

高速公路橋梁耐震補強工程技術研討會

# 國道高速公路局 橋梁耐震補強計畫

簡報人：吳明興 結構部經理

TYLin | 中華民國 112 年 5 月 5 日

# 國道橋梁耐震補強計畫

23 years

民國88年9月21日，規模7.3集集大地震

民國89年  
員高  
拓寬

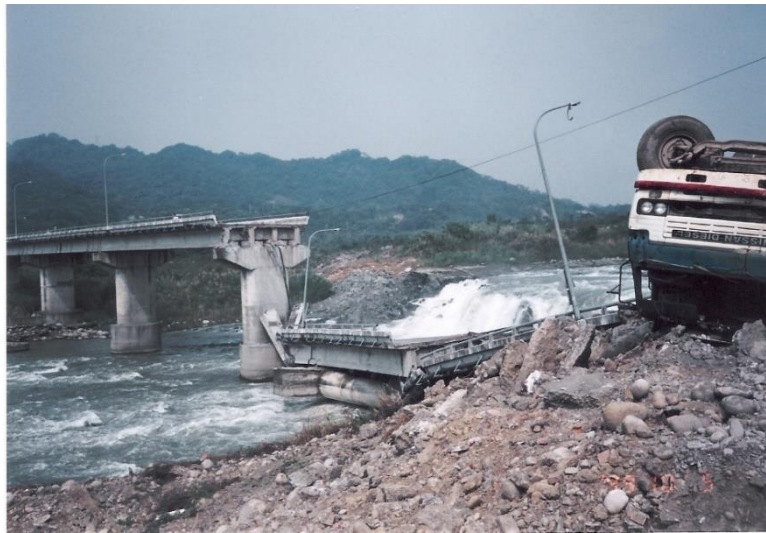
民國93年  
第1期工程412座  
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

民國100年  
第2期工程(第一優先) 285座  
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

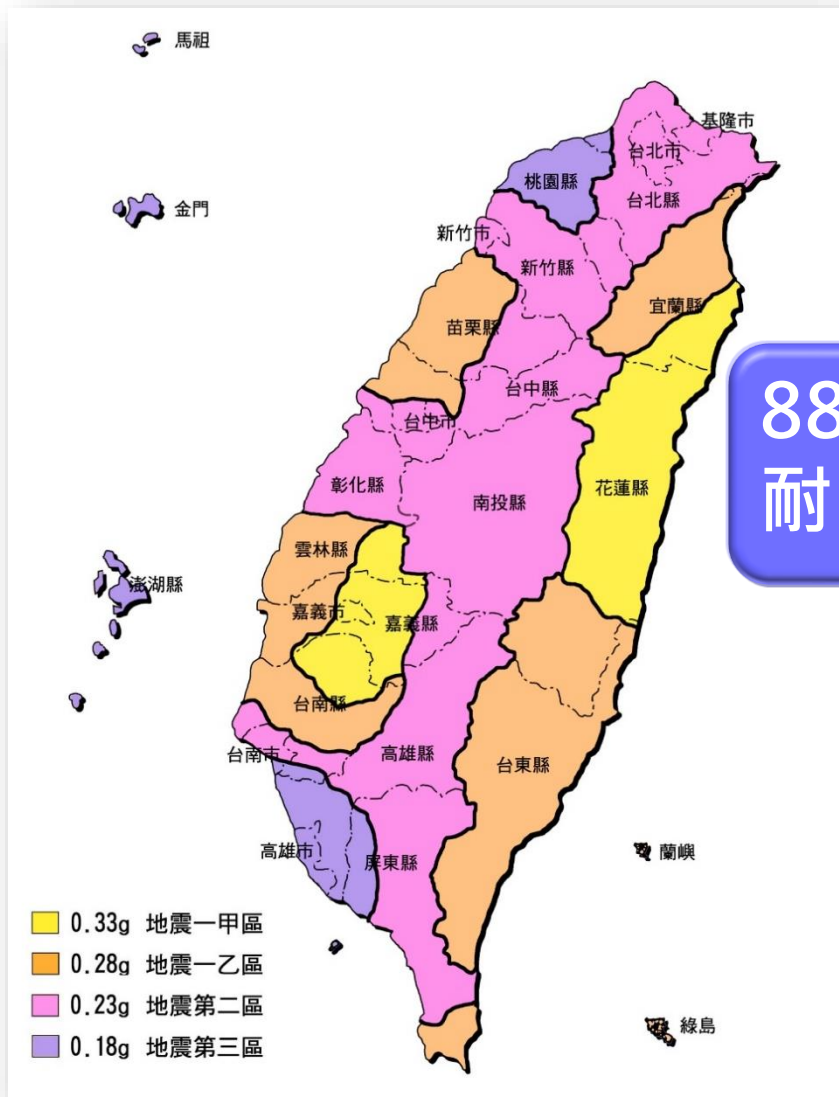
民國105年  
後續路段1,169座  
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN BRANCH  
美商同棧國際工程顧問股份有限公司台灣分公司

民國90年  
通車路段(89/12/31前完工通車)  
可行性研究  
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

民國102年  
後續路段  
可行性研究  
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

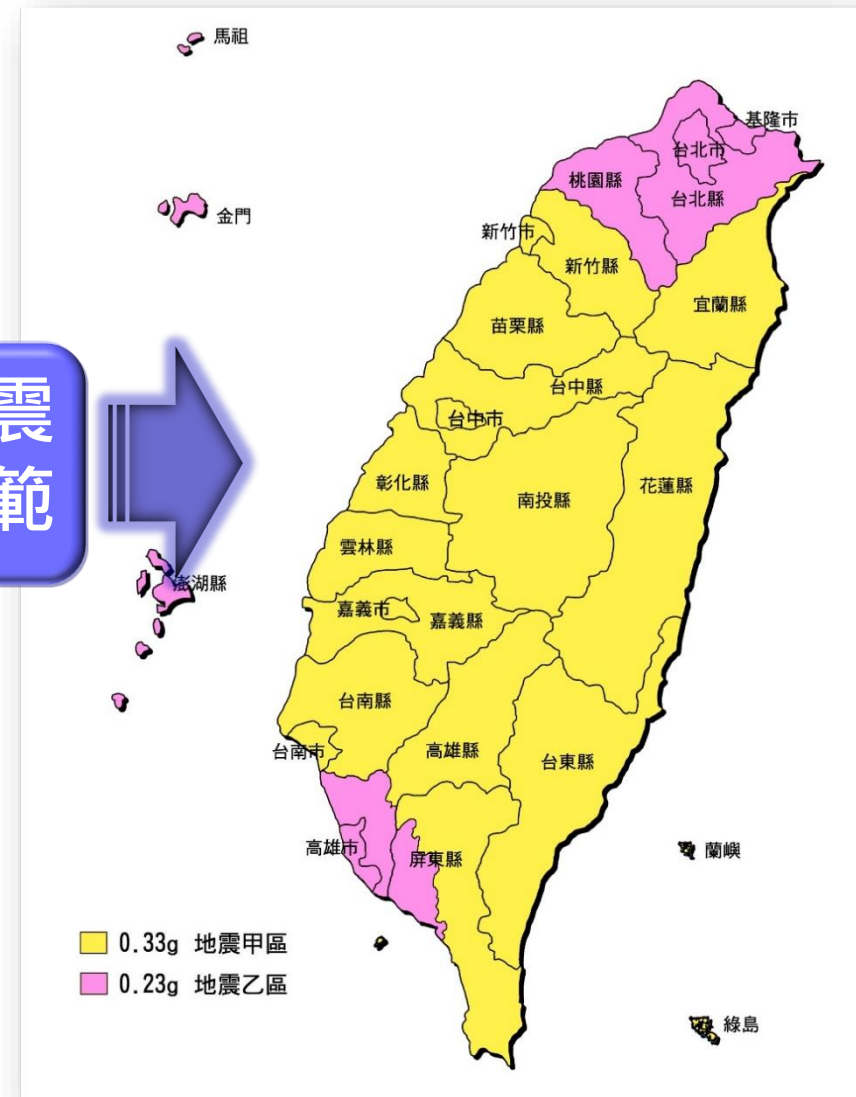


# 國道橋梁耐震補強計畫



84年公路橋梁耐震設計規範

88年921地震  
耐震設計規範



89年4月交通部頒佈震區調整

# 國道橋梁耐震補強計畫

## ■ 國道1號中山高速公路員林高雄段拓寬工程

- 員林交流道 ~ 五甲系統交流道
  - 13處交流道、5處收費站、1處服務區
- 細部設計期間，遭逢921地震，交通部函頒修正「公路橋梁耐震設計規範」
- 將橋梁耐震評估補強，納入一併辦理



# 國道橋梁耐震補強計畫

緊急救災、快速復原

國道橋梁：生命線路網

地震侵襲  
減少損害、避免傷亡

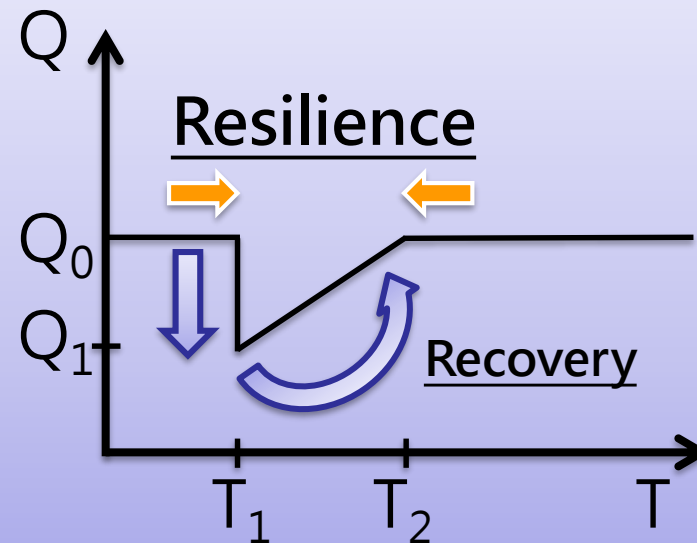
高安全性  
基礎交通建設

中度地震-不壞、設計地震-可修  
、最大考量地震-避免崩塌

防災韌性理念

Disaster Resilient Lifelines

提昇橋梁地震恢復力  
Seismic Resilient Bridge



# 國道橋梁耐震補強計畫

## 國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程

- 894座橋梁，劃分3期，總工程經費400億元

計畫分期	橋梁面積 (M <sup>2</sup> )
第一期工程	
國1 (員林以北路段、員林以南不包含於員高拓寬之橋梁)	1,383,265
第二期工程	
國2、5(南港石碇段)、3 (北部通車路段)	1,104,370
第三期工程	
國8、10、3 (南部通車路段)	1,236,602



# 國道橋梁耐震補強計畫

## 國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程

相當 規範年度	國 1	國 2	國 3、3甲	國 5	國 8	國 10
			北二高 南二高	南港石碇		
76年以前	573,488	5,681	-	-	-	-
76年版	222,086	211,881	1,318,892	-	249,336	521,436
84年版 (含Caltran)	587,691	-	18,974	14,771	-	-

# 國道橋梁耐震補強計畫

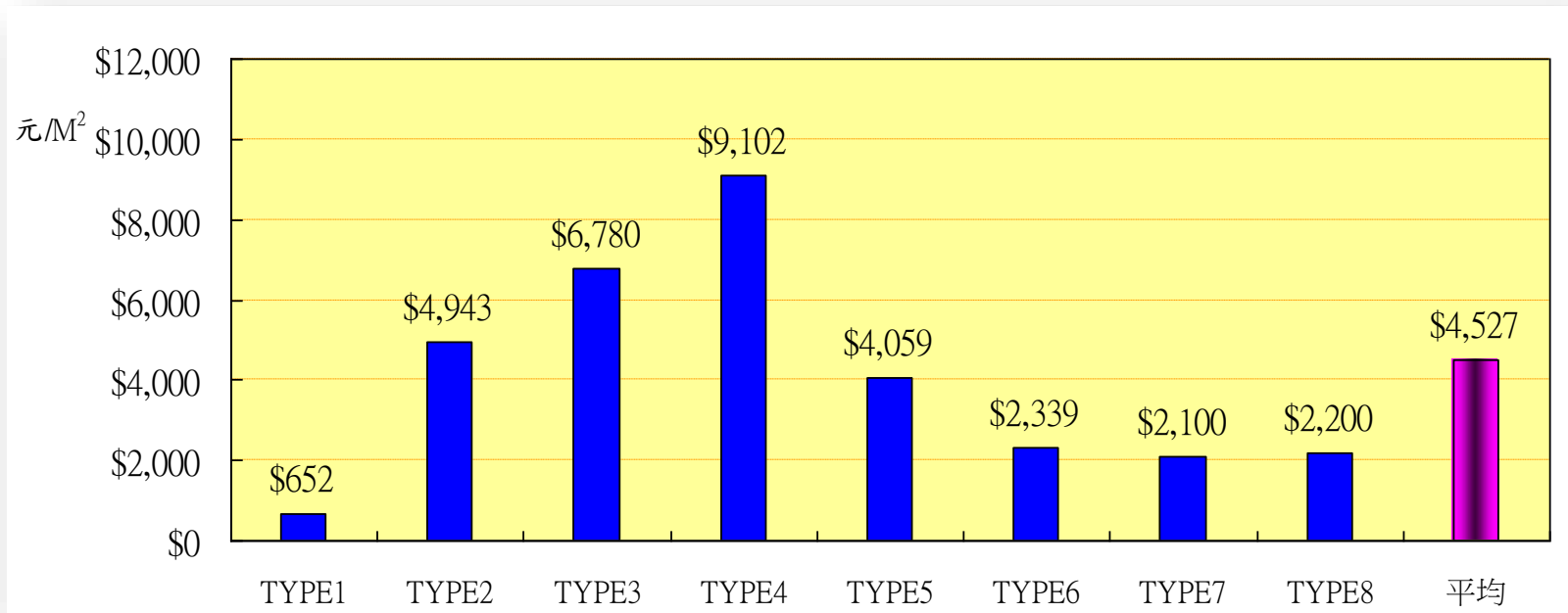
## ■ 國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程

- 行政院經建會(92年8月)
  - 從經濟層面考量，在發生類似921嚴重震災時，至少**維持一條國道暢通**
  - 就中山高速公路或第二高速公路，研選其一於最短時期內完成耐震補強
- 經建會邀集單位共同研商(93年1月)
  - 先行辦理**第1期工程**
  - 第2、3期工程，於第1期工程完成前，重新檢討修正後提報
- 行政院公共工程委員會
  - 為達地震時，完成補強之中山高維持暢通，請協調**跨越橋**養護機關，儘速另案辦理補強
  - **核定經費100億元**

# 國道橋梁耐震補強計畫

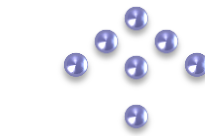
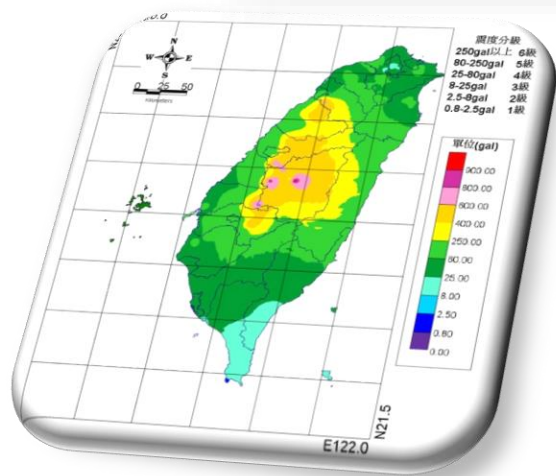
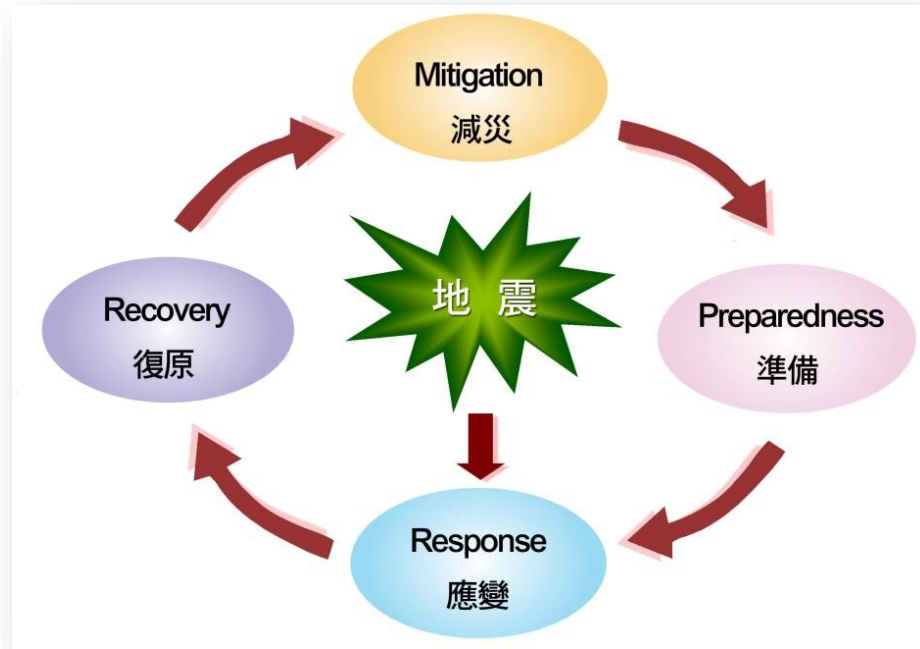
## 國道高速公路第1期耐震補強工程

- 89年版「公路橋梁耐震設計規範」
- 92年12月「公路橋梁耐震設計規範(草案)」複審成果報告書
  - 最大考量地震力、斷層近域效應



單 跨			TYPE 1
多 跨	簡 支 梁	單柱式	TYPE 2
		多柱式	TYPE 3
		壁式	TYPE 4
	連 續 梁	單柱式	TYPE 5
		多柱式	TYPE 6
		壁式	TYPE 7
其 它			TYPE 8

# 國道橋梁耐震補強計畫



後續路段補強工程



第二期耐震補強工程



第一期耐震補強工程

( 90.11 ~ 94.1 ~ 98.12 )



員林高雄段拓寬



集集地震：橋梁嚴重損壞

( 88.9 )

# 國道橋梁耐震補強計畫

## 國道高速公路第2期耐震補強工程

- 就原第2、3期經費、效益、財務計畫重新檢討修正後提報
  - 指示「如確有執行之必要及急迫性，應請另案成立新興建設計畫」
- 未完成之原第2、3期工程，合併為第2期工程
- 依院長裁示，針對風險較高橋梁，先分等級後，按輕重緩急，視政府財務狀況調整
  - 從整體規劃與維生路網系統健全性角度為出發點
  - 研提具體可操作性的指標，綜合考量系統之風險性、財務可行性、功能性，審慎評估具急迫性及危險性的橋梁，據以排定優先順序



# 國道橋梁耐震補強計畫

## 國道高速公路第2期耐震補強工程

- 405座橋，劃分3個優先路段，總經費212億元
- 先行辦理第1優先路段，工程經費64.34億
  - 綜合考量各路段橋梁結構耐震能力及震損之社會成本，據以排定優先順序

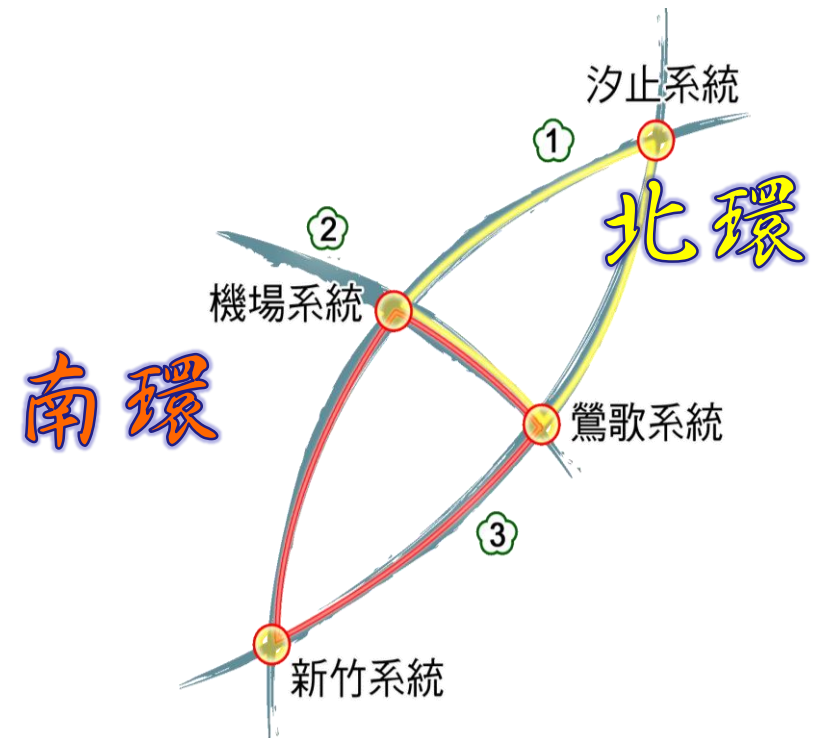
計畫分期	橋梁面積 (M <sup>2</sup> )
第一優先路段	723,218
國3 汐止系統至竹南路段	
第二優先路段	879,811
國3 新化至燕巢系統	
國10 全線	
第三優先路段	754,819
國3 基隆汐止段、燕巢九如段、南港聯絡線 國3甲台北聯絡線、國5 南港石碇段、國8 全線	



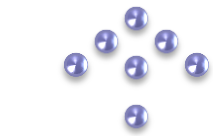
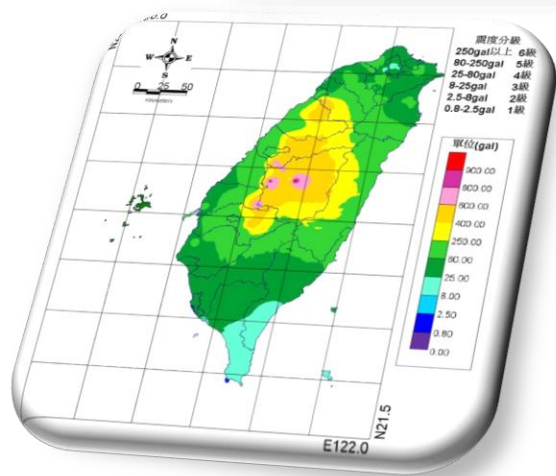
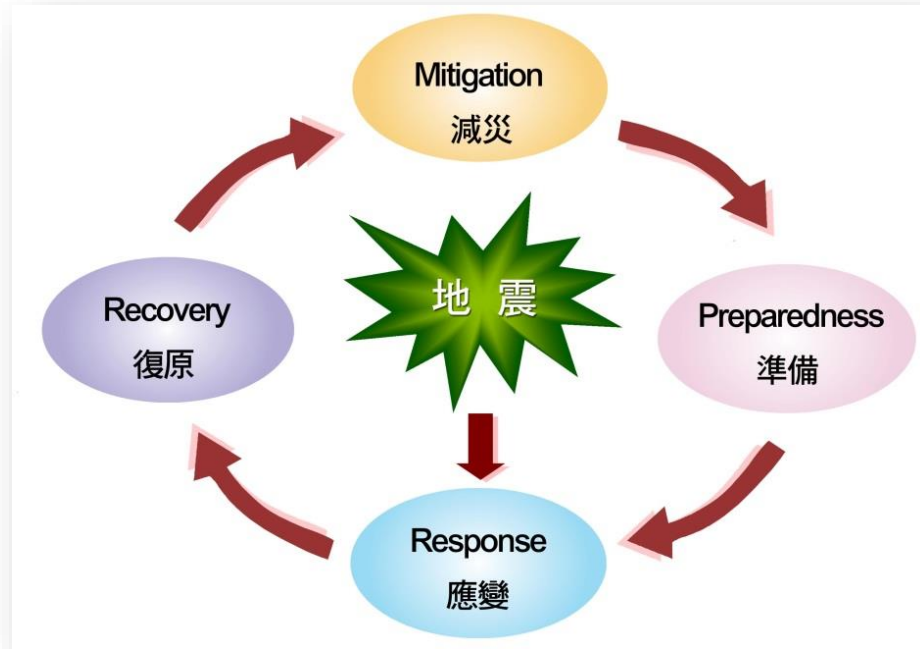
# 國道橋梁耐震補強計畫



北台雙環·  
生命線路網



# 國道橋梁耐震補強計畫



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

( 100.3 ~ 103.12 )



第一期耐震補強工程

( 90.11 ~ 94.1 ~ 98.12 )



員林高雄段拓寬



集集地震：橋梁嚴重損壞

( 88.9 )

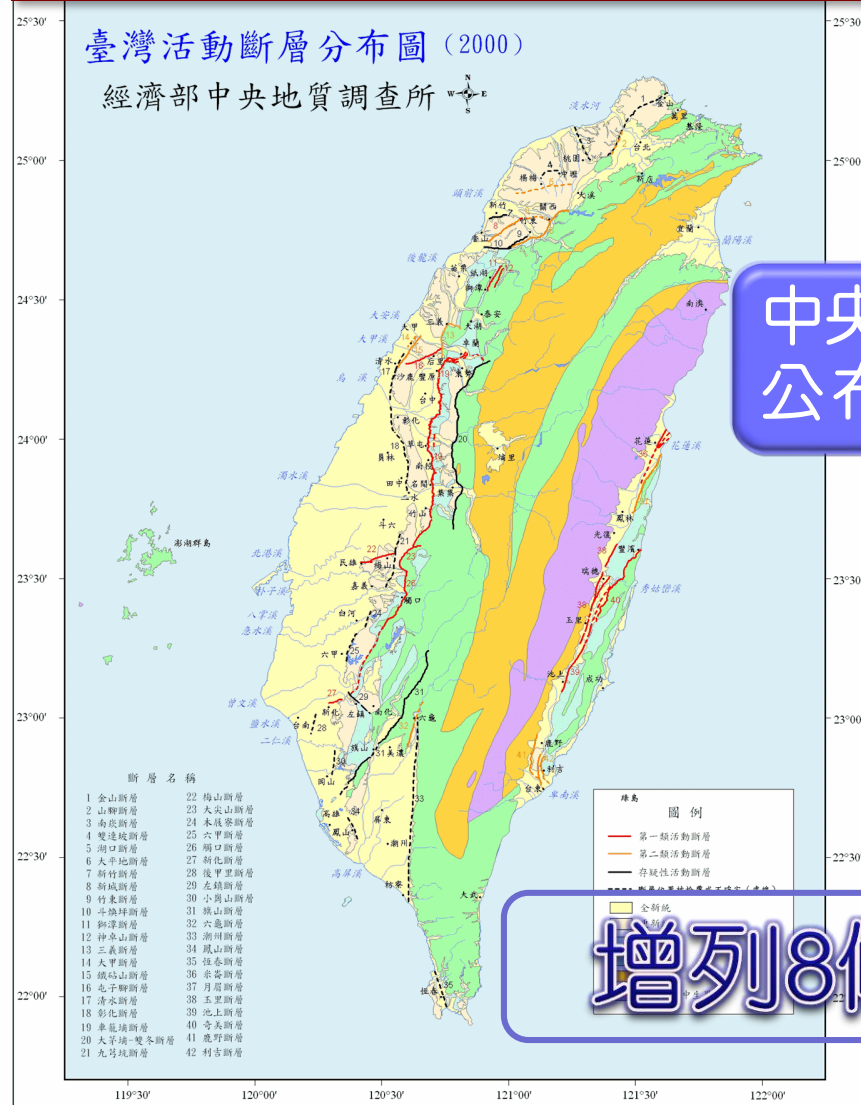
# 國道橋梁耐震補強計畫

## 921地震後設計、施工中之國道橋梁耐震處理方式

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)	上部結構採預鑄斜撐版之橋梁(計3座) ，加設斜撐版防落裝置
	台中環線清水神崗段、神岡豐原段 南投路段、雲嘉路段、竹南西湖、西湖大甲 大甲彰濱、快官草屯、南港聯絡線	對未設置防震拉條之橋梁， <b>全面加裝防震拉條(或防落剪力樺)</b> ，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)	
初設中	豐原霧峰段、霧峰埔里段、台東太麻里	

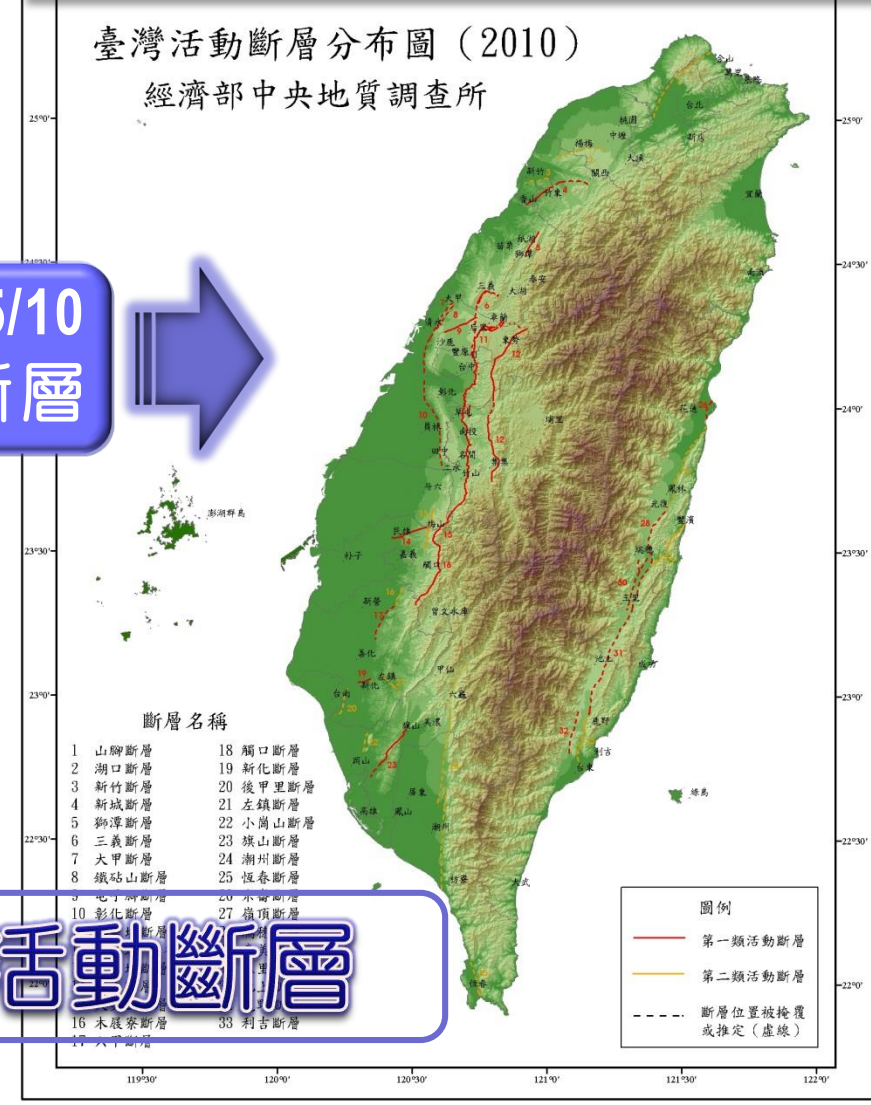
# 國道橋梁耐震補強計畫

## 2000年版第一類活動斷層12條



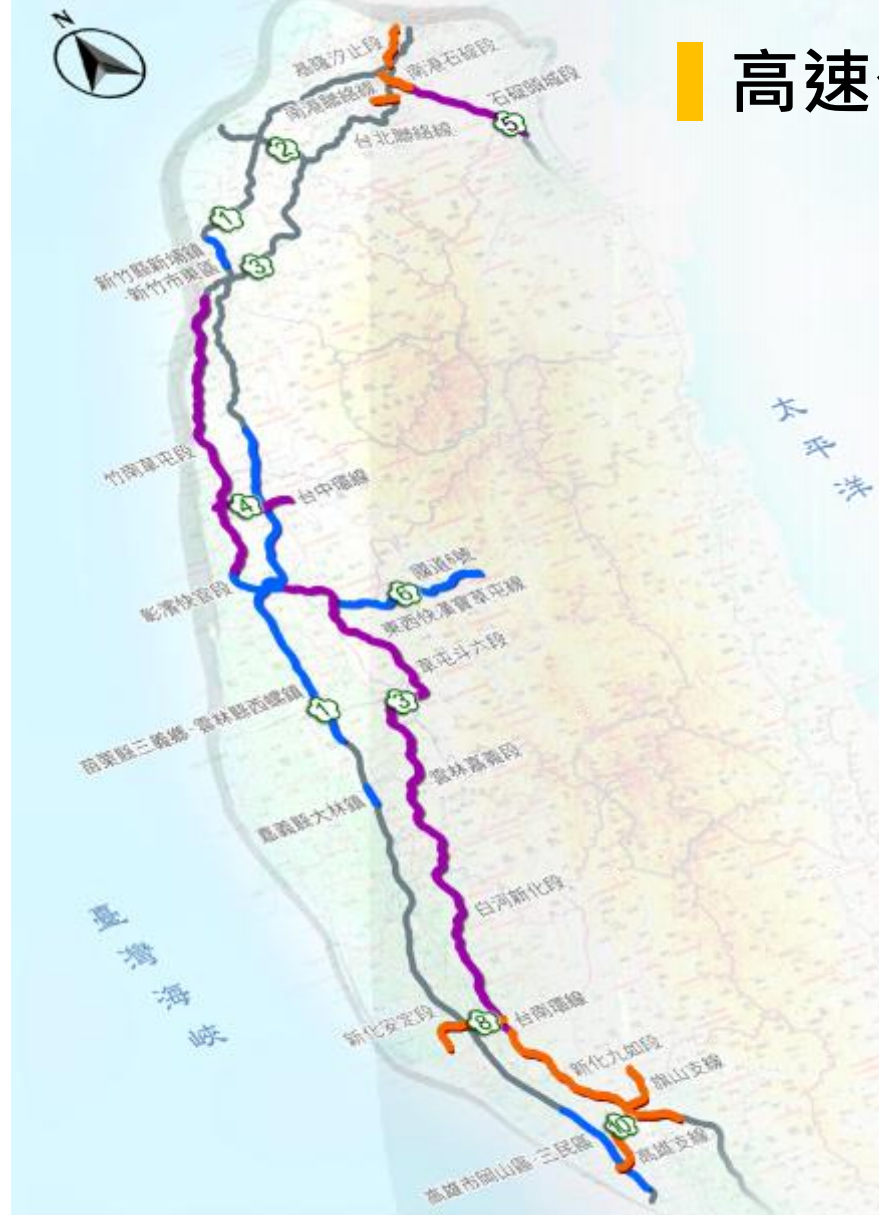
中央地調所2010/5/10  
公布最新活動斷層

## 2010年版第一類活動斷層20條



# 國道橋梁耐震補強計畫

## 高速公路後續路段橋梁耐震補強工程計畫



原第二期工程(第2、3優先路段)

248座

國工局建議通案評估辦理路段

集集地震時「接近完工」、「下構已施工」

603座

受新增第1類活動斷層影響路段

318座

後續計畫範圍

共1,169座

# 國道橋梁耐震補強計畫

## 台灣地震損失評估系統

### HAZ-Taiwan

國科會(89年)參考美國  
地震損失評估系統  
**HAZUS**

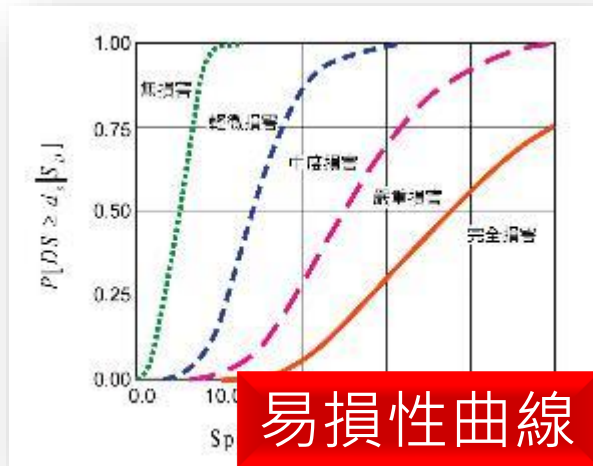
成功應用於  
「國道橋梁耐震補強  
(通車路段)可行性研究」

新一代模擬軟體



整合TELES分析結果 ➡ 優選排序、效益評估

# 應用TELES震損評估優選排序架構



模擬可能地震下  
橋梁地震損害比

模擬可能地震下  
橋梁震損機率值

橋梁損失  
風險值

橋梁補強  
績效比

交通繞道  
風險值



橋梁震損交通繞道分析

# 優選排序指標

## 橋梁耐震性能指標

橋梁損失風險值  $I_r$

橋梁補強績效比  $I_{BMC}$

橋梁耐震落橋指標  $I_{pd}$

橋梁耐震強度韌性指標  $I_{pc}$

## 交通經濟衝擊指標

交通繞道風險值  $I_d$

產業經濟衝擊指標  $I_e$

跨越重要設施指標  $I_u$

# 應用TELES震損評估優選排序架構

1,169 座 橋 梁

交流道

88 個 評 估 路 段

3 個 區 段

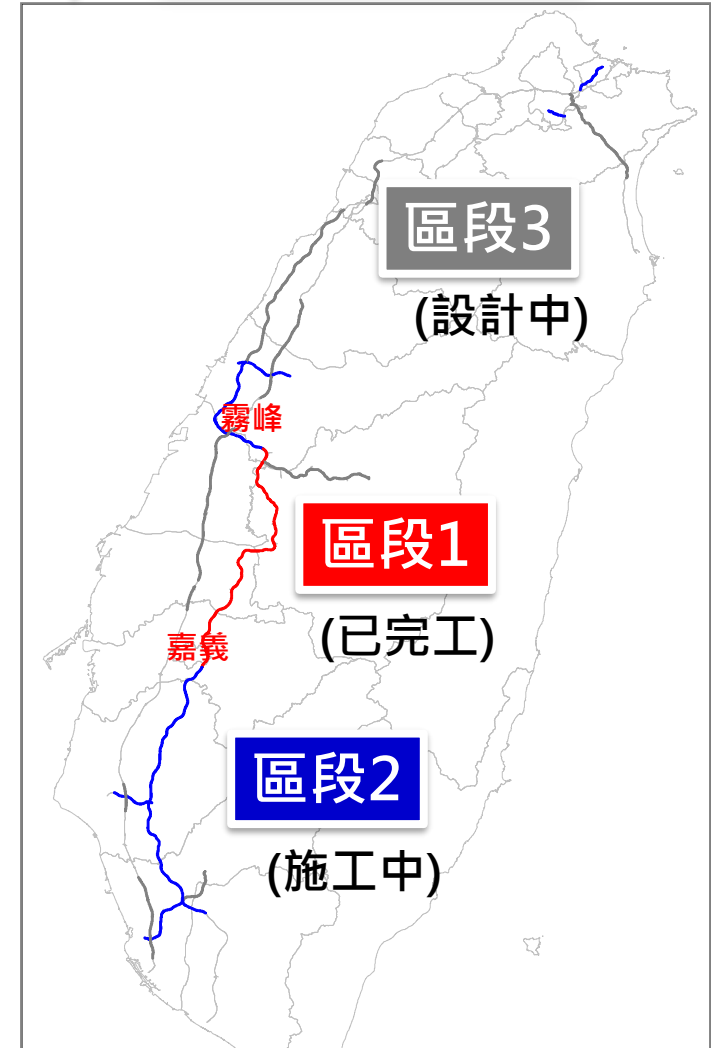
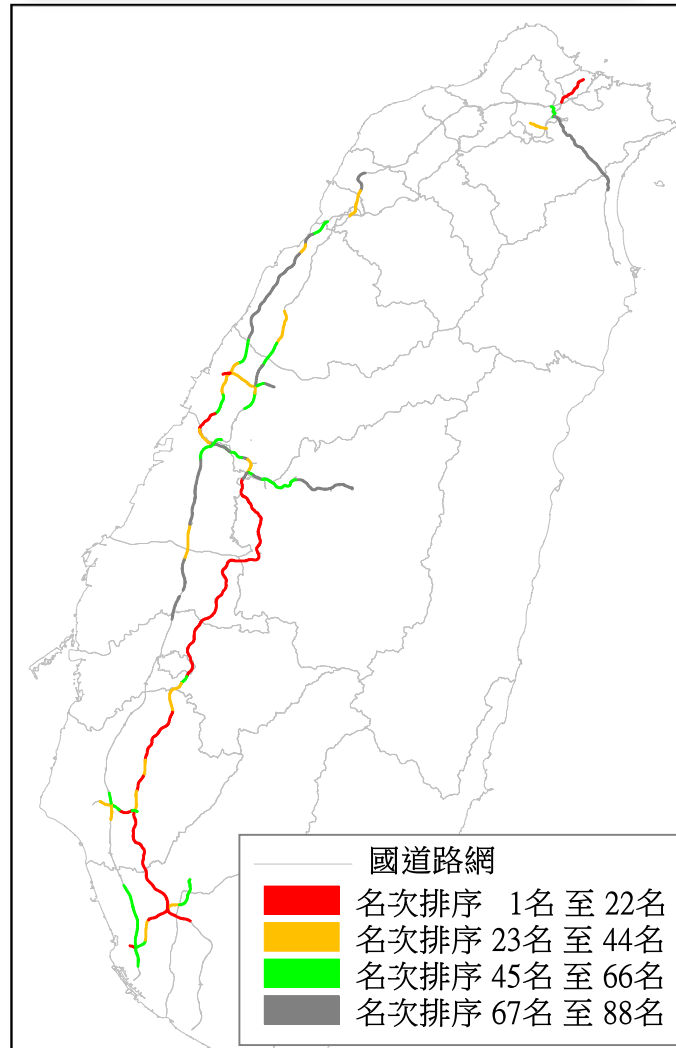
■ 依原設計分段

■ 橫向國道整併

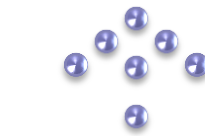
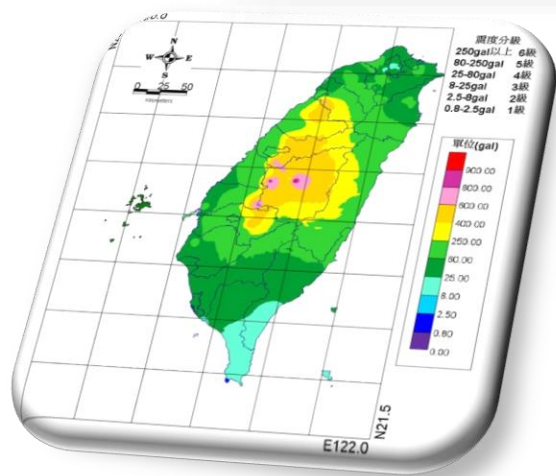
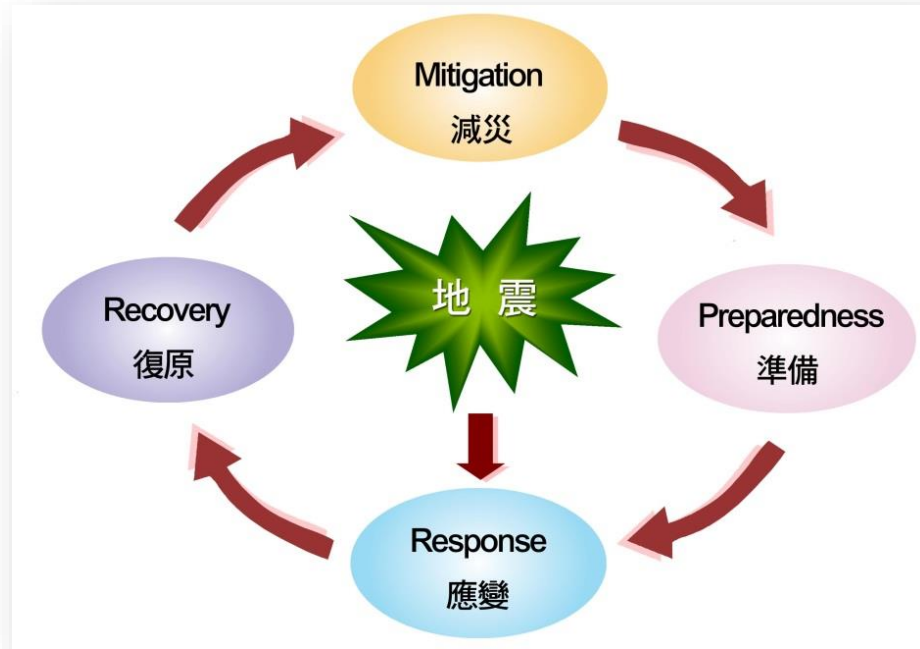
(國4、5、6、8)

■ 國10分高雄支線、旗山支線

■ 鄰近活動斷層300m橋梁，  
提前至**區段1**



# 國道橋梁耐震補強計畫



區段1 + 區段2 + 區段3

後續路段補強工程

( 102.10 ~ )



第一優先路段 (北二高)

第二期耐震補強工程

( 100.3 ~ 103.12 )



第一期耐震補強工程

( 90.11 ~ 94.1 ~ 98.12 )



員林高雄段拓寬



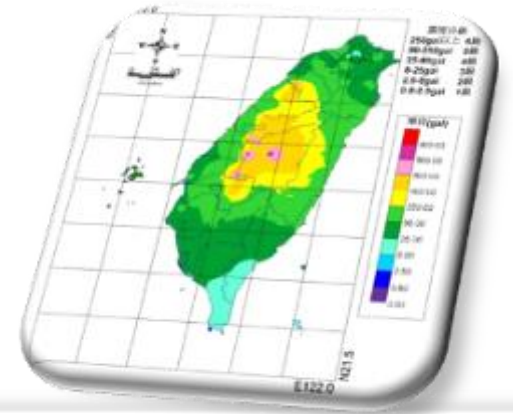
集集地震：橋梁嚴重損壞

( 88.9 )

# 國道橋梁耐震補強計畫

期別		核定經費 (億元)	建設 期程	921地震後	備註
國1員高段拓寬					
第一期		100.00	98/12	10年	完成一條生命線道路 耐震性能提升
國2拓寬		14.40	101/05	13年	
第二期(第1優先路段)		76.00	103/12	15年	完成北台生命線路網
後續路段	原核定	337.17	114/06	25年	分3個區段
	修正後	498.63	117/09	28年	調整為1,182座橋梁

# 國道橋梁耐震補強



76年以前  
規範

尚無本土規範

76年  
規範

地盤種類、震區納入設計考量

新增韌性相關設計細節

84年  
規範

因應921調整震區

- 修改震區、地震力
- 工址地盤放大係數
- 活動斷層近域效應

89年  
規範

97年  
規範

107年  
規範

- 結構系統韌性容量
- 工址放大係數漸變
- 2012公告活動斷層
- 橫力等加速度分布

耐震規範變革演進：既有橋梁耐震性能可能不符最新標準

# 國道橋梁耐震補強



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

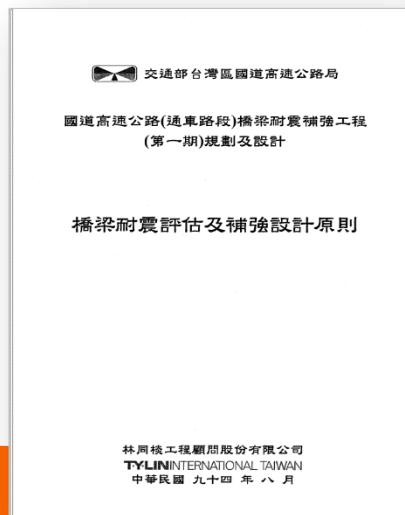


高沖刷潛勢之河川

一般沖刷+束縮沖刷+局部沖刷

地震力+50%最大沖刷深度

# 國道橋梁耐震補強



與新建相同50年  
超越機率標準

國道定位：生命線救災道路

Life Line

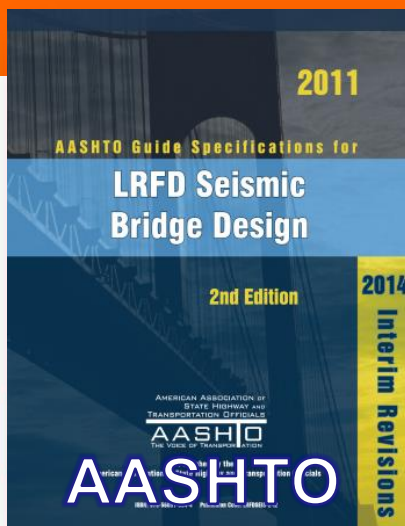
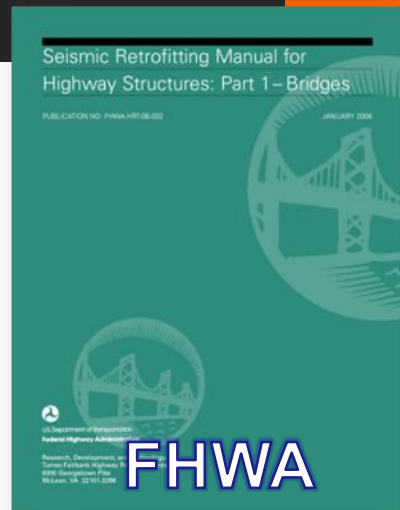
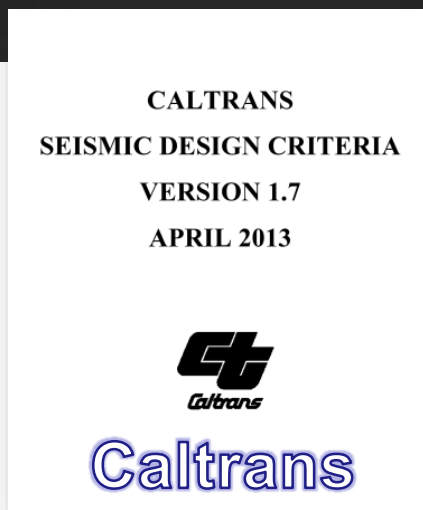


補強基本對策

① 系統補強

② 構件補強

③ 增加構件



# 耐震補強採用之主要補強工法

## 主要補強工法

增設(抽換)防震拉條、防落長度、外置鋼腱

增設RC止震塊、鋼板止震裝置、剪力樺

帽梁RC包覆補強、增設連梁

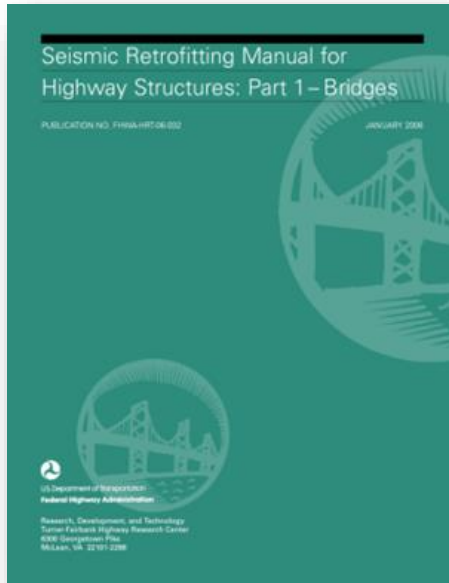
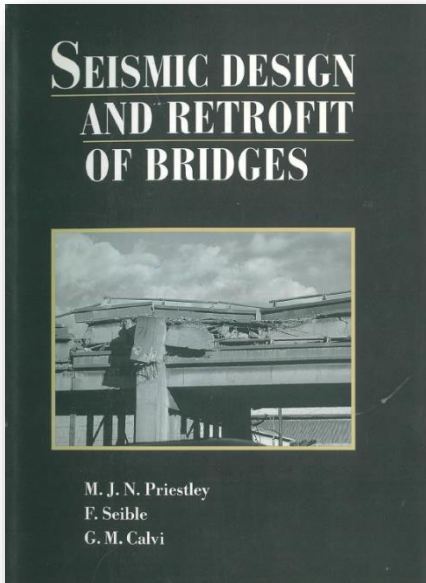
橋柱RC、鋼板、CFRP包覆

更換為活動支承、隔震支承、黏滯阻尼器

力量分散裝置、隔離套筒、位移拘束工法

橋墩(台)基礎擴基托底、地盤改良、換底工法

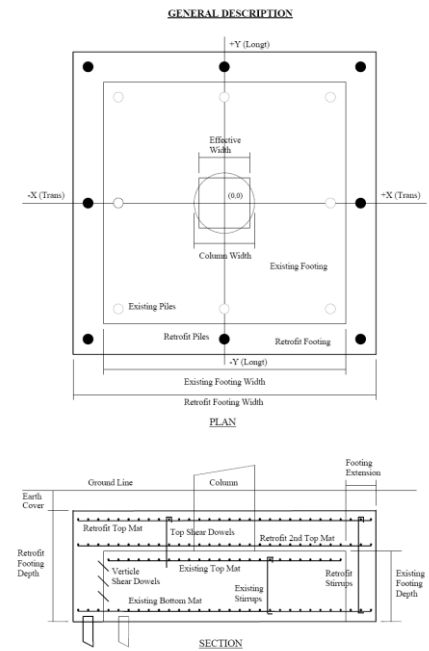
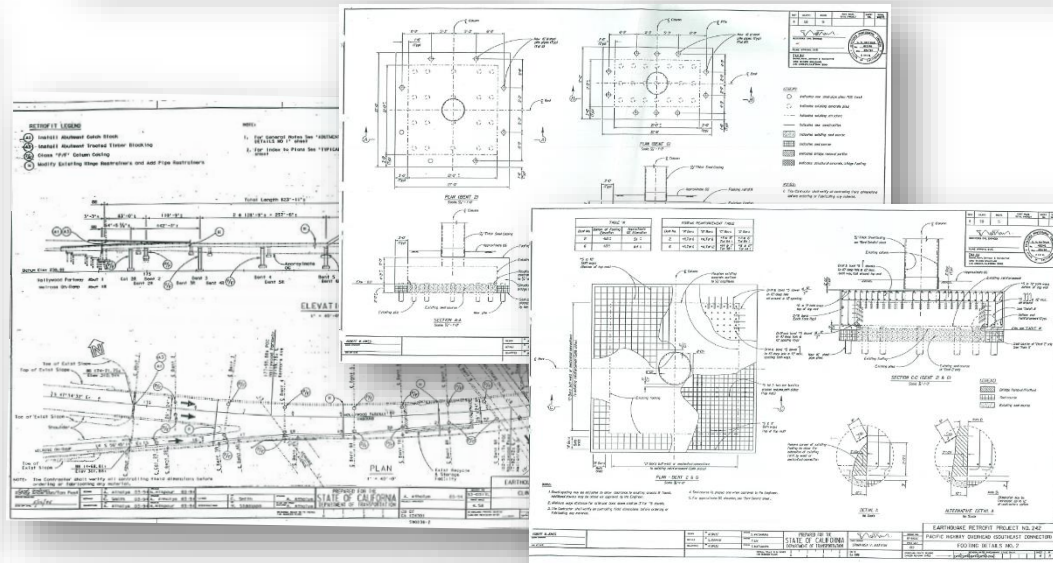
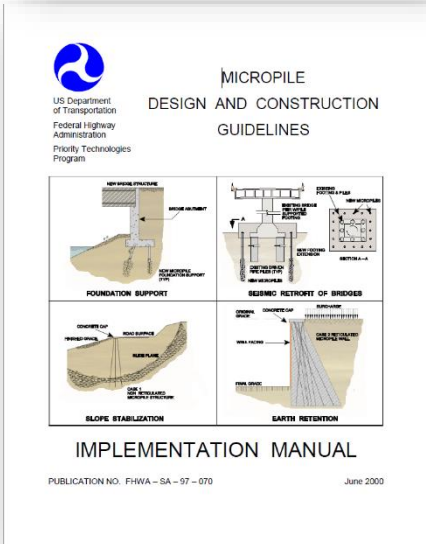
# 耐震補強採用之主要補強工法



# Caltrans非線性基礎分析設計程式

```

* * * * *
*
*
*
*
*      NN      NN  FFFFFFFF  00000000  00000000  TTTTTTTT
*      NN N    NN  FF        00   00  00   00      TT
*      NN N    NN  FFFFFF   00   00  00   00      TT
*      NN N    NN  FF        00   00  00   00      TT
*      NN N    NN  FF        00   00  00   00      TT
*      NN      NN  FF        00000000  00000000      TT
*
*
*
*      Non-Linear Footing Design Program
*
*
*      California Department of Transportation
*      Office of Earthquake Engineering
*      PC - Version
*
*
*      10.20.95
*
*
*      Enter File Name R18.In
*
* * * * *
```



# 國道橋梁耐震補強案例

## ■ 高速公路橋梁維修與補強工法案例集 (103.12)

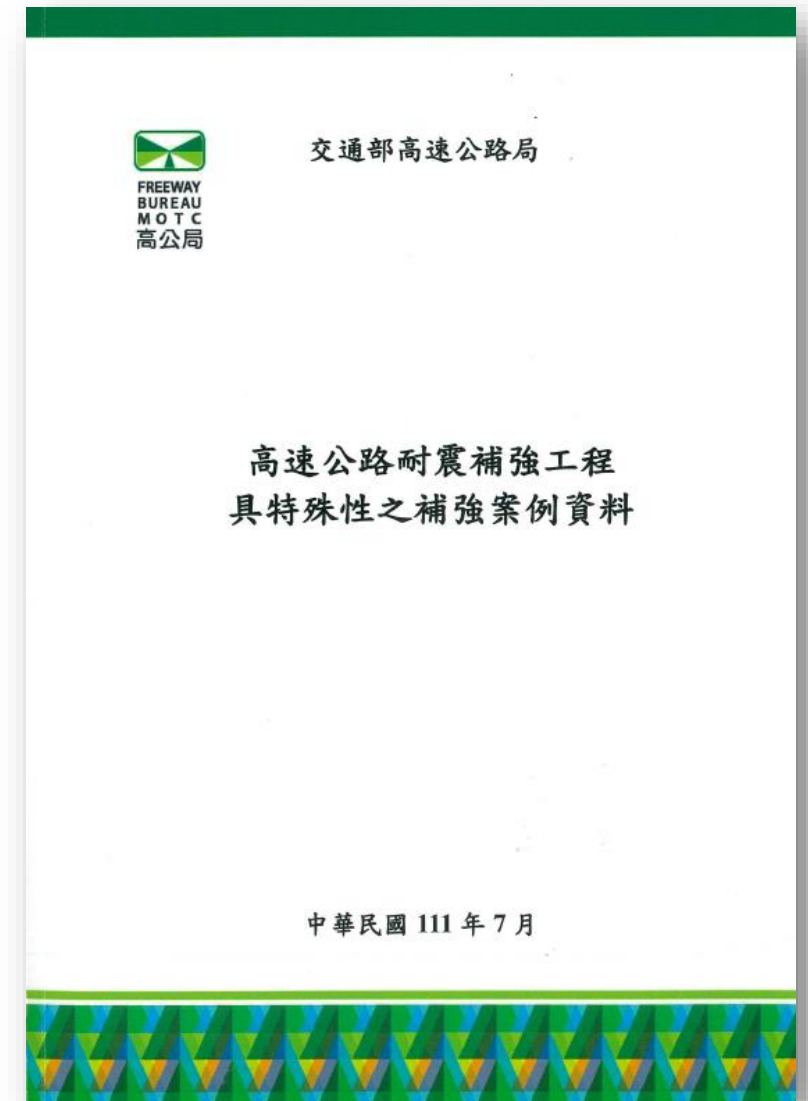
- 第一篇 高速公路橋梁之維護管理
  - 維修與補強基本原則
  - 常用維修與補強工法概述
- 第二篇 高速公路橋梁維修補強工法案例(57)
  - 鋼筋混凝土結構橋梁(8)
  - 鋼結構橋梁(4)
  - 鋼筋混凝土橋面板(5)
  - 橋梁下部結構(22)
  - 橋梁支承、伸縮縫、防落設施(18)



# 國道橋梁耐震補強案例

## 高速公路耐震補強工程具特殊性之補強 案例資料(111.7)

- 5大類、22篇補強對策
- 改變結構系統(6)
- 河川沖刷(4)
- 依地質特性考量(5)
- 其他耐震相關(4)
- 與環境生態及文化遺址相關(3)



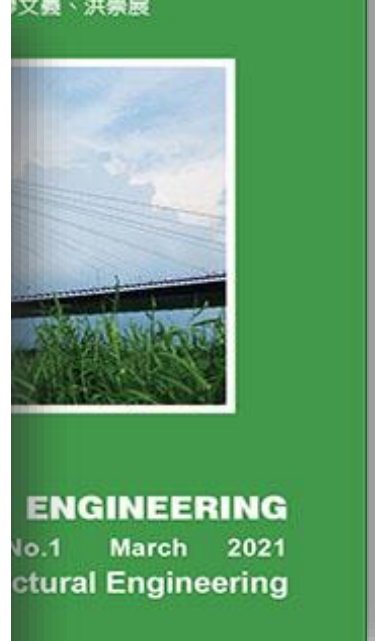
# 國道橋梁耐震補強計畫

## 公路橋梁耐震評估與補強規範 (110年)

- 規範草案
- 初審作業

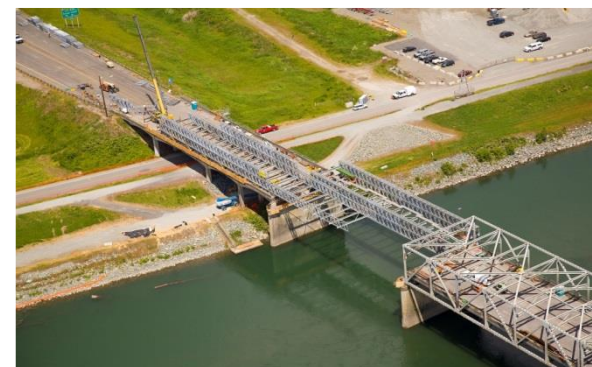
## 論文發表

- 結構工程研討會暨地震工程研討會
- 中國土木水利工程學刊
- 結構工程
- 地工技術



# 跨越斷層橋梁評估及策略 (區段1-1)

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
		名間高架橋
大茅埔-雙冬斷層	國6	石灼高架橋
新化斷層	國3	深坑溪橋



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
- 隔震/功能性支承

錯動量  
非常大

- 允許上構滑動
- 避免發生落橋

應變  
措施

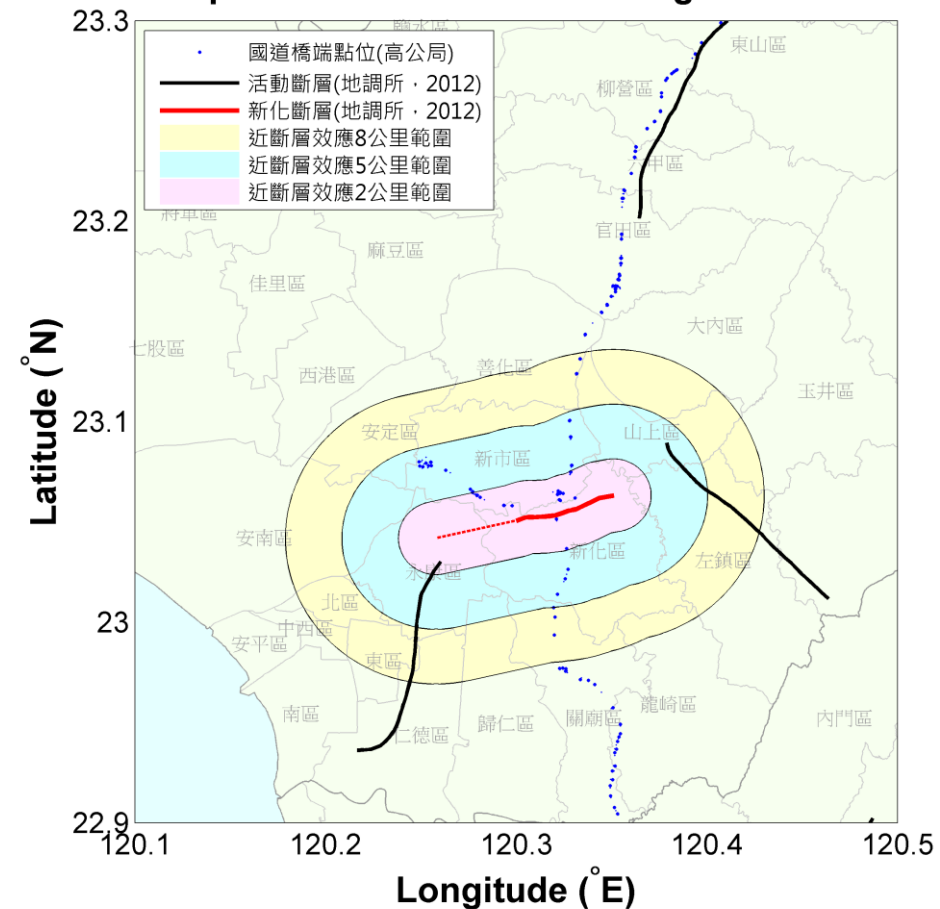
- 配合災害防救計畫
- 規劃臨時替代道路
- 研擬緊急搶修計畫

# 跨越斷層橋梁評估及策略 (區段1-1)

國家地震工程  
研究中心

以定值法評估斷層錯動引致地震動及可能產生的錯動量

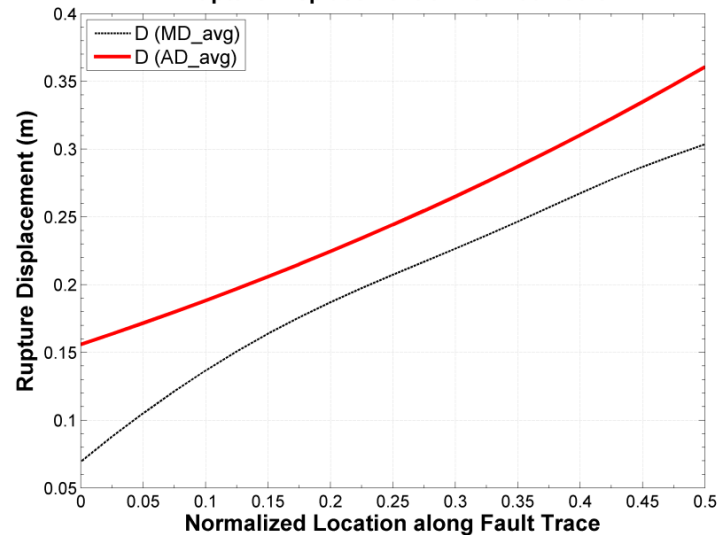
## Map of Hsinhua Fault and Bridge Location



## 定值法斷層參數設定

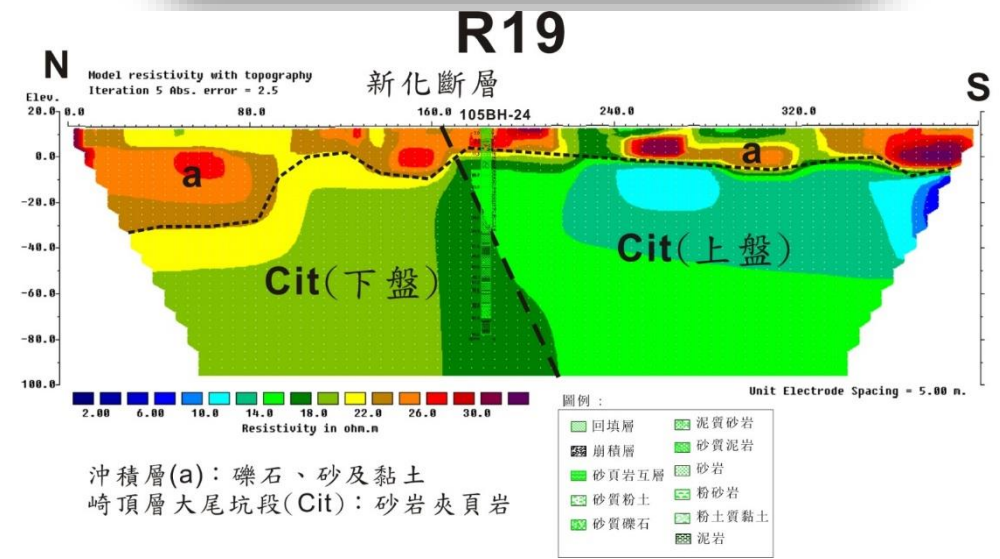
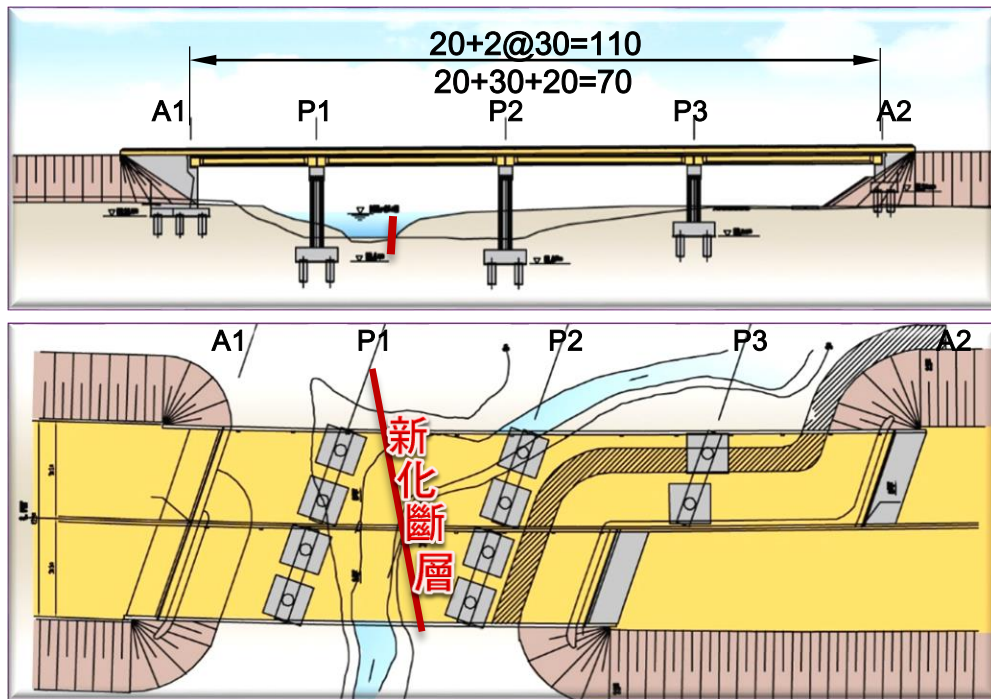
錯動型態	走向滑移型 (Strike-Slip)
傾角	80° (向南)
破裂長度	12.0公里
破裂深度	12.5公里
破裂面寬度	12.7公里
地震規模( $M_w$ )	6.4

### Rupture Displacement of Hsinhua Fault



# 跨越斷層橋梁評估及策略

## 深坑溪橋：跨越斷層

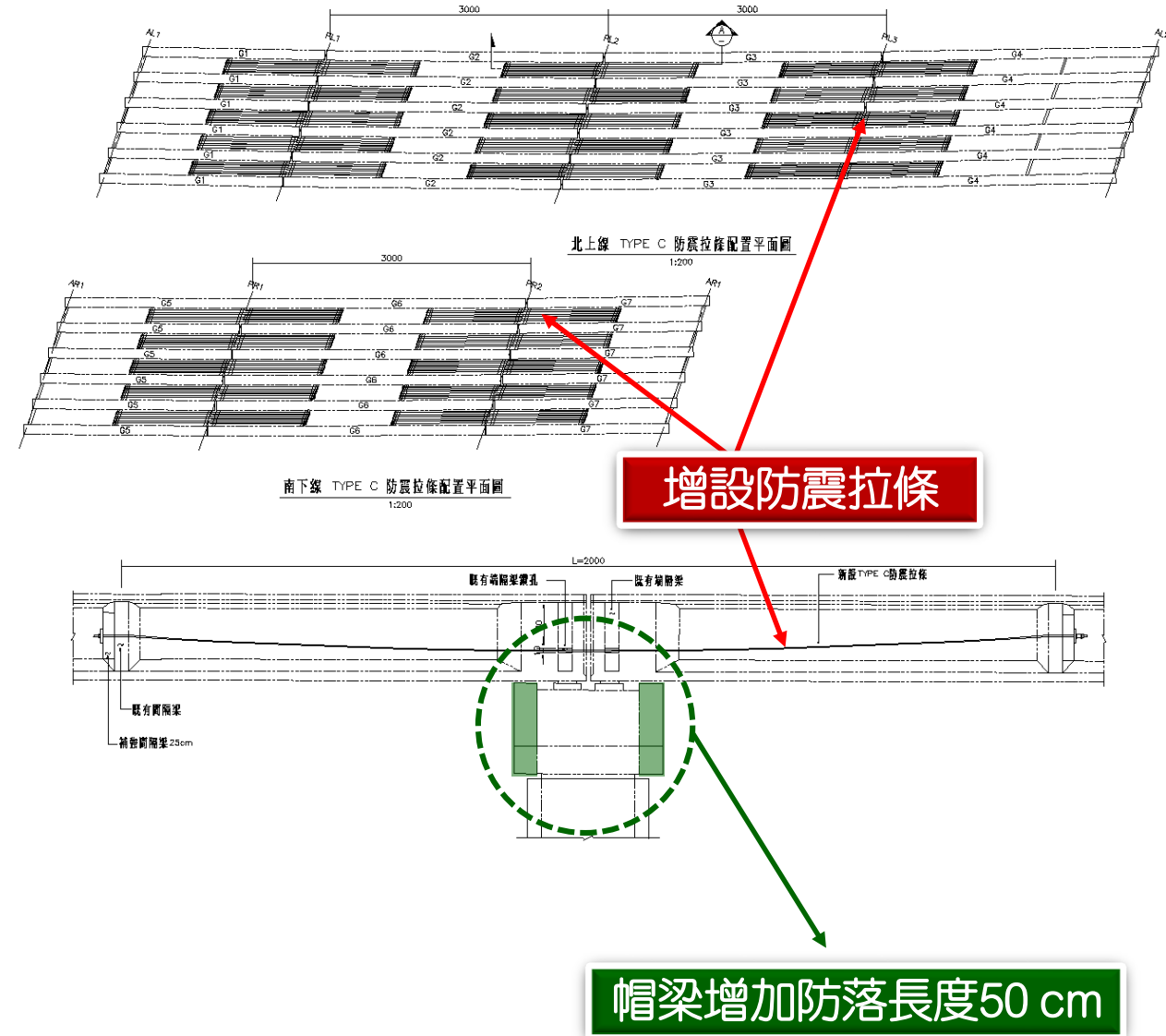


補充地電阻影像剖面測線

# 跨越斷層橋梁評估及策略

## 深坑溪橋：直接跨越斷層

- 設計地震(斷層未錯動)
  - 橋柱剪力強度不足，基礎無須補強
- 最大考量地震(斷層錯動)
  - 允許支承滑動
  - 支承傳遞 $\mu_k=0.4$ 之摩擦力至下部結構，基礎無須補強
- 增加防落長度
- 增設防震拉條



# 耐震補強特性

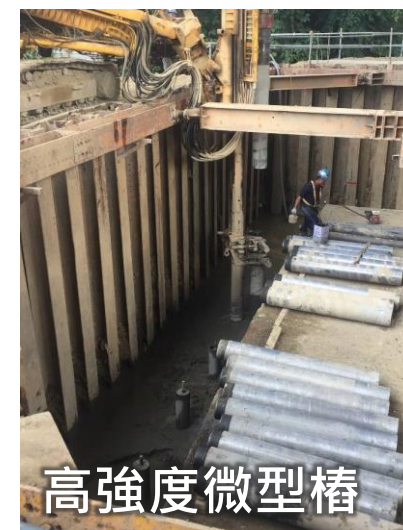
## 穿著西裝改西裝

- 空間、環境受限
- 緊鄰既有道路

## 耐震補強工法無標準答案

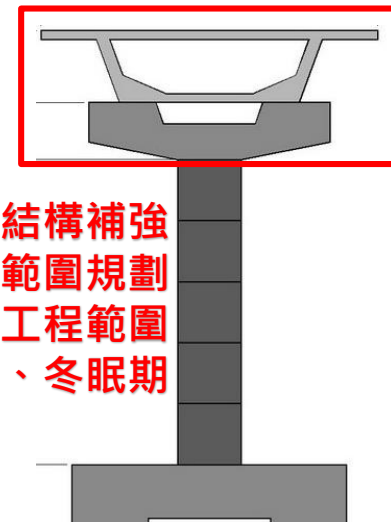
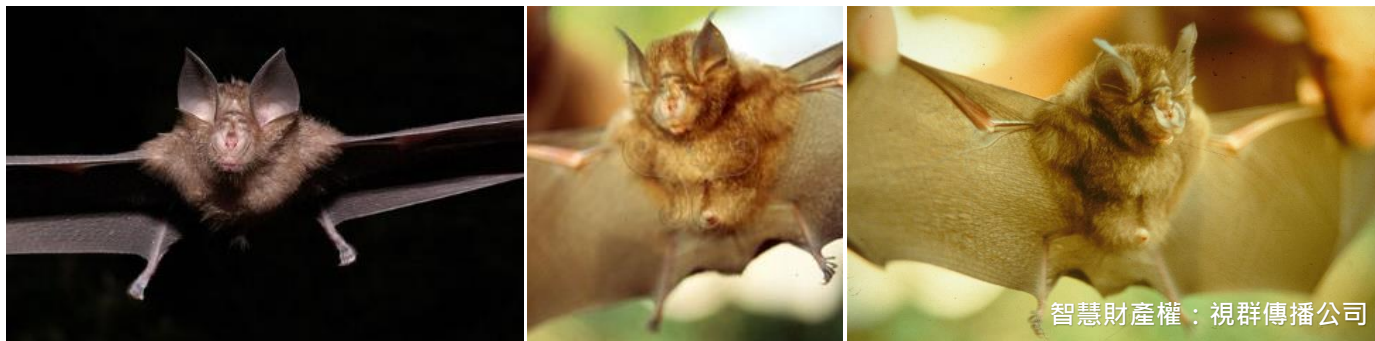
## 量身訂做、因地制宜、因橋制宜

- **業主**對耐震性能之要求
- 橋下環境、既有結構形式
- 耐震弱點



# 生態友善作為

■ 台灣小蹄鼻蝠(台灣特有亞種)，應進行積極保育復育工作



進行上部結構補強  
應妥善施工範圍規劃  
縮短工期、縮小工程範圍  
避開繁殖期、冬眠期

橋梁內有台灣小蹄鼻蝠利用作為棲所



內埔子水庫一號高架橋



石牛溪河川橋



石龜溪河川橋箱梁調查

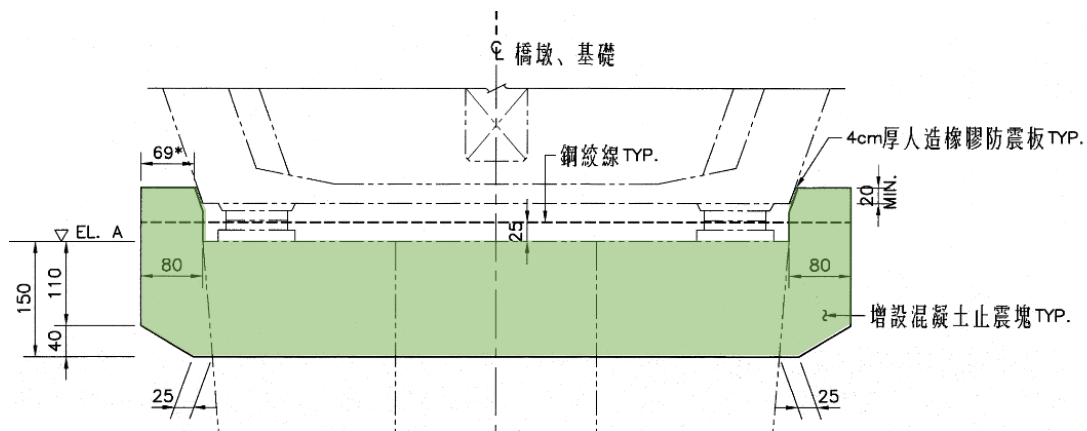
# 生態友善作為

## 三疊溪河川橋

- 棲息數量達500隻以上

## 迴避策略

- 避免箱梁內部施工
- 混凝土止震塊



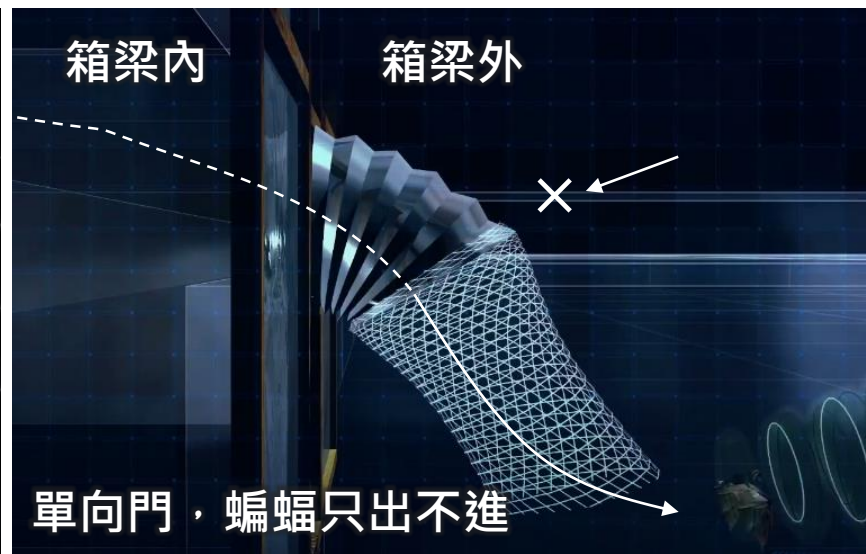
# 生態友善作為

## 減輕策略

- 台灣蝙蝠學會合作
- 施工前後調查、施工中監看
- 箱梁內補強，避開繁殖期等敏感季節
- 施工前友善驅離，轉移至週邊箱涵

表 3 第 M38A1 標「小蹄鼻蝠」棲息橋梁一覽表

項次	橋梁名稱	統一里程	生態分級
1	嘉138及水上系統交流道匝道2穿越橋N	300+476.6	黃
2	嘉138及水上系統交流道匝道2穿越橋S	300+476.6	黃
3	水上系統交流道匝道4穿越橋	300+293	紅
4	牛稠埔坑溪排水橋N	303+410	紅
5	牛稠埔坑溪排水橋S	303+418	紅
6	頭前溪河川橋N	308+170	紅
7	頭前溪河川橋S	308+170	紅
8	白水溪河川橋N	310+757	紅
9	白水溪河川橋S	310+757	紅
10	六重溪河川橋N	315+017	紅
11	六重溪河川橋S	315+012	紅



# 生態友善作為

## ■ 補償策略

- 箱梁內部增設粗糙面
- 提供蝙蝠吊掛空間

## ■ 成效

- 透過標放確認蝙蝠於施工期轉移棲所
- 完工後再次回到三疊溪河川橋



【蝙蝠任務】 - 榮獲2021年第54屆休士頓國際影展金獎殊榮

# 小結

台灣的

## 感情線

- 十大建設年代的記憶，民國67年國1全線通車
- 北二高、南二高、中二高路續通車
- 改變南北運輸的記憶，縮短遊子與家的距離

感情線

## 事業線

- 增建與拓寬，支撐臺灣經濟發展與地方繁榮

事業線

## 生命線

- 國道路網橋梁耐震能力全面提升
- 震後緊急救災，生活、經濟快速復原

生命線

# 小結

## 1999~2022 Largest Earthquakes



Statistics and Data

*The Race To Seismic Safety*  
*The Continuing Challenge*  
*Competing Against Time*

Prof. Joseph Penzien, Chairman, Caltrans Seismic Advisory Board



中央氣象局 105 年地震年報

我們一直在與時間賽跑

讓國道更安全，更強韌

 交通部高速公路局 TYLin