

混凝土結構物修補技術探討

林 維 明

省交通處港灣技術研究所研究員兼港工材料組組長

一、修補之定義

(一)混凝土結構物之安全維護

一般而言在建造一混凝土結構物時，如果設計正確，材料使用適當及施工技術優良，則極具有耐久性，甚至可認定為半永久性，像高雄港及花蓮港有許多碼頭為日據時代建造，但至今仍正常使用，毫無異樣。

然而混凝土結構物建造後，承受各種自然環境力（受環境之氣體或液體之侵蝕）及人為因素作用等影響，因此逐年產生化學上之變質和物理性之變形等，惡化現象繼續進行因而造成損壞。尤其是當設計、材料及施工不當（有錯誤）或使用條件及環境條件太過於惡劣時，將由結構物上之弱點處開始發生惡化而出現損傷現象，因此將使結構物之安全性、耐久性及使用功能喪失。

為使混凝土結構物能達到設計耐用年限，充分發揮其功能，應經常檢查結構物之健全性，發現任何劣化現象或損傷，應立即進行修補及補強工作，此為保護及維持結構物安全之必要工作。

土木建築結構物例如交通橋樑、隧道及港灣等交通設施；學校、醫院、大飯店、辦公大廈及住宅等公共建築、電廠，輸送油氣之管線及通訊等供應措施或水壩、水庫、河川渠道、自來水管、污水處理等設施等或為貴重的；公共的或是個人之資產。假定這些結構物之耐久性、安全性或使用功能降低時或可能隨時有發生崩毀之現象，為維護安全必

需採取暫停使用措施。發生災害將會對社會及經濟造成直接或間接上之影響，因此不論國內外對於混凝土結構物之安全維護之重要性及必要性都相當地重視。

混凝土結構物之安全維護可分為檢查（含評估）技術、修補及補強技術營運管理技術。目前國內外對於調查研究及維修技術開發工作都在積極進行中，然而維修技術之成功程度尚在試行階段。

維修之目的為欲期在設計耐用年限內，能使結構物充分發揮其使用功能。表一為日本對於各種混凝土結構之耐用年限問卷調查，如表中所示，在設計上並無明確的定出耐用年限，將依實況，經濟上或結構物之重要程度產生很大的變化。此與其他工業製品不同，尚未獲得社會上有共同之觀點。

自從羅馬時代以來，石造建築物已被認為具有半永久性，因此對於混凝土結構物亦欲期可使用半永久性。然而事實上使用年限有限，而且需依使用狀況、環境條件、社會及經濟上之狀況而變。是故欲期能達到原設計年限必需作些維修工作，因此耐久性問題不僅需考慮設計、材料與施工上問題，並且應再詳加考慮社會、經濟及行政等養護管理方面之問題。

混凝土結構物之養護管理可分為現況性能之維持與性能之提高（改善），以大都市內高速公路結構物之養護為範例如圖一所示。

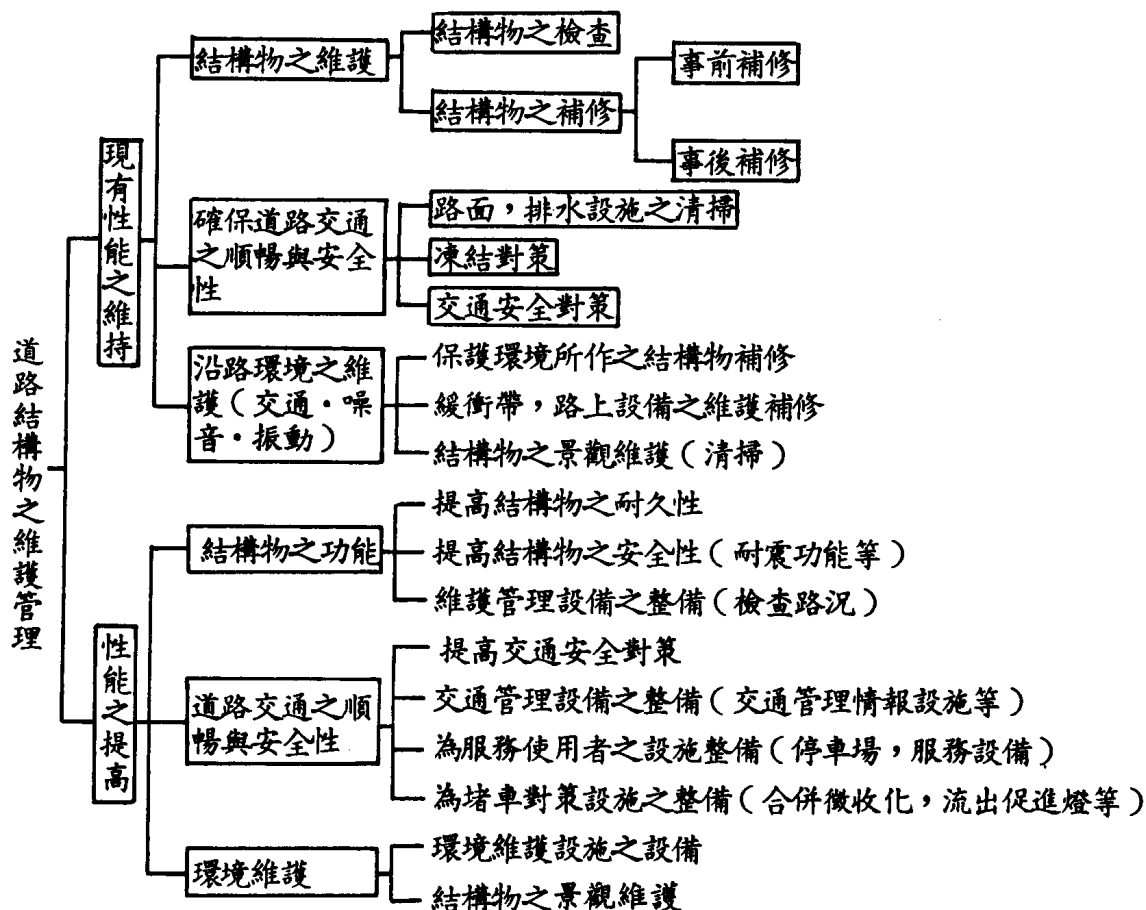
(二)補修、補強之目的

結構物建造完成後，開始使用，為

表一 各種混凝土結構物之耐用年數問卷調查報告(1)

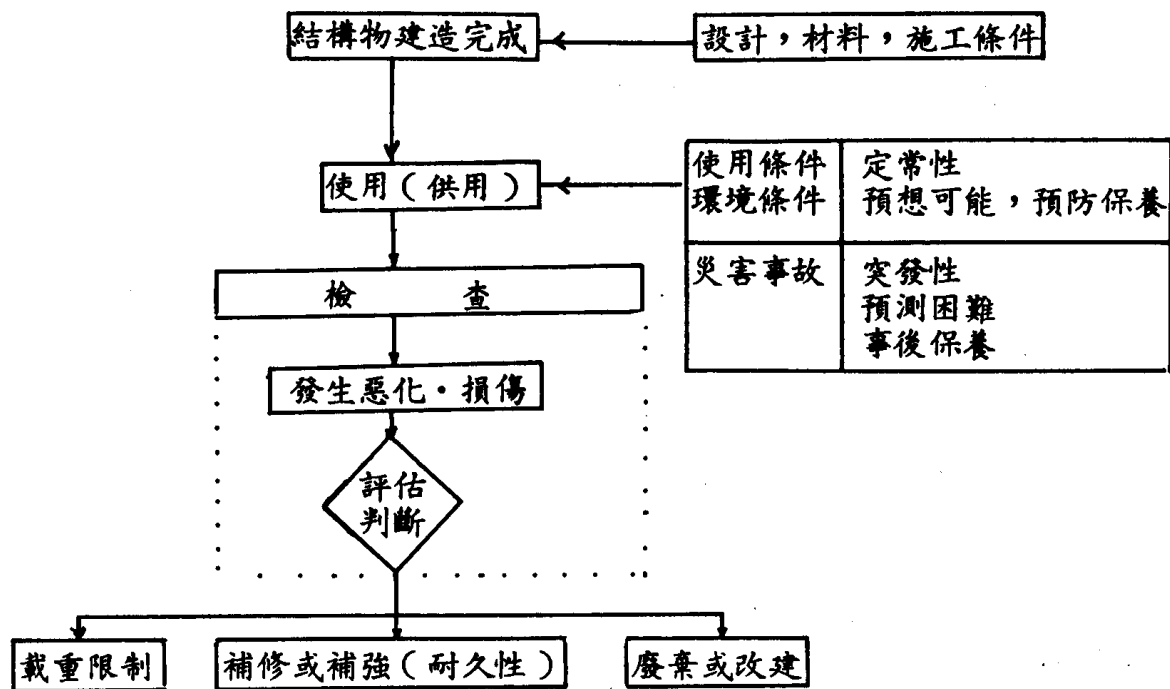
結構物種類		水	壩	橋	樑	隧	道	防	波	堤	下	水	道	混	凝	土	公	共	設	施	建	築	物
項目																							
平均壽命之推算值(年)	大多數之回答數值70%以上回答範圍	100以上 ≥ 100	50 30~100	50 50~100	50 30~50*	50 30~50	20 10~30	65*	50 30~65*														
計畫或設計耐用年數之設定(%)	1.暫定	17	13	10	12	8	7	15	8														
	2.暫定然而受其他因素影響	19	23	17	20	17	13	20	34														
	3.由其他機關設定	29	24	26	31	34	8	31	14														
	4.未設定	33	40	46	37	40	71	32	43														
目標耐用年數之設定值(年)	大多數回答之數值70%以上回答範圍	80 70~100	50 50~60	50 50	50 40~100	50 20~50	30 15~40	65 45~70	65 30~65														

※法定耐用年限數依結構型態而異



圖一 都市高速公路結構物之維護管理

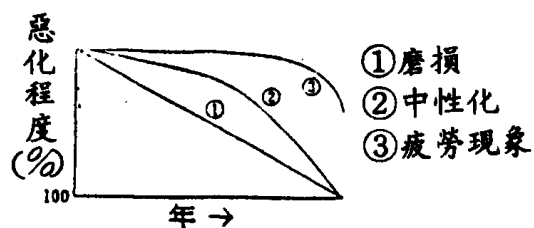
能經常維持耐久性及安全，必需作適當之維修管理措施。圖二為維修管理流程為使結構物能保持健康狀態，如果檢查結果發現有惡化及損傷等異常現象時應



圖二 結構物維護管理之流程圖

評估對結構物之安全性、耐久性及使用功能之影響性。並且需判斷是否需採取補修或補強對策，根據惡化及損傷程度採取適當之補修或補強措施。若有崩壞之危險性，對第三者將造成損傷時。在此種緊急情況應立即採取應急之補修或補強對策。

一般結構物已經發生損壞再作處理者稱為事後維護 (break down maintenance)，而經過檢查，發現結構物已開始發生惡化，但尚未達到損壞前為求排除發生惡化及損壞之誘因及其弱點所應進行的預防措施，即事先需作補強及補修工作，則稱為預防維護 (preventive maintenance) 此種作法類似醫療上之預防勝於治療，此為近年來未被積極倡導之措施。結構物惡化程度隨使用歷時而變，例如圖三所示惡化



圖三 惡化度逐年變化現象

程度亦依磨損、中性化或疲勞等惡化現象而有所不同。這種特性可參考一些類似結構物求得平均特性。對每一結構物而言，因惡化致因甚為複雜且變動幅度亦大，個別之定量預測實在相當複雜。

補修、補強之目的依受到惡化或損傷之結構物，其使用之重要程度、惡化度及損傷度等而異，然而大致可區分如下：

(1) 為維持結構物現有耐力所需考慮之安全性、耐久性及發揮使用功能等性

能因素，而可控制惡化及損壞現象使之不再繼續擴展。

(2)對已經發生或有可能發生惡化或損壞之結構物，使其恢復而不至於影響其使用需求之功能。

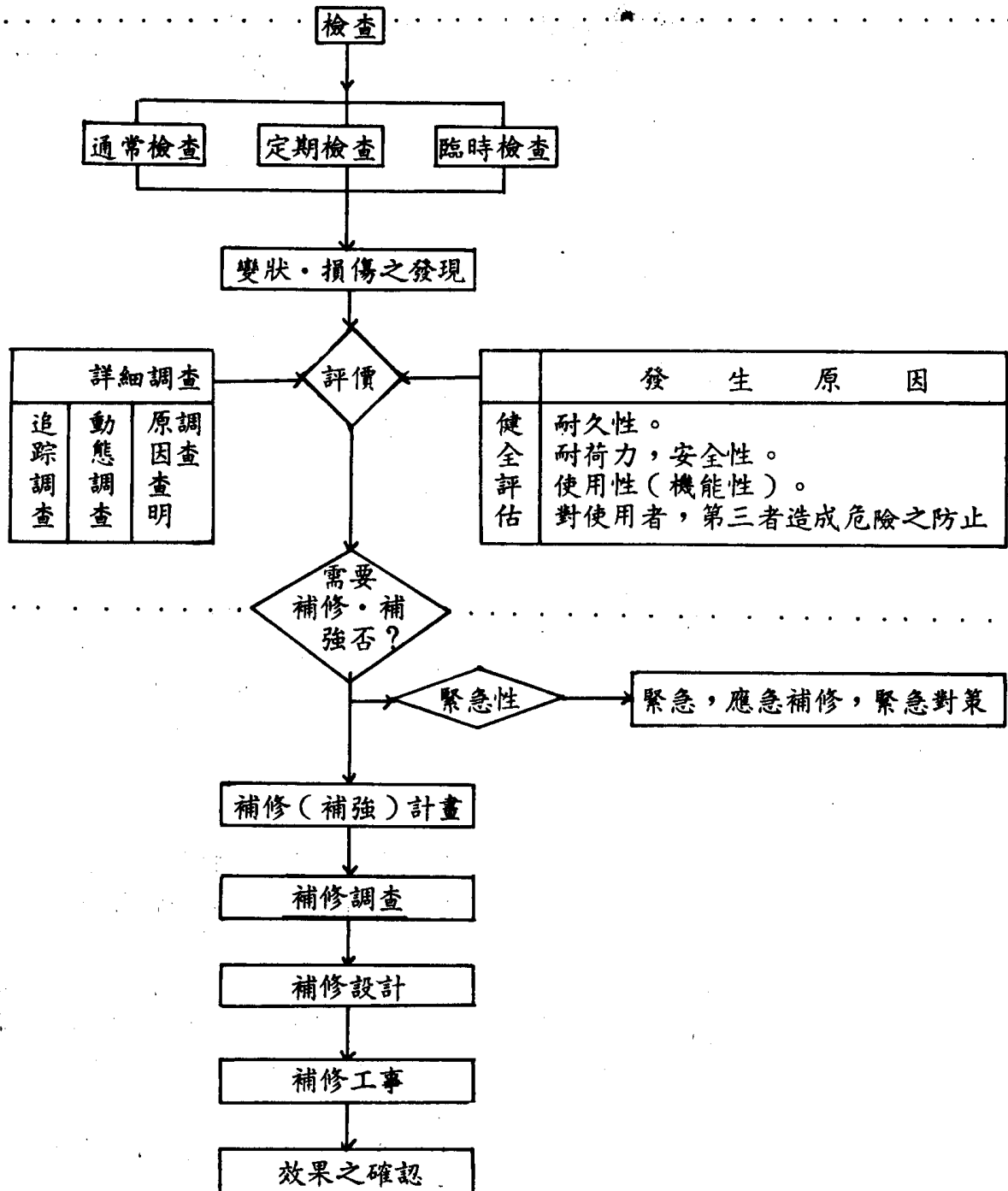
(3)對已經發生或有可能發生惡化或損傷之結構物，使其改善至初期之使用功能水準以上。

認清補修、補強之目的後，才可定出應採取之執行方法。補修與補強之定義大致為除可恢復耐力外，更能增強其結構行為者稱為補強，其他則稱為補修。

(三)修補前檢查工作

自檢查至修護之工作流程如圖四所示，檢查目的如下：

(1)早點發現潛在性或顯著性之惡化及損



圖四 檢查與修補流圖

- 傷情形。
- (2)瞭解惡化及損傷原因。
- (3)評估結構物健全程度並判斷需作修理否？
- (4)有系統的記錄結構物逐年變化狀況（如病人之病歷卡）。
- (5)為達適切的修理，施工效率高且經濟，所需獲得之資料。
- (6)判斷建造時正確設計、材料與施工之反饋資料。
- 有關檢查之種類、方法及內容，以橋樑及建築物為例，如表2及表3所示。

表二 混凝土橋之檢查種類與其內容(2)

檢查種類	檢查之目的與方法	檢查內容	備考
平常檢查	直接目視或用望遠鏡，檢查混凝土結構物，希望能早點發現龜裂，剝離之損傷處。	對各種不同之混凝土結構物，在何種構造物的那一部份，發生任何變化，作重點式之檢查。	因腳踏處不能充分目視檢查時，或以目視不能判斷其原因，應以“動態調查”作詳細檢查。例如日本阪神高速公路之檢查頻率為每月一次。
定期檢查	搭架可供檢查使用，對平常檢查難執行位置作重點式檢查。	1.以目視檢查 先以目視調查是否有變化現象。 2.敲打檢查 以目視檢查，發現龜裂時以鐵鎚敲打調查混凝土之缺陷。例如混凝土是否有空洞或分離等現象。 3.以照相檢查 從相片中發現變化情形並評估惡化原因及程度 4.利用非破壞測定，塗裝效果檢查。 由1.2.發現缺陷時利用各種儀器調查及鑽心取樣分析。	阪神高速道路之檢查頻率為每5~7年一次，但RC橋面版為每2~3年一次。
臨時檢查 (異常時檢查)	與平常檢查或定期檢查相同。	與平常檢查或定期檢查情況相同	1.有發生地震、颱風、火災、豪雨，結構物被車輛衝擊時須作此項檢查 2.發現構造物有異常之變化情況時，應作此項檢查。
追蹤調查	1.對已發生龜裂之構造物是否仍會繼續發生龜裂，應作此項追蹤調查。 2.對地盤下陷，對沿路橋樑構造物影響之時間性變化作此項調查。	1.使用測量儀器進行調查與通常檢查，定期檢查情況相同。	有必要時才作。
動態調查	在平常；定期；臨時及追蹤檢查時發現有缺陷，但無法判定需要補修及採用何種補修方法，需更進一步詳細調查時才作此項調查	1.混凝土之強度試驗，非破壞試驗。 2.鑽心取樣試驗。 3.載重試驗。	有必要時才作。

表三 建築物之檢查種類與方法(3)

檢查種類	檢查方法	檢查內容	摘要
瑕疵檢查	建築物竣工後1~2年執行，要把握是否有發生異常現象。	• 外觀檢查	
定期檢查	由工程單位每一年作一次，為計畫修繕而作。	• 外觀檢查 • 檢查基本資料分析	可看見部份為主
一般檢查	由建築關係技術者為主，一年檢查一次為一般修繕用。	• 外觀檢查 • 檢查基本資料分析 • 非破壞檢查 (專門檢查)	
特別檢查	由建築技術者及專門技術者，於建築物竣工後第11,16,26年時作此項檢查，為長期特別修繕計畫擬定，而執行本項檢查。	• 外觀檢查 • 檢查基本資料分析 • 非破壞檢查 • 破壞性檢查	11,26年之檢查，機器設備為主以供15年及30年修繕設備 16年檢查以防水層為主以供20年修繕外觀

檢查結果如果發現結構物上有惡化、損傷現象時應清查其原因，對安全、耐久及使用功能上之健全性作評估並且判斷是否需加以補修。表4及表5列出日本國有鐵道及阪神高速公路局對結構物健全度判定區分之範例，上述之方法係根據經驗綜合判斷所得。

對惡化及損傷之結構物，先利用外

觀目視檢查，若檢查結果無法判明原因者或需瞭解損壞逐年變化程度，或無法評估結構物之健全度則需進行查明原因之調查和執行如表二所示之追蹤及動態等詳細調查。欲評估耐久之安全性及耐久性等健全度時，不僅需對混凝土、鋼板等個別評估而且應對結構物全體或部分作評估。此時對調查工作甚為費時，

表四 結構物之健全度判定區分(4)

判定區分	對使用功能之影響度	變形之程度	措施
A	AA 危險	重大 進行變形中，機能亦逐漸降低中 恐有變狀及機能降低現象	立即採取措施
	A1 早晚有危險		早點採取措施
	A2 異常外力作用時危險 將來有危險		必要時，採取措施
B	進行中，將變為A項	進行中將變為A項	監視，在必要採取措施
C	現狀無影響	輕微	重點式檢查
S	無影響	無	

表五 定期檢查判定區分(5)

判定區分	狀 況
①	損傷嚴重導致道路結構物之機能降低，為確保交通安全，或恐對第三者造成危險時，需緊急補修。
A	損傷嚴重，應儘速補修。
B	有損傷，應儘早補修。
C	損傷輕微，有必要觀察其進行狀態。
OK	除上述狀況外。

常不易即時獲得結論，若在此期間仍需繼續使用該結構物，然而對於安全、耐久有危險之虞時，應先作緊急補修及限制使用等應急對策，俟獲得結論後才可作正式之補修工作。

四補修補強工程計畫

結構物可按圖四之檢查程序檢查，根據檢查結果研判是否需加補修及補強工作，除緊急性應採取緊急對策外，一

般補修計畫擬定可分為短期、中期及長期措施，個別地進行補修之評估調查、設計、施工及對補修成效進行驗證。

進行補修計畫調查及設計時應將需要修補之部位、惡化損傷狀況、原因等各項列出，例如表六為一般橋樑及建築物應確認之要項，而表七為補修計畫，調查及設計上應該檢討之項目概況。

補修工程與新建工程不同，一般而

表六 需要補修、補強地方應確認之項目

對象結構物	結構系統	無筋，RC，PC。		
	構造種類	橋樑	高欄，橋面版，樑，橋墩，基礎。	
		建築	構造部位	屋基，陽台，壁，樓板，樑，柱，牆。
			公共設施	屋基，天井，壁，樓板，樓梯。
惡化・損傷狀況	範圍	全體，部分，局部。		
	形態	部材之破損，變位，變形，龜裂，剝離，斷面破損，鋼材之腐蝕，破斷，品質劣化，磨耗，漏水。		
	原因	構造物	設計上不健全 使用材料品質不良 混凝土之品質不適當 鋼筋，PC鋼材 施工上之缺陷	
			對結構物不適合計算與圖面不完整。 水泥，骨材，拌合材料，水。 強度，透水性，空氣量，含水狀態，養生，夯實。 品質不良（強度），配筋，灌漿不足。 保護層不足，蜂窩，膨鬆，施工不良，初期龜裂。	
		外在作用	物理性	荷重（過大荷重，反覆荷重），沉陷量不同，氣象作用（凍融，乾濕，溫度變化），磨耗作用，火災作用，潛變，乾縮。
			化學性	水，空氣，酸，鹽類，有害氣體，電流作用。
要補修・補強時期	程度	1.使用無問題。 2.安全性，耐久性，機能降低（進行性有無）。 3.耐荷力不太有問題，對利用者、第三者將造成危險。 4.使用上接近危險。		
		1.立即 2.儘速 3.早點 4.必要時 5.觀察。		

表七 補修、補強之計畫、調查、設計上應檢計項目

補修計畫	短期，中期，長期之補修計畫			
	1.預算經費 2.補修對象之地方、範圍之選定 3.施工體制之確保 4.補修期間影響使用功能及暫停使用之對策 5.補修時期 6.補修方法之選定			
補修調查	補充檢查結果		正確把握損傷之內容，數量及現場條件等	
	詳細調查		調查分析損傷之原因，獲取更完整之補修設計之資料	
補修設計	目的	補修・補強之功能 維持・改善水準	耐荷力，耐久性，機能，第三者危險防止，美觀 1.現狀維持（進行抑制） 2.回復實用性能 3.改善使達到初期水準以上	
	補修方法	補修 補強	鋼筋，混凝土之斷面修護，龜裂修復，惡化・腐蝕防止，保護層厚度增大 強度・剛度增大（斷面擴大，添加補強材料）	
	補修材料	水泥系 鋼材 樹脂系 內襯材 基座材	普通，早強，超早強，超速凝，無收縮，高鋁水泥 鋼板，塑鋼，鋼筋，P C鋼材，螺栓 樹脂混凝土，樹脂砂漿，聚脂混凝土 塗裝用樹脂，含浸用樹脂 玻纖，內襯用樹脂 橡皮系，樹脂系，柏油系	
	補修工法	補修	表面處理 龜裂 斷面破損	樹脂混凝土工法，FRP技術工法，水泥漿工法，樹脂含浸工法 注入工法，密封工法，鋼棒錨碇工法 補縫工法，預疊工法
		補強	直接的方法 間接的方法	混凝土打足工法，打替之工法，鋼板接著工法，預力導入工法 部材增設工法

言，需在不影響結構正常之使用功能下進行維修工作，即該結構物不停止使用或交通不加封鎖，因此施工時間及施工場所受限，常需在夜間作業，或在狹隘、危險之場所工作，或清除混凝土作修補表面處理時發現惡化及損傷程度較預期者嚴重或與原結構物之設計施工內容不同，或有漏水、滯水現象，被迫變更原擬補修計畫，因此須有慎密之施工計畫，在有技術經驗之監工人員作適當之實地指導下進行施工。

補修工程之計畫、調查、設計與施工技術，在執行上發生錯誤仍多，目前尚待解決之技術問題如表八所示。

二、一般之補修及補強工作

(一)損傷之種類及原因

混凝土結構物之主要損傷種類及其發生原因如表九所示，一般而言，由外觀龜裂發現結構物發生變化、龜裂主要發生原因如表十所示，雖可區分，但事實上大多數龜裂係由許多因素所致而非單一原因所造成。

(二)為補修補強目的應進行之調查工作

在前面已經介紹過應進行之調查工作，而具體之檢查調查項目及其方法，例如表十一，定期檢查仍以外觀檢查為主，檢查報告格式如表十二所示。

詳細調查時，應將損傷之狀況詳細調查分析，為了查明發生要因，評估耐荷力、耐久性及是否需作補強補修工作，以及設計與施工方法之決定等，損傷

表八 檢查及補修・補強技術之課題

檢 查 技 術	補修・補強技術
損傷機理之闡明 預測方法之開發 檢查之定量評估方法之開發 檢查儀器之開發 檢查補修病歷卡之建立 維護管理情報之系統化	養護管理水準之設定化 補修之實施基準 補修材料之開發 補修工法之開發 補修儀器之開發

表九 混凝土構造物之主要損傷之種類與其要因(6)

對 象	區 分	損傷之種類	損 傷 之 要 因	
			外 在 的	內 在 的
混 凝 土	物 理 性	- 龜裂 - 剝離，斷面損傷 - 壓壞 - 凍害	- 氣象作用（凍結融解，乾濕，溫度變化） - 荷重作用（過大荷重，反覆負荷） - 磨耗作用 - 火災之作用	- 使用材料（水泥，骨材，混和材料，水）之品質不良 - 混凝土之品質不適當（強度，吸水性，透水性，熱的性質，空氣含量，含水狀態等） - 施工上之缺陷（接縫不良，空洞，保護層厚度不足，初期龜裂，伸縮縫不完全，支撐不足或下陷，地盤不均勻沉陷）
	化 學 性	- 侵蝕，分解，變質 - 成分之溶出 - 膨張劣化	- 酸・鹽類之作用 - 有害氣體等之作用 - 電流之作用	
鋼 材 材 料 (PC鋼)	物 理 性	- 降伏 - 破斷 - 彎屈	- 荷重作用（過大荷重，反覆荷重） - 火災之作用	- 鋼筋・PC鋼材之品質不良（強度，降伏點） - 設計施工上之缺陷（容許應力度，配筋，保護層厚度不適當）
	化 學 性	腐蝕	- 空氣・水之作用 酸、鹽類、有害氣體之作用 - 氣象作用 - 電流之作用 - 高應力之作用	- 鋼筋・PC鋼材之品質不良（耐蝕性） - 混凝土之品質不良（透水性） - 使用材料之不適當（摻入海砂及CaCl₂等） - 施工上之缺陷（接縫不良，保護層厚度不足，初期龜裂）
結 構 體		- 變形 - 崩壞 - 鋼筋腐蝕破壞	- 荷重作用（過大荷重，反覆荷重） - 沉陷量不同 - 溫度變化 - 乾燥收縮・潛變影響 - 火災之作用 - 鋼材之腐蝕	- 混凝土，鋼筋・PC鋼材之品質不良 - 設計・施工上之缺陷

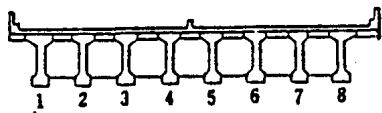
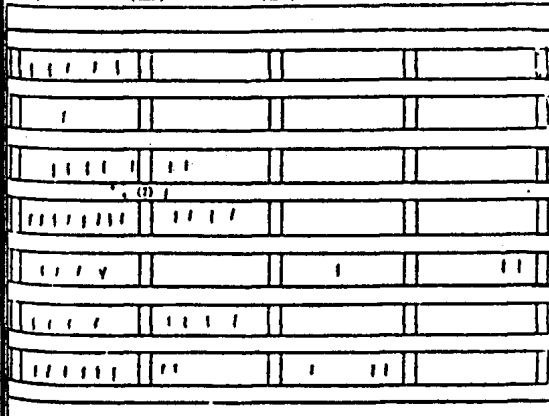
表十 發生龜裂之主要原因(7)

分 類	原 因
與材料的性質有關係者	• 水泥之凝結異常 • 混凝土下沉，有泌水現象 • 水泥之水化熱 • 水泥之異常膨脹 • 骨材中含有不潔泥砂 • 使用風化岩之反應性骨材 • 混凝土之乾燥收縮
與施工有關係者	• 拌合材料不均及分散 • 拌合時間太長 • 泵送之水泥量及拌合水量太多 • 製作之順序錯誤 • 製作之速度太快 • 搗固不全 • 配筋錯誤，保護層厚度不足 • 搭接處理之不適當 • 模板變形 • 漏水 • 支撐工下沉及不足 • 太早拆除模板 • 硬化前之振動負荷 • 初期養生中急速乾燥 • 初期凍害 • 接縫不良，伸縮縫不完全
與使用・環境條件有關係者	• 環境溫度・溫度之變化 • 部材兩面之溫・濕度之差距 • 凍融循環作用 • 內部鋼筋銹蝕 • 火災，表面加熱 • 酸，鹽類之化學作用
與結構承受外力等有關係者	• 荷重（設計荷重以內者） • 荷重（超過設計荷重） • 荷重（受地震力） • 斷面・鋼筋量不足 • 結構物沉陷量不均勻
其 他	其 他

表十一 混凝土構造物之調查項目與具方法

調 查 項 目	調 查 方 法
1. 龜裂 (a)長度 (b)寬度 (c)寬度變化 (d)深度	• 用尺測量 • 用龜裂放大鏡測量 • 用接觸計(Contact gauge)測量 • 用超音波測量
2. 混凝土品質 (a)中性化深度 (b)混凝土之強度 (c)配合比・化學分析 (d)反應性骨材	• 用酚酞指示劑及酸鹼(PH)計測定 • 超音波傳播速度測定・鑽心取樣之抗壓強度測定 • 混凝土之配合比, 化學分析氯化物含量 • 膠體反應之確認, 鑽心之膨脹量之測定
3. 鋼筋之調查 (a)保護層厚度・鋼筋直徑 (b)鋼筋之腐蝕 (c)鋼筋之降伏強度	• 用鋼筋探查機測量保護層厚度・鋼筋直徑 • 用腐蝕電位測定儀, 測量鋼筋腐蝕電位分佈 • 切取鋼筋作抗張試驗
4. P C鋼材 (a)鋼材之位置・有無灌漿 (b)鋼材之破斷	• 用超音波法測定, 及放射線透過調查灌漿充足與否? • 破壞微觀推定破斷之原因
5. 變化之調查 (a)撓度 (b)振動 (c)應力	• 用變位計測定 • 振動計, 加速度計之固有振動數及減衰係數之測定 • 應力測定

表十二 混凝土橋樑結構物(RC・PC樑)檢查報告書

檢查單位	檢查年月日	檢查員	檢查對象	1. PC樑	1. 先拉式 2. 後拉式 3. 其他			
	民國 年 月 日			2. RC樑	1. T型 2. I型 3. 箱型			
損傷狀況概圖  斷 面 圖			檢 查 項 目 龜 裂 P C 樑 1. <0.1m/m 2. 0.1~0.2m/m 3. >0.2m/m 寬 度 R C 樑 4. 0.2m/m未滿 5. 0.2~0.3m/m 6. >0.3m/m 7. 混凝土剝離 8. 混凝土片掉落 9. 鋼筋露出 10. PC套管露出 11. 銹斑流出 12. 漏水・石灰流出 13. 空洞 14. 有無異常音 15. 普通混凝土損傷 16. 支承附近損傷 17. 橫樑損傷 18. 潮汐帶損傷 19. 欄杆部分損傷 20. 補修地方之損傷 21. 其他			損傷位置 B-4 樑凸緣下面	判定區分 C	詳圖圖號 422-1
(一) A (二) B (三) C (四) D (五)  平 面 圖			綜 合 判 定 檢查所見 雖有損傷但尚輕微 ※ 確認					

形態之詳細調查項目如表十三所示。

在詳細調查時，最近最常用之使用方法如下：

1. 結構物鑽心試體調查

由結構物採取鑽心試體供作物理試驗及化學分析推斷混凝土之品質，物理試驗及化學分析包括抗壓強度，動彈性模數，靜彈性係數，中性化深度測定及混凝土配合比、氯含量，有無含反應性骨材（確認膠體（gel）及膨脹量）等分析，採樣位置不同，混凝土品質亦可能不同，有很大差異時易發生局部損傷，須特別注意。

2. 腐蝕電位測量

通常混凝土中之鋼材，由於電化學反應產生腐蝕，此時會顯示腐蝕狀態之電位分佈，自然電極電位法係測定混凝土中之鋼材與混凝土表面上之電位差，一般以非破壞性之腐蝕電位測量儀器可

測知腐蝕狀況（圖五）港灣技術研究所現已使用可同時測八點電位之快速電位測定儀並附有微處理機可快速讀出電位數據。

根據 ASTM 規範，以飽和銅／硫酸銅電極，測定鋼筋之電位。腐蝕狀況標準如下：

$E > -0.20$ 伏特 : 腐蝕風險 $< 5\%$
 -0.20 伏特 $> E > -0.35$ 伏特

: 無法確定腐蝕風險

$E < -0.35$ 伏特 : 腐蝕風險 $> 95\%$

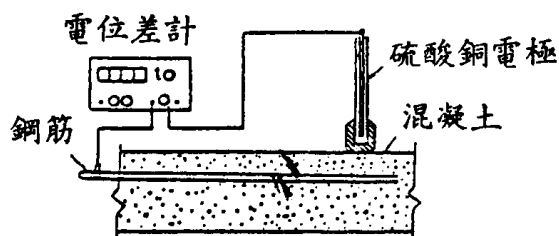
實際結構物調查結果，雖腐蝕風險度有某些變化幅度，但當鋼筋腐蝕嚴重時，可測出極低之電位或可測出電位變化很大之地方。

3. 鋼筋探查機

此種儀器測定原理為鋼筋受磁場偏離現象，可測知鋼筋位置方向、保護層厚度，作為選定鑽心取樣位置之參考，

表十三 損傷形態之詳細調查項目(8)

損 傷 形 態		調 查 項 目
由應力發生之龜裂損傷	彎曲龜裂	材料試驗（混凝土中鋼筋之強度），部材有效斷面測定，鋼筋之應力測定，撓度測定，振動試驗
	剪斷龜裂	材料試驗（混凝土中鋼筋之強度），混凝土及鋼筋（開始彎曲之應力測定）
混凝土之剝離		部材有效斷面測定（混凝土及鋼筋之有效斷面）
混凝土之劣化		材料試驗（混凝土之強度，中性化分析，配合比，化學分析及反應性骨材試驗），應力測定，撓度測定，部材有效斷面測定
火 災		材料試驗（混凝土強度，中性化分析，鋼筋強度），部材有效斷面測定，撓度測定，應力測定
凍 傷		材料試驗（混凝土強度及中性化分析），部材有效斷面測定，撓度測定，應力測定。
PC 鋼材破斷		有效斷面測定，掃描式電子顯微鏡（SEM），能量消散 X 光分析（EDX）及 X 光繞射分析（XRD）
樑 之 耐 力		應力測定，撓度測定

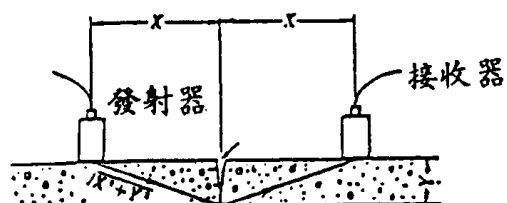


圖五 腐蝕電位測定方法

然而此種儀器易受溫度及周界金屬之影響，故使用時應慎重注意。

4. 超音波測定儀

此方法為將超音波發射器向混凝土結構物入射，測定已知間距之傳播時間求音速以判定混凝土品質之方法，其特性為不管任何試體、結構物，可測定距離可為 10 ~ 20 公尺或數公分，判定強度外，尚能測定水泥、混凝土之凝結過程，硬化混凝土之分離狀況，龜裂深度。龜裂深度利用超音波法測定如圖六所示，在龜裂兩側等距離 x 位置，安裝發



圖六 龜裂深度

射器及接收器，測定超音波傳播時間 T_0 ，若同一種無龜裂混凝土在傳播距離 $2x$ ，所需之傳播時間為 T_s ，則龜裂深度 (Y) 可用下列公式計算得出即：

$$Y = X \sqrt{\left(\frac{T_0}{T_s}\right)^2 - 1}$$

現已證實推定龜裂深度之精度例如細窄裂縫 (slit) 狀之龜裂實驗結果有 90—100 % 之精度，而實際結構物曲折龜裂有 70—80 % 之精度。

(三) 判斷是否需進行補修及補強工作

對已惡化、損傷之結構物之對策如上述可分為補修及補強，需要與否之判斷可依損傷對結構物之影響程度，結構物之重要程度，使用條件及預算等經濟條件而不同。舉日本阪神高速公路局為例，其混凝土結構物定期檢查判定區分標準如表十四及表十五所示，而最大損傷指標，龜裂寬度如表十六及十七所示。從耐久性之觀點而言，其界限幅度並未非為一定數。一般混凝土橋墩或桁材如果龜裂寬度大於 0.3 mm 時，其深度可達鋼筋混凝土附近之可能性很大，因此為確保結構物耐久性應作補修工作，由於剝落之混凝土片或漏水將損傷第三者，則必需補修。而由於漏水影響其美觀亦需加以補修。

(四) 補修補強施工方法與材料選用

1. 一般補修工法與材料

補修工法可依據補修目的、使用材料與施工方法等而加以分類，目前尚無明顯之分類法，較為常用之方法介紹如下：

① 補修工法

表十八及十九示混凝土結構物表面保護，斷面、龜裂與鋼材補修施工方法，按補修目的、種類，及使用材料等分類，而應用時依據損傷狀況補修水準與美觀等情形可能使用表中所列單一或數種工法組合進行修補工作。

表二十示表面保護工之效用性觀點之分類。

② 補強工法

主要為現有構材提高負荷耐力之工法，分為補強之直接方法及減輕對該構件之作用荷重，補強結構系統對策之間接方法，可依據結構物之損傷情形、結構物構造特性、補修效果、施工容易度、經濟觀點以整體綜合檢討後決定之。

2. 補修及補強材料

混凝土結構物之補修補強使用材料

表十四 混凝土結構物定期檢查判定標準(5)

檢查項目	判定區分	A	B	C
龜裂寬度 (mm)	RC樑・RC橋墩 或橋台・岸壁	≥ 0.3	$0.3 \sim 0.2$	< 0.2
	PC樑・PC橋墩	≥ 0.2	$0.2 \sim 0.1$	< 0.1
混凝土剝落，鋼筋露出及銹斑 流出，漏水，石灰水流出，空 洞，基礎混凝土下陷損傷，發 生異常音，補修地方之損傷， 其他損傷		PC套管主筋露 出	有些鋼筋露出	損傷在B程度以 下
		PC鋼材錨碇體 露出，主筋腐蝕		混凝土表面變色
		龜裂部份漏水及 石灰流出	幾乎沒有漏水和 石灰流出之現象	
		基座下陷，龜裂	基座混凝土雖有 龜裂，但沒有下 陷之可能性	
		恐有混凝土片剝 落	有混凝土剝離跡 象	
		大的斷面缺陷， 有異常音	有小斷面缺陷	

表十五 橋面版定期檢查判定基準(5)

判定區分 檢查項目		A	B	C
龜裂之狀態	形 態	龜甲狀或顯著之線 狀龜裂，龜裂周界 混凝土有剝離現象	龜甲狀龜裂，大的 龜裂有石灰或泥狀 物流出	兩方向（即與橋軸垂直或 平行）之龜裂，大裂縫有 石灰流出，混凝土面變色
	寬 度	$0.1 \sim 0.3 \text{ mm}$	$< 0.1 \text{ mm}$	$< 0.1 \text{ mm}$
	間 隔	$< 0.6 \text{ m}$	$0.6 \sim 1.0 \text{ m}$	$> 1.0 \text{ m}$
混凝土結構物損傷情形	剝 離	鋼筋生銹露出造成 混凝土剝離	鋼筋部份生銹，可 能使混凝土剝離	不符合B級者
	石灰滲出， 漏水	龜裂處有漏水及石 灰流出污著之現象	龜裂處有漏水及石 灰流出現象	不符合B級者
	混凝土面損 傷，空洞及 有不良音	混凝土面損傷，空 洞敲打檢查有不良 音現象。	部份之混凝土有損 傷空洞現象，敲打 檢查無不良音現象	

註：判定區分A，B，C可參照表五所示

表十六 容許龜裂寬度之規範值

國名	建議者	暴露條件	容許龜裂寬度 (mm)	
日本	運輸省	港灣構造物	0.2	
	日本工業規格 (JIS A5309)	離心力鋼筋混凝土 設計荷重時，考慮彎矩作用	0.25	
		設計荷重時，未考慮彎矩作用	0.05	
法國	Brocard		0.4	
瑞典		道路橋僅考慮靜荷重	0.3	
		靜荷重 + 1/2 活荷重	0.4	
美國	ACI 建築基準	室內構材	0.38	
		室外構材	0.25	
蘇俄	鋼筋混凝土規範		0.2	
歐洲	歐洲混凝土委員會	遭受相當侵蝕作用之構造物構材	0.1	
		無防護措施之普通構造物構材	0.2	
		有防護措施之普通構造物構材	0.3	
美國	ACI224 委員會	乾燥空氣中或有保護層之情況	0.40	
		濕空氣中，土中	0.30	
		接觸凍結防止劑之情況	0.175	
		承受海水、潮風反覆乾濕的情況	0.15	
		水密性構造之構材	0.10	
英國	CEB-FIP 國際指針	暴露在有害條件下之構材	0.1 ^{*1}	0.2 ^{*2}
		無保護之構材	0.2	0.3
		被保護之構材	0.3	美觀上的檢查
美國	道路局	乾燥空氣中或有保護層	0.3 ^{*3}	0.25 ^{*4}
		鹽・空氣 + 土 + 水	0.25	0.20
		化學上除冰，濕氣	0.20	0.15
		海水乾濕循環作用	0.20	0.15

* 1. 呆載重 + 活載重長期作用

* 2. 呆載重 + 不利之活載重

* 3. 呆載重之抗壓，活載重之抗張作用

* 4. 呆載重之抗張，活載重之抗張作用

表十七 是否需補修之相關龜裂之限度(9)

其他要因^{*1} 區分 環境^{*2}		從 耐 久 性 之 觀 點			由防水性觀點
		嚴 重	中 間	不 嚴 重	---
(A)需補修之 龜裂寬度 (mm)	大	0.4 以上	0.4 以上	0.6 以上	0.2 以上
	中	0.4 以上	0.6 以上	0.8 以上	0.2 以上
	小	0.6 以上	0.8 以上	1.0 以上	0.2 以上
(B)無需補修 之龜裂寬 度(mm)	大	0.1 以下	0.2 以下	0.2 以下	0.05 以下
	中	0.1 以下	0.2 以下	0.3 以下	0.05 以下
	小	0.2 以下	0.3 以下	0.3 以下	0.05 以下

* 1.其他要因(大,中,小),混凝土構造物之耐久性、防水性及有害性之程度,由下列因素綜合判斷之:龜裂深度,保護層厚度,有無混凝土表面塗裝,材料及配合比等。

* 2.主鋼筋生銹發生條件觀點及環境條件。

表十八 補修工法與使用材料

工法	效 用 性		方 法	使 用 材 料	備 考
表 面 防 護 工	防水,防濕,止水,遮鹽,防止損傷片剝落及惡化之防止		聚合物填縫工法	矽酸系・皂土 硫化聚合物	矽酸鹽類,多元酯類,環氧樹脂類,丙烯酸酯樹脂,聚合乙烯基類
			混凝土塗裝	樹脂 瀝青煤焦	環氧類,矽樹脂膠體 丙烯酸類,硬瀝青類
			襯墊工法	水泥類 玻纖類 瀝青	玻纖板補強
			水泥漿吸附工法	水泥漿	
			基座工法	橡膠類,樹脂類	
			加強板工法	玻纖板,鋼板,型鋼,螺栓	
斷 面 補 修 工	剝離,剝落,層狀,空洞,惡化,脆弱部份	加強板工法	水泥漿類	與原結構性質相同之水泥漿 速凝水泥漿 無收縮水泥漿	快乾水泥 膨脹水泥漿
		填充工法			
		補縫工法	聚合類(水泥漿+樹脂)	聚合混凝土 聚合砂漿	水溶性樹脂
龜 修 裂 補 工	防水,補強	預疊工法	樹脂類	樹脂砂漿 樹脂混凝土	樹脂類,聚合類,硬瀝青
		注入工法	水泥漿 樹脂類	水泥漿 樹脂類	環氧類,聚合類
龜 修 裂 補 工	防水,補強	填縫工法	樹脂類 水泥漿	樹脂類 水泥漿	

表十九 鋼材關係之補修

鋼材	對策	補修方法	材料
鋼筋	腐蝕 斷面傷損	防銹處理 安定化處理 鋼筋補強	塗裝環氧樹脂或添加聚合物水泥漿 磁鐵礦化
P C 鋼材	套管漏漿 P C 鋼材 破斷	注入灌漿材料 P C 鋼材補強 鋼板接著補強	水泥系，樹脂系

表廿 表面防護之塗膜工法

種類	內容
防水塗膜工法	防止水壓下，水滲透之處理
防濕塗膜工法	防止水或水蒸氣侵入之處理
保護塗膜工法	為保護混凝土品質降低之處理
裝飾塗膜工法	外觀變化之安定化並依美觀著色

如表十八、十九及廿一所示，基本上使用混凝土與鋼材合成，近年來有替代水泥之結合材料、接著材料、注入材料及塗料等，依用途可使用液狀高分子系統之合成樹脂。

補修、補強材料之適應條件如表廿二所示，依使用目的，補修表面乾濕情形、材料規格、施工條件，其他如經濟及維修安全性等。目前尚無法對惡化、損傷及材料適應條件定量。尤其目前對於樹脂材料之使用性能經驗尚淺，今後有待檢討。

有關補修材料之品質、規格及其試驗方法、混凝土方面可依一般混凝土品質規格與試驗方法，而有關樹脂材料如上述，目前其規格及試驗方法尚未有系統地建立，可依使用目的而決定試驗之方法，表廿三為環氧樹脂之試驗項目及使用之試驗方法，表廿四為在公路橋鹽害塗裝之試驗項目與方法。

樹脂材料為相當敏銳性之有機化合物，而且與施工條件有密切之關係，當

選擇樹脂時，不能僅賴實驗室之試驗數據，應多參考施工後現場試驗，施工實蹟等作綜合檢討，塗裝之施工管理基準如表廿五所示。

(三)補修、補強施工法之選擇

選擇補修、補強施工法時係根據其目的、效果、評估技術信賴度及各種條件設定之輕重，因此選擇之幅度亦大。為提醒維護管理上之重要性，美國橋樑 R C 橋面板之補修方法如表廿六所示，雖採用各種工法，但未作技術上評估，甚為可惜。

因此為求補修補強之定量根據，實有必要對補修後之追跡調查，評估補修效果，在補修、補強施工時，不是如 R C 橋面板之鋼板接著工法可在完成時決定其所需要之斷面，而需由施工條件決定之，因此必須在施工期間追蹤調查。

三、補修補強之具體方法

(1)鹽害對策

混凝土中鹽份超過年限量時，其中

表廿一 補強工法之材料(6)

	工 法	種 別	概 要	使 用 材 料
直 接 的 方 法	鋼板接著工 法	壓著工法 注入工法	補強用鋼板接著樹脂與混凝土 面接著 補強用鋼板與混凝土之間注入 樹脂接著	鋼板，接著用樹 脂 鋼板，注入用樹 脂
	F R P 接著 工 法		混凝土面接著 F R P 與原結構 成一體	F R P
	預力工法		結構外面加預力補強	PC鋼材，混凝土
	混凝土打足 工 法	合成桁工 法 鋼筋增設 工法 斷面增厚 工法 差筋工法	舊的混凝土面與鋼筋混凝土斷 面打足，新舊一體合成斷面。 增加鋼筋補強，水泥漿加厚。 受壓側混凝土增厚補強。 混凝土製作面之差筋，用鋼筋 連結，新舊混凝土合成一體。	鋼筋，混凝土 鋼筋，水泥漿 混凝土 鋼筋，混凝土
	雙樑工法		新舊混凝土樑重疊	鋼材，混凝土
	換新工法	部份換新 工法 全面換新	部份惡化損傷換新 全體惡化損傷換新	混凝土 混凝土
間 接 的 方 法	桁增設，橫 桁補強工法 柱增設工法		縱桁，橫桁，增加耐荷力，抗 撓曲力 中間加柱增加耐力	鋼材 鋼材，RC，PC

表廿二 材料之適性條件

項 目		條 件	備 考
目 的 ・ 條 件	使用目的之合適性 混凝土原表面條件之 合適性 龜裂條件之合適性	防水，劣化防護，斷面補修・補強 乾燥，濕潤，滯水（浸水） 進行性，龜裂寬度及深度	
材 料	材料要件之合適性	混凝土之付著性（接著性），防水 性（吸水性，透水性），遮鹽性， 耐藥品性，耐油性，龜裂追從性， 取縮性，潛變，強度，彈性係數， 耐久性	
施 工	施工要件之合適性	流動性，安定性，施工時間，使用 開放時間，作業條件 安全性	人體
其 他	經濟性 維持保全性	清掃性，再補修性	

表廿三 環氧樹脂之品質試驗方法之例(7)

試 驗 項 目		試 樣	試 驗 方 法
一 次 試 驗	1.比重	20°C，主劑 硬化劑，混合物，固體	JIS K6833 接著材之一般試驗方法 JIS K7112 塑膠之密度與比重之測定方法
	2.黏度	BH回轉黏度計，可攜帶 型溫度上昇時間法	JIS K6833 接著材之一般試驗方法 時間—溫度曲線求得
	3.可使時間	$\left. \begin{array}{l} 20^{\circ}\text{C} \text{ 7 日間養生，試} \\ \text{驗 } 20^{\circ}\text{C} \end{array} \right\}$	JIS K7113 塑膠之引張試驗方法
	4.抗拉強度		JIS K7203 硬質塑膠撓曲試驗方法
	5.撓曲強度		JIS K7208 塑膠之壓縮試驗方法
	6.壓縮強度		JIS K6850 接著劑抗張斷裂強度試驗方法
	7.抗拉斷裂強度		JIS K7111 硬質塑膠之Charpy衝擊試驗方法
	8.衝擊強度	20°C 7 日間養生，試驗 0°C	由 4.抗拉強度試驗時應力曲線求得 由 5.撓曲強度試驗時荷重曲線求得 由 6.壓縮強度試驗時應力曲線求得
	9.抗拉彈性係數		
	10.彎曲彈性係數		
	11.壓縮彈性係數		
二 次 試 驗	12.硬度	20°C 7 日間養生，試驗	JIS K7215 硬度試驗方法
	13.硬化收縮率	20°C	埋入測量儀測定收縮歪曲
	14.熱膨脹係數	20°C 7 日間養生	JIS K6911 標準法
	15.混合量與可使 時間之關係	20°C，500 g，1000 g， 2000 g	同 3.之方法
	16.混合後之時間 與黏度之關係	300 g，2000 g 夏：20，30°C 冬：10，30°C	同 2.之方法
	17.氣溫與可使時 間之關係	300 g (溫度法) 夏：10，30，40°C 冬：0，5，20°C	同 3.之方法
	18.溫度與彈性係 數之關係	抗拉，彎曲 0，10，30，40°C	同 9，10.之方法
	19.混合誤差與強 度之關係	20°C 7，14 日間養生 ±6，±10，±20，±30 %	同 5.之方法
	20.材齡與強度之 關係	80°C 3 小時養生 夏：10，20，30°C 冬：10，20°C	同 5.之方法
	21.硬化樹脂對新 樹脂之接著	————— } 3, 7, } 14 日 } 養生	同 7.之方法
	22.骨材沈降度	硬度試驗，其他	} 必要時測定
	23.接著強度	—————	
	24.耐熱性	—————	

表廿四 混凝土塗裝材料之試驗方法(10)

試 驗 項 目	條 件	試 驗 方 法
1.塗膜之外觀試驗方法	48小時後塗裝之均勻性，流失，龜裂及剝落	JIS K5400 中 6.1
2.耐候性試驗方法	耐候促進試驗機測定 300 小時後塗膜狀態	JIS K5400 中 6.17
3.遮斷鹽份試驗		鹽害對策指針(案)之試驗
4.耐鹼性試驗	浸泡在氫氧化鈣飽和溶液中 30 天，塗膜無膨脹・龜裂・剝落・軟化及溶解現象	JIS K5400 中 7.4
5.混凝土之付著性試驗	完全附著	鹽害對策指針(案)之試驗
6.龜裂追蹤性試驗	塗膜伸長率特性	"
7.混合性		
8.粒徑	最大粒子大小	JIS K 5400
9.乾燥時間		"
10. potlife		"
11.塗裝適合性		"
12.耐屈曲率		"
13.隱蔽率		"

表廿五 混凝土塗裝之施工管理(10)

工 程	管 理 項 目	管理之判定標準
表 面 處 理	混凝土表面狀態 表面含水率 付著鹽份 表面處理之合格 清掃之合格	目視對塗裝無障礙 表面水分計在 8 % 以下 取樣測定在 100mg / m ² 以下 目視對塗裝無障礙 目視對塗裝無障礙
塗 裝	使用塗料 塗料使用量 塗裝方法 塗膜狀態 濕膜厚 乾燥膜厚 塗裝間隔	須與規範指定之塗料符合 與標準量差異不大 依規範指定之方法 目視無異常 各工程所需塗裝膜厚範圍內 須在目標膜厚之範圍內 須在指定範圍內

鋼材將發生銹蝕，鐵銹生成物體積膨脹，造成混凝土龜裂、剝離現象。使用預

力鋼鍵時，因受高壓力，因此對腐蝕特別敏感，一旦發生腐蝕以孔蝕狀態進行

表廿六 美國現有橋面板修補使用方法(11)

補 修 方 法	使用方法之州數量			備 考
	標準作業	試驗施工	計	
面版換新	5	0	5	龜裂，空隙注入環氧樹脂 利用噴槍塗裝密封
補縫	5	6	11	
注入補修	3	2	5	
噴塗法	4	5	9	
普通坍度混凝土鋪面	4	0	4	
低坍度混凝土鋪面	13	3	16	橋面敷設塗裝為交通荷重磨耗層 設計
聚合物混凝土鋪面	17	7	24	
薄膜	22	6	28	
電氣防蝕	0	9	9	

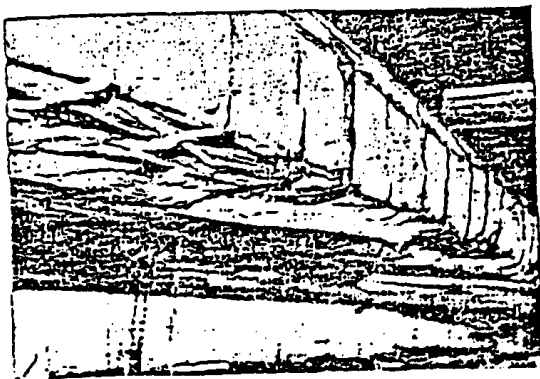
(註)：本表為從 48 州問卷調查中 44 州之回答整理所得。

，而導致早期之斷裂，圖七為橋樑受鹽害範例。

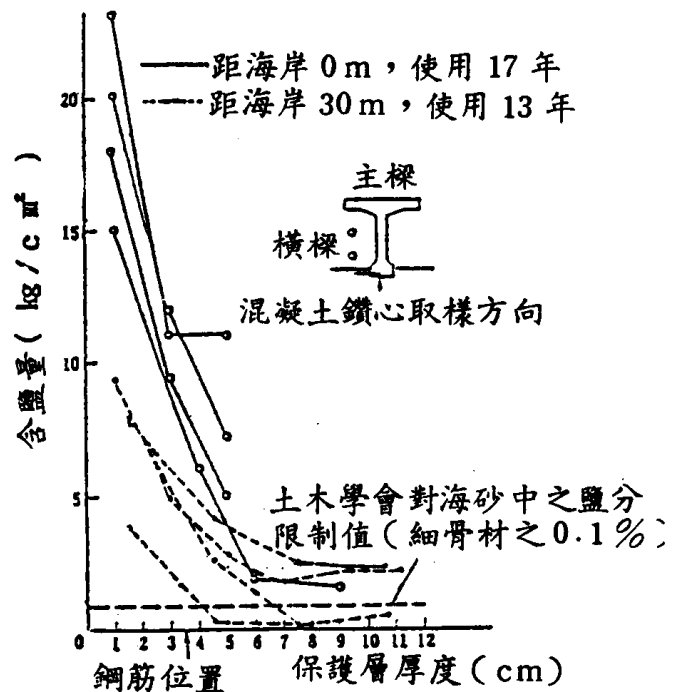
鹽份滲入或滲透侵入混凝土中可能之途徑如下：

- ①速凝劑中摻有氯化物 (CaCl_2)
- ②使用海水或海砂拌合
- ③含鹽份之海風及霧氣、海浪潑濺等滲透侵入。

濱海混凝土結構物例如橋樑損傷很多如圖八所示，面向海側，在樑底下之凸緣 (flange)，橫樑，突出海側之橋面版等最易受鹽害，而受橋台等障礙物



圖七 橋樑之鹽害例



圖八 混凝土含鹽量分佈

阻擋或背後之結構物則損傷較少。

在美國有很多橋樑因使用凍結防止劑損傷報告，表廿七為鹽害防制對策工

法，這種災害大多發生於橋面排水管附近。

通常如果在施工中使用海水及海砂

表廿七 防蝕法之現況

防 蝕 工 法	適用		有潛在性需要			
	施工時	施工後	將來會用	可能會用	現場評估	研發中
1. 去除鹽分 電化學方法離子交換		○	○			○
2. 加防蝕抑制劑	○			○		○
3. 混凝土塗裝						
(a) 表面						
(I) 皮膜	○	○	○		○	
(II) 鋪面						
低水灰比混凝土	○	○	○			
乳化水泥漿	○	○	○			
(b) 低水灰比混凝土						
強力減水劑	○		○			○
(c) 混凝土內部龜裂	○		○		○	
(d) 混凝土中摻加						
(I) 聚合物	○	○	○		○	
(II) 硫磺	○	○	○			○
4. 鋼筋塗裝						
(a) 環氧樹脂	○		○		○	
(b) 鍍鋅	○			○	○	
5. 陰極防蝕	○	○	○		○	

等，只要能在施工中嚴格管制，而且有足夠之保護層厚度則可以防患發生腐蝕，一般可採取下列鹽害對策處理。

①遮斷鋼材之腐蝕電流（使用電氣防蝕，或環氧樹脂塗裝鋼筋等）。

②防制鹽份之侵入混凝土（使用塗裝等）

③防制氧氣及水份侵入混凝土（使用塗裝等）

④清除含鹽份之環境

受鹽害之橋樑、主樑之鋼筋或 P C 鋼材之腐蝕情況較為嚴重，腐蝕持續進行則將降低橋樑之耐力，故需小心地修補，施工程序如下：

①腐蝕鋼材周界之混凝土需加以鏟除。

含鹽份多之混凝土需予鏟除，等於上述鹽份環境之清除對策，否則雖注入腐蝕抑制劑亦無法發揮功效。

②清除鋼材之銹蝕生成物，並作防銹處理。

此措施即如上述遮斷鋼材之腐蝕電流，一般使用水泥系或樹脂系，前者使鋼筋在鹼性之環境下保護，而後者之原理為切斷腐蝕電流，兩者均須使用黏性低且有浸透性之材料。

③鏟除混凝土後加予清掃，以填充材料填補。

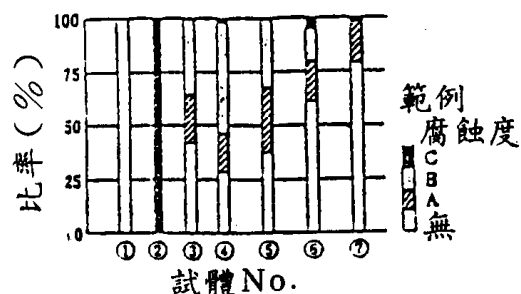
使用材料必需與混凝土結合性良好

者，通常使用樹脂系之水泥砂漿或混凝土，因樹脂之水泥砂漿昂貴，故依使用地點分別考慮應用。

④對處理之範圍，全部加予塗裝。

如為防制鹽分及氧氣之侵入，為抑制腐蝕效果最佳之方法。當混凝土結構物受鹽害發生損傷時，除損傷處以外其他部位亦已受氯離子侵襲，然而尚未達到損傷階段，因此應對整個結構物塗裝，可防患腐蝕於未然。故需考慮塗裝具有防制鹽份滲透能力而且亦需有防制氧氣滲透之能力者，圖九係說明混凝土含有大量鹽份之試體，經過塗裝處理後具有抑制腐蝕之試驗結果。

腐蝕抑制效果與膜厚有關，故氣密
混凝土配合比



最大粒徑 (mm)	W/C (%)	水 泥 (kg/m ²)
20	50	310
砂 (kg/m ²)	粗骨材 (kg/m ²)	水 (kg/m ²)
374	955	155

試 體 編 號	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
保護層厚度(cm)	2.5	2.5	5.0	7.5	2.5	2.5	2.5
表面塗裝 (膜厚: μm)	無	無	無	無	樹脂 〔溶劑型〕 (200)	聚合水泥漿 玻璃纖維 (1000)	樹脂 FRP (2000)
初期鹽分量 (kg/m ²)	0	30	30	30	30	30	30

腐蝕度	無腐蝕	A	B	C
腐蝕狀態	無腐蝕	表面上極少量之腐蝕	淺孔蝕等斷面缺損之輕微腐蝕	斷面缺損很明顯之顯著腐蝕

圖九 腐蝕抑制試驗結果

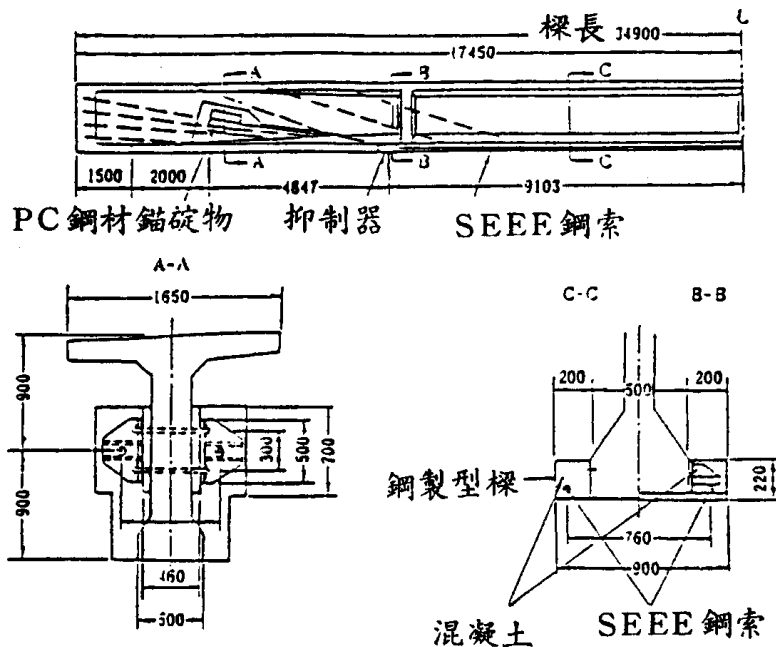
性較差之水泥系或浸透型之塗裝，其使用效果不彰，施工後再發生損傷之事例頗多。

上述補修工法所使用之材料大多為高分子材料，在今日技術經常革新，無法特別指定何種材料或何種品牌之使用

性能為最佳。

預力鋼鍵外拉法破壞之補強施工範例如圖十及十一所示，日本道路協會曾出版一本“道路橋鹽害對策指針”，說明對新建結構物應採取之對策有下列三項

①增加混凝土保護層厚度



圖十 外拉鋼索 (單位mm)



圖十一 PC樑補強範例

②塗裝

③建議使用樹脂塗裝之鋼筋

但對補修技術而言，現仍在試驗階段，尚未能完全見效。

(四)鋼筋混凝土橋面版

鋼筋混凝土橋面版(以下簡稱為面版)為直接支承車輛荷重之結構。一旦

發生損傷，由於車輛荷重之作用及雨水之滲透等可能在短期內甚易惡化，因此除注意保養良好外而且應經常檢查，可及早發現損傷並能儘速採取適當之對策，否則不但橋面版會繼續發生惡化，而且對通行之車輛亦將造成很大的衝擊，更會引起橋樑其他部位發生破損。

檢查方式首先自橋下面目視或用望遠鏡檢查其外觀，若發現有重大損傷時或能預測損傷時，應接近橋面版作細步檢查判斷是否需加補修，並收集決定修補工法之資料。

修補前，可由檢查結果判斷損傷原因處，更需判斷補修或補強後，能否恢復其耐荷重及耐久性能力。

橋面版損傷致因與其對策如表廿八所示，而目前一般對橋面版所作之補修補強工法如表廿一所示，這些工法可以

表廿八 橋面版破損之對策 (30)

損傷原因		說明	對策
荷重條件	1.過大的荷重	1.承載超過現行橋樑之設計荷重	1. } 補強面版，限制載重 2. } 3.鋪裝橋面，伸縮縫之維護補修 4.車輛通行範圍之調整（對大型車輛指定其通行位置）補強面版
	2.通過車輛次數增加	2.由於車輛荷重之重覆，載重增加	
	3.衝擊之影響	3.由於路面之凹凸，衝擊力增大	
	4.車輛荷重之軌跡	4.車輛荷重之通行軌跡在面版之支撐中央，彎曲力矩增大之機會較多	
結構條件	5.面版之剛性不足	5.面版厚度薄時，面版之剛性低，變形大，易產生龜裂	5.補強面版（增大面版之剛性或縮短支撐間距） 6.補強面版 7.補強面版，重新灌漿或換新 8.設置分配橫樑，補強面版 9.增設橋面版樑，以便補強面版或部份需要重新灌製 10. } 補強面版 11. }
	6.配筋不足	6.由於配筋不足，易產生混凝土龜裂	
	7.鋼筋之容許應力度過大	7.鋼筋之容許應力度過大時，因混凝土之抗拉強度關係，易產生龜裂	
	8.支撐樑沉陷量不同之影響	8.支撐樑之鋼性小時，易產生樑之不均勻沉陷，因而使面版發生不均勻之彎曲力矩，致面版之橋軸直角方向之彎曲力矩增加，所以在橋軸方向易產生龜裂	
	9.面版自由緣之影響	9.面版以施工目的，作成不連續之自由緣，易產生過大之彎曲力矩	
	10.交互應力之影響	10.由主樑（主結構）之影響線在面版產生負之剪力力矩，彎曲或拉力作用，致易產生龜裂	
施工條件	11.由支撐樑拘束之影響	11.混凝土之乾燥收縮被拘束於支撐樑，變成易龜裂之狀態	
	12.施工方法不良	12.由於施工方法・順序・搗固・模版不良，養生方法配筋之保護層不足等施工影響混凝土強度及面版厚度不良	面版增厚，重新灌製面版或換新
	13.材料不良	13.由於混凝土配筋比不當，混凝土惡化及水泥、骨材、水等品質不良，因而導致混凝土強度不足	

單獨或兩個以上之工法合併使用。其中直接補強方法中之壓縮側斷面增加工法為一由於斷面高度之增加可提高抗彎強度及抗剪強度之工法，可能具有相當高之補強效果，但因需要必需中斷交通，變更縱橫斷面，確保新舊混凝土之結合，新灌混凝土之龜裂等尚需檢討之問題仍多，故施工例子還不多。

鋼板接合法係橋面板下面以樹脂及螺栓與鋼板接合，使鋼板與面板結合為一體，以提高面板之耐力（抗壓強度）對龜裂亦可使用樹脂注入法。鋼板接著工法有全面鋼板接著工法與局部鋼板接著工法兩種，後者與增桁工法併用之實例相當多。橋面板與鋼板之接著工法有以下兩種接著劑塗裝後將鋼板壓住之壓著法及在鋼板與橋面板間注入樹脂之注入法如圖十二所示，由於確保面板之平坦度與加壓均等之施工容易度，因此壓著法一般較適用於寬度較小之鋼板，在鋼板接著法所用之鋼板厚度，在設計上可使用1~2mm，但作業上大多使用4~5mm。如果使用此法無法達到補強效果時，亦可併用前述之局部鋼板接著工法。對面板作用之彎曲力矩與增設之縱桁或橫桁之剛性有關，故需安裝具有充分剛度之桁，此種工法之施工程序如

圖十三所示。

在上述兩種工法所使用之環氧樹脂應對其強度、耐久性從裂縫之滲透性、作業容易度、黏度，可使用之有效時間等性質加予品質控制，一般所使用之液態型Epoxy樹脂之規範如表廿九所示。

(五)預力混凝土結構物

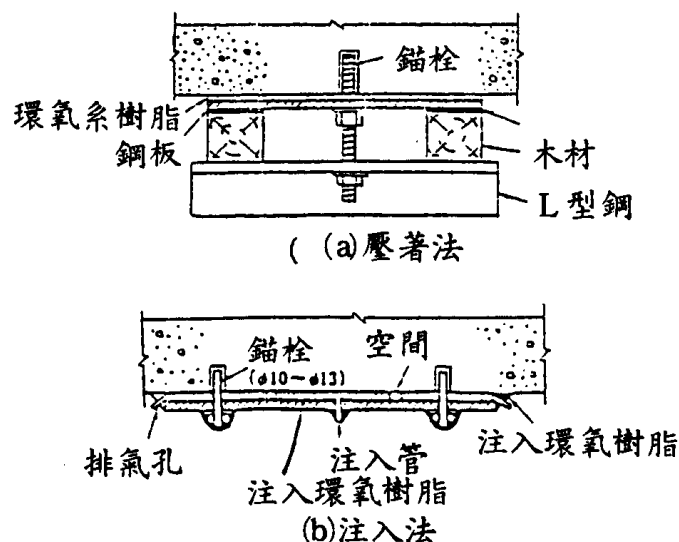
自1950年代開始PC結構物使用很多，由於此方面之應用較RC結構物為新，故對維護管理、長期性惡化、損傷等之經驗較少。有關PC結構物之耐久性，使用之混凝土及鋼材等材料與RC結構物相同，然而其結構之特性對惡化損傷之性能影響程度可以說相當大，PC結構物惡化及損傷特別嚴重情形如下列各項：

- ① PC鋼材：腐蝕斷裂、張力變化、聯接部材之損傷。
- ② 錨碇體：錨碇不良，錨碇部位與混凝土受損傷。
- ③ 套管（sheath）：灌漿不良。
- ④ 混凝土：壓縮應力下之龜裂，預力構件接著部份之損傷。

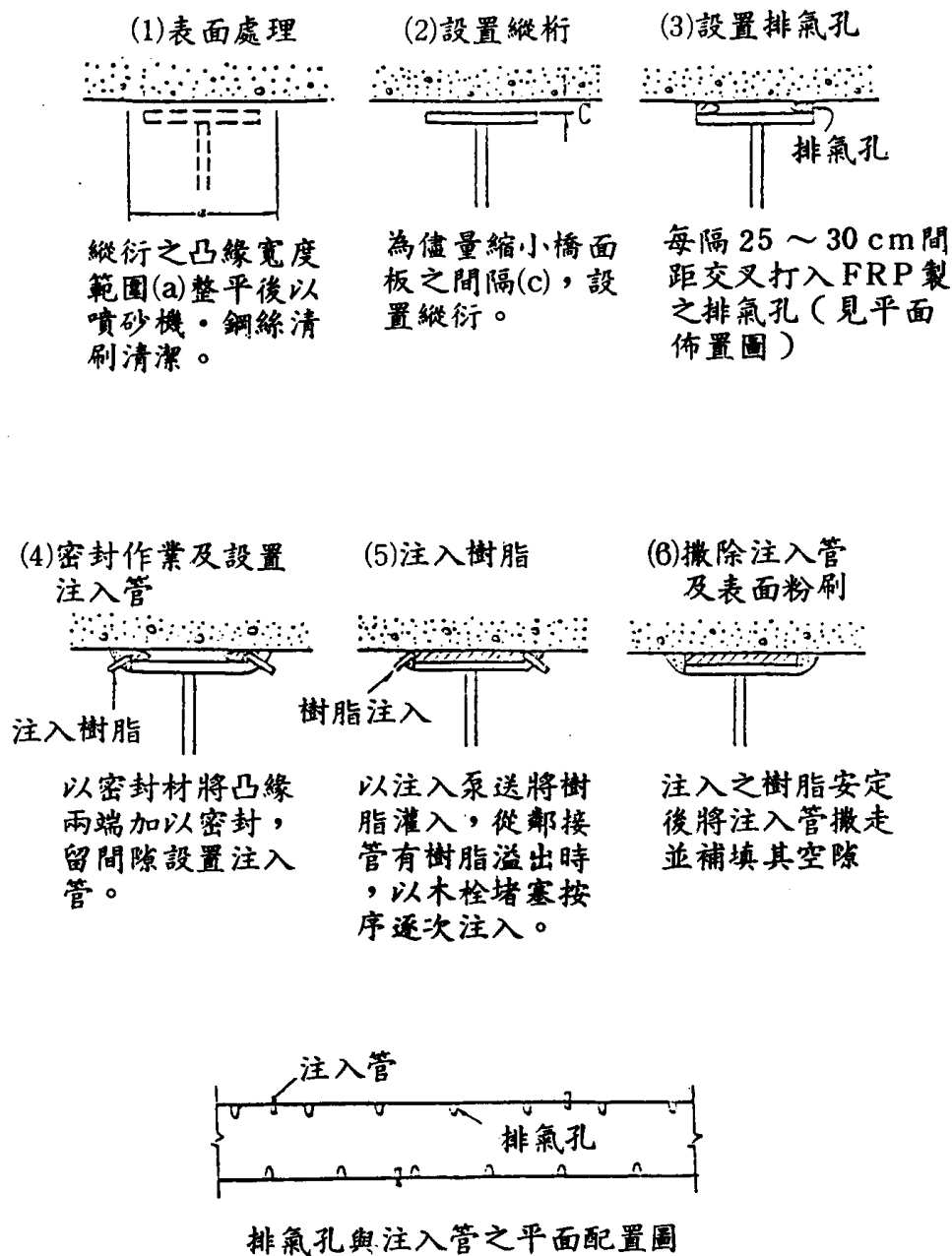
有關PC結構物之補修補強之具體方法可舉下列三個範例供參考。

(1)灌漿不良引起自樑處漏水

從PC樑凸緣中央部份發現漏水，



圖十二 鋼板之接著方法



圖十三 縱衍增設樹脂注入作業之次序

將漏水部份之混凝土鏟除，檢查套管發現灌漿不足，因此檢查發現水係自錨碇處流入套管到達中央部份造成漏水，為防止 P C 鋼材之腐蝕需採取灌漿措施，可先在主樑斷面水平方向使用超音波測試，由其傳播速度值推定套管漏水位置 (圖十四) 在樑端點附近開檢查孔，自漏水處附近設置注入孔，繼續注入灌漿材料，直到檢查孔有灌漿材料流出而檢

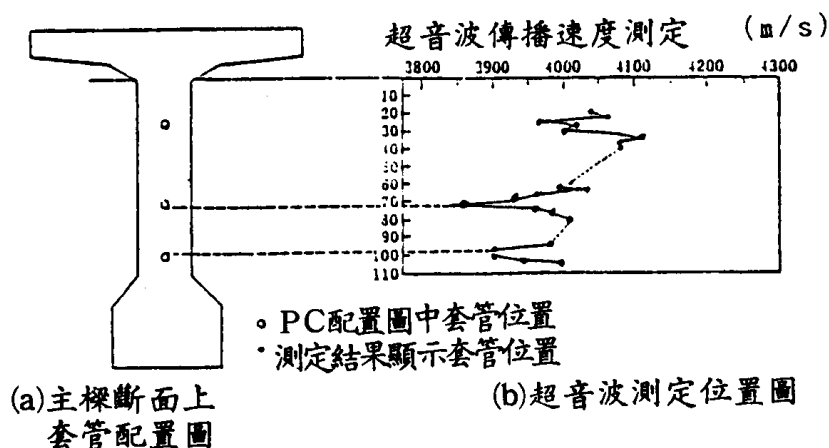
查孔及注入孔須再以樹脂水泥砂漿填補，修理工作才算完成。

(2) P C 樑之水平龜裂

相當多之 P C 樑上發現有混凝土龜裂方向與 P C 鋼材配置方向平行之現象 (水平龜裂)，推測發生原因係由於單位水泥用量太多及結構上巨積混凝土新拌混凝土施工時溫度高再加上水化熱與夜間低溫造成溫度差而產生初龜裂，而

表廿九 環氧樹脂規格

試驗項目	試驗條件	單位	補修用	鋼筋混凝土橋面板補強用
黏度(混合物)	20°C	cp	—	2000±1000
比重(硬化物)	20°C, 7日間養生	—	1.5~19	1.0~1.3
彎曲強度	20°C, 7日間養生	kg/cm ²	350以上	500以上
壓縮降伏強度	20°C, 7日間養生	kg/cm ²	600以上	600以上
壓縮彈性係數	20°C, 7日間養生	kg/cm ²	2×10以上	1.5×10以上
抗張強度	20°C, 7日間養生	kg/cm ²	200以上	300以上
抗拉斷裂強度	20°C, 7日間養生	kg/cm ²	100以上	100以上
衝擊強度	0°C, 7日間養生	kg/cm ²	1.5以上	1.5以上
硬度	20°C, 7日間養生	—	80以上	80以上



圖十四 超音波傳播速度測定PC樑套管位置

且在使用期間乾縮溫度應變及預力等都将造成混凝土龜裂。另外大型試體之靜態動態載重實驗，發現雖水平龜裂深是斷面深度之75%，而對耐荷重性能上並沒有顯著降低之現象。因所發生之龜裂可能深及鋼筋保護層厚度10公分，因此對修補工作應採取下列事項：

- ①對鋼筋、套管、PC鋼材進行防蝕措施。
- ②防止“支承”周界之局部破壞。
- ③防止混凝土剝落。

因此對裂縫之處理以注入環氧樹脂較為理想。

- (3)日本必鹿子式給鹿八樑之PC鋼鍵斷裂

必鹿子式給鹿八樑中央部份發生鋼鍵斷裂，根據調查結果係由於灌漿不足，PC套管發生腐蝕而斷裂，由損傷狀況調查橋樑耐力及應力結果顯示斷裂雖在主樑下產生拉應力，但確認可以充分確保破壞之安全度。在選用補強方法時應考慮在結構上最嚴重之條件下使用鋼板接著法與外拉法(outside Cable)比較結果，採用較有實蹟之鋼板接著法加以補強。

五、結論

對於RC及PC結構物之補修與補強工作必須充分了解損傷之原因及程度和定出修理之規範，需用現場非破壞試

驗及鑽心取樣確定災害之程度，修理規範必須要適合環境及結構物性能等多方面考慮，平時多作檢查，可增加結構物之使用壽命。

參考文獻

1. 白山和久：R C造建築物の耐用年數の考え方，第57回コソクリート講習會，1984.
2. 日本道路協會：道路橋補修便覧，1979.
3. 今野知則：鐵筋コソクリート建築物の維持保全，第57回コソクリート講習會，1984.
4. 梅原俊夫：國鐵における橋樑構造物の健全度判定，「既設構造物の健全度，耐久性判定」に関するシンポジウム，土木學會關西支部，1983.
5. 阪神高速道路公園：道路構造物の點檢標準，阪神高速道路公園，1981.
6. 太田 實：コンクリート構造物（土木）の補修技術と材料・工法，第57回コソクリート講習會，1984.
7. 編集委員會編：コソクリート構造物の補修ハンドブック，技報堂出版，1978.
8. 日本國有鐵道施設局：土木建造物取替への考え方，1974。
9. 日本コソクリート工學協會：コソクリートのひび割れ調査・補修指針，1980.
10. 日本道路協會：道路橋の鹽害對策指針（案）・同解説，日本道路協會，1984.
11. National Cooperative Highway Research Program No.57, Durability of Concrete Bridge Decks, 1979.
12. 小村 敏，太田 實：コンクリート構造物の維持補修・取壊し（新體系土木工學36），土木學會，1983.
13. 小林和夫：コソクリート構造物の補修補強，リハビリテーションに関する最近の動向，第5回材料講習會。
14. 今井宏美，水元義久：道路橋PC，樑橋脚のメソテナソス，プレストレストコソクリート，1983.
15. 小林茂散，山内幸裕：鹽害の現状と對策，橋樑と基礎，Vol.17, No.8, 1983.
16. W. P. Kilaeski : Corrosion Induced Deterioration of Reinforced Concrete-on Overview the International Corrosion Forum, Corrosion/79.
17. 建設省土木研究所：コソクリート橋の鹽害による損傷狀況調査結果，1984.
18. 山内幸裕，片脇清士：コソクリート構造物の鹽害，土木技術資料25-7, 1983.
19. 福島正人，二村誠二：コソクリート用碎石のアルカリ骨材反應性，セメント・コソクリート，No.438, 1983.
20. 阪神高速道路管理技術センター，日本材料學會：反應性骨材コソクリートの調査研究報告書，1983.
21. セメント協會：セメント化學専門委員會報告C-2，アルカリ骨材反應に関する文獻調査，1984.
22. DBF: 6th International Conference on Alkalis in Concrete Research and Practice Proceedings, 1983.
23. Alkali Hit Bridges Face Heavy Repair Bill, New Civil Engineer. 1983.
24. Alkali Sleuths Rootout Pevon

- Dridges, New Civil Engineer, 1983.
25. D. Lenzner & U. Ludwig: The Detection of Alkali-Silica Reaction in Concrete Structures, Zement-Kalk-Gips, Nr. 8/1979 (32, Jahr.).
26. 阪神高速道路管理技術センター, 日本材料學會: 反應性骨材コンクリートの調査研究報告書(その2), 1984.
27. 阪神高速道路公團, 阪神高速道路管理技術センター: 構造物追跡點檢業務「實橋載荷實驗」報告書(その2), 1985.
28. 前原 博他: アルカリ骨材反應のある橋脚の載荷實驗, 土木學會第40回年次學術講演會講演概要集, 第5部, 1985.
29. 阪神高速道路公團: 骨材反應に対するコンクリート構造物の管理指針(暫定案), 1985.
30. 岡田 清編: 道路橋鐵筋コンクリート床版のひび割れ破壊機構と合理的設計法に関する研究, 昭和53, 54年度總合研究(A)成果報告書, 1980.
31. 首都高速道路公團, 阪神高速道路公團, 首都高速道路協會: 床版補強の設計・施工に関する調査研究(その1~3), 1980~1982.