

核四廠鋼筋加強混凝土包封容器
及反應爐基座
混凝土澆置專案視察報告

原子能委員會核能管制處

中華民國九十五年八月七日

目 錄

壹、前言	1
貳、工程概要說明	2
參、混凝土澆置視察計畫	3
肆、混凝土澆置前視察	5
伍、混凝土澆置中視察	13
陸、混凝土澆置後視察	17
柒、綜合結論	20
附圖	24
附件	30

核四廠鋼筋加強混凝土包封容器及反應爐基座 混凝土澆置專案視察報告

壹、前言

核四工程截至目前為止，施工總進度已達一半以上，攸關核四工程重要里程碑的反應爐壓力容器吊裝作業，一號機已完成，二號機則預計於今年 9 月份進行吊裝，象徵核四工程邁入一個新的里程，完工亦是指日可待，然而原能會基於核能安全管制監督的職責，任何與安全及品質有關的施工作業，原能會都將列為管制項目。不僅反應爐壓力容器吊裝作業為重要管制項目，包括提供完整性包封功能的鋼筋加強混凝土包封容器牆（Reinforced Concrete Containment Vessel Wall 簡稱 RCCV Wall），以及反應爐壓力容器座落的反應爐基座、生物屏蔽牆、提供側向結構支撐的隔膜地板等，其結構安全與品質均為原能會所關切管制的作業項目。

原能會基於結構安全上的考量，對於核四工程主要結構—鋼筋混凝土結構工程，已數次邀請學者專家辦理土木結構相關之專業團隊視察，且為使混凝土澆置視察制度化，於 91 年 9 月 27 日完成「混凝土澆置作業視察導則」之編定，作為執行土木施工作業之混凝土品質視察之依據及參考。

鑑於核四廠反應器廠房圍阻體（Containment）為核能電廠特殊安全設施之一，用來包封整個蒸汽供給系統，防止可能之核子事故後分裂產物或放射性物質的外洩，除具原有的結構功能外，並兼具屏蔽與壓力界限作用。而反應爐壓力容器的結構支撐—反應爐基座及隔膜地板（Diaphragm Floor）等結構，係安全相關且須符合安全停機之地震要求結構，支撐有如人的心臟的核反應器，其重要性可想而知。因此，本年度（95 年）核四廠反應器廠房的混凝土結構工程便以上述兩部分為重要視察項目，於 95 年 3 月起陸續配合台電龍門施工處的施工進度展開專案視察作業。本專案視察涵蓋一號機與二號機部份，包括

一號機 RCCV Wall 之 RW12~RW13 及二號機隔膜地板、反應爐基座（RPV Pedestal）第二層（EL+4500mm）以上之第 2~4 次等（包括基座本體、不收縮水泥漿壓力灌漿及相關作業）的混凝土澆置。整個視察作業由本會核管處核四廠專案小組李建智技正、鄭再富技士及張國榮技士等三位組成專案視察小組，由於視察範圍較廣，因此主要針對「澆置前鋼筋綁紮、埋件安裝、清潔與現場準備作業」、「澆置中之混凝土品管作業與試體取樣作業」及「澆置後之養護作業與試體試驗結果查證」等議題進行視察，並採人員訪談、文件審查與現場巡查來進行。另，本次視察亦針對已查證發現之缺失，特別是一號機 RPV 基座部分，在二號機是否已改善加強查證以求視察之完整性。

貳、工程概要說明

一、鋼筋加強混凝土包封容器牆（RCCV Wall）

核四廠採用進步型沸水式反應爐（簡稱 ABWR），其鋼筋加強混凝土包封容器牆在此設計中，屬一次圍阻體系統（簡稱 PCV）。設計上其安全功能需能承受最嚴重設計基準事故所造成之溫度及壓力，並維持其完整性，以限制分裂產物的外釋，使廠外的輻射劑量低於管制限值，亦即在發生喪失爐水事故（LOCA）時，能防止放射性物質外洩，以確保廠界外人員之輻射劑量不超過美國聯邦法規 10CFR100 之規定。因此，PCV 內面係以不鏽鋼鈹內襯來形成氣密性，其本體為牆厚二公尺並以 18 號鋼筋為主筋及採用高強度混凝土（5000psi）填充之強化鋼筋混凝土牆，整體結構為外徑 33 公尺、牆厚 2 公尺、高 31.7 公尺，高程位置則在 EL-8200mm~+23500mm 間之大型桶狀之強化鋼筋水泥且與反應器廠房合為一體之結構體。

二、反應爐基座

核四廠核島區廠房結構工程係由新亞建設承攬，而鋼筋加強混凝土包封容器牆、反應爐基座之製造與安裝均為此工程中之部份，根據核四廠初期安全分析報告本基座屬安全相關耐震一級結構物，其主

要功用為提供反應爐壓力容器(RPV)、反應爐生物屏蔽牆(RPV Shield Wall)、下乾井(Lower Drywell)人員及設備進出通道、隔膜地板(Diaphragm Floor)、抑壓池水平逸氣管以及下乾井維修平台等之支撐，其與一次圍阻體內主要結構及反應爐之相對位置如附圖 1。

反應爐基座為一環形鋼構混凝土結構體，整體高度為 20.5 公尺，外徑為 14 公尺，內徑為 10.6 公尺，係核四廠一次圍阻體系統內部結構之一部份。反應爐基座在考量製造與運輸的可行性，將鋼構之製造分五層進行，第一層最高為 12.7 公尺、第二層 2.2 公尺、第三層 2.02 公尺、第四層 2.38 公尺、第五層 1.2 公尺，本次視察基座部分即為第二~五層部分(EL+4500~12300mm)。另外構造為強化鋼筋混凝土，作為上乾井與濕井分界的隔膜地板，係由反應爐基座及圍阻體牆支撐，並被 18 個直徑 508mm 的 SRV 套管穿越的水平樓版，對於反應爐壓力容器之座落具有水平側向支撐的結構能力，亦為此次專案視察的一部分。

參、混凝土澆置視察計畫

核四廠 RCCV Wall 在配合其週邊之隔間牆(Partition Wall)及相關立柱、樓版等施工時，需與 RCCV Wall 共構而同時澆置，因此分割成十五升層依序施工澆置混凝土。本次視察範圍即就第 11~13 升層(EL+12300mm~+19600mm 之間)部份進行視察。而反應爐基座鋼構為內、外兩同心圓鋼殼所圍成之一深桶狀結構，在內、外兩同心圓鋼殼夾層之間，由隔板分割成二十個隔艙，在澆置中人員無法進入。

依核四廠反應器廠房之施工技術規範規定，屬輻射屏蔽的混凝土(Radiation shielding concrete)定義為 Type I 型之重質混凝土，其單位重需大於 2.24t/m^3 。隔膜地板採用混凝土配比編號為 E-II-19-15-F15-D，91 天齡期且設計抗壓強度為 5000psi 之混凝土；鋼筋加強混凝土包封容器牆與隔膜地板採用相同混凝土配比，惟在考量牆體高鋼筋量之澆置工作要求，因此採用同配比 C 型附加劑

(EH-II-19-21-F15-C) 之流動化劑強塑性混凝土 (Superplasticized Concrete)，91 天齡期且設計抗壓強度為 5000psi 之混凝土；基座依前述封閉型密閉填充之作業環境同樣選用流動化劑的強塑性混凝土 (DH-II-9.5-21-F15-C)，本配比為增加混凝土流動之填充性，提高澆置工作度，限採用粗骨材最大粒徑 9.5mm，91 天齡期且設計抗壓強度為 4000psi 之混凝土，同時應滿足 ASTM C1017 的規範要求。

本專案視察之視察計畫及配比資料概況如下：

一、視察範圍

(一) 一號機 RCCV Wall 第 11~13 升層 (EL+12300mm~+19600mm)

(二) 二號機反應爐基座第 2~4 次混凝土澆置 (包括第二至五層內圈 EL+7000 ~12300mm、第二至五層中、外圈 EL+4500 ~12300mm、RPV Support Frame EL+7000 ~8210mm)

(三) 二號機隔膜地板 (EL+11100~12300mm)

二、視察項目

(一) 各次混凝土澆置前現場查證

(二) 混凝土澆置中之澆置作業品質查證

(三) 混凝土澆置後混凝土養護及試體抗壓強度試驗品質查證

(四) 各項施工品質、材料、人員資料及澆置計畫等文件審查

三、混凝土配比設計

一號機 RCCV Wall 所使用之混凝土配比為 EH-II-19-21-F15-C；二號機反應爐基座第 2~4 次澆置之混凝土配比則為 DH-II-9.5-21-F15-C 之強塑性 (流動化劑) 混凝土；二號機隔膜地板採用之混凝土配比編號為 E-II-19-15-F15-D，以下各表為各配比之主要設計資料：

EH-II-19-21-F15-C (RCCV Wall)：如附件 1

設計齡期	抗壓強度	坍度	最大粗骨 材粒徑	混凝土溫 度上限	單位重
------	------	----	-------------	-------------	-----

91 天	5000psi	21± 1.5 cm	19 mm	21°C	2.243t/m ³
------	---------	------------	-------	------	-----------------------

DH-II-9.5-21-F15-C（基座）：如附件 2

設計齡期	抗壓強度	坍度	最大粗骨 材粒徑	混凝土溫 度上限	單位重
91 天	4000psi	21± 1.5 cm	9.5 mm	21°C	2.243t/m ³

EII-19-15-F15-D（隔膜地板）：如附件 3

設計齡期	抗壓強度	坍度	最大粗骨 材粒徑	混凝土溫 度上限	單位重
91 天	5000psi	15± 2.5 cm	19 mm	21°C	2.243t/m ³

肆、混凝土澆置前視察

混凝土澆置前視察主要以澆置計畫周延性、完成工作查核與準備作業為主，並依龍門施工處之澆置時程，本會配合派員至現場進行澆置前現場查證及相關文件抽查。為避免在實際澆置時發生不預期狀況，因此事前的準備工作便相形重要，除澆置前之澆置作業面查證外，相關之事項包括：1.現場模板、鋼筋、設備、配管及埋件等固定、支撐、防止變形之施工品質；2.澆置前現場準備與整理，包括施工機具、出工人數、防雨、照明，並完成所有材料試驗審查及各項現場施工品質檢驗等（依施工規範 3C & 3F、ACI 301），視察情形摘述如下：

一、澆置計畫

一號機反應爐基座各次混凝土澆置計畫，本會提出多項要求改善事項，尤其對各種可能狀況的發生，需作相對預防措施，讓整個澆置計畫具備完整的規劃，然而在實際執行作業中，仍有澆置高程控制、搭設天候防護棚遮雨、混凝土浮水溢流污染下乾井，以及小隔艙充填等有待改善之情形。因此，審查二號機澆置計畫時，特別針對這些情

形加強查證，審查結果澆置計畫內容與一號機基座各次混凝土澆置計畫相較，各項管控作業方式已明確規定於計畫書中，並將一號機發生之澆置缺失經驗回饋至二號機。在各次澆置計畫書中對澆置量的控制、澆置方式、採用模具、細部作業等亦作明確規定。

二、混凝土配比

(一)一號機 RCCV Wall 所使用之配比為 EH-II-19-21-F15-C 流動化劑強塑性混凝土 (Superplasticized Concrete)，以增加混凝土流動性，提高澆置工作度以及提供緩凝的功能，其齡期強度規定依設計規範為 91 天齡期 5000psi (fc')，因此依設計推算各齡期之所需抗壓強度，在 28 天為 448kg/cm^2 (6400 psi)，91 天平均強度為 613kg/cm^2 (8757 psi)。本配比設計經中興大學土木系進行混凝土各項物理性質試驗 (如附件 4)，其抗壓強度在 28 天平均強度為 450kg/cm^2 (6428 psi)，91 天平均強度為 613kg/cm^2 (8757 psi)，配比設計結果符合設計要求。

(二)基座部份所使用之配比 (DH-II-9.5-21-F15-C) 為流動化劑強塑性混凝土 (Superplasticized Concrete)。經查證此配比須依 ASTM C1017 及其表 Table 1 的規定，對流動塑化緩凝劑 (Admixtures) 的附加劑進行相關試驗，包括物理性質、化學性質、均勻性、同等性及紅外線分析等，查證試驗報告結果均符合規範規定之要求。齡期強度規定依設計規範為 91 天齡期 4000psi (fc')，因此依設計推算各齡期之所需抗壓強度，在 28 天為 364kg/cm^2 (5200 psi)，91 天為 453kg/cm^2 (6471 psi)。本配比設計由中興大學土木系進行混凝土各項物理性質試驗 (如附件 5)，其抗壓強度在 28 天平均強度為 361kg/cm^2 (5157 psi)，91 天平均強度為 502kg/cm^2 (7171 psi)，配比設計符合設計要求。

(三)另，隔膜地板採用之混凝土配比編號為 E-II-19-15-F15-D，其齡期強度規定，設計規範為 91 天齡期 5000psi (fc')，因此依設計推算各齡期之所需抗壓強度，在 28 天為 448kg/cm^2 (6400 psi)，

91 天平均強度為 545kg/cm^2 (7785 psi)。本配比設計經中興大學土木系進行混凝土各項物理性質試驗（如附件 6），其抗壓強度在 28 天平均強度為 445kg/cm^2 (6357 psi)，91 天平均強度為 515kg/cm^2 (7357 psi)，配比設計結果符合設計要求。

三、現場巡查

(一) 核四廠一號機鋼筋混凝土包封容器 RW12(EL+16100~18100mm) 澆置前查證

本會配合龍門施工處預定澆置 RW12 (EL+16100~18100mm) 時程，於 95 年 3 月 16 日至現場展開 EL-18100 樓版 (S4-6) 及鋼筋混凝土包封容器第 12 升層之澆置前現場查證，依鋼筋混凝土包封容器施工程序書第 6.8 節規定，RCCV Wall 混凝土澆置時，其週邊牆及相關立柱或樓版與之共構者，需與 RCCV Wall 同時澆置。因此，由於設計單位與施工處發現該反應器廠房 S4-6 樓版（與 RW12 共構）有一消防系統穿越管設計疏漏，故作業時程延後 2 日。3 月 18 日本會核管處視察員再赴核四廠現場視察，於當日下午發現有部分「埋件支撐架電銲於結構主筋」（如圖 2）上，不符合施工規範要求。本案辦理情形如下：

1. 3 月 18 日下午視察員發現「埋件支撐架電銲於結構主筋」上後，約 16:30 視察員向本會核管處回報，說明本案埋件支撐架電銲於結構主筋」上不符合規範要求之情形，經本會核管處研商後，以電話記錄方式要求施工處依以下方式辦理：
 - (1) 台電公司應於改善完成並經本會視察員檢查後，方得灌漿。
 - (2) 或於改善前、後均照相留證，同時由核安處駐廠品保小組人員全程見證符合後，再進行後續混凝土澆置。（電話紀錄如附件 7）
2. 3 月 20 日台電龍門施工處回報 3 月 19 日凌晨 1:00 許正式進行有關區塊之混凝土澆置，並提送相關改善資料。
3. 本會接獲台電龍門施工處提送之相關改善資料後，經本會視察

員審視其資料並比對 3 月 18 日視察時視察員自行拍攝照片，發現台電龍門施工處之改善並未完備，疑似仍有些許埋件支撐架電銲於結構主筋未確實改善。

4. 3 月 22 日本會視察員赴核四廠，訪談台電龍門施工處土木課、品質課、核安處駐廠品保小組等相關人員。(訪談摘要如附件 8)
5. 3 月 23 日本會視察員再赴核四廠，調閱鋼筋綁紮設計圖，以確認現場之鋼筋綁紮有無經比對所發現未改善之斜向補強鋼筋，並抽查二號機 EL+12300 反應器廠房之鋼筋排紮與埋件安裝情形，藉以判斷「埋件支撐架電銲於結構鋼筋」為普遍性疏失亦或個案。

(二) 「埋件支撐架電銲於結構主筋」調查分析

1. 依照鋼筋材料使用 ASTM 615 規範，雖可被銲接但須符合銲接材料、銲接程序、銲接人員資格等各方面要求，但台電施工處為使施工單純，於施工說明書第五章 1.3.4.12 節明確規定鋼筋之銲接絕對禁止（如附件 9）。3 月 18 日下午本會視察員進行該樓版澆置前鋼筋排紮、埋件安裝與清潔作業視察時，發現有部分埋件支撐架電銲於結構主筋上，不符合施工規範要求，乃邀集施工處土木課及品質課人員進行討論。品質課人員表示於 3 月 17 日進行該樓版澆置前埋件安裝初驗時，即已發現此項缺失，並告知新亞施工單位陪同人員，但隨同檢驗之土木課人員並不知情，新亞施工單位亦未立即處理改善，且品質課初驗人員於發現本項缺失時，並未直接於檢驗表記錄檢驗缺失，僅將相關品質文件予以保留未予退件，致本項缺失未能依正常檢驗程序發現後改善。由於事關廠房結構安全，本會視察員即要求台電龍門施工處應全面清查改善，並進行改善後覆驗。
2. 根據台電龍門施工處 3 月 20 日傳送相關改善資料顯示，改善方式係將被銲接之 11 號鋼筋視為工作筋而重新補入 11 號主筋，經清查結果共增加南北向 9 條 11 號主筋，東西向 2 條 11 號主筋，但經與本會視察員自行拍攝照片比對，卻發現有照片為斜

向 11 號結構鋼筋被埋件支撐架銲接之情形（如圖 3），在局部拍照即發現有未完成改善情形，因此質疑台電龍門施工處之全面清查改善並不確實。

6. 3 月 23 日本會視察員再赴核四廠，調閱相關鋼筋排紮設計圖，確認發現現場之鋼筋綁紮有斜向設計之結構鋼筋（如附件 10），證實上述本會核管處視察員自行拍攝照片所顯示之斜向補強 11 號鋼筋，確實存在埋件支撐架電銲其上而仍未改善之情形，但台電龍門施工處並未確實清查完成，以致未改善完成即進行混凝土澆置作業，故台電龍門施工處之全面清查改善作業不符本會要求。
7. 為了解「埋件支撐架電銲於結構鋼筋」係單一事件，亦或普遍存在現象，乃於 3 月 23 日到二號機 EL：12300 抽查反應器廠房之鋼筋排紮及埋件安裝情形，經抽查結果，並未發現有類似相同缺失（如圖 4）。
8. 此次核四廠一號機反應器廠房 S4-6 塊樓版鋼筋綁紮所使用之結構主筋皆為 11 號鋼筋，鋼筋上禁止任何銲接行為，以避免鋼筋結構受到傷害。台電龍門施工處於進行該樓版之埋件固定時，部分埋件支撐架電銲於結構主筋上，可能導致部分結構主筋強度降低，而對廠房結構有所影響，同時在本會以電話紀錄要求全面清查並改善之，卻未能落實執行，其核安文化有待加強。

以上發現及調查分析後缺失，已開立 AN-LM-95-003 注意改進事項（如附件 11），並要求台電公司務必確實進行下列改善措施，爾後若再有類似疏失發生，將以違規事項處理並加重議處：

1. 提昇龍門施工處核安文化。
2. 強化龍門施工處土木及品質人員專業訓練。
3. 請台電公司核能安全處重新檢視以往相關施工工程之檢驗紀錄，以確認是否存在類似疏失。
4. 對於部分埋件支撐架電銲於結構主筋而未進行改善處理部份，台電公司應進行相關結構強度評估，以確保樓版結構強度符合

原設計需求。

5. 針對此次之作業缺失，台電公司應提出防範機制，以確保後續相關作業之品質符合規範要求。

(三) 核四廠一號機鋼筋混凝土包封容器 RW13(EL+18100~19600mm) 及 EL+17580~19600 S4-5-1 澆置前查證

6 月 23 日會同土木課人員至一號機反應器廠房 EL+19600 進行 S4-5-1 及 RW-13 混凝土澆置前檢查，檢查結果有以下情形：

1. 經抽查 S4-5-1 樓版主筋型號與間距等施工狀況，均符合施工圖面要求。
2. RCCV WALL 第 13 升層澆置面清潔作業不夠徹底，經進入牆內部查證，澆置面之凸樁兩側低窪處，明顯淤積泥屑及雜物，經詢問土木課人員澆置面清潔檢驗情形，土木課人員表示，進行澆置面清潔檢驗時，僅於外側巡視進行檢驗，致使凸樁兩側低窪處泥屑雜物無法察覺，經要求土木課於澆置前應進行清理改善後，始得以進行混凝土澆置。本項缺失經承包商完成改善並由施工處照相確認後，已完成改善。
3. 巡視時發現有部份封模使用之工作筋，在銲接時有銲接到#18 主筋情形，由於此現象之發現僅有一處，經觀察對結構影響不大，已要求施工處嚴格要求模板廠商改正，並要求應開立 CAR 矯正行動通知給承包商，以預防再發生如附件 12。
4. 由於天氣炎熱，澆置面非常乾燥，對澆置面之新澆置混凝土凝結後強度有不良影響，經要求施工處在澆置前務必做好澆置面之充分濕潤作業，經查證施工處已確實要求承商完成澆置面撒水濕潤作業。

(四) 二號機反應爐基座混凝土澆置前查證

1. 5 月 3 日進行基座第 2 層澆置前現場履勘，發現依該計畫書第五、2 節規定：“於 EL+11100 D/F 底鈹移管的區域範圍鋪設帆布以防止滴落之混凝土污染鋼結構。”但承包商並未依規定鋪

設帆布，施工處土木課現場承諾於正式澆置前改善完成。惟本項要求在正式澆置混凝土時，仍未鋪設，以致於澆置基座開始以砂漿潤管時，在輸送鐵管與青龍管交接處發生脫落，砂漿灑落隔膜地板上，污染鋼結構，經承包商清理後並現場緊急更換青龍管，以及補鋪設相關帆布後繼續澆置。以上顯現計畫雖好，但確實執行更重要。

2.6 月 14 日進行核四廠二號機反應爐基座第四次混凝土澆置作業（如圖 5），澆置範圍為 RPV Support Frame EL+7000~8210mm，為基座凸出內緣之 1.2m 厚的中空翼版，用以承載 RPV 裙版傳遞 RPV 之重量到基座上，而用來充填混凝土之澆置孔為 15 公分直徑的半圓孔，共 60 孔 120 隔艙。原定上午進行澆置作業。由於基座係由汽源課完成後再交土木課進行混凝土澆置作業，土木課在接收後逕行澆置作業，但仍需完成澆置前檢查，但此密閉空間僅留半圓形澆置孔，如何檢查？土木課表示未檢查，係因汽源課在加工 120 支螺栓孔鑽孔作業後已現場檢驗過。由於此檢查作業土木課未查證，作業未儘周全，要求土木課至少需取得當初的清潔檢驗紀錄作為附件，以證明澆置前檢查作業的完成，最後於下午 1 時 40 分取得汽源課之加工完成檢驗（澆置前），作為檢驗附件（如附件 13），已符合檢驗作業要求。

3. 前項澆置作業，因該區域為密閉空間，且於側邊進行澆置，無法一次灌滿混凝土，而需二次施工採用不收縮水泥漿以壓力灌漿方式施工（如圖 6），需進行灌漿口封板作業，並預留兩條小水管，作為壓力灌漿灌入管及排氣管，6 月 14 日下午完成封板作業，隨後即進行水泥漿澆置作業。依據 GE 公司「Reactor Vessel Installation Specification」5.7 Template Removal 規定，地錨螺栓混凝土強度須達到設計抗壓強度或更高，才能將 Template 移除，由於一號機發生 RPV Template 於第 15 天移除，而移除之前未進行混凝土抗壓試體試驗，也無增作之試體

可壓，因此本次澆置二號機地錨螺栓混凝土，已要求施工處增作若干組不收縮水泥漿試體，以備不時之需（如圖 7）。

(五) 二號機反應器廠房隔膜地板混凝土澆置前查證

6 月 30 日本會視察員會同土木課人員至二號機反應器廠房進行隔膜地板（D/F）EL+11100~12379 混凝土澆置前檢查，檢查結果有以下發現：

1. 經抽查 D/F 樓版鋼筋排紮情形，發現於 90° 位置接近反應器廠房南側外牆，有少部分剪力筋數目似有缺少之情形（如圖 8），已要求土木課於澆置前徹底清查。
2. 清查 D/F 樓版底部 Liner 清潔情形，發現仍有許多非屬結構所需之殘留物待清除（如圖 9），已要求土木課於澆置前徹底清理。
3. 巡視時仍發現部分埋件固定之銲接銲渣掉落至主筋，雖對結構影響不大，但仍要求土木課應加強銲工銲接之管制。
4. 依據澆置計畫書說明本次澆置完成後將以圍水方式進行 7 日之養護，但視察時發現接近 RCCV WALL 旁之排水孔並未設置適當之圍水設施，依土木課人員說明將於澆置後於排水孔外圍設置臨時之堰牆，以利後續之圍水養護。

四、文件審查

澆置前作業除上述之現場查核外，尚包括澆置前查核及現場施工作業檢驗紀錄審查、人員（施工處、新亞及信南等）資格與訓練情形，抽查情形如下：

(一) 依混凝土澆置前檢驗作業程序書規定，混凝土預定澆置前一日需簽發混凝土澆置核對表，以核對澆置前各課相關之作業是否已全部完成，經查核 022-CIV-011-02-237、259、264、278 等各次之混凝土澆置核對表，其應完成之檢驗作業均完成，並簽章確認，符合作業程序書要求。

(二) 4 月 25 日抽查二號機基座測量有關之檢驗表，發現其鉗孔檢驗

表上有容許誤差 (Tolerance) 項目，但在檢驗表中並無該設計值之可接受標準 (Criteria)，惟施工處汽源課人員表示，雖於檢驗表上未列出，但於程序書之內容中可查出其值為 8810mm。為求品質檢驗人員能有效執行檢驗起見，已建議施工處考慮適當修訂該檢驗表格，增列該可接受標準。

(三)抽查 #2 機反應器基座內環 EL+7000~EL+12300，及中外環 EL+3500~12300 之混凝土澆置計畫書，發現其已增加經驗回饋之一章，包括澆置高程的控制標示、通道上下密閉小隔艙與隔艙造成與水平隔板間空隙充填等以不收縮水泥漿填充處理等，將一號機發生之澆置缺失經驗回饋至二號機。

(四)前項計畫書規定，現場之輸送區應有二位施工工程師及一位品管工程師；但於人員配置表中卻無該位品管工程師。經詢問施工單位，表示將以施工工程師兼代品管工程師。惟，體制上與工作職責之獨立性以及平時的訓練，兩者並不相同，以施工工程師兼代品管工程師之作法並不恰當，故要求施工處仍須依計畫書規定配置一位品管工程師。

伍、混凝土澆置中視察

本作業主要工作項目包括：1.混凝土供應及運送至澆置位置品管執行情形；2.混凝土品質控制之試體取樣試驗作業情形；3.混凝土澆置過程施工品質執行情形；4.以上作業人員之資格及現場品管情形。

一、混凝土供應材料及運送品管執行情形

(一)依龍門施工處 LMP-QLD-018 混凝土製造品質管制作業程序書規定之試驗項目，經抽查部份澆置作業已確實依規定進行澆置前、中之材料取樣試驗，並試驗符合規定（如圖 10）。

(二)依施工規範及程序書規定，當一批混凝土自混合水加入後，應於

90 分鐘內澆置完畢，經查核各次混凝土澆置之混凝土發料單及其簽收紀錄，查證結果除 RW13 最後收尾作業導致 2 個車次自出廠到澆置完成耗時約 75 分鐘外，各車次均於 20 至 30 分鐘內澆置完畢，符合 90 分鐘內澆置完畢之規定，且整體時程掌控良好，一律每車確認即簽收，顯示品管作業確實。

二、混凝土品質控制之試體取樣試驗作業情形

依龍門施工處 LMP-QLD-018 混凝土製造品質管制作業程序書規定，信南拌合廠於首次混凝土產製時或產製期間均需抽樣隨機做混凝土坍度、溫度、空氣含量、含氣量及單位重等試驗，以查證配合材料是否滿足規範對於配比之工作性的規定。故現場依規定每 37.5m^3 取樣試驗一次，進行坍度、溫度、空氣含量、含氣量及單位重等試驗，其頻次低於規範每 50m^3 取樣試驗一次之規定。而混凝土圓柱試體取樣頻率為每 75m^3 取樣一次，其頻次亦高於規範每 100m^3 取樣一次之規定。以上取樣試驗在未確認符合前不得澆置，如不合格則品質控制員於混凝土發料單上簽註廢棄原因，並廢棄該車混凝土。以上規定經現場查證，情形如下：

- (一) 各澆置區塊之混凝土取樣試驗坍度部份，RW12 在 20.5~22 cm 之間，RW13 在 20~21.5 cm 之間，基座在 20.5~21.5 cm 之間，隔膜地板在 14~16.5 cm 之間，前三項符合 $21 \pm 1.5\text{ cm}$ 規定值，第四項符合 $15 \pm 2.5\text{ cm}$ 規定值。
- (二) 各澆置區塊取樣混凝土溫度部份，RW12 在 $15\sim 18^{\circ}\text{C}$ 之間，RW13 在 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之間，基座在 $18\sim 20^{\circ}\text{C}$ 之間，隔膜地板在 $17\sim 19^{\circ}\text{C}$ 之間，均符合溫度 21°C 以下之規定。
- (三) 各澆置區塊取樣混凝土含氣量部分，RW12 在 $0.054\sim 0.064\text{ kg/m}^3$ 之間，RW13 在 $0.059\sim 0.091\text{ kg/m}^3$ 之間，基座在 $0.051\sim 0.117\text{ kg/m}^3$ 之間，隔膜地板在 $0.070\sim 0.086\text{ kg/m}^3$ 之間，低於 GE 核島區混凝土技術規範規定，混凝土氯離子含量必須小於 0.2 kg/m^3 之規定值。以上雖符合規範要求，但與以往取樣試驗資料在 $0.012\sim 0.031$

kg/ m³ 比對，明顯高出許多，已請施工處加強對料源品質的管控。

(四)單位重部分各次澆置之混凝土均滿足供輻射屏障使用之單位重 2243 kg/ m³ 以上之規定。

三、混凝土澆置現場施工品質執行情形

(一)依基座澆置計畫書第三、2 節規定，澆置區須有 4 位施工工程師及一位品管工程師，而於澆置時卻只派二位澆置工程師及一位品管工程師，不符計畫書之規定，經現場要求施工處需依計畫書規定辦理，承包商於 30 分鐘後已依規定補足工程師名額。

(二)混凝土供料至現場時，依 ACI 304 2R-4 Manual of Concrete Practice 規定須先以水泥砂漿潤管，在出口處則以廢料槽裝載後運離廢棄，經現場查證之各次之管線，每管均打入 1 m³ 之砂漿，並以吊車運離或直接傾洩於空地整地處理，作業情形符合規定。

(三)二號機反應器廠房 EL+11100~12300 D/F 樓版混凝土澆置於 6 月 30 日經相關課完成檢驗後，由於預拌廠砂石供應不足，於 7 月 1 日 5:30 開始進行澆置，9:30 本會視察員會同土木課人員至現場進行澆置中作業查證，發現原澆置計畫係由 3 台混凝土幫浦車各自負責 120° 區塊之澆置並分層澆置(3 層)，第 1~2 層各為 50cm，第 3 層收尾高度約為 20cm，澆置過程需維持澆置順序之連貫性，但現場視察時，發現東南側及西南側區塊之部分區域已完成第三層澆置，但相同區塊之部分區域卻連第一層澆置均未進行，與澆置計畫書說明維持澆置順序之連貫性並不一致，易造成混凝土漫流而材料析離現象。現場土木課人員解釋係因考量現場澆置速度緩慢，為避免先前澆置之混凝土初凝產生冷縫現象，因而採行權宜取措施，爾後仍將儘可能依澆置計畫書說明澆置順序施工，以維持連貫性，避免冷縫產生。

(四)依相關施工說明書及設計圖規定，現場澆置相關要求包括：

1. 一次澆置高度以 1.5~1.7m 為原則。

2. 混凝土落下高度不得超過 1.8 m (RCCV Wall 為 1.5m)。
3. 振動棒之振動應保持近似垂直及有系統的振動，防止粒料分離，不得振動鋼板及預埋管件等。
4. 澆置一氣呵成不可間斷，不得有冷縫情況發生。
5. 搗實深度則應插入前一澆置層 15 cm 內，來聯繫二層重合，同時控制澆置速度，使插入前一澆置層內時，混凝土應仍在塑性狀態內，與新澆置混凝土成為一體。

以上各項規定，施工處在各次的澆置計畫中，已依照各區塊澆置位置、環境、配比特殊性，以及澆置高程控制的需要，特別是基座部分將澆置分區、分隔艙及訂定車次所運送拌合之混凝土供應量，規定作業執行的管控細節，經本會視察員現場查證承包商施工領班人員對計畫的了解，均可明確說出澆置位置、澆置量及車次的規定情形，管控執行情形良好。

四、人員資格及現場品管情形

(一) 依反應器廠房工程技術規範第 3K.9 節規定，RCCV Wall 屬 ASME Section III, Division 2 CC 的結構，檢驗員人員資格需符合 ASME Section III, Division 2, Appendix VII 之相關規定，由 L-I 執行鋼筋材料施工與 L-II 執行鋼筋與混凝土材料施工、澆置前、中、後檢驗及其他施工者責任等六項施工與檢驗等作業及其記錄。經查證承包商（新亞公司）符合 L-1 資格者有 3 人，符合 L-2 資格者有 9 人，目前最新延續教育辦理持照展延訓練之資格自 94 年 9 月 15 日至 96 年 10 月 24 日，符合人員資格要求規定。在訓練方面，本（95）年度已辦理 7 項相關教育訓練，符合人員訓練要求規定。而 Level III (Mr. James C. Thompson's) 之資格確經新亞公司向 ACI 確認符合後授證，且審查其持照資格為 96 年 9 月 4 日止，符合持續授證之資格。

(二) 同前項信南拌合廠之混凝土取樣及試驗品管人員需符合 ASME

Section III, Division 2, Appendix VII 之相關規定，目前共有 3 名 L-II 資格者，其有效持照期至 96 年 10 月 25 日，可執行包括混凝土之拌和、試驗、運送及現場取樣試驗等四項作業。

(三) 以上二項經查證 RW12 及 RW13 相關檢驗作業及混凝土取樣與試驗等作業，確由符合資格之人員執行，符合人員資格要求。惟在新亞公司之自主檢驗表有一選項「是否屬 ASME Section III, Division 2 CC 範圍」，僅將鋼筋、續接器等檢驗表勾選屬 ASME，而混凝土相關作業則選否，並不正確（但檢驗人員仍符合 L-II 資格），已請施工處要求承包商注意改進。

(四) 其他包含各種現場品質控制員（混凝土品管及現場施工品管）、混凝土控制檢驗員及現場施工檢驗員等，包括承包商品管及施工處檢驗人員資格，經查證均符合規範及其台電 NSD-PE-2.1-T 核能工程檢驗人員之考訓及資格銓定程序書要求，並完成相關訓練及資格銓定作業。

陸、混凝土澆置後視察

本作業主要工作項目包括：1. 混凝土澆置完成面處理；2. 混凝土養護及修補作業情形；3. 混凝土抗壓試體強度試驗結果查證。

一、混凝土澆置完成面處理

(一) 3 月 23 日赴一號機反應器廠房 EL+18100 樓版現場巡查，發現有一洩水孔被澆置之混凝土遮蓋住（如圖 11）。經施工處相關人員表示，為避免施工期間雜物或水泥漿等進入排水管內，影響日後商轉時洩水管路排水功能，因此採權宜作法，在澆置樓版混凝土時，僅保留少部分洩水孔，其餘暫時先將洩水孔封住，日後依圖面找出洩水孔位置再鑿開還原。此作法雖不致影響品質，但非正常施工程序，且未建立日後復原的作業程序，因此為確保施工之品管完整，本會已開立 LM-會核-95-07-0 視察備忘錄（如附件

14)，請台電公司說明日後復原的作業程序。

(二)查證#2機反應器基座 EL+3500mm 之 10 個隔艙室需以不收縮水泥漿填補之澆置紀錄，及現場查證處理情形，經確認已完成，包含人員與設備通道上下小隔艙，亦完成填補作業。

二、混凝土養護及修補作業情形

(一)混凝土澆置完成後之養護工作依施工說明書 5.3.8 及施工規範 3G.3，新混凝土的養護與保護應符合 ACI 301 第 12 章規定，混凝土養護至少七天以上，並採取適當遮陽等防護措施。

(二)抽查一號機反應器廠房 EL+17580~19600 S4-5-1 及 RW-13 RCCV WALL 混凝土澆置於 6 月 24 日清晨完成澆置，當日上午 10:30 會同土木課人員至現場進行澆置後養護作業查證，混凝土已完成初凝並將完成面粉光，現場亦同時進行澆置面灑水養護，符合規範要求。

(三)RPV 基座第三次澆置在第五層外層的 20 個隔艙頂部留有 20 個人孔及 40 個澆置孔，在完成混凝土澆置後，需進行封版作業。在一號機部分發生混凝土澆置後，養護作業並未完成即進行封版作業，電銲產生高溫及預熱除將影響養護品質外，更直接傷害混凝土強度及電銲銲接品質（易產生水氣），經要求改善後才於第 7 天進行封版作業。因此查證二號機處理情形，發現銲接作業面及預熱的檢驗作業於 95 年 5 月 8 日完成（銲接、預熱開始時間更早），而該混凝土於 5 月 3 日澆置，養護作業至少須進行至 5 月 10 日，故 5 月 10 日前不可進行銲接相關作業，本案缺失已發編號 LM-會核-95-04-0 備忘錄（附件 15）要求台電公司改善，預防再發生。

三、混凝土抗壓試體強度試驗結果查證（如圖 12）

(一)依龍門施工處 LMP-QLD-018 混凝土製造品質管制作業程序書規

定，混凝土澆置後依序須完成以下事項：

1. 混凝土出料完成後，拌合場承包商須將出料配比、時間、數量等記錄於混凝土控制日報表及控制試驗報告表。
2. 現場製作試體於製作時間後 24 ± 8 小時內送至甲方養生室養生。
3. 品質課依規定齡期，會同相關單位進行壓驗試體，並將壓驗結果記錄於抗壓強度試體報告表。

(二) 查證混凝土試體送施工處（甲方）養生池進行養生之執行情形良好。審查各次澆置之混凝土製造通知單，包括 C022-CIV-034-I-309（RW12）、334（RW13）及 C022-CIV-034-VII-255 與 257（基座）之混凝土圓柱體抗壓強度試驗報告，其設計齡期均為 91 天，設計強度分別為 4000psi 及 5000psi，均符合設計規範要求，查證情形如下：

1. RW12 及 RW13 所採用之混凝土配比 EH-II-19-15-F15-C 為 91 天齡期 5000psi (fc')，經中興大學土木系進行混凝土各項物理性質試驗，其抗壓強度在 28 天平均強度為 450kg/cm^2 (6428 psi)，91 天平均強度為 613kg/cm^2 (8757 psi)。實際結果 28 天平均強度為 6532 psi，91 天平均強度為 7977 psi。比較結果 91 實際強度略低於設計需求強度，顯示配比在長期強度發展上實際採用的材料與設計相較略慢，但仍符合設計基本要求。
2. 基座混凝土配比為 DHII-9.5-21-F15-C 配比 91 天齡期 4000psi (fc')，設計需求強度則為 5200 psi (fcr')。經由中興大學土木系進行混凝土各項物理性質試驗，其抗壓強度在 28 天平均強度為 361kg/cm^2 (5157 psi)，91 天平均強度為 502kg/cm^2 (7171 psi)。實際結果 28 天平均強度為 6999 psi，91 天平均強度為 8722 psi。比較結果除滿足設計規範外，實際澆置取樣結果比設計配比試驗結果良好。
3. 隔膜地板採用配比 E-II-19-15-F15-D 為 91 天齡期 5000psi (fc')，

設計需求強度則為 6400 psi (fcr')。經中興大學土木系進行混凝土各項物理性質試驗，其抗壓強度在 28 天平均強度為 445kg/cm² (6357 psi)，91 天平均強度為 515kg/cm² (7357 psi)。實際結果 28 天平均強度為 5205 psi。比較結果大致滿足設計規範，28 天齡期強度實際結果較試驗設計值略低，91 天平均強度尚未出爐，將列為持續追蹤了解項目，以確定其結構強度符合設計要求。

(三)依據 RCCV Wall 施工作業計畫書第 6.8.16 節規定，「RCCV 每次混凝土澆置須加做 1 組 (2 顆) SIT (結構整體測試) 試驗用之混凝土試體」，查證結果 RW11 未依規定製作，經土木課澄清說明，該試驗試體確實漏做，經本會提出質疑並要求改善後，施工處已臨時保留 1 組 28 天試體，作為 SIT 試驗用試體。另要求土木課查證歷次 RCCV Wall 澆置是否均完成 SIT 試驗用試體製作，初步查證結果有數次未依規定製作。本案已發編號 LM-會核-95-01-0 備忘錄，請台電公司就漏做情形提出改善對策。

(四)核四工程為因應混凝土初完成混凝土澆置而發生地震時，為評估其混凝土強度是否足以抵抗地震的侵襲，因此台電龍門施工處訂定「核四計畫有關地震對龍門計畫構造物影響之評估準則」(如附件 16)，故於各次混凝土澆置時需製作地震試體，預防地震發生時可作為初澆置混凝土之結構體強度評估依據。經查證各次取樣試驗大致符合要求，惟 RW12 之地震試體未完全依照規定，完成抗壓強度試驗作業 (第 6 天試體未壓驗)，本案已發編號 LM-會核-95-01-0 備忘錄 (如附件 17)，請台電公司說明本作業程序及改善對策。

(五)其他包括試體取樣頻率、試驗項目等各項作業，台電龍門施工處均依相關程序書規定辦理，符合 ASTM C39、C31、C172 等規範要求。

柒、綜合結論

核四廠反應器廠房一次圍阻體系統之 RCCV Wall 屬 ASME Section III, Division 2 CC 的結構，而基座與隔膜地板為反應爐之重要支撐結構，故本次的專案視察範圍為反應器廠最重要結構。對於本次的專案視察發現若干缺失，整體而言，雖不致對結構體或埋件等設備有品質上的影響，但台電龍門施工處在執行檢驗作業程序雖致力符合相關檢驗要求，卻有形式大於實質意義的狀況。視察結果歸納如下：

- 一、本次混凝土專案視察範圍較廣，經審查各次澆置計畫並與一號機各相關部分相較，除了詳實規定澆置範圍、方法、人員、機具、防護外，特別訂定注意事項將澆置每車澆置量、位置、順序、保護措施、養護作業，及以特別說明方式，將執行一號機所發生的各種缺失經驗回饋明定於澆置計畫中，符合施工計畫、品管作業及品保之經驗回饋要求。
- 二、依反應器廠房施工規範規定，結構鋼筋不能被電銲，以免鋼筋脆性變化而破壞結構強度，此乃為土木結構之基本要求，台電公司施工處發生此類事件，顯見整個施工核安文化有待加強。本項依訪談紀錄顯示，品質人員未於初驗時將檢驗缺失直接記錄於檢驗表，而祇將相關品質文件予以保留未予退件，且現場檢驗作業由土木課、品質課及新亞公司三方人員共同會驗，為何經辦之土木課在本會視察員告知此疏失時，仍不知此缺失，實有違作業程序及專業與共同會驗的基本要求。
- 三、前項發現缺失本會要求台電公司龍門施工處應全面檢查並完成改善後再行混凝土澆置，但改善後紀錄仍發現部分未完成改善情形，施工處存在明顯作業疏失，因此已開立 AN-LM-95-003 注意改進事項，請台電公司徹底檢討相關施工工程各項品質管控機制之落實，並重新檢視以往相關施工工程之檢驗紀錄是否存在類似疏失。對於部分埋件支撐架電銲於結構主筋而未進行改善處理部

分，則請台電公司進行相關結構強度評估，以確保樓版結構強度符合原設計需求，同時，亦要求台電公司提出防範機制，以確保後續相關作業之品質符合規範要求。

四、在各次澆置作業的現場巡查可以發現，有多項澆置前應完成檢驗仍不符合規定，包括：未確實清潔、澆置計畫規定項目未執行、鋼筋遺漏組立、銲接於鋼筋上及現場以氧氣乙炔熔切等不符合施工規範要求等情形，部份在發現後告知仍未改善，顯見檢驗作業有愈來愈不確實情形，可能係在趕工情形下，品質課併同經辦課會同檢驗，致檢驗責任不清，而有怠忽職責狀況，故日後本會對品質課的品管功能，有必要進一步了解對工程施工與檢驗品質的影響。

五、各次澆置之混凝土配比與澆置作業結果，經查證設計要求到配比設計試驗結果到實際澆置取樣試驗結果，整體而言大致滿足設計規範要求，且實際結果亦符合設計配比試驗資料與設計要求。

六、為使混凝土澆置儘可能完全充填而採用不收縮水泥壓力灌漿的作業，經查核作業方式及檢驗等，均符合施工計畫及作業程序書規定。另，本會列為持續追蹤管制項目之小隔艙，亦完成混凝土澆置的作業，符合設計要求。

七、人員資格方面依反應器廠房 RCCV Wall 屬 ASME Section III, Division 2 CC 的結構，檢驗人員資格需符合 ASME Section III, Division 2, Appendix VII 之相關規定，由 L-I、L-II 執行相關取樣、檢驗及其記錄。經查證承包商（新亞及信南公司）相關人員，符合本項人員資格要求。其他相關施工及檢驗與品管人員，亦符合其訓練與資格之要求

八、澆置完成面的處理，大致符合作業要求，但有洩水孔以混凝土遮蓋，及封銲銲接影響養護作業情形，有不盡完善之處，本項已發

備忘錄 LM-會核-95-07-0 及 95-04-0 二備忘錄，分別請台電龍門施工處說明洩水孔日後復原作業程序及封鈑銲接影響養護注意改善預防再發生。

九、試體取樣試驗作業包括依規範之抗壓強度取樣、RCCV Wall 之結構整體測試(SIT)試體取樣及地震後結構強度評估取樣三項，經查證第一項依規範之抗壓強度取樣作業，均符合作業程序要求，第二項之 RCCV Wall 之結構整體測試(SIT)試體取樣則發現有漏取樣情形，第三項之地震後結構強度評估取樣則有未完全執行試體壓驗作業。以上缺失則已發備忘錄 LM-會核-95-01-0，請台電龍門施工處說明作業程序並提出改善對策。

綜合以上結論，可以發現核四廠土木結構作業缺失，最近查證結果有日漸增加的情形，雖然以上各項發現除有待台電公司進一步評估部份外，大致上不影響日後核電廠運轉安全的要求，但為求核四建廠不僅要符合安全要求，對於施工作業的品保與品管作業要求亦應滿足其規定，以符合其施工品質的規定，因此，本會仍將持續要求施工處做好所有建廠作業品質要求，落實本會安全管制之目標與職責。

註：本報告限於篇幅，附件部分並未附上，如有任何疑問，請洽本會賴尚煜科長，
Tel：02-2232-2140

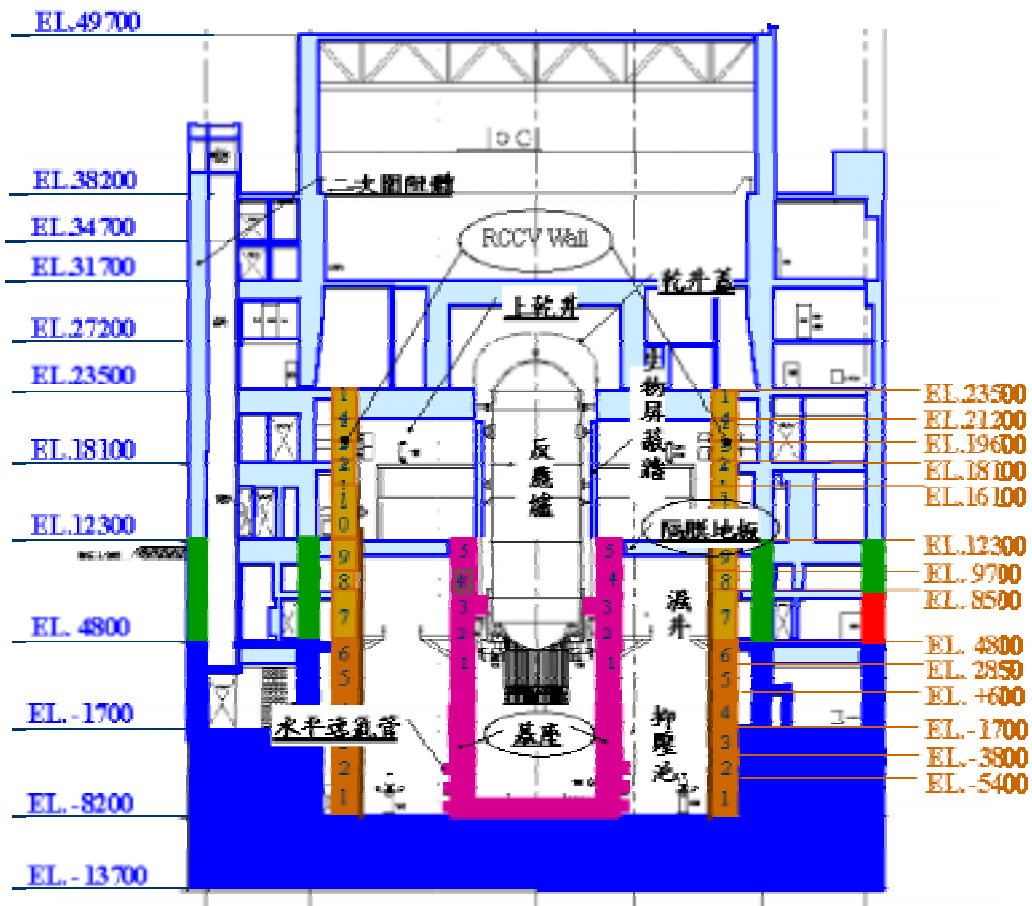


圖 1：反應器廠房佈置圖



圖 2：埋件支撐銲接於鋼筋上情形



圖 3：未完成改善之斜向鋼筋情形

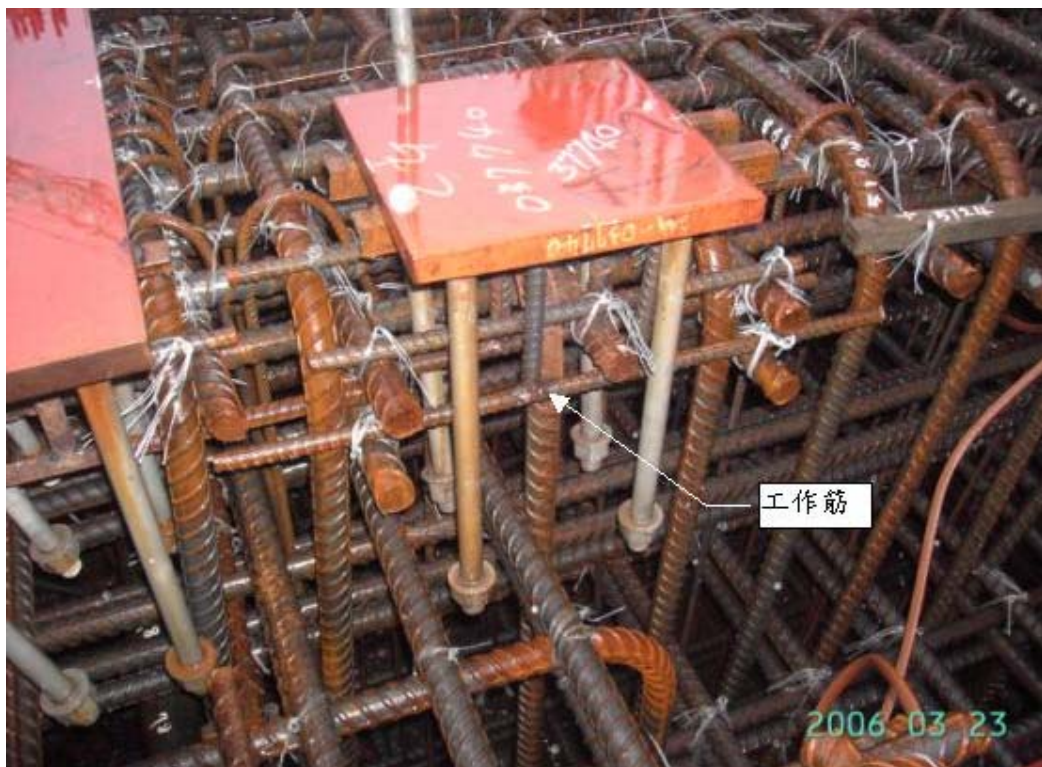


圖 4：二號機 EL12300 樓版埋件無銲接施工情形



圖 5：二號機基座之 RPV 支撐座澆置情形



圖 6：二號機基座之 RPV 支撐座二次澆置不收縮水泥漿情形



圖 7：二號機基座之 RPV 支撐座二次澆置不收縮水泥漿取樣情形



圖 8：二號機 D/F 樓版剪力筋遺漏未組立情形



圖 9：二號機 D/F 樓版雜物未清情形



圖 10：混凝土取樣試驗作業情形



圖 11：樓版洩水孔以混凝土封蓋情形（角材端點位置）



圖 12：混凝土試體抗壓試驗作業情形