NRD-LM-94-12

主題視察報告
核四廠土木結構施工品質查證

報告人：張國榮

行政院原子能委員會核能管制處

中華民國九十四年十一月十六日

目　　錄

壹、前言 1

貳、視察之工程概況 1

參、視察作業情形 2

肆、結論 14

附圖 15

核四廠土木結構施工品質查證

壹、前言

核四廠建廠工程自 88 年 3 月開始，到一號機反應爐完成吊裝，施工已屆滿六年，由目前施工情形來看，核四建廠過程中仍舊充滿著許多變數，距完工日仍有相當時日，鑒於核四主要結構工程除鋼筋混凝土結構外，鋼結構亦為重要結構的一部份。又一般本會多著重於安全等級的反應器廠房工程的查證工作，汽機廠房屬耐震一級結構工程，亦為相當重要的廠房結構工程，因此今（94）年的主題視察除反應器廠房等重要結構工程作業品質查證外，在一號機汽機廠房結構工程的施工品質則做重點加強視察。

貳、視察之工程概況

核四廠一號機反應器廠房在今年 3 月順利完成反應爐吊裝作業後（如圖一），建築施工情形已由地面下施工變成地面上，完成的高程已達 EL12300mm；二號機反應器廠房土木結構施工進度較一號機慢 0.5~1 年。汽機廠房的施工進度在一號機部份至今年 8 月底已大致完成 EL12300mm 樓版的封頂作業（如圖二），進入地面層以上的施工；二號機相較下明顯落後約 1 年的工期。而整個汽機島區廠房結構工程主要係構築兩棟汽機廠房（分別為一、二號機），以供安置兩部 135 萬瓩汽輪發電機組之用。每棟廠房結構物佔地面積約 8,640M^2（東西向長 120M，南北向寬 72M），地面以上高約 56M，主體結構可區分為廠房及汽機台兩大部份，其設計規模、構造及施工模式概述如下：

一、廠房部份

地下結構約 21.9M 深(EL-9.6M～EL12.3M)，地上結構約 55.9M 高(EL12.3M～EL68.2M)，基礎厚度 4M。EL30.5M 以下為鋼筋混凝土結構物（約 40.1M），以上為鋼結構（約 37.7M）。外牆設計採用複層金屬鈑帷幕牆。

基礎部份為倒金字塔形階梯狀之 RC 基礎，在考慮設計特性及施工可行性後，將基礎分成 15 個區塊施工，每一區塊厚約 1.5～2.5 M。基礎以上部份為鋼筋混凝土版牆結構(EL2.5M～EL30.5M)，樓層主要分為三層，做為裝置汽機發電機相關設備使用。在考慮設計特性及施工可行性後，牆體施工則區分為 13 區塊施工(含內牆 6 區塊，外牆 7 區塊)，樓板部份則圍繞汽機台分為四區塊施工。

二、汽機台部分

汽機台基座長 65.2M（東西向）、寬 15M、高 36.3M，為鋼筋混凝土結構。汽機台係為獨立之巨型鋼筋混凝土樑柱結構，作為裝置汽輪發電機組之基座。在考慮設計特性及施工可行性後，採分層施工，共分 15 層次施築，每層約 2M。

參、視察作業情形

一、現階段要徑（critical path）工程

汽機廠房結構工程同樣由核島區廠房結構工程的新亞建設公司負責施工。在一號機反應器廠房完成反應爐（RPV）吊裝的階段性重要里程作業後，除將 161KV 加壓工程為下一個重要里程作業外，施工處對於短期目標的設定，則為一號機汽機廠房的高、低壓汽機安裝，及一號機反應器廠房反應爐內部組件的安裝，經訪談汽源課及土木課相關股後，土木結構工程必須配合的進度時程管控如下：

(一)施工處依照目前整體工程進度計畫預計 98 年 7 月一號機商轉推算，一號機汽機廠房最慢必須在明（95）年 5 月底前完成 EL30500mm 汽機台樓層的施工（汽機台柱現況如圖三），以提供高、低壓汽機及汽水分離再熱器（MSR）的安裝環境。施工處原本在近期的管控項目及時程上為 EL+12300 樓版於今年 4 月 30 日前完成，但實際結果在 8 月份才大致完成（EL+12300 樓版中央區域仍保留未施工，以供下方樓層設備吊放安裝，故該樓版實際上未完成），因此明年 5 月底前完成 EL30500mm 汽機台樓層的計

畫施工處已確定是無法達成，況且為確保實際進度能符合計畫進度，實際預定安裝高、低壓汽機及汽水分離再熱器的時程必須提早到明年 3 月開始。針對此結果施工處土木課表示，為配合高、低壓汽機及汽水分離再熱器的安裝，將先完成 EL30500mm 高、低壓汽機及汽水分離再熱器安裝位置的區域樓版。但新亞公司估計最快要到明年 9 月才能完成 EL30500mm 樓版全部施工，樓板部分完成時程上仍有疑慮，而汽機轉子儲存要求為 B 級，安裝後如何符合儲存等級要求，亦值得本會追蹤注意。

(二)一號機 RPV 內部組件的安裝工作，原應待 EL+31700mm 樓版施工完成，才有辦法依照 NQA1 一級環境清潔要求等級，來安裝乾燥器、爐心等爐內設備，然而依照建照再展延 36 個月而保守以 30 個月計推算，一號機 RPV 內部組件必須在明年 10 月份開始安裝，本時程是依據水壓試驗前推需一年時間安裝推算，但中鼎公司卻沒把握國外需一年的安裝時間，中鼎可如期完成，因此再提前兩個月，預計明年 8 月份即開始安裝。而土建工程已確定無法配合完成 EL+31700mm 的樓版施工，因此已計畫在 EL+23500mm 即開始展開安裝，施工處對此已計畫製作一清潔保護房（Clean Room），直接座落於 RPV 上方，並將在 11 月 3 日的核四工程品質督導會報中討論。本項包括安裝環境、安全及安裝規範是否符合施工技術規範要求，需持續追蹤相關品質管制作業情形。

二、核四工程設備與管路間介面之 Nozzle load

核四工程進行至今在設備與管路間涉及的介面現階段主要有 Nozzle load 的問題，在反應器廠房部份由 GE 公司自行負責解決各設備包間介面的設計與採購，因此對核四工程品質與進度管控不構成影響，但汽機廠房部份出現 Nozzle Load 的問題則明顯嚴重，經與 SEO 張武侯經理訪談了解後，主要原因有以下幾項，包括：

(一)設備採購案作業在先，相關管路設計在後，設備採購規範中，

未明確訂定 Nozzle load 的要求（要訂則僅能按以往經驗訂定，一般均未明訂）。

(二)核四工程抗震要求較高，管路及設備設計需承受應力較高，相對 Nozzle load 也須承受較大應力，而廠家在採購規範未明訂要求下，生產的成品雖符合採購功能要求，但局部管路設計搭配設備一起採購，未針對核四工程特別設計。

(三)汽機廠房空間狹小，致設備與管路擁擠，降低可設計之彈性空間。

(四)如管路應力分析結果大於廠家設備 Nozzle load 負荷值，需對管路、管支撐及設備管嘴等進行再評估，但核四耐震要求負荷甚大，廠家設備的 Nozzle load 多已超過工程慣例，改善困難。

以上原因再加上整個流程是在廠家設備採購設計完成後，顧問公司才取得該廠家 Nozzle load 資料，但仍無法完成全部管路設計與分析，待全部管路設計與分析完成後，部分設備已生產製造完成，甚至於管路部份也已採購進料等原因，使得本案石威公司雖需自行解決，但一號機汽機廠房多達 1488 個 Nozzle，有將近 1000 多個出現管路應力大於設備 Nozzle 應力，在石威公司洽詢廠商均無進展（多數廠商不理會石威公司，特別是部份已生產製造的設備廠家），乃向台電公司尋求協助，故去年 93 年 12 月 20 日台電公司成立 Nozzle Load 專案小組，到目前為止 1488 個 Nozzle，已解決 1315 個，仍有 173 個 Nozzle 尚未解決，其中包括部份已交貨有 38 個，其餘未交貨。未交貨的經台電 Nozzle load 專案小組再主動聯繫廠商後，有幾種評估的解決方案，包括：

(一)更換材料

(二)更換 Expansion joint 材料

(三)重做 Nozzle load 的應力分析

(四)對廠家資料進行審查或分析廠家的計算書等。

石威公司則在管路設計上改善，包括：

(一)設備支撐改為 Flexible support

(二)管路厚度降低

(三)增加 Expansion joint

(四)Nozzle 附近加裝強力支點（加勁）

(五)Piping Rerouting。

以上一些檢討設備廠家設計資料的做法不儘合理,特別是要求廠家將設計餘裕降低。目前承攬汽機廠房管路安裝工程的開立公司已採購部份管路設備，Rerouting 勢必會有更多的影響與衝擊，本案需進一步了解追蹤作業情形。

三、核四廠後裝式埋件作業現況

由奇異公司負責設計的核島區及附屬廠房（BONI）相關埋鈑的設計流程，在台電公司鑒於核一、二、三廠的運轉經驗，各種設備支撐在運轉數年後陸續發生螺栓鬆動,而埋鈑螺栓的鑽孔安裝施工又對結構產生負面影響,因此核四工程的埋鈑設計仍要求設計單位儘可能以預埋方式處理埋鈑安裝,但核四工程施工至今未能完全採預埋式安裝,其原因包括過去、現在及未來三部分:

(一)過去因停工後復工的影響（台電說法）,設計與施工的進度未能配合，以致現場需進行埋鈑的安裝時，設計仍未完成。

(二)現階段則因設計單位在施工前 6~8 個月必須提供完整設計圖說，且凍結設計變更（ECN）,故施工時無法及時安裝預埋式埋鈑（埋鈑需有足夠時間設計、採購並製造）。

(三)未來進行非安全等級管路安裝時，由廠商進行現場配置（Field-Routed）等下游設計所產生的支撐埋鈑，也勢必無法採用預埋式的埋鈑。

以上無法採用預埋式的埋鈑，基本上都是管路支撐的埋鈑,日後必需採用後裝式表面掛裝來施工,以進行支撐埋鈑的安裝。這些支撐埋鈑簡稱為 SMP (SURFACE MOUNTED PLATE),在核一、二、三廠是採用膨脹螺栓來安裝，基於這些安裝後不久即發生鬆脫的不好經驗，核四廠的 SMP 則採用擴底式錨定螺栓

（UNDERCUT ANCHOR 簡稱 UA）（如圖四）。目前先不計此安裝方式改變與原設計的差異，最大問題在這類簡稱 SMP 的支撐埋鈑以奇異公司的估計，每部機共計有 7915 片（不包括非奇異公司設計部份如汽機廠房），各需安裝或 2 或 4 或 8 個 undercut 螺栓，總計約 20325 顆螺栓。以每組 2 人、每天 25 組兩班制工作 8 小時、每週工作 6 天，而每片 SMP 平均需 4 小時計算，即每天 100 人工作可安裝 100 片 SMP，共需 7915/100*（7/6）=92.3 天（奇異公司郭纘强博士簡報資料計算有誤，相差四倍），另外總共有兩部機再加上其他所有廠房，以及實際上不太容易 25 組同時開始，受到作業分配順序影響，安裝時程預計放大四~八倍時程，相當於 1~2 年時間（即開始安裝到試運轉前），此作業才能安裝完成。

上段所談為安裝作業，實際作業中中鼎公司的安裝工程係每顆螺栓連工帶料 1000 餘元共 1000 餘顆螺栓，實際數量與合約情形差距過大，恐怕也是影響本案開始執行的原因（其實中鼎早已了解並進行 SMP 使用 UA 安裝的研究，只差奇異提供正確數字與安裝位置）。這些 SMP 估計在大管件僅 38 片（RB 廠房 EL18100mm 樓版以下），此部分有進一步了解是否影響 Seismic category I 的必要。另外安裝 UA 的方式是否能避免鋼筋被切斷，亦為需繼續追蹤的項目。

現階段一號機反應器廠房已部分觸及後裝式埋鈑，經與核技處 SEO 張武侯經理訪談此後裝式埋鈑的設計與施工問題，問題大致分成反應器廠房緊急柴油發電機 EDG（MS041 標，設備位於 EL18100mm 樓版上）的配管支撐，以及纜線導管的支撐兩類所需埋鈑。

(一)緊急柴油發電機EDG的配管支撐主要因採購廠家未提出細部管線配置支撐，以致 GE 無法完成土木設計圖，故有後裝式埋鈑的問題發生，但台電公司仍要求奇異公司與 EDG 設備廠家協商處理，儘可能採預埋式埋鈑安裝，經台電公司要求後，

情況如下：

1.EL18100mm 樓版及以下部份，該設備無後裝式埋版設計的問題。

2.EL18100~19700mm 牆埋版設計改採固定間隔來涵蓋可能需支撐的位置，不過日後安裝配管時，仍有可能採後裝式因應位置不符的情形。

3.EL19700mm 樓版下方（天花板），則請 GE 先預估埋版需要數量，供新亞公司三個月前採購的要求，但正確位置則仍要求 EDG 設備供應廠商以今年 9 月 1 日為基準，11 週時間完成區域 B 的 EDG 管線配置（Routing）、圖面發行並完成應力分析，而後隔三週時間再提出區域 C 及區域 A 的設計與分析，而 GE 必須在收到隔日提出土木設計詳圖。

4.EL19700mm 樓版以上則要求時間仍充裕，必須依原設計完成預埋鈑的設計圖。

(二)纜線導管的支撐埋鈑則因設計流程上屬於後期設計，及停工後復工影響設計速度，在一開始即趕不上施工需要，故導線管的支撐埋鈑均採後裝式安裝，雖然結構上不構成影響，但設計上仍應依原設計才正確，故在 EL23500mm 以上的設計，台電公司已要求奇異公司回復為原預埋鈑的設計。

四、一號機汽機廠房鋼結構施工品質查證

一號機汽機廠房目前施工進度已達 EL12300mm，自該樓版及下方部分柱已開始陸續使用鋼結構，而鋼結構的施工除一般的銲接作業外，最常用的施工項目當屬螺栓栓接作業，汽機廠房與反應器廠房所採用的斷尾式螺栓不同，有依照扭力鎖磅，也有採用拉力指示墊片鎖磅，其施工較複雜，因此加強查證，查證後有以下情形：

(一)A307 型 Anchor Bolts 錨錠螺栓安裝作業

一號機汽機廠房在 EL2500mm 樓地板已組立七根鋼柱（如圖五），而此七根鋼柱基鈑採用 8 支 ψ32mmA307 型

Anchor Bolts 錨錠螺栓，依汽機廠房土木施工規範第 5C.3 節規定施工安裝需符合 AISC Code 要求，同時安裝與檢查等需滿足該規範所附 Research Council on Structural Connection（簡稱 RCSC）的規定，而 RCSC 在安裝的規定為 Snug-tight 的貼緊狀態，而達此貼緊狀態需依照螺栓型號之 Proof Load（保證荷重）來決定錨定螺栓安裝所需預拉力，進而決定安裝之扭力值。經查證有以下情形：

1.施工處原依照石威公司提供之 A307 錨錠螺栓 Proof Load 為 60ksi，安裝前（94 年 5 月 4 日）以 CIR-SWAI-（CCP001）-CIV-E018 再向石威公司澄清 A307 錨錠螺栓再貼緊狀態下之相應扭力值， 5 月 5 日時仍電話表示 Proof Load 為 60Ksi。

2.94 年 5 月 6 日石威公司卻正式來文以「Proof load strength shall be 36Ksi instead of 60ksi」。然而 5 月 5 日施工處已依 60ksi 之 Proof Load 推算相應扭力值 25.1kgf-m 而施以 30kgf-m 安裝完成。

3.此結果造成安裝扭力遠大於實際安裝需要之 15.06ksi 扭力值，其結果是否會造成安裝預拉力過大，致使材料產生永久變形，而有降低強度品質之虞。

4.經與經辦課及品保小組討論，所施加之 30kgf-m 經計算所得預拉力為 12.55ksi，而該螺栓進廠取樣進行之物理試驗結果顯示降伏應力為 49.7ksi 遠高於 12.55ksi，可推斷材料仍在彈性範圍內，無永久變形之虞。

5.經查證該批已安裝之螺栓已調降回至 15.1kgf-m，但扭力調降之作業管制，施工處未留有正式紀錄，顯示其管制作業明顯疏失。

6.另依 RCSC 8.（d）.（2）規定，螺栓在達 Snug Tight 狀態後，需依螺栓長度在施加一適當旋轉量，但未依此規定施作，不符施工規範要求。

7.前項鎖緊方式，本會配合施工處於 10 月 25 日現場查證重新鎖緊作業發現鎖螺帽時，採用兩顆螺帽安裝（如圖六），第一顆螺帽採大致鎖緊，鎖第二顆螺帽時才鎖至”SNUG”狀態，在鎖緊時第一顆螺帽會隨第二顆螺帽轉動。此施工方式雖經 CIR-SWAI-(CCP001)-CIV-E027 澄清石威公司同意，但施工的結果未能符合第一顆螺帽使螺栓作用段在”SNUG”狀態，卻讓止滑作用的第二顆螺帽與第一顆螺帽間部份非螺栓作用段達”SNUG”狀態。

8.以上情形已於 AN-LM-94-008-1-2-1（R0）注意改進事項答覆審查意見，要求施工處澄清與改善。

(二)A325 及 A490 高強度螺栓安裝作業

依施工規範 5C.3.5 節 Field Bolting 規定現場安裝使用之高強度螺栓，在安裝前須滿足 RCSC 規範規定進行 DTI 拉力驗證試驗，目前在 EL12300mm 樓版的鋼樑所採用的螺栓為 A325 及 A490 之高強度螺栓，經查證有以下情形：

1.A325 及 A490 高強度螺栓並未依 RCSC 規範規定進行 DTI 拉力驗證試驗。

2.經本會要求檢討改善後，施工處已針對已使用之 ψ7/8 吋 A325 螺栓及 ψ1-1/8 吋 A490 螺栓依 RCSR 規範每種尺寸取 3 組樣體試驗，每組係依各自螺栓搭配 ASTM F959 的 DTI 指示器及 ASTM F436 的 Washer 組裝，試驗結果每種尺寸各完成四組合格樣體試驗。

3.本項 DTI 拉力驗證試驗主要在驗證使用 DTI 指示型墊片安裝的螺栓，可承受大於 RCSC 規定 1.05 倍規範值(Minimum tensile strength)，而依 DTI 於 ASTM F959 Table II 規定，有熱鍍鋅或塗環氧樹脂之 DTI，採用 0.005 吋厚間隙規（Feeler Gage）檢測，否則採用 0.015 吋厚間隙規檢測，檢測時需半數以上之 DTI 間隙（Gap）無法插入，以證明其鎖緊程度。(如圖七)

4.驗證試驗結果 ψ7/8 吋 A325 螺栓完成 4 組合格試驗前有 3 組失敗案例（未列於試驗報告中）； ψ1-1/8 吋 A490 螺栓的試驗則無試驗失敗情形。

5.在 A325 螺栓試驗四組成功試驗數據中，其 DTI 有 5 個 Gap 使用 0.015 吋厚間隙規，有 2 個 3 孔插入 2 個 2 孔插入，表示驗證試驗後平均結果尚未達施工安裝的 3 孔不能插入的要求。

6.但施加的驗證載重為最小拉力強度的 1.05 倍，接近降服強度的 0.9 倍，破壞強度的 0.8 倍，由此推論現場施作之螺栓，將承受大於最小拉力強度的 1.05 倍。

7.查證時部份已現場安裝之 A325 螺栓誤以機械鍍鋅為熱鍍鋅而以 0.005 吋厚間隙規檢測，因此這些已安裝之 A325 螺栓恐又較前項推測承受更高之拉應力。

8.檢討其取樣試驗之取樣作業方式，其抽樣方式係忽略失敗案例，直到成功試驗之試驗組數符合頻率為止，亦不符合抽樣試驗要求。

9.同樣的在 A490 螺栓方面雖無試驗失敗及現場安裝亦採用 0.015 吋厚間隙規檢測與試驗時一致，但其 DTI 為 7 孔，有 1 組 3 孔插入、2 組 4 孔插入及 1 組 6 孔插入，明顯低於 7 孔需 4 孔不能插入（即最多 3 孔插入），亦可推測現場 A490 螺栓將承受高於驗證試驗時之拉應力。

以上情形顯示現場安裝之高強度螺栓進行驗證試驗取樣頻率抽樣方式，及現場安裝後所承受的拉應力，可能相當接近降伏強度與破壞強度值，將嚴重影響日後螺栓的承載能力。這些疑慮已於 AN-LM-94-008-1-2-3（R0）注意改進事項答覆審查意見，要求施工處澄清與改善。

(三)由於前項高強度螺栓採用拉力指示器墊片安裝，經驗證試驗推算現場安裝之螺栓有拉力過高之虞，因此進一步審查器材檢驗及施工安裝之檢驗紀錄，查證結果不論螺栓、螺帽或墊

片等在進場時均依規定取樣試驗，結果經 CNLA 認證的 SGS 試驗中心試驗，其物性及化性試驗均能符合相關規範要求，而各項檢驗結果包含廠商出廠證明書（CMTR）、審核試驗報告、尺寸等均符合規定，惟在品保紀錄的完整上，有部份有待改善，包括部份內容前後不一與登載不詳細、安裝之螺栓型式未註明、扭力栓緊度檢測仍不夠明確等，已請施工處改善。

(四)海棠颱風造成汽機廠房外牆鋼筋倒塌品質作業

今年 7 月 18 日海棠颱風過境，造成一號機汽機廠房 EL12300mm 樓版東側外牆 OW-6、7、8 區域鋼筋倒塌受損（如圖八），施工處隨即會同核技處、核安處品保小組、SEO 小組、石威公司及新亞建設等單位於 7 月 22 日召開海棠颱風災損的現場會勘，經會勘後結論。

1.鋼筋變形彎曲的曲率半徑 R＞9m 者，依 ACI 318-95 R7.3.2 節規定，以冷彎方式扶正、拉直即可。

2.R＜9m 者，需先紀錄其 R 值，以冷彎方式拉直，再取樣送試驗單位證實必須符合以下要求。

(1)抗拉強度及降伏強度均符合 ASTM 鋼筋規範規定。

(2)抗拉強度/降伏強度≧1.25

(3)鋼筋伸長率符合 ASTM 之鋼筋規範規定。

(4)若有試驗不符合規定，則推論較小曲率鋼筋皆不符合，將再加倍區樣試驗或逕以 NCR 處理。

3.上述取樣鋼筋以每排取樣 4 支，並以選取彎曲最嚴重者。

以上取樣試驗在取樣方式及其代表性方面仍有疑慮，施工處乃於 8 月 8 日再召開海棠颱風災損第二次現場會勘與討論，為兼顧取樣後現場後續復原之施工性，係以切取 Dowel 鋼筋之上部約 1m 長，於加工廠先彎曲成與該支取樣鋼筋相同曲率 R 值，再拉直後之類似品（sister），進行實驗室拉力試驗。同時為了解現場鋼筋實際受風力彎曲後之情形，另於內層兩

排鋼筋彎曲最嚴重處各加取 2 支（共 4 支經現場各單位會同指定）鋼筋樣品，自外露混凝土面之起始彎曲位置處予以切下，再送實驗室進行拉力試驗，同時記錄其應力－應變歷程曲線供評估參考。

整個作業在 8 月初取第一部分類似品（sister）後，在 8 月 16 日進行第二次的現場鋼筋指定取樣作業，惟本試體經符合 CNLA 認證的 SGS 實驗室完成之試驗結果，雖符合 ASTM 的材料規範規定，但鋼筋變形將會對結構的耐震能力造成影響，因此現場加取 4 支進行應力－應變歷程曲線供評估參考的用意，即在確認現場鋼筋的韌性能否滿足耐震的要求，由於實驗量測儀器不夠精確，因此在鋼筋韌性的判斷無法充分判定，石威公司乃要求重新取樣試驗，經 9 月 20 日第三次取樣並送試驗後，現場鋼筋的韌性方面仍足夠，因此同意本案所開立的 2 件 NCR 結案，並於 9 月 27 日完成該區塊之混凝土澆置作業。以下為各次取樣試驗及相關品質作業查證情形

1.第一次取樣試驗（類似品）結果

(1)共取樣 16 支，此部分主要受損鋼筋均為＃11 垂直牆筋。

(2)抗拉強度及降伏強度滿足 ASTM 之鋼筋規範規定 G60 等級之抗拉強度大於 90000Psi、降服強度大於 60000Psi 之規定。

(3)抗拉強度/降伏強度為 1.44~1.55 之間，滿足我國耐震規範對拉降比大於 1.25 的規定。

(4)鋼筋材料之伸長率均大於 19%，滿足 7%以上之規範規定。

(5)其他有關節高、節距、間隙寬度、單位重及彎曲試驗等均符合各項規範值要求。

2.第二、三次取樣試驗結果

(1)在材料規範部分與第一次取樣試驗結果相同，均符合規範規定。

(2)實驗結果之應力－應變歷程曲線第二次無法評估真實的應變情形，亦即無法了解在耐震的情況下可吸收的能量為何。但第三次取樣試驗結果在試驗時加裝鋼筋應變計（如圖九），以剔除試驗時夾具的滑移，經比對後應力－應變圖之圖形良好，符合評估耐震能力參考的要求。

3.整體作業查證結果

(1)受損鋼筋均全部編號記錄所有鋼筋的變形曲率。

(2)第二次取樣位置為 I1-105、149 及 I2-96、159，位在受損最嚴重之內兩層，且分別選擇鋼筋變形之彎曲曲率半徑最小的兩個區域內。

(3)第三次取樣位置為 I1-93、162 及 I2-103、152，亦位在受損最嚴重之內兩層，且分別選擇鋼筋變形之彎曲曲率半徑最小的兩個區域內。

(4)前項原指定取樣位置為 I1-94，因該位置距地面 103cm 處有鋼筋續接器（即第一次取樣後上部安裝續接器續接），無法滿足實驗室 120cm 之要求長度，因此取 I1-93，但仍符合取樣保守性要求（即 I1-93 之變形仍為最嚴重位置）。

(5)第一次取類似品於加工廠加工模擬變形情形，依照弦長 S 及截距 T 加工，加工後所造成的變形非均勻變形，與實際不符，但其變形集中於一處，對於驗證作業的判定上仍屬保守可接受。

(6)本案施工處已分別依照鋼筋受颱風影響結構品質及鋼筋被截切品質不符，分別開立 NCR-CIV-388 及 394 二件不符合報告，品管作業符合品保要求。惟對於被截切的 8 支鋼筋（如圖十、十一）評估仍在設計餘裕內，理論上可接受，但在觀念上降低設計餘裕多少牴觸了原始設計餘裕的用意。

(7)鋼筋取樣長度依實驗室要求為 120cm，係實驗室認為鋼筋為均質材料，而需將試體切割成三份，再分別進行拉力試

驗、抗彎試驗及其他相關試驗，但本試驗係針對現場變形嚴重位置取樣進行試驗，有針對性，在實際切割後的鋼筋，變形最嚴重位置是否如取樣試驗目的而進行拉力試驗或其他重要想要了解鋼筋變形的影響，這方面施工處缺乏掌握，因此爾後有類似驗證試驗應先釐清取樣試體尺寸與實驗之間的關係，做為正確取樣尺寸及試驗的依據。

肆、結論

本次主題視察係綜合各次駐廠視察的結果，以核四廠一號機反應爐吊裝後，後續工程作業的影響及施工品質為主，期望能掌握核四廠後續工程的作業狀況與問題，並就實際的作業品質實際查證，確保核四建廠後續土木施工作業的品質與安全。對於整個主題視察重點整理如下個人看法。

一、現階段短期要徑工程以一號機汽機廠房的高、低壓汽機安裝及反應器廠房反應爐內部組件的安裝為主，土木施工作業進度無法滿足該等設備安裝的需要，因此設備安裝時及安裝後之施工環境，如何能滿足要求，包括汽機轉子安裝後之 B 級儲存要求，及 RPV 上方座落清潔保護房（Clean Room）方式，本會需持續了解追蹤掌握工程狀況。

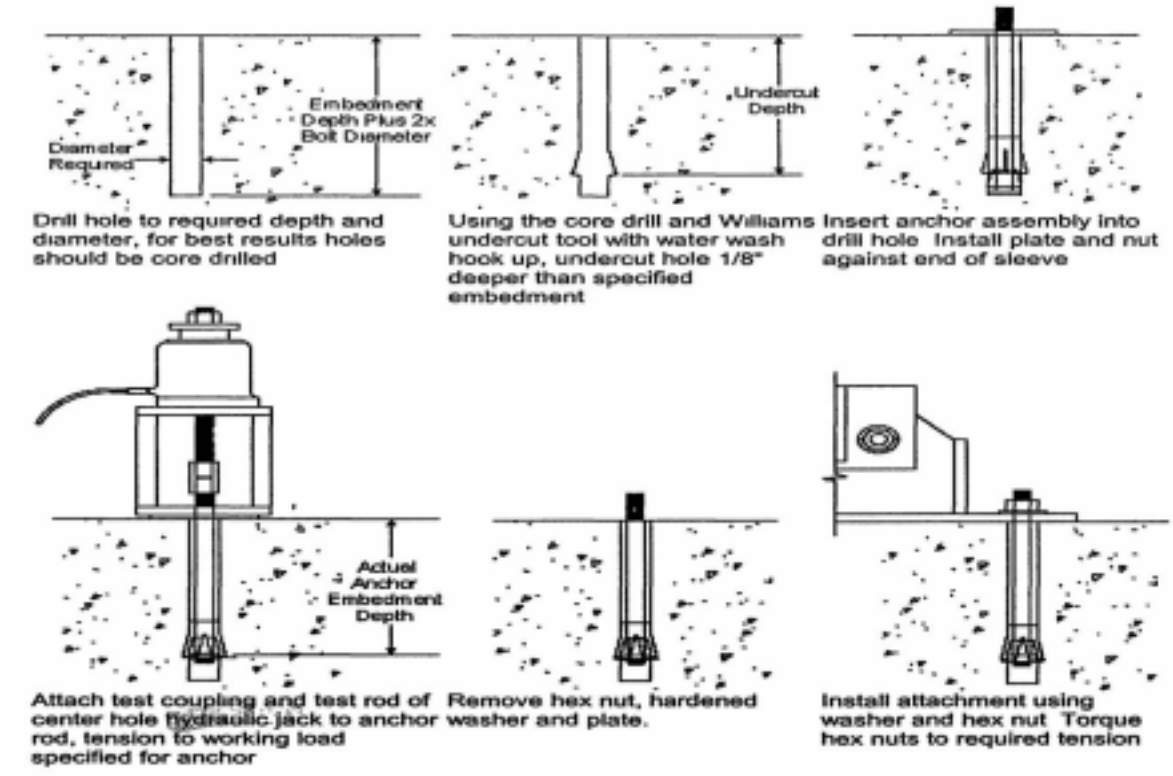
二、核四工程在設計、採購、設備安裝與施工的介面問題包括 Nozzle load 與後裝式埋件（SMP）及其擴底式錨定螺栓（UA）的安裝作業，對於管路設備及支撐結構的安裝品質有重大影響，亦值得本會進一步了解追蹤作業情形。

三、一號機汽機廠房鋼結構施工品質查證方面，包括 A307 錨定螺栓的安裝作業、A325 及 A490 高強度螺栓的現場安裝與驗證試驗，以及風災災損鋼筋驗證作業等，在相關單位查證發現任何問題，台電公司均認真面對與處理，但作業內容上則顯示事前作業的準備及驗證試驗適當性有欠週延。

圖一： 一號機反應器廠房施工現況

圖二：一號機汽機廠房施工現況

圖三：一號機汽機廠房汽機台柱施工現況



圖四：擴底式螺栓施工步驟順序

圖五：一號機汽機廠房使用 A307 錨定螺栓之七根鋼柱位置現況

圖六： A307 錨定螺栓使用二顆螺帽安裝現況

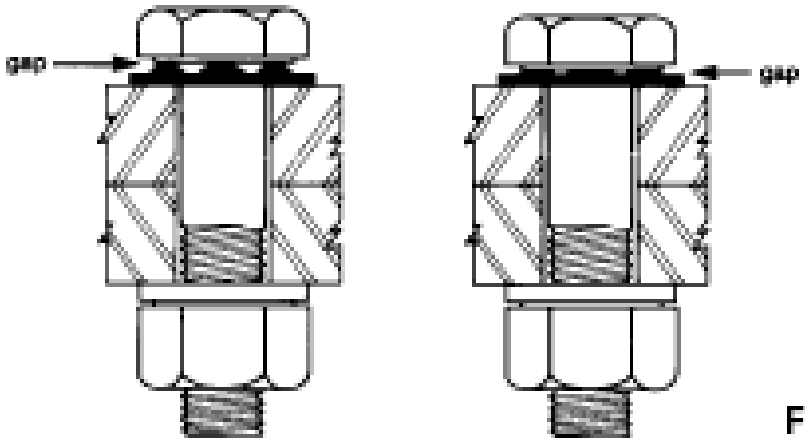


Figure 3

圖七：DTI 間隙規插入 gap 檢測方式

圖八：海棠颱風致一號機汽機廠房東側外牆鋼筋倒塌受損狀況

圖九：第三次取樣鋼筋安裝變位計情形

圖十：鋼筋截切後情形

圖十一：鋼筋直接對接處理