

淤積河川整治之研究

Study on the Regulation of Aggradation Rivers

水利局規劃總隊工程員

梁 政 聰

Liang Cheng-Tsung

摘 要

河川集水區因濫墾不當開發等因素，致使水土保持遭受破壞，泥砂大量流失，造成河川的供砂量大於輸砂能力，河床因此淤高，長此下去，愈淤愈高，終成「淤積河川」。濁水溪即為中外馳名之一例，然其形成原因，係為防止洪水泛濫平原，特於中下游興建堤防，堵截其它支流，形成主流，單獨輸送泥砂出海，因輸送能力明顯不足，終致河床高於兩岸農田約1~2公尺，洪泛潛在威脅極為嚴重。

本文為研究淤積河川之整治，針對濁水溪歷年之現場測量調查、河性分析、數值模式及水工模型試驗等工作予以綜合整理研討，期能藉濁水溪已有相當充實之資料研究出淤積河川最佳之整治方法以供參考。

ABSTRACT

Activities such as cutting trees and removal of vegetation, road building and improper land uses, will destroy the natural balance, increase soil erosion in watershed, and produce large amount of sub-surface soil inflowing into the river channel.

Therefore, the supply of sediment exceeds the capacity of transportation, the river bed lifted due to overloading. If this situation is unchanged for a long period, eventually the river becomes an "aggradation river". Cho-shui Chi is the famous one in the world. To protect the downstream plain being flooded, since 1912, the levees on both banks have been constructed to form a main channel. From that time on, it carries the whole eroded soil of watershed into the sea. But the transportational capacity of river is obviously insufficient. The river bed lifted and now have exceeded the elevation of the farm lands on both sides of river about 1-2 meters and the potential hazard of flooding inundation exists.

This study investigates the serious problems of deposition along the downstream reaches of Cho-shui Chi and suggests that planning on the regulation of aggradation river usually includes four parts, that is (1) morphology analysis, (2) field survey and investigation, (3) mathematical model analysis, and (4) hydraulic model test. After completion of the above four tasks, the optimum alternative can be determined and provided to the decision makers.

一、前 言

自然河川的供砂量大於輸砂能力，河床即會淤高，若長期無法改善此種現象，河床會愈淤愈高，終致河床高出兩岸農田，形成洪泛之潛在威脅。在臺灣的河川中，素有「小黃河」之稱的濁水溪（示如圖1），即為馳名中外的「淤積河川」之一。

濁水溪自鼻子頭隘口以下河段，在未治理前分為五大分流，即麥嶼厝溪、西螺溪、新虎尾溪、舊虎尾溪及北港溪，此五大分流在沖積扇上形成瓣狀亂流，流路極不穩定，每遇大洪水，積水甚深，災情慘重，為防止平原地區再遭受水患，乃在西螺溪兩岸興建堤防，以堵截舊濁水溪（即麥嶼厝溪、虎尾溪、新虎尾溪三分流）及北港溪，束範河水導流入海，而形成今日之濁水溪。

由於濁水溪含砂濃度極高，泥砂原由五大分流予以輸送。現僅由主流單獨承送，輸送能力明顯不足，遂造成西螺大橋下游至河口段之嚴重淤積，業已高出兩岸農田約1~2公尺，洪泛潛在威脅極為嚴重。

為解決濁水溪下游段河床淤高問題，必須從河性的瞭解着手，其次再配合現場調查分析，數值模式及水工模型試驗，期能研究出最佳之整治方法，以供淤積河川治理規劃之參考。

二、濁水溪治理沿革

濁水溪自鼻子頭隘口以下河段，在未治理前分為五大分流，即麥嶼厝、西螺溪、新虎尾溪、舊虎尾溪及北港溪。此五大分流在濁水溪鼻子頭以下之沖積扇上形成瓣狀亂流，流路相當不穩定，民國前32年7月中旬發生大洪水，北斗一帶水深達二公尺，鑒於災情之嚴重，乃興建鼻子頭及下水埔堤防，然因工程過於簡陋，且失於養護，數年後又為洪水沖毀，迨民國前一年，下游一帶洪水再度泛濫，為防止兩岸平原地區遭受水患，乃對幹流下游段，着手作有計畫性之治理。民國元年日人成立「濁水溪治水工事事務所」並分三個時期進行整治工作。民國五年以前為第一期，以應急搶修為主，民國六年至十五年為第二期，先以興建二水鐵橋上、下游兩岸之新虎尾、林內、下水埔等堤防以堵截舊濁水溪，即麥嶼厝溪、虎尾溪、新虎尾溪三分流，次於西螺溪兩岸繼續增設堤防及護岸，束範河水導流入海，而形成今日之濁水溪，第三期自民國十六年至卅四年按計畫繼續興建兩岸堤防、橫堤、導流堤及丁堤等防洪設施。

光復以後，濁水溪主要河段之治導工作，由工礦處負責，民國卅六年臺灣省水利局始正式成立。但在民國五十九年以前濁水溪之治理亦僅止於局部

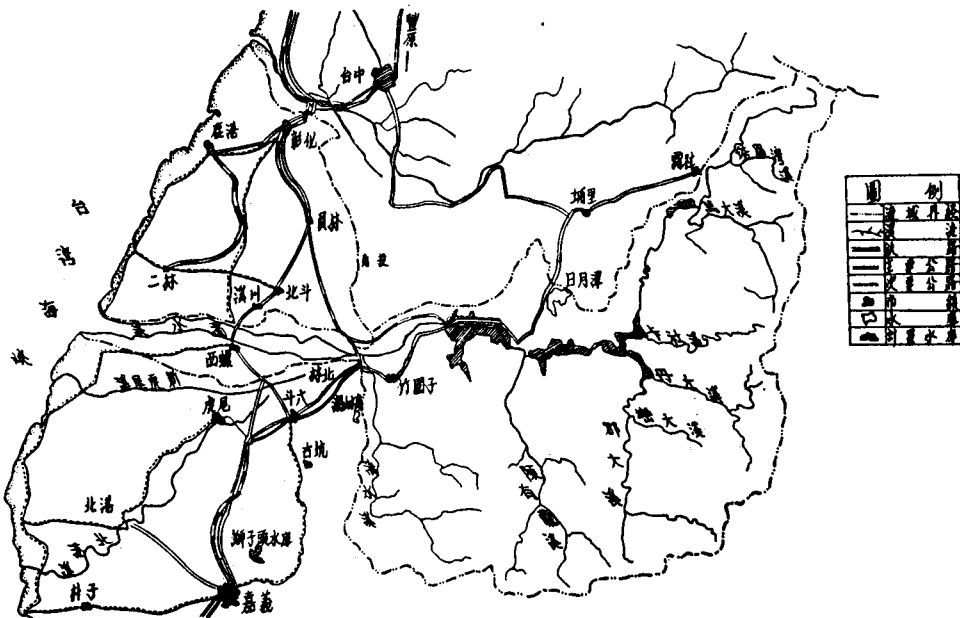


圖1 濁水流域概況圖

性之工程計畫，至民國六十年始由水利局提出整條河川治理規劃報告——「濁水溪河道治理計畫研究報告」。然因濁水溪嚴重之泥砂問題實有異於一般河川，其治理工作並非一蹴可成，治理期間為保障沿岸之土地及人民生命財產安全，故於民國六十一年續提出「濁水溪現有堤防安全檢討及加高加強規劃方案」，該方案並於民國六十四年開始執行，至民國七十年全部完成，但濁水溪堤防加高加強僅係一治標之工作，根本解決濁水溪之治理問題在於如何減少上游泥砂來源，及如何穩定下游河道，建立深水槽以提高河床質之輸送能力，（包括河口治理問題）因此於民國六十六年由臺灣大學農學院實驗林管理處、臺灣電力公司、林務局、山地農牧局、水利局等單位聯合辦理濁水溪治山防洪整體規劃工作，期能增進濁水溪集水區林木與山地之植治及地表水土保持之安定。謀求攔阻或減少砂石下洩沉積於下游造成河床與水位抬高之弊，進而設計適當之防洪工程措施使洪水及砂石暢海出海，這項工作於民國六十八年完成並提出「濁水溪治山防洪整體規劃報告」。次於民國六十年委託日本顧問公司開發數值沖淤模式，再於七十三年經臺灣大學與水利局規劃總隊辦理研究下游段整治方案之數值模擬及七十四年委託美國塞蒙斯李顧問公司辦理濁水溪下游穩定河槽及河口數學模式研究，已提出初步成果，另於六十四年水利局規劃總隊水工模型試驗室亦開始着手辦理濁水溪下游束水攻砂之水工模型試驗工作，尋求濁水溪下游段河道最佳治理方案，迄今已獲初步成果。在河口方面，七十五年由國科會委託臺灣大學着手進行濁水溪河口海灘地形變化之研究，結果尚稱良好，現正進一步研究河口工程布置對海灘地形影響。

三、濁水溪定性分析

河川定性分析是根據河川過去因天然及人為因素的演變，推測未來的河川變化，唯有瞭解河川過去及目前的穩定性，才能推估未來的河川變化，並研判現有及計畫中各方案的效率及安全性，再建議適當之對策來改善河川之穩定性。茲將濁水溪上、中及下游不同河段依其年代期間定性分析之結果分述如下：

(一)濁水溪上、中游河段

濁水溪上、中游是一瓣狀河流 ($K > 0.0041$)。濁水溪上游集水區水源地帶原富寒帶林或溫帶林

，但部份林地因缺乏適當保護管制，被野火摧毀，變成高山性之草原地帶。目前丹大溪及水里溪流域約有三分之二仍為林地，郡大溪流域約有40%為林地，清水溪及陳有蘭溪則約有60%之林地。整體而言，濁水溪上游流域區林地約佔60%，中游流域區林地約佔50%。

濁水溪流域之地質多屬第三紀之沉積岩或其變質岩，年幼、新鮮鬆軟而不穩定。近年來因森林之砍伐以致地表覆蓋不良，造成嚴重之地表沖蝕及崩山塌方，河水混濁，不論懸移質含量或河床推移質產量均甚高，因此流域內上游及支游之150座沈砂池，約有80%已完全淤滿，其餘20%之沈砂池亦已達半滿之情況。由於泥砂含量大，造成中、下游河床淤高，又因堤防高度不足，及灌溉渠道之淤塞，每年必須耗費鉅額經費加以維護保養。（註：濁水溪堤防高度不足者，業已加高完成）

總之，雖然控制泥砂來源困難，濁水溪上游流域之治理仍應以集水區造林、水土保持等保育管理之方式，降低地表沖蝕之機會，減少泥砂下輸之產量。

(二)濁水溪下游河段

濁水溪下游也是一瓣性河流 ($K > 0.0041$)。

此河段之地質與上游流域相似，年幼而不穩定，地層以礫岩及礫石層為主，沖蝕耐力甚小。濁水溪上、下游河段之其他特性則大不相同，上游溪谷狹窄，坡陡急流，集水區多為林地，下游河幅較寬，坡降較緩，乃一大型之沖積扇，且集水區幾乎已全部開發成商業、住宅及農耕區。

民國2年至民國31年間，政府共建堤三十八處，總長約71公里，相當於目前濁水溪防洪堤防總長之80%。堤防興建後，本來寬達30餘公里之沖積扇洪水平原因之縮小為2至4公里寬。此期間先後發生五次大於10年頻率之洪災（圖2）洪水集中於堤防內，洪水挾帶之泥砂淤積於河口處，因而提高河口附近河道斷面之基準水位，降低下游河段之能量比降（Energy Gradient），進而減低下游河川沉滓承載能量。在此情況下，從上游河川帶入之大量泥砂，因此淤積於下游河道，且越下游淤積越嚴重。此期間內濁水溪之斷面均為淤積，淤積量由0至2公尺，平均值約0.9公尺。

民國34年至58年間，政府陸續興造數條堤防，共長16公里，及其他護岸、橫堤等工程，由是濁水溪防洪堤防網於此期間完成。另位於斷面49號與50

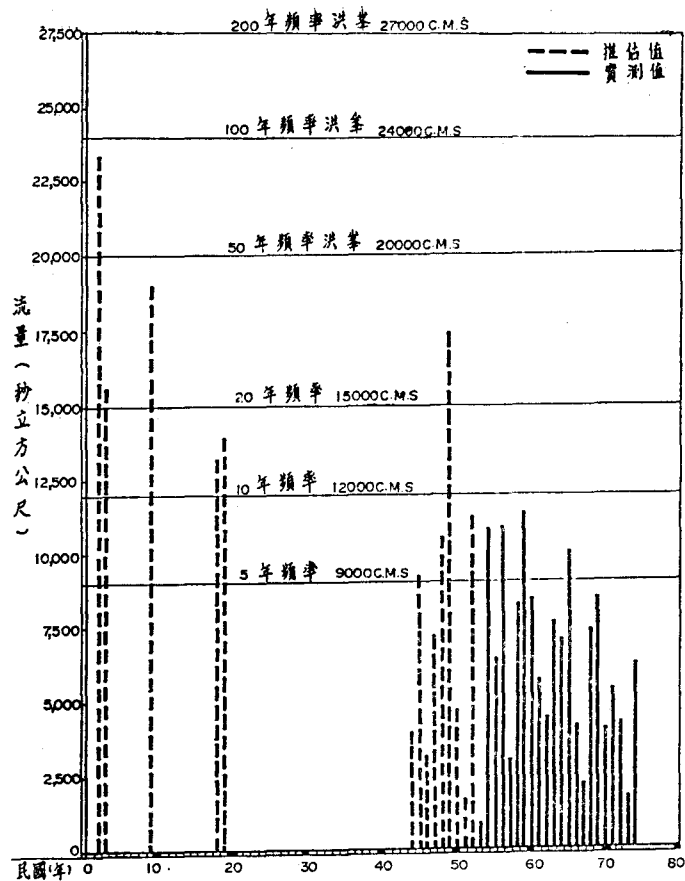


圖2 西螺站各年最大洪峰流量

號之間的西螺大橋也於此間內興建完工。

此期間內大於10年頻率之洪峰僅發生一次，即民國49年。其洪峰流量相當於30年頻率。一般而言，此期之水文狀況較乾燥，再加上河床之調整，所以河床斷面淤積量也較小。此期間內，濁水溪下游段有23個（90%）斷面顯示淤積，僅3個斷面有輕微冲刷現象。斷面淤積量介於0至1公尺之間，平均值約0.5公尺，冲刷量則介於0至0.9公尺之間，平均值約0.4公尺。

民國58年至67年間之水文狀況比前期之水文狀況更乾燥，其中只有兩年洪峰大於5年頻率，且河床已經調適，因而淤積之機會也隨之減小。此期間內，濁水溪下游段有19個（70%）斷面呈淤積現象，另7個斷面則呈冲刷現象，斷面淤積量介於0至0.9公尺之間，平均值約0.2公尺，斷面冲刷量則介於0至0.3公尺之間，平均值約0.1公尺。

民國67年至74年期間內所有洪峰均小於5年頻率，首次造成冲刷斷面多於淤積斷面之現象。濁水

溪下游經大自然及人為因素的長期調整及變化，從早期的大量淤積，至中期的微量淤積，進而轉變到近期的微量冲刷，顯示目前河川形態似乎達到暫時性平衡。

(三) 飛砂影響

濁水溪為一由東南向西北流之河川，其河口每年自9月至隔年5月有強勁之東北季風沿着海岸線往西南吹。因河口從斷面0號至斷面5號為一砂灘，無明顯之主流道，水流受風向影響則偏南行。因此水流所攜帶之漂砂及東北季風所攜帶之飛砂往南淤積，造成海岸線往南方外移，直到其沉淤量與潮流冲刷量平衡，海岸線之外移始得以穩定。

據以往報告之推估，濁水溪河口段飛砂量約為118立方公尺/公尺·年，淤積於斷面0號至5號之間。此河段之有效河寬大約為5000公尺，假如飛砂平均淤積整個斷面，則淤積深度大約為2.4公分，假如飛砂只淤積於南邊半斷面，則淤積深度大約4.7公分。此飛砂之淤積分散於八個月時間內，雖

然不是洪水期，但是多少有些會斷斷續續被水流帶至外海，其影響程度亦隨着分散而不顯著。

由上述論點可判斷飛砂僅對於濁水溪河口，斷面5號以下之淤積有影響，但對濁水溪下游段（斷面49號至斷面5號）無明顯之影響。

四、砂石採取之影響

水利局工程處於民國72年調查，濁水溪河道內砂石採取集中於自強大橋（斷面37號）至名竹大橋（斷面106號）段，長約53公里。砂石場總計28家，砂石年產量推估為3,944,690立方公尺。若以斷面平均開採寬度1000公尺來計算，則年平均開採深度為7公分左右。

經濁水溪現場勘察及收集資料，在自強大橋至西螺大橋河段，所採取砂石有限。據資料所示，興建自強大橋及中沙大橋期間，曾於橋址附近河道內挖取砂石，用於橋樑鋼筋混凝土，乃一短期性之砂石開採，其數量不詳。根據以上所述資料來分析，在河口至西螺大橋之河段，砂石開採量有限，且集中於自強大橋至西螺大橋之間，其年平均開採深度應不會超過7公分。在100年頻率洪水狀況下，水位標高並無顯著變化。

四、地盤下陷之影響

據資料顯示，民國69年2月以前濁水溪下游地盤下陷資料不全，無法評估其影響程度。民國69年2月至70年5月，濁水溪下游沿岸地盤下陷約2至3公分左右。此輕微之地盤下陷對100年頻率洪峰之水位標高無顯著影響。

四、灌溉引水之影響

根據水利局於民國73年及74年在自強大橋實測之成果，以迴歸演算流量(Q_w ，秒立方公尺)與河床載(Q_s ，噸/日)之關係曲線如下：

$$Q_s = 1.9963 \times Q_w^{1.6527}$$

進而將濁水溪流量及灌溉引水量代入上述相關式，求得濁水溪主流及灌溉引水之沉滓輸送量。計算中濁水溪流量則採用集集逕流量與灌溉引水量之總和，另假設灌溉引水沉滓濃度約為濁水溪主流沉滓濃度之60%至80%。計算後求得灌溉引水之沉滓量是濁水溪主流沉滓量之6%至8%。由此可見，灌溉引水對濁水溪下游河道之穩定性稍有影響。

四、河口段魚塢養殖之影響

在西部河川之河口段，其寬廣河床遭受民衆私自圍墾魚塢用以養殖魚類，似極為普遍之現象，高

屏溪即為著名之實例。濁水溪河口段於民國73年之大斷面測量中，亦可發現在濁斷5號至11號間河段，河道左岸業遭魚塢侵佔且向河心推進約1公里，對河川流路之暢通影響至鉅，且魚塢面積仍在繼續擴展中，有關單位實應即早重視，以免高屏溪違法魚塢拆除問題易地重演。

四、現場調查分析

為掌握濁水溪河道之變遷，自民國初年以來，所展開一連串之現場大斷面地形測量、流路、河床質及沖淤調查工作，提供甚多河川治理上所需之基本而重要之訊息。

(一)河道斷面測量調查

濁水溪河道自河口0號斷面起至龍神橋141斷面止共設142處斷面，首次調查係民國43年由水資會辦理，嗣後於民國57、67年73及74年再辦理四次調查，其歷年平均河床高程（如圖3）顯示下游段嚴重淤積發生於2年至43年之間河床平均淤高0.9公尺，其後河床變異極微。另現況各河段坡降列如下表，愈往下游，坡度愈緩。

表1 濁水溪各河段河床平均坡降

河 段	平 均 坡 降
00 斷 面~29 斷 面	0.000944
29 斷 面~53 斷 面	0.001298
53 斷 面~67 斷 面	0.002369
67 斷 面~彰雲大橋	0.005015
彰雲大橋~139 斷面	0.007396

(二)下游河道洪峰刷深及沖淤變化調查

濁水溪下游段沖淤調查工作係自民國58年開始進行，歷經8年，於65年中止後，又在74年重新作業，迄今共計10年，經常調查斷面數約8個，設在濁斷06、16、29、33、37、41、45、49其最大刷深及主深槽位置之分析成果如下：

1. 下游段各斷面之最大刷深，在斷面No. 6為2.64公尺，斷面16為3.99公尺，斷面29為3.69公尺，斷面33為2.9公尺，斷面37為3.9公尺，斷面41為3.5公尺，斷面45為3.98公尺，斷面49為3.37公尺。（見圖4）

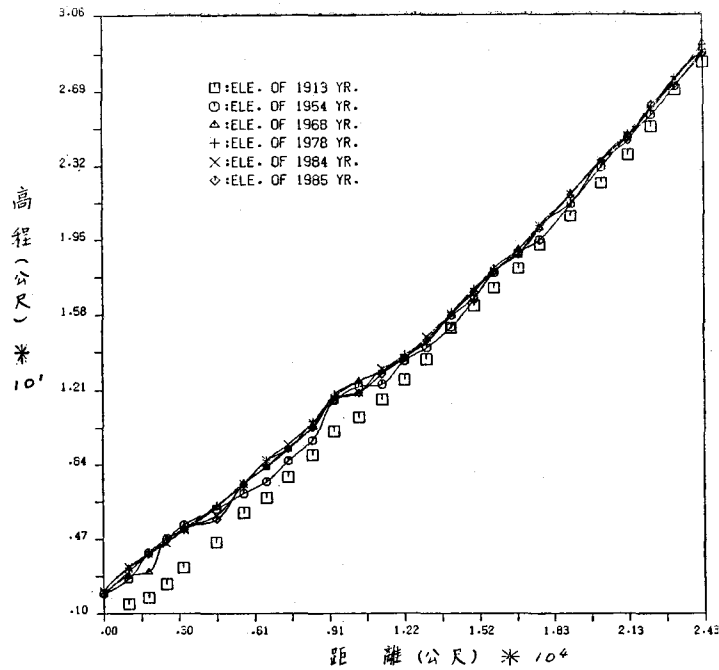


圖3 濁水溪下游段歷年平均河床高度變化

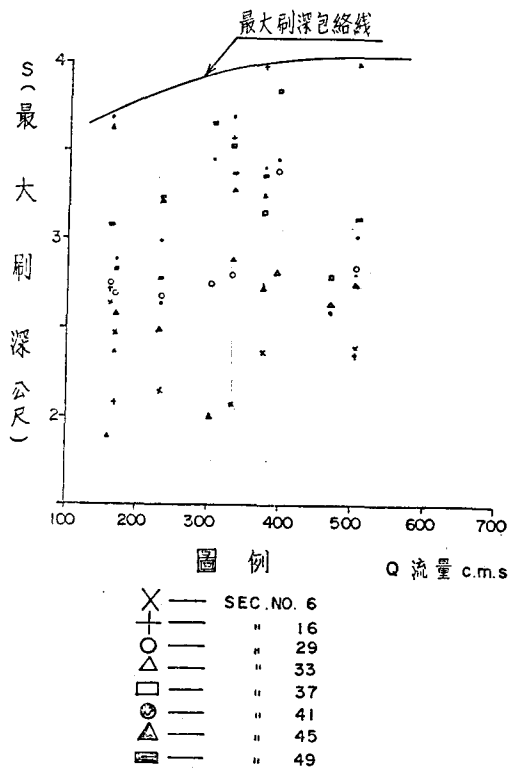


圖4 濁水溪下游段最大刷深與流量關係圖

2.主深槽接近堤防的斷面有 No. 16、29、45及49，其刷深較大。

(三)河床質調查

河床質調查僅民國57與67年之成果較完備，且具參考價值，粒徑分析成果顯示愈往下游，顆粒愈細，(如下表所示)

表2 濁水溪各河段河床質代表粒徑平均值

河 段	D _m (公厘)	D ₆₀ (公厘)	D ₆₅ (公厘)	D ₇₅ (公厘)
04 斷面~29 斷面	0.40	0.33	0.42	0.49
29 斷面~53 斷面	2.01	0.51	0.76	1.27
53 斷面~67 斷面	16.95	3.74	12.15	22.95
67 斷面~彰雲大橋	56.18	30.42	54.20	76.80
彰雲大橋~109 斷面	63.39	31.08	60.33	89.58

(四)河道地形調查

濁水溪最早之地形圖係民國二年由河口至集集吊橋段，日人繪製之二千五百分之一地形圖至民國43年水利局再繪製五千分之一地形圖 118幅，民國57年本總隊由河口至龍神橋止繪製五千分之一地形圖 144 幅民國75年本總隊再繪製河口部份五千分之

一地形圖11幅，及一萬分之一海深圖7幅。由地形圖上可發現主流路經常變遷，並危及堤防安全。

(四) 濁水溪下游段輸砂量調查

民國73~76年選擇與濁水溪下游段具相近河床質粒徑 ($D_m=0.4\sim 1.2mm$)及河床坡降之小田支線渠道及自強大橋二處在不同流量條件下實測渠道懸浮載、推移載、含砂量分佈及其水理因素後，建立輸砂與水理條件之關係，(如圖5所示)其關係式如下：

$$q_b = \left(\sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \times g \times d_{50}^3} \right) \times 0.104 \times \left(\frac{H_m}{d_{50}} \right)^{0.529} \times \left(\frac{V_m}{\sqrt{g \times d_{50}}} \right)^{1.64} \times S_m^{0.833}$$

q_b ：輸砂量， ρ ：密度， g ：重力加速度，
 H_m ：水深， V_m ：速度， S_m ：能量坡降，
 d_{50} ：代表粒徑。

(五) 河道防洪工程

濁水溪河道由河口至龍神橋止，現有防洪構造物計有堤防 104.700 公尺，護岸 6066公尺，丁堤 634 座其中堤防工程並已於民國64年至70年間完成加高加強計畫。

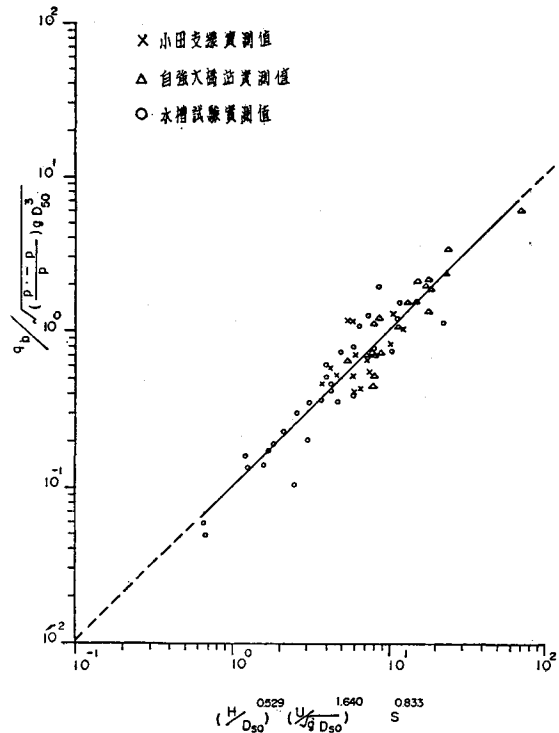


圖5 研究河段深槽及水槽之無因次推移載及水量之關係

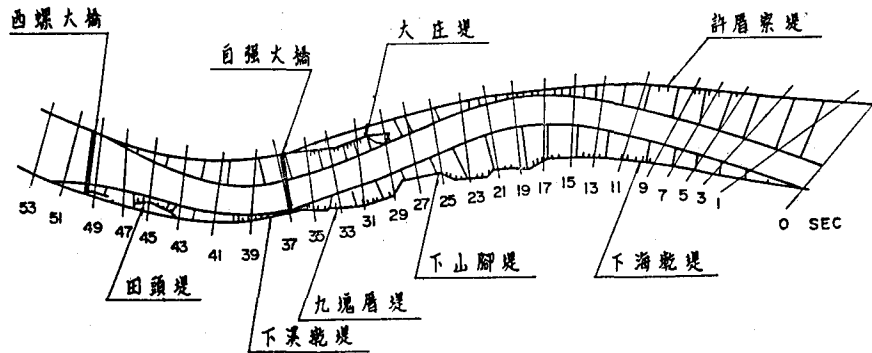


圖6(a) 全段束縮方案佈置圖

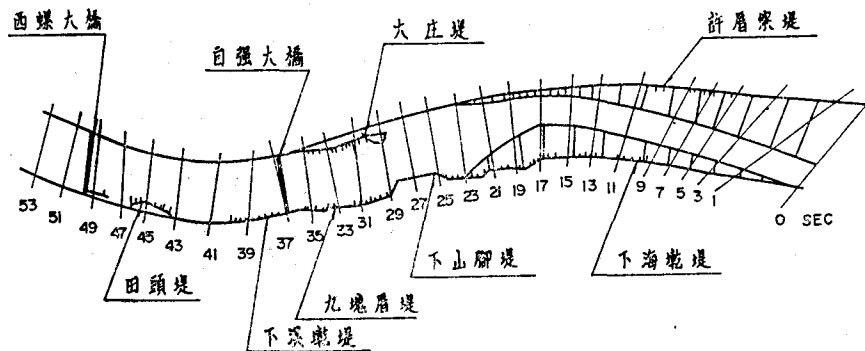


圖6(b) 局部束縮方案佈置圖

五、整治方案之動床數值模擬

為探討濁水溪現況河道之穩定性及丁堤佈置形成主深槽後對河道穩定性的影響，特以動床數值模式來分析各種整治方案，研判其可行性，分析方案有三：①現況河道②全段束縮方案③局部束縮方案。(如圖6所示)。

全段束縮方案係由河口附近之斷面0號至西螺大橋下游面之斷面49號。局部束縮方案係由斷面0號至斷面17號。另從斷面17至斷面23號為漸變段，斷面23號以上即為現況河段，在短期洪水動床模擬分析後，再作序率分析求得往後20年或50年之洪水組合資料，以求得長期河道沖淤之變化量，或將各頻率洪水下，河道沖淤情形作一加權統計平均，求得長期河道沖淤之年變化量。

(一)理論背景

1. 水流連續方程式

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_s$$

2. 水流運動方程式

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q^2}{A} \right) + gA \left(\frac{\partial y}{\partial x} \right) = gA (S_0 - S_r) + q_s V_s$$

3. 沉滓連續方程式

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + (1-P) \frac{\partial Ad}{\partial t} + \frac{\partial (cA)}{\partial t} = 0$$

4. 沉滓運動方程式 (以輸砂公式取代)

$$Q_s = f(Q, y, S_r, D_s, \dots)$$

A: 面積 Q: 流量 y: 水深 S_0 : 底坡

S_r : 摩擦坡度 q_s : 側流量 V_s : 側流速

D_s : 代表粒徑 Q_s : 輸砂量 C: 含砂量

Ad: 沖淤面積

(二)數值模式

以有限差分法建立數值模式，求解上述方程式。

在個人電腦(PC)上已有完成之動床模式有MPM模式。

1. 有限差分式

河川水理係以迴水演算方式求解，對於底床沖淤變化情形之探討，係利用沉滓連續方程式，以數學方法將此式表成有限差分形式，再根據流況決定差分式之取法。

(1) $F_r < 1$: 為亞臨速流況(Subcritical flow

)，砂丘之傳送由上游往下游移動，時間採用前向差分，距離後向差分

$$(1-P) \frac{AC_i^{n+1} - AC_i^n}{\Delta t} + \frac{QS_i^n - QS_{i-1}^n}{\Delta x} = q_s \ell^{n+1}$$

(2) $F_r > 1$: 為超臨速流況(Supercritical flow)，砂丘之傳送由下游往上游移動，在時間及距離均為前向差分

$$(1-P) \frac{AC_i^{n+1} - AC_i^n}{\Delta t} + \frac{QS_{i+1}^n - QS_i^n}{\Delta x} = q_s \ell^{n+1}$$

上二式為顯式(explicit)有限差分式，有數值穩定性問題， Δt 、 Δx 之取法必須滿足可蘭條件(Courant-Condition)

$$\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq \left| \left(\frac{dx}{dt} \right)^{-1} \right|$$

$$\frac{dx}{dt} \text{ 為砂丘特性線 } \frac{dx}{dt} = \frac{-\partial Q_s / \partial H}{(1-P)B(1-F_r^3)} = \frac{V_s}{(1-P)(1-F_r^3)}$$

V_s 為砂丘速度， $V_s = \frac{-1}{B} \cdot \frac{\partial Q_s}{\partial H}$

在數值的演算中，固定河段間距 Δx ，因此 Δt 之決定必須小到能維持數值計算之穩定性(Stability)， Δt 太小雖保證計算正確，但浪費太多之計算機時間， Δt 太大則可能造成數值不穩定(Unstable)，所以必須決定一最經濟的時間間距 Δt 。

2. 斷面沖淤量分配

本模式僅能適用於亞臨速流況之洪水與沉滓演算，在底床沖淤演算中，底床沖淤量 ΔAd_i 之計算方式有兩種，一是由第 $i-1$ 及 i 斷面之輸砂量 Q_s 算出，另一是由第 $i-1$ 及 $i+1$ 斷面之輸砂量算出，即沉滓連續方程式中之 $\partial Q_s / \partial x = (Q_{s,i+1}^n - Q_{s,i-1}^n) / 2\Delta x$ 。

底床沖淤量 ΔAd_i 算出之後，底床高程 ΔZ_i 即可求得，其計算方式有兩種：一是整個橫斷面之平均分配即： $\Delta Z_i = \Delta Ad_i / B_i$ 。另一則根據輸水容量分配，即： $\Delta Z_{ij} = W_j \times \Delta Ad_i / W_{avg}$ 式中： i 表示第 i 斷面， j 表示橫斷面之第 j 點坐標， ΔAd 底床沖淤量， B : 渠寬， ΔZ 底床沖淤變量， W_j 為權重係數， $W_j = k_j / kt$ ， k_j : 為 j 點之輸水容量： $k_j = (1/n_j) A_1 R_j^{2/3}$ ， kt : 為該斷面之總輸水容量， W_{avg} : 為第 j ， $j-1$ 點間之水面寬度。上述二法，可視需要而定。本模式採用前者。(亦如圖7)

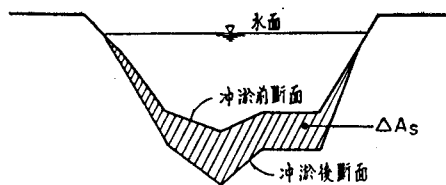


圖7 断面冲淤量变化

3. 边界条件

在数值模式中为了得到合理的解答，一定要有适当的边界条件，所需之边界条件如下：

(1) 在 $t = 0$ 时整个河段中， $0 \leq x \leq L$ ， $H(x, 0)$ 及 $Z(x, 0)$ 为已知值。

(2) 在上游断面 $x = 0$ 处，亚临界流况时 $Z(0, t)$ 或 $Q_s(0, t)$ 为已知，超临界流况时 $H(0, t)$ 或 $H = 1 H(Q)$ 为已知。

(3) 在下游断面 $x = L$ 处，亚临界流况时 $H(L, t)$ 或 $H = H(Q)$ 为已知，超临界流况时 $Z(L, t)$ 或 $Q_s(L, t)$ 为已知。

(三) 模式检定及验证

参照水工模型试验报告，以模拟浊水溪下游段之动床冲淤动性。先进行7107及7111试验之模拟，以检定模式之可用，次以7202及7112试验来验证模式，数值模拟之水理条件为：上游流量0.0471 C.M.S (相当于原体动床流量 5,000 C.M.S)，底床粒径 0.44mm， n 值为0.02 孔隙率为 0.4。

1. 模式检定——7107 试验

为检定推移载与总沉淤载（推移载加张氏悬浮载公式）对水工模型试验底床冲淤影响之差异，采用不同输砂公式模拟，其结果经与水工试验结果比较，由图8可看出，底床冲淤量相差很小，其原因系模型缩小原体（比例长：1/300，高：1/50）水深、流速变小，但沉淤颗粒大小却维持不变，故实际上模型试验仅含推移载，悬浮载含量甚小，其对底床之冲淤影响不大，而输砂公式中以萧克力骨，爱因斯坦及卢田，道上公式（系数乘以3倍）之结果较符合水工试验之冲淤趋势。

2. 模式验证——7202及7112试验

图9为加砂量 0.111kg/sec (即7202试验) 十年后之底床冲淤结果。图10为加砂量 0.167kg/sec (即7112试验) 十年后之结果。由上二图可看出数值模拟之底床冲淤变化与水工试验结果大致还符合，由模拟结果可以看出上游加砂量影响底床之冲淤变化。

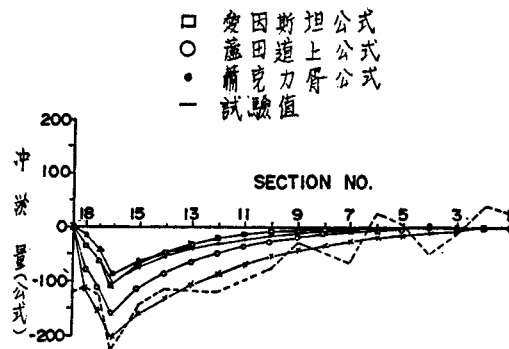


圖8 7107試驗之數值模擬十年後之底床冲淤變化圖(總沉淤載)

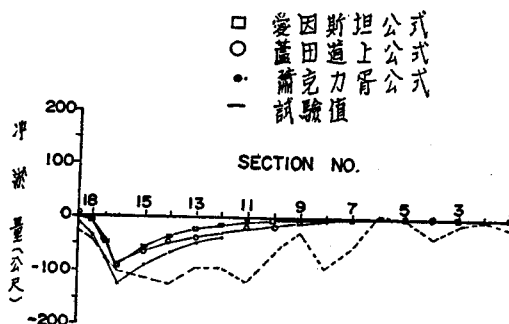


圖9 7202試驗之數值模擬十年後之底床冲淤變化圖(加砂量0.111 kg/s)

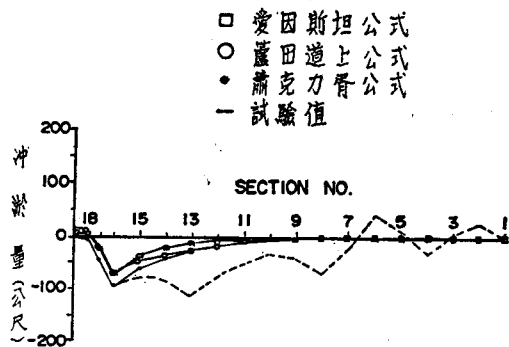


圖10 7112試驗之數值模擬十年後之底床冲淤變化圖(加砂量 0.167 kg/s)

(四) 整治方案分析

在三種不同方案（現況、全段束縮方案及局部束縮方案，100年洪水頻率歷線下，所作動床模擬分析之結果，顯示全段束縮案及局部束縮之冲刷均比現況為大，僅少數断面有淤積之趨向。示如圖11。

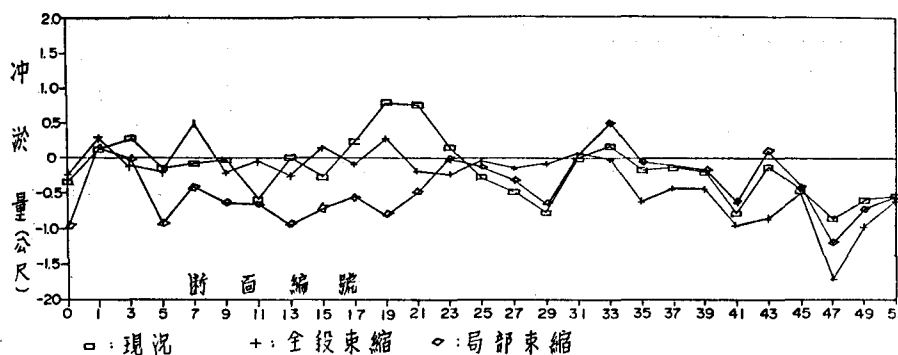


圖11 濁水溪 100年洪水河床冲刷變異

全段束縮案之最大冲刷位於断面47號，約為-2.0公尺，比現況深約0.6公尺，其最大淤積於断面19號約為0.5公尺，此現況之淤積減少約0.5公尺，另近河口處河床之冲刷比現況稍減，約為0.4公尺。局部束縮案幾乎呈冲刷情況，且其冲刷深度較全段束縮案大，尤其是在漸變段附近及下游之断面，主深槽段（断面0號至23號）最大冲刷於断面17號，約為-2.7公尺，此冲刷情況至断面9號才大幅度的減小約為-0.8公尺。

現況下濁水溪冲刷深度均在0.8公尺範圍內，最大淤積位於断面19號約為0.8公尺，最大冲刷位於断面41號與47號，約為-0.8公尺。全段束縮案最大淤積位於断面7號約為0.5公尺，最大冲刷位於断面47號約為-1.7公尺，比現況稍大。局部束縮案最大冲刷位於断面47號約為-1.2公尺，最大淤積位於断面33號約為0.5公尺。

因濁水溪下游段未來河道冲刷變化的預估

由於水流量之不確定性 (Wncertainty) 甚難推估，未來可能發生之情況，因此本研究採用兩種方法來推估未來河道冲刷之變化，以期對濁水溪下游河道冲刷性更進一步了解。

1. 以建床流量推估底床冲刷量

濁水溪下游段之建床流量 $Q=5000 \text{ C.M.S}$ ，延時 6.6天代表一年，採用這種流量歷線來進行數值模擬，推估未來河道之冲刷情形，圖12為20年後之底床平均冲刷情形。由圖可以看出底床之冲刷趨勢頗為合理，上游部份河段有淤積現象。以建床流量來模擬最為簡便，更可讓我們了解河道的冲刷特性。

2. 以洪流組合推估底床冲刷量

為推估未來二十年後河道冲刷量，將未來20年間之常流流況以及可能之洪水事件輸入模式中，以

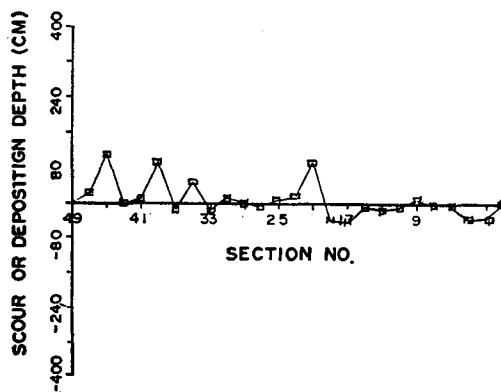


圖12 建床流量推估濁水溪未來20年之河床冲刷變化

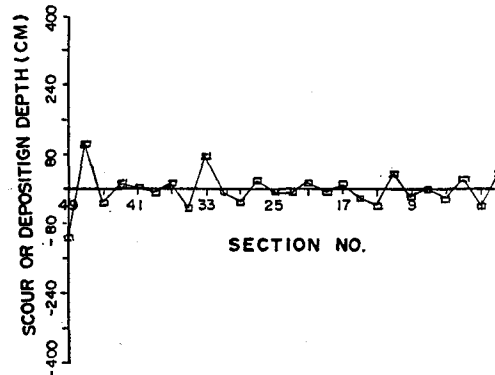


圖13 洪流組合推估濁水溪未來20年之河床冲刷變化

模擬20年後河道断面之冲刷變化量。洪水事件因在20年內發生之洪水將有無窮多種組合，本研究採用可能發生之組合事件的平均值，亦即20年洪水所造成之河床變化相當於發生2年洪水6次，5年2次，10年1次，20年0.6次，50年0.2次，100年0.1次及200年0.1次之洪水事件下所產生的河床變化量。

將20年間可能發生之洪水常流事件輸入模式，以計算20年後現況河道斷面之沖淤變化，其結果如圖13所示。沖淤情況較為緩和，但上游仍有淤積現象。

六、整治方案之水工模型試驗

為探討濁水溪下游段工程佈置方案能否達成束水攻砂之目的，特以動床模型試驗來研判各方案之可行性，水利局於民國64年在前農復會補款下，開始第一期計畫，由定床而動床模型試驗，計十二期，邀請中外學者專家數十人蒞臨指導進行試驗研究。主要試驗包括主深槽動床基本試驗，全河幅動床試驗及整治方案之動床試驗。

(一)理論背景

1.河床形態

一般河床變化可歸納為下列三類：

(1)大規模河床形態 (Large-Scale)——沿着整條河流之平均河床縱剖面變化。

(2)中規模河床形態 (Meso-Scale)——在河流中水工結構物附近之局部沖刷、河床之蜿蜒趨勢、砂洲形狀之變化等，計有準砂洲 (Semi bar)、交互砂洲 (Alternating bar)、網狀流 (Braided stream) 等。

(3)小規模河床形態 (Micro-scale)——河床砂面之波狀變化，計有砂漣 (Ripple)、砂丘 (Dune)、反砂丘 (Antidune) 等。

動床模型即依據中小規模河床形態與原型類似的理論，建立濁水溪下游段動床模型，以瞭解河道大規模河床形態，即河床沖淤變化。

2.模型比例尺及用砂粒徑

依盧田及道上博士之理論 (見圖14)，影響河床形態變異之主要因子有河床剪應力 (τ_*)，粒徑雷諾數 (U_*d/v) 等示之如下：

河床形態 = $f(\tau_*, U_*d/\nu, R/d, B/h, \dots)$
 U_* 河床剪力速度， R ：水力半徑， ν ：運動粘滯係數， d ：粒徑， h ：水深， B ：河寬。其中河床剪應力及粒徑雷諾數為最重要之影響因子，控制其比值即可求得模型比例及用砂粒徑。

$$\lambda \cdot \tau_* = 1 \quad \dots \dots \dots (5-1)$$

$$\lambda U_* d / \nu = 1 \quad \dots \dots \dots (5-2)$$

即 $\lambda_h \cdot \lambda_l / \lambda(\sigma/e-1) \lambda_a = 1 \quad \dots \dots \dots (5-3)$

$$\lambda U_* \cdot \lambda_d / \lambda_l = 1 \quad \dots \dots \dots (5-4)$$

因 $\lambda_l = \lambda_h / \lambda_l = D_r$

$$\lambda U_* = \lambda(\sqrt{g h i}) = \lambda_h / \lambda_l \cdot \frac{1}{2}$$

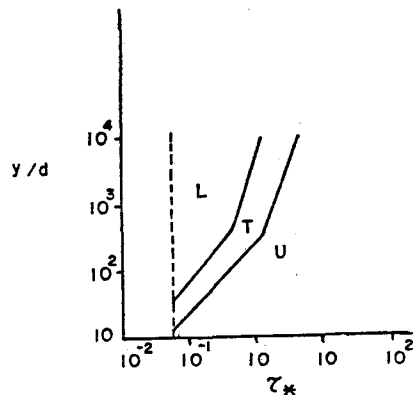


圖14(a) 小規模河床形態區分標準

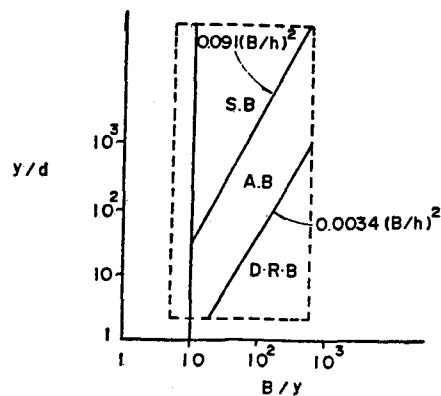


圖14(b) 中規模河床形態區分標準

故 $\lambda^3_d = 1/\lambda(\sigma/\rho-1) = 1 \quad \dots \dots \dots (5-5)$

$$D_r = \lambda_h / \lambda_l = \lambda_d \cdot \lambda(\sigma/\rho-1) / \lambda_h$$

$$= \lambda^{2/3}(\sigma/\rho-1) / \lambda_h \quad \dots \dots \dots (5-6)$$

3.試驗時間

將沉滓連續方程式予以轉換推求

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{1}{B} \frac{1}{(1-P)} \frac{\partial Q_B}{\partial X} = \phi \quad \dots \dots \dots (5-7)$$

$$\lambda \left(\frac{\partial Z}{\partial t} \right) = \lambda \left[- \frac{1}{B} \frac{1}{(1-P)} \frac{\partial Q_B}{\partial X} \right] \quad \dots \dots \dots (5-8)$$

因 $\lambda_B = \lambda_l$ $\lambda_Z = \lambda_h$ $\lambda_x = \lambda_l$

$$\lambda_l = \frac{\lambda_h \cdot \lambda_l^2 \lambda_{(1-P)}}{\lambda Q_B} = \frac{\lambda_l^2 \cdot \lambda_h}{\lambda Q_B} \quad \dots \dots \dots (5-9)$$

$$\lambda_{(1-P)} = 1$$

Z ：高程 Q_B ：輸砂量 P ：空隙率

(二)濁水溪動床模型

濁水溪動床模型比例尺、用砂粒徑及試驗時間之決定步驟如下：

1.決定建床流量

表3 各種模型採用比例尺及採用粒徑與原體資料比較表

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)	(18)		(19)	
模 型 號 數	水 平 比 λ_b	垂 直 比 λ_h	平 均 粒 徑 d_m (mm)	流 量 Q (cms)	水 力 半 徑 R (m)	河 寬 B (m)	流 速 V (m/sec)	河 床 坡 降 S	τ^* $= \frac{RS}{1.65d_m}$	$\frac{R}{d_m}$	$\frac{B}{R}$	小 規 模 河 床 形 態	輸 砂 率 Q_B (cms)	λ_{QB}	時 間 比 λ_t	中 規 模 河 床 形 態	校		結 果 模 型 是 否 可 採 用	
																	小 規 模 河 床 形 態	中 規 模 河 床 形 態		
原體			0.44	5,000	2.04	1,000	2.46	1/1070	2.34	4,136	494	T	1.98	—	—	A.B.	—	—	—	
1	1/300	1/80	0.44	0.0233	0.023	3.3	0.34	1/285	0.11	52.3	143.5	L	6.04×10^{-6}	1/328,000	1/22	B.	×	○	×	×
2	1/300	1/60	0.44	0.0359	0.030	3.3	0.40	1/214	0.19	68.2	110	T	1.84×10^{-5}	1/106,452	1/54	A.B.	○	○	○	○
3	1/300	1/60	0.30	0.0359	0.030	3.3	0.40	1/214	0.28	100.0	110	T	2.17×10^{-5}	1/ 91,244	1/59	A.B.	○	○	○	○
4	1/300	1/60	0.71	0.0359	0.030	3.3	0.40	1/214	0.12	42.2	110	L	1.28×10^{-5}	1/154,688	1/35	A.B.	×	○	○	×
5	1/300	1/50	0.44	0.0471	0.036	3.3	0.44	1/178	0.28	81.8	92	T	3.17×10^{-5}	1/ 62,460	1/72	A.B.	○	○	○	○
6	1/200	1/50	0.44	0.0707	0.036	5.0	0.44	1/268	0.19	81.8	139	T	3.40×10^{-5}	1/ 58,235	1/34	A.B.	○	○	○	○
7	1/200	1/50	0.30	0.0707	0.036	5.0	0.44	1/268	0.27	120	139	T	3.89×10^{-5}	1/ 50,899	1/39	A.B.	○	○	○	○

說明：1.原體 $n_p = 0.02$

$$2. \tau^* = \frac{U_*^2}{(\sigma/\rho - 1) \cdot g \cdot d_m} = \frac{R \cdot S}{1.65d_m}$$

3.輸砂率由盧田一道上公式求得

$$4. \lambda_t = \frac{\lambda_b^2 \cdot \lambda_h}{\lambda_{QB}}$$

5.T : Transition

L : Lower Regime

A.B. : Alternating Bar

B : Braided Channel

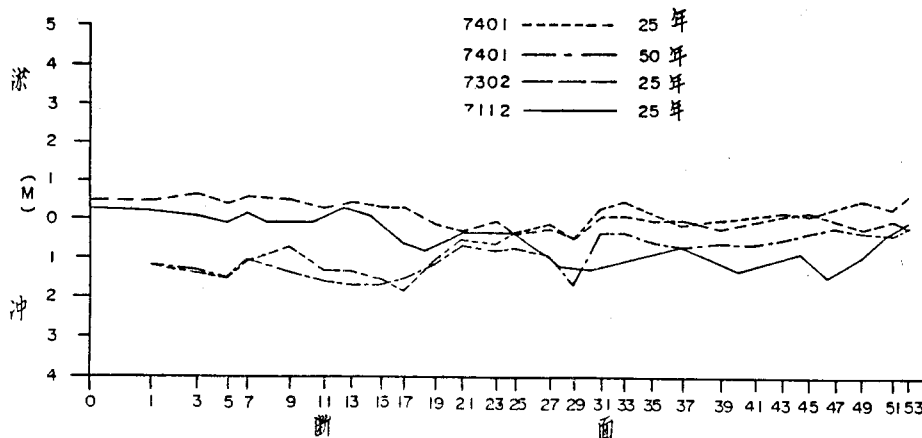


圖16 不同整治方案試驗平均河床縱斷面變化比較圖

1公里)之主深槽模型,結果顯示,主深槽可於原體時間20~25年左右形成穩定河槽,在25年後之河床變化,自斷面19~49可全面刷深1公尺,冲刷深度往下游漸減(如圖16),砂洲移動速度約500公尺/年,水位亦不抬高,年平均輸砂增量約60萬噸。

3.局部束縮模型試驗(7401試驗)

將斷面23以下束縮為河寬3.5公尺(原體1公里)之模型,試驗結果顯示,在25年內,主深槽可達成刷深1.2公尺,且隨歷時增加,有愈往上游刷深之傳遞功效(見圖16),主流路徑約有25年之週期現象,主深槽輸砂率約為上游段之二倍。

四、檢討

- 1.局部束縮模型試驗成果顯示較全段束縮工程有更大之刷深,且隨歷時增加,有愈往上游刷深之趨勢,形成主深水槽之效果更佳,且工程費更為經濟,是為可行之工程佈置方案。
- 2.目前河口段在受潮汐影響下之河床冲淤,已有試驗成果,未來應加入出口部份受潮流波浪沿岸流影響之試驗模型,佈置出口工程方案,以確實瞭解河口出砂變化,提出可行方案,以茲參考。

七、結論與建議

(一) 結論

- 1.淤積河川之整治,河道基本資料之建立,實為首要工作,由於濁水溪河道基本資料諸如輸砂量、冲淤調查、河床質、大斷面測量等尚稱完整,尤以冲淤調查技術與先進國家相較亦不遜

色,故可提供治理者較完善的研判資料以供規劃設計。

- 2.河性研討可瞭解冲積河川過去因天然及人為因素的演變,推測未來的河川變化,並研判現有及計畫中各方案的可行性。由定性分析中,大致可瞭解濁水溪上游流域之地質新鮮鬆軟而不穩定,且因森林之砍伐過度及崩山塌方,造成河水混濁為本省河川之冠,本溪係辯性河流,於民初,興建堤防約束主流於本溪後,沉滓供應量遠大於輸送量,造成下游淤積日趨嚴重,至57年止河床約高兩岸農田1~2公尺,57年至目前止,冲淤量極微,似已達暫態平衡。河口飛砂淤積河床極小,約為2.5公分至5公分,並無明顯影響。砂石年採量推計約4百萬立方公尺,近年來似有擴增之現象。下游沿岸地盤下陷約2~3公分,對河道穩定性,亦無顯著影響,沿河灌溉引水之沉滓量約佔主流之6~8%,僅略有影響河道之穩定性。
- 3.數值模式可模擬不同整治方案之河道穩定分析,因數值模式僅須開發完成,即可模擬各種方案,所花經費又小,值得發展。濁水溪數模成果顯示下游段局部束縮亦可達成束水攻砂之目標即為實例。
- 4.水工模型試驗提供淤積河川整治不可缺之驗證,濁水溪水工模型試驗,由定床至動床模型之一連串試驗,不僅展示各種整治方案的冲淤結果,更予人實體河川變化之概念,12期實驗成果,亦顯示局部束縮可形成主深水槽,達成束水攻砂之目標,可謂集中中外學者專家之智慧

所成就之精華，殊為國際水理界所重視。

5. 濁水溪現況治理係以加高加強方式，保護堤防避免溢流，並以丁堤挑離主流，且加強堤腳保護工，確保河防安全，但因主流方向不定，到處流竄，加上沿河的灌溉引水及排水入河，更加深治理之困難，有待更深入之規劃研究。

(二) 建議

1. 淤積河川之整治，其數值模擬與水工模型試驗成果，均僅提供初步可行之方案建議，實際規劃設計工作，尚須包括其他工法、工程技術、經濟效益……等問題，故濁水溪下游段局部束縮治理方案之初步建議應予進一步規劃檢討。
2. 目前本省河川河口基本資料普遍不足，濁水溪亦不例外，故河口段基本資料之調查與分析應繼續進行，至於河口出砂問題更須配合水工模型試驗與數值模式為之。
3. 河道基本資料（諸如斷面、流路及河床質……等）應寬籌經費，定期調查、測量。
4. 上游集水區，應加強水土保持工作，減少砂石流失、淤積河道。
5. 河川治理須應用更深的基礎理論，解決河川水理與輸砂變化之一般物理現象，故應繼續研究數值模式與水工模式，使其更趨完備，以期整治諸如濁水溪類之淤積河川。

謝 誌

本研究承蒙行政院農業發展委員會經費補助，研究期間，蒙農委會及水利局各位長官指導、塞蒙斯李顧問公司李日明博士惠示卓見及所有工作同仁之合作努力，謹此一併致謝。

參 考 文 獻

1. 經濟部水資會；「濁水溪流域開發初步規劃報告」；民國46年6月。
2. 經濟部水資會；「濁水溪綜合開發研究報告」；民國52年9月。
3. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪河道治理計畫

研究報告」；民國60年9月。

4. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪現有堤防安全檢討及加高加強規劃方案」；民國61年6月。
5. 臺灣省水利局；「濁水溪香圓腳地區河川地開發計畫報告」；民國66年6月。
6. 臺灣省水利局；「濁水溪治山防洪整體規劃報告」；民國68年6月。
7. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪砂質河段輸砂特性研究(一)」；民國73年。
8. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪砂質河段輸砂特性研究(二)」；民國74年。
9. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪砂質河段輸砂特性研究(三)」；民國75年。
10. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪砂質河段輸砂特性研究(四)」；民國76年。
11. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪下游河道沖淤調查報告」；計12本，民國58年至66年，民國74年至76年止。
12. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪流域防洪主要構造物技術研究計畫報告(一)」；民國74年。
13. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪流域防洪主要構造物技術研究計畫報告(二)」；民國75年。
14. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪流域防洪主要構造物技術研究計畫報告(三)」；民國76年。
15. 臺灣省水利局；「濁水溪研究與水工模型試驗第一期至第十二期計畫報告」計12本，民國65年6月至76年6月止。
16. 日本建設株式會社；「濁水溪穩定河道調查研究計畫報告書」；民國60年6月。
17. 臺灣省水利局規劃總隊；「濁水溪下游河道沖淤特性研究(一)」；民國75年4月。
18. 臺灣大學土木所「濁水溪下游河道沖淤特性研究(二)」；民國76年元月。
19. 臺灣大學土木所「濁水溪河口海灘地形變化之研究(一)」；民國75年8月。
20. 臺灣大學土木所「濁水溪河口海灘地形變化之研究(二)」；民國76年11月。