

部定大學用書

# 海港工程學

(下冊)

國立編譯館部定大學用書編審委員會主編

凌士彥編著

國立編譯館出版  
正中書局印行

部 定 大 學 用 書  
海 港 工 程 學  
(下 冊)

國立編譯館部定大學用書編審委員會主編

凌 士 彥 編 著

國 立 編 譯 館 出 版  
正 中 書 局 印 行



版權所有

翻印必究

中華民國六十年四月臺初版  
中華民國七十二年八月臺三版

部定海港工程學(全二冊)  
大學用書

下冊 基本定價 平裝二元七角  
精裝三元八角

(外埠酌加運費滙費)

主編者	國立編譯館
編著者	凌士彥
出版者	國立編譯館
發行人	蔣廉儒
發行印刷	正中書局

新聞局出版事業登記證 局版臺業字第〇一九九號(6507)維  
(500)

## 正中書局

CHENG CHUNG BOOK COMPANY

地址：中華民國臺灣臺北市衡陽路二十號  
Address: 20 Heng Yang Road Taipei, Taiwan, Republic of China  
經理室電話：3821145 編審部電話：3821147  
業務部電話：3821153 門市部電話：3822214  
郵政劃撥：九九一四號

## 海外總經銷

OVERSEAS AGENCIES

香港總經銷：集成圖書公司  
總辦事處：香港九龍油麻地北海街七號  
電話：3-886172-4

日本總經銷：海風書店  
地址：東京都千代田區神田神保町一丁目五六番地  
電話：291-4345  
東海書店  
地址：京都市左京區田中門前町九八番地  
電話：791-6592

泰國總經銷：集成圖書公司  
地址：泰國曼谷耀輝力路233號  
美國總經銷：華強圖書公司  
Address: 41 Division St., New York, N.Y. 10002 U.S.A.  
歐洲總經銷：英華圖書公司  
Address: 14 Gerrard Street London W.1. England  
加拿大總經銷：嘉華圖書公司  
Address: China Court, Suite 212, 208 Spadina Avenue Toronto  
Ontario, CANADA M5T 2C2

## 序

海港工程爲土木工程中最艱巨之一種工程。因其在海中深水以下施工，環境特殊而險惡，須對海洋氣象；船舶運修等知識有相當修養。工程設計牽涉學術範圍廣泛，除本門學術之外，須兼備結構、基礎、道路、橋樑、隧道等工程學術。進行此項工程，非有若干專家，積十數年以上之海港設計及施工經驗；主持策劃，難以應付裕如。

近幾年來本省經濟開發，有長足進步，國際貿易之進出口物資日增，海洋運輸浩繁，港口吞吐量逐漸飽和，新舊各港，陸續在增建與擴建之中，各方殷切需要大量港工人員參與其事。國內工程人員固不乏賢能之士，究屬不可多得，欲求適應客觀環境需要，仍嫌供不應求。因此政府在若干場合，不得不拋巨金聘用外籍人員，耗費過當。外人同時藉機推銷該國器材，動輒花費美金千百萬元，抵消工程利益不知凡幾？長久循此途徑，似非上策。

爲期國人能負起將來築港重任，挽救國家權益；根本辦法，應從教育著手，在國內大專院校增開海港工程學分，列爲必修課程，加強學術研究，大量培植港工生力軍。畢業後參與各港港工訓練，繼續嚴加督導，配合實際設計，施工經驗，歷五年以上，庶可健合港工基本幹部。再遴選其中才智優秀者，在工餘期間，從事研究項目，交互批判與試驗，相機採擇實施，使相關學術，從融合貫通中獲得創新與發展。非如此，工程人員不足以自立更生，單獨負起領導築港重任。

我國迄今尚無海港工程完善教本問世。筆者承乏臺大等院校講述港工十年，自編教材講義，恒以取材顧此失彼，未臻完整爲憾。此次謬承國立編譯館之邀，囑編是項教本，爰將十年教課所得，重加修訂，益之以

## 2 海 港 工 程 學 (下)

廿餘年來生平從事港工實地經驗，輯成本書。配合目前一學期三學分之課程規定，分十六章，約四十餘萬字，每週平均教學一章，使學者對全部海港工程有一初完整之瞭解。

至於海港工程進一步研究。可分波浪、漂沙、碼頭、船塢、船閘、倉庫、防浪堤、港埠佈置等，每一部門皆可單獨編著專書，供兩三個學分教本，毋虞內容缺乏，亦為港工研究所需要，仍有待於學術界共同之努力。

本書匆促脫稿，不逮之處仍多，尚祈先進教正是幸。

凌 士 彥 謹 誌

五十九年五月於基隆港

# 海 港 工 程 學

## 目 次

### (下 冊)

#### 第 九 章 板樁式碼頭岸壁設計..... 1

- 一、自由支持式板樁岸壁設計——代數法——試解法——圖解法。
- 二、根固式板樁岸壁設計——梁等值法——位移線法——自由式與根固式比較——鋼板樁與R·C板樁比較。
- 三、雙拉桿板樁岸壁設計。
- 四、板樁岸壁地震力。
- 五、拉桿橫梁錨碇設計。
- 六、鋼板樁圖解簡易設計法。

#### 第 十 章 樁基擁壁式碼頭岸壁設計.....49

- 一、樁基之設計——基樁特性——種類——承載力——樁基——樁力分析。
- 二、岸壁設計——尺碼選定——樁台設計。

#### 第 十 一 章 橋式碼頭及浮碼頭設計.....69

- 一、橋式碼頭岸壁設計——下部設計——橋梁設計。
- 二、浮棧橋碼頭設計——緒論——構造——設計。

第十二章 港埠倉庫設計.....93

- 一、緒論——功用——設置條件——分類——交通。
- 二、通棧設計——容量——岸肩——層數——支柱——交通佈置——重要尺碼——基礎——構造——零星工程。
- 三、倉庫設計——容量——位置——佈置——構造設計——機電設備。
- 四、冷藏倉庫設計。

第十三章 散裝倉庫之設計..... 139

- 一、概論——構造——特性——優缺點。
- 二、R·C散倉設計原理——詹生法——艾瑞法——圓倉牆設計——外圓梁設計——內圓梁設計——漏斗倉底設計——倉格設計——基柱設計——基礎設計——基礎設計實例。
- 三、進出倉輸送機械設備——種類——容量——裝配——附屬設備。

第十四章 船舶修理及造船設備(上)..... 189

- 一、緒論——吃水深淺——起水設備選擇與比較。
- 二、滑道船架——分類。
- 三、滑道船架設計——滑道載重——滑道坡度與長度——斷面——船架——船架起水與下水——多船台。
- 四、浮船塢——緒論——式樣。
- 五、浮船塢設計——尺碼——浮沉穩定——載重——結構設計——抽放水設備——塢墩設計。

## 第十五章 船舶修理及造船設備(下)..... 237

- 一、乾船塢緒論——進出——塢址——塢址選擇——乾塢一般——種類。
- 二、乾船塢構造——乾塢構造——塢門構造。
- 三、乾船塢設計——塢址選擇——重要尺碼——各部受力——塢基——斷面——零星工程。
- 四、塢門設計——選擇——浮箱門構造——重要尺碼——浮箱門設計。
- 五、抽水房設計——抽水房——進出水道——機電部份

## 第十六章 浚港挖泥工程..... 285

- 一、緒論——浚挖來源——數量——土質——環境——浚挖。
- 二、挖泥船種類及性能——抓斗式——聯斗式——勺鏟式——吸式(固定,自航)——碎岩船——鑽岩船等。
- 三、開港前浚挖——部位——數量與土質——施工。
- 四、開港後浚挖。
- 五、新生土地。



## 第九章 板樁式碼頭岸壁設計

板樁式碼頭岸壁，施工迅速而工作簡便；如當地地質與碼頭之使用環境相宜，亦即碼頭超載負荷不大，可以迅速達成碼頭岸壁竣工之目的。但若基礎地質不宜於打樁，或碼頭上需要較大之超載負荷，則板樁岸壁仍不宜採用。應就其他岸壁式樣之較為適宜者加以比較研究後採擇之，不宜不顧事實，貿然採用。

促成板樁岸壁發展之另二因素，一為鈹鋼樁之製造改良，加入少量銅、鈦、鎳、錳等金屬之合金鋼，可以增加鋼鈹抵抗海水之腐蝕能力，且近年來又有陰極防銹法之發明，亦可以延長鋼鈹樁碼頭之壽命。二為預力混凝土發明之後，可以製造較強而較長之預力混凝土板樁，無銹損之虞。基此二因，促成板樁式岸壁之日漸盛行。

但若地基為深厚之粘土地質，其粘力小於  $3T/M^2$ ，以及基礎有礫石者，皆不採用板樁碼頭。

板樁岸壁在海底以上，因其背後填土及碼頭面超載而受側壓力，有將板樁向前推移之趨勢，但為樁頂之拉桿及板樁入土部份之土抗力兩者所抵擋而成平衡狀態。此種平衡，包括水平橫力之平衡與其翻轉力矩之平衡，亦即  $\Sigma H=0$ ， $\Sigma M=0$ ，而後方可達到真正穩定之平衡。

板樁因底端打入土中深淺之不同，土壤性質之不同，以及板樁剛度

## 2 海港工程學(下)

性質之不同，而發生底端不同之施力性質。入土較淺者，其本身外力之分佈、力矩圖與樁身位移曲線圖，如圖 139 所示，稱為自由支持式板樁

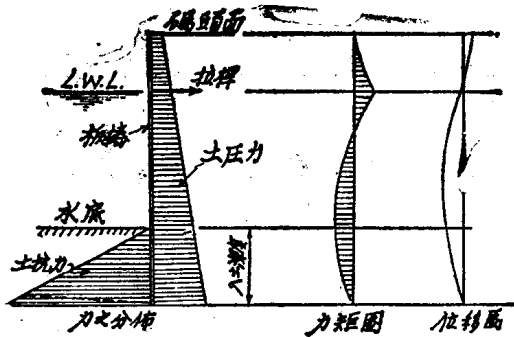


圖 139 自由支持式之土壓力土抗力及力矩位移圖

岸壁 (Free earth support sheet pile type)。另一種為入土較深，而入土之上端部份樁身有前移趨勢，下端部份有後移趨勢，兩者之間發生一反曲點及反彎力矩，而樁身最下端仍假定為垂直向下，形成靜態不定結構 (Statically Indeterminate stresses)，其本身外力之分佈，與其力矩圖及樁身位移曲線圖，如圖 140 所示，稱為根固式 (Fixed earth support) 板樁岸壁。茲分述之。

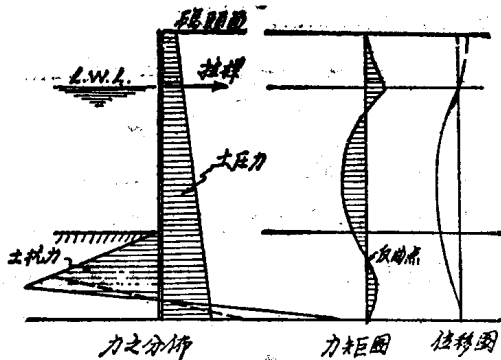


圖 140 根固式之土力分佈力矩及其位移圖

## 第一節 自由支持式板樁岸壁設計

自由支持式板樁岸壁入土深度，雖比根固式為較淺，但最低入土深度，至少使其樁脚以前所發生之土抗力，足以平衡樁後對樁身下部所發生之主動土壓力而有餘，因而阻擋樁脚之向前推移。否則板樁因背後土壓力大量推移，則板樁岸壁因之傾倒。板樁碼頭岸壁最危險時期，在壁後填土之初又遇地震，或特別低潮，碼頭面又超載過大時，下端樁脚前滑，上端拉桿太近，錨碇所供上端土抗力不夠，板樁上端前傾。此等情形可能導致岸壁傾倒，切宜注意避免發生。

板樁岸壁碼頭面之高度既定。基礎地質因鑽探而知土壤組織，將來背填材料性質，如用新填土，設計時可以決定。若仍利用老土不動，應仔細計算背填側壓力。碼頭面最好無超載，即使萬不得已無可避免，希能比重力式減半，即  $1.6T/M^2$ 。若超載繼續增加至  $3.2T/M^2$ ，必須將入土深度增加，以免樁脚前移。當地將來擬做最大船舶吃水，與其他一切水文資料等收集齊全，即可開始從事設計工作。

自由支持式板樁碼頭岸壁設計，重要工作有下列三項：

1. 求板樁至少入土深度，以決定板樁全長。
2. 求板樁所受之最大彎力矩，決定板樁斷面以及每公尺板樁岸壁費用。

3. 確定拉桿位置，以求拉桿拉力與斷面和錨碇所需土抗力。

為設計自由支持式板樁岸壁以上三要項，有三種不同之解法：

1. 代數解法：又分郎金氏解法與恩格奴 (Engle) 解法兩種。
2. 試解法。
3. 圖解法。

茲分述之。

一、自由支持式板樁岸壁代數解法

自由支持式板樁下端荷重受力情形，如圖 141 所示。但板樁入土部份受力情形：樁後有土壓力，樁前有土抗力，樁身實際受力為上二力之差。板樁自海底以下，起初之土壓力強大於土抗力；由此向下，土抗力強度增加速度，遠較土壓力增加之速度為大，故至相當深度，兩力強度相

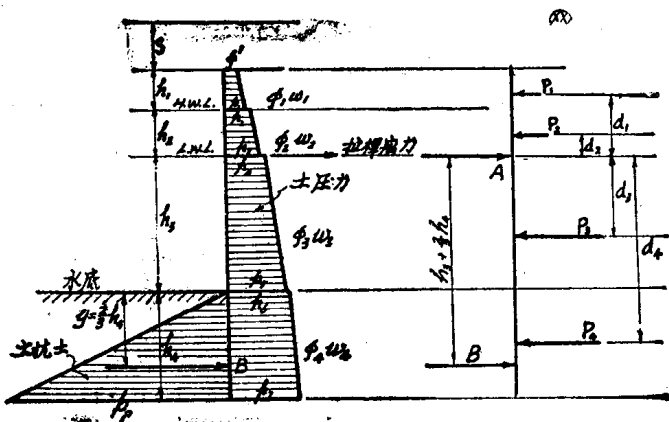


圖 141

等，板樁之受力等於零，此點名曰無力點。再向下，則土抗力強度大於土壓力強度，板樁受力情形相反，故實際情形完全如圖(142)所示。而圖(142)又有兩種解法：即

1. 郎金氏代數解法 (Rankine's Algebraic Solution)。
2. 恩格奴氏代數解法 (Englo's Algebraic Solution)。

茲分述之。

(一) 郎金氏板樁岸壁代數

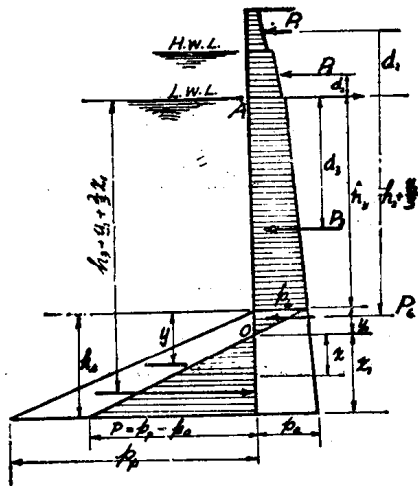


圖 142

解法

普通郎金氏土抗力，若不計及板樁摩擦力，則如公式 (147) 所示。

$$P_p = WZ \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{\phi}{2} \right) \dots \dots \dots (147)$$

但摩擦力對於土壓力數值雖無影響，對土抗力却關係甚大，普通須加一係數  $\epsilon$  乘之。此係數  $\epsilon$  之值，凡安息角大於  $25^\circ$  之未擾動土壤，入土深者為 2，淺者為 1.5。地震區域不論深淺及已否擾動概為 1。且設計時若用安全係數為  $n$ ，則容許之土抗力強度可由公式 (148) 求得。

$$P_p = \frac{\epsilon}{n} h_1 W_1 \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{1}{2} \phi_1 \right) \dots \dots \dots (148)$$

因此板樁最下末端在距海底  $h_1$  處板樁所受之淨土抗力為

$$P = P_p - P_a = \frac{\epsilon}{n} y W_1 \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{1}{2} \phi_1 \right) - \left[ P_0 + y W_1 \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \phi_1 \right) \right] \dots \dots \dots (149)$$

通常  $W \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \phi_1 \right)$  以  $\lambda_a$  表之。

$W \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{1}{2} \phi_1 \right)$  以  $\lambda_p$  表之。則上式

$$P_p = \frac{\epsilon}{n} y \lambda_p - [P_0 + y \lambda_a]$$

則上式將  $P$  對  $y$  微分之，得其增加率為：

$$\begin{aligned} \frac{dp}{dy} &= \frac{\epsilon}{n} W_1 \tan^2 \left( 45^\circ + \frac{1}{2} \phi_1 \right) - W_1 \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \phi_1 \right) \\ &= \frac{\epsilon}{n} \lambda_p - \lambda_a \dots \dots \dots (150) \end{aligned}$$

距  $O$  點以下  $x$  之值為

$$x \frac{dp}{dy} = x \left( \frac{\varepsilon}{\eta} \lambda_p - \lambda_a \right)$$

欲求  $O$  點至  $x$  深度總淨土力為

$$P = \int_0^x x \frac{dp}{dy} = \frac{1}{2} x^2 \left( \frac{\varepsilon}{\eta} \lambda_p - \lambda_a \right) \dots \dots \dots (151)$$

則圖(142)內板樁根前淨土力解決, 板樁後面主動土壓力甚易根據現狀背填土壤記錄算出, 則板樁前後土壓力及土抗力全知, 即可用靜力學中平衡條件:  $\Sigma H=0$ ;  $\Sigma M=0$ , 而解決之。

今將郎金氏代數解法步驟再為簡述如次:

1. 就實地情形, 假設板樁入土深度為  $h_4$ , 算出板樁前後主動土壓力及被動土抗力與其各個施力點, 將求得數字填入圖內。

2. 使淨土力為  $O$ , 求  $O$  點距海底面  $y_1$  之距離, 按公式 (152)

計算之

$$y_1 = \frac{P_6}{\frac{\varepsilon}{\eta} \lambda_p - \lambda_a} \dots \dots \dots (152)$$

在地震區,  $\varepsilon=1$ ,  $\eta$  至少必須大於 1.25。

3. 依圖(142)所示板樁前後受力情形, 求  $\Sigma M=0$ , 即:

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} x_1^2 \left( \frac{\varepsilon}{\eta} \lambda_p - \lambda_a \right) \left( h_3 + y_1 + \frac{2}{3} x_1 \right) + P_1 d_1 + P_2 d_2 \\ & = P_3 d_3 + \frac{1}{2} y_1 P_6 \left( h_3 + \frac{1}{3} y_1 \right) \dots \dots \dots (153) \end{aligned}$$

上式中除  $x_1$  外, 其餘皆為已知數, 解之可得  $x_1$  之值。亦即可得板樁入土深度  $h_4 = x_1 + y_1$ , 應與前所假設者非常相近, 否則再假設  $h_4$ , 重做如前, 直至非常近似而後已。

4. 依公式(149)求總淨土力  $P$ 。

5. 令板樁兩側全部水平力  $\Sigma H=0$ , 解之, 而得拉桿之拉力, 除以拉桿材料強度及將來可能銹損厚度, 而知拉桿所需之斷面與直徑。

並以拉桿最大破損力，設計錨碇大小。

6. 求板樁  $M_{max}$  在  $A$  點以下  $x$  處。先求  $M_x$  方程式，將其微分之為零，解得  $x$  之值。代入  $M_x$  式內，即所求  $M_{max}$  之數值而設計板樁斷面

(二) 恩格奴板樁岸壁代數解法

恩格奴代數解法理論，經其對土抗力之實驗，發現板樁下端處淨力之值，與該處板樁前單位面積上所受之重量（包括土壤及海水在內）成正比，其比值為：

$$r = \Sigma \left[ 1 - \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \phi_1 \right) \right] \dots \dots \dots (154)$$

板樁下端之淨土壓力為

$$Z = \epsilon W_4 \left( h_4 + \frac{1.03}{W_4} h_3 \right) \left[ 1 - \tan^2 \left( 45^\circ - \frac{1}{2} \phi_1 \right) \right] \dots \dots \dots (155)$$

根據以上理論及圖 (143) 所示採取步驟，而得板樁之入土深度、最大彎力及拉桿之拉力。

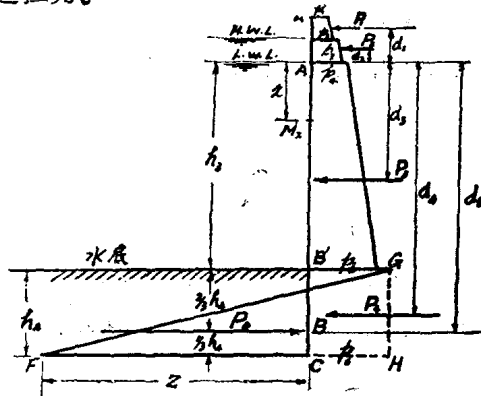


圖 143

1. 假設板樁之入土深度為  $h_1$ ，計算  $Z$  之數值，繪入圖 (143) 內，聯接  $FG$ ，則  $\triangle FGH$  代表土抗力。

$$P_p = \frac{1}{2}(Z + P_6) h_4 \dots\dots\dots(156)$$

2. 海底以下土壓力為  $B'CHG = P_6 h_4$

3. 令  $\Sigma M_A = 0$ , 則:

$$P_1 d_1 + P_2 d_2 + P_7 d_3 = P_3 d_3 + P_4 d_4 \dots\dots\dots(157)$$

上式中  $d_4 = h_3 + \frac{1}{2} h_4$ ;  $d_5 = h_3 + \frac{2}{3} h_4$ ; 代入公式(157)解之, 而得入土深度  $h_4$  數值。此值應與所假設之  $h_4$  非常近似。否則再假設  $h_4$ , 重做, 至相近似而後已。

4. 求  $A$  點以下  $x$  處彎力矩方程式:

$$M_x = Ax - P_1(d_1 + x) - P_2(d_2 + x) - \frac{1}{2} P_4 x^2 - \frac{P_5 - P_4}{h_3} \cdot x \cdot \frac{x}{2} \cdot \frac{x}{3} \dots\dots\dots(158)$$

將上式微分之, 令  $\frac{dM_x}{dx} = 0$ , 解之得  $x$  之值, 再代入上式, 解得

$M_{max}$ , 因以設計板樁斷面。

5. 令  $\Sigma H = 0$ , 解之, 即得拉桿拉力。

## 二、試解法

代數試解法之目的僅為求得板樁入土深度  $h_1$ , 其原則視圖 141 板樁  $AB$  為簡支梁, 其荷重為板樁背後之土壓力。其支點為上拉桿  $A$  點, 其下部為平衡土壓所需之最小土抗力  $B_0$ , 假設集中於  $B$  點。解法之步驟如次:

1. 先以經驗假定板樁入土深度為  $h_1$ 。

(141) 2. 計算其壁背土壓力, 將其高度, 數值, 及施力點繪入圖內。

3. 照(159)式求因土壓所需之最小土抗力, 在海底以下  $\frac{2}{3} h_1$  處, 以  $B_0$  點代表之。其求法由  $M_A$  方程式(159)解之得



$$B_0 = \frac{P_3 d_3 + P_4 d_4 - P_1 d_1 - P_2 d_2}{h_3 + \frac{2}{3} h_4} \dots\dots\dots (159)$$

$$\text{試比較, } P_p = \frac{\epsilon}{\eta} \cdot h_4 \cdot \lambda_p > 1.25 B_0 \dots\dots\dots (160)$$

$$\text{或爲: } h_4 > \sqrt{\frac{1.25 B_0}{\frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon}{\eta} \cdot \lambda_p}} \dots\dots\dots (161)$$

則所假定之  $h_4$  爲安全可用。

$$\text{若 } h_4 < \sqrt{\frac{1.25 B_0}{\frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon}{\eta} \cdot \lambda_p}} \text{ 表示入土太淺} \dots\dots\dots (162)$$

$$h_4 > \sqrt{\frac{1.25 B_0}{\frac{1}{2} \cdot \frac{\epsilon}{\eta} \cdot \lambda_p}} \text{ 表示入土太深} \dots\dots\dots (163)$$

皆需重複改正  $h_4$ , 再爲試解, 迄兩者非常相近似而後已。

4. 拉桿拉力與板樁最大拉力矩之計算, 以及斷面與錨碇之設計仍用代數法求解。

### 三、圖解法

板樁岸壁受力圖解法, 爲力學中靜力圖解方法之一種。其解法於運用純熟之後, 簡單迅速可靠, 而且一目瞭然, 易於發現其圖解錯誤之點, 各部施力之動態與變化, 爲代數法所未能完全表明者, 其特點也。

自由支持式板樁受力圖解法, 係利用力多邊形 (Force polygon) 與索多邊形 (String polygon) 之閉合以求  $h_4$ ,  $M_{max}$ ,  $A$  三要值。因閉合線所以表示靜定平衡, 所得結果合理。若不閉合, 則表示不能靜定平衡, 結構不能穩定安全, 必須再爲假定重演, 以至近似閉合而後已。此板樁圖解法所由發生之原理也。

茲參照圖 (144) 將自由支持式板樁圖解步驟, 說明如下: