

海岸與港灣水力學

Coastal and Harbour Hydraulics

侯 和 雄

Ho - Shong Hou., Ph.D., P.E.

蕭 榮 祥

Jong-Shiang Hsiao., Senior Engineer

合 編

總經銷：大學圖書供應社

海岸與港灣水力學

Coastal and Harbour Hydraulics

86.810

H145

侯 和 雄

Ho - Shong Hou., Ph.D., P.E.

合 編

蕭 榮 祥

Jong-Shiang Hsiao., Senior Engineer

總經銷：大學圖書供應社

登記證爲局版台業字0226號

【海岸與港灣水力學】

Coastal and Harbour Hydraulics

版權所有
翻印必究

著者：侯和雄 蕭榮祥

通訊處：台中郵政第25之116號信箱

發行人：林平南

出版社：國彰出版社

地址：台中市文華路73號

總經銷：大學圖書供應社

地址：台中市文華路73號

郵政劃撥：中字23123號

電話：(042)240273號

印刷廠：久和美術印刷廠

地址：台中市中港路惠來里惠來巷114號

電話：(042)201809號

中華民國六十六年十月初版

定價：新台幣100元

序 言

一般初學海岸工程及港灣工程者常有感到難瞭解之情況。其理由爲海岸、港灣工程所涉及範圍廣大，說明又不夠充分，且缺乏理論之推演，故使讀者不易瞭解。作者等考慮及此，以親身參與海岸、港灣工程多年經驗將有關波浪問題及漂沙現象做深入淺出之介紹，俾能對從事海岸、港灣工程人員有所助益。

本書爲海岸與港灣水力學，因此著重於波浪之現象，并以數學式子展開，因爲理論分析爲現象解說之一有力方法。第七章微小振幅波爲波浪理論之基礎。爲進一步瞭解波浪理論之發展，并於第八章解說有限振幅波理論。漂沙方面目前甚少有理論分析，故以現地觀測或工程施工過程所得之經驗爲基礎，尤其有關現地與模型間漂沙運行之相似律尚未完全獲致，故理論分析有待進一步之發展。海口特性及有關問題爲目前海岸、海洋工程研究之熱門項目，港埠航行之水理爲港口航道規劃必須考慮者，故均在此書作一般性之介紹。作者等倉促編著此書，尚祈海內、外賢達指正，俾能於再版時改進，是盼！

侯和雄

蕭榮祥

謹識於民國六十六年十月廿五日

目 錄

第一章	前 言	1
1-1	海洋、海岸	1
1-2	沿岸之水理現象	3
第二章	波浪之基本性質	6
2-1	波浪之要素	6
2-2	波長及速度	8
2-3	波長及波頂高	14
2-4	水分子之運動及質量輸送	15
2-5	重複波	20
2-6	波浪之能量及輸送	23
2-7	水中壓力	25
第三章	波浪之變形	28
3-1	水深減少所引起之波高變化	28
3-2	波浪之折射	30
3-3	碎 波	36
3-4	波高之減衰	42
3-5	波浪之反射	45
3-6	波浪之繞射	47
3-7	水水面之共振現象	55
第四章	風浪之性質及波浪推算	59
4-1	不規則波及其表示法	59
4-2	風浪之產生及波浪推算法	81
4-3	風之推算	88

4 — 4	深海波之推算法	97
4 — 5	淺海波之推算法	105
4 — 6	湧浪之推算	107
第五章	潮汐、暴潮、海嘯	109
5 — 1	潮 汐	109
5 — 2	潮 流	115
5 — 3	暴 潮	119
5 — 4	海 嘯	121
5 — 5	長週期波及副振幅	123
第六章	漂沙之一般性質	125
6 — 1	概 要	125
6 — 2	波浪引起之底質移動	129
6 — 3	沿岸流	139
6 — 4	海灘之底質分佈	145
6 — 5	漂沙方向及漂沙量	150
第七章	微小振幅波理論	162
7 — 1	微小振幅波之速度勢 (Velocity Potential) ...	162
7 — 2	微小振幅波諸性質	168
7 — 3	群波與群速度	171
7 — 4	微小振幅波之能量	173
7 — 5	由造波機產生之波浪理論	176
第八章	有限振幅波理論	180
8 — 1	有限振幅波理論範圍 (Introduction to the Field of Finite Amplitude Wave Theory)	180
8 — 2	無旋波 (Irrotational Waves) 計算法及其結果 ...	194

第九章	海口 (Estuary) 特性及其水理學	200
9-1	海口之定義及其重要性	200
9-2	地質形態學之特性	209
9-3	工程作業與相關之問題	227
第十章	港埠航行之水理學	233
10-1	港口及航道	233
10-2	港口及航道深之決定	233
10-3	航道寬度	241

第一章 前 言

1—1 海洋、海岸

1—1—1 海洋～地球表面積約有 70.8 % 為海洋，海洋之總面積為 3.61 億 km^2 ，平均水深為 3,795 m。海洋中，太平洋，大西洋及印度洋，稱為三大洋，而三大洋約佔海洋總面積之 80 %。

海底之地形如圖 1—1 所示，由海岸至水深 200m 處則至坡度較緩之範圍稱為陸架或稱大陸架。大陸架之前端

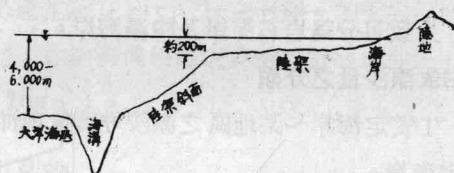


圖 1—1 海底地形

坡度甚陡而連接於海底。海岸工程或港灣工程均建在海洋之水深 30 m 以淺部分，但最近開發海洋亦有在水深 100～200 m 處建造構造物者。

1—1—2 海岸～連接與海之陸地部份稱為海岸，沿陸地之淺海部份稱為沿岸。但沿海之範圍不明瞭，界限劃分不清楚，係指附近一帶之海岸。在海岸工程學所指海岸之範圍為，由海與陸地之界線至外海數公里部份。

海岸依各種觀點可分類如下：

(一) 依成因之分類

1 隆起海岸～因地盤之隆起，或海面之下降所造成之海岸稱為隆起海岸或離水海岸。隆起海岸大部份形成平坦之台地。

2 沈降海岸～地盤之下降，或海面之上昇而形成之海岸稱為下降海岸。里阿斯海岸為海岸附近有起伏之山地下降所造成之地形，日本

之三陸海岸，志摩半島之沿岸即爲其例。

沈降度較大，山頂散佈露出水上者稱爲多島海。而沈在於海底之河谷者稱爲海谷。日本富山灣之海谷即爲著名之例。

3 合成海岸～隆起海岸與沈降海岸混合而成之海岸稱爲合成海岸。大部份之海岸都爲合成海岸。

4 三角洲海岸～河川之泥沙淤積於河口形成三角形之沙洲稱爲三角洲，有三角洲存在之海岸特別稱爲三角洲海岸。

(一) 依構成物質之分類

大致可分爲岩石海岸及沙灘海岸。

(二) 依漂沙量之分類

1 安定海岸～某地區之漂沙堆積量與冲刷量約略相等之海岸稱爲安定海岸。

2 冲刷海岸～漂沙之堆積量比冲刷量少之海岸稱爲冲刷海岸，因此冲刷海岸之海岸線逐次後退。

3 堆積海岸～漂沙之堆積量比冲刷量多之海岸稱爲堆積海岸。故此種海岸之海岸線逐次前進。

1-1-3 海灘

海岸線至外側之沙或礫石之部份稱爲海灘，海灘之典型斷面如圖(1-2)。

一般所說之海岸線爲陸海之界限，但海岸工程學所說之海岸線爲指波浪，或潮

汐等之作用所及之處稱爲海岸線。海面與海岸之界線稱爲灘線，依潮汐之高度，分爲干潮灘線及滿潮灘線兩種。

海灘在海岸工程學上可分爲下列之四部份。

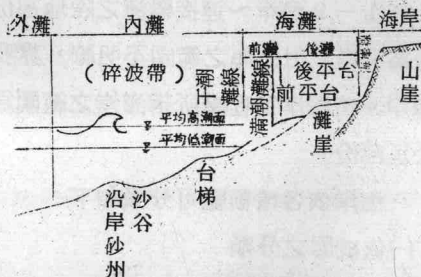


圖 1-2 海灘各部之名稱

(一)外灘～指外海海底坡度較平坦之區域。平常在外灘區無碎波發生。

(二)內灘～外灘之內側至干潮灘線間之區域稱為內灘。在此區內易生碎波形成沿岸沙洲或台梯。

(三)前灘及後灘～通常由干潮灘線至波浪遡上所及之範圍稱為前灘。又前灘之陸側至海岸線之間稱為後灘。前後灘合稱為海灘。在天氣惡劣時潮位上昇可遡上至後灘區。

沿岸沙洲是當波浪大及波尖銳度大時所形成之沙洲海岸地形。而波浪小及波尖銳度小時容易產生階 (step) 之形態。如受尖銳度小之波浪作用海灘產生堆積時，在前灘與後灘之界線附近形成沙丘，即形成平台隆起脊 (Bermridge)。

1—2 沿岸之水理現象

1—2—1 海面之上下運動

海面受風力之作用產生波浪，又受月球及太陽之引力產生潮汐變化。此等海面之運動依其周期可分類。參考 (1—3) 圖海面最短周期之運動為表面張力波，係指周

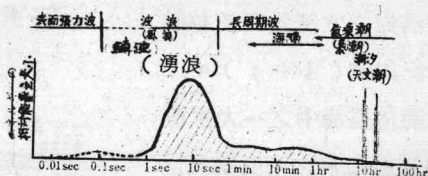


圖 1—3 由周期之海面運動之分類例

期 0.07 秒以下，波長

1.7 cm 以下，波高最大為 1～2 mm 之微小波。此種波浪所受之重力作用比水之表面張力小，故以水之表面張力產生之微小波浪做連續運動。表面張力波亦可稱為微波，但微波係指周期約 0.3 秒之短周期波浪。

海岸工程學上所稱之波浪一般指風浪，係因受風之作用而形成未成熟或成熟之波浪。波浪離開風域後不再受風之影響而在海上推進者

此種波浪稱為湧浪。通常湧浪其特徵為周期長尖銳度小者。湧浪之最大周期約在 20 秒左右。風浪及湧浪通稱為波浪。

周期在 20 ~ 30 秒以上之波浪稱為長波。長波之波高比普通波浪之波高低，故受普通波浪之波高之重疊以致長波之觀測較困難。但長波會引起停泊中之船舶產生振盪。

海嘯因海底地震或火山之爆發等海底急劇變化所引起之波浪。其周期為數分鐘至 1 小時不等。海嘯與長波之周期略同，但成因不同故須以特別之方法處理。

周期次於長波者為氣象潮。係指受氣象之影響而產生變化之潮位，其中暴潮為防災上重要之現象。暴潮之維持時間在日本沿海為數小時至十幾小時不等。

周期次於暴潮為潮汐，潮汐以周期 12.42 小時之太陰半日潮及周期 12 小時之太陽半日潮為基本，及其他各種分潮所造成，故與其他之海面運動不同，可以預報任意時刻之潮位。

1-2-2 水流及漂沙

沿岸之水流及底質移動之狀況如圖 (1-4)。

海流為海中之一大水流，海流為海水之密度差及恆風作用所引起者，故其位置及速度大約一定。在日本近海有著名之黑潮（暖流）及

親潮（寒流）兩種。但對海岸工程或港灣工程并不重要。

潮流是隨潮汐引起之水流，其速度及時間之變化大致可由預報獲知。

沿岸流為海岸附近受波浪影響而產生之水流，沿岸流之變化頗復

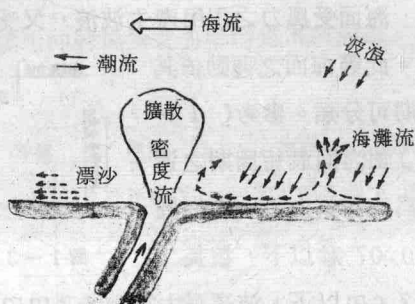


圖 1-4 沿岸之水流及漂沙

雜，又局部易產生較強之流速。

河水流入河口與海之交界處形成密度小之河水，與密度大之海水之混合，因密度差產生水流，此水流乃稱為河口密度流。又因河川流量，潮差等關係河水擴散在海水上層。此等密度流及擴散現象，尤其在河口發電所冷卻水放出之溫差情況及工廠污水由海中放出之污染情況等所造成之問題頗難處理。

海岸或海底之沙礫，土沙受波浪擾亂上浮而為水流携運傳遞之現象稱為漂沙，漂沙為形成海灘之崩壞及堆積之主要原因。本編對上述水理現象中之波浪，漂沙，潮汐，其他之長周期波浪及海口問題將逐一說明。

第二章 波浪之基本性質

2—1 波浪之要素

2—1—1 波浪之要素

波浪之大小由波長及波高表示。波長為相連兩波峯之水平距離，波高為波峯與波谷之垂直距離。波長以 L ，波高以 H 表示。波浪觀測時在海中固定一點，將連續兩個波峯通過固定點之時間間隔稱為周期，以 T 表示。又波浪推進速度稱為波速以 C 表示。又波高與波長之比 (H/L) 稱為尖銳度。

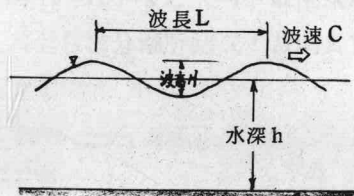


圖 2—1 波浪諸因素之定義

2—2—2 波浪之分類

(一)規則波與不規則波

實際海上波浪之形態非常複雜，波高大小不同之波浪，波長長短不同之波浪及形態不同之波浪等混合在一起。故僅由此等不規則之波浪并不能了解波浪之性質。因此須假定波高，周期一定之波浪，并由一定方向連續來襲之情況俾利分析波浪之性質。此即為波浪理論中所謂之規則波。反之實際海洋中之波浪則為不規則波。

(二)依水深作分類

波浪之運動，以波浪傳達水域之水深與波長相比時，其形態都不相同。所以普通以水深與波長之比分類如圖 2—2 所示，并分為深海

波，淺海波，長波等。深海波為水深大於 $1/2$ 波長，長波為水深小於波長之 $1/20$ 以下，淺海波位於此兩者之間。長波及淺海波通稱為淺海波。深海波因波浪運動無法達到深海部分，故不受水深影響。長波則因水面至水底波浪運動均相同，故受水深影響較為顯著。潮汐，暴潮，海嘯，皆屬於長波。至於表面張力波，鱗波則屬於深海波，又風浪在外海亦屬於深海波。

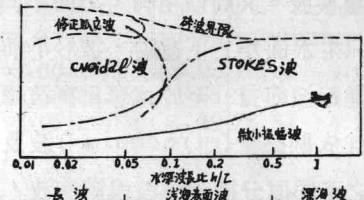


圖 2-2 由水深之波浪分類及規則波理論之適用範圍

(三) 理論之分析與分類

規則波之理論分為微小振幅波及有限振幅波。微小振幅波為導出理論公式時，假定振幅非常小，而簡化計算求公式。但依據微小振幅波之理論所得之結果，容許某些程度之誤差時可適用於計算較大之波浪。所以當依據微小振幅波之理論之精度不夠時，而須考慮波高影響導出之計算方法時，此乃稱為有限振幅波。依其解法又分為史都克 (Stokes) 波，橢圓函數 (Cnoidal) 波及孤立波等諸理論。

以上諸理論之適用範圍如圖 (2-2) 所示。又餘擺線 (Trochoid) 波理論上亦屬於有限振幅波。但最近此理論並不常用。又圖 (2-2) 所示對水深波長比在 $0.1 \sim 0.2$ 附近之波高大之波浪，欲求其精度使用較高階之理論解法實為困難。

(四) 進行波及重複法

在無障害之水域向一方向推進之波浪稱為進行波，而其波形逐次向前推進。進行波遇到垂直構造物反射時，反射波與進行波重疊乃形

成重複波。又周期相同，方向不同之波浪重疊時亦形成重複波。重複波只在水面作上下運動，波形不前進。圖（2—2）波浪之諸理論爲對進行波而言，至於處理重複波應使用微小振幅波及有限振幅波理論，且依餘擺線（trochoid）波及高階次級數解之理論計算。又依水深之不同而分爲深海波與淺海波，此項分類對重複波亦可適用。

2—2 波長及波速

要了解波浪之特性，必須先了解規則波之性質。所以本章及次章如無特別指明則均指規則波而言。本章主要敘述各種波浪水理及公式之使用，理論方面則於第七、八章述之。

波長 L 及波速 C 之計算，除表面張力波外均可用（2—1）式及（2—2）式計算。

$$L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{L} \quad (2-1)$$

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi h}{L}} \quad (2-2)$$

但 T ：周期（sec） h ：水深（m） g ：重力之加速度（ 9.8 m/sec^2 ）

使用（2—1）式計算波長 L 時，波長 L 也含在右邊之雙曲線函數之變數內，故不能直接求出而須經數值計算。表（2—1）爲按一般所使用之水深，周期，計算其波長及波速等以供查用。

表 2-1(1)~2-1(2) 波長及波速表

周期(s)	3.0		4.0		5.0		6.0	
水深(m)	波長(m)	波速(m/s)	波長(m)	波速(m/s)	波長(m)	波速(m/s)	波長(m)	波速(m/s)
0.5	6.39	2.13	8.67	2.17	10.92	2.18	13.16	2.19
1.0	8.69	2.90	11.99	3.00	15.23	3.05	18.43	3.07
1.5	10.21	3.40	14.37	3.59	18.40	3.68	22.36	3.73
2.0	11.30	3.77	16.22	4.05	20.94	4.19	25.57	4.26
2.5	12.09	4.03	17.71	4.43	23.08	4.62	28.31	4.72
3.0	12.67	4.22	18.95	4.74	24.92	4.98	30.71	5.12
3.5	13.09	4.36	19.98	5.00	26.52	5.30	32.84	5.47
4.0	13.39	4.46	20.85	5.21	27.93	5.59	34.75	5.79
4.5	13.60	4.53	21.57	5.39	29.18	5.84	36.49	6.08
5.0	13.75	4.58	22.18	5.55	30.29	6.06	38.07	6.34
6.0	13.91	4.64	23.11	5.78	32.17	6.43	40.84	6.81
7.0	13.99	4.66	23.75	5.94	33.67	6.73	43.19	7.20
8.0	14.02	4.67	24.19	6.05	34.86	6.97	45.19	7.53
9.0	14.03	4.68	24.47	6.12	35.81	7.16	46.91	7.82
10.0	14.03	4.68	24.65	6.16	36.56	7.31	48.37	8.06
11.0	14.04	4.68	24.77	6.19	37.15	7.43	49.62	8.27
12.0	14.04	4.68	24.84	6.21	37.60	7.52	50.69	8.45
13.0	14.04	4.68	24.89	6.22	37.95	7.59	51.60	8.60
14.0	14.04	4.68	24.91	6.23	38.22	7.64	52.38	8.73
15.0	14.04	4.68	24.93	6.23	38.42	7.68	53.03	8.84
16.0	14.04	4.68	24.94	6.23	38.57	7.71	53.58	8.93
17.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.68	7.74	54.04	9.01
18.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.77	7.75	54.42	9.07
19.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.83	7.77	54.74	9.12
20.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.87	7.77	55.00	9.17
22.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.93	7.79	55.39	9.23
24.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.96	7.79	55.65	9.28
26.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.98	7.80	55.83	9.30
28.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.98	7.80	55.94	9.32
30.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.02	9.34
35.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.11	9.35
40.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.14	9.36
50.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36
60.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36
70.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36
深海波	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36

7.0		8.0		9.0		10.0	
波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)	波 長 (m)	波 速 (m/s)
15.39	2.20	17.62	2.20	19.84	2.20	22.06	2.21
21.61	3.09	24.78	3.10	27.94	3.10	31.09	3.11
26.29	3.76	30.19	3.77	34.08	3.79	37.95	3.80
30.14	4.31	34.67	4.33	39.18	4.35	43.68	4.37
33.46	4.78	38.56	4.82	43.62	4.85	48.67	4.87
36.39	5.20	42.01	5.25	47.58	5.29	53.13	5.31
39.02	5.57	45.13	5.64	51.18	5.69	57.19	5.72
41.42	5.92	47.98	6.00	54.48	6.05	60.92	6.09
43.61	6.23	50.61	6.33	57.53	6.39	64.40	6.44
45.63	6.52	53.05	6.63	60.38	6.71	67.64	6.76
49.24	7.03	57.47	7.18	65.57	7.29	73.58	7.36
52.39	7.48	61.37	7.67	70.20	7.80	78.92	7.89
55.16	7.88	64.86	8.11	74.38	8.26	83.	8.38
57.61	8.23	68.01	8.50	78.19	8.69	88.2	8.82
59.78	8.54	70.85	8.86	81.68	9.08	92.32	9.23
61.72	8.82	73.44	9.18	84.89	9.43	96.12	9.61
63.44	9.06	75.80	9.48	87.85	9.76	99.67	9.97
64.98	9.28	77.96	9.74	90.59	10.07	102.98	10.30
66.35	9.48	79.93	9.99	93.14	10.35	106.07	10.61
67.58	9.65	81.73	10.22	95.51	10.61	108.98	10.90
68.66	9.81	83.39	10.42	97.71	10.86	111.71	11.17
69.63	9.95	84.90	10.61	99.77	11.09	114.29	11.43
70.49	10.07	86.29	10.79	101.68	11.30	116.71	11.67
71.25	10.18	87.56	10.95	103.47	11.50	119.00	11.90
71.92	10.27	88.72	11.09	105.14	11.68	121.16	12.90
73.03	10.43	90.76	11.35	108.14	12.02	125.12	12.51
73.89	10.56	92.46	11.56	110.76	12.31	128.66	12.87
74.54	10.65	93.86	11.73	113.04	12.56	131.83	13.18
75.03	10.72	95.02	11.88	115.01	12.78	134.66	13.47
75.40	10.77	95.97	12.00	116.72	12.97	137.19	13.72
75.96	10.85	97.64	12.20	120.03	13.34	142.38	14.24
76.22	10.89	98.61	12.33	122.26	13.58	146.25	14.63
76.39	10.91	99.46	12.43	124.71	13.86	151.16	15.12
76.42	10.92	99.72	12.46	125.71	13.97	153.68	15.37
76.42	10.92	99.79	12.47	126.10	14.01	154.91	15.49
76.43	10.92	99.82	12.48	126.34	14.04	155.97	15.60