

花蓮港與蘇澳港八十三年颱風災害探討

目 錄

一、前言	1
二、花蓮港	2
三、蘇澳港	16
四、災害原因之探討	22
五、結語	24

花蓮港與蘇澳港八十三年颱風災害探討

張金機

一、前言

台灣位於太平洋西岸，港灣工程建設每年夏季受颱風侵襲造成損毀。根據近一百年來颱風資料統計平均每年約有 3.5 次颱風侵襲台灣，而其中直接威脅東部花蓮與蘇澳兩港者約佔 25%-30%。

今年自七月初開始連續發生提姆(7/9~7/10)，凱特琳(8/3~8/4)，道格(8/6~8/8)，弗雷特(8/19~8/21)，葛拉絲(8/31~9/1)及席斯(10/7~10/10)等六個颱風侵襲台灣，其中以提姆、道格及弗雷特三個颱風對東部港灣及海岸構造物造成嚴重破壞。花蓮港東防波堤胸牆遭破壞，西防波堤護基混凝土型塊流失，NO. 25 碼頭消波艙支柱斷裂，碼頭面版損毀；蘇澳港南防波堤兩座沉箱破壞，北防波堤沉箱堤基流失，拋石堤沖毀等災害。為檢視災害原因，受大處指示及並採納交通部科技室評審本所八十二年度研究成果建議，由本所邀請教授與顧問公司專家組成會勘小組共同會診災害原因。

此次會勘邀請台大教授梁乃匡、交大教授郭一羽、成大教授簡仲和及中華顧問工程司鄭副理俊彥、宇泰顧問公司陳經理吉紀，中華港埠服務社卓經理健等學者專家，在大處張技正富南與趙時箴先生指導下，獲花蓮港務局韓局長及基隆港務局鄧總工程司陽率重要工程人員簡報，並赴現場勘察，順利完成會勘與災害原因探討。謹此表示謝意。茲將會勘結果概要報告如后。

二、花蓮港

(一)花蓮港務局損壞情形報告

花蓮港港灣設施遭受「提姆、道格」颱風災害情形報告，摘要概敘如下：

1. 防波堤

(1)東防波堤：開孔胸牆防波堤胸牆斷裂長約490公尺，位置如圖 1，20處80公分隔牆破損，堤面道路破裂約 1000平方公尺護墩沖毀242個，部份舊堤堤心被淘空，堤面受損。

(2)西防波堤：堤端拋石基礎沖刷，護基20T雙T混凝土塊流失約600個。

2. 碼頭

第25號碼頭全長332公尺，由12座沉箱所組成。設計時為吸收部份波能，將其中10座沉箱臨岸前艙改設消波室，每一艙由兩隻 $1.2^m \times 1.2^m$ 長 8^m RC柱支撐碼頭面版，受颱風波浪侵襲造成 13支撐柱與碼頭面搭接處斷裂、傾倒。其中第六座沉箱除支柱傾倒外，隔艙亦損毀。碼頭面大樑(預留貨櫃起重機軌道)斷落，造成長 14^m 寬 7.2^m 厚 1^m 碼頭RC混凝土面版折斷掀起現象。

(二)原設計顧問公司報告

花蓮港外廓防波堤及碼頭分別由中華顧問工程司與中華港埠服務社設計，茲摘要如下：

1. 中華顧問工程司—防波堤設計

(1)設計內容：

東防波堤長 1835^m ，水深 -7.5^m 至 -25.5^m ；

西防波堤長 $1,000^m$ ，水深 -1.0^m 至 -16.5^m 。

(2)設計條件：

水位：採用 $+2.5^m$ ，相當於重現期44年。

波浪：採用重現期25年，根據颱風波浪推算波高由SSE, SE方向分別為 9.0^m 及 10.5^m ，週期則 12.3^s 及 13.3^s 。其餘ESE, E及ENE則採用波高 11.3^m ，週期 13.8^s 。若重現期提高為 50年，則波高約增加 1^m 。

地質：地質條件良好，承载力高，沉陷量小。

摩擦係數：混凝土對拋石一般為0.6，為增加摩擦係數，沉箱底版採用鉅齒狀，設計採用0.7。

安全係數：重現期25年，滑移、傾倒、拋石基礎等均採用1.2。

波力：採用開孔胸牆波壓力，減為直立牆之0.9倍。

(3)損毀原因探討：質疑波浪超過設計波高或消波胸牆未發揮功能。

(4)修補方法：

詳如圖2，胸牆加鋼筋及剪力標桿。

2. 中華港埠服務社—碼頭設計

(1)概述

第25號碼頭由12座 $25^m \times 25^m$ 沉箱組成，為吸收部份波能，臨岸側採用開孔消波艙。設計示性波高為 2.0^m ，碼頭面高程 $+4.0^m$ 。

(2)損毀原因探討

設計波高 2^m ，但根據實測波浪及試驗波高繞射係數推算颱風期間碼頭前示性波高大於 3^m ，加上最大颱風波浪侵襲時發生最大暴潮位，碼頭面版缺乏排氣孔，可能是造成碼頭支柱斷裂及碼頭面版被掀起斷裂現象。

(3)修復方法：分為兩案

甲案灌製水中混凝土，取消碼頭面消波設施。

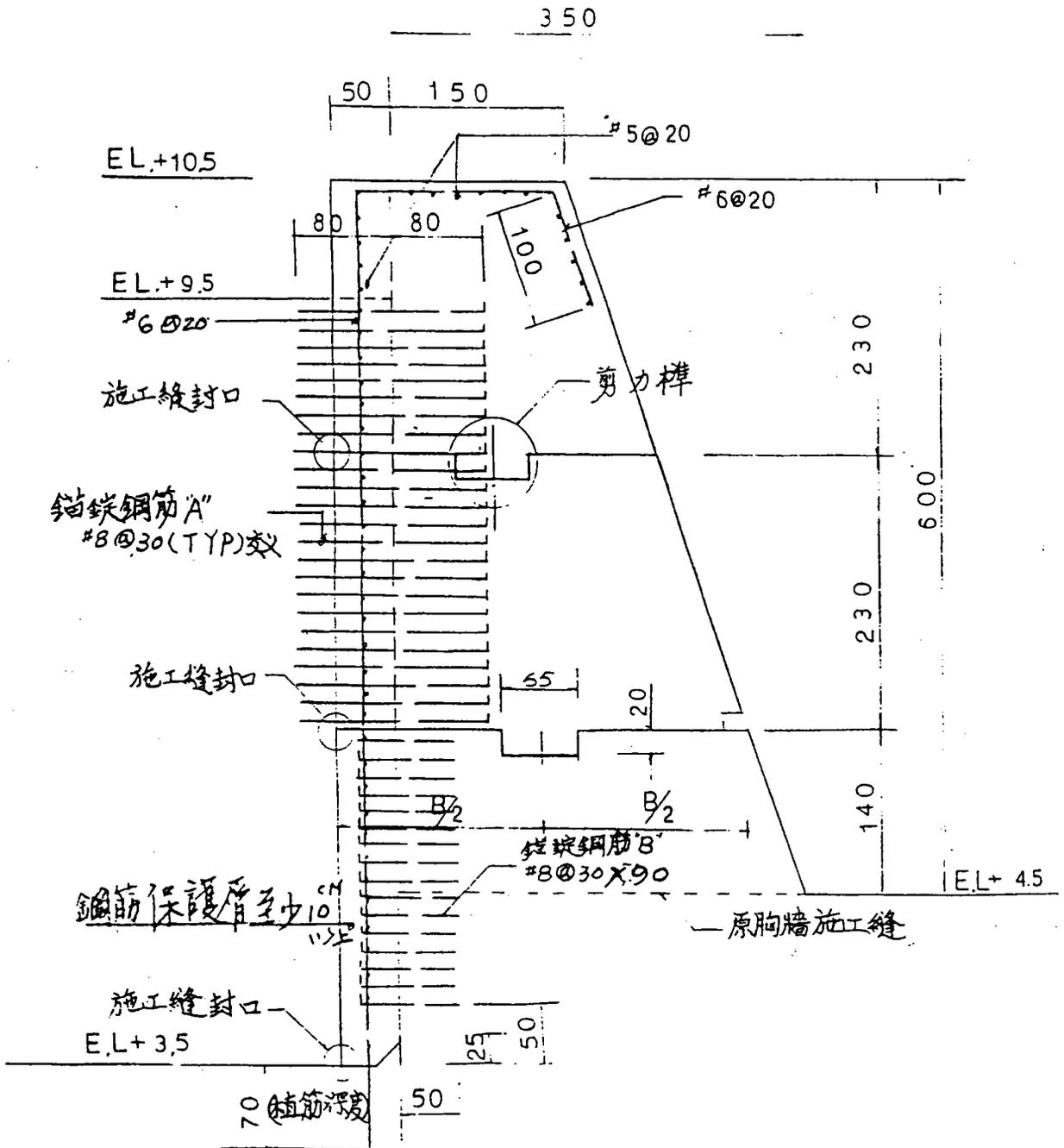
乙案採用疊放消波塊再加固定。

(三)港研所報告

針對實測波浪、潮汐與水深測量簡報，主要內容為：

1. 提姆颱風路徑及規模均與 79年6月22日歐菲莉颱風相當近似。79年歐菲莉颱風在花蓮港南方約20公里處登陸，登陸前一小時本所在花蓮外海所測得示性波高為 14^m ，最大波高超過 20^m ，波浪及天文潮位變化如圖3；今年提姆颱風在花蓮港南方秀姑巒溪口登陸，登陸前三小時本所在花蓮港外海測得示性波高為 10.2^m ，最大波高為 15.95^m ，波浪及天文潮位延時變化如圖4。根據颱風路徑與規模及波浪成長趨勢研判兩次颱風在花蓮港外海所造成示性波高約在 15 至 16^m ，最大波高則可能超過 23^m 。
2. 歐菲莉颱風登陸前最大波高發生在最低天文潮期間，當時天文潮位約為 $+0.5^m$ ；而提姆颱風登陸前最大波高發生在天文潮高潮位，當時天文潮位約為 $+1.5^m$ 。歐菲莉颱風路徑較提姆颱風路徑偏

胸牆修建平面圖 1:50



B-B 斷面圖 1:50

附圖一.

圖 2 花蓮港東防波堤胸牆修補圖

颱風由菲律賓東方→NW→NNW
 →直撲花蓮
 →波浪=湧浪+風浪
 ⇒成長迅速

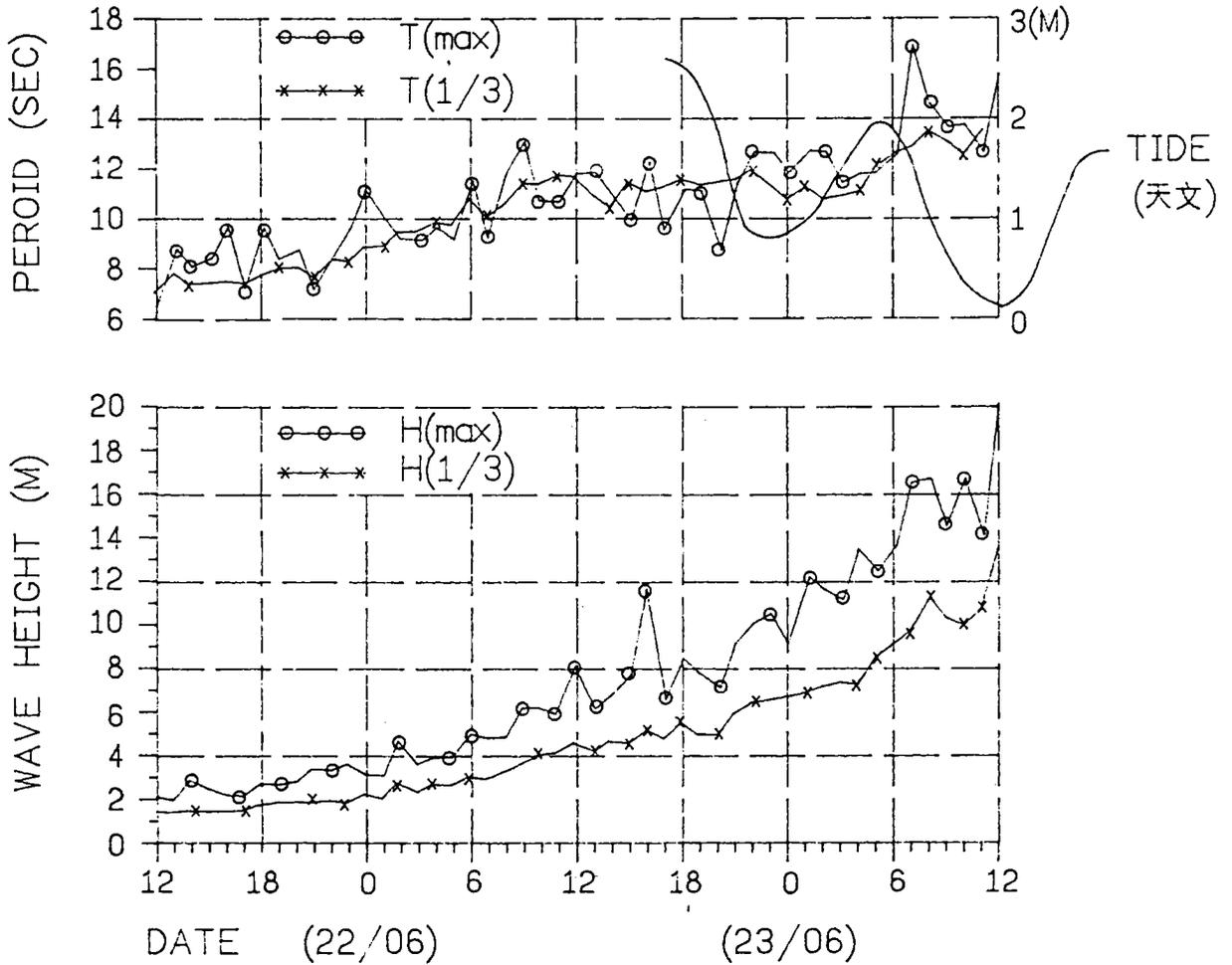


圖 3 歐菲莉颱風波浪、潮位變化

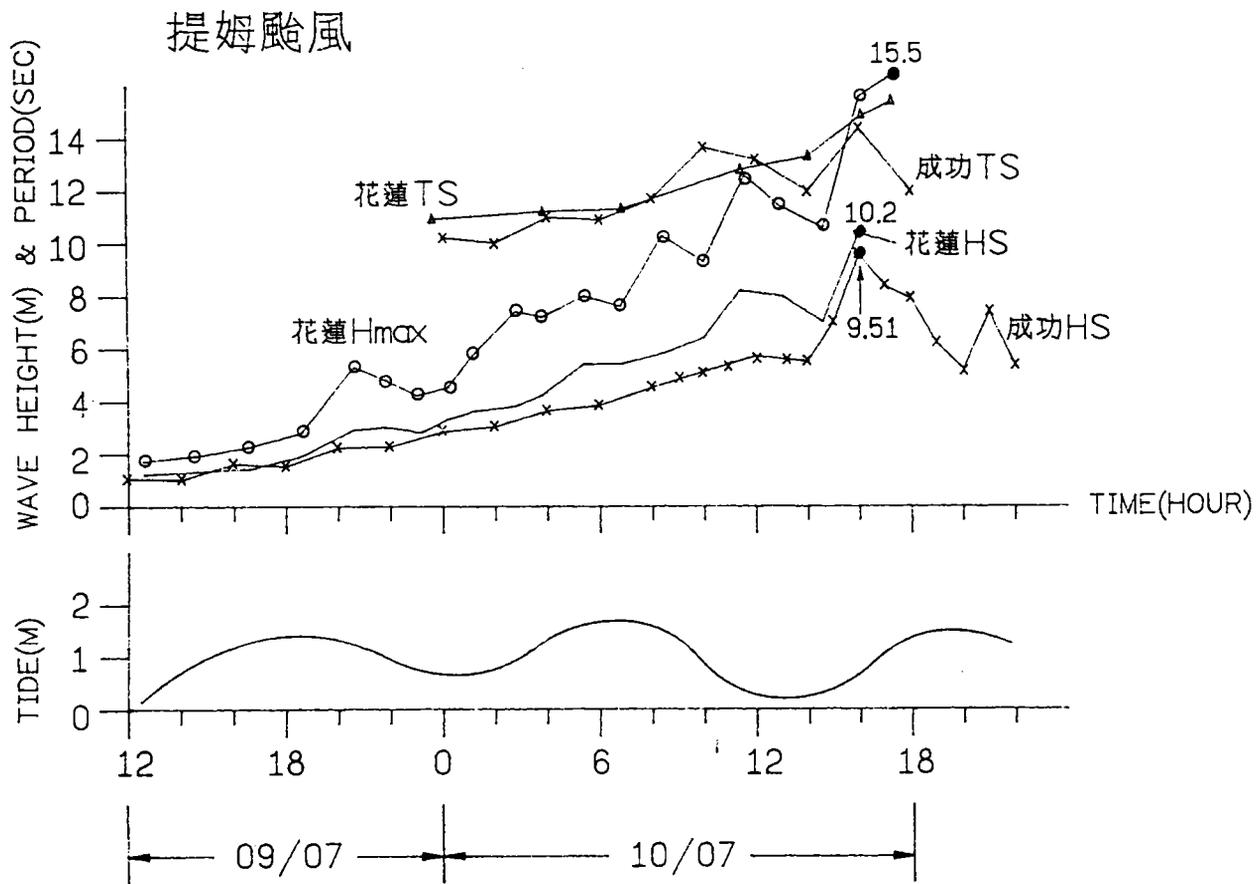


圖 4 提姆颱風波浪、潮位變化

- 北前進，研判其可能造成潮位偏差較小。根據颱風中心氣壓降及風速推斷提姆颱風在花蓮港所造成潮位偏差在一公尺以上。因此，提姆颱風登陸前最大波高作用於防波堤期間，暴潮位大於+2.5^m。
3. 根據提姆颱風登陸前所測得波浪方向約為130°，與東防波堤接近垂直方向，波浪產生最大波壓。
 4. 提姆颱風侵襲前本所曾於四月間委託花蓮港務局測量港口以南約三公里之海岸水深，提姆颱風過境後十天內再委託港務局重測該區水深，獲得提姆颱風侵襲期間南濱海岸沖淤情形，如圖5。
 5. 幾次颱風過境期間本所測得港內波浪資料分析結果顯示，花蓮港第8、10、17及22等碼頭測點長週期波浪能量偏大。波譜分析結果如圖6，尖峰週期如表1。

(四)座談會結論

經與會教授、專家發表意見後獲得下列結論

1. 堤防修補方法，應考慮如何減小衝擊波壓。為考慮防波堤主體安全，胸牆可以視為保險絲，災後作軟性維修。因此，胸牆修補配筋需用極限法考慮主體防波堤安全加以核算。
2. 港池不穩靜，由頻譜顯示有長週期共振現象，必要時可以量測船隻運動週期，港研所整理資料後再訂期邀學者專家研討。
3. 開孔防波堤只能減小氣暴力，對水舌直接作用無法解決；越波時第三道牆受力極大。
4. 碼頭修補應注意上揚力，B案疊放消波塊，其消波功能極為有限，最好採用A案，但應注意水中混凝土施工技術，達到設計強度。
5. 原設計波浪係採用颱風波浪推算資料，缺乏波浪資料驗證，以致設計波高嚴重偏低，是造成此次損毀主要原因。未來除需積極從事波浪等海象觀測外，設計波浪應大幅提高，交通處應支持港研所海象觀測計畫。
6. 東防波堤堤基拋石受巨大颱風波浪侵襲是否沖刷、滑落，應儘速檢視，以確保堤體安全。
7. 港研所將設法量測港口波浪，並於未來年度研究針對消波胸牆及鋼筋腐蝕辦理試驗調查。
8. 早期規劃設計因缺乏可靠資料，設計波浪偏小為造成災害之主因，為確保東防波堤安全應儘速調查堤基拋石是否有流失現象。

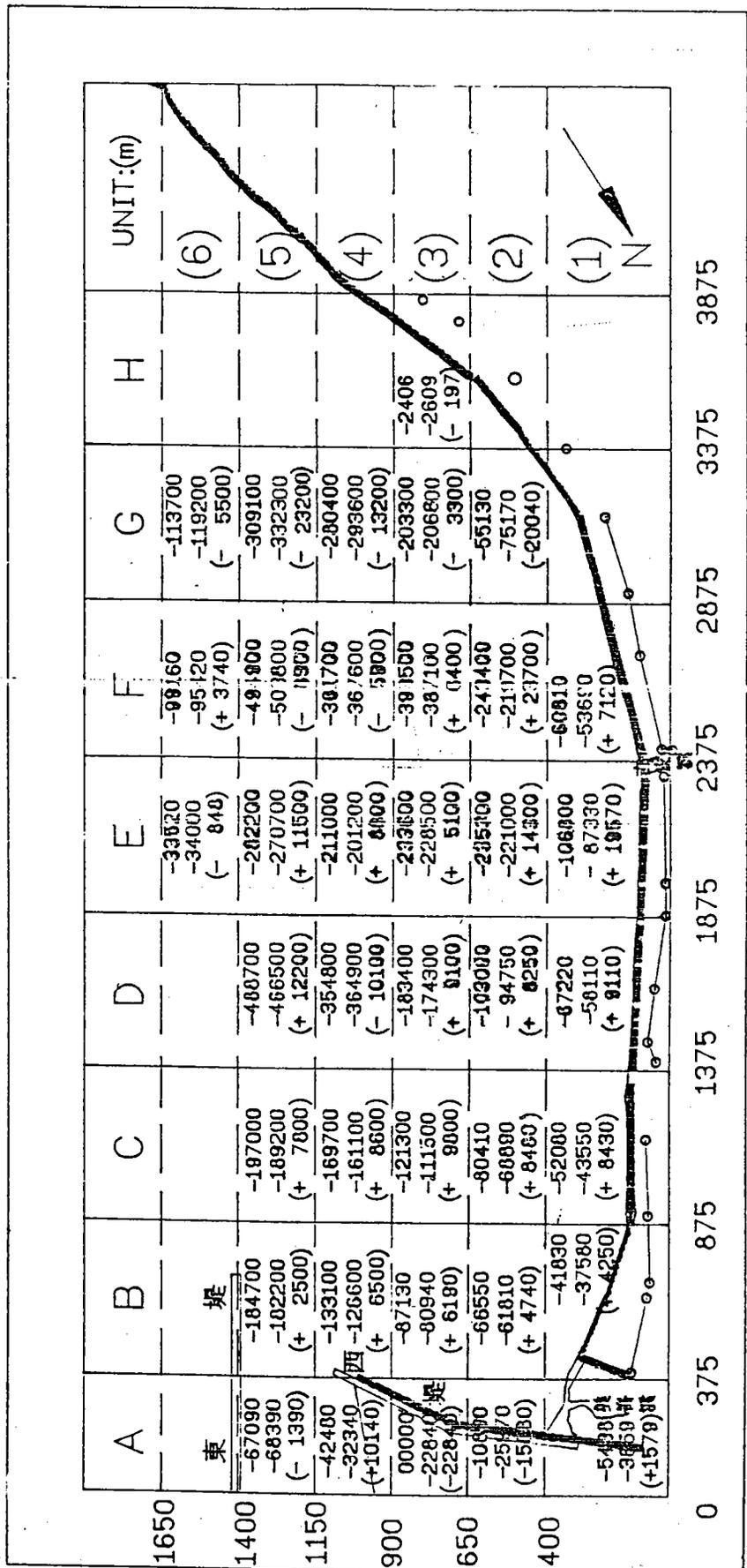


圖 5 提姆颱風前後花蓮港口、海岸沖淤比較

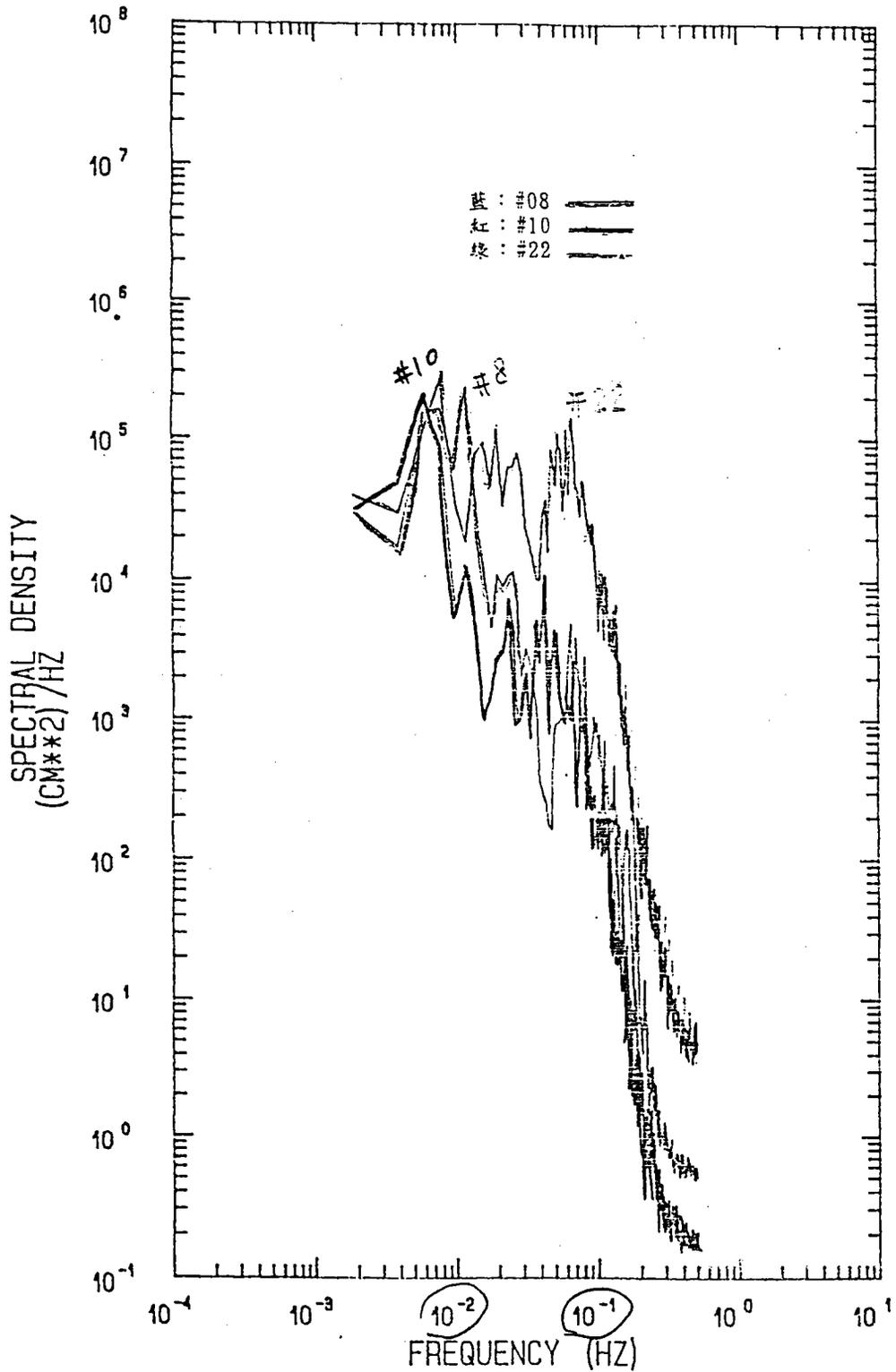


圖 6(a) 83年7月10日21時提姆颱風侵襲時花蓮港
 8、10、22號碼頭波浪能譜比較圖

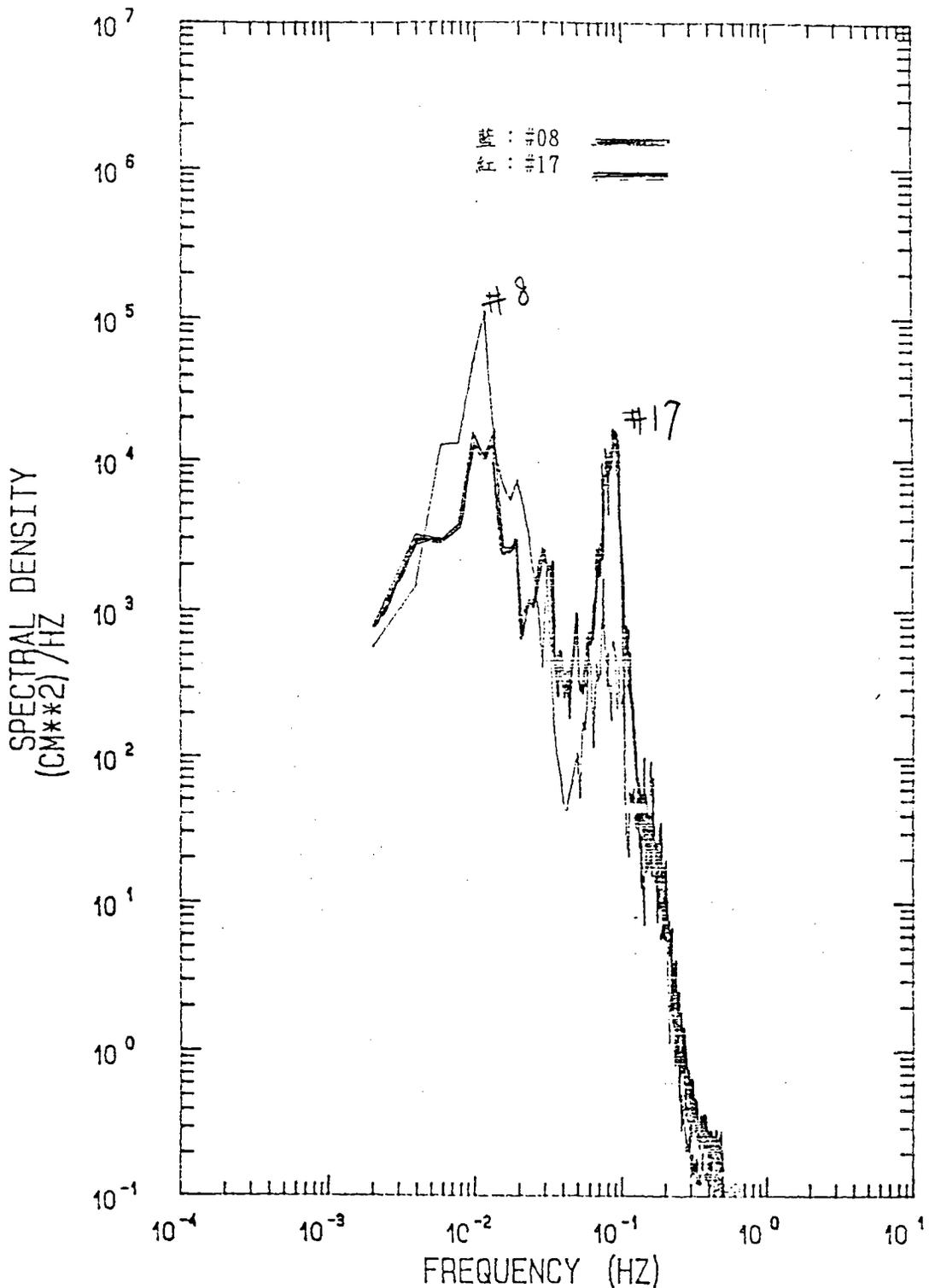


圖 6(b) 83年8月3日18時凱特琳颱風侵襲時花蓮港
 8、17號碼頭波浪能譜比較圖

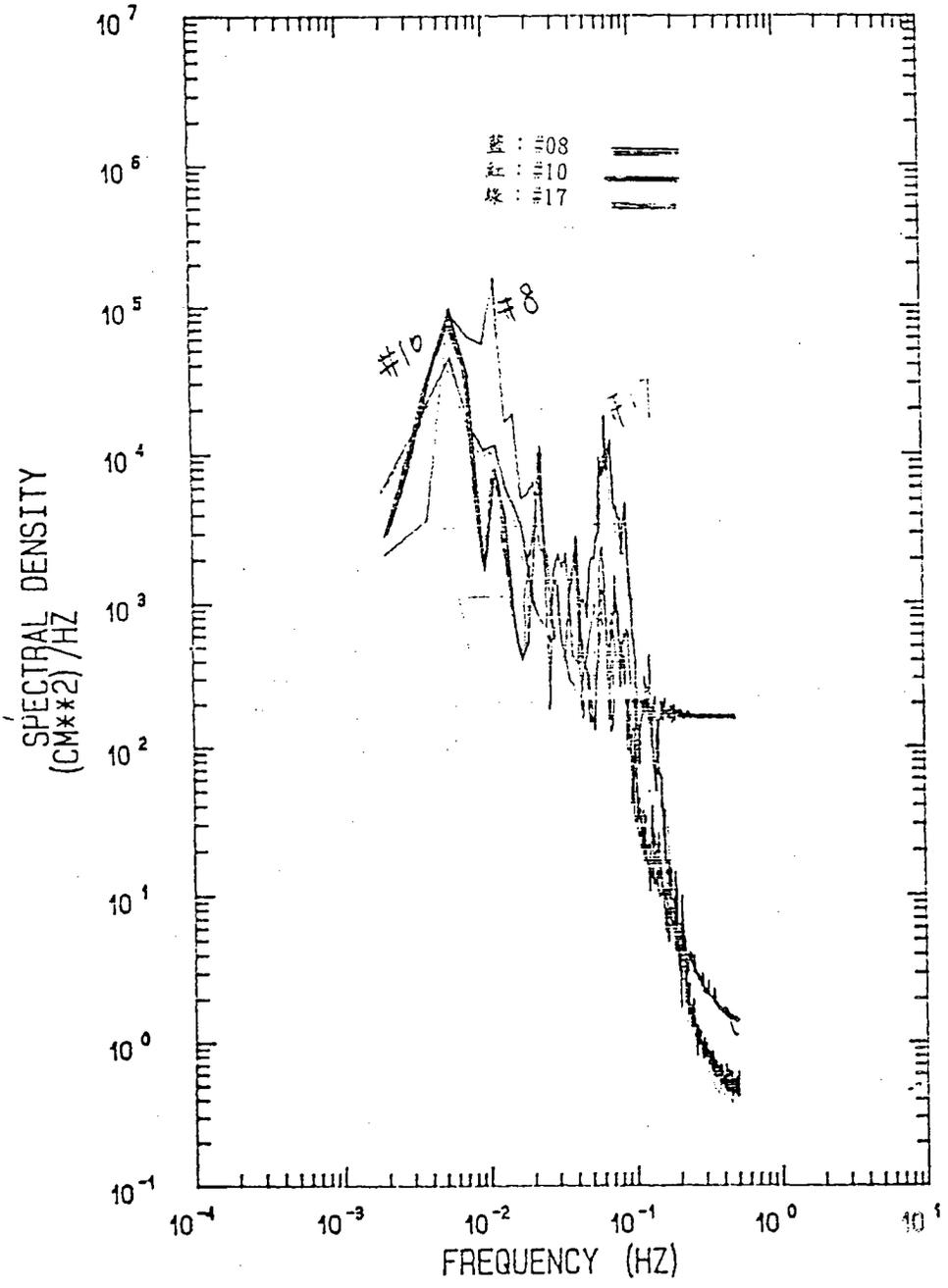


圖 6(c) 83年8月20日03時弗雷特颱風侵襲時花蓮港
8、10、17號碼頭波浪能譜比較圖

表 1(a) 83年7月10日~11日

提姆颱風侵襲期間花蓮港各碼頭波浪能量集中週期比較表

日期	測站週期 ST. 2 測站	8 號碼頭		10 號碼頭		22 號碼頭	
7月10日 12:00	0.065 (15.4)	0.0098 (102) 1.154E5	0.0664 (15.1) 4.395E4	0.0059 (169.5) 4.098E4	0.0391 (25.6) 4.338E3	0.0117 (85.5) 5.326E4	0.0625 (16) 1.064E5
7月10日 15:00	0.065 (15.4)	0.0117 (85.5) 1.894E5	0.0605 (16.5) 4.001E3	0.0059 (169.5) 8.136E4	0.0625 (16) 1.650E3	0.0117 (85.5) 9.551E4	0.0703 (14.2) 9.976E4
7月10日 18:00		0.0098 (102) 1.060E5	——	0.0059 (169.5) 1.509E5	0.041 (24.4) 7.438E3	0.0078 (128.2) 1.118E5	0.0762 (13.1) 1.298E5
7月10日 19:00		0.0117 (85.5) 1.906E5	0.0215 (46.5) 2.035E4	0.0059 (169.5) 3.209E5	0.0234 (42.7) 6.547E4	0.0078 (128.2) 6.963E4	0.0625 (16) 1.240E5
7月10日 20:00		0.0098 (102) 1.464E5	0.0938 (10.7) 1.263E3	0.0059 (169.5) 3.209E5	0.0234 (42.7) 6.547E4	0.0078 (128.2) 2.851E5	0.0527 (19.0) 2.049E5
7月10日 21:00		0.0117 (85.5) 2.337E5	0.0938 (10.7) 1.061E3	0.0059 (169.5) 1.929E5	0.0410 (24.4) 9.873E3	0.078 (128.2) 2.702E5	0.0664 (15.1) 1.397E5
7月10日 23:00		0.0059 (169.5) 2.102E5	——	0.0059 (169.5) 2.318E5	0.0234 (42.7) 1.800E4	0.0078 (128.2) 6.758E4	0.0684 (14.6) 1.089E5
7月11日 02:00		0.0117 (85.5) 1.299E5	0.0605 (16.5) 1.007E3	0.0059 (169.5) 4.011E4	0.0234 (42.7) 4.555E3	0.0137 (73.0) 1.747E4	0.0703 (14.2) 2.955E4
7月11日 06:00		0.0117 (85.5) 6.984E3	0.0938 (10.7) 7.116E2	0.0059 (169.5) 4.910E3	0.0781 (12.8) 1.155E3	0.0195 (51.3) 4.298E3	0.0762 (13.1) 1.255E4

表 1(b) 83年8月3日~4日

颶特林颱風侵襲期間花蓮港各碼頭波浪能量集中週期比較表

日期	測站週期 ST.5 測站	8 號 碼 頭		17 號 碼 頭	
8月03日 17:00	0.100 (10.0)	0.0117 (<u>85.5</u>) 2.744E4	0.0859 (11.6) 8.285E3	0.0117 (<u>85.5</u>) 9.976E3	0.0820 (12.2) 2.600E4
8月03日 18:00	0.0847 (11.8)	0.0117 (<u>85.5</u>) 1.133E5	0.0762 (13.1) 1.671E3	0.0137 (<u>73.0</u>) 1.649E4	0.0898 (11.1) 1.554E4
8月03日 19:00	0.090 (11.1)	0.0117 (<u>85.5</u>) 1.087E5	0.0762 (13.1) 1.259E3	0.0059 (<u>169.5</u>) 8.842E3	0.0938 (10.7) 3.043E4
8月03日 20:00		0.0098 (<u>102.0</u>) 1.750E4	0.0957 (10.4) 1.519E3	0.0098 (<u>102.0</u>) 5.945E3	0.0957 (10.4) 2.542E4
8月03日 23:00		0.0117 (<u>85.5</u>) 1.631E3	0.0918 (10.9) 1.506E2	0.0098 (<u>102.0</u>) 3.168E2	0.1113 (9.0) 1.640E3
8月04日 06:00		0.0098 (<u>102.0</u>) 2.227E3	0.0879 (11.4) 1.331E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 5.010E3	0.0957 (10.4) 2.571E3
8月04日 12:00		0.0098 (<u>102.0</u>) 1.663E3	0.0879 (11.4) 1.526E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 7.412E2	0.0938 (10.7) 2.394E3

表 1(c) 83年8月19日~21日

弗雷特颱風侵襲期間花蓮港各碼頭波浪能量集中週期比較表

日期	測站	08 號碼頭		10 號碼頭		17 號碼頭	
	週期	ST. 2 測站					
8月19日 12:00	0.085 (11.8)	0.0098 (<u>102.0</u>) 8.650E3	0.0684 (14.6) 2.263E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 1.465E3	0.0703 (14.2) 1.180E2	0.0098 (<u>102.0</u>) 2.915E3	0.0801 (12.3) 5.382E3
8月20日 03:00	0.070 (14.3)	0.0059 (<u>169.5</u>) 9.021E4	0.0625 (16) 2.398E3	0.0059 (<u>169.5</u>) 9.887E4	0.0625 (16) 1.233E3	0.0059 (<u>169.5</u>) 4.483E4	0.0664 (15.1) 1.826E4
8月20日 09:00	0.060 (16.7)	0.0059 (<u>169.5</u>) 9.334E4	0.0605 (16.5) 6.247E3	0.0059 (<u>169.5</u>) 9.473E4	0.0762 (13.1) 1.072E3	0.0059 (<u>169.5</u>) 4.313E4	0.0664 (15.1) 1.452E4
8月20日 15:00	0.060 (16.7)	0.0059 (<u>169.5</u>) 4.672E4	0.0605 (16.5) 9.300E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 7.943E4	0.0723 (13.8) 5.711E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 3.396E4	0.0605 (16.5) 8.633E3
8月20日 18:00	0.070 (14.3)	0.0078 (<u>128.2</u>) 4.283E4	0.0625 (16) 1.096E3	0.0059 (<u>169.5</u>) 3.618E4	0.0742 (13.5) 8.253E2	0.0098 (<u>102.0</u>) 3.028E4	0.0605 (16.5) 4.805E3
8月20日 23:00	0.080 (12.5)	0.0059 (<u>169.5</u>) 8.821E3	0.0762 (13.1) 4.849E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 1.004E4	0.0703 (13.5) 1.426E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 5.036E3	0.0801 (12.3) 2.526E3
8月21日 06:00	0.070 (14.3)	0.0098 (<u>102.0</u>) 5.741E3	0.0645 (15.5) 7.190E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 2.647E3	0.0664 (15.1) 2.842E2	0.0059 (<u>169.5</u>) 3.593E3	0.0645 (15.5) 1.628E3

三、蘇澳港

(一)基隆港務局蘇澳港分局報告

1. 破壞部份

蘇澳港防波堤受提姆、道格、葛拉絲颱風防波堤破壞情形，詳如基隆港務局蘇澳港分局防波堤破壞畫面報告」，茲就重要部份摘要條列如下：

- (1) 南防波堤NO. 19及NO. 31兩座沉箱嚴重破壞。
- (2) 南防波堤NO. 13, 14, 25及北防波堤NO. 8等四座沉箱破洞。除 NO. 25 在水面下外，其餘均在水面附近或水面上。
- (3) 南防波堤 NO. 14, NO. 20, NO. 21三座沉箱均發現裂痕，其中NO. 21 裂痕長達25^m，涵蓋整個沉箱底部。
- (4) 北防波堤NO. 9, 10, 11三座沉箱基礎淘空。
- (5) 北外堤拋石段拋石及菱形塊流失約三十公尺。

2. 修補方法

基隆港務局蘇澳港分局所提修補方法，概要敘述如下：

- (1) 南外防波堤NO. 19沉箱，海側前排五個艙架設鋼板模，澆築水中混凝土後，其餘部份再灌製水中混凝土。
- (2) 南外防波堤NO. 31沉箱，擬將損毀沉箱炸除後，清除底部，再拋石整平，拖放一座新沉箱。
- (3) 沉箱龜裂部份，利用環氧樹脂之類材料予以填縫，破洞部份灌製水中混凝土。
- (4) 北外防波堤堤基淘空部份，先拋放塊石，改以 3^mx3^mx2^m壓基方塊替代 2^mx2^mx3^m方塊。
- (5) 北外防波堤拋石段拋石及25T菱形塊流失改用40T雙T塊。

(二)原設計單位報告

蘇澳港外廓防波堤由基隆港務局設計，北外堤延伸及消波胸牆則由中華顧問工程司設計，茲分別概述如下：

1. 基隆港務局 — 外廓防波堤

(1) 設計內容

外廓防波堤全長1406^m，其中南外堤1256^m，北外堤150^m。除淺水

段265^m為拋石堤外，其餘均為沉箱合成堤。

(2)設計水位

設計水位採用+2.5^m。

(3)波浪條件

根據民國36年至62年，27年間侵台颱風選擇經過 N23°~N24.6°及 E121.9°~E124° 共27個。經比較路徑選取較具威脅四個颱風路徑加以平順推算各方向颱風波浪，並根據資料大小計算重現年數。最後考慮第一期工程費採用重現期13年，東向10^m波浪作為設計深水波高。

(4)波力計算

採用 Miche-Rundgren 及 Hiroi 公式計算未破波及碎波波力。

(5)安全係數

沉箱滑動及拋石基礎滑動為 1.2，沉箱傾倒及基礎承載分別為2.0及2.5。

(6)混凝土強度與保護層

混凝土強度分別為：30^t雙T塊280kg/cm²

沉箱及10^t雙T塊210kg/cm²

沉箱鋼筋保護層：外牆海側7.5^{cm}，港側5.5^{cm}，內牆為5.5^{cm}。

2. 中華顧問工程司—北外堤延伸段及消波胸牆

(1)設計內容：

北外防波堤延伸段全長201^m，其中65^m為拋石堤，136^m為沉箱合成堤。

南外堤胸牆改為開孔消波胸牆。

(2)設計水位：採用+2.5^m。

(3)設計波浪：

採用50年重現期距，深海波浪ESE及SE波高分別為12.2^m及11.9^m，週期則分別為 14.3^s及14.1^s。經地形折射後堤前相對深水波高則分別減為7.8^m及10.7^m。

(4)安全係數

沉箱及拋石基礎滑動採用1.0。

沉箱傾倒採用1.1。

(三) 港研所報告

港研所就今年颱風波浪觀測資料提出報告，主要內容為：

提姆颱風在花蓮港南方秀姑巒溪口登陸，適值天文高潮期間引發極大暴潮水位；湧浪隨颱風前進在登陸前與風浪重疊，在花蓮外海形成巨大波浪。暴潮水位加巨浪對花蓮港造成重大災害。提姆颱風雖然也對蘇澳港南外堤及北外堤造成局部損害，但由受害程度與颱風路徑研判蘇澳港暴潮位與波浪均較花蓮港為小。

道格颱風規模與 79年6月歐菲莉颱風相當，路徑稍偏北，路徑分別如圖7及圖8。根據颱風規模與路徑研判，道格颱風在蘇澳外海所產生波浪應相當於歐菲莉颱風在花蓮外海所造成波浪。道格颱風接近蘇澳外海時，適值天文高潮，颱風前進速度又突然減慢，受低壓及強大風力影響發生極大異常暴潮水位。由觀光局東北角風景區管理處龍洞遊艇港破壞殘留水位痕跡可以獲得驗證。蘇澳港在暴潮期間，受巨大颱風波浪侵襲是造成南、北外廓堤防損毀的主因。

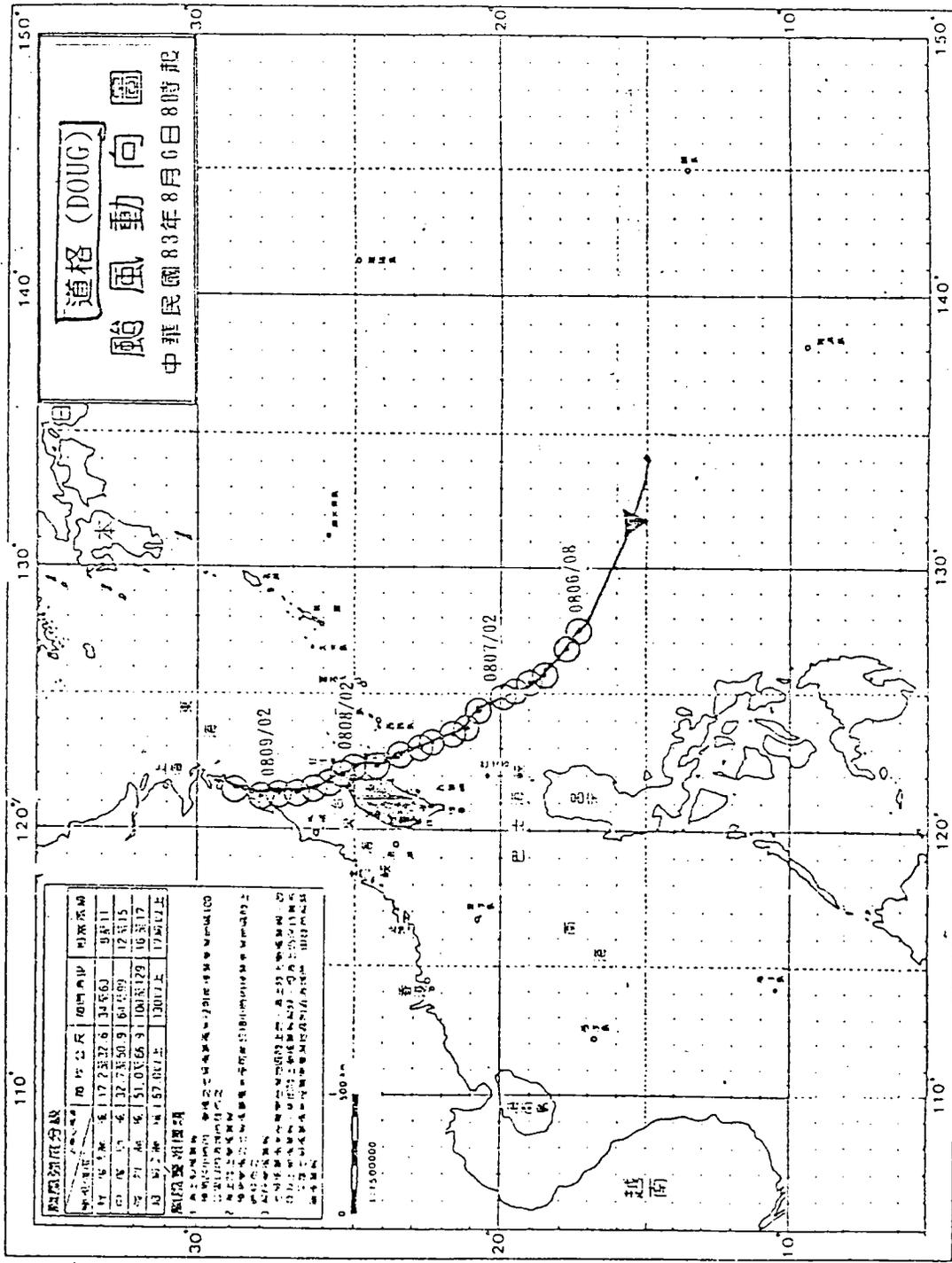


圖 7 道格颱風路徑圖

(四)座談會結論

1. 根據最近幾次颱風所獲得波浪資料顯示，蘇澳港南外堤及北外堤延伸段所採用設計波浪有嚴重偏小現象。尤其南外防波堤沉箱設計為節省工程費採用13年重現期，波高 10^m更不可思議。推究其原因有二，其一為蘇澳建港政策決定匆促，設計當時缺乏現場波浪資料；另一為蘇澳港設計當時國內海岸工程屬萌芽階段對設計理念重現期距決定經驗不足。
2. 除南防波堤NO. 19及NO. 31沉箱破壞外，部份沉箱海側發生龜裂現象，必需積極探討原因。龜裂可能造成鋼筋腐蝕是破壞的前兆。
3. 利用環氧樹脂材料修補水中裂縫，應無太大功效，可以研究加裝鋼板由內部高壓灌漿。
4. 北堤高綠島附近拋石段如不危及沉箱堤安全，又不影響港池穩靜，可以考慮不修補，讓缺口消散部份波浪能量。
5. 修補方法建議如下：
 - (1)NO. 19沉箱可用井筒法灌製水中混凝土，但應注意水下施工品質及搭接處波浪能量集中現象。
 - (2)NO. 31沉箱先清除殘餘部份拋石整平，製作寬度較小沉箱，加重以達穩定效果。海側面應與現有堤線維持平直，以防波浪能量集中。
 - (3)裂縫可研究在兩側加鋼板，加壓灌漿，水中混凝土可研究加入添加劑。
 - (4)北防波堤基礎淘空除拋石填補外，應灌水中混凝土以增加承载力，護面方塊應加重。
6. 除波浪偏大外，應再探討破壞是否因地形產生波浪集中現象。
7. 港灣構造物，尤其是外廓防波堤發生災害應授權港務管理單位即時修複，以免造成更大災害。現有沉箱破洞應儘速修復，否則下次颱風可能造成整體沉箱損毀。
8. 應重視長期性海象觀測。
9. 日本近年已改變沉箱設計方法，增加海側外牆強度以抵抗波力，國內應引進檢討。
10. 建議類似檢討會應邀請各港務局有關人員參加。

四、災害原因之探討

(一)花蓮港防波堤胸牆破壞原因

1. 最大波浪發生在高潮期間，又因颱風接近產生最大暴潮

79年6月22日至23日，歐菲莉颱風侵襲時本所在花蓮港外海所測得最大示性波高超過 14^m ，當時最大波高大於 20^m ，波浪仍持續成長中，因斷電未能測到更大波浪。今年7月9日至10日提姆颱風本所在花蓮外海所測得最大示性波高為 10.2^m ，最大波高 15.95^m ，波高仍持續增長，但波高計受損流失未能測得更大波浪資料。根據波浪成長過程估計兩次颱風在花蓮港外海所造成示性波高可達 15^m 至 16^m ，最大波高可超過 23^m 。為何歐菲莉颱風防波堤未發生破壞，而提姆颱風造成胸牆損毀近 500^m 。研判主要因為提姆颱風最大波浪發生在高潮期間，且波向正對防波堤，波峰越過開孔胸牆消波艙，水舌由上向下拍擊在消波艙內產生衝擊波壓(shock pressure)。歐菲莉颱風最大波浪發生低潮時，開孔胸牆適時發生消滅波壓作用。

2. 堤前水深太大，作用於堤體波高不受限於水深

根據七〇年代西歐重要深水防波堤損壞調查報告顯示，淺水防波堤因前進波高受限於水深，會產生碎波消失大部份波浪能量。因此，作用於堤體波高有最大界限；花蓮港堤前海底坡度甚大，東防波堤堤前水深急劇增加，作用於堤體波高極端值因不受水深限制，而可能發生較設計波更大之波高。

(二)花蓮港第25號碼頭面版掀起斷裂與支柱倒坍原因

1. 缺乏排氣孔，水位上升造成壓縮空氣使上揚力急劇增加

開孔式碼頭消波艙密封式碼頭面，因缺乏排氣孔設計，當受波浪作用時，消波艙水位由波谷逐漸抬升至波峰時，港側受波峰堵塞無法排氣，使消波艙頂版遭受強大空氣壓縮力。日本港灣技術研究所高橋曾辦理現場實測，證實透氣孔可以減低波浪所造成上揚力約10%至30%。

2. 碼頭設計高程不足，波峰時水位越過碼頭面

花蓮港設計水位為 $+2.5^m$ ，碼頭設計高程為 $+4.0^m$ ，提姆颱風在秀姑巒溪口登陸時天文潮位約為 $+1.50^m$ ，由花蓮港內壓力式波高計

所測得暴潮偏差約一公尺。因此研判最大波浪侵襲花蓮港時暴潮位約為 +2.5^m。根據79年歐菲莉颱風波浪成長情形研判，此時侵襲花蓮港示性波高約在 15^m以上，最大波高則在22^m以上。由遮蔽試驗結果顯示碼頭前最大波高將超過4^m，此種現象造成波浪越過碼頭面，損毀碼頭後緣，同時產生極不尋常上揚力，破壞碼頭面。

3. 碼頭消波艙、支柱鋼筋搭接不佳

除波高超過設計值外，由破損消波艙支柱顯示支柱與碼頭面版樑間鋼筋搭接長度不足，造成支柱與面版因拉力不足，而致脫離現象。

(三) 蘇澳港南外堤沉箱破壞原因

1. 提姆颱風局部受損未能及時修復

蘇澳港南外防波堤SB31沉箱受提姆颱風巨浪作用造成堤頂部份損毀，SB19沉箱則只有胸牆局部破洞，但颱風過後未能及時搶修，破裂處沙石填充料在毫無保護情況下再遭後續颱風巨浪侵襲，沉箱內艙填充料被掏空，造成嚴重損毀。

2. 道格颱風在蘇澳外海約20至40km滯留約四小時，而此時又值高潮，低氣壓與風揚引起極大暴潮。巨浪越過胸牆作用於脆弱破裂沉箱上造成損毀。

3. 由觀光局東北角風景區管理處龍洞遊艇港損毀情形及其所留痕跡，可以窺覺道格颱風期間水位超出設計水位甚多。

(四) 蘇澳港北外堤拋石堤流失，沉箱堤基淘空

1. 蘇澳港北外堤受偏東南向波浪侵襲時，受沉箱堤導浪影響能量集中於北外堤與高綠島交接處，拋石堤護坡混凝土塊採用雙T塊，在大浪作用下容易造成雙T塊斷裂流失，堤心拋石沖毀，與沉箱堤混凝土方塊滑落及堤基淘空現象。

2. 北外堤拋石段防波堤海側底床坡度較陡受巨浪作用，混凝土塊滑落至較深海床，失去保護作用。

五、結語

台灣東部海岸陡峭，且暴露於太平洋，夏季期間受颱風直接侵襲，港口缺乏遮蔽，造成港池不穩靜，船隻必需出海避難現象。今年自七月初到十月中共有六個颱風威脅東部海岸，其中提姆颱風及道格颱風更造成花蓮港與蘇澳港嚴重災害。探討為何發生堤防與碼頭損毀，可以很明確發現最主要原因為規劃設計當時對東北部海岸波浪、暴潮根本一無所知，僅憑推算結果決定，造成設計波浪偏小，水位偏低現象；其次為花蓮與蘇澳兩港政策決定興建太匆促，當時國內現代港灣工程知識正在萌芽階段，經驗缺乏，設計時安全考量不足。

為能充份掌握東北部海岸海象條件，今後應投入更多經費、人力從事現場觀測研究，使未來東部海岸開發保育有所依據。另外更應從今年災害情形吸取教訓，以免未來重蹈覆轍。