

海域에서 土砂投下에 따른 濁水塊 舉動에 관한 研究 An Experimental Study on the Behavior of Muddy Water Lumps Caused by Dropping Soil in Coastal Areas

申文燮* · 李種南**

Moon Seup Shin and Chong Nam Lee

要 旨 : 海上工事を 하므로써 發生하는 懸濁物質은 工事 周邊 環境變化에 많은 影響을 미치고 있다. 그러므로 海域에서 土砂投下에 따른 濁水塊의 舉動을 糾明하는 것은 대단히 중요하다. 土砂投下할 때 일어나는 流動은 堆積形狀에 影響을 미친다고 생각되어, 濁水塊의 落下特性和 堆積形狀과의 關聯性에 대하여 實驗을 하였다. 濁水塊의 높이 變化, 길이 變化, 移動速度 變化, 濁水塊 先端部의 移動時間, 濁水塊의 連行係數, 形狀係數, 土砂의 堆積形狀에 대해서 알아 보았다. 그 결과, 土砂投下の 舉動은 土砂投下量이 投下土砂 粒徑에 비하여 많을 경우 대기권에서 일어나는 亂流 Thermal 現狀과 類似하다는 것을 알았다. 따라서 土砂投下時의 流體力學的 支配方程式은 亂流 Thermal 理論으로 대신할 수 있다는 것을 알았다.

Abstract □ Suspended materials during maritime construction works may cause surrounding environmental changes. Therefore, it is important to know the behavior of the muddy water lumps caused by dropping soil in coastal areas. Two-dimensional behaviors of the muddy water moving along the inclined boundaries are investigated experimentally, which are the change of height, length, and moving velocity, the properties of movement at the head of muddy water, the coefficient of entrainment and shape, and the accumulation shape. The shape of the muddy water lumps was similar with the slope thermal. Therefore, the moving characteristics were found to be described using turbulence theory.

1. 序 論

海上工事業에는 여러 종류의 工事が 많이 있지만, 이들 중 埋立과 浚渫工事を 할 때 發生하는 懸濁物質의 문제는 海域의 環境保存의 側面에서 공사관계자들에게 높은 관심을 보이고 있다. 그리고 이러한 懸濁物質의 發生程度는 施工法, 工事規模, 周邊의 地形과 흐름상황에 의하여 좌우된다. 또한, 懸濁物質에 의한 영향은 懸濁物質의 程度, 工事期間, 海域의 利用狀態, 工事に 사용하고 있는 土砂의 量, 粒度分布, 海底土의 特性(粒徑 等)에 따라서 左右된다. 土砂를 投下함으로써 일어나는 흐름은 土砂投下後 土砂混入 水塊가 海底面에 衝突하는 것으로 捕捉되고, 非定常

流이며, 土砂의 堆積, 再浮遊 등의 복잡한 水理現象이 얽혀져 있다. 따라서 懸濁物質 調査는 現地實驗 또는 試驗工事的 現地觀測이 바람직하나 實驗條件이 다르므로 調査結果를 그대로 이용하는 데는 어려움이 있다. 또한 전체의 流動을 나누어서 海底面 衝突前 혹은 衝突後의 流動特性等 個個의 작은 과정에 관점을 둔 實驗 및 理論的인 研究도 없다. 그래서 本 研究에서는 海上에서 土砂를 投下할 때 일어나는 懸濁水流의 海底面上에서의 舉動特性에 대해서 알아 보았다.

2. 實驗의 目的

土砂投下에서 일어나는 固體와 液體의 固液混相流

* 群山水産專門大學 海洋土木科(Department of Ocean Civil Engineering, Kunsan National Fisheries Junior College)

** 慶熙大學校 土木工學科(Department of Civil Engineering, Kyung Hee University, Suwon, Korea)

體塊은 固體인 土砂가 堆積함으로써 急速하게 그 重力을 잃어버린다. 이 때 일어나는 流體運動이 堆積形狀에 影響을 미친다고 생각되어 固液混相流體塊(濁水塊)의 落下特性和 높이 變化, 길이 變化, 移動速度 變化, 連行係數, 土砂의 堆積形狀의 관련성에 대하여 水理實驗을 하였고, 土砂投下 재료로서는 굵은 粒子的 모래와 懸濁物質 成分으로 가는 모래를 混合하여 混合砂를 傾斜面에 投下시켜 濁水塊의 舉動特性에 대해서 알아보았다.

3. 實驗의 概要

3.1 實驗製置와 實驗方法

實驗製置는 Fig. 1과 같이 幅을 15 cm로 하였으며, 土砂投下箱子는 폭 5 cm, 길이 15 cm, 높이 10 cm의 아크릴로 製作하였고, 상자의 아래부분에서 土砂를 放出할 수 있게 하였다.

3.2 實驗條件

土砂投下에 使用한 材料는 굵은 粒子的 모래에 懸濁物質으로써 粒徑이 가는모래를 混合하여 使用하였으며 諸元은 Table 1과 같다.

여기서 U_d : 모래 粒子的 沈降速度

Red: 土粒子的 Reynolds 數이다.

그리고 實驗條件은 Table 2와 같고, 土砂投下實驗이 非定常인 것을 고려하여 實驗條件마다 반복실험을 실시하였다.

4. 實驗分析

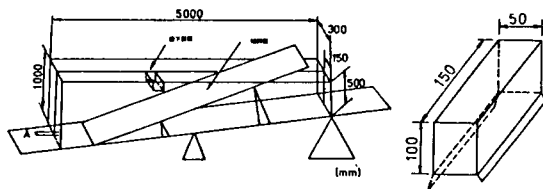


Fig. 1. Experimental apparatus.

實驗結果를 無次元化하기 위하여 濁水塊가 傾斜面 衝突直前의 流動이 濁水塊 舉動特性의 初期條件으로 重要하다고 보아 衝突直前의 濁水塊의 斷面積과 落下速度로 無次元化하였다.

4.1 濁水塊의 높이 變化

投下土砂의 計量方法은 비이커에 물을 넣은 후 投下條件에 따라 土砂를 비이커에 넣어 計量하였다. 濁水塊의 높이 變化는 굵은 粒子的 投下量과 傾斜를 一定하게 두고 懸濁物質로서 가는 粒子的 混入量을 바꾸어 가면서 實驗하였다. 그 結果는 Fig. 2a~d와 같으며 $X/A_0 < 4.5$ 附近의 領域까지 濁水塊 높이는 增加하는 傾向이 있었으며, 그 후 增加率은 점차 감소하였다. 또한, 가는 모래의 混入量이 增加할수록 $X/A_0 < 4.5$ 에서 濁水塊의 높이는 거의 일정한 높이를 維持하고 있었고, 가는 모래의 混入量이 적을수록, 濁水塊의 높이는 높았다. 그리고 가는 모래의 混入量이 25.50 cm^3 에서 濁水塊의 높이는 $X/A_0 < 5$ 까지 增加한 후 一定值를 나타낸 후 $X/A_0 < 7$ 의 部分에서 增加하고 있었다. 이것은 $X/A_0 < 5$ 까지는 濁水塊가 底面에 衝突하면서 얻어진 運動量에 의해서 支配되고 있다고 보며 $X/A_0 < 7$ 部分에서는 濁質混入에 의한 密度差에 의해서 다시 增加한다고 판단된다.

4.2 濁水塊의 길이 變化

Fig. 3a~d는 濁水塊의 길이(W) 變化를 나타내고 있다. 濁水塊 길이의 變化率은 $X/A_0 = 2$ 附近에서 크게 減少하는 것을 볼 수 있으며, 이 위치는 濁水塊의 높이가 最小가 되는 것과 對應되고 있었다. 그리고, $X/A_0 > 4.5$ 部分에서 다시 增加하고 있었으며, 이것은 濁水塊의 底面 衝突效果에 의한 것이라고 본다. 海底傾斜 1:3과 1:4를 比較하여 보면 傾斜가 1:3에서 濁水塊의 길이는 連續的 增加하고 있는 반면, 1:4에서 $X/A_0 \approx 8$ 까지는 增加하다가 그후부터는 一定值를 나타내었다. 이것은 重力效果와 slumping 現象 때문이라고 본다.

Table 1. Properties of materials.

Subdivision	Diameter(d_{50})mm	Specific gravity	U_d (cm/s)	R_{ed}
Coarse sand	3.38	2.65	26.5	895
Fine sand	0.15	2.65	2.02	3.03

4.3 濁水塊의 移動速度

Fig. 4a~d는 濁水塊 앞부분의 移動速度 變化를 나타내고 있다. 그리고 濁水塊가 底面에 衝突하기 직

Table 2. Experimental conditions

Model No.	Slope	h (cm)	Coarse sand (Q ₀ : cm ³)	Fine Sand (q ₀ : cm ³)	No. of dropping
L20053	1:3	20	300	5	2
L20103				10	2
L20253				25	2
L20503				50	2
M20053			150	5	2
M20103				10	2
M20253				25	2
M20503				50	2
L20054	1:4	20	300	5	2
L20104				10	2
L20254				25	2
L20504				50	2
M20054			150	5	2
M20504				10	2
M20254				25	2
M20504				50	2

前的 斷面積과 落下速度는 濁水塊의 舉動에 큰 影響을 미치기 때문에 橫軸의 濁水塊 移動距離와 縱軸의 移動速度를 濁水塊가 底面에 衝突하기 직前的 斷面積과 落下速度로 無次元 하였다. Fig. 4에서 보면 가는 모래의 混入量이 적을수록 濁水塊의 移動速度는 急速히 減少하였으며, 移動距離도 짧았다. X/A_i < 1 領域에서 濁水塊의 移動速度는 衝突現象이 進行되고 있기 때문에 增加하다가 X/A_i > 2 부근 領域에서는 급격히 減少하였다. 특히, 가는 모래의 混入量이 적을수록 顯著하였다. 또한, 傾斜가 작을수록 密度差에 의한 重力效果가 작아지기 때문에 移動速度는 작아지고 있었으며 Thermal 現象과 類似하였다.

4.4 濁水塊 先端部の 移動時間

Fig. 5a~d는 濁水塊 先端部の 移動時間變化를 나타내고 있다. 기울기 1:3과 1:4를 比較하여 보면, 기울기 1:3이 1:4보다 같은 移動時間에 移動距離는 길었다. 이것을 重力效果와 slumping 現象에 起因한다고 판단된다. 또한, 가는 모래의 混入量이 增加할수록 같은 移動時間에 移動距離는 짧았다.

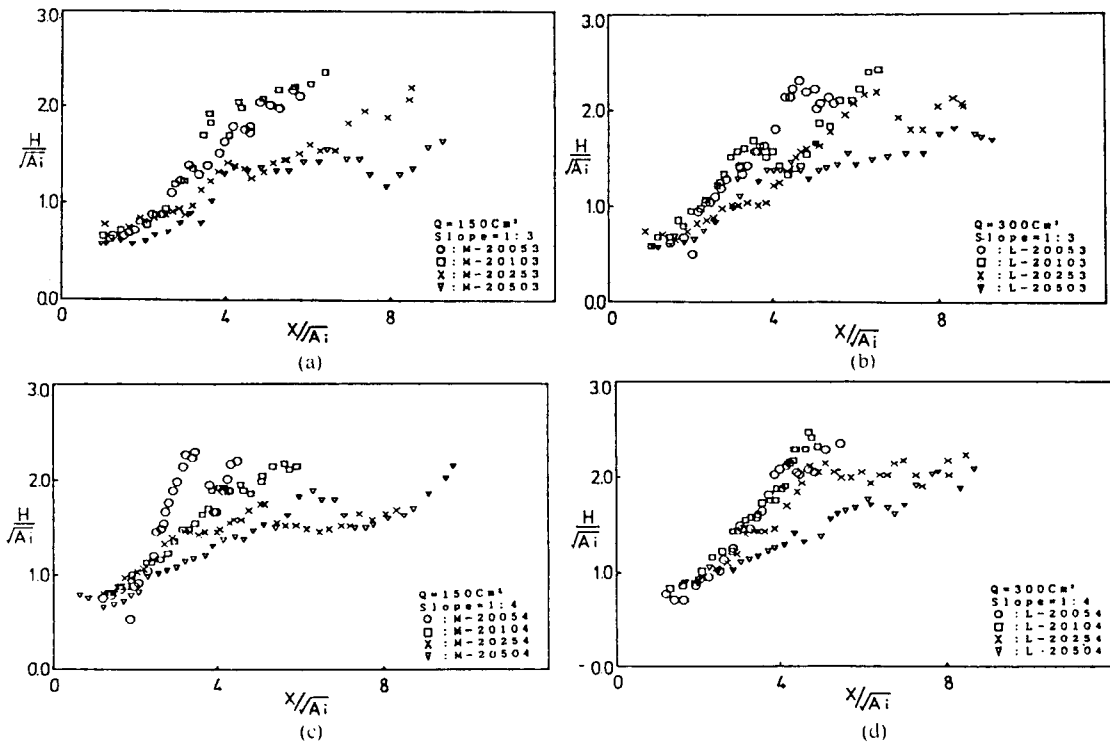


Fig. 2. Change of the height in the muddy water lumps.

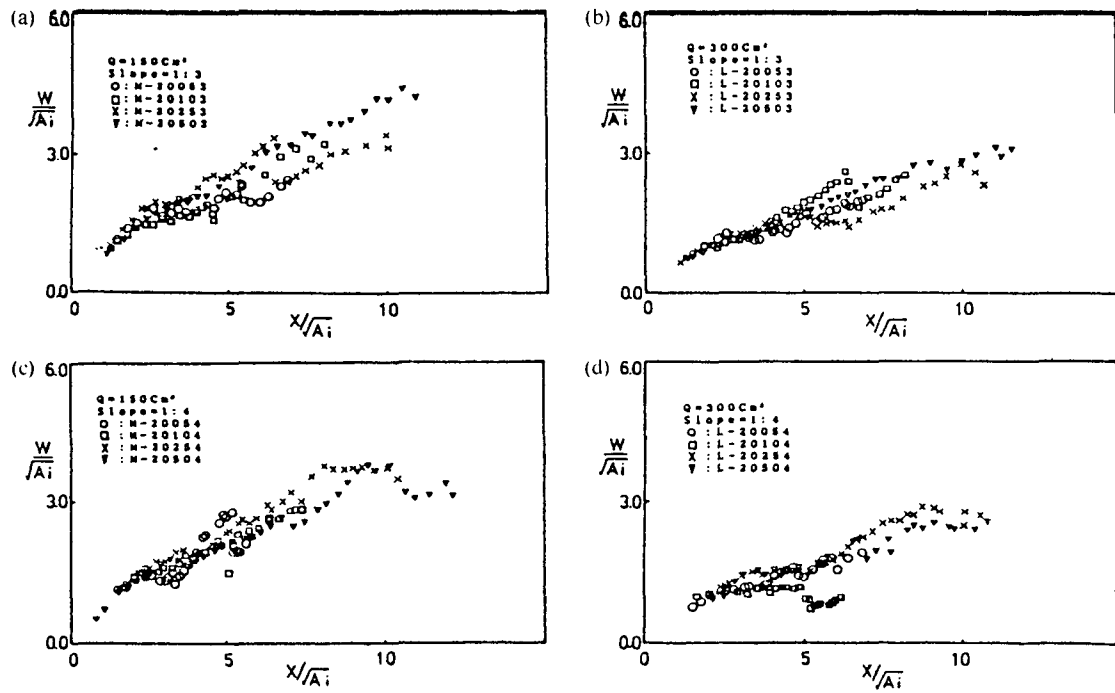


Fig. 3. Change of the length in the muddy water lumps.

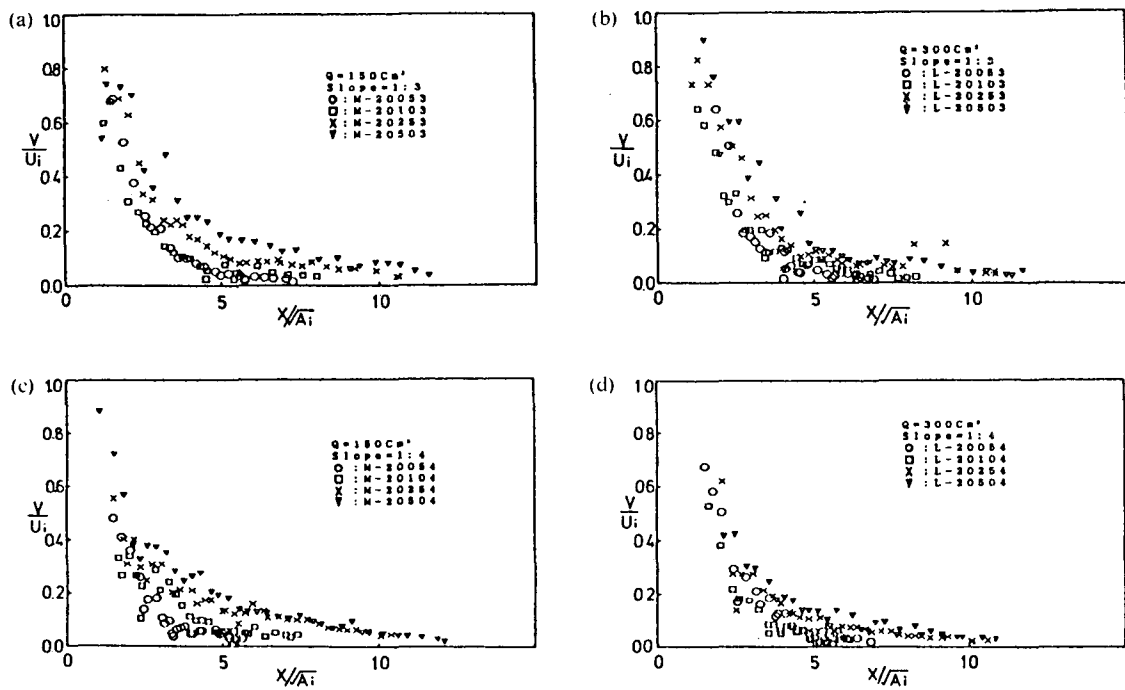


Fig. 4. Change of moving velocity in the muddy water lumps.

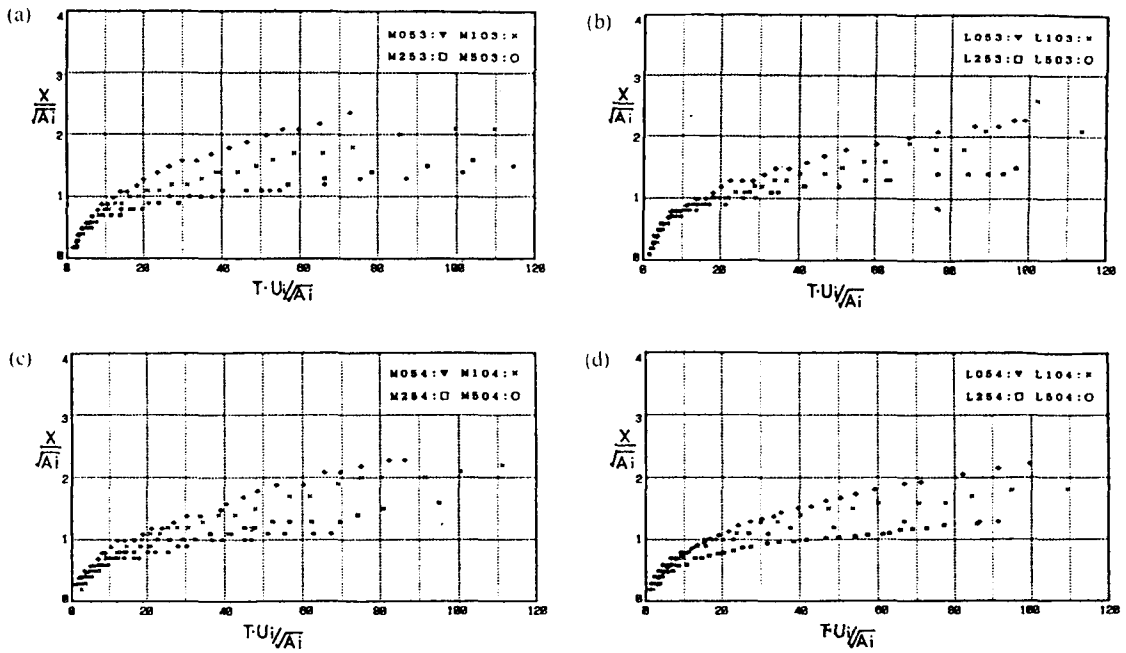


Fig. 5. Properties of movement at the Head of muddy water lumps.

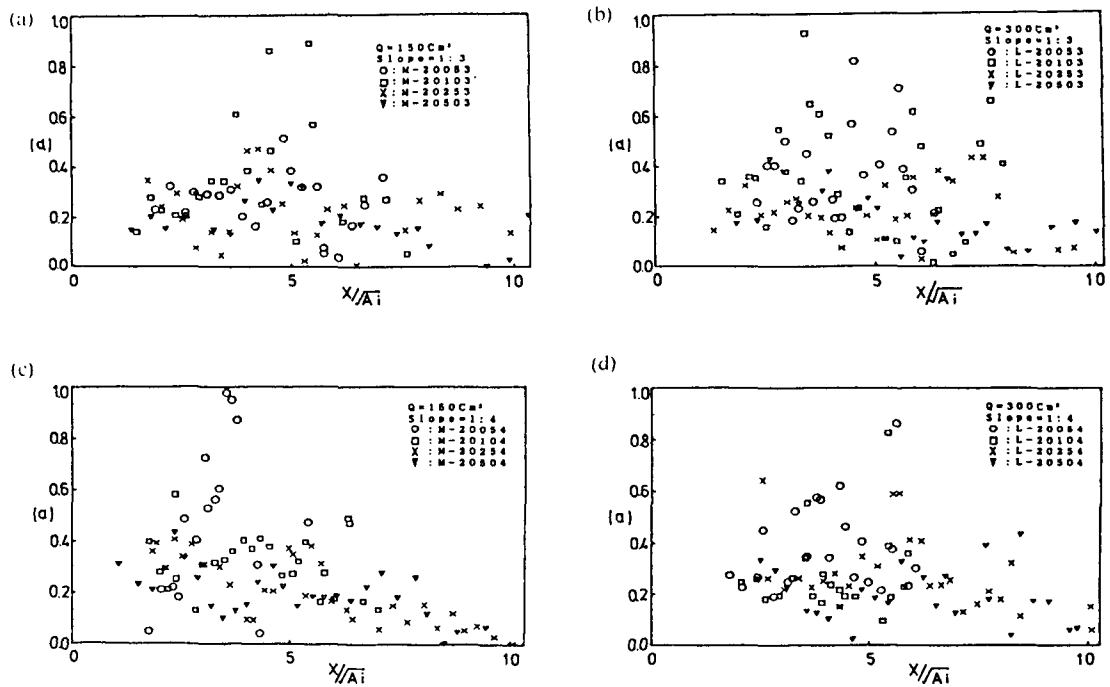


Fig. 6. Entertainment coefficients of each model.

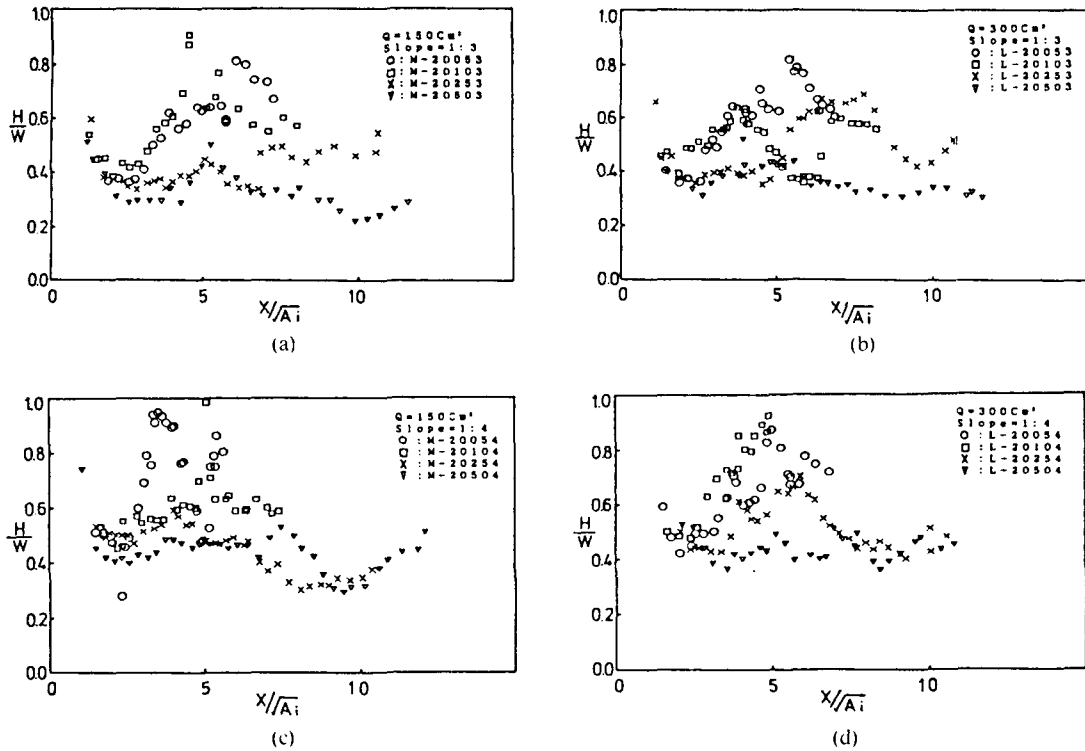


Fig. 7. Shape coefficients of each model.

4.5 連行係數(β)

Fig. 6a~d는 連行係數의 變化를 나타내고 있으며, 가는 모래의 混入量이 적을수록 濁水塊 높이가 높을수록 連行係數는 增加하고 있었다. 또한, 濁水塊의 移動速度 變化가 큰 $X/A_i < 4$ 의 區間에서 급속히 增加하다가 減少하는 것을 알 수 있었다. 이것은 濁水塊의 底面 衝突에 의한 運動量의 增加에 起因한다고 판단된다. 그리고 傾斜가 급할수록 連行係數는 증가하였다.

4.6 形狀係數(k)

Fig. 7은 濁水塊 移動에 따른 形狀係數(k)의 變化를 나타내고 있다. 形狀係數(k)는 濁水塊의 높이(H)와 길이(W)의 比(H/W)이다. 形狀係數는 濁水塊가 底面에 衝突하는 $X/A_i \approx 2$ 부근까지는 가는 모래의 混入量에 관계없이 거의 一定하게 減少하고 있었다. 이것은 初期運動量이 卓越하고 分散이 적기 때문이며, 이 領域에서 濁水塊 幅(W)의 增加率은 높이의 增加率이 거의 4배였다. $X/A_i > 2.0$ 부터는 서서히 密度差에

의한 影響이 나타나서 增減하였으며, 가는 모래의 混入量이 적은 濁水塊의 流動은 $X/A_i \approx 2$ 까지 횡방향으로 濁水塊의 길이增加되면서 流動하며, $X/A_i > 3$ 부터는 縱방향으로 濁水塊 높이增加되면서 流動한다. 또한, 가는 모래의 混入量이 많은 濁水塊는 $X/A_i \approx 2.5$ 까지 횡방향 成長이 탁월하다가 $X/A_i > 3$ 부터 相似形을 維持하면서 成長하는 것을 알 수 있었다. 가는 모래의 混入量이 많은 경우에는 密度差의 影響에 의하여 $X/A_i \approx 8.0$ 부근에서 形狀係數의 값은 다시 增加하였다.

4.7 投下土砂의 堆積形狀

土砂의 堆積過程은 投下土砂가 海底面에 衝突後 海底面을 따라 混相流體塊로 되어 移動과 擴散을 하기 때문에 그 物理機構는 대단히 복잡하다. Fig. 8에서 縱軸에 堆積距離, 橫軸에 堆積높이로 하였다. 分析하여 보면 굵은 모래에 가는 모래의 混入量이 많을수록 土砂의 堆積높이는 減少하고 있었다. 이것은 懸濁物 質로서 가는 모래의 混入量이 많으면 Fig. 4에서 濁

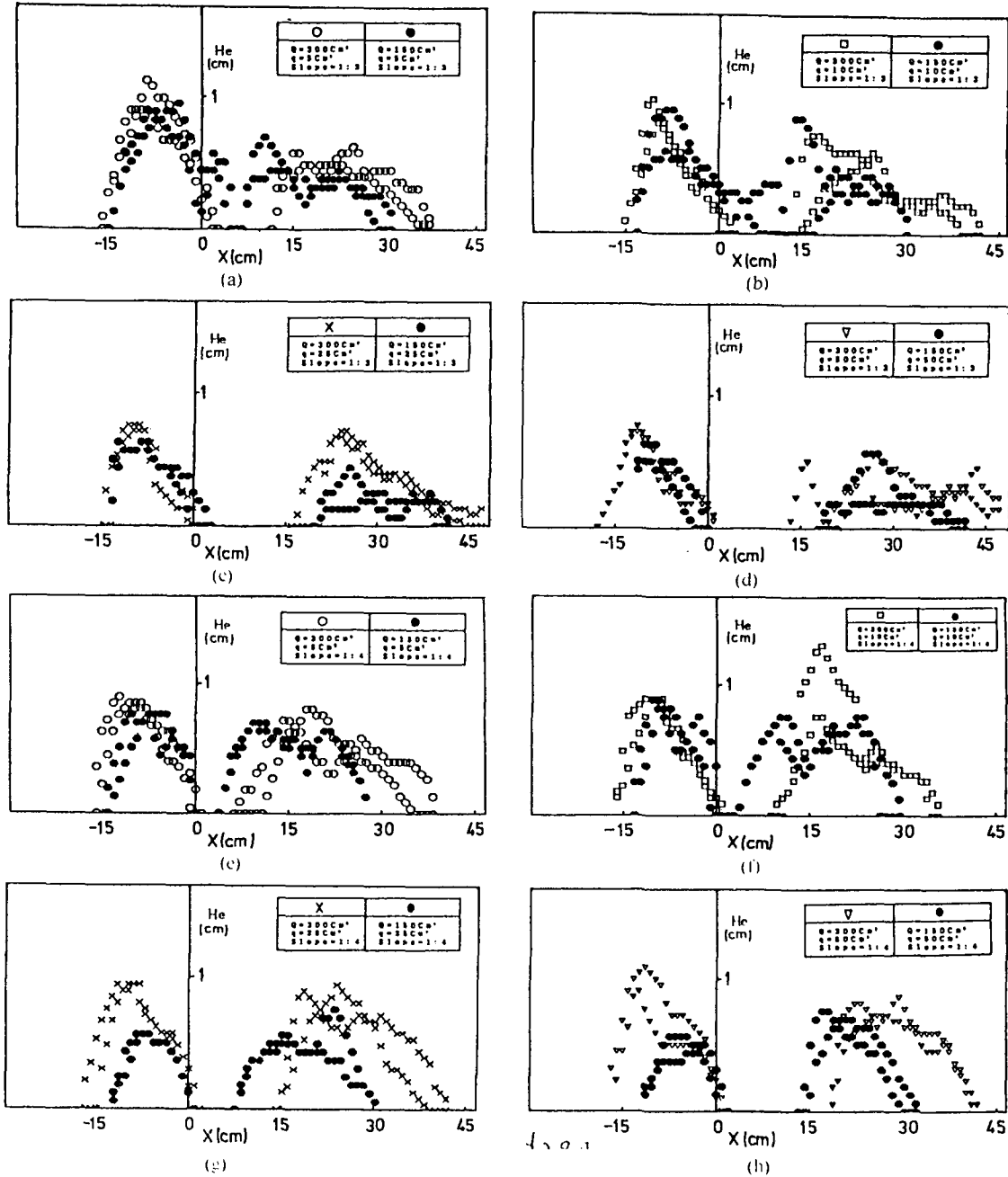


Fig. 8. Shape of accumulation in the dropped soil.

水塊의 移動速度가 빠른것에 起因한다고 한다. 堆積 形狀은 雙頭形分布를 하고 있었으며, 가는 모래의 混入量이 많을수록 上下流의 分離現象이 뚜렷했으며, 分離距離도 增加하였다. 이러한 現象도 가는 모래의

混入量이 많을 수록 濁水塊의 移動速度가 빨라지는데 起因한다고 판단된다. 또한, 海底傾斜가 급할수록 分離距離는 增加하였다.

5. 結 論

海面에서 土砂投下時 濁水塊의 舉動을 명확하게 하기 위해서 굵은 모래와 가는 모래를 土砂로 사용하고 現場에서의 土砂投下裝備를 모델化하여 水理實驗을 實施하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

濁水塊의 높이는 投下點 附近에서 급격히 增加한 후 서서히 增加하였고, 水面에 到達하지 않았으며, 가는 모래의 混合量이 적을수록 높이는 增加하고 있었다. 濁水塊의 길이 變化는 周圍水와 濁水塊의 密度差가 커지면 濁水塊 높이의 成長은 억제되지만 slumping 現象에 의하여 濁水塊 길이는 增加하였다. 濁水塊 移動速度 投下點 附近에서 급격히 減少하다가 衝突後에는 거의 減少하지 않았다. 連行係數는 가는 모래의 混入量이 적을수록, 濁水塊 높이가 커질수록 增加하였고, 形狀係數는 가는 모래의 混入量이 적을수록 급속히 增加하였다. 그리고 周圍水와 濁水塊의 密度差는 傾斜面에서 重力으로 作用하여 濁水塊를 減速, 加速시키는데 직접적인 原因으로 作用한다.

參考文獻

- Begin, P. and Hopfinger, E.J., 1981. Gravitational convection form in instantaneous sources on inclined boundaries, *Jour. of Fluid Mech.*, **100**: 407-422.
- Britter, R.E. and Linden, P.F., 1980. The motion of the front of a gravity current travelling down an incline, *Jour. of Fluid Mech.*, **99**(3): 531-543.
- Hopfinger, E.J., 1983. Snow avalanche motion and related phenomena, *Ann. Rev. Fluid Mech.*, **15**: 47-76.
- Parker, G., Fukushima. Y. and Pantin, H.M., 1986. Self-accelerating turbidity current, *Jour. Fluid Mech.*, **171**: 145-181.
- Shlien, D.J. and Thompson, D.W., 1975. Some experiments on the motion of an isolated laminar thermal, *Jour. of Fluid Mech.*, **72**(1): 35-47.
- Silmpson, J.E., 1972. Effects of the lower boundary on the head of a gravity current. *Jour. Fluid Mech.*, **53**(4): 759-768.
- Turner, J.S., 1962. The motion of buoyant element in turbulent surroundings, *Jour. of Fluid Mech.*, **16**: 1-16.
- 高英俊, 近藤基, 小岩苔生, 1976. 捨石の水中落下速度について, 港灣技術研究所報告, No. 249 : 3-43.
- 堀江 毅, 1980. 沿岸海域の水の流れと物質の擴散に関する水理學的研究, 港灣技術研究所報告, No. 360 : 7-221.
- 堀江 毅, 1987. 海上工事に伴う濁り豫測 Model と濁り監視への適用性について, 港灣技術研究所報告, **26**(2) : 253-294.
- 福嶋祐介, 1986. 粉雪雪崩の流動機構の解析, 日本雪氷學會誌, **48**(4) : 189-197.
- 桑野定美, 大場和彦, 1973. 土捨船投下土砂の分散滞積實驗例, 農業土木學會論文集, **47** : 56-61.
- 室田 明, 中辻啓二, 1988. 海域での土砂投下における密度流現象, 海岸工學會論文集, **35** : 777-781.
- 奥出律, 山谷弘幸, 松木茂, 1982. 底開式ハシによる捨石マウソトの造成に関する實驗, 港灣技術研究所報告, **21**(4) : 131-171.
- 運輸省第三港灣建設局, 1980. 土砂による海水汚濁の豫測方法開發のための調査研究, 10-643.
- 室田 明, 中辻啓二, 1988. 土砂投下に伴う濁りに關する檢討報告書, 災害 科學研究所, : 1-100.
- 福嶋祐介, Parker, G., 1985. 自己加速する泥水流に關する研究, 海岸工學講研會論文集, **32** : 253-257.
- 河野二夫, 藤田智康, 水中お落下する個體粒子の散らに關する研究, 第27回, 沿岸講演會論文集, 1980.