

出國報告（出國類別：實習）

赴日本東京大學核子工程與管理系笠
原-出町實驗室實習報告

服務機關：核能研究所

姓名職稱：吳東岳 副工程師

派赴國家：日本

出國期間：103年6月18日~103年7月17日

報告日期：103年8月14日

摘要

本報告旨在記錄並說明赴日本東京大學核子工程與管理系(Department of Nuclear Engineering and Management)笠原一岬町實驗室(Kasahara-Demachi Lab)之實習參訪過程。本次實習選定的指導教授為笠原直人(Naoto Kasahara)教授。笠原教授曾經為東大核工與管理系系主任，亦曾擔任日本原子力研究開發機構(Japanese Atomic Energy Agency, JAEA)之訪問研究員。在 311 福島事故之後，為 311 事故調查委員之一。本次實習參訪主要配合「核能結構耐震與完整性分析技術出國實習」計畫執行內容，實習期間為 103 年 6 月 18 日至 7 月 17 日。本次實習目的在研習並了解日本於 311 福島事故後，最新的核能結構耐震與完整性分析相關技術以及未來的研究趨勢。笠原教授對於日本文殊快速反應爐(Fast Breeder Reactor, FBR)系統之結構具有相當豐富之分析與研究經驗，尤其是對冷熱水混合造成的結構疲勞破壞具有相當深入之研究。在 311 事故之後，笠原一岬町實驗室正嘗試以過去研究經驗為基礎，逐步投入核電廠遭遇嚴重事故之結構完整性評估。在本次實習過程中，參與了笠原一岬町實驗室的小型結構震動台試驗，並使用 JAEA 所開發的泛用型有限元素軟體 FINAS 進行小型平板動態震動模擬，相關研究過程值得國內相關研究人員參考。

目 次

(頁碼)

摘 要	i
一、目 的	1
二、過 程	1
三、心 得	12
四、建 議 事 項	12
五、附 錄	14

一、目的

本次實習參訪主要配合「核能結構耐震與完整性分析技術出國實習」計畫執行內容，目的在研習日本於 311 福島事故後，日本學界最新的核能結構耐震與完整性分析相關技術以及未來的研究趨勢。本次實習選定的指導教授為笠原直人(Naoto Kasahara)教授。笠原教授曾經為東大核工與管理系系主任，亦曾擔任日本原子力研究開發機構(Japanese Atomic Energy Agency, JAEA)之訪問研究員。在 311 福島事故之後，亦為 311 事故調查委員之一。笠原教授對於日本文殊快速反應爐(Fast Breeder Reactor, FBR)系統之結構具有相當豐富之分析與研究經驗，尤其是對冷熱水混合造成的結構疲勞破壞具有相當深入之研究。在 311 事故之後，他們實驗室正嘗試以過去疲勞研究經驗為基礎，逐步投入核電廠結構組件遭遇嚴重事故之完整性評估。整個實習過程共歷經一個月，以下依時間先後順序說明整個實習的過程。

二、過程

本次出國實習期間為 103 年 6 月 18 日至 103 年 7 月 17 日。職於 6 月 18 日搭乘華航 CI 100 班機，當天登機過程巧遇故宮人員運送國寶翠玉白菜赴日本東京國立博物館展出。飛機於當天日本時間 13:15 抵達成田機場。隨即搭乘京成特快 SKYLINER 電車抵達上野車站，並轉乘捷運至位於東京大學彌生校區的東大前車站。

在來到東大之前大約二個月前，笠原教授已經貼心的為職預定了位於彌生校區的 Mukoukaoga Faculty House 的房間。Mukoukaoga Faculty House 位置相當靠近東京根津地區，為東京大學為禮遇外賓於 2009 年所新建的招待所。除了內設客房之外，還有餐廳及研討會集會大廳。房間設備相當完善，除了先進的衛浴設備之外甚至還有陽台，租金比校外旅館便宜許多。圖 1 為 Mukoukaoga Faculty House 的外觀。



圖 1 東京大學 Mukoukaoga Faculty House

6 月 18 日當天晚上，笠原教授邀請職於彌生校區的食堂共進晚餐。當天笠原教授馬上提

供了未來一個月的實習研究計畫，如附件 1。笠原教授為本次實習擬訂的討論及參與工作範疇包括：

1. Dynamic analysis of pipes to seismic loading
2. Failure modes and structural integrity of pipes under seismic loads
3. Structural design of nuclear components.

而當天笠原教授亦建議四個研究主題供職選擇：

1. Investigation of assumed failure mode and strength evaluation method of pipes under severe seismic loads.
2. Characterization and simplification of seismic loads from view point of fatigue failure evaluation.
3. Analysis of fundamental vibration tests of plates.
4. Analysis of vibration tests of elbows.

當天笠原教授亦提供職一些東大、東大工學院及核子工程與管理系的基本資料。目前核子工程與管理系共有 21 位教職員，約有 60 位碩士生及 30 位博士生。碩士生平均修業時間為兩年，博士則為三年。

當天在餐廳也巧遇航空系的資深教授，酒井信介先生。酒井教授為笠原教授的老師，他是日本熱疲勞分析的權威之一，笠原教授的許多關於熱疲勞研究都跟他有緊密的合作關係。



圖 2 東京大學工學 8 號館

6 月 19 日一早，職即前往位於本鄉校區的工學 8 號館，如圖 2，與笠原教授及他的助理河井直子小姐見面。並由河井小姐帶領至他們為職準備的辦公室，721 室。721 室共有三個小房間，分別由另一位助理利根川奈美小姐，及鈴木正昭助理教授使用。辦公室相當寬敞，電腦設備為 DELL 工作站外加 28 吋超大螢幕。為了因應外國人的需求，他們還貼心的將日文鍵

盤換成英文鍵盤，以及將 Win7 作業系統更換成英文版，足見日職做事的細心。

必須特別一提的是，311 福島事故之後，日本下令所有核電廠停止運轉並進行安全檢查，導致日本電價上漲，衝擊日本國內經濟。東京大學雖然處在高緯度區，但是夏季最高溫度仍然高於 30 度 C。因應高電價(住宅用電一度約台幣 8 塊多)，在東大上班的教職員工皆相當自制，辦公室溫度在 28 度 C 以上才會開冷氣。

接著由河井小姐以及利根川小姐帶領職參觀校區，並介紹校區內實驗室、食堂、醫院、書店及便利商店等地點。東京大學外籍生及研究人員佔得比例很高，因此，相當重視並營造英日文雙語環境，以利師生的研究與學習。



圖 3 721 辦公室內之桌椅及電腦設備



圖 4 東大赤門前

東京大學在東京都文京區本郷三丁目附近共有三個校區，分別為本郷校區(Hongo Campus)、彌生校區(Yayoyi Campus)及淺野校區(Asano Campus)。校園的布設及規劃分常類似台灣大學。其中本郷校區為最大校區，大家所熟悉的古蹟東大赤門(見圖 4)便是位於這個校區。東大正門則與赤門同樣位於本郷通り(Hongo dori)上，如圖 5。

東京大學創校至今已經超過 130 年，因此校內許多老舊建築也成為東大的一大問題。尤其在 311 地震之後，由於日本國內耐震法規的改變，使得東大必須進行全面性的補強整修。由於日職相當重視文化與傳統的保存，因此，東大並非選擇完全拆除重建，而是讓舊有與新建的建築和諧共存。圖 6 的工學 2 號館就是一個很好的例子。舊的建築加以補強，新的建築則與舊有建築結合在一起。這除了對舊一代的東大人表示緬懷與敬意之外，也象徵著新一代的東大人可以在既有的基礎上往上爬得更高。



圖 5 東大正門前



圖 6 工學 2 號館

與日本其他地方一樣，東京大學亦非常重視校園內植物的栽培與維護。校園內有數棵樹齡超過百年的銀杏樹，如圖 7。銀杏樹葉為東京大學的校徽，校內有一兩條道路兩旁種滿了銀杏樹。聽兩位助理小姐說每當秋天時刻，銀杏葉會全部變成黃色，風景非常漂亮。



圖 7 東京大學本鄉校區的銀杏校樹

另外，在東大的彌生校區正門彌生講堂旁，立著一塊碑。碑銘為「朱舜水先生終焉之地」，

如圖 8。朱舜水為明朝流亡至日本的儒學家。這塊紀念碑原來立在言問通り(Koto dori)上，後來才遷至彌生校區。朱舜水先生在流亡至日本時，曾經在當今的本鄉校區講授儒學長達 17 年，編有「大日本史」，著《朱舜水文集》二十八卷，影響「水戶學」(みとがく)相當深遠。足見日職對於自身的傳統文化起源相當重視。



圖 8 明朝儒學家朱舜水先生紀念碑

6 月 19 日下午，則到工學 8 號館 415 室的笠原教授辦公室，與笠原教授、出町和之副教授及鈴木正昭助教授一起討論未來一個月的研究方向。出町及鈴木教授目前皆與笠原教授有充分的合作，所有的學生也一起指導。在當天的討論中，笠原教授提供了兩篇發表於 ASME PVP 研討會的論文，以及另一篇關於地震特性探討的論文：

1. N. Kasahara, I. Nakamura, H. Machida, H. Nakamura, Research plane on failure modes by extreme loadings under design extension condition, PVP2014-28349, Proceedings of ASME 2014 Pressure Vessel & Piping.
2. T. Suzuki, N. Kasahara, Thermal fatigue evaluation method of pipes by equivalent stress amplitude, PVP2012-78347, Proceedings of ASME 2012 Pressure Vessel & Piping.
3. 鎌田丈史, 福和伸夫, 飛田潤, 多點強震觀測紀錄に基づく地震動の繼續時間の統計的特性と推定式, 日本建築學會大學學術演講梗概集, 2003 年 9 月。

另外亦由鈴木助教授簡報過去幾年他與笠原教授在管路熱疲勞分析的成果，並且希望在未來能將此經驗應用於地震時組件的破裂評估。

6 月 20 日，第一次參與笠原一出町實驗室的研究進度討論會議。笠原一出町實驗室共有 12 個學生，依照研究主題分成三個小組，分別是：Thermal load reliability group, High-temperature strength group, 以及 Monitoring group。每個小組皆設有小組長，於進度報告研討會議時引導組員進行簡報。當天笠原教授宣

布他們實驗室將會有三個學生參加本年度的 ASME PVP 研討會。並且由 Yeldos, Kokufuda, Inodome, 及 Souda 等人報告研究進度。在會議結束之後不久，笠原一出町實驗室則於 802 室為職舉辦 Welcome party，並招待豐盛的壽司、Pizza 及飲料。當天實驗室的成員都非常親切而熱情，讓人感覺非常溫馨，彷彿置身於一個溫暖的大家庭。

6 月 21~25 日，職開始對笠原教授所提供的文章進行研究閱讀，並開始嘗試使用笠原教授所提供的泛用型有限元素程式 FINAS(Finite Element Nonlinear Structural Analysis System)。

有鑑於福島事故所得到的教訓，基於機率風險評估 PRA(Probabilistic Risk Assessment)為核電廠可能遭受的意外事故情節進行適當的準備，已經被認為是對抗嚴重事故的必要手段與措施。因此，IAEA 要求對於所考量的嚴重意外事故，須提出設計延伸條件(DEC, design extension conditions)。笠原教授認為：「從結構設計觀點來看，DEC 條件下的結構強度評估方式，有別於傳統的設計基準事故(DBA, design basis accident)。在 DEC 條件下的極端載重，將會有額外的破壞模式。因此，針對 PRA 與意外事故管理計畫，進行最佳的可能情節評估是有必要的。」因此，笠原教授針對 DEC 條件下的極端載重造成的破壞模式及機制擬定出研究計畫。首先，他們列出在極端載重條件下，如：高溫、高壓及超大地震，可能造成的破壞模式。接著釐清破壞機制以及相關的極限強度。笠原一出町實驗室目前已經先行針對延性材料與結構幾何的不連續性，以及嚴重地震下的管路結構進行實際的震動台試驗，並使用 FINAS 進行模擬比對。

FINAS 原為日本獨立行政法人原子力研究開發機構 JAEA，自 1976 年為研發快速反應爐所發展的泛用型有限元素分析軟體。程式經過不斷的改良，於 1982 年公開，目前在日本已經廣為研究單位及工業界採用。FINAS 除了具備靜、動態的固體結構及流體分析功能之外，還具備了熱分析功能。此外，還包括數個材料模式，以及非線性大變形分析功能。近年來還加入流體與固體互制(FSI, Fluid-Structure Interaction)等功能。

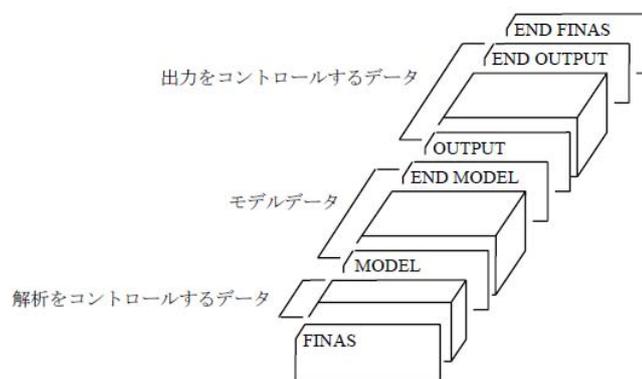


圖 9 FINAS 輸入資料格式 [擷取自 FINAS 使用手冊]

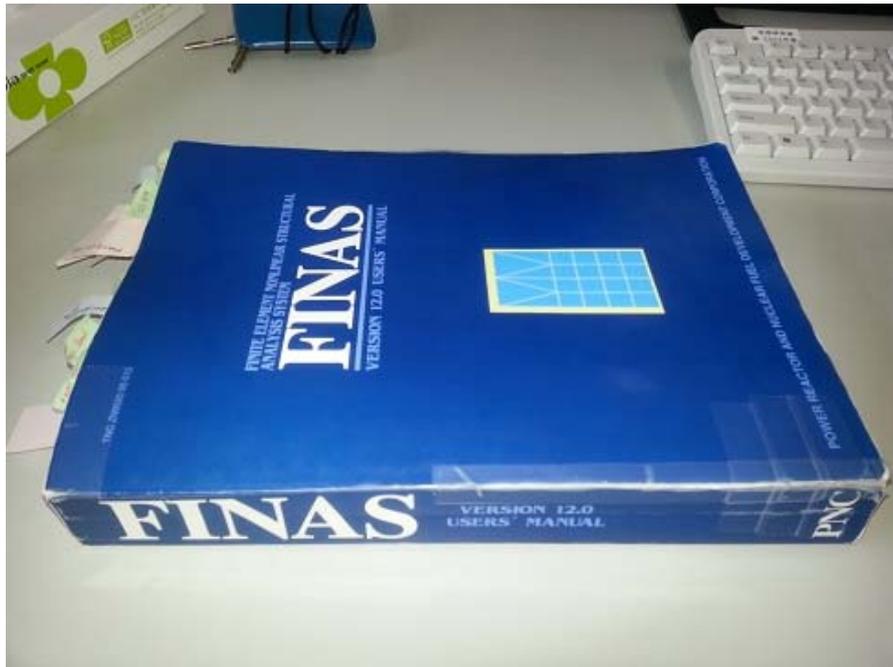


圖 10 FINAS 英文版使用手冊。

FINAS 與一般大型有限元軟體的輸入格式相當類似，尤其與 NASTRAN 更是幾乎相同。輸入檔案主要由關鍵字 FINAS 與 END FINAS 所為起來的三大資料區塊，如圖，在關鍵字 FINAS 到 MODEL 間為程式控制區塊，控制程式分析題目的類型。在 MODEL 到 END MODEL 間為有限元素模型資料輸入區塊，包括：節點編號、單元連結關係、材料模式以及邊界條件等。在關鍵字 OUTPUT 到 END OUTPUT 之間則控制程式輸出資料。目前 FINAS 最新為 V13 版，使用手冊只有日文版。幸好 V12 版有英文版(如圖 10)，讓職免於許多查閱日文生字的工作。另外，FINAS 也有提供驗證手冊，透過裡面的驗證例題輸入範例，不失為一個快速進入駕馭 FINAS 的途徑。另外必須一提的是，FINAS 本身並無前後處理器，因此必須仰賴第三方前處理器。目前笠原一出町實驗室所使用的前處理器是 FEMAP。

6 月 26 日一早，即依照笠原教授原先的安排，由宿舍直接步行至位於淺野校區的工學 12 館 020 室，參與平板的基本振動台測試。此振動台屬於小型振動台，最高加速度可以到達 10G。目的是要測試材料在嚴重地震事故下的動態反應。當天參與的人，除了笠原及出町教授之外，還有他們的學生 Kokufuda, Katsura 及 Inadome 等人，以及利根川助理小姐。測試的試片為純鉛製的細長平板，下端固定在振動台，上端附掛質量。詳細幾何圖形可以參考附錄 4 簡報資料。相關的試驗設備包括：彩色高速攝影機、雷射位移計、應變計、訊號放大器以及資料收集電腦系統等。此實驗室經費主要由笠原教授負責籌募，試驗的規劃則由笠原與出町教授負責，並由學生一起執行。由於 Kokufuda 及 Katsura 已經於前一天將試片準備完成，並黏貼好應變計，加上出町教授本身為影像處理專家，因此整個試驗過程相當順利。圖 11 為振動台試驗完成後之合照。



圖 11 純鉛平板試片振動台試驗完成後之合照



圖 12 於笠原一出町實驗室簡報核研所的目前研發工作

6月27日，除了與 Kokufuda 先生討論使用 FINAS 的方法之外，還參與了當天的實驗室研究會議。當天因應笠原教授的要求，為他們實驗室簡報核研所機械系統專案近年來的核能組件安全相關研發成果，如圖 12。一開始職大致介紹核研所的狀況，包括：地理位置、組織架構、人員分布等。接著介紹機械系統近年來關於結構完整性的研發成果。簡報完畢後，實驗室的學生提出了不少實際核能相關的問題，個人皆一一回答，互動相當熱絡。

6月28日~7月7日，職與 Kokufuda 先生開始使用 FINAS 分析純鉛平板振動問題。由於 Kokufuda 先生之前已經預先建置了一個分析模型，因此，職就由此模型開始進行分析。分析

時發現幾個地方需要修正：(1) 整個平板可以適用 BEAM2 單元的部分只有 130mm，(2) 定義斷面的局部座標方向設定需要修改，(3) 使用的單元數量不需要太多，(4) 頂部的質塊部分可以用附掛剛體質量方式簡化模擬。在一一修正這些問題之後，又發現另一個問題，那就是 FINAS 無法直接於結構底部施加地震位移，而須以等效地以震加速度乘以質量方式施加地震力。

此外，由於 FINAS 並無後處理器，因此，程式完成之後必須進行資料轉換，透過程式 FNSTCSV 可以將 FINAS 二進位輸出檔*.fpo 轉成*.csv 文字檔。為了處理大量的文字檔資料，以及使用 GRAPHER 軟體繪製歷時反應曲線，並使用 TECPLOT 軟體製作動畫，在這段期間，職還特別用 FOTRAN 語言撰寫了 CSV2TECP 以及 FNS2GRAPHER 等資料轉換程式。平板震動分析之 FINAS 程式輸入檔請參考附錄 3。

除了嘗試熟悉 FINAS 的操作之外，職行嘗試研讀 6 月 19 日笠原教授所提供的關於熱疲勞分析文章。笠原教授已經在這塊領域鑽研十餘年，也是這個領域的權威之一。有些內容雖然與結構耐震較無關係，但是許多分析理論及設計概念相當值得參考，因此花了一點時間研讀並與鈴木教授加以討論。在 7 月 7 日當天，鈴木教授還提供過去笠原教授跟酒井教授合著的論文：

1. S. Okajima, S. Skai, S. Izumi, A. Iwasaki, N. Kasahara, Fatigue damage evaluation for thermal striping phenomena using analytical spectrum method, PVP2005-71682, Proceedings of ASME 2005 Pressure Vessel & Piping.
2. S. Sakai, S. Okajima, S. Izumi, N. Kasahara, Design evaluation method for random fatigue based on spectrum characteristics, PVP2009-77217, Proceedings of ASME 2009 Pressure Vessel & Piping.

此外，在 7 月 4 日當天照例參加笠原一出町實驗室的研究進度會議。當天由 Yeldos 先生報告他將在 ASME PVP 會議發表的論文。論文主題是關於多孔平板的非線性設計分析。透過雙桿法(2-bar method)可以簡化分析多孔板內的應力，免去大量的有限元素計算，這對於工程設計實務非常有用。

在 7 月 8 日當天晚上，笠原一出町實驗室邀請職到距離東京大學本鄉校區 2 公里，位於淺草附近的入谷，參加當地的入谷朝顏祭。朝顏在中文的意思是牽牛花，朝顏祭就是牽牛花節。這項夜間觀光活動是由出町教授在 6 月 20 日所提議的。當天參加的人除了實驗室的三位教授之外，還有兩位助理。為了這項祭典，東京都當局封了整條道路，道路一邊提供牽牛花商家擺攤，販售各種不同品種的牽牛花，這是屬於傳統的部分。另一邊則是類似台灣的夜市，擺設了各種不同的攤位，這部分是現在才有的。由這項活動又讓我們看到日本在追逐創新的同時，不忘保留既有的傳統，讓現代與傳統和諧共存。



圖 13 與笠原一出町實驗室成員參加入谷朝顏祭(攝於入谷鬼子母神社前)

7月9~11日，除了繼續既有的分析工作，且照例參加笠原一出町實驗室的研究進度會議之外，還參與了他們另外兩篇發表於 ASME PVP 會議的簡報演練。包括由 Soda 先生所簡報的”Thermal Stress Response to Boundary Oscillation Between Hot and Cold Fluid Temperature”，以及 Kokufuda 先生所簡報的”Study on Simplified Prediction Method of Thermal Ratchet Deformation Based on Parallel Bar Model”。兩位碩士班學生在市前皆進行了充分的演練，因此過程相當順利。藉由這個過程可以了解到，東大對於訓練學生具備國際競爭力不遺餘力。



圖 14 笠原一出町實驗室的消暑派對

另外於 7 月 11 日當天晚上，笠原教授為了迎接新進的四位大學生，以及體恤實驗室成員的辛勞，舉辦了一次消暑派對。因為再過幾天之後，職即將完成本次實習，所以，笠原教授特別藉這次的派對，對職對其實驗室在這段時間的協助表示感謝，也讓職有機會對他們在這段實習時間所供的各項協助，表示謝意。整個過程讓人感到相當溫馨！

7 月 12~16 日，職開始著手整理過去二十餘天所用 FINAS 分析完成的輸出資料、繪圖並製作簡報。按照笠原教授原先所規劃的實習計畫，於 7 月 16 日當天，在工學 8 號館 802 室進行實習成果簡報。除了實驗室的成員之外，簡報當天還邀請了核工系的另一位教授系井達哉 (ITOI, Tastsuya) 參加。系井教授是東大建築與土木系畢業，具有相當豐富的耐震分析設計經驗。當天簡報過程相當順利，討論也相當熱絡。相關簡報資料詳見附錄 4。當天是在東大實習的最後一天，職也一一跟實驗室的成員道別並表達謝意。7 月 17 日一早，在辦理 Mukoukaoga Faculty House 的 Check out 手續之後，隨即提著提著的行李前往根津車站，並搭乘捷運至東京車站，稍作休息後，搭乘 N'EX 火車前往成田機場並搭機回國，結束這一個月的實習。

三、心得

1. 日本雖然號稱為科技創新王國，但對於傳統文化的保留相當用心。在科技創新的同時不忘保護傳統，在新舊世代之間找到平衡點。職認為這是日本社會和諧與進步最大的原因之一。
2. 一所具有良好聲譽的大學，往往具備了特有的優良文化與傳統。東京大學創校至今已經超過 130 年，自詡成為 The hub of knowledge (知識集散中心)。除了悠久的歷史以及特有的校園文化之外，對於努力維護自身的傳統文化更是不遺餘力。近年來，國內很多大學努力追求所謂的世界大學排名的同時，是否也應該要反思：「自身特有的校園文化以及核心價值是甚麼？」
3. 311 福島事故之後，日本政府下令所有核電廠停止運轉並進行安全檢查，導致日本電價上漲，衝擊日本國內經濟。東京大學雖然處在高緯度區，但是夏季最高溫度仍然高於 30 度 C。因應高電價(住宅用電一度約台幣 8 塊多)，在東大上班的教職員工皆相當自制，辦公室溫度在 28 度 C 以上才會開冷氣。身為台灣的人民應該針對這樣一個例子進行反思：「如果選擇零核電，對於高電價及須將室溫設定在 28 度 C 以上是否能夠忍受？」
4. 笠原教授從事結構熱疲勞分析研究已經持續長達十幾年。他們的結構熱疲勞研究也已經從核能領域延伸到航太領域。由此可見，一項成功的研究，必須從基礎理論開始建立，再逐步擴大工程應用領域，這需要長時間的投入，更需要耐心與毅力。
5. 本次實習針對一個結構，不但參與了分析，而且還進行了試驗。由這次的經驗可以看到日本人實事求是的精神。單靠分析或試驗或許可以解決工程上若干問題，但是分析方法與結果須有試驗佐證才有價值，試驗需透過分析輔助才能獲得更細部的解答，進而降低試驗成本，因此兩者需相輔相成。

四、建議事項

1. 日本雖然為非英語系國家，但是東京大學大部分的師生皆可以用英文溝通，很多日文文件也可以透網路翻譯工具了解大部分意思。近年來，隨著國際情勢的轉變，台灣與日本交流有持續增溫的現象，加上地緣關係以及文化相近，建議國內學術研究單位可以多加強與日本進行學術研究交流。
2. 不同於國際研討會或參訪活動，國外實習具有較長的時間與受訪單位建立深厚的友誼。因此，藉由國外實習的過程，不但可以增進技術，並且進一步了解當地文化。但是，交流必須是對等的，因此建立自身特有之文化與技術，吸引其他國家的研究人員願意來台灣實習，應該是未來值得努力的方向。
3. 笠原教授對於日本文殊快速反應爐(FBR)系統之結構具有相當豐富之分析與研究經驗，尤其是對冷熱水混合造成的結構疲勞破壞具有相當深入之研究。FBR 除了具有較高的燃料使用效率之外，還具備減少核廢料數量之優點。然而，不同於一般輕水式反應爐，FBR 許多設計具有較高的難度，相關分析技術值得進一步深入研究。因此建議未來若有機會，可針對此議題與笠原教授合作進行相關研究交流。
4. 本次笠原教授建議了四個研究主題，建議未來本所或國內相關領域人員，可以針對這幾個主題進行深入研究。尤其是針對 311 福島事故後 IAEA 所提出的建議：「先釐清可能會發生的嚴重事故情節，並提出因應的 DEC 設計條件，對現有組件結構提出改善建議。」然而，針對極端載重所造成嚴重事故分析所需要的結構設計與分析技術，與傳統設計分析技術並不相同。除了需要釐清嚴重事故下，不同的破壞模式之外，其難度也明顯提高許多。建議國內可以針對這一塊研究領域，規畫相關試驗及分析研究。
5. 試驗與分析同樣重要，然而結構試驗對於論文的發表則明顯較分析困難。近年來國內因為受到科研計畫考評機制的影響，導致從事結構試驗的人才越來越少。建議國內應該重新檢討科研考評機制，重視結構試驗人才的培養。

誌謝

本次出國實習獲得核能研究所「核能結構耐震與完整性分析技術出國實習(20-01)」計畫經費支持，在此特別感謝長官的支持。另外，對於東京大學核子工程與管理學系笠原直人教授，以及笠原出町實驗室所有成員，在實習期間所提供的協助，在此特別表達感謝之意。

五、附 錄

附錄 1：笠原教授安排的實習計畫

Proposed plan for Dr. Tung-Yueh Wu

June 18, 2014

Naoto KASAHARA

Department of Nuclear Engineering and Management

The University of Tokyo

Staying period: June 18 to July 17, 2014.

Place: Room 723 at Engineering building No.8

Objectives:

Discussions and joint works including the following topics:

1. Dynamic analysis of pipes to seismic loadings
2. Failure modes and structural integrity of pipes under seismic loads
3. Structural design of nuclear components

Tentative proposals of research themes

- a. Investigation of assumed failure modes and strength evaluation method of pipes under severe seismic loads
- b. Characterization and simplification of seismic loads from view point of fatigue failure evaluation
- c. Analysis of fundamental vibration tests of plates
- d. Analysis of vibration tests of elbows

Tentative plan

6/18 arrival

6/19 AM10:00 Orientation at Room 415

PM13:30-15:00 Planning for staying period at Room 415

6/20 PM13:30 Laboratory meeting (Every Friday) at Room 802

PM17:30 Welcome party at Room 802

6/26 AM 9:00 12:00 Fundamental vibration tests of plates at Room 020 of Engineering building No.12

6/27 Introduction of R&Ds of INER at Room 802

7/16 PM13:30 Report of staying results at Room 802

An Introduction to INER & the R&D in MSEP



By Tung-Yueh Wu

Presented to Kasahara-Demachi Lab,
The University of Tokyo
June 27, 2014

 **INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH**

1

Outline

- ❑ A brief Introduction to the INER
- ❑ Mechanical & System Engineering Program (MSEP)
- ❑ The R&D in MSEP
- ❑ Conclusions



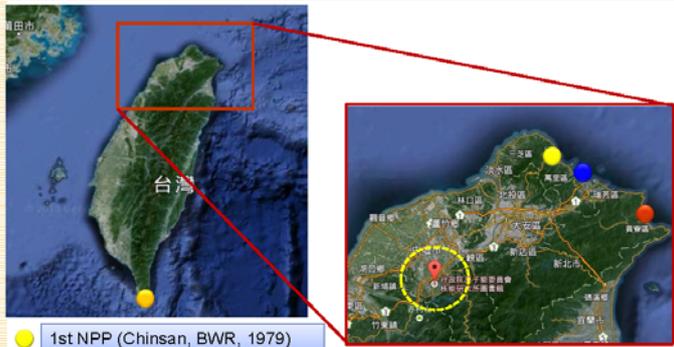
INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

A brief Introduction to the INER (1)

- ❑ The Institute of Nuclear Energy Research, INER, was founded in 1968 and under Atomic Energy Council (AEC), the nuclear regulatory authority in Taiwan. INER is the sole National Laboratory on Nuclear Energy Research.
- ❑ INER is located in the Northern Taiwan and has approximately 1500 staff. (www.iner.gov.tw)
- ❑ With the ongoing government re-organization, next year INER will be under the Ministry of Economic & Energy Affairs (MOEEA) and to fully support the development of energy technology.

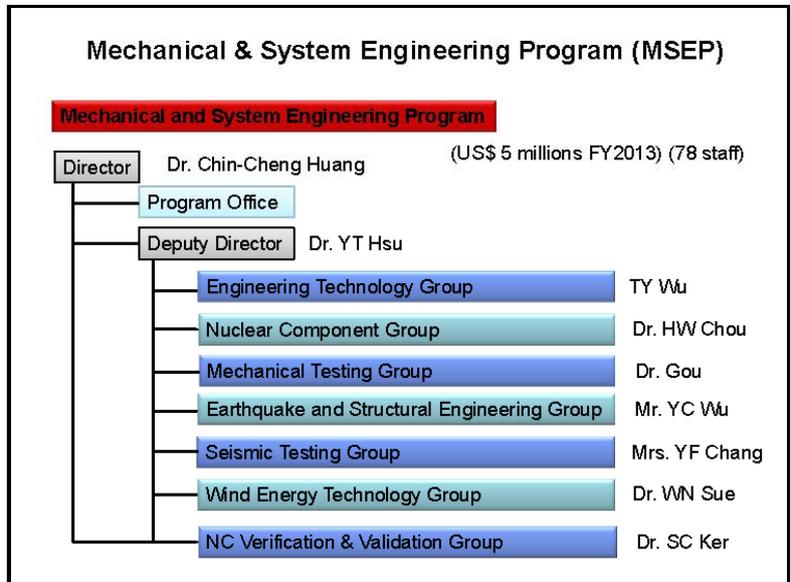
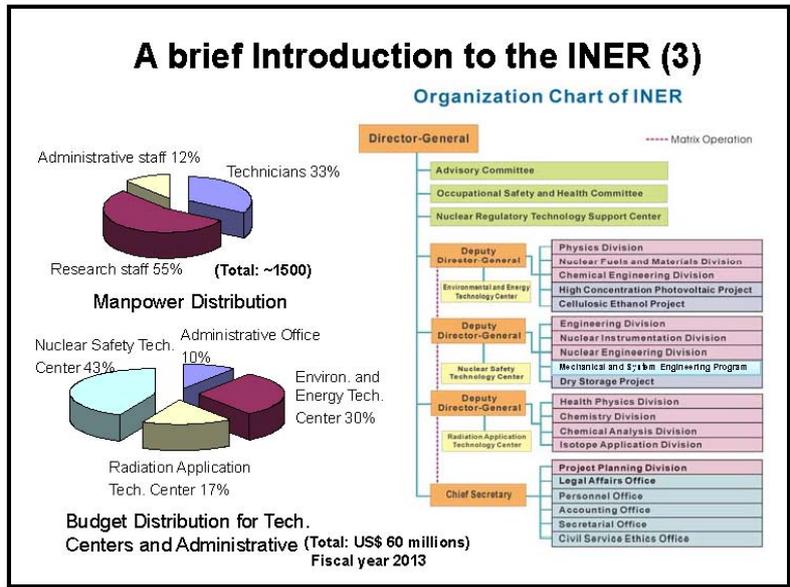
INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH 

A brief Introduction to the INER (2)



- 1st NPP (Chinsan, BWR, 1979)
- 2nd NPP (KuoSheng, BWR, 1981)
- 3rd NPP (Maanshan, PWR, 1984)
- 4rd NPP (Longmen, ABWR, ????)

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH 



The R&D in MSEP (1)

Fracture Evaluation for Degraded Pipes of Nuclear Power Plant

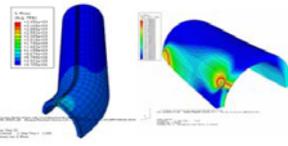
- ❑ Developing a safety assessment platform for piping integrity at NPP.
- ❑ Safety assessment of cracked piping according to ASME code, Sec. XI.
- ❑ J-Integral evaluation program is developed for nuclear piping with surface crack.



The pre-processing software for fast generating cracked pipes & fittings models



Safety evaluation program of nuclear class 1 piping.

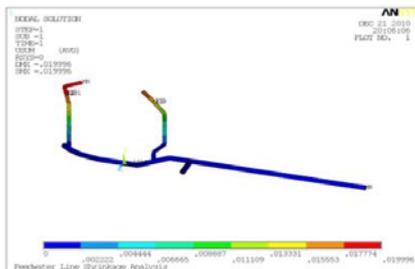


INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (2)

Stress analysis for Class 1 Piping at NPP

- ❑ Performing the fatigue re-analysis for class 1 piping of Chinshan NPP to satisfy the requirements of license renewal application.
- ❑ Structural integrity analysis for piping after weld overlay repair.

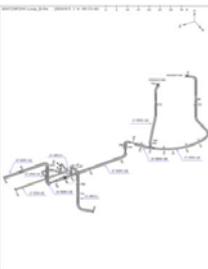


ANSYS SOLUTION
 DISPL =
 UZ =
 TYP =
 UZM = (0.00)
 EQN =
 SRS = +0.0000
 SRI = +0.0000

ANSYS
 ENG: 21_0010
 PLT: 00000
 PLOT: 001

0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000 +0.000000

Posterior: Line Strainage Analysis



INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (3)

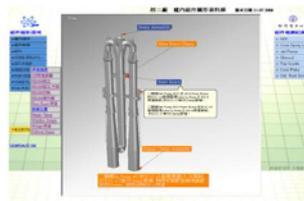
Ageing Management for Reactor Vessels and internals at NPP



3D computer modeling for reactor internals of Chinshan NPP



3D demonstration for the recirculation system of Chinshan NPP



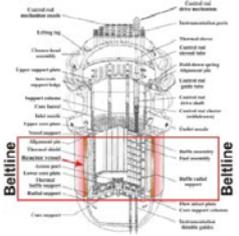
Drawing and inspection data base system for reactor internals of Kuosheng NPP

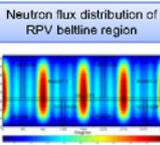
INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (4)

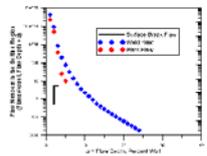
Probabilistic Fracture Mechanics Evaluation for RPV

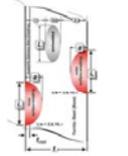
- ❑ Using FAVOR Code, a probabilistic fracture mechanics (PFM) software developed by Oak Ridge National Lab. In USA. The Taiwan domestic BWR RPVs are studied.
- ❑ Failure probabilities of the shell welds including circumferential and axial welds can be obtained.
- ❑ The purpose of the study is to relief the inspection work of the circumferential welds of RPV with extremely low probability.





Neutron flux distribution of RPV belline region





INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (4)

Stress Analysis for Dissimilar Metal Weld Overlay Repair

- Performing design and structural integrity assessment for the dissimilar metal weld with overlay via ASME Code.
- To complete the preemptive weld overlay design and structural integrity assessment for the pressurizer nozzles of Taiwan domestic PWR to EPRI/MRP and ASME Code.

WOL installation on **pressurizer nozzle**

Axial residual stress of FW nozzle WOL

Shrinkage of WOL on pressurizer surge line system

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (5)

Development of High Capacity Dry Storage System

Vertical Concrete Cask (VCC)

Thermal analysis of VCC

1:3 scale Shaking table test

Anchorage Design

The anchor bolt analysis

The roughness of pad
With 8 6-in anchor bolts, the VCC can withstand at least a 3-G earthquake

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (6)

- **Tip-over analysis of a vertical concrete cask**

Analysis model & Plastic strain distribution in concrete

Velocity response at the top of the canister
- **Vertical drop impact analysis of a canister**

0° upright impact case 2° oblique impact case

Deformation of pedestal and stress distribution

The acceleration responses

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

The R&D in MSEP (7)

Drop Test of a Small Scale Canister

Monitoring equipment High speed camera Signal amplifier Installation of the accelerometers

Hoist system 1000 W auxiliary light Data acquisition and storage equipment

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

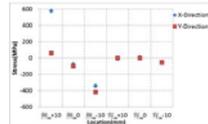
The R&D in MSEP (8)

Residual Stress Measurement Tests

- **The residual stress measurement of standard specimen**



The standard specimen



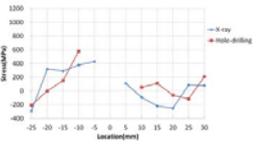
The results from using X-ray and drilling hole tests
- **The residual stress measurement in a canister affected by welding thermal stress**



The X-ray measurement equipment (by TPC SRI)



The hole drilling measurement equipment

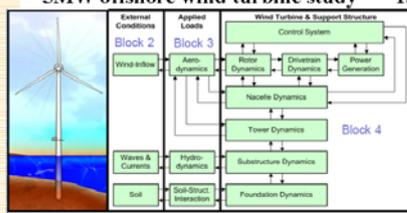


The test results

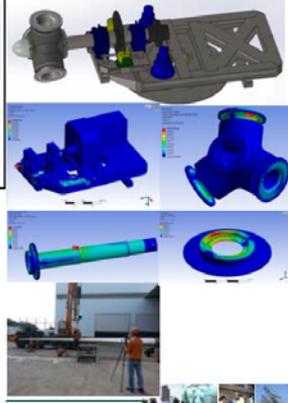
INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

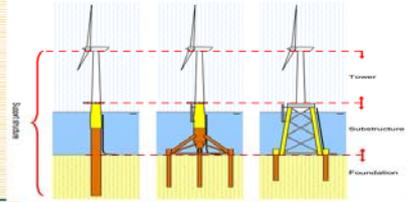
The R&D in MSEP (9)

5MW offshore wind turbine study



150 kW wind turbine (by WTG)





INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH

Conclusions

- INER has been run for 46 years. It have made contribution to the nuclear-related technology in Taiwan. Due to the government re-organization, it will be under the Ministry of Economics & Energy Affair (MOEEA). The name will be changed to **IN**stitute of **E**nergy **R**esearch (**INER**).
- With the upcoming challenges, we must extend our research territory to the area outside nuclear field. However, we believe researches for nuclear energy will still be continued.
- With the limitation of human resource and budget, long-term cooperating with companions around the world will be very important to us in the future. So welcome to joint us in the future !

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH



ありがとうございました
Thank you for your attention
感謝聆聽
Welcome to visit INER !

INSTITUTE OF NUCLEAR ENERGY RESEARCH



附錄 3 倒立平板震動分析之 FINAS 輸入檔

```

FINAS
TITLE   Nonlinear dyanmic analysis of inversed beam (sudden wave 1-2, pure lead)
SUBTITLE 1014/7/02
DYNAMIC ND EP
CONTROL
    LARGE DISP
MODEL
$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8
NODE
    1          0.0    0.0    0.0          10      1  11
    11         0.0    0.0   130.0
    12         0.0    1.0    0.0
ELEMENT TYPE
    1    BEAM2
CONNECTION
**ELOOP1    10    1    1    1    0
$eid etype geom mat  n1  n2  n3
    1    1    1    1    1    2  12
**END1
GEOMETRY
$geom  m      B1      H1
    1    2      13      6
$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8
MATERIAL
$      Pb property E,RHO,NU(from wikipedia)
$      elastic perfectly plastic (unit:ton, mm, sec, N, Mpa, G=9810 mm/s^2)
$
$      mises
    1          1    1    1
    E          1.42E4
    RHO        11.34E-9
    NU         0.44
    HDASH      1.0E+1
    SIGY       10.0
BOUNDARY
    1
$ fixed: nd1 x,z,rx,ry,rz; others:nd 2~21 x,ry,rz
$      nods node Dnod icrd dofs dofe      Du
$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8
    1          1

```

```

1          4  6
2  11      1
2  11      5  6

2
$ nd1: y-dir drived motion (Base acceleration)
$      nods node Dnod icrd dofs dofe      Du
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
          1          2          1.0

3
$ nd1: z-dir drived motion (for constant gravity)
$      nods node Dnod icrd dofs dofe      Du
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
          1          3          1.0
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
$
$FORCE
$ 1
$ Gravity force induced by mass block (z-dir), card C (pp.8-32)
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
$      nods node Dnd icrd dofs dofe      Dp1      Dp2      Dp3      Dp4
$      11          3  3  -8.712
$ 2
$ Gravity body force (z-dir), card D (pp.5-13, 8-33)
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
$      type elms elme Del para ips ipe      Dp1      Dp2      Dp3      Dp4
$      6  1  10  1  3  1  3      0.0      0.0 -11.12E-5
ADD MASS
$ Add the mass of top plate & hammer to node 21 (pp.8-22)
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
$      F1 nods node Dnd icrd dofs dofe      vmas1      vmas2      vmas3      vmas4
$
$      vmas5      vmas6      vmas7      vmas8
$      F1  11  11          1  6 8.8804E-4 8.8804E-4 8.8804E-4  0.9890
$      0.989      0.989
$DAMPING
$      F2          1      0.0  6.0E-4
$. . . . . 1 . . . . . 2 . . . . . 3 . . . . . 4 . . . . . 5 . . . . . 6 . . . . . 7 . . . . . 8
TIME SERIES
1
$      wave curve for base acceleration
$      x=8*sin(pi*t/0.3)*sin(2*pi*f*t), f=13.6

```

\$ TIME RANGE FROM= 0. TO= 1.

\$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8

F2 301 1.00000-3

7158.753 7079.249 6841.731 6449.165 5906.464 5220.429 4399.680
3454.563 2397.039 1240.556 -0.096 -1308.946 -2669.010 -4062.480
-5470.913 -6875.436 -8256.952 -9596.348-10874.709-12073.528-13174.914
-14161.798-15018.124-15729.039-16281.068-16662.278-16862.423-16873.082
-16687.766-16302.021-15713.495-14922.003-13929.551-12740.353-11360.816
-9799.511 -8067.112 -6176.323 -4141.776 -1979.916 291.143 2651.770
5080.993 7556.685 10055.771 12554.437 15028.356 17452.919 19803.472
22055.556 24185.147 26168.896 27984.364 29610.255 31026.634 32215.140
33159.185 33844.137 34257.491 34389.013 34230.878 33777.774 33026.988
31978.474 30634.888 29001.607 27086.716 24900.971 22457.745 19772.935
16864.859 13754.118 10463.448 7017.535 3442.827 -232.683 -3979.687
-7767.805-11565.844-15342.062-19064.443-22700.974-26219.931-29590.158
-32781.347-35764.316-38511.269-40996.064-43194.448-45084.296-46645.821
-47861.769-48717.596-49201.621-49305.153-49022.595-48351.521-47292.731
-45850.267-44031.412-41846.657-39309.637-36437.044-33248.510-29766.465
-26015.968-22024.517-17821.838-13439.643 -8911.388 -4271.995 442.428
5194.881 9947.778 14663.259 19303.504 23831.048 28209.102 32401.856
36374.791 40094.969 43531.315 46654.890 49439.138 51860.119 53896.721
55530.844 56747.568 57535.288 57885.819 57794.482 57260.153 56285.282
54875.891 53041.526 50795.196 48153.272 45135.359 41764.148 38065.226
34066.882 29799.870 25297.166 20593.698 15726.060 10732.214 5651.179
522.713 -4613.019 -9715.768-14745.536-19662.906-24429.361-29007.608
-33361.875-37458.213-41264.768-44752.045-47893.146-50663.988-53043.501
-55013.791-56560.288-57671.857-58340.884-58563.329-58338.756-57670.324
-56564.753-55032.259-53086.459-50744.251-48025.662-44953.671-41554.014
-37854.956-33887.051-29682.880-25276.773-20704.517-16003.056-11210.176
-6364.194 -1503.631 3333.104 8108.031 12783.916 17324.571 21695.151
25862.437 29795.099 33463.947 36842.160 39905.493 42632.462 45004.503
47006.110 48624.936 49851.879 50681.126 51110.183 51139.865 50774.261
50020.676 48889.537 47394.280 45551.211 43379.336 40900.181 38137.582
35117.462 31867.586 28417.309 24797.310 21039.311 17175.799 13239.738
9264.277 5282.465 1326.968 -2570.211 -6378.004-10066.531-13607.352
-16973.691-20140.659-23085.440-25787.469-28228.585-30393.160-32268.203
-33843.442-35111.381-36067.325-36709.388-37038.471-37058.212-36774.920
-36197.479-35337.229-34207.830-32825.102-31206.853-29372.680-27343.771
-25142.678-22793.091-20319.603-17747.462-15102.329-12410.030 -9696.308
-6986.583 -4305.715 -1677.775 874.172 3328.274 5664.083 7862.731

```

9907.089 11781.909 13473.941 14972.034 16267.215 17352.741 18224.138
18879.204 19318.002 19542.822 19558.126 19370.472 18988.411 18422.375
17684.540 16788.675 15749.975 14584.886 13310.911 11946.412 10510.407
9022.351 7501.933 5968.851 4442.604 2942.282 1486.362 92.509
-1222.605 -2443.483 -3555.958 -4547.343 -5406.562 -6124.260 -6692.902
-7106.843 -7362.384 -7457.804 -7393.375 -7171.353 -6795.943 -6273.255

```

2

\$ Curve for gravity loading

\$ TIME RANGE FROM= 0. TO= 1.8

\$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8

```

F2 2 1.8
1.0 1.0

```

RESPONSE

\$ TIME te tdiv Dtdiv kauto Dtini Dtmin Dymax

\$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8

```

TIME 0.3 10

```

\$ FORC if1 a1 itsr1 if2 a2 itsr2 if3 a3 itsr3

\$ FORC 1 1.0 2 2 1.0 2

\$ DISP id1 a1 itsr1 if2 a2 itsr2 if3 a3 itsr3

```

ACCE 2 1.0 1 3 9810. 2

```

\$ BOUN ib1 a1

```

BOUN 1

```

END MODEL

\$

OUTPUT

\$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8

\$ OTIME2 otsid stps stpe Dstp

```

$OTIME2 1 1 100 1

```

\$ NSET1 nsid nd1 nd2

```

$NSET1 1 6 11

```

\$PRINT SELECT

\$ DISP nsid otid

```

$ DISP 1 1

```

POST TAPE

\$ELM ALL

DISP ALL

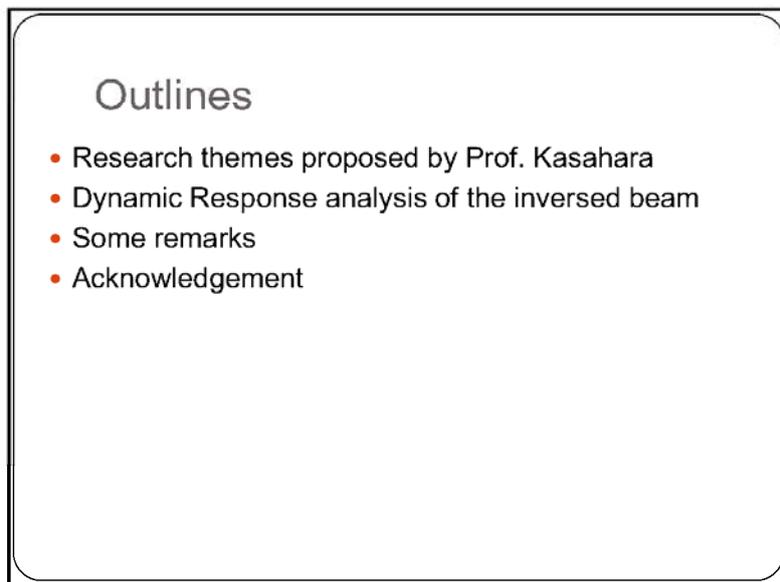
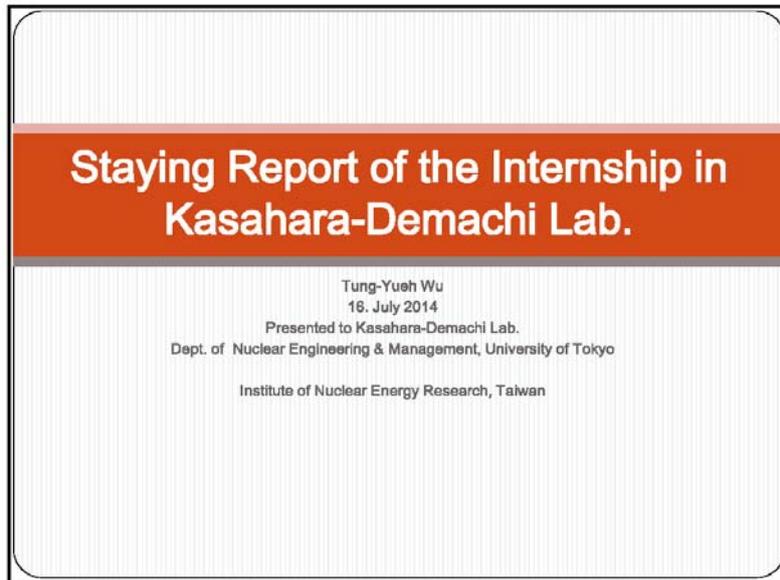
\$VELO ALL

\$ACCE ALL

\$REAC ALL

\$XYPLOT

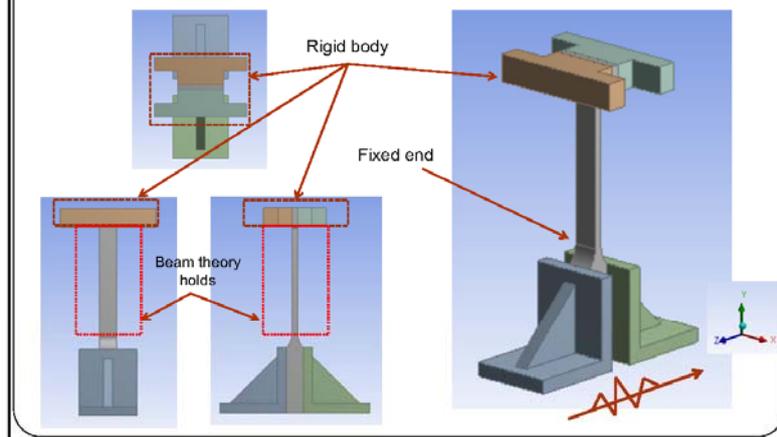
```
$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8
$PLOT1  name1 pos1 ip1                               h
$PLOT1   DISP2  6                                   RTIME
$
$...:....1....:....2....:....3....:....4....:....5....:....6....:....7....:....8
END OUTPUT
END FINAS
```



Research themes proposed by Prof. Kasahara

- Investigation of assume failure modes and strength evaluation method of pipes under severe seismic loads.
- Characterization and simplification of seismic load from viewpoint of fatigue failure evaluation.
- **Analysis of fundamental vibration tests of plates.**
- Analysis of vibration tests of elbows.

Dynamic Response analysis of the inversed beam (1): **modeling strategy**



Dynamic Response analysis of the inversed beam (2): **modeling strategy**

- Analysis object: pure lead, load case 1-2.
- 10 Euler beam elements for geometry.
- Bilinear elastoplasticity with isotropic harden rule for material modeling.
- **5 integration points** along beam depth for internal force calculations
- Geometrical nonlinearity is considered.
- Equivalent rigid body mass is attached, including the mass for translation and the moment of inertia for rotation.
- Node1 is assumed as a fixed end, and node 6 for observation

Dynamic Response analysis of the inversed beam (3) : **modeling strategy**

■ **Shaking table displacement & acceleration for simulations**

$$x(t) = 8 \sin(\pi t / 0.3) \sin(2\pi f * t)$$

$f = 15.625$, for input signal of shaking table
 $f = 13.6$, for fitting actuator displacement

For FINAS input

Dynamic Response analysis of the inversed beam (3) : **input parameters**

Units: ton, mm, sec, Mpa, $G=9810 \text{ mm/sec}^2$

Young's modulus $E = 1.43 \times 10^4$

Yielding stress $\sigma_y = 10$

Tangent modulus $E^T = 10$

Attached mass = 8.8804×10^{-4}

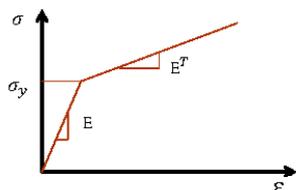
Attached moment of inertia = 0.989

Damping ratio = 0.0

Size of time step $\Delta t = 1 \times 10^{-4}$ (FINAS) 陰解法

Size of time step $\Delta t = 5 \times 10^{-7}$ (VFIFE) 陽解法

Please see the Folder D:\USERS\TYWU\inversebeam6
D:\USERS\TYWU\VFIFE



Dynamic Response analysis of the inversed beam (4) : Formulation

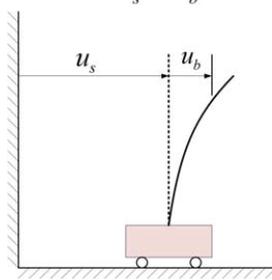
- Nonlinear dynamic equation of motion:

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}} + \mathbf{F}_{int}(\mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}, t, \dots) = \mathbf{F}_{ex}(\mathbf{u}, \dot{\mathbf{u}}, t, \dots)$$
- Frequently seen in seismic engineering, the eq. of motion is rewritten as

$$\mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_b + \mathbf{F}_{int} = \mathbf{F}_{ex} - \mathbf{M}\ddot{\mathbf{u}}_s$$

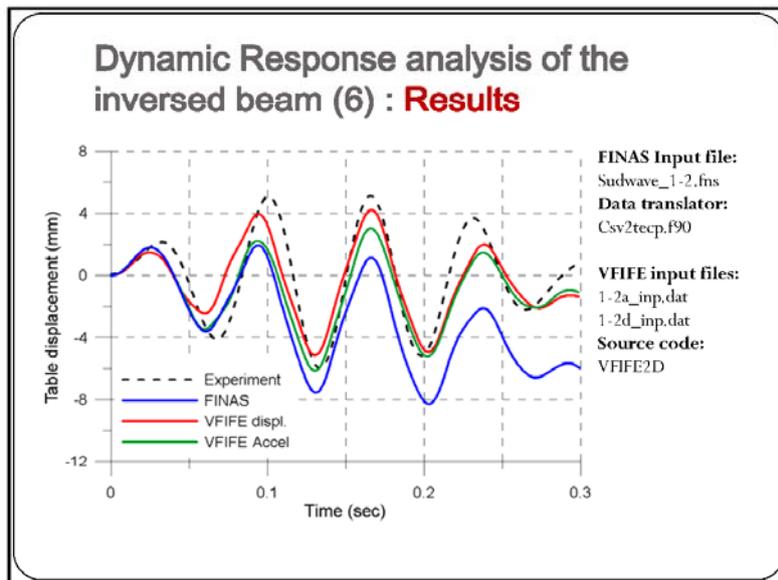
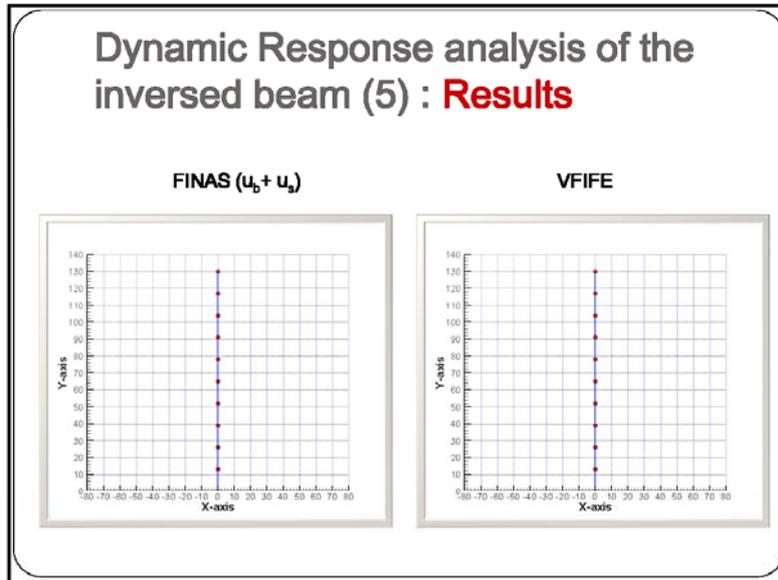
Solving for \mathbf{u}_b then superposed on \mathbf{u}_s

Can we do this way for nonlinear problem ?



$$\mathbf{u} = \mathbf{u}_s + \mathbf{u}_b$$

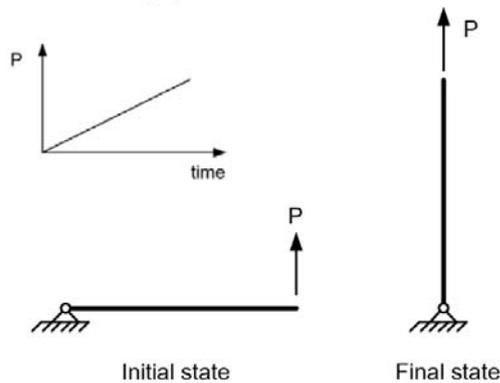
$$\ddot{\mathbf{u}} = \ddot{\mathbf{u}}_s + \ddot{\mathbf{u}}_b$$



Dynamic Response analysis of the inversed beam (7): Discussion

- The results from base displacement excitation and equivalent inertial force have significant discrepancy.
- The FINAS over predicts the amplitude and with larger residual strain.
- According to the example manual of FINAS, the large deformation under static condition can be treated well. However none of information about the mass matrix for geometrical nonlinearity is available. Thus an element patch test was investigated.

Dynamic Response analysis of the inversed beam (8): Discussion



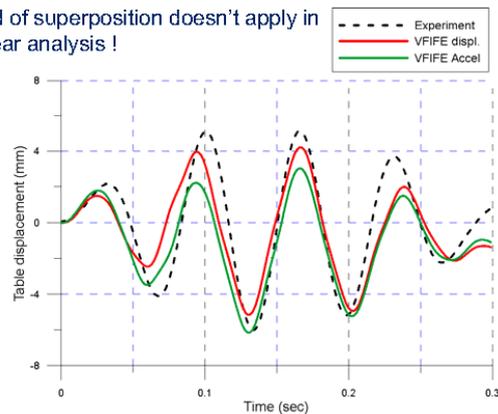
The Beam2 element doesn't pass the patch test !
Please see the Folder in D:\USERS\TYWU\Patchtest

Some remarks (1)

- The material parameters for this analysis have to be further confirmed by practical tensile test.
- Although preliminary investigation shows the rate effect is not salient, it has to be examined in other loading cases.
- The attached mass and moment of inertia can be calculated more accurately, according to the real geometry.
- The BEAM2 element of FINAS only allow 5 integration points along the depth. For complex dynamic loading, more points may be needed.
- The BEAM2 element can not pass the patch test of dynamic rigid body motion. Thus for problem with very large motion, this element is not recommended.

Some remarks (2)

- Method of superposition doesn't apply in nonlinear analysis !



Some remarks (3)

- For nonlinear analysis, sufficiently understanding the theory behind the code is necessary. It helps verify and validate the result.

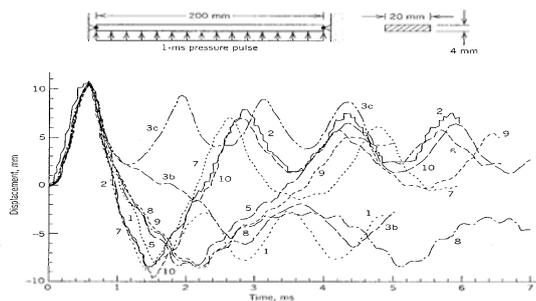


Fig. 1.5-1. Lateral midpoint displacement versus time for a beam loaded by a pressure pulse [1.6] The material is elastic-perfectly plastic. Plots were generated by various users and various codes.

RD Cook, Finite Element Modeling for Stress Analysis

Acknowledgement

- I would like to express my gratitude to Prof. Kasahara for giving me the chance to study in Todai, the arrangement of the internship, the discussion and advice on technical detail, and the meticulous care of my life in Tokyo. I'm really indebted to him and his group for their help.
- I also would like to thank Prof. Demachi for showing me the elaborative experiment of shaking table test, and the technical discussion in group meeting.
- I also would like to thank Prof. Suzuki for the excellent setting of computer and software for me, the discussion on the thermal fatigue topic, and sharing me with valuable reference materials. It is really helpful to accelerate my learning in the future.
- I also would like to thank Miss Kawai and Miss Nami for their help on solving my daily life problems in Todai. Without their help I can not adapt the environment here so quickly.
- Finally, I would like to thank all of you, including Mr. Hokufuda, Yeldos, Katsura, Kazuma....., for your warming hospitality in this hub of knowledge. I'm really grateful.

どうもありがとうございました!
Thank you very much !
Welcome to INER and Taiwan !