



 **NAR Labs** 國家實驗研究院
國家地震工程研究中心

台灣地震損失評估系統講習會
高速公路橋梁耐震補強計畫之策略探討

簡報

彭康瑜 副總工程師
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN
林同棧工程顧問股份有限公司
中華民國 103 年 10 月 30 日



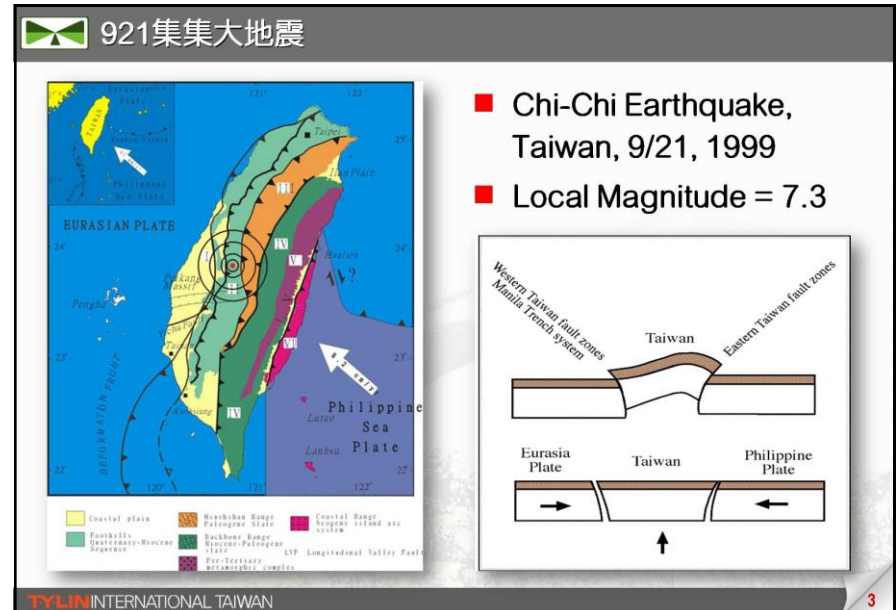
簡報大綱

- 1 計畫緣起、範圍與目標
- 2 多重防災設計理念
- 3 橋梁耐震能力評估
- 4 橋梁耐震補強工程
- 5 TELES評估優選排序



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

1



921集集大地震



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

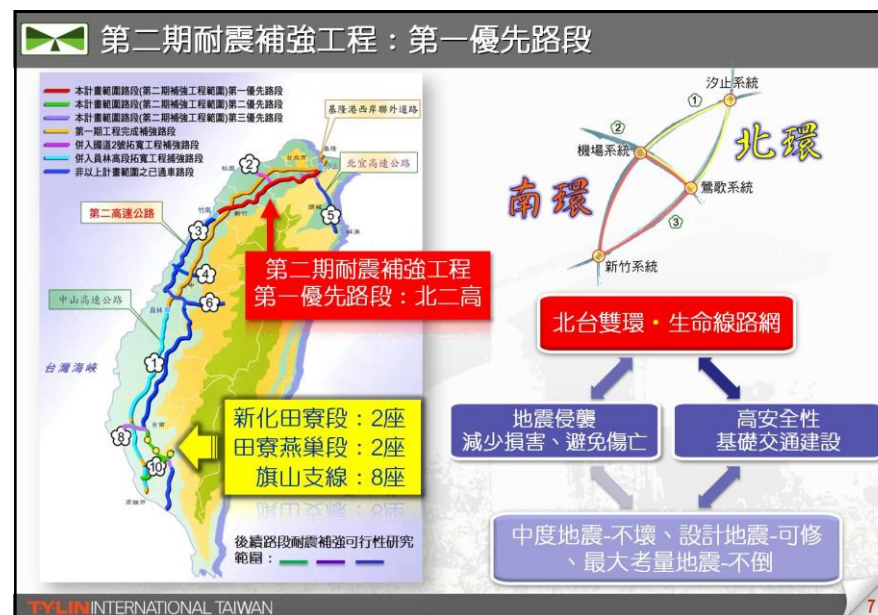
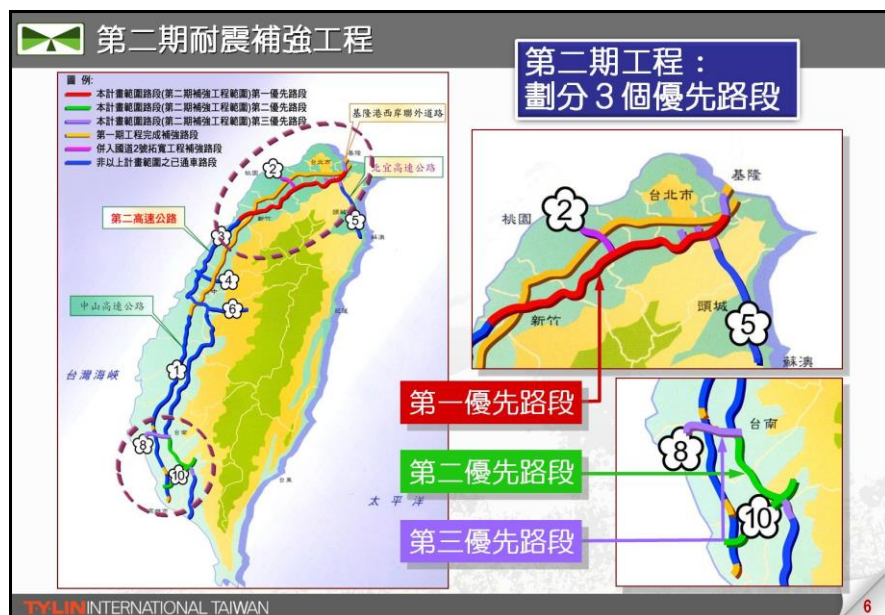
4

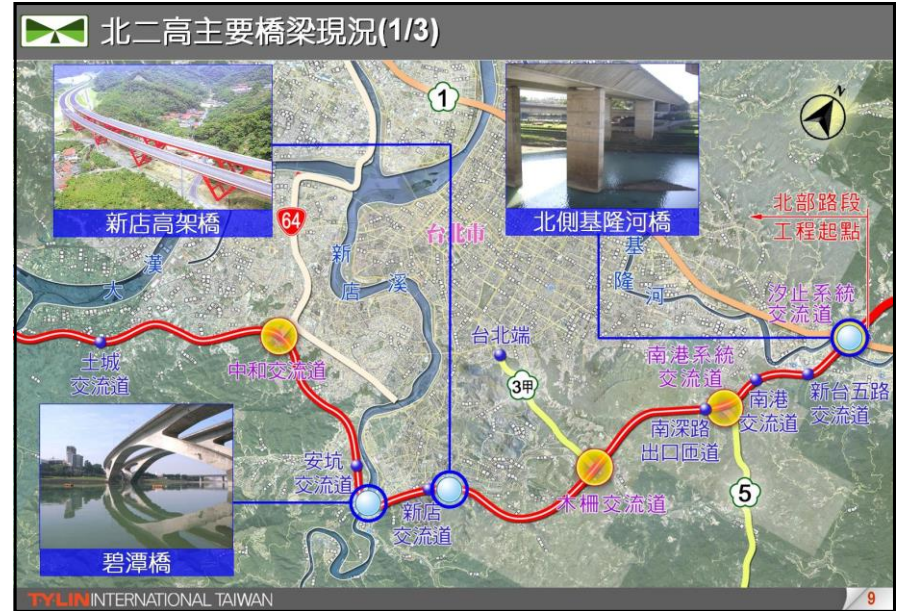
第一期耐震補強工程



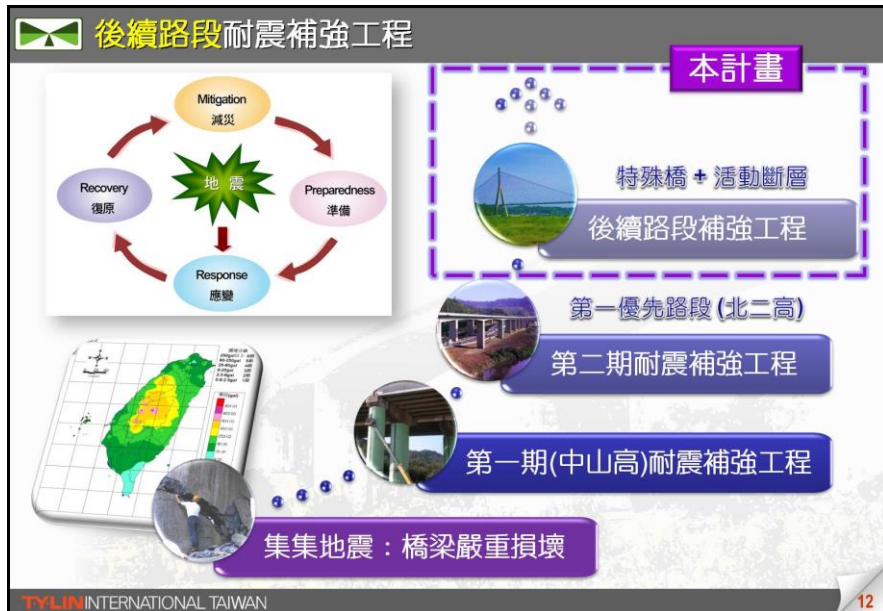
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

5









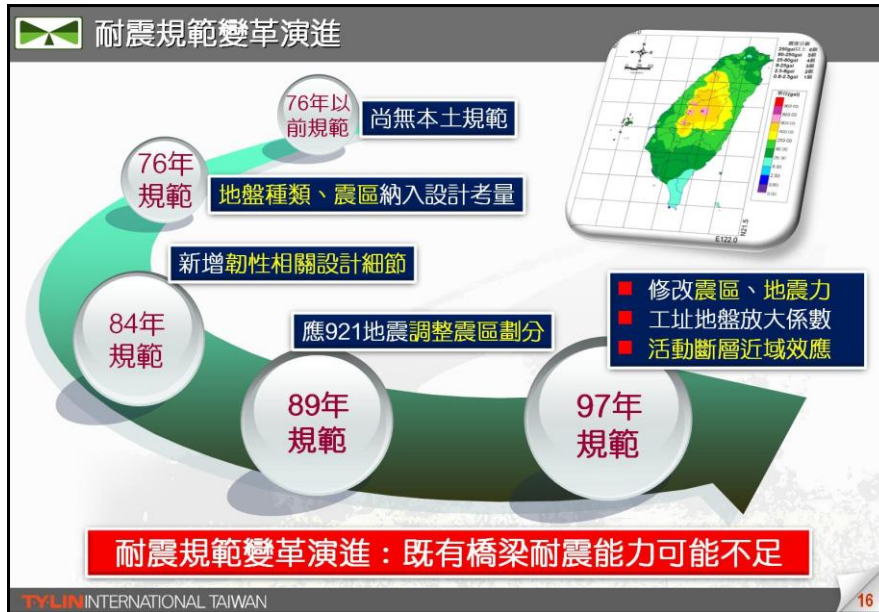


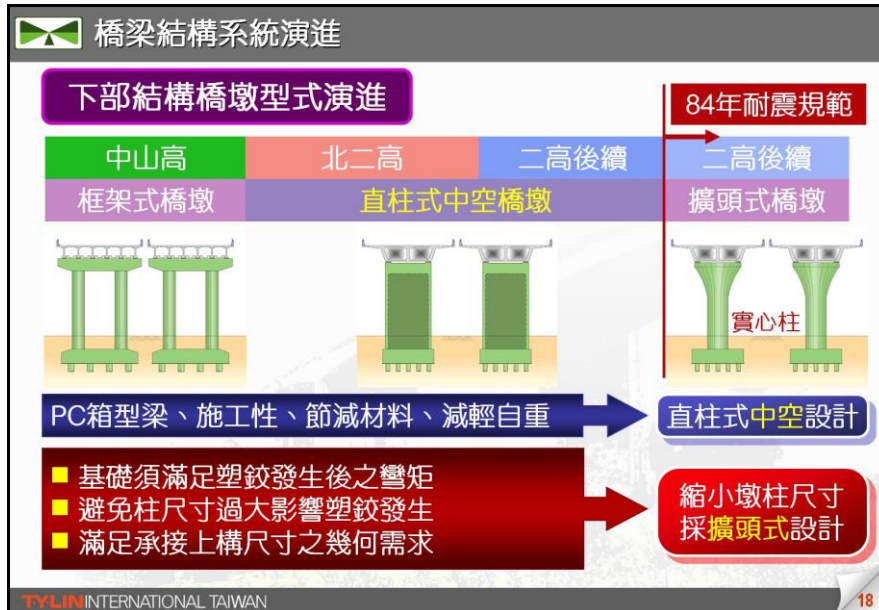
國工局建議通案評估辦理路段

■ 921地震後設計、施工中之橋梁耐震處理原則

橋梁設計施工情形	路段別	處理方式
接近完工	基汭段、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(計三座)加設斜撐版防落裝置
	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	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

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 15








2 多重防災設計理念

Seismic Retrofit

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 20

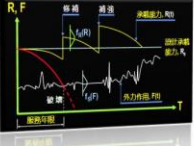


永續思維與作法

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

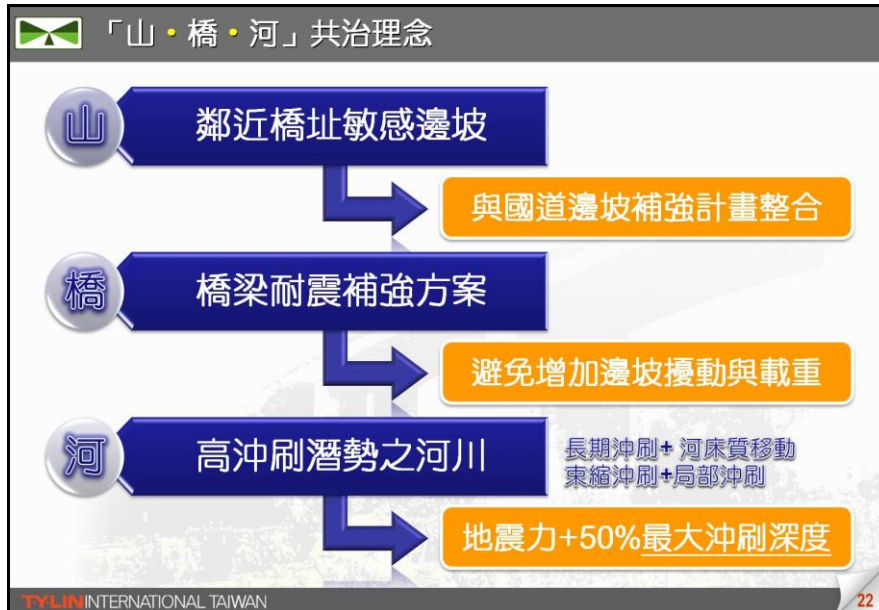
多重防災策略

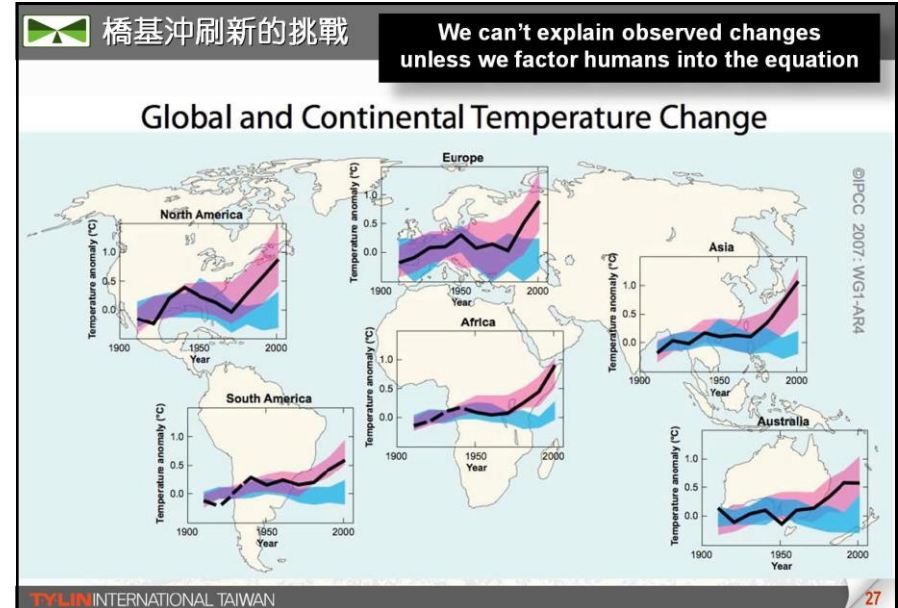
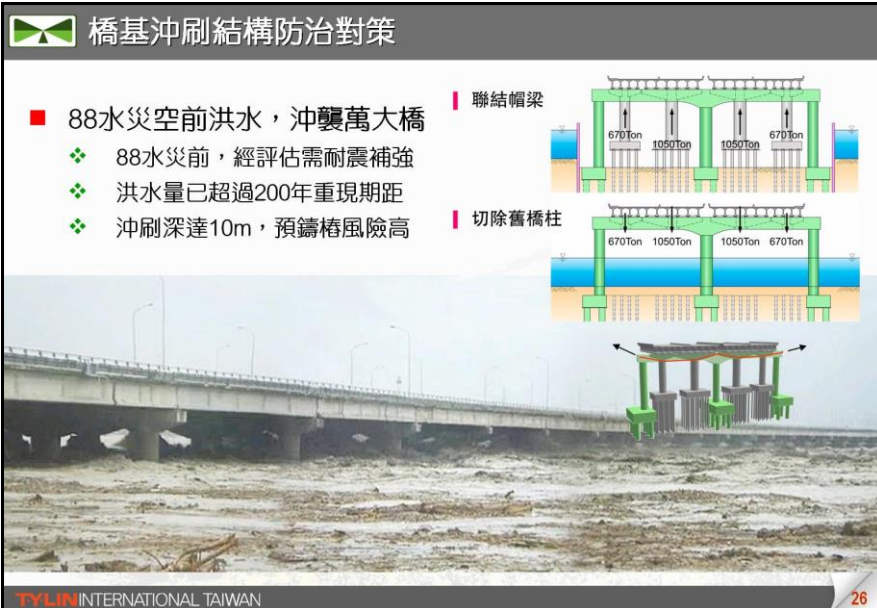
Landslide

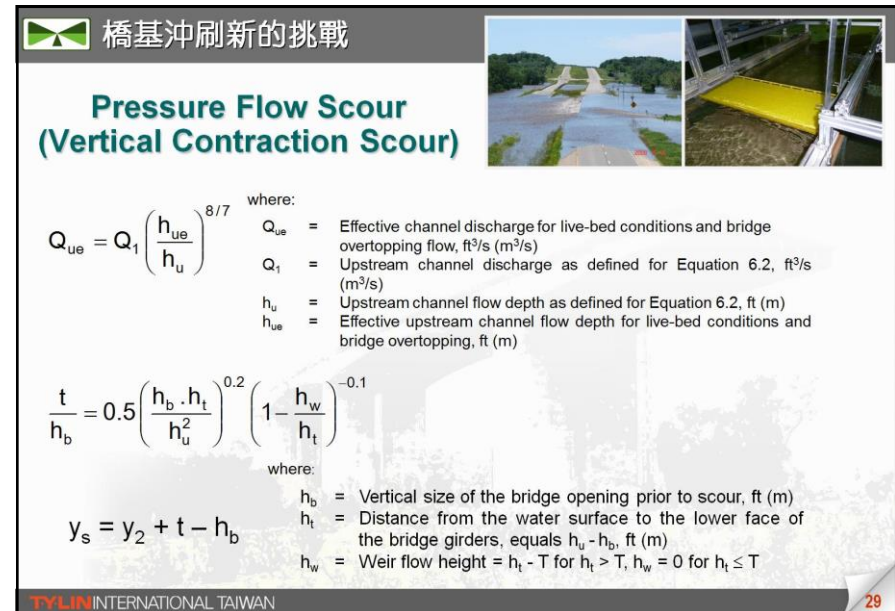
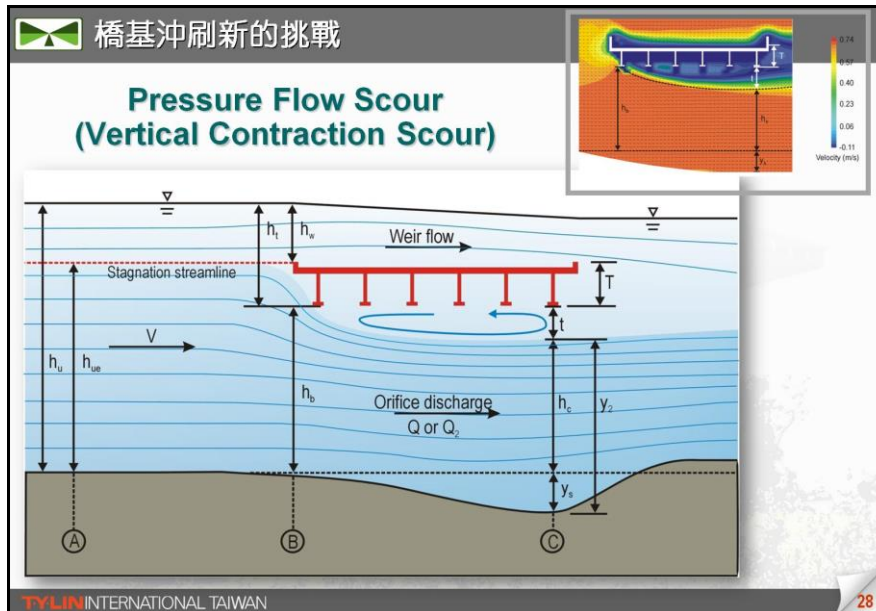
Earthquake

Scouring

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 21









3 橋梁耐震能力評估

Seismic Retrofit

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

30

國道橋梁之耐震補強性能標準



國道定位：生命線救災道路

耐震補強標準
服務年限50年

Life Line

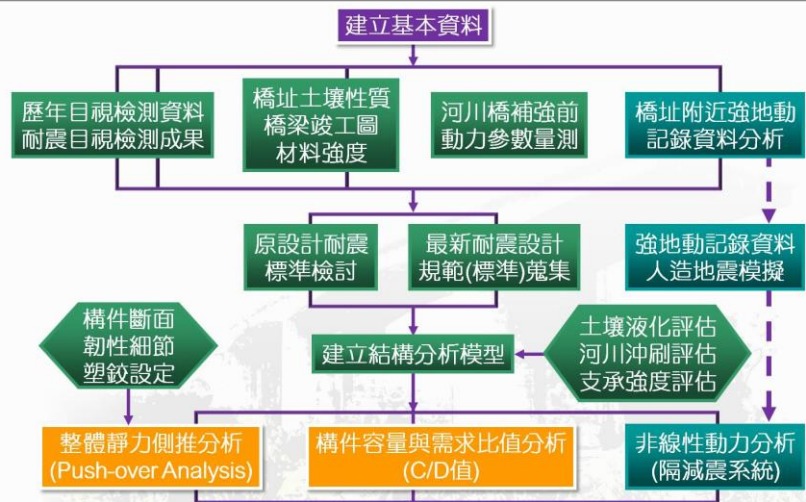
補強基本對策

- ① 系統補強
- ② 構件補強
- ③ 增加構件

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

31

橋梁耐震評估流程(1/2)



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

32

橋梁耐震評估流程(2/2)



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

33

耐震補強設計基本原則

■ 國道高速公路橋梁耐震補強設計基本原則

- ❖ 確保設計之橋梁主結構體在發生**中度地震**時能保持在彈性限度內
- ❖ 發生**設計地震**時(約**475年回歸期**)容許產生塑性變形及一些韌性損壞，但仍可修復
- ❖ 發生**最大考量地震**時(約**2500年回歸期**)容許產生較大塑性變形，但須避免產生落橋或崩塌

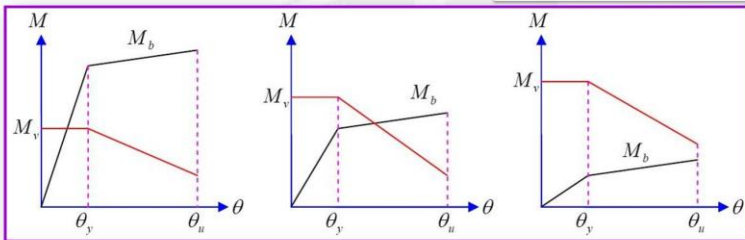
耐震性能準則(Seismic Performance Criteria)

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
中度地震	依行政區劃分	結構保持彈性	震後正常通行	輕微
	回歸期 475年 地震之 1/3.25			
設計地震	依行政區劃分	構件產生塑鉸 發揮容許韌性容量	震後有限通行	可修復
	回歸期： 475年 50年超越機率： 10%			
	S_s^D 0.80、0.70、0.60、0.50 S_1^D 0.45、0.40、0.35、0.30			
最大考量地震	依行政區劃分	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
	回歸期： 2500年 50年超越機率： 2%			
	S_s^M 1.00、0.90、0.80、0.70 S_1^M 0.55、0.50、0.45、0.40			

橋梁耐震能力分析評估方法

- 容量和需求比值法 (C/D比值法)
- 非線性側推評估法 (Push-Over Method)
 - ❖ 高速公路局「橋梁結構性能耐震評估法(93年)」
 - ❖ 國家地震中心「公路橋梁耐震評估及補強準則之研究成果報告(98年12月)」

M3塑鉸：考量破壞模式



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

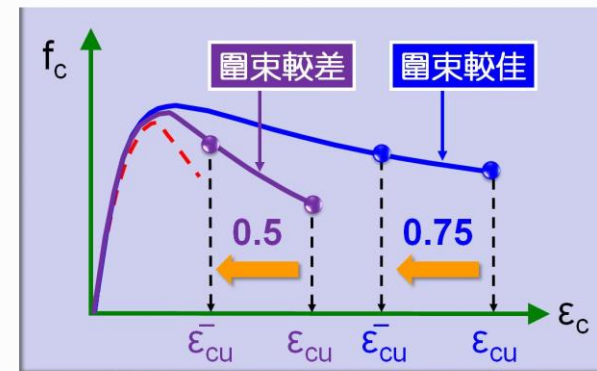
36

圍束混凝土組成律之探討

圍束混凝土
組成律

Kawashima組成律：相對過於保守

Mander組成律：極限應變折減因子

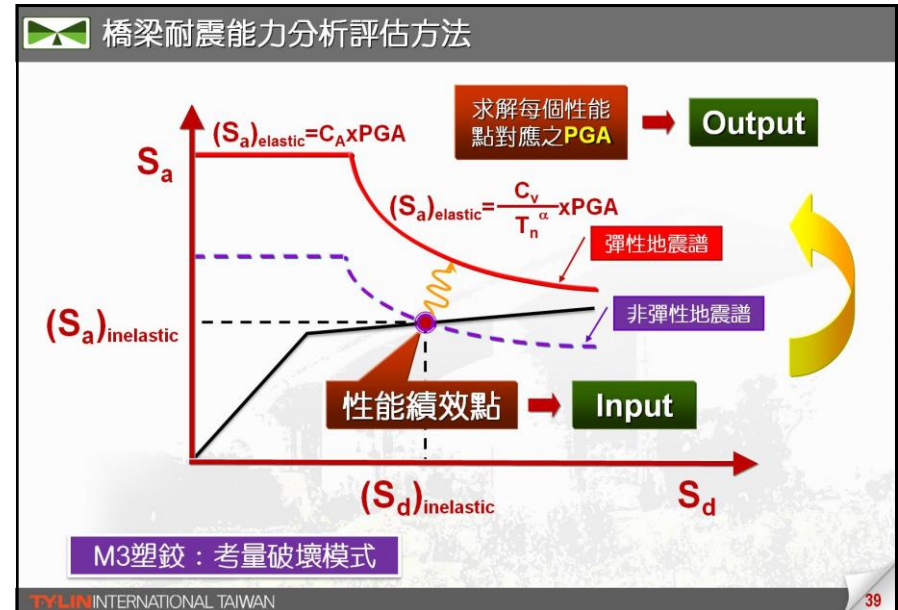
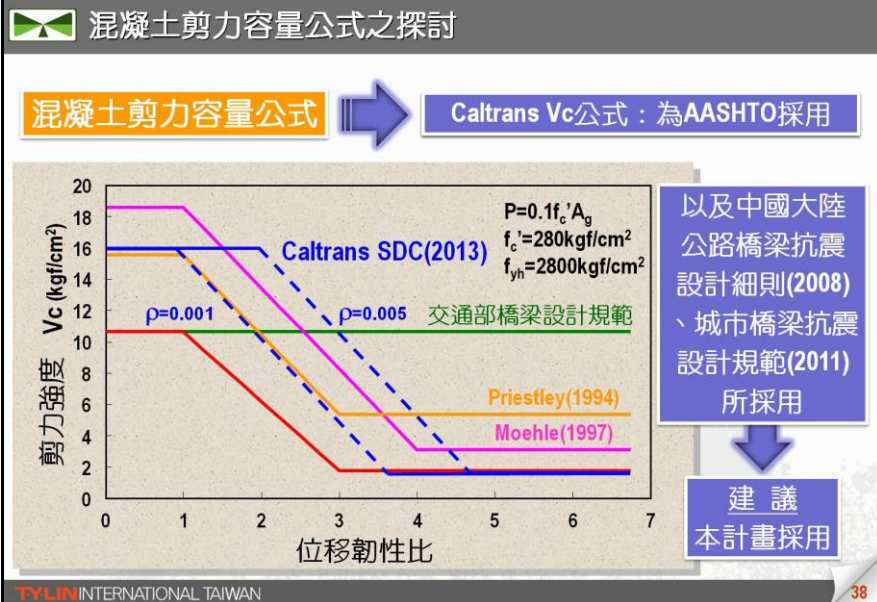


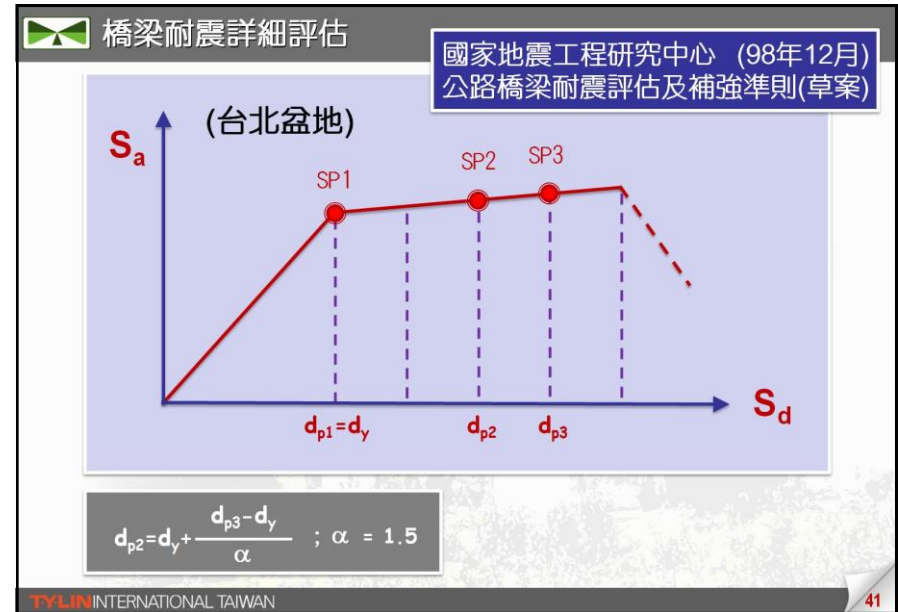
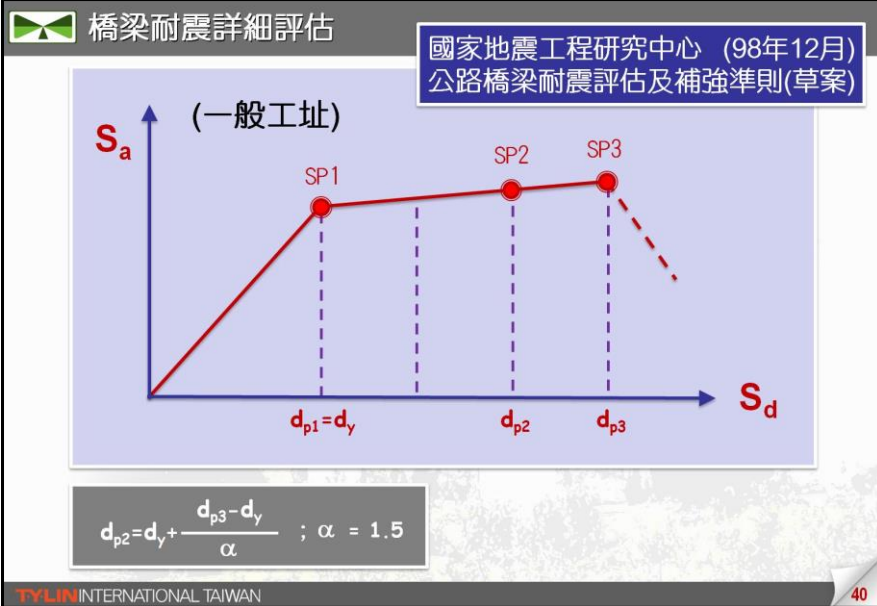
考量
建議本計畫採用

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

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

37

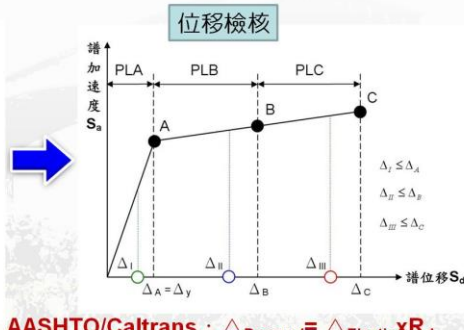
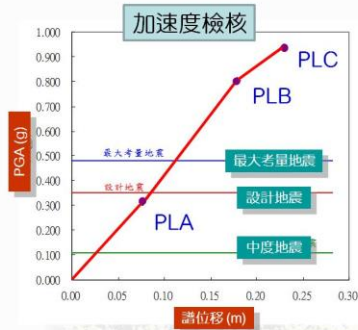




橋梁耐震能力分析評估方法

■ 公路橋梁耐震性能設計規範(草案) (102年11月)

- ❖ 各性能點PGA與規範地震力之檢核
- ❖ 採三個地震力等級之 $\Delta_{Demand} < \Delta_{Capacity}$ 檢核



AASHTO/Caltrans : $\Delta_{Demand} = \Delta_{Elastic} \times R_d$

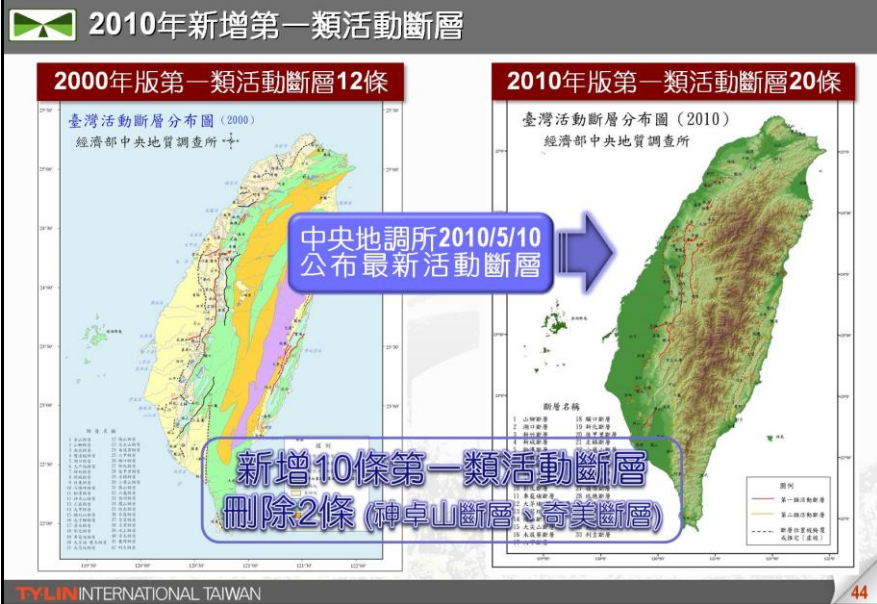
橋梁耐震補強之標準

■ 國道高速公路既有橋梁之耐震補強標準

- ❖ 以再服務年限達50年為原則

■ 本工程於進行橋梁之耐震評估與補強設計時，若其補強工程費超過同型式橋梁新建工程費之45%，則需進一步檢核評估補強設計之合理性

- ❖ 若經詳細檢討各補強方案之工程實務性及經濟性後，仍造成不經濟或不合理的結果時，得檢討其再服務年限或性能標準與後續追蹤檢測評估或監測等配套措施



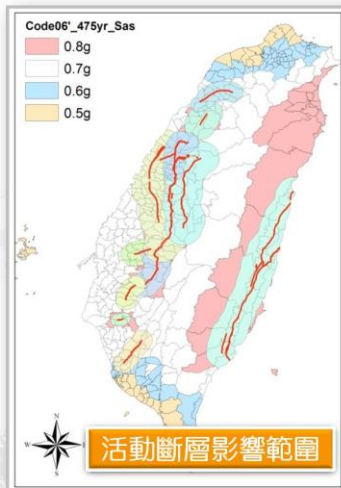
2010年新增第一類活動斷層

■ 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

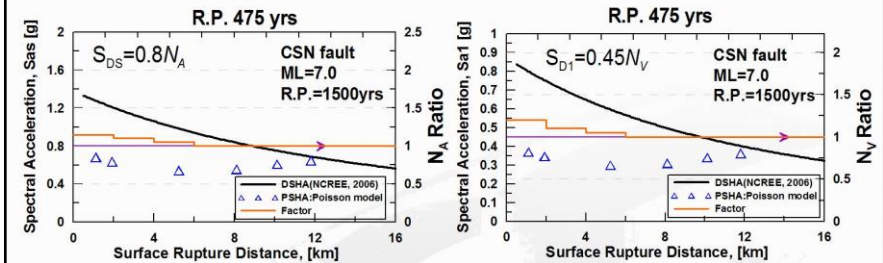


TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

46

鄰近活動斷層之地震力考量

■ 以旗山斷層為例 (475年回歸期)



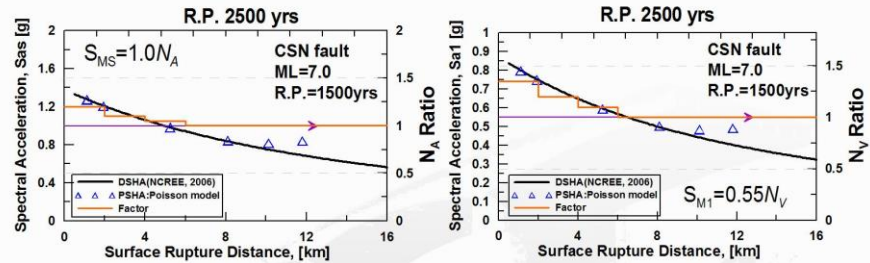
	$r \leq 2\text{km}$	$2\text{km} < r \leq 4\text{km}$	$4\text{km} < r \leq 6\text{km}$	$6\text{km} < r \leq 8\text{km}$	$r > 8\text{km}$
N_A	1.15	1.10	1.05	1.00	不需考慮近斷層因子
N_V	1.20	1.10	1.05	1.00	不需考慮近斷層因子

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

47

鄰近活動斷層之地震力考量

■ 以旗山斷層為例 (2500年回歸期)



	$r \leq 2\text{km}$	$2\text{km} < r \leq 4\text{km}$	$4\text{km} < r \leq 6\text{km}$	$6\text{km} < r \leq 8\text{km}$	$r > 8\text{km}$
N_A	1.20	1.10	1.05	1.00	不需考慮近斷層因子
N_V	1.35	1.20	1.10	1.00	不需考慮近斷層因子

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

48

鄰近活動斷層之地震力考量

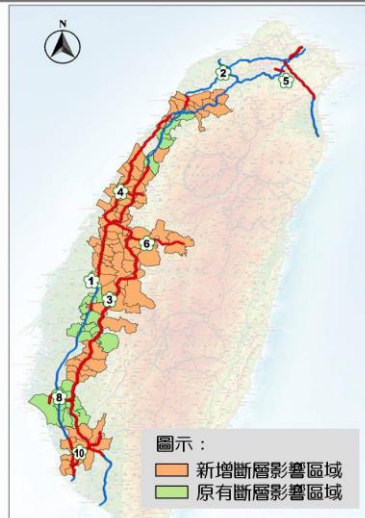
■ 公路橋梁耐震性能設計規範(草案)(102年11月) 依行政分區

第一類活動斷層名稱	設計地震		最大考量地震	
	N_A	N_V	N_A	N_V
1. 獅潭斷層	1.14	1.17	1.13	1.21
2. 屯子腳斷層	1.14	1.16	1.13	1.21
3. 車籠埔斷層	1.12	1.18	1.13	1.25
4. 梅山斷層	1.19	1.22	1.15	1.24
5. 大尖山斷層、觸口斷層	1.08	1.08	1.11	1.21
6. 新化斷層	1.12	1.08	1.15	1.15
7. 花東縱谷地區斷層 (米崙、瑞穗、玉里、池上與鹿野斷層)	1.21	1.29	1.16	1.29
8. 彰化、大甲、鐵砧山斷層	1.15	1.16	1.13	1.22
9. 大茅埔-雙冬斷層	1.15	1.16	1.11	1.23
10. 新城斷層	1.04	1.08	1.09	1.16
11. 三義斷層	1.04	1.08	1.09	1.16
12. 六甲斷層	1.05	1.08	1.05	1.12
13. 旗山斷層	1.08	1.09	1.09	1.16

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

49

第一類活動斷層影響範圍－依行政區



第一類活動斷層名稱	橋梁(座)
屯子腳斷層	215
車籠埔斷層	460
梅山斷層	105
大尖山斷層、觸口斷層	192
新化斷層	105
彰化、大甲、鐵砧山斷層	484
大茅埔-雙冬斷層	158
新城斷層	38
三義斷層	163
六甲斷層	97
旗山斷層	153
合計	2170

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

48

第一類活動斷層影響範圍－依斷層距離



第一類活動斷層名稱	橋梁(座)
屯子腳斷層	160
車籠埔斷層	313
梅山斷層	63
大尖山斷層、觸口斷層	119
新化斷層	72
彰化、大甲、鐵砧山斷層	459
大茅埔-雙冬斷層	128
新城斷層	34
三義斷層	78
六甲斷層	90
旗山斷層	127
合計	1634

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

49

鄰近第一類活動斷層之橋梁數量統計

- 計畫範圍橋梁：總共1169座
- 鄰近第一類活動斷層橋梁數量
 - ❖ 依行政區：1020座 (約佔87.2%)
 - ❖ 依斷層距離：828座 (約佔70.8%)
- 受新增第一類活動斷層影響橋梁
 - ❖ 依行政區：899座 (約佔76.9%)
 - ❖ 依斷層距離：570座 (約佔48.7%)

鄰近第一類活動斷層之構想

近斷層效應：考慮範圍		橋梁數量	說 明
與第一類活動斷層距離	100m 以內	42座	建議：納入後續路段第一期工程 優先辦理耐震評估與研究
	300m 以內	80座	
	500m 以內	102座	
	1000m 以內	211座	
	1500m 以內	266座	
	2000m 以內	332座	
依規範(草案)各斷層須考慮近斷層效應之距離以內		899座	依「橋梁結構耐震指標」與「交通經濟衝擊指標」整體評估、優選排序
依規範(草案)各斷層須考慮近斷層效應之行政區內		1020座	

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

AASHTO方法

經專家學者諮詢會議同意方納入設計

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

耐震評估方法之檢討改進

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

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

Final Report

Report CA08-0284 November 2008

耐震性能 SP_1, SP_2, SP_3

$d_{p1} = d_y$, d_{p2} , d_{p3}

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

預鑄節塊箱梁橋耐震性能初步建議

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)

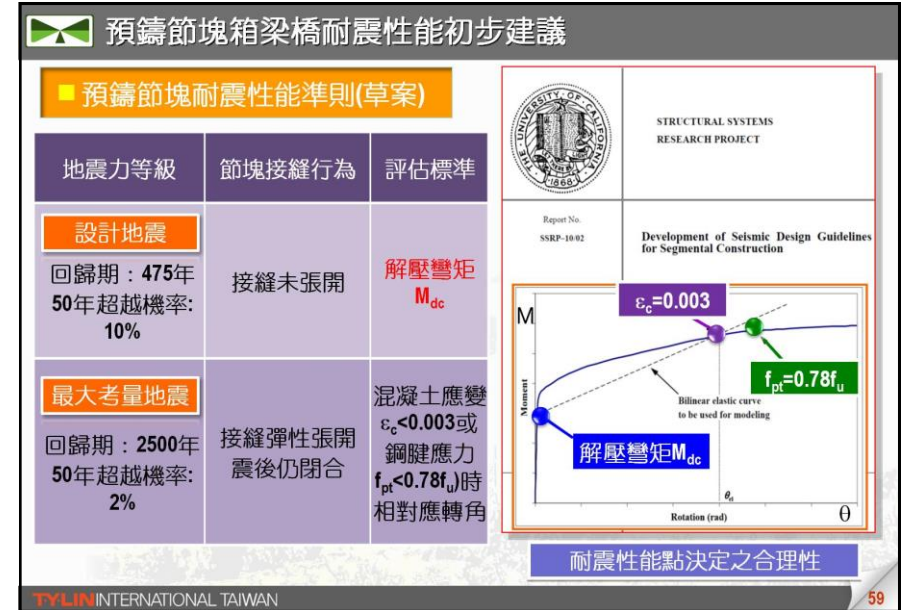
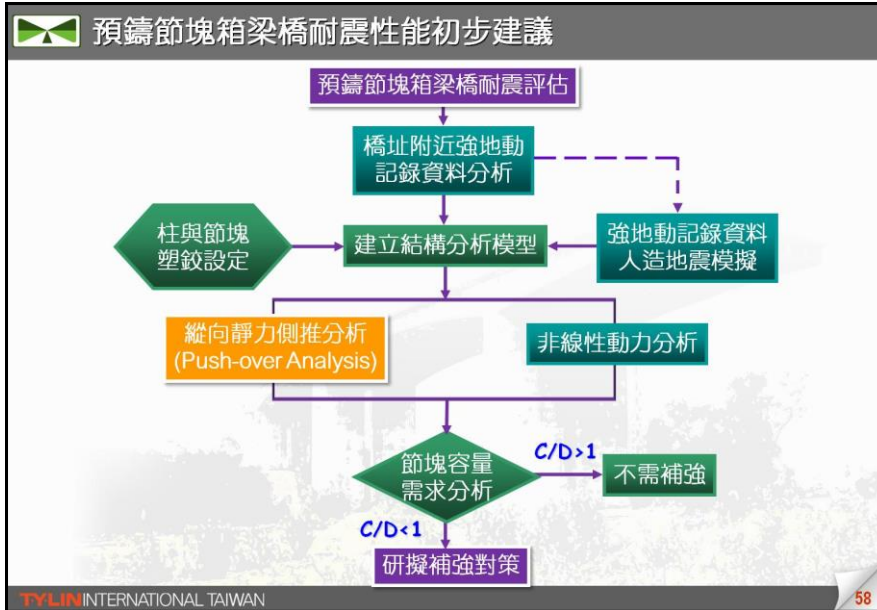
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 56

預鑄節塊箱梁橋耐震性能初步建議

Caltrans預鑄節塊箱形梁橋耐震性能準則 (草案)

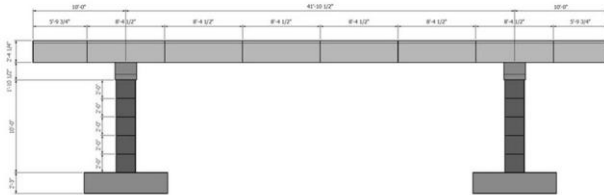
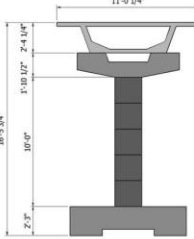
Bridge Classification	Functional Evaluation Earthquake (FEE) (100~500 years)	Safety Evaluation Earthquake (SEE) (1000~2500 years)
Ordinary	No joint opening	No collapse
Important	No joint opening	Non-linear elastic segment joint response

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 57





鄰近斷層預鑄節塊橋梁之垂直地震力



SEESL振動台試驗模型



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

60





4 橋梁耐震補強工程

Seismic Retrofit

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

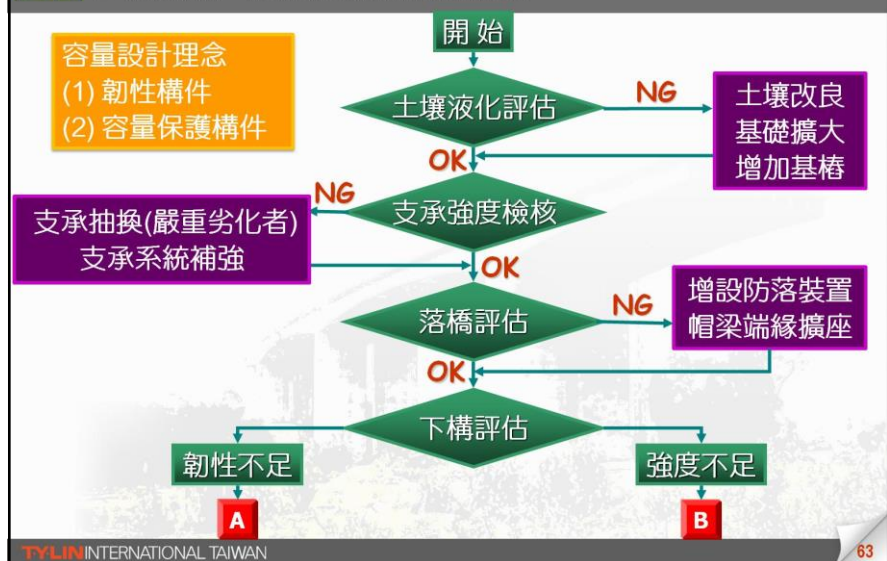
61

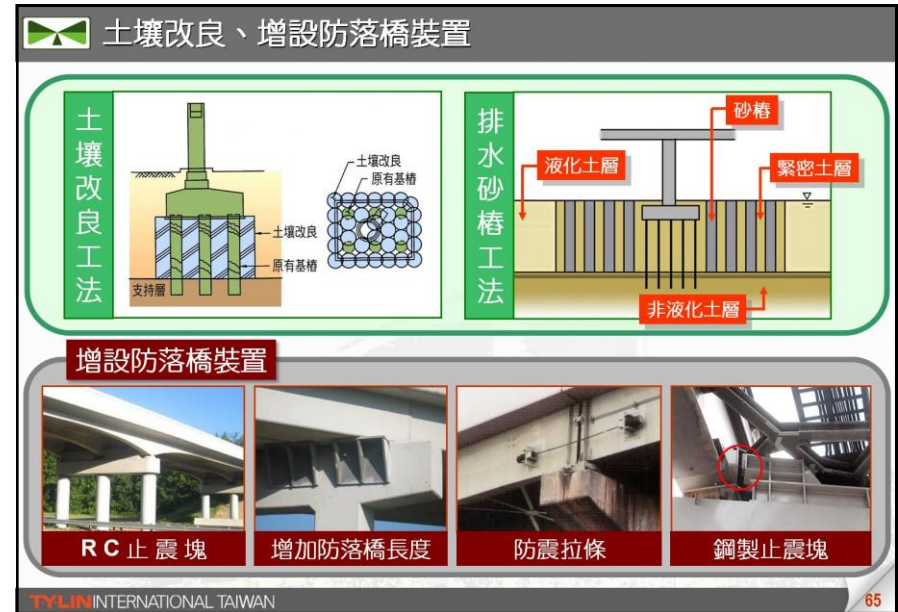
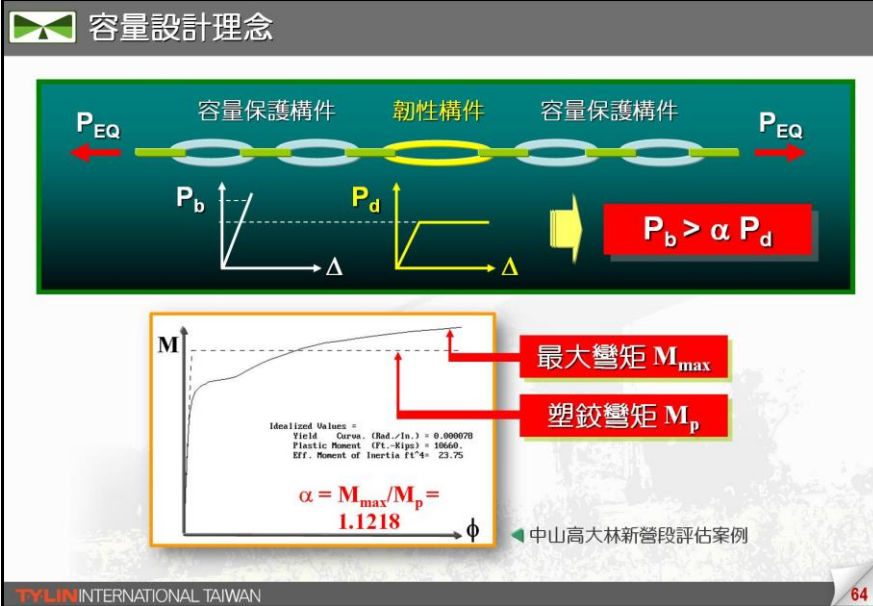
橋梁耐震補強設計基本策略

■ 耐震補強之基本策略

- ❖ 整體結構系統：耐震能力均衡提昇
- ❖ 藉由橋柱補強：增進橋梁強度、韌性
- ❖ 增設妥適的防止落橋裝置
 - 合理的位移控制，避免落橋
- ❖ 變更橋梁結構系統，減輕地震慣性力
 - 上部結構輕量化、連續化
 - 「系統變位拘束補強工法」之應用
 - 反力分散、隔減震裝置：延長周期、增加阻尼

土壤液化、支承及落橋補強對策





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

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 66

支承現況與橋梁耐震性能

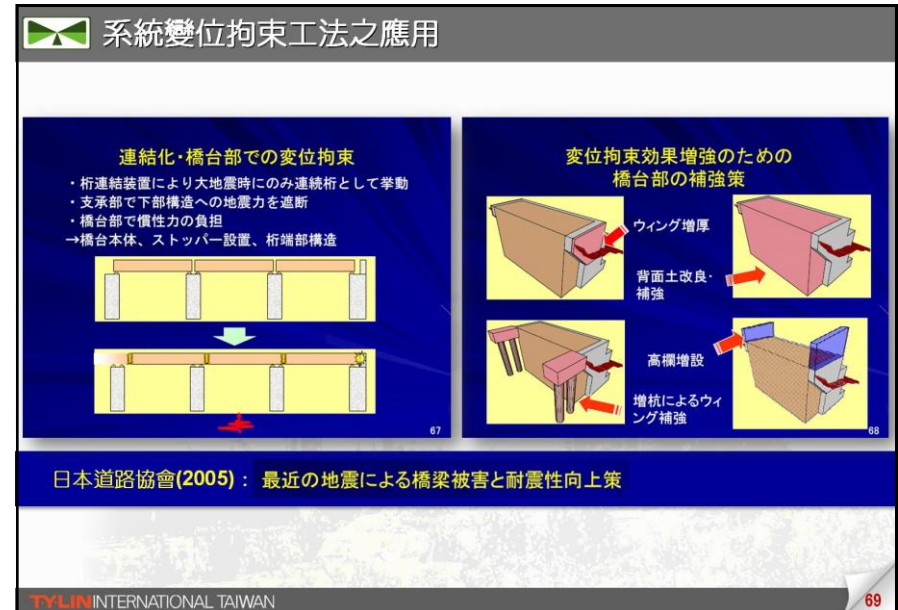
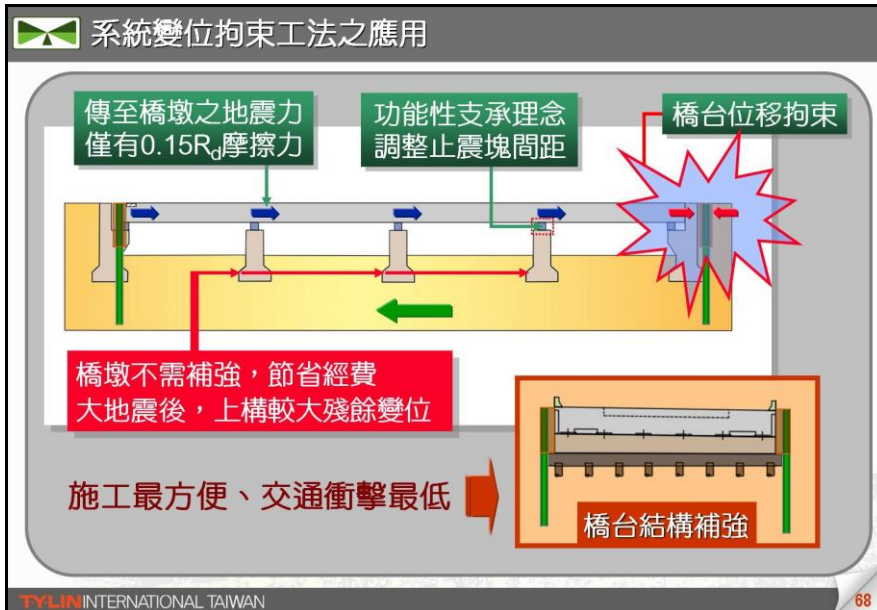
■ **系統變位拘束工法之應用**

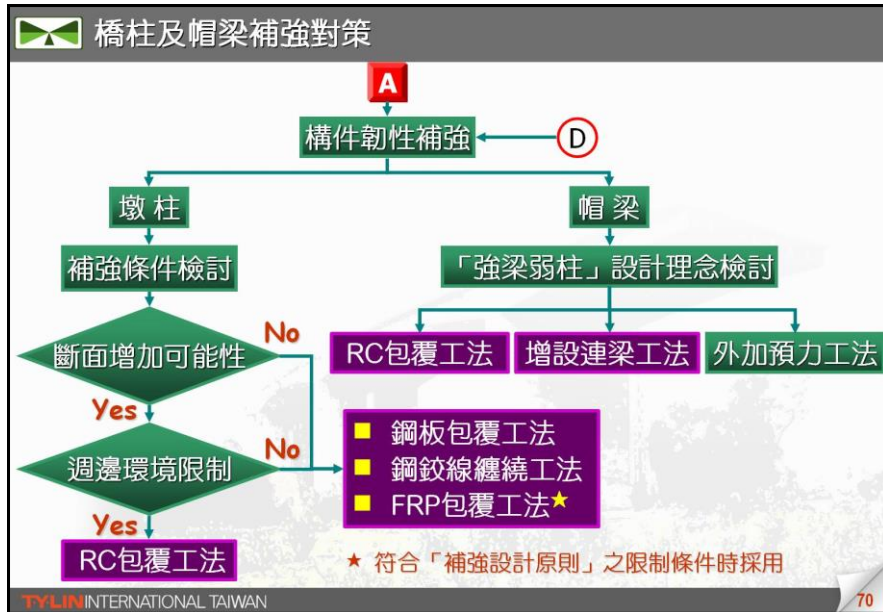
- ❖ 利用橋台勁度及背填土非線性彈簧，限制橋梁整體系統之振動變位量，以降低橋墩及基礎之地震力需求

■ **適用橋梁類別：跨越橋、中小長度之穿越橋**

- ❖ 上部結構連續化(如增設鉸接版)
- ❖ 調整墩頂各設施(廣義的支承系統)受力機能
- ❖ 利用橋台消能或補強後承受大部份地震力
- ❖ 合適的位移控制，確保震後正常通行

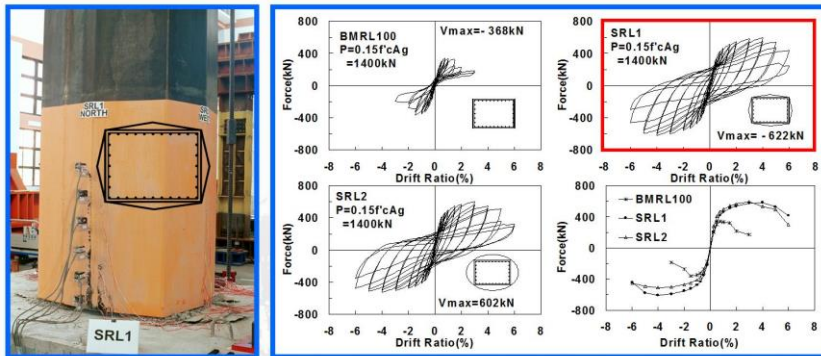
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 67





鋼板包覆補強工法

八角鋼板包覆補強技術



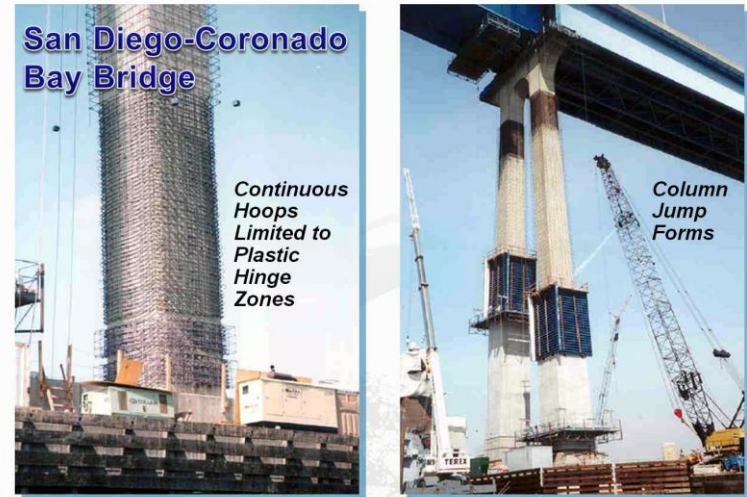
資料來源：NCREE (Tsai et al)

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

72

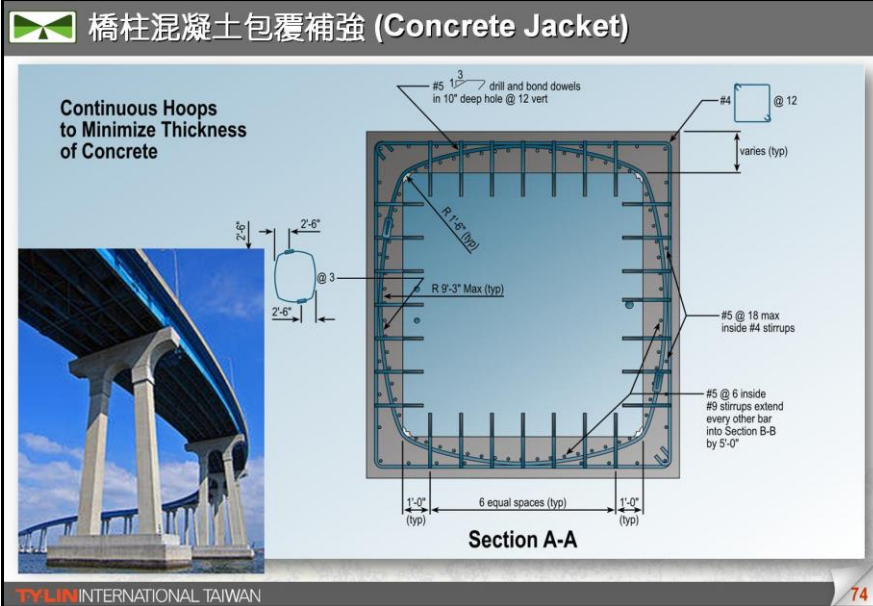
橋柱混凝土包覆補強 (Concrete Jacket)

San Diego-Coronado Bay Bridge



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

73



FRP包覆補強工法適用性之探討

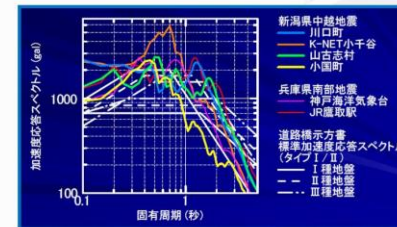
■ 橋柱採用FRP包覆補強工法之適用性條件

參考Caltrans BDA-14-3 Fiber Reinforced Polymer (FRP) Composites Column Casing Systems, 2008

- ❖ 對於圓形橋柱及矩形橋柱，其位移韌性需求不得超過6及3
- ❖ 對於矩形橋柱，其長邊長度不得超過100cm，長短邊之比值不得超過1.5
- ❖ 對於圓形橋柱，其直徑不得超過250cm (6 feet /BDA14-3)
- ❖ 不得採用於橋柱之鋼筋搭接補強
- ❖ 單柱橋柱不得採用FRP包覆耐震補強
- ❖ 橋柱之軸壓應力不得超過 $0.15f_c A_g$ 及主筋比不得超過2.5%
- ❖ 橋柱變斷面處不得採用FRP包覆耐震補強
- ❖ 河川橋橋柱不得採用FRP包覆耐震補強

FRP包覆補強工法之探討

国道8号 新組跨線橋下り線(長岡市)

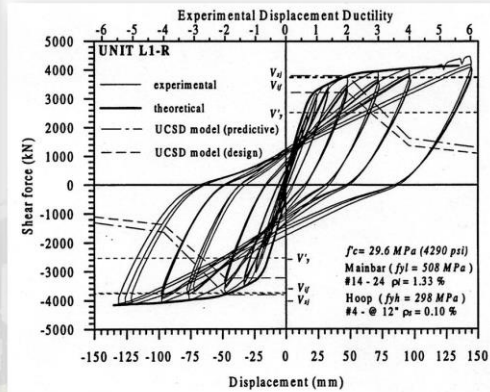


国道8号 新組跨線橋下り線(長岡市)



由於CFRP 具快速施工特性
日本已運用在震後緊急補強
→ 國道震後緊急防災借鏡

Full-Scale Column Test at UCSD



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

78

FRP包覆補強工法之探討

■ 十字造形(Cruciform shape)橋柱FRP Anchor錨碇技術

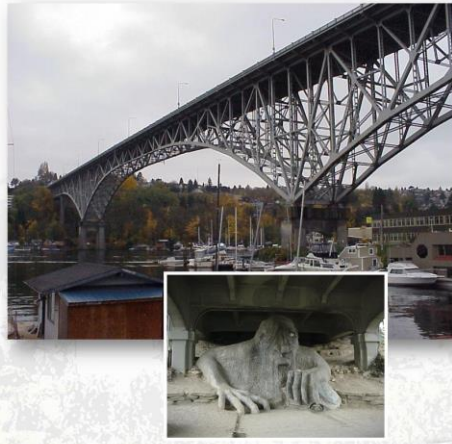


TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

79

FRP包覆補強工法之探討

WSDOT Aurora Ave Bridge Project

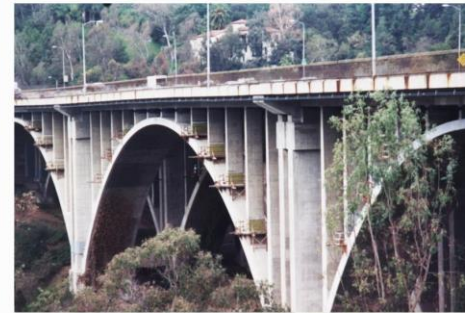


TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

80

FRP包覆補強工法之探討

RC拱橋FRP補強施工(一)



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

81

FRP包覆補強工法之探討

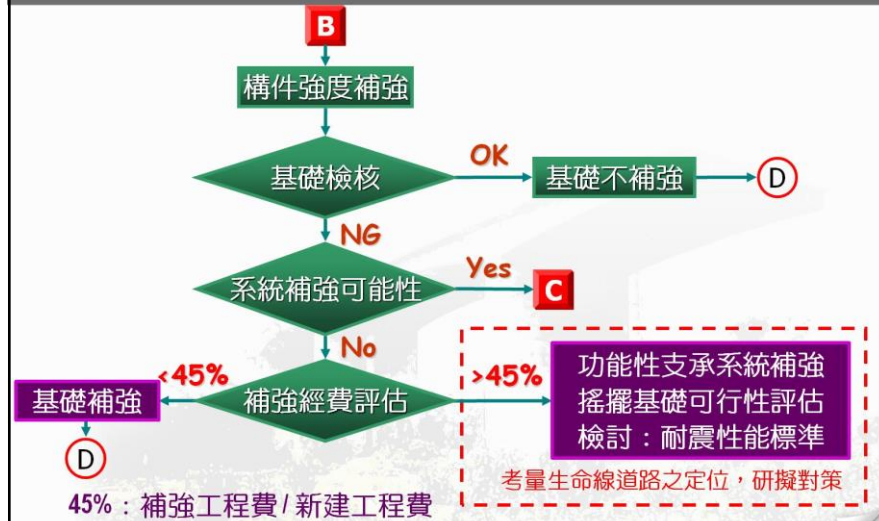
RC拱橋FRP補強施工(二)



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

82

基礎補強對策



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

83

工程經費概估

■ 美國FHWA橋梁耐震補強經費之統計資料

Table 1-10. Cost of various retrofit strategies as percentage of new construction costs^{1,2}.

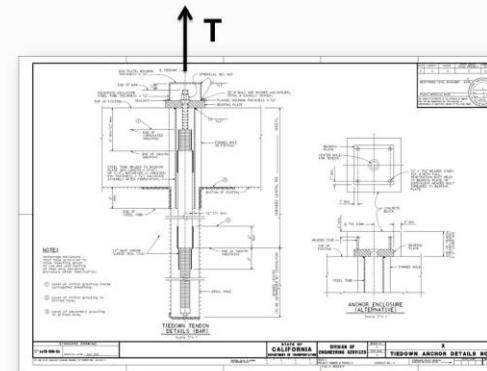
RANGE	RETROFIT STRATEGY			TOTALS (weighted sum all retrofits in California, 1993 and 1994)
	Superstructure Only ³	Superstructure and Substructure	Superstructure, Substructure and Foundations	
Low	1.3	0.7	2.3	0.7
Average	3.1	15.4	28.8	15.1
High	13.2	64.8	232.9	232.9

Notes: 1. Caltrans data for 165 bridges retrofitted in 1993 and 1994.
2. Costs expressed as percentage of new construction for same time frame.
3. Superstructure includes restrainers and seat width extensions.

資料來源：FHWA Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures : Part I Bridges 2006

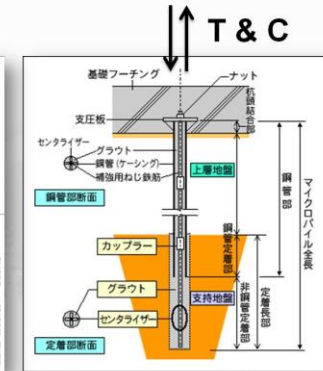
基礎穩定性補強工法

僅承受地震時拉力



基礎抗拉地錨

承受地震時拉力及壓力



高強度微型樁

橋梁基礎PC樁頭之接合課題

- 橋梁基礎採用PC樁，若配置的綴縫筋不足，地震力造成樁頭產生拉力破壞



Port of Oakland,
1989 Loma Prieta
Earthquake



Kobe Port, 1995
Hyogo ken Nambu
Earthquake



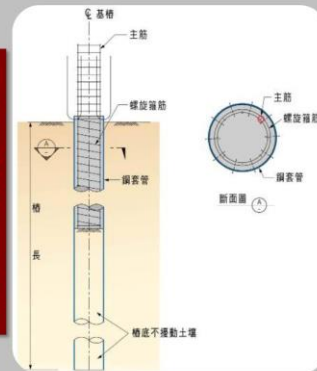
1995 Hyogo Ken-
Nambu earthquake



Pile head failure due to:
Inadequate confinement
Inadequate connection capacity
Inadequate moment capacity of batter piles

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



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

88

先建後拆下構改建工法



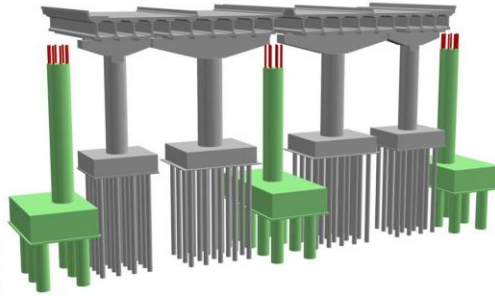
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

89

先建後拆下構改建工法

施工步驟

- ◆ 新建基礎及橋柱



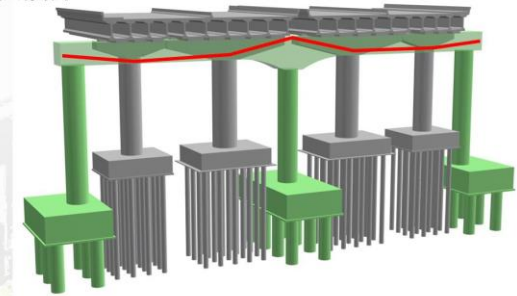
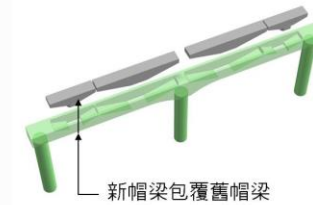
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

90

先建後拆下構改建工法

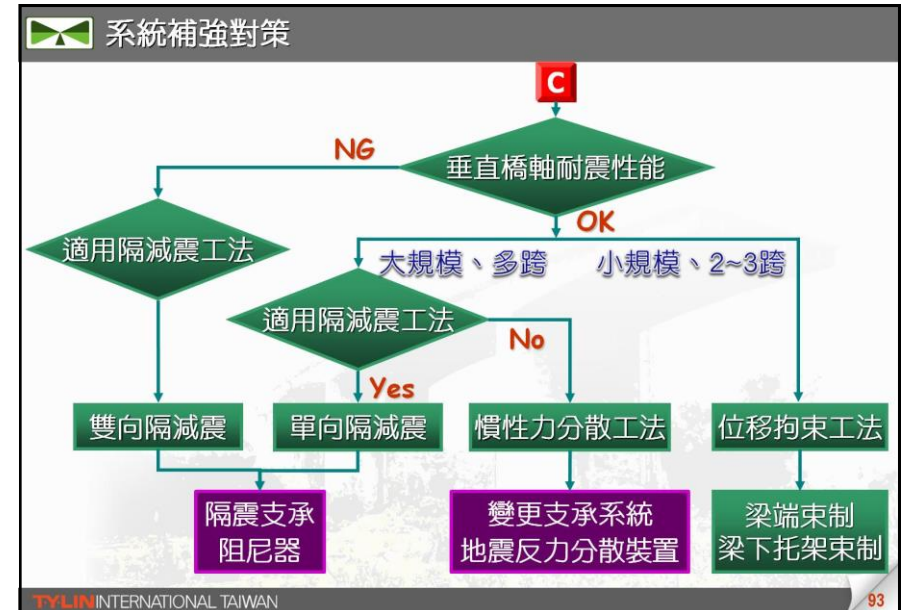
施工步驟

- ◆ 施作新帽梁包覆舊帽梁
- ◆ 於7柱式門架結構下施拉預力



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

91



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

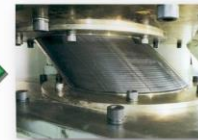
工址土壤具高液化潛能時
高橋墩或位於柔軟地盤時
周期延長、阻尼增加對防震無太大意義時
有損橋梁之使用性與經濟性時

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

94

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

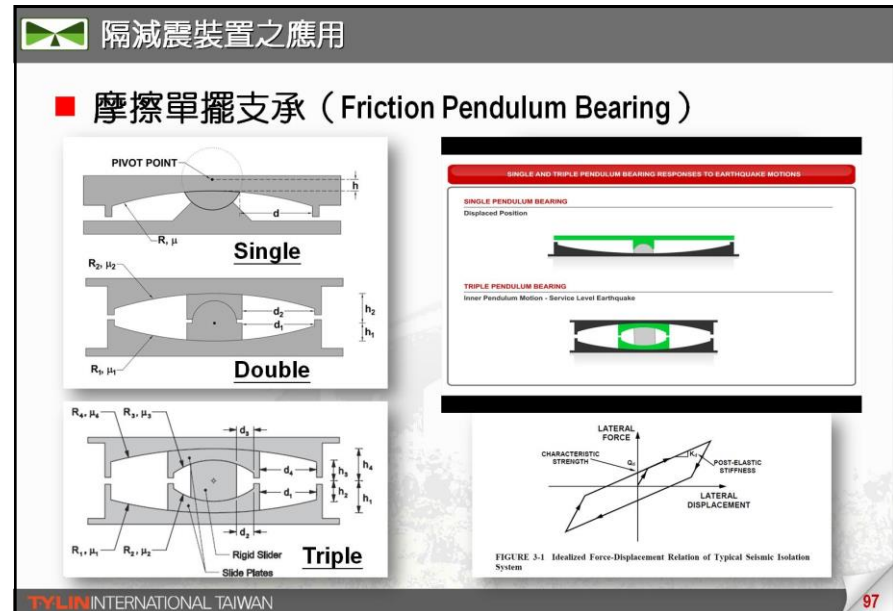
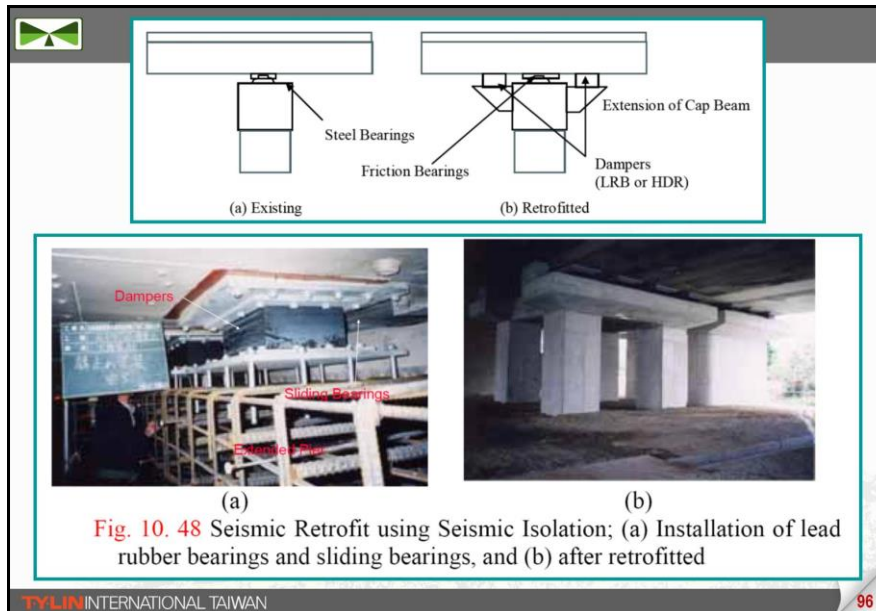
新增斷面：設置隔震支承

隔震支承

新增帽梁斷面

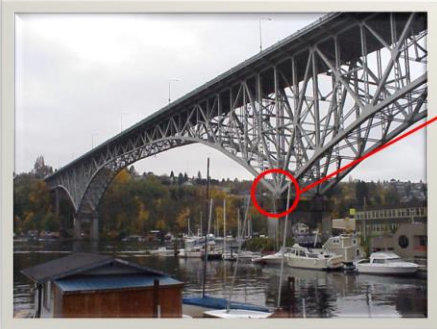
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

95



隔減震裝置之應用

■ **Aurora Avenue Bridge**



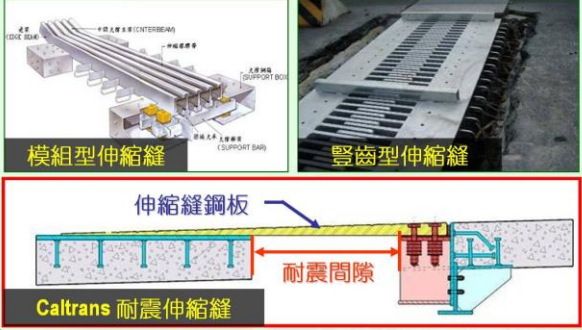
UCSD Test
Dumbarton Bridge Seismic Retrofit Project




TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 98

隔減震裝置之應用：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

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 99

隔減震裝置之應用：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]	α [°]	Δα	β [°]
DS160	270	DS720	930	2	DS160	130 (160)	± 80	± 10			
DS240	350	DS800	1030	3	DS240	195 (240)	± 120	± 15			
DS320	440	DS880	1140	4	DS320	260 (320)	± 160	± 20			
DS400	530	DS960	1260	5	DS400	325 (400)	± 200	± 25			
DS480	620	DS1040	1380	6	DS480	390 (480)	± 240	± 30			
DS560	720	DS1120	1500	7	DS560	455 (560)	± 280	± 35			
DS640	820	DS1200	1620	8	DS640	520 (640)	± 320	± 40	90° ± 45°	any	any
				9	DS720	585 (720)	± 360	± 40			
				10	DS800	650 (800)	± 400	± 40			
				11	DS880	715 (880)	± 440	± 40			
				12	DS960	780 (960)	± 480	± 45			
				13	DS1040	845 (1040)	± 520	± 45			
				14	DS1120	910 (1120)	± 560	± 45			
				15	DS1200	975 (1200)	± 600	± 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
Dietrich
and
Andrew Whitaker

A Report for
D. S. Brown Company
North Baltimore, Ohio 40873-0128

Report No. EERCIL-2000-01
Pacific Earthquake Engineering Research Center
University of California at Berkeley
September 2000

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

100

隔震支承更換施工之力量轉換

就地支撐

鋼構托架

混凝土托架

Zilwaukee Bridge Bearing Replacement

Section A-A

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

101

隔震支承更換施工之力量轉換



鋼桁架拱橋

螺栓接合

ㄇ型鋼構架

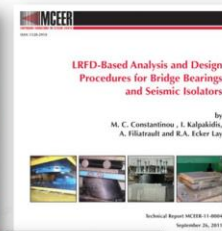
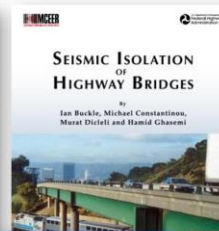
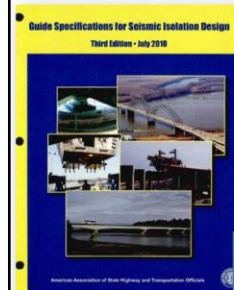


隔震支承施工參考方案

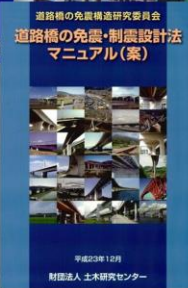
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

102

隔減震裝置之應用



隔震支承
分析、評估與
設計參考規範



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

103

隔減震裝置之應用

美國加州Antioch大橋耐震補強：隔震支承+鋼構橫撐

Antioch Bridge Seismic Retrofit Strategy



The images show the retrofit work on the Antioch Bridge. The top left image shows the 'Bearing Installation' with a large circular bearing being lowered into place. The top right image shows the 'Cross Bracing Installation' with a large steel cross-brace being installed on the bridge deck. The bottom row contains four smaller images showing different stages and components of the retrofit, including bearings and bracing structures.

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 104

其它重要原則

■ 材料強度

- ❖ 橋梁現況若有劣化現象，混凝土強度應以鑽心取樣抗壓試驗或其它非破壞性試驗決定之
- ❖ 橋梁現況若無明顯劣化現象，為合理考量混凝土配比設計之保守因素及材料之齡期發展，將適度採用混凝土與鋼筋之預期材料強度與極限應變
 - 參考Caltrans SDC及AASHTO之建議：(計算剪力強度除外)
 - 預期混凝土強度 $f_{ce}' = 1.3 f_c'$
Mander Stress-Strain Model 1988
 - 預期鋼筋降伏強度 $f_{ye} = 1.1 f_y$
Mirza & MacGregor Stress-Strain Model 1979

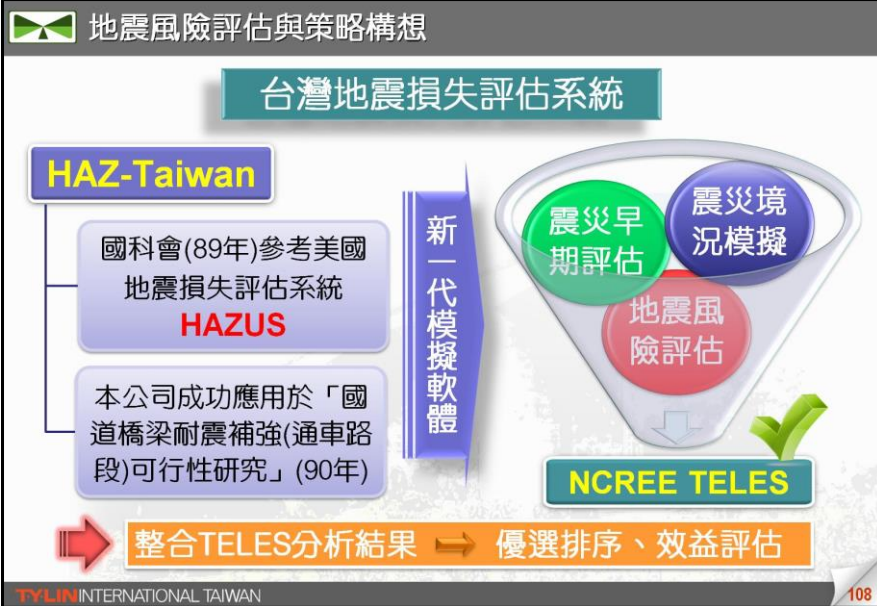
TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 105



其它重要原則

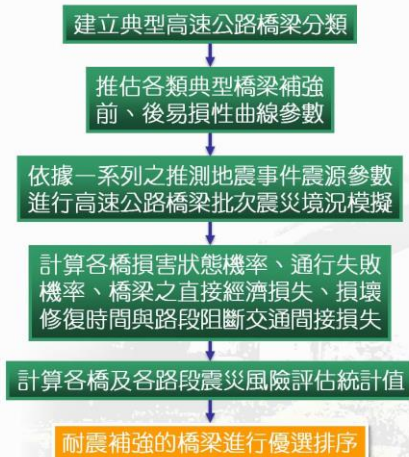
- 河床冲刷對河川橋耐震之影響將特別考量，並依據經濟部「申請施設跨河建造物審核要點」及相關河川主管單位之要求辦理
- 橋梁耐震補強設計時，考量水泥混凝土之施工性與耐久性
- 施工臨時結構物亦應考慮其耐震性，可依施工期內超越機率為5%為準，求出設計地震的回歸期，並據以求得工址之水平地表加速度來設計
- 考量P- Δ 效應之位移準則： $\Delta < 0.2 M_u / P$
 - ❖ M_u ：地震作用下所引致之構材彎矩，P：地震引致構材軸力





地震風險評估與策略構想

■ 高速公路橋梁地震損失風險評估流程



耐震能力初步評估檢查表

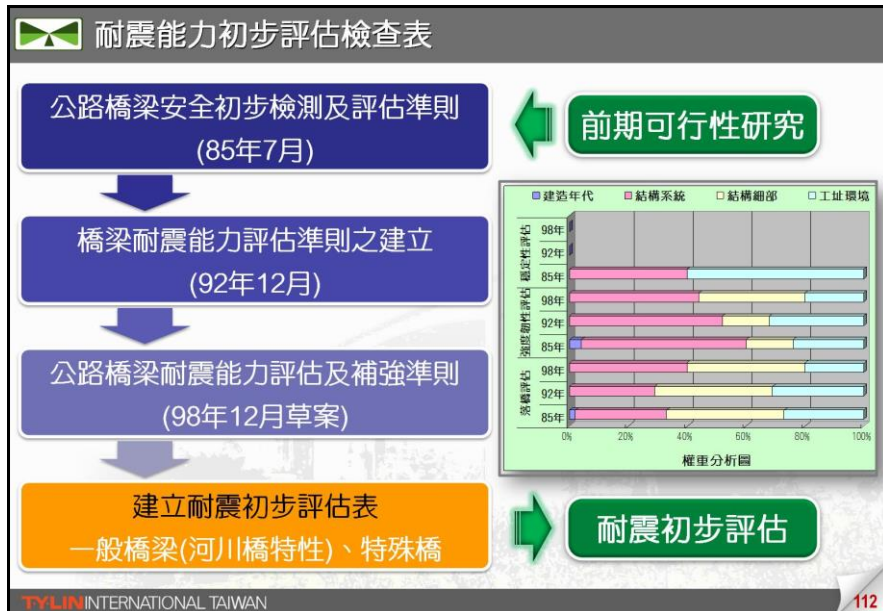
第三章 耐震能力初步評估

3.1 通則

本章提供兩種耐震能力初步評估方法，一為耐震評估檢查表法，二為橋梁地震損失風險值法，分別見本章第 3.2 節與第 3.3 節，篩選與排序的方法則見第 3.4 節。

3.2 耐震評估檢查表法

本節提出兩種耐震能力初步評估檢查表格，分別為落橋評估檢查表與強度韌性評估檢查表，前者評估地震時發生落橋之可能性，見第 3.2.1 節；後者評估地震時由強度與韌性組合而得之耐震能力，見第 3.2.2 節。



耐震能力初步評估－地震損失風險值法

■ 地震損失風險值(L)

❖ 評估單元在設計地震下，可能產生不同損害狀態，將其對應的或然率(p_i)乘以修復的費用($C \cdot r_i$)之加總

$$L = C \sum_{i=2}^5 p_i \cdot r_i \quad (C: \text{新建成本}, p_i: \text{損壞或然率}, r_i: \text{損失比})$$

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 113

TELES整座橋梁之震損評估

■ 橋梁損害狀態機率

整座橋梁的基本評估單元數為 $n \geq 1$ ，超越不同損害狀態的機率

$$F_2 = 1 - (1 - \bar{F}_2)^q \quad F_3 = 1 - (1 - \bar{F}_3)^q \quad F_4 = 1 - (1 - \bar{F}_4)^q$$

$$F_5 = 1 - (1 - \bar{F}_5)^q$$

損害機率並非完全獨立或相關

其中 $\bar{F}_i$ $i=2 \sim 5$ 基本評估單元超越不同損害狀態的機率; q 為基本評估單元數 n 的函數

$$0.3 \leq q = \sqrt{n/3} \leq 3$$

避免不合理的推估結果

整座橋梁處於不同損害狀態的機率為

$$p_2 = F_2 - F_3 \quad p_4 = F_4 - F_5 \quad p_3 = F_3 - F_4 \quad p_5 = F_5$$

TELES整座橋梁之震損評估

■ 橋梁通行失敗機率

- 橋梁失敗指因損害嚴重而有安全疑慮時，導致車輛無法通行
- 橋梁失敗機率亦稱為橋梁阻斷機率

損壞狀態	橋梁阻斷機率	說 明
輕微損害	0.0	車輛大多仍可通行
中度損害	0.2	無立即的危險，但有時為安全的考量也可能需封閉橋梁
嚴重損害	0.8	橋柱可能已達降伏階段，極可能危及車輛的安全
完全損害	1.0	安全的考量需禁止車輛通行

TELES整座橋梁之震損評估

■ 橋梁直接經濟損失(修復費用)

考量不同損害程度之橋梁跨數佔總跨數的機率不同，給予各個損害狀態不同的上限值，模擬地震引致的橋梁直接損失

$$L_{str} = C \cdot \left\{ \min\left(1, \frac{9}{n}\right) \cdot \overline{p_2} \cdot \overline{r_2} + \min\left(1, \frac{7}{n}\right) \cdot \overline{p_3} \cdot \overline{r_3} + \min\left(1, \frac{5}{n}\right) \cdot \overline{p_4} \cdot \overline{r_4} + \min\left(1, \frac{3}{n}\right) \cdot \overline{p_5} \cdot \overline{r_5} \right\}$$

設定各損害狀態
不同評估上限值

其中 C 為整座橋梁的重建成本， n 為個別橋梁之基本評估單元數

$\overline{p_i}$ $i = 2 \sim 5$ 基本評估單元不同損害狀態下的損失比

$\overline{r_i}$ $i = 2 \sim 5$ 基本評估單元之損害狀態機率

橋梁耐震補強直接效益

■ 橋梁耐震補強直接效益

❖ 因補強工程執行，所節省地震造成橋梁之直接損失

❖ 補強前地震直接經濟損失 L_c

$$L_c = C \cdot \left\{ \min\left(1, \frac{9}{n}\right) \cdot \overline{p_{2c}} \cdot \overline{r_{2c}} + \min\left(1, \frac{7}{n}\right) \cdot \overline{p_{3c}} \cdot \overline{r_{3c}} + \min\left(1, \frac{5}{n}\right) \cdot \overline{p_{4c}} \cdot \overline{r_{4c}} + \min\left(1, \frac{3}{n}\right) \cdot \overline{p_{5c}} \cdot \overline{r_{5c}} \right\}$$

❖ 補強後地震直接經濟損失 L_r

$$L_r = C \cdot \left\{ \min\left(1, \frac{9}{n}\right) \cdot \overline{p_{2r}} \cdot \overline{r_{2r}} + \min\left(1, \frac{7}{n}\right) \cdot \overline{p_{3r}} \cdot \overline{r_{3r}} + \min\left(1, \frac{5}{n}\right) \cdot \overline{p_{4r}} \cdot \overline{r_{4r}} + \min\left(1, \frac{3}{n}\right) \cdot \overline{p_{5r}} \cdot \overline{r_{5r}} \right\}$$

❖ 補強直接效益

= 補強前地震直接經濟損失(L_c) - 補強後地震直接經濟損失(L_r)

TELES整座橋梁之震損評估

■ 橋梁損壞修復時間

- 當單一路段內有多座橋梁時，每一座橋梁皆可能因地震作用損害而阻斷，因此綜合考慮兩種單一區間平均阻斷時間的推估公式，本計畫取其中較大的推估值作為單一區間的平均阻斷時間

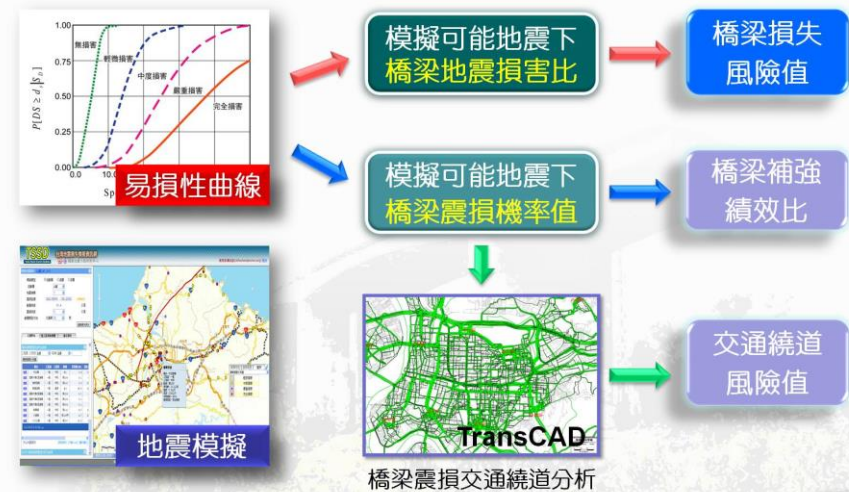
$$\hat{T} = \max(\hat{T}_1, \hat{T}_2) \quad \hat{T}_1 = \hat{p}_f \cdot \hat{T}_f \quad \hat{T}_2 = \max(p_f^k \cdot T_f^k, \forall k)$$

其中 p_f^k 為區間內第 k 座橋梁的阻斷機率，

$$\hat{T}_f = \frac{\sum_k p_f^k \cdot T_f^k}{\sum_k p_f^k} \quad \text{為單一區間的平均阻斷時間}$$

$$\hat{p}_f = 1 - \prod_k (1 - p_f^k) \quad \text{為單一區間的阻斷機率}$$

應用TELES震損評估優選排序架構



路段阻斷之交通損失

利用TransCAD軟體進行本計畫各路段橋梁受災時之交通模擬

■ 情境設定

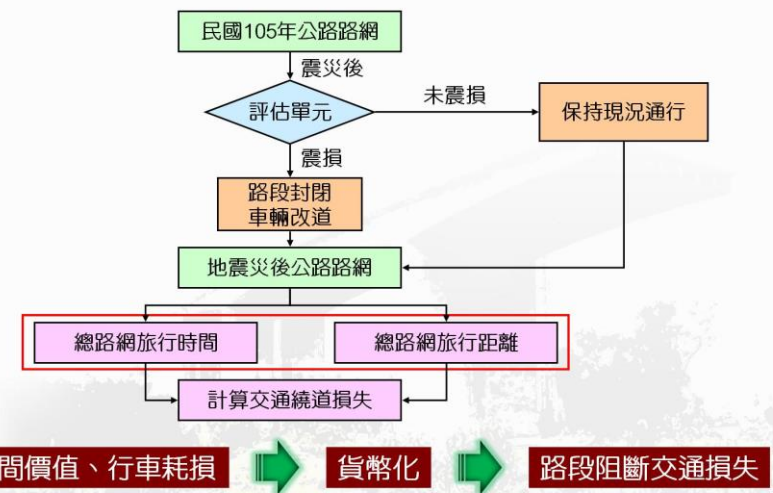
- ❖ 運研所第四期「國家永續發展之城際運輸系統需求模式」民國 105 年公路路網、交通分區、客貨起訖旅次
- ❖ 高速公路為**封閉性道路**，交流道與交流道間只要一個單元發生震損中斷，則無法發揮該路段震後通行效益
- ❖ 計畫範圍橋址前後交流道間設定為一個評估區間，共分**88**個評估區間
- ❖ 分析每一評估區間封閉時，每日交通繞道額外增加之**總旅行時間及距離**



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

120

路段阻斷之交通損失



TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN

121

排序指標說明

■ 橋梁耐震性能指標

❖ 橋梁損失風險值(I_r)

- 未補強前

年平均損失結構風險值L_{str,l}

$$0 \leq I_r = \frac{L_{str,c} - (L_{str,c})_{\min}}{(L_{str,c})_{\max} - (L_{str,c})_{\min}} \leq 1$$

❖ 橋梁補強績效比(I_{BMC})

- 補強後

年平均節省結構效益值L_{BMC,l}

$$0 \leq I_{BMC} = L_{str,c} - L_{str,r} - E \left[\frac{C_r}{N_r} \right] \leq 1$$

❖ 橋梁耐震初評分數

- 落橋指標 I_{pc}

$$0 \leq I_{pc,i} = \frac{S_{pc,i} - (S_{pc,i})_{\min}}{(S_{pc,i})_{\max} - (S_{pc,i})_{\min}} \leq 1$$

- 強度韌性指標 I_{pd}

$$0 \leq I_{pd,i} = \frac{S_{pd,i} - (S_{pd,i})_{\min}}{(S_{pd,i})_{\max} - (S_{pd,i})_{\max}} \leq 1$$

排序指標說明

■ 交通經濟衝擊指標

- 交通繞道風險值 $0 \leq I_{det,our,i} = \frac{L_{det,our,i}}{(L_{det,our,i})_{\max}} \leq 1$

$$\text{路段阻斷損失 } L_{det,our,i} = \underbrace{p_{f,i}}_{\text{阻斷機率}} \times \underbrace{T_{f,i}}_{\text{平均阻斷時間}} \times \underbrace{L_i}_{\text{單日阻斷損失}}$$

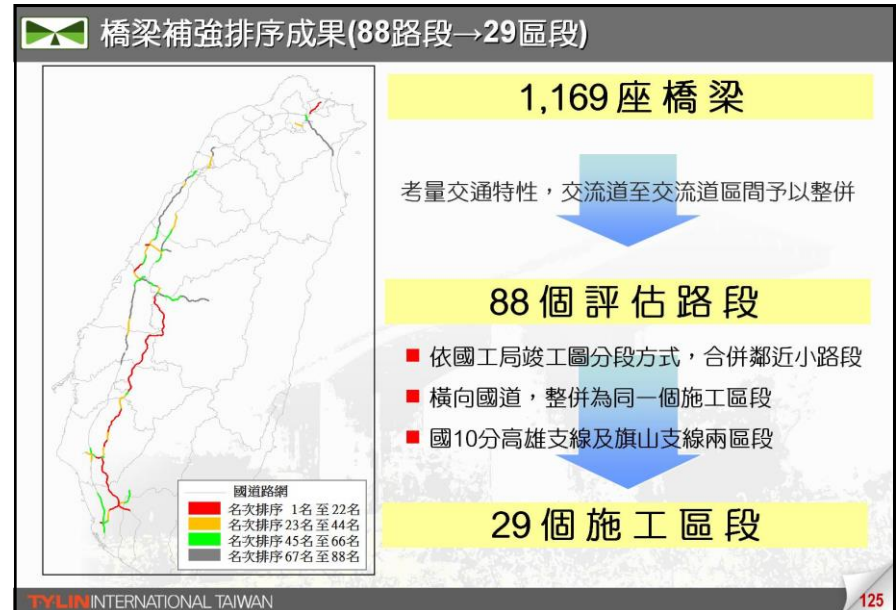
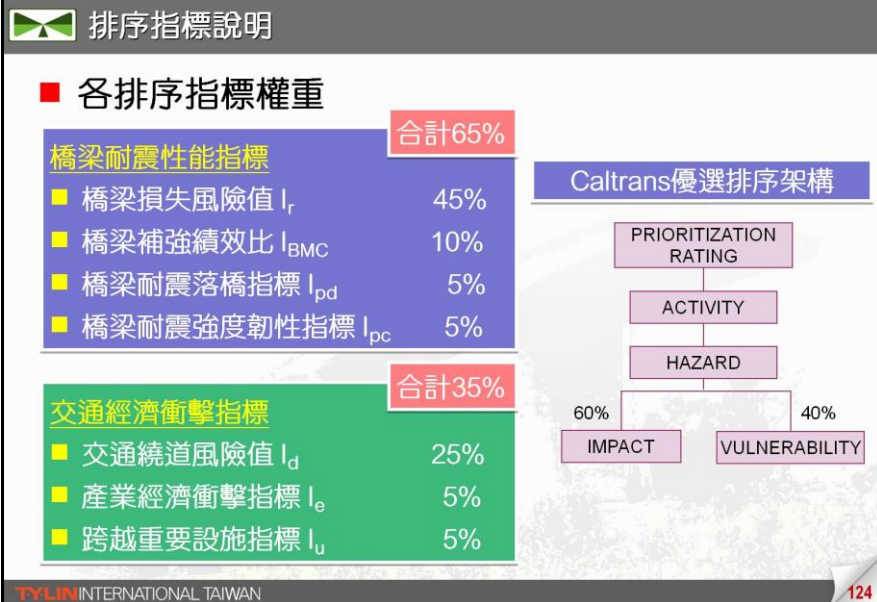
- 產業經濟衝擊指標 I_e = 0、0.5、1

◆ 公路法第2條「二、國道：指聯絡二省(市)以上，及重要港口、機場、邊防重鎮、國際交通與重要政治、經濟中心之主要道路。」

◆ 分析區段服務重要節點(如直轄市、機場、港口、科學園區及工業區)，而位於半徑30公里內，以本項指標反應其重要性

- 跨越重要設施指標 I_U = 0、1

◆ 反應「國道橋梁如有跨越重要設施如高鐵、台鐵、快速道路或市區高架道路等」，發生橋梁災損造成之影響



後續路段橋梁補強計畫 (尚未核定)



- **第一優先路段**
 - ❖ 國3南投、雲林及嘉義路段
- **第二優先路段**
 - ❖ 國3南部路段及中部路段(非第一優先路段範圍)
 - ❖ 國3基汐段、國3甲
 - ❖ 國4、國8、國10高雄支線路段
- **第三優先路段**
 - ❖ 國3新竹苗栗路段、南港連絡道
 - ❖ 國10旗山支線、國5南港頭城段
 - ❖ 國1路段 (新增近斷層影響橋梁)
 - ❖ 國6路段 (新增近斷層影響橋梁)

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 126

橋梁耐震補強之效果 (東日本大地震)

橋梁の耐震補強の効果

■ 過去の震災を踏まえ耐震補強を実施してきた結果、東北管内の高速道路1,079橋、直轄国道1,528橋において、津波による流出5橋を除き、落橋などの致命的な被害を防ぐことができ、早期復旧を実現

東北道(観測震度: 震度6強)	国道45号(観測震度: 震度6弱)	県道(観測震度: 震度5弱)
		
【耐震補強済み(RC巻立補強)】 地震動により損傷なし	【耐震補強済み(鋼板巻立補強)】 地震動により損傷なし	【耐震補強なし】 橋脚が地震動により損傷

○ 落橋防止装置が機能
 ・落橋防止装置(写真中央)の一部破壊
 ・桁を支えるゴム支承(黒い部分)は健全

落橋防止装置の一部破壊
 (国道13号福島西道路吾妻高架橋)

落橋防止装置

出典: 高速道路のあり方検討有識者委員会 東日本大震災をふまえた緊急提言

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN 127


耐震補強計畫的推動

2012.1~2013.4世界地震分佈
311東日本大地震(2011)

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

我們正與時間賽跑

Prof. Joseph Penzien, Chairman, Caltrans Seismic Advisory Board

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN
128



簡報完畢
敬請指教

TYLIN INTERNATIONAL TAIWAN