

92-26-742

MOTC-IOT-IHMT-91-HB12

# 高雄海域漂沙特性現場調查 及數值模擬研究(1/2)



交通部運輸研究所  
國立台灣大學  
合作辦理

中華民國九十二年三月

92-26-742

MOTC-IOT-IHMT-91-HB12

# 高雄海域漂沙特性現場調查 及數值模擬研究(1/2)

著者：楊德良、蔡丁貴、蘇青和  
吳南靖、王鄭翰

交通部運輸研究所  
國立台灣大學  
合作辦理

中華民國九十二年三月

高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究  
(1/2)

交通部運輸研究所

GPN : 1009200886  
定價 200 元

高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究(1/2)

著 者：楊德良、蔡丁貴、蘇青和、吳南靖、王鄭翰

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：台北市敦化北路 240 號

網 址：[www.iot.gov.tw](http://www.iot.gov.tw)

電 話：(02)23496789

出版年月：中華民國九十二年三月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

三民書局重南店：台北市重慶南路一段 61 號 4 樓•電話：(02)23617511

三民書局復北店：台北市復興北路 386 號 4 樓•電話：(02)25006600

國家書坊台視總店：台北市八德路三段 10 號 B1•電話：(02)25787542

五南文化廣場：台中市中山路 2 號 B1•電話：(04)22260330

新進圖書廣場：彰化市光復路 177 號•電話：(04)7252792

青年書局：高雄市青年一路 141 號 3 樓•電話：(07)3324910

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

|   |                         |   |  |
|---|-------------------------|---|--|
| <b>出版品名稱：高雄海域漂沙特性現場調查及數值模擬研究(1/2)</b>   |                         |   |  |
| 國際標準書號（或叢刊號）  | 政府出版品統一編號<br>1009200886 | 運輸研究所出版品編號<br>92-26-742   | 計畫編號<br>91-HB12  |
| 本所主辦單位：港研中心<br>主管：邱永芳<br>計畫主持人：蘇青和<br>研究人員：莊文傑、江中權<br>聯絡電話：04-26587115<br>傳真號碼：04-26571329  |                         | 合作研究單位：國立台灣大學<br>計畫主持人：楊德良、蔡丁貴<br>研究人員：吳南靖、王鄭翰、許正一<br>陳景川、張嘉琪、孫蓓青<br>地址：台北市羅斯福四段一號<br>聯絡電話：02-23630231~2048 |  |
| 研究期間<br>自 91 年 2 月<br>至 91 年 10 月   |                         |   |  |
| <b>關鍵詞：高雄海域、漂沙、現場調查、數值模擬</b>  |                         |   |  |
| <b>摘要：</b><br><br><p>本計畫為二年合作計畫，主要分成兩部分。其一是高雄地區海域漂沙現場調查，另一部分是此地海域漂沙的數值模擬。第一部分由國立台灣大學土木工程學研究所執行，另一部分由交通部運輸研究所港灣技術研究中心執行。本年度為本計畫之第一年。</p> <p>依據由其他相關計畫之流場調查成果及本計畫之數值模擬成果，本研究範圍內之流場主要包含潮流、恆流及颱風暴潮流等三部分。潮流之流速最大約 1 節，沿著海岸作週期性反覆流動。另數值模擬結果顯示研究範圍內流場特性在計算區各處均相當相似。經長時間之觀測資料分析，恆流可由流速向量之累加計算而得，其量雖小，但因經常性地作用，可能是驅動漂沙因素之一。另一個造成漂沙之因素則為颱風，颱風來襲期間大浪可造成海岸水下地形急劇變動，然而颱風作用非經常性、複雜且充滿不確定性，颱風期間波浪或水流之量測又難以進行，使得颱風驅動漂沙之數值模擬印證工作相當困難。儘管如此，本計畫仍進行各種流場之數值模擬，並獲得合理之結果。</p> <p>由兩次現場調查的粒徑分析結果，高屏溪裡及海灘上的砂粒較二仁溪裡的粗，且粒徑分佈特性差異極大。由礦物分析成果，高屏溪裡及海灘上之沉積物含較高成份的綠泥石，其他河川裡的沉積物綠泥石之含量則較少。顯示本研究範圍內之海灘沉積物，來自於高屏溪之可能性較其他河川高。</p> |                         |   |  |
| <b>出版日期</b>   | <b>頁數</b>               | <b>定價</b>   | <b>本 出 版 品 取 得 方 式</b>                                       |
| 92 年 3 月  | 274                     | 200   | 凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價購買。 |
| <b>機密等級：</b><br>限閱    機密    極機密    絕對機密<br><input checked="" type="checkbox"/> 普通   |                         |   |  |
| 備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。  |                         |   |  |

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

|  |  |                                |  |
|--|--|--------------------------------|--|
| <b>TITLE: Field Investigation and Numerical Simulations on Sediment Transport in Kaohsiung Coastal Area(1/2)</b>   |  |                                |  |
| ISBN(OR ISSN)  | GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER<br>1009200886 | IOT SERIAL NUMBER<br>92-26-742 | PROJECT NUMBER<br>91-HB12  |
| DIVISION: Center of Harbor & Marine Technology<br>DIVISION CHIEF: Chiu Yung-Fang<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Ching-Ho Su<br>PROJECT STAFF: Wang Chi<br>PHONE: (04)26587115<br>FAX: (04)26571329   |  |                                | PROJECT PERIOD<br><br>FROM 02/2002<br>TO 10/2002   |
| RESEARCH AGENCY: Department of Civil Engineering National Taiwan University<br>PRINCIPAL INVESTIGATOR: Der-Liang Young, Ting-Kuei Tsay<br>PROJECT STAFF: Nan-Jing Wu, John Wang, Zeng-Yei HSEU, Jiing-Chuan Chern, Chia-chi Chang, Pei-Ching Sun<br>ADDRESS: 1 Roosevelt Road, Sec. 4, Taipei, Taiwan<br>PHONE: 884-2-23630231 ext 2408  |  |                                |  |
| KEY WORDS:<br><b>Kaohsiung Coastal Area ; Sediment Transport ; Field Investigation ; Numerical Simulations</b>   |  |                                |  |
| ABSTRACT:<br><br><p>This is a two-year collaborative project, mainly consisting of two parts. One is field investigation on sediment transport along Kaohsiung coasts. The other is Numerical Simulation on sediment transport in Kaohsiung coastal area. The first part is performed by the Department of Civil Engineering, National Taiwan University, and the other one is performed by the Center of Harbor &amp; Marine Technology, Institute of Transportation. This is the final report of the first year.</p> <p>According to the results of field observation quoted in other relative reports and our numerical simulation, the major part of flow in this area is due to the effect of tides, currents and typhoons. The tidal current, whose maximum magnitude is about 1 nautical mile per hour, is periodic and mainly flows along the coastal line. The result of numerical simulation shows that the variation of tidal current among the space is little. After a long-term simulation or observation, the direction and magnitude of permanent current can be obtained. Though the magnitude is relatively small, it acts on the field constantly, and is suspected to be one of the driving forces raising the sediment to move. Typhoon is another force that causes the sediment transport. As the phenomena of typhoon is complex, and the waves during typhoon seasons are extremely high, the simulation or observation of typhoon effect to the sediments becomes much more difficult. Nevertheless, the simulation of the long-shore current driven by typhoon is performed in this project, and has a reasonable result.</p> <p>According to the result of the grain size analysis and mineral component analysis, the sands on the beach in Kaohsiung coastal area and in Koaping River are similar to each other and worse than those in Ernjen River. And, the silts on the beach in Kaohsiung coastal area and in Koaping River contain more chlorite than those in other rivers. That is, the sediments along the beach in interesting area are much more likely to be moved from Koaping River than from others.</p> |  |                                |  |
| DATE OF PUBLICATION<br><br>March 2003  | NUMBER OF PAGES<br><br>274                   | PRICE<br><br>200               | CLASSIFICATION<br>SECRET<br>CONFIDENTIAL<br><input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED |
| The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.  |  |                                |  |

# 目錄

|                         |      |     |
|-------------------------|------|-----|
| 中文摘要                    | I    |     |
| 英文摘要                    | II   |     |
| 目錄                      | III  |     |
| 表目錄                     | IV   |     |
| 圖目錄                     | V    |     |
| 第一章 前言                  |      |     |
| 1.1 計畫緣起                | 1-1  |     |
| 1.2 相關文獻回顧              | 1-1  |     |
| 1.3 計畫目的                | 1-3  |     |
| 1.4 研究範圍及對象             | 1-4  |     |
| 第二章 自然環境基本資料            |      |     |
| 2.1 地文環境現況              | 2-1  |     |
| 2.2 海洋地形環境變遷            | 2-4  |     |
| 2.3 海洋環境現況              | 2-9  |     |
| 第三章 高雄海域海流特性分析          |      |     |
| 3.1 高雄海域現場觀測之潮汐及海流特性    | 3-1  |     |
| 3.2 高雄海域數值模擬之潮汐及海流特性    | 3-9  |     |
| 3.3 討論                  | 3-21 |     |
| 第四章 粒徑與礦物成分分析           |      |     |
| 4.1 現場採樣                | 4-1  |     |
| 4.2 粒徑分析                | 4-10 |     |
| 4.3 礦物成分分析              | 4-15 |     |
| 第五章 漂沙特性之研判             |      |     |
| 5.1 由現場觀測及數值模擬之流場研判漂沙特性 | 5-1  |     |
| 5.2 由現場調查研判漂沙特性         | 5-2  |     |
| 第六章 結論與建議               |      |     |
| 6.1 結論                  | 6-1  |     |
| 6.2 建議                  | 6-3  |     |
| 參考文獻                    |      | 7-1 |
| 附錄一：第一次採樣樣本粒徑分佈曲線       |      | A-1 |
| 附錄二：第二次採樣樣本粒徑分佈曲線       |      | B-1 |
| 附錄三：期末報告審查意見執行表         |      | C-1 |
| 附錄四：期末報告簡報資料            |      | D-1 |

## 表目錄

|          |   |      |
|----------|---|------|
| 表 2.3.1  | 高雄港區潮汐調和分析之分潮振幅與相位.....                                 | 2-37 |
| 表 3.1.1  | 各港平均潮差及最大潮差統計表.....                                     | 3-22 |
| 表 3.1.2  | 各港各個較大分潮之振幅統計表.....                                     | 3-22 |
| 表 3.1.3  | 將軍港潮汐分潮振幅(米)及週期(時)統計表.....                              | 3-23 |
| 表 3.1.4  | 安平港潮汐分潮振幅(米)及週期(時)統計表.....                              | 3-24 |
| 表 3.1.5  | 興達港潮汐分潮振幅(米)及週期(時)統計表.....                              | 3-25 |
| 表 3.1.6  | 高雄港潮汐分潮振幅(米)及週期(時)統計表.....                              | 3-26 |
| 表 3.1.7  | 蟬廣嘴潮汐分潮振幅(米)及週期(時)統計表.....                              | 3-27 |
| 表 3.1.8  | 高雄港測站 IB 全年及分月流速平均值、最大流速及流向統計表<br>.....                 | 3-28 |
| 表 3.1.9  | 興達港全年及分月流速平均值、最大流速及流向統計<br>表.....                       | 3-29 |
| 表 3.1.10 | 高屏溪河口及峽谷頭全年及分月流速平均值、最大流速及流向<br>統計表.....                 | 3-29 |
| 表 3.1.11 | 高雄港測站 IB 全年及分月恒流流速平均值、最大恒流流速及流<br>向與月(年)恒流流速及流向統計表..... | 3-30 |
| 表 3.1.12 | 興達港全年及分月恒流流速平均值、最大恒流流速及流向與月<br>(年)恒流流速及流向統計表.....       | 3-31 |
| 表 3.1.13 | 高屏溪河口及峽谷頭月恒流流速平均值、最大恒流流速及流向<br>與月恒流流速及流向統計表.....        | 3-31 |
| 表 3.1.14 | 各港 4 個較大分潮之潮流橢圓半長軸大小統計表.....                            | 3-32 |
| 表 4.1.1  | 各採樣點編號及座標.....  | 4-2  |
| 表 4.1.2  | 河川上游採樣點編號及座.....  | 4-2  |



# 圖目錄

|          |  |      |
|----------|--|------|
| 圖 1.1    | 研究計畫範圍圖  | 1-5  |
| 圖 2.2.1  | 台灣西部重要河川輸沙量及所含重礦物組成  | 2-17 |
| 圖 2.2.2  | 台灣海岸線比較圖圖號位置說明圖  | 2-18 |
| 圖 2.2.3  | 二仁溪附近海岸線比較圖  | 2-19 |
| 圖 2.2.4  | 阿公店溪附近海岸線比較圖   | 2-20 |
| 圖 2.2.5  | 高雄港附近海岸線比較圖  | 2-21 |
| 圖 2.2.6  | 高雄第二港口附近海岸線比較圖   | 2-22 |
| 圖 2.2.7  | 鳳鼻頭附近海岸線比較圖  | 2-23 |
| 圖 2.2.8  | 高屏溪口附近海岸線比較圖   | 2-24 |
| 圖 2.2.9  | 台灣海岸侵淤分佈圖  | 2-25 |
| 圖 2.2.10 | 屏東平原地質構造圖  | 2-26 |
| 圖 2.2.11 | 嘉南平原剖面圖  | 2-27 |
| 圖 2.2.12 | 屏東縣塭豐海岸之灘線變化圖  | 2-28 |
| 圖 2.2.13 | 台灣全島地層下陷分佈圖  | 2-28 |
| 圖 2.2.14 | 台灣 1949~1990 年平均逕流量及 1991 年漂沙分佈圖                             | 2-29 |
| 圖 2.2.15 | 台灣 1949~1990 年平均逕流量及 1997 年漂沙分佈圖                             | 2-30 |
| 圖 2.2.16 | 台灣 1949~1990 年平均逕流量及 1998 年漂沙分佈圖                             | 2-31 |
| 圖 2.2.17 | 台灣 1949~1990 年平均逕流量及 1999 年漂沙分佈圖                             | 2-32 |
| 圖 2.2.18 | 台灣 1949~1990 年平均逕流量及歷年年漂沙分佈圖                                 | 2-33 |
| 圖 2.2.19 | 台灣西部河川、海灘、沙洲沙粒顆粒圓度分析標本採集位置圖                                  | 2-34 |
| 圖 2.2.20 | 台灣西部河川、海灘、沙洲沙粒顆粒圓度分析圖  | 2-35 |
| 圖 2.2.21 | 河川漂沙型態示意圖  | 2-35 |
| 圖 2.3.1  | 高雄港港域月統計風速與中央氣象局高雄測候站 1992 年七月之實測風向與風速                       | 2-36 |
| 圖 2.3.2  | 台灣附近海域水深地形圖  | 2-38 |
| 圖 2.3.3  | 高雄港港域之河川排水及放流管   | 2-39 |
| 圖 2.3.4  | 高雄港港域南側大林蒲外海之海象調查儀器佈置之位置                                     | 2-39 |
| 圖 2.3.5  | 大林蒲外海民國 81 年 7 月於 10 公尺水深處下層海流儀之全月逐時海流量測結果與對應之潮位             | 2-40 |
| 圖 2.3.6  | 大林蒲外海民國 81 年 7 月 25 日至 7 月 28 於 10 公尺水深處下層海流儀之逐時海流量測結果與對應之潮位 | 2-41 |
| 圖 2.3.7  | 高雄港域民國 79 年與民國 83 年之水深地形變化比較圖                                | 2-42 |
| 圖 2.3.8  | 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片                               | 2-43 |
| 圖 2.3.9  | 高雄港局部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之黃藍水色差異與推測之優勢海流流向  | 2-44 |
| 圖 2.3.10 | 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異                  | 2-45 |
| 圖 2.3.11 | 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異                  | 2-46 |
| 圖 2.3.12 | 台灣西南部沿岸海域安平港、高雄港、及蟬廣嘴之逐時預報潮位                                 | 2-47 |
| 圖 3.1.1  | 台灣西南部海岸潮位及海流現場觀測點位置圖   | 3-33 |
| 圖 3.1.2  | 1985 年 1~4 月將軍港實測潮位歷線圖                                       | 3-34 |
| 圖 3.1.3  | 2000 年 1~4 月安平港實測潮位歷線圖                                       | 3-35 |
| 圖 3.1.4  | 1985 年 6~9 月興達港實測潮位歷線圖                                       | 3-36 |
| 圖 3.1.5  | 1992 年 1~4 月高雄港 10 號碼頭實測潮位歷線圖                                | 3-37 |

|           |   |      |
|-----------|---|------|
| 圖 3.1.6   | 1993 年 1~4 月蟬廣嘴實測潮位歷線圖  | 3-38 |
| 圖 3.1.7   | 將軍港潮汐實測前十個較大分潮帳福分布圖   | 3-39 |
| 圖 3.1.8   | 安平港潮汐前十個較大分潮帳福分布圖   | 3-40 |
| 圖 3.1.9   | 興達港潮汐前十個較大分潮帳福分布圖   | 3-41 |
| 圖 3.1.10  | 高雄港 10 碼頭潮汐前十個較大分潮帳福分布圖   | 3-42 |
| 圖 3.1.11  | 蟬廣嘴潮汐前十個較大分潮帳福分布圖   | 3-43 |
| 圖 3.1.12a | 高雄港及高屏溪口海流現場觀測點位置圖  | 3-44 |
| 圖 3.1.12b | 興達港海流現場觀測點位置圖   | 3-44 |
| 圖 3.1.13a | 高雄港第二港口外海處海流資料圖及高雄港內兩處潮位歷線圖   | 3-45 |
| 圖 3.1.13b | 高雄港第二港口外海處海流流失圖及高雄港內兩處潮位歷線圖   | 3-46 |
| 圖 3.1.14  | 高雄港 1992 年 1 月至 12 月每月逐時海流向量分布圖                                       | 3-47 |
| 圖 3.1.15  | 興達港海流資料圖及潮位歷線圖  | 3-48 |
| 圖 3.1.16  | 興達港 1984 年 12 月至 1985 年 11 月每月逐時海流向量分布圖                               | 3-49 |
| 圖 3.1.17  | 高屏峽谷頭海流資料圖及高屏溪河口處潮位歷線圖  | 3-50 |
| 圖 3.1.18  | 高屏溪河口海流資料圖及高屏溪口處潮位歷線圖   | 3-51 |
| 圖 3.1.19  | 高屏峽谷頭 2000 年 6 月逐時海流向量分布圖   | 3-52 |
| 圖 3.1.20  | 高屏溪河口 2000 年 6 月逐時海流向量分布圖   | 3-52 |
| 圖 3.1.21  | 高雄港 1992 年 1 月至 12 月每月逐日恆流向量分布圖                                       | 3-53 |
| 圖 3.1.22  | 興達港 1984 年 12 月至 1985 年 11 月每月逐日恆流向量分布圖                               | 3-54 |
| 圖 3.1.23  | 高屏峽谷頭 2000 年 6 月逐日恆流向量分布圖   | 3-55 |
| 圖 3.1.24  | 高屏溪河口 2000 年 6 月逐日恆流向量分布圖   | 3-55 |
| 圖 3.1.25  | 高屏峽谷頭 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分布圖 | 3-56 |
| 圖 3.1.26  | 高屏溪河口 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分布圖 | 3-57 |
| 圖 3.1.27  | 高雄港 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分布圖   | 3-58 |
| 圖 3.1.28  | 興達港 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分布圖   | 3-59 |
| 圖 3.1.29  | 高屏峽谷頭 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖               | 3-60 |
| 圖 3.1.30  | 高屏溪河口 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖               | 3-61 |
| 圖 3.1.31  | 高雄港 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖                 | 3-62 |
| 圖 3.1.32  | 興達港 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖                 | 3-63 |
| 圖 3.1.33  | 高屏峽谷頭 $M_2$ 分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖   | 3-64 |
| 圖 3.1.34  | 高屏溪河口 $M_2$ 分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖   | 3-65 |
| 圖 3.1.35  | 高雄港 $M_2$ 分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖   | 3-66 |
| 圖 3.1.36  | 興達港 $M_2$ 分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖   | 3-67 |
| 圖 3.1.37  | 高屏峽谷頭海流向量行進圖(PVD)   | 3-68 |
| 圖 3.1.38  | 高屏溪河口海流向量行進圖(PVD)   | 3-69 |
| 圖 3.1.39  | 高雄港海流向量行進圖(PVD)   | 3-70 |
| 圖 3.1.40  | 興達港海流向量行進圖(PVD)   | 3-71 |
| 圖 3.2.1   | 大域計算範圍及水深地形   | 3-72 |
| 圖 3.2.2   | 中域計算範圍及水深地形   | 3-73 |
| 圖 3.2.3   | 小域計算範圍及水深地形   | 3-74 |

|           |                                  |      |
|-----------|----------------------------------|------|
| 圖 3.2.4   | 蟬廣嘴、高雄港及將軍漁港 1992 年 7 月實測潮位歷線比較圖 | 3-75 |
| 圖 3.2.5   | 蟬廣嘴、高雄港及將軍漁港 1993 年 3 月實測潮位歷線比較圖 | 3-76 |
| 圖 3.2.6a  | 大域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 00:00)   | 3-77 |
| 圖 3.2.6b  | 大域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 04:00)   | 3-78 |
| 圖 3.2.6c  | 大域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 08:00)   | 3-79 |
| 圖 3.2.6d  | 大域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 12:00)   | 3-80 |
| 圖 3.2.7   | 大域數值計算點 P(65, 30)海流及水位校驗         | 3-81 |
| 圖 3.2.8a  | 中域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 08:00)   | 3-82 |
| 圖 3.2.8b  | 中域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 12:00)   | 3-83 |
| 圖 3.2.8c  | 中域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 16:00)   | 3-84 |
| 圖 3.2.8d  | 中域計算範圍海流模擬結果(1992/07/27 20:00)   | 3-85 |
| 圖 3.2.9   | 中域數值計算點 P(100,75)海流及水位校驗         | 3-86 |
| 圖 3.2.10a | 小域計算範圍海流模擬結果(1992/07/19.00:00)   | 3-87 |
| 圖 3.2.10b | 小域計算範圍海流模擬結果(1992/07/19.04:00)   | 3-88 |
| 圖 3.2.10c | 小域計算範圍海流模擬結果(1992/07/19.08:00)   | 3-89 |
| 圖 3.2.10d | 小域計算範圍海流模擬結果(1992/07/19.12:00)   | 3-90 |
| 圖 3.2.11  | 小域數值計算點 P(211,106)海流及水位校驗        | 3-91 |
| 圖 3.2.12  | 小域數值計算點 P(164,100)海流及水位校驗        | 3-92 |
| 圖 3.2.13  | 小域計算範圍颱風作用下之波場模擬結果               | 3-93 |
| 圖 3.2.14  | 小域計算範圍颱風作用下之流場模擬結果               | 3-94 |
| 圖 4.1.1   | 採樣點位置圖                           | 4-95 |
| 圖 4.1.2   | 河川上游採樣點位置圖                       | 4-96 |
| 圖 4.2.1   | 粒徑分析流程圖                          | 4-11 |
| 圖 4.2.2   | 沿海岸線由北向南之海灘沉積物有效粒徑變化圖            | 4-13 |
| 圖 4.2.3   | 沿海岸線由北向南之海灘沉積物中值粒徑變化圖            | 4-13 |
| 圖 4.2.4   | 沿海岸線由北向南之海灘沉積物均勻係數變化圖            | 4-14 |
| 圖 4.2.5   | 沿海岸線由北向南之海灘沉積物篩分係數變化圖            | 4-14 |
| 圖 4.2.6   | 沿海岸線由北向南之海灘沉積物歪度變化圖              | 4-15 |
| 圖 4.3.1   | 河川上游採樣砂粒部分繞射角度能量譜                | 4-19 |
| 圖 4.3.2   | 河川上游採樣粉粒部分繞射角度能量譜                | 4-20 |
| 圖 4.3.3   | 第一次採樣砂粒部分繞射角度能量譜                 | 4-21 |
| 圖 4.3.4   | 第一次採樣粉粒部分繞射角度能量譜                 | 4-23 |
| 圖 4.3.5   | 第二次採樣砂粒部分繞射角度能量譜                 | 4-26 |
| 圖 4.3.6   | 第二次採樣粉粒部分繞射角度能量譜                 | 4-30 |

# 第一章 前言

## 1.1 計畫緣起

高雄港位於台灣西南海岸，該地區及附近南北兩側海岸因常年受波浪及海流之侵襲，海岸有部份侵蝕，另部份淤積之現象。例如高雄港第一港口外側及航道，因經年受波流作用常造成淤積現象，尤其航道之淤積常造成航安全顧慮及浚挖費用增加，但若大舉挖砂，因尚未能充份掌握砂源及砂量，恐有造成侵蝕之慮。另在高雄港北側左營港北方蚵仔寮附近海岸，則因砂源減少，又經年累月受波流作用，海岸線大致上呈現侵蝕之現象。

基於此段海岸線存在部份侵蝕、部份淤積之現象，為確實掌握漂沙來源及遷移特性，研究成果可進一步提供相關單位研提改善防治對策之依據，乃進行本計畫。

## 1.2 相關文獻回顧

高雄港長期受苦於港池淤沙，相關議題的研究並不在少數，然對於漂沙之原因始終沒有能夠達成定論。以下擇選部分精華，簡述高雄海岸相關研究成果，以供參考：

1. 1990 年郭金棟教授利用十七世紀荷蘭人留下的地圖、清朝山水畫地圖、日本明治 37 年台灣總督府兩萬五千分之一的台灣堡圖、1950 年以後歷次出版的地形圖、航照圖、以及近年來衛星遙測資料，分析研判出台灣 1904 到 1987 年間海岸線變化圖，顯示沙洲消失與海岸侵蝕情況極為嚴重。
2. 中國石油公司液化天然氣工程處於 1990 年 12 月委託國立成功大學郭金棟教授以及陳文俊教授評估彌陀鄉海岸沖失災害發生之原因。報告中指出永安、彌陀及其鄰近海岸，大致上呈冬季淤積而夏季侵蝕之季節性變化。此段海岸整體而言呈侵蝕之狀況，其侵蝕之現象，報告中指出可能因陸地上游之阿公店水庫、二仁水庫、曾文水庫之興建及水土保持工程之

施行所造成，也有可能是其北邊的永安 LNG 接收站、興達火力發電廠及其南邊之南寮、蚵子寮漁港等港灣設施之防波堤遮擋了南北兩側之砂源所造成。至於整體而言沿岸漂沙之主要來源係來自南邊或是北邊，則須進一步探討。

3. 台灣省政府水利處於 1997 年 10 月委託國立成功大學簡仲和等教授對林園段海岸之侵蝕防治對策進行探討，該計畫報告指出，依據現場調查所放置捕砂器之量測結果，此段海岸之漂沙，隨著漲、退潮以向離岸方向為主，沿岸之漂沙也是有的，但量比較少。至於漂沙趨勢在夏、冬兩季間之變化，全年之淨漂沙是朝那個方向，則仍尚待進一步探討。
4. 1995 年台大海洋所施學銘教授與其碩士班研究生黃序文，就台灣西部北從台北縣石門鄉，南至屏東縣枋寮鄉共採集 47 個樣本，包括沙灘 30 個、河流 12 個及外傘頂洲 5 個樣本，進行 Q 型因子分析，得到三個主要因子，因子 1 為綠泥石，主要供應源為高屏溪及濁水溪，由高屏溪向北遞減，濁水溪向南遞減；因子 2 為紫蘇輝石、普通輝石以及紅棕色角閃石，主要供應源為淡水河，由北向南遞減；因子 3 為鋁石、石榴石與電氣石，供應源為後龍溪、烏溪、北港溪、八掌溪、曾文溪和二仁溪。除了河川附近海岸有較高比重值，各沙灘樣本比重無明顯變化趨勢。由因子比重值推算漂沙傳輸的優勢方向，鑑於高屏溪口到網子寮之間的海灘，第 1 因子比重值始終維持在高值，判斷高屏溪的漂沙可以有效傳輸到網子寮附近。
5. 1997 年台大海洋所施學銘教授與其碩士班研究生廖洪儒，就台灣西部濁水溪到曾文溪間的海岸採集 49 個樣本，進行傅立葉顆粒外形分析，以樣本中的石英顆粒為研究對象，求出河川、沙洲、海灘等地的傅立葉圓度，綜合單變數與 Q 形因子分析後，推論河川沉積物可能傳輸模式為河川沉積物入海後，受顆粒外形選擇性淘選作用，沿岸流將大部分沉積物帶往海灘堆積，離岸沙洲僅受到少量且外形較光滑的河川沉積

物補充。可惜本研究範圍並未能延伸到高屏溪並求其沿岸沉積物傳立葉圓度變化，以釐清高雄港附近海域的沙源為何。

6. 台灣省政府水利處於 1999~2001 年 3 月委託國立成功大學簡仲和等教授就蚵子寮海岸海岸侵蝕原因進行調查分析，並提出最佳的海岸保護工法，該計畫報告指出，依據該範圍內歷年現場量測之海岸水下地形所進行之比較，此段海岸近岸處大致上呈冬季淤積而夏季侵蝕之季節性變化，而遠岸則趨勢相反，即冬季時水底下之沙洲被往岸向推平，近岸淤淺，夏季時則原先淤在近岸的沙洲被帶往外海。整體而言，侵蝕的比淤積的多，其中以 1958 至 1977 年之 20 年期間，侵蝕的情形最為嚴重。
7. 港灣技術研究中心於 1999 年 6 月由黃清和研究員等就屏東林邊侵蝕海岸進行長期海象監測以及海岸沖淤研究調查，調查結果顯示本段海岸冬季沿岸漂沙由北往南、夏季則相反，此段海岸的優勢漂沙方向應為東南向西北移動，且離岸流的漂沙量大於沿岸流的漂沙量。

### 1.3 計畫目的

本計畫之目的，在於藉由現場調查及數值模擬，探討並企圖掌握漂沙來源及遷移特性。現場調查係由台灣大學土木工程研究所執行，由現場採樣帶回實驗室裡分析其粒徑分佈及礦物組成，以研判海灘上沉積物來自於那一條河川，進一步可推論主要之漂沙方向。數值模擬則由交通部運輸研究所港灣技術研究中心執行，數值模擬係採用丹麥水利研究所(DHI)所研發之 Mike21 軟體，藉由將模擬結果與所蒐集之現場實測海流、潮流及沿岸流資料進行比對，可提高模擬結果之準確度，模擬結果則可做為研判漂沙來源及遷移特性之主要參考依據。

## 1.4 研究範圍及對象

本合作研究計畫分兩個部份：第一部份為高雄附近海岸漂沙現場調查研究，將由台灣大學土木工程學研究所執行，第二部份為高雄附近海域漂沙數值模擬研究，將由委託單位運輸研究所自行辦理，台灣大學則提供相關技術與學理之諮詢服務。

漂沙現場調查研究之範圍為高屏溪口以北至二仁溪口以南之海岸(見圖 1-1)，對象為研究範圍內各河川河口及沿海岸線附近沙灘上砂粒，調查其粒徑分佈及礦物成分，採樣分析每年春、秋兩季(東北季風過後及颱風季節過後)各實施一次。以高屏溪口以北至二仁溪口以南之海岸線之沙灘及各河川之河口為採樣區域，沿海岸線平均大約每 500m 以內設一採樣點。

漂沙數值模擬研究將由港研中心引用丹麥水力研究所(DHI)研發之 Mike21 及 Lipack 模組進行波場、流場及漂沙等模擬。

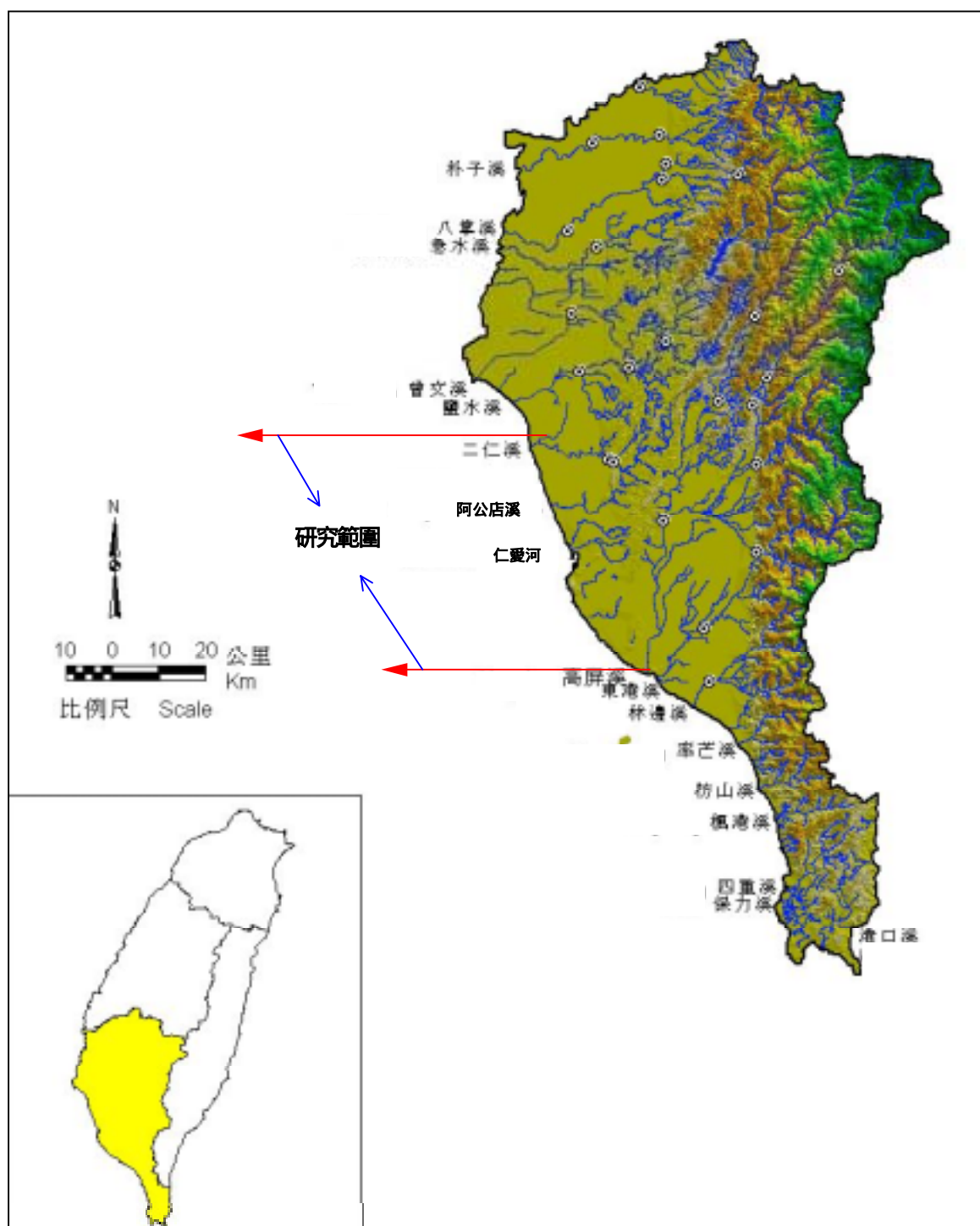


圖 1-1 計畫研究範圍圖



## 第二章 自然環境基本資料

### 2.1 地文環境現況

本計劃之目的，在於藉由現場調查及數值模擬，探討並企圖掌握漂沙來源及遷移特性，並進一步提供相關單位做為研提改善防治對策之依據。本研究所涵蓋的範圍自二仁溪至高屏溪，雖皆屬於高雄縣境內，但為了解高雄港的砂源來自北方或南方，有必要同時了解相關的台南縣和屏東縣之地理、地質環境條件。根據營建署海岸地區整體規劃之研究(1995)，此三縣的地文環境概述如下：

#### (一)台南縣

##### 1.水文

台南縣境內主要的河川為急水溪、曾文溪以及鹽水溪。急水溪全長約 65 公里，流域面積 379 平方公里，年逕流量約 527 百萬立方，年輸砂量約 2.08 百萬公噸。曾文溪全長約 138 公里，流域面積 1177 平方公里，年逕流量約 2349 百萬立方，年輸砂量約 31.13 百萬公噸。鹽水溪則全長約 87 公里，流域面積 222 平方公里，年逕流量約 301 百萬立方，年輸砂量約 2.28 百萬公噸。本流域三大河川之年侵蝕率分別約為 0.36、1.76、0.69 公分，沖蝕能力為台灣最小之地區之一。

##### 2.地質

台南縣曾文溪口以北的海岸沙洲規模或海積現象發達，曾文溪口以南至安平一帶昔日的許多濱外沙洲則已經陸化，而其所圍的潟湖面積也急速縮小。

台南縣境內之台南平原，為海岸風積沙、海岸沙、潟湖淤泥、及河道沖積物所構成的第四紀沖積層。發源於山麓丘陵地帶的溪流所夾帶的淤砂多屬於極細的淤泥及黏土，而少粗粒物質。

台南縣沿海，其土壤均屬於砂頁岩新沖積土，土壤有效深度均在 90 公分以上。北門鄉 17 號公路以西的土壤，表土層多為中質地，以粉質壤土為主，而靠海者偶有壤土及極細砂質壤土出現，底土亦以中質地土層為主；將軍鄉境內表土屬中質地，介於粉質壤土至極細砂質壤土之間而以粉質壤土為主，底土亦以中質地土層為主；七股鄉的土壤，表土層多為中質地，七股溪以北多為粉質壤土，以南除了三股村東側仍屬粉質壤土外，以極細砂質壤土為主。

## (二)高雄縣

### 1.水文

本縣主要的河川有二仁溪與高屏溪。二仁溪全長約 65 公里，流域面積 350 平方公里，年逕流量約 494 百萬立方，年輸砂量約 12.64 百萬公噸。高屏溪全長約 171 公里，流域面積 3,256 平方公里，年逕流量約 8,848 百萬立方，年輸砂量約為 32.16 百萬公噸。兩流域年侵蝕率分別約為 2.41 及 0.74 公分。

### 2.地質

高雄縣(市)內除了萬壽山一帶有上新世至更新世的岩層出露外，其餘均為由海岸風積沙、海岸沙、潟湖淤泥、及河道沖積物所構成的第四紀沖積層。高雄縣境內，高雄市以北，其土壤以砂頁岩新沖積土為主，僅在路竹鄉頂寮、永安鄉烏樹村及彌陀鄉頂厝等地區有一砂頁岩老沖積土出現；高雄市以南林園鄉內，除鳳鼻頭以北仍為砂頁岩新沖積土外，以南為高屏溪的沖積地。

二仁溪至高屏溪口之高雄平原為一海相沉積，故地勢甚為平坦，其地下地層以泥岩為主，故地面上多有泥火山分佈，海底淺而遠，沿海沙洲甚發達。平面上除了有少數新成河及延長河切割形成較淺之河溝外，地面堪稱完整。台南至高雄之間的海岸稱為「岡山海岸」。由於此段海岸在隆起海岸的地形演育中已經步入老年期階段，因此沿海已經無濱外沙洲之存在，僅有一些淺沙洲而已。其地質為現代沖積層。岡山海岸土層構造中，最上方為灰色泥質砂土或灰色泥質土壤，

並含有礫石及貝屑，可見此為古沙洲之處，且為海相堆積，其次為厚約廿十公尺左右低或中等塑性之灰色黏土層，黏土層下方夾一層灰色粉土薄層，其下則出現一層相當厚之泥質砂土層，此層之下則是厚度約五．五公尺之灰色黏土層，黏土層下方至地表下七十公尺左右則是由灰色泥質砂土層及極緊密粉土層所構成。今日濱海地區尚多為卑濕之地，沼澤甚多，大致被利用為魚塭或鹽田。海岸線平直單調，沙灘綿長海底遠而淺（蘇明賢，2002）。

### (三)屏東縣

#### 1.水文

本縣主要河川為東港溪及林邊溪。東港溪全長約 42 公里，流域面積 472 平方公里，年逕流量約 1124 百萬立方，年輸砂量約 0.62 百萬公噸。林邊溪全長約 42 公里，流域面積 344 平方公里，年逕流量約 859 百萬立方，年輸砂量約 1.85 百萬公噸。兩流域年侵蝕率分別約為 0.09 及 0.36 公分。

#### 2.地質

屏東縣內，屏東平原多為粗砂礫的沉積物；枋寮至海口一帶為潮洲斷層向南延伸所形成的斷層線海岸，主要為上新世至更新世的墾丁層分佈區，該地層乃由風化劇烈的暗灰色泥岩到頁岩質岩石夾帶許多礫岩和集塊岩的外來岩所組成。海口以南至保力溪口一帶，主由附近砂頁岩風化物質沖積而成。屏東縣太平洋沿岸，北端自塔瓦溪至女仍溪觀者斷層之間，以深灰色輕度變質之硬頁岩為主。

縣境內枋寮以北為屏東平原分佈處。主要以粘板岩沖積物為主，枋寮以南至海口多為山地，以黃壤為主，海口至保力溪口則以砂頁岩新沖積土為主；太平洋沿岸則北自塔瓦溪口，南至墾丁國家公園北界南仁鬱溪口，涵蓋牡丹及滿州兩鄉的海岸，主要為黃壤分佈區。

#### (四) 台灣各河川重礦物組成

台灣西部各河川的重礦物組成皆可對應到河川集水區岩層(黃序文, 1995)。北部的淡水河及南崁溪, 主要重礦物組成為紫蘇輝石、普通輝石以及紅棕色角閃石, 所反映的源區為北部晚第三紀以來的火成岩; 南部的高屏溪和中部的濁水溪, 主要重礦物組成為綠泥石, 所反映的源區為中央山脈西翼地質區的變質岩層; 中南部的八掌溪、曾文溪和二仁溪, 主要重礦物組成為鋯石及石榴子石, 所反映的源區為西部麓山帶地質區的碎屑沉積岩層; 中北部的北港溪、大甲溪、後龍溪和烏溪, 主要重礦物組成並無特別高者, 電氣石、綠泥石、鋯石及石榴子石都佔有相當之比例, 所反映的源區為中央山脈西翼地質區和西部麓山帶地質區(圖 2.2.1)。

## 2.2 海岸地形環境變遷

從過去數十年以來, 由於颱風時期海崖沙丘侵蝕、河川輸砂量減少、海岸結構物的影響、地盤下陷、平均海水位上升、及波潮流變化等種種因素(歐善惠等, 2001), 使得台灣海岸地形在近年來有了急遽的變化。由圖 2.2.2~2.2.8 可知本研究區域的海岸線歷年變化情況(郭金棟, 1990)。除了高雄港南側以及高雄第二港口南北側之外, 大部分的灘線都有向後退的趨勢。另外, 圖 2.2.9 也顯示了台灣海岸侵淤狀況(歐善惠等, 2001), 說明本研究區域確為海岸侵蝕的狀況。對於此地海岸侵蝕之現象, 有學者認為肇因於曾文溪輸砂量減少, 北向南沿岸流帶來的沙量不足之故; 也有學者認為南部高屏溪的沙量由南向北移動時受到高雄港海堤影響, 因此無法有效堆積高雄港北側海灘。說法莫衷一是, 皆有其立論之基礎。本研究因此希望藉由漂沙礦物分析, 來解答此懸案。

本節除了就台灣海岸地形變化的歷史和現況加以討論外, 同時也嘗試就漂砂在海岸地形環境變化中所扮演角色, 加以詮釋。

站在時間因子來看, 海岸地形之變化可分為(1)長時間尺度; (2)中時間尺度; 及(3)短時間尺度等三個尺度來觀察:

## (1)長時間尺度

長時間尺度下來看地殼變動造成的海岸隆起或下沉、斷層等地形結構變化加上長時間岩石風化、土壤沉積等，會造成不同區域有不同的地質環境，如嘉南平原最上層的堆積為全新世的紅土台南層；而屏東平原則由鳳山丘陵的嶺口礫岩<sup>1</sup>、平原東側的古沖積扇、以及平原本身的現代沖積扇構成(姜宏偉, 2000)。而因為海岸地質條件不同，受到自然力作用時，其侵蝕與淤積的速率也就不同。此長時間尺度下的地形變化雖不在本研究討論的範圍內，但地質岩性的分佈卻可以提供本研究參考。

## (2)中時間尺度

中時間尺度下所觀察的海岸地形變化因素包括(1)地盤下陷(歐善惠等, 2001; 陳明禮, 1995); (2)平均海水面上升(歐善惠等, 2001)。前者引發海岸侵蝕的原因為地盤下陷，將造成海岸地帶的水域水深變大，碎波線內移，波高增加、波能變大，淘蝕能力增強而加速海岸侵蝕。如屏東縣塭豐海岸因養殖業超抽地下水導致地盤下陷，自1968到1998年30年內總下陷量達3.06公尺，由圖2.2.12可知其灘線自1972到1983年12二年間竟退後了80公尺，相當驚人(歐善惠等, 2001)。

然而，由圖2.2.13所顯示的台灣全島地盤下陷情況，本研究高雄港附近海域並無地層下陷的情形，因此暫時不考慮地盤下陷對高雄港的影響。

另外，根據Bruun(1962)法則推算，平均海水面上升所造成的海岸後退量，分別為海水水位每上升1公分，造成海岸線後退0.1公尺(1/10近岸坡度)、0.5公尺(1/50近岸坡度)以及1公尺(1/100近岸坡度)。歐等人(1999)分析1993-1999年台灣海水位變化上升率0.67mm/year，而Chen等人(1997)也曾利用高雄和基隆港的水位資料估算這兩地的海水面上升速率分別為0.55mm/year與

---

<sup>1</sup> 鳳山丘陵位於屏東平原的西側，位於高屏溪上游集水區內(圖2.2.10)。值得注意的是其土壤組成主要為礫岩，和嘉南平原上的二仁溪、曾文溪之黃壤並不相同(圖2.2.11)。

2.74mm/year。以 0.55mm/year 上升速率及台灣西岸 1/100~1/50 坡度變化來看,本研究區域海岸每年後退量在 0.55mm/year 到 0.28mm/year 之間。然而,一方面由於平均海水位上升估計的技術受限於潮位站基準點變動以及衛星影像觀測時間短的影響,無法有效提升(歐善惠等,2001),另一方面,此後退量以一年觀察尺度來看量值不大,造成的水深變化應不至於影響高雄港附近海域的漂砂行為。為了簡化問題,本研究暫不考慮平均海水面對此地漂砂運動的影響。

### (3)短時間尺度

短時間尺度下所觀察的海岸地形變化因素包括(a)颱風時期海崖與沙丘侵蝕;(b)河川輸砂減少之海岸侵蝕;(c)海岸結構物影響;(d)特殊水深地形;(e)波潮流影響。此五者藉由對於漂沙行為的影響而對海岸地形變遷發揮作用。其中,颱風時期波高浪大,將導致在近岸產生回流(return flow)現象,離岸漂沙增強,造成前灘沖刷遠灘淤積的情況。而海岸結構物不但阻擋水流,也會造成波浪繞射和反射現象,致使沿岸流上游堆積下游侵蝕或是地域性沿岸流方向的改變而影響漂沙方向。此外,特殊水深地形也會影響漂沙,如高屏溪出海口緊鄰海溝伸向小琉球方向,水深達 100 公尺以上,成為溪口排沙之陷阱,且為向下游沿岸流之阻隔,因此造成了出海口左岸下游海岸線侵蝕(歐善惠等,2001)。至於波潮流對漂沙的影響,則留待下一節專節討論。簡言之,本研究了解到影響這些漂沙行為因子之間,機制複雜,因此決定直接利用粒徑分析和礦物分析來判斷沙源,而不研究其漂沙過程。

至於河川輸砂量對海岸漂沙的影響,則毋庸置疑,具有相當關鍵性。河川輸砂量小於波浪作用的沿岸流輸砂量時,將造成海岸沙灘在風力及海潮作用下,灘線向內陸移動。因此河川輸砂量對於海灘變遷有相當大的影響。圖 2.2.14~2.2.18 乃根據經濟部水資源局所發行的水文年報改繪而成的逕流量以及漂沙量估算圖。其分別為 1991、1997、1998、1999 及歷年河川漂沙量統計圖。由圖可知,許多河川在不同年份的輸沙量值差異極大,如大安溪 1991 年輸沙量為  $4.97(10^6\text{MT})$ ,到了 1997 年竟高達  $139.25(10^6\text{MT})$ ;又,二仁溪 1997 年輸沙量為

83.8( $10^6$ MT), 到了 1998 年竟只有 4.78( $10^6$ MT)。凡此不勝枚舉。推論起來, 其差異原因不外是: (1)捕沙儀器設計不當使捕沙量產生明顯不同, 以致使量測值產生極大的散亂, 此可由經常可以從輸沙函數圖上看到常有十位數的差異值出現而知(郭金棟, 1999)。(2)估算河川輸沙量的經驗公式含有濃厚地域因子, 掌握不易。(歐善惠等, 2001)。至於其他如河川盜採砂石或是任意棄土等人為的因素, 則更是增加估算輸沙量的困難度。

雖然河川輸沙量的估算有相當的不確定因素, 但歷年來河川漂沙量圖(經濟部水資源局水文年報, 2000), 經過長年的統計, 仍具有相當的參考價值。由圖 2.2.17 可知, 台灣的漂沙量以中部河川最大(濁水溪, 63.87)( $10^6$ MT), 南部河川次之(高屏溪, 35.61; 曾文溪, 31.00)( $10^6$ MT), 東部河川又次之(卑南溪, 23.68)( $10^6$ MT), 北部河川最小(淡水河, 11.45)( $10^6$ MT)。再者, 由圖可知, 輸沙量和河川逕流量未必成正比, 如淡水河流量遠大於二仁溪、花蓮溪、秀姑巒溪, 可是輸沙量卻小於後三個河川, 可見河川輸沙量除了逕流量, 還有其他地形、地質條件, 水土保持、水資源保護等影響因素。

觀察本研究區內南部河川的輸沙量, 發現高屏溪(35.61)、曾文溪(31.00)、二仁溪(13.10)( $10^6$ MT)為輸沙量最顯著的三條河川。而曾文溪和高屏溪的量又較二仁溪高出甚多, 因此研判海岸輸沙的主要沙源應為此二河川。但高雄附近海域的漂沙沙源究竟是曾文溪或是高屏溪, 則是本研究所關心的焦點。

除了輸沙量外, 漂沙方向的研究也極為重要。關於河川沙粒之漂沙方向的研究, 廖宏儒等曾經於 1997 年利用傅立葉顆粒外形分析法分析台灣西海岸各河川以及西南海岸、沙洲之砂粒中石英成分的顆粒圓度(圖 2.2.19), 發現河川的顆粒圓度、海灘的顆粒圓度以及沙洲的顆粒圓度明顯分成三個族群(圖 2.2.20), 前者最小, 後者較大, 再後者更大。因此判斷漂沙的方式應為河川漂沙之大量經由沿岸流帶動堆積到海灘上, 少量圓度較高者則漂到沙洲上堆積, 如圖 2.2.21 所示。由圖 2.2.19 及 2.2.20 雖可發現曾文溪沙粒圓度(R11)低於二仁溪(R12)甚多, 且高於高屏溪(R13)甚多, 具有鑑別價值, 但可惜作者並未針

對高雄海域進行顆粒圓度分析，否則依照作者「移動距離越遠石英顆粒越圓」的理論，以及高屏溪沙粒顆粒圓度較曾文溪、二仁溪低且距離高雄港較近的情況下，如果高雄港顆粒圓度低於曾文溪和二仁溪，則幾乎可以確認高雄港的沙源為高屏溪，如果圓度高於曾文溪，也可依不同採樣位置繪圖研判。

值得注意的是，本研究雖有採樣進行粒徑分析，然而此顆粒之粒徑大小和顆粒圓度並無必然之關係，不可混淆。根據 Ehrlich et al. (1980)以顆粒的特定和諧的和諧值分佈情形研究顆粒外形與大小的關係，指出外形和顆粒大小兩者的關係並無連續性，因此不能說顆粒大者必然粗糙。

另外，歐善惠等人(2001)也曾利用風浪因素對台灣西部沿岸的漂沙方向作出推論。其指出：台灣冬季東北季風盛行，NNE 風浪造成北、中、東北部及東部海岸之漂沙由北向南移動；夏季西南季風盛行，漂沙由南往北，惟因冬季波浪能量遠大於夏季，因此漂沙優勢方向為由北往南。但曾文溪以南的南部海岸由於夏季西南波浪及颱風波浪能量大於冬季，所以漂沙優勢方向為由南往北。此說似可為本研究提出的「高雄港漂沙乃由高屏溪沙源北上而成」假說作一有力的佐證。

其他關於利用礦物分析研判漂沙優勢，1995 年黃序文也曾經作過相關研究。其就台灣西部北從台北縣石門鄉，南至屏東縣枋寮鄉共採集 47 個樣本，包括沙灘 30 個、河流 12 個及外傘頂洲 5 個樣本，進行 Q 型因子分析，得到三個主要因子，因子 1 為綠泥石，主要供應源為高屏溪及濁水溪，由高屏溪向北遞減，濁水溪向南遞減；因子 2 為紫蘇輝石、普通輝石以及紅棕色角閃石，主要供應源為淡水河，由北向南遞減；因子 3 為鋯石、石榴石與電氣石，供應源為後龍溪、烏溪、北港溪、八掌溪、曾文溪和二仁溪。除了河川附近海岸有較高比重值，各沙灘樣本比重無明顯變化趨勢。他由因子比重值進而推算漂沙傳輸的優勢方向，並鑑於高屏溪口到台南網子寮之間的海灘，第 1 因子比重值始終維持在高值，判斷高屏溪的漂沙可以有效傳輸到台南七股濕地的網子寮附近。



## 2.3 海洋環境現況

本計劃之目的乃針對高雄港漂沙侵蝕淤積問題進行研究，海洋環境(含氣象條件)的影響甚鉅，以下簡單描述高雄港附近海域的海洋環境現況，作為進一步研究之參考。

### (一) 風力

依據中央氣象局高雄測候站民國 73 年至民國 83 年之觀測記錄統計分析結果(莊文傑、江中權，1997)可知，高雄地區冬季季風期約由每年 10 月至翌年 4 月，風向以 NNE~WNW 間為主；而 5 月及 6 月為轉型期，WNW 向及 SSE 向所佔比重相當，7 至 9 月則為夏季季風期，風向以 WNW、ENE、S 及 SSE 居多。全年而言，風向以 WNW 出現頻率最高，N 向次之；風速大都介於 0.1~5.0m/sec 之間，超過 15.0m/sec 者極少。另依據風速之延時統計分析結果顯示，本地區風速大於 5m/sec，延時為 2 小時之全年發生頻率僅為 6.6%。再依據中央氣象局對高雄地區統計民國 68 年至民國 83 年之風速資料，可得分月平均、最大及極大風速統計結果與民國 81 年 7 月夏季季風期之月逐時風力記錄分別如圖 2.3.1 所示。

### (二) 波浪

高雄港區常年之波浪狀況，依據高雄港務局自民國 55 年至 66 年間長期之波浪觀測統計結果可知，高雄港區之平均波高並不大，全年波高小於 1.0m 者佔 87.5% 以上，冬季時該比值則可提高到 95.3%，全年波浪週期小於 9 秒者佔 89.4% (莊文傑、江中權，1997)。民國 81 年至民國 82 年間，交通部運輸研究所為辦理高雄深水港先期規劃作業項目，曾委託成功大學台南水工試驗所在高雄港第二港口外海海域進行波浪調查，依據該調查結果可知，近年來，高雄港全年波高小於 1.0m 者達 94.53%，週期集中在 8~10 秒間佔 67.9%，其間小於 10 秒部份佔 83.9% (莊文傑、江中權，1997)。在高雄港鄰近海域內，台灣省政府交通處港灣技術研究所自民國 79 年 11 月至民國 82 年 3 月間亦曾於屏東縣大鵬灣地區進行實際波浪觀測(張金機，1993)，依

據該波浪觀測冬、夏季波浪統計結果可知,大鵬灣全年波高小於 1.25m 者佔 83.68%, 冬季時則可達 92.43%, 全年波浪週期小於 8.5 秒者則佔 95.24%。整體而言, 高雄港港區波浪特性以往與近年並未有太大差異。以下再簡述冬夏季季風期及颱風期之波浪特性如后:

**冬季季風波浪:** 冬季季風時台灣海峽盛行吹 NNE 向強風, 然至新浮崙汕後, 因地形呈喇叭狀而風力受分散之影響, 風向變為 N 或 NNE 及 NNW, 風速亦減低。故在冬季季風期, 侵襲高雄地區之波浪, 主要係由台灣海峽出口處折繞射而來。以近期大鵬灣所測得之資料為例, 高雄港區冬季波高與台灣西海岸中、北部海域比較, 其相對較小, 波高小於 1.25m 部份可達 92.43%, 週期小於 8.5 秒者佔 98.88%, 且其機率等值線整體向橫軸(週期)偏移, 湧浪特性顯著。然而高雄港區於冬季時因地理區位關係, 東北季風所引致之波浪影響不若其他地區嚴重。

**夏季季風波浪:** 夏季季風時, 高雄港區之波浪主要由風浪與湧浪所組成, 當熱帶移動性低氣壓接近或引進西南氣流時, 可能帶來 1 至 2 公尺之波浪, 而當颱風來襲時, 更可能帶來 6 公尺(實測記錄)以上之波浪。依大鵬灣海域之波浪特性得知, 高雄港區夏季波浪因受颱風波浪影響, 導致波高小於 1.25 公尺者下降至 69.10%, 週期在 8.5 秒者亦降至 89.15%。故颱風對高雄地區之影響, 已超過一般東北季風主導之型態。

**颱風波浪:** 對高雄港區而言, 平均每年約有 1.47 個颱風侵襲附近海域(莊文傑、江中權, 1997)。當颱風在高雄港區附近海岸登陸, 或其中心在極接近高雄海岸之處通過時, 波浪較高, 高雄港二港口歷年於颱風侵襲下實測所得之波浪曾有 5.0 至 6.4 公尺之示性波高( $H_{1/3}$ )及 10 至 12 秒示性週期之紀錄, 紀錄中最大波高為 9.29 公尺, 週期為 9 秒, 發生於民國 62 年 10 月 10 日, 當時係由於娜拉颱風經過所致。對於自巴士海峽向南海進行之颱風, 如風力強大時, 實測之波浪示性波高最大者為 4.2 公尺, 週期 12 秒, 當颱風橫越中央山脈或通過高雄以北地區時, 在高雄港區所產生之波浪, 幾乎都在 4.0 公尺以下, 依過去實測紀錄, 最大之示性波高為 3.6 公尺, 週期 8.6 秒。

根據以上資料綜合可知，在高雄港區，由於冬季風向大多偏西北，風速較小，且受喇叭狀地形影響，當波浪傳至本區海域時，波高均大為衰減，一般皆屬湧浪性質，波高通常在一公尺左右，週期約為八秒；而夏季雖受西南季風直接作用，又其間夾帶有颱風之侵襲，致夏季波浪分佈反而較冬季為大，如非受颱風之影響，波高均在一至二公尺範圍，其繼續時間約為一至二天，但也有長達六至七天之記錄。

### (三) 潮汐

高雄港區現有之潮汐觀測站共有二處，其一設置於蓬萊商港區#10碼頭，另一位於二港口內港第十船渠內，皆使用自記式潮位儀。歷年潮位記錄經統計分析後，可得平均潮位約在 0.75 公尺左右，各種示性潮位如下（莊文傑,江中權，1997）：

H.H.W.L. +2.60M

H.W.O.S.T. +1.24M

M.H.W.L. +1.11M

M.W.L. +0.75M

M.L.W.L. +0.45M

L.W.O.S.T. +0.38M

L.L.W.L. -0.08M

\* 水準零點高程 -0.47M

有關高雄港區潮汐之分潮振幅與相位角，經以民國 65 年元月 31 日零時至民國 75 年 12 月 31 日 22 時之觀測潮位(共 96,359 筆數據)進行調和分析，結果可得如表 2.3.1(莊文傑、江中權，1997)，由表可知，高雄港區潮汐分潮主要係由太陽年週潮(SA)、主太陰半日週潮(M<sub>2</sub>)、主太陰日週潮(O<sub>1</sub>)及日月合成日週潮(K<sub>1</sub>)所支配，以法國制潮型指標  $R=(O_1+M_1)/(M_2+S_2)$ 判斷，高雄港區  $R=1.436$ ，潮型應屬含混合潮之全日潮型。

### (四) 海流

工程應用上，一般海流係指潮流、恒流、風驅流及波浪造成之近岸流等成分，其影響因子主要為潮位梯度(gradient)變化、地球自轉、天體引力、海水之溫度、密度與鹽度差異、大氣壓力變化、風力、波

浪、地形、水深及河川排水與放流管之海洋放流等項目。高雄港區之風力、波浪、潮位特性可參見本章前列各節所述。在水深及地形方面，參考圖 2.3.2 所示之台灣附近海域水深地形圖可知，高雄港港域約位處台灣海峽之最南端，港域海側最西端存在有水深僅約為 40 米之台灣灘，海側南北兩端分別由恒春海脊及高屏斜坡圍繞，海域水深 40 米至 200 米底床坡度陡峻，港域西南側外海水深可深達 2,000 米以上。海域水深地形變化甚大且甚為特殊。在河川排水及放流管之海洋放流方面，由圖 2.3.3 可知，高雄港港域北有典寶溪及後勁溪匯入，港區有仁愛河及前鎮河都市與工業區排水，港域南有林園排水、高屏溪及東港溪流入，另有左營放流管、中洲放流管及大林蒲放流管分別分佈於港域南北及西側，海流之影響因子多且複雜，因而海流特性之掌握相對地也較不容易。

歷年來曾在高雄港海域從海流調查之研究單位除台灣省政府交通處港灣技術研究所以外，尚有高雄海專、中山大學及成功大學等單位(莊文傑、江中權，1997)。高雄海專曾於民國 76 年在旗津外海設置三個海流測站，每月觀測一次，每次連續記錄 25 小時以上。其觀測結果顯示旗津海域之海流流向主要為沿著海岸向西北及東南流動，平均流速約在 0.15m/s 至 0.22m/s 之間，流速分佈以小於 0.25m/s 之流速所佔比例為最多，但觀測最大流速可達 0.5m/s。

中山大學亦曾於民國 77 年 2 月在左營海洋放流管附近海域施測海流，其結果顯示於施測期間海流之最大流速亦可達 0.5m/s，而上層流速較下層流速大，且流向大致與左營海洋放流管附近之海岸地形平行，淨流方向為東南向。民國 77 年 8 月至民國 78 年 5 月，中山大學又於左營海洋放流管附近測量海流並做降落傘式浮標追蹤(每次漂流時間介於 5.5~9.0 小時之間)。依浮標追蹤結果顯示，在海流強勁時浮標於 5 小時內可由左營海域漂流至興達港海域。而在施測期間，浮標最南可漂流至高雄港海域北側柴山附近。

成功大學亦曾於民國 77 年至 79 年間受環保署委託進行中洲、大林蒲及左營海域的海象與水質調查研究。並於中洲、大林蒲及左營三條海洋放流管出口附近施放海流儀，總共進行五次連續十五日以上之

測量，結果顯示，除了最後一次調查結果其淨流方向為西北向外，其餘四次調查均顯示海流有往東南的淨流方向，此結果與上述中山大學的調查結果相似。此外，民國 81 年交通部運輸研究所亦曾委託台灣省政府交通處港灣技術研究所在大林蒲外海域進行海象調查，此調查分別在 10 公尺與 20 公尺水深處分別分上、下層同時設置海流儀各一部，儀器設置位置如圖 2.3.4 所示，自民國 81 年元月至 82 年元月間共完成 19 次海流測量，民國 81 年 7 月在大林蒲外海 10 公尺水深處下層海流儀之海流測量結果如圖 2.3.5 與圖 2.3.6 所示，當時月逐時風力記錄則如圖 2.3.1 所示。由量測結果分析可知，大林蒲海域之海流主要係沿著海岸(西北--東南)方向做週期性的往返運動。對於在 2、3、4、9 月份所測得的海流，其西北向的海流分量較佔優勢，但在 6、8、10、11、12 月份測得的海流則以東南向的海流比例較大，海流之流向並隨潮位漲落而改變流向，總體趨勢上，西北西及東南東向為海流之主要流向，且潮汐漲潮時流向東南；潮汐退潮時流向西北，海流流向隨潮位漲落之變化特性甚為特殊，遠非使用傳統性上以局部海域之潮位梯度變化特性所能詮釋。另外，台灣省政府交通處港灣技術研究所亦曾在高雄二港口南防波堤與北防波堤堤頭附近進行海流浮標調查，每天取一點分別放置浮標一個(檔流板在水面下二公尺)，各追蹤七小時左右，並於民國 81 年 6 月 18、19 兩日及民國 81 年 12 月 1、2 兩日共施測二次，依浮標之追蹤結果大抵亦可得高雄港域之海流，其於潮汐漲潮時流向東南；潮汐退潮時流向西北，但小潮時退潮仍向東南流，因此向南流的機會較大。浮標的漂流速度約在 5cm/sec 至 30cm/sec 之間，當時之風速約 3 至 4 級，風向約為北向及西北向。另比較不同水深測站上、下層水體之流速大小可得，不論冬夏季，上層水體流速一般稍大於下層水體，流速大小甚少有超過 50cm/s 者，絕大部分流速在 25cm/s 以下。

綜合以上針對高雄港港域海流特性之實測成果可知，高雄港港域海流特性變化確實具有其複雜度，所幸其流速大小普遍均甚小，對港灣工程及進出港船舶之操航安全並不致構成威脅，但其與潮汐漲退潮之水位關係及港域地形之影響程度則迫切需要加以進一步研究確認。

## (五) 漂沙與地形變化

漂沙及地形變化與港域之波浪、潮汐及海流作用息息相關。高雄港務局自第二港口完工後，為了解港域水深地形變化，即每年於第一及第二港口間進行港域水深測量，另台灣省政府交通處港灣技術研究所為配合交通部運輸研究所辦理高雄深水港先期規劃，曾於民國 81 年全年針對高雄港域進行漂沙調查分析研究，根據該研究結論指出：高雄海域漂沙特性主要係以向離岸(on-offshore)方向漂沙為主，當夏季颱風來臨時，往往造成侵蝕海岸，且在離岸 400~500 公尺外，水深 5~6 公尺處形成沿岸沙洲(alongshore bar)，愈往南端該沙洲特性愈明顯，迨夏季西南季風或冬季東北季風期，再逐漸將沙洲推向岸側。圖 2.3.7 所示為民國 79 年與民國 83 年高雄港域水深地形變化比較圖，比較該圖可知，高雄港港域在水深 12 米處仍有明顯漂沙活動，但該海域在沒有足夠沙源供給情況下，每年平均被侵蝕之漂沙量約為 30 萬立方公尺（港灣技術研究所，1997）。於高雄港港域之中芸觀測斷面 I 上，於水深 1.5 公尺處以及水深 5 公尺處所測得之漂沙量分別為 437kg/m<sup>2</sup>/day 與 136kg/m<sup>2</sup>/day；惟同樣在水深約 5~6 公尺處之大林蒲觀測斷面 II 上，所觀測得之漂沙量則為 331kg/m<sup>2</sup>/day，漂沙移動之優勢方向為向岸(on shore)，在水深 1.6 公尺以及 2.8 公尺處，沿岸線每單位長度之淨向岸輸砂量則分別為 710kg/day 以及 231kg/day。而在懸浮砂濃度分佈觀測結果方面，高雄港港域當波高小於 0.8 公尺時，於水深 1.5 公尺處，即使在距底床 20 公分高度處，其懸浮砂活動性仍很小；惟當波高大於 1 公尺以上時，即使在水深 5 尺深距底床 40 公分高度處仍有明顯懸浮砂活動。大體上，其懸浮砂濃度垂直分佈以在距底床 0.1~0.2 倍水深相對位置處其值最大。

## (六) 高雄港海域之衛星照片與海流特性

台灣西南部海域由工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片(SCALE:1/250,000)如圖 2.3.8 所示，其中，高雄港局部海域之衛星照片由圖 2.3.8 中萃取處理可得如圖 2.3.9。觀察圖 2.3.9 顯示之水色差異可得，於台南七股至安平港之近海沿岸，明顯可見輕藍色之水色差

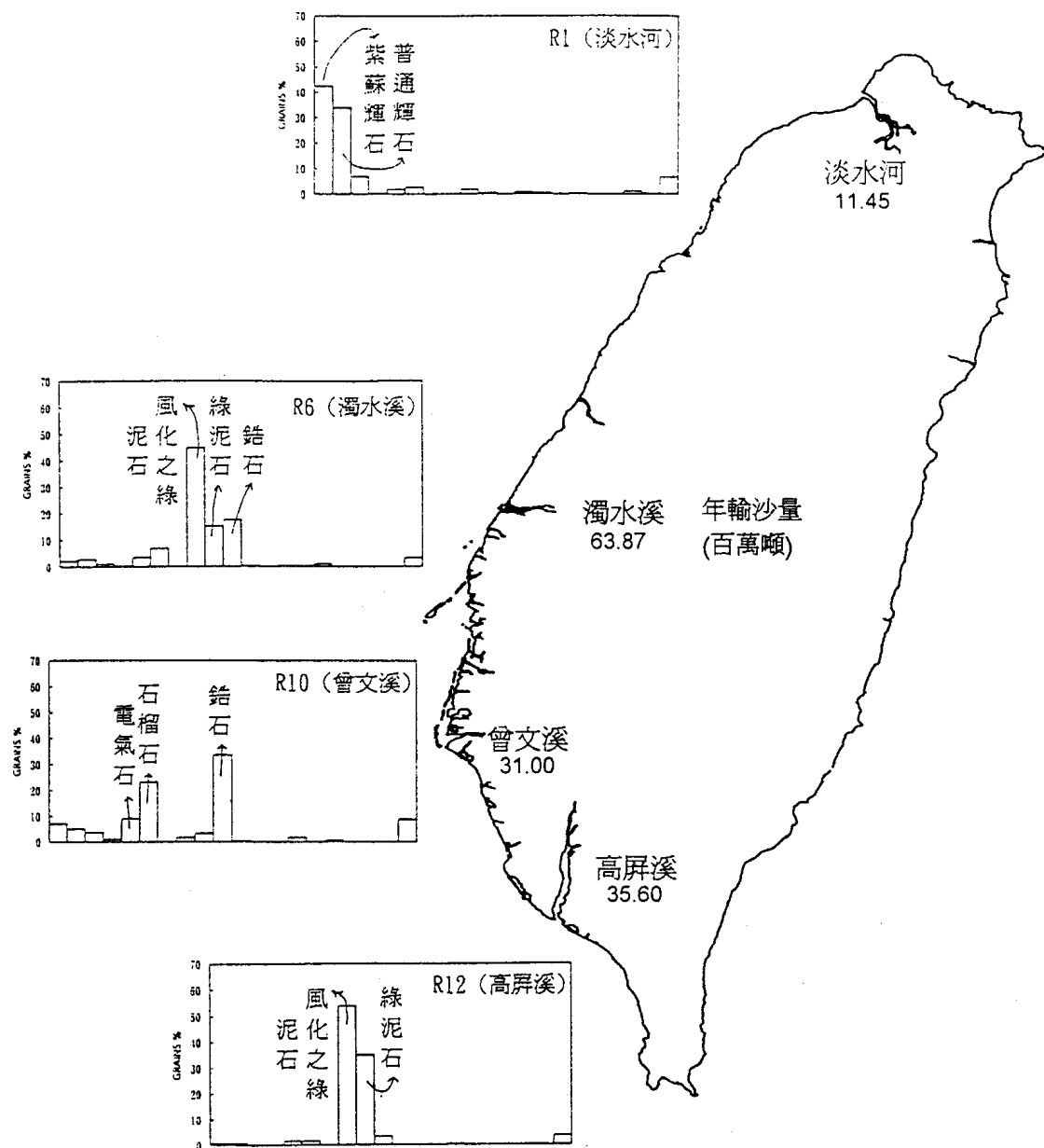
異由北往南伸展，對照該海域之淺灘沙岸特性可確認，由北往南伸展之輕藍色水色差異，應係波浪掏動淺灘沙泥後，再由從北向南流動之優勢海流攜運所形成之自然渾濁水色。確認水色差異之成因後，再觀察圖 2.3.9 中自安平港至高雄港之近岸海域，同樣地，於永安液化天然氣碼頭外海亦可清楚地發現一狀似三角形之黃藍水色差異團塊。由於永安液化天然氣碼頭海域亦具有淺灘沙岸特性，因此，也可確認該黃藍水色差異團塊亦係波浪掏動淺灘沙泥後，因優勢海流攜運所形成之另一自然渾濁水色，只是，從水色差異團塊之形狀研判，永安液化天然氣碼頭海域之優勢海流流向應具有交匯特性，亦即在永安液化天然氣碼頭海域，從安平港近岸海域可能具往南之優勢沿岸海流流向，而從高雄港近岸海域則可能具往北之優勢沿岸海流流向。依據以上台灣西南部近岸海域所呈現之自然渾濁水色團塊形狀，因此，推測台灣西南部近岸海域之優勢沿岸海流流向如圖 2.3.9 中之箭矢所示（莊文傑、江中權，2002）。此外，於永安液化天然氣碼頭海域，因優勢海流具流向交匯特性所造成之自然水色差異，亦可分別於 1994/11/13 11:00:25 及 1998/11/28 09:57:15 之 LANDSAT TM 衛星照片中，如圖 2.3.10 與圖 2.3.11 所示，觀察出相同之結果。值得注意的是，以上之 LANDSAT TM 衛星照片皆於冬季拍攝，而於冬季季風期間，由於高雄港近岸海域之主要風向約來自北向，因此，永安液化天然氣碼頭海域之優勢海流之交匯特性是否受該海域之離岸風力作用影響或純粹為近岸優勢海流特性尚值得進一步探討，同時，也有待夏季拍攝之 LANDSAT TM 衛星照片進一步比對確認。

#### (七) 高雄港海域沿岸之潮位梯度

高雄港海域沿岸之潮位梯度可從其南、北端海岸之蟬廣嘴與安平港預報之逐時潮位研判。在民國九十年一月十日至十二日期間，台灣西南部海域高雄港之逐時預報潮位如圖 2.3.12 中之紅線所示，同時期其南、北端海岸蟬廣嘴與安平港之逐時預報潮位分別如圖 2.3.12 中之黑線及藍線所示。仔細觀察圖 2.3.12 可知，由於高雄港海域約座落在半日潮於台灣海峽形成部分重複駐波之南端節點內（莊文傑、江中權，2000；Lin et al., 2000, 2001），故高雄港海域之潮差明顯較蟬廣嘴

與安平港小，亦即高雄港海域之乾潮位較蟬廣嘴與安平港高；而滿潮位較蟬廣嘴與安平港低。因此，在每日退潮時期之平潮位至乾潮位間，如 2001/01/10 00:00~04:00 及 2001/01/11 00:00~04:00，高雄港海域之退潮位皆大於同時期蟬廣嘴與安平港之退潮位，亦即高雄港海域之潮位梯度係向其南、北端海岸傾斜，以致當高雄港海域處於平潮位至乾潮位之退潮時期，潮流會顯現向北流動之觀測結果。除此之外，從潮位空間梯度變化(趨動潮流之水動力)之物理觀點出發，高雄港海域之潮流大致上應呈現：漲潮時期潮流向北流動；退潮時期潮流向南流動之正常現象。惟圖 2.3.6 所示之實測海流卻顯示：高雄港海域之海流，其漲潮時期潮流向南流動；退潮時期潮流則向北流動之特性。可見，高雄港海域之海流特性，甚難從單純應用潮位空間梯度變化之物理觀點予以準確地掌握，衛星照片(圖 2.3.9 及圖 2.3.11)中所顯示流向具交匯特性之優勢海流，亦無法單純從局部海域之水動力潮位邊界正確設定著手而可準確地模擬計算。

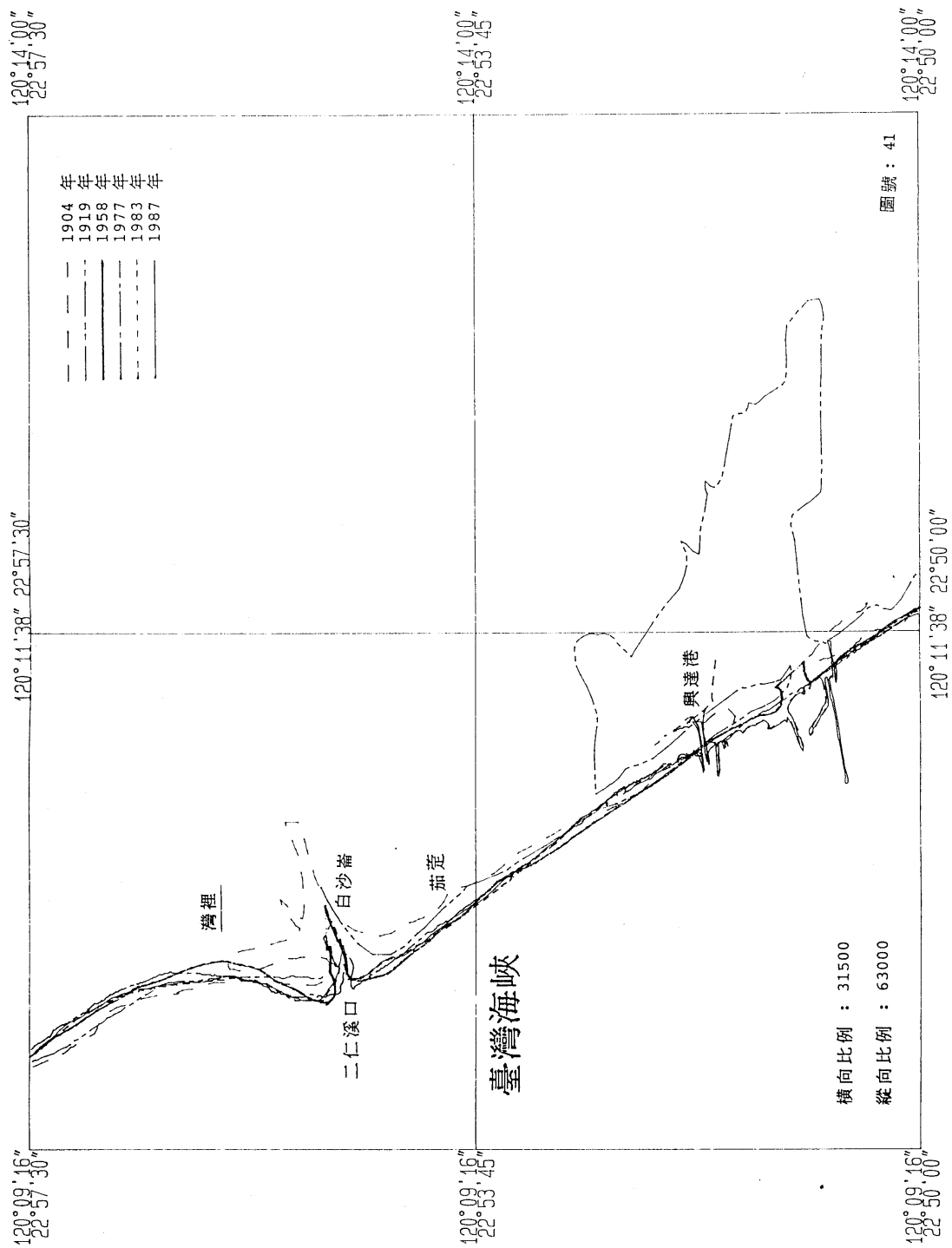




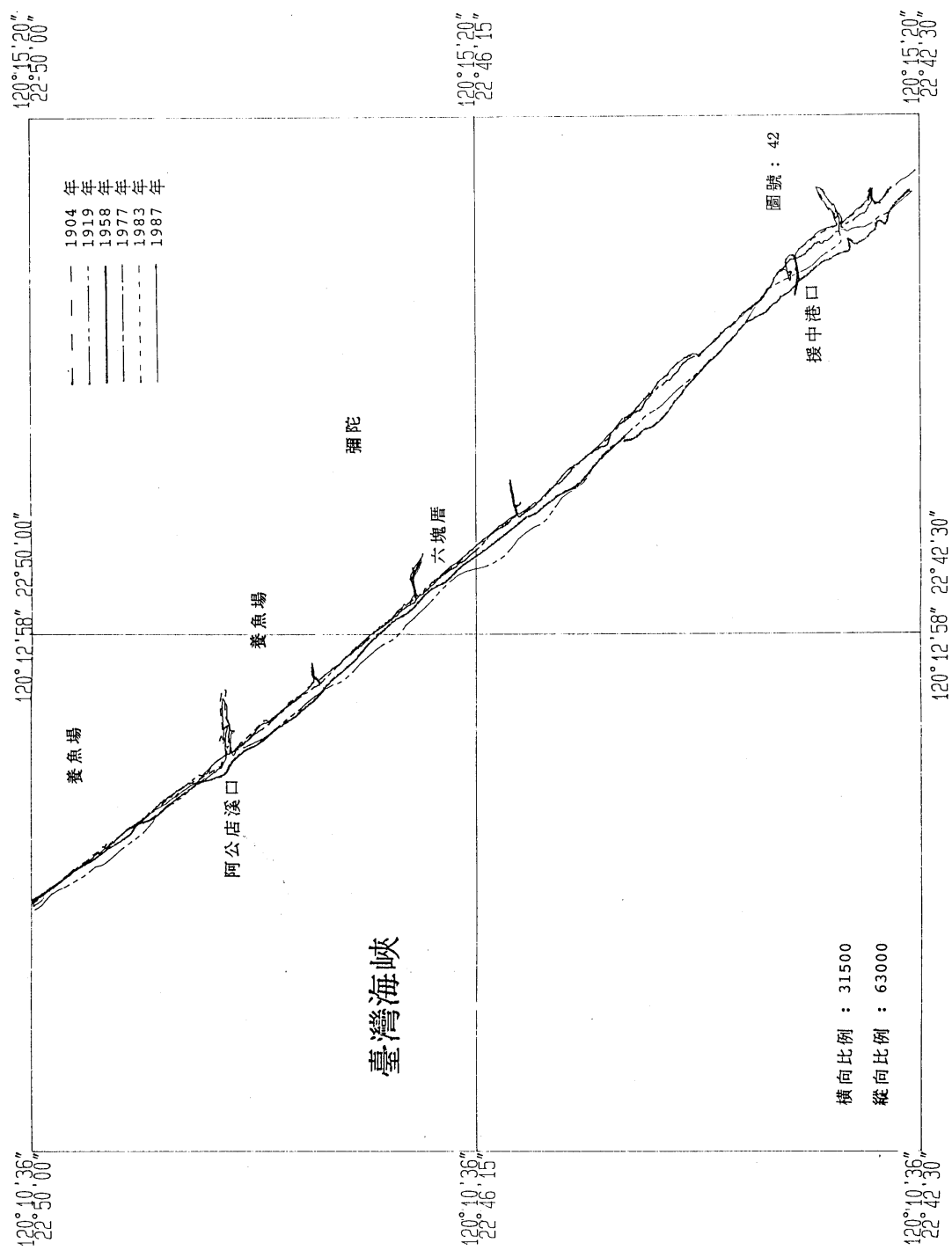
2.2.1 台灣西部重要河川輸沙量及所含重礦物組成  
(黃序文, 1995)

[illegible]

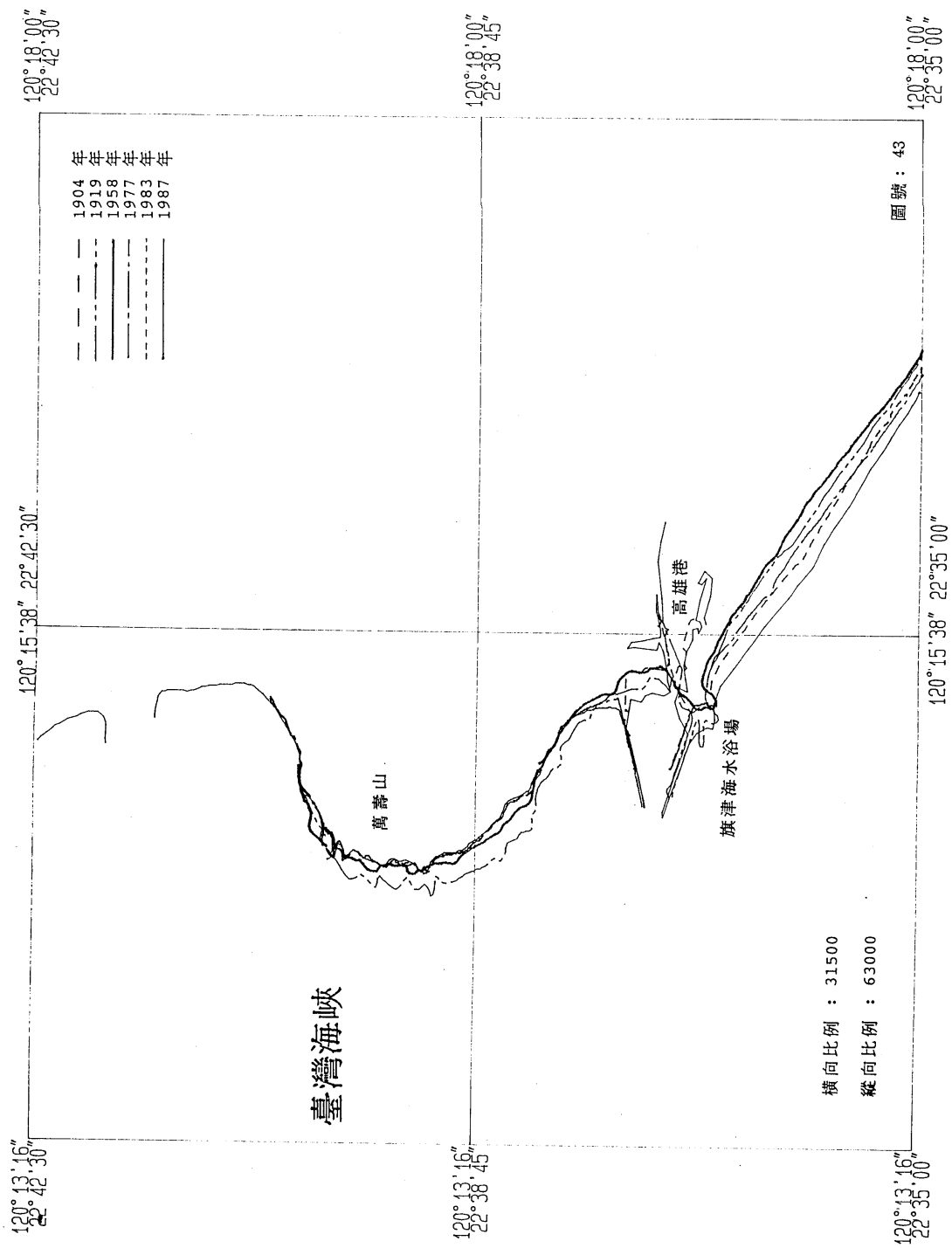
## 2-18



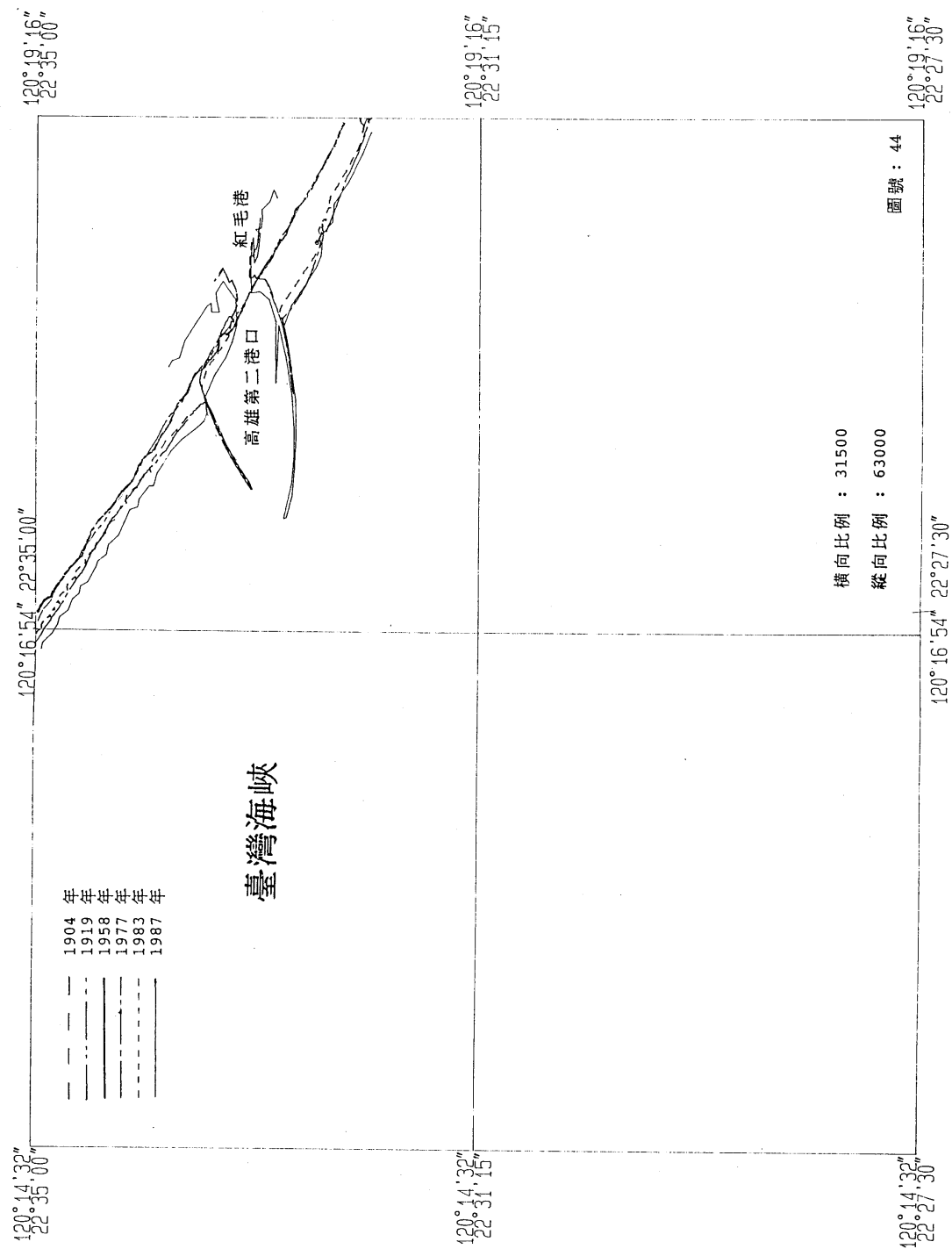
2.2.3 二仁溪附近海岸線比較圖 (郭金棟, 1990)



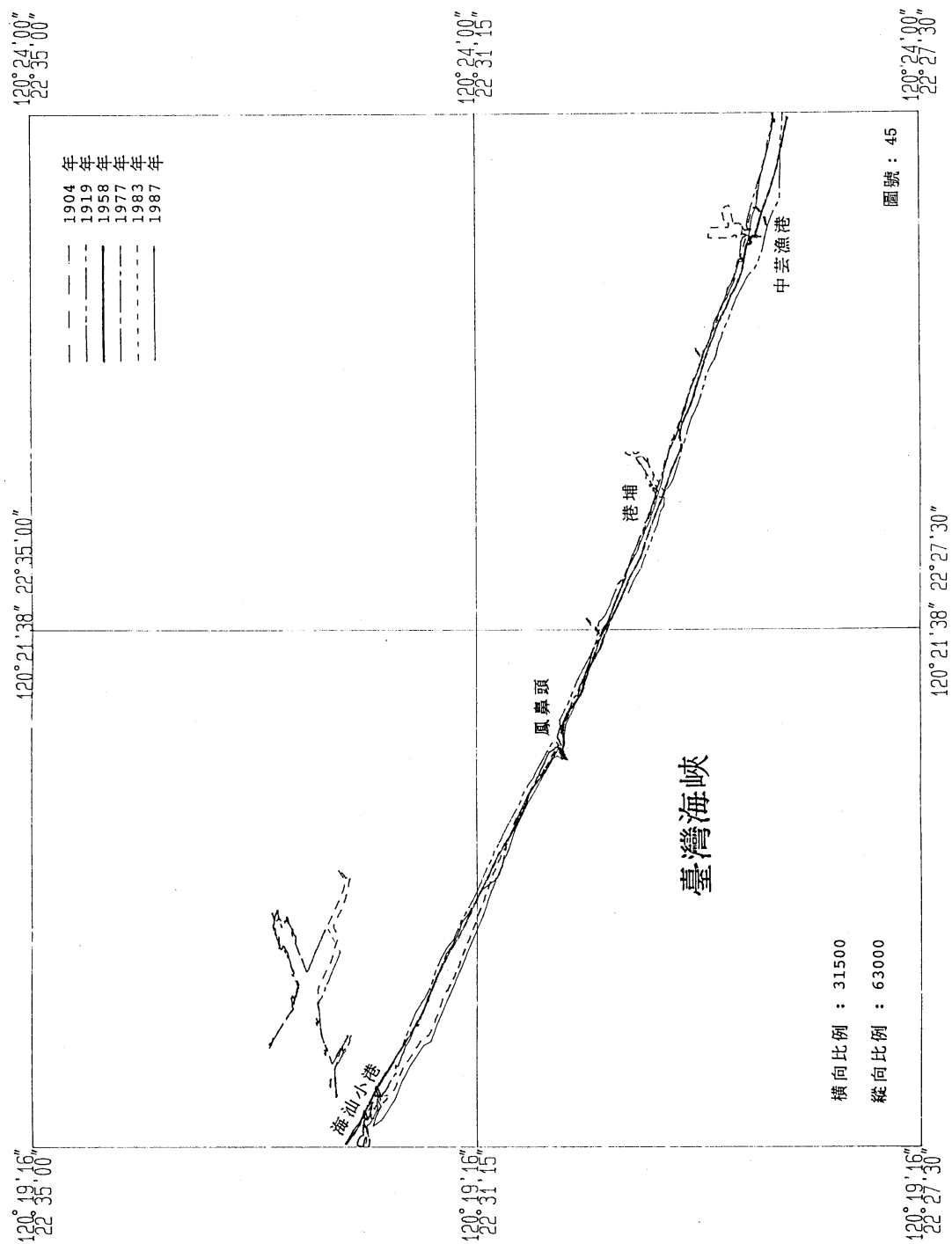
2.2.4 阿公店溪附近海岸線比較圖（郭金棟，1990）



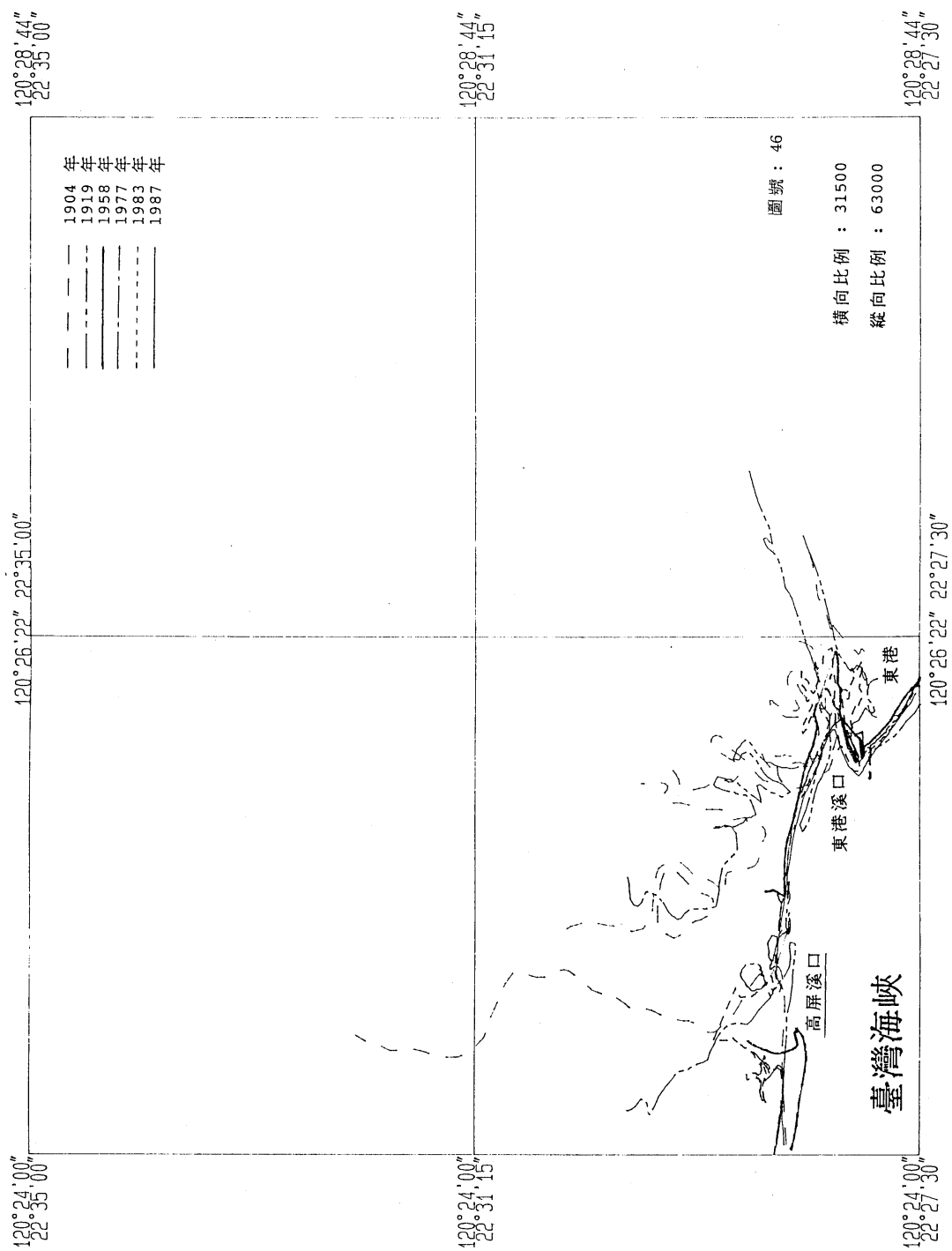
2.2.5 高雄港附近海岸線比較圖 (郭金棟, 1990)



2.2.6 高雄第二港口附近海岸線比較圖 (郭金棟, 1990)

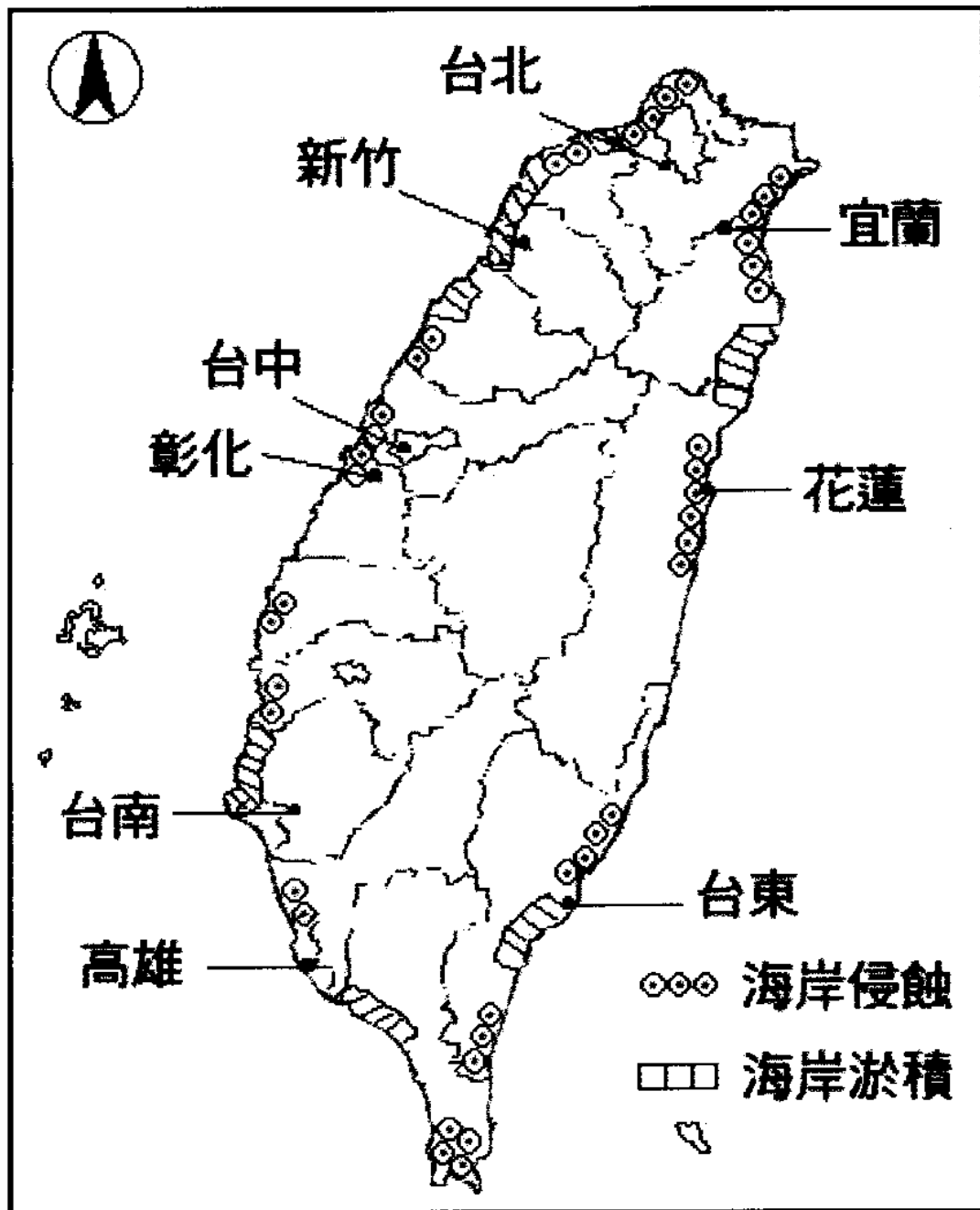


2.2.7 鳳鼻頭附近海岸線比較圖 (郭金棟, 1990)

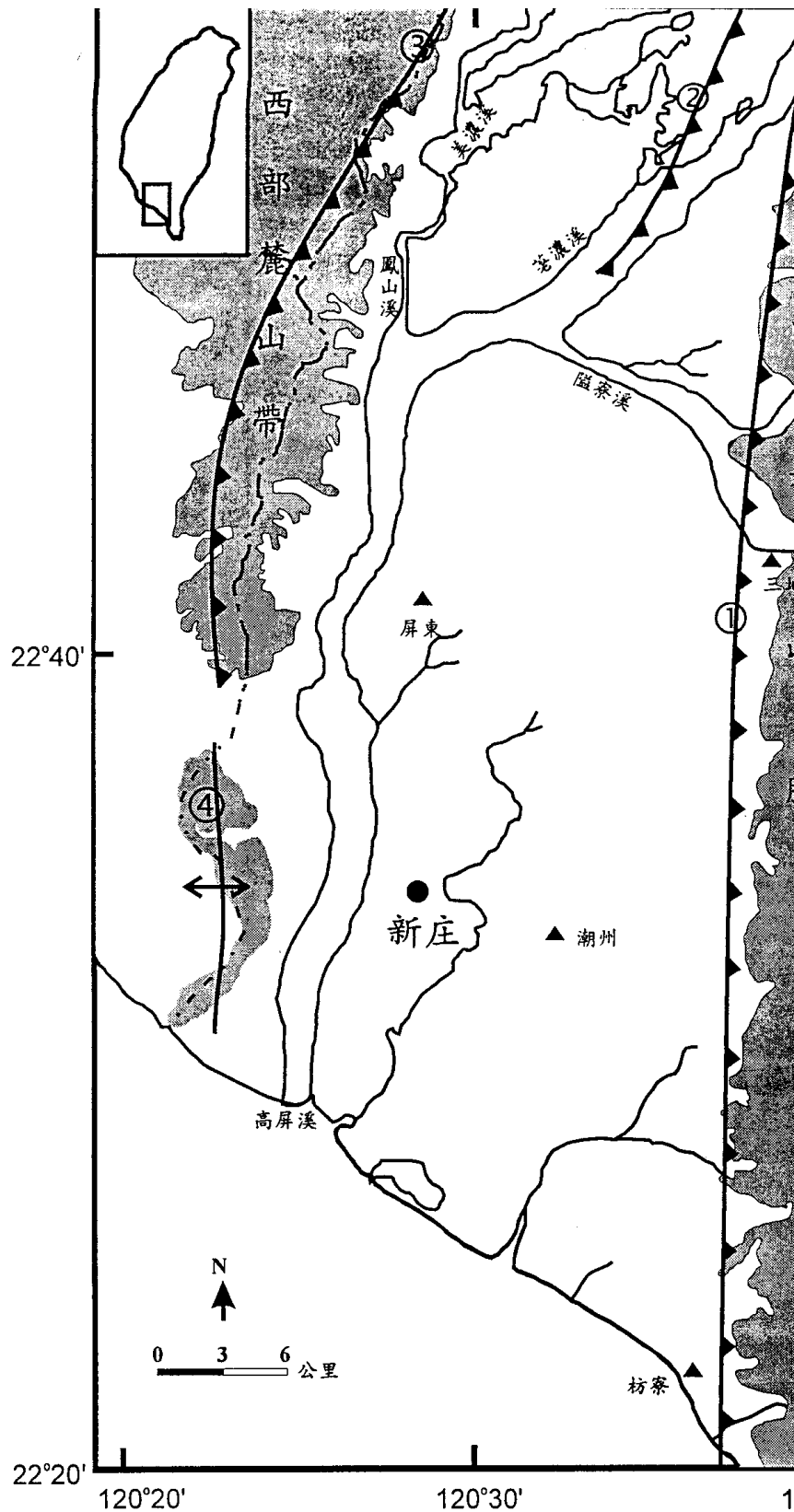


2.2.8 高屏溪口附近海岸線比較圖（郭金棟，1990）



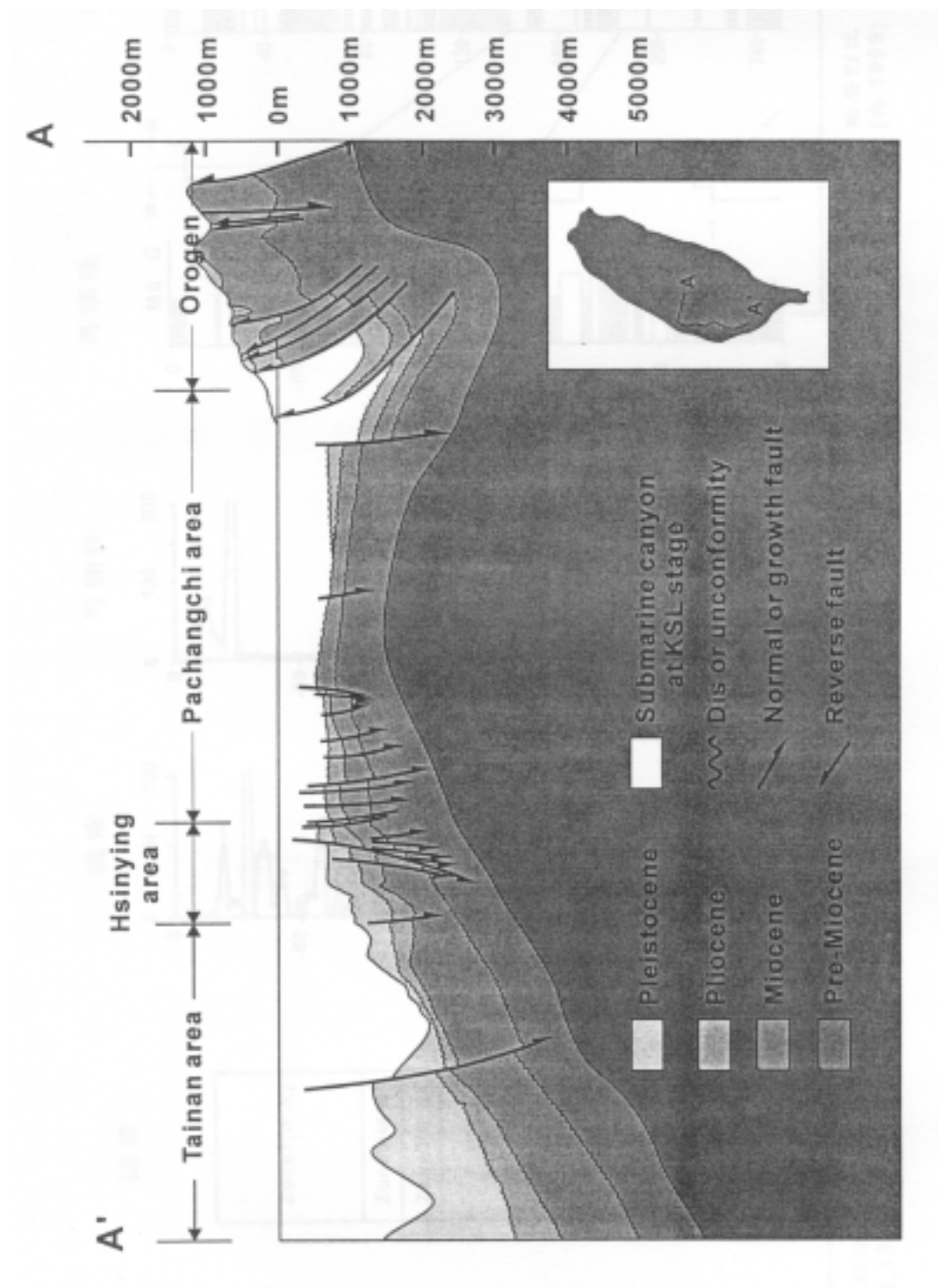


2.2.9 台灣海岸侵淤分佈圖（張金機，黃清和，1997）

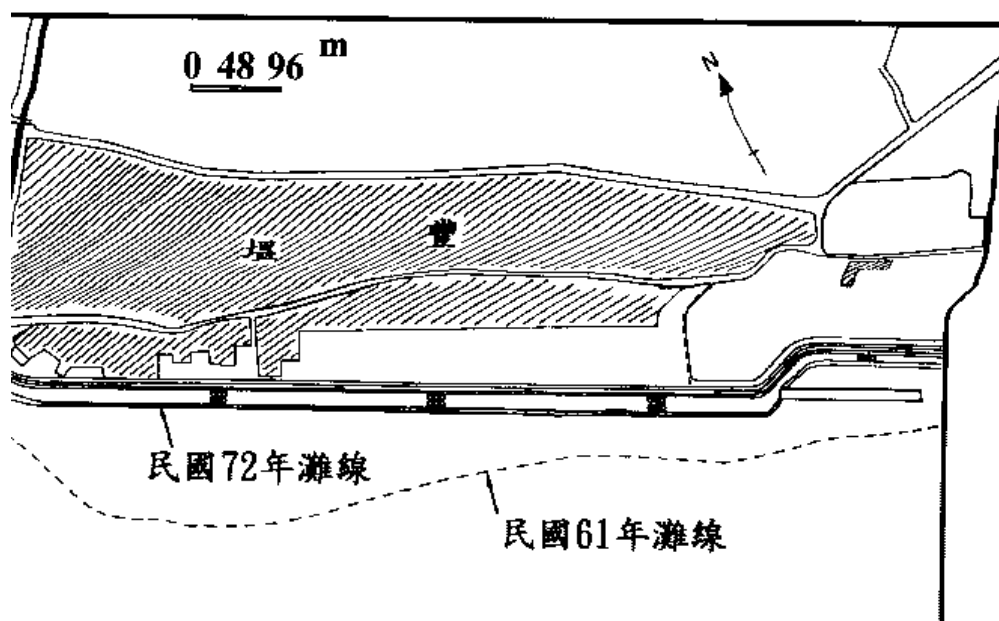


2.2.10 屏東平原地質構造圖（姜宏偉，2000）

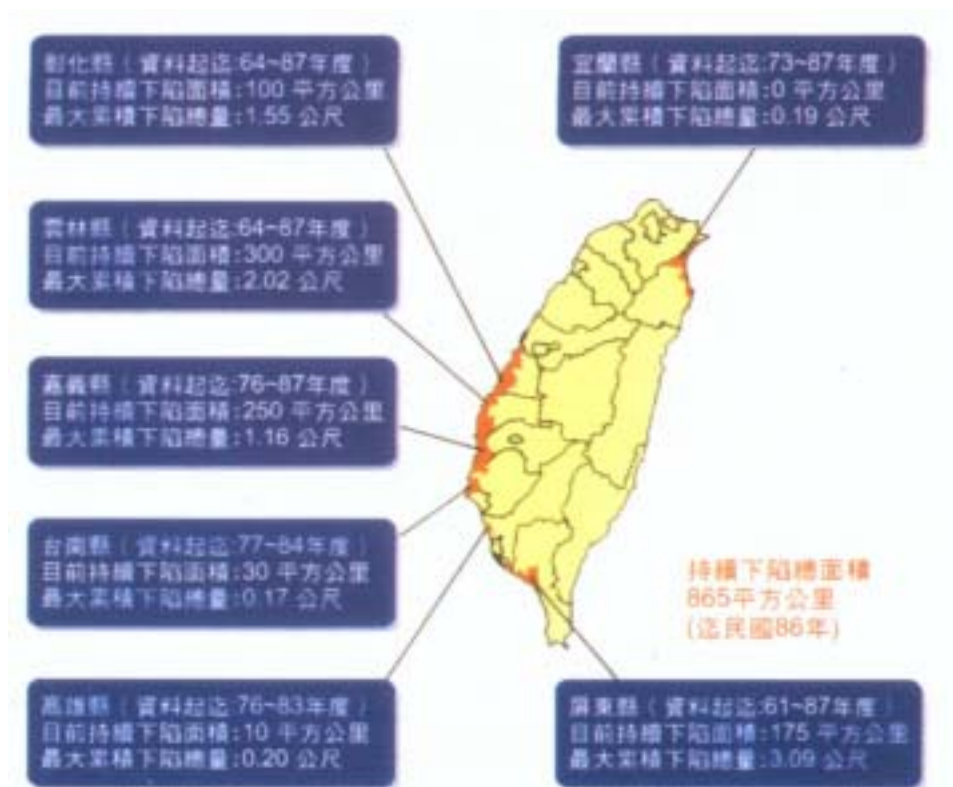
(1)潮州斷層(2)六龜斷層(3)旗山斷層(4)鳳山背斜



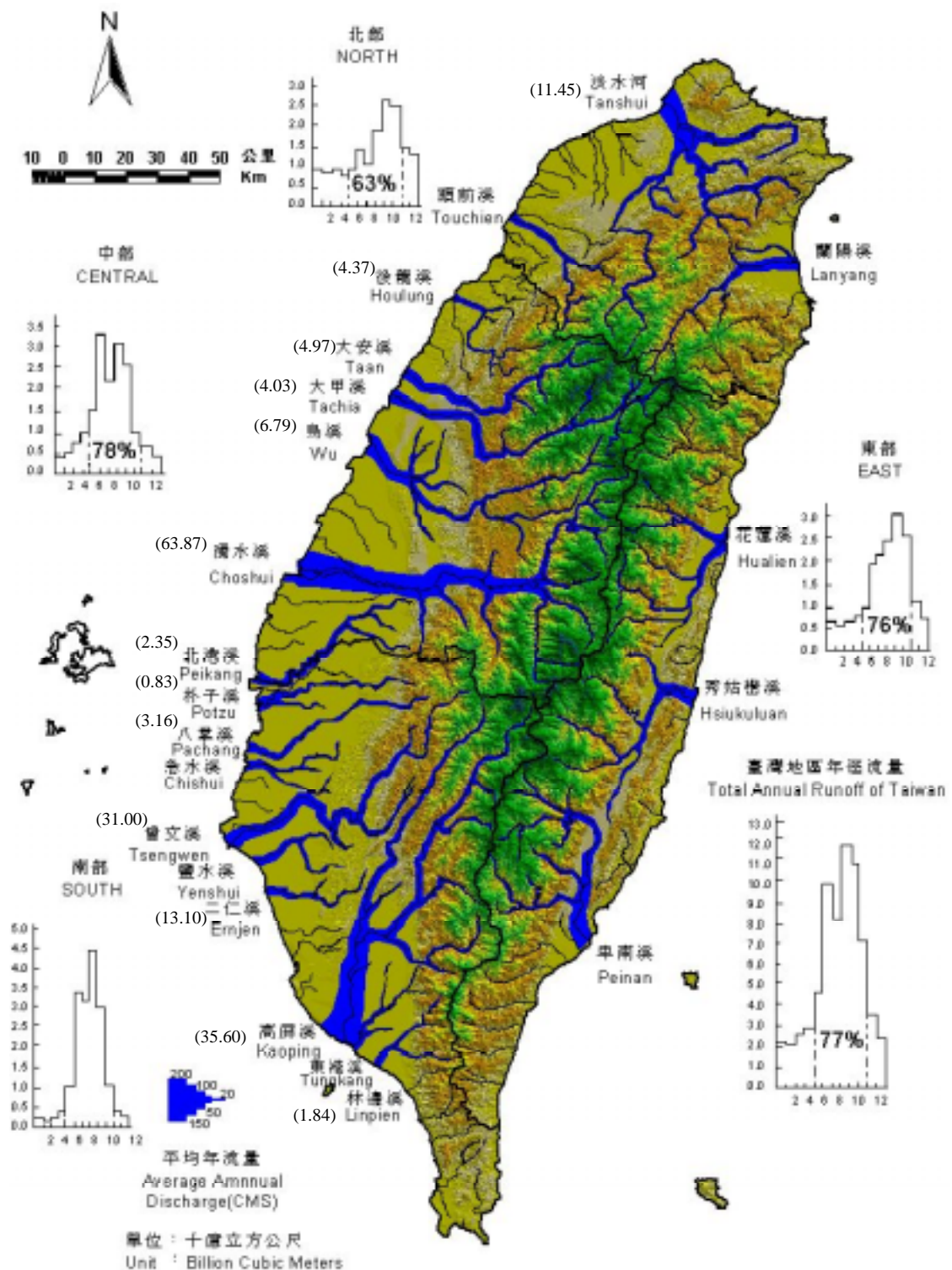
2.2.11 嘉南平原剖面圖 ( Liou, 1988 )



2.2.12 屏東縣塹豐海岸之灘線變化圖（歐善惠，2001）

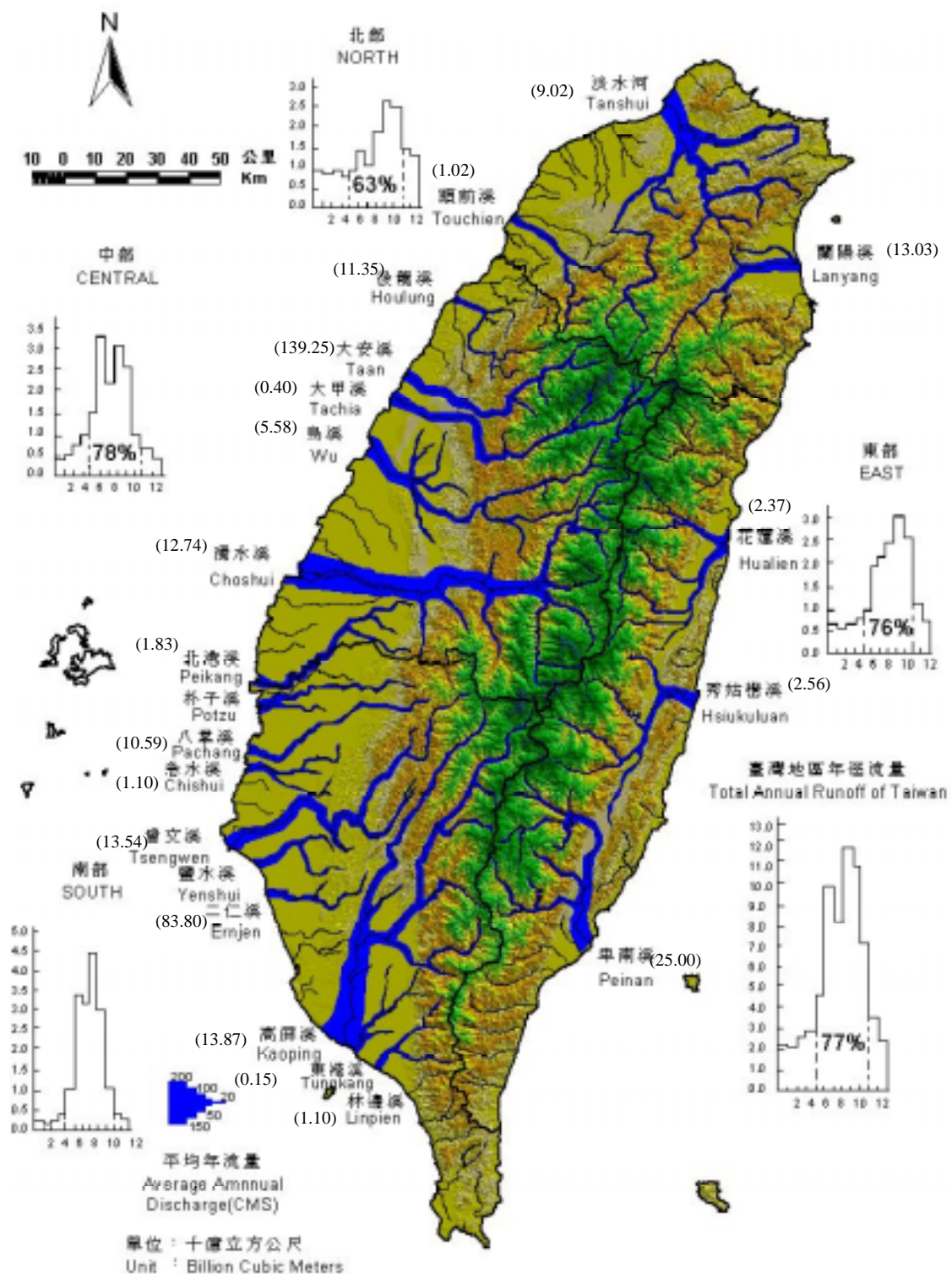


2.2.13 台灣全島地層下陷分佈圖（歐善惠，2001）

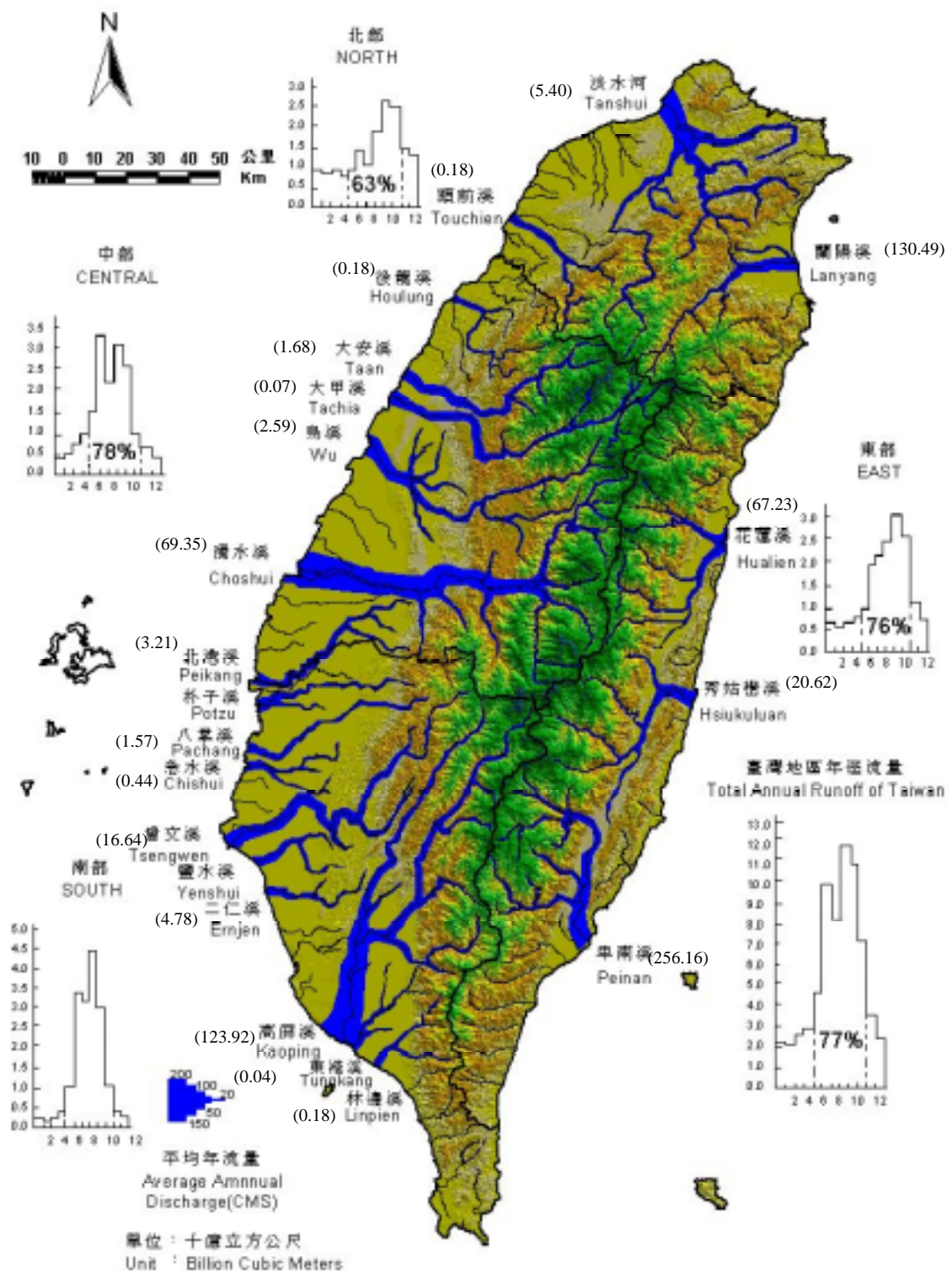


2.2.14 台灣 1949~1990 年平均逕流量以及 1991 年漂沙分佈圖（水文年報，1991）（藍線粗細代表逕流量大小，單位為 CMS；括弧內數字代表輸砂量，單位為  $10^6$  MT）



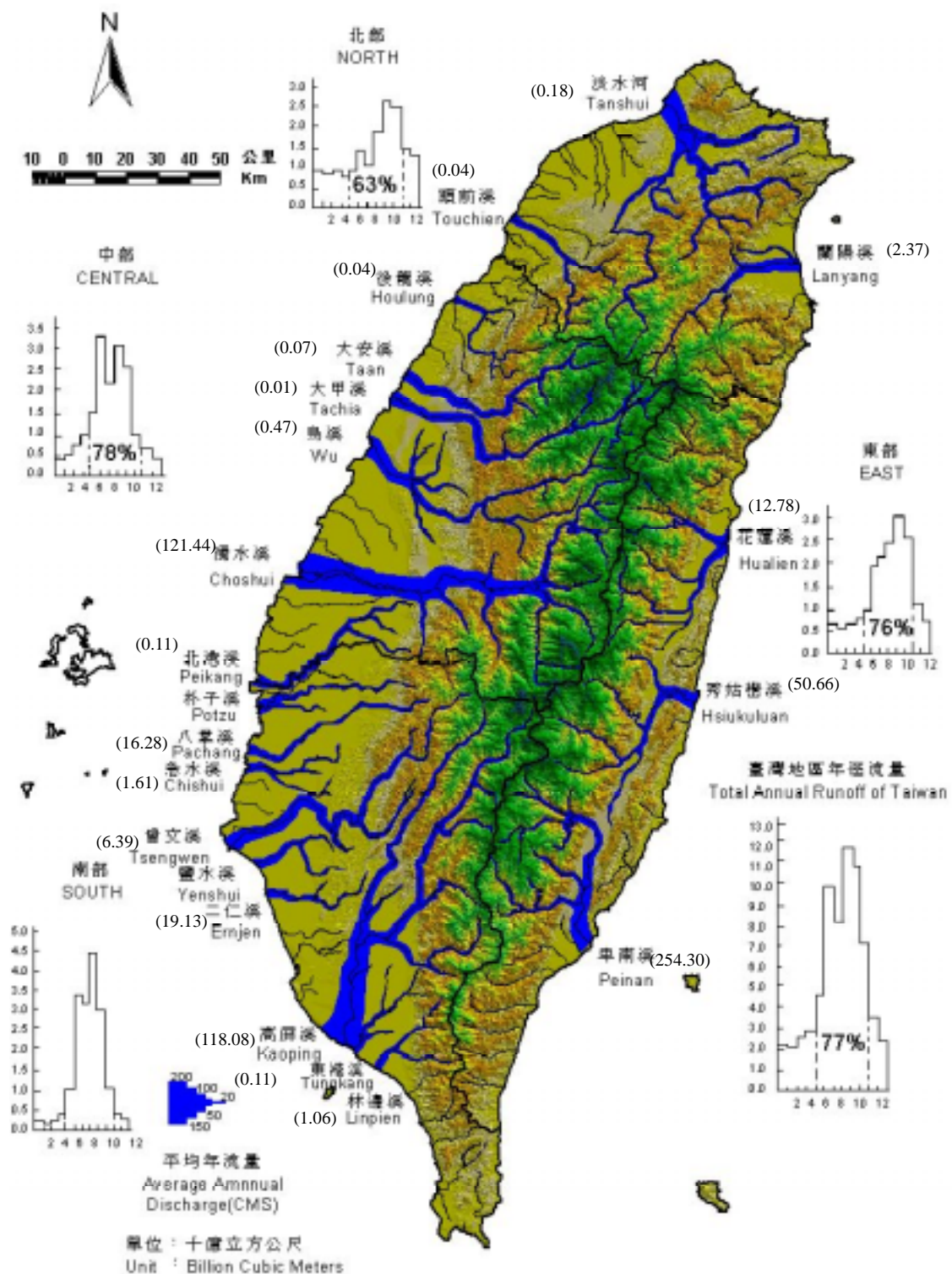


2.2.15 台灣 1949~1990 年平均逕流量以及 1997 年漂沙分佈圖（歐善惠，2001）（藍線粗細代表逕流量大小，單位為 CMS；括弧內數字代表輸砂量，單位為  $10^6$  MT）



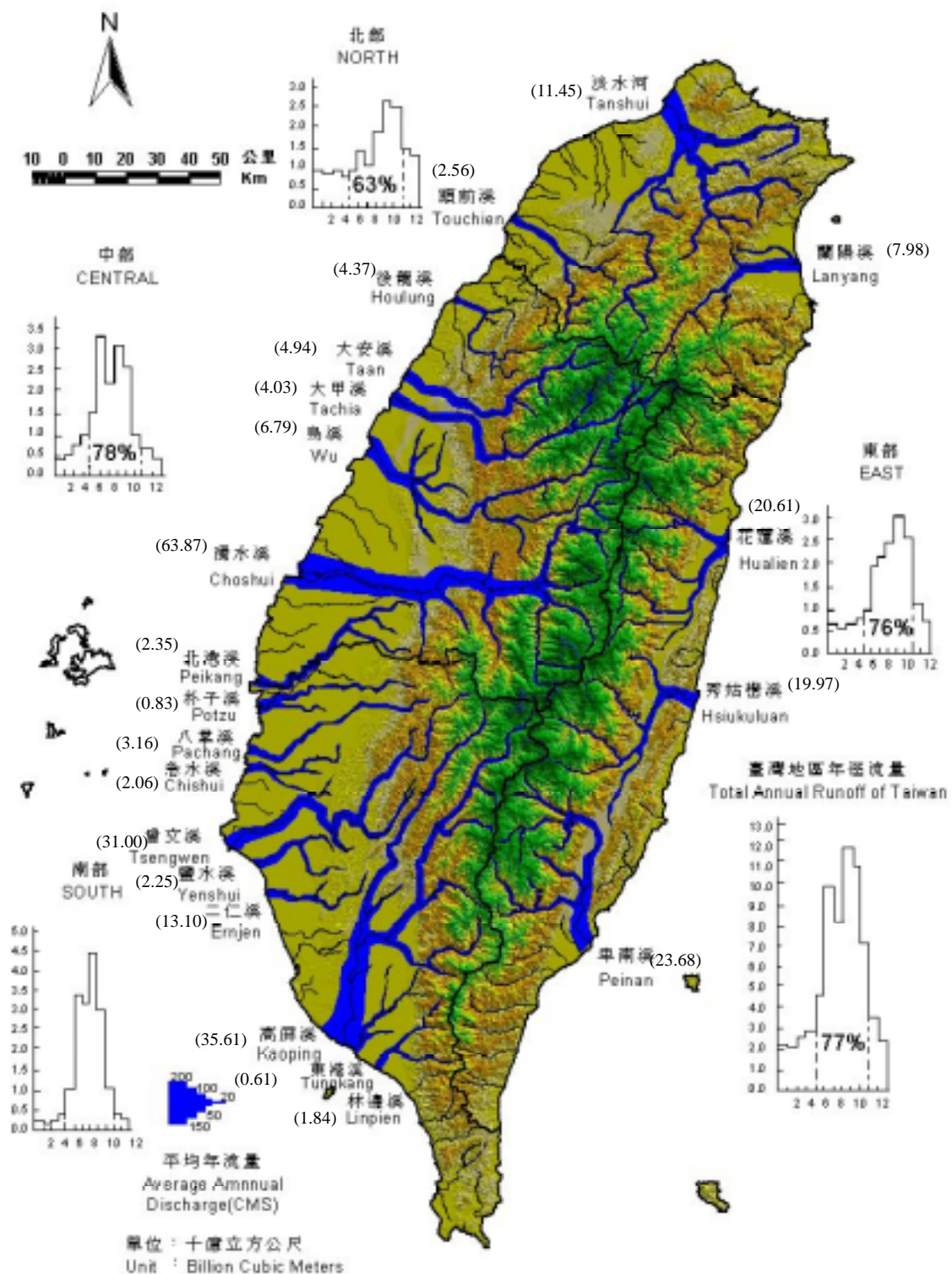
2.2.16 台灣 1949~1990 年平均逕流量以及 1998 年漂沙分佈圖（歐善惠，2001）（藍線粗細代表逕流量大小，單位為 CMS；括弧內數字代表輸砂量，單位為  $10^6$  MT）



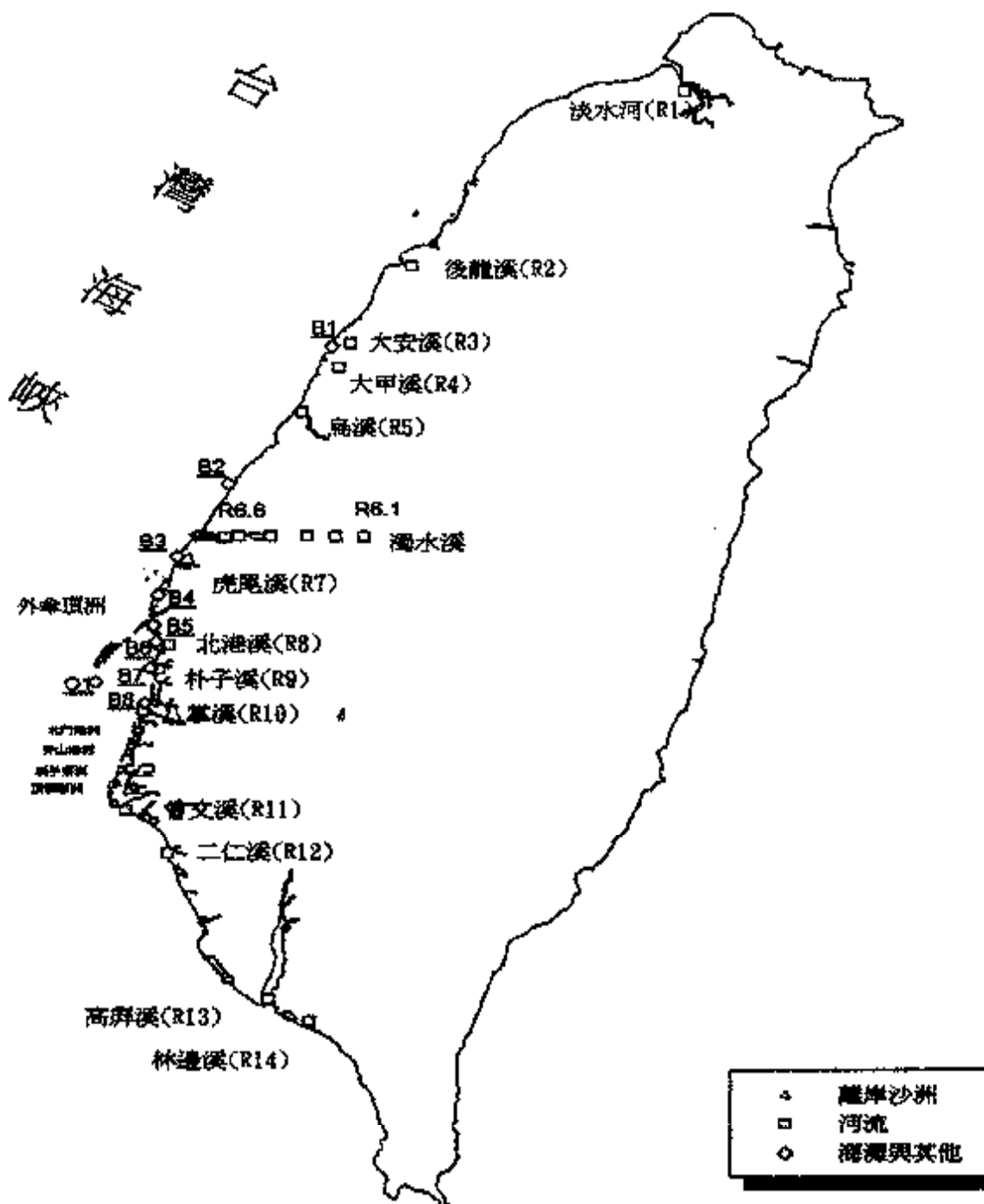


2.2.17 台灣 1949~1990 年平均逕流量以及 1999 年漂沙分佈圖 (歐善惠, 2001) (藍線粗細代表逕流量大小, 單位為 CMS; 括弧內數字代表輸砂量, 單位為 10<sup>6</sup> MT)

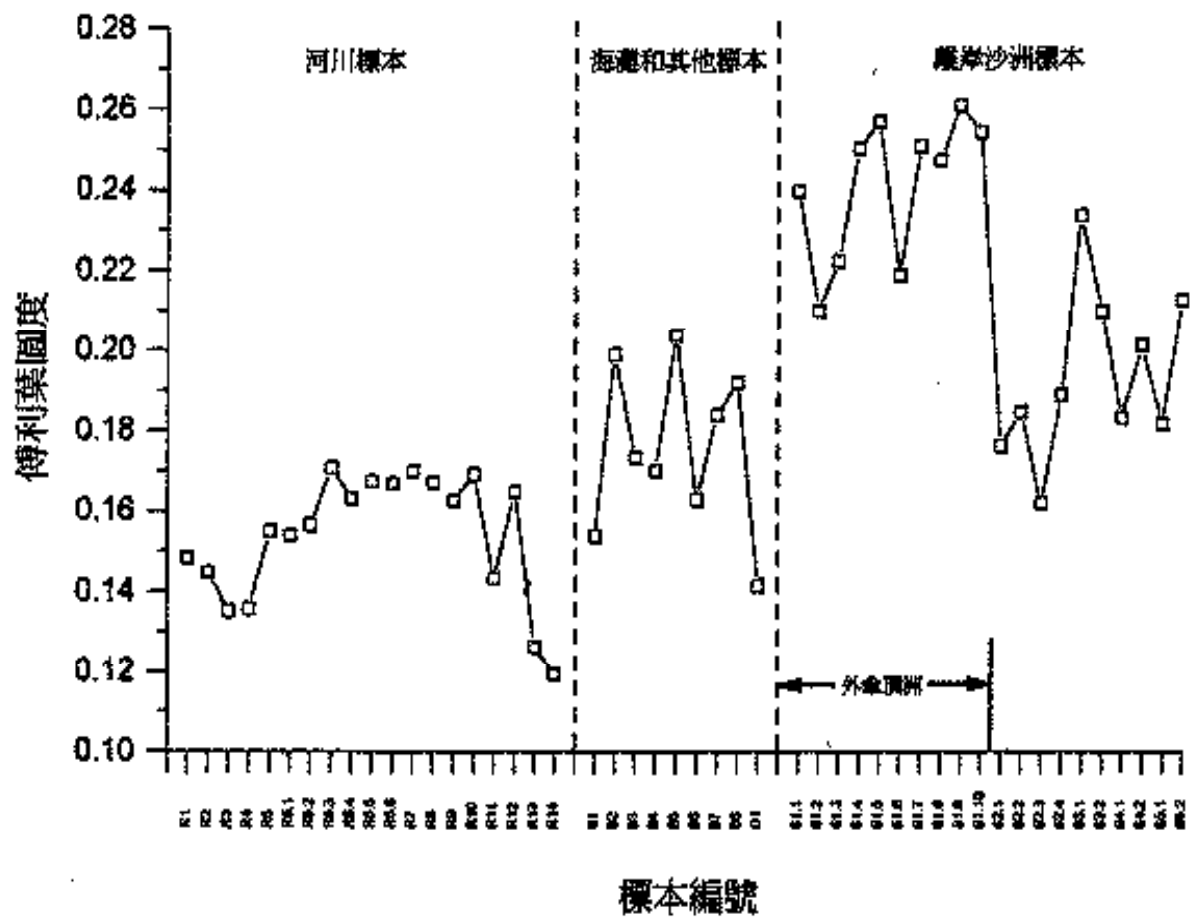




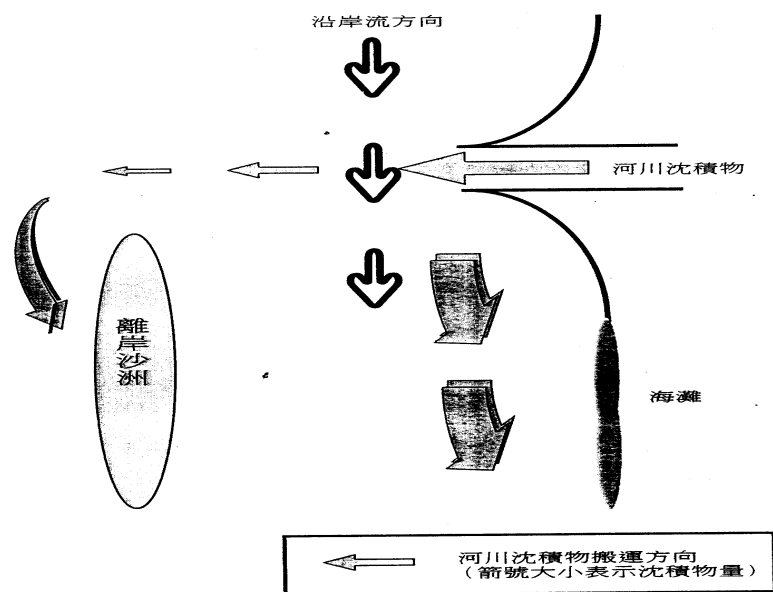
2.2.18 台灣 1949~1990 年平均逕流量以及歷年年漂沙分佈圖( 水文年報，2000 ) (藍線粗細代表逕流量大小，單位為 CMS；括弧內數字代表輸砂量，單位為  $10^6$  MT)



2.2.19 台灣西部河川、海灘、沙洲沙粒顆粒圖度分析  
標本採集位置圖 (廖宏儒, 1997)

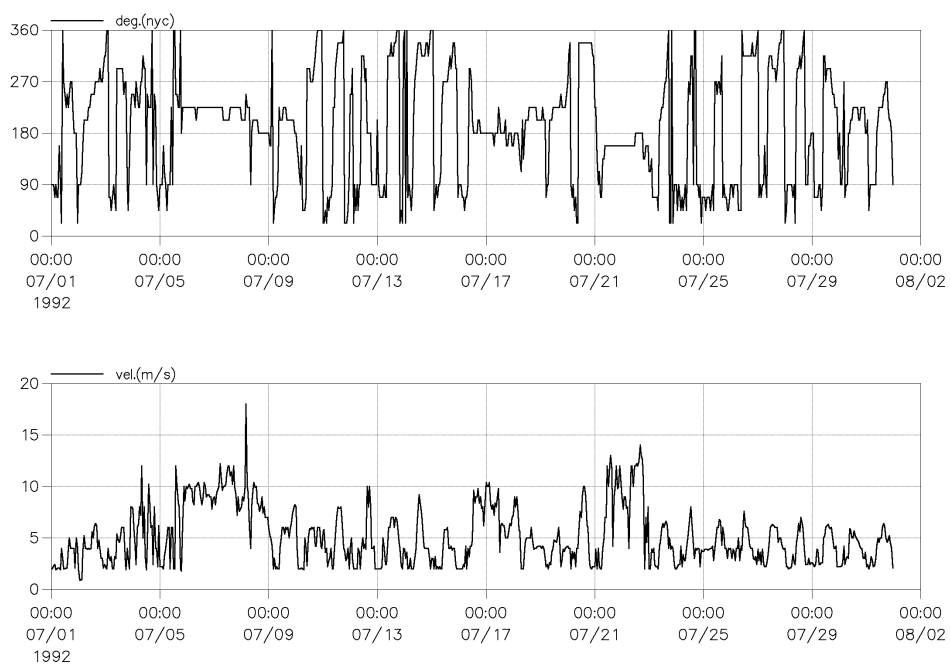


2.2.20 台灣西部河川、海灘、沙洲沙粒顆粒圓度分析圖  
(廖宏儒, 1997)



2.2.21 河川漂沙型態示意圖 (廖宏儒, 1997)

| 高雄地區風統計    |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|------------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 項目/時期      | 全年  | 1    | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   |
| 平均         | 2.6 | 2.8  | 2.7  | 2.7  | 2.5  | 2.5  | 2.6  | 2.9  | 2.8  | 2.5  | 2.3  | 2.4  | 2.6  |
| 最大         | /   | 11.7 | 11.7 | 12.0 | 12.3 | 11.5 | 20.2 | 18.0 | 16.0 | 21.7 | 15.2 | 12.2 | 11.7 |
| 極大         | /   | 17.5 | 22.4 | 19.0 | 26.0 | 23.1 | 27.1 | 30.7 | 28.0 | 40.6 | 23.2 | 72.4 | 21.8 |
| 資料來源：中央氣象局 |     |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |

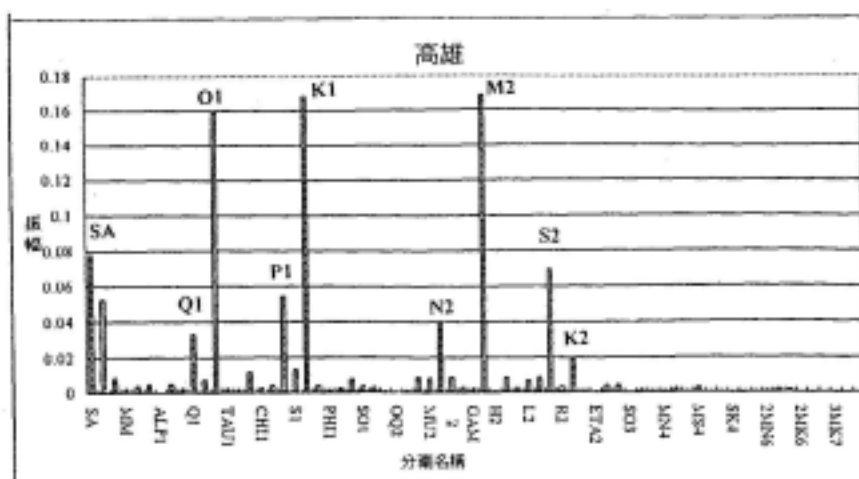


**圖 2.3.1 高雄港港域月統計風速與中央氣象局高雄測候站  
1992 年七月之實測風向與風速( 莊文傑 江中權, 1997 )**

表 2.3.1 高雄港區潮汐調和分析之分潮振幅與相位

(1976/01/31 00:00~1986/12/31 22:00)

| 分潮名稱   | 振幅(公尺)   | 相位角(度)     | 分潮名稱   | 振幅(公尺)   | 相位角(度)     |
|--------|----------|------------|--------|----------|------------|
| K1     | 0.176001 | 21.816300  | TH1A1  | 0.002259 | 331.175000 |
| M2     | 0.163274 | 189.675500 | PI1    | 0.002196 | 167.371200 |
| O1     | 0.157076 | 346.171000 | MK3    | 0.002101 | 76.653080  |
| SA     | 0.127766 | 136.185100 | MSN2   | 0.001972 | 281.563800 |
| S2     | 0.068598 | 261.937000 | M4     | 0.001906 | 254.629600 |
| P1     | 0.056274 | 118.178900 | M1     | 0.001849 | 331.330200 |
| N2     | 0.033760 | 198.325100 | X1     | 0.001747 | 288.085100 |
| Q1     | 0.029074 | 345.526800 | SO3    | 0.001611 | 181.505300 |
| SSA    | 0.021374 | 27.559480  | R2     | 0.001569 | 205.938400 |
| K2     | 0.019409 | 111.836800 | MS4    | 0.001516 | 3.726855   |
| J1     | 0.008262 | 138.355700 | OO1    | 0.001499 | 332.791900 |
| OP2    | 0.007654 | 14.046870  | KJ2    | 0.001357 | 24.949800  |
| MKS2   | 0.006796 | 143.389100 | OQ2    | 0.001337 | 239.901900 |
| MJU2   | 0.005740 | 162.683100 | M6     | 0.001064 | 300.338600 |
| NJU2   | 0.005698 | 206.834700 | 2SM2   | 0.001015 | 336.325800 |
| S1     | 0.005684 | 216.360300 | 2MS6   | 0.000983 | 45.066060  |
| MF     | 0.005608 | 133.515200 | LUNDA2 | 0.000943 | 306.871400 |
| PSI1   | 0.005595 | 258.361700 | MNS2   | 0.000908 | 39.984720  |
| 2N2    | 0.005405 | 219.732300 | MK4    | 0.000708 | 136.230000 |
| RHO1   | 0.005256 | 345.749000 | FA11   | 0.000696 | 184.783100 |
| T2     | 0.005202 | 237.253000 | MN4    | 0.000628 | 244.356000 |
| MSF    | 0.005173 | 89.324290  | 2MN6   | 0.000459 | 292.376000 |
| MP1    | 0.003795 | 8.042664   | S4     | 0.000323 | 186.908500 |
| SO1    | 0.003641 | 168.617600 | SK4    | 0.000306 | 172.751800 |
| MM     | 0.003507 | 6.737741   | SN4    | 0.000278 | 287.784000 |
| M3     | 0.003060 | 352.042300 | MSN6   | 0.000272 | 30.408930  |
| 2Q1    | 0.002948 | 116.209300 | SK3    | 0.000196 | 90.396720  |
| SIGMA1 | 0.002705 | 5.269195   | 2MK6   | 0.000113 | 281.882700 |
| L2     | 0.002653 | 312.130300 | 2SM6   | 0.000111 | 219.338500 |
| MO3    | 0.002618 | 50.099620  | MSK6   | 0.000050 | 52.917450  |



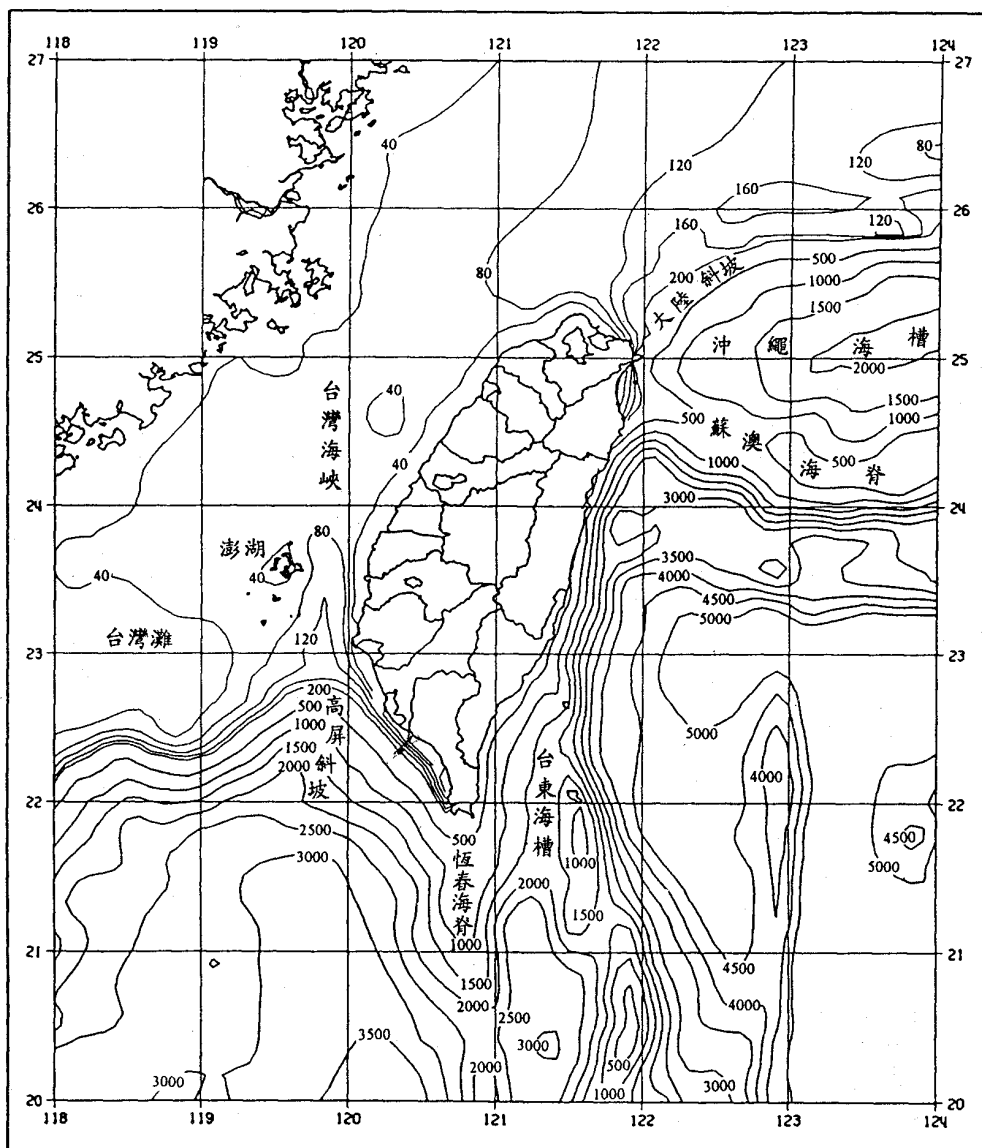


圖 2.3.2 台灣附近海域水深地形圖 (劉文俊, 1999)

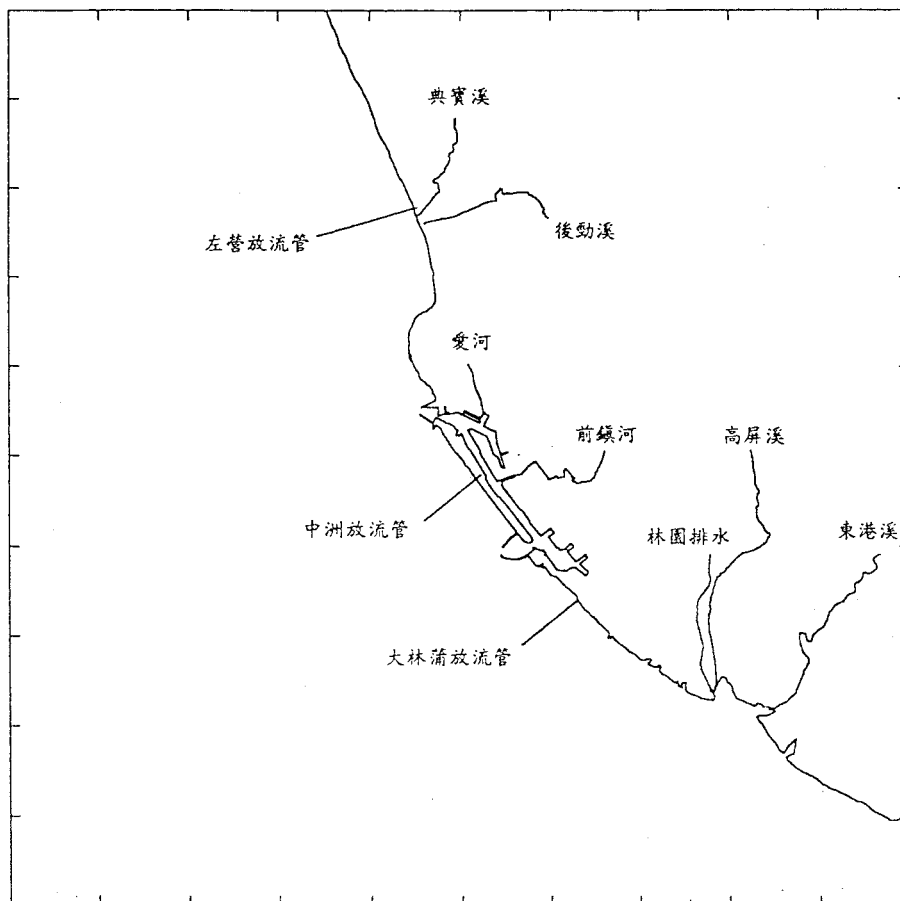


圖 2.3.3 高雄港港域之河川排水及放流管

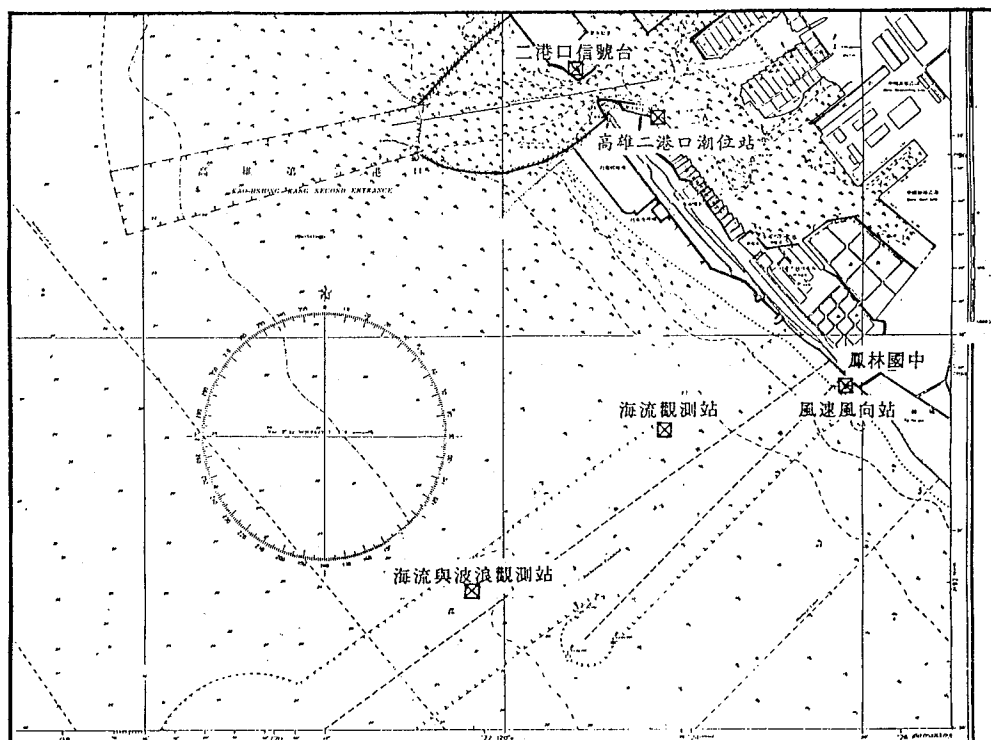
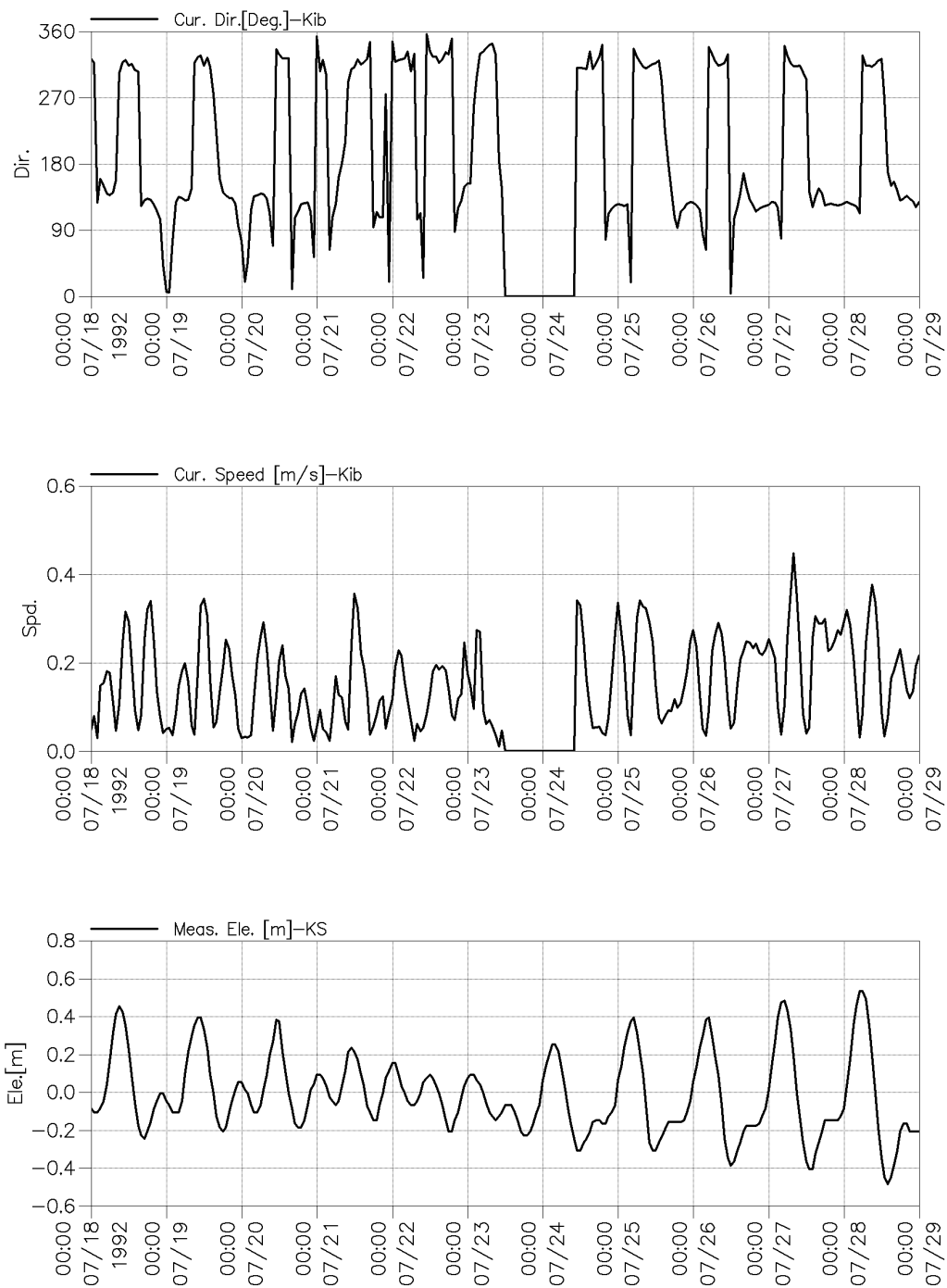


圖 2.3.4 高雄港港域南側大林蒲外海之海象調查儀器佈置之位置



**圖 2.3.5 大林蒲外海民國 81 年 7 月於 10 公尺水深處下層海流儀之全月逐時海流量測結果與對應之潮位**



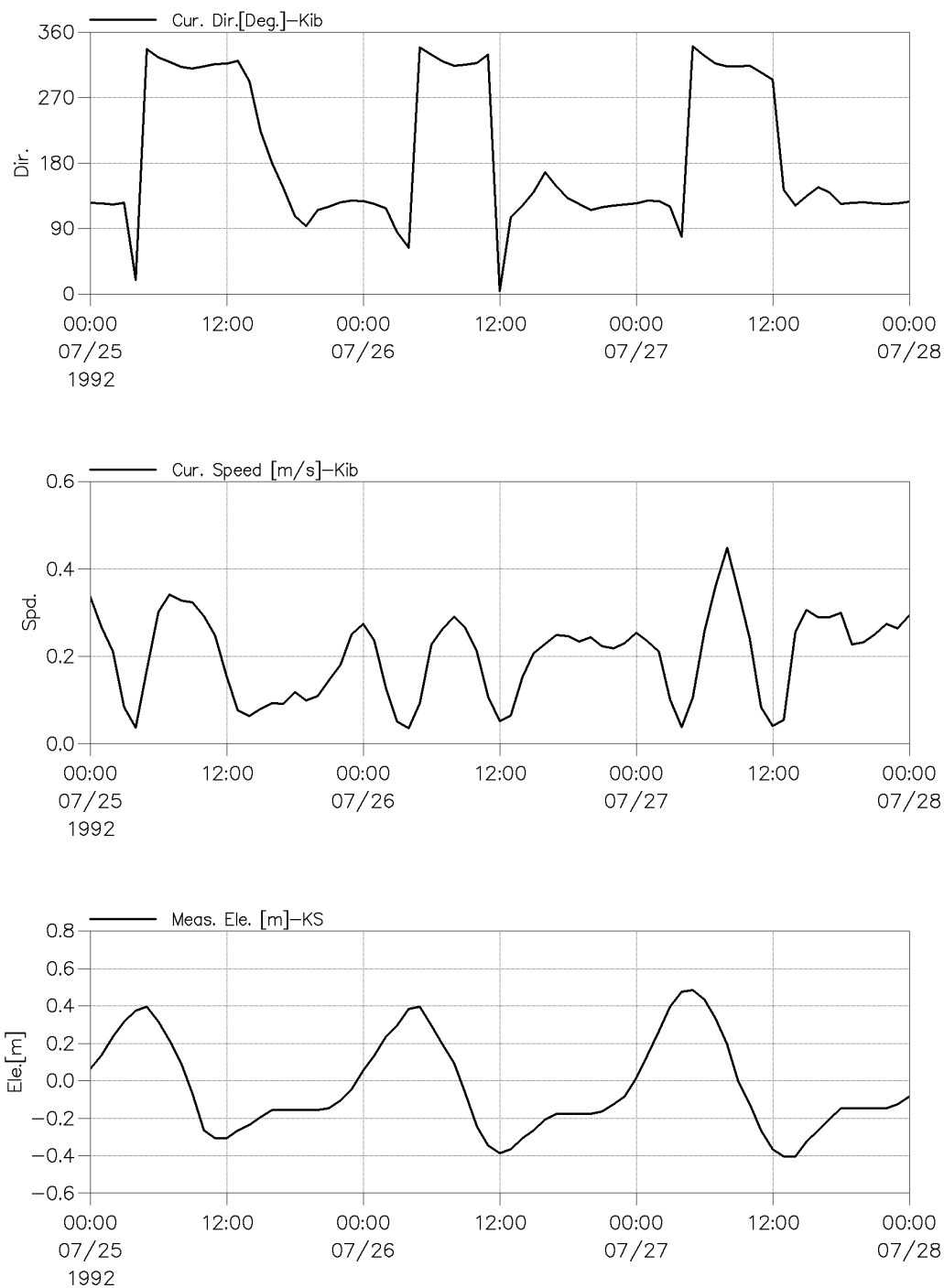


圖 2.3.6 大林蒲外海民國 81 年 7 月 25 日至 7 月 28 於 10 公尺水深處下層海流儀之逐時海流量測結果與對應之潮位

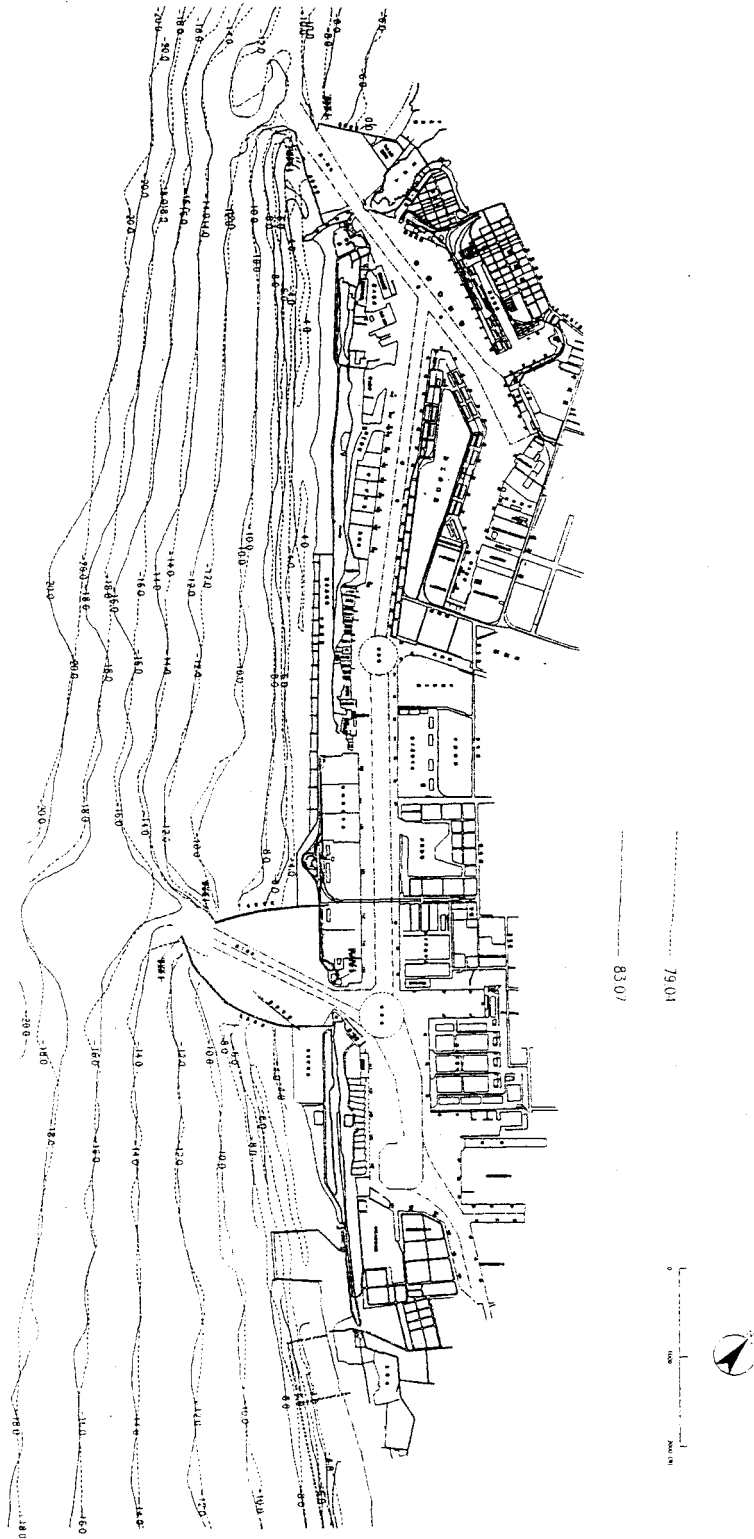
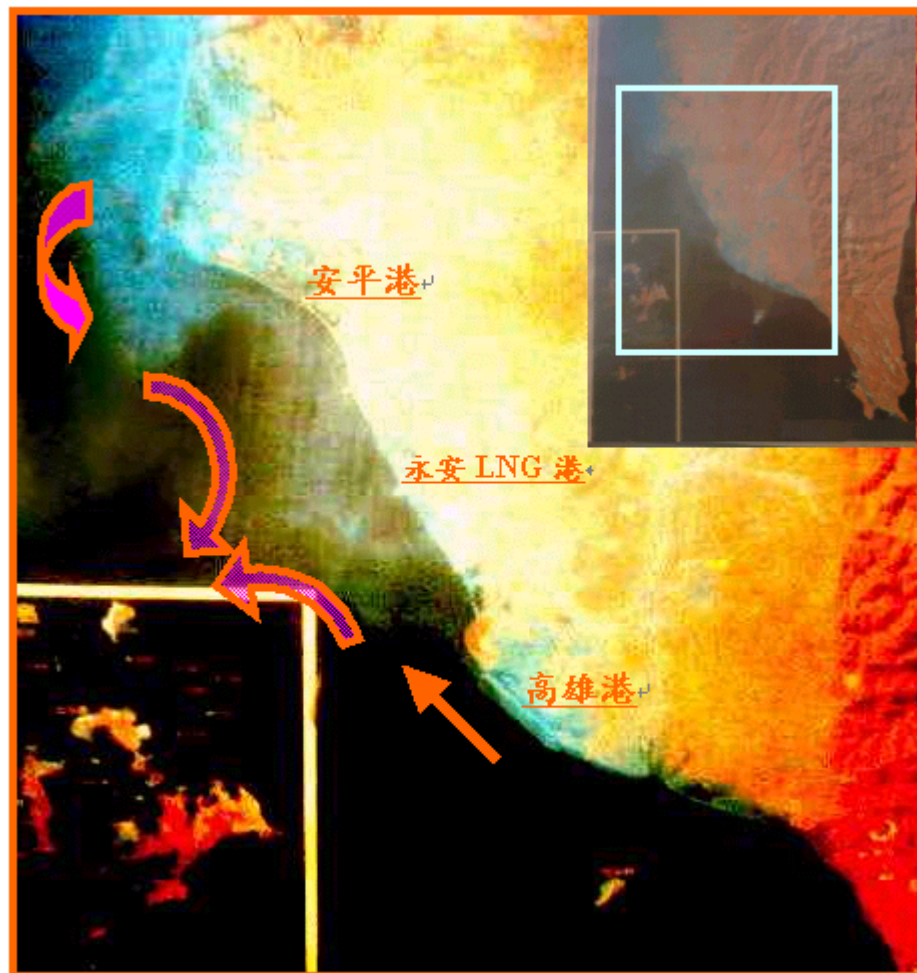
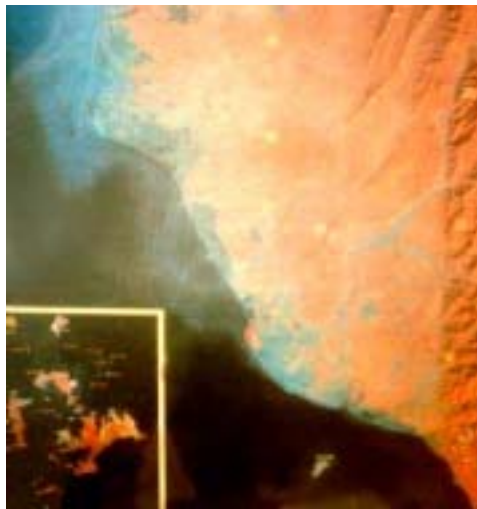


圖 2.3.7 高雄港域民國 79 年與民國 83 年之水深地形變化比較圖  
(港灣技術研究所，1997)



**圖 2.3.8 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片**  
(工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作，SCALE:1/250,000)



**圖 2.3.9 高雄港局部海域之 LANDSAT TM 1/3/4 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之黃藍水色差異與推測之優勢海流流向（莊文傑,江中權，2002）**  
 （工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作，SCALE:1/250,000）



**圖 2.3.10 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異**

(工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作，SCALE:1/250,000)



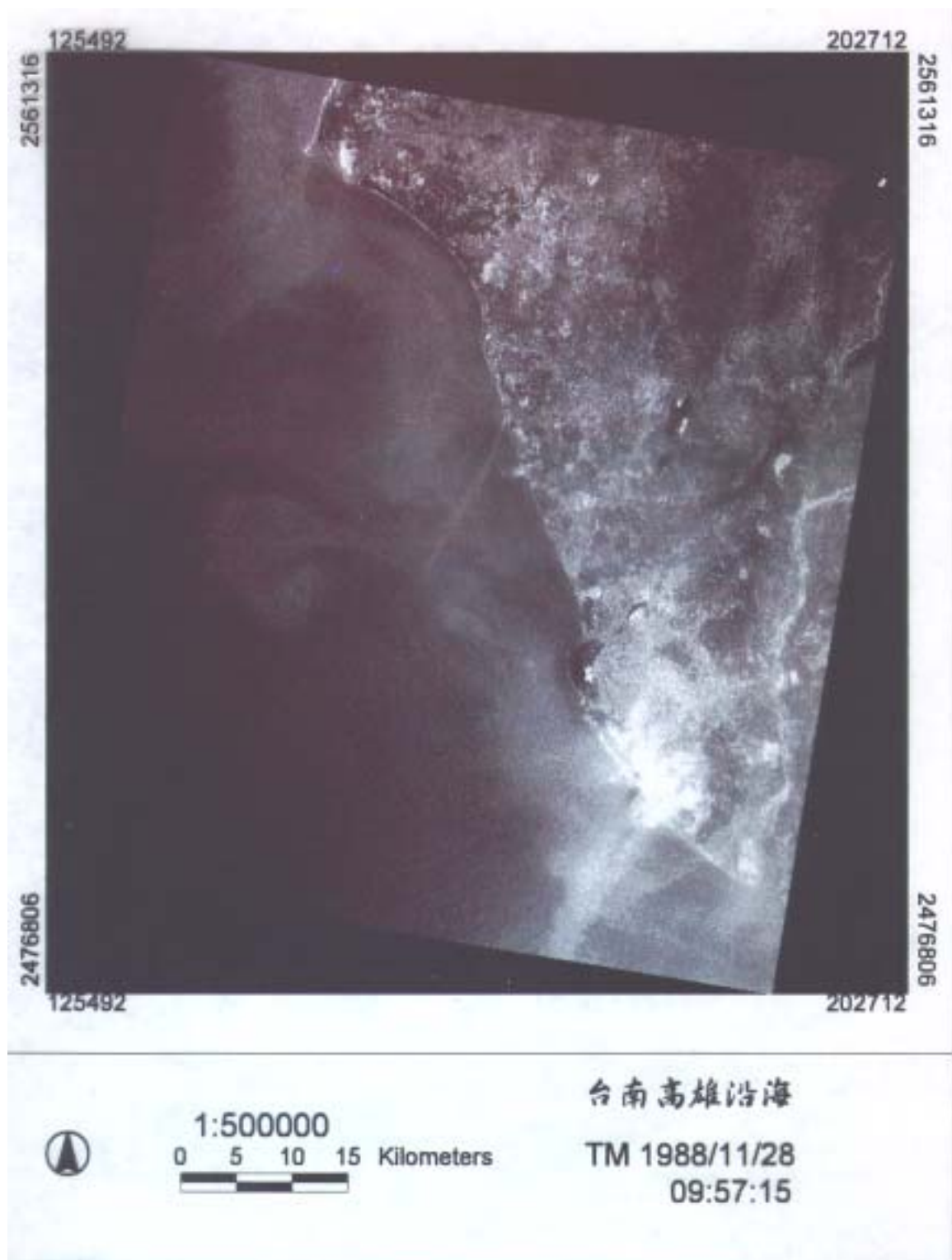
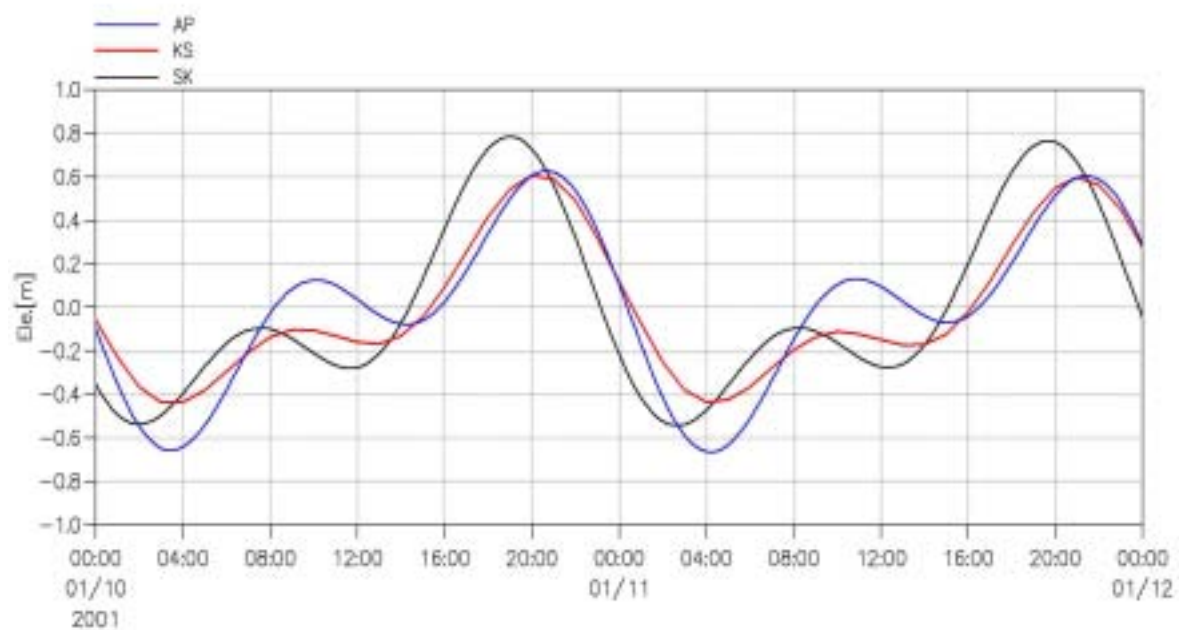


圖 2.3.11 台灣西南部海域之 LANDSAT TM 衛星照片及永安液化天然氣碼頭外海之自然水色差異

(工研院能源與資源研究所與中央大學太空與遙測中心共同製作，SCALE:1/250,000)



**圖 2.3.12 台灣西南部沿岸海域安平港、高雄港、及鵝鑾嘴之逐時預報潮位（莊文傑,江中權，2002）**

## 第三章 高雄海域海流特性分析

### 3.1 高雄海域現場觀測之潮汐及海流特性

為探討高雄海域海流特性，擬先以了解海域自然環境之潮汐、風、波浪及地形等海、氣、地象影響因子特性。一般近岸海流包括潮流、恒流、風驅流、暴潮流及沿岸流等。潮汐可視為一種淺水長波，其引致之流場稱為潮流，潮流具週期性一般較為規則化。季風期持續較長之風剪力所引起流場稱為風驅流，其影響之深度有限。暴潮流為特殊氣象條件如颱風的中心氣壓差及風場剪應力造成的流場。波浪在近岸又因非線性及碎波效應而產生沿岸流。其它溫度、密度與鹽度差異產生之流，在近岸可能存在之因素較小，皆暫不列入考量。恒流為海流扣除週期性之成份，在某一定期間流速及流向維持穩定之海流成份（不包括季風期局部風驅流）。恒流可能為洋流之支流，而受大範圍之洋流活動影響，如黑潮等，雖然每有季節性之強弱，但其影響之範圍在外海較為明顯，近岸附近區之影響成份相對較小。另潮流非線性效應產生之殘餘流也是恒流之另一可能成份。

#### 3.1.1 潮汐特性

高雄海域位於台灣之西南部海域，西臨台灣海峽，潮汐現場觀測站(如圖 3.1.1)於海域南側屏東縣南端之蟬廣嘴潮位站（區域代號：KT）及海域北側將軍潮位站（區域代號:CC），為前省水利局設置之長期驗潮站，潮位紀錄約有二十幾年，資料甚為完整(蘇、廖，2000)，兩站之直線距離約 150 公里。另海域北端之安平港站（區域代號：AP），港研中心於港口觀測樁上自 1999 至目前約有三年資料；興達港（區域代號：SD）港研中心亦有 1984~1985 長約一年之觀測資料。海域中心處高雄港區現有之潮位站（區域代號：KH）



共有二處，其一設置於蓬萊商港區#10 碼頭(ST-1)，另一位於二港口內港第十船渠內(ST-2)，皆使用自記式潮位儀，潮位紀錄約有三十幾年，資料也甚完整(蘇、廖，1999)。圖 3.1.2~圖 3.1.6 分別為將軍漁港於 1985 年 1~4 月、安平港於 2000 年 1~4 月、興達港於 1985 年 6~9 月、高雄港#10 碼頭於 1992 年 1~4 月及蟬廣嘴於 1993 年 1~4 月等之實測潮位歷線圖，圖中空心圓圈位置日期為農曆初一，實心圓圈位置之日期為農曆 15 日，其他二個半圓之弦朝上表示農曆初 8，弦朝下為農曆 22 日。各港平均潮差及最大潮差統計表如表 3.1.1，平均潮差以將軍較大約 0.9m，其他四港則相差不大約 0.4~0.6m 間。蟬廣嘴、安平港、興達港、高雄港及將軍漁港五個站之潮位資料，經取較長資料作調和分析後，表 3.1.2 則為各港 6 個較大分潮之振幅統計表，各港之分潮常數如表 3.1.3~表 3.1.7 所示。圖 3.1.7~圖 3.1.11 則分別為將軍漁港、安平港、興達港、高雄港及蟬廣嘴前十個較大振幅之分潮大小分佈圖。有關潮型之判斷，引用一般潮型之分類指標：

$$R = \frac{K_1 + O_1}{M_2 + S_2} \quad (3.1.1)$$

上式中， $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 為其各別對應之分潮振幅大小，當  $R < 0.5$  為半日潮型， $0.5 < R < 1.25$  為混合潮型， $1.25 < R$  為全日潮型。將分潮振幅大小代入計算如表 3.1.2，將軍漁港  $R=0.6$ ，安平港  $R=1.0$ ，興達港  $R=1.3$ ，高雄港  $R=1.3$ ，蟬廣嘴  $R=1.3$ 。依潮型指標判別，蟬廣嘴、興達港與高雄港之潮型皆為接近混合潮之全日潮型，將軍漁港之潮型則為接近半日潮之混合潮型，安平港之潮型則為接近混合潮型。

## 3.1.2 海流特性

### (1) 海流基本統計特性

高雄海域中點處海流之觀測，1992 年港灣技術研究所在高雄港第二港口外海處（區域代號：KH）辦理港址附近海流調查(張、曾，

1993),海流觀測計設置兩個流速觀測站(位置如圖 3.1.12a),較近海處(I 點),水深約 10 米(離岸約 1.5 公里,東經 120 度 8' 54.6",北緯 22 度 31' 30.4")之測站分別施放兩台海流儀測量上、下兩層之海潮流,上層流速儀在水面下約 1.5 ~ 2.5m,底層則設在水面下約 8 ~ 9m,上層站以 ST-IU 表示,下層站以 ST-IB 表示。另較外海處(O 點),水深約 20 公尺(離岸約 3.5 公里,東經 120 度 17'50",北緯 22 度 30'41.8")之測站也分別測量上下兩層之海潮流,上層流速儀在水面下約 3 ~ 4m,底層則設在水面下約 15 ~ 16m,上層站以 ST-OU 表示,下層站以 ST-OB 表示。觀測自 1992 年 1 月 17 日起至 1993 年 1 月 15 日止共完成二十筆觀測記錄。圖 3.1.13 為四測點典型之海流資料圖及高雄港內兩處潮位歷線圖。一般而言,外海處(ST-OU, ST-OB)之平均流速較近海處(ST-IU, ST-IB)略為大,上層流速又較下層流速為大,但基本上四站之特性及大小皆甚為相似(蘇,1998)。此處僅取 1992 年 1 月至 12 月,計 12 個月較近海底層處(ST-IB)之資料進行深入分析。此段期間最大流速對應之流向皆發生在平行海岸之西北向或東南向,觀測期間 ST-IB 平均流速約 14.9cm/s,最大流速為 58.8cm/s,其流向為東南向,全年及分月平均流速、最大流速及流向如統計表 3.1.8。而每月之逐時向量分佈圖如圖 3.1.14,各流速向量明顯集中於西北及東南兩方位之連線附近,因海岸邊界影響,其方位與港口附近之海岸線方向一致。

海域北側海流之觀測,1984~1985 年間港灣技術研究所在興達港外海處(區域代號:SD)辦理海流調查(張、蘇,1986),海流觀測站設置於卸煤碼頭附近(位置如圖 3.1.12b),水深約 9.5 公尺(海流儀在水面下約 2.5 公尺)。觀測自 1984 年 6 月 21 日起至 1985 年 11 月 22 日止共完成三十一筆觀測記錄。圖 3.1.15 為典型之海流資料圖及關觀測潮位歷線圖。此處僅取 1984 年 12 月至 1985 年 1 月,計 12 個月之資料進行深入分析。觀測期間平均流速約 21.8cm/s,最大流速為 67.3cm/s,其流向為北北西向,全年及分月平均流速、最大流速及流向如統計表 3.1.9。每月之逐時向量分佈圖如圖 3.1.16,各流速向量明顯集中於北北西及南南東兩方位之連線附近,同樣因海岸邊界影響,其方位與港口

附近之海岸線方向一致。

海域南側海流現場觀測方面，中山大學於 2000 年 6~7 月間在高屏峽谷附近海域（區域代號：KP）施測海流（張、曾，2001），其觀測位置如圖 3.1.12a，一處位於峽谷頭（北緯 22 度 27.7'，東經 120 度 24.5'，水深 290 公尺，稱 ST-1），水面下 20 公尺處，另一處位於高屏溪河口（北緯 22 度 27.6'，東經 120 度 25.098'，水深 15 公尺，稱 ST-3），水面下 3 公尺處（並且有潮位觀測）。圖 3.1.17 圖 3.1.18 別為高屏峽谷頭及高屏溪河口兩處之海流資料圖及高屏溪河口處潮位歷線圖。月平均流速、最大流速及流向如統計表 3.1.10，觀測期間峽谷頭平均流速約 22.6cm/s，最大流速為 63.9cm/s，其流向為北向；高屏溪河口平均流速約 18.3cm/s，最大流速為 77.3cm/s，其流向為北北東向。兩站每月之逐時向量分佈圖如圖 3.1.19 及圖 3.1.20，河口處流速向量明顯集中於北北東及南南西兩方位附近，與附近之海岸線方向一致，但峽谷頭流速向量明顯集中於北北東及南南東兩不對稱方位附近。

近岸地區海流之組成主要是潮流、恒流、沿岸流、風驅流及暴潮流等，沿岸流因碎波效應甚為複雜，暫不列入分析項目，海流各成份分析結果之特性說明如后。

## (2) 恒流

恒流為海流扣除週期性之成份，在某一定期間流速及流向維持穩定之海流成份。恒流可能為洋流之支流，而受大範圍之洋流活動影響，如黑潮等，雖然每有季節性之強弱，但其影響之範圍在外海較為明顯，港口附近區之恒流成份相對較小。另潮流非線性效應產生之殘餘流也是恒流之另一可能成份。以一天為時間間距，取三天為一平均單位，東西分量流速及南北分量流速之平均值（即向量平均），定為該期間之恒流大小。高雄港 1992 年 1 月至 1992 年 12 月每月之逐時恒流向量分佈圖如圖 3.1.21，各恒流向量明顯集中於西北及東南兩方位之連線附近，全年及分月恒流流速平均值、最大恒流流速（流向）及月（年）恒流流速（流向）統計表如表 3.1.11，觀測期間全年恒流之向量平均值為 1.4 cm/s，流

向 S，說明長期恒流略有向南之趨勢，但流速甚小。興達港 1984 年 12 月至 1985 年 11 月每月之逐日恒流向量分佈圖如圖 3.1.22，各恒流向量明顯集中於南方或南南東方位間，全年及分月恒流流速平均值、最大恒流流速(流向)及月(年)恒流流速(流向)統計表如表 3.1.12，觀測期間全年恒流之向量平均值為 7.5 cm/s，流向 S，說明長期恒流向南之趨勢甚為明顯。高屏峽谷頭及高屏溪河口兩處 2000 年 6 月間之逐日恒流向量分佈圖如圖 3.1.23 及圖 3.1.24，各恒流向量明顯主要集中於北方或北北東方位間，但高屏峽谷頭部份期間恒流方向卻偏在東南東向。月恒流流速平均值、最大恒流流速(流向)及月恒流流速(流向)統計表如表 3.1.13，觀測期間高屏溪河口恒流之向量平均值為 9.3 cm/s，流向 NNE，高屏峽谷頭恒流之向量平均值為 3.0 cm/s，流向 NE，說明恒流有向東北之趨勢。

恒流之值甚易由量測之資料中求得，但有時不易將風驅流或沿岸流等成份過濾，因此其產生之原因及物理機制卻不易掌控。恒流對海岸地形變遷及汙染物之擴散有其重要影響性。

### (3) 潮流

海域南側高屏峽谷海域、中點高雄港第二港口外海處及海域北側興達港外海處等三處，取代表性海流及潮位資料經潮汐調和分析及潮流橢圓分析，圖 3.1.25、圖 3.1.26、圖 3.1.27 及圖 3.1.28 分別為上述三處， $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 等四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分佈圖。表 3.1.14 則為各港四個較大分潮之潮流橢圓半長軸大小統計表。圖 3.1.29、圖 3.1.30、圖 3.1.31 及圖 3.1.32 分別為上述三處， $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 等四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖。橢圓中心點至橢圓上任一點，即表示潮流在semi日(全日)不同時間(以小時為單位)之潮流向量，中心至橢圓之向量即表示潮流向量之大小，而semi日(全日)潮汐水位變化即表示在semi日(全日)不同時間之水位變化。

從以上分析圖顯示潮汐及潮流各分潮中以 $M_2$ 半日分潮最大，圖 3.1.33~圖 3.1.36 分別為上述三處， $M_2$ 半日潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖，潮汐漲潮及退潮並以不同深淺色表示。半日潮流 $M_2$ 之平均最大流速(即半軸長)(圖 3.1.33~圖 3.1.36)顯示高屏峽谷峽谷頭為 30.4cm/sec，高屏溪河口為 19.1cm/sec，高雄港第二港口外海為 12.2cm/sec，興達港外海處為 23.8cm/sec。長軸之方向受區域海岸邊界效應影響，其方向皆為沿局部海岸之走向，高屏峽谷峽谷頭長軸之方向角約為北偏東 4 度，高屏溪河口長軸之方向角約為北偏東 15 度，高雄港第二港口外海長軸之方向角約為北偏西 51 度，興達港外海處長軸之方向角約為北偏西 13 度。而由 $M_2$ 半日潮汐之水位變化與半日潮流橢圓比較(圖 3.1.33~圖 3.1.36)顯示高屏峽谷峽谷頭處潮汐水位增大，即漲潮時海流向南，潮汐水位降低時，即落潮時海流向北，潮流橢圓運動為逆時鐘方向旋轉，長軸遠大於短軸。在高屏溪河口處潮汐水位增大，即開始漲潮時海流向西南，但後段漲潮時海流卻轉向東北向，當潮汐水位降低時，即開始退潮時海流仍向東北，但後段退潮時海流卻轉向西南，潮流橢圓運動為順時鐘方向旋轉，長軸遠大於短軸(幾乎已成來回運動)。高雄港第二港口外海處潮汐水位增大，即漲潮時海流大多向東南，潮汐水位降低時，即落潮時海流大多向西北，潮流橢圓運動為逆時鐘方向旋轉，長軸也遠大於短軸。興達港外海處為處潮汐水位增大，即漲潮時海流大多向西北，潮汐水位降低時，即落潮時海流大多向東南，潮流橢圓運動為逆時鐘方向旋轉，長軸遠大於短軸(幾乎已成來回運動)。

在臺灣西部近海岸之水域，因太平洋潮波作用於臺灣島，潮波之繞射效應，一般經驗顯示漲潮時段，於南部海域海流之流向為向北，北部海域海流之流向為向南，水體有向中部集中之現象；而退潮時段，於南部海域海流之流向為向南，北部海域海流之流向為向北，水體有離開中部之現象；西部海域大部份區域如淡水、安平、興達等皆符合上述現象，但南部高雄港外海及高屏溪口外海處局部地區之漲退潮方

向，卻與上述現象相反，即漲潮時海流大多向東南，退潮時海流大多向西北，可能是受局部地形影響所致。

全日潮流  $K_1$  或  $O_1$  之成份，除高雄港較大外，其他興達港外海處及高屏峽谷處兩地之成份皆遠較半日潮流  $M_2$  為小。但全日潮位  $K_1$  或  $O_1$  之成份，在高雄港外海處、興達港外海處及高屏峽谷處三地之成份皆與半日潮位  $M_2$  相當。此現象也說明潮波傳遞進行之過程中，長短不同週期間之特性差異存在。根據蘇(1970)在分析潮波在近岸地區前進時因受地形及海底摩擦效應之影響，不同潮波在傳遞過程之能量轉換並不完全相同。

海流主要成份為潮流，另外潮流橢圓分析(圖 3.1.33 圖 3.1.36)也可求得平均流之大小及方向(原點至橢圓中心點向量)：高屏峽谷峽谷頭處甚小僅為 3.2cm/s，流向為北偏東 40 度，高屏溪河口也不大為 9.3cm/s，流向為北偏東 33 度，高雄港外海處也甚小為 1.4cm/s，流向為南偏東 56 度，興達港外海處也不大為 6.3cm/s，流向為南偏東 13 度，顯示此地區除潮流外，其他恒流或洋流支流之影響也不小。海流向量行進圖(progressive vector diagram)，或稱 PVD，其運動軌跡之物理意義為假設測站附近為均勻海流分佈，放置一浮標於測站，則其浮標之軌跡即為 PVD。此處海流向量行進圖(圖 3.1.37 圖 3.1.40)也顯示平均流均不大，主要為來回週期運動之潮流成份。

#### (4) 風驅流及颱風暴潮流

風驅流係風經一段時間吹送所引起之近表面流，此種水之搬運方向主要在風向之右邊，如果風向風速時常在改變，則所引發之海流亦微弱多變，台灣西南海岸因陸地遮蔽效應，故不管夏季之西南風或冬季之東北風時期，季節風之皆影響甚小，風驅流成份不大。

但在夏季颱風侵襲，颱風環流影響期間，會有較異常的流速出現，根據蘇等(2002)，分析安平港港口現場觀測之風場、波浪、潮位及海流等資料，2001 年在尤特颱風影響期間(7 月 4 日至 7 月 6 日)測到的最大流速為 96.1cm/s，流向 NW(去向)，缺風速資料，示性波高 5.5m，示性

週期 10sec, 波向 SW(來向)。若扣除以調和分析求得之潮流流速 40cm/s 流向 NW, 則颱風產生之暴潮流大小約為 56cm/s, 流向 NW。同年納莉颱風(9 月 6 日至 9 月 19 日)流速也達 95.0cm/s, 流向 NNW(去向), 其對應最大風速為 20 m/s, 風向為 SE(來向), 示性波高 2.6m, 示性週期 7sec, 波向 WNW(來向), 若扣除以調和分析求得之潮流流速 44cm/s, 流向 NNW, 則颱風產生之暴潮流大小約為 51cm/s, 流向為 NNW, 暴潮流向與風向約偏 22 度(流向在風向右側)。

## 3.2 高雄海域海流數值模擬

高雄附近海域面積遼闊，海域有台灣灘、高屏斜坡及恒春海脊環繞，更為台灣海峽、巴士海峽及南海水體交換循環之影響水域，因此，高雄海域不僅地形、位置特殊，高雄港港口設施之配置獨特，潮位與颱風對海流特性之變化也甚為複雜。海流與海岸漂沙運移、海岸地形之變遷、港口內外污染質之擴散與追蹤、船舶進出港口之操航等關係密切，海流模擬也為本年度之研究探討重點。

### 3.2.1 海流推算數值模式

本研究選用之計算模式為丹麥水力研究所(DHI)研發之水動力計算模式 MIKE 21-HD。HD 模式考量波浪作用力、潮汐水位變化、風、大氣壓力、地球自轉柯氏力及海底底床摩擦等因素，可模擬海水位變化及海潮流流況。河川流量型態之流源(Source)或如蒸發損失型態之流陷(Sink)，此模式亦皆可加以考慮。

研究區域之海水位變化及海潮流流況在 MIKE 21-HD 計算模式中主要係以時變性之二維方格網系統加以計算解析。換言之，該模式之計算主要在求解平面 X 及 Y 方向之水深平均連續方程式及動量守恒方程式，其計算輸出結果則包括每一計算時階及格網點上之水深(h)、X 方向通量(p)及 Y 方向通量(q)，根據這三個基本物理量及地形資料，可推導出每一計算時階及格網點上相對應之海水位變化、X 方向流速、Y 方向流速、合成流速(純量)及流向。流場模式校正可藉調整底床摩擦係數(型態及大小)、消散係數(型態及大小)及風摩擦係數(常數或變數)等加以完成。主要之控制方程式如下：

連續方程式：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial q}{\partial y} = I - e \quad (3.2.1)$$

運動方程式：

x 方向：



$$\begin{aligned} & \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{p^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \\ & - \frac{1}{\rho_w} \left[ \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xx}) + \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{xy}) \right] - \Omega q - f_w VV_x + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial x} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.2.2)$$

y 方向：

$$\begin{aligned} & \frac{\partial q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{q^2}{h} \right) + \frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pq}{h} \right) + gh \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{gq\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 \cdot h^2} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} \\ & - \frac{1}{\rho} \left[ \frac{\partial}{\partial y} (h\tau_{yy}) + \frac{\partial}{\partial x} (h\tau_{xy}) \right] + \Omega p - f_w VV_y + \frac{h}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} (P_a) = 0 \end{aligned} \quad (3.2.3)$$

上列式中， $p, q(x, y, t)$ ：分別為  $x$  及  $y$  向之流量強度 ( $m^3/s/m$ ) =  $(uh, vh)$ ； $I$ ：單位平面源流之大小 ( $m^3/s/m^2$ )； $e$ ：蒸發損失率 ( $m/s$ )； $C(x, y)$ ：Chezy 阻力係數 ( $m^{1/2}/s$ )； $f_w$ ：風摩擦係數； $V, V_x, V_y(x, y, t)$ ：分別為風速及其在  $x$  及  $y$  方向之速度分量 ( $m/s$ )； $\Omega(x, y)$ ：柯氏力(Coriolis)參數，與緯度有關 ( $S^{-1}$ )； $P_a(x, y, t)$ ：大氣壓力 ( $kg/m/s^2$ )， $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yy}$  為流體剪應力(Eddy Stress)， $S_{xx}$ 、 $S_{xy}$ 、 $S_{yy}$  為幅射應力(Radiation Stress)。

### 3.2.2 有限差分法

對於實際物理應用問題而言，水動力系統方程式之求解方法一般可分為有限差分法(F.D.M.)與有限元素法(F.E.M.)兩類。此二類求解方法，依前、後置處理 (pre- & post-processor) 工作、數值方法與技巧及邊界處理難易程度等而各有優劣點。此處 DHI 使用之交替方向隱式(alternating direction implicit)有限差分法以求解式(3.2.1)至(3.2.3)之水動力系統方程式(DHI, 1999)。求解計算中，各計算網格位置上之時空變量並以雙向刮掃(double sweep)方式處理計算。

依據 A.D.I.有限差分法及時空網格分割之定義，因此，連續方程式，式(3.2.1)，在無質量增損情況下，其  $x$  及  $y$  方向之差分型式可分別表示為

$x$ —方向：

$$\begin{aligned}
& 2 \cdot \left( \frac{\zeta^{n+1/2} - \zeta^n}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\
& + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} + \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n-1/2} \right\}_j = 0
\end{aligned} \tag{3.2.4}$$

**y—方向：**

$$\begin{aligned}
& 2 \cdot \left( \frac{\zeta^{n+1} - \zeta^{n+1/2}}{\Delta t} \right)_{j,k} + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^{n+1} + \left( \frac{p_j - p_{j-1}}{\Delta x} \right)^n \right\}_k \\
& + \frac{1}{2} \cdot \left\{ \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+3/2} + \left( \frac{q_k - q_{k-1}}{\Delta y} \right)^{n+1/2} \right\}_j = 0
\end{aligned} \tag{3.2.5}$$

而動量方程式，在忽略大氣壓力、風力及其他波浪有效應力後，式(3.2.2)等號左右各項可逐項表示為

**時間變化項：**

$$\frac{\partial p}{\partial t} \approx \left( \frac{p^{n+1} - p^n}{\Delta t} \right)_{j,k} \tag{3.2.6}$$

**重力影響項：**

$$gh\zeta_x \approx g \left( \frac{h_{j,k} + h_{j+1,k}}{2} \right)^n \left( \frac{\zeta_{j+1,k} - \zeta_{j,k}}{\Delta x} \right)^{n+1/2} \tag{3.2.7}$$

$$h_{j,k}^n = d_{j,k} + \zeta_{j,k}^n \tag{3.2.8}$$

**x—方向對流項：**

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \frac{pp}{h} \right) \cong \left[ \frac{(p_{j+1} + p_j)^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_{j+1} + p_j)^n}{2} \cdot \frac{1}{h_{j+1}^n} - \frac{(p_j + p_{j-1})^{n+1}}{2} \cdot \frac{(p_j + p_{j-1})^n}{2} \cdot \frac{1}{h_j^n} \right] \cdot \frac{1}{\Delta x} \tag{3.2.9}$$

$$\overline{u^2} \Delta t \frac{\Delta^2 p}{\partial x^2} \cong \Delta t \left( \frac{p_{j,k}^n}{h^*} \right)^2 \cdot \left( \frac{p_{j+1} - 2p_j + p_{j-1}}{(2\Delta x)^2} \right)_k^{n-1} \tag{3.2.10}$$

$$h^* = \frac{1}{2} \cdot (h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.2.11)$$

x—方向動量交換項：

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( \frac{pq}{h} \right) \approx \left[ \left( \frac{p_{k+1}^a + p_k^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k}^{n+1/2} - \left( \frac{p_k^a + p_{k-1}^b}{2} \right)_j \cdot v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} \right] \cdot \frac{1}{\Delta y} \quad (3.2.12)$$

其中， $a = n+1$ ， $b = n$  表向下刮掃而  $a = n$ ， $b = n+1$  表向上刮掃，且

$$v_{j+1/2,k}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_k^{n+1/2}}{(h_{j,k} + h_{j,k+1} + h_{j+1,k} + h_{j+1,k+1})^n} \quad (3.2.13)$$

$$v_{j+1/2,k-1}^{n+1/2} = \frac{2(q_j + q_{j+1})_{k-1}^{n+1/2}}{(h_{j,k-1} + h_{j,k} + h_{j+1,k-1} + h_{j+1,k})^n} \quad (3.2.14)$$

$$\frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \approx \Delta t (v^*)^2 \cdot \frac{\{p_{k+1}^a - (p_k^{n+1} + p_k^n) + p_{k-1}^b\}_j}{(\Delta y)^2} \quad (3.2.15)$$

$a$ 、 $b$  之定義同式(3.2.13)，而

$$v^* = \frac{1}{2} \cdot (v_{k+1/2} + v_{k-1/2})_{j+1/2}^{n+1/2} \quad (3.2.16)$$

摩擦阻力項：

$$\frac{gp\sqrt{p^2 + q^2}}{C^2 h^2} \approx \frac{gp_{j,k}^{n+1} \sqrt{p^{*2} + q^{*2}}}{C^2 h^{*2}} \quad (3.2.17)$$

$$p^* = p_{j,k}^n \quad (3.2.18)$$

$$q^* = \frac{1}{8} (q_{j,k}^{n-1/2} + q_{j+1,k}^{n-1/2} + q_{j,k-1}^{n-1/2} + q_{j+1,k-1}^{n-1/2} + q_{j,k}^{n+1/2} + q_{j+1,k}^{n+1/2} + q_{j,k-1}^{n+1/2} + q_{j+1,k-1}^{n+1/2}) \quad (3.2.19)$$

$$h^* = 1/2 (h_{j+1} + h_j)_k^n \quad (3.2.20)$$

$$C = M \cdot h^{*1/6} \quad (3.2.21)$$

$C$  表 Chezy coefficient, 而  $M$  表 Manning coefficient

地轉效應項：

$$\Omega \cdot q \approx \Omega q^* \quad (3.2.22)$$

至於  $y$ -方向式(3.2.3)內各項之差分處理可仿照式(3.2.6)至式(3.2.22)方式編寫。

### 3.2.3 計算參數

使用有限差分法必須首先決定差分格距及時距，俾使數值之穩定條件(stability condition)得以達成。而一般採用之數值穩定條件係以 Courant Number( $C_r$ )滿足下式加以限制，

$$C_r = \frac{C_{\max} \cdot \Delta t}{\Delta x} < 1 \quad (3.2.23)$$

式中， $C_{\max}$  為計算變數之最大計算訊號傳遞速度， $\Delta x$  與  $\Delta t$  分別為空間與時間格距。對台灣海域之大範圍計算， $\Delta x$  選定為 2 公里， $\Delta t$  設定為 20 秒，所得之  $C_r$  值因計算海域水深差異甚大而使最大值約達 1.3，僅管如此，計算結果經與臺灣環島各實際驗潮站迴報或實測資料比較後，計算準確度仍甚良好。

底床摩擦係數一般可選擇 Chezy coefficient( $C$ )或使用 Manning coefficient ( $M$ )表示，兩者之關係為  $C = Mh^{1/6}$ ， $h$  為計算區之水深， $C$  及  $M$  之單位分別為  $m^{1/2}/s$  及  $m^{1/3}/s$ ，且  $M = 1/n$ ， $n$  為一般文獻使用之 Manning coefficient。當計算區域水深變化較大時，依據計算經驗建議使用 Manning coefficient，其選用範圍約在 20 至 40 間。

紊流剪應力  $\tau_{xx}$ 、 $\tau_{xy}$ 、 $\tau_{yy}$  可表示為

$$\tau_{xx} = E \frac{\partial u}{\partial x} \quad \tau_{yy} = E \frac{\partial v}{\partial y} \quad \tau_{xy} = \frac{1}{2} E \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (3.2.24)$$

渦度係數( $E$ )主要用來計算動量方程式中之紊流效應，藉以阻

滯(damping)短波之長向振盪及表現小網格之尺度影響,一般其大小必須滿足下列限制:

$$E \leq \frac{\Delta x^2}{2\Delta t} \quad (3.2.25)$$

並可依下式估算

$$E = 0.1 \times \Delta x \times V \quad (3.2.26)$$

式中,  $\Delta t$  為時距,  $\Delta x$  為網格間距,  $V$  為流速。對於流場係隨時空而變化時, 渦度係數尚可依大渦模擬之 Smagorinski 公式計算 (DHI, 1999, 即

$$E = C_s^2 \Delta^2 \left[ \left( \frac{\partial U}{\partial x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right)^2 + \left( \frac{\partial V}{\partial y} \right)^2 \right] \quad (3.2.27)$$

式中,  $U, V$  分別表示水深平均之  $x$  及  $y$  向流速分量,  $\Delta$  為網格間距,  $C_s$  可於 0.25 至 1.0 間選用。綜觀上述,  $E$  之大小與時距及網格距皆有分不開之關係。本研究於模式計算中對於渦度係數係使用式(3.2.27)之公式, 並設定  $C_s = 0.5$ 。

### 3.2.4 近海波譜模式(Near-shore Spectrum Wave Model)

NSW 模式以能量法計算外海波浪傳遞至近海之折射情形, 其控制方程式如下:

$$\frac{\partial(C_{gx}m_o)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_o)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}m_o)}{\partial \theta} = T_o \quad (3.2.28)$$

$$\frac{\partial(C_{gx}m_1)}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy}m_1)}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\theta}m_1)}{\partial \theta} = T_1 \quad (3.2.29)$$

其中  $m_0(x, y, \theta)$  為波譜零次矩;  $m_1(x, y, \theta)$  為波譜一次矩,  $C_{gx}$  及  $C_{gy}$  分別為群波速度  $x$ 、 $y$  方向之分量,  $C_{\theta}$  為  $\theta$  方向的波浪行進速度,  $T_0$  和  $T_1$  為 Source Terms, 包含風、底床摩擦、碎波等因素。n

次矩  $m_n(\theta)$  定義為  $m_n(\theta) = \int_0^\infty \omega^n E(\omega, \theta) d\omega$  其中  $\omega$  為角頻率， $E(\omega, \theta)$  為能量密度函數， $C_{gx}$ 、 $C_{gy}$  及  $C_\theta$  可由線性波浪理論求得。

### 3.2.5 計算範圍與地形

依據高雄海域實際海流調查成果知道，高雄海域之海流活動可能受台灣海峽、巴士海峽及南海水體流動所影響，其間，因地球自轉效應使潮波在漲潮期間由台灣東岸海域繞行至台灣海峽內所造成之水位梯度與相位差異亦為重要之影響因素。

理想上，進行台灣西海岸之海流模擬計算，其計算範圍應含括台灣海峽之總體水域，但限於計算範圍及邊界條件之掌握，依據丹麥水力研究所(DHI)曾對台灣海峽總體流場計算研究之經驗得知，對台中以北之海域，計算範圍以局部考量即可，但對台中以南之海域，海流數值計算範圍至少應涵蓋台灣西海岸至澎湖群島之海域，如此，將可準確掌握計算區域之海流特性。

儘管如此，針對高雄海域之海流模擬，其最困難之事仍在計算範圍選定及邊界條件設定上。能正確選定計算範圍並有品質良好之邊界條件資料可供應用，方為海流數值模擬計算準確成功之先決條件。

根據海流與潮汐驗潮站潮位資料收集結果知道，高雄海域之海流實測資料，其調查水深最深處僅約二十公尺左右，潮位資料在港域南側僅屏東縣南端之蟬廣嘴（區域代號：KT）驗潮站，港域北側具長期水位資料之驗潮站雖有台南縣之安平(區域代號:AP)及將軍(區域代號:CC)兩驗潮站，但將軍驗潮站為前省水利局設置之長期驗潮站，潮位紀錄甚完整，因此對高雄海域之海流計算範圍在潮位南北邊界條件設定考量下，本研究選取計算範圍南起蟬廣嘴，北至將軍漁港，兩站之直線距離遠達 150 公里。至於港域海側之邊界設定，因高雄海域海側係屬開敞海域，水深有深至 2,000 米者，海流流速、流向或水位之測量甚不容易，在考慮 DHI 在台灣海峽從事海流流場之計算經驗，則其計算範圍可另取定如圖 3.2.1 所示。另為計算模式之順利運作及為配合計算精度之需求，於上定二大域

計算範圍內各別再取定中域計算範圍及小域計算範圍，分別如圖 3.2.2 及圖 3.2.3 所示。中小域計算範圍內之計算區域之水深地形係依據海軍測量局最新出版之海圖資料，使用六分帶大地座標 (UTM-6)，經大型數化板以人工逐點輸入處理。至於颱風波浪之波場計算，及颱風暴潮流之流場計算，則僅以小域為計算範圍。

### 3.2.6 邊界條件

依據高雄海域海流計算劃定之大區域計算範圍，蟬廣嘴及將軍漁港將皆以其潮位時變序列分別設定為計算範圍南北端之水位邊界條件，計算海域西側之邊界條件設定海流流速只允許有順邊界流動之流量或流速，垂直邊界流動之流速計算中將強制被抑制，完成大域海流計算後，中域海流計算區域之各側邊界條件，如流速或水位時變量將可自大域海流計算結果之相關位置上萃取，並據以進行中域之海流計算模擬，小域區域海流計算之邊界條件，依上述方法亦可自中域海流之計算結果中萃取其相對位置上之邊界條件。經過大域、中域及小域區域網格計算之變換應用，高雄港之海流及水位變化特性即可精細地計算求得。

高雄港區海流數值計算，除邊界條件必須引用鄰近潮位站之潮位資料外，為驗證之需要，高雄港區本身之潮位資料亦是不可或缺的。圖 3.2.4 與圖 3.2.5 為蟬廣嘴、高雄港及將軍漁港 1992 年 7 月與 1993 年 3 月之實測潮位歷線比較圖圖。依潮型指標判別，蟬廣嘴與高雄港之潮型皆為接近混合潮之全日潮型，將軍漁港之潮型則為接近半日潮之混合潮型，此結果意謂著若以蟬廣嘴及將軍漁港之潮位分別設定為計算區域南北端之水位邊界條件，則計算區域內之海流流場將受不同潮型水位影響而變化，但計算區域之水位計算結果尚須留存南方水位邊界近混合潮之全日潮特性，此特性之保留在將軍漁港潮差明顯大於蟬廣嘴之情況下，準確地計算模擬流場將格外具有其困難度與挑戰性。

以潮時之特性關係而言，於圖 3.2.5 中可清楚比較得知，蟬廣嘴(粗點線表示)之滿潮與乾潮時刻均最早，其次為高雄港(細點線表示)，最後為將軍漁港(實線表示)，由此可判知，在潮汐漲潮時段，計算海域之潮波係由南向北移動，在退潮時段，水位則單純由南而

北依序降低。值得注意的是將軍漁港之滿潮時刻約落後高雄港 3.2 小時，比蟬廣嘴落後約 4.0 小時，致使計算海域中，南側潮位邊界在漲退潮時段之平潮點附近時，北側潮位邊界各恰分別為乾潮及滿潮時刻，此水位變化之大延時差距將嚴重考驗計算模式對潮波傳遞特性之掌握。

另就潮差特性而言，高雄海域之潮差平均接近 0.7 公尺，比蟬廣嘴略小，而將軍漁港潮差平均在 1.0 公尺以上，且每日之潮差明顯皆大於蟬廣嘴與高雄海域。再由圖 3.2.5 中 1993 年 3 月 13 日至 3 月 16 日之潮位比較結果可得知，當高雄海域全日潮特性明顯時，在滿潮時刻後，潮位可約保持 18 小時左右皆大於蟬廣嘴潮測站，因此可能導致高雄港港域流場特性之改變，也由此可見高雄港港域潮汐其受水深與地形影響之程度。

NSW 模組計算颱風波浪之開放邊界需輸出外海入射波之波高、週期及波向等條件。HD 模式計算颱風暴潮流所需風場編邊界條件，則需輸出計算區之風速及風向；另幅射應力邊界條件，則由 NSW 模組計算而得。

### 3.2.7 潮流模擬

#### (1) 大域潮流模擬及驗證

根據一般海流模擬選取計算範圍之經驗，原本取海側邊界平行計算港域是最通常之選擇，但對高雄海域之海流模擬並不適用。為於計算港域內引入水深地形之影響效應，劃定大域海流模擬之計算範圍之北端仍以將軍漁港之潮位時序列為潮位邊界控制基準，南端則以蟬廣嘴潮位時序列為潮位邊界控制基準，再將計算範圍南北邊界上之潮位與潮時依現場之觀測資料特性作參數差分設定，海域西側邊界假定僅有沿邊界流動之海流速度分量，考量風速、風向之逐時影響，潮位潮時調整參數設定邊界條件，自 1992 年 7 月 18 日至 1992 年 7 月 29 日計算所得之大域海流一潮汐週期之部分逐時流場如圖 3.2.6a 至圖 3.2.6d 所示。由逐時流場圖(圖 3.2.7)可看出，在高雄海域二港口南側，即座標位置約為 P(65,30)處，海流在 1992 年 7



月 27 日第一次滿潮之漲潮段平潮點上，其流向為向東南，在第一次滿潮時，流向反轉向西北，第一次滿潮後在退潮段近平潮點前，流向依舊保持西北向，但至第一次乾潮時又反轉向東南，自此而後至第二次乾潮期間，流向皆保持向東南。造成此種流向變化特性之機制由大域流場圖觀察可知，其主要之影響係來自高屏斜坡之地形效應及東港與小琉球間之環流所致。

在大域計算範圍中，為使高雄海域計算之海流與潮位接近實測之特性，在水深及地形效應已於計算範圍涵括後，調校邊界條件為唯一可行之途徑。其目的為所得之海流與潮位其與實測所得之總體特性與趨勢最符合，潮位吻合，流速大小及流向亦能一致，本計算結果 P(65,30)處與實測潮位雖有些許差異，但流速與流向之變化趨勢與大小則頗能顯現實測之特性，所欠缺的僅為海流及潮時相位之偏移而已。僅管海流計算模式已於計算中對計算範圍、地形、水深、邊界潮時及潮位進行調整校正，但欲重現高雄海域之海流特性仍甚不容易，尤其在港域海側潮時延遲無法確定下，精確掌握高雄海域之海流特性對本數值模擬研究而言仍有其困難度。

## (2)中域潮流模擬及驗證

中域海流模擬之主要目的在於銜接大域與小域海流之數值模擬。在中域海流模擬中，所有之流速及潮位邊界條件皆截取自大域海流模擬之結果，只要大域海流模擬結果能有效且準確模擬計算海域範圍之海流特性，則中域海流之模擬更可輔助計算精度與解析度之提高，對於計算海域特定位置之海流特性更可加以清礎觀察。

大域海流結果後，應用中域計算範圍與地形，首先截取大域相關位置之流速、流向或潮位作為邊界條件，仍考量相同之逐時風速風向影響，依本模式計算可得高雄海域中域海流一潮汐週期之模擬流場如圖 3.2.8a 至圖 3.2.8d 所示。各圖中，高雄港二港口南側大林蒲 10 米水深處海流實測位置約在網格點 P(100,75)上，高雄海域網格位置則在 P(100,75)至 P(100,110)間，P(85,35)之陸地區為東港海域外之小琉球，在 1992 年 7 月 2 日第一次滿潮時，由圖 3.2.8a 可看出，海流自台灣海峽南端北上，在小琉球海域北側分裂為二束，一束沿高雄海域北上，另一束則向外海流動，在此時期，計算

範圍北側因局部海域之潮時延遲，亦有部分海流南下並阻擋沿高雄海域北上之海流。在第一次滿潮後之退潮段上，由圖 3.2.8b 可明顯看出，高雄海域海流朝西北流動之特殊現象。當潮位到達第一次乾潮時，原向西北流動之海流已正常地受潮位影響而轉向東南，唯自第一次乾潮時起至約第二次乾潮時止之全日潮漲潮段，由圖 3.2.8d 可看出高雄海域向東南流動之特性。在第二次乾潮後之漲潮段，因潮位之影響，高雄海域外之海流再次由東南反轉向西北流動。由以上一潮汐週期之中域流場模擬結果亦可探知，因水深、地形及潮時之影響，採用海側邊界平行計算港域之計算範圍劃定，其之所以不適用於高雄海域流場模擬之原因。

中域海流模擬，由於計算邊界條件取自大域海流之模擬結果，因此在大域海流模擬計算中所求得之特性仍會在中域海流模擬結果中顯現。圖 3.2.9 為高雄港二港口南側大林蒲 10 公尺水深處底層海流實測與模擬結果之驗證比較，由圖可看出除相位稍有偏移不吻合外，整體海流與潮位之變化特性，模擬與實測仍甚一致。

### (3) 小域潮流模擬及驗證

延續中域海流模擬之計算結果，並截取其海流流速、流向與潮位做為小域海流模擬之邊界條件，取小域計算範圍，則高雄港區港內及一、二港口一潮汐週期之海流模擬結果可得如圖 3.2.10a 至 3.2.10d 所示。各圖中之潮位係以二港口南側第十船渠內之驗潮站為潮位說明基準。由港內海流之模擬結果比較可知，高雄港港內海流流速甚小，最大流速約僅 20cm/s，發生在前鎮河北側，約第#48 至第#57 號碼頭間航道上。

小域海流之模擬已可以頗高之解析度探討高雄港港口及港內航道水域之流場，但限於實測驗證資料之缺乏，小域海流模擬結果也僅能以高雄港二港口南側大林蒲水深 10 公尺及 20 公尺處實測海流為驗證依據。相關驗證結果分別如圖 3.2.11 及圖 3.2.12 所示，由圖比較可知，計算海流之相位延遲仍無法改善，但流速流向及潮位之逐時變化特性，計算與實測總體上仍甚為一致。

### 3.2.8 颱風暴潮流模擬

颱風暴潮流之計算同樣引用 HD 模式，其中風摩擦係數主要用來計算風剪力之大小，其係數一般可依下式計算：

$$f(V) = \begin{cases} f_o & \text{for } V < V_o \\ f_o + \frac{V - V_o}{V_1 - V_o} \cdot (f_1 - f_o) & \text{for } V_o \leq V \leq V_1 \\ f_o & \text{for } V > V_1 \end{cases} \quad (3.2.30)$$

式中，

$$\begin{aligned} f_o &= 0.00063, \quad V_o = 0 \text{ m/s} \\ f_o &= 0.00026, \quad V_1 = 30 \text{ m/s} \end{aligned} \quad (3.2.31)$$

在計算中，當考慮風剪力影響時係以逐時實測風速資料輸入， $f$  直接由實測風速大小依上式線性插分求得。

波動效應產生之輻射應力(Radiation Stress)可由以下公式求得：

$$\begin{aligned} S_{xx} &= \frac{1}{2} g m_0 (G + (\cos^2 \theta)(1 + G)) \\ S_{xy} &= \frac{1}{2} g m_0 ((\sin^2 \theta) \frac{1}{2} (1 + G)) \\ S_{yy} &= \frac{1}{2} g m_0 (G + (\sin^2 \theta)(1 + G)) \end{aligned} \quad (3.2.32)$$

其中  $\theta$  為平均波向； $G$  定義為  $G = 2kh / \sinh(2kh)$ ； $h$  為水深； $k$  為週波數。

高雄海域附近長期觀測波浪資料並不完整，大部份觀測期間甚短不具代表性，或是缺少代表性之颱風波浪，因此不易得到長期代表性之季風波浪條件或颱風波浪條件。此處僅引用廖等(2002)在高雄旗津海岸研究推算 20 年迴歸期 SSW 向颱風波浪，示性波高 6.8m，示性週期 11.9sec 為颱風波浪模擬條件。此處與 2001 年尤特颱風影響期間(7 月 4 日至 7 月 6 日)在安平港測到的最大示性波高 5.5m，示性週期 10sec，波向 SW(來向)相近。尤特颱風為中度颱風，根據中央氣象局資料其中中心最大風速曾達 38m/s，因在高雄海域附近缺少實測風速資料，僅取風

速 25m/s、風向 SW 為風場計算模擬條件。

在引用 NSW 模式以 20 年迴歸期示性波高 6.8m，示性週期 11.9sec，SSW 向之颱風波浪作用條件下之波場，圖 3.2.13 為小域(高雄港外海)之波向量圖。波浪自外海向岸傳遞之折射在 20m 水深以上之地區並不明顯，至較淺處方有較明顯折射現象。NSW 模式計算之結果，並可求得波浪效應產生之幅射應力。

在引用 HD 模式計算颱風暴潮流，幅射應力部份引自以 NSW 模式計算之結果，風場條件則取風速 25m/s 及風向 SW 為計算模擬條件。圖 3.2.13 為小域之流場分佈(海流向量圖)。海流流向主要受風力及波浪幅射應力作用，明顯向北流，近岸地區沿岸流較明顯之區域，流速也大於一節。因此在此颱風(波浪)之作用下，對海岸漂砂之遷移應有重要之影響。

### 3.3 討論

高雄海域之流場特性，根據觀測資料及數值模擬之結果，說明潮流、恒流及颱風期間之暴潮流為主要成份。潮流具週期性，主要為半日潮流及全日潮流，橢圓長軸受海岸影響呈細長型，且與海岸線平行，大潮時潮流大小約一節左右，數值計算顯示整體平面之變化不大。恒流成份甚複雜，受地形、季節、洋流支流、非線性特性等因素影響，甚困難掌握其隨時間之變化特性，且因地形效應影響甚大，平面之變化甚大，局部點之特性，並不能代表附近海岸之一般特性；恒流因為長時間固定力之作用，對海岸漂砂之遷移有甚大影響，在數值計算仍不易模擬之情形，長期較全面之觀測為求得恒流之最好方法。颱風期間之暴潮流雖然期間甚短，但因其作用力甚為強大，對海岸漂砂之影響，並不小於季風或潮汐。但因颱風之複雜及多變性，對海岸漂砂長期之遷移影響，並不容易估算。

表 3.1.1 各港平均潮差及最大潮差統計表

| 序<br>號 | 港名  | 平均潮差<br>(m) | 最大潮差<br>(m) | 附註 |
|--------|-----|-------------|-------------|----|
| 1      | 將軍港 | 0.9         | 1.6         |    |
| 2      | 安平港 | 0.5         | 1.3         |    |
| 3      | 興達港 | 0.6         | 1.2         |    |
| 4      | 高雄港 | 0.4         | 0.9         |    |
| 5      | 蟬廣嘴 | 0.5         | 1.1         |    |

表 3.1.2 各港 6 個較大分潮之振幅統計表

| 序<br>號 | 港名  | M2 分潮<br>振幅(m) | S2 分潮<br>振幅(m) | N2 分潮<br>振幅(m) | K1 分潮<br>振幅(m) | O1 分潮<br>振幅(m) | P1 分潮<br>振幅(m) | 附註<br>R |
|--------|-----|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------|
| 1      | 將軍港 | 0.44           | 0.09           | 0.08           | 0.17           | 0.15           | 0.06           | 0.6     |
| 2      | 安平港 | 0.25           | 0.08           | 0.05           | 0.17           | 0.16           | 0.08           | 1.0     |
| 3      | 興達港 | 0.20           | 0.06           | 0.04           | 0.17           | 0.16           | 0.05           | 1.3     |
| 4      | 高雄港 | 0.18           | 0.07           | 0.04           | 0.17           | 0.16           | 0.06           | 1.3     |
| 5      | 蟬廣嘴 | 0.20           | 0.09           | 0.04           | 0.21           | 0.18           | 0.07           | 1.3     |

表3.1.3 將軍港潮汐分潮振幅 (米) 及週期 (時) 統計表

Tide in CHIANG-CHUN of ST-1 at 1985/01/01 00:00-1985/12/31 23:00

Data No = 8759, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .17m

| 序號 | 分潮名稱 | 振幅 (米) | 週期 (時) | 遲角 (度)  | 平衡引數    | 延時 (時)    |
|----|------|--------|--------|---------|---------|-----------|
| 1  | M2   | .4240  | 12.42  | 136.33  | -3.4789 | -11.5807  |
| 2  | K1   | .1859  | 23.93  | 1.93    | 1.1072  | -19.8452  |
| 3  | O1   | .1690  | 25.82  | -5.94   | -4.5452 | -18.2513  |
| 4  | S2   | .0938  | 12.00  | 145.52  | 2.0944  | -.8507    |
| 5  | N2   | .0811  | 12.66  | -229.43 | -4.2613 | -.5177    |
| 6  | P1   | .0552  | 24.07  | 2.87    | .8880   | -20.8565  |
| 7  | K2   | .0355  | 11.97  | 143.56  | 5.3460  | -6.5573   |
| 8  | MU2  | .0241  | 12.87  | -45.14  | -2.7423 | -4.0039   |
| 9  | VU2  | .0199  | 12.63  | 135.42  | -1.9599 | -8.6877   |
| 10 | M1   | .0168  | 24.84  | .75     | .0592   | -24.6587  |
| 11 | MK3  | .0128  | 8.18   | 88.23   | -2.3717 | -5.0907   |
| 12 | M4   | .0126  | 6.21   | 297.78  | -.6745  | -5.8036   |
| 13 | MS4  | .0115  | 6.10   | -26.65  | -1.3845 | -.8929    |
| 14 | 2N2  | .0109  | 12.91  | -276.99 | -5.0437 | -.4300    |
| 15 | MF   | .0091  | 327.86 | 45.67   | 2.4700  | -240.5646 |
| 16 | 2MS6 | .0064  | 4.09   | 56.06   | -4.8633 | -3.8048   |
| 17 | PA11 | .0062  | 24.13  | 332.85  | 4.1911  | -6.2151   |
| 18 | M6   | .0059  | 4.14   | 43.49   | -4.1534 | -3.2370   |
| 19 | MSN2 | .0054  | 11.79  | 13.89   | 2.8768  | -6.8445   |
| 20 | OO1  | .0053  | 22.31  | 27.01   | 3.5364  | -11.4250  |
| 21 | MK4  | .0053  | 6.09   | 293.22  | 1.8672  | -3.1531   |
| 22 | MKS2 | .0050  | 12.39  | 12.70   | -.2272  | -.8848    |
| 23 | 2Q1  | .0048  | 28.01  | -5.12   | -6.1101 | -26.8365  |
| 24 | SO3  | .0047  | 8.19   | 116.94  | -2.4508 | -5.8568   |
| 25 | OP2  | .0040  | 12.46  | -187.81 | -3.6572 | -.7520    |
| 26 | 2MK6 | .0033  | 4.09   | 46.80   | -1.6117 | -1.5803   |
| 27 | 2MN6 | .0029  | 4.17   | 46.59   | -4.9358 | -3.8120   |
| 28 | MP1  | .0027  | 25.67  | -227.36 | -4.3669 | -1.6286   |
| 29 | X1   | .0026  | 24.71  | 158.26  | -.7847  | -13.9484  |
| 30 | SK3  | .0025  | 7.99   | 117.38  | 3.2016  | -6.5262   |
| 31 | M3   | .0023  | 8.28   | 4.06    | -5.2183 | -6.9704   |
| 32 | S4   | .0023  | 6.00   | 356.81  | 4.1888  | -1.9468   |
| 33 | SK4  | .0020  | 5.99   | 311.29  | 1.1572  | -4.0775   |
| 34 | OQ2  | .0019  | 13.17  | -160.99 | -3.5897 | -1.6344   |
| 35 | MSK6 | .0016  | 4.04   | 139.51  | 3.9616  | -3.0598   |
| 36 | KJ2  | .0015  | 11.75  | 266.19  | 2.9560  | -3.1615   |
| 37 | 2SM6 | .0008  | 4.05   | 83.39   | .7099   | -.4800    |
| 38 | SN4  | .0005  | 6.16   | 63.31   | -2.1669 | -3.2078   |
| 39 | MSN6 | .0002  | 4.12   | -309.26 | -5.6457 | -.1627    |

表3.1.4 安平港潮汐之分潮振幅 (米) 及週期 (時) 統計表

Tide in An-Ping HARBOR of ST-PI at 2000/01/01.00:00-2000/03/20.15:00

Data No = 1911, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .19m

| 序號 | 分潮名稱 | 振幅 (米) | 週期 (時) | 遲角 (度) | 平衡引數    | 延時 (時)    |
|----|------|--------|--------|--------|---------|-----------|
| 1  | M2   | .2552  | 12.42  | 53.26  | 4.4137  | -5.5329   |
| 2  | K1   | .1644  | 23.93  | 350.39 | .7146   | -20.5737  |
| 3  | O1   | .1445  | 25.82  | 314.23 | 3.7694  | -7.0472   |
| 4  | S2   | .0785  | 12.00  | 63.32  | .0047   | -2.1018   |
| 5  | P1   | .0770  | 24.07  | -24.62 | -.8506  | -1.6119   |
| 6  | N2   | .0548  | 12.66  | 35.55  | 5.7405  | -2.3432   |
| 7  | VU2  | .0162  | 12.63  | 51.14  | 1.2442  | -11.9194  |
| 8  | PA11 | .0162  | 24.13  | 86.22  | -1.3370 | -10.9146  |
| 9  | M4   | .0148  | 6.21   | 217.44 | 2.5443  | -1.2362   |
| 10 | MU2  | .0147  | 12.87  | 290.22 | 2.5710  | -5.1097   |
| 11 | K2   | .0141  | 11.97  | 96.69  | 4.5815  | -6.4552   |
| 12 | MP1  | .0134  | 25.67  | 111.39 | 5.2643  | -12.1041  |
| 13 | MF   | .0133  | 327.86 | 172.35 | .0166   | -156.0928 |
| 14 | MKS2 | .0125  | 12.39  | 161.83 | 2.7073  | -.2307    |
| 15 | 2N2  | .0121  | 12.91  | 32.70  | .7842   | -12.4670  |
| 16 | OP2  | .0119  | 12.46  | 193.27 | 2.9188  | -.9010    |
| 17 | MS4  | .0117  | 6.10   | 269.87 | 4.4185  | -.2833    |
| 18 | M1   | .0109  | 24.84  | 279.31 | 1.7485  | -12.3609  |
| 19 | X1   | .0082  | 24.71  | 20.49  | .7166   | -23.2976  |
| 20 | M3   | .0037  | 8.28   | 92.48  | .3374   | -1.6826   |
| 21 | 2Q1  | .0034  | 28.01  | 284.44 | .1398   | -21.5050  |
| 22 | MK3  | .0033  | 8.18   | 61.33  | 5.1283  | -2.8960   |
| 23 | 2SM6 | .0032  | 4.05   | 97.12  | 4.4232  | -2.2891   |
| 24 | OO1  | .0029  | 22.31  | 15.98  | .6610   | -20.9495  |
| 25 | SO3  | .0025  | 8.19   | 85.28  | 3.7741  | -5.2122   |
| 26 | MK4  | .0024  | 6.09   | 294.26 | 2.7121  | -2.3511   |
| 27 | OQ2  | .0023  | 13.17  | 122.66 | 2.5824  | -12.2416  |
| 28 | SK4  | .0023  | 5.99   | 278.78 | 4.5862  | -.2664    |
| 29 | MSN2 | .0023  | 11.79  | 257.56 | 4.9611  | -10.9123  |
| 30 | MSK6 | .0021  | 4.04   | 162.80 | 2.7168  | -.0802    |
| 31 | S4   | .0021  | 6.00   | 282.72 | .0094   | -4.7029   |
| 32 | SK3  | .0017  | 7.99   | 25.40  | .7193   | -7.6417   |
| 33 | SN4  | .0016  | 6.16   | 205.51 | 5.7453  | -4.0440   |
| 34 | M6   | .0015  | 4.14   | 96.63  | .6749   | -.6667    |
| 35 | 2MS6 | .0015  | 4.09   | 43.06  | 2.5490  | -2.9216   |
| 36 | 2MN6 | .0012  | 4.17   | 50.30  | 2.0017  | -3.4211   |
| 37 | KJ2  | .0009  | 11.75  | 216.88 | .0322   | -7.0213   |
| 38 | 2MK6 | .0004  | 4.09   | 84.33  | .8426   | -.4095    |
| 39 | MSN6 | .0002  | 4.12   | 141.84 | 3.8758  | -3.2002   |

表3.1.5 興達港潮汐之分潮振幅 (米) 及週期 (時) 統計表

Tide in SHIN-DAR Harbor of ST-A at 1985/06/01.00:00-1985/09/30.23:00

Data No = 2927, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .43m

| 序號 | 分潮名稱 | 振幅 (米) | 週期 (時) | 遲角 (度)  | 平衡引數    | 延時 (時)    |
|----|------|--------|--------|---------|---------|-----------|
| 1  | M2   | .1963  | 12.42  | 283.42  | .3632   | -9.0605   |
| 2  | O1   | .1844  | 25.82  | -96.07  | -3.3591 | -6.9130   |
| 3  | K1   | .1808  | 23.93  | 298.51  | 3.7618  | -5.5163   |
| 4  | S2   | .0598  | 12.00  | 278.89  | .0648   | -9.1727   |
| 5  | P1   | .0494  | 24.07  | 277.42  | 2.4900  | -9.0080   |
| 6  | N2   | .0421  | 12.66  | 268.80  | -1.0908 | -11.6491  |
| 7  | MF   | .0231  | 327.86 | 83.07   | 3.9398  | -197.9330 |
| 8  | K2   | .0180  | 11.97  | 281.41  | 4.3722  | -1.0272   |
| 9  | M1   | .0158  | 24.84  | 262.84  | 2.0164  | -10.1644  |
| 10 | PAI1 | .0124  | 24.13  | 164.18  | 5.2652  | -14.9153  |
| 11 | MU2  | .0100  | 12.87  | -175.53 | -5.5957 | -5.1872   |
| 12 | 2N2  | .0068  | 12.91  | -108.24 | -2.5449 | -1.3469   |
| 13 | 2Q1  | .0067  | 28.01  | -209.06 | -6.2672 | -11.6710  |
| 14 | OP2  | .0059  | 12.46  | 52.95   | -.8691  | -3.5550   |
| 15 | VU2  | .0058  | 12.63  | -99.75  | -4.1417 | -4.8242   |
| 16 | M4   | .0056  | 6.21   | 90.94   | .7264   | -.8508    |
| 17 | X1   | .0051  | 24.71  | 70.16   | 2.1112  | -21.2224  |
| 18 | MP1  | .0038  | 25.67  | 178.81  | -2.1268 | -21.4373  |
| 19 | M3   | .0036  | 8.28   | 292.63  | .5448   | -6.0128   |
| 20 | MK3  | .0036  | 8.18   | 313.25  | 4.1250  | -1.7469   |
| 21 | MKS2 | .0035  | 12.39  | 297.79  | 4.6706  | -1.0383   |
| 22 | M6   | .0031  | 4.14   | 139.95  | 1.0896  | -.8915    |
| 23 | SO3  | .0031  | 8.19   | 232.87  | 2.9888  | -1.4024   |
| 24 | OO1  | .0027  | 22.31  | 308.84  | 1.3790  | -14.2408  |
| 25 | MSN2 | .0025  | 11.79  | 266.27  | 1.5188  | -5.8684   |
| 26 | OQ2  | .0022  | 13.17  | 116.29  | -1.8891 | -8.2118   |
| 27 | MK4  | .0019  | 6.09   | 39.57   | 4.7354  | -2.1714   |
| 28 | SK3  | .0018  | 7.99   | 329.21  | 3.8266  | -2.4415   |
| 29 | 2MS6 | .0018  | 4.09   | 157.91  | .7912   | -1.2798   |
| 30 | 2MN6 | .0017  | 4.17   | 99.13   | -.3644  | -1.3889   |
| 31 | MS4  | .0016  | 6.10   | 191.00  | .4280   | -2.8224   |
| 32 | 2SM6 | .0016  | 4.05   | 178.35  | .4927   | -1.6871   |
| 33 | SK4  | .0015  | 5.99   | 59.34   | 4.4370  | -2.7482   |
| 34 | MSN6 | .0011  | 4.12   | 148.07  | 5.6203  | -2.1281   |
| 35 | KJ2  | .0011  | 11.75  | 23.56   | 2.6550  | -7.5568   |
| 36 | S4   | .0010  | 6.00   | 241.58  | .1295   | -3.9027   |
| 37 | MSK6 | .0007  | 4.04   | 231.60  | 4.8002  | -3.5543   |
| 38 | 2MK6 | .0004  | 4.09   | 160.15  | 5.0986  | -2.5897   |
| 39 | SN4  | .0002  | 6.16   | 250.14  | 5.2571  | -5.2863   |



表3.1.6 高雄港潮汐分潮振幅 (米) 及週期 (時) 統計表

Tide in Kao-Hsuing Harbor of ST-1 at 1992/01/01.00:00-1992/12/31.23:00

Data No = 8783, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .76m

| 序號 | 分潮名稱 | 振幅 (米) | 週期 (時) | 遲角 (度) | 平衡引數   | 延時 (時)    |
|----|------|--------|--------|--------|--------|-----------|
| 1  | M2   | .1764  | 12.42  | 287.22 | 6.2264 | -10.0219  |
| 2  | K1   | .1706  | 23.93  | 302.06 | 3.4831 | -6.8141   |
| 3  | O1   | .1590  | 25.82  | 291.29 | 2.6742 | -9.9020   |
| 4  | S2   | .0685  | 12.00  | 267.31 | .0648  | -8.7866   |
| 5  | P1   | .0570  | 24.07  | 297.49 | 3.0181 | -8.3268   |
| 6  | N2   | .0394  | 12.66  | 291.48 | .5457  | -9.1495   |
| 7  | K2   | .0226  | 11.97  | 277.13 | 3.8281 | -1.9213   |
| 8  | M1   | .0116  | 24.84  | 285.47 | 4.4089 | -2.2671   |
| 9  | MKS2 | .0100  | 12.39  | 345.87 | 3.7065 | -4.5931   |
| 10 | OP2  | .0077  | 12.46  | 222.14 | 5.6924 | -8.8574   |
| 11 | MP1  | .0074  | 25.67  | 65.23  | 3.2083 | -17.2121  |
| 12 | MF   | .0072  | 327.86 | 342.03 | 4.0195 | -101.7552 |
| 13 | VU2  | .0071  | 12.63  | 343.10 | 5.4651 | -1.0512   |
| 14 | MU2  | .0051  | 12.87  | 247.90 | 6.0676 | -9.3054   |
| 15 | X1   | .0048  | 24.71  | 120.18 | 6.0134 | -9.3101   |
| 16 | 2N2  | .0047  | 12.91  | 260.70 | 1.1482 | -6.9872   |
| 17 | PAI1 | .0047  | 24.13  | 243.73 | 6.0741 | -17.1410  |
| 18 | M3   | .0044  | 8.28   | 322.68 | 3.0564 | -3.3939   |
| 19 | 2Q1  | .0033  | 28.01  | 236.01 | 3.8792 | -1.0696   |
| 20 | KJ2  | .0030  | 11.75  | 121.45 | .1496  | -3.6856   |
| 21 | MSN2 | .0030  | 11.79  | 232.46 | 5.7455 | -8.6191   |
| 22 | MS4  | .0029  | 6.10   | 132.67 | .0080  | -2.2415   |
| 23 | M4   | .0028  | 6.21   | 95.67  | 6.1696 | -1.7627   |
| 24 | OO1  | .0025  | 22.31  | 281.06 | 1.2885 | -12.8402  |
| 25 | MK3  | .0021  | 8.18   | 78.28  | 3.4264 | -5.4959   |
| 26 | SO3  | .0020  | 8.19   | 124.23 | 2.7390 | -7.4483   |
| 27 | M6   | .0020  | 4.14   | 230.65 | 6.1129 | -2.7648   |
| 28 | 2MS6 | .0019  | 4.09   | 253.00 | 6.2344 | -2.9078   |
| 29 | OQ2  | .0018  | 13.17  | 8.73   | 5.9510 | -1.0156   |
| 30 | MK4  | .0010  | 6.09   | 82.38  | 3.7713 | -3.8313   |
| 31 | 2MN6 | .0010  | 4.17   | 207.84 | .4322  | -2.1188   |
| 32 | S4   | .0006  | 6.00   | 158.34 | .1295  | -2.5153   |
| 33 | 2MK6 | .0005  | 4.09   | 240.48 | 3.7145 | -.3141    |
| 34 | MSN6 | .0005  | 4.12   | 232.27 | .5537  | -2.2940   |
| 35 | 2SM6 | .0005  | 4.05   | 84.20  | .0728  | -.8994    |
| 36 | SK4  | .0004  | 5.99   | 112.52 | 3.8928 | -4.1523   |
| 37 | SK3  | .0004  | 7.99   | 329.77 | 3.5479 | -2.8084   |
| 38 | SN4  | .0004  | 6.16   | 154.88 | .6105  | -2.0517   |
| 39 | MSK6 | .0003  | 4.04   | 118.81 | 3.8361 | -2.9082   |

表3.1.7 蟬廣嘴潮汐分潮振幅 (米) 及週期 (時) 統計表

Tide in SHIN-KUAN-TSUWEI of ST-1 at 1993/01/01.00:00-1993/12/31.23:00

Data No = 8759, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .13m

| 序號 | 分潮名稱 | 振幅 (米) | 週期 (時) | 遲角 (度)  | 平衡引數    | 延時 (時)    |
|----|------|--------|--------|---------|---------|-----------|
| 1  | K1   | .2097  | 23.93  | 350.90  | 1.3773  | -18.0831  |
| 2  | M2   | .1999  | 12.42  | -8.86   | -3.1922 | -6.0046   |
| 3  | O1   | .1722  | 25.82  | -41.14  | -4.6424 | -16.1265  |
| 4  | S2   | .0932  | 12.00  | 5.78    | 2.0944  | -8.1926   |
| 5  | P1   | .0675  | 24.07  | 344.84  | .8697   | -19.7213  |
| 6  | N2   | .0432  | 12.66  | -10.10  | -4.4802 | -8.6710   |
| 7  | K2   | .0219  | 11.97  | 5.11    | 5.8914  | -.9161    |
| 8  | M1   | .0204  | 24.84  | 336.61  | .0664   | -22.9645  |
| 9  | 2N2  | .0078  | 12.91  | -12.76  | -5.7683 | -11.3902  |
| 10 | MKS2 | .0078  | 12.39  | 222.64  | .6048   | -6.4674   |
| 11 | MU2  | .0076  | 12.87  | -25.99  | -2.2308 | -3.6409   |
| 12 | MF   | .0066  | 327.86 | 140.55  | 2.9510  | -301.8747 |
| 13 | OO1  | .0053  | 22.31  | 50.08   | 4.4012  | -9.7843   |
| 14 | MP1  | .0048  | 25.67  | 92.66   | -4.0619 | -23.2003  |
| 15 | OP2  | .0042  | 12.46  | 19.41   | -3.7727 | -8.1507   |
| 16 | OQ2  | .0036  | 13.17  | -208.76 | -4.2896 | -1.3536   |
| 17 | MSN2 | .0034  | 11.79  | 48.63   | 3.3824  | -7.0334   |
| 18 | 2Q1  | .0034  | 28.01  | 286.30  | -.9353  | -26.4413  |
| 19 | X1   | .0034  | 24.71  | 130.71  | .2597   | -7.9500   |
| 20 | VU2  | .0032  | 12.63  | -28.35  | -.9428  | -.9003    |
| 21 | KJ2  | .0032  | 11.75  | 296.64  | 4.1156  | -1.9863   |
| 22 | M3   | .0031  | 8.28   | -267.17 | -4.7883 | -.1651    |
| 23 | SK3  | .0027  | 7.99   | 284.02  | 3.4717  | -1.8894   |
| 24 | SO3  | .0021  | 8.19   | -59.69  | -2.5480 | -1.9639   |
| 25 | MK3  | .0018  | 8.18   | 231.85  | -1.8148 | -7.6282   |
| 26 | M4   | .0015  | 6.21   | 45.47   | -.1011  | -.8843    |
| 27 | M6   | .0015  | 4.14   | 139.72  | -3.2933 | -3.7770   |
| 28 | PAI1 | .0012  | 24.13  | 121.55  | 3.9051  | -17.2819  |
| 29 | MS4  | .0010  | 6.10   | 121.61  | -1.0978 | -3.1282   |
| 30 | S4   | .0010  | 6.00   | 16.59   | 4.1888  | -2.2764   |
| 31 | 2MN6 | .0009  | 4.17   | -218.61 | -4.5814 | -.5078    |
| 32 | 2MS6 | .0009  | 4.09   | -193.63 | -4.2899 | -.5930    |
| 33 | SK4  | .0007  | 5.99   | 289.30  | 1.7026  | -3.1915   |
| 34 | MSN6 | .0007  | 4.12   | -139.33 | -5.5780 | -2.0619   |
| 35 | 2MK6 | .0007  | 4.09   | 124.00  | -.4930  | -1.7290   |
| 36 | MSK6 | .0005  | 4.04   | 179.10  | 4.7936  | -2.9691   |
| 37 | 2SM6 | .0003  | 4.05   | 319.36  | .9966   | -2.9473   |
| 38 | MK4  | .0001  | 6.09   | 233.78  | 2.6992  | -1.3397   |
| 39 | SN4  | .0000  | 6.16   | 69.97   | -2.3858 | -3.5365   |

表 3.1.8 高雄港測站 IB 全年及分月流速平均值、最大流速及流向統計表

| 序<br>號 | 年/月     | 流速平均值<br>(cm/s) | 最大流速/流向<br>(cm/)(去向) | 附註<br>(點數) |
|--------|---------|-----------------|----------------------|------------|
| 1      | 1992/01 | 16.9            | 35.3/ SE             | 349        |
| 2      | 1992/02 | 12.1            | 41.8/NW              | 466        |
| 3      | 1992/03 | 12.9            | 43.5/WNW             | 602        |
| 4      | 1992/04 | 12.4            | 43.0/SE              | 432        |
| 5      | 1992/05 | 16.2            | 57.7/WNW             | 695        |
| 6      | 1992/06 | 16.9            | 48.0/NW              | 566        |
| 7      | 1992/07 | 18.1            | 56.8/NW              | 493        |
| 8      | 1992/08 | 13.9            | 52.6/SE              | 593        |
| 9      | 1992/09 | 15.0            | 58.8/SE              | 693        |
| 10     | 1992/10 | 14.4            | 46.0/NW              | 542        |
| 11     | 1992/11 | 12.9            | 39.5/NW              | 673        |
| 12     | 1992/12 | 16.7            | 38.2/NW              | 698        |
| 13     | 1992/年  | 14.9            | 58.8/ SE             | 6802       |

表 3.1.9 興達港全年及分月流速平均值、最大流速及流向統計表

| 序<br>號 | 年/月     | 流速平均值<br>(cm/s) | 最大流速/流向<br>(cm/s)(去向) | 附註<br>(點數) |
|--------|---------|-----------------|-----------------------|------------|
| 1      | 1984/12 | 21.7            | 66.1/NNW              | 744        |
| 2      | 1985/01 | 20.9            | 55.3/SSE              | 314        |
| 3      | 1985/02 | 19.7            | 49.7/SSE              | 268        |
| 4      | 1985/03 | 25.7            | 67.0/SSE              | 744        |
| 5      | 1985/04 | 23.2            | 60.3/SSE              | 720        |
| 6      | 1985/05 | 22.3            | 58.9/SSE              | 744        |
| 7      | 1985/06 | 24.0            | 67.3/NNW              | 541        |
| 8      | 1985/07 | 23.6            | 63.1/S                | 495        |
| 9      | 1985/08 | 25.8            | 55.8/SSE              | 531        |
| 10     | 1985/09 | 20.3            | 60.0/S                | 683        |
| 11     | 1985/10 | 12.7            | 37.9/SSE              | 524        |
| 12     | 1985/11 | 17.9            | 58.9/SSE              | 428        |
| 13     | 1985/年  | 21.8            | 67.3/NNW              | 6736       |

表 3.1.10 高屏溪河口及峽谷頭流速平均值、最大流速及流向統計表

| 序<br>號 | 位置    | 流速平均值<br>(cm/s)/點數 | 最大流速/流向<br>(cm/s)(去向) | 年/月     |
|--------|-------|--------------------|-----------------------|---------|
| 1      | 高屏溪河口 | 18.3/385           | 77.3/NNE              | 2000/06 |
| 2      | 高屏峽谷頭 | 22.6/385           | 63.9/N                | 2000/06 |

表 3.1.11 高雄港測站 IB 全年及分月恒流流速平均值、最大恒流流速及流向  
與月(年)恒流流速及流向統計表

| 序<br>號 | 年/月     | 恒流流速平均<br>值(cm/s)/點數 | 恒流最大流速/流<br>向(cm/s)(去向) | 月(年)恒流流速及<br>流向(cm/s)(去向) |
|--------|---------|----------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1      | 1992/01 | 4.7/14               | 7.8/NNW                 | 2.8/NE                    |
| 2      | 1992/02 | 4.1/19               | 21.9/NW                 | 2.4/NNW                   |
| 3      | 1992/03 | 3.7/25               | 9.8/NW                  | 3.58/NW                   |
| 4      | 1992/04 | 2.5/18               | 5.8/SE                  | 1.1/ESE                   |
| 5      | 1992/05 | 3.9/30               | 11.2/NW                 | 1.2/ENE                   |
| 6      | 1992/06 | 3.2/24               | 8.9/NW                  | 1.4/E                     |
| 7      | 1992/07 | 3.2/22               | 7.0/ESE                 | 1.5/ENE                   |
| 8      | 1992/08 | 3.6/25               | 6.7/SE                  | 1.0/N                     |
| 9      | 1992/09 | 4.1/29               | 14.7/ESE                | 2.8/ESE                   |
| 10     | 1992/10 | 3.2/24               | 6.3/SE                  | 2.1/ESE                   |
| 11     | 1992/11 | 3.5/29               | 8.8/NW                  | 0.8/ENE                   |
| 12     | 1992/12 | 8.6/30               | 17.7/NW                 | 8.2/ESE                   |
| 13     | 1992/年  | 4.1/289              | 21.9/NW                 | 1.4/S                     |

表 3.1.12 興達港全年及分月恒流流速平均值 最大恒流流速及流向與月(年)  
恒流流速及流向統計表

| 序<br>號 | 年/月     | 恒流流速平均值<br>(cm/s)/點數 | 恒流最大流速/ 流<br>向(cm/s)(去向) | 月(年)恒流流速及<br>流向(cm/s)(去向) |
|--------|---------|----------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1      | 1984/12 | 8.9/30               | 14.6/S                   | 2.8/NE                    |
| 2      | 1985/01 | 8.4/12               | 10.8/SSE                 | 2.4/NNW                   |
| 3      | 1985/02 | 8.6/12               | 9.7/SSE                  | 3.58/NW                   |
| 4      | 1985/03 | 10.0/30              | 17.9/SSE                 | 1.1/ESE                   |
| 5      | 1985/04 | 8.3/29               | 12.4/SSE                 | 1.2/ENE                   |
| 6      | 1985/05 | 8.0/30               | 15.9/SSE                 | 1.4/E                     |
| 7      | 1985/06 | 6.4/22               | 12.2/SW                  | 1.5/ENE                   |
| 8      | 1985/07 | 8.0/21               | 10.8/S                   | 1.0/N                     |
| 9      | 1985/08 | 6.7/22               | 8.9/S                    | 2.8/ESE                   |
| 10     | 1985/09 | 6.5/29               | 10.6/S                   | 2.1/ESE                   |
| 11     | 1985/10 | 4.5/21               | 6.2/SSE                  | 0.8/ENE                   |
| 12     | 1985/11 | 8.4/17               | 13.4/S                   | 8.2/ESE                   |
| 13     | 1985/年  | 7.8/275              | 17.9/SSE                 | 7.5/S                     |

表 3.1.13 高屏溪河口及峽谷頭月恒流流速平均值 最大恒流流速及流向與  
月恒流流速及流向統計表

| 序<br>號 | 位置        | 年/月     | 恒流流速平<br>均值(cm/s)/<br>點數 | 恒流最大流速<br>/流向<br>(cm/s)(去向) | 月恒流流速及流向<br>(cm/s)(去向) |
|--------|-----------|---------|--------------------------|-----------------------------|------------------------|
| 1      | 高屏溪<br>河口 | 2000/06 | 9.2/15                   | 13.3/NNE                    | 9.3/NNE                |
| 2      | 高屏峽<br>谷頭 | 2000/06 | 4.1/15                   | 7.4/NNE                     | 3.0/NE                 |

表 3.1.14 各港 4 個較大分潮之潮流橢圓半長軸大小統計表

| 序<br>號 | 港名    | M2 分潮<br>(cm/s) | S2 分潮<br>(cm/s) | K1 分潮<br>(cm/s) | O1 分潮<br>(cm/s) | 恒流大小<br>(cm/s)/(度) | 附註 |
|--------|-------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------|----|
| 1      | 高雄港   | 12.2            | 2.4             | 11.0            | 7.7             | 1.4/ 124           |    |
| 2      | 興達港   | 23.8            | 5.6             | 8.7             | 4.7             | 6.3/164            |    |
| 3      | 高屏溪河口 | 19.1            | 9.3             | 7.5             | 1.5             | 9.3/ 33            |    |
| 4      | 高屏峽谷頭 | 30.4            | 5.9             | 4.3             | 5.0             | 3.2/ 40            |    |

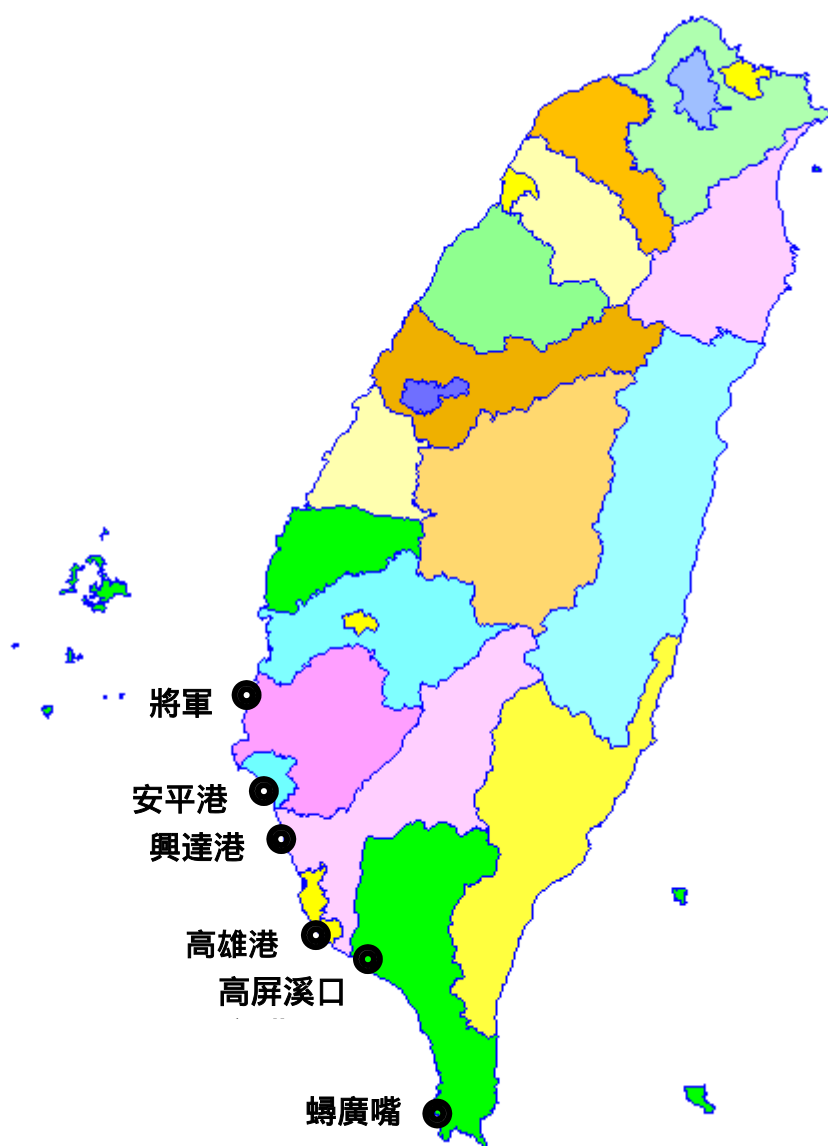


圖 3.1.1 臺灣西南部海岸潮位及海流現場觀測點位置圖



# Tide in CHIANG-CHUN

of ST-1

○ 1

● 8

● 15

● 22

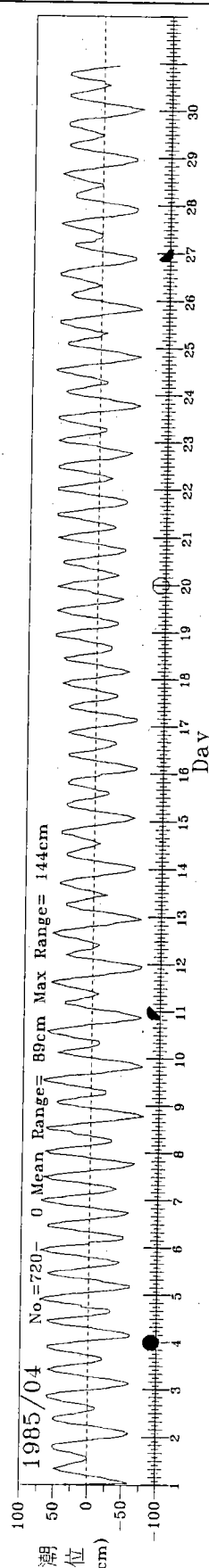
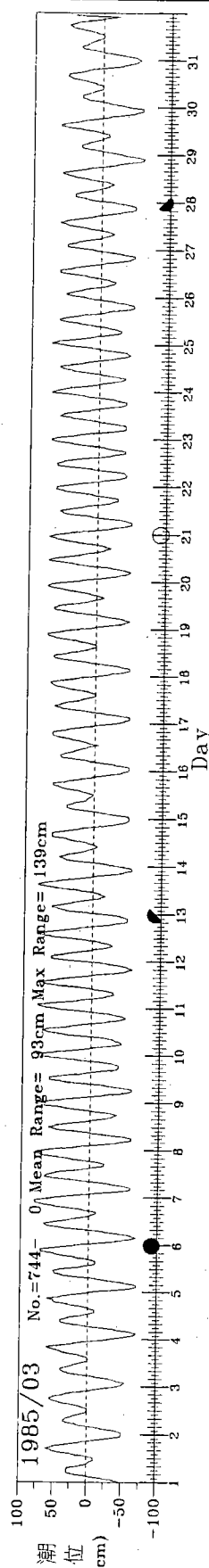
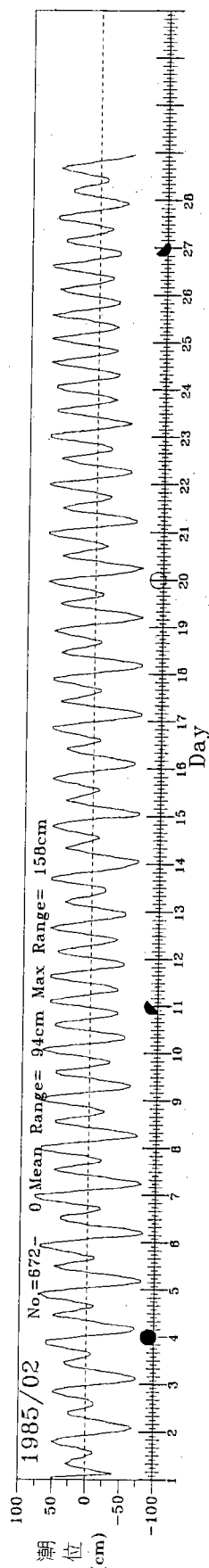
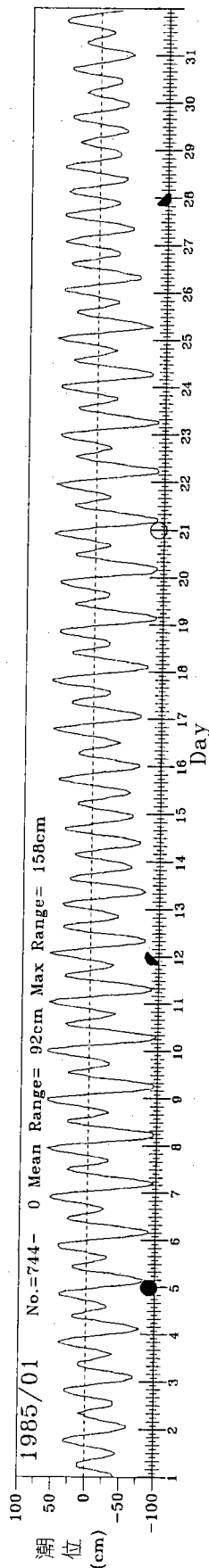


圖 3.1.2 1985年1~4月將軍港實測潮位歷線圖

T851CC10.1HE T852CC10.1HE T853CC10.1HE T854CC10.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLATEAH.FOR

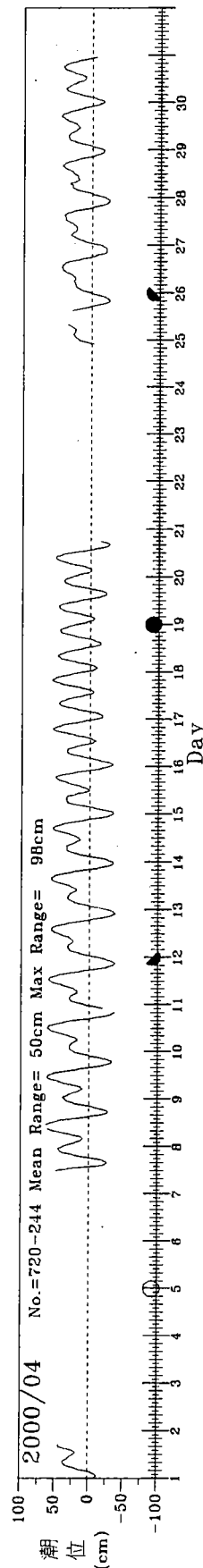
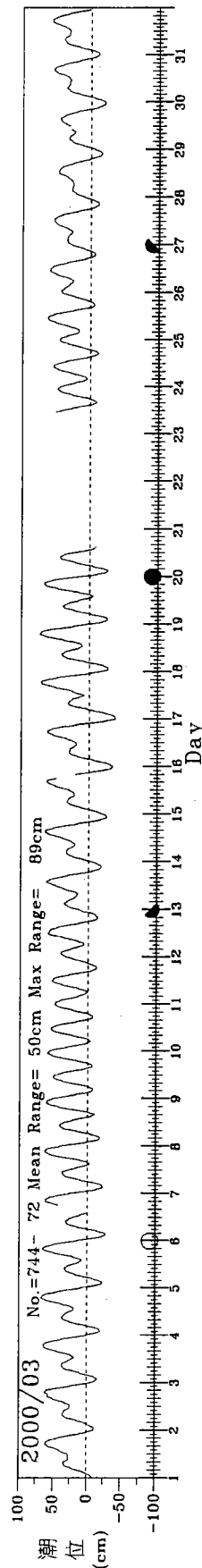
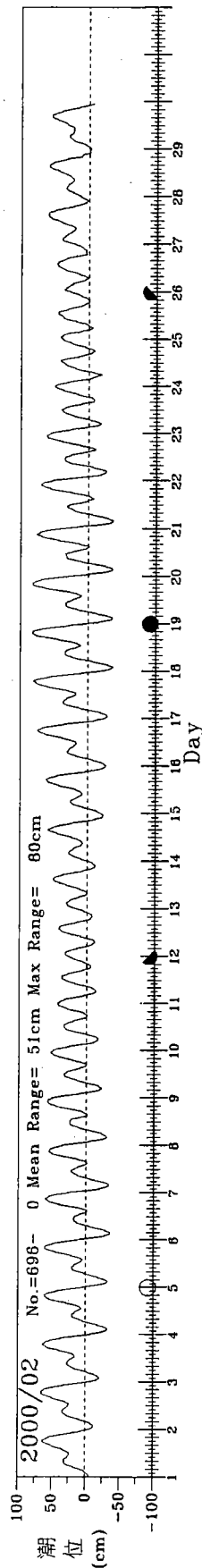
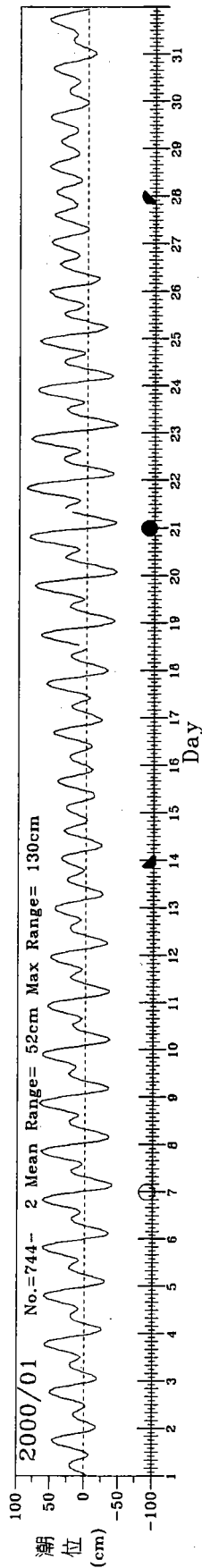


圖 3.1.3 2000年1~4月安平港實測潮位歷線圖

T001AP10.1HA T002AP10.1HA T003AP10.1HA T004AP10.1HA

Institute of Harbor & Marine Technology

Tide in SHIN-DAR Harbor of ST-A ○ 1 ● 8 ● 15 ● 22

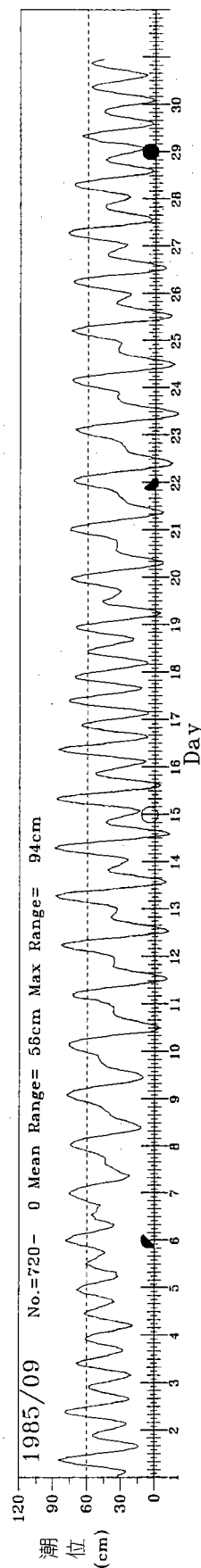
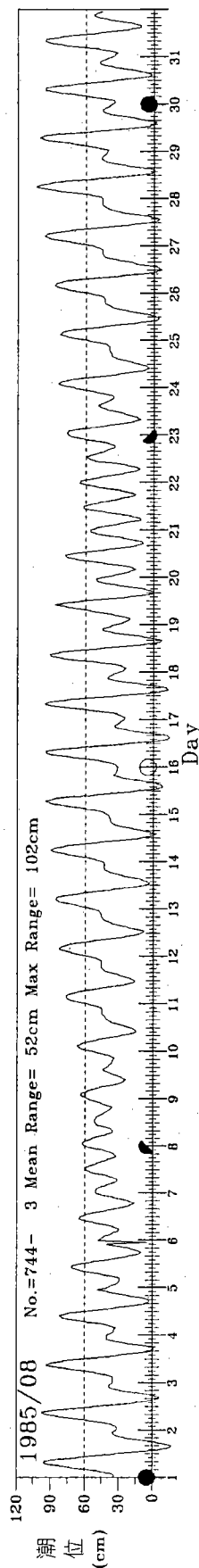
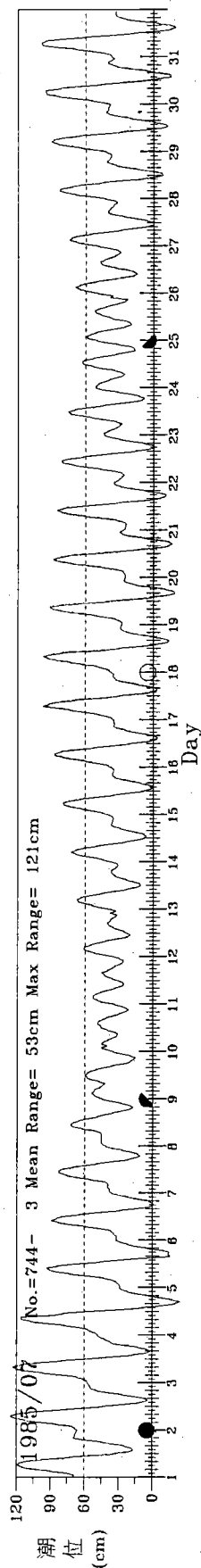
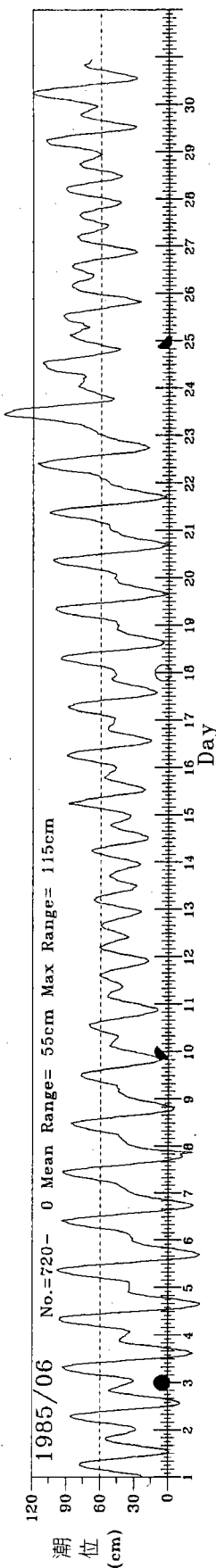


圖3.1.4 1985年6~9月興達港實測潮位歷線圖

T656SDAO.1HE T657SDAO.1HE T658SDAO.1HE T659SDAO.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

# Tide in Kao-Hsuing Harbor of ST-1

○ 1   ● 8   ● 15   ● 22

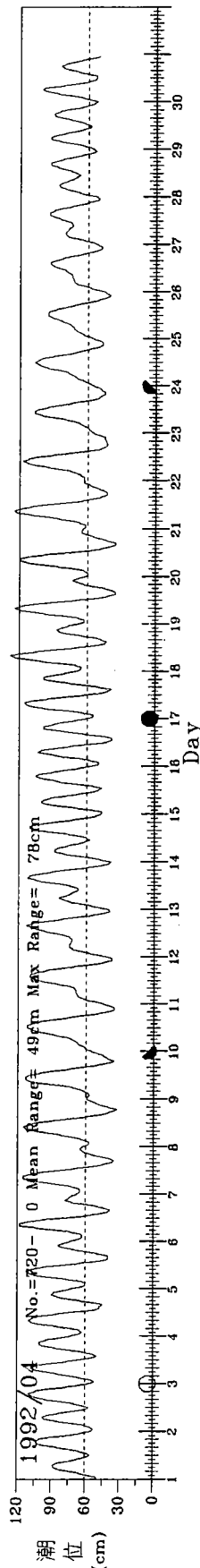
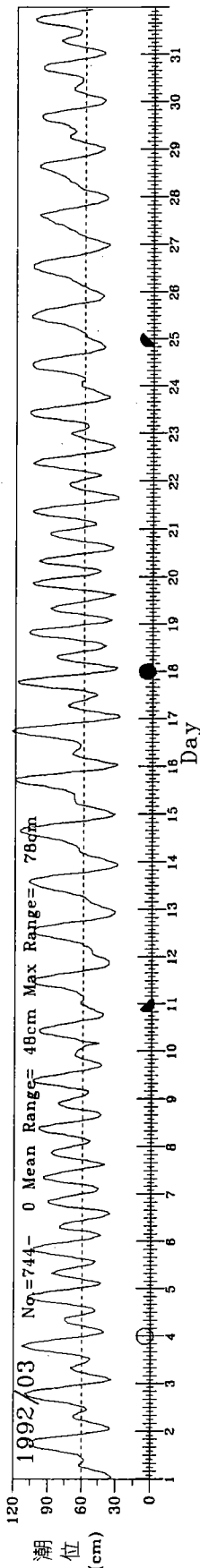
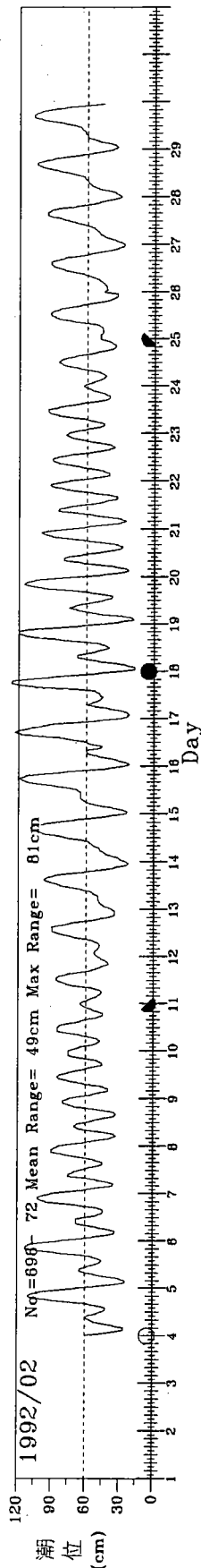
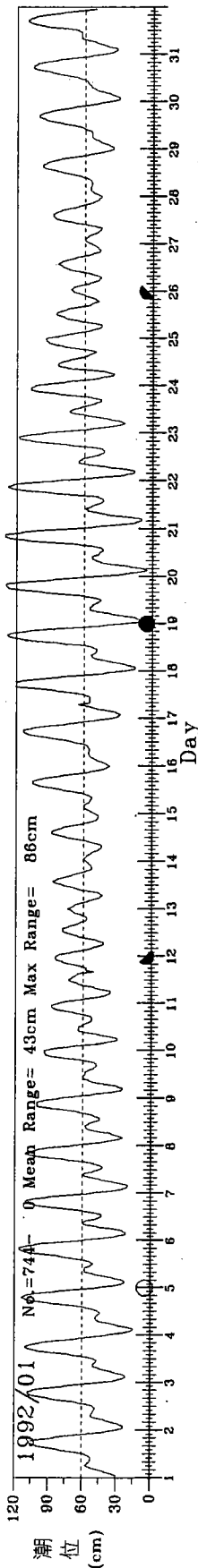


圖 3.1.5 1992年1~4月高雄港10碼頭實測潮位歷線圖

T921KH10.1HE T922KH10.1HE T923KH10.1HE T924KH10.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT2AH.FOR

2002.10.15

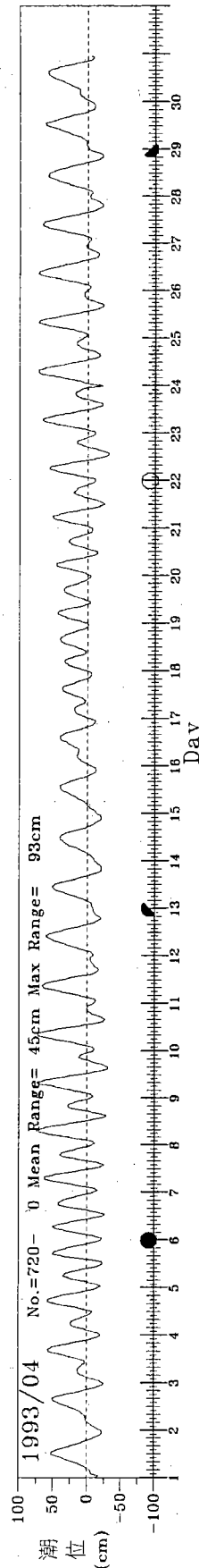
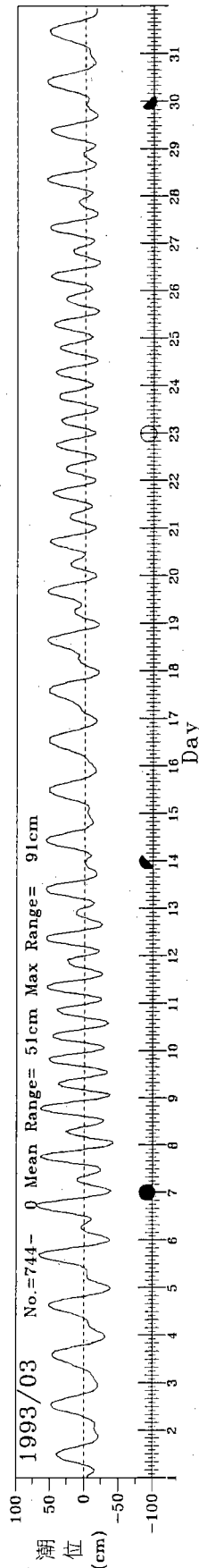
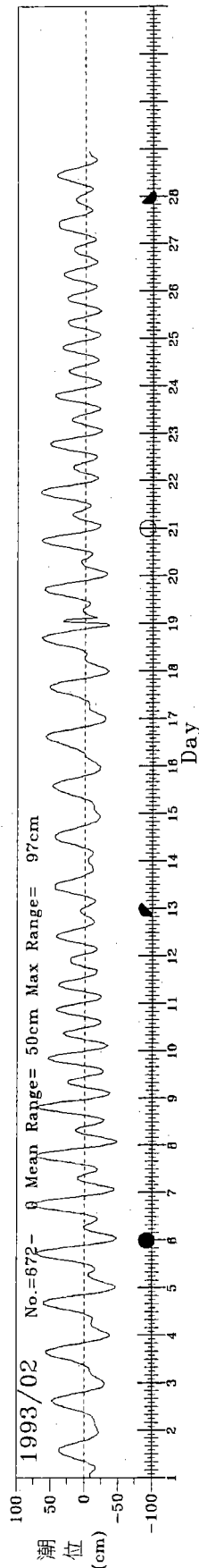
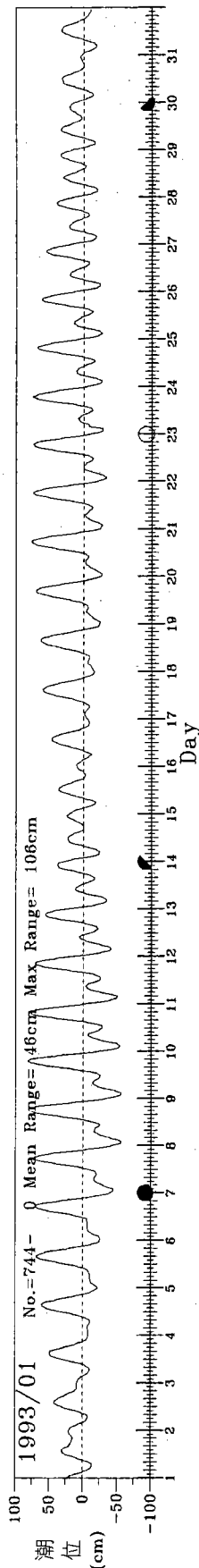


圖 3.1.6 1993年1~4月蟬廣嘴實測潮位歷線圖

T931KT10.1HE T932KT10.1HE T933KT10.1HE T934KT10.1HE

Institute of Harbor & Marine Technology

PLAT2AH.FOR

2002.10.15

# 潮汐主要分潮振幅分佈圖

Tide in CHIANG-CHUN of ST-1 at 1985/01/01 00:00-1985/12/31 23  
Data No = 8759, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .17m

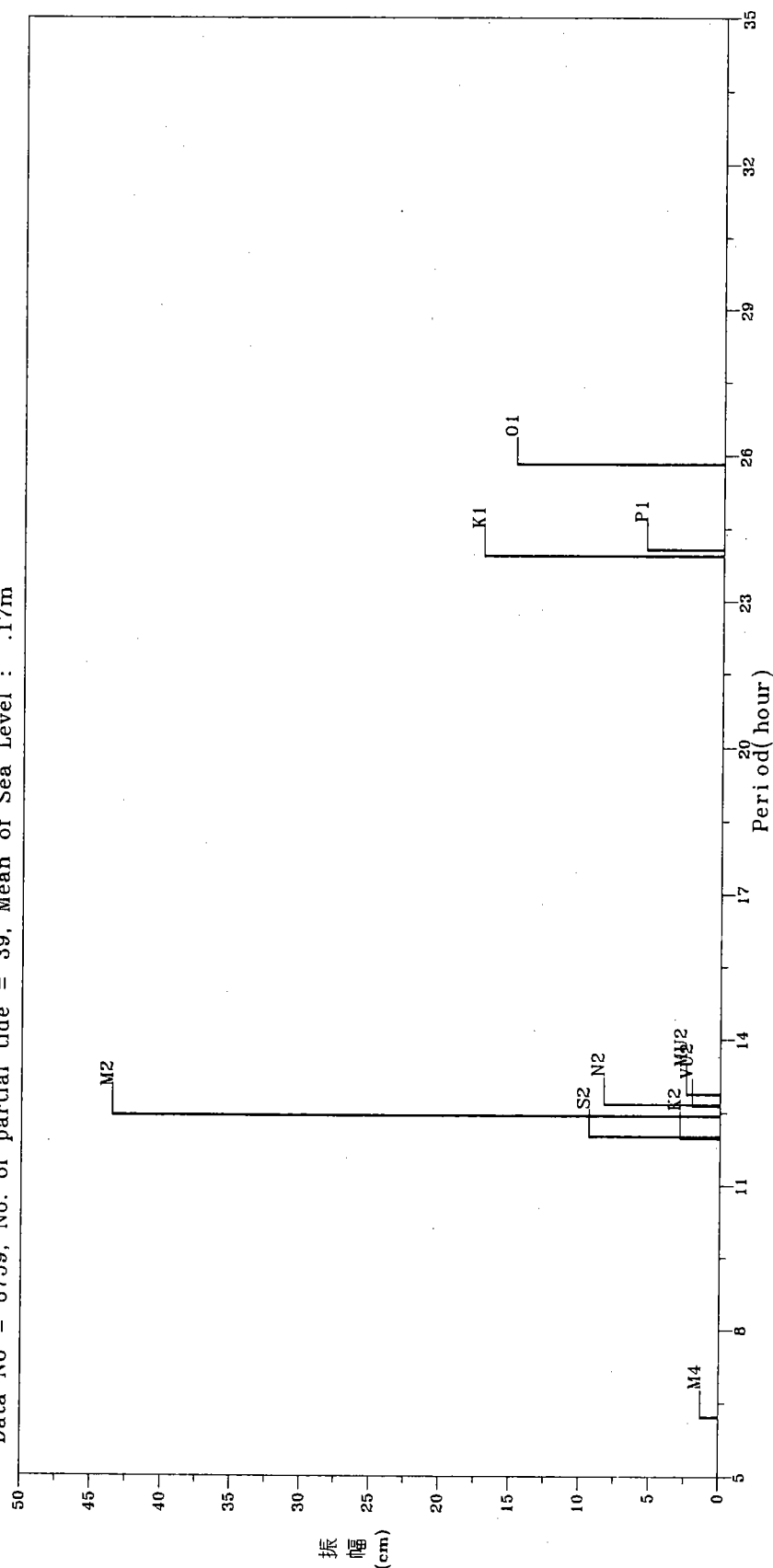


圖 3.1.7 將軍港潮汐實測前十個較大分潮振幅分佈圖

T850CC10.OU3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLUTIAH.FOR

2002.10.16

# 潮汐主要分潮振幅分佈圖

Tide in An-Ping HARBOR of ST-PI at 2000/01/01.00:00-2000/03/20.15  
Data No = 1911, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .19m

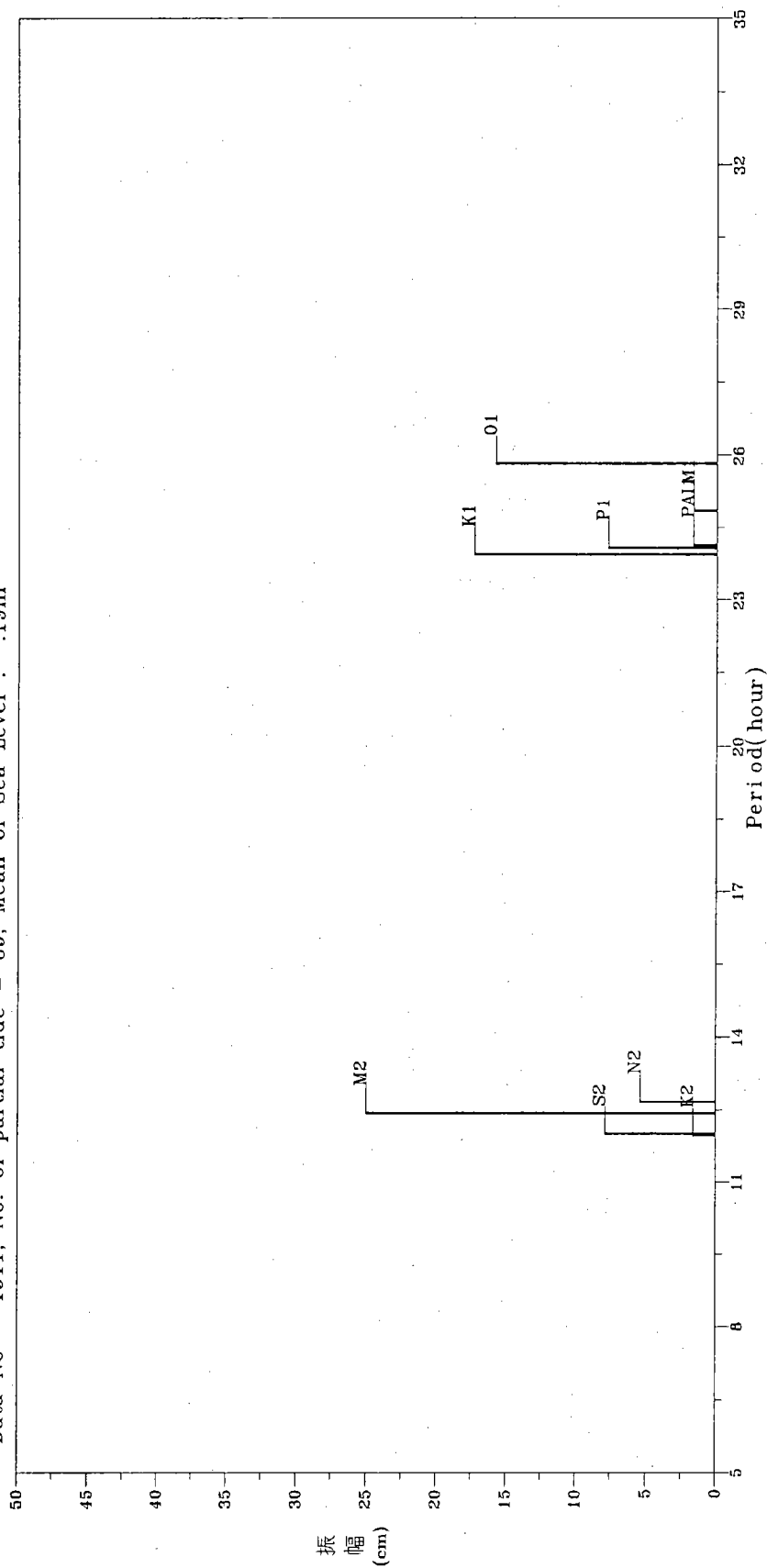


圖3.1.8 安平港潮汐前十個較大分潮振幅分佈圖

T001AP10.0U3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLHTJAH.FOR

2002.10.15

# 潮汐主要分潮振幅分佈圖

Tide in SHIN-DAR Harbor of ST-A at 1985/06/01.00:00-1985/09/30.23  
Data No = 2927, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .43m

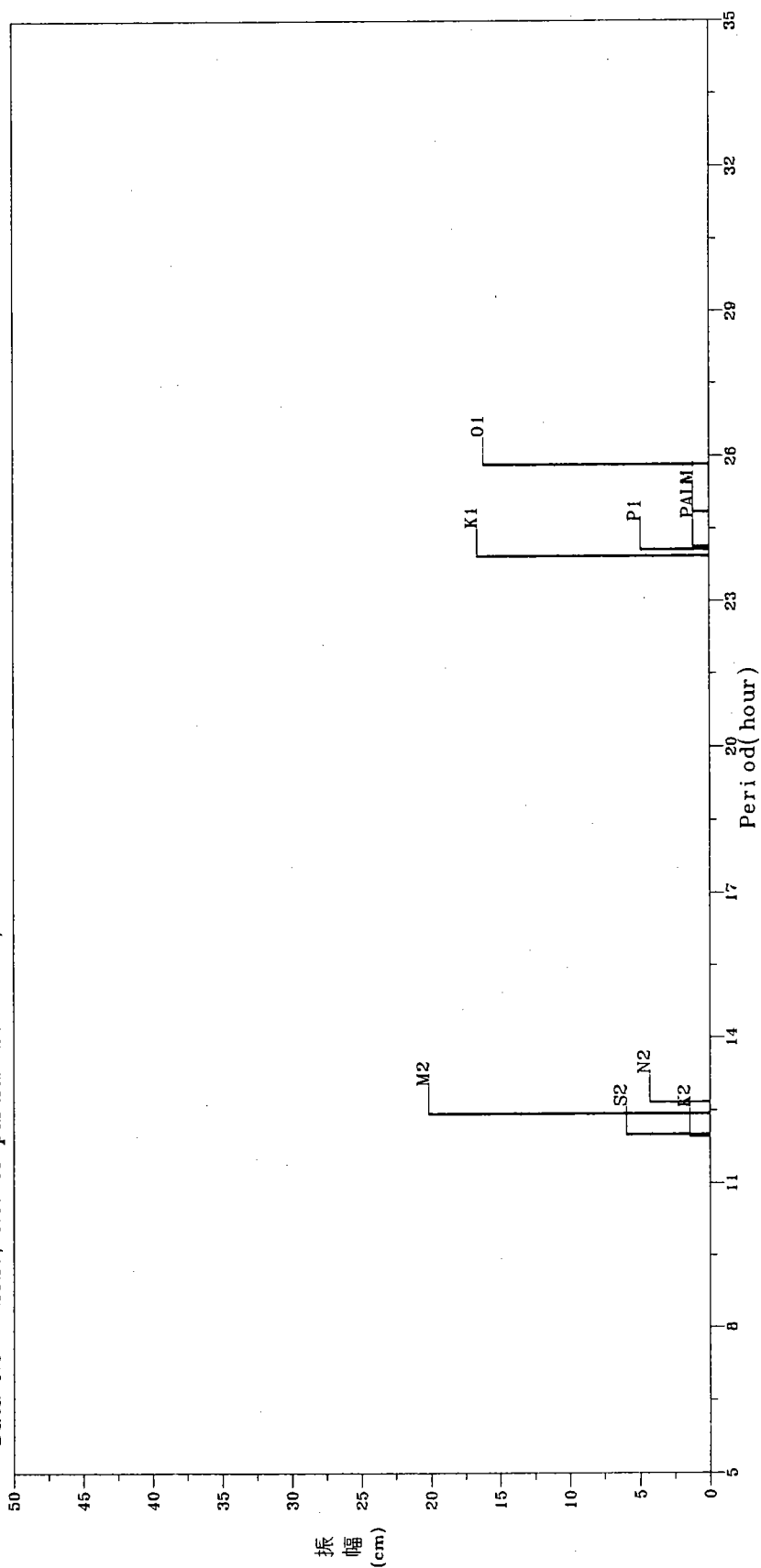


圖 3.1.9 興達港潮汐前十個較大分潮振幅分佈圖

T850SDA0.0U3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLNTTIAH.FOR

2002.10.16



# 潮汐主要分潮振幅分佈圖

Tide in Kao-Hsuing Harbor of ST-1 at 1992/01/01.00:00-1992/12/31.23  
Data No = 8783, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .76m

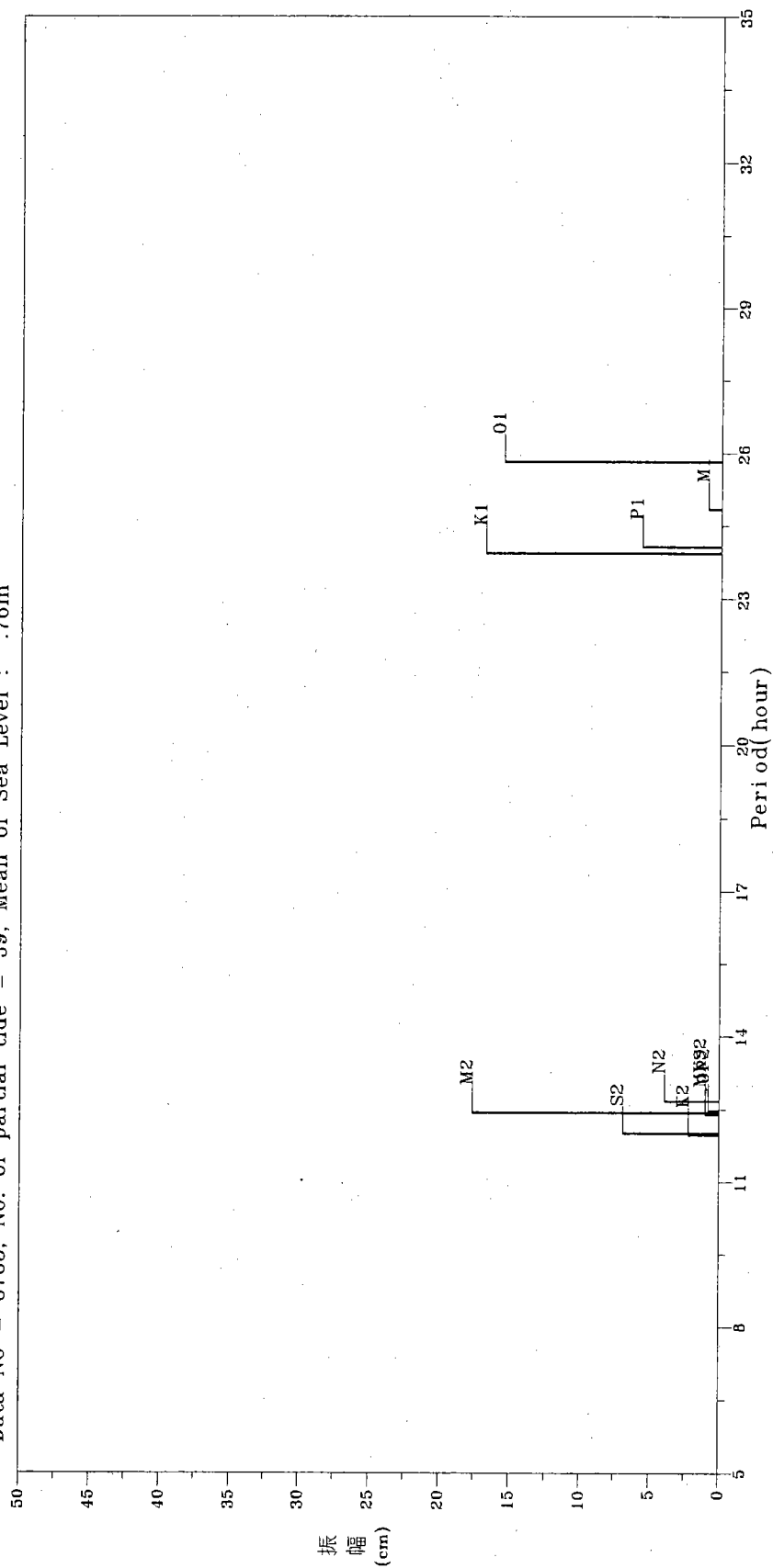


圖 3.1.10 高雄港 10 碼頭潮汐前十個較大分潮振幅分佈圖

T920KH10.0U3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLUTIAH.FOR

2002.10.15

# 潮汐主要分潮振幅分佈圖

Tide in SHIN-KUAN-TSUWEI of ST-1 at 1993/01/01.00:00-1993/12/31.23  
Data No = 8759, No. of partial tide = 39, Mean of Sea Level : .13m

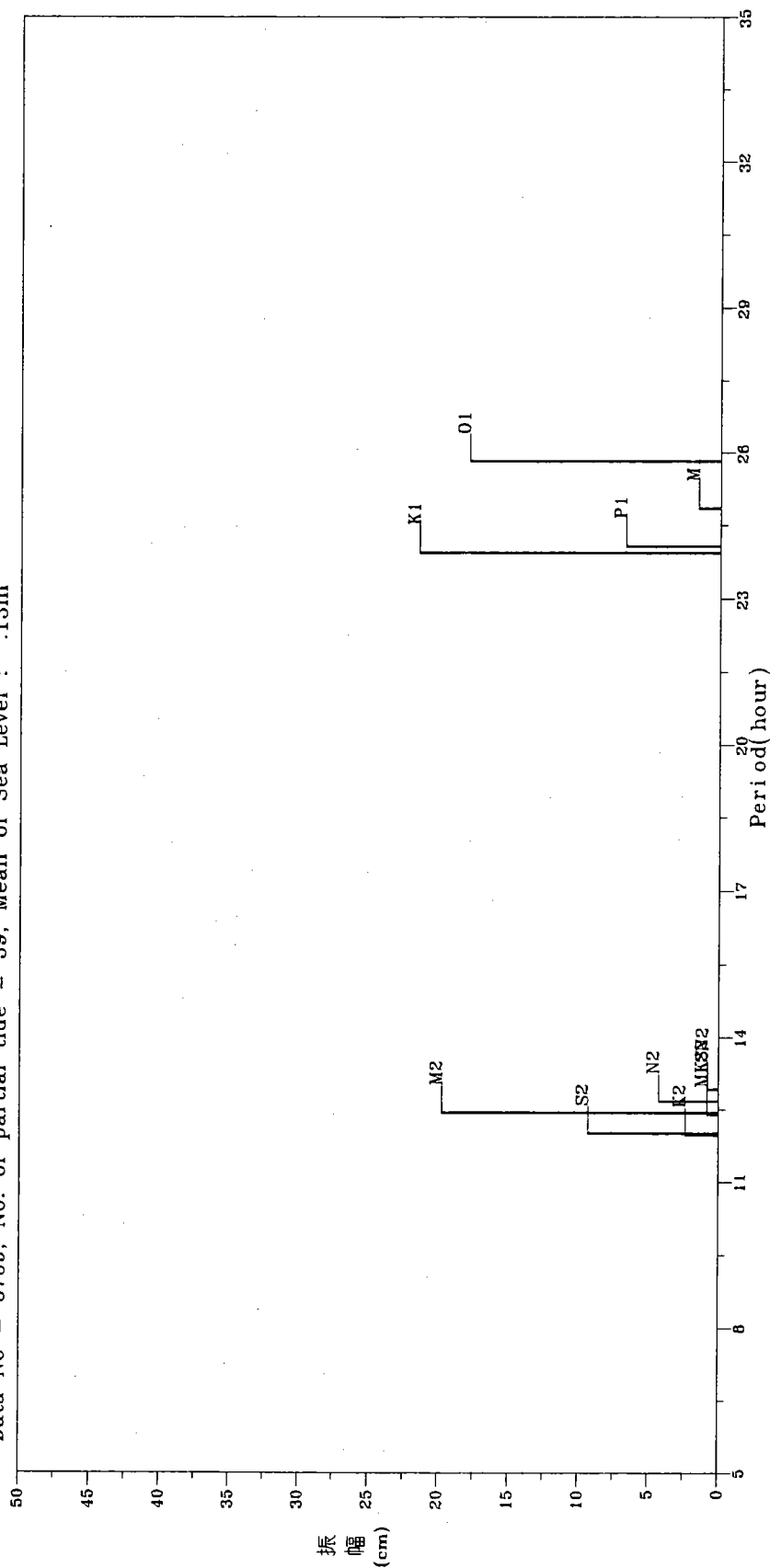


圖 3.1.11 埤廣嘴潮汐前十個較大分潮振幅分佈圖

T930KT10.OU3

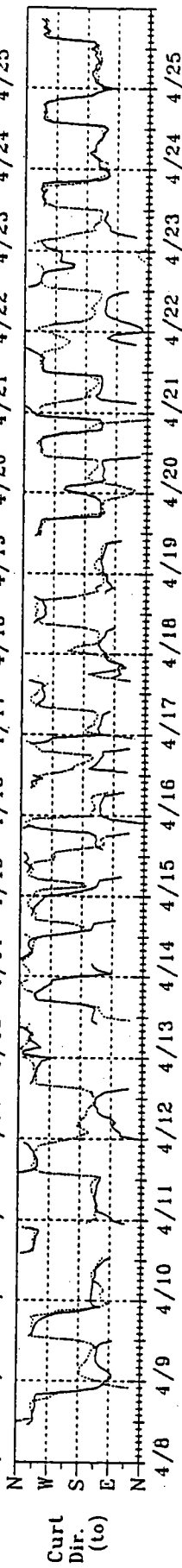
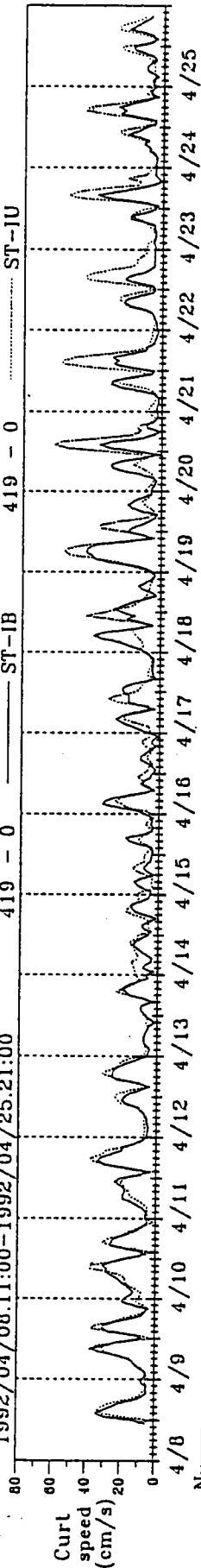
Institute of Harbor & Marine Technology

PLHTIAH.FOR

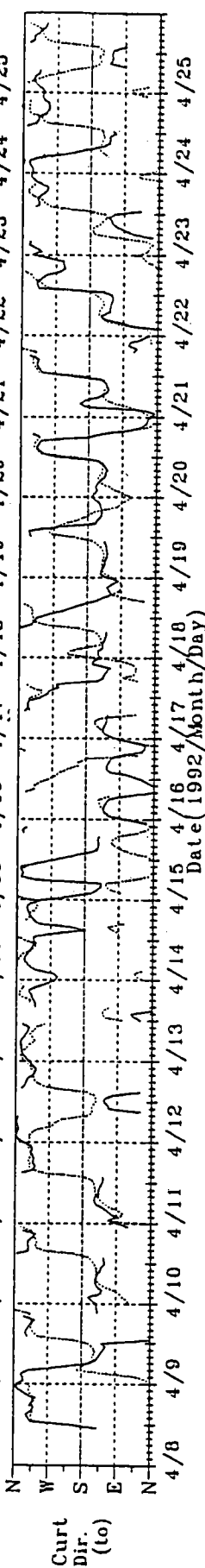
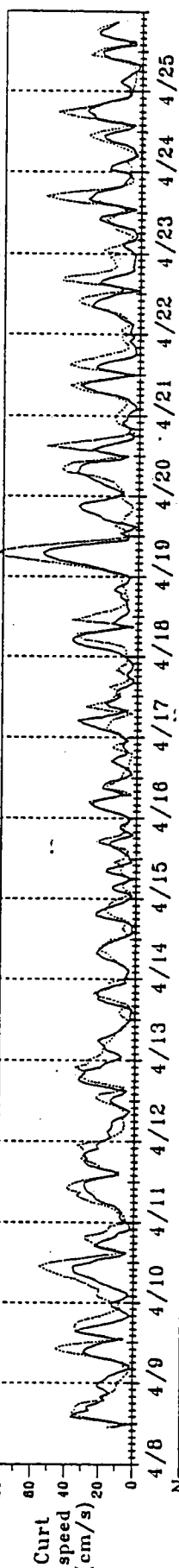
2002.10.15



1992/04/08.11:00-1992/04/25.21:00 419 - 0 ST-IB 419 - 0 ST-IU



1992/04/08.11:00-1992/04/25.21:00 419 - 0 ST-OB 419 - 0 ST-OU



419 - 0 ST-2 419 - 0 ST-1

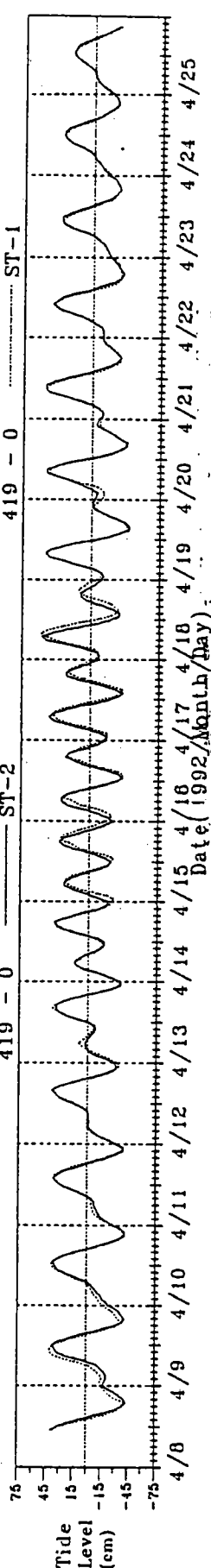


圖 3.1.13a 高雄港第二港口外海處海流資料圖及高雄港內兩處潮位歷線圖

CU92041D.1HX

CU92041U.1HX

CU92040B.1HX

CU92040U.1HX

Institute of Harbor & Marine Technology

PLT-III.FOR

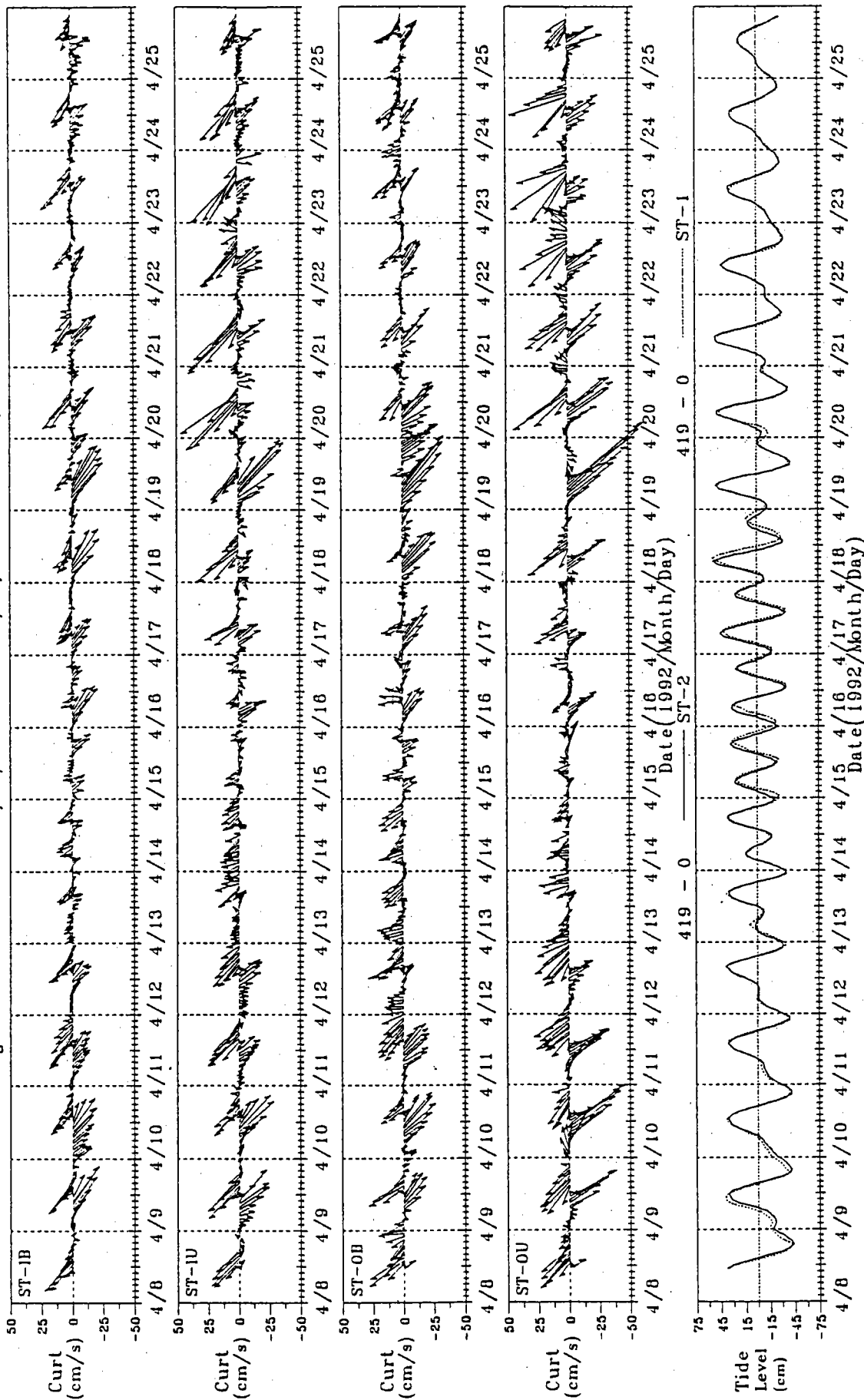


圖 3.1.13b 高雄港第二港口外海處海流流矢圖及高雄港內兩處潮位歷線圖

# Distribution of Current Vector

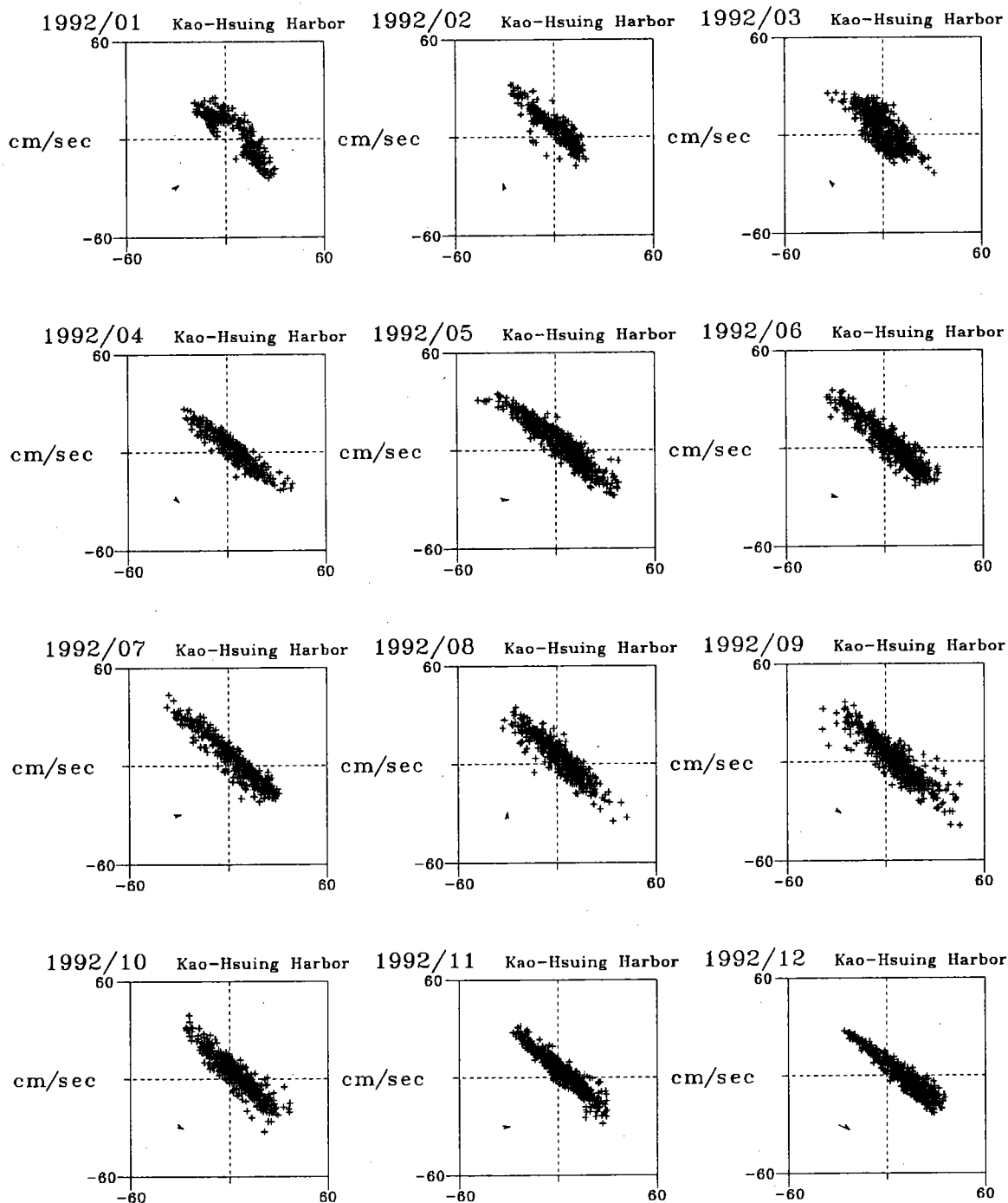


圖 3.1.14 高雄港 1992 年 1 月至 12 月每月逐時海流向量分佈圖

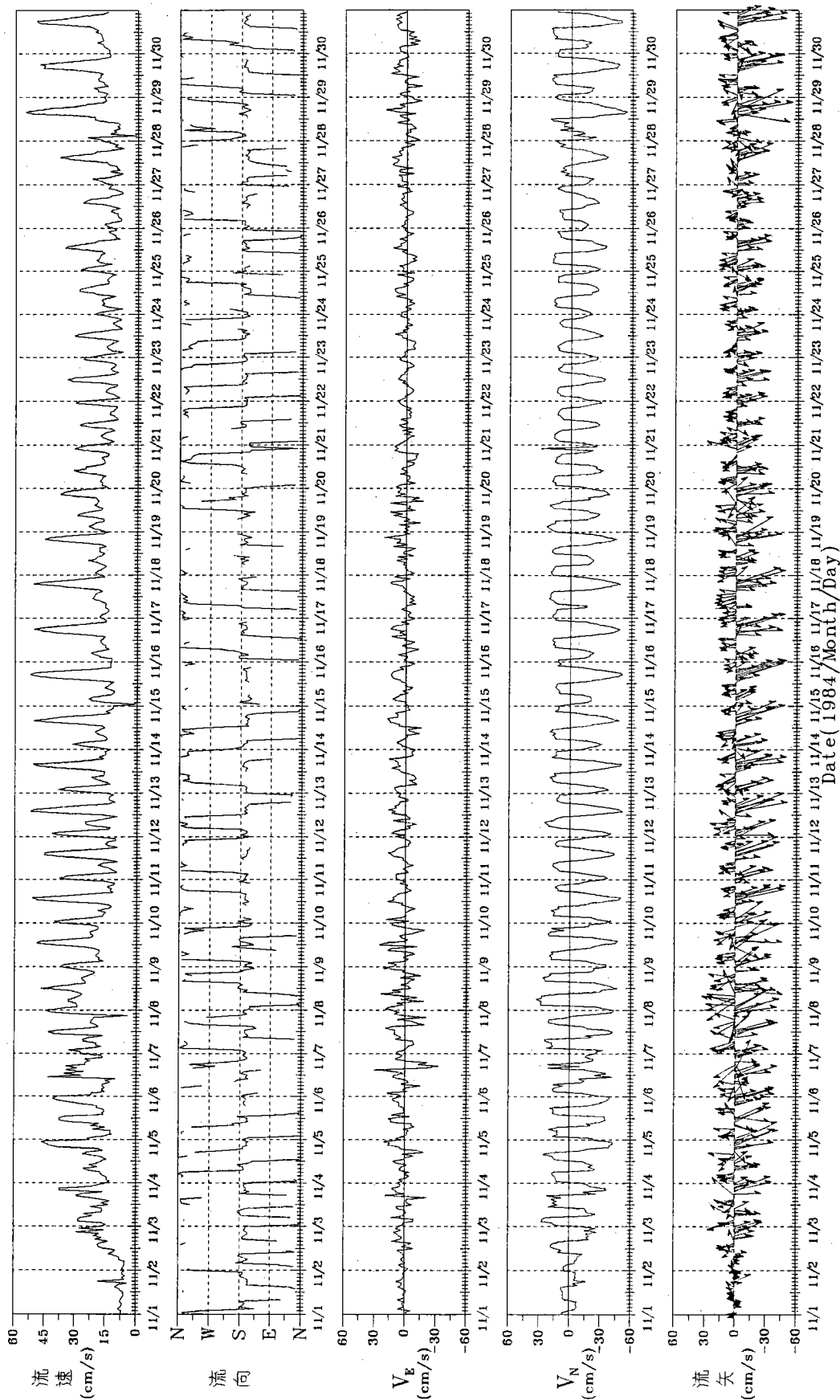


圖3.1.15 興達港海流資料圖及潮位歷線圖

C84BSD10.1HX

Institute of Harbor & Marine Technology

# Distribution of Current Vector

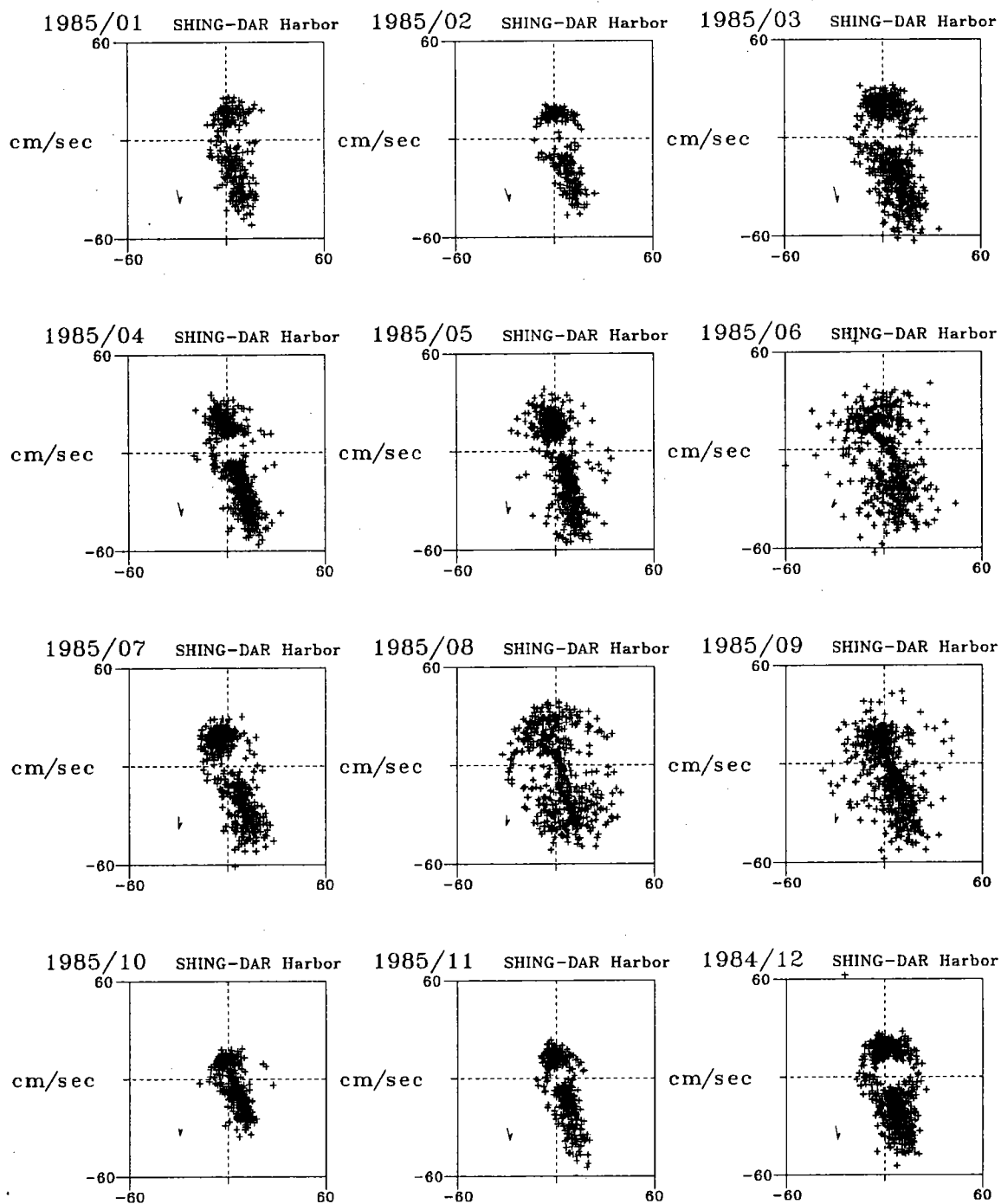


圖3.1.16 興達港1984年12月至1985年11月每月逐時海流向量分佈圖



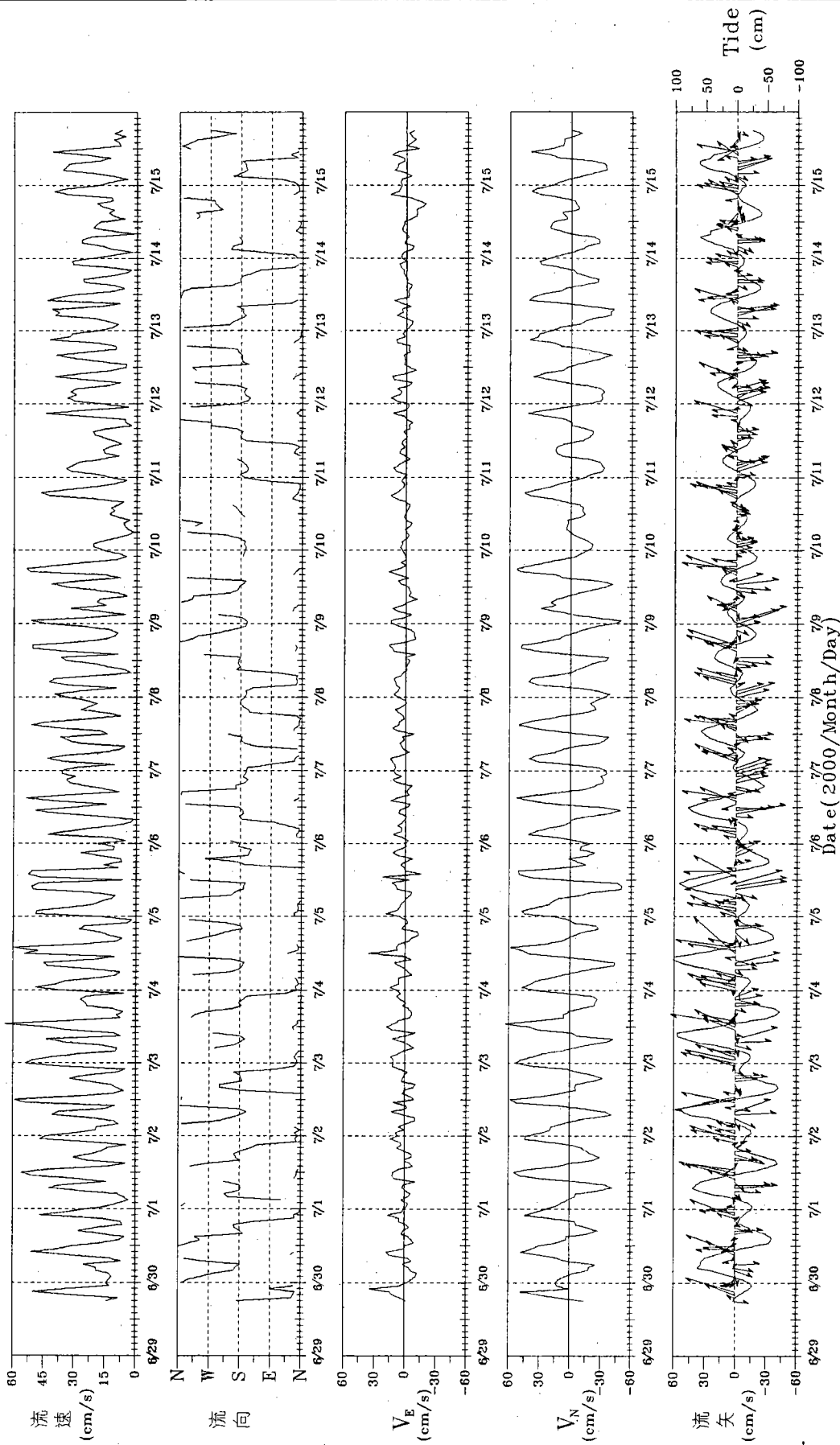


圖 3.1.17 高屏峽谷頭海流資料圖及高屏溪河口處潮位歷線圖

C006KP3S.1HA

Institute of Harbor & Marine Technology

PLACUHL FOR

2002.10.17

Current in KA0-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18:00 385 - 0

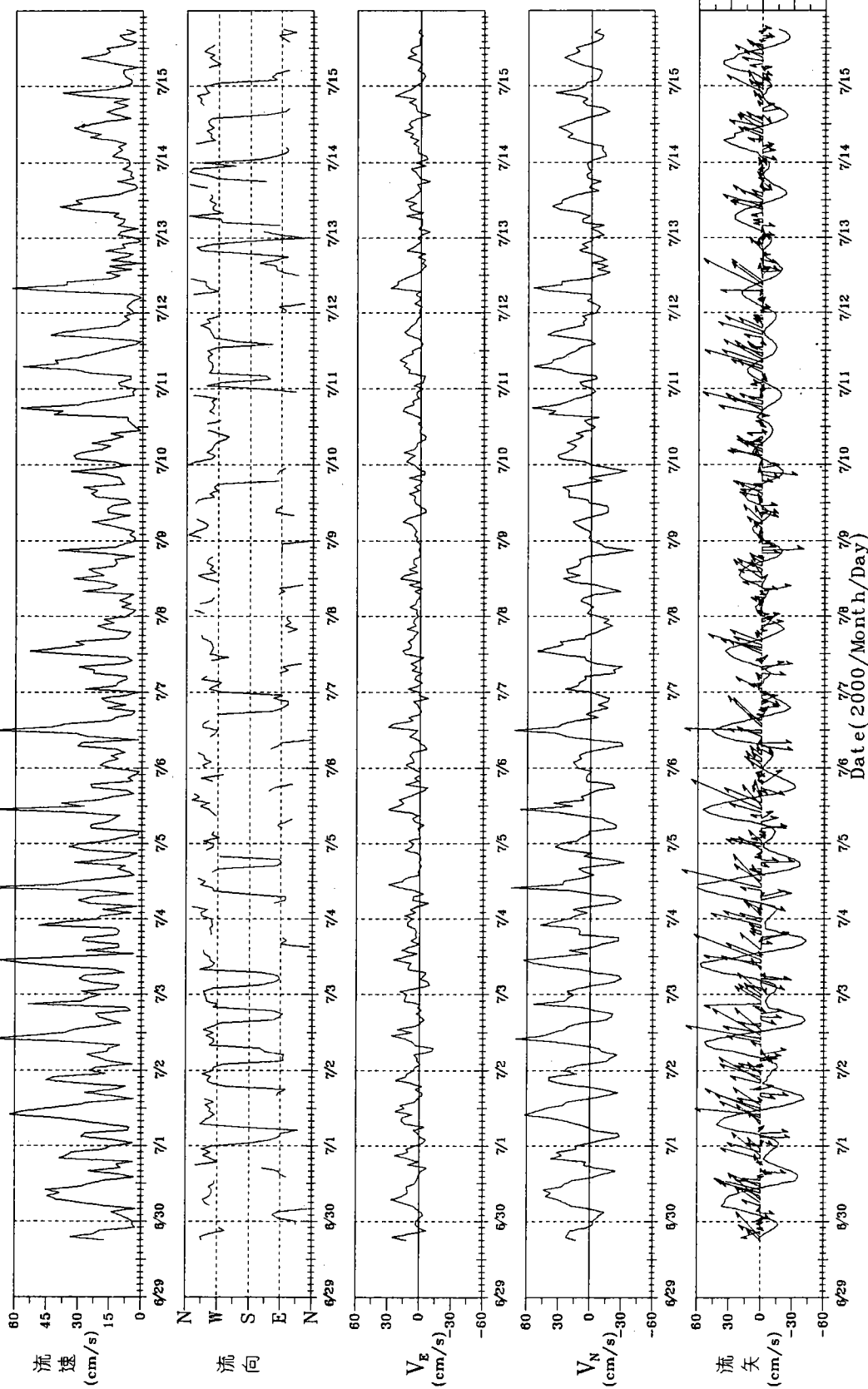


圖3.1.18 高屏溪河口海流資料圖及高屏溪河口處潮位歷線圖

C006KP1S.1HA

Institute of Harbor & Marine Technology

PLACUICH.FOR

2002.10.17

# Distribution of Current Vector

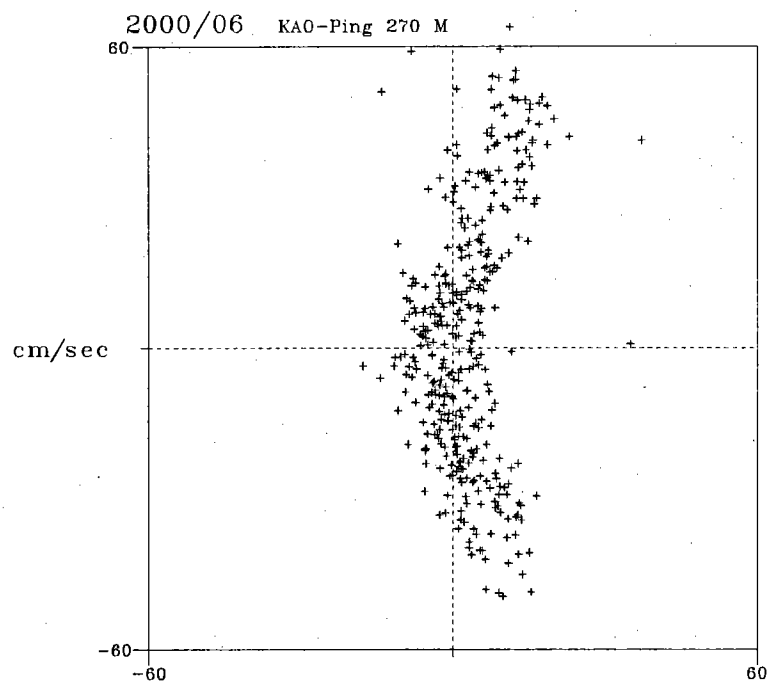


圖 3.1.19 高屏峽谷頭 2000 年 6 月逐時海流向量分佈圖

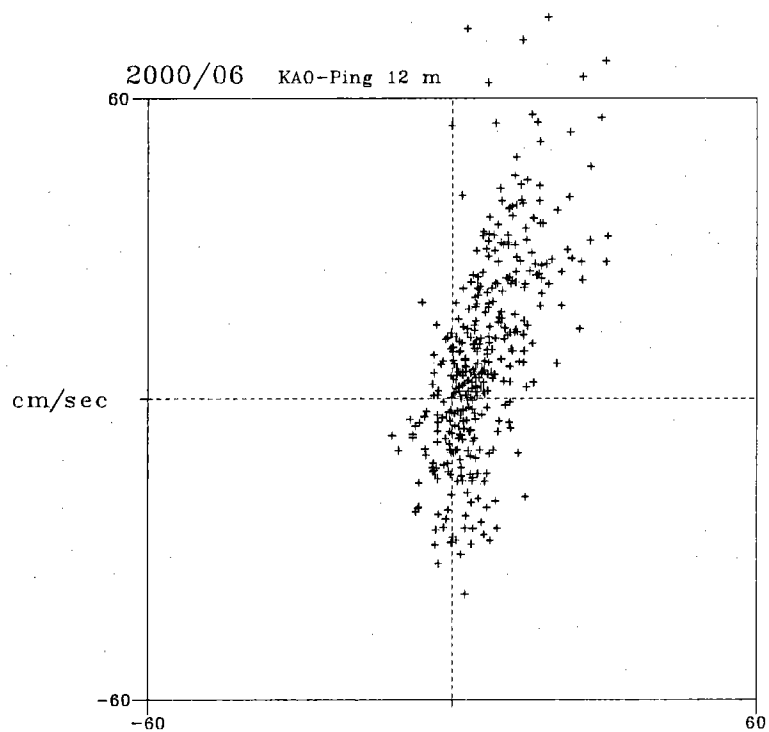


圖 3.1.20 高屏溪河口 2000 年 6 月逐時流向量分佈圖

# Distribution of Mean Current Vector

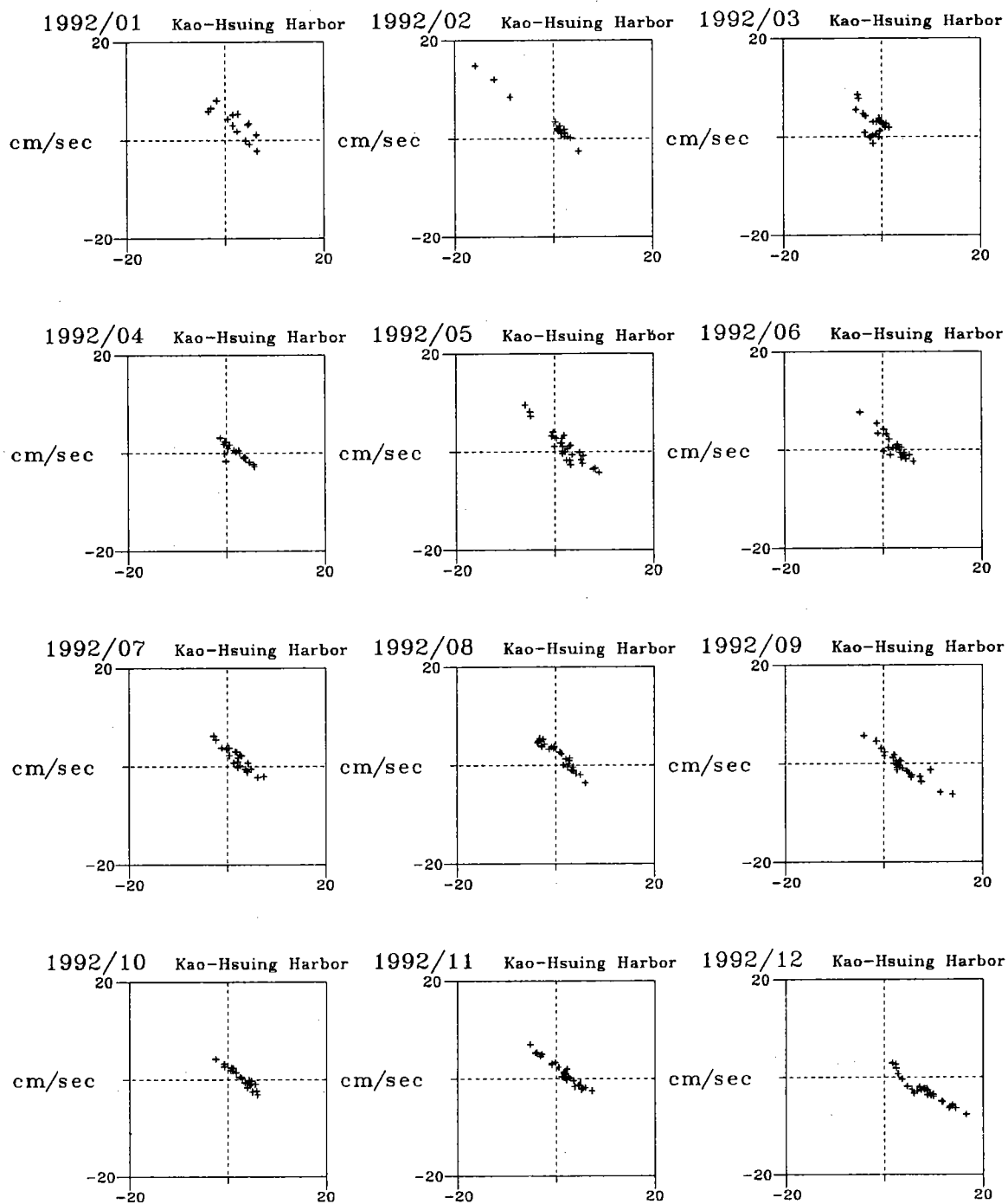


圖3.1.21 高雄港1992年1月至12月每月逐日恒流向量分佈圖

# Distribution of Mean Current Vector

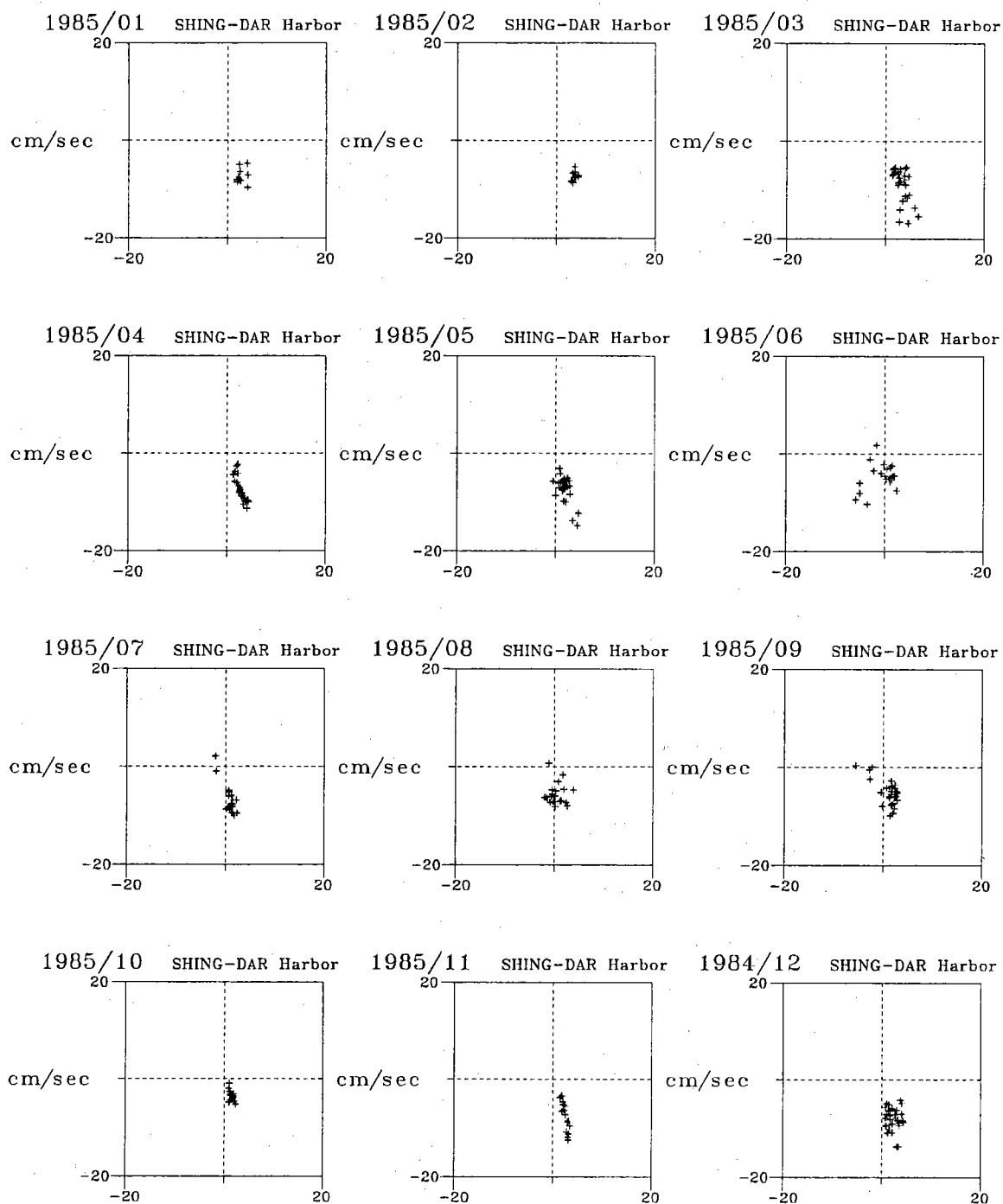


圖 3.1.22 興達港 1984 年 12 月至 1985 年 11 月每月逐日恒流向量分佈圖

# Distribution of Mean Current Vector

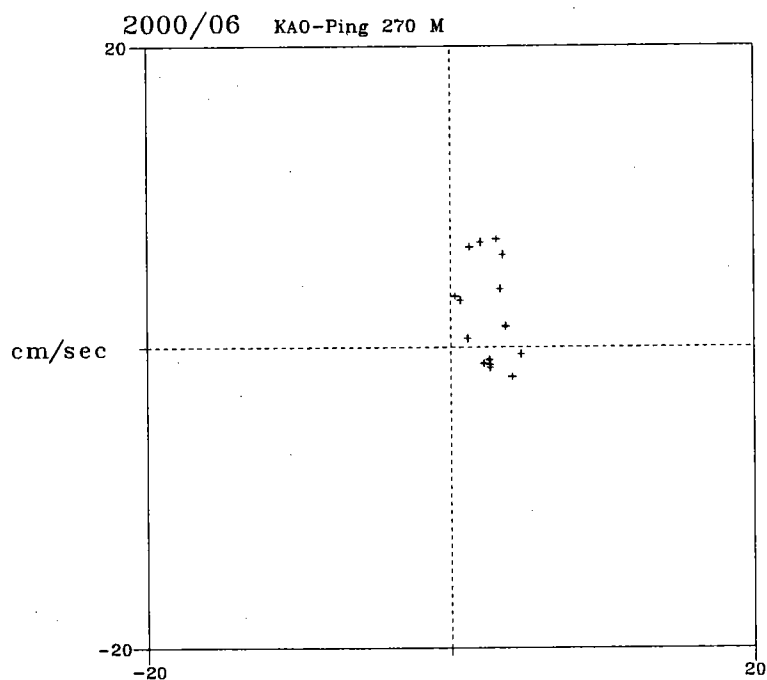


圖 3.1.23 高屏峽谷頭2000年6月逐日恒流向量分佈圖

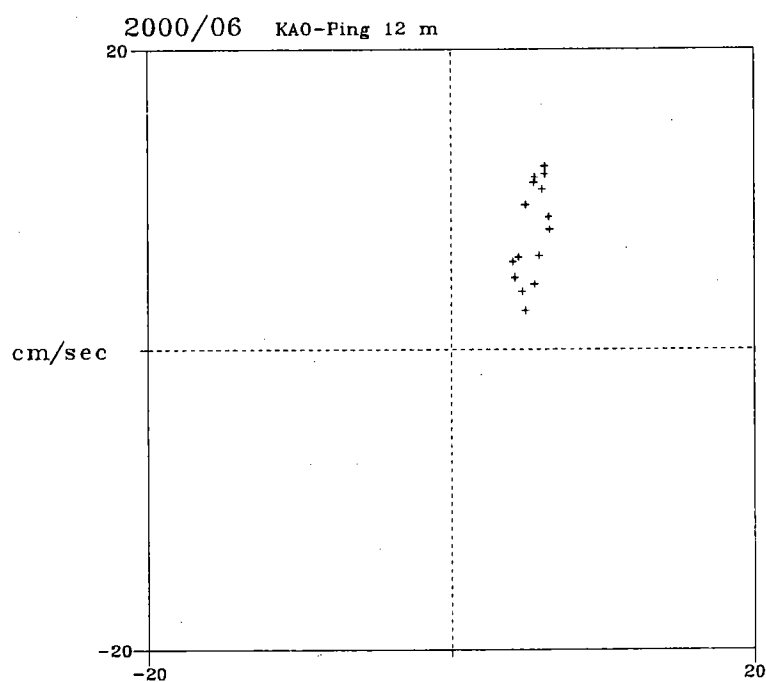


圖 3.1.24 高屏溪河口2000年6月逐日恒流向量分佈圖

Tide in KAO-Ping 270 M of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18  
Constant Tidal level = .26 cm

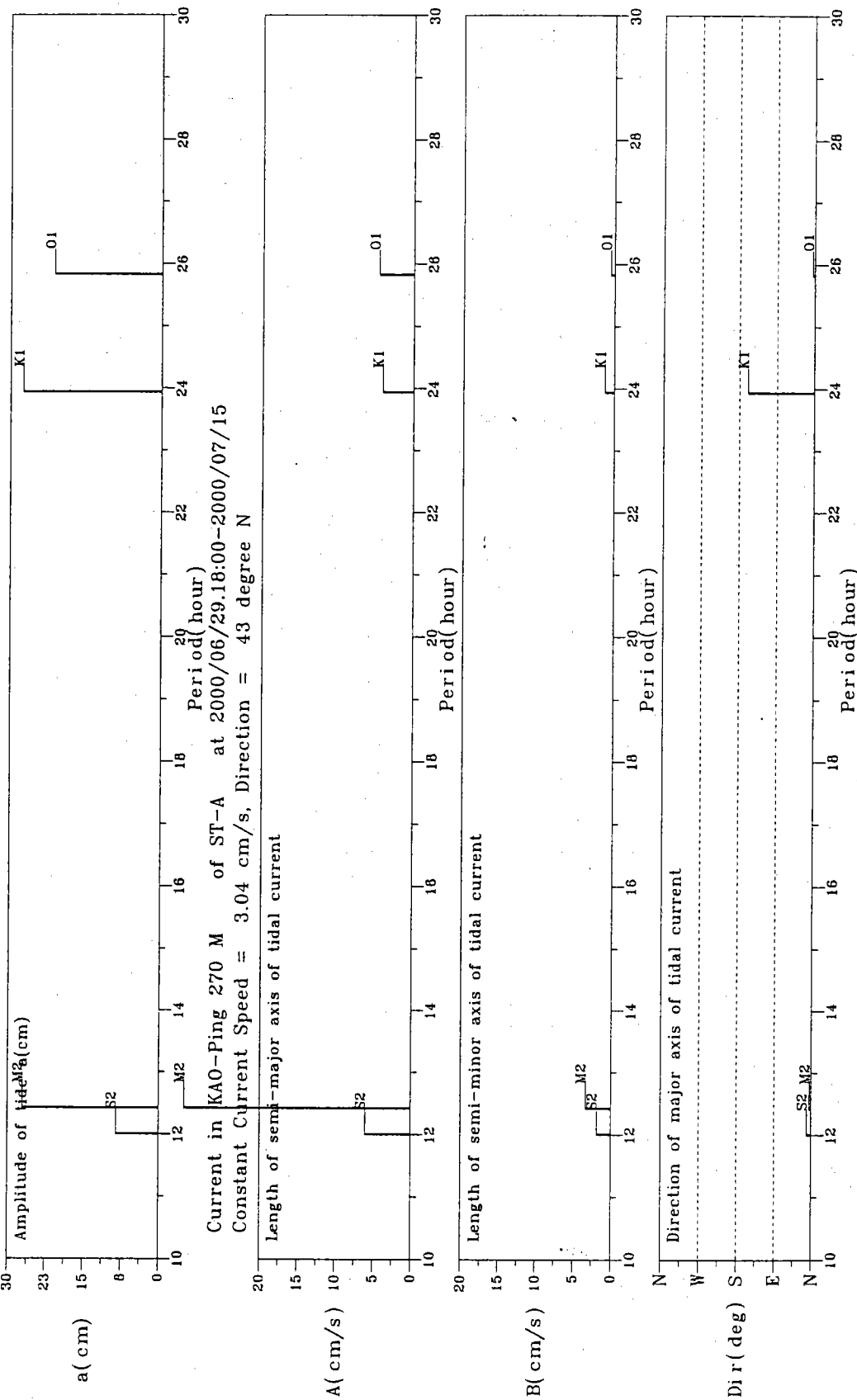


圖 3.1.25 高屏峽谷頭  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分佈圖

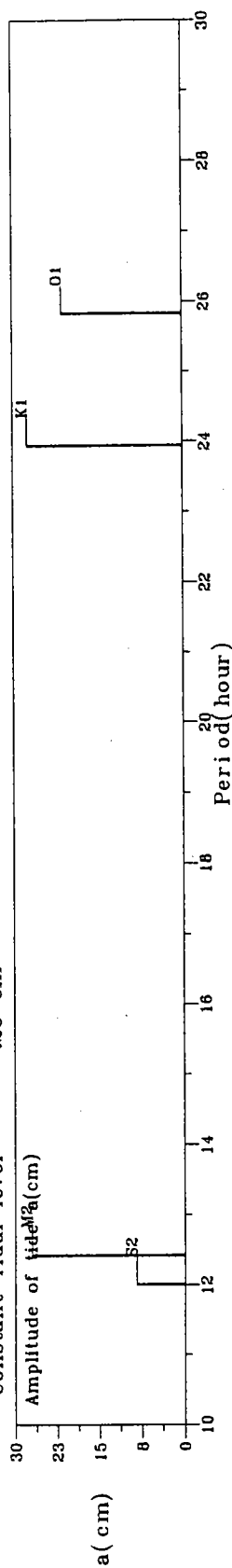
C006KP3S.HB3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLNCUIAH.FOR

2002.5.31

Tide in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18  
Constant Tidal level = .26 cm



Current in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15  
Constant Current Speed = 9.33 cm/s, Direction = 33 degree N

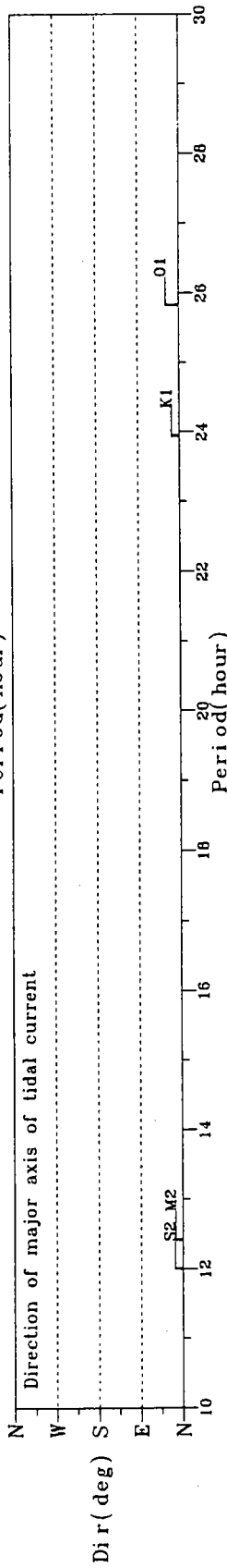
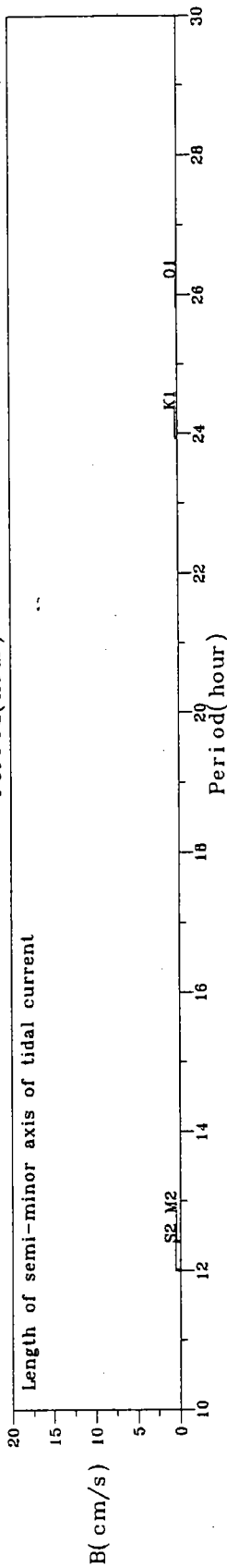
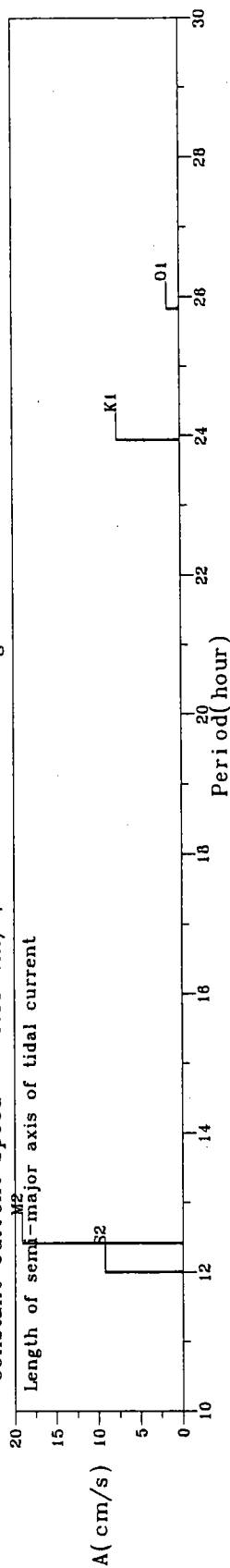


圖 3.1.26 高屏溪河口  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分佈圖

C006KP1S.HB3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLICUIAH.FOR

2002.6.10



Tide in Kao-Hsuing Harbor of ST-IB at 1992/04/08.11:00-1992/04/25.21  
Constant Tidal level = 91.35 cm

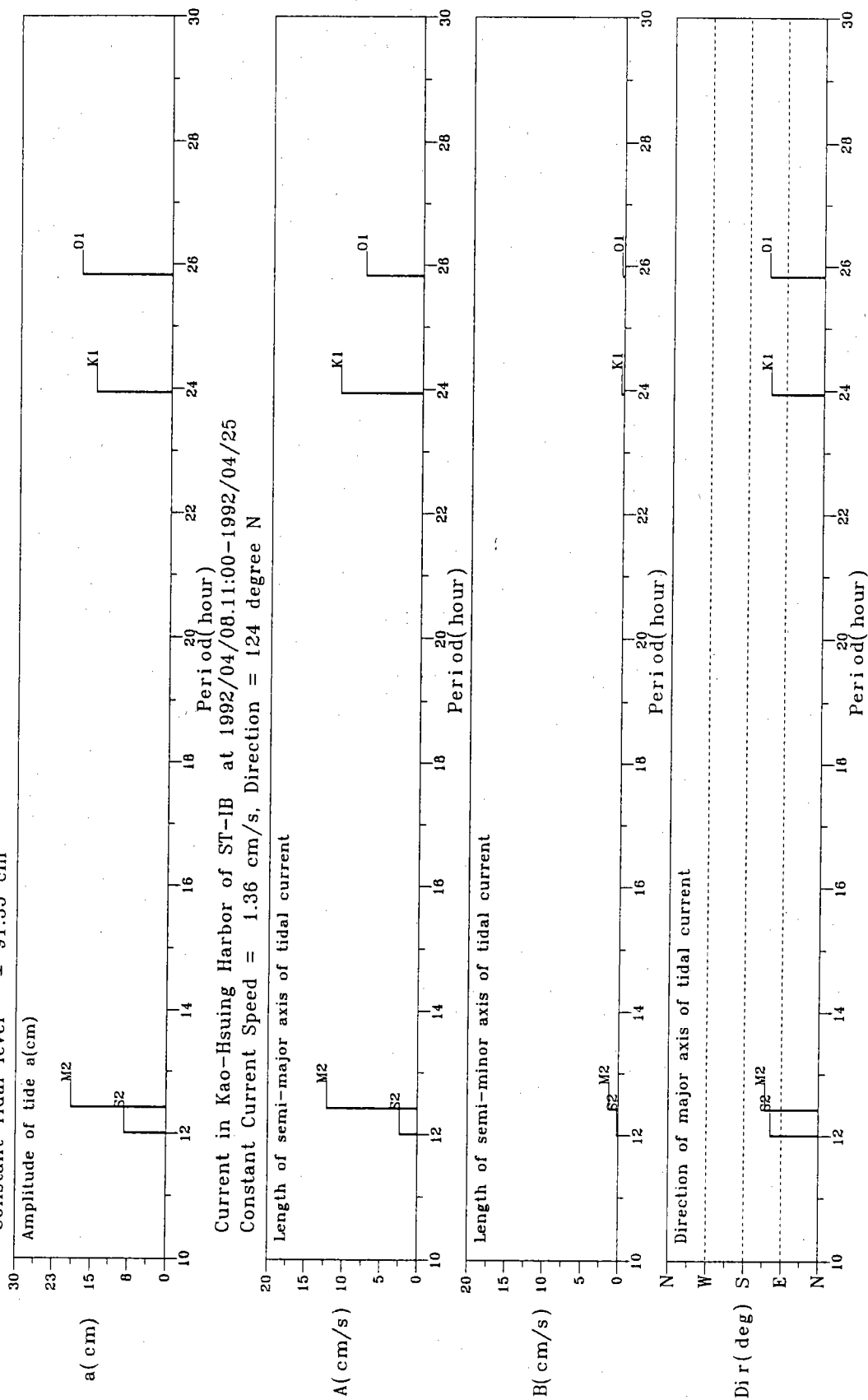


圖 3.1.27 高雄港  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分佈圖

C924KHIB.HB3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLHCUAH.FOR

2002.5.31

Tide in SHING-DAR Harbor of ST-A at 1984/11/07.10:00-1984/11/28.10  
Constant Tidal level = 36.21 cm

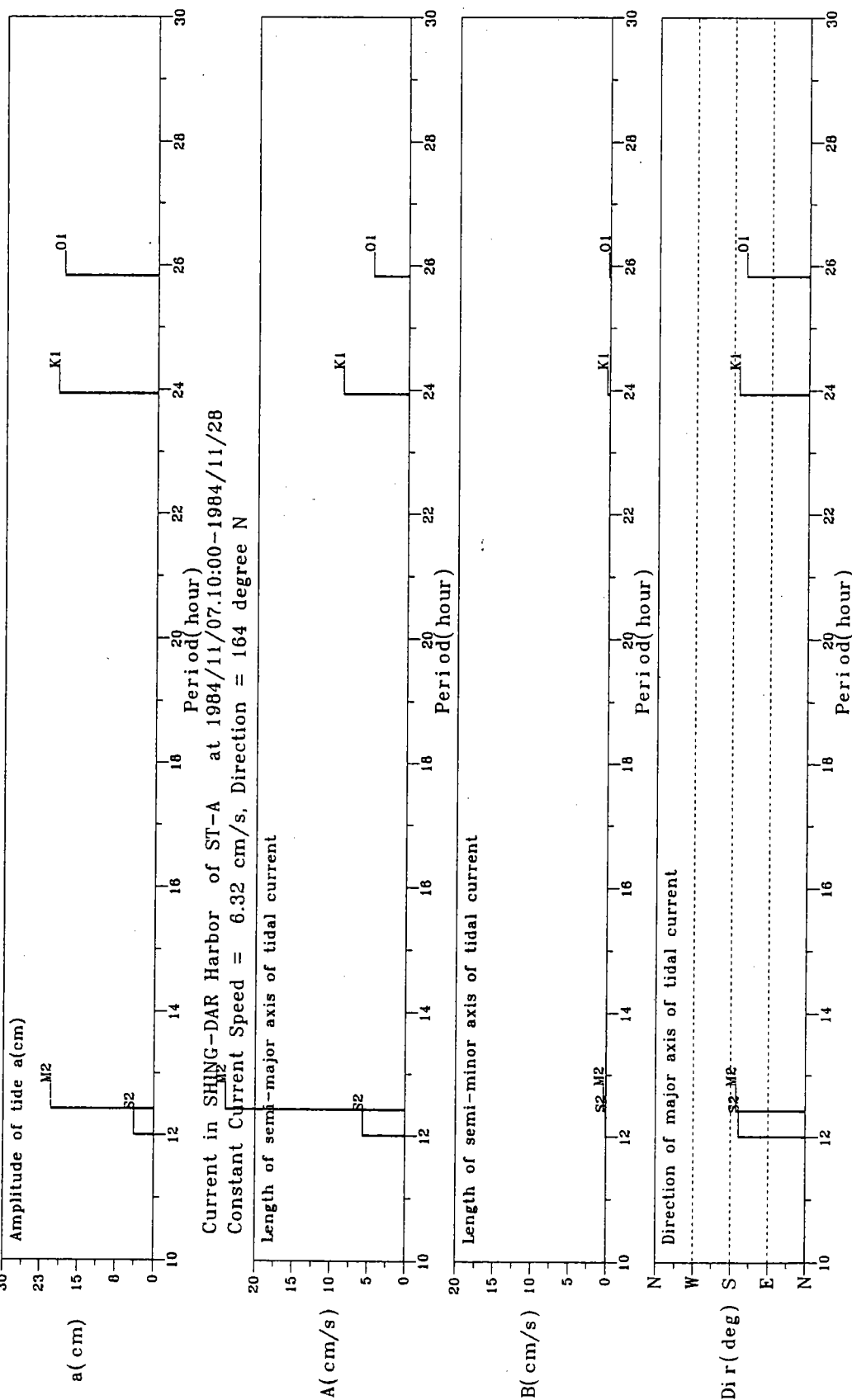


圖 3.1.28 興達港  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  四個主要分潮之潮汐振幅及潮流長軸、短軸之半軸長、長軸方向角等分佈圖

C84BSD1Y.HE3

Institute of Harbor & Marine Technology

PLHCUAH.FOR

2002.5.31

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

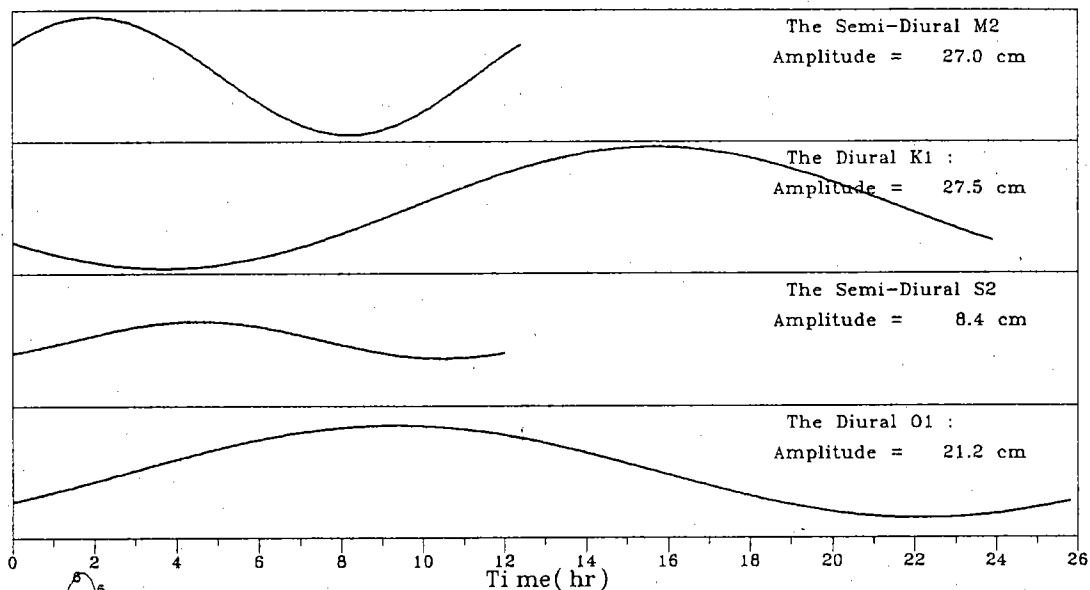
Tide in KAO-Ping 270 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr

The Diurnal K1 : T = 23.93 hr

The Semi-Diurnal S2 T = 12.00 hr

The Diurnal O1 : T = 25.82 hr



Current in KAO-Ping 270 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15

Constant Current : Current Speed = 3.24 cm/sec Direction = 40 degree N

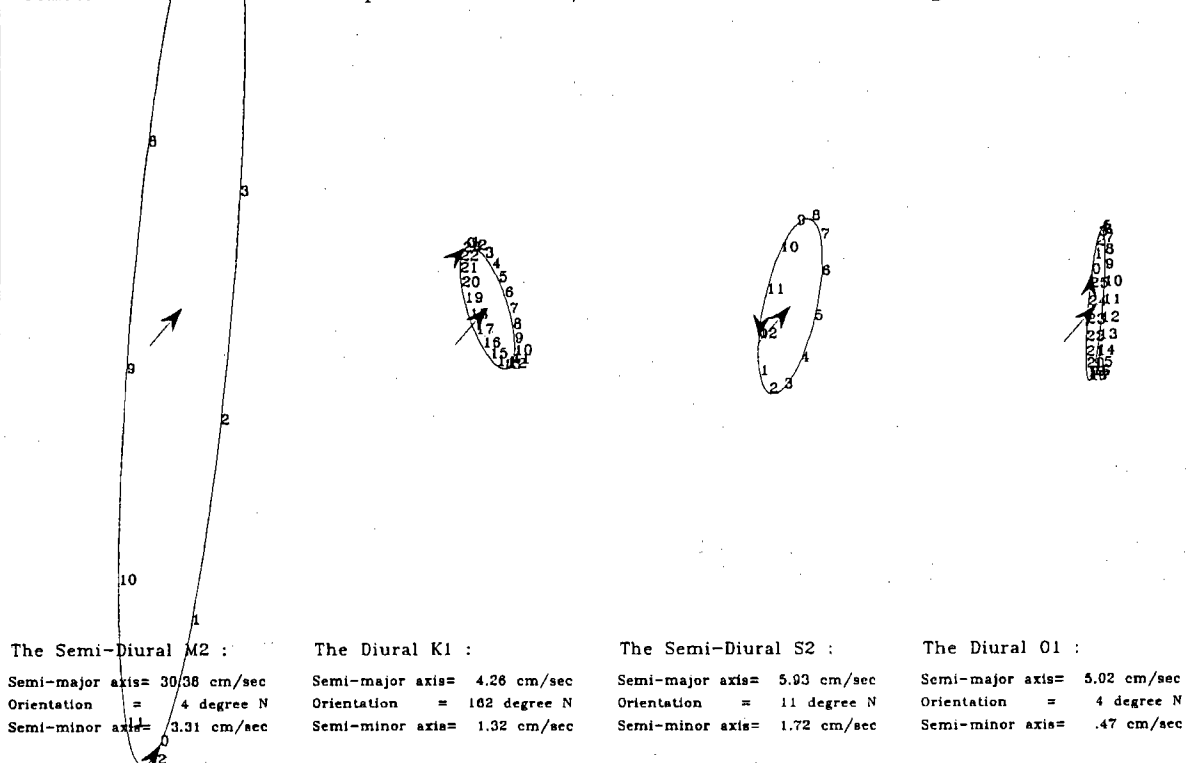
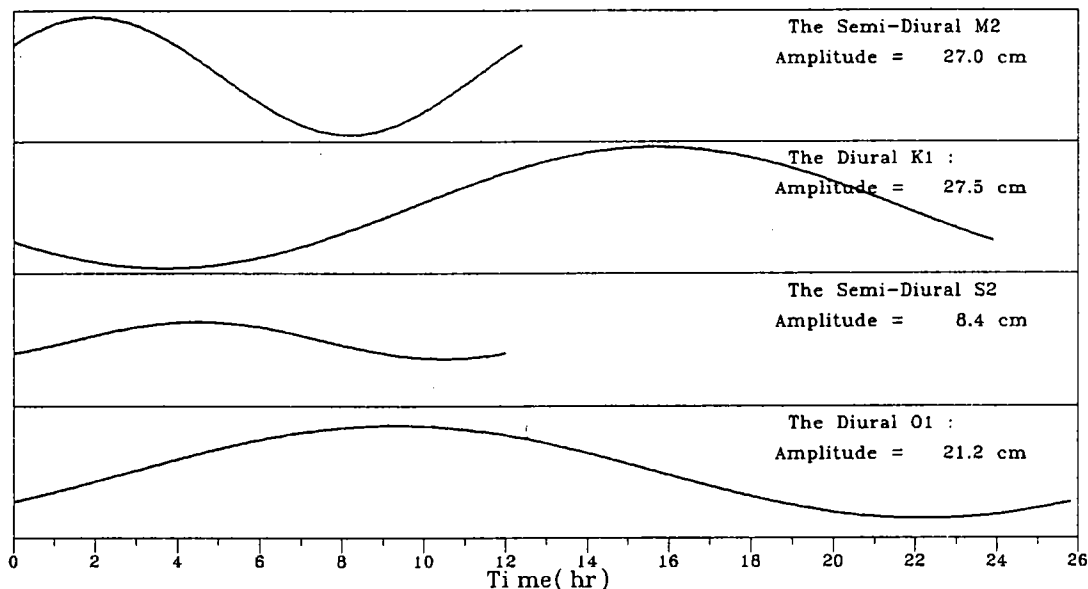


圖 3.1.29 高屏峽谷頭  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

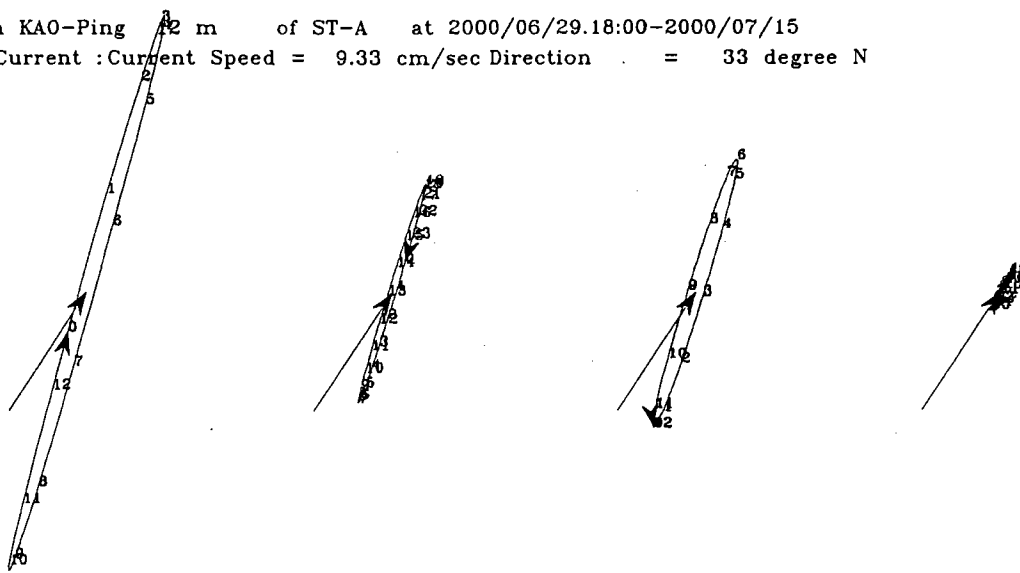
Tide in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18

|                     |                                    |
|---------------------|------------------------------------|
| The Semi-Diurnal M2 | T = 12.42 hr , Amplitude = 27.0 cm |
| The Diurnal K1 :    | T = 23.93 hr , Amplitude = 27.5 cm |
| The Semi-Diurnal S2 | T = 12.00 hr , Amplitude = 8.4 cm  |
| The Diurnal O1 :    | T = 25.82 hr , Amplitude = 21.2 cm |



Current in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15

Constant Current : Current Speed = 9.33 cm/sec Direction = 33 degree N



|                               |                              |                              |                              |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| The Semi-Diurnal M2 :         | The Diurnal K1 :             | The Semi-Diurnal S2 :        | The Diurnal O1 :             |
| Semi-major axis= 10.11 cm/sec | Semi-major axis= 7.54 cm/sec | Semi-major axis= 9.26 cm/sec | Semi-major axis= 1.45 cm/sec |
| Orientation = 15 degree N     | Orientation = 16 degree N    | Orientation = 16 degree N    | Orientation = 28 degree N    |
| Semi-minor axis= .50 cm/sec   | Semi-minor axis= .24 cm/sec  | Semi-minor axis= .53 cm/sec  | Semi-minor axis= .12 cm/sec  |

圖 3.1.30 高屏溪河口  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$  四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

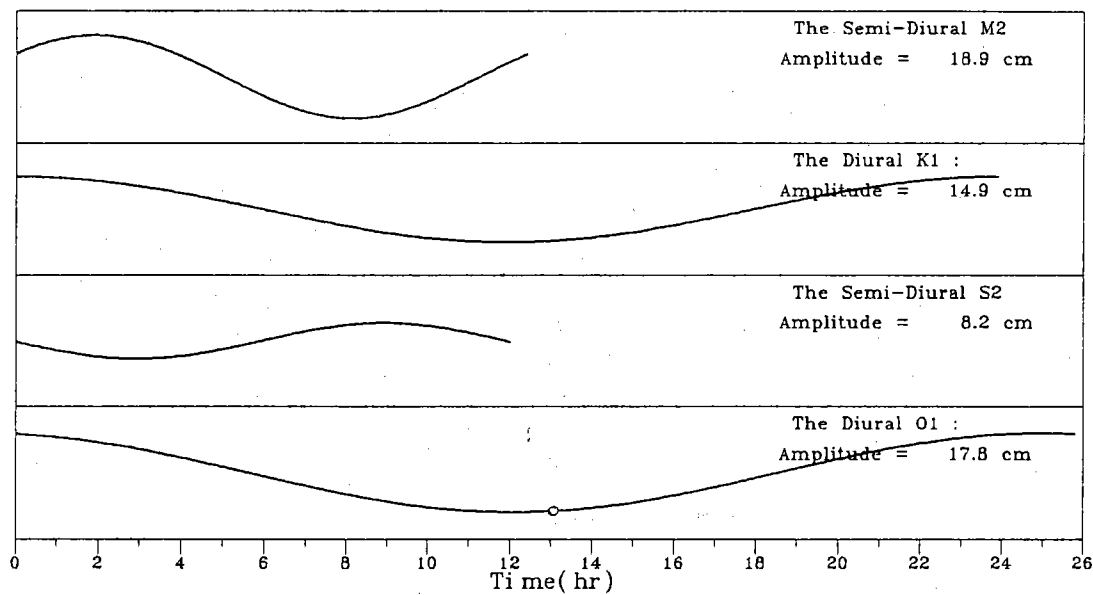
Tide in Kao-Hsuing Harbor of ST-IB at 1992/04/08.11:00-1992/04/25.21

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr

The Diurnal K1 : T = 23.93 hr

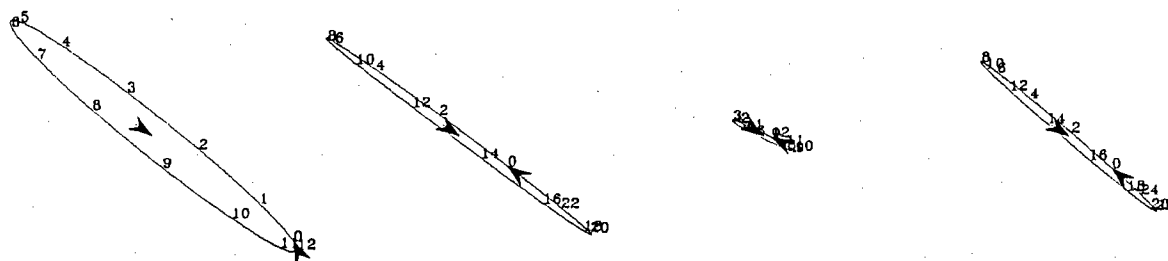
The Semi-Diurnal S2 T = 12.00 hr

The Diurnal O1 : T = 25.82 hr



Current in Kao-Hsuing Harbor of ST-IB at 1992/04/08.11:00-1992/04/25

Constant Current : Current Speed = 1.36 cm/sec Direction = 124 degree N



The Semi-Diurnal M2 :

Semi-major axis= 12.15 cm/sec

Orientation = 129 degree N

Semi-minor axis= 1.25 cm/sec

The Diurnal K1 :

Semi-major axis= 10.95 cm/sec

Orientation = 126 degree N

Semi-minor axis= .34 cm/sec

The Semi-Diurnal S2 :

Semi-major axis= 2.36 cm/sec

Orientation = 116 degree N

Semi-minor axis= .17 cm/sec

The Diurnal O1 :

Semi-major axis= 7.66 cm/sec

Orientation = 130 degree N

Semi-minor axis= .30 cm/sec

圖 3.1.31 高雄港  $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$  及  $S_2$  四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

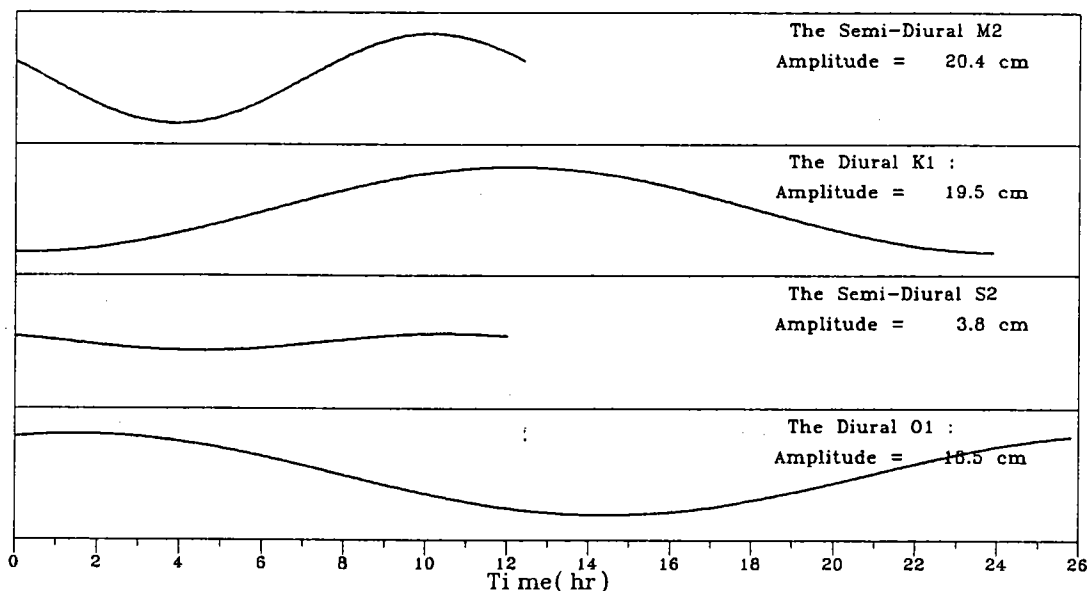
Tide in SHING-DAR Harbor of ST-A at 1984/11/07.10:00-1984/11/28.10

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr

The Diurnal K1 : T = 23.93 hr

The Semi-Diurnal S2 T = 12.00 hr

The Diurnal O1 : T = 25.82 hr



Current in SHING-DAR Harbor of ST-A at 1984/11/07.10:00-1984/11/28

Constant Current : Current Speed = 6.32 cm/sec Direction = 164 degree N

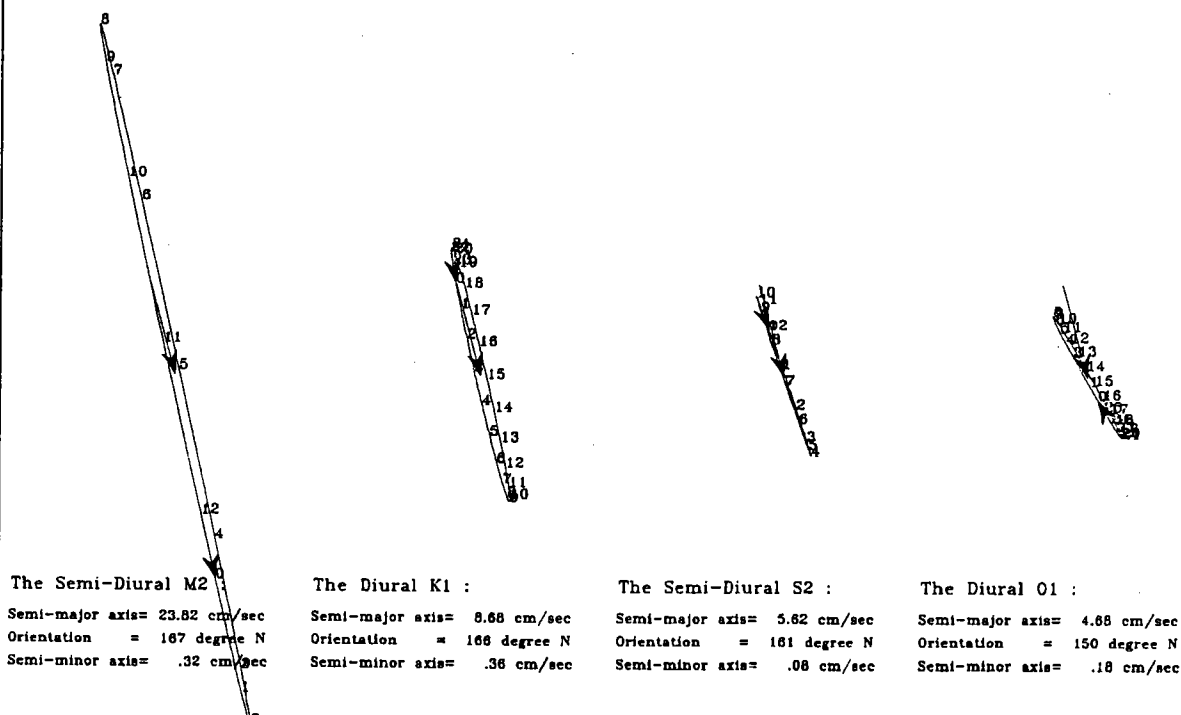
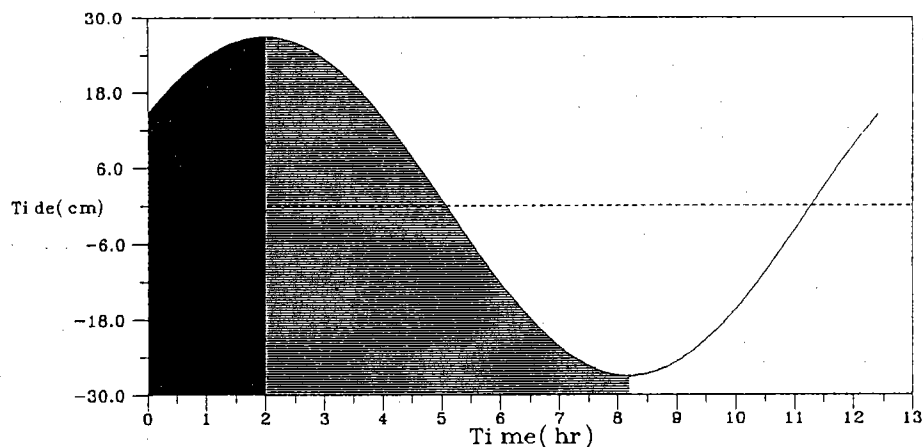


圖3.1.32 興達港 $K_1$ 、 $O_1$ 、 $M_2$ 及 $S_2$ 四個主要分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

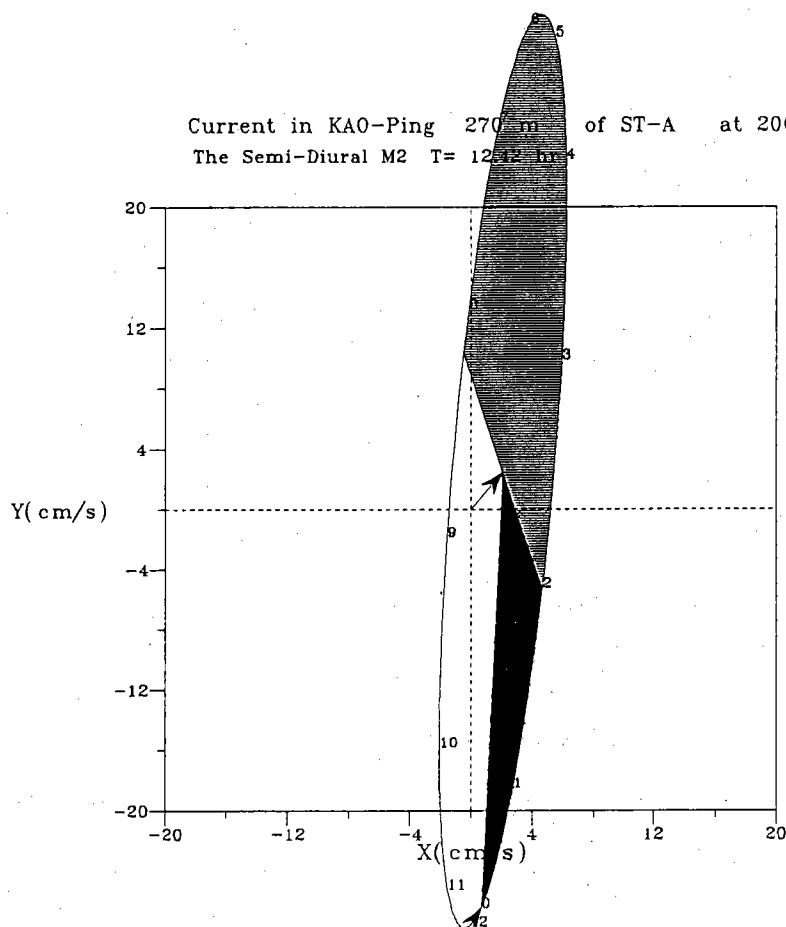
Tide in KAO-Ping 270 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr , Amplitude = 27.0 cm



Current in KAO-Ping 270 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr



Constant Current :

Current Speed = 3.24 cm/sec

Direction = 40 degree N

The Semi-Diurnal M2

Semi-major axis = 30.38 cm/sec

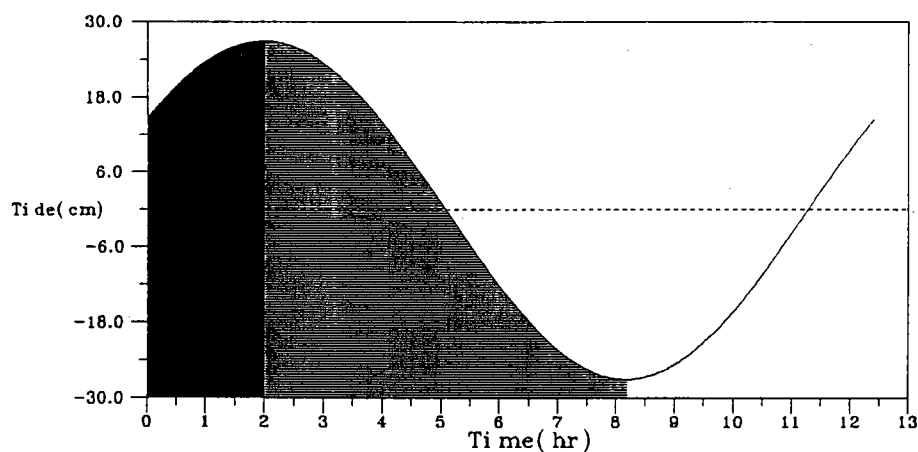
Orientation = 4 degree N

Semi-minor axis = 3.31 cm/sec

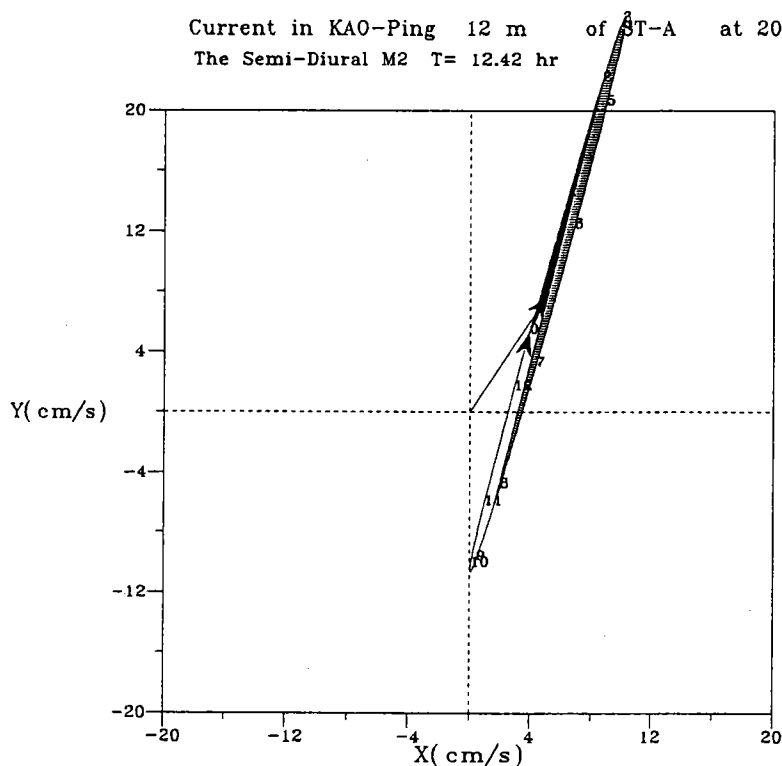
圖 3.1.33 高屏峽谷頭  $M_2$  分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

Tide in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15.18  
The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr , Amplitude = 27.0 cm



Current in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15  
The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr



Constant Current :  
Current Speed = 9.33 cm/sec  
Direction = 33 degree N

The Semi-Diurnal M2  
Semi-major axis = 19.11 cm/sec  
Orientation = 15 degree N  
Semi-minor axis = .50 cm/sec

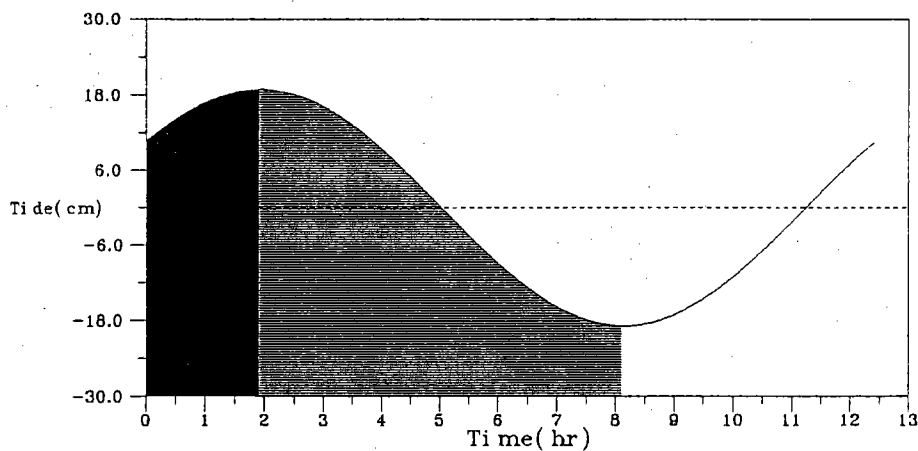
圖3.1.34 高屏溪河口  $M_2$  分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖



## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

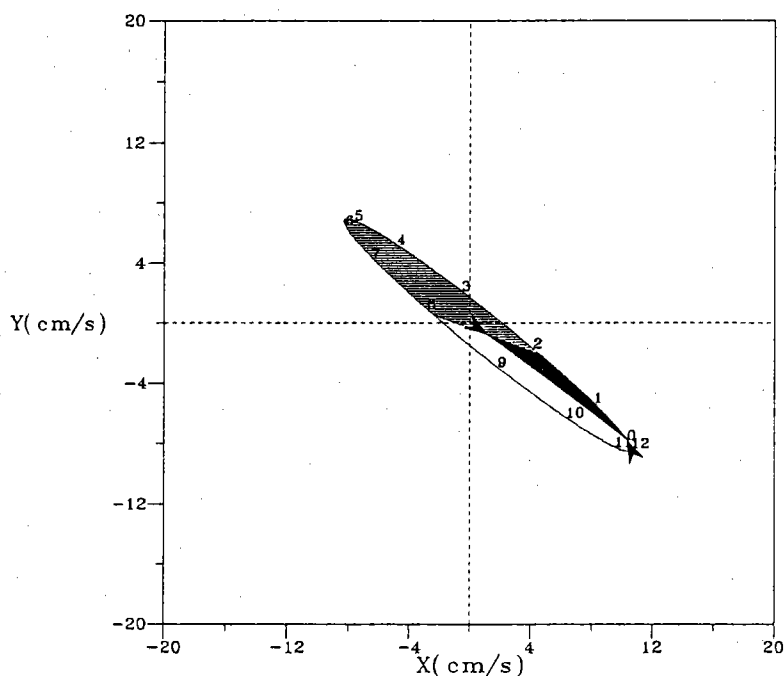
Tide in Kao-Hsuing Harbor of ST-IB at 1992/04/08.11:00-1992/04/25.21

The Semi-Diurnal M2  $T = 12.42$  hr, Amplitude = 18.9 cm



Current in Kao-Hsuing Harbor of ST-IB at 1992/04/08.11:00-1992/04/25

The Semi-Diurnal M2  $T = 12.42$  hr



Constant Current :

Current Speed = 1.36 cm/sec

Direction = 124 degree N

The Semi-Diurnal M2

Semi-major axis = 12.15 cm/sec

Orientation = 129 degree N

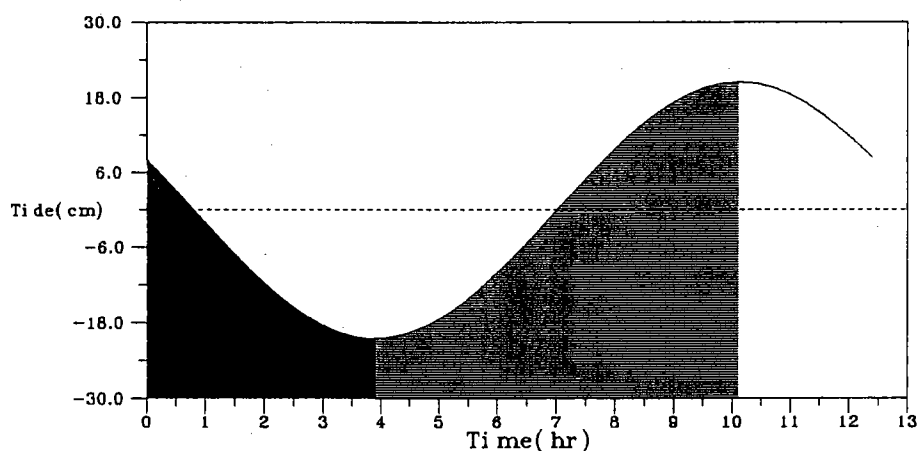
Semi-minor axis = 1.25 cm/sec

圖 3.1.35 高雄港  $M_2$  分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

## Ellipse of Tidal Current and Tidal level

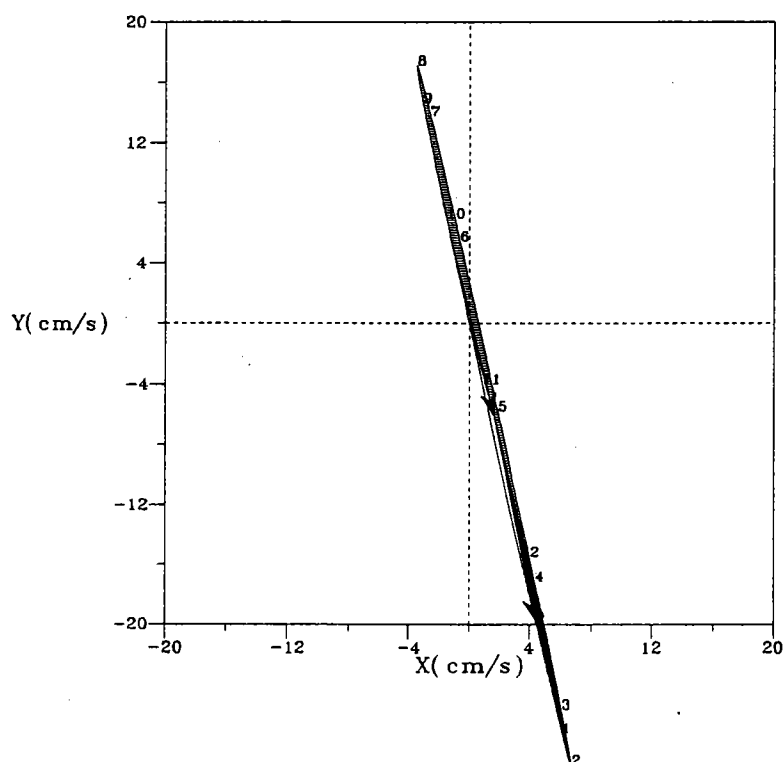
Tide in SHING-DAR Harbor of ST-A at 1984/11/07.10:00-1984/11/28.10

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr , Amplitude = 20.4 cm



Current in SHING-DAR Harbor of ST-A at 1984/11/07.10:00-1984/11/28

The Semi-Diurnal M2 T = 12.42 hr



Constant Current :

Current Speed = 6.32 cm/sec

Direction = 164 degree N

The Semi-Diurnal M2

Semi-major axis = 23.82 cm/sec

Orientation = 167 degree N

Semi-minor axis = .32 cm/sec

圖 3.1.36 興達港  $M_2$  分潮之潮汐水位變化及潮流橢圓圖

# Progressive Vector Diagram of Current

Current in KAO-Ping 270 M of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15  
Total hours: 385 -0

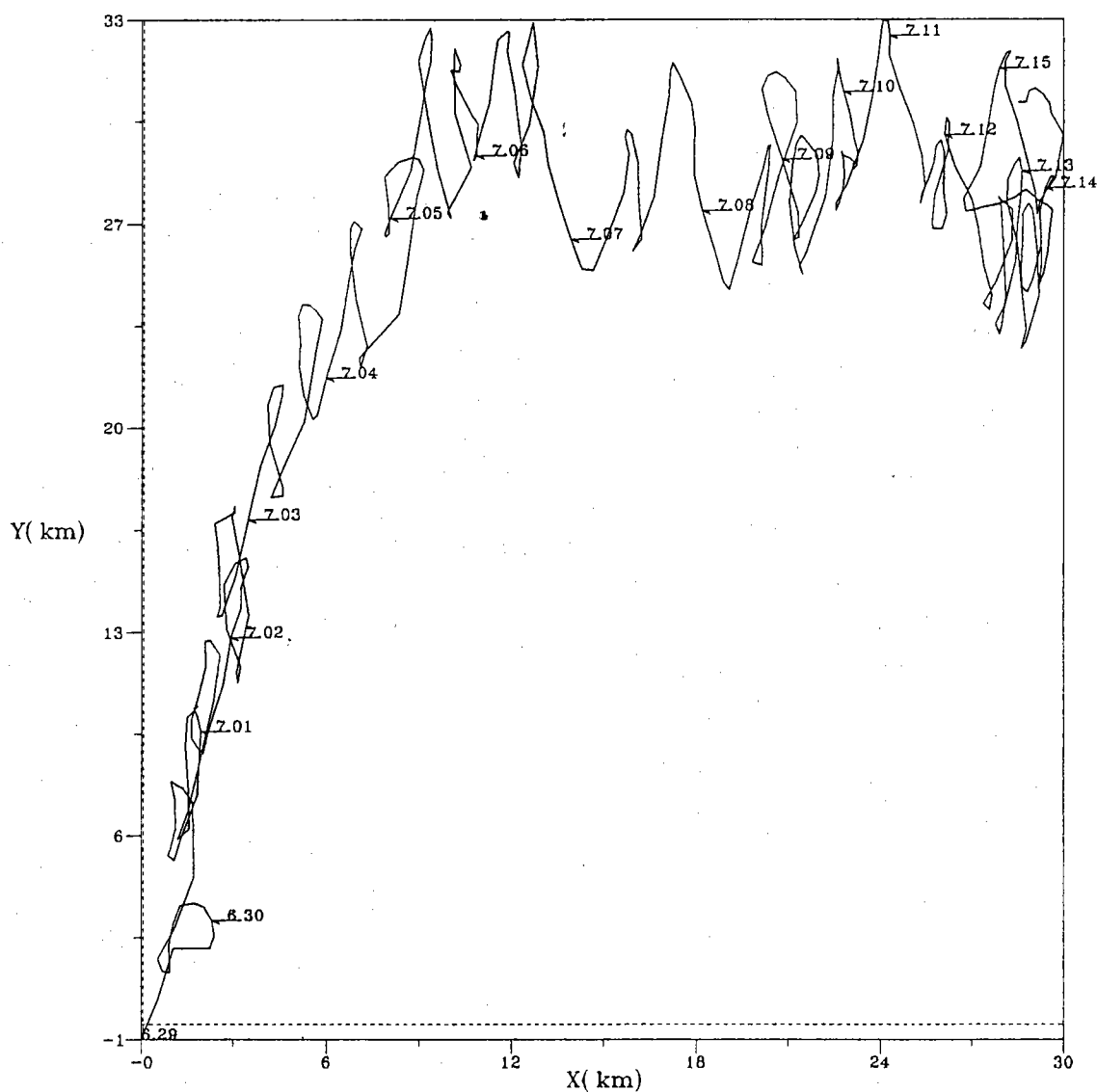


圖 3.1.37 高屏峽谷頭海流向量行進圖 (PVD)

# Progressive Vector Diagram of Current

Current in KAO-Ping 12 m of ST-A at 2000/06/29.18:00-2000/07/15  
Total hours: 385 -0

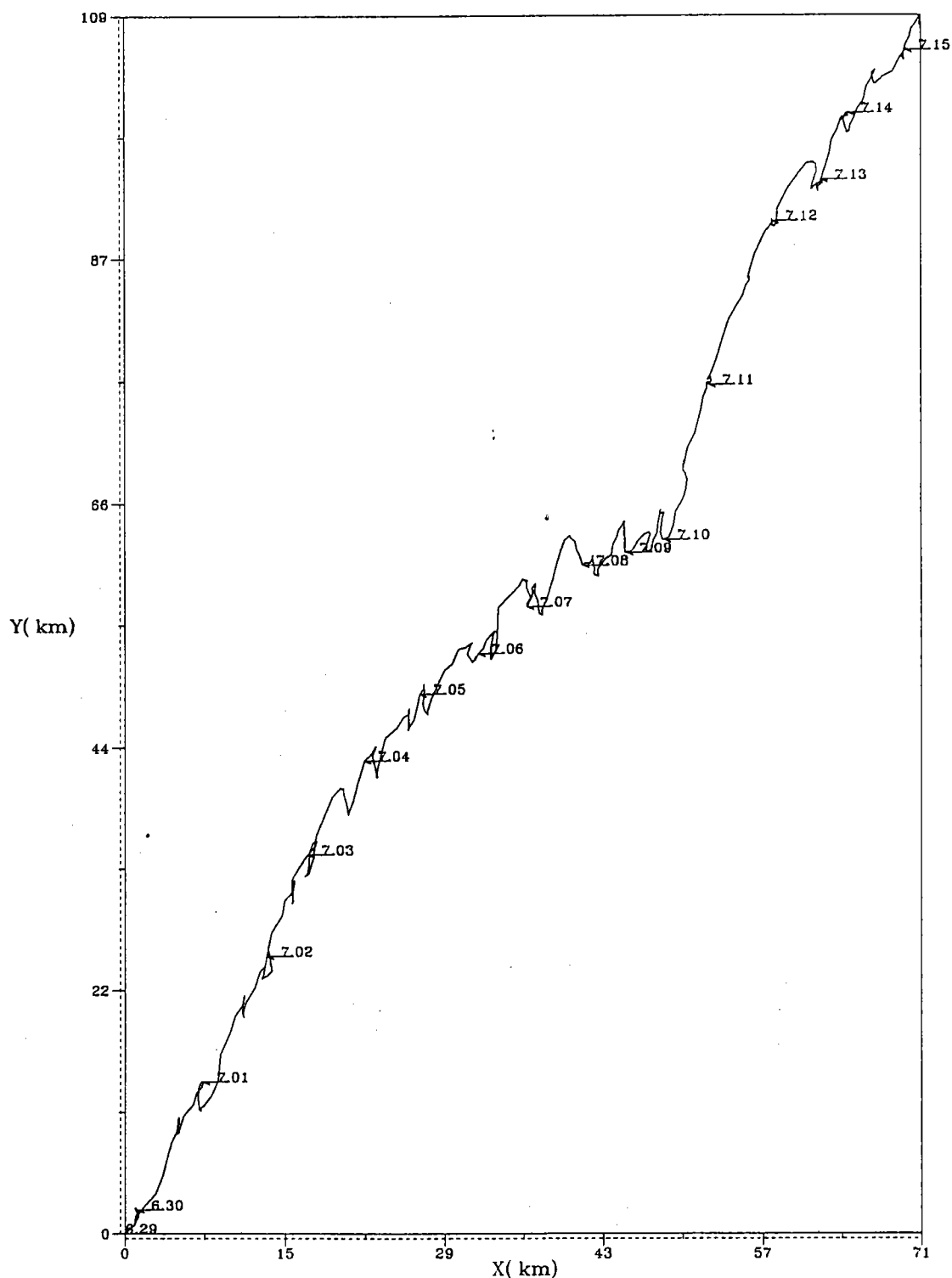


圖3.1.38 高屏溪河口海流向量行進圖 (PVD)

# Progressive Vector Diagram of Current

Current in Kao-Hsuing Harbor of ST-IB at 1992/04/08.11:00-1992/04/25  
Total hours: 419 -0

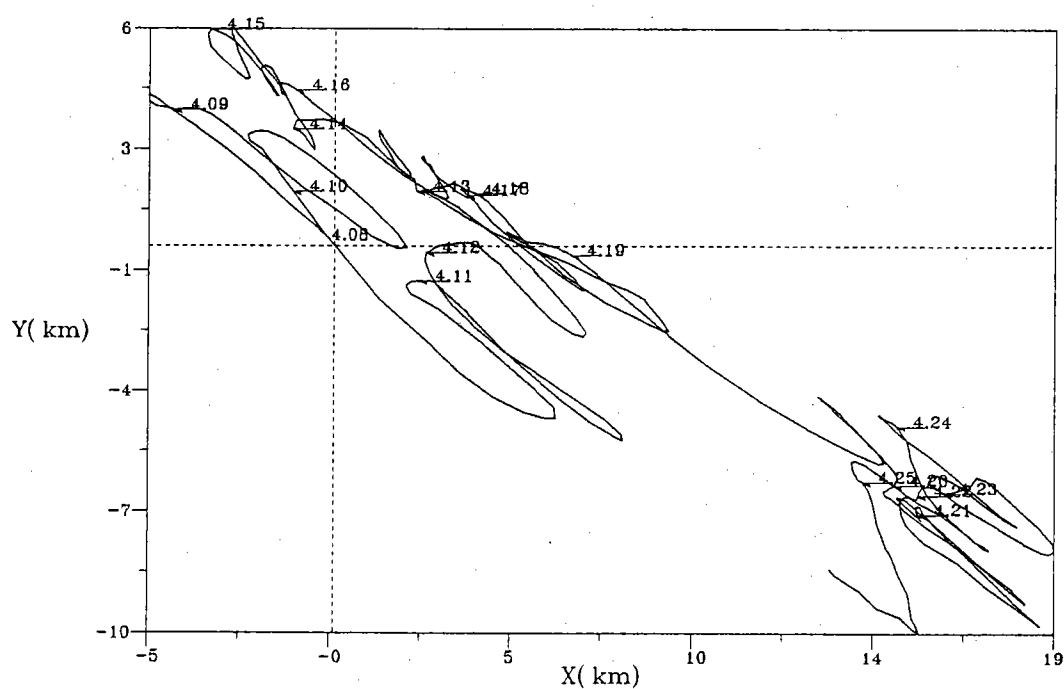


圖 3.1.39 高雄港海流向量行進圖 (PVD)

# Progressive Vector Diagram of Current

Current in SHING-DAR Harbor of ST-A at 1984/11/07.10:00-1984/11/28  
Total hours: 505 -0

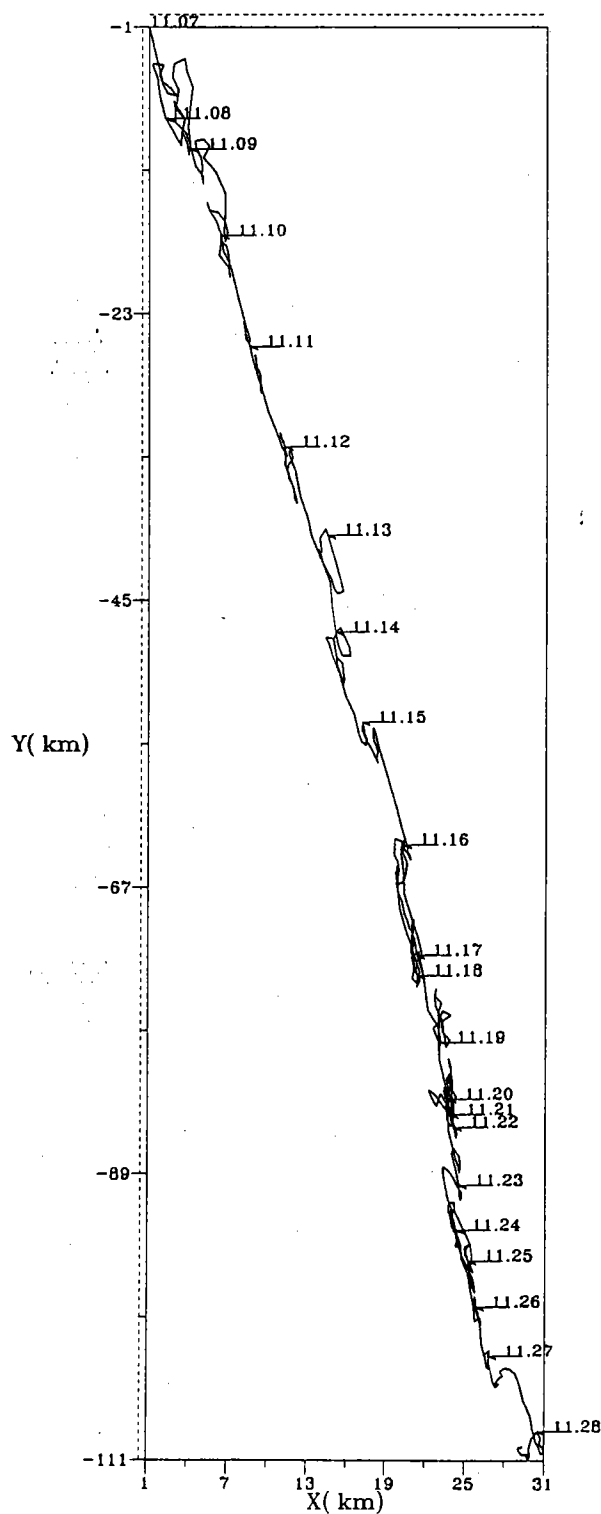


圖 3.1.40 興達港海流向量行進圖 (PVD)

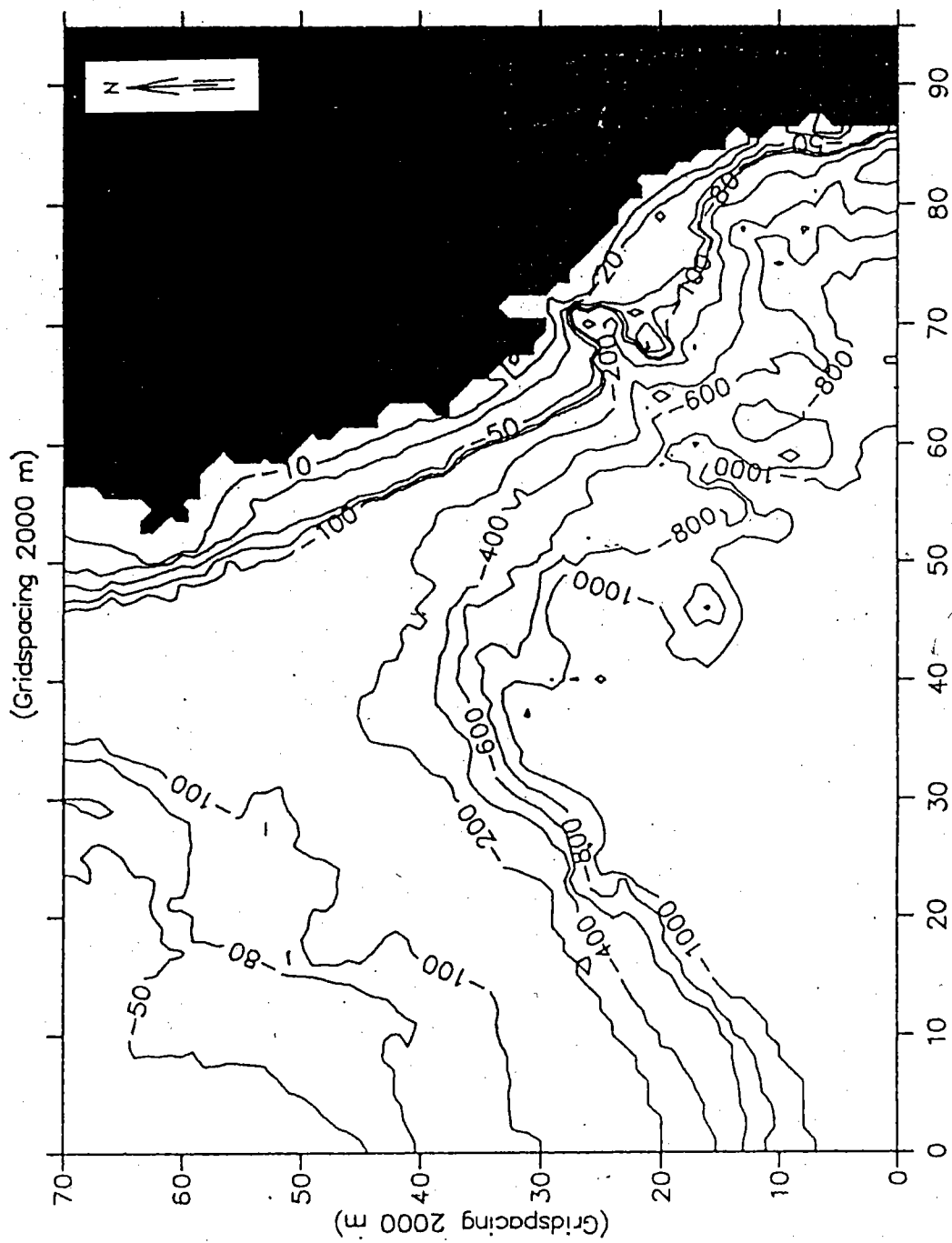


圖 3.2.1 大域計算範圍及水深地形

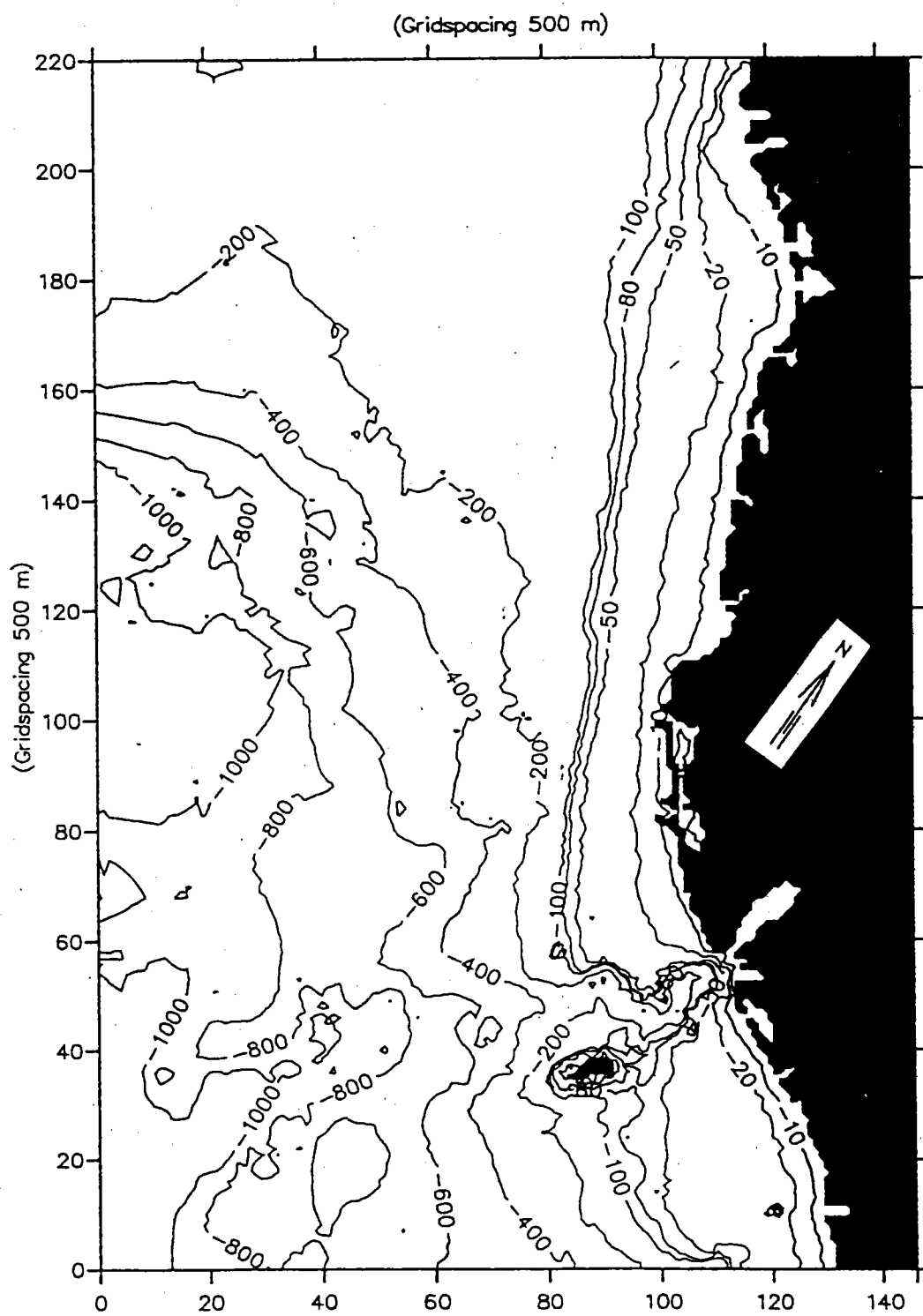


圖3.2.2 中域計算範圍及水深地形



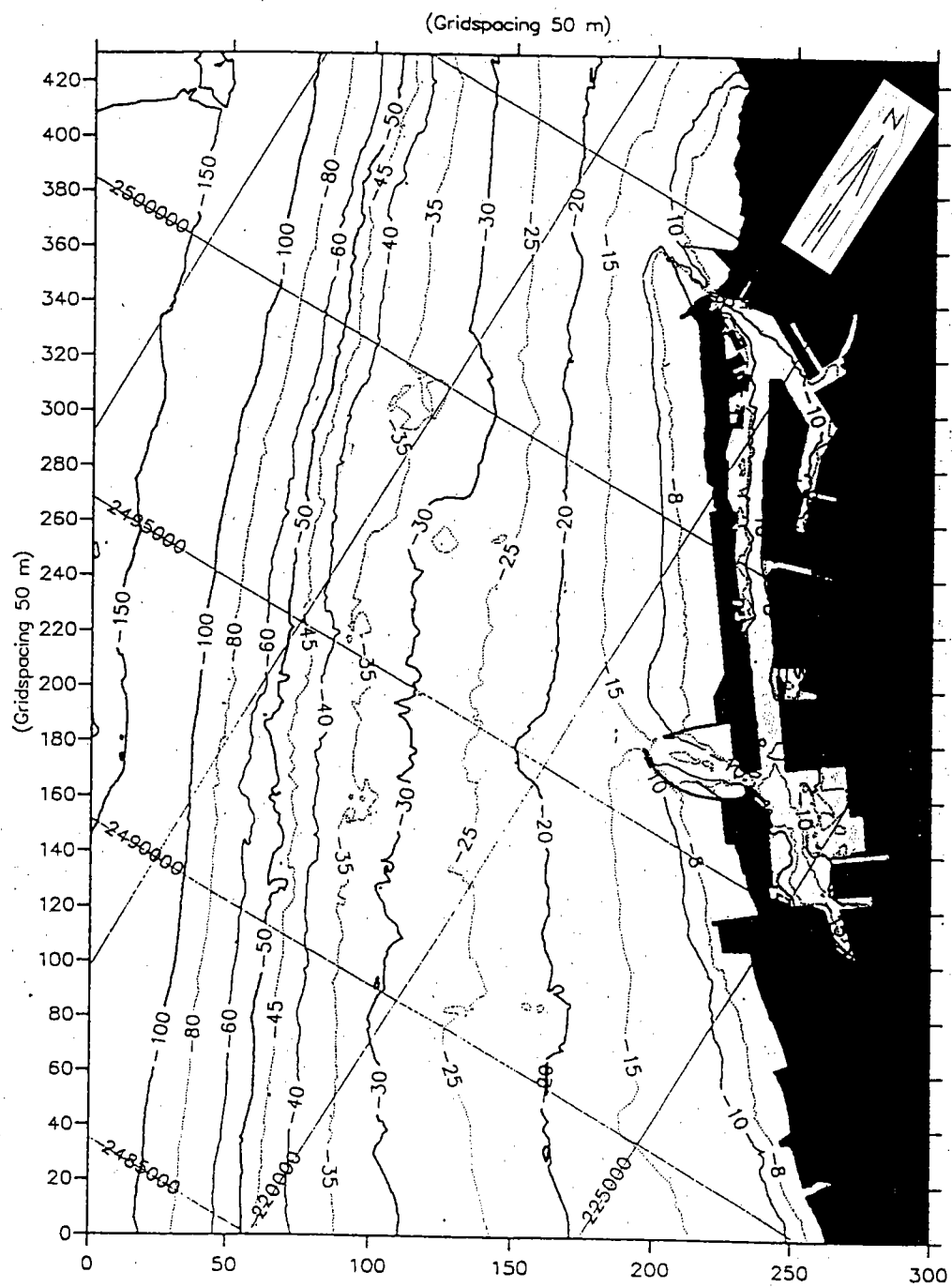


圖3.2.3 小域計算範圍及水深地形

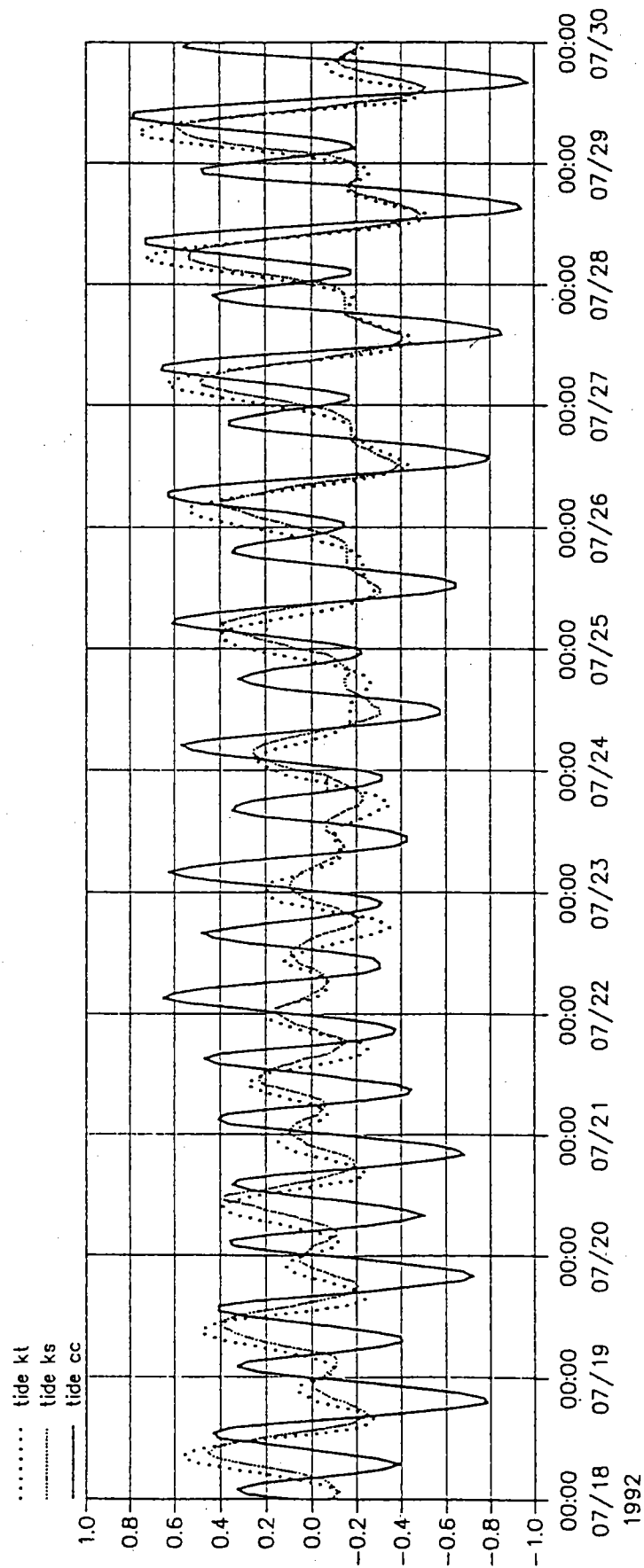


圖 3.2.4 蟬廣嘴、高雄港及將軍漁港 1992 年 7 月實測潮位歷線比較圖

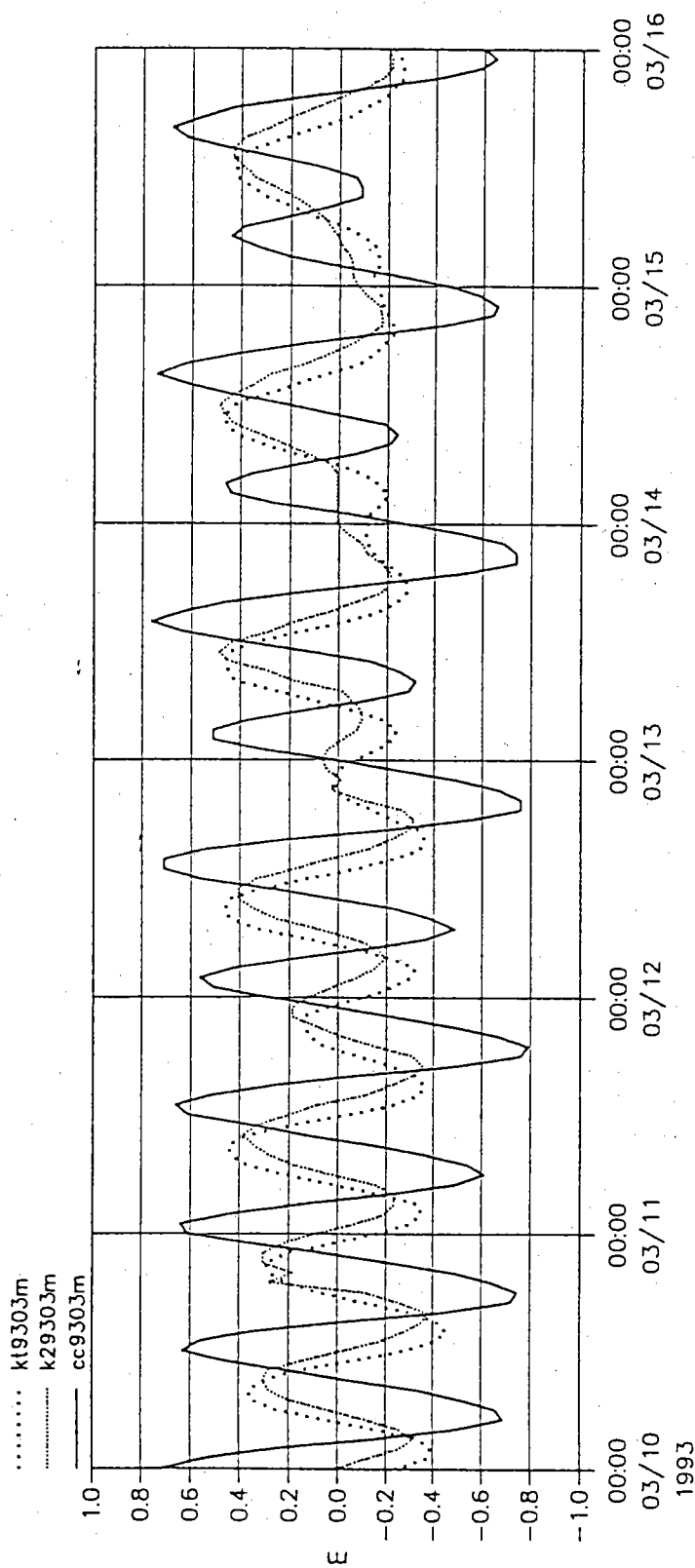
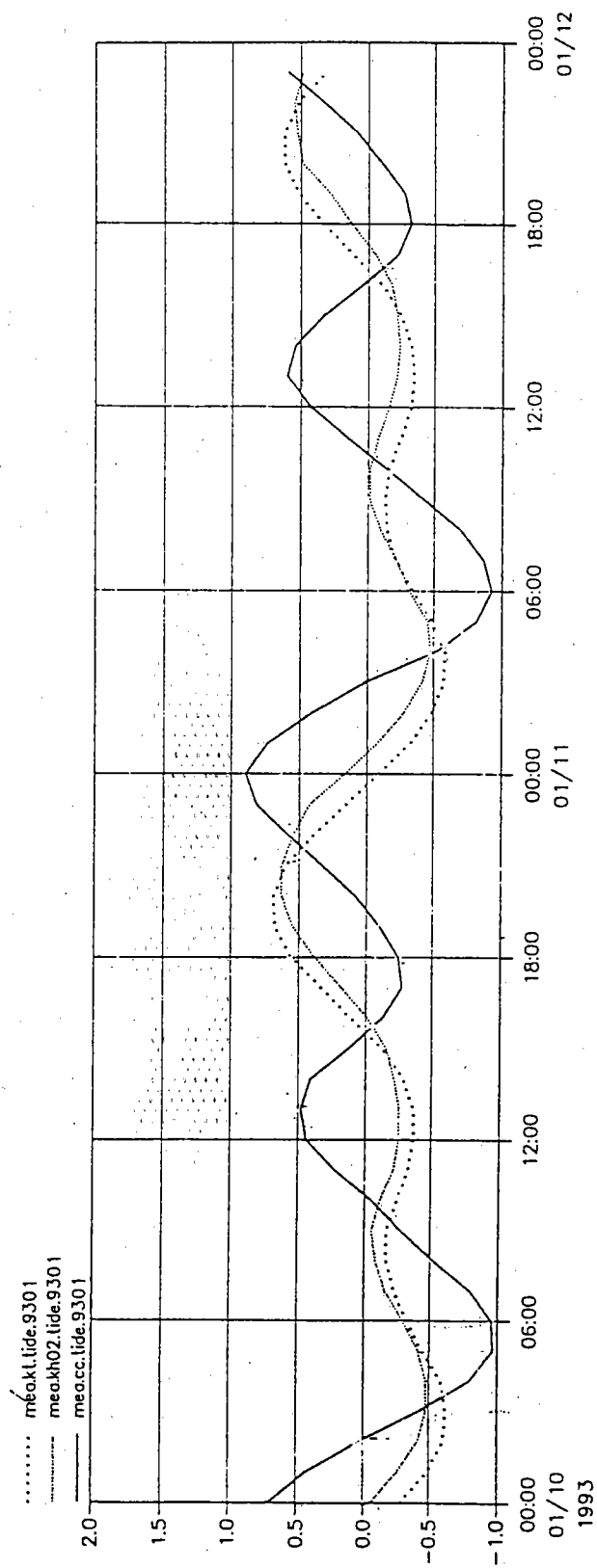


圖 3.2.5 蟬廣嘴、高雄港及將軍漁港 1993 年 3 月實測潮位歷線比較圖

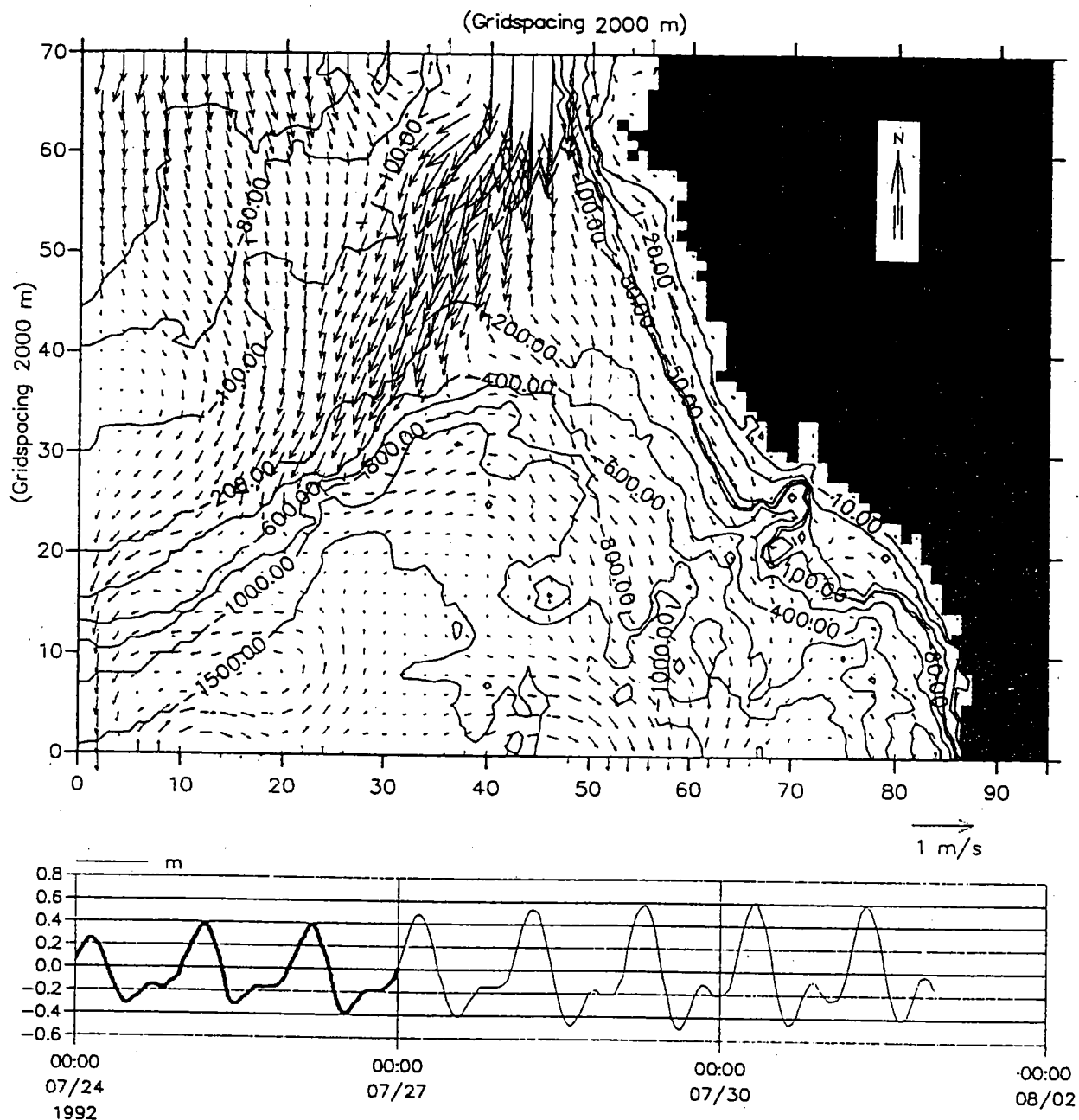


圖3.2.6a 大域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.00:00)

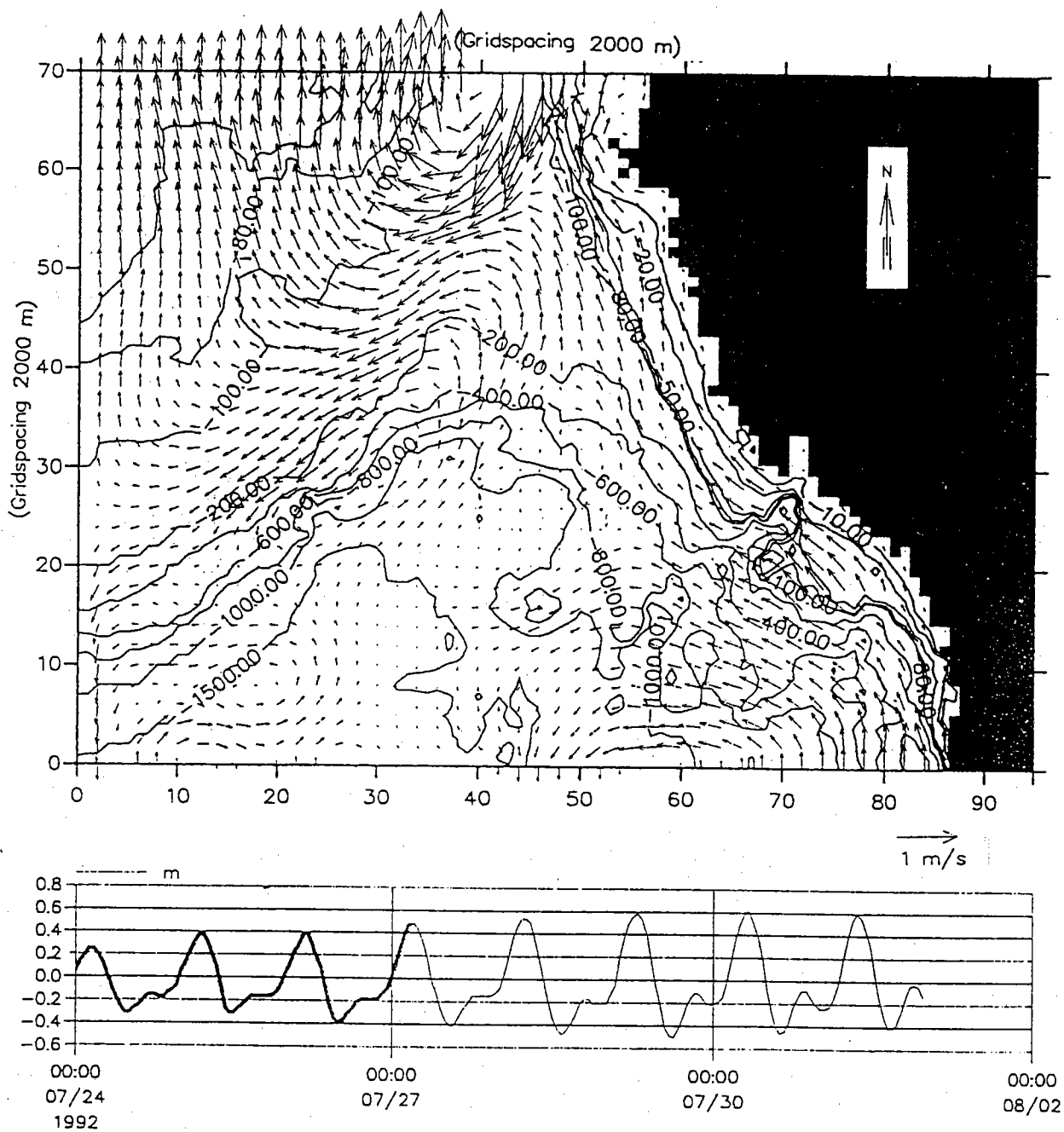


圖3.2.6b 大域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.04:00)

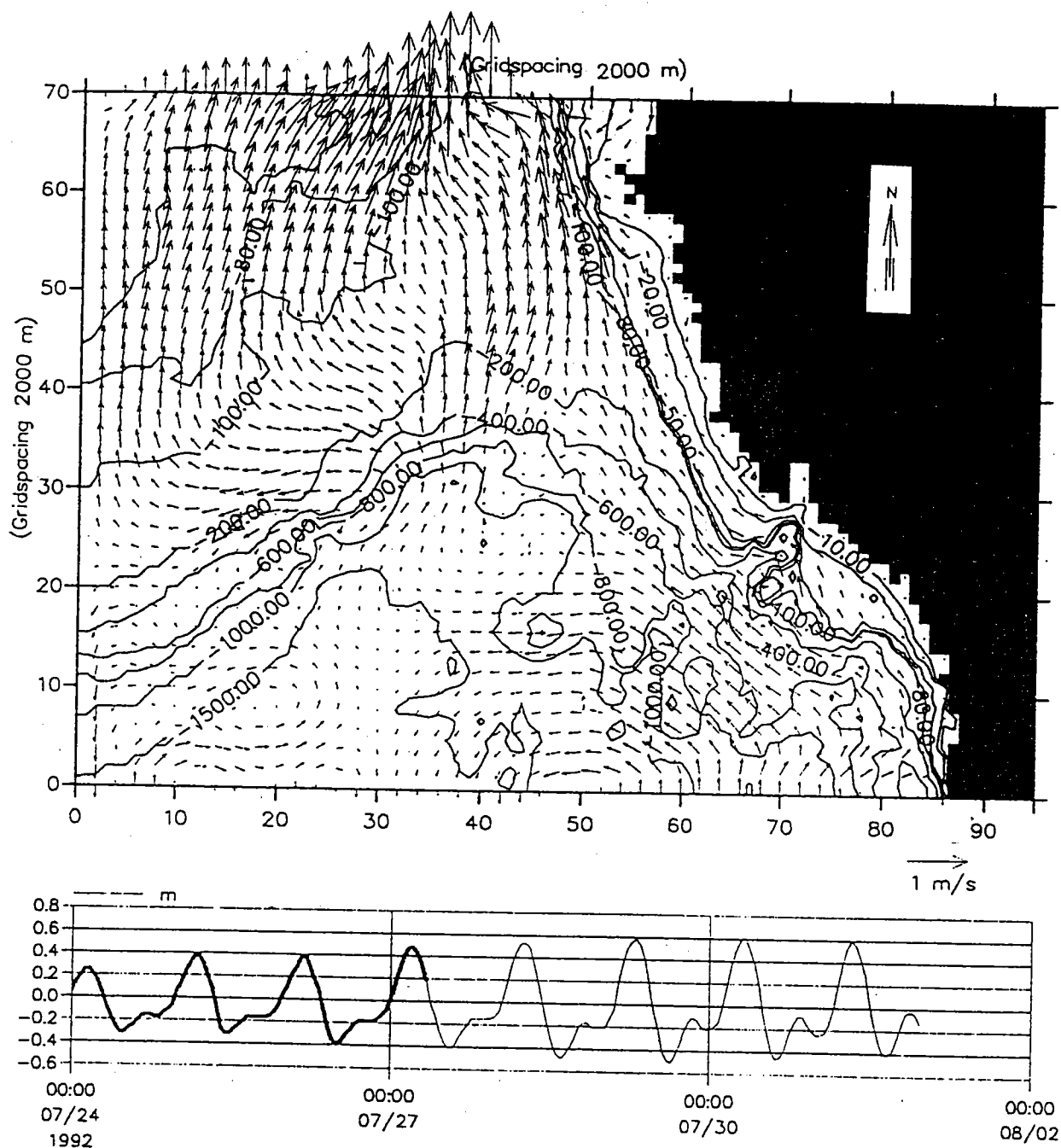


圖3.2.6c 大域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.08:00)

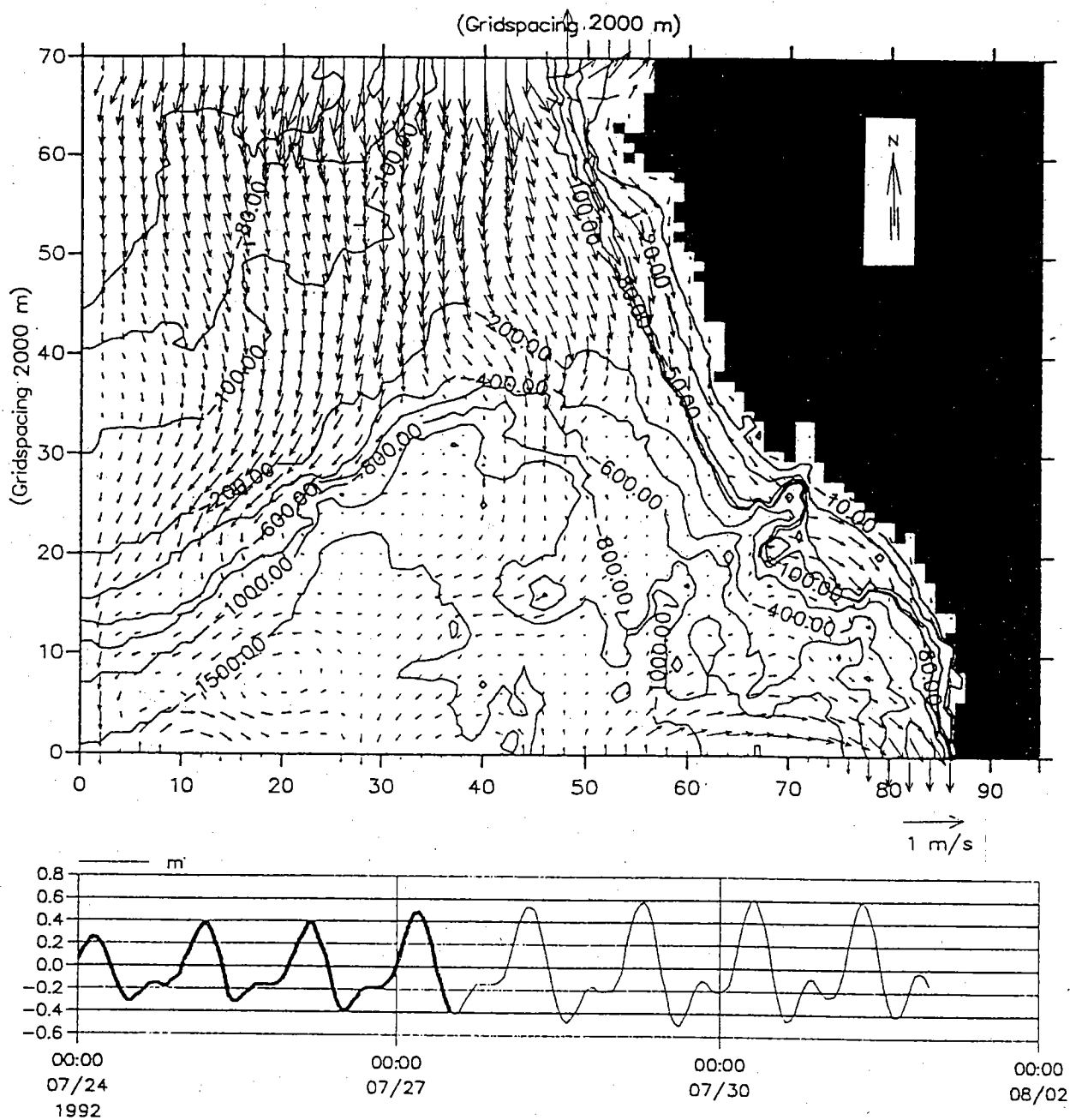


圖3.2.6d 大域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.12:00)

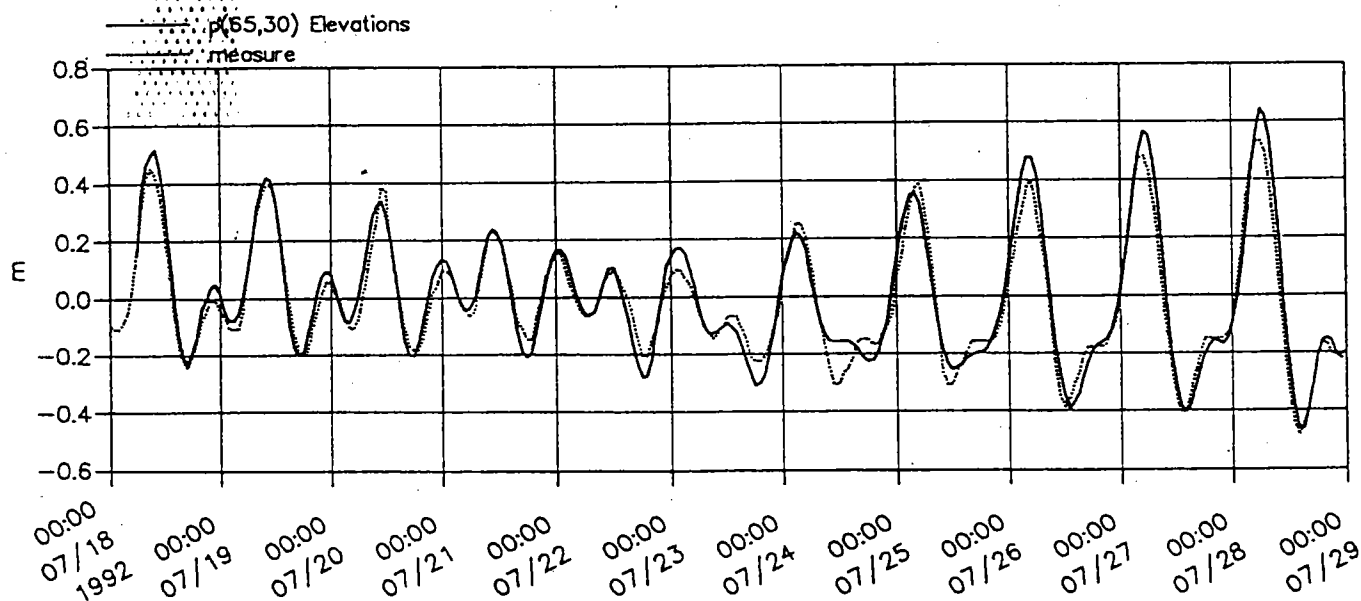
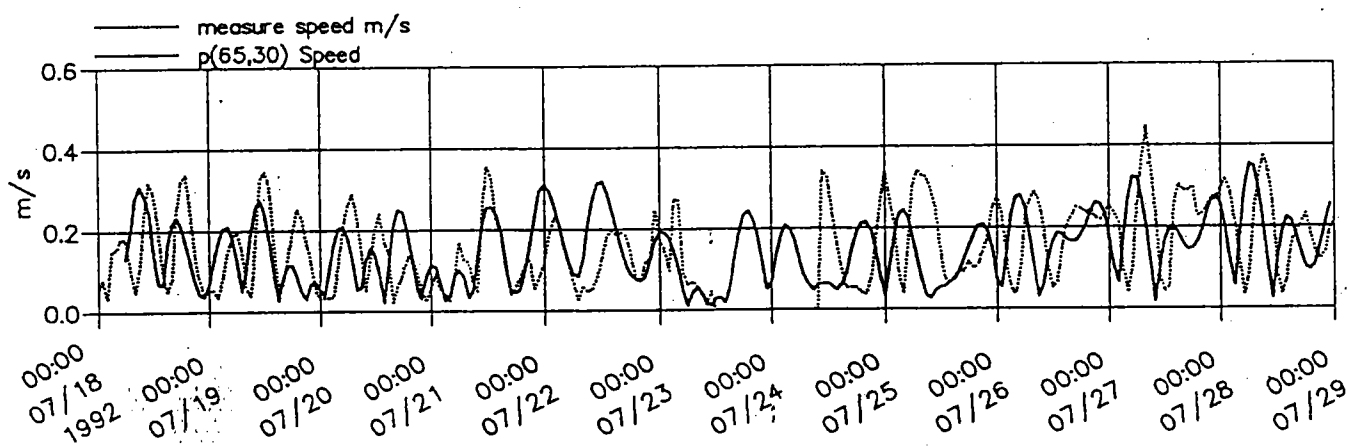
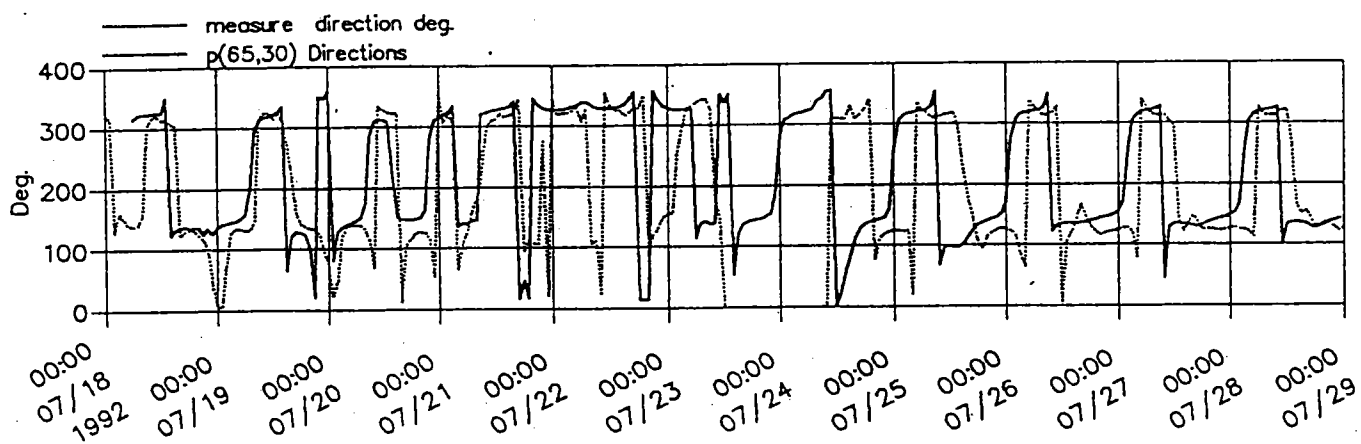


圖3.2.7 大域數值計算點 P(65,30) 海流及水位校驗



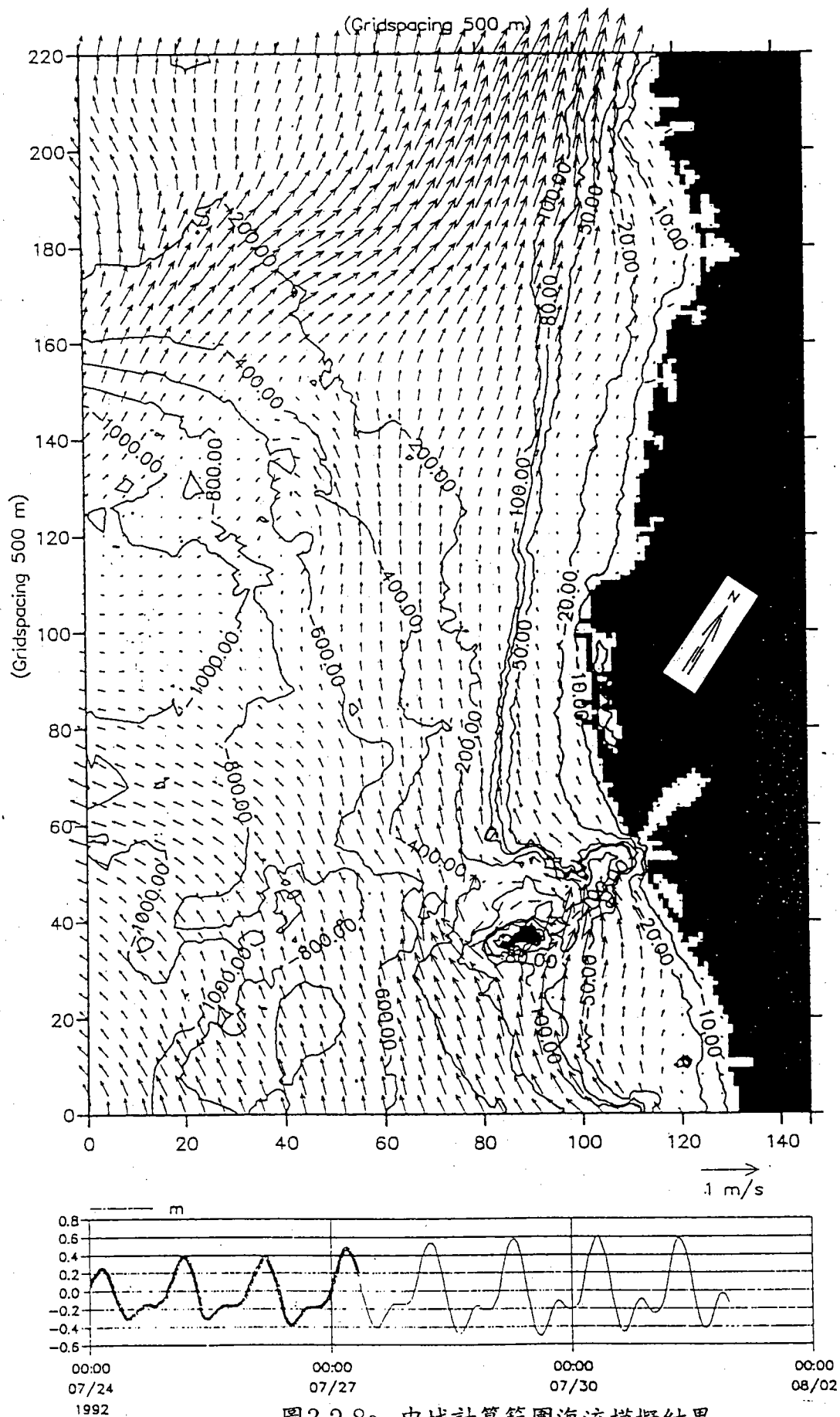


圖3.2.8a 中域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.08:00)

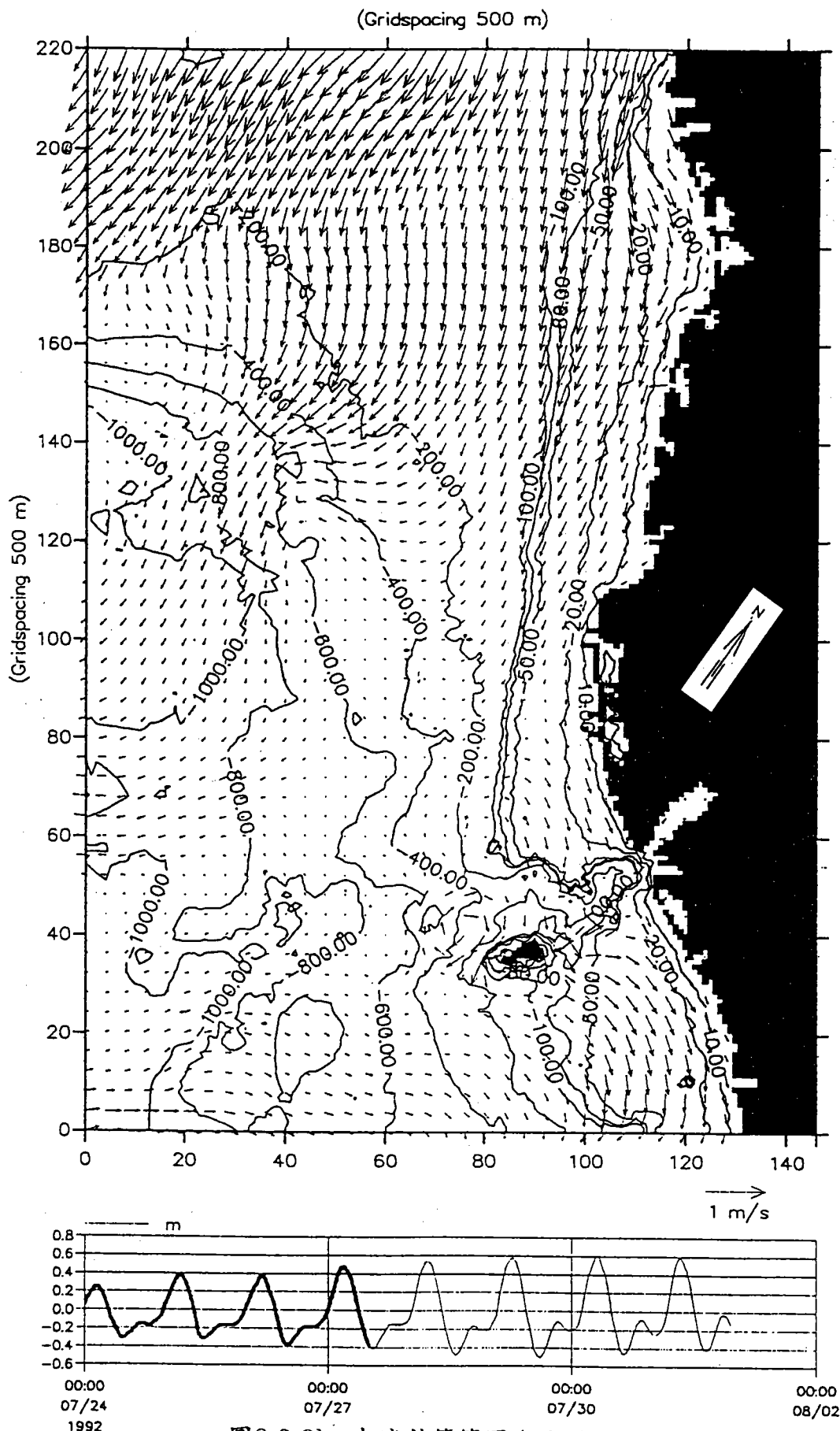


圖3.2.8b 中域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.12:00)

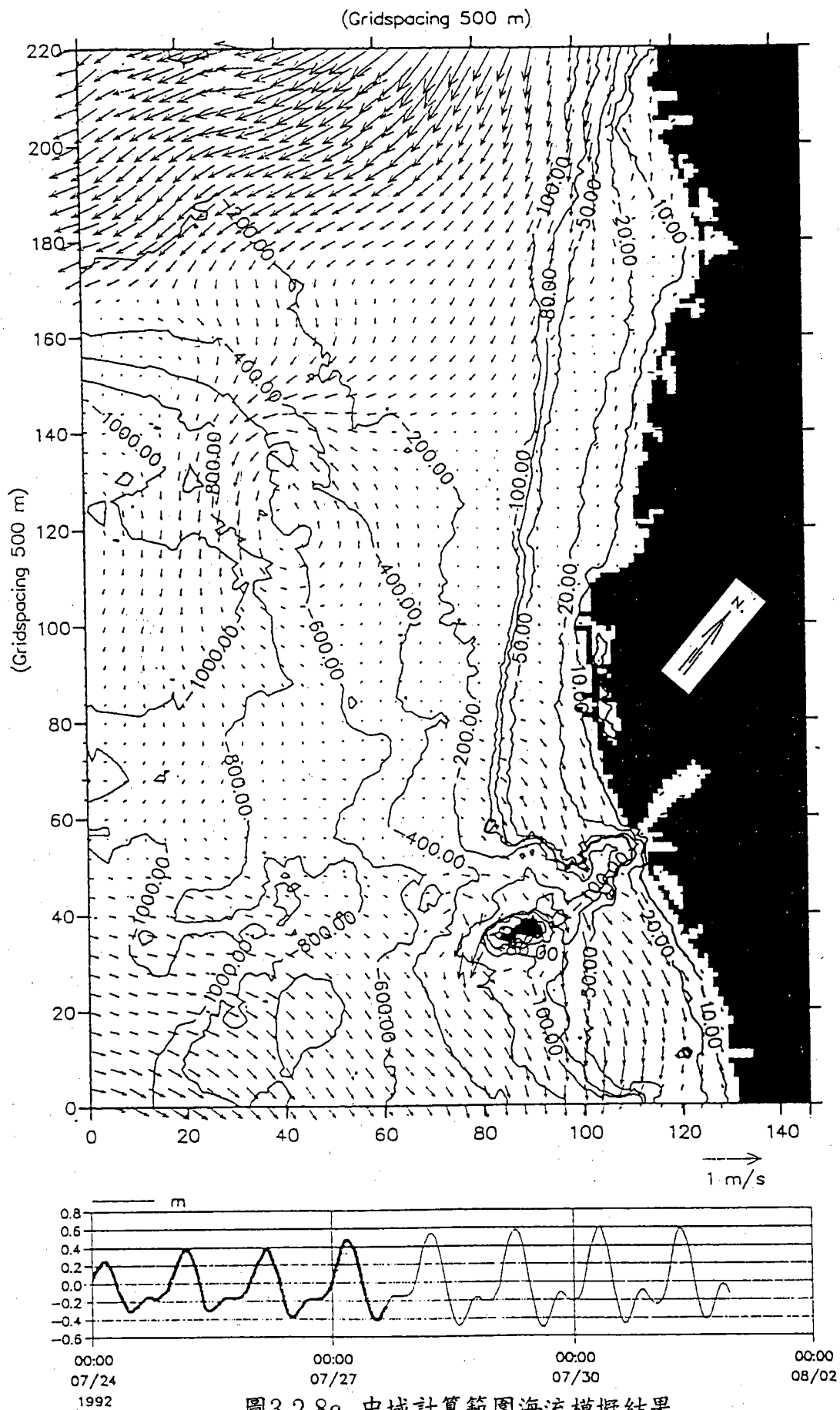


圖3.2.8c 中域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.16:00)

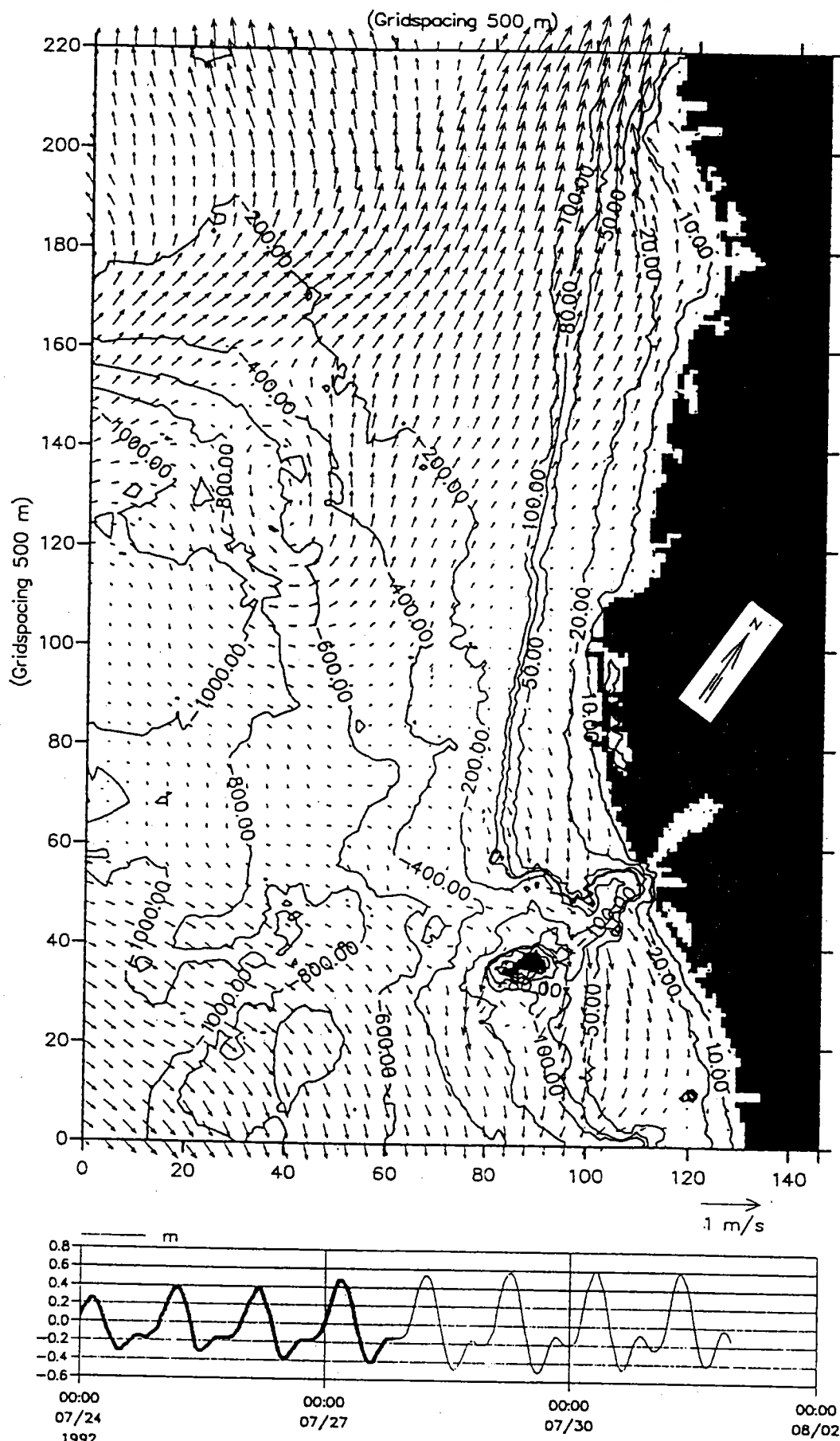


圖3.2.8d 中域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/27.20:00)

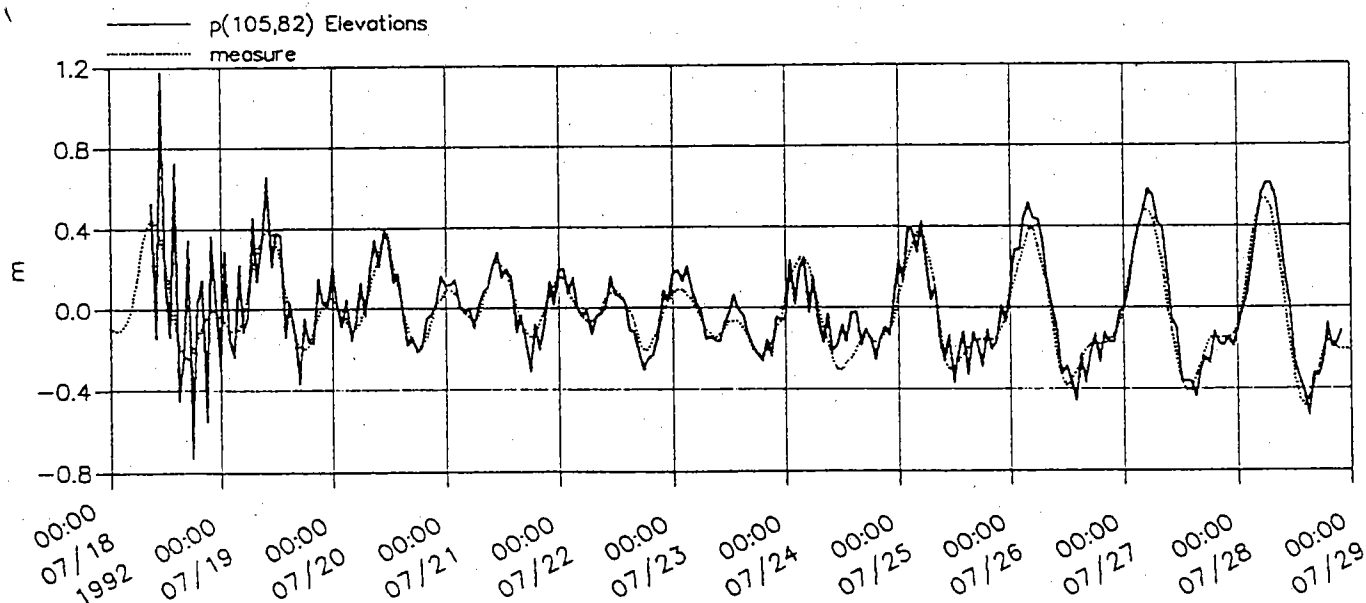
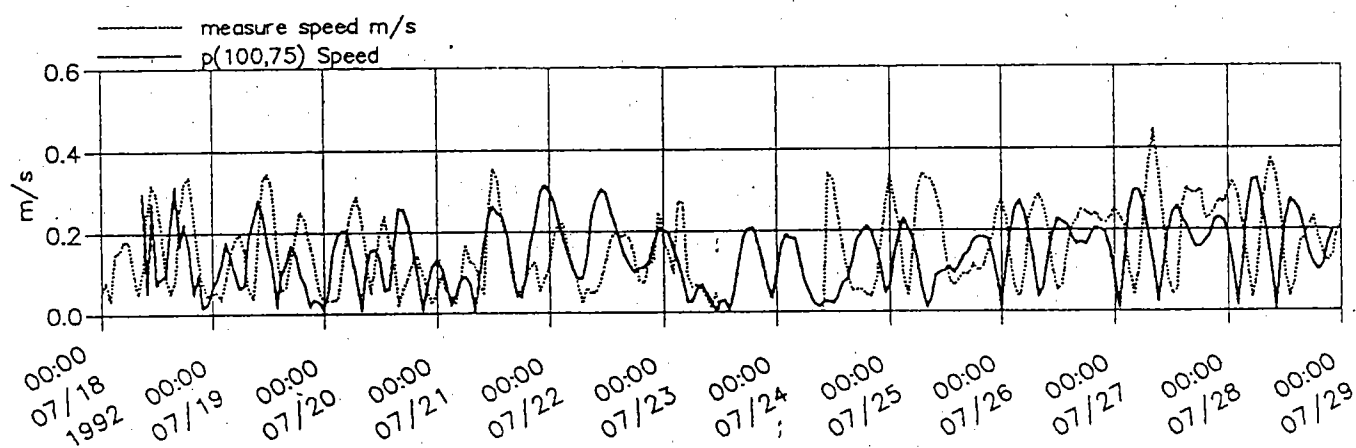
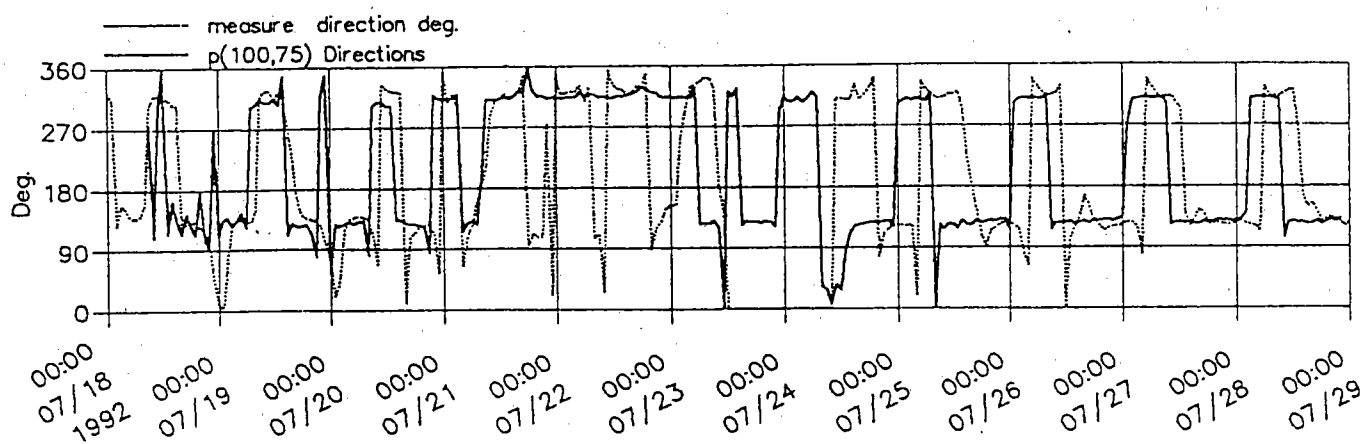


圖3.2.9 中域數值計算點 P(100,75) 海流及水位校驗

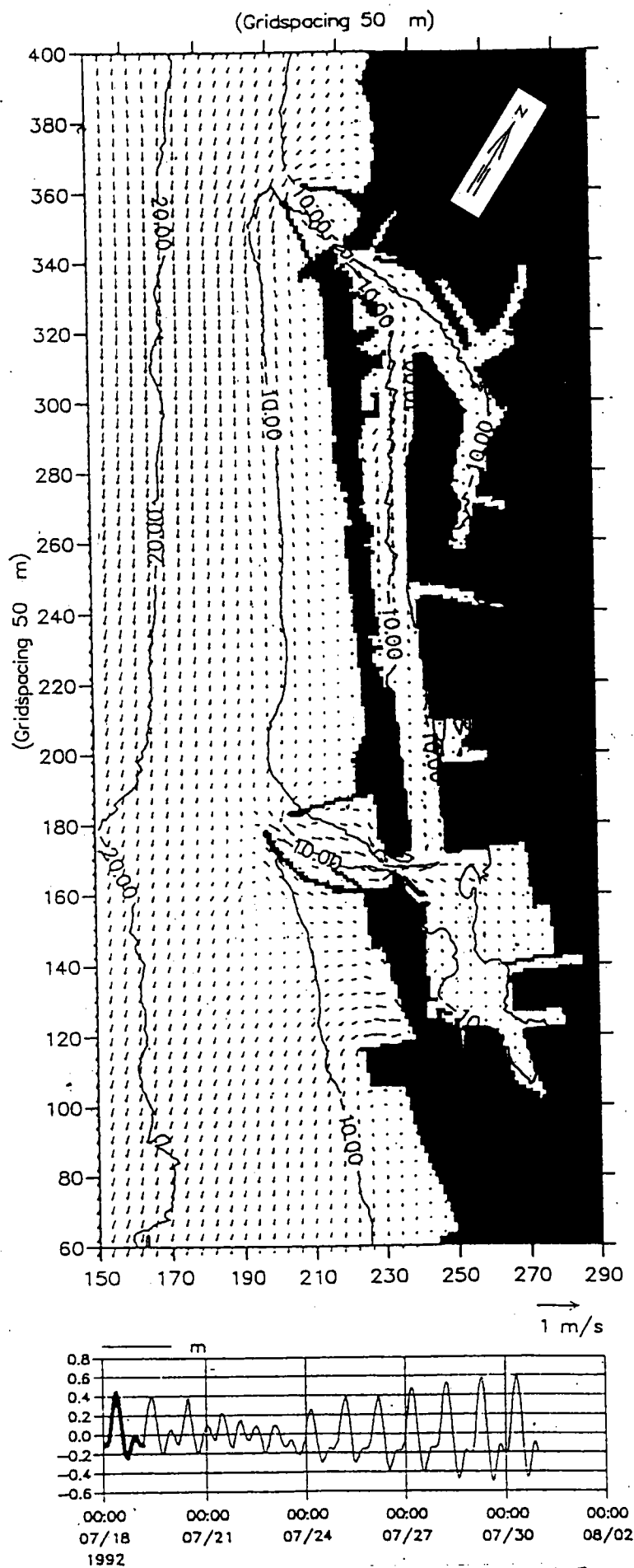


圖3.2.10a 小域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/19.00:00)

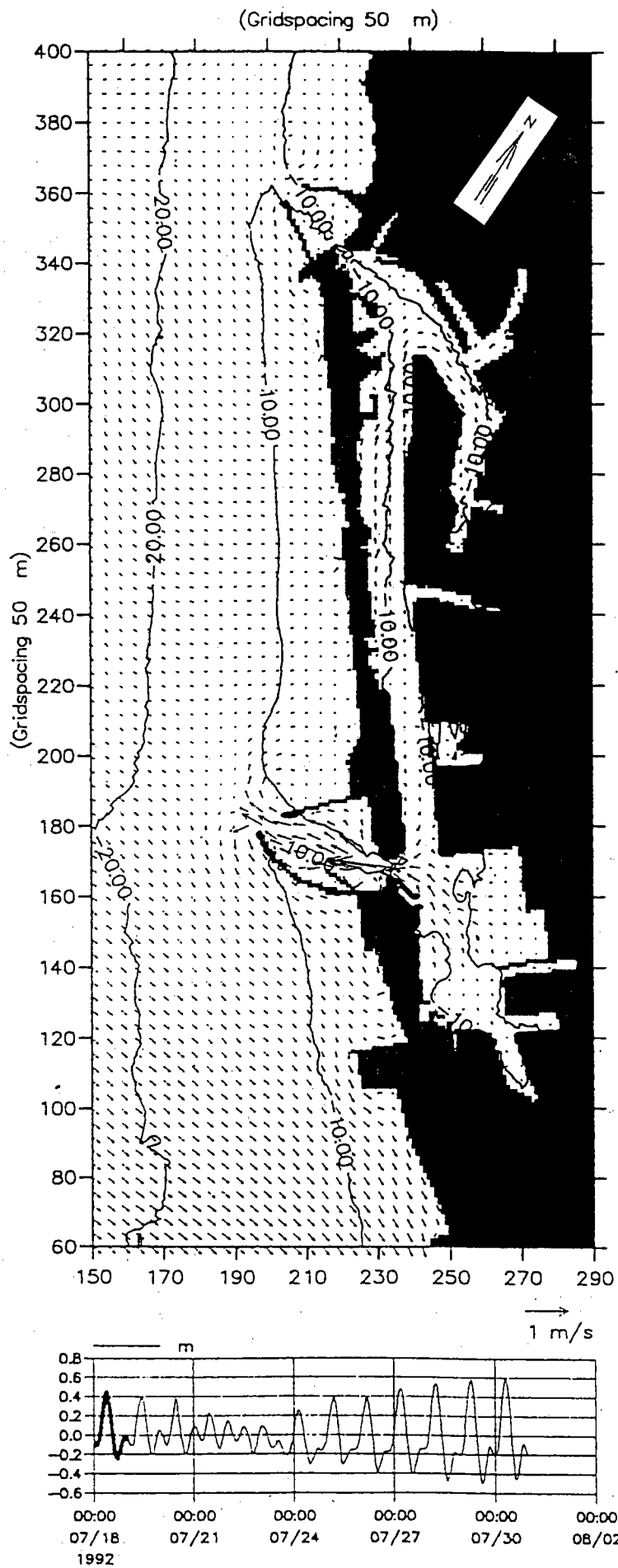


圖3.2.10b 小域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/19.04:00)

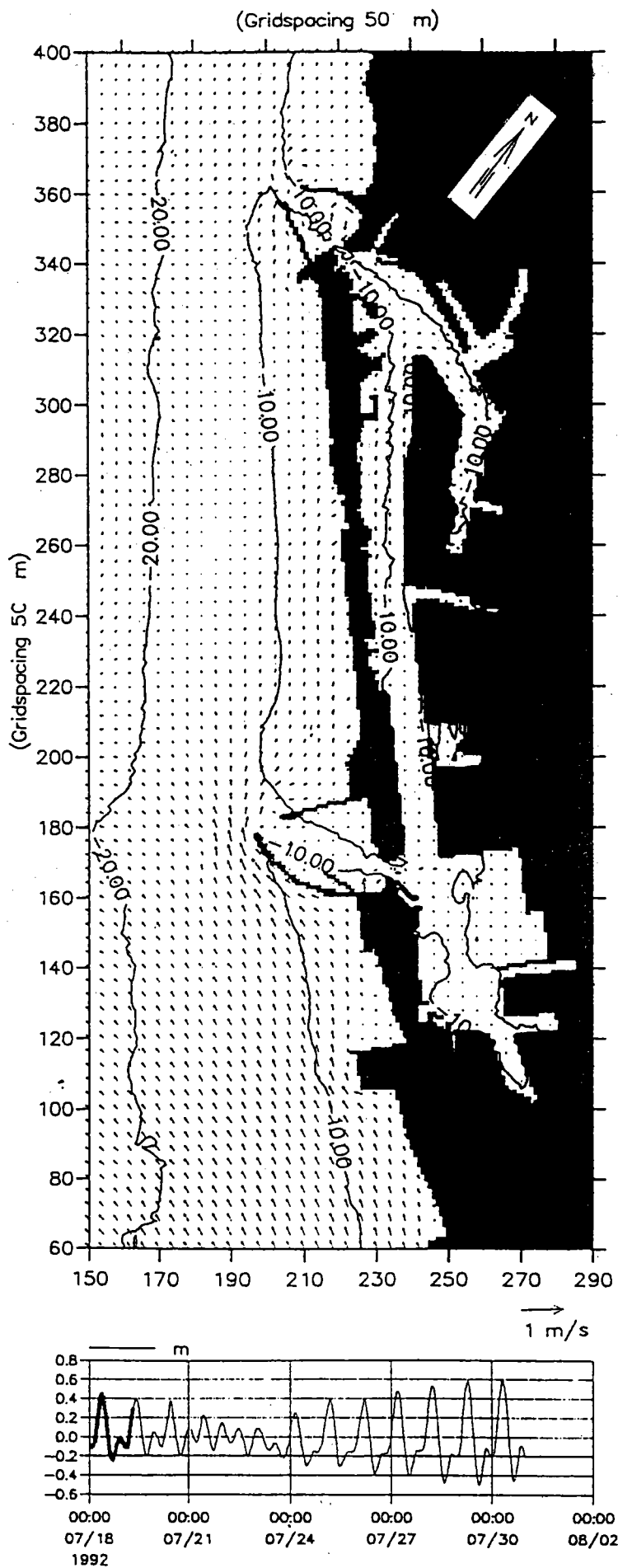


圖3.2.10c 小域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/19.08:00)



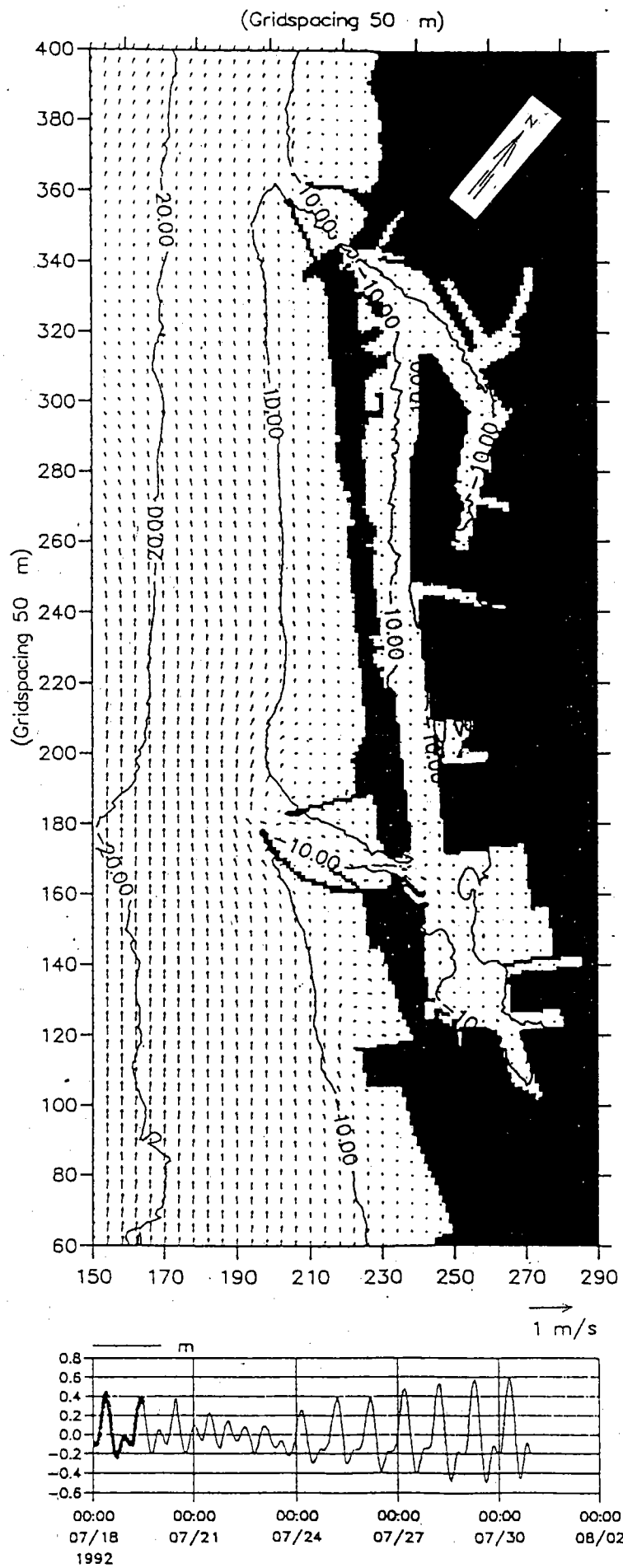


圖3.2.10d 小域計算範圍海流模擬結果  
(1992/07/19.12:00)

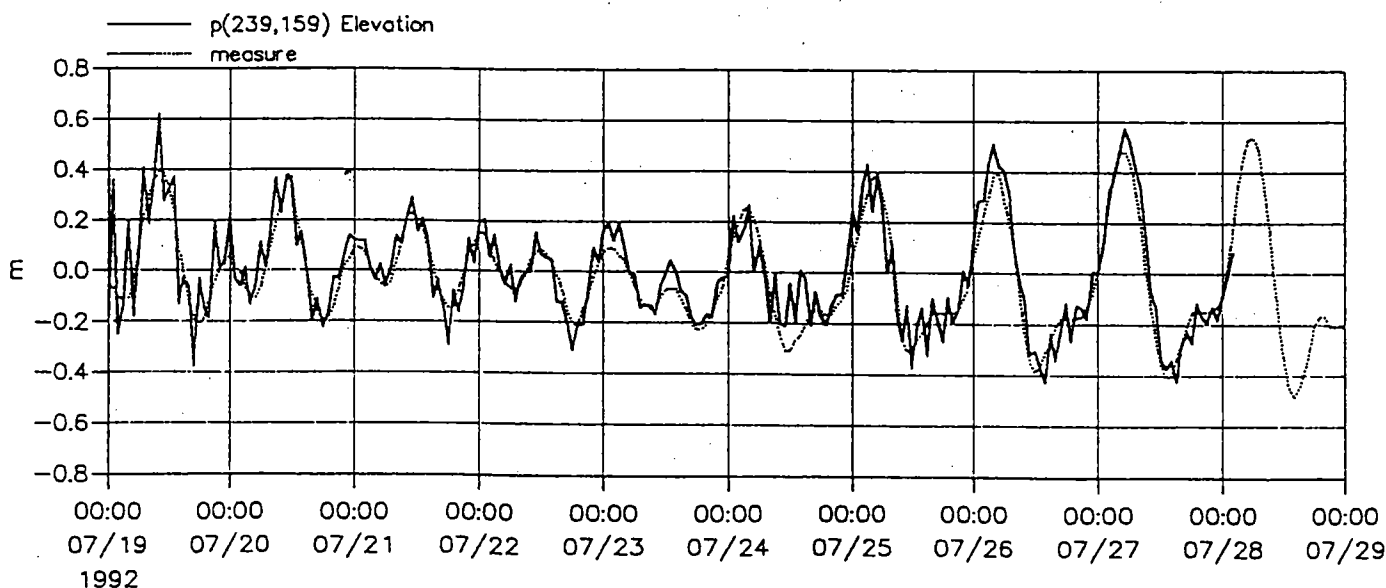
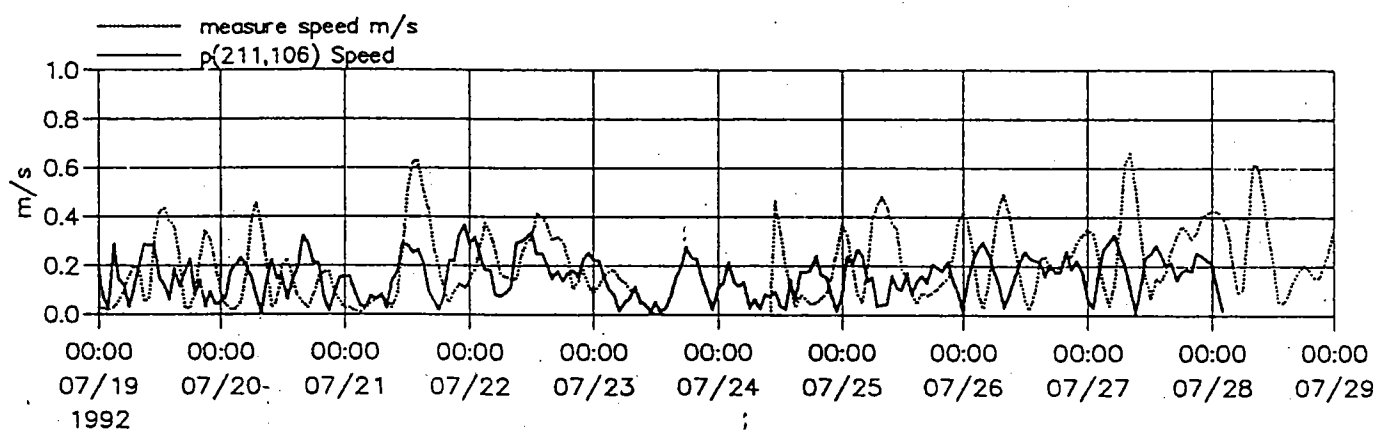
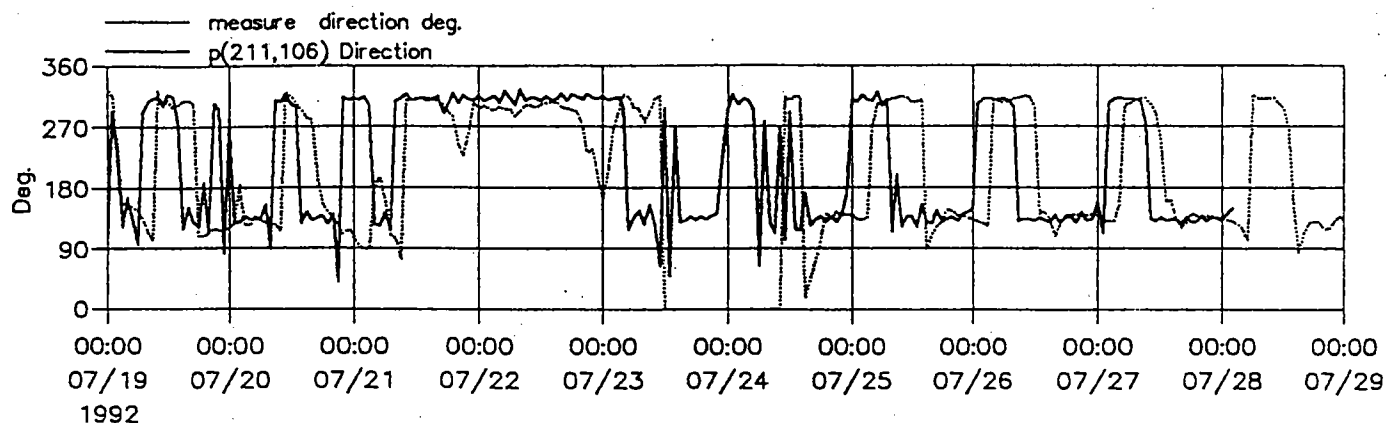


圖3.2.11 小域數值計算點 P(211,106) 海流及水位校驗

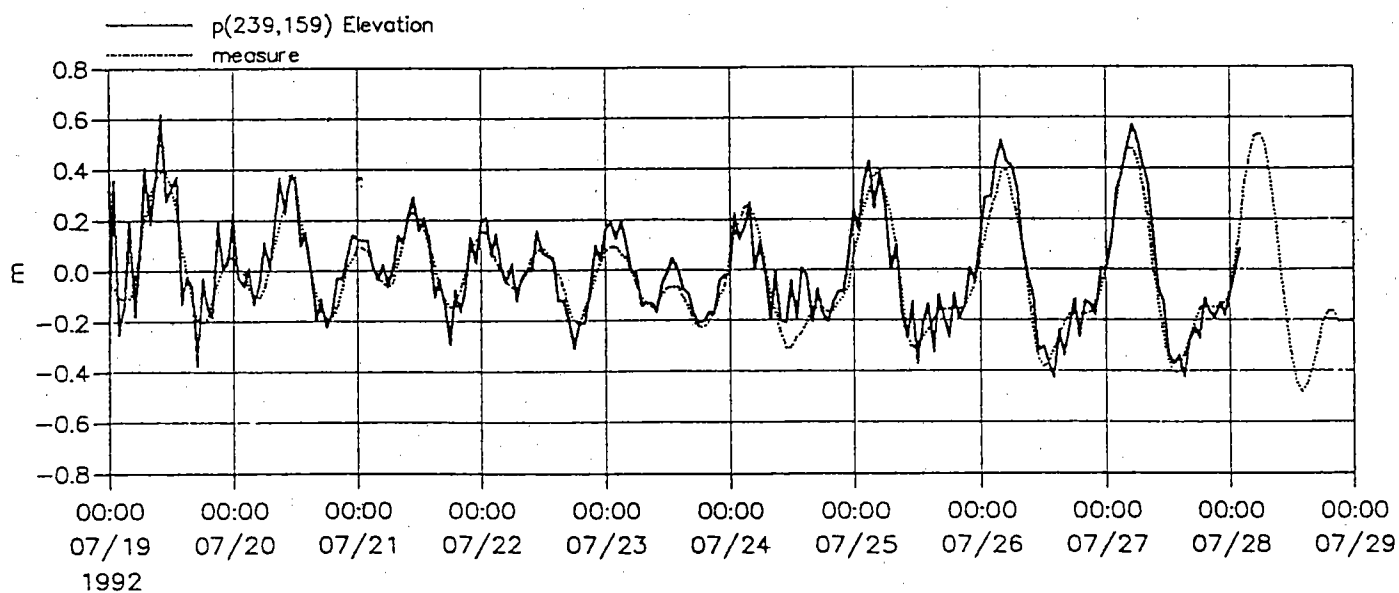
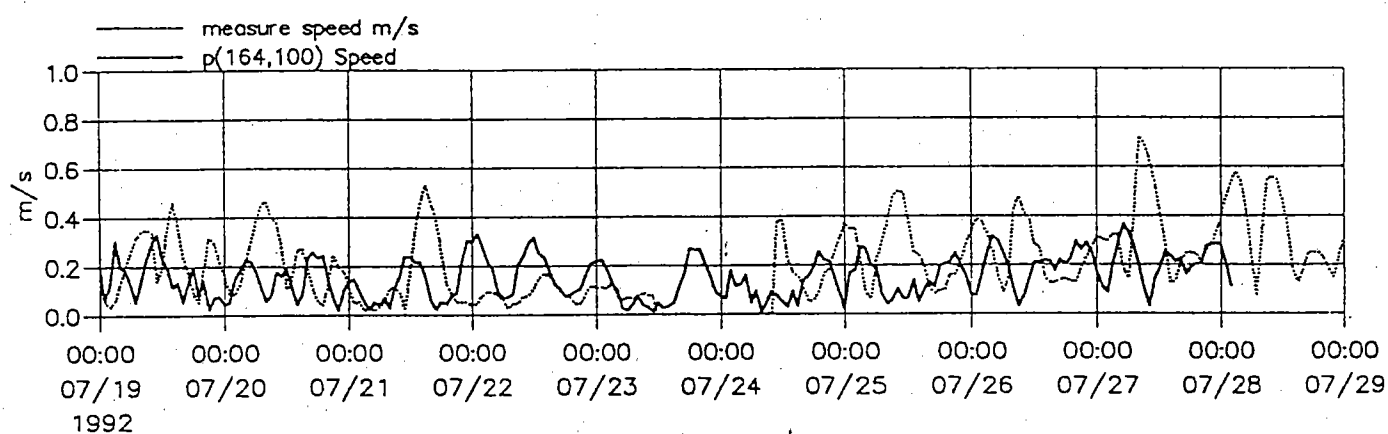
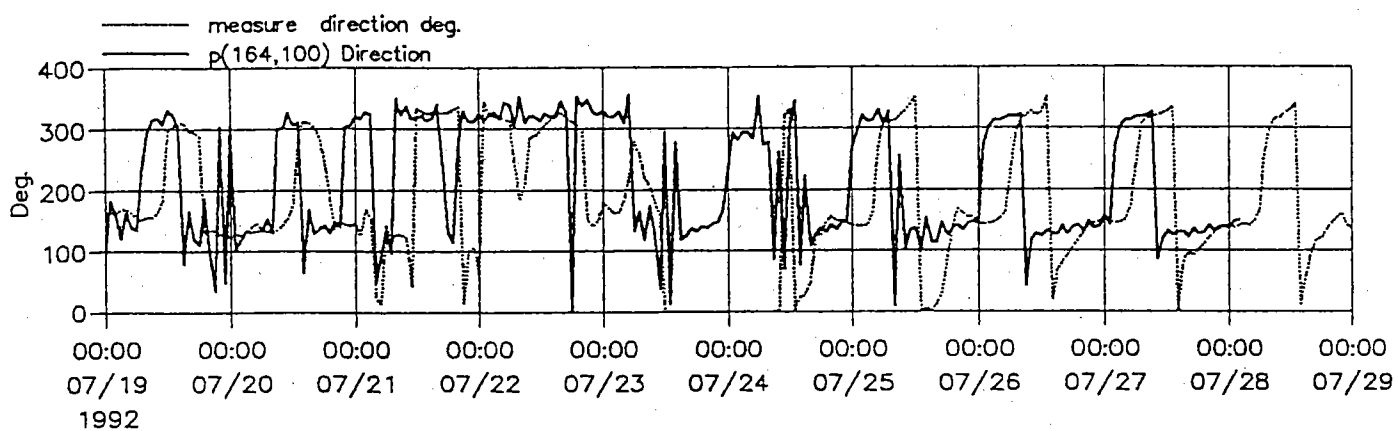


圖3.2.12 小域數值計算點 P(164,100) 海流及水位校驗

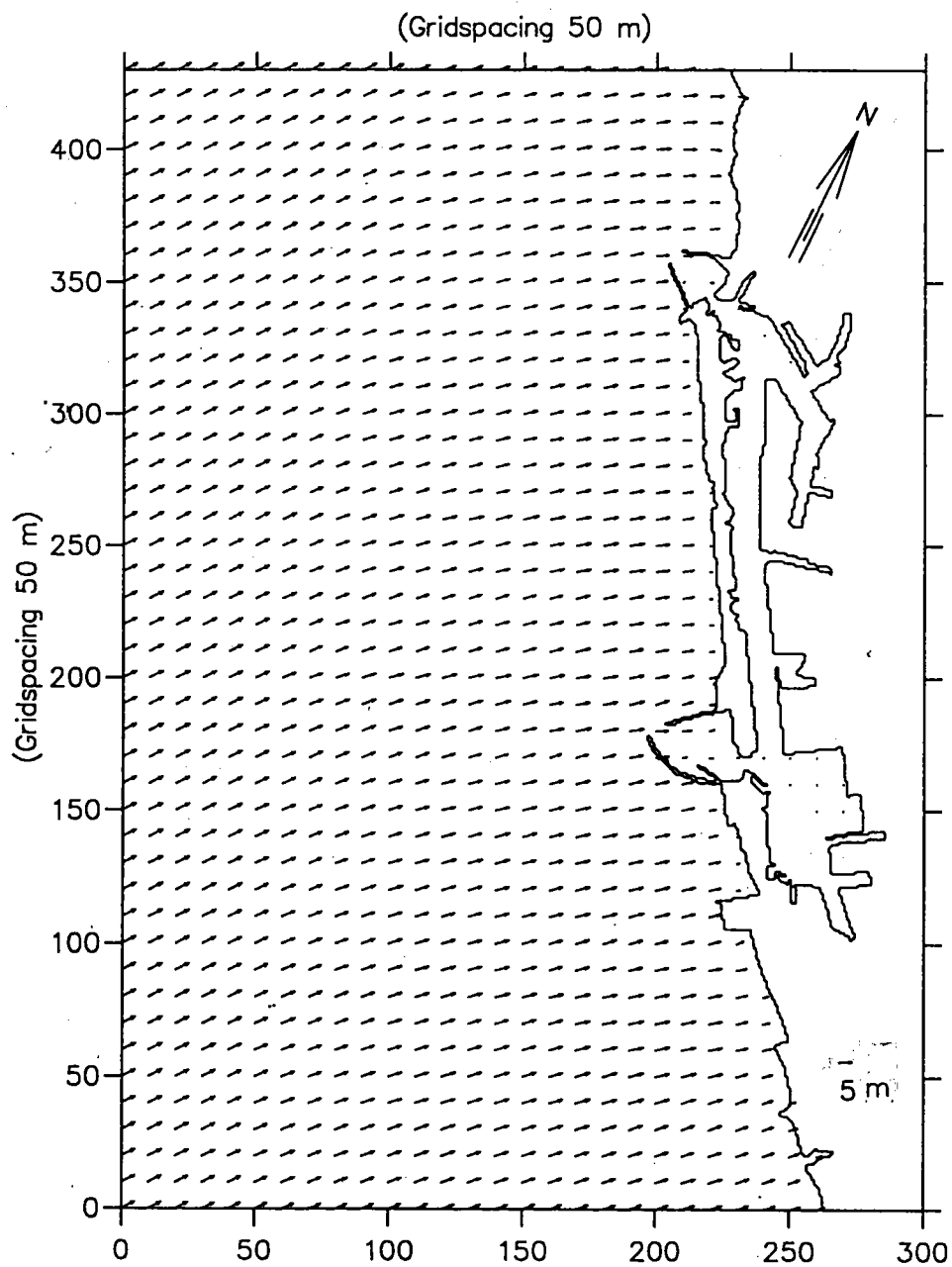


圖3.2.13 小域計算範圍颱風作用下之波場模擬結果 (波向量)

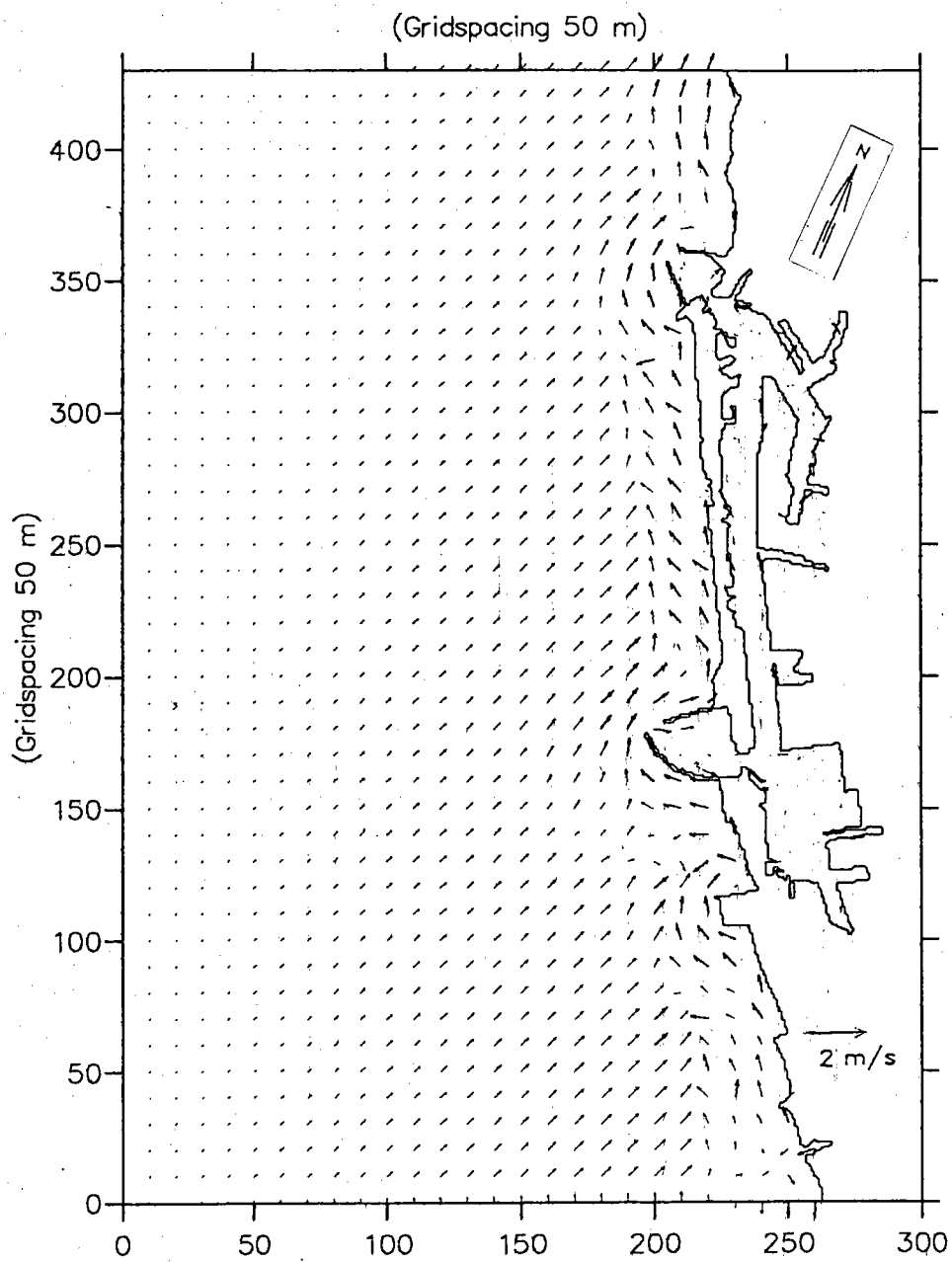


圖3.2.14 小域計算範圍颱風作用下之流場模擬結果 (流向量)

## 第四章 粒徑與礦物成分分析

### 4.1 現場採樣

為藉由分析海灘沉積物來探討高雄海域之漂沙特性，乃於春、秋兩季(東北季風過後及颱風季節過後各實施一次)在高屏溪口以北至二仁溪口以南之海岸，採集研究範圍內主要河川下游、各河川河口及沿海岸線附近沙灘上砂粒，沿海岸線平均大約每 500m 以內設一採樣點。採樣調查同時經由衛星定位儀測得之粒徑分析採樣點位置二度分帶座標，以 500cc 容器逐一蒐集沙灘或河床沈積物，並包封標示取樣天候、水深與採樣點位置座標等現況條件，以人員不下水但儘量取得水中底床沉積物為原則。第一次採樣於 2002 年 4 月 6、7 日分兩天實施，扣除無沙可採之侵蝕區及無法進入之管制區，共計 66 個採樣點。第二次採樣則於 2002 年 9 月 11、12 日分兩天實施，採樣位置及樣本編號則儘可能與第一次採樣一致。各次採樣之採樣點編號及座標詳表 4.1.1 所示，各採樣點位置則詳圖 4.1.1 所示(圖中實線圓圈表示第一次採樣之地點，虛線圓圈則表示第二次採樣之地點)。另為比對河床沉積物礦物成分與海灘沉積物礦物成份之間差異，以進一步釐清海灘上的沉積物到底是從何而來，乃於 2002 年 7 月 30 日至曾文溪、鹽水溪、二仁溪、阿公店溪及高屏溪等五條河川之上游進行採樣，各採樣點坐標詳表 4.1.2 所示，其位置圖則詳圖 4.1.2 所示。

表 4.1.1 各採樣點編號及座標

| 編號 | 第一次採樣位置 |         | 第二次採樣位置 |         | 位置說明      | 編號 | 第一次採樣位置 |         | 第二次採樣位置 |         | 位置說明         |
|----|---------|---------|---------|---------|-----------|----|---------|---------|---------|---------|--------------|
|    | X座標     | Y座標     | X座標     | Y座標     |           |    | X座標     | Y座標     | X座標     | Y座標     |              |
| 1  | 165511  | 2535782 | 165477  | 2535781 | 二仁溪下游南楚橋  | 34 | 174112  | 2501092 | 174165  | 2501023 |              |
| 2  | 165075  | 2535333 | 165122  | 2535331 |           | 35 | 174538  | 2500475 | 174425  | 2500691 |              |
| 3  | 164654  | 2535056 | 164622  | 2535023 | 二仁溪口      | 36 | 174730  | 2500204 | 174667  | 2500304 |              |
| 4  | 164713  | 2534581 | 因侵蝕無法採樣 |         |           | 37 | 174999  | 2499817 | 174961  | 2499941 |              |
| 5  | 164870  | 2534066 | 164891  | 2533842 |           | 38 | 175221  | 2499493 | 175297  | 2499440 |              |
| 6  | 164999  | 2533513 | 165053  | 2533465 |           | 39 | 175497  | 2499105 | 175475  | 2499184 |              |
| 7  | 165211  | 2532991 | 165212  | 2533006 |           | 40 | 175770  | 2498710 | 175782  | 2498866 |              |
| 8  | 165399  | 2532394 | 165445  | 2532447 |           | 41 | 176126  | 2498315 | 176113  | 2498398 |              |
| 9  | 165653  | 2531885 | 165611  | 2531929 |           | 42 | 176422  | 2497920 | 176463  | 2497925 |              |
| 10 | 166308  | 2529785 | 166337  | 2529779 |           | 43 | 176749  | 2497504 | 176724  | 2497595 |              |
| 11 | 166392  | 2529213 | 166461  | 2529264 | 興達火力發電廠北側 | 44 | 177092  | 2497089 | 177071  | 2497125 |              |
| 12 | 167132  | 2526970 | 167204  | 2526897 | 興達火力發電廠南側 | 45 | 177377  | 2496726 | 施工中無法接近 |         |              |
| 13 | 167678  | 2525385 | 167694  | 2525406 |           | 46 | 177508  | 2496497 | 施工中無法接近 |         |              |
| 14 | 167980  | 2524560 | 168027  | 2524595 |           | 47 | 179018  | 2494837 | 178659  | 2494560 | 高雄港二港口南防波堤外側 |
| 15 | 168327  | 2523386 | 168351  | 2523365 |           | 48 | 180010  | 2493192 | 施工中無法接近 |         |              |
| 16 | 168601  | 2522820 | 168597  | 2523127 | 阿公店溪口     | 49 | 180981  | 2492071 | 施工中無法接近 |         |              |
| 17 | 168836  | 2522197 | 169006  | 2522100 |           | 50 | 184186  | 2489490 | 184257  | 2489380 |              |
| 18 | 169036  | 2521784 | 169188  | 2521626 |           | 51 | 184578  | 2489075 | 184725  | 2489053 |              |
| 19 | 169293  | 2521345 | 因侵蝕無法採樣 |         |           | 52 | 184979  | 2488844 | 185087  | 2488780 |              |
| 20 | 170058  | 2519459 | 170062  | 2519476 |           | 53 | 185533  | 2488428 | 185577  | 2488398 |              |
| 21 | 170245  | 2519090 | 170259  | 2519046 |           | 54 | 185801  | 2488320 | 185920  | 2488217 |              |
| 22 | 170435  | 2518597 | 170364  | 2518788 |           | 55 | 186042  | 2488086 | 186057  | 2488130 |              |
| 23 | 170530  | 2518193 | 170576  | 2518193 |           | 56 | 186446  | 2487792 | 186563  | 2487712 |              |
| 24 | 170875  | 2517479 | 170935  | 2517411 |           | 57 | 186717  | 2487583 | 186621  | 2487708 |              |
| 25 | 171090  | 2517084 | 171153  | 2517025 |           | 58 | 187297  | 2487163 | 187303  | 2487152 |              |
| 26 | 171267  | 2516728 | 因侵蝕無法採樣 |         |           | 59 | 187589  | 2486991 | 187562  | 2487018 |              |
| 27 | 171642  | 2515964 | 171647  | 2515969 |           | 60 | 187973  | 2486843 | 187895  | 2486932 |              |
| 28 | 172174  | 2514436 | 172180  | 2514438 |           | 61 | 188286  | 2486706 | 188288  | 2486714 |              |
| 29 | 172486  | 2514074 | 172527  | 2514117 |           | 62 | 188687  | 2486551 | 188960  | 2486959 |              |
| 30 | 172750  | 2513422 | 因侵蝕無法採樣 |         | 典寶溪口      | 63 | 189077  | 2486714 | 189068  | 2486686 | 高屏溪口         |
| 31 | 172848  | 2513126 | 172850  | 2513116 | 後勁溪口      | 64 | 189173  | 2487347 | 189174  | 2487315 |              |
| 32 | 173154  | 2503960 | 173228  | 2503931 | 中山大學      | 65 | 189263  | 2488248 | 189228  | 2488265 |              |
| 33 | 173728  | 2501548 | 173819  | 2501523 | 旗津海水浴場    | 66 | 189178  | 2489090 | 189230  | 2489098 | 高屏溪下游雙園大橋橋下  |

表 4.1.2 河川上游採樣點編號及座標

| 採樣點 | X座標    | Y座標     | 備註     |
|-----|--------|---------|--------|
| A   | 191520 | 2505669 | 高屏溪上游  |
| B   | 177230 | 2520927 | 阿公店溪上游 |
| C   | 168970 | 2534630 | 二仁溪上游  |
| D   | 169396 | 2547982 | 鹽水溪上游  |
| E   | 167382 | 2555877 | 曾文溪上游  |



圖 4.1.1 採樣點位置圖



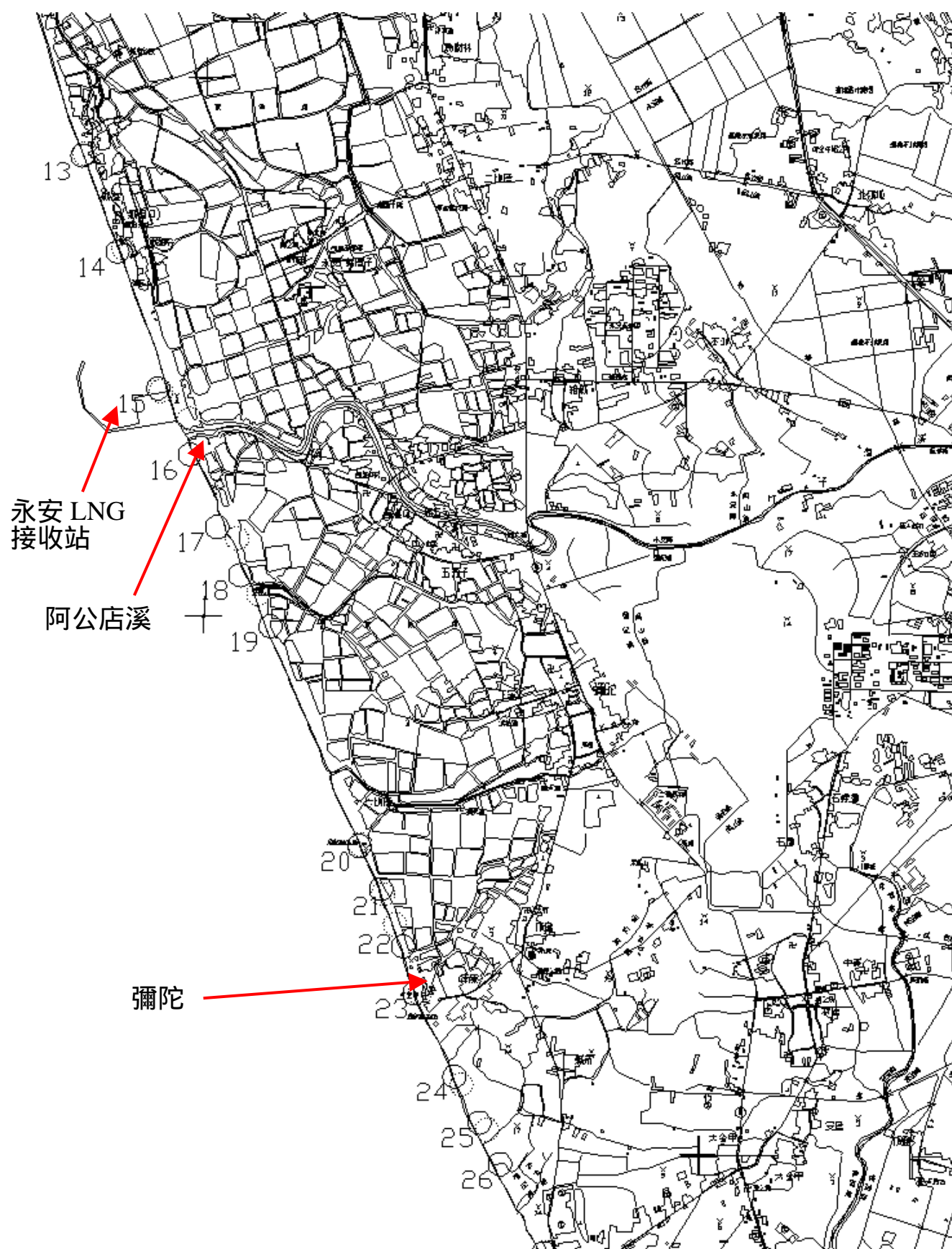


圖 4.1.1 採樣點位置圖(續一)

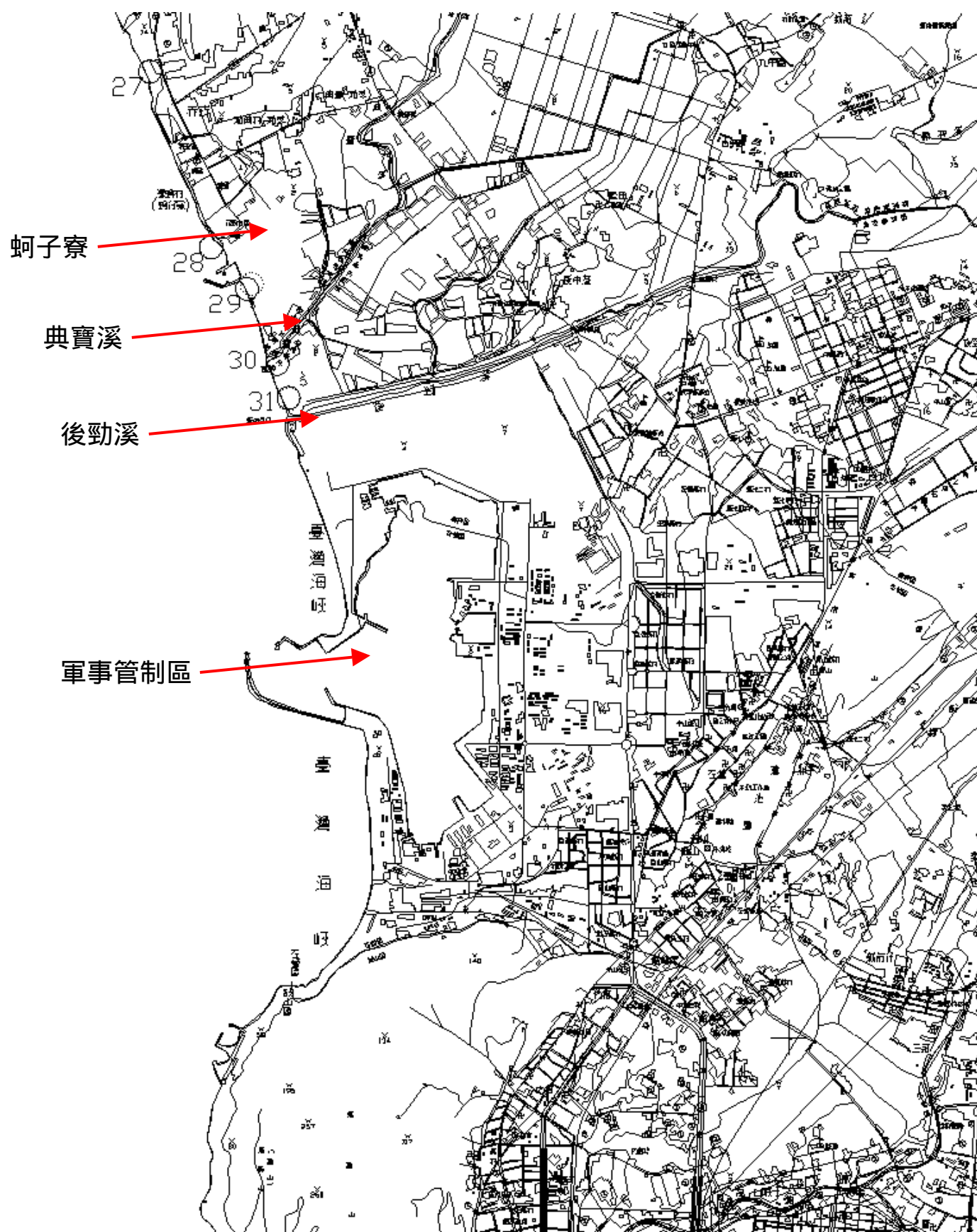


圖 4.1.1 採樣點位置圖(續二)

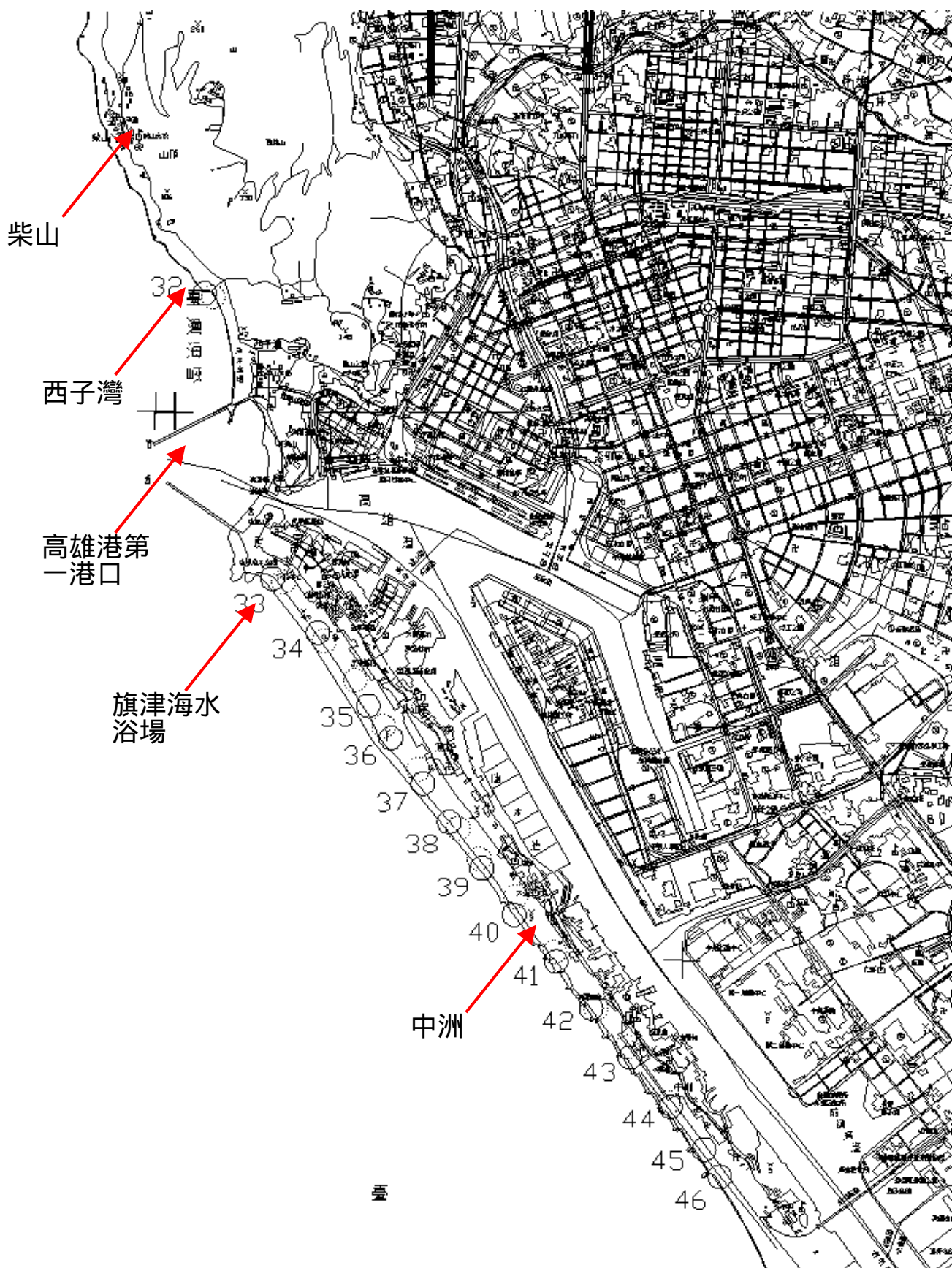


圖 4.1.1 採樣點位置圖(續三)



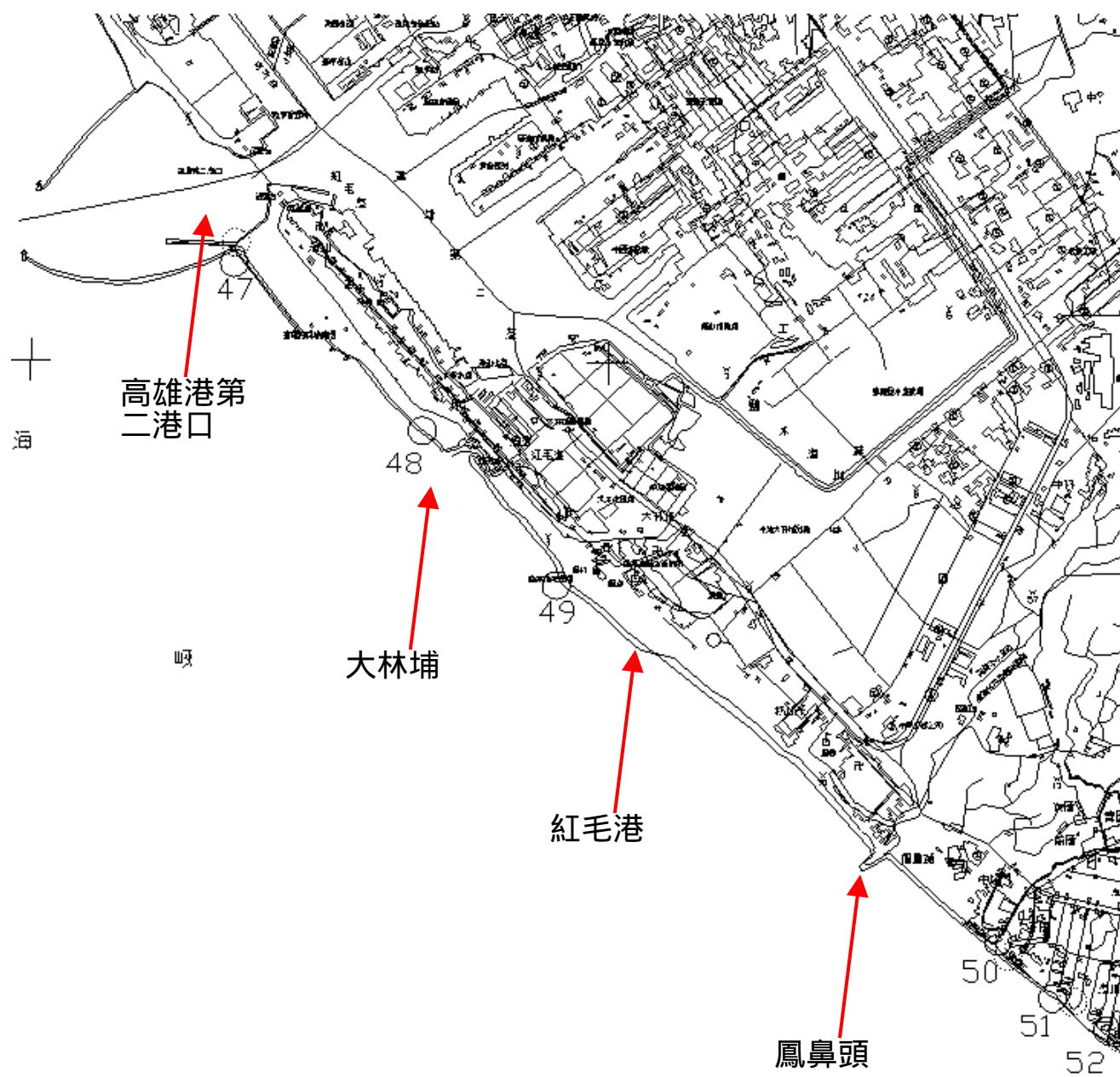


圖 4.1.1 採樣點位置圖(續四)

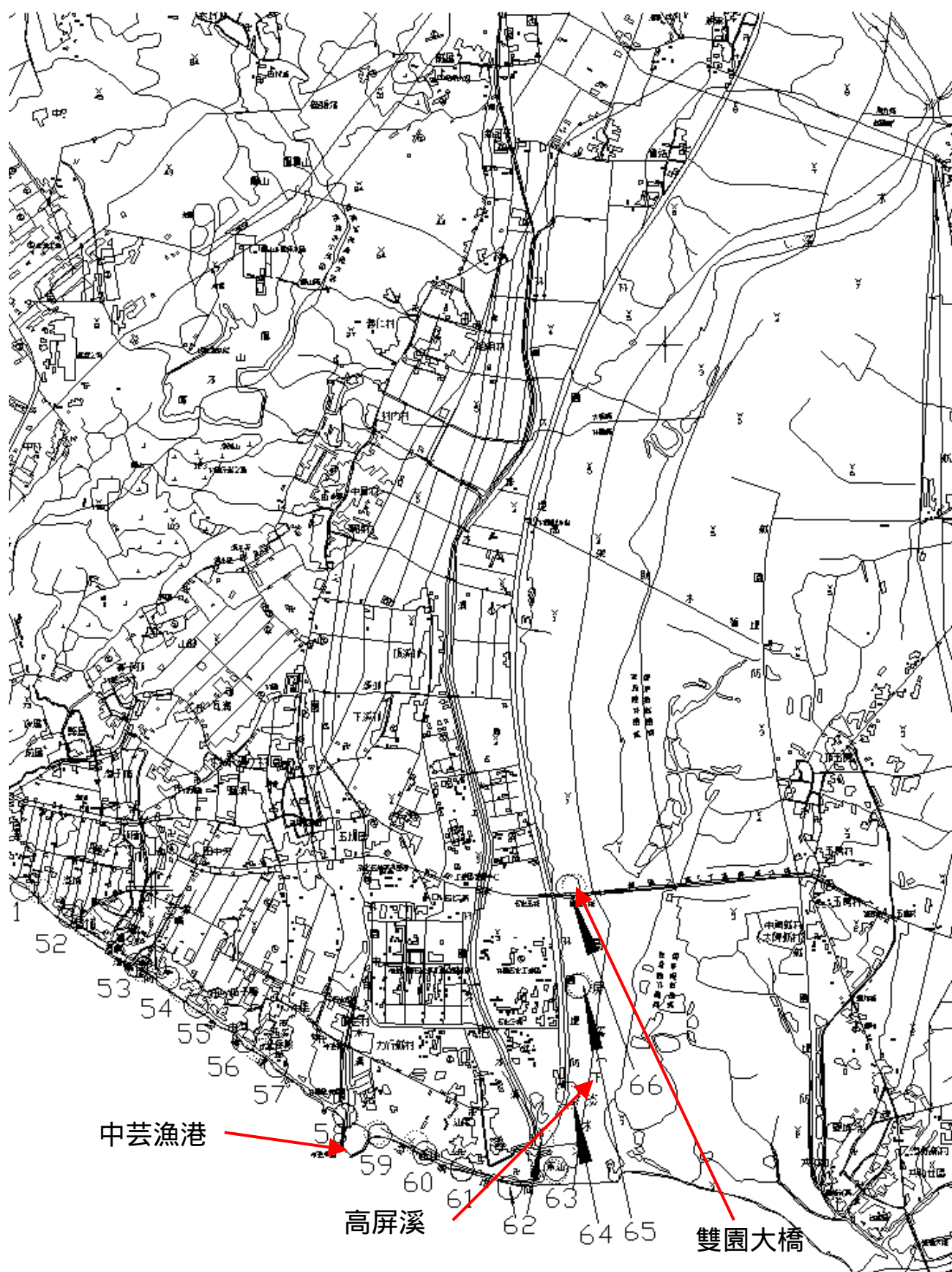


圖 4.1.1 採樣點位置圖(續五)

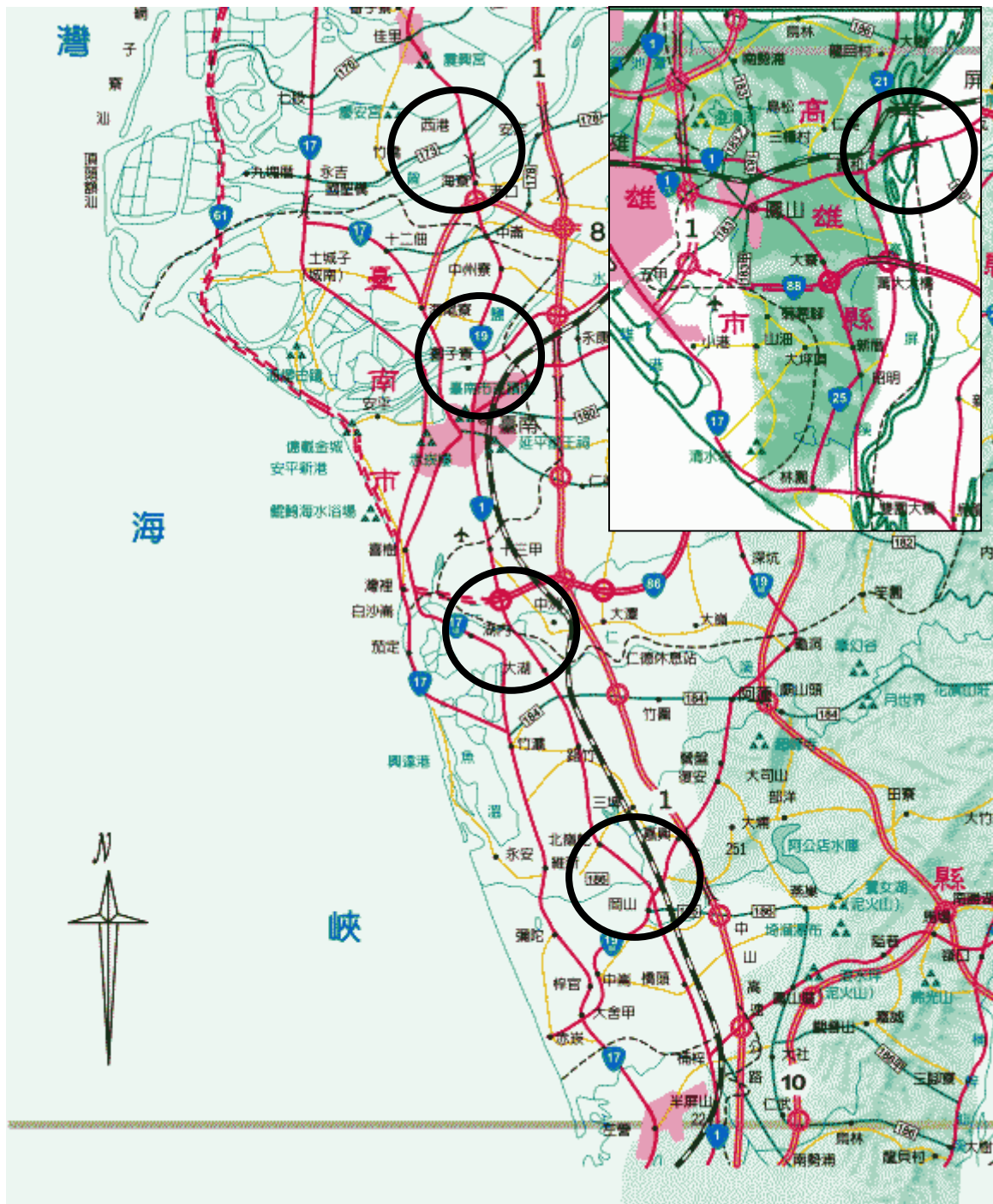


圖 4.1.2 河川上游採樣點位置圖

## 4.2 粒徑分析

粒徑分析可以分為篩分析及比重計分析兩部份。其分析方法是先將樣本烤乾後取 100 g，以 ASTM # 200 標準篩（篩目 0.074 mm）用濕篩法將其分成砂樣和泥樣。砂樣先進行篩分析，泥樣部份則先靜置，視篩分析結果而決定是否進行比重計分析。

篩分析方法是將濕篩法分離出的砂樣烤乾後放入一組標準篩（其篩號分別為 # 4、# 10、# 20、# 40、# 60、# 100、# 140、# 200）進行搖篩 30 分鐘，過篩後量測各篩所截留之砂重量並記錄之，若總重量不足 90g，表示有效粒徑小於 # 200 篩之篩目，需進一步進行比重計分析。

比重計分析之方法是將濕篩法分離出的泥樣部份靜置三天後，去掉上層水倒入一公升量筒，並加入 100 cc 的偏磷酸鈉 ( $\text{Na}(\text{PO}_3)_6$ ) 溶液為分散劑，其濃度為 4%，加水使其達到一公升後，搖晃使其均勻後平放，放入比重計開始計時並量測 15 秒、30 秒、1 分鐘、2 分鐘、5 分鐘、15 分鐘、30 分鐘、1 小時、4 小時、24 小時後之水溫及比重計讀數。同時另外進行一組對照組，筒內只有水及分散劑，亦讀取各對應時刻的水溫及比重計讀數。再利用顆粒因粒徑大小不同而有所差異之沉降速度(利用 Stokes' Law)，由各時刻之讀數推算其所對應之粒徑大小及其百分比。

最後，由篩分析及比重計分析之結果，繪出粒徑分佈曲線，以內差方式求出中值粒徑  $d_{50}$  (median diameter)、有效粒徑  $d_{10}$  (effective size) 以及  $d_{25}$ 、 $d_{60}$ 、 $d_{75}$  等粒徑，並利用所求得之各徑粒計算以下參數：

$$\text{均勻係數 (coefficient of uniform)} \quad cu = d_{60} / d_{10} \quad (4-1)$$

$$\text{歪度 (skewness)} \quad s_k = (d_{25} \times d_{75}) / d_{50}^2 \quad (4-2)$$

$$\text{篩分係數 (sorting coefficient)} \quad s_0 = d_{75} / d_{25} \quad (4-3)$$

以上所述粒徑分析之流程詳圖 4.2.1 所示。

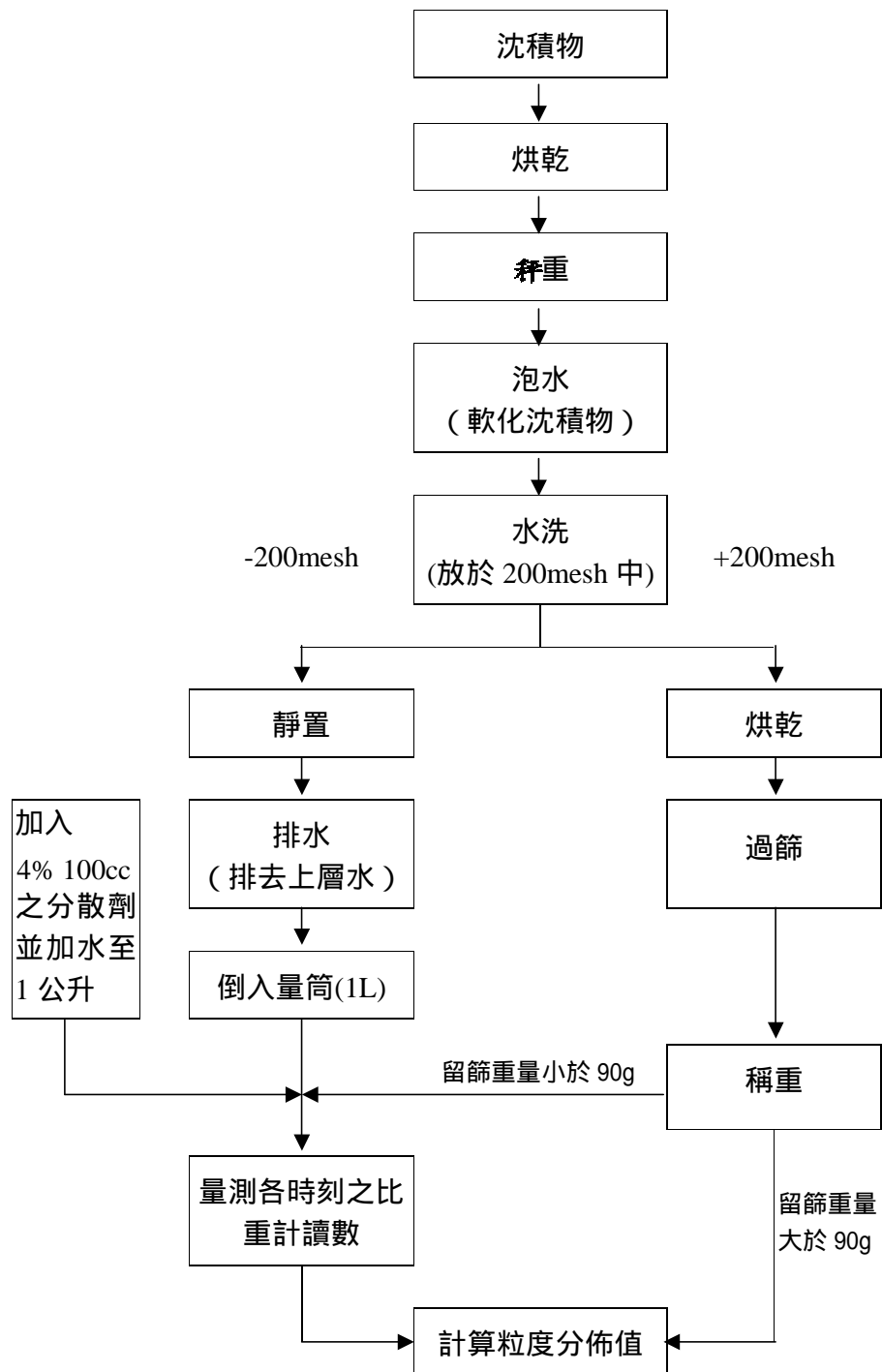


圖 4.2.1 粒徑分析流程圖



兩次採樣所採各樣本之中值粒徑、有效粒徑、均勻係數、歪度以篩分係數沿海岸線由北向南變化之曲線詳圖 4.2.2 4.2.6 所示。而各樣本之粒徑分佈曲線、各指標粒徑及各項參數則詳附錄四、五。

粒徑大小比較方面，兩次的試驗結果均顯示，二仁溪下游(河川裡的)沉積物，相較於高屏溪下游(也是河川裡的)及海灘上的沉積物都比較細。兩次採樣之比較方面，採樣點編號為 21~41 的樣本在夏季季風季節過後顆粒整體而言變得較粗(顆粒變粗表示受較大的波浪作用，細粒徑的沉積物被帶走)，其他地區之顆粒大小則較不隨季節而變化。兩次採樣的分析結果中，第 55 號樣本之粒徑較其他地區者大，然而相較於二仁溪內之沉積物，第 55 號樣本的顆粒只比其他區域大上一兩倍，二仁溪內之沉積物顆粒卻是小了幾十倍，故第 55 號樣本之分析結果並不奇異。一般而言，河川內的砂粒在中上游粒徑較大，但在下游尤其接近出口處，因水深較深且流速較慢，細顆粒較易在此沉積。而海灘上的砂粒，因水深較淺，又時時受波浪拍打，較細顆粒的砂較不易在此沉積，故此部分之分析結果甚為合理

在粒徑大小之差異性方面，由均勻係數或篩分係度來看，整體而言除了河川裡的樣本之外，各樣本在空間上分佈差異並不大。而河川裡的樣本均勻係數或歪度均較海灘上的大，亦即在海灘上的砂粒大小較為一致，而河川裡的沉積物有粗有細，分佈得較為均勻。其中又以二仁溪下游的沉積物和其他地區差異較大，由此研判來自二仁溪的砂源，粘粒(clay)及粉粒(silt)之成份較多。若比較前後兩次採樣的結果，在海灘上的顆粒分佈特性較不隨季節而變化。由歪度來看的話，所有樣本的歪度均在 1.0 上下，其最低或最高則為 0.5 及 1.5，顯示不論顆粒大小的變異是大或小，各樣本較大或較小顆粒粒徑與平均粒徑之差異大致相同。

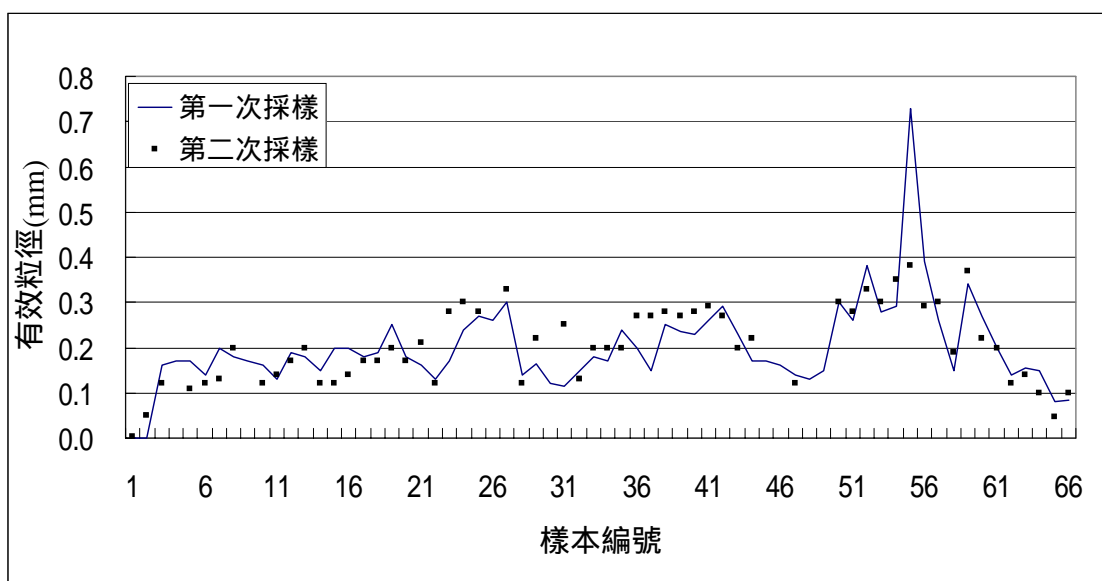


圖 4.2.2 沿海岸線由北向南之樣本有效粒徑變化圖

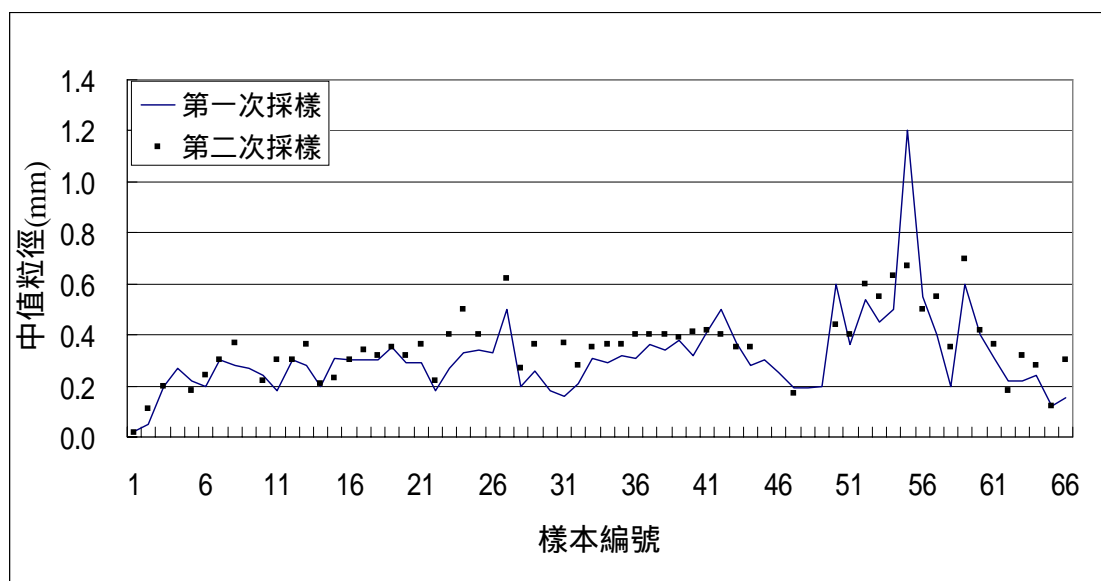


圖 4.2.3 沿海岸線由北向南之樣本中值粒徑變化圖

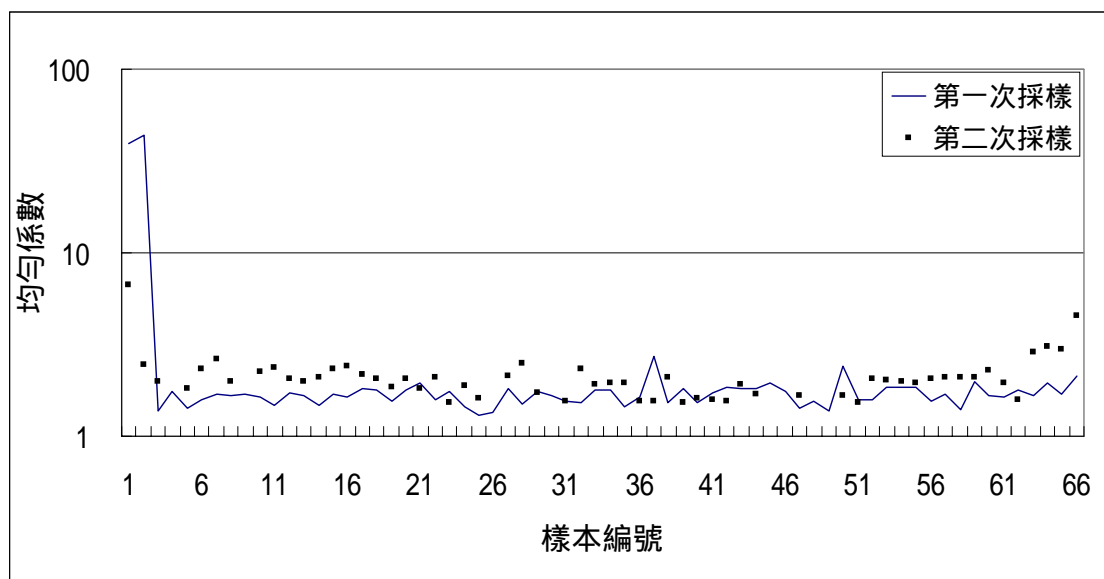


圖 4.2.4 沿海岸線由北向南之樣本均勻係數變化圖

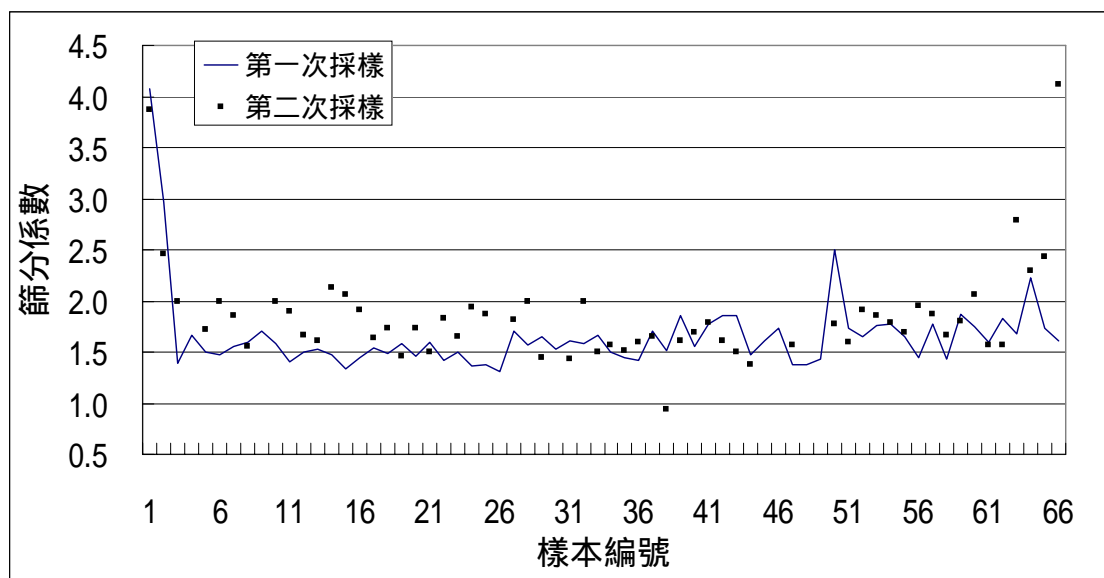


圖 4.2.5 沿海岸線由北向南之樣本篩分係數變化圖

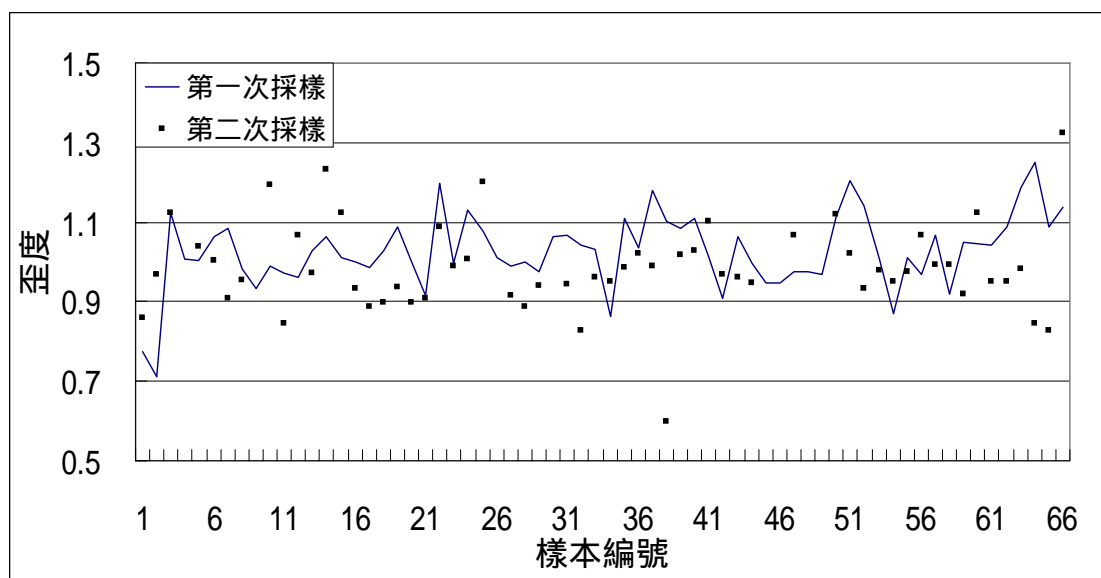


圖 4.2.6 沿海岸線由北向南之樣本歪度變化圖

### 4.3 礦物成份分析

礦物成份及其組成之百分比係採 X-Ray 繞射分析進行之。分析之前須先將漂沙的樣品先分離出砂粒(2-0.05 mm)、粉粒(0.05-0.002 mm)及粘粒(<0.002 mm)等三部分。

#### (1) 分離過程如下：

秤取約 20 g 風乾樣品置於 500 mL 之燒杯中並加入 35% 之雙氧水，在加熱板上以 90 左右之溫度加熱去除有機質，之後將樣品靜置回到室溫後，加入 200 mL 0.3 M 之檸檬酸鈉 (sodium citrate)、25 mL 1 M 之碳酸氫鈉 (sodium bicarbonate)、及約 2 g 左右之連二亞硫酸鈉 (sodium dithionite) (註：此三種混合試劑簡稱 DCB 混合液)，然後在約 85 左右之水浴中加熱，偶而以玻棒攪動之，以除去游離鐵，若土壤懸浮液呈灰白色即表示游離鐵已完全去除，若無法一次達到此顏色，則可再酌量添加連二亞硫酸鈉，直至呈灰白色。以 DCB 混合液去除游離鐵的原理是透過連二亞硫酸鈉之還原力將游離之

氧化鐵還原為二價鐵，然後以檸檬酸根之鉗合作用將二價鐵加以固定，而碳酸氫鈉則是做為反應系統之 pH 緩衝劑。當游離鐵完全去除時，由於土壤粒子不再被氧化鐵所包覆，因此呈現其原有之灰白色。有機質與游離鐵必須去除之原因為促進顆粒分散，並減少 XRD 干擾。

將懸浮液靜置去除上清液後，以去離子水清洗兩次並離心、烘乾後，樣品放入盛水約七分滿之攪拌杯中，並加入 10 mL 5% 之偏磷酸鈉 (sodium hexametaphosphate)，用電動攪拌機將土壤懸浮液充分打散約 10 分鐘後，以 270 mesh 之篩子進行濕篩，並將粉粒及粘粒洗入 1 升之沉降筒中。濕篩所得即為砂粒。包含粉粒及粘粒之懸浮液則根據 Stoke's law 計算在一定溫度下，不同粒徑粒子沉降 10 cm 所需之時間，用 25 mL 的吸管吸取粉粒及粘粒懸浮液，烘乾後置於乾燥器中放冷。

## (2) X-Ray 繞射分析

砂粒與粉粒直接進行粉末 XRD，而粘粒則再進行粘粒處理後再進行礦物鑑定。

1. 粘粒處理：將收集之粘粒分別做鉀飽和與鎂飽和處理，鉀飽和又分成室溫乾燥及 110℃，350℃，550℃ 下加熱二小時處理；鎂飽和又分成室溫乾燥及密閉器中甘油飽和處理。

2. X-射線繞射鑑定 (XRD)：採用日本 Rigaku 之 Rint 2000 型 X-射線繞射分析儀。分析條件為：銅靶之 K $\alpha$  射線；濾片為鎳；電壓為 20 KV；電流為 10 mA；繞射速度為 2°/min；Time constant 為 1；強度為 1,000 cps；範圍為 5-30°。以礦物鑑定峰出現的位置，判斷其礦物種類。並經半定量法，約略推算其礦物百分組成。

為比對河床沉積物礦物成分與海灘沉積物礦物成份之間差異，以進一步釐清海灘上的沉積物之來源，乃至曾文溪、鹽水溪、二仁溪、阿公店溪及高屏溪等五條河川之上游進行採樣，並進行 X-Ray 繞射分析。砂粒部分之繞射角度能量譜則詳圖 4.3.1 所示，粉粒部分之繞射

角度能量譜則詳圖 4.3.2 所示。因大部分粘粒在水中都會變成懸浮物，且採樣所得之海灘沉積物質地甚粗，故無需對粘粒部分進行分析。不同樣本其粗細顆粒含量不同，能萃取出來做 XRD 的量自然不同，故對於不同樣本需以不同強度 X 光照射，方能展現各樣本圖譜的特性。因此，圖上的縱軸刻度均不同，縱軸刻度之不同並不影響到分析結果之研判。

第一次採樣之樣本，選取各河川下游、河口及兩河口之中間點具代表性位置共 12 點(樣本編號：1、7、12、16、23、30、31、33、47、53、63、66)進行 X-射線繞射鑑定其礦物組成，砂粒部分之繞射角度能量譜則詳圖 4.3.3 所示，粉粒部分之繞射角度能量譜則詳圖 4.3.4 所示。

第二次採樣之樣本，選取各河川下游、河口及兩河口或兩主要海岸構造物之中間點具代表性位置共 20 點(樣本編號：1、3、7、12、15、16、19、23、27、31、33、39、44、47、50、53、57、62、63、66)進行 X-射線繞射鑑定其礦物組成，砂粒部分之繞射角度能量譜則詳圖 4.3.5 所示，粉粒部分之繞射角度能量譜則詳圖 4.3.6 所示。

礦物鑑定成果討論如下：

1. 砂粒部分之礦物成份：由圖 4.3.1、圖 4.3.3 及圖 4.3.5 可知，各個樣本之分析結果，其能量圖譜均大致相同，顯示無法藉由較大之顆粒來比對礦物成份。(圖 4.3.5 中第 27 及 44 號樣本之繞射圖譜與其他樣本不同，可能是萃取出來做 XRD 的量過少之故，但不致影響到整體成份的研判。)

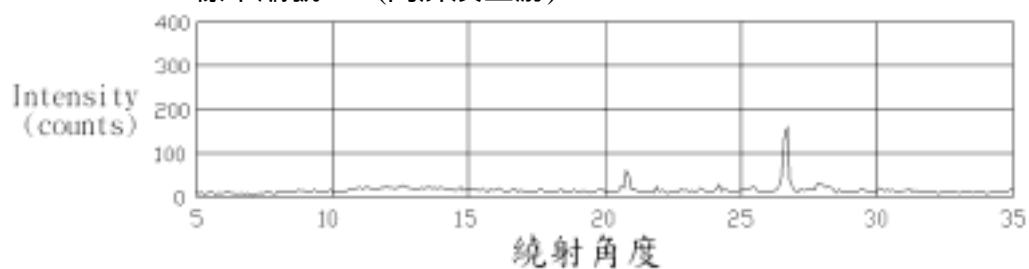
2. 河川上游之礦物成份：由圖 4.3.2 可看出，五條河川中大致上可分成三種，其中曾文溪與其他四者差異最大，鹽水溪、二仁溪及阿公店溪三者之圖譜大致上相同，而高屏溪之圖譜雖與鹽水溪、二仁溪及阿公店溪相似，仍可看出其不同。例如：高屏溪的樣本在  $12.46^{\circ}$  (綠泥石)所出現的能量峰與  $26.2^{\circ}$  (石英)之差異程度，相較於其他的河川都比較大(即高屏溪的綠泥石含量，較其他三條河川高)，而在  $18.8^{\circ}$  (也

是綠泥石)所有出現能量峰，其他三者都沒有出現；高屏溪的在  $21.9^{\circ}$  (方矽石)並沒有出現能量峰，但其他三者都有。吾人進行礦物成份比對時，亦將以此為指標。

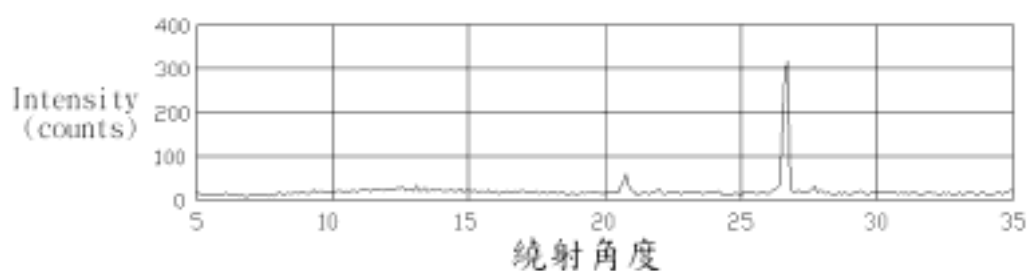
3. 第一次採樣之礦物成份：由圖 4.3.4 可看出，整體而言，所有的樣本在  $12.46^{\circ}$  的峰均相當高，除第 12、31 及 33 號樣本之外，其他在  $18.8^{\circ}$  均出現能量峰(顯示綠泥石為一項重要成份)，而除了第 7、16、33、53、60 號的樣本之外，其他在  $21.9^{\circ}$  都沒有出現能量峰。因在砂粒部分成 XRD 分析成果在  $21.9^{\circ}$  亦出現能量峰，故研判粉粒中出現的方矽石乃砂粒部分所風化而成，單就綠泥石的部分，即可說明此段海灘之沉積物大部份來自於高屏溪。此次採樣之砂粒部分(圖 4.3.3)，第 33 號樣本在  $29.1^{\circ}$  (葉蠟石)出現能量峰，除第 63 號亦出現微量之外，同一次採的其他樣本、河川上游採的樣本及第二次採的樣本，均沒有出現。

4. 第二次採樣之礦物成份：由圖 4.3.6 可看出，除了第 27 及 50 號樣本之外，其餘樣本在  $18.8^{\circ}$  均有明顯的能量峰，第 50 號樣本係因粉粒含量較少，無法取得足夠樣本進行分析，而第 27 號樣本，在  $18.8^{\circ}$  之處雖不及其他樣本明顯，但仍有些微的突起。由此可見，此段海灘之沉積物來自於高屏溪的可能性較大。

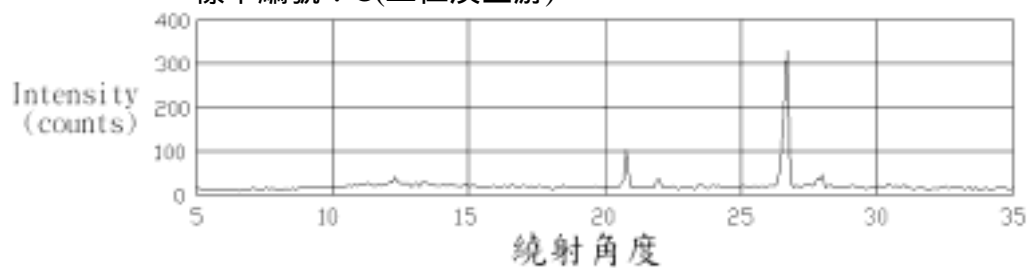
樣本編號：A(高屏溪上游)



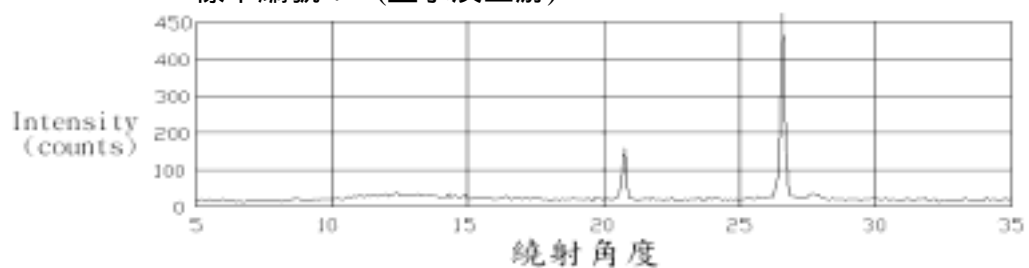
樣本編號：B(阿公店溪上游)



樣本編號：C(二仁溪上游)



樣本編號：D(鹽水溪上游)



樣本編號：E(曾文溪上游)

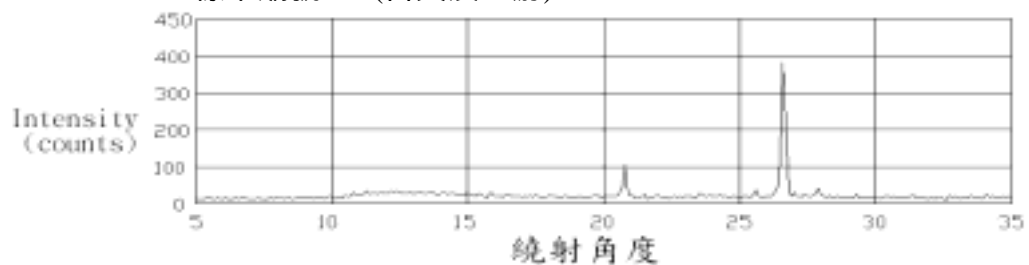
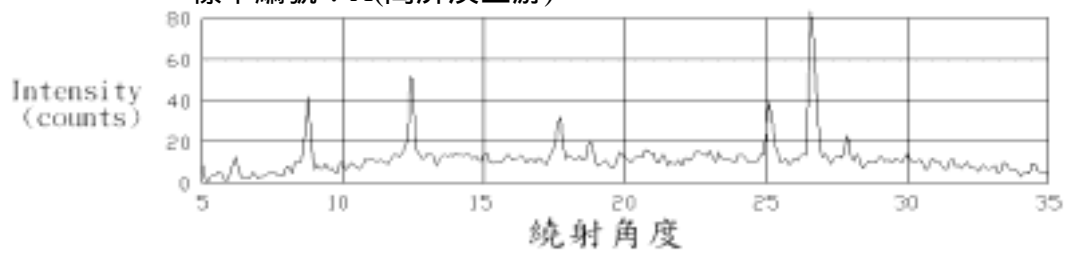


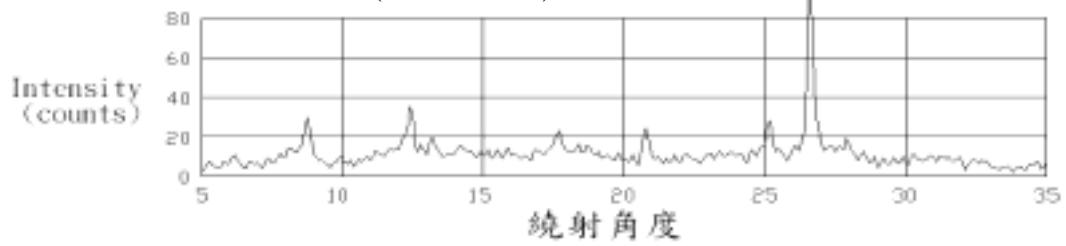
圖 4.3.1 河川上游採樣砂粒部分繞射角度能量譜



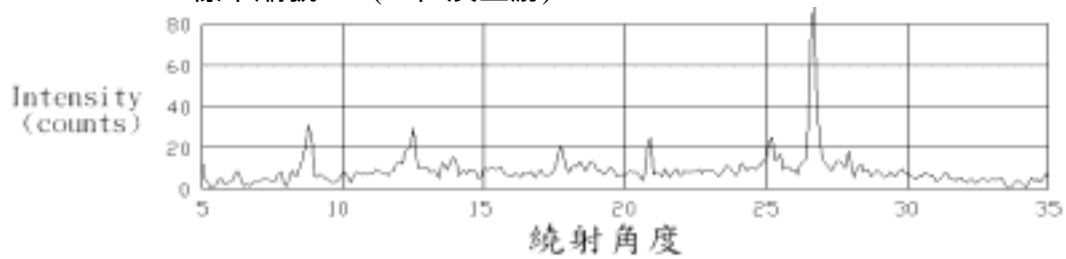
樣本編號：A(高屏溪上游)



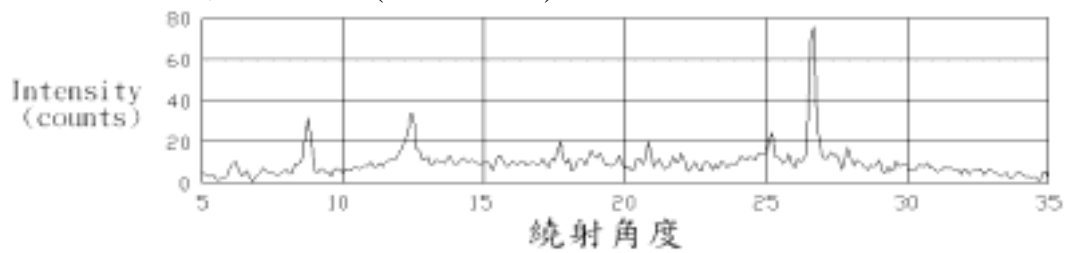
樣本編號：B(阿公店上游)



樣本編號：C(二仁溪上游)



樣本編號：D(鹽水溪上游)



樣本編號：E(曾文溪上游)

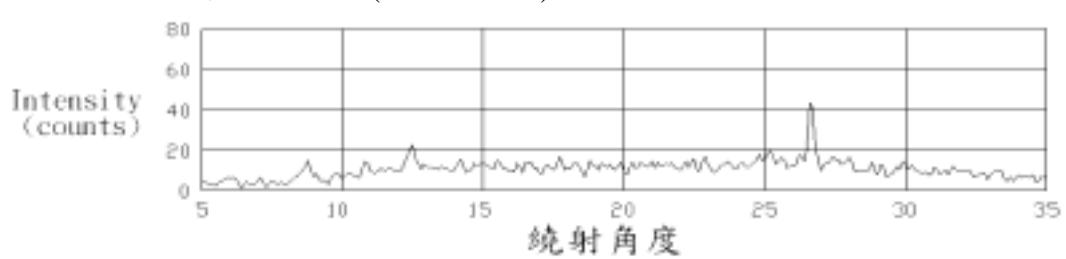


圖 4.3.2 河川上游採樣粉粒部分繞射角度能量譜

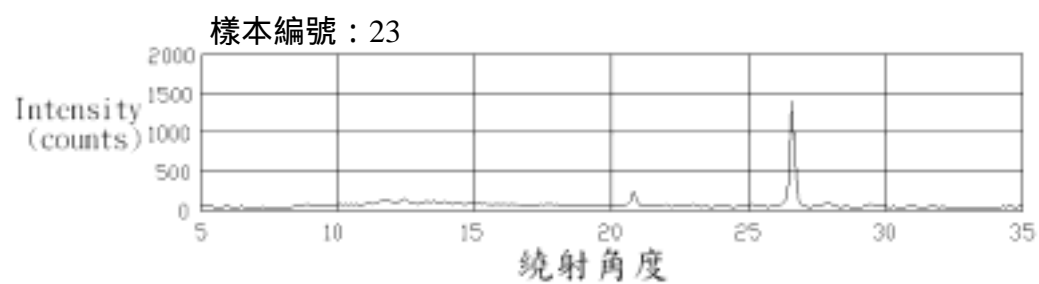
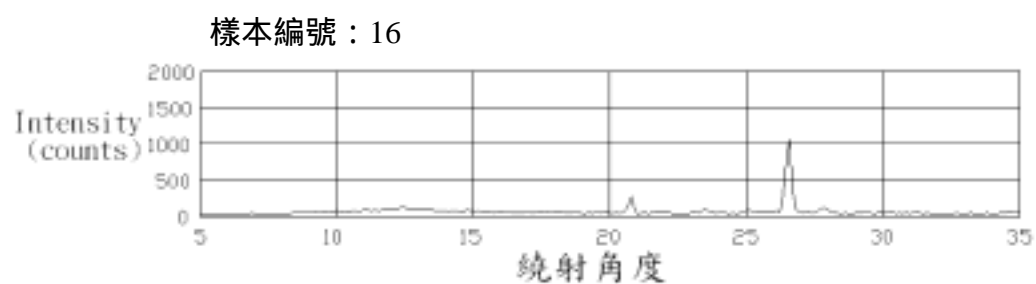
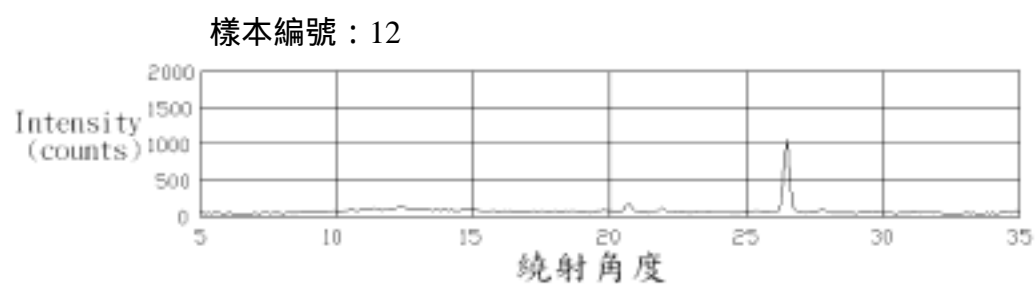
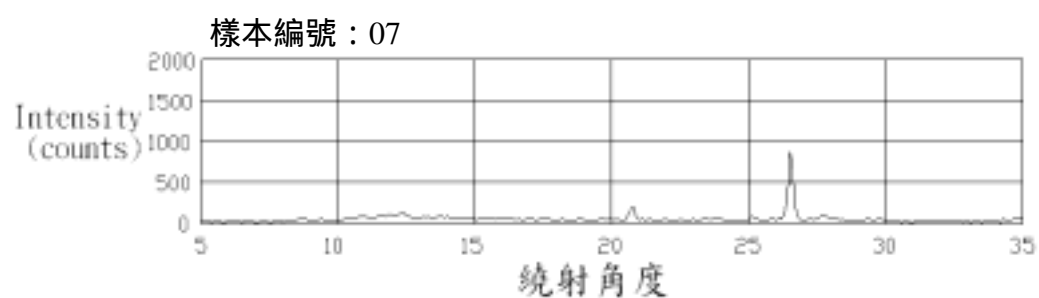
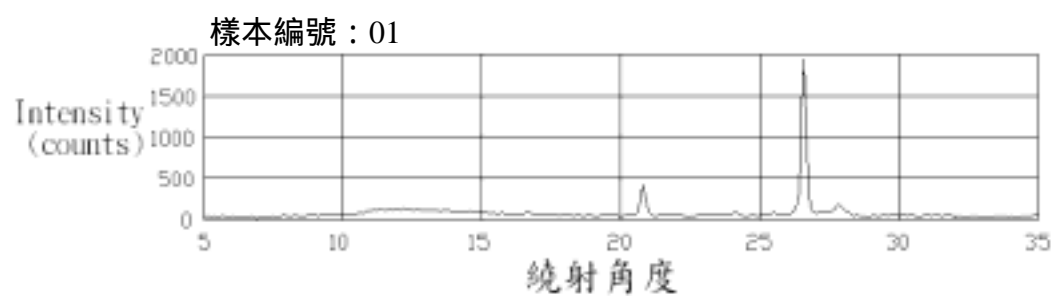
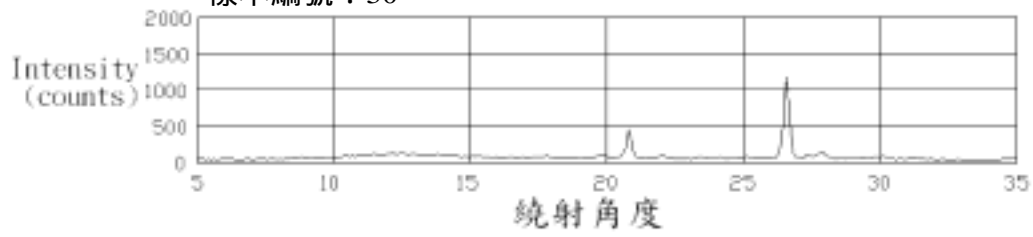
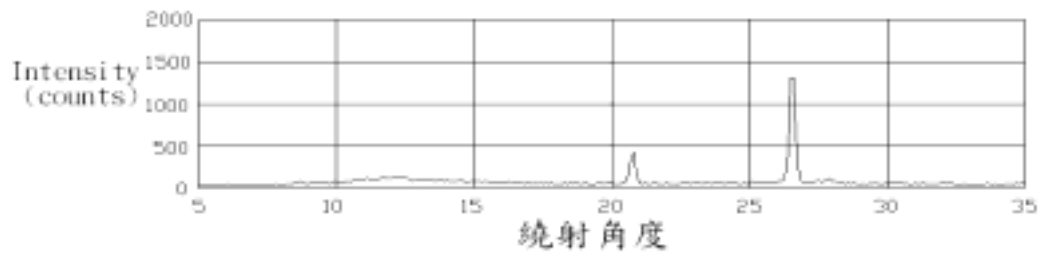


圖 4.3.3 第一次採樣砂粒部分繞射角度能量譜

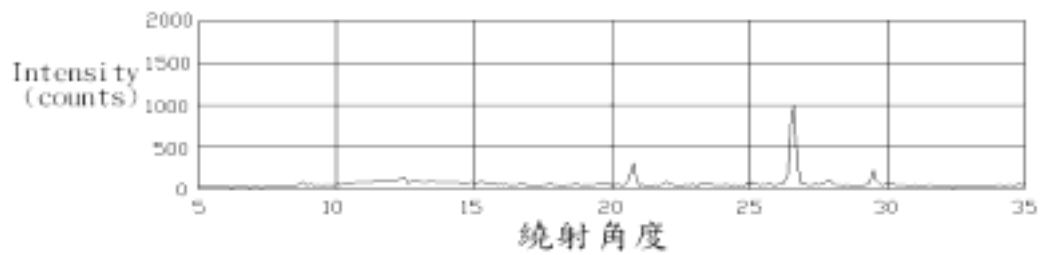
樣本編號：30



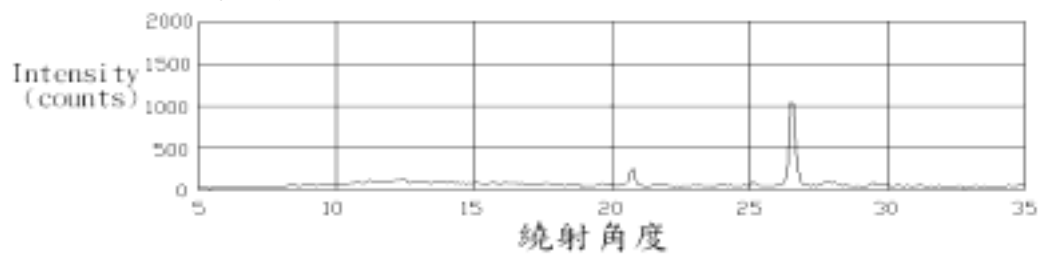
樣本編號：31



樣本編號：33



樣本編號：47



樣本編號：53

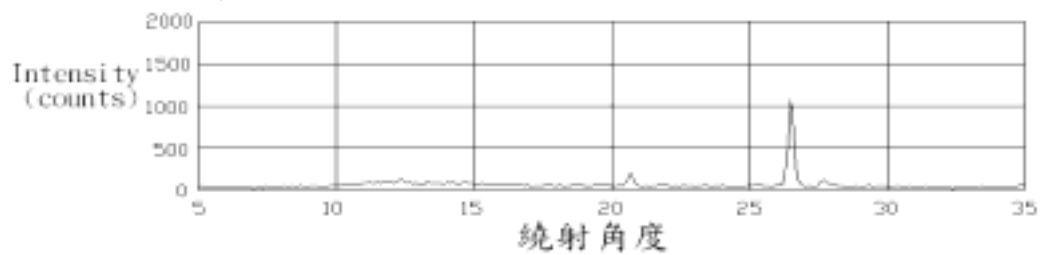
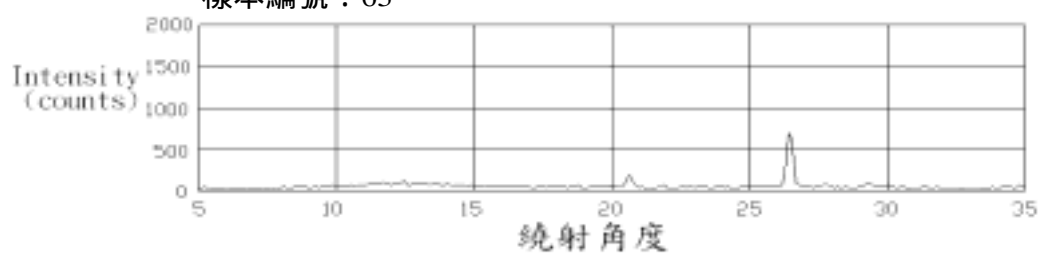


圖 4.3.3 第一次採樣砂粒部分繞射角度能量譜(續一)

樣本編號：63



樣本編號：66

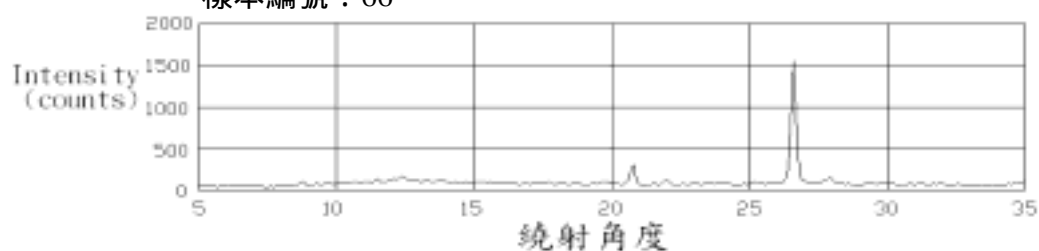
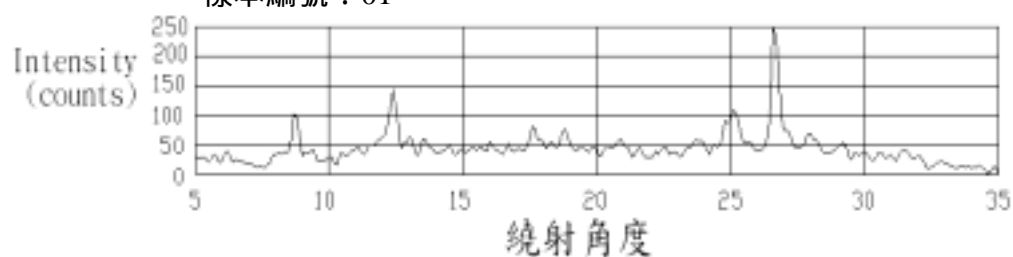


圖 4.3.3 第一次採樣砂粒部分繞射角度能量譜(續二)

樣本編號：01



樣本編號：07

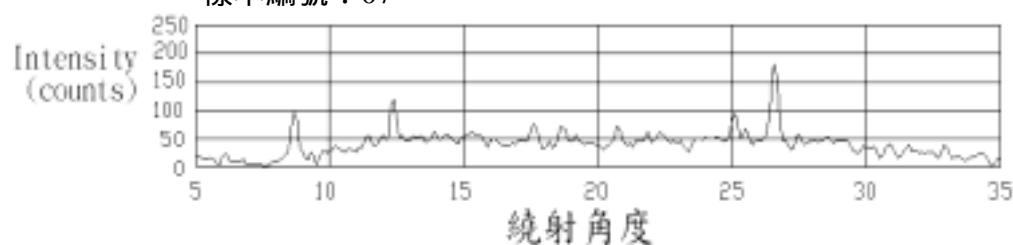
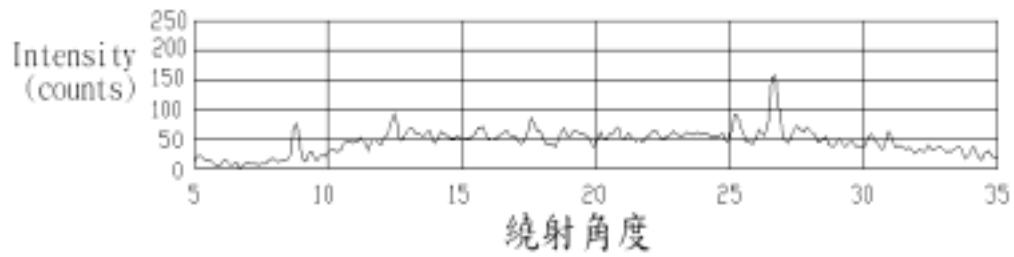
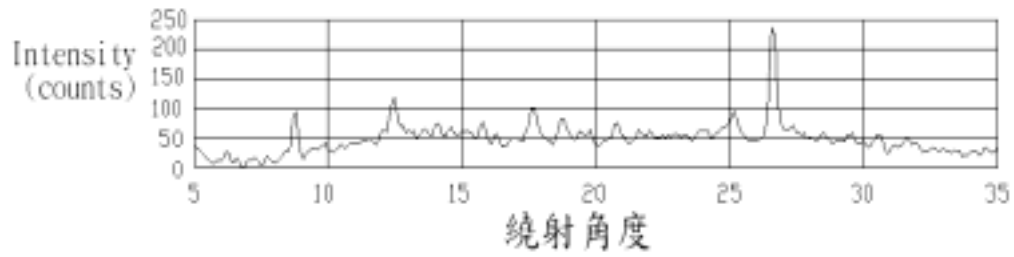


圖 4.3.4 第一次採樣粉粒部分繞射角度能量譜

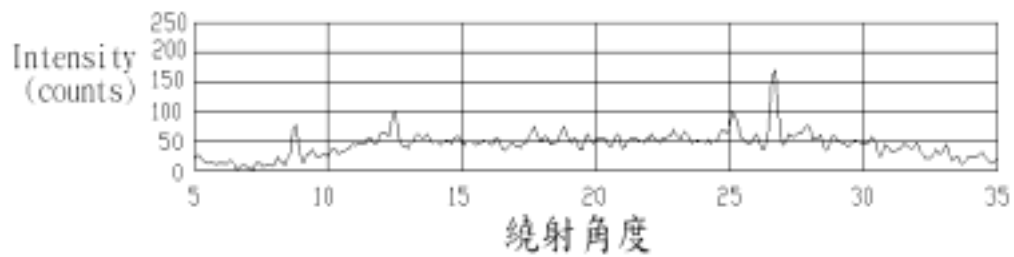
樣本編號：12



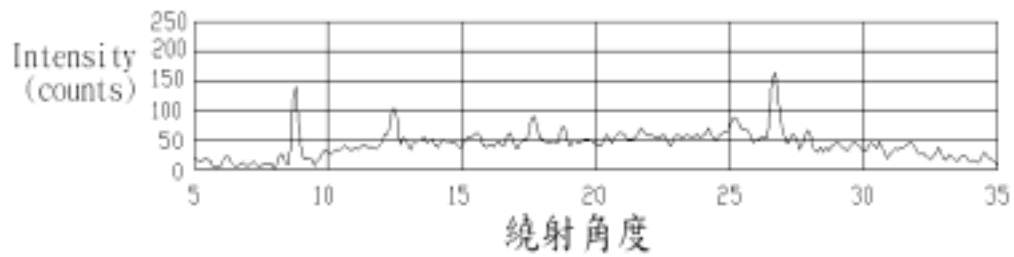
樣本編號：16



樣本編號：23



樣本編號：30



樣本編號：31

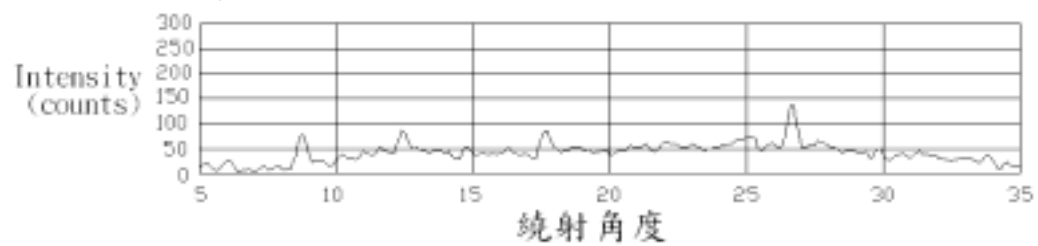
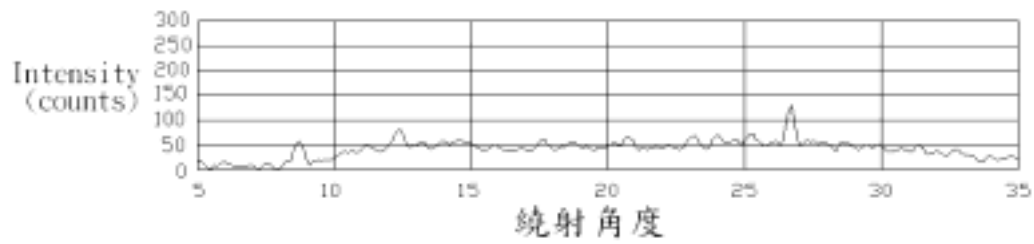
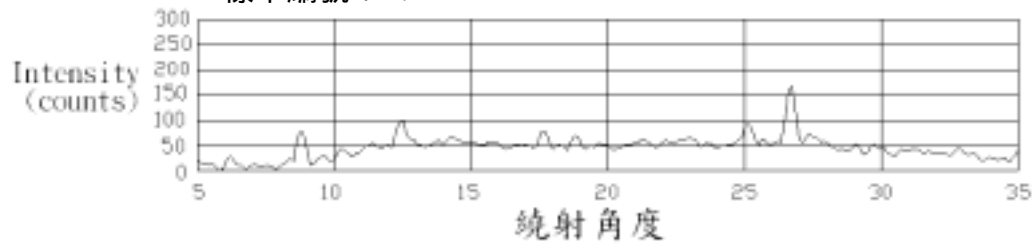


圖 4.3.4 第一次採樣粉粒部分繞射角度能量譜(續一)

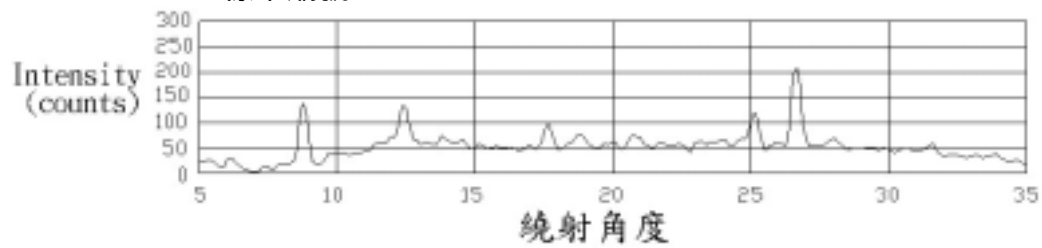
樣本編號：33



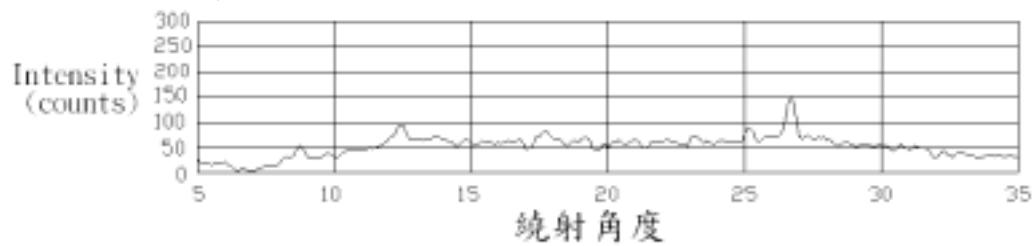
樣本編號：47



樣本編號：53



樣本編號：63



樣本編號：66

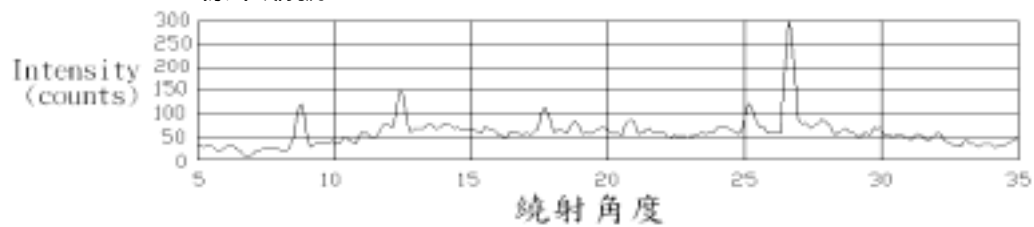
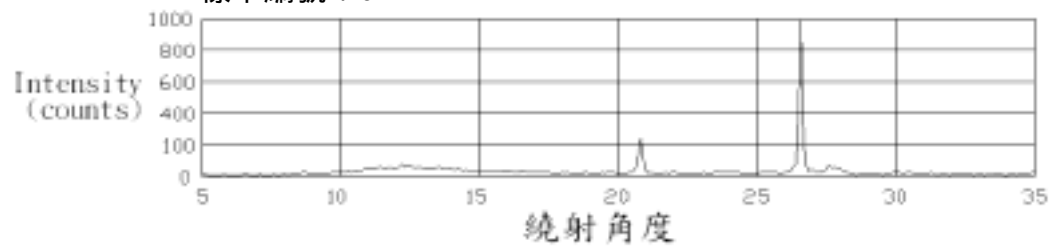
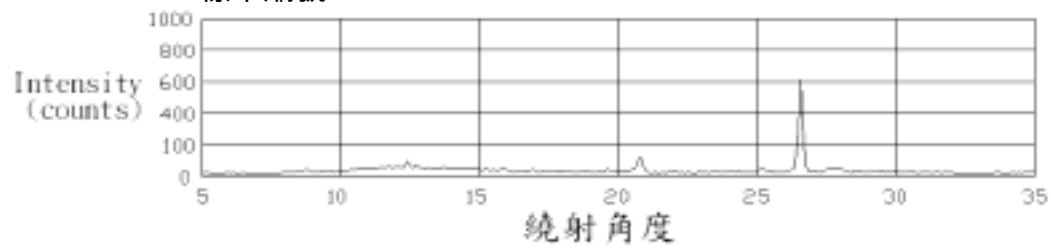


圖 4.3.4 第一次採樣粉粒部分繞射角度能量譜(續二)

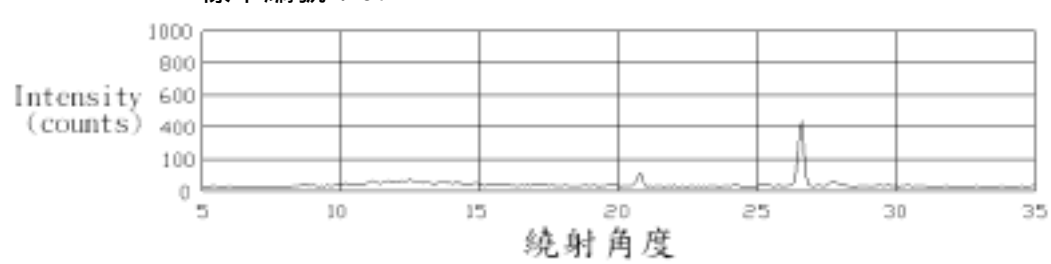
樣本編號：01



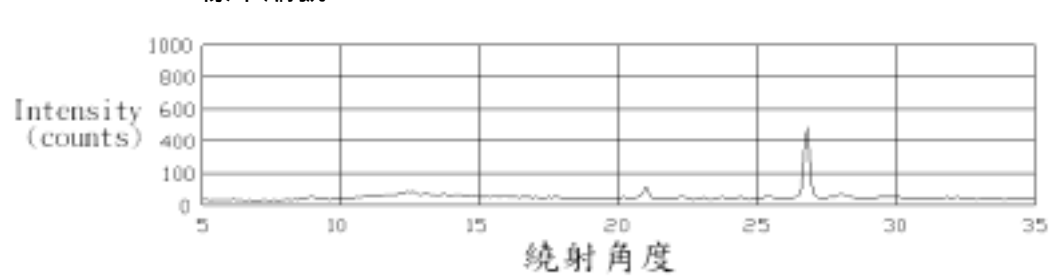
樣本編號：03



樣本編號：07



樣本編號：12



樣本編號：15

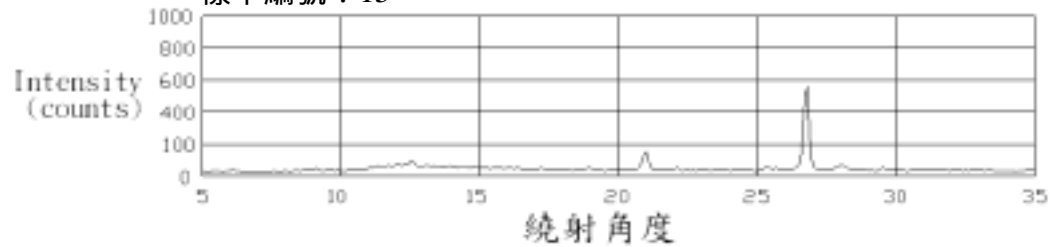


圖 4.3.5 第二次採樣砂粒部分繞射角度能量譜

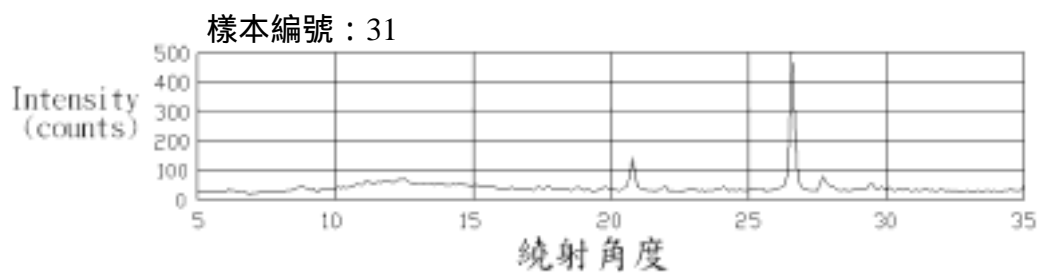
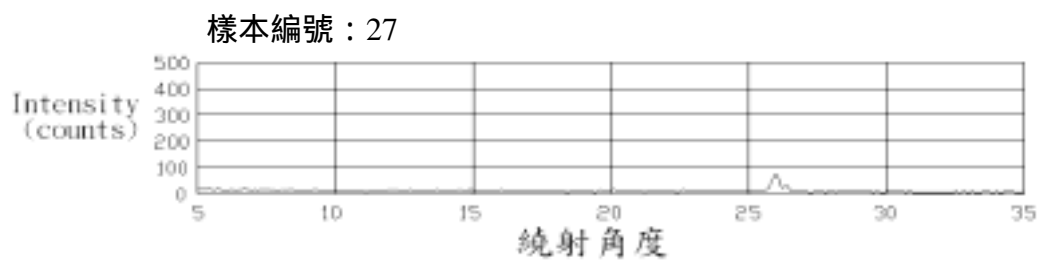
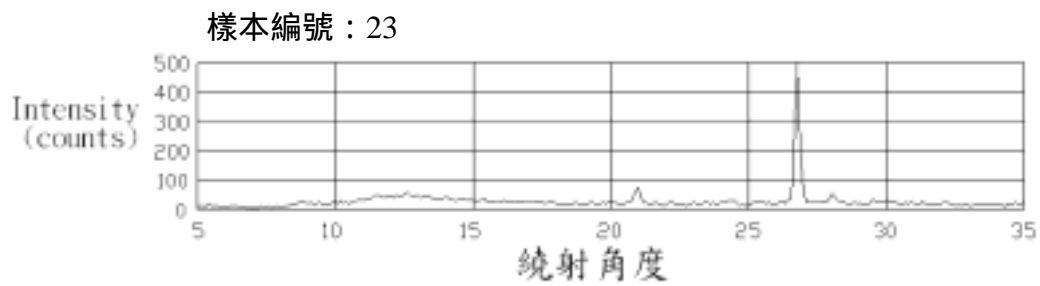
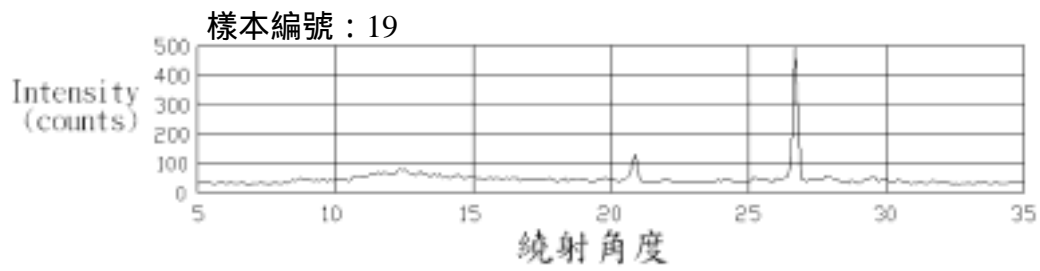
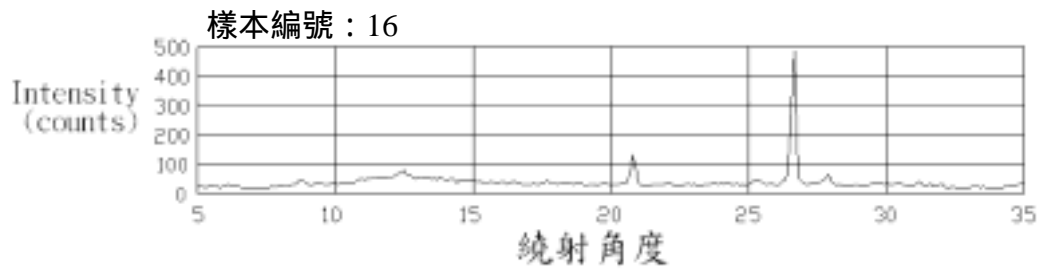
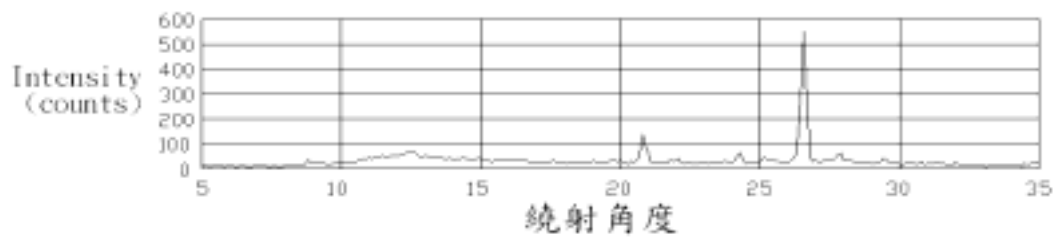


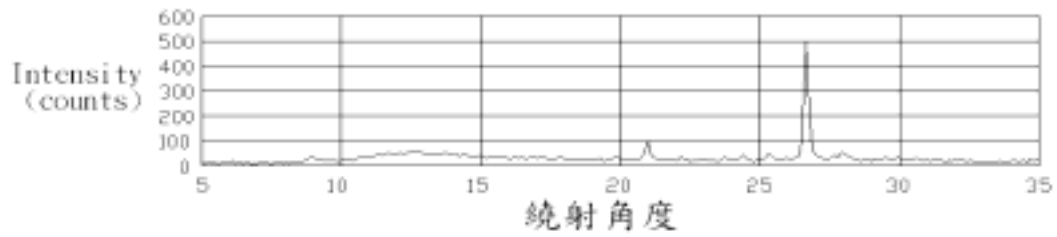
圖 4.3.5 第二次採樣砂粒部分繞射角度能量譜(續一)



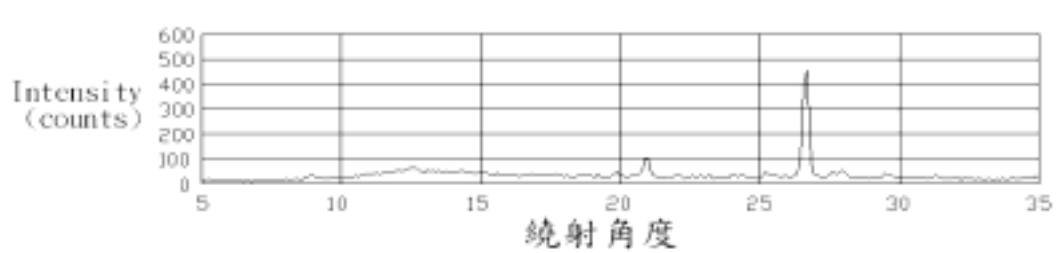
樣本編號：33



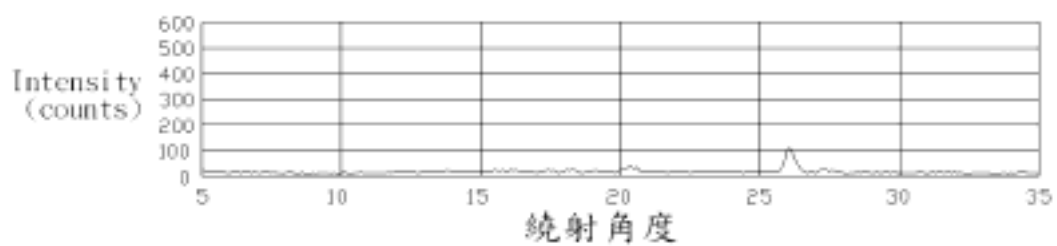
樣本編號：39



樣本編號：44



樣本編號：47



樣本編號：50

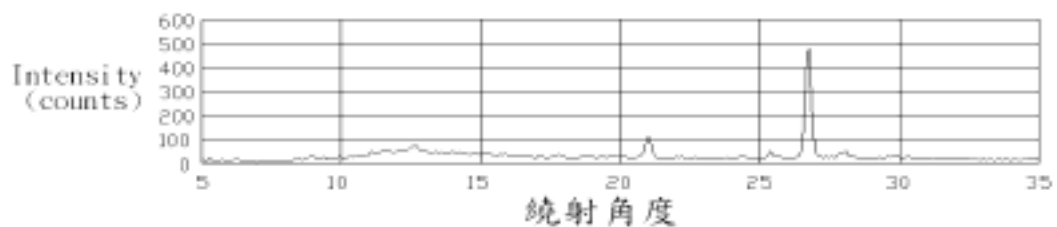
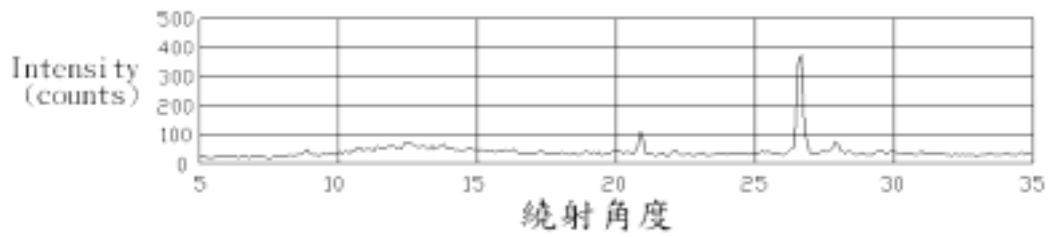
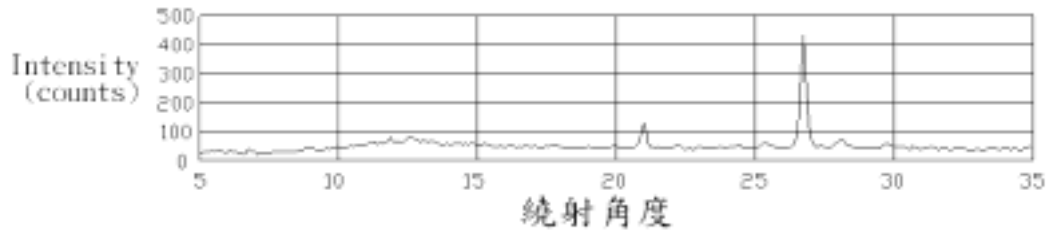


圖 4.3.5 第二次採樣砂粒部分繞射角度能量譜(續二)

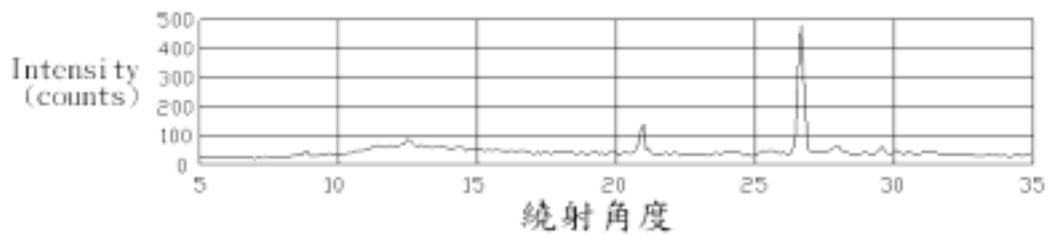
樣本編號：53



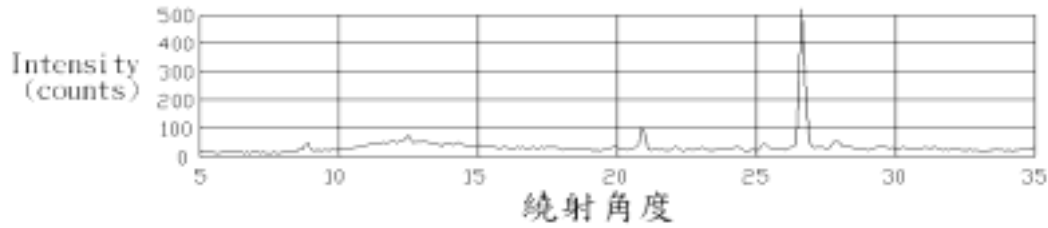
樣本編號：57



樣本編號：62



樣本編號：63



樣本編號：66

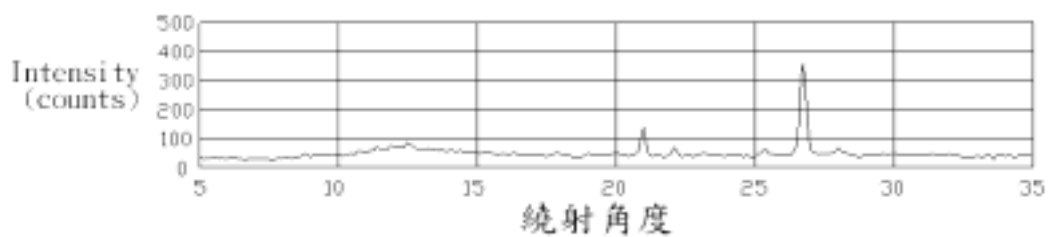
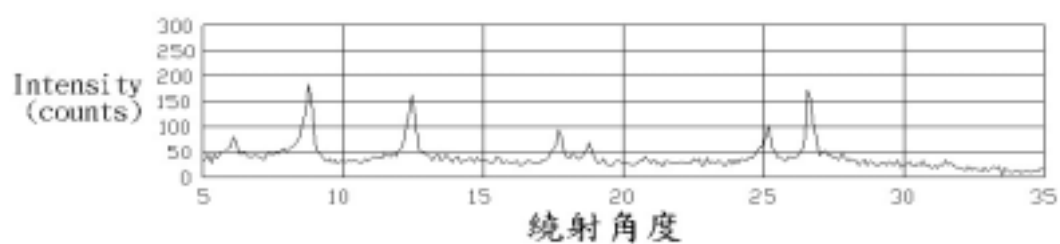
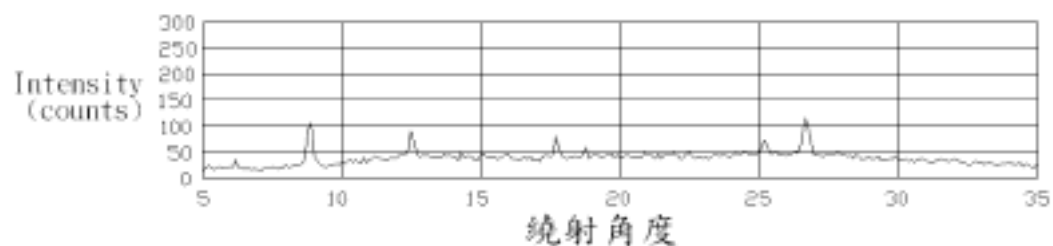


圖 4.3.5 第二次採樣砂粒部分繞射角度能量譜(續三)

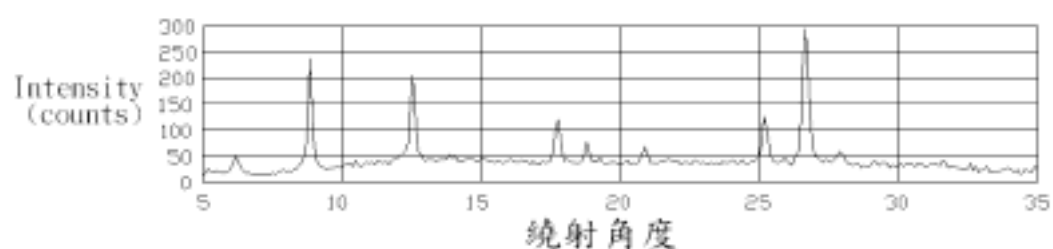
樣本編號：01



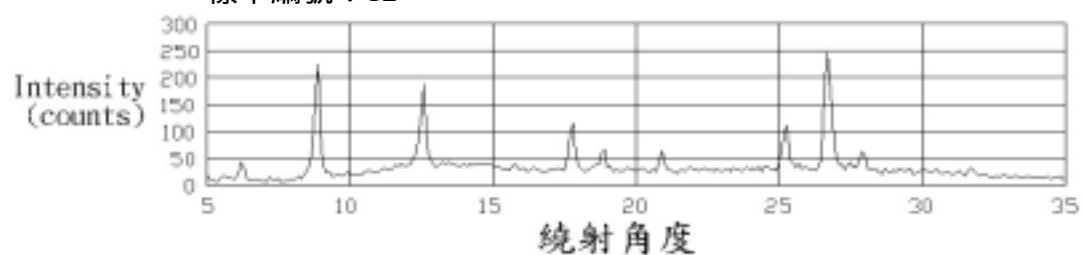
樣本編號：03



樣本編號：07



樣本編號：12



樣本編號：15

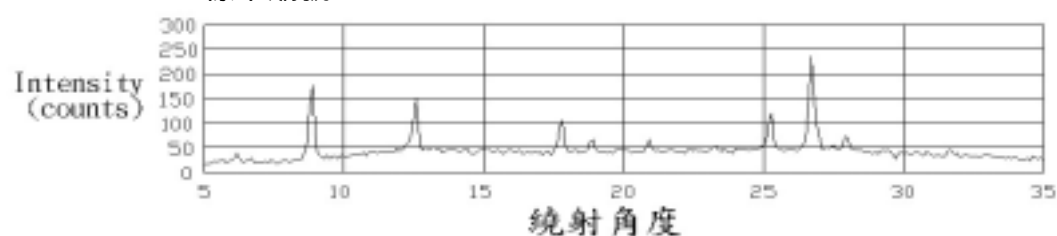
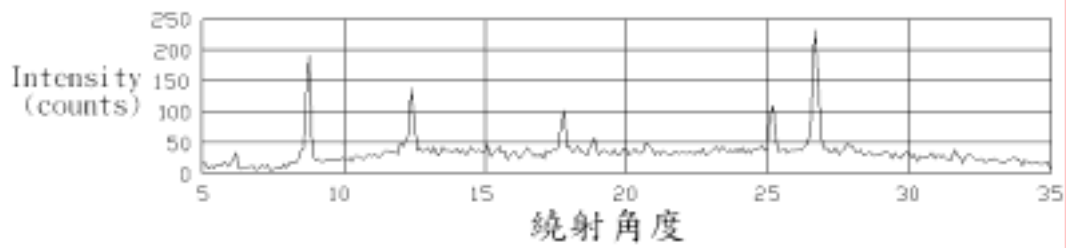
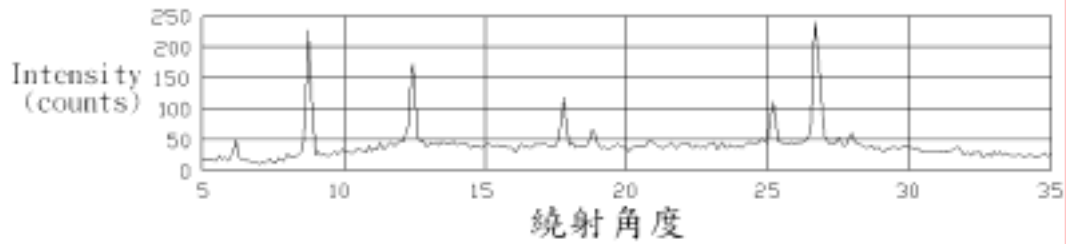


圖 4.3.6 第二次採樣坩粒部分繞射角度能量譜

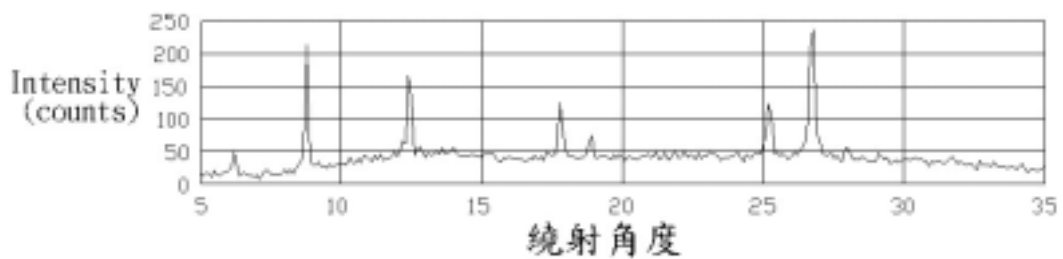
樣本編號：16



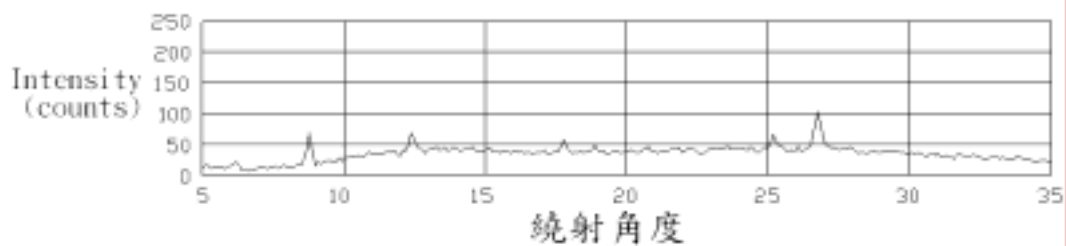
樣本編號：19



樣本編號：23



樣本編號：27



樣本編號：31

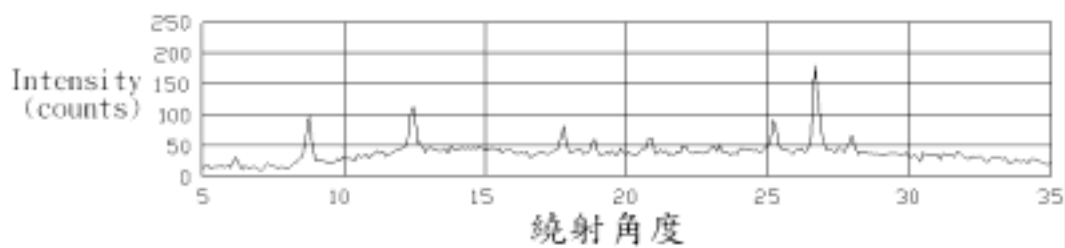
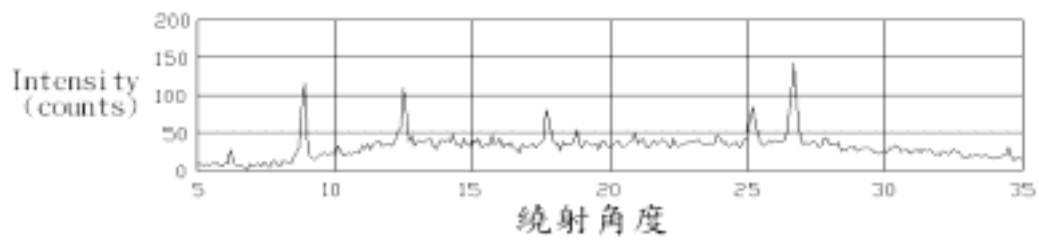
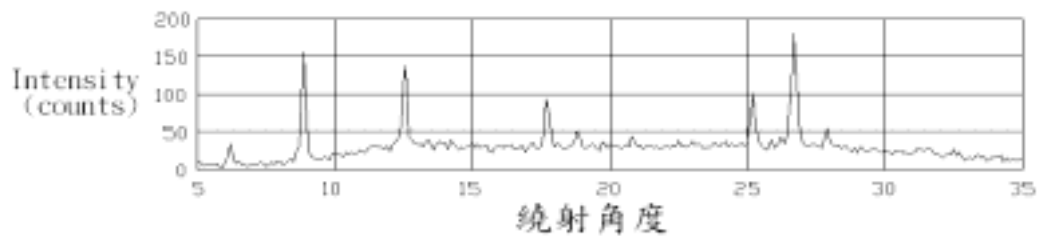


圖 4.3.6 第二次採樣粉粒部分繞射角度能量譜(續一)

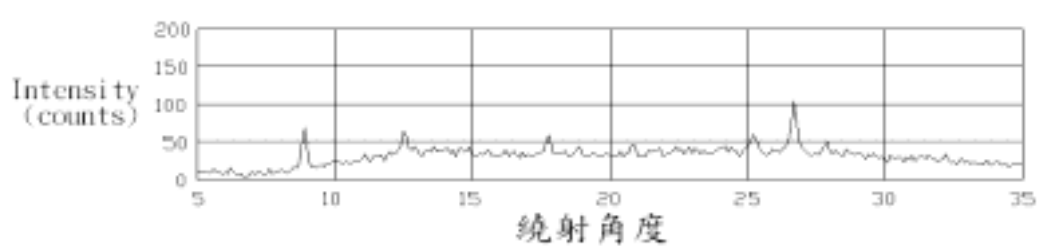
樣本編號：33



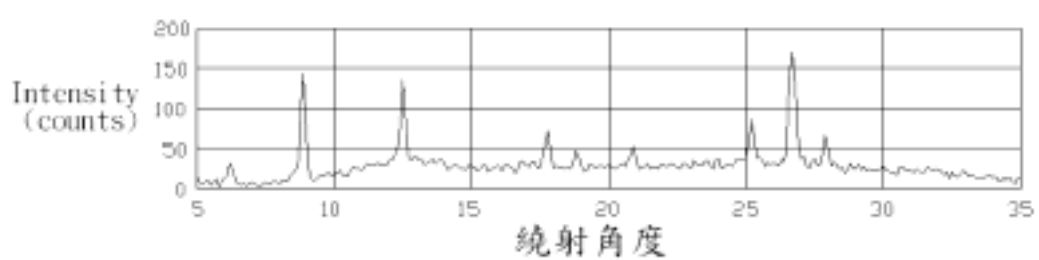
樣本編號：39



樣本編號：44



樣本編號：47



樣本編號：50

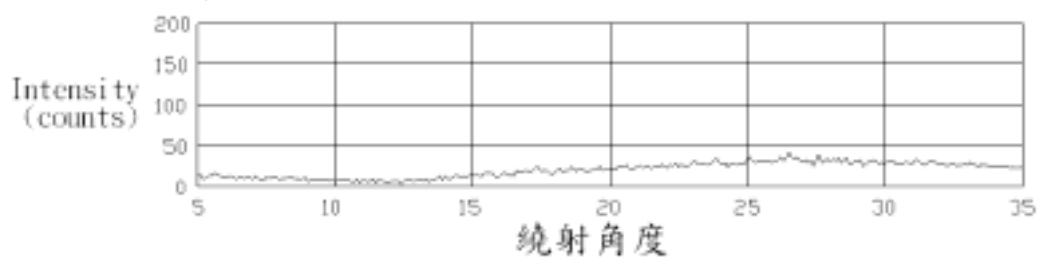
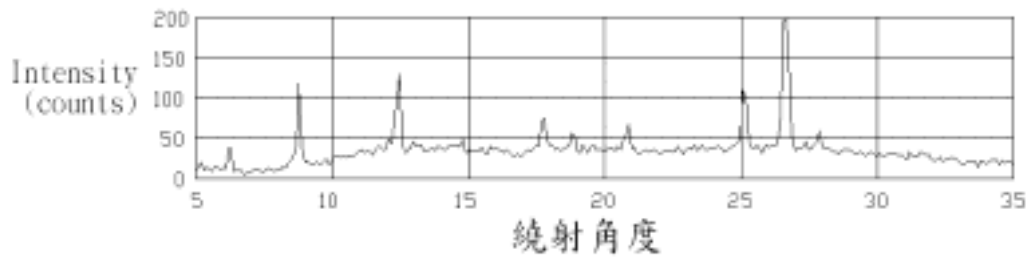
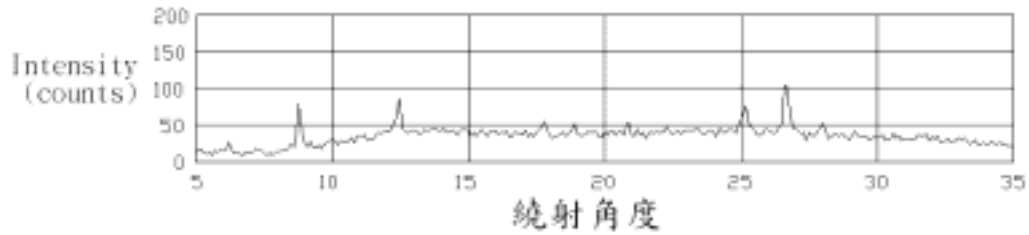


圖 4.3.6 第二次採樣粉粒部分繞射角度能量譜(續二)

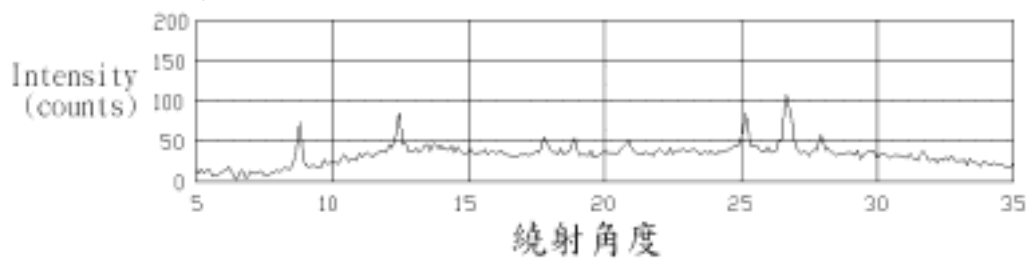
樣本編號：53



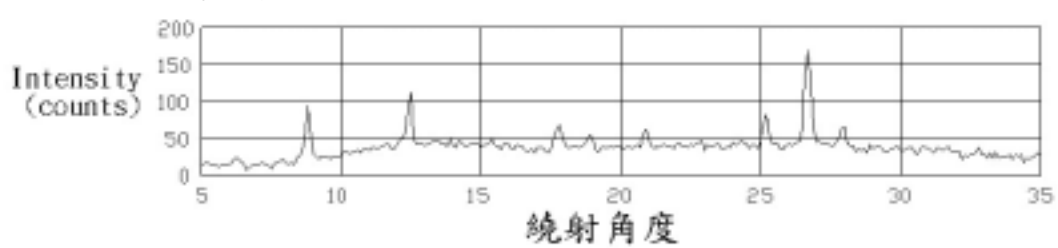
樣本編號：57



樣本編號：62



樣本編號：63



樣本編號：66

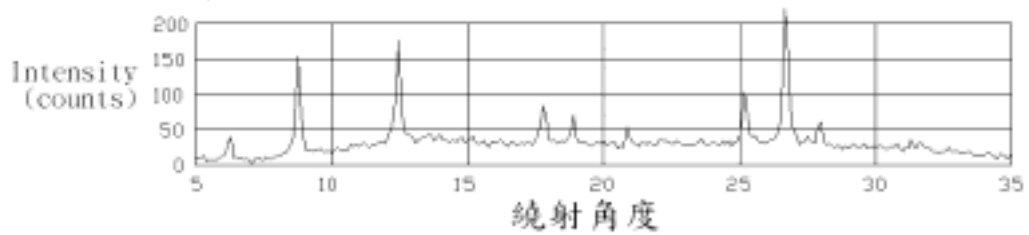


圖 4.3.6 第二次採樣坩粒部分繞射角度能量譜(續三)

## 第五章 高雄海域漂沙特性之研判

### 5.1 由現場觀測及數值模擬之流場研判漂沙特性

流場為影響漂沙移動之主要動力，雖然由流場之資訊，無法全面定量推算海岸漂沙之移動特性，但由流場之特性基本上，亦可概估漂沙之可能優勢方向。本年度現場觀測資料分析及數值模擬之重點就著重在流場方面，下年度現場觀測資料分析及數值模擬之重點再著重在漂沙方面，以下僅就現場觀測資料分析及數值模擬之流場嘗試研判漂沙之可能優勢方向。

高雄海域之流場特性，根據觀測資料分析及數值模擬之結果，說明潮流、恒流及颱風期間之暴潮流為主要成份。以下將就三種流場之特性，及對漂沙之可能影響說明如后。

潮流具週期性，此段海域主要成份為半日潮流，其次為全日潮流，潮流橢圓長軸受海岸影響呈細長型，且與海岸線平行，觀測資料分析大潮時之潮流大小約 50cm/s 左右，數值計算則可顯示整個平面之流場。在臺灣西部近海岸之水域，因太平洋潮波作用於臺灣島，潮波之繞射效應，一般經驗顯示漲潮時段，於南部海域海流之流向為向北，北部海域海流之流向為向南，水體有向中部集中之現象；而退潮時段，於南部海域海流之流向為向南，北部海域海流之流向為向北，水體有離開中部之現象；西部海域大部份區域如淡水、安平、興達等皆符合上述現象，但南部高雄港外海及高屏溪口外海處局部地區之漲退潮方向，卻與上述現象相反，即漲潮時海流大多向東南，退潮時海流大多向西北，可能是受局部地形影響所致。但因為潮流之往返運動特性，除非地形水深分配差異甚大，否則來回力量應相差不大，漂沙一個週期內來回之移動量差異也不會太大。

恒流方面，高雄港 1992 全年恒流之向量平均值為 1.4 cm/s，流向 S，略向南之趨勢，但流速甚小甚難以此為定論。興達港興達港 1985 全年恒流向量平均值為 7.5 cm/s，流向 S，有南之趨勢。高屏溪河口 2000 年 6 月恒流之向量平均為 9.3 cm/s，流向 NNE，因僅不足一個月之資料，代表性稍嫌不足。恒流成份甚複雜，受地形、季節、波浪、洋流支流、非線性特性等因素影響，甚困難掌握其隨時間之變化特性，且因地形效應影響甚大，平面之變化甚大，局部點之特性，並不能代表附近海岸之一般特性；恒流因為長時間固定力之作用，對海岸漂沙之遷移有甚大影響，在數值計算仍不易模擬之情形，長期較全面之觀測為求得恒流之最好方法。

颱風期間之暴潮流方面，高雄海域附近長期觀測波浪資料並不完整，大部份觀測期間甚短不具代表性，或是缺少代表性之颱風波浪，因此不易得到長期代表性之季風波浪條件或颱風波浪條件。廖等(2002)在高雄旗津海岸研究推算 20 年迴歸期 SSW 向颱風波浪，示性波高 6.8m，示性週期 11.9sec。交通部運輸研究所港灣技術研究中心於 2001 年尤特颱風影響期間(7 月 4 日至 7 月 6 日)在安平港測到的最大示性波高 5.5m，示性週期 10sec，波向 SW(來向)相近。2000 年 7 月尤特颱風在安平港港口測得之暴潮流大小約為 56cm/s，流向 NW。2000 年 9 月納莉颱風同在安平港港口測得之暴潮流大小約為 51cm/s，流向 NNW。颱風期間之暴潮流雖然期間甚短，但因其作用力甚為強大，對海岸漂沙之影響，並不小於季風或潮汐。但因颱風之複雜及多變性，對海岸漂沙長期之遷移影響，並不容易估算。

## 5.2 由現場調查之粒徑分析及礦物成份分析研判漂沙特性

由第四章之分析結果，初步可看出：

- 1.由粒徑分析之結果，二仁溪下游(河川裡)的沉積物，其顆粒遠小於高屏溪下游(也是河川裡的)沉積物，而海灘上的沉積物，其粒徑分佈特性與高屏溪的較接近。



2. 本計畫區的整段海灘，其包含礦物成份均大致相同，差別僅在各礦物成份所佔百分比之不同而已。

3. 藉由各河川上游之礦物成份分析，可知高屏溪河川上游的河床沉積物，其成份綠泥石含量較其他河川高。

4. 藉由海灘沉積物礦物成份分析結果與各河川上游之礦物成份分析結果的比對，可研判計畫範圍內整段海灘之沉積物來自於高屏溪的可能性較大。

5. 不論是東北季風季節過後的採樣分析結果，還是夏季季風季節過後的分析結果，均顯示前述 1~4 項的分析結果。

## 第六章 結論與建議

### 6.1 結論

1. 高雄海域之流場特性，根據觀測資料及數值模擬之結果，說明潮流、恒流及颱風期間之暴潮流為主要成份。
2. 分析高雄港、興達港及高屏溪口及外海之觀測資料，顯示潮流主要為半日潮流及全日潮流，潮流橢圓長軸受海岸影響呈細長型，且與海岸線平行，大潮潮流大小約一節左右，數值計算顯示整體平面之變化不大。
3. 高雄港 1992 全年恒流之向量平均值為  $1.4 \text{ cm/s}$ ，流向 S，略向南之趨勢，但流速甚小。興達港興達港 1985 全年恒流向量平均值為  $7.5 \text{ cm/s}$ ，流向 S，有南之趨勢。高屏溪河口 2000 年 6 月恒流之向量平均為  $9.3 \text{ cm/s}$ ，流向 NNE，恒流成份甚複雜，受地形、季節、洋流支流、非線性特性等因素影響，甚困難掌握其隨時間之變化特性，且因地形效應影響甚大，平面之變化甚大，局部點之特性，並不能代表附近海岸之一般特性；恒流因為長時間固定力之作用，對海岸漂沙之遷移有甚大影響，在數值計算仍不易模擬之情形，長期較全面之觀測為求得恒流之最好方法。
4. 2000 年 7 月尤特颱風在安平港港口測得之暴潮流大小約為  $56 \text{ cm/s}$ ，流向 NW。2000 年 9 月納莉颱風同在安平港港口測得之暴潮流大小約為  $51 \text{ cm/s}$ ，流向 NNW。颱風期間之暴潮流雖然期間甚短，但因其作用力甚為強大，對海岸漂沙之影響，並不小於季風或潮汐。但因颱風之複雜及多變性，對海岸漂沙長期之遷移影響，並不容易估算。

5. 本計畫在數值模擬成果方面，水位模擬結果較佳，流速及流向雖亦能掌握到其大小及趨勢，但仍有改進空間，下年度將繼續朝此方向改善，使流場算得更準。另本年度僅進行流場之模擬，下個年度則將進行漂沙之模擬。漂沙數值模擬，將以某一年度的地形測量結果為初始地形條件，模擬結果再與過幾年的地形測量結果比較，即可驗證。
6. 由現場調查之結果，就粒徑分析來看，不論那一次的採樣分析結果，二仁溪河川裡的沉積物顆粒較細，高屏溪裡的和海灘的顆粒較粗，海岸的沉積物來自於高屏溪的可能性較大。
7. 由現場調查之結果，就礦物成份分析來看，阿公店溪、二仁溪及鹽水溪河川裡的沉積物礦物成份極為接近，而高屏溪裡的沉積物礦物成份與阿公店溪裡的雖然相似，仍可看出其差異所在(綠泥石成份較其他河川多)，而這些差異，正可以做為研判研究範圍內海岸沉積物來源之重要指標。
8. 經比對研究範圍內海岸沉積物礦物成份與鄰近河川上游河床沉積物礦物成份，可進一步研判整個研究範圍的海岸上的沉積物，來自於高屏溪的可能性較大。然而，此結果僅能說明大致上之長期趨勢，對於短期、局部性之侵淤，仍須以其他方法(如數值)等來探討。

綜合以上，本計畫之成果在漂沙優勢方向之探討上可謂向前邁進了一大步。在現有的報告中，對於彌陀、蚵子寮海域逐年侵蝕之現象，到底是北邊的河川因水土保持做得太好了而造成，還是來自南邊的砂被高雄港攔住了而造成(亦即，這地區的漂沙方向到是由南往北還是由北往南)，至今仍無定論。而本計畫分析結果很明確地顯示，由南往北的可能性遠比由北往南的可能性大得多。高雄港第一港口每年淤的那些沙，若照本計畫目前之研究成果，其實都是

要往彌陀、蚵子寮海域那邊漂過去的，但每年都挖起來丟到外海去，在砂源被截的情形下，彌陀、蚵子寮海域的侵蝕是必然的。

## 6.2 建議

1. 本計畫在現場調查方面，本年度只採集海灘上面的沉積物來進行分析，其結果僅能說明海灘上沉積物之來源為高屏溪。然而，在水深較深處之漂沙是否與海灘上之漂沙具相同特性，仍待進一步釐清，建議本計畫下年度之採樣方式(或未來若有相關計畫)，改採朝深水方向去進行。
2. 對於下年度之現場調查工作，建議以坐船方式，在研究範圍內選取 4 到 5 個斷面(最好是海岸構造物的上、下游)，進行斷面採樣，朝與海岸線垂直的方向在不同水深處(水深每增加 5m 或距離每增加 200m 採一點)，共採 3 到 4 個點，以分析礦物成份或粒徑特性在向、離岸方向上之變化情形，進一步釐清深水處之漂沙是否與海灘上之漂沙具相同特性，以及漂沙在向離岸方向上之趨勢與特性。

## 參考文獻

1. 蘇青和，"興達港外淺水地區海流特性及成因之研究"，國立台灣大學海洋研究所，碩士論文，1970。
2. 張金機，蘇青和，"台電興達火力發電廠海象調查研究報告"，專刊第 25 號，港灣技術研究所，1986。
3. 郭金棟，陳文俊，"彌陀地區海岸地形變化之研究"，國立成功大學水利暨海洋工程系所，1990。
4. 郭金棟，"台灣海岸線比較圖"，國立成功大學水利及海洋工程研究所，1990。
5. "中華民國八十年水文年報"，經濟部水資源局，1991。
6. 張金機，曾相茂，"高雄海域海氣象調查研究"，專刊第 89 號，港灣技術研究所，1993。
7. 黃序文，"台灣西部近岸沉積物之重礦物組成-由 Q 型因子分析法推測近岸沉積物傳輸方向"，國立台灣大學海洋研究所碩士論文，1995。
8. 海岸地區整體規劃之研究，內政部營建署委託，葉榮椿主持，1995。
9. 陳明禮，"沿海地陷對海岸地形變遷影響之研究"，國立台灣大學造船及海洋工程研究所碩士論文，1995。
10. 劉文俊，台灣的潮汐，自費出版，ISBN：957-97334-9-x，1999。
11. 簡仲和，許泰文，黃建維，邱耀達，溫志中，"海岸侵蝕防治對策研究-高雄林園段之探討"，國立成功大學水利暨海洋工程系所，1997。
12. 蘇青和，莊文傑，曾哲茂，"高雄港港池水理模式之研究"，港灣技術研究所，基本研究報告，86-研(十三)，1997。

13. 莊文傑，江中權，”高雄港港區水理數值模擬研究”，台灣省政府交通處港灣技術研究所，基本研究報告，86-研(十三)-1，1997。
14. 張金機，黃清和，”台灣四周海岸侵蝕現況分析”，八十六年度海岸工程研討會-台灣四周海岸沖蝕防治技術，第 1-26 頁，1997。
15. 廖宏儒，”台灣西部海岸沉積物的來源與散佈型態-傅立葉顆粒外形分析法之應用”，國立台灣大學海洋研究所碩士論文，1997。
16. 蘇青和，”高雄港近岸及港內地區海流特性之研究”，港灣技術研究所，基本研究報告，87-研(十一)-1，1998。
17. 丹麥水力研究所(DHI)，”MIKE 21-HD 使用手冊”，1999。
18. 丹麥水力研究所(GHI)，”MIKE 21-HD 使用手冊”，1999。
19. 郭金棟著，孫寶年編寫，”消失的海岸”，聯經出版社，139 頁，1999。
20. 蘇青和、廖慶堂，”潮位極值統計分析(一)”，國科會補助計畫研究報告，NSC 88-2625-Z-124-002，1999。
21. 簡仲和，黃建維，容震軒，朱志煌，”蚵子寮海岸侵蝕防治對策研究(I)”，國立成功大學水利暨海洋工程系所，1999。
22. 歐善惠，許泰文，李兆芳，”海岸災害防救暨永續利用整體規劃(Ⅰ)”，成功大學水利及海洋工程學系研究報告，255 頁，1999。
23. 姜宏偉，”由岩心沉積物之有機碳同位素研究來探討台灣西部平原區晚更新世以來的海岸環境變遷”，國立台灣大學地質研究所碩士論文，2000。
24. 蘇青和、廖慶堂，”潮位極值統計分析(二)”，國科會補助計畫研究報告，NSC 89-2625-Z-124-001，2000。
25. 簡仲和，黃建維，唐文堂，朱國棟，朱志煌，郭晉安，”蚵子寮海岸侵蝕防治對策研究(Ⅱ)”，國立成功大學水利暨海洋工程系所，2000。
26. “中華民國八十八年水文年報”，經濟部水資源局，2000。

27. 歐善惠，許泰文，張憲國，”永續的鑽石海岸”，經濟部水資源局，2001。
28. 張育嘉、曾若玄，”高屏海底峽谷之流場觀測”，第 23 屆海洋工程研討會，2001，P171~178。
29. 蘇明賢，”岡山平原地形之探討”，  
<http://kangshan.tacocity.com.tw/203.htm>，2002。
30. 廖學瑞、朱志誠、張欽森，”數值模式於海岸治理規劃之應用—以高雄旗津海岸為例”，港灣報導季刊，第 62 期，2002 年 10 月，P11~24。
31. 莊文傑，江中權，”台灣四周海域海流數值模擬研究(二)-高雄港海域潮汐與潮流之數值模擬研究”，交通部運銷研究所 MOTC-IOT-IHMT-NA9017 基本研究報告，2002。
32. 蘇青和、吳基、徐如娟、林受勳，”安平港港口區域潮汐及海流特性研究”，第 24 屆海洋工程研討會，2002，投稿中。
33. Bruun, P., “Sea-level Rise as A Cause of Shore Erosion”, Journal of Waterways and Hydraulics Division, ASCE, Vol. 88, pp. 117-130, 1962.
34. Jenkins, R., Snyder R. L., " Introduction to X-ray powder diffractometry ", Wiley, New York, 1996.
35. Ehrlich, R., Brown, P. J., Yarus, J. M., and Przygocki, R. S., “The Origin of Shape Frequency Distributions and the Relationship Between Size and Shape”, Journal of Sedimentary Petrology, 50, 475-484, 1980.
36. Liou, C.H., and Hsu, C.Y., “Petroleum Exploration on the Southwestern plain of Taiwan”, Petroleum Geology of Taiwan 24, pp.18-36, 1988.
37. Chen, H. W., Kuo, C. T., Chien, C. H. and Chen, W. J., “Sea Level Change and Coastal Erosion in Western Taiwan”, International Workshop, Planning for Climate Change Through Integrated Coastal

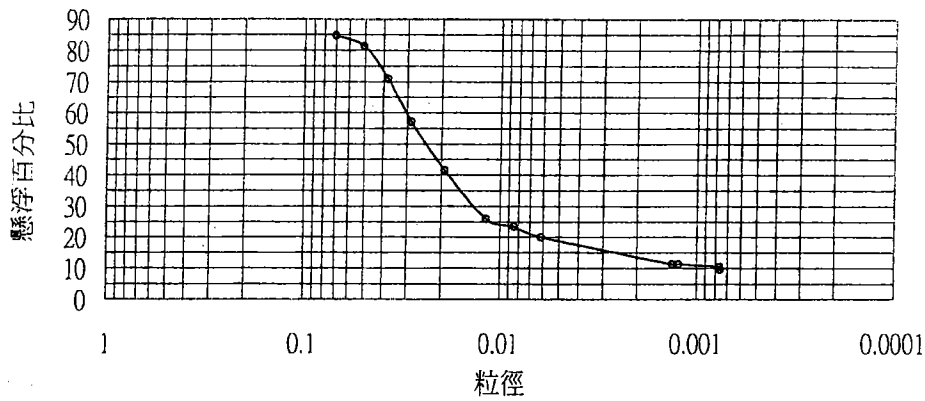
Zone Management, Organized by Energy & Resources Lab., Taipei, 1997.



## 附錄一

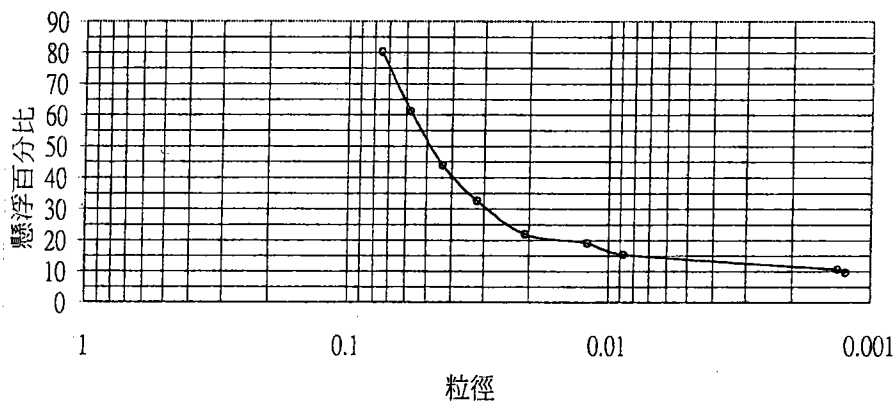
### 第一次採樣樣本粒徑分佈曲線

土壤顆粒分析圖(1)



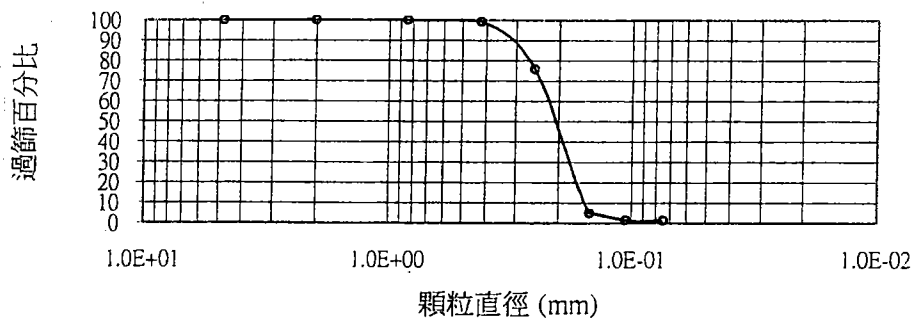
d10 = 0.00076  
 d25 = 0.01038  
 d50 = 0.02379  
 d60 = 0.03018  
 d75 = 0.04224  
 Cu = 39.73196  
 Sk = 0.77485  
 So = 4.06939

土壤顆粒分析圖(2)



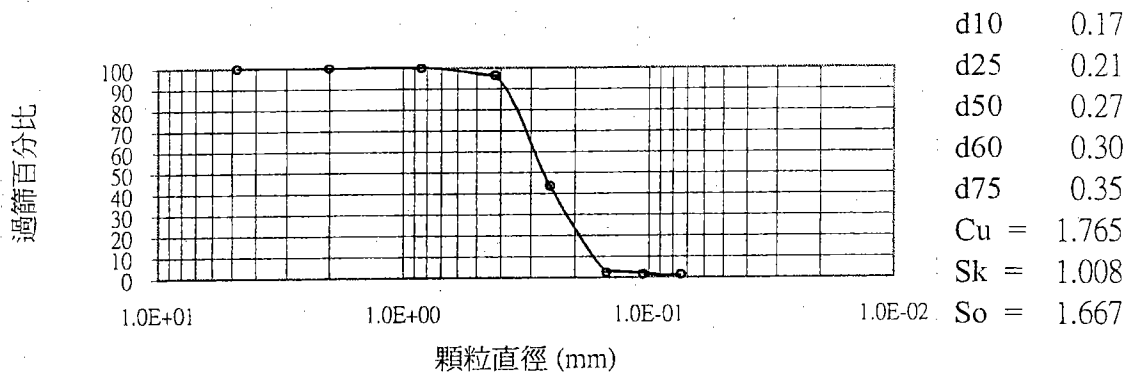
d10 = 0.0013  
 d25 = 0.0234  
 d50 = 0.0478  
 d60 = 0.0564  
 d75 = 0.0695  
 Cu = 44.1510  
 Sk = 0.7111  
 So = 2.9636

土壤顆粒分析圖 (3)

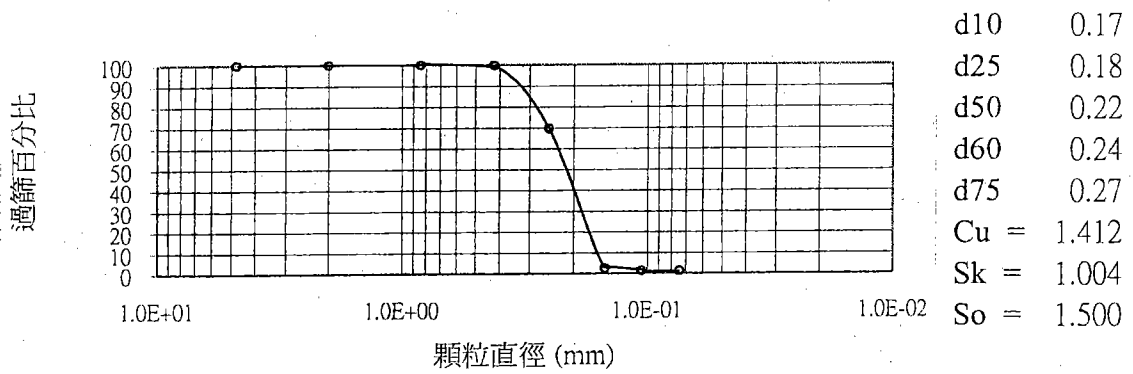


d10 = 0.16  
 d25 = 0.18  
 d50 = 0.20  
 d60 = 0.22  
 d75 = 0.25  
 Cu = 1.375  
 Sk = 1.125  
 So = 1.389

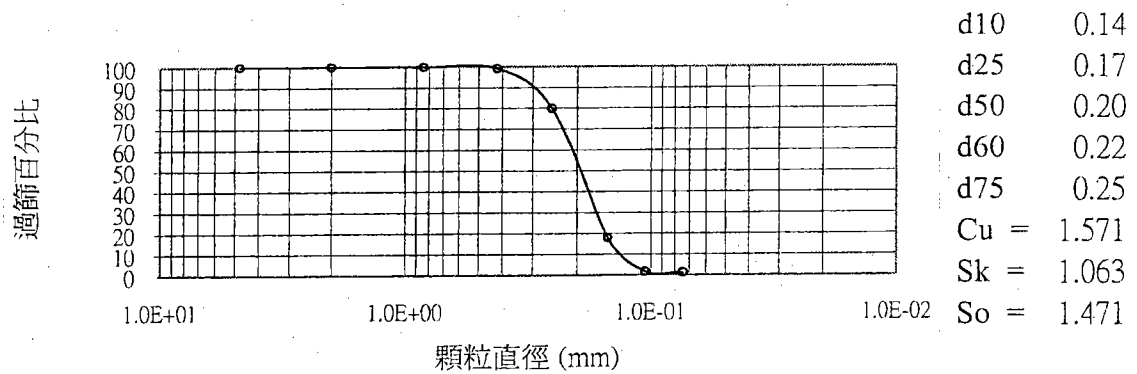
土壤顆粒分析圖 (4)



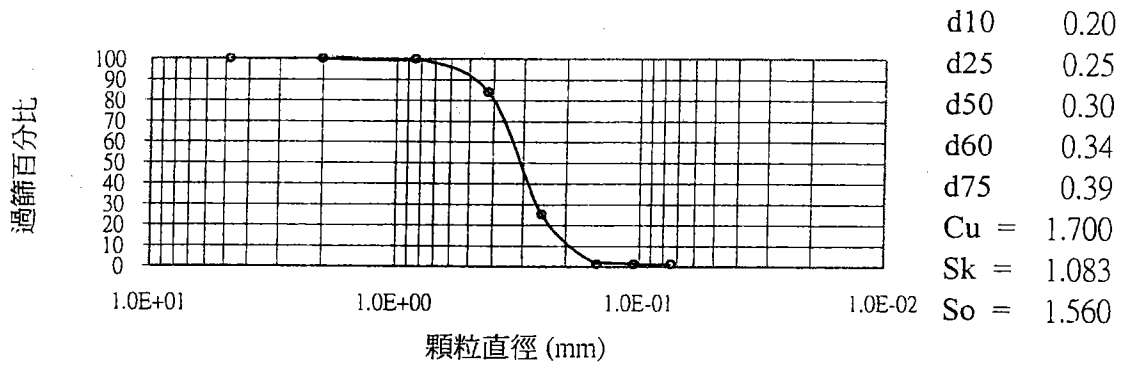
土壤顆粒分析圖 (5)



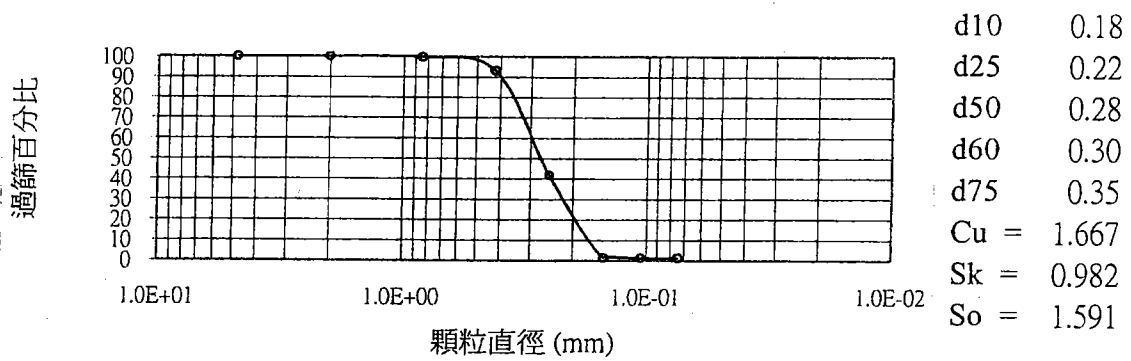
土壤顆粒分析圖 (6)



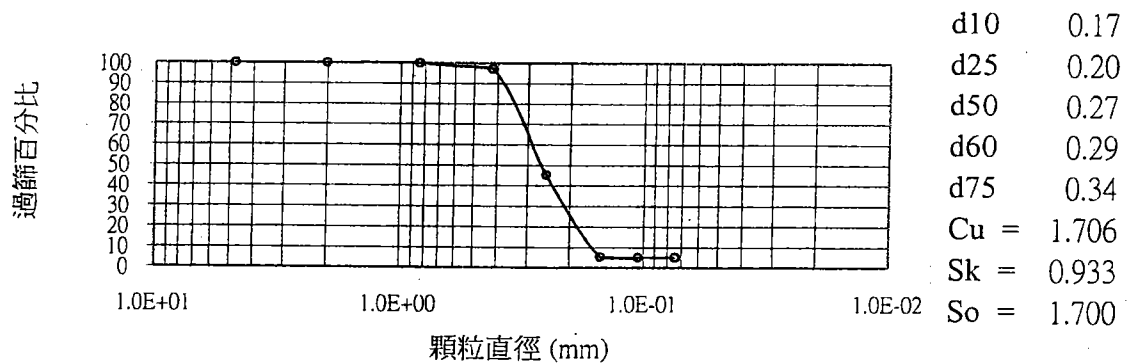
土壤顆粒分析圖 (7)



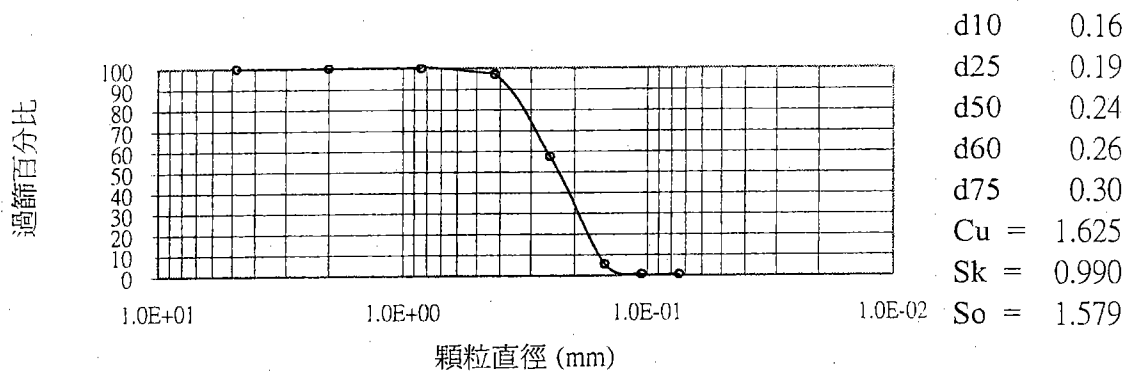
土壤顆粒分析圖 (8)



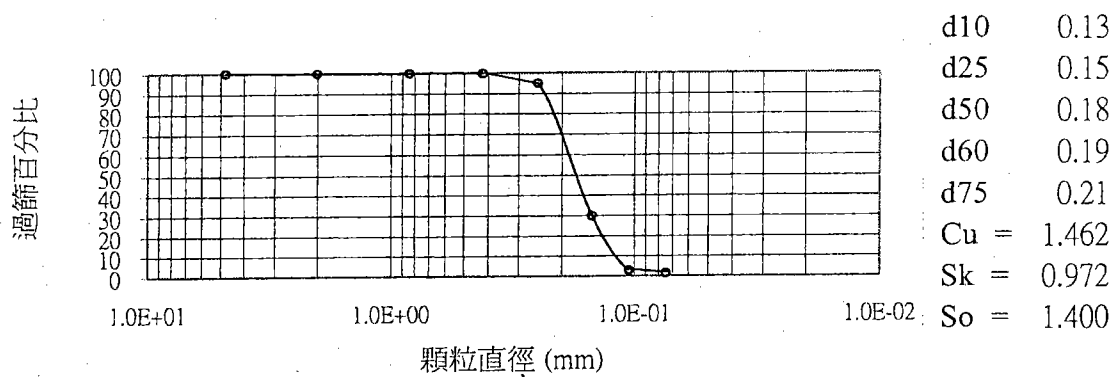
土壤顆粒分析圖 (9)



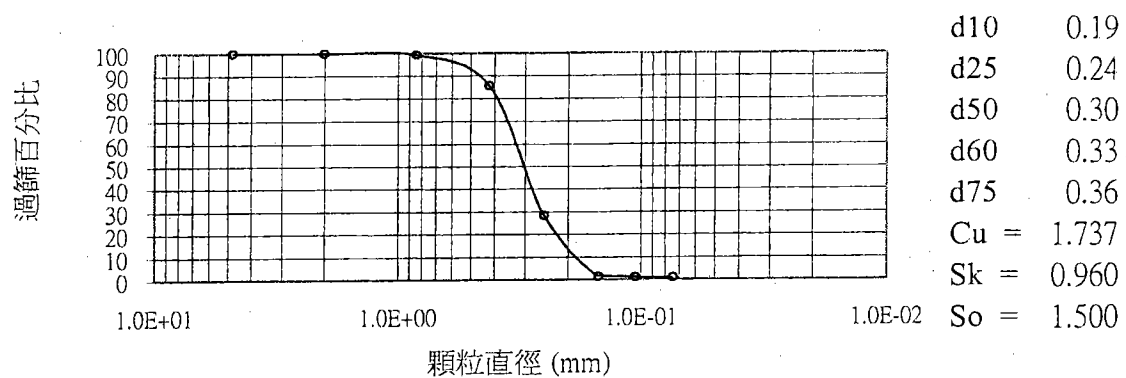
土壤顆粒分析圖 (10)



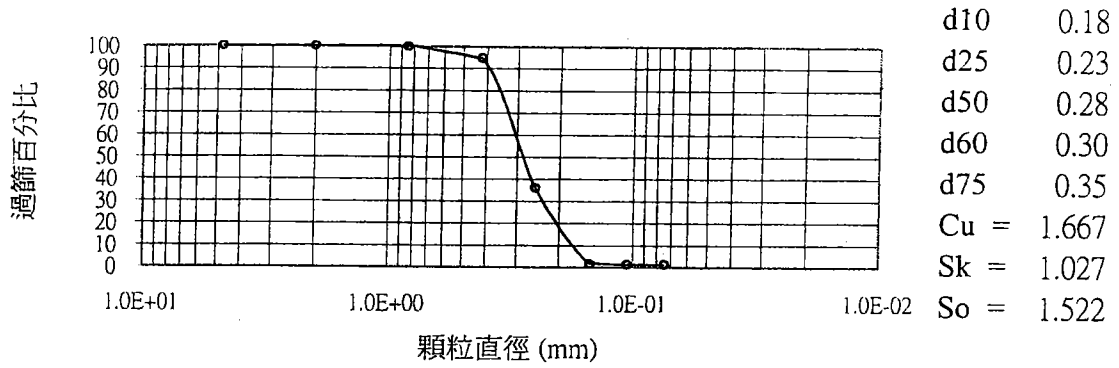
土壤顆粒分析圖 (11)



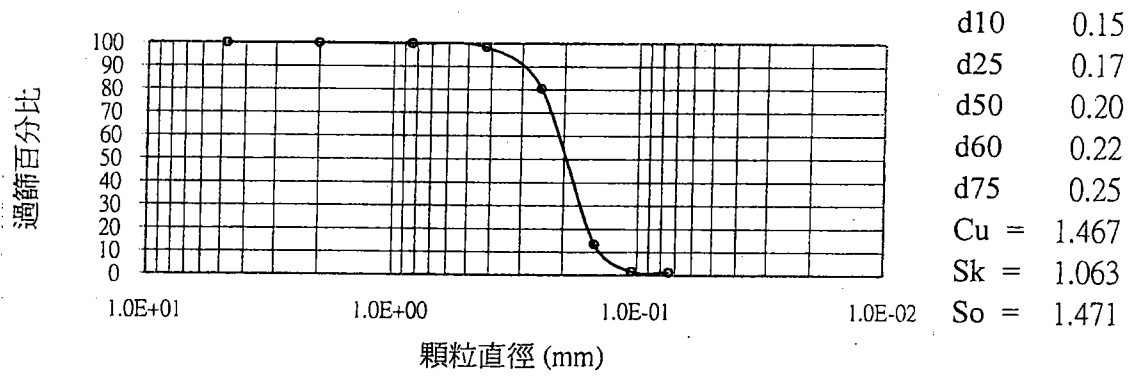
土壤顆粒分析圖 (12)



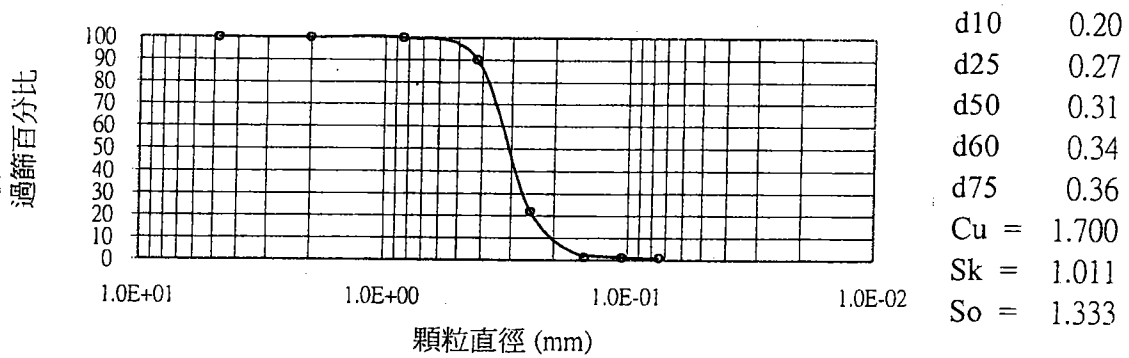
土壤顆粒分析圖 (13)



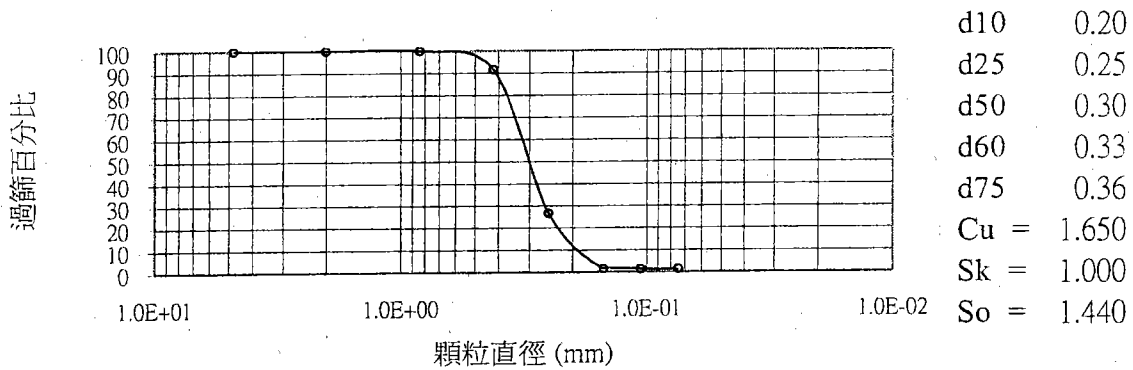
土壤顆粒分析圖 (14)



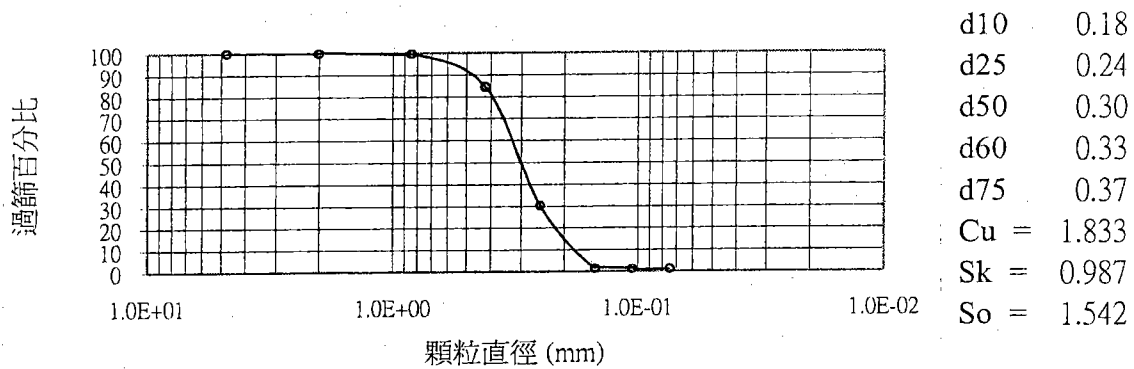
土壤顆粒分析圖 (15)



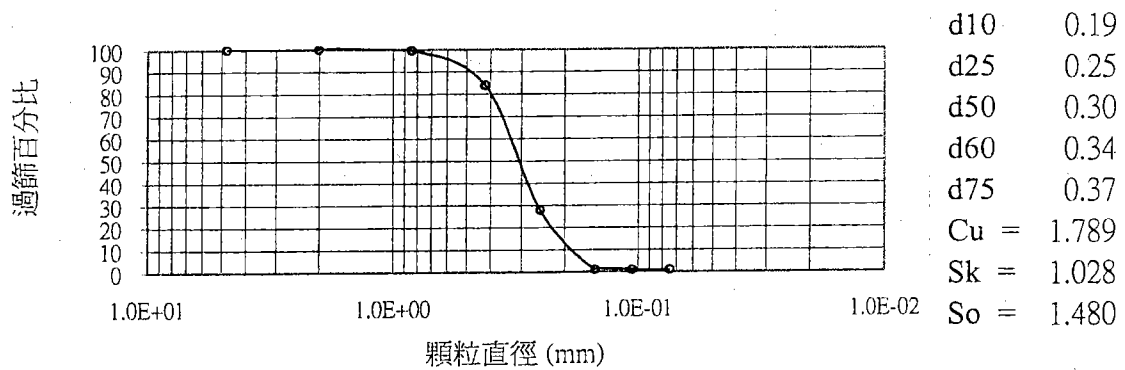
土壤顆粒分析圖 (16)



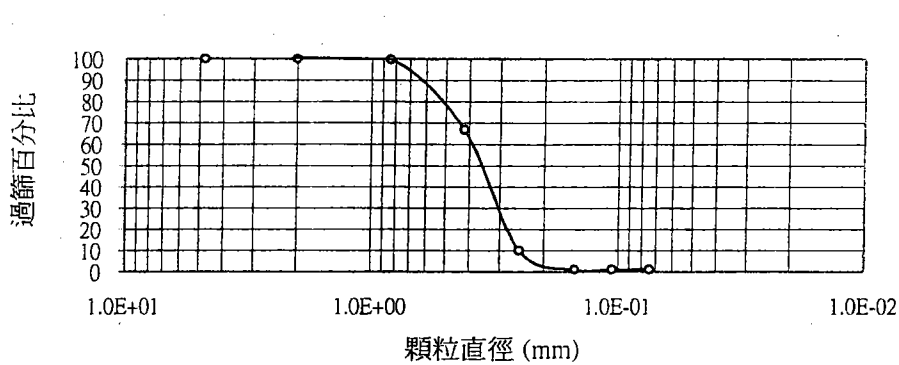
土壤顆粒分析圖 (17)



土壤顆粒分析圖 (18)

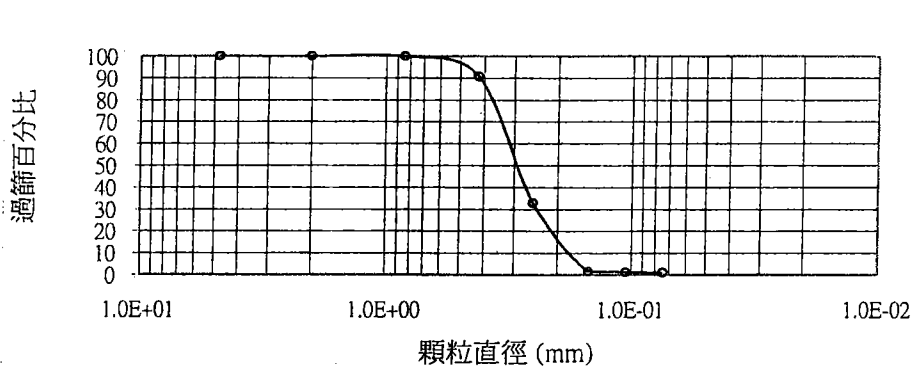


土壤顆粒分析圖 (19)



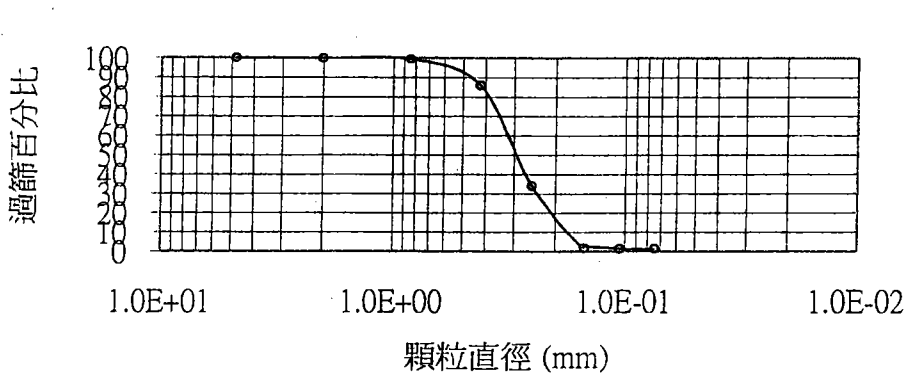
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.25  |
| d25  | 0.29  |
| d50  | 0.35  |
| d60  | 0.39  |
| d75  | 0.46  |
| Cu = | 1.560 |
| Sk = | 1.089 |
| So = | 1.586 |

土壤顆粒分析圖 (20)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.18  |
| d25  | 0.24  |
| d50  | 0.29  |
| d60  | 0.32  |
| d75  | 0.35  |
| Cu = | 1.778 |
| Sk = | 0.999 |
| So = | 1.458 |

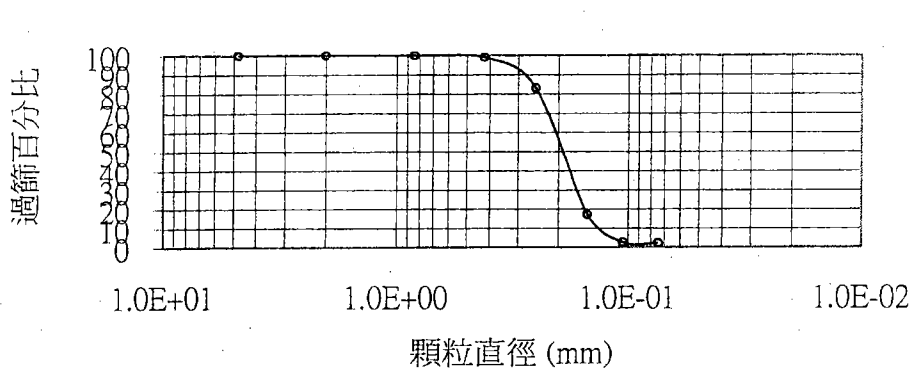
土壤顆粒分析圖 (21)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.16  |
| d25  | 0.22  |
| d50  | 0.29  |
| d60  | 0.31  |
| d75  | 0.35  |
| Cu = | 1.938 |
| Sk = | 0.916 |
| So = | 1.591 |

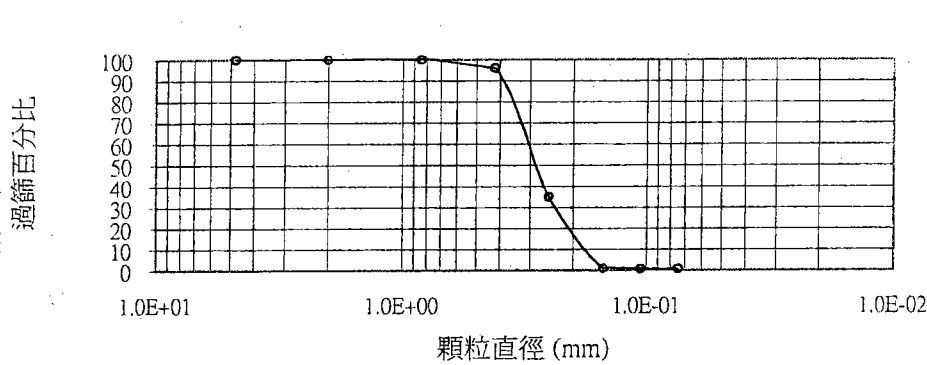


土壤顆粒分析圖 (22)



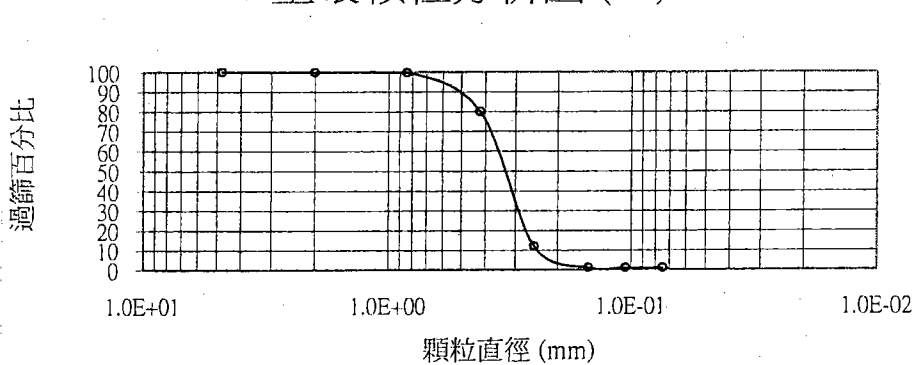
|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.13    |
| d25 | 0.17    |
| d50 | 0.18    |
| d60 | 0.21    |
| d75 | 0.24    |
| Cu  | = 1.577 |
| Sk  | = 1.197 |
| So  | = 1.424 |

土壤顆粒分析圖 (23)



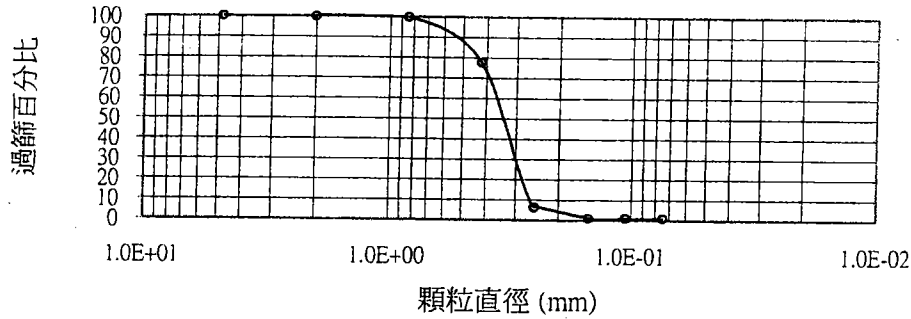
|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.17    |
| d25 | 0.22    |
| d50 | 0.27    |
| d60 | 0.30    |
| d75 | 0.33    |
| Cu  | = 1.765 |
| Sk  | = 0.996 |
| So  | = 1.500 |

土壤顆粒分析圖 (24)



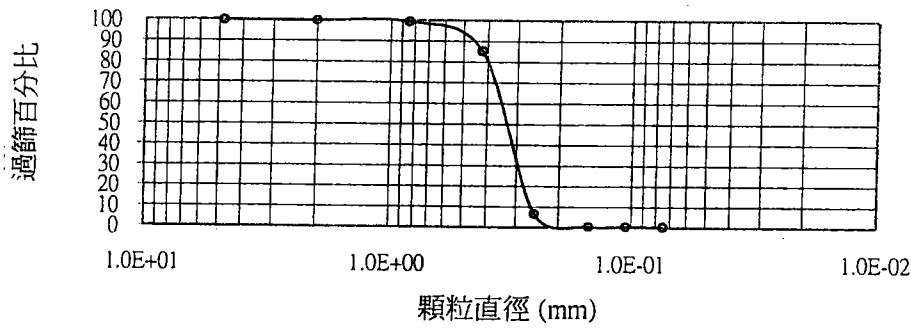
|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.24    |
| d25 | 0.30    |
| d50 | 0.33    |
| d60 | 0.35    |
| d75 | 0.41    |
| Cu  | = 1.458 |
| Sk  | = 1.129 |
| So  | = 1.367 |

土壤顆粒分析圖 (25)



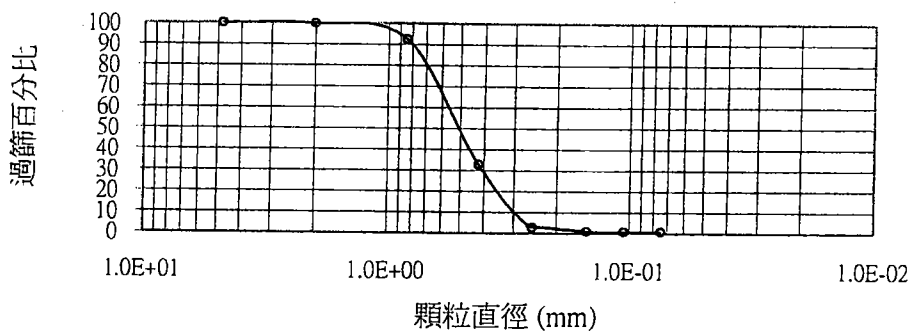
d10 0.27  
d25 0.30  
d50 0.34  
d60 0.35  
d75 0.42  
Cu = 1.296  
Sk = 1.077  
So = 1.383

土壤顆粒分析圖 (26)



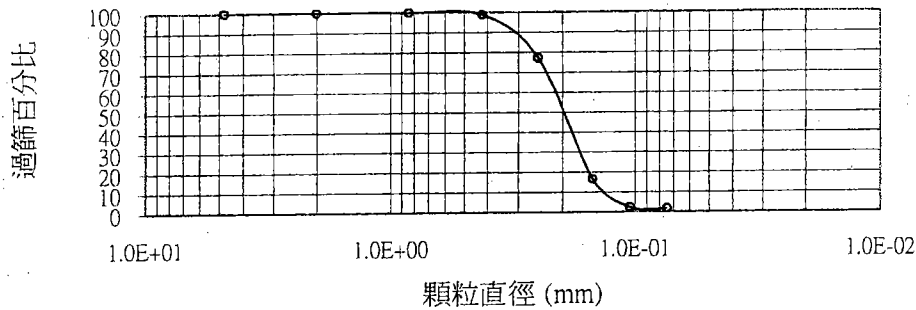
d10 0.26  
d25 0.29  
d50 0.33  
d60 0.35  
d75 0.38  
Cu = 1.346  
Sk = 1.012  
So = 1.310

土壤顆粒分析圖 (27)



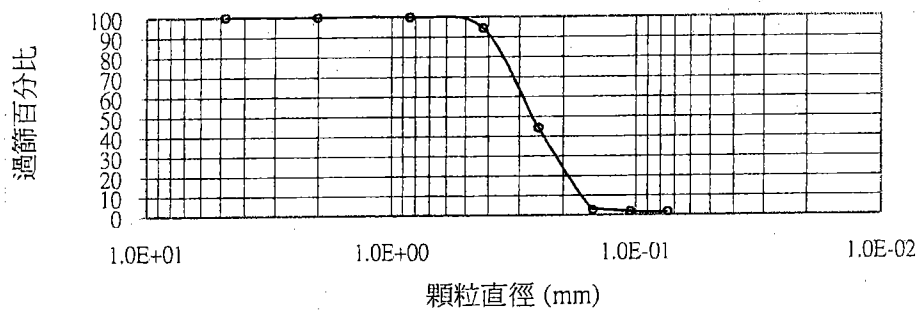
d10 0.30  
d25 0.38  
d50 0.50  
d60 0.55  
d75 0.65  
Cu = 1.833  
Sk = 0.988  
So = 1.711

土壤顆粒分析圖 (28)



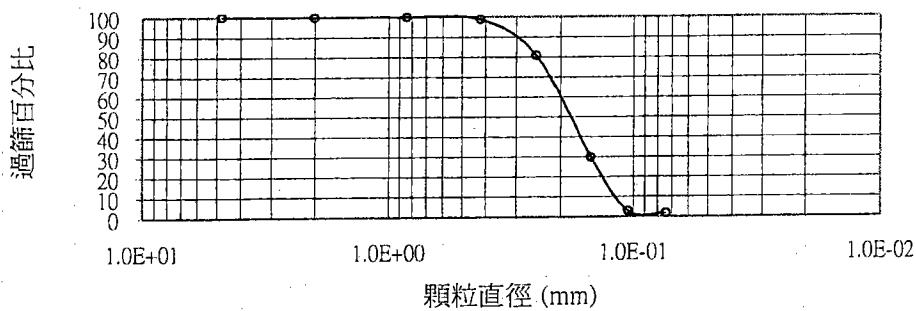
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.14  |
| d25  | 0.16  |
| d50  | 0.20  |
| d60  | 0.21  |
| d75  | 0.25  |
| Cu = | 1.500 |
| Sk = | 1.000 |
| So = | 1.563 |

土壤顆粒分析圖 (29)



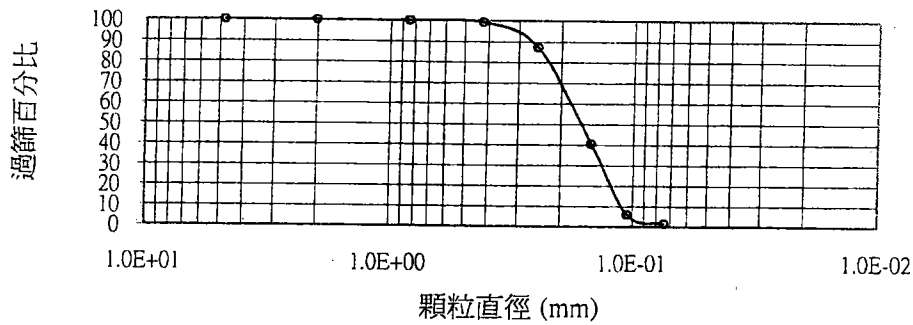
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.17  |
| d25  | 0.20  |
| d50  | 0.26  |
| d60  | 0.29  |
| d75  | 0.33  |
| Cu = | 1.758 |
| Sk = | 0.976 |
| So = | 1.650 |

土壤顆粒分析圖 (30)



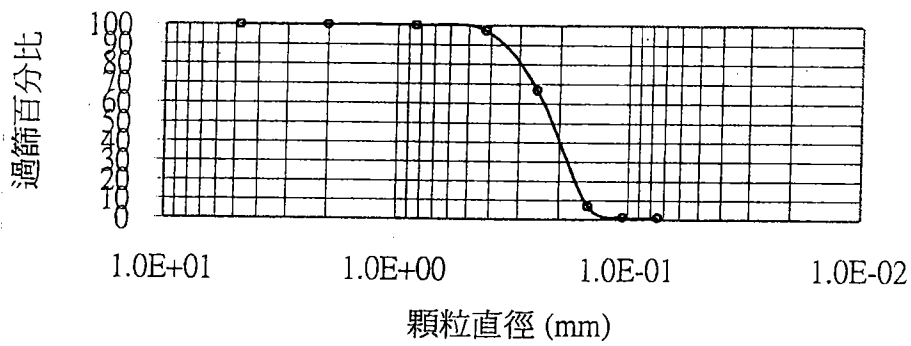
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.12  |
| d25  | 0.15  |
| d50  | 0.18  |
| d60  | 0.20  |
| d75  | 0.23  |
| Cu = | 1.667 |
| Sk = | 1.065 |
| So = | 1.533 |

土壤顆粒分析圖 (31)



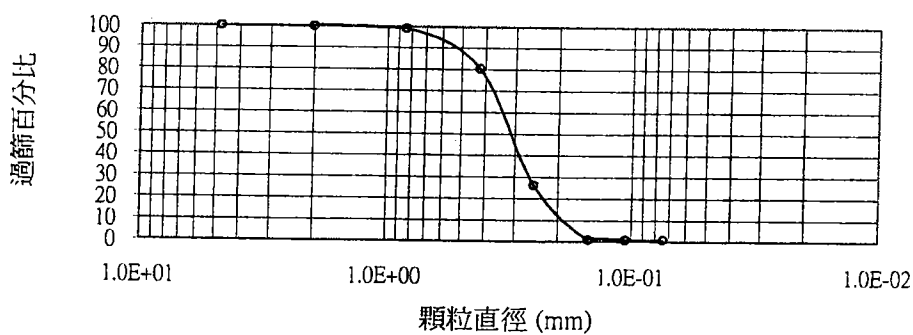
d10 = 0.12  
 d25 = 0.13  
 d50 = 0.16  
 d60 = 0.18  
 d75 = 0.21  
 Cu = 1.565  
 Sk = 1.066  
 So = 1.615

土壤顆粒分析圖 (32)



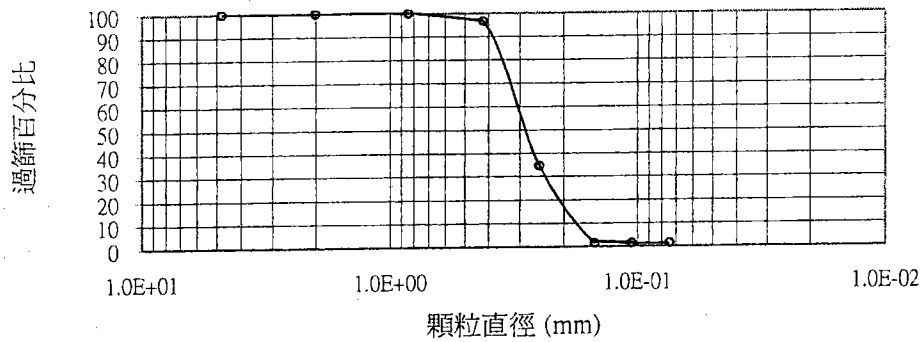
d10 = 0.15  
 d25 = 0.17  
 d50 = 0.21  
 d60 = 0.23  
 d75 = 0.27  
 Cu = 1.533  
 Sk = 1.041  
 So = 1.588

土壤顆粒分析圖 (33)



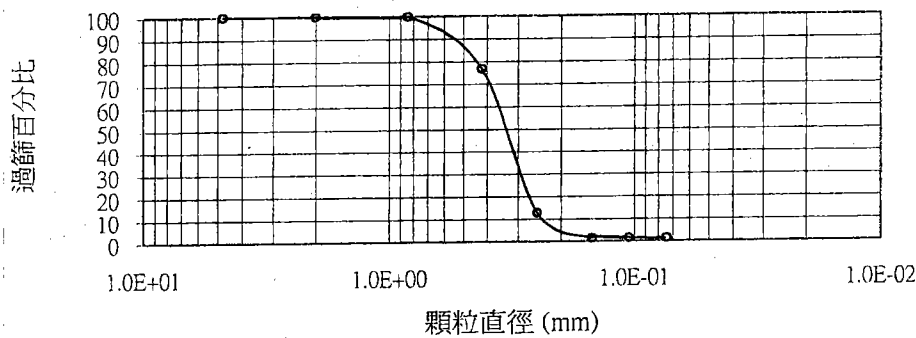
d10 = 0.18  
 d25 = 0.24  
 d50 = 0.31  
 d60 = 0.32  
 d75 = 0.40  
 Cu = 1.778  
 Sk = 1.032  
 So = 1.667

土壤顆粒分析圖 (34)



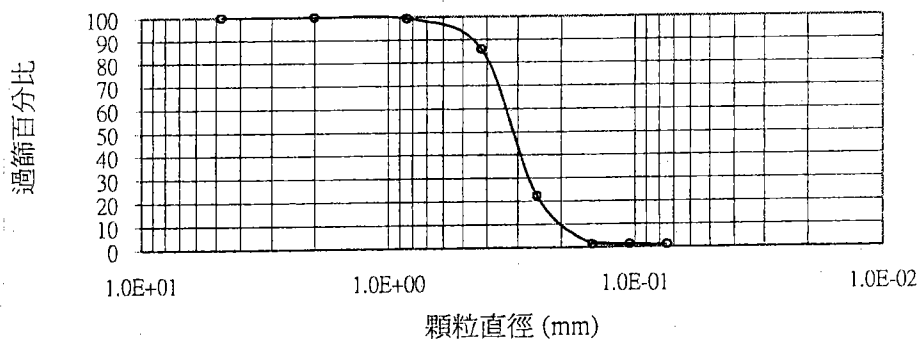
d10 = 0.17  
 d25 = 0.22  
 d50 = 0.29  
 d60 = 0.31  
 d75 = 0.33  
 Cu = 1.794  
 Sk = 0.863  
 So = 1.500

土壤顆粒分析圖 (35)



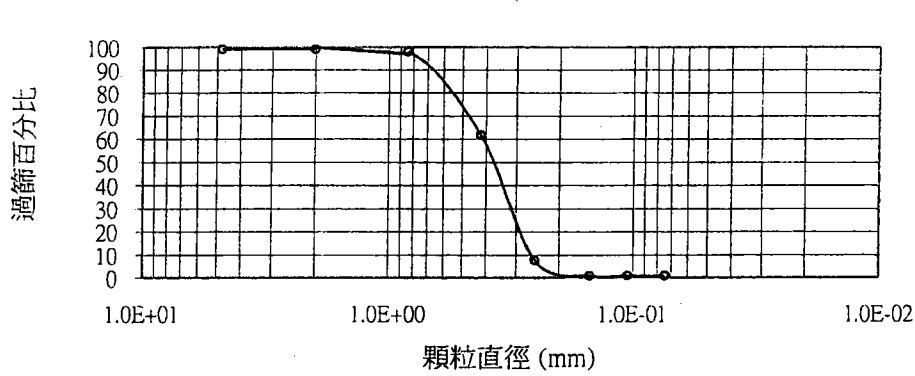
d10 = 0.24  
 d25 = 0.28  
 d50 = 0.32  
 d60 = 0.35  
 d75 = 0.41  
 Cu = 1.458  
 Sk = 1.107  
 So = 1.446

土壤顆粒分析圖 (36)



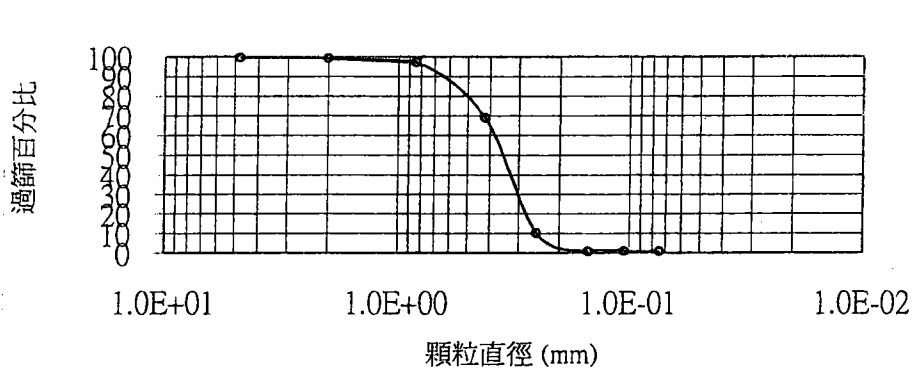
d10 = 0.20  
 d25 = 0.26  
 d50 = 0.31  
 d60 = 0.33  
 d75 = 0.37  
 Cu = 1.650  
 Sk = 1.034  
 So = 1.423

土壤顆粒分析圖 (37)



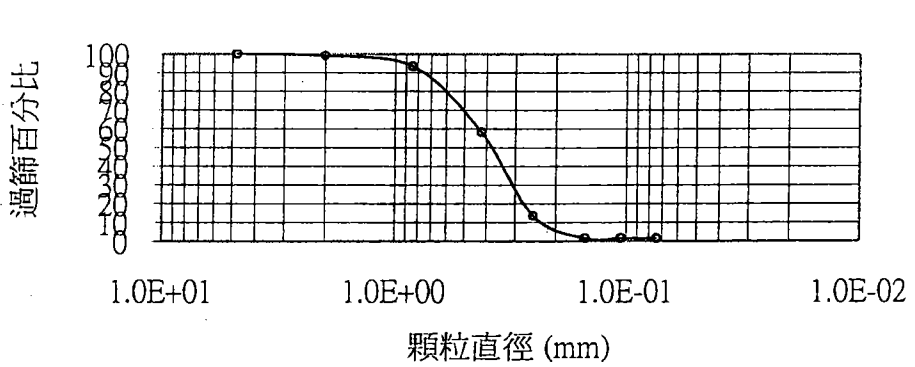
d10 = 0.15  
 d25 = 0.30  
 d50 = 0.36  
 d60 = 0.41  
 d75 = 0.51  
 Cu = 2.733  
 Sk = 1.181  
 So = 1.700

土壤顆粒分析圖 (38)



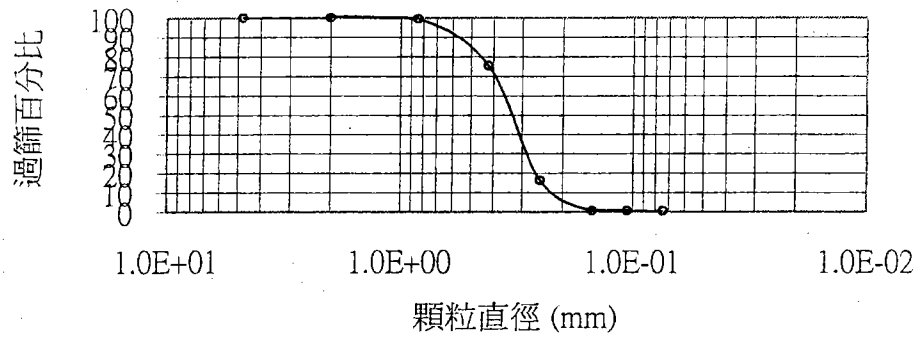
d10 = 0.25  
 d25 = 0.29  
 d50 = 0.34  
 d60 = 0.38  
 d75 = 0.44  
 Cu = 1.520  
 Sk = 1.104  
 So = 1.517

土壤顆粒分析圖 (39)



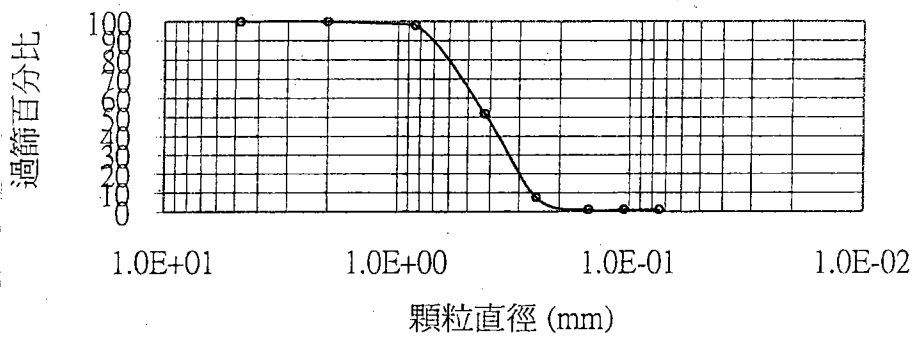
d10 = 0.24  
 d25 = 0.29  
 d50 = 0.38  
 d60 = 0.43  
 d75 = 0.54  
 Cu = 1.830  
 Sk = 1.084  
 So = 1.862

土壤顆粒分析圖 (40)



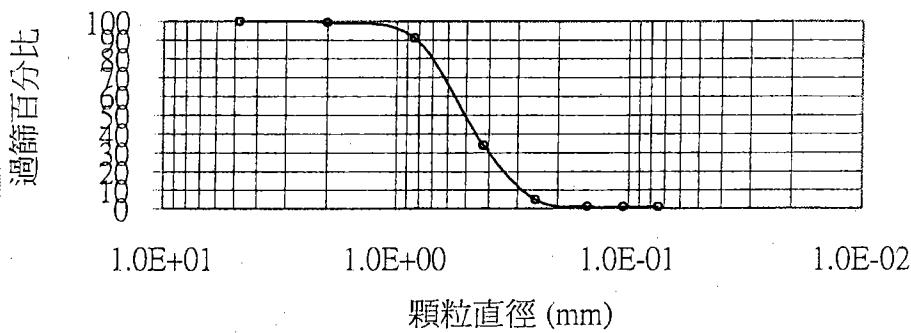
d10 = 0.23  
d25 = 0.27  
d50 = 0.32  
d60 = 0.35  
d75 = 0.42  
Cu = 1.522  
Sk = 1.107  
So = 1.556

土壤顆粒分析圖 (41)



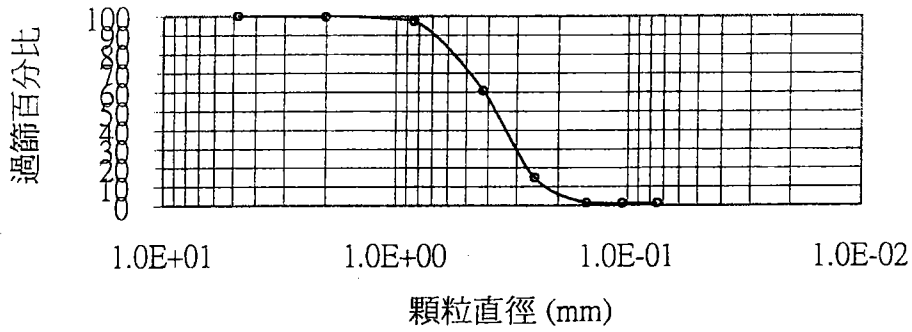
d10 = 0.26  
d25 = 0.31  
d50 = 0.41  
d60 = 0.45  
d75 = 0.55  
Cu = 1.731  
Sk = 1.014  
So = 1.774

土壤顆粒分析圖 (42)



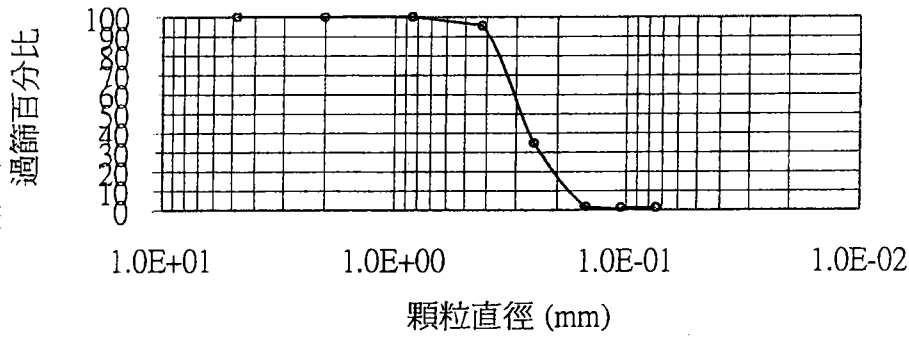
d10 = 0.29  
d25 = 0.35  
d50 = 0.50  
d60 = 0.54  
d75 = 0.65  
Cu = 1.862  
Sk = 0.910  
So = 1.857

土壤顆粒分析圖 (43)



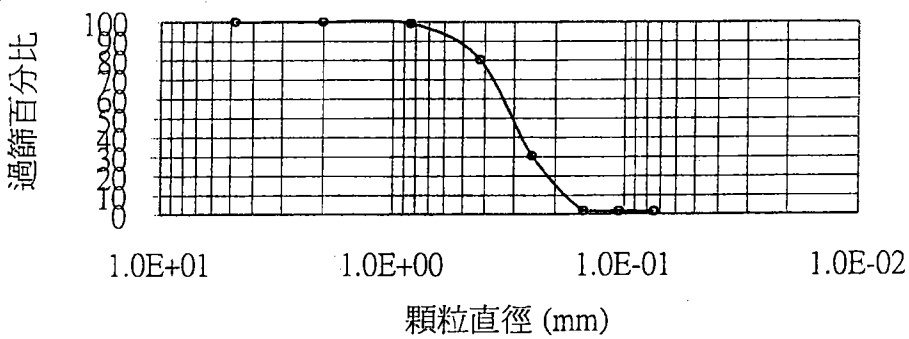
|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.23    |
| d25 | 0.28    |
| d50 | 0.37    |
| d60 | 0.42    |
| d75 | 0.52    |
| Cu  | = 1.826 |
| Sk  | = 1.064 |
| So  | = 1.857 |

土壤顆粒分析圖 (44)



|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.17    |
| d25 | 0.23    |
| d50 | 0.28    |
| d60 | 0.31    |
| d75 | 0.34    |
| Cu  | = 1.824 |
| Sk  | = 0.997 |
| So  | = 1.478 |

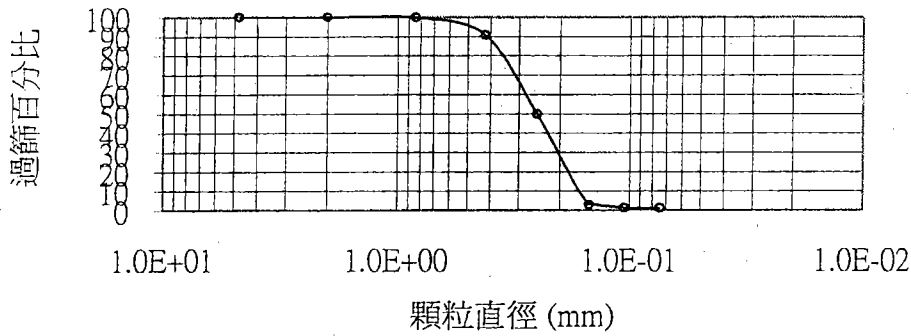
土壤顆粒分析圖 (45)



|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.17    |
| d25 | 0.23    |
| d50 | 0.30    |
| d60 | 0.33    |
| d75 | 0.37    |
| Cu  | = 1.941 |
| Sk  | = 0.946 |
| So  | = 1.609 |

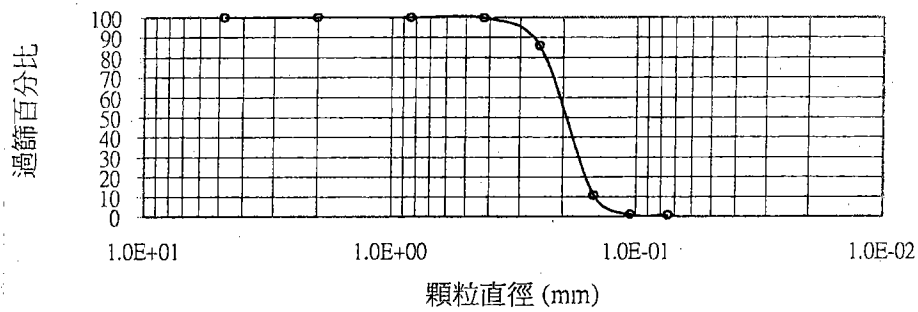


土壤顆粒分析圖 (46)



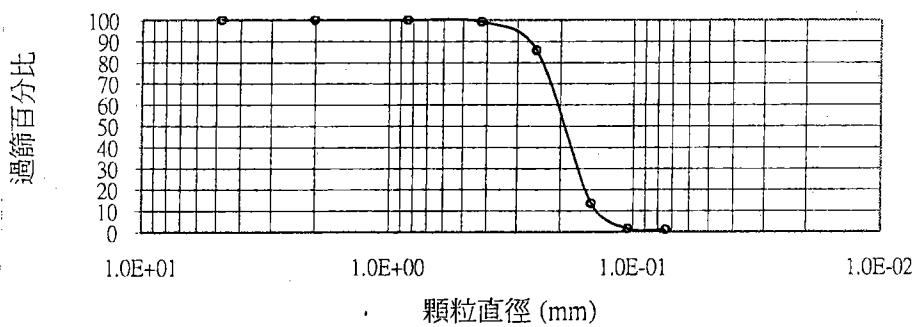
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.16  |
| d25  | 0.19  |
| d50  | 0.25  |
| d60  | 0.28  |
| d75  | 0.32  |
| Cu = | 1.750 |
| Sk = | 0.947 |
| So = | 1.730 |

土壤顆粒分析圖 (47)



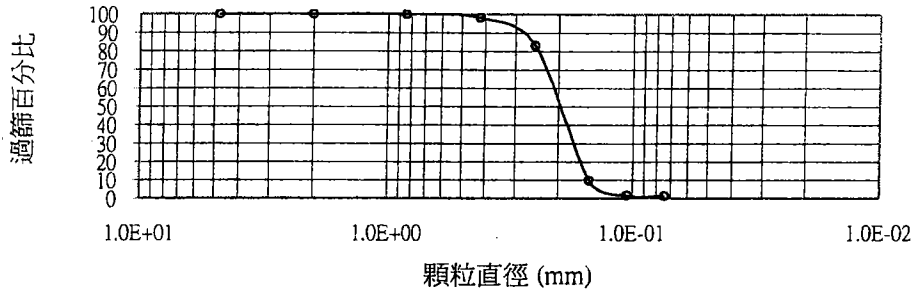
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.14  |
| d25  | 0.16  |
| d50  | 0.19  |
| d60  | 0.20  |
| d75  | 0.22  |
| Cu = | 1.429 |
| Sk = | 0.975 |
| So = | 1.375 |

土壤顆粒分析圖 (48)



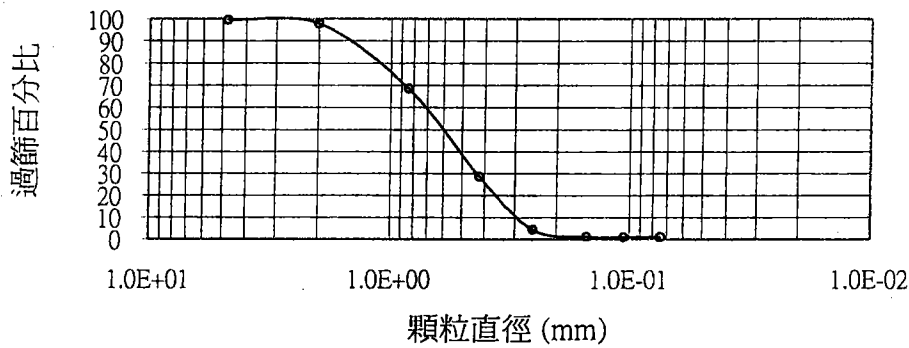
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.13  |
| d25  | 0.16  |
| d50  | 0.19  |
| d60  | 0.20  |
| d75  | 0.22  |
| Cu = | 1.538 |
| Sk = | 0.975 |
| So = | 1.375 |

土壤顆粒分析圖 (49)



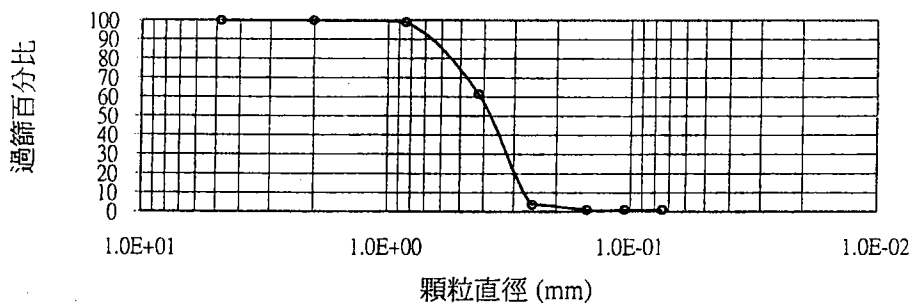
d10 = 0.15  
d25 = 0.16  
d50 = 0.20  
d60 = 0.21  
d75 = 0.23  
Cu = 1.367  
Sk = 0.968  
So = 1.438

土壤顆粒分析圖 (50)



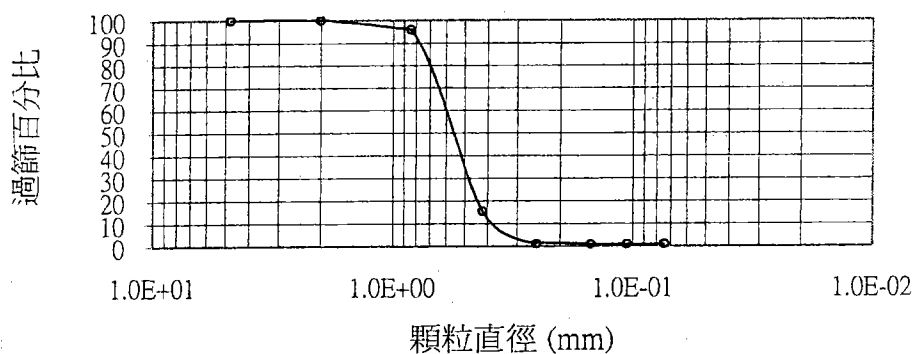
d10 = 0.30  
d25 = 0.40  
d50 = 0.60  
d60 = 0.72  
d75 = 1.00  
Cu = 2.400  
Sk = 1.111  
So = 2.500

土壤顆粒分析圖 (51)



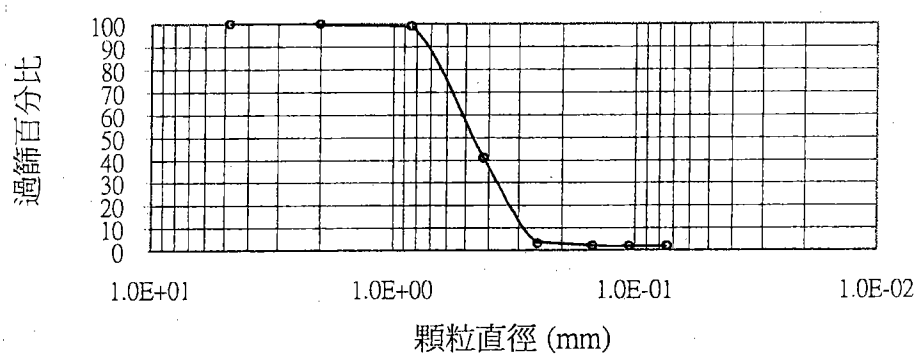
d10 = 0.26  
d25 = 0.30  
d50 = 0.36  
d60 = 0.41  
d75 = 0.52  
Cu = 1.577  
Sk = 1.204  
So = 1.733

土壤顆粒分析圖 (52)



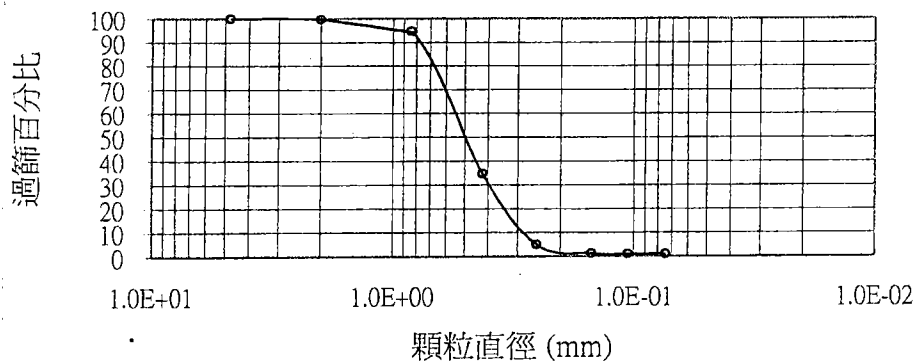
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.38  |
| d25  | 0.45  |
| d50  | 0.54  |
| d60  | 0.60  |
| d75  | 0.74  |
| Cu = | 1.579 |
| Sk = | 1.142 |
| So = | 1.644 |

土壤顆粒分析圖 (53)



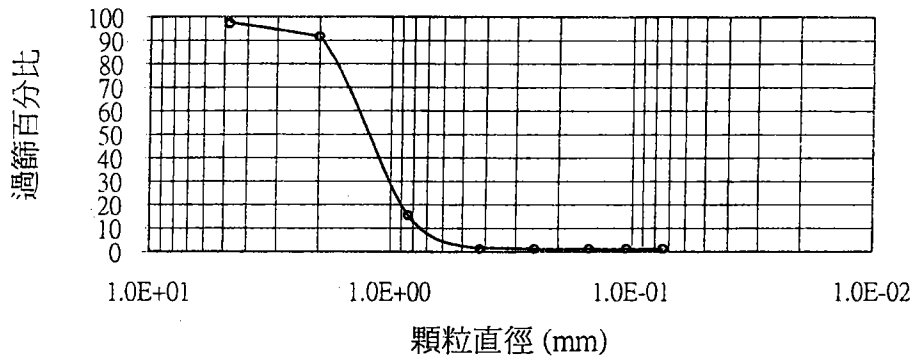
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.28  |
| d25  | 0.34  |
| d50  | 0.45  |
| d60  | 0.52  |
| d75  | 0.6   |
| Cu = | 1.857 |
| Sk = | 1.007 |
| So = | 1.765 |

土壤顆粒分析圖 (54)



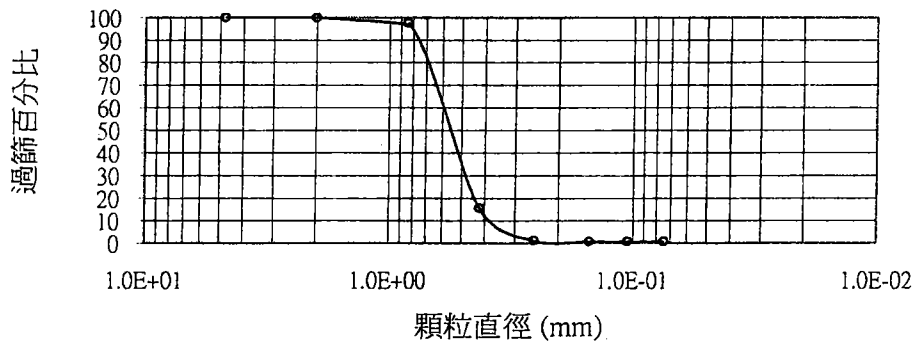
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.29  |
| d25  | 0.35  |
| d50  | 0.50  |
| d60  | 0.54  |
| d75  | 0.62  |
| Cu = | 1.862 |
| Sk = | 0.868 |
| So = | 1.771 |

土壤顆粒分析圖 (55)



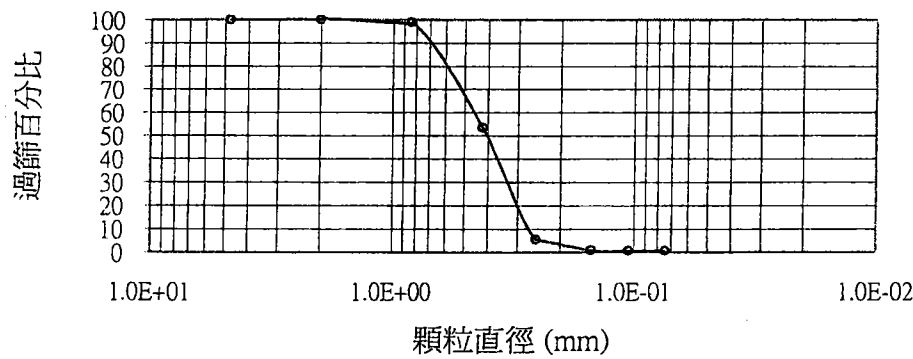
d10 0.73  
d25 0.94  
d50 1.20  
d60 1.35  
d75 1.55  
Cu = 1.849  
Sk = 1.012  
So = 1.649

土壤顆粒分析圖 (56)



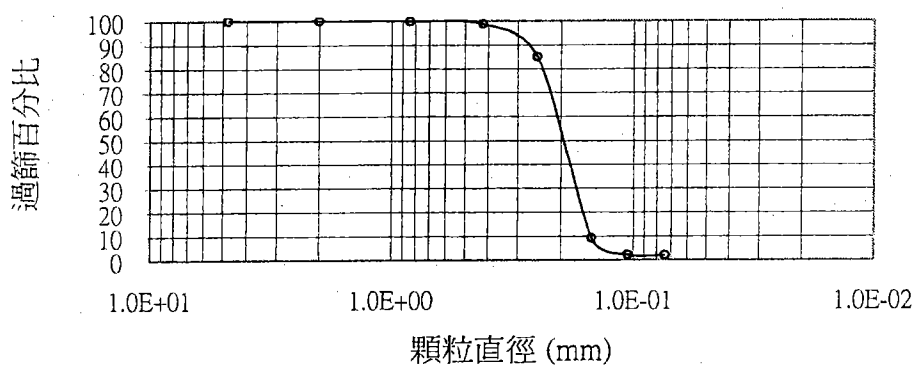
d10 0.39  
d25 0.45  
d50 0.55  
d60 0.60  
d75 0.65  
Cu = 1.538  
Sk = 0.967  
So = 1.444

土壤顆粒分析圖 (57)



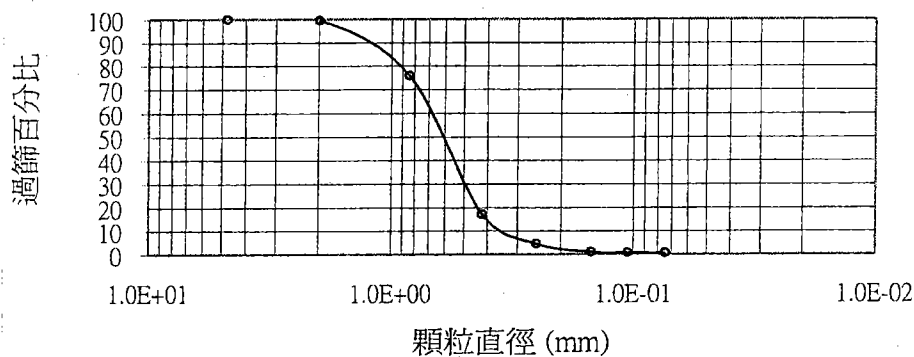
d10 0.26  
d25 0.31  
d50 0.40  
d60 0.44  
d75 0.55  
Cu = 1.692  
Sk = 1.066  
So = 1.774

土壤顆粒分析圖 (58)



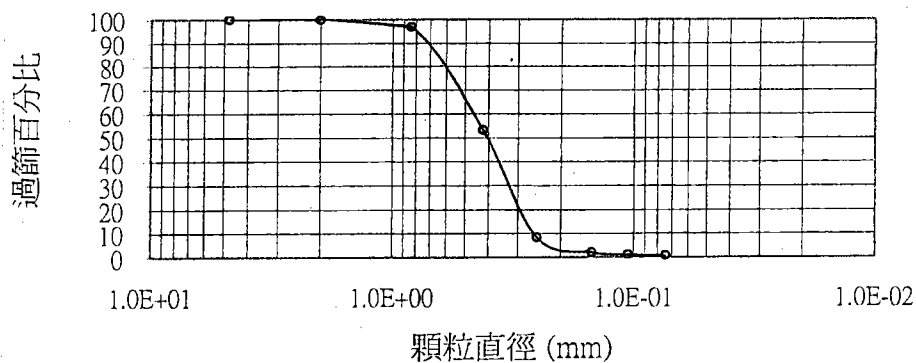
d10 0.15  
d25 0.16  
d50 0.20  
d60 0.21  
d75 0.23  
Cu = 1.400  
Sk = 0.920  
So = 1.438

土壤顆粒分析圖 (59)



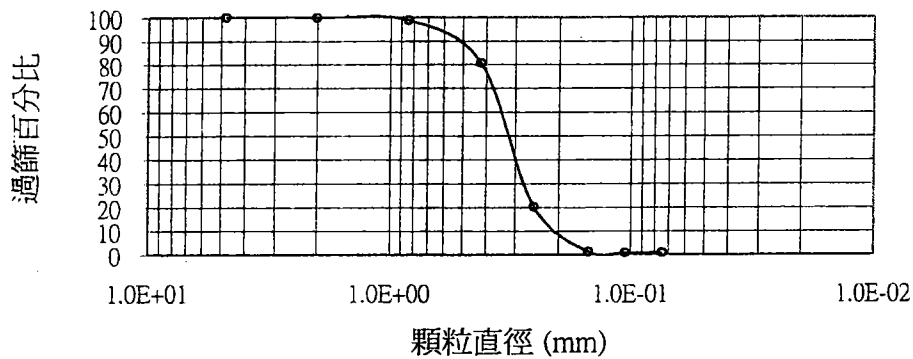
d10 0.34  
d25 0.45  
d50 0.60  
d60 0.68  
d75 0.84  
Cu = 2.000  
Sk = 1.050  
So = 1.867

土壤顆粒分析圖 (60)



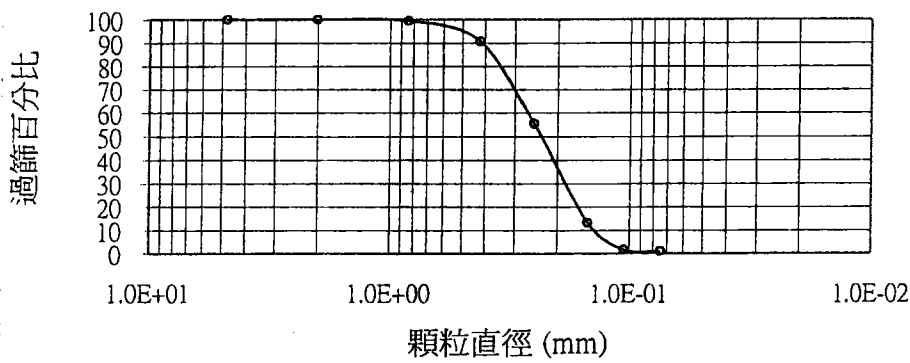
d10 0.27  
d25 0.31  
d50 0.40  
d60 0.45  
d75 0.54  
Cu = 1.667  
Sk = 1.046  
So = 1.742

土壤顆粒分析圖 (61)



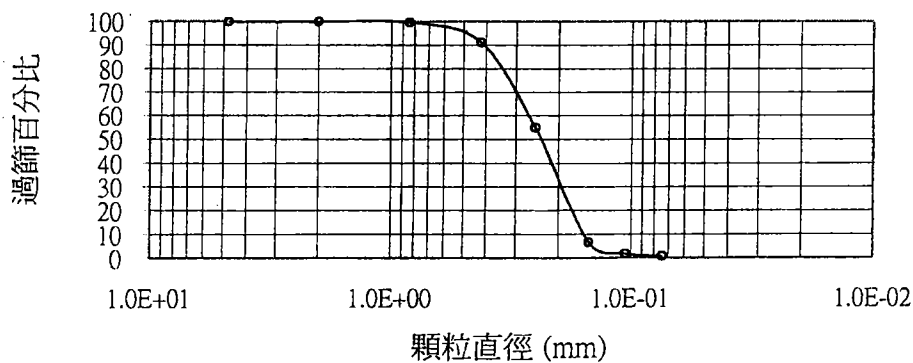
d10 = 0.20  
 d25 = 0.25  
 d50 = 0.31  
 d60 = 0.33  
 d75 = 0.40  
 Cu = 1.650  
 Sk = 1.041  
 So = 1.600

土壤顆粒分析圖 (62)



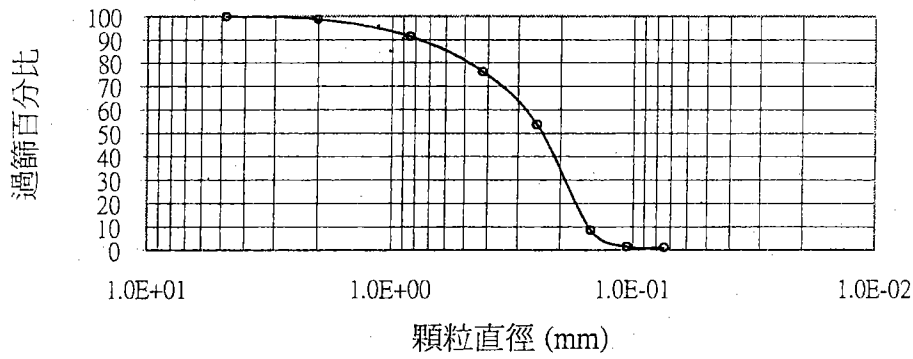
d10 = 0.14  
 d25 = 0.17  
 d50 = 0.22  
 d60 = 0.25  
 d75 = 0.31  
 Cu = 1.786  
 Sk = 1.089  
 So = 1.824

土壤顆粒分析圖 (63)



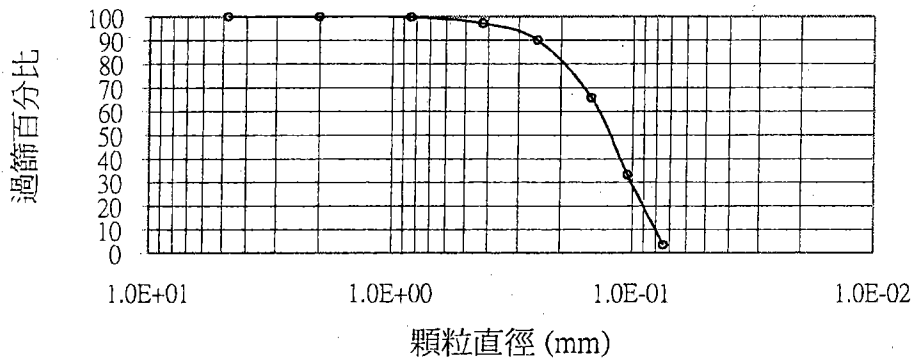
d10 = 0.16  
 d25 = 0.19  
 d50 = 0.22  
 d60 = 0.26  
 d75 = 0.31  
 Cu = 1.677  
 Sk = 1.185  
 So = 1.676

土壤顆粒分析圖 (64)



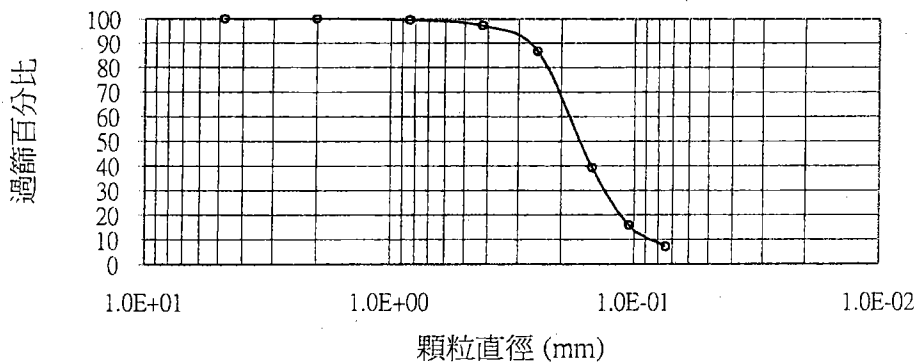
|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.15    |
| d25 | 0.18    |
| d50 | 0.24    |
| d60 | 0.29    |
| d75 | 0.40    |
| Cu  | = 1.933 |
| Sk  | = 1.250 |
| So  | = 2.222 |

土壤顆粒分析圖 (65)



|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.08    |
| d25 | 0.10    |
| d50 | 0.12    |
| d60 | 0.14    |
| d75 | 0.17    |
| Cu  | = 1.688 |
| Sk  | = 1.089 |
| So  | = 1.737 |

土壤顆粒分析圖 (66)



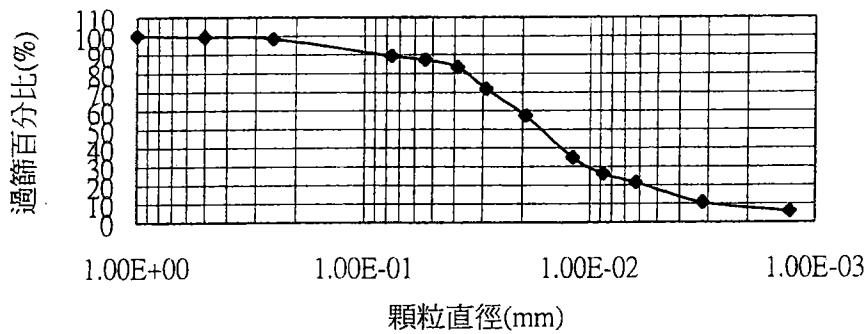
|     |         |
|-----|---------|
| d10 | 0.09    |
| d25 | 0.13    |
| d50 | 0.16    |
| d60 | 0.18    |
| d75 | 0.21    |
| Cu  | = 2.118 |
| Sk  | = 1.136 |
| So  | = 1.615 |

## 附錄二

### 第二次採樣樣本粒徑分佈曲線

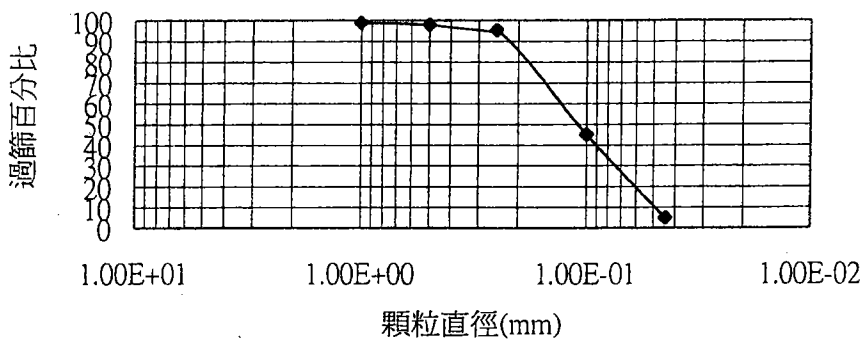


土壤顆粒分佈圖 (1)



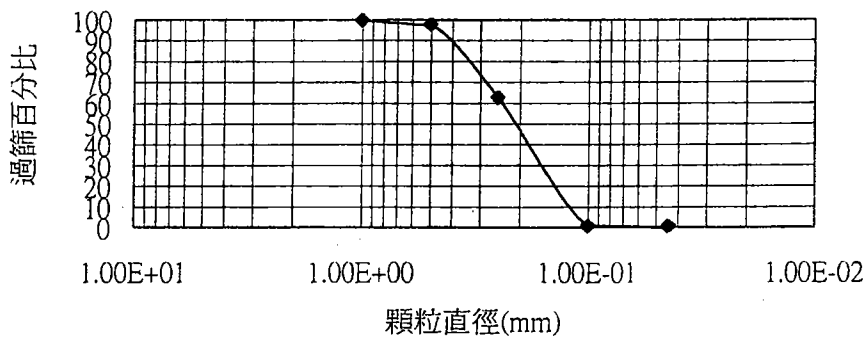
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.003 |
| d25  | 0.008 |
| d50  | 0.017 |
| d60  | 0.020 |
| d75  | 0.031 |
| Cu = | 6.667 |
| Sk = | 0.858 |
| So = | 3.875 |

土壤粒徑分析圖 (2)



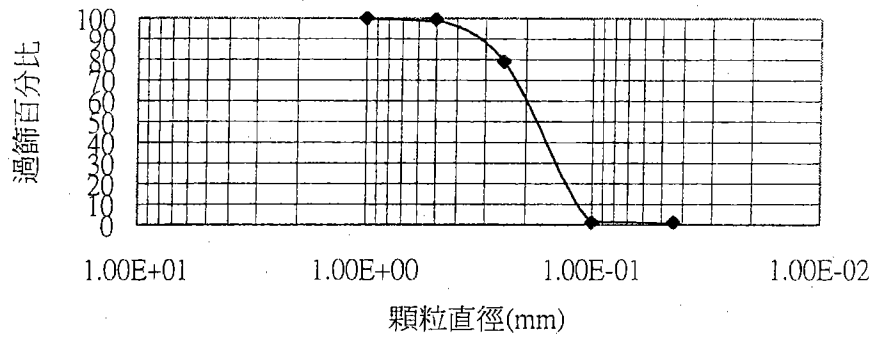
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.049 |
| d25  | 0.069 |
| d50  | 0.110 |
| d60  | 0.120 |
| d75  | 0.170 |
| Cu = | 2.449 |
| Sk = | 0.969 |
| So = | 2.464 |

土壤粒徑分析圖 (3)



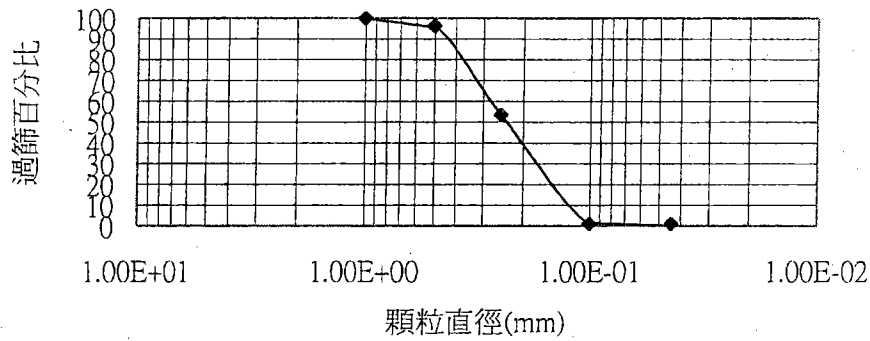
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.150 |
| d50  | 0.200 |
| d60  | 0.240 |
| d75  | 0.300 |
| Cu = | 2.000 |
| Sk = | 1.125 |
| So = | 2.000 |

土壤粒徑分析圖 (5)



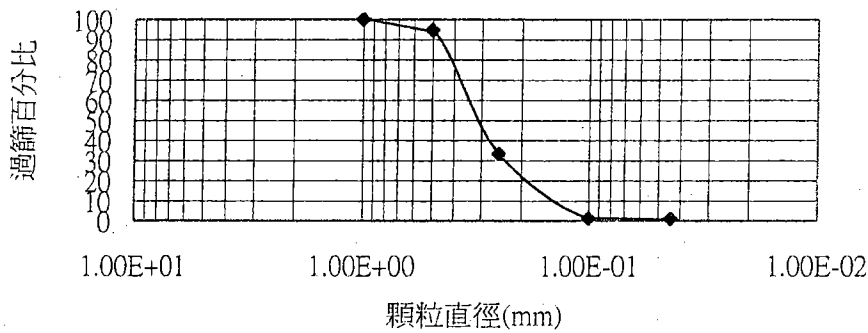
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.110 |
| d25  | 0.140 |
| d50  | 0.180 |
| d60  | 0.200 |
| d75  | 0.240 |
| Cu = | 1.818 |
| Sk = | 1.037 |
| So = | 1.714 |

土壤粒徑分析圖 (6)



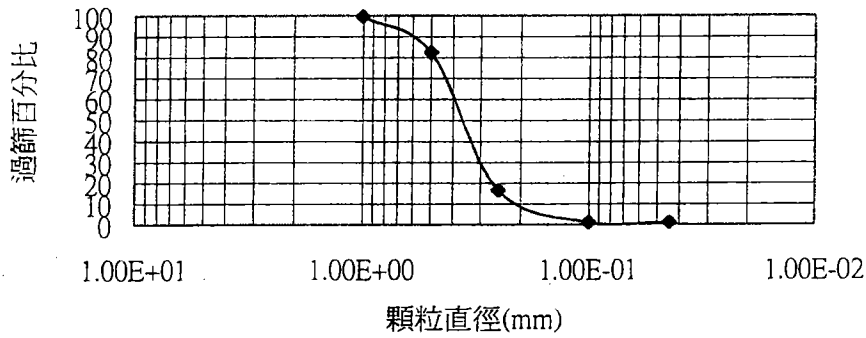
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.170 |
| d50  | 0.240 |
| d60  | 0.280 |
| d75  | 0.340 |
| Cu = | 2.333 |
| Sk = | 1.003 |
| So = | 2.000 |

土壤粒徑分析圖 (7)



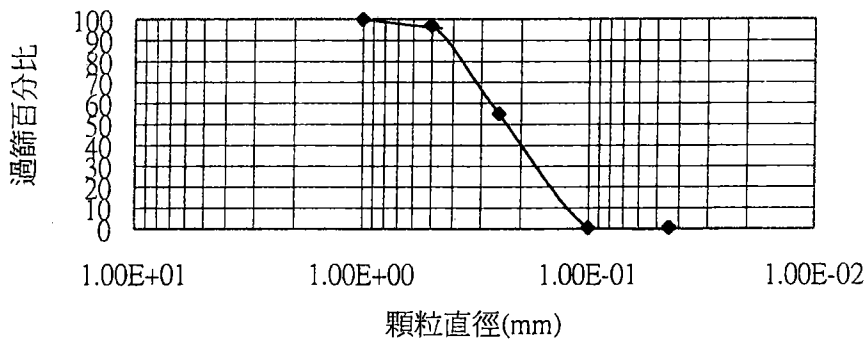
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.130 |
| d25  | 0.210 |
| d50  | 0.300 |
| d60  | 0.340 |
| d75  | 0.390 |
| Cu = | 2.615 |
| Sk = | 0.910 |
| So = | 1.857 |

土壤粒徑分析圖 (8)



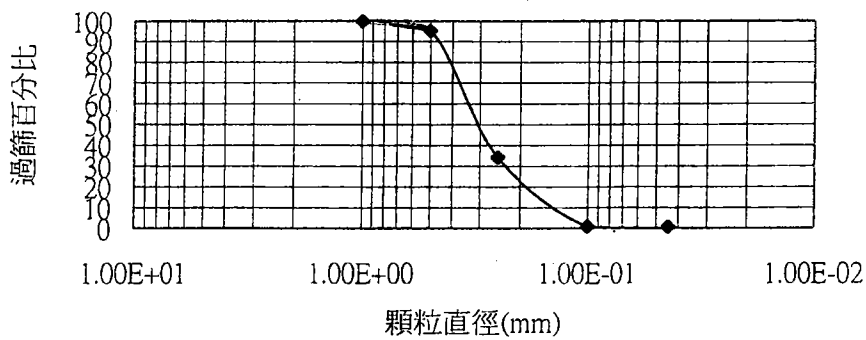
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.290 |
| d50  | 0.370 |
| d60  | 0.400 |
| d75  | 0.450 |
| Cu = | 2.000 |
| Sk = | 0.953 |
| So = | 1.552 |

土壤粒徑分析圖 (10)



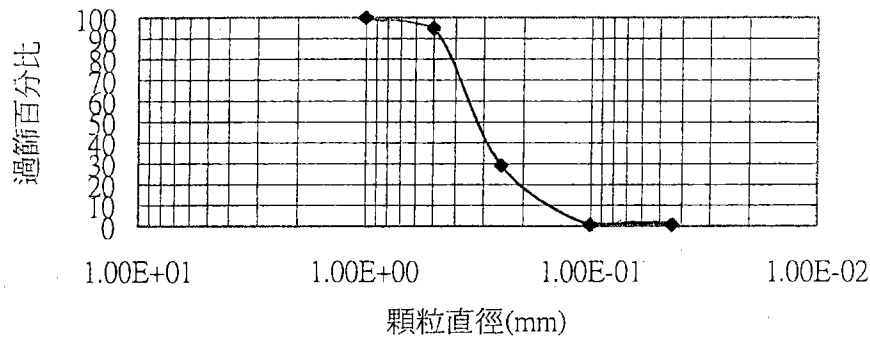
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.170 |
| d50  | 0.220 |
| d60  | 0.270 |
| d75  | 0.340 |
| Cu = | 2.250 |
| Sk = | 1.194 |
| So = | 2.000 |

土壤粒徑分析圖 (11)



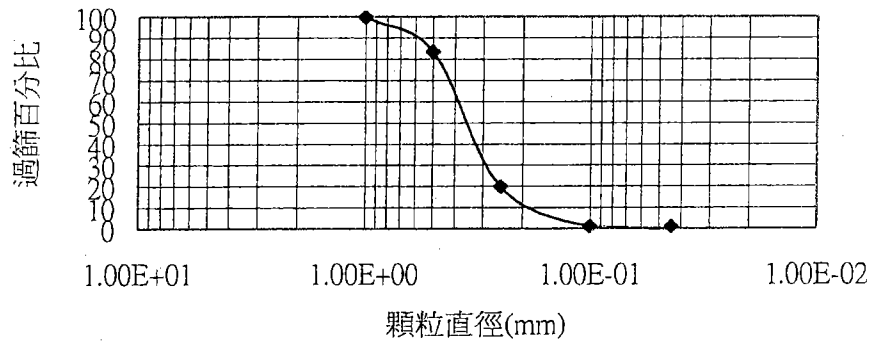
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.140 |
| d25  | 0.200 |
| d50  | 0.300 |
| d60  | 0.330 |
| d75  | 0.380 |
| Cu = | 2.357 |
| Sk = | 0.844 |
| So = | 1.900 |

土壤粒徑分析圖 (12)



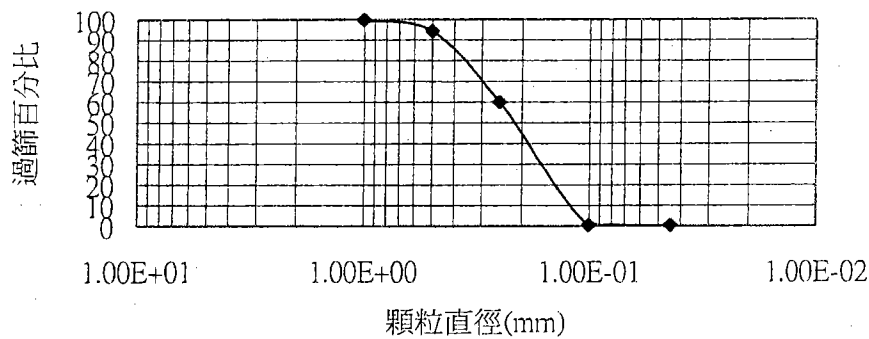
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.170 |
| d25  | 0.240 |
| d50  | 0.300 |
| d60  | 0.350 |
| d75  | 0.400 |
| Cu = | 2.059 |
| Sk = | 1.067 |
| So = | 1.667 |

土壤粒徑分析圖 (13)



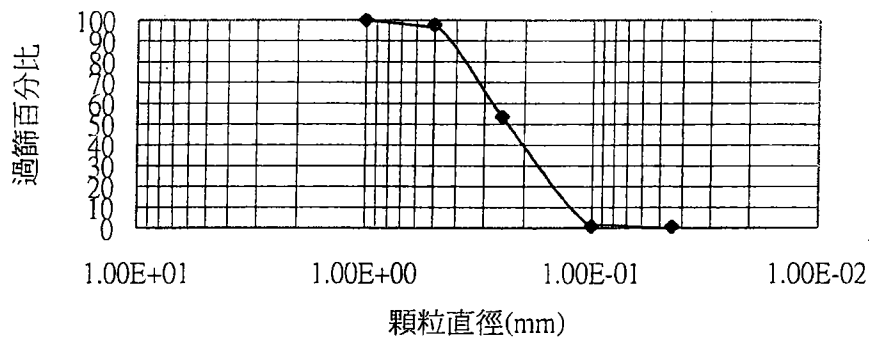
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.360 |
| d60  | 0.400 |
| d75  | 0.450 |
| Cu = | 2.000 |
| Sk = | 0.972 |
| So = | 1.607 |

土壤粒徑分析圖 (14)



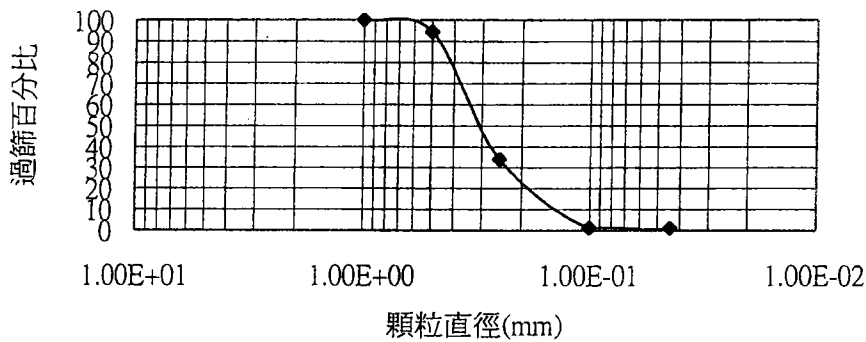
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.160 |
| d50  | 0.210 |
| d60  | 0.250 |
| d75  | 0.340 |
| Cu = | 2.083 |
| Sk = | 1.234 |
| So = | 2.125 |

土壤粒徑分析圖 (15)



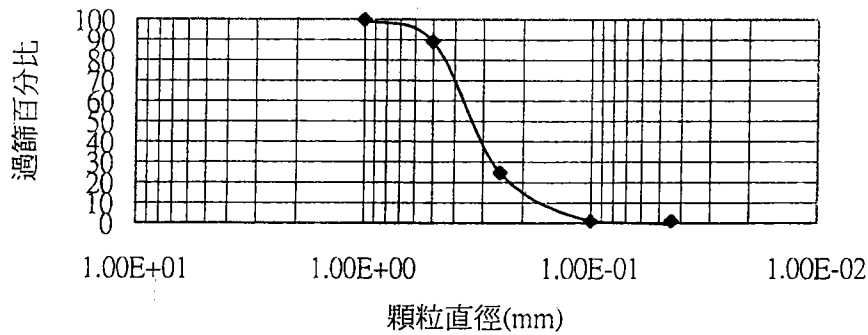
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.170 |
| d50  | 0.230 |
| d60  | 0.280 |
| d75  | 0.350 |
| Cu = | 2.333 |
| Sk = | 1.125 |
| So = | 2.059 |

土壤粒徑分析圖 (16)



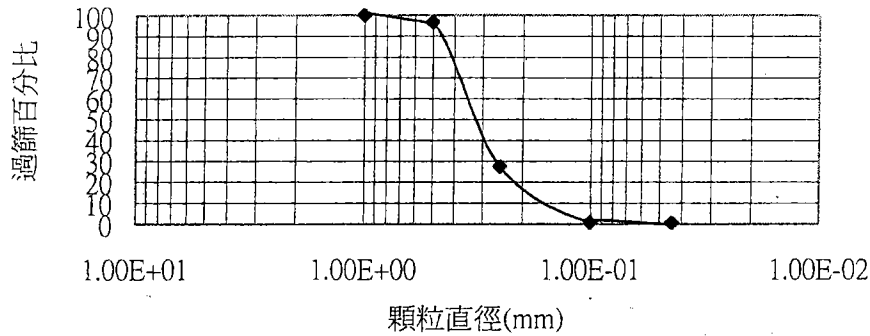
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.140 |
| d25  | 0.210 |
| d50  | 0.300 |
| d60  | 0.340 |
| d75  | 0.400 |
| Cu = | 2.429 |
| Sk = | 0.933 |
| So = | 1.905 |

土壤粒徑分析圖 (17)



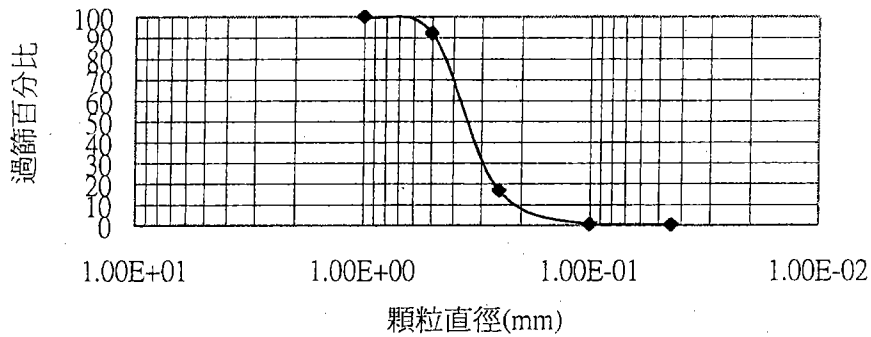
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.170 |
| d25  | 0.250 |
| d50  | 0.340 |
| d60  | 0.370 |
| d75  | 0.410 |
| Cu = | 2.176 |
| Sk = | 0.887 |
| So = | 1.640 |

土壤粒徑分析圖 (18)



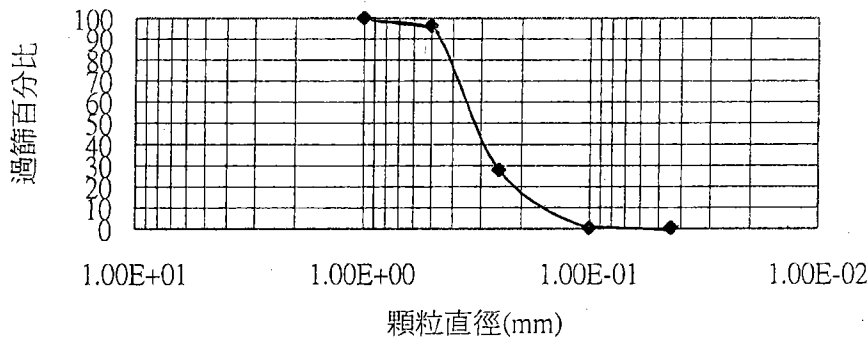
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.170 |
| d25  | 0.230 |
| d50  | 0.320 |
| d60  | 0.350 |
| d75  | 0.400 |
| Cu = | 2.059 |
| Sk = | 0.898 |
| So = | 1.739 |

土壤粒徑分析圖 (19)



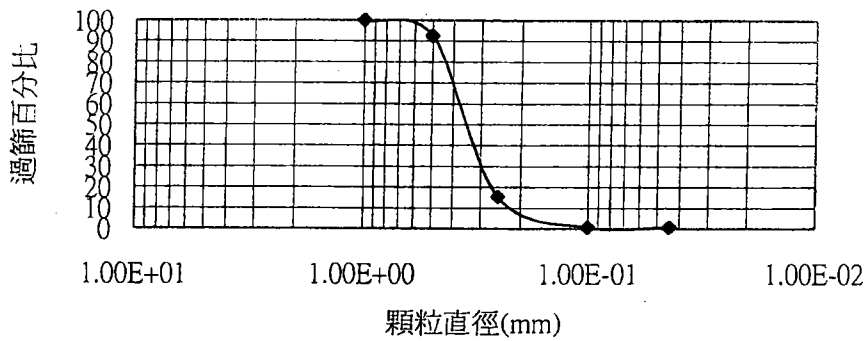
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.350 |
| d60  | 0.370 |
| d75  | 0.410 |
| Cu = | 1.850 |
| Sk = | 0.937 |
| So = | 1.464 |

土壤粒徑分析圖 (20)



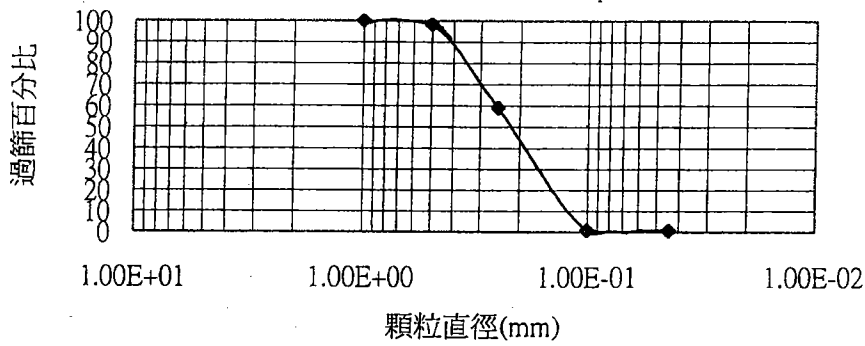
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.170 |
| d25  | 0.230 |
| d50  | 0.320 |
| d60  | 0.350 |
| d75  | 0.400 |
| Cu = | 2.059 |
| Sk = | 0.898 |
| So = | 1.739 |

土壤粒徑分析圖 (21)



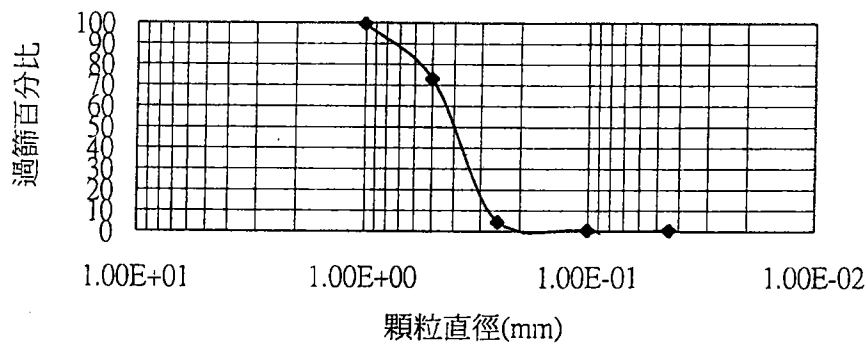
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.210 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.360 |
| d60  | 0.380 |
| d75  | 0.420 |
| Cu = | 1.810 |
| Sk = | 0.907 |
| So = | 1.500 |

土壤粒徑分析圖 (22)



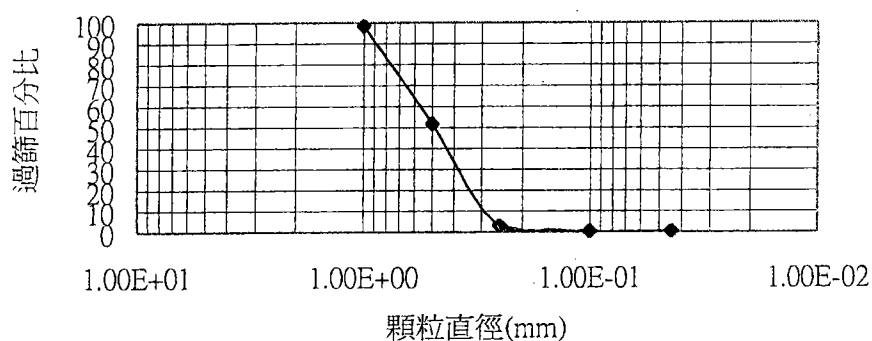
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.170 |
| d50  | 0.220 |
| d60  | 0.250 |
| d75  | 0.310 |
| Cu = | 2.083 |
| Sk = | 1.089 |
| So = | 1.824 |

土壤粒徑分析圖 (23)



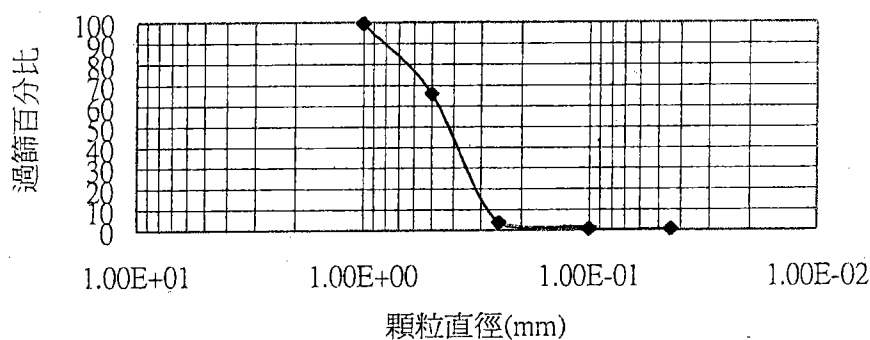
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.280 |
| d25  | 0.310 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.430 |
| d75  | 0.510 |
| Cu = | 1.536 |
| Sk = | 0.988 |
| So = | 1.645 |

土壤粒徑分析圖 (24)



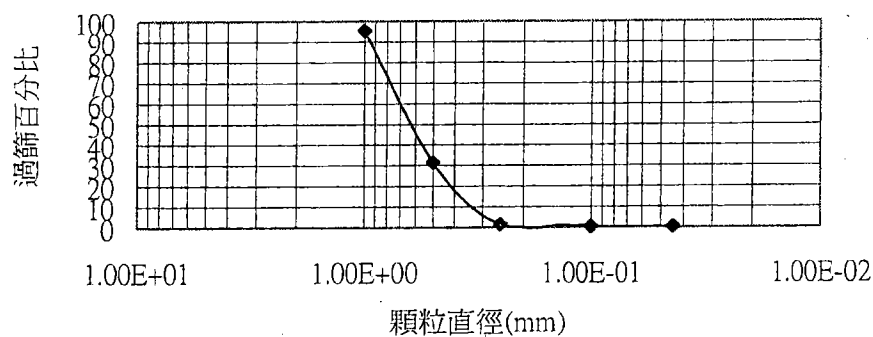
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.300 |
| d25  | 0.360 |
| d50  | 0.500 |
| d60  | 0.560 |
| d75  | 0.700 |
| Cu = | 1.867 |
| Sk = | 1.008 |
| So = | 1.944 |

土壤粒徑分析圖 (25)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.280 |
| d25  | 0.320 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.450 |
| d75  | 0.600 |
| Cu = | 1.607 |
| Sk = | 1.200 |
| So = | 1.875 |

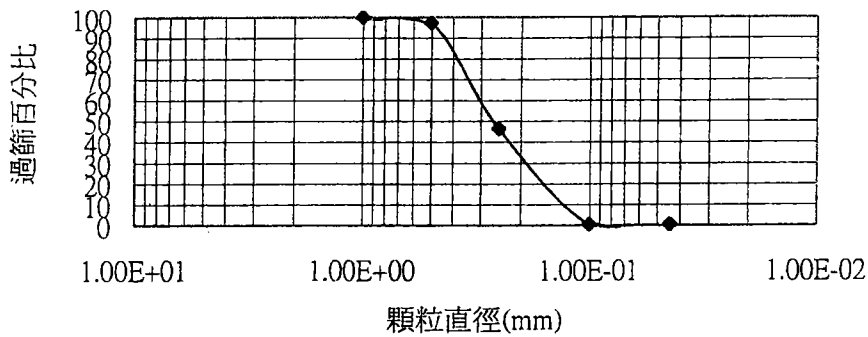
土壤粒徑分析圖 (27)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.330 |
| d25  | 0.440 |
| d50  | 0.620 |
| d60  | 0.700 |
| d75  | 0.800 |
| Cu = | 2.121 |
| Sk = | 0.916 |
| So = | 1.818 |

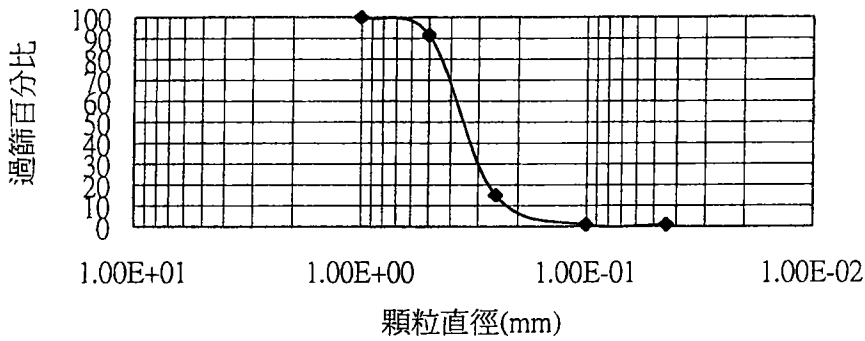


土壤粒徑分析圖 (28)



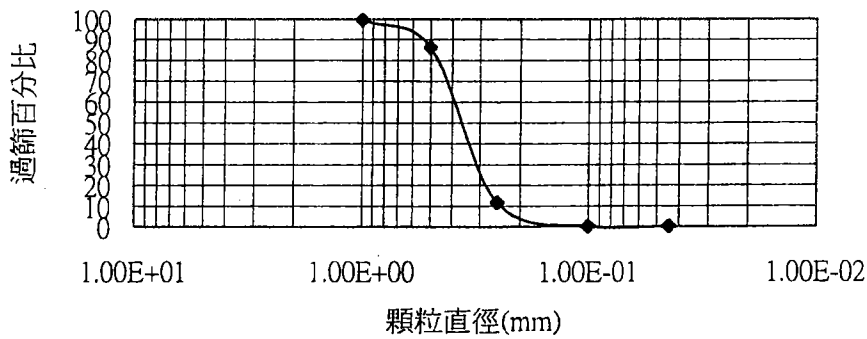
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.180 |
| d50  | 0.270 |
| d60  | 0.300 |
| d75  | 0.360 |
| Cu = | 2.500 |
| Sk = | 0.889 |
| So = | 2.000 |

土壤粒徑分析圖 (29)



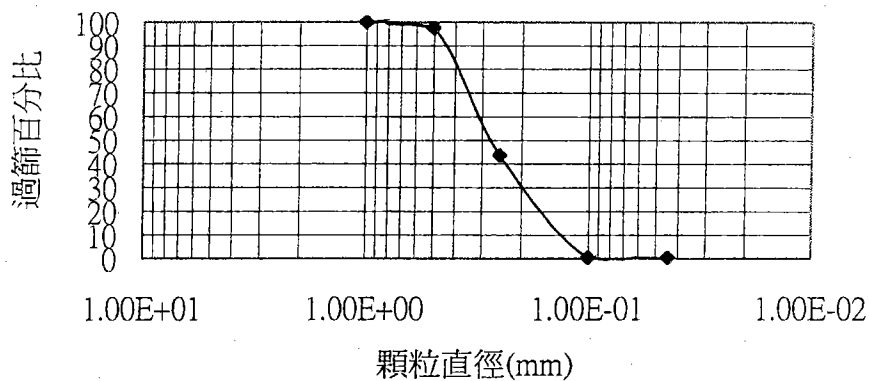
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.220 |
| d25  | 0.290 |
| d50  | 0.360 |
| d60  | 0.380 |
| d75  | 0.420 |
| Cu = | 1.727 |
| Sk = | 0.940 |
| So = | 1.448 |

土壤粒徑分析圖 (31)



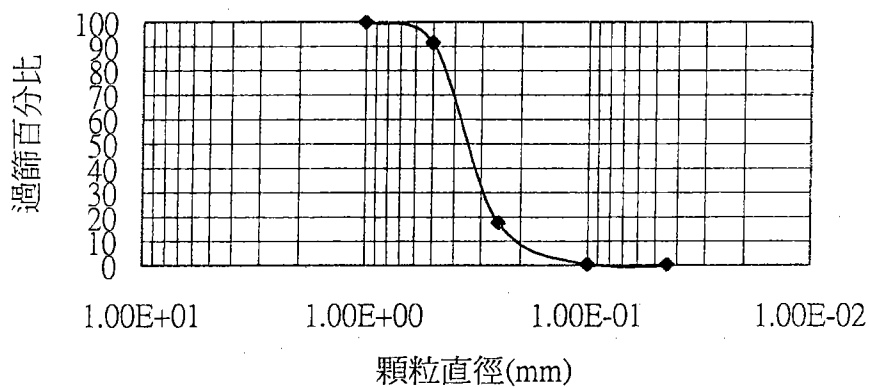
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.250 |
| d25  | 0.300 |
| d50  | 0.370 |
| d60  | 0.390 |
| d75  | 0.430 |
| Cu = | 1.560 |
| Sk = | 0.942 |
| So = | 1.433 |

土壤粒徑分析圖 (32)



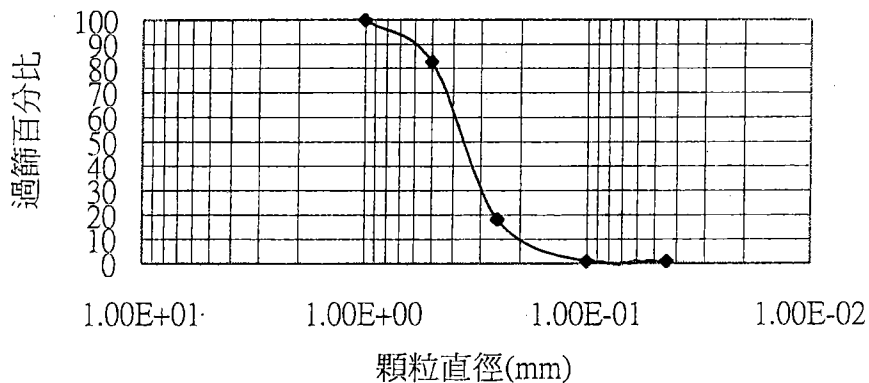
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.130 |
| d25  | 0.180 |
| d50  | 0.280 |
| d60  | 0.300 |
| d75  | 0.360 |
| Cu = | 2.308 |
| Sk = | 0.827 |
| So = | 2.000 |

土壤粒徑分析圖 (33)



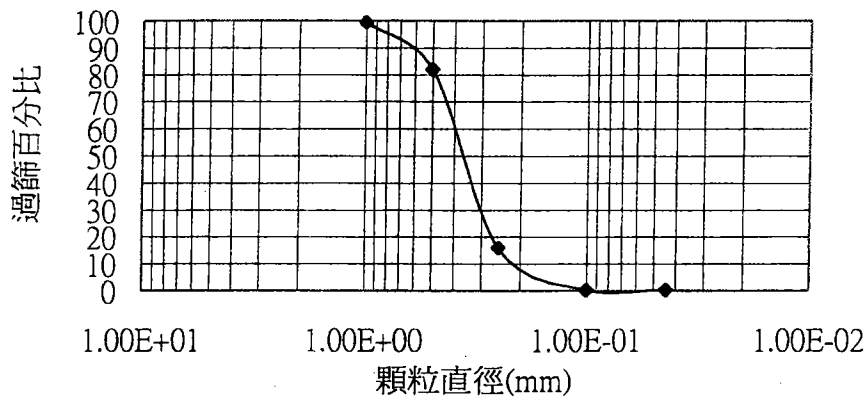
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.350 |
| d60  | 0.380 |
| d75  | 0.420 |
| Cu = | 1.900 |
| Sk = | 0.960 |
| So = | 1.500 |

土壤粒徑分析圖 (34)



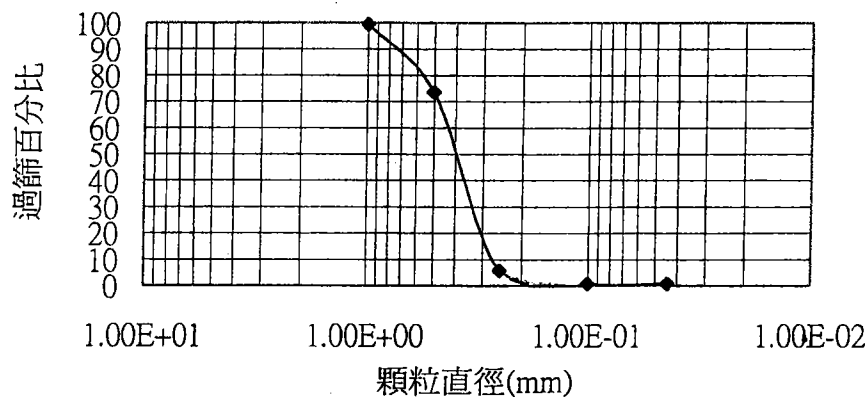
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.360 |
| d60  | 0.390 |
| d75  | 0.440 |
| Cu = | 1.950 |
| Sk = | 0.951 |
| So = | 1.571 |

土壤粒徑分析圖 (35)



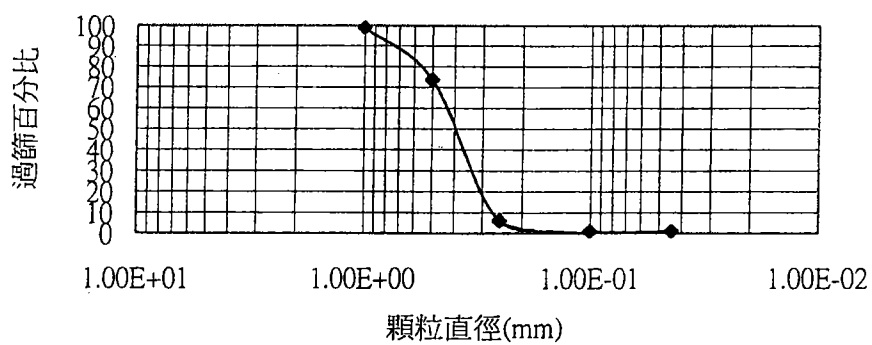
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.290 |
| d50  | 0.360 |
| d60  | 0.390 |
| d75  | 0.440 |
| Cu = | 1.950 |
| Sk = | 0.985 |
| So = | 1.517 |

土壤粒徑分析圖 (36)



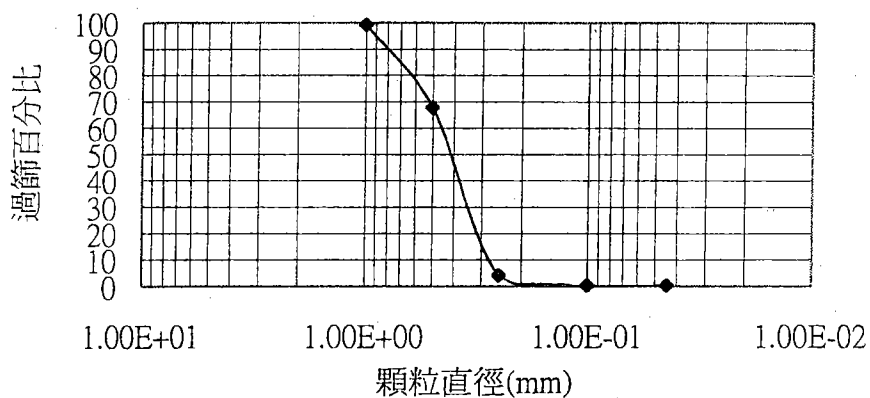
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.270 |
| d25  | 0.320 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.420 |
| d75  | 0.510 |
| Cu = | 1.556 |
| Sk = | 1.020 |
| So = | 1.594 |

土壤粒徑分析圖 (37)



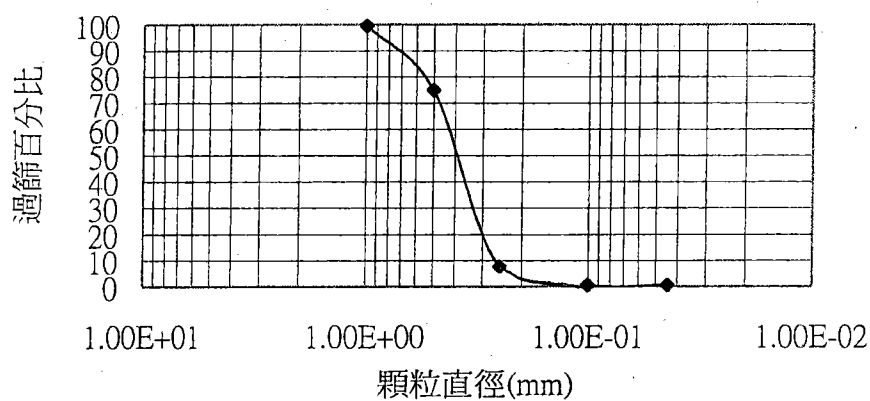
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.270 |
| d25  | 0.310 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.420 |
| d75  | 0.510 |
| Cu = | 1.556 |
| Sk = | 0.988 |
| So = | 1.645 |

土壤粒徑分析圖 (38)



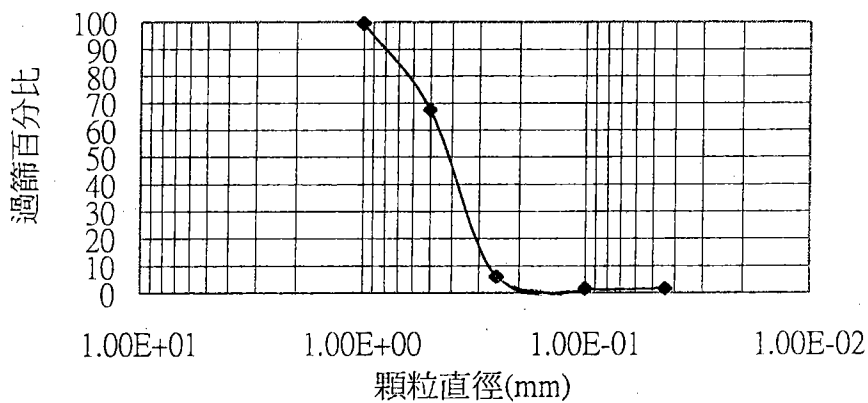
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.280 |
| d25  | 0.320 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.590 |
| d75  | 0.300 |
| Cu = | 2.107 |
| Sk = | 0.600 |
| So = | 0.938 |

土壤粒徑分析圖 (39)



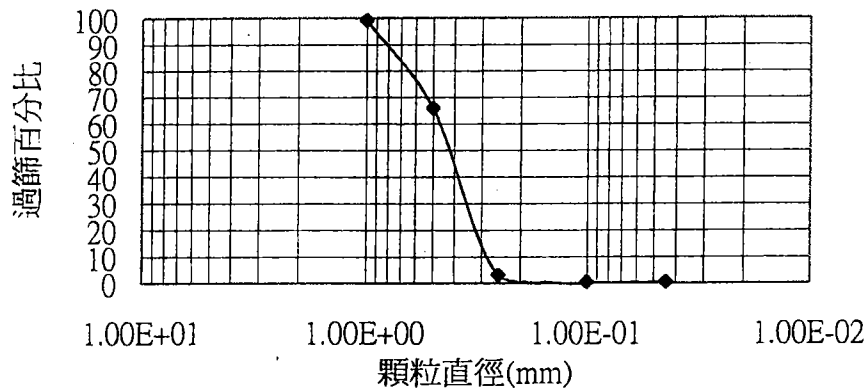
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.270 |
| d25  | 0.310 |
| d50  | 0.390 |
| d60  | 0.410 |
| d75  | 0.500 |
| Cu = | 1.519 |
| Sk = | 1.019 |
| So = | 1.613 |

土壤粒徑分析圖 (40)



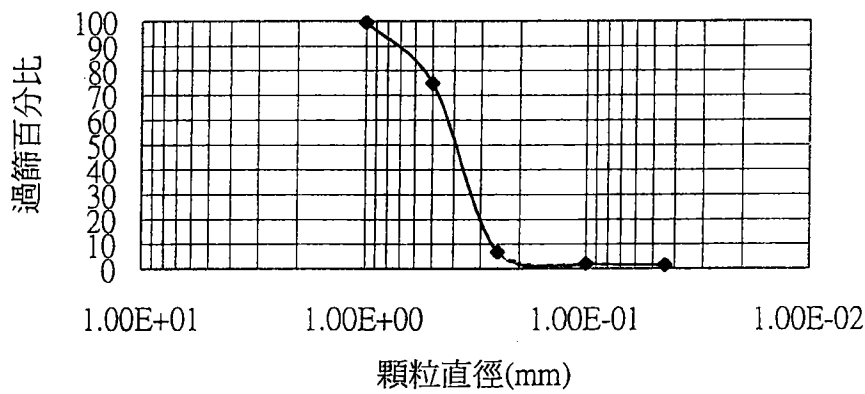
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.280 |
| d25  | 0.320 |
| d50  | 0.410 |
| d60  | 0.450 |
| d75  | 0.540 |
| Cu = | 1.607 |
| Sk = | 1.028 |
| So = | 1.688 |

土壤粒徑分析圖 (41)



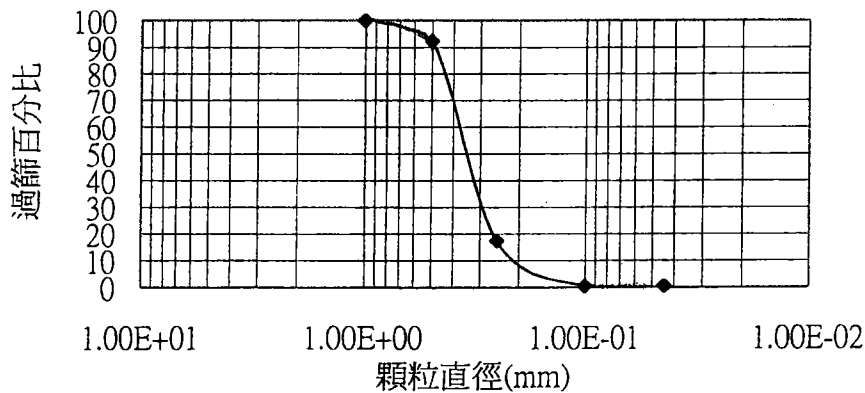
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.290 |
| d25  | 0.330 |
| d50  | 0.420 |
| d60  | 0.460 |
| d75  | 0.590 |
| Cu = | 1.586 |
| Sk = | 1.104 |
| So = | 1.788 |

土壤粒徑分析圖 (42)



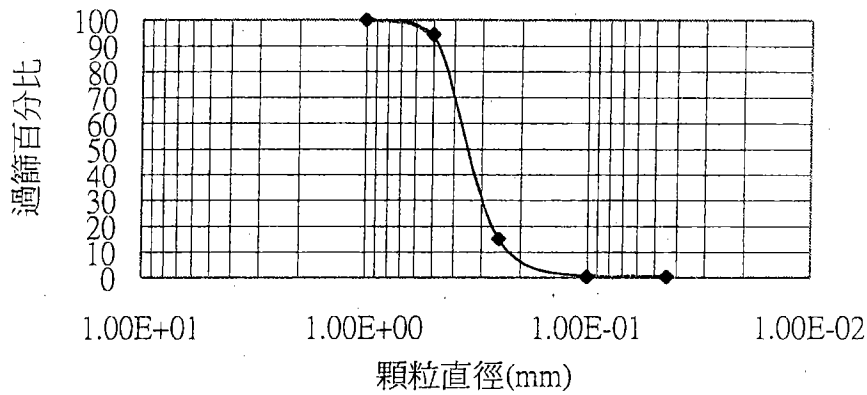
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.270 |
| d25  | 0.310 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.420 |
| d75  | 0.500 |
| Cu = | 1.556 |
| Sk = | 0.969 |
| So = | 1.613 |

土壤粒徑分析圖 (43)



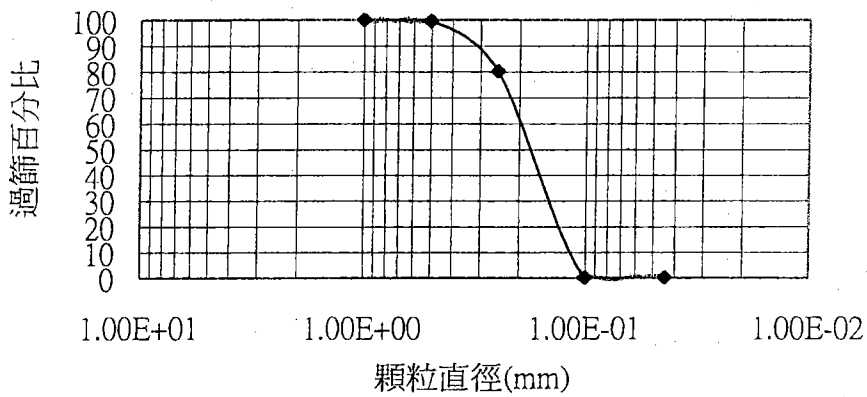
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.350 |
| d60  | 0.380 |
| d75  | 0.420 |
| Cu = | 1.900 |
| Sk = | 0.960 |
| So = | 1.500 |

土壤粒徑分析圖 (44)



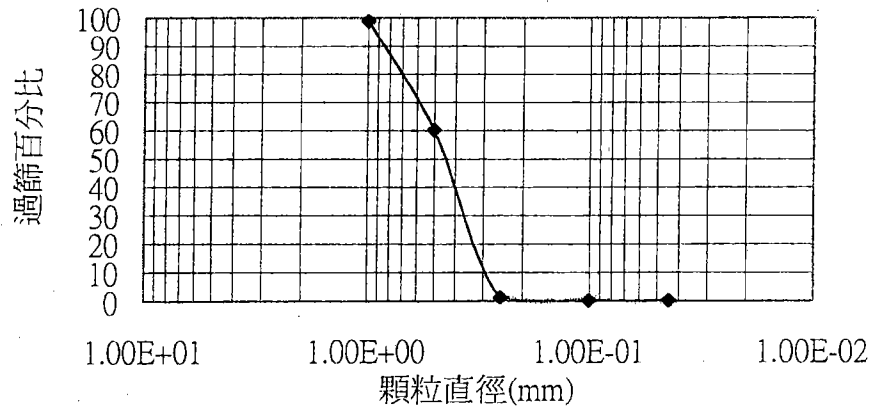
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.220 |
| d25  | 0.290 |
| d50  | 0.350 |
| d60  | 0.370 |
| d75  | 0.400 |
| Cu = | 1.682 |
| Sk = | 0.947 |
| So = | 1.379 |

土壤粒徑分析圖 (47)



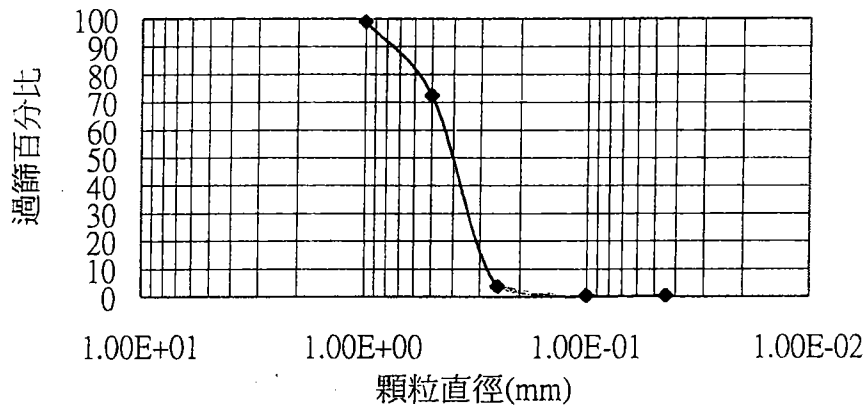
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.140 |
| d50  | 0.170 |
| d60  | 0.200 |
| d75  | 0.220 |
| Cu = | 1.667 |
| Sk = | 1.066 |
| So = | 1.571 |

土壤粒徑分析圖 (50)



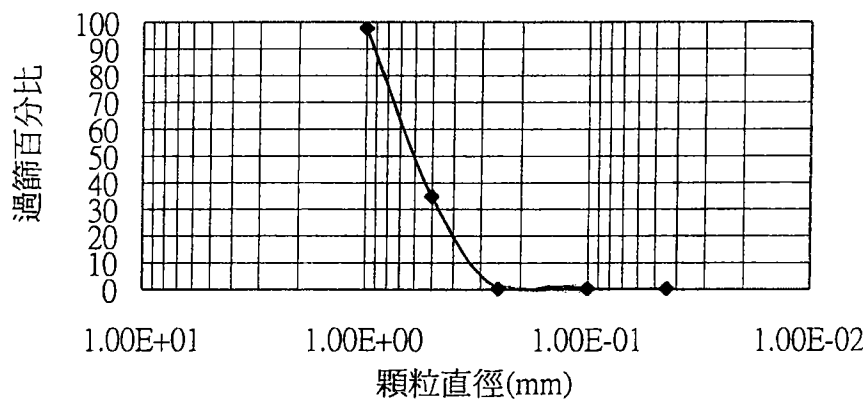
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.300 |
| d25  | 0.350 |
| d50  | 0.440 |
| d60  | 0.500 |
| d75  | 0.620 |
| Cu = | 1.667 |
| Sk = | 1.121 |
| So = | 1.771 |

土壤粒徑分析圖 (51)



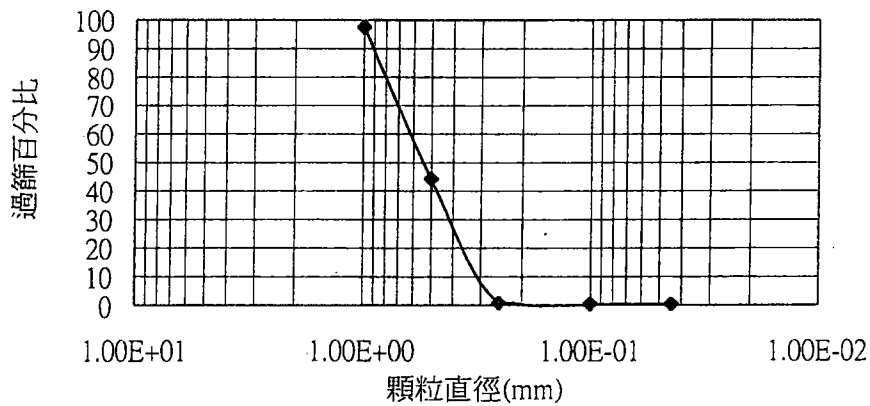
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.280 |
| d25  | 0.320 |
| d50  | 0.400 |
| d60  | 0.430 |
| d75  | 0.510 |
| Cu = | 1.536 |
| Sk = | 1.020 |
| So = | 1.594 |

土壤粒徑分析圖 (52)



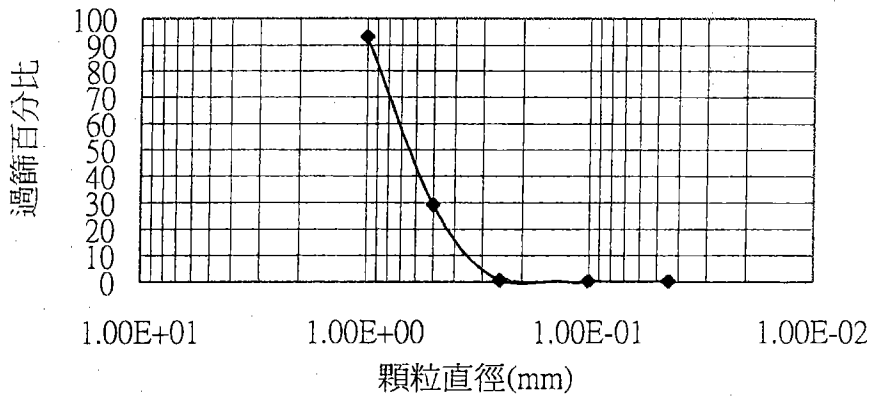
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.330 |
| d25  | 0.420 |
| d50  | 0.600 |
| d60  | 0.680 |
| d75  | 0.800 |
| Cu = | 2.061 |
| Sk = | 0.933 |
| So = | 1.905 |

土壤粒徑分析圖 (53)



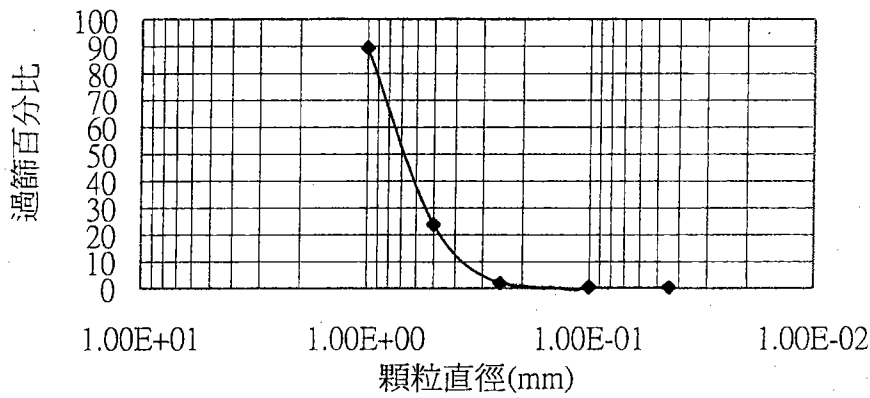
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.300 |
| d25  | 0.400 |
| d50  | 0.550 |
| d60  | 0.610 |
| d75  | 0.740 |
| Cu = | 2.033 |
| Sk = | 0.979 |
| So = | 1.850 |

土壤粒徑分析圖 (54)



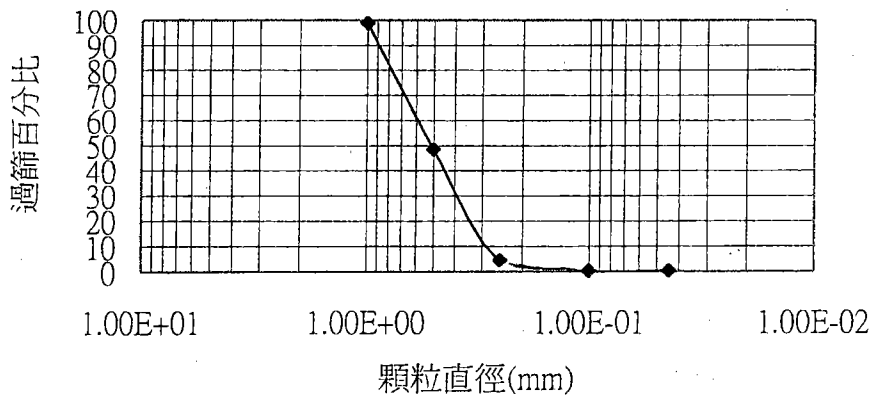
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.350 |
| d25  | 0.460 |
| d50  | 0.630 |
| d60  | 0.700 |
| d75  | 0.820 |
| Cu = | 2.000 |
| Sk = | 0.950 |
| So = | 1.783 |

土壤粒徑分析圖 (55)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.380 |
| d25  | 0.510 |
| d50  | 0.670 |
| d60  | 0.740 |
| d75  | 0.860 |
| Cu = | 1.947 |
| Sk = | 0.977 |
| So = | 1.686 |

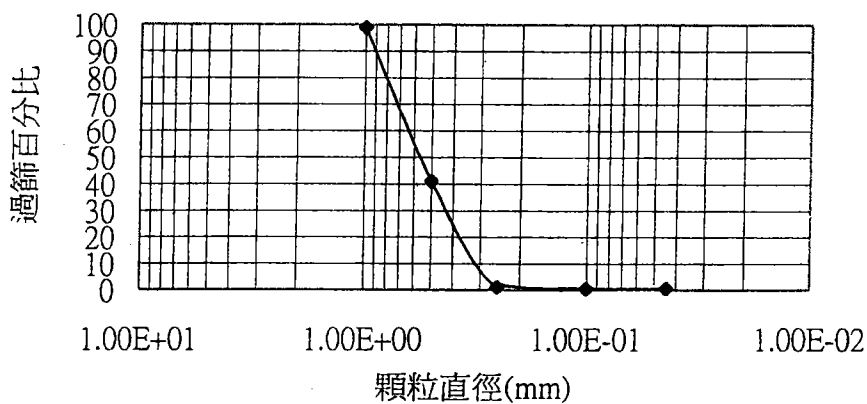
土壤粒徑分析圖 (56)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.290 |
| d25  | 0.370 |
| d50  | 0.500 |
| d60  | 0.600 |
| d75  | 0.720 |
| Cu = | 2.069 |
| Sk = | 1.066 |
| So = | 1.946 |

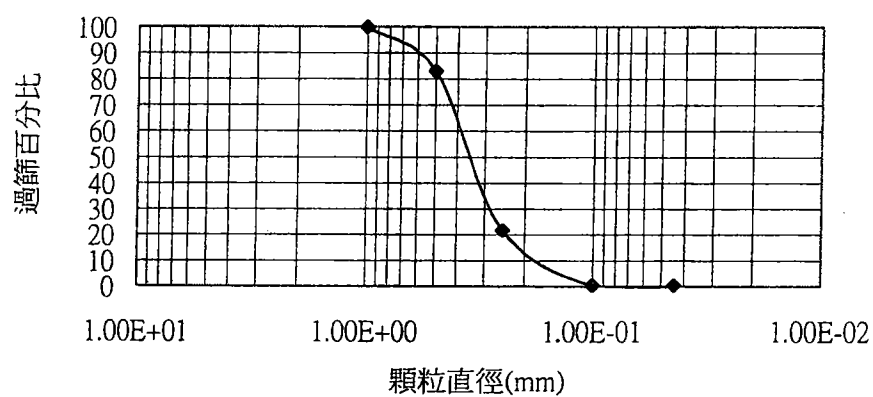


土壤粒徑分析圖 (57)



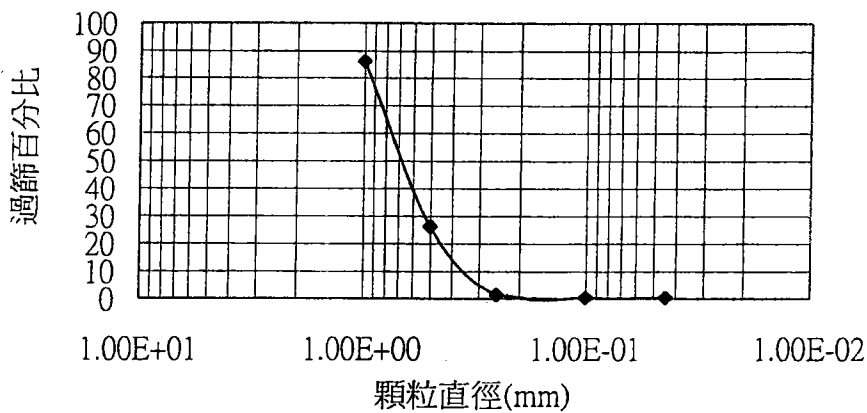
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.300 |
| d25  | 0.400 |
| d50  | 0.550 |
| d60  | 0.630 |
| d75  | 0.750 |
| Cu = | 2.100 |
| Sk = | 0.992 |
| So = | 1.875 |

土壤粒徑分析圖 (58)



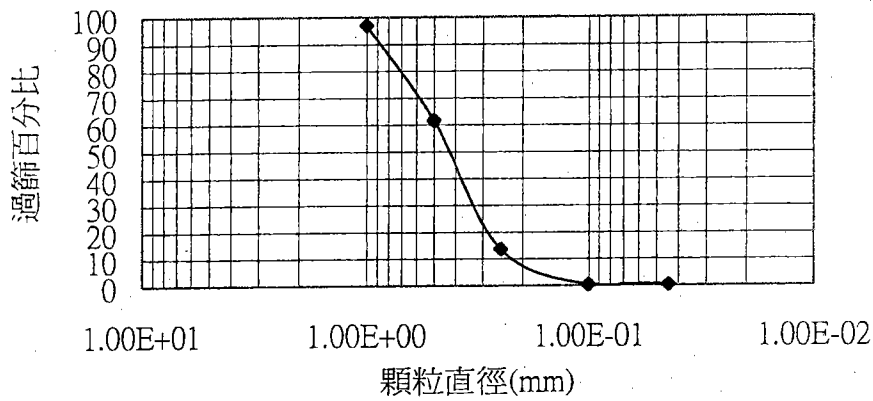
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.190 |
| d25  | 0.270 |
| d50  | 0.350 |
| d60  | 0.400 |
| d75  | 0.450 |
| Cu = | 2.105 |
| Sk = | 0.992 |
| So = | 1.667 |

土壤粒徑分析圖 (59)



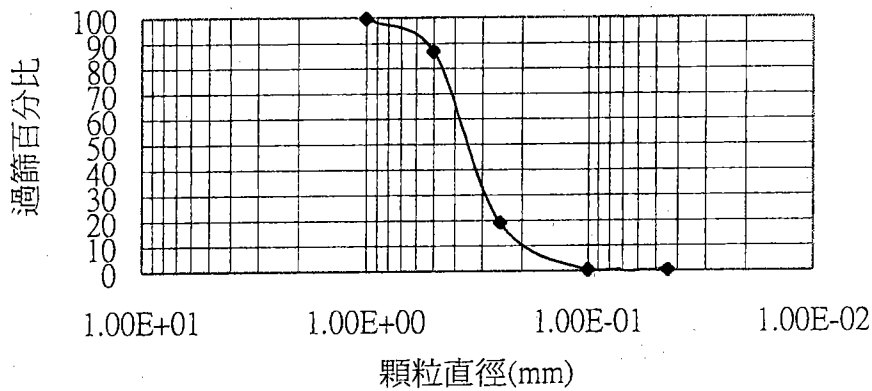
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.370 |
| d25  | 0.500 |
| d50  | 0.700 |
| d60  | 0.780 |
| d75  | 0.900 |
| Cu = | 2.108 |
| Sk = | 0.918 |
| So = | 1.800 |

土壤粒徑分析圖 (60)



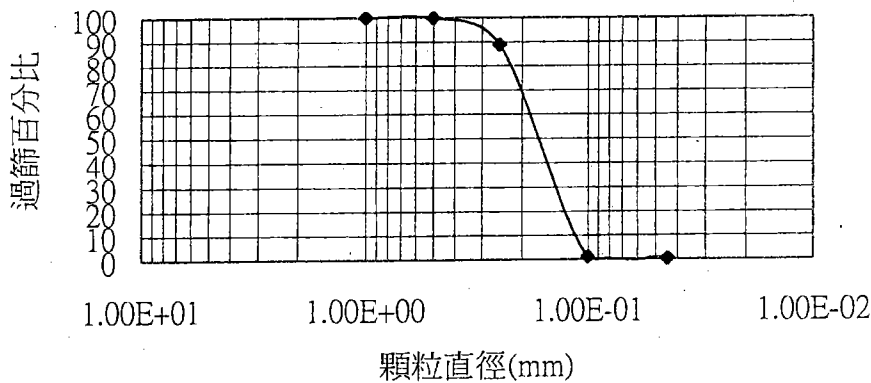
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.220 |
| d25  | 0.310 |
| d50  | 0.420 |
| d60  | 0.500 |
| d75  | 0.640 |
| Cu = | 2.273 |
| Sk = | 1.125 |
| So = | 2.065 |

土壤粒徑分析圖 (61)



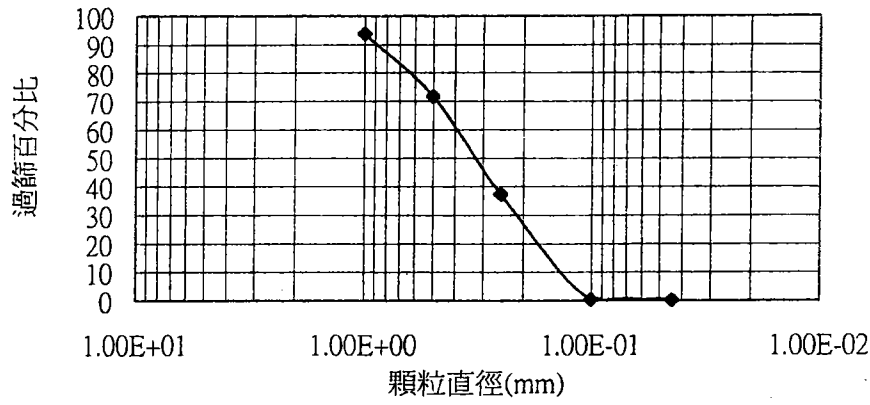
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.200 |
| d25  | 0.280 |
| d50  | 0.360 |
| d60  | 0.390 |
| d75  | 0.440 |
| Cu = | 1.950 |
| Sk = | 0.951 |
| So = | 1.571 |

土壤粒徑分析圖 (62)



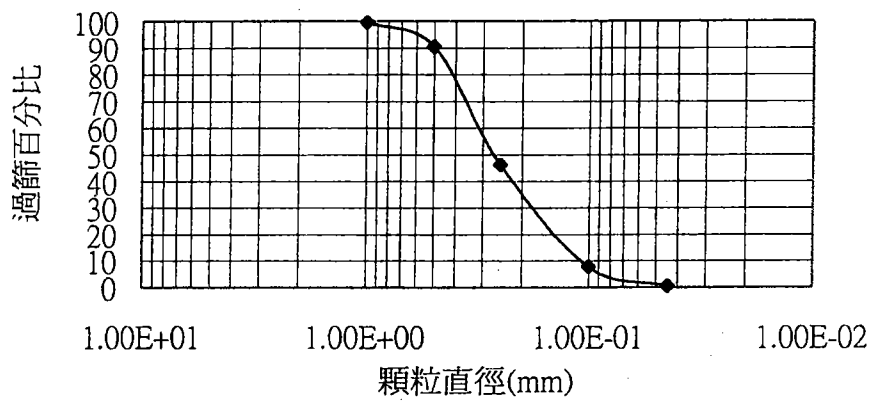
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.120 |
| d25  | 0.140 |
| d50  | 0.180 |
| d60  | 0.190 |
| d75  | 0.220 |
| Cu = | 1.583 |
| Sk = | 0.951 |
| So = | 1.571 |

土壤粒徑分析圖 (63)



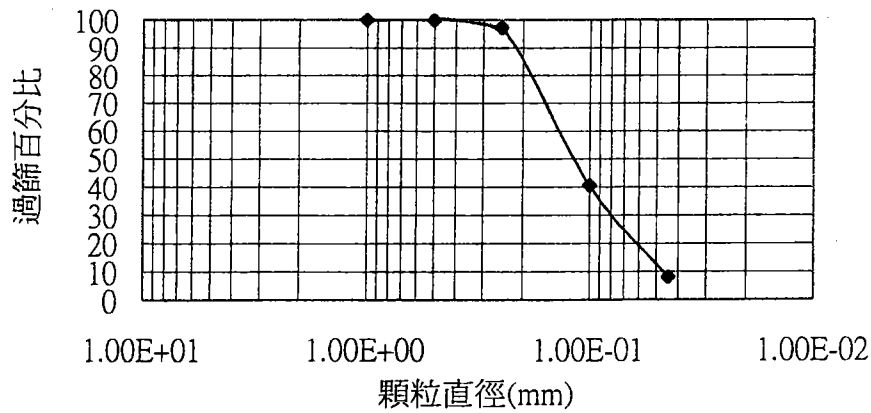
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.140 |
| d25  | 0.190 |
| d50  | 0.320 |
| d60  | 0.400 |
| d75  | 0.530 |
| Cu = | 2.857 |
| Sk = | 0.983 |
| So = | 2.789 |

土壤粒徑分析圖 (64)



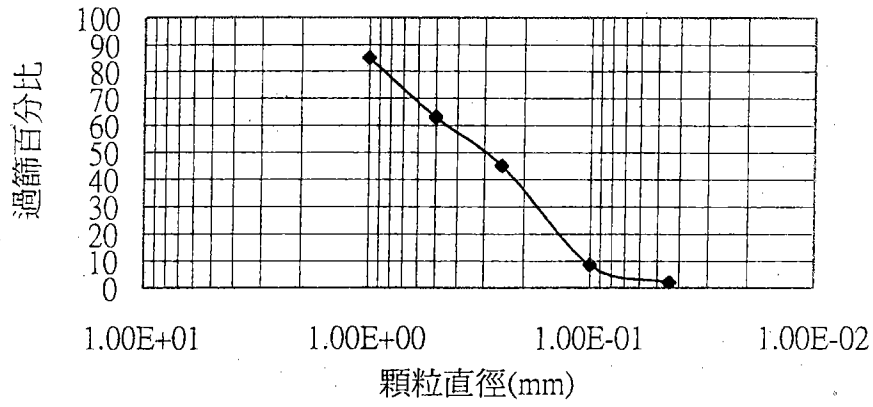
|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.100 |
| d25  | 0.170 |
| d50  | 0.280 |
| d60  | 0.310 |
| d75  | 0.390 |
| Cu = | 3.100 |
| Sk = | 0.846 |
| So = | 2.294 |

土壤粒徑分析圖 (65)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.047 |
| d25  | 0.070 |
| d50  | 0.120 |
| d60  | 0.140 |
| d75  | 0.170 |
| Cu = | 2.979 |
| Sk = | 0.826 |
| So = | 2.429 |

土壤粒徑分析圖 (66)



|      |       |
|------|-------|
| d10  | 0.100 |
| d25  | 0.170 |
| d50  | 0.300 |
| d60  | 0.450 |
| d75  | 0.700 |
| Cu = | 4.500 |
| Sk = | 1.322 |
| So = | 4.118 |

### 附錄三

## 期末報告初稿審查意見執行表

## 期末報告初稿審查意見執行表

|   |  |
|---|--|
| <p><b>張憲國教授意見：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 圖表資料引用向其他文獻者，應在圖表說明加入其出處。</li> <li>2. 圖 3-1-37~3-1-40 之 PVD 圖，如何看出平均流不大？</li> <li>3. 粒徑調查第一次，在 55 號斷面結果特別奇異，應在文章說明其緣由。</li> <li>4. 表 3-1-4~表 3-1-7 之四個主要分潮之週期為何不同？</li> <li>5. 本計畫之研究結果應加強比較與往昔研究之差異性及本海域應有的流況及漂沙特性。</li> <li>6. 數值模式對水位之模擬結果較流速佳，未來應加強流速計算部分。</li> </ol>  | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第 1、4、5、6 項遵照辦理，已於正式報告更正。</li> <li>2. 第 2 項平均流不大指整年平均流不大。</li> <li>3. 第 3 項有關第 55 號樣本在第一次採樣的粒徑分析結果，顯示這一帶的顆粒較其他地區大，這可能與當地波浪條件有關，波浪大者愈容易使海灘上的細顆粒成為懸浮質，另外也可能與波浪入射角度有關。確實緣由需有長時間之波浪及波向觀測資料方能研判。然而，二仁溪內之沉積物，第 55 號樣本的顆粒只比其他區域大上一兩倍，二仁溪內之沉積物顆粒卻是小了幾十倍，相較之下第 55 號樣本之分析結果不算特別奇異。此部份之論述已加入正式報告第四章。</li> </ol> |
| <p><b>李兆芳教授意見(書面審查)：</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 由計畫研究成果顯示：依據砂石顆粒粒徑以及綠泥石之成份應可以說明海岸漂沙之來源，也可以對當初計畫目標有所交代。在結論中，只說明礦物成份之判斷，應如摘要所言，指出礦物成份判斷之指標為綠泥石。</li> <li>2. 圖目錄與表目錄中，文字部分與頁碼要區隔。</li> <li>3. 圖 1-1 中，英文地名可以去掉，圖 2-2-14 到圖 2-2-18 中，英文地名也是多餘的。</li> <li>4. 在 3-19 頁到數第二段提及第十船渠內驗潮站、第 48 至 57 號碼頭，在圖 3-3-10a~d 中並沒標出，建議標出以利判讀。</li> <li>5. 表 3-1-14 和表 3-1-1 中附註欄沒用到，</li> </ol> | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 第 1~7 項遵照辦理，並已於正式報告相關章節加以修正。</li> <li>2. 第 8 項將於下年度之工作加強，並已於正式報告「結論與建議」一章加以說明。</li> </ol>  |

|  |   |
|--|---|
| <p>可刪去。</p> <p>6. 圖 3-2-1~3-2-3 中，岸上地標應明確標出，以利判讀，或利用如圖 3-2-3 中之二分帶座標標出期明確位置。</p> <p>7. 參考文獻中，34 英文名字寫法和其他不一致，要更正。37 英文姓後要加逗點。</p> <p>8. 就整個計內容和計畫目的而言，結論部分似乎全由現場調查之分析結果而定，而數值模擬結果以在驗證及一般說明上，模擬出來的流場對於漂沙走向之研判等討論內容較弱，建議下年度執時加強此項工作。</p> |   |
| <p>翁文凱教授意見：</p> <p>1. 圖 3-1-37~圖 3-1-40 海流向量圖應包含當時之潮位變化，方能使讀報告者易於了解。</p> <p>2. 本計畫以現場採樣方式進行海岸漂沙方向探討，有其創新性，應持續推廣，並將採樣範圍在縱向及深度方面延伸。</p> <p>3. 河川內砂粒粒徑一般較海岸海灘為大，而本計畫現場調查分析結果與此相反，是否因台灣河川較短。</p>   | <p>1. 第 1 項已依照委員意見加以修正。</p> <p>2. 第 2 項因涉及經費問題，將在正式報告「結論與建議」一章強調未來研究計畫之工作項目應朝此方向進行。</p> <p>3. 河川內的砂粒在中上游確實粒徑較大，但在下游尤其接近出口處，因水深較深且流速較慢，細顆粒較易在此沉積。而海灘上的砂粒，因水深較淺，又時時受波浪拍打，較細顆粒的砂較不易在此沉積，若下個年度若能至水深較深處採樣，則預期將可採集到較細的顆粒，故本計畫現場調查分析結果甚為合理，以上論述已於期末正式報告第四章及第六章中如以補充說明。</p> |
| <p>簡仲璟科長意見：</p> <p>1. 圖 4.3.1 及圖 4.3.2 之樣本編號 A、B、C、D 及 E 請改為河川名稱標示。</p>  | <p>1. 第 1 項遵照辦理，並已於期末正式報告第四章加以修正。</p> <p>2. 第 2 項建議將列為下年度採樣</p>   |

|  |  |
|--|--|
| <p>2. 第二次採樣樣本的選取請增加第 32 點(西子灣), 以便和第 33 點(旗津海水浴場)作比較, 以明瞭高雄港一港口之防波堤結構物對漂沙是否造成影響? 同樣也請增加第 11 點(興達港北側)以便和第 12 點(興達港南側)作比較。</p> <p>3. 圖 4.3.1、圖 4.3.3 及圖 4.3.5 之縱座標值區間皆不相同, 此是否有不同的代表意義? 或者僅是 X-射線繞射操作上的差異?</p> <p>4. 圖 4.3.5 中樣本編號 27 及 47; 圖 4.3.6 中樣本編號 27 及 44 與其他樣本之能量譜形狀有明顯差異, 其原因為何? 是樣本砂粒(坩粒)含量不足? 還是礦物成分不同? 請補充說明。</p> | <p>工作之選點參考, 於期末正式報告「結論與建議」一章有更進一步之說明。然而, 因為由礦物成份僅能看出長期漂沙趨勢, 既然沙都是同一來源, 吾人不敢預期會有特別的結果。</p> <p>3. 不同樣本其粗細顆粒含量不同, 能萃取出來做 XRD 的量自然不同, 故對於不同樣本需以不同強度 X 光照射, 方能展現各樣本圖譜的特性。此部分已於期末正式報告第四章加以補充說明。</p> <p>4. 可能因為萃取出來做 XRD 的量過少所造成。此部分已於期末正式報告第四章加以補充說明。</p>  |
| <p><b>何良勝科長意見：</b></p> <p>1. 依據本年度流場計算之結果, 下年度如何據此作為漂沙特性之研判? 是否有考量依冬、夏季及颱風影響等情況。</p> <p>2. 依現場調查結果得知計畫範圍內之海灘沉積物來自高屏溪, 是否可據此研判此區域之漂沙優勢走向? 對於局部侵蝕或局部淤積的現象, 是否能由此結果研判?</p> <p>3. 較淺區域之漂沙特性與較深水域者, 是否有一致性? 此部分仍待進一步探討, 故建議下年度現場調查部分增加部分海域之採樣。</p> <p>4. 計畫範圍內有現場地形測量結果者, 應可作為數值模擬及現場調查之驗證比較。</p>                                 | <p>1. 根據現場調查海流結果顯示季節風產生之流並不大, 主要考量為潮流及颱風產生之暴潮流。</p> <p>2. 現場調查結果確可研判此區域之漂沙優勢走向為由南往北, 至少這一點已向前邁了一大步, 前人研究了數十年仍決定不出是由南往北或是由北往南。然而, 此僅能看出長期趨勢, 對於局部或是短期效應, 則待其他方法。此部分之論述已於期末正式報告「結論與建議」乙章加以補充說明。</p> <p>3. 第 3、4 項已於正式報告「結論與建議」乙章強調下年度之工作項目應朝此方向進行。</p> |
| <p><b>邱永芳主任意見：</b></p>   |  |



|                               |   |
|-------------------------------|---|
| 1. 建議下個年度進行縱向採樣，以比對向、離岸之漂沙特性。 | 1. 已於正式報告「結論與建議」一章強調未來研究計畫之工作項目應朝此方向進行。 |
|-------------------------------|---|

## 附錄四

### 期末報告簡報資料

# 高雄附近海域漂沙現場調查 及數值模擬研究 期末報告簡報

台灣大學土木工程學研究所  
交通部運輸研究所港灣技術研究中心 合作

## 簡報內容

- 計畫緣起
- 相關前人研究
- 計畫內容
- 計畫區現況
- 數值模擬方法與成果
- 現場調查之分析方法與成果
- 漂沙特性之研判
- 結論

## 計畫緣起

高雄港位於台灣西南海岸，附近海域受長年波、流作用，呈部分侵蝕、部分淤積之狀態。高雄港第一港口每年需花大筆經費疏浚，而左營以北蚵子寮、彌陀海域，曾經是一大片沙灘，如今已侵蝕殆盡。

本計畫區之漂沙特性，長久以來一直是研究重點，蚵子寮、彌陀海域之侵蝕，到底是曾文水庫和阿公店水庫之興建減少砂源所造成的，還是高雄港之興建把砂源攔住所造成的，至今仍無定論。

本計畫之目的，即是要探討計畫區的砂到底是從那裡來的，被擋在那裡，以進一步探討侵淤之原因。

## 相關前人研究

有關本計畫區漂沙特性之研究並不少：

\*郭金棟、陳文俊(1990)

\*施學銘、黃序文(1995)

\*施學銘、廖洪儒(1997)

\*簡仲和(1997、1999~2001)

\*黃清和(1999)

這些研究有的是藉由海岸水下地形的比較，有的是利用捕砂器之量測，有的透過海灘沉積物圓度之量測，也有用衛星影像或海象觀測資料來研判的。有的說漂沙是由北而南，有的說是由南而北，也有說是向、離岸的，但到底如何至今尚無定論。

## 計畫內容

本計畫分兩部分，第一部份為現場調查分析研究，由台灣大學土木工程學研究所執行，第二部份為數值模擬研究，由交通部運輸研究所港灣技術研究中心執行數值模式操作，台灣大學則提供相關技術與學理之諮詢服務。

本計畫之研究範圍，如圖所示。

本計畫為二年計畫。現場調查部分，每年於夏、冬兩季末至現場採集河床和沙灘上之沉積物，帶回實驗室分析其粒徑特性及礦物成份。數值模擬部分，第一年完成潮汐流場、沿岸流場之模擬，第二年則完成漂沙地形變遷之模擬。

## 計畫區現況

本計畫研究範圍受長年波、流作用，呈部分侵蝕、部分淤積之狀態。高雄港第一港口每年需花大筆經費疏浚，而左營以北蚵子寮、彌陀海域，在數十年前曾經是一大片沙灘，如今已近乎侵蝕殆盡。

計畫區內有由北而南有三條主要河川，分別為二仁溪、阿公店溪及高屏溪，另有二條次要河川，位於左營以北阿公店溪以南，分別為典寶溪及後勁溪。依據經濟部水資源局長年之觀測統計，高屏溪之年輸砂量數倍於二仁溪及阿公店溪，與計畫區鄰近之曾文溪輸砂量相當。

## 數值模擬

數值模擬係採用丹麥水利研究所(DHI)所研發之Mike21軟體，包括兩大部分，分別為流場模擬之水動力學模式(HD模式)及波場模擬之近岸波場模式(NSW模式)。模擬項目則包括兩大部分，分別為潮汐流場模擬及沿岸流流場模擬。

### ● Mike21 HD(HydroDynamic)

- HD模式考量潮汐、風、波力、大氣壓力、地球自轉柯氏力、海底摩擦及紊流效應等因素，可模擬水位及流況等變化。
- 主要方程式:連續方程式及動量方程式。
- 數值方法:有限差分法(FDM)。

### ● Mike21 NSW(Near Shore Wave)

- NSW模式主要計算近岸地區波場(波高、週期及波向)與波浪產生之幅射應力(radiation stress)。
- 主要方程式:能量守衡方程式。
- 數值方法:有限差分法(FDM)。

### ● 潮流模擬

- 計算區域:大域(190x140km)->中域(110x70km) ->小域(21x15km) (高雄港附近海域)。
- 大域邊界:以蟬廣嘴及將軍為南北潮位邊界。
- 計算結果:小域模擬結果。
- 比較驗證:數值計算與實測結果比較。

### ● 颱風流場模擬

- 計算區域:小域(21x15km) (高雄港附近海域)。
- 波浪條件:以廖等(2002)高雄旗津海岸推算20年迴歸期颱風波浪:示性波高6.8m, 示性週期11.9s, SSW向為模擬條件。
- 風場條件:以風速25m/s、風向SW為模擬條件。
- 計算結果:小域模擬波向量分佈。小域模擬流向量分佈。

## 現場調查

本年度之現場採樣，第一次於4月6、7日進行，第二次則於9月11、12進行，採樣地點如圖所示，總共採集66個樣本點。

另為比對各河川上游河床沉積物與沙灘上沉積物之關聯性，另於7月31日至研究範圍內各主要河川上游進行採樣，並將採樣範圍延伸至更北邊的鹽水溪及曾文溪(如圖)。

採集樣本之分析，分為兩部分，一為粒徑分析，另一為礦物成份分析。



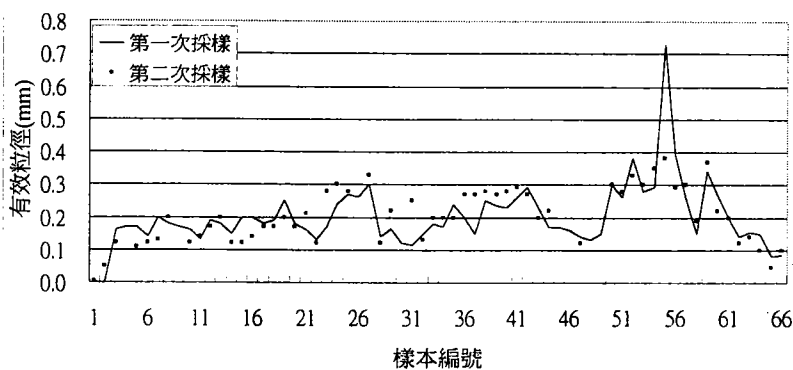
## 粒徑分析

粒徑分析分為篩分析及比重計分析，其目的在於求出各不同重量百分比所對應之顆粒大小。

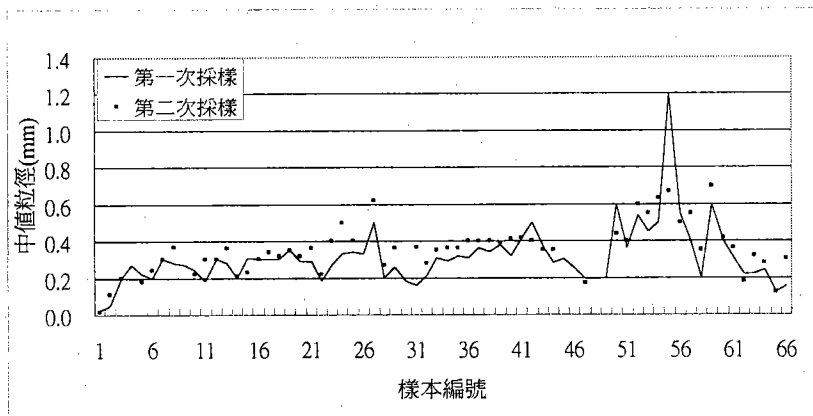
篩分析係利用通過不同篩目之顆粒所佔之重量，求其佔整體樣本之百分比，進而求得其粒徑分佈。

當通過最小網目之顆粒超過10%，則進一步進行比重計分析，其原理係利用不同顆粒具不同之沉降速度，由不同時間比重計之讀數推算該時間所對應顆粒大小所佔之百分比。

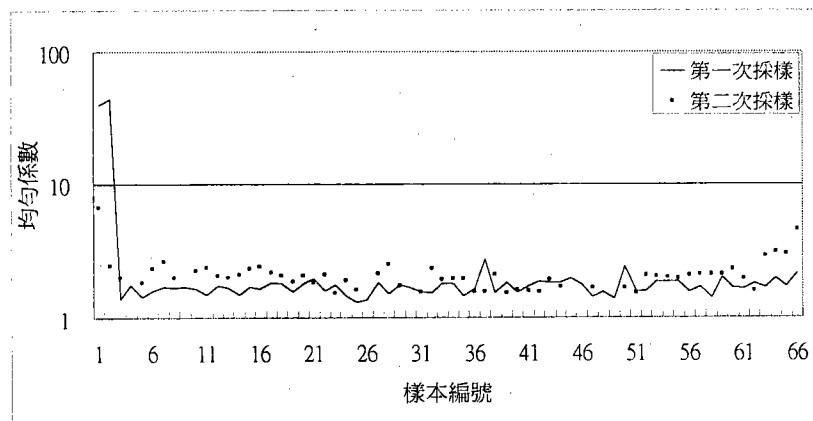
## 粒徑分析之成果



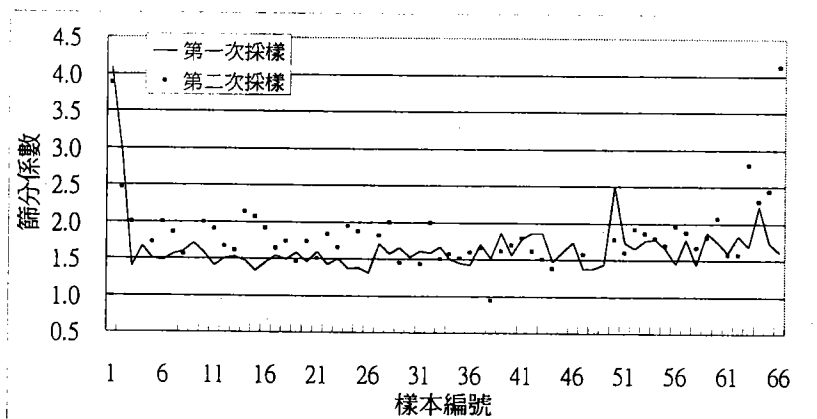
## 粒徑分析之成果



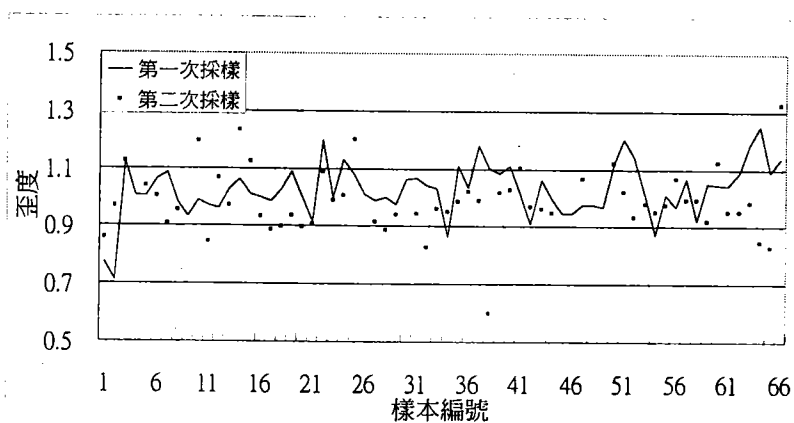
## 粒徑分析之成果



## 粒徑分析之成果



## 粒徑分析之成果



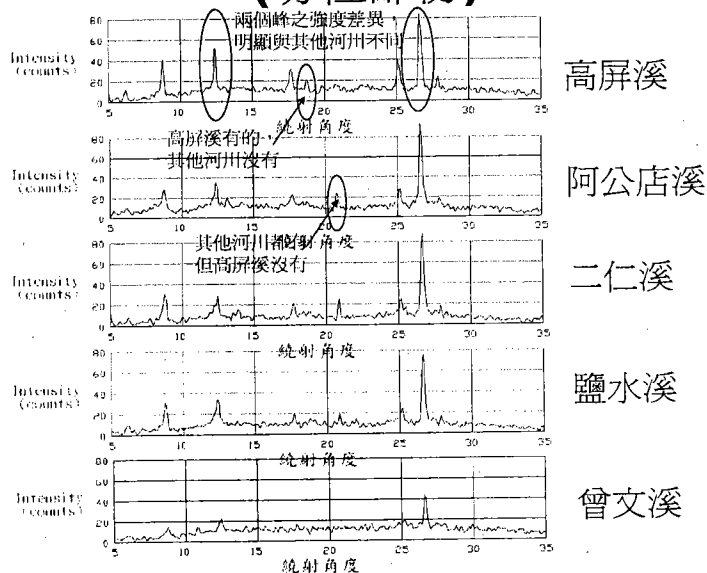
## 礦物成份分析

利用XRD方法進行之：

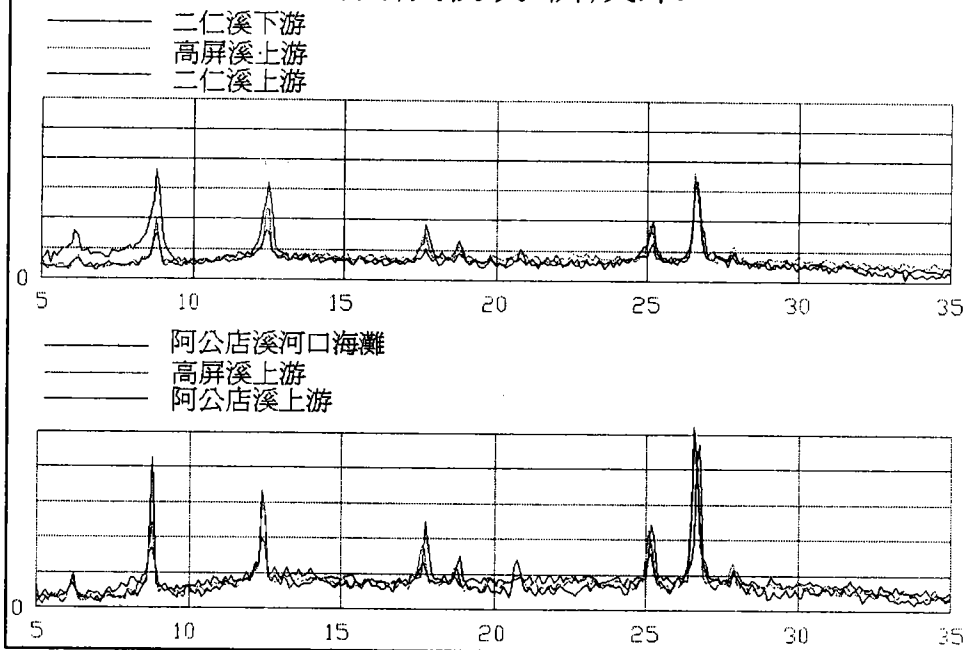
分析之前須先將漂沙樣品先分離出砂粒(2-0.05 mm)、  
粉粒(0.05-0.002 mm)及粘粒(<0.002 mm)等三部分。  
並以化學方法除去附於顆粒表面之有機質、氧化鐵等  
雜質。

之後將樣本置於載玻片上，放入X-射線繞射分析儀。  
由於各不同礦物之結晶構造不同，經X-射線照射所產  
生之繞射角度亦不相同，藉由能量峰出現所對應之繞  
射角度，可判斷樣本所含之礦物成份。

### 由礦物成份判斷砂源之指標 (粉粒部份)



## 礦物成份分析成果



## 漂沙特性之研判

由現場觀測及數值模擬之流場來研判：

潮汐所造成之週期性流動，大致上沿著海岸線，最大也才60cm/sec左右而已，對砂粒移動之作用有限。

在恒流方面，長時間之流速向量累加後取平均，雖有淨流量但其值甚小，且各地方方向不同(高雄港與興達港附近向南，高屏溪口向北)，尚不足以用來研判漂沙特性。

若由颱風波浪所驅動之沿岸流來看，數值模擬之結果顯示為向北，然其現象決定於入射波向之選定，由此研判漂沙特性恐失其客觀性。

## 漂沙特性之研判

由現場調查之結果來研判：

由粒徑分析之結果，二仁溪下游(河川裡)的沉積物，其顆粒遠小於高屏溪下游(也是河川裡的)沉積物，而海灘上的沉積物，其粒徑分佈特性與高屏溪的較接近。由礦物成份分析之結果，可知高屏溪河川上游的河床沉積物，其成份綠泥石含量較其他河川高。而整個研究範圍內沙灘上之沉積物，其礦物成份與高屏溪的較接近。

不論夏季末或是冬季末的採樣，其分析結果大致相同。由現場調查之結果可研判，整個研究範圍之沉積物，甚至連二仁溪下游，都極有可能來自於高屏溪。

## 結論

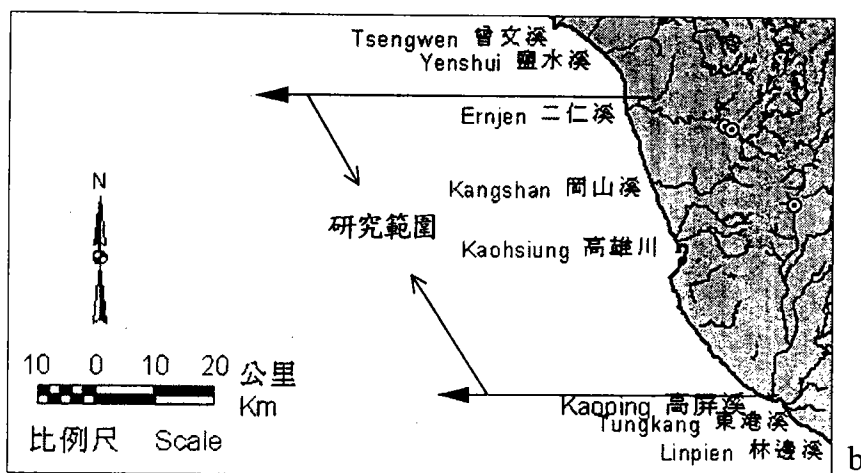
由現場觀測、前人相關研究及本計畫數值模擬等結果來研判，本研究範圍內漂沙受颱風波浪造成之水流所驅動可能性較大。

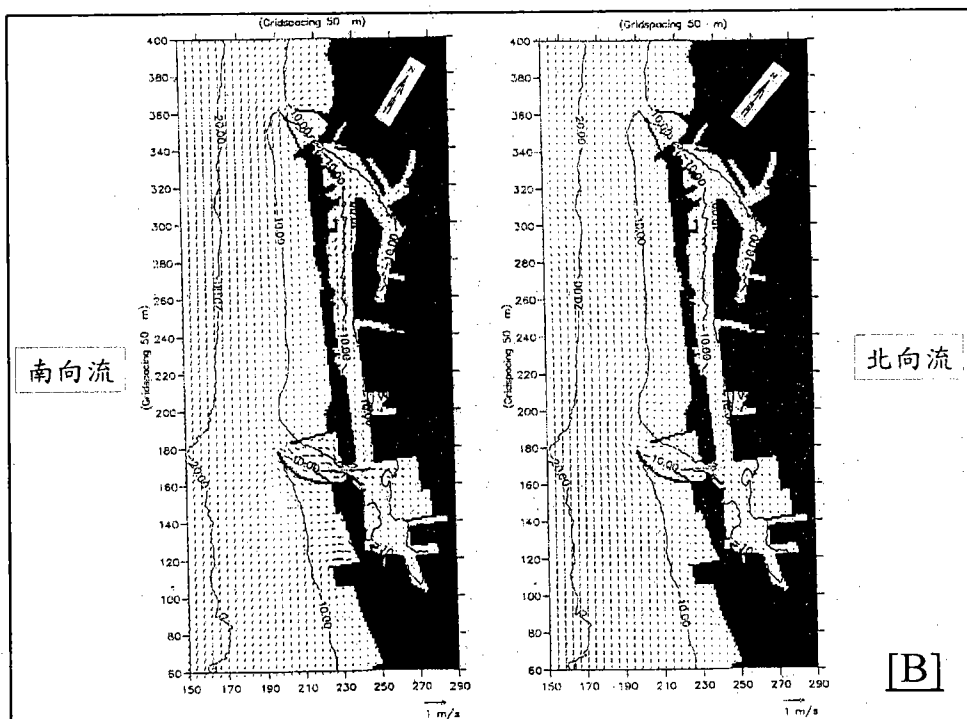
本計畫現場調查之結果顯示，二仁溪口至高屏溪口間海岸之沙灘沉積物，極有可能均來自於高屏溪。故就長期而言，驅動漂沙之作用力應是由南向北。

颱風之發生充滿不確定性，要利用數值模式來模擬颱風造成之漂沙行為，一開始在入射波角度之選定就是一大困難。本計畫現場調查之結果，恰可解決此一問題。

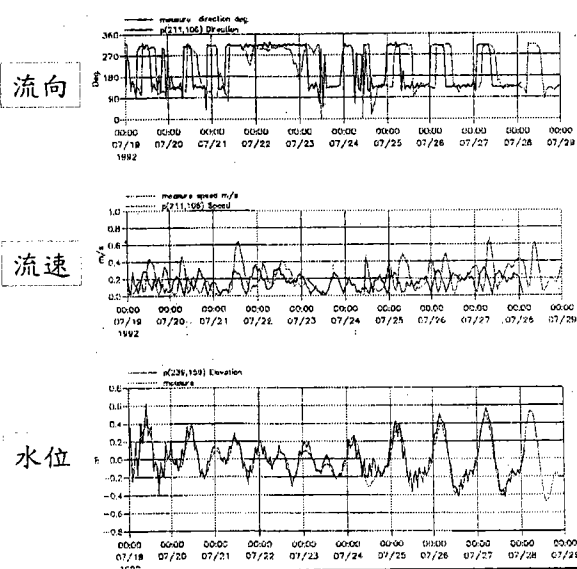
簡報完畢  
敬請指教

### 研究範圍圖



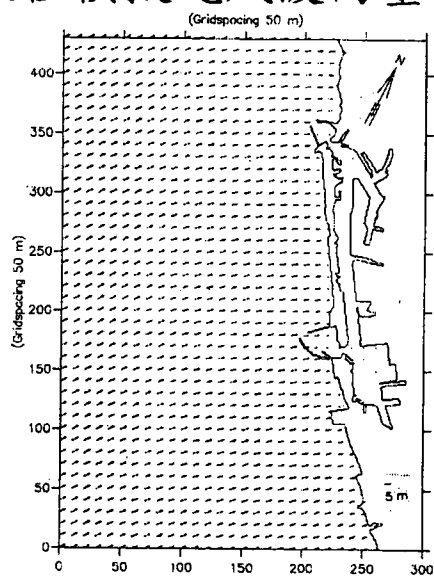


## 大林埔海域水深10m處(211, 106)模擬結果 與實測值比較圖



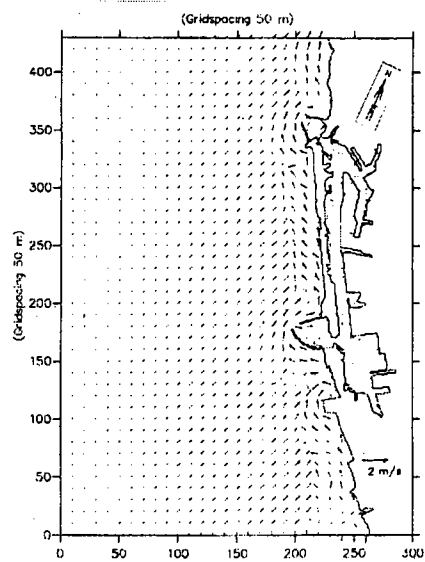


# 數值模擬颱風波向量圖



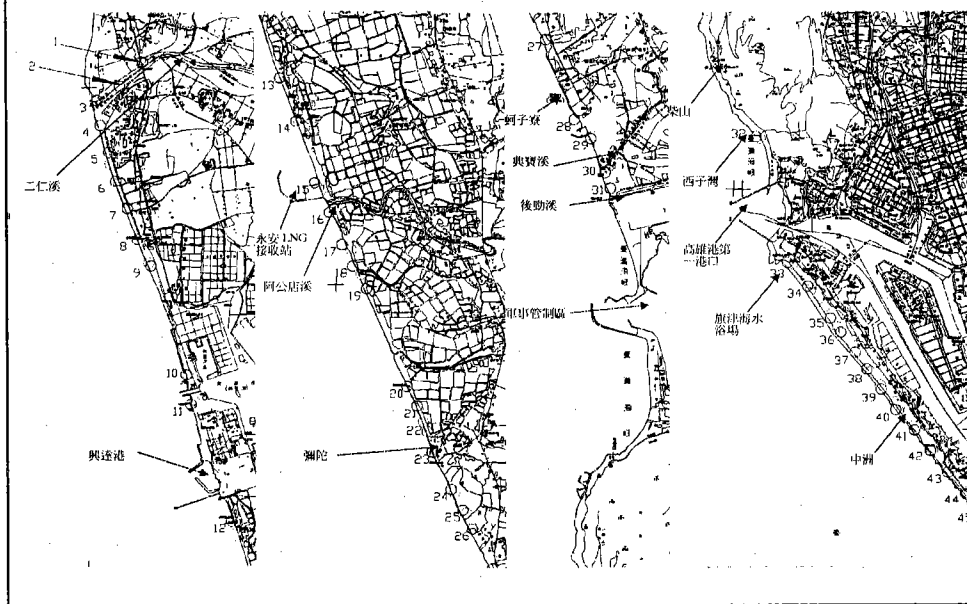
[B]

# 數值模擬颱風流場向量圖



[B]

採樣點位置圖[A]



採樣點位置圖[B]

