

核四廠一號機反應爐基座第一層 EL-8200 ~+4500mm 混凝土澆置專案視察報告

原子能委員會核能管制處

中華民國九十三年十一月十三日

目 錄

壹、前言	1
貳、工程概要說明	2
參、澆置計畫說明	3
肆、鋼結構作業品質查證	4
伍、混凝土澆置前視察	7
陸、混凝土澆置中視察	10
柒、混凝土澆置後視察	14
捌、綜合結論	15
附圖	18
附件	26

核四廠一號機反應爐基座 EL-8200~+4500mm 混凝土澆置專案視察報告

壹、前言

核四廠各工程主要結構以鋼筋混凝土為主，其結構具有不可更換之特性，因此混凝土澆置前作業品質及本身澆置品質的良莠，均影響該結構品質甚鉅。本會基於職責，對核四工程土木結構作業，自核發建廠執照起，便列為重點管制項目，已數次邀請學者專家（包括台灣大學陳振川教授、台灣科技大學黃兆龍教授、中央大學林志棟教授、台灣大學高健章教授及台北科技大學林利國教授）辦理土木結構相關之專業團隊視察。除此之外，為讓混凝土澆置視察制度化，本會於九十一年九月二十七日即完成「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。

鑒於核四廠反應爐基座為安全相關且須符合安全停機地震要求之結構，其重要性在核電廠中如同人的心臟一般，故本會於九十三年八月二十三日配合一號機反應爐基座（RPV Pedestal 第一層（EL-8200~+4500mm）混凝土澆置時程，對該結構物展開專案視察。由於基座整體結構包含鋼結構與混凝土兩部份，整個視察作業以混凝土澆置作業的執行及完成分為澆置前、澆置中及澆置後等三階段，而澆置前就鋼結構之銲接作業程序是否周延加強查證，以避免混凝土澆置後有無法挽回或影響品質的情形發生。視察執行方式採人員訪談、文件審查與現場巡查來進行。

貳、工程概要說明

核四廠核島區廠房結構工程係由新亞建設承攬，而反應爐基座之製造與安裝係此工程中之部份，依核四廠初期安全分析報告（PSAR）之規定，基座之製造與安裝需符合 AWS D1.1 的規定。由於新亞建設並無充分之大型鋼結構體銲接製造及安裝施工之經驗及能力，因此，將基座之製造與安裝由下包商-中船公司來承製此項工程。基於品保作業要求，於廠製作業階段時，新亞及台電公司均派員常駐中船公司執行品質檢驗作業。

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，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）、液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一。

根據核四廠的設計資料，核四廠反應器在正常運轉時，重量約為 2885 噸，而停機大修時，最重可達 3590 噸，均由 RPV 基座承載。而反應爐基座之鋼結構部份總重量約為 938 噸，主要由內外側各一之同心圓鋼殼及垂直隔板等構造銲接組合所構成。在內外側同心圓鋼殼夾層之間，除預留的逸氣管外，其餘空間則在組裝定位並檢驗完成後澆置混凝土。

基於製造與運輸之考量，反應爐基座鋼構之製造分五層進行，截至視察時為止一號機各層均完成製造並於核四工地現場組裝完成至第四層，其中第一層最高為 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，本次視察範圍則為第一層部份（EL-8200~+4500mm）。

參、澆置計畫說明

核四廠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，其中十個隔艙有預留的逸氣管，其空間人員無法進入，而另十個隔艙在澆置中人員亦無法進入。依核四廠反應器廠房之施工技術規範規定，RPV 基座內填充之混凝土為 Type I 型，91 天齡期設計抗壓強度為 4000psi，單位重至少 2.24t/m³。依前述作業環境乃選用混凝土配比为流動化劑的強塑性混凝土 (Superplasticized Concrete)，以增加混凝土流動性，提高澆置工作度，並應滿足 ASTM C1017 的規範要求。整個反應爐基座分三次澆置混凝土，此次為第一次澆置，澆置高程為 EL-8200~+4500mm 之間，澆置計畫概況如下：

一、澆置區域：一號機反應爐基座第一層。

二、澆置高程：EL-8200~+4500mm。

三、預計澆置數量：612 M³

四、預計澆置速率：以三部混凝土泵送車作業及一部泵送車備用，主要澆置時程約十小時。

五、採一班制施工，每班三組，每組配置澆置工四人、振動機六台(其中三台備用)。

六、混凝土配比設計

本次混凝土澆置作業之混凝土配比編號為 DHII-9.5-21-F15-C 之強塑性混凝土，主要設計資料如下表：

設計齡期	抗壓強度	坍度	粗骨材 最大粒徑	混凝土 溫度上限	單位重
28 天	4000psi	21± 15 cm	9.5 mm	21	2.243t/m ³

肆、鋼結構作業品質查證

本次反應器基座第一層混凝土澆置前鋼結構安裝作業狀況視察作業，係以混凝土澆置後無法再執行或改正之施工項目為查核重點。於考量歷來安裝作業執行情形、視察發現及改善現狀之確認等。視察執行時主要針對 SRVDL Support Plate、Main Steam Vent Pipe、WN23 鐸道修補，以及臨時性鐸道移除等作業情形進行查核，對於安裝作業中之鐸接作業則以抽查部分鐸道之方式進行。視察結果顯示除 WN23 鐸道鐸補作業有部分不符合程序要求，需再加以檢討之情形外，其餘部分主要發現為文件處理作業上之瑕疵，經研判應不影響鐸道之品質，惟如能加以改善，對品質文件之可讀性應能有所提升。對於這些視察發現及可加以改善之事項，在視察過程中均曾與主辦課及品質課非破壞檢驗股人員，進行討論以確認對有關發現及事項之狀況均有共同之認知，以及可能改善之方式。過程及結果摘述如下：

一、反應器基座第一層安裝作業執行過程中，涉及外鈹鐸接施工之 DCN 案件主要有 SRVDL Support Plate 及 Main Steam Vent Pipe 等之安裝工作，由於基座外鈹鐸後需進行熱處理，因此在混凝土澆置前必需確認相關作業均已完成並符合規範要求。

(一)SRVDL Support Plate

SRVDL Support Plate 共計 52 處，係以 308L 不銹鋼鐸條於外鈹母材上以覆鐸(Buttering)方式製成，施鐸完成後依規定需執行 UT 及 PT 檢驗。經查證鐸接檢驗紀錄及 NDE 檢測報告，各項檢驗及檢測作業均已依規定程序執行完畢，結果亦均符合要求。

(二)Main Steam Vent Pipe

Main Steam Vent Pipe 共計 18 支，其安裝於基座內外鈹間，每支除各有一穿越基座第一層外鈹進入溼井之出口係與外鈹鐸接連接外，各個管支架均係鐸接於內鈹或肋鈹上，因此僅 18 個位於外鈹上之出口鐸道需執行鐸後熱處理。本會視察員除檢視其出口鐸道之鐸接檢驗紀錄及 NDE 檢測報告外，亦查核其水壓試

驗參數是否符合規範要求(測試壓力:56kg/cm²，持壓：10min，降壓至 36kg/cm²後目視各接頭銲道是否有洩漏現象)及壓力表校驗情形，結果均符合要求。

(三)查核 SRVDL Support Plate 及 Main Steam Vent Pipe 外鈹出口銲道銲後熱處理紀錄，檢視溫度紀錄曲線之升降溫速率及持溫溫度與時間，均符合法規對升降溫速率及對持溫條件(1050~1100°F，1.5Hr)之要求。

二、WN23 銲道銲補作業

WN23 銲道為基座第一、二層間之水平銲道，其於現場組裝銲接後曾於銲道第一層母材處發現多處缺陷，由於在修補過程中類似銲接缺陷曾有一再反覆出現及誘發鄰近銲道出現缺陷之情形，部分銲道區域曾歷經多次之銲補。此外在銲補過程中，本會即曾多次依視察所得發現，發出多項之缺失改善要求及改善建議事項，為確認施工處對各改善要求事項之執行情形，本次視察中亦將其列為視察重點，以進行查證。以下為 WN23 銲道銲補作業之查核情形。

(一)考量此一銲補過程十分繁複，為確保所有之缺陷均已全部去除並經檢驗確認，視察人員首要針對全部 67 處缺陷之銲補及 NDE 檢驗紀錄進行全面性之查核，此一查核結果顯示全面缺陷之修補作業均已完成，各項作業紀錄亦完整且符合要求。

(二)為免去 WN23 於安裝銲接後熱處理之需要，WN23 曾於中船廠製階段以 E8016G 銲材進行隔熱敷層之施銲作業，此一敷層依規定應進行 UT 檢測，惟在查證 WN23 出廠品質之過程中發現，施工處人員誤將中船廠製圖銲道 WN23，誤認為是工地安裝圖之 WN23 銲道，致將廠製銲道 WN23 之 NDE 檢測結果，登載為隔熱敷層之 NDE 檢測結果。雖然因缺少隔熱敷層之 NDE 檢測紀錄，無法確認隔熱敷層之品質，但因在缺陷移除時會將既有之隔熱敷層一併移去，並於銲補完成後進行 NDE 檢驗與銲後熱處理，因此原隔熱敷層品質對基座品質之影響已不存在，惟原有

文件之錯誤仍需加以修正，此一修正要求經查驗已改正完成。

(三)在鐸補作業之初，本會視察人員發現部分鐸補作業之執执行程序與作業參數，已有背離原作業程序書要求之情形，此外在鐸補作業之參與及管制作為上，亦發現施工處主辦部門實有再加強之處。為使施工廠家對鐸補作業能慎重為之並符合法規規定，視察人員除將相關疑慮告知施工處主辦部門要求改善外，並請其比照鐸接程序要求，針對此一鐸補作業擬定鐸補作業程序書並送奇異公司認可。對此施工處主辦部門已前後製定兩個版次之鐸補作業指引，並均經奇異公司審核通過。

(四)經了解施工處與奇異公司對此一鐸補作業指引之審核情形，發現奇異公司之審核意見主要在熱處理作業之執行方式上，其希望熱處理作業執行時能以整條鐸道全部同時熱處理之方式進行，因此鐸補作業指引亦規定依此進行熱處理作業。惟在查核熱處理作業紀錄時發現，仍有鐸補後之熱處理作業以局部方式進行之情形。針對此一違反作業程序要求之做法，雖然主辦部門以此項規定僅係奇異公司之建議意見，因此應可視工程情況予以變更做為解釋。然視察人員仍認為此全面性熱處理作業既已為作業程序中之正式要求，執行時自應遵照實施，不宜有其他考量，在未經適當程序管制下，即逕自變更作業程序之要求。針對此一情形視察人員於發現當時，除即與施工處主辦部門檢討可能影響，在了解對品質應無過大之影響後，亦再要求其針對此類狀況檢討其應有之處理作為。

三、針對臨時性鐸道(如：吊耳、爬梯等之鐸道)移除後之 NDE 檢測情形進行了解，發現僅有吊耳部分之鐸道於移除後有經施工處進行 NDE 檢測，其它之臨時性鐸道則僅由中船公司進行 PT 檢測，但於查閱其檢測紀錄時發現中船公司僅將檢測後之情形予以照相，而未製作完整之檢測紀錄，對此已請施工處人員與中船公司檢討並尋求改正之道。

四、本次視察中於查核各個應執行熱處理之銲道檢驗紀錄時，發現有關之熱處理紀錄無報告紀錄編號，致紀錄間之查核作業頗為費時，對此宜加以改善。

五、於查閱基座安裝檢驗表時，發現 NDE 報告均已由品質課 NDE 股審核完成，但 NDE 股僅於其上簽署。鑑於基座安裝過程中之 NDE 檢驗報告數量龐大，且係於作業過程中陸續由品質課 NDE 股送交主辦課者，如其能於檢驗表上註明其審核之 NDE 紀錄內容或建立清單隨附，應能更進一步確保有關文件之完整性。

伍、混凝土澆置前視察

本次視察之基座整體結構包含鋼結構與混凝土兩部份，前項已針對鋼構部分進行查證，以避免混凝土澆置後仍發生鋼構未完成項目，包含銲接、熱處理及非破壞檢測（NDE）等作業。本項視察內容則以澆置計畫周延性、完成工作查核與準備作業為主，八月二十三日本會配合龍門施工處之澆置時程，展開現場巡查及相關文件抽查，視察情形摘述如下：

一、澆置計畫

本案之澆置作業原預定本年（九十三年）四月份進行，故本會於三月廿三日至三月廿六日執行龍門計畫第十四次定期視察作業時，即將基座混凝土澆置計畫列為視察項目，視察結果澆置計畫內容過於簡略，未詳細規劃澆置之各項管控方式，而該澆置計畫涵蓋基座所有的澆置，卻未針對各種不同的澆置位置，提出澆置的方法。另外對於混凝土的充填方式，未考慮頂鈑的部分是否會形成氣室，致無法確認充填情形。

除此之外，於現場查證時，發現在設備艙門（Equipment Hatch）及人員設備通道（Personnel Air Lock）上、下方兩側各有一小塊鋼隔鈑圍成三角小格艙（Dwg. C237B-144-B008 參圖二小隔艙示意圖），依 Dwg. C237B-244-A026 Q & AC 斷面及細部 19 圖明白標示該隔艙留

有橢圓形開口（如圖三），係為加勁鈹內側銲接所開設之預留孔，並非混凝土澆置孔，圖面並規定開孔需以鋼鈹封銲。以當時作業情形來看，鋼構或混凝土澆置之經辦課似乎均未發現此問題，澆置時是否仍有銲接作業應銲接未完成，是否有無法深入澆置的未知死角等，均有必要請各經辦課查證清楚，並規劃適當作業程序後，始得進行混凝土澆置作業。

以上事項本會已開立視察備忘錄 LM-會核-93-07（如附件一）要求台電公司澄清並改善，台電公司龍門施工處則已重新修訂澆置計畫書內容，詳細擬定各項作業及管控方式，將計畫範圍限定於本次（第一次）的混凝土澆置作業，並進行第四次的混凝土澆置性試驗，來模擬測試確認本次強塑混凝土配比進行澆置作業之工作性，是否可符合施工作業要求。在小隔艙部分，封鈹作業已完成，此部份之混凝土澆置則不與本次混凝土澆置同時進行，將另案以不收縮水泥漿壓力灌入，此部份作業則列入本會後續管制追蹤項目。

二、混凝土配比

本次澆置所使用之配比（DHII-9.5-21-F15-C）為流動化劑的強塑性混凝土（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，並滿足 ASTM C1017 的規範要求。

經查證此配比依 ASTM C1017 及其表 Table 1 的規定，需對流動塑化緩凝劑（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。齡期強度部分，設計規範為 91 天齡期 4000psi，而配比強度為 28 天齡期 4000psi，以混凝土強度增長的趨勢來看，28 天齡期達 4000psi 則 91 天齡期強度必超過 4000psi（因提供強度的水化反應仍持續進行中），因此，齡期雖與設計要求不同，但屬於趨向保守的設計，故僅需在澆置後進一步驗證 91 天的強度情形。此部份施工處已於配比進行附加劑的試驗作業時，完成 91 天齡期抗壓強度測試，結果平均強度達 502kg/cm^2 （7000psi），可滿足設計規範要求。

三、澆置性試驗作業品質查證

核四廠核島區結構工程依施工說明書規定，在基礎上、下層及 RCCV Wall 之複雜部分，應依實際比例組裝、施工後，進行混凝土澆置的可行性試驗。RPV 基座由於結構狀態特殊，施工處乃進行合約以外之第四次澆置性試驗，惟此試驗屬模擬性質，故僅規定尺寸、及開孔相同，材料、施工與組裝上則無特別規定。

五月六日本會配合此試驗之進行，派員現場查證執行情形，整體作業前準備應完全仿照現場狀況才適當，視察結果試驗方式與規範之規定仍有相當差距。主要的差異在此試驗以模板組立模擬鋼構體，澆置進行中以側邊敲擊測試是否填滿，以及過度搗實、停頓等待等，均與現況不符。另，以逸氣孔（排氣用）插入振動棒搗實，亦屬不正確操作，以上當場請施工處檢討，以符合實際現況（如圖四）。

試驗結果在頂板拆模後，發現澆置頂面呈現月球表面狀況（如圖五），雖未能完全填滿，經施工處向設計公司（GE）澄清有關混凝土充填要求標準時表示，所有基座內側空間均需填滿，但此試驗之填充程度可接受。本澆置方案原可定案，但需中船公司配合將人員氣鎖門、設備通道艙門之底板再開幾處開口，及加開幾處氣孔，並於完成混凝土澆置後再進行封銲，因增加其作業程序，中船公司不願配合辦理。施工處則決定改變施工方式，在 GE 同意後，先澆置混凝土至完成面下 10 cm，再用不收縮水泥壓力灌漿填充，此方式充填性較佳且不須加大孔徑或增加開孔等，此方式可接受且無需再進行澆置性試驗。

其他現場作業檢查包括清潔檢查、安全網架設、底部作業平台等遮蔽、開口防墜落遮護等，以及振動機及備份、照明設備、預備帆布遮雨（如圖六、七）等。少部分缺失，經施工處要求承包商改善後，整體上大致可符合要求。

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，查證情形如下：

- (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，經查證包括龍施土 022-C-154-I-174(土木課)、龍施土 022-M046-011(汽源課)、龍施土 022-E-043-1R41-035 及龍施土 022-E-010-1u71-025(電氣課)等應完成項目均檢驗符合，其他各課確認無相關工作項目。另，審查第一版澆置計畫時，本會要求加強相關作業及管控方式，經查證第二版澆置計畫內容已做適當修正，不足部分亦完成改善作業，並於七月八日經施工處審核同意發行，符合施工說明書規定。
- (二)人員資格與訓練部分，在資格方面不論業主或承包商，均可符合程序書等要求規定。在訓練上由於澆置作業環境及要求標準與一般牆體、樓版或基礎並不相同，實有必要在作業前對相關工作人員進行訓練，經查核台電施工處部分在八月十九及二十三日已對相關人員就混凝土供料程序、確認作業過程、分工及每車次的規定供應情形等，進行加強訓練。

陸、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，大致均依規定進行澆置前、中之材料取樣試驗，並試驗符合規定。
- (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 分鐘內灌置完畢，經現場查證混凝土品控管制站之混凝土發

料單及其簽收紀錄，均於 90 分鐘內澆置完畢，但在初期開始澆置時，前置作業仍有準備不完善之處，雖然設備、機具已準備齊全，但未完全定位，以致初期前幾車次出料後現場仍在進行澆置軟管、照明設備等的安裝，而延誤近 75 至 85 分鐘始完成澆置，其餘大致花費時間在 20 至 30 分鐘即澆置完畢，整體時程掌控良好，且一律每車確認即簽收，顯示品管作業良好。

(三)澆置當日受颱風季節影響，在原澆置計畫中為保留天候防護棚遮護，澆置時採用布製套管，逐次依澆置高度剪去末端多餘長度，惟經澆置性試驗結果布製套管無法承受混凝土的衝擊力而破壞，因此仍採用塑膠軟管（青龍管）進行澆置，需藉塔式吊車移動青龍管，故將天候防護棚拆除（如圖八）。此結果對於澆置中需搭建遮雨棚的要求不符，當時即要求需備妥帆布以備天雨時遮蓋澆置隔艙。所幸颱風來臨前雨勢不大，除晚間十點餘有較大雨勢外，並未對澆置作業之進行造成影響，不過整體上，顯然在澆置計畫的擬定上需考量澆置前準備作業的完整性及天候的可能影響，在無天候防護棚的情形下，天雨時即應排除澆置作業的進行，以符合混凝土澆置必須搭設防雨設施之規定。

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、含氯量及單位重等試驗，以查證配合材料是否正確。另，現場則依規定於現場隨機檢驗混凝土品質，包括坍度、溫度、空氣含量、含氯量及單位重等，其頻次則為 37.5m^3 取樣一次，低於規範之 100m^3 及 50m^3 之規定，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。以上要求經現場查證（如圖九、十），情形如下：

(一)坍度為 19.5~20.5 cm，符合 21 ± 1.5 cm 規定值。

(二)混凝土溫度 16~18℃，符合溫度上限 21℃ 之規定。

- (三)含氯量 $0.027\sim 0.039\text{ kg/m}^3$ 符合 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（非核島區部份則依 CNS 3090 規定，鋼筋混凝土所處環境須作耐久性考慮者，其混凝土氯離子含量僅需小於 0.3 kg/m^3 規定值）。
- (四)單位重最低為 2299 kg/m^3 左右，滿足供放射性屏障使用之單位重 2243 kg/m^3 下限值規定。

三、混凝土澆置現場施工品質執行情形

- (一)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，現場查證三組管線，每管均打入 1 m^3 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（如圖八~九）。
- (二)依施工說明書及設計圖 S6251 Note 之規定，基座側壓力最大為 750psf (3.511t/m^2)，現場澆置相關要求包括：
- 1.一次澆置高度以 $1.5\sim 1.7\text{m}$ 為原則。
 - 2.混凝土落下高度不得超過 1.8 m 。
 - 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，施工處已就此區塊澆置位置與配比特殊性，以及澆置高程控制的需要，特別將澆置前準備工作、混凝土拌合供應及澆置中可能狀況發生之因應對策等，訂定於「反應器基座（Pedestal）填充混凝土供應及應變計畫」中（如附件二）。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相當仔細，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。

然而本次澆置雖事先進行澆置性試驗，但實際澆置於鋼製結構體中，與澆置性試驗採木模會吸水、排除多餘浮水的情形不同，以致未料想到浮水持續累積在表面的結果，造成浮水達數十公分高的水位，澆置接近完成面時，浮水逸出開口至下方乾井內，甚至有混凝土噴濺污染下方設備的情形，此為澆置過程中主要缺失，此缺失經查證發現後施工處已立即要求各相關承包商改善，以維護下乾井設備之品質（如圖十二~十五）。

四、人員之資格及現場品管情形

(一)現場品質管制作業人員包括：

- 1.信南拌合場之混凝土取樣品管人員
- 2.現場品質控制員（混凝土品管及現場施工品管）
- 3.混凝土控制檢驗員及現場施工檢驗員
- 4.施工單位之品管人員

(二)經查證各項工作之品管人員資格均符合台電 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，完成銓定符合要求。

以上各項作業情形除浮水影響及初期準備不足仍有進一步改善的需要外，整體而言，各項品質管制作業情形良好。

柒、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

本項施工處將以不收縮水泥漿壓力灌漿處理，本會將另行追蹤其辦理情形。

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)經現場查證天候防護棚於澆置當晚凌晨（24 日）即復原固定，30 日為澆置後第七日，依施工說明書規定，氣溫在 20℃ 以上至少養護七日，31 日到現場查看養護後情形，20 個隔艙均表面乾燥，且表面乳沫呈乾縮龜裂現象，在 26 日現場巡視時 EL3500mm 高程隔艙澆置之混凝土，亦呈表面乾燥情形（如圖十六），在與土木課討論後，認為養護作業 7 日為最低期限應再加強養護。另，現場養護抽取基座第三層封閉隔艙內積水作為養護水，由於該隔艙內有泥漿沉澱底部，造成局部泥水養護及養護水再噴濺至下乾井底部，亦屬不當之養護作業，已請土木課加強現場監工及管理工作，以確認養護作業確實執行且品質符合作業程序要求。

三、混凝土抗壓試體強度試驗結果查證

(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)現場查證混凝土試體送施工處（甲方）養生池養生情形良好。審查混凝土製造通知單編號：C022-CIV-034-I-203 之混凝土控制日報表及地震試體、7 天與 28 天齡期之混凝土圓柱體抗壓強度試驗報告，審查結果如下：

- 1.混凝土出料總數量 578.5 M^3 ，廢棄 3.5 M^3 （因該車次坍度 17.5 cm 過小，不符 $21 \pm 1.5 \text{ cm}$ ），依程序書之取樣頻率規定，須取樣試體數 8 組，實際取樣試體 8 組符合 ASTM C39、C31、C172 規定，以每 75 M^3 取樣一組（每組四顆，7 天及 28 天齡期各試驗兩顆），進行坍度、溫度、含氯量、空氣含量、單位重等試驗，另取樣地震試體 12 顆，符合地震作業規定之要求。其他包括坍度及溫度則採倍數次取樣並現場試驗，共取樣 17 次，符合每 37.5 M^3 取樣試驗一次之規定。
- 2.試驗結果強度部份，28 天齡期抗壓強度為 5400psi 左右，符合設計規範 4000psi 之強度規定。破壞形式均屬正常之三、四類破壞模式。

捌、綜合結論

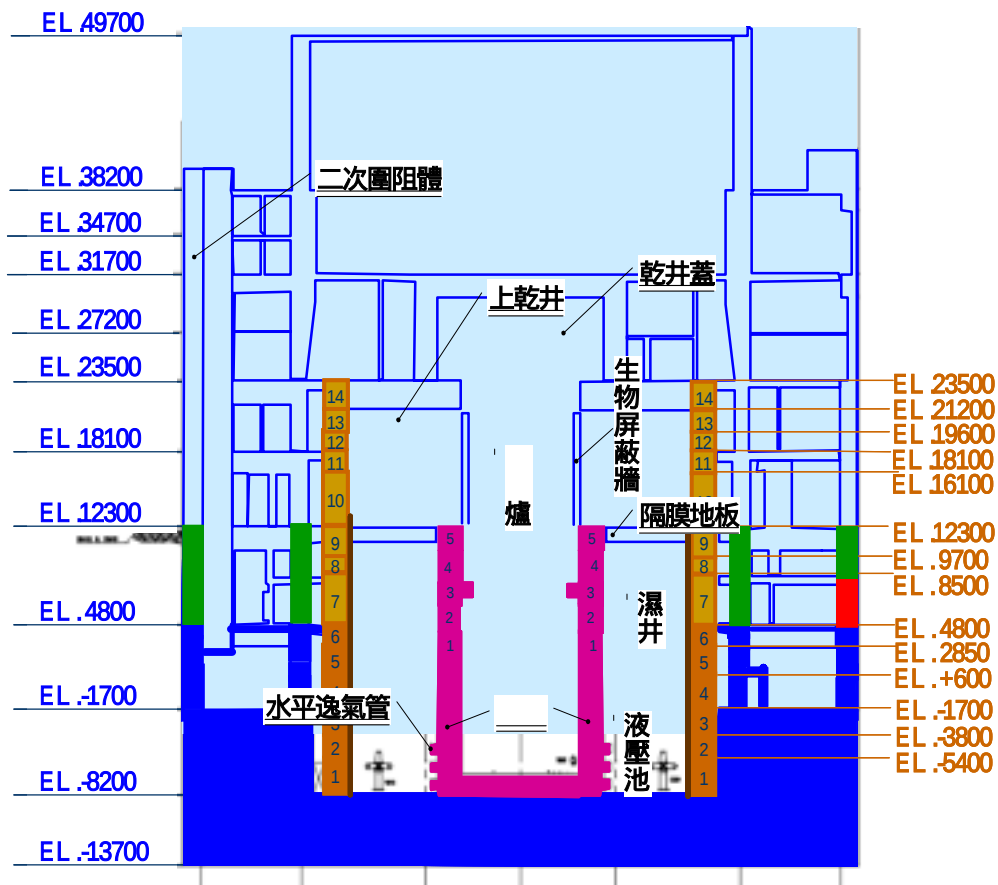
核四廠反應爐基座為反應爐之重要支承結構，主要包括鋼結構及混凝土兩大部份，本次視察以混凝土作業為主並對可能影響混凝土澆置的鋼結構作業進行澆置前查證，整體而言，雖有若干小缺失，但不致對結構體或設備有品質上的影響。整體視察結果歸納如下：

- 一、鋼結構作業查證除第一、二層間之 WN23 銲道銲補作業有部分不符合程序要求，需再加以檢討之情形外，其餘部分發現主要為文件處理作業上之瑕疵，無影響銲道品質之虞，若能加以改善，對品質文件之可讀性應能有所提升。

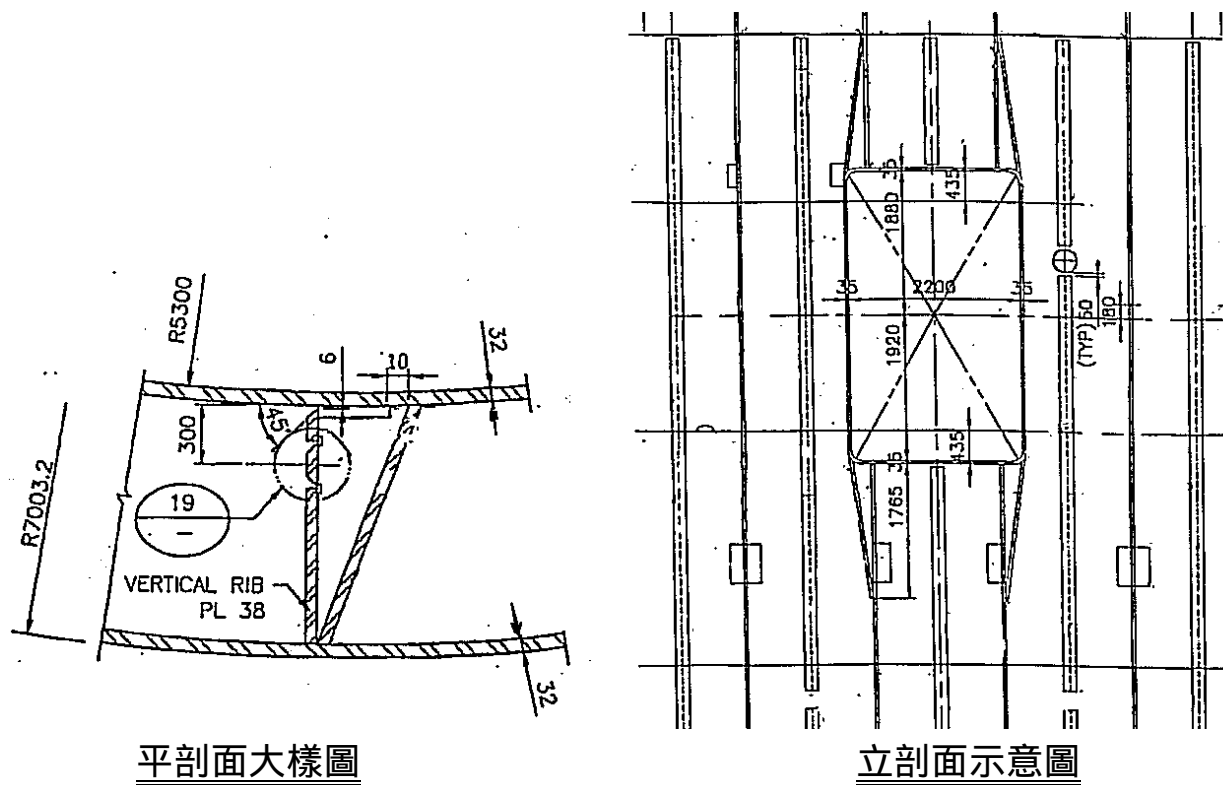
- 二、現場查證發現在設備艙門 (Equipment Hatch) 及人員通道氣鎖門 (Personnel Air Lock) 之上、下方兩側各有一小塊鋼隔板圍成三角小格艙，奇異公司已答覆台電公司必須填充混凝土，但現場作業有遺漏的可能，經本會要求後，施工處已全面清查無類似小隔艙，同時是否有需補銲而未銲者，經查證亦無類似小隔艙應封銲而未銲情形。
- 三、對於有頂板部份之混凝土充填方式，是否會形成氣室部份，施工處在本會要求確認下，已改採保留 20 cm 頂部不一次澆置完，而另以不收縮水泥壓力灌漿方式進行，並將前項小隔艙部分，納入此部份作業，本項本會將列為持續追蹤管制項目。
- 四、混凝土配比採用 DHII-9.5-21-F15-C 流動化劑的強塑性混凝土，均滿足設計規範對 ASTM C1017 之規定，採用 28 天齡期 4000psi 的設計配比，亦滿足設計規範對 91 天齡期 4000psi 之規定，並經中興大學混凝土試驗室試驗結果超過設計要求強度。
- 五、本作業前進行澆置性試驗以模擬實際澆置時，需以何種方式進行，及可能會面臨的問題，在查證後發現本次澆置性試驗的結果在顧及混凝土充填性，而忽略試驗採用木模與實際鋼板間的差異，例如搗實敲擊測試高程位置及浮水蓄積的問題，另外包括天候防護的問題，及其他相關事項等，已請經辦課將這些經驗回饋至第二、三次的基座混凝土澆置作業中，以確實掌握實際作業的所有可能狀況。
- 六、基座混凝土澆置作業與一般其他區域混凝土澆置的作業環境有所不同，一般區域混凝土澆置時，四周並無重要設備安裝，因此無設備遭受污染的顧慮，但基座內側下方已有許多重要安全相關設備，需格外注意澆置中有混凝土噴濺、下乾井積水及設備防護的情形，由結果來看這部分為此次澆置作業美中不足之處，事後各相關經辦課也立即改善完成，相信有這次的經驗下次澆置會比

這次更好。

綜合以上結論，可以感受到施工處各相關經辦課在作業前的準備及用心，雖然仍有許多可以做得更好的部份，但施工處經辦課（土木課與汽源課）及承包廠商（新亞建設）的努力都應該得到肯定。雖然如此，本會站在核能電廠興建管制的立場，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。



圖一：反應爐基座相關位置示意圖



圖二：通道上、下方小隔艙示意圖



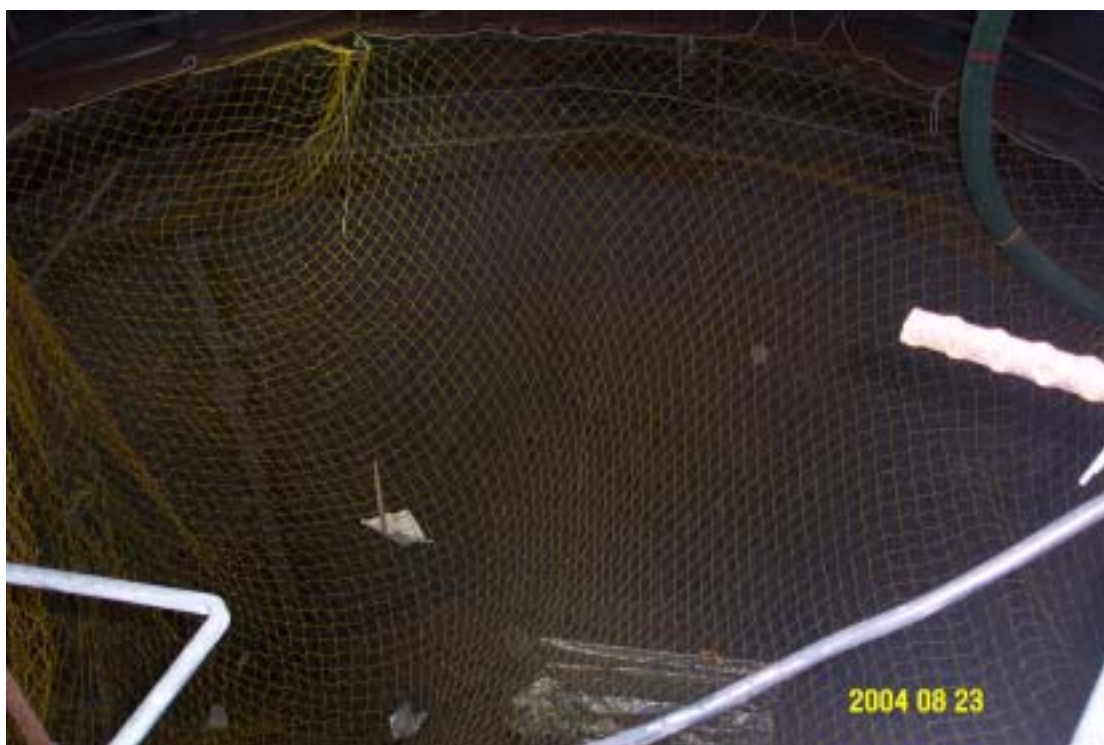
圖三：通道上下方小隔艙之側面開口情形



圖四：以木模組立進行混凝土澆置性試驗情形



圖五：澆置性試驗表面情形



圖六：混凝土澆置前準備下方架設安全網情形



圖七：混凝土澆置前準備作業情形



圖八：天候防護棚未拆除前現況



圖九：混凝土取樣進行坍度試驗情形



圖十：混凝土取樣進行含氣量試驗情形



圖十一：潤管用水泥沙漿運棄情形



圖十二：混凝土漿浮水逸流噴濺情形



圖十三：下乾井底部累積混凝土漿情形



圖十四：下乾井工作平台覆蓋混凝土漿乾燥後情形



圖十五：管閥設備泡水及受混凝土污染情形



圖十六：混凝土表面乾燥養護作業有待加強情形

行政院原子能委員會

視察備忘錄

編號：LM-會核-93-07-0

日期：93 年 03 月 29 日

受 文 者：龍門施工處

發 文 者：張國榮

副本抄送：核四品質督導會報督導組

事 由：本會「龍門計劃第十四次定期視察」有關「一號機反應爐基座混凝土澆置作業」部份之視察發現如說明，請針對所列事項再做檢討，並視需要修正或加強現行管制措施，請辦理見覆。

說 明：

一、文件審查部分：

- (一)混凝土澆置計畫書內容過於簡略，無法了解細部的施工作業方式，例如作業空間之位置與高程、澆置管線的完整安排示意圖、澆置的動線及人員設備作業方式等。
- (二)基座混凝土澆置作業之作業情況與 RC 混凝土性質不同，請將其中差異條列，並於澆置前對施工人員進行訓練，說明作業順序與控制方式、應注意及規範要求之事項等。
- (三)澆置工每組兩人，在作業空間狹小及混凝土澆置速度較快情形下，可否順利執行，建請再考量人力是否充足。
- (四)請將第一次與第二次澆置方式之說明予以分開，以明確說明各次澆置之位置、人員設備及作業控制時點等。

(五)第三次澆置之 RPV Support Frame 之混凝土灌注口為直徑 100mm 之半圓形開口，若採用 3”（將近 100mm）直徑軟管澆置，恐過於勉強，且不利振動棒之使用，請重新考慮其施工可行性。

(六)澆置高程每次不得超過 1.5m，請說明其控制方式，並明列於澆置計畫中。又次高程之澆置時間如何，是否在混凝土凝結時間內。

二、現場查證部分：

(一)在 Equipment Hatch 及 Personnel Air Lock 通道上、下方兩側各有一塊小鋼板圍成的小隔艙（參考圖面 DWg.C237B-144-B008），澆置計畫書中未說明其澆置方式為何。

(二)前項隔艙留有 45x35cm 之橢圓型開口，經汽源課表示係為了內側有一加強板需銲接所開之口（參考圖面 DWg.C237B-244-A026 Q & AC 斷面及細部 19 圖），故該預留孔並非混凝土澆置孔，且將進行鋼板封銲，有以下事項請澄清：

- 1.小隔艙是否須澆置混凝土，請在鋼板封銲前儘速確認。
- 2.預留孔需進行鋼板封銲，在本次視察前似乎尚未進行封銲，恐有遺漏之可能，請全面查核是否尚有類似情形。
- 3.請加強汽源課與土木課間工作界面配合之查核機制。
- 4.請土木課全面檢查基座本體內空間，確認澆置計畫已完全涵蓋所有之隔艙。

(三)在水平連接板上設有混凝土澆置孔及排氣孔，可有效降低形成氣室的可能，但降低程度如何請說明。

(四)Equipment Hatch 及 Personnel Air Lock 底板未設置排氣

孔，但其面積為相對最大者，請說明澆置方式為何，如何確保不會有氣室的產生。

(五)RPV Support Frame 及第(二)項之小隔艙如需澆置混凝土，均為側面澆置，請說明側面澆置之方式，以確保混凝土能充滿全部空間。

(六)有關各種澆置問題之解決，建議進行模擬測試，以分別確認在：頂板設有排氣孔與無排氣孔、有震動棒搗實與無震動棒搗實等情況下，高流化劑混凝土流動與填充情形，俾充分掌握各種混凝土澆置狀況。

反應器基座(Pedestal)填充混凝土供應及應變計畫

一、準備工作：

- (1) #1 機大小石庫各清出一艙，以存放 3/8"細料骨材，儲量足供拌合產製 620 m³ 混凝土之石料(存量 500 m³ 以上)。

完成時間：清艙(8/19 前)，儲料(8/20 上午)

- (2) #2 機小石庫清出一艙，以存放 3/8"細料骨材，儲量 100 m³，另整理附近地坪堆放 50 m³ 備用，挖土機及小山貓各一輛停放附近待命。

完成時間：清艙(8/19 前)，儲料(8/20 上午)，待命(8/20)

- (3)#2 機中繼站鋼板漏斗槽製作：

完成時間：8/19

- (4)查檢所有拌合材料(水泥、飛灰、砂、薄冰、水)之庫存量。

完成時間：8/20

- (5)拌合車之車次數量牌列印製作：

完成時間：8/20

- (6)拌合車維修保養。

完成時間：8/19

- (7)拌合場機械設備巡查及維護。(注意製冰設備及輸送管路)

完成時間：8/20 前

- (8)柴油發電機保養及試運轉。

完成時間：8/20 前

- (9)宜來砂石場砂石車輛待命。

完成時間：8/23 上午 5 輛砂石車宜來砂石場待命，負責緊急運送任務(自電話通知 1.5 小時須到達現場)。

- (10)通知機械設備維修廠家待命：(郁記、順德)

完成時間：8/23 上午進駐廠區待命。

- (11)拌合車司機服裝檢查：

完成時間：8/23 上午進廠檢查安全帽及鞋子，並宣導安全注意事項。

二、供應計畫：

- (1) 本次混凝土之製造供應，原則上以#1 拌合機為主力，骨材儲量足供製造生產完成 620 m^3 混凝土之石料量。
- (2) #2 拌合機為調度輔助及因應突發緊急狀況之備用拌合機，供應量約佔 $1/3$ (即 210 m^3 左右)。
- (3) Pedestal 混凝土之產製完全依據「核機股」所編排之車次數量規劃表拌合生產供應，車號數量不得紊亂。

三、狀況因應：

(一) #1 拌合機故障時：

- (1) 如#2 機之 $3/8''$ 骨材儲量足供應生產完成剩餘混凝土量，則改以#2 為主力，#1 拌合機立即檢修作為備用機。
- (2) 如#2 機之 $3/8''$ 骨材儲量不足供應生產完成剩餘混凝土量，如判斷#1 拌合機短時間內可修復(1 小時內)，則先以#2 為主力供應，並立即動員小山貓至後方露天堆置區鏟運至#2 小石庫中繼站旁地坪推料，完成備料；俟#1 拌合機修復後回復備用狀態。
- (3) 如#2 機之 $3/8''$ 骨材儲量不足供應生產完成剩餘混凝土量，且判斷#1 拌合機短時間內無法修復(仍然盡全力搶修)，則以#2 為全權負責完成，#1 骨材立庫立即洩料，以小山貓鏟運至#2 小石庫中繼站旁地坪推料，或立即通知宜來砂石場以砂石車運送至工地，完成備料狀況。

(二) #2 拌合機故障時：

- (1) 立即搶修，如短時間內修復，則彈性調度供料。
- (2) 立即搶修，如須較長時間修復，則回復備用狀態。

(三) 薄冰輸送管派專人全程監控，絕對不可發生結塊塞管問題。

車次	數量	車次	數量	車次	數量	車次	數量
1	5	41	5	81	3.5	121	3.5
2	3.5	42	3.5	82	3.5	122	3.5
3	5	43	5	83	5	123	3.5
4	5	44	5	84	3.5	124	5
5	3.5	45	3.5	85	3.5	125	5
6	3.5	46	3.5	86	5	126	3.5
7	3.5	47	3.5	87	5	127	5
8	5	48	5	88	5	128	5
9	5	49	5	89	3.5	129	3.5
10	3.5	50	3.5	90	3.5	130	3.5
11	5	51	5	91	5	131	3.5
12	5	52	5	92	3.5	132	5
13	3.5	53	3.5	93	3.5	133	5
14	3.5	54	3.5	94	5	134	3.5
15	3.5	55	3.5	95	5	135	5
16	5	56	5	96	5	136	3.5
17	5	57	5	97	3.5	137	3
18	3.5	58	3.5	98	3.5	138	3
19	5	59	5	99	3.5	139	3
20	3.5	60	3.5	100	3.5	140	3
21	5	61	4	101	5	141	3
22	3.5	62	3.5	102	3.5	142	3
23	5	63	4	103	3.5	143	3
24	5	64	5	104	5	144	3
25	3.5	65	3.5	105	5	145	3
26	3.5	66	3.5	106	5	146	3
27	3.5	67	3.5	107	3.5	147	.
28	5	68	5	108	3.5	148	.
29	5	69	5	109	5	149	.
30	3.5	70	3.5	110	3.5	150	.
31	5	71	5	111	3.5	151	.
32	5	72	5	112	5	152	.
33	3.5	73	3.5	113	5	153	.
34	3.5	74	3.5	114	5	154	.
35	3.5	75	3.5	115	3.5	155	.
36	5	76	5	116	3.5	156	.
37	5	77	5	117	5	157	.
38	3.5	78	3.5	118	3.5	158	.
39	5	79	5	119	5	159	.
40	3.5	80	3.5	120	5	160	.

603

930818R1