

C11401264

出國報告（出國類別：研究）

「港灣水工模型試驗或新型海氣象觀
測設備等實地訓練與應用操作研習」

服務機關：交通部運輸研究所

姓名職稱：許師瑜 助理研究員

派赴國家/地區：日本/神戶及苫小牧

出國期間：114年6月15日至114年6月23日

報告日期：114年9月1日

港灣水工模型試驗或新型海氣象觀測設備等實地訓練與應用操作研習

著 者：許師瑜

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路240號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)2658-7200

出版年月：中華民國114年9月

版(刷)次冊數：初版一刷10冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：非賣品

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

114年「港灣水工模型試驗或新型海氣象觀測設備等實地訓練與應用操作研習」出國計畫

摘 要

本(114)年度「港灣水工模型試驗或新型海氣象觀測設備等實地訓練與應用操作研習」出國計畫，由本所許師瑜助理研究員於114年6月15日至23日前往日本原廠儀器商 JEF Advantech Co., Ltd 參訪，研習試驗室用流速計(ACM3-RS)量測原理、使用設定流程與擷取資料等操作方法，並於 JEF Advantech Co., Ltd 之工廠實地觀摩現場觀測及試驗室量測儀器之檢測方式、校驗設備與其操作流程。另至與花蓮港遭遇長週期波及地震相似問題之日本港灣（苫小牧港與神戶港），實地研習環境因子改善方案，觀摩長週期波浪防護工程及港灣設施重建技術，汲取國際港灣工程經驗，將對本所目前針對防災調適之港灣結構物改良研究有所助益。

關鍵詞：港灣，水工模型試驗，長週期波浪，防護工程，試驗室用流速計。

114年「港灣水工模型試驗或新型海氣象觀測設備等實地訓練與應用操作研習」出國計畫

目 次

摘要.....	I
目次.....	II
一、前言.....	1-1
1.1 出國目的.....	1-1
1.2 行程簡介.....	1-2
二、實地研習及觀摩過程.....	2-1
2.1 JFE Advantech Co., Ltd. 參訪觀摩及研習.....	2-1
2.2 苫小牧港實地研習.....	2-12
2.3 神戶港實地研習.....	2-25
三、心得及建議.....	3-1
3.1 心得.....	3-1
3.2 建議.....	3-2

一、前言

1.1 出國目的

本所目前正進行研發防災調適之港灣結構物改良研究，考量現地與試驗室量測科技進步快速，擬藉由至日本原廠儀器公司參訪與研習，瞭解本所試驗儀器使用與分析以及相關先進儀器量測技術，並至與花蓮港遭遇長週期波及地震相似問題之日本港灣（苫小牧港與神戶港）實地研習，觀摩其港灣設施重建技術及長週期波浪防護工程，藉以汲取國際經驗，後續將實際應用於本所目前正進行之花蓮港靜穩改善研究。本次研習成果將能提升本所水工試驗之正確性及研究能力，以支援研擬與推動商港防災韌性及智慧治理等政策。

為精進港灣水工模型試驗能力，藉由今(114)年派員出國研究計畫，安排前往日本原廠儀器商 JEF Advantech Co., Ltd(以下簡稱 JEF Advantech)參訪(圖1.1)，研習試驗室用流速計(ACM3-RS)量測原理、使用設定流程與擷取資料等操作方法，並於 JEF Advantech 之工廠實地觀摩現場觀測及試驗室量測儀器之檢測方式、校驗設備與其操作流程。另至與花蓮港遭遇長週期波及地震相似問題之日本港灣（苫小牧港與神戶港），實地研習環境因子改善方案，觀摩長週期波浪防護工程及港灣設施重建技術，以汲取國際港灣工程經驗，並評估於國內環境之適用性，以利提升國內港埠設施之巡檢效能，將對本所目前針對防災調適之港灣結構物改良研究有所助益。



圖1.1 筆者(中)抵達 JEF Advantech 與海洋・河川事業部/海洋研究室長李華博士(右)及貿易室三好敦浩室長(左)合影

1.2 行程簡介

本次出國研究計畫行程自114年6月15日至23日，共計9天，主要行程簡述如表1.1所示：

表1.1 出國研究計畫行程表

日期/星期	行程內容	地點
6/15 (日)	出發。進行至日本 JEF Advantech 觀摩與儀器操作研習準備工作。	臺灣/臺中-日本/神戶
6/16 (一)	JEF Advantech 觀摩與儀器操作研習(I)： 1.公司沿革歷史介紹與工廠參觀。 2.試驗室用流速計(ACM3-RS)量測原理及方式研習。	日本/神戶
6/17 (二)	JEF Advantech 觀摩與儀器操作研習(II)： 1.試驗室用流速計(ACM3-RS)應用操作研習。 2.現場觀測儀器最新技術觀摩。	日本/神戶
6/18 (三)	搭乘日本航空國內線：神戶-新千歲，至苫小牧市。	日本/神戶-苫小牧
6/19 (四)	港灣工程技術觀摩：實地研習苫小牧港東港區\勇弘碼頭之港灣設施。	日本/苫小牧
6/20 (五)	港灣工程技術觀摩：實地研習苫小牧港西港區之港灣設施。	日本/苫小牧
6/21 (六)	搭乘日本航空國內線：新千歲-神戶，返回神戶。	日本/苫小牧-神戶
6/22 (日)	港灣工程技術觀摩：實地研習神戶港之港灣設施。	日本/神戶
6/23 (一)	返程。	日本/神戶-臺灣/臺中

二、實地研習及觀摩過程

2.1 JFE Advantech Co., Ltd. 參訪觀摩及研習

2.1.1 JFE Advantech Co., Ltd. 簡介

由 JFE Advantech Co., Ltd 海洋・河川事業部/海洋研究室長李華博士向筆者講述公司沿革、架構及業務簡介，如圖2.1。JFE Advantech Co., Ltd. (JFE アドバンテック株式会社) 是一家總部位於日本的量測與檢測儀器製造商，為 JFE Steel Corporation (JFE スチール株式会社) 100%持股的子公司。JFE Steel Corporation 是日本鋼鐵業的巨擘，也是全球規模最大的鋼鐵生產商之一。經由李華博士介紹才瞭解其 JFE 的公司名稱意義，英文字母 J 代表日本 (Japan)，FE 則為鐵元素的化學符號 Fe。



圖2.1 JFE Advantech 海洋・河川事業部/海洋研究室長李華博士(右)向筆者介紹公司沿革、架構及業務

JFE Advantech 致力於開發先進技術與產品，服務領域涵蓋水環境、計測檢測、計量以及海洋與河川等多元範疇，核心業務分為四大領域，如表2.1所示：

表2.1 JFE Advantech 核心業務之四大領域簡介

業務領域	業務內容	產品項目
水環境事業部	提供水資源基礎設施所需的監測與控制儀器	投入式壓力水位計、超音波流量計、電磁式流速計、水質監測裝置（如：溶氧計、污泥濃度計、UV 計）
計測檢測事業部	提供工廠設備的預防性維護與品質管理所需的檢測系統與儀器	線上設備檢測系統、振動計、絕緣劣化檢測裝置、手持式硬度計、超音波厚度計
計量事業部	承襲自川崎製鐵時代的磅秤製造技術，提供各式工業用計量解決方案	吊磅 (Crane scales)、地磅 (Truck scales)、荷重元 (Load cells)、各種計量系統
海洋・河川事業部	針對海洋與河川的環境監測與科學研究所開發的儀器	CTD (溫鹽深儀)、綜合水質計、電磁流速計

(資料來源：JFE Advantech 研習資料及公司網頁

<https://www.jfe-advantech.co.jp/>)

2.1.2 JFE Advantech Co., Ltd. 工廠觀摩

在李華博士及三好敦浩室長引導下，筆者進入 JEF Advantech 工廠觀摩現場觀測及試驗室量測儀器之檢測方式、校驗設備與儀器生產線，如圖2.2。因檢測與校驗相關設備涉及企業機密，所以禁止拍照或攝影，故由筆者以文字方式說明觀摩內容，主要分為下列4個項目。

1. 流速計校驗：流速計製作完成於出廠前，皆需進行校驗檢核，確認儀器的量測範圍及各項設定符合規格設定條件。JEF Advantech 設計上層軌道與下層水道的雙層檢核設施，以上層軌道固定流速計測棒，利用步進馬達驅動流速計測棒前進。流速計測棒設置的測量端部分，會於下層水道沒於水中，藉由流速計測棒於上層軌道驅動前進的速度，檢核流速計量測到的流速值。
2. 水壓檢測：放置於海中的現場量測儀器，大多會因為量測項目的需求，設置於一定深度的海床，會承受到所在深度對應的水壓力。量測儀器內部的各項感

應器極為精密且大多不防水，因此儀器外殼的受壓水密性能力關乎儀器位於海中，是否能正常運作量測。JEF Advantech 設計一圓柱內中空的不銹鋼艙體，可將須檢測的儀器放置其中，注滿水後關閉艙門，再依檢測需求之水深進行加壓，最大可模擬7千公尺水深的水壓力。

3. 外力檢測：現場量測儀器設置於海中，會受到深海水壓力或其他外力，因此亦須如同土木材料混凝土進行外力檢測，確認其受到外力作用下，儀器外殼的變形或破壞之情況。JEF Advantech 檢測外力的設備外型類似一般土木材料混凝土的外力檢測設備，但因檢測材料為鋼鐵，所以施加外力的磅數加大許多。基於 JEF Advantech 有計測檢測及計量部門，因此各項檢測儀器可直接內部提出需求而定製，可保證檢測的品質。
4. 儀器生產線：各項儀器的組裝，分部件進行分工組裝，並以電子出工表格與錄影建檔，詳實記錄組裝者的組裝時間、進度與過程，達到良好的品管效能。



圖2.2 JEF Advantech 海洋・河川事業部/海洋研究室長李華博士(右)引導筆者(左)於工廠觀摩並介紹說明

2.1.3 試驗室用流速計(ACM3-RS)研習課程

1. 試驗室用流速計(ACM3-RS)簡介

JFE Advantech 的試驗室用流速計 ACM3-RS，是一款高精度三維電磁流速計，設計作為試驗室水槽、水力模型試驗等量測環境專用。ACM3-RS 是一支能夠精準測量水中特定一點 X、Y、Z 三個方向流速的精密儀器。在水工試驗、流體力學研究中，可採用量測瞭解複雜流場結構。試驗室用流速計 ACM3-RS 的主要儀器特點簡介，由 JFE Advantech 海洋・河川事業部/貿易室中西大輔係長講解說明，如圖2.3。



圖2.3 JFE Advantech 海洋・河川事業部/貿易室中西大輔係長介紹試驗室用流速計 ACM3-RS

試驗室用流速計 ACM3-RS 的主要特點：

- (1)三維測量(3D)：能夠同時測量水流之單點在水平(X、Y 軸)和垂直(Z 軸)方向上的速度分量，完整量測流場的三維特性。
- (2)高精度與高採樣率：為需要精細數據的試驗室環境設計，提供高解析度和高精度的測量結果。具備高速的採樣能力（可達數十 Hz），能夠捕捉流速的瞬時變化與擾動，對於紊流或波浪的研究特別重要。
- (3)感測器尺寸小：球形的感測器頭部直徑僅約20mm，對流場的干擾較小。
- (4)多通道系統：通常與 ACM-4IF 介面盒搭配使用，一個介面盒最多可以連接4支感測器（可以是 ACM3-RS 或二維的 ACM2-RS），達到多點同步測量。
- (5)數位與類比輸出：測量數據可透過 RS-232C 介面進行數位輸出，直接傳輸至電腦進行記錄與分析，同時也常具備類比電壓輸出功能。
- (6)感測器規格概覽，如表2.2所列：

表2.2 ACM3-RS 感測器規格

項目	規格
測量項目	X、Y、Z 三軸流速
測量範圍	各軸通常為 ± 250 cm/s
解析度	約 0.1 cm/s
測量精度	通常為 $\pm 2\%$ 或 ± 0.5 cm/s
感測器尺寸	球形頭部直徑約 20mm，儀器總長約 420mm
輸出訊號	數位 (RS-232C) 及 類比 (± 1 V)

(7) 由 JEF Advantech 海洋・河川事業部/大阪營業部經理恩地啓実博士介紹 ACM3-RS 的主要應用領域：

- 水工模型試驗：如水壩、港灣、防波堤等結構物周圍的流場分析。
- 環境流體力學研究：模擬污染物擴散、沉積物運動等。
- 生態水力學：研究水生植物或魚類棲地周圍的細微流場。
- 船舶工程：船模測試時的水動力學分析。
- 教學與基礎研究：在大學或研究機構的流體力學試驗室中，作為標準的測量設備。

2. 試驗室用流速計(ACM3-RS)量測原理

JFE Advantech ACM3-RS 的量測原理是基於一個經典的物理定律—法拉第電磁感應定律 (Faraday's Law of Electromagnetic Induction)。當導電的液體（水）流經感測器頭部產生的磁場時，會切割磁力線並產生與流速成正比的微弱電壓。非使用可動的機械零件（如傳統的轉子），因此反應靈敏、啟動流速低、不易被水中雜物纏繞，且耐用性高。量測原理由 JEF Advantech 海洋・河川事業部/技術部田島裕也課長講解說明，如圖2.4。

以下將其原理拆解為幾個關鍵部分，詳細說明：

(1)核心物理原理

法拉第電磁感應定律指出：「當一個導體在磁場中運動，切割磁力線時，導體兩端會產生一個與導體運動速度成正比的電壓（又稱感應電動勢）。」

在 ACM3-RS 的應用情境中：

- 導體：就是具有導電性的水。一般的自來水、河水、海水都含有礦物質和離子，足以導電，成為移動的導體。
- 磁場：由儀器感測頭內部安裝的電磁線圈所產生。
- 運動：即水流。

因此，當水流過儀器產生的磁場時，水本身就扮演了切割磁力線的導體，並

在與「水流方向」和「磁場方向」兩者皆垂直的方向上，產生一個微弱的電壓。

由於磁場強度(B)和電極距離(D)都是儀器設計好的固定值，因此，所測得的電壓(E)會與水流的速度(V)成正比關係。只要能精準測量這個微弱的電壓，就能反推出精確的流速。

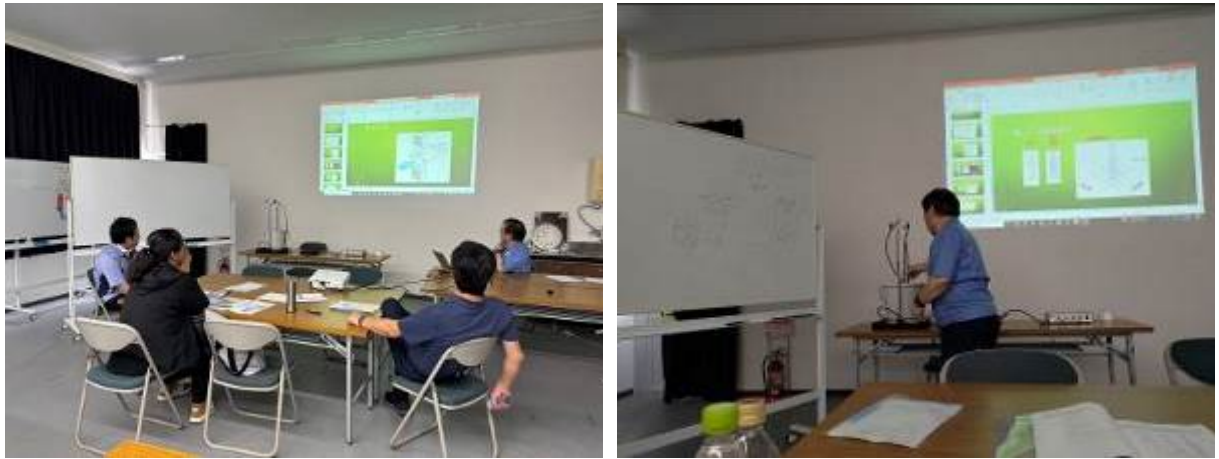


圖2.4 JEF Advantech 海洋・河川事業部/技術部田島裕也課長向筆者講解說明試驗室用流速計 ACM3-RS 量測原理

(2)二維(2D)測量的方法

測量平面上的流速向量（例如 X 和 Y 方向），就需要產生兩個互相垂直的磁場。JFE Advantech 的設計說明如下：

- a. 兩組正交線圈：在感測頭內部，配置了兩組互相垂直的電磁線圈，一組用來產生 Y 方向的磁場，另一組用來產生 X 方向的磁場。
- b. 交替激發磁場：儀器會非常快速地交替在這兩組線圈上通電。
 - (a)當 Y 方向的線圈通電時，會產生一個垂直方向的磁場 (B_y)。此時，流經磁場的 X 方向水流 (V_x) 會在 Z 軸方向上的一對電極（例如電極 1 和電極 3）之間產生電壓。
 - (b)接著，換成 X 方向的線圈通電，產生一個水平方向的磁場 (B_x)。此時，流經磁場的 Y 方向水流 (V_y) 會在 Z 軸方向上的另一對電極（例如電極 2 和電極 4）之間產生電壓。

透過這種高速交替產生不同方向磁場並測量相應電壓的方式，儀器就能夠精準地分解出水流在 X 和 Y 兩個方向上的速度分量。

(3)三維(3D)測量(ACM3-RS)的方法

ACM3-RS 的設計則更進一步，目標是同時測量 X、Y（水平）和 Z（垂直）三個方向的流速。量測方式是基於上述二維測量的延伸：

- a.精巧的電極配置：ACM3-RS 的球形感測頭上，精密地配置了多個（通常是4個或更多）電極。
- b.三維磁場分解：同樣透過內部正交的線圈，產生交替變化的磁場。
- c.向量分解計算：當水流以一個立體角度（包含 V_x , V_y , V_z 分量）流過時，每一組磁場都會在不同的電極對之間產生感應電壓。儀器內部的微處理器會接收來自所有電極的複雜電壓訊號，並透過精密的演算法進行即時運算，將這些訊號分解並重構出水流在 X、Y、Z 三個正交軸上的速度分量。

JFE Advantech ACM3-RS 的量測原理可以總結為：

- (1)基礎：利用法拉第電磁感應定律。
- (2)執行：儀器內的線圈產生交替變化的、方向互相垂直的磁場。
- (3)感應：導電的水流過這些磁場時，會在感測頭上的多個電極之間產生與流速分量成正比的微弱電壓。
- (4)解析：儀器內建的處理器高速採集這些電壓訊號，並透過數學運算，將其精準分解為 X、Y、Z 三個軸向的流速值。

JFE Advantech ACM3-RS 最大的優點是沒有任何機械轉動部件，因此反應速度極快、幾乎沒有機械慣性，且不易受水中懸浮物或水草的影響，非常適合進行精細的紊流或瞬時流速量測及研究。

3. 試驗室用流速計(ACM3-RS)使用設定及擷取資料操作

JFE Advantech ACM3-RS 試驗室用流速計一套標準的使用設定與資料擷取操作方法，仍由中西大輔係長講解說明。整組量測儀器的配置，即感測器(ACM3-RS) + 介面盒(ACM-4IF) + 個人電腦(PC)為基礎。操作步驟簡述如下：

(1)硬體連接與設定

在進行任何軟體操作前，必須先確保所有硬體都已正確連接。

- a.設置 ACM3-RS 感測器：將 ACM3-RS 感測器使用固定架穩固地安裝在試驗水槽或測試位置，確保感測頭完全浸入水中，並將 ACM3-RS 感測器標記紅點對準預計的量測基準方向。〔注意：務必將感測頭完全浸入水中後，才可開啟 ACM-4IF 介面盒的電源〕
- b.連接感測器與介面盒：將 ACM3-RS 感測器尾端的圓形接頭，連接到 ACM-4IF 介面盒前方面板的任一感測器接口（例如 CH1）。接頭有防呆設計，對準缺口後旋緊固定環即可。ACM-4IF 最多可同時連接四支感測器（可混搭

三維的 ACM3-RS 或二維的 ACM2-RS)。

- c. 連接介面盒與電腦：使用一條 RS-232C 傳輸線(通常是 9-pin 的 D-sub 接頭)。一端連接到 ACM-4IF 介面盒後方的 RS-232C 接口，另一端連接到電腦的 COM 連接埠。〔注意：現今的筆記型電腦大多沒有內建 COM 埠，則需要使用一個「USB 轉 RS-232C」的轉接器，並安裝該轉接器隨附的驅動程式〕。
- d. 連接電源：將 ACM-4IF 介面盒的電源線接到標準的 AC 100V-240V 插座。
- e. 開機與感測器固定：打開 ACM-4IF 介面盒後方的電源開關。此時介面盒前方面板的電源指示燈會亮起。即完成硬體設置。

(2)軟體設定(以原廠軟體 AcmView 進行說明)

硬體連接完成後，接下來是在電腦上設定資料擷取軟體。

- a. 安裝軟體與驅動程式：在電腦上安裝 JFE Advantech 提供的資料擷取軟體(通常是 AcmView 或類似程式)。如前一部分所述，若使用 USB 轉 RS-232C，請確保驅動程式已正確安裝。
- b. 設定通訊埠(COM Port)：執行軟體。通常在軟體的設定(Settings)或組態(Configuration)選單中，會有一個通訊設定的選項。需要指定軟體要透過哪一個 COM 埠與 ACM-4IF 溝通。可在 Windows 系統中，到「裝置管理員」->「連接埠(COM 和 LPT)」。會看到的 USB-to-Serial 轉接器被分配到的 COM 埠編號(例如 COM3, COM4 等)。在軟體中選擇相同的 COM 埠編號。通訊速率(Baud Rate)等其他參數通常使用預設值即可(例如：38400)。
- c. 設定量測參數：
在軟體介面中，可以設定以下參數：
 - (a)取樣頻率(Sampling Rate)：設定每秒要擷取多少筆資料(例如 10 Hz, 20 Hz)。連接的感測器數量越多，可設定的最高頻率會越低。
 - (b)量測時間(Duration)：設定總共要擷取多久的資料。
 - (c)檔案儲存路徑(File Path)：設定擷取完成後，資料要儲存的位置與檔案名稱。
 - (d)顯示方式(Display)：選擇要即時顯示數值圖、時間序列圖或是 X-Y 向量圖。

(3)資料擷取操作：

硬體及軟體設定就緒後，就可以開始量測並進行資料擷取。

- a. 開始量測(Start)：在軟體主畫面上，點擊「開始(Start)」或「擷取(Acquire)」按鈕。此時，軟體會開始從 ACM-4IF 介面盒接收資料，並在螢

幕上即時顯示流速值 (V_x , V_y , V_z) 或圖形。應觀察數值是否穩定，確認感測器工作正常。

- b. 監測過程 (Monitoring)：在量測期間，可以即時監看流場的變化。這有助於判斷試驗條件是否如預期。
- c. 停止量測 (Stop)：當達到設定的量測時間，或想手動結束時，點擊「停止 (Stop)」按鈕，軟體即會停止擷取資料。
- d. 儲存與匯出資料：量測停止後，軟體會自動將資料儲存到預設的路徑。儲存的檔案格式通常是 CSV 或 TXT 的純文字檔。這種格式的優點是可以用任何試算表軟體（如 Microsoft Excel）或程式語言（如 Python, MATLAB）相容地開啟，以進行後續分析。檔案內容通常會包含時間戳記 (Timestamp) 以及對應的 X, Y, Z 各軸流速值。

(4)重點提醒

- a. 關鍵硬體：ACM-4IF 介面盒是感測器與電腦之間的橋樑，不可或缺。
- b. 關鍵軟體設定：COM 埠的正確設定是電腦能否與儀器成功通訊的關鍵。
- c. 資料歸零 (Zeroing)：在正式量測前，將感測器放置於靜止水中，並使用軟體的「歸零」或「校正 (Offset)」功能，可以扣除感測器本身微小的零點飄移，確保量測準確性。

總結來說，JFE Advantech ACM3-RS 是一款功能強大且可靠的試驗室級三維流速計，透過其高精度的電磁測量技術，為各類水力學和流體力學研究提供了重要的數據支持。圖2.5為研習試驗室用流速計(ACM3-RS)使用設定及擷取資料操作，並進行討論與實際操作之過程。



圖2.5 筆者與 JFE Advantech 海洋・河川事業部並進行 ACM3-RS 使用設定及擷取資料操作之討論與實際操作

2.1.4 現場觀測儀器最新技術觀摩

JFE Advantech UV 照射生物附著防止裝置由 JFE Advantech 海洋・河川事業部/貿易室三好敦浩室長介紹說明，JFE Advantech AUL-BAT/CA 是一款防止生物附著的輔助裝置，原理是「抗生物附著 UV-C LED 照射模組 (Anti-Biofouling UV-C LED Module)」。其本身不進行任何水質或水位的量測，其唯一的功能，是保護其他精密的水質感測器在長期水中佈署時，不會因為微生物、藻類、藤壺等生物的附著而影響量測精度。

在海洋、河川或湖泊中長時間放置水質感測器時，最大的挑戰之一就是「生物附著 (Biofouling)」。生物膜、藻類等會覆蓋在感測器的光學鏡頭或感應電極上，導致數據嚴重失真甚至儀器故障。AUL-BAT/CA 就是為了解決這個問題而設計的配件，主要是利用特定波長的紫外光 (UV-C) 來抑制和殺滅附著在儀器表面的微生物。AUL-BAT/CA 簡介如下：

1. 運作原理

- (1)UV-C 照射：模組內建了高效率的 LED，能發射出峰值波長為 265 nm 的 UV-C 紫外光。
- (2)破壞 DNA：這個波段的紫外光擁有足夠的能量，能夠穿透微生物的細胞膜，直接破壞其 DNA 和 RNA 結構，使其喪失繁殖與生長的能力。
- (3)保持潔淨：透過間歇性的照射（例如每隔一段時間照射數秒至數分鐘），可以有效地保持感測器探頭周圍的潔淨，確保量測數據的長期穩定與準確。相較於傳統的化學藥劑塗層，UV-C 照射是一種更環保、無毒的抗生物附著方式。
- (4)主要規格與特點彙整，如表2.3所列：

表2.3 AUL-BAT/CA 規格與特點彙整表

項目	規格／說明
產品功能	抗生物附著 (Anti-Biofouling)
技術原理	UV-C (紫外光) 照射
峰值波長	265 nm
外型尺寸	直徑 (φ) 約 28 mm，長度約 66 mm
耐水深	相當於 200 公尺水深
耗電量	約 2 W (照射時)
主要優點	環保無毒，不釋放化學物質，有效延長感測器長期佈署的維護週期。 可與機械式清潔刷(Wiper)，類似雨刷配合使用，效果更佳

2. 配置與應用

AUL-BAT/CA 是一款模組化的配件，需要與其他 JFE Advantech 的主測量儀器搭配使用。其型號中的「BAT/CA」顯示其兩種供電配置方式：

- (1)BAT (Battery) 配置：與一個獨立的電池倉 (Battery Unit) 連接，為自主記錄型 (Logger type) 的水質感測器提供電力，適合長期離線佈放。
- (2)CA (Cable) 配置：透過防水電纜直接從岸上或浮標上的主系統供電，適用於即時連線監測的感測器。

AUL-BAT/CA 主要被安裝在 JFE Advantech 的 INFINITY 系列或 EPSA 系列等長期觀測用的水質感測器上，例如：

- (1)多參數水質儀 (Conductivity, Temperature, Depth)
- (2)溶氧計 (Dissolved Oxygen Sensor)
- (3)葉綠素濁度計 (Chlorophyll and Turbidity Sensor)

JFE Advantech AUL-BAT/CA 是一個關鍵的輔助配件，利用先進的 UV-C LED 技術，確保了水下觀測儀器在嚴苛的海洋環境中能夠長期維持高精度的測量表現，是海洋與環境長期監測工作中不可或缺的工具，如圖2.6所示。



圖2.6 JFE Advantech AUL-BAT/CA 簡圖

(資料來源：JFE Advantech 研習資料及公司網頁

<https://www.jfe-advantech.co.jp/>)

2.2 苫小牧港實地研習

本次行程第2個部分是前往北海道的苫小牧港進行實地研習，緣起為苫小牧港西港區具有與花蓮港相似的長形港型，且皆地處於西太平洋邊緣，最大的差異在於緯度，苫小牧港會面臨到零下的雪地氣候。日本於西元1990年代，開始進行一系列國內各港灣內長週期波浪影響研究，期望改善港內靜穩度及降低船隻斷纜的風險，進而針對各港提出改善的對策，如圖2.7所示。



圖2.7 日本港口應對長週期波浪的措施(平山克也，2015)

資料來源：日本の港湾における長周期波対策，平山克也，第31回台日工程技術研討會(2015)簡報。

苫小牧港位於日本北海道苫小牧市至勇払郡厚真町，主要分為西港區及東港區，中間有一勇払碼頭，如圖2.8。在日本的港灣法屬於國際據點港灣，在港則法則屬於特定港，現為日本8座中核國際港灣之一。苫小牧港為北海道重要的貨運樞紐，西港區因受到長週期波影響常引發船體搖晃，導致貨物裝卸中斷、繫泊索斷裂，以及需要拖船協助等問題，影響了港口作業的準時性與效率。

苫小牧港採用的改善方法為構築**港內拋石堤**，西港區於2008年開始建造長週期波對策工程，並於2012年完成，總長度為391公尺。該工程位於東防波堤後方的未使用水域，其結構設計包含一個能夠減少長週期波反射的塊石消能層，以及用於保護消能層的消波塊，形成雙層結構，目的為提升港內水域的消波性能，減少反射波，如圖2.9～圖2.10所示。



圖2.8 日本苫小牧港衛星圖(Google earth)



圖2.9 筆者於入船公園展望台翻拍港內拋石堤鳥瞰圖



圖 2.10 苫小牧港西港區港內拋石堤及航道標識浮標

日本管理單位採用現場波浪觀測和數值計算，來評估對策工程的效果。研究人員在工程施工期間進行了多次觀測，並選取了長週期波高超過0.1公尺的案例進行分析。發現隨著長週期波對策工程的延伸，港內各觀測點的平均波高比呈現衰減趨勢，證明了該工程的有效性。透過將現場觀測結果與數值計算結果進行比較，推斷出該對策工程的反射率約為 $K_r=0.7$ 。這個結果與設計目標一致，顯示該工程的規劃與設計方法大致上是合理的。此項長週期波對策工程已確認能有效降低波高比，未來仍需持續進行現地觀測，確認其在改善實際使用問題上的效果，以提高港口作業的穩定性。（資料來源：城敏也、田川人士及今卓也，苫小牧港西港區における長周期波対策工の効果検証，第57回北海道開発技術研究発表会，2013。）

本次苫小牧港的實地研習範圍，自東港區東側的浜厚真海濱公園至西港區西側的故鄉海岸，除勘查港內的港灣設施與配置，包含上述的西港區內的拋石堤及其他港灣構造物等，更進一步確認港灣兩側海岸的海岸保護設施及現況。

苫小牧港東港區於1976年開始興建，並於1980年正式開港。定位為具有廣闊的工業和物流腹地的港口，以應對當時日益增加的國際貿易需求。因此東港區設定為深水港，專門停泊大型貨輪，與西港區的國內渡輪和雜貨運輸形成互補。

由於在苫小牧港西港區，船舶經常等待泊位，而受到進港限制。且西港區港口沒有可以安全等待的區域，因此需要採取措施解決這些問題。有鑑於前述限制，才於東港區興建東防波堤4,758公尺、中防波堤1,500公尺及內防波堤900公尺，可成為惡劣天氣下的避難錨地，提高等待船舶的舒適度，並確認港內航行船舶的安全。

由於東港區防波堤位於離岸3公里（水深-18.5米）處，需使用能承受巨大波浪力的大型沉箱。為提高製造效率，工程團隊在陸上設置大型預鑄場，同時生產多個沉箱。沉箱完成後，透過地下千斤頂台車運至碼頭，再由1300噸起重駁船吊運下水，如

圖2.11所示。最後，利用海上澆築混凝土的方式，對沉箱進行部分加高。該結構的特點在於其創新的工程設計，以應對地質軟弱、粘土層廣泛分佈的挑戰。設計採用帶基礎的沉箱和上部胸牆結構，以分散承載力並確保穩定性，同時輔以多種預防圓弧形滑動措施。



圖2.11 苫小牧港東港區防波堤沉箱預鑄場及吊運下水

(資料來源：北海道土木技術会コンクリート研究委員会網站

<http://www.concom-h.com/structure/2812/>)

苫小牧港東港區與浜厚真海濱公園之間，有一條從內陸流向太平洋的厚真川，其為分隔這兩個區域的主要天然屏障，也兼具著輸砂的功能。圖2.12的右圖，為自浜厚真海濱公園向苫小牧港東港區視角，可觀察到東港區的東防波堤東側拋放了大量的消波塊進行保護。另發現到海灘的碎波線離岸僅約10公尺，可知此海岸線外的水深較深，且岸上高程較為平緩，因此海岸變遷的變化應較不明顯，縱使其西邊有長達4,758公尺的東防波堤。但是岸上的平緩地形，若遭遇到海嘯波，可能溯上的距離會相當遠，因而在此熱門的休閒與戶外活動場所，設立了圖2.13的右下圖的海嘯避難告示牌，作為避難路線的指引與警示。

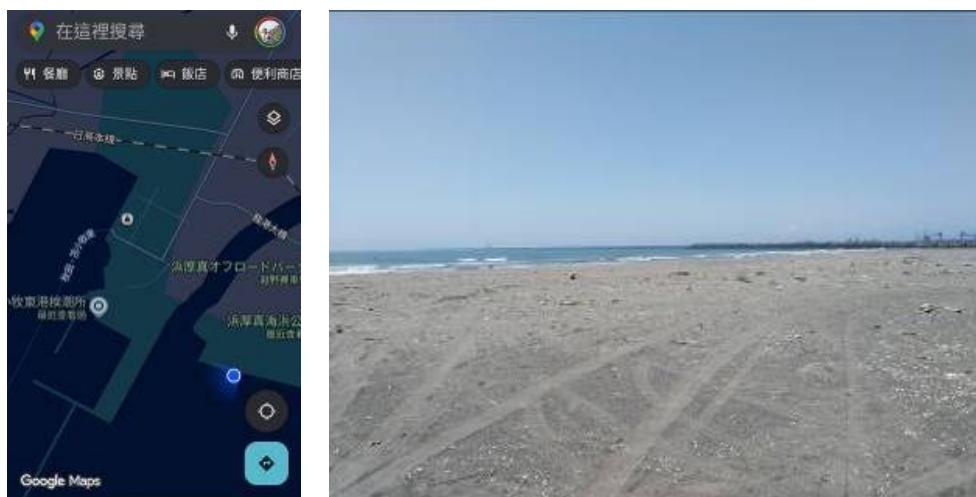


圖2.12 自浜厚真海濱公園向苦小牧港東港區視角



圖2.13 浜厚真海濱公園設置之海嘯避難告示牌

苦小牧港東港區(浜厚真地區)東岸的碼頭，圖2.14的右上圖，主要提供多條客輪航線，提供前往日本本州地區的服務。包含從苦小牧東港前往日本西海岸的長途航線，有敦賀港（福井縣）、新潟港（新潟縣）與秋田港（秋田縣），航行時間較長，通常為過夜航線，可運載汽車、機車與自行車。另有一往返於日本東海岸的航線，前往大洗港（茨城縣），為北海道與關東地區之間重要的海上交通方式，同樣可以運載車輛。雖然客運航線以國內為主，但貨運方面與北美、亞洲多個國家都有定期貨櫃航線，是北海道農漁產品、食品等出口的重要門戶。

苦小牧港東港區作為「苦小牧東部開發計畫」的核心，擁有廣大的工業用地，許多重要的企業和設施都設於此，例如石油儲備基地和北海道電力苦東厚真發電所，使它成為北日本重要的能源和產業樞紐，如圖2.14的右下圖。苦小牧港東港區(浜厚真地區)之碼頭岸壁多為直立壁，僅有一棧橋式碼頭做為煤炭的卸貨輸送之用。比較值得關注的是如圖2.14的右上圖和圖2.15的右圖，港區內的岸際線皆維持著自然海岸樣貌，或是考量做為自然消波之用，抑或是希望保留較多自然海岸景觀。



圖2.14 於苫小牧港東港區(浜厚真地區)東岸拍攝



圖2.15 於苫小牧港東港區(浜厚真地區)西岸拍攝

苦小牧港東港區與西港區之間，有一個勇払碼頭，並非為獨立的港口，而是苦小牧港的一部分。勇払碼頭東側有勇払川河口，於河口設置消波塊式突堤，如圖2.16的右上圖，應是作為河口及海岸保護之用。目前勇払碼頭主要作為海上休閒活動的據點，特別是釣魚等活動，其中有一浮動式碼頭興建的遊艇碼頭區域，如圖2.16的右下圖。南面岸壁以開孔型式構築，造成孔洞消波功能，但為預防漂浮物卡在孔洞內，於岸壁面設置攔物柵網，如圖2.17。



圖2.16 於勇払碼頭東岸角隅拍攝



圖2.17 勇払碼頭南面岸壁

勇弘碼頭使用定位為海上休閒活動，不需提供給大型的貨物船或郵輪停泊，因此結構物型式與配置採取小量體、親水及公園化設計。碼頭整體向外構築，保留最長的自然海岸線，並以東、西與外防波堤抵禦波浪。東與西防波堤之轉折處以圓弧型式施做，東防波轉折後的延伸段興建親水防波堤，長度為578公尺，如圖2.18。親水防波堤分為上下層，下層為廊道，設有樓梯可至上層，面海側則拋放消波塊，如圖2.19。



圖2.18 勇弘碼頭衛星圖(Google earth)



親水防波堤下層



親水防波堤上層

圖2.19 勇弘碼頭之親水防波堤

苫小牧港西港區是世界上第一個內陸挖掘式港灣，這獨特的設計使其在功能和歷史上都具有其代表意義。西港區於1950年代開始開發，為苫小牧港的起源區域。為了克服太平洋沿岸海浪洶湧的自然條件，日本採用了創新的「內陸挖掘」方式，在陸地上開挖出一個港池，再將其與大海連通。西港區主要服務日本國內航線、渡輪運輸以及部分國際貿易，是北海道與日本本州之間最主要的交通樞紐之一。主要港灣設施包括渡輪碼頭、雜貨與汽車碼頭、工業專用碼頭等。

西港區的「內陸挖掘」工程是一項開創性的技術，也因為這項工程方式，又貼著苫小牧市興建，造就苫小牧港的長型港池形狀，與花蓮港的港型相似，也同樣面臨著長週期波振盪的問題。如前所述，苫小牧港採用的改善方法為構築港內拋石堤，西港區於2012年完成長週期波對策工程，總長度為391公尺，管理單位後續以監測方式評估成效，認為達到設定的效果，如圖2.20與圖2.21。

內陸挖掘的苫小牧港西港區，最大特點還是留存了大部分的自然海岸線，當然有些產業還是依海而立，如圖2.22，海岸亦堆置了許多漂流木。西港區內碼頭為提供船隻靠泊及高載重需求，目視大部分皆為直立壁，零星碼頭因卸貨形式的需求，向外構築棧橋式碼頭，如圖2.23。

苫小牧漁港與臺灣很多漁港相同，包覆在苫小牧港西港區內，使用同一港口進出港。漁港內的碼頭與岸壁，大部分採用開孔消波型式，應對漁港內的靜穩度有極大的幫助，如圖2.24。苫小牧港西港區的潮汐觀測站與波浪觀測儀設置於苫小牧漁港內，這些設施是港口管理的重要基礎，用來監測即時的潮汐和波浪狀況。這些觀測設施對於港口的日常營運、航行安全，以及在惡劣天氣或海嘯等緊急情況下的應變都相當重要，如圖2.25。



圖2.20 苫小牧港西港區衛星圖(Google earth)



圖2.21 於苦小牧港西港區入港公園拍攝對岸港內拋石堤及港口



圖2.22 於苦小牧港西港區南側海岸拍攝



圖2.23 於苦小牧港西港區晴海公園拍攝對岸中央南碼頭



圖2.24 苦小牧港西港區內苦小牧漁港的開孔消波碼頭與岸壁



圖2.25 苦小牧港西港區檢潮站及海嘯觀測設施

苫小牧港西港區西側為「故鄉海岸」(ふるさと海岸)，是當地一個重要的親水空間，它曾經是天然沙灘，因海岸侵蝕和港口開發而消失。這片海岸線全長約一公里，從汐見町延伸至高砂町，目前已被重新規劃並人工復原，成為市民休閒和放鬆的熱門地點，如圖2.26。

故鄉海岸的復育是一項海岸再整備（再開發）計畫，其目標是將原本因侵蝕和港口建設而消失的天然沙灘人工化重建，並將海岸線改造為親水空間。具體的海岸復育方式包括改造海岸線結構和人工沙丘與沙灘再生，皆為利用工程手段進行，採用平行海岸的消波塊離岸堤群，加以海岸兩端再以消波塊突堤進行包覆，對於因海岸侵蝕而消失的沙丘進行復育，並再生出新的沙灘，如圖2.27。另將原有的天然海岸線和垂直的直立護岸，改造成緩坡階梯護岸（緩傾斜護岸），如圖2.28。此種設計不僅能有效減緩高潮溢淹等災害，也讓海岸線變得更加安全且方便親近。

總結來說，故鄉海岸的復育並非單純恢復原始樣貌，而是一項將防災功能與親水休閒結合的現代工程，成功地為苫小牧市居民重新打造了一個安全又美麗的海邊休憩場所。



圖2.26 苫小牧西港區西側故鄉海岸之保護與復育說明告示牌



圖2.27 苫小牧港故鄉海岸復育工程



圖2.28 苫小牧港故鄉海岸親水工程

2.3 神戶港實地研習

神戶港位於日本兵庫縣神戶市，為日本最重要的國際貿易港口之一，也是日本最早對外開放的港口之一，如圖2.29。它的地理位置優越，位於瀨戶內海的交通要道上，連結了日本關西地區與世界各地。曾經是日本第一大港的神戶港，近年來，貨櫃吞吐量大約在270萬 TEU 到280萬 TEU 之間，致使排名下滑。



圖2.29 神戶港鳥瞰圖(取自神戶港灣事務所網站)

因受1995年阪神大地震的影響，儘管神戶港在災後迅速重建，但許多在地震期間轉移到其他港口的國際航線，並沒有完全回流。加上其他亞洲港口競爭，包含中國的上海、寧波舟山，以及韓國的釜山等港口，在設施規模和處理效率上持續擴大，吸引了大量國際貨運。且隨著船隻大型化，需要更深的航道和更寬闊的港口空間，神戶港因其地理限制，擴建難度較高。

1995年1月17日發生的阪神大地震，對神戶港造成了極大的打擊，不僅限於港口設施，更癱瘓了整個區域的物流和經濟命脈，影響包括：

1. 大規模的設施損壞：地震直接導致神戶港的碼頭、起重機、倉庫和聯外道路遭受極嚴重的破壞，如圖2.30。許多碼頭基礎設施因地層液化而崩塌，導致岸邊的巨大起重機倒塌，貨櫃也像積木一樣散落一地，據估計，港口約有90%的泊位都無法使用。
2. 海運與陸運交通中斷：地震不僅毀損了港口本身結構設施，也切斷了所有通往港口的交通命脈，如圖2.31。連接港口的的主要高速公路（如阪神高速公路）和鐵路橋樑都坍塌或嚴重損壞，也使得貨物無法從陸路運進或運出。

3. 國際航運路線轉移：由於神戶港的運作完全停擺，許多原本以神戶為主要停靠點的國際航運公司，被迫將航線轉移到日本其他港口，如橫濱港、東京港和名古屋港。這對神戶港的國際地位造成了巨大的打擊。儘管災後港口迅速展開重建，但許多轉移出去的航線，在災後很長一段時間都未能完全回流。

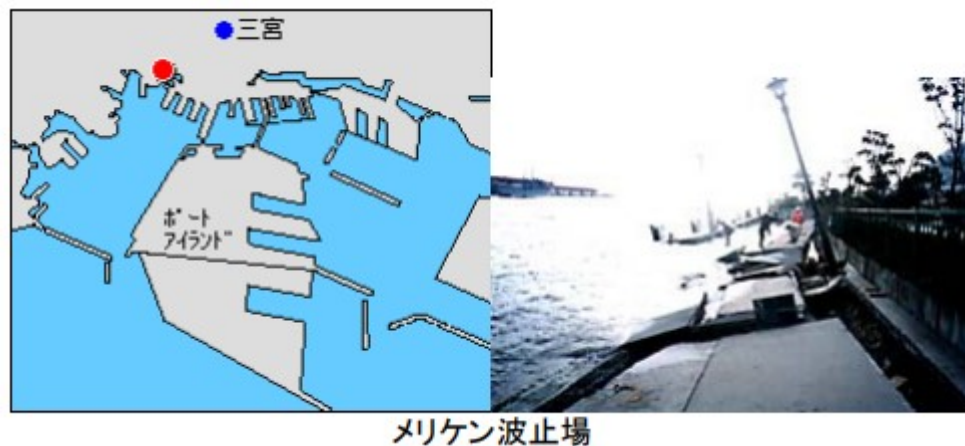
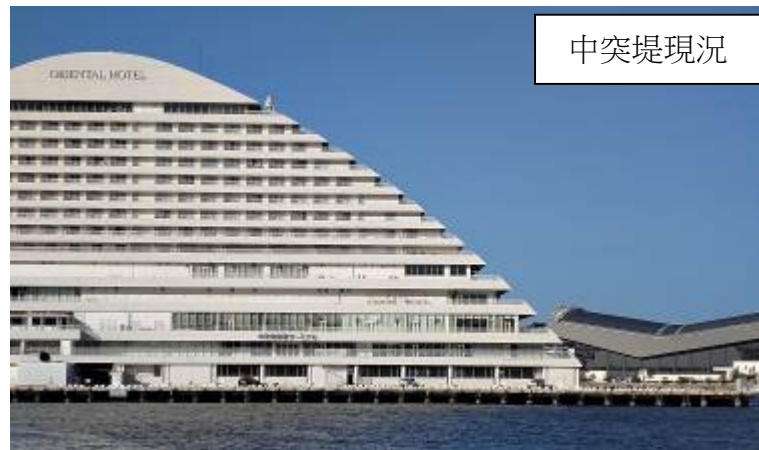


圖2.30 美利堅防波堤受阪神大地震之損害(取自神戶港灣事務所網站)



圖2.31 神戸市国道2號線因阪神大地震受損情況

神戶港遭受了重大的打擊，日本政府與業界投入了大量的資金和人力，採取了多項積極措施儘速重建。為了盡快恢復部分港口功能，先進行高效率的臨時修復，工程人員在受損較輕的區域，迅速架設了臨時的裝卸設備，並優先清理了航道，讓小型貨輪能夠進港。在正式重建過程中，神戶港全面採用了更為嚴格的抗震設計標準，例如，使用了更強韌的材料，並在地基中加入了防液化技術，以確保未來的港口設施能抵抗類似強度的地震，如圖2.32。在災後不到兩年的時間內，大部分受損的碼頭和設施都得以修復或重建。這不僅讓神戶港在國際海運界重新站穩腳步，也向世界展示了日本在災害管理和基礎設施重建方面的強大能力。



中突堤－9m 岸壁



中突堤は、旅客用バースとして使用されており、突端先端にはホテルがあります。復旧は、岸壁背後にホテルがあること、前面水域が狭いこと、旅客ターミナルの早期運営の必要があること、対岸の高浜棧橋の復旧工事との関係から、工期短縮に重点をおいたジャケット式構造物を採用した工法としました。

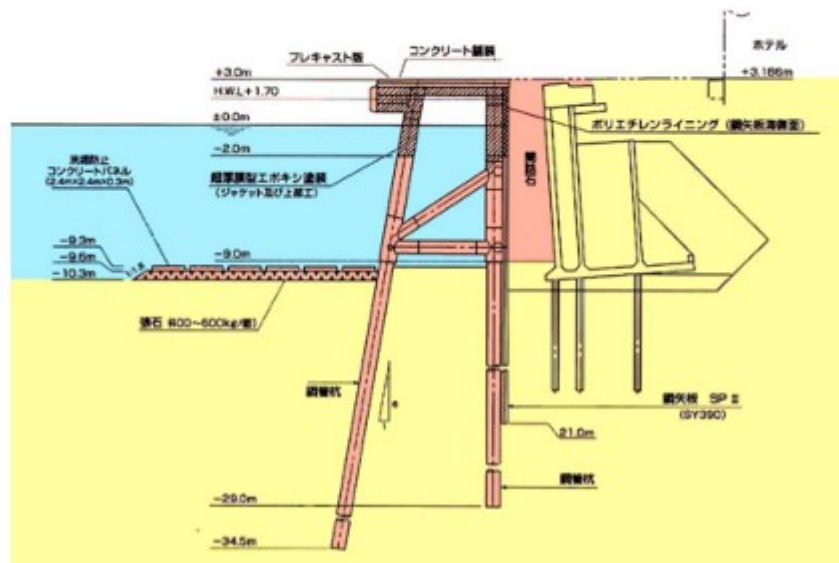


圖2.32 神戸港中突堤現況(筆者拍攝)與修復設計(取自神戸港灣事務所網站)

神戸港從阪神大地震中浴火重生的故事，展示於美利堅神戸港震災紀念公園，是為了記取阪神大地震造成的損害，如圖2.33。園區內特別保存了部分受災的美利堅防波堤（約60公尺），如圖2.34讓人能親眼見證地震所造成的破壞。透過這裡陳列的模型、影像與照片，可以深入了解神戸港當時受災的慘況，以及之後如何進行修復的艱辛過程。這座公園不僅是一處緬懷之地，更是一個重要的教育場所，提醒人們大地震的威脅，並傳承防災的意識。

（資料來源：日本國土交通省近畿地方整備局神戸港灣事務所

https://www.pa.kkr.mlit.go.jp/kobeport/_know/kobe_intro.html）



圖2.33 美利堅神戶港震災紀念公園



圖2.34 保存的部分受災之美利堅防波堤

三、心得及建議

本次出國進修研究計畫日期由 114 年 6 月 15 日(星期日)至 6 月 23 日(星期一)，共計 9 天，此次前往日本主要進行研習試驗室用流速計量測原理及操作方法，並前往日本港灣（苫小牧港與神戶港）進行實地研習，心得和建議說明如下：

3.1 心得

本次「港灣水工模型試驗或新型海氣象觀測設備等實地訓練與應用操作研習」出國計畫，主要由筆者前往日本原廠儀器商 JEF Advantech Co., Ltd 參訪，學習試驗室用流速計(ACM3-RS)量測原理、使用設定流程與擷取資料等操作方法，對於後續於本所操作流速計將大有助益。觀摩 JEF Advantech Co., Ltd 之工廠運作與設備，見識到日本企業的嚴謹精神，儀器組裝的認真態度與過程紀錄的縝密謹慎，讓筆者深感敬佩，也值得效法與學習。

筆者並前往北海道苫小牧港實地研習，主要為觀摩苫小牧港西港區的長週期波對策工程，過往僅能由文獻或網站資料瞭解其工程內容及成效，本次於現場實地觀察苫小牧港的整體規模與港灣設施配置，對本所目前針對防災調適之港灣結構物改良研究有所助益，可進一步評估於國內環境之適用性，以利提升國內港埠設施之防災效能。

於苫小牧港的行程，收穫最大即為實際觀察上述的長週期波對策工程，另外則為觀摩勇弘碼頭的親水防波堤及故鄉海岸的復育工程。這兩項工程讓勇弘碼頭和故鄉海岸不僅成為苫小牧市民的休憩場所，也展現了這座港口城市在工業發展與自然環境保護之間所做的努力。雖然是人工構造物，但它們讓市民能親近大海，享受海邊的氛圍。這也是身為工程人員的筆者一直以來努力的目標，如何能同時兼顧保護及親水功能，從這2個地點深受震撼，也期許自己能找到適用於國內，且兼具保護與親水的構造物型式。

最後一個行程前往神戶港實地研習，瞭解神戶港遭遇世紀強震後的現況，因阪神大地震造成神戶港的元氣大傷，主要受損原因為大規模的土壤液化，造成港市的結構物的沉陷破壞。日本當局的迅速應變與復建完成，並非單純的復舊，而有增加抗震的設計，並為港市一體及觀光加入許多元素，例如遊港的觀光碼頭區及依港而建的購物中心等，達成港市雙贏的成果。

3.2 建議

1. 本出國報告整理之試驗室用流速計量測原理及操作等方法等資料，可提供本所後續於試驗室使用流速計之參採。
2. 日本針對長週期波所提之對策工程，另有不同方式應用於其它許多港，建議未來可再前往其它設置有對策工程之港灣進行實地研習，以實際獲取更多港灣設施的設置想法與概念。
3. 本次於原廠儀器公司觀摩最新的現場儀器技術，可減緩海生物的附著速度，建議未來可針對此部份進行評估，能否應用於本所目前或未來使用的現場觀測儀器，以降低海生物對現場儀器量測之影響。