

海域에서 토사투하에 따른 탁수괴의 거동에 관한 연구 (경사면에서 탁수괴의 거동특성을 중심으로)

경희대학교 토목공학과 이종남 교수
군산수산전문대학 해양토목과 신문섭 부교수*

1. 序 論

海上工事에는 여러 종류의 工事가 많이 있지만, 이들중 埋立과 浚深工事を 할때 발생 하는 懸濁物質의 문제는 水域 環境保存의 입장에서 工事關係者들에게 높은 관심을 보이고 있다. 그리고 이러한 懸濁物質의 발생정도는 施工法, 工事規模, 周邊의 地形과 흐름상황에 의하여 좌우되며 또한 懸濁物質에 의한 영향은 懸濁物質의 정도, 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(粒經等)에 따라서 좌우된다.

그리고 土砂를 投下하므로써 일어나는 흐름은 土砂投下후 土砂混入水塊가 海底面에 衝突現象으로서 포착되고, 그 흐름은 非正常流이고 土砂의 堆積, 再浮遊등의 복잡한 수리현상이 얽혀져 있다. 따라서 懸濁物質 조사의 대부분은 工事に 있어서 現地實驗 또는 試驗工事的 現地觀測으로 행하여지고 있으나, 實驗條件이 다르므로 調查結果를 그대로 이용하는 데는 어려움이 있다.

또한 전체의 流動을 나누어서 海底面 충돌전 혹은 충돌후의 流動特性등 개개의 작은 過程에 觀點을 둔 實驗및 理論的인 研究도 없으며 또한 해결하여야 할 문제도 많이 남아 있다.

海上工事中 懸濁物質의 발생이 피할 수 없는 상황이라면 懸濁物質의 擴散防止工法을 행하는 것이 중요하다고 생각된다. 그리고 懸濁物質의 擴散過程의 物理現象을 정확하게 파악한 후 적절한 豫測 모델(model)을 확립하는 것이 중요하다.

그래서 本 研究에서는 海上에서 土砂를 投下 할때 일어나는 懸濁物質의 擴散過程에 지배적인 역할을 하는 懸濁水流의 海底面上에서 舉動特性과 擴散을 定量的으로 評價하고 擴散豫測手法의 개발을 시도해 보았다.

2. 實驗의 目的

土砂投下에서부터 해저에 衝突후 海底面을 移動할때 懸濁塊의 移動에 이르는 過程을 熱流體塊形狀은 타원형이고, 熱流體塊內部的 浮力은 일정하고 또한 流速과 密度分布形狀은 相似形을 유지한다고 보고 實驗을 하였다. 그러나 실제의 海上埋立工事에서 土砂를 投下할때 土砂는 投下點 부근에서 堆積하고 아주 작은 양의 懸濁物質 成分만이 濁水塊을 형성, 海底面을 移動한다.

土砂投下에서 일어나는 固體와 液體의 混相流體塊는 土砂가 堆積함으로써 급속하게 그 重力을 잃어버린다. 이때 일어나는 流體運動이 堆積形狀에 영향을 미친다고 생각되어 混相流體塊의 落下特性과 濁水塊의 높이변화, 길이변화, 이동속도, 先端部의 이동시간, 連行係數, 土砂의 堆積形狀의 관련성에 대하여 水理實驗을 실시하였고 土砂投下 재료로서는 비교적 굵은 粒子의 굵은 모래와 懸濁物質成分으로 작은 粒子의 가는 모래를 혼합하여 傾斜面에 投下시켜 濁水塊의 舉動特性에 대해 알아보았다.

3. 實驗의 概要

(1) 實驗裝置와 實驗方法

實驗裝置는 Fig.1과 같이 폭을 15cm로 하였으며, 土砂投下상자는 폭 5cm, 길이 15cm, 높이 10cm의 아크릴로 제작하였고 상자의 아래부분에서 土砂를 방출할 수 있게 하였다.

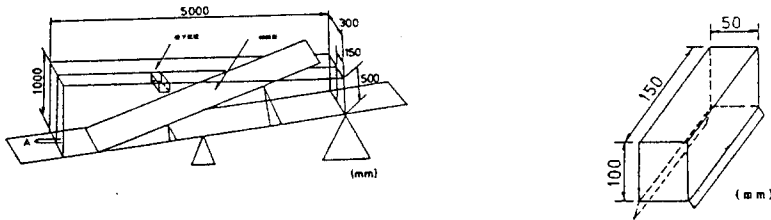


Fig.4-1 Experimental apparatus.

(2) 實驗條件

土砂投下에 사용한 재료는 굵은 粒子의 모래에 懸濁物質로서 입경이 가는 모래를 混合하여 混合 粒徑으로 하였으며 實驗 할 때 사용한 土砂의 제원은 Table 1과 같다.

Table 1 Properties of Materials.

subdivision	diameter(d_{50})cm	specific gravity	U_d (cm/s)	R_{0d}
coarse sand	3.38	2.65	26.5	895
fine sand	0.15	2.65	2.02	3.03

여기서 d_{50} 은 중앙입경, ρ_s 는 모래粒子的 비중, U_d 는 모래粒子的 沈降速度, Re_d ($d_{50} U_d / \nu$)는 土砂粒子的 Reynolds 數이다.

Table 2는 投下條件을 나타내고 있으며 여기서 Q_0 는 굵은 모래의 投下量이고 q_0 는 가는 모래의 投下量이다. 그리고 U_i, A_i 는 $d_{50}=3.38\text{mm}$ 의 굵은 모래를 깊은 수심에서 投下시켰을 때 각 實驗條件에 대응하는 수심에 있어서 落下速度와 面積이다.

Table 2 Drop Condition

subdivision	$Q_0(\text{cm}^3)$	$q_0(\text{cm}^3)$	$U_i(\text{cm/s})$	$A_i(\text{cm}^2)$
M	150	5	41.8	252
		10		
		25		
		50		
L	300	5	54.8	284
		10		
		25		
		50		

實驗의 目的에도 있지만 濁水塊는 土砂를 投下 할 때 일어나는 流動이 海底面에 衝突하면서 방향을 전환하여 海底面을 따라 運動한다. 이러한 運動은 굵은 모래의 舉動特性이 濁水塊의 初期條件으로써 중요하다고 생각되어 진다. 그러나 연직흐름이 海底面에 衝突하면서 흐름방향을 변환하는 物理過程에 대해서는 전혀 알 수 없다.

따라서 濁水塊의 精確한 初期條件의 설정은 어렵다. 그러므로 Table 2에서 U_i, A_i 를 初期條件으로 濁水塊의 舉動特性을 정리하였다.

Table 3은 實驗條件을 나타내고 있다. 土砂投下實驗이 非正常的인 것을 고려하여 實驗條件마다 2-3회 反復實驗을 실시하였다.

4. 實驗分析

(1) 濁水塊의 높이變化

Fig. 2는 土砂를 投下하였을 때 濁水塊 높이의 下流方向 變化를 나타내고 있다. (a) - (d)까지의 投下條件은 각각 기울기 1:3, 굵은 모래의 投下量 $Q_0 = 150 \text{ cm}^3$ 에 가는 모래를 $q_0 = 5, 10, 25, 50(\text{cm}^3)$ 씩 混合하였고 기울기 1:4, 굵은 모래의 投下量 $Q_0 = 300 \text{ c}$

Table 3 Experimental Condition

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

m^3 에 가는 모래 $q_0 = 5, 10, 25, 50(\text{cm}^3)$ 씩 혼합하였다.

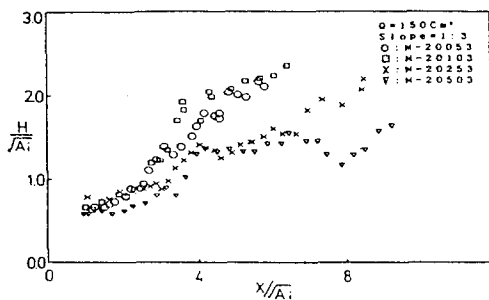


Fig. 4-2(a) Change of a height in the muddy water lump.

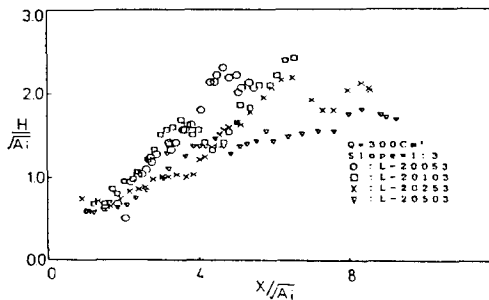


Fig. 4-2(b) Change of a height in the muddy water lump.

(2) 濁水塊의 길이變化

다음에는 하류측 傾斜面 방향으로 濁水塊의 길이變化에 대하여 검토하여 보기로한다.

Fig. 3(a, b, c, d)은 傾斜面 방향으로 濁水塊의 길이變化를 나타내고 있으며, (a), (b)의 投下條件은 각각 기울기가 1:3이고 投下量(Q_0)은 150, 300 (m^3)이다.

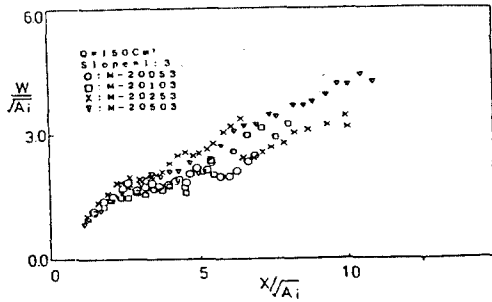


Fig. 4-3(a) Change of a length in the muddy water lump.

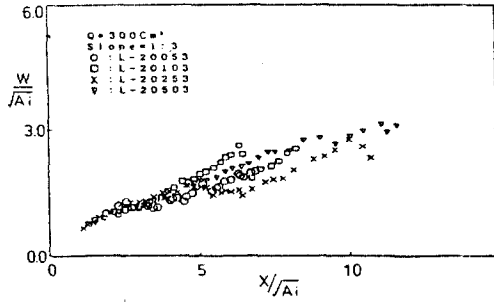


Fig. 4-3(b) Change of a length in the muddy water lump.

(3) 下流側 濁水塊의 移動速度

Fig. 4(a, b, c, d)는 濁水塊 앞부분의 移動速度 變化를 나타내고 있다. Fig. 4(a, b, c, d)의 投下條件은 각각 기울기가 1:3에서, 굵은 모래의 投下量(Q_0)는 150, 300(cm^3)이고, 기울기가 1:4에서 굵은 모래의 投下量은 150, 300(cm^3)이다. 橫軸은 濁水塊의 移動거리를 표시하며, 濁水塊의 初期斷面積(A_i)의 平方根으로 無次元 하였고, 縱軸은 濁水塊의 移動速度를 나타내며 저면충돌 직전의 混相流體塊의 落下速度를 U_i 로 無次元 하였다. Fig. 4(a, b, c, d)에서 보면 가는 모래의 混入量이 적을수록 濁水塊의 移動速度가 빨리 저하하고 있으며 가는 모래의 混入量이 적을수록 濁水塊의 移動速度는 느리고 移動거리도 짧은것을 볼 수 있었다.

(4) 濁水塊 先端部の 移動時間

Fig. 5(a), (b), (c), (d)는 濁水塊 앞부분의 移動時間의 變化를 나타내고 있다. 橫軸은 固液混相體가 傾斜面에 도달한 순간을 기준으로 하였으며 U_i 와 A_i 로 無次元化 하였다.

총괄적으로 분석하여 보면 傾斜面 기울기가 클수록 충돌점부근에서 濁水塊의 移動速度는 빨라서 急傾斜를 나타내며 속도의 체감도 작은 것을 알 수 있었다.

懸濁物質로서 가는 모래량의 混入量이 增加할수록 濁水塊의 앞부분의 移動速度는 增加하는 것을 알 수 있었다.

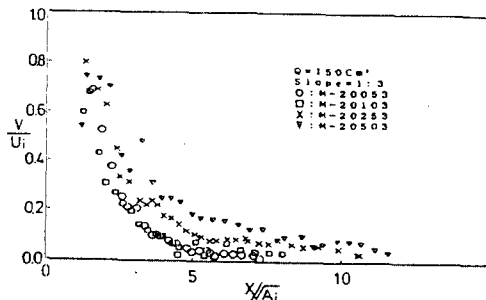


Fig. 4-4(a) Change of a moving velocity in the muddy water lump.

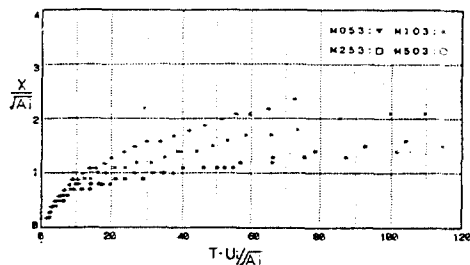


Fig. 4-5(a) Properties of movement at the head of muddy water lump. (slope: 1:3, drop quantity (Q_0)=150cc)

(5) 連行係數(a)

Fig.6(a,b,c,d)에서 a는 濁水塊의 連行係數(a)로서 下流方向의 變化를 나타내고 있다. Fig.6(a,b,c,d)의 投下條件은 각각 기울기가 1:3, 굵은 모래 投下量(Q_0) 150,300 (cm^3), 기울기가 1:4, 굵은 모래(Q_0)가 150,300(cm^3)이다. Fig.6(a,b,c,d)에서 連行係數(a)는 가는 모래의 投下量이 적을수록, 그리고 濁水塊의 높이가 클수록 連行係數(a)는 增加하며, 또한 濁水塊의 移動速度의 變化가 큰 $2.5 < X/A_1^{1/2} < 4$ 의 구간에서 連行係數 값은 급속히 增加하다가 減少하는 것을 알 수 있었다.

Fig.6(a,b)에서 보면 傾斜가 일정하여도 굵은 모래의 양이 增加하면 連行係數의 값은 커지는 것을 알 수 있었다. 또한 (a),(c)에서 보면 投下量이 일정하여도 傾斜가 급할수록 連行係數의 값은 增加하였다.

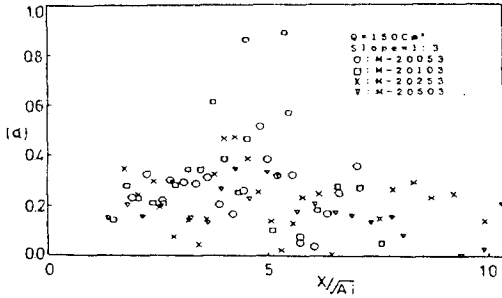


Fig.4-6(a) Entertainment coefficients of each model.

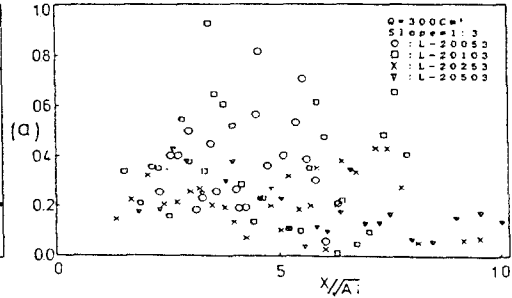


Fig.4-6(b) Entertainment coefficients of each model.

(6) 形狀係數(K)

Fig.7(a),(b),(c),(d)는 濁水塊의 移動에 따른 形狀係數(K)의 變化를 나타내고 있다. Fig.7의 (a),(b),(c),(d)의 投下條件은 각각 기울기가 1:3에서 굵은 모래량(Q_0)는 150,300(cm^3)이고, 기울기가 1:4에서 굵은 모래량(Q_0)150,300 (cm^3)이다. 形狀係數(K)는 濁水塊의 최대높이(H)와 최대길이(W)의 比(H/W)이다.

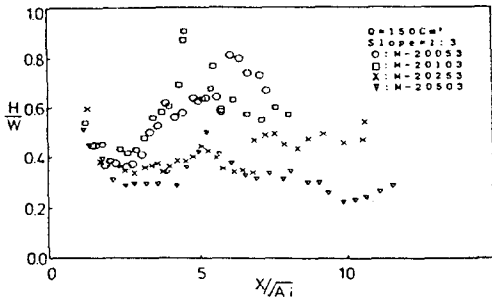


Fig.4-7(a) Shape coefficients of each model.

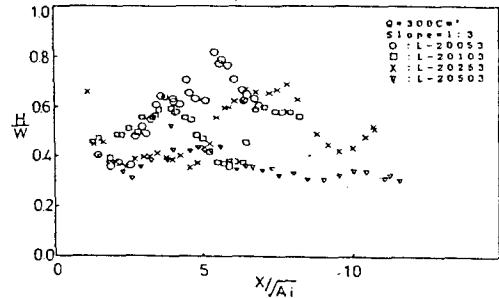


Fig.4-7(b) Shape coefficients of each model.

(7) 投下土砂의 堆積形狀

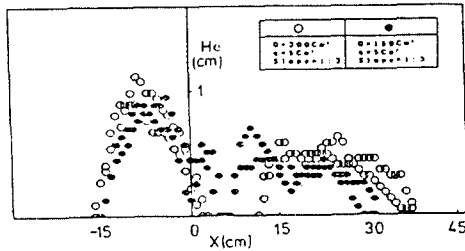


Fig. 4-6(a) Shape of accumulation in the dropped soil.

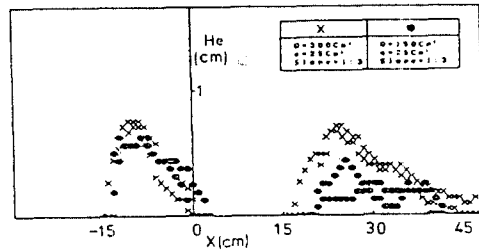


Fig. 4-6(c) Shape of accumulation in the dropped soil.

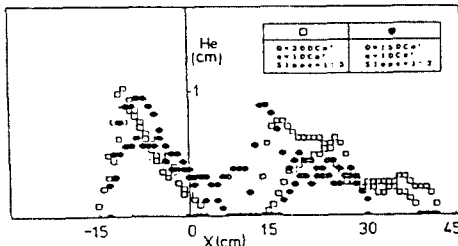


Fig. 4-6(b) Shape of accumulation in the dropped soil.

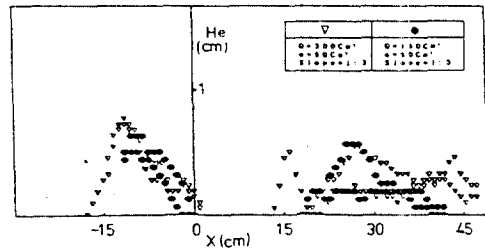


Fig. 4-6(d) Shape of accumulation in the dropped soil.

5. 結論

本章에서는 傾斜面에서 濁水塊의 舉動을 명확하게 하기 위해서 가는 모래와 굵은 모래를 土砂로 사용하고 현장에서의 土砂投下裝備을 모델化하여 水理實驗을 實施하여 다음과 같은 結論을 얻었다.

- 1) 下流側으로 分離된 濁水塊의 높이는 投下點 附近에서 급격히 증가한 후 서서히 증가한다. 濁水塊의 높이는 水面에 도달하지 않았으며 가는 모래의 양이 적을수록 높이는 증가하고 있었다.
- 2) 下流側 濁水塊의 길이변화는 周圍水와 濁水塊의 密度差가 커지면 濁水塊 높이의 成長은 억제되지만 슬러핑 現象과 비슷한 效果에 의해서 濁水塊의 길이가 증가한다.
- 3) 下流側 濁水塊 移動速度는 投下點 부근에서 급격히 감소하다가 충돌 後에는 거의 감소하지 않았다. 그리고 懸濁物質 混入의 影響은 거의 없었다.
- 4) 連行係數는 懸濁物質로서 가는 모래의 混入量이 적을수록, 濁水塊의 높이가 클수록 連行係數는 증가한다. 또한 形狀係數는 가는 모래의 混入量이 적은 경우에

비교적 급속하게 증가하고 混入量이 많을 경우에는 거의 一定하였다.

- 5) 가는 모래 混合後 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.

Reference

1. Simpson, J. E., "Effects of the lower boundary on the head of a gravity current", J. Fluid Mech. vol. 53, part 4, 1972, pp. 759-768.
2. 室田 明, 中什啓二., " 海域での土砂投下における密度流現象", 第35回. 海岸工学会論文集, 1988.