

出國報告（出國類別：實習）

# 輸電鐵塔使用十字角鋼之設計、製作、檢驗及維護技術實習

服務機關：台灣電力公司

姓名職稱：李元平/電機工程師

派赴國家：日本

出國期間：97年12月1日至97年12月6日

報告日期：98年1月17日

# 行政院及所屬各機關出國報告提要

出國報告名稱：

**輸電鐵塔使用十字角鋼之設計、製作、檢驗及維護技術實習**

頁數 22 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

李元平/台灣電力公司/輸變電工程處/電機工程師/02-23229826

出國類別：1 考察 2 進修 3 研究 4 實習 5 其他

出國期間：97年12月1日~97年12月6日 出國地區：日本

報告日期：98年1月17日

分類號/目

關鍵詞：輸電鐵塔、十字角鋼、鋼管鐵塔

內容摘要：(二百至三百字)

大尺寸角鋼一旦停產缺料，對本公司輸電工程計畫推動影響重大，得知日本輸電鐵塔曾使用十字角鋼替代大尺寸角鋼，且實績良好，故此次特前往日本研習，茲將研習成果整理成此文，本文內容含蓋如下：

1、日本輸電鐵塔使用十字角鋼輸電鐵塔情形。2、L型角鋼與十字角鋼機械特性之比較。3、十字角鋼焊接方式。4、主柱材中L型角鋼與十字角鋼接續方式及相同之十字角鋼接續方式。5、補強板裝設位置與焊接規定。6、十字角鋼鐵塔與鋼管型鐵塔比較。7、鐵塔最新解析手法(動的耐風設計)8、鐵塔組立勘查介紹。

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

# 目次

	頁次
壹、緒論.....	4
貳、過程.....	5
一、行程簡介.....	5
二、本次實習內容.....	5
參、研習內容.....	6
一、日本輸電鐵塔使用十字角鋼輸電鐵塔情形.....	6
二、L型角鋼與十字角鋼基械特性之比較.....	6
三、十字角鋼焊接方式.....	7
四、主柱材中L型角鋼與十字角鋼接續方式及相同之十字角鋼接續方式.....	9
五、補強板裝設位置與焊接規定.....	12
六、十字角鋼鐵塔與鋼管型鐵塔比較.....	12
七、鐵塔最新解析手法(動的耐風設計).....	17
八、鐵塔組立勘查介紹.....	18
肆、心得與建議.....	21

## 壹、緒論

本公司輸電線路使用之支持物係以角鋼鐵塔為主，而目前國內鐵塔製造廠商所使用之角鋼材料亦均自國外進口設計加工，但近年來由於國外大型鐵塔大多改採鋼管設計製成，以致大尺寸角鋼(HL300x35 及 HL350x35)市場需求下滑，連帶著角鋼製造廠商在商業利益考量即亦只能停產。

考量大尺寸角鋼一旦停產缺料，對本公司輸電工程計畫推動影響重大，除現行使用中之 345kV 之 E5(18M繼塔)型、X5 型、161/161 kV 之 4X2 型鐵塔面臨無料使用外，新開發 345kV/161kV 之 DEP、EEP 及 JEP 型鐵塔亦將無法如期開發完成。經由國外技術報導得知日本電力公司曾有使用實績，希望藉由此次日本研習所得成果，能對日後使用十字角鋼上有所助益，進而確保本公司輸電線路工程品質。

## 貳、過程

### 一、行程簡介

本次赴日本實習從民國 97 年 12 月 1 日到 12 月 6 日總計 6 天行程如下表所示：

日期	工作內容
97. 12. 1	去程
97. 12. 2	1、日塔公司參觀(若松工廠) 2、輸電鐵塔使用十字角鋼之設計、製作、檢驗及維護技術實習研習
97. 12. 3	1、輸電鐵塔使用十字角鋼之設計、製作、檢驗及維護技術實習研習 2、關門 500kv 連接線現場勘查
97. 12. 4	北九州 500kV 幹線#139 鐵塔組立現場勘查
97. 12. 5	菊池川弓削線(66kV)換線工事現場勘查
97. 12. 6	回程

### 二、本次實習內容

本文實習內容如下列說明：

1. 日本輸電鐵塔使用十字角鋼輸電鐵塔背景
2. L 型角鋼與十字角鋼機械特性之比較
3. 十字角鋼焊接方式
4. 主柱材中 L 型角鋼與十字角鋼接續方式及相同之十字角鋼接續方式。
5. 補強板裝設位置與焊接規定。
6. 十字角鋼鐵塔與鋼管型鐵塔比較。
7. 鐵塔最新解析手法(動的耐風設計)
8. 鐵塔組立勘查介紹

## 參、研習內容

### 一、日本鐵塔使用十字角鋼輸電鐵塔使用情形

#### 1. 早期情形

日本最早之十字角鋼鐵塔之使用，係於 1965 年東京電力公司規劃 500kV 輸電線路開始，當時因考量 L 型最大尺寸角鋼無法滿足鐵塔強度需，故進行研發十字角鋼以供使用，其基準後來亦被日本鐵塔協會編修列入「送電用山形鋼鐵塔製作基準」中。惟日本國內輸電線路鐵塔愈建愈高大，十字角鋼後來亦不敷使用，又改以鋼管型鐵塔替代，故十字角鋼在早期算是從 L 型角鋼演變到現今使用之鋼管型鐵塔之過渡期產物。

#### 2. 現今情形

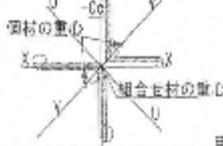
日本使用鋼管型鐵塔至今超過 30 多年，在技術上已算是相當純熟，故近年來已很少有輸電線路採用十字角鋼鐵塔，除非是有特殊之考量，才會使用十字角鋼鐵塔，如電源開發株式會社正在興建之大間幹線 500kV 線路，因該線路經過區域離海岸線距離較近，考量鋼管型鐵塔之鋼管內面防蝕維護上較不易，因此方採用十字角鋼型鐵塔。

### 二、L 型角鋼與十字角鋼機械特性之比較

L 型角鋼與十字角鋼皆係使用 SS400 或 SS540 之碳鋼材質，僅構造有所差異，而十字角鋼係以 2 支 L 型角鋼以背對背接觸，再施以填角焊連續焊接方式而成以提高其機械強度，如表 1 所示 2 支 L 型角鋼填角焊後其斷面係數

大幅提升，有助鐵塔結構增強。唯該 2 支 L 型角鋼尺寸，以相同尺寸焊接較佳，不同時亦以相差一級為限。

表 1 L 型角鋼與十字型角鋼斷面性能比較表

等辺山形鋼および十字断面材の断面性能表

個材の断面性能							XL (山形鋼合成断面) 断面性能表									
規格寸法	断面積	質量	重心	断面二次モーメント			断面積	質量	重心	断面二次モーメント			貫通半径			
(mm)	(cm <sup>2</sup> )	(kg/m)	(cm)	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>xy</sub>				(cm <sup>2</sup> )	(kg/m)	(cm)	I <sub>x</sub>	I <sub>y</sub>	I <sub>xy</sub>	r <sub>x</sub>
L130x9	22.74	17.5	3.53	304	583	152	XL 130x9	45.48	35.0	0	1300	1170	1420	5.35	5.07	5.61
L130x12	34.77	27.3	4.14	740	1180	304	XL 130x12	69.54	54.6	0	2070	2360	2910	6.2	5.83	6.58
L175x12	49.52	39.4	4.75	1170	1800	490	XL 175x12	81.04	63.6	0	4150	3720	4560	7.18	6.73	7.53
L175x15	60.21	48.5	4.85	1460	2290	595	XL 175x15	100.42	78.8	0	5240	4600	5900	7.22	6.75	7.67
L200x15	67.75	45.3	5.46	2180	3470	891	XL 200x15	107.96	84.7	-0.655	5490	5760	7190	7.74	7.3	8.18
L200x20	76	59.7	5.57	2820	4490	1160	XL 200x20	132	119.4	0	10500	8900	12100	8.21	7.69	8.92
L250x25	119.4	93.7	7.1	6950	11000	2590	XL 250x25	213.15	167.3	-1.4	15200	16400	21500	9.45	8.77	10.1
L250x35	152.9	129	7.49	9110	14400	3790	XL 250x35	325.2	256	0	35300	28300	43700	10.5	9.41	11.5

### 三、 十字角鋼焊接方式

十字角鋼焊接方式係將二支 L 型角鋼施以填角焊而成，二支 L 型角鋼之背間隔須為 0，如圖 1 所示，且隨著 L 型角鋼尺寸之不同，其焊接之焊腳長亦應有所不同，有關不同尺寸角鋼之焊腳長請詳表 2 所示。

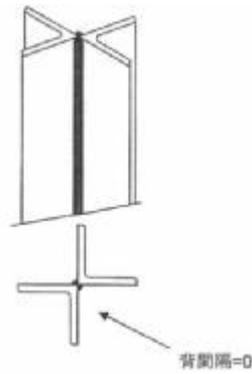


圖 1 十字鋼材構造圖

表 2 十字角鋼焊接腳長尺寸表

適用 L 型角鋼	焊接腳長(mm)
L120x8~ L130x9	6
L150x12	7
L175x12~ L175x15	8
L200x15~ L250x35	9

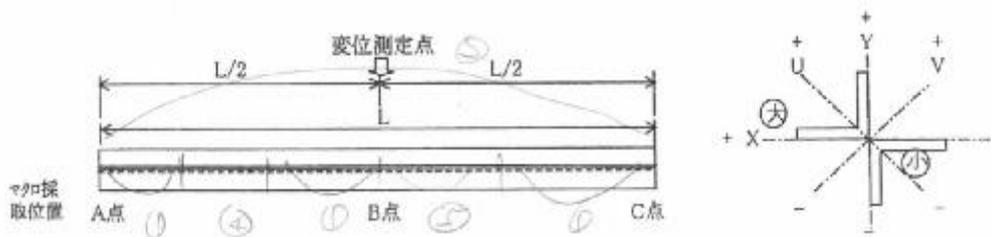
至於焊接時應採用何種焊接方式，日本廠家亦有對二種焊接方式進行試驗，第一種焊接方式(CASE A)：其先在第一面連續焊接完成後再焊接第二面；第二種焊接方式(CASE B)：其先將第一面分成 5 等份，並先將其中不連續之 3 等份焊接，再連續焊接完成第二面，然後再回來焊接第一面所剩下之 2 等份，經以 2 組樣品(如表 3 及表 4 所示)分別以二種焊接方式焊接後評估其成果，結果以第一種焊接方式(CASE A)較佳，因為其鋼材變位量較小。

表 3 試驗樣品一覽表

試驗體名	アングルの組合せ		溶接方法
1 A	L200×15	L175×15	CaseA
1 B	L200×15	L175×15	CaseB
2 A	L200×20	L200×15	CaseA
2 B	L200×20	L200×15	CaseB

表 4 試驗樣品變位量量測結果

試驗體名	溶接後(mm)					めっき後(mm)				
	X	Y	U	V	L	X	Y	U	V	L
1 A	-6.0	-6.0	-5.0	0.0	9000.0	3.0	4.0	7.0	0.0	9000.0
1 B	-7.0	-4.0	-4.0	0.0	9000.0	6.0	5.0	9.0	0.0	9000.0
2 A	-1.5	-2.0	-1.0	0.0	9000.0	-2.0	-1.0	0.0	0.0	9000.0
2 B	-2.0	-1.5	0.0	0.0	9000.0	6.0	4.0	11.0	0.0	9000.0



#### 四、 主柱材中 L 型角鋼與十字角鋼接續方式及相同之十字角鋼接續方式

鐵塔構材之接續方式影響鐵塔極為重大，因為其關係著整個鐵塔應力之傳遞，在日本之「送電用山形鋼鐵塔製作基準」中，其亦有所規定，茲將其規定說明如下。

##### 1. 相同十字角鋼接續

###### (1) 外接續

相同十字角鋼外接續方式如圖 2 所示，其係於內側主柱材角鋼

之二外側加入二支 L 型角鋼作為接續用之繼手材，唯此方式有一缺點，即因內外角鋼經高溫焊接後會產生些許之位移偏差，將有可能導致該二繼手材無法與主柱材接續，因此製造廠家大都不採用此接續方式。

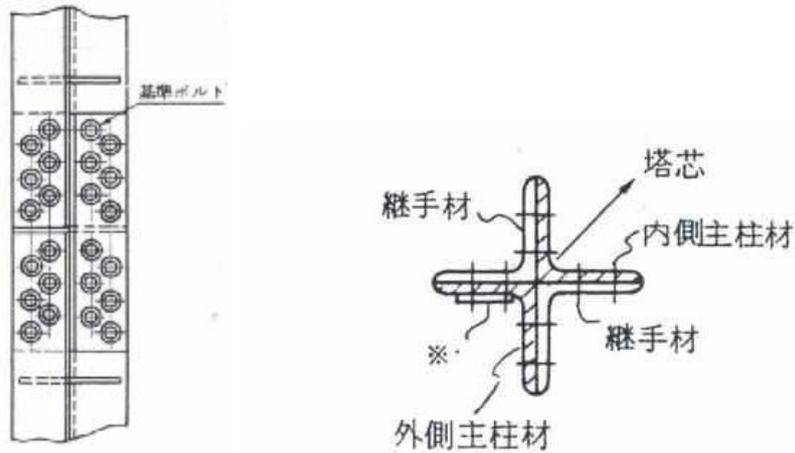


圖 2 相同十字角鋼外接續圖

## (2) 內接續

相同十字角鋼內接續方式如圖 3 所示，其分別於內、外側主柱材角鋼之內側加入 L 型角鋼作為接續用之繼手材，此一方式無外接續方式之缺點，日本製造廠家大都採用此方式接續。

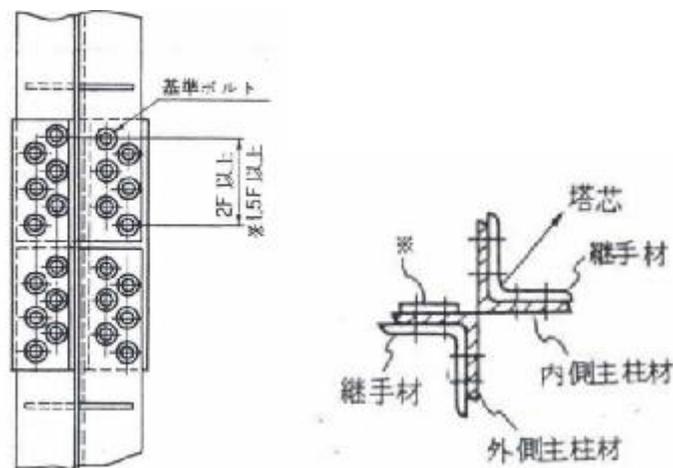


圖 3 相同十字角鋼內接續圖

## 2. L 型角鋼與十字型角鋼接續

L 型角鋼與十字角鋼接續部位主要使用在鐵塔二個部位，其一是鐵塔之屈曲部位如圖 4 所示，另一部位為是橫擔主材部位如圖 5 所示，該二圖係目前日本電源開發株式會社用於建造大間幹線 500kv 線路之製作基準，其大致與日本鐵塔協會之「送電用山形鋼鐵塔製作基準」規定一致，惟其有一規定不同，即是圖 4 與圖 5 中之接續材 ㊦ 材在「送電用山形鋼鐵塔製作基準」中並未規定，據鐵塔公司表示，加入 ㊦ 材主要係為改善 L 型角鋼與十字角鋼偏心。



圖 4 屈曲部位接續圖

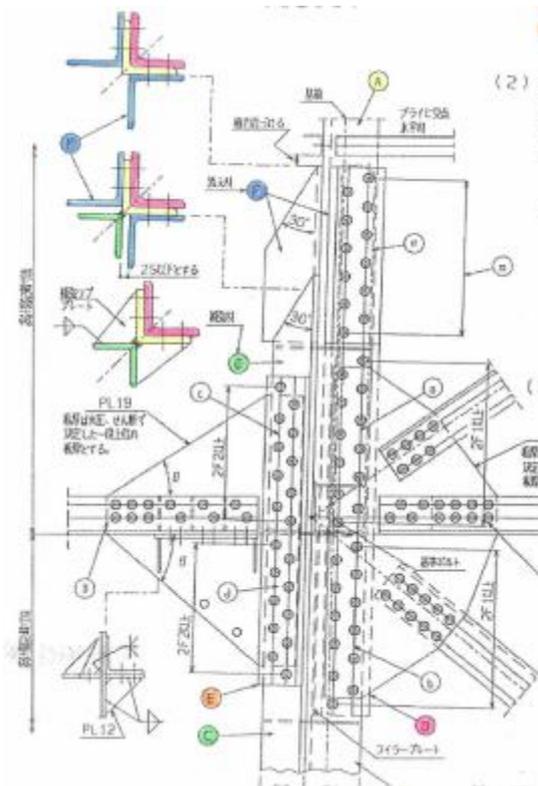


圖 5 橫擔主材部位接續圖

## 五、 補強板裝設位置與焊接規定

補強板係對十字角鋼結構補強之用，其施作之位置主要在鐵塔之接續部位(如 L 型角鋼與十字型角鋼接續部位或相同十字角鋼接續部位)，及一般節點部位(如腹材與主柱材連接點或水平材與主柱材連接點)。而補強板與十字角鋼之焊接規定詳如表 5 所示。

表 5 補強板厚度及焊腳長尺寸表

適用 L 型角鋼	補強板厚度(mm)	焊接腳長(mm)
L120x8 以下	6	5
L130x9~ L200x25	9	6
L250x25~ L250x35	12	7

## 六、 十字角鋼鐵塔與鋼管型鐵塔比較

十字角鋼與鋼管皆是因考量 L 型角鋼機械強度不足進而取代之構材，惟該二構材構造及材質皆不同，故從鐵塔之設計、製作、運送、施工至維護，其皆各有所優劣點，為分析比較二者之差異，此次研習日之本鐵塔公司特針對 500KV 輸電線路，分小角度(A 型)、中角度(B 型)及大角度(F 型)三種型式，試設計十字角鋼鐵塔(圖 6~圖 8)與鋼管鐵塔(圖 9~圖 11)，再以試設計結果進行差異分析，茲將該二種型式鐵塔優劣比較分析彙整如表 5 所示。

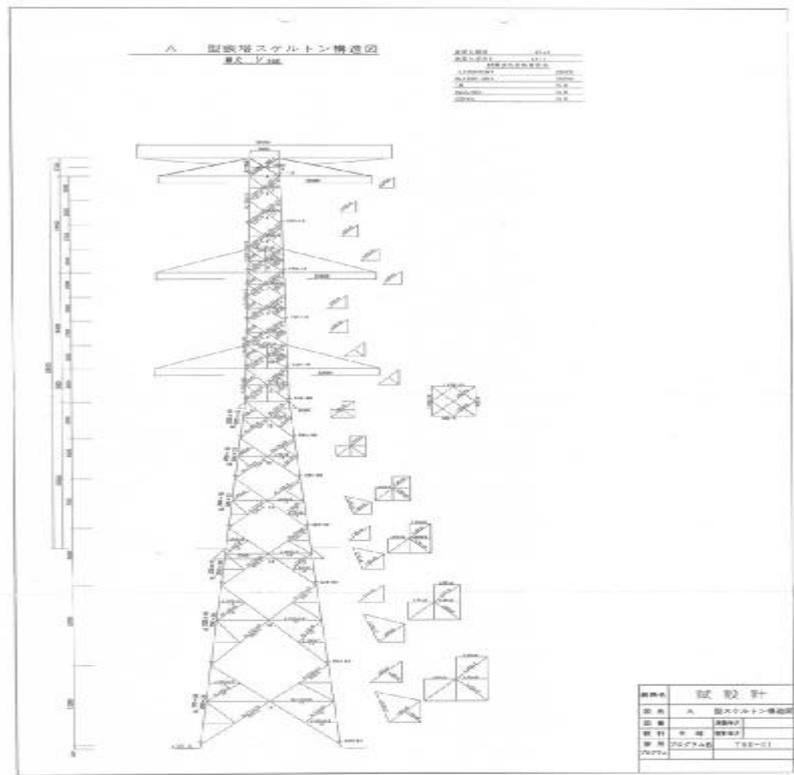


圖 6 500kV 十字角鋼 A 型鐵塔圖

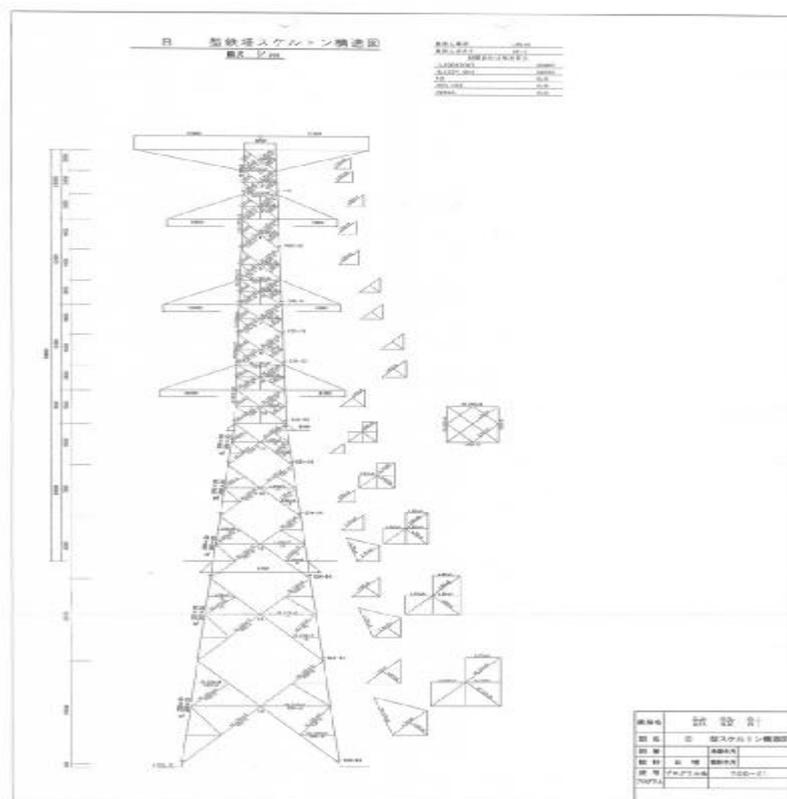


圖 7 500kV 十字角鋼 B 型鐵塔圖

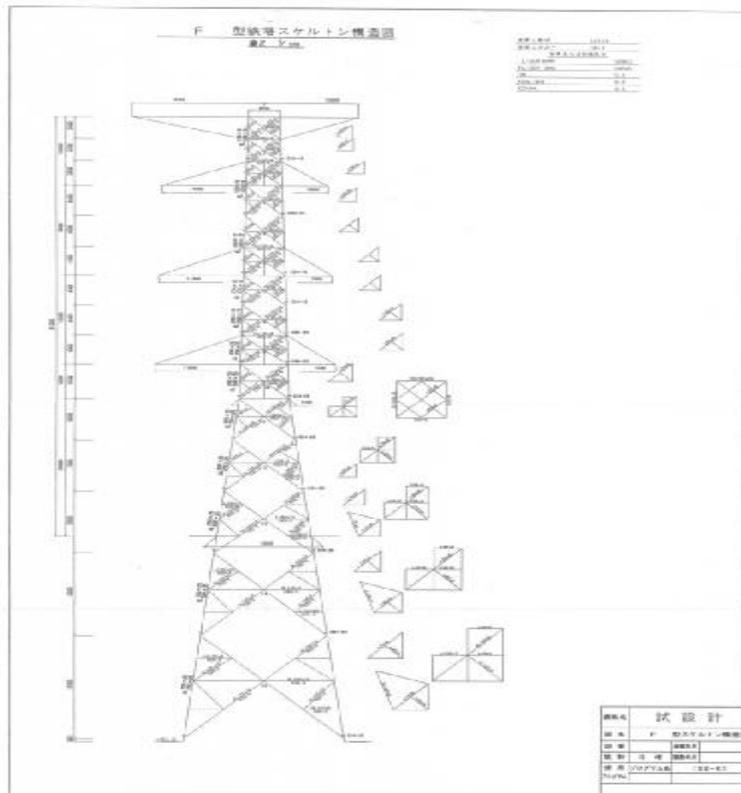


圖 8 500kV 十字角鋼 F 型鐵塔圖

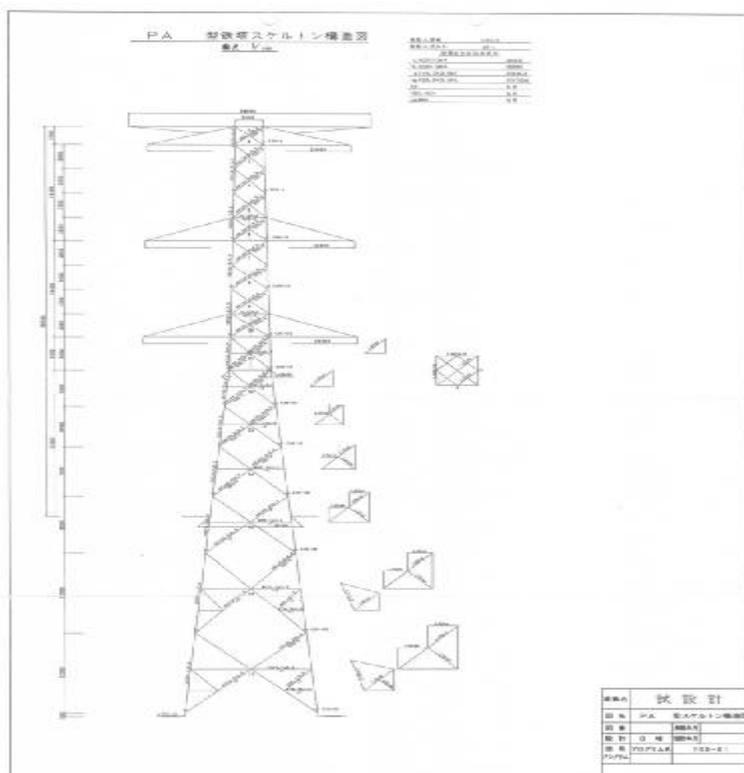


圖 9 500kV 鋼管 A 型鐵塔圖

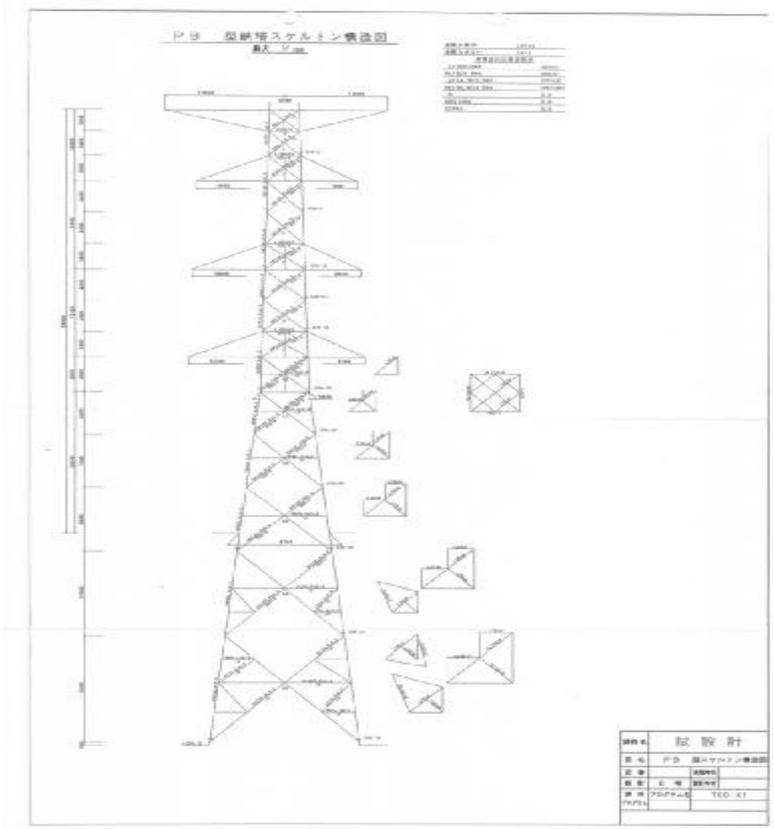


圖 10 500kV 鋼管 B 型鐵塔圖

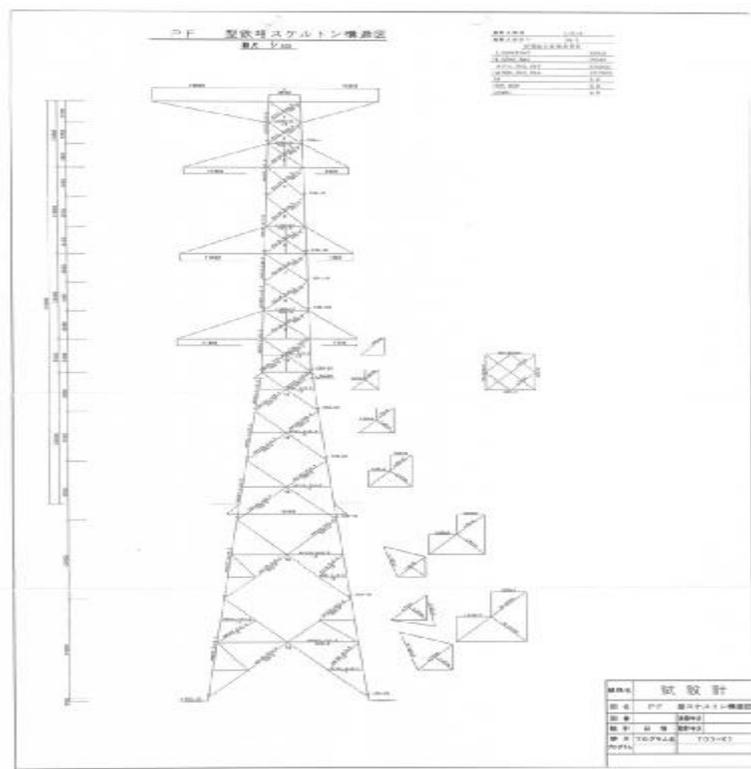


圖 11 500kV 鋼管 F 型鐵塔圖

表五 十字角鋼鐵塔與鋼管型鐵塔比較分析表

		鋼管	十字	說明
		鐵塔	鐵塔	
材料取得		○	◎	L 型角鋼使用範圍廣，在市面上材料取得較為方便，而鋼管鐵塔使用之鋼管市面較少製作，須事先訂製，故材料取得約需多 1~2 個月。
鐵塔設計		◎	◎	目前日本鐵塔設計均已電腦化，故二者沒有太大差異。
圖面、現寸		◎	○	因十字角鋼之接續部位仍須再藉由人工修改，故此部份作業較費工。
製作	焊接	○	◎	十字角鋼鐵塔僅於十字角鋼成型時須予填角焊，但鋼管鐵塔焊接部位極多，除了鋼管頭加焊接鈹還有許多加勁鈹焊接，故焊接製作較費人工。
	運送	○	◎	鋼管鐵塔因為鋼管構造體積較大運送上較為不利。
鐵塔組裝		○	○	在日本鋼管鐵塔與十字鐵塔皆是以吊塔式進行安裝，二者差異不大。
維護		○	◎	十字鐵塔維護點檢與 L 型角鋼鐵塔相同、但鋼管鐵塔由於鋼管內面點檢較為不易，須藉由特殊儀器協助方可進行，故較不利。

表五 十字角鋼鐵塔與鋼管型鐵塔比較分析表(續)

	鋼管 鐵塔	十字 鐵塔	說 明
鐵塔重量	1.0	1.24~ 1.34	日本鐵塔公司有針對 500KV 輸電線路分別以十字角鋼與鋼管進行試設計，結果十字角鋼鐵塔重量較鋼管鐵塔重，約為 1.24~1.34 倍。
基礎反力	1.0	1.11~ 1.42	日本鐵塔公司有針對 500KV 輸電線路分別以十字角鋼與鋼管進行試設計，結果十字角鋼鐵塔基礎反力約為鋼管鐵塔 1.24~1.34 倍，因此十字角鋼鐵塔之基礎將須增大。
經濟性	◎	◎	從材料單價來算鋼管費用較高，但十字鐵塔角鋼重量較重，故二者之費用應相差不多。

## 七、 鐵塔最新解析手法(動的耐風設計)

有關鐵塔動的耐風設計解析，係日本近來發展出對輸電線路鐵塔應力分析的一種方法，因為以往鐵塔之應力分析皆僅止於靜態之平面分析或三維立體分析，但近年來，日本陸續有發生颱風來時鐵塔發生倒塌之事件，於是便開始進行輸電線路受風時之動態分析研究，茲將其分析過程及結果概述於下：

1. 輸電鐵塔動的耐風解析其是在鐵塔靜態平面設計及三維立體分析後，將線路之架線資料及鐵塔重量、受風面積、風力係數匯入分析。

2. 鐵塔進行動的耐風設計主要是以較高之鐵塔或是耐張型鐵塔為對象。
3. 該分析不同於以往之分析方式，僅考量鐵塔部分，而是須將線路中電線受風吹襲產生之動態情況亦納入考量。
4. 動的耐風解析中其可分為頻譜響應及時間響應二部份進行，在頻譜響應分析中，有關構材之鋼性、重量及衰減係數皆會影響鐵塔之共振頻率及位移；在時間響應分析中主要是分析風的作用下在不同時間下對電線及鐵塔產生之應力值。
5. 懸垂塔型與耐張塔型在動的耐風分析後可知，耐張型鐵塔所受之平均張力明顯比懸垂型鐵塔大出許多，在線路方向產生之變位量亦較大，故在結構上須特別注意。

## 八、 鐵塔組立勘查介紹

此次亦前往現場勘查日本鐵塔組立工事，勘查地點為北九州 500kV 幹線#139 鐵塔，該座鐵塔屬鋼管型鐵塔，塔高高達 92 公尺，其組立方式與本公司目前使用之台棒法或吊車法不同，其係採吊塔式組裝，詳如圖 12 所示。



圖 12 鐵塔之吊塔式組裝圖

基本上鐵塔組立是一項極艱鉅且危險的工作，因為要在高達數十公尺甚至有超過百公尺高的高空工作，其難度及危險性極高，施工人員心理上的壓力不言可諭，因此在施工時之安全防護設施就顯得格外重要，在這方面個人覺得日本方面作得極為徹底，值得本公司作為借鏡及學習，首先介紹其使用之鍵鎖(Key Lock)安全母索裝置，圖 13 是施工人員在塔上使用之情況，其優點係施工人員爬上鐵塔後其即不能任意打開安全帶行動，若要打開安全帶，須下至地面利用配置之鑰匙方可打開，可有效管理施工人員，避免危險行為之發生，再者，其除了四支塔腳有設置垂直安全母索供施工人員上下外，在各截水平材亦設置了水平安全母索供施工人員水平移動，所以施工人員於塔上施工時，不管於任何位置或任何時間皆無墜落危險之虞。



圖 13 施工人員使用鍵索裝置情形

其除了考量鐵塔上施工人員之安全外，其對於地面上施工人員之安全亦相當注意，爲了避免塔上施工人員之施工工具或安裝器材不慎掉落擊中地面人員其亦在塔內下方架有防護網以保護，如圖 15 所示。



圖 14 鐵塔塔內下方架有防護網

## 肆、心得與建議

1. 配合大尺寸角鋼鐵塔停產，本公司現正在進行以十字角鋼替代大尺寸角鋼之鐵塔開發，由於日本是國際上少數有開發使用十字角鋼鐵塔之國家，藉由此次日本實習，亦得到日本鐵塔公司提供之相關訊息及資料，本公司若能汲取其相關經驗，相信對十字角鋼鐵塔之開發及使用將能有所助益。
2. 目前本公司已編訂有「架空線路鍍鋅鐵塔十字角鋼材規」以供採購十字角鋼鐵塔之用，經研討該規範與日本鐵塔協會所製訂之「送電用山形鋼鐵塔製作基準」，本公司規範應可參考其再補強修訂，建議修訂事項如下：

- (1) 十字角鋼與 L 型角鋼之最大之差異即在十字角鋼成型時須施以填角焊以增強其基械強度，惟填角焊之焊接腳長在規範並未明確規定，建議規定如下表。

適用 L 型角鋼	焊接腳長(mm)
L120x8- L130x9	6
L150x12	7
L175x12~ L175x15	8
L200x15~ L250x35	9

- (2) 鐵塔角鋼之接續處對鐵塔力量之傳導影響極大，故鐵塔接續處之設計極為重要，規範對於單角鋼如何與十字角鋼作接續及相同十字角鋼如何接續並未規定，建議此部分應可參考最近日本電源開發興建大間幹線 500kV 線之十字角鋼作法予以納入。
- (3) 有關補強板之厚度與焊腳長目前亦未規定，為確保鐵塔結構安

全，建議可參考日本作法，其規定如下：

適用 L 型角鋼	補強板厚度(mm)	焊接腳長(mm)
L120x8 以下	6	5
L130x9~ L200x25	9	6
L250x25~ L250x35	12	7

3. 鐵塔之應力分析設計主要係以風的載荷作考量，目前本公司之鐵塔開發主要係以靜態風壓荷重設計，在 69kV 及 161kV 鐵塔僅以平面分析，345kV 鐵塔會再作三維立體分析，對於動態風荷重分析則尚無導入，考量全球氣候變化日益加鉅，台灣又位處颱風經常侵襲地區，此次赴日研習得知日本已對於其鐵塔進行動的耐風設計解析，本公司應可參考其經驗導入設計。
4. 近年來本公司致力於避免工安職業傷害，惟輸電工程施工危險極高，陸續仍有施工人員發生墜落傷亡情事發生，鑑於日本使用之鍵鎖安全母索裝置，可大大提高施工人員之安全性，本公司應可研討採行之可行性。