

出國報告（出國類別：實習）

實習輸電鐵塔壽命週期管理  
、風險評估及風險決策

服務機關：台灣電力公司綜合研究所

姓名職稱：鄭錦榮、化學師

派赴國家：日本、香港

出國期間：100年2月15日至100年2月28日





報告日期：100年4月7日

## 出國報告審核表

出國報告名稱：實習輸電鐵塔壽命週期管理、風險評估及風險決策		
出國人姓名(2人以上， 以1人為代表)	職稱	服務單位
鄭錦榮	化學師	台灣電力公司綜合研究所
出國類別	<input type="checkbox"/> 考察 <input type="checkbox"/> 進修 <input type="checkbox"/> 研究 <input checked="" type="checkbox"/> 實習 <input type="checkbox"/> 其他 _____ (例如國際會議、國際比賽、業務接洽等)	
出國期間：100年2月15日至100年2月28日		報告繳交日期：100年4月8日
出國計畫主辦機關審核意見	<p><input checked="" type="checkbox"/>1. 依限繳交出國報告</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>2. 格式完整(本文必須具備「目的地」、「過程」、「心得」、「建議事項」)</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>3. 無抄襲剽竊出國報告</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>4. 內容充實完備。</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>5. 建議具參考價值</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>6. 送本機關參考或研辦</p> <p><input type="checkbox"/>7. 送上级機關參考</p> <p><input type="checkbox"/>8. 退回補正，原因：<input type="checkbox"/>不符原核定出國計畫 <input type="checkbox"/>以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容 <input type="checkbox"/>內容空洞待增補涵蓋規定要項 <input type="checkbox"/>抄襲相關出國報告之全部或部分內容 <input type="checkbox"/>電子檔案未依格式辦理 <input type="checkbox"/>未於資訊網登錄提要資料及傳送出國報告電子檔</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>9. 本報告除上傳至出國報告資訊網外，將採行之公開發表：  <input checked="" type="checkbox"/>辦理本機關出國報告座談會(說明會)，與同仁進行知識分享。  <input type="checkbox"/>於本機關業務會報提出報告  <input type="checkbox"/>其他 _____</p> <p><input checked="" type="checkbox"/>10. 其他處理意見及方式：          本次實習取得鐵塔壽命評估方法與基準併入本所相關研究，供擬訂立本公司鐵塔檢修及汰舊換新法定之準則。</p>	

說明：

- 一、各機關可依需要自行增列審核項目內容，出國報告審核完畢本表請自行保存。
- 二、審核作業應儘速完成，以不影響出國人員上傳出國報告至「政府出版資料回應網公務出國報告專區」為原則。

報 告 人	 鄭錦榮	審 核 人	 邱善得	單 位 主 管	 劉光陸	主 管 處 主 管	 費昌仁	總 經 理  副 總 經 理
-------------	--	-------------	--	------------------	--	-----------------------	---	-------------------------------------

QP - 08 - 00 F06

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：實習輸電鐵塔壽命週期管理、風險評估及風險決策

頁數\_\_ 含附件：是否

出國計畫主辦機關/聯絡人/電話：台電人事處/陳德隆/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

鄭錦榮/台電綜合研究所/化學與環境研究室/化學師/02-80782246

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：中華民國100年2月15日至100年2月28日 出國地區：日本、香港

報告日期：中華民國100年4月8日

分類號/目

關鍵詞：

內容摘要：(二百至三百字)

輸電鐵塔壽命週期管理是施行輸電鐵塔設備風險評估，計算設備風險值及進行風險決策，利用鐵塔殘餘壽命評估的方法，建立(1)鐵塔腐蝕狀況評估(如進行鋼構、防蝕材料的腐蝕影像辨識、鋼材薄化量測、鋼構及防蝕材料的耐用年限推估等)，(2)鐵塔結構模擬評估的量化基準(如進行鐵塔位置、風場、環境及結構的建模；自然振動頻率分析；鐵塔受風力負載；鐵塔受風力與纜線負載；鐵塔弱化後的安全係數等結果量化)，訂立輸電鐵塔設備狀態檢修及汰舊換新的決策參考。本次選擇訪問單位因地理位置與環

境與台灣相近，亦已在進行輸電鐵塔的壽命評估或資產管理，研究人員能與相關專家學者實習上述評估方法及基準，將有助於公司輸電鐵塔殘餘壽命評估及資產管理技術的提昇，執行方法的研訂，透過學習及討論作為未來工作規劃之參考。

本文電子檔已傳至出國報告資訊網 (<http://report.gsn.gov.tw>)

## 摘 要

輸電鐵塔壽命週期管理是施行輸電鐵塔設備風險評估，計算設備風險值及進行風險決策，利用鐵塔殘餘壽命評估的方法，建立(1)鐵塔腐蝕狀況評估(如進行鋼構、防蝕材料的腐蝕影像辨識、鋼材薄化量測、鋼構及防蝕材料的耐用年限推估等)，(2)鐵塔結構模擬評估的量化基準(如進行鐵塔位置、風場、環境及結構的建模；自然振動頻率分析；鐵塔受風力負載；鐵塔受風力與纜線負載；鐵塔弱化後的安全係數等結果量化)，訂立輸電鐵塔設備狀態檢修及汰舊換新的決策參考。本次選擇訪問單位因地理位置與環境與台灣相近，亦已在進行輸電鐵塔的壽命評估或資產管理，研究人員能與相關專家學者實習上述評估方法及基準，將有助於公司輸電鐵塔殘餘壽命評估及資產管理技術的提昇，執行方法的研訂，透過學習及討論作為未來工作規劃之參考。

# 目 次

摘 要.....	5
目 次.....	6
一、目的.....	7
二、行程概要.....	9
三、研習內容.....	10
3.1 關西電力公司鐵塔維護及使用年限評估.....	10
3.2 NIPPON KATAN 輸電線路材料及鐵塔壽命評估.....	13
3.3 九州電力輸配電鐵塔壽命週期管理.....	15
3.4 日本鐵塔輸配電鐵塔延壽的方法.....	19
3.5 中華電力輸配電鐵塔資產管理.....	23
四、心得與感想.....	27

## 一、目的

傳統熱浸鍍鋅輸電鐵塔在一般地區皆有良好的耐蝕性，但在重鹽害地區鍍鋅層易與海鹽粒子反應，加速損耗，特別是中火出口沿岸鐵塔腐蝕最嚴重，使用年限縮短至 20 年，因此如何建立鐵塔殘餘壽命評估，確保工作人員安全及輸電線路可靠性，截至 99 年 12 月止供電區處管轄全省鐵塔、鐵柱數目約 23,727 座，佔架空支持建物為 67.9%，依據目前供電處輸電鐵塔安全評估方式，包括(1)99 年 1 月 27 日訂立之「鐵塔基礎與結構安全巡查要點」，(2)94 年 12 月 31 日修訂之「山區超高壓輸電鐵塔基礎環境因素安全評估要點」，(3)94 年 12 月 31 日修訂之「輸電線路鐵塔定期監測要點」，(4)94 年 12 月 31 日修訂之「輸電鐵塔及基礎汰換計畫」等與鐵塔壽命相關之評估要點，前三項要點主要從周邊大地環境變化及鐵塔構材變形外觀判斷，訂立鐵塔維修與維設等級標準，第四項「輸電鐵塔及基礎汰換計畫」主要依據「土壤基礎及超齡鐵塔逐年汰換」及「應力較弱鐵塔逐年汰換」，前者汰換塔齡約 40 年之鐵塔及基礎，惟依腐蝕狀況調整年限，後者依應力裕度較低者，鐵塔優先排入先期汰換改建。上述四項評估要點及執行方法並不足以判斷嚴重腐蝕鐵塔之使用年限。因此必須赴與本國地理位置及環境相似的日本、香港等鄰近國家實習(1)建立嚴重腐蝕鐵塔汰換評估方法；(2)關鍵位置及破損模式判斷；(3)動態荷載分析；(4)安全係數考量；(5)

材料和荷載影響的應力和負載合成因子等。

輸電鐵塔壽命週期管理是施行輸電鐵塔設備風險評估，計算設備風險值及進行風險決策，利用鐵塔殘餘壽命評估的方法，建立(1)鐵塔腐蝕狀況評估(如進行鋼構、防蝕材料的腐蝕影像辨識、鋼材薄化量測、鋼構及防蝕材料的耐用年限推估等)，(2)鐵塔結構模擬評估的量化基準(如進行鐵塔位置、風場、環境及結構的建模；自然振動頻率分析；鐵塔受風力負載；鐵塔受風力與纜線負載；鐵塔弱化後的安全係數等結果量化)，訂立輸電鐵塔設備狀態檢修及汰舊換新的決策參考。本次選擇訪問單位因地理位置與環境與台灣相近，亦已在進行輸電鐵塔的壽命評估或資產管理，研究人員能與相關專家學者實習上述評估方法及基準，將有助於公司輸電鐵塔殘餘壽命評估及資產管理技術的提昇，執行方法的研訂，透過學習及討論作為未來工作規劃之參考。



## 二、行程概要

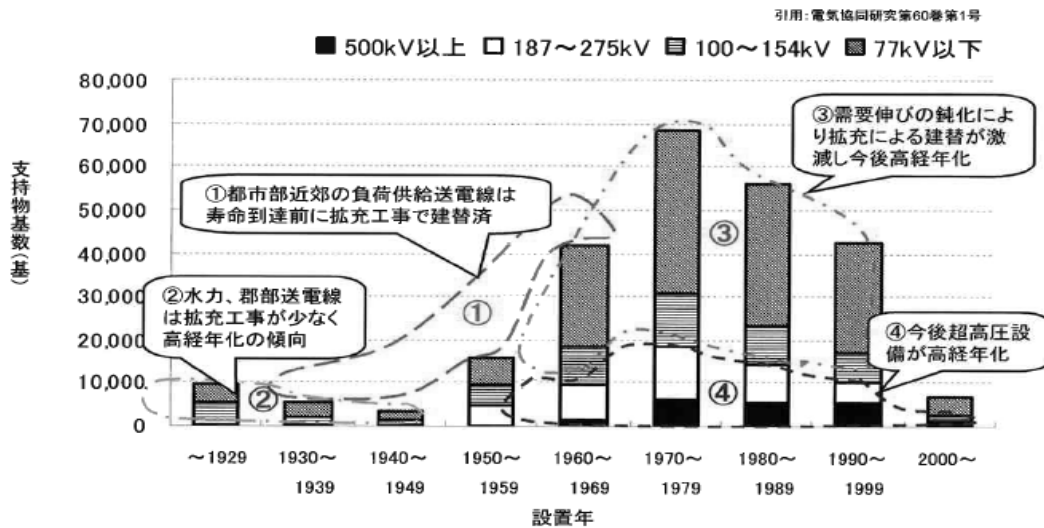
本案實習、開會期間含往返行程共十四天，即自民國 100 年 2 月 15 日至同年 2 月 28 日止。其行程概要簡述如下：

參訪機構名稱	地點	詳細工作內容
關西電力	大阪	鐵塔維護及使用年限評估
Nippon Katan	大阪	輸電線路材料及鐵塔壽命評估
九州電力	北九州	輸配電鐵塔壽命週期管理
日本鐵塔	北九州	輸配電鐵塔延壽的方法
中華電力	香港	輸配電鐵塔資產管理

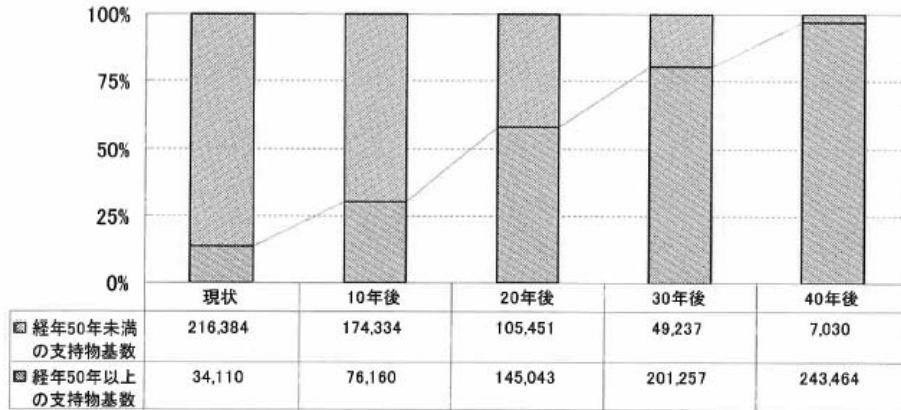
### 三、研習內容

#### 3.1 關西電力公司鐵塔維護及使用年限評估

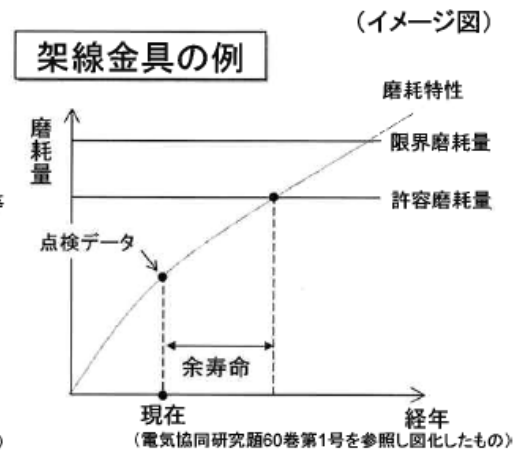
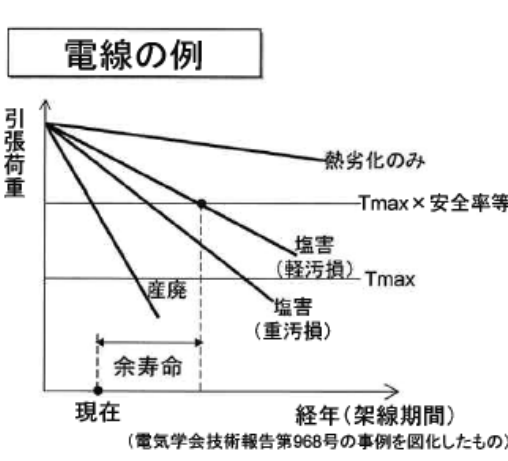
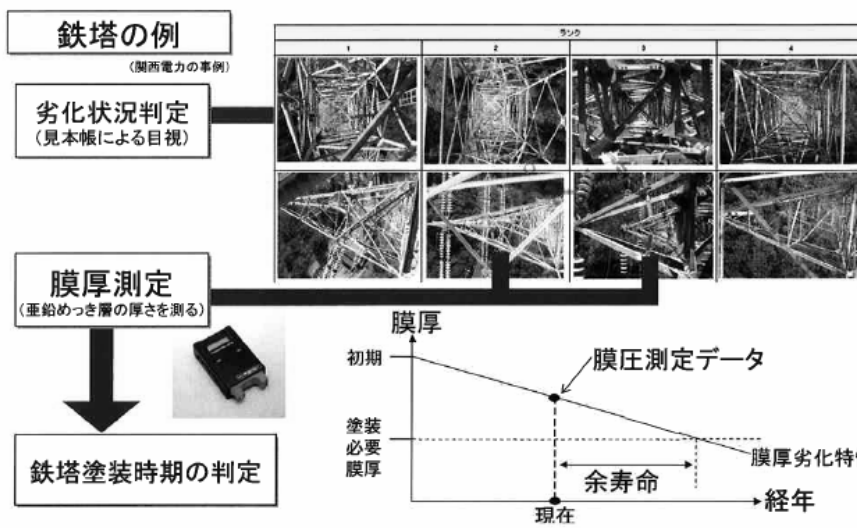
日本目前同樣面臨鐵塔老化，將鐵塔區分為郊區城市傳輸負載線路、早期縣輸電線路的水力輸電鐵塔、經濟需求增長放緩鐵塔亦面臨高齡化、187KV以上的超高壓鐵塔高齡化等四階段，日本輸電設施（支持結構）的目前狀況。



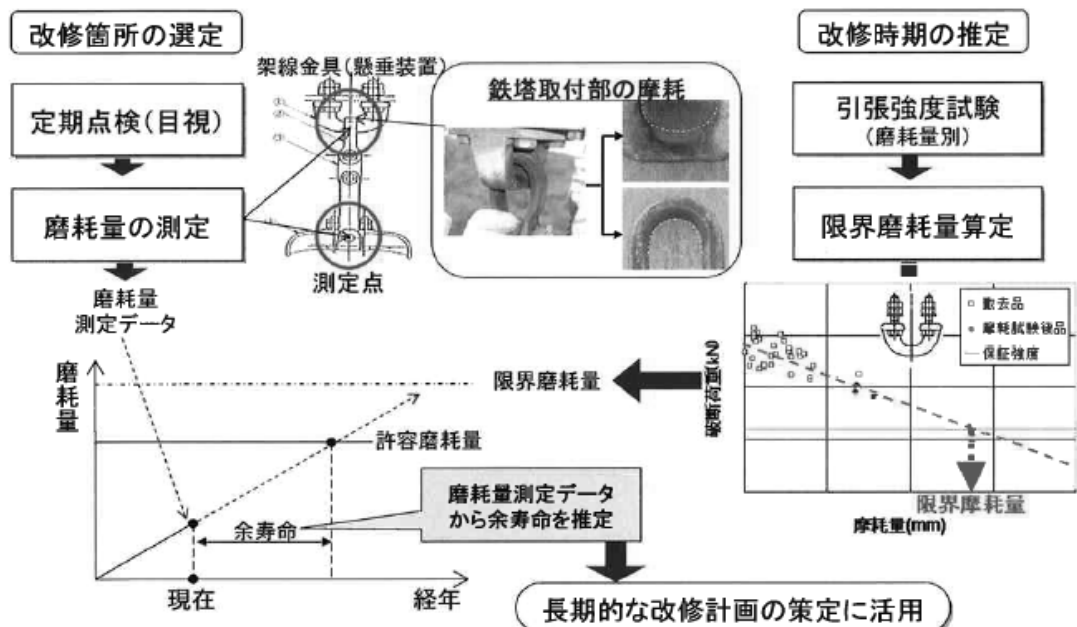
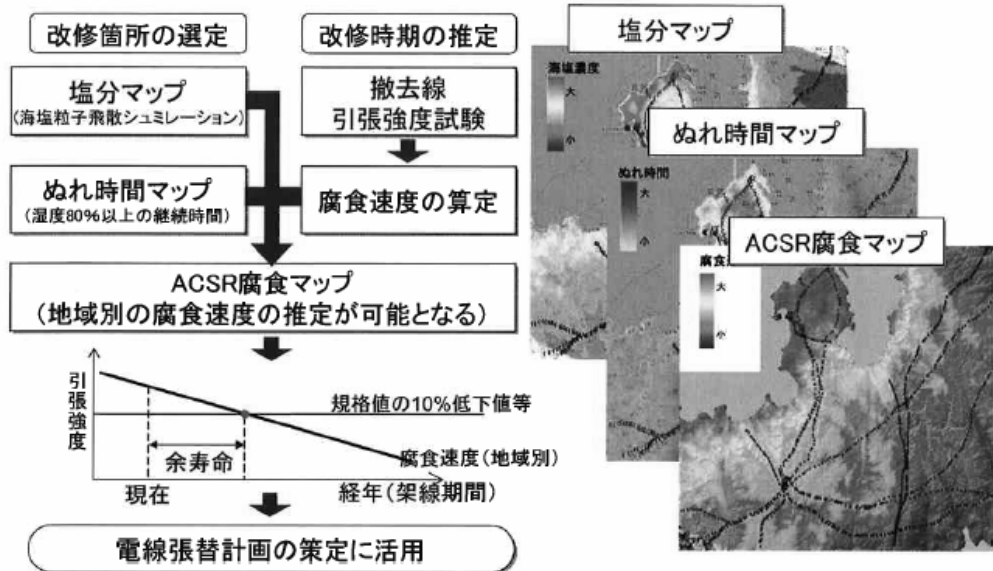
以目前為基礎推估 40 年後，超過 50 年鐵塔約佔總體的 97%，老化鐵塔的問題亦非常嚴重，如何致力延長鐵塔的使用年限，亦是關西電力所急需建立的目標。

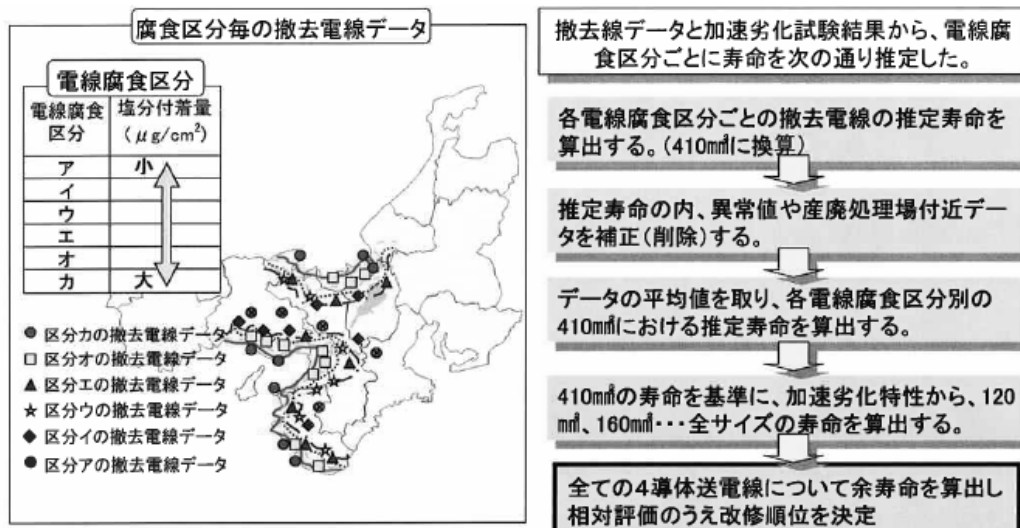


因此關西電力發展如何維持目前的鐵塔的使用年限（判斷鐵塔塗裝時機），以熱浸鍍鋅層殘留膜厚判斷鐵塔塗裝時機，採用適當的塗裝系統。對輸電導線及鐵配件則採用腐蝕速率或磨耗量，推估殘餘壽命的方法。



ACSR 輸電導線分別依當地環境因子及氣像因子與導線拉力強度及腐蝕速率材料性質的判斷，推估 ACSR 的殘餘壽命，鐵配件則採用磨耗量，建立安全及更換指標，分別將上述測試數據以 GIS 建立在資訊地理位置系統上。



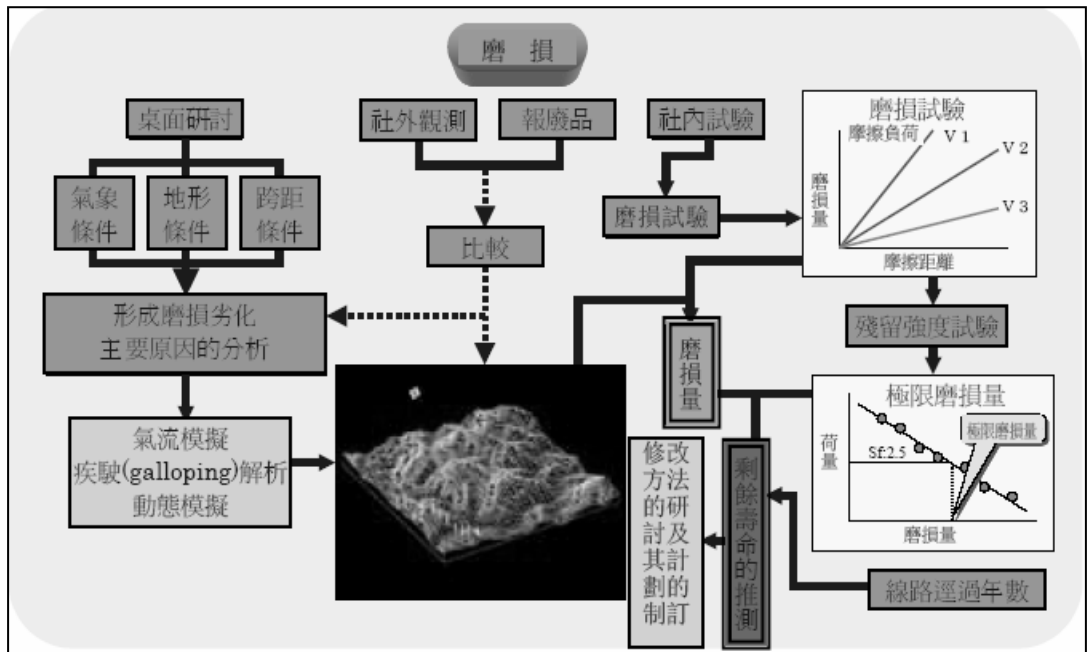


### 3.2 Nippon Katan 輸電線路材料及鐵塔壽命評估

Katan 公司與日本電力公司共同研究開發項目，包括

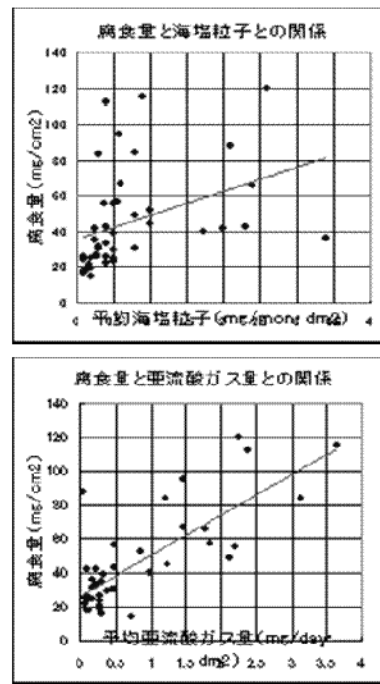
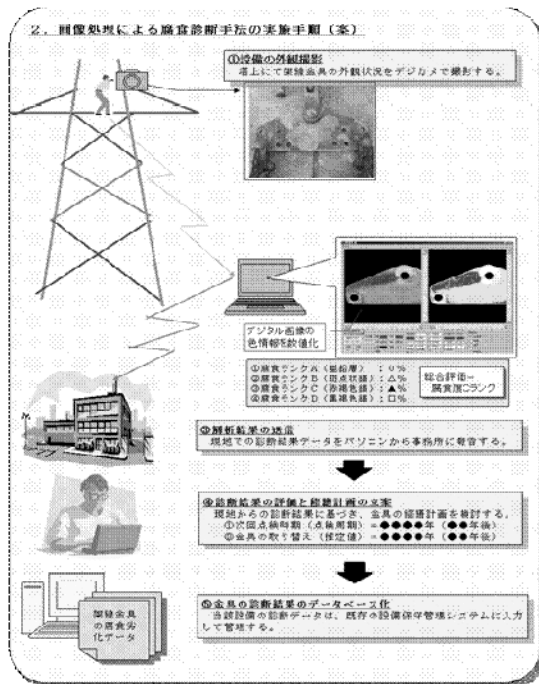
1. 推測輸電線的架線金屬件的磨損量及預測其剩餘壽命【中部電力、關西電力、九州電力、中國電力、東北電力】
2. 研究腐蝕劣化的診斷技術【九州電力、東京電力、中國電力、關西電力、北陸電力】
3. 開發磨損情況顯示懸吊型裝置【九州電力】
4. 設備診斷的系統化【九州電力】

Nippon Katan 公司在鐵配件微風振動磨損評估技術方面更將氣象、地形、跨距等因素納入，透過現場破壞樣品及實驗室模擬，訂出鐵配件樣品的安全指標及極限指標。依照鍍鋅層腐蝕劣化評估標準訂立鐵配件及碍子更換標準。亦以鍍鋅層鐵鋅合金組織顏色建立影像辨識。



分類	腐蝕狀態				說明圖
	外觀	純鋅層	合金層	鐵材	
A	純鋅層色澤(灰色、白色)	部份腐蝕 鍍鋅層 約0~30%腐蝕	良好	正常	純鋅層 合金層 鐵材
B	斑點狀銹	局部殘留 鍍鋅層 約40~70%腐蝕	部份腐蝕	正常	合金層 鐵材
C	赤褐色銹	沒殘留 鍍鋅層約80~90%腐蝕	局部殘留	腐蝕小	腐食生成物 合金層 鐵材
D	黑褐色銹	沒殘留 鍍鋅層 約100%腐蝕	沒殘留	腐蝕大	腐食生成物 鐵材
E	鐵材嚴重腐蝕	沒殘留 鍍鋅層 約100%腐蝕	沒殘留	腐蝕極大	腐食生成物 鐵材

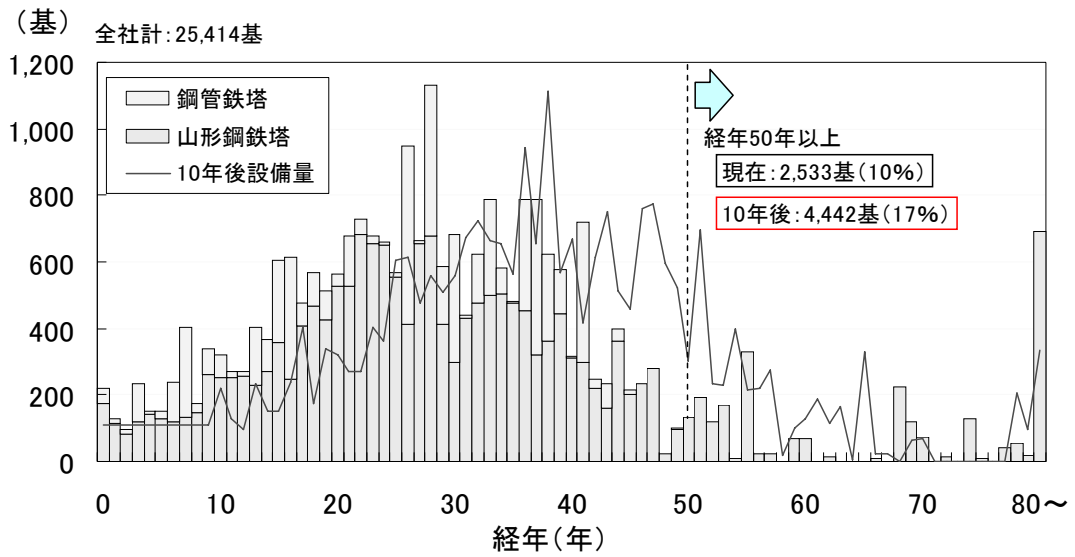
進展度ランク		ボルトナット	部材(未塗装)	部材(塗装)	がいし(ピン部)	がいし金具	電線付属品
1 1年以内に改修が必要なもの							
2 3年以内に改修が必要なもの	2年後						
3 5年以内に進展度1に進展しない程度	1~5年後						
4 5年以内に進展度2にならないもの	5年後 10年後						



### 3.3 九州電力輸配電鐵塔壽命週期管理

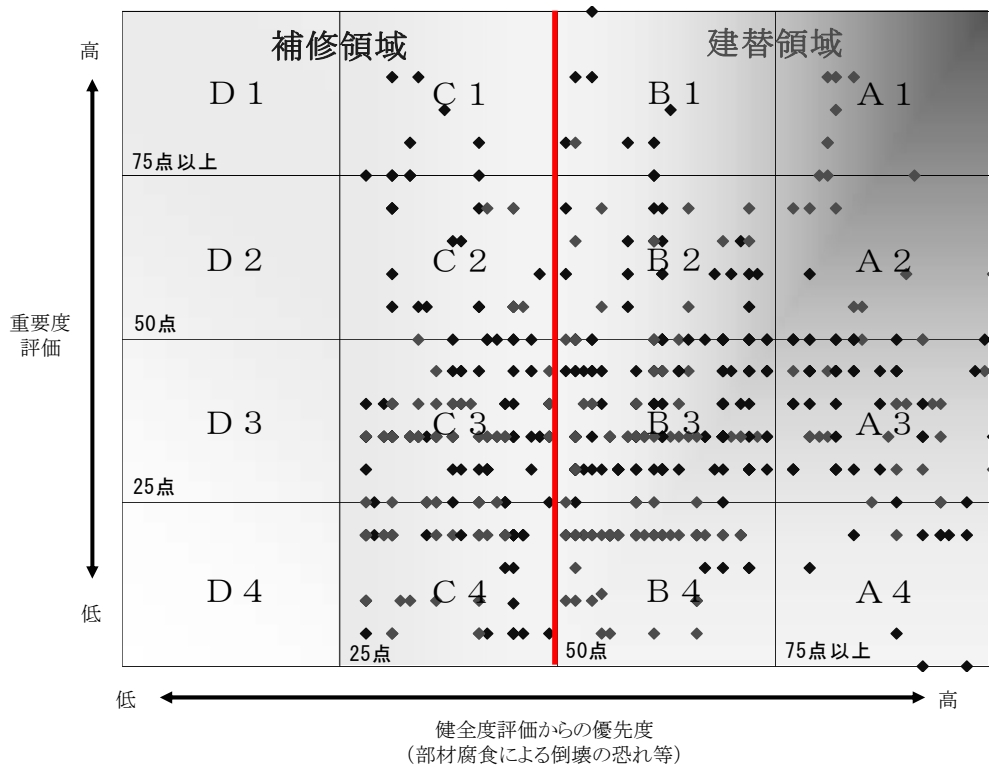
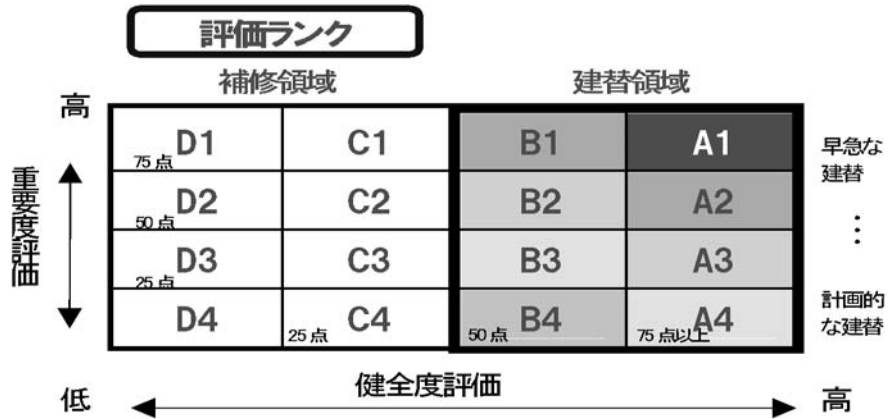
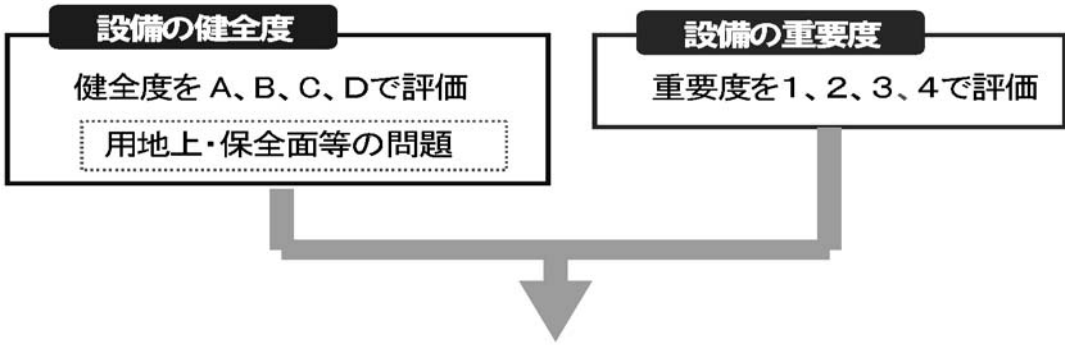
九州電力目前角鋼鐵塔 80 年以上約有 700 座、50 年以上約有 2500 座、10 年後 50 年以上鐵塔將由目前 10% 增加至 17%，面臨鐵塔老化問題。

鉄塔種類	設備量 (鉄塔基数)	設備経年	
		80年以上	50年以上 〔30年後に 80年以上〕
アングル鉄塔	約 19,300 基	約 700 基	約 2,500 基
鋼管鉄塔	約 6,100 基	0 基	0 基
合 計	約 25,400 基	約 700 基	約 2,500 基



九州電力對鐵塔使用年限的評估是採用設備健全度及重要度區分，健全度以 A、B、C、D 遞減區分，大於 D 級需更換，少於 C 級只需修補，再以鐵塔構材的重要性、地形環境、腐蝕環境、維修費用、土地的取得等各項因子量化評比，重要度以 1、2、3、4 遞減區分，再以鐵塔週邊環境，事故時的影響等各項因子量化評比的優先順位。





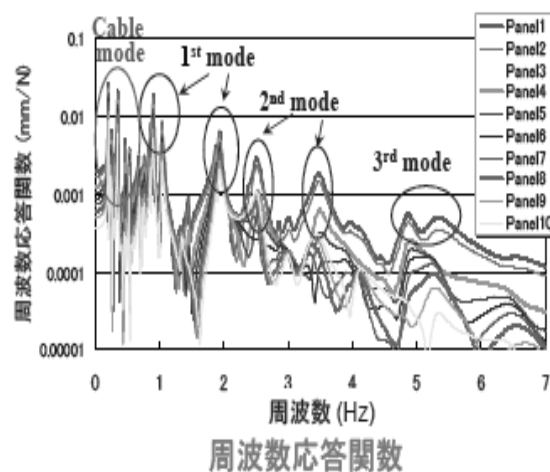
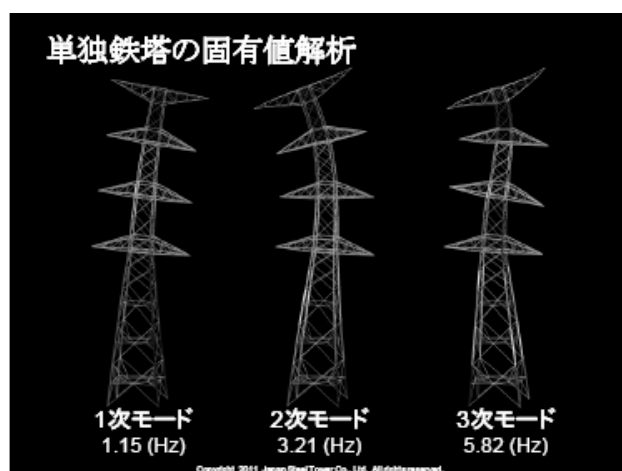
大項目		中項目		小項目	評価点配分	評価表
設備の健全度	設備要因	腐食部材	部材劣化状況 ※懸案ランク考慮	腐食で鉄塔倒壊に進展する恐れがあるもの（主柱材腐食など） [影響度A]	10～100	健全度 Aランク Bランク Cランク Dランク で評価
				腐食で鉄塔強度に影響を及ぼすもの（腹材腐食など） [影響度B]	5～30	
		経年		経年	0～20	
		特殊要因	設備形状 (土壌基礎)	水田・河川近傍	30	
				一般	20	
				山地	10	
			個別要因による不具合	ラミネーション・部材変形	5、40	
				鉄塔装柱上の問題	10	
				地すべり・不同変位	10	
		その他個別特殊要因	10			
	設備環境	腐食環境 (劣化進行度予測) ※腐食マップ考慮		30年 以下	30	
				31年～50年	15	
				51年 以上	0	
				腐食環境（特殊）	0～30	
	ライフサイクルコスト	恒常分保守費用 (設備維持に必要な恒常的な費用)		伐採費用	1～3	
				塗装費用	1～3	
				ボルト・腹材取替費用	5～9	
環境負荷度 (伐採状況)		伐採本数	1～5			
用地上・保全面等の問題	—		伐採交渉難航箇所	10		
			土地開発阻害箇所	10		
			その他保全面の問題	10		
合 計				50点を超える場合を建替領域（Aランク、Bランク）とする		
設備の重要度	周辺環境 (横断物件)	—		電線地上高	5～35	重要度 1,2,3,4 で評価
				重要横断	30	
				市街地	10	
				交叉物件	5	
	事故時影響度 (供給支障量)	—		101MW 以上	20	
				31MW～100MW	10	
30MW 以下				0		
合 計				—	100	—

### 3.4 日本鐵塔輸配電鐵塔延壽的方法

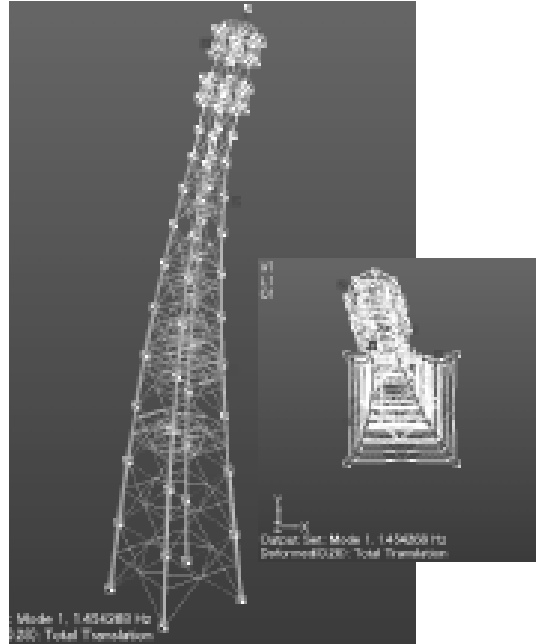
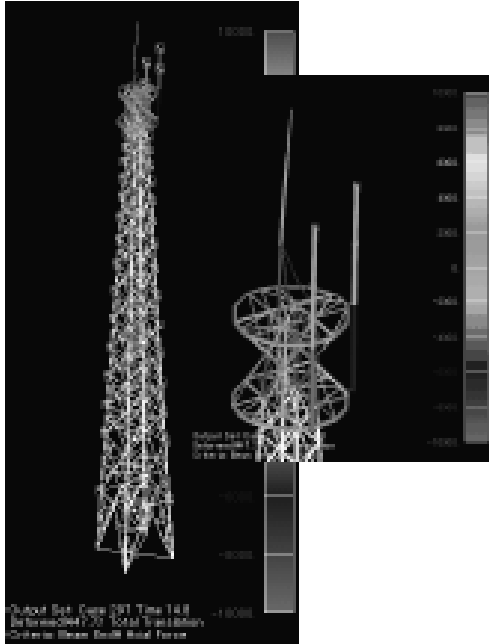
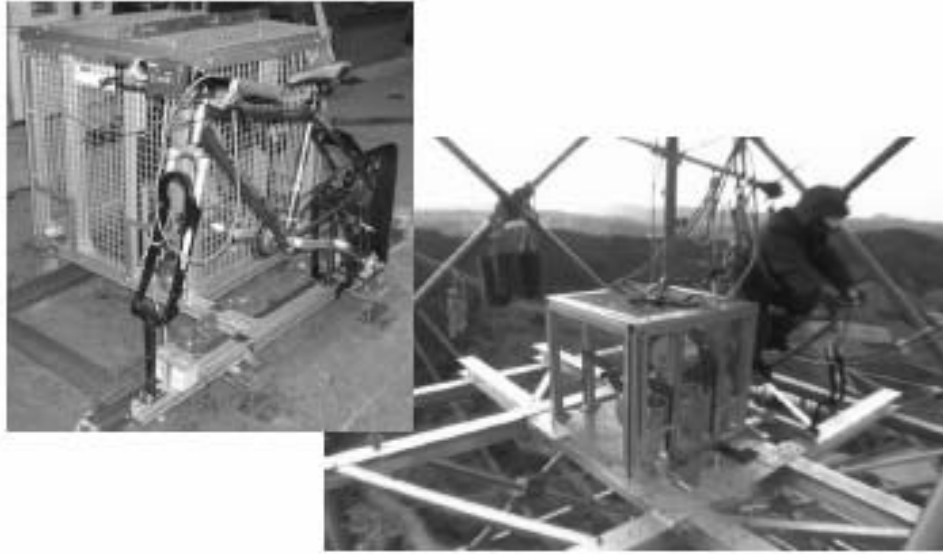
日本鐵塔輸配電鐵塔延壽的方法包括採用

1. 構造物的振動特性，共振特徵分析，振動測試。
2. 颱風時的應答，颱風觀測，動態分析。
3. 地震時的反應，動態分析。
4. 不同位移的分析，螺栓滑動分析。
5. 開孔鋼管的強度，紮實的 analysis。

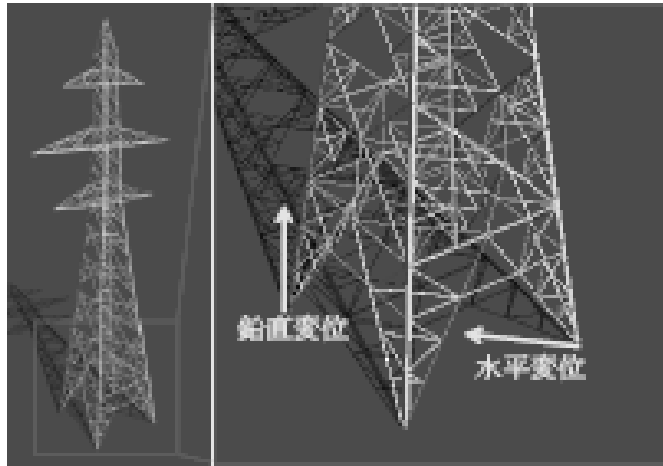
鐵塔重建優先度量分配的評價指標，分別從單一鐵塔的特徵分析，判斷週波數的自然頻率，分別採用各種加速規、張力計等測量感測器，作加速振動的模擬試驗，包括直接人力加振，設計機械出力加振，修正有限元素應力分析與實際振動模態，最後亦利用有限元素分析螺栓的滑動。



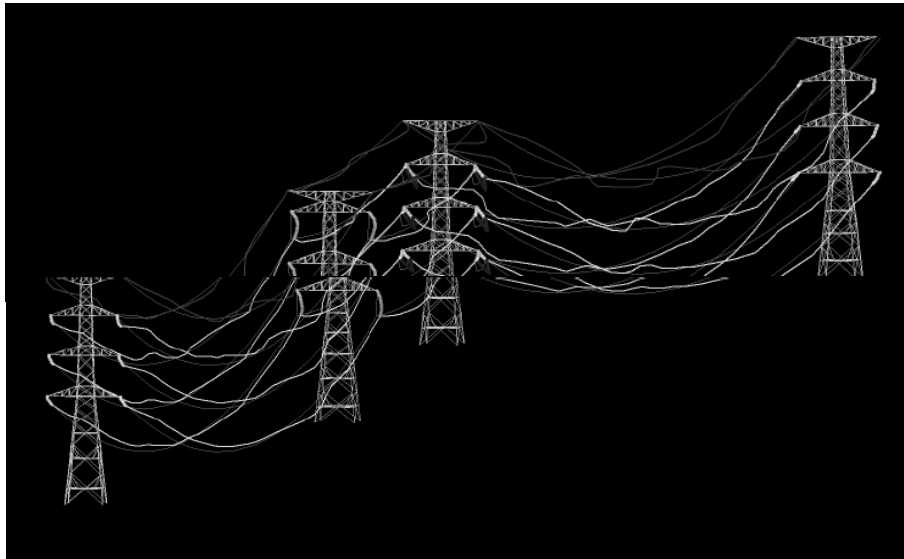




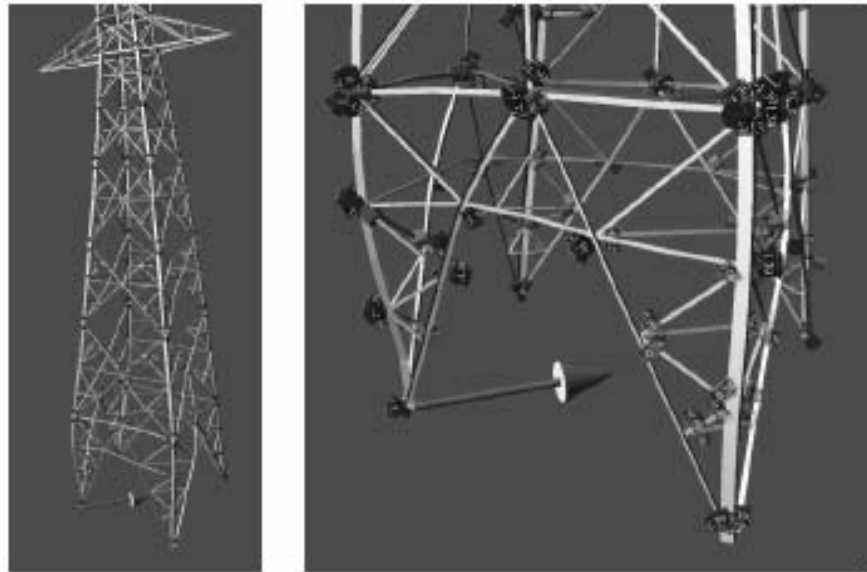
單塔地震時反應動力的分析



強迫基礎的分析



輸電鐵塔的地震反應分析



考慮螺栓滑動的有限元分析

### 3.5 中華電力輸配電鐵塔資產管理

#### 1. 狀況評估：詳細的檢查和樣品的試驗

鋼構件檢查項目包括，微觀檢查、材料性質、尺寸量測、接頭觀察、電器持性及破壞性強度試驗等。

#### 2. 熱浸鍍鋅鋼材的剩餘壽命判斷

1 狀況 0：條件良好，無需維護

2 狀況 1：已開始惡化

3 狀況 2：嚴重生鏽

4 狀況 3：損壞

根據香港的環境條件

狀況 1：熱浸鍍鋅腐蝕速率每年 8-10  $\mu\text{m}$

狀況 2：鋼材的腐蝕率每年 100~150  $\mu\text{m}$

狀況 3：鋼材失效

以下列二項為可靠性和剩餘壽命測定

1. 從設計規範的設計載荷  $q$
2. 對樣品測定試驗的特性強度
3. 根據架空導體剩餘強度的建議，判斷組件的更換。

### 3. 延長壽命的方法

為了保持架空導體在可預見的未來服務，是最合適的延長壽命的方法

1. 只要即時維修及更換
2. 單一的投資加上維修塔鋼
3. 定期檢查（例如每年一次），以監察情況，並確定目前的鋼材

維修

4. 主要維修（如 12 年），以維持鋼材狀態
5. 適當更換電器元件

### 4. 鋼構件狀況及延長壽命的方法

C1 鋼：已經開始惡化



症狀：熱浸鍍鋅層劣化及出現孔蝕

解決辦法：手工具清理、抑鏽劑、面漆

**C2 鋼**：棕色或黑色的鐵鏽，但尺寸沒有減少

症狀：熱浸鍍鋅層部份消失

解決辦法：電動工具表面處理、富鋅底漆修補、抑鏽劑、面漆

鐵塔需求塗料必須具有

1. 附著力（鋅層與塗層）
2. 彈性
3. 塗層厚度和多度
4. 施工狀況
5. 耐雨水
6. 邊緣充夠厚度
7. 使用時間
8. 表面粗糙度
9. 需求使用年限
10. 重塗性

雙重防蝕系統

由於鍍鋅層隨著時間會損耗，加上熱浸鍍鋅不能在現場施作，為了提高使用壽命塔，雙重防蝕系統的使用，即熱浸鍍鋅加上保護塗層系統塗料可應用於塔是新建時，塗料可應用於一些老化後，但不能延遲太久。

## 四、心得與感想

輸電鐵塔資產管理是進行輸電鐵塔壽命週期管理；施行輸電鐵塔設備風險評估，計算設備風險值及進行風險決策，利用鐵塔殘餘壽命評估的方法。建立鐵塔腐蝕狀況評估(如進行鋼構、防蝕材料的腐蝕影像辨識、鋼材薄化量測、鋼構及防蝕材料的耐用年限推估等)。

鐵塔結構模擬評估的量化基準(如進行鐵塔位置、風場、環境及結構的建模；自然振動頻率分析；鐵塔受風力負載；鐵塔受風力與纜線負載；鐵塔弱化後的安全係數等結果量化)。

訂立輸電鐵塔設備狀態檢修及汰舊換新的決策參考。