



公路橋梁耐震評估與補強技術之 發展與演進



台灣大學土木系 張國鎮 教授
99年5月12日



National Center for Research on Earthquake Engineering



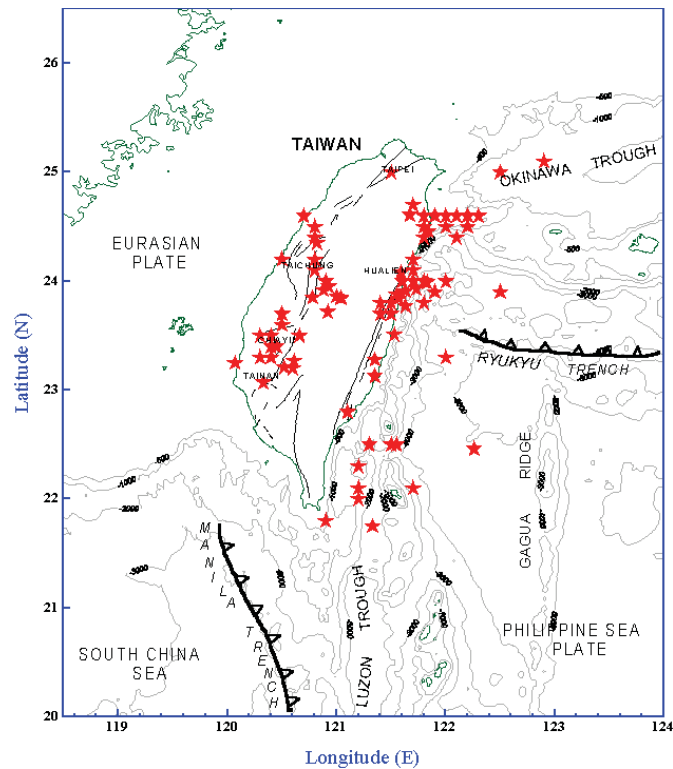
簡報大綱

- 地震災害回顧
- 既有補強準則與橋柱補強研究
- 耐震補強採用標準
- 耐震補強策略
- 美日耐震補強手冊
- 最新耐震評估及補強準則



National Center for Research on Earthquake Engineering





二十世紀(1901-2000)台灣地區災害性地震

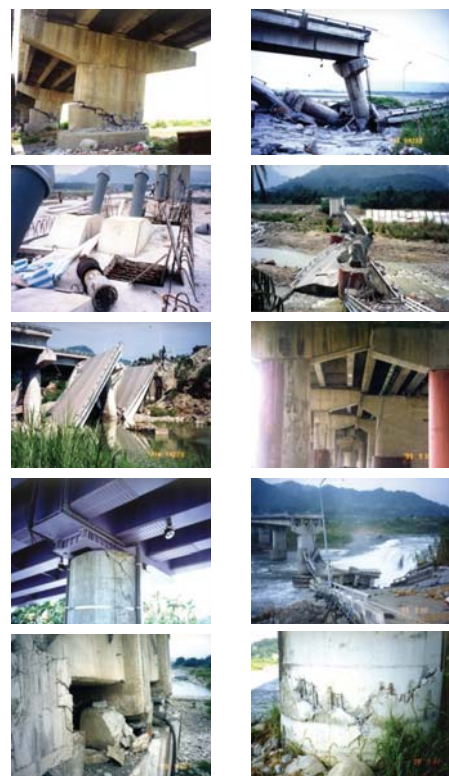
資料來源: 中央氣象局



National Center for Research on Earthquake Engineering



資料來源: 財團法人中華顧問工程司



National Center for Research on Earthquake Engineering





National Center for Research on Earthquake Engineering. "Reconnaissance report of the 921 Chi-Chi Earthquake for bridges and transportation facilities." Report No. NCREE -99-055, Taipei, Taiwan, November, 1999.



National Center for Research on Earthquake Engineering



1



2



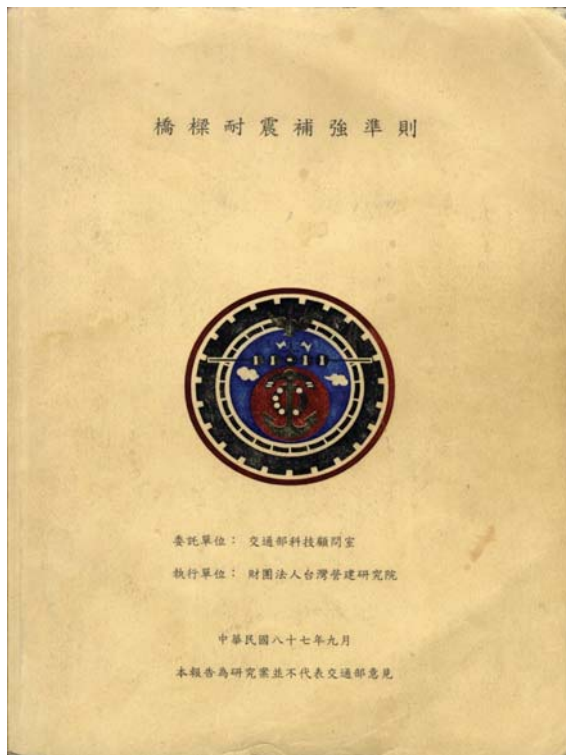
3

- 1: pot rubber bearing slipped on the seat, totally failure
- 2: rubber bearing offset
- 3: Shear keys of Miao-zi-ping bridge were severely damaged during the earthquake



National Center for Research on Earthquake Engineering





民國87年交通部科顧室 「耐震補強準則」

- 探討台灣地區設計地震
- 提供耐震評估方法
- 建議橋柱補強設計公式

國科會「RC橋柱耐震補強
對策之研究與應用」整合
型計劃(88-91年)

- 耐震補強設計範例



National Center for Research on Earthquake Engineering



圓形橋柱實驗試體表

		補強 方式	彎矩破壞		剪力破壞		搭接破壞	
			標準 試體	BMCF1 BMCF2 CF1 CF2 CF4	標準 試體	BMCS	標準 試體	BMCL100
圓 柱	李有豐	碳纖 CFRP	補強 試體	SCF2 SCF3 FCF2 FCF3	補強 試體	SCS FCS FCS-1 FCS-2	補強 試體	SCL100 FCL100 FCL100-1 FCL100-2
			標準 試體	BMC2 SC1	標準 試體	BMCS	標準 試體	BMCL100
	黃震興	鋼板 Steel	補強 試體	SC2 SC3	補強 試體	SCS	補強 試體	SMCL100
			標準 試體					



National Center for Research on Earthquake Engineering

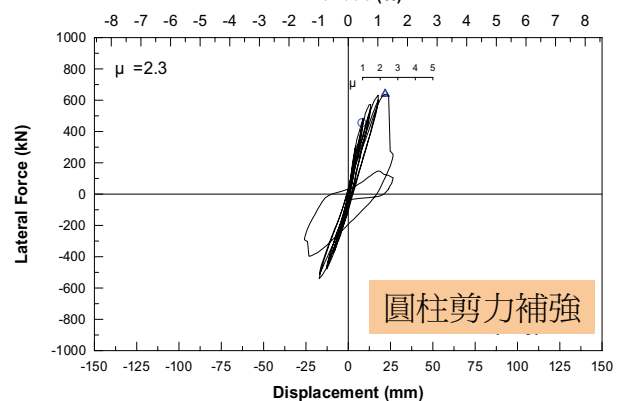
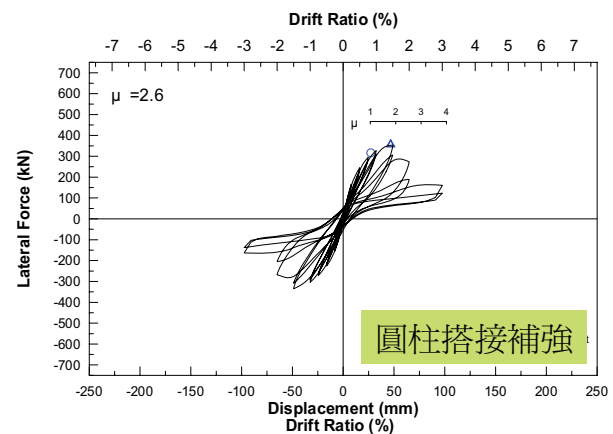


矩形橋柱實驗試體表

		補強方式	彎矩破壞		剪力破壞		搭接破壞	
矩柱	張國鎮	碳纖 CFRP	標準試體	BMR1 BMR2 BMR3 BMR4	標準試體	BMRS	標準試體	BMRL50 BMRL100
			補強試體	FR1 FR2 FR3	補強試體	FRS	補強試體	FRL100 SFRL100
	蔡克銓	鋼板 Steel	標準試體	BMR3	標準試體	BMRS	標準試體	BMRL100
			補強試體	SR1 SR2 SR3 SR4	補強試體	SRS1 SRS2	補強試體	SRL1 SRL2

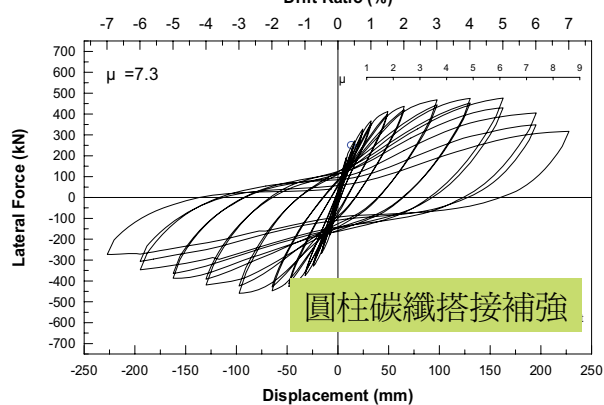
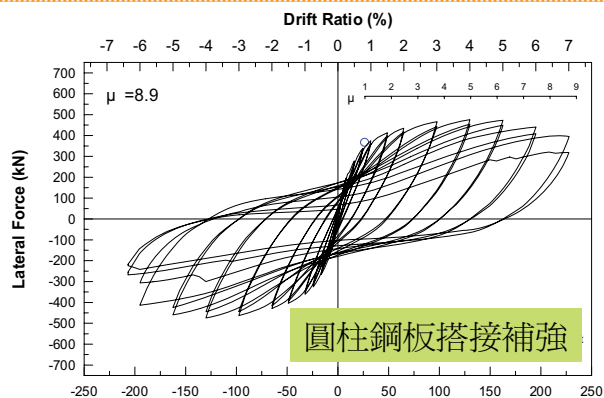


National Center for Research on Earthquake Engineering

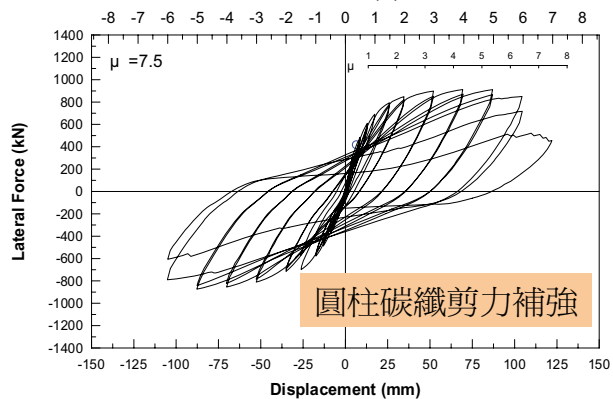
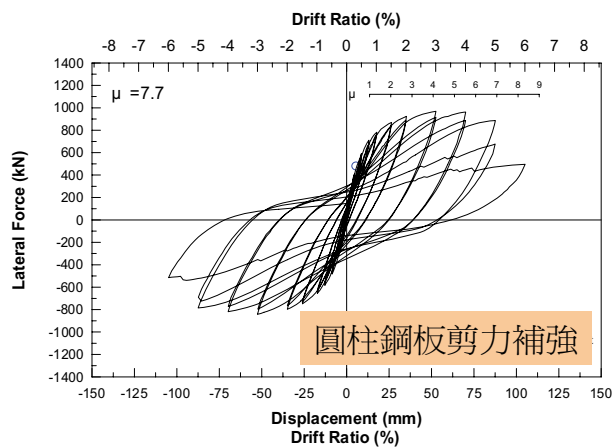


National Center for Research on Earthquake Engineering





National Center for Research on Earthquake Engineering

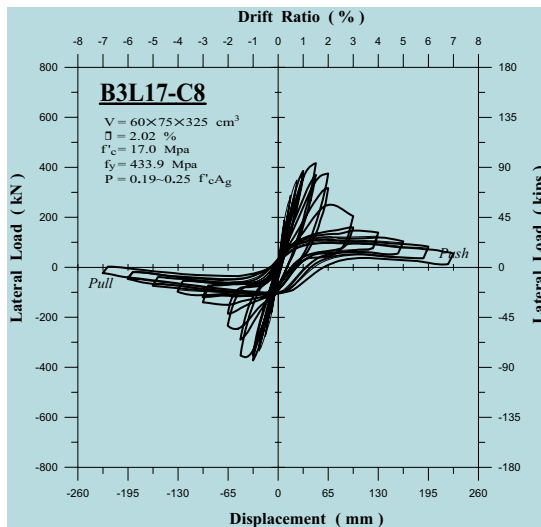


National Center for Research on Earthquake Engineering



☹️ 效果不彰工法：碳纖補強

國內研究：國家地震工程研究中心



水平力與變位反應



基礎延伸而出之
主筋並無挫曲現象。



National Center for Research on Earthquake Engineering

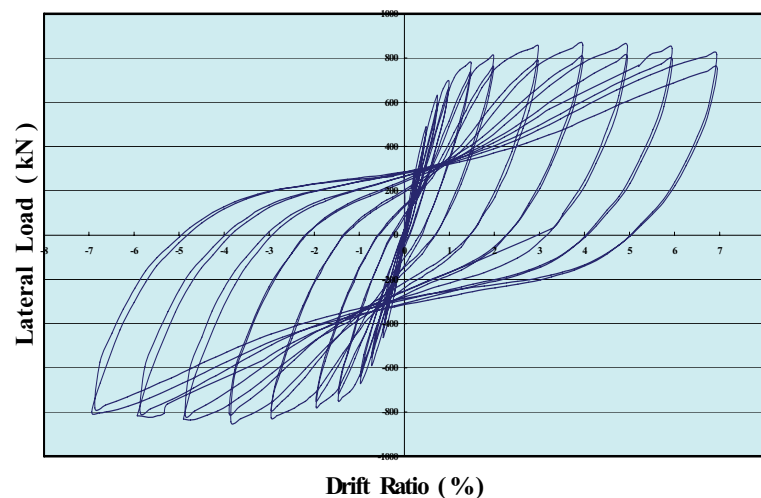


Short Rec. Column- Lap Splice Failure-CS Method



Section : 50 * 80
Height : 200

L16S3-CS10

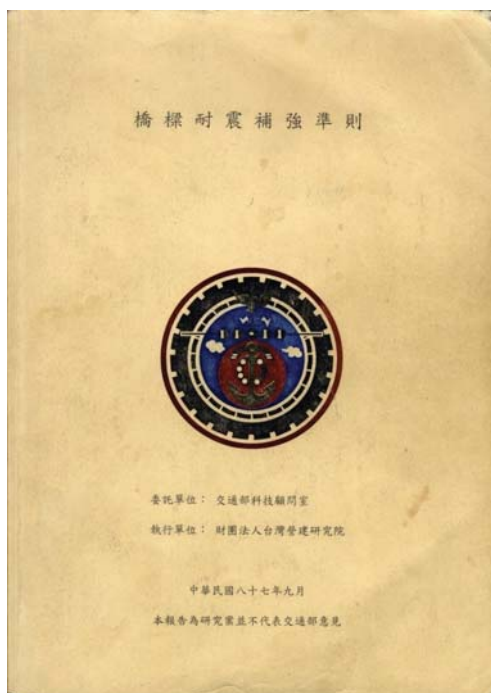


Hysteresis Loops of L16S1-CS10



National Center for Research on Earthquake Engineering





■民國87年:

交通部科顧室「耐震補強準則」

■民國93年:

交通部台灣區國道高速公路局「國道高速公路橋梁耐震分析評估及補強工程」

■民國94年

交通部台灣區國道高速公路局「國道二號高速公路拓寬工程規劃及設計橋梁耐震補強評估及補強設計準則」

■民國97年

交通部公路總局「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」



National Center for Research on Earthquake Engineering



國內橋梁耐震補強採用標準演進

■民國85年「電信與運輸系統之耐震安全評估與補強準則」

- (1)現有橋梁型式依據地震危害度推估尚可使用年限為T年，則其耐震能力足夠與否的標準係以T年內超越機率10%之地震地表加速度為準對應的回歸期 T_r

$$T_r = \frac{1}{1 - 0.9^{\frac{1}{T}}}$$

- (2)回歸期 T_r 對應之地表加速度值 a_{gr} ，即為現行耐震規範中475年回歸期之工址水平地表加速度 $Z(g)$

$$\frac{a_{gr}}{a_g} = \left(\frac{T_r}{475}\right)^k$$

$$A_g = 0.4S_{DS}$$

$$k=0.3\sim0.475$$



National Center for Research on Earthquake Engineering



■ 國道高速公路橋梁耐震補強

(1) 民國89年第一期工程－國道高速公路(通車路段)橋梁耐震補強工程[國道一號中山高速公路之橋梁耐震補強]

橋梁補強後以新橋之設計標準再服務年限**50年**為原則，並考慮重要性係數 **$I=1.2$** ，依據民國89年4月7日交通部函頒之「公路橋梁耐震設計規範」修正條文指示，將臺灣地震分區改為二區(地震甲區及地震乙區)，震區水平加速度係數 **Z** 分別為 **$0.33g$** 及 **$0.23g$** 。



National Center for Research on Earthquake Engineering



(2) 民國93年第二期工程－國道二號高速公路橋梁耐震補強，橋梁補強後以新橋之設計標準再服務年限**50年**為原則，並考慮重要性係數 **$I=1.2$** ，其橋梁耐震補強之性能目標，如下表所示。

地震力等級	耐震理念	50年 超越機率	回歸期	服務性能	損壞等級
中度地震	結構保持彈性	80%	30年	震後 正常通行	輕微
設計地震	構件產生塑 鉸，發揮容許 韌性容量	10%	475年	震後 有限通行	可修復
最大考量 地震	結構韌性容量 完全發揮，但 橋梁不會落 橋、崩塌	2%	2500年	震後 有限通行	嚴重



National Center for Research on Earthquake Engineering



■ 民國97年交通部「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」

以橋梁設計規範或橋齡來釐訂不同預期使用剩餘年限超越機率**10%**之**PGA**作為補強之標準

設計使用規範	橋齡	預期使用年限	補強標準(超越機率10%之PGA)	
			耐震規範 ZI 甲區0.396	耐震規範 ZI 乙區0.276
49年或更久	40年以上	20年	0.282	0.196
76年以前規範	25~40年	30年	0.327	0.228
76年規範	10~25年	40年	0.364	0.254
84年規範之後	10年以下	50年	0.396	0.276



National Center for Research on Earthquake Engineering



國內橋梁耐震能力初步評估方法

■ 民國85年交通部『電信與運輸系統之耐震安全評估與補強準則』

(1)落橋評估表

(2)強度韌性評估表

(3)穩定性評估表

■ 民國92年交通部公路總局的研究報告『橋梁耐震能力評估準則之建立』

(1)落橋評估表

(2)強度韌性評估表〔甲、乙表〕



National Center for Research on Earthquake Engineering



■ 民國97年交通部公路總局「公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」

公路橋梁耐震評估檢查表——落橋評估(一般橋梁)

公路橋梁耐震評估檢查表——強度韌性評估(一般橋梁)

公路橋梁耐震評估檢查表——強度韌性評估(單跨橋梁)

公路拱橋耐震評估檢查表——落橋評估表

公路拱橋耐震評估檢查表——強度韌性評估

公路吊橋耐震評估檢查表——強度韌性評估

公路斜張橋耐震評估檢查表——強度韌性評估



National Center for Research on Earthquake Engineering



評估類別版本	落橋評估			強度、韌性評估		
	85年版	92年版	95年版	85年版	92年版	95年版
評估項目						
建造年代	2%	0%	0%	4%	0%	0%
工址環境	27%	31%	25%	24%	32%	25%
結構系統	31%	29%	30%	56%	52%	30%
結構細部	40%	40%	45%	16%	16%	45%

一般橋評估細項則與92年版約75%相同，於配分權重因項目及重要性之認知而有差異。

- 1.工址環境增列橋梁是否位於第一類活動斷層近域。
- 2.結構細部加入支承狀況評估，分一般橋柱與壁式橋墩兩種。
- 3.液化可能性之評估可參考全台行政區為劃分單位之液化潛能分區表。



National Center for Research on Earthquake Engineering



表3 公路橋梁耐震評估檢查表—落橋評估(一般橋梁)

橋梁名稱： 橋梁編號： 里程數： 振動單位： P ~P 評估者： 評估日期：
 建造年度： 民國 49 年前 民國 49 年~76 年 民國 76 年~84 年 民國 84 年~89 年 民國 89 年以後

項次	項目	配分	評估內容	權重	評分
G101	橋址環境	8	是否為第一類活動斷層近域		
G102	地盤類別	4	□台北盆地(1.0) □軟弱地盤(0.67) □普通地盤(0.33) □堅實地盤(0)		
G103	相鄰橋墩間地表土質變化	2	□大(1.0) □中(0.67) □小(0.33) □無(0)		
G104	液化可能性	6	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0)		
G105	相鄰兩振動單位結構系統差異性	8	□大(1.0) □中(0.67) □小(0.33) □無(0)		
G106	外懸銜接	2	□有(1.0) □無(0)		
G107	梁端橋墩或橋台之斜角 θ°	4	$w = \theta^\circ / 90^\circ \leq 1.0$		
G108	縱坡坡度 $S(\%)$	2	$w = S/6\% \leq 1.0$		
G109	曲線橋(半徑 $\leq 100m$ 或交角 $\geq 30^\circ$)	4	$w_1 = 100/r \leq 1.0$; $w_2 = \alpha/30 \leq 1.0$; $w = \max(w_1, w_2)$; r : 半徑; α : 交角		
G110	基礎裸露程度	20	樁基礎: $w = 2.0 - 2.0(h_{\text{left}}/h)$; 沉箱基礎: $w = 1.43 - 1.43(h_{\text{left}}/h)$		
G111	支承狀況	4	□極差(1.0) □不良(0.67) □尚可(0.33) □良好(0)		
G112	結構細部	20	防落長度 $w = \frac{N - N_e}{N/2} \leq 1.0$, 當 $N - N_e \geq 0$; 當 $N_e \geq N$, 當 $N_e \geq N$; N_e : 實際有效防落長度 N : 84 年規範規定之防落長度; $N = 50 + 0.25L + 1.0H$		
G113	防落設施	12	□兩向均無裝設(1.0) □僅垂直行車向裝設(0.5) □僅行車向裝設(0.25) □兩向均有裝設(0) 註: (1)防落設施功能不良者, 權重再加 0.25。 (2)當 $N_e \geq 1.2N$, 行車向視為具有防落設施, 且功能良好。		
G114	其他異常現象	4	橋柱垂直度、支承座至帽梁邊緣混凝土之異常狀況等		
分數總計		100			

註: (1)實際防落長度如大於規範規定防落長度, 橋址環境各項之評分可乘以折減係數 $\phi = 1 - 0.8[(N_e/N) - 1] \geq 0.6$ 。(2)評估內容中 w 為計算之權重。(3)評分愈高者表安全愈有疑慮。



National Center for Research on Earthquake Engineering



表4 公路橋梁耐震評估檢查表—強度韌性評估(一般橋梁)

橋梁名稱： 橋梁編號： 里程數： 振動單位： 評估者： 評估日期：
 建造年度： 民國 49 年以前 民國 49 年~76 年 民國 76 年~84 年 民國 84 年~89 年 民國 89 年以後

項次	項目	配分	評估內容	權重	評分
G201	橋址環境	8	是否為第一類活動斷層近域		
G202	地盤類別	6	□台北盆地(1.0) □軟弱地盤(0.67) □普通地盤(0.33) □堅實地盤(0) □76 年以後設計(0)		
G203	液化可能性	6	□高(1.0) □中(0.67) □低(0.33) □無(0) □84 年以後設計(0)		
G204	梁端橋墩或橋台之斜角 θ°	4	$w = \theta^\circ / 90^\circ \leq 1.0$		
G205	橋柱或壁式橋墩高寬比 R	6	當 $R \leq 2.5$, $w = 1.0$; 當 $2.5 < R < 5$, $w = (5 - R) / 2.5$; 當 $R \geq 5$, $w = 0$ (取兩向評估之大值)		
G206	振動單位中橋柱、墩最高與最低之比	4	當 $r \geq 1.5$, $w = 1.0$; 當 $1.0 \leq r < 1.5$, $w = -2 + 2r$		
G207	橋柱或壁式橋墩靜不定度	6	□兩向均靜定(1.0) □一向具靜不定(0.5) □兩向均靜不定(0)		
G208	基礎裸露程度	24	樁基礎: $w = 2.0 - 2.0(h_{\text{left}}/h)$; 沉箱基礎: $w = 1.43 - 1.43(h_{\text{left}}/h)$		
G209	一般	8	柱底搭接與否		
G210	鋼筋	8	塑絞鋼筋細部		
G211	主筋斷點與鋼筋細部	4	□有斷點且鋼筋較柱底少(1.0) □有斷點但鋼筋不少於柱底(0.5) □無斷點(0)		
G212	柱	8	橋柱與基礎劣化程度		
G209	壁式橋墩底部鋼筋搭接與否	6	□有搭接(1.0) □無搭接(0)		
G210	縱、橫向鋼筋比與細部	8	□不符合耐震規定(1.0) □部分符合耐震規定(0.5) □符合耐震規定(0)		
G211	主筋斷點與鋼筋細部	6	□有斷點且鋼筋較墩底少(1.0) □有斷點但鋼筋不少於墩底(0.5) □無斷點(0)		
G212	墩	8	橋墩與基礎劣化程度		
G209	橋柱板之寬厚比	8	矩形柱 $\square \frac{b}{t} \leq \frac{43}{\sqrt{F_c}}$ (0); $\square \frac{b}{t} \leq \frac{43}{\sqrt{F_c}}$ (0.5); $\square \frac{b}{t} \geq \frac{63}{\sqrt{F_c}}$ (1.0); 圓形柱 $\square \frac{D}{t} \leq \frac{145}{\sqrt{F_c}}$ (0); $\square \frac{145}{\sqrt{F_c}} \leq \frac{D}{t} \leq \frac{232}{\sqrt{F_c}}$ (0.5); $\square \frac{D}{t} \geq \frac{232}{\sqrt{F_c}}$ (1.0)		
G210	縱向加勁板寬厚比	3	$\square \frac{b}{t} \leq \frac{63}{\sqrt{F_c}}$ (1.0); $\square \frac{b}{t} \leq \frac{16}{\sqrt{F_c}}$ (0); unit: tf-cm ²		
G211	人孔位置	3	□內灌混凝土高/人孔位置 $\geq 0.4(1.0)$; □內灌混凝土高/人孔位置 < 0.4		
G212	橋柱銲接細部	6	□全透銲(0); □半透銲(1.0)		
G213	支承狀況與其他異常現象	8	支承強度與損壞狀況、橋柱垂直度、跨度差異大、曲線橋、橋柱型式不同、銲接品質不良等		
分數總計		100			



National Center for Research on Earthquake Engineering



■ 推估初評表分數

輸入：橋梁型式X1, 橋齡X2

輸出：韌性評分Y1

$$Y = 37.397 \left(\frac{X_1^*}{15} \right)^{0.290} + 216.640 \left(\frac{X_2}{100} \right)^{0.063} + 23.234 / (X_1^* \times X_2)^{-191.411}$$

■ 由初步評估推估詳細評估崩塌地表加速度

輸入：橋梁型式X1, 橋齡X2, 設計使用年限X3

輸出：崩塌地表加速度Y

$$Y = \left(0.187 \left(\frac{X_1}{100} \right)^{-0.236} + 0.631 \left(\frac{X_2^*}{15} \right)^{6.742} \right) (X_3)^{0.337}$$



National Center for Research on Earthquake Engineering



國內橋梁耐震能力詳細評估方法

■ 民國85年「電信與運輸系統之耐震安全評估與補強準則」

0.1g評估法

■ 民國89年「國道中山高速公路橋梁耐震分析評估及補強設計原則」

0.1g評估法

容量和需求比值法(C/D比值法)



National Center for Research on Earthquake Engineering



■ 民國93年「國道高速公路橋梁耐震分析評估及補強設計原則(草案)」

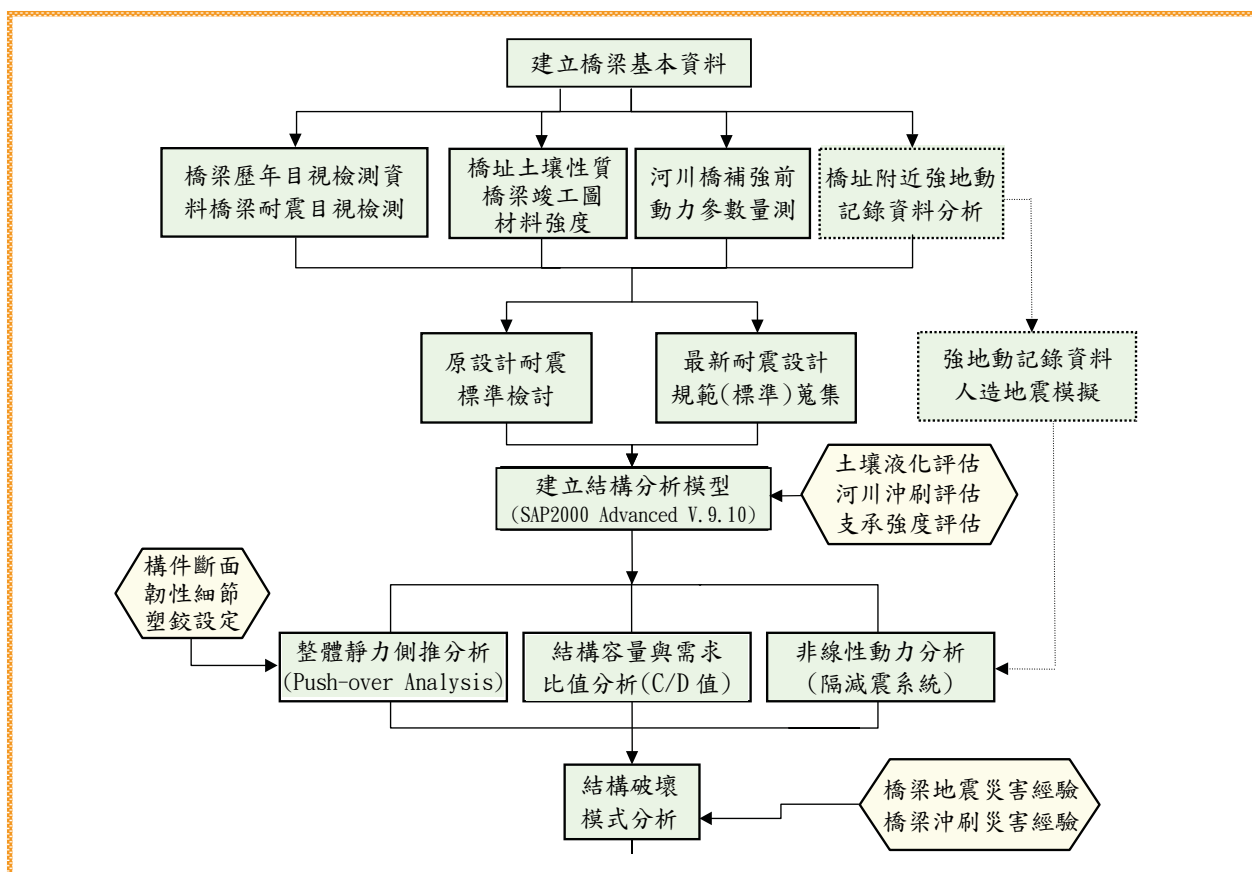
- 橋梁側推分析法(Pushover Analysis)
- 容量和需求比值法(C/D比值法)

■ 民國97年「省道公路橋梁耐震能力評估及補強工程可行性研究」

- 單跨橋:採構件檢核及穩定性之檢核
- 多跨一般性橋梁:採橋梁側推分析法(Pushover Analysis)
- 特殊橋梁:依結構之複雜性,採橋梁側推分析法、線性動力歷時分析或非線性動力歷時分析

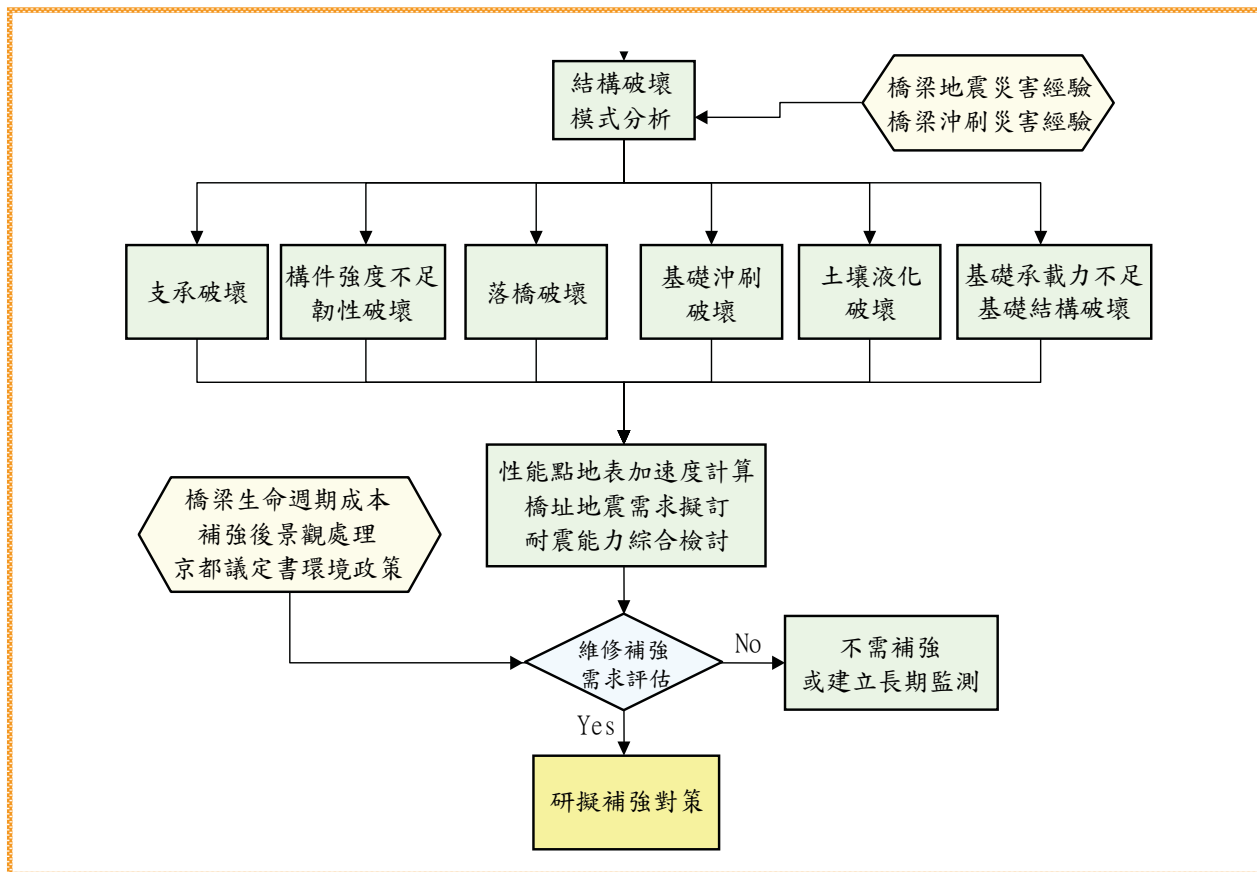


National Center for Research on Earthquake Engineering



National Center for Research on Earthquake Engineering





National Center for Research on Earthquake Engineering



國內橋梁耐震補強策略

■ 民國89年「國道第一期工程-國道一號中山高速公路之橋梁耐震補強」

依耐震能力評估結果進行各構件韌性需求與強度需求之補強，主要區分為下列四部份：

- (1) 橋柱強度與韌性
- (2) 防止落橋裝置
- (3) 基礎強度與穩定性
- (4) 土壤液化抵抗能力



National Center for Research on Earthquake Engineering



- 由於在進行基礎強度與穩定性之評估檢核時，以往橋梁基礎之設計並未考量以橋柱產生塑鉸之力量，其基礎強度可能不足而需要予以補強，因此

中山高南部路段橋梁基礎補強費用相當高



National Center for Research on Earthquake Engineering



- 民國93年「國道第二期工程-國道二號高速公路之橋梁耐震補強」

- (1) 橋梁整體結構系統耐震能力均衡提昇
- (2) 原則上將藉由橋柱補強增進橋梁之強度韌性
- (3) 增設耐衝擊的防止落橋裝置
- (4) 採用反力分散增加阻尼或週期延長降低地震力
- (5) 短跨橋梁宜考量橋台動力反應與土壤阻尼效應
- (6) 單跨橋橋台不作構件補強



National Center for Research on Earthquake Engineering



耐震補強方案

防落補強

- 加長防落長度
- 增設防落裝置

大安溪橋已加長防落長度

支承補強

- 支承更換
- 增設變位限制裝置

增設變位限制裝置

構件補強

- 帽梁補強
- 橋柱補強
- 基礎補強

更換支承

系統補強

- 隔減震支承
- 結構連續化

高屏大橋壁式橋墩耐震補強

土壤液化

- 地盤改良
- 基礎補強

河川沖刷

- 橋基加固或換底
- 河道固床工

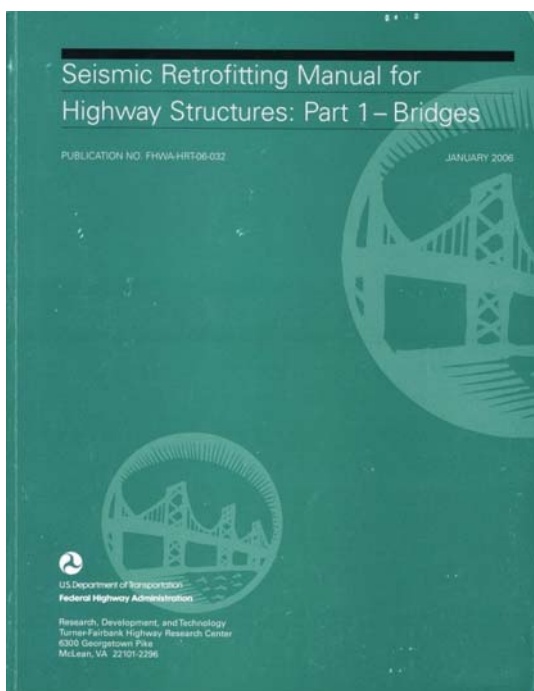
既有基礎加大地盤



National Center for Research on Earthquake Engineering



美國橋梁耐震補強準則



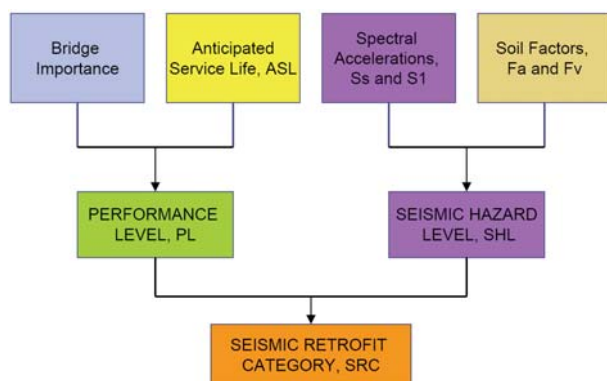
■Seismic Retrofitting Manual for Highway Structures Part I : Bridges. (FHWA , 2006.1)

- (1)性能式耐震補強設計法
- (2)整體內容完備流程完善
- (3)耐震評估方法選擇彈性
- (4)詳列補強工法方便查核
- (5)易於結合橋梁管理系統
- (6)提供補強成本評估模式



National Center for Research on Earthquake Engineering





EARTHQUAKE GROUND MOTION	BRIDGE IMPORTANCE and SERVICE LIFE CATEGORY					
	Standard			Essential		
	ASL 1	ASL 2	ASL 3	ASL 1	ASL 2	ASL 3
Lower Level Ground Motion 50 percent probability of exceedance in 75 years; return period is about 100 years.	PL0 ⁴	PL3	PL3	PL0 ⁴	PL3	PL3
Upper Level Ground Motion 7 percent probability of exceedance in 75 years; return period is about 1,000 years.	PL0 ⁴	PL1	PL1	PL0 ⁴	PL1	PL2

Notes:

1. Anticipated Service Life categories are:

- ASL 1: 0 – 15 years
- ASL 2: 16 – 50 years
- ASL 3: > 50 years

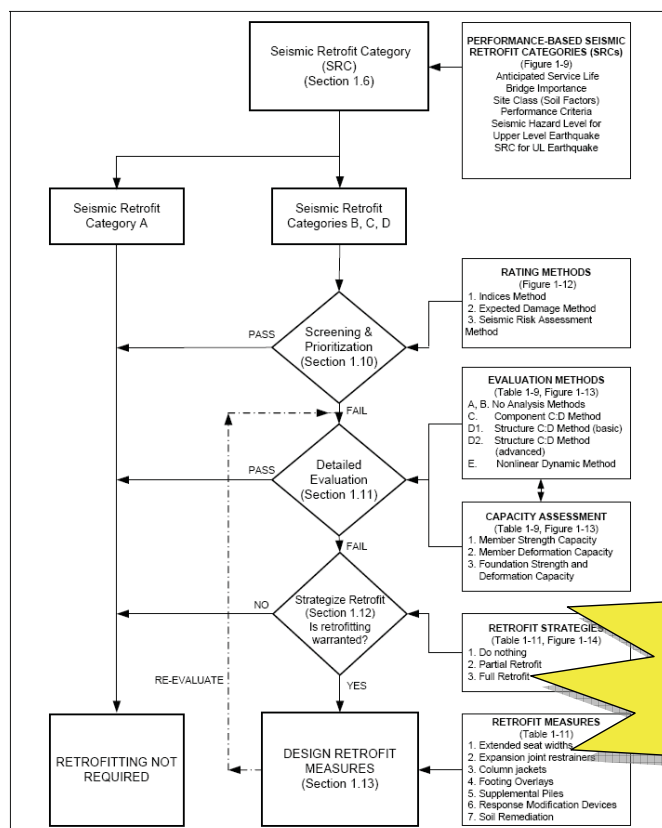
2. Performance Levels are:

- **PL0: No minimum** level of performance is recommended.
- **PL1: Life safety.** Significant damage is sustained, but life safety is preserved. The bridge should be able to remain standing after a large earthquake.
- **PL2: Operational.** Damage sustained is such that vehicles should be available after inspection and repairs. The bridge should be repairable with or without restrictions on traffic.
- **PL3: Fully Operational.** No damage is sustained and full service is available for all vehicles immediately after the earthquake. No repairs are required.

耐震性能目標



National Center for Research on Earthquake Engineering

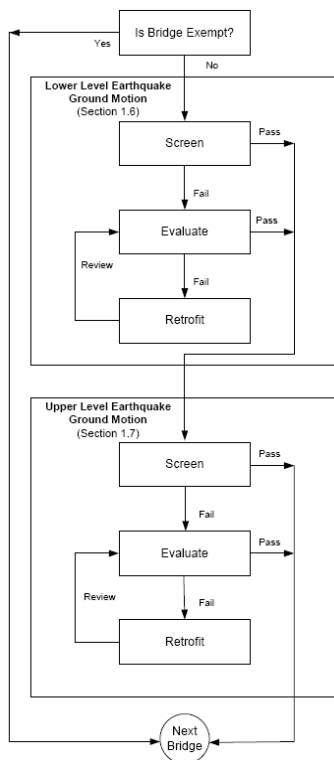


耐震評估流程



National Center for Research on Earthquake Engineering





ACTION	SEISMIC RETROFIT CATEGORY FOR THE LOWER LEVEL EARTHQUAKE				SEISMIC RETROFIT CATEGORY FOR THE UPPER LEVEL EARTHQUAKE			
	A	B ¹	C	D	A	B	C	D
Screening Components to be screened:	NR ²	-	seat widths, connections, columns, walls, footings and liquefaction	seat widths, connections, columns, walls, footings, abutments and liquefaction	NR	seat widths, connections and liquefaction	seat widths, connections, columns, walls, footings and liquefaction	seat widths, connections, columns, walls, footings, abutments and liquefaction
Evaluation Evaluation methods to be used^{3,4}. See table 1-9.	NR	-	C	C	NR	A1/A2	B/C/D1/D2	C/D1/D2/E
Retrofitting Components to be retrofitted, if deficient:	Seats and Connections	NR	-	Yes	Yes	NR	Yes	Yes
	Columns, walls, footings	NR	-	Yes	Yes	NR	NR	Yes
	Abutments	NR	-	NR	Yes	NR	NR	Yes
	Liquefaction	NR	-	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes

Notes:

1. Seismic Retrofit Category B is not used when evaluating bridges.
2. NR = Not Required.
3. A1/A2 = No analysis; minimum capacity check; B = No analysis; component capacity check; C = Component C/D method; D1 = Capacity spectrum method; D2 = Structure C/D method; also called D; E = Nonlinear dynamic method using response history analysis.
4. Selection of evaluation method also depends on the type of bridge. For simple bridges, use Methods A, C, D2 and E as appropriate.

耐震評估方法



National Center for Research on Earthquake Engineering



SEISMIC DEFICIENCY	RETROFIT APPROACH						
	Strengthening	Displacement Capacity Enhancement	Force Limitation	Response Modification	Site Remediation	Damage Acceptance or Control	Partial Replacement
Superstructure deficiencies	8.2.1.1 Strengthening of Deck to Girder Connection 8.2.1.4 Girder Strengthening 8.2.4 Strengthening of Continuous Superstructures						
Structurally deficient diaphragms	8.2.1.2 Diaphragm Strengthening or Stiffening		8.2.1.3 Energy Dissipating Ductile Diaphragms				
Structurally deficient bearings/connections	8.3.1 Strengthening of Existing Bearings 8.3.3 Strengthening of Superstructure to Substructure Connections 8.4.2.2 Transverse Restrainers 8.4.2.3 Vertical Motion Restrainers			8.3.2.2 Replacement with Seismic Isolation Bearings 8.4.3 Energy Dissipation Devices 8.4.4 Shock Transmission Units			8.3.2.1 Conventional Bearings
Insufficient seat length	8.2.2.1 Web and Flange Plates 8.4.2.1 Longitudinal Joint Restrainers	8.4.1.1 Concrete Seat Extensions and Catcher Blocks 8.4.1.2 Pipe Extenders		8.2.2.2 Superstructure Joint Strengthening 8.2.3 Reduction of Load			
Flexurally deficient columns or piers	9.2.1.2 Column Flexural Strengthening 9.2.1.4 Supplemental Column Shear Walls 9.2.2.1 Braced Frames 9.2.2.2 Built-up Compression Members 9.2.3 Concrete Wall Piers	9.2.1.3 Column Ductility Improvement and Shear Strengthening 9.2.2.2 Built-up Compression Members	9.2.1.6 Limited Column Flexure 9.2.2.1 Braced Frames				9.2.1.1 Column Replacement
Shear deficient columns or piers	9.2.1.3 Column Ductility Improvement and Shear Strengthening 9.2.1.4 Supplemental Column Shear Walls						

耐震補強工法



National Center for Research on Earthquake Engineering



Proposed

AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design

Subcommittee for Seismic Effects on Bridges
T-3

Prepared by:
Roy A. Imbsen
Imbsen Consulting

May 2007

美國聯邦公路總署 橋梁耐震設計草案

183

1000年回歸期加速度設計反應譜

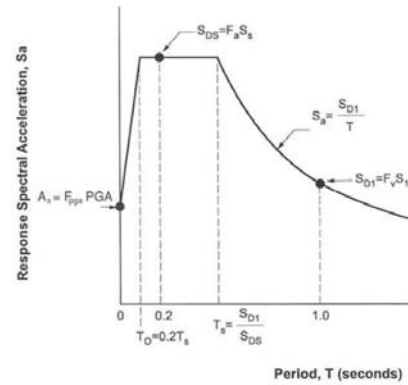


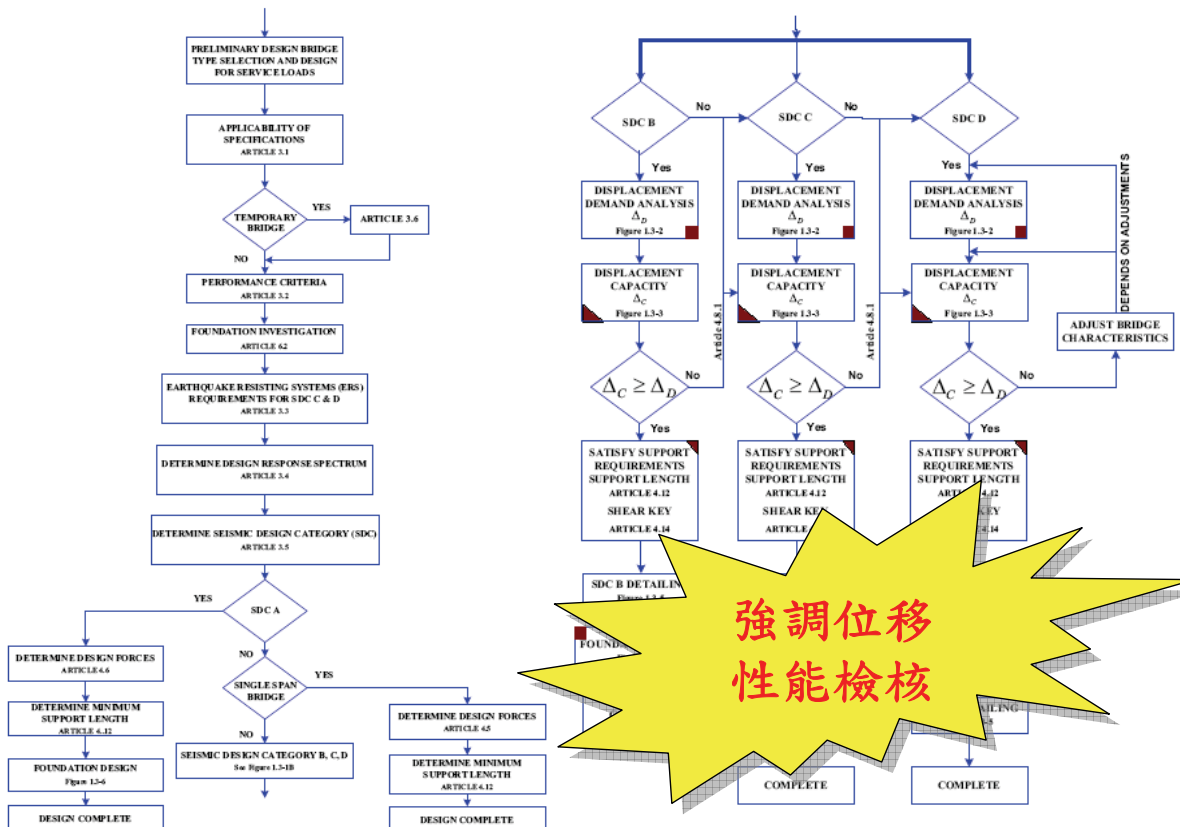
Table 3.5-1 Partitions for Seismic Design Categories A, B, C and D.

Value of $S_{D1} = F_v S_1$	SDC
$S_{D1} < 0.15$	A
$0.15 \leq S_{D1} < 0.30$	B
$0.30 \leq S_{D1} < 0.50$	C
$0.50 \leq S_{D1}$	D

單一性能目標：避免橋梁倒塌



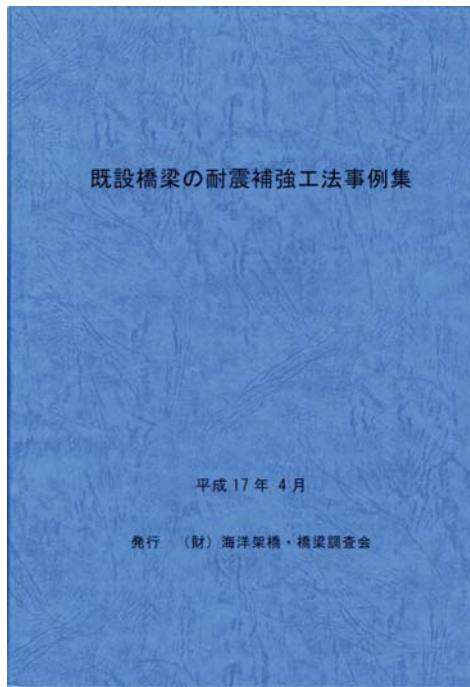
National Center for Research on Earthquake Engineering



National Center for Research on Earthquake Engineering



日本橋梁耐震補強手冊



既設橋梁之耐震補強工法
事例集 (財團法人海洋架
橋橋梁委員會，2005年)

性能式耐震補強設計法

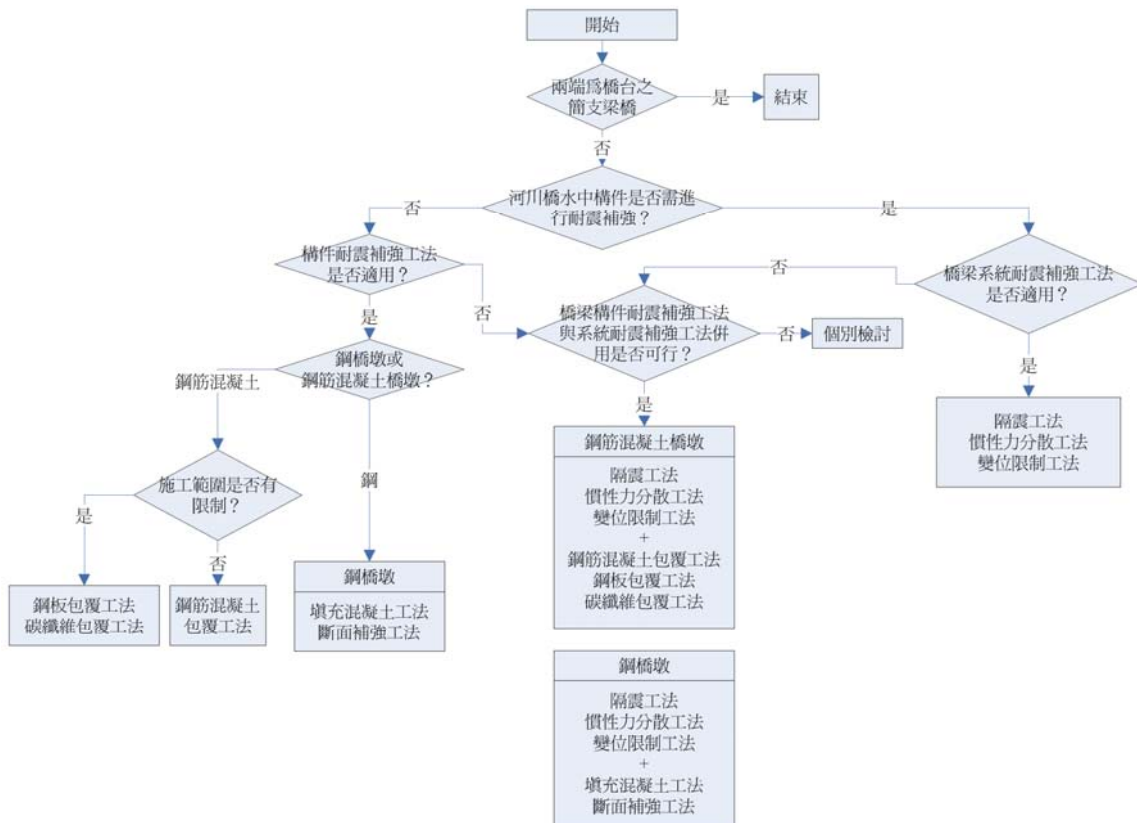
強調全橋系統補強概念

詳述防止落橋設施細節

検討補強工法施工特性

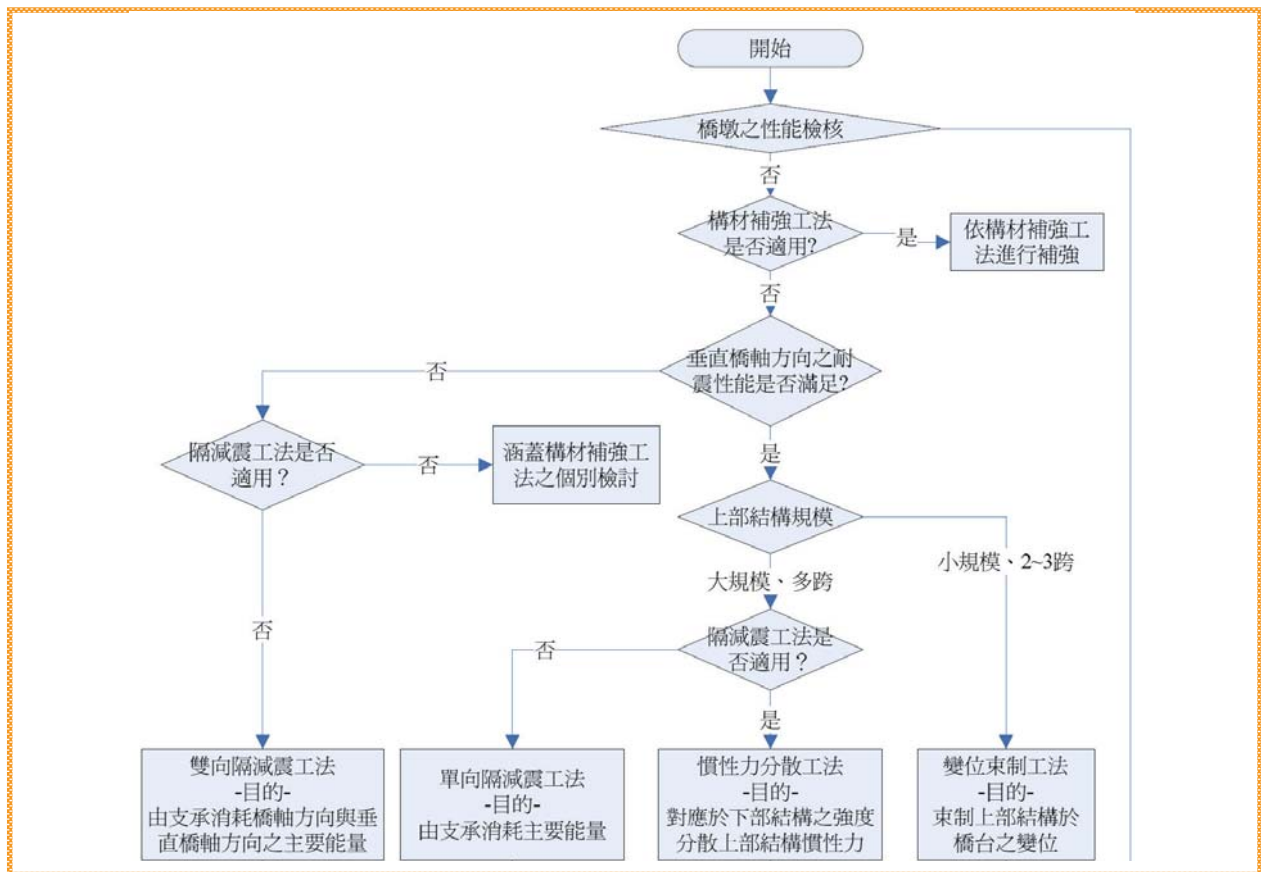


National Center for Research on Earthquake Engineering

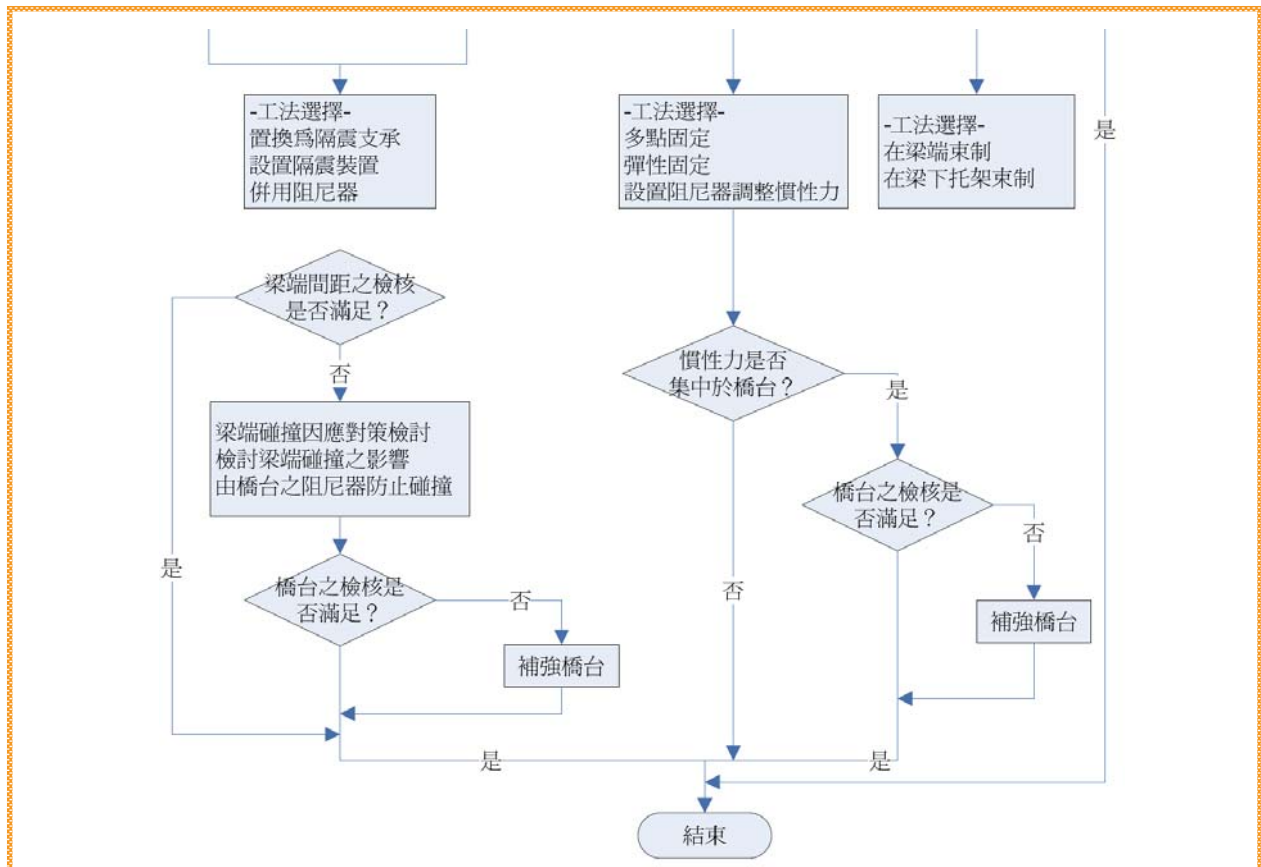


National Center for Research on Earthquake Engineering





National Center for Research on Earthquake Engineering



National Center for Research on Earthquake Engineering



	鋼筋混凝土包覆	鋼板包覆	碳纖維包覆
主筋切斷點部位	可適用 ● 配合橋柱整體包覆施工性、景觀性可使用之場合多	可適用 ● 主筋切斷點部位	可適用 ● 主筋切斷點部位
剪力補強	可適用	可適用	可適用
韌性補強	可適用 ● 配合中間貫通鋼材增加圖束力可適用壁式橋腳性補強場合	可適用 ● 配合中間貫通鋼材增加圖束力可適用壁式橋腳性補強場合	可適用 ● 配合中間貫通鋼材增加圖束力可適用壁式橋腳性補強場合
彎曲補強	可適用 ● 彎曲耐力補強過大時，可能影響基礎構造之承載力	不可適用 ● 纖維材不能用於彎曲補強 ● 纖維材+鋼筋混凝土併用補強有案例	不可適用 ● 纖維材不能用於彎曲補強 ● 纖維材+鋼筋混凝土併用補強有案例
構造的特徵	● 包覆厚度可能受限於用地界限 ● 包覆之自重，可能影響基礎之承載能力	● 適用於用地界限受限制之場合 ● 包覆自重輕對基礎影響小 ● 對於矩形斷面補強鋼板，橋底部腳之角落要特別圖束處理	● 適用於用地界限受限制之場合 ● 包覆自重輕對基礎影響小 ● 可用於構造物複雜之形狀 ● 纖維材可適用於角隅斷面之改善等
施工性	● 既設混凝土表面必要處理	● 狹隘場所施工受限制之場合	● 纖維材系樹脂接著，作業工期短 ● 手工作業，不需施工重機 ● 輕量可搬性佳，適狹場所作業 ● 施工時必要注意氣溫、濕度
維護管理性	● 有利維護管理面	● 必需考慮鋼板防蝕對策	● 維持管理方便 ● 必需防止纖維材之受損 ● 含浸樹脂有防水效果：可防止混凝土劣化、鋼筋腐蝕
經濟性	● 比一般鋼板及纖維包覆經濟		● 與鋼板卷立工法比較，其經濟性需視包覆層數而定



National Center for Research on Earthquake Engineering

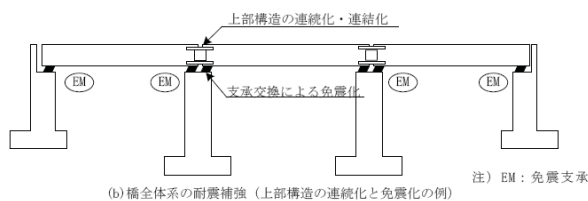


図-6.2 免震工法による橋全体系の耐震補強の例

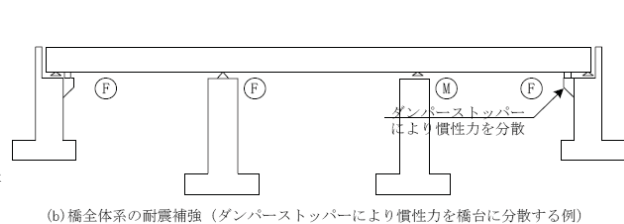


図-6.3 慣性力分散工法による橋全体系の耐震補強の例

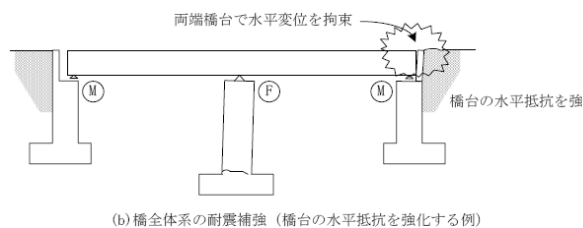


図-6.4 変位拘束工法による橋全体系の耐震補強の例

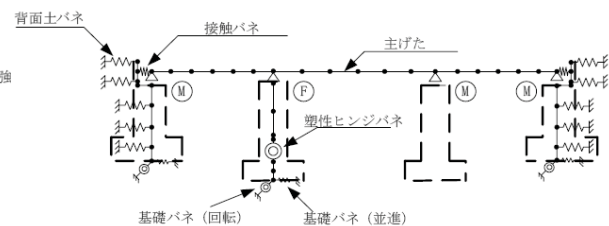


図-6.22 変位拘束工法における動的解析モデルの例



National Center for Research on Earthquake Engineering





道路震災対策便覽
(震前対策編) 2006.9

- 地震災害特徵
- 震災預防計畫
- 震害調查法
- 耐震對策工法與案例



道路震災対策便覽
(震災復舊編) 2006.9

- 緊急調查與措施
- 緊急復舊
- 修復工程
- 震災修復案例



道路橋梁補強事例集
2007.7

- 道路橋之維持管理
- 構造物注意事項
- 道路橋補強修復事例



National Center for Research on Earthquake Engineering



交通部公路總局

公路橋梁耐震評估及補強準則之研究 (97.6-98.10)

本案研究目的係以橋梁生命週期成本之概念，周全完整之公路橋梁耐震檢測、評估及補強準則，供日後國內公路橋梁需進行耐震補強設計時之依據，藉以用最經濟有效且可行之方式，全面提升橋梁之耐震能力，延展橋梁服務年限，提高交通路網防災能力，減少災害損失，達到橋梁永續建設之目的。



National Center for Research on Earthquake Engineering



公路橋梁耐震評估及補強準則章節規劃

- 第一章 總則
- 第二章 地震需求
- 第三章 耐震能力初步評估
- 第四章 耐震能力詳細評估
- 第五章 結構模擬與容量評估
- 第六章 土工構造模擬與容量評估方法
- 第七章 防落與結構系統補強設計
- 第八章 結構構件補強設計
- 第九章 基礎裸露橋梁之耐震評估與補強



National Center for Research on Earthquake Engineering



第一章 總則

- | | |
|------------|---------------|
| 1.1 基本原則 | 1.3 耐震能力初步評估 |
| 1.1.1 適用範圍 | 1.4 耐震能力詳細評估 |
| 1.1.2 準則內容 | 1.5 耐震補強原則與策略 |
| 1.2 耐震性能目標 | 1.5.1 補強原則 |
| 1.2.1 性能水準 | 1.5.2 補強策略 |
| 1.2.2 地震等級 | 1.5.3 補強方案 |
| 1.2.3 性能目標 | 1.5.4 補強工法 |



National Center for Research on Earthquake Engineering



1.1 基本原則

1.1.1 適用範圍

本準則適用於跨度150公尺以下之一般性公路橋梁。特殊性橋梁如吊橋、斜張橋、桁架橋、活動橋或臨時便橋等及跨度超過150公尺者，應依橋址地形、土層條件、橋梁現況、以往之震害經驗、橋梁之重要性及橋梁工址之實際情況等因素作適當之考量，本準則如有仍可適用的部分，亦可參考使用。

解說：

如橋梁具有下列情況之一者，則毋須進行耐震評估與補強：

- (1) 非位於斷層近域且依89年部頒耐震設計規範設計之橋梁。
- (2) 依97年及其後部頒耐震設計規範設計之橋梁。
- (3) 臨時便橋。
- (4) 已封閉且無跨越通行公路、鐵路或水路航道之橋梁。

橋梁於下列情況下宜重新進行調查檢測與必要之耐震評估：

- (1) 天然災害造成橋梁環境之明顯改變時，如基礎嚴重沖刷、土石流等。
- (2) 橋梁因老劣化、增加交通量、超載等因素而明顯降低其結構耐震性能時。
- (3) 橋梁主管機關認為有需要進行者。

單跨橋評估與補強時，僅需依第五章與第七章之規定針對其防落長度與支承強度進行檢核與補強。



National Center for Research on Earthquake Engineering



表1.1 耐震補強後橋梁之性能水準

性能水準	安全性	服務性	修復性	
			短期（服務性）	長期（安全性）
PL3	結構保持彈性防止落橋	與地震前交通機能相同	簡易維修	經常修復
PL2	防止落橋與允許橋柱輕微受損	短期搶修可恢復震前交通機能	依既有緊急搶修工法，完成短期搶修	依既有修復工法，完成長期修復
PL1	防止落橋與橋柱過大殘留變形	短期搶修可限重限速恢復通行	更換受損構件或進行結構補強	封閉橋梁，進行局部重建
PL0	防止落橋與橋柱崩塌	禁止通行，以替代道路或臨時便橋取代	全橋拆除重建	全橋拆除重建



National Center for Research on Earthquake Engineering



表1.2 一般橋梁（公路橋梁耐震設計規範 I = 1.0）之性能目標

地震水準	採用之設計規範版本		
	84及89年版	49及76年版	49年版以前
中度地震	PL3	PL3	PL3
設計地震	PL2	PL1	PL0

表1.3 重要橋梁（公路橋梁耐震設計規範 I = 1.2）之性能目標

地震水準	採用之設計規範版本		
	84及89年版	49及76年版	49年版以前
中度地震	PL3	PL3	PL3
設計地震	PL2	PL1	PL1



National Center for Research on Earthquake Engineering



表1.4 橋梁耐震能力詳細評估方法

地震等級	採用之設計規範版本		
	84/89年版	49/76年版	49年版以前
中度地震	線性靜力法、非線性靜力法 線性動力法、非線性動力皆可		
設計地震	非線性靜力法、非線性動力皆可		



National Center for Research on Earthquake Engineering



表 1.5 橋梁耐震補強方案與補強工法參考章節表

方案 構件	補強方案								
	防落系統		結構系統補強			結構構件補強		局部 重建	地盤 改良
	防落長度	變位限制	更換支承 (隔減震 支承)	限制力 量傳遞	力量分散	增加強度	提高韌性		
上部結構	7.1.1 防落 長度 7.1.4 補強 工法	7.1.2 止震 塊之間距 與強度 7.1.3 防落 拉桿之間 距與拉力 強度 7.1.4 補強 工法			7.2.3 力量 分散 7.2.4 補強 工法				
支 承			7.2.1 更換 支承 7.2.4 補強 工法	7.2.2 限 制力 量 傳遞 7.2.補強 工法	7.2.3 力量 分散 7.2.4 補強 工法			7.2.1 更 換支承 7.2.4 補 強工法	
橋柱及 帽梁						8.1.1 增加 強度 8.1.3 補強 工法	8.1.2 提高 韌性 8.1.3 補強 工法	8.1.1 增 加強度 8.1.2 提 高韌性 8.1.3 補 強工法	
基礎						8.2.1 增加 強度 8.2.2 補強 工法		8.2.1 增 加強度 8.2.2 補 強工法	8.2.2 補 強工法
橋台						8.3.1 增加 強度 8.3.2 穩定 性補強 8.3.3 補強 工法			8.3.2 穩 定性 補強 8.3.3 補 強工法



National Center for Research on Earthquake Engineering



報告完畢，敬請指教



National Center for Research on Earthquake Engineering

