

出國報告(出國類別：實習)

減少連接站鐵塔引下線拉力之設計 及施工研習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李佳諭(土木設計課長)

派赴國家：日本

出國期間：104年10月5日~10月10日

報告日期：104年11月20日

行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：減少連接站鐵塔引下線拉力之設計及施工研習

頁數 36 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/02-23667685

出國人員姓名/服務機關/單位/職稱/電話

李佳諭/台灣電力公司/輸變電工程處中區施工處/土木設計課長/04-25211607

出國類別：1 考察2 進修3 研究4 實習5 其他

出國期間：104 年 10 月 5 日～10 月 10 日

出國地區：日本

報告日期：104 年 11 月 20 日

分類號/目

關鍵詞：連接站、引下線、彈簧式鬆緊調整器、鐵塔

內容摘要：由於龍潭~竹園 345kV 線#11A 連接站鐵塔(JE-RB 65)較標準型最高連接站鐵塔(JE 34)高約 2 倍，且本公司曾有連接站台架因風襲之破壞案例。考量當前極端氣候比以前更明顯，且既往標準連接站鐵塔引下線橫擔垂直向負載值，並無考量於颱風狀況下，受風吹襲而導致引下線拉力增加之情況，故有必要派員赴日本研習相關之設計及施工技術。本次實習係安排前往關西電力、日本鐵塔工業、日本可鍛及九建等公司參訪，學習到日本各大電力公司對於如何減少連接站引下線張力之方法及對策，即於引下線加裝「彈簧式鬆緊調整器」之裝置，故本次除研習此特殊裝置之設計方式、製品檢驗、施工實績及赴現場實地觀摩。另亦趁此針對鐵塔塔腳之長短設計及鐵塔最新設計技術(3D 動力分析)進行交流。茲將實習所得整理成報告，俾供公司同仁學習借鏡與設計時參考。並研習該特殊裝置之設計及施工技術。

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

目 錄

	頁次
壹、出國目的.....	1
貳、出國過程.....	2
參、實習內容.....	3
一、前言.....	3
二、引下線加裝彈簧式鬆緊調整器之探討.....	3
三、彈簧式鬆緊調整器裝設之實績參訪.....	19
四、鐵塔塔腳之長短腳設計.....	24
五、鐵塔最新設計技術(3D 動力分析)	28
肆、心得與建議.....	33

壹、出國目的

龍潭~竹園 345kV 線#11 鐵塔~#11A 連接站鐵塔區段，因地形及用地取得困難等因素，#11A 連接站鐵塔須採特高鐵塔克服，目前已完成相關圖面之設計。由於該連接站鐵塔(JE-RB 65)較現有標準型最高連接站鐵塔(JE 34)高約 2 倍，且本公司曾有連接站台架因風襲之破壞案例。考量當前極端氣候比以前更明顯，且既往標準連接站鐵塔引下線橫擔垂直向負載值，並無考量於颱風狀況下，受風吹襲而導致引下線拉力增加之情況，故有必要派員赴日本研習相關之設計及施工技術。

本次赴日本研習減少連接站鐵塔引下線拉力之特殊設計及施工案例，可供本公司未來於線路設計及施工時之對策參考，以更加確保未來線路安全及供電品質。

貳、出國過程

- 一、 本次實習參訪地區主要位於大阪及福岡等城市，其行政區域位置，詳圖 1。



圖 1 日本行政區域圖

- 二、 出國日期、主要工作內容及前往機構等，如出國行程表所列，詳表 1。

表 1 出國行程表

日期	工作內容	前往機構	城市
104.10.05	去程(台北→大阪)		大阪
104.10.06	引下線加裝彈簧調整器設計討論及工廠參觀(含試驗設備)	可鍛公司	大阪
104.10.07	1.赴關西電力公司研討減少連接站鐵塔引下線拉力及坡地鐵塔之設計研討。 2.引下線加裝彈簧調整器之現場見習	關西電力 小曾根電力所	大阪
104.10.08	1.城市移動(大阪→福岡) 2.赴日本鐵塔公司研討鐵塔最新設計技術(3D動力分析)	日塔公司	福岡
104.10.09	輸電鐵塔基礎施工之現場見習	唐律西九州線#13	福岡
104.10.11	返程(福岡→台北)		

參、實習內容

一、前言

本次實習係安排前往關西電力公司、日本鐵塔工業公司、日本可鍛公司及九建公司等參訪，學習到日本各電力公司對於如何減少連接站引下線張力之方法及對策，係在引下線台架端加裝所謂「彈簧式鬆緊調整器」之裝置，故本次除研習此特殊裝置之設計方式、製品檢驗、施工實績及赴現場實地觀摩，另亦趁此針對鐵塔塔腳之長短設計及鐵塔最新設計技術(3D 動力分析)進行交流。

二、引下線加裝彈簧式鬆緊調整器之探討

日本電氣協同研究會於昭和 53 年 9 月(西元 1978 年)所刊行之電氣協同研究第 34 卷第 2 號之報告，提出略以：對於礙子串及撐柱部位有時承受較大負載，因此希望裝入張力調整用鎖扣(彈簧式鬆緊調整器)等，以有效減少導線、礙子裝置等受溫差及風荷重所產生之負載，進而減小鐵塔及連接站礙子連台架…等構件尺寸，以降低該等構造施作成本。故很早以前日本就在相關電壓等級之縱匯流排裝置、换位裝置及阻塞線圈裝置等受垂直負載位置上面，不論引下線長短皆採用「彈簧式鬆緊調整器」之裝置，詳圖 2，而本次安排參訪之日本可鍛(NIPPON KATAN)株式會社(以下簡稱日本可鍛公司)最早自 1964 年就開始開發使用，已近有 50 年歷史。

日本可鍛公司創立於 1918 年，惟 2005 年退出鑄鐵事業，轉型為於開發「發」、「送」、「變」電用架線金具，防雷害及雪害製品，各種調查、研究、開發業務及各種受託試驗、檢查等業務。本次實習在該公司精心安排下，除介紹主要發展技術，另詳細介紹有關引下線「彈簧式鬆緊調整器」之設計方式、製品試驗、施工實績及赴現場實地觀摩，茲將實習心得彙整如下：

(一)「彈簧式鬆緊調整器」之設計原理

彈簧式鬆緊調整器之設計，係考慮在無負荷時、架空線時、導線溫度升時以及有風狀態時導線溫度下降時各階段之變化情況，使調整器內彈簧之張力自為調整以減緩導線張力，即有效減少導線、礙子裝置等受溫差及風荷重所產生之負載，避免構件產生破壞，詳圖 3 及圖 4。

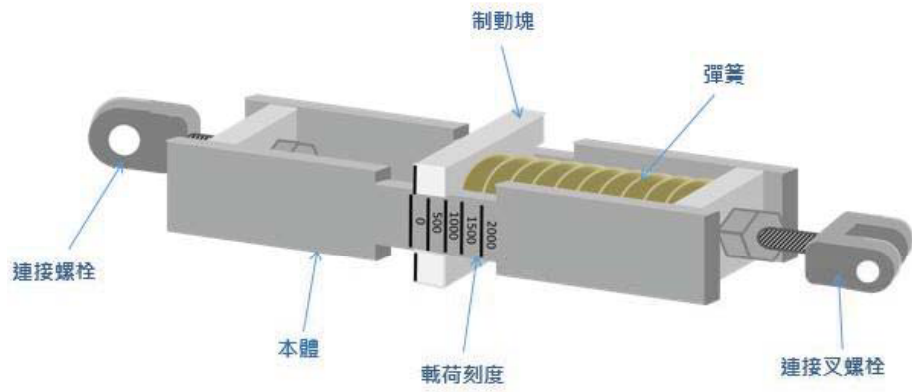


圖 2 彈簧式鬆緊調整器之結構示意圖

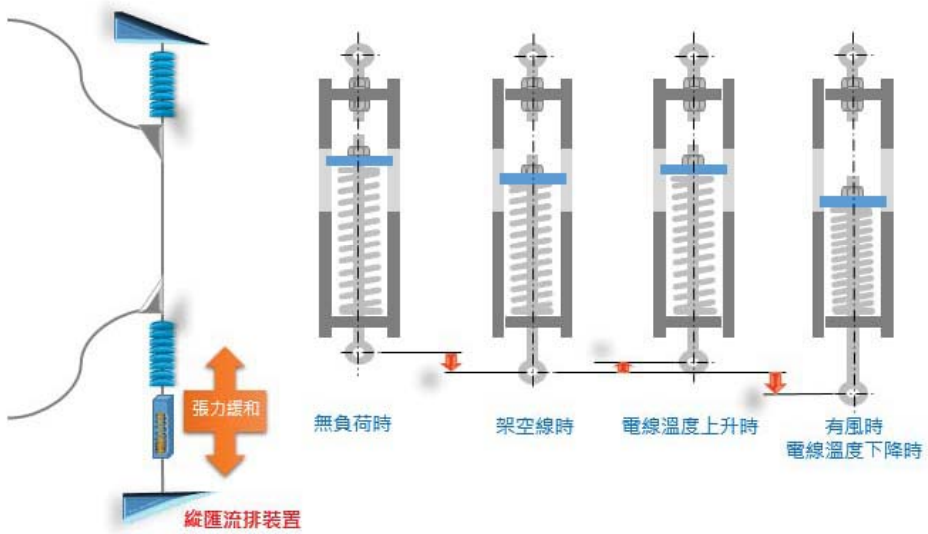


圖 3 彈簧式鬆緊調整器之設計原理

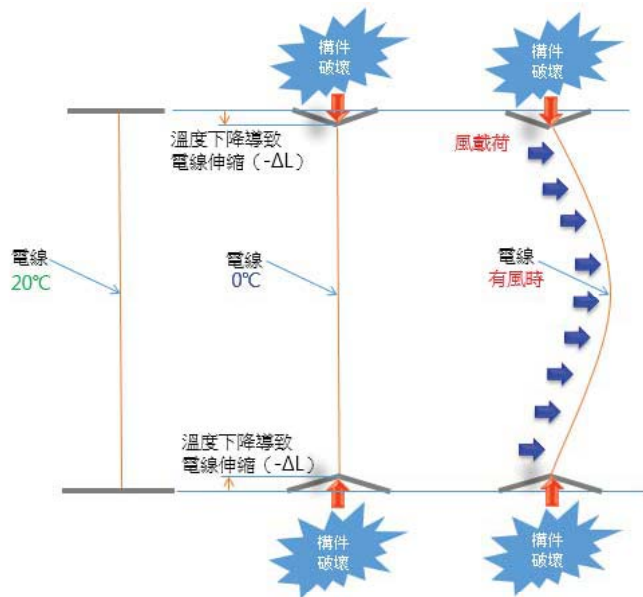


圖 4 彈簧式鬆緊調整器之破壞條件

(二) 「彈簧式鬆緊調整器」之設計理論

有關連接站鐵塔裝設「彈簧式鬆緊調整器」之示意圖，詳圖 5，其裝置係將風力、電線預張力及溫度載重下之張力變化納入考量，可使張力自為調整減緩，相關檢討引下線拉力之設計係以彈簧特性常數、變位理論…等作為分析計算之基礎，其設計流程圖，詳圖 6，方法說明如下：

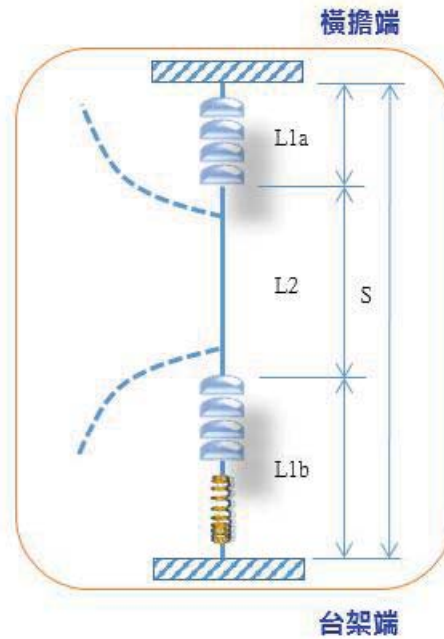


圖 5 彈簧式鬆緊調整器之裝設示意圖

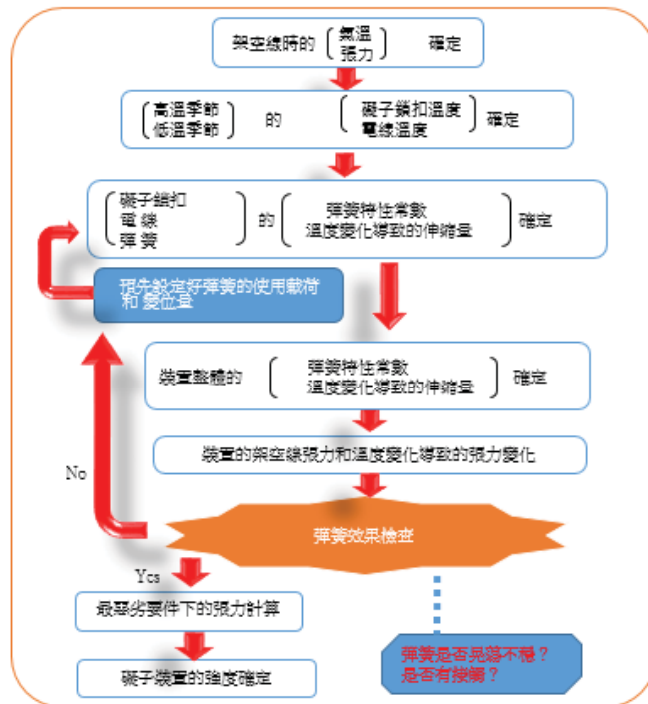


圖 6 彈簧式鬆緊調整器之設計流程圖

1. 各部件的彈簧特性常數及溫度變化導致的伸縮量

(1) 礙子裝置(包括上側、下側全部考慮)

a. 礙子裝置的彈簧特性常數(由涉及鎖扣的礙子球頭銷構成)

$$R_I = \frac{E_I \cdot \frac{\pi}{4} \cdot d^2}{L_I} \text{ (kgf/mm)}$$

$$L_I = L_{1a} + L_{1b}$$

R_I : 礙子裝置的彈簧特性常數(kgf/mm)

d : 礙子的球頭銷直徑(mm)

L_I : 礙子裝置的整體長度(包括上側、下側全部考慮)(mm)

E_I : 礙子裝置的彈性係數(kgf/mm²)

b. 礙子裝置溫度變化導致的伸縮量

$$\Delta X_I = (t_1 - t_0) \cdot \alpha_1 \cdot L_I$$

ΔX_I : 礙子裝置因溫度變化導致的伸縮量(mm)

t_1 : 最惡劣條件下的鎖扣溫度(°C)

t_0 : 架空線時的氣溫(°C)

α_1 : 鎖扣的線膨脹係數(/°C)

L_I : 礙子裝置的整體長度(包括上側、下側全部考慮)(mm)

(2) 導線

a. 導線的彈簧特性常數

$$R_C = \frac{N_C \cdot E_C \cdot A_C}{L_2} \text{ (kgf/mm)}$$

R_C : 導線的彈簧特性常數(kgf/mm)

E_C : 導線的彈性係數(kgf/mm²)

N_C : 導線數

A_C : 導線截面積(mm²)

L_2 : 導線長度(mm)

b. 導線溫度變化導致的伸縮量

$$\Delta X_C = (t_c - t_0) \cdot \alpha_c \cdot L_2 \text{ (mm)}$$

ΔX_C ：導線因溫度變化導致的伸縮量(mm)

t_c ：最惡劣條件下的電線溫度(°C)

α_c ：導線的線膨脹係數(/°C)

t_0 ：架空線時的氣溫(°C)

L_2 ：導線長度(mm)

(3)彈簧

a.彈簧的彈簧特性常數

$R_S = P/\delta$ 當($T \leq P$) (kgf/mm)

$R_S = \infty$ 當($T > P$)

R_S ：彈簧的彈簧特性常數(kgf/mm)

P ：負載(kgf)

δ ：受負載 P 時的彈簧伸縮量(mm)

T ：產生張力(kgf)

2.裝置整體的彈簧特性常數及溫度變化導致的伸縮量

(1)裝置整體的彈簧特性常數

$\frac{1}{R_1} = \frac{1}{R_I} + \frac{1}{R_C} + \frac{1}{R_S}$ 當($T \leq P$)時，(彈簧發揮作用)

$\frac{1}{R_2} = \frac{1}{R_I} = \frac{1}{R_C}$ 當($T > P$)時，(彈簧未發揮作用)

R_1 、 R_2 ：裝置整體的彈簧特性常數(kgf/mm)

R_I ：礙子裝置的彈簧特性常數(kgf/mm)

R_C ：導線的彈簧特性常數(kgf/mm)

R_S ：彈簧的彈簧特性常數(kgf/mm)

(2)裝置整體因溫度變化導致的伸縮量

$\Delta X = \Delta X_I + \Delta X_C$ (mm)

ΔX ：礙裝置整體因溫度變化導致的伸縮量(mm)

ΔX_I ：礙子裝置因溫度變化導致的伸縮量(mm)

ΔX_C ：導線因溫度變化導致的伸縮量(mm)

3. 架空線張力及溫度變化導致的張力變化

(1) 架空線時

T_0 : 裝置架空線初始張力(kgf)

$$W = W_{1a} + W_{1b} + W_c$$

W : 裝置整體重量(kgf)

W_{1a} : 架空線上側端之礙子(含附屬品)裝置重量(kgf)

W_{1b} : 架空線下側端之礙子(含附屬品)裝置重量(kgf)

W_c : 導線重量(含導線附屬品重量) (kgf)

(2) 低溫季節(考量導線溫度低於架空線時導線溫度之情況)

$$T_{1a} = W + T_0 + \Delta T$$

$$T_{1b} = T_0 + \Delta T$$

$$\Delta T = -\Delta X \cdot R_1 \text{ (kgf)}$$

$$\Delta X = \Delta X_I + \Delta X_C \text{ (mm)}$$

T_{1a} : 架空線上側端之張力(kgf)

T_{1b} : 架空線下側端之張力(kgf)

W : 裝置整體重量(kgf)

T_0 : 裝置架空線初始張力(kgf)

ΔT : 裝置整體的張力變化值 (kgf)

ΔX : 裝置整體因溫度變化導致的伸縮量(mm)

R_1 : 裝置整體的彈簧特性常數(kgf/mm)

(3) 高溫季節(考量導線溫度低於架空線時導線溫度之情況)

$$T_{1a} = W + T_0 + \Delta T$$

$$T_{1b} = T_0 + \Delta T$$

$$\Delta T = -\Delta X \cdot R_1 \text{ (kgf)}$$

$$\Delta X = \Delta X_I + \Delta X_C \text{ (mm)}$$

T_{1a} : 架空線上側端之張力(kgf)

T_{1b} : 架空線下側端之張力(kgf)

W：裝置整體重量(kgf)

T₀：裝置架空線初始張力(kgf)

ΔT：裝置整體的張力變化值 (kgf)

ΔX：裝置整體因溫度變化導致的伸縮量(mm)

R₁：裝置整體的彈簧特性常數(kgf/mm)

4. 各部件的風壓荷重

(1) 礙子裝置(包括上側、下側全部考慮)

a. 架空線上側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓力

$$W_{W1a} = q_{1a} \cdot N_{1a} \cdot A_{1a}$$

$$q_{1a} = q_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{6.2}} \cdot C$$

W_{W1a}：架空線上側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓力(kgf)

N_{1a}：架空線上側端之礙子串數

q_{1a}：架空線上側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓(kgf/m²)

A_{1a}：架空線上側端之礙子(含附屬品)裝置之受風面積(m²)

C：風力係數，一般取 1.4

q₀：基準速度壓(kgf/m²)

b. 架空線下側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓力

$$W_{W1b} = q_{1b} \cdot N_{1b} \cdot A_{1b}$$

$$q_{1b} = q_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{6.2}} \cdot C$$

W_{W1b}：架空線下側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓力(kgf)

N_{1b}：架空線下側端之礙子串數

q_{1b}：架空線下側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓(kgf/m²)

A_{1b}：架空線下側端之礙子(含附屬品)裝置之受風面積(m²)

q₀：基準速度壓(kgf/m²)

C：風力係數，一般取 1.4

(2)導線

$$W_{WC} = q_C \cdot d \cdot N_C \cdot L_2 \cdot 10^{-6}$$

$$q_C = q_0 \left(\frac{h}{h_0} \right)^{\frac{1}{6.2}} \cdot C$$

W_{WC} ：導線之風壓力(kgf)

q_C ：導線之風壓(kgf/m²)

N_C ：導線數

d ：導線直徑(mm)

L_2 ：導線長度(mm)

q_0 ：基準速度壓(kgf/m²)

C ：風力係數

5.裝置整體的單位長平均風壓力(kgf/m)

$$\overline{W_W} = \frac{W_W}{(S \cdot 10^{-3})}$$

$$S = L_2 + L_1$$

$$W_W = \frac{(W_{W1a} + W_{W1b})}{2} + W_{WC}$$

$\overline{W_W}$ ：裝置整體的單位長平均風壓力(kgf/m)

W_W ：裝置整體的風壓荷重(kgf)

L_2 ：導線長度(mm)

L_1 ：礙子裝置的整體長度(包括上側、下側全部考慮)(mm)

W_{W1a} ：架空線上側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓力(kgf)

W_{W1b} ：架空線下側端之礙子(含附屬品)裝置之風壓力(kgf)

W_{WC} ：導線之風壓力(kgf)

6. 架空線上、下側端受風、初始張力、溫差等影響之張力檢討

類似架線後之弛度，以弛度設計所用之懸垂鏈曲線式或拋物線近似式進行分析，由於懸垂鏈曲線準確較佳，故以此說明如下：

(1)導線長度

$$S' = 2 \cdot \frac{T_{\max}}{W_W} \cdot \sinh \frac{S}{2 \cdot \frac{T_{\max}}{W_W}}$$

(2) 導線在受風、初始張力、溫差等作用下之導線長度

a. 當 $T_{\max} \leq P$ 時，彈簧發揮作用

$$S' = S + \frac{T_{\max} - T_S}{R_1} \cdot 10^{-3}$$

b. 當 $T_{\max} > P$ 時，彈簧未發揮作用

$$S' = S + \frac{P - T_S}{R_1} \cdot 10^{-3} + \frac{T_{\max} - T_S}{R_2} \cdot 10^{-3}$$

$$S = L_2 + L_1$$

T_{\max} ：導線在受風、初始張力、溫差等作用下所產生之張力

P ：彈簧式鬆緊調整器之最大使用張力(kgf)

T_S ：如為計算架空線上側端之張力則 $T_S = T_{1a}$ ；

如為計算架空線下側端之張力則 $T_S = T_{1b}$

L_2 ：導線長度(mm)

L_1 ：礙子裝置的整體長度(包括上側、下側全部考慮)(mm)

S' ：導線(含礙子裝置)在受風、初始張力、溫差等作用下之長度

以上兩式所計算之導線長度應相等，故

a. 當 $T_{\max} \leq P$ 時，彈簧發揮作用

$$2 \cdot \frac{T_{\max}}{W_W} \cdot \sinh \frac{S}{2 \cdot \frac{T_{\max}}{W_W}} = S + \frac{T_{\max} - T_S}{R_1} \cdot 10^{-3}$$

b. 當 $T > P$ 時，彈簧未發揮作用

$$2 \cdot \frac{T_{\max}}{W_W} \cdot \sinh \frac{S}{2 \cdot \frac{T_{\max}}{W_W}} = S + \frac{P - T_S}{R_1} \cdot 10^{-3} + \frac{T_{\max} - T_S}{R_2} \cdot 10^{-3}$$

以試誤法(trial and error method)求出 T_{\max} ，即確定礙子裝置及彈簧式鬆緊調整器之強度

7. 架空線下側端受風、初始張力、溫差等影響之伸縮量檢討

$$\delta = \frac{(T_{\max} - T_{1b})}{R_1}$$

$$T_{1b} = T_0 + \Delta T$$

δ ：架空線下側端受風、初始張力、溫差等影響之伸縮量(mm)

T_{\max} ：導線在受風、初始張力、溫差等作用下所產生之張力(kgf)

T_0 ：裝置架空線初始張力(kgf)

ΔT ：裝置整體的張力變化值 (kgf)

8. 架空線受風、初始張力、溫差等影響之水平變位檢討

$$h = r \cdot \left(1 - \cos \frac{\theta}{2}\right)$$

$$r = \frac{S}{\left(2 \cdot \sin \frac{\theta}{2}\right)}$$

$$S = \frac{(2 \cdot (S + \delta)) \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{\left(\frac{\pi}{180 \cdot \theta}\right)}$$

θ ：S及 δ 為本節 5.及 7.所求得之已知值，以試誤法求得 θ 值

h ：架空線受風、初始張力、溫差等影響之水平變位(mm)

δ ：架空線下側端受風、初始張力、溫差等影響之伸縮量(mm)

(三) 「彈簧式鬆緊調整器」製品之材料及組裝

彈簧式鬆緊調整器使用表 2 中所示的材料，按照圖 7 彈簧式鬆緊調整器構件示意圖所示的方式組裝而成。鋼鐵部分須進行全面熱浸鍍鋅及彈簧部分須在電鍍後使用樹脂進行塗層處理。

表 2 材料以及其適用構件

材料種類	材質	材質符號	適用事例
軟鋼	CNS 2473、JIS G 3101 (一般結構用軋鋼料)	SS400, SS490	本體類，間隔材料 螺栓・螺母類
	CNS 2947、JIS G 3106 (焊接結構用軋鋼料)	SM400A, SM490A	本體類，間隔材料

高強度鋼	拉伸強度在 590N/mm ² 以上， 伸長率在 20% 以上的鋼材	WELTEN590R	固定用五金件
鋼管	CNS 6445、JIS G 3452 (配管用 碳鋼鋼管)	SGP	間隔材料
銅合金線	CNS 10443、JIS H 3260 (銅及銅 合金線)	C2600W, C2700W	開口銷
不鏽鋼	JIS G 4303 (不鏽鋼條) JIS G 4309 (不鏽鋼線)	SUS304	開口銷
彈簧鋼	JIS G 4801 (彈簧鋼鋼材)	SUP9	彈簧

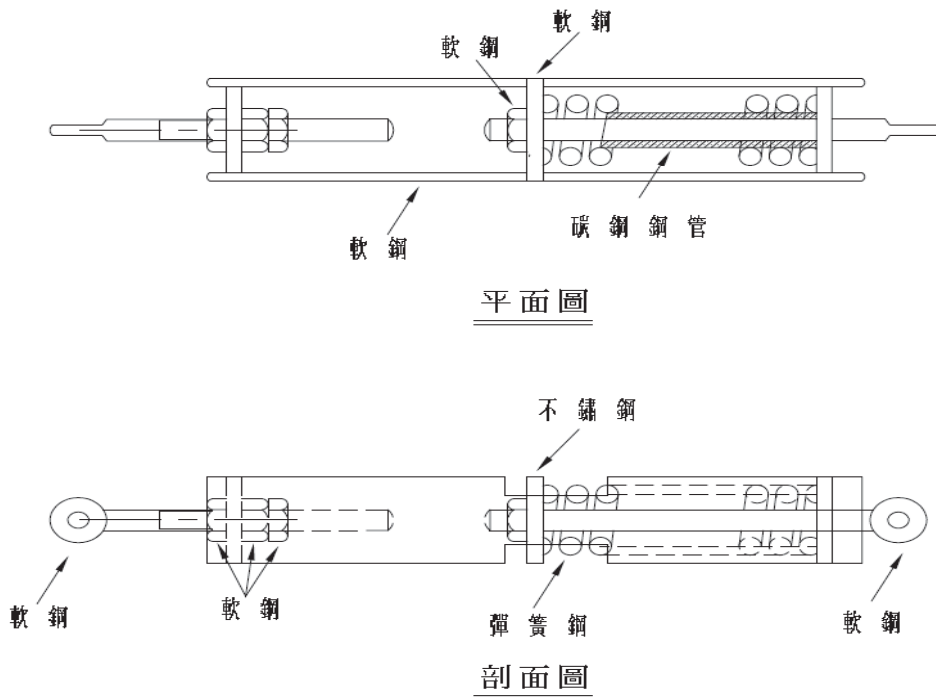


圖 7 彈簧式鬆緊調整器構件示意圖

(四)「彈簧式鬆緊調整器」製品之試驗項目，包括外觀檢查、結構、尺寸檢查、鍍鋅試驗等例行試驗；拉伸強度、抗疲勞強度試驗、彈簧的拉伸特性試驗、壓縮強度試驗等定型試驗，詳表 3。

表 3 彈簧式鬆緊調整器製品之試驗項目

試驗項目	試驗方法	合格標準
外觀檢查	透過目視及用手觸摸進行檢查。	做工良好，無影響使用的裂紋、劃痕、鏽跡等缺陷。
結構、尺寸檢查	用游標卡尺、鋼尺等，測量圖紙中標示各部位的尺寸。	各部位尺寸應在圖面標示的允許誤差之內
鍍鋅試驗	依 ASTM A153 或本公司材料標準規範 E001 規定施行附著量試驗。	附著量本體類在 $610\text{g}/\text{m}^2$ 以上，螺栓類在 $380\text{g}/\text{m}^2$ 以上。(彈簧和不鏽鋼製零件除外)
拉伸強度	在 75% 拉伸強度下，以任意速度施加载荷，之後以每秒約 1kN 的比率加大載荷，達到規定值後保持 1 分鐘，檢查有無裂紋、開裂等。	施加拉伸強度，保持 1 分鐘後，各部位無裂紋、開裂等，再徐徐增加載荷至試驗品破壞，記錄最大破壞負載及破壞處。
抗疲勞強度試驗	試驗① 在彈簧式鬆緊螺旋扣的行程範圍內，反復施加 6 萬次位移之後(利用橫向振動疲勞試驗機)，檢查有無裂紋、開裂等。	各部位無裂紋、開裂等。
	試驗② 在除彈簧的試驗品設置於疲勞試驗機上，以 1/3 的拉伸強度為上限載荷，以 1/5 的拉伸強度為下限載荷，反復施加载荷 200 萬次後，確認各部位無裂紋、開裂等。	各部位無裂紋、開裂等。
彈簧的拉伸特性試驗	施加最大工作載荷(試驗品以水平狀態安裝)，檢查載荷和位移量的特性。	與設計值比較進行評量，無明顯差異。
壓縮強度試驗	彈簧單體施加最大工作載荷(壓縮載荷)100 小時後，各部位無裂紋、開裂等	各部位無裂紋、開裂等。

(五) 可鍛公司之試驗設備介紹

1.4000kN 橫型引張試驗機(電氣油壓式)，詳圖 8，功能介紹，詳表 4。



圖 8 4000kN 橫型引張試驗機

表 4 4000kN 橫型引張試驗機之功能表

最大負荷能力	4000kN	
試驗機尺寸	長 800cm、寬 350cm、高 210cm	
負荷速度	0.5~100mm/min	
滑軌距離	1000mm	
試驗力計測方式	高精度荷重轉換信號計測方式	
試驗力測定精度	指示值±1%	

2. 500kN 橫型引張試驗機(電氣油壓式)，詳圖 9，功能介紹，詳表 5。

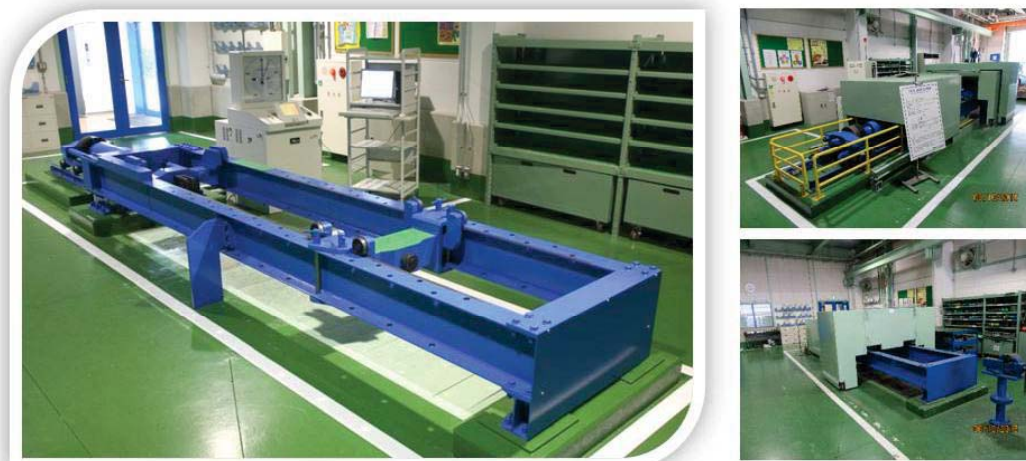


圖 9 500kN 橫型引張試驗機

表 5 500kN 橫型引張試驗機之功能表

最大負荷能力	500kN	
試驗機尺寸	長 300cm、寬 80cm、高 125cm	
負荷速度	80mm/min	
滑軌距離	500mm	
試驗力計測方式	高精度荷重轉換信號計測方式	
試驗力測定精度	指示值±1%	

3.1500kN 橫型疲勞試驗機(電氣油壓式) ，詳圖 10，功能介紹，詳表 6。



圖 10 1500kN 橫型疲勞試驗機

表 6 1500kN 橫型疲勞試驗機之功能表

最大負荷能力	1500kN	
試驗機尺寸	長 1450cm、寬 350cm、高 250cm	
最大加振速度	12Hz(振幅：0.3mm 時)	
試驗制御方式	荷重制御、變位制御方式	

4.1000kN 縱型疲勞試驗機(電氣油壓式) ，詳圖 11，功能介紹，詳表 7。



圖 11 1000kN 縱型疲勞試驗機

表 7 1000kN 縱型疲勞試驗機之功能表

最大負荷能力	1000kN	
試驗機尺寸	柱內間隔 100cm×140cm	
	長度 65cm~300cm	
行程(活塞)	±50mm	
最大加振速度	12Hz(振幅：0.3mm 時)	
試驗制御方式	荷重制御、變位制御方式	

5.750kN 磨耗試驗機(油壓式)，詳圖 12，功能介紹，詳表 8。



圖 12 750kN 磨耗試驗機

表 8 750kN 磨耗試驗機之功能表

最大垂直荷重	750kN	
試驗機尺寸	長 1450cm、寬 350cm、高 250cm	
最大加振速度	12Hz(振幅：0.3mm 時)	
試驗制御方式	荷重制御、變位制御方式	

6.300kN 縱型萬能試驗機(電氣油壓式)，詳圖 13，功能介紹，詳表 9。



圖 13 300kN 縱型萬能試驗機

表 9 300kN 縱型萬能試驗機之功能表

最大負荷能力	300kN	
試驗機尺寸	高度 80cm、幅 50cm	引張試驗
	高度 72cm、幅 50cm	壓縮試驗
負荷速度	100mm/min	
滑軌距離	200mm	
試驗力測定精度	指示值±1%	

7.鹽乾濕複合試驗機，詳圖 14，功能介紹，詳表 10。

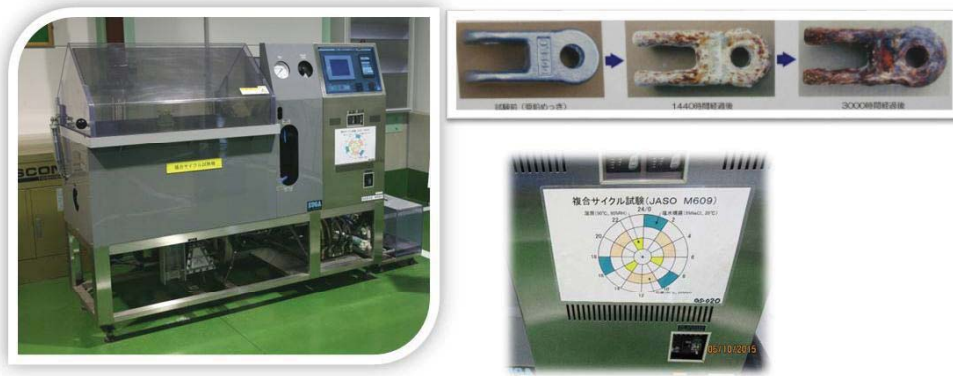


圖 14 鹽乾濕複合試驗機

表 10 鹽乾濕複合試驗機之功能表

試驗槽尺寸	幅 90cm×奥行 60cm ×高度 50cm	
噴霧濕度	溫度	35~50℃ ± 1 °C
	噴霧量	1.5ml ±0.5ml (80cm ² /h)
乾燥試驗	溫度	(RT+10)~70℃ ± 1 °C
濕潤試驗	濕度	50 °C 時 60 ±5%RH~95 ± 5%RH

三、彈簧式鬆緊調整器裝設之實績參訪

(一) 北大阪小曾根線連接站(66kV)鐵塔/關西電力公司，詳圖 15 及圖 16。



圖 15 北大阪小曾根線連接站鐵塔



圖 16 彈簧式鬆緊調整器近照

(二) 信貴敷津線連接站鐵塔/關西電力公司，詳圖 17。



圖 17 信貴敷津線連接站鐵塔

(三) 御幣島線連接站(66kV)鐵塔/關西電力公司，詳圖 18。



圖 18 御幣島線連接站鐵塔

(四) 4 導體導線引入裝置(500kV) /關西電力公司，詳圖 19。

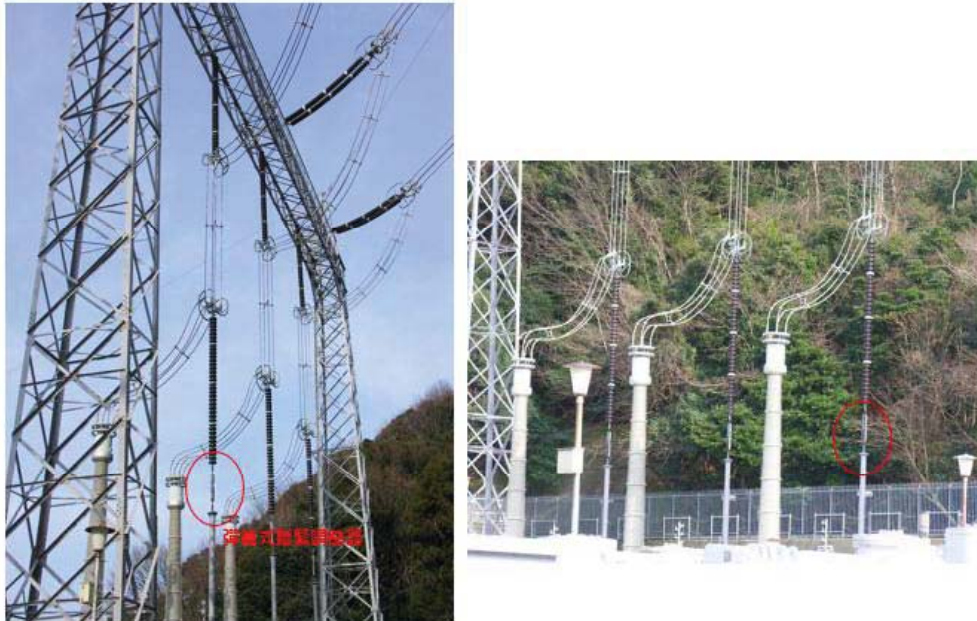


圖 19 4 導體導線引入裝置

(五) 阻塞線圈(500kV 單導體)/ 東京電力公司，詳圖 20。



圖 20 阻塞線圈引入裝置

(六) 换位塔(500kV 單導體) / 東京電力公司，詳圖 21。



圖 21 换位塔引入裝置

(七) 上側 V 吊裝置開關站引入裝置(DC±500kV 3 導體) / 關西電力公司，詳圖 22。

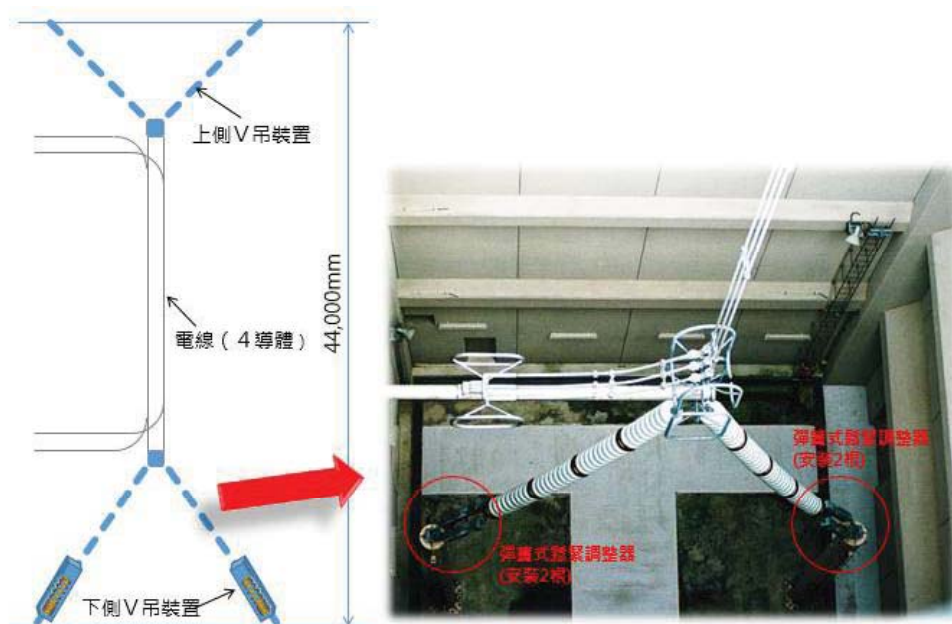


圖 22 上側 V 吊裝置開關站引入裝置

(八) 變電站引入裝置(500kV 3 導體) /關西電力公司，詳圖 23。



圖 23 變電站引入裝置

(九) 地中線引入裝置(77kV 單導體) /關西電力公司，詳圖 24。



圖 24 地中線引入裝置

(十) 地中線引入裝置/九州電力公司，詳圖 25。



圖 25 地中線引入裝置

四、鐵塔塔腳之長短腳設計

本處於 105 年度委託本公司綜研所進行「輸電鐵塔塔腳受長短腳效應之理論研究與縮小實體試驗」研究案，並已核定於 106 年辦理在案，故本次實習亦趁此與關西電力公司及日本鐵塔工業公司互為交流本項議題，茲將實習心得略為說明如下：

(一) 塔腳結構之變更

當塔腳部支柱材與斜材之夾角(θ)小於 17° 及分割數大於 7 節時，鐵塔斜材之基本結構型式須做變更，其選定原則及符合條件為：

1. 基本結構為 K 結構之情況

K 結構變更為鼓型結構，另外塔腳部支柱材與斜材之夾角限制， $20^\circ \leq \theta_1 \leq 55^\circ$ 、 $\theta_2 \leq 65^\circ$ 及 $17^\circ \leq \theta$ ，詳圖 26。

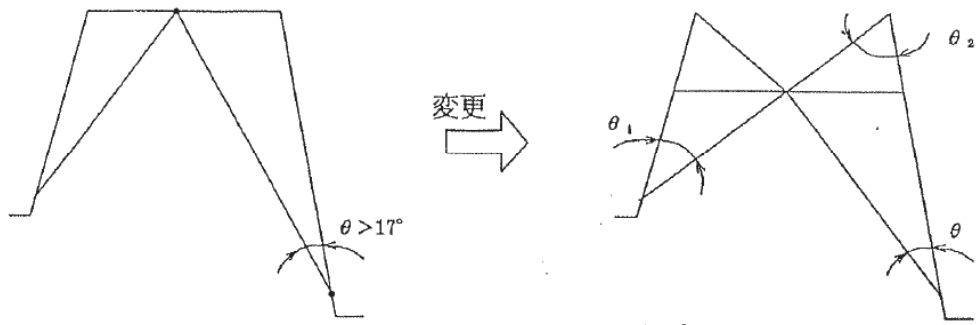


圖 26 K 結構變更方式

2. 基本結構為鼓型結構之情況

鼓型結構之水平材位置往下移做變更，並且 H 尺寸以 50mm 為一單位計量，另外塔腳部支柱材與斜材之夾角限制， $20^\circ \leq \theta_1 \leq 55^\circ$ 、 $\theta_2 \leq 65^\circ$ 及 $17^\circ \leq \theta$ ，詳圖 27。

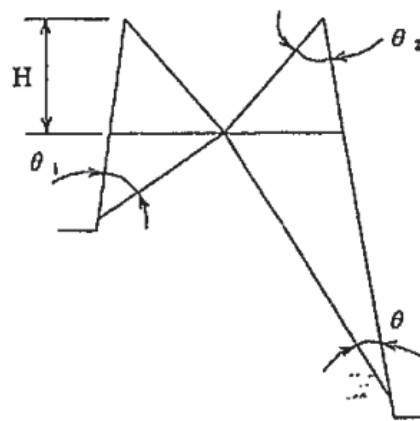


圖 27 鼓型結構變更方式

3. 當前述 1. 及 2. 方式結構選用仍無法符合，即在 $\theta \geq 17^\circ$ ，但無法符合 $20^\circ \leq \theta_1 \leq 55^\circ$ 條件下，則將鐵塔斜材之基本結構型式變更為如圖 28 及圖 29 所示，並做 3D 立體分析。

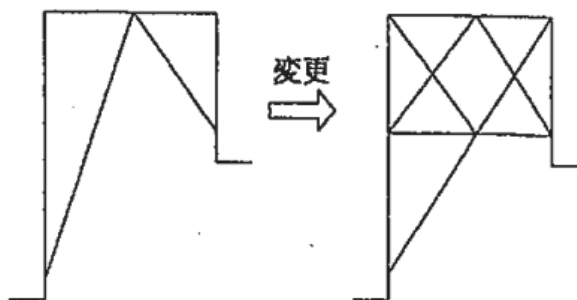


圖 28 K 結構變更方式

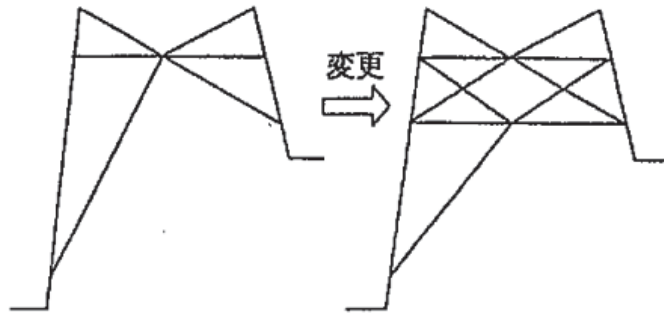


圖 29 鼓型結構變更方式

(二) 構材各數值之限制條件

1. $1 \leq K \leq 1.3$, $0 \leq t\theta \leq 1$, 詳圖 30 , 表 11。

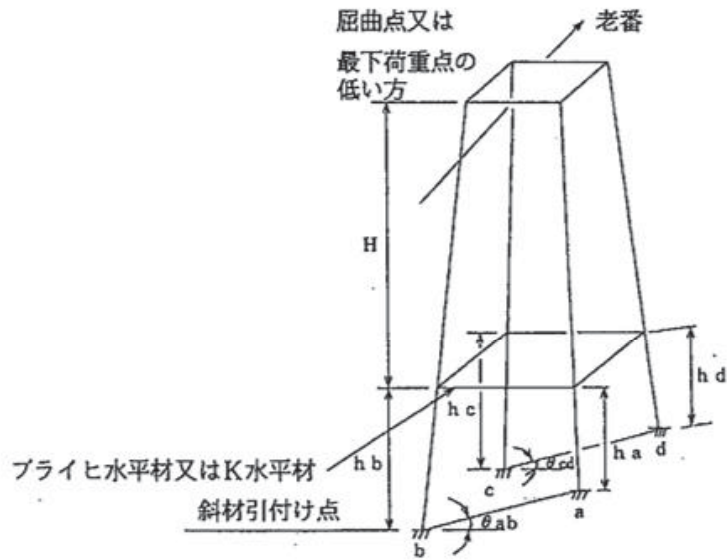


圖 30 K 值及 $t\theta$ 值引用參數示意圖

表 11 K 值及 $t\theta$ 值計算式

	K	$t\theta$
①	$\frac{H + (h_a + h_b) / 2}{H + (h_c + h_d) / 2}$	$ \tan \theta_{cd} $
②	$\frac{H + (h_c + h_d) / 2}{H + (h_a + h_b) / 2}$	$ \tan \theta_{ab} $
③	$\frac{H + (h_a + h_d) / 2}{H + (h_b + h_c) / 2}$	$ \tan \theta_{bc} $
④	$\frac{H + (h_b + h_c) / 2}{H + (h_a + h_d) / 2}$	$ \tan \theta_{ad} $

2. $\theta \geq 17^\circ$, $n \leq 6$, $\lambda_p \geq 20$, $\frac{AP}{AB} \leq 18$, 詳圖 31。

n : 塔腳部分割數

λ_p : 主柱材之細長比

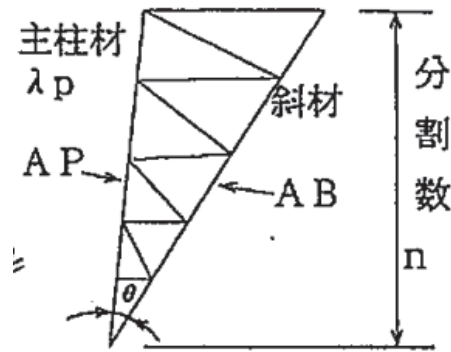


圖 31 θ 值、 n 值、 λ_p 值及 $\frac{AP}{AB}$ 值等引用參數示意圖

3. 應力決定係數

a. 主柱材應力決定係數(SP), 詳表 12。

表 12 主柱材應力決定係數(SP)

脚	K 值	$1.00 \leq K \leq 1.05$	$1.05 < K \leq 1.10$	$1.10 < K \leq 1.15$	$1.15 < K \leq 1.20$	$1.20 < K \leq 1.25$	$1.25 < K \leq 1.30$
	引張脚 (SPT)		1.10	1.13	1.16	1.19	1.22
壓縮脚 (SPC)		1.20	1.20	1.22	1.24	1.26	1.29

b. 斜材應力決定係數(SB), 詳表 13。

表 13 斜材應力決定係數(SB)

部材材質		$n \leq 4$	$n = 5, 6$		
		STK 55	$\theta \geq 20^\circ$	表a	表a
STK 55	$17^\circ \leq \theta < 20^\circ$	表a	$AP/AB \leq 13$	表a	
			$13 < AP/AB \leq 18$	$\lambda_p \geq 60$	$\lambda_p < 60$
STK 41	$\theta \geq 20^\circ$	表a	$AP/AB \leq 13$	表a	
			$13 < AP/AB \leq 18$	$\lambda_p \geq 60$	$40 \leq \lambda_p < 60$
	$17^\circ \leq \theta < 20^\circ$	表b	表b		

表 a

K	t θ		
	0 ≤ t θ ≤ 0.2	0.2 < t θ ≤ 0.6	0.6 < t θ ≤ 1.0
1.0 ≤ K < 1.1	1.3	1.4	1.5
1.1 ≤ K < 1.2	1.4	1.5	1.6
1.2 ≤ K < 1.3	1.5	1.6	1.7

表 b

AP/AB	λ p		
	20 ≤ λ p < 40	40 < λ p < 60	60 ≤ λ p
13 < AP/AB ≤ 18	2.7	2.5	1.8
8 < AP/AB ≤ 13	2.3	1.9	1.7
AP/AB ≤ 8	1.7	1.7	1.7

c. 補助材應力決定係數(SN)，詳表 14。

表 14 補助材應力決定係數(SN)

θ	n	AP/AB			
		λ p	AP/AB ≤ 8	8 < AP/AB ≤ 13	13 < AP/AB ≤ 18
θ ≥ 20°	n ≤ 4	20 ≤ λ p < 40	2.0	2.2	2.3
		40 ≤ λ p < 60	2.0	2.0	2.0
		60 ≤ λ p	2.0	2.0	2.0
	n = 5, 6	20 ≤ λ p < 40	2.0	2.3	2.5
		40 ≤ λ p < 60	2.0	2.0	2.0
		60 ≤ λ p	2.0	2.0	2.0
17° ≤ θ < 20°	n ≤ 4	20 ≤ λ p < 40	2.7	3.3	3.4
		40 ≤ λ p < 60	2.0	2.4	2.4
		60 ≤ λ p	2.0	2.0	2.0
	n = 5, 6	20 ≤ λ p < 40	2.0	3.5	3.5
		40 ≤ λ p < 60	2.0	2.4	2.4
		60 ≤ λ p	2.0	2.0	2.0

d. K 水平材應力決定係數(SKH)，詳表 15。

表 15 K 水平材應力決定係數(SKH)

K 值	1.00 ≤ K ≤ 1.05	1.05 < K ≤ 1.10	1.10 < K ≤ 1.15	1.15 < K ≤ 1.20	1.20 < K ≤ 1.25	1.25 < K ≤ 1.30
(SKH)	1.07	1.18	1.27	1.37	1.47	1.58

五、鐵塔最新設計技術(3D 動力分析)

本處已於 104 年度委託本公司綜研所進行「輸電線路受風及震害(含坡地災害)之境況模擬與風險評估」研究案，並由國家地震中心承攬辦理，本次實習亦趁此與日本鐵塔工業公司互為交流本項議題，茲將實習心得略述如下：

(一) 輸電線路受風之動力分析研究，分析流程詳圖 32。

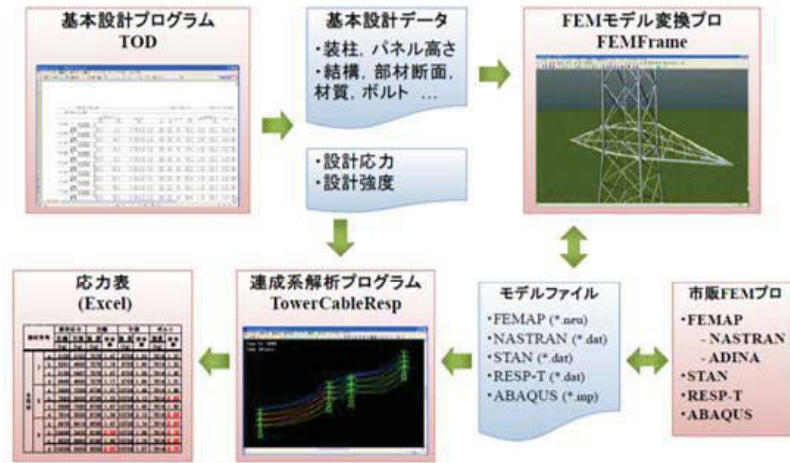


圖 32 輸電線路受風之動力分析流程

1. 調查國內九州地區歷年最大颱風路徑，詳圖 33。

鉄塔に被害を及ぼした九州の大型台風

- 1991年 台風17号
- 1991年 台風19号
- 1993年 台風13号
- 1999年 台風18号

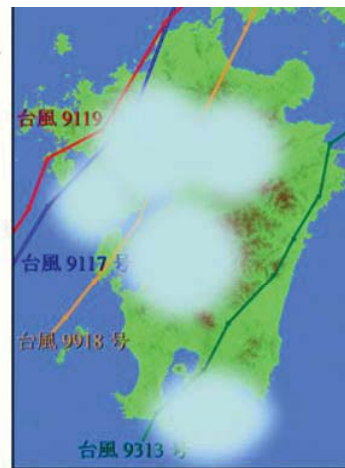


圖 33 九州地區歷年最大颱風路徑圖

2. 研究標的物之觀測儀器安裝，如光學式變位計、超音波風速計等，將監測資料傳輸至集錄器內，詳圖 34。



圖 34 觀測儀器安裝實照

3. 塔頂受風最大變位(觀測與解析比較)統計圖，詳圖 35。

經分析所得鐵塔(含輸電導線)頂端受風最大變位之解析值與現場光學變位計所得之觀測值差異不大，印證所建立之分析模式有一定的精確度。

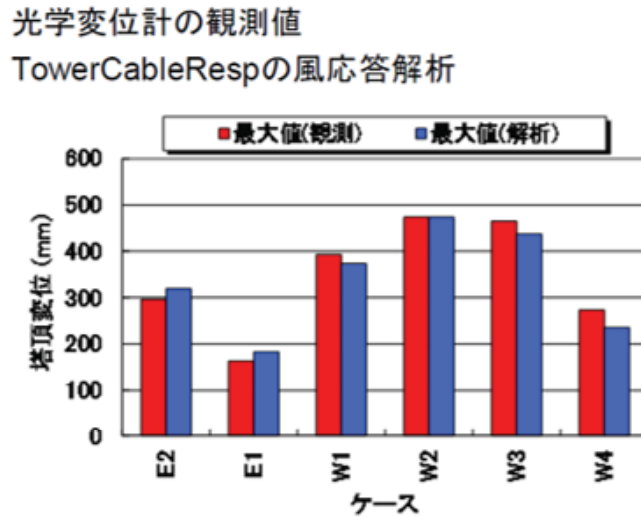


圖 35 塔頂受風最大變位(觀測與解析比較)統計圖

4. 3D 動力分析(風)展示成果圖，詳圖 36。

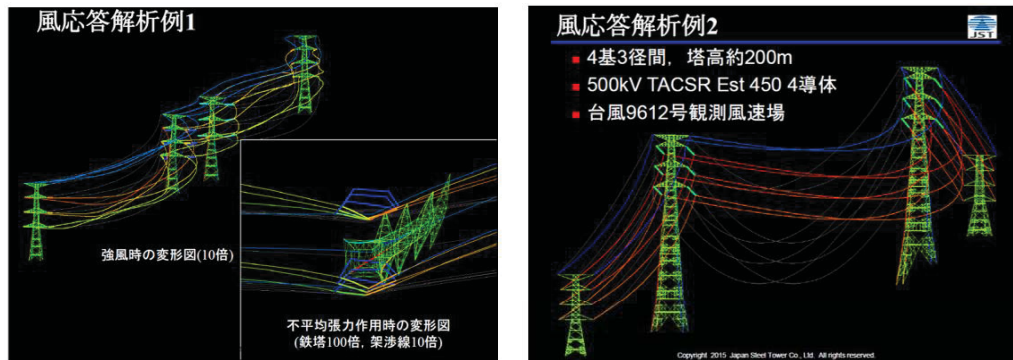


圖 36 3D 動力分析(風)展示成果圖

(二) 輸電線路受地震之動力分析研究

1. 調查國內東北地區歷年地震分布情形、地震歷時紀錄及最大地表加速度等資料，供研究鐵塔(含輸電導線)受地震影響之反應，其中以 2011 年 3 月 11 日所發生東北地方太平洋近海地震(福島地震)於福島第一核能發電廠所測得瞬間最大加速度水平方向達 800gal，詳圖 34。

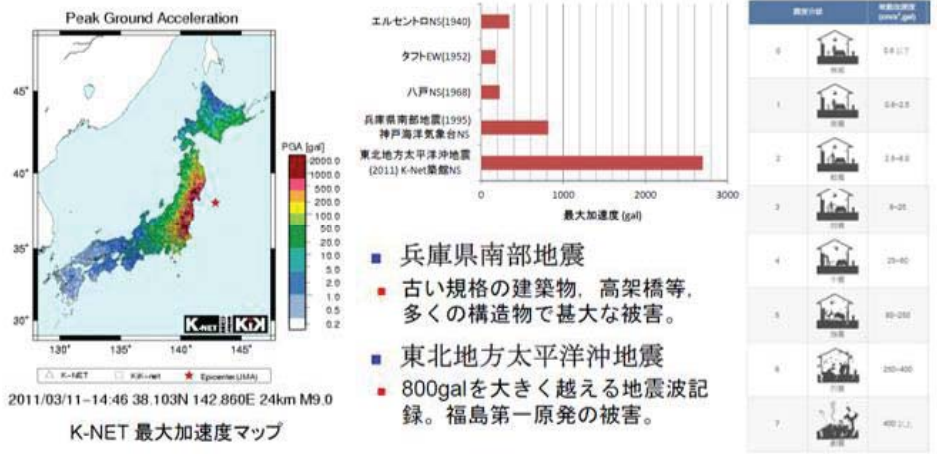
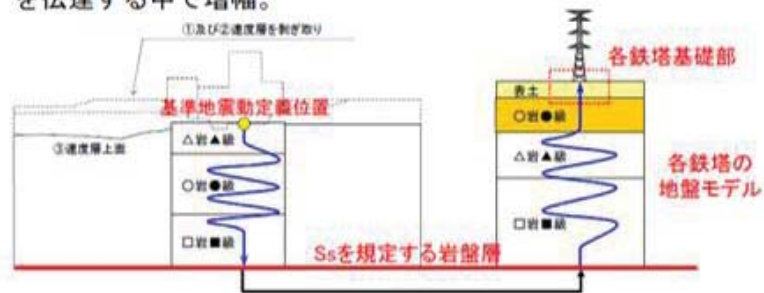


圖 34 東北地區歷年地震分布資料

2. 日本近年來送電用鐵塔於強震區之耐震檢討方式，詳圖 35。

- 東北地方太平洋沖地震以降
 - 福島第1原発の被害により、原発構内の鉄塔も耐震評価対象に。
- 原子力規制委員会による耐震計算審査
 - 川内・玄海原発では、620galの基準地震動を想定。
 - 基準地震動は解放基盤面に入力され、各設備の基礎までの地盤を伝達する中で増幅。



3. 3D 動力分析(地震歷時分析)展示成果圖，詳圖 36。

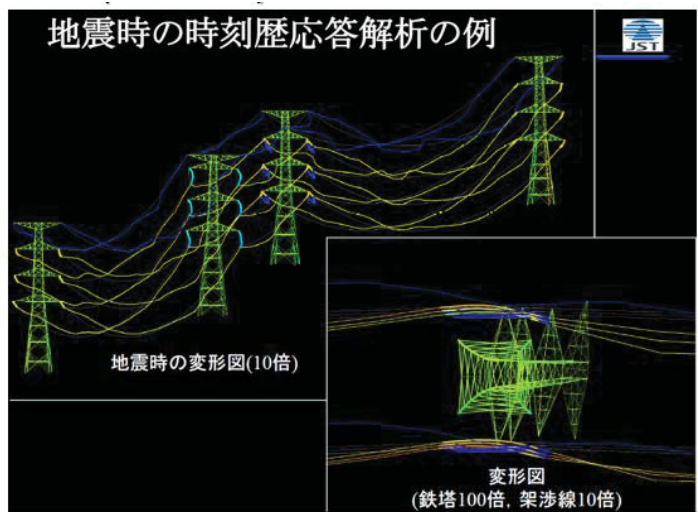


圖 36 3D 動力分析(地震歷時分析)展示成果圖

(三) 鐵塔受坡地滑動影響之檢討

- 鐵塔基礎因受坡地滑動、地盤下陷而有不同變位，間接造成鐵塔破壞或構件受力過大，故模擬該破壞分析係將鐵塔底部進行強制水平及垂直變位，詳圖 37 及圖 38。

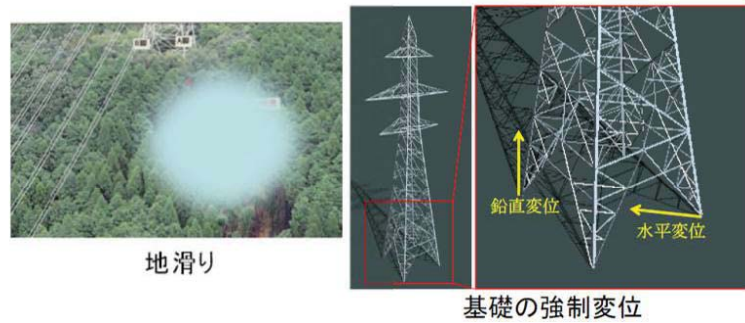


圖 37 鐵塔受坡地滑動影響之分析

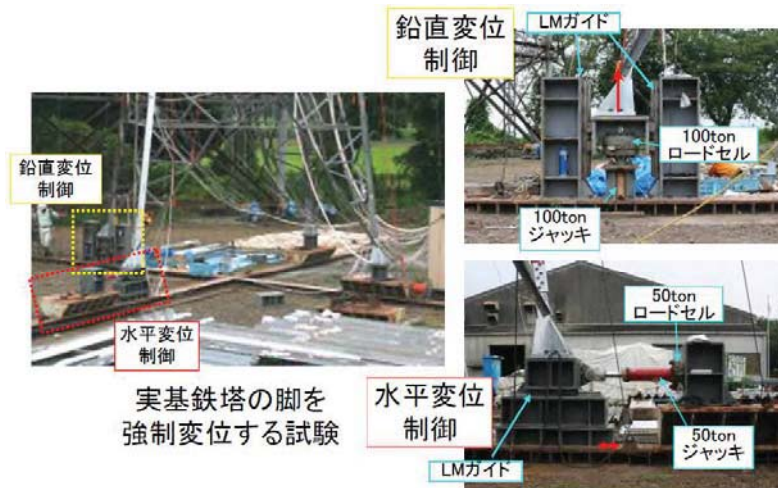
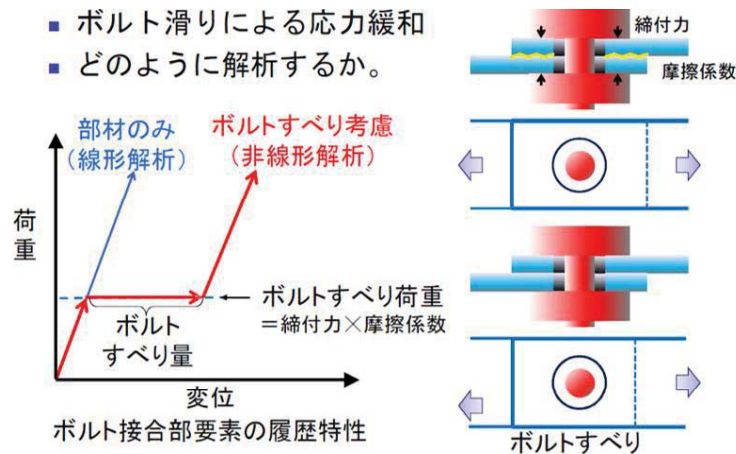


圖 38 模擬鐵塔受坡地滑動影響之實地試驗

- 考慮鐵塔接合處之螺栓滑移之分析，詳圖 39。

- ボルト滑りによる応力緩和
- どのように解析するか。



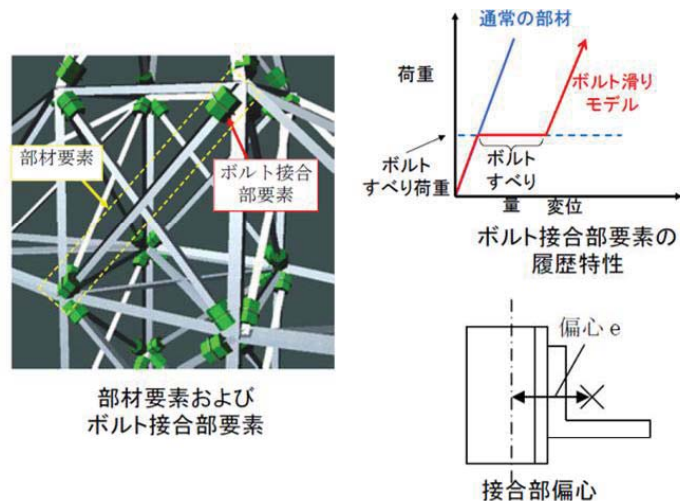


圖 38 鐵塔接合處之螺栓滑移之分析

3. 鐵塔受邊坡滑動(含螺栓滑移)之破壞分析模式，詳圖 39。

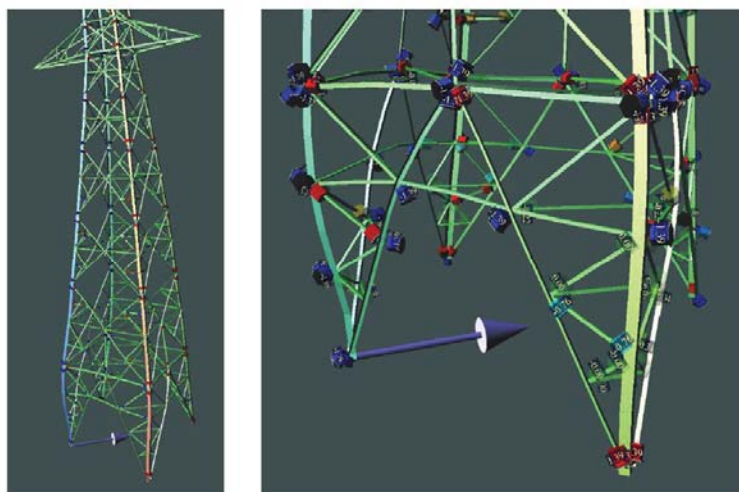


圖 39 鐵塔受邊坡滑動(含螺栓滑移)之分析

肆、心得與建議

- 一、「彈簧式鬆緊調整器」(日本稱為彈簧式鬆緊螺旋扣)已在日本使用多年，該裝置可有效減少連接站鐵塔之引下線垂直負載，且因設有負載刻度，可供引下線拉設正確之拉力，確保載體安全荷重；在設計及檢驗方面已有資料可供參考，且在施工、維護及更換作業上並不困難，值得推廣使用。
- 二、日本目前未有「彈簧式鬆緊調整器」更換週期之規定，通常是隨導線更換時再一併檢討是否更換。
- 三、日本使用彈簧式鬆緊螺旋扣產品至今未有發生過故障之案例，只要本體構

件之設計強度足夠，即使發生彈簧彈性消失或折損等情況時，僅引下線負載的被吸收能力消失，但本體構件作為引下線鎖扣的抗拉作用仍保持不變，因此不會有因裝置該設施而衍生其他災害事故發生。

四、加大鐵塔塔腳之長短腳差異，可供深基礎使用於較陡之地形，減少使用施工不易之單基樁或雙筒基樁，並降低土建施工費用，故本處於 105 年度委託本公司綜研所進行「輸電鐵塔塔腳受長短腳效應之理論研究與縮小實體試驗」研究案，並已核定於 106 年辦理在案，本次實習索取之相關資料可供日後研究之參考。

五、經與關西電力公司初步討論：日本通常以實體試驗為主，如採「縮小實體試驗」應可達相似之結果，建議可採縮小比例之負載條件進行鐵塔設計後，以鐵塔 B.L 線以下進行該設計之實體組裝試驗，如僅以塔腳部位測試，因力量傳遞分配與實際不同，恐無法得到實際破壞模式。

六、日本目前鐵塔開發仍維持以平面應力分析(圖解法+單位應立法)為主，即本公司現有鐵塔開發方式，因其應力傳遞及分配可充分使設計者充分得知，較直接以 3D 建模分析為佳。惟如遇特殊案例則才以 3D 動力分析研討回饋比較。

七、本處於 104 年度委託本公司綜研所進行「輸電線路受風及震害(含坡地災害)之境況模擬與風險評估」研究案，並由國家地震中心承攬辦理，本次實習索取之相關資料可供本研究之參考，且經與日本鐵塔工業公司初步交流：本研究案之建模構想及分析模式與該公司分析方式相同，另輸電線路鐵塔(含輸電導線)之受風動力分析及鐵塔受邊坡滑動下陷(含螺栓滑移影響)之影響分析，國內尚未有相關之研究，祈未來能於本研究案有所成果。

八、在實習過程中，可知該國之鐵塔開發技術與研究精神值得我們學習，例如利用有限元素套裝軟體(FEM)而自行開發一套輸電線路受風力、地震及坡地之破壞解析模式，以深入瞭解之力學行為，確保鐵塔安全無虞。

九、在九建公司安排參訪「唐律西九州線塔基工程」施工過程中，見習到工地對於環境衛生之維護與勞工作業之安全要求十分嚴格並確實依規定執行，值得本處學習。

十、感謝公司各級長官給予職等此次國外實習的機會，亦感謝所參訪的關西電

力公司、日本鐵塔工業公司、日本可鍛公司及九建公司等盡心安排會議研究與現場見習，使職等增長專業知識和開拓視野，獲益良多。