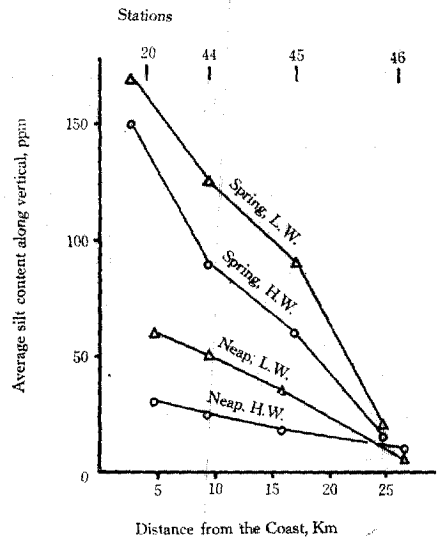


그림 15.

가 있다. British Guiana⁽⁹⁾의 관측치 (그림 15)에 의하면 동일지점에 있어서는 大潮低潮位때 부유사의 농도가 가장 크고 小潮高潮位때 가장 작다. 그리고 이와 같은 농도의 차는 河口에서 크고 河川上流로 갈수록 작아진다.

British Guiana의 測定値보다는 群山港의 관측치 (그림 12, 13, 14)가 보다 具體的이고 波高의 영향도 고려되어 있다. 이 以外에도 潮流에 의해서 부유사가 浮上하여 流送된다는 것은 여러 사람에게 의해서 관측되고 있다.

6. 結 論

群山外港부근 일대에서 觀測한 浮遊砂流速 및 鹽度 등의 자료를 分析 檢討하고 外國의 觀測例 등을 參照하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 錦江河口の 浮遊砂의 原因

① 一次的인 原因은 洪水時에 錦江上流에서 많은 浮遊砂가 流下하여 河口에 침전한다.

② 河口에 침전된 부유사는 潮流에 의해서 浮上되고 浮上된 부유사는 潮流와 波浪에 의한 亂流에 의해서 그 一部分이 침전되지 못하고 潮流에 의해서 上下流로 流送된다. 이와 같이 流送된 부유사는 亂流의 強度와 潮流의 流速이 감소되면 빠른 速度로 침전된다. 이와 같이 浮上, 침전이 潮汐曲線에 따라서 되풀이 되고 있다.

③ 潮流以外에 河口의 波浪에 의해서 浮遊砂가 浮上하고 潮流에 의해서 流送된다.

2) 錦江河口の 浮遊砂의 特性

① 錦江河口の 浮遊砂의 濃度는 一般的으로 潮差와 波高에 밀접한 관계가 있다. 계절적으로는 비교적 波高가 큰 겨울철에 크다.

② 錦江河口の 浮遊砂의 침전속도는 대단히 빠르며 淡水中の 침전속도의 數 10倍가 된다. 이와 같은 빠른 침전속도로 인해서 湄江하구에 있어서는 浮遊砂의 부상, 유송, 침전이 潮汐曲線에 따라서 되풀이 되고 있다.

謝 辭

本 研究를 하는데 研究費를 支給해 준 海運港灣廳의 여러분에 感謝의 말씀을 드리고 또한 本 調査研究를

수행함에 있어 積極的으로 協助해 준 群山港建設事務所長 및 職員 諸位에게 심심한 謝意를 표하는 바이다. 또한 本 調査研究를 하는데 있어서 研究費의 一部分을 支援해 준 現代그룹에도 感謝의 말씀을 드리는 바이다.

參 考 文 獻

1. 本間仁, 堀川清司, “浮遊漂砂濃度分布に 關する研究” 東海村海岸調査報告書(第2報), 日本原子力發電株式會社, 1960. 5.
2. 相模川河口調査報告書, 日本土木學會, 1967. 3.
3. Postma, H. “Sediment Transport and Sedimentation in the Estuarine Environment” Estuaries, edited by E.H. Lauff, Amer. Ass. for Adv. of Science, Washington. D.C. 1967, pp.159-179.
4. Coleman, N.L. “A New Examination of Sediment Suspension in Open Channels” *Journal of Hydraulic Research Vol. 7. No. 1, 1969.*
5. Swift, D.J.P. and R.G. Pirie, “Fine-sediment Dispersal in the Gulf of San Miguel, Western Gulf of Panama; A Reconnaissance”, *Journal of Marine Research, 1, 1970.*
6. Harrison, A.J.M. and M.W. Owen, “Siltation of Fine Sediments in Estuaries”, *IAHR. 14-th Congress, Proc. Vol. 4. Sept. 1971.*
7. Owen, M.W. “The Effect of Turbulence on the Settling Velocities of Silt Floes”, *IAHR, 14-th Congress. Proc. Vol. 4, Sept. 1971.*
8. Gole, C.V., Z.S. Tarapore and S. B. Brahme. “Prediction of Siltation in Harbour Basins and Channels”, *IAHR, 14-th Congress, Proc. Vol. 4. Sept. 1971.*
9. Chou, T.L. “Study of Transportation of Sediment Materials in Rivers and Estuaries by means of Models” *IAHR, 14-th Congress Proc. Vol. 4. Sept. 1971.*
10. Yu-A-Ibad-Jarde and B.S. Shteinman “The Study of Sediment Deposition at River Mouths and Bar Formation(Based on Field Measurements)” *IAHR 14-th Congress, Proc. Vol. 4. Sept. 1971.*
11. Schubel, J.R. “Sedimentation in the Upper Reaches of the Chesapeake Bay Estuary”, *IAHR, 14-th Congress Proc. Vol. 4, Sept. 1971.*
12. 群山外港浮遊砂調査研究(2次) 報告書海運港灣廳群山港建設事務所, 1981. 7.
13. 入江 功 “現地海岸での浮遊砂について”第22回海岸

- 工学講演會論文集, 1975, pp.313-317.
14. 鷺見榮一, エステセリーにおける懸濁物質の浮遊機構(1)" 第21回 海岸工学講演會論文集, 1974, pp. 453-458.
 15. 鷺見榮一, "エステセリーにおける懸濁物質の浮遊機構(2)" 第23回 海岸工学講演會論文集, 1967, pp. 195-199.
 16. 鷺見榮一 "エステセリーにおける懸濁物質の浮遊機構(3)" 第25回 海岸工学講演會論文集, 1978, pp. 576-580.
 17. 田中仁, 首藤伸夫 "駿川河口部の水理現象に関する現地観測" 第28回 海岸工学講演會論文集, 1981, pp 535-539.
 18. 白石英彦, 大西亮一 "潮流による底質の浮き上りおよび浮遊土砂の擴散" 第23回 海岸工学講演會論文集, 1976, pp.188-194.
 19. 大西亮一 "非常常擴散方程式の數値解法" 第21回 海岸工学講演會論文集, 1974, pp.335-340.
 20. 芦田和男, 道上正規 "浮遊砂に関する研究(I)" 日本京大防災研究所年報 第13號 B, 1970.
 21. Homma, M. and K. Horikawa "A Laboratory Study on Suspended Sediment due to Wave Action" *10-th Congress of IAHR, Sept.* 1963.
 22. Homma, M, K. Horikawa and R. Kajima, "A Study on Suspended Sediment due to Wave Action" *Coastal Eng. in Japan. Vol. 8,* 1965.
 23. 田中則男, 小笹博昭, 小笠原昭 "波と流水による砂移動に関する實驗" 日本港灣技術研究所報告 第12卷 第4號, 1973.
 24. 岩垣雄一, 平山秀夫 "重複波による浮遊砂粒子の舉動の特性について" 第20回 海岸工学講演會論文集, 1973, pp.319-326.
 25. 岩垣雄一, 平山秀夫, "重複波による浮遊砂粒子の舉動の特性について(續)" 第21回 海岸工学講演會論文集, 1974, pp.207-213.
 26. 野田英明, 岩佐敏博 "波による底質の浮遊機構(1), 第18回 海岸工学講演會論文集, 1971, pp.349-353.
 27. 野田英明, 岩佐敏博 "進行波による底質の浮遊機構(II)" 第20回 海岸工学講演會論文集, 1973, pp.333-337.
 28. Horikawa, K. and A. Watanabe "Turbulence and Sediment Concentration due to Wave" *Coastal Eng. in Japan, Vol. 13,* 1970.
 29. Homma, M. and K. Horikawa, "Suspended Sediment due to Wave Action", *Proc. of the 8-th Conference on Coastal Eng.* 1963.
 30. 細井正延, 稻垣青生 "進行波による浮遊砂の濃度分布について" 第22回 海岸工学講演會論文集, 1975, pp.325-328.
 31. 島田米夫, 吉高益男, "波による浮遊砂の濃度測定について" 第21回 海岸工学講演會論文集, 1974, pp 215-218.
 32. Shibayama, T. and K. Horikawa "Laboratory Study on Sediment Transport Mechanism due to Wave Action" *Proc. of JSCE, No. 296, Apr.* 1980.
 33. 野田英明 "波による底質の浮遊" 第14回 海岸工学講演會論文集, 1967, pp.307-314.
 34. Mehta, A.J. and E. Partheniades "An Investigation of the Depositional Properties of Flocculated Fine Sediments" *Journal of Hydraulic Research, Vol. 13, No. 4,* 1975.
 35. Bonacci, O, "Accuracy of Suspended Sediment Measurement in Natural Streamflows" *Journal of Hydraulic Research. Vol. 19, No. 3,* 1981.
 36. Antsyferov, S.M. and R.D. Kosyan "Sediments Suspended in Stream Flow", *ASCE, Journal of the Hydraulic Division Vol. 106, No. HY 2,* Feb. 1980.
 37. Ariathurai, R. and R.B. Krone, "Finite Element Model for Cohesive Sediment Transport" *ASCE, Journal of the Hydraulic Division, Vol. 102, No. HY 3, Mar.* 1976.
 38. Massie, W.W., Editor, *Coastal Eng. Vol. LI.* Delft Univ. of Tech. The Netherlands. 1976.
 39. Partheniades, E. and A. J. Mehta "Rates of Deposition of Fine Cohesive Sediments in Turbulent Floods" *IAHR, 14-th Congress, Proc. Vol. 4,* Sept. 1971.

(接受: 1983. 1. 26)