

工程致災原因分析
與
破壞模式檢討
並
研擬概念設計之復建方案

主講人：羅慶瑞 博士

2015.05.05.至2015.05.08.

台南市政府

世界重大水旱災

中歐 (2013年6月)

5月下旬連日暴雨造成易北河與多瑙河流域發生洪災，24人喪生，數萬人撤離家園。德國、匈牙利、捷克、奧地利及波蘭皆有災情傳出。



俄羅斯(2013年8月)

連日豪雨造成俄羅斯遠東與中國東北交界處發生洪災，導致阿穆爾河暴漲潰堤，造成1000人失蹤以及84萬人撤離家園。



中國(2013年1~5月)

中國西南及長江中下游旱象自2012年冬持續至2013年5月，總計受災4800萬人、經濟損失超過200億人民幣



日本(2013年7月)

伊豆大島遭逢薇帕颱風的侵襲，引發大規模土石流造成至少35人死亡與4人失蹤。



阿富汗&巴基斯坦(2013年8月)

阿富汗東部與巴基斯坦山區發生連日豪雨，造成山洪爆發，導致兩國共計超過160人喪生，66000人



印度(2013年6月)

強烈豪雨造成喜馬偕爾邦、北阿坎德邦及尼泊爾邊界發生大規模洪水及崩塌災害，此時適逢當地印度教朝聖，近7萬名朝聖者受困其，5700人喪生，撤離超過11萬人。



印尼(2013年1月)

雅加達地區連日大雨，導致西運河潰堤與吉利翁河水位暴漲，47喪生、疏散撤離超過4萬人。同時在蘇門答臘地區發生暴雨導致土石流，造成12人喪生、14人失蹤與5人受傷。



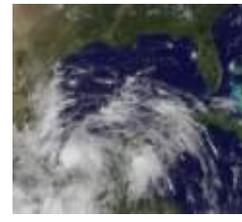
菲律賓(2013年11月)

強烈颱風海燕橫掃菲律賓東部及中部地區，已知至少造成3631喪生、12487受傷、1179失蹤以及187萬人流離失所。



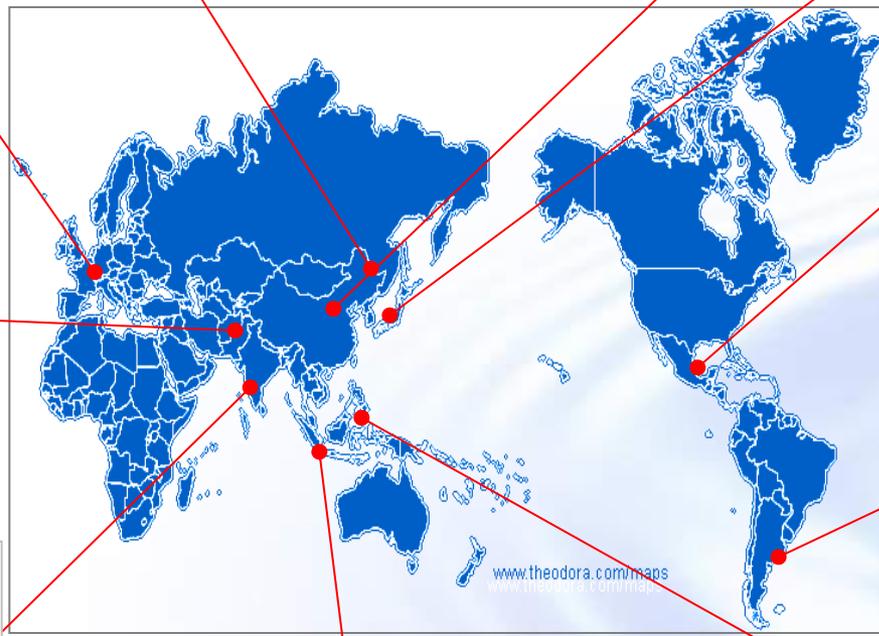
墨西哥(2013年9月)

9月中旬颶風英格麗與熱帶風暴曼紐爾同時從東北與西部兩側襲擊墨西哥，造成192人喪生，經濟損失57億美元。



阿根廷(2013年4月)

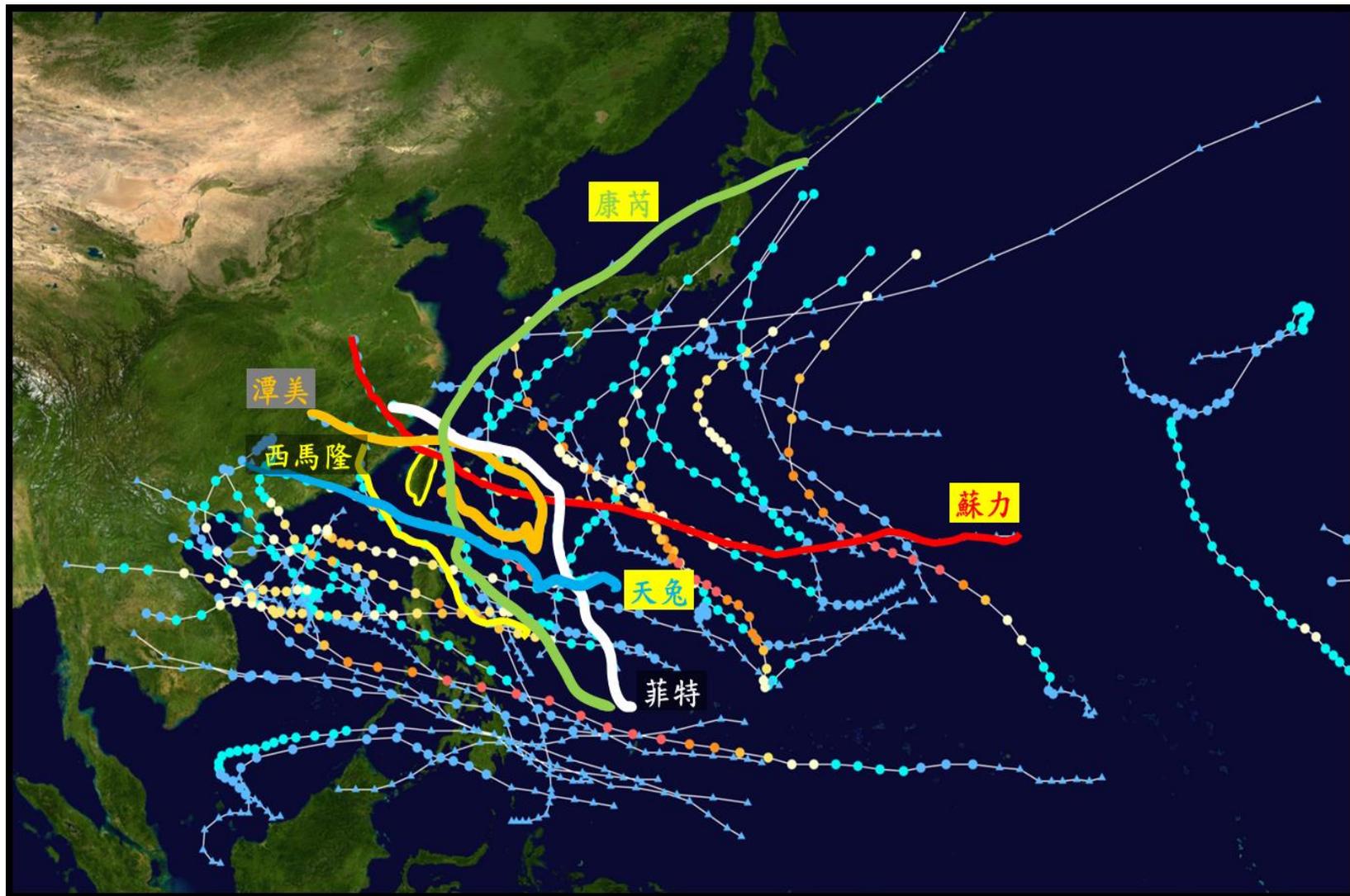
4月初布宜諾斯艾利斯地區在2小時內降下接近400毫米的暴雨，導致超過86人喪生，疏散逾35萬人。



【102年西北太平洋颱風】31個：破1996以來的紀錄

編號	颱風名稱(生成時間)	侵襲國家	編號	颱風名稱(生成時間)	侵襲國家
1	蘇納姆 SONAMU (0101)	菲律賓	17	桔梗 TORAJI (0831)	日本
2	珊珊 SHANSHAN (0218)	菲律賓	18	萬宜 MAN-YI (0911)	日本
3	雅吉 YAGI (0606)	日本	19	天兔 USAGI (0916)	臺灣(海陸)、中國
4	麗琵 LEEPI (0616)	菲律賓	20	帕布 PABUK (0919)	無
5	貝碧佳 BEBINCA (0619)	中國	21	蝴蝶 WUTIP (0925)	中國、泰國、越南
6	倫比亞 RUMBIA (0627)	菲律賓、中國	22	聖帕 SEPAT (0929)	日本
7	蘇力 SOULIK (0707)	臺灣(海陸)、中國	23	菲特 FITOW (0929)	臺灣(海陸)、中國
8	西馬隆 CIMARON (0715)	菲律賓、臺灣(海)、中國	24	丹娜絲 DANAS (1001)	日本
9	燕子 JEBI (0726)	菲律賓、越南	25	百合 NARI (1008)	菲律賓
10	山竹 MANGKHUT (0805)	菲律賓、越南	26	薇帕 WIPHA (1009)	日本
11	尤特 UTOR (0808)	菲律賓、中國	27	范斯高 FRANCISCO (1015)	日本
12	潭美 TRAMI (0816)	臺灣(海陸)、中國	28	利奇馬 LEKIMA (1019)	無
13	皮瓦 PEWA (0818)	無	29	柯羅莎 KROSA (1027)	菲律賓、中國
14	尤娜拉 UNALA (0819)	無	30	海燕 HAIYAN (1103)	菲律賓、柬埔寨、越南
15	康芮 KONG-REY (0825)	菲律賓、臺灣(海陸)、日本	31	楊柳 PODUL (1109)	菲律賓、柬埔寨、越南、泰國
16	玉兔 YUTU (0829)	無			

【102年西北太平洋颱風】台灣只能在夾縫中求生存



資料來源：

http://en.wikipedia.org/wiki/File:2013_Pacific_typhoon_season_summary.png

氣象異常

2008.9.14辛樂克颱風豪雨重創中部地區，造成后豐斷橋、豐丘山崩及廬山溫泉區飯店倒塌等災情。計有14人死亡，7人失蹤，農損約9億元。

颱風降雨變化

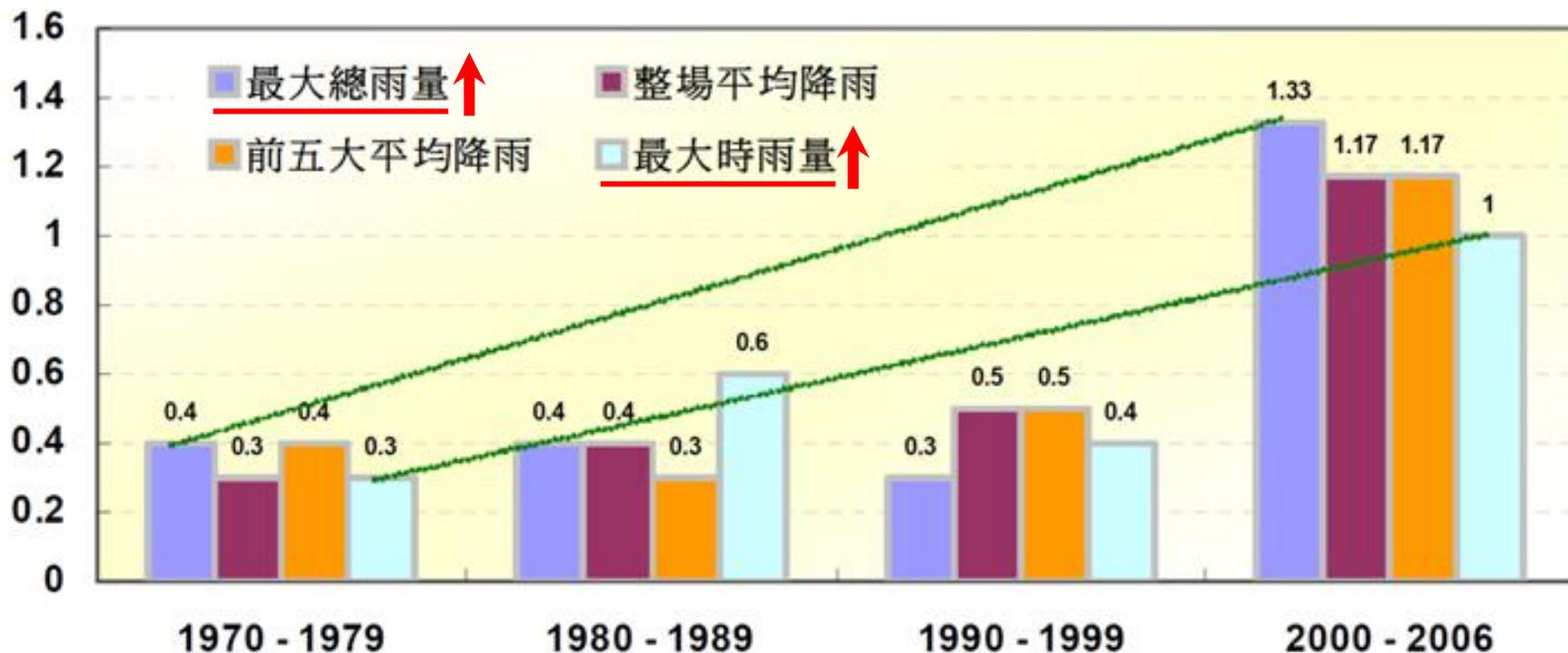
- 歷年颱風最大總降雨排序
 - 災害主因 → 颱風伴隨強烈降雨

排序	年份	颱風名稱	測站	最大總 雨量 (mm)	
1	2009	莫拉克	阿里山	2,855	
2	1996	賀伯	阿里山	1,987	
3	1987	琳恩	竹子湖	1,941	
4	4	2008	辛樂克	雪嶺	1,617
5	1978	炯拉	竹子湖	1,434	
6	2001	納莉	竹子湖	1,315	

- 氣候變遷造成的問題
 - 近50年熱浪頻率及持續天數↑
 - 中、南部、台東乾旱嚴重趨勢
 - 單日強降雨量↑
 - 2000年來平均7個/年颱風
 - 長期平均3.5個/年
 - 海平面平均上升2.51 mm/年
 - 全球的1.4倍
 - 西南部地層下陷7.89 mm/年
- 生態、環境與社會經濟問題
 - 糧食生產能力↓
 - 依靠進口糧食↑
 - 植物分佈界線向上遷徙
 - 西太平洋漁場移動 (聖嬰及反聖嬰)
 - 棲息地面積↓及向高海拔推移
 - 慢性病、傳染性疾病、食物中毒

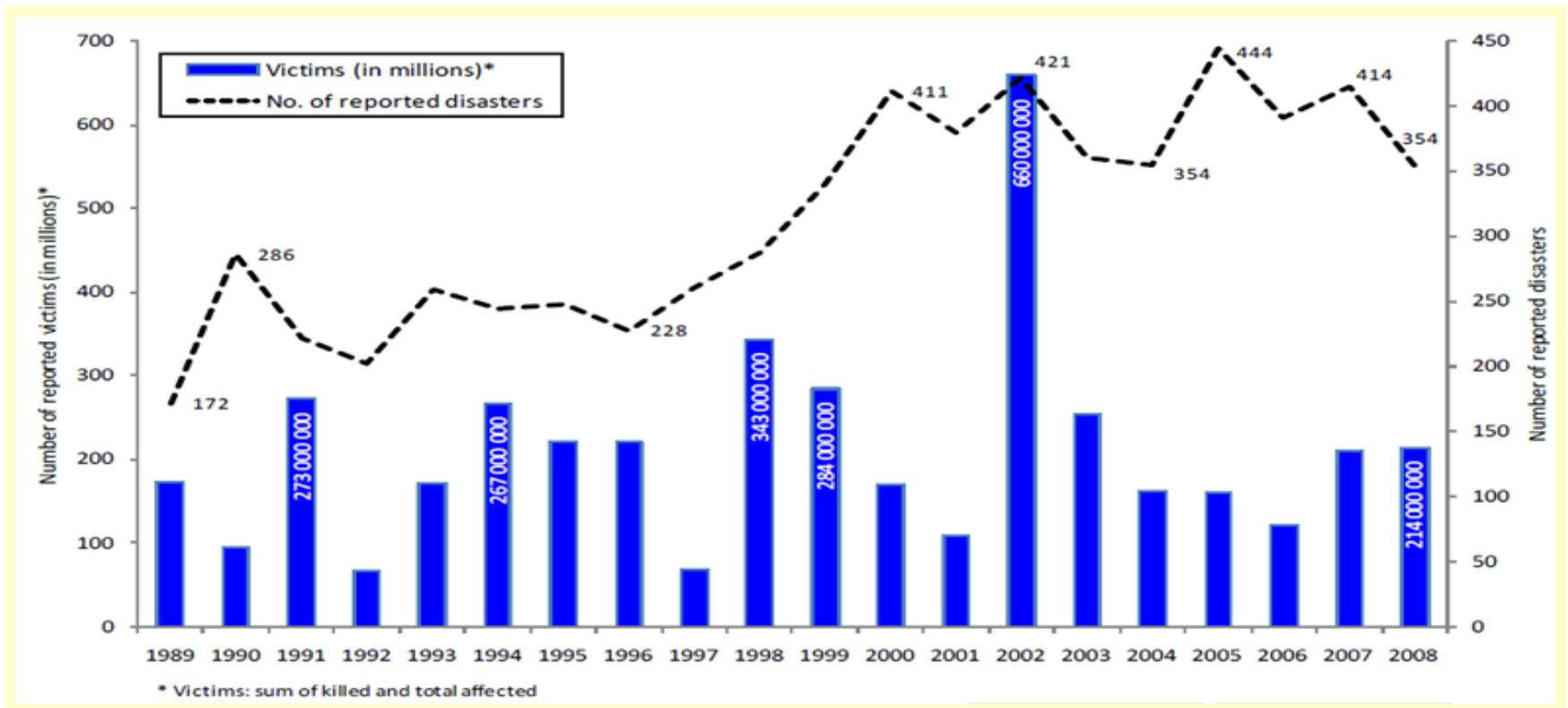
水文變化趨勢

- 氣候異常徵兆
 - 異常大雨 = 平均發生6次/年颱風 (90、92、93發生9次颱風)
 - 嚴重乾旱 = 91因春雨短少發生嚴重乾旱缺水現象，50年來最熱夏季
- 旱澇交替：愈來愈明顯，週期愈來愈短
- 台灣1970-2000年降雨統計趨勢分析圖



全球天然災害趨勢

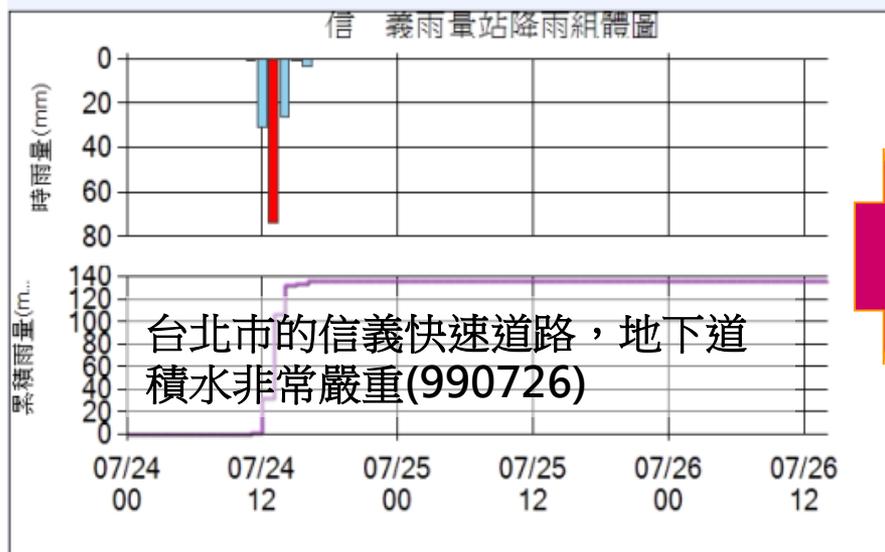
- 經濟成長、媒體發達 → 被報導天然災害次數逐年 ↑
- 影響人數、經濟損失 → 逐年 ↑
- 經濟成長、社會進步 → 傷亡人數逐年 ↓
- 天然災害事件與傷亡人數變化趨勢



雨量 = 警訊

雨量與淹水的相關性如何？

- 每一場降雨的時間分配(例如400毫米雨量多少時間下完)及空間分布(山上下雨、平地不下、雨量大小不一)均不同，故對同一區域(縣市或鄉鎮市區)會不會造成淹水或淹水深淺亦有所不同。
- 同一場雨，降在不同地點(地形、地物及水利設施不同)，會不會造成淹水或淹水深淺亦有所不同。
- 同一場雨，降在相同地點，其雨量的大小即反應淹水的深淺及影響程度。
- 造成淹水除雨量大小外，還有其他因素。(例如捷運排水箱涵臨時擋水牆施工不良河水倒灌、抽水站或水門管理操作不當)
- 但對災害預警而言，雨量就是一種警訊！
- 某鄉(鎮市區)降多少雨？才會淹水呢？(雨量警戒值淹水預警系統)

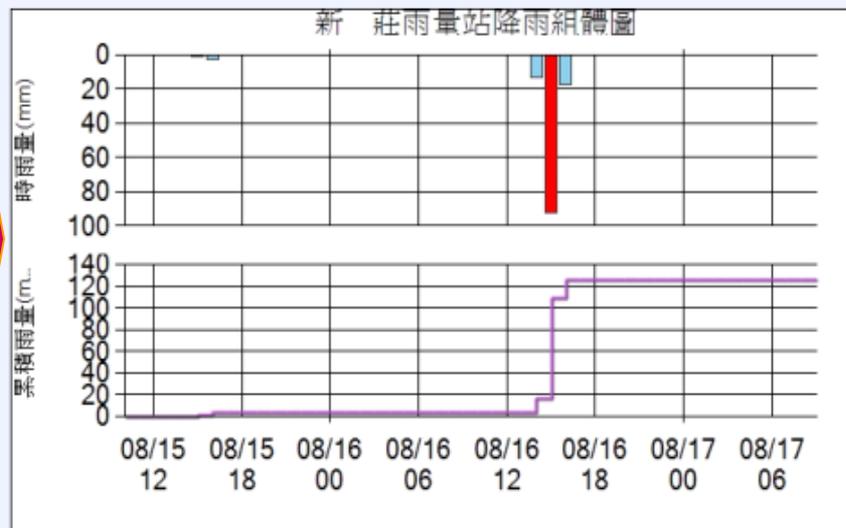


午後雷陣雨 新莊板橋積水



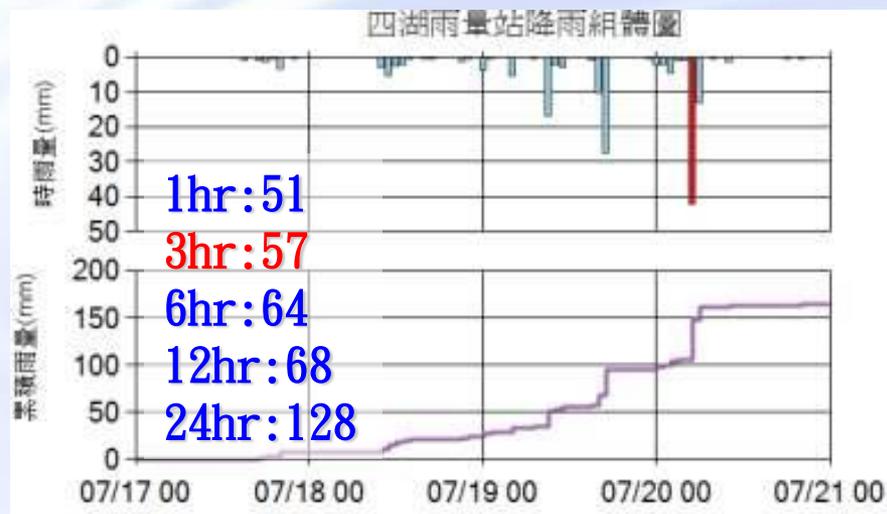
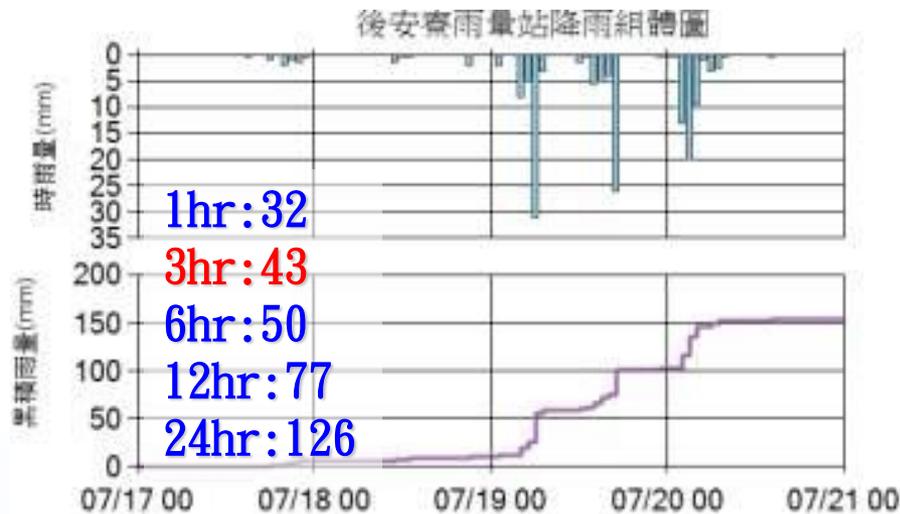
更新日期: 2010/08/16 16:05

午後突然下起大雷雨，短時間內排水不及，台北縣多處都出現積水狀況，根據台北縣消防局最新統計，目前積水最多的地方是在新莊，包括新莊芎林路靠近新樹路附近，已經積水到膝蓋；還有中港路和幸福路口，積水也約三十公分左右，另外還有新莊中正路附近也同樣是淹水的狀況；而在板橋也有兩處積水，其中積水比較嚴重的是在四汴頭



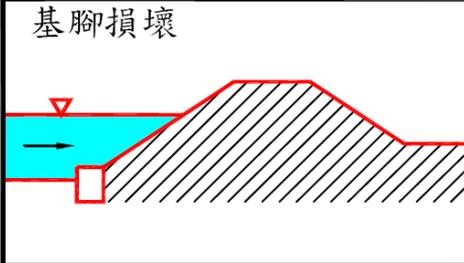
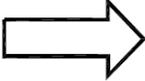
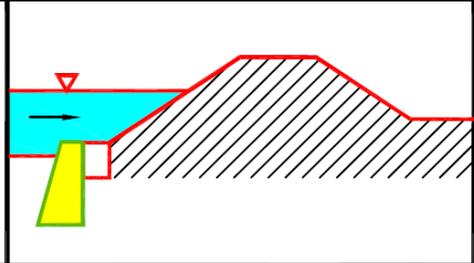
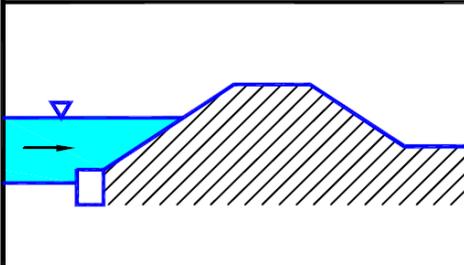
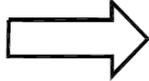
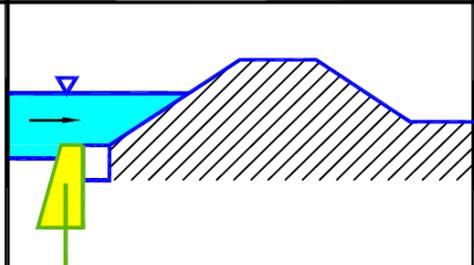
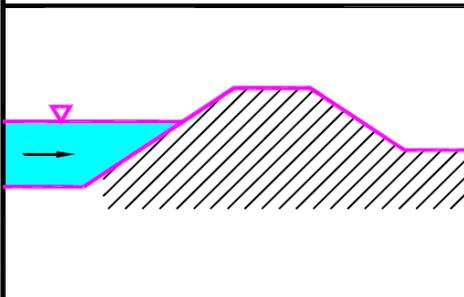
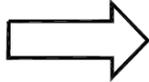
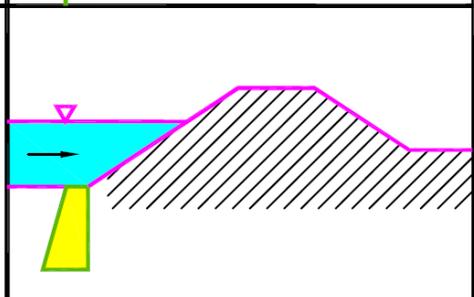
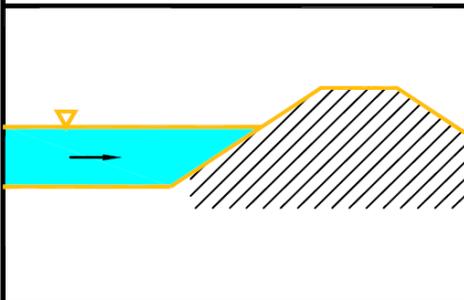
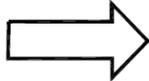
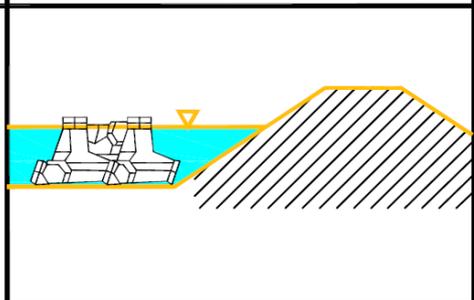


海棠颱風西南氣流帶來豪雨
 加上滿潮雲林縣台西鄉崙豐
 低窪地再淹水成災。



排除外水因素

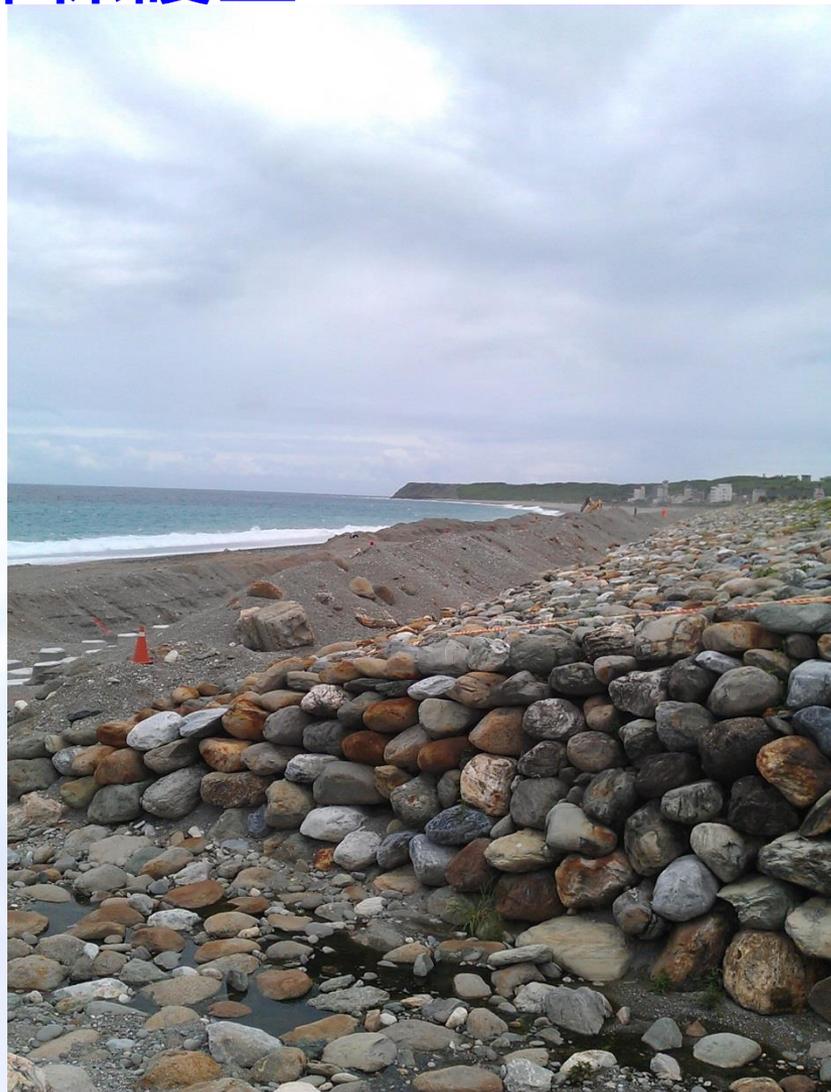
加強、加設基礎保護工，抵禦水流沖擊

現況	改善對策	補強後之斷面
<p>基腳損壞</p> 	<p>改善現有基礎保護工</p> 	
	<p>加設鋼板樁</p> 	
	<p>加設基礎保護工</p> 	
	<p>堆置防汛塊</p> 	

花蓮七星潭保護工



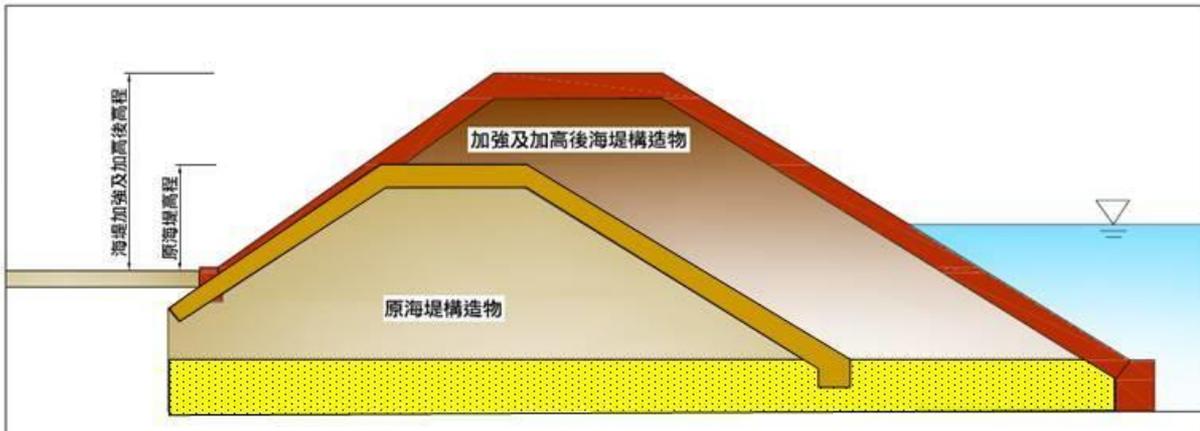
預防基礎淘刷，鋼柵基礎前
再放置混凝土塊保護工



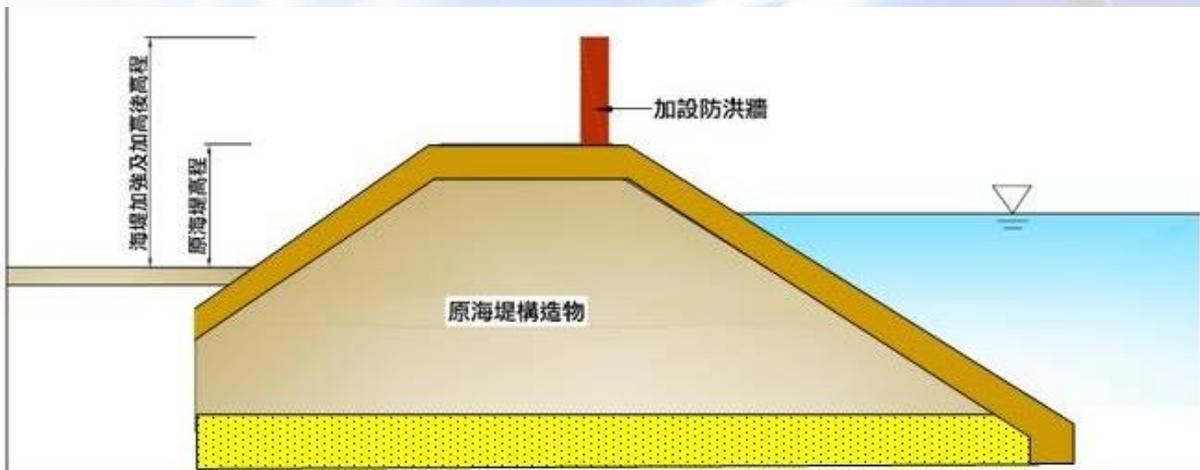
堤防防護高度不足

針對堤防下陷，而本身結構未損壞

堤身加高及加強



增設防洪牆



濁水溪下游潰堤



南投
新聞

濁水溪暴漲 下游南岸潰堤崩塌

破壞類型5.堤身滲水及管湧

廣興堤防



堤後坡面滲水

廣興堤防



堤後坡面滲水

廣興堤防



堤後坡面滲水

破壞類型6.基腳沖刷及淘空破壞

鼻子頭堤防



河川流路逼近堤防

尾塹二號堤防(1)



河川流路逼近堤防

廣興堤防



河川流路逼近堤防

破壞類型6. 沖刷、淘空破壞

破壞原因



番子寮海堤

因堤岸經長期沖刷
潮間帶或高灘致灘地流失
直接沖刷基腳，造成淘空



高美一號海堤

破壞類型3. 共構衍生之問題



番子寮海堤



南埔海堤

破壞原因

因**共構承載條件不一**，導致混凝土堤岸共構部分**產生不同的沉陷現象**以致發生**撕裂狀況**

破壞類型3.共構衍生之問題



現地照片比較



今昔照片比較植生已大致清除，排水順暢無堵塞疑慮



今昔照片比較植生已大致清除，排水順暢無堵塞疑慮

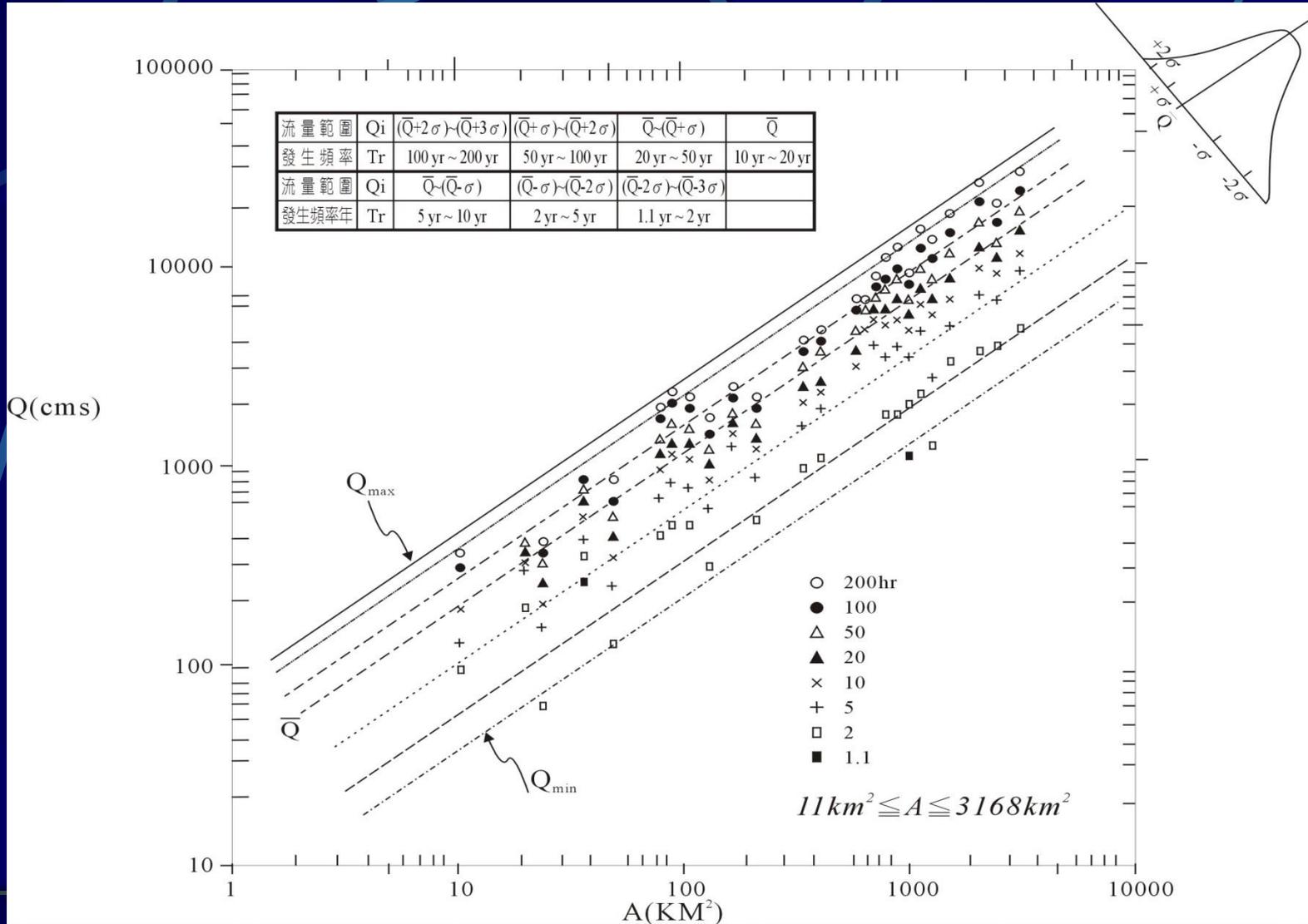
現況描述



排水路上少許植生生長，不影響排水

排水路上少許植生生長，不影響排水

中大型流域的洪水量



小型流域洪水量分析：合理化公式

- 合理化公式要討論的問題：逕流係數, C , 與降雨強度, I .
- C 與 I 是相互獨立的特性嗎？
- 逕流係數是否會影響頻率洪水量及滯洪池設計量的大小嗎？

那是大大有關係的

- 當降雨延時很短促時,降雨強度就很大,基本上雨水都來不及入滲而快速向下游地區排入,其地表逕流量就大;反之若降雨延時長的話,降雨量會變大,但是強度變小,雨水有比較足夠的時間來滲入土壤中,地表逕流量就變少了。
- 事實上這兩者是有相關的,這就是為什麼用合理化公式推估洪水量時常會出現"高估"的原因。

有甚麼公式可以修正嗎？

- $C=1-(5.65/R_{24}^{1/2})$

- 式中 $R_{24}^{1/2}$ 就是24小時的降雨量(也就是降雨強度)。可看出"當降雨強度大時,逕流係數就大;反之,就變小",這有正相關的存在,這就有加成的效益,這就是為什麼會超估的原因。

- 逕流係數會影響頻率洪水量的大小,甚或也會影響滯洪池的設計。

如何計算出滯洪池的長與寬？

當降雨強度與逕流係數都求得之後就可以計算出滯(蓄)洪水量之量體.在給定了計畫深度後其設計面積就可求得,然而其設計之形狀,也就是長度與寬度要如何決定呢?

記得以前的規範有談到沉砂顆粒的粒徑相對應的沉降速度,就可以在選定的深度下計算出沉降時間,這個時間乘上入水流之流速,就可以得到滯洪沉砂池的最小長度,當然寬度就可以求得。

每個個別渠道都O.K.就真的O.K.嗎?

- 只用曼寧公式來分析每段排水的單一斷面是對的嗎?
- 水土保持計畫中對排水系統的分析並沒有“水理演算”的系統觀念---上水量與下水位的雙掃(double sweep method)演算推定。當上游是超臨界流而匯入下游是亞臨界流時,水躍發生了,單一斷面分析的出水高真的就夠嗎?當跌水發生時,因跌水高度而致的拋物線泄下後,下游的陰井位置又將如何決定呢?

USLE公式隱含那些問題?

- $A_m = R_m K_m L S C P$
- 在這個公式中 R_m 與 K_m 已有足夠的資訊提供使用,是比較少有讓人質疑的兩項因子,但是其他四項就有極大的討論空間。
- L 是坡長係數,式中的坡長 l 是否有限制呢?又 S 是坡度係數,式中的角度 θ 是否有限制呢?
- C 與 P 的所謂水保因子與維護管理因子就以一個數字再加上"以上"這麼不科學

解決之道

- 1954年普渡大學成立國家水土流失資料中心,由Wishmeier主持共蒐集了7000個試區與500個集水區之降雨與土壤流失等資料,經過統計分析後才於1978年發表了USLE公式,既然是統計值就必定有其上下限之限制,該公式之適用範圍是坡長小於130公尺,坡度在3至18%間。再說到水土保持計畫的專任技師常會強調“植生”是其特有的專業,姑且問之,“植生”的目的為何?相信“減速與減少土砂的沖蝕量”就是主要目的,去分析這些效益,再將之取代 C 與 P ,那才是王道之所在。

如何控制開發區排洪不增加聯外排水之容洪能力?

- 比流量(單位集水面積的流量)是控因.
- 開發區的比流量大於聯外排水系統的結果,這個時候可能就要回過頭去重新檢討排水溝斷面與滯洪沉砂池的設計,這真是“牽一髮而動全身”,不得不慎啊!

河床質與曼寧係數

- 河床值的粗細與選定之個體工法或連體工法有任何關係嗎？

解說

- 首先要看所謂的河床質是屬於護甲層的顆粒抑或是護甲層以不見而是漲縮明顯之軟岩而定。
- 若是護甲層存在，則粗顆粒的河床質可以使用連體工法，一方面是河床質磨擦力大且透水性強，連體工法可應用其與河床極大之摩擦面積來抵抗水流之沖刷作用；細顆粒者宜用個體工法。

解說（續）

- 但若是在**軟岩區**，不論是在河床面上之個體或連體之工法均不適宜，這時應該是在水深方向運用地工之工法，並配合調整渠床之凹凸情況，以達到增加通水寬度與穩定河槽之功能。

保護工以混凝土加封

- 護坦工或護床工要如何去考量它的設計機制呢？把河床用混凝土加封可以嗎？
- 有甚麼理論根據來評斷呢？

解說

- 先要記得如何維持水流在自然流況之條件，接這在看看河床質的粗細。
- 因為 $du/dx < 0$ ， $dp/dx > 0$ ，這是自然狀況，因此不要違背這個法則。
- 粗河床質可用連體工法，但是細河床質則必須應用個體工法，但在個體工法之上游必須有截水牆之施設，以防止細顆粒之因管湧而被吸離。此外，個體工法間繫之填縫料也必須防止高流速之吸離現象。

設計時要考慮風險嗎？

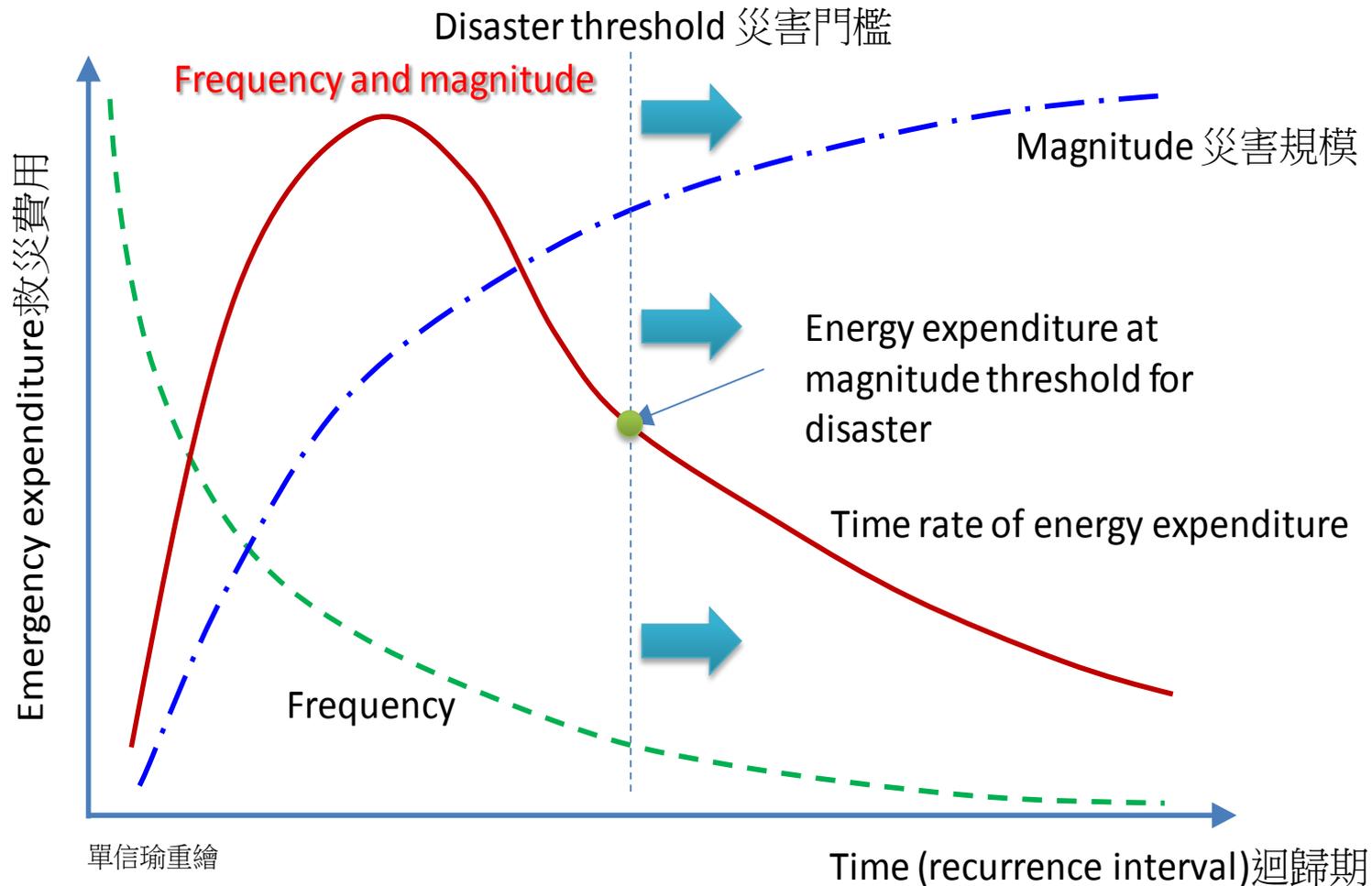
- **風險** 是否需要被考慮呢？是否將設計規模提高就不具有風險呢（也就是零風險）？如何決定維修好還是新建好？

解說

- 當然與所謂的設計規模與計畫維修年限長度有關，因為年計建設成本與年計維修費用是必須依據風顯高低之程度來計算並將之實實在在的反映出來。若在選定之維護期限所計算出之年計建設成本與年計維修費用之和比新建費用來得大時，那就要考慮新建來得有效些。

因應氣候變遷之考量

二、風險成本分析與風險之降低



固床工是甚麼？

- 保護工之中常有所謂的“固床工”之設計，請問它設計的理念？依據？空間位置？佈設方式？有哪些應注意之事項需要了解？

解說

- “群”的觀念必須先確立，這和丁壩是同一理念。
- 先找到最下游一處固床工的位置，以之為控制而向上佈設，這與丁壩之佈設剛好相反。
- 先找出河槽之代表粒徑，再由來流條件選定一個河床控制高程，就可進行個別固床工之定位。

多變的環境與探研

- 1. 時空交錯的環境：

3度空間與1度時間。

- 2. 永遠的動態與短暫的靜態：

有初始條件與邊界條件之限制。

- 3. 敏感性強與不確定性高的研究：

有參數的排序與既成結果之存在。

當前水域治理的重要課題

- 水, 土, 林.
- 減災, 避災與防災.
- 河口感潮.
- 河橋路共治

自然界量體方面的問題

- 河川洪災與跨河建設之沖刷破壞
- 河口感潮與跨河建設之腐蝕破壞
- 水土資源之開發利用與環境維護
- 區域排水之整體治理成效
- 土石流災害與衍生之問題

幾個應注意事項—環境與量體

- 一、重新檢討水文量之分析：集水區地表之改變（或聖嬰現象）。
- 二、海潮分析，河海交感作用之考量。
- 三、雨水資源之蒐集與利用方法研析。
- 四、排水區域整治功效之檢討與把關。
- 五、水土交感作用與植被能力分析及建立區域滯洪池觀念，淹水區分級資料。

水流動之特性

● 水流發生流動之原因：

1. 地形的關係：高程與河床坡度
2. 水文的平衡：入出流之差即容積變化率
3. 河床質組成之變化：磨擦力之來源
4. 動能與位能之交替：泥沙啟動與河床變化之主要原因

水流與環境之互動

- 水與泥砂：沖刷、搬運與堆積。
- 水與地形：加深（刷深）、加寬（側向侵蝕）、加長（向源侵蝕）。
- 水與河川斷面：V型、U型與拋物線型。
- 水與跨河構造物：總沖刷深度＝一般沖刷深度（大流量條件、無構造物之全斷面情況下）＋局部沖刷（中小流量條件、刷深極為嚴重之局部跨徑間）

洪水來去與泥砂沖淤

- 在非感潮段：位能增大與動能增大之方向，“風生水起牀底動，大水退去岸壁崩；洪峰到時無所知，洪水退去已無蹤。”要知道河床最大之刷深，也只有開挖確定之。
- 在感潮段：潮水上朔頂流速，泥沙淤積沉床底；潮水退去奔大海，河床刷深始加劇。退潮時潮水之流向與河水同向，速度水頭加大，使得下刷能量更大，這將是感潮段橋梁會斷橋之主因。

底床之變化：一般沖刷

- 一般沖刷(general scour):係指不論有無水中結構物之設置，水流對河床沖刷所造成河段之高程下降的情形。洪水沖刷下，所形成的河床下降之沖刷型態包括：河川砂石的開採、水流之聚合與河道淨寬度的逐漸窄縮、辮狀河道中之深槽移動、及底床型式之遷移。

底床變化：局部沖刷

- 局部沖刷(local scour):是指由於水中結構物的存在對水流產生局部阻礙或干擾的現象，周邊形成強烈下降流、馬蹄型渦流、迴流區、尾跡渦流、及局部沖刷坑的現象。

底床沖刷：局部沖刷(續)

當基座保護工完工後乃形成一近似阻牆的作用，雖在上游側可發揮淤積砂石的功用；然而，在下游側卻由於保護工最頂面與原河床面間存在相當的落差，因而再促使水流加速沖擊河床引致跌水或水躍沖刷、形成沖刷坑的現象，將促使河床坡度大幅改變，進而向源侵蝕導致保護工的破壞及基座的再次裸露。

沖刷與環境變化

- 向源侵蝕(head cutting or head-ward erosion): 係專指河床受水流的侵蝕作用為由下游往上游方向發展之謂。根據吾人於現場多年的觀察顯示，向源侵蝕並非大多是在水流沖刷下直接形成的結果，相反的，它是在某些外在條件下才會伴隨著發生，例如河床坡降已大於泥砂之安息角等情況即是

沖刷與環境變化（續）

- **側向侵蝕**(lateral erosion):是指水流朝岸側方向侵蝕的情形之謂。側(橫)向侵蝕的情形，其最顯著之特徵為主河道深槽區變寬、或**主河道兩岸高灘地因沖蝕崩塌而流失的現象**。不可否認的是，深槽效應，除了造成主河道河床高程的下降外，亦常因**深槽坑之順水流方向的坑壁於浸水或洪水沖蝕後，即行崩塌流走**。

沖刷與保護工受損原因

長期之一般沖刷 為其相當長之時間尺
度、或通常歷經數年之沖刷下所致者，
與高流速的自然侵蝕、河川砂石開採、
保護工之不當設置、截彎取直導致河床
坡度的增加、河川取水工或堰埧之設立
造成輸砂來源的減少、河川地墾植或動
物之放牧豢養、郊野都市化後之逕流增
加、……等因素息息相關。一般沖刷所
形成之河床下降過程，在梅雨颱風期間，
也會伴隨著側向侵蝕(lateral erosion)
的現象。

沖刷與保護工受損原因（續）

- 跌水或水躍沖刷(scour caused by free over-fall or hydraulic Jump)：在目前跨河構造物上下游之河床已刷深、而基處已裸露的情況下，管理單位為不使橫向構造物基裸露或降低裸露的程度，遂常將基址處所**施作之基座保護工頂面提高至相當的程度**，造成相對高差之形成，也增大了位能轉變成動能之潛勢。

沖刷與保護工受損原因（續）

跌水或水躍沖刷除可能引致向源侵蝕外，尚會造成下游河床局部刷深（形成沖刷坑）、保護工或消能工之受損沈陷或流失、沖刷坑或深槽往下游方向延伸（尤其是在鬆軟的地層上最為明顯）、河床質與保護工或攔砂堰壩（含消能工）之填縫料的也會因此而流失。

沖刷與保護工受損原因（續）

由於保護工一般係凸出河床面，遂形成了近似阻牆而迫使水流更易逼近已施作保護工及未施作護坡工之高灘地交界處，進而導致高灘地基部受洪流側向沖蝕崩塌而流失的情形。

沖刷與保護工受損原因（續）

隨著洪流的持續沖刷，侵蝕崩塌而流失的範圍可能愈為擴大，甚者導致大量的洪水經由崩塌流失地繞流通過，形成類似保護工未合攏之束縮效應，除了造成所施作之保護工破壞、基礎再次裸露外，亦進而引致上下游深槽區的遷移。

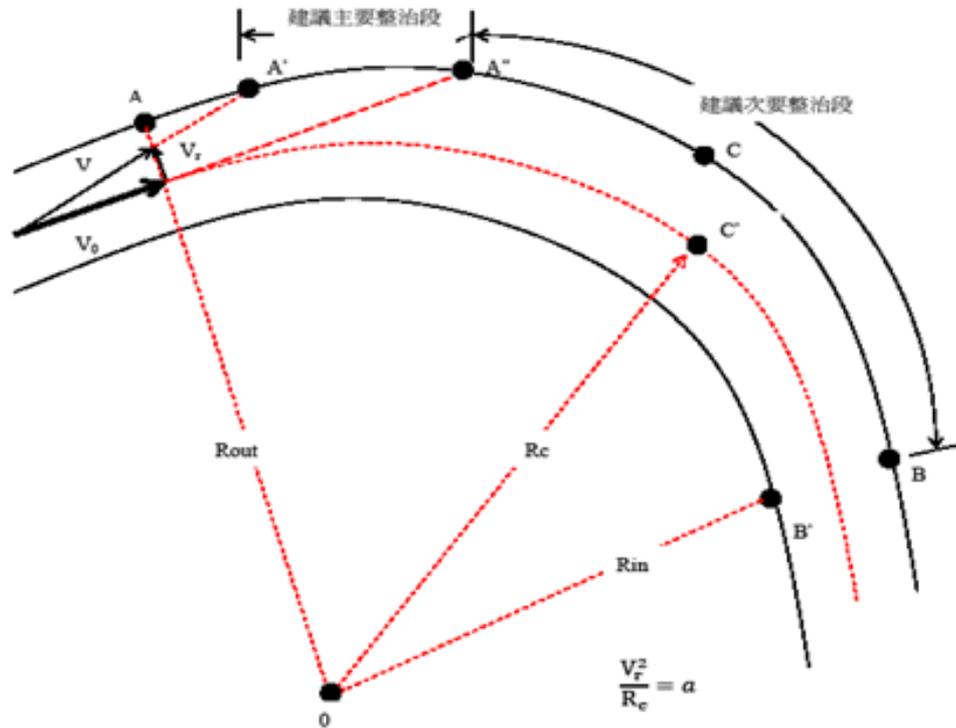
沖刷與保護工受損原因（續）

一般於下游所興建保護工(或固床工)，大多是用以抵抗順流向水流之沖刷或促使砂石淤積於施作地帶之上游面，因此大多並無設計用以抵抗側向沖刷的防護工。

河槽彎道凹岸與保護工之破壞

- 位於河川彎道處或挑水效應：天然河道的形成，其實是反應出對於存在水流運動與泥砂運移的環境條件下之一種精細適應的過程，換言之，沖積河流通常經由其特徵之自我調整機制(self-regulatory mechanism)來因應環境的變化。

彎曲河道



彎曲河段四岸整治示意圖

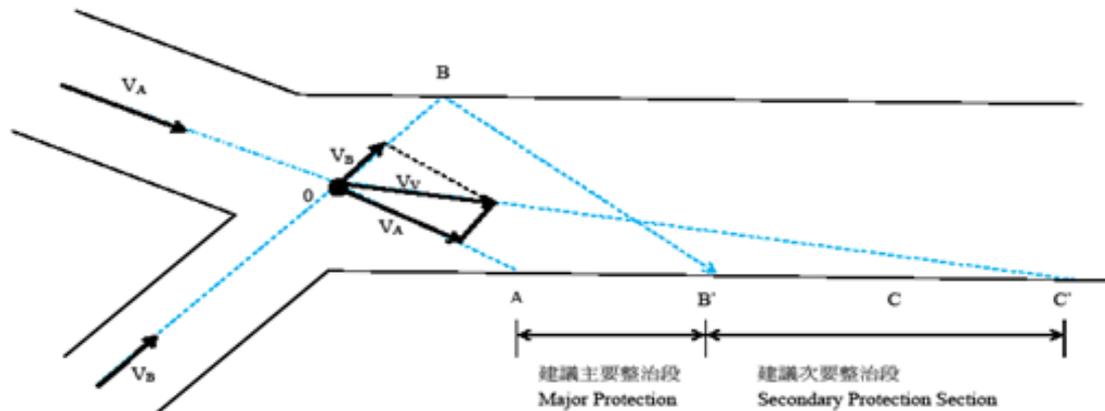
彎道環流作用與保護工之破壞

環流對凹岸施加一個向下的作用力，將泥砂由凹岸推向凸岸。於自然蜿蜒河道中的凹岸與凸岸附近分別會造成河岸侵蝕與邊灘(point bar)淤積的現象，這也意謂著當保護工恰位在一彎道時，凹岸處之河岸逐漸被水流(沿側向)侵蝕而造成基處裸露、甚至被沖毀的情事。

匯流造成保護工受損之原因

- 河道匯流(flow confluence):係指於河流的支流與支流交會處、或於支流與本(幹)流會合處所形成之水流匯聚現象，由於每一分支流於洪峰時均有其貢獻的流量，此乃是河道匯流後流量增加的原因。

匯流河道



匯流河道整治示意圖

匯流造成保護工受損之原因（續）

匯流後之河道兩岸側已受制約(如已設置堤防)、或河道已深槽化的情形來說，常導致水位的抬升、或流速的變大而益增沖刷的潛能，因而可能形成一般沖刷或向源侵蝕之河床下降、或側向侵蝕之岸側灘地的崩塌流失；而於匯流處更易造成附近構造物周圍之局部沖刷的加劇。

基礎深度不足對保護工受損影響

- 保護工基礎貫入深度相對不足：就早期國內保護工之興建時空背景而言，當時無論是處在沖淤平衡段或是淤積段之主河道，河床高程較高，相較於目前河床已然大幅下降的情形，可謂不可同日而語。即在當時利用較淺之基礎設計，於目前多數河段之河床高程已大幅下降的事實下，今日觀之更凸顯出基礎工之穩定性有不足之慮、嚴重者尚須進行基礎保護措施。

相互因果與動態平衡

這些變化將改變河川之近似自然平衡狀態(quasi-equilibrium state)，而後在重新建立平衡的過程中，河川會改變其本身的坡降、粗糙度、底床質粒徑、橫斷面形狀或彎道(蜿蜒)型式等因素，以適應新的條件。在現存之約束條件下，經由一種或多種因素的調整，使河川保持其輸砂能力與上游的泥砂供給之間的平衡。

相互因果與動態平衡(續)

- 以上之成因雖可分述之，為其在水土交感作用之環境中常互為因果，且常重疊發生，因此，在治理上需分析其主要成因，始能對症下藥，分療程治療之，以收長遠之成效。

保護之機制

● 先機之掌握（續）：

- 一、水道治理計畫資料之取得與了解：一般沖刷之大小、河床質、曼寧係數與計畫或最低河床高。
- 二、歷年河床沖刷深度與叫大值之位置與原設計深度資料之解析與安定分析。

保護之機制之分析與要領

- 先機之掌握：

- 一、主深槽河道之所在：是中小規模流量之必經之路，也是破壞潛勢最大之處。

- 二、單寬流量之分析：重現期是2年、5年、10年等之流速與局部沖刷之大小。

保護之機制之分析與要領（續）

- 單寬流量之物理意義：

“ $Q/B=hxv$ ”，在式中可見到動能與位能水頭之加乘作用。在洪水來襲時，水位上升，但因水流匯集在身槽中，其寬度受限下，流速也在加大，沖刷之深度因而快速加深。流速 V 代表沖刷的機制，水位 h 反映出水流向下傳時具有之壓力條件。

保護之機制之分析與要領（續）

● 先機之掌握：

三. 水流的重點是質量流通率 “ $dm/dt = \rho \times Q = \rho \times A \times v$ ” 與動量通率 “ $dmv/dt = aC_d \rho \times A \times v * 2$ ”，而非一般之固體力學的條件，因為在流體學中，流速一定是最為重要之決定要素。

保護之機制之分析與要領（續）

● 設計之要領（一）：

- 一、位於彎曲河道之下游時，應注意上游水流切線方向之延伸所達位置，以概定保護之範圍。
- 二、保護工（護床工）在側向施作上、應注意工程之收邊與植入兩側之高灘地。

保護之機制之分析與要領（續）

● 設計之要領（二）：

三、保護工（固床工）在縱向施作上、應注意工程末端之收邊與植入河床內，以免造成向源侵蝕，使保護工失效與加劇河槽之沖刷。

四、丁壩工之設計必須注意佈設位置之河寬寬度與設計群之由上游到下游的規模尺度。

保護之機制之分析與要領（續）

● 設計之要領（三）：

五、固床工亦須以“群”的方式來思維，尤其須先計算出河床之臨界動態平衡坡度，以此坡度向下游延伸至河床交界處，以此作為固床工之控制所在，由下向上逐步施設之。

固床工注意事項

- 設置目的：造成淤田，減緩坡降。
- 設置位置：先計算出動床平衡坡降，以便找出最下游端之設置位置。
- 注意事項：固床工高度不宜太大，以免造成下游跌水沖刷。更不要造成束縮沖刷。

丁壩工注意事項

- 設置目的：先減水速，再挑水流。
- 設置位置：上游段丁壩工之規模不可過大，以免造成太大水流之壅高而致使以後之各丁壩失效。
- 注意事項：規模自上游向下游以由小變大而後穩定發展為宜。

結語

- 自然界原有其存在之道理，一如人有生存之道理相同。明白其根性自得其相處之道。
- 環境條件的變化常與水環境有互為因果之道理，人為之改變不宜過大。
- 明白“水的動性”與“土之靜性”，順行而治之乃治理工法之最上乘。
- “防水刷基，群以治之；上挑下固，減速回淤。”

感謝與指教

- 感謝各位之參與與聆聽

- 請各位多多發言指教

- Edward C. R. LUO