行政院及所屬各機關因公出國報告

(出國類別:實習)

輸電線路鐵塔基礎邊坡 防災技術研習

服務機關:台灣電力公司供電處

姓名職稱:蕭宇能 八等土木工程師

派赴國家:日本

出國期間:106.9.3~106.9.9

報告日期:106.11.7

QP-08-00 F04

出國報告審核表

| 出國報告 | 名稱:輸電 | 電線路鐵塔基礎邊坡防災技術研習 | | | | | |
|------|-----------|------------------------|---|--|--|--|--|
| 出 | 國人姓名 | 職稱 | 服務單位 | | | | |
| | 蕭宇能 | 土木工程師 | 供電處 | | | | |
| ļ | 出國類別 | • | □考察 □進修 □研究 ■實習 □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 | : 106 年 9 | 月3日至106年9月9日 報 | 告繳交日期: 106 年 11 月 7日 | | | | |
| 出國人員 | 計畫主辦 | 審 | 核項目 | | | | |
| 自我審核 | 機關審核 | H | | | | | |
| • | | 1.依限繳交出國報告 | | | | | |
| • | | 2.格式完整(本文必須具備「目 |] 地」、「過程」、「心得及建議事項」) | | | | |
| • | | 3.無抄襲相關資料 | | | | | |
| • | | 4.內容充實完備. | | | | | |
| • | | 5.建議具參考價值 | | | | | |
| • | | 6.送本機關參考或研辦 | | | | | |
| | | 7.送上級機關參考 | | | | | |
| | | 8.退回補正,原因: | | | | | |
| | | (1) 不符原核定出國計畫 | | | | | |
| | | (2) 以外文撰寫或僅以所蒐 | 集外文資料為內容 | | | | |
| | | (3)內容空洞簡略或未涵蓋差 | 規定要項 | | | | |
| | | (4) 抄襲相關資料之全部或語 | 部分內容 | | | | |
| | | (5) 引用相關資料未註明資料 | 料來源 | | | | |
| | | (6) 電子檔案未依格式辦理 | | | | | |
| | | 9.本報告除上傳至出國報告資 | 訊網外,將採行之公開發表: | | | | |
| | | (1) 辦理本機關出國報告座記 | 談會 (說明會),與同仁進行知識分享。 | | | | |
| | | (2)於本機關業務會報提出報 | 報告 | | | | |
| | | (3) 其他 | | | | | |
| | | 10.其他處理意見及方式: | | | | | |

主管處

蕭專總:

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:「輸電線路鐵塔基礎邊坡防災技術研習」出國報告

頁數 55 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/主辦土木檢驗專員/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:106年9月3日至106年9月9日

出國地區:日本

報告日期:106年11月7日

分類號/目:交通建設/其他

關鍵詞:輸電鐵塔特性、塔基監測技術。

內容摘要:為精進輸電線路鐵塔基礎邊坡防災技術,提升供電穩定安全,本次前往日本鐵塔公司觀摩鐵塔分析設計技術及塔基防災對策,以強化國內輸電鐵塔防災效能。另為精進鐵塔基礎邊坡防災技術,赴東京大學參加第8屆亞太地區青年研究員國際研討會(YRGS2017),發表論文「鐵塔即時監測預警系統導入維護巡視與應變機制」(The Automatic Monitoring of Transmission Tower as a Maintenance Inspection and Contingency Mechanism)。

身

| 壹 | ` | 實 | 習 | 計 | 畫 | 緣 | 由 | 及 | 目白 | 勺 | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | • • • • • | • • • • • | 4 | ļ |
|---|--|-----|----|----|-------------|--------------|---------|------|-------|-------|------|--------------|------|---------|---------|------|---------|---------|---------|-----------|-------------|----|---|
| 貮 | • | 出 | 國 | 實 | 習 | 過 | 程 | • | •••• | •••• | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | • • • • | ••••• | 5 | , |
| 參 | • | 輸 | 電 | 鐵 | 塔 | 特 | 性 | 分 | 折扫 | 支術 | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | • • • • • | •••• | 6 |) |
| | _ | . , | 考 | 慮 | 螺 | 栓 | :滑 | 移 | 差化 | 立分 | 析 | · · · · | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | • • • • | •••• | •••• | 6 | |
| | = | - ` | 鐵 | 塔 | 構 | 件 | 腐 | 蝕 | 開羽 | 扎損 | 傷 | 應 | 力 | 分标 | 斤 | •••• | • • • • | •••• | • • • • | •••• | • • • • • • | 8 | , |
| | Ξ | _ ` | 輸 | 電 | 鐵 | 塔 | 振 | 動 | 特! | 生分 | 析 | · | ••• | ••••• | •••• | •••• | ••••• | •••• | ••••• | ••••• | ••••• | 11 | |
| | 匹 | , · | 鐵 | 塔 | 分 | 析 | 方 | 法 | ••••• | ••••• | •••• | •••• | •••• | ••••• | ••••• | •••• | ••••• | ••••• | ••••• | ••••• | ••••• | 14 | |
| 肆 | 、 } | 荅 | 基門 | 方 | 災 | 盐》 | 則才 | 支徘 | Ţ | •••• | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | •••• | • • • • • | 22 | 2 |
| | _ | - 、 | 監 | 測 | 儀 | 器 | 配 | 置 | 概 | 要 | ••• | •••• | ••• | •••• | • • • • | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | 22 | 2 |
| | = | - ` | 鐵 | 構 | 與 | 螺 | 栓 | 的 | 監礼 | 見方 | 法 | . | ••• | • • • • | • • • • | •••• | • • • • | •••• | •••• | •••• | •••• | 23 | 3 |
| | Ξ | . ` | 鐵 | 塔 | 基 | 礎 | 與 | 邊 | 坡县 | 监浿 | 力 | 法 | ••• | • • • • | • • • • | •••• | • • • • | •••• | •••• | •••• | •••• | 24 | 1 |
| | 匹 | , | 監 | 測 | 與 | <u>::///</u> | 視 | 管 | 理ス | 方法 | ÷ | •••• | ••• | •••• | • • • • | •••• | •••• | •••• | • • • • | • • • • • | • • • • • | 26 | 5 |
| 伍 | ` | 參 | 加 | 第 | 8 | 屆 | 亞 | 太 | 地區 | 百青 | 年 | 研 | 究 | 員國 | 際 | 研 | 討會 | Y | RG | S20 | 17). | 27 | , |
| | _ | . , | Y | RC | 3 S: | 20 | 17 | 研 | 討有 | 會介 | 紹 | } | ••• | • • • • | • • • • | •••• | • • • • | •••• | •••• | •••• | •••• | 27 | 7 |
| | = | - ` | 東 | 京 | 大 | 學 | 英. | 文才 | 没程 | 高簡 | 報 | •••• | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | •••• | •••• | • • • • • | 31 | 1 |
| 陸 | . 4 | 實 | 習, | ご彳 | 导身 | 與多 | 建設 | 義 | •••• | •••• | ••• | •••• | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | • • • • | • • • • • | •••• | 54 | 1 |
| 柒 | \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ \ | 參 | 考》 | 文庫 | 汏. | ••• | • • • • | •••• | •••• | •••• | ••• | •••• | ••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | •••• | 55 | 5 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

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日本鐵塔公司參訪及東京大學(生產技術研究所)發表論文,期間過程茲分述如下:

| 日 期 | 起訖地點 | 活動內容 |
|-----------------|--------|---|
| 106/9/3~106/9/3 | 台北一東京 | 往程 |
| 106/9/4~106/9/6 | 東京都江東區 | 前往日本鐵塔工業株式会社 (東京總公司)觀摩實習 |
| 106/9/7~106/9/8 | 東京都目黑區 | 前往東京大學(生產技術研究所)參加第8屆亞太地區青 年研究人員國際研討會發表 論文 |
| 106/9/9~106/9/9 | 東京一台北 | 返 程 |

本次出國實習計畫係依據 106 年度出國計畫第 012 號辦理。臺灣位處颱風及地震頻繁之區域,為確保輸電線路鐵塔基礎安全,應針對鐵塔予以監測,並對鐵塔結構之風力及地震力設計深入了解,故出國觀摩日本鐵塔公司鐵塔設計方法,且參與東京大學第 8 屆亞太地區青年研究員國際研討會(YRGS2017),討論最新防災技術。

多、翰電鐵塔特性分析技術

日本山區鐵塔結構由於邊坡滑動,導致塔腳造成不均勻的垂直 及水平變位,在鐵塔構件中產生極大的應力使鐵塔變形,造成供電 不安全疑慮。



基礎の強制変位

圖 3.1 塔腳不均勻變位(日本鐵塔工業株式会社)



圖 3.2 鐵塔主柱材及腹材變形(日本鐵塔工業株式会社)

一、考慮螺栓滑移差位分析

(一)鐵塔構材有變形時,一開始在螺栓滑動之前,此時材料的荷重 與變位是線性關係;當螺栓開始滑動之後,螺栓孔之間仍有空 隙,螺栓滑動時由其承壓力乘上摩擦係數來提供額外消能,材 料的荷重與變位是非線性關係;直到螺栓與螺栓孔接觸無空隙, 材料的荷重與變位恢復線性關係,如圖 3.1。

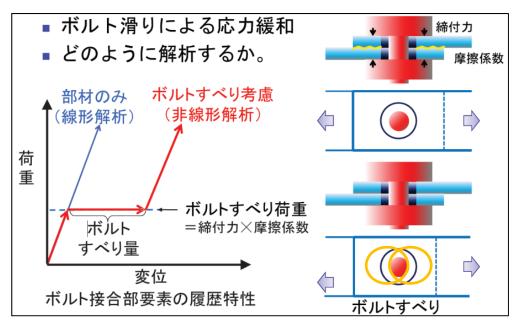


圖 3.3 材料的荷重與變位關係(日本鐵塔工業株式会社)

(二)考量螺栓滑移的因素影響,建立三維模型來分析構件應力在鐵 塔變形的狀態下,評估材料的強度是否足夠,並預測鐵塔受力 後變形的趨勢。

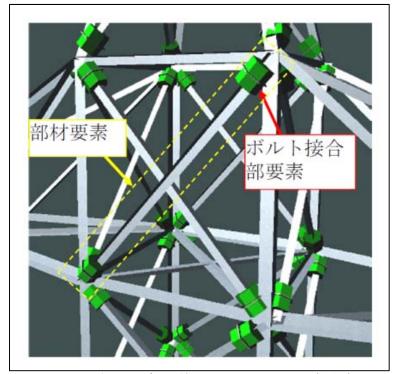


圖 3.4 螺栓接合部元素性質設定(日本鐵塔工業株式会社)

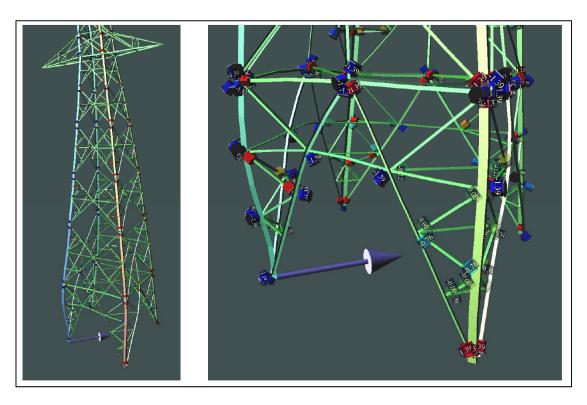


圖 3.5 鐵塔受力後變形圖(日本鐵塔工業株式会社)

二、鐵塔構件腐蝕開孔損傷應力分析

考慮大變形和材料可塑性的複雜非線性分析,利用有限元素開口網格功能,分析構件局部受損傷或腐蝕之材料性質,在構件元素厚度方向3等分分割,分析項目如下:

腐食部材強度の数値解析 有限要素モデル ソリッド要素 解析方法 大変形および材料塑性 を考慮した複合非線形 解析

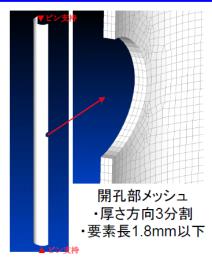


圖 3.6 鐵塔構件腐蝕開孔有限元素模擬(日本鐵塔工業株式会社)

(1)正常短構件和長構件分析比較,短構件可達到全斷面降伏,長 構件僅發揮部分強度即產生全面挫屈。

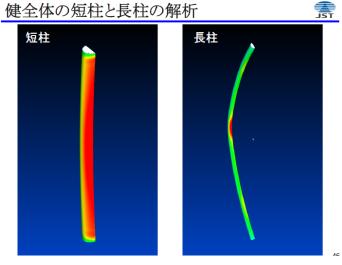


圖 3.4 正常構件分析(日本鐵塔工業株式会社)

(2)有開孔損傷之短構件和長構件分析比較,短構件可達到部分降伏後於開孔位置發生局部挫屈,長構件僅達到彈性強度後於開孔處發生局部挫屈。 即召不完此の何甘以長柱の解析

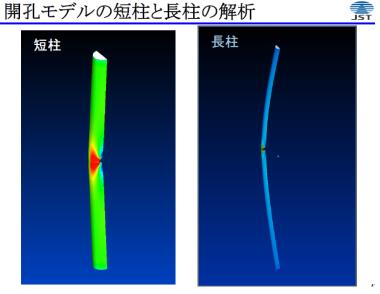


圖 3.7 有開孔損傷短構件分析(日本鐵塔工業株式会社)

(3)有開孔損傷且位置差異之相同構件分析比較,構件皆僅達到彈性 強度後於開孔位置發生挫屈,且構件中間鏽蝕將產生較大變形。



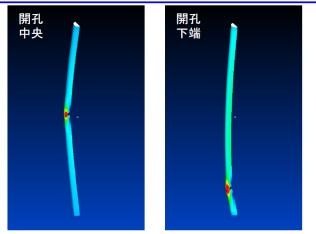
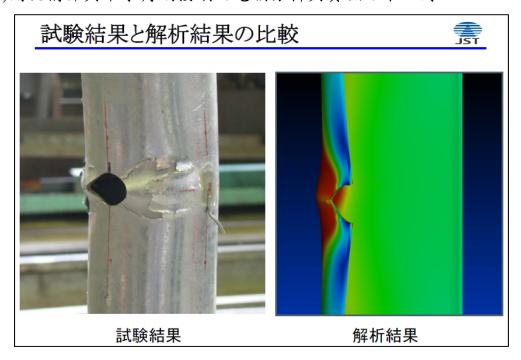


圖 3.8 不同部位有開孔損傷構件分析(日本鐵塔工業株式会社)

(4)開孔構件與十字角鋼接頭之電腦分析與實驗結果比對一致。



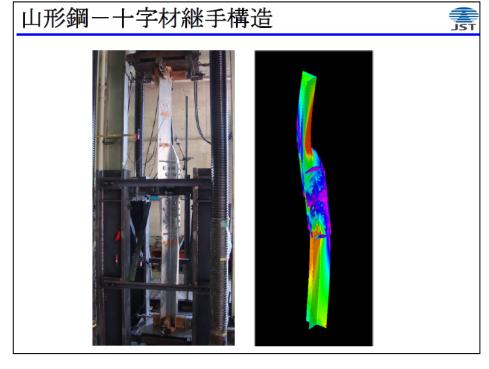


圖 3.9 電腦分析與實驗結果比對(日本鐵塔工業株式会社)

三、輸電鐵塔振動特性分析

鐵塔的自然振動週期可以由質量 m 與勁度 k 決定,阻尼常數 h 則抑制振動效果,角鋼構造鐵塔阻尼常數 h 一般為 2%(大震幅時 5%),鋼管構造鐵塔阻尼常數 h 一般為 1%(大震幅時 2%)。

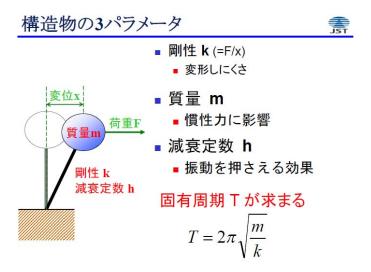


圖 3.10 鐵塔振動示意圖(日本鐵塔工業株式会社)

藉由小型振動台試驗,來驗證當阻尼常數 h=0%時,共振時其振幅會 持續放大,阻尼常數 h=10%時,抑制其振幅收斂於包絡線之內;另由動態 放大效應可以觀察,當外加振動頻率與結構自然振動頻率相同時,則無限 放大。



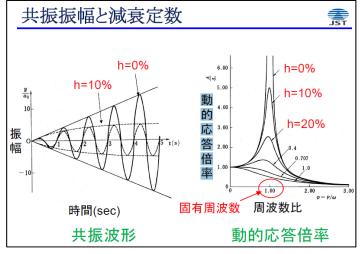
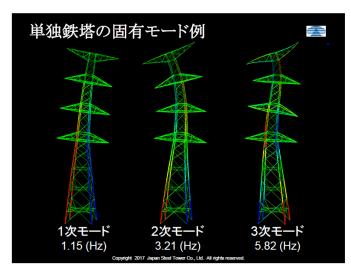
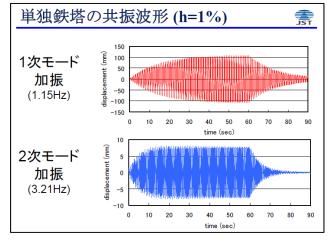


圖 3.11 鐵塔共振示意圖(日本鐵塔工業株式会社)

建構輸電鐵塔分析模型,可以分析出振動第一模態 1.15Hz、第二模態 3.21Hz、第三模態 5.82Hz,並對其塔頂位移作時間歷時分析,可知第一模態振動時,最大塔頂位移約為 10 公分、第二模態振動時,最大塔頂位移約為 0.8 公分,且鐵塔越高,第二、三模態越明顯。考量阻尼常數 h=1%、h=5%、h=10%時,單一鐵塔振動特性相對單純且模態可清楚辨識。





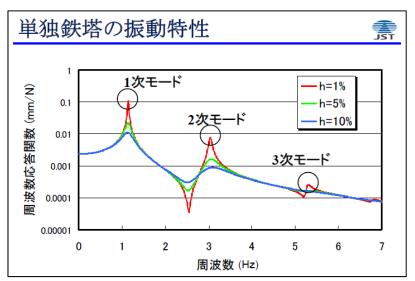
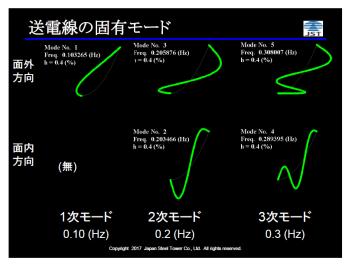


圖 3.12 鐵塔振動模態示意圖(日本鐵塔工業株式会社)

建構輸電線路分析模型,導線阻尼常數 h 一般為 0.4%,分析導線水平方向震盪(面外方向)振動第一模態 0.1Hz、第二模態 0.2Hz、第三模態 0.3Hz;而導線垂直方向震盪(面內方向)振動第一模態不明顯,研究發現遷移模態 0.6Hz,取代第一模態對導線產生較大影響,因垂直震盪皆為往下震盪,反而對導線產生較大拉力。



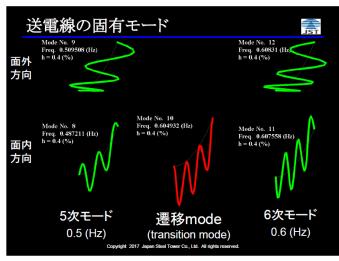
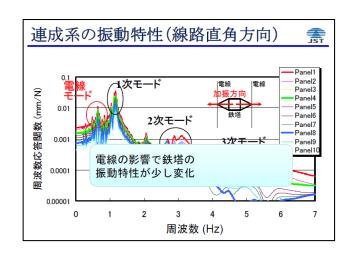


圖 3.13 輸電線路振動模態示意圖(日本鐵塔工業株式会社)

考量輸電線路與鐵塔互制振動特性時,針對垂直線路方向分析,模態已有許多細小峰值,模態仍可勉強辨識;針對線路方向分析,模態已有區間峰值,產生複數第一模態、第二模態、第三模態,故當考量輸電線路的影響時,鐵塔振動的特性會更加複雜。



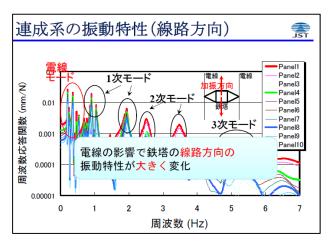


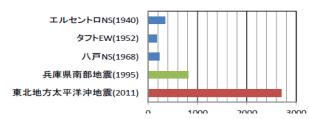
圖 3.14 輸電線路與鐵塔互制振動模態示意圖(日本鐵塔工業株式会社) 四、鐵塔分析方法

日本在2011年3月11日發生的太平洋近海地震及其伴隨而來的 海嘯所引發的大規模災害,大部分離海岸不到3公里的地區被海嘯淹 沒,海嘯亦是導致福島核電站事故的主因,反而地震僅造成的少部分 災害,這與鐵塔本身特性係高度很高、且重量很輕的本質相關,故鐵 塔原則上皆為風力控制,意味颱風對鐵塔災害威脅性更大。

東北地方太平洋沖地震



- 東北地方太平洋沖地震(2011年)
 - 広域で1000galを大きく超える地震波
 - 福島第一原子力発電所の被害。
 - 津波の被害は甚大であったが、地震 動による直接的な被害は比較的少な かった。



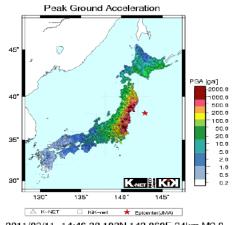


圖 3.15 東日本震災地表加速度觀測分布圖 (日本鐵塔工業株式会社)

為分析鐵塔之耐震能力,首先須設定基準地震動,從地質結構的角度來看,以電廠周邊可能發生的最大地震強度作為鐵塔抗震設計的標準。此基準地震深度預設於 EL-18.5 m 位置,於地震發生時輸入能量到地下位於 EL-200 m 位置之解放基盤面(工學地盤)的模型,由於地面特徵變化很大,在強烈地震運動情況下,地表的震波能量傳輸容易受到影響,且與震源距離的大小成正比,所以假設工學地盤為地下一定深度不受地面影響的地方,地震波都被認為是相同強度。此地震波將傳輸到鐵塔下方之解放基盤面,經過土層放大效應後,轉換為輸入鐵塔地震歷時分析之外力。

地震動の解析

- 解放基盤面以下の地盤モデルに基準地震動を入力し、EL-200m位置 の応答波を解析。
- 鉄塔位置の地盤モデルのEL-200m位置に上記応答波を入力し, 鉄塔 基礎位置の応答波を解析し, 鉄塔の入力地震動とする。

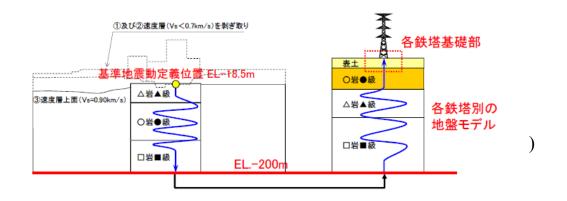


圖 3.16 鐵塔歷時地震力示意圖 (日本鐵塔工業株式会社)

日本鐵塔公司以玄海廠為分析案例,考量三個固定震源產生之基準 地震動(設計反應譜 540gal、城山南斷層 268gal、竹木場斷層 524gal)及 兩個非固定震源產生之基準地震動(留萌地震波 620gal、賀祥地震波 528gal)對廠內鐵塔影響。

■ 玄海原発

震源を特定して策定する地震動震源を特定せず策定する地震動

- 基準地震動Ss-1 (検討用応答スペクトル包絡。水平最大540gal)
- 基準地震動Ss-2 (城山南断層。水平最大268gal)
- 基準地震動Ss-3 (竹木場断層。水平最大524gal)
- 基準地震動Ss-4 (留萌波。水平最大620gal)
- 基準地震動Ss-5 (賀祥波。水平最大528gal。2000年の鳥取県西部 地震にて震源断層が近傍にある賀祥ダムにて2000gal以上を観測)

圖 3.17 玄海廠內鐵塔之地震歷時分析(日本鐵塔工業株式会社)

在玄海廠內挑選 15 座鐵塔,以日本鐵塔公司自行開發之專利軟體 TowerCableResp 分析,每座鐵塔均考慮前後塔之導線影響,地震時螺栓 滑動非線性影響,角鋼鐵塔阻尼常數 h=5%,鋼管鐵塔阻尼常數 h=2%,以此原則作鐵塔地震歷時分析,結果與原子力規制委員会 (NRA) 規範

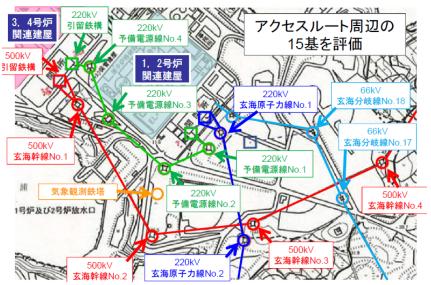


圖 3.18 玄海廠鐵塔配置圖(日本鐵塔工業株式会社)

另鐵塔公司之風力加載設定,依日本建築基準法的基準風速(玄海34m/s),不考慮風亂流影響,以順時針每隔 45 度之風向加載於鐵塔,考慮不同風向與地震之組合載重對鐵塔做動態歷時分析,找出既設鐵塔強度不足的構件。

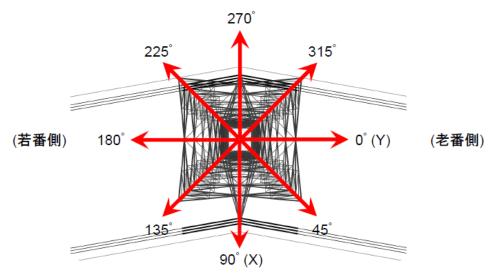


圖 3.19 順時針 8 向風載示意圖(日本鐵塔工業株式会社)

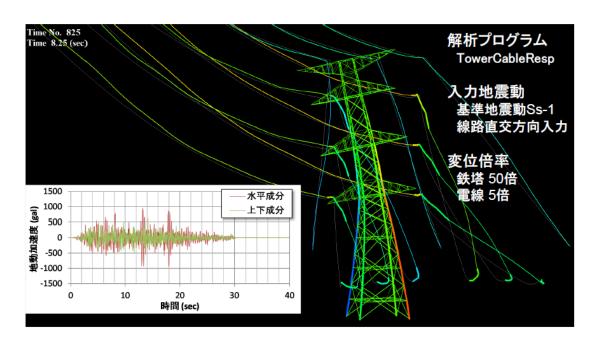


圖 3.20 動態歷時分析截圖(日本鐵塔工業株式会社)

由分析包絡線可以得知,主柱材既設構件強度(黑色實線)皆大於 地震力分析主柱材應力(紅色實線),故無需更換主柱材;而腹材既設 構件強度(黑色虛線)於塔腳最末兩節小於地震力分析腹材應力(紅色 實線),此時採取更換塔腳末兩節之腹材,實施構件強度補強度(藍色 虛線)。

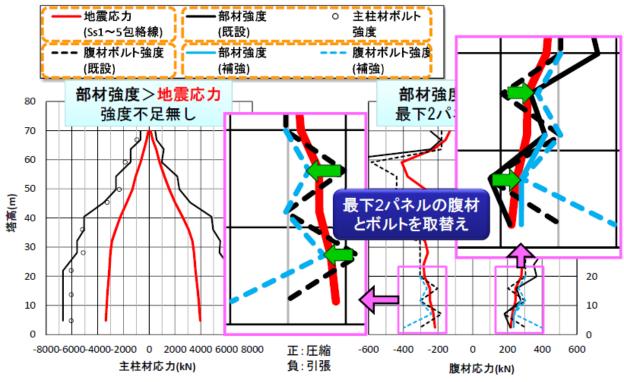


圖 3.21 鐵塔構件強度包絡線圖(日本鐵塔工業株式会社)

將主柱材及腹材之構件應力分別作安全性分析,確認主柱材的安全 裕度及腹材於補強後其強度是否足夠。

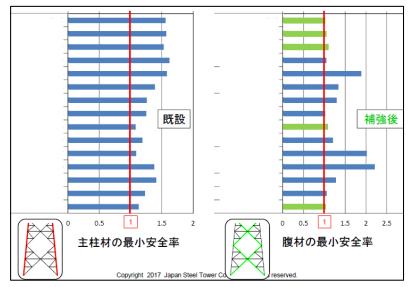


圖 3.22 構件安全裕度示意圖(日本鐵塔工業株式会社)

五、鐵塔構件更換工法

日本鐵塔公司針對主柱材強度不足的構件強度,開發角鐵鎖固補強 工法,可以在送電中鐵塔直接附加補強鐵件,避免影響地區供電穩定。

主柱材L添接材工法



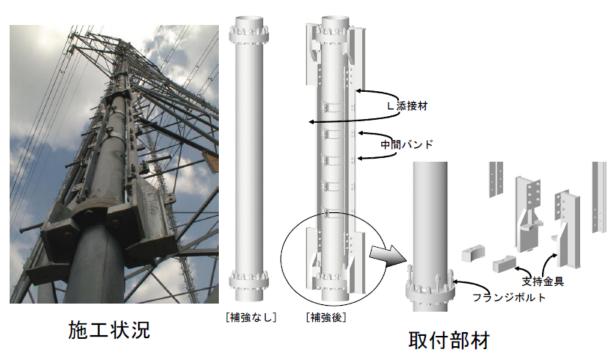


圖 3.23 角鐵鎖固補強工法(日本鐵塔工業株式会社)

為了驗證新式角鐵鎖固補強工法,以實際的角鐵鎖固補強鋼管主柱 材作強度試驗,觀察數據得知補強前抗壓強度僅約900KN,補強後抗 壓強度可以超過1200KN,強度提升1.33倍。



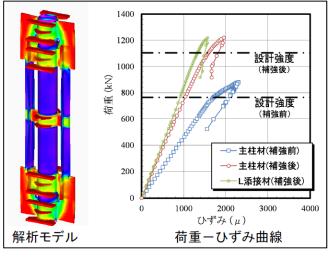


圖 3.24 補強工法強度試驗(日本鐵塔工業株式会社)

另針對強度不足的腹材,亦開發腹材替換工法,可以在送電中鐵塔 直接更換鐵塔腹材,此方式需先在鐵塔安裝一特殊夾具,採用千斤頂頂 開對應構材位置,即可取下變形腹材。

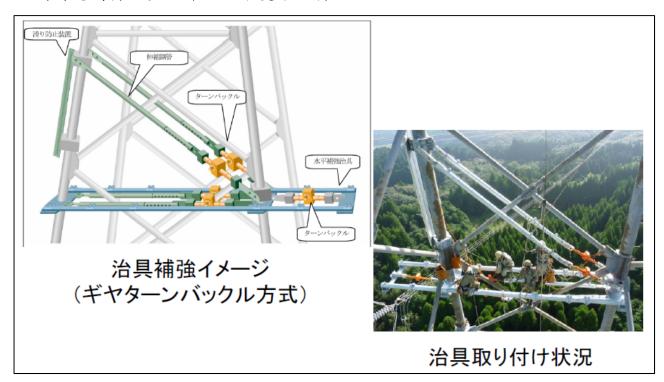


圖 3.25 腹材替換工法(日本鐵塔工業株式会社)

日本鐵塔公司以塔基差異沉陷導致鐵塔變形案例,由塔身向塔腳方 向逐根替換變形腹材,並展示更換完成後,鐵塔主柱材由原先彈性變形 的狀況恢復正常。然經日方提醒鋼管鐵塔強度雖然較高,但是後續維護 不易,因鋼管內部的鏽蝕狀況難以觀測,僅能使用高價位的內視鏡檢視, 且難以做簡易除鏽及塗裝維護,故日方目前需花費大量的費用與人力在 後端維護。



圖 3.26 差異沉陷腹材替換案例(日本鐵塔工業株式会社)

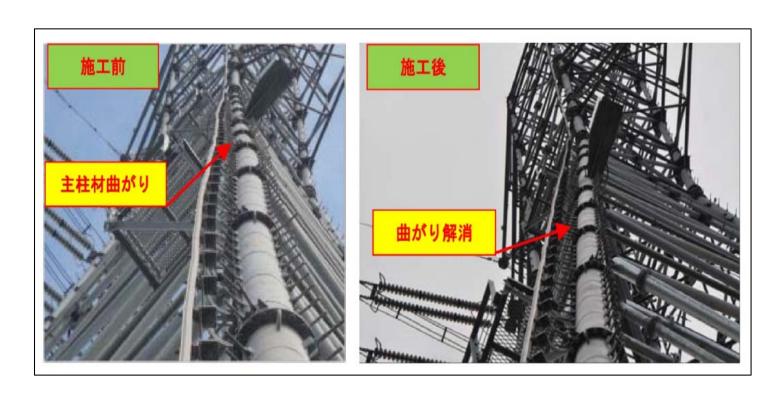


圖 3.27 鐵塔變形前後比較(日本鐵塔工業株式会社)

肆、塔基防災監測技術

日本鐵塔公司的合作廠商東京電力設計公司,提供日本關東地區東 北部山區鐵塔防災案例,因邊坡滑動致塔基不均勻沉陷,為預警災害發 生,進行對鐵塔構件變形及塔基邊坡地滑採取的監測方法。

一、監測儀器配置概要

| 監測儀器 | 數量 | 單位 | 位置 | 功能 |
|-------------------|----|----|------|--------|
| 網路攝影機 | 3 | 台 | 鐵塔下部 | 鐵塔變形監視 |
| 雷射光變位計 | 4 | 台 | 地面 | 基礎位移監視 |
| 傾斜計 | 4 | 支 | 塔基壁面 | 基礎傾斜監視 |
| GNSS 全球導航 衛星定位 | 1 | 處 | 鐵塔下部 | 邊坡滑動監視 |
| 簡易地震計 | 1 | 支 | C腳塔基 | 功能測試 |

有關傳輸部分介紹,鐵塔上的網路攝影機先透過 WI-FI 無線傳輸到現地伺服器暫存後再透過 4G 傳輸回事務所。另雷射光變位計、傾斜計、地震計、GNSS 地盤變位計(滑動點)等儀器直接透過 4G 傳回。

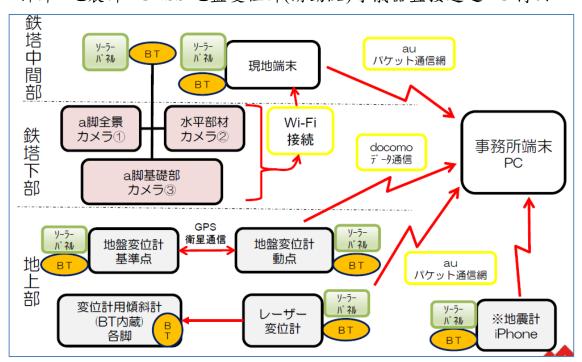


圖 4.1 監測系統配置概要圖(東京電力設計公司)

二、鐵構與螺栓的監視方法

本案例在第三、二、一節水平材高度位置分別裝設一部網路攝影機針對 a 腳變形做監控,第三節網路攝影機可以對 a 腳轉接板及螺栓做破壞標記監變形監測,第二節網路攝影機可以對 a 腳基礎角鐵位置做變形監測,由上而下構築一完整性監視。攝影機電源控制箱系統(含 5 片太陽能板)安置於第三節水平材上,監測頻率每小時 1 次,每天早上 7 點至下午 5 點監視攝影(因夜間照明困難),解析度 920(H)×1080(V),電源容量可耐受3 天無日照充電。

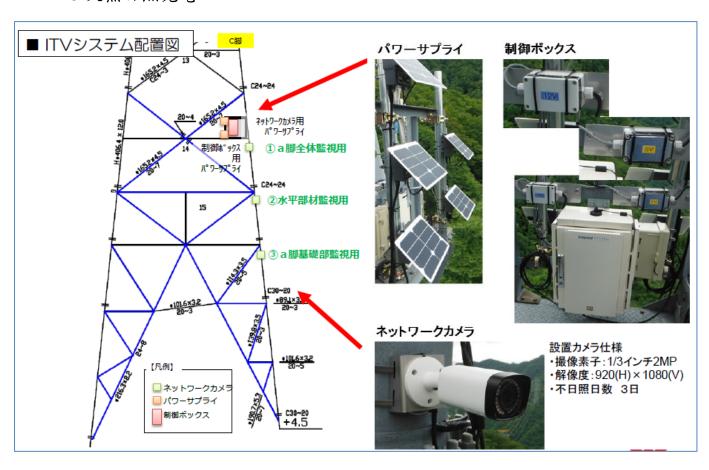


圖 4.2 網路攝影機配置概要圖(東京電力設計公司)

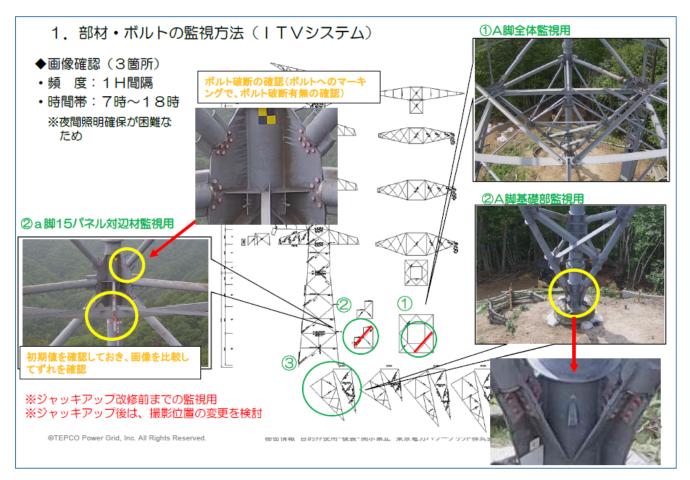


圖 4.3 網路攝影機配置功能(東京電力設計公司)

三、鐵塔基礎與邊坡監測方法

(一)基礎位移監視:

將傾斜計安裝於4個基礎壁面,監測塔基傾斜量,監測頻率每小時1次,監測時間每天早上7點至下午6點,測量範圍:±30°(精度:±0.5°),電源容量可耐受7天無日照充電。

將雷射光變位計(含電源系統)布設於地面通視良好的位置,使其可以照準貼附於鐵構壁面的雷射光反射板,監測塔基位移量,監測頻率每小時1次,監測時間每天早上7點至下午6點,測量距離:7m~140m(精度:±2.0 mm),電源容量可耐受7天無日照充電。

(二)邊坡滑動監測:

將 GNSS 全球導航衛星定位基準點布設於上邊坡穩定的位置,衛

星定位動點布設於 a 腳下邊坡不穩定的位置,監測邊坡滑動量,監測頻率每小時 1 次,監測時間每天早上 7 點至下午 6 點,高精度三維測量位移(精度:mm),電源容量可耐受 5 天無日照充電。

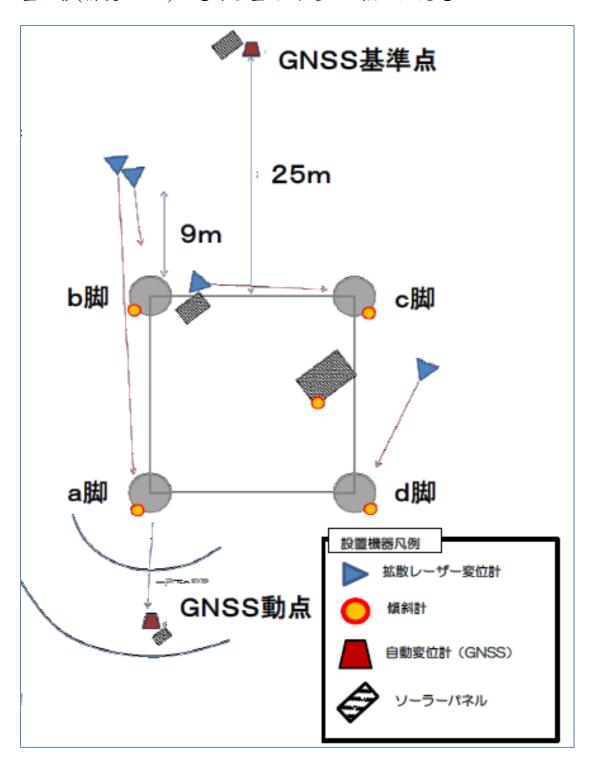


圖 4.4 塔基與邊坡監測儀器配置圖(東京電力設計公司)



圖 4.5 塔基與邊坡監測儀器照片(東京電力設計公司)

四、監測與巡視管理方法

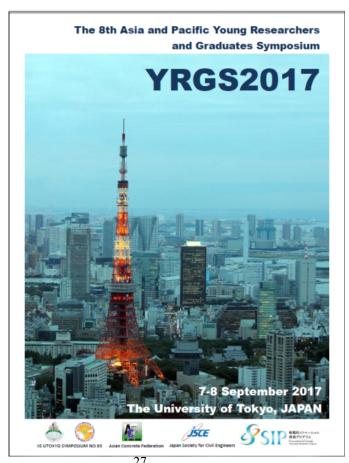
| | 兴远忧旨垤刀 ′′′′ | | | |
|---------------|--------------------|---------------|--------|-----------------|
| 日期 | 2017 | 2018~2020 | 2021 | 2021~ |
| 塔基及邊坡 即時監測 | 2017/9~ | ~2020/7 | 無 | 無 |
| 現場點檢問期 | 1 月 | 1年 | 1年 | 1 年 |
| 監視方式 | 人工與自動監測 | 自動監測 | 巡檢目視 | 巡檢目視 |
| 現場儀器巡視 | 2017/4~2017/11 | 颱風後及數 據異常時 | 極端氣候異常 | 極端氣候異常 |
| 管理等級 | 4 | 3 | 3 | 1 |
| 備註 | 無 | 每年定期進行玩 | 見場巡視,當 | 豪大雨(1 小時 80mm、3 |
| | 監測數據異 | | 寺,則進行人 | 小時 120mm、,24 小時 |
| | | 工測量。 | | 200mm 以上); 地震 4 |
| | | | | 級以上須現場巡視。 |

伍、參加第8屆亞太地區青年研究員國際研討會(YRGS2017)

為提升本公司國際能見度,精進鐵塔基礎邊坡防災技術,投稿第8 屆亞太地區青年研究員國際研討會(YRGS2017),獲東京大學邀請參與 盛會發表論文「鐵塔即時監測預警系統導入維護巡視與應變機制」(The Automatic Monitoring of Transmission Tower as a Maintenance Inspection and Contingency Mechanism)。首屆會議於 2009 年於韓國群山市舉辦, 後續由第2屆中國(2010)、第3屆台灣(2011)、第4屆香港(2012)、 第5屆印度(2013)、第6屆泰國(2014)、第7屆馬來西亞(2015)等 各國共襄盛舉。第8屆研討會由東京大學生產技術研究所主辦,主辦 YRGS 2017 的重要動機是為亞太地區結構工程研究人員和工程師建立 協作網絡,遵循該系列的傳統,YRGS 2017 創建一個平台,將年輕的研 究人員、科學家、工程師組合起來介紹他們的最新發展,交流信息,討 論當前的問題,解決工程設計與施工技術面臨未來的挑戰。

一、YRGS2017 研討會介紹

(一)研討會封面



(二)審查委員

- 1. Kohei NAGAI, Chairman (The University of Tokyo, Japan)
- 2. Liyanto EDDY, Secretary General (The University of Tokyo, Japan)
- 3. Jian-Guo DAI (The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)
- 4. Sandeep Chaudhary (Malaviya National Institute of Technology Jaipur, India)
- 5. Yuxi ZHAO (Zhejiang University, China)
- 6. Songye ZHU (The Hong Kong Polytechnic University, Hong Kong, China)
- 7. Hwa Kian Chai (University of Malaya, Malaysia)
- 8. Chung-Che Chou (National Taiwan University, Taiwan)
- 9. Chun-Wei Zhang (Qingdao University of Technology, China)
- 10.Dookie Kim (Kunsan National University, South Korea)
- 11. Jian-Bing Chen (Tongji University, China)
- 12. Raktipong Sahamitmongkol (King Mongkut's University of Technology Thonburi, Thailand)
- 13. Yew-Chin Koay (VicRoads, Australia)
- 14. Yoshikazu Kobayashi (Nihon University, Japan)

(三)會議特聘引言人

1. 東京大學 前川耕一 教授

Keynote Lecture

Lifetime assessment of Concrete Bridges by Assimilating Inspection Data and Structural Analysis

Koichi MAEKAWA

Professor

Department of Civil Engineering, The University of Tokyo

2. 早稻田大學 秋山光良 教授

Keynote Lecture

Life-cycle Performance Assessment of Civil Engineering System under Multiple Hazards

Mitsuyoshi AKIYAMA

Professor

Civil and Environmental Engineering, Waseda University, Japan



3. 日本東京大都會高速公路有限公司 大橋廣司 董事

Keynote Lecture

Development and Implementation of Innovative Infrastructure Management System " I-DREAMs "

Hiroshi DOBASHI

Director

Maintenance and Traffic Management Department, Metropolitan Expressway Company Limited, Tokyo, Japan

(四)獲東京大學邀請函

東京大学 生涯技術研究所



ternational Center for Urban Safety Engineering (ICUS) Institute of Industrial Science, The University of Tokyo 4-6-1,Komaba,Meguro-ko,Tokyo,153-8505, JAPAN TEL: +81-3-5462-6655 FAX: +81-3-5452-6395 http://www.nagai.iis.u-tokyo.ac.jp/

東京大学 生産技術研究所 動作基盤安工学国際研究センター(ICUS) 長井研究第 〒133-8505 東京都日東区勤番 + 6-1 TEL 03-5452-6655 FAX 03-5452-6395 http://www.nagai.lis.u-tekpo.ac.lp/ Date : 16 June 2017

: Mr. /Ms. Hsiao Yu-Neng

Taiwan Power Company Department of Power Supply Civil Engineering Section Taiwan (R.O.C)

INVITATION

Dear Mr. /Ms. Hsiao Yu-Neng.

It is my great pleasure to invite you to visit Institute of Industrial Science, The University of Tokyo from 7th September 2017 to 8th September 2017 to attend "The 8th Asia and Pacific Young Researchers and Graduates Symposium (YRGS2017)". Your paper entitled "Automatic Monitoring Transmission Tower for Making Maintenance Inspection and Contingency Mechanism" has been accepted for presentation at YRGS2017. We have had an overwhelming international interest, and your contribution will be part of an exciting program.

I am looking forward to seeing you soon in Tokyo.

Sincerely.

Kolvi NASAI

Kohei NAGAI, Dr.

Co-organizer of YRGS2017.

http://www.nagai.iis.u-tokyo.ac.jp/YRGS/index.htm

Associate Professor

International Center for Urban Safety Engineering

Institute of Industrial Science

The University of Tokyo

Email: nagai325@tis.u-tokyo.ac.jp

TEL: +81-3-5452-6655

FAX: +81-3-5452-6395

Address: 4-6-1, Komaba, Meguro-ku, Tokyo 153-8505, JAPAN

(五)會議議程:英文口頭簡報於106年9月7日 Session 2

(13:15-15:00): Structures (1)會議室發表

| 7 th September, Thursday | | | | | | |
|-------------------------------------|---|--------------------|--|--|--|--|
| 9:00 - 9:30 | Registration | | | | | |
| 9:30 - 9:45 | Opening Ceremony | | | | | |
| 9:45 – 11:45 | Keynote Lecture 1 Professor Koichi MAEKAWA (The University of Tokyo, Japan) <u>Title:</u> Lifetime Assessment of Concrete Bridg Inspection Data and Structural Analysis Keynote Lecture 2 | Convention Hall | | | | |
| | Professor Mitsuyoshi AKIYAMA (Waseda University, Tokyo, Japan) <u>Title:</u> Life-cycle Performance Assessment of System under Multiple Hazards | | | | | |
| 11:45 – 12:00 | Group Photo | | | | | |
| 12:00 - 13:15 | Lunch | | | | | |
| 13:15 – 15:00 | 13:15 – 15:00 Numerical Simulation and Modeling (1) Structures (1) (Conference Room, 3) | | | | | |
| 15:00 - 15:30 | Brea | - | | | | |
| 15:30 – 17:30 | - 17:30 Materials (1) Structures (2) (Conference Room, 3 | | | | | |
| 18:30 - 20:30 | Banquet | | | | | |

| 8 th September, Friday | | | | | | | |
|-----------------------------------|--|--------------|--|--|--|--|--|
| 9:15 – 11:30 | 9:15 – 11:30 Materials (2) Structures (3) (Conference Room, 3 | | | | | | |
| 11:30 - 13:00 | Lunch (Conv | ention Hall) | | | | | |
| 13:00 – 15:00 | 15:00 Numerical Simulation and Modeling (2) Structures (4) (Convention Hall) Structures (4) (Conference Room, 3F) | | | | | | |
| 15:00 - 15:30 | Break | | | | | | |
| 15:30 – 16:30 | Keynote Lecture 3 Dr. Hiroshi DOBASHI (Metropolitan Expressway Company Limited, Japan) Convention Ittle: Development and Implementation of Innovative Infrastructure Management System " I-DREAMs" | | | | | | |
| 16:30 - 17:00 | Closing Ceremony | | | | | | |

7th September, Thursday

Session 1 (13:15-15:00): Numerical Simulation and Modeling (1)

Prediction of Cracking Effect on Water Penetration into Concrete

Licheng Wang and Jinwen Bao

Investigation on Grout Injectability with Flow Simulation

Jin Young Yoon, Tae Yong Shin, and Jae Hong Kim

Analytical Investigation on Shear Resisting Mechanism of Reinforced Concrete Beams Damaged by Freeze-Thaw

Takeru Kanazawa and Yasuhiko Sato

Numerical and Experimental Evaluation of Bond-Slip Relationship of Corroded Rebar with Different Concrete Cover

Yizhou Yang, Hikaru Nakamura, Taito Miura, and Yoshihito Yamamoto

Modeling of Mechanical Behavior of Concrete with Frost Damage Based on 2D Rigid Body Spring Model

Zhao Wang, Dawei Zhang, Fuyuan Gong, and Tamon Ueda

Analysis of Spalling Behavior of Ring-Restrained High-Strength Concrete Specimens at Elevated Temperatures

Strjana Subedi Parajuli, Mitsuo Ozawa, Robert Jansson McNamee, Toru Tanibe, and Kota Akashi

Rheological Analysis of Mortar Using a Linear Parallel Bond Model

Dong Jin Joeng, Jin Hyun Lee, and Jae Hong Kim

Modeling of Passive Confinement of Concrete Using Rigid Body Spring Model

Rodolfo Mendoza Jr., Yoshihito Yamamoto, Hikaru Nakamura, and Taito Miura

Session 2 (13:15-15:00): Structures (1)

The Automatic Monitoring of Transmission Tower as a Maintenance Inspection and Contingency Mechanism

-Neng Hstao

Experiments of Angle Welded Connections under Cyclic Loads

Aphinat Ashakul, Sora-aut Nimngamsri, and Vitoon Uthaisangsuk

Measurement and Analysis of Behavior of the Existing Small Bridge due to Thermal Change

ting Small Bridge due to Thermal Change

Ruike Keishi, Kondo Naoki, Takahashi Akihiko, and Hiroshi Onishi

Identifying and Structuring Sustainability Indicators for Concrete Material Performance Criteria

Toel Opon and Michael Henry

Preliminary Field Survey of Deteriorated Concrete Structures in Tropical Conditions with Non-Destructive Methods - Case Study: Short Span Bridges in Bangkok, Thailand

Junya Sato, Shingo Asamoto, Pongsak Wiwatrojanagul, and Raktipong Sahamitmongkol

Vibration Measurement of Decks in a Short Span Road Bridge

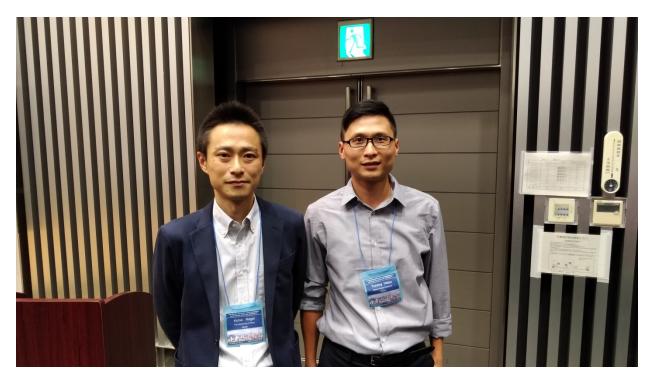
Nobuhisa Kimura, Kohet Oucht, Yoko Chiba, and Hiroshi Onishi

Static Behaviours of Existing Small-Scale Plate Girder Bridge Used for 40 Years

Yoko Chiba, Hiroshi Onishi, Shoji Iwasaki, and Kenshiro Sasaki

(六)各國先進合影、YRGS2017 主辦人東京大學永井康平教授合影





二、東京大學英文投稿簡報



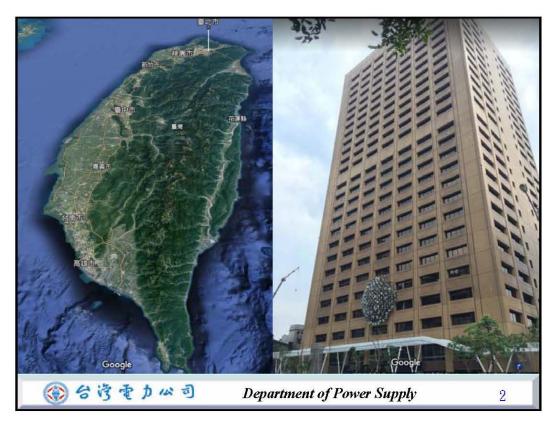
The Automatic Monitoring of Transmission Tower as a Maintenance Inspection and Contingency Mechanism

Yu-Neng Hsiao Department of Power Supply, Civil Engineering Section, Taiwan Power Company



Department of Power Supply

1



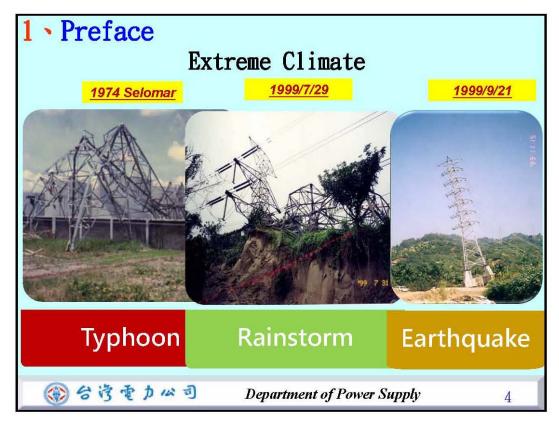
Outline

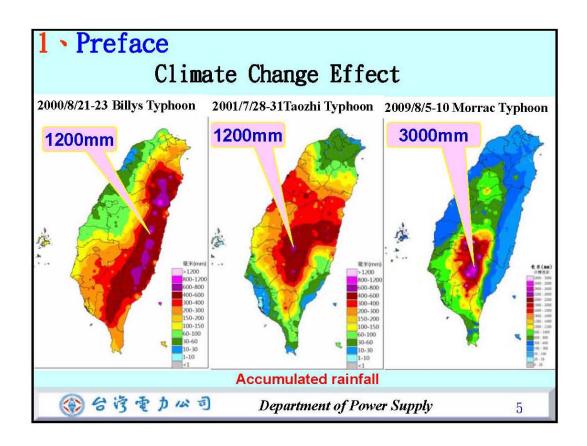
- 1 · Preface
- 2 · Research Methods
- 3 Automatic Transmission Tower Monitoring and Warning System in Real Time
- 4 Maintenance Planning and Handling Strategy
- 5 · Conclusion



Department of Power Supply

3





1 · Preface

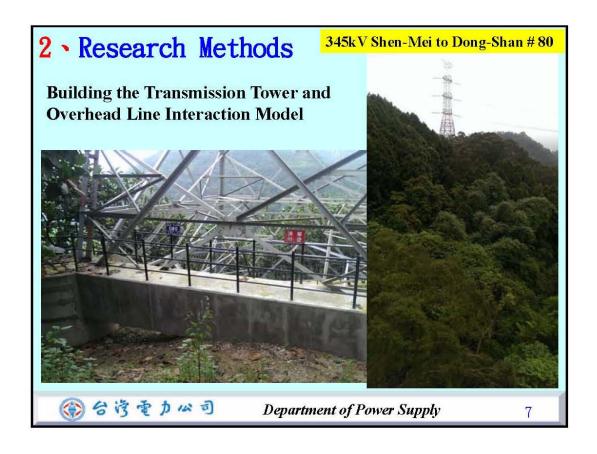
This project's real-time warning system allowed for the replacement of the patrol method and savings in human resources costs °

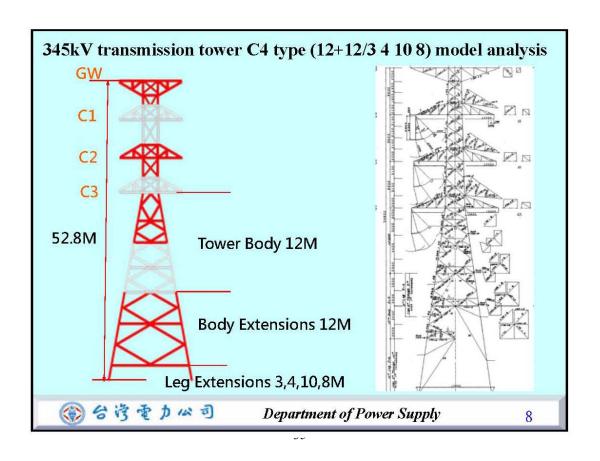
| Class | Patrol inspection | Automatic monitoring |
|--------|----------------------|----------------------|
| Red | 1 time / per 1 month | Anytime |
| Orange | 1 time / per 1 month | Anytime |
| Yellow | 1 time / per 2 month | Anytime |
| Green | 1 time / per 2 month | Anytime |

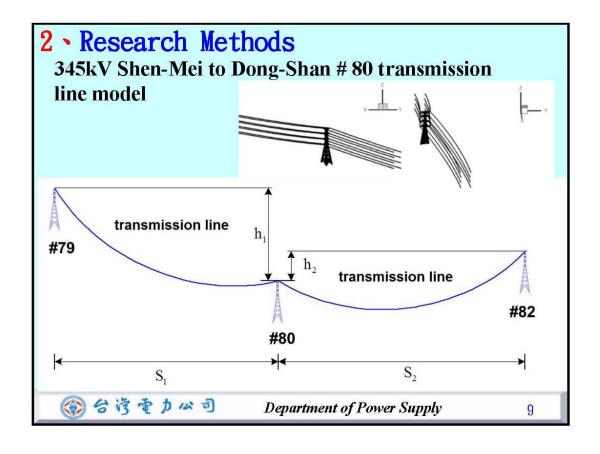


Department of Power Supply

6







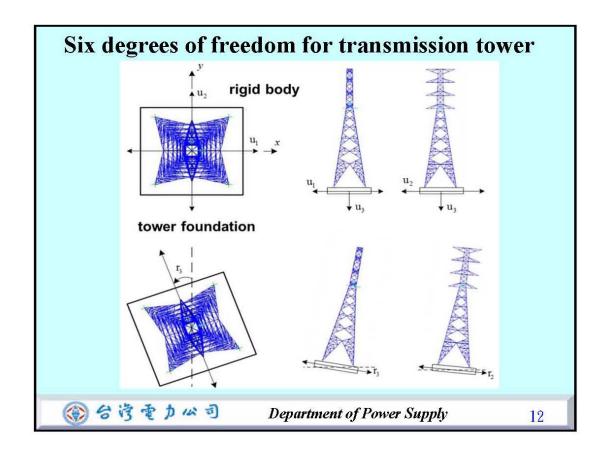
| Research Methods | | | | | |
|---|--------------------------|-------------------------|--------|------------------------|--|
| 345kV Shen-Mei to Dong- Shan transmission line | #79 | #8 | 80 | #82 | |
| Tower type | C4 12+12 3,10,10,4 | C4 12+12 3,4,10,8 | | E5 12+12 9,9,9,9 | |
| Altitude | 282.02 m | 228.78 m | | 237.64 m | |
| Angle | L9°34′0″ | L6° | 30′8″ | R12°42′0″ | |
| Span | 316.34 m 509. | | | 509.30 m | |
| Altitude difference | -53.24 n | ı | 8.85 m | | |
| ⑥ 台 淺 章 ⊅ ⋈ 司 Department of Power Supply 10 | | | | | |

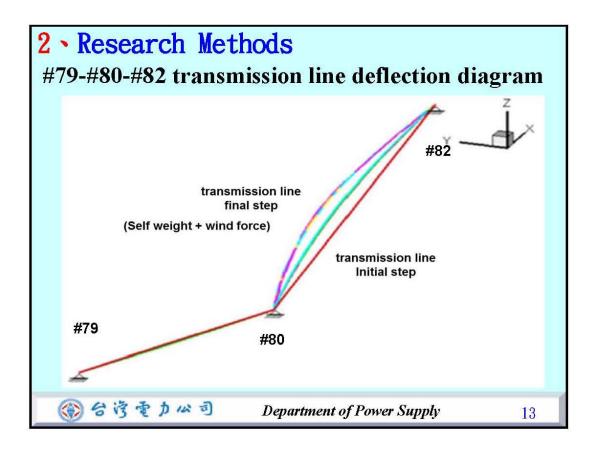
2 · Research Methods

Design parameters of transmission conductor

| Item | Overhead ground wire | Overhead transmission line | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--|--|
| Transmission conductor type | 160mm ² OPGW | 795MCM(26/7)ACSR | | |
| Diameter | 16.3 mm | 28.143 mm | | |
| Unit weight | 0.7619 kg/m | 1.628 kg/m | | |
| Cross-sectional area | 166.7 mm ² | 468.25 mm ² | | |
| Young's modulus | $11100~\rm kg/mm^2$ | 8903 kg/mm ² | | |
| Wind coefficient | 1.05 | 1 | | |
| Tensile strength | 9890 kgf | 14152 kgf | | |

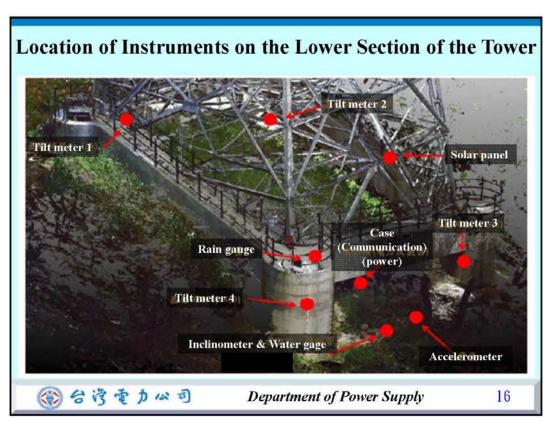


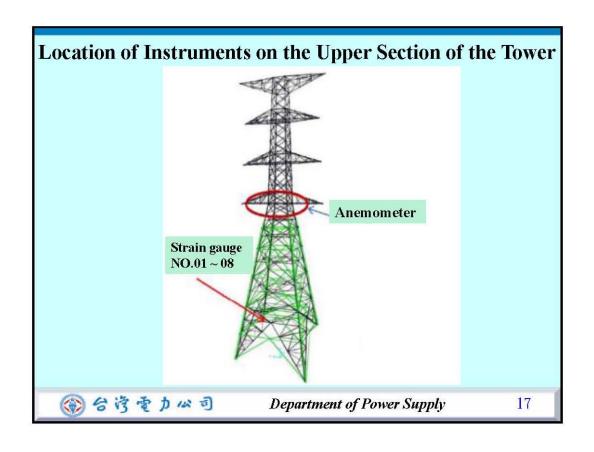


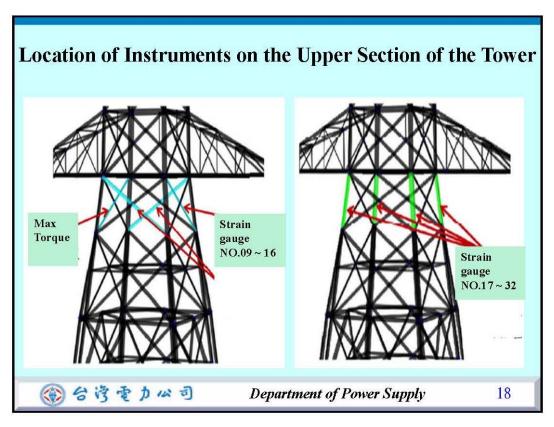


| 2 · Research Methods Warning and action values in real time warning system | | | | | | |
|--|---|--|--|--|--|--|
| Instrument | Warning value | Action value | | | | |
| Tilt meter (X) | 1.186° | 1.56° | | | | |
| Tilt meter (Y) | 0.836° | 1.1° | | | | |
| Inclinometer | Velocity:2mm/month total displacement: 50mm | Velocity:10mm/month total displacement: 75mm | | | | |
| Water gage | Change of groundwater level: 3m | Change of groundwater level: 5m | | | | |
| Strain gauge NO.01 ~ NO.08 | 6031kgf | 8063kgf | | | | |
| Strain gauge NO.09~ NO.16 | 4393kgf | 6258kgf | | | | |
| Strain gauge NO.17 ~ NO.32 | 35190kgf | 46921kgf | | | | |
| Accelerometer | 250gal | 400ga1 | | | | |
| (a) 6 1 | | | | | | |

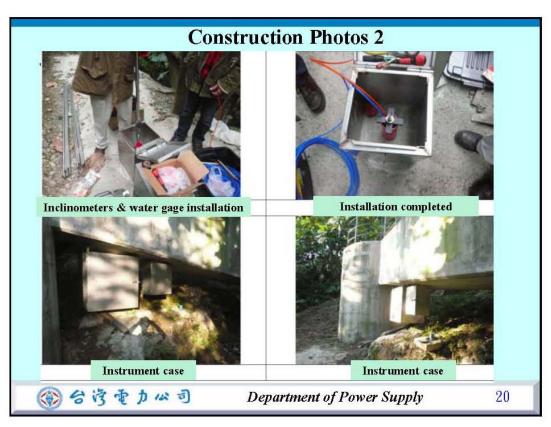
| Monitoring Instrument | Quantity | Remark | | |
|------------------------------|----------|---------------|--|--|
| Strain gauge | 32 | Primary | | |
| Γilt meter | 4 | Primary | | |
| nclinometer | 10 | Primary | | |
| Water gage | 1 | Primary | | |
| Accelerometer | 3 | Primary | | |
| Settlement gage | 1 | Secondary | | |
| Anemometer | 1 | Secondary | | |
| Rain gauge | 1 | Secondary | | |
| Data logger | 1 | Data access | | |
| Dynamic data recorder | 1 | Data access | | |
| Communication module | 1 | Communication | | |
| Solar panel | 10 | Power | | |
| Battery module | 1 Power | | | |

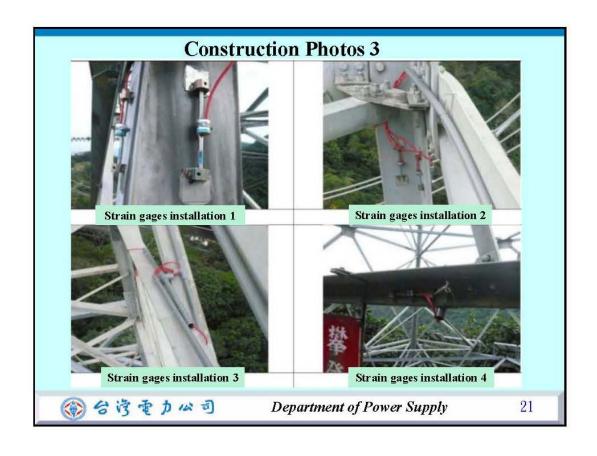


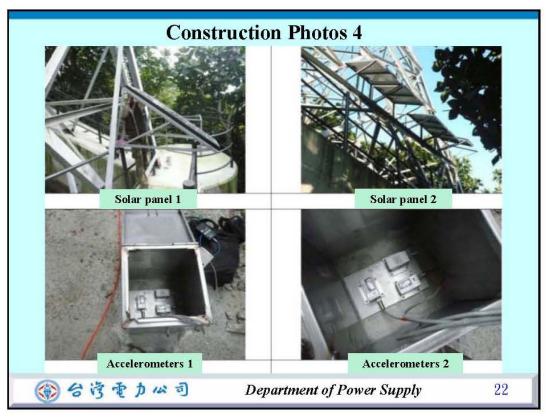


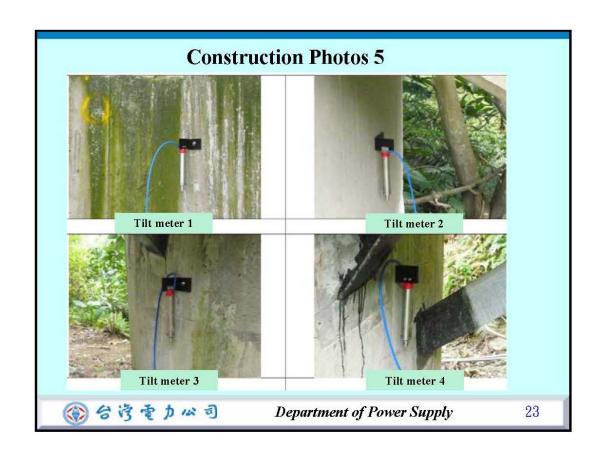


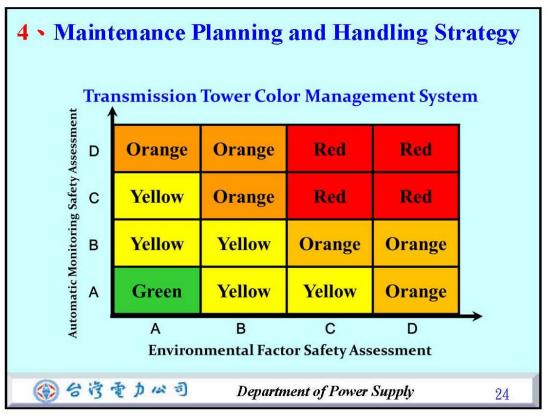


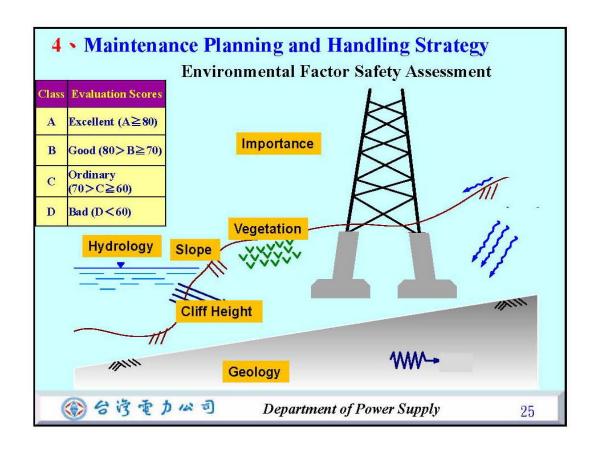


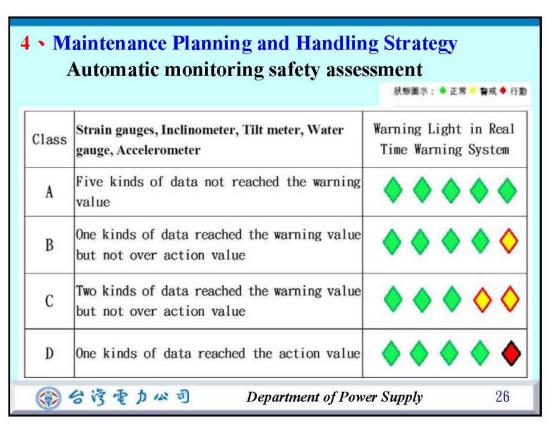






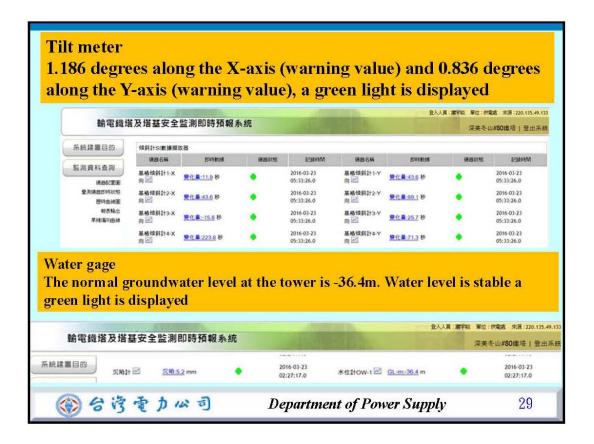






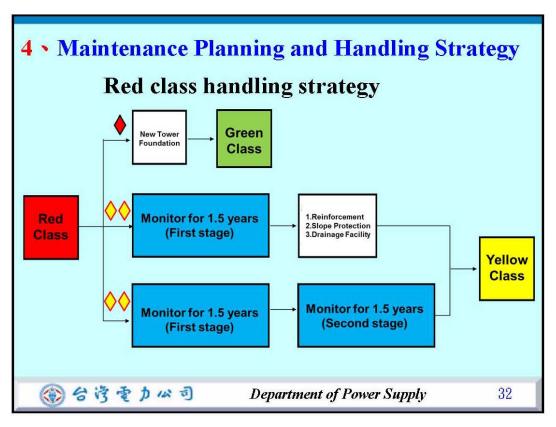


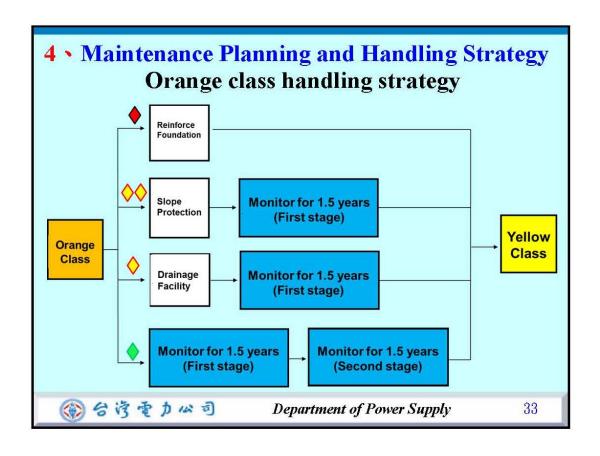


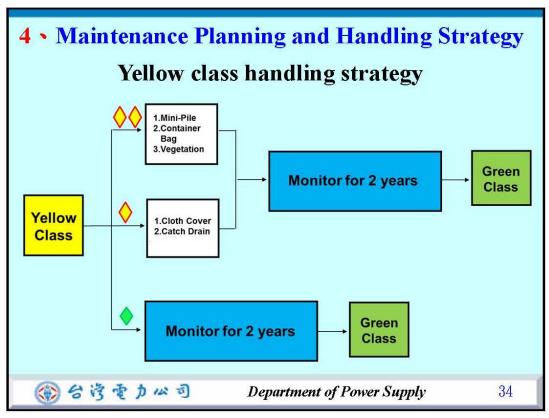




| Evaluating color class of #80 tower | | | | | | | |
|---|--|--|--------------------|------------|-------------------------|------------------|-----------------|
| Environmental Factor Item | | | | | | | |
| Geology (20%) | Slope (20%) | | Cliff Height (15%) | | Hydrology (20%) | Vegetation (15%) | Important (10%) |
| 70 | 60 | | 55 | | 70 | 65 | 80 |
| Environmental scores | THE RESERVE OF THE PERSON NAMED IN | Environmental Automatic monitoring class | | oring | Color management system | | |
| 66 | | C | A | | Yellow | | |
| | Automatic Monitoring Safety Assessment | Orange Yellow | Orange Orange | Red Red | | | |
| | 1onitoring B | Yellow | Yellow | Oran | ge Orange | | |
| | tomatic N | Green | VIII | Yello | | → | |
| A B C D Environmental Factor Safety sessment | | | | | | | |
| ● 台湾 | 電力 | 心司 | De | partme | ent of Power | Supply | 31 |

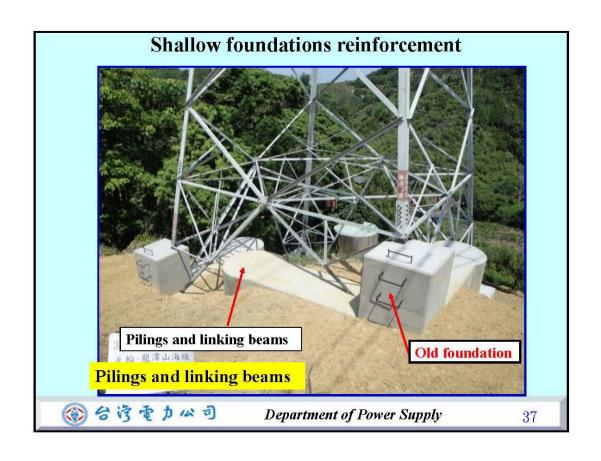






















5 · Conclusion

- (1) This project integrated an automatic monitoring and maintenance management system with Taipower's transmission network in order to facilitate improved risk management and make the management of the entire transmission network more complete.
- (2) This project's real-time warning system allowed for the replacement of the patrol method. The institution of the real-time system provided uninterrupted monitoring as well as more immediate and flexible information. This in turn allowed for significant improvements in efficiency and savings in human resources costs, while preserving the company's ability to evaluate maintenance handling strategies and enact emergency response measures.



Department of Power Supply

43

5 · Conclusion

(3) The monitoring sensors used in this research are digital instruments, and it have a number of advantages in terms of increased resolution, working stability, low electromagnetic interference, and low power consumption when compared with traditional analog instruments. Since some transmission towers are not conveniently located the use of these digital instruments allows for much needed stable, long-term monitoring of tower safety.



Department of Power Supply

44

陸、實習心得與建議

- 一、輸電鐵塔作變形分析時,應考慮螺栓滑動之後與螺栓孔之間仍有空隙,故滑動時由承壓力乘上摩擦係數可提供額外消能機制,直到螺栓與螺栓孔接觸無空隙,外力負載才恢復由角鋼材料的變形來提供消能,提供同仁建置鐵塔三維模型分析變形的參考。
- 二、鐵塔構件腐蝕前,短構件材料可以達到全斷面降伏,長構件材料 亦可發揮部分強度才產生挫屈;但鐵塔構件腐蝕後,短構件達到 部分降伏後即於腐蝕位置局部挫屈,而長構件僅達到彈性強度後 則於腐蝕位置局部挫屈,可知鐵塔腐蝕對鐵塔強度的影響甚鉅, 於鹽霧害嚴重地區須有完善的巡檢機制,而目前本公司多使用角 鋼鐵塔反而有利於檢視腐蝕構件及螺栓,及早作相對之應變措施, 維護供電穩定安全。
- 三、鐵塔設計主要以風力設計導向,毋須將地震影響過於放大,如欲附加分析地震影響,可參考附近斷層可能發生之最大地震,考量與震源距離遠近及土層放大效應後,轉換為分析鐵塔地震歷時外力;另考慮輸電線路與鐵塔互制振動特性,應增加前後塔之導線與螺栓滑動非線性影響。最後以八方向風向與地震力之組合載重對鐵塔模型作動態歷時分析,找出既設鐵塔強度不足的構件來補強或更換。
- 四、本文塔基防災即時監測案例中,因邊坡滑動致塔基不均勻沉陷, 為預警災害設置網路攝影機、基樁傾斜計、雷射光變位計、GNSS 全球導航衛星定位,針對鐵塔變形、基礎位移、邊坡滑動等項目 即時監控。儀器設置於施工期間,完工後回收設備,可於災害發 生前撤離人員且通知關鍵人員做適當決策,亦可重複利用儀器設 備,達到安全、經濟雙重效益。
- 五、本次投稿獲東京大學邀請參與第8屆亞太地區青年研究員國際研 討會,發表「鐵塔即時監測預警系統導入維護巡視與應變機制」 論文,得知本公司工程技術具備國際肯定實力。為提升本公司國 際能見度,未來應長期參與國際技術交流,培育人才以拓展海外 事業,拋磚引玉提供同仁邁向國際參考。

柒、參考文獻

- [1] 日本鐵塔工業株式會社(2017),「COMPANY PROFILE」。
- [2] 東京電力設計株式會社(2017),「COMPANY PROFILE」。
- [3] 供電處,"輸電線路維護準則",2016年3月10日修訂。
- [4] 供電處,"鐵塔基礎與鐵塔結構安全巡查要點",2016 年 2 月 26 日 修訂。
- [5] 供電處,"輸電線路鐵塔定期監測要點",2016年2月26日修訂。
- [6] 供電處,"鐵塔基礎安全評估作業程序",2016年5月10 日修訂。
- [7] 供電處,"輸電鐵塔基礎環境因素安全評估要點",2016 年 3 月 25 日修訂。
- [8] 李佳諭,"輸電鐵塔極限能力分析與安全評估之研究"博士論文,臺灣大學土木工程學研究所(2012)。
- [9] 張國鎮、周一箐、林國源、蔡英聖、楊嘉文,"架空輸電線路鐵塔 結構及基礎耐震分析研究"結構工程,第十九卷,第三期(2004)。
- [10] 供電處,"架空輸電線路設計準則",2015年12月修訂。
- [11] 黎文龍,"輸電鐵塔及塔基安全監測即時預報系統之研究期末報告",台電綜合研究所,台北,研究計畫 546-4103-0101,2015 年。。