

## 要 目

- ▨ 出席西班牙'94海岸動力會議感言
- ▨ 台灣四周海域海象測報現況
- ▨ 運用碎形推估海堤長度之探討
- ▨ 花蓮地區貨櫃運輸報導
- ▨ 微生物處理法之簡介與應用(一)
- ▨ 水壓錐消散試驗推估土層壓密特性之應用

中華民國八十三年七月出版

# 目 錄

- 一、出席西班牙'94海岸動力會議感言 ..... 1  
郭金棟 國立成功大學水利及海洋研究所教授
- 二、台灣四周海域海象測報現況 ..... 6  
李汴軍 中央氣象局海象測報中心主任
- 三、運用碎形推估海堤長度之探討 ..... 9  
吳瑞賢 國立中央大學土木工程研究所副教授
- 四、花蓮地區貨櫃運輸報導 ..... 14  
許忠雄 花蓮港務局營運課課長
- 五、微生物處理法之簡介與應用(一) ..... 19  
王奕森 美商環境工程顧問公司顧問
- 六、水壓錐消散試驗推估土層壓密特性之應用 ..... 23  
謝明志 港研所副研究員

# 出席西班牙'94海岸動力會議感言

郭金棟 國立成功大學水利及海洋研究所教授

累積近三十多年的經驗，海岸工程研究者體驗到海岸動力現象幾與碎波息息相關，而碎波時所引致之空氣混入，大形渦動對波浪減衰、波力、近岸流以及漂砂現象，誠非在小型試驗水槽中所可完全重現，經縮尺後之海岸動力現象與實際海岸所見存有相當的差距。為彌補過去小型水槽試驗之不足，近十年若干先進國家大力推展大型試驗設備，同時更加強現場觀測，俾能確切掌握海岸動力相關現象。去年由美國土木工程學會於美國底拉瓦大學舉辦之海岸動力學會議今年移師到西班牙巴塞隆納 Catalunya 技術大學舉行，仍由美國土木學會主辦、歐體協辦，會議自二月廿一日至廿五日共五天，因限定大型試驗為主題參與人數只有 150 餘位，與會者大部份來自擁有大型設備及現場觀測的美、英、荷、日、德、法、蘇等主要國家。雖參加人數不若大型會議之眾，但都屬專精此道之資深學者，以及體力充沛具有實際現場調查經驗之年輕學者，故討論之熱烈殊屬少見，而開幕式亦由主持人致五分鐘之簡單歡迎詞後，即由 Guza 教授做專題報告，誠乃一純樸之學術會議。

會議分二會場舉行，共宣讀 132 篇論文，主要議題有

- (一)大型試驗與新設備 (Super tanks & New facilities)
- (二)砂堆動力 (Bar dynamics)
- (三)近岸輸砂與底床動力 (Surf zone sediment & bed dynamics)
- (四)自然海灘動力 (Dynamics of natural beach)
- (五)非線性波動 (Wave nonlinearities)
- (六)近岸水動力 (Near shore hydrodynamics)
- (七)波與結構物 (Wave near structures)
- (八)結構物鄰近地形 (Morphodynamics near structures)

有關在 Bar dynamics 之論文共有八篇，討論到沿岸沙洲之形成與碎波渦流活動之關係，淺海礁波驅流之產生與輸砂之關係，複數砂洲系統之地形行為。依據大型實驗與現場調查、觀測，認為與坡度、碎波帶寬及水體面積有關，而砂洲數則與雷諾數有關，同時懸移量則深受超低頻重力波之支配，其現象反應於其與水位及向岸流之交互能譜在 0.0092Hz 出現峰值。短期之砂洲位置隨暴風浪高之增大移向外海，週期變長時移向岸，平均移動速度為 5.0m/day 最大 17m/day。刷洗砂洲 (swash bar) 則於暴風期消失，過後數日又恢復。長年複數砂洲變化

則有移向外海而於灘線附近再生，週期約15年。此種三維地貌變化唯有現場才能顯現，其動力機構尚待了解。砂洲對近岸水體及輸砂之影響，以及長週期波對砂洲之影響還有待日後現象觀測累積更多資料以後才能解明。

大型波浪水槽大致可以水深大於5m造波能達到有義波高1m以上為界，目前僅有日、德、荷、美、西班牙擁有。因此有關此議題之論文自以這些國家為主。相關論文共有22篇，有關海灘斷面之變化及懸浮輸砂者佔 $\frac{2}{3}$ ，與海岸結構物有關者佔 $\frac{1}{3}$ 。在海灘斷面試驗研究上WES曾以長達129小時波浪作用時間蒐集砂堆、平台以及海堤存在時之海灘變化與波浪變形，比過去平衡海灘試驗所費時間多出甚多。據所測海堤前沖刷並不如小模型者激烈，而與數模之間尚有相當差異。另一與小模型試驗所不同者為，回流及反射在時間及水深方向上有相當高之低頻成份存在，砂堆頂向岸流速強，而其海側減弱，近底床處流速強而谷處弱。懸移質濃度能譜密度在高頻側因受流體粘性影響與頻率之負二次方成正比，在Plunging point底濃度高達2.5g/l。

過去混凝土消波塊之安定及強度試驗大多是在 $\frac{1}{30}$ ~ $\frac{1}{75}$ 之小比尺下舉行，因此難予模擬衝擊波，雖知衝擊與非衝擊波之力學反應迥然不同，但限於設備迄未解明。在大型水槽中可以 $\frac{1}{10}$ ~ $\frac{1}{5}$ 之比尺，以消波塊重達25kg以上之大模型埋設應變規測定，當然結果準確的多，與小比尺者相互比較亦可檢討相似律之比尺影響。

大比尺試驗安定係數達到64，而小比尺者僅有此數之一半時即崩潰，僅有其波高之80%顯然受Reynold比尺影響，所幸小比尺試驗結果在安全側。Kajima指出 $Re \geq 3 \times 10^4$ 才不受Reynold scale影響。比尺之影響在不規則波試驗中似不如規則波者明顯。越波量在大比尺試驗中較小型者多，此表示以小比尺試驗估計越波量可能偏少，值得注意。

93年Delta flum實驗計畫由歐體資助歐洲五大學聯合共同舉行，探討二維之海岸動力及地形變化，用以了解碎波帶過程。此一試驗結果及數模驗證在本次研討會中發表者即有七篇，與美國之Supper tank旗鼓相當，充份發揮了合作研究之成果。碎波帶水動力之論文都屬於沿岸流、刷洗帶水面形態及碎波引致之亂流污染源擴散之現場觀測及數模比較。自然地形動力及結構物鄰近之地形，以及海底變動相關論文約佔30餘篇，有西、埃、蘇、荷等國人工養灘之現場調查與實驗，以及包括本人發表之離岸堤附近地貌變遷之實驗及數模等海岸保護工之效果與漂砂移動。美國CERC支援在其觀測棧橋舉辦之Duck 94計畫，包羅12大學以及政府機構集合70~100位研究人員及儀器於一堂，聯合觀測波浪淺化、變形、近岸流底床流場、刷洗帶以及底床地形之時間及空間變化規模龐大最引人注意。此一計畫預定將延續至1997年，大家都期待此一計畫能提供更多長期之海床變化與風、波、流之相關資料。

此外為整合與加強國際合作，大

會排定二小時之公開座談，討論加強有關海岸動力研究之合作與支援計劃。同時於星期四下午參觀巴塞隆納國際港，夜間邀請與會人員到Catalunya市政廳，參加由歐體大學與政府資助設立之國際海岸資源研究中心啓用典禮。市政廳是棟中世紀哥德式建築，內部浮雕壁畫美侖美奐，會議廳水晶燈直徑約有三米大極為亮麗；中庭花園空地種有橘樹和玫瑰，二月冬天在樹上還長著橘子的庭院舉行雞尾酒會款待貴賓。

大型試驗及現場觀測需資可觀，動員之人力經費以千億元計，非各大學所能負擔，因此必需集中經費與人力共同合作使用、推動。即使以歐、美、日先進國家，亦以國家或歐體共同投資經費興建大型設備，集合全國或相關國家各大學人力，同時舉行相關之多項試驗觀測，然後各取所需回去分析研究，如本次會議之 Super tank, Delt flum 及 Duck'94 都在此種合作方式下舉行，值得我們學習朝此方向推動。

我對西班牙的認識只限於鬥牛、佛朗明哥舞、海明威的小說戰地鐘聲、唐吉訶德和歌劇卡門等膚淺的認識。但西班牙在歐洲卻是最有特性的國家，她介於歐非兩大陸間，自古就成為東西文化的十字路口。早在公元前十一世紀至五世紀間就受菲尼基、希臘等族的侵略，以後又受羅馬帝國統治，八世紀時為阿拉伯族征服，十五世紀才復國統一，十五世紀至十六世紀國勢最為強盛。哥倫布發現新大陸，使其勢力遠伸至中南美及遠東，台

灣也曾經被佔領過，可說人文薈萃文明極高的國家，國際著名的美術家如古列科、盧賓、果牙、畢加索、米羅等都是誕生於此。馬德里普拉都(Prado)美術館內典藏8000件以上世界有名的圖畫，與法國羅浮宮、梵蒂岡美術館同列世界三大美術館之一，上下二層長達百米，近百間房間懸掛十二世紀以來名作，足夠您走馬看花也得花半天，果牙最有名的穿衣和裸體的Maja畫像最為引人遐思。馬德里市內有不少家公、私立美術館、王宮修道院和博物館足夠您看得眼累。馬德里郊外車程約2公里處的Segovia是古羅馬時代非常繁榮的都市，在進入市區入口處有座水道橋已歷經二千年歲月，依然保存完整，由二層拱橋搭建而成，長728m、高約30m，砌石而成，但石塊與石塊間不用水泥或其他粘接劑，巧奪天工，表現當時高超的土木技術水準。它是用來從17公里外的河流輸水供應Segovia市民用水的，值得學土木水利的人一看。

巴塞隆納是位於西班牙東北部濱臨地中海的古老卻又現代化擁有人口二百萬的文化氣息濃厚的商工大城。在中世紀時卡塔羅尼王國定都於此，現為自治政府的首都，也是哥倫布探險發現新大陸出航的港口，1992年舉辦世運會而聞名於世。市內到處有古蹟、美麗的建築物、美術館和博物館，是值得一遊的歐洲城市之一。觀光客遊蕩的La Rambla大道，自聳立於港口的哥倫布紀念塔延伸到Catalunya廣場，路邊老樹高聳，中間寬暢的徒步道路遊客雲集，兩側有出

售紀念品的小店和小鳥店，表演雜技、演奏音樂的藝人和小市民擠得水洩不通。周末夜晚還有十人組成的小樂隊吹奏頗富地方色彩的音樂，給由二、三十人圍成一圈跳 Sandana 民族舞蹈，熱情揚溢的市民伴奏著感人的音樂，現場瀰漫著一片安和樂利。這條觀光大道貫穿巴塞隆納 Gothic 舊市區，密佈如蜘蛛網的中世紀古街巷道有的只有二、三公尺寬，遍佈著羅馬時代的遺跡，中世紀的哥德式聖堂、大寺院、政府廳舍、大宅院和西班牙最強盛的大航海時代的船行、批發店舖，古意盎然雕刻絕美，跨過街道上的屋頂老橋，走在這巷道中有如走入時光隧道，畢卡索美術館就在老巷道中的古宅裡，稍不注意就可能錯過。Catalunya 廣場以北的新市區的百米大道，兩旁的每棟建築物有不同風格和特色，店面的造形浮雕都極富美術意味。巴塞隆納有名的建築物聖家族教堂是由建築奇才 Gaudi 設計建造的，造形奇特，高聳雲霄的雕塑極品，大不同於歐洲各教堂，雖然已歷經百年以上仍未完成尚在繼續建築中。Gaudi 的建築設計極為奇特怪異，作品富於造形美而曲線柔和，給人的印象極為強烈有如欣賞抽象畫。他設計的教室、公園、宅邸、學院散佈於市區及郊外十數棟，每棟都會令您看得目瞪口呆，稱奇不已。除畢卡索美術館之外，92年舉行奧運會的山丘上有米羅美術館和卡塔尼亞美術館、紀念館、博物館等。巴市誕生不少的美術家，連圍牆上噴漆塗鴉的字和畫都有美術氣味，而非如其他城市胡亂塗鴉

，真是藝術氣息非常濃厚的都市。

離巴市一小時半的郊外就是著名的黃金海岸，別墅林立的塔拉哥那城，這裡不但有羅馬殖民時代遺留下來的競技場、公共建築物，沿岸還有一些魚尾（Y字）形防砂突堤及養灘工程，配合景觀造形美麗，也值得海岸工程師參觀借鏡。

西班牙國民所得約一萬美金出頭與台灣相同，物價也和台灣相似，但社會祥和樂利，不論城市鄉下都環境清潔人民禮貌周到親切，巴塞隆納、馬德里除舊市區外道路都非常寬暢，建築整齊富於藝術而且到處都有美術館和博物館。館內隨處都可看到老師率領小、中、大學生詳細解說，學生認真做筆記或模擬之情景令人心儀，殊非國內師生參觀美術館之冷漠可比。而在來往卡大與市區的電車上大學生也很守秩序，不論市內或郊區都很少垃圾紙屑，更無攤販，雖所得不如西歐各國，但市容、文化毫不遜色，和台灣髒亂、富而無禮，不知保存文化古蹟的社會相比，簡直有如天壤之別。深感我們在文化建設與社會建設之落後，而此種建設又一向為政府所忽視。這種建設比政治建設更不易有成效而且需長久方能見效，亟盼政府能大力推動。生活在居住環境低劣、缺乏祥和、禮貌與秩序，只知爭權奪利的社會，即使有錢又有何值得驕傲、炫耀呢？



公元前一千年羅馬人建造的疏水道

# 台灣四周海域海象測報現況

李汴軍 中央氣象局海象測報中心主任

中央氣象局海象測報中心成立於中華民國八十二年七月一日，從此以後我國就有了一個海象測報業務的專責管理機構。目前中央氣象局所負責的海象業務是指大氣與海洋交界面所觀測到的自然現象，例如波浪、潮汐、海流、海水表面溫度及海面上之風向、風速、氣壓、氣溫等。隨著海象測報中心的成立，各項有關業務及對社會大眾提供的海象測報服務，也將逐年依計畫推展開來。

## (一)波浪測報

當大海的海面呈現高低起伏，產生一種規律的波動，那便是波浪。每當波浪上下振動到最高點時，這一點叫波峰，而那最低點就是波谷。每一個波峰和波谷之間的垂直距離叫波高，兩個相鄰的波峰（或波谷）之間的水平距離為波長；而相鄰的兩波峰（或波谷），經過同一個定點的時間差便是波浪的週期。所謂無風不起浪，風是形成海浪最主要的因素，但以颱風和海嘯產生的巨浪最為可怕。

目前本局在台灣北端的鼻頭角、東部的成功、澎湖的東吉島、以及西南外海的琉球嶼共設置了四個波浪站。觀測的項目包括全波數（在觀測時

間內共出現幾個波），最大波高及其週期（在觀測時間內所出現振幅最大的一個波），1/10最大波平均波高及其週期（將觀測時間內所有的波按振幅大小依序排列，取其前面十分之一振幅較大者的平均值），1/3最大波平均波高及其週期（又稱為指示波高及其週期，乃是取前面三分之一振幅較大者的平均值），以及平均波高及其週期（取所有波的平均值）。這些波浪資料都能即時透過資料傳輸線路顯示在台北中央氣象局海象測報中心的電腦銀幕上，作為隨時監控的憑藉。

中央氣象局同時積極地發展波浪預報模式，使用海水面的預測風場，採用三種波浪預報方法推測未來的風浪分布圖，這些方法是指示波高特性與海面風域性質之SMB法，根據元素波模式之面積風域法，依據波浪能量平衡方程式之第二代波譜法。預定在民國八十四年起，正式發佈波浪預報圖，提供給海上作業漁船、商船、以及休閒遊艇出海的參考。先進的第三代波浪能譜預報模式，將陸續引進測試，以提高風浪預報的準確度，提供一般民眾海上活動更深一層的保障。

## (二)潮汐及暴潮測報

潮汐運動現象是由於天體萬有引力與地球自轉離心力綜合作用的結果，稱為天文潮。由於星體運動有一定的規律性，因此天文潮也是相當規律，在台灣沿海地區每日大致會發生兩次漲退潮現象，但受地形及水深影響時，使潮汐發生不規則變化，因地而異通常有一小時內之誤差。除了天文潮以外，還有因海面大氣壓力及海面風力變化所引起的氣象潮。舉例來說，若海面大氣壓力減少很多，就會對海水產生吸吮作用，使得海面上昇。當颱風過境時，由於氣壓很低、風力很大，此時所引起的氣象潮，常對沿岸地區造成危害，一般稱為暴潮。如正巧發生於天文潮滿潮時，則將造成更高的暴潮位，使得海水侵入陸地，氾濫成災。

目前中央氣象局為觀測台灣沿海的潮汐現象，已分別在西部的淡水、竹圍、新竹、王功、東石，東部的蘇澳、花蓮、成功，再加上離島的澎湖、蘭嶼，共十處設有潮位站，從事每6分鐘海水面高度變化的觀測。另外又收集港務局負責之基隆、台中、安平和高雄港的潮汐資料，也將逐年增設其他沿海潮位站。觀測項目分為每小時的潮位（海水面高度），每日第一與第二次高（或低）潮位與其發生之潮時（發生時間），平均潮位（每日的海水面平均高度），以及最高（或最低）潮位與其發生之潮時等。這些資料大部分已能即時由潮位站傳送至台北中央氣象局海象測報中心。當颱風來臨時，全天候監測台灣四周海水位的變化，對暴潮的警戒更顯得特

別重要。

本局目前已使用依據歷史潮位資料作統計分析推算的「調和分析法」和依據流體動力學方程式構成的「數值模式預報法」來推測未來的潮汐資料，並且在每星期五發佈海岸地區未來一週的潮汐預報，並提供特定報紙刊登，作為民眾從事海上活動的參考。至於暴潮的預報，則使用前述「數值模式預報法」，加入預估的颱風行徑和強度，來推算可能引起的暴潮水位，適時發佈海水倒灌及異常潮位的警報。由於颱風路徑預報可能會有偏差，因此又根據歷史颱風資料，事先計算好兩千種不同行徑及強度的颱風暴潮，存於颱風暴潮資料庫中。在海上颱風警報發佈之後，依颱風可能侵台的方向及強度，由資料庫中立即查出該颱風將在海岸地區引起的異常水位變化，估計可能的受災範圍，以便更早作好防範措施，減少海岸地區生命財產的損失。颱風暴潮資訊同時也是沿海區域開發與海岸工程施工時的重要根據。潮汐及暴潮預報模式和暴潮警報發佈系統都將繼續加以改進，以供應社會大眾的實際需求。

### (三)海流及海水表面溫度測報

中央氣象局目前利用氣象衛星遙測技術，可對台灣四週海域的無雲遮蔽區域，推算海水表面溫度，提供漁民作為相關漁訊的參考。另一方面經由美國氣象局所使用每天全球海水溫度分析值與海上船舶報告海溫值作客

觀分析，提供大範圍海域海水溫度分析圖。由於台灣東邊有黑潮流過，西邊受到台灣海峽地形的影響，周圍海域內的水理相當複雜。未來本局也將發展海流及海水溫度的預報技術，加強對漁民的服務。

#### (四)海象資料庫建立

海象資料與海運、漁業、港灣建設、海洋工程、海洋環保、海上休閒事業、沿海資源開發、地殼變動研究、以及全球氣候變化研究等都息息相關，因此建立台灣四周海域的海象基

本資料實為當務之急。中央氣象局除了現有波浪站和潮位站外，尚有位於離島的海洋氣象站，諸如澎佳嶼、澎湖、東吉島、小琉球和蘭嶼等。未來又計畫建立淺海與深海的海洋氣象漂浮站，沿岸海氣象觀測樁。中央氣象局又積極建立一個海象資料庫來蒐集這些資料以從事海象資料之整合、蒐集、分析、處理、儲存及應用。有關海象資料的品質管制，索引系統之建立，以及應用軟體的開發等都是未來發展的重點，將可提供各界更便捷的海象資訊服務。

# 運用碎形推估海堤長度之探討

吳瑞賢 國立中央大學土木研究所副教授

## 一、前言

本文探討將碎形運用於推估海堤長度的嘗試。吾人在作海堤的長度估算時，其方法可以分為實地量測與利用地圖估算兩種，一般在作工程預算決標時，到實地去量測將會較地圖估算所須之花費高出許多，但利用地圖估算往往因為地圖之比例尺過大，導致海堤長度的估算不夠精確或是所估算的海堤較實際長度短，造成估計工程預算時的錯誤。因此，本文討論如何利用大比例尺之地圖直接推估實際海堤長度，又不會有太大誤差。

自然界物體中，海岸線為一典型具有碎形特性的自然景觀。所謂具有碎形特性即其含有與尺度無關的性質，吾人可利用此一特性，推算大比例尺的地圖所無法展現的細微部分，以符合吾人之需求。

本文首先介紹角規法與角規維度的觀念，並推展一套提升精度的方法，以嘗試推估所需精度之海岸線長度，並以清水地區之海岸線為例，推估清水地區海堤之長度。

## 二、碎形與角規維度

有關碎形發展之應用現今已經被

證實可以應用在具有高度不規則性特徵的自然界物體上，諸如海岸線、河川以及破碎結構（以及毛細管柱）等。這些具有高度不規則性特徵的自然界物體能夠被一個新且不同的方式加以區分與定量化。(Man delbrot, 1983)。而其中一個重要的特徵為其不規則的程度是完全獨立於其尺度，也就是「與尺度無關」的特色。在本次的研究中，將採用碎形維度中的角規維度及角規法加以分析利用。

角規維度(divider dimension)只適用於曲線的描述。在數學上的定義為使用一長度趨近於零的線段蓋滿整段曲線時所需數目與線段長之乘積，亦即所量得曲線總長度與所使用線段長度間的關係。

角規法的應用步驟為每次使用不同開幅長度的角規量得曲線的總長，再將角規開幅及所量得總長度各取對數繪於直角座標圖上，則此雙對數圖稱為理查森圖(Snow, 1989)。求得圖上斜線之斜率 $d_s$ 。則碎形維度，或稱角規維度。其維度值為： $D_s = 1 - d_s$ 。

理查森圖大致呈現一種倒S狀，在倒S形各段各有其所代表之含義，在本文中研究海堤長度，其取捨之部位為在出現不可靠震盪之前端。

### 三、維度與海岸線長度

假設使用大比例尺之地圖於規劃階段中，吾人須了解在二十五萬分之一比例尺的地圖上，每隔 0.2 公尺在實際情況下即代表 50 公尺，然而海堤長度的估算若是以 50 公尺作為最小之估算單位並不切實際，因為如此將會低估海堤長度，而導致工程經費上錯誤的判斷；較合理的估算大約是 10 公尺或 10 公尺以內的精度，但是如此的精度需要高精度的地圖或是到現場量測，否則使用一般地圖來加以估算都會造成極大的誤差。為了省去但現場實地量測的經費與困難，本研究發展了一套提高精度之方法，可在符合碎形條件下提升至所需之精度。

運用碎形提高精度的原理說明如下。首先假設圖一A是所能觀測到最精確且具有碎形特性的海岸線圖形，亦即理想中的最佳資料。但是我們實際上所能得到的資料精度可能只有如圖一B所示，或者降低到如圖一D的精度。但是由圖二可以看出，不論這四種精度如何，其理查森圖皆有著非常明顯的類似性，就是在我們所有興趣的範圍內其線段幾乎是重疊著的，也就是說不管精度如何，只要在一定限度的範圍內，其維度值幾乎是完全相同的。換句話說，可用較差的精度，推求在具有高精度時之海岸線長。

舉例而言，在圖一A中所量得之總長是開幅為  $10^{0.5}\text{m}(3\text{m})$  時所量得之總長，此時量得曲線總長度為  $10^{2.974}\text{m}$  ( $-0.150x - 0.5 + 3.049 = 2.974$ )，即

9419.0m。但假設這不是我們所擁有的資料，我們所擁有的資料是圖一D的資料，即較所需精度模糊 64 倍，此時可用碎形觀念加以推算至所需精度，圖一D之理查森圖中的點群可由  $Y = -0.183X + 3.059$  之公式表示，推求  $10^{0.5}$  之精度時，令  $X = -0.5$ ，則  $Y = -0.183x(-0.5) + 3.059 = 2.968$ ；即由此法推求出當精度增加 64 倍時，即相當於圖一A所示，曲線總長度為  $10^{2.968}\text{cm}$  (9289.7m)。此值較圖一A所量得之總長度 9419.0m 相差 129.3m，換算成百分比只有 1.4% 之誤差，可以算是相當精確。

吾可由較差之精度推求回較高之精度而無問題，自然，也可由目前最高之精度推求更準確的精度，亦即海岸線總長，運用此法只須由理查森圖算出其代表該點群之斜線方程式，再代入欲知之精度，以開幅長代表即可。由此可以克服因精度不足所造成之困擾。此法的原理就是運用了碎形的兩大特色：自我相似性及與尺度無關。

### 四、清水地區海堤長之估算

利用以上發展出之方式，吾可輕易推求出較小開幅時所得之曲線總長，其推求步驟以清水地區海岸線為例，簡述如下：

1. 將所欲量測之海岸線從二十五萬分之一地圖上以數位板數化入電腦（如圖三），在數化時，兩個資料點間的最小差距設為五十公尺（按照

實際尺度)，也就是二十五萬分之一地圖上的 0.2 公釐。在分析時，起始尺度設為一百公尺以避免因資料的精度而影響到分析的結果。

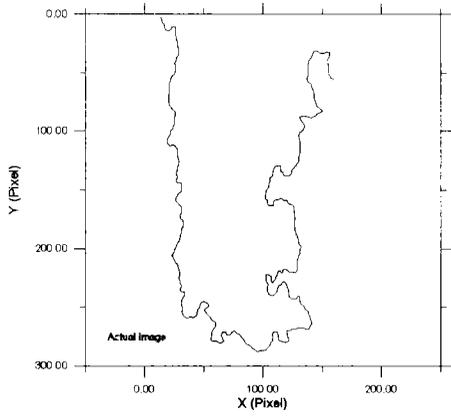
2. 將數化所得之 X, Y 座標點代入程式，計算出理查森圖（如圖四）。可以看出整個圖形是呈現 S 狀。
3. 由理查森圖判斷所應取捨之部分，其取捨方式為由起始尺度一百公尺向右取，直到理查森圖出現不可靠之震盪為止（如圖五），在此例當中，吾取 X 軸之  $X = 2.0 \sim X = 2.6$ 。
4. 找出理查森圖中點群之斜線方程式。在此例當中其趨近之方程式為  $Y = -0.02X + 4.66$ 。
5. 將所欲知之開幅代入該斜線方程式，即可求出該開幅下之曲線總長，亦即吾所預知之海堤長度。在此例中假設所欲知之開幅為 10 公尺，取對數後為 1，代入方程式  $Y = -0.02 \times 1 + 4.66$ ， $Y = 4.64$ 。則該開幅之海岸線長 =  $10^{4.64}$  公尺，即 43651.58 公尺。

## 五、結論

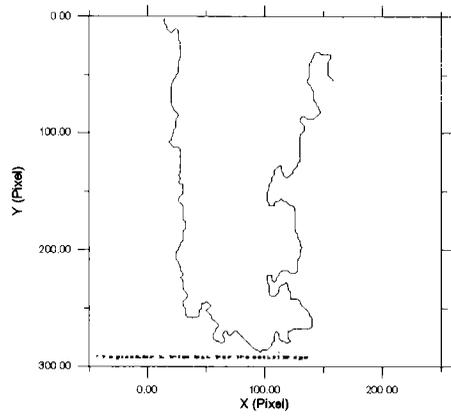
本文為碎形應用在實際工程上之一案例，唯碎形仍是一個極新的觀念，許多細節尚未完全考慮，在此僅提供一個簡易的方式可以由地圖估算所需精度之海堤長度，並希望有實際案例可供日後參考分析。

## 參考文獻

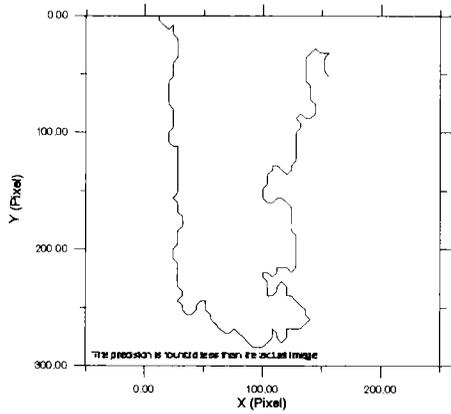
1. 吳瑞賢，碎形法則在分析台灣海岸線維度之探討，港灣報導，1-3, 1993.
2. Mandelbrot, B. B., The Fractal Geometry of Nature, New York: W. H. Freeman, 1983.
3. Snow, R. S., Fractal Simuosity of Stream Channels, in Fractals in Geophysics, edited by C. H. Scholz and B. B. mandelbrot, Basel: Birkhauser Verlag, 99-109, 1989.



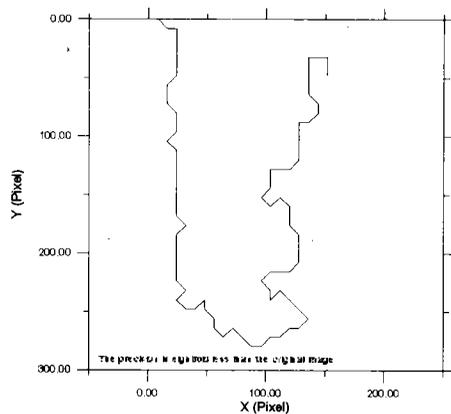
圖一A、最佳精度之海岸線圖



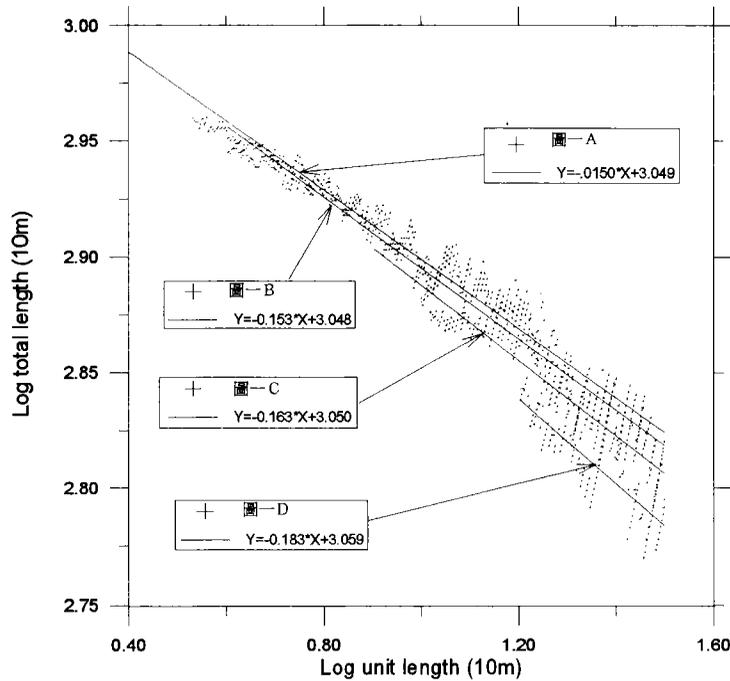
圖一B、較A圖精度差四倍之圖



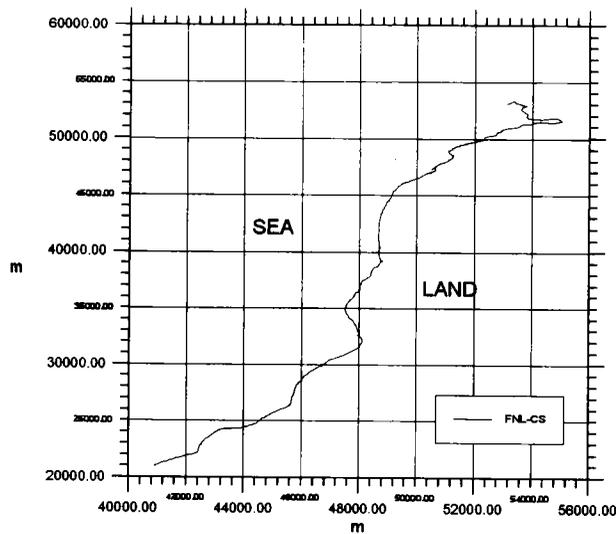
圖一C、較A圖精度差十六倍之圖



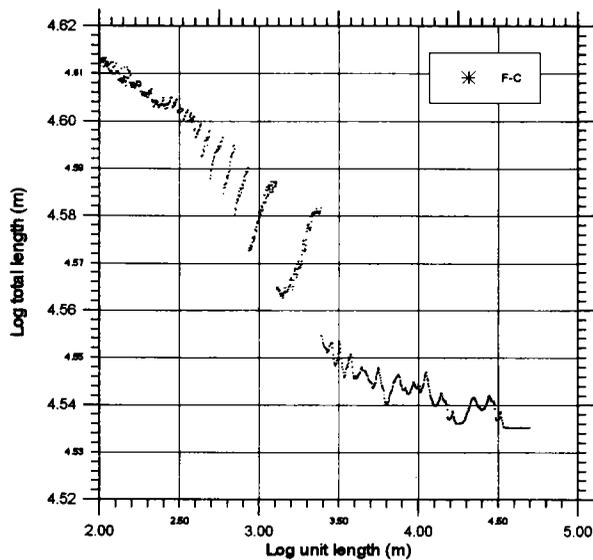
圖一D、較A圖精度差六十四倍之圖



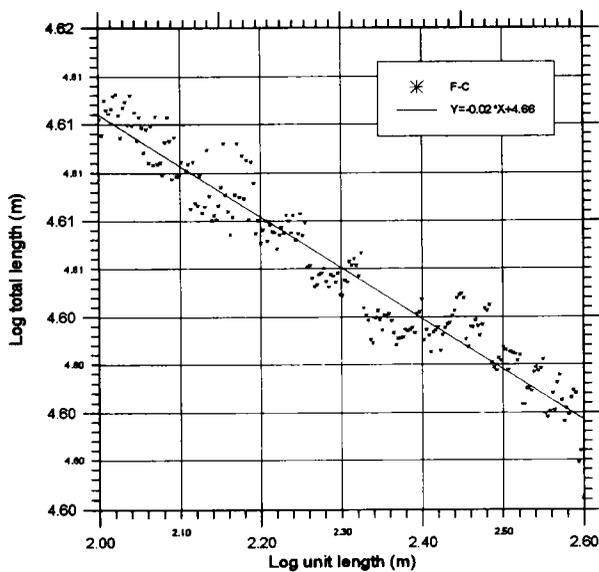
圖二、不同精度下，海岸線之理查森圖



圖三、清水地區海岸線圖



圖四、清水地區之理查森圖



圖五、經過取捨後，清水地區之理查森圖

# 花蓮地區貨櫃運輸報導

許忠雄 花蓮港務局營運課課長

查八十一年度（80.7.1至81.6.30）由花蓮地區經由北迴鐵路運往基隆七堵之貨櫃有七、四八二TEU，其裝運之貨物計有梧桐板，大理石及花崗石製品、石板、紙漿及高級紙等；而由基隆七堵運到花蓮地區之貨櫃有六、四六三TEU，其裝運之貨物計有大理石及花崗石原石、漂白劑、機器等，以上合計一年共有一三、九四五TEU，平均每月有一、一六二TEU（詳如表一）。

## 一、花蓮地區與基隆七堵間之貨櫃運輸成本分析

(一)鐵路運費：依據鐵路局之貨運費率規定，二十呎實櫃每櫃為二、三〇四元（未含稅），二十呎空櫃每櫃為一、八五四元（未含稅）；四十呎實櫃每櫃為四、六〇八元（未含稅），四十呎空櫃每櫃為三、七〇八元（未含稅）。

(二)陸上搬運費：據花蓮宏誠貨運公司告稱：由花蓮地區工廠至花蓮火車站與七堵火車站至七堵貨櫃集散站再運到基隆港貨櫃碼頭止，反之亦同，二十呎貨櫃每櫃為一二、五〇〇元，四十呎貨櫃每櫃為一七、五〇〇元。

三、至於以上經由北迴鐵路運往基隆七堵之貨櫃，均在七堵地區附近之貨櫃集散站內拆、拼以及海關人員驗關，再行拖運到基隆貨櫃碼頭裝船；同時進口將運至花蓮地區之貨櫃亦在七堵附近之貨櫃集散站內拆、拼以及海關人員驗關後，再經由北迴鐵路輸運至花蓮。

四、茲將花蓮地區之貨櫃經由北迴鐵路與經由花蓮港海運之成本比較分析：

(一)花蓮地區之貨櫃經由北迴鐵路之運輸成本：

類別 \ 費用	鐵路運費		陸上搬運費
	實櫃	空櫃	
二十呎貨櫃	二、三〇四元	一、八五四元	一二、五〇〇元
四十呎貨櫃	四、六〇八元	三、七〇八元	一七、五〇〇元

(二)分析

A. 港灣業務費：平均每櫃 (TEU) 負擔116.20元。

1. 碼頭碇泊費：按載運 600 TEU貨櫃輪，其總噸位8,000噸，靠泊二天作業  
 $(16,762 \times 2) \div 600\text{TEU} = 55.87\text{元}$ 。

2. 曳船費：調派1600HP瑞穗號及2400HP壽豐號，進出港各使用1小時。  
 $[(5,423 + 10,846) \times 2] \div 600\text{TEU} = 54.23\text{元}$

3. 帶解纜費：  
 $(454 + 345) \div 600\text{TEU} = 1.4\text{元}$

4. 垃圾清理費：  
 $(375 \times 2) \div 600\text{TEU} = 1.25\text{元}$

5. 引水艇：按進出港各使用 1 小時。  
 $(986 \times 2) \div 600\text{TEU} = 3.29\text{元}$

B. 棧埠業務費：平均二十呎貨櫃負擔1,828元，四十呎貨櫃負擔2,830元。

1. 裝卸費：  
(1) 二十呎貨櫃 (含實櫃及空櫃) 每櫃每次1,023元。

(2) 四十呎貨櫃 (含實櫃及空櫃) 每櫃每次1,612元。

2. 機械使用費：使用堆高機每櫃每次 391 元 (未使用免收)。

3. 場租：

(1) 二十呎貨櫃 (含實櫃及空櫃) 每櫃每日 59 元 (船邊

交提方式免收)。

(2) 四十呎貨櫃 (含實櫃及空櫃) 每櫃每日117元 (船邊交提方式免收)。

4. 碼頭通過費：

(1) 二十呎貨櫃每櫃每次355元 (空櫃免收)。

(2) 四十呎貨櫃每櫃每次710元 (空櫃免收)。

合計以上 A、B 兩項，二十呎貨櫃平均每櫃負擔1,944.2元，四十呎貨櫃平均每櫃負擔2,946.2元。

(三)基於以上分析得知，倘若花蓮地區之貨櫃，經由花蓮港輸出，其負擔費用，依下列情況變化而異：

第一種情況：貨櫃在花蓮港附近之貨櫃集散站內拆、拼並經海關人員驗關後直接經由花蓮港裝運貨櫃輪到卸貨港者，其費用約較經由北迴鐵路運輸到基隆裝船，二十呎貨櫃每櫃可節省約一〇、六三七元「 $(2,304 + 12,500 + 1,944) - 6,111 = 10,637$ 」四十呎貨櫃每櫃可節省約一六、二七五元「 $(4,608 + 17,500 + 2,946) - 8,779 = 16,275$ 」。

第二種情況：貨櫃在花蓮港附近之貨櫃集散站內拆、拼並經海關人員驗關後直接經花蓮港裝運貨櫃輪到基隆港貨櫃碼頭卸下待裝船者，其費用約較經由北迴鐵路運輸到基隆港裝船，二十呎貨櫃每櫃可節省約三、七四九元「 $(2,304 + 12,500 + 1,944) - 12,999 = 3,749$ 」，四十呎貨櫃每櫃可節省

費用 情況	陸上搬運 費(工廠- 花蓮港)	花蓮港 港埠費率 (裝)	海運費 (花蓮- 基隆)	基隆港 埠費率 (裝、卸)	陸上搬運 費(港隆 港-七堵)	合 計		備 註
第一 種 情 況	20呎	4,167	1,944				6,111	1.陸上搬運費計分三階段(工廠至花蓮火車站,七堵火車站至七堵貨櫃集散站,七堵貨櫃集散站至基隆港)每一階段二十呎貨櫃約為4,167元,四十呎貨櫃為5,833元。 2.海運費每櫃平均約3,000元。
	40呎	5,833	2,946				8,779	
第二 種 情 況	20呎	4,167	1,944	3,000	3,888		12,999	
	40呎	5,833	2,946	3,000	5,892		17,671	
第三 種 情 況	20呎	4,167	1,944	3,000	3,888	8,334	21,333	
	40呎	5,833	2,946	3,000	5,892	11,666	29,337	

約七、三八三元「 $(4,608+1,7500+2,946)-17,671=7,383$ 」。

第三種情況：貨櫃在花蓮港附近之貨櫃堆積場存放，直接經花蓮港裝上貨櫃輪轉運至基隆港貨櫃碼頭卸下，拖運到七堵貨櫃集散站內拆、拼、驗關後，再運回基隆港貨櫃碼頭裝船，其費用約較經由北迴鐵路到基隆港裝船，二十呎貨櫃每櫃將增加費用約四、五八五元「 $(2,304+12,500+1,944)-21,333=4,585$ 」。四十呎貨櫃每櫃將增加費用約四、二八三元「 $(4,608+17,500+2,946)-29,337=4,283$ 」。

(四)倘若花蓮地區之貨櫃，適用本港研議「花蓮港貨櫃營運優惠費率」(費率按費率表五折計算)，經由花蓮港輸出，對業者將更加

受益，其情形如下：

第一種情況：二十呎貨櫃每櫃可節省約一一、〇七四元，四十呎貨櫃每櫃可節省約一七、〇〇七元。

第二種情況：二十呎貨櫃每櫃可節省約四、一八六元，四十呎貨櫃每櫃可節省約八、一一五元。  
第三種情況：二十呎貨櫃每櫃將增加費用約四、一四八元，四十呎貨櫃每櫃將增加費用約三、五五一元。

(五)因此，綜觀以上三種情況，花蓮地區之貨櫃要經由花蓮港裝運，對業者而言，第一種情況最佳，其次為第二種情況，而第三種情況，即使花蓮港完全不計收港埠費用亦不可行。

四爲何上述花蓮地區之貨櫃捨棄經由

花蓮港而取道北迴鐵路，探究其原因如下：

- (一)貨櫃船舶噸位增大，以降低航運成本，為節省港埠費用及縮短滯港時間，在台灣地區大都只單靠貨源多且穩固以及裝卸貨櫃設施齊全之港口，如高雄、基隆、台中等港。
- (二)花蓮地區尚未設置貨櫃集散站，以及海關人員不足，以因應進、出口貨櫃之拆、拼與驗關等作業。
- (三)進、出花蓮地區之貨櫃數量有限，平均月進出僅有一、一六二 TEU，而且目的港又零散，時間錯開無法引起航商開關貨櫃輪定期航線之意願。
- (四)花蓮地區貨櫃數量不多，除受地理環境背景，陸路交通不便，未落實「產業東移」外，未設置自

由貿易區抑或加工出區，亦為息息相關。

- (五)綜合以上之調查與分析，花蓮地區之貨櫃經由北迴鐵路輸運較比經由花蓮港進出口成本（除第三種情況外）為高，倘若花蓮地區有業者設置貨櫃集散站，從事貨櫃拆、拼與堆放，並派駐關員驗關等事宜，同時上項貨櫃（出口貨櫃），其時間與目的港亦能較為集中，應可附載於一般貨輪經由花蓮港出口，甚或經由花蓮港以環島航線轉運至基隆、高雄兩港貨櫃碼頭再出口，應屬可行。同時上項貨櫃如能轉由花蓮港進出口，則貨主除可減少貨櫃多階段之搬運貨物受損外，每年亦可節省一筆為數可觀之鐵路運費。

花蓮到七堵（七堵到花蓮）貨櫃運量統計表

附表一

	花 蓮 → 七 堵				七 堵 → 花 蓮			
	20 呎		40 呎		20 呎		40 呎	
	重 櫃	空 櫃	重 櫃	空 櫃	重 櫃	空 櫃	重 櫃	空 櫃
80年 7月	643	20	50	4	242	248	18	13
8月	490	27	57	7	287	163	50	16
9月	573	15	29	2	285	169	12	22
10月	453	7	31	8	246	159	37	12
11月	500	28	47	4	282	160	31	20
12月	506	13	54	0	343	105	40	8
81年 1月	516	16	52	8	448	43	54	3
2月	363	18	30	2	223	116	20	11
3月	428	11	46	6	301	107	37	22
4月	476	16	43	8	267	129	27	20
5月	540	12	57	20	288	173	63	17
6月	564	9	53	1	306	163	29	23
合計	6,052	192	549	70	3,518	1,735	418	187
折合 TEU	6,052	192	1,098	140	3,518	1,735	836	374
合計 TEU	7,482				6,463			

資料來源：花蓮鐵路局

# 微生物處理法之簡介與應用(一)

王奕森 美商環境工程顧問公司顧問

## 摘要

微生物處理法中以細菌為主，亦即到處均存在的微生物的碳氫化合物，並攝取為食物以滋繁殖，也因為細菌的體積微小，故而使之能輕易接觸污染物質，進而分解之。近來美國環保工業一直利用微生物分解（biodegradation）的本能，並配合其他方法如土壤氣體抽氣法，空氣暴氣法等發展成長一些有效的現場土壤/地下水整治的嶄新技術。其成功因素乃視現場之(1)微生物種類(2)污染物質之種類(3)地質與化學條件的配合。

## 一、微生物分程分解作用

在微生物處理（分解）法中，有機污染物質提供(1)碳源予細菌，以助其生長繁殖，概碳乃是構造微生物細胞體的基本元素，(2)電子，依此微生物能攝取能量。細菌往往藉著催化產生能量的化學反應，獲得能源。這些化學反應均涉及一般的氧化-還原反應；在反應中，有機污染物被氧化而放出電子，通常稱為電子捐體（electron donor），而週邊的基質則被還原而成了電子受體（electron acceptor

）。由於在反應中的電子轉移而產生的「能量」及有機體被氧化而分解後的「碳」原子均為細菌所攝取以助其生長及繁殖。如此，污染有機體被氧化（其終端產物為二氧化碳與水），而滋長微生物的發育繁殖。這些電子捐體及電子受體在此姑且稱之為營養基（Substrate）。

微生物處理法中之一主要機制為喜氣呼吸（aerobic respiration）在此機制中以氧化為主要之電子受體，亦即微生物利用氧來氧化在污染有機體中的部分碳而成為「二氧化碳」，且以剩餘的碳原子來製造新的細胞質。在此過程中，氧被還原成「水」，故而作用的產物為二氧化碳、水及細菌數量的增加。

微生物處理法中的另一機制為厭氣呼吸（anaerobic respiration）；在此機制中， $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Fe}^{+3}$ 、 $\text{Mn}^{+4}$ ，甚至二氧化碳均變成了電子受體，並接受污染物質分解時所放出的電子。於是在缺（無）氧狀況下，現場中的無機物就變成了電子受體，此機制的終端產物多為氫氣硫化氫， $\text{Fe}^{+2}$ 、 $\text{Mn}^{+2}$ 及 $\text{CH}_4$ （甲烷），產物的種類視電子受體種類而定。

發酵為另一種缺氧的分解機制。在發酵的過程中，毋須電子受體，因

為有機污染物質本身兼充電子捐體和電子受體，經由一連串之內部電子交換及轉移後，有機污染物質經微生物之催化作用而轉變成一些無害的終端產物，諸如氫氣、二氧化碳及乙酸等，其隨後又被其他不同的微生物分解成二氧化碳、甲烷和水。

有些時候，微生物在使用有機化合物變形 (transform) 過程中 (即由較複雜的碳氫構造轉變為較簡單之碳氫化合物構造)，不能達到效益，此種效益不足的生物變形作用 (bio-transformation) 被稱為次變形作用 (secondary transformation)，而其中一種重要的特例為副新陳代謝 (co-metabolism)，在副新陳代謝機制中，使有機污染物質變形，是一種偶然的酶素催化作用。此作用在微生物本身的新陳代謝或其所造成的減毒作用 (detoxification) 中所引起的。舉例言之，微生物在氧化甲烷 ( $\text{CH}_4$ ) 時所產生特殊的酶素，能分解含氯原子之溶劑，而這些溶劑並不能直接促成微生物的生長與繁殖。在此機制中，甲烷成了主要的電子捐體，因為它是微生物在此作用中的主要食物來源，而溶劑則成為次營養基 (secondary substrate)，因為溶劑並沒有提供「碳」以供微生物成長。除了甲烷外，甲苯 (toluene) 和酚 (phenol) 都曾被用來刺激並促成副新陳代謝作用，以分解含氯的溶劑。

還有一種微生物分解作用—還原性去鹵作用 (Reductive Dechlorination)。這種作用主要為將一些鹵化有機物之毒性減低或去除。在此作用中，

微生物催化—化學作用，促使污染有機物中的鹵原子被氫原子取代，在此作用中，有機污染增加了兩個電子，故稱之為還原性去鹵作用。但在此微生物分解反應中，必須另有一種不含鹵原子之有機物來充當營養基而成為電子捐體，諸如氫、低分子量之有機化合物 (如乙酸、甲醇或葡萄糖等)。此類分解機制並不能促使微生物成長，而僅能降低有機污染之毒性而已。詳細的機制內容還在研究發展中。

微生物分解的養分需求，由於微生物本身主要化學組成約為50%碳；14%氮；3%磷；2%鉀；1%硫；0.2%鐵；及0.5%的鈣、鎂和氯化物，這些元素若缺乏時 (與有機污染體中的碳量相比較)，則可能會影響全面微生物之成長與繁殖，並減低微生物分解的效率。因此，整個微生物處理系統設計，必須顧及適當的養分提供，並依照上述之比例來設計養分供應系統。

在微生物處理法中，微生物分解所造成週邊環境的變化資料，可供評估處理績效之依據之一，其中有賴一些化學變化所造成的產物變化如氧的減少和二氧化碳的增加。更重要的是污染物質的濃度迅速減低或在去鹵作用中，含氯之有機化合物及其分解後之產物濃度變化，均為效率評估依據或線索。尤其在厭氣條件下， $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{Fe}^{+3}$ 、 $\text{Mn}^{+4}$  等的濃度將減低，而 $\text{N}_2$ 、 $\text{H}_2\text{S}$ 、 $\text{Fe}^{+2}$  及  $\text{Mn}^{+2}$  等濃度將會增加，但在喜氣及厭氣條件下， $\text{CO}_2$ 、溶水之  $\text{CO}_2$  或碳酸氫根離子濃度都將增加

## 二、適應

微生物的適應程度亦是微生物處理法評估依據之一，一般來講，微生物暴露在污染物質的初期，均須要一段適應期後，才開始對污染物質發生分解及變形。在適應期內，微生物對週圍生長環境變異刺激而產生酶素成份，特殊微生物之成長數量，及微生物基因的變化，都有待微生物專家的研究。不過專家們皆認為微生物之適應是此處理法中的重要因素，因它肯定了這些分解有機物的微生物之存在性，不但單一的菌體有適應的本能，亦即一些特殊的菌落，也有其適應的特性。它們可能由分解有機物上演化成一種「共生」的獨特關係。尤其在厭氣條件下，一種菌體可能分解部份之有機污染體，而另一類菌體繼而將之完全分解。

另一項微生物分解之效率評估根據為單細胞動物之數量增加。由於單細胞動物為最普通之細菌攝食者；當它的數量增加時，即代表足夠微生物菌數成長，以分解大量的有機污染體。

## 三、影響因素

微生物之分解機制中，尚有些微生物新陳代謝之詳細過程未為人知，成功的微生物處理法應用實非一件簡單的事。其中有些主要而複雜因素，諸如不可攝取之有機體，有機體對微

生物之毒性，微生物攝食（分解）有機物之優先性，造成有害（高毒性）之中間產物，有機物之分解低限，過量菌落之形成而造成地層孔隙堵塞。

- 不可攝取之污染有機物多半發生在污染有機物溶在非水相（non-aqueous phase liquid）液體中，或頑強的吸附在土壤顆粒的表面，或陷在微小的孔隙中，而無法隨地下水飄移者，均未能破微生物攝取而分解。此種現象大都發生在地下水整治的末期。此現象的解決方法，通常加入添加劑而增加有機污染物的流動性，使之再次溶於水中，而被分解。此類添加劑的使用，須注意是否影響對有機污染物的物性及化性之改變和影響微生物之活性。
- 活性介面劑為一常用之添加劑，它減低了有機污染體的表面張力，而增加它的擴散能力以供分解。但當大量使用活性介面劑時，它常形成一膠狀體將有機污染體包覆其中，反而造成分解的困難。有時微生物本身亦能產生類似活性介面劑的物質稱之為「生物活性介面質（bio-surfactant）」，藉以幫助釋放陷住之有機污染體。在此種作用中，微生物通常只是幫助有機污染體之流動性，而非對之分解。
- 有機污染體對微生物之毒性常見於高濃度之有機污染體的存在。蓋於高濃度時，有些化學物質，對微生物具有毒性，而抑制微生物之分解功能。甚至有些有機物在低濃度時亦對微生物分解有抑制作用。毒性不但降低或扼止微生物的新陳代謝

- ，並且阻礙微生物之成長和繁殖。
- 當一場址為多種有機物所污染時，微生物常常選擇較易分解或能提供更多能之有機物，先行分解。此種複雜的機制，可能促成微生物在分解的過程中對某些碳氮化合物忽略而造成整治上的不完全。但多種有機物混合一起時，並非一定造成整治上的阻礙。有時當菌落成長後，對一種有機物攻擊後，再行對另一種有機物分解，而後者如果在其單一存在的狀況下，可能會因濃度過低，而不能幫助微生物成長。
  - 不完全分解時，亦可帶來整治上的困擾，尤其當微生物分解某一有機物時，而造成較具毒性的中間產物。此現象可能發生在副新陳代謝過程中，微生物所分泌的酶不能使此偶然發生變形後的產物再分解。
  - 微生物有時不能在低濃度之有機物中進行分解，即使在適當的周圍環境中亦如此。實因微生物的分解功能於低濃度的有機物中已停止或不具經濟效益。當此現發生時，環保生物專家曾建議引入（加入）一些外來的微生物來控制或調整現場微生物之基因特徵，進而克服此類困難。
  - 刺激微生物成長，並肯定迅速的分解速率是現場微生物處理法的目標，然而過量的微生物成長，可能造成微生物聚積現象而引起地層孔隙堵塞，因而妨礙養分輸送，並且限制了現場的分解作用，單細胞攝食微生物可能改善此堵塞現象。另有其他兩種方法可減低孔隙堵塞的機

率：(1)進行養分（Nutrients）與營養基（Substrate）之交互輸送；(2)添加過氧化氫以消除過量的菌落，並提供氧做為微生物分解過程中的電子受體。

#### 四、結語

一個現場的整治是否適用微生物處理法，不僅要看污染物質的被分解趨勢程度，並且還要看場址的地質和化學特徵而定。但理想的場址往往不可得。且每一場址均有其獨特的性質，可能含有錯綜複雜的環境條件，諸如土壤種類、地質岩性、及地下水之化性，它們不僅在各個場址有不同的特性，甚至在同一場址內，亦不相同的。故而一套整治計劃常隨著資料及數據的增加而經常修改。尤其是受多種有機物污染的場址，微生物多不可能將不同的有機污染物全部同時分解，蓋有些碳氮化合物僅在厭氧環境下才能被分解，而有些碳氮化合物則在喜氧的狀況下才被分解，在此情形下，整治的計劃與決策將面臨困難。

# 水壓錐消散試驗推估土層壓密特性之應用

謝明志 港研所副研究員

## 一、前言

地盤下陷所引起之各種災害，為國內近年來防災工程之熱門話題，舉凡台北盆地、雲林、嘉義、屏東沿海地區，皆因地盤下陷，每遇豪雨即積水成災，甚或海水倒灌，造成生命財產莫大的損害。而地盤下陷的主要原因，乃因土壤受到壓力，使土壤內之孔隙水逐漸排出，體積發生變化，產生土壤壓密現象，導致地層表面發生沉陷變形。目前國內對土壤壓密沉陷特性的研究，大都採取土樣帶回室內做壓密或透水試驗，而很少有直接的現地試驗。

圓錐貫入試驗（CPT）是目前土壤現地試驗最精密的方法之一。不僅人為誤差極小，且可求得土層剖面的連續資料，對土壤層次及工程性質的研判具有極佳的效果，尤其在錐頭加裝量測孔隙水壓的感應裝置（即水壓錐）後，更可求到許多實驗室裡很難得到的參數。當水壓錐貫入飽和黏土層時，會引起孔隙水壓的增加，而停住水壓錐不再貫入後，孔隙水壓會逐漸消散，直至靜水壓力為止。利用此種特性，我們可探討土層受壓時，內部孔隙水壓的變化行為，而推求土壤的壓密及透水性質。本計劃於雲林地

區，利用荷式貫入儀，以靜態壓力將水壓錐頭貫入土層，進行消散試驗，再利用 Baligh & Levadoux (1986) 的方法推估土層壓密特性。另於現地鑽取不擾動土樣，於室內進行壓密試驗，建立消散試驗推估沉陷特性的方法。

## 二、研究內容與方法

當圓錐貫入黏土層中，會使錐頭週圍的土壤產生變形，引起土壤有效應力和孔隙水壓力的變化。當貫入停止後，理想中土層會逐漸恢復應力平衡狀態，在這恢復過程中，最容易用儀器量測得到的一個參數，就是孔隙水壓力的變化。因此，在貫入儀的錐頭，加裝量測孔隙水壓的元件，並於試驗中突然停止貫入，來觀測增額孔隙水壓（excess pore pressure）隨時間的消退，可獲得壓密係數的近似值。此種兼具量測水壓功能的貫入錐，稱為水壓錐（piezocone），而此種量測水壓變化的試驗，稱為消散試驗（dissipation test）。利用圓錐貫入儀（conepenetrometer）所實施的消散試驗，可隨深度的變化連續操作，因此可取得連續深度的沉陷特性，是一個具有高度效率的試驗工具。Baligh &

Levadoux (1986) 建議，以下列試驗性的步驟，可從水壓錐消散試驗來推求壓密係數：

1. 消散曲線的正規化

首先，將消散紀錄按照下式作正規化處理，再將處理後的值對照對數時間點繪於圖上

$$\bar{u} = \frac{u - u_0}{u_i - u_0} \dots \dots \dots (2-1)$$

式中  $\bar{u}$ ：表時間t時正規化的增額孔隙水壓  
 $u_0$ ：表靜水壓。  
 $u_i$ ：表起始（或貫入時）孔隙水壓（即在t=0時）。  
 $u$ ：表在時間t時所量測到的孔隙水壓。

通常， $\bar{u}$ 會單純地從1（當t=0）降到0（當t趨近無限大時）。

2. 試驗紀錄的篩選

由於高度的土壤變異性或是不正確的試驗操作，會引起不正常的消散紀錄，而去辨認和刪除這些不正常的消散紀錄，在推估過程中是一個很重要的步驟，通常，這是需要敏銳的判斷力及一些經驗。不正常的紀錄大都

具有下列特性：

- (i) 太高（或太低）的起始孔隙水壓  $u_i$ ，此現象可以由貫入時的孔隙水壓對深度的關係圖中很容易地偵查到。
- (ii) 在貫入停止後約10秒，孔隙水壓（或  $u$ ）是否會有不規則的波動或是持續地增高。若有，則為不正常現象。對於這些不正常現象，消散紀錄必須予以刪除。

3. 水壓錐側向壓密係數  $C_h$  (piezocone) 的推估

在一個特定的壓密度之下，水壓錐側向壓密係數的預測值可以由 Torstensson 的公式獲得，即

$$C_h(\text{piezocone}) = \frac{R^2 T}{t} \dots \dots \dots (2-2)$$

式中  $C_h(\text{piezocone})$ ：為水壓錐側向壓密係數  
 $T$ ：為某一壓密度（通常採用50%）下之時間因子  
 $t$ ：達到與該壓密度相對應的孔隙水壓消散之處的測量時間。  
 $R$ ：相對的孔穴半徑。

表1 波士頓藍黏土層時間因子的預測值

錐尖角	透水石位置	壓 密 度 %				
		20	40	50	60	80
60°	錐尖	0.44	19	37	6.5	27
60°	錐頭基座	0.69	3.0	5.6	10	39
60°	錐桿	7.3	22	33	47	114
18°	錐尖	0.064	0.50	1.4	3.6	24
18°	錐尖斜面	0.52	2.6	4.7	8.2	34
18°	錐頭基座	1.8	6.2	10	17	53
18°	錐桿	5.9	16	25	37	86

此時，相對的孔穴半徑R係指圓錐的半徑，表1提供了不同的密度下，不同圓錐型態的時間因子T之值，其中壓密度的定義為 $(1-\bar{u}) \cdot 100\%$ ，

Levadoux & Baligh (1986) 依據消散數據來討論壓密係數的型態，建議由水壓錐得到的 $C_h$ 應該被用在基礎問題上，這些問題包含黏土層的解壓或再壓(須大於過去最大壓力)所引起的側向水流，即由水壓錐直接推得的 $C_h$ 值非常接近過壓密狀況下的 $C_h$ 值。

對於在過壓密範圍內的軸向水流問題，軸向壓密係數 $C_v$ 可以由下式估算：

$$C_v(\text{piezocone}) = \frac{K_v}{K_h} C_h(\text{piezocone}) \dots\dots\dots(2-3)$$

式中  $K_v$ ：軸向滲透係數  
 $K_h$ ：側向滲透係數

因為土樣大小、土樣擾動等影響，可信賴的 $K_h/K_v$ 比值很難在實驗室求得，而現地試驗要決定 $K_h/K_v$ 值也幾乎不存在，表2提供了不同黏土的 $K_h/K_v$ 粗略估計值。

表2 土層特性與經驗關係  
(取自Baligh, 1986)

黏土層特性	$K_h/K_v$
無分層跡象	$1.2 \pm 0.2$
輕微分層	2~5
美國東北部的多變黏土層	$10 \pm 5$

4. 本推估方法的可用性：

當一個新地點第一次實施消散試

驗時，去驗證這個推估方法是否可用是很重要的，即需驗證線性無關聯分析的確性，以及正規化增額孔隙水壓的初始分佈。這方面可經由表2-1內的值來計算各個壓密度下的 $C_h$ 值，如果在不同的壓密度 $(1-\bar{u})$ 之下， $C_h$ 值有很大的差異，則表示本推估方法不適用，這可能是由於不尋常的增額孔隙水壓之起始分佈、顯著的關聯性( $\sigma_v$ 與 $u$ 之間的)、潛變影響或其它因素所造成的。

5. 水壓錐側向滲透係數  $K_h(\text{piezocone})$  的推估

壓密係數正比於透水性對壓縮性的比，對側向滲透係數 $K_h$ 值的粗略推估，可由下式獲得：

$$K_h(\text{piezocone}) = \frac{r_w}{2.3 \bar{\sigma}_v} \cdot RR(\text{piezocone}) \cdot C_h(\text{piezocone}) \dots\dots\dots(2-4)$$

式中  $\bar{\sigma}_v$ ：初始的垂直有效應力 (kg/cm<sup>2</sup>)  
 $r_w$ ：水的單位重(10<sup>-3</sup>kg/cm<sup>3</sup>)  
RR(piezocone)：水壓錐周圍控制消散的再壓縮比

再壓縮比RR表示再壓過程中，每一有效應力對數循環的應變量，可以由室內的壓密試驗求出。在波士頓藍黏土層(BBC)的應用上，RR通常介於 $0.5 \times 10^2$ 到 $2 \times 10^2$ 之間，平均值為 $1 \times 10^2$ 。

6. 常態壓密下軸向壓密係數 $C_v(\text{NC})$ 的推估

對常態壓密範圍內的基礎黏土層

，其壓密係數可由  $C_h(\text{piezocone})$  求得：

側向壓密係數：

$$C_h(\text{NC}) = \frac{RR(\text{piezocone})}{CR} \cdot C_h(\text{piezocone}) \dots \dots \dots (2-5)$$

軸向壓密係數：

$$C_v(\text{NC}) = \frac{RR(\text{piezocone})}{CR} \cdot \frac{K_v}{K_h} \cdot C_h(\text{piezocone}) \dots \dots \dots (2-6)$$

式中，壓縮比 CR 為壓縮應變對映對數有效應力的平均斜率，可由室內試驗得到，也可由壓縮指數  $C_c$  來推求[6]，即  $CR = C_c / (1 + e_0)$ ，其中  $e_0$  為初始孔隙比。

### 三、結果與討論

本研究試驗地點，在雲林縣口湖鄉梧南村之宜梧國中，試驗深度達 53 公尺，水壓錐貫入試驗結果如圖 1 所示，依據本所多年之經驗，特繪出土層分佈於該圖上。

按上一節的方法，將消散記錄正規化後，對照對數時間點繪於圖上，可看出一般的消散曲線，在停止貫入後，水壓力會稍微上揚至某一最高點，然後壓力才逐漸消散，依據三向度的彈性應力分佈理論，通常土壤壓密過程在開始時，會有一段時間的不排水應變階段，在此階段土壤因來不及

排水，其孔隙水因承受外來的荷重會導致水壓力增高，該階段之應力—應變關係為彈性關係，此階段的沉陷量稱為不排水沉陷 (undrained settlement)。過此階段後土壤開始排水，才進入主要壓密階段。

由此推測，消散曲線由起始點到接近最高點時為荷重初期來不及排水之階段，其體積之變形為應力—應變之彈性關係，而不是壓密—排水之變形關係，所以不應以壓密行為來考慮，曲線接近孔隙水壓之最高點時，土壤視為開始排水，土壤體積變化為壓密—排水之關係，為進入壓密行為之主要壓密階段。故我們考慮，以所激發之孔隙水壓之最高點為壓密階段之起始點，重新繪製消散曲線圖，來探討現地水壓消散與壓密行為的關係。

我們取宜梧地區深度 34.15 公尺之消散數據為例來分析：該深度水壓錐消散試驗之修正結果，如圖 2 所示。取消散 20%，40%，50%，60%，80% 之時間，以 Baligh 之方法推算，得水壓錐側向壓密係數為：

$$\text{消散 } 20\% , C_h(\text{piezocone}) = (1.784)^2 \times 0.69/35 = 0.063 (\text{cm}^2/\text{sec})$$

$$\text{消散 } 40\% , C_h(\text{piezocone}) = (1.784)^2 \times 3.0/79 = 0.121$$

$$\text{消散 } 50\% , C_h(\text{piezocone}) = (1.784)^2 \times 5.6/113 = 0.158$$

$$\text{消散 } 60\% , C_h(\text{piezocone}) = (1.784)^2 \times 10/157 = 0.203$$

$$\text{消散 } 80\% , C_h(\text{piezocone}) = (1.784)^2 \times 39/307 = 0.404$$

該深度之薄管土樣，經 Rowe-cell 壓密儀實施水平剛性向外排水試驗之

結果，在應力  $4\text{kg/cm}^2$  增至  $8\text{kg/cm}^2$  之階段，此時消散 50% 的側向壓密係數  $C_v = 0.16\text{cm}^2/\text{sec}$ ，此與現地水壓錐消散試驗所得的結果接極近。

再求正常壓密狀態下的垂直壓密係數  $C_v(\text{NC})$ 。由圖 3 室內壓密試驗結果，得知：

$$\text{原始壓縮指數：} C_c = -(0.401 - 0.525) / \log(3098/774) = 0.21$$

$$\text{原始壓縮指數：} CR = C_c / (1 + e_0) = 0.21 / (1 + 0.709) = 0.123$$

$$\text{再壓之壓縮指數：} C_{c_r} = -(0.401 - 0.451) / \log(3098/60) = 0.029$$

$$\text{再壓之壓密比：} RR = C_{c_r} / (1 + e_0) = 0.029 / (1 + 0.709) = 0.017$$

深度 34 公尺之黏土層較薄，可視為輕微分層而取  $K_v/K_h = 3.5$ ，故常態壓密下的軸向壓密係數  $C_v(\text{NC})$  可以 2-6 式來推求：

$$\text{消散 20\% 時，} C_v(\text{NC}) = (0.017/0.123)$$

$$\times (1/3.5) \times 0.063 = 0.0025(\text{cm}^2/\text{sec})$$

$$\text{消散 40\% 時，} C_v(\text{NC}) = (0.017/0.123)$$

$$\times (1/3.5) \times 0.121 = 0.0048(\text{cm}^2/\text{sec})$$

$$\text{消散 50\% 時，} C_v(\text{NC}) = (0.017/0.123)$$

$$\times (1/3.5) \times 0.158 = 0.0063(\text{cm}^2/\text{sec})$$

$$\text{消散 60\% 時，} C_v(\text{NC}) = (0.017/0.123)$$

$$\times (1/3.5) \times 0.203 = 0.0081(\text{cm}^2/\text{sec})$$

$$\text{消散 80\% 時，} C_v(\text{NC}) = (0.017/0.123)$$

$$\times (1/3.5) \times 0.404 = 0.0161(\text{cm}^2/\text{sec})$$

而依據室內壓密試驗結果（圖 3），該深度壓力下之  $C_v$  值為  $35.43\text{m}^2/\text{year} \doteq 0.0112\text{cm}^2/\text{sec}$ ，得知 Baligh 方法推估結果與壓密試驗結果極接近。

今以此推估方法，將宜梧地區現地水壓力消散試驗推估值隨深度點繪於圖上，再與室內壓密試驗結果相比

較。圖 4 為側向壓密係數之推估值與 Rowe-cell 側向排水試驗值之對照，可發現這兩個值極為接近。圖 4 為側向壓密係數之推估與 Rowe-cell 側向排水試驗值之對照，可發現這兩個值極為接近，但在深度 50 到 55 公尺處的黏土層，Rowe-cell 所得之值卻有兩點高出水壓錐  $C_v$  值約 10 倍。推測其可能原因有：(i) 室內試驗剛好取樣到較具沉泥性的薄夾層，故透水性較高。或(ii) 該兩點之土樣，可能因採樣或搬運，產生擾動而破裂，故透水性大為提高。

圖 5 為軸向壓密係數推估值與傳統單向度壓密試驗值之比較，可發現這兩個值也極接近，但也有一點約 3 倍高於推估值，其原因可能與上述  $C_v$  值中有兩點偏高之原因類似。

#### 四、結論

- (1) 宜梧地區  $C_v(\text{piezocone})$  之值，極接近在應力 3 到  $8\text{Kg/cm}^2$  間  $Ch(\text{Rowe-cell})$  之值，該應力反應出其過壓密比 OCR 的變化約在 3 到 1 之間。故可知該土層在圓錐貫入時，會使  $\text{OCR} = 1$  的黏土層產生  $\text{OCR} = 3$  的解壓現象，也看出孔隙水壓的消散，是在土壤解壓到再壓（OCR 由 3 到 1）的過壓密範圍內發生。故消散試驗所得之  $C_v$  值，為過壓密 OC 狀態下的  $C_v$  值。此點也是 Baligh 對 Torstensson 理論所提出的重要修正之一。
- (2) 宜梧地區深度 50 公尺的黏土層， $C_v(\text{piezocone}) = 0.03\text{cm}^2/\text{sec}$ ，而 Rowe-cell 所得之值與水壓錐推算結果很接近，但卻有兩點高出水壓錐  $C_v$  值約

10倍。推測其可能原因有：(i)室內試驗剛好取樣到較具沉泥性的薄夾層，故透水性較高。或(ii)該兩點之土樣，可能因採樣或搬運，產生擾動而破裂，故透水性大為提高。

(3)宜梧地區深度50公尺處的黏土層，消散試驗所得的 $C_v(NC)$ 值=0.003  $\text{cm}^2/\text{sec}$ ，而傳統的單向度壓密試驗值也有一點稍高於推估值（約3倍），其原因可能結論(3)之原因類似

。而其它室內外試驗結果都很接近。

(4)由試驗結果，可發現以 Baligh & Levaloux (1986) 之方法推估土層側向與軸向壓密係數適用於宜梧地區的黏土層，而良好的現地方法其推估值會比室內方法更為可靠。最穩妥的做法是室內外試驗皆實施，可相互比較而確證。

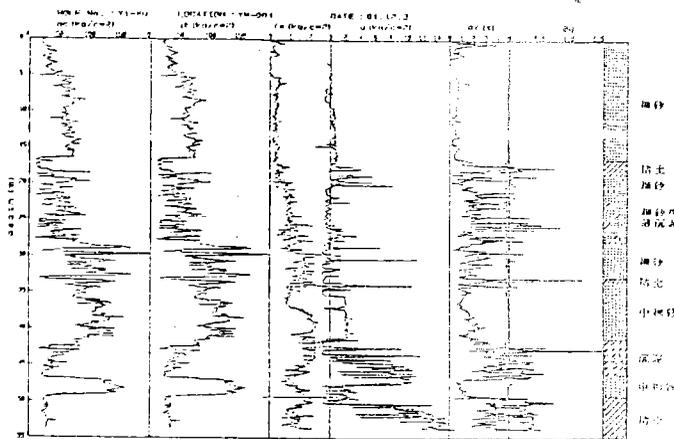


圖 1 雲林宜梧水壓錐貫入試驗結果及土層分佈

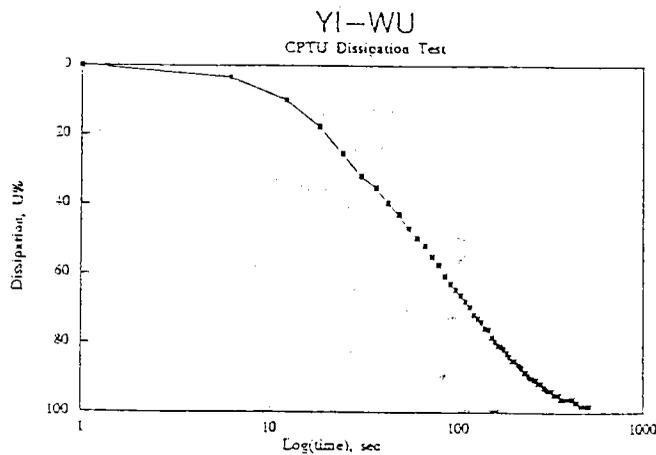


圖 2 宜梧黏土層水壓錐消散試驗修正曲線

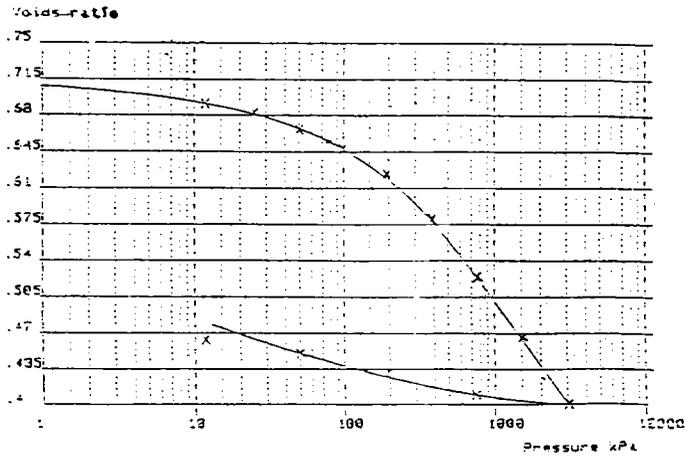


圖 3 宜梧黏土層單向度壓密試驗結果孔隙比—對數壓力曲線圖

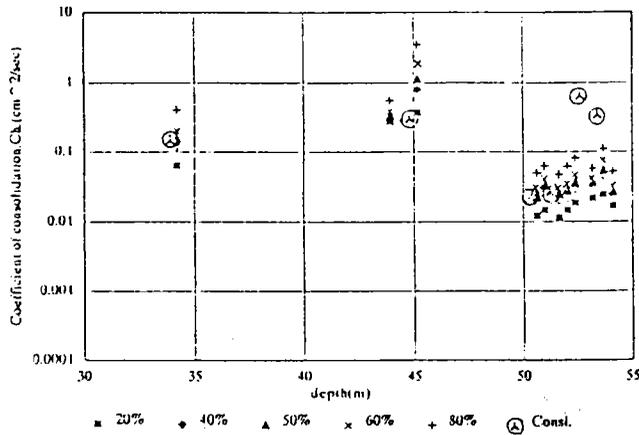


圖 4 水壓消散試驗側向壓密係數推估值與Rowe-cell側向排水試驗值之比較

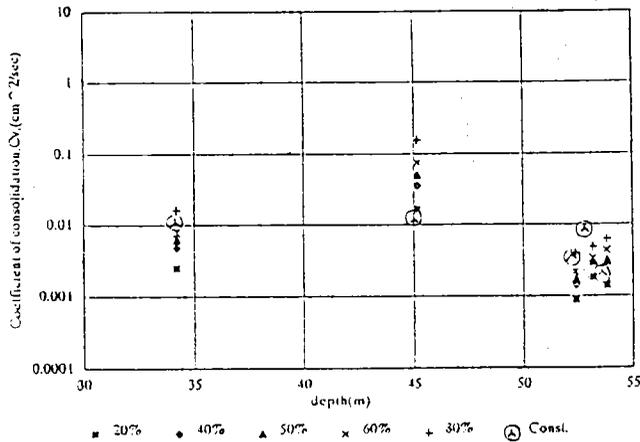


圖 5 水壓消散試驗軸向壓密係數推估值與傳統單向度壓密試驗值之比較