

應 用 力 學

(61) 熱傳導の問題に於ける近似計算及び周圍固定の平面板の周邊應力と撓みの近似
計算法 826

港 灣

(62) 古代の港 826

應 用 力 學

(61) 熱傳導の問題に於ける近似計算及び
周圍固定の平面板の周邊應力
と撓みの近似計算法

(石橋 正: 九州帝大工學彙報 第 16 卷第 6 號)
昭. 17. 3., 223~228 頁及び 229~238 頁
谷本勉之助 抄

正方形の中心に圓孔を有する斷面の爐の熱量損失を
求むるに、定常狀態の熱傳導方程式を Jreffitz の近似
解法に倣つて求めてある。

$$\nabla^2 v_0 = 0, \quad \nabla^2 v = 0, \quad v_0 = v - \varepsilon \dots (1)$$

溫度 v_0 は境の條件をも満足する厳格な解とし、 v は
その近似解で、 ε をできるだけ小さならしめる。

$$Q(v_0) = \iint \left[\left(\frac{\partial v_0}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v_0}{\partial y} \right)^2 \right] dx dy \dots (2)$$

とすれば

$$\left| Q(\varepsilon) - 2 \oint \varepsilon \frac{\partial v}{\partial n} ds \right| = \text{最小} \dots (3)$$

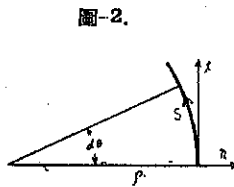
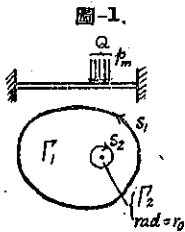
にすればよい (圖-1)。

$$v = \sum_{k=1}^K C_k \varphi_k(x, y), \quad \nabla^2 \varphi_k = 0 \dots (4)$$

圖-2 の様な場合に對しては (3) は

$$\oint_{s_1} (v - t_1) \frac{\partial \varphi_k}{\partial n} ds + \oint_{s_2} (v - t_2) \frac{\partial \varphi_k}{\partial n} ds = 0 \dots (5)$$

圖-2 の場合について第 1, 2, 3 近似まで計算してある



が、第 3 近似には $v = t_1 + A \log(r/a) + B\gamma^4 \cos 4\theta + C\gamma^3 \cos 8\theta$ なる函數形を選び $\frac{a}{b} = 0.5$ として圓孔の縁及び外周での條件を最悪のときでも $\pm 0.006 t_1, -0.001 t_2$ まで満足してゐる。

最後に爐の外周より流出する熱量 Q は熱傳導率を K として

$$Q = -M \oint_{s_2} \frac{\partial v}{\partial n} ds \dots (6)$$

$a/b = 0.5$ のとき $Q/2\pi K(t_1 - t_2) = 0.767$ を與へてゐる。

尙ほ頭記の同じ彙報に石橋氏は同様の手法を用ひ、周圍固定の平面板に於ける周邊應力と撓みとを近似的に求め、繁雜な正確解と對比して實際の設計上支障のない近似の結果を與へてゐる。

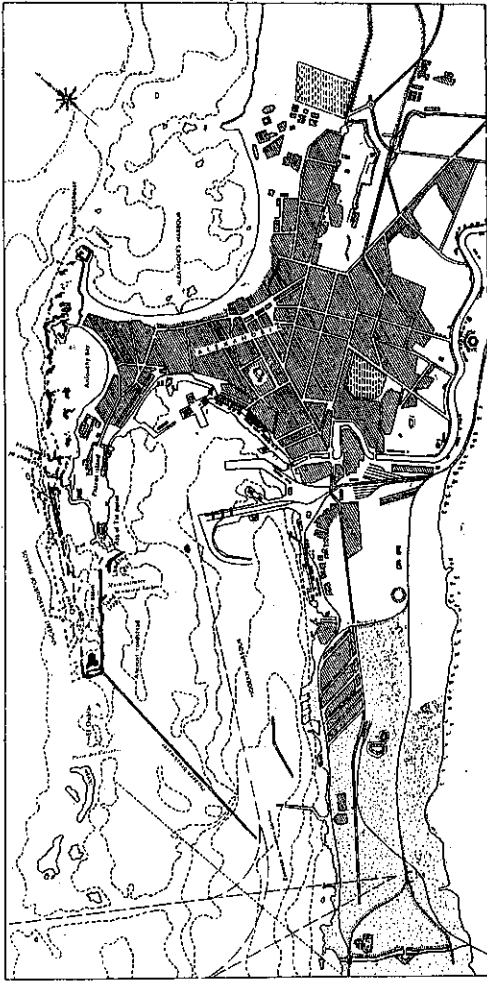
港 灣

(62) 古 代 の 港

(“Ancient Harbours.” The D. and H. A.)
Jan. 1941, p. 60~63. 瀬尾五一 抄

造船技術及び港灣技術は最も古きもので、3300B.C. 以前にエジプト人は遠洋航海用船舶を建造し、遠隔の地へ航海して鐵、鉛、銀其他の物資を獲得してゐた。又約 3000 B.C. 頃 King Seneferu が 60 隻の大船を建造してシリヤの海岸へ航海して西洋杉材 (Cedar-wood) を運搬してゐたと云ふ記録が Palermo の石に刻んである。British Museum には當時の偉大なる造船家たる Bedja の石像がある。是等の航海の始點は Nile の Canopic の支流で、其所には謂所 “3000 B.C. 以前の古代の Alexandria 港” と稱する A-ur 或は Great Door があつた。此の港に關しては、First Dynasty の初期の王が其の港を非常に重要なものと考へ、其の港を所有する Harpoon の小王國を征服するに決したと云ふ事以外には殆んど知られてゐない。此の港の實

圖-3. 古代の Pharos の港, Alexandria 港, 現在の港を示す



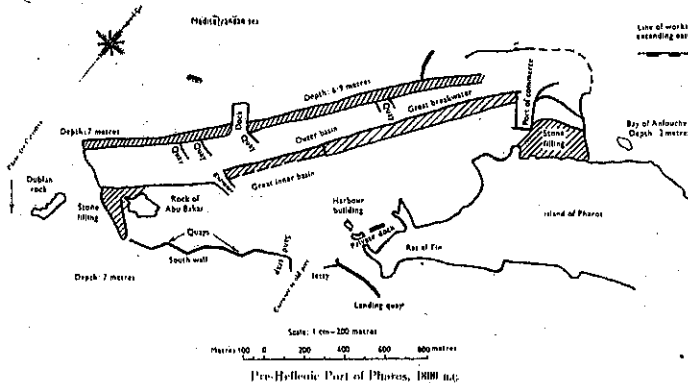
際の平面圖は知られてゐないが記録の上では最古の港であり、又世界の如何なる港よりも長い歴史を有する Alexandria 港の初期の記録として興味がある。過去約 5000 年間に Alexandria 港に對して爲された港灣建設の偉大な計畫を辿ると(圖-3) 顯著な 4 段階がある。即ち約 3000 B.C. 頃の A-ur の港, 2000 B.C. 頃以後の Pharos の港, 332 B.C. 以後の Alexander the Great の港, 1870 年以降の現状の港である。

The Great Harbour of Pharos

Pharos の大港はどつしりした構造の Pre-hellenic 型の典型的なものであつた。港域は東端は Pharos 島, 西端は Abu Bakar の岩礁である(圖-4)。

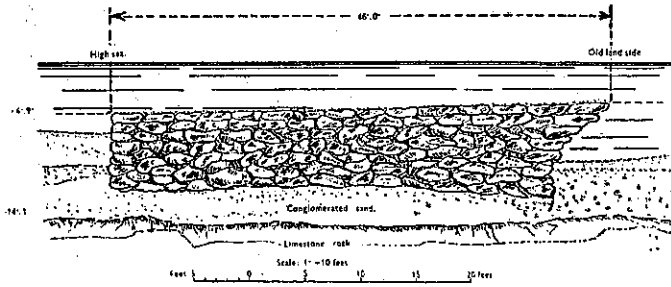
此港は良い事には Marabout Point から Pharos の北方に走る submerged ridge があり、又之より深海の方に斜面をなす淺瀬がある。Pharos の西端にある Bay of Ras el Tin から Abu bakar Rock までは水深は深く、北側は submerged ridge で境界づけられてゐる。其他防波堤、突堤で圍籠せられ大きな内港を形成してゐる。此の内港の外海側には淺瀬の外海側の端を利用した他の一連の防波堤があつて外港を形成してゐる。兩港の水面積を合計すれば約 300 エーカーである。港口は南方にあり、Ikvan 及び El. Dublan Rock 間の Passe des Corvettes(圖-3)で submerged ridge を横切る入港航路に接続してゐる。上記の岩礁(Rock)と港の南の境界及び Phäros 島(當時はエジプト本土に續いてゐなかつた)の間の水面は北西の恒風に向つて入港せんとする船舶に對しては安全な碇泊地であつた。港口の右側には稍々曲つた埠頭が北東に走つてゐる。之は Ras el Tin Point の端の淺瀬にあり、陶土混り砂質の硬い地盤上に建設されてゐた(圖-5)。

圖-4. Pre-Hellenic Port of Pharos, 2890 B.C.



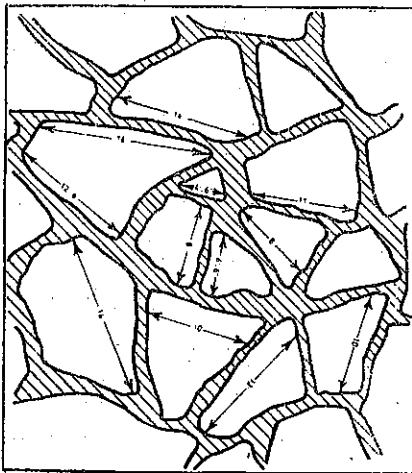
此の埠頭の長さは 525 呎、幅は 46 呎、高さは 18~20 呎で、エジプトの Méx の採石場より運搬して來た石灰石の粗石で出來てゐる。頂部は基礎稿の石張りであり、壁體は垂直、上面は 3% の勾配をなしてゐる。セメント及びモルタルは埠頭及び防波堤の何れにも使用されなかつた。港口に於て此埠頭の端から長さ 426 呎の半島堤が出る。此半島堤は 2 つの平行な護岸(間隔は 41 呎位)と先端は之に直角な護岸とに圍

圖-5. Pharos 港の埠頭断面圖



まれ(護岸の天端幅は7.5呎, 両面とも少しく勾配がついてゐる), 中側は玉石や砂で埋められ, 表面には石張がしてない。港口の幅員は650呎で, 前記埠頭と半島堤に依り安全である。港の south wall (圖-4) は長さ 2300 呎, 方向は概略東西で, 内港の水深に沿つて淺瀬に築造された關係上“通り”は不規則に出来上つてゐる。此 wall の上部は非常に綿密に加工された長さ 8~16 呎の石塊を非常に整然と積んであり, 接目には小さい石をつめてある。此 wall の港口部の端に長さ 360 呎, 幅 65 呎半島堤が突出してゐる。此半島堤の目的は, 南或は南西の風に依る漂砂が港口を塞ぐのを防止する事であるらしい。此 wall の敷石 (圖-6) は興味深い, と云ふのは其の築造の方法はミノア文明 (Minoan Crete: 紀元前 3000~1100 年の Crete 島を中心としエーゲ海, 地中海東岸地方の文化を代表するもの) に於て発見される典型的なものである。此港は Crete 人の技術者に依りて建設された事が推定される。敷石は大體 16 呎の長さの石版から成り目地は中央より放射状になつてゐる。

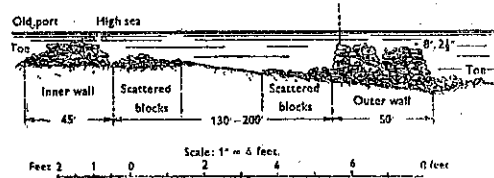
圖-6. Pharos の埠頭の敷石



南の wall は Abu Bakar の南西の近くで終つてゐる。其處から 2 つの wall があり, 各々長さ 490 呎, 方向は 1 つは北, 他は北西で, 2 つの wall 間に挟まれる三角形の面積は約 28000 平方碼である。此の部分は石灰石の巨塊で埋められ, 強力な防波堤を形成してゐる。此大部分は現在尙殘存してをり晴天の日に水中に視る事が出来る。

此港灣で最も不思議と思ふのは内港及び外港を護る爲の大きな防波堤が 2 つある事である。M. Jondet 氏が偉大なる防波堤と稱せる第一の防波堤は前記三角形部の北端から Anfouchy Bay の西端まで直線 8500 呎の延長がある。最初の 2000 呎は南の wall と同様の構造である (Abu Bakar に接する部分を除く)。其から 6500 呎は非常に強力に築造されてゐる。之も 2 つの護岸 (wall) より成り, 其の間隔は 130~200 呎で, 基礎は前述の submerged ridge の上にある硬い陶土交り砂である (圖-7)。

圖-7. Pharos 港の大防波堤の典型的断面



各 wall とも天端幅は 26~40 呎, 法勾配は 1:30, 高さは水中に於て視られる殘形より判断すれば 20~30 呎であるらしい。港内の水深は知られてゐないが 25~40 呎と推定される。wall は非常に大きな粗石に依り築造されてゐる, wall の間は巨大な石塊で埋め, 表面の幅員は 180~250 呎である。斯る大きな幅員を必要としたのは海賊の襲撃時には港灣の如何なる部分へでも部隊を移動して防戦する必要がある爲であり, 平時は帆や漁網を乾したり, 修繕したり, 網を編つたりなどするのである。

内側の防波堤に平行に且つ約 650 呎離れて同様の構造の外側の防波堤があり外港を圍んでゐる。外港の港口は Abu Bakar の北東 (内側防波堤の single wall と double wall の部分の間) で内側の防波堤を横切つた道路である。此港口は (landing quay や主なる港口を保護する半島堤と同方向に) 突出してゐる半島堤によ

り保護されてゐる。内側防波堤は廣大な岸壁を形造つてゐる。外側の防波堤からは長さ約 60 m 位の突堤が數本突出してゐる。又内港の south wall も殆んど總べてが廣い岸壁で、岸壁の延長は 10000 呎に及ぶ。外側防波堤の海側には一種の船渠が築造されてゐるが其目的は明瞭でない、或は港口かも知れぬ。大防波堤の東端には M. Jondet 氏が商港と稱する長さ 525 呎、幅 160 呎の水域がある。此のさい港には 2 つの港口があり、(1 つは外港から、1 つは直接外海から) 2 つの内側に曲つた防波堤に依り圍まれてゐる。Abu Bakar の西部と同様に防波堤、wall、island の間の廣い廣大な部分は大きな石塊で埋立てられてゐる。内港への港口近くには他の工事の殘骸がある。又小さい半島堤で圍まれた私用の小さい船渠らしきものがある。此の推量は、少し北西に長さ 92 呎、幅 46 呎以上の大きい建物の殘骸が水中にある事實に依り確らしくなる譯である。此所には港灣管理者の本部があり、其所へ pilot や船長が管理者の指示を受けに來たものらしい。大きな港の東部即ち Anfouchy Bay に小さい港があり之は防波堤、岸壁を有するも水深淺く主として漁港として使用されてゐた。

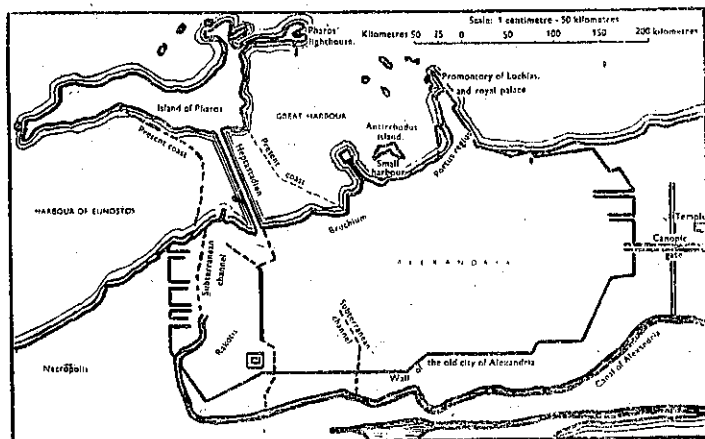
此港灣計畫及び構造に科學が表はれてゐる事を考ふれば、M. Jondet 氏が其研究報告に云つてゐる様に偉大なる天才に依りてなされた工事と思ふ。Alexander 大王が Alexandria を發見し、此の不思議な工事に何等の注意を拂ふ事なく 332 B. C に彼の港を建設した事は奇妙に思はれるかも知れない。其理由は以前の構造物が水中に消え去つてゐる Rhacotis の小村と小さな漁村しかなかつたからである。Pharos 港の建設に關しても、又崩壞に關しても何等の記録がない。Homer は彼の大史詩 “Odyssey” 第 4 卷の中に Pharos に就て困難な海の中にある島(内部には良好な錨泊地を有す港灣のある)であると記してゐる。之が事實とすれば Pharos の荒廢は 1000 B. C. 以降より始まつたに違ひない。荒廢と云つても其工事の大部分は今尙存し、晴れた靜穩な日には水面下に明瞭に見る事が出来る。

The Harbour of Alexander the Great

Pharos 港の建設後約 1500 年經つて Alexander 大王が Zeus Am-

mon の寺院を訪れて Nile の Canopic の支流を降つて來た際に Rhacotis の村へ立寄つた。彼が Tyre の破壊以來其に比敵すべき港灣を建設しやうと決めてゐた。其場所を Rhacotis に於て發見した。大王自身 Alexandria と其の港灣の計畫をなし、彼の有名な技術者 Dinocrates が工事の擔當を命ぜられた(圖-8)。此の港灣の主なる特徴は幅員 600 呎、長さ 7 “stadia” (約 1 哩) の大半島堤がある。本土と Pharos 島間を “Heptastadion” と稱し碇泊地を二分してゐる。港内の水深は 36 呎、運搬され投入された捨石の量は 200 萬立方碼に及ぶ。右側の港は Great Harbour、左側の港は “Eunostos” 或は Haven of Happy Return である。半島堤を横切る 2 つの水路が兩港を連絡し、港と云ふものは 2 つの港口をもつものであると云ふ古き法則に依つてゐる。危険なる暗礁を避ける爲に島の東端には世界の七不思議の一つたる有名な Pharos の燈臺を Ptolemy が建設した。Alexander が港灣を此所に決定したのは間違であつた。其理由は水深の點は其の隣接の港程良好ではなく、暗礁も Lochias の突堤も風に對しては充分ではなく、入港は常に困難であつた。“Portus Regis” と “Heptastadion” の間の海岸には岸壁と倉庫が並んでゐた。一般の數は “Eunostos” にあつた。此港は Mareotis 湖及び Nile 河に連絡してゐた。Alexandria は Tyre の商勢を殺ぐと云ふ建設者の意圖は幾分滿した。然し之は Ptolemy Philadelphus (285~247 B. C.) の政策に依るものであつた。彼は Red Sea に Berenice 港を建設し、Red Sea の Suez と Nile 間の運河を再開した。斯して Alexandria は印度洋及び紅海と重要なる貿易をする様

圖-8. 332 B. C. Alexandria と其の港の平面圖

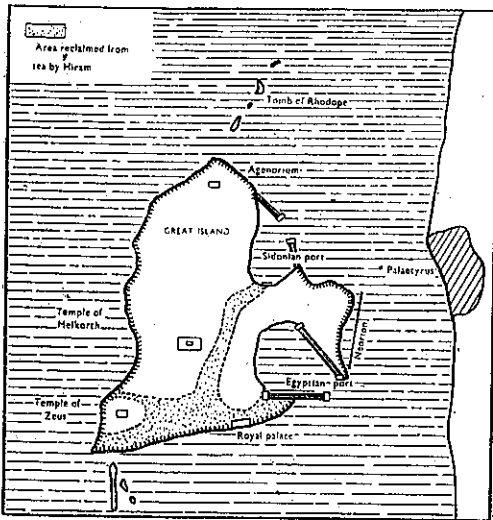


になった。2000年以上経過し、其間古代の Pharos 港建設の技術者が心配した漂砂が碇泊地に入り来り; “Heptastadion” の側に沈澱し、其の上に現在の Alexandria 市の大部分がある。1870年の技術者は永年困難であり、且つ水深が浅く、入港に危険である港口を有する Alexandria の大港を捨て Pharos の西側に港を建設し、古代の港に於ける南半島堤と同様に Ras el Tin より始まる大防波堤を建設した。斯して現代の港は 4000年前に祖先の碇泊地であつた處に歸つた譯である。

Tyre 港

Tyre も有名な Pre-hellenic の港であるが、此港に関する眞實の計畫が P re A. Poidebard に依り明確にされたのは僅か數年前の事であり、彼は上空より或は水中より觀察して綿密な研究を行ひ従來の不正確な計畫の全貌を明瞭にした。

圖-9. Tyre 港 (Egyptian Harbour の誤まれる位置)

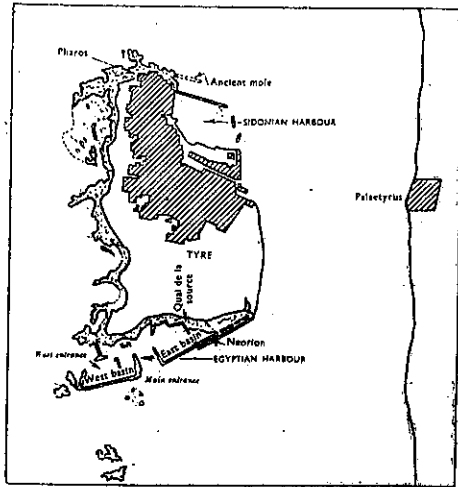


Tyre 港は Sidon 港 (Sidonian Harbour) と Egypt 港 (Egyptian Harbour) より成り (圖-10), Pharos 港の様に入港時船舶の安全を期するために廣い沖の錨地を有してゐる。Sidon 港は古の closed (hleistos) harbour と稱せらるゝ港で、都市の域内に限られ、其港口は一方から他方へ鎖を渡して閉鎖し得るのである。Egypt 港は open (aneimenos) harbour であつた。

Tyre は非常に古き都市で、Her dotos に依れば、2750 B.C. 頃に既にあつたと云ふ事になつてゐるがこ

れは不確實である。然し兎に角 1400 B.C. 頃は其の名廣く擴つてゐた。1100 B.C. には船乗り達は Gibraltar を越えて大西洋の航海を敢行した。Sidon 港は恐らく此頃築造されたらしい。Tyre の王 Hiram (970~936 B.C.) は Solomon 王と親交あり、偉大な建設者であ

圖-10. Tyre 港 (Egyptian Harbour の正しき位置)



り技術者であつた。彼が王位についた時 Tyre は岩礁多い入海に依り 3 つの島に分たれてゐた。Hiram は此の入海を埋立て Egypt 港を建設した。大體東南方向に岩礁を利用した延長 2500 呎の massive な大防波堤があり港内を安全に保つてゐる。Tyre 港に於ては施工上注目すべき 2 つの事柄がある。それは、sea

圖-11. Sidon 港の防波堤の基礎



wall の築造に當つて始めてコンクリートを使用した事と iron dowel を使用した事である。防波堤は非常に頑丈な構造である (圖-10, 11)。

圖-12. Sidon 港の防波堤の基礎



南の防波堤は幅は 24~26 呎であり、西方の 2 つの防波堤は荒海に面してゐるので 7.5 呎だけ幅が廣い。南防波堤の中央に主なる港口がある。港口の兩側から港内に向つて 2 つの大きな埠頭があつて狭い航路を形作つてゐる。埠頭の延長は港口幅員の約 $2/3$ である。此の狭い航路は島の要塞に管理されてゐる。又この狭い航路が港内を Western basin と Eastern basin とに分けてゐる。埠頭はコンクリート作りで石張りをしてゐる。

コンクリートの埠頭 “Quai de la Source” は Eastern basin を 2 つに分けてゐる。此の内の港口より遠い方の小さい水域は全部板石で張石され、“neorion” として或は造船、船舶修理の爲に造船臺や倉庫の設備があつた様である。“Quai de la Source” の端、北隅には小さい船溜りがあり、此所で船舶の飲料水を給水してゐた。Tyre に於ては水の問題は重要な事柄で、此の島の必要水量の殆んど全部は本土の泉からボートに依り運搬されてゐた。

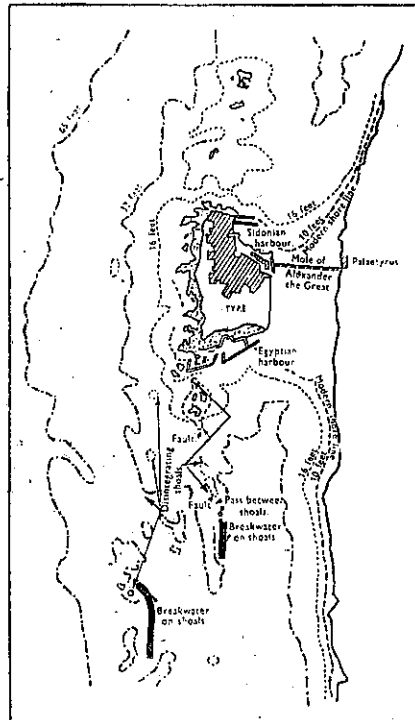
Sidon 港は島の東北にある灣を利用してゐて、市街に依り一部は圍繞されてゐる。港内は 2 本の防波堤に依り安全に保持され、防波堤の構造は Egypt 港のそれと大體同じである。

古の權威者は兩港は運河に依り連絡してゐたと述べてをり、古き圖面には此の運河が載つてゐるが Père Poidebard の平面圖や、1846 年に作られた Berthou の平面圖には載つてゐない。然し Hiram に依り埋立られたと謂はれる入海を通じて航行してゐた事は可能である。古代の港に於ては港が 2 つに分れてゐても内部で連絡されてゐるのが常權であつた。フェニキヤ人に屬してゐた Sidon 港は此の計畫に基いて計畫された。船舶が反對の風の爲に港内に入港出来ない場合には他

の港内に入港出来る。又一つの港内が嵐に對して安全でないならば船舶は運河を通り隣港に避難する。又敵が襲撃する場合には其の艦隊を 2 つに分けなければならぬ、でないとな防禦する方では一方の港口より逃げ出して敵の背面を衝く事が出来る。

其の外 Tyre 港には沖の碇泊地を安全に保持する様に留意してゐる。島の南北には岩礁があり、或は水中に没し或は水面に露はれ、海岸に平行に延びてゐる天然の防波堤を形成してゐる。此の天然の岩礁防波堤だけでは充分ではなかつたので、Père Poidebard の發見に依れば、此の岩礁の基礎上に離れた 2 本の防波堤を築造した。是等の防波堤は長さは約 1000 呎のものとして 1650 呎のもので、幅員は 100 呎で石積である。石の大きさは 10 呎平方に厚さは 2.5 呎で重量は約 15 噸であつた。多分島の北方の岩礁にも上述の南方と同じ様な防波堤があつたらしい。之には充分な證據は未だ擧げられてゐない。1697 年 Maundrell が Tyre を訪れた時には其等の跡があつたと報告してゐる。上記の防

圖-13. Tyre 港の沖の碇泊地と岩礁上の防波堤の殘骸



波堤の石は本土の石山より運搬したものである。斯る多量の石を如何にして運搬したか又石を非常に正確に

積んである事は一驚に値する。Henri Watier は斯る作業は古代に於ても可能なりと考へ、次の様に云つてゐる“數人の漁夫がロープを使用して 9 艘位の石は容易に水中で積む事が出来る”。Tyre の漁夫達は有名な紫色染料の採れる悪鬼貝 (murex) の採集に馴れてゐて斯る作業には適してゐた。漁夫達は 1 分半の間水中に潜つてゐる事が出来たと謂ふ事が知られてゐる。

Tyre は數世紀の間は此の世で最も立派な富める都市であつた。Hiram の死後 580 年後に Alexander 大王がやつて來た。然し Tyre は尙征服される事なく、大王が安心して東方征服に乗り出す事が出来ない程の勢力を持つてゐた。Tyre と海上で決戦するには Alexander の艦隊は餘にも弱かつた。大王は大膽にも陸からの攻撃を企て、此の目的の爲に長さ半哩、幅 100 呎の巨大な突堤を 3 尋の水深の所に築造した、其の爲 Tyre は島から半島に變じた。其の後自然の法則に依り海岸の漂砂の爲古代の Tyre は Syria と陸続きとなつた。

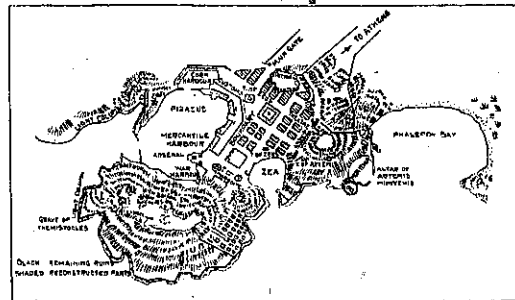
次の一例が古代の港灣技術者の能力をよく表現してゐる。數年前或港灣技術者が 黒海の 或港灣の建設の顧問として行き、慎重なる研究の結果水深大なる埠頭を安全に保持する爲に粗石防波堤を推薦した。歸途 Amisus の古代植民地たる Samsoun に寄港した。彼は其所へ一度も來た事はなかつたので海岸を見廻つて、巨大な石のブロックより成る massive な繫船岸を安全に保持する爲に作つた粗石防波堤の破壊してゐるのを視た。其は丁度彼が推薦して來と同様な防波堤であつた。此の防波堤の破壊は Darius の時代即ち 500 B. C. に起つたものである。著者の推測に間違ひがなければフェニキヤ人の技術者と現代英國の技術者とは時に於ては 2500 年距つてはゐるが、問題を全く同じ方法で解決してゐる。

ギリシヤの港

ギリシヤ及び其の植民地の海岸は水深が深く、長い入海があり天然の良港を形成して居り、人工を加へる必要が殆んどない。其故に Pharos や Tyre 様に巨大な石の構造物を有する大港灣は必要がない。ギリシヤは多數の小國に分れてゐて、海岸線を有せざる二、三の小國を除いては夫々自身の港を持つてゐる。是等の天然の港に必要なのは港口を狭くする爲の短い半島堤だけである。繫船岸や埠頭は勿論必要であるが。古代に於てアテネ人は廣い Phalerum の灣を使用してゐた。此所では船舶が風浪に曝されるのが重大な缺點で 11 月から 3 月までは航海が出来なかつた。403 B. C. にアテネ人は此

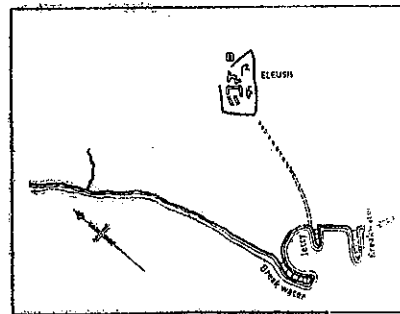
の港を廢めて天然の港 Piraeus と隣接の陸地で圍まれた Zea と Munychia の灣を利用した。港の工事は Themistocles に依りて始められ、Pericle に依り完成されたのであるが、古代に於ては最も安全な良港に屬する。上記の 3 港灣は 1 連の城壁に依りて圍繞され、2 つの有名な城壁に依り市街に連絡してゐる。Piraeus 港と Munychia 港の港口は防波堤に依り夫々 55 碼と 45 碼に狭められてゐる。Zea 港の港口は狭められてない。

圖-14. Piraeus, Zea, Munychia 港の平面圖



是等の防波堤は粗石を自然勾配に捨石をなし、捨石が水面に達した處で 10 呎平方位の巨石を積み重ねて上部を築造した。積疊した石は熔解した鉛と鐵の cramp を用ひて締付けてゐる。之はギリシヤの突堤の普通の型である。Piraeus 港は主要港で 3 つの泊地に分れてゐる。中央は商港、北方にあるのは穀物港、南には軍港がある。Piraeus, Zea, Munychia 港はギリシヤの天

圖-15. Eleusis 港



然港の典型的なもので、構造物の一部は今日尙存してゐる。

然し數ヶ所には人工港が建設された。Eleusis 港は典型的なもの、で他は同じ原理に基いて建設されてゐる。

2つの防波堤が海岸から内曲りに突出し、其両端が狭い港口となり、其の形は天然の灣を真似てゐる。港内には突堤 (jetty) がある。此の突堤と防波堤は同様な構造で、捨石基礎に上部は巨石を積んだもので、巨石は iron dowel で締付けてある。材料は總べて石である。

杭打は港灣工事では未だ充分には進歩してゐなかつた。建築には數世紀前より杭打が使用されてゐたのであるが、港灣工事では杭材は船食蟲 (teredo) の被害を蒙り勝ちであつた。