



交通部臺灣區國道高速公路局  
Taiwan Area National Freeway Bureau

## 國道高速公路後續路段橋梁耐震補強工程 (區段1-1)規劃設計及後續擴充(監造)

### 第一次專家學者座談會

簡報人：彭康瑜 計畫主持人

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN BRANCH  
美商同校國際工程顧問股份有限公司 台灣分公司

中華民國 105 年 8 月 9 日



## 簡報大綱



1

國道耐震補強策略和原則

2

鄰近(跨越)第一類活動斷層

3

設計年限100年地震力標準

4

河川橋沖刷評估之迴歸期

5

河川橋行水區之直接基礎



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN BRANCH

1



1

## 國道橋梁耐震補強策略和原則

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN BRANCH

2



## 計畫緣起與防災理念



本工程  
區段1-1+區段1-2  
區段1 + 區段2+區段3

後續路段補強工程

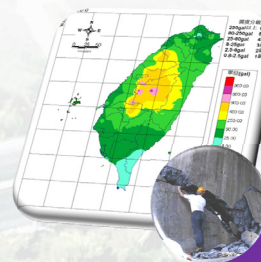


第一優先路段 (北二高)

第二期耐震補強工程



第一期(中山高)耐震補強工程



集集地震：橋梁嚴重損壞

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN BRANCH

3



## 計畫範圍與內容

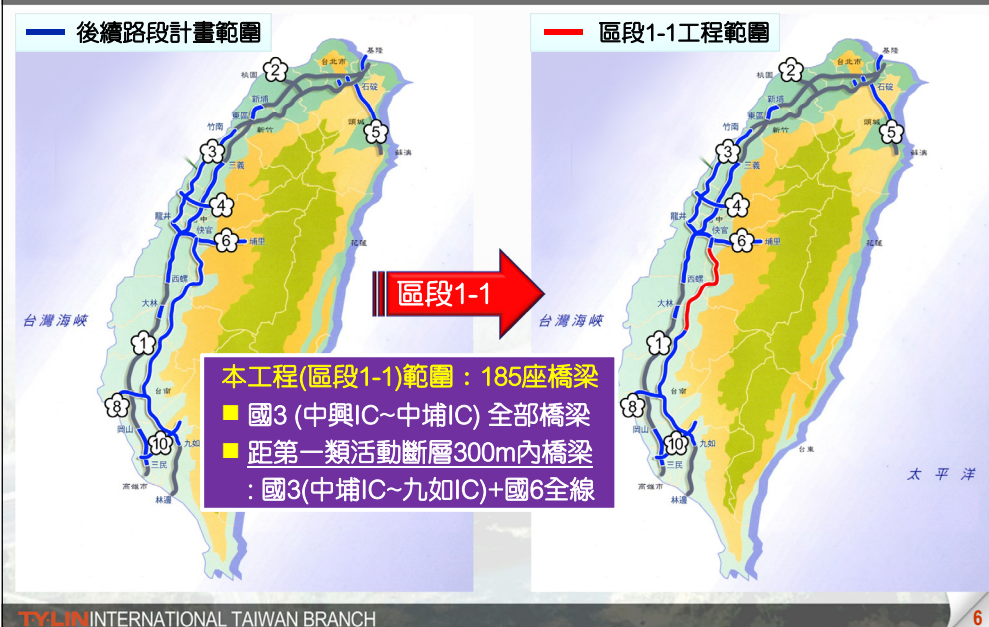


## 國工局建議通案評估辦理路段

### ■ 921地震後設計、施工中之桥梁耐震處理原則

桥梁設計施工情形	路段別	處理方式
接近完工	基汐段、台南路段、高屏路段、北宜高速公路(第二標除外)	依原設計施工
下構已施工	北宜高速公路(第二標) 台中環線神岡豐原段、南投路段、雲嘉路段、南港聯絡線、竹南西湖、西湖大甲、大甲彰濱、快官草屯、台中環線清水神崗段	上部結構採預鑄斜撐版之橋梁(計三座)加設斜撐版防落裝置 對未設置防震拉條之橋梁，全面加裝防震拉條(或防落剪力樺)做為耐震第二道防線
已發包尚未施工	彰濱快官段 九如林邊段	依調整後之地震分區辦理地震力設計
細設近完成	頭城蘇澳段 淡水快速道路(部分)	依調整後之地震分區辦理地震力設計
初設中	豐原霧峰段、霧峰埔里段 台東太麻里	依調整後之地震分區改採地震甲區辦理地震力設計

## 區段1-1工程範圍



## 區段1-1工程範圍





## 計畫目標與理念

### 計畫目標

#### 國道橋梁：生命線路網

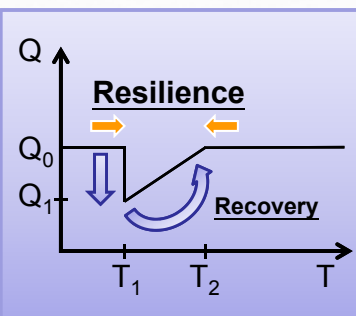
地震侵襲  
減少損害、避免傷亡

高安全性  
基礎交通建設

中度地震-不壞、設計地震-可修  
、最大考量地震-不倒

### 防災韌性理念 Disaster Resilient Lifelines

#### 提升橋梁地震恢復力 Seismic Resilient Bridge

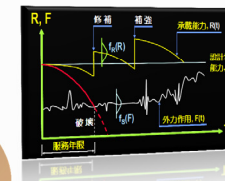


## 永續思維與作法

### 全球氣候變遷



### 生命週期理念



#### Safer Bridge 山-橋-河共治，確保安全

#### Faster Bridge 補強更快速 施工更安全

#### Better Bridge 創新工程技術 友善生態環境

### 多重防災策略



## 區段1-1主要橋梁現況

### ■ 橋柱與河堤共構(短柱效應)，支承無第二道防震設施



大埔溪排水橋主線



濁水溪河川橋



牛稠溪河川橋

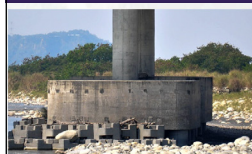


濁水溪河川橋

橋墩河堤共構

無止震塊或剪力樺

### ■ 部份基礎沖刷裸露，構件修補與橡膠支承變形



濁水溪排水橋



清水溪河川橋



烏溪四號橋



南霧峰高架橋

基礎裸露

橋墩裂縫修補

橡膠支承墊變形

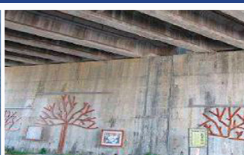
## 區段1-1主要橋梁現況

### ■ 橋下空間利用：休閒設施、造景、公園



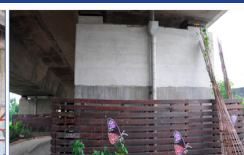
烏溪四號橋

橋下休閒設施



投25一號穿越橋

橋下藝術造景



清水溪河川橋

紫斑蝶景觀設施



南投高架橋

南投國際沙雕公園

### ■ 橋址緊鄰鐵路、堤防、交流道工程



縱貫鐵路二號穿越橋

穿越縱貫鐵路



名間高架橋

穿越集集鐵路



濁水溪河川橋

橋墩緊鄰堤防



南霧峰高架橋

鄰舊正交流道工程



## 區段1-1橋梁結構特色

### 上部結構系統、工法演進

區段1-1

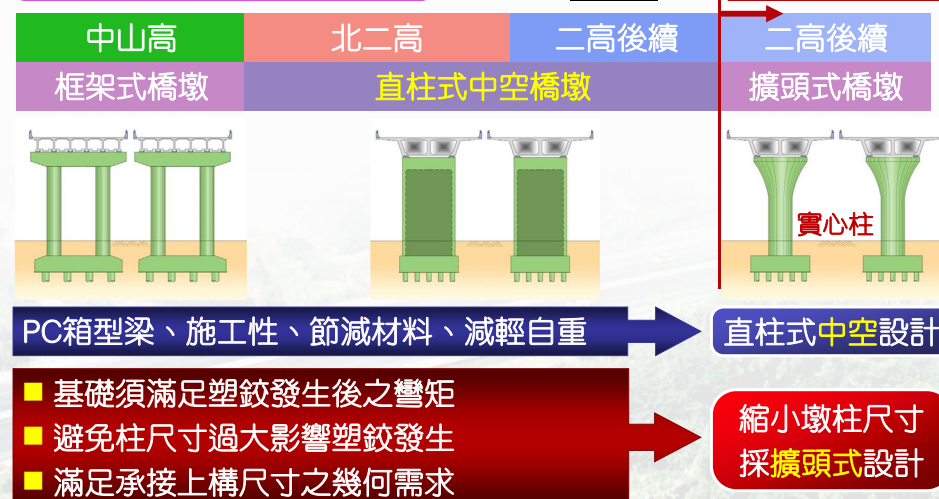


## 區段1-1橋梁結構特色

### 下部結構橋墩型式演進

區段1-1

84年耐震規範



## 區段1-1橋梁耐震課題初探



## 國道橋梁之耐震補強策略





## 耐震性能準則(Seismic Performance Criteria)

地震力等級	工址水平譜加速度係數	耐震理念	服務性能	損壞等級
<b>中度地震</b> 回歸期：30年	依行政區劃分 回歸期475年地震之1/3.25	結構保持彈性	震後 正常通行	輕 微
<b>設計地震</b> 回歸期：475年 50年超越機率：10%	依行政區劃分 $S_s^D$ 0.80、0.70、0.60、0.50 $S_1^D$ 0.45、0.40、0.35、0.30	構件產生塑鉸 發揮容許韌性 容量	震後 有限通行	可修復
<b>最大考量地震</b> 回歸期：2500年 50年超越機率：2%	依行政區劃分 $S_s^M$ 1.00、0.90、0.80、0.70 $S_1^M$ 0.55、0.50、0.45、0.40	結構韌性容量 完全發揮， 但橋梁避免 落橋、崩塌	震後 緊急通行	嚴 重

## 「山・橋・河」共治理念



鄰近橋址順向邊坡

與國道邊坡補強計畫整合



橋梁耐震補強方案

避免增加邊坡擾動與載重



高沖刷潛勢之河川

一般沖刷+束縮沖刷+局部沖刷

地震力+50%最大沖刷深度

## 「山・橋・河」共治理念



預力地錨揚起試驗



鋼鍵內視鏡檢測



鋼鍵銹蝕狀況

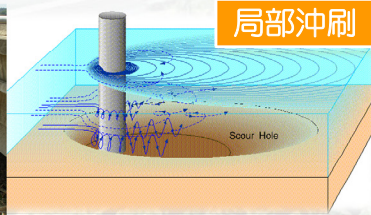
莫拉克風災之啟示



暴雨集中

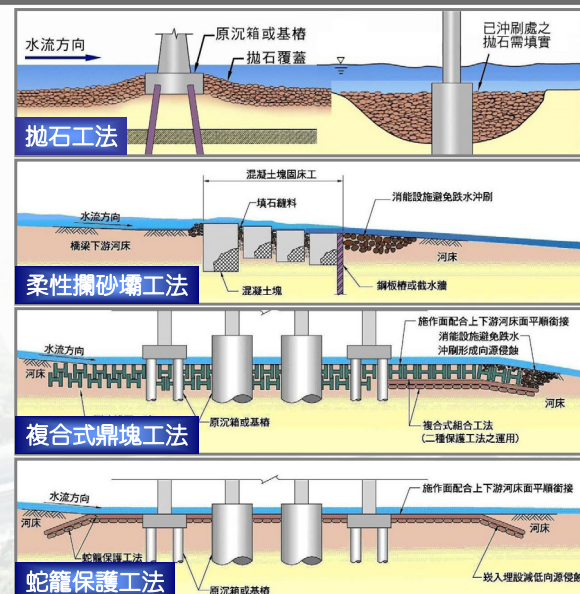


飄流物掛淤



局部沖刷

## 橋基沖刷水理防治對策



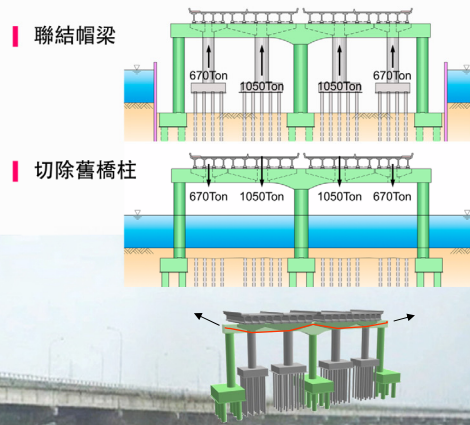
MTSAT 紅外線雲圖 8/09 11:00



## 橋基冲刷結構防治對策

### 88水災空前洪水，沖襲萬大橋

- 88水災前，經評估需耐震補強
- 洪水量已超過200年重現期距
- 冲刷深達10m，預鑄樁風險高



## 支承現況與橋梁耐震性能

支承現況  
水平耐震能力不足

弱支承

應用「功能性支承」理念？

汶川地震：弱支承損壞或未回復，造成交通中斷，影響震後救災



不符國道「生命線救災道路」之定位

適用於

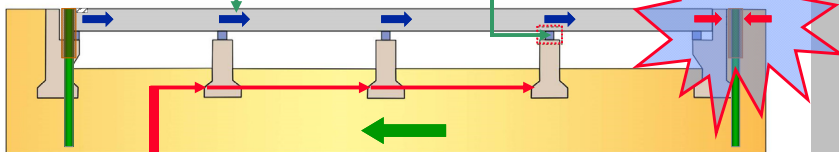
中、小規模橋梁、地方道路跨越橋

## 系統變位拘束工法之應用

傳至橋墩之地震力  
僅有 $0.15R_d$ 摩擦力

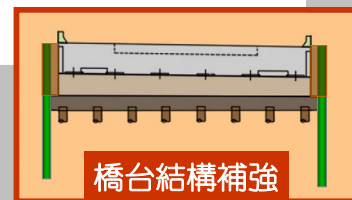
功能性支承理念  
調整止震塊間距

橋台位移拘束



橋墩不需補強，節省經費  
大地震後，上構較大殘餘變位

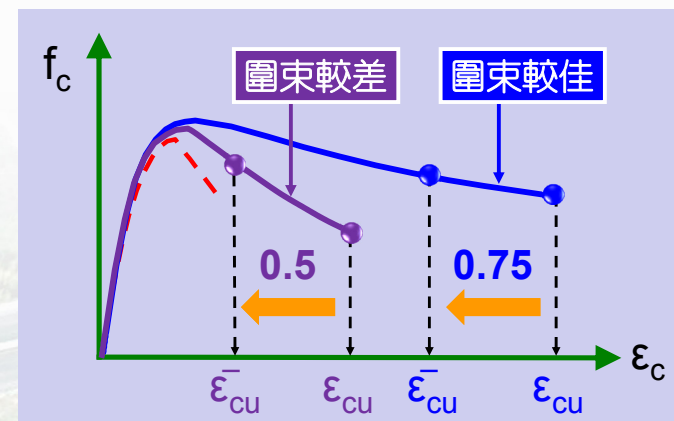
施工最方便、交通衝擊最低



## 耐震評估方法之檢討改進

圍束混凝土組成律

Mander組成律：極限應變折減因子



考量  
建議本計畫採用

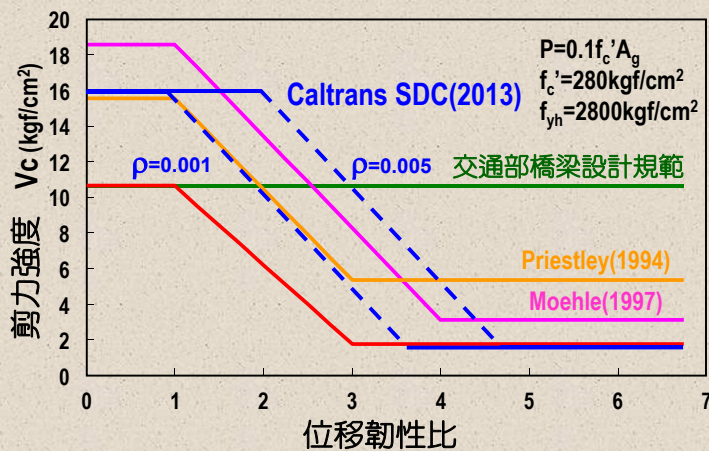
參考：  
Caltrans SDC(2013)  
AASHTO G. Seismic(2012)  
Eurocode 8 Part 2: Bridge



## 耐震評估方法之檢討改進

混凝土剪力容量公式

Caltrans Vc公式：已為AASHTO採用



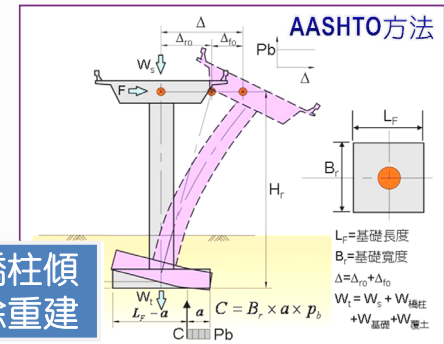
以及中國大陸  
公路橋梁抗震  
設計細則(2008)  
、城市橋梁抗震  
設計規範(2011)  
所採用

建議  
本計畫採用

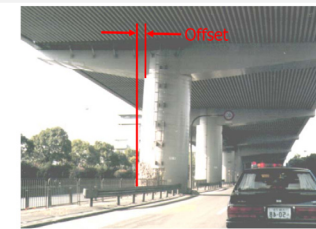
## 耐震評估方法之檢討改進

直接基礎搖擺分析之探討

須考量：基礎可能產生  
永久沉陷、滑移與旋轉



阪神地震後，約100根橋柱傾  
斜角度大於1.75%，拆除重建



經專家學者諮詢會  
議同意方納入設計

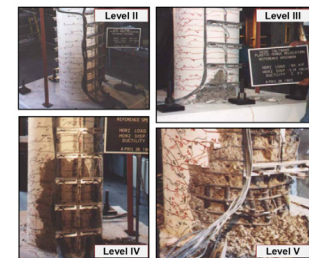
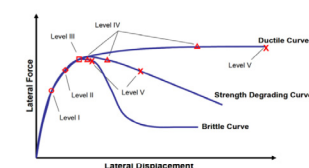
## 耐震評估方法之檢討改進



Division of Research  
& Innovation

Visual Inspection & Capacity Assessment  
of Earthquake Damaged Reinforced  
Concrete Bridge Elements

Final Report

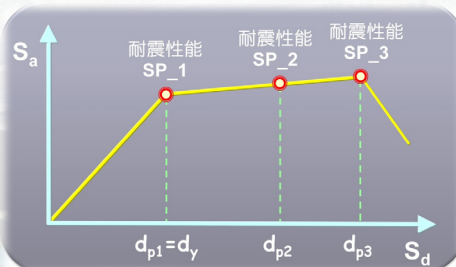


Report CA06-0294  
November 2008

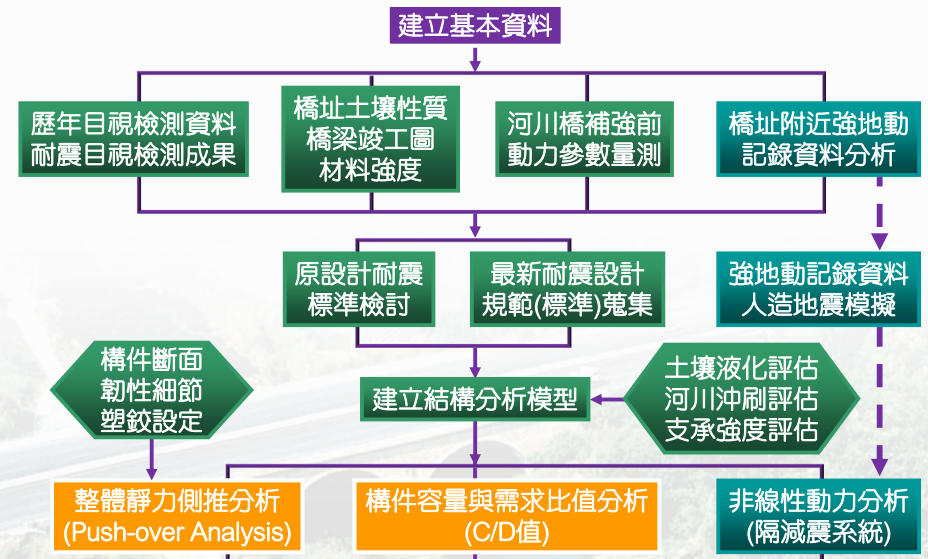
耐震性能點決定之合理性

考量

既有橋墩韌性之差異  
圍束鋼筋數量與細節

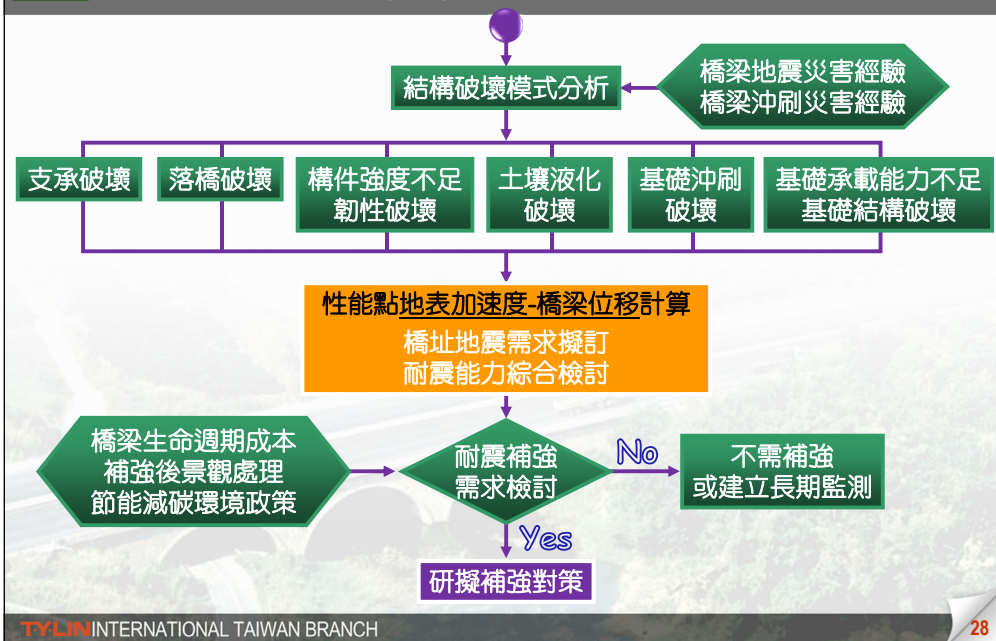


## 橋梁耐震評估流程(1/2)

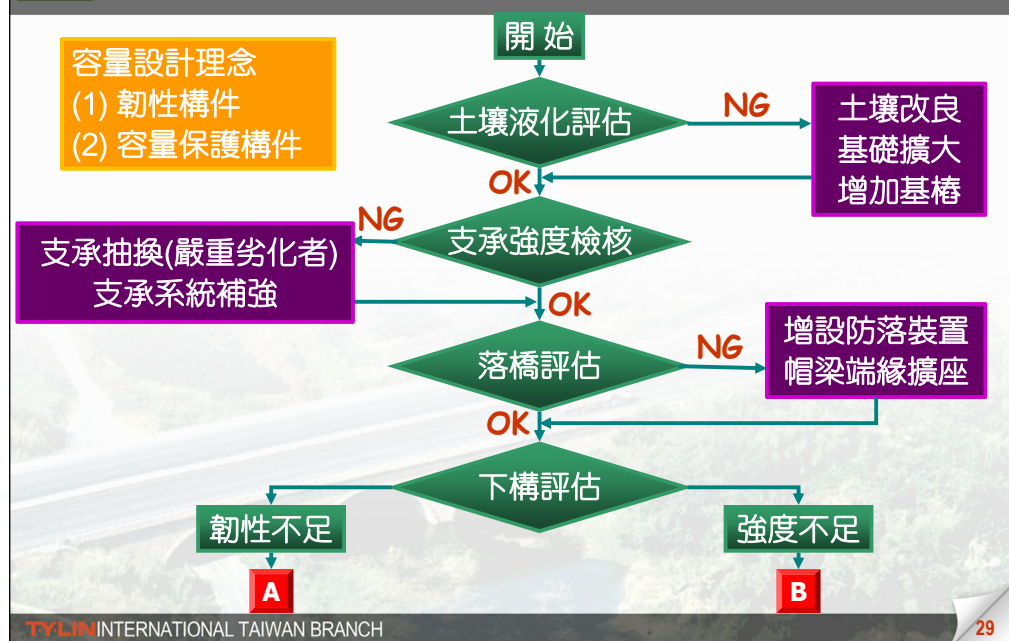




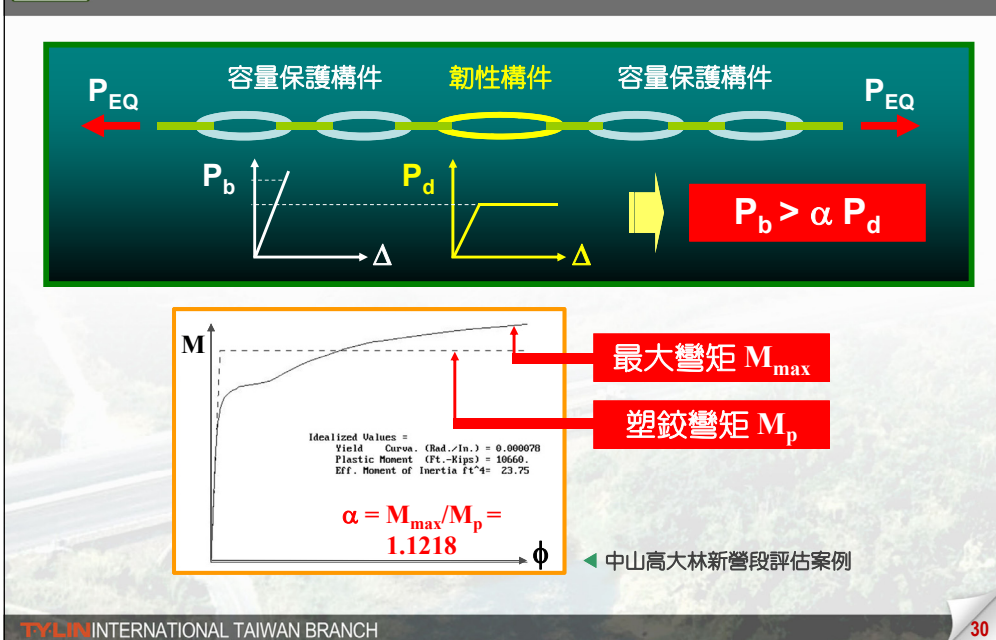
## 橋梁耐震評估流程(2/2)



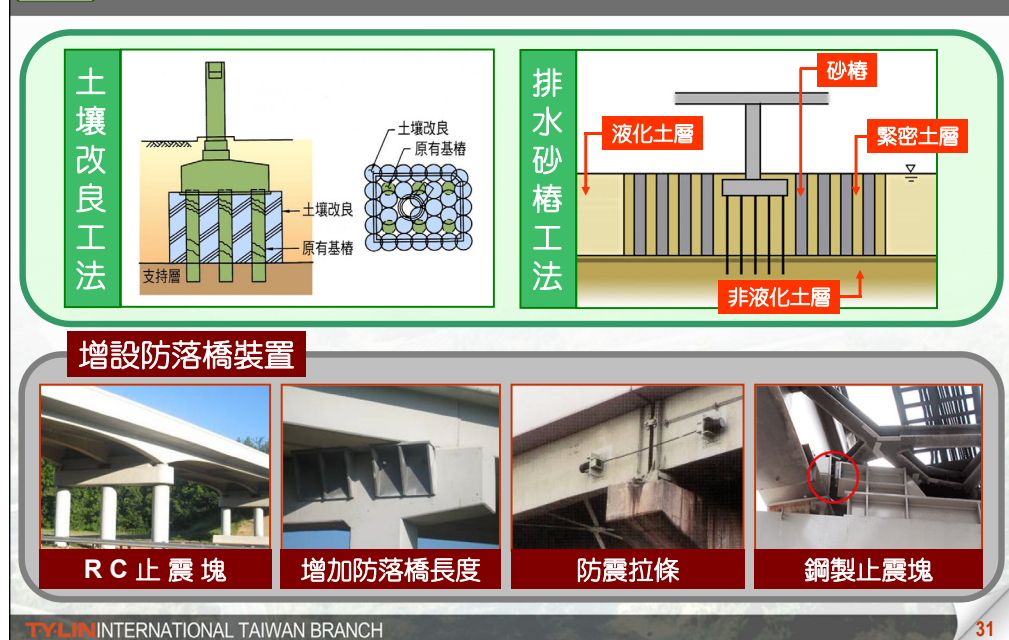
## 土壤液化、支承及落橋補強對策



## 容量設計理念

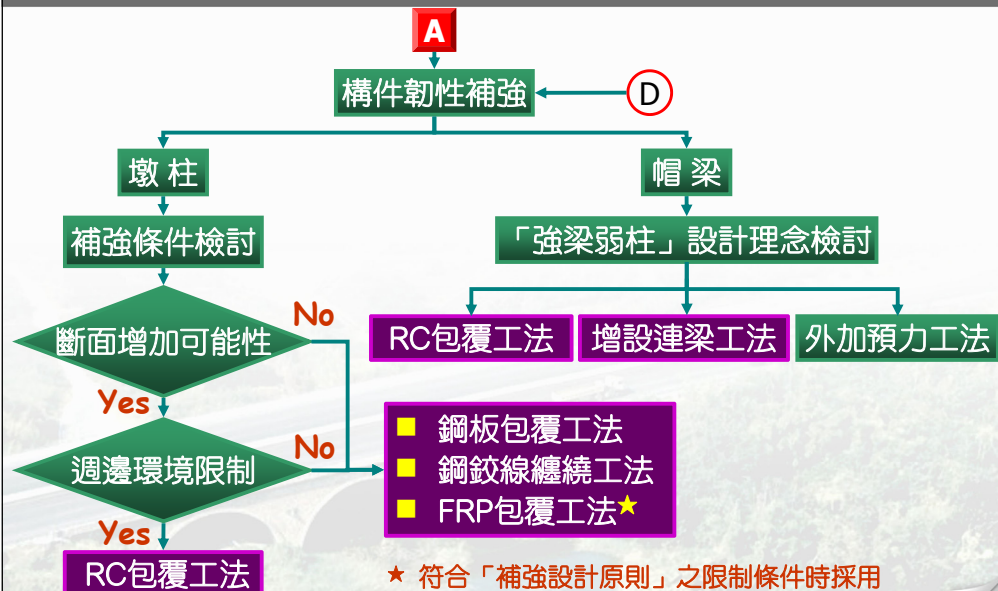


## 土壤改良、增設防落橋裝置





## 橋柱及帽梁補強對策

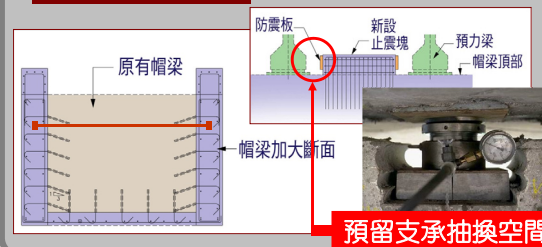


## 橋柱及帽梁補強工法

### 橋柱包覆工法



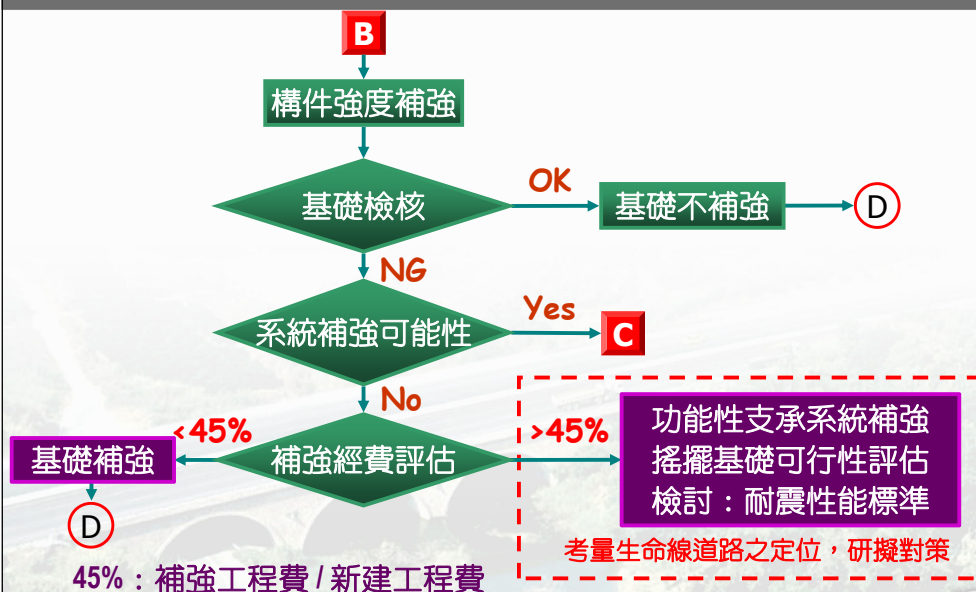
### 帽梁RC包覆



### 增設連梁工法

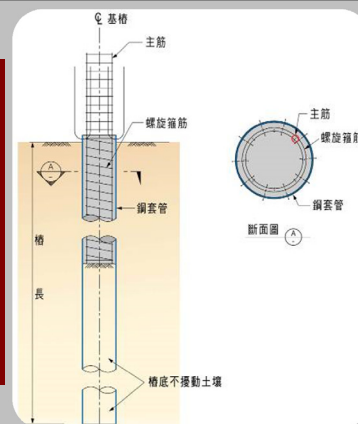


## 基礎補強對策

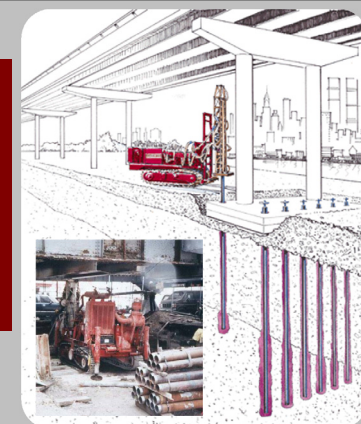


## 基礎增樁補強工法

### 內灌混凝土鋼管樁



### 高強度微型樁





## 河川橋基礎補強工法

河川沖刷潛勢高

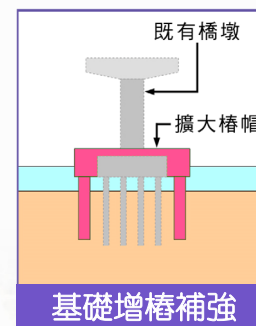
增設全套管基樁



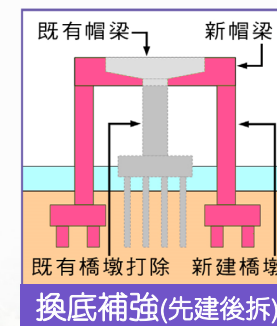
裸露基樁鋼板包覆



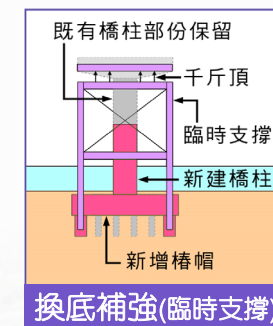
## 河川橋基礎補強工法



國道1號基礎補強

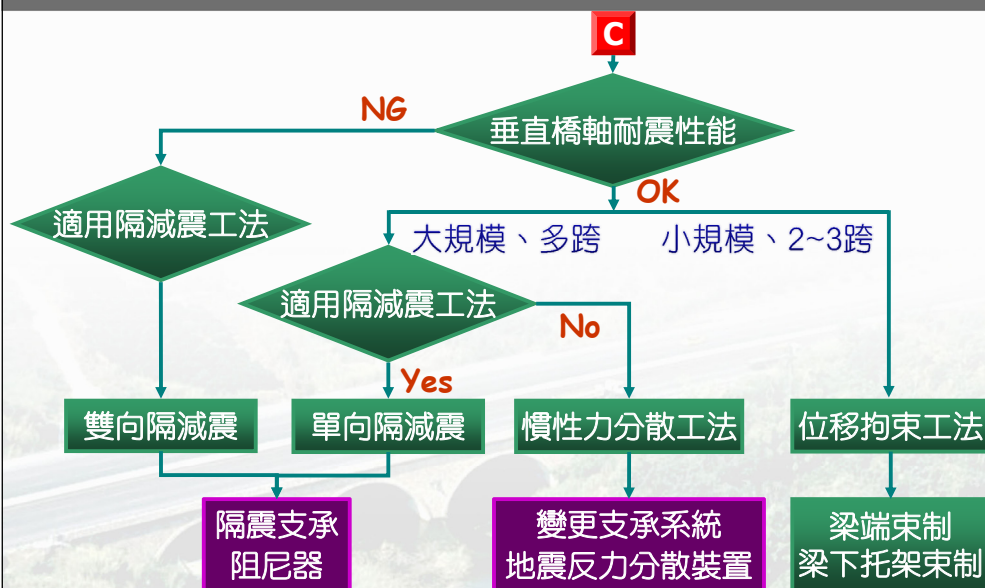


台88萬大橋換底補強



溪州大橋換底補強

## 系統補強對策



## 隔減震裝置之應用

### ■ 技術較成熟的隔減震裝置

- ❖ 鉛心橡膠支承墊 (LRB)
- ❖ 高阻尼橡膠支承墊 (HRB)
- ❖ 摩擦單擺支承 (FPB)
- ❖ 液態黏滯性阻尼器 (FVD)



不宜採用隔減震設計之條件

工址土壤具高液化潛能時  
高橋墩或位於柔軟地盤時  
周期延長、阻尼增加對防震無太大意義時  
有損橋梁之使用性與經濟性時



## 系統補強工法

隔震支承



阻尼器



地震力量分散裝置

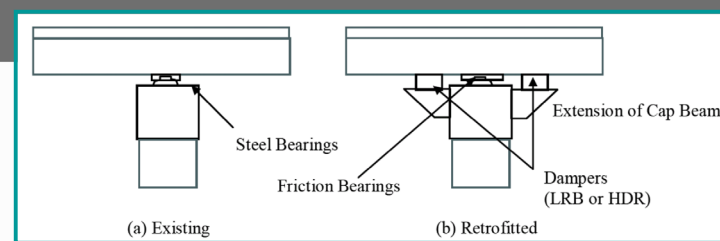
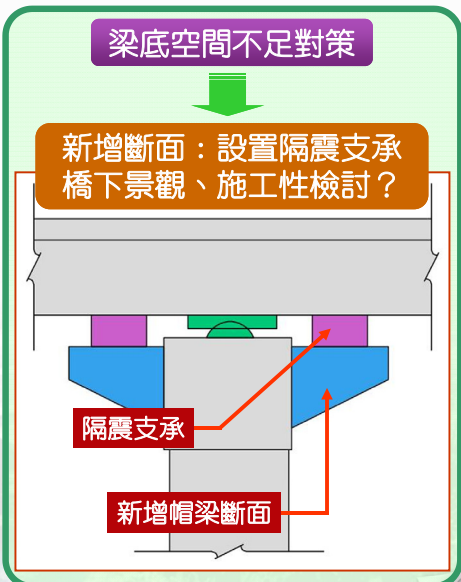


梁底空間不足對策

新增斷面：設置隔震支承  
橋下景觀、施工性檢討？

隔震支承

新增帽梁斷面



(a)



(b)

Fig. 10. 48 Seismic Retrofit using Seismic Isolation; (a) Installation of lead rubber bearings and sliding bearings, and (b) after retrofitted

## 隔減震裝置之應用

### ■ 摩擦單擺支承 (Friction Pendulum Bearing)

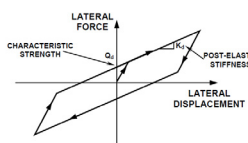
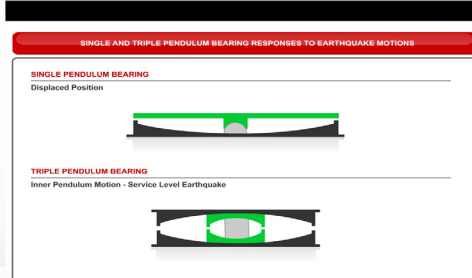
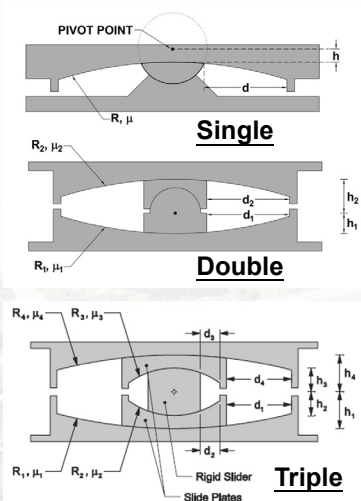
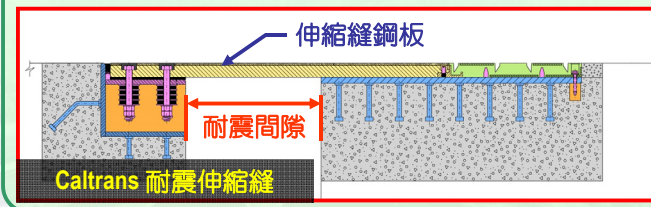
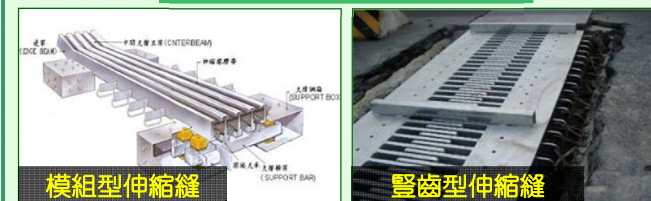


FIGURE 3-1 Idealized Force-Displacement Relation of Typical Seismic Isolation System

## 隔震支承應用：大位移量伸縮縫

### 大伸縮量之伸縮縫型式

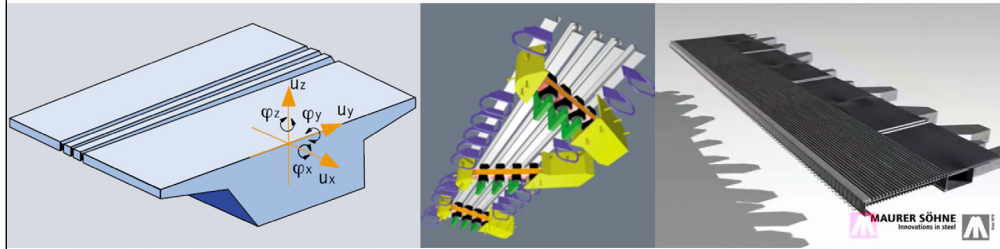


既有支承

置換為隔震支承

伸縮量不足時  
須置換伸縮縫

## 隔震支承應用：大位移量伸縮縫



type	weight [kg/m]	type	weight [kg/m]	n	type	$u_x$ [mm]	$u_y^*$ [mm]	$u_z^*$ [mm]	$\alpha$ [°]	$\Delta\alpha$	$\beta$ [°]
D5160	270	D5720	930	2	D5160	130 (160)	$\pm 80$	$\pm 10$			
D5340	350	D5800	1030	3	D5240	195 (240)	$\pm 120$	$\pm 15$			
D5320	440	D5880	1140	4	D5320	260 (320)	$\pm 160$	$\pm 20$			
D5400	530	D5960	1260	5	D5400	325 (400)	$\pm 200$	$\pm 25$			
D5480	620	D51040	1380	6	D5480	390 (480)	$\pm 240$	$\pm 30$			
D5560	720	D51120	1500	7	D5560	455 (560)	$\pm 280$	$\pm 35$			
D5640	820	D51200	1620	8	D5640	520 (640)	$\pm 320$	$\pm 40$	$90^\circ \pm 45^\circ$	any	any
				9	D5720	585 (720)	$\pm 360$	$\pm 40$			
				10	D5800	650 (800)	$\pm 400$	$\pm 40$			
				11	D5880	715 (880)	$\pm 440$	$\pm 40$			
				12	D5960	780 (960)	$\pm 480$	$\pm 45$			
				13	D51040	845 (1040)	$\pm 520$	$\pm 45$			
				14	D51120	910 (1120)	$\pm 560$	$\pm 45$			
				15	D51200	975 (1200)	$\pm 600$	$\pm 45$			

The given numbers of the weight of joints is only to calculate the size of cranes and lifting devices.

\*) Values apply to standard design, bigger values are possible, too.

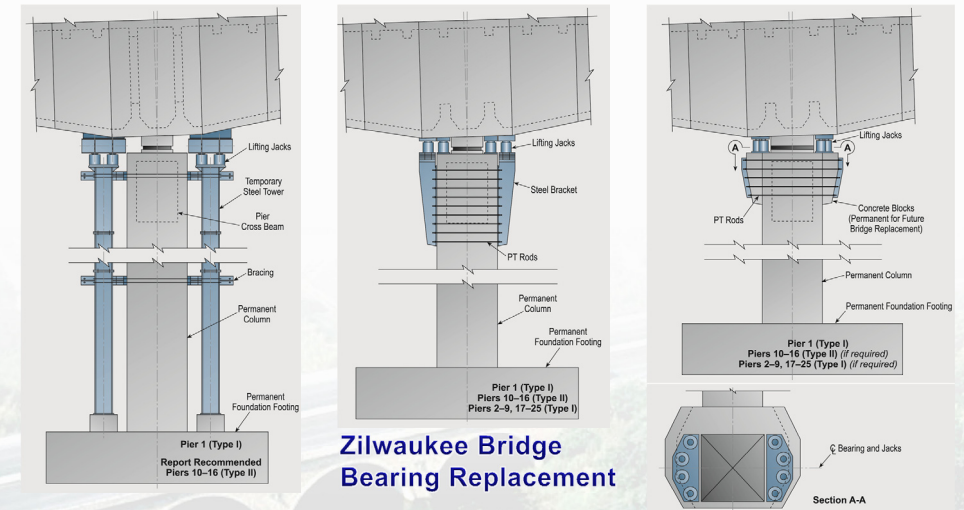
### FULL-SCALE DYNAMIC TESTING OF EXPANSION JOINTS FOR SEISMICALLY ISOLATED BRIDGES

by  
Dan Chale  
and  
Andrew Whitaker

A Report to:  
D. S. Brown Company  
North Baltimore, Ohio 43817-0158

Report No. EBRCL/2009-01  
Pacific Earthquake Engineering Research Center  
University of California at Berkeley  
September 2009

## 支承更換施工之力量轉換

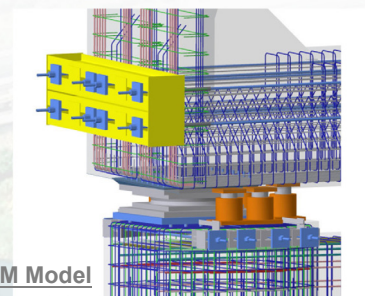
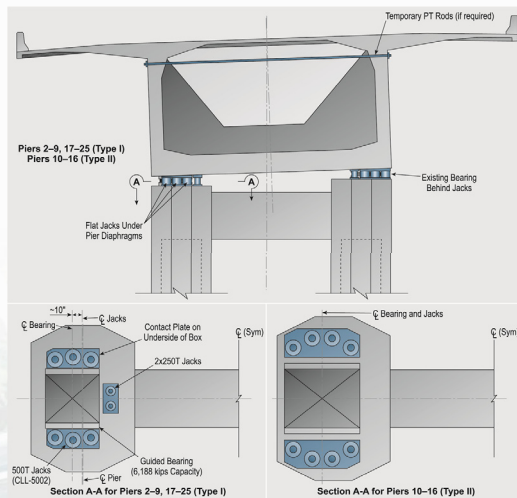


就地支撐

鋼構托架

混凝土托架

## 支承更換施工之力量轉換



油壓千斤頂+局部補強

BrIM Model

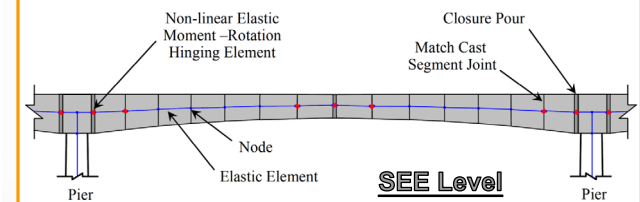
## 鄰近斷層預鑄節塊橋梁之垂直地震力

耐震性能規範 (複審)

4.3.4 垂直設計地震力

不規則橋梁或近斷層  
工址之重要橋梁應考  
慮垂直地震力之影響

預鑄節塊塑鉸模擬 (Caltrans SSRP-10/02, 2013)



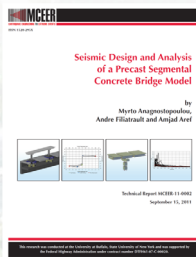
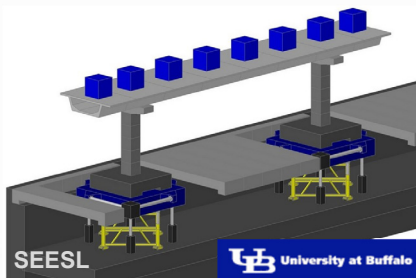
南投高架橋

垂直地震力

節塊開裂



## 鄰近斷層預鑄節塊橋梁之垂直地震力



### Caltrans預鑄節塊箱形梁橋耐震性能準則 (草案)

Bridge Classification	Functional Evaluation Earthquake (FEE) (100~500 years)	Safety Evaluation Earthquake (SEE) (1000~2500 years)
Ordinary	No joint opening	No collapse
Important	No joint opening	Non-linear elastic segment joint response

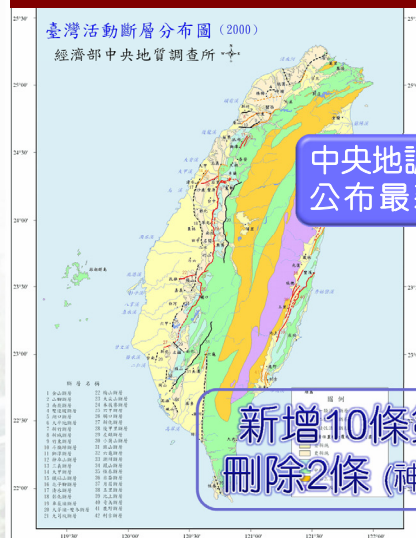


2

## 鄰近(跨越)第一類活動斷層

## 2010年新增第一類活動斷層

### 2000年版第一類活動斷層12條



### 2010年版第一類活動斷層20條



中央地調所2010/5/10  
公布最新活動斷層

新增10條第一類活動斷層  
刪除2條 (神卓山斷層、奇美斷層)

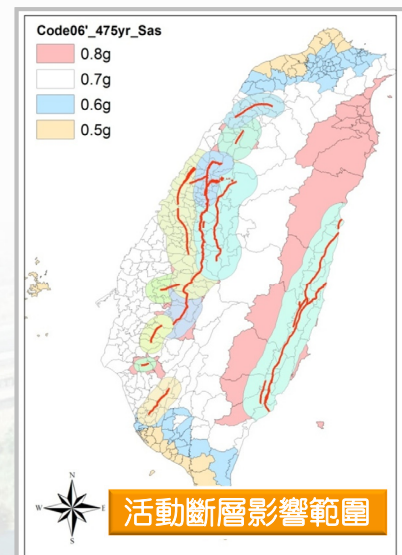
## 2010年新增第一類活動斷層

### ■ 鄰近活動斷層之地震力考量

- ❖ 公路橋梁耐震設計規範 (2.5節)
- ❖ 活動斷層近域效應： $N_A$ 、 $N_V$

- 新城斷層、三義斷層、大甲斷層
- 鐵砧山斷層、彰化斷層
- 大茅埔-雙冬斷層、六甲斷層
- 旗山斷層、瑞穗斷層、鹿野斷層

中央地調所2010/5/10  
公布最新活動斷層



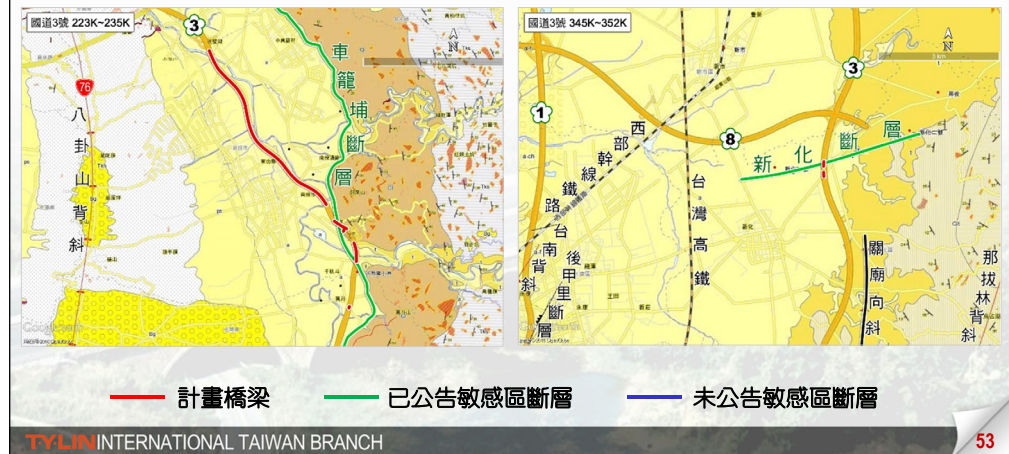


## 橋址地質敏感區套繪



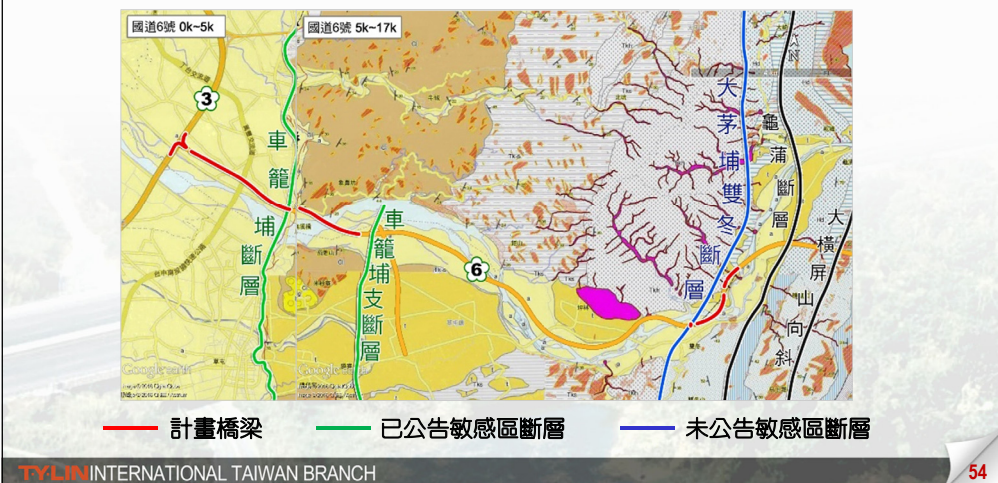
## 鄰近橋梁之第一類活動斷層

- 斷層敏感區範圍內橋梁：共24座
- ❖ 車籠埔斷層、新化斷層 (已公告敏感區)：10座



## 鄰近橋梁之第一類活動斷層

- 斷層敏感區範圍內橋梁：共24座
- ❖ 車籠埔斷層、新化斷層 (已公告敏感區)：10座



## 鄰近橋梁之第一類活動斷層

- 斷層敏感區範圍內橋梁：共24座
- ❖ 大茅埔-雙冬斷層、梅山斷層、六甲斷層 (未公告敏感區)：14座





## 跨越斷層橋梁評估及策略

第一類活動斷層	國道	橋梁名稱
車籠埔斷層	國3	南投服務區RAMP1高架橋
		南投服務區RAMP2高架橋
		投25二號穿越橋
		包尾山穿越橋
大茅埔-雙冬斷層	國6	名間高架橋
新化斷層	國3	石灼高架橋
		深坑溪橋



模組化應變橋梁

錯動量  
小

- 橋柱發揮韌性
- 適當防落長度

錯動量  
大

- 變更支承系統
- 改採隔震支承

錯動量  
非常大

- 允許上構滑動
- 但不發生落橋

應變  
措施

- 配合災害防救計畫
- 規劃臨時替代道路
- 研擬緊急搶修計畫

## 跨越斷層橋梁評估及策略

初步構想

PCI型梁簡支梁系統

- 增加防落橋長度
- 增設防落差設施
- 高強度防震拉條

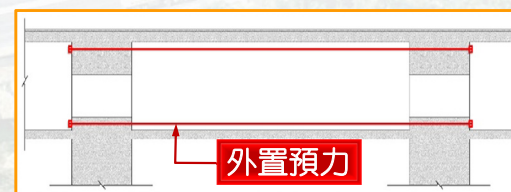
連續PC箱型梁系統

- 增設縱向外置預力
- 提高箱梁抗彎強度



紐西蘭橋梁案例

台灣高鐵橋梁案例

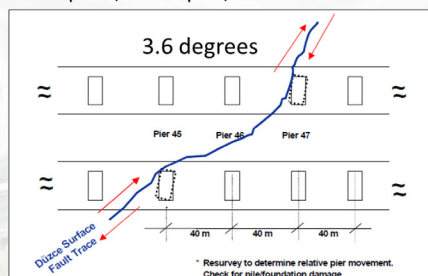


外置預力

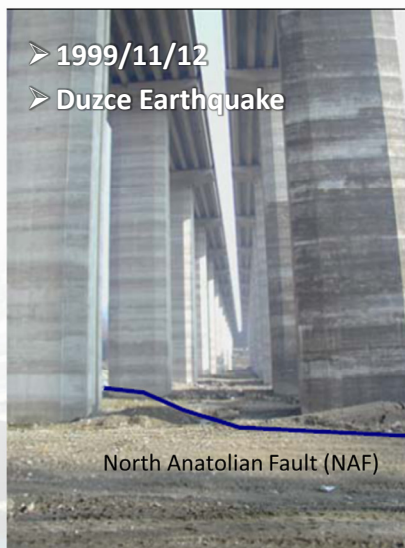
## 跨越活動斷層橋梁補強案例 - Bolu Viaduct



59 spans, 40m span, dual 2.3 km



- 1999/11/12
- Duzce Earthquake



North Anatolian Fault (NAF)

## 跨越活動斷層橋梁補強案例 - Bolu Viaduct

摩擦單擺支承隔震補強  
上構連續化+大位移量



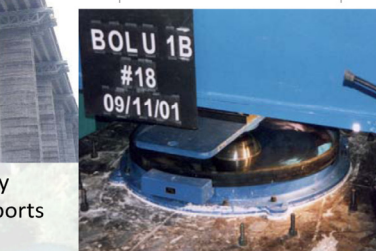
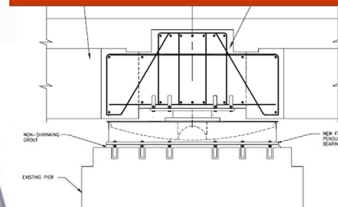
Energy Dissipation Unit (EDU)  
Cable restrainers



Pot bearing



Temporary  
truss supports



Friction Pendulum Isolation bearing



**TYLIN** INTERNATIONAL TAIWAN BRANCH

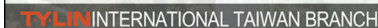


## ❖ 第十二章 耐久性設計

(1) 設計年限係指依據相關規範設計及施工，並在正常使用及維護狀態下之年限。

(3) 其他公路橋梁，設計年限不小於50年。

(4) 橋梁主要構件在設計年限內無需大修，非主要構件（如伸縮縫、護欄、緣石等）及可更換構件（如支承、隔震及防落設施等）可設計成易於更換的形式，或能夠經濟合理地進行維修，其設計年限可低於結構整體的設計年限，並應在設計圖說中明確規定。



## ❖ C2.4 設計地震下之水平地震力

## ❖ 1. 基本說明

(1) 設計地震係考慮50年10%超越機率之均布危害度分析而訂定，其對應地震回歸期為475年

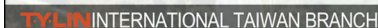
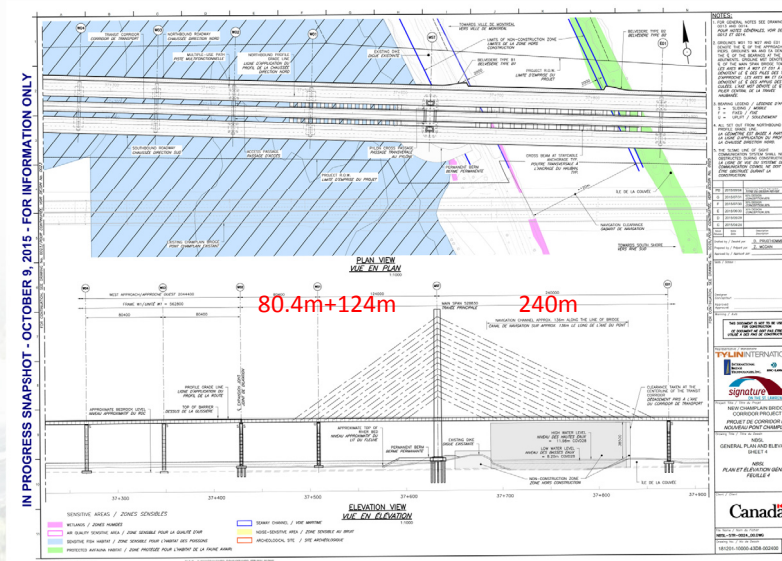
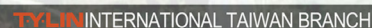
(2) **最大考量地震**係考慮50年2%超越機率之均布危害度分析而訂定，其對應地震回歸期為2500年

(3) **中度地震**係指地震發生頻率頗高，但地震地表加速度不大之地震（設計地震/3.25）

■ 本計畫建議：

❖ 耐久性設計年限與地震力標準，可獨立分別考慮

❖ 地震力需求：依「公路橋梁耐震設計規範」辦理





## New Champlain Bridge



## New Champlain Bridge

### 3.9 Design life requirements

#### 3.9.1 Structures

Design life is the period of time, specified by the owner, during which a structure is intended to remain in service. The design life of the NBSL Bridge and the New IdS Bridge shall be 125 years. The design life of the all other structures shall be 75 years.

#### 3.9.2 Non-replaceable and replaceable components

At a minimum, non-replaceable components shall include:

- A. foundations including piles, pile caps and footings;
- B. substructures including piers, pier caps, abutments and retaining walls;
- C. superstructures including primary and secondary structural members and decks, for roadway and Transit Corridor superstructures; and
- D. NBSL main span tower.

The design life of a replaceable component is the period of time the component is required to remain in service, with planned maintenance, before it needs replacement. The design life of non-replaceable and replaceable components shall meet or exceed the minimum requirements specified in Table 7-7-3-3 herein.

AASHTO Service Life Concept for Durability Design

## New Champlain Bridge: Seismic Performance Criteria

AASHTO Design Life Concept

125 yrs

23.14%  
(475 yrs)

12.03%  
(975 yrs)

4.93%  
(2475 yrs)

### NEW BRIDGE FOR THE SAINT LAWRENCE CORRIDOR PROJECT PROJECT AGREEMENT

Table 7-27-3-9 Minimum performance levels for bridges

Seismic ground motion probability of exceedance in 50 years (Return period)	Lifeline bridges		Major-route bridges		Other bridges	
	Service level	Damage	Service level	Damage	Service level	Damage
10% (475 years)	Immediate	None	Immediate	Minimal	Service limited Note (1)	Repairable Note (1)
5% (975 years)	Immediate	Minimal	Service limited Note (1)	Repairable Note (1)	Service disruption Note (1)	Extensive Note (1)
2% (2475 years)	Service limited	Repairable	Service disruption	Extensive	Life safety	Probable replacement

Note (1). Verification at this performance level is not required.

## New Champlain Bridge: Seismic Performance Criteria

Table 7-27-3-5 Requirements for performance-based design (PBD) and force-based design (FBD) (see Section 3.4.6 for PBD and Section 3.4.7 for FBD)

Seismic performance category	Lifeline bridges		Major-route bridges		Other bridges	
	Irregular	Regular	Irregular	Regular	Irregular	Regular
1	No seismic analysis required					
2	PBD	PBD	PBD	FBD	FBD	FBD
3	PBD	PBD	PBD	FBD	PBD	FBD

For the NBSL, an inelastic non-linear time history analysis shall be carried out. The analysis shall consider non-synchronous ground motion due to wave passage delay and incoherence. Where site response effects are expected to differ significantly for different parts of the structure the analysis shall account for this.



TABLE 23  
SEISMIC DESIGN CRITERIA FOR AGENCIES/ORGANIZATIONS

Organization	Year	Ground Motion <sup>1</sup>	Damage	Performance	Ground Motion <sup>2</sup>	Damage	Performance
Caltrans Ordinary	2010	NA	NA	NA	SEE Maximum of 5% in 50 yr (1,000-yr RP) and deterministic ground motion	Significant, no collapse	Impaired
Caltrans Important	2010	FEE project-specific defined by peer review panel	Minimal	Immediate	SEE project-specific defined by peer review panel	Repairable	Limited
SCDOT Operational Class I	2008	FEE 15% in 75 yr (500-yr RP)	Minimal	Immediate	SEE 3% in 75 yr (2,500-yr RP)	Repairable	Maintained
SCDOT Operational Class II	2008	FEE 15% in 75 yr (500-yr RP)	Repairable	Maintained	SEE 3% in 75 yr (2,500-yr RP)	Significant	Impaired
SCDOT Operational Class III	2008	NA	NA	NA	SEE 3% in 75 yr (2,500-yr RP)	Significant	Impaired
ODOT	2011	15% in 75 yr (500-yr RP)	Minimal	Open in 72 hours	7% in 75 yr (1,000-yr RP)	Significant	Impaired

Notes:  
1. Return periods shown are approximate.  
2. If no percent exceedance is provided, then none was provided in the source data.  
FEE = Functional Evaluation Earthquake; SEE = Safety Evaluation Earthquake.  
Terms are those used by the agencies.  
NA = not available.

NCHRP Synthesis 440  
Performance-Based Seismic Bridge Design



TABLE 24  
SEISMIC DESIGN CRITERIA FOR VARIOUS PROJECTS

Project and Agency	Year	Ground Motion <sup>1</sup>	Damage	Performance	Ground Motion <sup>2</sup>	Damage	Performance
Cooper River Bridge SCDOT Critical Access Path	2000	FEE 15% in 75 yr (500-yr RP)	Minimal	Immediate	SEE 3% in 75 yr (2,500- yr RP)	Repairable	Functional; emergency vehicles
SR 520 Floating Bridge WSDOT	2011	NA	NA	NA	7% in 75 yr (1,000-yr RP)	Repairable	Maintained
West Approach SFOBB Caltrans	2002	FEE 40% in Life (300-yr RP)	Minimal	Immediate to all vehicles	SEE 1,000- 2,000-yr RP	Repairable	Immediate; emergency vehicles
Antioch Toll Bridge Retrofit Caltrans	2010	N/A (Low ADT)	NA	NA	SEE 1,000-yr RP	Significant, No collapse	Impaired
Vincent Thomas Bridge Retrofit Caltrans	1996	FEE 40% in 150 yr (285-yr RP)	Repairable	Immediate	SEE 16% in 150 yr (950-yr RP)	Significant	Emergency vehicles within days
Columbia River Crossing, ODOT & WSDOT	2008	FEE 15% in 75 yr (500-yr RP)	Minimal	NR	SEE 3% in 75 yr (2,500-yr RP)	Significant No collapse	NR
I-40 Bridge, Mississippi River TDOT	1992	NA	NA	NA	2% in 50 yr (2,500-yr RP)	Minimal	Serviceable

Notes:  
1. Return periods shown are approximate.  
2. If no percent exceedance is provided, then none was provided in the source data.  
FEE = functional evaluation earthquake; SEE = safety evaluation earthquake.  
Terms are those used by the agencies.  
NA = not available, NR = not reported.

NCHRP Synthesis 440  
Performance-Based Seismic Bridge Design



## ■ AASHTO LRFD Bridge Design Specification

- **Design Life** — Period of time on which the statistical derivation of transient loads is based: 75 yr for these Specifications (中國規範：設計基準期)
- **Extreme Event Limit States** — Limit states relating to events such as earthquakes, ice load, and vehicle and vessel collision, with return periods in excess of the design life of the bridge
- **Service Life** — The period of time that the bridge is expected to be in operation (中國規範：設計使用年限，耐久性設計)
- **Service Limit States** — Limit states relating to stress, deformation, and cracking under regular operating conditions



标准代号	设计基准期的定义及参数	设计使用年限的定义及参数
GB 50153-2008	“为确定可变作用等的取值而选用的时间参数”。参数列于附录A，包含铁路、公路及房屋结构。铁路：100年；公路：100年。	“设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按预定目的使用的年限”。参数列于附录A，包含铁路、公路及房屋结构。铁路：100年；公路：小桥30年，中桥50年，大桥100年。
GB 50216-1994	“在持久设计状况下计算结构可靠度时考虑各项基本变量与时间关系所取用的基准时间”。 “设计基准期宜为50年或100年”。	概念无明确定义。年限无规定。
TB10002.1-2005 TB10002.2-2005 TB10002.3-2005	概念无明确定义。基准期无规定。	概念无明确定义。但规定“桥梁结构应按100年设计使用年限”。
GBT 50283-1999 JTG D60-2004 JTG D62-2004	“在进行结构可靠性分析时，考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所取用的基准时间参数”。 “桥梁结构100年”。	概念无明确定义。年限无规定。
JTG/TB07-01-2006	“在进行结构可靠性分析时，考虑持久设计状况下各项基本变量与时间关系所采用的基准时间参数”。 设计基准期为100及50年。	概念无明确定义。年限无规定。





## 工程结构可靠性设计统一标准 (GB 50153-2008)

### ■ 设计基准期 (Design Reference Period) :

- 是为确定可变作用等的取值而选用的时间参数，是用于作用取值的

### ■ 设计使用年限 (Design Working Life) :

- 是设计规定的结构或结构构件不需进行大修即可按预定目的使用的年限，是对结构本身的年限规定

### ■ 两者都是时间参数，但没有必然联系

耐久性設計

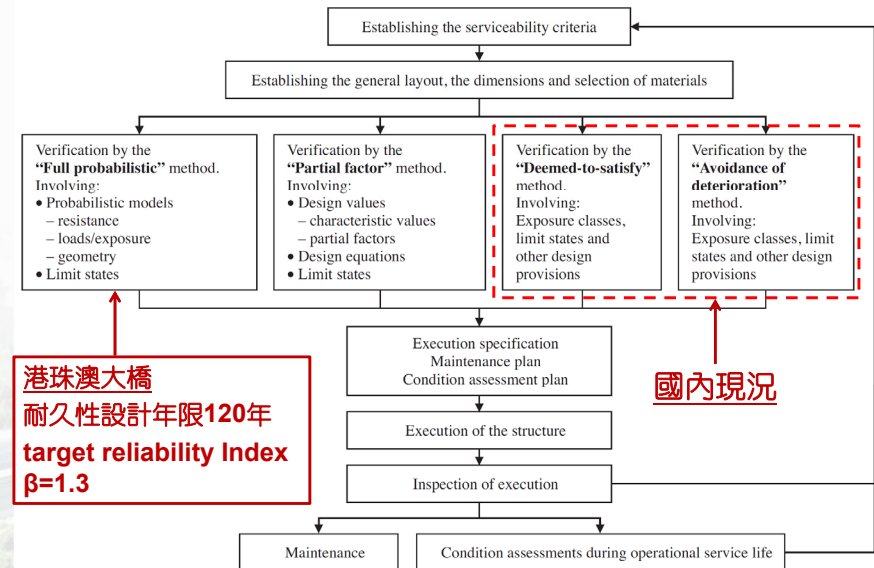
## Chloride Induced Corrosion Models

- ◆ Fick's 2<sup>nd</sup> Law Models Time to **Initiate** Corrosion in Uncracked Concrete

$$C_{crit} = C(x = cov, t) = C_0 + (C_s - C_0) \cdot \left( 1 - \operatorname{erf} \left( \frac{cov - \Delta x}{2 \cdot \sqrt{D_{app} \cdot C \cdot t}} \right) \right)$$



## ISO 16204 - Flow-chart for Service Life Design



## Reliability Levels

Summary of Reliability Index,  $\beta$  versus Probability of Failure,  $P_f$

$P_f$	Reliability	$\beta = -\Phi_U^{-1}(P_f)$	where $-\Phi_U^{-1}(P_f)$ is defined as the inverse standard normalized distribution function
Example			
10%	90%	1.3	fib Bulletin 34 Model Code for Service Life, depassivation of reinforcing
6.7%	93.3%	1.5	Eurocode EN 1990 (service limit state calibrated for a 50 year design life)
1.0%	99%	2.3	
0.1%	99.9%	3.1	
0.02%	99.98%	3.5	AASHTO LRFD Strength I (calibrated for 75 year design life)
0.007%	99.993%	3.8	Eurocode EN 1990 (ultimate limit state calibrated for a 50 year design life)
80%	20%	-0.8	fib TG8.6 Deemed to Satisfy for exposure XD3 (chlorides other than seawater) in USA - 50 year design life



4

河川橋冲刷評估之迴歸期

## 河川橋沖刷評估之重現期

### ■ 河川治理規劃重現期 — 河川治理規劃報告

- ❖ 計畫橋梁穿越之河川水路保護重現期：10年~100年

### ■ 梁底設計重現期 — 國工局原設計報告

- ❖ 主要河川：採200年洪水頻率設計，梁底出水高1.5M
- ❖ 普通河川：採 50年洪水頻率設計，梁底出水高1.0M
- ❖ 沖刷計算採用之重現期：無明確說明

### ■ 國道4號臺中環線豐原潭子段計畫

- 經洽詢設計單位(中興公司)，新設橋墩沖刷量以河川治理規劃重現期推估

## 河川橋原始設計資料節錄

### ■ 二高後續計畫 — 南投路段

交通部台灣區國道新建工程局  
第二高速公路後續計畫  
南投路段工程設計暨配合工作

細部設計報告

表 3.2-2 主要河川計畫橋址現況水文資料表

橋梁名稱	跨越河川 所屬水系	計畫河寬 (公尺)	幹流長 (公里)	集水面積 (平方公里)	洪峰設計			設計橋 梁底高程 (公尺)	梁底淨空 (公尺)	備註
					洪水量(立方公尺/秒)	洪水位 (公尺)	再現期(年)			
南投高架橋	貓羅溪	250	32	262	(3,700) 4,600	(85.8) 86.78	(50) 200	95.00	8.22	
南投高架橋	貓羅溪	230	23	164	(2,770) 3,090	(89.1) 90.21	(50) 250	94.00	3.79	
濁水溪河川橋	濁水溪	800	140	2445	(16,700) 18,800	(149.7) 150.53	(100) 200	153.71	3.18	
清水溪河川橋	濁水溪	950	52	423	(7,000) 8,300	(106.40) 107.11	(100) 200	113.90	6.79	
東埔蚋溪河川橋	濁水溪	250	18	102	(1,950) 2,580	(143.16) 143.48	(100) 200	145.50	2.02	

註：表中( )之數值為水利局在該河川整治計畫所採用之設計標準。

## 河川橋原始設計資料節錄

### ■ 二高後續計畫 — 雲林嘉義段

交通部台灣區國道新建工程局

第二高速公路後續計畫  
雲林嘉義段

細部設計報告

#### 3.4.3 橋梁通水斷面設計

本路段所經河川溪流甚多，為配合路線高低起伏及考量河防安全，需架設斗六東溪、大埔溪、外湖溪、楓樹湖南溪、楊林溪、黃德坑溪、炭頂坑溪、圳頭坑溪、石子坑溪、尖山坑溪、石牛溪、壽子溪、大湖口溪、石龜溪、葉子寮溪、三疊溪、獅子頭溪、牛稠溪、八掌溪、赤蘭溪、牛稠坑溪等二十一條河川排水橋，其中主要河川之橋梁採200年洪水頻率設計，普通河川之橋梁則採50年洪水頻率設計，主要河川和普通河川橋梁梁底之淨空需求，分別訂為1.5和1.0公尺。各橋梁梁底標高均遠高於各溪流之計畫洪水位，其橋梁設置概況略述如后。有關高速公路跨越相關河川之水文分析報告，均於設計階段送請水利主管機關審核同意後，作為橋梁設計之依據。其設計水文與水理資料概況列如表3.4-1所示。

中興工程顧問社

中華民國八十六年三月二十八日  
中華民國八十六年五月定稿

## 河川橋原始設計資料節錄

### ■ 二高後續計畫 — 白河新化段

交通部台灣區國道新建工程局

第二高速公路後續計畫

白河新化段(STA.203K+300~STA.245K+703.071)

細部設計報告

#### 三、橋梁通水斷面設計

##### (一) 河川橋

本計畫路線跨越之重要河川包括頭前溪、白水溪、六重溪、龜重溪、官田溪、曾文溪等處，將建河川橋，有關橋樑跨徑決定之原則如下：

1. 溪流河道的通水淨寬乃根據其主管機關研擬之治理規劃報告及水利主管機關提供的河川圖幅圖之治理計畫線及用地範圍線決定，橋樑長度除須配合水利主管機關整體治理計畫外，更須視地形及橋台填土高度而決定，儘量採長跨徑構造。
2. 洪水位依治理計畫報告內水文及水理計算資料辦理，其中主要河川以 200年洪水頻率洪峰流量、普通河川以 50年洪水頻率洪峰流量檢核橋樑設計之安全性。



67.4.27

中興工程顧問社

中華民國八十六年三月二十八日  
中華民國八十六年五月定稿



## 河川橋沖刷深度初步評估(1/3)

橋梁名稱	河川名稱	重現期 (yr)		橋墩沖刷深度推估 (m)		附註
		河川規劃	梁底設計	依河川規劃重現期	依梁底設計重現期	
南投高架橋	貓羅溪	50	200	6.90	7.60	
平林溪河川橋	平林溪	50	200	7.50	7.68	
濁水溪河川橋	濁水溪	100	200	13.86	16.08	
東埔納溪河川橋	東埔納溪	100	200	5.78	7.04	治理計畫線外移
清水溪河川橋	清水溪	100	200	4.99	5.13	
大埔溪排水橋主線	大埔溪	25	50	4.15	4.25	行水區直基
梅林溪排水橋	梅林溪	25	50	5.10	5.55	行水區直基



基礎頂部已無覆土



平林溪河川橋基礎裸露



清水溪河川橋基樁裸露



濁水溪河川橋基樁裸露

## 河川橋沖刷深度初步評估(2/3)

橋梁名稱	河川名稱	洪水重現期 (yr)		橋墩沖刷深度推估 (m)		附註
		河川規劃	梁底設計	依河川規劃重現期	依梁底設計重現期	
尖山坑溪河川橋	尖山坑溪	25	50	2.83	3.95	
石牛溪河川橋	石牛溪	25	50	4.49	5.09	
崙子溪河川橋	崙子溪	治理計畫範圍外	50	-	10.20	沖刷深度參考橋梁設計報告
大湖口溪排水橋	大湖口溪	25	50	3.96	4.08	
石龜溪排水橋	石龜溪	50	200	5.51	5.66	
葉子寮溪河川橋	葉子寮溪	治理計畫範圍外	50	-	5.80	沖刷深度參考橋梁設計報告
三疊溪河川橋	三疊溪	25	50	6.96	7.17	
獅子頭溪河穿越橋	獅子頭溪	25	50	5.94	7.08	



石牛溪河川橋基礎裸露



大湖口溪河川橋



石龜溪河川橋



三疊溪河川橋

## 河川橋沖刷深度初步評估(3/3)

橋梁名稱	河川名稱	洪水重現期 (yr)		橋墩沖刷深度推估 (m)		附註
		河川規劃	梁底設計	依河川規劃重現期	依梁底設計重現期	
牛稠溪河川橋	牛稠溪	100	200	5.47	5.67	
八掌溪河川橋	八掌溪	50	200	4.36	4.71	
荊桐崎溪排水橋	吉貝要大排	10	50	1.82	3.47	
龜重溪河川橋	龜重溪	50	200	2.93	3.80	
深坑溪橋	烏鬼厝溪排水	10	50	5.68	6.75	
烏溪四號橋	烏溪	100	200	10.19	11.42	
石灼高架橋	烏溪	100	200	2.25	2.74	行水區直基，沖刷深度採HEC-18岩盤沖刷公式



八掌溪河川橋



荊桐崎溪排水橋



石灼高架橋



烏溪四號橋

## 沖刷公式之採用

### 長期沖刷深度

- 採歷年河道斷面變化

### 河床質移動厚度

- 日本經驗公式：移動厚度=0.2h

### 束縮沖刷深度

- 採Laursen及Gill公式之平均

### 局部沖刷

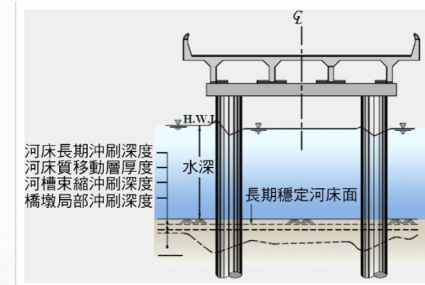
- 採較適合臺灣地區之4種建議公式，以平均值估算

$$\text{Laursen(1958): } \frac{D_p}{h_2} = 5.5 \times \frac{h_s}{h_2} \times \left[ \left( \frac{h_s}{11.5 \times h_2} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right]$$

$$\text{Shen et al.(1969): } h_s = 0.000223 \times \left( \frac{V_2 \times D_p}{v} \right)^{0.619}$$

$$\text{Jain and Fischer(1980): } \frac{h_s}{D_p} = 1.86 \times \left( \frac{h_2}{D_p} \right)^{0.5} \times (F_r - F_{rc})^{0.25}$$

$$\text{Ettema et al.(1998): } \left( \frac{h_s}{D_p} \right) = \left( \frac{h_2}{D_p} \right)^{0.62} \times \left( \frac{V_2}{(g \times h_2)^{0.5}} \right)^{0.2} \times \left( \frac{D_p}{D_{50}} \right)^{0.08}$$





## 濁水溪河川橋潛在沖刷課題

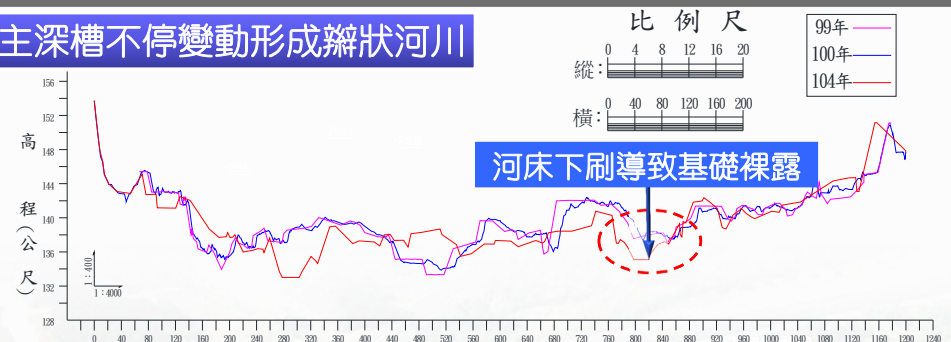


基礎沖刷評估

考量上下游河工構造影響

## 濁水溪河川橋橋址處河道變化

### 主深槽不停變動形成瓣狀河川



## 濁水溪橋之河川水理



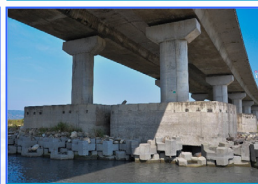
P25~P31托底補強 (92年)



P31~P33鼎塊保護 (98年)



P29 樁頭裸露 (105年)



P29 鼎塊保護 (105年)

105年中工處南投工務段辦理  
緊急搶修加設鼎塊保護 (P29~P31)



林呈空拍 92.10



林呈空拍 97.11



林呈空拍 98.08



105.03

## 濁水溪河川橋現況照片



P30

05.05.2015



P30

P30橋墩處  
鼎塊保護工



06.05.2016



P17

基樁裸露

06.05.2015



## 河川橋沖刷深度初步評估

### 以濁水溪河川橋P30為例

重現期	100年	200年
水位(m)	146.17	146.64
長期沖刷(m)	3.4	3.4
局部沖刷(m)	10.04	12.38
束縮沖刷(m)	0.34	0.37
保護工有效係數Ep	0.1	0.1
河床質移動厚度(m)	1.11	1.21
最大沖刷量(m)	13.86	16.08



註：100年重現期最大沖刷量 =  $3.4 + (10.04 + 0.34) \times (1 - 0.1) + 1.11 = 13.86\text{m}$

### 本工程初步建議

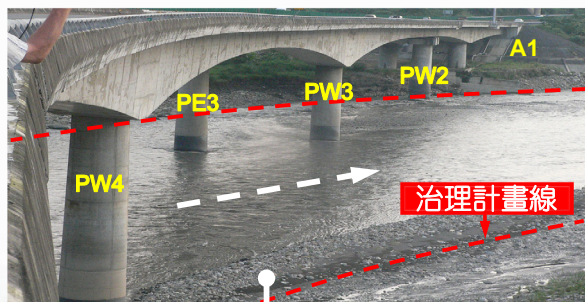
- 水利單位河川治理防洪頻率(重現期)，評估最大沖刷量
- 依AASHTO規定，考慮沖刷後回淤一半，與地震力組合



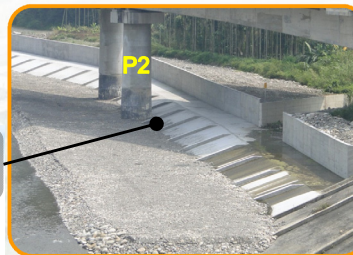
5

## 河川橋行水區之直接基礎

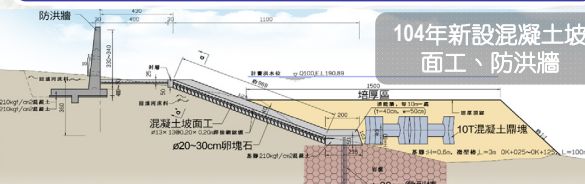
## 石灼高架橋：行水區直接基礎



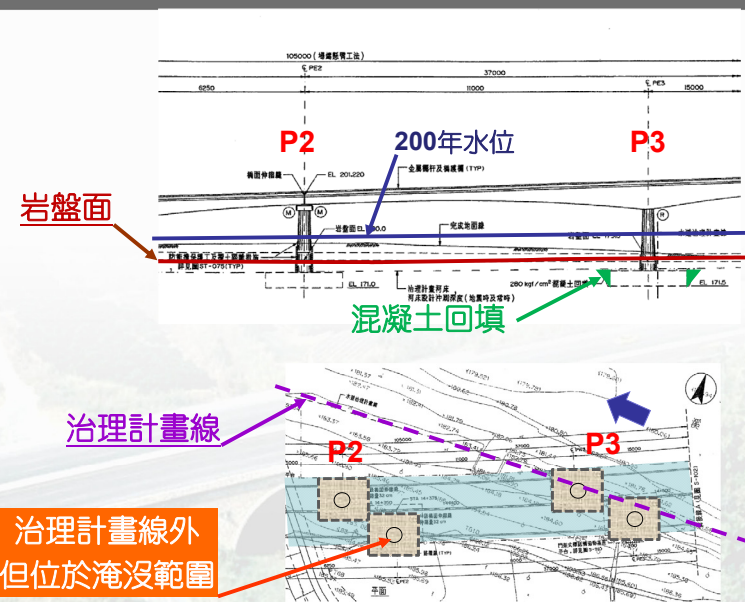
岩盤上層為砂礫石，現況並無明顯沖刷坑  
採無上層砂礫石層保守推估軟岩沖刷深



104年新設混凝土坡面工、防洪牆

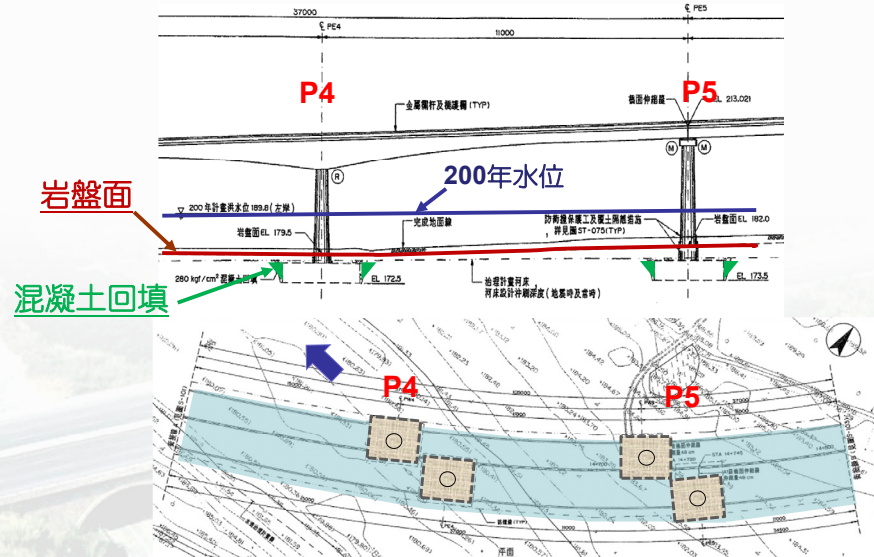


## 石灼高架橋設計資料(1/3)

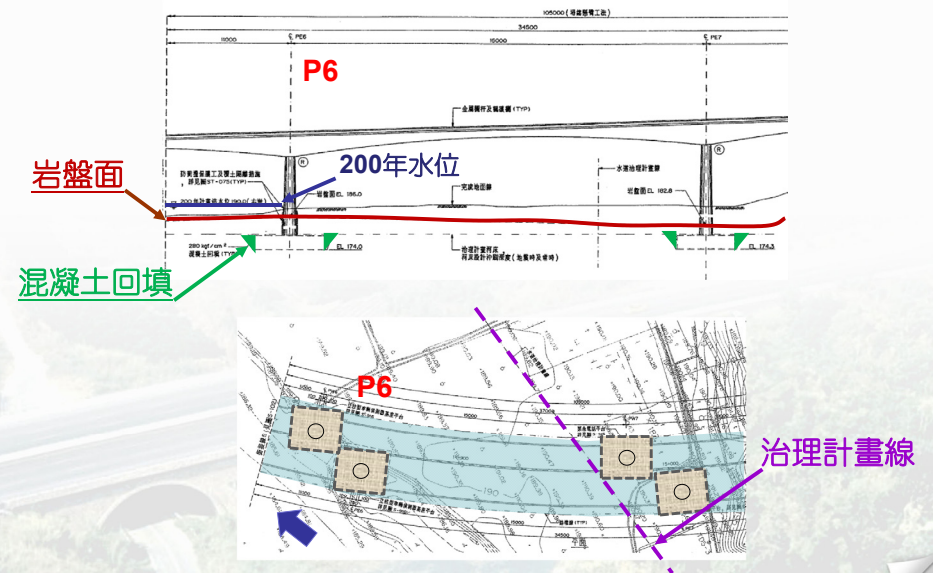




## 石灼高架橋設計資料(2/3)



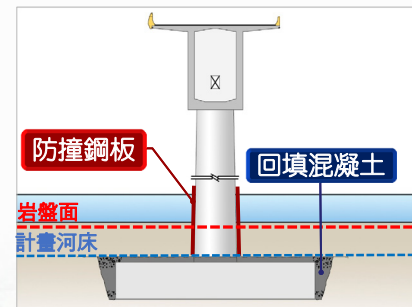
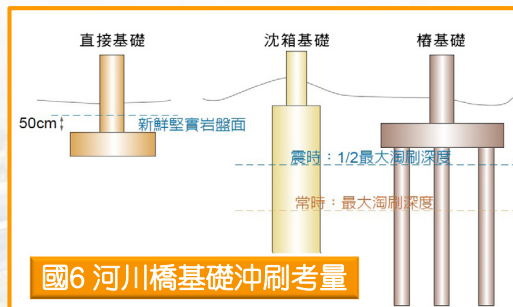
## 石灼高架橋設計資料(3/3)



## 石灼高架橋：行水區直接基礎

### ■ 原設計過河段直基設置原則

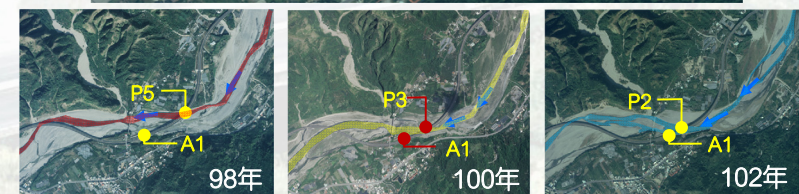
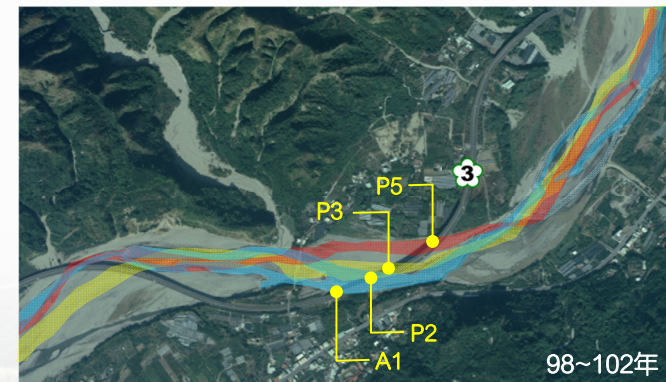
- 河床必須屬於「堅實岩盤」
- 基礎頂設於岩盤面下50cm
- 以 280kgf/cm<sup>2</sup> 混凝土回填



- 河道現況側向沖蝕
- 基礎目前尚無裸露

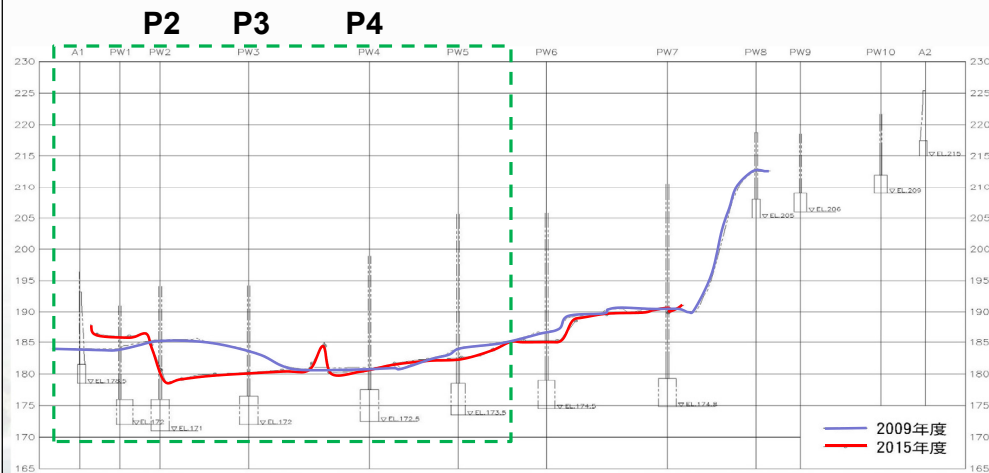
依據：國道6號興建專輯

## 石灼高架橋址處河道變化





## 石灼高架橋址處河床變化



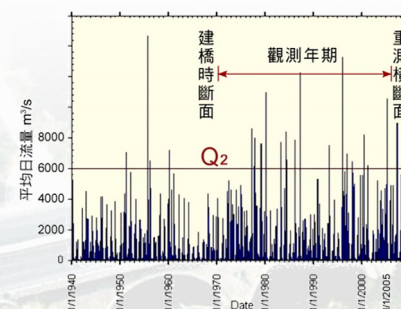
■ 現況河道為向左側沖刷，即深槽由P3~P4間改至P2位置

## 岩盤沖刷沖蝕(刷)之評估

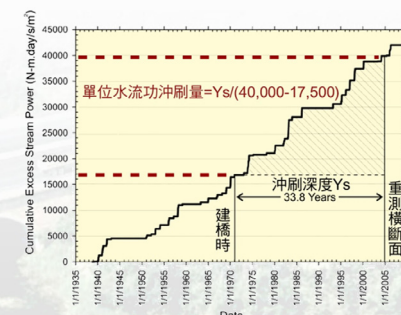
### ■ 歷年沖刷量迴歸分析推估

- ❖ 以歷年的沖刷深度及流功累計之比值，再乘以欲推導之沖刷年期，求得後續岩盤沖刷深度

#### 歷年日平均流量統計(國外案例)



#### 累計流功Stream power(國外案例)



## 岩盤沖刷沖蝕(刷)之評估

### ■ HEC-18經驗公式

- ❖ 以流功(Stream power)及岩盤強度之沖蝕指數 (Erodibility Index)為主要控制變量所推求之公式
- ❖ 相對於土壤較堅硬之岩體，且涉及裂隙及節理之計算評估方法

石灼高架橋案例 (採無礫石層保守推估)：

$$K = M_s K_b K_d J_s$$

$$P_c = K^{0.75}$$

$$P_a = 7.853 \rho (\tau/\rho)^{3/2}$$

$$\tau = \gamma y S_f$$

$$b = 5 \text{ m}$$

$$P/P_a = 8.42 e^{-0.712(y_s/b)}$$

$$\rightarrow y_s = \text{trial}$$

$K$  = 沖蝕指數(Erodibility Index)  
 $y$  = 墩前水深(depth)m  
 $M_s$  = 岩盤強度參數(Intact rock mass strength parameter)  
 $S_f$  = 能量坡度(energy slope)%  
 $K_b$  = 岩盤量體參數(Block size parameter)  
 $b$  = 橋墩(pier width) m  
 $K_d$  = 岩盤剪力強度參數(Shear strength parameter)  
 $J_s$  = 沖刷深度(Depth of scour hole)m  
 $J_r$  = 相對位置指數(Relative orientation parameter)  
 $P$  = 沖刷坑底部之流功(Stream power at the bottom of scour hole)W/m²  
 $P_c$  = 臨界水流功(Critical stream power necessary to initiate scour) KW/m²  
 $P_a$  = 水流功(Stream power of approach flow) W/m²  
 $\rho$  = 水密度(Mass density of water) 1000kg/m³  
 $\tau$  = 河床剪力(Bed shear stress of approach flow) N/m²

## 岩盤沖刷沖蝕(刷)之評估

### ■ 以石灼高架橋P4為例 (岩盤面179.5m，基礎頂177.5m)

重現期	100年	200年
水位(m)	191.15	191.78
水深y(m)	11.65	12.28
K沖蝕指數	34.39	34.39
$P_c$ (KW/m²)	14.20	14.20
$P_a$ (W/m²)	2.42	2.62
$\tau$ (N/m²)	456.68	481.38
$P/P_a$	5.86	5.41
$y_s$ (m)	2.25	2.74

### ■ 本工程初步建議

- ❖ 由於設計P4基礎底為172.5m，以200年重現期計算沖刷面為179.5-2.74=176.76m，基礎仍入岩4m



## 大埔溪排水橋：行水區直接基礎

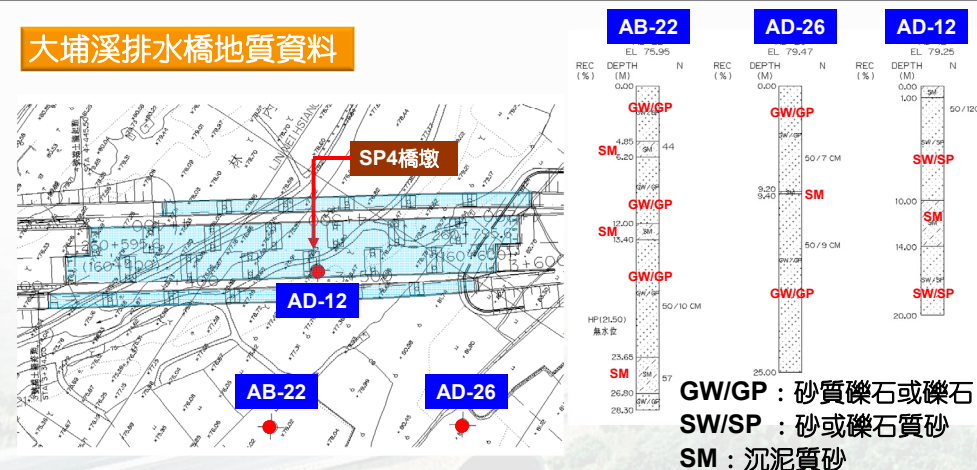
### ■ 國3大埔溪排水橋

- ❖ 大埔溪(北港溪水系)
- ❖ 主管機關：五河局
- ❖ 河道中5墩，均為直接基礎



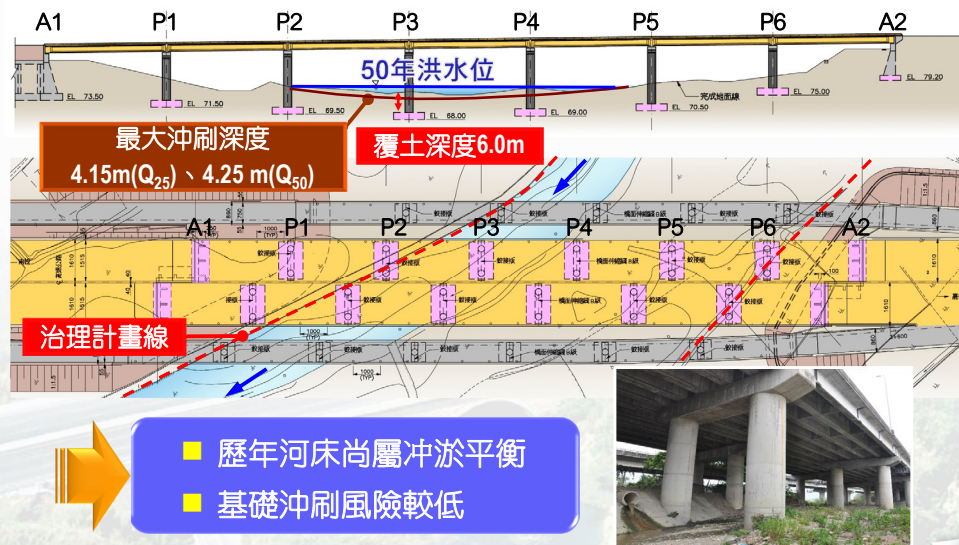
## 大埔溪排水橋：行水區直接基礎

### 大埔溪排水橋地質資料



- 基礎底高程約EL 67.5~75
- 由AD-12鑽孔推估基礎底位於砂或礫石質砂

## 大埔溪排水橋：行水區直接基礎



## 梅林溪排水橋：行水區直接基礎

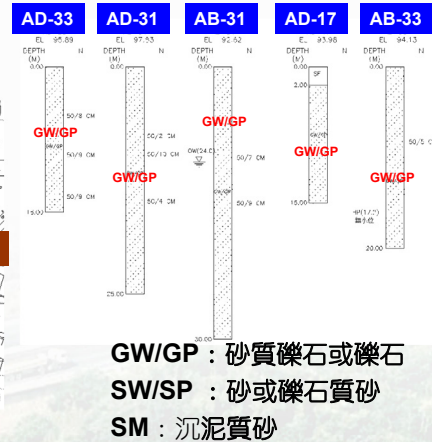
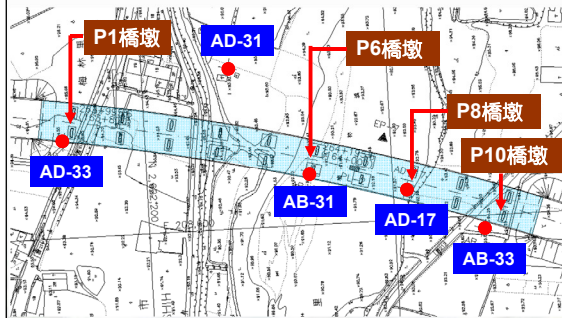
### ■ 國3梅林溪排水橋主線

- ❖ 梅林溪(北港溪水系)
- ❖ 主管機關：五河局
- ❖ 河道中4墩，均為直接基礎

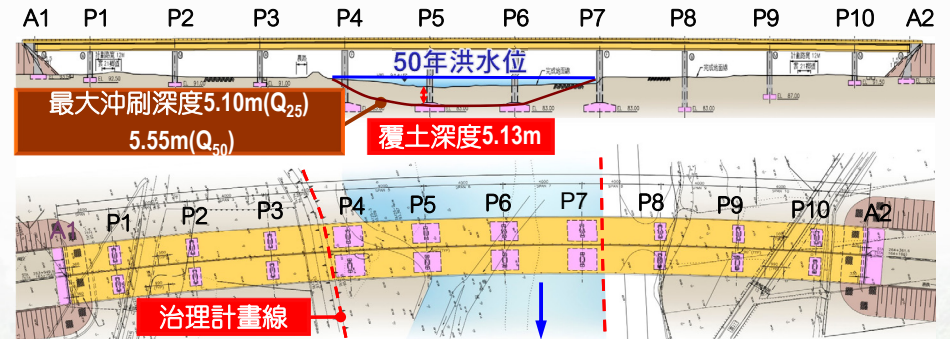




## 梅林溪排水橋地質資料



- 基礎底高程約EL 83
- 由AB-31鑽孔推估基礎底位於砂質礫石或礫石



- 歷年河床為沖刷
- 採50年計算沖刷基礎將裸露

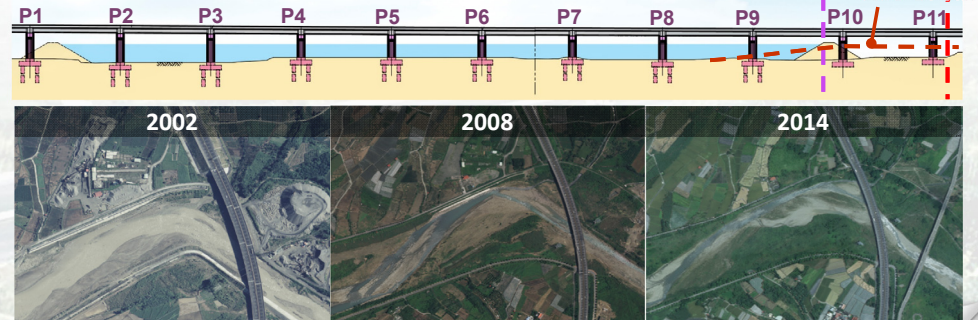


南側堤防於2001年桃芝風災沖毀，為擴大洪水平原範圍，河川局將治理計畫線往南側調整

## 92年治理計畫線

81年治理計畫線

現況地面線



### ■ 橋墩P10及P11現況

- ❖ 治理計畫線調整後，均位於行水區
- ❖ 位於高灘地，現況河床淤積

## ■ 直接基礎耐震評估

- ❖ 目前，河川局並無疏濬P10及P11淤積部分之治理計畫
- ❖ 若採計畫渠底高程疏濬，加計冲刷深度，直接基礎將裸露



簡報完畢  
敬請指教

