

出國報告（出國類別：研習）

氣候變遷下之水文監測及防減災因應措施

服務機關：經濟部水利署
姓名職稱：許經昌正工程司
派赴國家：德國
出國期間：104.8.29~101.9.12
報告日期：104.11.12

摘 要

百年以來，臺灣平均溫度增加約 1.3°C，達全球平均值的 2 倍，也比鄰近的日本及中國大陸高。夏季的降雨強度、豪大雨頻率以及年降雨量皆有持續增加的趨勢，每逢颱風或豪雨皆可能造成山區土石流之災害，而秋冬的乾季期間，則常面臨缺水的困境，對於經濟之持續發展亦造成相當大之影響。

德國對於整體歐盟國家或歐洲地區經濟發展具有相當重要之地位，相對的德國對於環境保護的意識亦相當的高，瞭解其如何在經濟發展與環境保護間取得平衡，並能使國家經濟持續穩定發展，就成爲一個值得研究探討的課題。本次赴德國研習，主要在於其爲歐洲地區擁有對於氣候變遷水文監測與資料分析及防災技術較先進的國家之一，希望藉由汲取其經驗與觀念，並吸收其最新技術能力與防災策略，以提供本署在執行水文監測及防減災業務之參考。

本次研習行程包括至漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心及漢堡科技大學河川及海岸工程所等研究單位，瞭解該其在水資源管理、水文觀測技術及河川與海岸防護工程方面之研究方向，以及其協助政府機關進行防減災之策略規劃與實際措施；另外亦至漢堡道路橋樑及水資源局、下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局及下薩克森州諾德奈海岸研究站等政府機關，瞭解其因應氣候變遷環境衝擊之相關法令規範及技術、河口與海岸防護技術實務及對於海岸保護、海岸地形觀測及水質控制之技術。

目 次

摘 要.....	1
目 次.....	2
壹、目的.....	3
一、主題.....	3
二、緣起.....	3
貳、過程.....	4
一、漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心.....	5
二、漢堡科技大學河川及海岸工程所.....	7
三、漢堡道路橋樑及水資源局.....	9
四、下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局.....	15
五、下薩克森州諾德奈海岸研究站.....	18
參、心得及建議.....	20
肆、附錄.....	21
一、參考資料及文獻.....	21

壹、目的

一、主題

- (一)歐洲因應氣候變遷問題之最新發展趨勢與管理法規。
- (二)德國因應氣候變遷問題於水文監測工作上之具體作為。
- (三)德國因應氣候變遷問題於水文監測之相關法制作業規範及防減災措施。

二、緣起

百年以來，臺灣平均溫度增加約 1.3°C，達全球平均值的 2 倍，也比鄰近的日本及中國大陸高。夏季的降雨強度、豪大雨頻率以及年降雨量皆有持續增加的趨勢，每逢颱風或豪雨皆可能造成山區土石流之災害，而秋冬的乾季期間，則常面臨缺水的困境，對於經濟之持續發展亦造成相當大之影響。若全球持續增溫，南北極冰帽冰山的融解，可能造成全球海平面上升，對於臺灣西南沿海低窪地區、蘭陽平原沿海地區，將引發被海水淹沒的危機，因此可見極端氣候對於臺灣民眾生命與財產影響之頻率已逐漸提高。

德國對於整體歐盟國家或歐洲地區經濟發展具有相當重要之地位，相對的德國對於環境保護的意識亦相當的高，瞭解其如何在經濟發展與環境保護間取得平衡，並能使國家經濟持續穩定發展，就成爲一個值得研究探討的課題。因此，本次赴德國研習希望藉由汲取其經驗與觀念，並吸收其最新技術能力與防災策略，以供本署在執行水文監測及防減災業務之參考。

本研習計畫第一項目將就歐盟與德國因應氣候變遷問題之最新發展趨勢與管理法規進行瞭解，以利後續研析其在相關法規架構與規範下，所採取的相關因應策略與作為，俾供本署及國內各界參考。

其次，將就德國因應氣候變遷問題於水文監測工作上之具體作為進行瞭解，以做爲後續進行防減災策略與實際措施規劃設計之參考依據。

最後，就德國因應氣候變遷問題於水文監測之相關法制作業規範及防減災措施進行瞭解，並實地參訪研習德國因應氣候變遷對於河川與海岸地區防護措施之運作現況，以供本署作爲因應氣候變遷對於水文監測相關法制作業規範及防減災措施之參考。

貳、過程

本次研習於搭機抵達德國法蘭克福後，隨即至漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心，而後至位於漢堡的漢堡科技大學河川及海岸工程所及漢堡道路橋樑及水資源局，再至位於下薩克森州諾爾登的水管理海岸防護及自然保育局，以及諾德奈海岸研究站，最後經漢諾威，由法蘭克福搭機返臺(德國地理位置如圖 1，研習訪問地點如圖 2)。

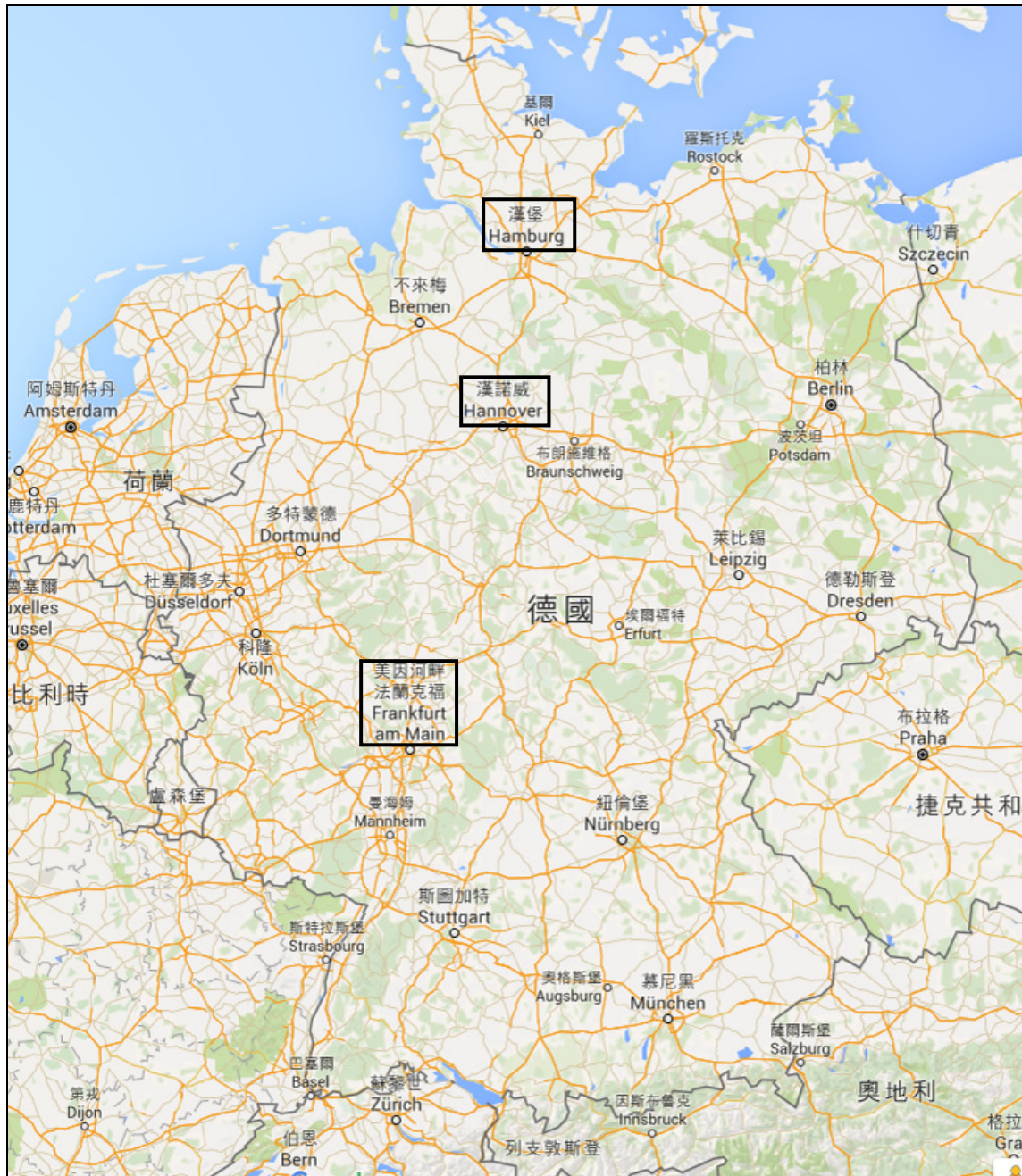


圖 1 德國地理位置圖

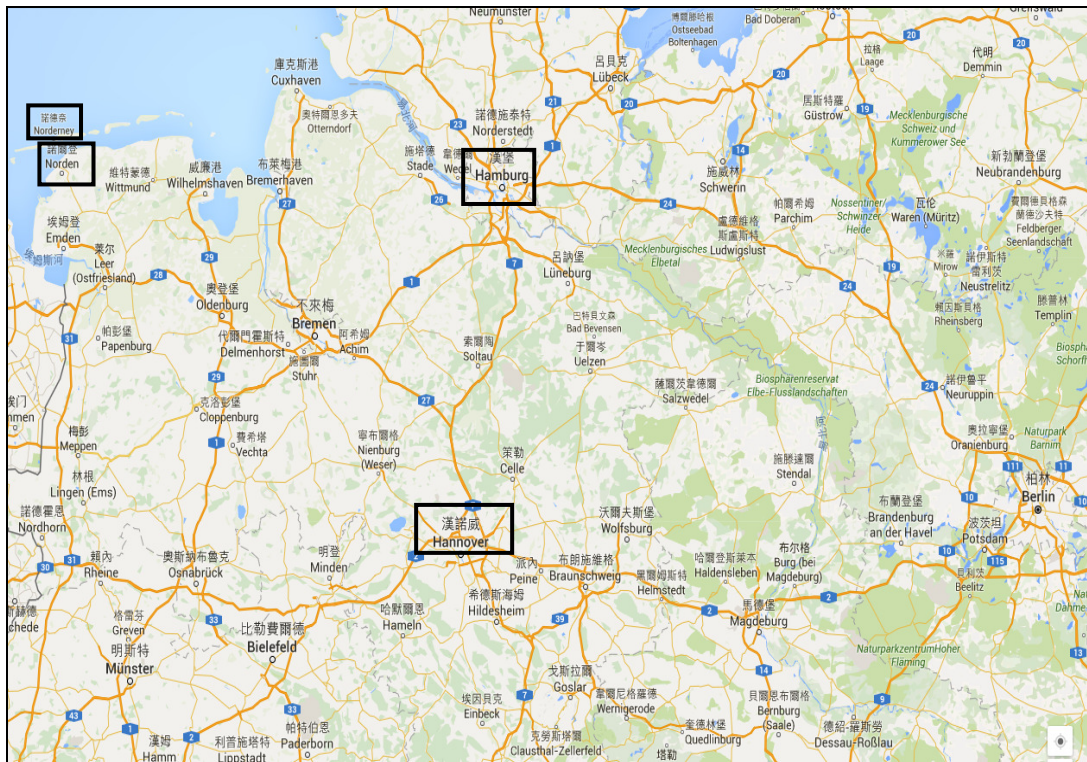


圖 2 研習訪問地點圖

一、漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心

漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心(Franzius-Institute for Hydraulic, Estuarine and Coastal Engineering Leibniz Universität Hannover)位於漢諾威市。其成立於 1916 年，其主要的研究領域包括河道工程、水路運規劃、港口作業、物流、海岸防護堤監測、洪水和風險管理、水利工程對環境的影響及海上技術等。

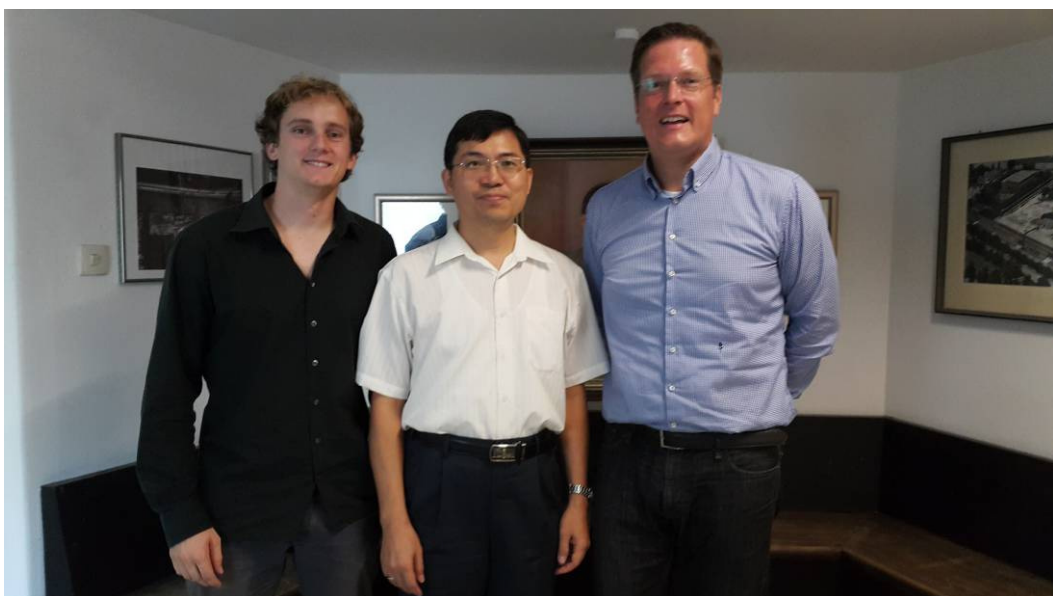


圖 3 與萊布尼茲大學 Prof. Dr. Torsten Schlurmann 及其同事合影

本次至漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心，係拜訪該中心主任 Prof. Dr. Torsten Schlurmann (參訪照片如圖 3)，交換德國與臺灣有關水資源管理及水文觀測技術及河川與海岸工程管理之研究心得，獲致相關資訊整理如下：

(一)近年已完成的幾項與水資源保育、河川或海岸防護相關之研究主題與成果

- 1、ESG 的混凝土模組化護岸墊穩定性研究：在 Franzius 研究中心的波浪水槽，進行創新型的護岸墊的位置與穩定性之水力模型試驗。
- 2、鄰近 tidebeeinflusst 海域鹹水入侵的數值模擬研究：使用三維流體動力學，運用數值模擬方法，以瞭解氣候變化對水動力和鹽度在河口的影響。結合氣候變化有關的地面水和地下水水位、鹽度等變量，通過聯合演算不同的情境，可得可能影響的結果。所開發的工具和結果可以用於水資源和流域管理方面的多種用途提供和實現可持續發展的規劃，並考慮到氣候變化的因素。
- 3、氣候變化引起北海河口懸浮物的影響：進行不同氣候條件下北海河口易北河、威悉河泥沙收支變化的數值模擬，研究氣候變化對航道及航運的影響。重點是對氣候敏感因素的識別和量化。目標是適應戰略的發展，以確保水和河流水質的維護和改進工作效率，並在河流和變化的氣候條件下，沿海棲息地的保護。
- 4、確定風暴潮屏障中海水大量溢出堤防的設計：越堤波的主題已經藉由在水力模型的不規則波研究大約 40 年。最近，水力數值模型也越來越多地被用於理解基本過程的關係和量化分析，但通常給定的自然系統是經過簡化(有時甚至是理想化)的邊界條件，因此當應用於實際過程，僅能獲得有限的結論。目前在歐洲實際上用來評估的方法是依據海洋防護與相關結構越堤波評估手冊(Wave overtopping of Sea Defenses and Related Structures: Assessment Manual, EUROTOP)。從資料的基礎及設計方法的變化需與 Eurotop 手冊一致的觀點來看，現有的量測資料很明顯的對於個別尺寸的例子仍存在很大的不確定性，以支持對堤壩和風暴潮下的可能的防洪圍牆設計。本研究係採用水力模型，以獲取在典型海況下，採用平趾(flat foothills)設計的防洪圍牆，在設計的風暴潮情境下的實際的相關參數值。

(二)目前進行中的幾項研究計畫

- 1、凹凸堤壩縱剖面對越堤波的影響：本課題研究的目的是採用實驗和數值分析的方法，研究越堤波對於縱軸彎曲的堤壩的影響。
- 2、水文、泥沙和地貌與流況的交互影響：該研究的結果在短期內可以應用在海岸結構建設有關資源需求的最佳化設計。藉由更精確的定義邊界條件，該建築物可以經由降低安全因子以達最經濟的尺寸。通過對於沉積物、地貌及沉積物沿海的縱向運輸過程，可以預測真實海況下的沖刷深度。在這一領域的其他發現還可能有助於減少防護沖刷的投資。
- 3、海洋可再生能源基礎設施網絡(MaRINET)研究：MaRINET 支持概念和設備的試驗的領域，如波浪能、潮汐能、海上風能源和環境，以加快全歐洲在海洋可再生能源領域的發展。該資金旨在使公司或研究團體能夠獲得除自己國家以外單獨的世界級的歐洲檢驗設施，以排除初期投資的財務障礙。該網絡由在 12 個國家 28 個研究中心的 42 個測試設備所構成。通過連接這些海洋可再生能源的檢測設施，並使用商定的測試框架，這一舉措現在提供了一個清晰的路徑，以商業化允許用戶無縫地通過每個階段的測試。所有參與中心將使用共同標準，進行研究，以提高自身的檢測能力，並提供培訓，以提高在該領域的專業知識。

二、漢堡科技大學河川及海岸工程所

漢堡科技大學河川及海岸工程所(Hamburg University of Technology (TUHH) – Institute of River and Coastal Engineering)，位於漢堡市北郊。主要研究領域包括水利工程、海岸工程、氣候變遷、防洪工程、風險分析、災害評估與數值模擬。

本次至漢堡科技大學河川及海岸工程所，係拜訪該所教授 Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle (參訪照片如圖 4 及圖 5)，交換德國與臺灣有關氣候變遷與海岸保護、河口及海岸防護技術之發展實務及稀有水文事件之風險評估等之研究心得，獲致相關資訊整理如下：



圖 4 漢堡科技大學 Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle 簡報分享其研究心得

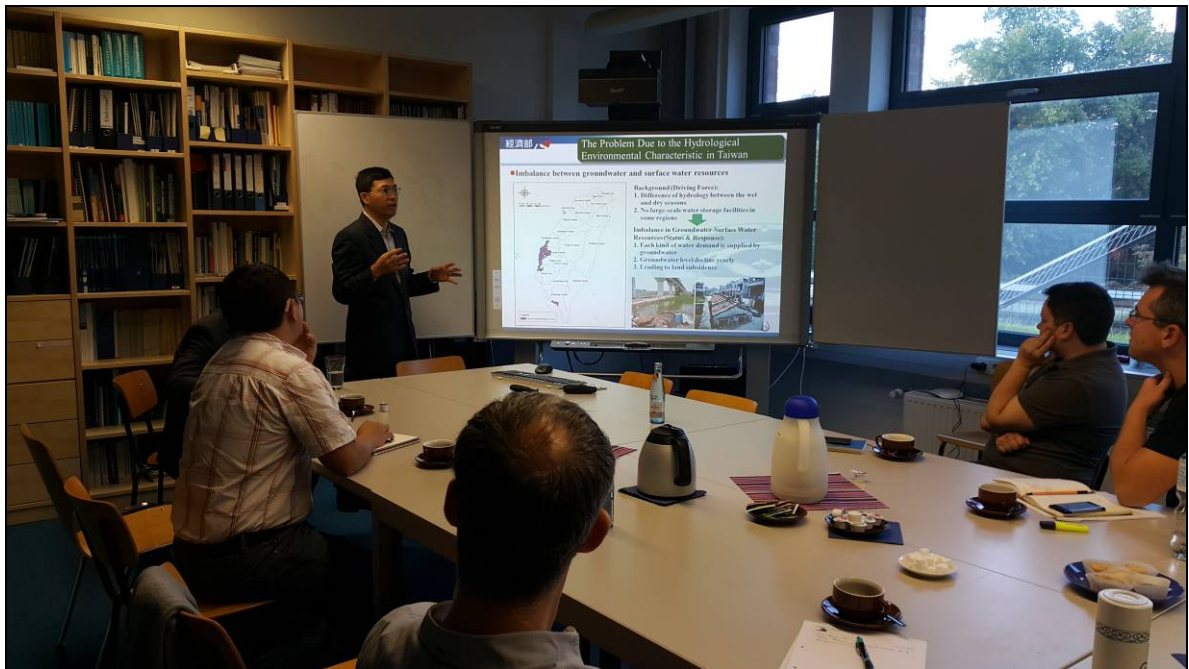


圖 5 向漢堡科技大學 Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle 及其同事簡報分享臺灣經驗

(一)水文觀測部分

- 1、開發利用振盪電流觀測水底質之波紋，以瞭解泥砂與水流之運動型態。

(二)河川或海岸防護措施部分

- 1、在一般情況下，對已開發海岸保護的五項因應策略包括：
 - (1)維持自然樣態，不做任何防護措施。
 - (2)採取管制措施，劃定可開發範圍或就可開發範圍進行調整。

(3)採取工程方法控制(對於受侵蝕海岸或海水平均水位上升地區)。

(4)移動向海(對於海岸淤積地區)。

(5)有限度的干預(例如採用近自然工法)。

2、堤防或護坡防護工程應考慮之設計因子

(1)對抗潮流、風浪和船舶航行所引起波浪之穩定性。

(2)土壤孔隙率。

(3)土壤滲透性。

(4)囚砂率和其重新啟動條件。

(5)邊界材料(例如灌漿材料)，以對抗自然環境的磨損。

(6)波浪傳輸。

3、以前和目前研究之方向

(1)以前研究方向：主要在於施工過程的最佳化、穩定性及施工期間濕度影響等。

(2)目前的研究方向：護岸孔隙度、滲透性、攔砂與解放設計、磨損的影響及傳輸係數。

(3)目前研究的主題：包括氣候變遷下滯洪池減洪效果之模擬、降雨模擬、不來梅地區河川河槽沉積物運移之行爲研究、非洲海岸侵蝕及洪氾溢淹問題之研究、2-D洪水淹水模擬等。

三、漢堡道路橋樑及水資源局

漢堡道路橋樑及水資源局(Agency of Roads, Bridges and Water, LSBG)，隸屬於漢堡市轄下的經濟、運輸及創新部(Ministry of Economics, Transport and Innovation, BWI)，主要的業務為建構符合生活基本需求的保護性基礎設施，該局又分為管理、城市街道、高速公路、工程建造、水資源與防洪及商業等 6 個業務組，其中水資源及防洪組又分為水資源規劃與設計、防洪規劃與設計、結構、堤防保護與監測等 4 科。

本次至漢堡道路橋樑及水資源局，係拜訪該局水資源與防洪組水資源規劃與設計科科長 Prof. Dr. habil. Gabriele Goennert (參訪照片如圖 6)，瞭解德國漢堡市有關水資源管理、河口

及海岸防護技術及大型河川支流受潮汐影響之防洪保護措施等發展實務，訪談結果整理如下：



圖 6 與 Prof. Dr. habil. Gabriele Goennert 及 Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle 等人合影

(一)漢堡市河道總長約 640 公里，其中可通航的水域長約 57.4 公里，鄉鎮等級的河道長約 3.1 公里(河道分佈如圖 7)，在北海強勁的海風吹拂下，其波浪的影響可由易北河口溯升 110 公里至漢堡市。

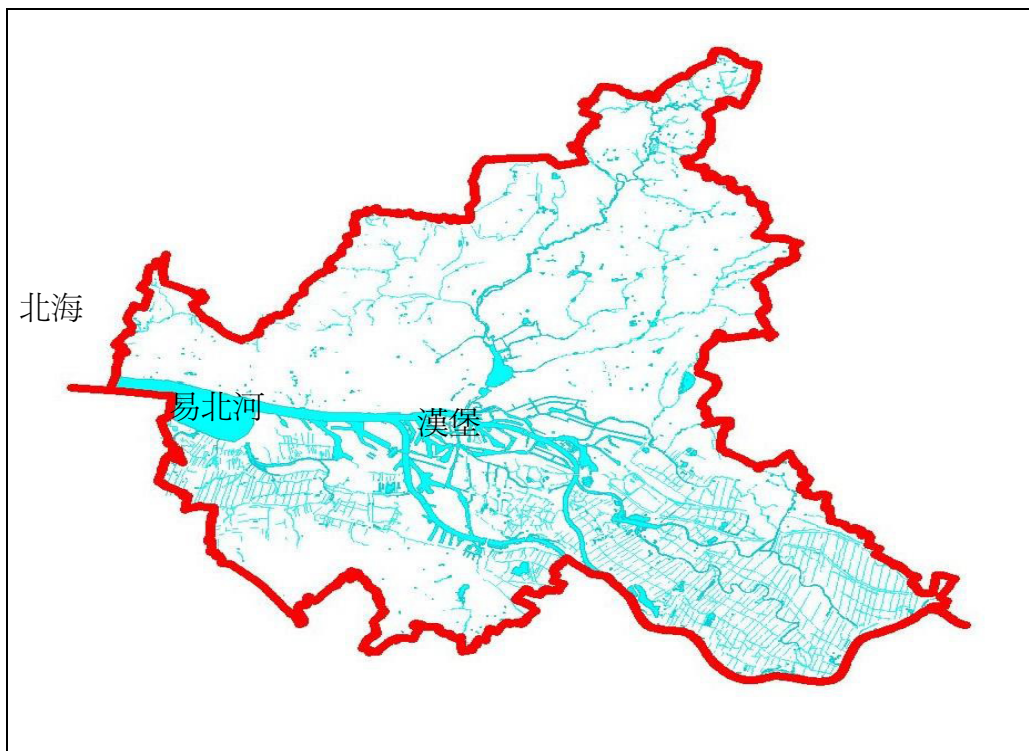


圖 7 德國漢堡市河道分佈圖

(二)在漢堡地區洪災風險主要的因子為風暴潮及降雨，其中風暴潮的影響範圍較降雨來得大(影響範圍如圖 8)，屬於漢堡市洪氾區還沒有堤岸保護工程的面積大約有 342 平方公里(佔洪氾區面積的 45%)，其中大約有 32.6 萬居民居住在該區域。

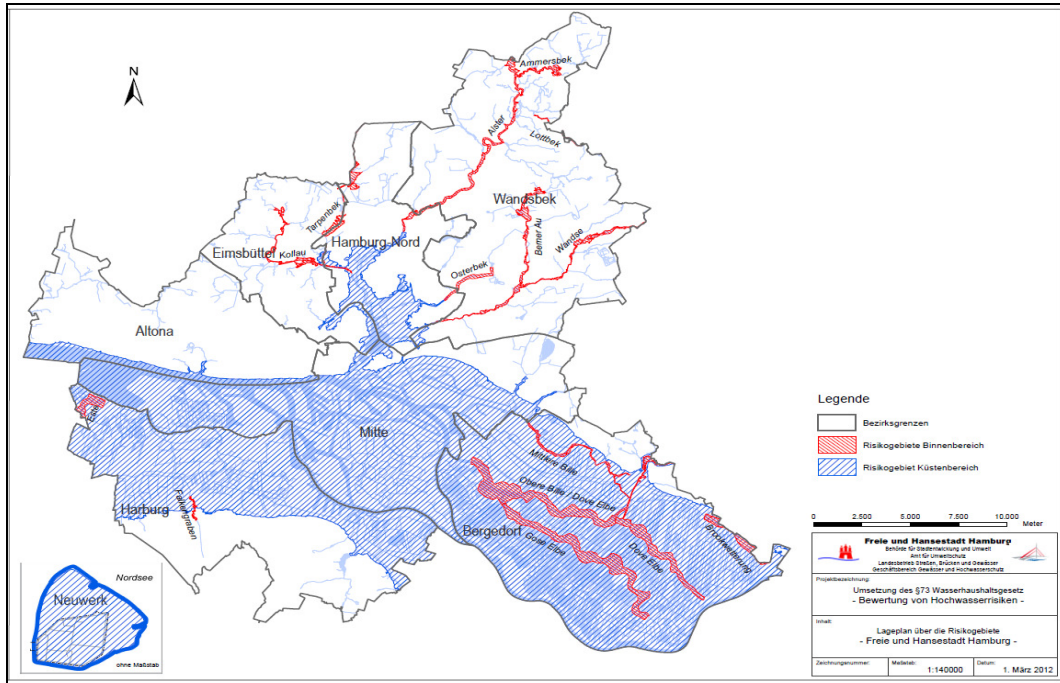


圖 8 德國漢堡地區洪災風險影響範圍圖

(三)西元 1962 年以後漢堡市對於風暴潮的保護主要採用以下 3 種方式(詳如圖 9 至圖 12)：

- 1、預防性保護：例如水文風險溝通。
- 2、技術性保護：例如堤岸的板牆、閘門、防洪屏障、抽水站、潮汐閘門、建築物基礎堆高等。
- 3、操作性保護：例如堤防檢查、堤防防禦、風暴潮預警系統、教育訓練、民防等。



圖 9 德國漢堡地區防洪設施-堤防



圖 10 德國漢堡地區防洪設施-防洪屏障



圖 11 德國漢堡地區防洪設施-防洪牆



圖 12 德國漢堡地區防洪設施-建築物基礎堆高

(四)對於降雨管理的概念

- 1、雨水應該要被留存而且大部分應該要入滲到地底下。
- 2、對於新開發地區必須要有滯洪池的設計。
- 3、確定洪水易淹地區。
- 4、進行淹水預測。
- 5、聯邦跨州的洪水防護-對於水體與洪水保護區採用自然導向的方式，並且預留河川防洪空間。

(五)現地參訪相關防洪規劃與設施(詳如圖 13 至圖 18)。



圖 13 易北河支流彙流口易淹水區域(亦為漢堡市精華區)圖



圖 14 人行道鋪面採用透水性設計及施工



圖 15 易淹水地區採用活動式防洪閘門設計



圖 16 漢堡市於易北河岸親水式護岸設計



圖 17 易淹水地區採用防洪牆及防水窗設計

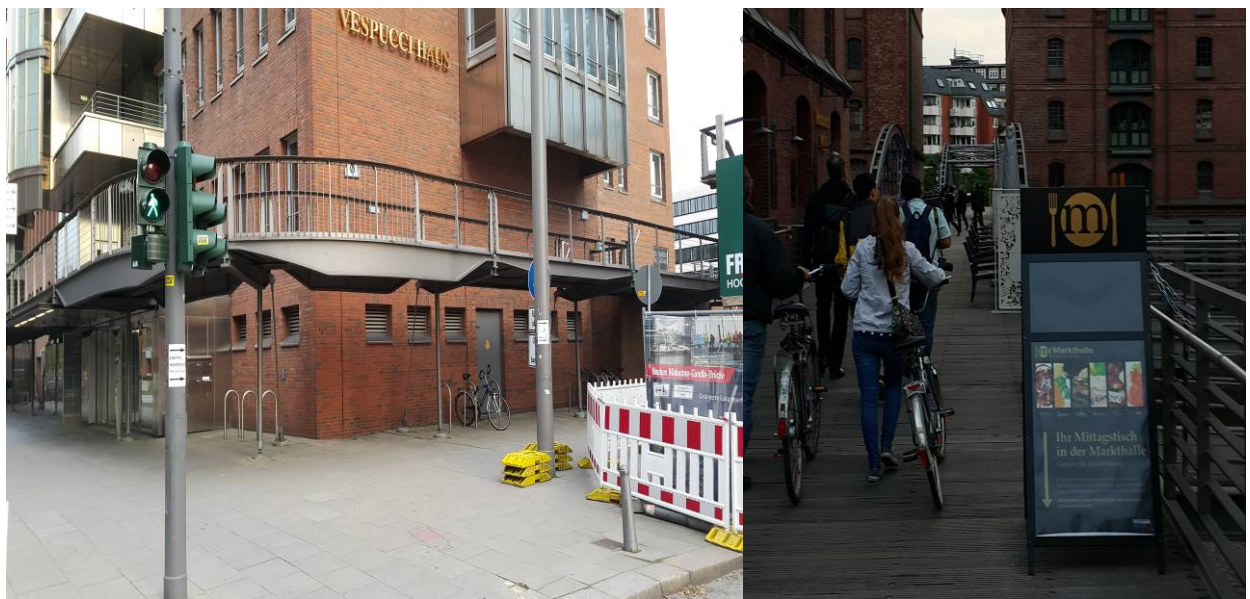


圖 18 易淹水地區採用天橋式人行步道設計

四、下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局

下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局(Lower Saxony Water Management, Coastal Defence and Nature Conservation Agency, NLWKN)，其負責有關下薩克森州的水管理、海岸防護及自然保育等業務，局內分為 7 個業務單位，部分業務單位位於德國北部下薩克森州的諾爾登(Norden)，部分業務單位則位於漢諾威。

本次至下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局，係拜訪該局 Frank Thorenz (參訪照片如圖 19)，瞭解該局有關因應氣候變遷的調適策略、水文觀測規劃與風險管理、策略規劃(海岸保護策略、法令規範及機關組織)等實務，訪談結果整理如下：

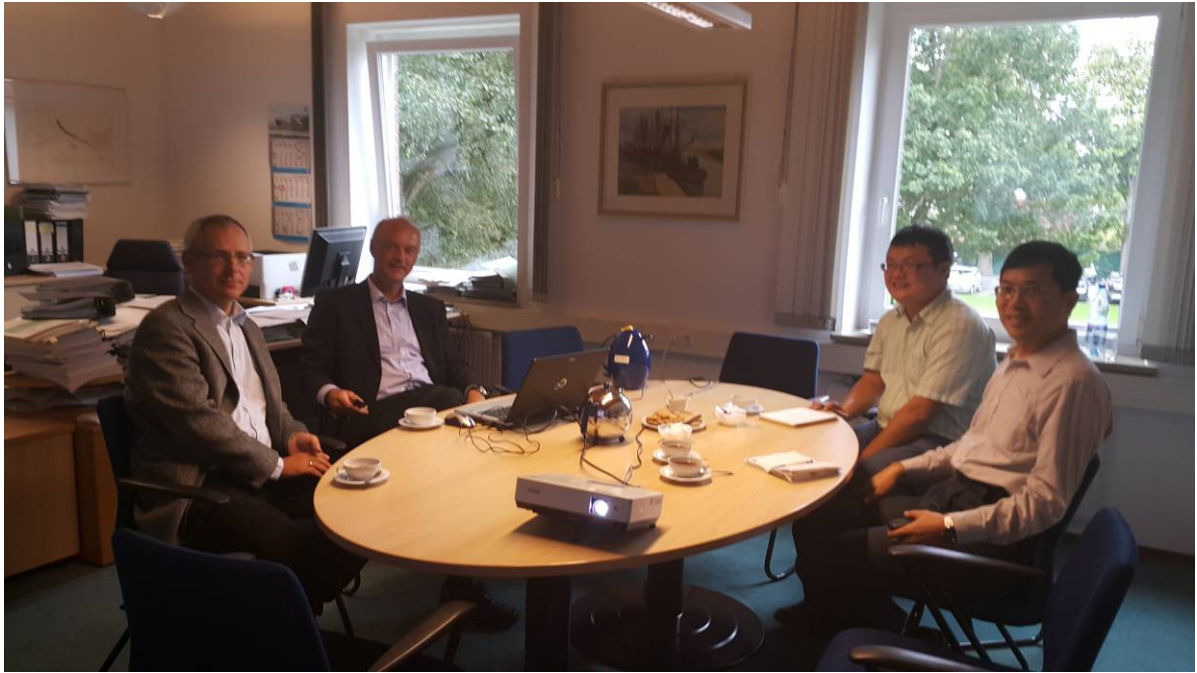


圖 19 與下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局 Frank Thorenz 及其同事等人合影

- (一)下薩克森州為德國聯邦的一州，州北側的邊界為北海。全州面積約 6,600 平方公里，有 120 萬人口受風暴潮所引起的洪水所影響，並且有約 610 公里長的海岸受堤線和其他沿海防禦元素保護。
- (二)在兩個針對北海地區進行的海岸風險管理專案計畫的調查下，通過數值模型的方式研究堤防失效的影響：例如計算洪水波的傳播和擴展瞭解淹水潛勢範圍，再套疊淹水潛勢地區結合 GIS 用以分析可能淹水損失，以提供作為工程專案計畫准駁之參考依據，GIS 資料應包括土地使用、物價指數、生產水準等資料，以作為計算每一區損失金額之依據，並求得淹水深度與淹水損失之關係。
- (三)位於洪氾地區的居民(尤其是精華地區)所繳納稅賦一定比率，將專供作為建造防洪設施之預算。
- (四)現地參訪相關防洪規劃與設施(詳如圖 20 至圖 21)。



圖 20 下薩克森州諾爾登(Norden)海岸地區歷年較大淹水事件淹水高度標示



圖 21 下薩克森州諾爾登(Norden)海岸地區採近自然工法進行海岸保護措施

五、下薩克森州諾德奈海岸研究站

下薩克森州諾德奈海岸研究站(Leiter Forschungsstelle Küste / Coastal Research Station, NLWKN)，位於下薩克森州諾德奈(Norddneý)島，其隸屬於下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局。



圖 22 下薩克森州諾德奈海岸研究站 Dr.-Ing. Andreas Wurpts 簡介海象水文觀測浮標

本次至下薩克森州諾德奈海岸研究站，係拜訪該研究站 Dr.-Ing. Andreas Wurpts (參訪照片如圖 22)，瞭解該研究站有關因應氣候變遷的海岸保護、海岸地形觀測及水質控制技術等實務，訪談結果整理如下：

- (一)由於諾德奈(Norddneý)島為下薩克森州地區的觀光渡假小島，所以研究站的主要業務除了進行海象水文資料的觀測外，亦包括海岸環境保育及海岸防護(包括防潮、防侵蝕或淤積等作用)。
- (二)目前諾德奈地區之海象水文觀測工作，係由研究站自行辦理，相關觀測資料可藉由所建置之 SELFE 3-D 模型，進行波浪、海域水質等之模擬，亦可分析氣候變遷所致海平面上升對於海島地形、潮流等隨時間變化之情形。
- (三)現地參訪相關防洪規劃與設施(詳如圖 23 至圖 25)。



圖 23 諾德奈島鄰近海域環境圖(西海岸人口稠密區受侵蝕，東北海岸大量土砂淤積)



圖 24 諾德奈島東海岸土砂淤積現況



圖 25 諾德奈島西海岸採突堤設計養灘現況

參、心得及建議

- (一)德國有關水資源保育與防災的政策，主要必須依循歐盟(EU)所訂定的架構與法案，再根據國內之不同特殊狀況進行調整。
- (二)在水文觀測方面，德國有關海象水文觀測浮標與本署所採用之觀測浮標在功能上差異不大；德國北部地區河川水文部分由於受強勁風浪及潮差影響較大，所以特別著重該部分之水文觀測與規劃設計，例如開發利用振盪電流觀測河川底質之波紋，以瞭解泥砂與水流之運動型態。該等觀測與分析技術或可應用於觀測與分析臺灣部分較大型河川於感潮河段之泥砂與水流之運動型態。
- (三)在水資源保育與防災規劃方面，爲了避免暴雨時因排水不及所造成之積淹水狀況，都市地區的人行道於人行磚下不採用水泥砂漿而採用細砂鋪底，且人行磚鋪設時亦未採用水泥砂漿填縫，故可藉由此種透水性設計，減少逕流量及增加地下水入滲涵養量，此種規劃設計相當值得台灣參考推廣，尤其是位於地下水補注地質敏感區內之都市地區。
- (四)在防洪工程方面，易淹水地區(尤其是都市地區)的堤防設計多採用親水性設計，堤頂亦設計爲可供人車通行或觀光之用途，另外搭配防洪牆、防洪閘門、防洪窗、建築物基礎堆高及人(腳踏車)通行陸橋等設計，以及防災觀念的溝通，確實有效減少淹水災害之損失。該等工程規劃設計與防減災措施，頗值得本署參考。

肆、附錄

一、參考資料及文獻

- (一)Google 地圖網站 <https://www.google.com.tw/maps>。
- (二)Prof. Dr. Torsten Schlurmann (2015) “漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心簡報資料”。
- (三)Prof. Dr.-Ing. Peter Fröhle(2015) “漢堡科技大學河川及海岸工程所簡報資料”。
- (四)Prof. Dr. habil. Gabriele Goennert (2015) “漢堡道路橋樑及水資源局簡報資料”。
- (五)漢諾威萊布尼茲大學水力與海洋工程研究中心網站 <http://www.fi.uni-hannover.de>。
- (六)漢堡科技大學河川及海岸工程所網站 <http://www.tu-harburg.de/wb>。
- (七)漢堡道路橋樑及水資源局網站 <http://lsbg.hamburg.de/>。
- (八)下薩克森州水管理海岸防護及自然保育局網站
<http://www.nlwkn.niedersachsen.de/startseite/>。
- (九)下薩克森州諾德奈海岸研究站 <http://www.nlwkn.niedersachsen.de/FSK/>。