



交通部高速公路局
Freeway Bureau, MOTC.

高速公路

橋梁耐震補強工程

河川橋樁基與直基沖刷之補強案例

林裕家

中華民國 112 年 5 月 5 日

簡報內容

壹

橋墩沖刷分析及評估

貳

河川橋沖刷補強對策

參

河川橋耐震及耐洪補強案例

肆

結論

橋墩沖刷分析及評估

河川沖刷 潛能評估

橋墩最大可能沖刷深度 $H_s = Y_s + Y_c + Y_t + Y_u$

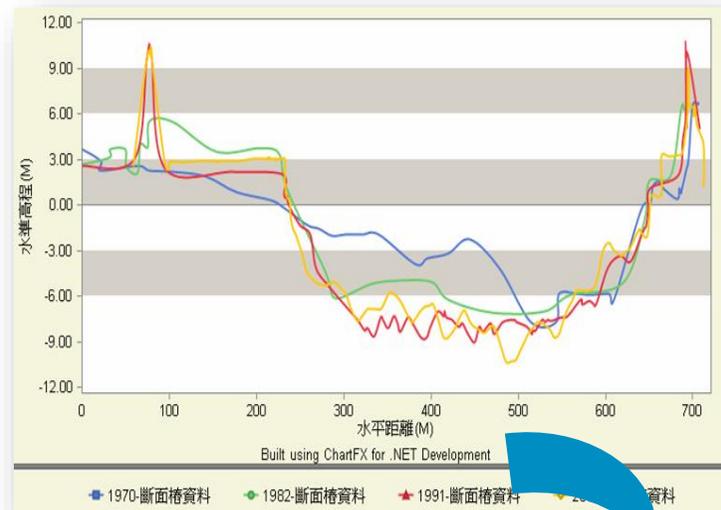
橋墩
局部沖刷
 Y_s

河槽
束縮沖刷
 Y_c

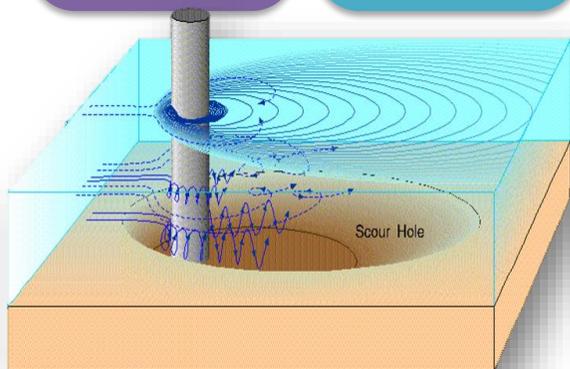
河床質
移動
 Y_t

河床
長期沖刷
 Y_u

- 河床變動情形
- 橋墩沖刷深度
- 瞭解河床特性
- 橋墩沖刷影響



- 耐洪與耐震能力一併考量
- 橋基整體承載能力共同提昇





橋墩沖刷分析

沖刷深度評估依據

- 交通部107年2月「公路排水設計規範」
- 交通部109年1月「公路橋梁設計規範」
- 交通部100年2月「橋基保護工設計規範」

局部沖刷深度(Y_s)

S. 1. 1. 沈學汶(1966)
S. 1. 2. Neill(1964)
S. 1. 3 Inglis(1949)
S. 1. 4. Breusers et al. (1977)
S. 1. 5 Laursen(1958, 1963)
S. 1. 6. Melville(1998)
S. 1. 7. 修正CSU公式(2012)
S. 1. 9. 吳建民(1967)
S. 1. 10. 台灣地區公路常用公式
(去最大及最小再取平均值)

河槽束縮沖刷深度(Y_c)

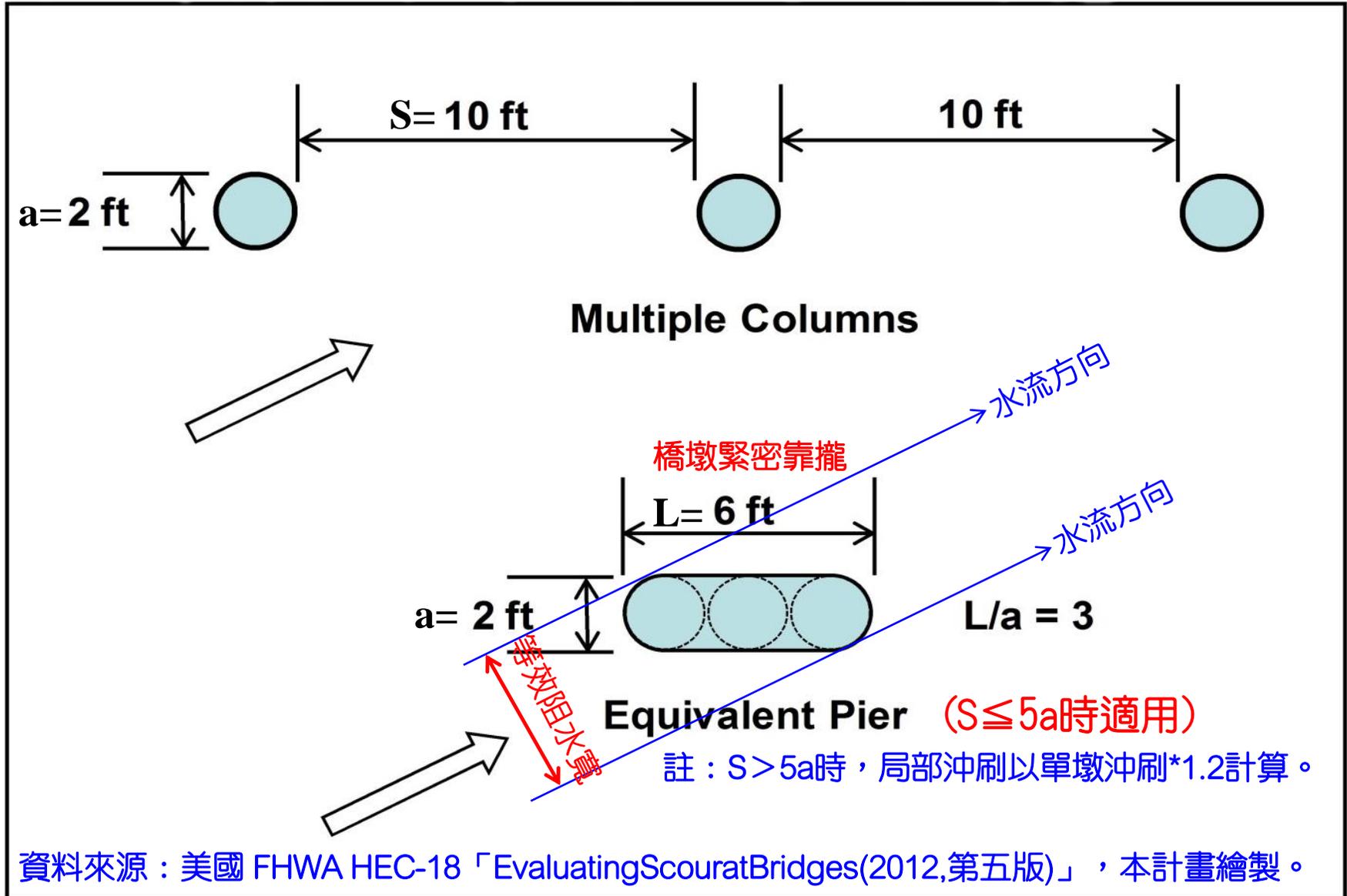
S. 3. 1. Nordin(1971)
S. 3. 2. Laursen(1962)
S. 3. 3. Les Hamill(1999)
S. 3. 4. Gill(1981)
(取平均值)

河床質移動厚度(Y_t)

日本經驗公式 $H=0.2y$

長期沖刷(Y_u)- 依報告歷史資料分析

橋墩沖刷分析-斜向多墩等效阻水寬



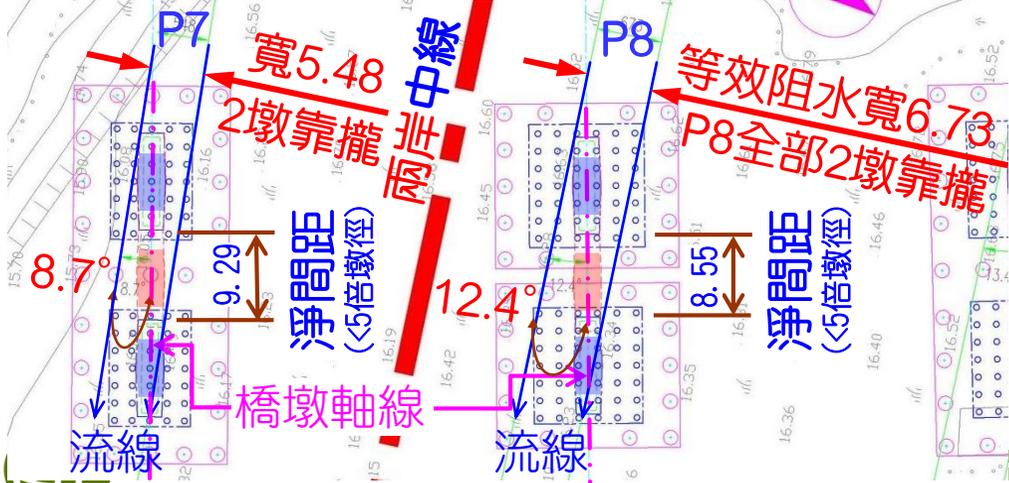
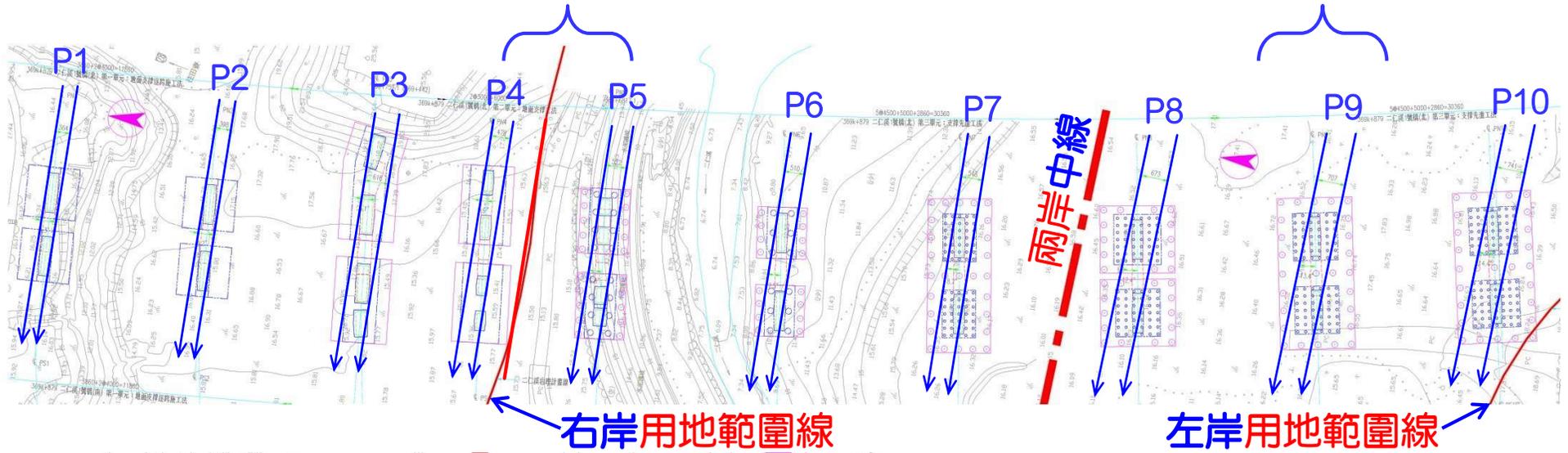
資料來源：美國 FHWA HEC-18 「Evaluating Scour at Bridges (2012, 第五版)」，本計畫繪製。

水流攻角及等效阻水寬

1. 水流攻角：單圓橋墩無攻角外，為「橋墩軸線」與「流線」之銳角夾角。
2. 流線方向：以中線分，洪峰時分別由左右案堤防或河川治理計畫等線控制。

水流方向平行右岸用地範圍線

水流方向平行左岸用地範圍線下游

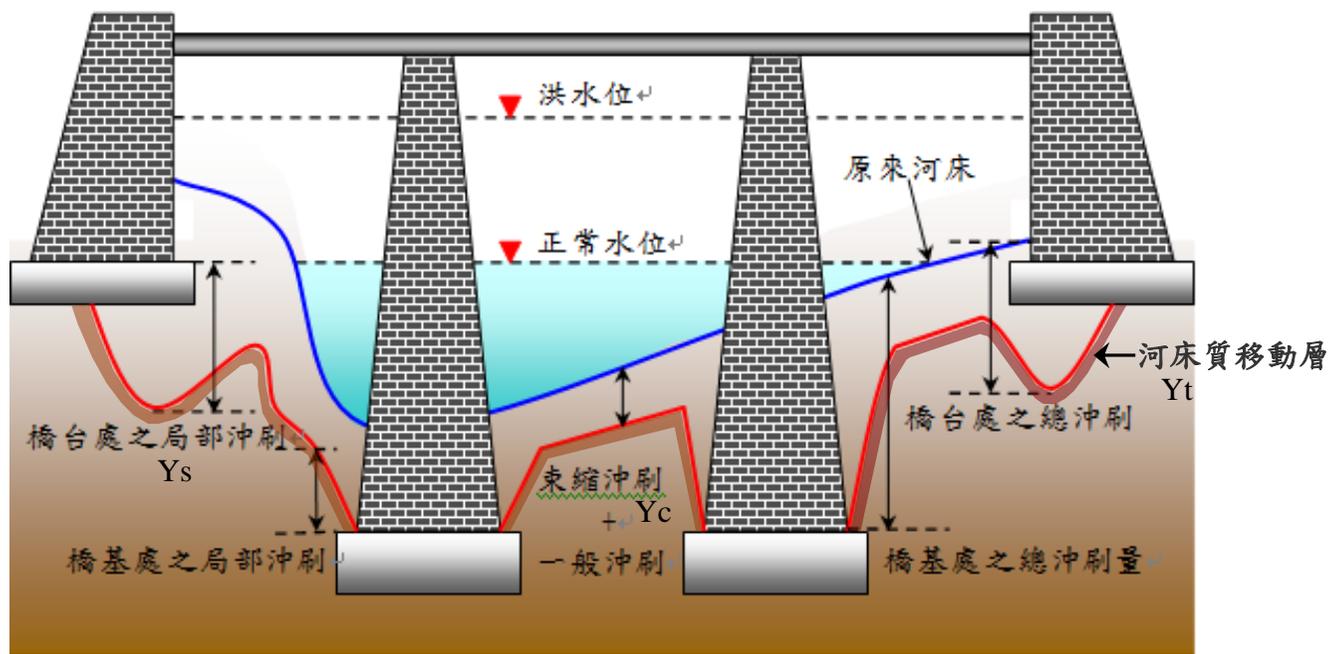


編號	P7橋墩	P8橋墩
形狀	類矩形	類矩形
墩數	2	2
墩徑d(m)	2.9	2.9
攻角(度)	8.7°	12.4°
等效阻水寬(m)	5.48	6.73

橋墩沖刷分析及評估

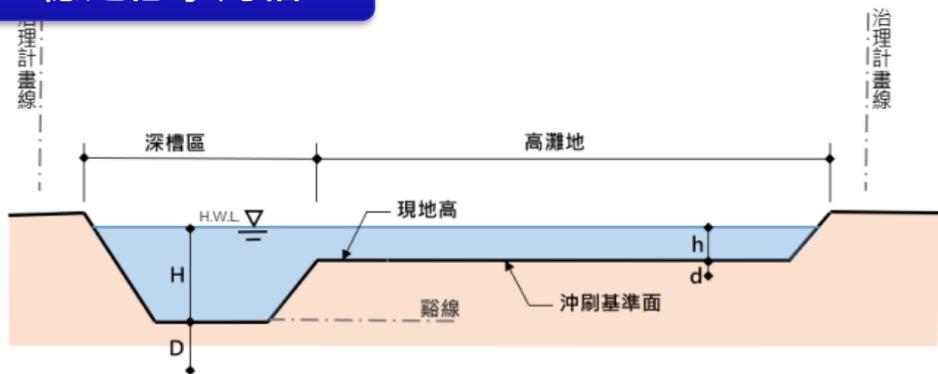
採經驗公式及常用公式計算或評估『橋墩沖刷深度』

- Y_s ：刪除極端值取平均計算『橋墩局部沖刷深度』。
- Y_c ：取平均值計算『河槽束縮沖刷深度』。
- Y_t ：以 $0.2 \times$ 水深計算『河床質移動層厚度』。
- Y_u ：依歷年測量資料評估『河床長期沖刷深度』。



沖刷基準面判定及沖刷深度計算原則

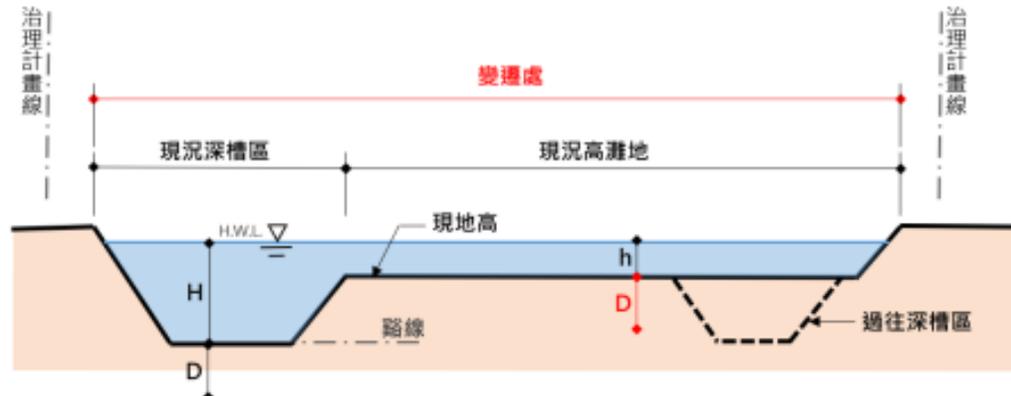
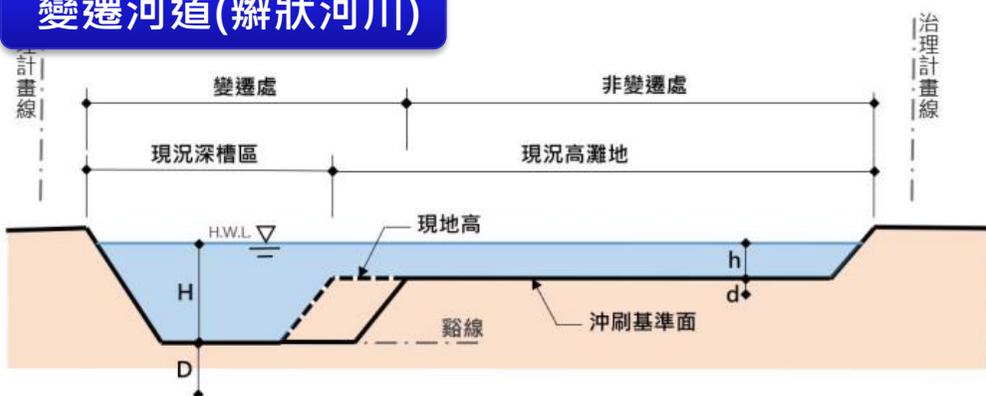
穩定低水河槽



深槽區採最高洪水水位至谿線(H)計算沖刷深度(D)，且以**谿線**作為**沖刷基準面**起算沖刷深度；

高灘地則採最高洪水水位至現地高(h)計算沖刷深度(d)，並以**現地高**作為沖刷基準面起算沖刷深度。

變遷河道(辮狀河川)



深槽區採最高洪水水位至谿線(H)計算沖刷深度(D)，且以**谿線**作為沖刷基準面起算沖刷深度；**非變遷處**範圍內則採最高洪水水位至現地高(h)計算沖刷深度(d)，以**現地高**作為沖刷基準面起算沖刷深度。

深槽區採最高洪水水位至谿線(H)計算沖刷深度(D)，且以**谿線**作為沖刷基準面起算沖刷深度；**現況高灘地**範圍內則採最高洪水水位至谿線(H)計算沖刷深度(D)，並以**現地高**作為沖刷基準面起算沖刷深度。

流水對橋梁之影響與分析

● 「公路橋梁設計規範」流水作用力

流水壓力：

$$P_{avg} = 52.5K(V_{avg})^2 \text{ (kgf/cm}^2\text{)}$$

K = 水流作用力常數。

平頭墩用1.4，

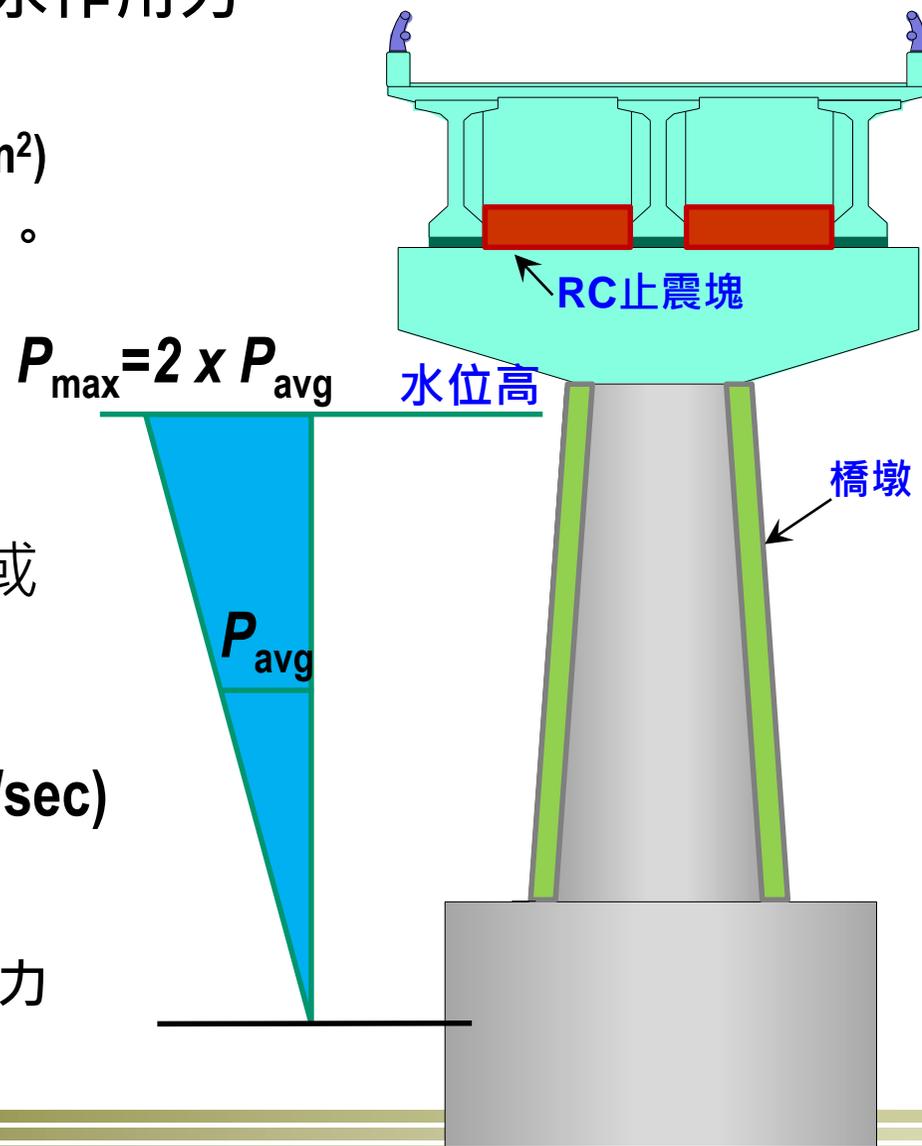
圓頭墩用0.7，

尖頭墩其角度為30°或

小於30°者用0.5。

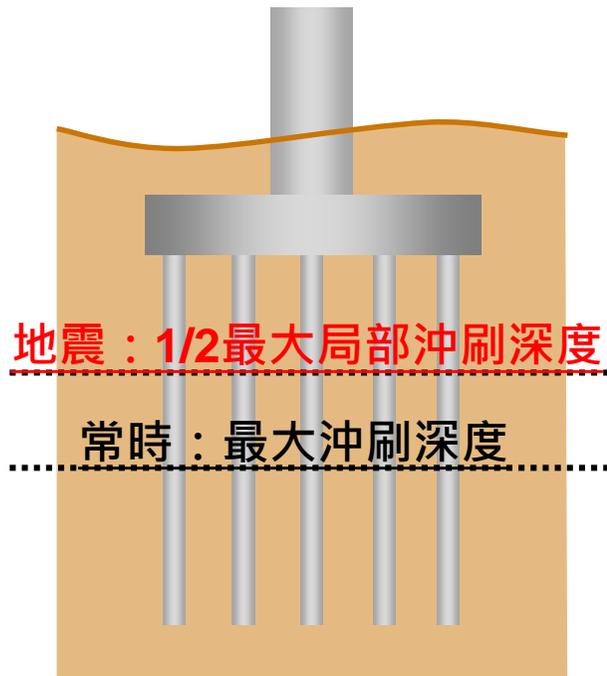
V_{avg} = 平均水流速(m/sec)

計算得對柱底與基礎流水作用力

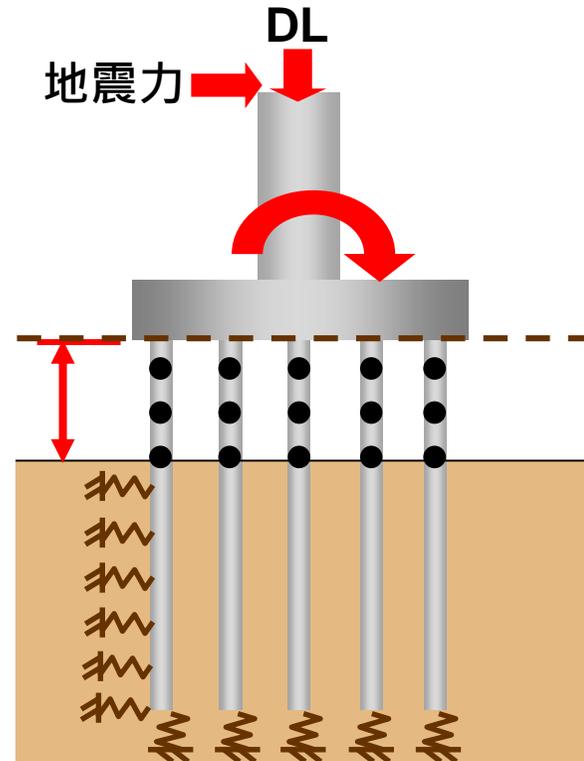




橋墩沖刷對橋梁耐震性能評估與分析



考慮沖刷、液化
➔ 基面下降
考慮土壤彈簧
液化折減



參考交通部〈公路橋梁耐震設計規範〉第C1.4節之規定，耐震評估時應考慮河床長期沖刷，以及最大局部沖刷深度之50%。
[即耐震評估考量： $Y_u + 0.5(Y_s + Y_c + Y_t)$]

簡報內容

壹

橋墩沖刷分析及評估

貳

河川橋沖刷補強對策

參

河川橋耐震及耐洪補強案例

肆

結論

河川橋沖刷補強對策

考量因素

水利因素

- 河床持續下降
- 河道已有側刷
- 每遇颱風即不穩定

結構因素

- 基樁裸露長度大
- 原基樁長度不足
- 耐震要求有提昇

交通因素

- 肩負鄰近橋梁改建時之替代道路
- 交通不能中斷

改善原則

水利方面

- 符合水利之相關規定
- 可徹底解決基樁裸露
- 可免再受長期沖刷影響

工程方面

- 應為永久性加固方案
- 可適合現場橋下施工
- 可符合交通維持需要

目標：同時提升河川橋耐洪與耐震能力



河川橋沖刷補強對策

水利保護方式



河道固床工法

護坦保護



- 蛇籠工法
- 混凝土塊
- 混凝土護坦

消能固床



- 攔河堰
- 潛堰
- 消能堰

結構補強方式



橋基加固工法

橋基保護



- 包墩
- 排樁圍繞

基礎加強



- 托底工法
- 換底工法
- 排樁加強
- 增樁擴基



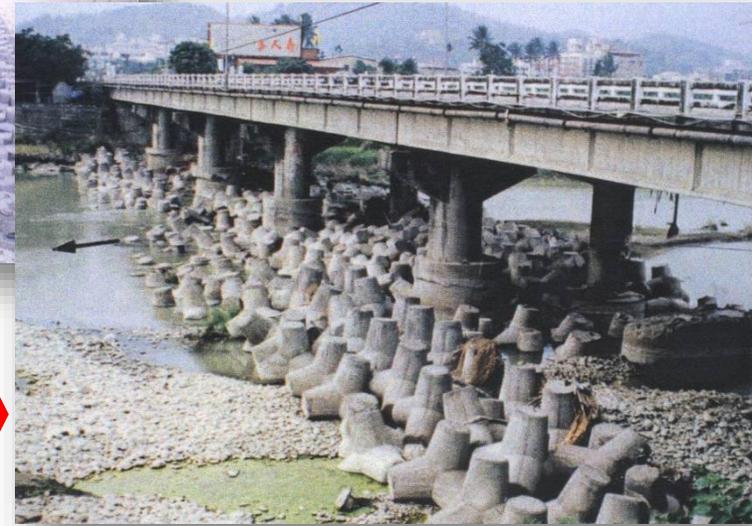
水利固床工法－護坦保護法

方式：利用適當構造物覆蓋河床當為護坦，以保護河床。

目的：主要在避免河床被沖刷。

工法：蛇籠工法、混凝土護坦、各式混凝土塊排置等。

蛇籠工法



各式混凝土塊



護坦工法可能失敗之主要因素

- 河道持續下降之高度太大
- 護坦工之覆蓋範圍不足



- 河水自護坦下方通過 → 繼續沖刷
- 使護坦成為阻水構造 → 造成坍塌
- 護坦下游處跌水沖刷 → 向源侵蝕





水利固床工法－堰體消能固床法

方式：於橋梁下游側設置攔阻、消能構造之堰體。
目的：減小坡度、降低流速，提高河床高程。
工法：攔河堰、潛堰、柔性堰、拋石堰加基樁等。



常見之堰體消能固床工法



攔河堰

以攔阻為主



護坦工

堰體

護坦工+
石料填方

以消能為主



潛堰



拋石堰



柔性堰

潛堰消能固床工法可能失敗之主要因素

● 河道持續下降之高度太大



河水自堰體下方通過

● 潛堰寬度不足或河道變寬

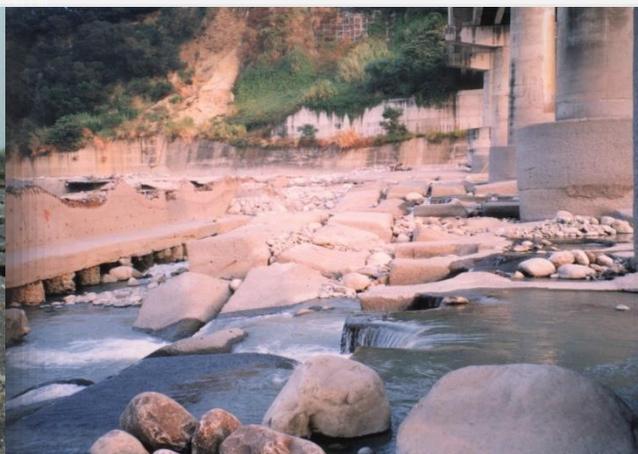


河水沿堰體側邊沖蝕

● 堰體強度不足或流量太大

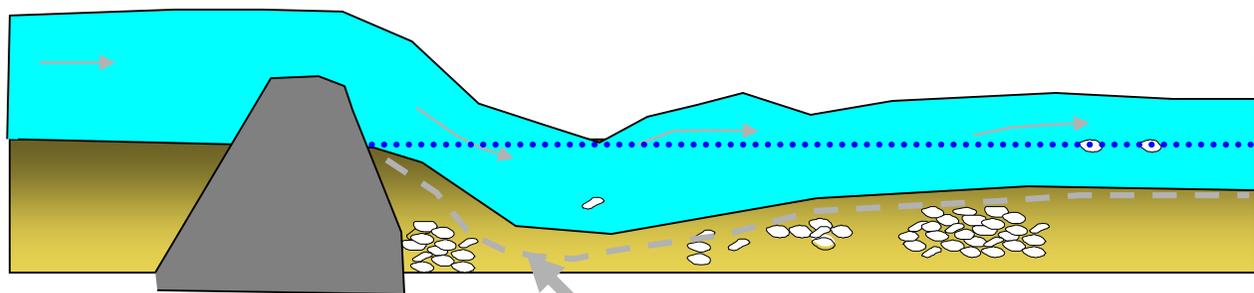


堰體破壞，造成束縮

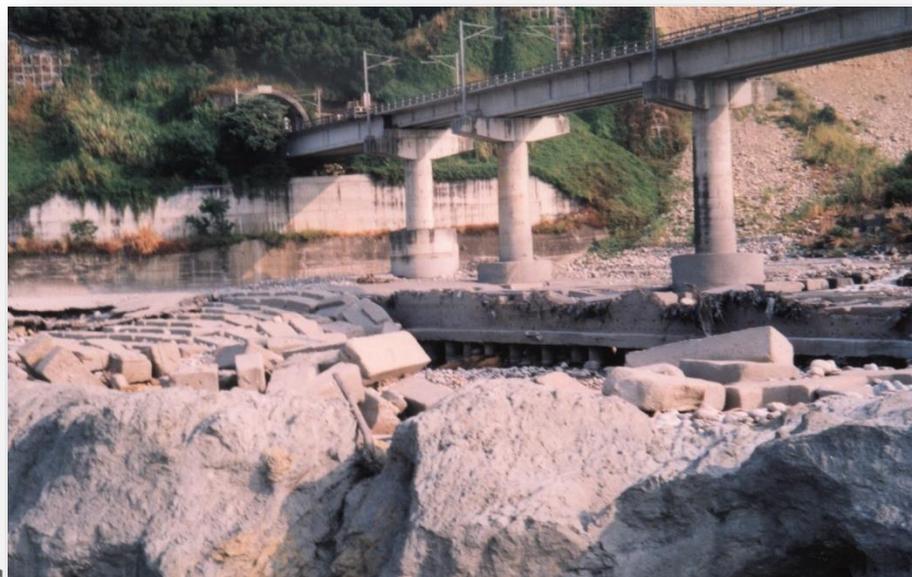


潛堰消能固床工法可能失敗之主要因素

下游跌水冲刷，造成河床刷深破壞。



形成冲刷坑且河床刷深





結構補強工法－橋基保護工法

方式：利用混凝土、排樁等圍繞基礎。

目的：主要在避免基礎裸露。

工法：包墩工法、排樁圍繞工法等。

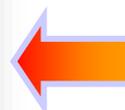


橋基保護法可能失敗之主要因素

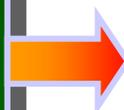
排樁圍繞工法



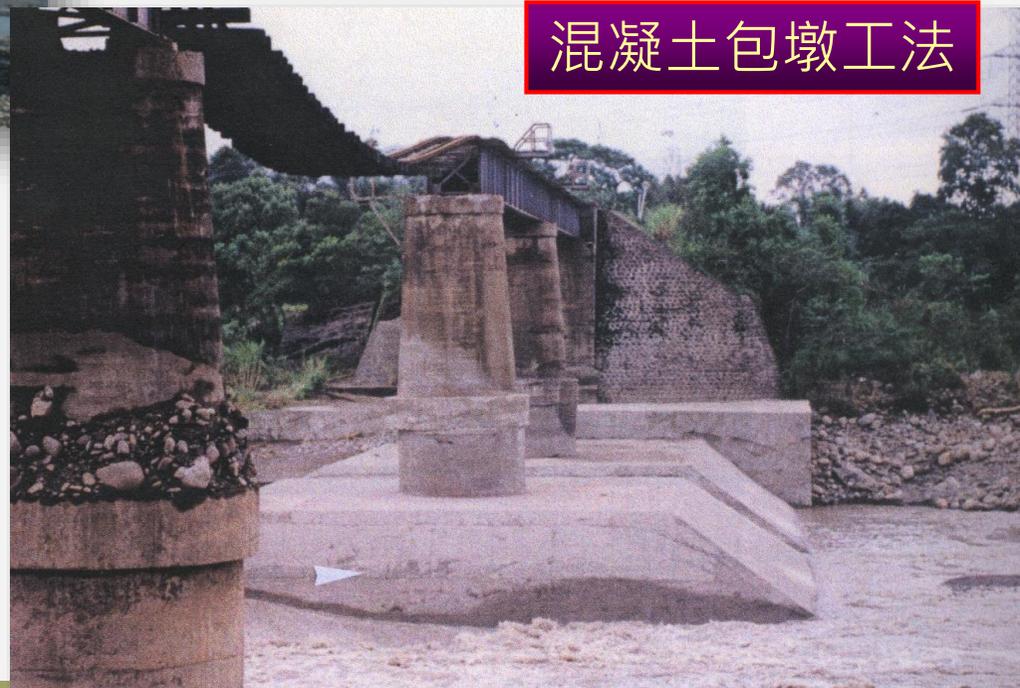
- 河床下降高度大
- 排樁深度不足
- 礫石撞擊力過強



- 河床下降高度大，造成包墩範圍不足
- 包墩體積大，形成阻水，增大沖擊力



混凝土包墩工法





結構補強工法－基礎加強法

方式：利用基樁加深、基底灌漿及與厚基礎連結。

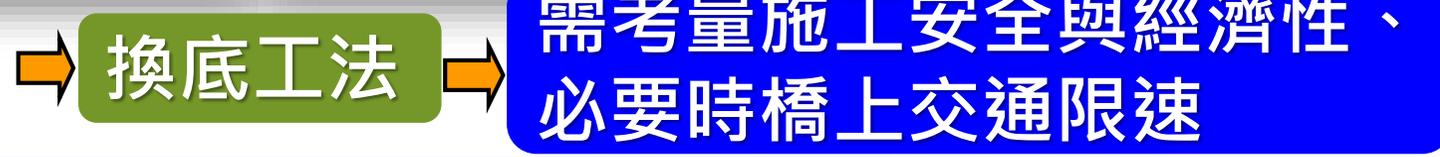
目的：主要在增加基礎承載能力。

工法：托底工法、增樁擴基工法等。





橋基裸露補強工法選用需考量因素



簡報內容

壹

橋墩沖刷分析及評估

貳

河川橋沖刷補強對策

參

河川橋耐震及耐洪補強案例

肆

結論



◆ 結構配置及現況(民國91年完工)

- ◆ 預力箱形梁橋
- ◆ 全橋 17 個單元，總長約 4,132 公尺
- ◆ 墩柱：圓型墩柱與雙懸臂帽梁
- ◆ 基礎：直接基礎、樁基礎(河川區域)

水理基本資料：

- ◆ 重現期：100年
- ◆ 斷面編號：49-1
- ◆ 洪水位：67.59m
- ◆ 流速：5.94m/s
- ◆ 流量：11,000cms

國3烏溪三號橋-河川沖刷



P58L



P61L



P60L



P59L



P58R



P61R



P60L



P59R

2016.07 目視檢測
P58~P61 上下游橋墩皆有基礎裸露現象

烏溪三號橋河段主深槽歷年變遷

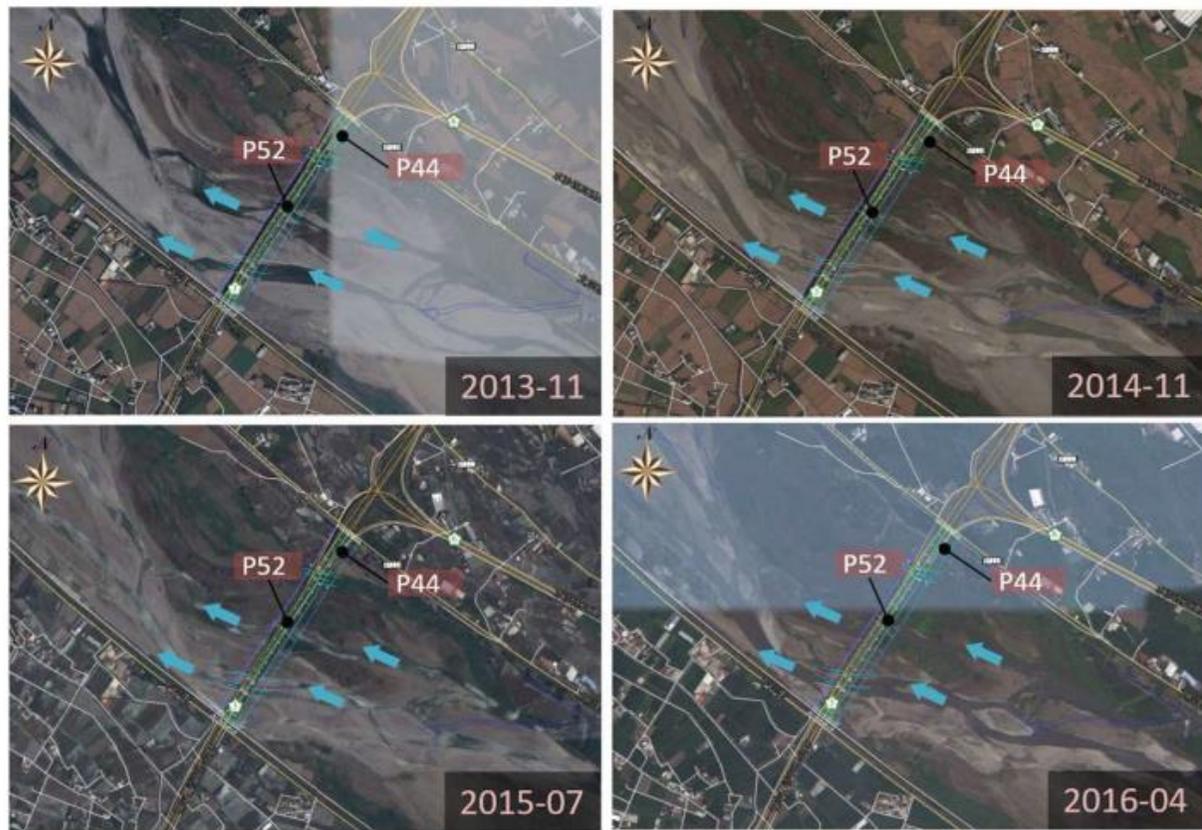
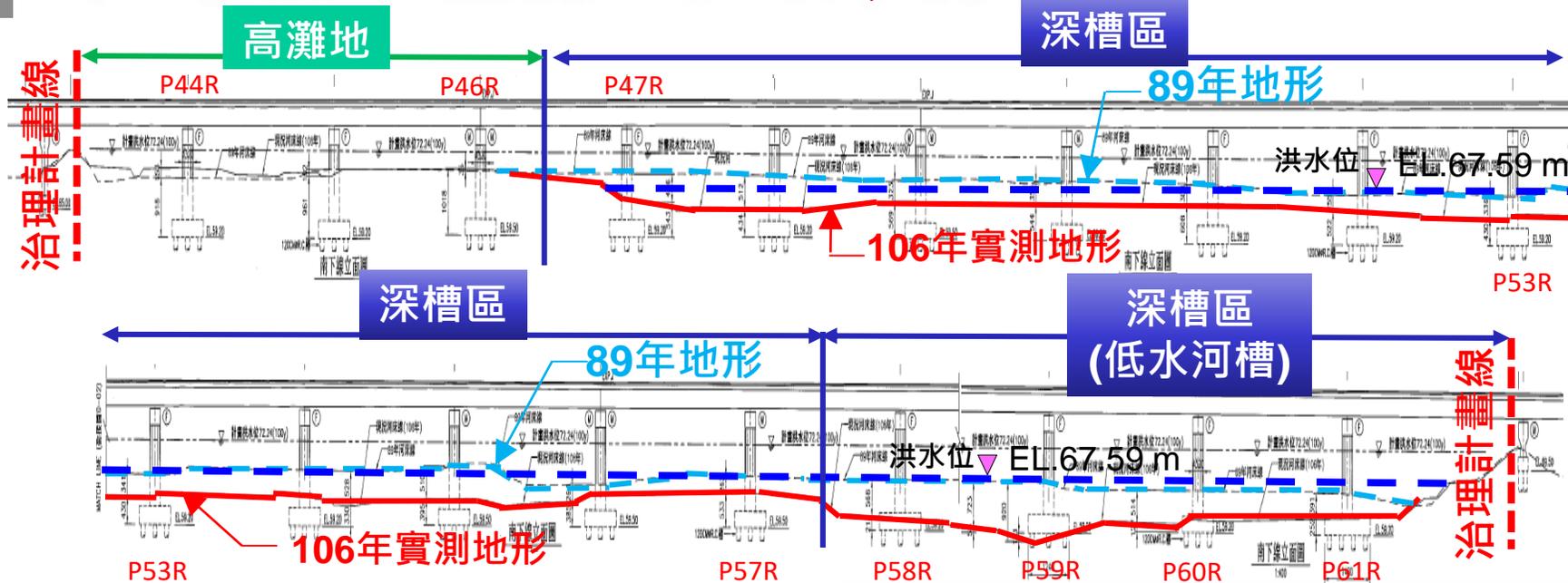


圖 5-33 國道 3 號烏溪三號橋歷年航照圖比對圖

註：本圖摘自「烏溪本流河床穩定與治理對策之研究」(經濟部水利署第三河川局，95年)

註：本圖摘自「南投段及斗南段轄區橋涵隧道檢測工作報告」(106年)

國3烏溪三號橋-河川沖刷



烏溪三號橋長期沖刷深度選用

- 長期沖刷深度採用歷年測量平均河床高程之差異量
- 烏溪斷面 41~55間河床長期呈下降趨勢，自民國75年至98年沖淤量約為-0.55~-6.38m，其中，沖淤較嚴重之河段位於斷面41~48處，而民國96年至98年河道沖刷情形已趨緩，呈現沖淤互見。
- 本橋址河段於75年至98年間河床總共下降約3.77m(69.56-65.79=3.77m)為長期沖刷深度。

斷面編號	平均河床高程(m)			沖淤深度		
	75年	96年	98年	75~96	75~98	96~98
44	47.41	43.1	41.43	-4.31	-5.98	-1.67
45	50.45	45.17	45.59	-5.28	-4.86	0.42
46	54.46	49.99	50.06	-4.47	-4.4	0.07
47	57.29	52.54	52.5	-4.75	-4.79	-0.04
48	61.31	57.73	57.39	-3.58	-3.92	-0.34
49	65.94	62.83	62.81	-3.11	-3.13	-0.02
50	69.56	66.85	65.79	-2.71	-3.77	-1.06
51	72.76	70.22	69.88	-2.54	-2.88	-0.34
52	76.73	74.15	74.05	-2.58	-2.68	-0.1
53中投快速公路橋	81.55	79.62	79.24	-1.93	-2.31	-0.38
54	85.65	84.82	83.84	-0.83	-1.81	-0.98
55	89.48	88.54	88.93	-0.94	-0.55	0.39

註：本表摘錄自「大安溪、大甲溪及烏溪易致災河段災害風險評估與治理對策研析(1/2)」(經濟部水利署水利署第三河川局，中華民國100年3月)



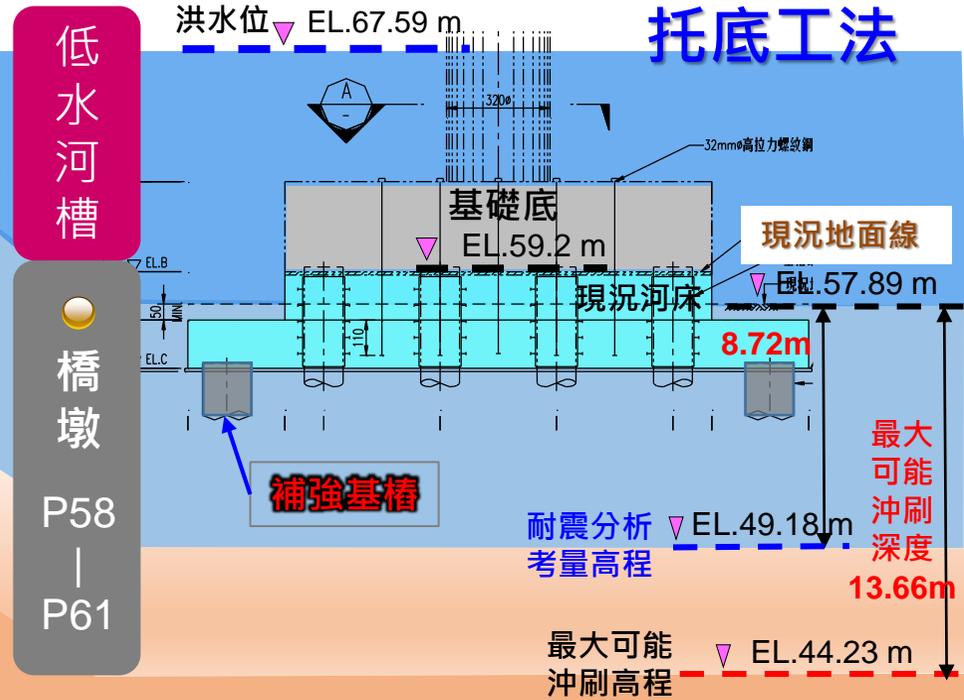
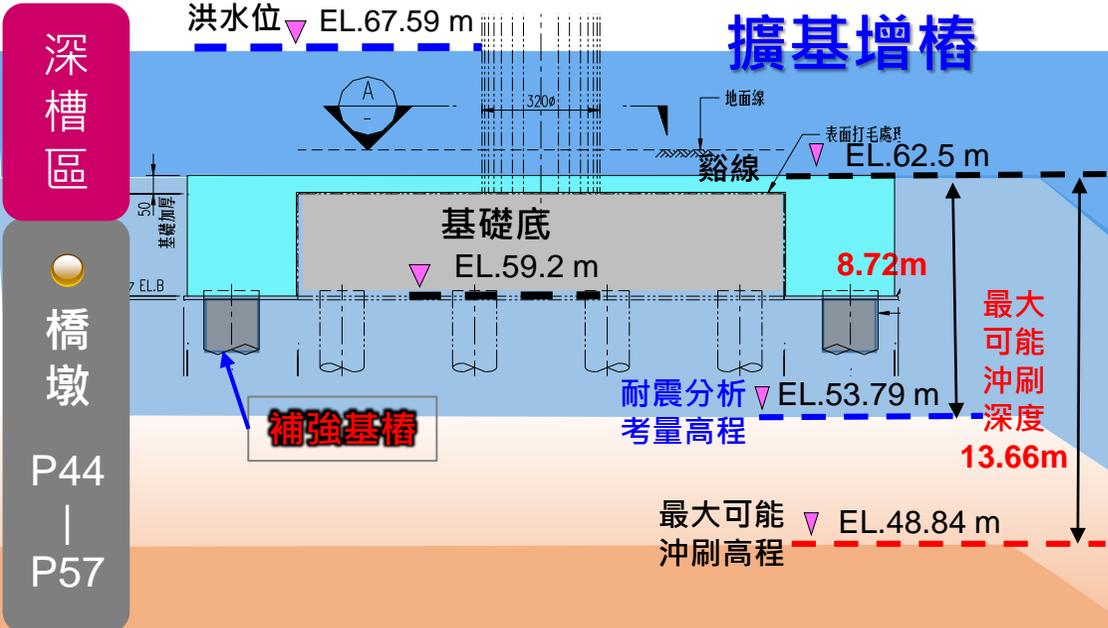
烏溪三號橋橋墩沖刷深度評估

橋墩編號	現地高程	橋墩最大可能沖刷深度(m)					耐震考量 沖刷深度 $Y_u+0.5*(Y_t+T_s+Y_c)$	沖刷 基準面	備註
		局部沖刷 Y_s	束縮沖刷 Y_c	河床移動 Y_t	長期沖刷 Y_u	合計			
P44	69.44	0	0	0	3.77	3.77	3.77	69.11	高灘地 (洪水位未達)
P45	69.11	0	0	0	3.77	3.77	3.77		
P46	69.38	0	0	0	3.77	3.77	3.77		
P47	62.63	6.85	0.28	1.17	3.77	12.07	8.72	62.5	深槽區
P48	62.63	6.01	0.23	1.17	3.77	11.18			
P49	65.19	6.86	0.24	1.018	3.57	11.688			
P50	64.64	6.61	0.24	1.018	3.57	11.438			
P51	64.99	6.76	0.24	1.018	3.77	11.588			
P52	64.42	6.44	0.2	0.81	3.77	11.22			
P53	62.59	6.86	0.28	1.18	3.77	12.09			
P54	62.5	6.87	0.28	1.19	3.77	12.11			
P55	63.45	6.73	0.24	1	3.77	11.74			
P56	63.35	6.75	0.25	1.02	3.77	11.79			
P57	64.83	6.26	0.17	0.73	3.77	10.93			
P58	61.33	7	0.34	1.43	3.77	12.54	8.72	57.89	深槽區 (低水河槽)
P59	57.89	7.27	0.5	2.12	3.77	13.66			
P60	60.41	7.09	0.38	1.61	3.77	12.85			
P61	61.72	6.96	0.29	1.35	3.77	12.37			

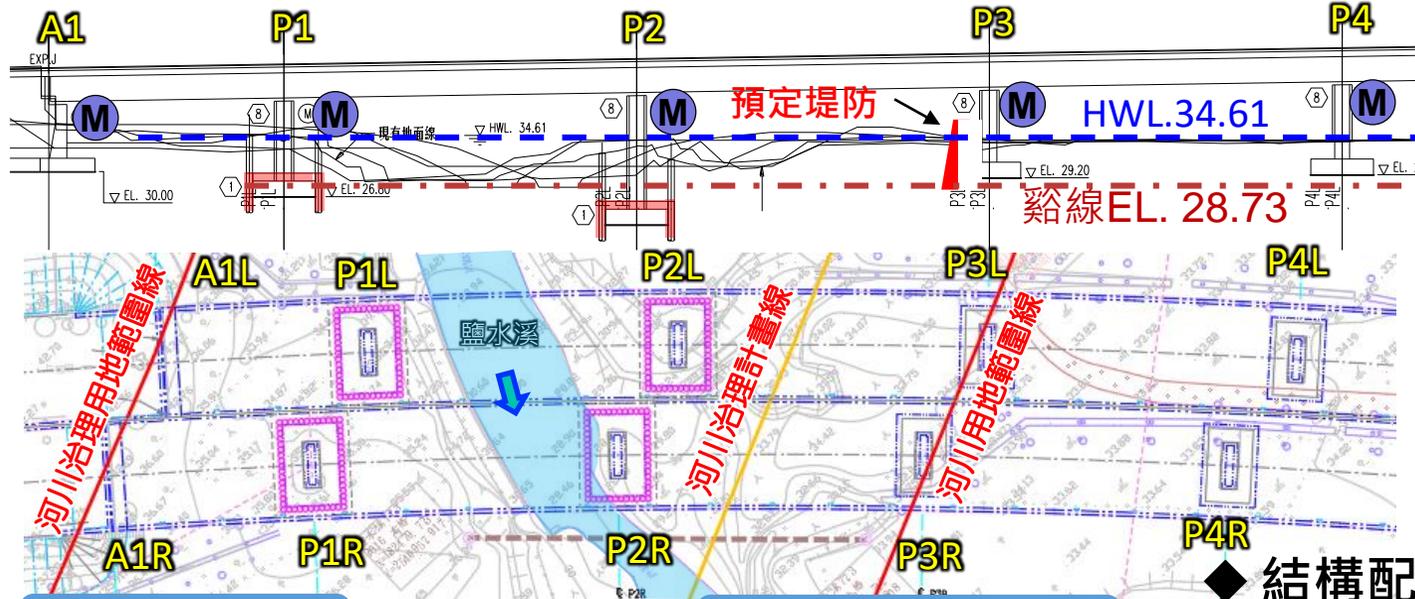


烏溪三號橋基礎補強設計

烏溪



國3鹽水溪橋沖刷補強案例



水理基本資料：

- ◆ 重現期：100年
- ◆ 斷面編號：77.3
- ◆ 洪水位：34.61m
- ◆ 流速：1.83m/s
- ◆ 流量：510cms

◆ 結構配置及現況(民國88年完工)

直接基礎 → 沖刷問題 → 切削樁補強



- ◆ 預力箱形梁橋
- ◆ 北上及南下線：各1個單元，跨徑配置30+11@45+30，總長約555公尺
- ◆ 墩柱：矩形墩柱
- ◆ 基礎：直接基礎

國3鹽水溪橋河川沖刷深度評估

一、局部沖刷

局部沖刷公式	沖刷深度(m)	備註
1.沈學汶(1966)(公路排水設計規範S.1.1)	4.98	
2.Neill(1964)(公路排水設計規範S.1.2)	4.85	
3.Inglis(1949)(公路排水設計規範S.1.3)	5.04	
4.Breusers et al.(1977)(公路排水設計規範S.1.4)	5.89	
5.Laursen(1958,1963)(公路排水設計規範S.1.5)	6.39	
6.Melville(1998)(公路排水設計規範S.1.6)	6.60	
7.修正CSU公式(2012)(公路排水設計規範S.1.7)	4.43	
8.吳建民(1967)(公路排水設計規範S.1.9)	7.94	不採用
9.台灣地區公路工程機構常用公式(公路排水設計規範S.1.10)	2.69	不採用
平均值(Ys)	5.45	

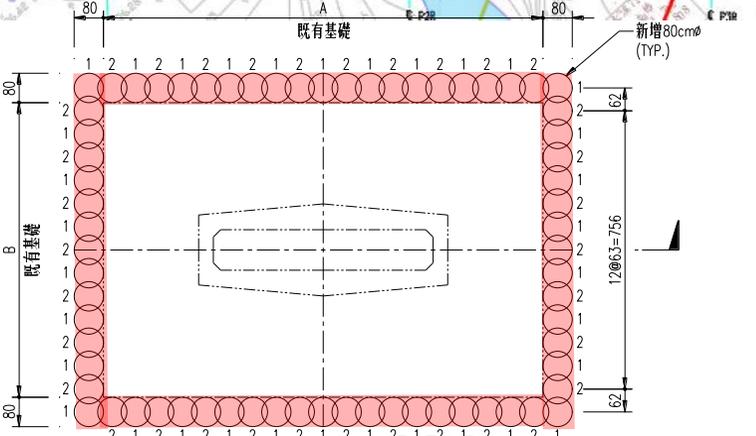
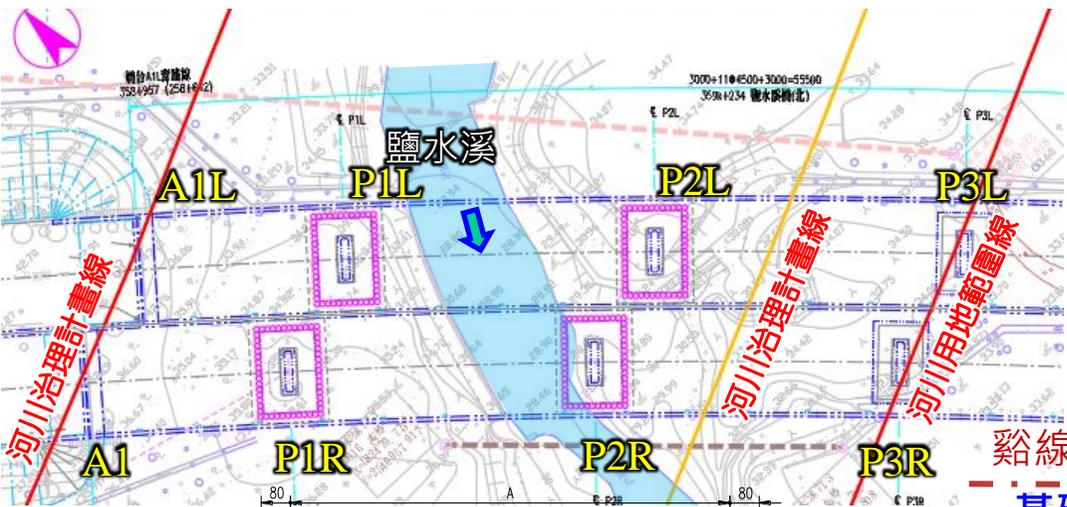
二、束縮沖刷

束縮沖刷公式	沖刷深度(m)	備註
1.Nordin(1971)(公路排水設計規範S.3.1)	1.79	
2.Laursen(1962)(公路排水設計規範S.3.2)	0.59	
3.Les Hamill(1999)(公路排水設計規範S.3.3)	-	
4.Gill(1981)(公路排水設計規範S.3.4)	0.55	
平均值(Yc)	0.98	

- 本橋址河段以橋墩P1最大沖刷深度8.58m為設計依據。
- 局部沖刷扣除極大值及極少值，其餘取平均值5.45m。
- 河床質移動層厚度= $0.2 \times \text{水深(m)} = 0.2 \times 5.88 = 1.18\text{m}$ 。
- 河床長期沖刷深度之評估，本計畫採用歷年水利主管機關測量調查資料0.97m為依據估算。

國3鹽水溪橋直接基礎沖刷補強案例

參考資料		104年5月「鹽水溪及南科相關排水整體治理規劃檢討」
最大可能沖刷深度	局部沖刷	5.45
	束縮沖刷	0.98
	河床質移動厚	1.18
	長期沖刷	0.97
	合計	8.58

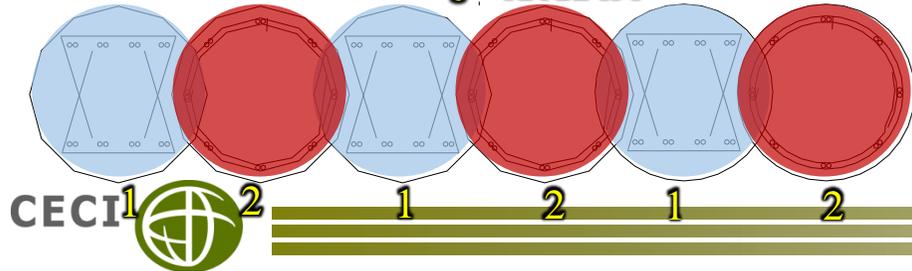
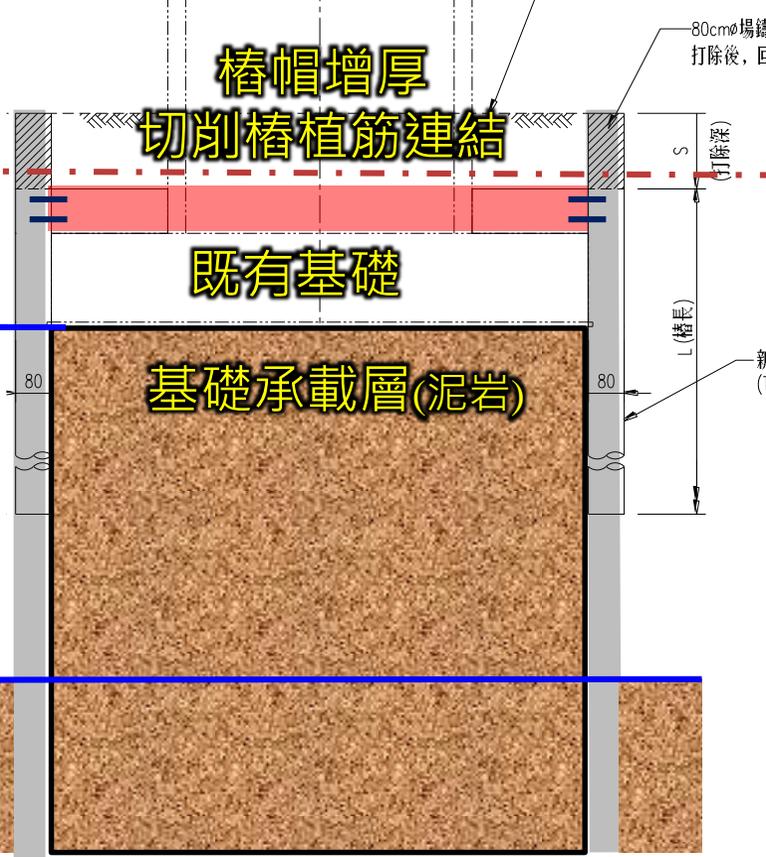


澗線 EL. 28.73

基礎底高程
26.8(P1)
23.2(P2)

6.65m(P1)
3.05m(P2)

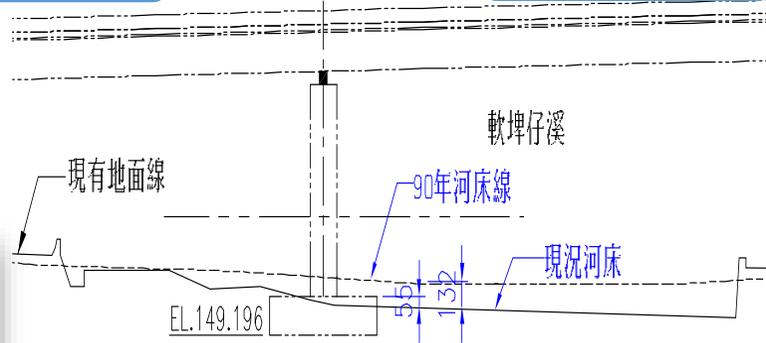
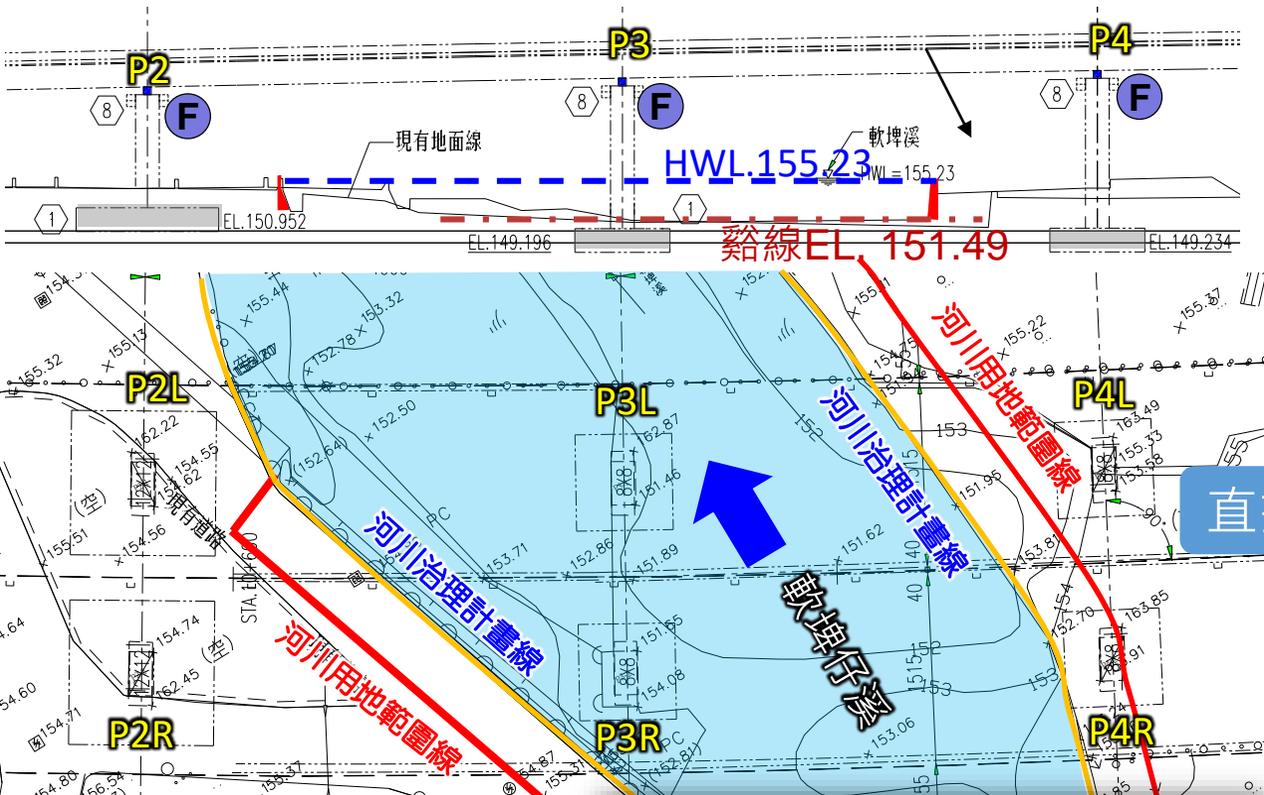
最大可能沖
刷高程20.15
貫入約3.0m



國4豐原高架橋沖刷補強案例

水理基本資料：

- ◆ 重現期：10年
- ◆ 斷面編號：16.1
- ◆ 洪水位：155.23m
- ◆ 流速：1.83m/s
- ◆ 流量：241cms



參考資料	103年5月「據軟埤仔溪排水暨周邊排水系統檢討規劃」	
洪峰流量(CMS)	241	
計畫洪水位Q10	155.23	
最大可能沖刷深度	局部沖刷	6.54
	束縮沖刷	1.53
	河床質移動厚	0.92
	長期沖刷	1.32
	合計	10.31

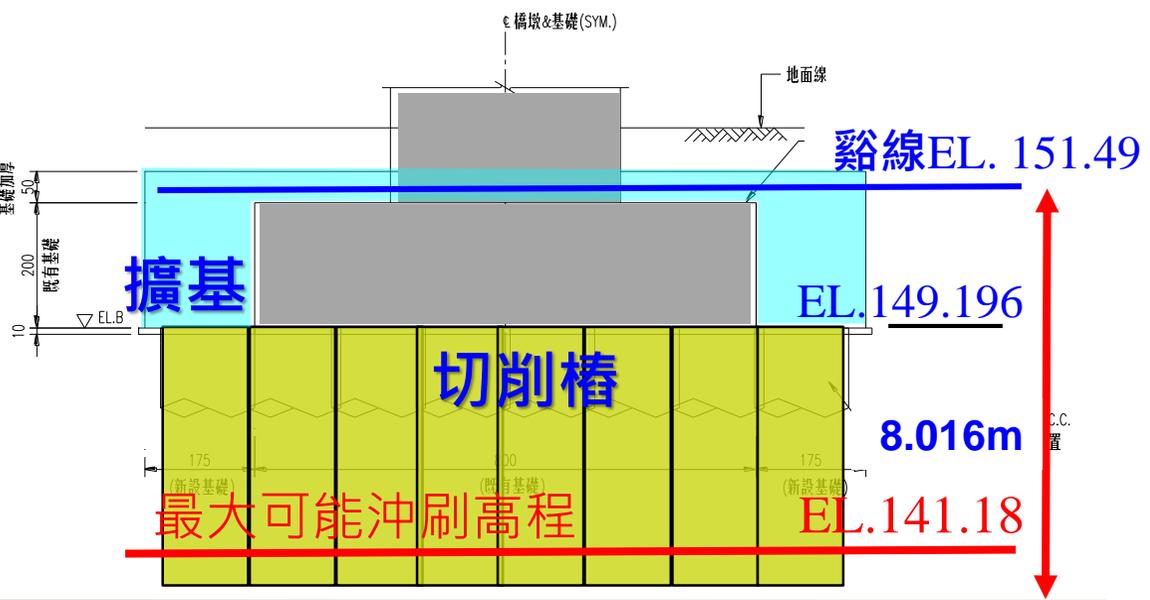
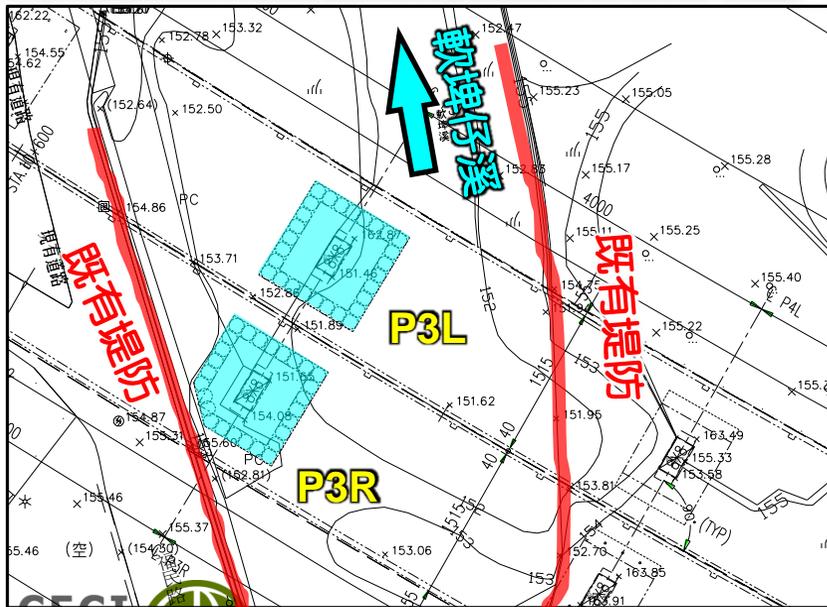
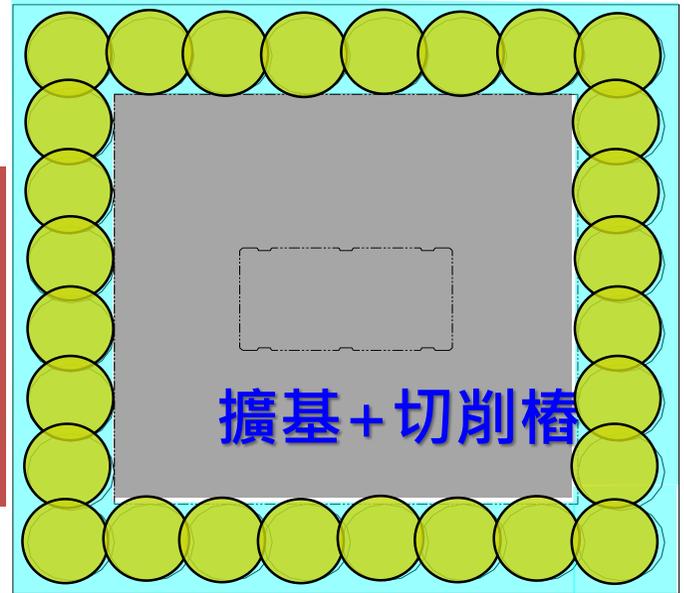


■ 本計畫採用C323「台中環線」於90年竣工圖與本計畫河床測量高程之差值1.32m為河床長期沖刷深度。

國4豐原高架橋直接基礎沖刷補強案例



P3L、P3R橋墩於河道中直接基礎，以排樁補強避免沖刷造成直接基礎承載層掏空。





樁基礎補強施工步驟

烏溪三號橋

1. 基樁定位



2018/05/23

2. 基樁鑽掘



2018/05/06

3. 鋼筋籠吊放及鋼套環焊接



2018/05/06

4. 基樁混凝土澆置



2018/05/17



樁基礎補強施工步驟

5. 既有基礎高壓水刀打毛



6. 基礎鋼筋綁紮



7. 基礎混凝土澆置



8. 補強完成





直接基礎補強施工照片

鹽水溪橋

1. 先行樁施作



2. 先行樁鋼筋



3. 後行樁鋼筋



4. 切削樁施作



5. 基礎開挖



直接基礎補強施工照片

1. 低淨空基樁鑽掘



2. 套管續接



3. 鋼筋籠續接(鋼套環)



4. 基礎開挖



5. 鋼筋綁紮



6. 補強完成



簡報內容

壹

橋墩沖刷分析及評估

貳

河川橋沖刷補強對策

參

河川橋耐震及耐洪補強案例

肆

結論

- ◆ 河川橋耐震補強時應以「河橋共治」的理念，同時考量河川長期變化對橋梁安全所造成的影響，以及橋梁補強可能對河床沖刷及河川防洪治理之影響。
- ◆ 河床穩固工法雖可短暫減緩河床持續下刷，但無法增強橋基強度或橋梁耐震防洪能力。且受水流長期持續衝擊，須時常投入經費維修以避免水工構造物遭受破壞產生弱面，嚴重則可能影響鄰近護岸及跨河橋梁之安全。
- ◆ 河川沖刷橋基加固補強除須詳細考慮河道擺盪特性、高灘地與深槽區變遷範圍外，亦須考慮補強後之量體是否增加阻水斷面進而加劇橋基局部沖刷與束縮沖刷深度。如橋基已嚴重裸露，應綜合考量採用換底工法與橋梁改建等工法，於河床沖刷及橋梁耐震能力提昇間求得一個平衡點。

簡報結束
敬請指教

