

〈技術報文〉

漢江綜合開發計劃에 따른 移動床 水理實驗에 對하여

On the Hydraulic Model Test of Movable Bed of Han River

李 性 宰*

1. 序 言

漢江綜合開發은 首都圈에 있어 廣闊한 河川空間을 綜合的이고 多角的으로 利用開發하여 快適한 國際水準 都市로서의 面貌를 갖추는데 있다.

따라서 이 綜合開發事業을 보다 効率的으로 計劃推進하기 위하여 1982年度부터 建設部 建設試驗所 水理實驗室에서 水理模型實驗을 着手하여 固定床에 의한 水理的 檢討가 있었고 翌年 '83年度에는 河川計劃斷面에 대한 河床變動 狀況과 橋脚, 堤防, 護岸工 등 旣存施設物을 爲始하여 새로 新設豫定인 2個의 水中淤(蠶室, 幸州) 施設計劃에 따른 河道의 洗掘·堆積 傾向을 把握하기 위하여 移動床 水理模型實驗을 實施한 바 있다.

筆者는 上記 兩年間에 實施한 水理實驗成果를 本文에 要略 記述하는 바이며, 아울러 移動床 實驗에 있어 模型砂로서의 材料를 選定하는데 있어 流砂의 相似性問題가 매우 어렵기 때문에 이에 重點을 두고 그 過程을 說明코자 한다.

2. 實驗概要와 成果

가. 固定床實驗

固定床實驗은 開發計劃區間인 金浦大橋에서 岩寺洞에 이르기까지의 低水路와 高水敷地 造成計劃案에 따라 過去의 河川斷面과 크게 달라진 河川斷面上에서의 洪水量에 대한 治水上的 安全性는 물론, 低水路와 高水敷地의 平面形狀에 대한 水理的인 適合性與否를 檢討하기 위하여 實施한 實驗이며 現地條件이 水深에 比하여 河幅이 大端히 크기 때문에 模型上에서의 層流와 亂流의 複合的인 흐름을 避하기 위하여 水平: 1/200, 鉛直: 1/80인 歪曲된 模型縮尺을 가지고 實驗하였다.

實驗結果 全般的인 計劃河道는 縱的 橫的으로 比較的 整然한 流況을 나타내고 있었으나 部分的인 個所に 대하여 다음과 같은 留意事項과 提案이 있었다.

1) 堂山鐵橋의 右岸쪽은 流心이 偏流되어 4m/sec의

流速을 나타내고 있으므로 草地造成 計劃에 따른 表面維持와 護岸工法에 대하여 留意할 것.

2) 中浪川 合流區間의 右岸은 上下流部의 曲流 영향과 中浪川 合流의 영향으로 死水域이 되어 있으므로 이 部分은 洪水量이 有效通水斷面으로 作用치 못하여 通水斷面으로서 除外해도 可能함.

3) 楸岾區間의 右岸에는 現在 넓은 高水敷地가 造成되어 있으나 約 5m/sec의 局部的인 流速이 發生하여 計劃案대로 施工할 경우 河上維持上 問題가 많을 것으로 推定되어 이 區間은 1次修正後 또는 2次修正案에 따라서 改修하는 것이 바람직하다.

4) 千戶大橋區間의 左岸側 高水敷地와 草地의 平面法線에 대한 修正方案을 提示함.

5) 王宿川 合流點 右岸側 堤防法線과 高水敷地의 法線은 最終的으로 上流의 改修計劃에 따라 決定하는 것이 바람직하며, 그 以前에는 堤防과 低水路 護岸工法에 留意해 줄 것 등이 提言되었다.

나. 移動床實驗

上記한 固定床實驗에서는 模型河床이 堅固하기 때문에 三次元 水理現象에 의한 河床變動을 豫測할 수 없을 뿐더러 安全河道의 計劃에 대한 檢討가 困難하여 河道의 洗掘堆積이 可能하도록 模型砂를 鋪設한 移動床模型에서 河床의 變動을 把握하므로써 施設物 周邊에서의 洗掘堆積傾向을 파악하므로써 河床變動狀況을 파악할 수 있다.

勿論, 移動床實驗은 水文學的인 側面에서 時空間的으로 變化되는 流水의 掃流力에 의하여 移動하는 河床土砂의 複雜한 運動을 對象으로 하기 때문에 模型上에서 이를 正確히 再然시킨다는 것은 技術的으로 매우 어려운 일이며, 따라서 移動床模型實驗에서 얻어진 水理諸量을 原型인 實物量으로 換算하였을 경우, 이것을 定量的으로 모두가 一致된다고 할 수는 없다.

本移動床實驗에 있어서는 다음에 記述되는 基礎實驗過程을 事전에 實施하여 河床變動量을 模型上에서도 實物에서와 定量的으로 가까운 結果值를 얻고자 最善의 努力을 다하였지만 實驗對象區間이 매우 길고 河床

* 當學會 總務理事 建設部 河川計劃課長

傾斜도 同區間內에서 一定치 많으므로 因하여 河床材料가 一定한 크기로 均等하게 分布되어 있지 않기 때문에 全實驗對象區間에 걸쳐 流砂의 相似性を 充足시켜 준다는 것은 그렇게 쉬운 일은 아니다.

즉 現地河床에 分布되어 있는 土砂의 粒子는 縱으로 볼 때 上流部로 갈수록 摩擦抵抗이 큰 砂礫이 分布되어 있고 下流部로 가면 마찰저항이 작은 細砂에 가까운 것들이 分布되어 있다.

따라서 嚴密한 意味에서는 各斷面別로 現地粒徑에 相似性を 갖는 模型砂로서 河床을 成形하여야 되겠지만 全區間에 걸쳐 河床材料와 상사성을 갖는 模型砂로서 全區間에 成形한다 함은 거의 不可能하다 하겠다.

故로 一般 移動床實驗에서는 縱斷的으로 거의 中間位置가 될뿐 아니라 모든 水文 Data가 수집정리되어 있는 第1漢江橋 附近에 대한 流砂量의 相似性이 充足되도록 하는 한편 上流와 下流에 대해서는 適切한 補正을 加하여 定性的으로 判斷하는 것이 妥當하다고 보았다.

이와 같은 觀點에서 行한 移動床實驗結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 漢砂地區 流砂補給影響

市界를 벗어난 上流 漢砂地區를 現在와 같이 未開發狀態로 放置하고 市界內區間에 限하여 河道整備를 한다면 河床의 不連續으로 因하여 計劃區間全般에 걸쳐 流砂가 河道上昇을 誘發시켰으며 橫斷方向으로도 洗掘堆積의 차가 甚하여 河道安定에 支障을 주고 있어 流砂供給을 遮斷하므로써 이를 解決할 수 있었다.

2) 河道特性

① 實驗對象區間은 緩流河床이므로 河道形狀의 變化는 主로 洪水時의 短期間中에 發生될 것이 豫想되었다

② 計劃河狀의 砂礫粒徑은 當初河床에 비하여 粗粒化되어 있으므로 完工後의 限界掃流力은 그만큼 增大될 것으로 豫想되었다.

③ 第2漢江橋 上流側은 屈曲河川이기 때문에 流心方向이 크게 變動되지 않으나 下流側은 上流에서 加해지는 線形變化에 따라 영향을 받고 있다.

④ 河床의 洗掘堆積은 河幅과 河川에 設置되는 構造物 등에 關係가 있어 蠶室潛堰上流, 第3漢江橋~銅雀大橋, 汝矣島區間, 蘭芝島 下流區間은 대체로 堆積區間이고 蠶室大橋~中浪川合流點, 堂山鐵橋~城山大橋區間은 洗掘區間임을 알았다.

이러한 現象은 河川의 屈曲, 法線 및 構造物에 대한 局所的인 水流剝離 또는 亂流로 因하여 縱方向뿐만이 아니고 橫方向으로도 發生되고 있어 不安定區間에 대해서는 今後 保護對策이 必要할 것이다.

3) 問題 및 改善對策

① 특검, 永東橋附近

이 地域은 上流部 河道의 彎曲으로 因하여 發生되는 偏流가 永東大橋의 左岸은 물론, 下流部 全般에 걸쳐 河床安定에 좋지 않은 영향을 주고 있으므로 다음과 같은 改善策을 提示하였다.

- 특검측 低水路法線을 後退시켜 下流의 流況을 改善하여 하상세굴되적에 대하여 均衡을 유지케하므로써 流況을 改善하였고,

- 蠶室高水敷地 下流端은 河心쪽으로 擴張하여 導流에 圓滑을 期하도록 하는 것이 河道管理上 有利함.

- 炭川合流點의 左岸側에는 草地 또는 高水敷地로 延長造成하여 合流部에서의 水理現象을 圓滑하게 함.

② 中浪川 合流地點

基本計劃上에 草地로 計劃되었으나 水理機能을 發揮하지 못하고 있으므로 高水敷地로 變更造成하는 것이 流況改善에 有利함.

③ 盤浦大橋 上下流部

銅雀大橋~盤浦大橋間의 左岸草地는 可能한 限 高水敷地로 利用하는 것이 被覆保護 및 下流의 流況改善側面에서 有利함.

④ Olympic 大橋附近

Olympic 大橋는 漢江人道橋의 河幅을 維持하며 水衝現象이 일어나지 않도록 盛土區間을 短縮하므로써 流況을 개선함.

⑤ 汝矣島 附近

- 派川의 分流量은 高流量時 全流量의 8~9%이며 派川閉鎖에 따른 本流의 水位영향은 10~20cm 程度 上昇됨.

- 汝矣島 對岸側(元曉大橋~第2漢江橋區間의 右岸)은 死水域으로 되어 事實上 通水斷面의 機能을 發揮하지 못함.

⑥ 蘭芝島鐵塔附近

鐵塔存置를 위한 計劃案은 周圍에 甚한 局所洗掘은 勿論 流況을 不良하게 하므로써 修正實驗을 通하여 다음과 같은 代案을 提示하였다.

- 低水路法線을 鐵塔敷地의 先端에 맞추어 上下流쪽으로 圓滑하게 連結하는 案과 鐵塔敷地를 完全除去하는 案

⑦ 低水路 護岸洗掘區間의 對應

地形上으로 오는 局所的인 水衝區間 또는 河道의 線形改造가 困難한 洗掘區間에 對해서는 洗掘의 程度에 따라 河岸 및 河床의 地質狀態, 水位, 流速, 流況 등의 水理特性을 考慮된 根入深, 또는 適正한 工法을 選定하여 護岸의 維持對策을 樹立하는 것이 必要하다.

3. 基礎實驗의 概要

移動床의 水理模型實驗에 있어서는 流砂量의 相似性에 充足되도록 하기 爲하여 模型의 規模와 河床材料로 使用될 適正한 模型砂를 選定하는데 必要한 基礎實驗을 事前에 實施하여야 한다.

河床의 土砂가 水流에 依하여 移動하는 것은 浮遊砂(Suspended load)와 掃流砂(Bed load)로 區分할 수 있다.

그런데 治水的인 立場에서 河床의 洗掘과 그의 對策 등을 研究하는데 있어서는 浮遊砂의 경우 보다는 掃流砂에 對한 研究가 더욱 重要한 것이다.

土砂의 移動은 流水時에 河床에서 일어나는 摩擦應力(掃流力, τ_0)에 依하여 일어나며 그의 流砂量을 表示하는 關係式은 Du Boys 以來 많은 學者들로부터 發表된 바 있다. 그러나 이들 公式들을 가지고 어느 주어진 課題를 解析比較해 보면 一定流量을 除外하고는 滿足될 만큼 一致되는 答을 얻을 수 없다.

따라서 어느 對象地域에 對한 流砂量 分斷은 現地 實測值를 가지고 이와 類似한 結果를 얻을 수 있는 公式를 利用하는 것이 바람직 하다.

今般 漢江綜合開發計劃에 따른 水理實驗에 臨하여서는 建設部로부터 1964~1972년까지 8個年間に 걸친 漢江人道橋(第1 漢江橋) 地點에서의 流砂量 實測值를 가지고 Kalinske-Brown 外 3個公式를 適用하여 同位置에 對한 流砂量特性을 分析한 바 그림 1과 같았다.

이 流砂特性曲線에 依하면 實測值와 計算值에 있어서 兩者의 差異에서 Wash Load를 勘案한다면 流量(Q_p)과 流砂量(Q_b)間의 關係는 Brown 式이 가장 實測值에 接近되고 있음을 알 수 있다.

따라서 今般實施한 바 있는 基礎實驗에서 流砂量의 相似性比較는 Brown의 流砂量 Curve를 適用하여 檢討하는 것으로 하였다.

參考事項으로 萬若에 現地の 實測資料가 없을 경우에는 實驗對象區域의 河床에서 直接試料를 採取하여 可變傾斜水路를 利用하여 室內에서 實測한 資料를 補充하여 使用하는 方法도 하나의 手段이 될 수 있다.

가. 實驗用 模型砂

移動床水理實驗에서 使用되고 있는 河床模型砂는 材料는 自然砂와 人工砂로 區分할 수 있다.

自然砂의 경우는 現地河床을 構成하고 있는 砂粒經이 比較的 클 경우에 利用될 수 있고 人工砂는 現地河床材料가 작은 粒經으로 構成되어 있을 경우에 利用되는 것으로서 石炭粉, plastic powder, wooden powder,

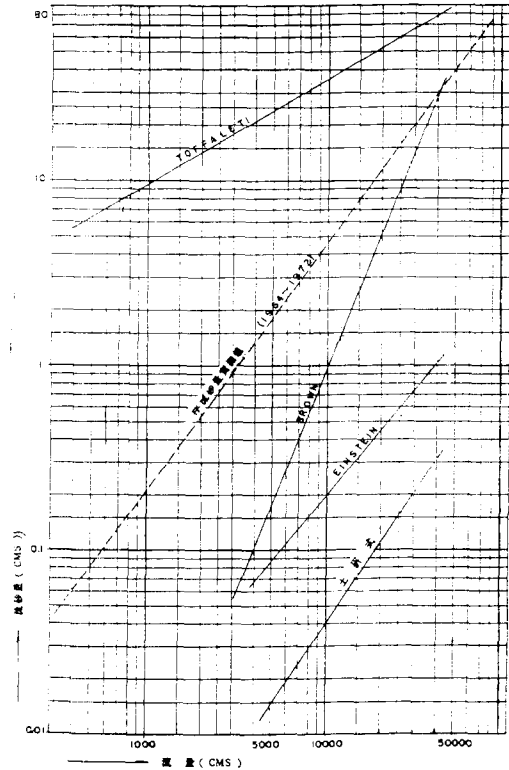


그림 1. 人道橋地點의 流砂量 分布圖

加工硅藻土 등을 들 수 있다.

本基礎實驗에서는 國內에서 調達이 可能한 人工砂로 加工 硅藻土 4種과 自然細砂 1種을 가지고 模型縮尺과 關聯시켜 模型砂로서의 使用에 適合한지에 對한 流砂相似性實驗을 實施하였는 바 그 實驗要領을 紹介하던 다음과 같다.

4. 基礎實驗의 要領

가. 實驗目的

本實驗은 漢江下流部の 移動床水理實驗을 爲한 模型의 河床材料 選定과 選定된 模型砂를 河床材料로 利用하였을 경우 流砂量의 相似性에 符合되는 模型縮尺을 찾는 데 그 目的이 있다.

나. 實驗內容

(1) 模型縮尺의 範圍: 移動床 模型의 縮尺은 可能하다면 '82年度에 實施한 固定床模型縮尺($L_r=1/200$, $\beta_r=1/80$)과 一致되도록 하는 것이 模型製作와 改造에 隨伴되는 人力 및 費用의 節減, 測定 Data의 一部活用과 水理特性의 比較檢討 등으로 보아 매우 有益할 것이다. 그러나 結果가 반드시 期待한 바에 一致될 수는

있는 것이므로 水平縮尺比를 $L_r=1/200$ 로 固定해 놓고 鉛直縮尺比를 $y_r=1/80, 1/70, 1/50$ 등 3個案(必要에 따라서는 實驗流量이 許容되는 範圍內에서 $y_r=1/60, 1/40$ 도 追加키르함)을 試驗對象으로 範圍를 定하였다.

(2) 實驗流量: 現地 支配流量인 $Q_p=12,000$ CMS를 基準으로 하여 Data의 plot를 勘案, 低流量인 $Q_p=5000$ CMS과 高流量인 $Q_p=25000$ CMS 등 3個 流量을 가지고 각 y_r 別로 該當 模型流量으로 換算하여 供給키로 하였다.

(3) 適用傾斜: 基礎實驗에 適用할 河床勾配는 計劃河道上의 河床傾斜와 흐름의 Energy 傾斜를 學論할 수 있으나 前者의 경우는 人爲的인 計劃河道斷面이므로 計劃의 合理性 與否를 今般實驗에서 檢토키자 하는

河床傾斜이기 때문에 基礎實驗의 河床傾斜로 適用할 수가 없으며 물의 흐름 狀態가 定流이든 不定流이든 間에 一定 條件下에서 流砂移動에 影響을 주는 水理的 因子는 掃流力 또는 摩擦速度가 關係되므로 $\tau_0 = \rho gh I_e$ ($U_* = \sqrt{\tau_0/\rho} = \sqrt{gh I_e}$)의 定義로 보아 後者인 Energy 傾斜를 適用하는 것이 妥當할 것으로 判斷되었다.

(4) 模型砂의 試料: 移動床 模型砂로 使用되고 있는 一般的인 材料는 3節에서 言及한 바와 같이 여러가지 種類가 있으나 人工的으로 加工된 硅藻土가 國內에서 多量生産되고 있으므로 土性實驗 結果 <表-1 參照>에 依據 4種의 硅藻土(A, B, DD₁ 砂)와 1種의 實砂(B 砂)를 模型砂 選定實驗用 河床試料로 于先選定하고 進行過程에서 必要에 따라 砂種을 追加해야 한다.

<表 -1> 各 模型砂別 土性試驗表

試料	種類	平均粒徑(mm)	比重	空隙率(%)	沈降速度(cm/sec)	備考
模型砂 A	硅藻土	0.48	2.13	55	4.74	
" B	實砂	0.26	2.63	—	2.59	
" C	硅藻土	0.38	2.11	49	2.23	
" D	硅藻土(白色)	0.45	1.54	57	2.89	
" D ₁	"	0.40	1.54	57	2.83	採用分

<表 -2> 實驗諸元總括表

水理諸元		模型砂				備考								
		[A]	[B]	[C]	[D]									
y_r	Q_p	I_e	h_0	q_B	v_0	h_0	q_B	v_0	h_0	q_B	v_0	h_0	q_B	v_0
	CMS		記號說明 y_r : 鉛直縮尺 Q_p : 實驗計劃流量(實物) I_e : energy 傾斜 h_0 : 等流水深(模型) q_B : 單位幅當 流砂量(模型) v_0 : 平均流速(模型)											
1/80	5000	1/5700												
	12000	1/5700												
	25000	1/4500												
1/70	5000	1/5700												
	12000	1/5700												
	25000	1/4500												
1/50	5000	1/5700												
	12000	1/5700												
	25000	1/4500												

以上 內容을 가지고 實驗을 要하는 諸元을 一括的으로 表示하여 보면 表 2와 같다.

다. 實驗要領

基礎實驗 施行節次에 있어 實驗要領을 合理的으로 定한다는 것은 實驗 Data의 精密性, 實驗運營費(動力費其他) 및 計劃工程面에서 매우 有益하며 所期目的을 充實히 遂行할 수 있는 利點을 가져 오게 된다.

위 事項들을 勘案하여 基礎實驗의 要領을 詳述하면 아래와 같다.

(1) 實驗順序: 實驗은 表 -2에 明示된 模型砂의 種類順(ABC...)으로 進行하였고 各模型砂에 따라, 別 實驗流量別 順으로 等流水深, 流砂量, 流速 등 水理諸元을 測定한다.

(2) 河床成形: 基礎實驗水路에 所要 두께로 模型砂

를 鋪設(水路의 유리벽면에 基準線을 圖示하였음)하고 河床成形作業이 完了된 後 Level을 利用, Energy 傾斜에 一致되도록 河床傾斜을 調整(等流의 흐름)한다.

(3) 實驗流量的 供給: 表-3과 같이 미리 算出된 實驗計劃流量을 正確히 供給하기 爲하여 事전에 四角 Weir에 對한 流量檢定實驗을 實施, 流量檢定曲線을

作成하고 模型縮尺(鉛直)別 計劃流量을 Froude 相似律로 換算, 流量檢定曲線에서 該當流量을 찾아 各 實驗流量으로 供給한다.

※ 基礎實驗流量은 現地流砂量測定地點인 漢江 人道橋地點을 擇하여 河道斷面中 低幅區間을 통과하는 流量으로 하여 諸元을 算出하였음.

<表-3> 基礎實驗流量換算表 ('73 한강인도교 하도단면기준)

計劃流量 (Q_p)	水面幅 (Q_r)	低水路幅 (B)	B 의 通過流量 (Q_{PB})	Energy 傾斜 (I_r)	模型縮尺		模型流量 (Q_m)	基礎實驗流量 ($120Q_m$)	溢流水深 (H)	實驗水路傾斜 (I_m)
					水平 (L_r)	鉛直 (y_r)				
CMS	m	m	CMS				CMS	CMS	cm	mm/m
5,000	823.529	823.529	5,000	1/5,700	1/200	1/80	0.0349	5.0911×10^{-3}	3.84	8.77/20
						1/70	0.0427	6.2201×10^{-3}	4.05	10.03/20
						1/50	0.0707	10.3036×10^{-3}	6.12	14.04/20
12,000	1,112.745	上 同	11,906	1/5,700	上 同	1/80	0.0832	12.1228×10^{-3}	6.77	
						1/70	0.1017	14.8112×10^{-3}	7.69	上 同
						1/50	0.1680	24.5348×10^{-3}	10.52	
25,000	1,229.412	上 同	22,285	1/4,500	上 同	1/80	0.1557	23.6913×10^{-3}	10.02	11.11/20
						1/72	0.1903	27.7235×10^{-3}	11.35	12.70/20
						1/50	0.3152	45.9240×10^{-3}	15.55	17.78/20

流量供給方法은 實驗水路內에 模型砂試料를 完全히 成形시킨 後 水路下流端 Gate를 닫고 微小流量을 水路內에 供給하면서 模型砂層의 空隙을 채운 다음 河床表面위로 水面이 數 cm 올라 오게 되면 徐徐히 流量을 增加시켜 實驗流量이 流下되도록 調節한다.

(4) 等流水深의 測定: 實驗流量으로 완전히 조절되던 水路下流端 Gate를 徐徐히 열어 水路內 흐름이 等流水深(初期)이 되도록 하고 砂漣(Ripple)이 充分히 發達할 때까지 水深의 變動狀態를 繼續 觀察한 後 安定된 水位에서 等流水深(h_0)을 測定한다.

(5) 流壓測定: 等流水深이 形成되면 事전에 選點된 測定地點에서 流速을 測定하고 連續式으로 計算實驗流量과 等流水深의 正確性을 確認한 다음 Manning 公式에 依한 粗度係數 算出資料로도 利用한다.

流速測定器具는 電界式 小型流速計를 使用할 수 있으며 測定方法은 3點法을 適用(水深이 작아 測定不能일 경우에는 2點法 또는 1點法 適用)한다.

(6) 流砂量 및 河床變動測定: 流砂量은 實驗水路 下流端 밑에 모래 받이 箱子 2~3個를 製作하여 놓고 箱子 內部에 Vinyl 布幕을 簾 다음 等流水深과 河序에서의 砂漣이 完全히 發生하였을 때에 20~30分 간격으로 流砂를 받아 Mass Cylinder로 流砂量을 測定한다.

基礎實驗에서 實測된 流砂量 q_B (cc/sec/m)는 現地 漢江下流部 人道橋地點을 對象으로 하여 分析된 既往의 流砂量值 Q_B (m^3/sec)와 比較檢討할 수 있다.

여기서 實測流砂量 q_B 를 가지고 實流砂量 Q'_B 로 換算하는 方法은 다음과 같다.

$$Q'_B(m^3/sec) = q_B(10^{-6}) L_r y_r t_r^{-1} \cdot B$$

但, B 는 人道橋地點에서의 河幅(m)이며,

$$t_r = \alpha y_r^{1/2} = \frac{L_r}{y_r} y_r^{1/2} = \frac{L_r}{\sqrt{y_r}} \text{이다.}$$

以上에서 記述한 諸般 實驗이 完了되면 下流端 水位 調節 Gate를 徐徐히 닫고 實驗流量의 供給을 中止시킨 다음 砂漣形態의 變動이 오지 않도록 注意 깊게 實驗水路內의 물을 退水시킨 後, 河床變動狀態를 縱橫方向으로 測定한다.

5. 基礎實驗結果

本 基礎實驗에서는 實驗內容에서 言及한 바에 依據하여 鉛直縮尺 y_r 別로 3個 實驗流量(5,000, 12,000, 20,000 m^3/sec)에 對한 實驗을 各 模型砂別로 實施하였다.

實驗에서 얻어진 表-4의 實測值로 볼 때 等流水深은

Froude 수가 0.23~0.32 範圍인 常流領域의 水深이었다.

流砂量은 實驗試料中에서 [D₁]砂가 流砂量이 가장 많은 試料에 屬하였다. 그 다음으로는 [D]砂, [C]砂, [A]砂 順이었고 [B]砂는 Energy 傾斜가 가장 급한 $y_r=1/50$ 에서도 $Q_p=12,000$ CMS 以下の 流量에서는 流砂量이 거의 없어 河床試料로 利用하기가 困難하였다.

移動床 實驗에 있어서는 河川流量의 增加量에 따라 發生되는 河床의 洗掘 및 堆積의 變化를 重點의으로 다루는 實驗이 되기 때문에 河川의 흐름에서 惹起되는

水理諸元中 流砂에 關한 相似性만은 必然的으로 符合 되어야 한다.

萬若 試料의 種類가 制限된 狀況에서 이에 滿足되는 模型砂를 入手할 수 없을 경우에는 實驗值의 分析 結果에 따라 가장 實物에 接近되는 模型砂를 選定하여 流砂量과 河床形態等의 相似性이 充足되도록 流量을 調節하여 補正係數 K를 適用하는 方法을 採擇할 수 있겠다.

<表-4> 水理諸量의 測定值

模型砂 水理量		[A]			[C]			[D]			[D ₁]		
		h_0	q_B	v_0	h_0	q_B	v_0	h_0	q_B	v_0	h_0	q_B	v_0
1/80	CMS	6.40	—	—	4.70	0.0009	20.68	6.20	0.24	14.68	6.0	0.324	14.14
	5,000	10.30	—	—	11.50	0.0052	30.78	9.00	2.20	23.00	9.1	2,732	22.20
	12,000	16.20	—	—	—	—	—	11.85	12.61	31.50	12.4	14.92	31.00
1/70	25,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5,000	—	—	—	—	—	—	10.35	2.73	23.85	—	—	—
	12,000	—	—	—	—	—	—	11.70	18.71	36.00	—	—	—
1/50	25,000	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	5,000	8.30	0.0034	20.20	6.20	0.0425	25.32	—	—	—	—	—	—
	12,000	13.90	0.0114	25.48	12.10	0.8602	29.91	12.50	10.03	27.95	—	—	—
備考	25,000	19.80	0.0481	30.65	15.50	3.2365	40.52	—	—	—	—	—	—
	備考 h_0 : 等流水深(m), q_B : 單位幅當流砂量(cc/sec/m), v_0 : 平均流速(cm/sec)												
	※ [B]砂는 流砂量이 거의 없어 實驗에서 省略.												

<表 5> 模型砂別 流砂量實測 總括表

砂種 流量(Q_p)		[A]砂	[C]砂	[D]砂	[D ₁]砂	現地資料 (Brown式) ⑤	比 率	
		①	②	③	④		③/⑤	④/⑤
1/80	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	CMS	%	%
	5,000	—	0.0005	0.1374	0.185	0.17	81	109
	12,000	—	0.0029	1.2593	1.560	1.50	84	104
	25,000	—	—	7.2153	8.540	9.10	79	94
1/70	5,000	—	—	—	—	0.17	—	—
	12,000	—	—	1.2800	—	1.50	85	—
	25,000	—	—	9.0200	—	9.10	99	—
1/50	5,000	0.0009	—	—	—	0.17	—	—
	12,000	0.0032	2.8369	—	—	1.50	189	—
	25,000	0.0136	—	—	—	9.10	—	—
備考		河床傾斜 適 用	Energy 傾斜適用					

表-5는 表-4에 提示된 模型流砂量 q_B 를 實物의 流砂量으로 換하여 Brown 式에 依據分析된 流砂量과 比較한 것이다.

이 表에 依하면 $y_r=1/80$ 의 경우 $[D_1]$ 砂는 Brown 式에 依한 分析値와 매우 接近되었으며 이는 漢江人道橋附近의 現地實測流砂量과도 거의 一致된다는 結論이 된다. 그림-2는 表-5를 圖示한 것이다.

여기에서 留意하여야 할 事項은 高流量으로 갈수록 流砂量의 成果가 低下된 傾向이 있는데 이것은 先行된 低流量($Q_p=5000$ CMS)의 實驗過程에서 Wash Load가 一部 流下된데서 原因이 有하다고 判斷되므로 今後 模型砂成形作業이나 實驗分析 過程에서 이 點을 參酌하여야 할 것이다.

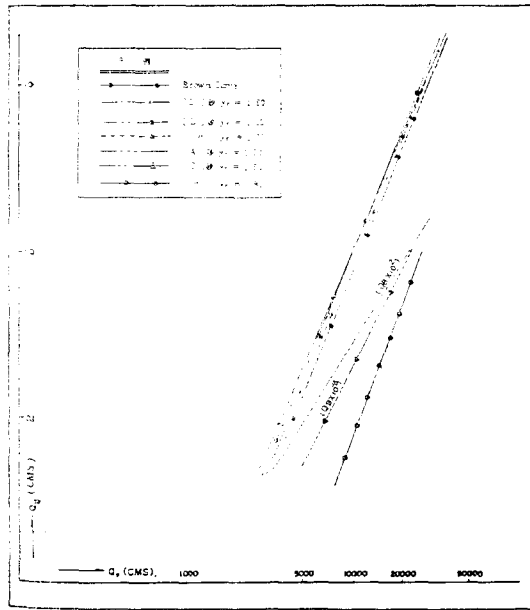


그림 2. 基礎實驗 Q_p-Q_B 相關圖

6. 摘要事項

以上과 같이 基礎實驗結果에서 얻어진 成果에 따라 今後에 實施될 本實驗上에서 適用하여야 할 主要 事項들을 列擧하면 다음과 같다.

1. 模型砂 : 基礎實驗에서 實施한 各種 模型砂中 $[D_1]$ 砂는 比重이 가장 작고 粒度配列이 比較的 高르게 構成되어 있어 浮遊와 掃流現象을 發生해 주며 漢江人道橋地點에 對하여 Brown 式으로 分析된 流砂量과 相似性이 거의 接近되었다.

특히 空隙率이 큰 $[D_1]$ 砂는 위의 流砂量分析値와 流砂相似가 流量別로 잘 一致되었으므로 今般 移動床 水理實驗에서 模型河床材料로 擇하는데 支障이 없다고 본다.

2. 模型縮尺 : $[D_1]$ 砂를 模型의 河床材料로 利用할 경우 模型規模는 水平縮尺 $L_r=1/200$, 鉛直縮尺 $y_r=1/80$ 에서 Q_p (CMS) = 5,000 12,000 25,000 該當流量에서 流砂의 相似性을 確認하였으므로 歪曲度 $\alpha=2.5$ 를 갖는 上記 縮尺을 그대로 適用할 수 있다.

3. 通水時間 : Froude 相似律에 依한다면 $t_r=L_r y_r^{-1/2}$ 이므로 模型 通水時間은 現地 流水의 持續時間에 對한 22.36分之1에 該當된다. 그러나 從來에 流砂에 對한 時間縮尺은 Froude 相似律과는 別途의 手段을 取하여 解決하여 왔든 例로 보아 同 相似律에서 多少어긋나는 限이 있더라도 流砂量의 相似性을 符合시켜 주는 通水時間이 더욱 重要할 것이다.

本 基礎實驗에서는 等流水深이 發生한 後 1.5時間 (Froude 相似律로 換算하면 約 34時間에 該當됨) 前後에서 測定하였으므로 이를 勘案하여 豫備實驗 過程에서 合理性있는 通水時間을 模索하는 것이 바람직하다고 본다.

4. 水理諸量의 檢測 : 基礎實驗은 흐름의 基本을 維持하기 爲하여 等流狀態의 흐름에서 實施하였으므로 河床傾斜가 Energy 傾斜와 一致된 狀態였다. 그러나 屋外에서 實施될 移動床實驗은 基本計劃上의 河道斷面에 準하였으므로 基礎實驗과는 諸般與件이 差異가 있으므로 主要한 水理量은 檢測을 하여 參考資料로 活用할 必要가 있을 것이다.