

大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究

－水工模型試驗研究（自辦計畫部分）

Physical Model Test on Dajia River Bed Stabilizing Program
for the Reach Downstream of the Shin-Kang Dam

總報告

主辦機關：經濟部水利署

執行機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

中華民國 100 年 7 月

目 錄

目錄·····	< 1 >
圖目錄·····	< 3 >
表目錄·····	< 7 >
相片目錄·····	< 9 >
摘要·····	< 11 >
Abstract ·····	< 24 >
結論與建議·····	< 25 >

第壹章 前言 ·····	1
一、計畫緣起·····	1
二、計畫目標·····	1
三、計畫範圍·····	1
四、計畫內容·····	2
五、工作項目·····	2
六、預期成果·····	4
第貳章 資料蒐集與分析 ·····	5
一、水文資料·····	5
二、地文資料·····	8
三、構造物資料·····	21
四、穩定方案規劃資料·····	28
第參章 模型塑造 ·····	33
一、模型比例尺決定·····	33
二、模型用砂·····	38
三、模型範圍·····	41
四、模型塑造過程·····	43
五、模型率定流量·····	54

第肆章 驗證試驗	55
一、模型初步試驗成果	55
二、初步試驗成果綜合分析檢討	95
三、模型驗證試驗	103
四、驗證試驗成果綜合分析檢討	126
第伍章 既有結構物處理試驗	130
一、試驗方案-1 試驗成果	139
二、試驗方案-2 試驗成果	147
三、試驗方案-3 試驗成果	155
四、試驗方案-4 試驗成果	165
五、試驗方案-5 試驗成果	173
六、五種試驗方案綜合分析檢討	181
第陸章 穩定方案試驗	186
一、穩定方案試驗成果	191
二、穩定方案綜合分析檢討	203
參考文獻	205
 附錄 A 工作人員名單	207
附錄 B 第二年期初報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表	208
附錄 C 第二年期末報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表	214
附錄 D 第三年期初報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表	219
附錄 E 第三年期末報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表	223

圖目錄

圖 2-1	大甲溪流域水系圖·····	5
圖 2-2	大甲溪流域計畫流量分配圖·····	7
圖 2-3	石岡壩各重現期距洪峰流量歷線圖·····	8
圖 2-4	大甲溪高速公路橋(斷面 23-1)上游河段歷年河道沖淤變化圖	11
圖 2-5	民國 97 年 1 月大甲溪石岡壩至中山高大甲溪橋之河道情況	15
圖 2-6	民國 97 年大甲溪各重現期距流量下輸砂量縱斷面變化圖··	17
圖 2-7	民國 72 年及民國 97 年河床質平均粒徑縱斷面變化比較圖··	19
圖 2-8	大甲溪主河道流路變遷圖·····	20
圖 2-9	計畫工作範圍內大甲溪大斷面及相關水工構造物平面位置圖	22
圖 2-10	中山高大甲溪橋至舊山線鐵路橋河段河床穩定方案平面布置 示意圖·····	29
圖 2-11	水工模型試驗河段丁壩群整體布置平面圖·····	32
圖 3-1	民國 97 年河床質粒徑分佈曲線(護甲層)·····	39
圖 3-2	民國 97 年河床質粒徑分佈曲線(底層)·····	40
圖 3-3	原體砂、臨界推移力法及模型用砂級配曲線圖·····	41
圖 3-4	水工模型平面布置圖(模型比例尺 1/80)·····	42
圖 3-5	大甲溪水工模型試驗流量率定曲線·····	54
圖 4-1	模型固定峰值流量及時間下之定量流時間·····	56
圖 4-2	民國 97 年大甲溪中山高速公路橋至舊山線鐵路橋間河道航照圖	60
圖 4-3	模型模擬 2 年重現期距流量 2,200 秒立方公尺流路示意圖··	64
圖 4-4	民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩放流量·····	68
圖 4-5	定量流清水試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 33~31 之水理量測圖·····	72
圖 4-6	定量流清水試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 30-1~28-1D 之水理量測圖	73
圖 4-7	定量流清水試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 28~23-1 之水理量測圖·····	74
圖 4-8	民國 97 年 9 月辛樂克颱風期間石岡壩放流量及模型施放定量流	75

圖 4-9	定量流加砂試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 33~31 之水理量測圖····	79
圖 4-10	定量流加砂試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 30-1~28-1D 之水理量測圖	80
圖 4-11	定量流加砂試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 28~23-1 之水理量測圖····	81
圖 4-12	民國 97 年 9 月辛樂克颱風期間石岡壩及模型放流量歷程圖··	82
圖 4-13	模型量測值與現場 97 年 9 月辛樂克颱風洪水位比較圖·····	86
圖 4-14	模型試驗後地形與現場 97 年 12 月量測地形比較圖之一····	87
圖 4-15	模型試驗後地形與現場 97 年 12 月量測地形比較圖之二····	88
圖 4-16	模型試驗後地形與現場 97 年 12 月量測地形比較圖之三····	89
圖 4-17	民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩及模型放流量·····	90
圖 4-18	模型量測值與現場 98 年 8 月莫拉克颱風洪水位比較圖·····	94
圖 4-19	民國 97 年大甲溪中山高速公路橋至舊山線鐵路橋間河道航 照圖與地形圖比較·····	96
圖 4-20	民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩及模型放流量·····	104
圖 4-21	模型變量流加砂驗證試驗前地形圖（民國 97 年 12 月地形）	105
圖 4-22	模型變量流加砂驗證試驗在洪峰流量 4,525 秒立方公尺水理圖	109
圖 4-23	模型變量流加砂驗證試驗後地形圖·····	110
圖 4-24	模型變量流加砂驗證試驗地形高程差圖·····	111
圖 4-25	模型變量流加砂驗證試驗底床高程變化圖之一·····	114
圖 4-26	模型變量流加砂驗證試驗底床高程變化圖之二·····	115
圖 4-27	模型變量流清水驗證試驗在洪峰流量 4,525 秒立方公尺水理圖	119
圖 4-28	模型變量流清水驗證試驗後地形圖·····	120
圖 4-29	模型變量流清水驗證試驗地形高程差圖·····	121
圖 4-30	模型變量流清水驗證試驗底床高程變化圖之一·····	122
圖 4-31	模型變量流清水驗證試驗底床高程變化圖之二·····	123
圖 4-32	加砂驗證試驗及清水驗證試驗地形比較圖之一·····	128
圖 4-33	加砂驗證試驗及清水驗證試驗地形比較圖之一·····	129

圖 5-1	台 13 線后豐大橋局部改建橋墩 PA~PD 工程布置示意圖·····	131
圖 5-2	模型短期洪水建議之設計洪水歷線·····	136
圖 5-3	現場石岡壩放流量設計洪水歷線與模型放流量歷線·····	137
圖 5-4	模型試驗前地形（民國 98 年 12 月）·····	138
圖 5-5	試驗方案-1 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公 尺水理圖·····	144
圖 5-6	試驗方案-1 模型變量流清水試驗後地形圖·····	145
圖 5-7	試驗方案-1 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖·····	146
圖 5-8	試驗方案-2 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公 尺水理圖·····	152
圖 5-9	試驗方案-2 模型變量流清水試驗後地形圖·····	153
圖 5-10	試驗方案-2 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖·····	154
圖 5-11	大甲溪正隆護岸丁壩平面布置圖（民國 97 年 4 月）之一·····	156
圖 5-12	大甲溪正隆護岸丁壩平面布置圖（民國 97 年 4 月）之二·····	157
圖 5-13	試驗方案-3 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公 尺水理圖·····	162
圖 5-14	試驗方案-3 模型變量流清水試驗後地形圖·····	163
圖 5-15	試驗方案-3 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖·····	164
圖 5-16	試驗方案-4 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公 尺水理圖·····	170
圖 5-17	試驗方案-4 模型變量流清水試驗後地形圖·····	171
圖 5-18	試驗方案-4 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖·····	172
圖 5-19	試驗方案-5 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公 尺水理圖·····	178
圖 5-20	試驗方案-5 模型變量流清水試驗後地形圖·····	179
圖 5-21	試驗方案-5 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖·····	180

圖 6-1	規劃中之新山線鐵路橋上游至后豐橋下游左岸高灘地（綠色區域）河床穩定方案平面布置示意圖·····	187
圖 6-2	斷面 31-1~30-1 河槽左岸開挖及主深河槽護甲粒料堆填後斷面形狀·····	188
圖 6-3	斷面 30-1D~29 河槽左岸開挖及主深河槽護甲粒料堆填後斷面形狀·····	189
圖 6-4	斷面 28-1~28 河槽左岸開挖及主深河槽護甲粒料堆填後斷面形狀·····	190
圖 6-5	穩定方案模型變量流清水試驗前地形圖·····	192
圖 6-6	穩定方案模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖·····	200
圖 6-7	穩定方案模型變量流清水試驗後地形圖·····	201
圖 6-8	穩定方案模型變量流清水試驗前後地形高程差圖·····	202

表目錄

表 2-1	大甲溪流域各分析控制點之重現期距洪峰流量表·····	5
表 2-2	石岡壩集水區歷年發生之最大流量紀錄表·····	7
表 2-3	河口(斷面-1)至石岡壩(斷面-36)歷年河道坡降變化表·····	8
表 2-4	大甲溪高速公路橋上游河斷(斷面 23-1 至斷面 33)歷年河道 沖淤變化表·····	10
表 2-5	石岡壩至中山高大甲溪橋河段各頻率年防洪流量分析成果··	14
表 2-6	本計畫工作範圍內水工構造物調查表·····	23
表 2-7	本計畫工作範圍內橋樑安全性評估調查表·····	24
表 2-8	防洪構造物及跨河構造物歷年受損一覽表·····	25
表 2-9	中山高大甲溪橋至三義斷層間河道低水河槽平均高程(河川 坡降)縱斷參考面·····	30
表 2-10	后豐大橋至三義斷層河段河槽左岸開挖寬度·····	30
表 3-1	原體與模型間各物理量之比例關係·····	34
表 3-2	大甲溪石岡壩下游河道現況 2 年重現期水理·····	35
表 3-3	大甲溪石岡壩下游河道現況水理及各重現期洪水位計算表·····	36
表 3-4	本計畫範圍內採用曼寧 n 值·····	37
表 3-5	原體砂、臨界推移力法及模型用砂比較表·····	40
表 4-1	模型尾水位控制斷面 23-1 上以 Hec-Ras 數值模式演算結果··	69
表 4-2	民國 97 年舊山線鐵路橋河床質採樣分析推估現場推移質輸砂量	76
表 4-3	民國 97 年 9 月辛樂克颱風期間石岡壩及模型放流量歷程表··	83
表 4-4	民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩及模型放流量歷程表··	91
表 4-5	新山線鐵路橋至中山高速公路橋上游現場與模型沖刷位置比較表	102
表 4-6	變量流加砂驗證試驗模型施放流量歷程及加砂量表·····	104
表 4-7	模型變量流加砂驗證試驗水位量測值表·····	107
表 4-8	模型變量流加砂驗證試驗流速量測值表·····	108

表 4-9	模型變量流清水驗證試驗水位量測值表·····	117
表 4-10	模型變量流清水驗證試驗流速量測值表·····	118
表 4-11	舊山線鐵路橋至中山高速公路橋現場調查資料與模型驗證試驗 冲刷位置及冲刷深度比較表·····	127
表 5-1	五種既有結構物處理試驗方案模型布置條件比較表·····	130
表 5-2	石岡壩洪水時放流量統計表·····	135
表 5-3	變量流清水試驗模型施放流量及時間表·····	137
表 5-4	試驗方案-1 模型變量流清水試驗水位量測值表·····	142
表 5-5	試驗方案-1 模型變量流清水試驗流速量測值表·····	143
表 5-6	試驗方案-2 模型變量流清水試驗水位量測值表·····	150
表 5-7	試驗方案-2 模型變量流清水試驗流速量測值表·····	151
表 5-8	試驗方案-3 模型變量流清水試驗水位量測值表·····	160
表 5-9	試驗方案-3 模型變量流清水試驗流速量測值表·····	161
表 5-10	試驗方案-4 模型變量流清水試驗水位量測值表·····	168
表 5-11	試驗方案-4 模型變量流清水試驗流速量測值表·····	169
表 5-12	試驗方案-5 模型變量流清水試驗水位量測值表·····	176
表 5-13	試驗方案-5 模型變量流清水試驗流速量測值表·····	177
表 5-14	五種試驗方案在洪峰流量 4,007 秒立方公尺時模型各斷面水 位量測值比較表·····	182
表 5-15	五種試驗方案在洪峰流量 4,007 秒立方公尺時模型各斷面流 速量測值比較表·····	183
表 5-16	五種試驗方案模型冲刷位置及冲刷深度比較表·····	181
表 6-1	穩定方案試驗方案模型布置條件表·····	186
表 6-2	穩定方案模型變量流清水試驗水位量測值·····	198
表 6-3	穩定方案模型變量流清水試驗流速量測值·····	199
表 6-4	穩定方案模型冲刷位置及冲刷深度成果表·····	203

相片目錄

照片 2-1	后豐橋損壞及修復情況·····	27
照片 3-1	民國 97 及 98 年現場舊山線鐵路橋附近地形勘查照片之一··	44
照片 3-2	民國 97 及 98 年現場舊山線鐵路橋附近地形勘查照片之二··	45
照片 3-3	民國 97 及 98 年現場新山線鐵路橋附近地形勘查照片之一··	46
照片 3-4	民國 97 及 98 年現場新山線鐵路橋附近地形勘查照片之二··	47
照片 3-5	民國 97 及 98 年現場后豐橋附近地形勘查照片之一·····	48
照片 3-6	民國 97 及 98 年現場后豐橋附近地形勘查照片之二·····	49
照片 3-7	模型地形塑造過程之一·····	51
照片 3-8	模型地形塑造過程之二·····	52
照片 3-9	模型地形塑造過程之三·····	53
照片 4-1	定量流清水試驗各重現期距流量試驗過程之一·····	57
照片 4-2	定量流清水試驗各重現期距流量試驗過程之二·····	58
照片 4-3	定量流清水試驗各重現期距流量試驗過程之三·····	59
照片 4-4	民國 98 年 7 月 9 日現場勘查照片之一·····	61
照片 4-5	民國 98 年 7 月 9 日現場勘查照片之二·····	62
照片 4-6	民國 98 年 7 月 9 日現場勘查照片之三·····	63
照片 4-7	民國 98 年 8 月 10 日現場勘查照片之一·····	65
照片 4-8	民國 98 年 8 月 10 日現場勘查照片之二·····	66
照片 4-9	民國 98 年 8 月 10 日現場勘查照片之三·····	67
照片 4-10	定量流清水試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之一·····	70
照片 4-11	定量流清水試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之二·····	71
照片 4-12	定量流加砂試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之一·····	77
照片 4-13	定量流加砂試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之二·····	78
照片 4-14	變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風歷線流量過程之一·····	84
照片 4-15	變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風歷線流量過程之二·····	85
照片 4-16	變量流加砂試驗 98 年莫拉克颱風歷線流量過程之一·····	92

照片 4-17	變量流加砂試驗 98 年莫拉克颱風歷線流量過程之二·····	93
照片 4-18	現場與模型低水位流路比較照片之一·····	97
照片 4-19	現場與模型低水位流路比較照片之二·····	98
照片 4-20	現場與模型高水位流路比較照片之一·····	99
照片 4-21	現場與模型高水位流路比較照片之二·····	100
照片 4-22	模型變量流加砂驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之一·····	112
照片 4-23	模型變量流加砂驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之二·····	113
照片 4-24	模型變量流清水驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之一·····	124
照片 4-25	模型變量流清水驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之二·····	125
照片 5-1	民國 99 年 10 月 7 日現場勘查照片·····	132
照片 5-2	民國 100 年 3 月 15 日現場勘查照片·····	133
照片 5-3	民國 100 年 5 月 10 日現場勘查照片·····	134
照片 5-4	試驗方案-1 模型變量流清水試驗流況之一·····	140
照片 5-5	試驗方案-1 模型變量流清水試驗流況之二·····	141
照片 5-6	試驗方案-2 模型變量流清水試驗流況之一·····	148
照片 5-7	試驗方案-2 模型變量流清水試驗流況之二·····	149
照片 5-8	試驗方案-3 模型變量流清水試驗流況之一·····	158
照片 5-9	試驗方案-3 模型變量流清水試驗流況之二·····	159
照片 5-10	試驗方案-4 模型變量流清水試驗流況之一·····	166
照片 5-11	試驗方案-4 模型變量流清水試驗流況之二·····	167
照片 5-12	試驗方案-5 模型變量流清水試驗流況之一·····	174
照片 5-13	試驗方案-5 模型變量流清水試驗流況之二·····	175
照片 6-1	穩定方案模型變量流清水試驗流況之一·····	193
照片 6-2	穩定方案模型變量流清水試驗流況之二·····	194
照片 6-3	穩定方案模型變量流清水試驗流況之三·····	195
照片 6-4	穩定方案模型變量流清水試驗流況之四·····	196
照片 6-5	穩定方案模型變量流清水試驗流況之五·····	197

摘要

一、前言

近年來大甲溪下游河段河床持續下降，恐因沖刷將危及橋樑安全，取水構造物也因河床高程變動而需不斷改變取水位置，在石岡壩下游河床露出岩盤，顯見河道有持續刷深之趨勢，為減少下游橋樑、取水構造物及堤防等因持續刷深，造成下游公共建設及居民財產損失，亟需探討大甲溪由辮狀流河川轉為深槽河川，在建槽流量及固床工施設後河床縱向坡度變化情形等課題之水工模型試驗研究（本計畫）及數值模擬（委辦計畫），以研提如何穩定河床之相關措施。

二、計畫內容

（一）第一年（1/3）：民國 97 年 7 月 1 日～民國 98 年 6 月 30 日止。

主要工作為建置水工模型現況地形。

（二）第二年（2/3）：民國 98 年 7 月 1 日～民國 99 年 6 月 30 日止。

主要工作為水工模型現地驗證試驗。

（三）第三年（3/3）：民國 99 年 7 月 1 日～民國 100 年 6 月 30 日止。

主要工作為水工模型河道穩定方案試驗。

三、資料蒐集與分析

（一）水文資料

- 1.大甲溪流域概況：大甲溪流域位處台灣島中西部，全長 124 公里，流域下游流經過東勢、石岡後轉向西流進入平原地帶，於大甲與清水間注入臺灣海峽。
- 2.洪峰流量：石岡壩計畫洪峰流量為 100 年重現期距 $Q_{100}=8,800$ 秒立方公尺； $Q_{10}=5,000$ 秒立方公尺； $Q_5=3,800$ 秒立方公尺。
- 3.石岡壩歷年最大流量：民國 97 年辛樂克颱風流量 4,225 秒立方公尺、民國 98 年莫拉克颱風流量 5,410 秒立方公尺。

(二) 地文資料

- 1.河床坡度變化：依據實測資料河口(斷面-1)至石岡壩(斷面-36)，此河段歷年河道坡降變化情形，約為 $1/88$ 至 $1/94$ 間，為一坡陡急流河川。
- 2.河道沖淤變化：依據實測河道斷面資料，中山高速公路橋(斷面 23-1)上游河段受九二一地震後石岡壩處地層抬昇，河川坡度變陡、流速變快，造成石岡壩下游至舊山線鐵路橋(斷面 32-1)間之河道刷深情況明顯；於民國 89 年至 94 年間在新山線鐵路橋(斷面 30-1)，受下游內埔圳攔河堰遭敏督利颱風沖毀及河道本身泥岩地質條件易受沖刷影響，河床高程嚴重下降，現況橋墩沈箱已裸露。
- 3.河道特性評估：大甲溪河道由石岡壩至新山線鐵路橋，主要為沖積河川，沖積層下為泥岩、砂岩之互層，沖積層厚度約 1~5 公尺左右；由埤豐橋至新山線鐵路橋河段為砂泥岩，河床上覆淺薄之沖積卵石，沖積層厚約 3~5 公尺，新山線鐵路橋上游數百公尺內之大甲溪河道，主要仍為沖積河川型態；新山線鐵路橋至后豐橋(斷面 28-1)河段，研判岩質性河床以新山線鐵路橋為界，其下河川沖積層較厚，可能深達 10 公尺以上。
- 4.河道輸砂能力：大甲溪屬急流河川，且為卵礫石河床，因此本計畫採用 Schoklitsch 公式計算河道推移質輸砂能力，由民國 97 年資料得知，在舊山線鐵路橋河床質採樣分析推估現場推移質輸砂量，重現期距 2 年約 60 萬噸/日、20 年約 180 萬噸/日、100 年約 250 萬噸/日。
- 5.河床質：民國 97 年河床質採樣，各採樣試坑分為護甲層及底層進行粒徑分析，分析後可知，於河口至石岡壩段介於 81 毫米~136 毫米間，最大粒徑約達 400 毫米。

6.主河道流路變遷：中山高大甲溪橋至石岡壩河段主深槽較為明確，無辮狀分歧，流路主要受地勢影響，而近年來，由后豐橋至中山高大甲溪橋之主槽呈 S 狀彎曲，因此於敏督利及艾利颱風時，位於凹岸處之正隆護岸、豐洲堤防前低水護岸及舊社堤防均遭受洪水淘刷損毀。

（三）構造物資料

- 1.水工構造物調查：本河段內包括防洪構造物（豐洲堤防、大湳護岸、舊社堤防、正隆護岸、內埔圳堤防）、跨河構造物（后豐橋、新山線鐵路橋、舊山線鐵路橋）及取水口（內埔圳取水口、葫蘆墩圳取水口）等水工構造物。
- 2.構造物災害調查：民國 90 年及 93 年防洪及跨河構造物毀損，石岡壩至下游出海口受損防洪構造物有：正隆護岸、豐洲堤防、舊社堤防及客庄堤防等；受損橋樑包括：后豐橋、新山線鐵路橋、舊山線鐵路橋等。民國 97 年 9 月 14 日之辛樂克颱風，造成后豐橋橋墩 P2 上游面兩座橋墩疑因基礎沖刷而倒塌、流失。

（四）穩定方案規劃資料

- 1.護甲粒料補充及河槽左岸開挖規劃構想：採用護甲層料源補充方式（ $D_{85} = 236$ 毫米以上泥砂）營造河川坡度，以中山高大甲溪橋潛堰固床工上游大斷面（斷面 24）按平均坡降 1/100 為參考河床坡降向上游延伸至三義斷層範圍止。為降低河段單寬流量及沖刷力，減少因河床質淘刷而造成河床持續降低，並營造較偏中流路，建議於后豐大橋至三義斷層間採河槽拓寬調整河槽，當低水河槽流量介於 $Q_2 \sim Q_{10}$ 間，則此河段穩定流寬至少需 300~450 公尺。
- 2.丁壩布置規劃構想：於新山線鐵路橋上游右岸、正隆護岸、豐洲堤防低水護岸及舊社堤防等四處布置丁壩。

四、模型塑造

（一）模型比例尺決定

考慮動床模型相似律、模型流量及模型場地等條件，採用 1/80 等比模型。

（二）模型用砂

原體砂最大粒徑 400 毫米、平均粒徑約 80 毫米、 $d_{50}=49$ 毫米；臨界推移力法推算之模型最大粒徑 5 毫米、平均粒徑約 1 毫米、 $d_{50}=0.61$ 毫米；實際模型用砂之最大粒徑 5 毫米、平均粒徑約 1.3 毫米、 $d_{50}=0.59$ 毫米。

（三）模型範圍

模型範圍長約 72 公尺、寬約 10 公尺，現場塑造範圍為斷面 23-1 上游端～斷面 33 上游端，現場總長約 5.6 公里。

（四）模型塑造過程

- 1.為進行模型塑造，本所人員於民國 97 年 12 月補測試驗範圍內之部份河道深槽地形及河道大斷面（原大斷面資料於民國 97 年 3 月施測，由承辦委辦計畫之中興公司所提供）。
- 2.現場勘查地形得知，現場舊山線鐵路橋附近上下游地形因岩盤出露地形變化不大，故地形模型以定床塑造。
- 3.現場勘查地形得知，新山線鐵路橋附近上下游地形因辛樂克颱風影響造成地形變化較大，造成在橋樑下游右岸處之內埔圳堤防有淘刷沖毀，橋墩周圍及下游固床工處皆有局部沖刷，以上地形模型以動床塑造（斷面 23-1～斷面 31）。
- 4.模型塑造工作已於本計畫第一年期限內（民國 98 年 6 月底）完成。

五、模型初步試驗（本計畫第二年工作項目）

試驗項目	試驗目的	試驗條件	試驗結果
一、各重現期距流量定量流清水試驗	若各重現期距洪峰流量發生，模型所呈現流況及水位是否會有漫淹至高灘地情況，試驗時只拍攝照片未進行量測。	1.鋪設 97 年 12 月地形。 2.定量流清水試驗。 3.連續施放重現期距 2、5、10 及 100 年流量。	1.小流量模擬流路結果與航照圖及現場流路類似。 2.重現期距 2 年模擬流路結果與 98 年 8 月 10 日莫拉克颱風現場流路類似。 3.與歷年沖刷較嚴重區段比較，其位置相似。
二、97 年辛樂克颱風流量定量流清水試驗	若發生辛樂克颱風洪峰流量（4,225 秒立方公尺），檢驗通過後豐橋時在模型所呈現水位是否會與歷史紀錄相吻合。	1.鋪設 97 年 3 月地形。 2.定量流清水試驗。 3.施放流量 4,225 秒立方公尺。	檢驗通過後豐橋時在模型所呈現平均水位約為 EL.204.30 公尺（斷面 28-1 上游端 EL.203.78 公尺、斷面 28-1D 下游端 EL.204.82 公尺），與歷史紀錄（后豐橋斷橋前紀錄為 EL.204.217 公尺）相當接近。
三、97 年辛樂克颱風流量定量流加砂試驗	為調整前項清水試驗（因上游無加砂產生在舊山線鐵路橋與新山線鐵路橋之間地形形成不連續斷層現象）。	1.模型 2.1 小時加砂量約 4,200 公斤。 2.加砂粒徑不大於 5 毫米。 3.新山線鐵路橋下游布置 30 噸消波塊。	模型沖刷深度較嚴重區段位置如下：如新山線鐵路橋上游端右岸邊坡沖刷、新山線鐵路橋下游端右岸、右岸之內埔圳取水口附近、后豐橋上游右岸沖刷、后豐橋下游右岸沖刷、中山高速公路橋上游斷面 24 右岸邊坡沖刷。
四、97 年辛樂克颱風流量歷線變量流加砂試驗	為調整前項試驗，因模型施放定量流與現場實際洪水歷線不符，可能產生模型試驗過程底床沖淤變化與現場底床沖淤變化差異較大。	1.模型上游總加砂量約 5,000 公斤。 2.模型總加砂時間約 16 小時。	檢驗后豐橋洪水位模型與實測歷線比較結果，在洪水尚未上漲前誤差較大（約 2~4 公尺），在洪水漲水段誤差較小（約 0.8~2 公尺），洪峰段則較為接近（約 0.5~0.8 公尺）。另外模型與現場民國 97 年 12 月底床變化做比較，新山線鐵路橋至后豐橋段底床變化趨勢較接近。
五、98 年莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗	為模擬 98 年 8 月莫拉克颱風歷線之變量流加砂試驗。另外亦可檢驗新山線鐵路橋洪水位歷線變化是否與實測相符。	1.模型上游總加砂量約 6,000 公斤。 2.模型總加砂時間約 29.5 小時。	檢驗民國 98 年 8 月 10 日上午 10 時新山線鐵路橋洪水位模型（平均水位約為 EL.216.5 公尺）與實測洪水痕跡紀錄（約為 EL.216.7 ~ EL.217.2 公尺）比較結果接近。

六、初步試驗成果分析（本計畫第二年工作項目）

（一）流路比較

- 1.定性比較民國 97 年航照圖與地形圖、現場與模型低水位照片，得知模型與現場低水位流路相似。
- 2.定性比較民國 98 年 8 月 10 日莫拉克颱風退水段高水位（此時流量約 1,192 秒立方公尺）流路、現場與模型高水位照片，得知模型與現場高水位流路相似。

（二）水理比較

- 1.模型與現場相同冲刷位置如下：新山線鐵路橋上游右岸邊坡、新山線鐵路橋下游右岸、右岸內埔圳取水口附近、后豐橋上游正隆護岸、后豐橋下游右岸、中山高速公路橋上游右岸舊社堤防邊坡。
- 2.模型模擬 97 年辛樂克颱風定量流 4,225 秒立方公尺試驗條件下所反應之現場冲刷深度如下：在新山線鐵路橋下游右岸位置（約 5～14 公尺）、在內埔圳取水口右岸基腳附近位置（約 13～15 公尺）、在后豐橋上游右岸位置（約 6～7 公尺）。
- 3.模型模擬 97 年辛樂克颱風定量流洪峰流量 4,225 秒立方公尺試驗條件下在后豐橋位置：清水試驗平均水位約為 EL.204.30 公尺；加砂試驗平均水位約為 EL.204.05 公尺，與現場歷史紀錄（后豐橋斷橋前紀錄為 EL.204.217 公尺）接近。
- 4.模型模擬 97 年辛樂克颱風流量歷線變量流加砂試驗結果，模型試驗後底床冲淤變化與現場民國 97 年 12 月底床冲淤變化做比較後得知，自新山線鐵路橋至后豐橋段底床冲淤變化趨勢較為接近。
- 5.模型模擬 98 年莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗條件下在新山線鐵路橋位置：模擬民國 98 年 8 月 10 日上午 10 時（退水段流量約 1,192 秒立方公尺）模型平均水位約為 EL.216.5 公尺，與現場實測洪水痕跡紀錄約為 EL.216.7～EL.217.2 公尺接近。

七、模型驗證試驗（本計畫第二年工作項目）

經初步試驗結果分析及檢討得知，本模型在水位模擬上已接近現場，在低水位及高水位流心模擬上也與現場類似，惟在新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及下游端左岸邊坡模擬上較現場沖刷範圍大，故本模型在此兩處調整為定床邊坡。另外初步試驗大斷面底床比較結果得知，模擬變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風流量歷線試驗後模型底床高程較現場底床高程差距略大（數值模擬結果也類似），初步研判原因是 97 年也發生其他較大洪水，故底床變化受其他洪水影響；模擬 98 年莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗，試驗後底床高程較現場底床高程差距略小（數值模擬結果也類似），初步研判原因是 98 年未發生其他較大洪水事件，故模型除了調整局部動床粒徑及上游加砂量外，選擇檢驗 98 年莫拉克颱風前後大斷面底床沖淤變化，作為模型驗證試驗之依據。

試驗項目	試驗目的	試驗條件	試驗結果
一、變量流加砂驗證試驗	本項試驗主要目的是為模擬 98 年 8 月莫拉克颱風歷線變量流加砂試驗。	1.鋪設 97 年 12 月地形。 2.模型上游總加砂量約 750 公斤。 3.模型總加砂時間約 21 小時（現場約 190 小時）。	檢驗莫拉克颱風前（民國 97 年 12 月地形）後大斷面底床變化圖，試驗結果模型量測值與民國 98 年 12 月地形驗證結果大致接近，惟模型量測值略高於現場量測值及部份斷面邊坡沖刷深度模型大於現場。
二、變量流清水驗證試驗	本項試驗主要目的是為調整前項加砂試驗結果模型量測值略高於現場量測值，顯示加砂量還太多，故調整為不加砂之清水試驗。試驗量測地點及方式皆與前項加砂試驗相同	除不加砂外，其餘與前項加砂試驗皆相同。	由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1~5 公尺）、新山線鐵路橋下游端（深度 1~4 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（深度 1~7 公尺）、后豐橋上游右岸正隆護岸（深度 1~4 公尺）、后豐橋下游端（深度 1~2 公尺）、斷面 26 左岸豐州堤防（深度 1~3 公尺）、中山高速公路橋上游右岸舊社堤防（深度 1~10 公尺）。與民國 98 年 12 月地形驗證結果大致接近，惟部份斷面邊坡沖刷深度模型大於現場。

八、驗證試驗分析檢討（本計畫第二年工作項目）

（一）高低水位流路比較

由照片比較得知，模型與現場低水位及高水位流路大致相同。

（二）沖刷位置及深度

大甲溪石岡壩下游自舊山線鐵路橋下游至中山高速公路橋上游，比較現場調查資料與模型驗證試驗量測值之較大沖刷位置，比較分析後得知，模型與現場沖刷位置大致相同，模型加砂與清水驗證試驗比較沖刷深度大致相同，有三處位置清水驗證試驗沖刷深度較大，由上游至下游分別為新山線鐵路橋上游端右岸邊坡最大沖刷深度約 5 公尺、新山線鐵路橋下游固床工下游端最大沖刷深度約 7 公尺、中山高速公路橋上游右岸舊社堤防最大沖刷深度約 10 公尺。

（三）大斷面底床變化

與現場民國 98 年 12 月大斷面底床變化地形比較結果，模型加砂及清水試驗量測值大致上與現場接近。

（四）退水段流量 1,192 秒立方公尺水位比較

根據本所民國 98 年 8 月 10 日上午 10 時新山線鐵路橋實測洪水痕跡紀錄約為 EL.216.7~EL.217.2 公尺，模型加砂試驗量測值為 EL.215.38~EL.217.14 公尺，模型清水試驗量測值為 EL.214.74~EL.215.06 公尺，模型加砂試驗結果與現場較接近。

根據上述綜合分析後得知，本模型清水或少量加砂皆可反應現場水理現象。

九、既有結構物處理試驗（本計畫第三年工作項目）

（一）試驗布置條件

依據本計畫第二年（2/3）期末報告書審查會議紀錄結論第三項，首先要確定現況方案為實施規劃中穩定方案之河道既有結構物布置起始條件，參考會議紀錄中經濟部水利署第三河川局意見，有關后豐橋上游河道送水管及后豐橋下游便道固床工拆除與否，建議是否可優先納入水工模型試驗辦理拆除前、後之比較，俾供相關執行單位辦理該結構物存廢之依據。以下依據各單位公文時間流程說明既有結構物處理試驗方案（五種試驗方案）辦理過程：依據經濟部水利署第三河川局 99 年 6 月 10 日函辦理試驗方案-1 及試驗方案-2，進行 PB 至 PD 河道送水管及后豐橋下游臨時便道作為保護工拆除試驗；依據台灣自來水股份有限公司第四區管理處 99 年 12 月 2 日函辦理試驗方案-3，進行河道送水管及后豐橋下游臨時便道全部拆除試驗；依據本所「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（4/4）（委辦計畫）」99 年 12 月 7 日函辦理試驗方案-4，進行河道送水管及后豐橋下游臨時便道全部保留皆不拆除試驗；依據經濟部水利署第三河川局 100 年 1 月 12 日函辦理試驗方案-5，進行河道送水管 PB 左側拆除、后豐橋下游臨時便道拆除及后豐橋下游臨時便道保留試驗。

五種既有結構物處理試驗方案模型布置條件比較表

試驗條件項目	試驗方案-1	試驗方案-2	試驗方案-3	試驗方案-4	試驗方案-5
試驗前鋪設民國 98 年 12 月地形	●	●	●	●	●
模型上游不加砂之變量流清水試驗	●	●	●	●	●
新山線鐵路橋下游消能塊佈置與現場 98 年 12 月類似情況	●	●	●	●	●
后豐橋上游河道送水管	PB~PD 間拆除	PB~PD 間拆除	右岸至 PD 拆除	不拆除	PB 至左岸拆除
后豐橋下游臨時便橋	拆除	拆除	拆除	不拆除	拆除
后豐橋下游臨時便道（內埋設涵管）	不拆除	拆除	拆除	不拆除	不拆除
正隆護岸丁壩（共 6 座）			●	●	●
后豐橋下游臨時便道下游端護坦工					●
后豐橋下游臨時便道右岸加固工程					●
備註：以上試驗條件項目皆為既有結構物，標示 ● 表示此方案有布置或實施此項試驗條件。					

（二）試驗結果

模型進行五種現況既有結構物處理試驗方案，係依據「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（3/4）（委辦計畫）」所提供之歷史洪水量（石岡壩民國 93 年至 98 年 16 場颱風豪雨事件之放流量）資料，設計代表性洪水歷線，作為模型清水試驗之上游入流量（變量流），試驗所獲得沖刷位置及沖刷深度比較結果，如下表所示。

五種試驗方案模型沖刷位置及沖刷深度比較表

沖刷位置	沖刷深度				
	試驗方案-1	試驗方案-2	試驗方案-3	試驗方案-4	試驗方案-5
新山線鐵路橋上游端右岸邊坡	1~5	1~5	1~5	1~5	1~5
新山線鐵路橋下游固床工下游端	10.1	10.6	11.8	9	9.9
后豐橋上游端靠右岸正隆護岸			16.3	6.7	15.1
后豐橋上游端靠河道中央	7.4	11.8	17.8		
后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近	14.2	18.7	12.2	5.5	7.2
后豐橋下游臨時變道下游端	14.6			10.9	11.2
左岸豐洲堤防	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8
備註：沖刷位置由上游向下游排列。 沖刷深度表示為範圍或最大值，單位為公尺。					

（三）綜合分析檢討

1. 試驗方案-1 與試驗方案-2 為未布置正隆護岸丁壩兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-1 有布置后豐橋下游臨時便道；試驗方案-2 則是拆除。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-2 皆較試驗方案-1 沖刷深度大，唯獨在后豐橋下游臨時便道下游端之沖刷位置，試驗方案-1 較試驗方案-2 沖刷深度大，顯示保留后豐橋下游臨時便道對后豐橋至便道間局部段會產生較小沖刷；對便道下游端局部段會產生較大淘刷。
2. 試驗方案-3 與試驗方案-4 為有布置既有正隆護岸丁壩兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-4 為保留后豐橋上游河道送水管、后豐橋下游臨時便橋及便道；試驗方案-3 則是拆除上述

三項結構物。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-3 皆較試驗方案-4 沖刷深度大，唯獨在后豐橋下游臨時便道下游端之沖刷位置，試驗方案-4 較試驗方案-3 沖刷深度大，顯示保留后豐橋上游河道送水管及后豐橋下游臨時便道對上游后豐橋上游端至便道間局部段會產生較小沖刷；對便道下游端局部段會產生較大淘刷。

3. 試驗方案-1 與試驗方案-4 為保留后豐橋下游臨時便道兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-1 后豐橋上游河道送水管部份中央拆除；試驗方案-4 則全部不拆除。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-1 皆較試驗方案-4 沖刷深度大，顯示保留后豐橋上游河道送水管對后豐橋上游端局部段會產生較小沖刷。
4. 試驗方案-4 與試驗方案-5 為有布置既有正隆護岸丁壩兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-5 后豐橋上游河道送水管 PB 至左岸拆除；試驗方案-4 則全部不拆除。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-5 較試驗方案-4 在正隆護岸丁壩沖刷深度明顯較大，顯示試驗方案-4 保留后豐橋上游河道送水管對正隆護岸丁壩有保護效果。試驗方案-5 后豐橋上游河道送水管 PB 至右岸保留，可以形成丁壩挑流作用，但宜注意既有正隆護岸丁壩周圍沖刷問題。
5. 五種試驗方案在相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-4 皆較其他四種試驗方案沖刷深度小，顯示保留后豐橋上游河道送水管及后豐橋下游臨時便道對其上游局部段會產生較小沖刷。

十、穩定方案試驗（本計畫第三年工作項目）

（一）試驗布置條件

依據本所「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（4/4）（委辦計畫）」所提供資料進行護甲粒料補充及河槽左岸開挖規劃布置，再依據本計畫第三年（3/3）期初報告書審查會議紀錄結論第二項進行穩定方案模型試驗。布置試驗方案-5 既有結構物拆除或保留起始條件，包括后豐橋上游河道送水管部份拆除（PB 左側全部拆除）、后豐橋下游臨時便橋全部拆除及保留后豐橋下游臨時便道及布置臨時便道下游護坦工，再進行規劃中之新山線鐵路橋至后豐橋左岸高灘地開挖試驗（如下表）。

穩定方案試驗方案模型布置條件表

試驗條件項目	穩定方案
試驗前鋪設民國 98 年 12 月地形（斷面 28 以下）	●
模型上游不加砂之變量流清水試驗	●
新山線鐵路橋下游消能塊布置與現場 98 年 12 月類似情況（右岸）	●
后豐橋上游河道送水管	PB 至左岸拆除 (PB 至右岸保留)
后豐橋下游臨時便橋	拆除
后豐橋下游臨時便道（內埋設涵管）	不拆除（保留）
正隆護岸丁壩（共 6 座）	●
后豐橋下游臨時便道下游端護坦工	●
后豐橋下游臨時便道右岸加固工程	●
規劃中之新山線鐵路橋上游至后豐橋下游左岸高灘地 （預計 104 年，斷面 31-1~斷面 28）	開挖
備註：以上試驗條件項目皆為既有結構物，標示 ● 表示此方案有布置或實施此項試驗條件。	

（二）試驗結果

依設計代表性洪水歷線作為模型清水試驗之上游入流量（變量流），試驗所獲得沖刷位置及沖刷深度，如下表所示。

穩定方案模型沖刷位置及沖刷深度成果表

沖刷位置	沖刷深度
新山線鐵路橋上游端右岸邊坡	無沖刷
新山線鐵路橋下游端沖刷	左岸跌水 12.5
后豐橋上游端靠右岸正隆護岸	無沖刷
后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近	7.7
后豐橋下游臨時變道下游端	左岸跌水 12.8
左岸豐洲堤防	15
備註：沖刷位置由上游向下游排列。 沖刷深度表示為範圍或最大值，單位為公尺。	

（三）綜合分析檢討

1. 穩定方案在一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，通過斷面 30-1（新山線鐵路橋上游端）量測點平均值，水面寬約 364 公尺、水位高約 EL. 216.0 公尺及流速約 3.54 公尺/秒；通過斷面 29（正隆護岸上游段）量測點平均值，水面寬約 348 公尺、水位高約 EL. 205.6 公尺及流速約 2.87 公尺/秒；通過斷面 30-1（后豐橋上游端）量測點平均值，水面寬約 327 公尺、水位高約 EL. 203.9 公尺及流速約 2.76 公尺/秒。顯示進行護甲粒料（ $D_{85}=236$ 毫米以上泥砂）補充及河槽左岸（新山線鐵路橋至后豐橋）開挖規劃布置，可以降低單寬流量及流速，提高穩定河床效果。
2. 穩定方案在一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，通過新山線鐵路橋上游端及正隆護岸上游段，由於流心偏向左岸，在新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及后豐橋上游端靠右岸正隆護岸處，無明顯沖刷，顯示擴寬河槽並進行護甲粒料補充，可以提高穩定河床效果，建議此兩處未來規劃布置丁壩時宜再檢討原設計功能。
3. 穩定方案在一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，通過新山線鐵路橋下游端（沖刷深度 12.5 公尺）及后豐橋下游端（沖刷深度 12.8 公尺），由於流心偏向左岸且產生跌水沖刷，建議未來規劃時應注意新山線鐵路橋及后豐橋下游沖刷問題。

ABSTRACT

The main purposes of this project are to verify the numerical model by means of the comparison with the physical model experiments data. The physical model was tested on Dajia River bed for the reach downstream of the Shin-Kang Dam with a 1 : 80 scale ratio of field.

In the first phase of this project, the physical model of the Dajia River in the reach between the Old Railway Bridge and the National Expressway No.1 Bridge was constructed in order to verify the riverbed stabilization measures in that reach (bed materials size $d_{\max}=400\text{mm}$ 、 $d_m=80\text{mm}$). The calibration and verification of the physical model has been accomplished in the second phase of this project.

In the third phase (last phase) of this project, the physical model was tested a modifying flow discharge of peak $4,007 \text{ m}^3/\text{s}$. There were five Test case (present case) and one Stabilization case (planning case) to test. If we will layout the Test-5 Case, the scouring depth on upstream of Houfeng Bridge at right side riverbank must be take care. The Stabilization case will be cut off between the upstream of New Railway Bridge and the downstream of Houfeng Bridge at left side riverbank. This case can reduce unit discharge and velocity of the flow, but have to watch out the scouring depth on downstream of New Railway Bridge and Houfeng Bridge.

Key words : physical model 、 scale ratio 、 scouring depth 、 Test case 、 Stabilization case.

結論與建議

一、結論

- (一) 在模型相同鋪砂粒徑（原體砂最大粒徑 400 毫米、平均粒徑約 80 毫米、 $d_{50}=49$ 毫米）及模型初步試驗模擬 97 年辛樂克颱風定量流洪峰流量 4,225 秒立方公尺試驗條件下，在后豐橋位置模型清水試驗平均水位約為 EL.204.30 公尺；模型加砂試驗平均水位約為 EL.204.05 公尺，與現場歷史紀錄（后豐橋斷橋前紀錄為 EL.204.217 公尺）接近。
- (二) 模型驗證試驗模擬 98 年 8 月莫拉克颱風歷線（現場洪峰流量 5,410 秒立方公尺）變量流（模型洪峰流量 4,525 秒立方公尺）加砂及清水試驗條件下，模型試驗後與現場民國 98 年 12 月大斷面底床變化地形比較結果，模型加砂及清水試驗量測值大致上與現場接近，顯示本模型清水或少量加砂皆可反應現場水理現象，故以清水試驗為主，進行本計畫第三年穩定方案試驗。
- (三) 模型現況既有結構物處理試驗模擬設計代表性洪水歷線一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，目前現況若採用試驗方案-5 結構物處理方式（后豐橋上游河道送水管 PB 至左岸拆除、拆除后豐橋下游臨時便橋橋墩、保留后豐橋下游臨時便道、后豐橋下游臨時便道右岸加固工程），由於尚未擴寬河槽，洪峰流量通過正隆護岸時流心仍靠向右岸，可能對於后豐橋上游之正隆護岸丁壩會有沖刷問題，宜加強保護。

- (四) 模型穩定方案試驗模擬設計代表性洪水歷線一場變量流(洪峰流量 4,007 秒立方公尺)清水試驗條件下，未來若採用規劃中之穩定方案(以試驗方案-5 為既有結構物處理方式，另增加護甲粒料 $D_{85} = 236$ 毫米以上泥砂補充及新山線鐵路橋上游至后豐橋下游左岸高灘地河槽開挖規劃布置)，可以降低單寬流量及流速，減緩新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及后豐橋上游端靠右岸正隆護岸等兩處之沖刷，但仍應注意新山線鐵路橋及后豐橋下游沖刷問題。

二、建議

- (一) 根據試驗結果顯示，規劃中之穩定方案在新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及后豐橋上游端靠右岸正隆護岸處，無明顯沖刷，建議未來在此兩處規劃設計布置丁壩時，宜再檢討原設計功能。
- (二) 根據試驗結果顯示，規劃中之穩定方案會在新山線鐵路橋及后豐橋下游產生沖刷問題，建議規劃設計單位宜再研擬相關保護措施。

第壹章 前言

一、計畫緣起

近年來大甲溪下游河段河床持續下降，大甲溪下游段河床因沖刷下降恐將危及橋樑安全，尤其在民國 95 年 69 水災時舊山線鐵路橋(現為自行車專用道)及石岡至東勢舊鐵路橋(現為自行車專用道)，皆因淘刷導致橋樑部份損毀無法通行。另取水構造物也因河床高程變動而需不斷改變取水位置，由石岡壩下游河床露出岩盤顯見河道有持續刷深之趨勢，為減少下游橋樑、取水構造物及堤防等因持續刷深，造成下游公共建設及居民財產損失，亟需探討大甲溪由瓣狀流河川轉為深槽河川，在建槽流量及固床工施設後，河床縱向坡度變化情形等課題之模型試驗研究及數值模擬(委辦計畫另案辦理)，以研提如何穩定河床之相關措施。本計畫依據經濟部水利署民國 97 年 5 月 21 日經水河字第 097511033670 號函辦理，調整「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)」之水工模型試驗研究期程提前至計畫第 2 年(97 年)開始進行作業，爰此本所提出本案水工模型試驗研究自辦計畫。

二、計畫目標

為確保數值模擬之規劃方案達到設計功能要求，乃進行水工模型驗證試驗，探討在建槽流量下固床工施設後河道穩定性及沖淤情況，試驗成果提供設計及管理單位參考，期使數值模擬規劃方案發揮預期功能，以穩定大甲溪石岡壩下游河段。

三、計畫範圍

本計畫範圍為石岡壩下游河段，自舊山線鐵路橋至中山高大甲溪橋間重要且水理複雜河段作為水工模型建置範圍。

四、計畫內容

本計畫分三年進行，主要工作內容如下：

(一) 第一年(民國 97 年 7 月 1 日～民國 98 年 6 月 30 日)：

- 1.完成蒐集試驗範圍內斷面及地形圖、水工結構物設計圖、河床質、輸砂量資料及試驗方案研擬(委辦計畫提供)。
- 2.完成水工模型試驗規劃設計、模型比例尺決定及模型場地整理。
- 3.建置現況地形模型。
- 4.撰寫第一年工作報告。

(二) 第二年(民國 98 年 7 月 1 日～民國 99 年 6 月 30 日)：

- 1.水工模型試驗之建置。
- 2.水工模型邊界條件之推求。
- 3.水工模型現地驗證試驗。
- 4.撰寫第二年工作報告。

(三) 第三年(民國 99 年 7 月 1 日～民國 100 年 6 月 30 日)：

- 1.水工模型河道穩定方案試驗。
- 2.研提水工模型試驗成果。
- 3.撰寫第三年工作報告及全程總報告。

五、工作項目

(一) 本計畫已完成第一年(1/3)之工作項目如下：

- 1.資料蒐集及分析
 - (1) 水工模型試驗範圍斷面及地形圖蒐集(包括補測地形圖)。
 - (2) 水工結構物(橋樑及取水工等)設計圖蒐集。
 - (3) 河床質及輸砂量資料蒐集分析。
 - (4) 蒐集水工模型試驗方案(委辦計畫提供)。

2.模型設計

(1) 水工模型試驗規劃設計。

(2) 模型比例尺決定 1/80。

3.模型建造及流量率定

(1) 頭水箱、供迴水系統建造。

(2) 水工結構物（橋樑、取水工及固床工等）建造。

(3) 頭水箱流量率定分析。

4.第一年工作報告撰寫

(1) 檢討分析現況情形。

(2) 第一年工作報告撰寫。

(二) 本計畫已完成之第二年 (2/3) 之工作項目如下：

1.資料蒐集及分析：水文資料蒐集分析及水工模型邊界條件之推求。

2.模型建造：第一年模型建置完成，進行動床鋪砂工作。

3.現地驗證試驗

(1) 進行模型五種初步試驗。

(2) 進行模型二種現地驗證試驗。

4.第二年工作報告撰寫

(1) 檢討分析洪峰流量五種初步成果。

(2) 檢討分析二種現況驗證試驗成果。

(3) 第二年 (2/3) 工作報告撰寫。

(三) 本計畫已完成之第三年 (3/3) 重要工作項目如下：

1.資料蒐集：水文、地文、構造物及穩定方案規劃資料蒐集。

2.進行五種既有結構物處理試驗及河道穩定方案試驗。

3.第三年工作報告撰寫及全程總報告撰寫。

六、預期成果

- (一) 第一年完成現況地形模型建置。
- (二) 第二年完成水工模型初步試驗及現地驗證試驗。
- (三) 第三年完成水工模型既有結構物處理試驗（試驗方案-1～試驗方案-5）及穩定方案試驗。

第貳章 資料蒐集與分析

本章相關資料主要摘錄自「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究」(1/4)～(4/4)委辦計畫報告內容。

一、水文資料

(一) 大甲溪流域概況

大甲溪上游發源於雪山山脈之次高山及中央山脈之南湖大山等群嶽，幹流由東往西橫貫台中縣境，於大甲與清水間注入臺灣海峽。本流域位處台灣島中西部，面積 1,244 平方公里，全長 124 公里。流域下游是由馬鞍寮以下至河口間之溪段，幹流流出馬鞍寮後，河谷開始展寬、河床內汊道分歧，幹流再轉向北流經過東勢、石岡後轉向西流，始進入平原地帶，詳如圖 2-1 所示。

(二) 洪峰流量

大甲溪流域各分析控制點之重現期距洪峰流量，如表 2-1 所示，流域計畫流量分配採「石岡壩」之控制點，如圖 2-2 所示。

表 2-1 大甲溪流域各分析控制點之重現期距洪峰流量表

重現期距 (年)	控制點						
	河口	石岡壩	天冷	橫流溪匯 流前	東卯溪匯 流前	裡冷溪匯 流前	十文溪匯 流前
	1244.1 km ²	1095.4 km ²	955.5 km ²	907.4 km ²	877.6 km ²	848.4 km ²	784.8 km ²
200	11,500	9,800	8,840	8,490	7,850	7,590	7,560
	(9.24)	(8.95)	(9.25)	(9.36)	(8.95)	(8.95)	(9.63)
100	10,300	8,800	8,000	7,630	7,050	6,820	6,790
	(8.28)	(8.03)	(8.37)	(8.41)	(8.03)	(8.03)	(8.65)
50	8,900	7,600	6,900	6,590	6,090	5,890	5,870
	(7.15)	(6.94)	(7.22)	(7.26)	(6.94)	(6.94)	(7.48)
25	7570	6430	5820	5570	5160	4980	4960
	(6.08)	(5.87)	(6.09)	(6.14)	(5.88)	(5.87)	(6.32)
20	7,300	6,200	5,600	5,370	4,970	4,800	4,780
	(5.87)	(5.66)	(5.86)	(5.92)	(5.66)	(5.66)	(6.09)
10	5,900	5,000	4,500	4,330	4,010	3,870	3,850
	(4.74)	(4.56)	(4.71)	(4.77)	(4.56)	(4.56)	(4.91)
5	4,500	3,800	3,400	3,290	3,040	2,940	2,930
	(3.62)	(3.47)	(3.56)	(3.63)	(3.47)	(3.47)	(3.73)
2	2,600	2,200	1,980	1,910	1,760	1,710	1,700
	(2.09)	(2.01)	(2.07)	(2.10)	(2.01)	(2.01)	(2.17)

註：單位為立方公尺/秒；()內為相對比流量(立方公尺/秒/平方公里)。

資料來源：水規所「大甲溪流域聯合整體治理規劃檢討成果報告(94年)」

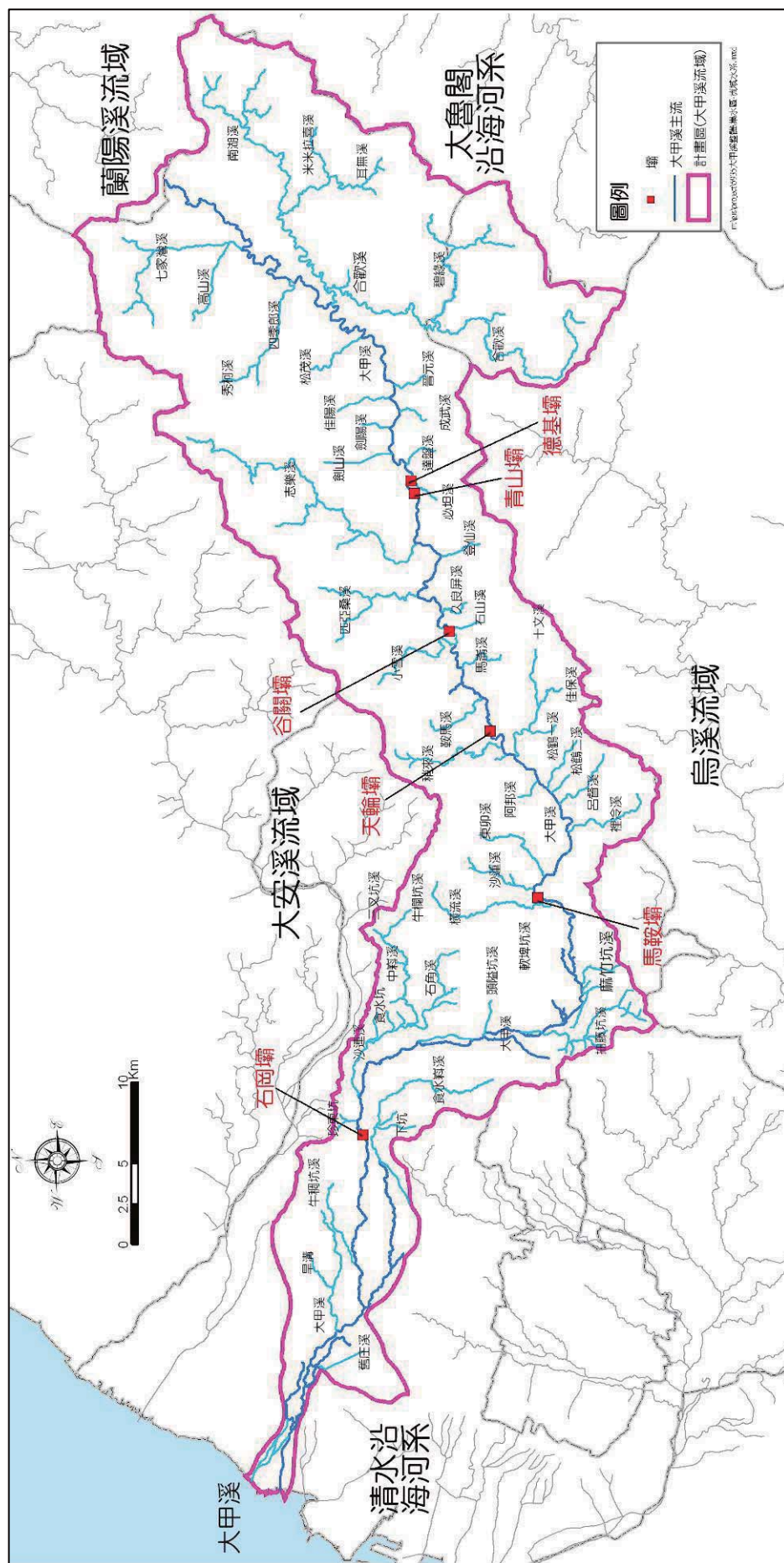


圖 2-1 大甲溪流域水系圖

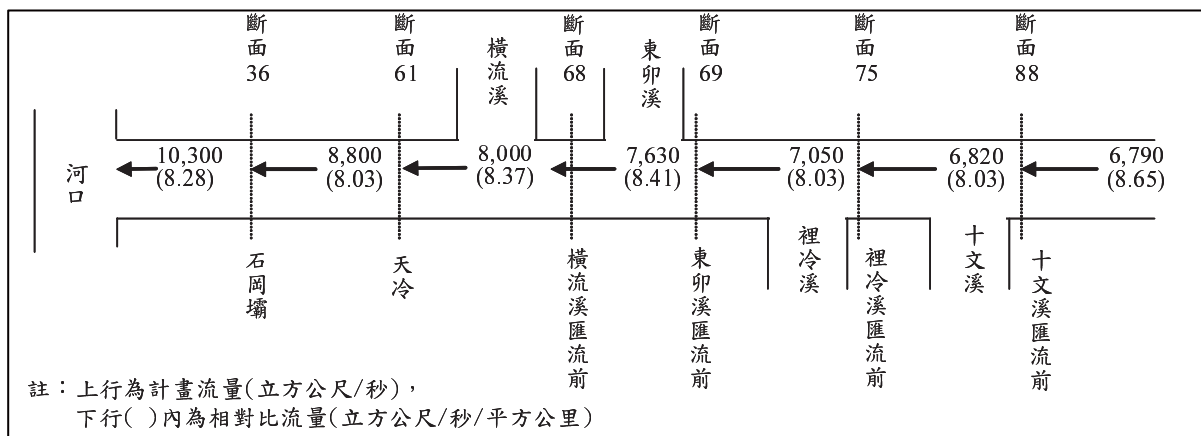


圖 2-2 大甲溪流域計畫流量分配圖

(三) 石岡壩歷年年最大流量

本計畫試驗範圍為石岡壩下游區域，蒐集石岡壩集水區歷年發生之最大流量紀錄表如表 2-2 所示。

表 2-2 石岡壩集水區歷年發生之最大流量紀錄表

年別	日期	最大洪峰流量(cms)	年別	日期	最大洪峰流量(cms)
52	9/11	5,520	76	7/27,16:00	973
53	-	350	77	5/23,20:00	304
54	-	1,570	78	9/13,00:00	3,062
55	6/9	2,990	79	6/24,00:00	2,788
56	7/12	1,400	80	6/24,20:00	823
57	6/11	1,100	81	8/30,14:00	1,409
58	9/27	2,710	82	6/02,12:00	1,537
59	9/7	2,710	83	8/08,08:00	4,133
60	9/23	2,030	84	6/09,20:00	643
61	8/17	4,540	85	8/01,07:00	3,466
62	7/18	1,120	86	6/11,06:00	2,100
63	8/24	2,040	87	10/16,19:00	933
64	6/12	927	88	-	484
65	8/10	2,940	89	-	790
66	8/1	2,290	90	-	3,837
67	5/23,10:00	634	91	-	712
68	8/24,22:00	1,262	92	-	824
69	8/28,08:00	3,110	93	7/03,13:00	5,815
70	6/21,12:00	3,185	94	8/05,10:00	3,535
71	8/16,14:00	1,527	95	6/10,15:00	3,200
72	6/03,16:00	2,428	96	10/07,05:00	3,303
73	5/28,19:00	877	97	9/14,18:00	4,225
74	8/23,15:00	2,412	98	8/09,16:00	5,410
75	8/22,15:00	983			

資料來源：1.民國 52~66 年之最大流量紀錄引自 87 年第二次水庫安全評估
2.民國 67~87 年之最大洩洪量摘自「石岡壩九二一震災損害及功能修復成果評估報告」
3.民國 88~94 年之最大洩洪量由石管中心及水利署網站取得
4.民國 95~98 年之最大洩洪量由石管中心營運日報取得
5.「-」表示無發生日期資料

(四) 石岡壩單位歷線

蒐集石岡壩各重現期距洪峰流量歷線如圖 2-3 所示。

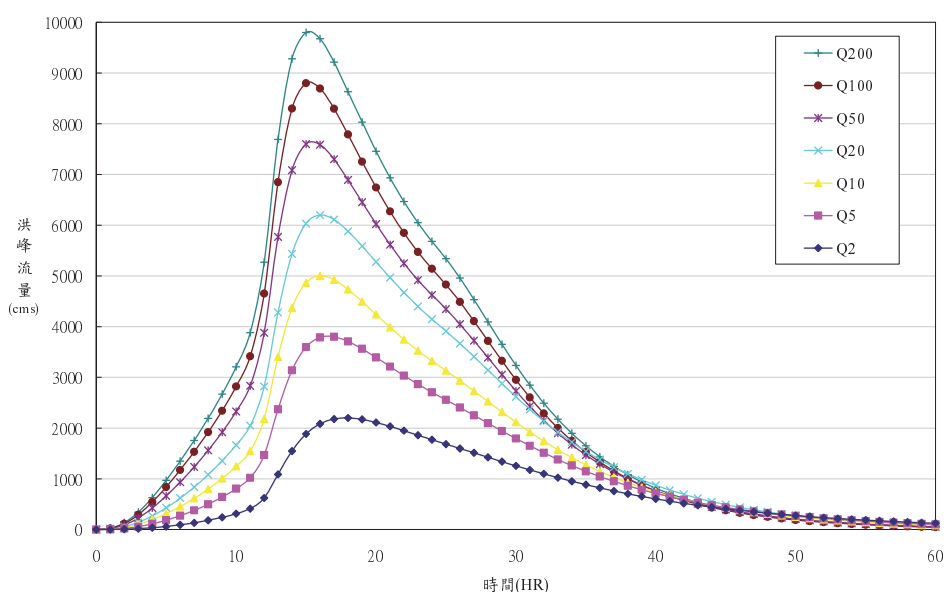


圖 2-3 石岡壩各重現期距洪峰流量歷線圖

二、地文資料

(一) 河床坡度變化

依據民國前 7 年（台灣堡圖）、民國 82 年、87 年、89 年、91 年、93 年、94 年及 97 年河床平均高程資料，分析河口(斷面-1)至石岡壩(斷面-36)河段歷年河道坡降變化情形，詳如表 2-3 所示，由表得知歷年河床坡度約為 1/88 至 1/94 間，為一坡陡急流河川，在九二一地震前河床縱坡降並無明顯變化，約為 1/94 至 1/93，但與民國前 7 年（台灣堡圖）相較河床坡度略緩；九二一地震後，受斷層通過石岡壩下游處影響，東側局部地層抬升，河床坡度變陡，約為 1/89，敏督利颱風後本河段雖多處橋樑有沖刷情形，但整體而言，坡度無明顯變化。

表 2-3 河口(斷面-1)至石岡壩(斷面-36)歷年河道坡降變化表

河段 \ 年期	台灣堡圖 (民國前 7 年)	82 年	87 年	89 年 (九二一地震後)	91 年 8 月	93 年 7 月 (敏督利颱風後)	94 年 4 月	97 年 3 月
河口-石岡壩 (長約 23 公里)	1/88	1/94	1/93	1/89	—	—	1/88	1/88

（二）河道沖淤變化

依據民國 82 年～97 年河道斷面資料，整理高速公路橋(斷面 23-1)上游河段歷年河道沖淤變化情形，詳表 2-4 及圖 2-4 所示。本河段受九二一地震後石岡壩處地層抬昇，其下游因局部河川坡度變陡、流速變快，造成石岡壩下游至舊山線鐵路橋(斷面 32-1)間之河道刷深情況明顯；於民國 89 年至 94 年間在新山線鐵路橋(斷面 30-1)，受下游內埔圳攔河堰遭敏督利颱風沖毀及河道本身泥岩地質條件易受沖刷影響，河床高程嚴重下降，現況橋墩沈箱已裸露；后豐橋（斷面 28-1）附近橋樑相關工程的施工影響導致河床明顯掏刷情況，平均河床高度下降深度最大可達 5.6 公尺。

斷面 24 位於中山高大甲溪橋上游，民國 97 年右岸之斷面通水面積有增大現象，易因洪水靠右岸而影響舊社堤防。斷面 25 至斷面 28 則為變化劇烈之河段。斷面 25 之流路由 89 年河道中心及右岸兩流路，於 94 年為明顯偏向右岸之單一流路，至 97 年則有漸調整至寬度較大之單槽，此右岸流路於 93 年敏督利及艾利颱風時，皆造成舊社堤防毀損。斷面 26 之右岸無明顯變化，左岸之灘地有持續沖刷情況。斷面 27 之主深槽至 97 年左流路有往河道中央發展情況，右流路則維持穩定。斷面 28 為單槽流路，由 89 年之偏右岸，至 94 年偏左岸，97 年再往右岸偏移及刷深。后豐橋至中山高速公路橋之流路有 S 型彎曲趨勢，影響左岸豐洲堤防低水護岸及右岸舊社堤防。斷面 29 至斷面 30-1（新山線鐵路橋）間為偏右岸之單一河槽，容易影響右岸之正隆護岸，由 89 年至 94 年則有斷面寬度往左岸擴大，深度持續刷深現象。新山線鐵路橋（斷面 30-1）至舊山線鐵路橋（斷面 32-1）間，因右岸崩塌地造成斷面變化，但河道仍有持續刷深情況。

表 2-4 大甲溪高速公路橋上游河斷(斷面 23-1 至斷面 33)歷年河道沖淤變化表

斷面編號	河心距 (m)	平均河床高程(m)					平均河床高程差(m)			
		82 年	87 年	89 年 九二一 地震後	94 年	97 年	87-82 年	89-87 年	94-89 年	97-94 年
23-1 高速公路 橋(上)	15655	173.78	172.92	173.44	172.78	172.13	-0.86	0.52	-0.66	-0.65
24	15907	176.03	176.14	175.05	173.31	174.24	0.11	-1.09	-1.74	0.93
25	16491	183.02	181.31	181.54	183.39	179.94	-1.71	0.23	1.86	-3.45
26	17067	188.64	188.80	187.31	187.80	186.52	0.16	-1.49	0.48	-1.28
27	17653	195.34	195.25	188.82	193.44	191.88	-0.09	-6.43	4.62	-1.56
28	18153	202.54	202.08	200.72	198.27	192.61	-0.46	-1.36	-2.45	-5.66
28-1 后豐橋	18575	206.72	206.41	203.96	200.24	199.45	-0.31	-2.45	-3.72	-0.79
29	18776	209.37	209.88	206.15	203.32	202.26	0.51	-3.73	-2.83	-1.06
30	19340	216.70	217.11	212.80	208.09	207.36	0.41	-4.31	-4.71	-0.73
30-1 新山線鐵 路橋(上)	19781	221.21	220.57	221.97	214.32	213.62	-0.64	1.40	-7.64	-0.70
31	20016	223.61	225.54	224.35	222.33	216.91	1.93	-1.19	-2.02	-5.42
31-1	20211	225.26	226.03	228.71	224.12	219.51	0.77	2.68	-4.59	-4.61
32	20601	228.56	227.00	227.28	225.32	221.83	-1.56	0.28	-1.95	-3.49
32-1 舊山線鐵 路橋(上)	20943	231.10	229.65	228.52	228.47	227.24	-1.45	-1.13	-0.05	-1.23
33	21217	234.37	232.16	230.64	230.39	229.68	-2.21	-1.52	-0.26	-0.71

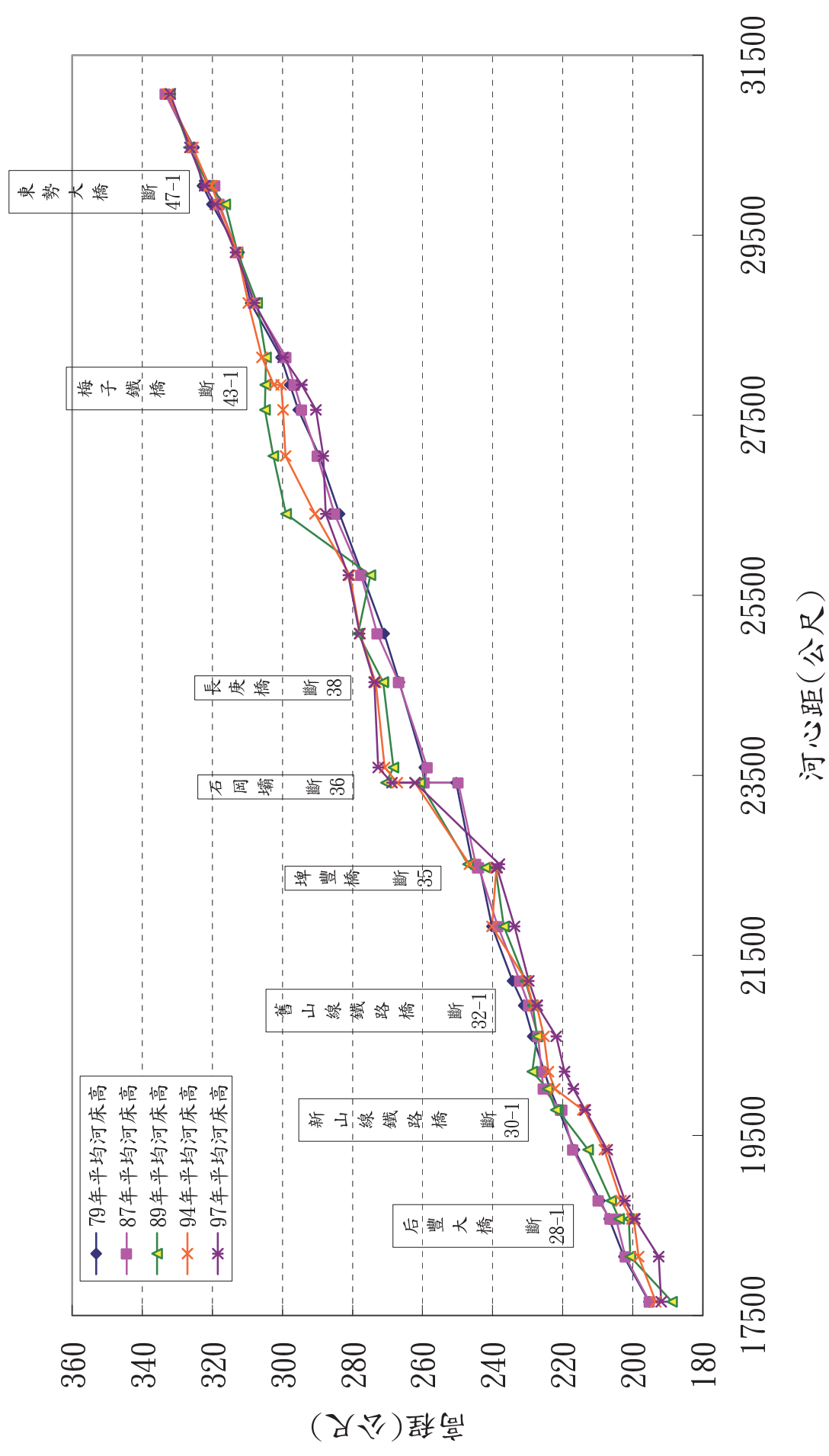


圖 2-4 大甲溪高速公路橋(斷面 23-1)上游河段歷年河道沖淤變化圖

（三）河道特性評估

河道特性評估主要探討河川之水流及輸砂行為，不同水文條件下之水流結構主要受河川坡度、形態、河床粒徑影響；不同水流結構下之泥砂運動，則因不同之地質及河床質分佈情況，影響其邊界物質之沖刷、搬運和沈積過程。此節主要依據河道歷史變遷資料及現況資料，分析石岡壩至中山高大甲溪橋之河道特性現況，大甲溪河道由石岡壩至新山線鐵路橋，主要為沖積河川，沖積層下為泥岩、砂岩之互層，一般而言，沖積層厚度約 1~5 公尺左右，視各河道處之地層高度而定。

九二一地震後，因地層隆起，各隆起河段因地形變化不均，造成局部河段之水頭增加，在河道局部坡降變陡處形成沖刷，而在河道局部坡降變緩處形成淤積，從石岡壩到埤豐橋斷層處為河道坡降增加，如圖 2-5 之照片 1。因此形成沖刷現象，河道表層之沖積層及礫石均已沖刷殆盡，岩性河床因岩體節理發達，加上強度不高，沿主槽下刷成峽谷狀河道，河道沿左岸發展，已下刷約 3~5 公尺，影響左邊坡之穩定，目前此一河段深槽高度下游已將車籠埔斷層抬起之部份刷盡，而銜接至未抬升處河段。

由埤豐橋至新山線鐵路橋河段亦為砂泥岩，河床上覆淺薄之沖積卵石，沖積層厚約 3~5 公尺，由於此段地層抬昇作用並不明顯，河道並未完全下刷至砂泥岩互層之岩盤，從埤豐橋起向下游約 500 公尺長，主深槽受上游河抬昇影響，已沖刷至岩盤，如圖 2-5 之照片 3。因新山線鐵路橋設有大型固床工 1 座，雖經歷次洪水局部受損，但其固床功能仍在（如圖 2-5 之照片 4），故其上游河床高程仍能維持，新山線鐵路橋上游數百公尺內之大甲溪河道，主要仍為沖積河川型態，但受取水構造物之人為干擾，主深槽經常改變。

從大甲溪石岡壩經埤豐橋、舊山線鐵路橋至新山線鐵路橋，在此短短 3.5 公里河床上，設有人為橫向構造物 2 座，天然斷層 1 處，簡易取水攔河堰 1 處，形同具有 4 處強度不等之控制斷面，又大部份河床水流速度大，加以槽面下切，束水於單槽，此河段已逐漸形成下降河川中之單槽束水模式，而底床為岩質性河川。此一現象，在水理上因岩質河床之輸砂特性與沖積河川之輸砂特性不同，底床侵蝕率及啟動率均與沖積性河川不同，不能以傳統上沖積性河川之輸砂行為模式來描述，比較合理之輸砂行為類似管路物質輸送行為。在邊界條件上，若保守估算，可假設在岩質河床上並無底床載之輸送，係以懸浮載之輸送為主，而懸浮載之輸送因無底床載之交換作用，以最大能達到飽和輸砂為其輸砂行為。

新山線鐵路橋至后豐橋河段，此河段長約 1.2 公里，於后豐橋上游設有自來水公司后里至豐原之輸水管線，採地下管線方式，上包覆混凝土保護工，形同一固床工，因此此河段由新山線鐵路橋下游至后豐橋為上、下面均設有固床工，而大甲溪岩質性河床在新山線鐵路橋固床工下游出露，如圖 2-5 之照片 4，研判岩質性河床以新山線鐵路橋為界，其下河川沖積層較厚，可能深達 10 公尺以上。此河段原設有內埔圳取水堰一座，現已毀損，河道沿大甲溪右岸流向下流，於后豐橋上游正隆護岸附近貼近堤腳，造成堤腳沖刷，此河段流心偏向右岸，系因新山線鐵路橋流心靠向右岸，而左岸高灘地寬廣且高度幾達洪水位之上，河道下切後，左岸洪水幾乎不上灘，故維持洪水靠右岸流動，此段河道右岸堤防需興建較為強固，目前管理單位亦於正隆護岸處興建基腳保護工，如圖 2-5 之照片 5。

由后豐橋至中山高大甲溪橋固床工，此河段長約 2.5 公里，河道縱坡平均約 1/100，屬陡坡河川，此河段最易受災之河段為舊社堤

防，位於大甲溪右岸，后里焚化廠於中山高大甲溪橋上游處，已施做中山高大甲溪橋橋樑基腳保護工。此河段流心由過後豐橋後偏向左岸再轉向大甲溪右岸，此與河道地形及灘地上人為設施有關。

本河段長約 7.2 公里，河床平均坡度約 1/80，平均河床寬約 500 公尺，除石岡壩至舊山線鐵路橋間河床已刷深至岩盤出露外，其餘河段河床質平均粒徑為約在 105 毫米上下之粗礫石河床，依據泥沙起動公式及河道特性，初步估算本河段河道起動流速亦約在 3.6 公尺/秒上下。而因本河段為陡坡河道，故河道流況以臨界及超臨界流況為主。檢算本河段之各頻率年防洪流量下之臨界流速，如表 2-5 所示。本河段河床變動之控制流量約在 2,400 秒立方公尺左右，即未達 2 年重現期距洪水，若超過此一流量時，則河床變動量將加大。

表 2-5 石岡壩至中山高大甲溪橋河段各頻率年防洪流量分析成果表

頻率年 (年)	流量 (秒立方 公尺)	河道寬度 (公尺)	單寬流量 (秒立方公 尺/公尺)	臨界流速 (公尺/秒)
100	10300	500	20.60	5.87
50	8900	500	17.80	5.59
25	7570	500	15.14	5.30
20	7300	500	14.60	5.23
10	5900	500	11.80	4.87
5	4500	500	9.00	4.45
2	2600	500	5.20	3.71



照片拍攝日期：民國 97 年 1 月 11 日

圖 2-5 民國 97 年 1 月大甲溪石岡壩至中山高大甲溪橋之河道情況

(四) 河道輸砂能力

大甲溪屬急流河川，且為卵礫石河床，因此本計畫採用 Schoklitsch 公式計算河道推移質輸砂能力，計算公式如下：

$$q_c = 0.26 \times \left[\left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)^{5/3} \right] \times d^{3/2} \times s^{-7/6}$$

$$Q_s = 2500 \times s^{3/2} \times (Q - B \times q_c)$$

Q_s 為推移質輸砂量 (公斤/秒)；

q_c 為單位河寬之推移質臨界啟動流量(秒立方公尺/公尺)；

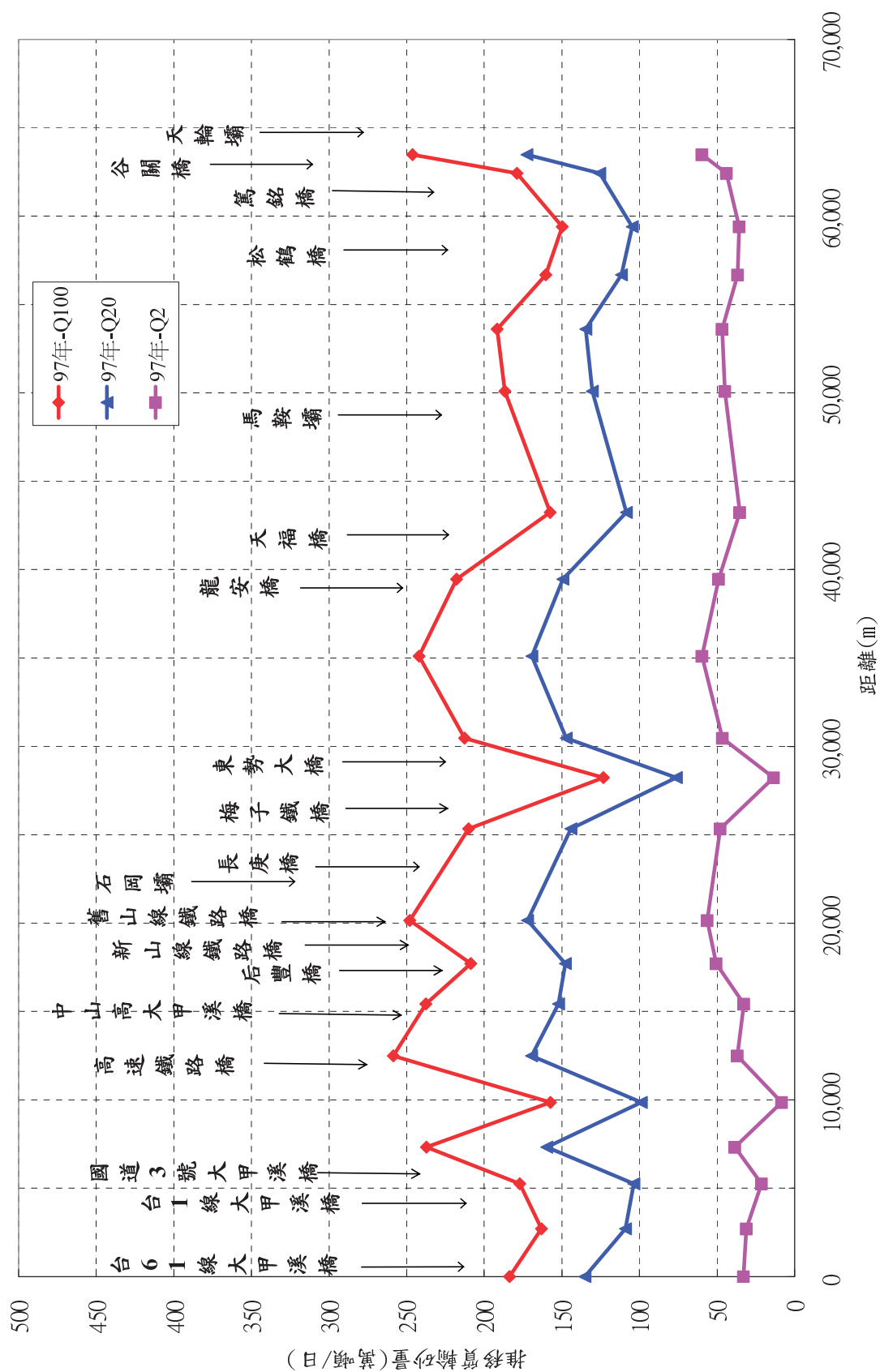
Q 為河川流量(秒立方公尺)；

s 為河床坡降；

B 為河床斷面寬(公尺)；

d 為河床質代表粒徑(D_{50}) (公尺)。

由民國 97 年最新完成之測量縱斷面資料及河床質採樣分析推估現況推移質輸砂量，如圖 2-6 所示。河道輸砂量主要受河床質及河道坡度影響，河床質粒徑分佈沿河道縱斷無大幅變化；而河口至天輪壩河段之河道坡度介於 1/80~1/100 間，亦無明顯之下游坡度平緩趨勢，故大甲溪之上下游河道輸砂量並無一定趨勢，目前河道斷面下，於 2 年重現期流量時，新山線鐵路橋至石岡壩河段、東勢大橋至龍安橋間及谷關橋附近之輸砂能力較其它河段略高；當於 20 年、100 年重現期流量之高流量情況，下游之高輸砂能力河段則由高速鐵路橋起至石岡壩。整體而言，高流量情況下，天福橋以上河段之輸砂能力，較未如下游河段之輸砂能力高，故當較大颱風豪雨發生且伴隨子集水區之高產砂量時，上游河段易堆積；下游河段於高流量時雖具較高輸砂能力，但其子集水區產砂量較少，在大甲溪上游之泥砂未能有效運移至下游而有來砂量不足情況時，則易有沖刷現象。



（五）河床質

大甲溪曾於民國 72 年辦理斷面 68（橫流溪匯流處）以下河段之河床質採樣分析調查（參考資料：經濟部水利署水利規劃試驗所，「大甲溪流域聯合整體治理規劃檢討」，民國 94 年 12 月），此段河床粒徑組成之縱向變化不大，各斷面河床底質平均粒徑在 71 毫米~115 毫米間，砂質含量約在 10%~30%之間。大甲溪下游河床屬卵石或塊石河床，中上游河床多為岩盤出露或塊石散佈。

另外於民國 97 年依據民國 96 年 12 月經濟部本所之河床質調查作業參考手冊（草案），進行河床質採樣分為護甲層及底層進行粒徑分析，由採樣分析成果可知，河口至石岡壩段間護甲層之平均粒徑約 81 毫米~136 毫米、底層之平均粒徑約 41 毫米 ~ 106 毫米，而石岡壩下游主深槽或高灘地河中砂洲之粒徑差異有限。

將民國 72 年與 97 年河床質變化比較分析後，詳如圖 2-7，由此圖顯示因大甲溪坡度陡、流速快，河床質粒徑並無明顯往下游粒徑愈小之趨勢。

（六）主河道流路變遷

比較九二一地震前(民國 88 年 4 月)、九二一地震後(民國 89 年 4 月)、桃芝颱風後(民國 90 年 11 月)、敏督利颱風後(民國 93 年 7 月)、艾利颱風後(民國 93 年 11 月)及民國 97 年 3 月等六個時期之衛星影像圖，分析大甲溪河槽流路變遷狀況(詳圖 2-8 所示)。中山高大甲溪橋(斷面 23-1)至石岡壩(斷面 36)河段主深槽較為明確，無辮狀分歧，流路主要受地勢影響，而近年來，由后豐橋至中山高大甲溪橋之主槽呈 S 狀彎曲，因此於敏督利及艾利颱風時，位於凹岸處之正隆護岸、豐洲堤防前低水護岸及舊社堤防均遭受洪水淘刷損毀。

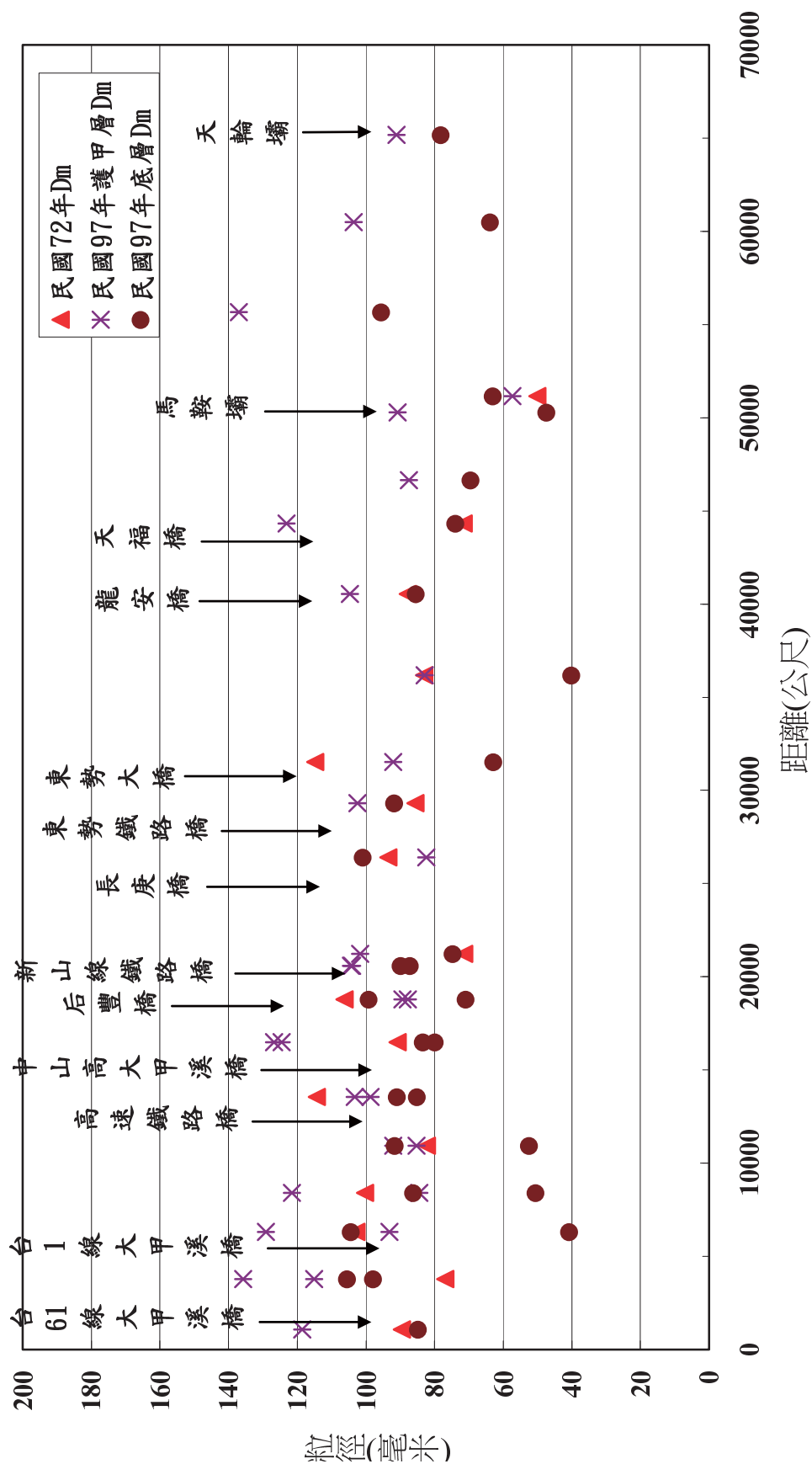


圖 2-7 民國 72 年及民國 97 年河床質平均粒徑縱斷面變化比較圖

大甲溪主河道流路變遷圖

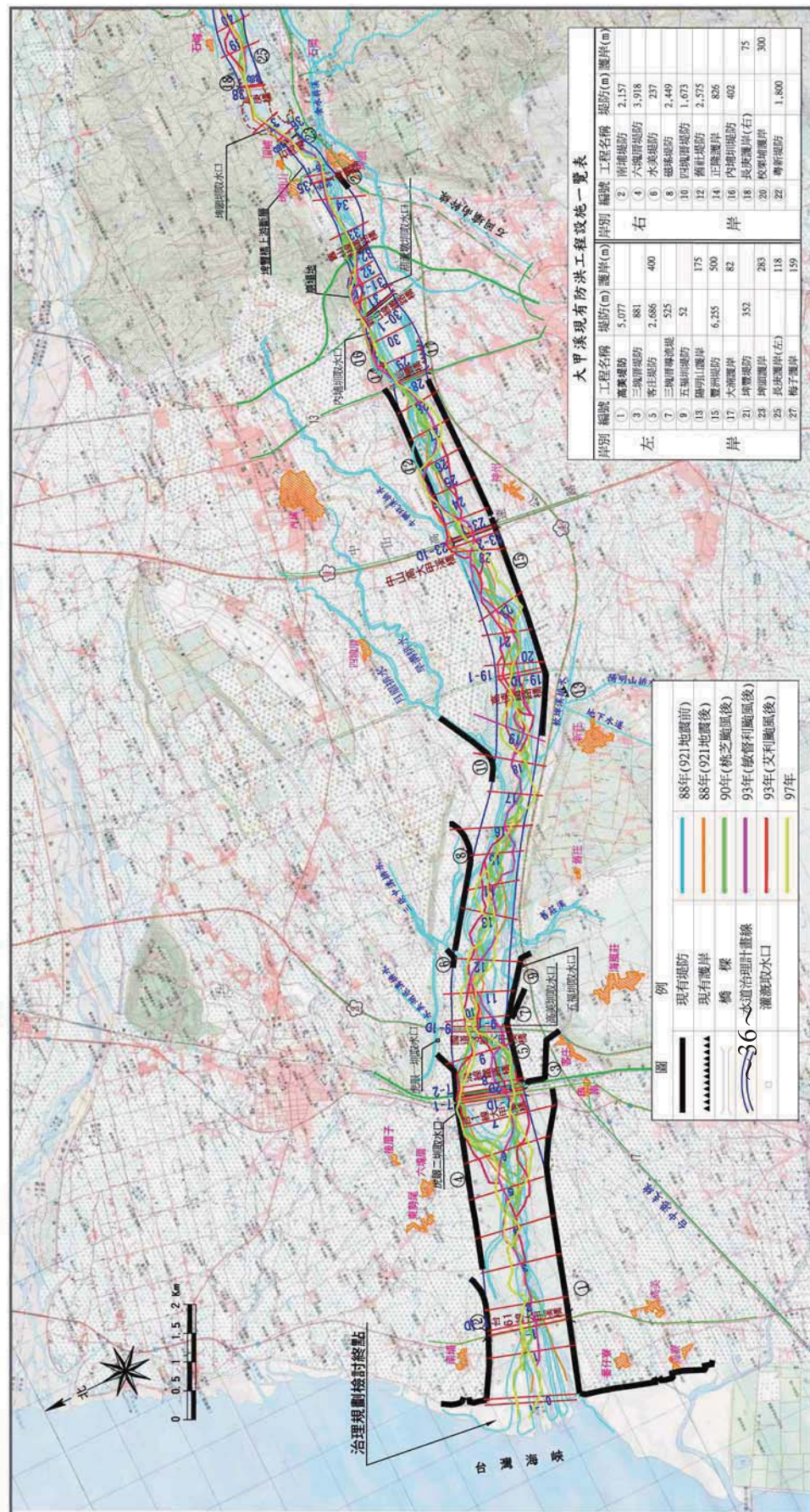


圖 2-8 大甲溪主河道流路變遷圖

三、構造物資料

(一) 水工構造物調查

本計畫水工模型範圍自中山高速公路橋（斷面 23-1）上游端起至舊山線鐵路橋（斷面 32-1）上游端止，全長約 5.6 公里。本河段內之水工構造物與河道斷面相關位置，詳如圖 2-9，包括防洪構造物（左岸之豐洲堤防、大湳護岸；右岸之舊社堤防、正隆護岸、內埔圳堤防）、跨河構造物（由下游向上游依序為后豐橋、新山線鐵路橋、舊山線鐵路橋）及取水口（由下游向上游內埔圳取水口、葫蘆墩圳取水口），詳如表 2-6 及表 2-7。

(二) 構造物災害調查

大甲溪主流上有系列之人工構造物，整理各防洪構造物及跨河構造物歷年（至民國 96 年）受損情形如表 2-8 所示，民國 52 年葛樂禮颱風、民國 90 年桃芝颱風及民國 93 年敏督利颱風及艾利颱風為最。民國 52 年葛樂禮颱風造成防洪構造物毀損，多於下游靠近河口段，如高美堤防、六塊厝堤防及三塊厝堤防等。民國 90 年及 93 年造成防洪及跨河構造物毀損，以石岡壩至下游出海口災損最嚴重。受損防洪構造物有：正隆護岸、豐洲堤防、舊社堤防及客庄堤防等；受損橋樑包括：后豐橋、新山線鐵路橋、舊山線鐵路橋等。

民國 97 辛樂克颱風時，后豐橋於 9 月 14 日晚上 7 時許，橋墩 P2 上游面往后里方向的兩隻橋墩之橋面板掉落，往豐原方向橋面亦塌陷。石岡壩管理中心於 14 日晚上 7 點所測得單位時間平均流量為 3959.41 秒立方公尺，而該次颱風所測得最大放流量為 4224.94 秒立方公尺，發生於 14 日下午 6 時，此一最大放流量，已達石岡壩處 5 年重現期洪水量（石岡壩處 $Q_5 = 3,800$ 秒立方公尺， $Q_{10} = 5,000$ 秒立方公尺），其損壞及修復情況如照片 2-1 所示。

大甲溪河道斷面、防洪構造物、跨河構造物、支流、排水系統及取水口位置圖

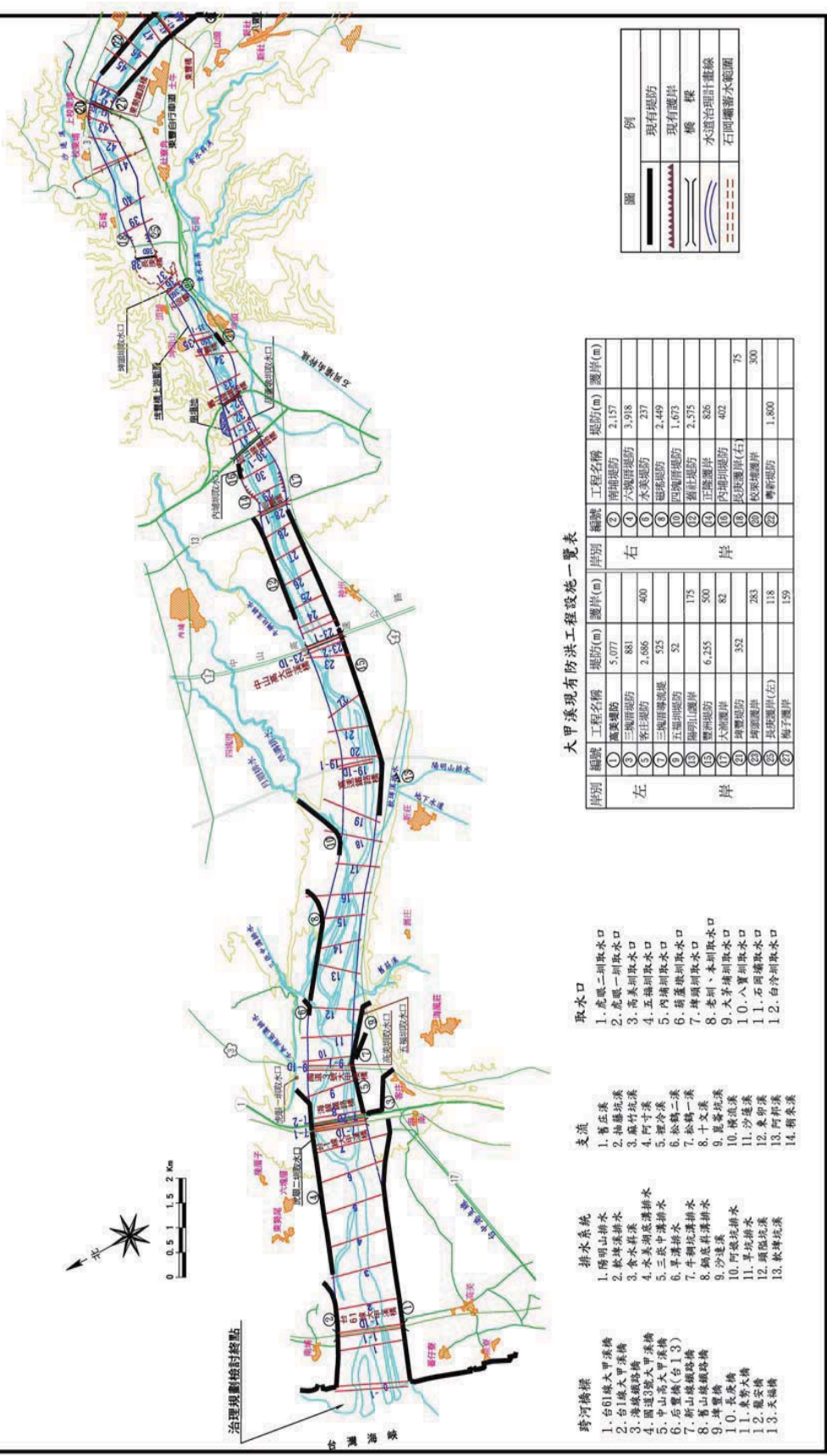


圖 2-9 計畫工作範圍內大甲溪大斷面及相關水工構造物平面位置圖

表 2-6 本計畫工作範圍內水工構造物調查表

防洪構造物調查資料					
左 岸			右 岸		
護岸名稱	里 程	護岸型態	護岸名稱	里 程	護岸型態
豐洲堤防	0K+000～ 6K+255	RC 護坡	舊社堤防	0K+000～ 1K+538	RC 護坡
				1K+574～ 2K+575	漿砌卵石
大湳護岸	0K+000～ 0K+082	RC 護坡	正隆護岸	0K+000～ 0K+826	RC 護坡
			內埔圳堤防	0K+000～ 0K+191	RC 護坡
				0K+191～ 0K+402	RC 檔土牆
跨河構造物調查資料					
調查項目	后豐橋		新山線鐵路橋		舊山線鐵路橋
斷面編號	28-1		30-1		32-1
樁號	18k+345		19k+645		20k+782
橋長(m)	640.76		969.40		381.48
橋墩(m)	2.00*15		2.2 *31		3.00*5
橋寬(m)	31.00		10.50		5.42
橋 面 高 程 (m)	217.21		240.71		243.70
樑 底 高 程 (m)	214.91		237.31		242.50
谿 線 高 程 (m)	196.04		209.21		221.46
取水口調查資料					
名稱	位 置		渠底高(m)	寬×高 (m)	型態
	TWD97N	TWD97E			
內埔圳取水口	2686524.99	222876.83	214.95	1.50*1.70*4	箱涵
葫蘆墩圳取水口	2685938.10	224072.63	226.98	7.55*1.20*2	箱涵
備註	資料來源：中興顧問公司提供（民國 97 年 2 月）。				

表 2-7 本計畫工作範圍內橋樑安全性評估調查表

橋樑名稱	基礎型式	沈箱/基樁 長度(m)	基礎底部 高程(m)	谿線高程 (m)	安全性評估
后豐橋 (毀損)	沈箱基礎	14	193.02	196.04	舊后豐橋於 97 年 9 月辛樂克風時破損，當時基礎底部與最低河床高差約 3.02 公尺。
后豐橋 (98 年改建段)	樁基礎	20	179.5	196.04	新橋完工後，基礎底部與最低河床高差 16.54 公尺，其新建之樁基礎深度尚足夠，但因此處河床仍逐年下降（由第一年基本資料分析可知，此河道平均沖刷率為 0.56 公尺/年），若欲達成橋梁保護與縱坡穩定，仍需考量於后豐橋下游側興建固床工
新山線鐵路橋	沈箱基礎	24(P1~P6) 20(P7~P13) 16(P14~P25)	198.67(P1) 198.1(P2~P6) 198.1(P7~P13) 204.1(P14~P21) 206.4(P22~P25)	209.21	右側位於主深流路處之基礎底部與最低河床高差 10.54~11.11 公尺，因此處流路集中，單寬流量大、流速快，河段持續呈現沖刷趨勢（由第一年基本資料分析可知，此河道平均沖刷率為 1.04 公尺/年），且目前下游固床工於右側已破損，無保護橋墩基礎功能，故急需進行此固床工之修復，並考量橋墩基礎加深改建。
舊山線鐵路橋	直接基礎 樁基礎 (P3)	15	206.87	221.46	樁基礎底部與最低河床高差 14.59 公尺，此處已為岩盤出露段，屬桂竹林層，岩性主要為砂岩，亦有些許頁岩層，由室內岩石試驗結果得知，此處岩層單壓強度較高，且屬中等高耐久性，而河段歷年平均沖刷速率 0.16 公尺/年，故可判斷此處岩盤沖刷情況尚屬輕微，需持續觀察河床沖刷狀況。

資料來源：中興顧問公司提供（民國 98 年 4 月）。

表 2-8 防洪構造物及跨河構造物歷年受損一覽表

構造物名稱	發生時間	發生原因	災害情形
防洪構造物			
豐洲低水護岸	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風	因受到上游護岸挑流形成有角度之水流流路斜向沖擊高灘地而形成彎岸。
	民國 93 年 7 月 1 日至 4 日	敏督利颱風(七二水災)	在桃芝颱風後形成之彎岸在水流持續沖刷形成之側向侵蝕影響持續向左岸退後至露出護岸，使水流直接接觸護岸。
	民國 93 年 8 月 23 日	艾利颱風	水流受上游護岸挑流形成有角度之流路沖擊深度不夠之堤腳，持續沖刷致使堤體被淘空而破損約 200 公尺。
	民國 94 年 8 月 4 日至 6 日	馬莎颱風	水流受上游護岸挑流形成有角度之流路沖擊已受損之護岸，持續沖刷淘空堤體繼而沖刷後方高灘地並形成彎岸。
	民國 93 年 7 月 1 日至 4 日	敏督利颱風(七二水災)	水流受對岸彎岸挑流形成有角度之流路沖擊深度不夠之堤腳，持續沖刷致使堤體被淘空而破損約 300 公尺。
豐洲堤防 4k 處	民國 93 年 8 月 23 日	艾利颱風	因敏督利颱風時受損處未修復而擴大破損約 550 公尺。
	民國 97 年 9 月 11 日至 16 日	辛樂克颱風	水流受對岸彎岸挑流形成有角度之流路沖擊原有高灘地，造成舊有豐洲堤防（位於 93 年災害處上游段）前之灘地流失，水流直接沖刷堤防，致使堤體被淘空而破損約 100 公尺。
豐洲堤防 6k 處	民國 93 年 8 月 23 日	艾利颱風	水流受對岸彎岸挑流形成有角度之流路沖擊深度不夠之堤腳，持續沖刷致使堤體被淘空而破損約 260 公尺。
	民國 52 年 9 月 11 日	葛樂禮颱風	洪水暴漲越堤造成決口流失 200 公尺，決口位置為舊社堤防 0k+840~1l+040 處。
舊社堤防	民國 83 年 8 月 8 日	道格颱風	洪水暴漲越堤造成決口流失 500 公尺。
	民國 93 年 7 月 1 日至 4 日	敏督利颱風(七二水災)	水流受對岸彎岸挑流形成有角度之流路沖擊深度不夠之堤腳持續沖刷，致使堤體被淘刷而破損約 550 公尺。

構造物名稱	發生時間	發生原因	災害情形
	民國 93 年 8 月 23 日	艾利颱風	敏督利颱風時舊社堤防受損處尚未進行修復，因受到洪水持續沖刷而擴大破損約 600 公尺。
大浦護岸	民國 52 年 9 月 11 日	葛樂禮颱風	洪水暴漲越堤造成決口流失 180 公尺，決口位置約為大浦護岸 0k+000~0k+180 處。
跨河構造物			
后豐橋	民國 93 年 7 月 1 日至 4 日	敏督利颱風(七二水災)	北側主流河道橋墩外圍 RC 護牆破損。
	民國 93 年 8 月 23 日	艾利颱風	主河道橋墩基礎刷深。
	民國 94 年 7 月 18 日至 20 日	海棠颱風	主河道橋墩外圍 RC 護牆受損。
	民國 97 年 9 月 11 日至 16 日	辛樂克颱風	右岸橋墩沖毀，橋樑嚴重損壞。
	民國 93 年 7 月 1 日至 4 日	敏督利颱風(七二水災)	主河道橋墩右岸刷深且逼近橋台。
新山線鐵路橋(雙軌)	民國 95 年 6 月 9 日	0609 豪雨	主河道橋墩護牆刷深裸露約 1.5 公尺。
舊山線鐵路橋	民國 90 年 7 月 30 日	桃芝颱風	因受到洪水集中通過及橋墩局部沖刷致使主河道流通過處之橋墩受損。
后豐鐵馬道	民國 95 年 6 月 9 日	0609 豪雨	全長約 382 公尺的大甲溪花樑鋼橋二根橋墩損壞橋墩填土及保護工流失。

註：

- 1.資料來源水規所「大甲溪流域聯合整體治理規劃檢討成果報告(94年)」，水利署「大甲溪下游段河道動態穩定平衡分析檢討(95)」，水土保持局「大甲溪上游集水區整體調查規劃成果報告(96)」，國家地震工程研究中心「九二一集集大地震全面勘災報告-橋樑震害調查(88)」，「九二一集集大地震全面勘災報告-水利設施震害調查(88)」，本計畫整理。
- 2.防洪構造物及跨河構造物排列順序由下游至上游地區排列。



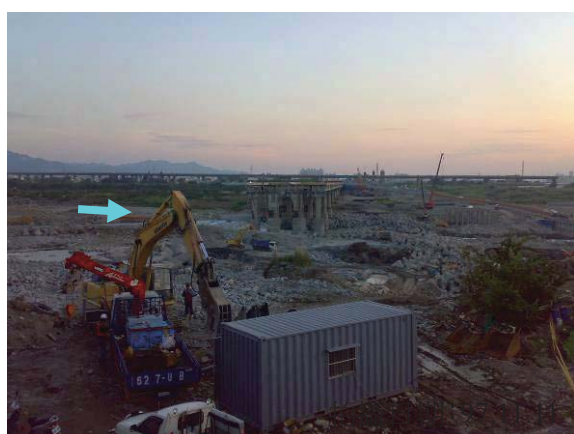
(a)后豐橋橋面斷裂情況



(b)后豐橋 P2 橋墩沖毀



(c)后豐橋上游面流況（當時石岡壩實測放流量為 1077.99 秒立方公尺）



(d)后豐大橋拆除情況



(e)后豐大橋修復及下游通車便道

照片 2-1 后豐橋損壞及修復情況

四、穩定方案規劃資料

針對水工模型試驗河段提出 105 年前階段性之河床穩定方案，如圖 2-10，其方案規劃內容及布置構想如下：

（一）護甲粒料補充及河槽左岸開挖規劃構想

1. 河川坡度縱斷參考面

針對縱斷面沖刷，採用護甲層料源補充方式（此河段護甲粒料為 $D_{85} = 236$ 毫米以上泥砂）營造適合之河川坡度。河川坡度縱斷參考面，以中山高大甲溪橋潛堰固床工上游大斷面（斷面 24）現況河床平均高程 174.24 為準，按平均坡降 1/100 為參考坡降向上游延伸至三義斷層範圍止，其低水河槽平均高程（縱斷參考面）如表 2-9 所示。河川坡度縱斷參考面高於現況低水河槽平均河床高之空間即為有待補充護甲層料源數量；此低水河槽平均高程亦為河槽左岸開挖之建議開挖後高程。

2. 河槽左岸開挖參考寬度

為降低河段單寬流量及沖刷力，減少因河床質淘刷而造成河床持續降低，並營造較偏中流路，第二年度計畫成果建議於后豐大橋至三義斷層間採河槽拓寬調整河槽。依據 97 年 3 月大斷面測量資料、河床質採樣分析資料及 1/100 縱斷坡度，當低水河槽流量介於 $Q_2 \sim Q_{10}$ 間，則此河段穩定流寬至少需 300 公尺~450 公尺。參考低水河槽規劃線，各斷面河槽左岸拓寬寬度初步規劃，詳見表 2-10。

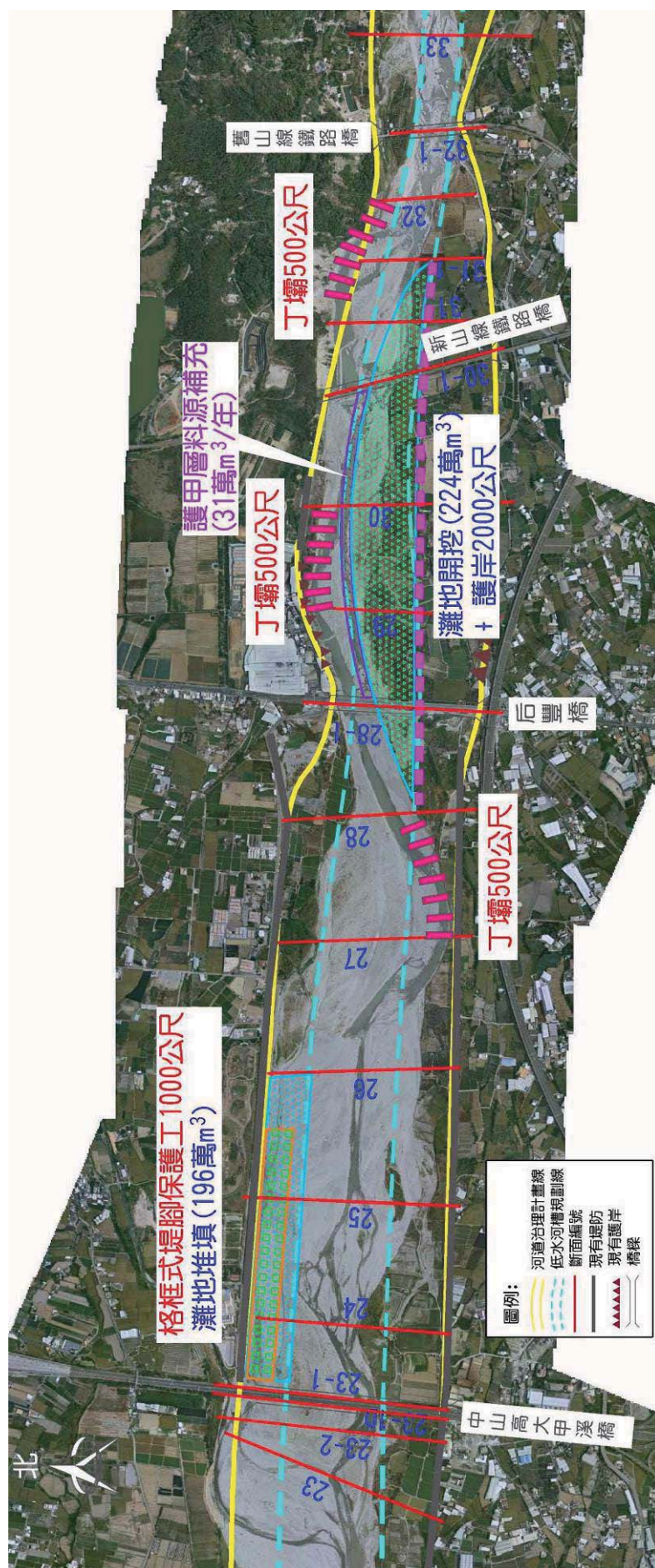


圖 2-10 中山高大甲溪橋至舊山線鐵路橋河段河床穩定方案平面布置示意圖

表 2-9 中山高大甲溪橋至三義斷層間河道低水河槽平均高程（河川坡降）縱斷參考面

斷面	河心距 (m)	低水河槽平均高程		備註
		現況(m)*	參考(m)	
23-2	15,555	—	—	國道 1 號固床工
23-1	15,655	—	—	國道 1 號大甲溪橋
24	15,907	174.24	174.24	
25	16,491	179.94	180.08	
26	17,067	186.52	185.84	
27	17,653	191.88	191.70	
28	18,153	192.61	196.70	
28-1	18,575	199.45	200.92	后豐大橋
29	18,776	202.26	202.93	
30	19,340	207.36	208.57	
30-1	19,781	213.61	212.98	新山線鐵路橋
31	20,016	216.91	215.33	
31-1	20,211	219.51	217.28	

*：現況為 97 年 3 月水規所大斷面測量資料成果。

註：上述沖刷參考面只考量河道一般沖刷，而橋梁附近除河道一般沖刷外，亦有橋梁之局部沖刷及束縮沖刷，故本表格橋梁處之縱斷參考面高程值不建議直接採用。

表 2-10 后豐大橋至三義斷層河段河槽左岸開挖寬度

斷面編號	河槽左岸開挖寬度(公尺)
28	40
28-1(后豐大橋)	115
29	155
30	185
30-1(新山線鐵路橋)	245
31	295
31-1	80

註：斷面開挖寬度與本計畫第二年度成果不同，原因包括：(1)第二年度之開挖寬度，乃以左岸高灘地範圍估計；本表之開挖寬度，則包含主河槽左岸開挖及左岸高灘地開挖；(2)第二年度以 97 年 3 月大斷面測量資料(本計畫第一年度時施測)進行規劃；本表中斷面 28、斷面 29、斷面 31 及斷面 31-1，以 98 年 12 月水規所大斷面測量資料進行規劃；斷面 28-1、斷面 30 及斷面 30-1，則採 97 年 12 月水規所大斷面測量資料進行規劃。

（二）丁壩布置規劃構想

圖 2-11 為試驗河段丁壩群整體布置平面圖。各河段丁壩群布置方式如下：

1.新山線鐵路橋上游右岸

此段每支丁壩初步設計之壩長為 40 公尺，壩寬為 10 公尺，壩高為高於 2 年重現期洪水位約 1 公尺，丁壩間距則為兩倍壩長，第一支丁壩主要呈導引水流離岸方向。而右岸邊坡坡腳需進行堤腳保護工，此保護工頂部高程需超過此河段之設計洪水量。

2.正隆護岸

此段每支丁壩初步設計之壩長為 25 公尺，壩寬為 10 公尺，壩高為高於壩高為高於高於 2 年重現期洪水位約 1 公尺，丁壩間距則為兩倍壩長，丁壩群皆採與河岸呈 90 度角設置。

3.豐洲堤防低水護岸

此段每支丁壩初步設計之壩長為 40 公尺，壩寬為 10 公尺，壩高為高於高於 2 年重現期洪水位約 1 公尺，丁壩間距則為 1 倍壩長，丁壩群皆採與河岸呈 45 度角設置，丁壩型式為 L 型。

4.舊社堤防

此段初步設計之壩長為包含 40、30 及 20 公尺，以長丁壩至短丁壩再至長丁壩之排列方式，營造弧形掛淤造灘效果，每支壩寬為 10 公尺，壩高為高於壩高為高於高於 2 年重現期洪水位約 1 公尺，丁壩間距則為兩倍壩長，丁壩群皆採與河岸呈 45 度角設置。

第參章 模型塑造

一、模型比例尺決定

考慮模型相似律，動床模型比例尺必須合乎泥砂開始移動條件，及完全亂流條件方為合格之模型。因此，模型必須滿足下列條件：

1. 顆粒剪速福祿數： $(NF_*)^2 = \frac{\rho U_*^2}{\gamma_s d_{50}} > 0.05 \dots\dots\dots ①$

2. 顆粒剪速雷諾數： $NR_* = \frac{U_* \bullet d}{\nu} > 70 \dots\dots\dots ②$

註明： $U_* = \sqrt{gRS}$ $\rho =$ 水之質量密度 $d =$ 砂粒徑

$\nu =$ 運動黏滯度 $\gamma_s =$ 推移質在水中之比重

3. 設模型與原體水流均為完全亂流，則其顆粒剪速雷諾數須滿足：

$$70 < \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_m < \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_p \dots\dots\dots ③$$

註明： $m = \text{model} = \text{模型}$ $p = \text{prototype} = \text{原體}$

$$\text{由③式} \Rightarrow \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_m / \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_p > 70 / \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_p$$

$$\text{即} \quad \frac{(U_*)_r \bullet d_r}{\nu_r} > 70 / \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_p \dots\dots\dots ④$$

$$\because \tau_{cp} / \gamma_w (s-1) d_p = \tau_{cm} / \gamma_w (s-1) d_m = 0.05 \Rightarrow \frac{\tau_{cm}}{\tau_{cp}} = \frac{d_m}{d_p} = L_r$$

$\therefore$ 根據 $d_r = L_r$ ， $(U_*)_r = V_r = L_r^{1/2}$ ， $\nu_r = 1$ ，故④式可化為下式：

$$\text{即} \quad L_r^{3/2} > 70 / \left(\frac{U_* \bullet d}{\nu} \right)_p \dots\dots\dots ⑤$$

根據民國 97 年大甲溪現場調查資料，河床質採用斷面 29 之綜合平均粒徑 $d_m = 86.5$ 毫米（取左底層 70.9 mm、右底層 99.2 mm 及護甲層 89.4 mm 之平均值），上下游平均河床坡度約為 1/90，並根據民國 98 年「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（2/4）」治理對策報告（初稿）之重現期距 2 年及 100 年洪峰流量及洪水位數值分析成果表（表 3-2、

表 3-3)；河道糙度值依據民國 82 年台灣省水利局『大甲溪治理規劃報告』，及民國 93 年經濟部水利署『大甲溪馬鞍壩至天輪壩河段中長期治理策略』，曼寧 n 值採用 0.04，少部份區域採用 0.035 或 0.045，數值模式河床糙度率定驗證結果如表 3-4。斷面 29 計算模型比尺過程如下：

$$\textcircled{1} \quad Q_2=2,200 \text{ cms} \quad , \quad B=172.7 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad q=\frac{Q}{B}=\frac{2200}{172.7}=12.74 \text{ m}^3/\text{s-m}$$

$$S=\frac{1}{90} \quad , \quad \text{採用 } d_m=d=86.5 \text{ mm} \quad , \quad \text{採用 } n=0.045$$

$$\text{採用 } R=y=2.85 \text{ m 值代入 } U_*=\sqrt{gRS}=\sqrt{9.81 \times 2.85 \times (1/90)}=0.56 \text{ m/s}$$

$$\text{將 } U_* \text{ 代入⑤式} \Rightarrow L_r^{3/2} > 70 / \left(\frac{0.56 \times (86.5/1000)}{1.01 \times 10^{-6}} \right) = 0.00146$$

$$\Rightarrow L_r > 0.00146^{2/3} = 0.0128$$

$$\textcircled{2} \quad Q_{100}=8,800 \text{ cms} \quad , \quad B=265 \text{ m} \quad \Rightarrow \quad q=\frac{Q}{B}=\frac{8800}{265}=33.21 \text{ m}^3/\text{s-m}$$

$$S=\frac{1}{90} \quad , \quad \text{採用 } d_m=d=86.5 \text{ mm} \quad , \quad \text{採用 } n=0.045$$

$$\text{採用 } R=y=4.31 \text{ m 值代入 } U_*=\sqrt{gRS}=\sqrt{9.81 \times 4.31 \times (1/90)}=0.69 \text{ m/s}$$

$$\text{將 } U_* \text{ 代入⑤式} \Rightarrow L_r^{3/2} > 70 / \left(\frac{0.69 \times (86.5/1000)}{1.01 \times 10^{-6}} \right) = 0.00118$$

$$\Rightarrow L_r > 0.00118^{2/3} = 0.0111$$

根據以上計算結果並考慮模型場地大小及模型流量，選擇模型比例尺為 $L_r=1/80=0.0125$ （約接近 Q_2 最大值 0.0128）。另外考慮動床模型相似律、模型流量及模型場地，採用 1/80 之等比模型，相關物理量比尺關係如表 3-1 所示。

表 3-1 原體與模型間各物理量之比例關係

模 型 比 例	長 度	流 速	時 間	流 量	糙 率	河床質 粒徑
關係式	L_r	$L_r^{1/2}$	$L_r^{1/2}$	$L_r^{5/2}$	$L_r^{1/6}$	L_r
比 例	$\frac{1}{80}$	$\frac{1}{8.944}$	$\frac{1}{8.944}$	$\frac{1}{57243}$	$\frac{1}{2.08}$	$\frac{1}{80}$

表 3-2 大甲溪石岡壩下游河道現況 2 年重現期水理

斷面	河心距 (m)	水位 (m)	水面寬 (m)	平均 流速 (m/s)	能量 坡降 (m/m)	平均 水深 (m)	最大 水深 (m)
國道 1 號潛堰	15,555	171.82	597.2	3.56	0.0145	1.22	1.79
23-1 (下)	15,655	173.20	682.5	2.69	0.0075	1.41	5.10
國道 1 號公路橋		173.65	703.8	2.46	0.0050	1.53	3.87
24	15,907	175.91	385.6	4.04	0.0133	1.67	4.41
25	16,491	182.16	267.2	4.48	0.0094	2.22	5.28
26	17,067	187.95	559.1	3.26	0.0107	1.43	3.87
27	17,653	193.85	316.1	4.18	0.0114	1.97	3.70
28	18,153	197.22	120.3	4.69	0.0047	4.61	6.94
28-1 (下)	18,575	199.73	179.8	7.22	0.0337	2.00	3.69
后豐大橋 (上)		202.93	201.5	3.71	0.0043	3.48	7.30
29	18,776	205.11	172.7	5.29	0.0117	2.85	4.54
30	19,340	211.36	157.5	4.12	0.0044	4.00	8.92
30-1 (下)	19,781	214.35	173.4	6.92	0.0290	2.17	5.14
新山線鐵路橋 (上)		216.89	219.6	3.61	0.0042	3.28	8.16
31	20,016	220.74	110.8	6.12	0.0103	3.83	5.59
31.1	20,211	223.59	313.9	2.03	0.0010	4.08	10.42
32	20,601	225.01	121.6	6.71	0.0158	3.19	4.87
32-1 (下)	20,943	228.55	121.5	6.61	0.0137	3.24	7.09
舊山線鐵路橋 (上)		231.01	247.5	3.86	0.0040	2.92	9.98
33	21,217	231.81	344.8	3.78	0.0079	2.00	4.36
34	21,824	236.81	134.0	5.49	0.0092	3.54	5.85
34-1 (下)	22,516	241.40	131.4	6.72	0.0175	2.94	6.21
埤豐橋 (上)		243.38	155.9	3.68	0.0031	4.53	9.01
35.1	22,610	241.18	71.4	11.62	0.0523	3.13	5.22
石岡壩副壩 (下)	23,156	255.83	179.2	8.05	0.0623	1.53	3.86
36 石岡壩	23,356	274.15	256.6	1.62	0.0004	5.38	7.94

資料來源：中興顧問公司提供（民國 98 年）

表 3-3 大甲溪石岡壩下游河道現況水理因素及各重現期洪水水位計算表

斷面	河心距 (m)	洪水位 (100 年) 水理因素				各重現期水位 (m)						
		水位 (m)	通水面積 (m2)	水面寬 (m)	平均流速 (m/s)	能量坡降 (m/m)	200 年	50 年	20 年	10 年	5 年	2 年
國道 1 號潛堰	15,555	173.69	2,097.94	882.1	5.08	0.01008	173.89	173.44	173.13	172.80	172.48	171.82
23-1 (下)	15,655	*174.37	1,845.66	819.7	5.68	0.01554	174.58	174.13	174.33	174.10	173.76	173.20
國道 1 號公路橋		175.90	2,978.63	922.8	3.67	0.00357	176.15	175.59	175.23	174.81	174.36	173.65
24	15,907	*177.88	1,482.48	665.7	6.97	0.01767	178.08	177.50	177.01	176.67	176.42	175.91
25	16,491	185.13	1,993.09	672.1	6.28	0.00712	185.41	184.84	184.45	183.93	183.22	182.16
26	17,067	*189.80	1,843.66	587.4	5.59	0.01089	190.09	189.43	189.06	188.83	188.59	187.95
27	17,653	*195.88	1,508.02	560.8	6.83	0.02017	195.94	196.05	195.75	195.42	194.69	193.85
28	18,153	201.75	1,461.92	332.2	7.17	0.00792	202.42	200.86	200.33	199.86	198.90	197.22
28-1 (下)	18,575	*204.16	1,260.16	216.7	8.17	0.01048	204.66	203.58	202.89	202.21	201.49	199.73
后豐大橋 (上)		208.29	2,030.76	330.5	5.34	0.00287	208.86	207.48	206.41	205.47	204.50	202.93
29	18,776	209.31	1,362.47	265.0	7.70	0.00851	209.78	208.73	208.02	207.33	206.47	205.11
30	19,340	216.28	1,692.29	293.6	6.09	0.00550	216.76	215.69	215.01	214.15	212.97	211.36
30-1 (下)	19,781	*217.76	1,088.00	305.8	9.47	0.02777	218.02	217.42	218.05	217.36	215.49	214.35
新山線鐵路橋 (上)		222.02	1,917.43	325.1	5.41	0.00313	222.62	221.28	220.39	219.55	218.64	216.89
31	20,016	225.10	1,543.43	340.1	6.69	0.00956	225.45	224.67	224.14	223.62	223.07	220.74
31.1	20,211	227.89	2,667.63	327.6	3.86	0.00150	228.37	227.30	226.58	225.88	225.09	223.59
32	20,601	*229.30	1,338.50	313.5	8.50	0.01163	229.82	228.62	228.00	227.23	226.54	225.01
32-1 (下)	20,943	233.46	1,690.16	357.1	6.09	0.00842	233.46	233.06	232.44	231.60	230.46	228.55
舊山線鐵路橋 (上)		235.66	2,386.97	365.3	4.99	0.00248	236.17	234.96	235.19	234.33	232.89	231.01
33	21,217	236.11	2,294.33	524.5	4.53	0.00377	236.88	235.44	235.47	234.61	233.61	231.81
34	21,824	*241.26	1,836.42	540.0	6.29	0.00666	241.39	240.80	240.05	239.43	238.62	236.81
34-1 (下)	22,516	245.41	1,060.02	186.4	9.84	0.01442	245.90	244.82	244.04	243.37	242.63	241.40
埤豐橋 (上)		249.81	2,370.86	341.3	5.02	0.00187	251.63	249.16	248.25	246.87	245.46	243.38
35.1	22,610	*246.10	777.70	136.2	13.38	0.02962	246.76	245.29	244.33	243.49	242.59	241.18
石岡壩副壩 (下)	23,156	*263.29	840.81	258.0	10.47	0.03726	263.57	262.94	262.51	262.12	261.71	261.09
36 石岡壩	23,356	279.22	2,682.38	256.7	3.35	0.00078	279.83	278.46	277.51	276.63	275.66	274.16

註：上表中有*者為 Q100 之超臨界水位。

資料來源：中興顧問公司提供 (民國 98 年)

表 3-4 本計畫範圍內採用曼寧 n 值

樁號	左岸 n 值	主深槽 n 值	右岸 n 值	備註
23.01	0.045	0.045	0.045	中山高大甲溪橋
23.1	0.04	0.04	0.04	
24	0.035	0.035	0.035	
25	0.045	0.045	0.045	
26	0.035	0.035	0.035	
27	0.04	0.04	0.04	
28	0.03	0.03	0.03	
28.01	0.03	0.03	0.03	后豐橋-台 13
28.1	0.03	0.03	0.03	
29	0.045	0.045	0.045	
30	0.035	0.035	0.035	
30.01	0.045	0.045	0.045	新山線鐵路橋
30.1	0.045	0.045	0.045	
31	0.035	0.035	0.035	
31.1	0.03	0.03	0.03	
32	0.04	0.04	0.04	
32.01	0.04	0.04	0.04	舊山線鐵路橋
32.1	0.04	0.04	0.04	
33	0.045	0.045	0.045	
34	0.03	0.03	0.03	

資料來源：中興顧問公司提供（民國 98 年）

二、模型用砂

(一) 臨界推移力法理論

模型用砂係根據臨界推移力 (Critical Tractive Force) 方法求得，其計算公式如下：

$$\tau_c = 0.05 \gamma_w (s-1) d, \text{ 因 } \tau_c = \rho U_*^2, \text{ 故 } \rho U_*^2 = 0.05 \gamma_w (s-1) d$$

$$\Rightarrow \left(\frac{U_{*m}}{U_{*p}} \right)^2 = \frac{d_m}{d_p} \dots\dots\dots ①$$

$$\tau_{cp} / \gamma_w (s-1) d_p = \tau_{cm} / \gamma_w (s-1) d_m = 0.05$$

$$\Rightarrow \frac{\tau_{cm}}{\tau_{cp}} = \frac{d_m}{d_p} = L_r \dots\dots\dots ②$$

由 Shields Diagram : $f(R) = [\tau_c / \gamma_w (s-1) d]$

其中 Reynold Number : $R = U_* \cdot d / \nu$

若 $R_m \geq 70, R_p \geq 70$ ，則 $f(R_m) = f(R_p) = 0.05$

$$\Rightarrow f(R_m) / f(R_p) = (\tau_c / d)_m / (\tau_c / d)_p = 1$$

若 $R_m \leq 70, R_p \geq 70$ ，則 $f(R_m) \neq f(R_p)$

$$\Rightarrow f(R_m) / f(R_p) = (\tau_c / d)_m / (\tau_c / d)_p = K \neq 1$$

$$\text{由②式} \Rightarrow \frac{\tau_{cm}}{\tau_{cp}} = \frac{d_m}{d_p} \cdot K = L_r$$

修正之 Shields Diagram 橫座標 $X = R / [f(R)]^{1/2}$ ，

縱座標仍為 $f(R)$

$$\Rightarrow X = R / [f(R)]^{1/2}$$

$$= (U \cdot d / \nu) / [\tau_c / \gamma_w (s-1) d]^{1/2}$$

$$\doteq (U \cdot d / \nu) / [\rho U^2 / \gamma_w (s-1) d]^{1/2}$$

$$= [(U \cdot d / \nu)^2 \times (\gamma_w (s-1) d / \rho U^2)]^{1/2} (\because \gamma_w = \rho g)$$

$$= [g (s-1) d^3 / \nu^2]^{1/2} \dots\dots\dots ③$$

若 $X_m \geq 500, X_p \geq 500$ ，則 $f(X_m) = f(X_p) = 0.05 \Rightarrow \frac{d_m}{d_p} = L_r$

若 $X_m \leq 500, X_p \geq 500$ ，則 $f(R_m) \neq f(R_p) \Rightarrow \frac{d_m}{d_p} = \frac{1}{K} \cdot L_r$

(二) 臨界推移力法計算

根據民國 97 年現場調查之河床質粒徑分佈，採樣地點介於斷面 33 及斷面 23-2 之間，共有 7 組河床質採樣資料，包括：斷面 33 一組（具覆蓋層河道）、斷面 32、斷面 29 及斷面 25 各二組（包括高灘地及主深槽），每組資料皆包含護甲層和底層資料，其中各採樣點資料之篩分析成果詳如圖 3-1 及圖 3-2，分別為 7 組河床質採樣點之護甲層及底層粒徑分佈曲線。

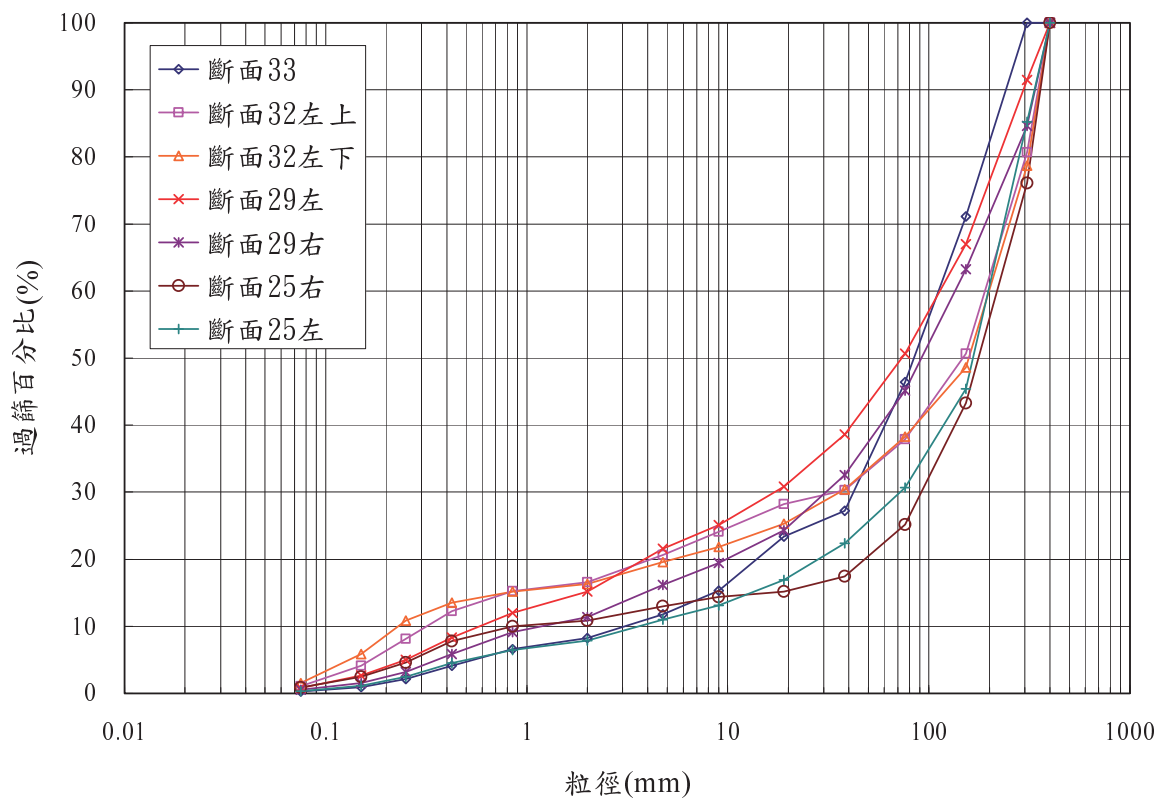


圖 3-1 民國 97 年河床質粒徑分佈曲線（護甲層）

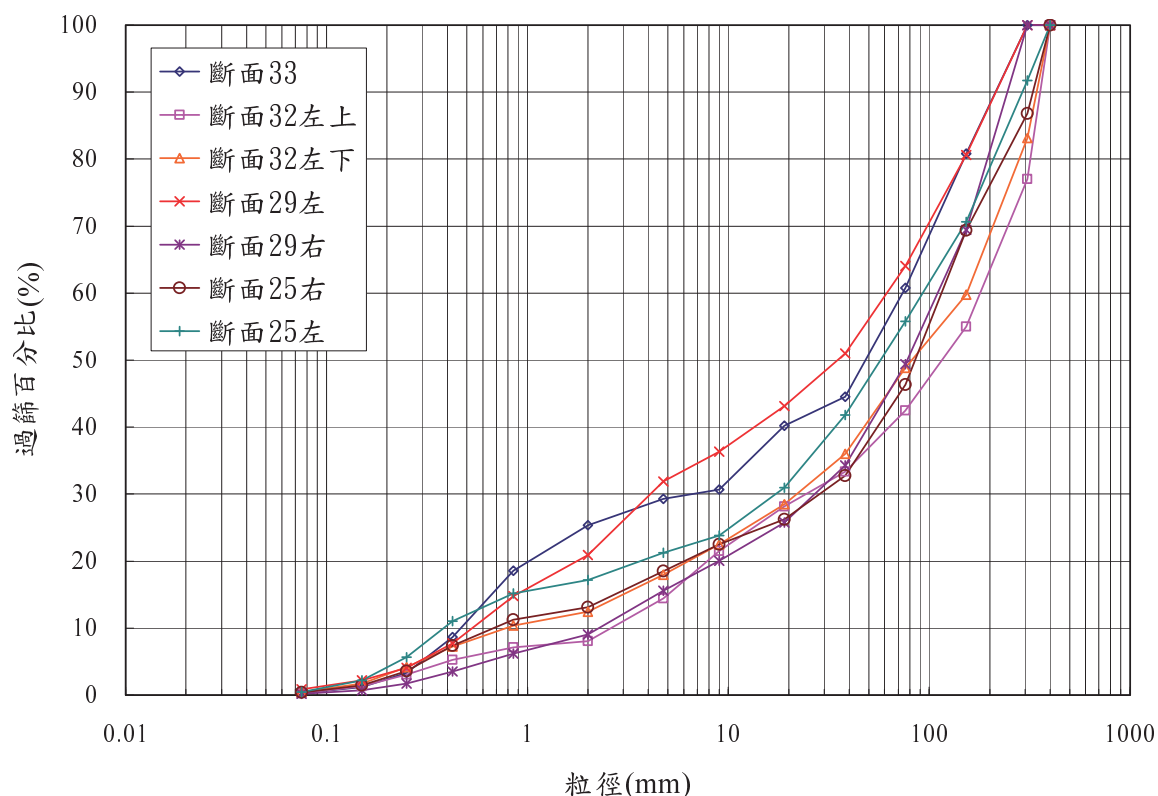


圖 3-2 民國 97 年河床質粒徑分佈曲線（底層）

因考量上游推移質輸砂能力可以帶至下游，選取模型下游断面 25 左底層河床代表粒徑做為原體砂依據，模型縮比為 $\frac{1}{80}$ 以臨界推移力法所推算之模型砂如表 3-5。表中實際模型用砂係因模型所需砂量甚多，故選取較為接近推算值之模型砂堆進行鋪砂。

表 3-5 原體砂、臨界推移力法及模型用砂比較表（單位：mm）

粒徑 砂樣	D ₁₀	D ₂₀	D ₃₀	D ₄₀	D ₅₀	D ₆₅	D ₇₅	D ₉₀	D _m
1. 原體砂	0.4	4.0	18.0	34.0	49.0	115.0	160.0	295.0	79.9
2. 臨界推移力法	0.01	0.10	0.23	0.43	0.61	1.44	2.00	3.69	1.00
3. 實際模型用砂	0.14	0.19	0.25	0.36	0.59	1.44	1.99	3.42	1.30

(三) 試驗模型用砂

根據上述臨界推移力法求得模型用砂之粒徑，按其各別所佔原體停留百分比，繪成模型用砂粒徑曲線，將粒徑篩分析後分別為#4、#16、#30、#50、#100，再依模型用砂之停留百分比混合均勻，做為試驗用河床質及加砂用，實際採用之模型用砂如表 3-5 及圖 3-3 所示。

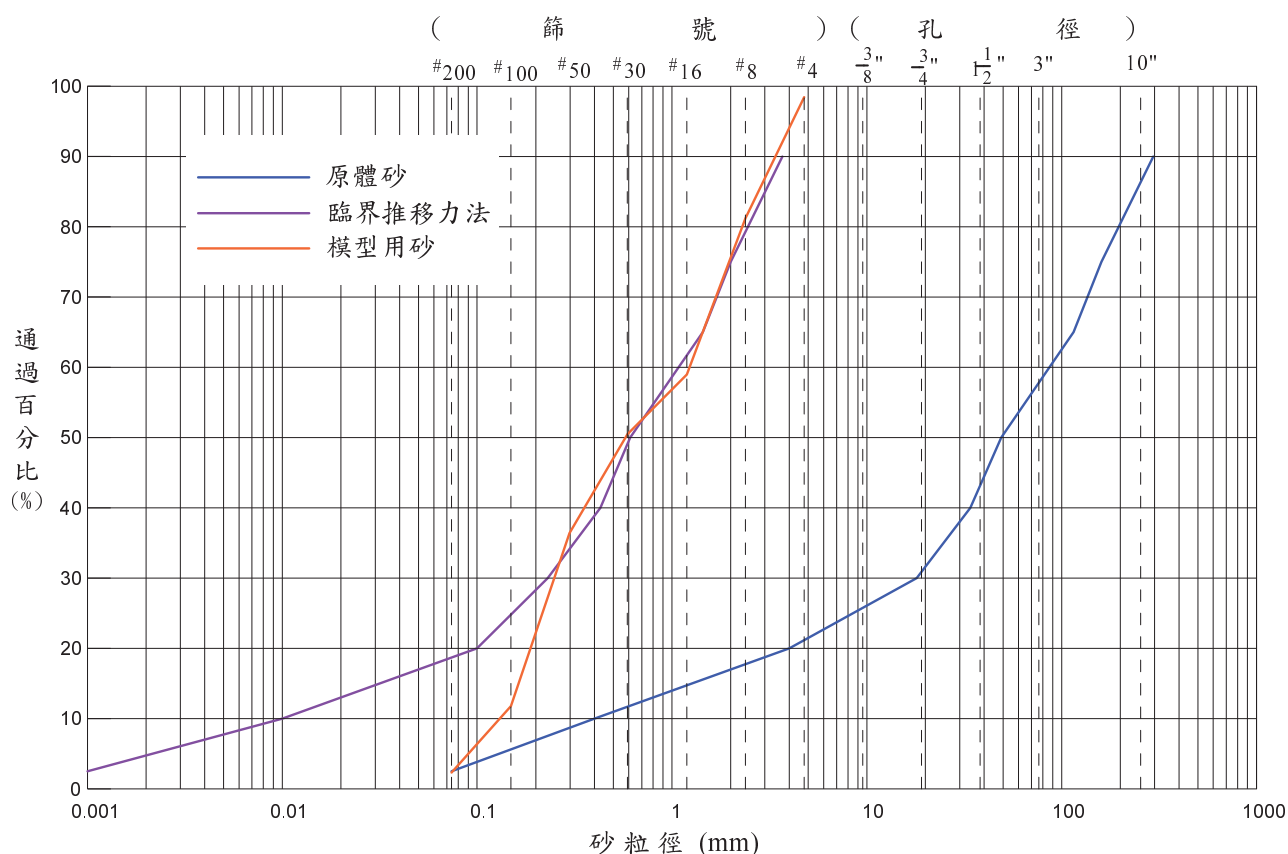


圖 3-3 原體砂、臨界推移力法及模型用砂級配曲線圖

三、模型範圍

模型場地長約 72 公尺、寬約 10 公尺，以比例尺 $\frac{1}{80}$ 塑造，現場塑造範圍為斷面 23-1 上游端～斷面 33 上游端，現場總長約 5.6 公里，如圖 3-4 所示。

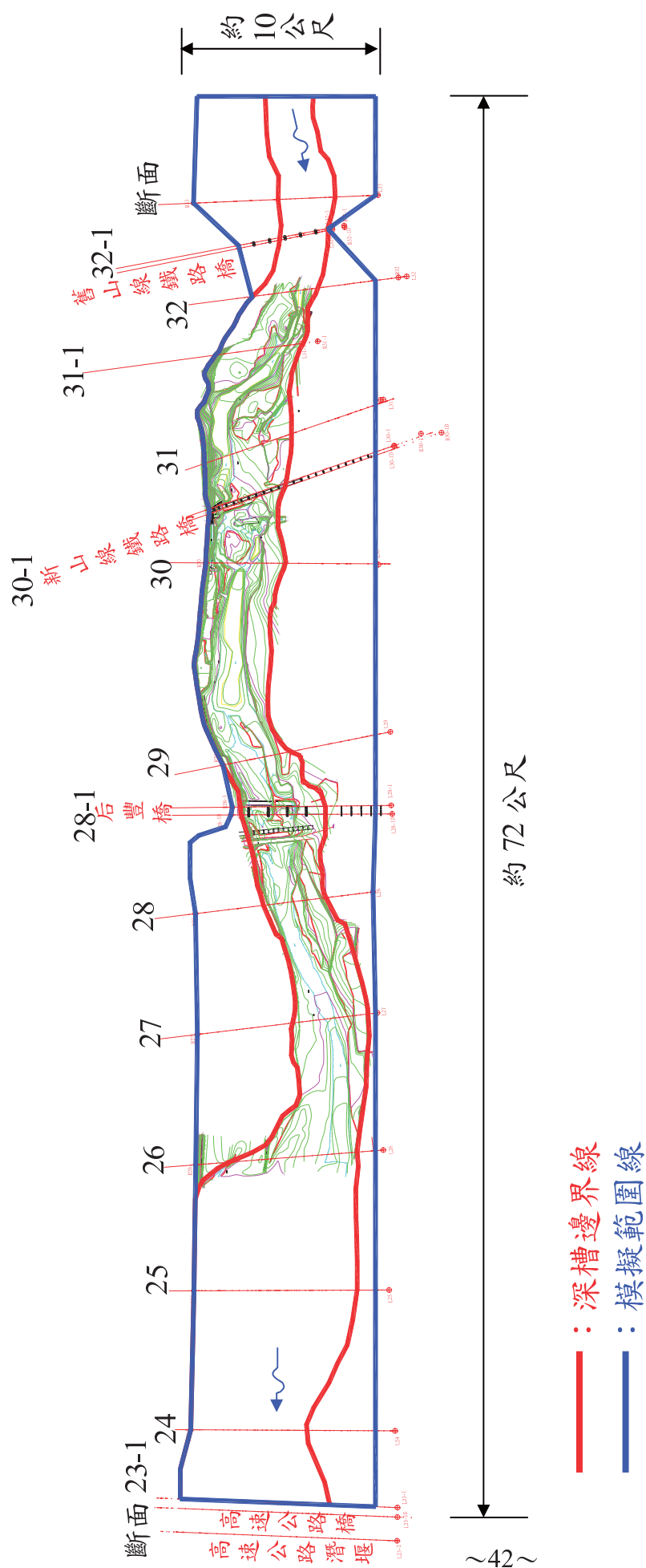


圖 3-4 水工模型平面布置圖 (模型比例尺 $\frac{1}{80}$)

四、模型塑造過程

為進行模型塑造，本所人員於民國 97 年 12 月補測試驗範圍內之部份河道深槽地形及河道大斷面（原河道大斷面資料係由中興顧問公司於民國 97 年 3 月施測提供），在相同大斷面兩者比較高程變化得知，斷面 26～斷面 27 左岸沖刷右岸淤積、斷面 28～斷面 28-1 右岸沖刷左岸淤積、斷面 29～斷面 30-1D 兩岸沖刷中央淤積、斷面 30-1 大致上皆淤積、斷面 31 右岸沖刷左岸淤積、斷面 31-1 左岸沖刷右岸淤積、斷面 32 兩岸沖刷中央淤積。

另外執行本計畫模型塑造期間赴現場勘查地形及檢測部份高程變化作為塑造橋墩參考，詳如現場照片 3-1～照片 3-6；由照片 3-1 及照片 3-2 得知現場舊山線鐵路橋附近上下游地形因岩盤出露地形變化不大，只在橋墩周圍有局部沖刷現象；由照片 3-3 及照片 3-4 得知現場新山線鐵路橋附近上下游地形因民國 97 年 9 月之辛樂克颱風影響造成地形變化較大，在橋樑下游右岸處之內埔圳堤防有造成淘刷沖毀，橋墩周圍及下游固床工處皆有局部沖刷河床下降現象，目前橋樑管理單位已在現場預置 30 噸之消能塊鋪設於深槽處之橋墩周圍以減緩局部沖刷；由照片 3-5 及照片 3-6 得知現場后豐橋因民國 97 年 9 月之辛樂克颱風影響造成右岸上游端 P2 橋樑斷裂，目前橋樑管理單位已完成下游處鋼鐵便橋可供人車通行（最下游處臨時柏油路便道已拆除上部結構），另外后豐橋也同時進行深槽處重建橋樑工程，目前已完成上游面橋樑部份，並開放南北雙向通行。



上游地形（2008.09.24）



橋墩周圍地形（2008.09.24）



橋下游箭蘆墩圳取水口（2008.09.24）



橋下游地形（2008.09.24）



橋下游地形（2009.03.04）



橋墩周圍地形（2009.03.04）

照片 3-1 民國 97 及 98 年現場舊山線鐵路橋附近地形勘查照片之一



橋墩上游地形（2009.03.25）



橋墩上游地形（2009.03.25）



橋下游籐蘆墩圳取水口（2009.04.02）



橋墩上游地形（2009.04.02）

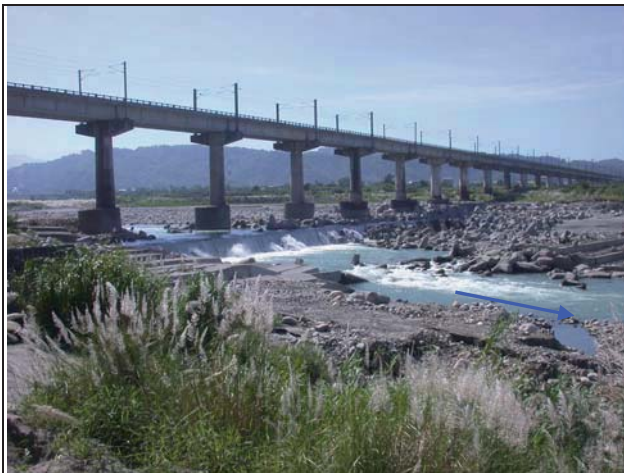


橋下游地形（2009.06.08）



橋墩周圍地形（2009.06.08）

照片 3-2 民國 97 及 98 年現場舊山線鐵路橋附近地形勘查照片之二



橋墩下游地形（2008.08.22）



橋墩下游地形（2008.08.22）



橋下游地形（2008.09.24）



橋下游地形（2008.09.24）



橋下游地形（2009.01.14）



橋下游地形（2009.01.14）

照片 3-3 民國 97 及 98 年現場新山線鐵路橋附近地形勘查照片之一



橋墩上游地形（2009.03.04）



橋墩上游地形（2009.03.04）



橋墩下游地形（2009.03.25）



橋墩上游地形（2009.03.25）



橋墩下游地形（2009.04.17）



橋墩上游地形（2009.04.17）

照片 3-4 民國 97 及 98 年現場新山線鐵路橋附近地形勘查照片之二



橋墩上游地形 (2008.08.22)



橋墩上游地形 (2008.08.22)



橋下游地形 (2008.09.24)



橋上游地形 (2008.09.24)



拆橋處地形 (2009.01.14)



拆橋處橋下游地形 (2009.01.14)

照片 3-5 民國 97 及 98 年現場后豐橋附近地形勘查照片之一



拆橋處地形（2009.03.04）



便橋下游地形（2009.03.04）



后豐舊橋（2009.03.25）



便橋下游地形（2009.03.25）



重建橋墩（2009.05.05）



重建橋墩上游地形（2009.06.08）

照片 3-6 民國 97 及 98 年現場后豐橋附近地形勘查照片之二

模型塑造方式分成定床塑造、動床塑造及橋樑塑造等三種方式進行，模型塑造過程記錄照片詳如照片 3-7～照片 3-9，分述如下：

（一）定床塑造

模型下游斷面 23-1（中山高速公路橋上游端）及上游斷面 32（三義斷層上游段）～斷面 33（舊山線鐵路橋上游段）為定床塑造，主要考慮模型下游尾水段有中山高速公路橋潛堰影響、模型上游段入口段有三義斷層影響現場已是岩盤出露故以定床塑造。

（二）動床塑造

斷面 23-1～斷面 31，每個斷面深槽及高灘地為動床塑造，動床塑造以陽板控制砂面高程，模型鋪砂深度約 13～25 公分不等（相當現場約 10～20 公尺深動床礫石層）。

（三）橋樑塑造

由上游向下游計有斷面 32-1 之舊山線鐵路橋、斷面 30-1 之新山線鐵路橋及斷面 28-1 之后豐橋，其中后豐橋是以未來重建後深槽橋墩五座及現有高灘地舊橋墩塑造，橋墩皆以木板塑造。另外橋橋墩周圍預留可沖刷深度在新山線鐵路橋約為 20～30 公分不等（相當現場約 16～24 公尺深動床礫石層）、在后豐橋右岸深槽約為 38～50 公分不等（相當現場約 30～40 公尺深動床礫石層）、在后豐橋左岸高灘地約為 30～38 公分不等（相當現場約 24～30 公尺深動床礫石層）、在舊山線鐵路橋墩周圍為定床塑造。



1.模型場地整理整理中（面向上游）



2.模型場地整理完成（面向上游）



3.畫地形線-舊山線鐵路橋（面向下游）



4.畫地形線-后豐橋（面向下游）



5.模型地形塑造過程（面向上游）



6.模型地形塑造過程（面向下游）

照片 3-7 模型地形塑造過程之一



7.模型地形塑造過程（面向上游）



8.模型地形塑造過程（面向上游）



9.完成模型地形塑造（面向上游）



10.完成模型地形塑造過程（面向上游）



11.完成后豐橋橋墩及地形塑造（面向左岸）



12.完成后豐橋橋墩及地形塑造（面向下游）

照片 3-8 模型地形塑造過程之二



13.完成新山線鐵路橋墩及地形塑造



14.完成新山線鐵路橋墩及地形塑造



15.完成舊山線鐵路橋墩及地形塑造



16.完成舊山線鐵路橋墩及地形塑造



17.完成舊山線鐵路橋墩及地形塑造



18.完成地形塑造及鋪砂工作

照片 3-9 模型地形塑造過程之三

五、模型率定流量

根據圖 2-3 重現期距洪峰流量，模型率定流量如圖 3-5，其中試驗檢測點之洪峰流量分別為現場重現期距 5 年 $Q_5=3,800$ 秒立方公尺、50 年 $Q_{50}=7,600$ 秒立方公尺及 100 年 $Q_{100}=8,800$ 秒立方公尺。

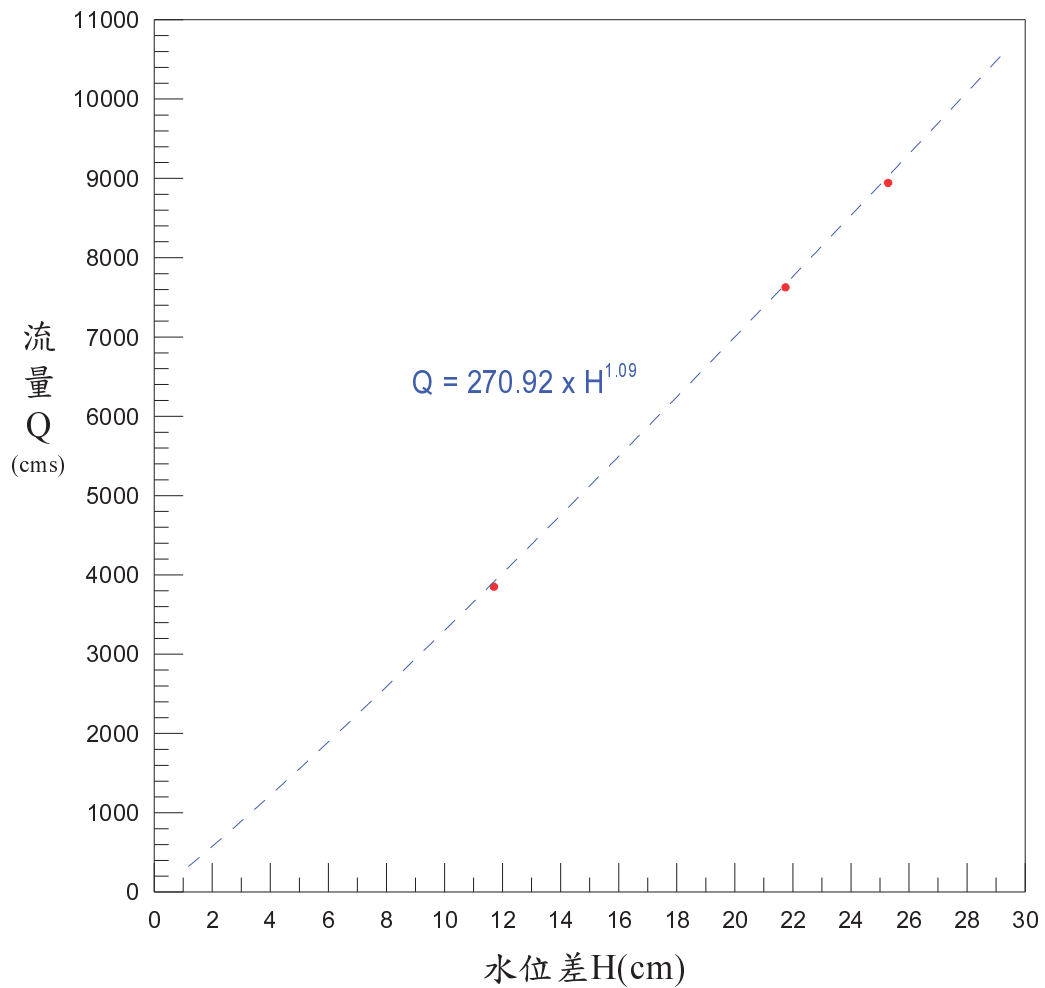


圖 3-5 大甲溪水工模型試驗流量率定曲線

第肆章 驗證試驗

依據前第參章完成模型塑造之基礎布置下，本章進行五項模型初步試驗（各重現期距流量定量流清水試驗、97 年辛樂克颱風流量定量流清水試驗、97 年辛樂克颱風流量定量流加砂試驗、97 年辛樂克颱風流量歷線變量流加砂試驗、98 年莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗）及二項驗證試驗（變量流加砂驗證試驗、變量流清水驗證試驗），並將初步試驗成果及驗證試驗成果進行綜合分析檢討：

一、模型初步試驗成果

（一）各重現期距流量定量流清水試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為了解以民國 97 年 12 月地形鋪設後至今（民國 98 年 8 月底），若各重現期距洪峰流量發生時，通過各斷面及橋樑在模型所呈現之流況及水位是否會有漫淹至高灘地情況，且同時為了解歷年沖刷較嚴重區段是否能由模型反應，故先進行各重現期距模型清水定量流模擬，試驗時只拍攝照片未進行水理量測。

2. 模型試驗條件

（1）試驗前鋪設 97 年 12 月地形。

（2）上游不加砂之定量流清水試驗：歷線與時間所函蓋之總水體積量，如圖 4-1 所示，轉換成模型固定峰值流量及時間下之定量流（現場時間平均約 18.8 小時、模型時間平均約 2.1 小時）。

（3）連續施放相當於現場重現期距 2 年（ $Q_2=2,200$ 秒立方公尺）、5 年（ $Q_5=3,800$ 秒立方公尺）、10 年（ $Q_{10}=5,000$ 秒立方公尺）及 100 年（ $Q_{100}=8,800$ 秒立方公尺）之清水流量。

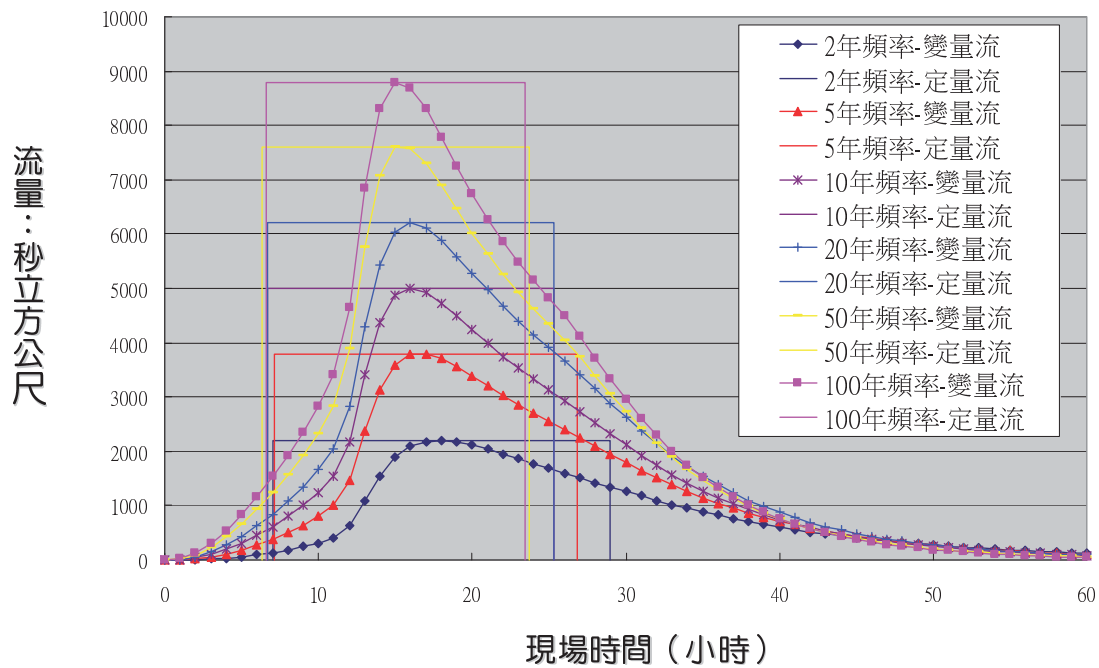


圖 4-1 模型固定峰值流量及時間下之定量流時間

3.模型試驗過程

模型地形是用陽板輔助以人工方式鋪設而成，試驗前先施放小流量濕潤河床後，隨即上游施放定量流清水試驗，連續施放相當於現場重現期距 2 年 ($Q_2=2,200$ 秒立方公尺)、5 年 ($Q_5=3,800$ 秒立方公尺)、10 年 ($Q_{10}=5,000$ 秒立方公尺) 及 100 年 ($Q_{100}=8,800$ 秒立方公尺) 之清水流量，試驗結束時關閉上游流量，試驗過程詳見照片 4-1～照片 4-3。

4.模型試驗結果

小流量模擬流路結果與航照圖（圖 4-2）及現場流路（如照片 4-4～4-6）類似，2 年重現期距模擬流路結果（圖 4-3，流量 2,200 秒立方公尺）與 98 年 8 月 10 日莫拉克颱風（圖 4-4）現場流路（如照片 4-7～4-9，現場流量約 1,200 秒立方公尺）類似，與歷年沖刷較嚴重區段比較有相似位置，例如新山線鐵路橋下游右岸之內埔圳取水口附近及固床工下游、后豐橋上游右岸之正隆護岸及水管橋下游沖刷等。



1.模型用陽板輔助鋪設地形



2.模型地形以人工方式鋪設完成



3.模型試驗 $Q_2=2,200\text{cms}$ 流況



4.模型試驗 $Q_2=2,200\text{cms}$ 流況



5. $Q_5=3,800\text{cms}$ 通過新山線鐵路橋流況



6. $Q_5=3,800\text{cms}$ 通過后豐橋流況

照片 4-1 定量流清水試驗各重現期距流量試驗過程之一



7. $Q_{10}=5,000\text{cms}$ 通過舊山線鐵路橋流況



8. $Q_{10}=5,000\text{cms}$ 通過新山線鐵路橋流況



9. 模型試驗 $Q_{100}=8,800\text{cms}$ 流況



10. 模型試驗 $Q_{100}=8,800\text{cms}$ 流況



11. $Q_{100}=8,800\text{cms}$ 通過新山線鐵路橋流況



12. $Q_{100}=8,800\text{cms}$ 通過后豐橋流況

照片 4-2 定量流清水試驗各重現期距流量試驗過程之二



13. 模型試驗後情況



14. 試驗後舊山線鐵路橋下游情況



15. 試驗後新山線鐵路橋上游情況



16. 試驗後新山線鐵路橋下游情況



17. 試驗後后豐橋上下游情況



18. 試驗後后豐橋上下游情況

照片 4-3 定量流清水試驗各重現期距流量試驗過程之三



圖 4-2 民國 97 年大甲溪中山高速公路橋至舊山線鐵路橋間河道航照圖



1.現場舊山線鐵路橋上游流路



2.現場舊山線鐵路橋上游流路



3.現場舊山線鐵路橋下游流路



4.現場舊山線鐵路橋下游流路



5.現場新山線鐵路橋上游流路



6.現場新山線鐵路橋上游流路

照片 4-4 民國 98 年 7 月 9 日現場勘查照片之一



7.現場新山線鐵路橋下游流路



8.現場新山線鐵路橋下游流路



9.現場新山線鐵路橋下游流路



10.現場后豐橋上游流路



11.現場后豐橋上游流路（面向上游）



12.現場后豐橋上游流路（面向上游）

照片 4-5 民國 98 年 7 月 9 日現場勘查照片之二



13.現場鋼便橋上游流路（面向下游）



14.現場鋼便橋上游流路（面向右岸）



15.現場臨時便道上游流路（面向右岸）



16.現場臨時便道上游流路（面向下游）



17.現場臨時便道下游流路（面向下游）



18.現場中山高速公路橋上游流路（面向上游）

照片 4-6 民國 98 年 7 月 9 日現場勘查照片之三

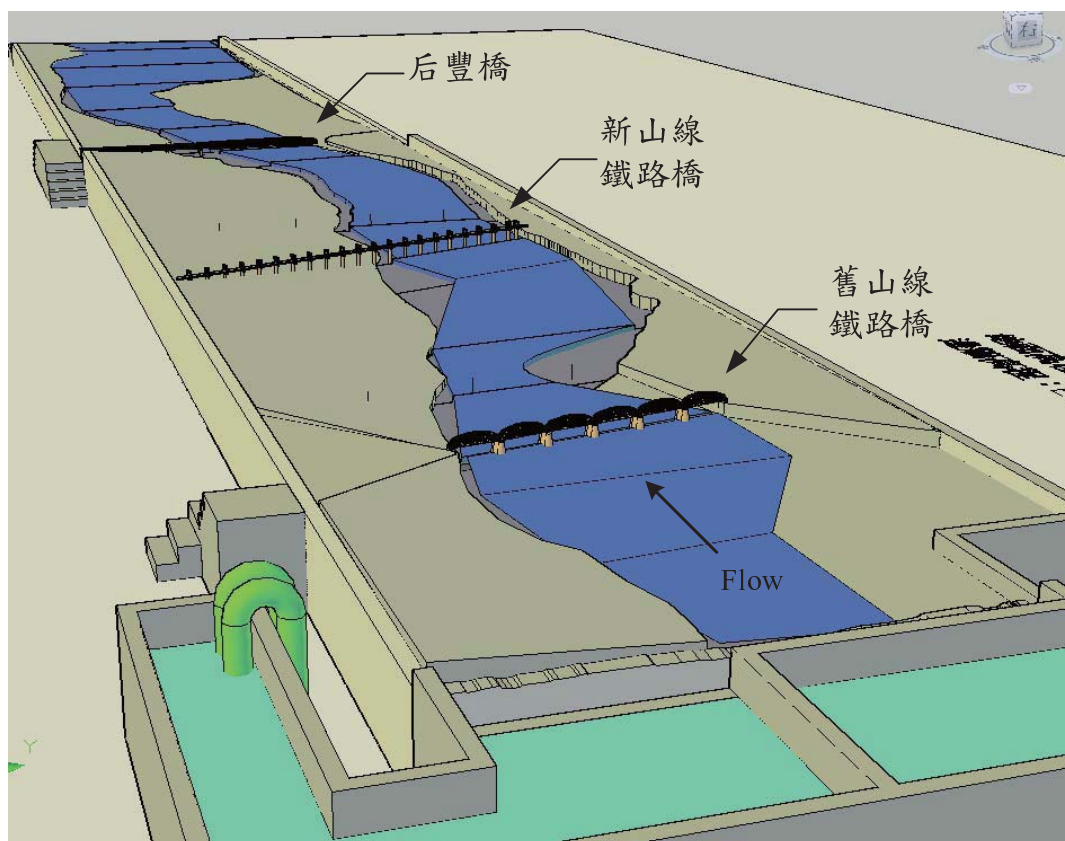


圖 4-3(a) 模型模擬 2 年重現期距流量 2,200 秒立方公尺流路示意圖(向下游)

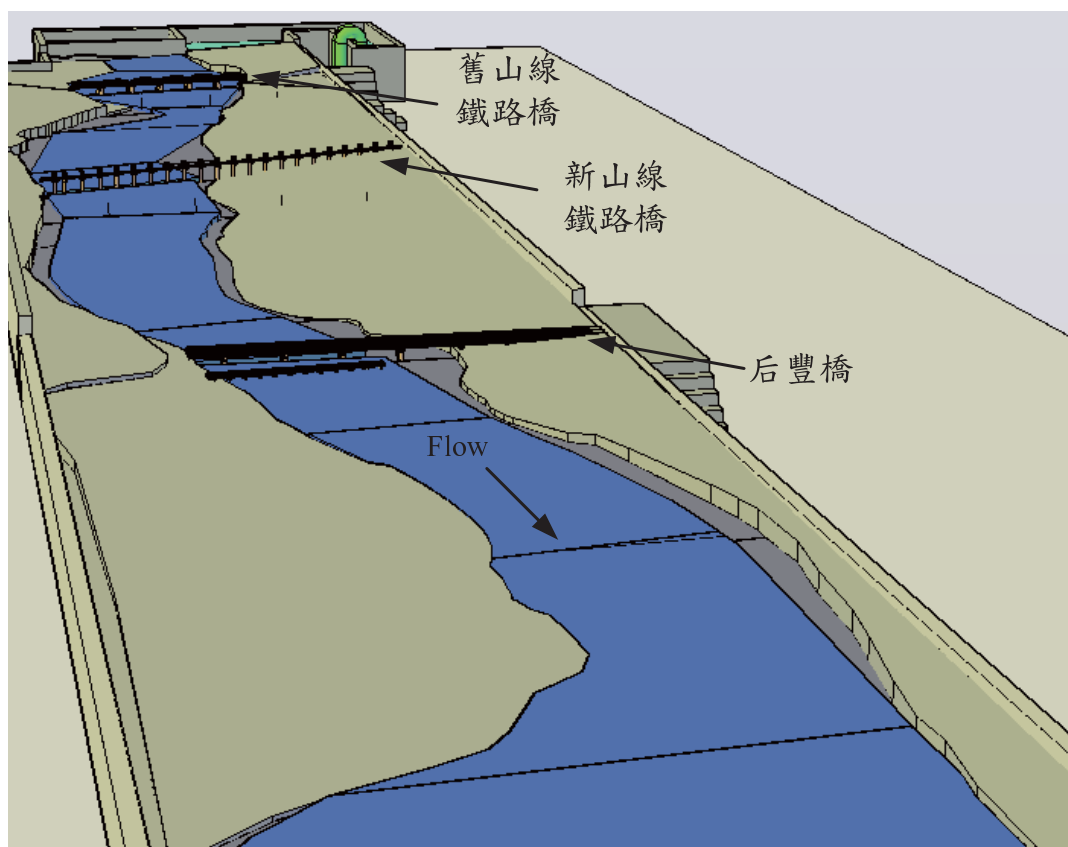


圖 4-3(b) 模型模擬 2 年重現期距流量 2,200 秒立方公尺流路示意圖(向上游)



1.現場舊山線鐵路橋上游流路



2.現場舊山線鐵路橋下游流路



3.現場舊山線鐵路橋下游流路



4.現場舊山線鐵路橋下游流路



5.現場新山線鐵路橋下游流路

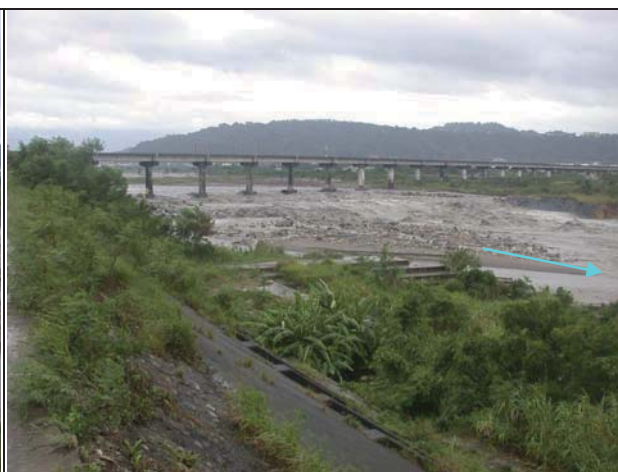


6.現場新山線鐵路橋下游流路

照片 4-7 民國 98 年 8 月 10 日現場勘查照片之一



7.現場新山線鐵路橋下游流路



8.現場新山線鐵路橋下游流路



9.現場新山線鐵路橋下游流路



10.現場后豐橋上游正隆護岸



11.現場后豐橋上游流路



12.現場后豐橋上游流路

照片 4-8 民國 98 年 8 月 10 日現場勘查照片之二



13.現場鋼便橋下游流路



14.現場鋼便橋下游流路



15. 現場鋼便橋上游流路



16.現場鋼便橋上游流路



17.現場中山高速公路橋上游流路



18.現場中山高速公路橋上游流路

照片 4-9 民國 98 年 8 月 10 日現場勘查照片之三

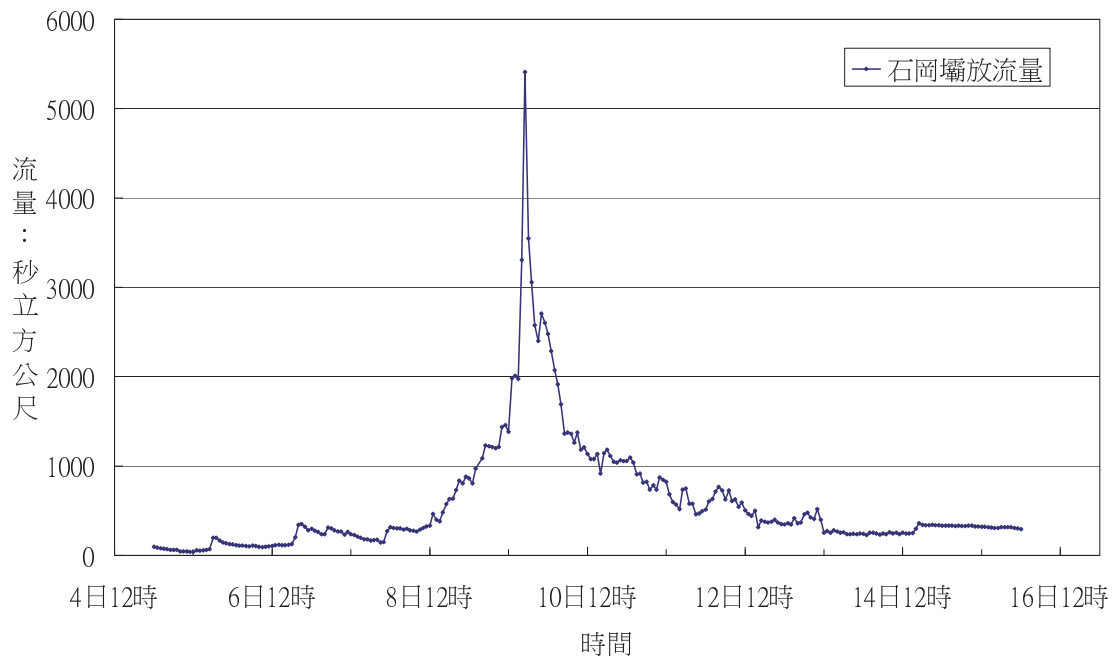


圖 4-4 民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩放流量

(二) 97 年辛樂克颱風流量定量流清水試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為了解以民國 97 年 3 月地形鋪設後，若發生辛樂克颱風洪峰流量(4,225 秒立方公尺)時，檢驗通過后豐橋(斷面 28-1)在模型所呈現水位是否會與歷史紀錄相吻合，且同時為了解歷年沖刷較嚴重區段是否能由模型反應，故進行 4,225 秒立方公尺清水定量流模擬試驗，量測項目計有水位、流速及試驗前後地形。

2. 模型試驗條件

- (1) 試驗前鋪設 97 年 3 月地形。
- (2) 上游不加砂之定量流清水試驗：現場時間約 19 小時、模型時間約 2.1 小時。
- (3) 施放介於現場重現期距 5 年 ($Q_5=3,800$ 秒立方公尺) 至重現期距 10 年 ($Q_{10}=5,000$ 秒立方公尺) 間清水流量 4,225 秒立方公尺。

4.尾水位控制在斷面 23-1 上游端 (Hec-Ras 數值模式結果，如表 4-1)，約為 EL. 174.50 公尺。

表 4-1 模型尾水位控制斷面 23-1 (上) 以 Hec-Ras 數值模式演算結果

重現期距頻率年	2 年	5 年	10 年	20 年	50 年	100 年
重現期距水位 (m)	173.65	174.36	174.81	175.23	175.59	175.90

3.模型試驗過程

模型地形是用陽板輔助以人工方式鋪設而成，試驗前先施放小流量濕潤河床，隨即上游施放定量流清水試驗，施放相當於現場 4,225 秒立方公尺之清水流量，試驗結束時關閉上游流量，試驗過程詳見照片 4-10～照片 4-11。

4.模型試驗結果

試驗量測結果詳如圖 4-5～圖 4-7，模擬定量流辛樂克颱風 (圖 4-8) 洪峰流量 (4,225 秒立方公尺)，檢驗通過后豐橋時在模型所呈現平均水位約為 EL.204.30 公尺 (斷面 28-1 上游端 EL.203.78 公尺、斷面 28-1D 下游端 EL.204.82 公尺)，與歷史紀錄 (后豐橋斷橋前紀錄為 EL.204.217 公尺) 相當接近。另外模型沖刷深度較嚴重區段位置及沖刷深度如后：新山線鐵路橋上游端右岸 (斷面 31) 邊坡沖刷、新山線鐵路橋下游端右岸 (斷面 30-1D 沖刷深度約 14 公尺，最大流速約為 6 公尺/秒)、右岸之內埔圳取水口附近 (斷面 30 沖刷深度約 13 公尺，最大流速約為 5 公尺/秒)、后豐橋上下游右岸沖刷 (斷面 28-1 及斷面 28-1D 沖刷深度約 7 公尺，斷面 28-1 最大流速約為 11 公尺/秒)、中山高速公路橋上游斷面 24 右岸邊坡沖刷。



1. 模型完成鋪設後地形



2. 新山線鐵路橋模型試驗前上下游地形



3. 后豐橋模型試驗前上游地形情況



4. 后豐橋模型試驗前下游地形情況



5. 試驗流量通過新山線鐵路橋流況



6. 試驗流量通過新山線鐵路橋流況

照片 4-10 定量流清水試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之一



7. 試驗流量通過后豐橋流況



8. 試驗流量通過后豐橋流況



9. 模型試驗後情況



10. 試驗後新山線鐵路橋上下游情況



11. 試驗後后豐橋上下游情況



12. 試驗後后豐橋下游情況

照片 4-11 定量流清水試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之二

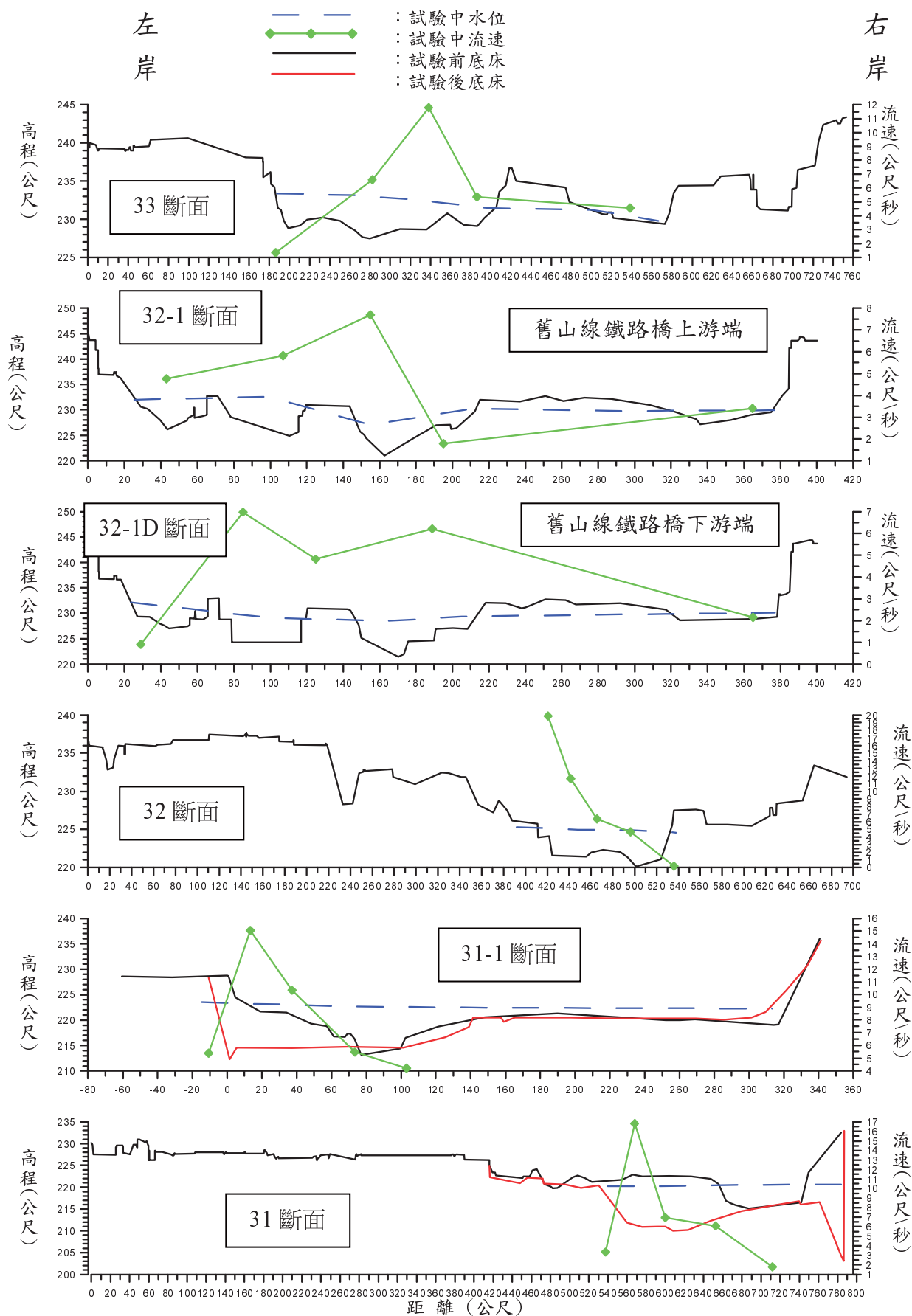


圖 4-5 定量流清水試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 33~31 之水理量測圖

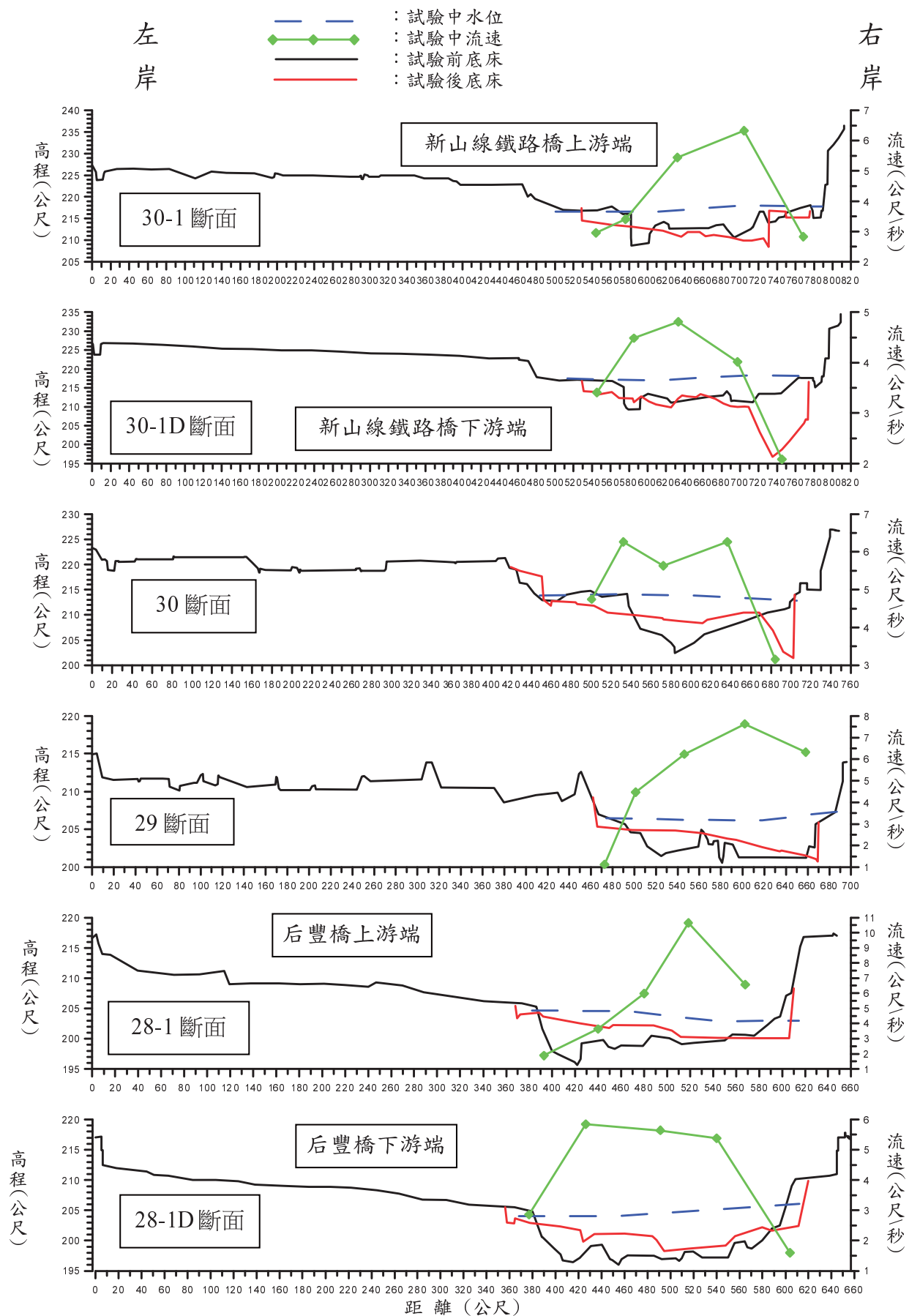


圖 4-6 定量流清水試驗 $Q=4, 225\text{cms}$ 斷面 30-1~28-1D 之水理量測圖

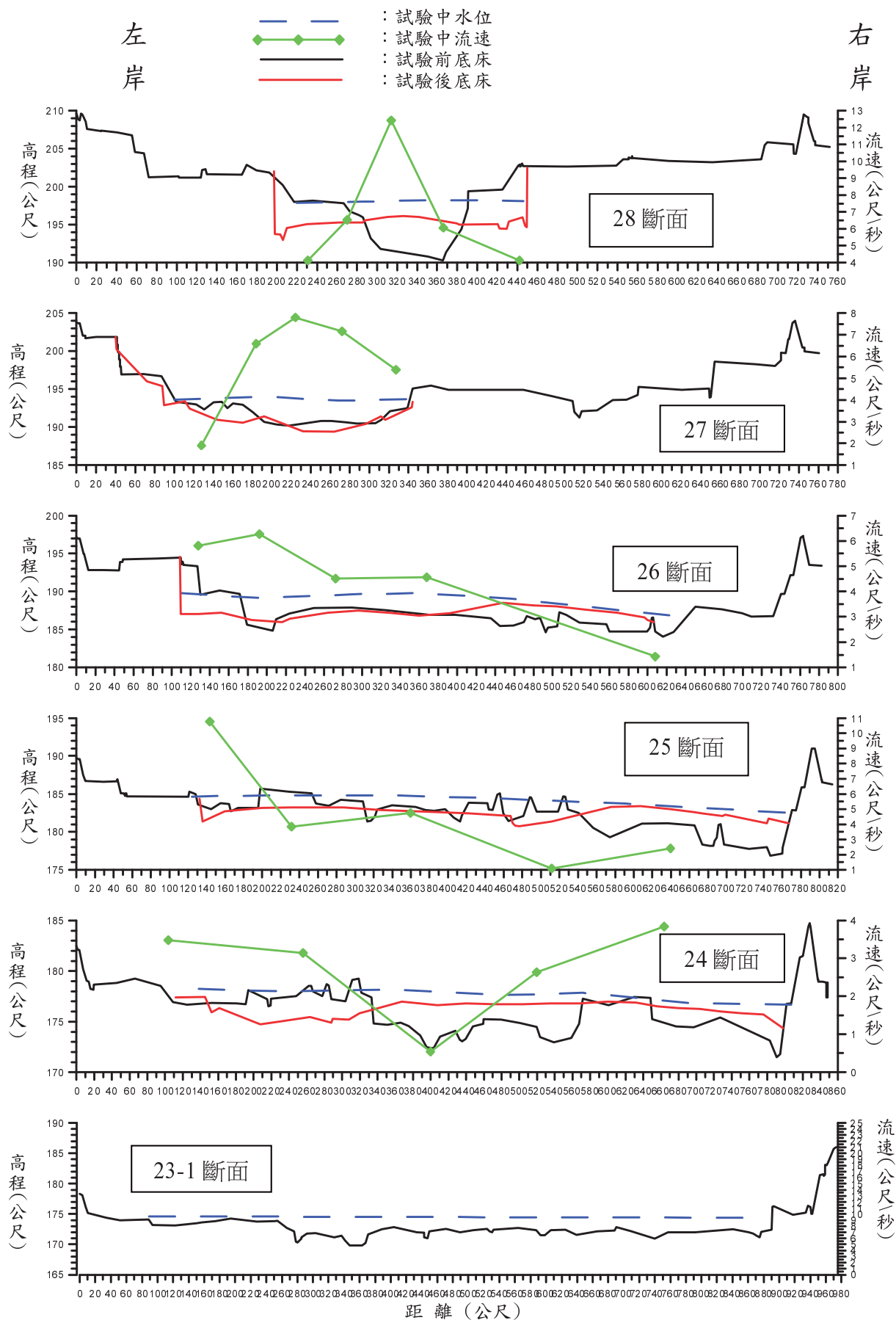


圖 4-7 定量流清水試驗 $Q=4, 225\text{cms}$ 斷面 28~23-1 之水理量測圖

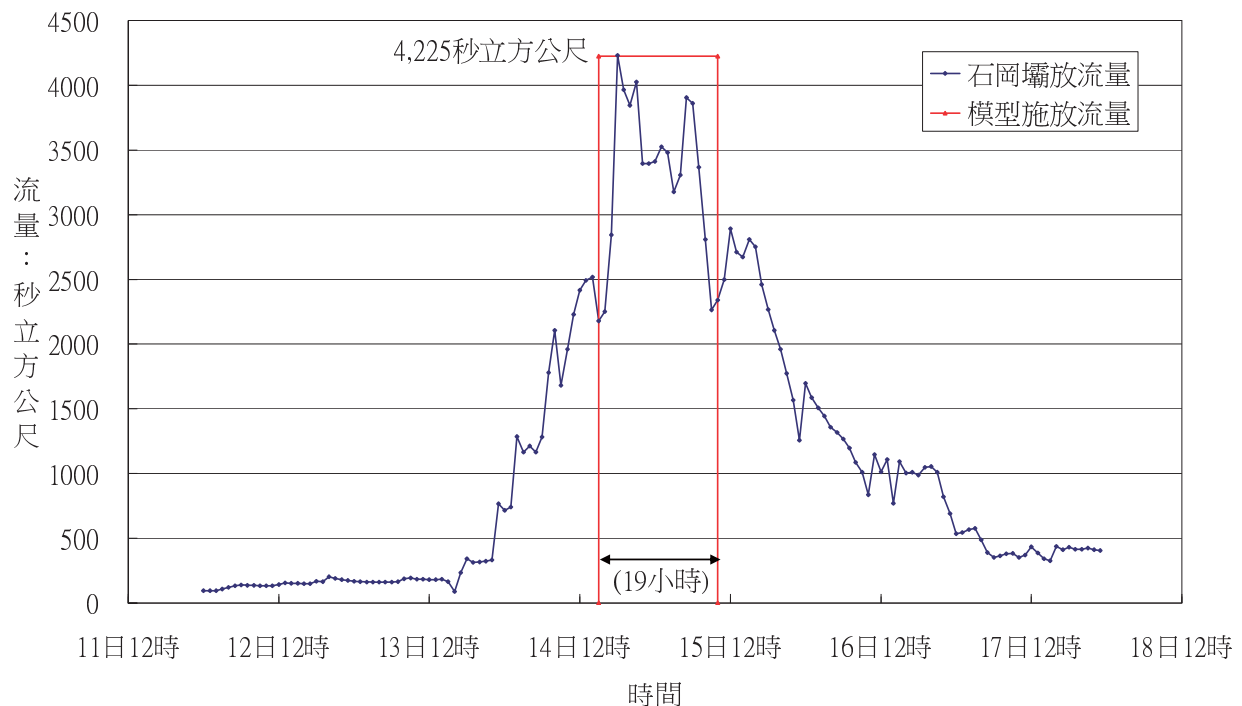


圖 4-8 民國 97 年 9 月辛樂克颱風期間石岡壩放流量及模型施放定量流

(三) 97 年辛樂克颱風流量定量流加砂試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為調整前項清水試驗，因上游無加砂產生在舊山線鐵路橋與新山線鐵路橋之間地形形成不連續斷層現象，且同時於新山線鐵路橋下游端布置消波塊較接近現況，其餘試驗目的與前項清水試驗皆相同。

2. 模型試驗條件

- (1) 模型上游 2.1 小時加砂量約 4,200 公斤 (參考前次清水試驗收砂量約 4,000 公斤及現場推估推移質輸砂量，如表 4-2)。
- (2) 模型加砂粒徑不大於 5 毫米 (現場粒徑不大於 400 毫米)。
- (3) 新山線鐵路橋下游端布置 30 噸消波塊。
- (4) 其餘試驗條件與前項清水試驗皆相同。

表 4-2 民國 97 年舊山線鐵路橋河床質採樣分析推估現場推移質輸砂量

重現期距頻率年	2 年	20 年	100 年
重現期距流量	2,200 秒立方公尺	6,200 秒立方公尺	8,800 秒立方公尺
現場推移質輸砂量	60 萬噸/日	180 萬噸/日	250 萬噸/日
轉換為模型輸砂量	434 公斤/小時	1,302 公斤/小時	1,809 公斤/小時

3.模型試驗過程

模型地形是用陽板輔助以人工方式鋪設而成，試驗前先施放小流量濕潤河床後，隨即上游上游施放定量流加砂試驗，施放相當於現場 4,225 秒立方公尺之加砂流量（以人工方式於舊山線鐵路橋上游端進行加砂），試驗結束時關閉上游流量，試驗過程詳見照片 4-12～照片 4-13。

4.模型試驗結果

試驗量測結果詳如圖 4-9～圖 4-11，模擬定量流辛樂克颱風洪峰流量（4,225 秒立方公尺），檢驗通過后豐橋時在模型所呈現平均水位約為 EL.204.05 公尺（斷面 28-1 上游端 EL.203.92 公尺、斷面 28-1D 下游端 EL.204.18 公尺），與歷史紀錄（后豐橋斷橋前記錄為 EL.204.217 公尺）接近。另外模型沖刷深度較嚴重區段位置及沖刷深度如后：新山線鐵路橋上游端右岸（斷面 31）邊坡沖刷、新山線鐵路橋下游端右岸（斷面 30-1D 沖刷深度約 5 公尺，最大流速約為 15.4 公尺/秒）、右岸之內埔圳取水口附近（斷面 30 沖刷深度約 15 公尺，最大流速約為 6.5 公尺/秒）、后豐橋上游右岸沖刷（斷面 28-1 沖刷深度約 6 公尺，最大流速約為 10.7 公尺/秒）、后豐橋下游右岸沖刷（斷面 28-1D 沖刷深度約 14 公尺，最大流速約為 7.4 公尺/秒）、中山高速公路橋上游斷面 24 右岸邊坡沖刷。



1. 模型用陽板輔助鋪設地形



2. 試驗前新山線鐵路橋下游端布置消波塊



3. 試驗流量通過上下游全斷面流況



4. 試驗流量通過舊山線鐵路橋流況



5. 試驗流量通過新山線鐵路橋流況



6. 試驗流量通過后豐橋流況

照片 4-12 定量流加砂試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之一



7. 試驗流量通過后豐橋流況



8. 試驗流量通過后豐橋上游端流況



9. 模型試驗後情況



10. 試驗後新山線鐵路橋上下游情況



11. 試驗後后豐橋上下游情況



12. 試驗後后豐橋下游情況

照片 4-13 定量流加砂試驗流量 4,225 秒立方公尺試驗過程之二

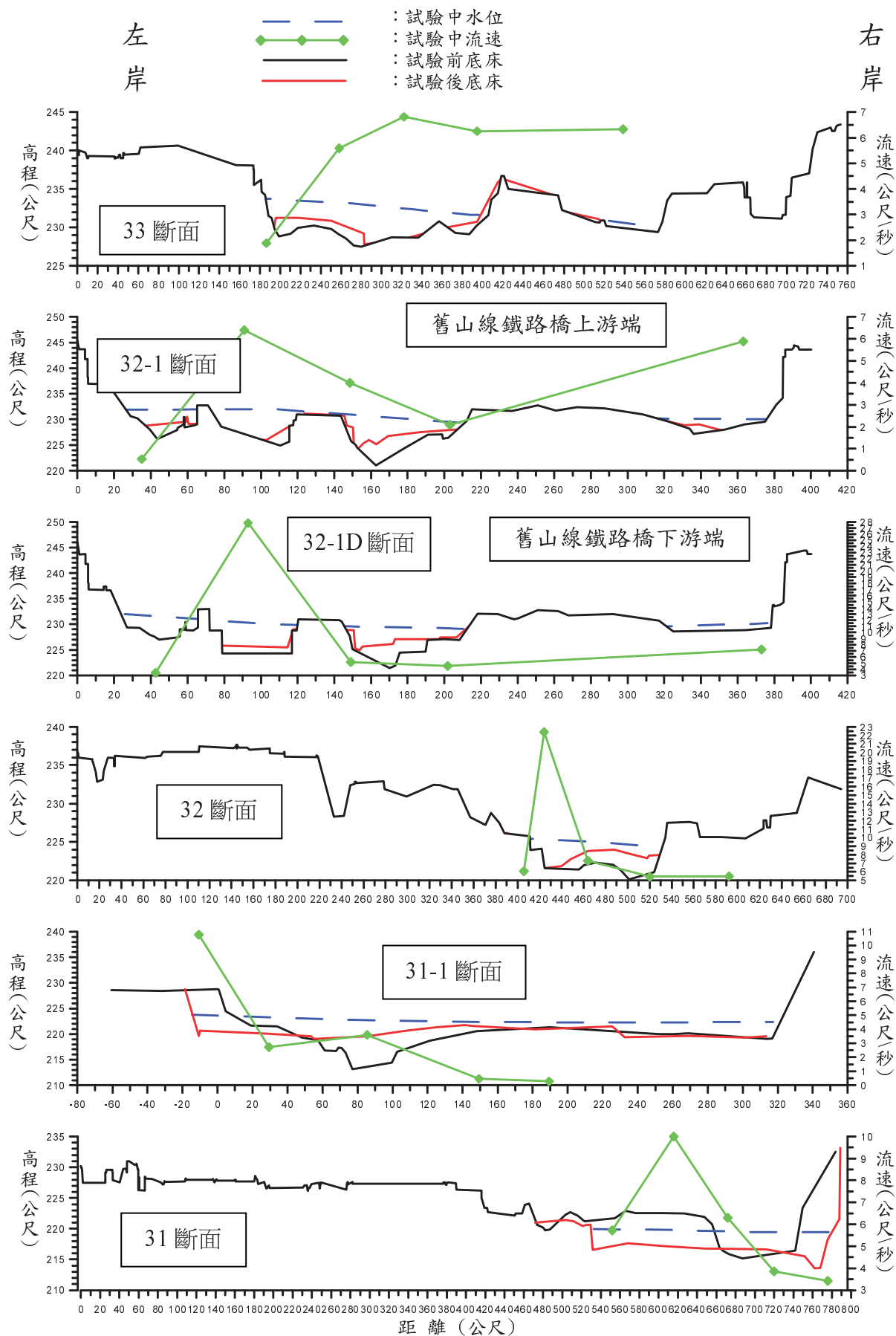


圖 4-9 定量流加砂試驗 $Q=4,225\text{cms}$ 斷面 33~31 之水理量測圖

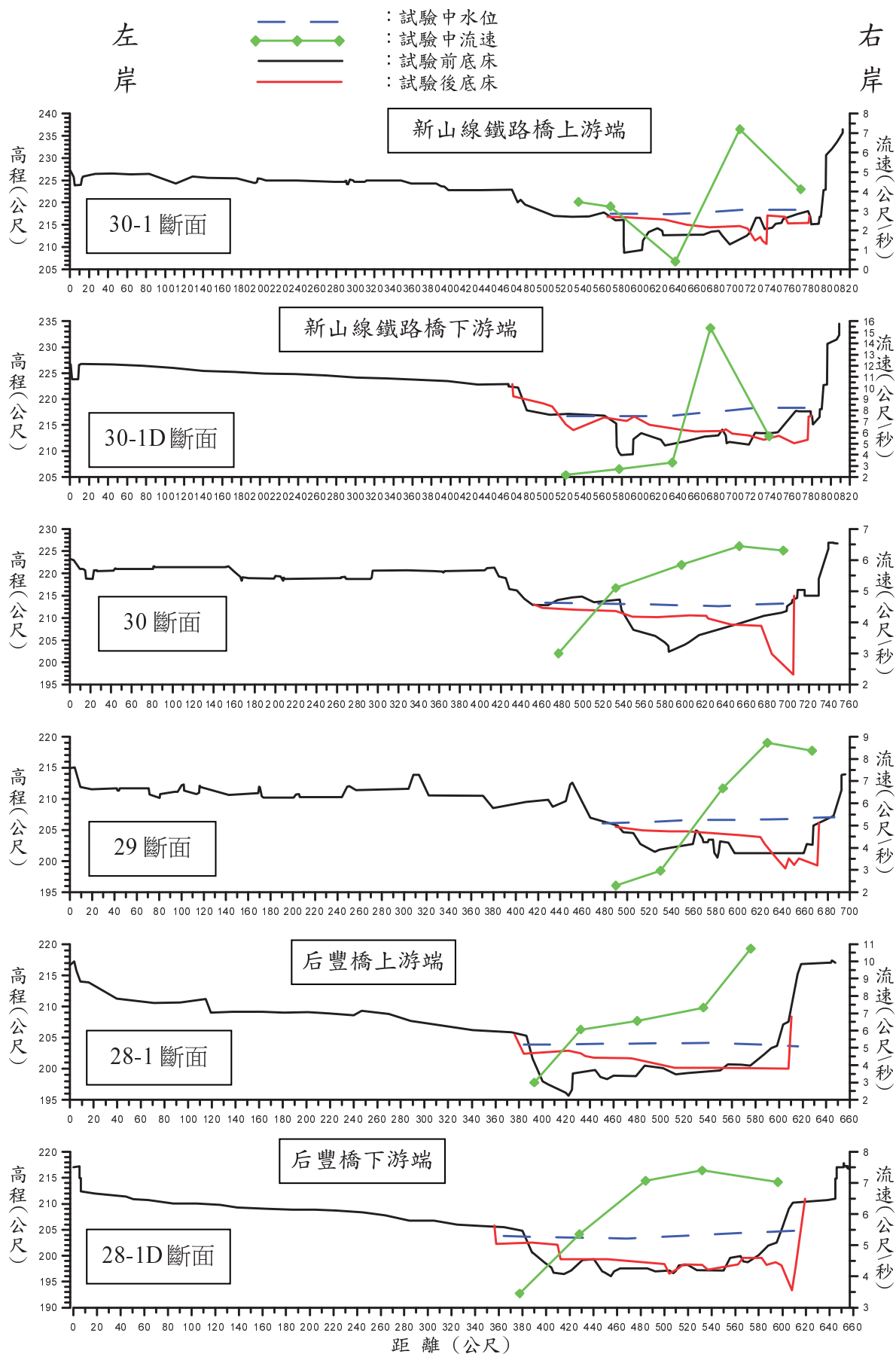


圖 4-10 定量流加砂試驗 $Q=4, 225\text{cms}$ 斷面 30-1~28-1D 之水理量測圖

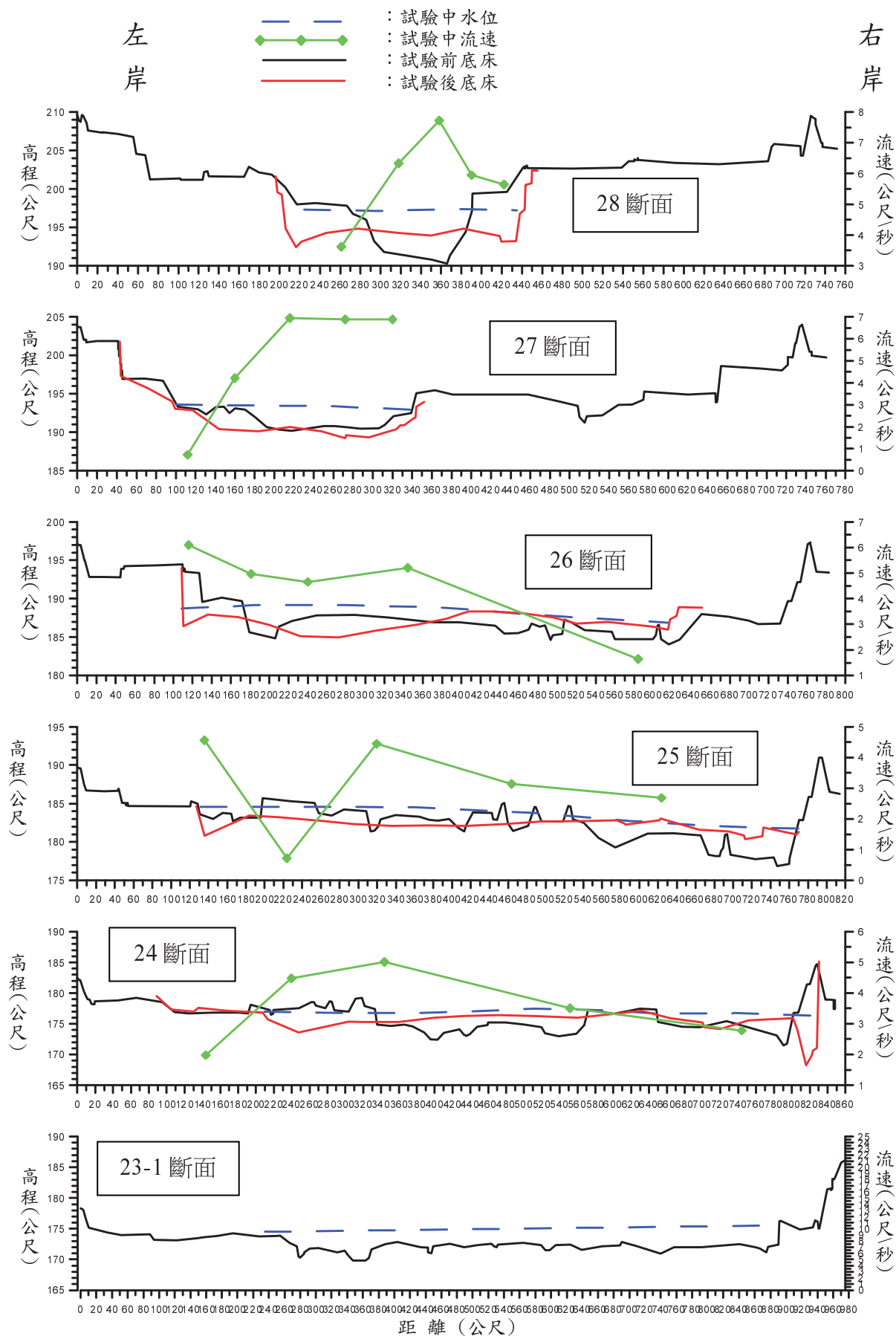


圖 4-11 定量流加砂試驗 $Q=4, 225\text{cms}$ 斷面 28~23-1 之水理量測圖

(四) 97 年辛樂克颱風流量歷線變量流加砂試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為調整前項 97 年辛樂克颱風定量流加砂試驗，因模型施放定量流與現場實際洪水歷線不符，可能產生模型試驗過程底床沖淤變化與現場底床沖淤變化差異較大，因此調整為階梯式變量流（圖 4-12）加砂方式進行。另外亦檢驗后豐橋洪水位歷線變化是否與實測相符，由於受限於模型施放變量流時間，只選取舊山線鐵路橋、新山線鐵路橋及后豐橋等三處量測水位，試驗後再量測各斷面底床沖淤變化地形。

2. 模型試驗條件

- (1) 模型上游總加砂量約 5,000 公斤（參考前次定量流加砂試驗收砂量約 4,400 公斤）。
- (2) 模型總加砂時間約 16 小時，如表 4-3。
- (3) 其餘試驗條件與前項定量流加砂試驗皆相同。

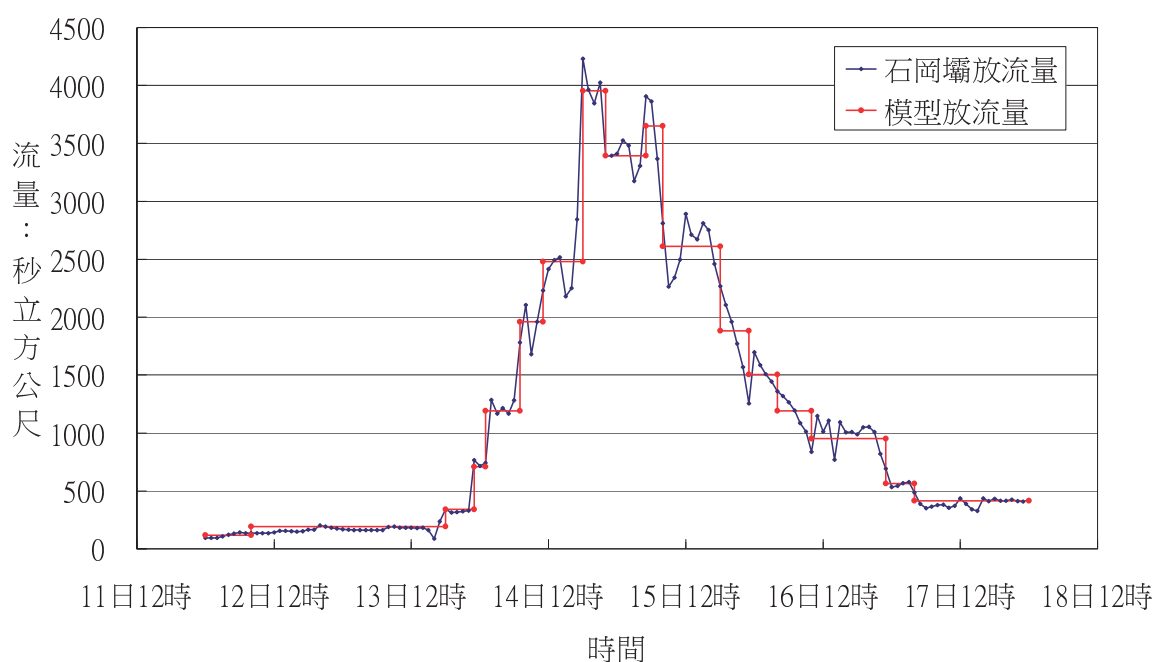


圖 4-12 民國 97 年 9 月辛樂克颱風期間石岡壩及模型放流量歷程圖

表 4-3 民國 97 年 9 月辛樂克颱風期間石岡壩及模型放流量歷程表

編號	現場時間	持續時間		模型 間隔時間	流量 (cms)
		現場(hr)	模型		
1	9月12日0時	0	0時0分0秒		118
2	9月12日8時	8	0時53分39秒	0時53分39秒	192
3	9月13日18時	42	4時41分44秒	3時48分4秒	340
4	9月13日23時	47	5時15分17秒	0時33分32秒	710
5	9月14日1時	49	5時28分42秒	0時13分24秒	1192
6	9月14日7時	55	6時8分57秒	0時40分14秒	1959
7	9月14日11時	59	6時35分47秒	0時26分49秒	2480
8	9月14日18時	66	7時22分44秒	0時46分57秒	3955
9	9月14日22時	70	7時49分34秒	0時26分49秒	3395
10	9月15日5時	77	8時36分31秒	0時46分57秒	3650
11	9月15日8時	80	8時56分39秒	0時20分7秒	2611
12	9月15日18時	90	10時3分44秒	1時7分4秒	1883
13	9月15日23時	95	10時37分16秒	0時33分32秒	1504
14	9月16日4時	100	11時10分49秒	0時33分32秒	1192
15	9月16日10時	106	11時51分4秒	0時40分14秒	951
16	9月16日23時	119	13時18分16秒	1時27分12秒	562
17	9月17日4時	124	13時51分49秒	0時33分32秒	414
18	9月18日0時	144	16時5分58秒	2時14分9秒	結束

3.模型試驗過程

模型試驗過程與前項定量流加砂試驗大致相似，不同處為隨流量增加加砂量亦隨之增加，詳見照片 4-14～照片 4-15。

4.模型試驗結果

舊山線鐵路橋（斷面 32-1）、新山線鐵路橋（斷面 30-1）及后豐橋（斷面 28-1）等三處水位量測結果詳如圖 4-13，檢驗后豐橋洪水水位模型與實測歷線比較結果，在洪水尚未上漲前誤差較大（約 2～4 公尺），在洪水漲水段誤差較小（約 0.8～2 公尺），洪峰段則較為接近（約 0.5～0.8 公尺）。另外模型試驗後底床沖淤變化與現場民國 97 年 12 月底床沖淤變化做比較（如圖 4-14～圖 4-16），自新山線鐵路橋至后豐橋段底床沖淤變化趨勢較為接近。



1. 試驗漲水段 710 秒立方公尺全斷面流況



2. 試驗漲水段 2,480 秒立方公尺全斷面流況



3. 試驗漲水段 2,480 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



4. 試驗漲水段 2,480 秒立方公尺通過后豐橋流況



5. 試驗洪峰流量 3,955 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



6. 試驗洪峰流量 3,955 秒立方公尺通過后豐橋流況

照片 4-14 變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風歷線流量過程之一



7. 試驗退水段 2,611 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



8. 試驗退水段 2,611 秒立方公尺通過后豐橋流況



9. 試驗退水段 1,192 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



10. 試驗退水段 1,192 秒立方公尺通過后豐橋流況



11. 試驗後新山線鐵路橋下游情況



12. 試驗後后豐橋上游情況

照片 4-15 變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風歷線流量過程之二

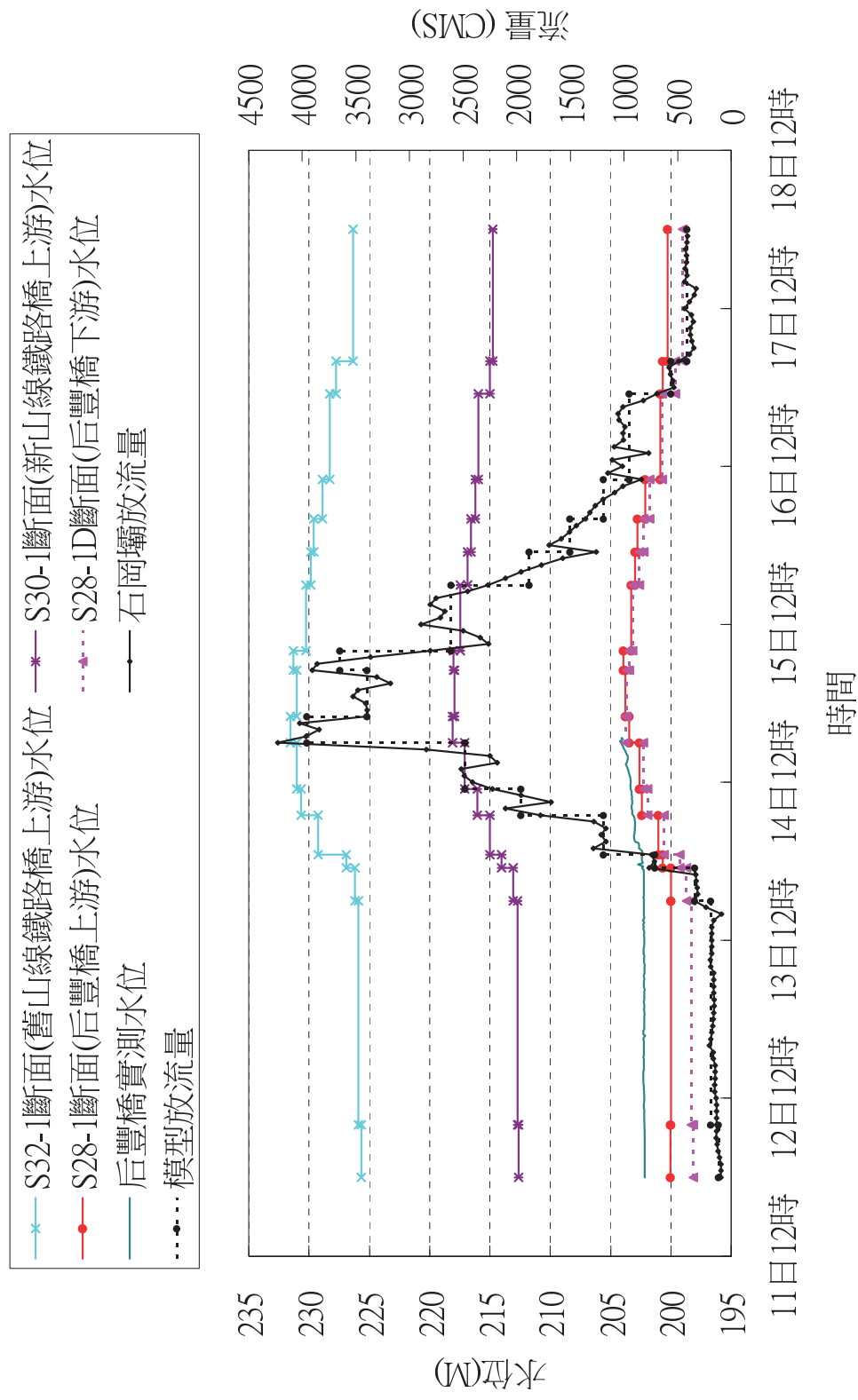


圖 4-13 模型量測值與現場 97 年 9 月辛樂克颱風洪水水位比較圖

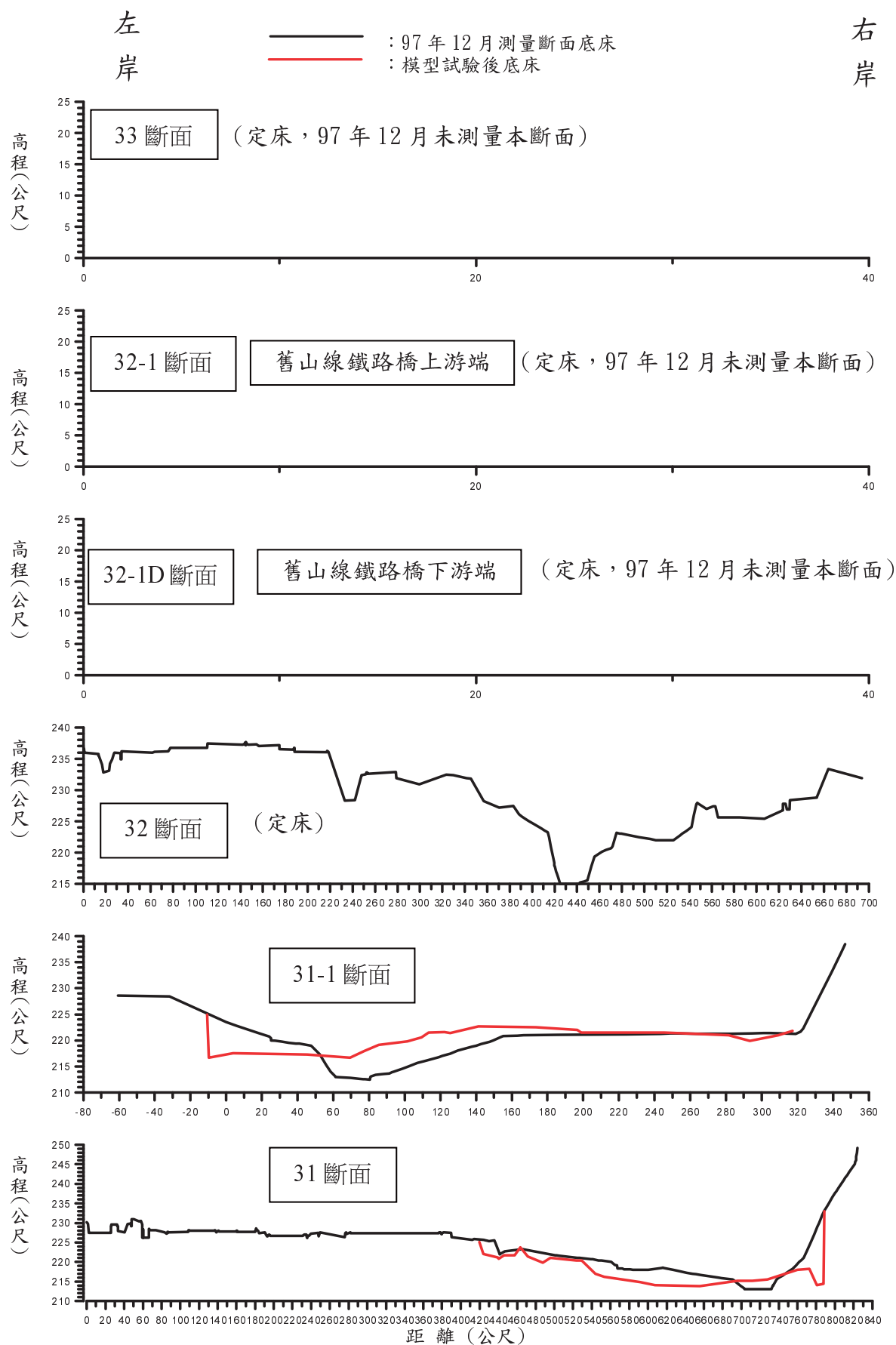


圖 4-14 模型試驗後地形與現場 97 年 12 月量測地形比較圖之一

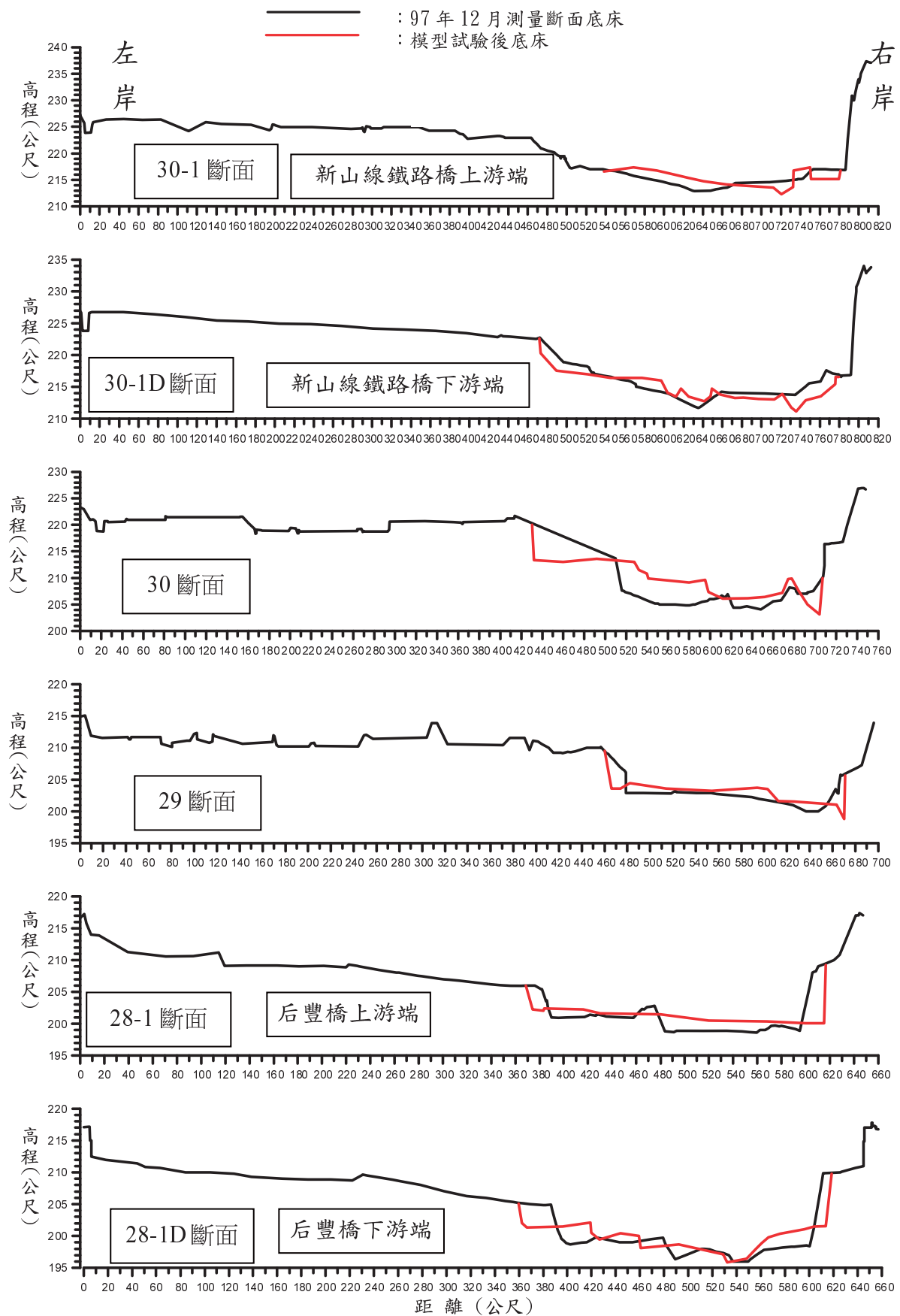


圖 4-15 模型試驗後地形與現場 97 年 12 月量測地形比較圖之二

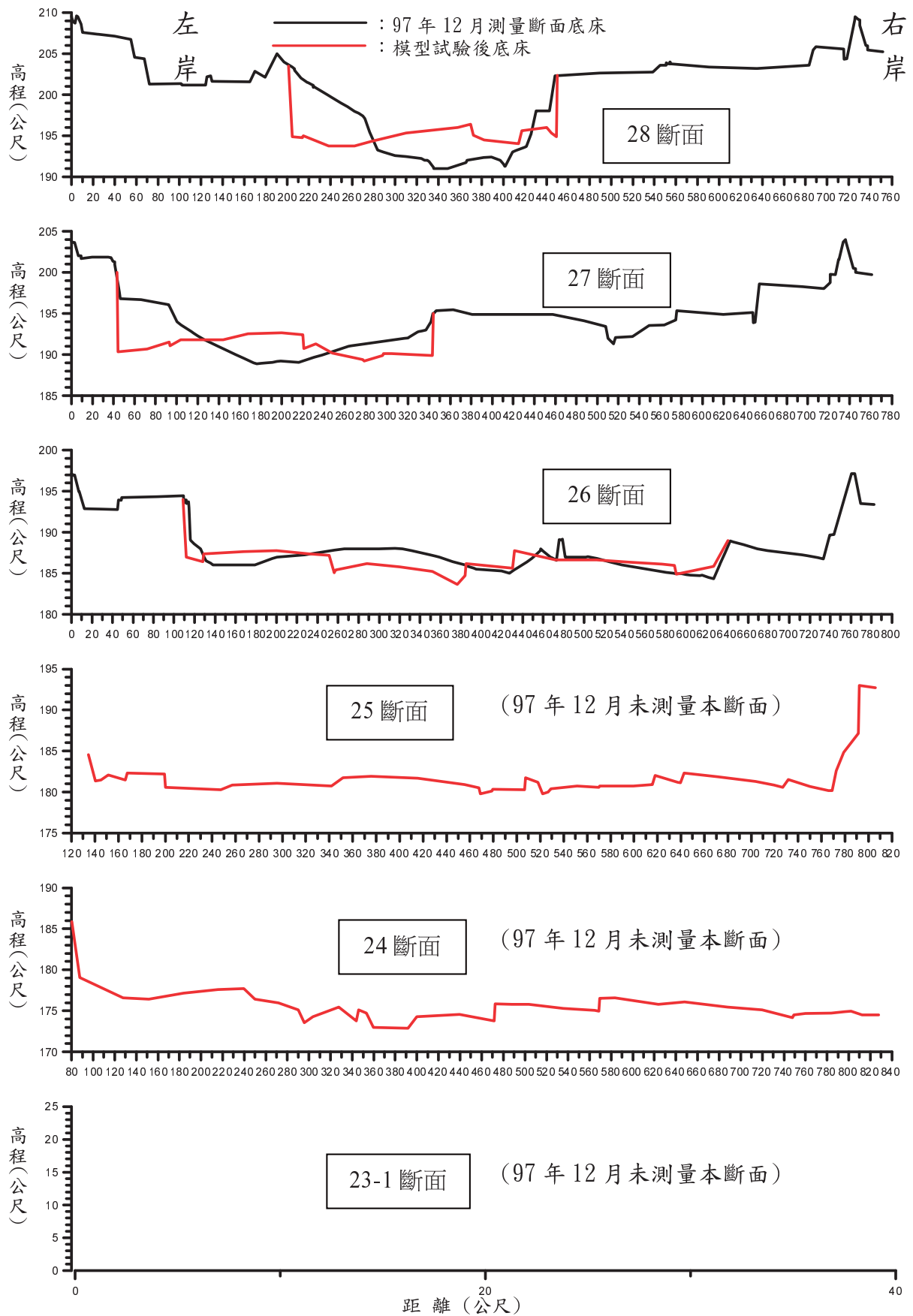


圖 4-16 模型試驗後地形與現場 97 年 12 月量測地形比較圖之三

(五) 98 年莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬 98 年 8 月莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗(圖 4-17)。另外亦檢驗新山線鐵路橋洪水位歷線變化是否與實測相符，由於受限於模型施放變量流時間，只選取舊山線鐵路橋、新山線鐵路橋及后豐橋等三處量測水位，試驗後再量測各斷面底床沖淤變化地形。

2. 模型試驗條件

- (1) 模型上游總加砂量約 6,000 公斤(參考前次變量流加砂試驗)。
- (2) 模型總加砂時間約 29.5 小時，如表 4-4。
- (3) 其餘試驗條件與前項變量流加砂試驗皆相同。

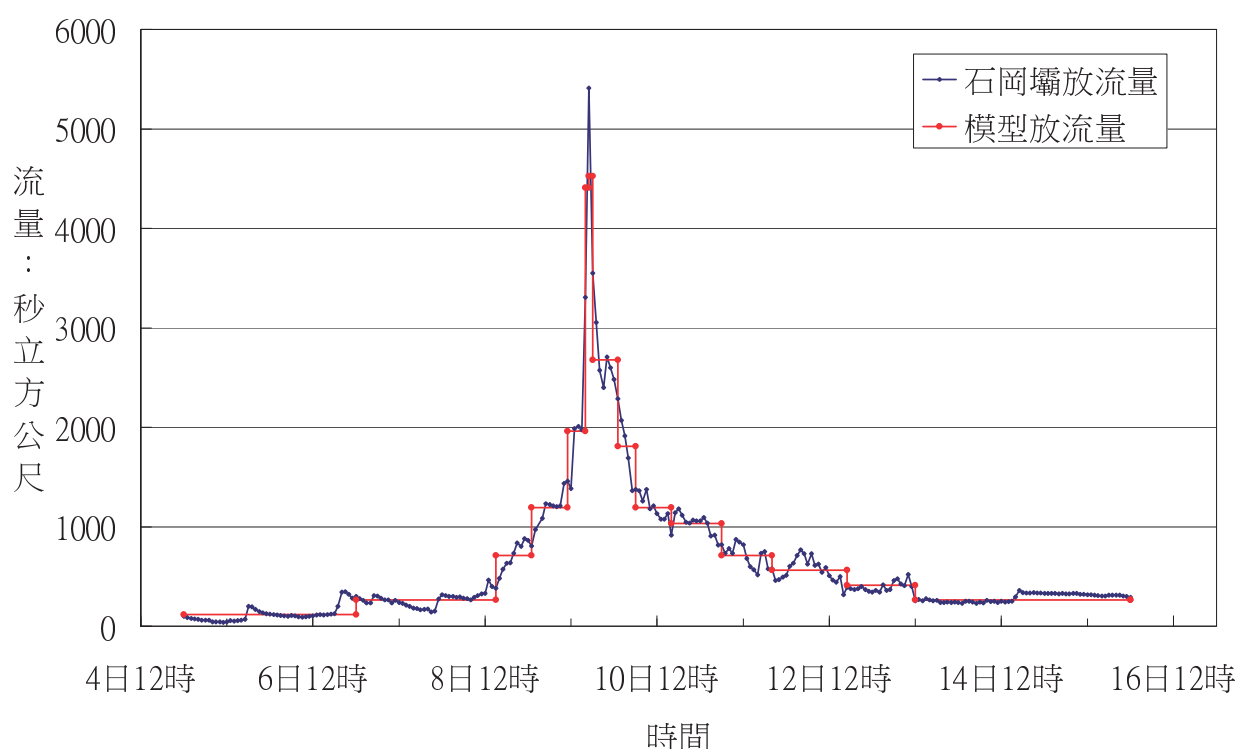


圖 4-17 民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩及模型放流量

表 4-4 民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩及模型放流量歷程表

編號	現場時間	持續時間		流量 (cms)
		現場(hr)	模型	
1	8 月 5 日 0 時	0	0 時 0 分 0 秒	118
2	8 月 7 日 0 時	48	5 時 21 分 59 秒	266
3	8 月 8 日 15 時	87	9 時 43 分 36 秒	710
4	8 月 9 日 1 時	97	10 時 50 分 41 秒	1192
5	8 月 9 日 10 時	106	11 時 51 分 4 秒	1959
6	8 月 9 日 15 時	111	12 時 24 分 36 秒	4408
7	8 月 9 日 16 時	112	12 時 31 分 19 秒	4525
8	8 月 9 日 17 時	113	12 時 38 分 1 秒	2678
9	8 月 10 日 0 時	120	13 時 24 分 59 秒	1807
10	8 月 10 日 5 時	125	13 時 58 分 31 秒	1192
11	8 月 10 日 15 時	135	15 時 5 分 36 秒	1031
12	8 月 11 日 5 時	149	16 時 39 分 31 秒	710
13	8 月 11 日 19 時	163	18 時 13 分 26 秒	562
14	8 月 12 日 16 時	184	20 時 34 分 18 秒	414
15	8 月 13 日 11 時	203	22 時 41 分 45 秒	266
16	8 月 16 日 0 時	264	29 時 30 分 57 秒	結束

3.模型試驗過程

模型試驗過程與前項變量流加砂試驗大致相似，隨流量增加加砂量亦隨之增加，不同處為歷程較長，詳見照片 4-16～照片 4-17。

4.模型試驗結果

舊山線鐵路橋（斷面 32-1）、新山線鐵路橋（斷面 30-1）及后豐橋（斷面 28-1）等三處水位量測結果詳如圖 4-18，檢驗民國 98 年 8 月 10 日上午 10 時新山線鐵路橋洪水位模型（平均水位約為 EL.216.5 公尺）與實測洪水痕跡紀錄（約為 EL.216.7～EL.217.2 公尺）比較結果接近。



1. 試驗漲水段 710 秒立方公尺通過舊山線鐵路橋流況



2. 試驗漲水段 1,959 秒立方公尺通過舊山線鐵路橋流況



3. 試驗漲水段 1,959 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



4. 試驗漲水段 1,959 秒立方公尺通過后豐橋流況



5. 試驗洪峰流量 4,525 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



6. 試驗洪峰流量 4,525 秒立方公尺通過后豐橋流況

照片 4-16 變量流加砂試驗 98 年莫拉克颱風歷線流量過程之一



7. 試驗退水段 2,678 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



8. 試驗退水段 2,678 秒立方公尺通過后豐橋流況



9. 試驗退水段 1,807 秒立方公尺通過新山線鐵路橋流況



10. 試驗退水段 1,807 秒立方公尺通過后豐橋流況



11. 試驗後新山線鐵路橋上下游情況



12. 試驗後后豐橋上下游情況

照片 4-17 變量流加砂試驗 98 年莫拉克颱風歷線流量過程之二

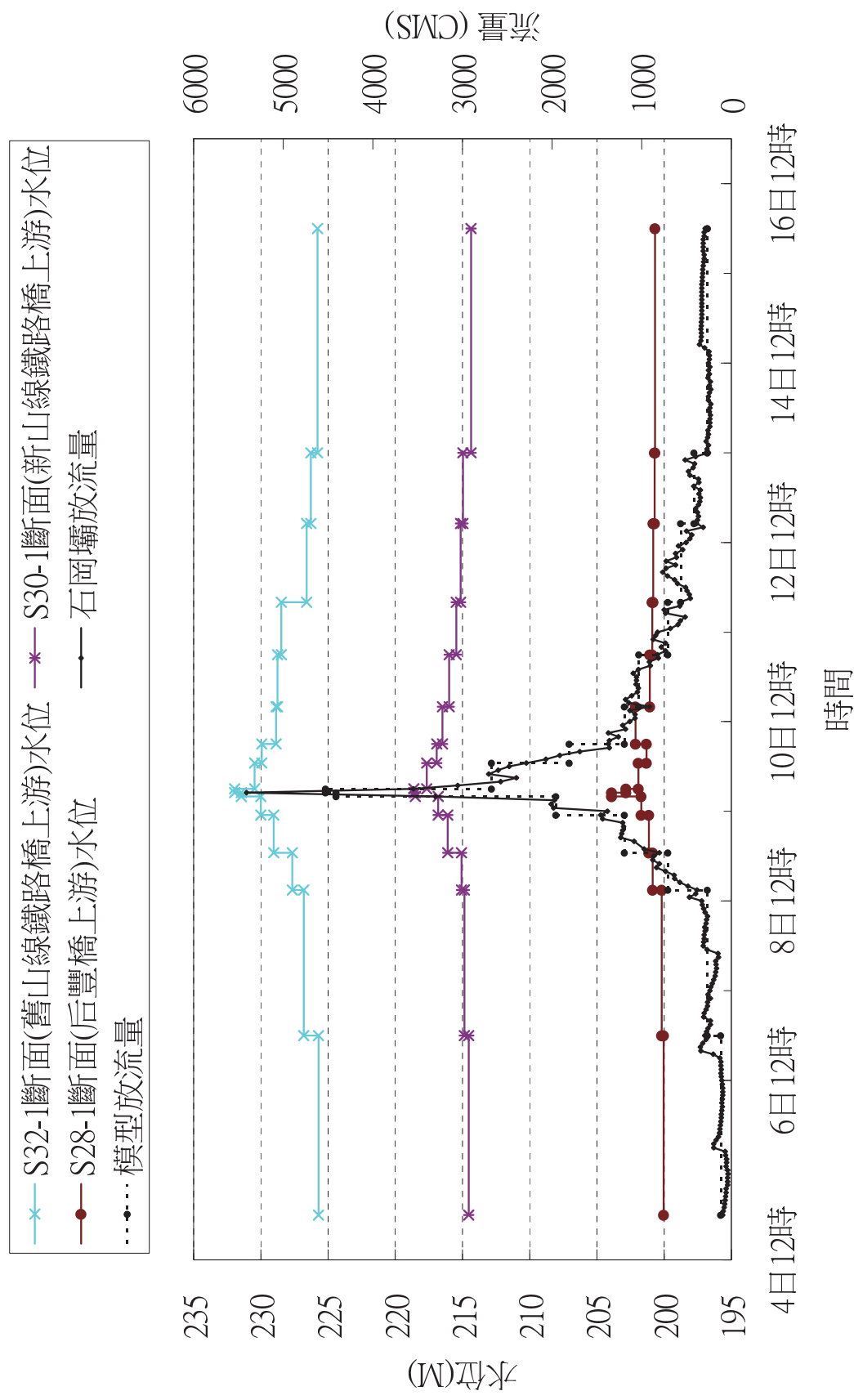


圖 4-18 模型量測值與現場 98 年 8 月莫拉克颱風洪水水位比較圖

二、初步試驗成果綜合分析檢討

(一) 流路比較

1. 低水位流路比較

定性比較民國 97 年大甲溪中山高速公路橋至舊山線鐵路橋間河道航照圖與地形圖（如圖 4-19），及現場與模型低水位比較照片（如照片 4-18 及照片 4-19），分析如下：通過舊山線鐵路橋時流路偏向左岸，通過斷面 31-1 流路逐漸偏向右岸，通過新山線鐵路橋時流路偏向右岸及少許流路偏向左岸，流路通過內埔圳堤防時靠向右岸，通過后豐橋時流路集中偏向右岸，通過后豐橋下游時流路逐漸偏向左岸，通過中山高速公路橋上游端時流路偏向河道中央及少許流路偏向右岸（舊社堤防），比較結果得知模型可以反應現場低水位流路。

2. 高水位流路比較

定性比較民國 98 年 8 月 10 日莫拉克颱風退水段之高水位（此時流量約 1,192 秒立方公尺）流路，現場與模型高水位比較照片（如照片 4-20 及照片 4-21，其中第 7 張現場照片為民國 97 年 9 月 16 日辛樂克颱風退水段之高水位，流量約 1,078 秒立方公尺），分析如下：通過舊山線鐵路橋時流路偏向左岸及流入葫蘆墩圳取水口，通過新山線鐵路橋時流路偏向右岸及部份流路偏向左岸，水流會流入內埔圳取水口，通過后豐橋及下游臨時變橋時流路集中偏向右岸（靠向正隆護岸），通過后豐橋下游時流路逐漸偏向左岸，通過中山高速公路橋上游端時流路偏向河道中央及偏向右岸（舊社堤防），比較結果得知模型可以反應現場高水位流路。

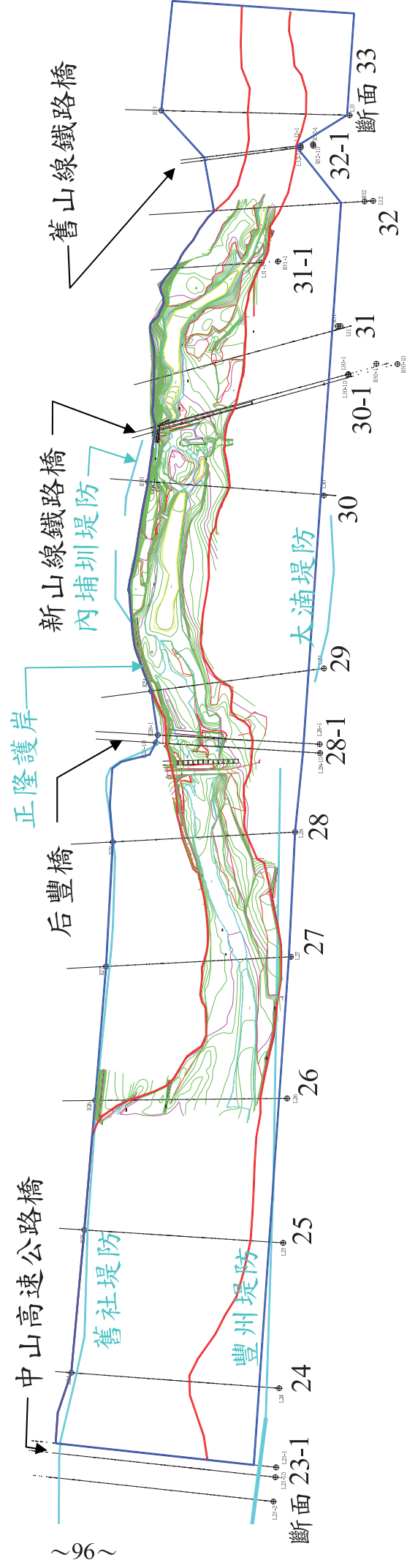


圖 4-19 民國 97 年大甲溪中山高速公路橋至舊山線鐵路橋間河道航照圖與地形圖比較



1.現場舊山線鐵路橋下游低水位流路



2.模型舊山線鐵路橋下游低水位流路



3.現場新山線鐵路橋下游低水位流路



4.模型新山線鐵路橋下游低水位流路



5.現場后豐橋上游低水位流路



6.模型后豐橋上游低水位流路

照片 4-18 現場與模型低水位流路比較照片之一



7.現場后豐橋橋下低水位流路



8.模型后豐橋橋下低水位流路



9.現場后豐橋下游臨時便橋低水位流路



10.模型后豐橋下游臨時便橋低水位流路



11.現場中山高速公路橋上游流路



12.模型中山高速公路橋上游流路

照片 4-19 現場與模型低水位流路比較照片之二



1.現場舊山線鐵路橋下游高水位流路



2.模型舊山線鐵路橋下游高水位流路



3.現場新山線鐵路橋下游高水位流路



4.模型新山線鐵路橋下游高水位流路



5.現場后豐橋上游高水位流路（面向下游）



6.模型后豐橋上游高水位流路（面向下游）

照片 4-20 現場與模型高水位流路比較照片之一



7. 后豐橋斷橋後上游面高水位流況（當時石岡壩實測放流量為 1077.99 CMS）



8. 模型后豐橋橋下高水位流路



9. 現場后豐橋下游臨時便橋高水位流路



10. 模型后豐橋下游臨時便橋高水位流路



11. 現場中山高速公路橋上游流路



12. 模型中山高速公路橋上游流路

照片 4-21 現場與模型高水位流路比較照片之二

（二）水理比較

1. 模型清水試驗辛樂克颱風定量流流量 4,225 秒立方公尺水位量測值與現場數值分析重現期距 5 年洪峰流量 3,800 秒立方公尺水位比較結果得知，在舊山線鐵路橋下游及后豐橋下游差異較大，主要原因水流通過模型舊山線鐵路橋及后豐橋時會產生水躍現象（下游水位高於上游水位）。
2. 模型在后豐橋位置模擬辛樂克颱風定量流流量 4,225 秒立方公尺，清水試驗量測值平均水位約為 EL.204.30 公尺（上游端水位 EL.203.78 公尺、下游端水位 EL.204.82 公尺）、加砂試驗量測值平均水位約為 EL.204.05 公尺（上游端水位 EL.203.92 公尺、下游端水位 EL.204.18 公尺），與現場歷史記錄（后豐橋斷橋前記錄為 EL.204.217 公尺）接近。
3. 模型在新山線鐵路橋位置模擬變量流加砂試驗 98 年莫拉克颱風流量歷線，模擬民國 98 年 8 月 10 日上午 10 時（退水段流量約 1,192 秒立方公尺）量測值平均水位約為 EL.216.5 公尺，與現場實測洪水痕跡記錄約為 EL.216.7~EL.217.2 公尺接近。
4. 模型在后豐橋下游斷面 28 及斷面 27 位置，模擬定量流加砂試驗辛樂克颱風流量 4,225 秒立方公尺，水位量測值分別為斷面 28 EL.197.26、斷面 27 EL.193.34，與 98 年莫拉克颱風洪峰流量為 5,410 秒立方公尺，在后豐橋下游所量測之最高水位洪水痕跡，斷面 28 為 EL.197.95 公尺、斷面 27 為 EL.194.20 公尺，模型因模擬流量較小所以水位略低（誤差值小於 1 公尺）。

（三）沖刷位置比較

比較大甲溪石岡壩下游自舊山線鐵路橋下游至中山高速公路橋上游現場調查資料與模型模擬 97 年辛樂克颱風定量流流量 4,225 秒立方公尺所量測值之較大沖刷位置，如表 4-5，比較後分析得知，除了模型在后豐橋下游左岸豐洲堤防低水護岸沖刷現象較不明顯（因斷面 26 下游河寬變大），其餘沖刷位置模型與現場大致相同。

表 4-5 新山線鐵路橋至中山高速公路橋上游現場與模型沖刷位置比較表

現場沖刷位置	模型沖刷位置
舊山線鐵路橋至新山線鐵路橋右岸崩塌地	新山線鐵路橋上游端右岸邊坡沖刷
新山線鐵路橋	新山線鐵路橋下游端右岸
內埔圳攔河堰	右岸之內埔圳取水口附近
正隆護岸	后豐橋上游右岸
后豐橋、后豐橋橋基	后豐橋下游右岸
左岸豐洲堤防低水護岸	后豐橋下游斷面 26 左岸
右岸舊社堤防	中山高速公路橋上游右岸舊社堤防邊坡
備註：上述沖刷位置係由上游至下游排列	

（四）大斷面底床地形比較

根據變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風流量歷線結果，模型試驗後大斷面底床地形變化與現場民國 97 年 12 月大斷面底床地形變化做比較後得知，自新山線鐵路橋至后豐橋段底床沖淤變化趨勢較為接近。

三、模型驗證試驗

本模型經初步試驗結果分析檢討得知，在水位模擬上已接近現場，在低水位及高水位流心模擬上也與現場類似，惟在新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及下游端左岸邊坡模擬上較現場沖刷範圍大，故本模型在此兩處調整為定床邊坡。另外初步試驗大斷面底床比較結果得知，模擬變量流加砂試驗 97 年辛樂克颱風流量歷線試驗後模型底床高程較現場底床高程差距略大（數值模擬結果也類似），初步研判原因是 97 年也發生其他較大洪水，故底床變化受其他洪水影響；模擬 98 年莫拉克颱風流量歷線變量流加砂試驗，試驗後底床高程較現場底床高程差距略小（數值模擬結果也類似），初步研判原因是 98 年未發生其他較大洪水事件，故模型除了調整局部動床粒徑（增加粗顆粒級配比例）及上游加砂量外，選擇檢驗 98 年莫拉克颱風前後大斷面底床沖淤變化，作為模型驗證試驗之依據。

（一）變量流加砂驗證試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬 98 年 8 月莫拉克颱風歷線變量流加砂試驗（圖 4-20）。由於受限於模型施放變量流時間，只選取量測斷面 32、斷面 30-1（新山線鐵路橋）、斷面 29、斷面 28-1（后豐大橋）及斷面 27 等五處水位及流速，試驗前、後分別量測各斷面底床沖淤變化地形。

2. 模型試驗條件

- （1）試驗前鋪設民國 97 年 12 月地形（圖 4-21）。
- （2）模型上游總加砂量約 750 公斤（補充斷面 32 定床及動床交界處砂量），如表 4-6。
- （3）模型總加砂時間約 21 小時（現場約 190 小時），退水段流量低於 414 秒立方公尺以下不模擬，如表 4-6。

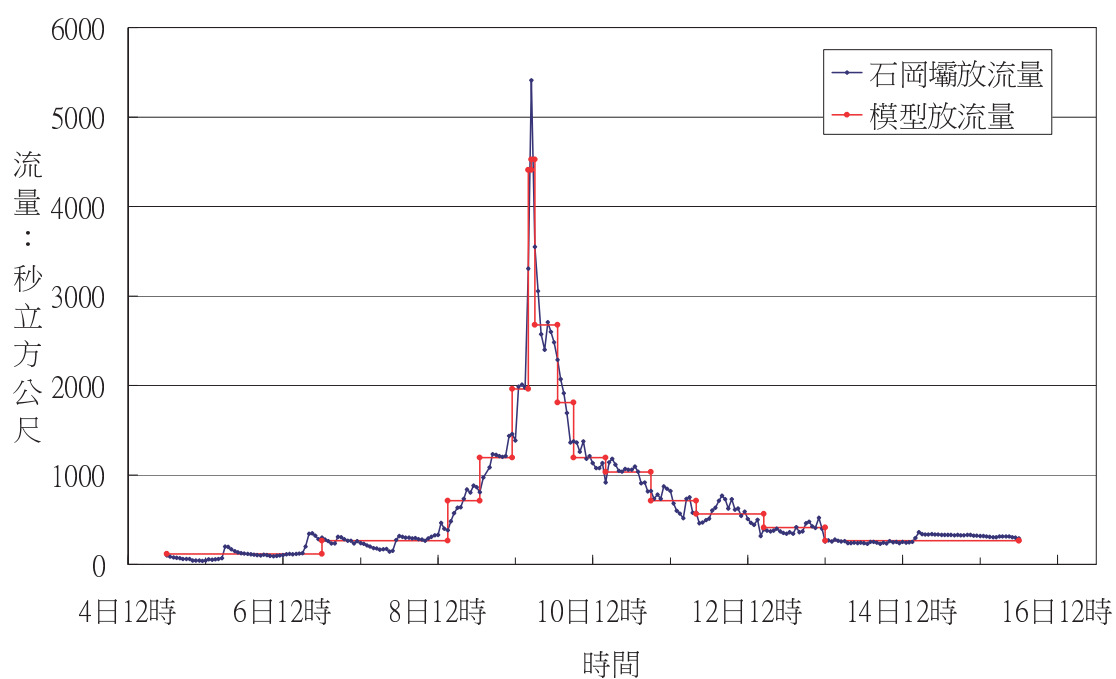


圖 4-20 民國 98 年 8 月莫拉克颱風期間石岡壩及模型放流量

表 4-6 變量流加砂驗證試驗模型施放流量歷程及加砂量表

編號	累計時間		現場流量 (cms)	模型加砂重量 (公斤)
	現場(hr)	模型		
1	0	0 時 0 分 0 秒	118	20
2	48	5 時 21 分 59 秒	266	50
3	87	9 時 43 分 36 秒	710	50
4	97	10 時 50 分 41 秒	1192	110
5	106	11 時 51 分 4 秒	1959	40
6	111	12 時 24 分 36 秒	4408	40
洪峰 7	112	12 時 31 分 19 秒	4525	40
8	113	12 時 38 分 1 秒	2678	110
9	120	13 時 24 分 59 秒	1807	40
10	125	13 時 58 分 31 秒	1192	80
11	135	15 時 5 分 36 秒	1031	80
12	149	16 時 39 分 31 秒	710	50
13	163	18 時 13 分 26 秒	562	30
14	184	20 時 34 分 18 秒	414	10
15	190	21 時 13 分	結束	
合計	190 小時	21 時 13 分		750 公斤

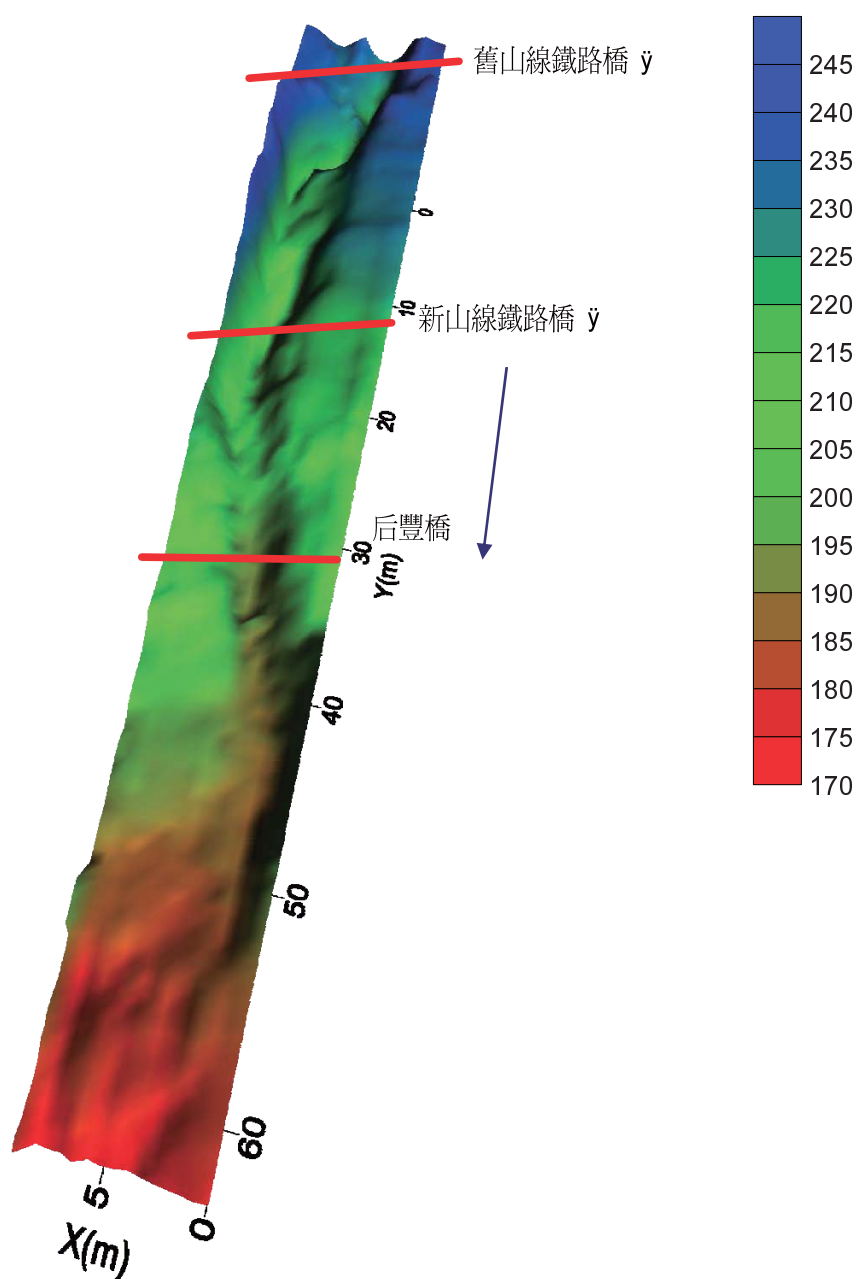
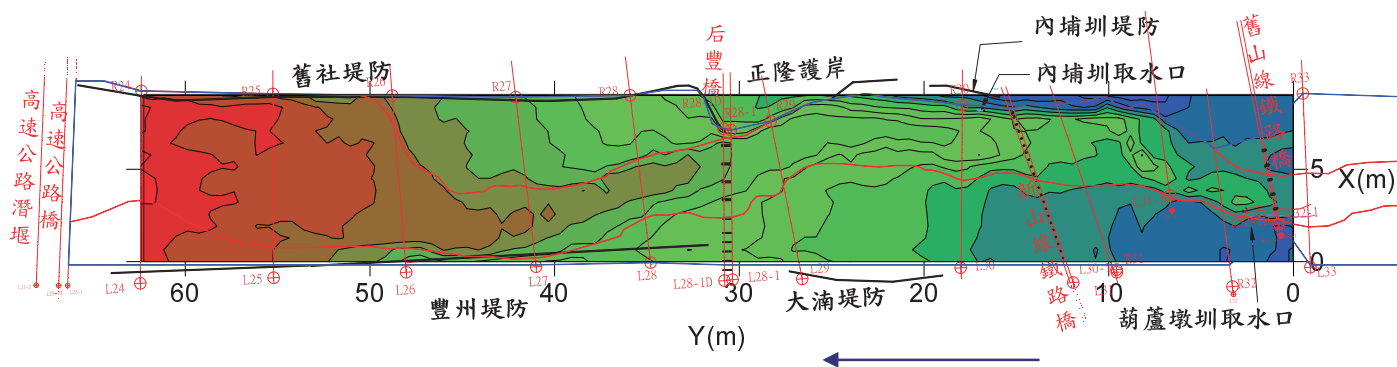


圖 4-21 模型變量流加砂驗證試驗前地形圖
(民國 97 年 12 月地形)

3.模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，在新山線鐵路橋（斷面 30-1）上游段流路，斷面 32 至斷面 31-1 流心偏向左岸，斷面 31-1 至斷面 30-1，隨流量增大，流心位置會由河道中央偏向右岸；在新山線鐵路橋下游段流路受下游固床工影響，大部份流心維持在靠左岸位置，只有在漲水段隨流量增大另一股流心會靠向右岸；在后豐橋（斷面 28-1）上游段流路，流心一直維持在靠右岸位置（正隆護岸處）；在后豐橋下游段至斷面 26 處流路，流心漸漸靠向左岸，斷面 26 下游至斷面 25 處（舊社堤防處）流路，流心漸漸靠向右岸，斷面 25 下游至斷面 23-1 處（中山高速公路上游端，模型最下游斷面），模型試驗過程詳見照片 4-22～照片 4-23，五處水位及流速值詳如表 4-7 及表 4-8，洪峰流量 4,525 秒立方公尺詳如圖 4-22。

試驗後量測地形詳如圖 4-23，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 4-24，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1～4 公尺）、新山線鐵路橋下游端（深度 1～4 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（深度 1～7 公尺）、后豐橋上游右岸正隆護岸（深度 1～4 公尺）、后豐橋下游端（深度 1～2 公尺）、斷面 26 左岸豐州堤防（深度 1～3 公尺）、中山高速公路橋上游右岸舊社堤防（深度 1～9 公尺）。檢驗莫拉克颱風前（民國 97 年 12 月地形）後大斷面底床變化圖，如圖 4-25 及圖 4-26，試驗結果模型量測值與民國 98 年 12 月地形驗證結果大致接近，惟模型量測值略高於現場量測值及部份斷面邊坡沖刷深度模型大於現場。

表 4-7 模型變量流加砂驗證試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面 m		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	420.8	220.98	576.4	215.86	484.4	204.34	385.6	202.26	127.2	192.02
	444.0	221.14	624.4	215.86	538.0	204.10	448.0	201.94	176.0	191.94
	472.0	221.30	672.4	216.02	586.0	203.70	496.0	200.58	224.0	192.18
			712.4	216.58	626.0	203.78	544.0	200.58	320.0	192.42
					670.8	203.54	615.2	200.34	340.0	192.26
漲水段 1,192	417.6	221.78	568.4	216.18	486.0	204.58	385.6	202.34	121.6	192.34
	448.0	222.34	608.4	216.18	530.0	204.74	424.0	202.18	160.0	192.58
	473.6	222.26	664.4	216.34	570.0	204.50	480.0	201.54	224.0	192.66
			712.4	217.22	618.0	204.50	552.0	200.98	288.0	192.74
			770.0	217.30	674.0	204.50	615.2	200.90	344.0	192.66
漲水段 1,959	416.0	222.50	568.4	216.02	489.2	205.46	385.6	202.42	121.6	192.58
	440.0	222.90	600.4	216.02	538.0	205.38	432.0	202.42	152.0	192.90
	473.6	222.82	648.4	216.42	586.0	205.14	488.0	201.46	208.0	192.74
			704.4	217.06	634.0	205.06	544.0	201.22	280.0	193.06
			786.0	217.30	674.0	205.06	615.2	200.82	344.0	193.22
漲水段 4,408	400.0	224.50	560.4	216.42	474.0	206.74	382.4	203.62	104.0	194.02
	448.0	224.66	608.4	216.58	514.0	206.66	432.0	203.62	160.0	194.10
	544.0	225.38	664.4	217.86	570.0	206.02	480.0	203.06	224.0	194.10
			712.4	218.58	626.0	206.10	544.0	202.66	272.0	193.94
			792.4	218.82	690.0	206.90	615.2	203.14	375.2	194.02
洪峰流量 4,525	392.0	225.14	552.4	217.14	482.0	206.58	382.4	203.78	104.0	194.34
	432.0	224.82	600.4	217.38	538.0	206.18	440.0	204.18	152.0	194.18
	464.0	224.82	656.4	217.86	586.0	206.18	496.0	202.58	224.0	194.10
	528.0	225.14	720.4	218.74	642.0	206.34	560.0	202.34	296.0	193.78
	616.0	227.22	792.4	218.58	690.0	207.30	615.2	203.78	376.0	193.78
退水段 2,678	416.0	220.98	600.4	216.10	483.6	204.18	384.0	203.14	104.0	193.38
	456.0	223.22	680.4	217.38	562.0	204.90	440.0	203.22	168.0	193.22
	536.0	223.54	786.8	217.94	673.2	205.62	488.0	202.10	224.0	193.38
							552.0	201.46	288.0	193.46
							615.2	201.86	368.0	193.38
退水段 1,807	417.6	219.62	616.4	215.54	486.8	203.46	385.6	202.74	120.0	192.74
	448.0	221.38	688.4	216.58	586.0	203.86	440.0	202.74	176.0	192.66
	472.0	222.02	786.0	217.94	670.8	204.50	496.0	201.46	232.0	192.50
							552.0	201.06	288.0	192.66
							615.2	203.14	344.0	192.98
退水段 1,192	417.6	219.78	642.0	215.38	616.4	203.54	385.6	202.18	128.0	191.86
	448.0	220.66	696.4	216.26	642.0	203.78	440.0	202.26	240.0	191.30
	528.0	223.14	783.6	217.14	673.2	204.18	504.0	200.90	296.0	190.90
							560.0	200.74		
							615.2	200.26		
退水段 1,031	419.2	219.70	644.4	215.78	584.4	203.78	393.6	201.94	136.0	191.54
	448.0	220.34	696.4	215.86	618.0	204.02	448.0	201.86	224.0	190.34
	465.6	220.66	778.8	217.06	673.2	204.66	512.0	200.82	296.0	190.42
							576.0	200.90		
							615.2	200.18		
退水段 562	437.6	219.86	690.0	215.70	642.0	203.54	536.0	200.50	224.0	190.34
	454.4	219.54	734.8	215.70	672.4	203.78	615.2	200.18	296.0	190.10
	420.0	218.50	648.4	214.50	626.0	203.06	472.0	201.14	216.0	190.42
	438.4	218.82	688.4	214.74	650.0	202.90	544.0	200.58	256.0	190.50
	454.4	218.74	732.4	214.98	673.2	203.14	615.2	200.10	294.4	190.34

表 4-8 模型變量流加砂驗證試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	424	7.37	622.8	3.41	490	2.38	488	3.14	160	0.14
	432	4.83	648.4	1.59	554	0.82	520	5.77	184	0.42
	448	2.85	680.4	3.25	602	2.74	552	6.27	216	1.58
			704.4	4.74	626	3.52	576	5.46	248	2.32
			732.4	4.60	646	5.68	604	4.98	280	1.67
漲水段 1,192	420	0.98	616.4	2.19	490	1.07	488	4.27	152	0.05
	428	7.86	644.4	1.84	538	1.49	528	7.73	176	1.13
	440	5.00	672.4	3.97	578	1.69	560	8.37	216	2.45
	448	4.26	700.4	5.50	618	2.57	584	6.82	256	2.82
	460	0.96	732.4	1.90	642	4.32	604	5.90	296	1.46
漲水段 1,959	420	1.63	584.4	1.22	490	1.74	488	5.08	160	2.83
	428	13.76	640.4	3.21	546	2.11	520	6.91	192	3.42
	440	7.79	664.4	7.09	586	3.52	552	7.36	224	4.06
	448	5.39	700.4	6.27	626	4.89	584	14.03	256	4.59
	456	4.38	736.4	0.31	658	4.61	608	8.59	288	3.00
漲水段 4,408	416	8.55	616.4	3.65	490	2.70	424	5.52	144	3.02
	432	14.04	648.4	7.87	522	1.92	488	7.18	184	5.02
	448	12.64	676.4	8.69	562	4.94	520	19.51	224	6.34
	464	5.72	704.4	9.92	594	6.63	560	11.65	264	5.47
	480	3.00	740.4	5.70	658	7.71	592	11.64	296	4.90
洪峰流量 4,525	416	6.87	608.4	2.93	486	2.23	400	3.96	144	2.74
	432	15.23	640.4	6.33	546	3.34	480	8.40	208	5.76
	448	21.52	672.4	8.37	586	6.90	520	11.17	240	6.52
	464	6.52	704.4	8.19	618	7.37	560	11.51	264	4.76
	488	4.23	740.4	5.33	666	7.62	592	12.10	296	4.47
退水段 2,678	424	12.88	616.4	4.01	490	0.01	488	9.98	132	3.23
	432	14.38	652.4	2.93	586	1.35	512	13.39	160	4.26
	436	16.62	676.4	6.11	610	4.44	552	18.54	208	4.70
	456	6.60	708.4	6.51	634	7.54	584	16.08	256	5.39
	468	4.87	736.4	3.02	658	6.90	608	6.69	280	5.73
退水段 1,807	424	12.29	616.4	1.08	598	0.41	488	6.93	148	3.40
	432	18.27	652.4	3.69	622	4.60	520	7.12	192	2.74
	440	12.34	680.4	4.78	634	6.08	552	7.12	224	4.95
	452	6.60	712.4	5.36	650	6.41	584	10.30	256	5.24
	460	5.59	736.4	1.26	666	5.81	600	9.57	280	5.11
退水段 1,192	424	0.93	652.4	4.37	594	1.50	488	5.15	152	1.15
	432	9.21	680.4	5.22	626	3.32	512	17.83	228	0.91
	448	5.07	696.4	5.32	638	4.34	544	6.82	240	3.26
			712.4	4.43	650	5.07	576	8.47	252	6.46
			732.4	0.31	666	4.71	604	8.41	268	6.20
退水段 1,031	424	2.29	652.4	3.29	634	3.49	488	4.15	152	2.23
	436	8.09	676.4	4.61	642	4.25	520	6.76	240	3.07
	448	4.18	704.4	4.50	650	4.46	552	8.01	252	6.10
			716.4	3.64	658	4.86	584	7.15	260	5.14
			736.4	0.76	666	4.49	608	7.16	280	3.90
退水段 710	424	1.64	652.4	3.01	634	2.13	488	2.83	152	1.23
	436	6.69	672.4	4.61	642	3.41	520	5.37	236	2.20
	448	4.34	696.4	4.42	650	4.04	552	5.71	248	5.54
			712.4	2.47	658	4.81	584	6.58	260	3.26
			728.4	0.81	666	4.83	608	6.38	272	3.94
退水段 562	424	1.11	652.4	2.60	642	2.13	520	4.87	236	2.79
	436	6.41	676.4	4.13	650	3.74	544	5.58	252	4.00
	448	3.73	700.4	3.30	658	4.95	568	5.99	272	2.47
			712.4	1.79	666	5.12	588	6.04		
			724.4	0.22	670	4.84	608	5.69		

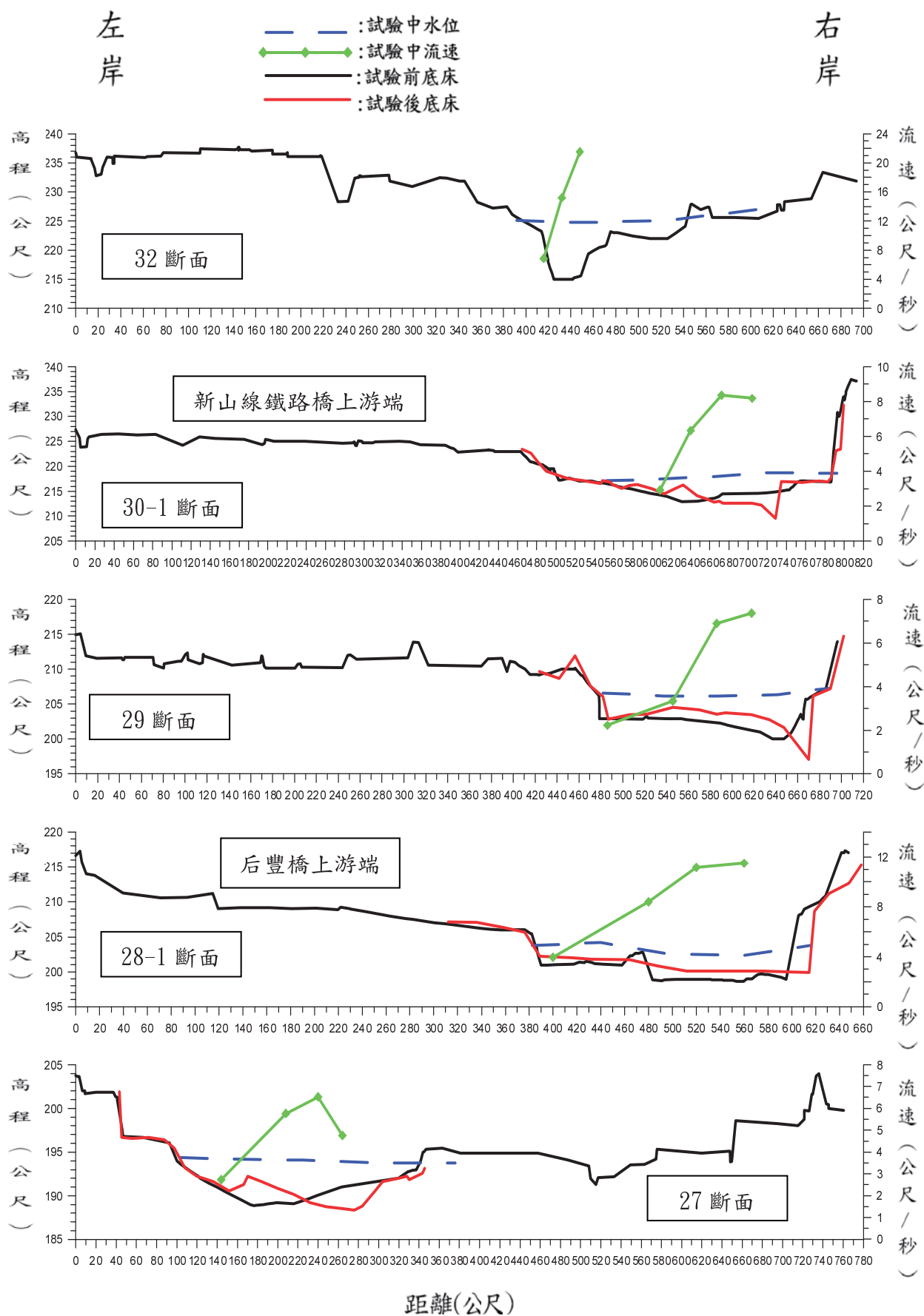


圖 4-22 模型變量流加砂驗證試驗在洪峰流量 4,525 秒立方公尺水理圖

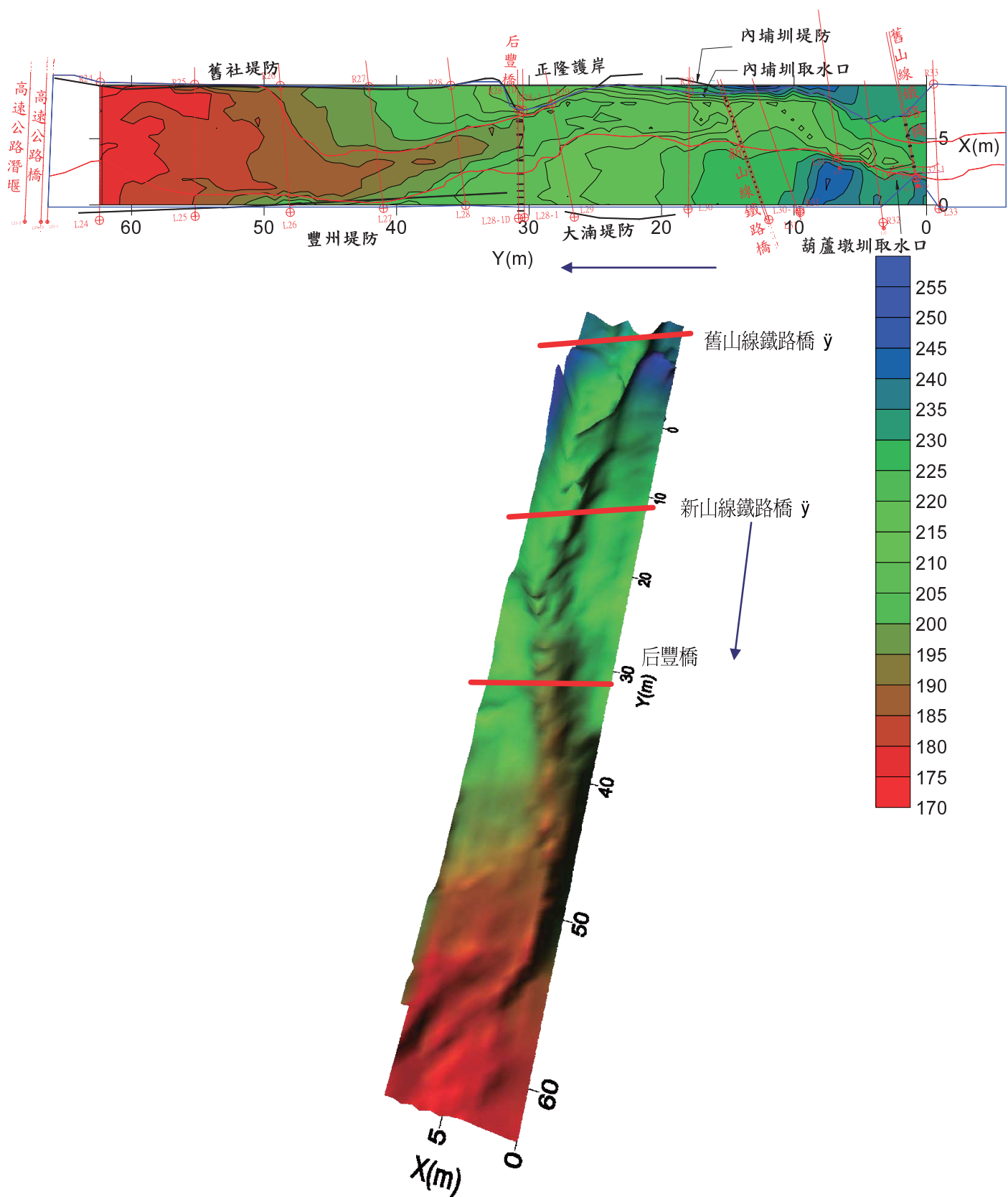


圖 4-23 模型變量流加砂驗證試驗後地形圖

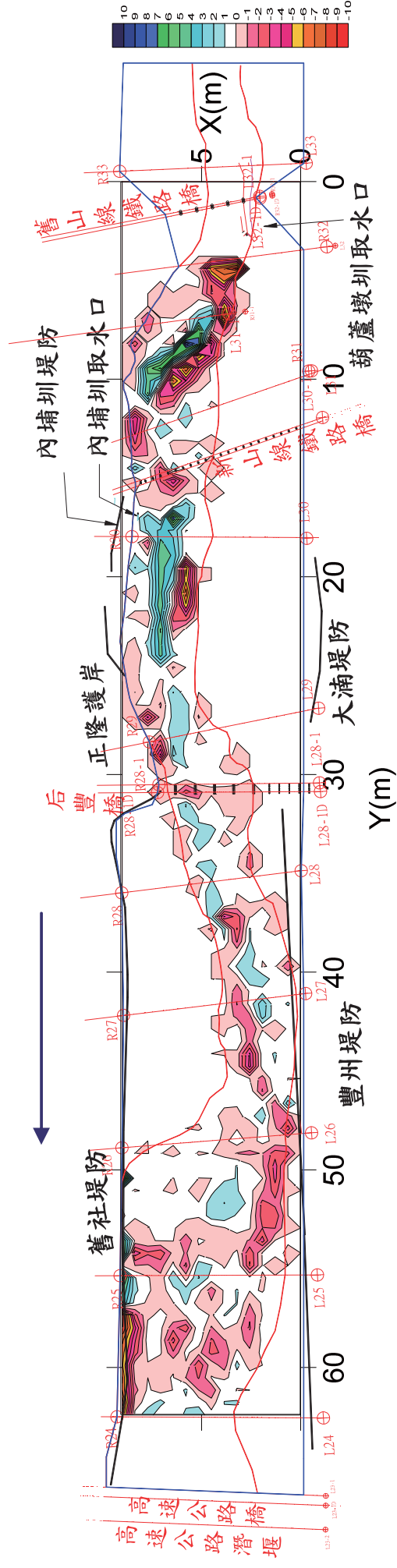


圖 4-24 模型變量流加砂驗證試驗地形高程差圖



1.試驗前地形（舊山線鐵路橋下游）



2.試驗前地形（新山線鐵路橋上游）



3.試驗前地形（新山線鐵路橋下游）



4.試驗前地形（后豐橋上游）



5.洪峰流量 4,525 秒立方公尺（新山線鐵路橋下游）

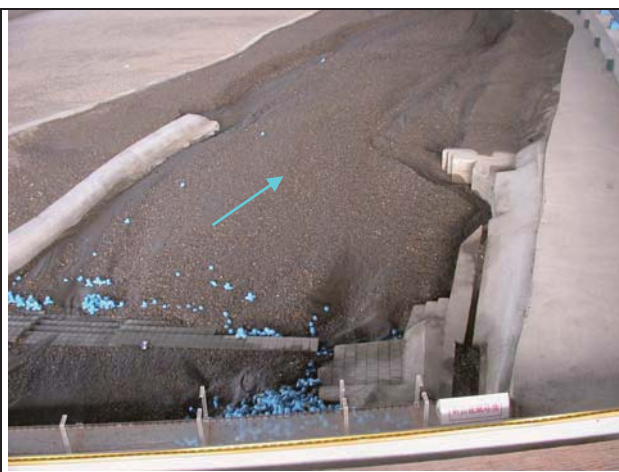


6.洪峰流量 4,525 秒立方公尺（后豐橋上游）

照片 4-22 模型變量流加砂驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之一



7.試驗後地形（舊山線鐵路橋下游）



8.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（新山線鐵路橋上下游）



10.試驗後地形（后豐橋上下游）



11.試驗後地形（后豐橋橋下）



12.試驗後地形（后豐橋下游）

照片 4-23 模型變量流加砂驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之二

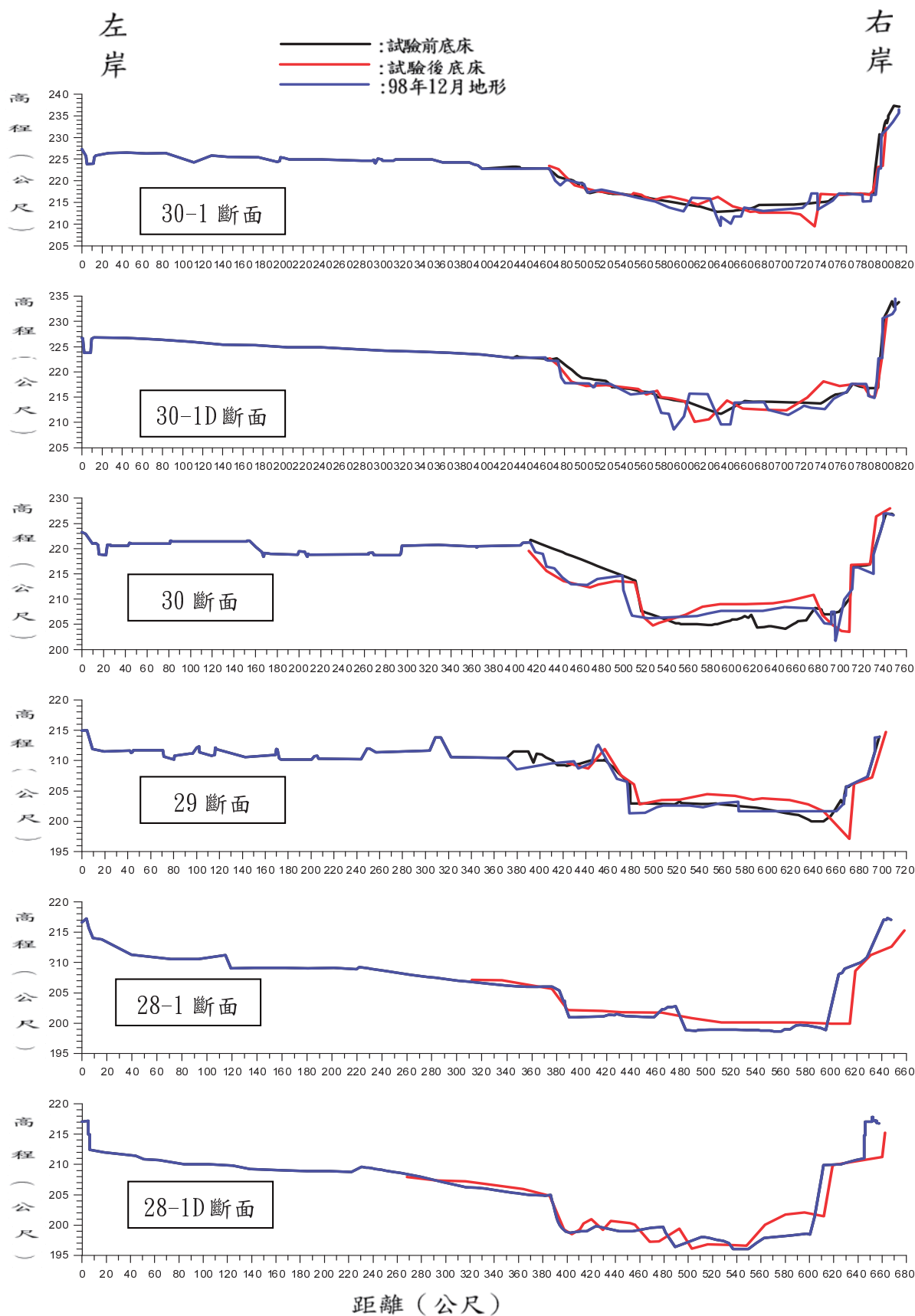


圖 4-25 模型變量流加砂驗證試驗底床高程變化圖之一

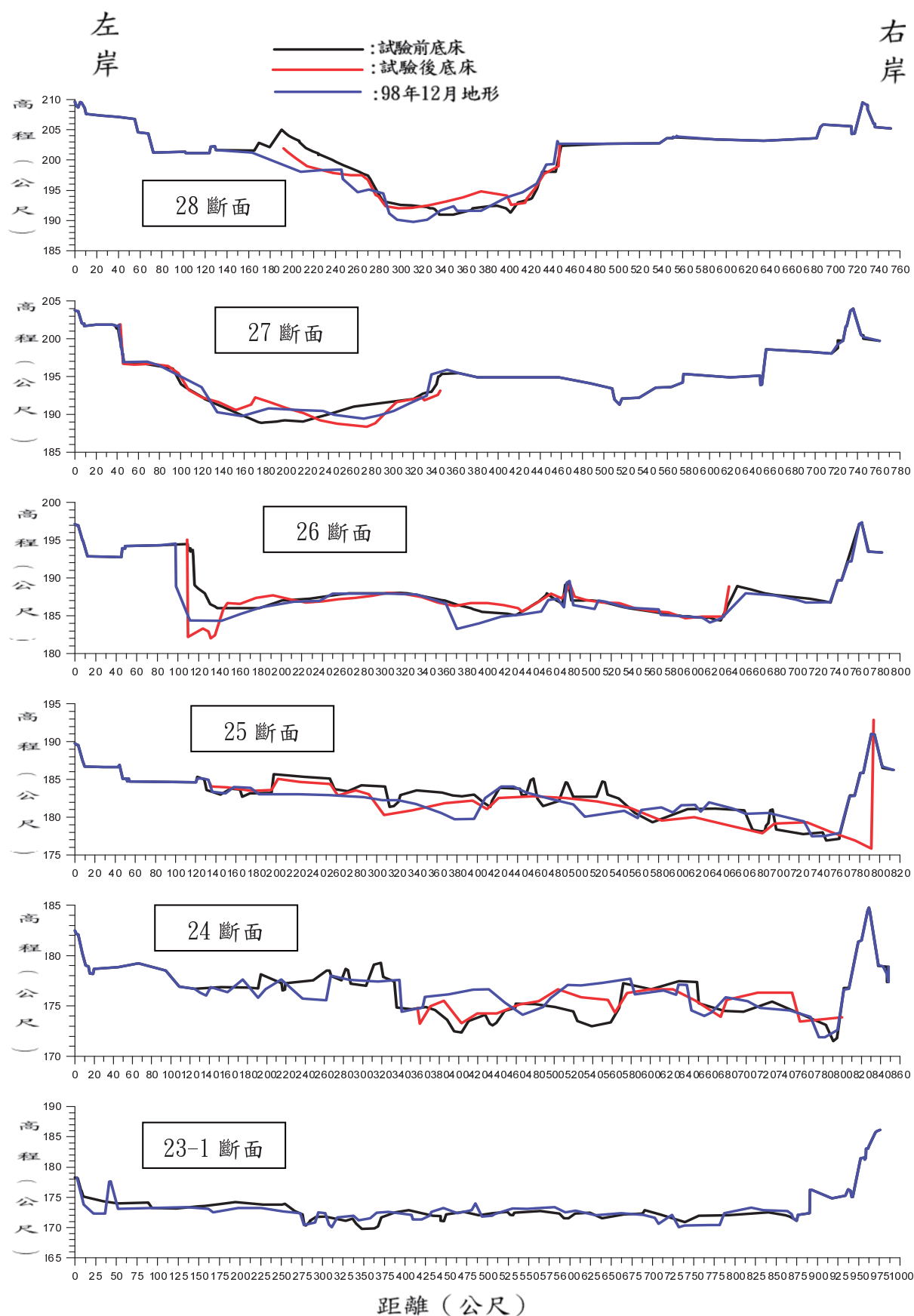


圖 4-26 模型變量流加砂驗證試驗底床高程變化圖之二

(二) 變量流清水驗證試驗

1. 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為調整前項加砂試驗結果模型量測值略高於現場量測值，顯示加砂量還太多，故調整為不加砂之清水試驗。試驗量測地點及方式皆與前項加砂試驗相同。

2. 模型試驗條件：除不加砂外，其餘與前項加砂試驗皆相同。

3. 模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，大致上與前項加砂試驗類似，模型試驗過程詳見照片 4-24～照片 4-25，五處水位及流速值詳如表 4-9 及表 4-10，洪峰流量 4,525 秒立方公尺詳如圖 4-27。

試驗後量測地形詳如圖 4-28，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差(負值表示沖刷、正值表示淤積)，詳如圖 4-29，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡(深度 1～5 公尺)、新山線鐵路橋下游端(深度 1～4 公尺)、新山線鐵路橋下游固床工下游端(深度 1～7 公尺)、后豐橋上游右岸正隆護岸(深度 1～4 公尺)、后豐橋下游端(深度 1～2 公尺)、斷面 26 左岸豐州堤防(深度 1～3 公尺)、中山高速公路橋上游右岸舊社堤防(深度 1～10 公尺)。檢驗莫拉克颱風前(民國 97 年 12 月地形)後大斷面底床變化圖，如圖 4-30 及圖 4-31，試驗結果模型量測值與民國 98 年 12 月地形驗證結果大致接近，惟部份斷面邊坡沖刷深度模型大於現場。

表 4-9 模型變量流清水驗證試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	418.4	222.26	570.0	215.86	484.4	204.58	393.6	202.18	126.4	191.62
	440.0	222.34	624.4	215.86	514.0	204.58	448.0	201.94	168.0	191.78
	472.0	222.34	656.4	216.42	554.0	204.02	512.0	200.50	216.0	191.86
			688.4	216.02	610.0	203.46	568.0	200.26	264.0	191.94
			727.6	215.70	672.4	203.54	615.2	200.10	334.4	191.70
漲水段 1,192	412.8	222.42	564.4	216.02	482.0	204.82	385.6	202.34	116.8	192.42
	440.0	222.42	600.4	216.10	522.0	204.98	432.0	202.34	160.0	192.66
	472.0	222.66	640.4	216.42	562.0	204.50	488.0	201.22	216.0	192.66
			680.4	216.66	602.0	204.18	544.0	200.98	296.0	192.66
			730.0	216.58	672.4	204.58	615.2	199.86	336.0	192.66
漲水段 1,959	414.4	222.18	560.4	216.58	482.0	205.22	385.6	202.50	108.0	193.30
	440.0	222.66	600.4	216.66	522.0	205.22	432.0	202.42	160.0	193.30
	536.0	223.46	648.4	216.98	566.0	204.66	480.0	201.78	224.0	193.46
			696.4	217.46	626.0	204.50	552.0	201.46	288.0	193.46
			776.4	217.46	672.4	205.38	615.2	200.82	346.4	193.46
漲水段 4,408	414.4	223.78	558.8	216.82	480.4	206.50	382.4	203.70	104.0	194.02
	472.0	225.14	616.4	217.22	530.0	205.94	424.0	203.46	144.0	194.34
	544.0	225.62	664.4	218.26	578.0	206.02	488.0	202.58	208.0	193.94
			720.4	218.50	626.0	206.34	552.0	202.50	288.0	194.58
			788.4	217.78	690.0	207.06	615.2	202.10	360.0	194.10
洪峰流量 4,525	388.0	225.86	536.4	217.38	482.0	206.18	382.4	203.86	104.0	194.50
	464.0	225.22	584.4	217.46	530.0	205.86	432.0	203.22	152.0	194.50
	544.0	224.98	640.4	218.02	578.0	206.10	488.0	202.50	216.0	194.58
			712.4	217.70	642.0	206.42	544.0	202.50	288.0	194.50
			791.6	217.86	697.2	207.14	615.2	201.14	376.0	194.34
退水段 2,678	416.0	221.06	607.6	216.66	483.6	204.50	384.0	202.90	110.4	193.06
	472.0	222.98	672.4	216.98	546.0	204.50	424.0	203.14	168.0	193.30
	536.0	223.30	732.4	215.54	594.0	204.90	464.0	202.82	224.0	193.46
					626.0	204.98	528.0	201.62	288.0	193.78
					672.4	205.46	615.2	201.30	368.0	193.46
退水段 1,807	416.0	220.66	599.6	215.86	482.0	203.22	384.0	202.58	120.0	191.94
	441.6	221.94	664.4	215.70	606.0	203.46	432.0	202.42	168.0	192.34
	472.0	222.26	732.4	214.98	672.4	204.42	496.0	200.98	216.0	192.26
							568.0	200.66	264.0	192.18
							615.2	201.06	344.0	193.06
退水段 1,192	417.6	220.98	594.0	215.06	602.0	203.38	385.6	202.26	112.0	191.38
	446.4	221.78	648.4	214.82	634.0	203.38	440.0	202.26	224.0	190.90
	531.2	222.90	728.4	214.74	670.0	203.78	496.0	200.90	342.4	192.26
							560.0	200.74		
							615.2	199.78		
退水段 1,031	417.6	221.14	592.4	214.50	606.0	203.22	384.0	202.26	128.0	191.30
	448.0	221.46	656.4	214.42	634.0	203.38	440.0	202.02	216.0	190.82
	529.6	222.90	712.4	214.42	672.4	203.70	512.0	200.98	280.0	190.74
							560.0	200.50		
							615.2	200.34		
退水段 710	418.4	221.30	592.4	213.86	602.0	202.90	384.0	202.10	136.0	191.22
	440.0	221.30	648.4	214.10	634.0	202.90	448.0	201.94	184.0	191.14
	472.0	221.30	712.4	213.94	672.4	203.06	504.0	200.58	276.0	190.10
							552.0	200.50		
							615.2	199.94		
退水段 562	417.6	221.06	592.4	213.70	604.4	202.34	424.0	201.94	144.0	191.14
	440.0	220.90	648.4	213.70	634.0	202.66	520.0	200.42	176.0	191.22
	470.4	220.90	710.8	213.54	672.4	202.82	615.2	199.86	276.8	189.54

表 4-10 模型變量流清水驗證試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離(m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec))	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	424	5.01	608.4	2.70	490	0.74	496	4.16	168	1.34
	432	2.76	636.4	3.79	546	2.10	520	5.54	192	1.80
	440	2.13	652.4	2.14	586	1.91	544	6.57	208	2.04
	448	2.05	672.4	4.80	630	3.22	568	6.56	232	1.66
	456	1.46	696.4	1.33	666	4.42	600	4.30	256	1.46
漲水段 1,192	424	12.54	612.4	2.69	490	0.85	488	4.39	160	1.20
	432	5.55	640.4	3.57	522	1.62	512	18.49	184	2.01
	440	3.72	672.4	3.29	562	1.70	536	8.88	208	2.79
	448	3.33	704.4	3.89	626	3.15	568	7.03	232	2.14
	460	1.11	716.4	3.14	666	5.03	592	6.20	256	2.23
漲水段 1,959	424	11.79	616.4	3.20	490	2.23	488	5.19	160	2.28
	432	15.83	644.4	5.50	522	2.24	512	6.65	184	3.27
	440	10.49	672.4	5.30	578	2.04	544	7.52	208	3.39
	448	5.52	704.4	4.88	618	5.23	576	20.10	232	3.19
	456	3.74	732.4	3.93	666	5.01	608	8.28	260	3.17
漲水段 4,408	416	8.22	576.4	1.17	490	2.87	464	5.89	152	4.73
	432	13.11	636.4	7.84	522	4.46	496	7.48	184	3.11
	444	8.49	668.4	8.84	570	3.19	512	13.95	224	6.48
	456	5.99	700.4	7.90	610	6.41	576	12.91	264	6.55
	472	4.41	720.4	6.75	666	7.79	608	11.74	304	3.06
洪峰流 量 4,525	420	9.33	612.4	4.50	490	2.72	448	5.08	160	3.56
	432	13.95	640.4	7.61	530	3.35	488	6.44	168	4.35
	448	12.38	676.4	6.80	578	4.42	528	20.69	200	3.77
	464	6.31	708.4	10.66	610	6.22	568	11.13	232	5.49
	484	5.33	732.4	6.43	666	7.78	608	13.12	272	5.98
退水段 2,678	424	9.66	616.4	3.82	490	0.59	456	3.30	152	4.21
	436	15.26	636.4	5.99	582	1.81	480	5.11	176	3.40
	444	11.67	668.4	5.73	618	3.55	520	16.33	208	4.60
	452	7.79	700.4	5.36	638	6.23	560	20.24	232	5.26
	464	5.40	716.4	4.40	658	7.24	584	10.08	256	5.25
退水段 1,807	424	11.00	616.4	5.99	618	2.58	480	5.08	152	3.79
	432	13.73	636.4	5.54	630	5.24	504	6.45	168	3.05
	440	8.44	656.4	0.76	642	6.31	536	8.44	216	3.38
	448	5.73	676.4	2.11	654	6.04	552	6.62	240	5.15
	456	3.77	700.4	1.23	666	6.10	584	8.44	260	5.63
退水段 1,192	424	4.82	608.4	5.67	602	0.76	488	4.40	156	2.01
	432	6.61	616.4	5.42	634	3.65	520	7.01	216	1.92
	440	3.69	636.4	2.86	642	3.82	552	6.71	240	3.82
	448	2.79	648.4	3.39	654	4.85	584	7.13	256	6.04
	456	2.25	672.4	1.20	666	5.33	608	6.50	264	6.15
退水段 1,031	424	11.45	600.4	2.60	606	0.32	488	4.06	156	2.24
	432	5.98	608.4	3.83	630	2.99	512	6.49	224	1.91
	440	3.08	620.4	4.33	642	3.84	544	10.62	240	4.44
	448	3.02	640.4	3.56	654	3.99	576	6.60	256	6.31
	456	0.89	676.4	1.20	666	4.85	608	6.29	268	4.59
退水段 710	424	7.11	600.4	3.78	626	2.05	488	3.81	160	0.96
	436	2.40	608.4	4.06	646	2.78	512	4.98	248	3.85
	448	2.29	616.4	4.20	666	3.50	544	5.05	256	5.84
			632.4	4.00			576	5.28	264	5.06
			652.4	1.95			608	4.81	272	1.16
退水段 562	424	5.24	600.4	3.72	626	1.44	512	4.60	156	1.07
	436	2.05	608.4	3.46	638	1.95	520	4.53	248	2.40
	448	1.77	616.4	3.75	650	2.57	544	4.73	256	6.34
			632.4	2.25	658	2.69	568	4.61	264	4.35
			656.4	0.97	666	2.93	584	4.50	268	3.64

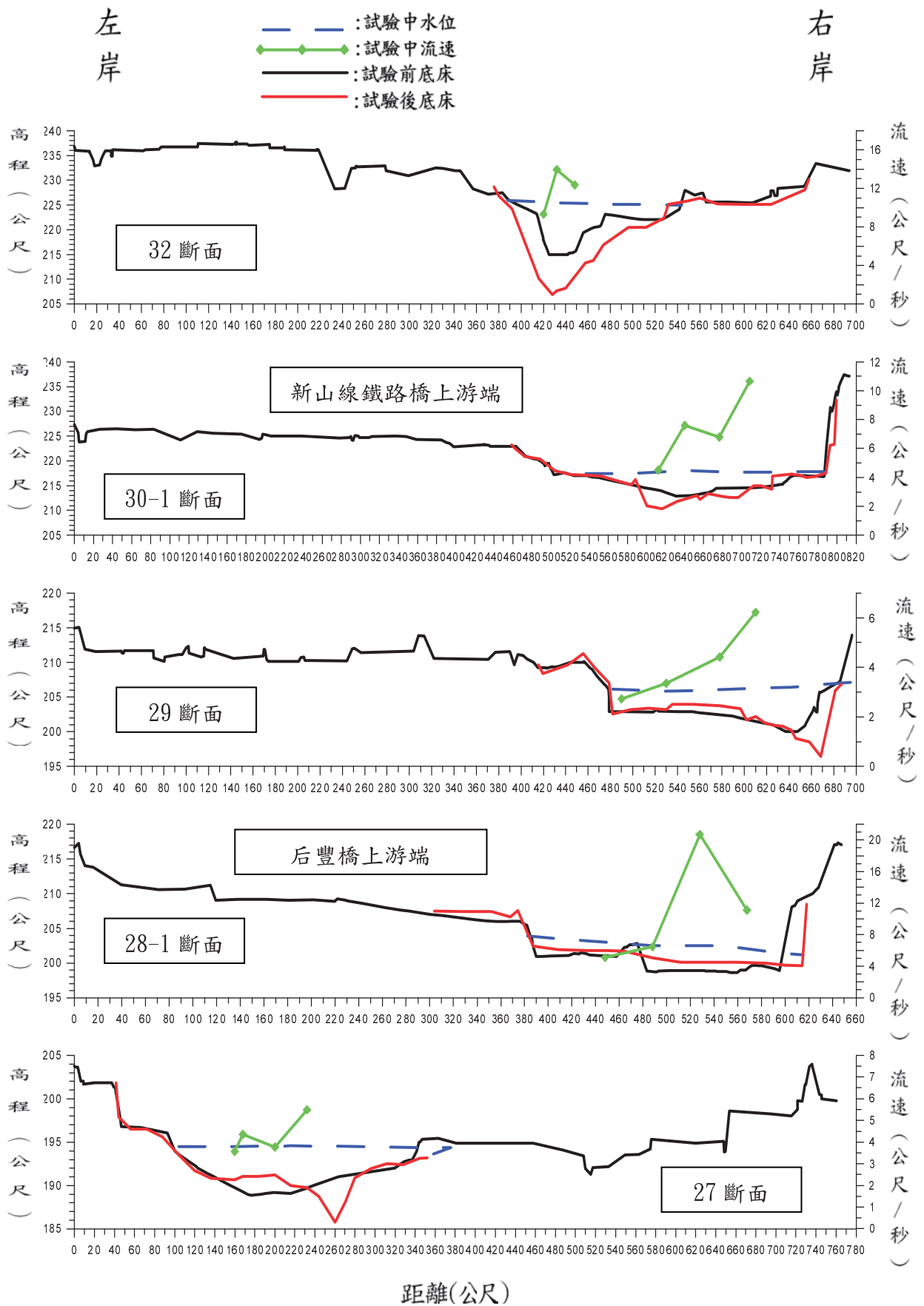


圖 4-27 模型變量流清水驗證試驗在洪峰流量 4,525 秒立方公尺水理圖

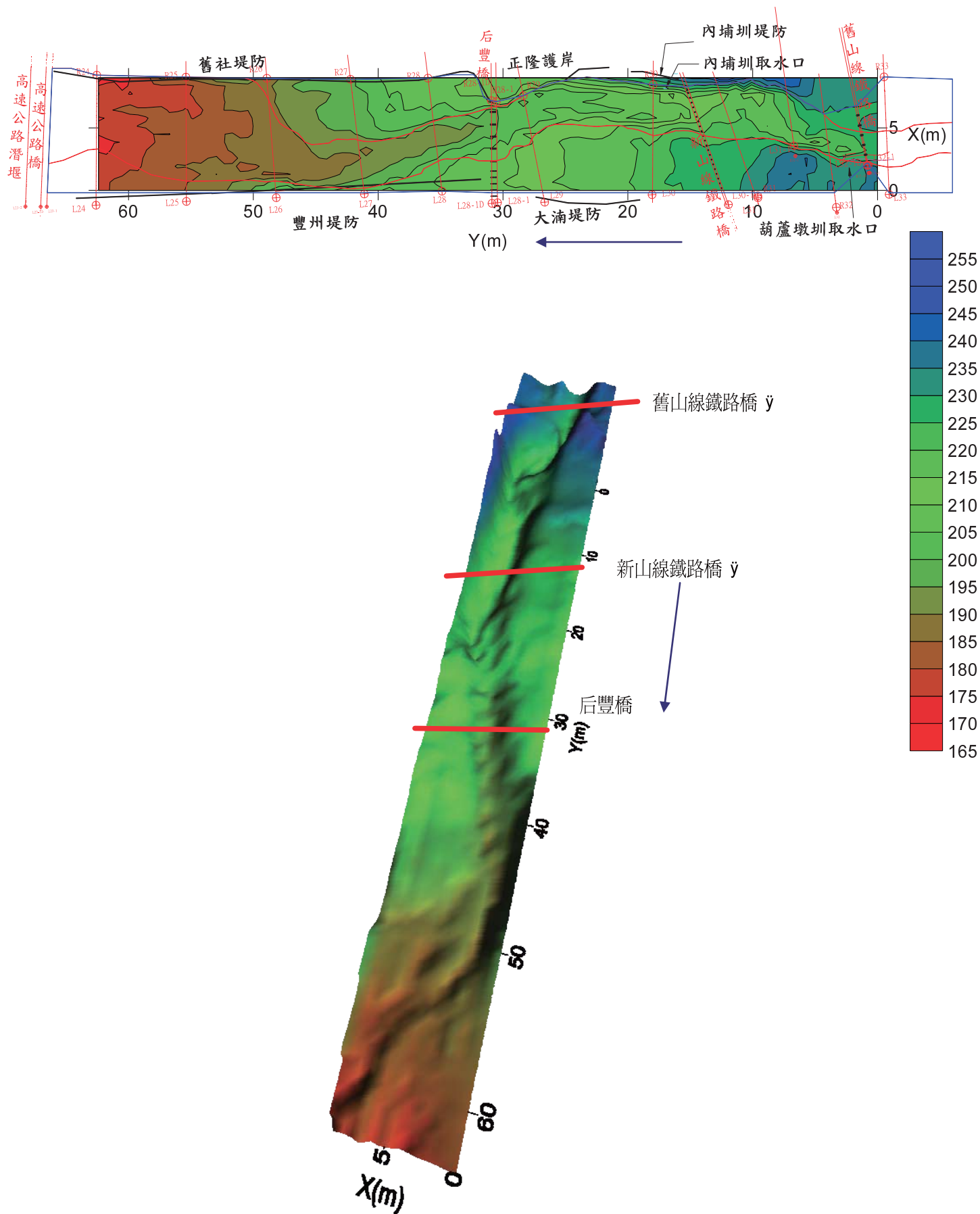


圖 4-28 模型變量流清水驗證試驗後地形圖

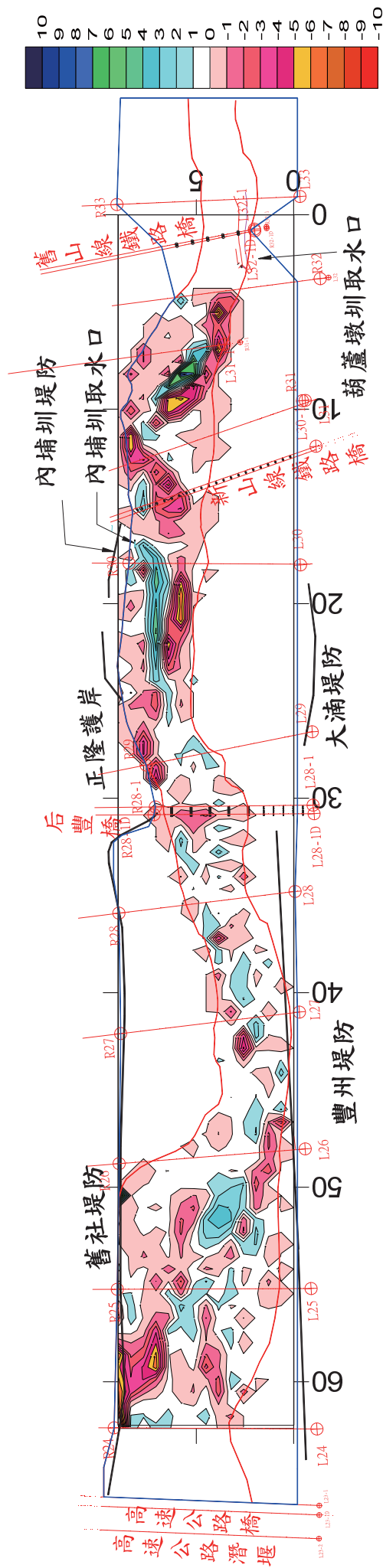


圖 4-29 模型變量流清水驗證試驗地形高程差圖

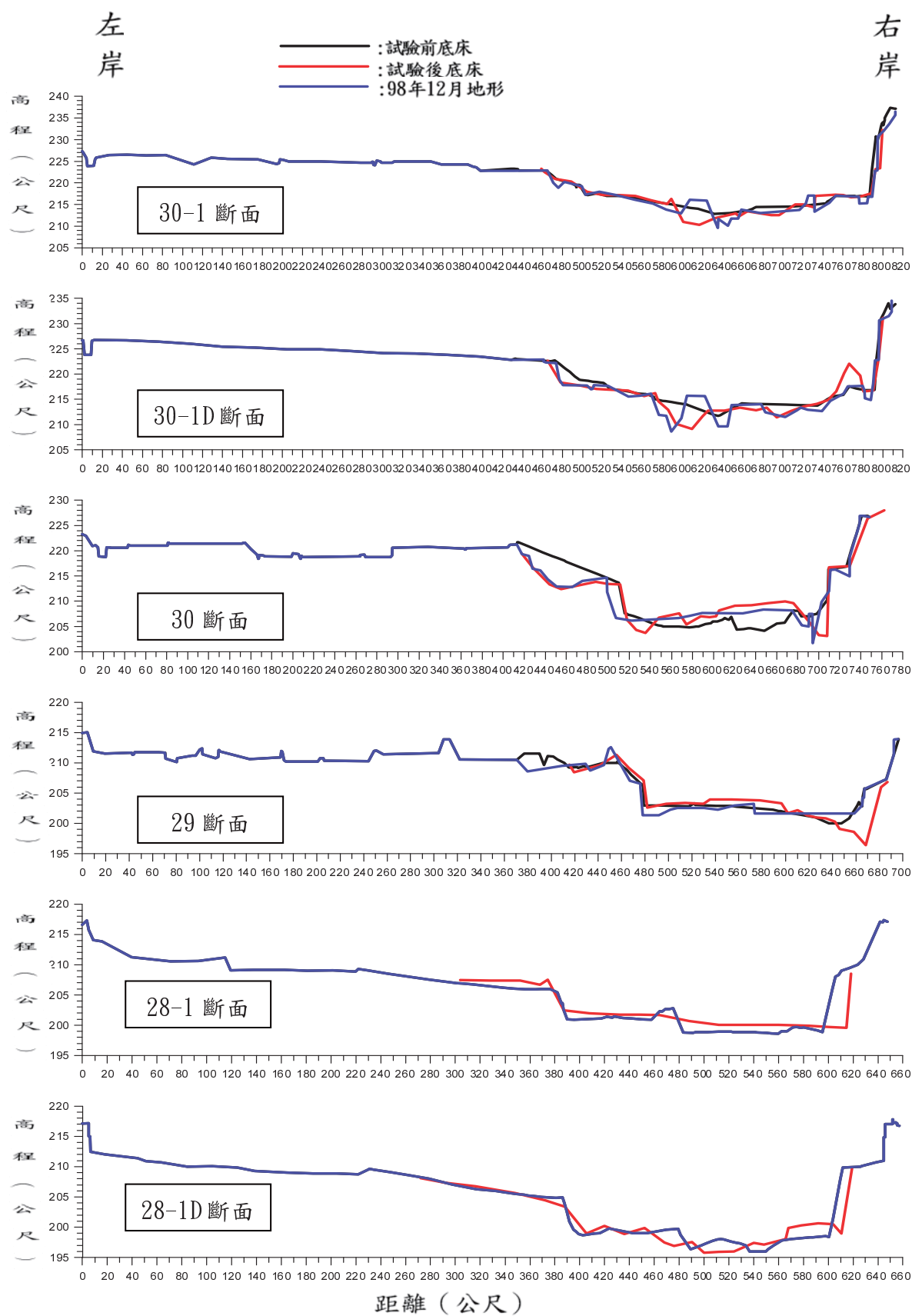


圖 4-30 模型變量流清水驗證試驗底床高程變化圖之一

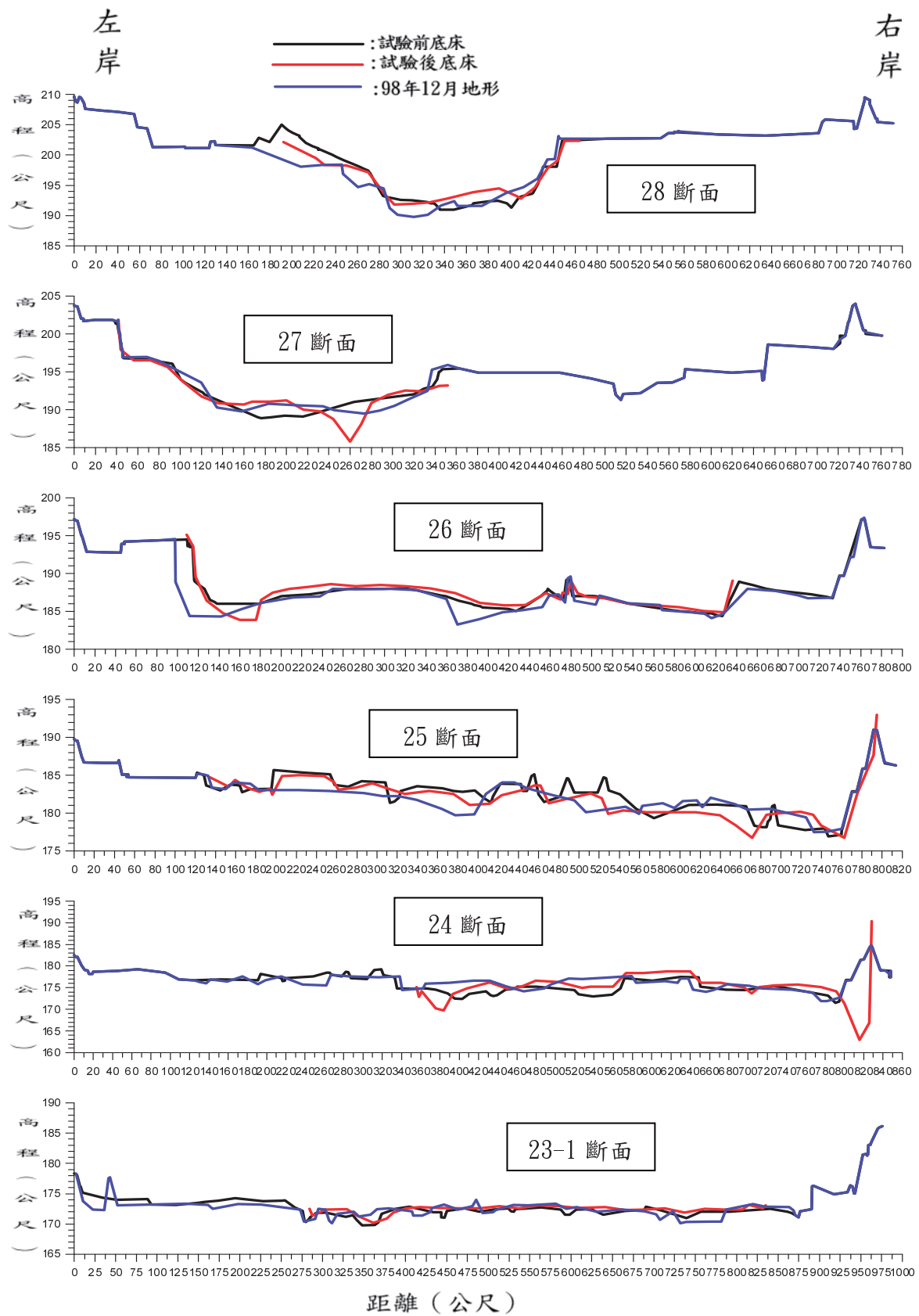


圖 4-31 模型變量流清水驗證試驗底床高程變化圖之二



1.試驗前地形（舊山線鐵路橋下游）



2.試驗前地形（新山線鐵路橋下游）



3.試驗前地形（新山線鐵路橋上下游）



4.試驗前地形（新山線鐵路橋上下游）



5 洪峰流量 4,525 秒立方公尺（新山線鐵路橋上下游）



6.洪峰流量 4,525 秒立方公尺（后豐橋上游）

照片 4-24 模型變量流清水驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之一



7.試驗後地形（舊山線鐵路橋下游）



8.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（后豐橋橋下）



10.試驗後地形（后豐橋下游）



11.試驗後地形（舊社堤防）



12.試驗後地形（全景）

照片 4-25 模型變量流清水驗證試驗模擬莫拉克颱風流況之二

四、驗證試驗成果綜合分析檢討

（一）沖刷位置及深度

大甲溪石岡壩下游自舊山線鐵路橋下游至中山高速公路橋上游，比較現場調查資料與模型驗證試驗量測值之較大沖刷位置，如表 4-12，比較分析後得知，模型與現場沖刷位置大致相同，模型加砂與清水驗證試驗沖刷深度大致相同，有三處位置清水驗證試驗顯示沖刷深度較大，由上游至下游分別為新山線鐵路橋上游端右岸邊坡最大沖刷深度約 5 公尺、新山線鐵路橋下游固床工下游端最大沖刷深度約 7 公尺、中山高速公路橋上游右岸舊社堤防最大沖刷深度約 10 公尺。

（二）大斷面底床變化

與現場民國 98 年 12 月大斷面底床變化地形比較結果，模型加砂及清水試驗量測值大致上與現場接近，如圖 4-32 及圖 4-33。

（三）退水段流量 1,192 秒立方公尺水位比較

根據本所民國 98 年 8 月 10 日上午 10 時新山線鐵路橋實測洪水痕跡記錄約為 EL.216.7~EL.217.2 公尺，模型加砂試驗量測值為 EL.215.38~EL.217.14 公尺，模型清水試驗量測值為 EL.214.74~EL.215.06 公尺，模型加砂試驗結果與現場較接近。

根據上述綜合分析後得知，本模型清水或少量加砂皆可反應現場水理現象。

表 4-12 舊山線鐵路橋至中山高速公路橋現場調查資料與模型驗證試驗沖刷位置及沖刷深度比較表

現場沖刷位置	模型沖刷位置	加砂試驗沖刷深度	清水試驗沖刷深度
舊山線鐵路橋至新山線鐵路橋右岸崩塌地	新山線鐵路橋上游端右岸邊坡沖刷	深度 1~4 公尺	深度 1~5 公尺
新山線鐵路橋	新山線鐵路橋下游端	深度 1~4 公尺	深度 1~4 公尺
內埔圳攔河堰	新山線鐵路橋下游固床工下游端	深度 1~7 公尺	深度 1~7 公尺
正隆護岸	后豐橋上游右岸正隆護岸	深度 1~4 公尺	深度 1~4 公尺
后豐橋、后豐橋橋基	后豐橋下游端	深度 1~2 公尺	深度 1~2 公尺
左岸豐洲堤防低水護岸	斷面 26 左岸豐洲堤防	深度 1~3 公尺	深度 1~3 公尺
右岸舊社堤防	中山高速公路橋上游右岸舊社堤防	深度 1~9 公尺	深度 1~10 公尺
備註：上述沖刷位置係由上游至下游排列			

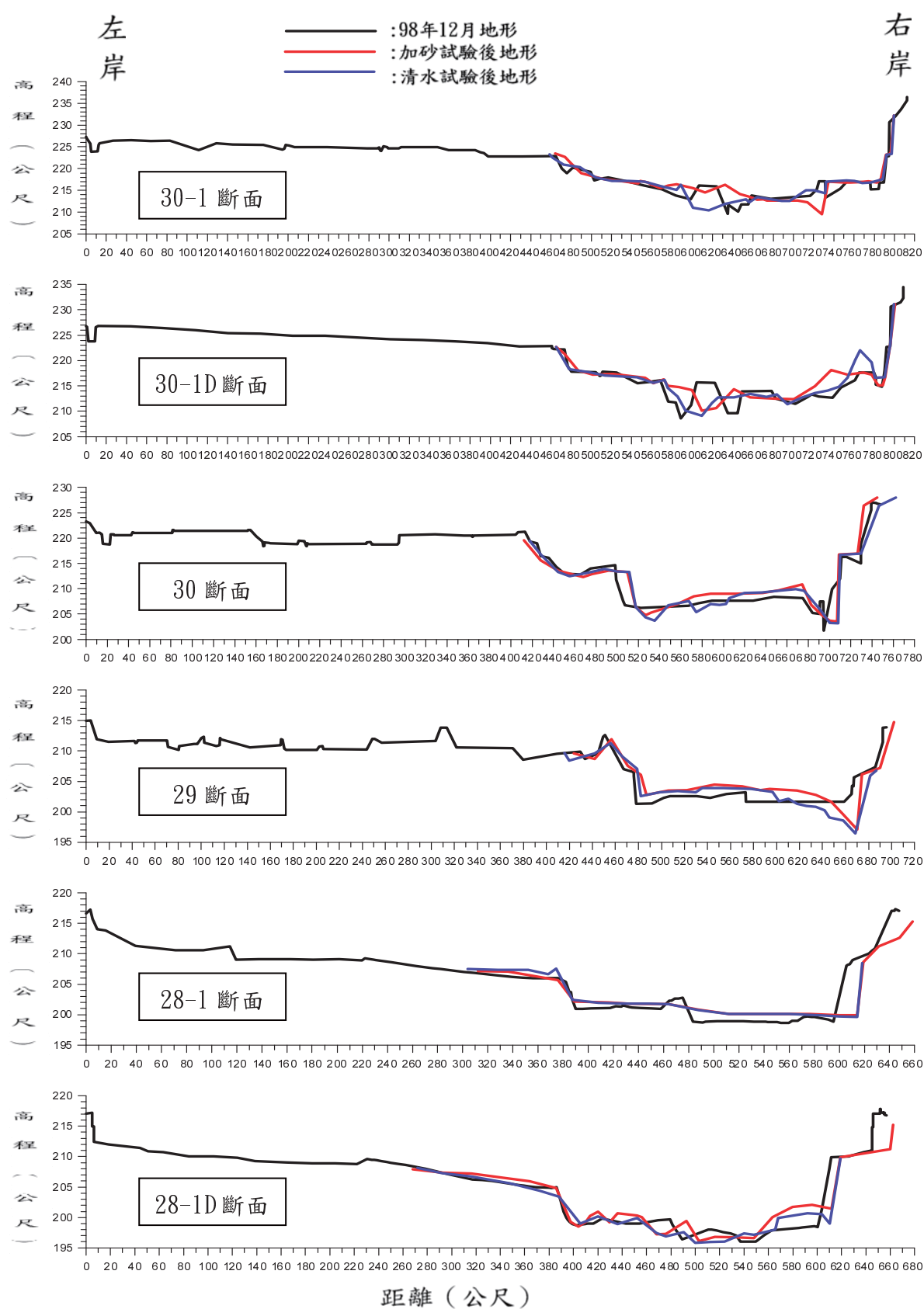


圖 4-32 加砂驗證試驗及清水驗證試驗地形比較圖之一

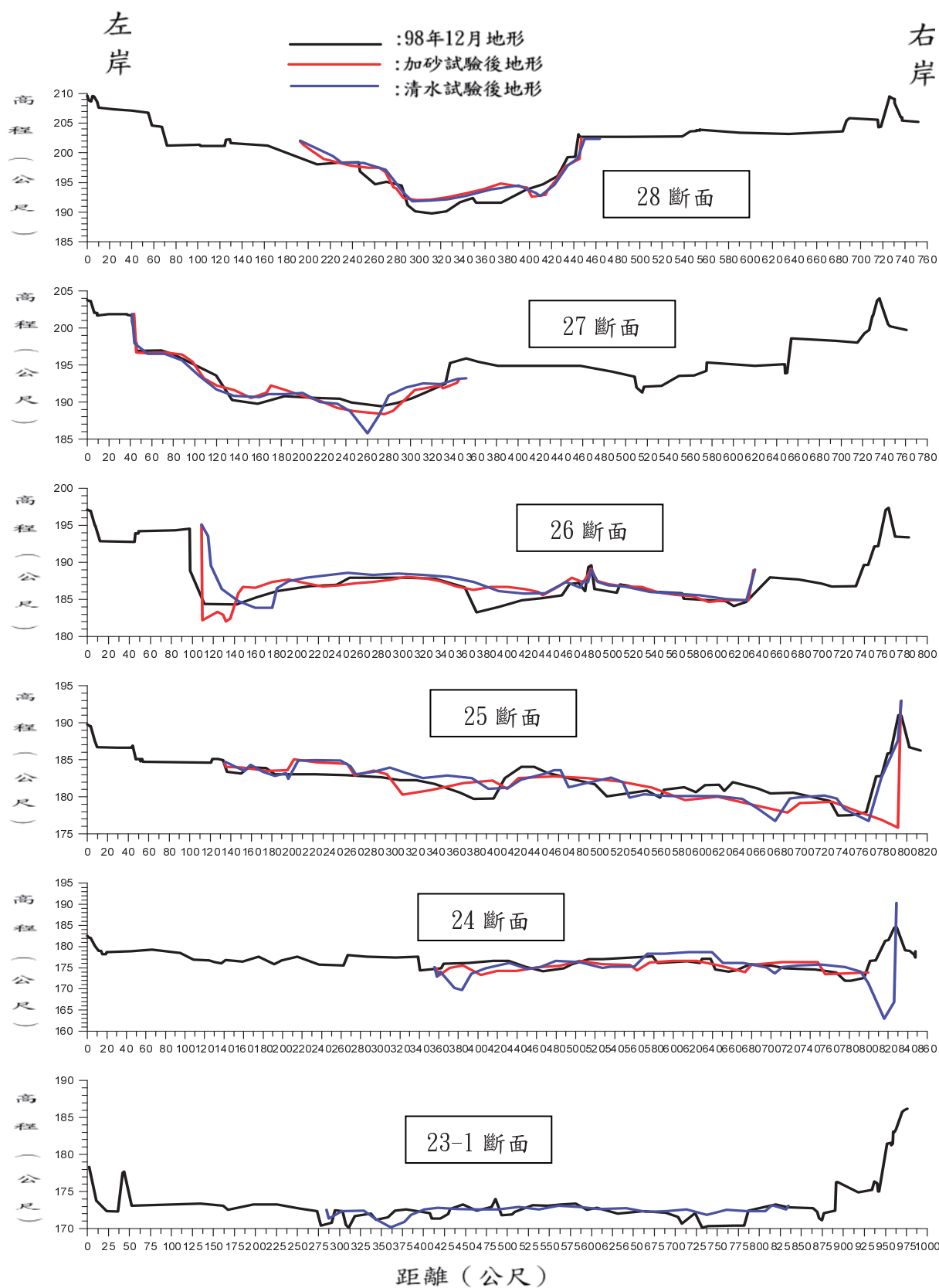


圖 4-33 加砂驗證試驗及清水驗證試驗地形比較圖之二

第五章 既有結構物處理試驗

本章依據本計畫第二年(2/3)期末報告書審查會議紀錄(詳附錄B)，會議結論第三項，首先要確定現況方案為穩定方案之河道既有結構物布置起始條件，參考會議紀錄中經濟部水利署第三河川局意見，有關后豐橋上游河道送水管及后豐橋下游便道固床工拆除與否，建議是否可優先納入水工模型試驗辦理拆除前、後之比較，俾供相關執行單位辦理該結構物存廢之依據。以下依據各單位公文時間流程說明五種試驗方案(既有結構物處理試驗方案，如表 5-1)辦理過程：依據經濟部水利署第三河川局 99 年 6 月 10 日水三管字第 09950053950 號函辦理試驗方案-1 及試驗方案-2，進行 PB 至 PD 河道送水管(如圖 5-1)及后豐橋下游臨時便道作為保護工拆除試驗；依據台灣自來水股份有限公司第四區管理處 99 年 12 月 2 日台水四工字第 0990023055 號函辦理試驗方案-3，進行河道送水管及后豐橋下游臨時便道全部拆除試驗；依據本所「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(4/4)(委辦計畫)」99 年 12 月 7 日水規河字第 09907004080 號函辦理試驗方案-4，進行河道送水管及后豐橋下游臨時便道全部保留皆不拆除試驗；依據經濟部水利署第三河川局 100 年 1 月 12 日水三管字第 10002000930 號函辦理試驗方案-5，進行河道送水管 PB 左側拆除、后豐橋下游臨時便橋橋墩拆除及后豐橋下游臨時便道保留試驗。民國 99 年~100 年現場勘查照片，詳如照片 5-1~照片 5-3。

表 5-1 五種既有結構物處理試驗方案模型布置條件比較表

試驗條件項目	試驗方案-1	試驗方案-2	試驗方案-3	試驗方案-4	試驗方案-5
試驗前鋪設民國 98 年 12 月地形	●	●	●	●	●
模型上游不加砂之變量流清水試驗	●	●	●	●	●
新山線鐵路橋下游消能塊佈置與現場 98 年 12 月類似情況	●	●	●	●	●
后豐橋上游自來水地下涵管	PB~PD 間拆除	PB~PD 間拆除	右岸至 PD 拆除	不拆除	PB 至左岸拆除
后豐橋下游臨時便橋	拆除	拆除	拆除	不拆除	拆除
后豐橋下游臨時便道(內埋設涵管)	不拆除	拆除	拆除	不拆除	不拆除
正隆護岸丁壩(共 6 座)			●	●	●
后豐橋下游臨時便道下游端護坦工					●
后豐橋下游臨時便道右岸加固工程					●
備註：以上試驗條件項目皆為既有結構物，標示 ● 表示此方案有布置或實施此項試驗條件。					



1.由新山線鐵路橋向上游拍攝右岸邊坡照片



2.由右岸拍攝新山線鐵路橋及下游照片



3.由右岸拍攝自來水管橋及上游照片



4.由右岸拍攝后豐大橋及下游照片之一



5.由右岸拍攝后豐大橋及下游照片之二



6.由后豐大橋向下游拍攝照片

照片 5-1 民國 99 年 10 月 7 日現場勘查照片



1.由舊山線鐵路橋向下游拍攝照片



2.由右岸拍攝新山線鐵路橋及下游照片



3.由右岸拍攝自來水管橋及上游照片



4.由后豐大橋拍攝上游自來水管橋照片



5.由下游拍攝后豐大橋及下游照片



6.由后豐大橋向下游拍攝照片

照片 5-2 民國 100 年 3 月 15 日現場勘查照片



1.由右岸拍攝自來水管橋及上游照片



2.由后豐橋上拍攝上游河道送水管拆除情況



3.由后豐橋下拍攝上游河道送水管拆除情況



4.由后豐橋下拍攝下游臨時便道右岸加固情況



5.由下游拍攝后豐橋及下游臨時便橋橋墩拆除情況



6.由后豐大橋向下游拍攝照片

照片 5-3 民國 100 年 5 月 10 日現場勘查照片

依據「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(3/4)(委辦計畫)」所提供之歷史洪水量(石岡壩民國93年至98年16場颱風豪雨事件之放流量)資料,設計代表性洪水歷線,作為模型試驗之上游入流量(變量流),如表5-2及圖5-2所示,模型變量流清水施放流量及時間,如表5-3,模型放流量歷線,如圖5-3。第三年(3/3)模型現況試驗即依據第二年驗證試驗相同起始試驗條件(邊界、大斷面、底床質)下,模型五種試驗方案起始地形(民國98年12月),如圖5-4,以下就五種試驗方案之模型試驗目的、條件、過程及結果,分敘如下。

表 5-2 石岡壩洪水時放流量統計表

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
年度	事件	颱風延時 (小時)	最大放流量 (秒立方公尺)	最大放流量發生 時間(小時)
93	敏督利颱風	143	5,817	36
	艾利颱風	95	4,765	33
94	海棠颱風	167	2,759	30
	馬莎颱風	167	3,535	34
	泰利颱風	119	1,549	36
	龍王颱風	119	1,958	42
95	碧利斯颱風	119	1,227	31
96	0609 豪雨	215	2,462	40
	聖帕颱風	167	2,087	25
	韋帕颱風	71	2,078	20
	柯羅莎颱風	143	3,303	53
97	卡玫基颱風	95	3,084	33
	鳳凰颱風	95	1,868	20
	辛樂克颱風	143	4,225	66
	薔蜜颱風	95	2,296	32
98	莫拉克颱風	167	5,410	64
平均		132.5	3,026	37

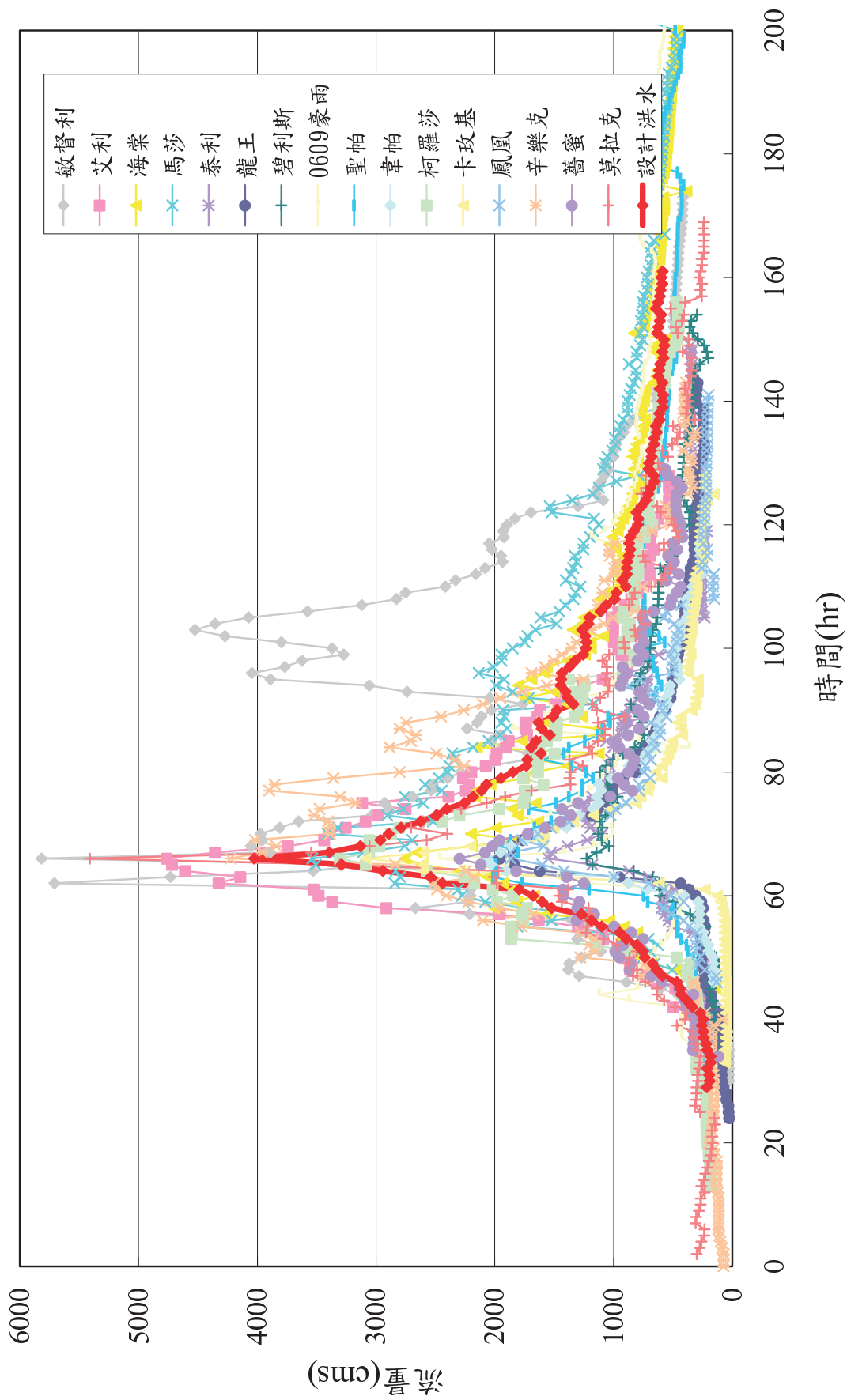


圖 5-2 模型短期洪水建議之設計洪水歷線

表 5-3 變量流清水試驗模型施放流量及時間表

順序	現場流量 (秒立方公尺)	現場間隔時間 (小時)	模型流量 (秒立方公尺)	模型間隔時間 (小時：分鐘)
1	266	17	0.0046	1：54
2	710	8.9	0.0124	1：00
3	1,353	5.1	0.0236	0：34
4	1,959	3	0.0342	0：20
5	2,948	3	0.0515	0：20
6	洪峰 4,007	1	0.0700	0：07
7	3,082	4	0.0538	0：27
8	2,544	4.9	0.0444	0：33
9	1,959	7	0.0342	0：47
10	1,580	8	0.0276	0：54
11	1,353	11	0.0236	1：14
12	1,031	14	0.0180	1：34
13	710	17.9	0.0124	2：00
合計		104.8 小時		11 小時 44 分鐘

註明：模型比例尺 1/80。

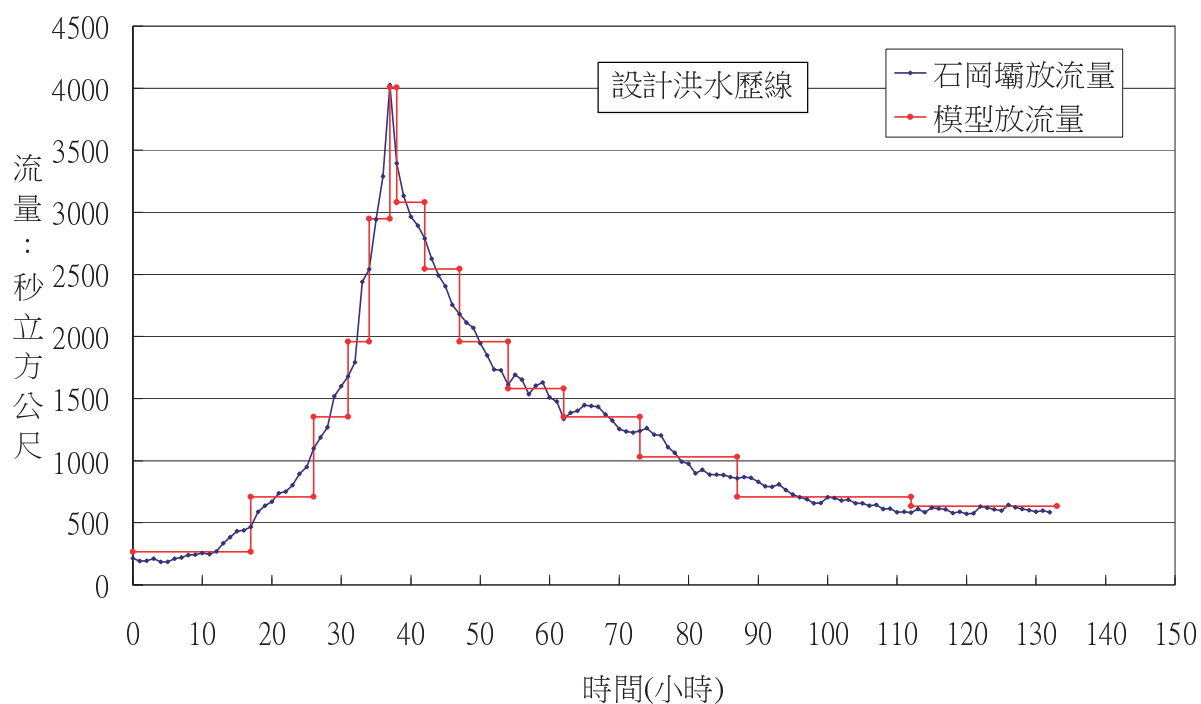


圖 5-3 現場石岡壩放流量設計洪水歷線與模型放流量歷線

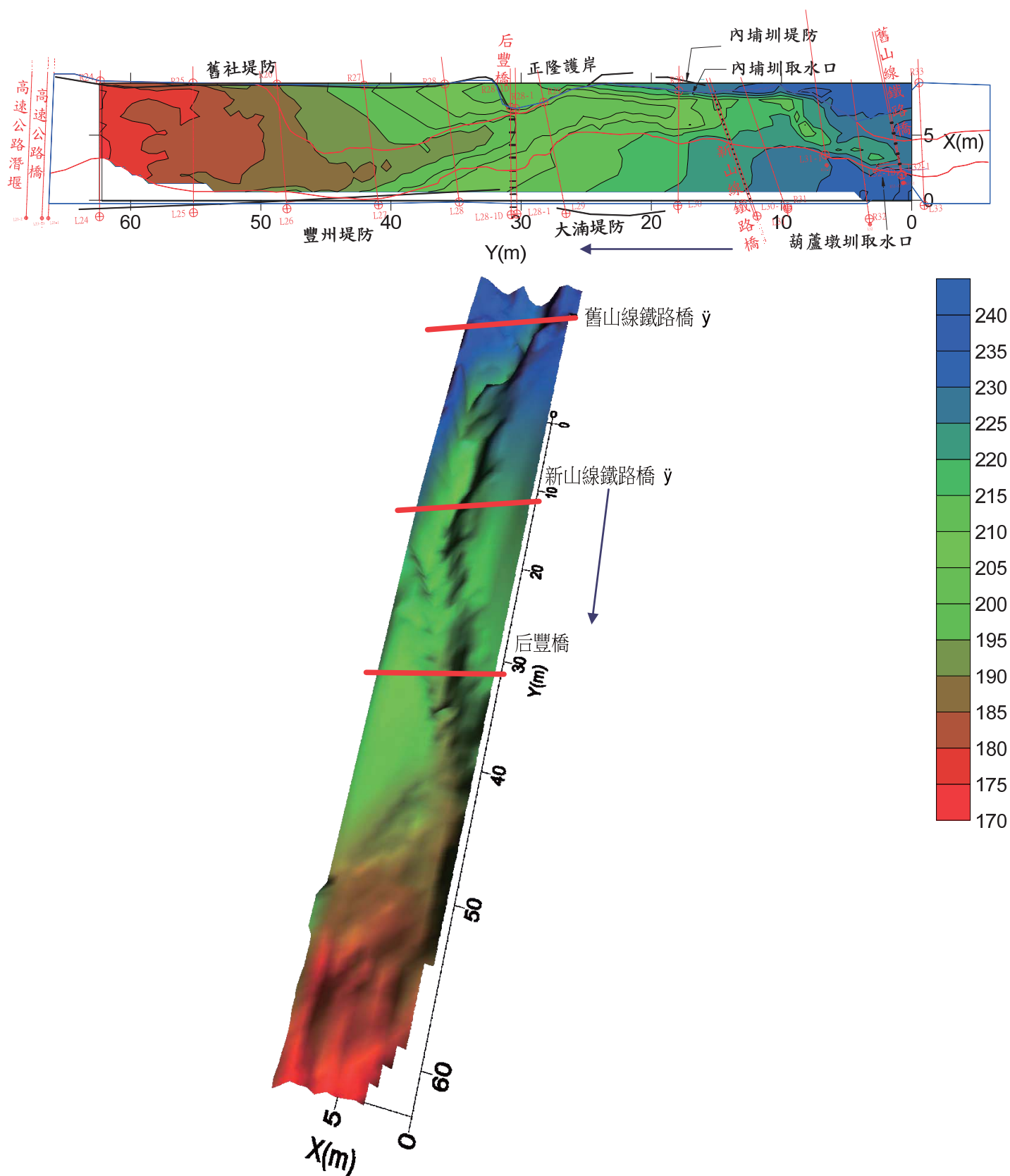


圖 5-4 模型試驗前地形圖(民國 98 年 12 月)

一、試驗方案-1 試驗成果

（一）模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬設計洪水歷線下，后豐橋下游臨時便橋及后豐橋上游自來水河道送水管 PB~PD 間部份拆除情況。

（二）模型試驗條件：

- 1.試驗前鋪設民國 98 年 12 月地形，如圖 5-4。
- 2.模型上游不加砂之變量流清水試驗，如表 5-3 及圖 5-3。
- 3.新山線鐵路橋下游消能塊佈置與現場 98 年 12 月類似情況。
- 4.后豐橋下游臨時便橋拆除、后豐橋上游自來水地下涵管 PB~PD 間（長度約 154m）拆除。
- 5.由於受限於模型施放變量流時間，只選取量測斷面 32、斷面 30-1（新山線鐵路橋上游端）、斷面 29、斷面 28-1（后豐橋上游端）及斷面 27 等五處水位及流速，試驗前、後分別量測各斷面底床沖淤變化地形。

（三）模型試驗結果

模型試驗過程詳見照片 5-4~照片 5-5，五處水位及流速值詳如表 5-4 及表 5-5，洪峰流量 4,007 秒立方公尺通過時之水理詳如圖 5-5。試驗後量測地形詳如圖 5-6，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 5-7，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1~5 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（最大深度約 10.1 公尺）、后豐橋上游端靠中央（最大深度約 7.4 公尺）、后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近（最大深度約 14.2 公尺）、后豐橋下游臨時變道下游端（最大深度約 14.6 公尺）、左岸豐洲堤防（深度 1~8 公尺）。



1.后豐橋上游自來水河道送水管 PB~PD 間
(長度約 154m) 拆除



2.試驗前地形 (后豐橋上下游)



3.漲水段 266 秒立方公尺 (后豐橋上下游)



4.漲水段 266 秒立方公尺 (后豐橋下游臨時便道)



5.洪峰流量 4,007 秒立方公尺 (新山線鐵路橋
上下游)



6.洪峰流量 4,007 秒立方公尺 (后豐橋上游)

照片 5-4 試驗方案-1 模型變量流清水試驗流況之一



7.試驗後地形（新山線鐵路橋上游）



8.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（后豐橋上下游）



10.試驗後地形（后豐橋上下游）



11.試驗後地形（后豐橋下游臨時便道）



12.試驗後地形（后豐橋下游臨時便道）

照片 5-5 試驗方案-1 模型變量流清水試驗流況之二

表 5-4 試驗方案-1 模型變量流清水試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	431.2	222.74	560.4	216.82	482.0	203.94	416.0	200.02	128.0	191.78
	456.0	222.74	640.4	216.74	522.0	204.10	456.0	199.78	168.0	191.06
	553.6	222.42	726.8	216.10	570.0	203.62	496.0	199.06	208.0	191.22
					618.0	203.54	592.0	200.02	272.0	191.70
					674.0	203.62	608.0	200.02	336.0	191.30
漲水段 1,353	417.6	220.34	528.4	217.46	482.0	203.78	396.0	200.98	124.8	192.50
	448.0	221.38	576.4	217.30	530.0	203.78	440.0	200.66	161.6	192.42
	548.0	221.86	616.4	217.38	570.0	203.46	488.0	200.34	200.0	192.42
			672.4	217.38	618.0	203.46	544.0	200.18	248.0	192.58
			728.4	217.38	672.4	203.70	606.4	201.62	336.0	192.58
漲水段 1,959	417.6	221.70	512.4	218.18	482.0	203.78	384.0	201.94	119.2	192.58
	448.0	222.58	560.4	218.10	530.0	203.70	424.0	201.38	184.0	192.98
	537.6	223.46	624.4	218.10	570.0	204.10	472.0	201.22	240.0	192.74
			680.4	217.78	618.0	203.94	544.0	200.50	296.0	192.98
			732.4	217.70	670.8	204.18	612.0	201.30	340.0	193.06
漲水段 2,948	414.4	223.06	496.4	219.30	482.0	204.10	382.4	202.74	108.0	193.62
	464.0	224.02	544.4	219.22	530.0	204.02	432.0	201.94	168.0	193.78
	540.8	224.18	608.4	219.06	578.0	204.50	504.0	200.90	224.0	193.46
			656.4	218.26	626.0	204.66	552.0	201.22	280.0	193.62
			732.4	217.14	672.4	204.10	615.2	201.38	360.0	193.38
洪峰 4,007	393.6	224.82	494.8	219.62	482.0	204.66	376.0	203.22	104.0	194.26
	456.0	225.14	544.4	219.78	522.0	204.34	424.0	203.14	152.0	194.18
	542.4	225.14	616.4	219.54	570.0	204.74	488.0	202.74	232.0	194.18
			672.4	218.74	618.0	204.90	552.0	201.46	280.0	194.18
			732.4	217.78	672.4	205.70	615.2	201.74	368.0	194.18
退水段 3,082	416.0	223.06	504.4	218.90	482.0	203.86	376.0	202.26	108.0	193.14
	472.0	224.10	552.4	218.82	530.0	204.02	424.0	202.02	152.0	193.86
	542.4	224.74	624.4	218.74	586.0	204.10	504.0	201.38	232.0	193.78
			680.4	218.42	618.0	204.26	552.0	201.30	304.0	193.78
			740.4	217.86	672.4	204.74	615.2	202.98	368.0	193.94
退水段 2,544	414.4	222.26	512.4	218.50	482.0	203.54	376.0	202.58	120.0	193.30
	456.0	223.54	552.4	218.42	530.0	203.38	424.0	202.50	160.0	193.14
	540.0	223.78	616.4	218.02	578.0	203.62	496.0	202.90	240.0	193.30
			680.4	217.70	618.0	204.34	552.0	201.30	296.0	193.62
			746.8	217.70	669.2	204.10	615.2	202.42	352.0	193.94
退水段 1,959	416.0	221.94	520.4	217.94	498.0	203.06	376.0	202.02	120.0	191.94
	448.0	222.58	576.4	218.02	538.0	203.06	432.0	202.02	168.0	191.94
	536.0	223.30	632.4	217.46	578.0	203.46	496.0	202.34	224.0	191.78
			688.4	217.46	626.0	203.70	552.0	201.30	280.0	192.58
			740.4	217.30	670.0	204.10	615.2	202.74	320.0	192.50
退水段 1,580	417.6	221.94	528.4	217.38	506.0	202.02	376.0	201.38	128.0	190.98
	456.0	222.42	568.4	216.98	546.0	202.42	424.0	201.70	224.0	191.38
	536.0	223.06	624.4	217.22	586.0	203.22	480.0	202.18	326.4	191.86
			672.4	217.14	626.0	203.30	552.0	201.22		
			744.4	217.14	666.0	203.46	608.0	202.18		
退水段 1,353	417.6	221.54	544.4	216.74	514.0	202.02	380.0	201.06	104.0	190.18
	456.0	222.18	592.4	217.14	554.0	202.42	424.0	201.14	240.0	191.14
	536.0	223.14	636.4	216.74	594.0	202.98	496.0	201.54	326.4	191.38
			680.4	216.66	634.0	203.06	544.0	200.90		
			743.6	216.98	670.0	203.38	608.0	201.94		
退水段 1,031	417.6	221.62	568.4	216.18	586.0	202.42	380.8	200.66	232.0	189.94
	456.0	221.70	600.4	216.10	618.0	204.18	416.0	200.58	280.0	190.18
	520.0	223.06	640.4	216.58	672.4	202.82	480.0	201.22	324.0	190.26
			672.4	216.42			552.0	200.58		
			742.8	217.14			604.0	201.06		
退水段 710	417.6	221.46	592.4	215.46	602.0	201.94	384.0	199.86	256.0	189.14
	448.0	221.62	656.4	215.78	634.0	202.02	432.0	199.94	288.0	189.54
	472.0	221.62	733.2	216.42	674.0	202.10	472.0	200.34	320.0	189.54
							552.0	200.18		
							608.0	200.58		

表 5-5 試驗方案-1 模型變量流清水試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	424	3.97	608.4	0.95	490	0.81	424	4.02	152	1.75
	432	3.36	640.4	1.28	522	0.99	436	4.65	176	2.05
	440	2.67	652.4	1.25	554	0.52	452	4.93	208	2.26
	448	1.58	672.4	1.06	602	1.92	472	3.48	240	1.58
	456	0.58	704.4	1.32	634	3.02	568	0.94	272	0.85
漲水段 1,353	424	5.89	584.4	0.39	490	2.37	404	3.87	152	0.92
	432	9.12	612.4	1.49	538	2.37	420	4.57	172	2.13
	440	5.43	640.4	2.31	586	3.18	436	4.47	200	0.93
	448	5.25	656.4	2.87	610	4.27	520	2.26	232	2.67
	456	1.36	680.4	3.52	634	5.21	576	3.34	268	2.01
漲水段 1,959	424	6.47	584.4	2.27	486	1.96	392	3.67	144	3.02
	432	10.14	608.4	1.40	530	0.93	408	3.88	176	3.02
	440	7.84	640.4	2.02	586	1.82	424	3.96	208	3.00
	448	6.68	672.4	1.38	618	5.03	488	3.77	280	1.39
	456	5.12	704.4	1.23	638	5.11	544	8.13	304	1.67
漲水段 2,948	424	4.76	576.4	2.23	486	2.10	392	3.95	144	3.59
	432	10.49	608.4	2.29	530	4.54	408	4.01	168	4.19
	440	11.12	640.4	2.89	578	4.05	424	3.92	224	5.21
	448	7.63	672.4	4.28	618	5.14	504	7.47	264	3.53
	456	5.51	704.4	4.23	658	4.90	552	10.72	296	3.95
洪峰 4,007	424	8.20	580.4	2.68	486	2.69	392	5.10	136	4.10
	432	10.19	608.4	4.86	522	4.87	416	5.78	152	4.20
	444	10.31	636.4	3.54	562	5.26	448	3.67	200	3.28
	460	6.21	668.4	7.13	618	6.85	496	2.36	248	2.57
	488	3.31	700.4	5.25	658	10.38	528	10.43	288	4.06
退水段 3,082	424	4.44	584.4	2.57	486	1.22	392	4.38	136	3.32
	436	14.35	612.4	4.15	522	3.21	416	3.87	160	3.88
	448	8.80	640.4	4.06	578	2.92	448	4.14	192	4.29
	460	6.61	672.4	5.32	626	5.62	480	4.87	240	4.37
	472	3.82	704.4	2.82	662	7.24	528	6.85	272	4.47
退水段 2,544	424	3.62	584.4	1.52	506	2.08	392	4.01	136	3.14
	432	11.52	612.4	3.11	546	1.36	416	3.25	168	3.08
	440	9.76	648.4	3.90	594	2.89	456	4.23	200	3.92
	448	7.56	672.4	5.70	626	5.68	488	5.08	248	3.05
	456	6.16	704.4	4.02	662	7.12	528	5.66	280	5.15
退水段 1,959	424	5.31	584.4	1.71	534	0.32	392	2.75	144	3.74
	432	9.45	612.4	3.29	578	1.73	416	2.08	160	2.31
	440	8.13	652.4	4.88	610	4.32	448	5.52	224	3.17
	448	5.52	672.4	4.43	634	6.36	480	5.54	248	4.95
	456	4.75	704.4	3.95	662	4.83	528	5.15	272	4.77
退水段 1,580	424	4.79	584.4	1.01	530	0.92	392	1.19	144	2.32
	432	8.68	612.4	2.73	586	1.45	416	3.53	240	2.33
	440	6.21	652.4	2.28	618	3.30	448	4.81	264	5.33
	448	4.06	676.4	4.63	642	5.26	480	3.84	272	5.73
	456	4.32	708.4	3.28	662	4.31	520	3.80	312	5.40
退水段 1,353	424	5.77	588.4	1.10	530	0.94	392	1.15	148	1.73
	432	7.56	612.4	2.89	602	1.35	412	4.16	240	1.87
	440	4.78	652.4	4.38	618	3.09	440	5.24	264	4.87
	448	2.85	672.4	5.15	642	4.48	472	4.15	288	5.09
	456	3.07	704.4	3.01	662	3.57	528	2.01	304	4.25
退水段 1,031	424	7.15	592.4	0.35	610	2.47	396	2.95	256	2.87
	432	4.95	612.4	2.35	622	3.65	416	4.05	272	4.76
	440	4.29	652.4	1.79	634	3.94	448	4.32	288	3.89
	448	2.59	676.4	1.43	646	3.74	480	1.17	304	4.34
	456	2.30	704.4	0.74	662	3.59	528	1.28	316	3.99
退水段 710	424	5.36	616.4	1.16	610	2.45	396	2.30	264	2.03
	432	3.63	648.4	3.81	622	1.41	416	3.31	276	1.51
	440	1.66	672.4	4.55	634	1.28	436	4.11	292	1.34
	448	2.00	688.4	4.60	646	1.25	456	4.25	304	2.21
	456	0.92	704.4	2.70	662	0.93	480	1.38	316	2.09

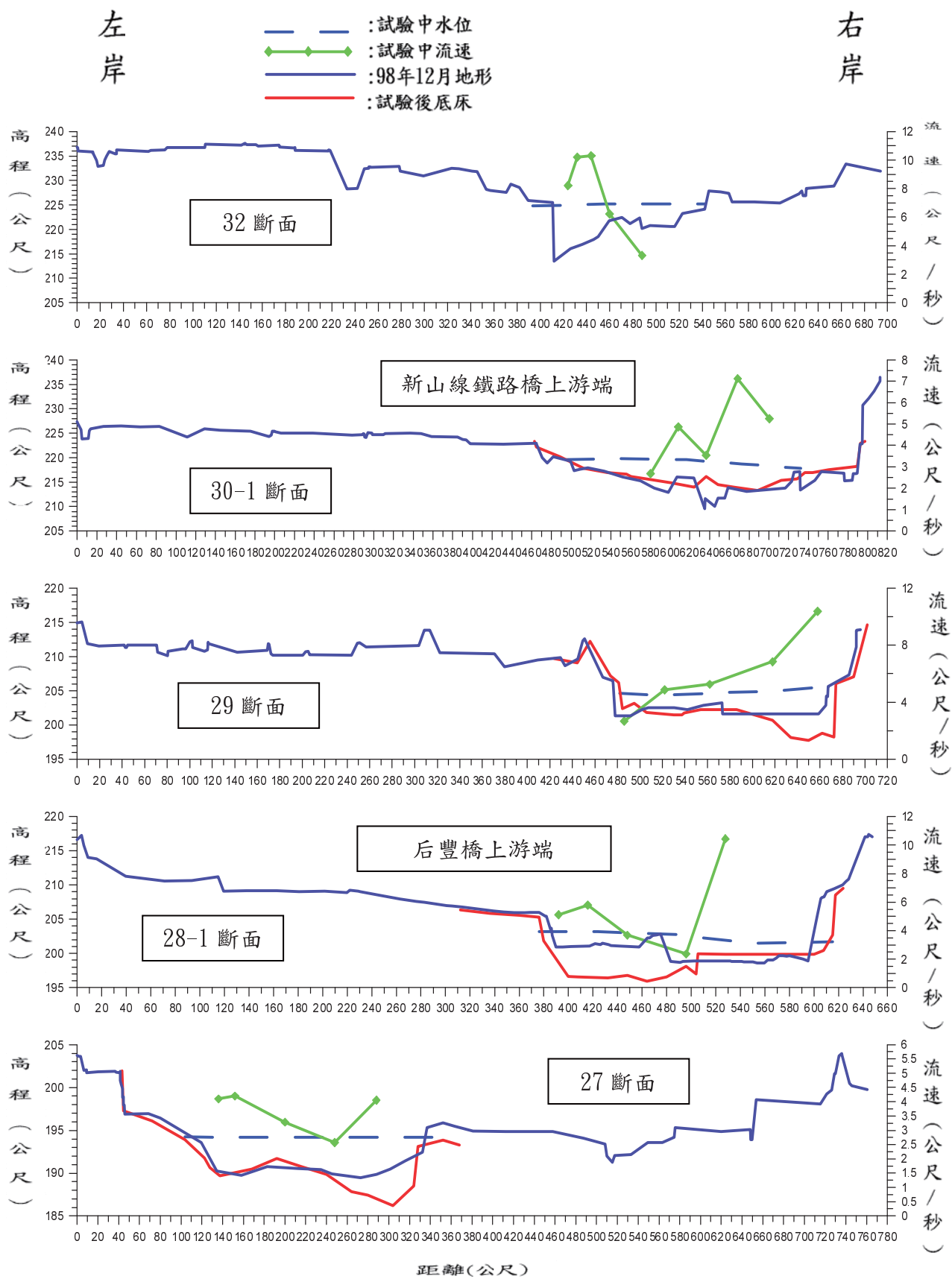


圖 5-5 試驗方案-1 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖

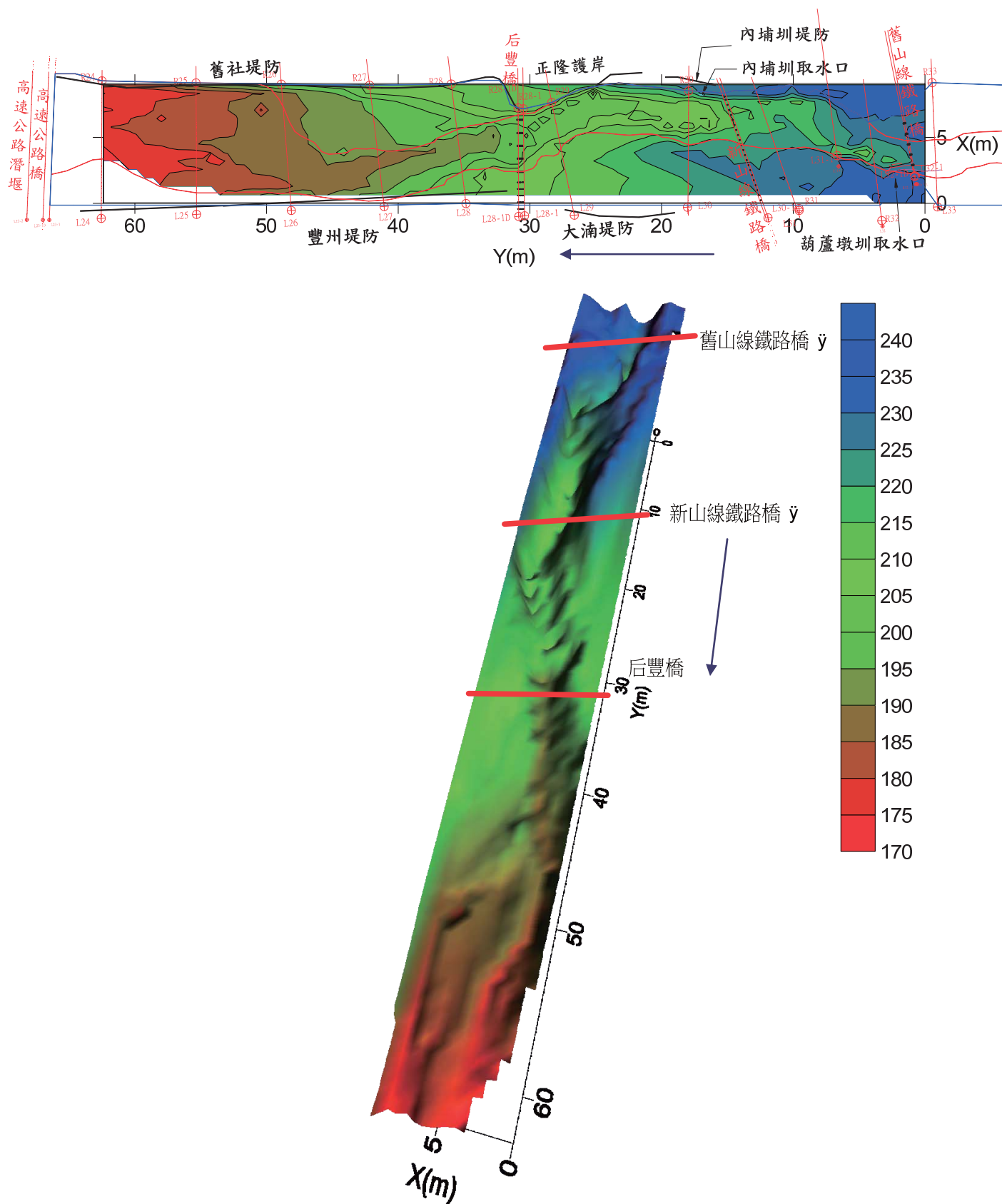


圖 5-6 試驗方案-1 模型變量流清水試驗後地形圖

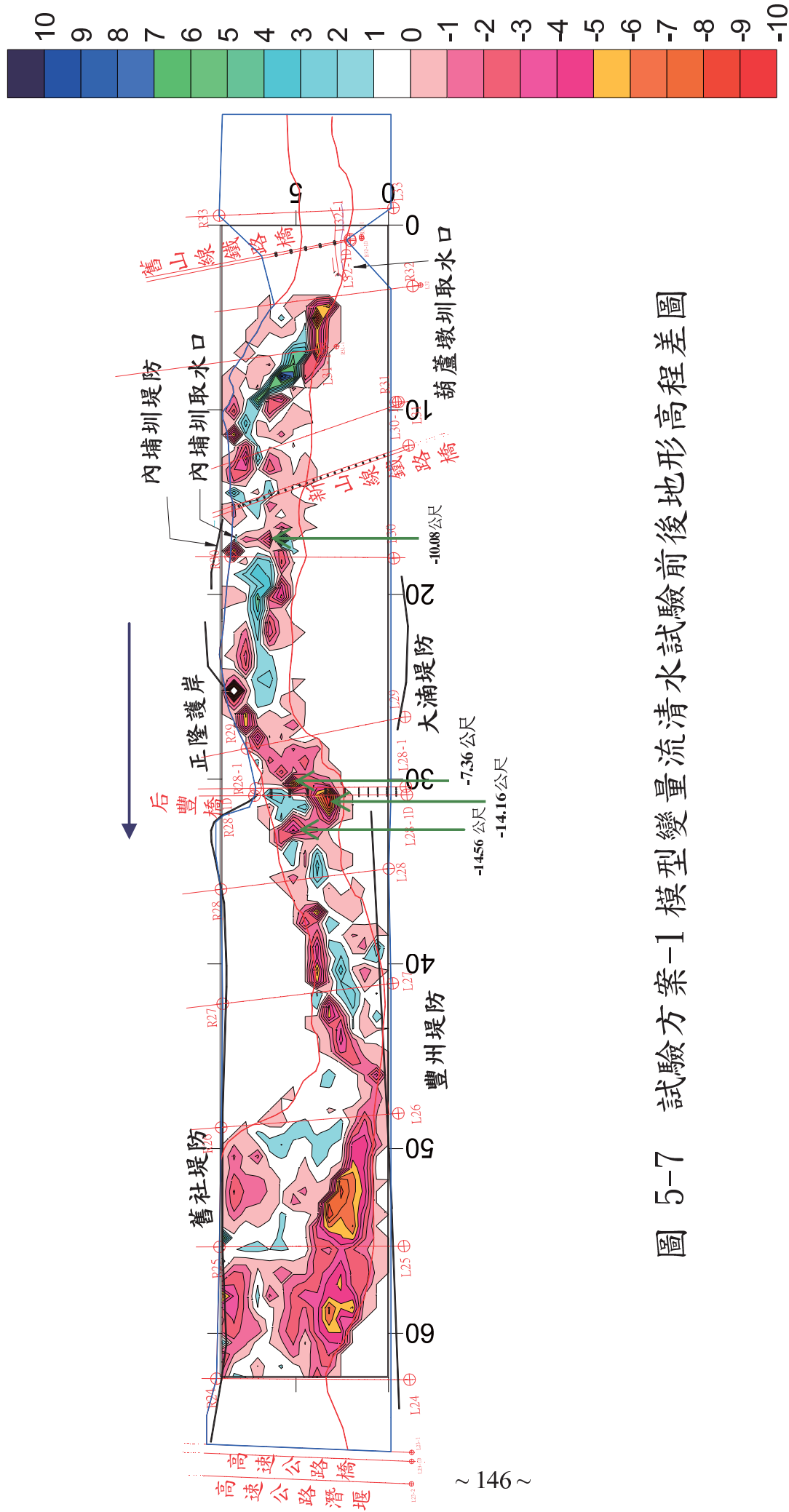


圖 5-7 試驗方案-1 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖

二、試驗方案-2 試驗成果

（一）模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬設計洪水歷線下，后豐橋下游臨時便橋、后豐橋上游自來水河道送水管 PB~PD 間及后豐橋下游臨時便道拆除情況。

（二）模型試驗條件：零方案-1 再加后豐橋下游臨時便道拆除，其餘試驗條件、量測方式及地點與試驗方案-1 皆相同。

（三）模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，大致上與試驗方案-1 試驗之流路相似，通過新山線鐵路橋上游端流心靠向右岸邊坡、通過下游端流心靠向左岸高灘；通過后豐橋上游端流心靠向右岸正隆護岸、通過下游端流心靠向左岸高灘（約在橋墩 PD 附近），模型試驗過程詳見照片 5-6~照片 5-7，五處水位及流速值詳如表 5-6 及表 5-7，洪峰流量 4,007 秒立方公尺通過時之水理詳如圖 5-8。試驗後量測地形詳如圖 5-9，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 5-10，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1~5 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（最大深度約 10.6 公尺）、后豐橋上游端靠中央（最大深度約 11.8 公尺）、后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近（最大深度約 18.7 公尺）、左岸豐洲堤防（深度 1~8 公尺）。



1.后豐橋上游自來水河道送水管 PB~PD 間
(長度約 154m) 及后豐橋下游臨時便道拆除



2.試驗前地形 (后豐橋上下游)



3. 試驗前地形 (后豐橋下游臨時便道拆除)



4.漲水段 266 秒立方公尺 (后豐橋上下游)



5.洪峰流量 4,007 秒立方公尺 (新山線鐵路橋
上下游)



6.洪峰流量 4,007 秒立方公尺 (后豐橋上下游)

照片 5-6 試驗方案-2 模型變量流清水試驗流況之一



7.試驗後地形（新山線鐵路橋上游）



8.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



10.試驗後地形（后豐橋上游）



11.試驗後地形（后豐橋上下游）



12.試驗後地形（后豐橋下游臨時便道拆除處）

照片 5-7 試驗方案-2 模型變量流清水試驗流況之二

表 5-6 試驗方案-2 模型變量流清水試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	417.6	222.02	536.4	217.14	482.0	203.70	388.8	199.54	128.0	191.30
	444.0	222.18	576.4	217.14	522.0	204.42	424.0	200.02	168.0	191.22
	473.6	222.18	616.4	217.30	570.0	204.26	448.0	199.62	224.0	191.30
			664.4	217.14	610.0	204.02	496.0	199.54	272.0	191.30
			732.4	216.82	670.8	203.22	604.0	199.86	336.0	190.98
漲水段 1,353	416.0	222.34	512.4	217.86	482.0	202.74	377.6	200.18	128.0	191.62
	448.0	222.58	552.4	217.86	530.0	203.78	456.0	199.94	168.0	192.02
	473.6	222.74	608.4	217.86	570.0	203.86	480.0	200.50	216.0	191.86
			656.4	218.02	610.0	203.06	536.0	199.86	288.0	191.54
			728.4	217.70	670.0	203.86	604.0	199.86	340.0	191.78
漲水段 1,959	417.6	221.54	504.4	218.66	482.0	202.82	360.0	200.82	128.0	192.10
	444.0	222.66	552.4	218.50	530.0	202.42	408.0	200.34	176.0	191.54
	473.6	223.14	600.4	218.58	570.0	203.54	480.0	200.74	240.0	191.86
			664.4	218.58	610.0	203.54	544.0	200.10	296.0	192.10
			736.4	217.86	670.0	204.26	604.0	199.78	336.0	192.10
漲水段 2,948	417.6	222.90	500.4	219.30	475.6	203.54	348.0	201.22	108.0	192.66
	464.0	224.02	544.4	219.22	522.0	203.30	392.0	201.14	168.0	192.98
	542.4	224.34	608.4	219.14	570.0	204.10	456.0	201.06	232.0	192.58
			664.4	218.02	618.0	204.10	544.0	200.34	288.0	192.58
			737.2	218.26	670.0	204.66	604.0	200.02	344.0	192.74
洪峰 4,007	392.0	224.98	496.4	219.94	474.0	203.54	340.0	202.34	104.0	193.06
	456.0	225.14	552.4	220.10	530.0	203.70	392.0	201.78	168.0	192.98
	624.0	225.22	616.4	219.62	586.0	204.02	464.0	201.54	232.0	193.38
			672.4	218.82	626.0	204.34	544.0	200.42	296.0	194.10
			737.2	217.62	670.0	205.22	612.0	201.62	368.0	193.46
退水段 3,082	417.6	222.66	504.4	218.82	478.0	202.82	344.0	201.78	112.0	191.46
	448.0	224.18	552.4	218.66	522.0	202.98	400.0	201.86	168.0	191.62
	540.0	224.02	608.4	218.82	570.0	203.22	472.0	201.54	224.0	191.62
			664.4	218.26	626.0	203.30	544.0	200.66	280.0	192.82
			737.2	217.86	670.0	203.62	615.2	200.98	344.0	193.38
退水段 2,544	417.6	222.02	520.4	218.10	474.0	202.82	344.0	201.14	111.2	191.06
	448.0	223.46	576.4	218.58	522.0	202.82	392.0	200.74	168.0	191.54
	540.0	223.86	632.4	217.94	570.0	203.06	464.0	201.06	232.0	192.10
			688.4	217.78	618.0	203.62	544.0	200.10	280.0	192.66
			744.4	217.94	670.0	203.70	615.2	200.74	344.0	192.58
退水段 1,959	417.6	222.18	536.4	217.54	478.0	201.62	344.0	199.78	224.0	191.30
	448.0	222.74	592.4	217.30	522.0	201.86	392.0	199.54	272.0	191.62
	537.6	223.54	648.4	217.30	562.0	202.18	464.0	200.34	344.0	191.62
			688.4	217.14	602.0	202.26	544.0	199.78		
			752.4	217.70	670.0	202.34	615.2	199.86		
退水段 1,580	417.6	221.78	560.4	216.58	586.0	200.58	344.0	198.50	223.2	190.66
	448.0	222.74	600.4	216.58	626.0	200.34	392.0	198.82	272.0	190.66
	536.0	223.14	648.4	216.42	670.0	201.06	448.0	199.46	344.0	190.26
			696.4	216.74			502.4	199.14		
			752.4	217.54						
退水段 1,353	417.6	222.02	568.4	216.42	570.0	199.62	352.0	197.70	228.0	190.34
	456.0	222.26	616.4	216.18	618.0	200.02	456.0	198.02	296.0	190.34
	536.0	223.06	656.4	216.10	670.0	201.38	503.2	198.26	344.0	190.34
			700.4	216.42						
			751.6	217.14						
退水段 1,031	417.6	221.94	584.4	215.46	570.0	199.70	344.0	197.94	223.2	189.62
	448.0	222.26	632.4	215.30	618.0	200.26	384.0	197.86	280.0	190.50
	472.0	222.50	656.4	216.02	670.0	201.06	440.0	197.78	336.0	190.58
			700.4	216.18			496.0	198.50		
			752.4	216.98						
退水段 710	417.6	221.78	600.4	214.90	594.0	199.38	344.0	196.74	284.0	189.86
	448.0	221.78	672.4	215.30	618.0	199.62	424.0	196.18	312.0	189.86
	472.0	221.78	736.4	215.86	670.0	200.42	472.0	196.58	344.0	190.02

表 5-7 試驗方案-2 模型變量流清水試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	424	5.29	576.4	0.44	490	0.22	400	3.08	148	0.95
	432	3.31	608.4	1.62	538	1.26	416	2.04	168	2.15
	440	2.42	640.4	2.01	578	0.66	452	4.05	192	2.19
	448	2.06	672.4	1.27	618	2.63	464	5.26	224	1.90
	456	0.95	704.4	0.81	634	1.88	488	4.04	264	0.83
漲水段 1,353	424	8.31	584.4	0.77	498	0.31	392	3.88	136	2.22
	432	7.69	608.4	1.56	538	1.35	408	4.88	160	3.60
	440	3.65	640.4	1.99	582	0.46	424	4.75	192	3.36
	448	3.27	672.4	2.09	618	3.54	440	3.97	232	1.17
	456	2.51	704.4	0.75	642	3.55	528	2.37	272	0.51
漲水段 1,959	424	11.29	576.4	0.05	490	2.61	368	5.13	128	3.34
	432	13.03	608.4	1.49	514	2.32	384	6.26	152	3.19
	440	8.40	640.4	2.68	602	4.47	408	4.55	192	4.15
	448	6.05	672.4	2.33	642	2.72	424	3.36	240	2.54
	456	4.52	704.4	1.11	666	4.54	484	4.40	280	2.82
漲水段 2,948	424	12.33	572.4	2.15	486	4.52	352	5.46	112	3.43
	432	14.26	616.4	5.50	522	2.39	368	7.35	136	4.39
	440	12.00	640.4	6.43	554	3.11	392	5.08	168	5.66
	448	8.24	676.4	4.97	602	5.57	416	5.21	200	5.58
	456	6.31	712.4	1.25	666	4.08	528	7.84	248	3.86
洪峰 4,007	424	8.96	576.4	2.26	486	1.29	352	5.15	112	3.48
	436	11.61	608.4	4.94	538	5.64	376	4.10	144	3.01
	448	8.59	640.4	4.50	570	6.52	432	6.20	200	5.99
	460	5.99	672.4	8.13	610	7.43	464	7.12	232	7.18
	472	4.71	704.4	3.57	658	4.48	512	8.05	288	6.01
退水段 3,082	424	10.33	584.4	1.66	486	0.69	352	4.43	136	3.10
	432	12.60	612.4	4.09	578	4.14	376	4.17	208	2.36
	440	9.82	640.4	5.02	610	6.55	416	5.53	248	5.26
	452	7.68	672.4	6.83	634	7.61	456	6.07	272	7.71
	464	5.30	704.4	4.41	666	7.58	512	7.58	312	7.73
退水段 2,544	424	9.88	608.4	1.98	486	1.33	352	4.35	248	6.40
	432	13.09	624.4	2.61	570	2.53	408	5.65	264	2.00
	440	11.96	648.4	2.62	610	3.78	440	5.97	272	3.02
	448	7.85	672.4	5.49	634	5.73	480	4.46	312	6.79
	456	6.40	704.4	5.17	654	6.80	536	3.59	328	7.15
退水段 1,959	424	10.45	612.4	2.68	486	0.30	352	1.96	232	4.07
	432	9.58	648.4	3.49	586	3.18	384	5.48	256	3.46
	440	7.22	668.4	3.88	618	4.97	408	7.11	280	2.53
	448	5.79	688.4	4.35	634	5.37	448	4.54	304	7.24
	456	3.60	708.4	3.72	658	6.81	476	3.45	328	7.22
退水段 1,580	424	10.25	608.4	1.35	594	4.35	352	2.79	224	2.83
	432	7.89	664.4	1.92	606	3.45	368	3.88	248	2.95
	440	5.74	684.4	2.85	618	5.77	400	5.56	296	3.18
	448	4.70	704.4	4.06	634	5.22	424	6.88	316	7.57
	456	4.22	732.4	2.59	642	3.24	456	3.86	332	7.98
退水段 1,353	424	8.96	616.4	2.00	582	1.71	360	3.50	252	0.88
	432	7.25	656.4	3.52	618	4.15	384	4.42	296	5.39
	440	4.96	672.4	4.79	634	4.73	416	4.76	312	6.24
	448	3.31	696.4	4.38	650	5.95	440	4.70	324	5.25
	456	2.45	732.4	4.07	666	2.11	456	3.42	332	6.43
退水段 1,031	424	7.86	616.4	1.88	578	0.58	352	2.46	288	3.74
	432	4.93	656.4	1.04	630	3.71	384	2.92	300	5.67
	440	3.07	672.4	3.95	642	4.77	408	5.15	312	5.09
	448	3.19	704.4	3.63	650	5.16	432	3.11	328	4.72
	456	0.73	728.4	3.63	662	5.10	460	3.57	340	3.76
退水段 710	424	6.02	616.4	0.38	626	3.53	352	2.98	296	3.90
	432	3.78	664.4	2.92	642	4.06	376	3.63	312	4.67
	440	2.28	684.4	4.31	666	4.17	400	3.51	328	3.58
	448	2.24	704.4	2.03			416	1.52		
	456	1.55	728.4	3.50			460	1.67		

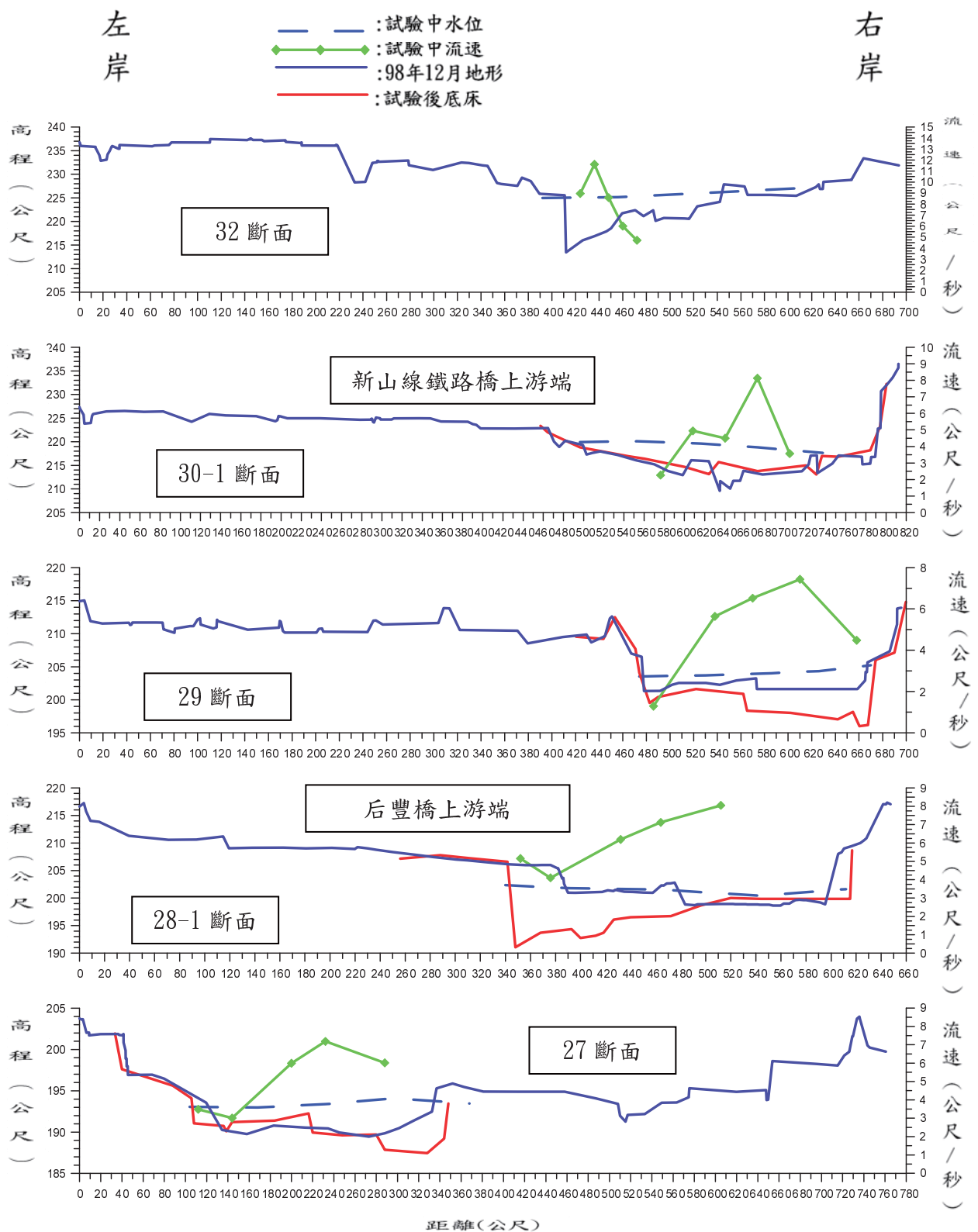


圖 5-8 試驗方案-2 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖

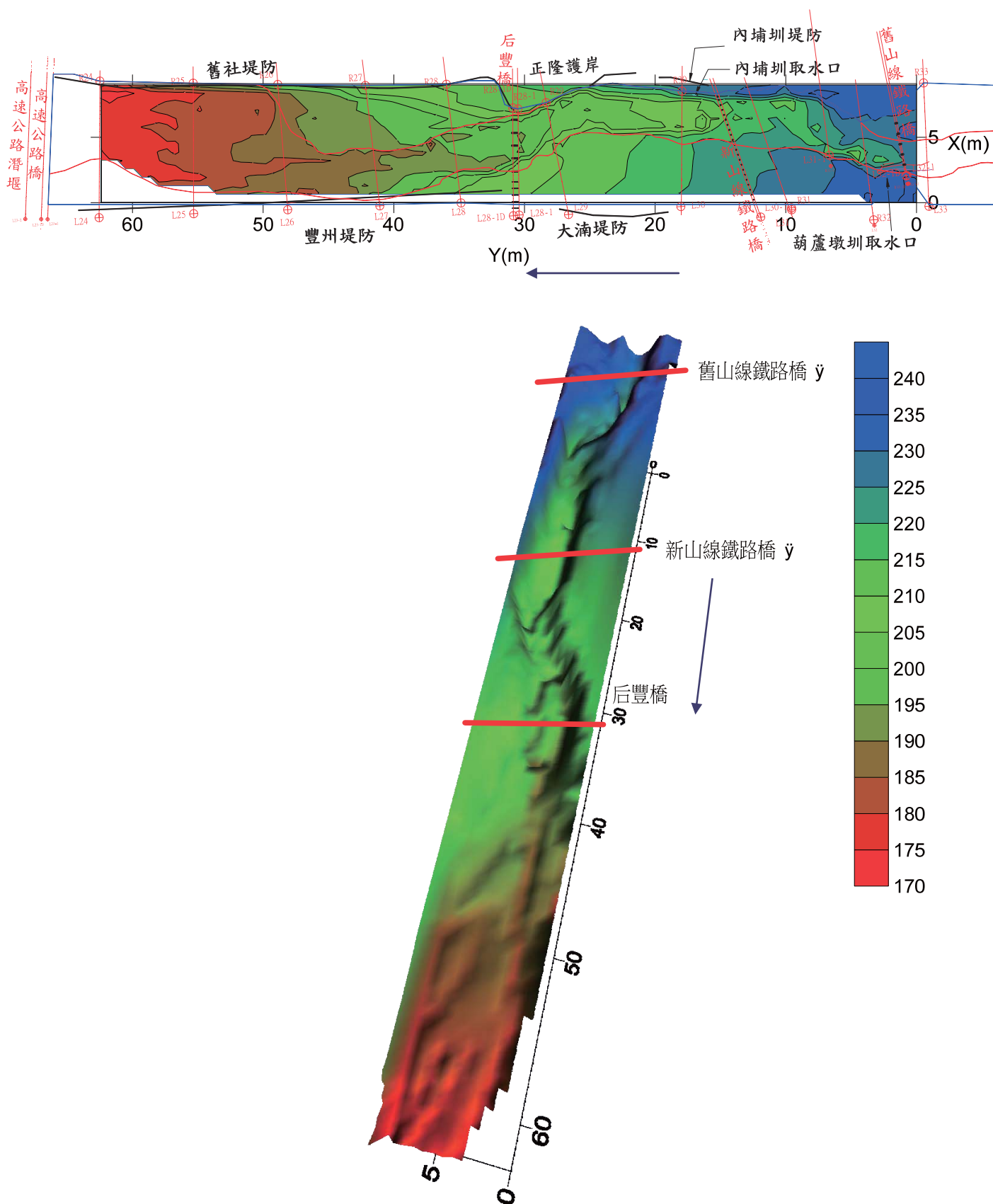


圖 5-9 試驗方案-2 模型變量流清水試驗後地形圖

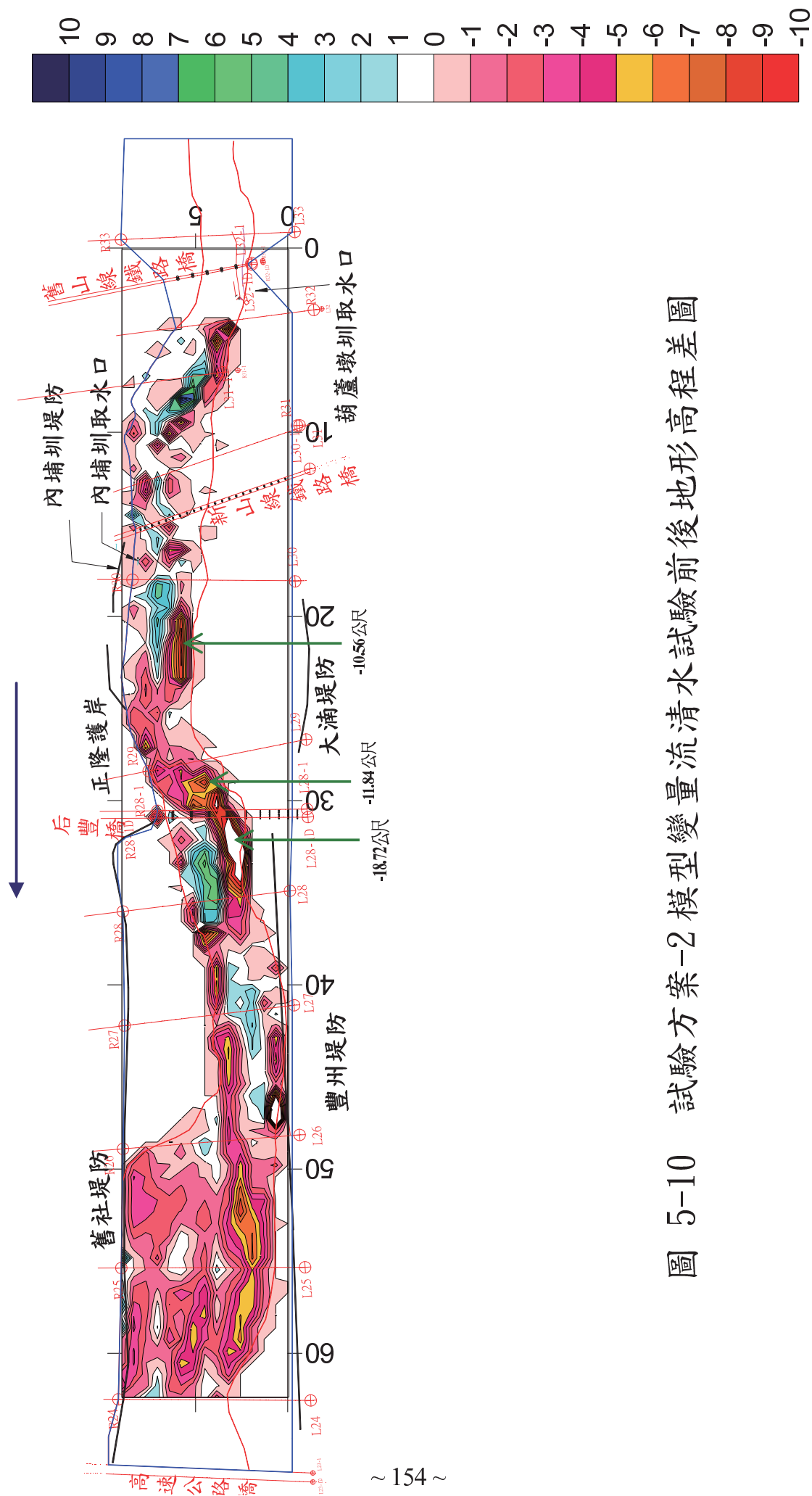


圖 5-10 試驗方案-2 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖

三、試驗方案-3 試驗成果

(一) 模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬設計洪水歷線下，后豐便橋拆除、自來水河道送水管拆除、后豐便道拆除及布置既有正隆護岸丁壩情況。

(二) 模型試驗條件：后豐便橋拆除、自來水河道送水管拆除（右岸～PD 之間 297m 全拆）、后豐便道拆除及布置既有正隆護岸丁壩（詳圖 5-11 及圖 5-12），其餘試驗條件、量測方式及地點與試驗方案-1 皆相同。

(三) 模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，大致上與試驗方案-2 試驗之流路相似，通過新山線鐵路橋上游端流心靠向右岸邊坡、通過下游端流心靠向左岸高灘；通過后豐橋上游端流心靠向右岸正隆護岸、通過下游端流心靠向左岸高灘（約在橋墩 PD 附近），模型試驗過程詳見照片 5-8～照片 5-9，五處水位及流速值詳如表 5-8 及表 5-9，洪峰流量 4,007 秒立方公尺通過時之水理詳如圖 5-13。試驗後量測地形詳如圖 5-14，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 5-15，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1～5 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（最大深度約 11.8 公尺）、后豐橋上游端靠右岸正隆護岸（最大深度約 16.3 公尺）、后豐橋上游端靠中央（最大深度約 17.8 公尺）、后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近（最大深度約 12.2 公尺）、左岸豐洲堤防（深度 1～8 公尺）。

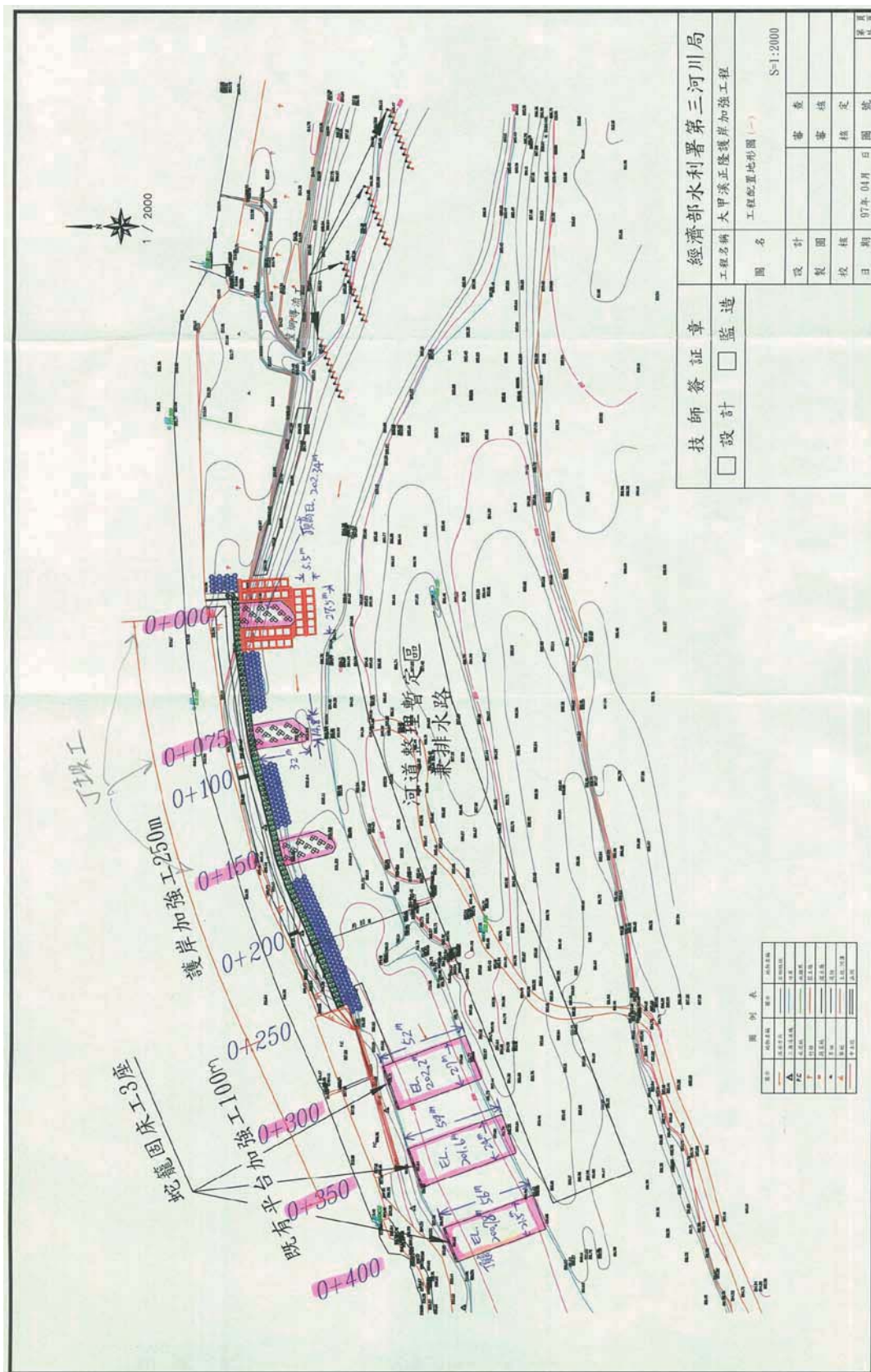


圖 5-11 大甲溪正隆護岸丁壩平面布置圖 (民國 97 年 4 月) 之一

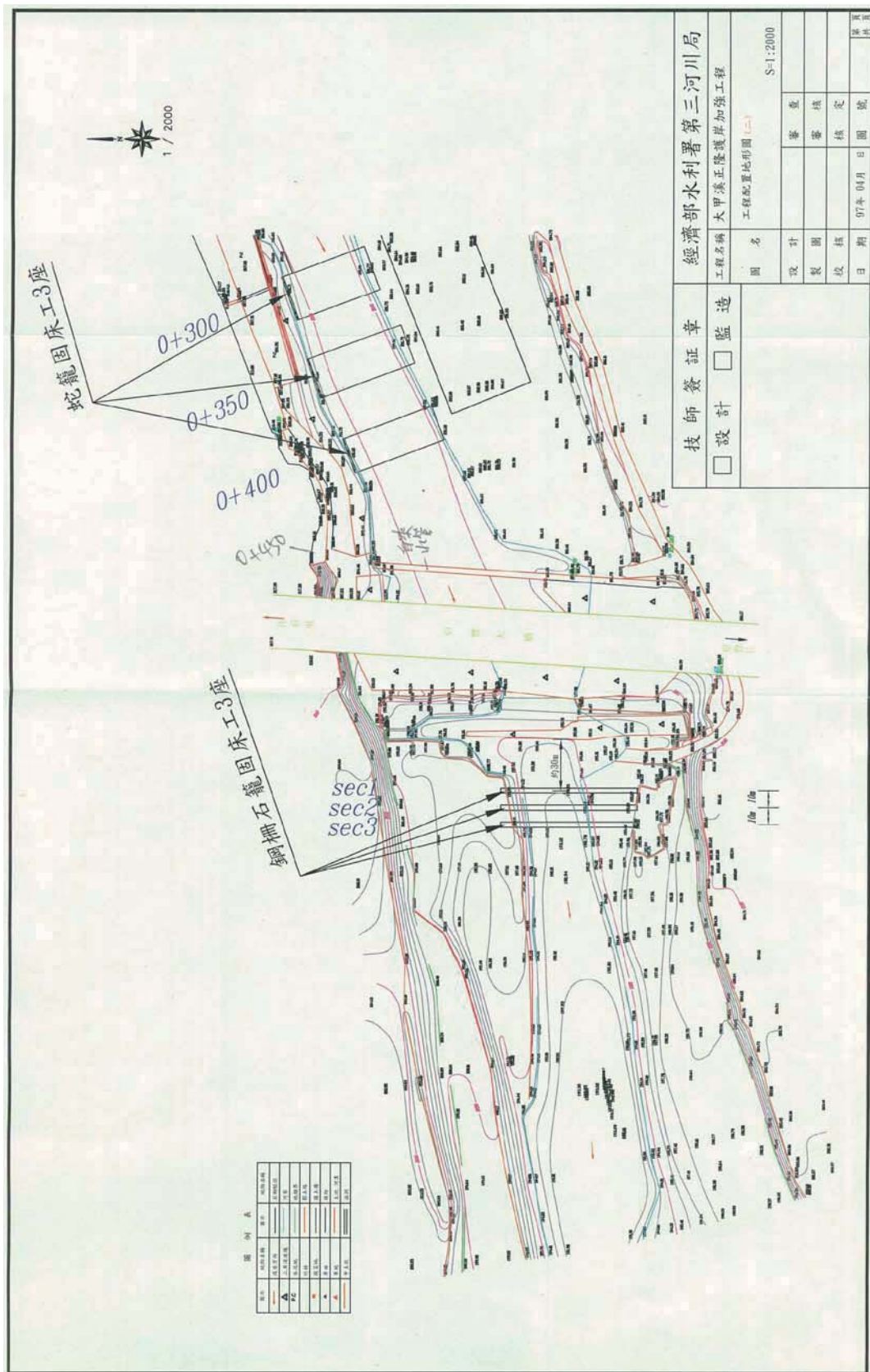


圖 5-12 大甲溪正隆護岸丁壩平面布置圖 (民國 97 年 4 月) 之二



1.后豐便橋、河道送水管(右岸~PD 之間 297m 全拆)及后豐便道拆除+布置正隆護岸丁壩



2.試驗前地形(后豐橋上下游)



3. 試驗前地形(后豐橋下游臨時便道及便橋拆除)



4.漲水段 266 秒立方公尺(后豐橋上游)



5.洪峰流量 4,007 秒立方公尺(后豐橋上下游)



6.洪峰流量 4,007 秒立方公尺(后豐橋上下游)

照片 5-8 試驗方案-3 模型變量流清水試驗流況之一



7.試驗後地形（新山線鐵路橋上游）



8 試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



10.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



11.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



12.試驗後地形（后豐橋下游臨時便道拆除處）

照片 5-9 試驗方案-3 模型變量流清水試驗流況之二

表 5-8 試驗方案-3 模型變量流清水試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	418.40	222.18	558.80	216.50	482.00	203.70	396.80	199.86	130.40	191.06
	448.00	222.10	632.40	216.66	562.00	202.74	456.00	200.02	168.00	191.22
	473.60	222.18	728.40	216.42	612.40	201.14	504.00	199.06	240.00	191.86
							584.00	199.22	296.00	191.86
									335.20	191.86
漲水段 1,353	418.40	220.82	536.40	217.38	482.00	202.26	484.80	200.02	128.00	191.62
	448.00	221.70	576.40	217.46	561.20	201.46	528.00	199.78	184.00	191.94
	540.00	223.54	616.40	217.54	614.00	201.46	592.00	199.70	232.00	192.34
			664.40	217.62					288.00	192.82
			730.00	217.22					336.00	192.42
漲水段 1,959	418.40	221.62	508.40	218.26	482.00	202.26	430.40	200.66	120.00	192.34
	448.00	222.18	560.40	218.26	555.60	201.38	472.00	200.10	176.00	192.26
	538.40	223.62	624.40	218.34	594.00	201.62	520.00	200.18	232.00	192.26
			672.40	218.10	650.00	203.22	560.00	199.78	288.00	192.02
			732.40	217.78			596.00	199.78	336.00	192.02
漲水段 2,948	415.20	222.34	496.40	219.30	482.00	203.22	392.00	200.58	120.00	192.58
	464.00	223.78	544.40	219.54	514.00	202.82	440.00	200.58	176.00	192.66
	540.80	224.18	600.40	219.38	578.00	203.22	496.00	200.42	232.00	192.74
			648.40	218.50	626.00	204.58	544.00	199.78	280.00	192.50
			730.00	217.46	670.00	204.58	596.00	200.42	344.00	192.90
洪峰 4,007	392.00	224.98	480.40	220.18	482.00	203.54	392.00	201.30	116.00	192.98
	464.00	224.82	544.40	220.02	530.00	202.98	440.00	201.62	168.00	193.06
	540.00	225.06	600.40	220.34	578.00	203.62	496.00	200.98	224.00	193.14
			672.40	218.90	618.00	204.18	544.00	200.74	288.00	193.54
			776.40	217.62	670.00	204.98	596.00	200.66	360.00	193.54
退水段 3,082	416.00	222.34	504.40	218.90	482.00	203.14	384.00	200.82	120.00	190.82
	456.00	223.78	560.40	218.90	514.00	202.58	432.00	200.66	176.00	192.02
	540.00	224.02	616.40	218.98	562.00	202.82	488.00	200.10	224.00	192.42
			664.40	218.66	610.00	202.98	544.00	200.26	280.00	192.42
			736.40	218.02	670.00	204.18	568.00	200.18	344.00	192.42
退水段 2,544	418.40	221.62	512.40	218.18	482.00	202.34	360.00	200.26	120.00	190.82
	448.00	223.06	560.40	218.02	530.00	202.42	408.00	200.34	176.00	192.02
	537.60	223.54	616.40	218.10	570.00	202.34	472.00	200.02	224.00	192.42
			672.40	217.78	618.00	202.90	512.00	200.10	280.00	192.42
			748.40	217.86	670.00	203.78	552.00	200.02	344.00	192.42
退水段 1,959	418.40	222.26	520.40	217.46	474.00	202.18	344.00	199.38	216.00	191.70
	456.00	222.82	560.40	217.62	522.00	201.54	400.00	199.38	280.00	192.34
	536.00	223.38	624.40	217.22	578.00	201.78	456.00	199.46	344.00	192.26
			680.40	217.30	626.00	202.82	496.00	199.62		
			744.40	217.38	670.00	202.82	548.00	199.22		
退水段 1,580	416.00	221.38	560.40	217.14	458.00	202.02	344.00	198.50	224.00	191.62
	440.00	222.66	640.40	216.90	514.00	201.62	392.00	198.98	280.00	191.70
	473.60	222.74	744.40	217.22	554.00	201.62	472.00	198.98	344.00	192.02
					610.00	202.18	528.00	199.22		
					670.00	203.86				
退水段 1,353	418.40	220.90	552.40	216.58	458.00	200.58	344.00	197.78	224.00	191.94
	448.00	221.94	608.40	216.26	506.00	200.66	408.00	198.26	280.00	191.78
	472.00	222.18	656.40	216.10	554.00	201.46	464.00	198.90	336.00	191.94
			688.40	216.50	610.00	202.42	496.00	199.06		
			736.40	216.98	670.00	203.30	552.00	199.30		
退水段 1,031	418.40	220.98	568.40	216.34	458.00	200.58	344.00	197.78	224.00	191.94
	448.00	221.62	608.40	216.26	506.00	200.66	408.00	198.26	280.00	191.78
	472.00	222.10	640.40	216.10	554.00	201.46	464.00	198.90	336.00	191.94
			672.40	215.86	610.00	202.42	496.00	199.06		
			732.40	216.34	670.00	203.30	552.00	199.30		
退水段 710	416.00	221.22	592.40	215.38	546.00	199.78	328.00	197.46	240.00	189.62
	448.00	221.30	648.40	215.70	578.00	199.46	392.00	198.34	264.00	189.46
	472.00	221.46	720.40	216.02	618.00	199.46	456.00	198.66	288.00	189.54
							496.00	198.82		
							526.40	198.66		

表 5-9 試驗方案-3 模型變量流清水試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	420.00	3.76	608.40	1.07	486.00	0.13	404.00	1.31	152.00	1.71
	428.00	4.33	636.40	2.05	502.00	1.73	512.00	2.80	208.00	2.13
	436.00	2.42	656.40	1.32	566.00	2.30	528.00	4.75	240.00	1.63
	444.00	2.25	672.40	1.94	570.00	4.08	536.00	5.40	264.00	1.31
漲水段 1,353	452.00	1.85	700.40	1.90	578.00	4.33	552.00	4.21	288.00	0.76
	424.00	6.90	608.40	1.46	566.00	3.12	480.00	3.91	144.00	1.85
	432.00	7.84	632.40	1.38	574.00	3.97	496.00	4.98	192.00	2.97
	440.00	5.10	644.40	0.50	586.00	5.27	504.00	6.14	232.00	3.03
漲水段 1,959	448.00	4.65	656.40	1.48	598.00	4.24	516.00	6.28	264.00	2.78
	456.00	1.86	672.40	3.10	610.00	5.67	528.00	5.90	288.00	2.21
	424.00	2.07	600.40	1.31	486.00	3.47	436.00	3.54	136.00	2.51
	432.00	7.15	616.40	2.03	562.00	1.59	456.00	5.78	160.00	5.17
漲水段 2,948	440.00	9.10	640.40	2.53	578.00	3.74	480.00	6.90	192.00	5.77
	448.00	7.74	664.40	3.17	594.00	4.02	512.00	2.85	220.00	4.80
	456.00	7.78	680.40	2.44	610.00	4.91	536.00	3.90	484.00	2.01
	424.00	7.48	584.40	2.08	490.00	4.92	420.00	3.03	136.00	1.62
洪峰 4,007	432.00	12.89	608.40	3.37	562.00	4.36	440.00	5.73	168.00	4.47
	440.00	12.44	632.40	4.99	578.00	5.81	456.00	7.96	192.00	5.49
	448.00	10.01	648.40	4.83	594.00	6.40	480.00	8.24	232.00	5.98
	456.00	7.05	672.40	3.94	610.00	6.84	504.00	5.95	288.00	4.30
退水段 3,082	424.00	5.63	568.40	1.87	486.00	2.19	416.00	5.27	136.00	3.49
	436.00	9.30	584.40	1.89	550.00	4.67	432.00	6.51	168.00	4.34
	452.00	9.20	616.40	3.66	570.00	6.01	452.00	8.77	208.00	5.01
	468.00	7.11	640.40	4.87	590.00	7.44	472.00	9.33	248.00	5.48
退水段 2,544	484.00	4.54	672.40	4.96	610.00	7.65	496.00	7.01	296.00	7.05
	424.00	10.33	584.40	1.66	486.00	0.69	352.00	4.43	136.00	3.10
	432.00	12.60	612.40	4.09	578.00	4.14	376.00	4.17	208.00	2.36
	440.00	9.82	640.40	5.02	610.00	6.55	416.00	5.53	248.00	5.26
退水段 1,959	452.00	7.68	672.40	6.83	634.00	7.61	456.00	6.07	272.00	7.71
	464.00	5.30	704.40	4.41	666.00	7.58	512.00	7.58	312.00	7.73
	424.00	7.03	608.40	3.37	498.00	4.53	368.00	4.33	132.00	2.88
	432.00	12.92	632.40	3.44	530.00	3.44	392.00	5.04	232.00	3.03
退水段 1,580	440.00	12.33	652.40	3.26	546.00	3.49	416.00	6.09	264.00	5.29
	448.00	8.18	676.40	4.86	570.00	4.29	444.00	5.84	288.00	6.51
	456.00	7.39	704.40	6.25	602.00	3.39	480.00	4.30	312.00	6.55
	424.00	3.31	608.40	1.69	478.00	1.31	352.00	5.47	240.00	1.15
退水段 1,353	432.00	7.78	624.40	1.70	498.00	3.78	368.00	5.25	256.00	2.57
	440.00	8.83	652.40	2.57	522.00	3.98	392.00	5.67	272.00	3.38
	448.00	7.68	672.40	4.04	562.00	5.22	432.00	4.67	288.00	4.61
	456.00	6.28	704.40	4.73	610.00	3.59	480.00	3.33	316.00	6.04
退水段 1,031	424.00	3.82	616.40	1.53	466.00	3.77	352.00	4.03	272.00	2.83
	432.00	5.06	632.40	1.00	514.00	3.73	368.00	4.94	288.00	4.09
	440.00	7.27	660.40	2.64	546.00	3.39	380.00	5.50	300.00	5.90
	448.00	5.95	676.40	3.90	578.00	4.56	432.00	3.14	312.00	6.13
退水段 710	456.00	4.67	704.40	4.65	610.00	2.73	480.00	2.51	328.00	6.69
	424.00	6.30	616.40	1.77	562.00	2.34	352.00	4.36	152.00	1.64
	432.00	7.11	632.40	1.36	574.00	4.12	368.00	4.90	248.00	2.25
	440.00	5.27	672.40	2.25	582.00	4.79	384.00	3.37	288.00	3.23
退水段 710	448.00	4.19	688.40	4.09	594.00	3.95	420.00	4.83	304.00	4.95
	456.00	2.83	704.40	4.70	606.00	3.04	464.00	3.73	320.00	4.98
	424.00	6.76	612.40	1.79	558.00	4.86	352.00	2.61	248.00	5.73
	432.00	6.37	628.40	1.01	566.00	5.30	368.00	2.77	256.00	5.79
退水段 710	440.00	3.89	656.40	1.81	578.00	4.64	408.00	2.53	264.00	5.80
	448.00	3.70	676.40	3.11	590.00	3.11	432.00	3.50	272.00	5.48
	456.00	2.03	704.40	3.98	602.00	3.27	448.00	4.09	288.00	3.06
	424.00	5.64	620.40	0.88	554.00	0.28	348.00	3.09	248.00	4.01
退水段 710	436.00	3.10	656.40	1.74	562.00	5.38	408.00	0.95	256.00	4.87
	448.00	2.48	672.40	2.53	570.00	2.61	440.00	2.76	268.00	3.51
			688.40	3.29	578.00	1.93	456.00	3.46		
			704.40	3.98	610.00	1.57	496.00	2.62		

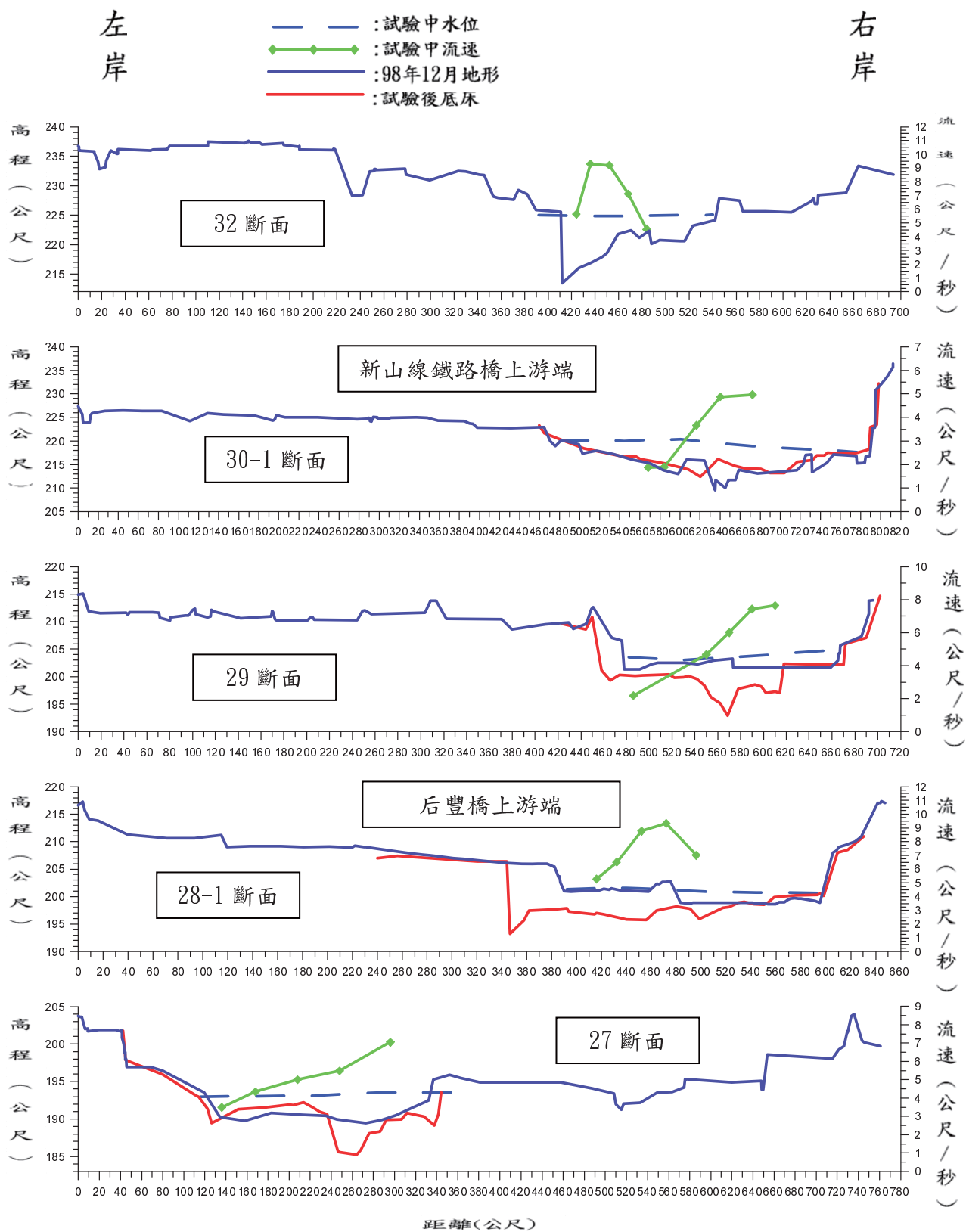


圖 5-13 試驗方案-3 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖

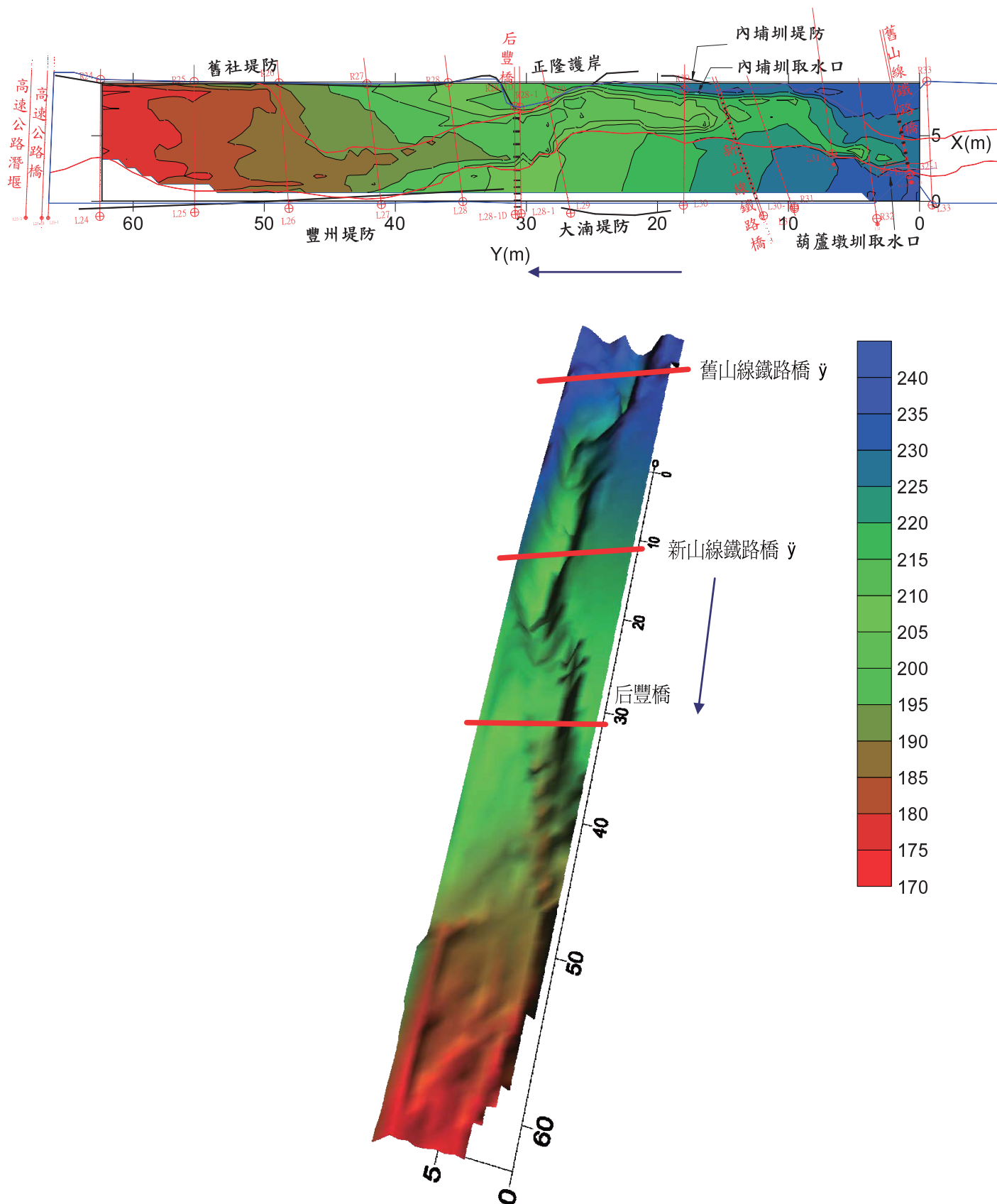


圖 5-14 試驗方案-3 模型變量流清水試驗後地形圖

四、試驗方案-4 試驗成果

（一）模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬設計洪水歷線下，后豐便橋不拆除、自來水河道送水管不拆除、后豐便道不拆除及布置正隆護岸丁壩情況（既有結構物）。

（二）模型試驗條件：后豐便橋不拆除、自來水河道送水管不拆除、后豐便道不拆除及布置正隆護岸丁壩（詳圖 5-11 及圖 5-12），其餘試驗條件、量測方式及地點與試驗方案-1 皆相同。

（三）模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，大致上與試驗方案-3 試驗之流路相似，通過新山線鐵路橋上游端流心靠向右岸邊坡、通過下游端流心靠向左岸高灘；通過后豐橋上游端流心靠向右岸正隆護岸、通過下游端流心靠向河道中央，模型試驗過程詳見照片 5-10～照片 5-11，五處水位及流速值詳如表 5-10 及表 5-11，洪峰流量 4,007 秒立方公尺通過時之水理詳如圖 5-16。試驗後量測地形詳如圖 5-17，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 5-18，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1～5 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（最大深度約 9 公尺）、后豐橋上游端靠右岸正隆護岸（最大深度約 6.7 公尺）、后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近（最大深度約 5.5 公尺）、后豐橋下游臨時變道下游端（最大深度約 10.9 公尺）、左岸豐洲堤防（深度 1～8 公尺）。



1.后豐便橋、河道送水管及后豐便道皆不拆除
+ 布置正隆護岸丁壩



2.試驗前地形（后豐橋上下游）



3. 試驗前地形（后豐橋下游臨時便道及便橋
皆不拆除）



4.漲水段 266 秒立方公尺（后豐橋上下游）



5.洪峰流量 4,007 秒立方公尺（新山線鐵路橋
上下游）



6.洪峰流量 4,007 秒立方公尺（后豐橋上下游）

照片 5-10 試驗方案-4 模型變量流清水試驗流況之一



7.試驗後地形（新山線鐵路橋上游）



8.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



10.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



11.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



12.試驗後地形(后豐橋下游臨時便道拆除處)

照片 5-11 試驗方案-4 模型變量流清水試驗流況之二

表 5-10 試驗方案-4 模型變量流清水試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	418.40	222.50	554.00	216.82	482.00	204.42	407.20	200.02	128.00	191.06
	440.00	222.42	592.40	216.66	522.00	204.50	456.00	200.10	176.00	190.98
	472.00	222.82	624.40	216.82	554.00	204.10	512.00	200.66	224.00	191.06
			672.40	216.74	602.00	203.70	552.00	200.50	272.00	191.14
			734.80	216.66	670.00	204.50	615.20	200.18	336.00	191.22
漲水段 1,353	418.40	223.22	520.40	217.62	482.00	204.98	408.00	200.18	120.00	192.10
	440.00	223.62	568.40	217.38	522.00	204.90	464.00	200.26	168.00	191.78
	540.00	223.70	616.40	217.62	570.00	203.94	512.00	200.90	224.00	191.70
			672.40	217.38	586.00	203.78	552.00	200.58	280.00	192.02
			760.40	217.46	670.00	204.66	615.20	200.02	336.00	192.02
漲水段 1,959	418.40	222.82	504.40	218.50	482.00	205.22	400.00	200.18	122.40	192.26
	448.00	223.14	544.40	218.34	530.00	205.06	456.00	200.74	176.00	192.26
	537.60	223.86	616.40	218.50	578.00	204.66	512.00	201.06	240.00	192.26
			688.40	218.18	626.00	204.82	552.00	200.82	296.00	192.66
			764.40	217.94	670.00	204.74	615.20	200.34	336.00	192.34
漲水段 2,948	409.60	224.26	488.40	220.50	478.00	206.26	391.20	202.90	116.80	193.94
	472.00	225.22	544.40	220.50	538.00	205.94	432.00	201.78	176.00	193.70
	542.40	225.22	608.40	220.26	586.00	205.94	504.00	202.50	240.00	193.86
			672.40	219.14	626.00	205.94	552.00	202.34	288.00	194.10
			762.80	218.66	670.00	206.42	615.20	201.14	352.00	194.26
洪峰 4,007	392.00	224.66	488.40	220.42	476.40	205.86	377.60	203.06	111.20	193.54
	456.00	224.82	552.40	220.34	506.00	205.62	440.00	201.54	160.00	193.46
	538.40	224.98	656.40	219.22	586.00	205.38	504.00	201.78	224.00	193.54
			704.40	218.50	634.00	205.70	552.00	201.94	288.00	193.54
			764.40	218.10	688.40	206.66	615.20	201.38	352.00	193.38
退水段 3,082	418.40	222.82	496.40	219.14	474.00	205.22	372.00	202.82	116.00	192.82
	448.00	223.86	560.40	219.14	538.00	205.38	432.00	201.06	176.00	192.98
	538.40	223.86	624.40	219.06	578.00	205.38	480.00	201.38	248.00	193.06
			680.40	218.58	626.00	205.70	544.00	201.38	296.00	192.90
			760.40	217.46	678.00	206.34	615.20	200.82	344.00	192.98
退水段 2,544	418.40	222.90	504.40	218.66	478.80	204.98	362.40	202.26	128.00	191.86
	448.00	223.54	568.40	218.58	530.00	205.30	424.00	200.74	184.00	192.42
	536.00	223.70	632.40	218.34	578.00	205.14	496.00	201.22	248.00	191.94
			680.40	218.10	626.00	204.98	552.00	201.14	288.00	192.34
			760.40	217.86	678.00	206.26	615.20	200.90	336.00	192.42
退水段 1,959	418.40	222.74	520.40	217.86	478.00	204.90	364.00	201.14	136.00	191.06
	448.00	223.22	568.40	217.94	530.00	204.98	416.00	200.42	176.00	190.74
	540.00	223.62	624.40	217.94	586.00	204.82	472.00	200.58	232.00	191.06
			680.40	218.02	626.00	204.26	544.00	200.82	288.00	191.30
			736.40	217.94	678.00	206.10	615.20	200.34	320.00	191.38
退水段 1,580	418.40	222.02	536.40	217.22	482.00	204.02	360.00	200.18	184.00	190.26
	456.00	222.58	600.40	217.06	538.00	204.42	416.00	200.50	248.00	190.34
	540.00	223.30	656.40	216.90	578.00	204.50	472.00	200.58	316.00	190.50
			680.40	216.98	610.00	204.50	544.00	200.58		
			736.40	217.38	670.00	205.30	615.20	200.18		
退水段 1,353	418.40	221.94	552.40	216.98	482.00	204.10	362.40	200.26	184.00	189.94
	448.00	222.26	600.40	216.82	522.00	204.18	416.00	200.18	248.00	190.10
	472.00	222.82	640.40	216.66	570.00	204.34	480.00	200.50	312.00	190.26
			664.40	216.50	618.00	203.94	552.00	200.82		
			720.40	216.82	670.00	204.82	615.20	199.86		
退水段 1,031	418.40	230.10	560.40	216.26	498.00	203.38	360.00	200.34	200.00	189.46
	448.00	222.26	640.40	216.26	538.00	203.94	416.00	200.34	256.00	190.02
	472.00	222.90	712.40	216.66	578.00	204.10	488.00	200.42	312.00	189.70
					626.00	203.70	552.00	200.50		
					674.00	204.34	615.20	200.02		
退水段 710	416.00	221.70	592.40	215.46	506.00	203.06	376.00	200.02	208.00	189.30
	440.00	222.18	640.40	215.46	578.00	203.78	416.00	200.02	256.00	189.38
	472.00	222.10	708.40	216.02	670.00	203.78	488.00	200.42	304.00	189.38
							552.00	200.42		
							615.20	200.02		

表 5-11 試驗方案-4 模型變量流清水試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	424.00	4.63	608.40	1.13	486.00	1.37	416.00	2.16	152.00	0.42
	432.00	3.76	624.40	1.48	502.00	1.48	448.00	2.19	192.00	2.06
	440.00	3.00	640.40	1.97	554.00	1.53	480.00	2.15	224.00	2.84
	448.00	1.49	672.40	2.11	586.00	2.67	544.00	3.64	248.00	1.43
	456.00	0.96	704.40	1.66	622.00	2.47	584.00	1.03	272.00	2.09
漲水段 1,353	424.00	7.88	608.40	1.86	490.00	1.94	432.00	5.81	152.00	1.17
	432.00	5.71	640.40	72.12	522.00	2.76	464.00	5.74	192.00	3.32
	440.00	4.14	652.40	1.80	554.00	2.52	496.00	9.46	224.00	4.07
	448.00	4.74	672.40	2.81	586.00	3.86	544.00	6.49	280.00	3.14
	456.00	1.15	704.40	2.33	650.00	2.98	604.00	5.66	304.00	0.63
漲水段 1,959	424.00	7.64	584.40	1.72	486.00	2.17	432.00	5.99	152.00	2.02
	432.00	8.54	608.40	2.85	506.00	2.64	464.00	6.29	192.00	3.09
	440.00	7.17	640.40	3.94	538.00	2.99	504.00	8.83	224.00	4.33
	448.00	5.78	672.40	3.54	570.00	3.55	544.00	6.38	256.00	4.57
	456.00	4.37	704.40	2.52	594.00	3.53	592.00	5.41	296.00	3.72
漲水段 2,948	424.00	8.78	576.40	2.06	486.00	3.05	432.00	5.93	152.00	5.00
	432.00	9.86	608.40	2.99	506.00	3.31	464.00	7.40	192.00	3.90
	440.00	9.42	640.40	4.74	546.00	3.46	504.00	7.44	224.00	5.06
	448.00	8.58	672.40	4.94	610.00	4.23	544.00	7.73	264.00	5.17
	456.00	6.76	708.40	2.81	662.00	4.80	592.00	15.96	296.00	4.42
洪峰 4,007	424.00	7.68	576.40	1.92	486.00	2.24	424.00	8.53	144.00	2.85
	432.00	9.26	608.40	3.07	522.00	3.49	456.00	10.37	184.00	4.48
	440.00	9.77	640.40	5.33	554.00	3.66	496.00	8.74	216.00	6.23
	448.00	9.22	672.40	6.54	586.00	4.65	536.00	7.72	248.00	6.57
	464.00	7.90	704.40	2.06	610.00	7.12	592.00	9.56	288.00	6.10
退水段 3,082	424.00	9.04	584.40	1.43	490.00	2.37	432.00	8.02	144.00	3.76
	432.00	13.93	608.40	2.67	506.00	2.62	464.00	5.36	184.00	4.15
	440.00	11.24	640.40	3.17	554.00	2.90	504.00	10.74	216.00	5.48
	448.00	8.77	672.40	4.71	594.00	4.60	544.00	8.14	256.00	5.58
	456.00	7.14	704.40	6.30	610.00	6.70	592.00	6.86	280.00	5.29
退水段 2,544	424.00	7.02	584.40	1.32	506.00	2.29	432.00	6.85	176.00	2.65
	432.00	12.51	608.40	2.73	546.00	2.68	464.00	7.14	208.00	4.20
	440.00	9.63	640.40	2.44	586.00	4.03	504.00	4.79	224.00	5.25
	448.00	8.29	672.40	4.60	610.00	4.51	544.00	6.17	248.00	5.51
	456.00	6.03	700.40	6.07	642.00	5.72	584.00	5.60	272.00	5.53
退水段 1,959	424.00	5.75	584.40	1.12	482.00	1.70	432.00	4.78	216.00	3.74
	432.00	8.44	616.40	3.10	498.00	2.64	464.00	4.31	232.00	4.33
	440.00	6.99	636.40	2.31	578.00	3.38	504.00	4.02	248.00	5.57
	448.00	5.21	668.40	4.49	610.00	3.53	544.00	4.59	264.00	5.65
	456.00	4.64	700.40	4.96	650.00	5.55	592.00	4.74	284.00	5.17
退水段 1,580	424.00	7.70	584.40	1.13	506.00	2.40	432.00	4.52	240.00	3.99
	432.00	8.04	608.40	2.25	538.00	2.20	464.00	3.94	256.00	4.54
	440.00	5.60	632.40	2.12	602.00	2.80	504.00	3.21	272.00	5.26
	448.00	4.51	672.40	4.92	618.00	3.96	544.00	4.41	288.00	5.18
	456.00	3.33	700.40	4.92	662.00	4.32	592.00	4.33	296.00	3.25
退水段 1,353	424.00	7.24	616.40	2.03	506.00	2.04	432.00	4.02	240.00	4.08
	432.00	6.17	632.40	1.39	538.00	1.75	464.00	3.94	256.00	4.73
	440.00	4.33	656.40	3.56	578.00	2.55	512.00	2.91	272.00	4.87
	448.00	3.86	672.40	4.40	610.00	2.16	544.00	3.48	280.00	4.88
	456.00	1.63	692.40	3.98	642.00	3.36	592.00	3.73	288.00	4.21
退水段 1,031	424.00	7.15	616.40	1.77	506.00	1.81	432.00	1.22	236.00	3.42
	432.00	4.74	628.40	1.08	542.00	1.31	464.00	2.93	248.00	4.41
	440.00	3.98	664.40	3.57	578.00	2.47	504.00	2.43	256.00	3.71
	448.00	3.20	680.40	4.05	610.00	2.69	544.00	3.36	268.00	3.99
	456.00	1.54	696.40	4.05	662.00	3.54	592.00	3.65	288.00	5.63
退水段 710	424.00	4.59	628.40	0.53	610.00	2.04	432.00	2.90	240.00	2.90
	432.00	2.93	668.40	4.03	594.00	2.22	464.00	3.34	256.00	3.32
	440.00	2.70	680.40	3.45	618.00	1.53	504.00	2.25	272.00	3.54
	128.00	0.00	692.40	3.80	642.00	3.56	544.00	3.32	288.00	3.27
	128.00	0.00	700.40	5.03	658.00	3.90	592.00	2.87	296.00	2.35

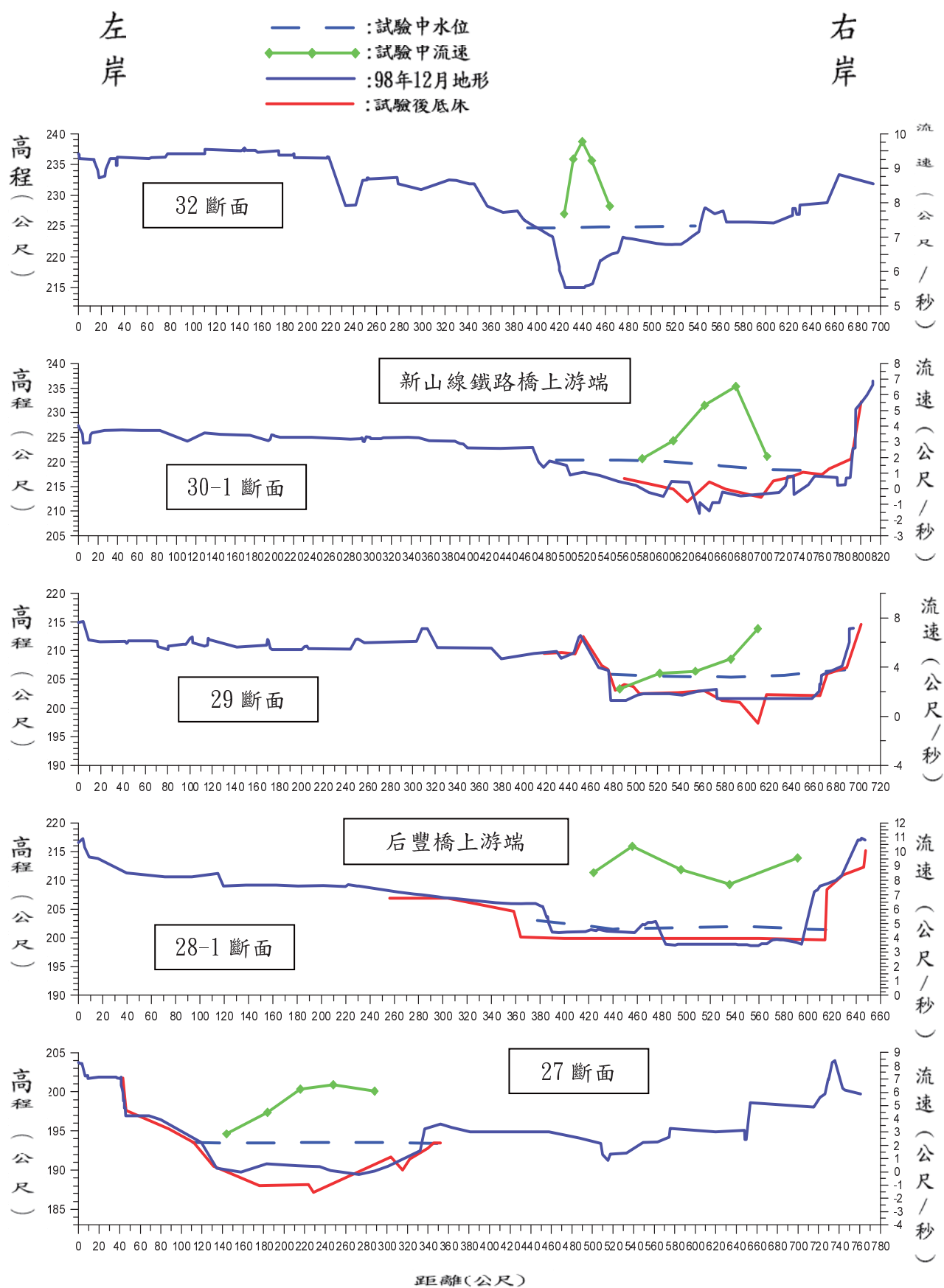


圖 5-16 試驗方案-4 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖

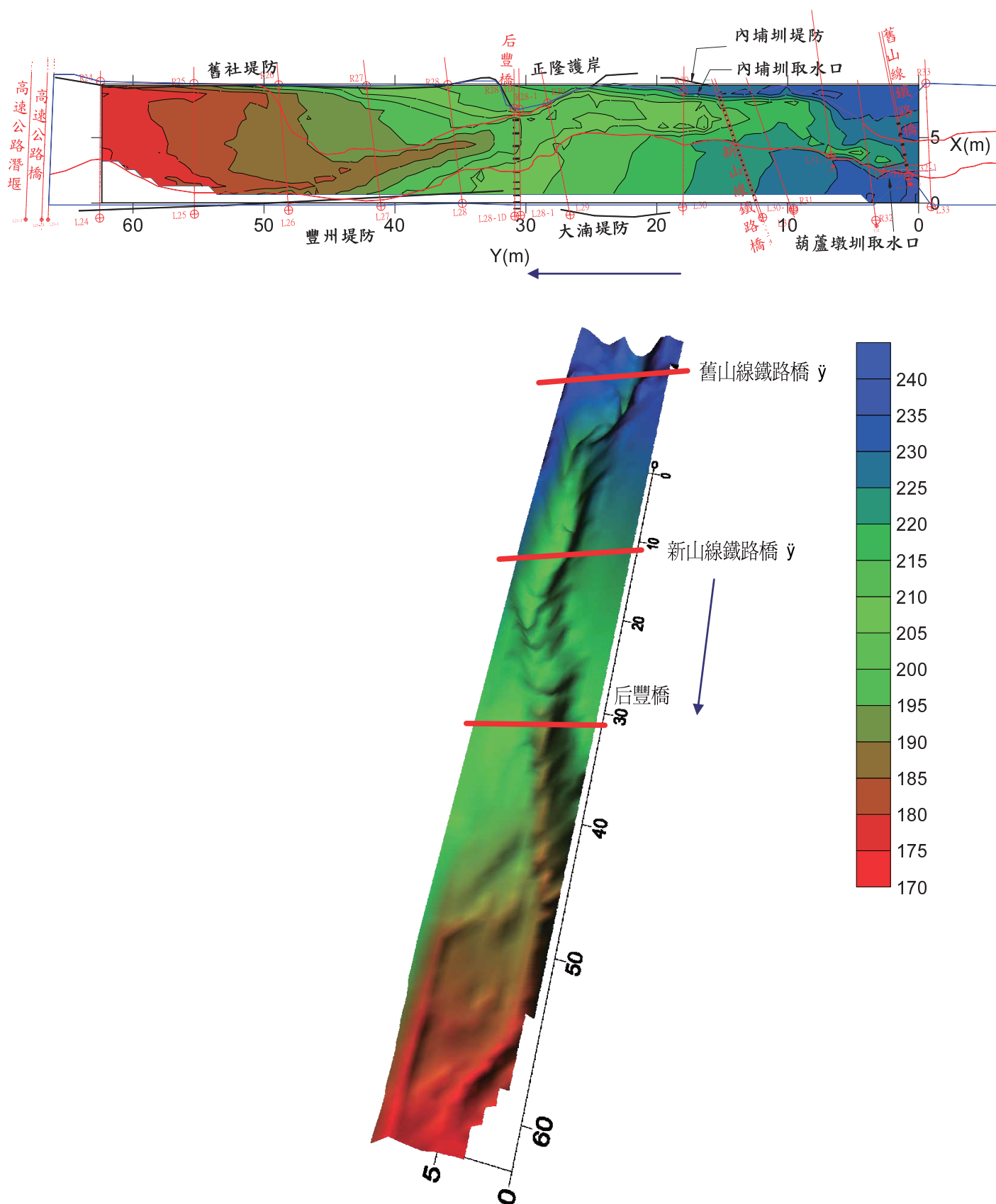


圖 5-17 試驗方案-4 模型變量流清水試驗後地形圖

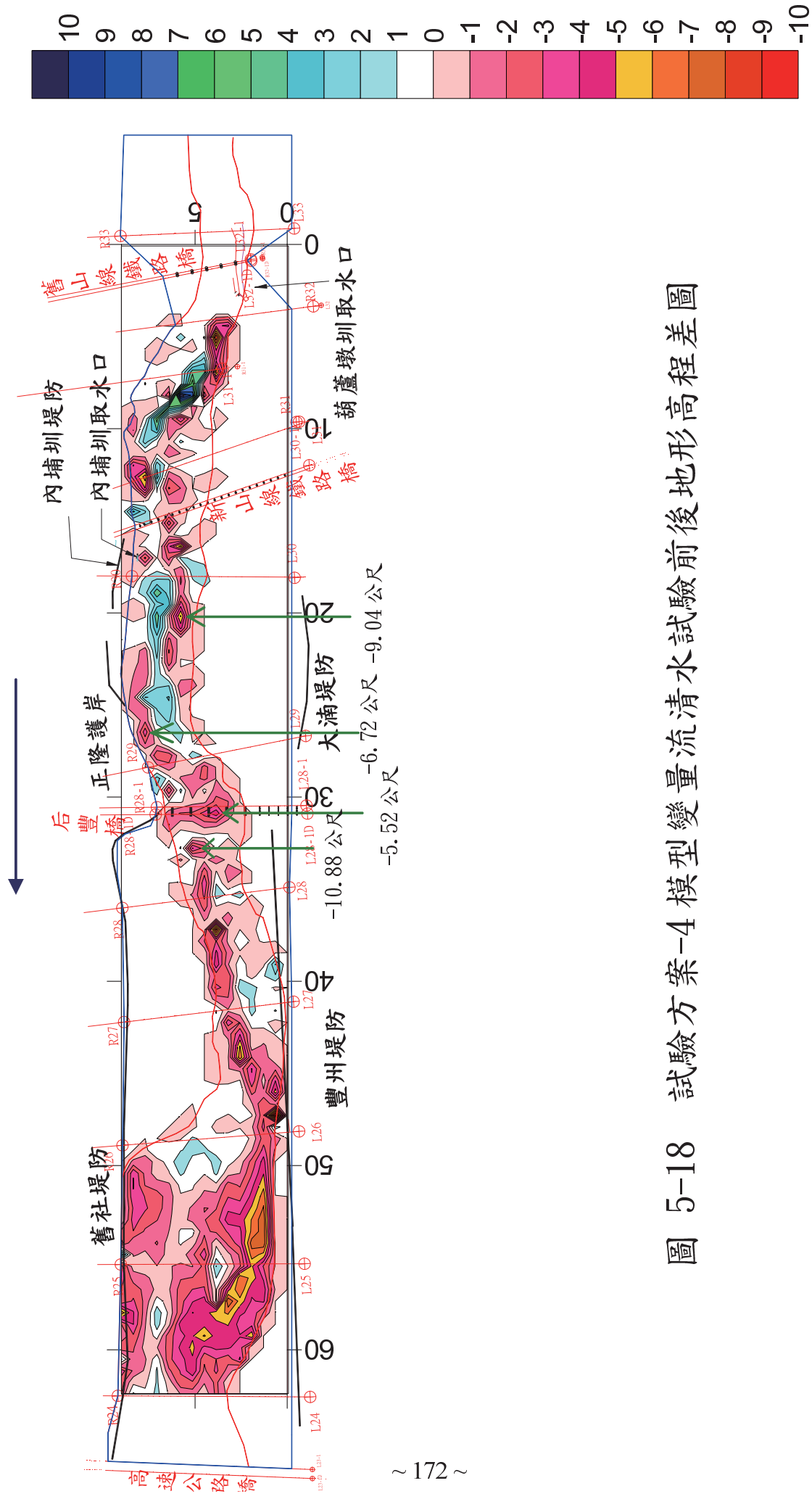


圖 5-18 試驗方案-4 模型變量流清水試驗前後地形高程差圖

五、試驗方案-5 試驗成果

（一）模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬設計洪水歷線下，后豐便橋拆除、自來水河道送水管 PB 左側拆除、后豐便道不拆除及布置正隆護岸丁壩情況（既有結構物）。

（二）模型試驗條件：后豐便橋拆除、自來水地下涵管 PB 左側拆除、后豐便道不拆除及布置正隆護岸丁壩（詳圖 5-11 及圖 5-12），其餘試驗條件、量測方式及地點與試驗方案-1 皆相同。

（三）模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，大致上與試驗方案-3 試驗之流路相似，通過新山線鐵路橋上游端流心靠向右岸邊坡、通過下游端流心靠向左岸高灘；通過后豐橋上游端流心靠向右岸正隆護岸、通過后豐橋及下游端時受丁壩影響流心靠向左岸，模型試驗過程詳見照片 5-12～照片 5-13，五處水位及流速值詳如表 5-12 及表 5-13，洪峰流量 4,007 秒立方公尺通過時之水理詳如圖 5-19。試驗後量測地形詳如圖 5-20，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 5-21，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋上游端右岸邊坡（深度 1～5 公尺）、新山線鐵路橋下游固床工下游端（最大深度約 9.9 公尺）、后豐橋上游端靠右岸正隆護岸（最大深度約 15.1 公尺）、后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近（最大深度約 7.2 公尺）、后豐橋下游臨時變道下游端（最大深度約 11.2 公尺）、左岸豐洲堤防（深度 1～8 公尺）。



1.后豐便橋拆除、河道送水管 PB 左側拆除及后豐便道不拆除+布置正隆護岸丁壩



2.試驗前地形（后豐橋上下游）



3. 試驗前地形（后豐橋下游臨時便道不拆除及便橋拆除）



4.漲水段 266 秒立方公尺（后豐橋上下游）



5. 洪峰流量 4,007 秒立方公尺(新山線鐵路橋上下游)

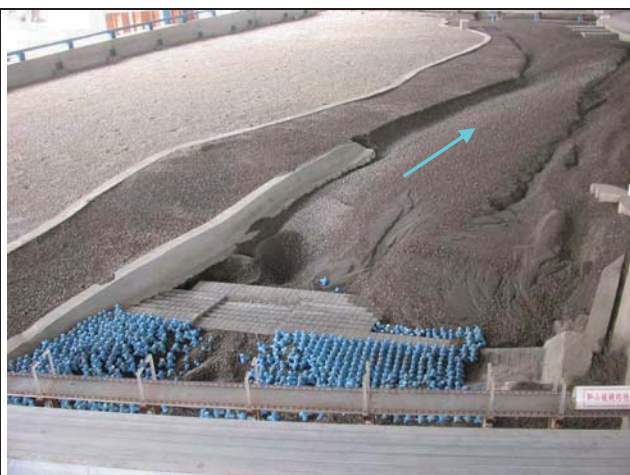


6.洪峰流量 4,007 秒立方公尺（后豐橋上下游）

照片 5-12 試驗方案-5 模型變量流清水試驗流況之一



7.試驗後地形（新山線鐵路橋上游）



8.試驗後地形（新山線鐵路橋下游）



9.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



10.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



11.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



12.試驗後地形（后豐橋下游臨時便道處）

照片 5-13 試驗方案-5 模型變量流清水試驗流況之二

表 5-12 試驗方案-5 模型變量流清水試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	416.00	222.50	560.40	216.50	482.00	204.10	392.00	201.22	128.00	191.38
	448.00	222.66	640.40	216.58	530.00	204.18	448.00	200.18	168.00	191.38
	472.00	222.74	728.40	216.50	570.00	204.18	496.00	200.42	224.00	191.38
					610.00	203.78	544.00	200.34	280.00	191.38
					672.40	203.70	615.20	200.26	336.00	191.54
漲水段 1,353	410.40	223.86	544.40	217.54	478.80	204.66	408.00	200.82	127.20	191.86
	448.00	224.02	584.40	217.62	530.00	204.18	456.00	200.90	168.00	192.10
	480.00	224.10	629.20	217.62	570.00	204.58	520.00	200.50	232.00	192.42
			672.40	217.22	610.00	204.34	560.00	200.42	280.00	192.34
			730.80	217.38	671.60	204.26	608.00	200.42	340.00	192.18
漲水段 1,959	408.00	224.02	504.40	218.34	478.80	204.82	392.00	201.38	120.00	192.50
	472.00	224.42	552.40	218.18	522.00	204.58	440.00	201.62	168.00	192.18
	540.00	224.26	608.40	218.26	570.00	204.58	496.00	201.46	224.00	192.18
			656.40	218.10	610.00	204.58	544.00	200.98	288.00	192.34
			728.40	217.78	670.00	204.66	615.20	200.42	337.60	192.66
漲水段 2,948	408.00	223.78	498.80	219.30	482.00	204.26	391.20	202.58	120.00	192.90
	472.00	224.66	552.40	219.46	522.00	204.18	440.00	202.18	168.00	193.14
	544.00	224.90	600.40	219.54	566.80	204.42	488.00	201.94	216.00	192.82
			656.40	218.42	610.00	204.74	552.00	201.22	264.00	192.66
			732.40	217.78	670.00	204.98	615.20	200.42	344.00	192.90
洪峰 4,007	412.80	223.46	496.40	219.86	476.40	204.66	380.00	203.30	119.20	192.82
	472.00	224.82	544.40	219.70	530.00	204.82	424.00	202.98	168.00	193.22
	544.00	225.30	600.40	220.02	570.00	204.98	480.00	202.42	216.00	193.30
			664.40	219.14	618.00	204.42	544.00	201.70	264.00	193.30
			732.40	218.58	670.00	205.94	615.20	201.06	352.00	193.22
退水段 3,082	416.00	223.14	504.40	218.82	478.00	204.26	376.00	202.58	116.00	192.66
	472.00	224.26	552.40	218.98	522.00	203.94	424.00	202.42	168.00	192.98
	544.00	224.42	600.40	218.90	578.00	204.58	488.00	202.26	224.00	193.06
			664.40	218.42	626.00	204.90	544.00	201.22	280.00	193.06
			736.40	218.34	670.00	205.46	615.20	200.42	352.00	193.22
退水段 2,544	416.00	222.90	512.40	218.26	482.00	204.02	376.00	202.10	119.20	191.62
	472.00	223.70	568.40	218.10	530.00	203.70	432.00	201.78	168.00	192.02
	540.00	223.86	624.40	218.26	578.00	203.86	488.00	201.22	224.00	191.86
			672.40	217.86	618.00	204.26	544.00	200.66	288.00	192.82
			736.40	218.10	670.00	204.98	615.20	200.42	344.00	207.22
退水段 1,959	416.00	222.82	520.40	217.86	478.00	203.38	376.00	201.62	88.00	190.42
	464.00	223.22	576.40	217.86	530.00	203.22	424.00	201.22	128.00	190.58
	536.00	223.62	632.40	217.78	578.00	203.38	480.00	200.66	168.00	190.42
			680.40	217.38	626.00	203.62	544.00	200.66	200.00	190.10
			736.40	217.94	670.00	204.10	615.20	200.18	304.00	192.26
退水段 1,580	416.00	222.34	536.40	217.62	486.00	202.10	376.00	201.46	76.80	190.10
	472.00	222.82	576.40	217.62	530.00	202.50	424.00	200.82	128.00	190.10
	538.40	223.46	632.40	217.30	578.00	202.58	488.00	200.66	168.00	189.94
			680.40	217.14	618.00	202.90	544.00	200.50	200.00	189.86
			736.40	217.22	670.00	203.86	615.20	200.18		
退水段 1,353	416.00	222.34	552.40	217.06	490.00	201.78	376.00	201.06	71.20	189.78
	456.00	223.14	600.40	217.30	522.00	202.26	424.00	200.50	112.00	189.70
	536.00	223.46	640.40	216.98	570.00	202.50	488.00	200.58	152.00	189.78
			672.40	216.74	618.00	202.98	544.00	200.42	200.00	189.86
			736.40	217.06	670.00	203.46	615.20	200.02		
退水段 1,031	416.00	222.34	568.40	214.82	490.00	201.22	380.00	200.66	64.00	189.22
	456.00	222.42	648.40	215.30	530.00	201.46	424.00	200.02	128.00	188.82
	536.00	223.22	728.40	216.90	578.00	201.78	488.00	200.34	192.00	189.06
					618.00	202.74	544.00	200.34		
					670.00	203.14	604.00	200.10		
退水段 710	416.00	222.10	592.40	215.62	522.00	201.30	376.00	199.78	56.00	187.94
	456.00	222.18	648.40	215.54	578.00	201.22	432.00	199.14	88.00	187.62
	480.00	222.26	712.40	216.10	670.00	201.78	472.00	199.46	128.00	187.86

表 5-13 試驗方案-5 模型變量流清水試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	420.00	3.07	616.40	1.30	498.00	0.66	456.00	4.08	160.00	1.38
	428.00	3.86	644.40	2.67	530.00	1.24	472.00	3.70	184.00	1.38
	436.00	3.08	672.40	2.88	586.00	1.57	512.00	2.71	224.00	2.01
	444.00	2.58	704.40	1.31	610.00	2.32	560.00	5.07	248.00	2.24
	452.00	0.63	624.40	1.32	658.00	3.88	584.00	6.24	280.00	0.89
漲水段 1,353	424.00	6.33	612.40	2.22	490.00	1.63	424.00	3.87	152.00	1.95
	432.00	5.65	632.40	3.44	530.00	1.86	440.00	4.06	184.00	2.48
	440.00	4.29	648.40	3.90	586.00	2.25	488.00	4.23	224.00	2.53
	448.00	3.43	672.40	4.52	610.00	2.71	528.00	3.39	256.00	2.58
	456.00	1.32	704.40	2.79	658.00	5.46	560.00	3.96	288.00	0.47
漲水段 1,959	424.00	6.78	608.40	2.51	482.00	1.91	424.00	6.17	152.00	3.86
	432.00	8.57	636.40	3.66	514.00	1.97	448.00	5.35	184.00	5.29
	440.00	6.55	656.40	4.06	586.00	3.09	488.00	4.14	208.00	4.88
	448.00	4.79	672.40	4.51	610.00	4.67	520.00	5.04	280.00	2.52
	456.00	2.78	704.40	4.40	650.00	4.49	552.00	4.86	304.00	1.87
漲水段 2,948	424.00	12.96	568.40	1.55	490.00	2.88	416.00	3.54	144.00	5.75
	432.00	11.59	608.40	4.50	514.00	3.74	448.00	3.82	176.00	5.76
	440.00	10.32	632.40	5.69	570.00	3.47	480.00	5.21	200.00	4.98
	448.00	7.98	656.40	6.14	602.00	3.98	512.00	7.69	224.00	3.90
	456.00	5.94	680.40	5.19	634.00	5.93	552.00	6.30	296.00	2.28
洪峰 4,007	424.00	3.76	576.40	3.69	490.00	2.91	392.00	6.39	128.00	4.05
	432.00	11.96	608.40	3.18	506.00	3.69	416.00	4.81	152.00	5.50
	440.00	10.43	640.40	8.53	546.00	3.45	464.00	4.84	184.00	6.12
	448.00	8.94	672.40	6.33	578.00	4.06	488.00	6.77	232.00	4.97
	460.00	6.65	704.40	6.52	610.00	7.02	544.00	6.66	264.00	4.94
退水段 3,082	424.00	5.48	584.40	1.70	490.00	1.81	392.00	5.17	128.00	4.03
	432.00	10.41	128.40	2.64	554.00	3.26	416.00	4.44	152.00	5.73
	440.00	13.64	640.40	3.54	118.00	4.22	448.00	5.85	184.00	5.81
	448.00	10.34	672.40	5.12	610.00	5.82	480.00	5.03	216.00	5.52
	456.00	7.96	704.40	6.27	642.00	6.83	544.00	3.54	248.00	4.08
退水段 2,544	424.00	8.59	592.40	0.92	490.00	2.79	392.00	5.15	120.00	7.23
	432.00	13.34	608.40	2.47	546.00	2.90	416.00	5.61	136.00	7.74
	440.00	10.48	640.40	3.42	570.00	4.67	440.00	5.40	152.00	7.43
	448.00	8.05	672.40	6.05	610.00	3.62	464.00	4.96	168.00	6.65
	460.00	6.29	704.40	5.87	642.00	5.01	492.00	3.96	184.00	5.73
退水段 1,959	424.00	7.63	600.40	2.21	494.00	2.23	392.00	4.96	104.00	5.93
	432.00	8.66	616.40	2.21	546.00	3.90	408.00	5.34	116.00	6.04
	440.00	9.04	640.40	3.61	562.00	4.14	424.00	5.76	128.00	5.06
	448.00	6.79	672.40	5.40	586.00	3.83	448.00	4.79	140.00	4.52
	456.00	5.18	700.40	5.01	614.00	3.13	488.00	3.42	156.00	4.19
退水段 1,580	424.00	7.91	592.40	1.31	498.00	1.58	392.00	4.69	80.00	4.98
	432.00	8.22	608.40	1.92	538.00	2.38	408.00	5.13	96.00	4.96
	440.00	5.56	636.40	3.14	554.00	3.26	424.00	5.26	112.00	5.12
	448.00	4.98	672.40	5.41	570.00	3.57	440.00	4.52	136.00	3.99
	456.00	4.11	700.40	4.66	610.00	2.36	456.00	3.68	160.00	3.16
退水段 1,353	424.00	8.04	608.40	2.89	498.00	1.37	392.00	3.61	80.00	4.64
	432.00	6.51	624.40	2.97	530.00	2.69	408.00	3.72	92.00	5.14
	440.00	5.06	640.40	2.37	546.00	4.11	424.00	4.63	104.00	4.91
	448.00	3.73	672.40	4.20	570.00	4.90	440.00	4.30	120.00	4.44
	456.00	3.05	688.40	4.68	594.00	4.86	464.00	2.97	160.00	3.10
退水段 1,031	424.00	7.20	608.40	2.05	530.00	2.69	392.00	2.69	76.00	3.78
	432.00	4.81	624.40	0.48	542.00	3.69	400.00	3.42	84.00	4.04
	440.00	3.58	640.40	1.40	554.00	3.99	408.00	3.70	92.00	3.74
	448.00	3.21	676.40	4.34	570.00	4.46	416.00	3.86	100.00	3.57
	456.00	0.99	696.40	4.35	586.00	3.79	424.00	4.35	108.00	3.49
退水段 710	424.00	5.03	616.40	2.10	530.00	2.26	392.00	3.53	72.00	3.80
	432.00	3.16	632.40	1.43	538.00	2.58	400.00	3.46	80.00	3.83
	440.00	2.51	672.40	3.80	554.00	3.38	408.00	3.60	88.00	3.87
	448.00	1.96	684.40	4.70	570.00	4.13	416.00	3.46	96.00	3.56
	456.00	1.59	696.40	4.29	594.00	1.74	424.00	4.30	104.00	2.83

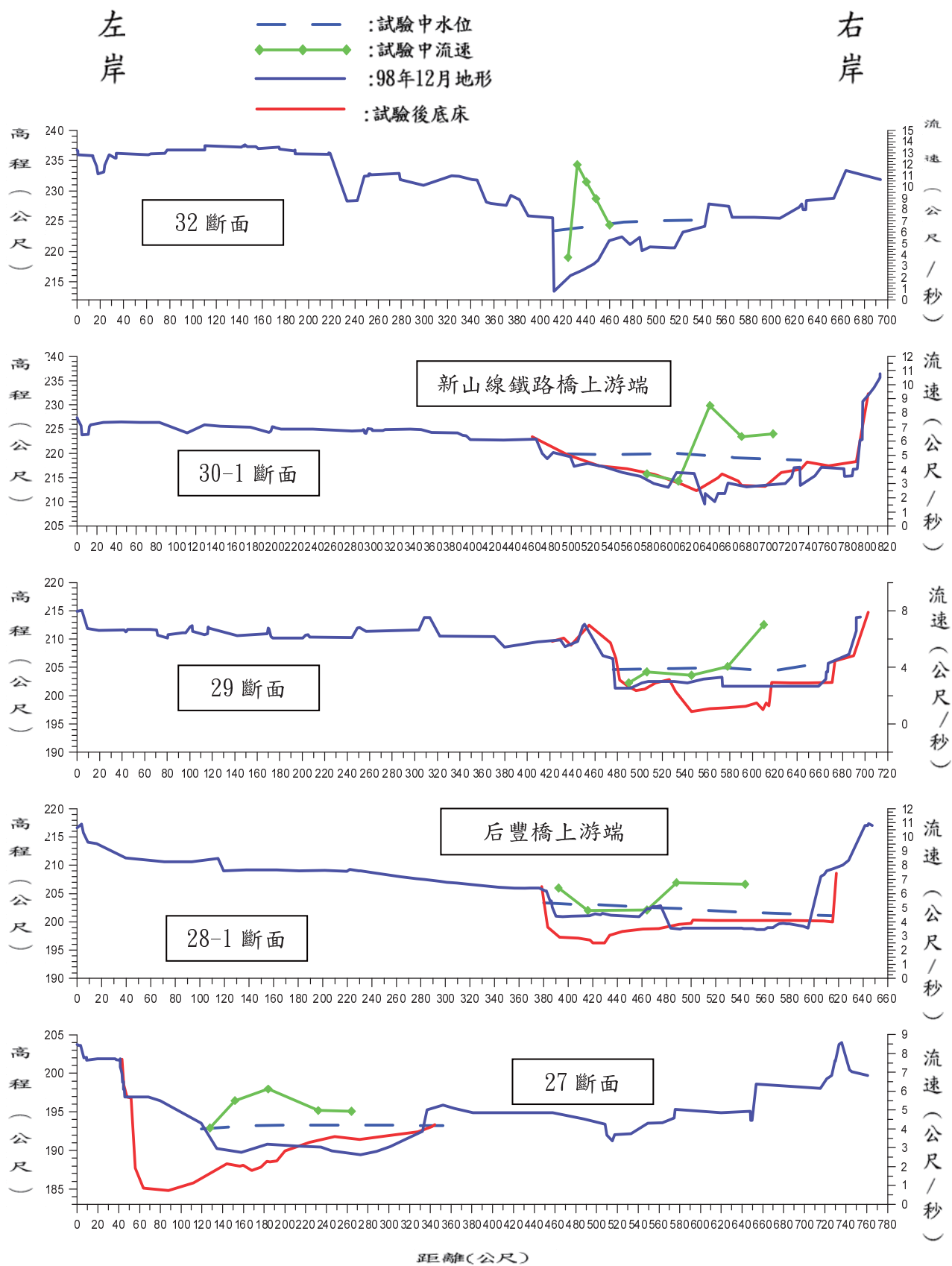


圖 5-19 試驗方案-5 模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖

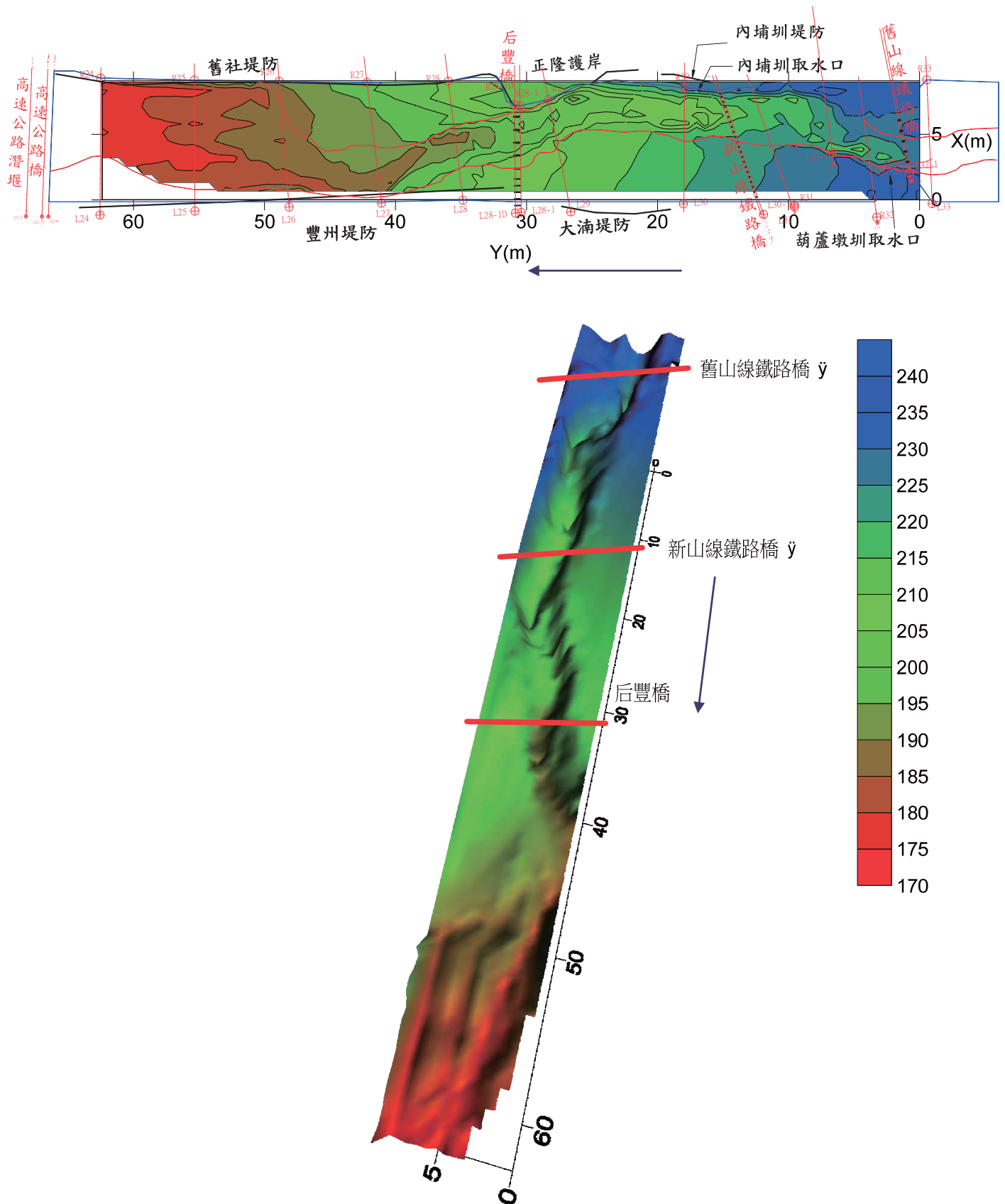


圖 5-20 試驗方案-5 模型變量流清水試驗後地形圖

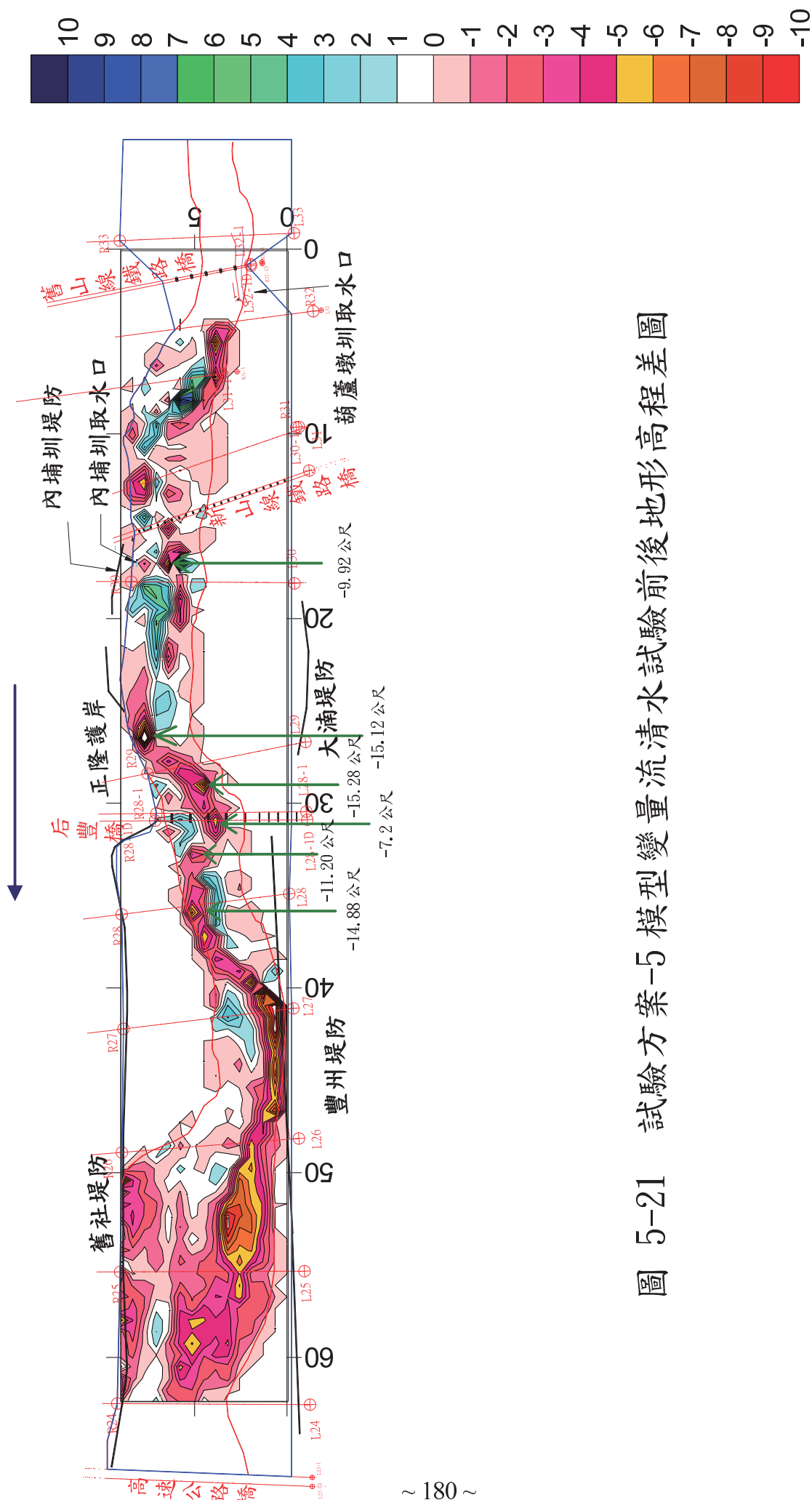


圖 5-21 試驗方案-5 模型變量流量清水試驗前後地形高程差圖

六、五種試驗方案綜合分析檢討

（一）布置試驗條件比較

試驗方案-1 與試驗方案-2 為未布置正隆護岸丁壩試驗方案，此兩方案主要差別在於后豐橋下游臨時便道是否拆除；試驗方案-3 與試驗方案-4 為布置既有正隆護岸丁壩試驗方案，此兩方案主要差別在於后豐橋上游自來水河道送水管、后豐橋下游臨時便橋及便道是否拆除；試驗方案-5 係綜合試驗方案-1 與試驗方案-4 之布置方式。

（二）流路比較

模型五種試驗方案試驗過程流心大致上類似，只在於通過后豐橋上下游時局部流況有些許差異，試驗方案-1、試驗方案-2、試驗方案-3 及試驗方案-5 在洪峰流量 4,007 秒立方公尺（詳如表 5-14 及表 5-15）通過后豐橋橋下時流路會漫流至 PD 橋墩，只有試驗方案-4 流路漫流至 PC~PD 中間。

（三）沖刷位置及沖刷深度比較

試驗方案-1、試驗方案-4 及試驗方案-5 因保留后豐橋下游臨時便道，局部段上游端會產生減少沖刷、下游端會產生跌水沖刷，如下表 5-16 所示。

表 5-16 五種試驗方案模型沖刷位置及沖刷深度比較表

沖刷位置	沖刷深度				
	試驗方案-1	試驗方案-2	試驗方案-3	試驗方案-4	試驗方案-5
新山線鐵路橋上游端右岸邊坡	1~5	1~5	1~5	1~5	1~5
新山線鐵路橋下游固床工下游端	10.1	10.6	11.8	9	9.9
后豐橋上游端靠右岸正隆護岸			16.3	6.7	15.1
后豐橋上游端靠中央	7.4	11.8	17.8		
后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近	14.2	18.7	12.2	5.5	7.2
后豐橋下游臨時變道下游端	14.6			10.9	11.2
左岸豐洲堤防	1~8	1~8	1~8	1~8	1~8
備註：沖刷位置由上游向下游排列。 沖刷深度表示為範圍或最大值，單位為公尺。					

表 5-14 五種試驗方案在洪峰流量 4,007 秒立方公尺時模型各斷面水位量測值比較表

方 案	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (公尺)	水位高程 (公尺)	距離 (公尺)	水位高程 (公尺)	距離 (公尺)	水位高程 (公尺)	距離 (公尺)	水位高程 (公尺)	距離 (公尺)	水位高程 (公尺)
試驗方 案-1	393.6	224.82	494.8	219.62	482.0	204.66	376.0	203.22	104.0	194.26
	456.0	225.14	544.4	219.78	522.0	204.34	424.0	203.14	152.0	194.18
	542.4	225.14	616.4	219.54	570.0	204.74	488.0	202.74	232.0	194.18
			672.4	218.74	618.0	204.90	552.0	201.46	280.0	194.18
			732.4	217.78	672.4	205.70	615.2	201.74	368.0	194.18
試驗方 案-2	392.0	224.98	496.4	219.94	474.0	203.54	340.0	202.34	104.0	193.06
	456.0	225.14	552.4	220.10	530.0	203.70	392.0	201.78	168.0	192.98
	624.0	225.22	616.4	219.62	586.0	204.02	464.0	201.54	232.0	193.38
			672.4	218.82	626.0	204.34	544.0	200.42	296.0	194.10
			737.2	217.62	670.0	205.22	612.0	201.62	368.0	193.46
試驗方 案-3	392.0	224.98	480.4	220.18	482.0	203.54	392.0	201.30	116.0	192.98
	464.0	224.82	544.4	220.02	530.0	202.98	440.0	201.62	168.0	193.06
	540.0	225.06	600.4	220.34	578.0	203.62	496.0	200.98	224.0	193.14
			672.4	218.90	618.0	204.18	544.0	200.74	288.0	193.54
			776.4	217.62	670.0	204.98	596.0	200.66	360.0	193.54
試驗方 案-4	392.0	224.66	488.4	220.42	476.4	205.86	377.6	203.06	111.20	193.54
	456.0	224.82	552.4	220.34	506.0	205.62	440.0	201.54	160.0	193.46
	538.4	224.98	656.4	219.22	586.0	205.38	504.0	201.78	224.0	193.54
			704.4	218.50	634.0	205.70	552.0	201.94	288.0	193.54
			764.4	218.10	688.4	206.66	615.2	201.38	352.0	193.38
試驗方 案-5	412.8	223.46	496.4	219.86	476.4	204.66	380.0	203.30	119.2	192.82
	472.0	224.82	544.4	219.70	530.0	204.82	424.0	202.98	168.0	193.22
	544.0	225.30	600.4	220.02	570.0	204.98	480.0	202.42	216.0	193.30
			664.4	219.14	618.0	204.42	544.0	201.70	264.0	193.30
			732.4	218.58	670.0	205.94	615.2	201.06	352.0	193.22

表 5-15 五種試驗方案在洪峰流量 4,007 秒立方公尺時模型各斷面流速測量測值比較表

方案	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (公尺)	流速 (公尺/秒)	距離 (公尺)	流速 (公尺/秒)	距離 (公尺)	流速 (公尺/秒)	距離 (公尺)	流速 (公尺/秒)	距離 (公尺)	流速 (公尺/秒)
試驗方 案-1	424	8.20	580.4	2.68	486	2.69	392	5.10	136	4.10
	432	10.19	608.4	4.86	522	4.87	416	5.78	152	4.20
	444	10.31	636.4	3.54	562	5.26	448	3.67	200	3.28
	460	6.21	668.4	7.13	618	6.85	496	2.36	248	2.57
	488	3.31	700.4	5.25	658	10.38	528	10.43	288	4.06
試驗方 案-2	424	8.96	576.4	2.26	486	1.29	352	5.15	112	3.48
	436	11.61	608.4	4.94	538	5.64	376	4.10	144	3.01
	448	8.59	640.4	4.50	570	6.52	432	6.20	200	5.99
	460	5.99	672.4	8.13	610	7.43	464	7.12	232	7.18
	472	4.71	704.4	3.57	658	4.48	512	8.05	288	6.01
試驗方 案-3	424	5.63	568.4	1.87	486	2.19	416	5.27	136	3.49
	436	9.30	584.4	1.89	550	4.67	432	6.51	168	4.34
	452	9.20	616.4	3.66	570	6.01	452	8.77	208	5.01
	468	7.11	640.4	4.87	590	7.44	472	9.33	248	5.48
	484	4.54	672.4	4.96	610	7.65	496	7.01	296	7.05
試驗方 案-4	424.0	7.68	576.4	1.92	486.0	2.24	424.0	8.53	144.0	2.85
	432.0	9.26	608.4	3.07	522.0	3.49	456.0	10.37	184.0	4.48
	440.0	9.77	640.4	5.33	554.0	3.66	496.0	8.74	216.0	6.23
	448.0	9.22	672.4	6.54	586.0	4.65	536.0	7.72	248.0	6.57
	464.0	7.90	704.4	2.06	610.0	7.12	592.0	9.56	288.0	6.10
試驗方 案-5	424.0	3.76	576.4	3.69	490.0	2.91	392.0	6.39	128.0	4.05
	432.0	11.96	608.4	3.18	506.0	3.69	416.0	4.81	152.0	5.50
	440.0	10.43	640.4	8.53	546.0	3.45	464.0	4.84	184.0	6.12
	448.0	8.94	672.4	6.33	578.0	4.06	488.0	6.77	232.0	4.97
	460.0	6.65	704.4	6.52	610.0	7.02	544.0	6.66	264.0	4.94

(四) 成果分析檢討

1. 試驗方案-1 與試驗方案-2 為未布置正隆護岸丁壩兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-1 有布置后豐橋下游臨時便道；試驗方案-2 則是拆除。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-2 皆較試驗方案-1 沖刷深度大，唯獨在后豐橋下游臨時便道下游端之沖刷位置，試驗方案-1 較試驗方案-2 沖刷深度大，顯示保留后豐橋下游臨時便道對后豐橋至便道間局部段會產生較小沖刷；對便道下游端局部段會產生較大淘刷。
2. 試驗方案-3 與試驗方案-4 為有布置既有正隆護岸丁壩兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-4 為保留后豐橋上游河道送水管、后豐橋下游臨時便橋及便道；試驗方案-3 則是拆除上述三項結構物。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-3 皆較試驗方案-4 沖刷深度大，唯獨在后豐橋下游臨時便道下游端之沖刷位置，試驗方案-4 較試驗方案-3 沖刷深度大，顯示保留后豐橋上游河道送水管及后豐橋下游臨時便道對上游后豐橋上游端至便道間局部段會產生較小沖刷；對便道下游端局部段會產生較大淘刷。
3. 試驗方案-1 與試驗方案-4 為保留后豐橋下游臨時便道兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-1 后豐橋上游河道送水管部份中央拆除；試驗方案-4 則全部不拆除。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-1 皆較試驗方案-4 沖刷深度大，顯示保留后豐橋上游河道送水管對后豐橋上游端局部段會產生較小沖刷。

4. 試驗方案-4 與試驗方案-5 為有布置既有正隆護岸丁壩兩種試驗方案，此兩方案主要差別在於試驗方案-5 后豐橋上游河道送水管 PB 至左岸拆除；試驗方案-4 則全部不拆除。由相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-5 較試驗方案-4 在正隆護岸丁壩沖刷深度明顯較大，顯示試驗方案-4 保留后豐橋上游河道送水管對正隆護岸丁壩有保護效果。試驗方案-5 后豐橋上游河道送水管 PB 至右岸保留，可以形成丁壩挑流作用，但宜注意既有正隆護岸丁壩周圍沖刷問題。
5. 五種試驗方案在相同沖刷位置比較沖刷深度大小，試驗方案-4 皆較其他四種試驗方案沖刷深度小，顯示保留后豐橋上游河道送水管及后豐橋下游臨時便道對其上游局部段會產生較小沖刷。

第陸章 穩定方案試驗

本穩定方案係依據本所「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（4/4）（委辦計畫）」（詳第貳章資料蒐集與分析之第四項穩定方案規劃資料）所提供資料進行護甲粒料補充及河槽左岸開挖規劃布置，詳如圖 6-1，及依據本計畫第三年（3/3）期初報告書審查會議紀錄（詳附錄 D），會議結論第二項進行穩定方案模型試驗。首先進行布置試驗方案-5 既有結構物拆除或保留起始條件（詳第伍章），包括后豐橋上游自來水地下涵管（PB 左側全部拆除）部份拆除、后豐橋下游臨時便橋全部拆除及保留后豐橋下游臨時便道及布置臨時便道下游護坦工（如表 6-1），再進行規劃中之新山線鐵路橋至后豐橋左岸高灘地開挖之穩定方案試驗，平面布置如圖 6-1（未布置規劃中之丁壩工），斷面開挖形狀如圖 6-2～圖 6-4。

表 6-1 穩定方案試驗方案模型布置條件表

試驗條件項目	穩定方案
試驗前鋪設民國 98 年 12 月地形（斷面 28 以下）	●
模型上游不加砂之變量流清水試驗	●
新山線鐵路橋下游消能塊布置與現場 98 年 12 月類似情況（右岸）	●
后豐橋上游自來水河道送水管	PB 至左岸拆除 （PB 至右岸保留）
后豐橋下游臨時便橋	拆除
后豐橋下游臨時便道（內埋設涵管）	不拆除（保留）
正隆護岸丁壩（共 6 座）	●
后豐橋下游臨時便道下游端護坦工	●
后豐橋下游臨時便道右岸加固工程	●
規劃中之新山線鐵路橋上游至后豐橋下游左岸高灘地 （預計 104 年，斷面 31-1～斷面 28）	開挖
備註：以上試驗條件項目皆為既有結構物，標示 ● 表示此方案有布置或實施此項試驗條件。	

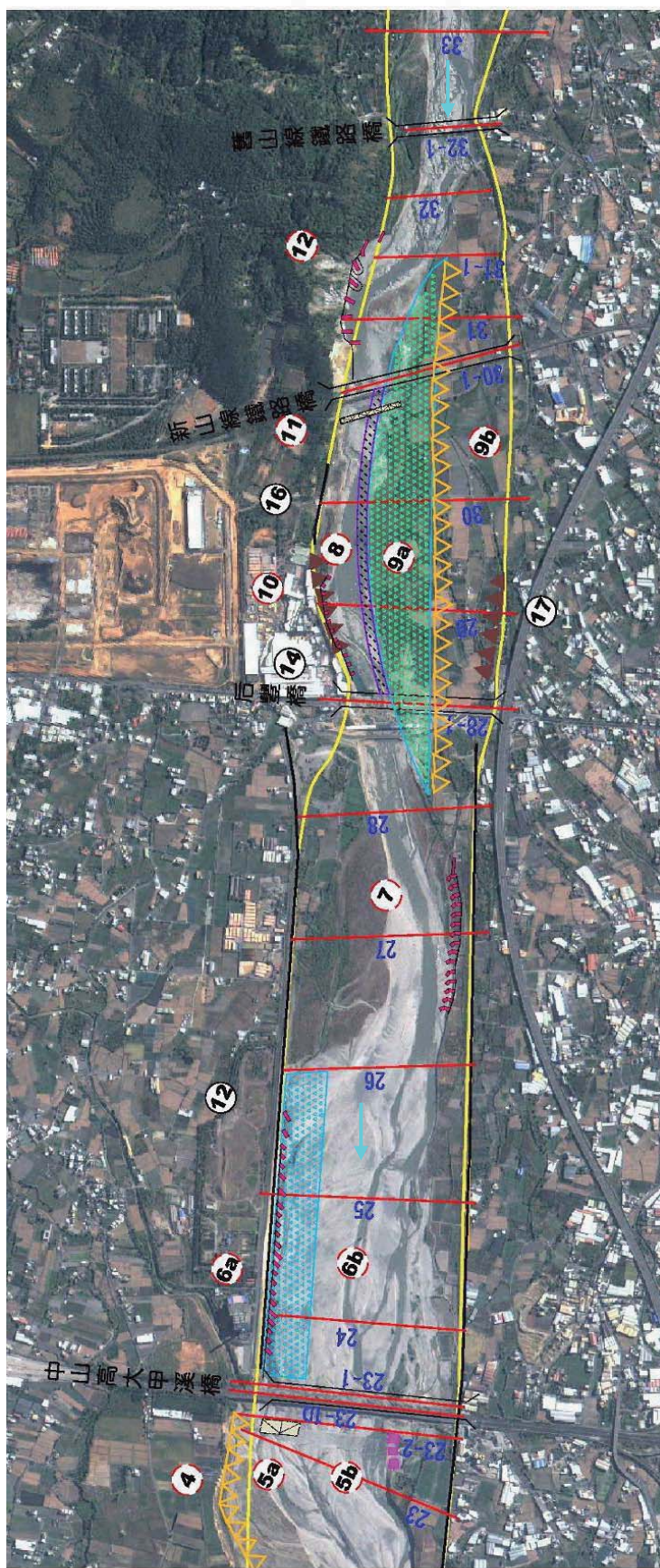


圖 6-1 規劃中之新山線鐵路橋上游至后豐橋下游左岸高灘地（綠色區域）河床穩定方案平面布置示意圖

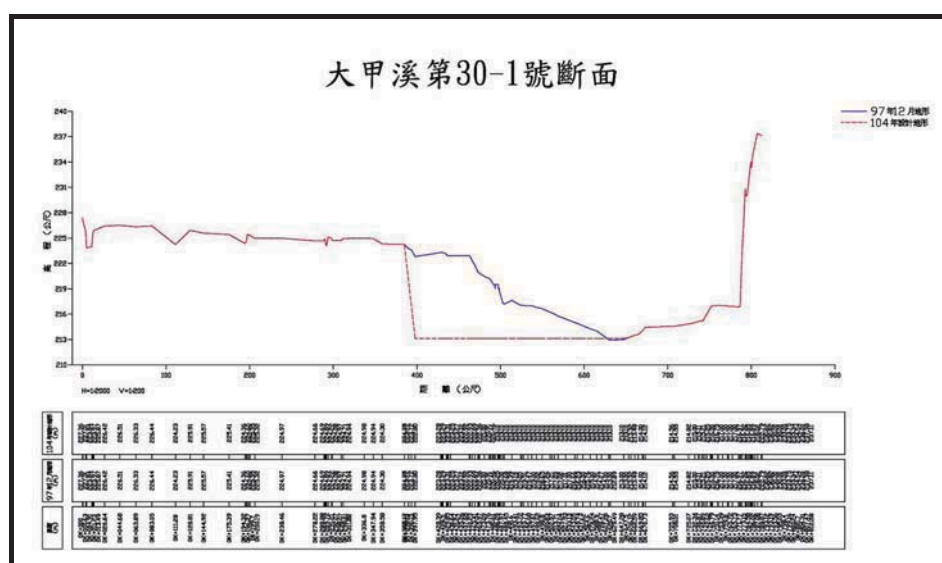
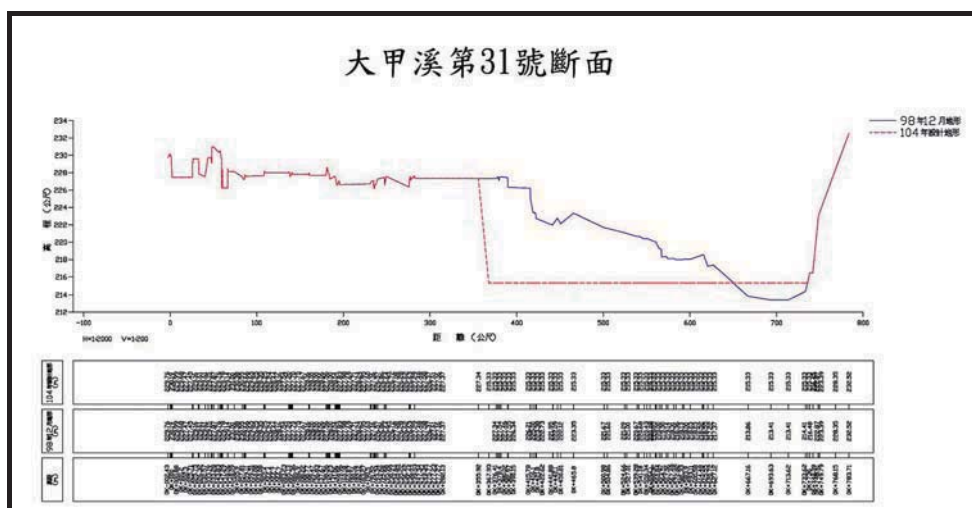
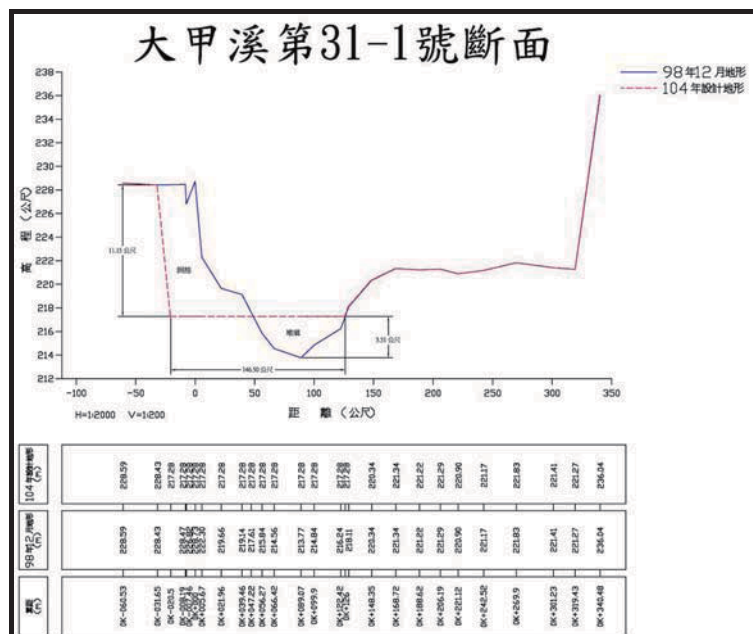


圖 6-2 断面 31-1~30-1 河槽左岸開挖及主深河槽護甲粒料堆填後断面形狀

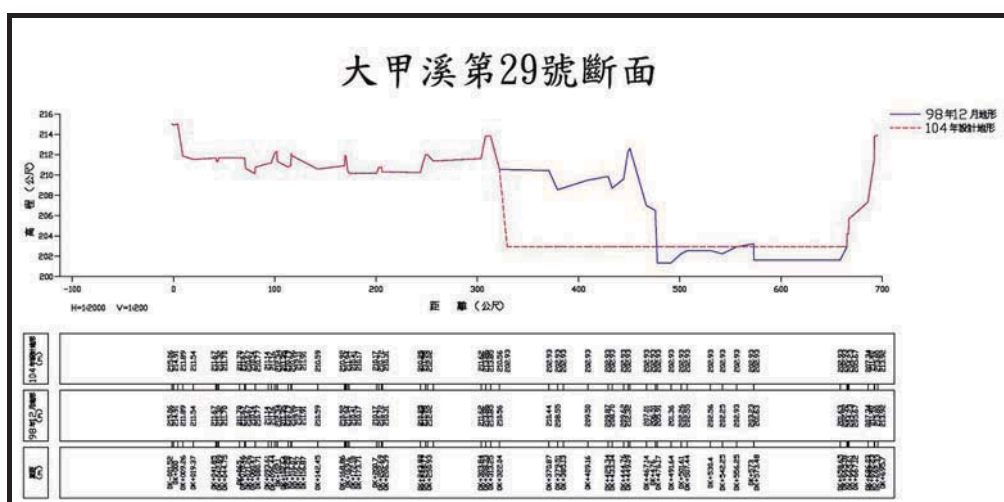
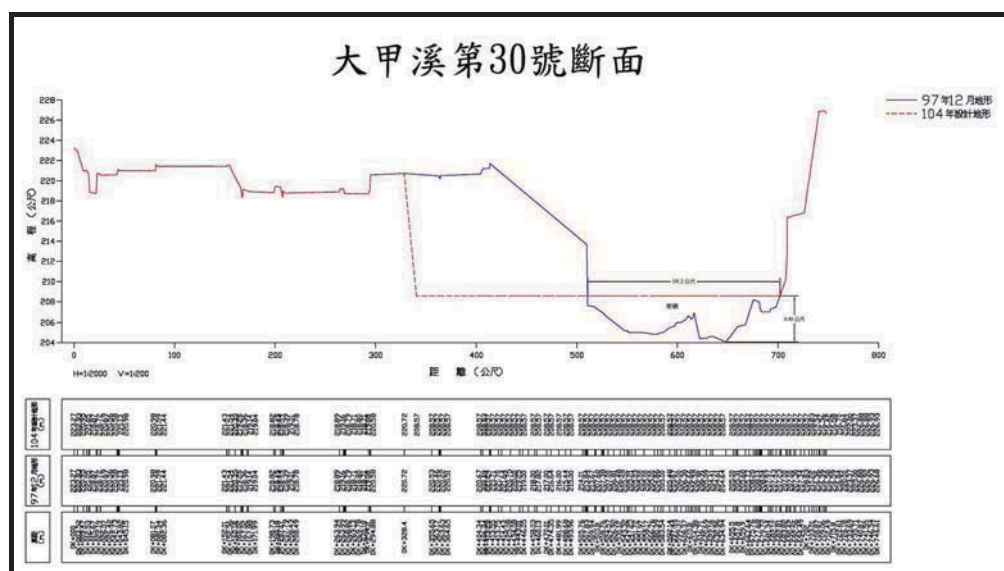
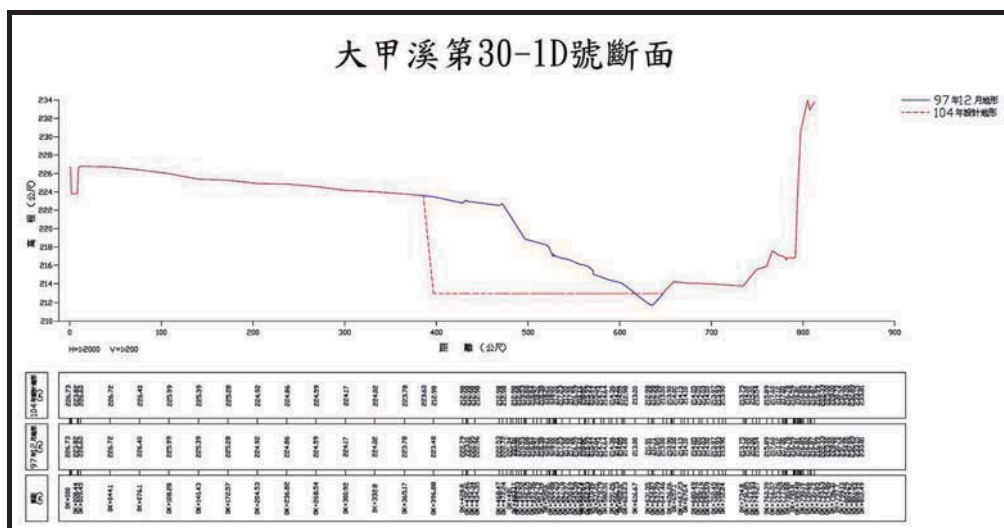


圖 6-3 断面 30-1D~29 河槽左岸開挖及主深河槽護甲粒料堆填後断面形狀

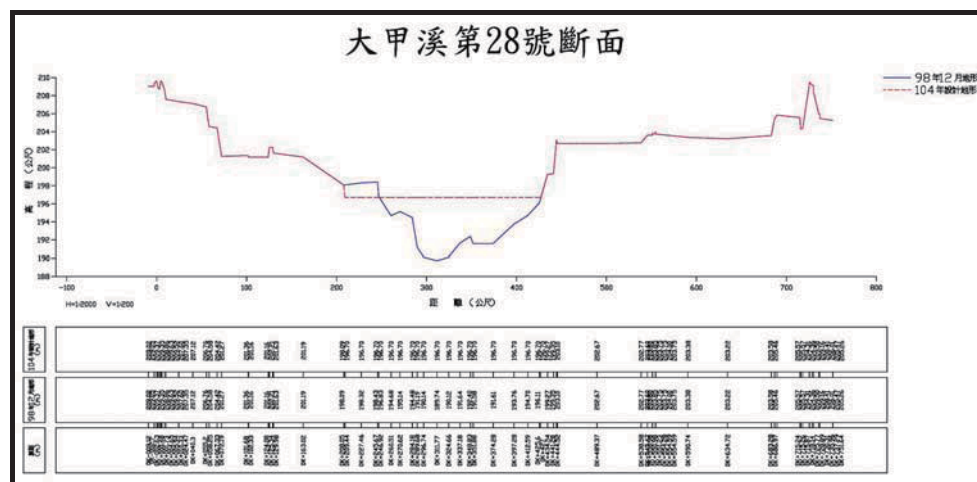
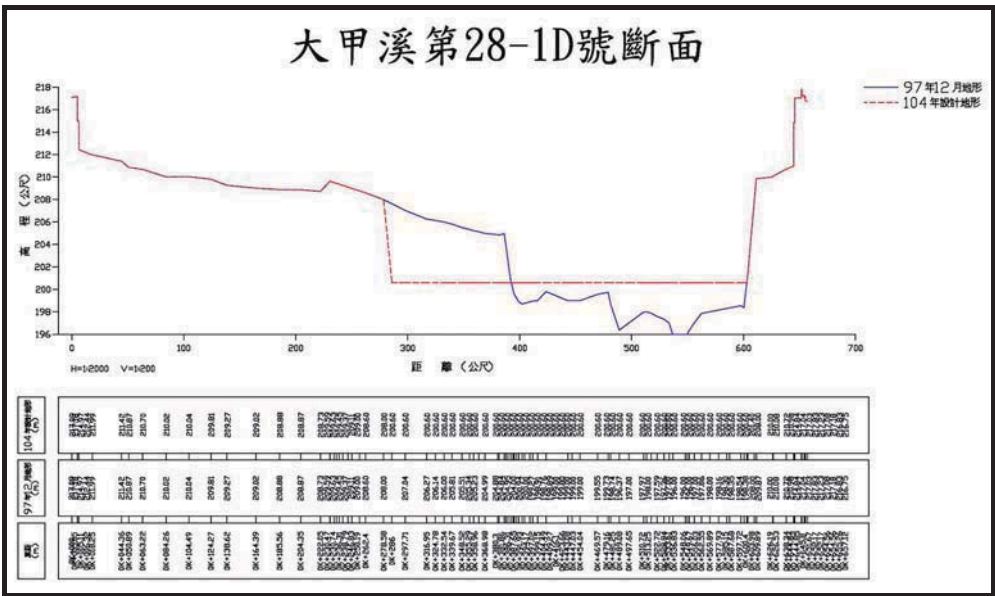


圖 6-4 斷面 28-1~28 河槽左岸開挖及主深河槽護甲粒料堆填後斷面形狀

一、穩定方案試驗成果

（一）模型試驗目的

本項試驗主要目的是為模擬設計洪水歷線下，后豐便橋拆除、自來水河道送水管 PB 左側拆除、后豐便道不拆除、布置正隆護岸丁壩（既有）及進行護甲粒料補充及河槽左岸開挖規劃布置試驗情況。

（二）模型試驗條件：與試驗方案-5 試驗條件皆相同，另外再進行規劃中之新山線鐵路橋至后豐橋左岸高灘地開挖，試驗前量測地形詳如圖 6-5。量測方式及地點皆與試驗方案-5 相同。

（三）模型試驗結果

模型試驗過程觀察得知，通過新山線鐵路橋上、下游端流心靠向左岸；通過后豐橋上下游端流心靠向左岸，模型試驗過程詳見照片 6-1～照片 6-5，五處水位及流速值詳如表 6-2 及表 6-3，洪峰流量 4,007 秒立方公尺通過時之水理詳如圖 6-6。試驗後量測地形詳如圖 6-7，將試驗後地形高程減掉試驗前地形高程之地形高程差（負值表示沖刷、正值表示淤積），詳如圖 6-8，由圖中得知，由上游至下游較大沖刷位置及沖刷深度範圍如下：新山線鐵路橋下游左岸跌水沖刷（最大深度約 12.5 公尺）、后豐橋上游端靠左岸沖刷坑（最大深度約 7.7 公尺）、后豐橋下游臨時變道靠靠左岸 PD 橋墩附近跌水沖刷（最大深度約 12.8 公尺）、后豐橋下游斷面 28 靠右岸（最大深度約 14.7 公尺）、左岸豐州堤防（最大深度約 15 公尺）。

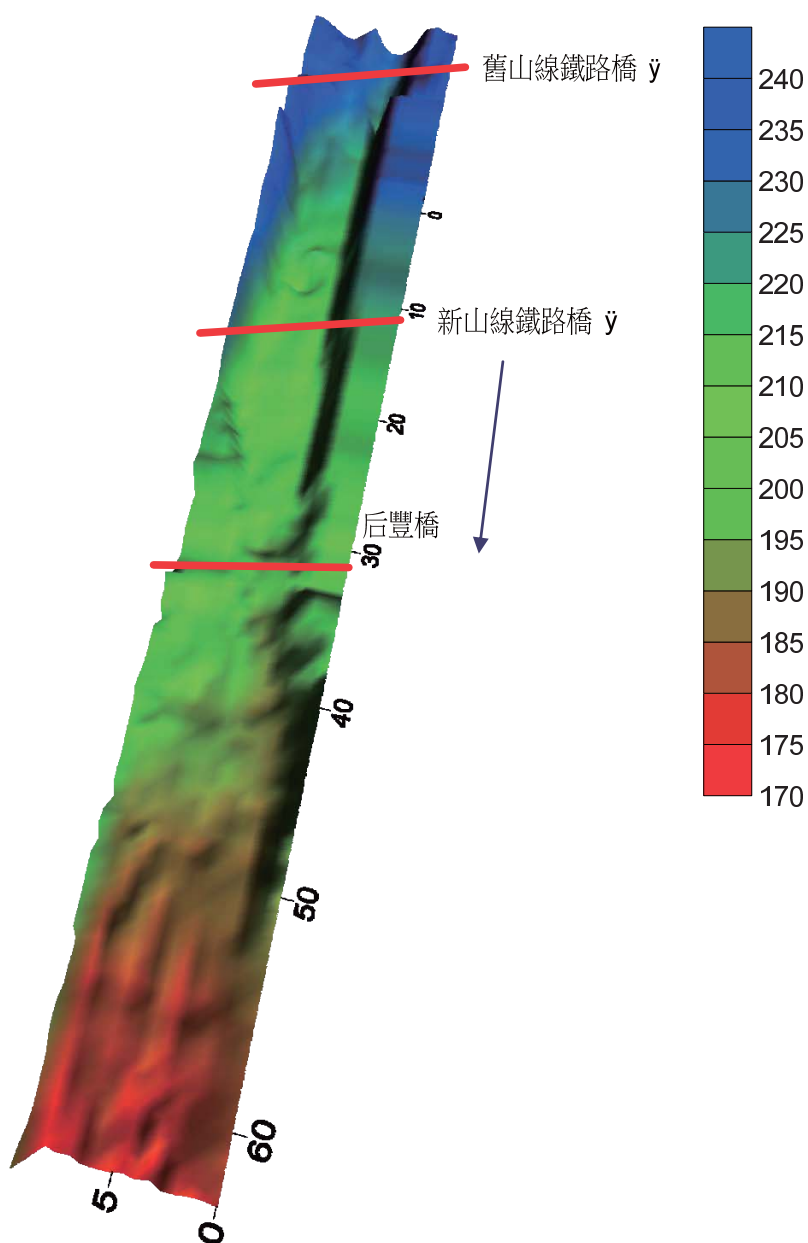
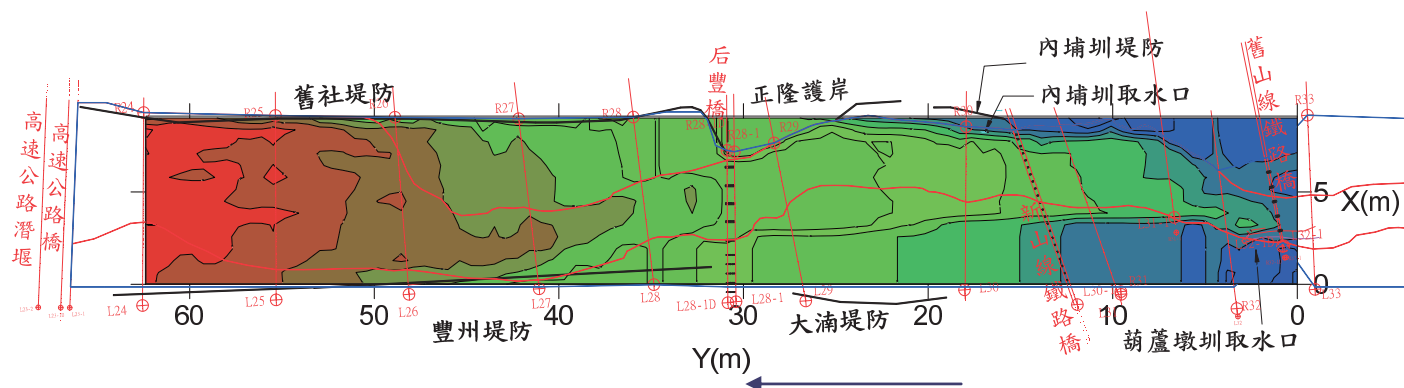


圖 6-5 穩定方案模型變量流清水試驗前地形圖



1. 零方案-5+護甲粒料補充及河槽左岸開挖
規劃構想試驗



2. 試驗前地形



3. 試驗前地形



4. 漲水段 266 秒立方公尺 (后豐橋上下游)



5. 漲水段 710 秒立方公尺 (新山線鐵路橋下游)



6. 漲水段 710 秒立方公尺 (后豐橋上下游)

照片 6-1 穩定方案模型變量流清水試驗流況之一



7.漲水段 1,353 秒立方公尺（后豐橋下游）



8.漲水段 1,353 秒立方公尺（后豐橋上下游）



9.漲水段 1,959 秒立方公尺（后豐橋上游）



10.漲水段 1,959 秒立方公尺（后豐橋上下游）



11.漲水段 2,948 秒立方公尺（新山線鐵路橋上
下游）



12. 漲水段 2,948 秒立方公尺（新山線鐵路橋
上下游）

照片 6-2 穩定方案模型變量流清水試驗流況之二



13.洪峰流量 4,007 秒立方公尺（新山線鐵路橋上下游）



14.洪峰流量 4,007 秒立方公尺（新山線鐵路橋上下游）



15.退水段 3,082 秒立方公尺（新山線鐵路橋上下游）



16.退水段 3,082 秒立方公尺（新山線鐵路橋下游）



17.退水段 1,959 秒立方公尺（新山線鐵路橋上下游）



18.退水段 1,959 秒立方公尺（后豐橋下游）

照片 6-3 穩定方案模型變量流清水試驗流況之三



19.退水段 1,580 秒立方公尺 (后豐橋上游正隆護岸丁壩)



20.退水段 1,580 秒立方公尺 (后豐橋上下游)



21.退水段 1,353 秒立方公尺 (新山線鐵路橋上下游)



22.退水段 1,353 秒立方公尺 (后豐橋下游)



23.退水段 710 秒立方公尺 (新山線鐵路橋上下游)



24.退水段 710 秒立方公尺 (后豐橋上游正隆護岸丁壩)

照片 6-4 穩定方案模型變量流清水試驗流況之四



25.試驗後地形（新山線鐵路橋上游）



26.試驗後地形（新山線鐵路橋上下游）



27.試驗後地形（后豐橋上游正隆護岸丁壩）



28.試驗後地形（新山線鐵路橋至后豐橋）



29.試驗後地形（后豐橋下游）



30.試驗後地形（后豐橋上下游）

照片 6-5 穩定方案模型變量流清水試驗流況之五

表 6-2 穩定方案模型變量流清水試驗水位量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)	距離 (m)	水位高 程(m)
漲水段 710	418.40	220.18	392.40	215.78	410.00	203.62	288.00	202.74	128.00	191.38
	440.00	220.42	472.40	214.74	482.00	203.38	368.00	202.74	184.00	190.90
	464.00	220.42	552.40	214.42	562.00	203.78	448.00	201.86	232.00	190.74
			624.40	214.58	618.00	203.38	528.00	201.78	288.00	190.98
			720.40	214.58	678.00	203.22	615.20	202.10	336.00	190.98
漲水段 1,353	410.40	218.42	392.40	215.94	330.00	204.02	288.00	203.30	128.00	192.10
	440.00	220.10	472.40	215.54	410.00	204.18	368.00	203.06	176.00	191.70
	465.60	220.90	552.40	215.30	490.00	204.02	448.00	204.10	232.00	191.54
			624.40	215.38	570.00	204.02	528.00	202.66	280.00	191.70
			744.40	214.98	670.00	203.86	375.20	202.74	337.60	191.86
漲水段 1,959	418.40	220.10	392.40	216.34	330.00	204.26	288.00	203.78	120.00	192.58
	448.00	221.30	472.40	216.34	410.00	204.58	368.00	203.54	184.00	192.10
	472.00	222.10	552.40	215.78	490.00	204.74	448.00	202.74	232.00	192.18
			632.40	215.62	570.00	204.42	528.00	202.90	280.00	192.26
			744.40	215.62	670.00	204.34	615.20	202.82	336.00	192.42
漲水段 2,948	418.40	221.38	392.40	216.82	330.00	204.98	284.00	204.10	116.00	192.74
	456.00	223.62	472.40	216.34	410.00	205.22	364.00	204.02	176.00	192.82
	538.40	223.86	552.40	215.78	490.00	205.22	444.00	203.22	232.00	193.14
			632.40	216.02	570.00	204.98	524.00	203.70	288.00	192.58
			744.40	215.94	670.00	204.82	615.20	203.30	338.40	192.82
洪峰 4,007	418.40	219.86	392.40	215.86	322.00	205.70	288.00	204.42	112.00	193.30
	456.00	223.46	472.40	215.22	410.00	205.62	368.00	204.34	176.00	193.22
	538.40	223.70	552.40	215.54	490.00	205.70	456.00	203.38	232.00	193.14
			632.40	216.66	570.00	205.70	536.00	203.78	296.00	193.54
			756.40	216.58	670.00	205.22	615.20	203.54	352.00	201.30
退水段 3,082	418.40	221.30	384.40	215.38	330.00	204.98	288.00	204.02	112.00	192.26
	472.00	223.54	464.40	213.94	410.00	205.30	368.00	203.94	176.00	192.66
	538.40	223.70	544.40	214.82	490.00	205.30	448.00	203.30	232.00	192.82
			624.40	216.50	570.00	205.06	528.00	203.70	280.00	193.30
			744.40	216.66	670.00	204.82	615.20	203.46	352.00	193.70
退水段 2,544	418.40	221.30	378.80	215.38	330.00	204.66	284.00	203.78	116.00	191.30
	464.00	223.22	458.80	214.98	410.00	204.90	364.00	203.70	208.00	191.62
	538.40	223.22	538.80	214.58	490.00	204.98	444.00	202.74	312.00	192.34
			618.80	216.02	570.00	204.90	524.00	203.22		
			744.40	216.18	670.00	204.74	615.20	203.14		
退水段 1,959	418.40	220.02	374.00	215.38	330.00	204.50	284.00	203.70	120.00	190.34
	456.00	222.18	464.40	214.90	410.00	204.58	368.00	203.46	192.00	190.50
	538.40	223.14	544.40	214.10	490.00	204.58	448.00	202.34	264.00	190.34
			624.40	215.78	570.00	204.34	528.00	202.66		
			744.40	215.94	670.00	204.18	615.20	202.82		
退水段 1,580	418.40	218.20	372.40	214.50	330.00	204.20	284.00	203.10	120.00	189.90
	440.00	220.50	464.40	214.50	410.00	204.30	368.00	203.10	192.00	189.90
	470.40	221.20	544.40	213.90	490.00	204.10	448.00	201.90	256.00	189.90
			632.40	215.50	570.00	204.00	528.00	202.40		
			744.40	215.90	670.00	203.80	615.20	202.50		
退水段 1,353	418.40	217.86	372.40	214.66	330.00	204.10	284.00	203.06	152.00	189.46
	442.40	220.26	456.40	214.58	410.00	204.02	368.00	202.98	200.00	189.70
	464.00	220.98	536.40	213.70	490.00	204.10	448.00	201.46	264.00	189.54
			616.40	215.06	578.00	203.70	528.00	202.10		
			736.40	215.30	670.00	203.54	615.20	202.10		
退水段 1,031	418.40	217.94	376.40	214.26	330.00	-36.38	296.00	200.50	152.00	189.30
	440.00	219.46	456.40	214.42	410.00	203.86	376.00	198.74	200.00	188.98
	456.00	220.02	536.40	213.46	490.00	203.78	456.00	201.54	256.00	188.82
			640.40	214.90	570.00	203.70	536.00	201.86		
			728.40	215.22	670.00	203.62	615.20	201.86		
退水段 710	418.40	218.90	376.40	213.70	330.00	203.38	330.40	198.26	160.00	188.58
	432.00	219.38	456.40	214.26	410.00	203.54	376.00	198.02	192.00	188.66
	456.00	219.62	536.40	212.98	490.00	203.38	496.00	200.58	255.20	188.66
			616.40	214.34	570.00	203.22	544.00	200.34		
			720.40	214.98	670.00	203.14	615.20	201.46		

表 6-3 穩定方案模型變量流清水試驗流速量測值表

流量 (cms)	S32 斷面		S30-1 斷面		S29 斷面		S28-1 斷面		S27 斷面	
	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)	距離 (m)	流速 (m/sec)
漲水段 710	424.00	4.04	412.40	2.56	346.00	1.58	304.00	0.18	148.00	2.55
	432.00	5.07	448.40	2.17	386.00	1.28	368.00	1.43	176.00	1.70
	440.00	3.72	480.40	1.29	434.00	0.87	416.00	1.93	216.00	2.49
	448.00	2.38	516.40	1.40	506.00	0.91	480.00	0.26	316.00	3.15
漲水段 1,353	452.00	2.79	552.40	0.91	554.00	0.66	552.00	1.37	264.00	0.28
	424.00	11.40	408.40	2.89	346.00	1.82	328.00	1.49	144.00	4.61
	432.00	14.49	448.40	2.36	410.00	1.63	360.00	1.55	168.00	5.06
	440.00	8.10	480.40	1.72	474.00	1.02	400.00	1.91	228.00	2.47
漲水段 1,959	448.00	5.92	544.40	1.36	546.00	1.00	480.00	0.61	256.00	1.25
	456.00	4.64	640.40	0.41	602.00	1.00	552.00	2.65	284.00	0.63
	424.00	16.00	608.40	2.51	346.00	2.59	320.00	1.92	136.00	5.51
	432.00	16.28	636.40	3.66	402.00	2.01	360.00	2.09	168.00	4.69
漲水段 2,948	440.00	9.92	656.40	4.06	458.00	1.56	416.00	2.49	240.00	3.24
	448.00	8.48	672.40	4.51	514.00	1.32	472.00	1.36	264.00	0.42
	456.00	5.32	704.40	4.40	618.00	1.97	544.00	2.55	300.00	0.40
	424.00	11.86	416.40	5.27	354.00	3.00	320.00	2.30	136.00	4.65
洪峰 4,007	432.00	13.31	456.40	4.40	402.00	2.79	392.00	2.26	168.00	4.38
	440.00	13.93	512.40	2.86	458.00	2.28	440.00	2.63	208.00	5.82
	448.00	11.58	576.40	2.27	522.00	1.99	488.00	2.69	240.00	3.66
	456.00	7.70	640.40	1.43	602.00	1.89	544.00	3.04	280.00	3.94
退水段 3,082	424.00	3.05	416.40	5.24	354.00	3.42	320.00	2.41	136.00	0.96
	432.00	2.82	456.40	4.70	410.00	3.11	368.00	2.87	176.00	5.42
	440.00	2.20	552.40	3.59	474.00	2.45	440.00	3.09	208.00	5.16
	448.00	13.66	616.40	2.80	538.00	2.35	496.00	2.48	248.00	5.60
退水段 2,544	464.00	10.68	672.40	1.37	610.00	3.00	552.00	2.97	272.00	5.06
	424.00	11.57	464.40	3.07	346.00	2.34	312.00	2.23	132.00	3.46
	432.00	13.85	512.40	2.95	410.00	2.44	352.00	1.51	168.00	4.38
	440.00	13.99	576.40	3.04	482.00	2.24	400.00	3.36	200.00	5.49
退水段 1,959	448.00	11.34	640.40	1.31	546.00	2.45	464.00	2.68	240.00	5.48
	456.00	6.02	680.40	1.24	610.00	2.09	544.00	3.46	272.00	4.25
	424.00	13.53	392.40	5.43	346.00	2.53	320.00	2.01	136.00	2.29
	432.00	14.07	448.40	2.69	402.00	2.21	360.00	2.51	168.00	4.96
退水段 1,580	440.00	11.95	544.40	3.43	466.00	2.14	408.00	2.64	200.00	6.88
	448.00	8.86	584.40	2.96	522.00	1.73	472.00	1.94	232.00	6.32
	456.00	5.08	640.40	1.99	586.00	2.15	544.00	3.07	260.00	2.80
	424.00	14.90	392.40	4.86	354.00	2.34	320.00	1.80	176.00	5.40
退水段 1,353	432.00	15.92	520.40	4.50	418.00	2.00	360.00	2.06	192.00	5.90
	440.00	11.42	584.40	2.90	482.00	1.69	432.00	2.15	208.00	5.75
	448.00	9.36	640.40	1.14	546.00	1.75	488.00	2.15	224.00	4.67
	456.00	5.28	680.40	1.28	602.00	1.94	552.00	3.24	240.00	3.57
退水段 1,031	424.00	13.18	392.40	3.78	346.00	1.96	320.00	1.71	172.00	4.42
	432.00	14.15	416.40	0.51	394.00	2.09	360.00	1.56	188.00	4.52
	440.00	12.21	524.40	4.39	458.00	1.52	408.00	2.13	212.00	4.90
	448.00	6.95	584.40	2.91	530.00	1.45	464.00	2.02	228.00	4.10
退水段 710	456.00	6.33	640.40	1.81	594.00	1.21	544.00	2.63	244.00	1.77
	424.00	9.44	388.40	3.86	346.00	2.01	320.00	1.57	168.00	3.17
	432.00	13.58	456.40	2.80	402.00	1.94	352.00	0.68	184.00	3.70
	440.00	10.77	524.40	4.49	466.00	1.35	400.00	1.98	200.00	4.33
退水段 710	448.00	6.64	584.40	2.81	530.00	1.28	464.00	1.94	216.00	4.25
	456.00	6.28	640.40	1.65	586.00	0.98	544.00	2.63	232.00	3.78
	424.00	11.68	388.40	3.79	346.00	1.71	320.00	1.35	172.00	3.83
	432.00	12.82	456.40	1.82	418.00	1.15	364.00	7.36	188.00	4.01
退水段 710	440.00	11.11	524.40	3.64	498.00	1.14	416.00	1.85	204.00	3.61
	448.00	5.77	584.40	2.56	562.00	1.23	472.00	0.77	220.00	3.56
	452.00	5.15	624.40	1.97	634.00	1.28	544.00	1.22	236.00	2.82
	428.00	9.38	388.40	3.34	346.00	1.49	336.00	4.75	168.00	2.67
退水段 710	436.00	6.95	524.40	3.68	386.00	1.34	348.00	4.36	184.00	3.26
	444.00	4.36	584.40	2.44	450.00	0.84	368.00	3.04	200.00	3.37
	128.00	0.00	616.40	1.52	514.00	0.54	520.00	2.70	216.00	2.78
	128.00	0.00	648.40	0.21	610.00	0.68	576.00	1.97	232.00	2.97

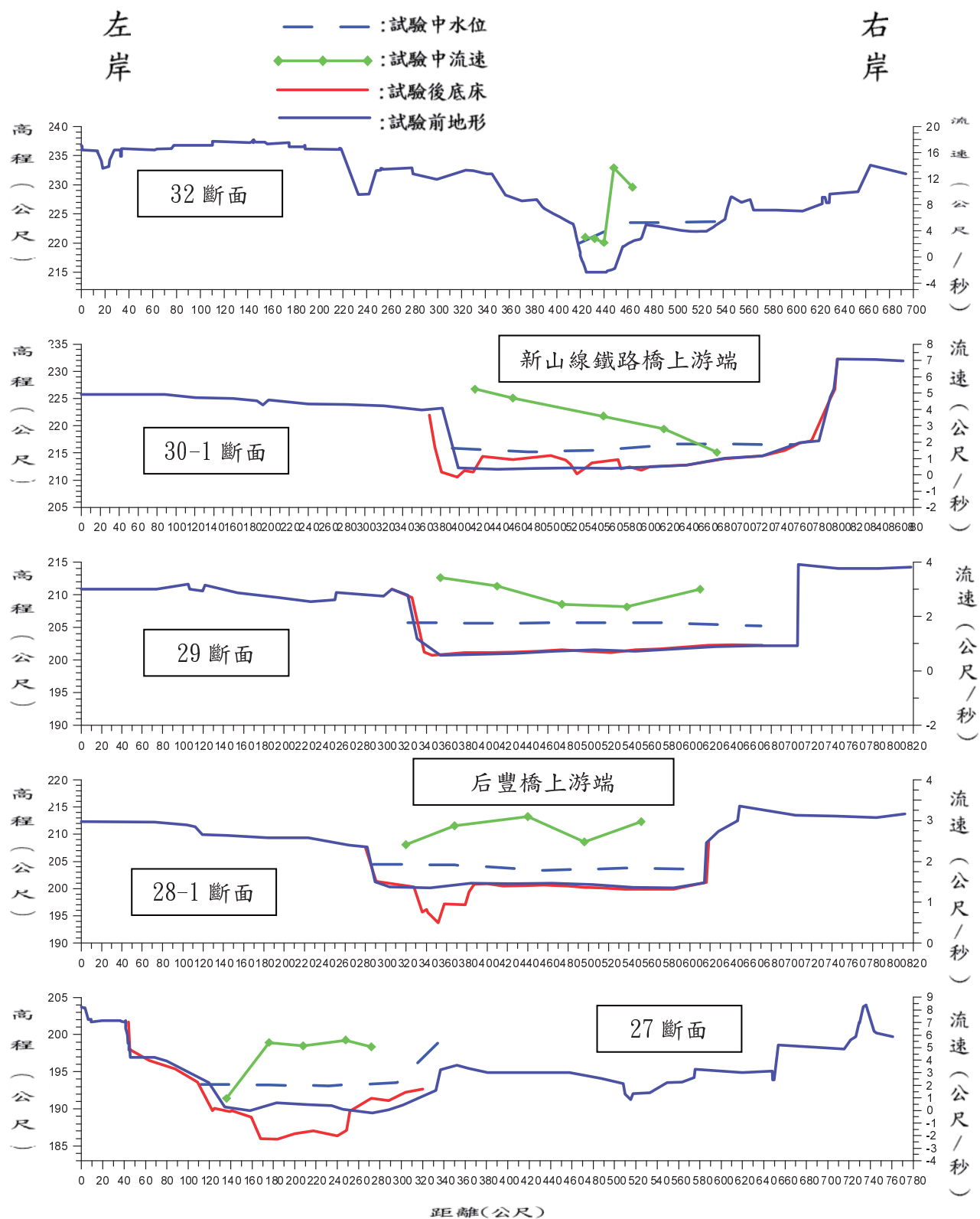


圖 6-6 穩定方案模型變量流清水試驗在洪峰流量 4,007 秒立方公尺水理圖

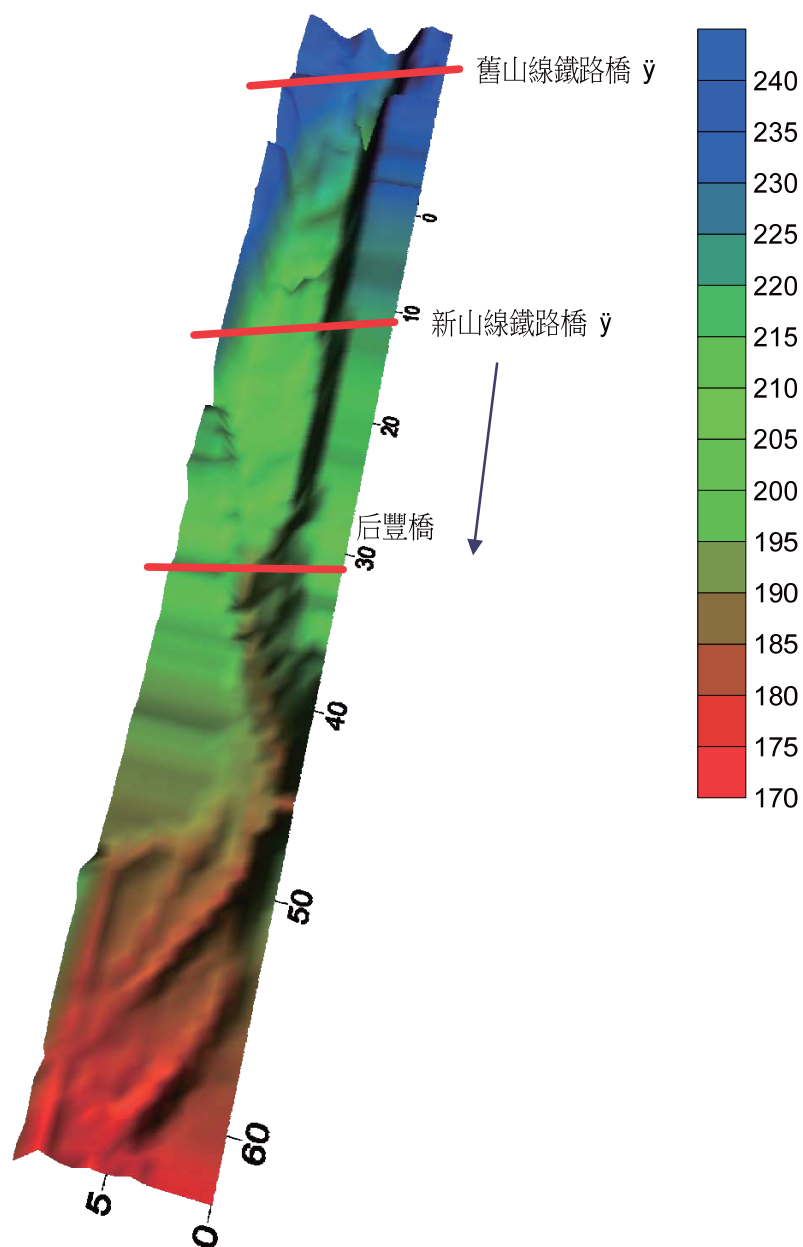
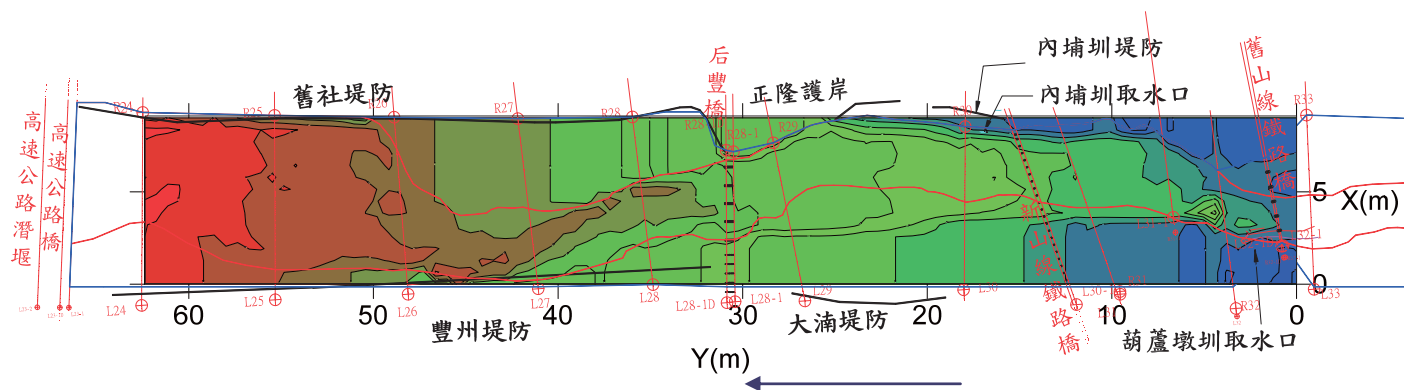


圖 6-7 穩定方案模型變量流清水試驗後地形圖

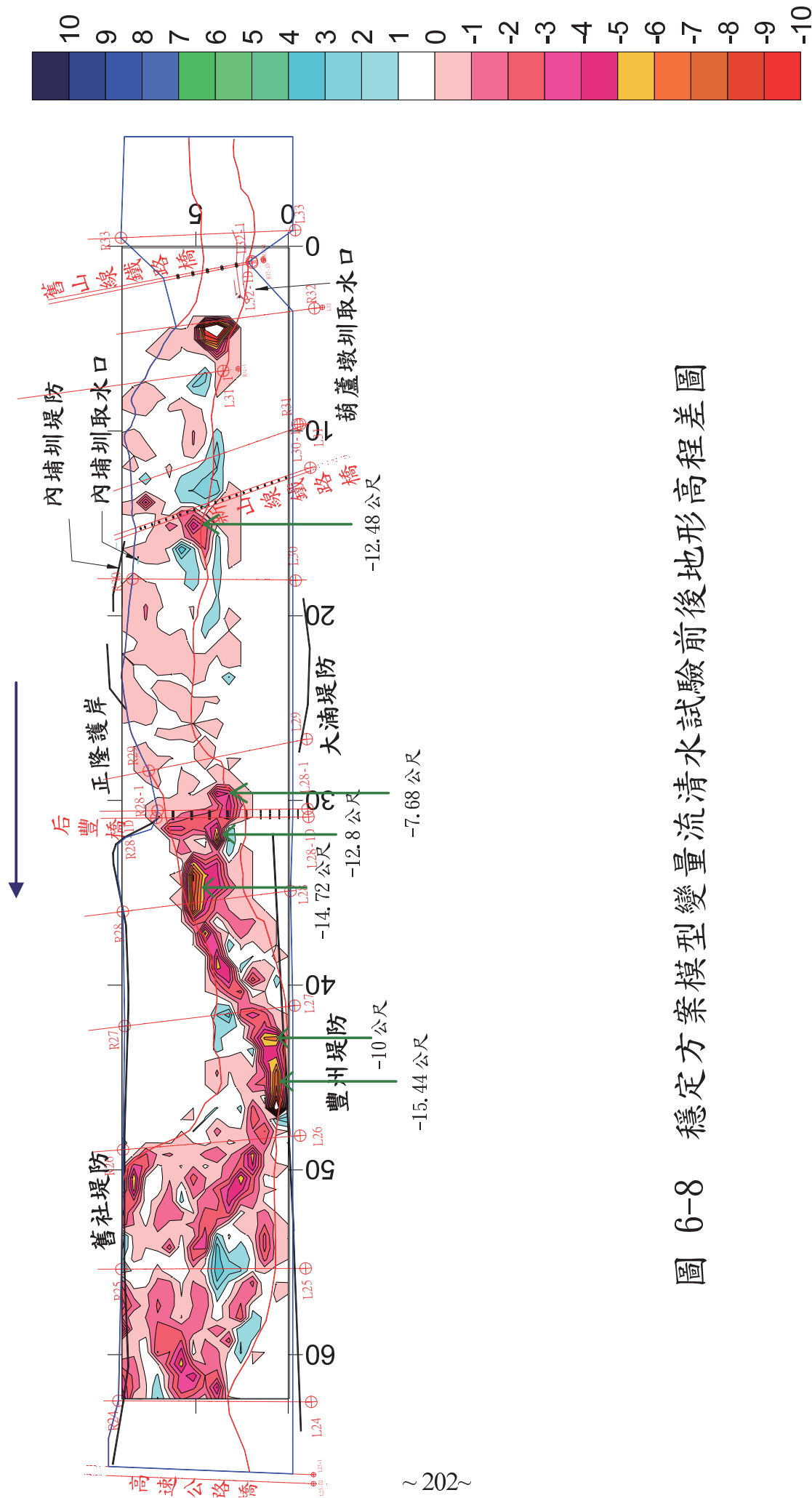


圖 6-8 穩定方案模型變量流清水試驗前後地形高程差圖

二、穩定方案綜合分析檢討

(一) 試驗結果分析

通過新山線鐵路橋上、下游端流心靠向左岸，下游處會產生跌水沖刷；通過后豐橋上、下游端流心靠向左岸，下游處會產生跌水沖刷。在洪峰流量 4,007 秒立方公尺下水位及流速（如表 6-2 及表 6-3），在斷面 30-1（新山線鐵路橋上游端）量測點平均值，水面寬約 364 公尺、水位高約 EL. 216.0 公尺及流速約 3.54 公尺/秒；在斷面 29（正隆護岸上游段）量測點平均值，水面寬約 348 公尺、水位高約 EL. 205.6 公尺及流速約 2.87 公尺/秒；在斷面 30-1（后豐橋上游端）量測點平均值，水面寬約 327 公尺、水位高約 EL. 203.9 公尺及流速約 2.76 公尺/秒。

(二) 沖刷位置及沖刷深度

依據試驗前、後之地形高程差圖（圖 6-8）所得之試驗成果，如表 6-4，在新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及后豐橋上游端靠右岸正隆護岸處，因流心靠左岸所以無明顯沖刷現象，但在此兩處左岸下游端則有明顯跌水沖刷；在左岸豐洲堤防（約斷面 26）因受上游流心衝擊點影響，岸壁有明顯沖刷現象。

表 6-4 穩定方案模型沖刷位置及沖刷深度成果表

沖刷位置	沖刷深度
新山線鐵路橋上游端右岸邊坡	無沖刷
新山線鐵路橋下游端沖刷	左岸跌水 12.5
后豐橋上游端靠右岸正隆護岸	無沖刷
后豐橋下游端靠左岸 PD 橋墩附近	7.7
后豐橋下游臨時變道下游端	左岸跌水 12.8
左岸豐洲堤防	15
備註：沖刷位置由上游向下游排列。 沖刷深度表示為範圍或最大值，單位為公尺。	

(三) 綜合分析檢討

1. 穩定方案在一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，通過斷面 30-1（新山線鐵路橋上游端）量測點平均值，水面寬約 364 公尺、水位高約 EL. 216.0 公尺及流速約 3.54 公尺/秒；通過斷面 29（正隆護岸上游段）量測點平均值，水面寬約 348 公尺、水位高約 EL. 205.6 公尺及流速約 2.87 公尺/秒；通過斷面 30-1（后豐橋上游端）量測點平均值，水面寬約 327 公尺、水位高約 EL. 203.9 公尺及流速約 2.76 公尺/秒。顯示進行護甲粒料($D_{85}=236$ 毫米以上泥砂)補充及河槽左岸（新山線鐵路橋至后豐橋）開挖規劃布置，可以降低單寬流量及流速，提高穩定河床效果。
2. 穩定方案在一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，通過新山線鐵路橋上游端及正隆護岸上游段，由於流心偏向左岸，在新山線鐵路橋上游端右岸邊坡及后豐橋上游端靠右岸正隆護岸處，無明顯沖刷，顯示擴寬河槽並進行護甲粒料補充，可以提高穩定河床效果，建議此兩處未來規劃布置丁壩時宜再檢討原設計功能。
3. 穩定方案在一場變量流（洪峰流量 4,007 秒立方公尺）清水試驗條件下，通過新山線鐵路橋下游端（沖刷深度 12.5 公尺）及后豐橋下游端（沖刷深度 12.8 公尺），由於流心偏向左岸且產生跌水沖刷，建議未來規劃時應注意新山線鐵路橋及后豐橋下游沖刷問題。

參考文獻

- 1.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(1/4)，委辦計畫報告(中興工程顧問股份有限公司)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2008年6月。
- 2.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)，委辦計畫期中報告修正稿(中興工程顧問股份有限公司)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009年2月。
- 3.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)，委辦計畫治理對策報告初稿(中興工程顧問股份有限公司)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009年4月。
- 4.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)，委辦計畫報告(中興工程顧問股份有限公司)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009年4月。
- 5.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(2/4)－水工模型試驗研究(1/3)(自辦計畫部分，第一年工作報告初稿)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009年7月。
- 6.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(3/4)－水工模型試驗研究(2/3)(自辦計畫部分，第二年期初報告)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2009年12月。
- 7.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(3/4)，委辦計畫報告(環興工程顧問股份有限公司)，經濟部水利署水利規劃試驗所，2010年6月。

- 8.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（4/4）－水工模型試驗研究（3/3）（自辦計畫部分，第三年期初報告），經濟部水利署水利規劃試驗所，2011 年 1 月。
- 9.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（4/4），委辦計畫報告（環興工程顧問股份有限公司），經濟部水利署水利規劃試驗所，2011 年 5 月。
- 10.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究（4/4）－水工模型試驗研究（3/3）（自辦計畫部分，第三年期末報告），經濟部水利署水利規劃試驗所，2011 年 5 月。
- 11.大甲溪河段輸砂特性試驗研究（3/3）期末報告及總報告，委辦計畫報告（國立中興大學），經濟部水利署水利規劃試驗所，2010 年 12 月。
- 12.明渠水利學，FLOW IN OPEN CHANNELS，Indian Institute of Technology，Kanpur，民國 73 年 11 月。

附錄A

工 作 人 員 名 單

職 位	姓 名	工 作 項 目
所 長	陳 弘 叟	工作方針指導、報告審核。
副 所 長	廖 培 明	工作方針指導、報告審核。
課 長	謝 天 元	工作方針指導、報告審查。
副研究員	許 彥 響	計畫主辦、編列試驗項目、模型規劃、試驗量測、 成果分析及報告撰寫。
薦任工程員	黃 振 聖	計畫協辦、模型繪圖、試驗量測、試驗資料整理
工程員	吳 虹 邑	計畫協辦、模型繪圖、試驗量測、試驗資料整理
技 工	鄭 多 燦	材料請購、儀器維修、經費報銷等。
技 工	賴 明 士	材料請購、模型製作等。
技 工	蕭 孟 福	材料請購、模型製作等。
內業助理人員	陳 玉 如	影印、文書打字、整理資料。
內業助理人員	洪 春 暖	影印、文書打字、整理資料。
外業助理人員	張 松 基	模型建造、協助量測試驗。
外業助理人員	邱 淑 貴	模型建造、協助量測試驗。
外業助理人員	洪 雅 郎	模型建造、協助量測試驗。
外業助理人員	吳 洺 毅	模型建造、協助量測試驗。

附錄B 第二年期初報告審查會議紀錄及意見辦理情形表

「大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究(3/4)」

第一次工作會議暨水工模型試驗研究期初報告審查會議紀錄

- 一、開會時間：98年12月24日（星期四）上午9時30分
- 二、開會地點：本所舊正辦公區4樓會議室
- 三、主持人：陳所長弘由
- 四、出席人員：如簽名冊
- 五、主持人致詞：略
- 六、簡報：略
- 七、討論：

記錄：劉中賢

審查意見及辦理情形表

審 查 意 見	辦 理 情 形
一.林委員襟江： 1.河川水理以數模及物模相互印證為正確方向，尤以河槽變化之動床二者均已有定性之作為及應用，本研究藉水工物理模型之動床試驗以大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案為課題，應可獲得比較上可行之穩定措施，數值模式宜先以模型為現場之替代資料，檢討及驗證後，更可選擇更多修訂方案供採行。	1.請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。
二.簡委員俊彥(書面意見)： 1.英文名稱建議改為：Physical Model Test on Dajia River Bed Stabilizing Program for the Reach Downstream the Shih-Kang Dam。 2.目前初步試驗成果，已大致在定性上反映試驗河段的流路及沖刷特性，可做為進一步試驗研究的基礎。 3.就試驗河段各橋梁保護需求而言，目前中山高橋大致安定，后豐橋及水管橋在改建後也大致安定，故近期以新	1.已遵照辦理詳如封面。 2.待召開期末審查會議後再據以辦理後續穩定方案試驗。 3.依本報告結論與建議，的確在新山線鐵路橋附近的水理狀況改善最為迫切，是否以拓寬深槽方案處理，則待

山線鐵路橋附近的水理狀況改善最為迫切。後續研究建議優先研究各種不同拓寬深槽方案，找出較可行方案分期實施，以期逐步提升新山線鐵路橋的安全度。 4.由於影響因素複雜多變，個人認為，此河段的所謂「穩定河床方案」，可循「摸著石頭過河」的原則進行；意即可循「先實施較有把握部分，完成後觀察一段時期，視實際效果再繼續實施後續較有把握部分」方式進行。總之穩定河床方案需有長期打算，結合許多短期措施，步步為營取得正面改善效果；水利及交通單位也需長期合作進行。	待召開期末審查會議後再據以辦理後續穩定方案試驗。 4.請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。
三.環興公司 龔總經理誠山： 1.若要獲得較符合水工模型地形現狀，可以不同重現期距洪峰流量之清水流來沖，計算模型中砂石之損耗量（沖出量），以後則以此量用來做為加砂之參考。 2.卵礫石與細砂比值在現場與模型試驗是有所不同的。 3.建議水利署應時常針對河道進行地形測量，以補大斷面測量(約 500 公尺一處)不易呈現河道之實際狀況。	1.依本報告建議第二點，建議後續進行穩定方案試驗可採用清水試驗對河工結構物安全性較為保守。 2.感謝提供意見參考，在本報告第陸章驗證試驗已調整卵礫石與細砂比率。 3.請相關主管機關（第三河川局）酌參。
四.經濟部水利署河川海岸組 郭正工程司義浩： 1.本計畫成果顯示模擬已趨於實際，整體品質良好，可感受主辦工程司之用心，值得肯定。 2.含砂水流試驗之放砂工作，是否得以實測之加砂濃度歷線(如果沒有，則以上游之條件配合流量歷線進行計算)來進行操作，因為不只水理會影響輸砂，輸砂也會影響水理。另建請	1.感謝肯定對本單位之努力。 2.請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。

除了以採用 Schoklitsch 進行計算 Q_s 之外，像 Parker 或其它經研究認為較佳之 formula 是否亦予採用分析比較之。 3.各種試驗結果所量測之沖淤深度，是否得以歷線方式來量測，再配合前述意見，則來水歷線、輸砂濃度歷線、沖淤歷線三者可建立在目標環境，目標時間之物理結果，可更具參考意義。 4.輸砂材料除以合乎起動條件之外，建議對於砂石之隱藏(hidding)作用，(小砂躲大石頭之後面)加以考量，另(況且大甲溪輸砂特性計劃所出大甲溪之河床質有不同峰值之 2 粒群)，再去檢討決定粒群級配之合理性。 5.試驗結果除了沖淤水理之外，對於 Bedform 之觀測亦極具物理性之參考意義(反映床型阻力及顆粒阻力)，而且可更全面性去檢討之正確性，建議可考慮併入觀測。	3.感謝提供意見參考，由於受限於量測儀器，本報告無法建立目標環境，但根據第陸章驗證試驗所量測之沖淤深度仍有其參考價值。 4.請環興公司(數值模式規劃單位)酌參。 5.請參考本報告第陸章驗證試驗過程及結果。
五.經濟部水利署河川海岸組 林正工程司志鴻: 1.委辦計畫第 2 年成果報告中，分工表中護甲層補充等工作項目，應請第三河川局配合執行。	1.請環興公司(數值模式規劃單位)及相關主管機關(第三河川局)酌參。。
六.經濟部水利署第三河川局 何副工程司栢鉶: 1.模型試驗河段係位於石岡壩下游至河口段，入流條件所採用之各重現期距流量(計畫流量)係採「石岡壩」或「河口」控制點之洪峰洪量，建請略說明。 2.「定量流清水試驗 97 年辛樂克颱風流量」之試驗組，欲檢驗后豐橋位置之模型洪峰水位是否會與歷史紀錄	1.請參考本報告第貳章資料蒐集與分析(P4 頁)，係採「石岡壩」控制點之洪峰洪量。 2.請參考本報告第肆章模型初步試驗結果(P93 頁)，檢驗通過后豐橋時在模型所呈現平均水位約為

相吻合，惟模型是以施放定量流($Q_p=4225\text{cms}$)，而該場颱風是尖峰型洪峰流量歷線型態，模型試驗之入流條件下，模型呈現之洪峰水位似將高於歷史紀錄觀測水位？ 3.模型試驗各組之試驗條件、目的、成果比較分析等內容，建議是否考量以一總表表列方式陳列，俾便於瞭解比較模型試驗工作全部擬施做之試驗組數。 4.「變量流加砂試驗 98 年莫拉克颱風流量歷線」之試驗組，試驗目的欲檢驗新山線鐵路橋洪水位歷線變化是否與實測相符，惟新山線鐵路橋目前並無水位站之觀測，僅能以洪峰後洪痕估計洪峰水位，洪水位歷線變化恐無法比較。 5.模型試驗將如何驗證前 2 年計畫成果所提出之初步河床穩定方案，及其與數值模擬成果修正之回饋機制，建議是否可略說明。 6.后豐橋復建及上游水公司之后豐水管橋估計將於明年汛期前完工，原埋設之水管及下游后豐便道臨時固床工存廢須待明年該二橋完工時，再會勘決定，建議模型試驗是否納入該構造物布置模擬之考量？ 7.建議模型試驗上游之加砂量條件，是否可將石岡埧右岸原已封閉之 3 座防洪閘門改建為排砂閘門，納入增加下游砂源補充之砂量考量？(右岸 3 座已封閉防洪閘門改建為排砂閘門，既可補充下游砂源、清淤庫容，並可回復原通洪斷面減少石城地區淹水潛勢)。	EL.204.30 公尺(斷面 28-1 上游端 EL.203.78 公尺、斷面 28-1D 下游端 EL.204.82 公尺)，與歷史記錄(后豐橋斷橋前記錄為 EL.204.217 公尺)相當接近。 3.已遵照辦理，請參考本報告摘要(P<15>及 P<17>頁)。 4.由於模型範圍內目前並無水位觀測站，只能以新山線鐵路橋所量測洪峰後洪水痕跡作為洪峰水位之估計值，就模型初步試驗及驗證試驗比較結果得知，此洪痕估計洪峰水位仍俱有參考價值。 5.待模型進行河床穩定方案試驗成果(第三年工作項目)再加以說明。 6.目前本報告第陸章驗證試驗其模型布置水工構造物已包括如下：后豐橋復建後橋墩、后豐橋上游水公司水管橋墩、舊有原埋設之水管及下游后豐便道臨時固床工。 7.探討石岡埧右岸原已封閉之 3 座防洪閘門改建為排砂閘門，建議另外成立計畫進行水工模型試驗。

七.經濟部水利署水利規劃試驗所河川課 劉工程員中賢: 1.水工模型試驗建議針對治理方案成效及可行性進行模擬。 2.環興公司所提灘地分階段開挖補充護甲層方案，建議亦將分期之工程數量(如土方挖填方)、分期開挖範圍及分期經費呈現，以利權責單位執行。 3.至於水工模型試驗是否可進行長期模擬，因非常耗時及耗費人力，不知可有減短模擬時程方法。	1.本水工模型試驗項目（第三年工作），將針對穩定方案進行模擬。 2.待召開期末審查會議後再據以辦理後續穩定方案試驗。 3.水工模型試驗因非常耗時及耗費人力，只能針對短期洪水事件進行模擬。
八.經濟部水利署水利規劃試驗所水工課 謝課長天元 1.本次會議可否定義為水工模型試驗研究期初報告審查。	1.根據主席裁示本次會議可定義為水工模型試驗研究期初報告審查會。
九.經濟部水利署水利規劃試驗所河川課 陳課長春宏: 1.不能以水工模型試驗資料作為數模檢定及驗證，只可作為相互比較。 2.舊山線鐵路橋至石岡壩間仍有支流排水引入，建議可考量加大流量方式，或成果檢討時可作為分析對象之一。 3.軟岩處理是否應先將軟岩河床作為定床鋪面，後再覆砂以免於軟岩河段於物模試驗沖刷過於劇烈。 4.加砂量應考量石岡壩可能下移砂量，否則以輸砂公式推估輸砂量易高估，此為平衡輸砂條件下之輸砂行為，然砂源已受石岡壩阻斷，應考量。 5.對於目前之加砂量估算成果之試驗可反應有砂源補充下，河道可能產生之行為，對於未來可能改善方案則以清水流(或考量石岡壩阻砂效應後能可砂量)及平衡坡度下之輸砂量進行	1.請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。 2.感謝提供意見參考，目前模型在未加大流量方式下試驗結果，已俱有可模擬現場流況之功能。 3.模型上游入流段之軟岩處理即以定床鋪面，以免於軟岩河段於物模試驗沖刷過於劇烈。 4.請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。 5.依本報告建議第二點，建議後續進行穩定方案試驗可採用清水試驗對河工結構物安全性較為保守，即考量砂源受石岡壩阻斷後情況。

方案改善檢討。 6.建議可能情況下考量橋梁改善(有無落墩)對河床穩定之試驗。	6.目前河床穩定試驗並無考量橋梁改善(有無落墩)情況。
八、結論： 1. 委辦計畫部分： (1)灘地開挖不一定要全挖，可僅開一條水路或淺開挖來沖開高灘；應提供細部尺寸，如開挖方式、深度及範圍等資料。 (2)丁壩、固床工等幾何數據，請視本所水工模型試驗進度分別提送。 (3)本次會議各與會人員之意見，請環興科技股份有限公司參酌辦理，並請於2周內將修正方案提送本所。 2. 水工模型試驗研究部分： (1)民國99年6月底前(第3年)要完成環興公司所提護甲層補充及灘地開挖之物模試驗。 (2)水工模型試驗請以流路重演，較符合試驗目的。加砂方式、石岡壩輸砂之限制條件等請加予考量。 (3)本次會議同意將水工模型試驗研究期初報告審查，納入本次會議討論範圍。 (4)請考量重要斷面做一全洪水歷程沖淤之監測，如此對於研究河道穩定會有進一步瞭解。	1. 委辦計畫部分：請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。 2. 水工模型試驗研究部分： (1)根據民國99年4月29日清水驗證試驗參觀後，環興公司建議護甲層補充及灘地開挖試驗暫緩實施。 (2)依結論第一點已可模擬流路重演之試驗目的。加砂方式依建議第二點，已建議後續採用清水試驗即考量砂源受石岡壩阻斷後情況。 (3)遵照辦理。 (4)已接恰台大水工所賴進松博士協助，擬於模型新山線鐵路橋上游端設置沖刷磚，目前尚未有具體成果。

附錄C 第二年期末報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表

一、時間：民國 99 年 5 月 27 日（星期四） 上午 11 時 0 分

二、地點：本所 B 棟 2 樓會議室

三、主持人：陳所長弘由 謝天元代

記錄：許彥響

四、出席單位及人員：（詳如簽到簿）

五、簡報：（略如簡報資料）

六、出席人員意見：如下

審查意見及辦理情形表

審 查 意 見	辦 理 情 形
一.許委員時雄: 1.水工試驗最重要者係驗證工作，故所採用之顆粒大小等等希望能再進一步檢討。 2.有關導流堤之作為希望多加以研究。 3.試驗結構物宜採用較柔性者以替代硬性混凝土，期能減低堤腳直衝時之受力及傳遞深度。	1.模型試驗用砂係參考 P61 頁圖 3-3，經驗證試驗後可以模擬現場水理現象。 2.請環興公司（數值規劃單位）酌參。 3.請環興公司（數值規劃單位）酌參。
二.吳委員憲雄: 1.模型試驗應與數值模型互相配合，現有數值模型有甚多模糊之處，故模型試驗非僅為驗證數值模型及工程規劃之結果，而應在整體上就數值及工程規劃未能顯示之處，尋求更佳方案。 2.故模型之製作除數值規劃之結果外，建議亦採可行或擬議中之方案，製作不同模型作驗證，如后豐橋上游左岸高灘地之縮減對河道穩定之可能效果，又如新山線鐵路橋上游高灘地之縮減之影響等。 3.P19 請加設水管橋、水管道及下游保留便道做為固床之設施。	1.未來第三年穩定方案模型試驗將配合數值模型，並提供相關水理以尋求更佳方案。 2.未來第三年穩定方案模型試驗將提供相關水理及建議以尋求更佳方案。 3.本模型現況方案已布置后豐橋上游水管橋、水管道及后豐橋下游便道。

4. P10 橋樑塑造后豐橋部份，建議以高灘地縮減及水管橋全部改建為原則。 5. 建議將石岡壩下游新開闢右岸分流深水槽之可行性及水理狀況，以供給規劃之依據。	4. 本模型現況方案已布置后豐橋及水管橋全部改建後之橋樑。 5. 此項建議將另案辦理水工模型試驗，不列入本報告工作內容。
三.林委員襟江： 1. 本人於第一次工作會議所言，本研究以數模與物模相互印證，可獲得比較可靠之穩定措施，請掌握模型試驗之功能。 2. 試驗驗證以三場颱風模擬，應擇一作為優選方案之基準。 3. 建議驗證模型後，先以定床檢測基本水理作為比較之基準。 4. 試驗為工程借助之手段非目的，其銓釋宜慎重。	1. 本研究物理模型試驗將配合數值模型，並提供相關水理以尋求更佳方案。 2. 第三年穩定方案模型試驗將配合數值模型所提供之綜合颱風流量模擬。 3. 本模型係以動床現況方案作為基本水理比較之基準。 4. 對於本模型試驗成果之結論與建議，將會敘明模型限制之試驗條件。
四.淡江大學水環系：陳教授俊成 1. 部分實驗結果顯示斷面高程有局部嚴重沖刷（如斷面 25 右岸），建議確認該結果之正確性並分析其可能發生原因。 2. 模型塑造之顆粒剪速福祿數是否有考量河床質比重 S_s $\left[F_{r*}^2 = \frac{U_*^2}{\gamma_s d_{50} (S_s - 1)} \right]$，請確認。 3. 模型塑造之顆粒剪速雷諾數 Re_* 須大於 400 方可確認為福祿數 F_{r*} 主導，本試驗取 $Re_* > 70$ 請補充說明依據。 4. 實場與水工模型各斷面照片對照圖，建議修正取一致之方向（向上游或向下游），以利比較觀察。	1. 斷面 25 右岸有局部嚴重沖刷現象，可以顯示中山高速公路橋上游右岸舊社堤防沖刷問題（現場已發生）。 2. 本模型塑造之顆粒剪速福祿數有考量河床質比重，請參考 P58 頁之臨界推移力法理論。 3. 模型顆粒剪速雷諾數大於 70，係參考顆粒臨界起動剪應力圖（Shielas Diagam），超過此值表示顆粒起動。 4. 受限於試驗時間短，拍照後某部份無法將模型與現場調為一致方向，輔助以流向以利觀察。
五.國立成功大學水利及海岸工程學系：蔡教授長泰（提供書面資料） 1. 石岡壩至新山線鐵路橋沖積層厚度 1~5 公尺(埤豐橋至新山線鐵路橋沖積層厚 3~5 公尺)(P.15)，新山線鐵路	1. 本模型動床深度約 10~20 公尺，請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。

橋下游河川沖積層可能深達 10 公尺以上(P.16)。模型試驗沖刷深度有達 7 公尺至 14 公尺(P.93)，或 5 公尺至 15 公尺(P.102)，或 5 公尺至 15 公尺(P.138)(P.143，表 5-4)，或 1 至 9 公尺(P.109，P.163，P.182，表 6-6)等。因此有可能沖刷至岩盤，實際上不會再沖刷更深。建議分析時考慮岩盤對流路的影響。在數值模擬時亦建議限制沖刷深度。	
2.由圖 6-5(P.154)及圖 6-10(P.168)，二者均有深槽內之二次蜿蜒現象，蜿蜒型態相似，沖刷位置及深度相近(P.182，表 6-6)，舊社堤防以下，也都成為辨狀形式，雖然有局部最大沖刷深度，但整體深槽平均高程改變不大(圖 6-3，圖 6-6，圖 6-7，圖 6-8，圖 6-11，圖 6-12)。若再與圖 4-2，圖 3-4 等比較，河道內有二次蜿蜒，有主河道流路受地勢影響(P.36)的情形。因此，建議探討大洪水是否改變目前河相，目前河相是否會受到固定邊界及岩盤之限制，以作為穩定流路、穩定河床方案之應用。	2.本項建議探討大洪水是否改變目前河相，目前河相是否會受到固定邊界及岩盤之限制，以作為穩定流路、穩定河床方案之應用，請環興公司(數值模式規劃單位)酌參。
3.因試驗之深槽在大洪水及百年洪水(照片 4-6)均未漫溢，而 4225CMS(介於 Q_5 至 Q_{10})定量流試驗 2.1 小時(相當於現場 19 小時)之底床改變(圖 4-5~圖 4-7，圖 4-9~圖 4-11)比變量流實驗(圖 6-13，圖 6-14 等)劇烈。因此建議進一步分析在二次蜿蜒深槽內的流量，並分析此二次蜿蜒深槽的形狀。	3.模型試驗定量流 4,225CMS 試驗 2.1 小時(相當於現場 19 小時)與變量流實驗模型總加砂時間約 21 小時(現場約 190 小時)之洪峰 4,525CMS 試驗約 7 分鐘(相當於現場約 1 小時)，比較後定量流較變量流底床改變劇烈，此水理現象請環興公司(數值模式規劃單位)酌參二次蜿蜒深槽內的流量變化。
4.試驗用砂以砂為主(圖 3-3，表 3-5)，砂質底床會有砂丘，原體砂以卵礫石為主。故建議檢查是否有砂丘波高視	4.感謝提供意見，驗證試驗較初步試驗沖刷深度有減少現象，主要模型已調整局部動床粒徑(增加粗顆粒級配比

為沖刷深度的情形。 5.石岡壩至中山高為 7.7 公里(P.17)，但分段長(例如 3.5Km，1.2Km，2.5Km)稍有差異，請檢查。	例)，與現場沖刷深度較接近。 5.感謝提供意見，已修正石岡壩至中山高為 7.2 公里(P.17)。
六.經濟部水利署：洪正工程司信彰 1.模型是否可儘量符合實際現場地文資料（土壤、地質…等）因素，以利後續研究？是否其河性不符現況，尤其岩盤露出部份是否具代表性？ 2.大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案研究之數值模擬與本計畫水工模型試驗成果，數值與趨勢仍然差異甚多，請再相互配合。 3.動床模型中加砂試驗，所加砂量、加砂速度…等因子應再探討。 4.所採用相關參數數據（如 $n=0.035\sim 0.045\cdots$ 等）及結論與建議內容均與大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案研究不符，請相互再探討研議。 5.建議下次審查會能到模型試驗場觀看實際試驗情形，以利相關委員、單位代表探討研議及建議，以符合研究情形。	1.請參考本報告第參章模型塑造，模型塑造已儘量符合實際現場地文資料及水工構造物現況布置。 2.本計畫物理模型已配合數值模型設計條件，並提供相關水理供數值模擬參考，其差異部份請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。 3.由於缺乏現地資料，經模型驗證試驗後建議採用清水不加砂試驗。 4.所採用 n 值係參考委辦計畫大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案(表 P.17 頁之表 3-4)。結論與建議內容請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。 5.遵照辦理。
七.經濟部水利署第三河川局：何副工程司柏鉤 1.建議補充說明下一年度河床穩定方案中預計規劃辦理之水工模型試驗方案、數量、條件、內容。 2.部分河床穩定方案（丁壩設置、灘地開挖、堆填、后豐橋下游便道拆除等）涉及分年分期，不同規模施工範圍之工作項目，水工模型試驗是否將納入考量？後續數模將如何驗證？ 3.有關后豐送水管及后豐橋下游便道固床工拆除與否，建議是否可優先納入水工模型試驗辦理拆除前、後之比	1.本項建議請參考委辦計畫大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案期末報告書內容。 2.本計畫物理模型將配合數值模型所提供之河床穩定方案設計條件進行下一階段（第三年）試驗，其驗證部份請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。 3.第三年河床穩定方案試驗有關現況方案（零方案）即會納入試驗項目。

較，俾供相關執行單位辦理該結構物存廢之依據。	
八.經濟部水利署水利規劃試驗所河川課：劉中賢 1.鑑於中水局將辦理石岡壩排砂等改善研究等，當初於水利署會議曾交辦本所辦理後續水工模型試驗案，此點是否卓請水工課做預備工作。 2.未來方案模擬之工程布置、尺寸、長度、幾何等資料，請環興公司配合本所水工課提供資料辦理，而方案儘量簡化以利模型試驗之進行。	1.此項工作將另案辦理水工模型試驗，不列入本報告工作內容。 2.請環興公司（數值模式規劃單位）酌參。未來方案工作項目已於6月22日進行討論，水工模型將依據此討論會議結論進行試驗。
七、結論： （一）本期末報告原則認可，請整理與會人員提供之意見作為報告修訂之方向。 （二）下次會議請安排模型試驗勘查及討論。 （三）請配合委辦計畫進行下一階段穩定方案之模型試驗工作。	（一）遵照辦理。修改後內容詳如第二年工作報告書。 （二）遵照辦理。 （三）遵照辦理。下一階段穩定方案已於6月22日進行討論，水工模型將依據此討論會議結論進行試驗。

附錄 D 第三年期初報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表

一、時間：民國 100 年 1 月 26 日（星期三） 上午 11 時 0 分

二、地點：本所 B 棟 2 樓會議室

三、主持人：陳所長弘由

記錄：許彥響

四、出席單位及人員：（詳如簽到簿）

五、簡報：（略如簡報資料）

六、出席人員意見：如下

審查意見及辦理情形表

審 查 意 見	辦 理 情 形
一.許委員時雄: 1.報告內容表示肯定。 2.未來對於如何導引水流更為順暢，數模希望多加努力尋求與試驗配合，同時因為高灘去除等具有現場實地實驗之性質，希望不要先建低水護岸使較具有彈性，以利將來尋求較佳之對策。	1.感謝委員對本工作團隊之肯定。 2.請環興公司（數值規劃單位）酌參。
二.簡委員俊彥: 1.后豐大橋上游右岸正隆護岸，如能配合丁壩群的新建，將對岸高灘地局部開挖河床，以丁壩群為基礎營造一段斜坡淺灘，應能產生較佳的保護及挑流效果。建議將此項構想，列入後續水工模型試驗項目。 2.針對本次期初報告內容，無其他意見。	1.請參考第參章有關零方案-5 及穩定方案試驗成果。 2.感謝委員指導。
三.吳委員憲雄: 1.有關后豐大橋及水管橋河道之處理，於第三河川局已開會現勘決定採零方案-5，即水管 PB 以左部份拆除、臨時便道保留但加固右岸橋台、臨時便橋之橋墩則露出部份拆除。另	1.請參考第參章有關零方案-5 試驗成果，因水管 PB 以左部份拆除（右岸不拆除），現有丁壩工已具挑流效能，宜注意丁壩周圍沖刷問題。

現有正隆護岸之丁壩僅為護腳丁壩，不具挑流效能，應新設挑流丁壩，其位置、長度、角度及型式，建議列入水工模型試驗決定。 2.第三河川局應加速辦理后豐大橋上游左岸高灘地之部份清除工作，並將清除後之河性列入水工模型試驗之情境條件之一。	2.請參考第參章有關穩定方案試驗成果，初步試驗成果已具有降低單寬流量及降低流速效能。
四.陳顧問義平： 1.水工模型試驗已做二年，因此模型驗證應已完成，因模型比 1/80 對於高程之變化敏感度較高，因此各方案之水工模型試驗與數模之成果比較，水深及底床變化均較大，惟對后豐大橋之影響各方案均未量測。 2.本年度試驗除依河道穩定方案布置外，主要需依三河局對於后豐大橋上下游構造物採用之決策(自來水地下涵管 PB 左部全部拆除)，后豐大橋下游臨時便橋全部拆除，保留后豐大橋下游臨時便道及護坦工，該試驗除了解河道之變化外，建議對於后豐大橋底床之影響做測量。	1.感謝委員提供之意見，對於歷年洪峰流量對后豐大橋之影響，已於第二年計畫驗證試驗中說明，請酌參。 2.請參考第參章有關零方案-5 試驗成果，對於后豐大橋底床之影響，因水管 PB 以左部份拆除(右岸不拆除)，形成具有丁壩挑流作用，會造成 PC 及 PD 橋墩周圍底床較大沖刷現象。
五.林顧問連山： 1.有關零方案-1～零方案-4 雖各方案之試驗結果以零方案-4 之沖刷較小，但是使用丁壩工之合宜性仍應檢討。 2.有關模型試驗丁壩乃採用固定型式，其對水流之抵抗力極大，此與實際情況應有所區別。 3.在基岩已出露之地點應依其現場情況做為模型建置之依據。 4.在基岩已出露者刷深達數公尺至 10 多公尺，其量測之依據建議說明。	1.此丁壩工是現有結構物。 2.模型試驗丁壩採用固定型式，是為假設丁壩在不被衝毀時，探討周圍產生沖刷深度之大小。 3.在新山線鐵路橋上游段，已依據現地基岩已出露，模型以定床塑造。 4.模型量測達數公尺至 10 多公尺，是在模型動床區段量得。

六.國立中興大學土木系：盧教授昭堯 (提供書面資料) 1.零方案-4，后豐大橋臨時便道下游端最大沖刷深度 10.9 m (P.77)，似乎較實際觀測值為大！(大甲溪河段輸砂特性試驗研究 2/3，莫拉克颱風於斷面 27 處實測約 1.5 m)是否與物模底床鋪設泥砂，均採斷面 25(通水斷面寬約 800 m，D_{50} 約 49 mm)之採樣結果，而實際該處(斷面 27 通水斷面寬約 250 m)之床砂分佈係偏粗(D_{50} 約 136 mm)之影響。按辛樂克颱風流量歷線較飽滿(Q_p 約 4,225 cms)，而莫拉克颱風(Q_p 約 5,410 cms)較突升，其洪峰附近最大一般沖刷深度，數量級似應頗為接近。 2.數模輸入之斷面河床質資訊，研判係本計畫第一年(97 年)各斷面實際之調查結果。理論上物模中，各斷面河床質鋪設宜採實際之泥砂分佈，所得之沖刷深度與現場較為一致。礙於經費與時間，若擬簡化仍宜再確認其代表性。	1.物模底床鋪設泥砂均採斷面 25，係考慮上游泥砂可以輸送到下游斷面 25，可能會較現場泥砂略小，沖刷深度略大，規劃時較為保守。 2.請參考上述第 1 點說明。
七.經濟部水利署第三河川局：何副工程司柏鉤 1.報告書引用 99 年 7 月航照圖，尚未經運研所港灣研究中心正式同意提供，建請應正式知會該中心同意引用。	2.為尊重版權，已刪除。
八.公路總局二工處：邵主任維國 1.水工報告 P114 在 28-1 斷面零方案-4 之沖刷斷面平坦，與 P87 圖 3-19 之 28-1 斷面處地形高程似不符。	1.P114 斷面圖與 P87 沖淤變化圖兩者量測方法不同，沖淤變化圖由於受限於量測點數較少，計算時程式會以內差法計算周圍高程，故兩者會有些為不同。

七、結論： (一)請整理與會人員提供之意見作為 期初報告修訂之方向。 (二)請依據簡報內容之後續待進行工 作項目二及四安排下一階段穩 定方案模型試驗，項目二為進行 布置后豐橋上游自來水地下涵 管（PB 左側全部拆除）、后豐橋 下游臨時便橋全部拆除及保留 后豐橋下游臨時便道及下游護 坦工之零方案-5；項目四為進行 零方案-5 及布置新山線鐵路橋 至后豐橋左岸高灘地開挖之穩 定方案試驗。	(一)遵照辦理，修改後內容詳如第三 年期末報告書。 (二)已遵照辦理，請參考第參章有關 零方案-5 及穩定方案試驗成果。
---	--

附錄 E 第三年期末報告書審查會議紀錄及意見辦理情形表

一、時間：民國 100 年 5 月 16 日（星期一） 上午 11 時 0 分

二、地點：本所 B 棟 2 樓會議室

三、主持人：陳所長弘由

記錄：許彥響

四、出席單位及人員：（詳如簽到簿）

五、簡報：（略如簡報資料）

六、出席人員意見：如下

審查意見及辦理情形表

審 查 意 見	辦 理 情 形
一.簡委員俊彥: 1. P.118 表 4-1 各零方案條件比較表，建議移至第參章。 2.自來水地下涵管，PB、PD 的位置請用一張橫斷面圖示明。 3.本項水工模型試驗的定位，係配合河床穩定規劃方案的研擬及修正而進行相關試驗，請在計畫緣起中敘明，方案相關修正過程也應敘明。 4.圖 2-10 舊山線鐵路橋至中山高之間的穩定方案工程布置，有關各項工程規模數量是否適當合宜，能否分期施工，均值得後續進一步研究，建請列為建議事項。 5. P.139 綜合分析檢討，請再修改文字，宜以水工試驗的任務角色表達，例如 P.140 之（六）及（七）均宜修正。 6. P.136（圖 4-6）及 P.137（圖 4-7）把零方案-5 與穩定方案試驗結果放在一起做比較，造成部份困擾及混淆，請改善改以穩定方案的試驗結果為主要討論。	1.已遵照辦理，修改後內容詳如第三年報告書及總報告書。 2.已遵照辦理，修改後內容詳如第三年報告書及總報告書。 3.已遵照辦理於五種試驗方案及穩定方案章節中修正。 4.已遵照辦理於摘要之結論及建議事項章節中修正。 5.已遵照辦理於摘要及五種試驗方案章節中修正。 6.已遵照辦理於摘要及穩定方案章節中修正。

二.吳委員憲雄: 1.本項自辦水工模型試驗研究，能充分配合總計畫之需求辦理，並能提出具體之試驗成果供總計畫之參據，難能可貴，應予肯定。 2.本次所做共五方案之水工模型試驗，重點均在正隆護岸及后豐橋上下游既有結構物之處理評估，與總計畫之範疇不同，建議報告中能增加配合總計畫之措施之後續試驗必要之建議。	1.感謝委員對本工作團隊之肯定。 2.已遵照辦理於摘要之結論及建議事項章節中修正。
三.林委員襟江: 1.模型作業之可信度應更明確，實驗似與設計單位討論稍有不足。	1.每次進行模型試驗時皆有通知環興公司（設計單位）參觀並且討論。
四.陳顧問義平: 1.本計畫試驗已依據現況演變做不同方案比較，本年度為最後一年，建議零方案現況與環興公司所提河床穩定方案做比較，對穩定方案之水理條件，提出評估並做必要建議。	1.已遵照辦理於摘要及穩定方案章節中修正。
五.國立中興大學土木系：盧教授昭堯 1.本自辦計畫配合環興公司之大甲溪穩定方案計畫，於有限時間下，完成多項水工模型試驗，並獲得許多寶貴研究成果，應予肯定。 2. P<18>摘要中模型現況試驗（第三年），建議仍加入“清水試驗”之假設。 3.表 4-6 中穩定方案於左岸豐州堤防沖刷達 15m，建議於 P.137 圖 4-7 與 P.138 照片 4-11 中，加入相關量測結果與照片，並針對劇烈沖刷可能原因，略加說明。。 4. P<18>及 P<19>兩表（各方案試驗條件與成果表）建議置於同一頁，以利閱讀。	1.感謝委員對本工作團隊之肯定。 2.已遵照辦理於摘要章節中文字修正。 3.已遵照辦理於穩定方案綜合分析檢討章節中補充說明。 4.由於摘要章節中五種試驗方案與穩定方案分段撰寫，無法列於同一頁。

六.本所河川課課長：周課長志芳 1.摘要中對第一、二年工作成果及分析較本文詳細，建議本文中對第一、二年工作成果及分析做較詳細之說明。 2.是否彙整 1~3 年工作成果撰寫總報告或將第三年期末報告補充第一、二年工作成果改為總報告。 3. P<23> 結論與建議中，建議僅列一項，稍有不足，建議補充如依試驗之成果或經驗，對改善方案之布置或工法研提一些改進建議。	1.已遵照辦理於總報告書中補充第一、二年工作成果及分析結果。 2.已遵照本次期末會議紀錄結論於5月底前提出三年總報告初稿。 3.已遵照辦理於摘要之結論及建議事項章節中補充修正。
七.本所灌排規劃課課長：陳課長春宏 (提供書面意見) 1.第一章前言中有關水工模型試驗研究期程提前置計畫第 2 年開始進行作業(而非由第 3 年開始)，建議括符內文字刪除，否則顯得有點贅詞且不知所云。 2.建議於第二章末或於第三章前說明各試驗方案之佈置與構想，否則於第三章直接進入模型試驗成果，使得閱讀時無法連結。 3.對於試驗結果於丁壩、尚保留之自來水結構物或臨時便道等，皆顯示於基腳或下游端皆產生極大沖刷，由照片顯示部分沖刷已達到或接近模型試驗佈置之基礎，故其試驗過程可能已沖刷至模型試驗之混凝土結構基礎，而照片顯示應為於退水期間上游土沙回淤之結果，建議以現場事件加以研判是否可能發生此情形，否則相關方案於未來推動時(如於后豐大橋上游右岸佈置丁壩，而其基腳沖刷如此劇烈)，其是否可行仍具爭議。 4.建議將所有附錄中開會之散會時間及簽到簿刪除，僅需保留開會時間、	1.已遵照辦理於第一章前言中刪除文字。 2.已遵照辦理於摘要及五種試驗方案章節中補充修正。 3.歷年曾於后豐大橋上游右岸正隆護岸發生沖刷現象，目前佈置之丁壩為既有結構物，於摘要之結論及建議事項章節中說明宜注意沖刷問題。 4.已遵照辦理於三年總報告初稿之附錄章節中刪除。

地點、主持人、審查意見及處理情形表、決議事項即可。	
八.經濟部水利署河川海岸組：陳育成 1.后豐橋似未全面於 98 年改建，有關表 2-7 本計畫工作範圍內橋梁安全性評估調查表中相關資料，惠請釐清並補述。 2.第肆章第四項綜合分析檢討部分，請補述建議規劃單位研擬相關處理措施。	1.表 2-7 係由環興公司（設計單位）所提供，請卓參。 2.請參考摘要及穩定方案章節中所提建議規劃單位研擬事宜。
九.經濟部水利署第三河川局：何柏鈞（提供書面意見） 1.摘要之 P<20>：第 8 列，「零方案-4 則全部份不拆除」，似為「零方案-4 則全不拆除」之誤繕；倒數第 3 列及 P.140 之倒數第 8 列，「豐州堤防」為「豐洲堤防」之筆誤；倒數第 9 列，「顯示零方案-4 針對河床穩定而言為較佳方案」，依該段語意似指「顯示零方案-4 針對局部河段之河床穩定而言為較佳方案」。 2. P.9：表 2-2 石岡壩歷年發生年最大流量統計表，其中「52 年」之石岡站觀測紀錄 7,840cms 與委辦計畫第 4 年之正式報告初稿所列之 5,520cms 不同？	1.請參考摘要章節中修正之文字。 3.表 2-2 係由環興公司（設計單位）所提供，已補正。
十.交通部公路總局第二區養護工程處：謝工務員光智 1.台 13 線后豐大橋 P11 橋墩改建工程設計已完成，預定 100 年 8 月發包。 2.台 13 線后豐大橋 P12~A2 改建工程，目前於細部設計階段。	1.感謝貴單位所提供之訊息。 2.感謝貴單位所提供之訊息。
十一.交通部台灣鐵路管理局台中工務段：朱施工主任我帆 1.新山線大甲溪鐵路橋現正施工之 P2~P10 橋基換底工程，預計 100 年 6	1.感謝貴單位所提供之訊息。

月完成，工區內原保護橋墩之消波塊為施工之故，多數已吊離。 2.請考量鐵路橋右岸山壁是否會受大水沖刷影響穩定性，進而影響隧道結構安全。	2.就目前河槽未開擴前之現況模型試驗結果，新山線鐵路橋右岸山壁受大水影響會有沖刷現象，宜加強保護（目前第三河川局已施作蛇籠保護工）。
十二.本所河川課：劉副工程司中賢 1.結論（一）說明零方案-4 為最佳方案，請補充“考量避免上游固床工造成下游橋梁基礎沖刷下”等類似條件，來說明當初拆除自來水管涵之原因。 2.方案模擬試驗條件比較表，請加上左岸灘地開挖之項目，或者與穩定方案合併。 3.另外結論中是否需補充穩定方案成果。	1.請參考摘要之結論及建議章節中文字修正。 2.請參考摘要、五種試驗方案及穩定方案章節中之補充修正。 3.請參考摘要之結論及建議章節中文字補充修正。
七、結論： （一）請於5月底前提出三年總報告初稿。 （二）請修改各種零方案之名稱以避免混淆，並修改各種零方案比較結果，以呈現穩定方案試驗結果為主。 （三）請考量後續穩定方案是否需進一步做水工模型試驗。 （四）請參酌與會人員提供之意見修正期末報告。	（一）已於5月底前提出三年總報告初稿，並提供給環興公司參考。 （二）已遵照辦理於摘要、五種試驗方案及穩定方案章節中補充修正。 （三）俟環興公司針對摘要中建議穩定方案再研擬相關保護措施有進一步設計案後，再進行水工模型試驗。 （四）已遵照辦理修正第三年期末報告及三年總報告初稿。

國家圖書館出版品預行編目 (CIP) 資料

大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究－水工
模型試驗研究 (自辦計畫部分) 總報告

Physical Model Test on Dajia River Bed Stabilizing Program
for the Reach Downstream of the Shin-Kang Dam

許彥響、謝天元、陳弘由--第一版.--

臺中市霧峰區：水利署水規所, 20011.07

[民 100.07]面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-02-8552-9 (平裝)

1. 河川工程 2. 河床 3. 大甲溪

443.6933

100013568

大甲溪石岡壩下游河段河床穩定方案之研究－水工模型試驗研究 (自辦計畫部
分) 總報告

發行人：陳弘由

發行所：經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：台中市霧峰區吉峰里中正路 1340 號

電話：(04)23304788 傳真：(04)23300282

編著：許彥響、謝天元、陳弘由

初版年月：2011 年 7 月

版次：第一版

GPN 1010002282

ISBN 978-986-02-8552-9

版權所有，翻印必究