

第十篇

海岸工程

目 錄

頁

第一章 波動理論

A 概述	10— 1
B 波浪要素、分類與符號	10— 2
1.1 波浪要素	10— 2
1.2 波浪分類	10— 3
1.3 符號	10— 3
C 微小振幅波	10— 5
1.4 微小振幅進行波	10— 5
1.5 微小振幅重複波	10— 12
D 有限振幅波	10— 14
1.6 司突克氏有限振幅進行波	10— 14
1.7 C_n 波	10— 29
1.8 孤立波	10— 37
1.9 有限振幅重複波	10— 40

第二章 風浪及湧浪推算

A 引言	10— 43
B 風浪之發展	10— 44
2.1 柯蘇敏氏不安定學說	10— 44
2.2 傑佛瑞氏遮蔽學說	10— 45
2.3 司維卓—孟克氏理論	10— 45
2.4 費利浦氏共鳴學說	10— 46
2.5 麥魯氏干擾理論	10— 46
C 波濤之統計性質	10— 47
2.6 有義波	10— 47

2.7	波高之統計性質	10—48
2.8	週期分佈	10—52
2.9	海洋波浪能譜	10—55
D	深海風浪預報	10—58
2.10	S.M.B. 深海波預報法	10—58
2.11	郭氏圖解法—固定風域法	10—65
2.12	魏祿森氏圖解法—移動風域法	10—66
2.13	P.N.J. 預報法—波譜法	10—69
2.14	颱風波浪	10—77
E	淺海風浪預報	10—96
2.15	淺海風浪	10—96
F	深海湧浪推算	10—104
2.16	深海湧浪	10—104
G	風速、風向及風域之決定	10—111
2.17	風速及風向之決定	10—111
2.18	風域之圈定	10—113
H	風向變動及風域形狀對風浪之影響	10—115
2.19	風向變動時波高週期之修正	10—115
2.20	風域形狀對波浪之影響	10—116

第三章 波浪之變形

A	淺海中波浪之變形	10—118
3.1	僅考慮水深變化時之波形變化	10—118
3.2	考慮折射及水深變化時之波形變化	10—120
3.3	考慮底面摩擦、折射及水深變化時之波形變化	10—120
B	二元次水平底之波高減衰	10—124
3.4	層流邊界層內能量損失之影響	10—124
3.5	側壁摩擦之影響	10—126
3.6	底床滲透之影響	10—127
C	波浪之折射	10—128
3.7	原理	10—128
3.8	折射圖繪製方法	10—129
D	波浪之繞射	10—141

3•9	半無限長防波堤之繞射	10—142
3•10	防波堤開口之繞射	10—143
E	碎波	10—146
3•11	碎波波高指標	10—146
3•12	碎波水深指標	10—147
3•13	碎波波形銳度	10—148
3•14	碎波水深比	10—150
3•15	碎波之型式	10—150
F	碎波後之波形變化	10—151
3•16	水平底面碎波後之波高變化	10—151
3•17	傾斜底面碎波後之波高變化	10—152

第四章 結構物對波浪之影響

A	波浪之反射與透射	10—154
4•1	直線斜面之反射	10—154
4•2	突變斷面之反射及透射	10—160
4•3	空隙直立面之反射及透射	10—163
4•4	潛沒體之影響	10—164
4•5	水面附近之垂直壁	10—166
4•6	樁列	10—168
4•7	平行水表面之固定結構物	10—170
4•8	水面自由浮體	10—170
4•9	堤頂溢流之透過波	10—171
B	波浪之遡升	10—173
4•10	引言	10—173
4•11	孤立波之遡升	10—174
4•12	長週期波在海灘上之遡升	10—174
4•13	短週期波之遡升	10—175
4•14	遡升高之頻率分佈	10—193
4•15	複式斷面之遡升	10—196
C	波浪之溢流	10—197

第五章 波力

A	引言	10—201
---	----------	--------

B	波壓之時間變化及分佈	10-201
C	影響波壓之主要因素	10-203
D	重複波波壓公式	10-207
E	碎波波壓公式	10-212
5.1	廣井公式	10-212
5.2	米尼良公式	10-213
5.3	永井公式	10-214
F	碎波後之波壓力	10-217
5.4	堤防位於碎波帶中	10-217
5.5	堤防位於陸地上時	10-219
5.6	波向對碎波及碎波後波壓力之修正	10-221
5.7	堤面坡度對波壓力之修正	10-221
G	揚壓力	10-221
H	拋石堤坡覆塊石之安定	10-222
5.8	赫德森公式	10-223
5.9	拋石堤断面設計	10-226
5.10	混成堤基礎與堤趾拋石之安定	10-232
I	作用於直立樁之波力	10-233
5.11	不碎波時之波力	10-233
5.12	碎波之衝擊波力	10-242
J	設計波之選擇	10-243

第六章 潮位與水流

A	引言	10-245
B	潮汐現象	10-245
6.1	引言	10-245
6.2	起潮力	10-246
6.3	潮位	10-248
6.4	調和分解	10-249
C	氣象潮	10-252
6.5	氣壓降低之水面上升	10-253
6.6	移動性低氣壓時	10-254
6.7	吹風時堆升作用使海面上昇之高度	10-254

6•8	氣象潮偏差推算公式	10—255
D	海嶺	10—256
E	海流	10—258
6•9	吹送流	10—258
6•10	傾斜流	10—260
F	潮流	10—260
G	密度流	10—261
6•11	河口密度流	10—261
6•12	噴水口之擴散與混合	10—264
H	沿岸流	10—269

第七章 海灘與漂沙

A	緒言	10—273
B	海灘術語	10—273
C	海灘分類	10—275
D	海灘底質之特性	10—276
7•1	採樣	10—276
7•2	粒徑分佈	10—277
7•3	礦物分析	10—282
7•4	波浪之篩分作用	10—282
E	影響海灘斷面之因素	10—283
7•5	波浪對海灘斷面之影響	10—284
7•6	潮位之影響	10—285
7•7	底質粒徑之影響	10—285
F	平衡斷面之特性	10—286
7•8	灘頂高度	10—286
7•9	前灘比降	10—287
7•10	外灘沙洲	10—287
7•11	外灘比降	10—288
G	漂沙之來源與損失	10—289
7•12	漂沙之來源	10—289
7•13	漂沙之損失	10—290
H	漂沙方向之判斷	10—291

7.14	現有結構物之影響	10-291
7.15	岬之影響	10-292
7.16	潮口及河口地形	10-293
7.17	波浪及風之分析	10-293
7.18	海灘及海底物質之變化	10-293
I	漂沙移動之形態	10-293
7.19	外灘區	10-294
7.20	內灘區	10-295
7.21	前灘區	10-297
J	沙粒移動之臨界水深	10-298
K	沙速	10-306
L	浮游質	10-308
M	漂沙量之估計	10-310
7.22	海岸垂直方向土沙移動量之估計	10-311
7.23	沿岸漂沙量之估計	10-311
N	飛沙	10-315
7.24	風速分佈及磨擦速度	10-315
7.25	臨界磨擦速度	10-316
7.26	飛沙量之估計	10-317

第八章 防止漂沙之方法

A	引言	10-319
B	人工養灘	10-319
C	防沙堤	10-320
8.1	防沙堤高度	10-320
8.2	防沙堤長度	10-321
8.3	防沙堤間隔	10-322
8.4	防沙堤方向	10-324
8.5	防沙堤構造	10-324
D	導流堤	10-324
E	離岸堤	10-326
F	護岸、駁岸與海岸堤防	10-327

附錄 I

附錄 II

第十篇

海岸工程

編撰人：郭金棟

審查人：張劭曾

第一章 波動理論

A 概 述

水受某種外力之作用，水分子發生擾亂，水面發生高低之運動，將擾動之外形，向他處傳播，當外力除去後，仍因重力及表面張力之作用繼續保持運動。此種以水為媒介將其形狀傳播之現象稱為水波 (water wave)。本書所謂波動或波浪除另有註明外即指水波。波動理論不僅為流體力學研究之一部份，同時亦為海岸工程主要研究對象之一，凡海岸構造物、漂沙及水流莫不以波動理論為討論之依據，為學習海岸工程所必需充份瞭解之物理現象。

實際之海面為一極不規則之變化，幾乎無法以函數式表示其波動狀態，但如加以剖析，則可認為由不同週期、波高及位相之波浪重疊而成，可由統計處理找出一特性波代表之。此處所謂規則性波浪 (regular wave) 係指由古典流體動力學導出，可由解析函數表示，波高及週期固定之單一或週期性之波動現象。理論上假定水為無粘性、非壓縮體之均質理想流體，波峯無限小或有限而水底水平之二次元運動。水面上之壓力甚小可以忽視，波形在進行中不發生變形之保存波。因假定運動為自靜止狀態開始之無渦運動，故可以流速勢 (velocity potential) ϕ 表示之。此種波動理論之研究遠在十八世紀即由 Laplace 展開，十九世紀中葉已有相當完整之理論解。二次大戰後除理論研究外，在實驗室及實地海岸觀測波浪相互比較始知理論之適用性。Airy 波動理論雖在計算上較簡單，但 Stokes 波理論較與自然現象脛合。一般情況下表面張力可以忽視，如此由重力發生之波動稱為重力波 (gravity wave)。表面張力之影響較大時稱為表面張力波或毛管波。本章僅提重力波有關之主要公式，詳細演算過程請讀者參考原論文或流體力學有關書籍。

B 波浪要素、分類與符號

1.1 波浪要素

設有一水面做週期性之升降，以 C 之速度向 x 正方向傳播時，稱 C 為傳播速度或波速 (phase velocity)。二相隣波峯間之距離 (參照圖 1.1) 稱為波長 L (wave length)，波峯與波谷之高差稱為波高 H (wave height)，波高之一半稱為振幅 a (wave amplitude)，一固定點反覆出現同一水面變化所需之時間為週期 T (wave period)。○ 點之水面變化 η 或其他變量可以 (1.1) 式表示如下時

$$\eta = f(x - Ct) \quad (1.1)$$

稱為進行波，反之 $\eta = f(x + Ct)$ 表示向 x 負方向進行之波形稱為後退波。波高 H 之正弦進行波一般以下式

$$\eta = \frac{H}{2} \sin(kx - \sigma t + \varepsilon) = \frac{H}{2} \sin k \left(x - Ct + \frac{k}{\varepsilon} \right) \quad (1.2a)$$

表示，但

位相角 ε

$$\text{波速} \quad C = \frac{\sigma}{k} = \frac{L}{T} \quad (1.3a)$$

$$\text{波長} \quad L = \frac{2\pi}{k} \quad (1.3b)$$

$$\text{週期} \quad T = \frac{2\pi}{\sigma} \quad (1.3c)$$

將式 (1.3) 代入式 (1.2a)，則波形又可表示如下：

$$\eta = \frac{H}{2} \sin \frac{2\pi}{L} (x - Ct) = a \sin 2\pi \left(\frac{x}{L} - \frac{t}{T} \right) \quad (1.2b)$$

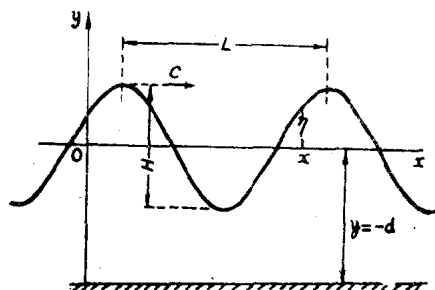


圖 1.1

1.2 波浪分類

波浪依其理論假定可分為：

a. 微小振幅波 (small amplitude waves) 假定波動與波長水深相比甚為微小可以省略，同時流速二次方極微小亦可以省略，波動運動方程式可簡化為線型微分方程式，故又稱為線型波動理論，或稱 Airy 波動理論。

b. 有限振幅波 (finite amplitude waves) 此理論假定波高及流速為有限量， $\frac{H}{d}$ 及 $u \cdot \frac{\partial u}{\partial x}$ 不可忽視，因此運動方程式為非線型，故又稱為非線型波動理論。有限振幅波理論展開方法有兩種：一為 Gerstner, Gaillard 導出之渦動餘擺波 (trochoidal waves) 理論，一為 Stokes, Stroik 導出之無渦動波，通常稱為 Stocks 波此外尚有橢圓波 (cnoidal waves) 及孤立波 (solitary wave)。

波動理論在水深與波長比，即對相水深 $\frac{d}{L}$ 甚大或甚小時，波動公式可簡化，故可分為：

1. 深水波 (deep water waves) $\frac{d}{L} \geq \frac{1}{2}$ ，波動在表面附近很大，向下急速減衰，底面附近近乎靜止。海洋波浪屬此。
2. 中間性波 (intermediate depth water waves) $\frac{1}{2} \leq \frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$ ，介於深水與淺水波之間，又稱表面淺水波 (surface shallow water wave)。
3. 淺水波 (shallow water waves) $\frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$ ，又稱長波 (long waves)，波動自表面到底面近乎相等，海岸附近之波浪或潮汐屬此。

1.3 符號

茲將本篇所使用之符號提示於下：

x：水平軸與靜水面一致，波浪進行方向為正，反之為負

y：垂直軸，靜水面 $y=0$ ，向上為正，向下為負，海底面 $y=-d$

d：水深，靜水面至海底之距離

$\eta(x,t)$ ：任意時刻水面與靜水位高差

H：波高，波頂至波谷之距離，微小振幅波時 $H=2a$

L: 波長, 波列中相隣對應點之長度, 如波峯至波峯之間距

T: 週期, 一定點同一現象重現所需之時間

C: 波速, 波形移動速度, $C = \frac{L}{T} = \frac{\sigma}{k}$

k: 波數 $= \frac{2\pi}{L}$

σ : 角速度 $= \frac{2\pi}{T}$

u: 水平水分子流速

u_{max} : 水平水分子最大流速, 水平水分子流速振幅

v: 垂直水分子流速

v_{max} : 垂直水分子最大流速, 垂直水分子流速振幅

a_c : 波峯至靜水面高差

a_t : 波谷至靜水面高差

d: 水深

t: 時間

ρ : 流體密度

γ : 流體單位體積重量

ξ : 水分子水平位移

ζ : 水分子垂直位移

U: 質量輸送速度 (mass transport velocity)

p: 單位面積壓力強度

Δp : 動壓力強度 (dynamic pressure)

$\bar{P}$: 單位寬度之平均動量 (power)

E: 單位寬度一波長間波浪總能量 (energy)

E_k : 單位寬度一波長間之動能 (kinetic energy)

E_p : 單位寬度一波長間之位能 (potential energy)

C_g : 羣波傳播速度 (group velocity)

δ : 水分子軌跡平均面上升高

Δh : 波高中分面與靜水面之高差

腳註 "o": 表示深水波有關之值

腳註 "b": 表示碎波有關之值

C 微小振幅波

1.4 微小振幅進行波

微小振幅波為波動理論中最簡單之一種，因假定波高與波長比，即波形尖銳度 (wave steepness) 甚小，二次微小量可以省略為線型運動。雖與實際波動現象並不嚴密相似，但在 $\frac{H}{L}$ 小，同時 $\frac{L^3 H}{2d^3}$ 小於 50 時尚能與實際現象吻合。在精度要求不高之實用計算，數種波形之重疊、折射、繞射、反射、海洋不規則波波譜理論等都可引用之。

a. 深水波 $\left(\frac{d}{L_0} \geq \frac{1}{2}\right)$

1. 波形：

$$\eta = \frac{H_0}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.4)$$

2. 波速：

$$C_0 = \sqrt{\frac{gL_0}{2\pi}} = \frac{gT}{2\pi} = \sqrt{1.56L_0} = 1.56 T \text{ (m/sec)} \quad (1.5)$$

3. 波長：

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} = 1.56 T^2 = 0.64 C_0^2 \text{ (m, sec)} \quad (1.6)$$

4. 水分子水平流速：

$$u_0 = \frac{\pi H_0}{T} e^{2\pi y/L_0} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.7)$$

5. 水分子垂直流速：

$$v_0 = \frac{H_0}{2} e^{2\pi y/L_0} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.8)$$

6. 水平位移：

$$\xi_0 = \frac{H_0}{2} e^{2\pi y/L_0} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.9)$$

7. 垂直位移：

$$\zeta_0 = \frac{H_0}{2} e^{2\pi y/L_0} \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.10)$$

8. 運動半徑向量長：

$$r_0 = \sqrt{\xi_0^2 + \zeta_0^2} = \frac{H_0}{2} e^{2\pi y/L_0} \quad (1.11)$$

9. 動壓力：

$$\Delta p_0 = \frac{7H_0}{2} e^{2\pi y/L_0} \cdot \cos\left(\frac{2\pi}{L_0}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.12)$$

10. 動量：

$$\bar{P}_0 = \frac{EC_0}{L_0} = \frac{\rho g}{32\pi} H_0^2 C \quad (1.13)$$

11. 位能及動能（一波長間）：

$$E_p = E_k = -\frac{\rho g}{16} H_0^3 L_0 \quad (1.14)$$

12. 總能量（一波長間）：

$$E = E_p + E_k = -\frac{\rho g}{8} H_0^3 L_0 \quad (1.15)$$

13. 羣波波速：

$$C_{g0} = \frac{C_0}{2} = \frac{gT}{4\pi} = 0.78 T \quad (\text{m/sec, sec}) \quad (1.16)$$

b. 中間性波 $\frac{1}{2} \leq \frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$

1. 波形：

$$\eta = \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.17)$$

2. 波速：

$$C = \frac{L}{T} = \sqrt{\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}} = \frac{gT}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (1.18)$$

3. 波長：

$$L = L_0 \tanh \frac{2\pi d}{L} = \frac{gT^2}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L} \quad (1.19)$$

4. 水平水分子流速：

$$u = \frac{\pi H}{T} \left[\frac{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \right] \sin\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.20)$$

5. 垂直水分子流速：

$$v = -\frac{\pi H}{T} \left[\frac{\sinh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \right] \cos\left(\frac{2\pi}{L}x - \frac{2\pi}{T}t\right) \quad (1.21)$$

6. 水平位移：

$$\xi = \frac{H}{2} \left[\frac{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \right] \cos \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (1.22)$$

7. 垂直位移：

$$\zeta = \frac{H}{2} \left[\frac{\sinh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \right] \sin \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (1.23)$$

8. 運動半徑向量長：

$$r = \frac{H}{2 \sinh \frac{2\pi d}{L}} \left[\cosh^2 \frac{2\pi(y+d)}{L} \cdot \cos^2 \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right) + \sinh^2 \frac{2\pi(y+d)}{L} \cdot \sin^2 \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right) \right] \quad (1.24)$$

9. 運動橢圓軌跡：

$$\frac{\xi^2}{\left[\frac{H}{2} \cdot \frac{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \right]^2} + \frac{\zeta^2}{\left[\frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \right]^2} = 1 \quad (1.25)$$

10. 半主軸長（水平軸半徑）：

$$r_H = \frac{H}{2} \cdot \frac{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \quad (1.26)$$

11. 半短軸長（垂直軸半徑）：

$$r_v = \frac{H}{2} \cdot \frac{\sinh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \quad (1.27)$$

$$12. \text{橢圓焦距} = \frac{H}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \quad (1.28)$$

13. 動壓力：

$$\Delta p = \frac{\rho g H}{2} \left[\frac{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\cosh \frac{2\pi d}{L}} \right] \cdot \sin \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right)$$

$$= -\frac{\rho g}{2} H K \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right) \quad (1.29)$$

14. 能量 (一波长) :

$$E = E_K + E_P = 2E_P = 2E_K = \frac{\rho g}{8} H^2 L \quad (1.30)$$

15. 動量 :

$$P = \frac{E}{L} \cdot C_g = \frac{E n C}{L} = \frac{1}{16} \rho H^3 C \left(1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh \frac{4\pi d}{L}}\right) \quad (1.31)$$

16. 群波波速 :

$$C_g = n C = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{\frac{4\pi d}{L}}{\sinh \frac{4\pi d}{L}}\right) \left(\frac{gL}{2\pi} \tanh \frac{2\pi d}{L}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (1.32)$$

c. 淺水波 $\frac{d}{L} \leq \frac{1}{20}$

1. 波形 :

$$\eta = \frac{H}{2} \sin\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right)$$

2. 波速 :

$$c = \sqrt{gd} \quad (1.33)$$

3. 波長 :

$$L = CT = \sqrt{gd} \cdot T \quad (1.34)$$

4. 水分子水平流速 :

$$u = \frac{H}{2} \sqrt{\frac{g}{d}} \sin\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right) = \sqrt{\frac{g}{d}} \cdot \eta \quad (1.35)$$

5. 水分子垂直流速 :

$$v = -\frac{\pi H(y+d)}{Td} \cos\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right) \quad (1.36)$$

6. 水分子水平位移 :

$$\xi = \frac{HT}{4\pi} \sqrt{\frac{g}{d}} \cos\left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t\right) \quad (1.37)$$

7. 水分子垂直位移 :

$$\zeta = \frac{H}{2} \left(-\frac{y}{d} + 1 \right) \sin \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right) \quad (1.38)$$

8. 動壓力：

$$\Delta p = \frac{\rho g}{2} H \sin \left(\frac{2\pi}{L} x - \frac{2\pi}{T} t \right) - \rho g y \quad (1.39)$$

9. 一波長能量：

$$E = \frac{1}{8} \rho g H^2 L \quad (1.40)$$

10. 單位面積動量：

$$\bar{P} = \frac{\rho g}{8} H^2 \sqrt{gd} \quad (1.41)$$

11. 波速： $C_0 = C = \sqrt{gd}$ (1.42)

以上各式之計算如遇期為獨立變數時，即可由式 (1.5) 及式 (1.6) 求得深海波波速及波長，並算出 $\frac{d}{L_0}$ ，由式 (1.19) 知 $\frac{d}{L}$ 為 $\frac{d}{L_0}$ 之函數，故所有有關 $\frac{d}{L}$ 之函數實為 $\frac{d}{L_0}$ 之函數。 $\frac{d}{L}$ 、 $\sinh \frac{2\pi d}{L}$ 、 $\tanh \frac{2\pi d}{L}$ 、 $\cosh \frac{2\pi d}{L}$ 、 k 、 n 、 $\frac{C_0}{C}$ 、 $\frac{4\pi d}{L}$ 、 $\cosh \frac{4\pi d}{L}$ 、 $\sinh \frac{4\pi d}{L}$ 等值即可由 $\frac{d}{L_0}$ 查附錄 II—Wiegell 函數表求得。表 1.1 為各種週期之波浪在各種水深中之波速及波長。圖 1.2 為 $\frac{d}{L}$ 、 $\frac{d}{L_0}$ 與 $\tanh \frac{2\pi d}{L}$ 、 n 、 $\frac{C_0}{C}$ 、 $\frac{L}{L_0}$ 及各種水深處之最大水分子流速及最大加速度比。圖 1.2 中 X、Y、Z 代表下列函數值

$$X = \frac{u_{max} T}{\pi H} = \frac{\frac{du}{dt} T^2}{2\pi^2 H} = \frac{2\xi}{H} = \frac{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \quad (1.43)$$

$$Y = \frac{v_{max} T}{\pi H} = \frac{\frac{dv}{dt} T^2}{2\pi^2 H} = \frac{2\zeta}{H} = \frac{\sinh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\sinh \frac{2\pi d}{L}} \quad (1.44)$$

$$Z = \frac{Y}{X} = \frac{v_{max}}{u_{max}} = \frac{\frac{dv}{dt}}{\frac{du}{dt}} = \frac{\sinh \frac{2\pi(y+d)}{L}}{\cosh \frac{2\pi(y+d)}{L}} \quad (1.45)$$

如已知週期、水深及 y 之位置，即可由 $\frac{d}{L_0}$ 查 X、Y、Z 換算 u_{max} 、 v_{max} 或 $\frac{du}{dt}$ 及 $\frac{dv}{dt}$ 等值。

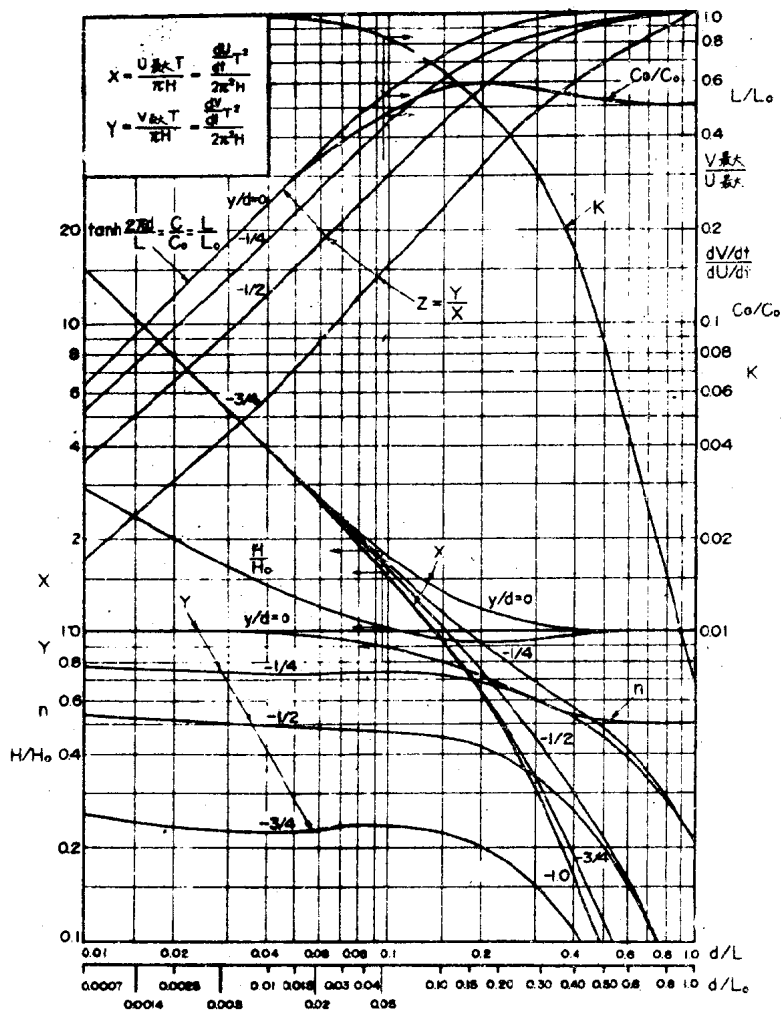


圖 1.2 $\frac{d}{L}$, $\frac{d}{L_0}$ 與波動各要素之關係