

行政院及所屬各機關因公出國報告

(出國類別：實習)

# 輸電鐵塔自動化安全監測及 預防維護技術與應用

服務機關：台灣電力公司供電處

姓名職稱：蕭宇能 六等土木工程師

派赴國家：日本

出國期間：103.12.14~103.12.20

報告日期：104.2.13

QP-08-00 F04

## 出國報告審核表

出國報告名稱：輸電鐵塔自動化安全監測及預防維護技術與應用		
出國人姓名	職稱	服務單位
蕭宇能	土木工程師	供電處
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__國際會議__（例如國際會議、國際比賽、業務接洽等）	
出國期間：103 年 12 月 14 日至 103 年 12 月 20 日		報告繳交日期：104 年 2 月 13 日
出國人員 自我審核	計畫主辦 機關審核	審核項目
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	1.依限繳交出國報告
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	2.格式完整（本文必須具備「目地」、「過程」、「心得及建議事項」）
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	3.無抄襲相關資料
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	4.內容充實完備.
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	5.建議具參考價值
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	6.送本機關參考或研辦
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	7.送上級機關參考
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	8.退回補正，原因：
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（1）不符原核定出國計畫
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（2）以外文撰寫或僅以所蒐集外文資料為內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（3）內容空洞簡略或未涵蓋規定要項
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（4）抄襲相關資料之全部或部分內容
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（5）引用相關資料未註明資料來源
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（6）電子檔案未依格式辦理
<input type="checkbox"/>	<input 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 type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（1）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"/>	<input type="checkbox"/>	（2）於本機關業務會報提出報告
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	（3）其他 _____
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	10.其他處理意見及方式：

主管處

李專總：

報告人：

主管：

主管：

副總經理：

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「公務出國報告資訊網」為原則。

## 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：「輸電鐵塔自動化安全監測及預防維護技術與應用」出國報告

頁數 40 含附件  是  否

出國計畫主辦機關／聯絡人／電話：台灣電力公司／陳德隆／  
23667685

出國人員姓名／服務機關／單位／職稱／電話：蕭宇能／台灣電力股  
份有限公司／供電處／建築設計專員／02-23668610

出國類別： 1 考察  2 進修  3 研究  4 實習  5 其他

出國期間：103 年 12 月 14 日至 103 年 12 月 20 日

出國地區：日本

報告日期：104 年 2 月 13 日

分類號／目：交通建設／其他

關鍵詞：自動化監測系統、光纖光柵預警系統、耐腐蝕螺栓。

內容摘要：目前國內結構物監測系統多為研究人員親赴現場將監測資料取回，所能記錄及處理之資料皆有限。本研究之目的為針對日本鐵塔案全評估模式及自動化監測案例，撰寫相關監測分析的實用性，以及未來發展方向，以供本公司在往後對相關案例可做為借鏡參考。

## 目 錄

壹、實習計畫緣由及目的 .....	4
貳、出國實習過程 .....	5
參、鐵塔基礎破壞模式.....	6
一、塔基安全性評估.....	6
二、坍方預警圖針對三種破壞模式之基礎安全性評估.....	7
肆、自動化監測系統.....	15
一、自動化監測儀器配置.....	15
二、監測儀器設置及監視時間.....	16
三、自動化監測機制.....	17
四、日本案例相關照片.....	18
五、延伸討論.....	23
伍、新一代自動化監測系統.....	26
一、光纖光柵自動化監測配置介紹.....	26
二、鐵塔監測系統佈設.....	29
三、OPGW 系統架構.....	30
四、光纖光柵系統優點.....	31
陸、日本住電朝日精工公司及 ARTES 公司參訪.....	32
一、住電朝日精工株式會社參訪.....	32
二、ARTES 株式會社參訪.....	34
柒、實習心得與建議.....	39
捌、參考文獻 .....	40

## 壹、實習計畫緣由及目的

隨著監測系統設備的快速發展，結構監測系統對現今工程界的必要性可說是愈來愈重要，當一個破壞性的地震發生或颱風侵襲時，重要線路的鐵塔結構必須立刻進行詳盡且迅速的安全評估，確定此類結構物災後之安全性，對於一般既有線路，監測系統之助益在於及早發現受損情況，必要時加以補強或管制，預防可能災害的發生。

當鐵塔長期處於惡劣的環境狀況下，劣化較不易被發現而導致災害的發生，可運用監測系統進行長期性的監測加以防範，有效且快速的監測系統，可做為工程師判斷鐵塔安全性的依據，如果有立即危險，就必須採取適當的應變措施，若能在短時間內就能決定支持物的損害程度，採取有效措施，必能維護供電穩定性，由此可知監測系統建立之必要性。

## 貳、出國實習過程

本次出國實習分別赴住電朝日精工株式會社及ARTES 株式會社參訪，現場研習日本中部電力株式會社、關西電力株式會社轄區內鐵塔，其位於京都、大阪鐵塔基礎自動化預警監控系統實習，期間過程茲分述如下：

日期	起訖地點	活動內容
103/12/14~103/12/14	台北—大阪	往 程
103/12/15~103/12/16	大阪—伊丹市—大阪	前往住電朝日精工(株)公司 本社伊丹事業所及工廠觀摩
103/12/17~103/12/18	大阪—京都—大阪	京都大阪區域鐵塔基礎自動 化預警監控系統實習
103/12/19~103/12/19	大阪—滋賀縣—大阪	前往 ARTES 株式會社螺絲工 廠參訪
103/12/20~103/12/20	大阪—台北	返 程

本次出國實習計畫係依據 103 年度出國計畫第 014 號辦理。目前供電單位已委外建立「輸電設備維護管理系統」，其內容雖已包含鐵塔台帳、地震/氣象資訊、GIS 查詢、巡檢管理等面向，若能針對重點塔基，建立個別自動化預警監控系統，更早發現鐵塔基礎之異狀，則前述維護管理系統將更為完善。本次參訪可觀摩到日本相關之自動化預警監控系統案例，以供本公司爾後輸電塔基預警維護參考。

### 參、鐵塔基礎破壞模式

日本關西地區電力公司針對基礎破壞模式將其簡易分類為三項，以便於評估後續處理方式及自動化監測選擇。

#### 一、塔基安全性評估

(一)邊坡填土工程因豪雨或地震造成表土崩落滑動，破壞或擾動塔基周圍土壤使鐵塔傾倒如圖 3.1。

#### ①盛土の崩壊

地震によって盛土が崩壊する現象

**【リスク】**

鉄塔周辺の盛土の崩壊により鉄塔が傾斜、倒壊

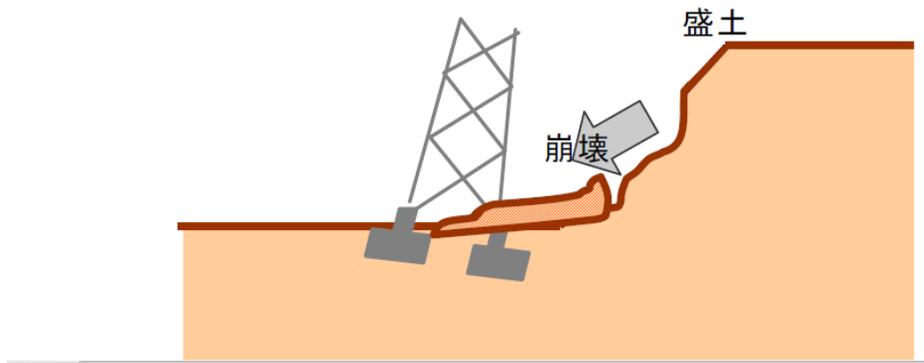


圖 3.1 填土崩落(關西電力株式会社)

(二)地表逕流水經由張力裂縫流入或地下水因素導致淺層地表滑動，鐵塔可能被土石流掩蓋或衝擊造成傾倒如圖 3.2，此類型破壞可經由微型樁或重力式擋土牆保護工程來做預防工事。

#### ②地すべり

地盤内の地下水等に起因して滑ったり、移動する現象

**【リスク】**

鉄塔を巻込んだ地すべりにより鉄塔傾斜、倒壊

※小規模なものは、杭や擁壁などで防止対策が可能

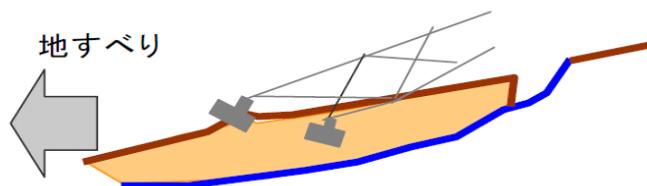


圖 3.2 地滑崩落(關西電力株式会社)

(三)邊坡因向源侵蝕或攻擊岸使軟弱岩層加速風化崩落，導致鐵塔距離懸崖崩落線越來越近如圖 3.3，塔基周圍地盤穩定安全性減低，此類型破壞可由基樁式擋土牆等保護工程來做預防工事。

### ③急傾斜地の土砂崩壊

傾斜地で土地が崩壊する現象

**【リスク】**

鉄塔周辺の地盤が崩壊し、地盤安定上、裕度不足  
※擁壁などで防止対策は可能

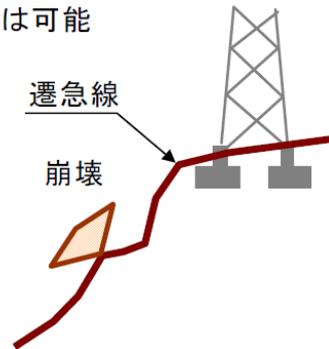


圖 3.3 陡坡土砂崩落(関西電力株式会社)

## 二、針對三種破壞模式之基礎安全性評估

### (一)回填土崩落破壞

1. 選擇鐵塔上方有填土工程地案例先做初步篩選，經過現場勘查後評估有 2 座列管 C 級如圖 3.4，其分級方式如下：

(A 級)：立即執行地質勘查，塔基穩定性立即性檢討，並採取必要工事預防措施。

(B 級)：地質調查，塔基穩定性初步分析，考慮採取預防措施工程設計需要。

(C 級)：加強點檢巡視上方填土有無異狀變化。

※不分等級則視地震時增加巡視檢查。

## ①盛土の崩壊に対する基礎の安定性評価

鉄塔周辺の盛土の崩壊により鉄塔が傾斜および倒壊するリスクがある。

### ■盛土の確認フロー

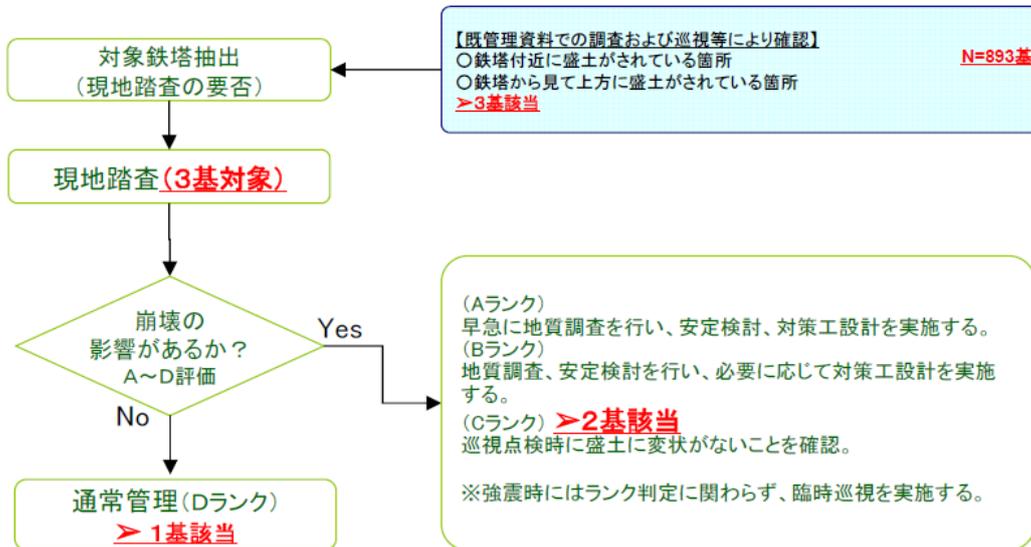


圖 3.4 回填土崩落破壞安全性評估流程(關西電力株式会社)

2. 針對各項分級制度做好塔基安全性評估分類，並給於一致性的標準與對策方案來因應，對應表格如下：

評估分類	評估標準	對應方針
A	填土工事崩潰的話達到鐵塔倒塌危險的可性。已經確認既有填土變形，填土工程的安定性已被損壞。	緊急進行地質調查，基礎穩定檢討，實施對策工事設計。
B	填土工事崩潰的話達到鐵塔倒塌危險的可能性。確認既有填土有小規模的變形。現狀填土工程的安定性有被損壞，將來回填土的安定性損壞的可能性更高。	地質調查，進行基礎穩定討論，必要時須實施對策工事設計。
C	填土工事崩潰的話有可能造成鐵塔倒塌危險。不過，現狀並沒有變形，且沒有損壞填土的安定性的主要原因。	巡視點檢時再確認填土工程有無變形異狀。
D	其他	一般管理

3. 依據現地勘查有危害可能的鐵塔，蒐集現況照片、鐵塔與回填工事的距離、回填土厚度等如圖 3.5；相互對比較歸類後，篩選 C 級以上鐵塔作細部剖面如圖 3.6-7，以回饋設計部門。

<p>■ 500kV青葉線No.68 (新綾部変電所の盛土)</p>  <p><b>評価:Cランク</b> (今後の対応) 巡視点検時に盛土に変状がないことを確認する。</p> <p>鉄塔との離隔: 21m 盛土高さ: 18m</p>	<p>■ 275kV美浜線No.53 (嶺南変電所の盛土)</p>  <p><b>評価:Cランク</b> (今後の対応) 巡視点検時に盛土に変状がないことを確認する。</p> <p>鉄塔との離隔: 2m 盛土高さ: 10m</p>	<p>■ 77kV小浜線No.100 (第三者による盛土)</p>  <p><b>評価:Dランク</b> (今後の対応) 通常管理(特別な管理は行わない)</p> <p>鉄塔との離隔: 5m 盛土高さ: 3m</p>
--	---	---

圖 3.5 回填土崩落破壞可能鐵塔現地勘查結果(関西電力株式会社)

■ 青葉線No.68地質断面図

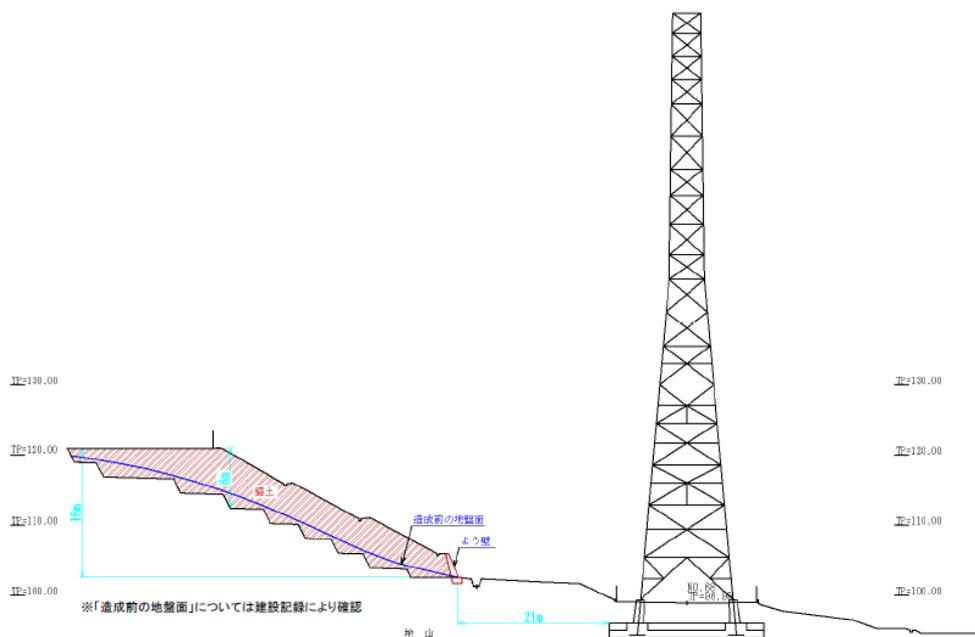


圖 3.6 青葉線#68 地質剖面圖(関西電力株式会社)

## ■美浜線No.53地質断面図

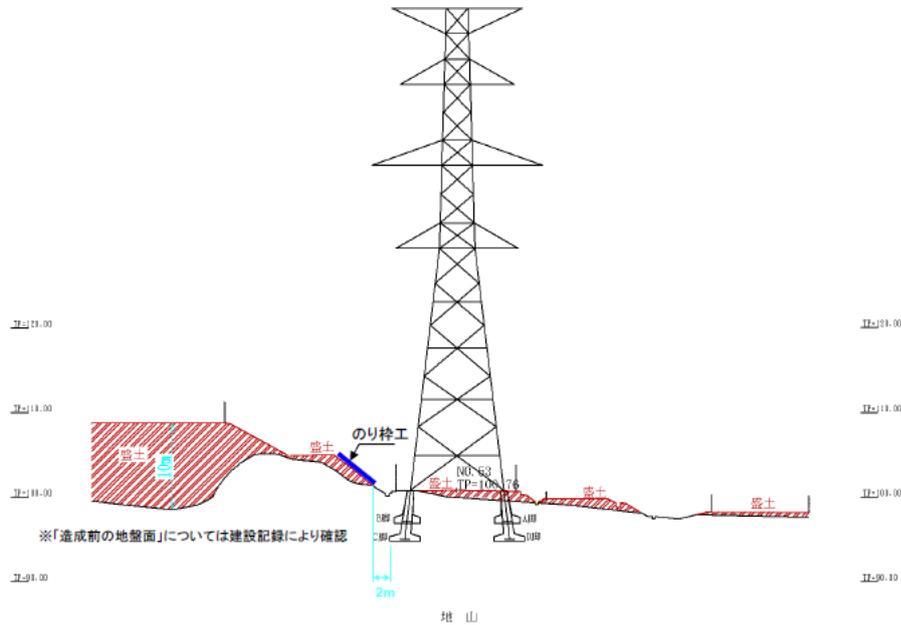


圖 3.7 美兵線#53 地質剖面圖(関西電力株式会社)

### (二)小規模地滑破壊

1. 選擇鐵塔位於地滑區域及地滑警戒區域內先做初步篩選，評估有 3 座列管 B 級，其分級方式同上：

#### ②地すべりに対する基礎の安定性評価

鐵塔を巻き込んだ地すべりによる鐵塔傾斜および倒壊するリスクがある。

#### ■地すべりの確認フロー

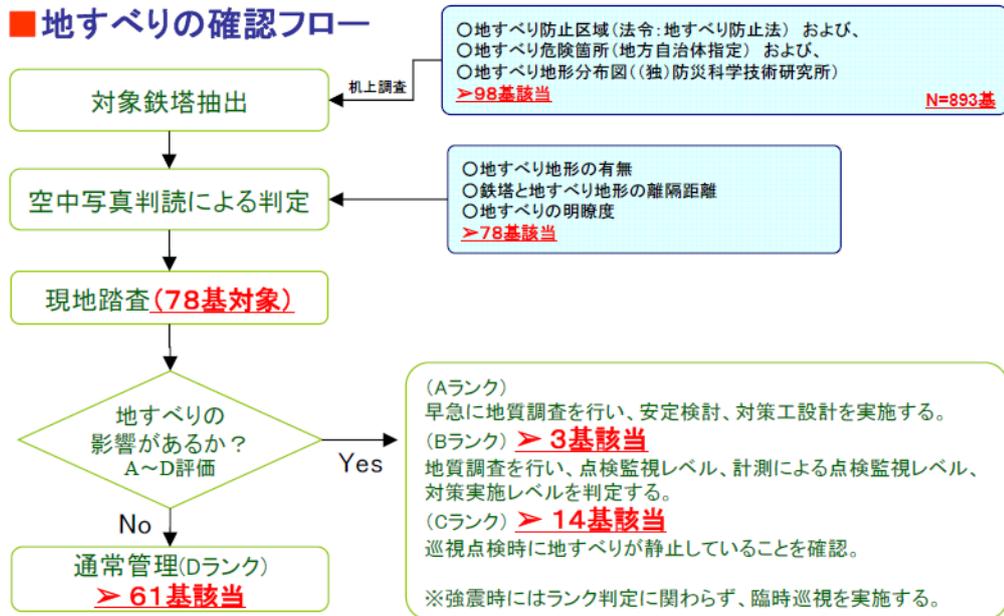


圖 3.8 地滑破壊安全性評估流程(関西電力株式会社)

2. 針對各項分級制度對應表格如下：

評估分類	評估標準	對應方針
A	鐵塔位於有明顯位移速度的滑坡，將來塔基坡面的安定性損壞危險性很高，為了確保鐵塔安全需要緊急的對策因應。	緊急進行地質調查，基礎穩定檢討，實施對策工事設計。
B	鐵塔位於緩慢位移速度的滑坡，將來塔基坡面的安定性有損壞危險性。為了驗證鐵塔的安全，需要預先調查鐵塔位於有位移速度的滑坡相對位置。	進行地質調查，測量鐵塔是否水平，判定後續對策。
C	鐵塔位於靜止的滑坡，將來塔基坡面的安定性有損壞危險性低。有必要進行驗證鐵塔的安全性的追加調查，在暴雨和地震有滑動可能時再巡視，確認定期觀測地點沒有位移。但是周邊活動中的滑坡範圍擴大時，需確認是否有受到波及。	巡視點檢時再確認滑坡是否有滑移現象。
D	其他	一般管理

3. 經過現地勘查後，依據圖形套繪是否位於地滑區域如圖 3.9-10，鐵塔與地滑區域的距離，及地滑速度的快慢來判釋鐵塔分級，篩選 B 級以上鐵塔做變位監測，以避免滑動造成鐵塔損害。

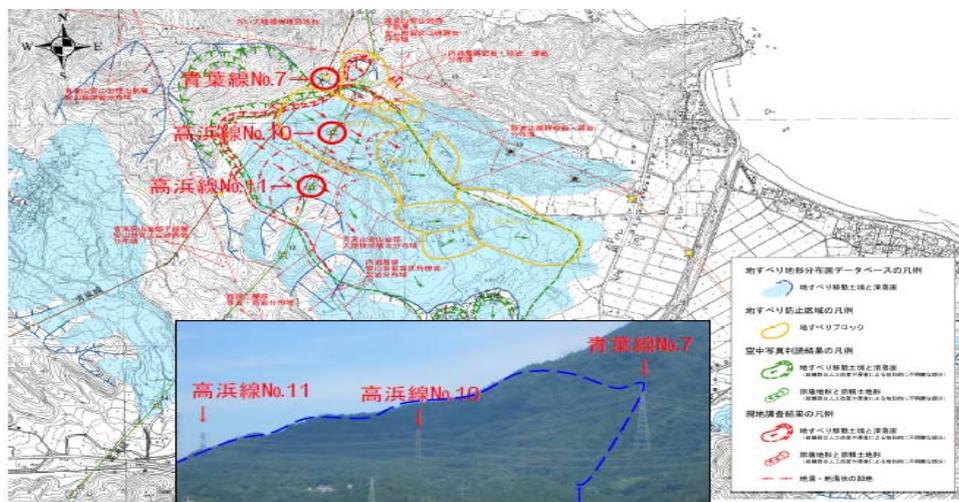


圖 3.9 鐵塔地滑區域套繪圖(関西電力株式会社)

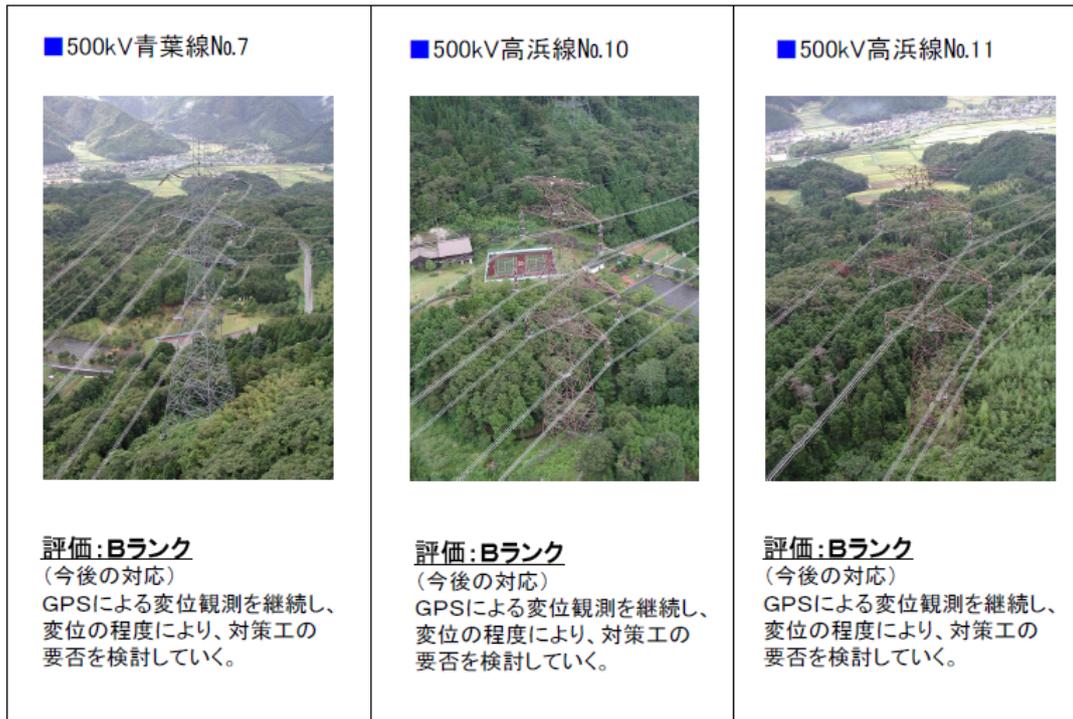


圖 3.10 地滑土破壊可能鐵塔現地勘查結果(關西電力株式会社)

(三) 陡坡崩落破壞

1. 選擇鐵塔邊坡坡度 30 度以上屬於普通基礎者，且未施作地質鑽探調查，篩選評估有 3 座列管 A 級，其分級方式同上：

③ 急傾斜地の土砂崩壊に対する基礎の安定性評価

鐵塔周辺の地盤が崩壊し、地盤安定上、裕度不足になるリスクがある。

■ 急傾斜地の確認フロー

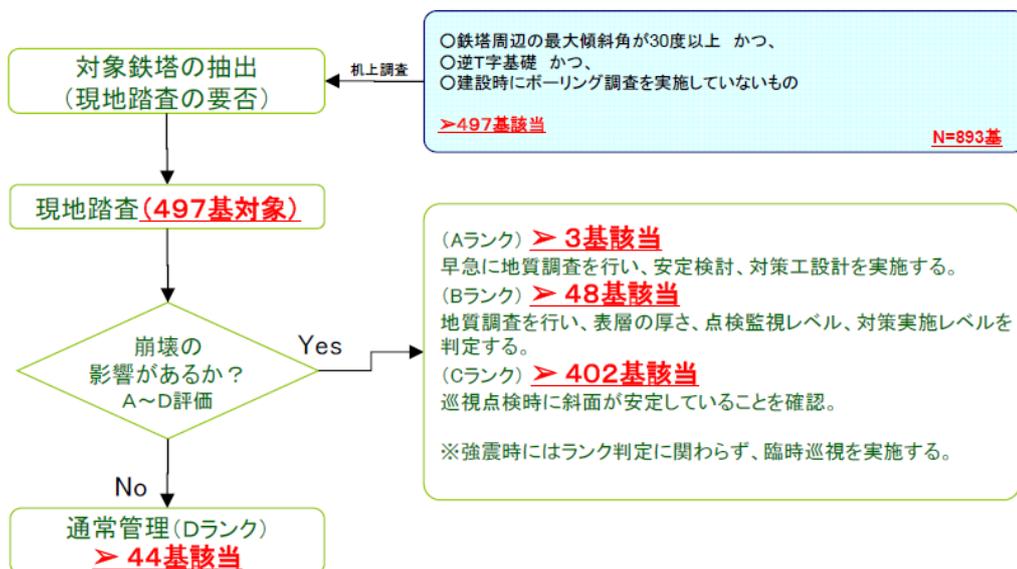


圖 3.11 陡坡崩落安全性評估流程(關西電力株式会社)

2. 針對各項分級制度對應表格如下：

評估分類	評估標準	對應方針
A	坡面崩落影響範圍內有持續崩落現象，導致崩落線持續接近鐵塔，使塔基的安定性損壞的可能性更高。為了確保鐵塔安全需要緊急的對策因應。	緊急進行地質調查，基礎穩定檢討，實施對策工事設計。
B	坡面崩落影響範圍內有張力裂縫，裂縫向坡面崩落位置又有新的張力裂縫發生，地表逕流水會滲入在岩盤面流動形成弱層，導致表土層崩潰或者岩石滑動的可能性增高，將來鐵塔有破壞的危險性。	進行地質調查，表土層的厚度檢查監視，判定後續對策。
C	坡面崩落影響範圍內有張力裂縫，不過裂縫以下坡面表土層現狀穩定。在岩盤面有誘發崩潰的可能性，將來鐵塔有破壞的危險性較低。	巡視點檢時再確認坡面是否穩定。
D	其他	一般管理

3. 經過現地勘查後，研判須對 A 級鐵塔實施保護工作後立即作鐵塔遷移如圖 3.12-14，並於施工期間實施自動化監測，以避免不可預期的災害造成人員損傷。

■ 77kV小浜線No.61 評価:Aランク

(発見時の状況)



(現在の状況: 応急対策実施済み)



(今後の対応) 恒久対策として鉄塔移設を実施予定。

圖 3.12 暫時邊坡保護工程『立即遷塔』(関西電力株式会社)

■ 500kV大飯幹線No.25 評価:Aランク

(発見時の状況)



(現在の状況: 応急対策実施済み)



(今後の対応) 恒久対策としてのり面保護工を実施予定。

図 3.13 暫時邊坡保護作永久補強工程『不遷塔』(関西電力株式会社)

■ 77kV小浜線No.106 評価:Aランク

(現地踏査時の状況: 下方から撮影)



(現在の状況: 応急対策実施済み)



(今後の対応) 恒久対策としてのり面保護工を実施予定。

図 3.14 暫時邊坡保護作永久補強工程『不遷塔』(関西電力株式会社)

## 肆、自動化監測系統

承上，經過一套標準作業程序來分類之後，屬於 A 級列管鐵塔在施工期間，為避免突然性氣候變化(如颱風、豪雨、地震)，導致人員或鐵塔損傷，需設置一套自動化監測系統來作持續性的觀測。

### 一、自動化監測儀器配置：

- (一)電子式地表伸縮計:偵測地表的變位量，儀器長度為 4 公尺，儀器數量 4 座，其中 3 座 1 端配置於塔腳位置，1 端往地滑方向反向固定，另 1 座加強配置於張力裂縫兩端，警報器設置警戒值 4mm/hr 自動發送至伺服器及手機。

### 2-2. 地表變形觀測 滑坡伸縮計 設置於滑坡頭部的滑落崖



圖 4.1 電子式地表伸縮計(上野将司，觀測及警戒前瞻技術檢討會)

- (二)電子式傾斜計:偵測地表的傾斜角度，儀器數量 2 座，配置於地滑坡面交界位置兩側，並持續傳輸資料至網路伺服器，可於網路平台累計傾斜量。

## 地表傾斜計

水管式傾斜計(手動)、電気式傾斜計(自動)

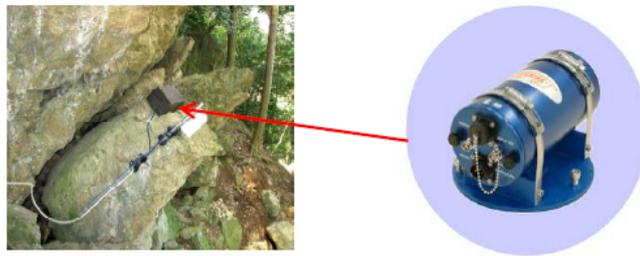
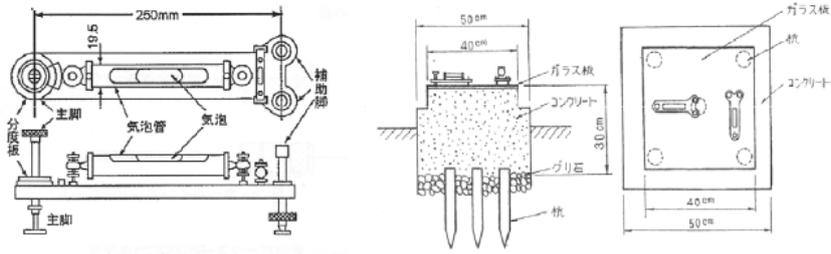


圖 4.2 電子式傾斜計(上野将司, 觀測及警戒前瞻技術検討會)

(三)電子式雨量計:現地降雨量測定,儀器數量1座,配置於沒有滑移的坡面,警報器設置警戒值 10mm/hr 自動發送至伺服器或手機。

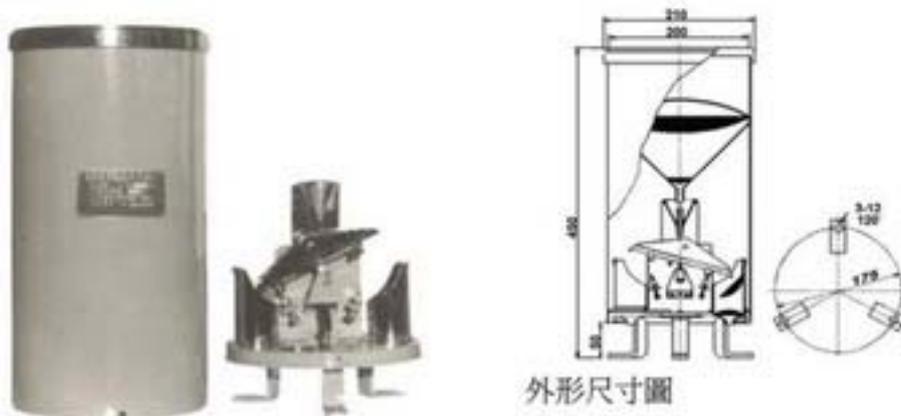


圖 4.3 電子式雨量計(上野将司, 觀測及警戒前瞻技術検討會)

二、監測儀器設置及監視時間:全套儀器配置完成需費時 3 日,另監視期間由施工開始起算 3 個月,至塔基改建完成後拆除,並將儀器回收後整復再利用,儀器配置如圖 4.4。

1. 監視システム配置図

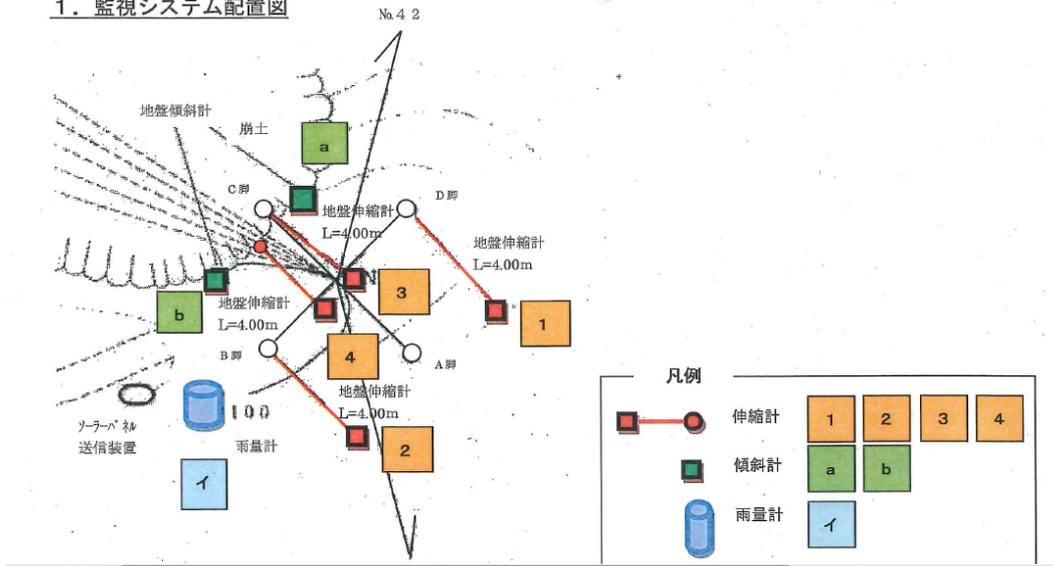


圖 4.4 監測儀器現場設置(日本中部電力株式會社)

三、自動化監測機制: 自動化監測 24 小時蒐集數據, 如無異常每 10 分鐘傳送資訊至資料庫, 由相關部門解析資訊報告狀況, 每 1 個月至現場作監測儀器點檢; 如變位異常超過警戒值則自動發信警報, 由專業部門會同至現場勘查後立即作緊急應變處理, 另於 3 級地震發生及颱風過後亦需立即勘查, 監視架構如圖 4.5。

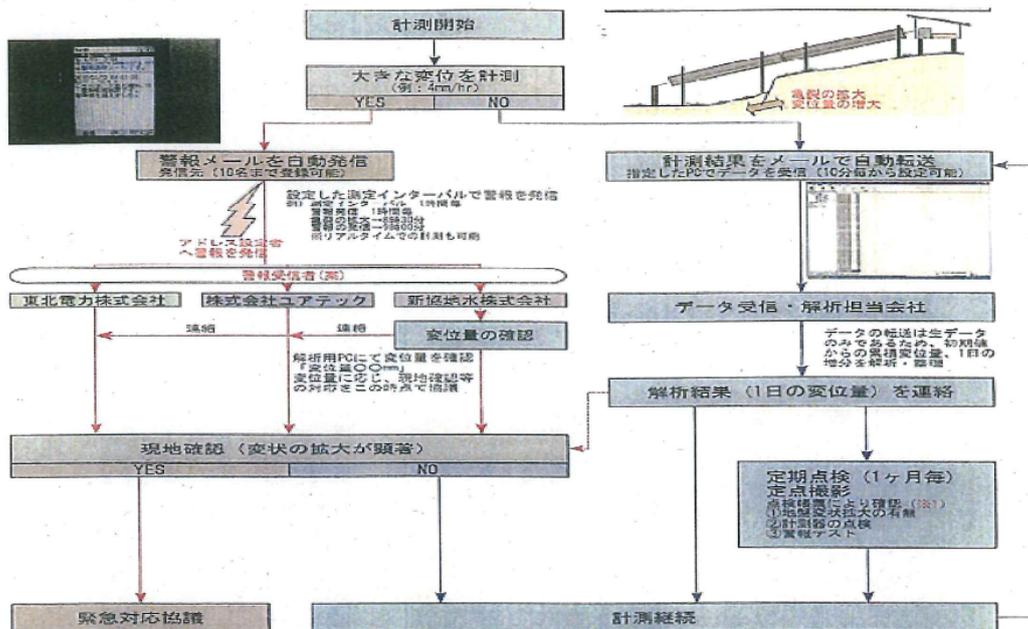


圖 4.5 自動監測機制(日本中部電力株式會社)

四、日本案例相關照片:監測儀器配置現場如圖 4.6，儀器傳輸方式示意如圖 4.7，塔基邊坡滑移災害空照如圖 4.8-11，邊坡保護施作紀錄如圖 4.12-17，鐵塔改建前後現地對照如圖 4.18-22

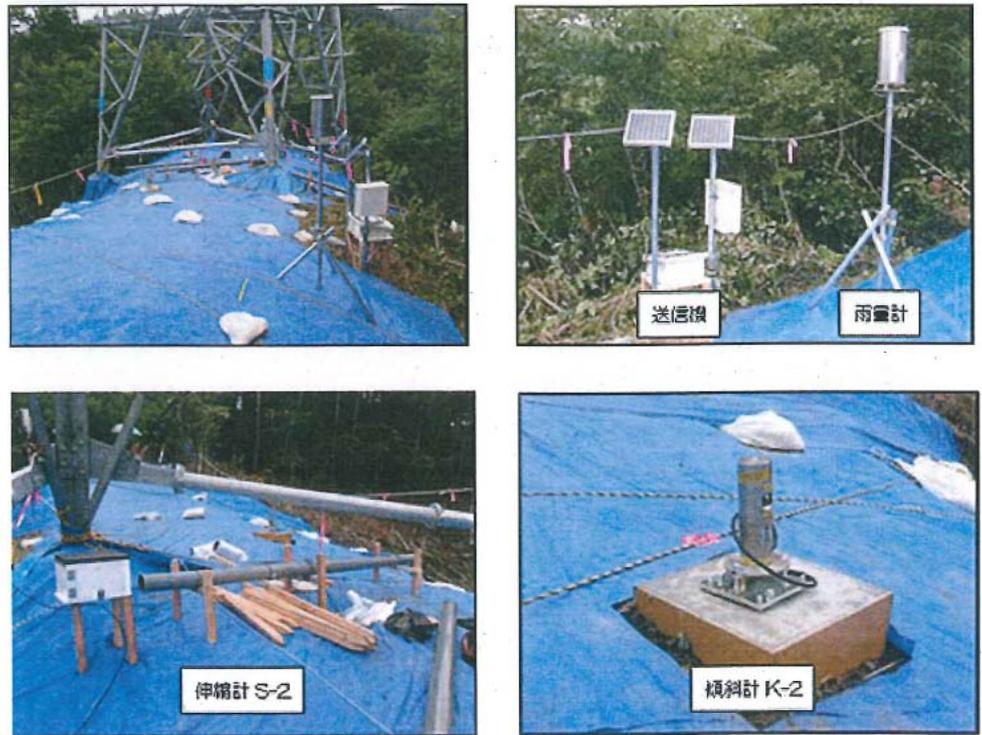


圖 4.6 監測案例儀器配置現場(日本中部電力株式會社)

### 遙感觀測系統的簡要



圖 4.7 儀器訊號傳輸方式示意(日本中部電力株式會社)

3. 状況写真



圖 4.8 塔基邊坡滑移災害空照圖 1(日本中部電力株式會社)



【C脚付近】(老番側より)

【C脚付近】(若番側より)

圖 4.9 塔基邊坡滑移災害空照圖 2(日本中部電力株式會社)

《ブルーシート養生作業中》



圖 4.10 邊坡保護施作紀錄 1(日本中部電力株式會社)



圖 4.11 邊坡保護施作紀錄 2(日本中部電力株式會社)



圖 4.12 邊坡保護施作紀錄 3(日本中部電力株式會社)



圖 4.13 邊坡保護施作紀錄 4(日本中部電力株式會社)



圖 4.14 邊坡保護施作紀錄 5(日本中部電力株式會社)



圖 4.15 邊坡保護施作紀錄 6(日本中部電力株式會社)



圖 4.16 鐵塔改建前現地狀況(日本中部電力株式會社)

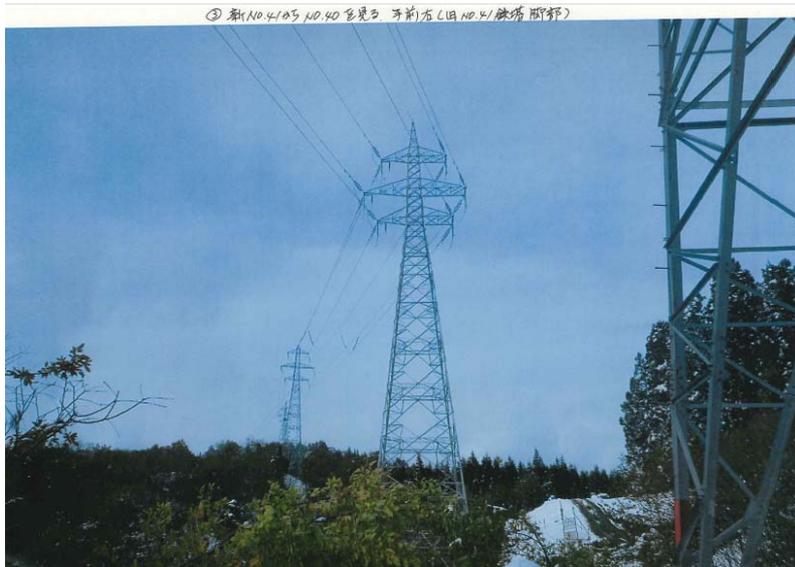


圖 4.17 鐵塔改建後現地狀況 1(日本中部電力株式會社)



圖 4.18 鐵塔改建後現地狀況 12(日本中部電力株式會社)



圖 4.19 鐵塔改建後現地狀況 3(日本中部電力株式會社)

## 五、延伸討論

(一)降雨量與地滑關係:日本最新研究發現，地滑現象並非與地區降雨量成正比，而是與土體含水量成相對正相關，因此發展出 NSWI(in comparison with historical records)預測方法，由每小時土體含水量指數/該位置在過去的十年 SWI 最大值，水文模型由每 5 公里網格單元交叉比對，可驗證地滑發生機率最高位置(打 x 位置)與 NSWI 方法吻合度最高。

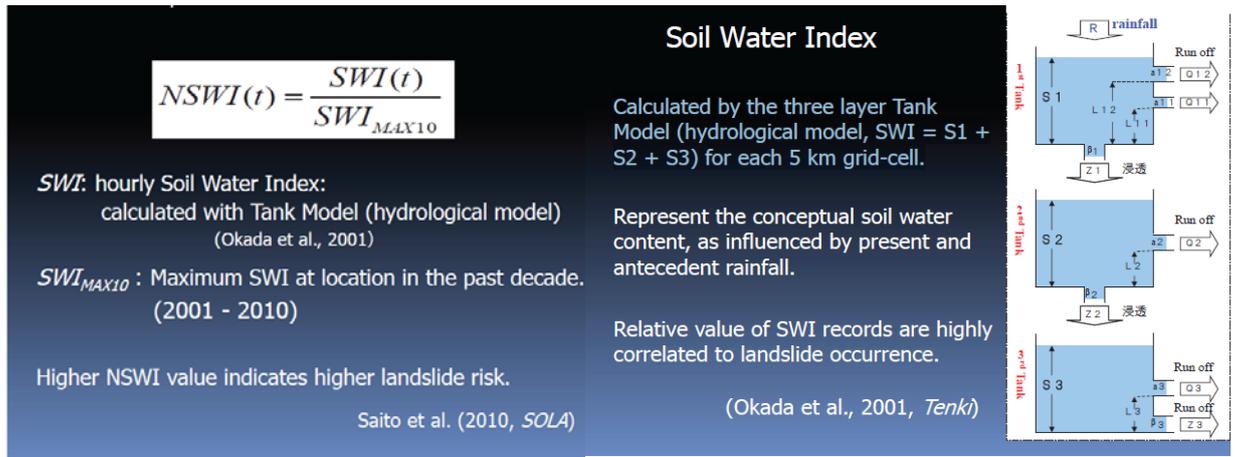


圖4.20 日本NSWI預估方法(齋藤仁, Landslide hazard assessment using Normalized Soil Water Index in Japan)

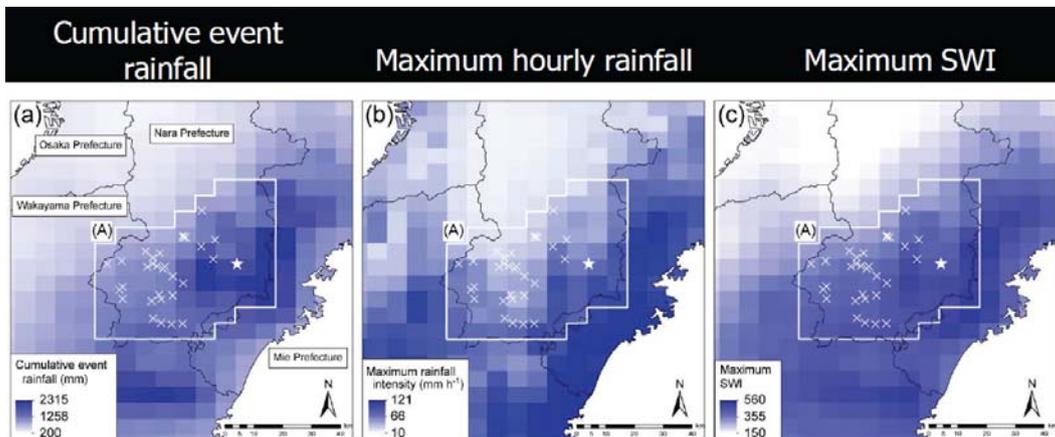


圖4.21 水文模型網格單元交叉比對(齋藤仁, Landslide hazard assessment using Normalized Soil Water Index in Japan)

(二)由滑動速度預測發生地滑時間:

1. 地表等速度滑動階段:由電子式地滑計傳輸資訊可以得知滑動速度(公分/每日)，套用研究公式  $TR \times V = 20$  如圖 4.22，可以概估預測出尚有多少日地盤會發生滑動現象。

## 滑動發生時刻的預測

＜2次蠕動(一定速度)段階＞  
由移動速度預測滑動時刻

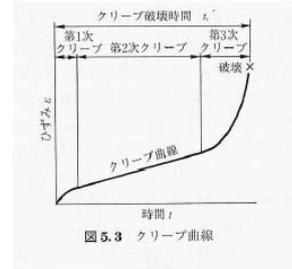


図 5.3 クリープ曲線

齊藤的方法文献

由應變速度預測滑動時刻

近似式:  $TR \cdot V = 20$

TR: 至滑動の日數

V: 滑動速度  
(cm/day)

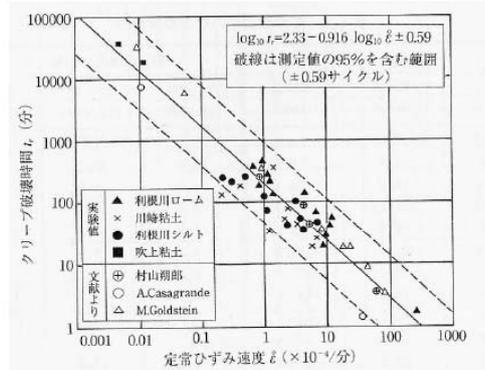
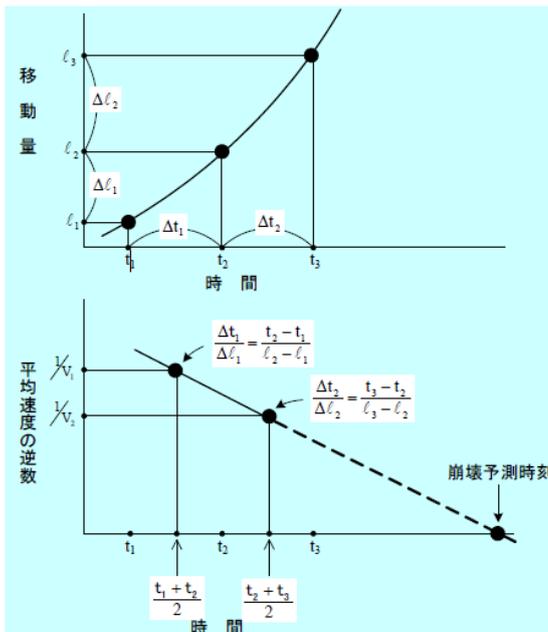


圖 4.22 等速度階段地滑時間預估(上野将司, 觀測及警戒前瞻技術検討會)

- 地表等加速度滑動階段: 由電子式地滑計傳輸資訊可以得知滑動速度(公分/分鐘), 取得兩段時間內移動量, 以時間為橫軸平均速度倒數為縱軸, 將兩點線性延伸與橫軸交一點如圖 4.23, 即可概估預測出尚有多少時間地盤會發生滑動現象。

## 3次蠕動(加速)段階 滑動時刻的預測



＜福圓的方法＞

①滑動量和時間的關係  
(上図)

②任意時間段的平均滑動速度的反數(下図)

(單位: min/cm)

③平均速度反數點連線的延長線與X軸的交點為滑落時刻

圖 4.23 加速度階段地滑時間預估(上野将司, 觀測及警戒前瞻技術検討會)

(三)坡面傾度與地滑關係:據日本研究統計約 1 萬次地滑發生事件，其中坡面傾度小於 30 度者不到 300 件，其餘坡面傾度大於 30 度者比例佔 97%如圖 4.24，爾後可供本公司塔址選定參考。

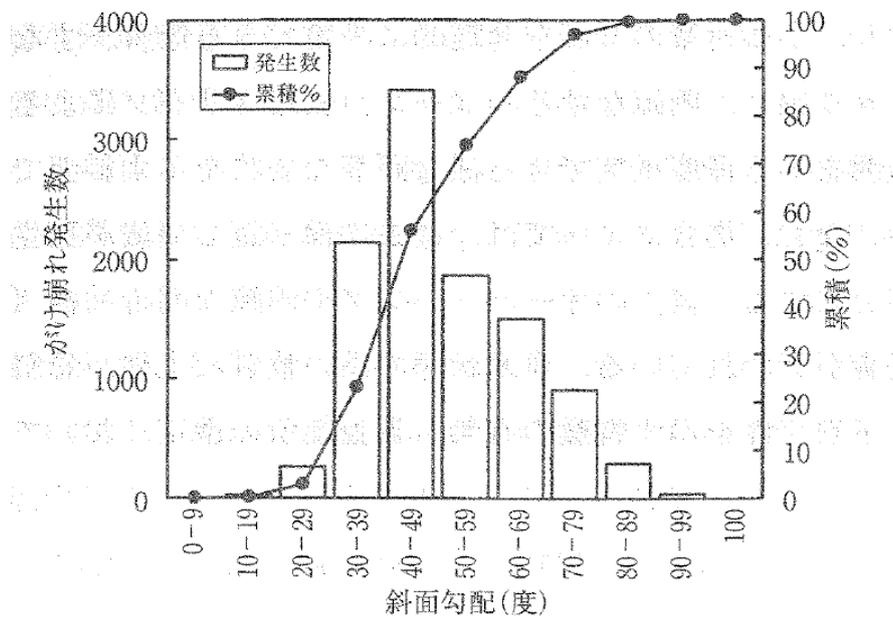


圖 4.24 坡面傾度與地滑關係統計圖(關西電力株式会社)

## 伍、新一代自動化監測系統

國內 729 事件、921 大地震，都造成國家社會巨大的影響，所以如果能夠對這些輸電塔結構以及其基礎之穩定進行即時自動化監測，對於電力供給穩定性之維持將有極大之意義。但是許多位於偏遠地區或山區輸電鐵塔也通常是最需要做安全監測之鐵塔，由於缺乏監測所需電源供應，長時間自動化安全監測如果使用電子式方法將極為複雜且昂貴。而光纖光柵感測器是屬於被動元件，穩定耐用而且可以做分佈式之現地佈設。同一組光源與光訊號解讀系統可以提供 20km 範圍以內光纖光柵感測器使用，只需要將光訊號解讀系統安置在有穩定電源與網路系統之位置，即可做長期自動化之監測。

### 一、光纖光柵自動化監測配置介紹：

- (一)光纖複合架空地線(Optic Fiber Composite Overhead Ground Wire): 以傳統架空地線與光纖電纜兩者搭配而成如圖 5.1.1，利用電力系統中之架空輸配電系統進行通訊之聯結，以建構成一完整資訊及訊號網路系統。



圖5.1光纖複合架空地線(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

(二)OPGW 接續盒(Joint Box):監測儀器的訊號傳輸，須經由接續盒將 20 公里範圍以內光纖光柵解讀，使用其中一芯光纖作為光纖切換控制之用，另外一芯則與監測儀器解讀系統連接做訊號解讀與資料擷取之用。



圖5.2 OPGW接續盒(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

(三)光纖監測儀器:

1. 光纖光柵傾斜儀:在鐵塔底部與中間主要支柱安裝雙向光纖光柵傾斜儀，其功能係量測鐵塔傾斜狀況。



圖 5.3 光纖光柵傾斜儀(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

2. 光纖傾角計:在塔基邊坡鑽孔後安裝於傾斜管中，可串接1~50M 深度，長期並即時監測邊坡位移狀況。



圖5.4光纖傾角計(蔡瑞禎，光纖感測預警系統)

3. 光纖光柵水壓計:於傾斜管底安裝來量測塔址之地下水位。



圖5.5光纖光柵水壓計(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

4. 光纖點焊式應變計:小尺寸高剛性，可使用點焊機固定於鐵塔塔身，使用方便且牢固，用來量測鐵塔應變及應力值。

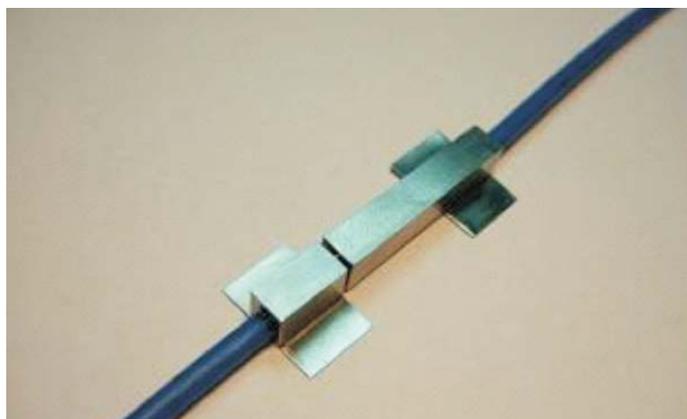


圖5.6光纖點焊式應變計(蔡瑞禎，光纖感測預警系統)

5. 光纖溫度計:可量測溫度或作為溫度補償用途。



圖5.7光纖溫度計(蔡瑞禎，光纖感測預警系統)

(四)監控系統架構: OPGW 光纜佈設將其中兩芯光纖做為光纖感測器切換與訊號傳輸之用，一芯切換控制，另一芯則與監測儀器解讀系統連接，即可達到全自動資料收集與網路傳輸之功能，其監控系統架構概況示意如圖 5.8 所示。

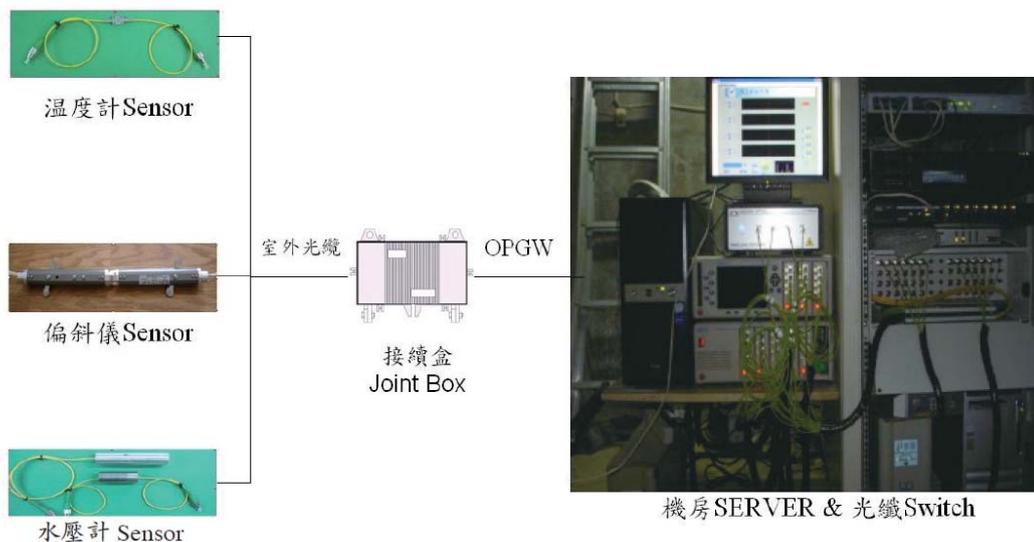


圖 5.8 監控系統架構概況(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

二、鐵塔監測系統佈設:塔身位置可依需求佈設光纖光柵傾斜儀、光纖點焊式應變計、光纖溫度計等儀器；塔址鑽孔可以埋設光纖傾角計、光纖光柵水壓計等儀器，經由接續盒傳輸到光纖複合架空地線，即是一套完整的自動化監測系統。

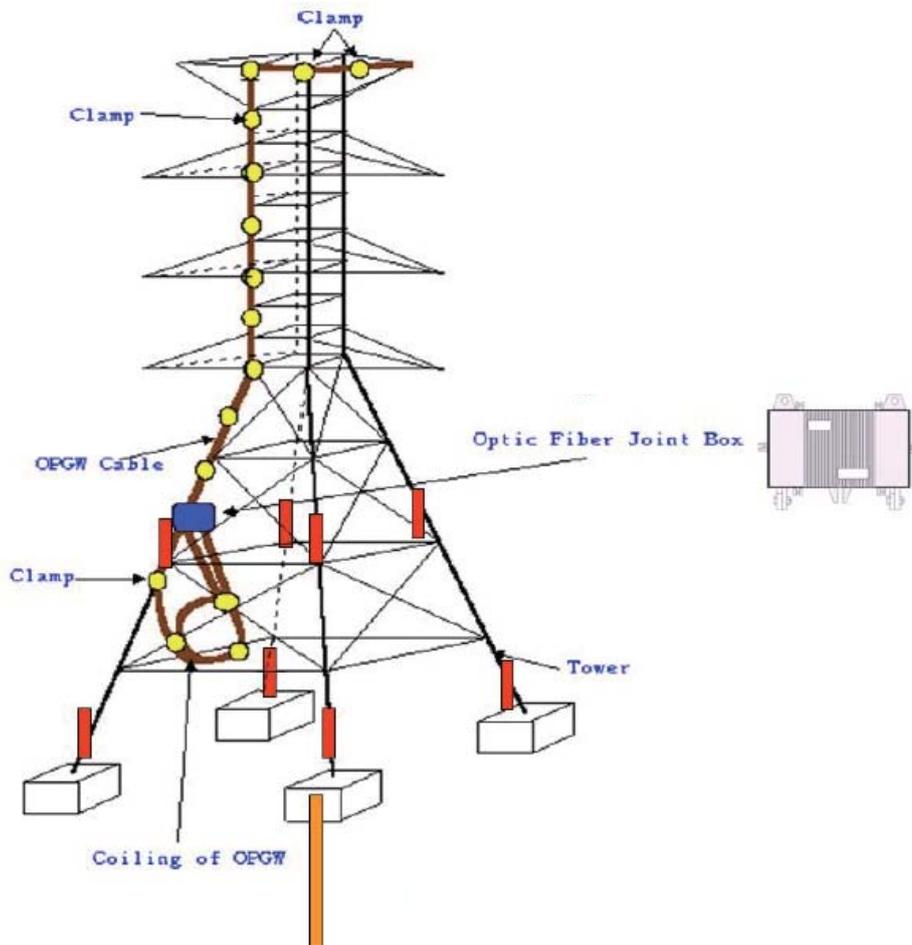


圖 5.9 鐵塔監測系統佈設(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

三、OPGW 系統架構：在監測鐵塔現場只需安裝耗電量約 50w 之光纖切換器一具，此低功率電源可以使用類似電塔警示燈所用太陽電池與蓄電系統供應，利用光纖切換器來輪流切換所需監測之電塔，做光源與量測光訊號之傳輸，使用同一光訊號解讀系統掌控，前後 20km 範圍（總共 40km）以內之光纖光柵感測系統使用既有架設之 OPGW，做光纖切換器控制與光訊號傳輸。

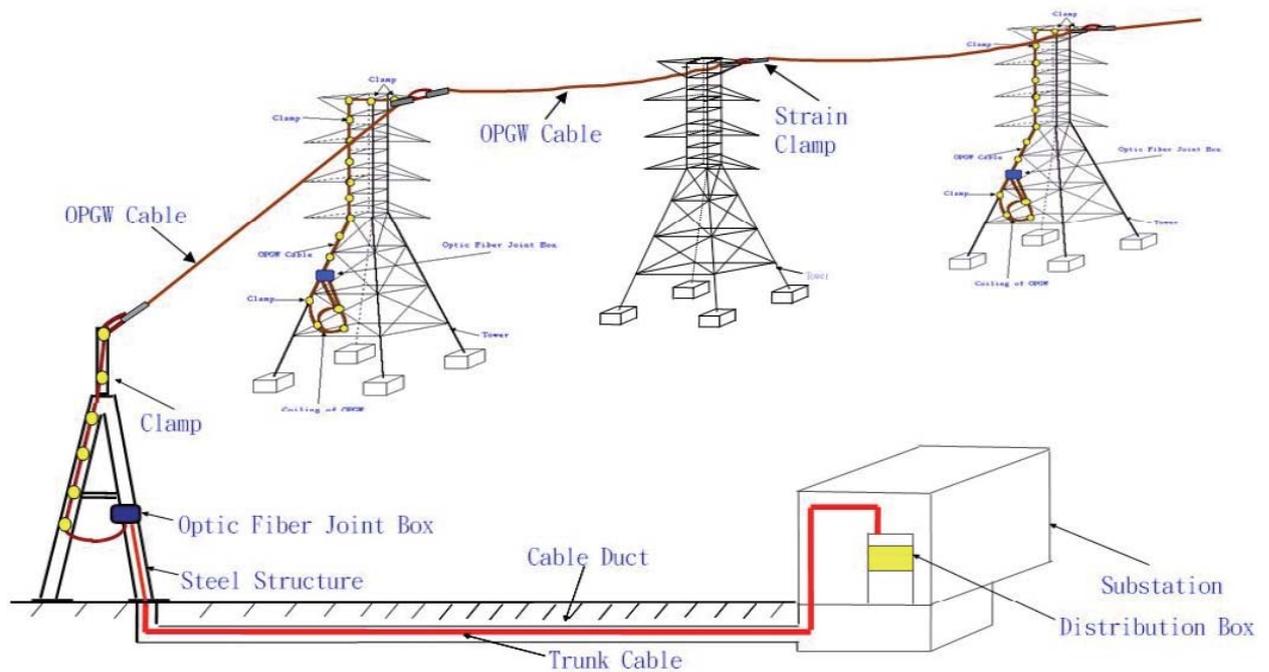


圖 5.10 OPGW 系統架構(劉亦強，電力人·第十六期 2014)

#### 四、光纖光柵系統優點:

- (一) 體積小重量輕，可內藏於塔身中不易被外力破壞。
- (二) 材料強度高幾何韌性佳，可承受高達 10000 次反覆測試。
- (三) 能量損耗低傳輸頻帶寬，量測點長距離傳輸可達 10~40KM。
- (四) 不受電磁干擾，抗雷擊、高溫、高濕、輻射，感測器本身不需電源，以光纖傳輸訊號，惡劣環境下仍保有訊號穩定性。
- (五) 可接受多工量測，同規格的感測器(光纖布拉格光柵)皆可由同一台光纖掃描儀截取波長，同步彙整於一部監測系統。
- (六) 無需校正歸零，光纖掃描儀內建校正機制，光纖感測器出廠即附校正參數，不會因訊號干擾而須重複校正。

## 陸、日本住電朝日精工公司及 ARTES 公司參訪

本次分別赴住電朝日精工株式會社及 ARTES 株式會社參訪，其分別為製造生產輸電鐵塔配件及耐腐蝕螺栓之專業廠商，本章針對本次參訪部分作簡介。

### 一、住電朝日精工株式會社參訪

#### (一) 架空輸電線路配件

##### 1. 跳線裝置

目的為架空輸電線路的跨接線深度調整，使工作性提高，左右搖晃抑制等作用，其分為4類如下圖所示。



圖6.1 架空輸電線路跳線裝置(住電朝日精工株式會社)

##### 2. 間隔器

為符合送電容量的需求及考慮電暈雜音問題而裝設，使活線擺動時不會互相碰撞，區分為4導體及複導體如下圖所示。



徑間スパーサ (ボルトレススパーサ)  
クランプ内のスプリングにより送電線をつねに一定の力で把持する多導體スパーサ

圖6.2 架空輸電線路間隔器(住電朝日精工株式會社)

### 3. 終端夾

有各式輸電終端設備適用於變電所需求等，有以壓力夾住導線的S型T分歧終端夾，終端跳線壓縮套管，分歧型壓縮終端夾，鍍銅跳線壓接套管等裝置如下圖所示。



圖6.3 架空輸電線路終端夾(住電朝日精工株式會社)

### 4. OPGW陶瓷夾板及接續盒

(1)陶瓷夾板為了固定OPGW，使其有充分的支持力的同時，讓光纖傳輸特性不劣化的裝置。一般鐵塔固定可以螺栓鎖緊，各尺寸皆有適用的種類。

(2)接續盒須在嚴酷的自然環境和鐵塔振動及烈日曝曬的同時，也能維持功能，此外兼顧出色的防水性、耐振動特性等等。



圖6.4 架空輸電線路OPGW陶瓷夾板及接續盒(住電朝日精工株式會社)

### (二)安全裝置

#### 1. 防止墜落裝置

為防止輸電鐵塔維護時人員墜落災害，相關的防墜裝置，安全帶，升降用安全裝置。



落下(墜落)防止昇降用レール取付状況



圖6.5 鐵塔防止墜落裝置（住電朝日精工株式會社）

2. 保護裝置

接地用具係在停電作業時，防止來自活線方面的靜電感應和感應電流發生災害時使用。風車型電壓檢測器係以電壓檢測器尖端與高壓電線接近，根據電場內的電子流使風車轉動進行檢電。

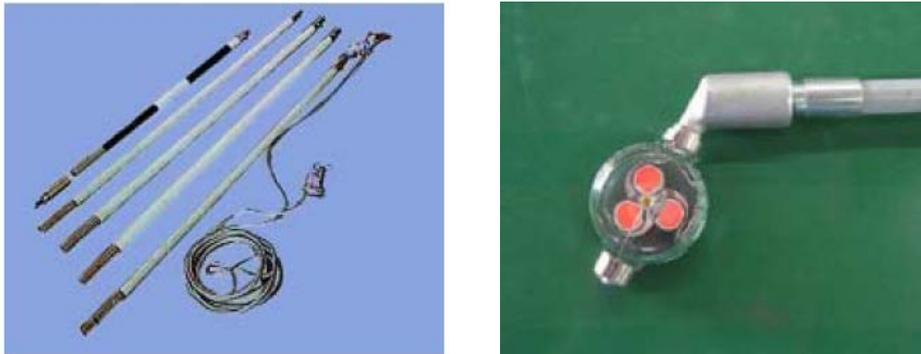


圖6.6 鐵塔安全保護裝置（住電朝日精工株式會社）

二、ARTES 株式會社參訪

(一) 鍍鋅適用範圍

鍍鋅區分為不同鍍鋅量，同樣也有其適用範圍，以下為ARTES 株式會社鍍鋅類別之對應表：

類別	附著量 (g/m <sup>2</sup> )	適用範圍
HDZ A	-	厚5mm以下的鋼材、鋼製品、鋼管類，直徑12mm以上的螺絲及厚2.3mm的墊圈類。
HDZ B	-	厚5mm以下的鋼材、鋼製品、鋼管類及鑄造品類。
HDZ 35	350	厚1mm以上2mm以下的鋼材、鋼製品，直徑12mm以上的螺絲及厚2.3mm的墊圈類。
HDZ 40	400	厚2mm以上3mm以下的鋼材、鋼製品、鋼管類及鑄造品類。
HDZ 45	450	厚3mm以上5mm以下的鋼材、鋼製品及鑄造品類。
HDZ 50	500	厚5mm的鋼材、鋼製品及鑄造品類。
HDZ 55	550	嚴酷腐蝕環境下的鋼材、鋼製品及鑄造品類

種類	記号	硫酸鋅 試驗回数	付着量 (g/m <sup>2</sup> )	平均めっき膜厚 μm (參考)	適用例 (參考)
1種A	HDZ A	4回	-	28 ~ 42	厚さ5mm以下の鋼材・鋼製品、鋼管類、直徑12mm以上のボルト・ナット及び厚さ2.3mmを超える座金類。
1種B	HDZ B	5回	-	35 ~ 49	厚さ5mmを超える鋼材・鋼製品、鋼管類及び鑄造品類。
2種35	HDZ 35	-	350以上	49以上	厚さ1mm以上2mm以下の鋼材・鋼製品、直徑12mm以上のボルト・ナット及び厚さ2.3mmを超える座金類。
2種40	HDZ 40	-	400以上	56以上	厚さ2mmを超え3mm以下の鋼材・鋼製品及び鑄造品類。
2種45	HDZ 45	-	450以上	63以上	厚さ3mmを超え5mm以下の鋼材・鋼製品及び鑄造品類。
2種50	HDZ 50	-	500以上	69以上	厚さ5mmを超える鋼材・鋼製品及び鑄造品類。
2種55	HDZ 55	-	550以上	76以上	過酷な腐食環境下で使用される鋼材・鋼製品及び鑄造品類。

圖6.7 鍍鋅的種類和鍍鋅量整理表(ARTES 株式會社)

(二)鍍鋅保護原理

1. 鍍鋅的保護

鍍鋅後表面有1層氧化鋅保護金屬表面，像細緻的鏽薄膜生成，這個保護薄膜強而有力的減緩腐蝕進行。

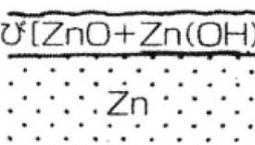
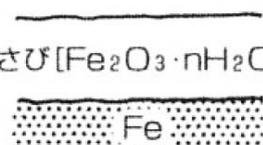
	亜鉛の場合	鉄の場合
さびの生成後	$\text{さび}[\text{ZnO} + \text{Zn}(\text{OH})_2]$  緻密なさびの薄膜が保護皮膜となる	$\text{さび}[\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}]$  粗なさびが進行する

圖 6.8 氧化鋅的保護作用(ARTES 株式會社)

2. 鍍鋅的犧牲保護

在鍍鋅作業時鏽薄膜由於某種理由有損傷產生，鋅根據電離子傾向抑製鐵的腐蝕，這樣的犧牲防蝕作用優於油漆塗裝，因油漆塗裝氧化作用仍會經由損傷路徑直接腐蝕。

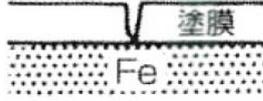
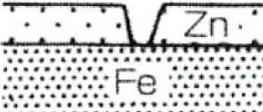
	亜鉛めっき	塗 装
キズの発生		
腐食の進行	 亜鉛の犠牲防食作用により鉄は腐食されない	 粗い鉄さびにより塗膜が大きく破れ腐食が進行する

圖 6.9 鍍鋅保護與油漆塗裝比較 (ARTES 株式會社)

3. 鍍鋅環境的使用年限

鍍鋅環境使用年限以鍍鋅量為橫軸，使用年限為縱軸，將其區分為乾燥、山區、田園、海岸、都市、重工業 6 大類，其中又以重工業區域為最嚴苛，900g/m<sup>2</sup> 高鍍鋅量僅能耐用 22 年。

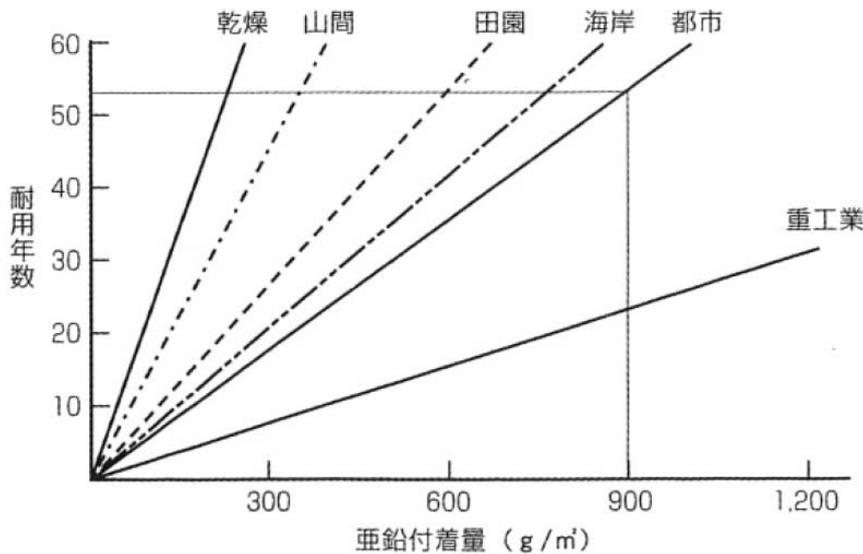


圖 6.10 鍍鋅附著量與環境使用年限對應表 (ARTES 株式會社)

### (三) 鍍鋅膜厚上下限及推測使用年限

通常根據鋼鐵產品的形狀，材質，膜厚附著量有上限及下限規定。

1. 平滑的薄鋼板(3mm 以下)要鍍上 500g/m<sup>2</sup> 的膜厚是不可能的，只有高矽鋼材可以有活躍合金反應。
2. 鋼板(10mm 以上)要鍍上 500g/m<sup>2</sup> 以下的膜厚也很困難，鋅比鐵是活性更強的金屬，有良好的耐蝕性，但表面細緻的氧化鋅需要保護足夠的面層。
3. 同樣使用環境下鍍鋅的使用年限，可由鋅的腐蝕速度和附著量計算出來。

めっき付着量	400g/m <sup>2</sup>		500g/m <sup>2</sup>		600g/m <sup>2</sup>		600g/m <sup>2</sup> (やけ)	
	腐食量 (g/m <sup>2</sup> /年)	耐用年数 (年)						
重工業地帯	40.1	9	40.6	11	40.1	13	18.1	30
海岸地帯	10.8	33	10.9	41	10.8	50	11.5	47
郊外地帯	5.4	67	5.2	86	5.2	104	5.2	104
都市地帯	17.5	21	17.7	25	17.7	30	17.5	31

圖 6.11 鍍鋅附著量推論耐用年限(ARTES 株式會社)

(四) 近年更高耐腐蝕鍍鋅鋁合金螺栓，可在更嚴苛的腐蝕環境下和免維護的前提下使用，以前鋅鋁合金鍍鋅需要先鍍鋅之後冷卻再鍍

上鋁，可是工作效率降低，現在有新工法『LG めっき』改良這個缺點，僅需浸泡鍍鋅池 1 次即可鍍上鋅鋁合金。

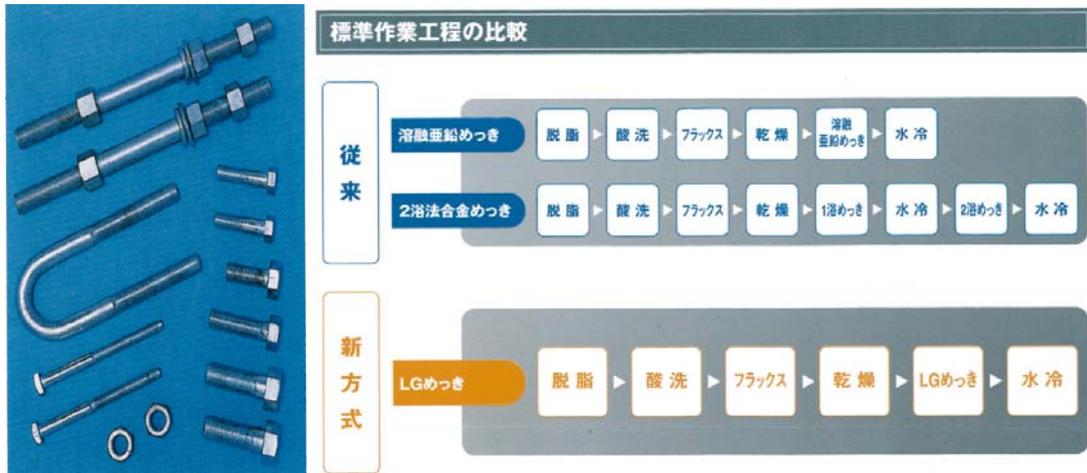


圖 6.12 LG 鍍鋅鋁合金工法比較圖(ARTES 株式會社)

(五) 『LG めっき』的優點

1. 有一般鍍鋅螺栓的 5~ 10 倍的耐久性。
2. 鍍鋅鋁合金螺栓表面被覆堅硬，不易造成表面傷害，膜厚顯微圖片如下圖。
3. 合金底層密貼特性佳，所以鋼材的彎曲與加工性出色。

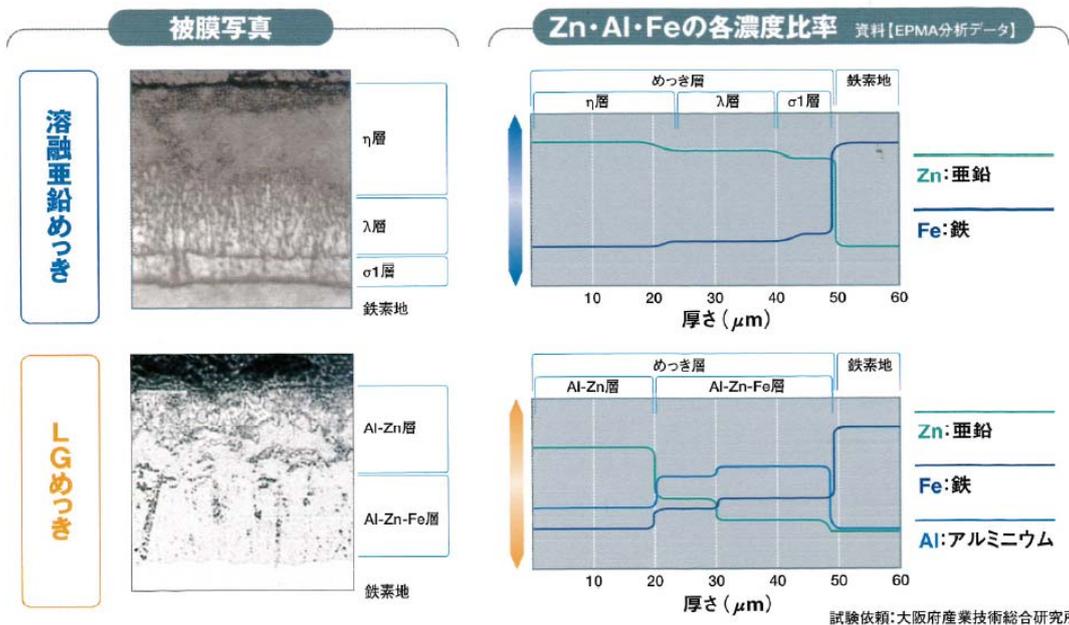
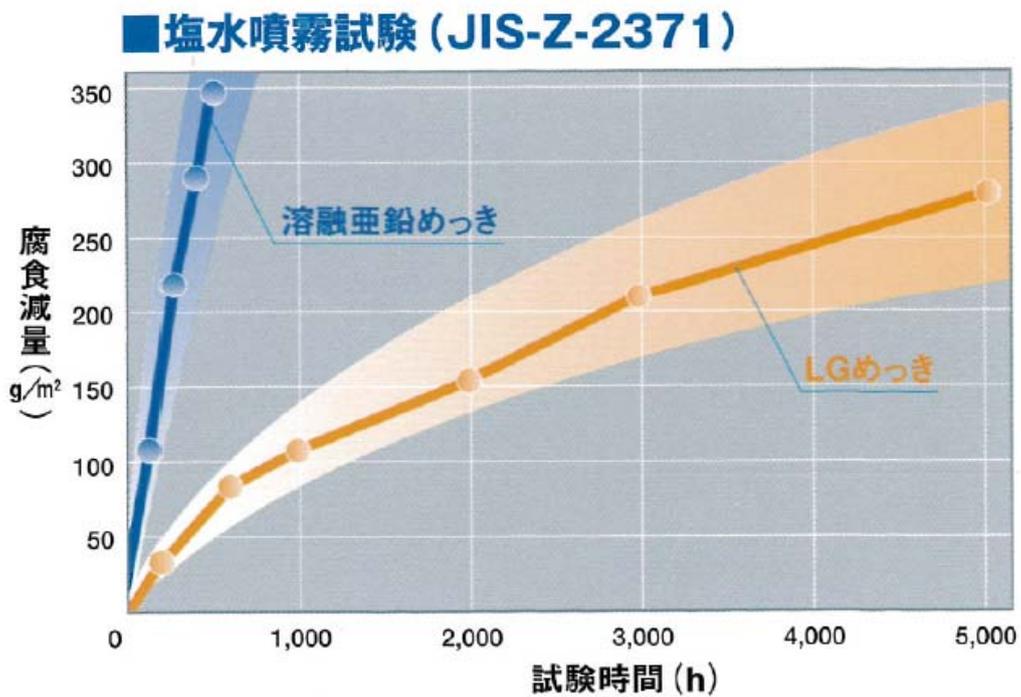


圖 6.12 LG 鍍鋅鋁合金工法與傳統鍍鋅顯微對照圖(ARTES 株式會社)

### (六) 鹽水噴霧試驗

由試驗的結果得知，LG 鍍鋅鋁合金工法的耐蝕性比傳統鍍鋅加強約 5~10 倍左右，因此該輸電鐵塔用螺栓更適用於高度腐蝕環境(特定的鹽霧害地區和在高濕度環境)。



試験依頼:大阪府産業技術総合研究所

圖 6.13 LG 鍍鋅鋁合金工法與傳統鍍鋅試驗比較圖(ARTES 株式會社)

## 柒、實習心得與建議

1. 日本電力公司針對大規模鐵塔基礎安全評估，僅將其區分為三大類填土崩落、地滑破壞、陡坡土砂崩落，並建立安全性分級制度分類後予以一致的標準與對策方案來因應；供電單位依「山區輸電鐵塔基礎環境因素安全評估要點」對地質、邊坡、崖高、水文、植栽等環境因素及線路重要性進行量化安全評估，按評分高低區分為A、B、C、D四級辦理塔基環境安全評估，方式皆為明確有效，惟仍需落實現勘執行面以符合實際現地狀況，方能發揮最大評估效益。
2. 由日本評估分類為A級鐵塔案例中，後續因應措施得採取遷改建或是塔基補強工程等方式，並未強制要求鐵塔遷移；供電單位依「塔基環境安全評估」及「鐵塔安全監測」制定「塔基安全顏色管理模式」，紅、橙、黃、綠四級之塔基維護決策模式，紅色塔基以遷、改建為原則，若經傾斜管監測等評估地盤無滑動之虞可採其它補強方式辦理，其精神亦給予相當的彈性空間，兩者概念應係成本經濟考量。
3. 好的自動化預警監測系統應是可達到災害發生前撤離人員，且在最短時間內通知關鍵人員做適當決策，並水平展開通知第一線維護人員進行適當處置；由本文日本自動化監測案例中僅設置電子式地表伸縮計、電子式傾斜計、電子式雨量計，皆是針對表層地滑影響最顯著的項目監控，且設置於塔基遷建施工中期間，並於施工完成後移除回收設備，既可於災害發生前撤離人員，亦可重複利用儀器設備，達到安全、經濟雙重效益。
4. 光纖光柵監測系統抗雷擊且本身不需電源，可做為輸電鐵塔長久耐用之安全監測技術，擴大OPGW通訊以外之加值運用，未來若在前後20公里內安裝光纖光柵監測系統，無需重複購置解讀儀與電腦設備；如以新東西線等困難維護線路為目標，需要穩定且長期監測鐵塔安全狀況，則本技術才能凸顯其獨特效果。
5. 目前SCADA監控系統係著重於變電所及ADCC調度中心監控，如能將光纖光柵預警監測系統與其結合，將資訊網由變電所延伸到整個輸電線路網絡，相信是未來電網智慧化之理想目標。

## 捌、參考文獻

- [1] 関西電力株式会社(平成24年), 関西電力株式会社原子力発電所の外部電源の信頼性確保に係る実施項目のうち、鉄塔基礎の安定性評価等に関する実施状況報告書。
- [2] 中部電力株式会社(平成25年), 土砂崩壊監視状況報告書。
- [3] 上野将司(2014), 「地すべりの計測結果からわかる興味ある事項」, 応用地質株式会社。
- [4] 齋藤仁(2014), 「Landslide hazard assessment using ormalized Soil Water Index in Japan」, Kanto Gakuin Univeristy / The University of Tokyo。
- [5] 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(2008), 全光纖式邊坡穩定監測系統整合與現地應用測試。
- [6] 蔡伯中(2002), 應用寬頻網路於結構監測系統之可行性研究。
- [7] 廖瑞堂(2001), 「山坡地護坡工程設計」, 科計圖書股份有限公司。
- [8] 張永義(2006), 「利用監測系統於金龍社區邊坡穩定工程之整治規劃研究」, 朝陽科技大學營建工程系。
- [9] 日本地滑對策技術協會(1978), 地滑對策技術設計實施要領, 一卷, 第二期。
- [10] 台灣電力公司輸變電工程處(2008), 施工規範第02562A章「架空電力線鐵塔基礎」。
- [11] 劉亦強(2014), 「電力人・第十六期」。
- [12] 劉亦強(2010), 「輸電線路鐵塔基礎結構安全監測試範計畫」, 電機月刊第20卷第12期。
- [13] 謝登貴(2012), 「鐵塔結構及基礎利用光纖光柵自動化監測系統探討」。
- [14] 住電朝日精工株式會社(2014), 「COMPANY PROFILE」。
- [15] ARTES 株式會社(2014), 「COMPANY PROFILE」。
- [16] 蔡瑞禎(2013), 「光纖感測預警系統」。