

攔河堰下游淘刷問題

林得志

黎明工程顧問股份有限公司董事長、水利技師

一、前言

台灣的水資源開發有三大主流，水庫、河川逕流水與地下水。

水庫蓄水可調節豐枯，穩定供水，但是優良壩址難覓，淹沒區用地取得困難，淤積與生態影響很大。

地下水開發大多位於河川下游平原與濱海地區，常造成地盤下陷之害。

河川逕流取水，老祖宗幾百年前就在做，譬如曹公圳、葫蘆墩圳等等。取河川逕流水沒有什麼弊害，逕流水流入大海，

不取白不取。老祖宗們在河岸開一個缺口就可重力引水灌溉。但是台灣河川陡急，人們就用石筍、石籠等攔水、導水入進水口。後來人口增加，工商業發達，建築混凝土用砂石取自中下游河川，致河床下降，進水口取水困難，所以 60 年來紛紛興建攔河堰，以抬高水位、固定水頭取水，但是攔河堰也有後遺症，譬如混凝土的磨損問題與下游的淘刷問題。本文要討論的是下游的淘刷問題。

二、攔河堰設計概要

攔河堰可分為兩種，一種有庫容，庫容的部份是以活動堰控制水位（譬如集集堰），庫容的淹沒區限在上游河道內，否則就是水庫，不叫攔河堰。

另一種攔河堰是沒有庫容的，僅為抬高水位，固定取水水頭。

本文以沒有庫容的攔河堰來討論淘刷問題。

沒有庫容的攔河堰依築堰材料可分為混凝土固定堰、堆石堰、箱箆堰、混凝土塊固床堰等等。

混凝土固定堰是永久性的結構物，其

他是臨時性或半永久性的，本文以混凝土固定堰來討論。攔河堰橫貫全河段，河水全需經由堰頂溢流。既然抬高水位，固定取水頭，則攔河堰上下游必定有落差、需要消能，避免下游沖刷。

依消能方法可分為兩類溢流堰：

1. 歐奇(Ogee)式溢流堰，如圖 1 之示意圖，其水理設計步驟如下：

(1) 以堰流公式 $Q=C \cdot L \cdot H^{3/2}$ ，即 $H=\left(\frac{Q}{C \cdot L}\right)^{2/3}$

計算堰頂溢流水深 H ，並估算接近流

速，計算流速水頭 $h_v=\frac{v^2}{2g}$ 就可得堰頂

能量線高程。

- (2)自下游 1km 以上之處做水面線演算(通常用 HEC-RAS 模式)至堰趾部,得到堰之尾水位(TWL)。
- (3)以水躍公式計算水躍後之水深 d_2 。
- (4)尾水位(TWL)減 d_2 即得靜水池底部高程。
- (5)以經驗公式求靜水池長度 L 。

2. 直接跌落式溢流堰

台灣河川陡急,河水挾帶砂礫石流過攔河堰,歐奇式堰溢流水舌吻合堰面,會造成混凝土嚴重的磨損問題,維修費用高,依過去的經驗,筆者認為歐奇式堰較不適用於台灣的天然河川。

直接跌落式堰,比較沒有堰面磨損的

問題。

直接跌落式溢流堰,斷面如圖 2 之示意圖。

其設計步驟同樣先求得上、下游能量高,得到能量差 H_t ,再以投潭經驗公式,求出最大淘刷深度 d_s :

(壩工設計手冊 P.314)

$$d_s = 1.32 H_t^{0.225} \cdot q^{0.54} \text{ (英制)}$$

$$d_s = 1.90 H_t^{0.225} \cdot q^{0.54} \text{ (公制) --- ①}$$

式中, d_s = 最大淘刷深度 (m)

H_t = 上下游能量差 (m)

q = 單位寬流量 (CMS/m)

直接跌落式的靜水池只要刷深不影響

堰的安全,底版可有可無。

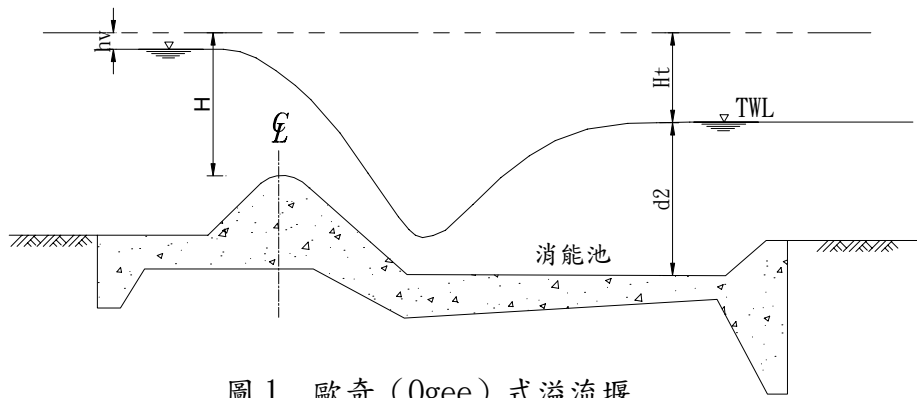


圖 1 歐奇 (Ogee) 式溢流堰

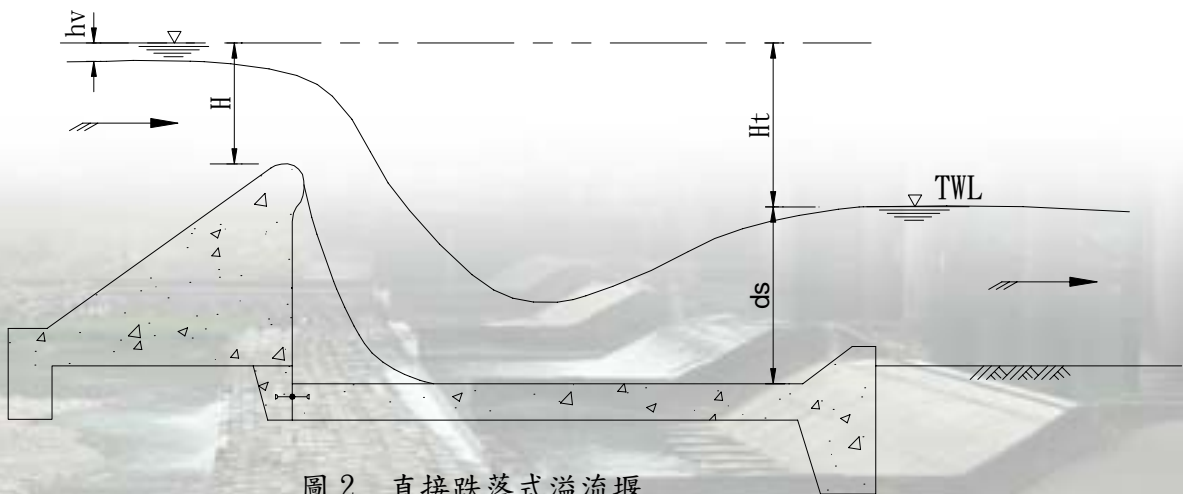


圖 2 直接跌落式溢流堰

三、攔河堰下游淘刷的原因

1. 砂石被堰攔截，停留於堰上游。固定堰形同攔砂壩，會改變上游河床坡度，坡度變緩，貯留大量砂石。減少砂石輸送到下游河床，無法補充下游流失的覆蓋砂石。
2. 下游河床採砂石，河床下降，尾水位降低，上下游落差變大，致消能池功能不足，形成趾部淘刷。
3. 水文水理改變。固定堰通常以頻率 200 年一次洪水做水理計算，決定消能池規模。近年來氣候異常，常常發生特大暴雨，洪水超過原設計預估，致消能不足，產生趾部淘刷。
4. 堰頂單位寬流量過大，總能量非常高。靜水池都是用經驗公式概算，該經驗公式是用水工模型試驗所驗證，我們不瞭解該水工模型試驗所用的最大單位寬流量是多少？筆者認為 $q > 20 \text{ CMS}/\text{m}$ 就不適用經驗公式，應該做水工模型試驗來決定消能池規模。如果 q 大於 $40 \text{ CMS}/\text{m}$ 的攔

河堰很難維護，甚至於有破壞崩潰之慮。

5. 堰下游河床一旦遭到淘刷，覆蓋層（有說殼層）砂石被沖走，岩盤裸露。台灣河川長期被採砂石，覆蓋層大多很淺。岩盤裸露，Manning 公式 $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$ 的 n 值大幅降低， n 值與流速成反比，即 n 值降低，流速增加。譬如砂石覆蓋層的河床， n 值約 0.045，而裸露光滑的岩盤河床 n 值約 0.020，即流速 V 將增為 $\frac{0.045}{0.020} = 2.25$ 倍，假如原來有覆蓋層的下游河川流速為 $4 \text{ m}/\text{sec}$ ，裸露後流速將增加為 $4 \times 2.25 = 9 \text{ m}/\text{sec}$ 。

台灣西部中下游河川基岩大都是軟弱的泥岩或泥頁岩互層，禁不起高流速的沖刷，很快就下刷成大峽谷。

八掌溪仁義潭攔河堰下游就因此形成狀觀的大峽谷，1996 年賀伯颱風曾將岩盤河床一次下刷深達 7m 之記錄。

四、淘刷的後果

1. 滲流管湧破壞致潰堰

攔河堰的安定分析，除傾倒、滑動、地盤承載力的安全分析外，更要檢討滲流破壞的安全性。

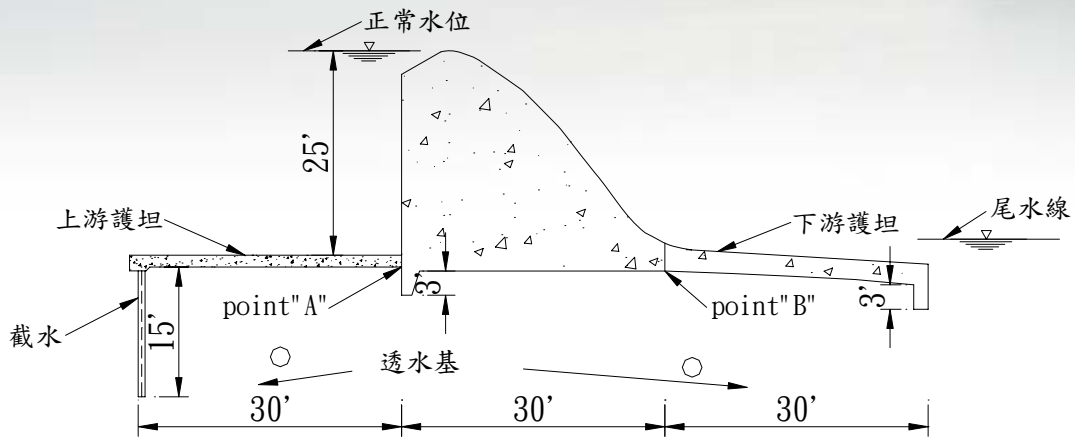
混凝土固定堰大都是低矮的結構物，基礎也較長，所以通常在傾倒、滑動與地盤承載力的分析結果，安全係數都很大，安全較無慮。但是堰建在河床上，經常用

浮式堰，基礎沒有挖到岩盤，堰體座落在砂石覆蓋層上，所以是否會從基礎滲流致管湧破壞的安全分析非常重要。

繪流線網做滲流分析比較麻煩，通常以簡易的來因 (Lane) 氏所發展之權重緩流理論為之 (壩工設計手冊 P. 249) 權重滲徑距 L ，水平滲流距為垂直之 $\frac{1}{3}$ 計堰上下游水頭差 H

$$\text{權重緩流比} = \frac{L}{H}$$

來因氏建議的權重緩流比應大於下表，否則有管湧破壞的危險。



$$\text{權重滲徑距} = 15 + 15 + (4 \times 3) + \frac{1}{3} \times (30 + 30 + 30) = 72 \text{ 呎}$$

$$\text{結構上水頭} = \text{頭水} - \text{尾水} = 25 - 5 = 20 \text{ 呎}$$

$$\text{權重緩流比} = \frac{72}{20} = 3.6$$

來因建議下列權重緩流比：

物質	比例	物質	比例
極細砂或泥	8.5	粗礫包括卵石	3.0
細砂	7.0	轉石附有若干卵石及礫	2.5
中級砂	6.0	軟粘土	3.0
粗砂	5.0	中級粘土	2.0
細礫	4.0	硬粘土	1.8
中級礫	3.5	極硬粘土或硬泥盤 (Hardpan)	1.6

攔河堰下游沖刷，河床刷深使堰址處的尾水位降低，堰上下游的水頭差(H)變大，但是權重滲徑距L不變，即權重緩流

比 $\frac{L}{H}$ 變小，如果小於來因所建議的比例時，該堰就有管湧破壞，整個堰被沖潰的危險。

2. 趾部淘刷、淘空堰基礎，致傾倒破壞。

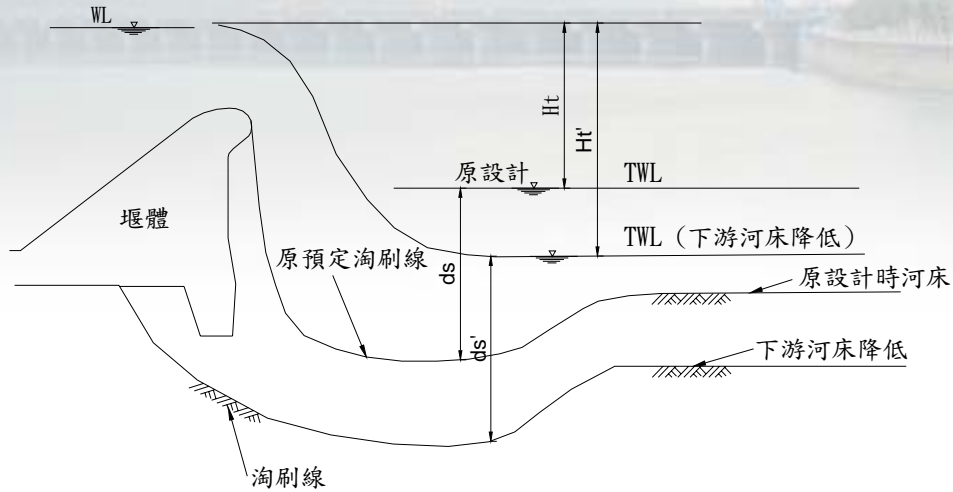


圖 3

垂直跌落堰：

(1) 落水池底部無底板保護工，如上圖所示，下游河床降低，尾水位也下降，如式①上下游能量差 H_t 變大，則刷深成 ds' ，淘空堰基礎，則有潰堰的危險。曾文水庫上游大埔防砂壩就是發生這樣的淘刷，幸好在未潰壩前予以補救。

(2) 落水池底部有 RC 保護工

落水池底部有 RC 保護工之設計如圖 4 之示意圖。當下游河床下降，尾水位降低，則落水池尾檻發生第二次水躍，如圖 5 所示，淘刷下游河床，截牆深度不足時，即影響落水池的安

全，落水池受損，堰體滲流線長不足，會發生滲流管湧破壞。

式①之投潭經驗公式，最大淘刷深度 ds ，是無論底部任何材質、岩盤或 RC，最終所形成的淘刷深度，只是歷時長短而已、如圖 6 所示，RC 池底終將被淘刷破損而潰壞。

2007 年石門水庫上游巴陵攔砂壩歷經 30 幾年而潰壩，筆者研判應是上述原因。

3. 攔河堰下游淘刷，河床刷深影響堤防護岸、橋梁、取水口等等的安全。

4. 變更下游河川生態。

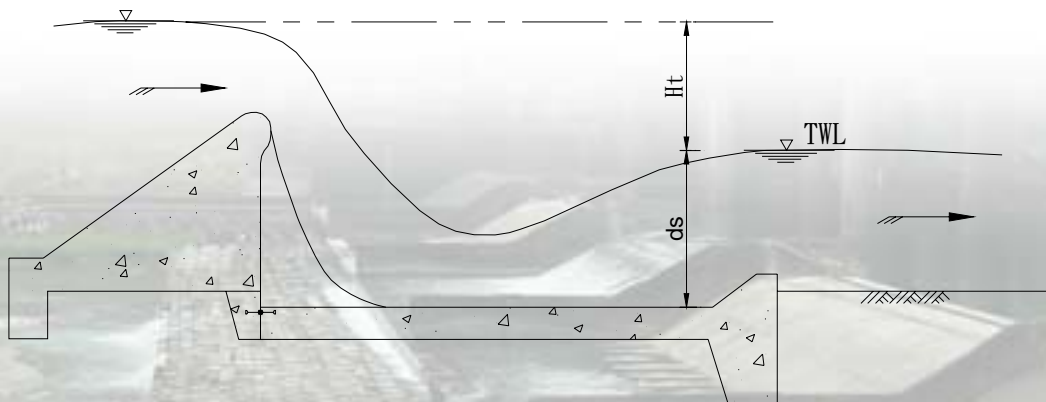


圖 4

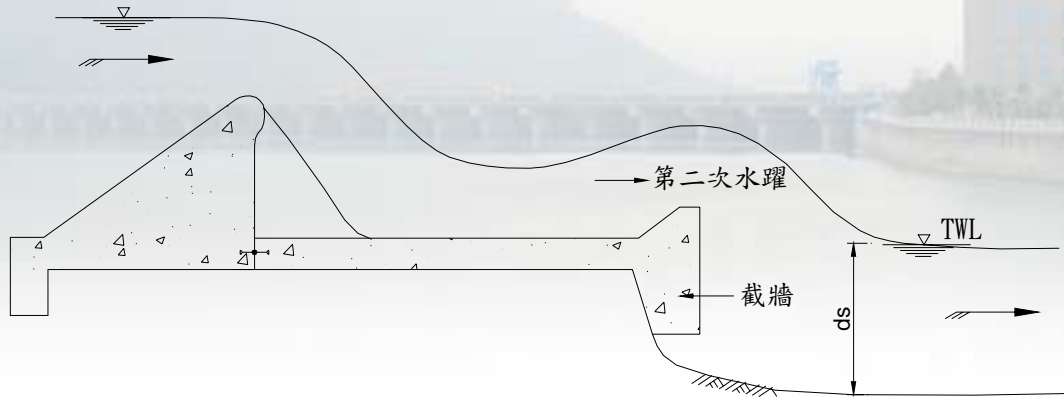


圖 5

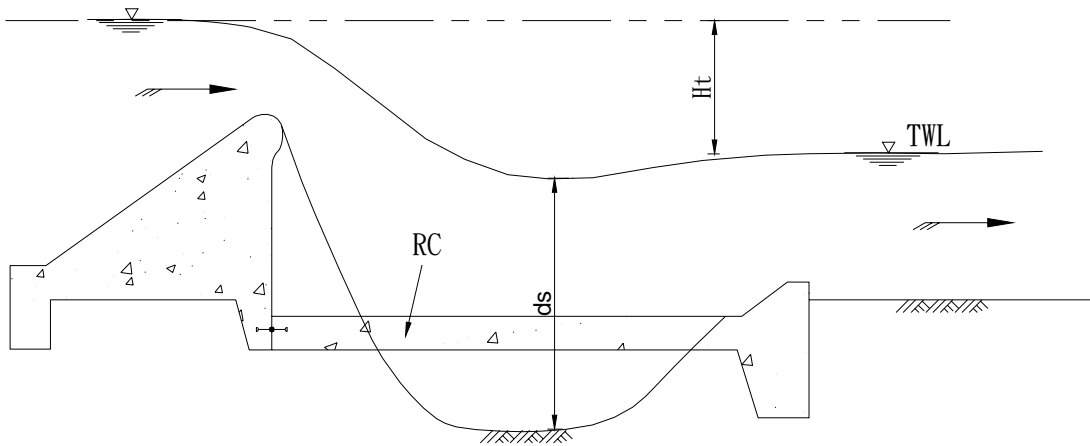
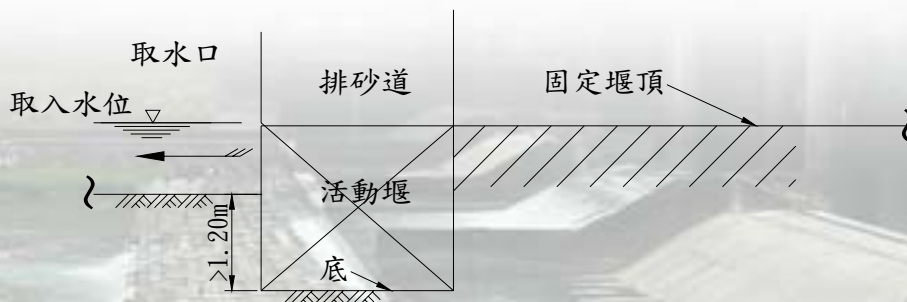


圖 6

五、減少淘刷的攔河堰設計

1. 以穩定河床、抬高水位、固定取水位為目的的攔河堰，堰體不必過高，減少攔砂壩的作用。建議以高出平均河床高 1m 以內為限，否則壩址稍移往上游水頭較高處。
2. 取水口前應佈設相當寬的排砂道如下圖所示。除了排除取水口前的淤砂，洪水期應經常開啟，輸砂至下游，補充殼層的泥砂。



3. 攔河堰址應選在相當寬的河幅上

水庫是把河川全部截留，改道為人工的溢洪道，為了壩體的經濟性，通常壩址都選在河寬窄的地方。但是攔河堰是原河道溢流， $Q=A \cdot V$ ， Q 一定時，通水面積 A 越小流速 V 越快， V 大沖刷就劇烈，所以峽谷處河床都刷很深。

河幅窄，單位寬流量 q 越大，由式①知淘刷深度越深。所以攔河堰建在河幅窄的河道上， q 超過 $40 \text{ CMS}/\text{m}$ 該堰就很難維護。

4. 設計階段預估下游河床可能降低之幅

六、仁義潭攔河堰案例解說

仁義潭攔河堰位於八掌溪台 3 線公路橋下游 100m 處，攔取八掌溪逕流水，輸送入仁義潭水庫。該堰於 1983 年完工，固定堰為垂直跌落式，堰長 125^m，堰頂略與河床同高，原設計 $Q_{200}=1,450 \text{ CMS}$ ， $q=1,450/125=11.6 \text{ CMS}/\text{m}$ ，尾水位 EL. 113.70^m，靜水池底 EL. 109^m，尾檻截牆深 6^m，見圖 7。靜水池及截牆如此深入河床下，當時認為已充分考量下游河床下降之淘刷安全。想不到營運沒有幾年，下游河床已由完工當時之 EL. 112^m 下降至 EL. 103^m 左右，為堰的安全於 1992 年增設二階消能池如圖 8。此後下游河床持續刷深，於 2005 年刷深至 EL. 88^m，完工時之 EL. 112^m，共刷深 24^m，

度，即由下游推估之堰之尾水位(TWL)應酌予降低，來設計靜水池的規模，使池底更深，池長更長。

5. 趾部截牆儘可能加深，防止淘刷影響基礎安全。

6. 堰上游之淤砂以人工運移至堰下游河床上補充殼層，石岡壩及集集堰已有試辦。

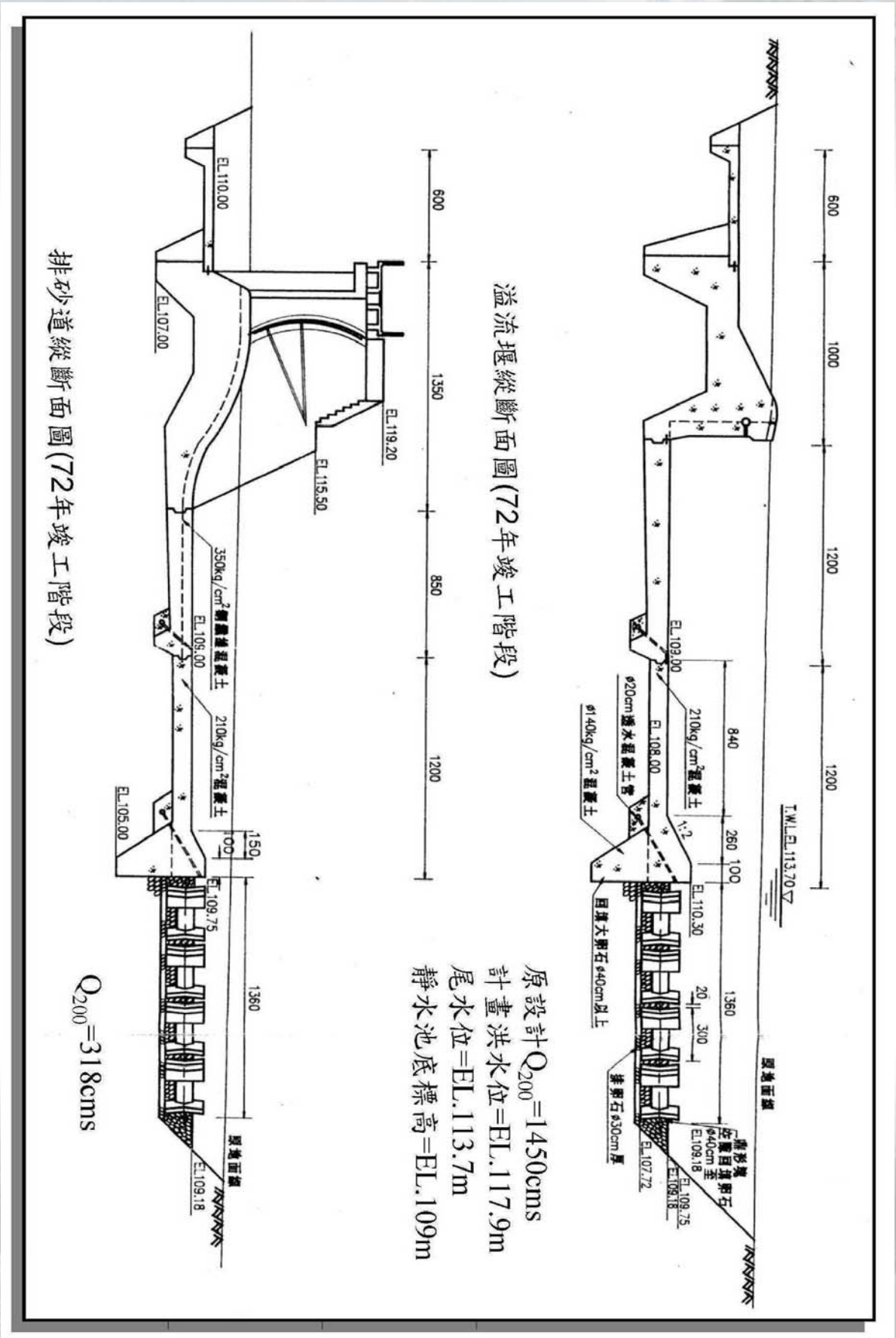
7. 如已淘刷，應速補救，譬如做二次消能設施或建副壩消能。

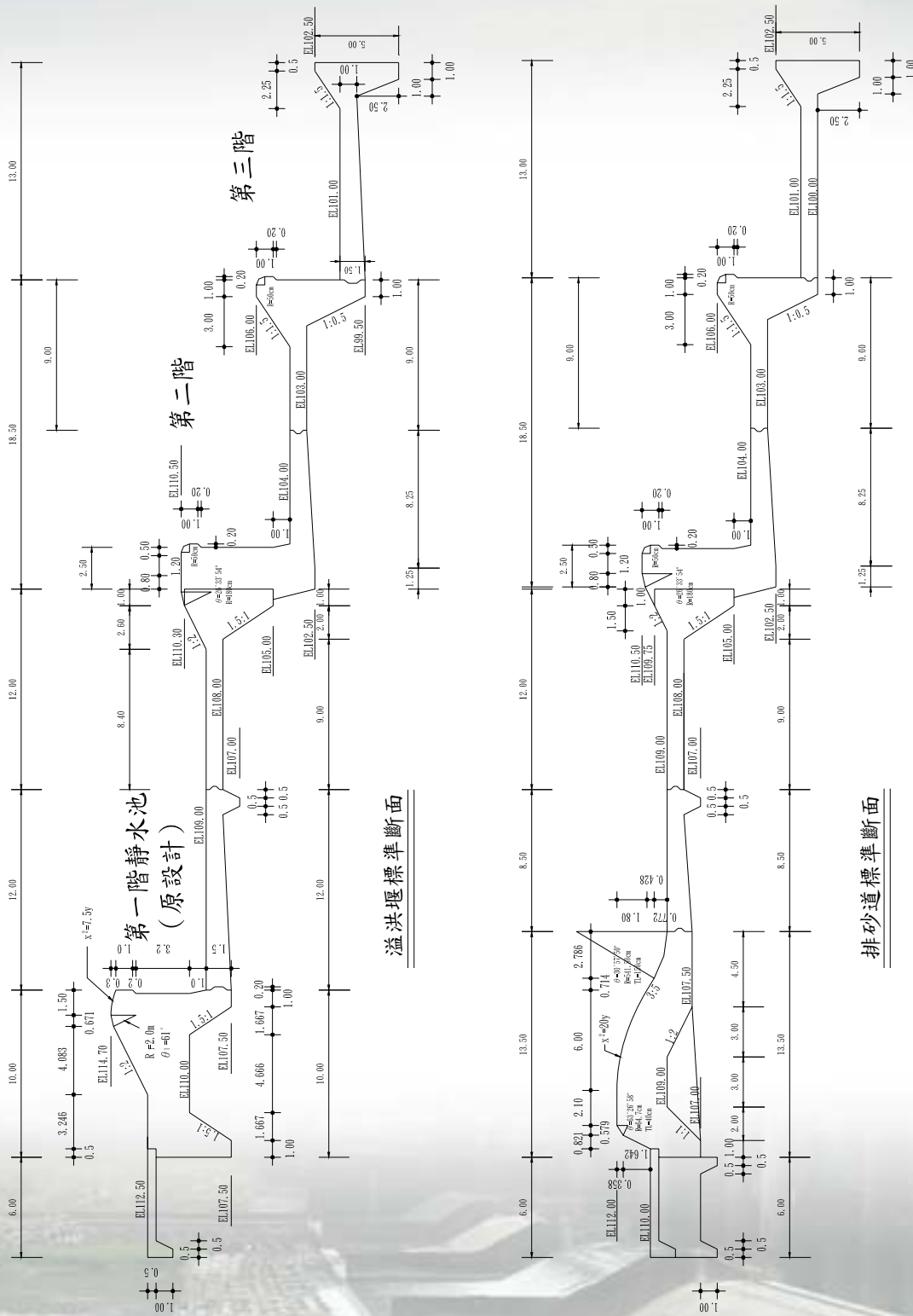
8. 下游河道設置一系列潛堰固定工，調緩河道縱坡減低流速，穩固河床。

下游深槽變成壯觀的大峽谷。

2005 年以實測流量推估 $Q_{200}=1,730 \text{ CMS}$ ， $q=13.84 \text{ CMS}/\text{m}$ 。改善工程目前施工中。

該堰下游嚴重淘刷的主要原因是，仁義潭築壩之殼層材料取自堰下游之八掌溪河床，該堰完成後下游河床之覆蓋層已很薄，下游也還有採砂石行為。堰完成後粗粒材被攔於堰上游，減少砂石輸送至下游，終至岩盤暴露， n 值降低流速增大，基岩為軟弱之泥岩，經不起高流速之沖刷，致成大峽谷，維護困難，興建當時始料不及。





溢堰標準斷面

排砂道標準斷面

圖 8

收稿：100 年 5 月 2 日
修改：100 年 5 月 4 日
接受：100 年 5 月 10 日