

Ashdod港擴建設計  
150,000噸散裝卸煤碼頭  
(譯自“1985年布魯塞爾第26屆HANC會議”文集)

作者：D. HALBER  
L. STADLER  
J. A. ZWAMBORN  
劉文雄 譯

台灣省政府交通處  
港灣技術研究所  
中華民國七十五年七月

壹、前    言	
一、以色列的能源需求 .....	1
二、卸煤地點之選定 .....	1
三、現有港灣 .....	3
四、擬議之港灣擴建 .....	3
五、港灣擴建設計的研討 .....	6
貳、煤炭及他種貨物運輸之研究	
一、Ashdod 港發展的需求 .....	8
二、散裝船貨的趨勢 .....	9
三、煤炭運輸費用 .....	11
四、最適宜的運煤船規格 .....	13
參、環境及地工資料	
一、波浪狀況 .....	14
二、風、海流及潮汐狀況 .....	18
三、深海測量及海底地質調查 .....	20
四、土壤及基礎研究 .....	21
肆、港口設計	
一、設計原理 .....	25
二、設計船舶及輔助船 .....	25
三、基本配置航道位置圖 .....	27
四、操船與航道長度 .....	28
五、入口航道之寬度 .....	29
六、船舶模擬研究 .....	30
七、入口航道深度 .....	33
八、港灣入口定案設計 .....	34

伍、碇泊處理之設計	
一、波浪盪漾研究 .....	35
二、長波與共振 .....	36
三、繫船研究與設計標準 .....	38
四、試驗情形及測定 .....	40
陸、漂沙研究	
一、現有的情形 .....	44
二、擴建計劃之模型研究 .....	46
三、建造步驟 .....	49
柒、防波堤之設計	
一、設計過程 .....	51
二、水工模型試驗過程 .....	52
三、損害之定義及裁定 .....	52
四、穩定模型試驗 .....	53
五、主防波堤設計 .....	56
六、混凝土保護塊個體之結構行爲 .....	57
七、地工穩定研究 .....	57
八、採石研究 .....	59
捌、碼頭岸壁之設計及煤炭操作設備	
一、碼頭岸壁之設計 .....	61
二、煤炭操作系統 .....	62
玖、結    論 .....	63
拾、謝    誌 .....	64
拾壹、參考文獻 .....	64

Ashdod港擴建設計  
150,000噸散裝卸煤碼頭  
(譯自“1985年布魯塞爾第26屆HANC會議”文集)

壹、前 言

一、以色列的能源需求

以色列的能源消耗量於 1983 年為 2,350 百萬瓦，預測於 2000 年時將增加到 5,060 百萬瓦。由於該國並無石油或煤炭等能源，基於使用燃煤的政治及經濟利益，促使政府決定日後電廠使用燃煤，在 1984 年 Hadera 電廠有 4 組各 350 百萬瓦的機組正在運轉中，每年所需之 3.3 百萬噸均由新近構築無保護的離岸裝卸設備進口。

為了滿足 2,710 百萬瓦的需求，規劃了 7 組各 550 百萬瓦的機組，其中兩組靠近 Ashkelon 的已經在施工中，約於 1989 ~ 1990 年間運轉，爾後每年必需進口 2.5 百萬噸煤。除了電廠的需求外，政府亦鼓勵燃油工業改用燃煤。此類轉變每年約增加 0.5 百萬噸燃煤，其中北方約佔 0.25 百萬噸，南方約佔 0.25 百萬噸。

二、卸煤地點之選定

為了該國南部 Ashkelon 對燃煤的需求，於 1980 年代初期政府組成卸煤地點選擇小組，小組的任務為衡量各不同地點的利益，以國家整體利益為着眼點，而不考慮各別使用者的利害關係。據此，該小組研究了下列二主要方案：

- (一) 構築另一碼頭作為 Ashdod 港的延伸，約在 Ashkelon 此一正在施工中 1,100 百萬瓦電廠北方 25 公里處。
- (二) 構築一靠近 Ashkelon 電廠的離岸設施。

Ashdod 爲 1962 ~ 1965 年修築的深水港，於 1965 年啓用，隨後視需要而發展。將於 1985 年建造長 380 m 深 14 m 的碼頭，完成當初的綱要計劃，俾使現有的港埠充分發揮它的潛能。目前，僅吃水 11m 以內，即載重 35,000 噸或巴拿馬級減輕到 50,000 噸的船隻可以進港。

依地中海沿岸的以色列海港 Ashdod 及 Haifa 動態港際預測模型所得之設計顯示其第一座增加的船席可在 1994 年設置，配合此一船席，需建一座新防波堤及疏浚港池。從以色列之總進出口量（包括煤炭）來看，顯而易見，計劃電廠用煤的裝卸設施時應同時考慮 1994 年港埠設施的發展情形。假如煤炭及其他港埠設施所需的基本結構能夠整體考慮，在 1988 年建造的煤炭碼頭，有助於 1994 年所需的其他貨物操作設施的建造。

以 30 年的營運爲基礎考慮海洋構造物、鐵路裝備、營運費用、人力及貸款利息等所有有關的成本作經濟上的比較，確定於 Ashdod 設港較爲有利。

其他不能以數字表示設港較外海構造有利的理由爲：

- (一) 具有保護港池受浪及氣候影響較小，可發揮較大的裝卸能力。
- (二) 對因大浪及防止意外發生不能夠採用離岸碼頭的船隻提供較有彈性的裝卸設施。
- (三) 假使將來煤炭搬運科技轉變，港口構造較容易調整。
- (四) 所有的港口設施集中於一處，對生態有利。
- (五) 將來爲其他目的，或許需要延長或改善從 Ashdod 到 Ashkelon 間鐵路系統所增加的利益。
- (六) 集中開闢成一個大型港口，可更有效的利用現有的基本構造。
- (七) 人爲疏忽造成的意外較不嚴重。

包括卸煤設施的港口擴建設計及建造所需的時間估計需七年。包括卸煤設施的離岸構造物之設計及建造所需的時間估計需 4 年。政府當局從經濟利益及建造電廠的時間詳加考慮有關此項設施之地

點，於 1980 年底需作成決定。

決定開始設計 Ashdod 港擴建工作應在上述時間之前。一旦有所耽擱將迫使以色列採用離岸設施。非因經濟利益，而是因時間限制所致。

### 三、現有港灣

現有港埠是由兩座防波堤所保護之大海港，其主防波堤長 2,200m，水深 14m，背風防波堤長 900 m，水深 11 m，兩座防波堤均以菱形快 (tetrapod) 保護。港灣入口處寬 250 m 深 13 m，碼頭岸壁全長 3,490 m，其中 2,410 m 是鋼筋混凝土碼頭面，使用鋼筋混凝土樁，底下為傾斜的岩面之開放形結構，580m 鋼板樁碼頭，及 500 m 混凝土與鋼板樁混用之突堤碼頭。

該港在 1983 年每年裝卸 6.3 百萬噸貨物，其分類如下：2.2 百萬噸的磷酸肥料，1 百萬噸的散裝炭酸鉀，每年 120,000 箱貨櫃及 1.1 百萬噸的普通貨物包括用起重機裝卸的 0.5 噸散裝貨。該港分成三個主要部份，即普通貨物區、貨櫃區及大宗散貨區，該港配置圖 (圖 1)。

### 四、擬議之港灣擴建

Ashdod 港往北擴建主要要素如下 (圖 2)：

- (一) 沿現有主防波堤北北西方向擴建一座 1,150 m 長，深 20 m 之防波堤。
- (二) 沿 Ashdod 港北方在防波堤堤頭開始新建一座 1,000 m 長之背風防堤保護電廠之冷卻池。其水深由 5 m 起至 14 m 止。
- (三) 疏浚一道 310 m 寬 23 m 深的入口航道，20m 深的回轉池一處，及在港的內側疏浚一水深 19m 的區域，供作繫船及停泊之用。合計需疏浚 6 百萬立方公尺之土方。其中 3 百萬立方公尺土方填築在背風防波堤與碼頭之間，可得新生地達 200,000 m<sup>2</sup>。
- (四) 建造 19m 水深之碼頭一座以供 150,000 噸煤炭貨船停泊，其初期碼頭長度需 400 m。

上述規劃約可創造 3,000 m 長從 12m 至 19m 不同水深的碼頭。  
在不同船席背後有廣大的操作場及貯藏區，交通便捷，並有分離的  
鐵路系統。

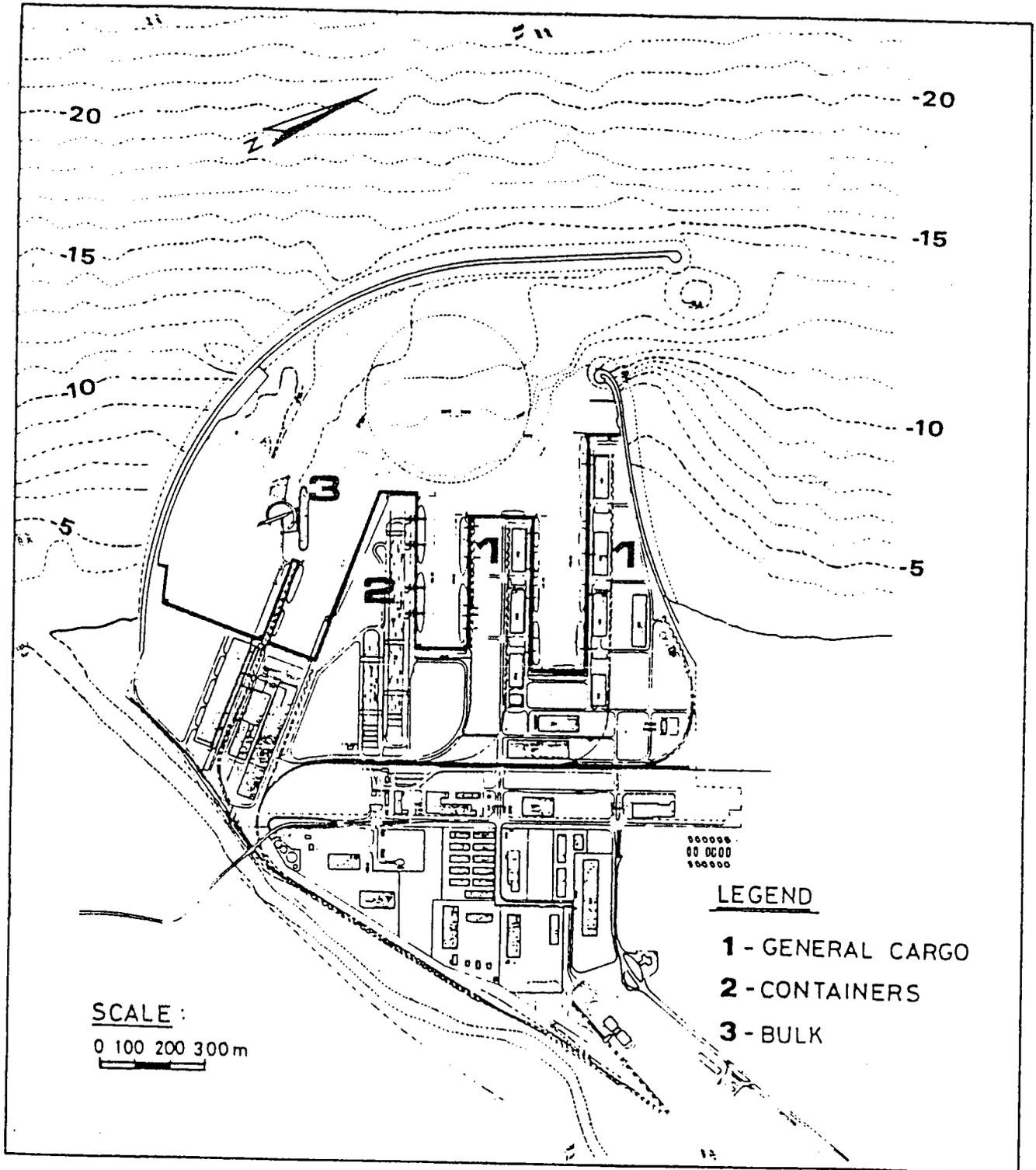


Fig. 1 - Layout of existing port,

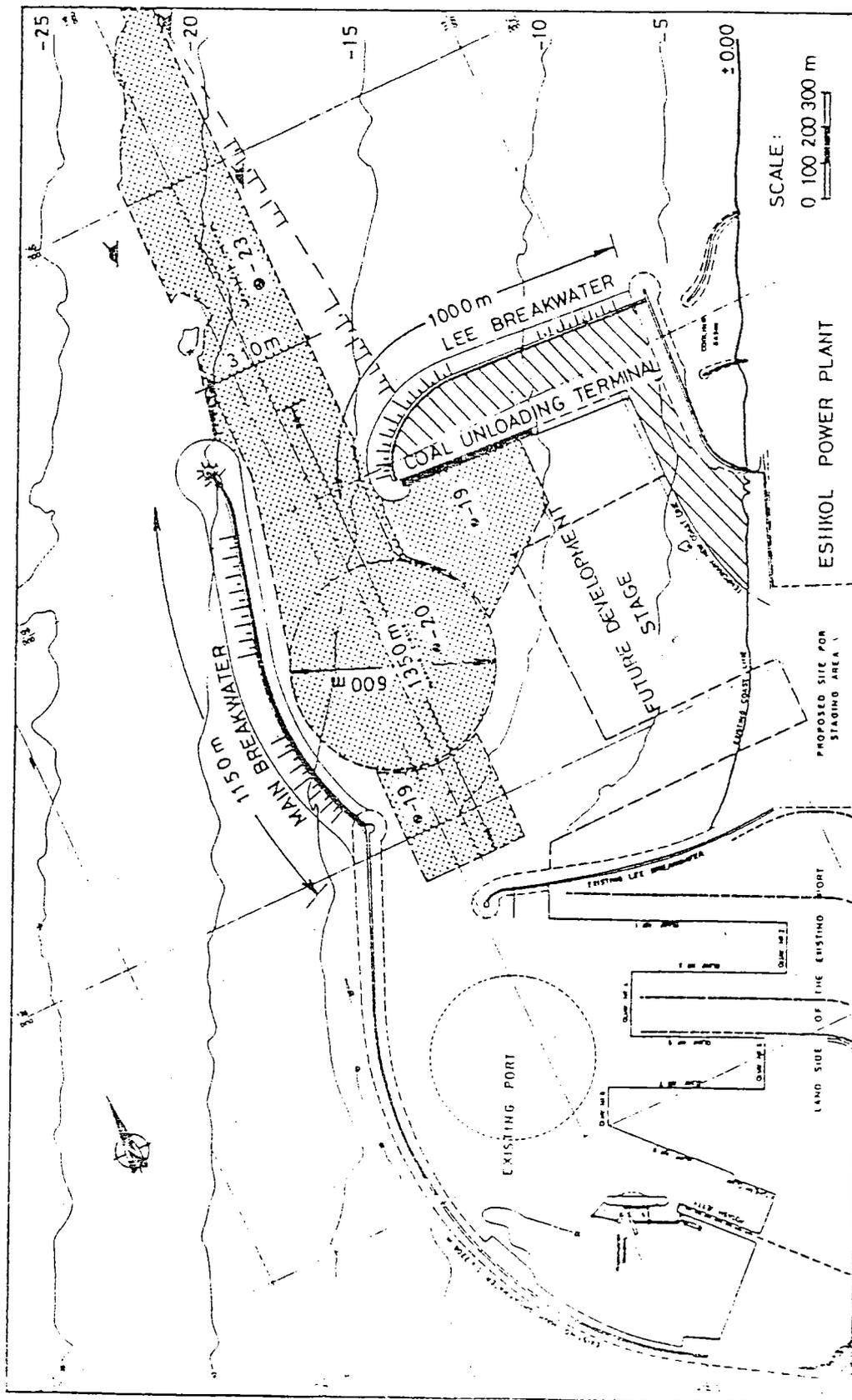


Fig. 2 - First phase extended port.

## 五、港灣擴建設計的研討

港埠發展計劃是一個以多種有關科學方法相互協調的過程。需要最密切的合作及完全的控制才能達到最理想及最新式的設計宗旨。以下有兩種設計途徑可供選擇：

設計工作交顧問工程公司，代表港務當局擔任港灣擴建的設計及執行。

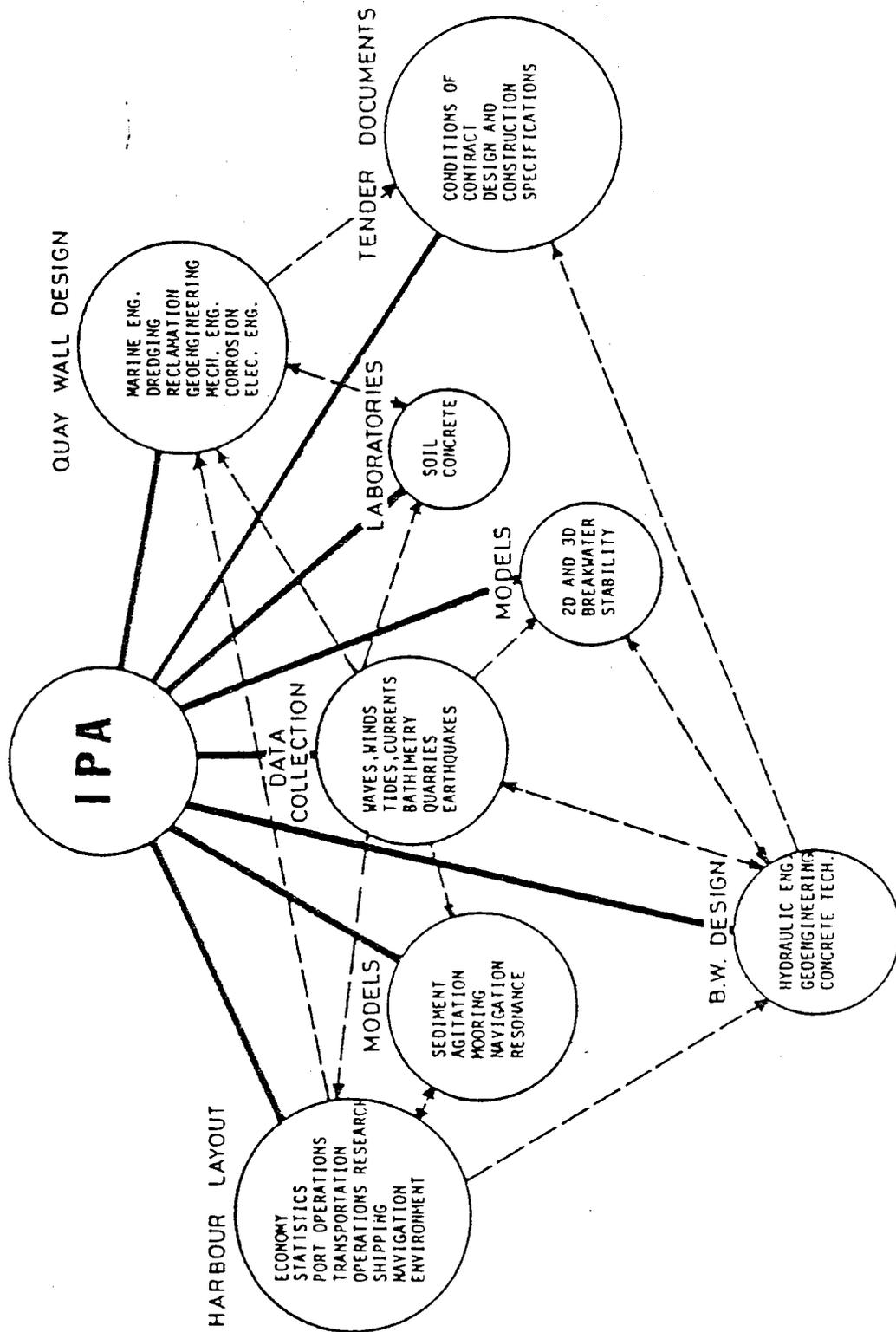
由港務當局本身成立工程團，自行設計，並將各行業專家工作綜合及從事建造之管理與監督。

上述兩種途徑之利弊過去一直爭論不休，現在仍在爭論中。

以色列港務局 ( Tsrael Ports Authority ) 自 1961 年成立後即參予其三個港口之發展工作，從港灣設計及建造工作過程中獲取不少的經驗，基於此經驗，對於普通及大規模的發展計劃，以色列港務局決定由他們自己來規劃管理。其優點是：

- (一) 對所需行業的活動與進展較易支配與協調。
- (二) 對於各種不同的特殊設計較易獲得最新諮詢服務。
- (三) 避免設計及建造單位可能發生的利害衝突。
- (四) 從整個規劃期間包括需要的變更發生在內，均能做較廣泛及合理的決定。
- (五) 確保設計及建造間的連續性。
- (六) 增加以色列港務局技術人員的技術與經驗，以便將來應用。

下圖表示 29 種不同專長及彼此的關連。



## 貳、煤炭及他種貨物運輸之研究

### 一、Ashdod 港發展的需求

周詳的研究雜貨及大宗散貨預期的成長來決定 Ashdod 港擴建的需要。此研究包括以色列港務局所屬 Haifa, Ashdod 及 Eilat 三個港全部（三港動態發展模式）。擴建現有的 Ashdod 港可充分保持貨物流暢一直到 2010 年。以上所述第一期擴建為大型散裝煤炭運輸船最小的需求。

表 1 ( Table ) 表示貨物分類 ( 單位 1,000 t ) 與碼頭長度的關係，及對 2010 年增加量的預測。

TABLE 1

BREAKDOWN OF CARGO	CARGO TRAFFIC (1000 tons)		AV ANNUAL PER CENT OF GROWTH	OPERATIONAL QUAY LENGTH (m)		AV ANNUAL PER CENT OF GROWTH
	1983 ACTUAL	2010 FORECAST		1983 ACTUAL	2010 FORECAST	
GENERAL CARGO	2 575	14 000	6.5	1 630	5 100	4.3
CONTAINERS (out of GC. in 1000 boxes)	(120)	(940)	7.9	(420)	(1 300)	4.0
COAL	—			—	700	
OTHER BULK EXCLUDING OIL	3 710	9 700	3.6	800	1 800	3.0
BULK HANDLED WITH GRABS (out of other bulks)	(494)	(1 100)	(3.0)	(300)	(600)	2.5
TOTAL	6 285	35 800	6.7	2 430	7 600	4.3

由此比較可看出碼頭長度在 2010 年需要 7,610 m，而在 1983 年為 2,430 m，預估貨物噸數在 2010 年為 35.8 百萬噸，在 1983 年為 6.3 百萬噸，貨物每年平均成長率為 6.7 %，碼頭長度每年平均成長率為 4.3 %。

下列事物有助於說明不同的成長率：

- (一) 船隻發展傾向較大的船。
- (二) 船上及陸上的貨物裝卸技術的改進。
- (三) 熟練的操作員及提高設備的利用效率。
- (四) 港區貨物裝卸等輸送系統的改善。
- (五) 船舶、貨物裝卸及陸上運輸之管理系統更精細，利用率提高。

所有這些因素均影響其生產力及增加每個船席之產量。在貨物增加量與碼頭長度增加量百分比間之平均比例為  $6.7/4.3 = 1.56$ ，最大值為貨櫃一項之  $7.9/4.0 = 1.98$ 。

## 二、散裝船貨的趨勢

以色列的購煤政策是從不同的來源取得煤炭，煤炭來源現在的分佈大致如下(%)：

TABLE 2

Country \ dwt	35-50 000	50-70 000	70-100 000	100-150 000	150 000+	Total
United States	6	3	3	-	-	12
Australia	1	4	1	1	-	7
South Africa	1	-	-	-	1	2
Canada	1	1	1	-	1	4
Poland	-	1	1	-	-	2
Soviet Union	1	-	1	-	-	2
Others	3	1	-	-	-	4
Total	13	10	7	1	2	33

美國 35                      南非 40

澳洲 12                      其他 13

這種分佈由於政治及經濟情況的變遷極易引起變化。

以色列船運研究學會 ( Israel Shipping Research Institute ) 負責研究以何種輪船規格 ( desing ship ) 為 Ashdod 港的

擴建標準。研究重點如下：

- (一) 輸向以色列煤港的水深。
- (二) 正在建造或已下訂單的散裝輸煤輪型式。
- (三) 輪船規格（均大於 60,000 噸）對以色列輸煤的運輸費率。
- (四) 組織船隊以供以色列輸煤之用。
- (五) 使用大小不同的船隻對以色列的利弊。

研究結果在 1981 年由以色列船運研究學會（Wydra & Hayuth）提出報告。該研究顯示美國及澳洲輸煤碼頭的發展落在該等商品的貿易發展之後。而可裝載大於 100,000 噸載重散裝船的三個港埠是澳洲的 Hay Point（120,000 噸），南非的 Richards Bay（170,000 噸）及加拿大的 Roberts Band（150,000 噸以上）。

表 2 顯示 1981 年資料中 33 座最大的運煤炭碼頭當中，僅有 10 座可容納大於 70,000 噸之輪船。

在 1981 年資料的表 3 中可看出能夠操作大散裝船的卸煤碼頭數遠超過其裝載港。

美國至少有五個港埠已規劃關建加深至 15.2 ~ 16.8 m 之水深，可望於十年內供 150,000 噸散裝船停靠。澳洲亦有類似的關建規劃，至少增加四個港埠可供 120,000 至 150,000 噸船隻停靠。

分析世界 60,000 噸及以上之散裝船隊顯示兩種主流。60~80,000 噸佔 60,000 噸或以上者之 48.9%，100~140,000 噸佔 60,000 噸以上者之 38%。

TABLE 3

Country or area	dxt					Total
	35-50 000	50-70 000	70-100 000	100-150 000	150 000+	
Japan	9	5	2	7	3	26
EEC	12	11	9	3	1	36
Scandinavia	3	1	-	-	-	4
Rest of West Europe	4	-	2	1	-	7
South Africa	2	1	-	-	-	3
Others	5	-	1	-	-	6
Total	35	18	14	11	4	82

TABLE 4

Size group (dwt)	Dry bullers		
	Number	1 000 dwt	Total dwt (%)
10-39 999	3 154	77 127	54,3
40-59 999	491	24 115	17,0
60-79 999	295	19 941	14,0
80-99 999	33	2 784	2,0
100-149 999	128	15 500	10,9
150-199 999	13	2 135	1,5
200-249 999	2	456	0,3
250 000+	-	-	-
Total	4 116	142 058	100,0

在 1981 年以 221 艘正在建造的散裝船其中 60 ~ 80,000 噸的為 44 %，120 ~ 140,000 噸的為 40 %。

TABLE 5

Size group (dwt)	% Bulkers	% OBO's
60-79 999	44,0	38,7
80-99 999	2,7	6,6
100-119 999	2,3	13,7
120-139 999	39,0	7,4
140-159 999	2,2	28,9
160-179 999	5,3	4,7
180-199 999	1,0	-
200-219 999	2,2	-
220 000+	-	-

### 三、煤炭運輸費用

以 1982 年有關各類費用為基準，計算不同大小船隻的運費，計算時考慮投資費用，運轉費用及“新船”酌加合理的利潤。並依據運煤體積改變及燃油量的燃料消費等為基準來計算其價格及費用。

表 6 所示為以色列利用蘇彝士運河運輸煤炭的運費（燃料油 182 \$ / ton，柴油 320 \$ / ton）：

TABLE 6

Ship size dwt	Tonnage of Coal	Charter Rate \$ ton/month	Freight Rate for ton of cargo in U.S. \$		
			South Africa	Australia	U.S.A.
60 000	56 000	8,16	19,38	30,97	16,52
80 000	76 000	7,01	17,48	27,60	14,33
100 000	95 000	6,27	16,79	26,02	14,28
120 000	115 000	5,73	16,08	24,45	13,36
140 000	134 000	5,30	15,64	23,67	12,87
160 000	154 000	4,99	15,26	22,91	12,59
180 000	173 000	4,71	14,95	22,25	12,33
200 000	193 000	4,46	14,57	25,51	12,01

以色列的煤炭運費常依長期租船契約計算。不受自由市場變動影響。端視船隻主要費用及裝卸費外加合理利潤來計算。

另以租船費率介於 6 \$/ton/month 與 2.5 \$/ton/month 間的平均費率計算舊船的運費（1982 年之油價）：

TABLE 7

Ship size dwt	Net tonnage of coal	Average Freight Rate for Ton of Cargo in U.S. \$		
		South Africa *	Australia *	U.S.A./ North America
60 000	54 000	14,97	23,62	12,09
80 000	72 000	13,81	21,64	11,22
100 000	90 000	13,29	20,52	10,74
120 000	108 000	13,08	19,84	10,28
140 000	126 000	12,73	19,22	9,88
160 000	144 000	12,42	18,61	9,64
180 000	162 000	12,00	17,84	9,27
200 000	180 000	11,65	17,20	8,95

\* Including Suez Canal dues.

以上計算顯示“新建”舊船 60,000, 160,000 及 200,000 噸之運費依次遞降為 4.83 \$/ton, 3.26 \$/ton, 3.16 \$/ton。

#### 四、最適宜的運煤船規格

以色列運煤船的特殊情況下，依據 1981 年 Wydra & Hayth 提出的報告，本研究的主要結論為該國受下列因素的影響：

- 每噸煤炭的運費以較大船隻運輸會較為價廉。
- 然而煤船大小受限於港埠設施的能力。依據現有開發計劃，僅有少數港埠可以容納大於 150,000 噸之船隻。
- 訂購中 100,000 噸級以上散裝船隻大部份在 140,000 噸以下，僅少部份超過 150,000 噸。
- 以色列的煤炭進口商以長期傭船契約租用 65% ~ 80% 他們所需噸位之船。長期僱用大於 150,000 噸的船將影響操作之彈性。僅有少數港埠可以容納此類船隻。
- 大於 150,000 噸之船隻在滿載時不能保證可以通過蘇彝士運河。
- 在 160,000 噸及 200,000 噸間之散裝船運費僅降低 1.10\$，佔以色列煤炭進口 cif 價格的 1.5%，基於上述原因，估計以色列的運煤船有 60% ~ 75% 屬於 100,000 噸至 160,000 噸級，由 160,000 噸至 200,000 噸船所運之煤炭總量不超過 15%。而此類大船僅可適用於世紀末。

以較大的散裝船所降低之運費與相對所需較大之港灣設施加以經濟比較分析。基於此項經濟上的研究，而決定輪船規格 (design ship) 為 150,000 噸。

### 叁、環境及地工資料

#### 一、波浪狀況

自 1957 年波高及波向資料即以兩種不同的方法蒐集。在 1957 年至 1975 年期間波高之測定，係定時 ( 08h00, 11h00 & 14h00 ) 對碎波做 5 至 10 分鐘的連續觀察其與海平面之相對高度，以視力測量測定碎波高度。在 1977 年之後，則用 Datawell 牌浮球式波浪儀在每隔 3 小時對波浪做 20 分鐘的紀錄，其測量結果則紀錄於標準紀錄紙上。1979 年之後增加磁帶紀錄。

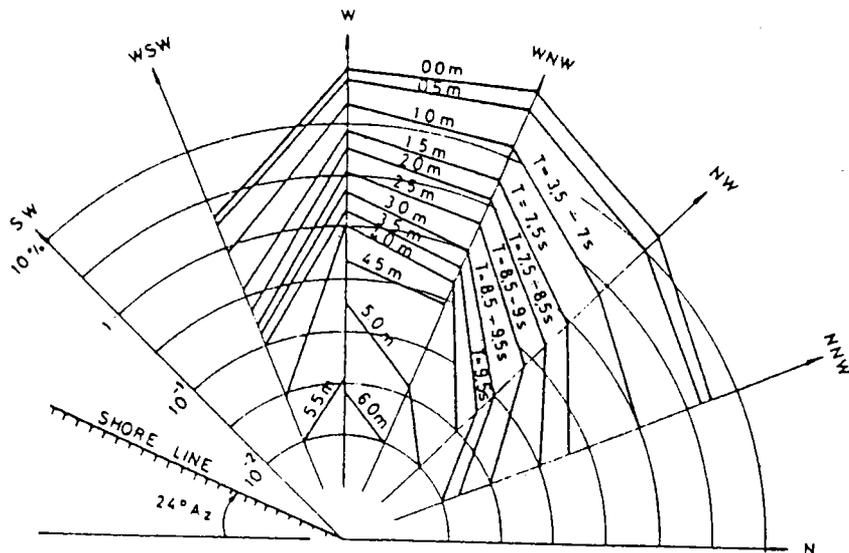


Fig. 3 - Wave height versus direction distribution.

過去，波向是用雙眼望遠鏡以視力觀察每天測定三次。1982 年 12 月以後，波向測量則在港灣控制塔內使用經緯儀來測定。將儀器之水平軸調至平行於波浪正面，讀得波浪之水平角及垂直角讀數，於是可算出測點之波向及水深，從而可獲得波高變化的正確資料。

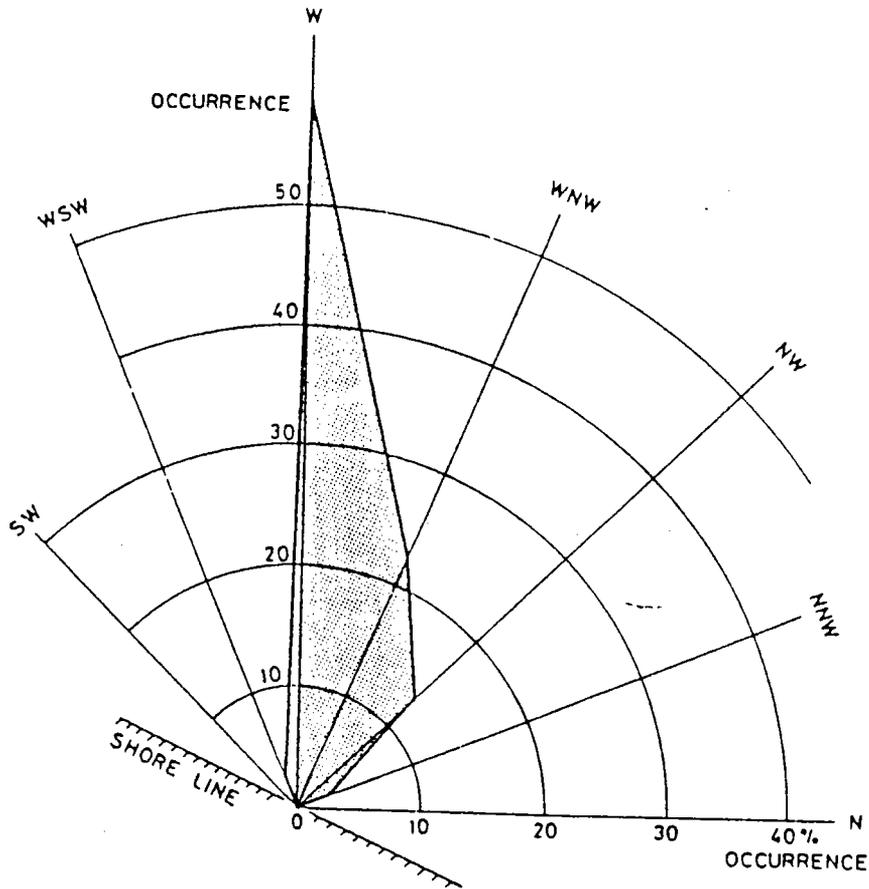


Fig. 4 - Wave directions distribution.

依據 1957 ~ 80 年資料，以 Cameri 法推算實際的深水波氣象資料。分析包含波浪高度、週期及方向的綜合概率及超越的頻率，海象（包括風平浪靜時）發生時期及延時亦在分析之內。其分析係以每月、每季、每年為基準。結果發現每年可分成四個時期，即從十二月至三月為冬季，從五月至十月為夏季，四月為春季，十一月為秋季。

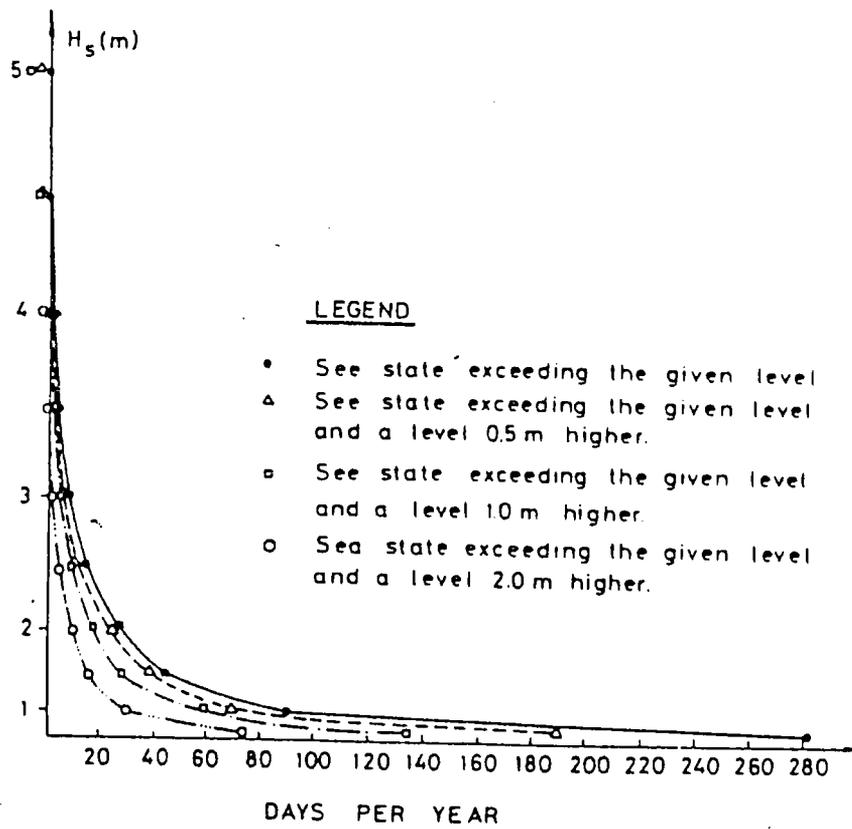


Fig. 5 - Average duration of sea states.

圖 3、4 及 5 表示深水波高與方向分佈，及平均海象延時超過的頻率關係。而各種主要波高範圍內波期也表示在圖 3 內。

假設 Gumbel 分佈求最大的波高得：

重現週期 ( years )	1	5	20	50	100	500
深水波高 ( m )	5.1	6.2	7.5	8.2	9	10

以 Fast Fourier Transform 方法作波譜分析，檢討波譜的形狀發現不近似 Pierson - Moskowitz 也不近似平均的 Jonswap 波譜。為求理論公式調適，乃就 1981 年 Mose 修正 Jonswap 即公式 EM Jonswap 公式如下：

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4 f^5} * \exp. -A \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4} * \Gamma \exp \frac{p}{2\sigma^2} \left(\frac{f}{f_p} - 1\right)^2$$

上式  $\Gamma = 2.8$  ,  $\sigma = 0.08\text{Hz}$  ,  $\alpha = 0.004$  ,  $A = 1.25$  ,

$$T_{\text{peak}} = 5.45 \sqrt{H_{m0}}$$

圖 6 表示標準波譜與 EM Jonswap 理論之間的比較。

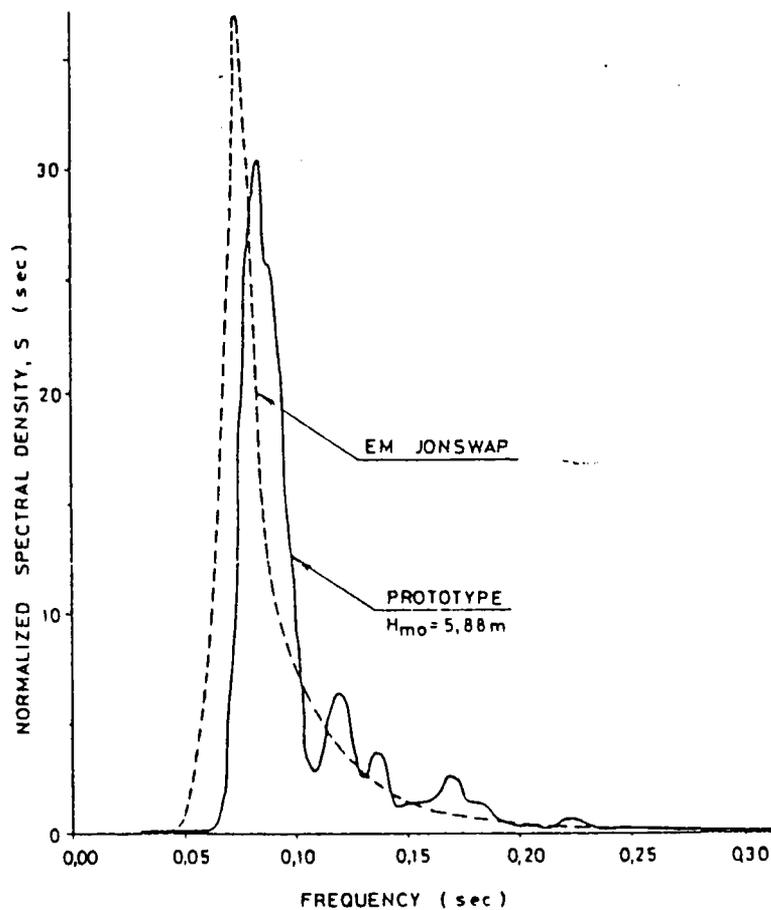


Fig. 6 - Wave energy spectrum.

## 二、風、海流及潮汐狀況

Ashdod 附近風向日間吹向陸上，下午逐漸增強，晚間則吹向海面。風速的總密度概率分佈（最高平均每小時超過 10 分鐘）繪於圖 7 內，並表示有顯著的西北風（NW）及東南風（SE）。強風的出現及分佈則表示於圖 8 內，僅於西南向（SW），西南西向（WSW）及西向（W）出現超過  $10\text{ m/s}$ （ $20\text{ knots}$ ）的風速。最大風及較大陣風的平均週期表示於表 8 內。

TABLE 8

Average recurrence (years)	Wind velocity (m/s)	Upper gust (m/s)
1	24	35
50	32	46
100	33	48

Ashdod 北方 11Km 範圍內之海流資料，包括螢光染料試驗結果，放出之漂流卡及流速儀紀錄可資利用。流速儀測點離岸 3，4 及 7 Km，其測定深度是水面下 6m，水深一半及接近海底處（如圖 9）。同時在將來的航道入口附近也選兩點加以測量，通常紀錄上之最大速度不超過  $0.5\text{ m/s}$ ，而其經常的方向則為北向。

水位紀錄在 1958 年已使用自動紀錄之潮位儀。天文學上有關半日潮（semi diurnal tidal）的變化是大潮（spring tide）時為 0.4m，小潮（neap tide）時為 0.2 m。最大的高水位通常伴同最大的波高出現。其相互關係可由描繪 1968 ~ 71 年期間每日之平均水位與高於 4 m 之波高的關係圖加以說明。

霧在沿海地區主要發生於晚上，而在日出或日出後兩小時內消散，在 1951 年到 1960 年在 Tel-Aviv 測定的結果顯示，平均每年有 16 天朦朧的夜晚並持續 2 到 4 小時，其中 50% 發生在四月到六月。

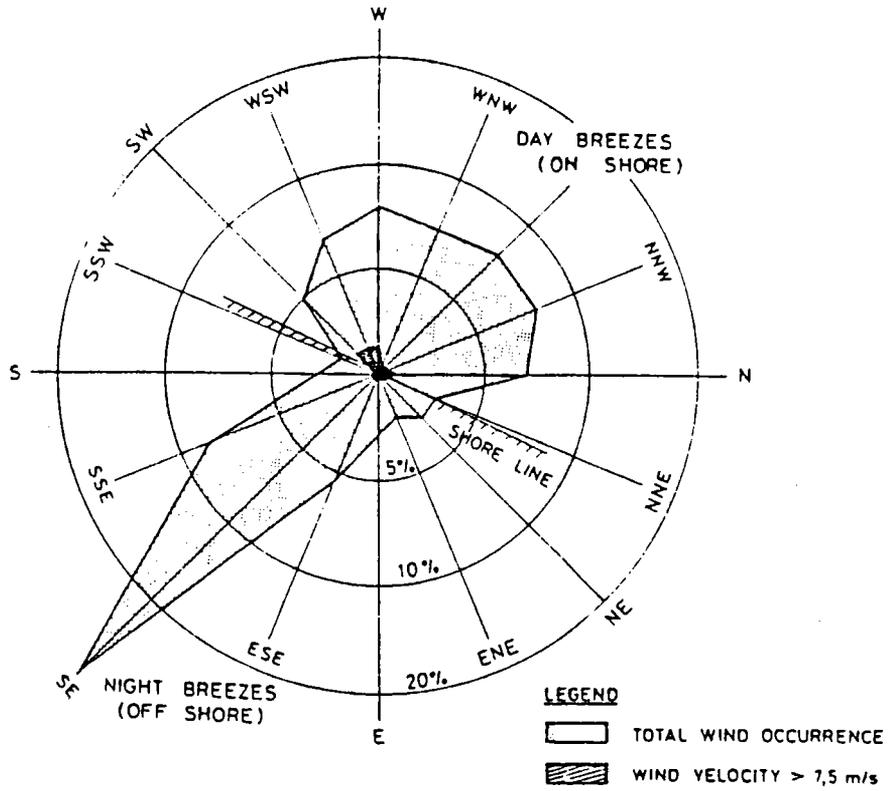


FIG. 7. WIND VELOCITY DISTRIBUTION

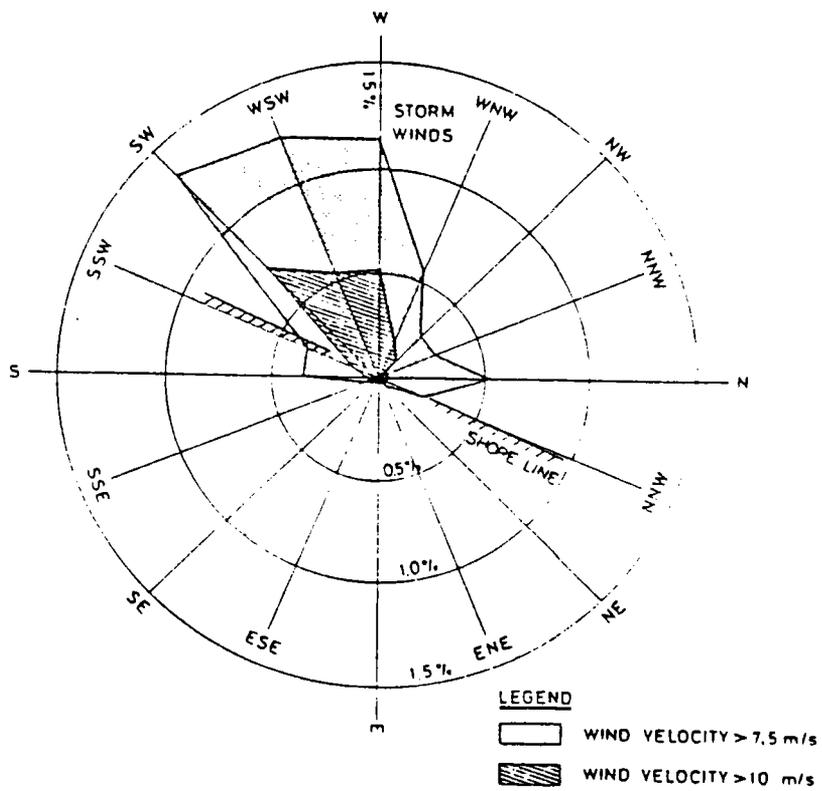


FIG. 8. HIGH WIND VELOCITY DISTRIBUTION

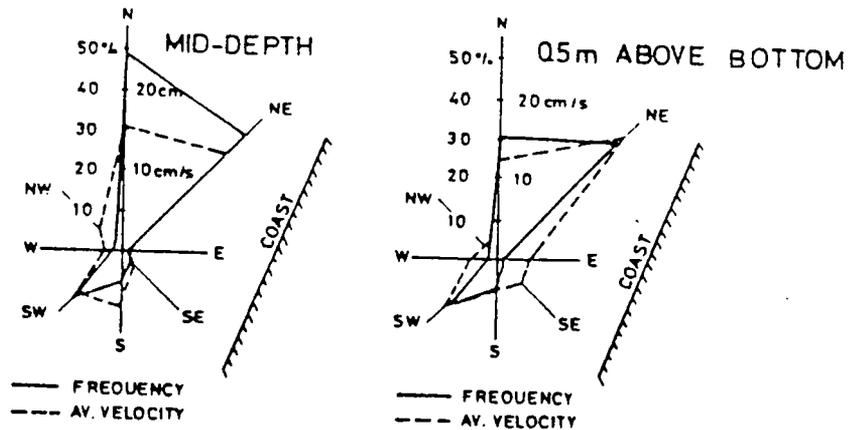


Fig. 9 - Current distribution.

### 三、深海測量及海底地質調查

在 Ashdod 的深海測量其特徵為等高線近乎直線且平行於海岸線，其離岸坡度為  $1/75$  到  $1/100$ 。一般性的測量在 50 年代中由港務局的水道測量單位負責定期施測。在港埠擴建規劃部份，決定 2 ~ 3 年間做一次一般性測量，以一季做一次剖面核對及全區的海床取樣。該測量有雙重的目的，第一有助於他們獲得港灣營建對長期漂沙之影響，其次可用以訂定新的“參考狀態”，並供作將來測量及港埠擴建後之比較。

海底物質除露出於海岸線及淺灘中少量石灰質的沙岩外，均為砂。

由取得之地層試樣加以篩分析。其結果是漂沙之 D (50) 範圍由沿海岸線之 1 mm，至 20m 水深線處之 0.15 mm (參閱圖 10)。沿岸淨漂沙量之移動方向朝北，估計每年達  $250,000 m^3$ 。

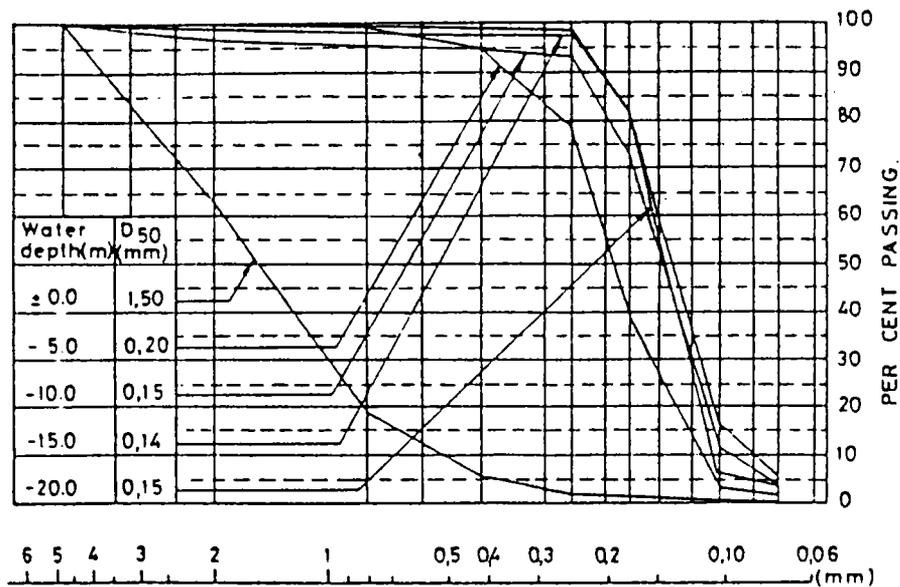


Fig. 10 - Offshore sand size distribution.

#### 四、土壤及基礎研究

廣泛的土壤調查研究，早在建造現有之港灣及各開發階段之前即已着手進行。收集的資料包括鑽探日誌、現場之標準貫入試驗 ( SPT ) 及剪力試驗 ( Vane test )，實驗室的土樣試驗、樁載重試驗、傳導動力的紀錄等。據此製作一張現有港區的詳細地質圖。

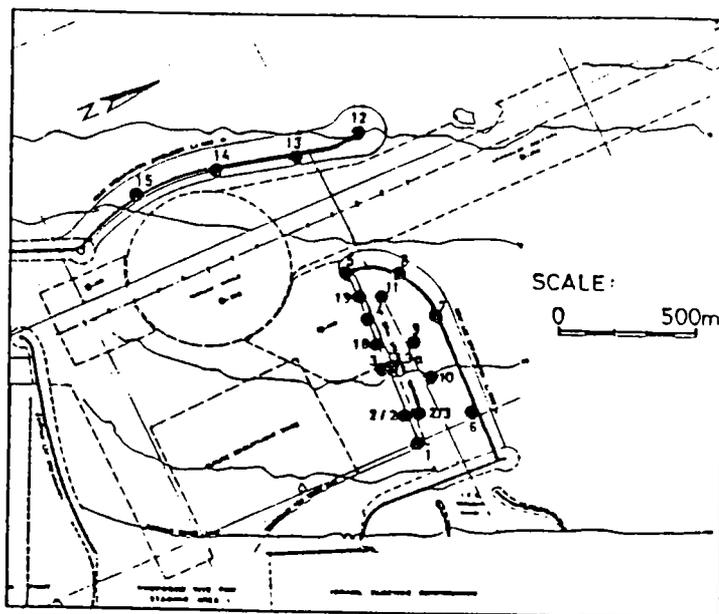


Fig. 11 - Positions of boreholes.

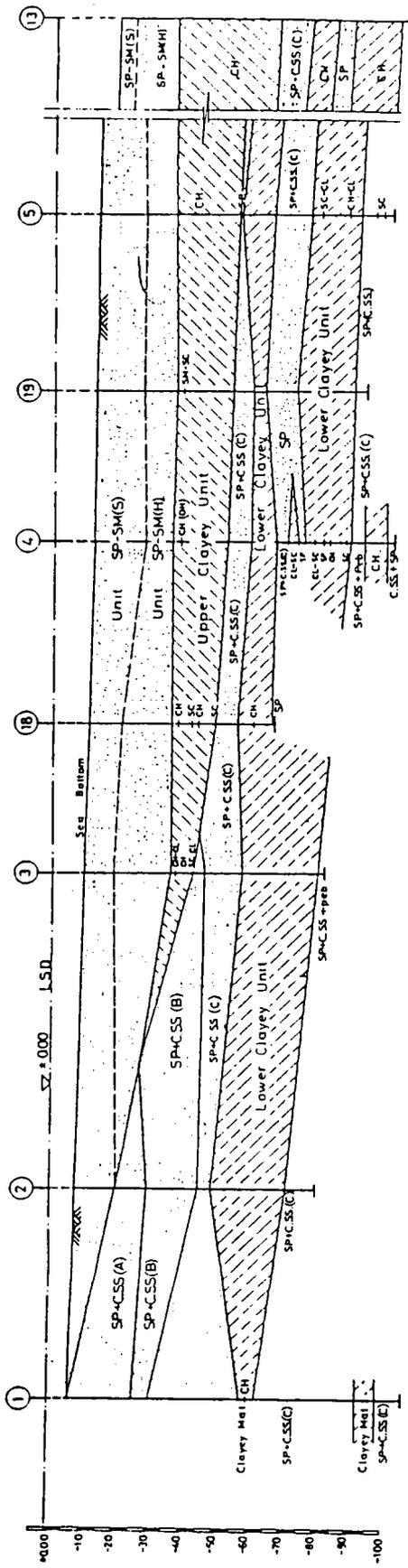


Fig. 12 - Geosection along the proposed wharf lee/breakwater.

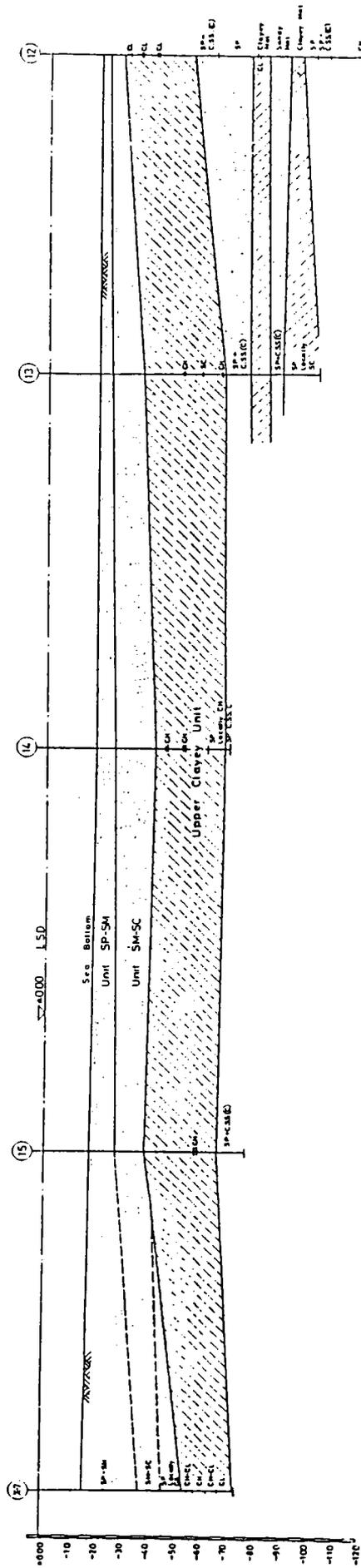


Fig. 13 - Geosection along the main breakwater extension.

欲獲得擬開發區域內土壤情況之正確資料，作了如圖 11 的 18 孔深層鑽探。鑽孔深度在陸上測量基準 ( LSD ) 下 65 ~ 120 m，並採用兩種不同的鑽探方法來執行。其中 5 孔是在固定平台上以不同方法，做標準貫入試驗 ( SPT ) 剪力試驗 ( Vane ) 及荷式貫入試驗 ( CPD ) 等現場試驗及在各種土層中作擾動與不擾動的取樣。其餘 13 孔則從特殊設計的船上，做現場荷式貫入試驗 ( CPT ) 及取樣。

土壤調查結果得下層土之層理 ( Hayati, 1984 ) 如下。(圖 12 及 13 )：

- 上層灰色細粒至中粒，級配不良。係砂與貝殼及微量的石灰質沙岩塊。其厚度在煤炭碼頭區為 0 ~ 26m，沿主防波堤方向延伸區域為 3 ~ 22 m。
- 上層高到低塑性粘土，含貝殼及石灰質沙岩塊，並常有稀薄的沙層或水晶體 ( lenses )。
- 黃色部份係中等粒狀的砂與各種型狀的石灰質沙岩混合層，其局部富含小鵝卵石及貝殼。大體上為各種礦物混合區。
- 下層不均勻粘土層，由粘質砂土或粉砂及薄層石灰質沙岩相互交替者。

由實驗室篩分析兼作化學及礦物學的試驗，得知上層砂粒為大小均勻的球狀，其中石英及方解石佔 85%，碳酸鹽佔 6% ~ 13%。在不同相對密度下做三軸壓密試驗結果，求得其內摩擦角約為 35° ~ 39°。而上層及下層土樣施以壓密三軸剪力試驗兼測定孔隙水壓、壓密、無圍壓縮強度、片剪及含水量等試驗。結果雖然偶而也出現預壓土層，上層及下層土層大都為正常壓密土層。檢視石灰質沙岩岩心再可分為三類。以最常見的一類所做無圍壓縮強度試驗及分裂張力強度試驗結果，分別為 2MPa 及 0.2 ~ 0.6 MPa，其楊氏彈性係數 ( young modulus of elasticity ) 為 450 ~ 600 MPa。

自 1837 年以來在以色列及其鄰近地區發生 270 次地震均有可靠的紀錄 ( shapira, 1983 )。早在 50 年代石油及地球物理研究學

會 ( Institute for Petroleum and Geophysics Research ) 即已建立位於 Eilat ( Red Sea ) 及 Jerusalem 兩處的地震觀測站，並從 1979 年建立全國性的觀測網。依據現有資料的統計分析建立了不同地區的地震危害程度，該危害程度為預期地面加速度的函數，如圖 14 所示。根據資料，決定 Ashdod 地區結構抗震分析應採用 0.075 g 的地面加速度。

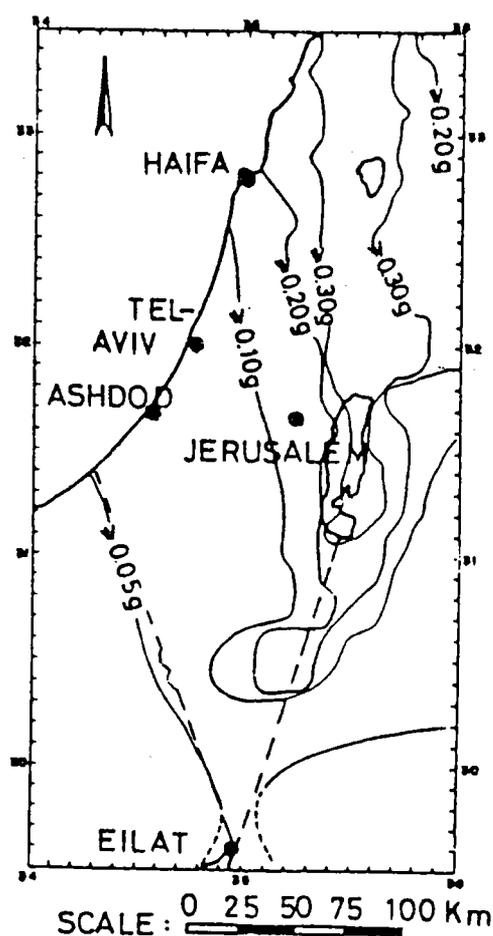


Fig. 14 - Peak ground acceleration map.

## 肆、港口設計

### 一、設計原理

過去港灣設計主要是依據漂沙問題與防止波浪侵入問題予以考慮。然而，大船出現後，航運需求較上述問題更形重要。而設計一個適合大型巨輪及超大型巨輪的港口，操船對入港進口之設計扮演著極為重要的角色。此即意謂着港灣設計開始便滿足航運需求。至於減少漂沙問題及防止波浪入港則於日後修正。

設計前先要決定船舶及拖船的大小與性能，再加上領港服務的程度及形態、航行輔助設施，而後決定操船的方法。而各種操船的方式則與周圍環境（如波浪、風、海流、潮汐等）在可接納的耗時下最小投資的最好方案等有關。

至於港灣入口的主要考慮為航道方位，港內航道長度（停住距離），航道寬度及航道深度等。上述數值由經驗資料、模型及實測決定。最後的配置再以操船模擬作為校核，如此也使該港操作者得到充分的參予。

Ashdod 港的擴建則遵循著上述之設計原理。

### 二、設計船舶及輔助船

從上述煤炭運輸研究中清楚的知道適當的設計值為 150,000 噸。因此乃決定以 150,000 噸的船作為設計依據，該港也準備將來可能會有超過 200,000 噸的船使用。設計值主要尺寸如下：

TABLE 9

Nominal Ship Size (dwt)	Length (Lpp) (m)	Beams (m)	Laden Draught (m)
150 000	295	44	17
200 000	310	49	19

最小的航速是依據海上及氣候的情況而定，但是爲了使自航的船隻保持完全的控制，其速度必需在 4 ~ 5 knots 以上，通常這些船在倒開時會向右旋轉即順時鐘轉動。

拖船的兩種主要型態即一般船尾的推進器／船舵布置的傳統式（例如 Kort-Nozzle tugs）及現代曳引式（即 Voith-Schneider, Schottel and Z-peller tugs）。傳統的拖船因爲不能展開較高的速度低於 3 knots 的船，而曳引式拖船則可在任何操船速度下工作，亦可幫助航速 4 ~ 5 knots 的大型輪船。

拖船在何種波浪情況下對船有所幫助也是非常重要的，下列之限度情形是可被採用的（依據南非港口及其他地方的經驗  $H_s = \text{significant wave height}$ ,  $T = \text{wave period}$ ）：

TABLE 10

Type of Tug	Limiting $H_s$ (m) for assisting	Occurrence for $T > 6s$ (%)
Conventional (heavy)	0,5	37,5
Tractor Tugs	1,0	25,5
Tractor Tugs with Rendering Winches	1,5	14,1

上表可知曳引式拖船更適用於有浪情況，其可在  $H_s \leq 3m$  時配合輪船操作，其航速可達 10 knots，倘若  $H_s \leq 1.0 \sim 1.5m$  時並可於 4 ~ 5 knots 時加入協助。

在考慮下述操作方法時預定用兩艘曳引式拖船，一再船頭，一在船尾並以 40 噸的繫船柱來幫助滿載的入港船，且在惡劣情況下可加第三艘拖船來幫助大的船隻進港。

### 三、基本配置航道位置圖

圖 15 表示港口擴建最初的配置，雖然航道入口平行於主波向（西及西北西向）可使船的垂直運動為最小。然為何取向北方向。仍因第一港內可提供較長的停住距離，第二對付毗鄰船寬的波浪比在船尾之波浪易於操船，第三因為滿載貨船入港時將遭遇主要為北向的海流及強烈的西南風，而可減少港內停住距離。

圖 16 表示南北航道的設計。此設計所需的停住距離及其有關之防波堤長度為 1,500 m，尙可延伸 2,000 m 進入現有港區。基於波浪、風及海流等所生的拖曳力及轉動力矩，貨船在進港時以右舷偏差角補償向東的拖曳。同時，領港者對右舷轉動力矩也需加以補正。駛離的空船應保持一航差角以補償拖曳成為平穩自然的領航。

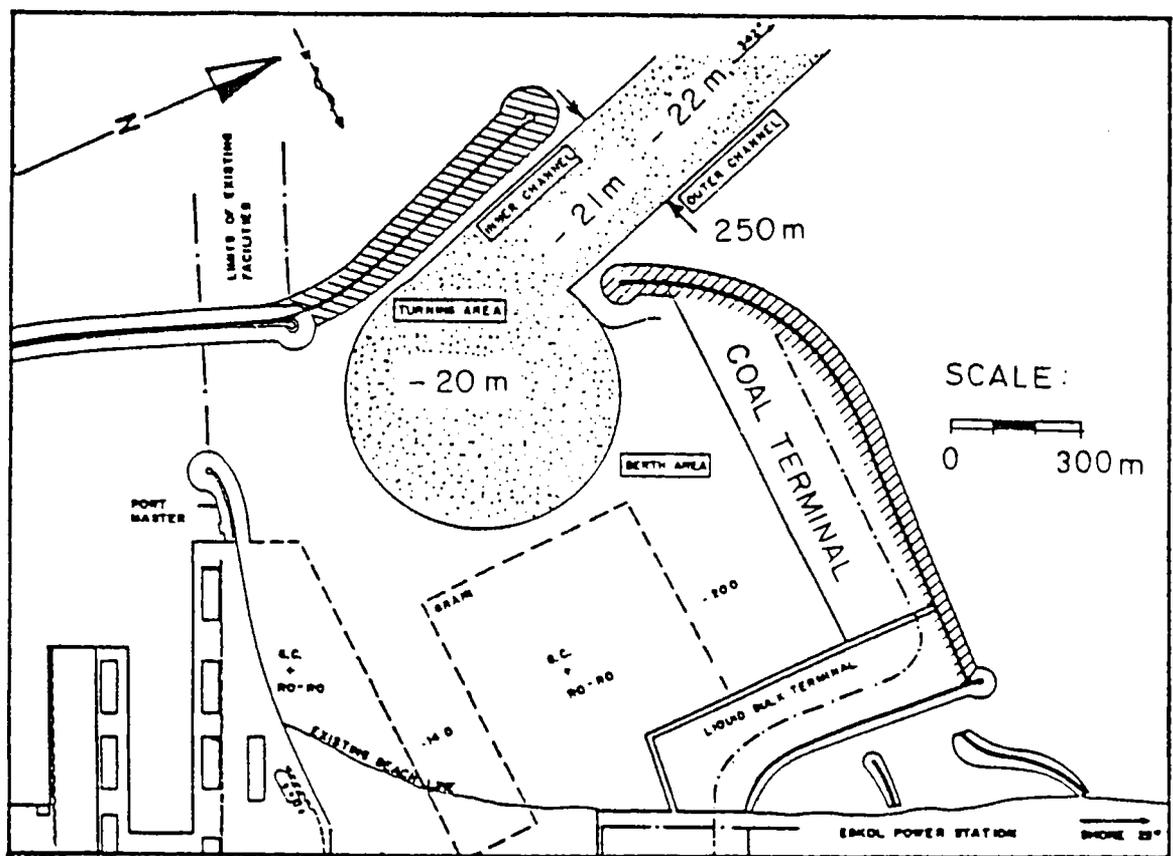


Fig. 15 - Original layout of proposed port extensions.

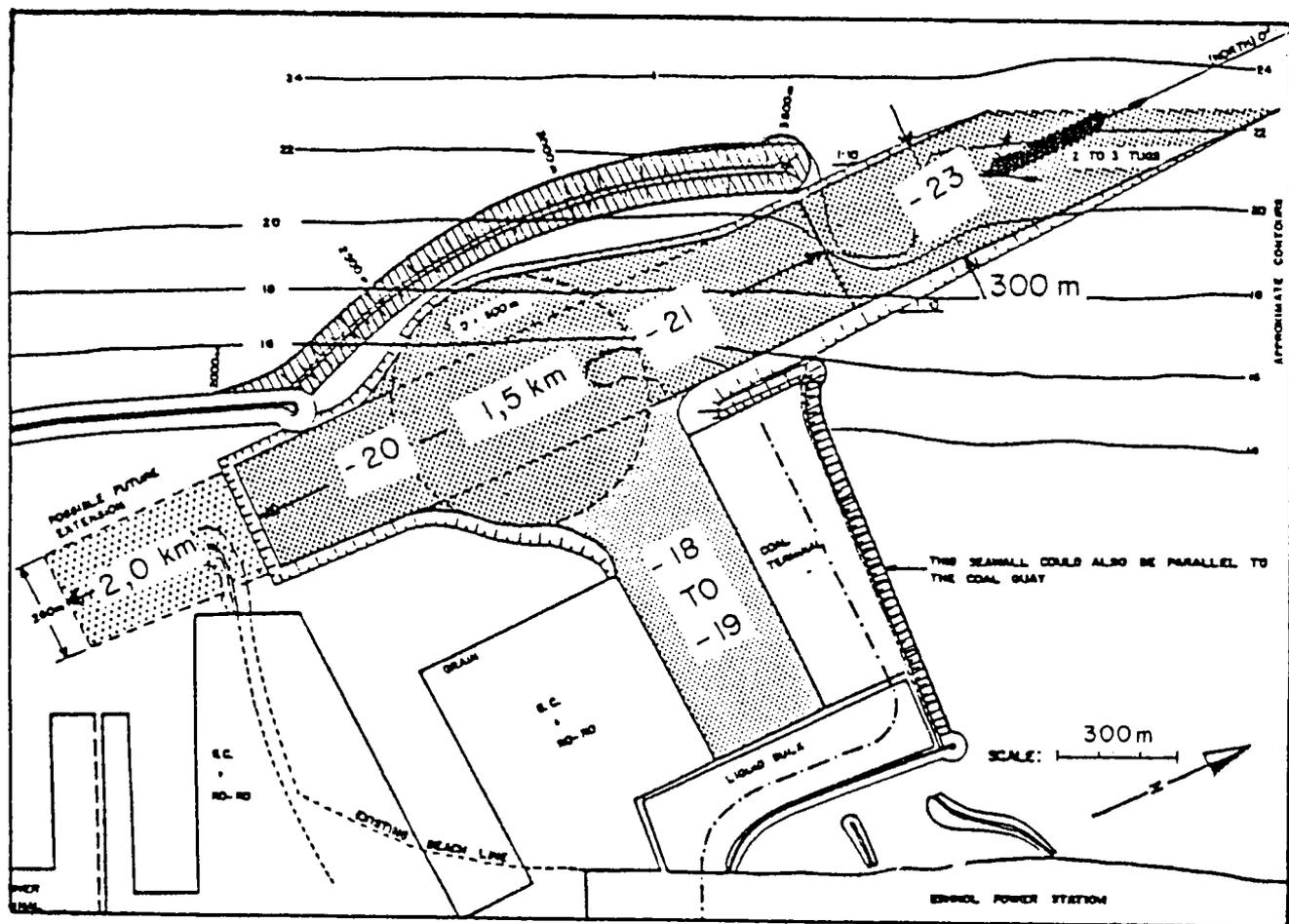


Fig. 16 - Proposed entrance layout.

#### 四、操船與航道位置圖

煤炭經由 Ashdod 輸入，滿載的散裝船駛入港口，而離港時則為空船。很明顯的進入及停住的操作決定航道入口的設計。因為大的散裝貨船依其初速度及拖船的幫助，要完全控制停住需要幾公里。

進入 Ashdod 的航速考慮如下：

- (一) 在防波堤外側將拖船連接並幫助入港船達最小的入港航速 3 ~ 4 knots。
- (二) 拖船在外側連結，而由船隻本身力量駛入港內才開始協助。其時最小進入速度為 5 knots。

(三) 在船進港後在防波堤保護下拖船再行連接及助航，其時所需最小航行速度為 5 ~ 6 knots。

各種進港航速及其影響概述如下（假定使用曳引式拖船及絞車）：

TABLE 11

Manoeuvre	Tug Use		Min. Entry Speed (knots)	Inside Stopping Distance (m)	Limiting $H_s$ (m)	Ship Handling Downtime (%)
	Attach	Assist				
(一)	outside	outside	3-4	800	1,5	14
(二)	outside	inside	5	1500	3,0	3*
(三)	inside	inside	5-6	3000	-	1

\* 風速超過 30 knots

由表 11 知擴建 Ashdod 港方案(二)是最好的。方案(一)的等待時間不能接受。方案(三)需提供 3,000 m 停住距離的防波堤費用也窒礙難行。

因此決定拖船需在港外連結，並於入港後即行拖靠。港內航道長度則需 1,500 m（圖 b）。

### 五、入口航道之寬度

依據經驗粗略估計 150,000 噸至 200,000 噸輪船所需單向航行直線航道底寬（曲線必需局部加寬）為 300m。

由離去 Richards Bay 港 100,000 噸至 150,000 噸散裝貨船滿載時經過之路徑來測定，即使在風浪巨大的情況下，船隻維持在合理的 7 至 10 knots 速度下航行，此寬度已經足夠。在 1977 年 Campbell & Zwamborn 於實體模型試驗中亦顯示在船速與所需航道寬度間的相互關係。於方向偏差較低速度之船隻航線偏差較大，故其掠過路徑比較寬些。

不考慮人為因素時，航線偏差是因環境條件，尤其是此類條件的變動引起的力或彎矩的結果。如海流，以 Ashdod 為例，船以 4 knots 之航速通過 0.5 m/s 之海流時，必需採 14° 的航差角來駕駛。

風的影響，也很類似，尤其是較輕的船。波浪的拖曳力及力矩，對自由航行的船隻而言已並不重要，當然，由於不規則波浪引起些微拖曳力的改變對已下纜船隻是一個很嚴重的課題。上述力或彎矩的計算值，橫浪  $H_s = 2\text{m}$  ( $T_p = 8\text{s}$ ) 其平均拖曳力為 75 噸，在  $H_s = 3\text{m}$  ( $T_p = 10\text{s}$ ) 時該平均拖曳力為 180 噸比較 40 knots 橫風所產生之 46 噸拖曳力為大甚多 (Marin, 1982)。此外，波浪拖曳緩慢變化達 50% 時，也會引起轉動力矩作相同的變化，故其偏航位移可由舵手在動作上適時調整其變差，船隻前進的路線變成漫遊。

在 Ashdod 港擴建中之進口操船模擬必需考慮波浪、風力、海流等的影響。

#### 六、船舶模擬研究

利用船舶模擬檢討入口設計，特別是港內停住距離及航道寬度對航行的適用，同時讓港務人員在設計過程中有更直接的參與。

圖 b 為 1982 年 Marin 在荷蘭 (Holland) Wageningen 所做的航行模擬試驗。然而，為使實驗顯示重點，航道尺寸作了些微之減少，如此可使主防波堤費用降低 (有關停住距離為 1,250 m 及航道寬度為 250 m)，參閱 (圖 17)。

用相當於滿載 150,000 噸散裝貨物之試驗船，並以兩艘 Schottel-type 拖船及 40 噸繫船柱用短繩聯結於船頭作為主要的試驗 (2,500 SHP at 85 rpm)，拖船僅用於散裝貨船已通過主防波堤時。

試驗時包括以下各種情況之配合：風向為西及西北向，波高/波週期為  $1\text{m}/7\text{s}$ ， $2\text{m}/8\text{s}$  及  $3\text{m}/10\text{s}$ ，風向為西風及北風，風速為 30 及 40 knots， $0.5\text{m}/\text{s}$  北北東之海流，與初速度為 4.5 及 6 knots。全部 44 種試驗中，38 種是使用兩艘拖船，4 種是用一艘拖船，而 4 種是離港試驗，此試驗係由 Ashdod 港的船長及荷蘭的駕駛員來執行。

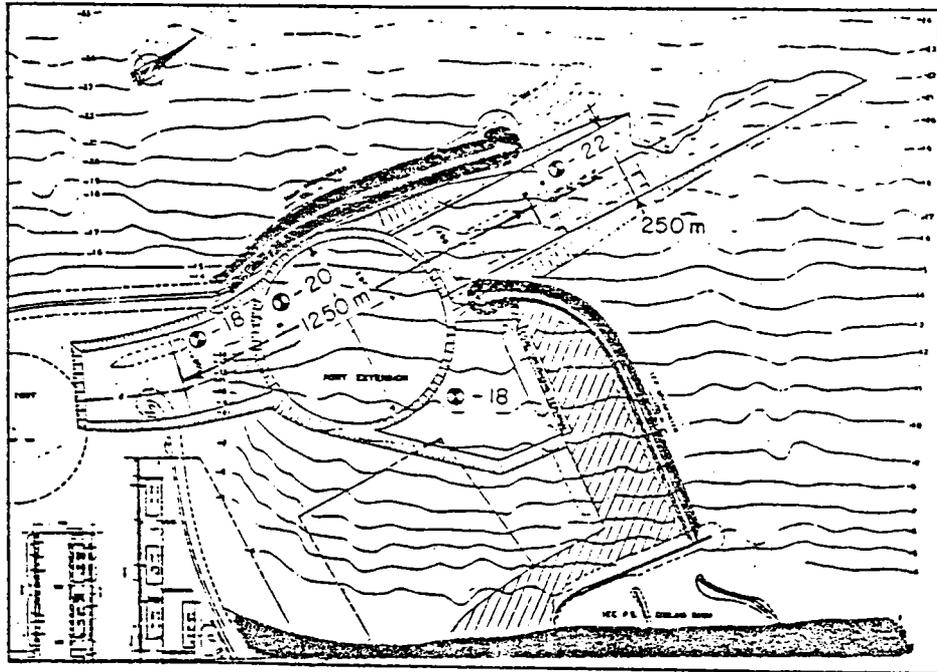
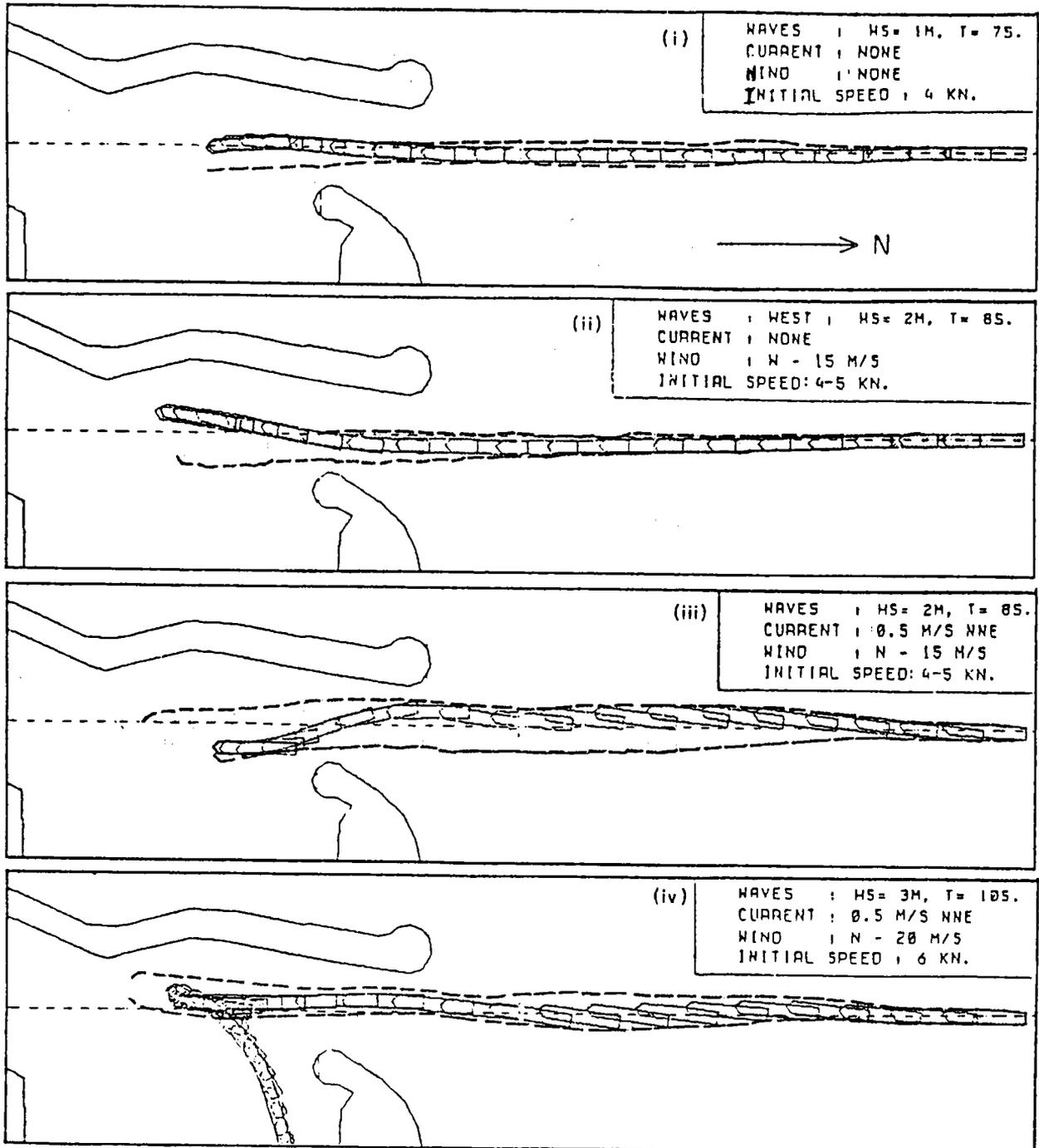


Fig. 17 - Modified entrance layout for simulation studies.

在 1981 年 Witt 將該試驗作統計分析得主要結論要點如下：

- (一) 安全入港速度：模擬試驗證實選擇最小值 5 knots 極為正確，但要避免與舵角閉合，巨浪 ( $H_s = 3\text{m}$ ) 發生時，高到 6 knots 較好。
- (二) 停住距離：在所有試驗中，是以拖船聯結於船首，而輪船及拖船船尾盡出全力，得其平均停住距離為 900 m，僅用一艘拖船時，其最遠的停住距離為 1100 m，而在有風暴的情況下 ( $H_s = 3\text{m}$ )，則需考慮使用兩艘拖船，其有效的停住距離為 1250 m。
- (三) 航道寬度：試驗表示在背風防波堤頭處受西向波浪影響及在背風防波堤頭外側處受西北向波浪影響，使 250 m 航道向東超越分別為 1.7% 及 1.5%。

在圖 18 內表示一些結果，此圖明顯的證明波高對掠徑的影響，即較大的波浪需要較寬的航道，尤其是進港速度增至 6 knots 時。此也證實需要增大平均舵角，即  $H_s = 1\text{m}$  時為  $5^\circ$  至  $10^\circ$ ， $H_s = 2\text{m}$  時為  $20^\circ$ ， $H_s = 3\text{m}$  時為  $28^\circ$ 。



PILOT : 1.2  
SHIP : 150.000 DWT COAL-CARRIER

Fig. 18 - Envelopes swept-paths simulator runs.

模擬研究的最後結論是除了波浪  $H_s = 3\text{m}$  及  $0.5\text{m/s}$  北北東向的海流外，圖 C 的設計是值得接納的。

### 七、入口航道深度

所需的航道深度，主要是依據船的吃水及其由於蹲踞，保持平衡與波浪作用時的垂直位移，從有關文獻中所得的數值總吃水量為 0.5 至 4.4  $H_s$ ，或  $H_s = 2\text{ m}$  時從 1 至 8.8 m。

最大吃水量依據 200,000 噸模型船在航道入口外，由波浪、蹲踞及保持平衡所作不規則波浪試驗結果決定，並由 1982 年 Zwam-bornand Cox 在 Richards Bay 用 150,000 噸模型船在規則及假設不規則波浪兼現場測定加以驗證。

船底保持 1 m 的淨距，按渠深  $d = 21$  到 24 m，及不同之波向定出之限制波高等求得之等待時間如表 12（一般均認為拖船在  $H_s > 3\text{ m}$  時無法操作，或拖船操作時間超過等待時間 3.6% 也不能接受）。

Table 12

Channel Depth (m)	d/D (D=17m)	Downtimes (%)	
		Total	Due to Depth Limitations
24	1,41	4,0	0,4
23	1,35	4,5	0,9
22	1,29	6,2	2,6
21	1,24	9,9	6,3

因為等待時間在渠深 22 m 時增加急劇，而 23 m 及 24 m 之間的變化則甚微小，因此外側航道深度選用 23 m 的深度。

從 Cameri 在 Haifa 所做之波浪盪漾模型研究中求得之波浪侵入係數推測內航道深度。其決定原則是不因渠深影響增加等待時間，故選定迴船池深為 20 m，泊地為 19 m。

因為將來可能要容納 200,000 噸級以上的船隻，故對航道的設計需考慮加深 1 m 至 2 m 的可能性。

## 八、港灣入口定案設計

圖 2 所示為定案設計，此設計是在模擬試驗的時候修正的，比在圖 16 之設計更加經濟。

此入口設計的主要特徵是：

- (一) 港內停住距離為 1350 m，必要時可向現有港口延伸。
- (二) 280 m 寬的基本航道，在外側航道向東邊加寬 30 m。
- (三) 內側航道則向西邊加寬，使入港船隻倒開右舷可以向右迴航。

此修正之入口設計，在風速到達 40 knots，海流 0.5m/s 及有效波高 3 m 等複雜情況下，用兩艘曳引式拖船附以 40 噸的繫船柱，以長列鐵鍊於船隻入港前套上，即可使滿載 150,000 噸之船隻安然入港，且在港灣擴建後估計等待總時間為 4.6%，即每年 17 天。

## 伍、碇泊處理之設計

### 一、波浪盪漾研究

各種港灣配置下波浪盪漾於1983年由海洋工程學會在Hafia以水工模型作深入之研究，其水槽尺寸是 $24 \times 24.5 \times 0.8$  m，固定比例尺為 $1/150$ （圖19）。裝設有不規則造波機能夠供作所有不同波向之試驗，主要是西南西向至北向。並依據聯結於Ashdod 19 m深處之波浪儀實際紀錄之不規則波浪輸入。試驗用之波峯週期由6秒至13秒，有效入射波高為1 m至7 m，模型試驗是以電阻波浪儀同時紀錄34點之波高。

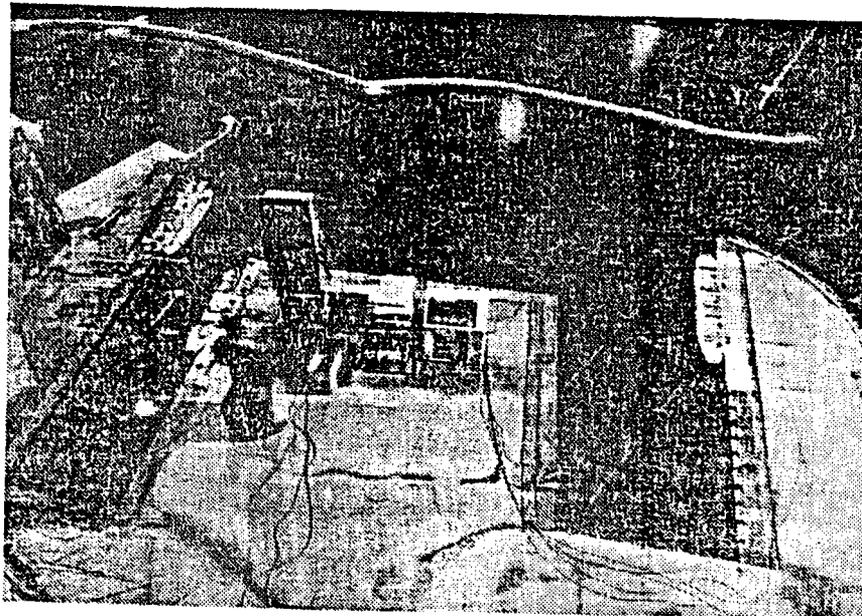


Fig. 19 - Wave agitation model.

除了現有之港池配置試驗以供參考外，作四種不同設計的試驗。分別為防波堤長度1,100 m及1,150 m與入口航道寬度250 m及300 m，如圖2中實線所示為初步設計階段，虛線所示為增加碼頭

之最後發展階段，兩者均加以試驗。所有試驗結果顯示現有港埠在擴建後均有顯著的改善。主防波堤擴建 1,100 m 比擴建 1,150 m 時受到波浪之侵入多很多，在圖 2 定案設計的試驗結果為最好。港內僅有微小的波浪盪漾，港內波高在內航道僅為入射波之 10 % 至 70 %，在迴船池及靠岸區為 5 % 至 20 %，在泊地為 5 % 至 15 %。即發生機會 1 % 之 4 m 有效波高，泊地的波高僅為 0.2 m 至 0.6 m。

## 二、長波與共振

在港內側的短波盪漾，尤其對於小型船隻而言，將有過度的垂直擺動問題發生，但對於停泊中的大型巨輪主要的則是發生在週期 30 秒至 150 秒的長波共振問題上，因為停泊之散裝船隻共振週期恰在此範圍內。因此港灣設計在本質上應以無強烈的共振週期發生於上述範圍內為原則。

在現有及擴建的港埠中，其長波影響是由不規則波的物理模型試驗計算而得。港灣內側的波浪紀錄則由海洋工程研究學會加以能譜分析，其波能則納入小型週期波帶中並輸入總深海波能予以比較。有關之長波侵入係數，則以現有的港埠有無擴建加以比較而求得。發現現有的港埠於擴建後其波能將會大幅的縮減。數值共振研究則在南非共和國的 Stellenbosch 由國際海洋研究學會辦理，在 1978 年 Russel and Huizinga 及 1984 年 CSIR 是採用二度有限差分共振模型，且允許以個別的水深、底部摩擦力及非反射的模型界線，及複雜的港灣形狀組成。模型實驗之進行，首從輸入 0.033 Hz 至 0.0075 Hz 頻率範圍或從 30 秒至 133 秒週期的範圍逐項核對以測定共振發生的頻率。即其倍率因數顯然超過 1 很多。再以逐項核對輸入試驗求得之頻率為基礎，輸入正弦波浪加以試驗。

結果，現有的港埠顯示兩種主要的共振週期，即 34 秒至 36 秒及 60 秒，最大的放大因子為 2.9。此即表示繫纜問題嚴重（突堤碼頭曾發生過斷纜事件）。在圖 20 中於波浪週期為 34 秒及 43 秒時，擬擴建港埠中的放大倍率則高到 3.0。因此，在港埠擴建後的繫船條件將與

現有的港埠情形類似。另一方面，在現有港埠內之情況經港埠擴建改善後，其倍率因數將會大幅的縮減如（圖 21）。

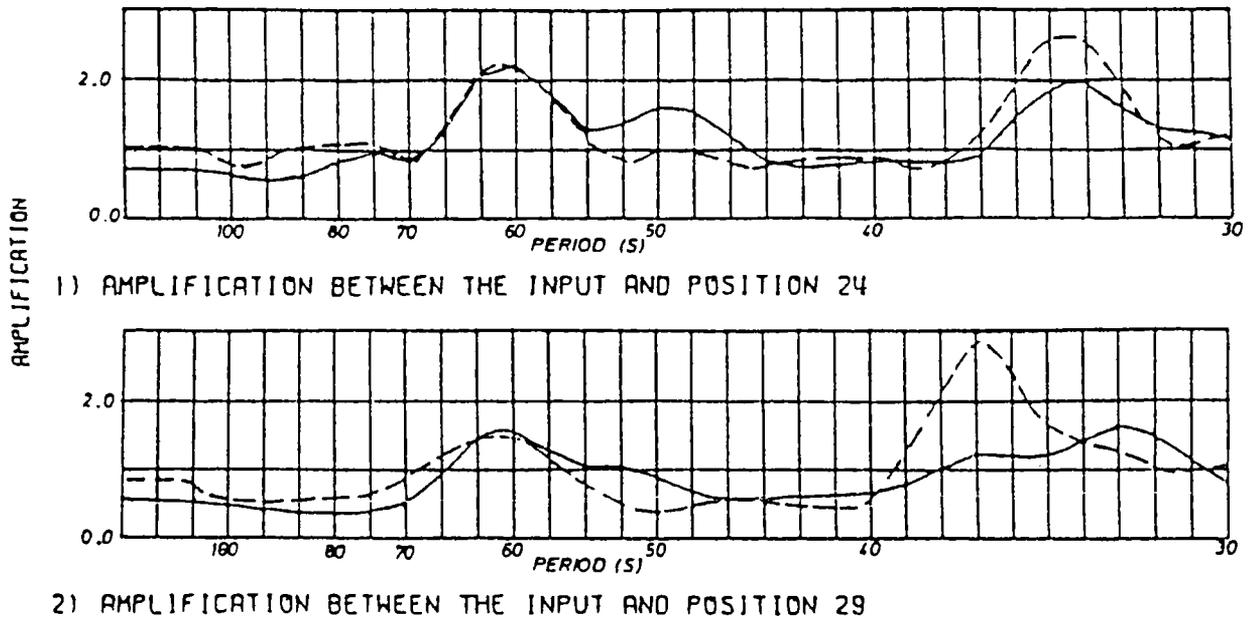


Fig. 21 - Wave amplification for random input range of periods.

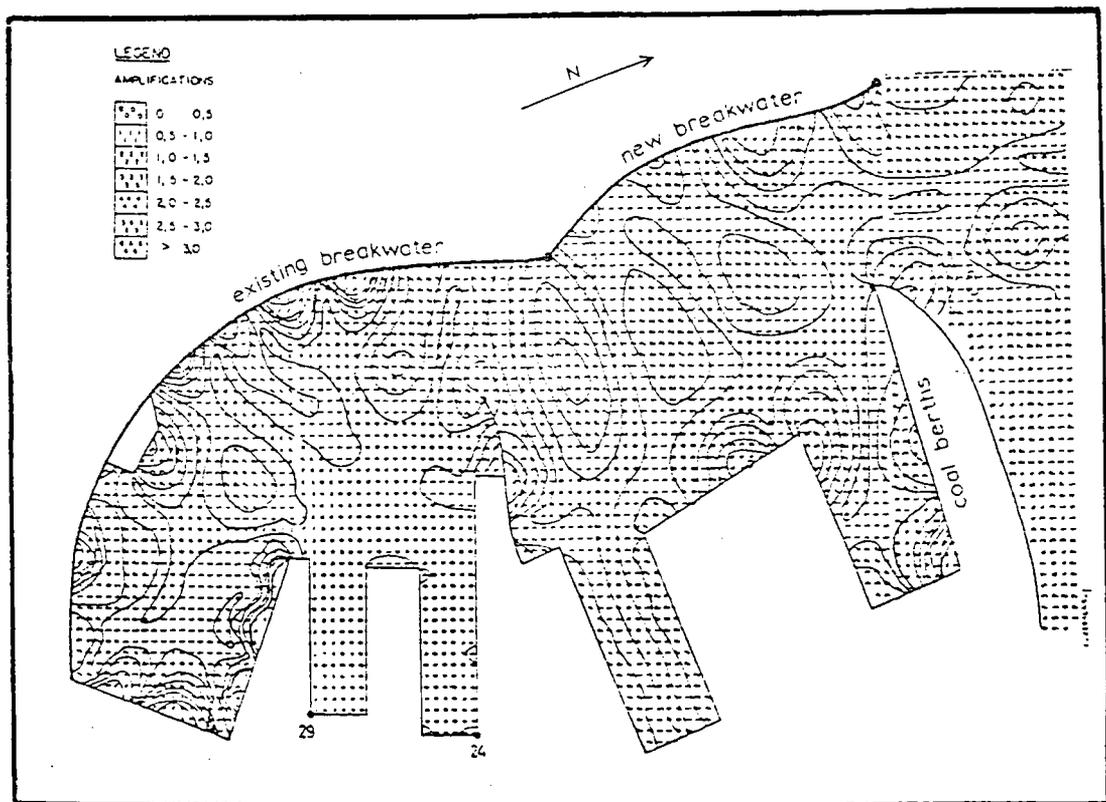


Fig. 20 - Maximum water level fluctuations for 43 s period waves.

### 三、繫船研究與設計標準

港內側短波侵入係數不足以判定船席的利用及操作性。當波浪週期與停泊船隻本身的振幅週期相近時，位移顯著的增加。因此對於船隻的碇泊必需詳加研究，蒐集充分繫纜護舷系統功效上的資料。

在安全碇泊與安全工作間存有些許差別。安全工作要求使船隻不能有太大的位移，而在實施裝貨與卸貨時能夠使其安然無恙。安全碇泊是貨物停止處理，但船隻停留船席處。諸如防波堤配置，碼頭結構型式，繫船佈置，均會影響停泊船隻的位移。時間與經濟的限制，很難覺得最佳的答案。有系統地以各種不同的盪漾模型實驗極有助於獲得滿意的答案，其目標至少達到 95 % 的可操作性。

上述的規範是作為此研究之用，而下列以 1/150 比例尺做成之四種船隻則係供作繫船試驗之用。

30,000 噸貨櫃船 ( ZIM Hong - Kong )

33,000 噸散裝貨船 ( ZIM Avedat )

60,000 噸巴拿馬級

160,000 噸散裝貨船 ( 類似 ZIM Hadera )

這些船隻的細節如表 13 所示。

兩種繫船標準，第一種持續 6 小時的半固定海況及另一種短期極少存在的海面狀態。第一種情形的接納標準是其力量不能超過繫纜安全破壞力的 25 % 及護舷壓力容量的 50 %，對極少出現的海面狀態的接納值則分別為 55 % 及 75 %。安全工作標準即船隻貨物的裝載，卸貨是依據以色列港務局對貨櫃船的經驗及對散裝貨船可靠的資料。

TABLE 13

SHIP DESCRIPTION	LOA (m)	LPP (m)	B (m)	d (m)	Δ (ton)	T ROLL (sec)		T PITCH (sec)		T HEAVE (sec)		T SWAY (sec)		T YAW (sec)		T SURGE (sec)	
						Free	Moored	Free	Moored	Moored	Moored	Moored	Moored	Moored	Moored		
CONTAINER SHIP																	
a. Ballast	218,58	205,90	28,96	8,53	24 422	10,0	8,8	6,5	5,4	6,0	40,0	51,7	44,1				
b. Fully Laden				10,02	34 785	40,0	35,0	8,6	8,0	7,9	78,6	80,2	80,3				
33 000 DWT BULK																	
a. Ballast	196,00	186,00	27,00	6,99	22 768	9,0	9,0	6,5	6,7	8,1	40,4	43,4	45,6				
b. Fully Laden				10,62	43 920	-	-										
60 000 DWT PANAMA																	
a. Ballast	223,50	215,00	32,20	2,81	35 816	9,8	9,1	8,7	7,0	7,4	44,1	36,7	68,0				
b. Fully Laden				12,39	71 993	15,2	14,5	12,0	9,2	9,8	110,0	90,0	103,0				
160 000 DWT BULK																	
a. Ballast	291,48	280,50	42,90	7,42	84 771	10,6	10,7	9,6	8,4	9,9	63,2	48,5	107,0				
b. Fully Laden				16,46	168 499	14,2	19,1	10,0	16,5	19,9	160,0	95,5	140,0				

茲將船隻允許最大的位移數值標示於下：

TABLE 14

Ship Movement	Bulk carriers	Containership
Roll	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$
Pitch	$\pm 3^\circ$	$\pm 2^\circ$
Sway	1,0 m	1,0 m
Surge	$\pm 1,50$ m	$\pm 0,50$ m
Heave	$\pm 0,50$ m	$\pm 0,50$ m

#### 四、試驗情形及測定

用西向、西北西向、西北向三個主要波向，由 1 m 至 6 m 範圍之有效波高，配合 6 秒至 12.8 秒的週期加以試驗。並以西南向及北向長波注入模型中加作少數的試驗，如此，可應用函數直接展開法求得短波波峯。僅西南及西北向方向少數的試驗使用 40 knots 風速。在滿載與壓艙物的情況下對繫纜與護舷以及船隻身上的數點位移，在半平靜海面及極少情況下的海面，作持續紀錄並分析其最大值。

用“硬式”與“軟式”繫船系統，兩者均包括船頭、船尾、船胸前後、船牆前後等 6 線加以試驗，其荷重撓度曲線則表示於圖 22 中。

有三種不同的繫纜布置均可考慮使用，其唯一不同處僅在於船頭與船尾對碼頭面之交角而已，如圖 23。

在試驗中使用成對 2300 × 1300 × 2600 mm 圓筒橡膠護舷材其總容量為 150 噸。而心到心則間隔 30m。其每套護舷的能量吸收容量相當於 150,000 噸級船隻以橫向 0.1 m/sec 靠船速度之能量。

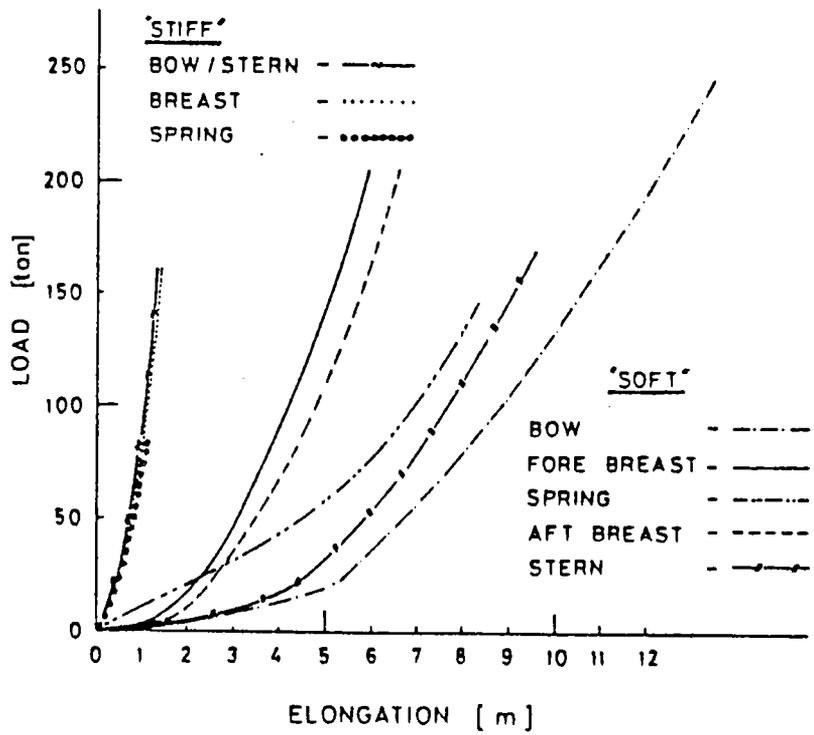
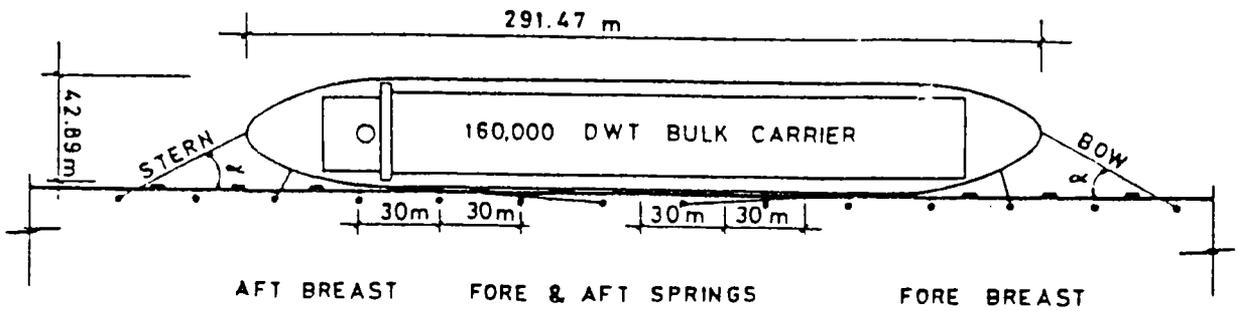


Fig. 22 - Mooring systems characteristics.



• 150 ton BOLLARDS C/C 30m

■ CYL. FENDERS 230/130/260cm. C/C 30m.

$\alpha = 15^\circ ; 30^\circ ; 45^\circ$

Fig. 23 - Mooring arrangements.

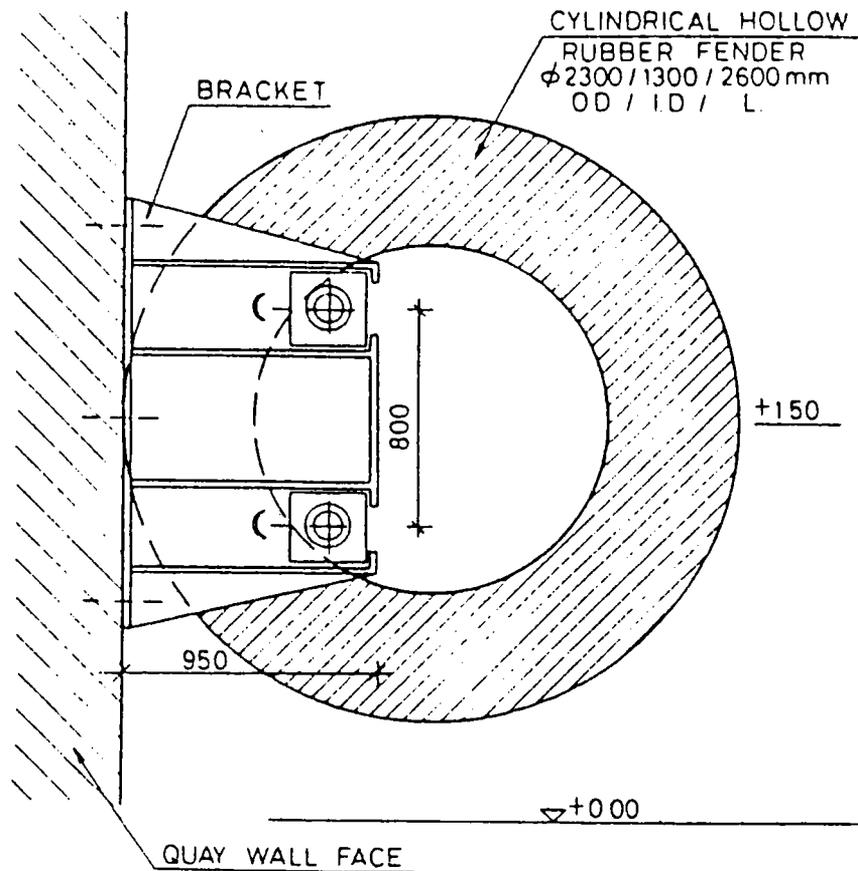


Fig. 24 - Fender arrangement.

試驗結果之研討，請參閱圖 2 為發展之最後階段，僅止於160,000噸散裝貨船之使用情形：

- 碼頭結構之型態對於波浪之反射或吸收是稍有影響，其結果差別約等於10%。
- 軟式繫船系統對半平靜海面與極少的海面狀態，兩者均符合安全繫船標準。而船頭與船尾線之布置對碼頭面之交角以30°之效果為最佳。除大浪及側移外安全工作標準均可滿足。一般說來，6小時內只有一次超過最大值，均表示於圖 25 中。無論如何，每年

超過既定的大浪及側移的極限小於 1 %。

- 垂直位移對波浪高於  $H_s = 4\text{ m}$  時，仍低於  $0.15\text{ m}$ ，即使波浪高於  $H_s = 6\text{ m}$  時也不超過  $0.5\text{ m}$ 。
- 對於滿載船隻在護舷上的作用力，僅分別對西向  $H_s = 5.5\text{ m}$ ，西北西向  $H_s = 4.5\text{ m}$  及西北向  $H_s = 3.0\text{ m}$  的波浪在半平靜海面狀態時，軟式繫船超過設計標準，有關其超過之發生率則小於  $0.5\%$ 。而對極少的海面狀態，壓艙物之船隻及滿載之船隻均不超過設計標準。
- 在比較短波與長波波峯的結果，顯示其產生之位移，後者較低。
- 所有煤炭船席的可操作率預估佔  $99\%$  的時間。

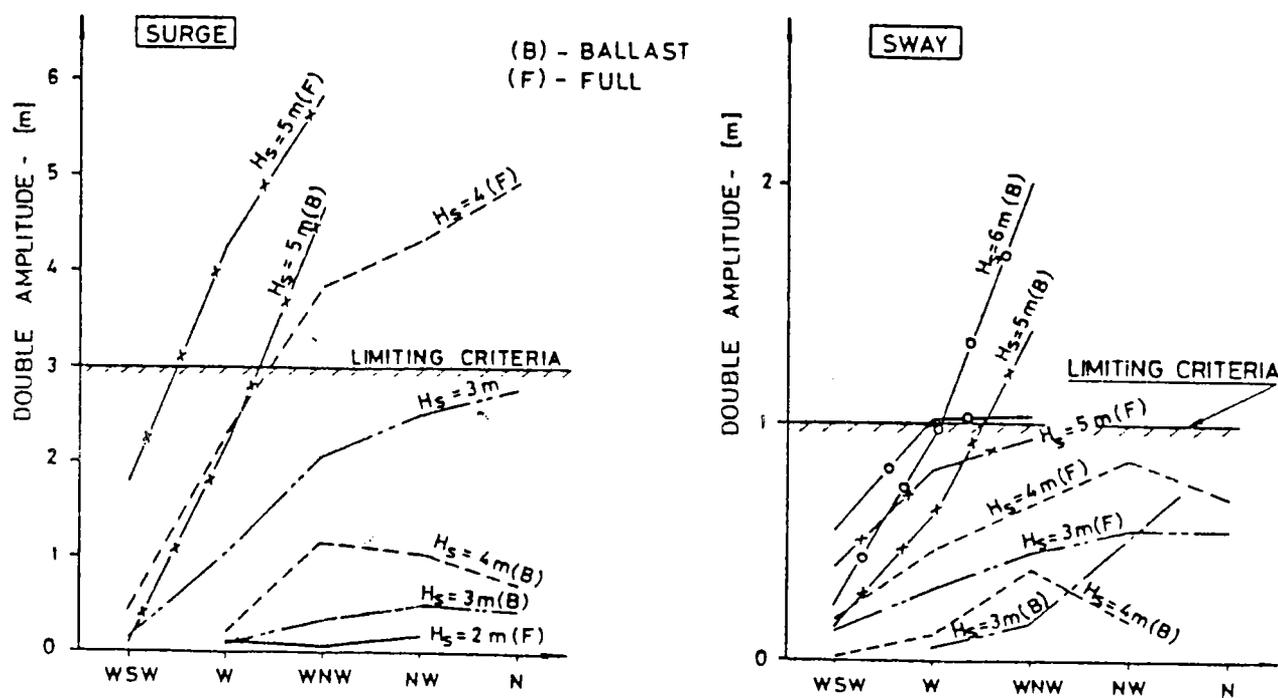


Fig. 25 - Surge & sway versus wave height and direction.

一、現有的情形

有關 Ashdod 港區漂沙流放特性深受不同時期建造之港埠與 Eshkol 站冷却池相互影響。

在該區域沿岸建造之建築物始於 1958 年，當時第一座電廠之冷却池開始興建。其  $45,000m^2$  的水域是由 5 m 水深，南北走向 400 m 長的主防波堤及沿東西走向 150 m 長的背風防波堤圍繞而成。

現有的港埠建造始於 1962 年初，並完成於 1965 年底。

在 1974 至 1975 年，現有 Eshkol 冷却池是從其主防波堤增建至 700 m 長，並從東北—西南走向新建 300 m 長的 S 形背風防波堤而成，其溫水出口則選定於該池的南方及北方。為研究發生於該區域內之漂沙變化，茲分成四個時期如下：

- (一) 1957 年至 1962 年，於此時期，該區域為開放的海岸，祇有 Eshkol 流域之淺灘，海床變化主要是季節性的。結構物周圍及灣內會受到局部的影響。其值得提醒的是入口深度必需靠疏浚予以保持。
- (二) 1964 年至 1969 年，即建港後的第一個五年期。由於砂往返流出方向的阻塞而破壞以前漂沙的平衡。港之南側出現輕微的沉積及冲刷。在北方可分成兩個不同的地區，第一區是沿港的背風防波堤，由於西向與西北西向波浪之側面擴大，及北向與北北西向波浪產生之海流形成局部大量沈積。平均的沈積速率每年  $50,000 m^3$  至  $60,000 m^3$ 。再向北較遠的為第二區，由於南北向砂流中斷而發生一般輕微的侵蝕區。港的入口區域為較小的侵蝕及沈積區，主要是受暴風雨發生的影響。
- (三) 1970 年至 1975 年，於此時期，海床傾向於新的平衡狀態。主防波堤另側發生輕微的沈積時，北方只有少許變化，而且都是局部的。

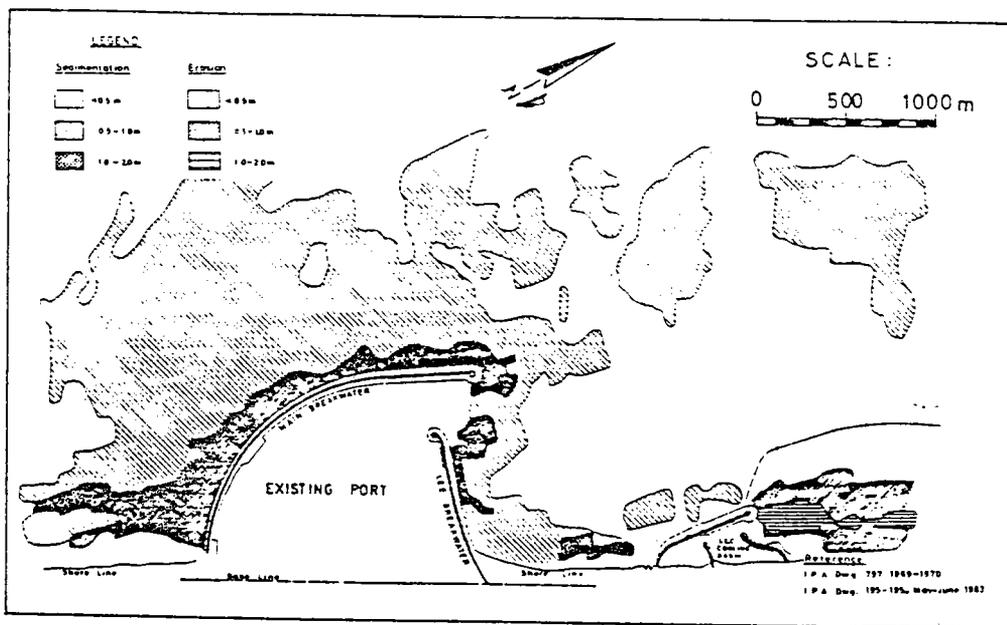


Fig. 26 - Bottom changes 1970-83.

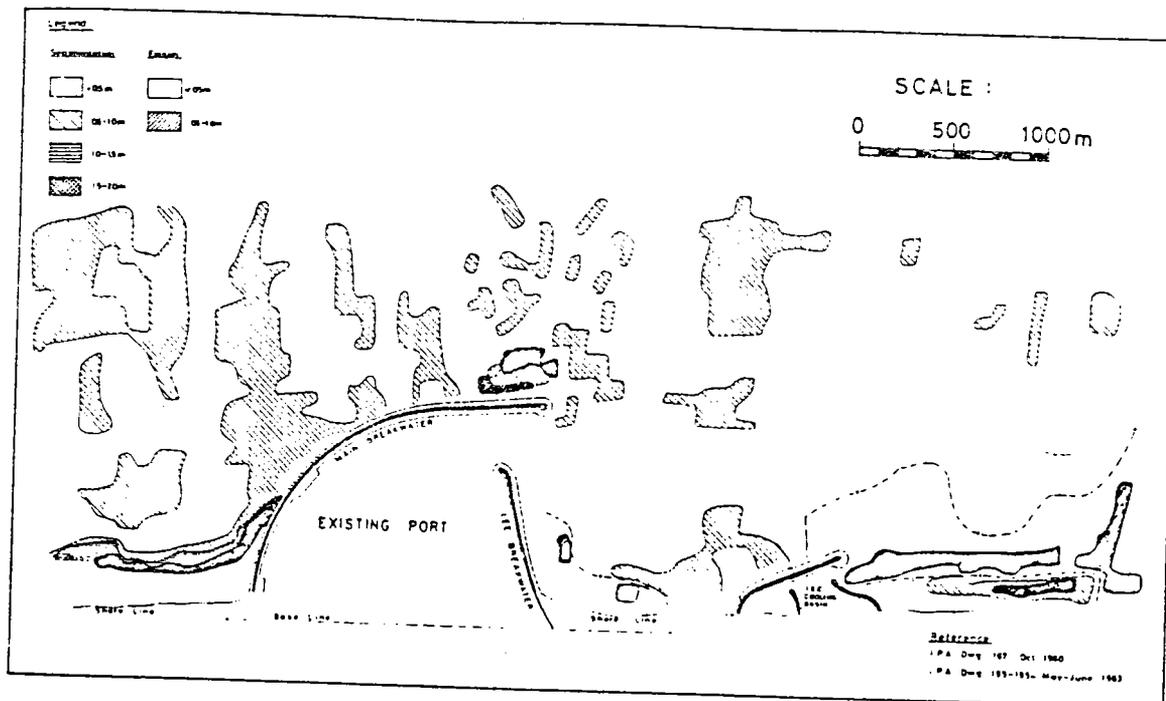


Fig. 27 - Bottom changes 1980-83.

自 1975 年至 1983 年，前述之平衡傾向繼續，但最北地區則受到在 1975 年 Eshkol 冷却池完全興建後直接影響。而在較淺區域約 500 m 狹長的海岸線上，侵蝕值幾達 1 m。

圖 26 及圖 27 表示 1970 年~83 年及 1980~83 年時期漂沙及侵蝕的區域。

## 二、擴建計劃之模型研究

模型研究之目的乃在作港灣擴建計劃對現有結構物之影響與相互關係之評估，該研究在 1982 年由法國水工科學實驗中心執行。

研究的主題是：

- (1) 全面海床變化。
- (2) 漂沙及電廠冷却池入口阻塞之危險。
- (3) 計劃沿入口航道開挖漂沙並估計挖泥數量。
- (4) 溫水再循環方式可能之變化。
- (5) 建造步驟。

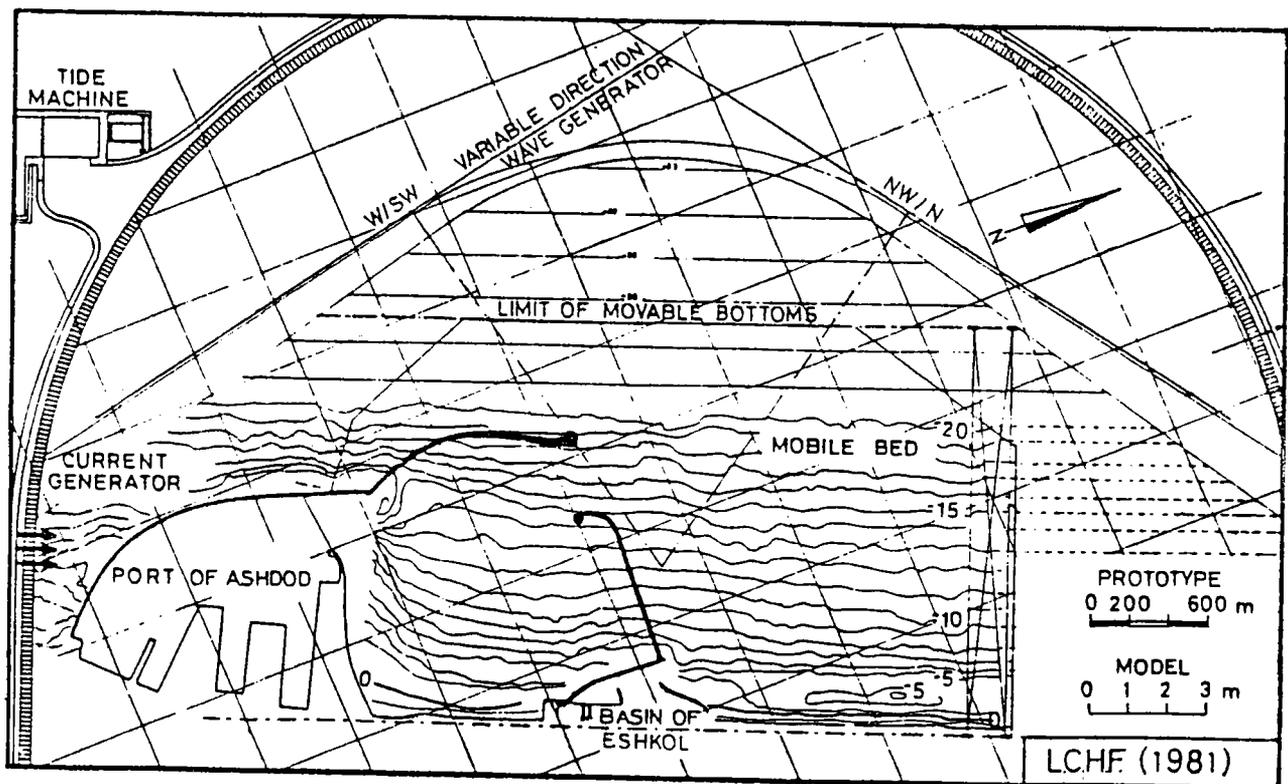


Fig. 28 - Layout of the sediment model.

在圖28之模型是以水平  $\frac{1}{200}$  及垂直  $\frac{1}{80}$  的比例尺製作而成，目的在包含現有的港埠在內的 6 公里沿海部份，再以上述漂沙的歷史資料予以校核。

完全校核後，便作下列之研究：

- (一) 參考狀態：依據 1980 年的深海測量，以十個年期加以試驗，首先在現有的結構影響下的區域，作更進一步海床變化研究。其次對擴建計劃的漂沙平衡影響上建立直接比較的基礎。其結果顯示從向海 6 m 水深以下的海床特別穩定，而在北方 Eshkol 冷卻池沿海岸線的一公里部份，則仍繼續侵蝕。值得提醒我們的是此種侵蝕在前五年最為厲害，其後則遞減（如圖29.）。在冷卻池內側沿主防波堤與背風防波堤兩者以及入口處對漂沙加以觀察，發現由於越波而對主防波堤堤頭的局部侵蝕高達 2.5 m 以上。

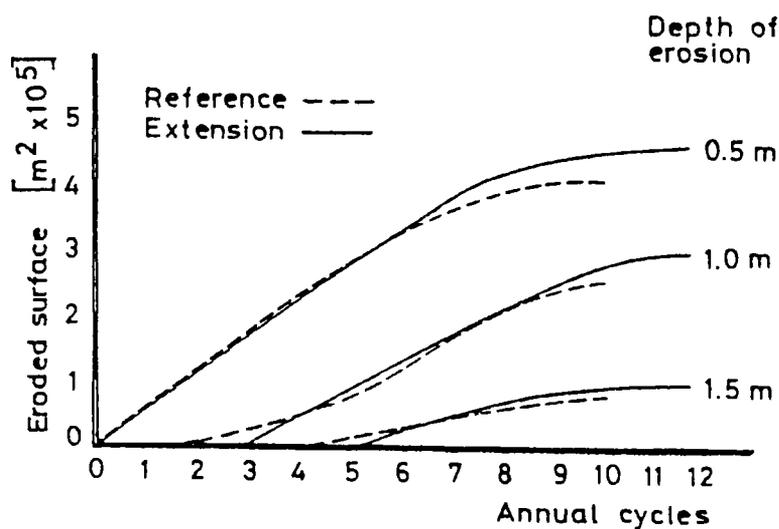


Fig. 29 - Erosion evolution.

二) 短週期：選擇三種設計當作五年週期的短週期試驗，即

(1) 擴建 1350 m 長之主防波堤。

(2) 如上，但加一短的防沙堤在 Eshkol 冷却池北方。

(3) 擴建無防沙堤 1050 m 長的主防波堤。

比較的結果顯示各案並無突出的優點。而且，除了在北方的侵蝕區域向北移動 500 m 及沿新港背風防波堤堤趾發生侵蝕外，與由參考狀態所顯示的並無多大的差異。因此，其結論是擴建計劃並不影響現有的平衡狀態。選擇最後的方案作為 22 年長週期的試驗，只需考慮經濟及航行的需求，即建造的長度與航道入口的尺寸等。

三) 長週期：試驗是由擴建 1200 m 長之主防波堤及 1050 m 長的新建背風防波堤所組成。其十二個年期包括五年重複週期的兩組暴風雨，並分別納入第六個及第十一個週期內。海床測量則在擴大及侵蝕區域內於第一、第三、第五、第七、第十及第十二週期年底施測。

實驗之主要結論如下：

(1) 擴建計劃並不破壞現有的平衡狀態，實際上大於 7 m 至 8 m 水深處海床並無變化。

(2) Eshkol 冷却池北方的侵蝕情形，除了向北方移動 500 m 外，與現有狀態相同（圖 29）。

(3) 其既不阻塞 Eshkol 冷却池的入口，也不增加漂沙量。

(4) 沿新背風防波堤堤趾則發生輕微的侵蝕。

(5) 除了靠近背風防波堤東方的邊坡外，開挖航道入口極為穩定。

四) 溫水再循環：前已敘述 Eshkol 電廠的溫水出口是選在冷却池的南方與北方。擴建計劃將使南方的出口流注於將來的港埠內，實際上阻斷了其向冷却池再循環。雖然如此，其可慮的是新港背風防波堤之建造則大大的削減北方排水的混合作用。而變更了再循環水流，增高池內的水溫。漂沙模型可動的底床徑改為固定式進行現有及未來的冷却試驗。實際入口處及出口處之水流及溫度及可接受的比例原理複雜。溫度與顏料測定測量是不同位置溫度之上升。並以時間及

排出之溫水量百分比為函數。溫水將受到波浪、海流與擴散的混合作用。

由兩種情況取得之溫度及顏料測定結果如下：

- (1)由於擴建計劃西向波浪在北方出口造成強烈的擴散，而在南方出口則使流出的水避免急速的再循環所呈現之危險。
- (2)北方—西向波浪兩者結果極為相似。

### 三、建造步驟

很明顯的由於模型試驗的限制，僅能按計劃研究不同建造步驟與方法。考慮兩種建造方法，並分兩種步驟加以試驗（圖30）。

第一法：在第一年的時候，僅擬建造主防波堤，而背風防波堤之建造時期定於第二年年初。

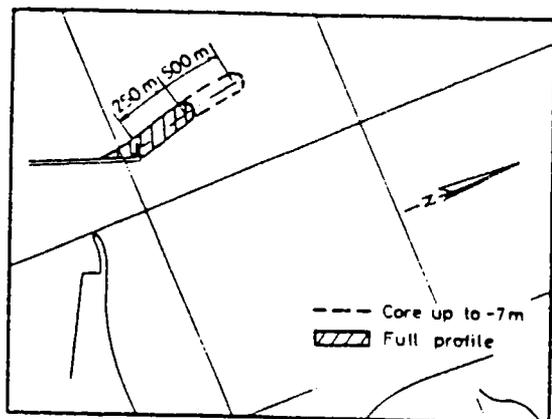
第二法：主防波堤及背風防波堤兩者均同時施工建造，而主防波堤之建造過程則與第一法相同。

第一法試驗的結果，顯示超過 - 9 m 等高線之海床仍是穩定的，然而，對現有港灣背風防波堤鄰近海濱產生沈積。Eshkol 冷卻池北方會發生在 1 m 周圍的一般侵蝕現象。同時在新背風防波堤的兩側也發生同樣的侵蝕現象。

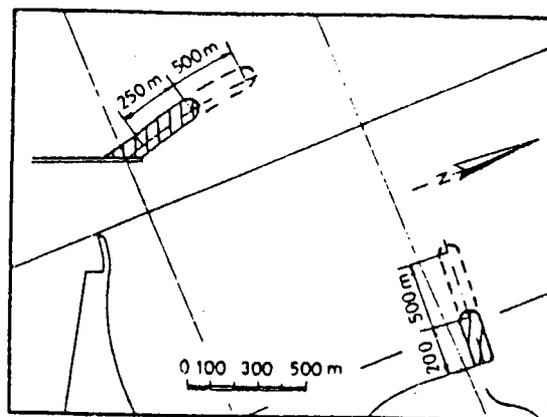
對於建造的第二法，則在超過 - 10 m 等高線之海床也仍保持穩定，對現有港灣背風防波堤鄰近海濱的沈積則較第一法為多，然而，環繞於 Eshkol 區域內之一般侵蝕則較少。

因此，其結論是建造的方法對海底、海濱的變化皆有些微之影響，但是，所需注意的是對防波堤堤趾的保護，必需注意。

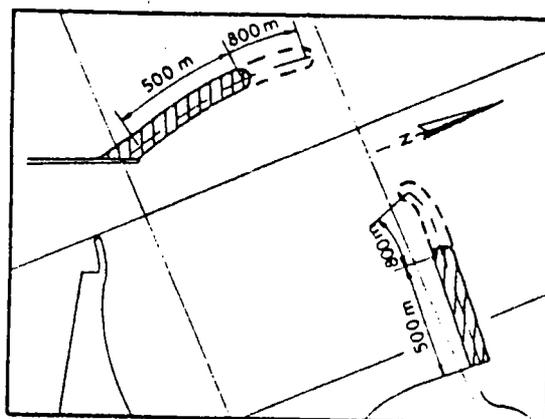
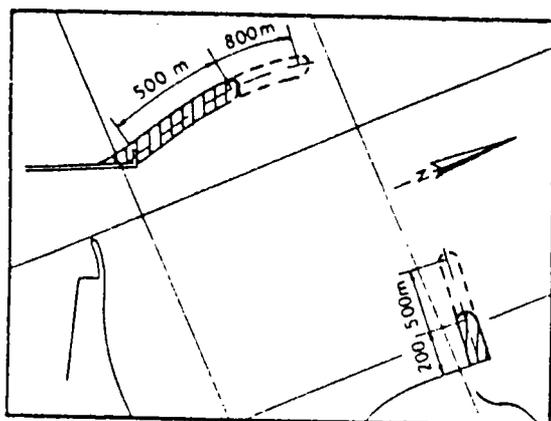
FIRST METHOD



SECOND METHOD



FIRST STAGE



SECOND STAGE

FIG. 30. CONSTRUCTION METHODS AND STAGES

## 築、防波堤之設計

### 一、設計過程

擴建之防波堤依據陸上測量基準需達 - 21m 水深，雖然受地中海潮水的影響是很小（暴風雨形成特別低的水位為 - 0.5m 及高水位為 + 1.0 m）。然防波堤仍建築於如此深的深水中。為此及因近年來有許多大防波堤工程失敗，必需加以小心的設計。

設計分數階段進行。首先，初步的設計為塊石拋石堤並以四種不同型式的消波塊保護組成之混合型防波堤，而選擇塊石拋石堤之設計，在經費上的估計是最經濟實惠的。

其次為詳細設計，在塊石拋石堤上加以菱形塊，Grooved 方塊，雙 T 塊及大塊石等主要保護層。依據其現有之穩定標準，再對各型混凝土保護塊之結構行為加以檢討。主要的保護塊詳列如下：38.4噸的菱形塊（tetrapods）其邊坡為 1/1.5，38.4 噸的 antifer 方塊，其邊坡為 1/2，25 噸的雙 T 塊（dolosse），其邊坡為 3/5，14噸至 16 噸的塊石，其邊坡為 1/3。

設計之第三步驟係由二維模型試驗所組成。即以 30 噸之菱形塊在 1/1.5 之邊坡上及 14 噸至 16 噸之塊石在 1/3 的邊坡上作初步的試驗。此試驗顯示不能穩定，因此再以 38.4 噸的菱形塊及混凝土方塊作更進一步的試驗。而此更進一步的試驗，顯出在紙上設計作業的一些弱點。因此混凝土方塊之邊坡應縮減為 1/2.5，而菱形塊則為 3/5。因為 3 m 厚 9.5 m 之胸牆寬度是不夠穩定的，所以必需加厚 0.5 m 至 3.5 m 之厚度，而胸牆則加至 11m 之寬度，同時胸牆之消波保護塊亦需增加。

最後的步驟則包括防波堤對有角度波浪效果的三度模型校核細部試驗，在做細部設計試驗開始前，首先需做一系列試探性的配合試驗。書寫本報告時試驗仍在進行中。

為求能選擇出最經濟的方案，特意在招標文件上納入兩種防波堤設計之抉擇。

## 二、水工模型試驗過程

近年來從防波堤失敗的經驗所得，瞭解設計過程必需做詳盡與具代表性模型試驗的必要。雖然模型試驗技術有很大的進步，可以以不規則造波機馬上複製海面情況來滿足正確度，然有關設計時之波浪情況、暴風雨持續的時間、保護塊體位置之不同及保護塊體之結構行為等仍有不能把握之處。下列試驗過程是基本試驗用以測定設計變數之正確性，但同時追加試驗校核設計對變數之實際變化的敏度。試驗計劃表包括下列敏度試驗：

- (一)不同的波浪能譜 ( PM, EM Jonswap 及暴風雨紀錄 )。
- (二)在低水位與高水位。
- (三)波高逐漸增加 ( 暴風雨設計 )。
- (四)波高突然增加。
- (五)不同的設計波高延時。
- (六)至少一個，最好兩個完全一樣的重複試驗。
- (七)超過設計波高至 25 % 之情形。

三度模型幾乎包括防波堤全部的長度，如此可自動的含蓋可能不同的保護塊群體。

## 三、損害之定義及裁定

依據 Ashdod 有效的波浪資料，設計時所選定的波高應符合表 15 內所給與之損害標準。

TABLE 15

Significant Wave Height (m)	Recurrence Interval (years)	Damage Criterion
7,5	20	No displacement of armour
7,7	25	Displacement + rocking < 2%
8,2	50	Displacement + rocking < 5%
9	100	No serious damage

如上，位移其定義是移動時至少超過單位尺寸的距離，而搖動時則應為全部翻轉或搖擺超過試驗時間的 2 至 3 倍。

損害之裁定是試驗時由靜止影像與時間流逝後之影像重疊，以視覺觀察着色保護塊塊體之數目而定。

#### 四、穩定模型試驗

圖31.是在 Wallingford 由水工研究所在 1/50 比例尺之人工水道  
上，以紛紜波浪所做的二維試驗。基本橫斷面對於濺越是非常有效的，  
因為胸牆及內側之分隔使濺越水不至於降落在 9 噸至 12 噸塊石內部  
邊坡上（圖 32）。（圖 33）表示 38.4 噸的 Antifer 方塊在 1/2.5 邊  
坡上的穩定試驗結果。其結果顯示非常的分散。事實上，由於使用不  
同的波譜、試驗的延時及水位結果仍在此分散範圍內。並且方塊在低  
波高  $H_s = 2\text{ m}$  至  $3\text{ m}$  時即開始移動，但其損害是緩慢而合理的遞增（  
“設計”波高下有 1 ~ 2 % 的位移增加，4 ~ 8 % 位移加搖擺）。

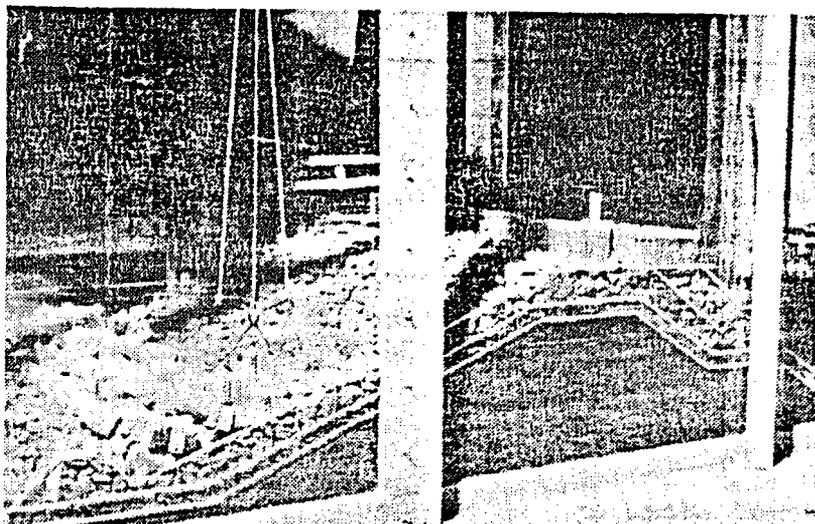


Fig. 31 - Placing of antifer cubes with pincers.

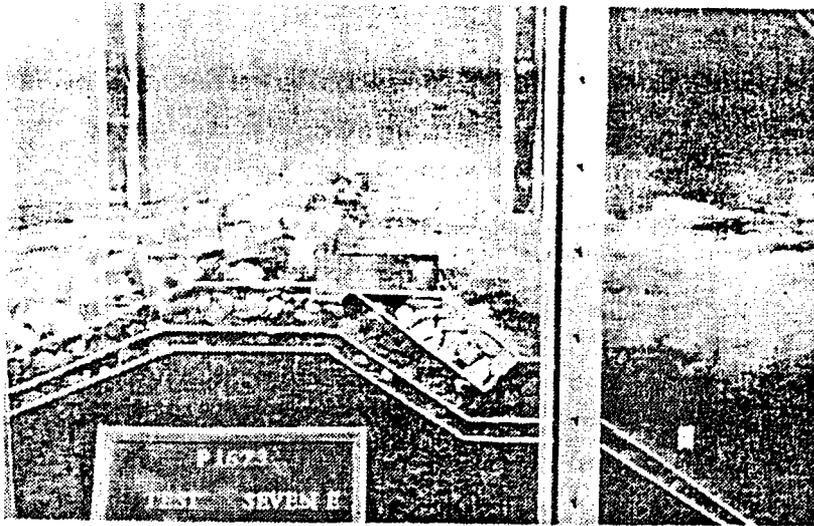


Fig. 32 - Overtopping of breakwater section with antifer cubes.

由CAMERI在Haifa在1/65比例尺之不規則波池內所做的三度試驗。其起始的一連串試驗是包括主防波堤一半的長度，即是堤頭及背風防波堤至11 m深的等深線。其次是在圖2之現有主防波堤堤頭與新擴建之交點處。波浪是依據EM Jonswap波譜在30m水深處產生者，並且使用Ashdod暴風雨紀錄的資料。模型試驗時採用西向、西北西向及西北向的波浪。

五度試探性的試驗用以確定主防波堤使用38.4噸的Antifer方塊在1/2.5邊坡的基本設計，及主防波堤堤頭的解決辦法尋求答案而作。

這些試驗之結果是用以對崖徑水平及變遷區域作確實的改善，並且確定較特出堤頭的答案，即是使用三層38.4噸的方塊比二層55噸的方塊更具效果。(圖34)44噸高密度的方塊應排置於堤頭最危險的區域，以減少局部性的損害。而在寫試驗報告時(1984年5月)試驗尚在進行中，且其結果看來似乎普遍都很好。

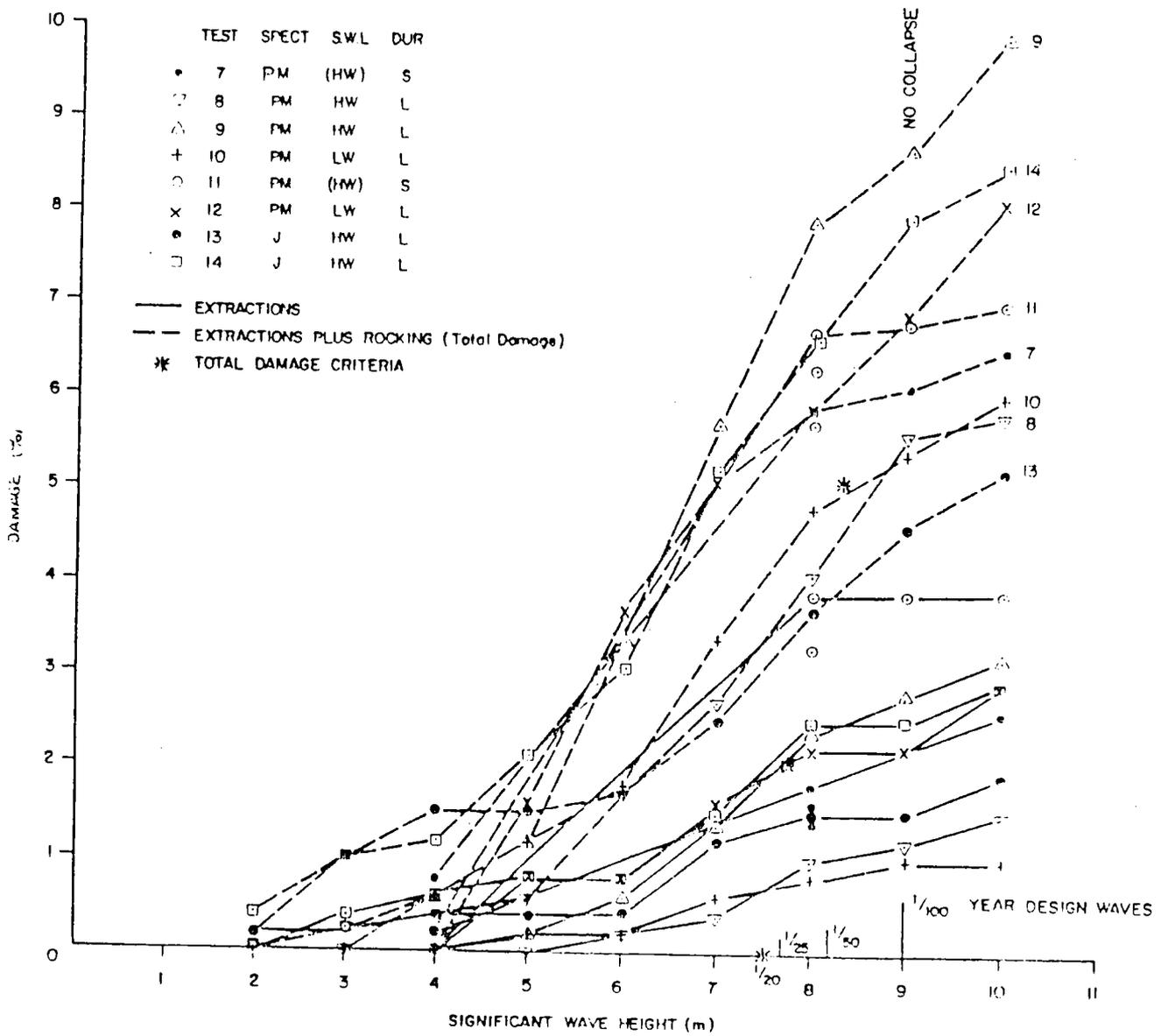


Fig. 33 - Damage curves of antiber cubes.

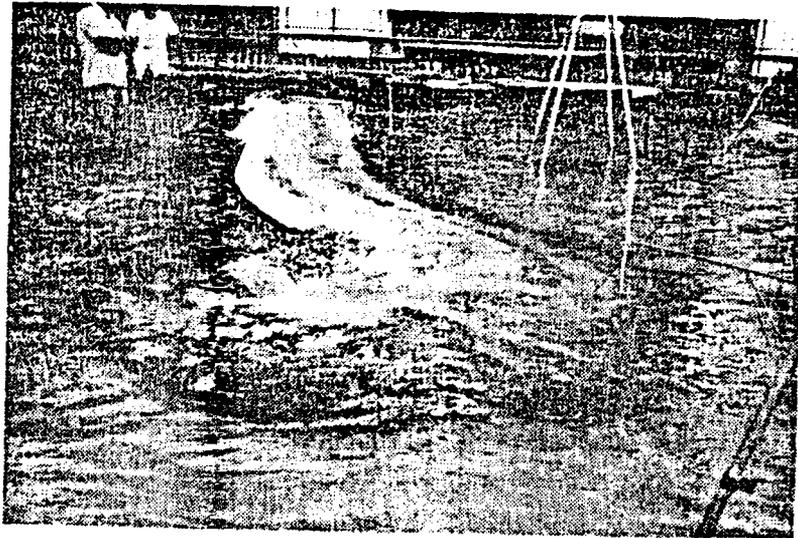


Fig. 34 - Main breakwater under design wave conditions.

### 五、主防波堤設計

圖35.爲主防波堤軀體橫斷面之形狀，Antifer 方塊必需從底面朝上做兩層的拋放。其胸牆位於+ 6.2 m，在設計波浪情況下顯得稍低些。有大量的濺越發生（有25%的波浪會濺越）。然而可減輕向海側保護塊體被巨浪過度的侵襲。而內側9噸至12噸之保護塊石則受到胸牆適當的保護，及其內側邊緣之分割。

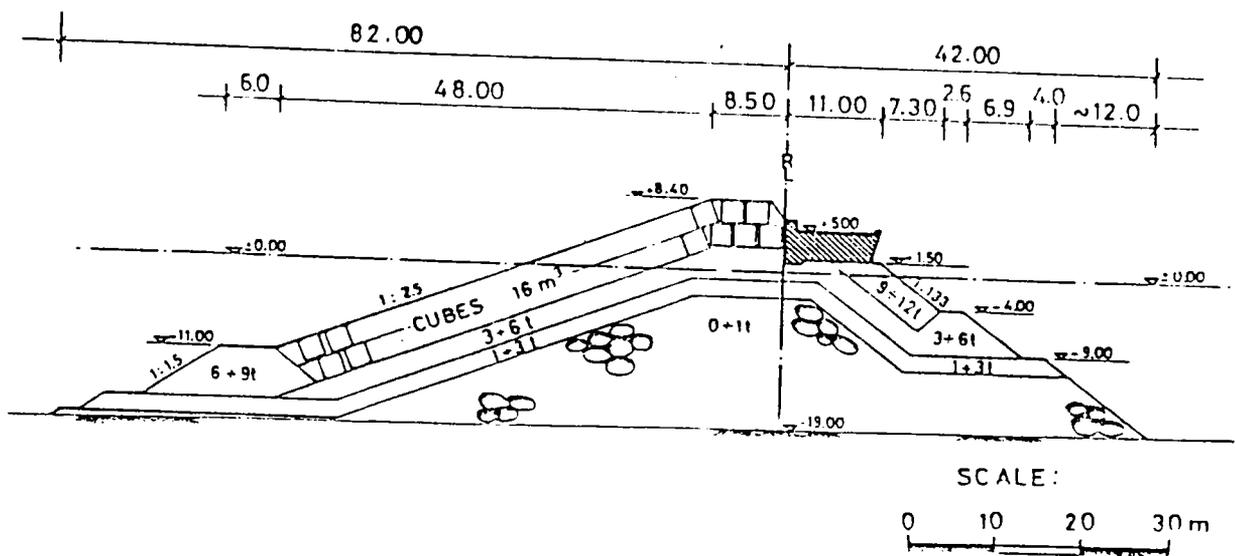


Fig. 35 - Main breakwater -- cross-section.

## 六、混凝土保護塊個體之結構行爲

雖然未被普遍接受，但有很多證據顯示混凝土保護塊之塊體在防波堤斜坡上受其周圍大浪的作用而破碎。即使是天然的石塊也會破碎。較細長的塊體如雙T塊及菱形塊比較狀實的塊體如方塊 *parallelepipeds* 更容易破碎，另一方面則是體積較大的塊體，因水化熱可產生較大的應力。

當保護塊塊體受到損害時即會減少其穩定度。雖然有少數模型試驗採用依強度比例做保護塊塊體試驗，然此種技術尚不成熟。基於實用的理由，通常模型試驗係以不破脆的保護塊塊體來試驗。故必須特別注意損害測定之應用，如以上之討論。

對此詳細測定結果的解釋，其資料應是在波浪衝擊下，保護塊塊體之結構行爲。此種資料目前缺乏且難以求得。為努力克服此一問題，在荷重簡化情況下，以若干形狀塊體加以各種試驗。如對雙T塊的靜態彎曲試驗及對菱形塊、雙T塊與方塊的衝力試驗等。

於1983年 Silva 在 Sines 使用1噸、3噸、9噸、27噸及90噸的 Antifer 方塊所做者為最詳細的試驗。由此試驗確立以塊體尺寸為函數衝擊荷重次數與臨界衝擊速度間的關係。將臨界衝擊速度轉變為自由落體高度及比較在此高度下模型中塊體之個別移動，可以估計在每種試驗中塊體預期破壞的數目，並對其全部的損害包括所測定之塊體移動與破損，作一合理的估計。

## 七、地工穩定研究

對塊石拋石防波堤地工穩定的重要性已獲普遍的認識。防波堤整體穩定及其預期沉陷之研究乃依據在現場與實驗室所得之下層土抗力參數。圖13表示沿主防波堤之土壤斷面，較上面的為10m至20m厚的沙層及25m厚正常固結的粘土層。對下層土及塊石拋石層採用的內摩擦角值為（有效的內摩擦角以度表示之）：

沙：	34	1至6噸：	42
採石類：	38	6噸：	45
1至3噸：	40		

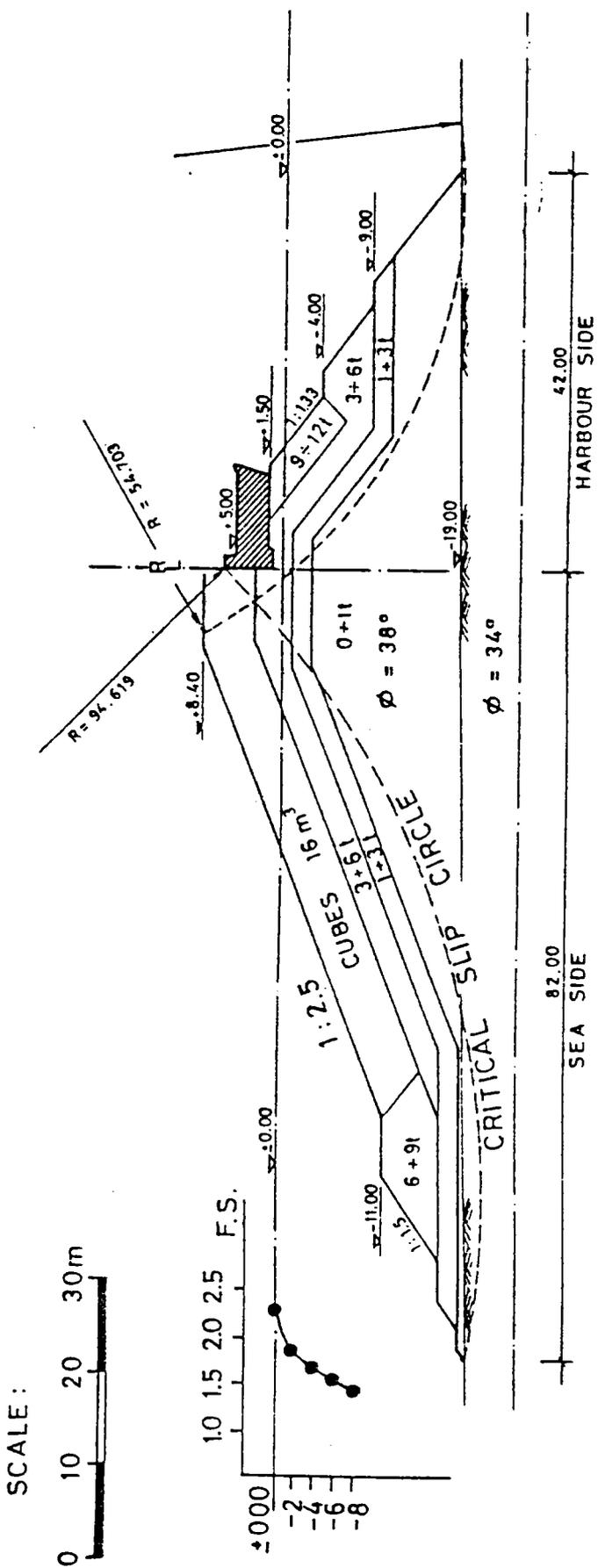


Fig. 36 - Slope stability factors of safety for different down rush levels.

外海與港內兩側邊坡是應用數種方法以不同的載重情形予以分析。對平靜的海，下刷或越波各種以修正 Bishop 之 Janbu and Wedge 法分析的結果顯示安全因素等於或大於 1.5。向海側由於 1/2.5 平坦的邊坡是非常穩定的。在港之內側低崖徑上的加寬，可提高安全因素到可被接納的程度。圖 36 是對下刷的激流面所做的敏感性估計，以及內摩擦角可能變化的估計。

由於波浪衝擊可能的動力效果亦在上述的過程中考慮，假設最保守的邊界條件即水位差最大時。

地震負荷下的穩定是在實驗室以下層土壤週期載重予以測定，並假設以 0.075 g 的土壤尖峯加速度計算下層土壤之應力，依據後者，需確定其無液化危險存在，而其所有的地震穩定安全因素為 1.2。

沉陷計算乃假定一理想之施工順序（分成兩個步驟）而計算。沉陷的時間關係則是以橫斷面的三點來表示，於建築後在其中心線之最大沉陷在 0.4 m 至 0.5 m 之間。

#### 八、採石研究

礦石在以色列廣泛用於工程及海岸構造。雖然如此，在設計初期對於合適的礦石來源之徹底調查及採石產量之了解確已注意到其重要性。

在 1981 年已對現有及潛在的採石場調查，且在 1983 年建立了最新的資料 (Levi and Graitzer, 1981 and 1983)。圖 37 所示為調查過的採石場地理位置及其與 Ashdod 的運輸距離。在國家的鐵路系統未開發的時候，礦石需靠公路運輸。研究顯示對礦石場可能的生產率及總產量，在三年的建造時期供應 4 百萬噸的礦石不

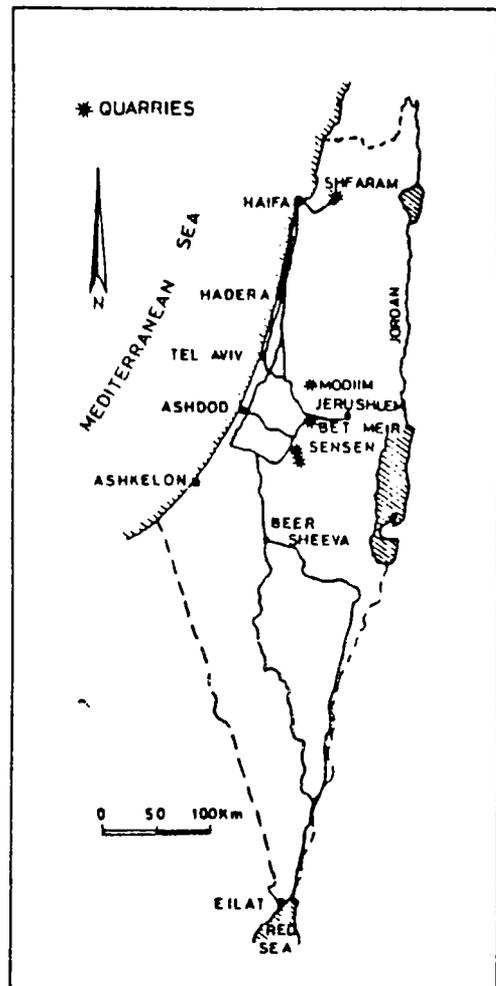


FIG. 37. LOCATIONS OF QUARRIES

成問題。而礦石的特性分類則從堅硬的石灰石至白雲石，表面乾燥時的比重為 2.60 至 2.72，吸水率為 1% ~ 4%。需特別注意的是礦石大小分布以及可從正常的爆炸技術獲得的最大個體礦石大小。因為爆炸後 2 公斤以下的佔 30%。核心材料若不利用此一部份，那是太浪費了。因此對 2 公斤以下的材料大小分布必需確定（圖 38.），以便控制核心允許的最大細料。

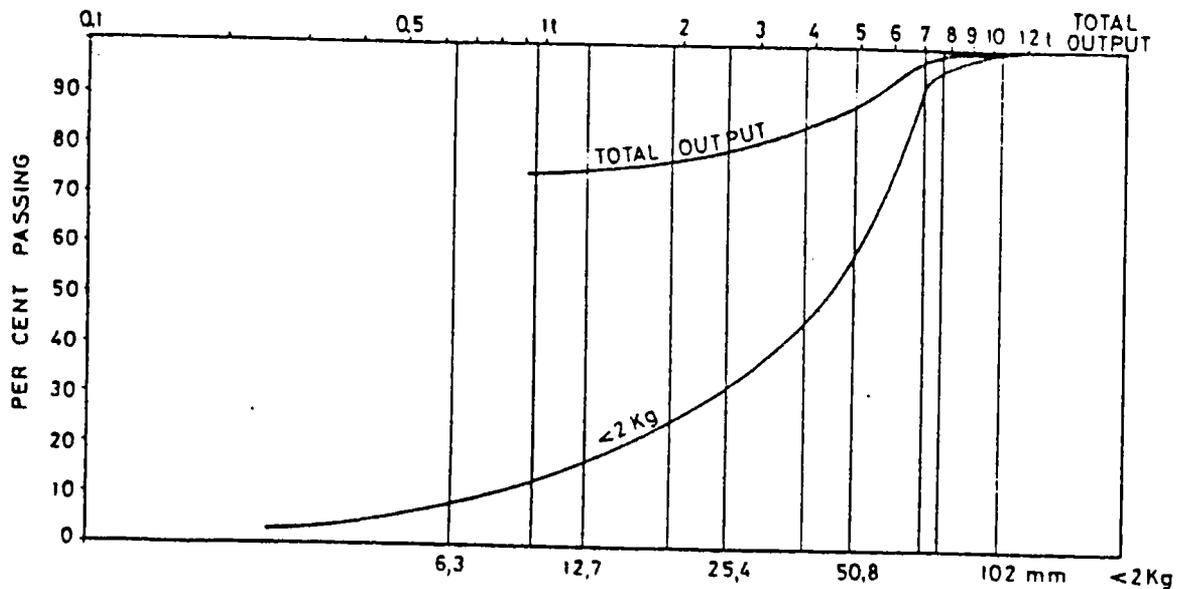


FIG. 38. SIZE DISTRIBUTION - QUARRY RUN OUTPUT

設計之防波堤其所需之礦石數量與採石產量均列如下表所示。

TABLE 16 : Rock size distribution.

Size [ton]	B.W. Design [%]	Quarries production [%]
0 - 1	61,6	55 - 67
1 - 3	15,5	18
3 - 6	14,5	10 - 14
6 - 9	3,1	3 - 8
9 - 12	5,3	2 - 5

對於保護塊塊體所需混凝土的特性是高比重、高壓力與張力強度及材料固有的特性所生之磨損抗力，然設計時要混合兼顧所有的需求是非常困難的。影響混凝土性質最大的為粗骨材之最大尺寸及其比重、水灰比及水泥含量。設計之混凝土的比重不得小於 2.45，壓力強度為 46 MPa，彎曲強度為 5 MPa 及間接張力強度為 3.5 MPa。位於大潮位的 300 個至 400 個塊體的比密度需高於 2.75。

為研究影響混凝土之三種主要參數即粗骨材大小、採石來源及水灰比，試拌由兩個石場來的骨材最大粒徑 40mm、50 mm、75mm 及 100 mm 與 0.4 及 0.5 的水灰比的 16 種試體，以備供作壓力、彎曲及間接張力強度試驗之研究。

現場的品質主要的是由篩分最大 40mm 的粗骨材所做 120mm × 120mm × 120mm 的混凝土試體試驗予以控制。並嘗試將無篩分混凝土強度參數及篩分的一種加以比對。其比對方法為依最大粗骨材尺寸作一連串不同大小的試體（即 120, 200, 300 mm）加以試驗。

## 捌、碼頭岸壁之設計及煤炭操作設備

### 一、碼頭岸壁之設計

碼頭岸壁之設計需考慮的是當港埠建造完成時，此處將受停泊及繫船作用力，與卸貨、轉運帶及建造維護卸貨，轉運帶的特殊裝備，土壓力，超重貨物如煤炭等作用於結構物上的各種作用力。

碼頭附近之深度依據陸上測量紀錄決定為 -19m。此是根據船的吃水為 17m、低潮為 0.4 m，吃水誤差，船的中間下墜及彎背為 0.3m，波浪所發生的最大下傾為 0.5 m 及龍骨下之距離為 0.8 m 等計算而得。

碼頭結構可能考慮的方案是：

- (一) 混凝土沉箱。
- (二) 單錨式板樁並在鋼筋混凝土樁上以冠梁聯結之。

(三)以鋼板樁圍成圍堰，而土壤則留存於結構物中，在樁頂加以混凝土冠梁。

為期短時間內完成工程建設，防波堤之構築、碼頭岸壁及疏浚工作必須同時施工。結果碼頭岸壁不能如常在保護狀態下構築，但可依據防波堤建造速度，在設計上詳加計算，漸漸納入保護之中。

基於以上原則由以色列港務局準備了(一)與(二)兩種暫時性質的設計。不同的承包商在建造時使用不同的設備，由承包商來設計更可以在 Ashdod 特別規定下充分發揮設備的功效。

以上之考慮導致設計與建築合一的觀念（統包）。以色列港務局準備碼頭岸壁設計及建造之一般詳細說明書，而此詳細說明書則當作設計及建造之標準來使用。並給以色列港務局當作各種設計之校核及在投標之間加以比較選擇之用。獲選之碼頭岸壁承包商將被推荐當作建築防波堤承包商分包之包商，使建造程序進行融洽，避免爭論。

## 二、煤炭操作系統

煤炭操作系統主要的要素如下：

- 卸貨系統。
- 運輸系統。
- 倉庫（堆積及提取）。
- 鐵路裝載站。

在 1989 年第一期的計劃，是設立每年操作三百萬噸系統（一個船席）。倉庫區的容量及碼頭岸壁之長度在最後的發展時期，每年需容納一千萬噸的煤炭容量。

在 1984 年五月寫報告的時候，系統的設計尚在初步階段，可預知者如下：

(一)卸貨系統：有兩組起重鉤，每組卸貨設計容量至少為 1500 噸/時（平均產量為 750 噸/時）。

(二)運輸系統：從碼頭至分佈站及從分佈站至堆積物—回收物間之轉運

帶寬為 1,800mm，運輸容量為 3,300 噸／時，至火車載站之輪帶寬則為 1,520mm。

(三)倉庫：堆積回收採用兩組吊桶車，每組之最大堆積容量為 3,300 噸／時，每組之回收容量為 2,000 噸／時，而三個堆積區中間的一棟倉庫容積為 175,000  $m^3$ ，邊上的每一棟倉庫容積為 75,000  $m^3$ ，如此在第一期之倉庫總容積為 325,000  $m^3$ 。

(四)鐵路裝載站：每列火車由 60 噸容量的 60 台車廂組成，火車貨物總載重為 3,600 噸，裝貨時間為 120 分鐘（正常的裝貨容量為 2,000 噸／時），火車的裝貨可直接由運送帶系統，不必通過倉儲區。

### 玖、結 論

以色列與其他的工業國家相類似將越來越需依賴煤炭，煤炭仰賴進口，以經濟上詳加分析最適宜的卸貨設備所獲得結論是在 Ashdod 港擴建卸煤碼頭。

此方案的一大優點是在 1989 年所需的卸煤設施，其港埠擴建所需的基本設施，也能當作一般港埠擴建而迎合 1994 年之需要。

研究航運趨勢與運輸費用，雖然設計上有部份考慮 200,000 噸船隻之需求，17m 的吃水或 150,000 噸的散裝貨船仍為港埠擴建設計之標準。港灣配置主要的是依其船隻特性、拖船幫助的型態及範圍、合適的航道、繫船及卸貨標準而設計。

從開始就認定技術上與經濟上的適合設計，必需所有各行各業充分貢獻與配合，因此以色列港務局由其本身着手辦理所有的計劃，然由幾位專家及科學實驗室包容了 29 種行業從事或幫忙做其所需的設計工作。此多元性的學術研究是非常成功的，並導致 Ashdod 港的擴建設計非常的和諧且普遍的易為人所接受。

## 拾、謝 誌

謹向各機構最佳的合作及知名之士在工作上的協助與以色列港務局全體同仁各方面的支持貢獻，致最深的謝意。

## 拾壹、參 考 文 獻

CAMERI (1982). A new deep water wave climate evaluation for Ashdod. CAMERI Report P.N. 100/82. Technion, Haifa.

CAMERI (1983). Ashdod Port Expansion Project, wave disturbance and moored seakeeping model study. CAMERI Report P.N. 127/83. Technion, Haifa.

CAMPBELL, N.P. & ZWAMBORN, J.A. (1977). Special features in the design and construction of the new harbour for bulk cargoes at Richard Bay, Republic of South Africa. Proc. XXIVth PIANC Congress, Leningrad (1977).

CSIR(1983). Ashdod Port Development, Pilotage. CSIR Report C/Sea 8369, Stellenbosch, RSA.

CSIR (1984). Ashdod Harbour Resonance. Numerical Model Study : Response of the proposed extensions. CSIR Report C/Sea 8401, Stellenbosch, RSA.

HAYATI, G. (1984). Geoengineering Report N<sup>o</sup> 2, Development Project Port of Ashdod-North. Soil and Roads Testing Laboratory. Technion, Haifa.

LCHF (1982). Ashdod Port Expansion - Sedimentological model-Final Report. LCHF Report, Maisons-Alfort.

LEVI, Y. & GRAITZER, Y. (1981). Survey of quarries for the supply of rock for the Ashdod Breakwaters. Tel-Aviv.

LEVI, Y. & GRAITZER, Y (1983). Updated survey of quarries. Tel-Aviv.

MARIN (1982). Simulator Study for the Port of Ashdod, Israel. MARIN Report 4659/6,4/M30195/SG/kb/R47, Wageningen.

MOES, J. (1981). Theoretical presentation of wave spectra at the Israeli Coast. NRIO Memo, OK/928411, Stellenbosch.

POOLE, A.B. et al (&983). Durability of Rock in Breakwaters. Proc. Breakwaters, Design and Construction. Institution of Civil Engineers, London.

RUSSEL, K.S. & HUIZINGA, P. (1978). A two-dimensional finite-difference numerical model for the investigation of harbour resonance. CSIR Report IR 7804, Stellenbosch.

SHAPIRA, A. (1983). Earthquake hazard and peak ground accelerations maps of Israel. Proc. Symposium on Earthquake hazards in Israel, Jerusalem.

SILVA, M.A.G. (1983). On the mechanical strength of cubic armour blocks. Proc. Coastal Structures '83, Arlington, Washington.

WITT, F.G.J. (1981). Analysis of simulated manoeuvres. Proc. MARSIM '81, CAORF, U.S. Dept. of Commerce, New York.

WYDRA, H.N. & HAYUTH, Y. (1981). Coal ports and coal carriers determining dimensions and cost. Journal of Israel Shipping Research Institute, Vol. II, N<sup>o</sup> 2. Haifa.

ZWAMBORN, J.A. & COX, P.J. (1982). Operational procedures Richards Bay Harbour. Proc. 18th ICCE, Cape Town.