港灣及海岸構造物設計基準之研究

期中報告

一、前　言

二、研究現況

三、基準草案

一、前言

『港灣構造物設計標準』自民國六十九年， 由台灣省政府交通處廣搜國內外已有之資料，並配合本省之地理環境及港灣特性，加以整理修正發行以來，不僅使得國內之港灣構造物在設計及規劃上有所依循，同時對促進設計水準及技術能力提昇很大的幫助。

但標準發行至今已逾十年，由於當時主要之參考規範爲民國五十六年日本港灣協會發行之『港灣構造物設計基準』，而標準發行之時，適逢日本之基準正進行全面修改，因此，改正後之新理念，無法適時予以加入，加以近幾年來，隨著各項技術能力之發展以及新型構造物之開發，現有設計標準已無法滿足現時之需要，因此適時的加以補充修正即有其必要。

然設計基準之修正並非簡單之事，不僅須有充分的理論基礎，更應有實務上之驗證，同時由於涵蓋的範圍相當廣泛，因此更須結合各界人士共同參與才可完成，如此艱鉅之工作，實非短期內可完成，然考量現階段港灣界在規劃設計時所面臨之困擾，以及爲促進設計品質之提昇，因此本所雖在人力經驗並不很充足之情況下，毅然挑起此一重擔，主要係盼能藉由本研究，由本所整合港灣界人士智慧及經驗，爲今後之港灣發展，貢獻一份力量。基準之研究除本所現有各組人員參與外，同時亦邀各港務局總工程司以及相關學者及顧問公司人員參與，希望能藉由不斷之研討及意見溝通，爲今後規範之製定墊下一良好之基礎。

基準之研究原預定爲三年，但因交通處要求縮短研究期限，因此只能將原先預定之全面性基準建立，改爲以1989年最新改正之日本港灣協會發行之港灣設施技術上之基準與解說爲藍本，進行部份之增修，而後再配合國內之實際狀況及特性，予以充實及改訂，本年由於爲第一年度，因此僅就現有國外基準作一概略之介紹，同時整理日本現行基準，今後除對此再加以充實外，並將邀集各界人士予以研討，以使基準之訂立，能更嚴謹。

二、研究概況

如同法律爲自由世界社會所共通依循的規則般，規劃、設計、施工如能有一規則可依循的話，則能避免混亂，並使執行較易。假若工程規劃設計無規則可循，一切依主任工程師之想法，亦或一切委任技師，當有意見不同，而且又有破壞發生，責任由誰來負即爲一問題，當任意採用公式亦或原理來設計，但發包者或施工者有不同看法時，要加以判斷何者較正確，亦很困難，因此，至少在目前大多數人認爲爲可容許之範圍內，對規劃、設計、施工之原則、規定在事前加以明示的話，將使工程之進行能較順暢。

因此規範(Specifications)、基準(Criteria)、標準(Standard)、準則(Manual)、手册(Handbook)、規則(Code)等，雖在意義上稍有不同，但均係爲此而準備的，如係由權責機構所核定的，雙方較易取得協調及共識，因此，規範、基準類等，通常由各學會或相關部門之專家所組成之協會來制定者較多，而由權責單位監修，亦有成法律的。

但如同法規般，若制訂的過細，則將喪失自由與創意，但若語焉不詳，曖昧規定鬆散，則又將產生混亂，因此雖説依據規範或基準，但不意味對下決定之主任工程師可免於負責之意。

因此，基準絶非爲了要限制根據自由思想所進行的規劃或設計，如不如此加以解釋的話，那麼技術將無法進步。而且基準並非最先端之技術，而是稍顯保守並已達共識之技術，主要規定以下事項：

1.安全上所應遵守之最低限事項以及所應考慮之事。
2.經由長期經驗之累積，已被視爲一般的及合理的安全上所須之事項。
3.設施之標準化能提昇安全性，同時使工作能合理化之事項。

2-1基準修正之背景

如前所述，現有基準主要係根據民國五十六年日本港灣協發行之『港灣構造物設計基準』爲藍本所編製的，經歷了這麼多年，隨著對港灣品質要求日益提高，以及各種新技術知識之累積等，使得港灣所處之環境亦產生了很多變化，例如：

1.隨著海域休憩活動之增加，爲確保遊艇等之安全及利用順暢，使得遊艇相關設施之基準有充實之必要。
2.隨著水域開發之進展，爲充分利用水域，因此浮體構造物之重要性逐漸增加，有關浮體設施之技術基準亦有充實之必要。
3.隨著對鋼結構物等維修方法的進步，使得設施維修管理之方法有再檢討之必要。
4.有關港灣設施之耐震性以及地盤液化等調查研究之進展，相關之技術基準亦須重新檢討。
5.隨著港灣設施往外海發展，深水化等構造物之出現以及適用之設計法亦須加以再檢討。
6.隨著船型之變化及船種之多樣化以及各種相關基準之修正，更應適時導入本基準中。

爲因應此種之變化，現行構造物設計標準，自應適時加以修正至於目前所使用之設計標準其主要特徵爲：

1.依據民國五十六年版之港灣構造物設計基準，將全文分爲十篇，先對共同之設計條件、材料、基礎等加以敘述，而後依水域設施、外廓設施、繫靠設施等分別敘述。
2.明敘基準之適用範圍，同時基準亦分爲本文及說明，本文很簡明的將敘述之事加以明示，說明則針對其背景加以敘述，同時依場合補充其內容。
3.隨著技術之成熟，對於絕對應遵守之事，以及建議應遵守之事及雖有問題但尚無適當之處理法，提供一判斷之方法。

4.航道、泊地等之水域設施，所須之水深、寬度等之標準值以船長爲單位，加以表示。

所以此基準所具有之特色，實爲提供規劃設計時之依據，但隨著調查研究成果之增加以及施工技術之進步，加上港灣所處環境之變遷，因此1989年日本新增修之港灣設施技術上之基準同解說，在內容上亦作了很多修正，其主要特徵爲：

1.將波浪以不規則波來處理，同時將波譜之概念導入設計方法中。
2.將作用於直立壁之重複波及碎波之波力計算，統一以合田公式爲準。
3.訂定了貨櫃碼頭、渡輪碼頭及遊艇港之設計基準。
4.提供港灣設施之維修管理方針。
5.新型防波堤之導入。
6.新耐震設計法之開發。

至於詳細之修正要點，將在另節予以討論。

2-2 國內外設計基準檢討

國內外設計基準有關港灣者，在此選出一些代表例加以介紹

1.中共：港口工程技術規範(1987)由中共交通部頒佈並於1988年10月1日起實施， 主要是將自1975年至1987年所陸續出版的港口工程技術規範及有關規定共20個單册， 由交通部水運規劃設計院組織有關單位匯編修訂而成，計有規範及規定2524條分爲上、下二卷。

2.日本：

由於現行構造物設計標準爲以日本基準爲藍本，因此較爲國人所熟悉，而其演變過程大致如下：

1950年　港灣工事設計示方要覽
1958年　海岸保全設施築造基準

1959年　港灣工事設計要覽

1967年　港灣構造物設計基準

1978年　港灣設施技術上之基準，同解說

1980年　同上(超大型油輪用設施，海上貯油基地設施)

1987年　海岸保全設施築造基準解說(改定版)

1989年　海灣設施技術上基準，同解說(改定版)

3.聯合國

United Nations Conference on Trade and Development, "Port Development A Handbook for planners in developing countries", Second edition revised and expanded, United Nations, 1985

此手册主要係聯合國爲開發中國家進行港灣開發所整理之手册，港灣之整體規劃，特別是計劃之實行可行性爲重點，内容包含港灣關連之各種事項，以及港灣營運管理、裝卸機具等，經由此手册可對港灣之整體作一概略了解，但並無法作爲設計上使用。

4.美國

U.S Army Coastal engineering research Center,"Shore protection manual volume I～III', U.S Government printing office, 1975

海岸變遷、波浪、海岸有詳細論述，可作爲海岸護岸、防波堤之參考。同時由於以實驗驗證，所以圖表豐富。

Naval facilities engineering commend, 'Design manual———Soil mechanics, foundations, and earth structures

——— Structural engineering

——— Harbor and Coastal facilities

VFAC DM-7, -2, -26, US governament printing office, 1971, 1970

具有很多之手册，同時每個手册均獨自販賣，爲一很實用之書，圖表計算式很多，亦有例題。

5.德國

Committee for waterfront structures of the society for harbor engineering and the german society for soil mechanics and foundation engineering,' Recommendations of the committee for waterfront structures EAU 1985', Ernst & Sohn.

每年由委員會加以檢討

6.英國

BSI(British Standards Institution),' Code of practice on maritime structures', Draft, 1979

7.美國

J. Chapon, 'Travaux maritimes tome 1～2', Eyrolles, 1984

此書並非基準，係法國港灣工程之教科書。

爲比較各國基準在設計上之考量，以下針對防波堤之波壓計算法作一比較。

	中　共	日　本	美　國	德　國	英　國	法　國
重複波作用於直立壁	Sainflou	合田公式	Miche-Rundgren	Sainflou	Sainflou	1935年國際航路會議所提之方法
碎波作用於直立壁		合田公式	Minikin	Minikin	永井式	"
斜坡堤	Hudson	Hndson	Hudson	Hudson	Hudson	Hudson

由此比較可知，當重複波作用於直立壁時採用 Sainflun式較多，碎波作用於直立壁以Minikin公式採用較多，但儘管如此，由於適用例之實績具有多少之可信度仍不明尚有疑問， 但由於無其他代替公式只好採用。另外須注意的爲歐美主要之防波堤爲斜坡堤。

2-3 基準修正

本次設計基準之修正，主要針對以下幾項重點進行

1.創造安全舒適之港灣空間技術之導入。

由於以往之基準，對於港灣設施之維修管理，並未規定具體的實施方法，但隨著防波堤、碼頭設施之增加，所須之維修管理費亦日漸增多，加以設施之老朽化，今後設施之維修管理更顯重要，因此新基準對於水域設施、防波堤、碼頭等設施之維修管理、檢查之方法、檢查之項目、異狀之評估等提供一方法，以使港灣設施在經過長期使用後亦能維持良好狀態。

遊艇港方面，由於交通部觀光局另有參考規範，因此在此不予討論。

另外，隨著水域開發之進展，浮體構造物之重要性亦日增，如浮式飯店、浮式停車場等，以往浮體構造物之設計基準， 均以波浪較小者爲對象， 僅規定如浮棧橋之設計法等，而新的基準中則針對各種形態之浮體構造物規定了浮體構造物之設計法。

2.設計之合理化

將以往防波堤之波壓公式，以合田公式爲準，同時對於深水區域，當波谷來臨時之波力爲重要時，其計算法亦予明示。

另外，隨著樁載重試驗成果之累積，推算樁之軸向極限支持力所採用之靜力學計算式亦重新檢討。砂質土之場合，樁之先端支持力係數原爲$40NA_p$，改成$30NA_p$，同時求取N值之範圍亦改變，另外，樁有接續時，以往每一接續處，其軸向容許支持力約減少20%， 但隨著接續信賴性之增加，其低減率亦緩和了。

此外，防舷材之計算時，以往靠岸能量之計算有太小之傾向，因此新的計算法中假想質量係數之值，較以往大20%， 同時計算不須依防舷材間隔之不同而採用不同計算式。

3.新技術之導入

隨著新型防波堤技術之成熟以及累積之實績，新基準規定了直立消波沉箱堤，上部斜面堤、浮式防波堤等之設計法。

砂質土之液化，在以往之基準中，對液化之判定雖規定了一些方法，但隨著最新調查研究成果，液化之範圍以及液化之判定法及液化對策內容均予充實。

4.其他

隨著近年船型之變化，相對應之標準船型加以重新檢討，因此相關的泊地水深、碼頭長度與水深之標準值亦予改正，同時在以往，礦石專用船與一般貨船加以分開，但由於其船型差不多，因此在新基準中其包含在貨船中。

第二篇　設計條件

第一章　概　說

港灣設施之設計條件是依該設施的特性及其所處之情況，考慮其自然條件，該設施的利用狀況、該設施的施工條件、材料特性、社會大衆對該設施的要求等對以下所舉之設計條件加以適當的選定，而使該設施能安全。

(1) 船舶尺寸。
(2) 船舶所生之外力。
(3) 風及風壓力。
(4) 波浪及波力。
(5) 潮汐及異常潮位。
(6) 海流及流力。
(7) 作用於浮體之外力及其擺動。
(8) 河口水理及漂沙。
(9) 土質。
(10) 地震及地震力。
(11) 土壓。
(12) 水壓。
(13) 自重。
(14) 載重。
(15) 浮力。
(16) 其他必要之設計條件。

[說明]

(1)一般

由於設計條件之設定對設施之安全、功能之確保、經濟性等有重要影要影響，因此須愼重爲之。而設計條件通常是依調查及試驗結果而定。因此事前需要作充分的調查及試驗，更須充分的了解調查及試驗的方法及結果，決定適當的設計條件。所以爲設立設計條件所做的研究是非常重要的。

(2)影響設計之因素

對港灣設施之設計，須考慮以下因素。

(a)設施之功能

設施的功能未必僅只一種，故須考慮各項功能均能充分的發揮。

(b)設施的重要程度

爲了作適當的設計須考慮設計的安全性及經濟性，因此有必要考慮其重要程度。然作重要程度的判定時，須考慮下列事項。

設施的代替性。

設施的建設費。

設施之損毀對人命、財產之影響。

設施之損毀對其他設施之影響。

設施之損毀對社會、經濟之影響。

(c)耐用年限

耐用年限爲在設施設計決定構造及材料時所應考慮的，同時對現有設施改良之必要性及決定改良程度時，應加以考慮。耐用年限有功能上、經濟上、社會計劃上及物理上四種之分，因此耐用年限之設定，須對上述四種加以檢討，以期作適當的決定。若設計時由前三者來決定耐用年限時，則須選擇適合耐用年限的構造及材料，如無法由此決定時，則取物理上之耐用年數，如構造物用鋼材或木料，爲設計上之安全計，在耐用年限之設定時，因材料腐蝕將使設施的效用明顯的降低須加以明確的說明。

(d)自然狀況

對決定設施構造物等的自然條件而言，非僅是直接影響之波浪、地震、地形、地層等狀況而已，水質、底質、生物、大氣等均須加以考慮。

(e)載重。

(f)材料。

(g)安全率。

安全率爲表示安全性之指標，更可說是設計時爲了涵蓋許多不確定因素之係數的意義較大。隨安全率之大小可以作定性的安全性比較者，嚴格的來說，僅能對同條件之構造物而言，而在不同條件之構造物安全性之比較則無意義。現況來說，構造物之抵抗力以及作用力諸要素之關係，並無法完全把握住其定量的關係。因此安全率須

含經驗的因素在內。安全率在其他條件相同時，要素間之值差距愈大，調查試驗的精度愈差及設計的精度差時，而構造物的耐用年限很長，同時構造物的重要程度愈大，安全率將會愈大。所以安全率嚴格來講，應依各條件而加以決定，但若以個案作爲取決時，恐有錯誤判斷之危險。本基準所示之值是以標準的條件爲前提，再以經驗上充分的安全考慮者。視條件之需要亦可將這些值稍降低些，惟此時須有充分的理由經審愼的判斷再作取決，切記不可輕率的將安全率隨便降低。

(h)施工方法

合理的設計非考慮施工方法不可，且須考慮施工時對周遭環境之影響。

(i)施工精度

設計時應考慮所能獲取的施工精度。而施工精度則請參考港灣工程施工說明書。

(j)工期

在作設計時須兼考慮施工方法，而決定工期時，更須使該工程於其工期內如期竣工。而工期通常取決於材料取得難易、施工設備、施工之難易、設施所需要的時間及自然狀況等。

(k)工程費。

(l)補償費。

(m)維護管理費。

第二章　船舶

2-1 標準船舶

船舶之尺寸如表2-1、表2-2及表2-3之標準。

表2-1　標準型之大型船舶

種類	噸數	全長	寬度	深度	滿載吃水
客船	G.T	m	m	m	m
	2,000	86	13.2	6.4	4.0
	3,000	99	14.7	7.6	4.5
	5,000	120	16.9	9.5	5.2
	8,000	142	19.2	11.6	5.8
	10,000	154	20.4	12.9	6.2
	15,000	179	22.8	14.7	6.8
	20,000	198	24.7	16.1	7.5
	30,000	230	27.5	18.3	8.5
車輛渡船	G.T	m	m	m	m
	1,000	73	14.3	9.4	3.7
	2,000	96	17.1	10.7	4.4
	3,000	113	18.9	11.5	4.9
	4,000	127	20.2	12.2	5.3
	6,000	138	22.4	13.2	5.9
	10,000	170	25.4	14.5	6.5
	13,000	188	27.1	15.3	6.7
	15,000	200	28.1	15.7	6.9
貨船	D.W	m	m	m	m
	700	58	9.7	5.5	3.7
	1,000	64	10.4	5.8	4.2
	2,000	81	12.7	6.8	4.9
	3,000	92	14.2	7.7	5.7
	5,000	109	16.4	9.0	6.8
	8,000	126	18.7	10.3	8.0
	10,000	137	19.9	11.1	8.5
	15,000	153	22.3	12.5	9.3
	30,000	186	27.1	15.2	10.9
	40,000	201	29.4	16.5	11.7
	50,000	216	31.5	17.5	12.4
	70,000	235	33.8	19.2	13.4
	90,000	252	37.2	20.6	14.2
	100,000	259	38.7	21.2	15.8
	150,000	290	45.0	23.7	17.5
貨櫃船	D.W	m	m	m	m
	20,000	201	27.1	15.6	10.6
	30,000	237	30.7	18.4	11.6
	40,000	263	33.5	20.7	12.4
	50,000	280	35.8	22.6	13.0

種類	噸數	全長	寬度	深度	滿載吃水
油船	D.W	m	m	m	m
	1,000	61	9.8	4.4	4.0
	2,000	77	12.2	5.6	5.0
	3,000	88	13.8	6.5	5.6
	5,000	104	16.2	7.8	6.5
	10,000	130	20.1	10.1	8.0
	15,000	148	22.8	11.7	9.0
	20,000	162	24.9	13.0	9.8
	30,000	185	28.3	15.2	10.9
	40,000	204	30.9	16.6	11.8
	50,000	219	33.1	17.5	12.7
	60,000	232	35.0	18.4	13.6
	70,000	244	36.7	19.2	14.3
	80,000	255	38.3	19.9	14.9
汽車專用船	G.T	m	m	m	m
	700	77	12.8	6.9	4.3
	1,000	86	14.1	8.0	4.7
	2,000	105	17.1	10.7	5.5
	3,000	117	19.1	12.7	6.0
	5,000	136	22.0	15.8	6.8
	6,000	144	23.1	17.1	7.1
	10,000	166	26.6	21.2	8.0
	15,000	187	29.8	25.1	8.8
	20,000	203	32.2	28.4	9.5
液化瓦斯船	G.T	m	m	m	m
	1,000	70	11.7	5.7	5.0
	2,000	87	14.3	7.3	5.9
	3,000	99	16.1	8.5	6.6
	5,000	117	18.6	10.2	7.5
	10,000	145	22.7	13.1	9.0
	15,000	165	25.2	15.2	10.2
	20,000	181	27.7	16.9	11.0
	30,000	206	31.2	19.6	12.0
	50,000	242	36.1	23.6	13.5

表2—2 標準型小型船

種類	噸数	全長 (m)	幅 (m)	深 (m)	満載吃水 (m)	種類	噸数	全長 (m)	幅 (m)	深 (m)	満載吃水 (m)
貨物船	(重量噸)					貨物船	(総噸)				
	300	42.0	8.1	4.3	3.2		300	45.5	10.5	3.3	2.6
	600	54.3	9.4	5.4	3.6		500	56.1	12.3	3.7	3.0
							900	71.3	14.0	4.3	3.5
油槽船	(重量噸)					油槽船	(重量噸)				
	200	31.2	5.5	2.7	2.5		200	34.5	8.6	3.3	2.7
	400	41.4	7.8	3.3	3.1		300	38.2	9.4	3.7	3.0
	600	48.9	8.6	3.8	3.5		500	47.1	10.2	4.9	3.6
客船	(総噸)					客船	(総噸)				
	100	31.7	6.8	2.6	1.8		100	26.1	7.6	3.3	2.5
	300	39.2	8.0	3.1	2.2		200	33.5	9.0	4.0	3.1
	500	49.6	9.9	3.8	2.5		300	38.7	10.0	4.4	3.5

表2—3 標準型漁船

種類	総噸数	長	幅	深	満載吃水
		m	m	m	m
鮪魚工船		10,000	162.2	20.7	12.0	10.0
		17,000	180.5	23.6	12.7	10.8
		20,000	178.0	22.8	17.4	13.0
捕鯨船		400	53.8	8.3	5.0	4.7
		300	62.7	9.4	5.5	5.6
		1,000	68.3	10.2	6.0	5.8
大型母船		400	53.8	7.9	6.2	5.8
		800	67.2	10.2	6.5	6.1
		1,000	76.2	10.7	6.6	6.2
		2,000	87.4	13.1	7.0	6.3
		3,000	98.6	14.2	7.3	6.7
遠洋漁船		20	21.5	4.7	2.4	2.2
		50	24.8	5.3	2.4	2.3
		100	30.6	6.6	2.9	2.7
		200	41.0	8.0	3.5	3.2
秋刀魚船		20	21.6	4.6	2.2	2.0
		50	25.5	5.5	3.0	2.8
		100	31.9	6.8	3.8	3.5
金槍魚船		150	33.4	6.5	3.4	3.2
		200	36.5	7.0	3.7	3.5
		400	47.3	7.6	5.0	4.7
旋網		20	18.0	4.2	1.6	1.5
		50	21.3	4.9	2.2	2.1
		100	30.6	5.9	2.7	2.6
巾着網		20	19.7	4.3	2.0	1.9
		50	25.4	5.3	2.3	2.2
		100	32.6	5.7	2.6	2.4
		300	43.7	7.3	4.0	3.8
		500	55.5	8.2	4.4	4.2
一般漁船		20	13.1	4.2	1.6	1.5
		50	25.3	5.1	2.2	2.1
		100	30.2	6.0	2.6	2.4
		150	34.0	6.1	2.8	2.6

[說明]

1.當船舶之尺寸不夠明確時，可參照表2-1及表2-2予以決定。

2.船體之主要尺寸如圖2-1所示。

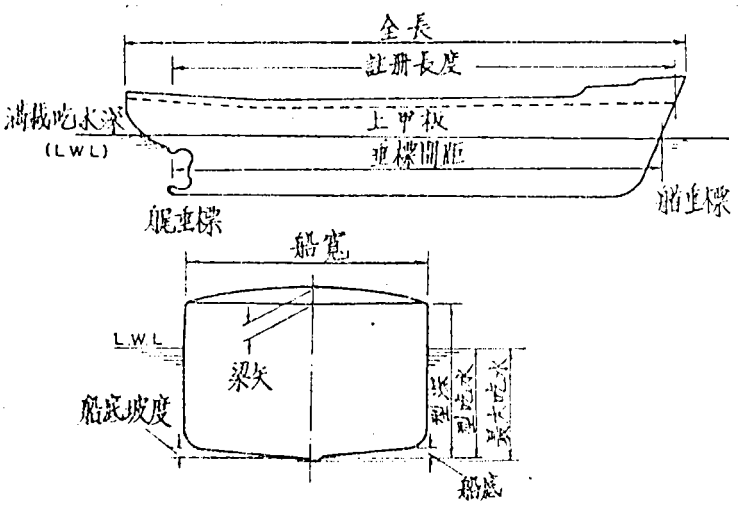


圖2—1 船體之主要尺寸

船長一般係指註冊長度或垂線間長度，但前表乃指全長，寬度指船殼寬，深度爲船殼深度，最大吃水係指滿載吃水。

3.船舶噸數分爲總噸(G.T)、淨噸(N.T)、排水噸(D.T)、及重量噸(D.W)。

(1)總噸：

船內部總容積除以(1000/352)m^3(100ft^3)是爲總噸。總噸爲表示商船大小之尺度，一般廣泛使用並作爲統計之基準。

(2)淨噸：

由總噸扣除輪機室、船員室、油艙等，即直接用於載客運貨之容積，港務局以此作爲收取噸稅、繫船等各種手續費及關稅之標準。

(3)排水噸：

吃水時之船舶全重量(包括裝載物)。在比重1.025 之海水中，滿載吃水狀況之重量爲滿載排水量。船殼重量及輪機重量之和稱爲輕載重量。軍艦使用之噸數爲排水噸。

(4)重量噸：

由滿載排水量減去輕載重量，謂之重量噸。亦即表示船隻裝載之貨物、燃料、水、油及其他裝載物之重量(載貨重量)。

貨船其載貨重量減去貨物重所餘之重量，如爲近海航線時，爲其載貨重量之10%以下， 遠洋航線時，內燃機船爲10%～15%，煤炭燃料船爲15～20%。

(5)各噸數間之關係：

各噸數間之關係依船型、船種類、大小而稍有差異。貨船、礦石船及油輪之重量噸與其他各種表示噸之關係如(2-1)式。 惟對輕載重排水量之使用偏差較大，須特加以注意。

$$
\left.
\begin{array}{l}
\text{貨船} \\
\log(G.T)=-0.345+1.046\ \log(D.W) \\
\log(N.T)=-0.721+1.082\ \log(D.W) \\
\log(\triangle f)=\ 0.177+0.991\ \log(D.W) \\
\log(\triangle t)=-0.372+0.990\ \log(D.W) \\
\text{礦石船} \\
\log(G.T)=-0.132+0.984\ \log(D.W) \\
\log(N.T)=-0.317+0.921\ \log(D.W) \\
\log(\triangle f)=\ 0.294+0.956\ \log(D.W) \\
\log(\triangle t)=\ 0.308+0.791\ \log(D.W) \\
\text{油輪} \\
\log(G.T)=-0.143+0.983\ \log(D.W) \\
\log(N.T)=-0.561+1.030\ \log(D.W) \\
\log(\triangle f)=\ 0.263+0.961\ \log(D.W) \\
\log(\triangle t)=0.224+0.814\ \ \log(D.W)
\end{array}
\right\}
\quad (2\text{-}1)
$$

式中：

D.W.=重量噸(裝載重量)

G.T.=總噸

N.T.=淨噸

△f =滿載排水量

△t =輕載排水量

設總噸爲1.0時，其對應之重量噸，貨船約爲1.5，油輪約爲1.7，礦石船爲1.6，但客輪、渡輪、漁船等偏差太大換算較爲困難。

(6)近年來遠洋定期航線用之高速貨船其尺寸較表2-1爲大。而其總噸位、淨噸位及排水量亦較(2-1)式中所列之值爲大。故須特別注意。

2-2 船舶所產生之外力

2-2-1 一般

> 船舶靠泊時作用於碼頭之外力，須考慮船舶之大小(總噸、船長、船寬、深度、吃水等)、靠岸方法、靠岸速度、碼頭構造、繫泊方式、繫泊系統之性質及氣象、海象等，採以適當的方法愼重決定之。

[說明]

(1)船舶靠岸或繫泊時作用於碼頭之荷重須考慮:

(a)船舶靠岸所生之荷重。

(b)繫泊船隻擺動所生之荷重。

碼頭的設計須考慮船舶靠岸時之靠岸力，停泊時作用於船舶之波力、風力及船舶受潮流壓力而擺動，其作用於碼頭之衝擊力及牽引力。尤其是面對外海長波侵入港內之碼頭及錨泊區(Sea Berth) 亦或設於港口部之繫留設施或是船舶在港內避泊之碼頭等，因作用於船舶之波力甚大，故須特別愼重的考慮。

(2)船舶作用於碼頭之靠岸力，須依船舶之靠岸能量，依防撞方法之位移復原特性加以計算爲原則。

(3)停泊中船舶擺動所生之張力及衝擊力，須依作用於船舶之波力、風壓力、潮流之流壓力、停泊系統之特性等，以擺動計算求取爲原則。

2-2-2 船舶靠岸所生之外力

[1]船舶靠岸能量

> 船舶靠岸能量以運動力學的方法加以計算如(2.2)式所示:
>
> $E_f=[W_sV^2/(2g)]\times Ce\times Cmz\times Cs\times Cc$.....(2.2)
>
> E_f=船舶靠岸能量(tf.m)
>
> g=重力加速度(m/s^2)
>
> W_s=船舶排水量(t)
>
> V=船舶靠岸速度(m/s)
>
> Ce=偏心係數
>
> Cm=質量係數
>
> Cs=柔軟性係數(標準爲1.0)
>
> Cc=船席形狀係數(標準爲1.0)

[說明]

(1)船舶僅作橫向移動時，船舶靠岸的能量$E_s=[W_sV^2/(2g)$，但船舶在有防舷材等防撞設施之碼頭靠岸時，其能量被該設施所吸收， 亦即船舶之靠岸能量 $E_f=f\times E_s$， $f=Ce\times Cm\times Cs\times Cc$

(2)船舶之重量噸與排水噸之關係如下：

$$\left.\begin{array}{ll}\text{貨船} & \log D.T=0.404+0.932\log D.W \\ \text{油輪} & \log D.T=0.326+0.950\log D.W\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots(2.3)$$

但須 $D.T\geqq 1,000$

(3)柔軟性係數C_s爲船舶之靠岸能量與船舶外殼之變形所吸收能量之比，通常船舶變形所吸收之能量甚小，因此C_s之值爲1.0。

(4)靠岸船舶周圍的水面，開始移動的初期，水面對碼頭有些什麼影響呢？當船舶靠岸時，船舶與碼頭間之水面受壓縮，由彈性效用顯示，其能量被防撞工吸收而減小。因此須考慮船席的形狀係數予以愼重決定之，而此部份不明之處仍很多。

2. 靠岸速度

船舶靠岸速度須考慮船舶的大小、載貨狀況、碼頭之位置及構造、氣象、海象、拖船之有無、大小等以實測值及以往靠岸之實測資料愼重決定之。

[說明]

(1)大型貨船及大型油船靠岸時，船舶先平行停於碼頭前約10餘公尺處，再以數艘拖船緩慢推靠碼頭。若有強風吹向碼頭時，拖船則以反風向拖拉使之緩慢靠上碼頭。採用此靠岸方法時，依以往的實績其靠岸速度多爲10-15cm/s左右。

(2)渡輪、貨櫃船等特殊船或小型貨船等不使用拖船而自行靠岸者，其船首及船尾之燈應平行於碼頭線移動，即大型船舶採以他種靠岸方法時，此類靠岸方法須注意其靠岸速度應依實測值愼重決定之。

3.偏心係數

船舶靠岸時之偏心係數須考慮操船狀況、船舶之大小及防舷材之配置等，以下式計算之：

$C_e=1/[1+(\ell/r)^2]$ .....(2.2)

ℓ爲從平行於碼頭線之接觸點至船舶重心之距離(m)

r爲通過船舶重心垂直軸之水平回轉半徑(環動半徑)(m)

[說明]

(1)操船靠岸中的船舶並非與船席線平行，船舶在接觸撞碰碼頭後，開始旋轉，且轉動的結果損耗了一部份動能，然轉動時所損耗的一部份動能與旋轉時相較之下是很小的，且可忽略之，因此只考慮旋動能的損耗。

(2)環動半徑可由圖2.2求得之

圖2-2 長軸方向之環動半徑與阻擋(Block)係數之關係(Myers 1969)

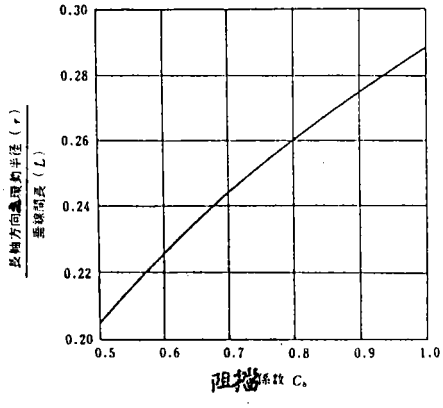


図 2-2 長軸方向之環動半徑與阻擋係數之關係 (Myers 1969)[1]

4.假設質量係數

假設質量係數之標準值可由下式求得

$C_m=1+(\pi/2C_b)(d/B)$ .....(2.3)

C_b=阻擋(Block)係數[$=W_s/(LBdW_o)$]

d=吃水(m)

B=船寬(m)

L=船長(m)

W_o=海水之單位體積重量(tf/m^3)

[說明]

(1)在船舶靠岸時，船舶的質量(M_s)與船舶周圍水塊的質量(M_ω)同時被減速，因而此水塊的質量之慣性力被付加於船舶上。

由此可知假設質量係數(2-4)式可定義爲

$$C_m=\frac{M_s+M_\omega}{M_s} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(2\text{-}4)$$

C_m=假設質量係數(船舶之排水量/重力加速)

M_ω=船舶周圍水塊的質量之付加質量

(2)(2-4)式中所稱之船長(L)爲垂線間距。

2-2-3 船舶停泊中擺動所產生之外力

1.停泊船舶之擺動

碼頭須承受作用於停泊船舶之波浪、風、潮流等，故須考慮停泊船舶擺動所生之外力。

[說明]

(1)外海或港口附近所設置之停泊設施，如預期會有長波侵入港口之碼頭時，對已停泊之船舶或因壞天而避泊之船舶，均將遭受波浪、風、潮流等之作用使停泊船舶擺動，而停泊船擺動之動能常超過靠岸時之動能。因此對繫船柱或防撞工之設計上，最好能考慮停泊船舶擺動之拉力及衝擊力。

(2)船舶擺動所產生之外力爲作用於船舶之波力、風壓力、流壓力等，故應依繫船系統的特性等，以擺動計算求取爲原則。

2.作用於船舶之波力

作用於停泊船舶之波力，須考慮船型及波浪之大小，以適當的方法去計算之。

[說明]

作用於船舶之波力，須拆卸法(Strip Method)，特別點分佈法、邊界要素法、有限要素法等適當的方法求取，對船舶而言最常用的爲拆卸法(Strip Method)。

3.作用於船舶的風力

作用於船舶的風力，宜選用適當的計算式求之。

[說明]

(1)作用於船舶的風力，依下式計算之：

$$R=0.5\rho CU^2(A\ \cos^2\theta+B\ \sin^2\theta)\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.5)$$

上式中

ρ=空氣之密度(Kgf.S²/m⁴)，ρ=0.123Kgf.S²/m⁴

R=風力之合力(Kgf)

U=風速(m/s)

A=水面上船體正面之投影面積

B=水面上船體側面之投影面積

θ=風向與船體中心線之交角

C=風壓力係數

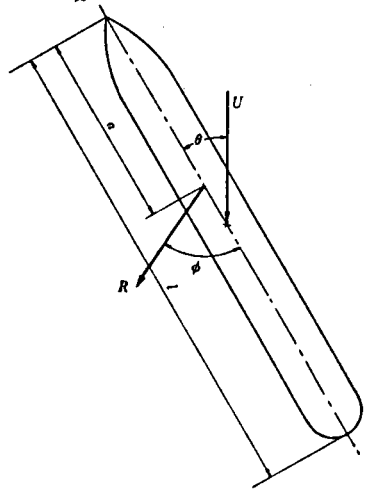


圖2-3　風力計算圖

(2)風壓力係數C之值宜用下式求之

θ之單位爲度(°)

(a)C之值

貨船

$$C=1.325-0.05\cos2\theta-0.35\cos4\theta-0.175\cos6\theta\ \ldots\ldots(2.6)$$

客船

$$C=1.142-0.142\cos2\theta-0.367\cos4\theta-0.133\cos6\theta\ \ldots\ldots(2.7)$$

油輪

$$C=1.120-0.083\cos2\theta-0.257\cos4\theta-0.177\cos6\theta\ \ldots\ldots(2.8)$$

(b)風壓合力之作用點

$$a/\ell=0.291+0.0023\theta\ \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.9)$$

(c)風壓合力之作用方向

$$\Phi=\{1-0.15(1-\theta/90)-0.80(1-\theta/90)^3\}\times90\ldots\ldots\ldots(2.10)$$

日本鈴木康正及諸石一幸將上式修正如下

$$\left.\begin{array}{ll}\Phi=\{3-(1-\theta/90)^q\}\times\ 90 & \theta\geqq0\\ \Phi=\{3-(1+\theta/90)^q\}\times\ 90 & \theta<0\end{array}\right\}\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots(2.11)$$

上式中，指數q在貨船及空載油船爲5，滿載油船則爲3。

(3)風速u則採用最大速(10分鐘平均風速)。

4.作用於船舶之潮流的流壓力

作用於船舶之潮流的流壓力，宜採用適當的計算式求之。

[說明]

(1)流向船首方向之流壓力

流向船首方向對船舶所生之流壓力，可以下式計算之。

$R_f=0.14SV^2$.....(2.12)

上式中

R_f=流壓力(Kgf)

S=浸水面積(m^2)

V=潮流之流速(m/S)

(2)流向船側方向之流壓力可以下式計算之。

$R=0.5\rho CV^2B$.....(2.13)

上式中

R=流壓力(Kgf)

ρ=海水之密度($Kgfs^2/m^4$)，$\rho=104.5Kgfs^2/m^4$

C=流壓係數

V=流速(m/s)

B=吃水線下之船體側面的投影面積(m^2)

(3)因潮流之流壓力可分爲摩擦抵抗及壓力抵抗。然可假設爲對流向船首方向之抗力，大部份爲摩擦抗力，而對流向側面的大部份爲壓力抵抗。但兩者很難加以嚴密區分。

R.E. Froude公式係將$\rho_\omega=1.205$，$t=15°$，$\lambda=0.14$代入(2-12)式並簡化而得下式

$R_f=\rho_\omega\lambda\{1+0.0043(15-t)\}SV^{1.825}$.....(2-14)

上式中

R_f=流壓力(Kgf)

ρ_ω=海水之比重，$\rho_\omega=1.025$

t=溫度(C°)

S=浸入面積(m²)

V=潮流之流速(m/s)

λ=係數

船之全長30m者 λ=0.1471

船之全長250m者 λ=0.13783

(4)流壓係數

流壓係數C依船舶與潮流之相對流向θ而變化，可參考圖2-4求得其值。

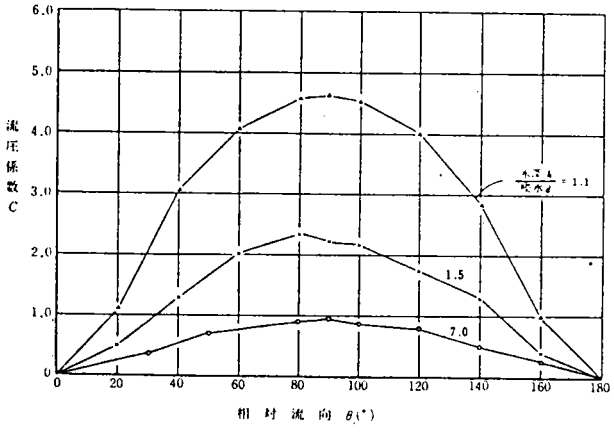


圖2-4 流壓係數C

(5)停泊系統之特性

停泊船舶之擺動計算，纜繩或防舷材等繫泊系統的位移復原力須加以適當的模式化。

2-2-4 作用於繫船柱之拉力

作用於繫船柱之拉力如下：

(1)作用於直柱之拉力依船舶總噸，水平方向之拉力如表2-4 所示，而垂直方向之作用力爲水平力之1/2。

(2)作用於曲柱之拉力依船舶總噸，作用於所有方向之拉力如表2-4 所

(3)未定於表2-4內總噸200噸以下及超過10萬噸之船舶拉力，則併入暴風雨時之泊船設施及外海氣象、海象條件很差的水域中設置停泊設施中，此等設計另需考慮氣象、海象條件，停泊設施之構造及參考以往拉力的實測資料加以決定之。

表 2-4 船舶之拉力

船舶總噸數(噸)		作用於直柱之拉力 (tf)	作用於曲柱之拉力 (tf)
200	500	15	15
500	1,000	25	25
1,000	2,000	35	25
2,000	3,000	35	35
3,000	5,000	50	35
5,000	10,000	70	50(25)
10,000	15,000	100	70(35)
15,000	20,000	100	70(35)
20,000	50,000	150	100(50)
50,000	100,000	200	100(50)

註：( )內之數值係碼頭船席一定時，其中間部份爲了彈性而加設之繫船柱，且不考慮懸掛兩條以上纜索時之力量。

[說明]

(1)直柱係設置於碼頭船席兩端附近，離碼頭線相當距離之處，於颱風時繫泊之用。而曲柱則供平時船舶停泊及停靠碼頭之用，故設置於於碼頭線附近。

(2)作用於直柱之拉力係直柱設置於離碼頭線大於船殼寬度之後面時，且能使胸線與船軸拉成45°的方向，而依作用於船舶風力的條件計算求得在25～30m/s的風速時輕載重狀況下之船舶仍能安全繫泊者。在日本海事協會鋼船規則中相當於纜繩1～2條之切斷強度。而對1,000噸以下之小型船而言，則仍能耐至風速35m/s之拉力。作用於曲柱之拉力係船首尾纜繩與船軸拉成25°以上之方向，依作用於船舶風力的條件計算求得曲柱只能耐15m/s之風速時，輕載重船舶可繫泊者。此對 5,000總噸以下之船舶而言，在日本海事協會鋼船規則中相當於1條纜繩之切斷強度，對超過 5,000 噸以上之船舶則相當於兩條纜繩之切斷強度。

( )內之拉力是用於船席一定時，在船席之中間部份專爲彈性力而加設之曲柱者，在日本海事協會之鋼船規則中相當於1條纜繩之切斷強度。 但在新編的日本海事協會鋼船規則中對有關合成纖維索則另有規定，其中尼龍(Nylon)繩與維尼龍(Vinylon) 繩乃種因耐摩損失小等理由，因此所需的安全率較大，故所需的繩徑較粗， 以致使用實績較少。所以若特意使用尼龍繩或維尼龍供作船席上船舶之停泊時，是不適用表2-4( )內之數值。

上述拉力之計算，除風力外尚須考慮沿船軸方向2節(Knot)及垂直船軸方向0.6節(Knot)之潮流。

(3)對總噸200噸以下小型船舶之拉力，非考慮船舶之種類、靠岸狀況及碼頭結構等不可。但對200噸以下船舶之拉力在實際設計時，仍採作用於直柱之拉力爲15噸，作用於曲柱之拉力爲5噸作爲準則。

(4)靠岸時船舶之纜繩配置及名稱請參照第8編2-1 船席長度及水深章節中所述。

(5)對於車輛渡船(Car Ferry)，貨櫃船等拉力之計算，因受風面積很大，故使用表2-4時須特別注意。

第三章　風及風壓力

3-1 一般

港灣設施之設計須考慮之氣象要素爲風、氣壓、霧、下雨、積雪、氣溫及其他等。

[說明]

(1)影響港灣設施設計之氣象要素如下：

(a)氣壓及其分佈是支控風及暴潮發生的主要因素。

(b)風不但支控波浪及暴潮發生，而且港灣設施及停泊中的船舶也遭到風壓的影響而受到外力作用，更且是妨礙裝卸及其他港埠作業的主要因素。

(c)下雨爲取決港灣內排水設施之主要因素，同時也是妨礙裝卸及其他港埠作業的主要因素。

(d)霧會妨礙船舶的航行及進出港，也是使港灣設施利用降低的主要因素。

(e)積雪對港灣設施之裝載荷重須加以個別考慮。

(f)氣溫在溫度應力發生時，會影響構造材料之應力分析。

(2)計算颱風發生之暴潮或波浪，可依颱風區域內氣壓之實測值以藤田(Fujita)公式(3-1式)或 Myers公式(3-2式)求之，氣壓分佈多數爲假定者。

$$\rho=\rho_{\infty}-\frac{\triangle\rho}{\sqrt{1+\left(\frac{r}{r_o}\right)^2}}\quad\text{(藤田公式)}\cdots\cdots\cdots\cdots(3\text{-}1)$$

$$\rho=\rho_c+\triangle\rho\exp\left(\frac{r_o}{r}\right)\quad\text{(Myers公式)}\cdots\cdots\cdots\cdots(3\text{-}2)$$

上式中

ρ =與颱風中心相距r點之氣壓(mb)

r=與颱風中心之距離(km)

ρ_c=颱風中心之氣壓(mb)

r_o=颱風中心至最大風速之點的距離(km)

$\triangle\rho$ =颱風中心之氣壓深度(mb) $\triangle\rho=\rho_\infty-\rho_c$

ρ_∞=r→∞之氣壓(mb)， $\rho_\infty=\rho_c+\triangle\rho$

颱風的規模通常是隨著時間而變動，故r_o,$\triangle\rho$須以時間的函數求取之。

(3)風，請參照本篇3-2風。

(4)排水設施之設計須以設計機率年的降雨強度予以決定之，因此從現場的雨量資料中，可以設計降雨繼續時間來決定降雨強度。降雨強度的實驗中可採用(3-3)式

$$i=\frac{a}{t+b}\ \text{(Talbot型)}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3\text{-}3)$$

上式中

i=降雨強度(mm/h)

t=降雨繼續時間(min)

a,b=常數

依特性係數法中機率降雨強度之計算，對機率降雨年數N年所給予60分及t分(通常爲10分鐘)的降雨強度，Talbot 公式之N年機率降雨強度i_N改如(3-4)式表示之

$$i_N=\beta_N R_n\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3\text{-}4)$$

上式中,R_n爲N年機率60分鐘的雨量，β_N爲N年機率特性係數如(3-5)式所示。

$$\beta_N=a'/(t+b)$$

$$a'=b+60$$

$$b=\frac{60-\beta N^t}{\beta N^t-1}$$

上式中β^t_N爲N年機率t分鐘降雨強度$I^t n$與N年機率60分鐘雨量Rn之比，即$\beta_N^t=I^t_N/R_N$。

(5)港灣設施之裝載重量與雪重的關係請參照本編15-3-4雪重乙節所述。

(6)對不靜定構造物之設計，須考慮溫度變化時所產生的溫度應力之影響。一般而言與構造物同樣會有溫度昇降者，溫度昇降的標準分別爲15°C，但一年四季溫差大的地方，尤須特別考慮之。

3-2 風

> (1)推算暴潮及波浪所使用的風速、風向，須以實測值及梯度風加以適當的修正推測之。
>
> (2)作用於構造物的風，須以以前30年以上期間之統計資料作爲決定設計風速之標準。

[說明]

(1)梯度風(Gradient Wind)

(a)梯度風之風速爲氣壓梯度、等壓線之曲率半徑、緯度、空氣密度等之函數，可以(3-6)式表示之：

$$Vg=r_{\omega}\sin\Phi\left(-1+\sqrt{1+\frac{\partial\rho/\partial r}{\rho_a r_{\omega}^2\sin^2\Phi}}\right) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(3\text{-}6)$$

上式中

Vg=梯度風速(cm/s)，高氣壓時(3-6)式之值爲負數，故須取絕對值。

$\frac{\partial\rho}{\partial r}$=氣壓梯度(低氣壓取正數，高氣壓取負數)(質量g/cm²/s²)

r=等壓線之曲率半徑(cm)

w=地球自轉之角速度(1/s)，$w=7.29\times10^{-5}/S$

Φ=緯度(度)

ρ_a=空氣之密度(質量g/cm³)，$\rho_a=1.1\times10^{-3}$ 質量g/cm³

計算時，實用單位須換算成上述之CGS單位來使用。因此緯度1°相當於約1.11×10^7cm的距離，氣壓1mb爲10^3質量g/cm/s²。

(b)(3-6)式中，當曲率半徑爲無限大(等壓線變成直線)時之梯度風特稱之爲地衡風(Geostrophic Wind)，其風度以$V=(\partial p/\partial r)/(2\rho_a w\sin\Phi)$表示之。

(c)梯度風速之計算則以使用圖3-1之圖表較爲方便。此時可假定 ρ_a $=1.1\times10^{-3}$質量g/cm³。舉實例說明如下:在緯度40度處每2mb等壓線之間隔(氣壓梯度)相當於緯度0.6度，且在等壓線之曲線半徑相當於6度時(設爲低氣壓)，求其梯度風速之方法，係先從圖3-1上找出氣壓梯度相當於緯度0.6度之A點與緯度表上40°之B點以直線連之，再求出此AB直線等壓線之曲率半徑 r=6°之曲線相交於C點，再從C點作一垂直縱線與梯度風速線相交， 即可讀出梯度風約爲21.5m/s。

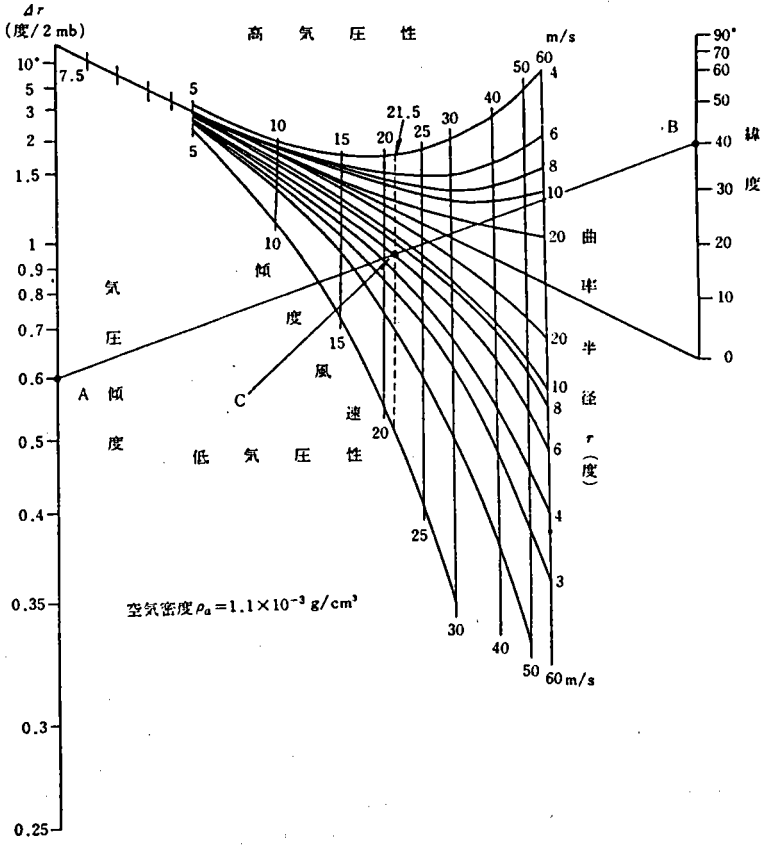


圖3-1 求取梯度風速圖

(2)實際上海面之風速比較通常以梯度風所求的數值爲小。而且梯度風之風向在理論上雖說與等壓線平行，但實際上則如圖3-2所示是與等壓線之切線形成一α角在吹動著。地球的北半球氣壓梯度，以高壓指向低壓爲正，反之爲負，故低氣壓中心如颱風等，其周圍的風向反時針方向向內吹，而高氣壓中心如蒙古冷氣團周圍的風，則順時針方向向外吹。而梯度風與海面風的關係則隨緯度之不同而各異，大致上匯集如表3-1 所示。不過這些僅是大致上的標準而已，而在沿岸推測海面之實測值及天氣圖是參照海上船舶之通報值來記載的，因此推測海面風時須加以適當的修正。

圖3-2 低氣壓與高氣壓之吹風方向(北半球)

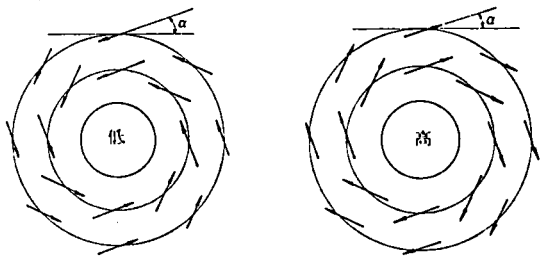


表3-1 梯度風與海面風之關係

緯　度	10°	20°	30°	40°	50°
a	24°	20°	18°	17°	15°
$V_s V_g$	0.51	0.60	0.64	0.67	0.70

註：V_s=海面風速(m/S)，V_g=梯度風速(m/S)。
α=海面風之風向與等壓線所形之角度。

(3)作用於港灣設施的設計風速，須依長期(以30年以上爲原則)之實測值來推測風速出現的機率分佈，而採用所需再出現時期相對應之風速。風的因素包括風向及風速，而風向爲地面風所吹來之方向，自北而東可分爲16方位，依次爲北(N)、北北東(NNE)、東北(NE)、東北東(ENE)、東(E)、東南東(ESE)、東南(SE)、南南東(SSE)、南(S)、南南西(SSW)、西南(SW)、西南西(WSW)、西(W)、西北西(WNW)、西北(NW)、北北西(NNW)。風速則根據世界氣象組織規定,平均風速係於某一觀測時間正時前10分鐘之風速平均值，而此平均風速即一般所謂之風速。但在時時刻刻變化之風速瞬間值，則稱之爲瞬間風速以資區分，而最大瞬間風速則係瞬間風速之中於某時間內產生之最大值。

(4)本文(1)內所述之風速是以海面上高10m左右之值爲標準，而氣象局所之風速則是以地面上高10m左右之值。因此欲利用有關本文(1)之觀測值來推測海面風時，或構造物之高度與本文 (2)所述高度相差很大時，對於在其高之風速須加以修正。風速的垂直分佈通常係以對數法表示之，而現行作各種構造物之設計計算則適用簡單的指數法。

$$U_h=U_o\left(\frac{h}{h_o}\right)^n \quad \cdots\cdots (3\text{-}7)$$

上式中

U_h=在h高度之風速(m/s)

U_o=在h_o高度之風速(m/s)

指數n爲地表面之粗度，隨大氣層之安定狀況而變化,在構造物之強度計算中建築物採用n=1/4，起重機等構造規格時採用n=1/8，海面上通常則多數採用n≧1/7。風速在統計資料中均以某觀測時間正時前之風速平均值爲觀測之平均風速，而構造物則採以更短時間內之平均風速，偶而採以最大瞬間風速者亦有之，此時則須掌握著該地區之平均時間與最大風速之關係，及暴風率之特性等。

3-3 風壓力

風壓力須考慮設施之形態、設置地點之狀況而定。因此作用於堆貨場及倉庫、裝卸機械與公路橋樑及高架公路等的風壓力，述之如下：

(1)作用於堆貨場及倉庫之風壓力，按建築規定計算之。

(2)作用於裝卸機械之風壓力，則分別按吊桿起重機構造規格、移動式起重機構造規格及轉臂起重機(Derrick Crane)構造規格等計算之。

(3)作用於公路橋樑及高架公路之風壓力則按公路橋樑之規定計算之。

[說明]

1.堆貨場及倉庫之風壓

風壓力爲速度壓及風力係數之函數，依(3-8)式計算之。

$$P=cq \quad \cdots\cdots (3\text{-}8)$$

上式中

P=風壓力(Kgf/m²)

q=速度壓(Kgf/m²)

c=風力係數

(2)(3-8)式使用之速度壓q，按(3-9)及(3-10)式計算建築物之高度在16m以下部份

$$q=60\sqrt[4]{h} \quad \cdots\cdots (3\text{-}9)$$

建築物高度超過16m以上部份

$$q=120\sqrt[4]{h} \quad \cdots\cdots (3\text{-}10)$$

(3-9)及(3-10)式中

h=自地面起之高度(m)

(3)若附近有防風林或其他類似的建築物靠近該建築物，且可有效的遮蔽風的方向時，該方向的速度壓，可依前式所得之數值減少二分之一。

(4)(1)項中之風力係數，除以風洞試驗決定者外，其建築物之風力係數依其斷面形狀或類似形狀，可利用圖3-3所示之值表示之。

2.吊桿起重機所受之風力

(a)吊桿起重機所受之風力之值，可以(3-11)式求得。

$$W=qCA \quad \cdots\cdots (3\text{-}11)$$

上式中

W=風力(Kgf)

q=速度壓(Kgf/m²)

C=風力係數

A=受風壓面積(m²)

(b)(3-11)式速度壓之值，視吊桿起重機之狀態而異，可以(3-12)及(3-13)式求得其值。

起重機作業時:$q=8.5\sqrt[4]{h}$ ……(3-12)

起重機停止時:$q=100\sqrt[4]{h}$ ……(3-13)

h=從地面至起重機受風面之高度(m)，高度不足16m時取h=16m。

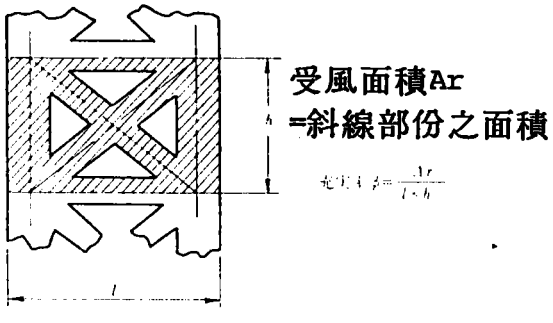


圖3-4　受風面積

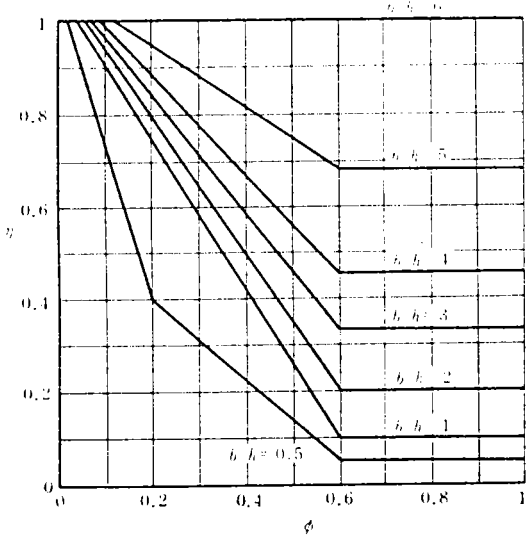
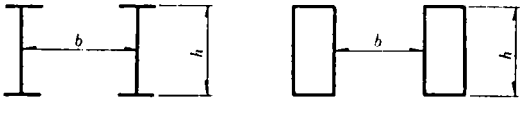


圖3-5 投影面積之降低率



(a)型鋼構造桁架　(b)平板箱型構造桁架

圖3-6　b及h之取法

(c)吊桿起重機之風力係數，除用風洞試驗外，可利用表3-2所示之值。

表 3-2 有關吊桿起重機所受風力之風力係數

吊桿起重機受風面種類		值
由平面　架構成之面	W_1在0.1以下	2.0
	W_1在0.1以下～0.3	1.8
	W_1在0.3～0.9	1.6
	W_1在0.9以上	2.0
由平板構成之面	W_2在5以下	1.2
	W_2在5～10	1.3
	W_2在10～15	1.4
	W_2在15～25	1.6
由圓筒之面及鋼製之平面　架構成之面	W_3在1以下	1.2
	W_3在1以上	0.7

備考：本表中W_1 W_2及W_3各種之值表示如下：

W_1=充實率(吊桿起重機受風面積　受風面外型總面積)

W_2=吊桿起重機受風面之寬度 受風面長向之長度

W_3=圓筒或鋼管之長(m)$\sqrt{q}$，q爲停止時。

表3-2 中所謂之『由平板構成之面』爲駕駛室、機械室、電氣室等箱形構造之面。而『圓筒之面』則包括鋼索之面。『受風面積』則如圖3-4所示斜線部份之面積。

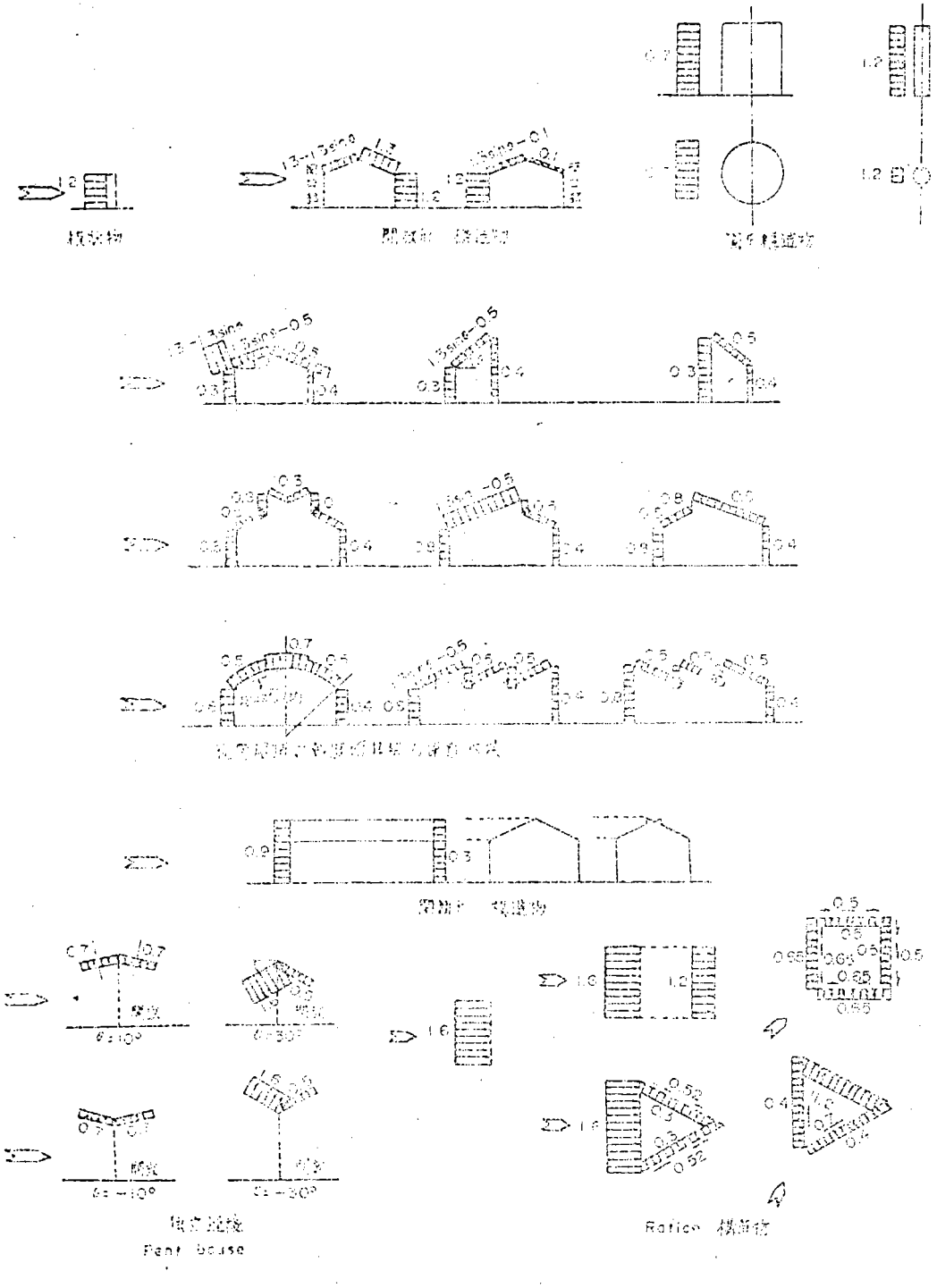


圖 3— 3　各種構物之風力係數

(d)(30-11)式之受壓面積爲與吊桿起重機受風面之方向成直角之投影面積。而受風面具有兩面以上重疊時，受風面第一面的影響之中，以與第二面未與第一面重疊部份之面積。而圖3-5中之 b,h, Φ及7之值則如圖3-6所示。

b=吊桿起重機受風面　架之間隔。

h=吊桿起重機受風面向風前方　架之高度。

Φ=吊桿起重機受風面向風前方受風面之充實率。

η=降低率。

3.移動式起重機受風力之計算如下：

(a)風力之值依(3-11)式計算之。

(b)速度壓依(3-12)及(3-13)式計算之。

(c)移動式起重機有關受風之風力係數，除以風洞試驗求得之值外，準採用表3-2之值。可是平板構成之面的風力係數值，不論如何W_2之值均採1.2，而W_3之計算中，其速度壓之值，可用(3-12)及(3-13)求之。

(d)移動式起重機受壓面積爲與其受風面成直角之投影面積，受風面具有兩個以上重疊時，其面積爲第一面之投影面積的50%，加第三面未重疊部份之投影面積。

4.轉臂起重機受風力之計算如下：

(a)風力之值依(3-11)式計算之，而風速爲暴風時採50m/s，暴風以外時採16m/s。

(b)速度壓依(3-14)計算之。

$$q=\frac{U^2}{30}\sqrt[4]{h} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (3\text{-}14)$$

上式中

q=速度壓(Kgf/m²)

U=風速(m/s)

h=自地面起之高度(m)(高度未滿15m時採用h=15m)

(c)風力係數之值，除依風洞試驗之值外，如表3-3所示之值。

表 3-3 有關轉臂起重機之風力係數

受風面種類	充實率	風力係數
由小平面或　　架構成之面	0.1以下 0.1～0.3 0.3～0.9 0.9以上	2.0 1.8 1.6 2.0
平面構成之構造物面		1.2
鋼　　索		1.2
註：充實率係指受風面積除以其全體面之值		

(d)受風面積與3(d)計算方法相同。

5.道路橋梁風力之規定如下：

(a)風力作用於橋軸直角之水平力，所應考慮者爲材料產生最不利的應力負載力。

風力的大小如下：

(i)板樑(Plate Girder)，　架(Truss)

表 3-4 板樑(Plate Girder)，主結構　架之風力
(橋軸方向之長度每1.0m)

形　　式			風　　力(Kgf)
上層板樑 下層板樑			240+450h≧600 450h≧600
	載重桿件	載重時	330+450h≧600
		無載重時	360+900h≧600
	無載重桿件	載重時	450h≧300
		無載重時	900h≧300

註：h=板樑　，　架之高度(m)

(ii)鋼管構造

作用於鋼管材料之風力如下，但橋軸方向之長度每1.0m需爲150Kgf以上。

無負載活荷重時

對風上側及風下側各種上部構造之有效垂直投影面積爲150Kgf/m²。

負載活荷重時

對風上側及風下側各種上部構造之有效垂直投影面積爲75Kgf/m²。

對活荷重，橋面上1.5m的位置爲 150Kgf/m²。

(iii)其他形式

作用於其他形式之風力如次，但橋軸方向之長度每1.0m需爲300Kgf以上。

無負載活荷重時

對風上側上部構造之有效垂直投影面積爲300Kgf/m²。

對風下側上部構造之有效垂直投影面積爲150Kgf/m²

負載活荷重時

對風上側上部構造之有效垂直投影面積爲150Kgf/m²。

對風下側上部構造之有效垂直投影面積爲 75Kgf/m²

對活荷重，橋面上1.5m的位置爲 150Kgf/m²。

(b)對吊橋、斜張橋等設計時須考慮受風影響而擺動之變形及應力等。此時設計之標準風速爲55m/s，但對架設地點之地形、高度等應另行加以修正。

(c)作用於下部構造之風力作用於橋軸直角方向及橋軸方向之水平力。但同時兩方向均作用時，風力之大小爲對風方向之有效垂直投影面積可利用表3-5之值。

表 3-5 作用於下部構造之風力(Kgf/m²)

軀體之斷面形狀		風力
圓形 橢圓形	活荷重載荷時	75
	活荷重無載荷時	150
方形	活荷重載荷時	150
	活荷重無載荷時	300

6.作用於航道標誌之風壓力，依下例標準決定之。

(a)風壓力爲速度壓與風力係數之乘積，受壓投影響以均勻分佈作用視之。

(b)風力係數是平面爲1.0，圓形爲0.7。

(c)速度壓以0.3tf/m²爲原則。

第四章　波　浪

4-1 概 述

4-1-1 設計波之取法

> 外廓設施及其他港灣設施之設計亦或港內靜穩度等之檢討時所採用之波浪，應依實測亦或推算所得之波浪資料加以適當的統計處理，並考慮波浪的變形而加以設定。

[說明]

(1)設計波之設定程序，可以下例圖4-1表示。

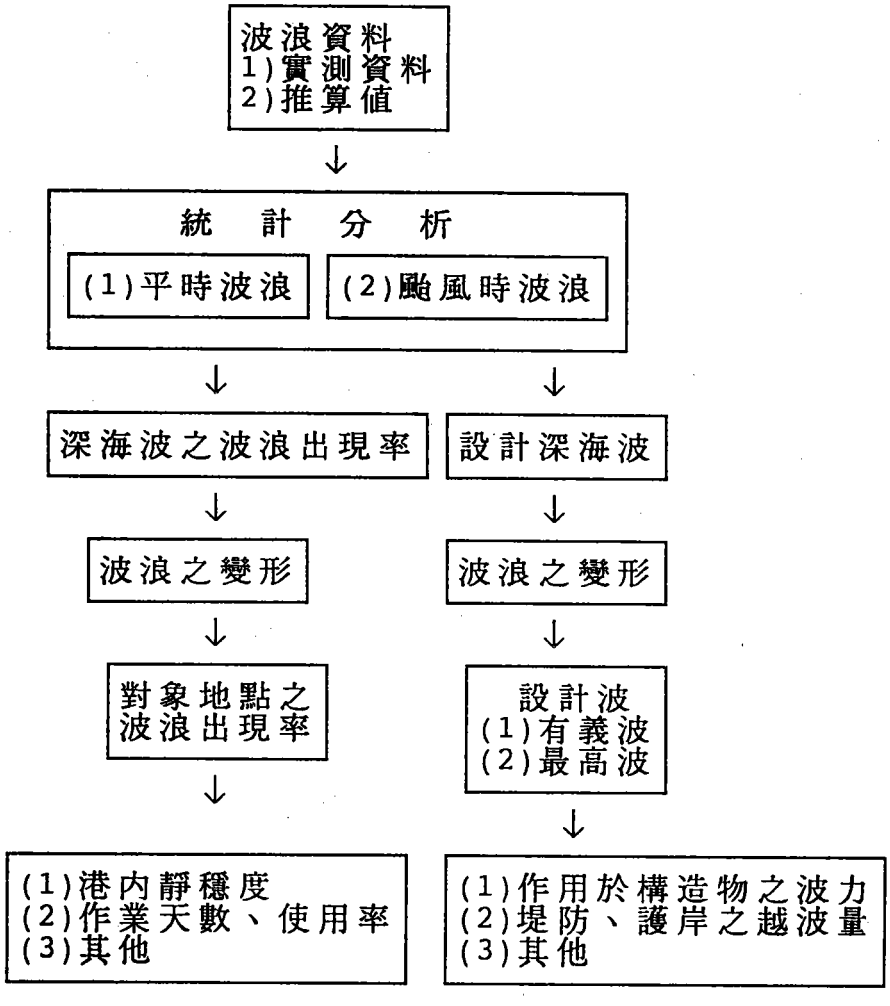


圖 4-1 設計波之設定程序

(2)以推算所得之波浪資料，須以過去長期間(原則上30年以上)之異常氣象或假想颱風等之波料推算值，亦或以平時波浪爲對象，採用5年以上連續之氣象資料所進行之推算值。

(3)波浪之統計處理分爲以異常時之波浪及平常時波浪爲對象，並且應採各別適當的方法，前者主要爲選定構造物之設計深海波，後者主要爲計算靜穩日數，使用率時所需要(參照本篇4.4波浪之觀測推算資料之統計處理)。

(4)所謂波浪之變形，係指深海波進行到構造物設置地點亦或須要波浪資料之地點時所受之各種變形，如折射、繞射、反射、淺水變形、碎波等(參照本篇4.5)。

(5)以上設計時所採用波浪之設定程序，須充分考量波浪之不規則性，同時應儘可能以不規則波來處理。

4-1-2 波浪之定義

港灣設施設計時所採用之波浪的各因素其定義如下：

有義波(H1/3, T1/3)	:某一波群中，將波高按照大小順序排列選出全部波數中前面最大之1/3個波，求其平均值。
最高波(Hmax, Tmax)	:某一波群中，波高最大者。
深水波(H_o, T_o)	:水深大於波長之1/2以上地點的波浪。
換算深水波(H_o')	:爲修正波浪因受折射、繞射等之平面地形影響效果而假設之波高。

[說明]

(1)有義波爲作爲不規則波群之統計指標所假設之波浪，由於有義波與波浪之目視觀測值相近，因此波浪推算法採用此波。而且有義波之週期與波浪波譜之尖峰週期幾乎相等，所以一般採用有義波來表示。

(2)某個期間(例如1天、一個月、一年等)觀測所得之最大有義波稱爲最高波的情形很多，但爲避免產生困惑，應將其寫爲日(月或年) 最大有義波。

(3)設計對象地點之換算深海波波高可以4.1式計算

$$H_o'=K_d.K_r.H_o \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}1)$$

上式中

K_r :折射係數

K_d :繞射係數

4-1-3 波浪之性質

[1] 波浪之基本性質

> 波長、波速以及其他波浪之基本性質可依微小振幅波理論計算，但若認爲精確度不夠時，應考慮波浪之有限振幅效果加以計算。但若不規則波群以成分波之組成加以表示時，各成分波之基本性質，可以微小振幅波理論加以計算。

[說明]

(1)波浪之基本性質通常隨波高週期以及水深而改變，以微小振幅波理論所求得淺海波之第一近似解，可以下列公式表示。座標採用波浪之進行方向爲X軸，垂直向上爲Z軸，Z軸之原點爲靜水位，水深h爲不變，波浪特性在橫向(Y軸方向)爲相同。

(a)表面波形(由靜水面起之變化)(m):

$$\eta(x,t)=\frac{H}{2}\mathrm{Sin}\left(\frac{2\pi}{L}\times-\frac{2\pi}{T}t\right) \quad \text{.....(4.1)}$$

式中η爲水位變化。 H波高(m)、L:波長(m)、T:週期(sec)

(b)波長(m):

$$L=\frac{gT^2}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{L} \qquad g\text{:重力加速度}(m/s^2)\text{.....(4.2)}$$

(c)波速(m/Sec):

$$C=\frac{gT}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{L}=\sqrt{\frac{gL}{2\pi}\tanh\frac{2\pi h}{L}} \quad \text{.....(4.3)}$$

(d)水分子運動速度(m/sec):

$$u=\frac{\pi H}{T}\frac{\mathrm{Cosh}\frac{2\pi(Z+h)}{L}}{\mathrm{Sinh}\frac{2\pi h}{L}}\mathrm{Sin}\left(\frac{2\pi}{L}\times-\frac{2\pi}{T}t\right)\text{.....(4-4.1)}$$

$$w=\frac{-\pi H}{T}\frac{\mathrm{Sinh}\frac{2\pi(Z+h)}{L}}{\mathrm{Sinh}\frac{2\pi h}{L}}\mathrm{Cos}\left(\frac{2\pi}{L}\times-\frac{2\pi}{T}t\right)\text{.....(4-4-2)}$$

上式中

u:X軸方向水分子速度(m/s)

w:Z軸方向水分子速度(m/s)

(e)水分子加速度(m/sec²):

$$\frac{\partial u}{\partial t}=\frac{-2\pi^2 H}{T^2}\frac{\cosh\frac{2\pi(Z+h)}{L}}{\sinh\frac{2\pi h}{L}}\cos\left(\frac{2\pi}{L}\times-\frac{2\pi}{T}t\right)\ldots(4\text{-}5\text{-}1)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t}=\frac{2\pi^2 H}{T^2}\frac{\sinh\frac{2\pi(Z+h)}{L}}{\sinh\frac{2\pi h}{L}}\sin\left(\frac{2\pi}{L}\times-\frac{2\pi}{T}t\right)\ldots(4\text{-}5\text{-}2)$$

式中 $\frac{\partial u}{\partial t}$及$\frac{\partial w}{\partial t}$爲水分子之加速度。

(f)波浪產生之波壓壓力(t/m²):

$$P=1/2\ 2w_oH\frac{\cosh\frac{2\pi(Z+h)}{L}}{\cosh\frac{2\pi h}{L}}\sin\left(\frac{2\pi}{L}\times-\frac{2\pi}{T}t\right)-w_oz\ldots(4\text{-}6)$$

式中w_o爲海水單位體積之重量(t.m³)

(g)單位體積平均波能(t.m/m²):

$E=E_K+E_P=1/8\ w_oH^2$　E_K與E_P各爲動能及位能.$E_K=E_P$...(4-7)

(h)單位時間單位面積輸送之平均波能:

$W=C_gE=nCE$.....(4-8-1)

$C_g=nC$ .....(4-8-2)

式中:C_g爲波浪之群速度(m/sec)

$$n=1/2\left(1+\frac{\frac{4\pi h}{L}}{\sinh\frac{4\pi h}{L}}\right) \quad \cdots\cdots (4\text{-}8\text{-}3)$$

(2)$h/L>_{1/2}$ 海域中之波浪稱爲深海波、深海波之各種特性可以微小振幅波之各式中 $h/L\to\infty$加以求出。深海波之波長L_o、波速C_o 以及群速度C_g。

$L_o=1.56T^2$(m)
$C_o=1.56T$(m/s)
$C_g=0.78$(m/s)
=1.52T(Knot)
=2.81T(Km/t)

(3)h/L<1/25即與水深相比波長很長之波稱爲長波，長波之各種特性可以微小振幅波式中h/L爲非常小加以求出，長波之波長、波速以及群速度如下:

$$L=T\sqrt{gh}$$

$$C=C_g=\sqrt{gh}\ \text{(m/s)}$$

(4)因水深而致波長以及波速之改變如下表4.1(a)～(c)

表4-1(a) 水深、週期、波長以及波速之表

水深(m) \ 週期(s)	3.0		4.0		5.0		6.0		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)	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	14.39	2.20	17.62	2.20	19.84	2.20	22.06	2.21
1.0	8.69	2.90	11.99	3.00	15.23	3.05	18.43	3.07	21.61	3.09	24.78	3.10	27.91	3.10	31.09	3.11
1.5	10.21	3.40	14.37	3.59	18.40	3.68	22.26	3.73	26.29	3.76	30.19	3.77	34.08	3.79	37.95	3.80
2.0	11.30	3.77	16.22	4.05	20.94	4.19	25.57	4.26	30.14	4.31	34.67	4.33	39.18	4.35	43.68	4.37
2.5	12.09	4.03	17.71	4.43	23.08	4.62	28.31	4.72	33.46	4.78	38.56	4.82	43.62	4.85	48.67	4.87
3.0	12.67	4.22	18.95	4.74	24.92	4.98	30.71	5.12	36.39	5.20	42.01	5.25	47.58	5.29	53.13	5.31
3.5	13.09	4.36	19.98	5.00	26.52	5.30	32.84	5.47	39.02	5.57	45.13	5.64	51.18	5.69	57.19	5.72
4.0	13.39	4.46	20.85	5.21	27.93	5.59	34.75	5.79	41.42	5.92	47.98	6.00	54.48	6.05	60.92	6.09
4.5	13.60	4.53	21.57	5.39	29.18	5.84	36.49	6.08	43.61	6.23	50.61	6.33	57.53	6.39	64.10	6.44
5.0	13.75	4.58	22.18	5.55	30.29	6.06	38.07	6.34	45.63	6.52	53.05	6.63	60.38	6.71	67.64	6.76
6.0	13.91	4.64	23.11	5.78	32.17	6.43	40.84	6.81	49.21	7.03	57.47	7.18	65.57	7.29	73.58	7.36
7.0	13.99	4.66	23.75	5.94	33.67	6.73	43.19	7.20	52.39	7.48	61.37	7.67	70.20	7.80	78.92	7.89
8.0	14.02	4.67	24.19	6.05	34.86	6.97	45.19	7.53	55.16	7.88	64.86	8.11	74.38	8.26	83.77	8.38
9.0	14.03	4.68	24.47	6.12	35.81	7.16	46.91	7.82	57.61	8.23	68.01	8.50	78.19	8.69	88.22	8.82
10.0	14.03	4.68	24.65	6.16	36.56	7.31	48.37	8.06	59.78	8.54	70.85	8.86	81.68	9.08	92.32	9.23
11.0	14.04	4.68	24.77	6.19	37.15	7.43	49.62	8.27	61.72	8.82	73.44	9.18	84.89	9.43	96.12	9.61
12.0	14.04	4.68	24.84	6.21	37.60	7.52	50.69	8.45	63.44	9.06	75.80	9.48	87.85	9.76	99.67	9.97
13.0	14.04	4.68	24.89	6.22	37.95	7.59	51.60	8.60	64.98	9.28	77.96	9.74	90.59	10.07	102.98	10.30
14.0	14.04	4.68	24.91	6.23	38.22	7.64	52.35	8.73	66.35	9.48	79.93	9.99	93.14	10.35	106.07	10.61
15.0	14.04	4.68	24.93	6.23	38.42	7.68	53.03	8.84	67.58	9.65	81.73	10.22	95.51	10.61	108.98	10.90
16.0	14.04	4.68	24.94	6.23	38.57	7.71	53.58	8.93	68.66	9.81	83.39	10.42	97.71	10.86	111.71	11.17
17.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.68	7.74	54.04	9.01	69.63	9.95	84.90	10.61	99.77	11.09	114.29	11.43
18.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.77	7.75	54.42	9.07	70.49	10.07	86.29	10.79	101.68	11.30	116.71	11.67
19.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.83	7.77	54.74	9.12	71.25	10.18	87.56	10.95	103.47	11.50	119.00	11.90
20.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.87	7.77	55.00	9.17	71.92	10.27	88.72	11.09	105.14	11.68	121.16	12.12
22.0	14.04	4.68	24.95	6.24	38.93	7.79	55.39	9.23	73.03	10.43	90.76	11.35	108.14	12.02	125.12	12.51
24.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.96	7.79	55.65	9.28	73.89	10.56	92.46	11.56	110.76	12.31	128.66	12.87
26.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.98	7.80	55.83	9.30	74.54	10.65	93.86	11.73	113.04	12.56	131.83	13.18
28.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.98	7.80	55.94	9.32	75.03	10.72	95.02	11.88	115.01	12.78	134.66	13.47
30.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.02	9.34	75.40	10.77	95.97	12.00	116.72	12.97	137.19	13.72
35.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.11	9.35	75.96	10.85	97.64	12.20	120.03	13.34	142.38	14.24
40.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.14	9.36	76.22	10.89	98.61	12.33	122.26	13.58	146.25	14.63
50.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.39	10.91	99.46	12.43	124.71	13.86	151.16	15.12
60.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.42	10.92	99.72	12.46	125.71	13.97	153.68	15.37
70.0	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.42	10.92	99.79	12.47	126.10	14.01	154.91	15.49
深海波	14.04	4.68	24.96	6.24	38.99	7.80	56.15	9.36	76.43	10.92	99.82	12.48	126.34	14.04	155.97	15.60

註:週期2.0秒以內，以表(a)(b)之水深以及波長 值之0.01倍 週期及波速值之0.1倍加以換算。

表4-1(b)水深、週期、波期及波速之表

水深(m) \ 周期(s)	11.0		12.0		13.0		14.0		15.0		16.0		18.0		20.0	
	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)	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)
1.0	34.2	3.11	37.4	3.12	40.5	3.12	43.7	3.12	46.8	3.12	50.0	3.12	56.2	3.12	62.5	3.13
2.0	48.2	4.38	52.6	4.39	57.1	4.39	61.6	4.40	66.0	4.40	70.5	4.40	79.4	4.41	88.2	4.41
3.0	58.6	5.33	64.2	5.35	69.6	5.36	75.1	5.37	80.6	5.37	86.1	5.38	97.0	5.39	107.9	5.39
4.0	67.3	6.12	73.7	6.14	80.1	6.16	86.5	6.18	92.8	6.19	99.1	6.20	111.8	6.21	124.4	6.22
5.0	74.9	6.81	82.0	6.84	89.2	6.86	96.3	6.88	103.4	6.90	110.5	6.91	124.7	6.93	138.8	6.94
6.0	81.5	7.41	89.4	7.45	97.3	7.48	105.1	7.51	113.0	7.53	120.8	7.55	136.3	7.57	151.8	7.59
7.0	87.6	7.96	96.1	8.01	104.7	8.05	113.2	8.08	121.6	8.11	130.1	8.13	146.9	8.16	163.7	8.19
8.0	93.1	8.46	102.3	8.52	111.4	8.57	120.6	8.61	129.6	8.64	138.7	8.67	156.7	8.71	174.7	8.74
9.0	98.1	8.92	108.0	9.00	117.7	9.05	127.4	9.10	137.1	9.14	146.7	9.17	165.9	9.22	185.0	9.25
10.0	102.8	9.35	113.2	9.44	123.6	9.50	133.8	9.56	144.1	9.60	154.2	9.64	174.5	9.69	194.7	9.73
12.0	111.3	10.12	122.8	10.24	134.2	10.33	145.6	10.40	156.8	10.45	168.0	10.50	190.3	10.57	212.5	10.63
14.0	118.8	10.80	131.3	10.95	143.8	11.06	156.1	11.15	168.3	11.22	180.5	11.28	204.7	11.37	228.7	11.44
16.0	125.5	11.41	139.0	11.58	152.4	11.72	165.7	11.83	178.8	11.92	191.9	11.99	217.9	12.11	243.7	12.18
18.0	131.4	11.95	145.9	12.16	160.3	12.33	174.4	12.46	188.5	12.57	202.4	12.65	230.1	12.78	257.6	12.88
20.0	136.8	12.44	152.3	12.69	167.5	12.88	182.5	13.04	197.4	13.16	212.2	13.26	241.5	13.42	270.6	13.53
22.0	141.7	12.89	158.1	13.17	174.1	13.39	190.0	13.57	205.7	13.72	221.3	13.83	252.2	14.01	282.8	14.14
24.0	146.2	13.29	163.4	13.61	180.3	13.87	197.0	14.07	213.5	14.23	229.9	14.37	262.3	14.57	294.3	14.72
26.0	150.2	13.66	168.3	14.02	186.0	14.31	203.5	14.53	220.8	14.72	237.9	14.87	271.8	15.10	305.3	15.26
28.0	153.9	13.99	172.8	14.40	191.3	14.72	209.6	14.97	227.6	15.17	245.5	15.34	280.8	15.60	315.7	15.78
30.0	157.3	14.30	176.9	14.74	196.2	15.10	215.3	15.38	234.1	15.60	252.7	15.79	289.4	16.08	325.6	16.28
35.0	164.4	14.95	186.0	15.50	207.2	15.94	228.1	16.29	248.7	16.58	269.0	16.81	309.1	17.17	348.6	17.43
40.0	170.1	15.46	193.5	16.12	216.5	16.65	239.1	17.08	261.4	17.43	283.4	17.71	326.7	18.15	369.3	18.46
45.0	174.5	15.86	199.6	16.64	224.4	17.26	248.7	17.76	272.6	18.17	296.2	18.51	342.6	19.03	388.1	19.41
50.0	178.0	16.18	204.7	17.06	231.0	17.77	256.9	18.35	282.5	18.83	307.6	19.23	357.0	19.83	405.4	20.27
55.0	180.7	16.42	208.8	17.40	236.6	18.20	264.1	18.86	291.1	19.41	317.8	19.86	370.1	20.56	421.3	21.06
60.0	182.7	16.61	212.1	17.68	241.4	18.57	270.3	19.31	298.8	19.92	326.9	20.43	382.0	21.22	435.9	21.80
70.0	185.5	16.86	216.9	18.08	248.7	19.13	280.3	20.02	311.6	20.77	342.4	21.40	403.0	22.39	462.1	23.10
80.0	187.0	17.00	220.0	18.33	253.7	19.52	287.7	20.55	321.5	21.43	354.9	22.18	420.5	23.36	484.6	24.23
90.0	187.8	17.07	221.9	18.49	257.2	19.78	293.1	20.93	329.1	21.94	364.9	22.80	435.3	24.19	504.2	25.21
100.0	188.3	17.11	223.0	18.58	259.5	19.96	297.0	21.21	334.9	22.32	372.8	23.30	447.8	24.88	521.2	26.06
120.0	188.6	17.15	224.1	18.67	261.9	20.15	301.6	21.54	342.5	22.83	383.9	23.99	466.9	25.94	548.8	27.44
140.0	188.7	17.15	224.4	18.70	262.9	20.23	303.8	21.70	346.6	23.11	390.6	24.41	480.1	26.67	569.5	28.48
160.0	188.7	17.16	224.5	18.71	263.3	20.26	304.9	21.78	348.7	23.25	394.4	24.65	489.1	27.17	585.0	29.25
180.0	188.7	17.16	224.6	18.72	263.5	20.27	305.3	21.81	349.8	23.32	396.6	24.79	495.0	27.50	596.4	29.82
200.0	188.7	17.16	224.6	18.72	263.6	20.27	305.5	21.82	350.4	23.36	397.8	24.87	498.8	27.71	604.6	30.23
深海波	188.7	17.16	224.6	18.72	263.6	20.28	305.7	21.84	350.9	23.40	399.3	24.96	505.3	28.07	623.9	31.19

表4-1(c)水深、週期、波期及波速之表

水深(m) \ 周期(s)	2.2		2.4		2.6		2.8		3.0		3.2		3.5		4.0	
	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)	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)
0.1	2.15	0.976	2.35	0.978	2.55	0.980	2.75	0.981	2.95	0.983	3.15	0.983	3.45	0.985	3.94	0.986
0.2	2.99	1.361	3.28	1.367	3.57	1.372	3.85	1.376	4.14	1.379	4.42	1.382	4.85	1.385	5.55	1.388
0.3	3.61	1.643	3.97	1.655	4.32	1.663	4.68	1.670	5.03	1.676	5.38	1.681	5.90	1.686	6.77	1.693
0.4	4.11	1.870	4.53	1.887	4.94	1.901	5.35	1.912	5.76	1.921	6.17	1.928	6.78	1.936	7.79	1.947
0.5	4.53	2.059	5.00	2.084	5.47	2.103	5.93	2.118	6.39	2.131	6.85	2.141	7.53	2.153	8.67	2.167
0.6	4.89	2.222	5.41	2.255	5.93	2.280	6.44	2.300	6.95	2.316	7.45	2.329	8.21	2.345	9.45	2.364
0.7	5.20	2.364	5.77	2.404	6.33	2.436	6.89	2.462	7.45	2.482	8.00	2.499	8.81	2.518	10.17	2.542
0.8	5.47	2.488	6.09	2.538	6.70	2.577	7.30	2.607	7.90	2.632	8.49	2.653	9.37	2.677	10.82	2.706
0.9	5.72	2.598	6.38	2.657	7.03	2.703	7.76	2.740	8.31	2.770	8.94	2.794	9.88	2.823	11.43	2.857
1.0	5.93	2.695	6.63	2.764	7.33	2.818	8.01	2.861	8.69	2.896	9.36	2.924	10.35	2.958	11.99	2.999
1.1	6.12	2.782	6.87	2.861	7.60	2.923	8.32	2.973	9.04	3.013	9.75	3.045	10.80	3.085	12.52	3.131
1.2	6.29	2.859	7.08	2.949	7.85	3.019	8.61	3.075	9.36	3.121	10.11	3.158	11.21	3.203	13.02	3.256
1.3	6.44	2.928	7.27	3.028	8.08	3.107	8.88	3.170	9.66	3.222	10.44	3.264	11.60	3.314	13.50	3.374
1.4	6.58	2.989	7.44	3.100	8.29	3.188	9.12	3.258	9.95	3.316	10.76	3.363	11.97	3.419	13.94	3.486
1.5	6.70	3.044	7.60	3.165	8.48	3.262	9.35	3.340	10.21	3.403	11.06	3.455	12.31	3.517	14.37	3.592
1.6	6.80	3.092	7.74	3.225	8.66	3.331	9.56	3.416	10.46	3.486	11.34	3.543	12.64	3.611	14.77	3.693
1.7	6.90	3.135	7.87	3.278	8.82	3.394	9.76	3.487	10.69	3.562	11.60	3.625	12.95	3.700	15.16	3.789
1.8	6.98	3.173	7.99	3.327	8.97	3.452	9.95	3.552	10.90	3.635	11.85	3.703	13.24	3.784	15.53	3.881
1.9	7.05	3.206	8.09	3.371	9.11	3.505	10.12	3.614	11.11	3.702	12.08	3.776	13.52	3.864	15.88	3.970
2.0	7.12	3.236	8.19	3.411	9.24	3.554	10.28	3.670	11.30	3.766	12.30	3.845	13.79	3.940	16.22	4.054
深海波	7.55	3.431	8.98	3.743	10.54	4.055	12.23	4.367	14.04	4.679	15.97	4.991	19.11	5.459	24.96	6.239

(5)在(1)中所使用之公式，對一般波高較高之淺海來説，並不一定精確，因此依須要，應使用有限振幅波之公式 。採用微小振幅波理論之各式子計算所得之誤差，隨波浪尖銳度H/L以及水深波長比h/L 而不同，不過大約在20～30%左右。

(6)波浪之有限振幅效果之一爲，波高與波頂η_c之比的變化，波高愈大其值會增大。

圖4-2爲水深h=100～150cm之水工模型試驗資料所得進行波之頂高變化另外圖4-3爲查根據現場波形記錄所作成的，係由各觀測資料所讀取之最高波頂高與記錄之最高波高 Hmax之比與$H_{1/3}/h$之關係以圖表示者實際之波頂高較模型試驗值略大，在$H_{1/3}/h<0.5$之領域可利用圖4-3。

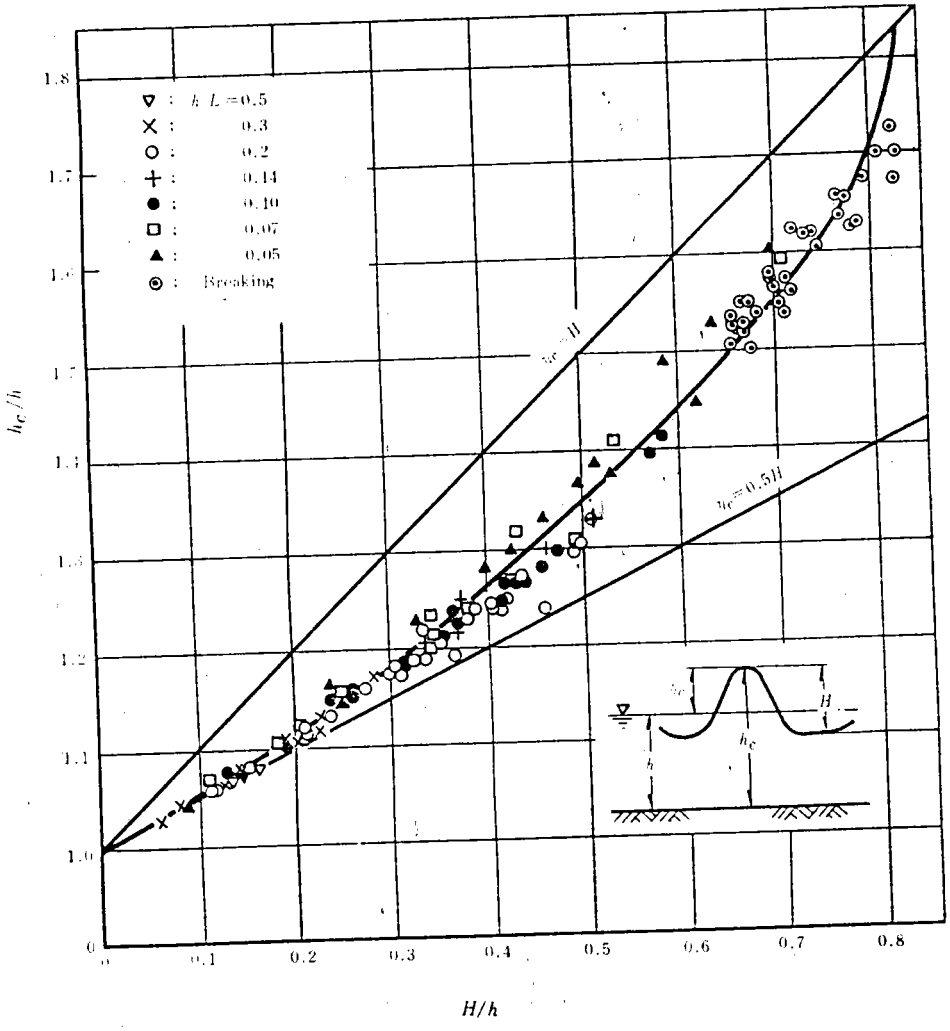


圖4-2 由水底起之相對波頂高

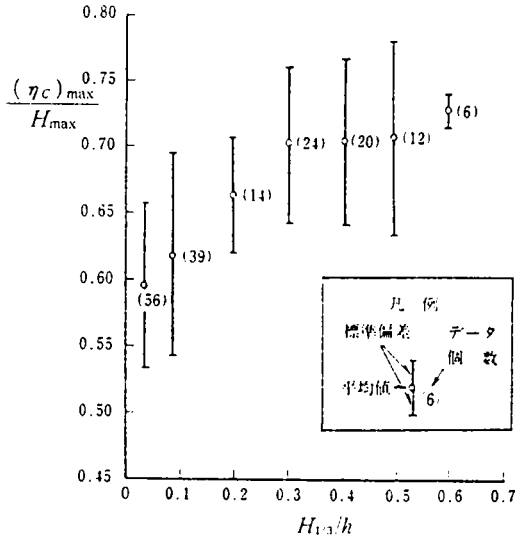


圖4-3 最高波頂高$(\eta_c)_{max}/H_{max}$與相對波$H_{1/3}/h$之關係

[2] 波浪之統計性質

(1)港灣設施設計時，須對波高、週期等之波浪統計性質加以考慮。 (2)不規則深海波波群之波高分佈以Rayleigh分佈爲準。

[說明]

(1)Rayleigh分佈可以下式表示

$$P(H/\bar{H})=\frac{\pi}{2}\frac{H}{\bar{H}}\exp[-\frac{\pi}{4}(\frac{H}{\bar{H}})^2]$$

P(H/H):波高之概率密度函數

H:平均波高

依據Raylekgh分佈，1/10波高、有義波高、平均波高之關係如下

$H_{1/10}=1.27H_{1/3}$

$H_{1/3}=1.60\bar{H}$

這些關係與平均的波浪觀測之結果相當一致。

最高波高Hmax之不確定因素很多，很難加以定義，一般可以下式決定:

$Hmax=(1.6\sim2.0)H_{1/3}$

(2)隨著波浪之進行至海岸，當波高大於碎波臨界波高時將會碎波，而使波高減小，在碎波帶內波高分佈不能使用Rayleigh分佈。

(3)最高波$_{1/10}$波、有義波及平均波之週期間，平均來說有以下之關係

$$T_{max}=T_{1/10}=T_{1/3}=(1.1\sim1.3)T$$

[3]波譜

港灣設施設計時，須充分考慮波譜形式，而採用適當的分佈形式，波譜須考慮頻率譜形式及方向分佈函數形式。

[說明]

(1)波譜之一般形式，通常可以下列表示

$$S(f,\theta)=S(f)G(f,\theta)$$

f:頻率

θ:波浪主方向之偏高

$S(f,\theta)$:爲風浪之方向波譜

$S(f)$:頻率譜

$G(f,\theta)$:方向函數

$$S(f)=0.257\left(\frac{H_{1/3}^2}{T_{1/3}^2}\right)f^{-5}\exp[-1.03(T_{1/3}f)^{-4}]$$

$$G(f,\theta)\,\alpha\cos^{2s}\frac{\theta}{2}$$

式中之比例常數可由$\int_{\theta min}^{\theta max}G(f,\theta)d\theta=1$ 加以求出

此處 $\theta max,\theta min$ 各爲主方向之最大與最小偏角

另外式(4,20)中之S爲顯示波浪方向集中之參數

當 $f>fm$ 時 $S=Smax\left(\frac{f}{fm}\right)^{-25}$

$f\leq fm$ 時 $S=Smax\left(\frac{f}{fm}\right)^{5}$

fm爲波譜之尖峰頻，可以下式計算

$$fm=\frac{1}{1.05T_{1/3}}$$

(2)顯示波浪集中情況之參數之最大值，風浪時爲10，湧浪時考量波浪之減衰，取用20以上爲標準。

(3)方向函數之形式隨折射而變化，因此若不規則波之繞射計算採用折射後之波浪時，特別應注意方向函數之變化，圖4-4 爲在直線形平行等深線之海岸波浪折射後之Smax值，圖中(αp)o爲深海波之主方向角，係等深線之垂直方向之偏角。

(4)當波譜已知時，有義波高可由4-23求取。

$$H_{1/3}=3.8\left[\int_0^{\infty}\int_{\theta\,min}^{\theta\,max} S(f,\theta)\,df\,d\theta\right]^{1/2}$$

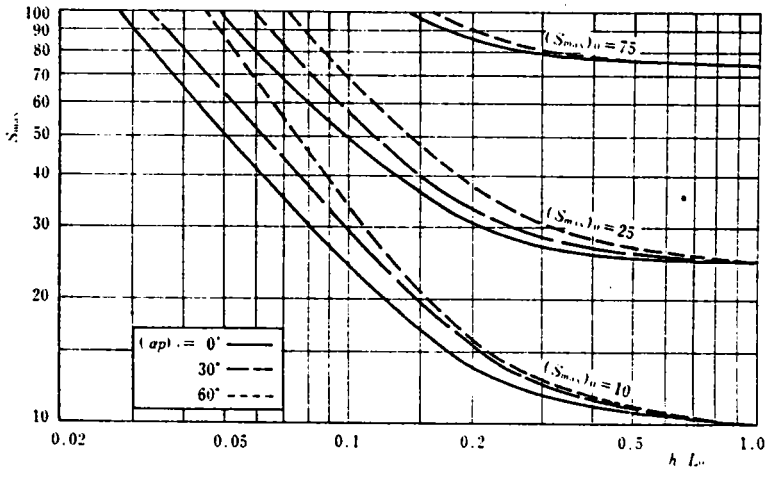


圖4-4 折射所致 S_{max}之變化

4-2 設計波浪之決定法

4-2-1 決定設計深海波之基本方針

1.港灣設施設計時所考慮之深海波，係依相當長期間之波浪實測值亦或依30年以上之氣象資料所得之推算值，並以實測資料加以修正再經由適當之統計處理，並檢討發生概率之結果，亦或根據假設之颱風所計算得之波浪推算值而決定。
2.深海波之各種因素，須以帶給構造物影響之16方位之各方向分別加以檢討後再設定。

[說明]

(1)實測資料最好是有相當長時間(10年以上)之資料，但如資料不足時，亦可利用大約30年以上之氣象資料所得推算值，並以實測資料修正後使用。

(2)由氣象資料所求得之推算值以實測資料修正時，實測資料最少應有三年以上，同時必須包含異常時之波浪資料。但是若觀測資料中有數十年才會發生之異常氣象，其值又大於推算值，亦或是屬非常特殊之時候，可以參考自然條件相近之鄰近地區實測資料。

(3)若該地區全無實測資料，亦或係屬非常特殊之情況，可參考自然條件相似之鄰近地區實測資料。

(4)若在氣象資料推算期間以外之時期，有特別異常紀錄之時，須對此加以考慮。

(5)以假設颱風進行推算時，須充分檢討颱風過去之規模、颱風路徑等，並對此種颱風之發生概率加以檢討。

(6)以實測資料推算深水波時，由於實測波高受折射或淺水變形之影響，因此須除以折射係數或淺水係數，換算成深海波高，此時亦須考慮波向之變化。

(7)由實測資料所得有義波高在實測地點水深之0.5 倍以上時，由於考慮此種波浪資料受碎波之影響，此種資料可以波浪推算深海波各要素，但是對推算所得之深海波，應以本篇4.5 波浪之變形所得之實測地點之有義波與推算值相比。

(8)設計對象之深海波，應根據再現期與構造物之耐用年數加以求取，但遭遇概率應如何取，視構造物之功能、重要性、投資效果所影響，通常很難決定，須依各個場合，由主管工程人員依實際狀況而決定，在此，所謂遭遇概率爲在耐用期間內，較某個假設再現期之波高較大之波浪，至少出現一次之概率。

(9)決定設計深海波時應參考設計對象物相鄰之現有構造物之外力及相關災害以往之紀錄。

(10)深海波之各要素應以16方位各方向來設定，但若很明顯的波高很小，對構造物之影響很小之方位可以除外，此時波向爲不規則之成分波內，具最大能量之波浪方向爲主方向。

4-2-2 求設計波浪各要素之程序

1.依4-2-1設計深海波之決定方針決定深海波，同時考慮波浪之折射、繞射、淺化以及碎波等變形，而採用對構造物亦或其背後設施最不利作用之波浪。
2.對象地點之特殊條件，例如若有由外部產生之反射波亦或隅角部所致波高增加之影響時亦應考慮。
3.對於以上所求之波浪，求取波力、越波以及其他對構造物之波浪作用。
4.依波浪作用之各條件進行檢討，由於潮位低時，亦有可能波力爲最大，因此須對假想之各種潮位加以檢討。
5.以上之計算應對深海波之各個來襲方向進行，而以波浪作用爲最大亦或帶給構造物或其背後設施最不利之作用者爲設計波。

[說明]

(1)若無合適之推算法同時考慮波浪之折射、繞射、淺化、碎波變形等，以下法設定設計波。首先，考慮波浪之折射、繞射等平面地形之影響求取換算深水波，再對此換算深水波考慮淺化及碎波之波高減衰效果，而決定設計對象地點之設計波各要素。

(2)波浪之折射、繞射、碎波等波浪之變形，參照本篇4.5波浪之變形。

(3)隨設計對象構造物、波向及週期亦有可能成爲重要因素，並須對此詳細檢討。

(4)以各來襲方向深海波所求得對象地點之波高，須將其波向在±15°範圍內加以修正，而以其中最不利條件之波向作爲設計對象地點之波向。

4-3 波浪之推算

4-3-1 概說

波浪之推算，須以適切的推算法進行。

[說明]

(1)波浪之推算，具體上分爲以下二階段進行

(a)風城之設定。

(b)波浪之發達減衰計算。

(2)使波浪發生發達之處稱爲風城，其要素爲風速、風向、吹送距離、吹送時間，風域設定後以該風域條件最適切之推算法去計算波浪之發達、減衰。

(3)風域依下列程序設定

(a)天氣圖、氣象資料收集。

(b)決定推算Case之計算期間。

(c)由天氣圖計算傾度風。

(d)由經驗公式或實測資料推算海上風。

(e)作成風域圖。

(4)天氣圖,原則上採用3、9、15、21時之6小時間隔的天氣圖。收集之氣象資料爲風向、風速及氣壓。風向、風速之資料爲由傾度風推算海上風時所須之參考資料，氣壓資料爲推算颱風區域內氣壓分佈所須要。

(5)推算期間爲對某一氣象條件在推算地點其最發達之波浪可計算出之充分有效期間。

(6)由天氣圖求取傾度風可依式(3.6)或圖3-1加以計算。

(7)由傾度風推算海上風，若有與海上風相近之風之地點的實測值，應以此對推算值加以檢討。

(8)利用4-3-2 所述吹風區域波浪之推算，使用波浪預報曲線或圖形解法推算波浪時，須作成以下之風域圖，首先，在每個天氣圖上求取由推算地點之波浪主方向與所推定方向直線上之風速、風向分佈。且風域之前端、後端與假設之波浪主方向與風向之差在30°， 風域內之差在30°以內之範圍。 風向與波浪之主方向不同時，計算所使用之風速取波浪之主方向成分。

(9)以數值計算進行波浪推算時，風域之取法如下，首先將對象海域以格子狀分割，在每個網格點上加入氣壓資料，並計算傾度風之風向風速，網格內之風向、風速以網格點上之值加以內插，風域之界限，由風速之減小、風向之變動自動設定。

4-3-2 吹風區域波浪之推算法

吹風區域波浪之推算以有義波法或波譜法爲準。

[說明]

(1)一般

(a)對於推算結果之妥當性以及其精確度，須與觀測值相對照加以檢討。

(b)在此所謂有義波法係指最初提倡有義波概念及提出有義波推算法之 Sverdrup，Munk以及將其修正改良之Bretschneider之 S-M-B法及將其擴張至一般之風域亦適用的Wilson法、淺海之波浪推算法、Bretschneider法、 本,井島法以及將這些數值解析之推算方法的總稱。

(c)波譜之推算法除 Pierson，Neumann.James，之P-N-J法外，另有Wailden法，Darbyshire 法等，這些方法之推算過程與有義波並無很大差異，推算結果大都以有義波來表示較多，因此在此不將其與有義波法特別加以區別，而將其視爲有義波法來處理。

(d)本文所謂波譜法係依據能量不滅公式，追蹤波譜之發達、減衰方法之總稱，此法須利用電腦進行大規模之計算，同時波浪之發達、減衰之理論公式及經驗公式，仍有不明確之處，雖是問題，但對包含湧浪之波譜之發達、變形，狀況能加以掌握等，此爲有義波法所未所有之特徵。

(2)有義波法

(a)S-M-B法

S-M-B法由於適用於風域不移動之場合，因此由風域內之風速、吹送時間、吹送距離利用圖4-5 推算深海中之有義波之波高、週期，由風速、吹送時間得之波高、週期與由風速、吹送距離得到之波高週期相比，較小者即爲推算值，圖4-5爲依據Wilson 在1965年所重新寫的4-24，4-25公式所求解的。

$$\frac{gH_{1/3}}{U^2}=0.30\left[1-\frac{1}{\{1+0.004(\frac{gF_{1/2}}{U^2})^2\}}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}24)$$

$$\frac{gT_{1/3}}{2\pi U}=0.37\left[1-\frac{1}{\{1+0.008(\frac{gF_{1/3}}{U^2})^5\}}\right] \quad \cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}25)$$

式中 $H_{1/3}$:有義波高

$T_{1/3}$:有義波週期

U :海上10m高度之風速(m/s)

F :吹風距離(m)

g :重力加速度(m/s²) g=9.8m/s²

(b)Wilson法

Wilson法爲S-M-B之擴張法，係爲適用於如颱風般移動性風域而加以修改的，利用圖4-6之$H_{1/3}$-t-F-$T_{1/3}$圖，追蹤F-t面之波浪行進，在$H_{1/3}$-F面，$T_{1/3}$-t面追蹤有義波之波高、週期的發展，圖4-6爲由公式(4-24)(4-25)所求出，計算過程請參考文獻。

(c)淺海之波浪推算法

考慮水深對波浪發達之影響之方法有Bretschndider法、坂本、井島法。

Bretschneider法爲使用圖4-7(a)(水深爲一定)，圖4-7(b)～(d)(海底斜坡爲一定之時)，當風速、吹風距離爲已知時，可計算有義波之波高，有義波之週期可由有義波之波高與4-26之關係,得到

$$T_{1/3}=3.86\sqrt{H_{1/3}}$$

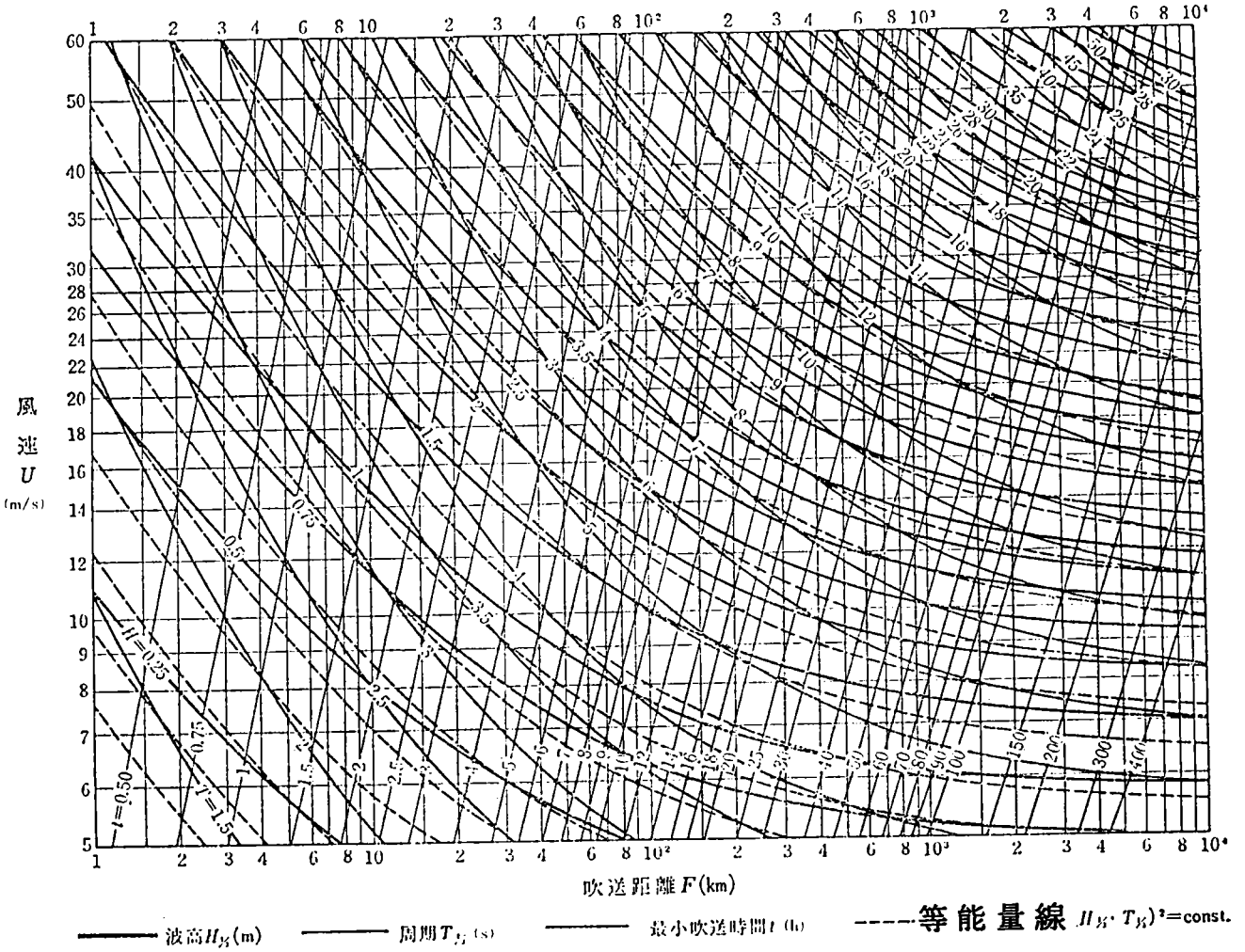


圖 4-5按S-M-B法預測波浪曲線

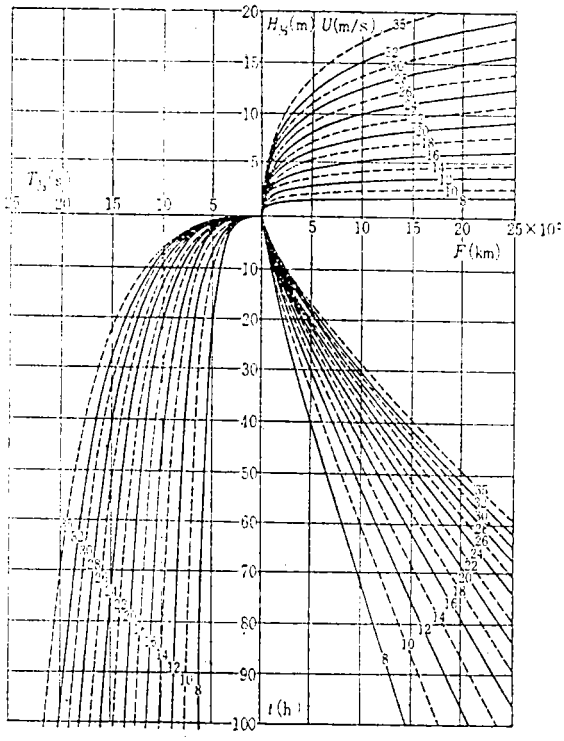
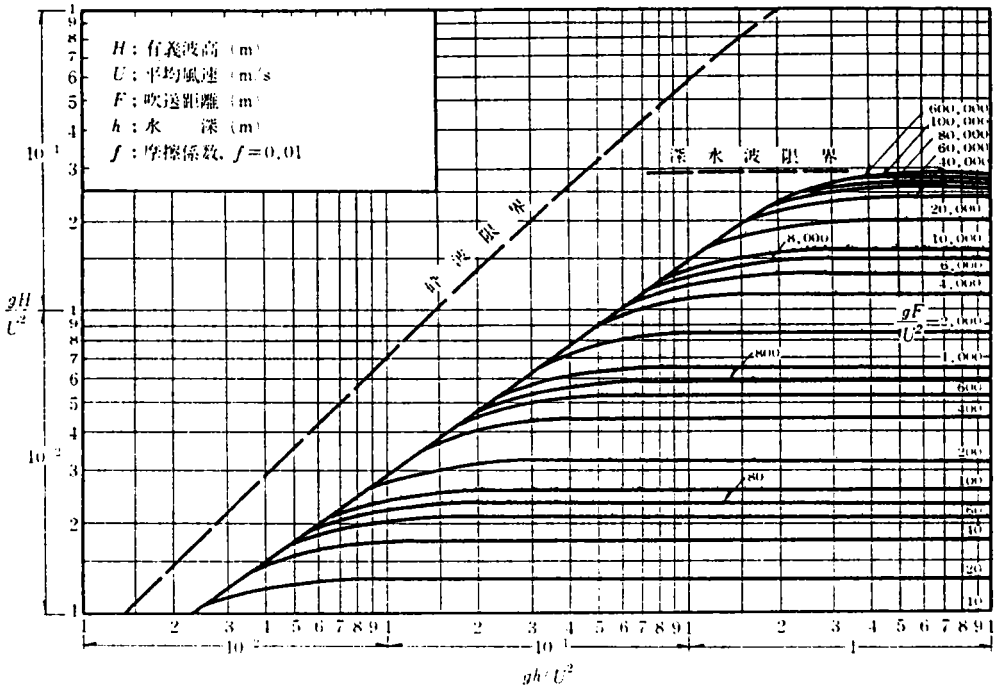


図-解4.6 $H_{1/3}$-t-F-$T_{1/3}$図[17]

Bretschneider法適用於吹風時間很長，波高爲由吹風距離以及風速來決定之時。坂本、井島法爲依照深海中之Wilson 方法導入淺海中，作爲圖4-8之$H_{1/3}$-t-F-Cg圖，使在移動風域中， 進行淺海波之推算。

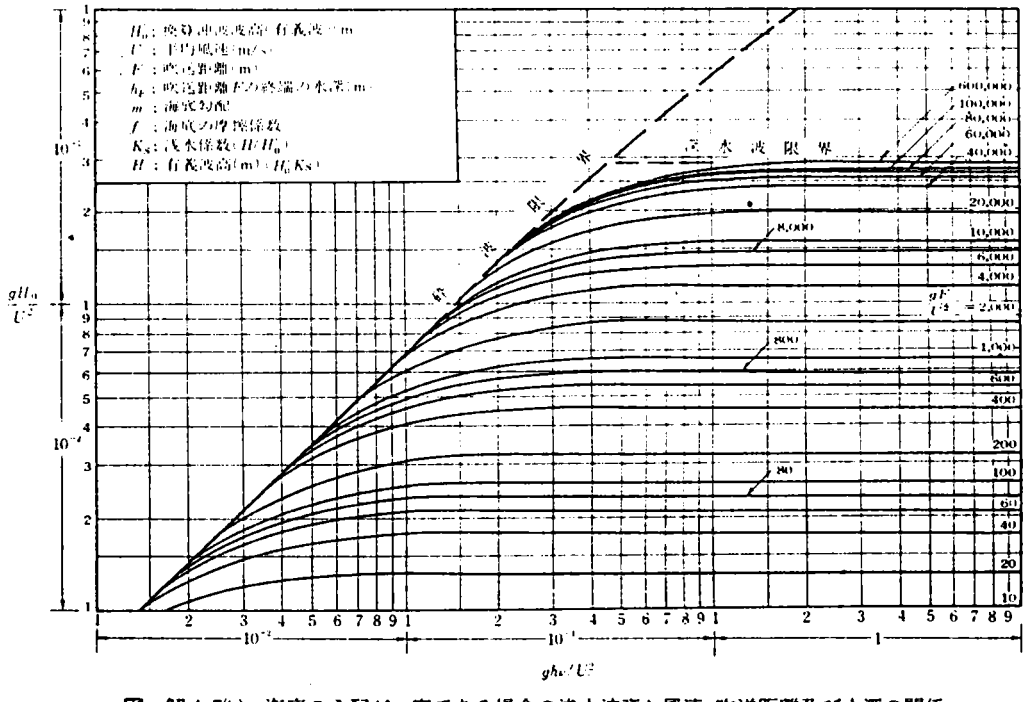
(d)有義波法之數值解析法

雖然移動風域中，可用Wilson法及坂本、井島法之圖解法進行波浪推算，但將其用電腦進行解析的則爲有義波法之數值解析法，圖解法爲設定線風域，但數值解析法則採用平面風域之時間變化加以輸入，波浪之主方向隨當地之風向而變化，此爲不同之點，適用範圍原理上與圖解法相同。



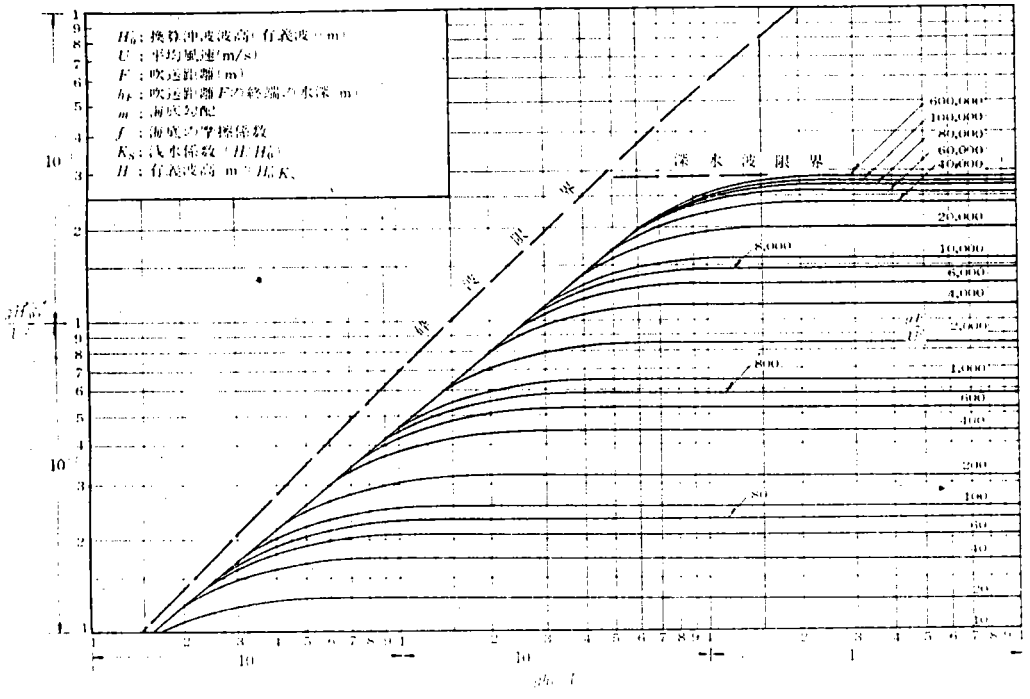
図－解 1.7(a)　水深が一定である場合の浅水波高と風速，吹送距離及び水深の関係

($f=0.01$の場合)　－ブレットシュナイダー法－

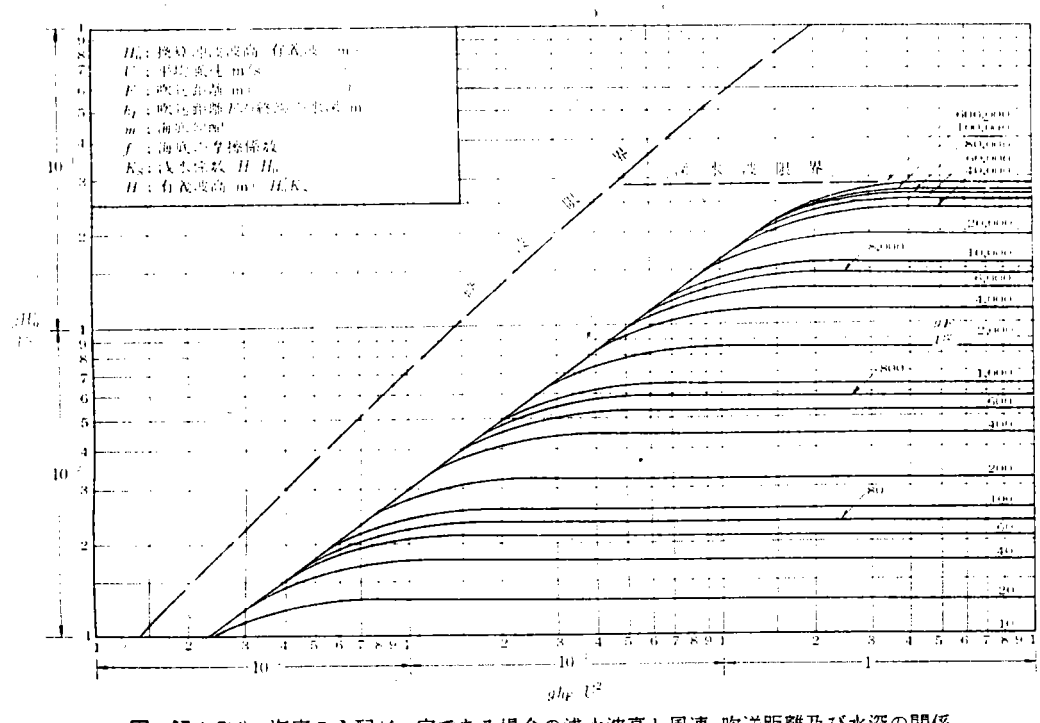


図－解 4.7(b)　海底こう配が一定である場合の浅水波高と風速，吹送距離及び水深の関係

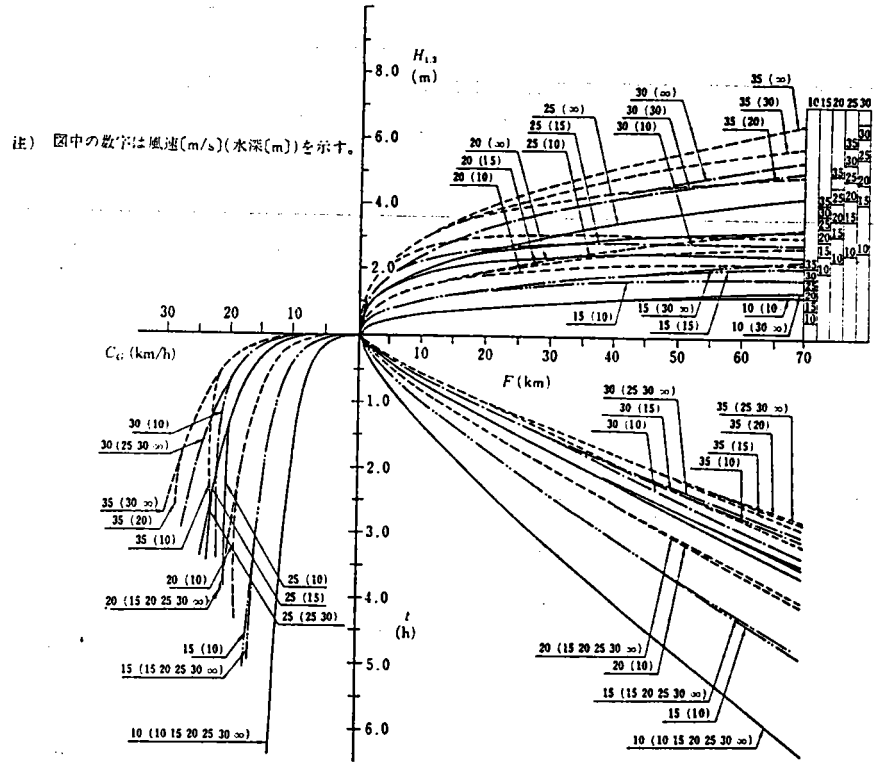
($f/m=5.28$ の場合)－ブレットシュナイダー法－



図－解 4.7(c)　海底こう配が一定である場合の浅水波高と風速、吹送距離及び水深の関係
($f/m=10.6$ の場合)－ブレットシュナイダー法－



図－解 4.7(d)　海底こう配が一定である場合の浅水波高と風速，吹送距離及び水深の関係
($f/m=52.8$ の場合)－ブレットシュナイダー法－



図－解4.8 浅海波の $H_{1/3}$－t－F－C_G図 －坂本・井島法－

(e)有義波法之各方法之適用性

波浪推算時所採用有義波法之選擇時，視對象地點爲面對外海之沿岸或位於小海灣或內灣之沿岸而不同。外海由於吹風距離時間較長，S-M-B 法所假設之一定風域之近似較困難，因此，原則上使用Wilson法亦或數值解法。另外，風域之變動較小時，可以利用圖4-5 所顯示之等能量線，以S-M-B法推算。 但是面臨外海之沿岸，以颱風進行波浪推算之時，風域之設定很容易流於主觀，同時推算之精確度不佳,最好不要使用S-M-B法。若推算地點爲小海灣或內灣之時，通常須推算淺海波，爲調查所要推算之波浪是否會爲淺海波， 須利用圖4-5求取深海波之各要素，而由發生波之波長與對象地點之水深關係去判斷即可。若海域狹窄，水深又相對較深，可視爲深海波之時，可使用S-M-B 法。推算淺海波時可利用坂本、井島法亦或數值解法，但若可假設爲固定風域時，可利用Bretschneider法之圖4-7(a)-(b)。

(3)波譜法

波譜法有不同頻率及方向請之各成分在達到平衡狀態前獨自發達所組成之波譜法與波浪波譜之發達、減衰可由少數之參數加以記敘之參數法等。前者爲由風之能量傳達至波譜之各成分波與各成分波間之微小非線形相互作用，加以描述波浪之發生，而後者則以波浪之發生由很強的非線形效果之綜合結果加以掌握，設定波浪之一近似發生機構，並對發生變形之過程以參數表示其法則而定式化加以計算。

波譜法之推算精度，由於方法較新實績較少，目前各方面仍在檢討中，但在目前可視爲與有義波法大致相同，但須注意是即使採用相同的推算模式，由於計算格子、邊界條件、經驗常數等之不同，將使結果有10～20%程度之差，現狀來説,比較波浪推算法之精度卻往往是以前海上風向、風速之推算精度不佳而較成問題，另外，亦有隨推算模式採用不同之風計算法，所以波浪推算之精度很難得有一明確之結論。因此，推算結果與觀測值相比較，檢討結果之適用性及精度即有必要，特別是目前波譜法爲採用波浪發達之極限的平衡波譜形成可想像此平衡波譜之精度將左右此結果，因此頻率譜亦或方向譜之精度應予檢討。因爲有義波高與方向波譜積分值之平方根成比例，所以即使波譜本身有差，但計算上有義波高並不會有很大之差，所以波譜形成之評估即爲很重要。

與有義波法相比，波譜法有以下之優點：

(1)對風速、風向之考量，在物理上較明確。

(2)在波浪之發生過程中，雖然有義波之週期隨時間而變，但風域與波浪之傳播速度(群速度)以相同速度往波浪之傳播方向移動之時，亦可得到合理的推算結果。

(3)隨風域條件，浪與湧浪共存，但即使如此不須將風浪之發生過程之計算與湧浪之減衰過程計算加以分離計算，可以同一模式將二者加以計算。因此如對有義波之推算結果存疑時，可以波譜法再加檢討，另外波譜法爲以深海波爲主加以研究開發的，淺海之例較少，僅有Collins, Cavaleri, Golding及山口等。

4-3-3 湧浪之推算

若有推算湧浪之必要時，以Bretschneider法爲準。

[說明]

(1)湧浪之推算法有Bretschneider法，P-N-J法及波譜法。Bretschneider法爲自有義波之各要素中推算湧浪之波高與週期，P-N-J 法爲經由計算波譜成分之速度分散以及方向分散效果求取湧浪之各要素。波譜法爲如前述之數值解法，通常吹風區域中風浪與湧浪是不分的，同時對各種頻率之成分波進行演算，結果是由風浪與湧浪所合成之有義波各要素去求法，若吹風區域中以有義波法進行波浪推算，須推算湧浪時以採用較爲簡單的Bretschneider 法爲準。但由於無法取得可信賴之湧浪觀測資料，因此其推算精度亦差，所以一般推算值只能視爲概略之值，同時使用時須與實測值相互比較。

(2)Bretschneider法

此法爲利用圖4-9推算湧浪，圖中之Fmin 爲最小吹風距離，D爲減衰距離，H_f與T_f爲風域終端之有義波波高與週期，H_d與T_d爲湧浪推算地點之有義波之波高與週期。最小吹風距離Fmin在 S-M-B法時，若推算值爲由風速與吹風距離所決定時，爲實際之吹風距離，若爲風速與吹風時間決定時，即爲其相對應之吹風距離。

$$t=\frac{D}{C_{gd}}=\frac{4\pi D}{gT_d}$$

式中C_{gd}:相對應gT_d之群速度

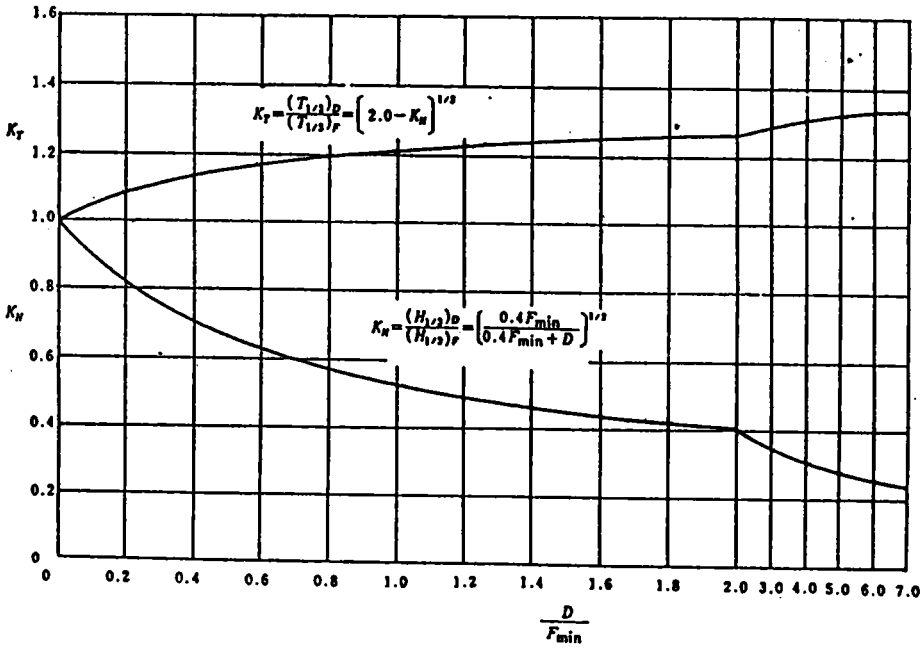


図-解4.9 うねり算定図

4-4 波浪之觀測、推算資料之統計處理

(1)平常時之波浪特性，可由波浪資料依月別、季別以及各年之資料，依波向以波高、週期之相關頻度分佈表加以表示。

(2)異常時之波浪特性，應對極大波進行統計處理，並以概率波高表示。

[說明]

(1)平常時之波浪分佈特性，可依波向將波高、週期之相關頻度分佈加以表示，由於波高、週期之觀測資料可利用之情況頗多，因此，以採用此法爲準。若觀測資料無法使用，則以推算進行，但由於平常時之波浪受局部地區風之影響頗大，因此局部地區風之特性應充分掌握，另外通常波向之觀測資料較少，因此以推算爲主，但須考慮湧浪之影響。

(2)外廓設施之設計波高，應由長期間(原則上30年以上)之資料，求取極大波之再現期，而以概率波高表示，由於有長期間觀測資料的地點很少，因此一般採用推算資料。

(3)概率波高推算所用的極大波，爲在某一氣象條件時在波浪生成，減衰之過程中波高爲最大時之波浪(一般爲有義波)稱之。樣本中之極大波在統計上爲相互獨立，概率波高推算時在對象期間中，極大波高有使用在某一設定值以上之資料的時系列，與求取每一年之極大波之最大值，利用每年最大波之資料者，不論係何種方法，由於並未對概率波高求取理論之分佈函數，因此以Gumbel分佈 Weibull分佈以及其他之分佈函數去驗核，而找出接近資料之函數形式，而以此推定函數形式，利用外插對各種重現期之概率波高加以推算，另外此種推算值之精度主要受採用資料之精度所左右，所以極大波之資料若以波浪推算進行時，對推算法之選擇及結果之檢討，應充分留意。

(4)與概率波高相對應之週期，由推定概率波高之極大波之波高與週期之相關關係決定。

4-5 波浪之變形

4-5-1 概說

> 港灣設施設計時，須考慮波浪進行時受折射、繞射、反射、淺化等變形之影響。

[說明]

1. 當水深在波長1/2以上之水深時，波浪幾乎全不受海底之影響，但是當波浪進行至其波長1/2以下之水深時，波浪受海底之影響，波速變慢、波長縮小、波高亦產生變化，因此當水深大於波長1/2以上之水域，稱爲深海區，比此淺者稱爲淺海區。
2. 對不規則波浪之淺海區與深海區之區別， 可用深海波之有義波週期 T_o，計算深海波之波長 L_o，$L_o=1.56T_o^2$，以此區別水深。
3. 在深海區中， 須考慮島嶼或岬等而使波浪繞射或因海中巨大構造物而使波浪反射之影響。
4. 若設計對象構造物存在於淺海域時，除直接量測外， 亦有必要推算波浪之各種變形。
5. 淺海區中，由於受折射、繞射、淺化、碎波等之影響， 波譜之形式以及波高分佈與深海之狀況不同，須予考慮。

4-6 波浪之折射

> (1)淺海域中，隨著水深之變化使波速改變產生波浪之折射，因此須考慮波高及波向之變化。
> (2)折射計算時，希望能考慮波浪之波譜特性。

[說明]

(1)規則現象與折射係數(圖4-10)

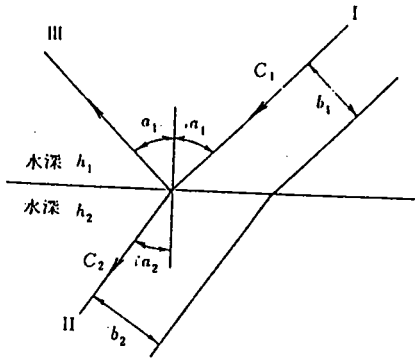


図-解4.10 波の屈折

當波浪斜向入射至水深 h_1與h_2之境界面時，由於水深之改變而致波速產生變化，因此波浪在境界面時會產生折射。 當波向線之間隔由b_1變成 b_2時，若波向線之間隔變化不很大，可假設波浪之能量不會橫越波向線而流失，若海底摩擦或其他之能量損失可忽視的話， 由能量輸送量之連續性， 水深h_1之波高H_1與水深h_2之波高H_2可由式4-28求出。

$$\frac{H_2}{H_1}=\sqrt{\frac{C_{g1}}{C_{g2}}}\sqrt{\frac{b_1}{b_2}} \quad \cdots\cdots(4\text{-}28)$$

C_{g1},C_{g2}:水深 h_1,h_2處之群速度

b_1,b_2 :水深 h_1,h_2處之波向線間隔

式中之$\sqrt{b_1/b_2}$ 爲折射所致波高之變化,$\sqrt{C_{g1}/C_{g2}}$:爲水深變化所致波高變化，可以用淺化係數加以表示$\sqrt{C_{g1}/C_{g2}}=K_{s2}/K_{s1}$，此處$K_{s2}$，$K_{s1}$爲水深 h_1,h_2處之淺化係數，因折射現象而使深海波之波向線寬度由b_o變成b時，此變化而致波高之比稱爲折射係數(Kr)，可以4-29表示。

$$Kr=\sqrt{b_o/b} \quad \cdots\cdots(4\text{-}29)$$

(b)折射計算法

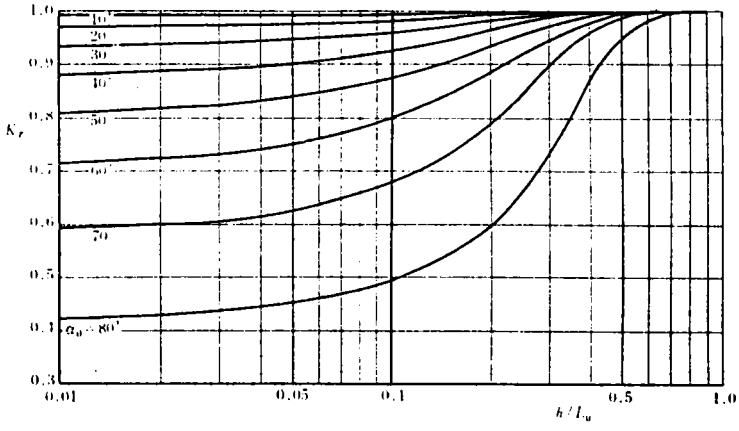
規則波之折射計算法有波向線法之圖形解法及波向線法以電腦去計算者，亦或將表面波之方程式直接以電子計算機進行差分求解之數值波動解析法等。隨狀況採用適當之方法。

但直線平行等深線之場合，波向之變化以及折射係數可由式4-30、4-31計算。

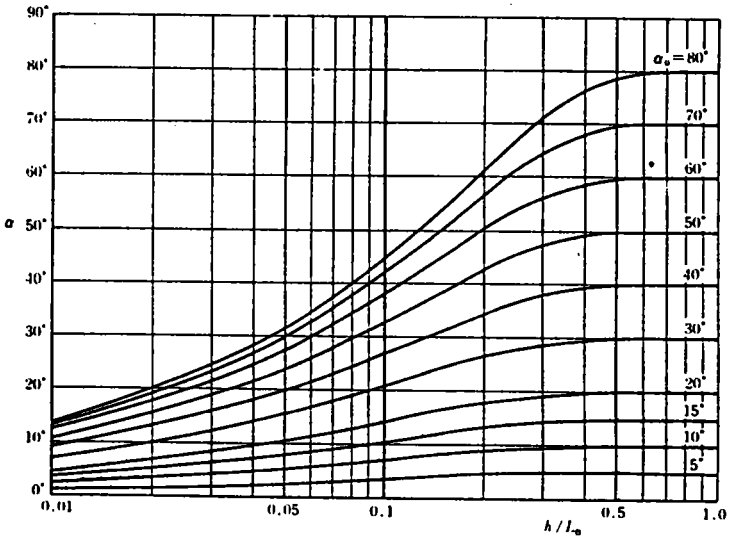
$$\sin\alpha=\sin\alpha_o \tanh\frac{2\pi h}{L} \quad \cdots\cdots(4\text{-}30)$$

$$K_r=\sqrt{\frac{\cos\alpha_o}{\cos\alpha}} \quad \cdots\cdots(4\text{-}31)$$

式中L,α,α_o各爲水深 h之波長與波浪入射角度以及深海區之波浪入射角。圖4-11(a)及(b)爲利用4-31，4-30計算所得折射係數與波向變化之圖。



図－解 4.11(a)　直線平行等深線海岸における規則波の屈折係数



図－解 4.11(b)　直線平行等深線海岸における規則波の波向の変化図

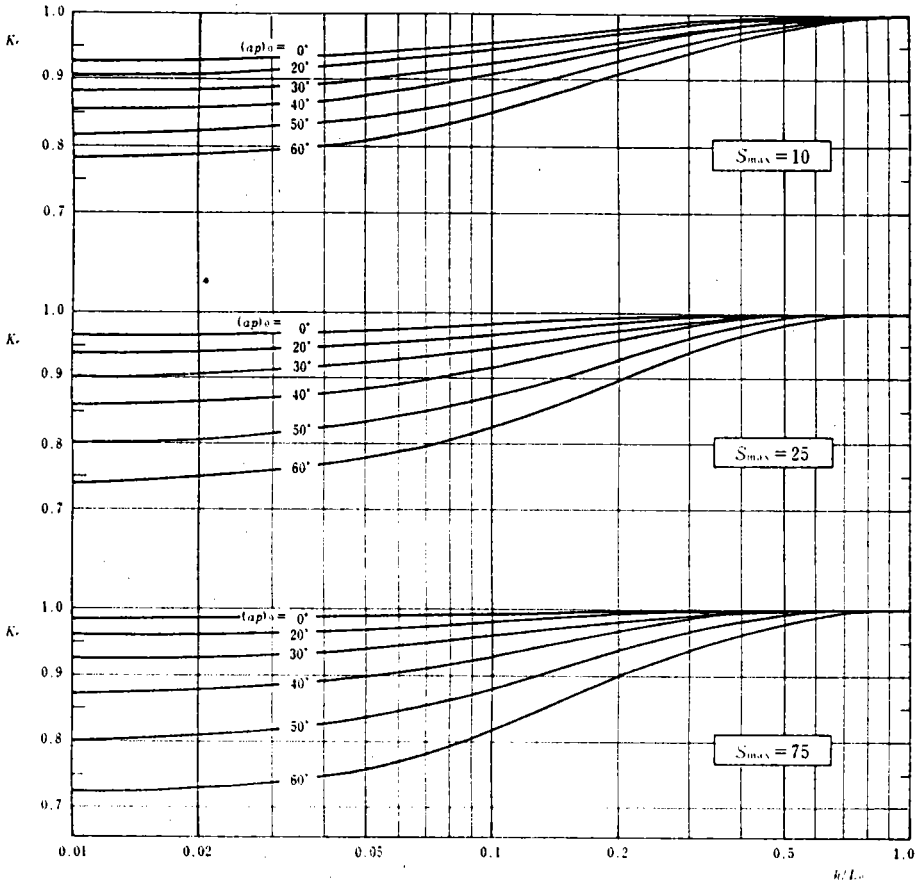


図 - 解 4.12(a) 直線平行等深線海岸の屈折係数[39]

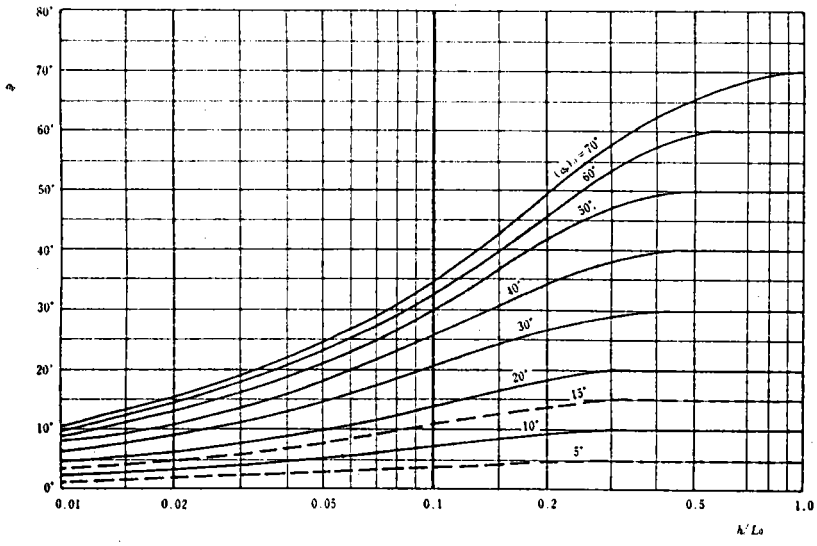


図 - 解 4.12(b) 屈折による α_p の変化図[39]

(c)波向線法之問題點

波向線爲幾何光學之圖解法，隨著條件波向線有相交之可能，在此交點上波高將成無限大，但此爲波向線間能量輸送爲連續之假設所產生，實際上，在波向線交差附近，沿著波峰線因波高之變動很大，波浪之能量橫越波向線而流失，波高不可能無限大，但卻有入射波高2倍之波高出現之報告，因此對波向線交差點以後之波浪處理， 可將深水波之波向線間隔取大，使其不產生交差亦或交差點以下成 2個方向之波浪，最後再取合成波高之方法，但不明確之處仍很多，實用上仍須充分檢討才可。

(2)規則波折射計算之適用範圍

由原理來看，規則波計算所適用之範圍爲湧浪、海嘯等任何方向分散很小，頻率帶較小之波浪。像風浪般方向分散很大，頻率帶廣者應採用不規則波進行折射計算，但是直線平行等深線海岸之規則波與不規則波折射係數(圖4-11(a)與圖4-12(a)與波向之變化圖(圖4-11(b)與圖4-12(a))相比較，可知二者間並無很大之差異，因此對平行海岸線之直線等深線海域地形單調者，規則波與不規則波之折射計算結果差很小，採用規則波之結果亦可。

(3)不規則波之折射計算

(a)不規則波之折射計算法有將波浪之方向波譜加以分割成適當個數之成分波，對每個成分波進行折射計算之成分波法與利用電腦將波浪之能量平衡方程式或緩坡度方程式差分加以解析之法。由於能量平衡方程式與成分波法相同，係經由假設波浪之能量不橫越波向線而導出，因此基本上二者雖是同樣的方法，但由於係在微小領域內計算折射，因此不適用於區域較廣之處，在此，爲求取不規則波浪之折射係數，可採用較簡便之前法，但成分波之折射計算時，若產生波向線交差時，實用上應採用能量平衡方程式。

(4)在水深爲深海波高之0.5倍程度以下之地點，由於流之影響遠大於波浪，因此波向以及折射係數計算時所採用之折射計算適用範圍爲水深大於深海波之0.5倍以上。

4-5-3 波浪之繞射

(1)因防波堤以及島嶼等之障礙物所致受繞射波之影響區域內之波高，可以繞射圖、繞射計算或水工模型試驗加以計算。
(2)繞射波之計算應考慮波浪之波譜特性。

[說明]

(1)單堤所致不規則波之繞射圖，如圖4-13～圖4-19，圖中之實線爲等波高比線、點線爲等週期比線，Smax=10爲風浪，Smax=25爲減衰初期之湧浪，Smax=75爲相當於具湧浪特性之波浪，但在淺海區域，由於折射使Smax產生變化，須加以考慮。另外繞射波高與入射波高之比稱爲繞射係數，以K_a表示，θ爲波浪之主方向座標，爲以有義波之波長加以無因次化；這些圖未考慮防波堤裏側反射而來之波浪。

(2)圖4-20～圖4-23爲雙堤開口之防波堤的繞射圖，波浪之主方向與防波堤垂直，座標爲以開口寬度加以無因次化之值，圖之右半部爲繞射係數，左半部爲週期之比值。

(3)雙堤開口防波堤、波浪由斜向入射時之繞射圖，最好能以電腦進行數值計算求取，如果無法作到亦或只想有一概略參考時，可以下法求出。

斜向入射時，雙堤開口防波堤繞射波之軸線方向爲θ'，(參考圖4-24)與波浪之入射方向θ稍爲偏離。圖4-25(a)～(c)及圖4-26(a)～(c)即爲一例。開口寬度比B/L 以及隨波浪之入射方向，繞射波之軸線方向加以整理者如表4-2(a)～(c)由這些表可以求出繞射波之軸線方向，對此θ'假設開口寬度B'/L可由4-32求出。

$$B'/L=(B/L)\sin\theta' \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (4\text{-}32)$$

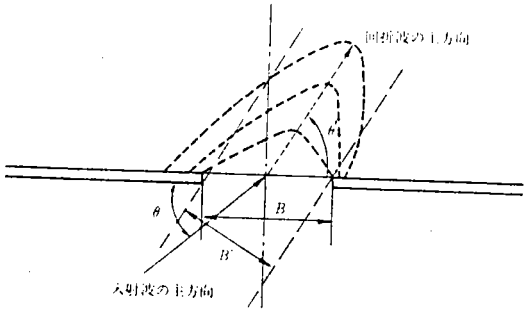
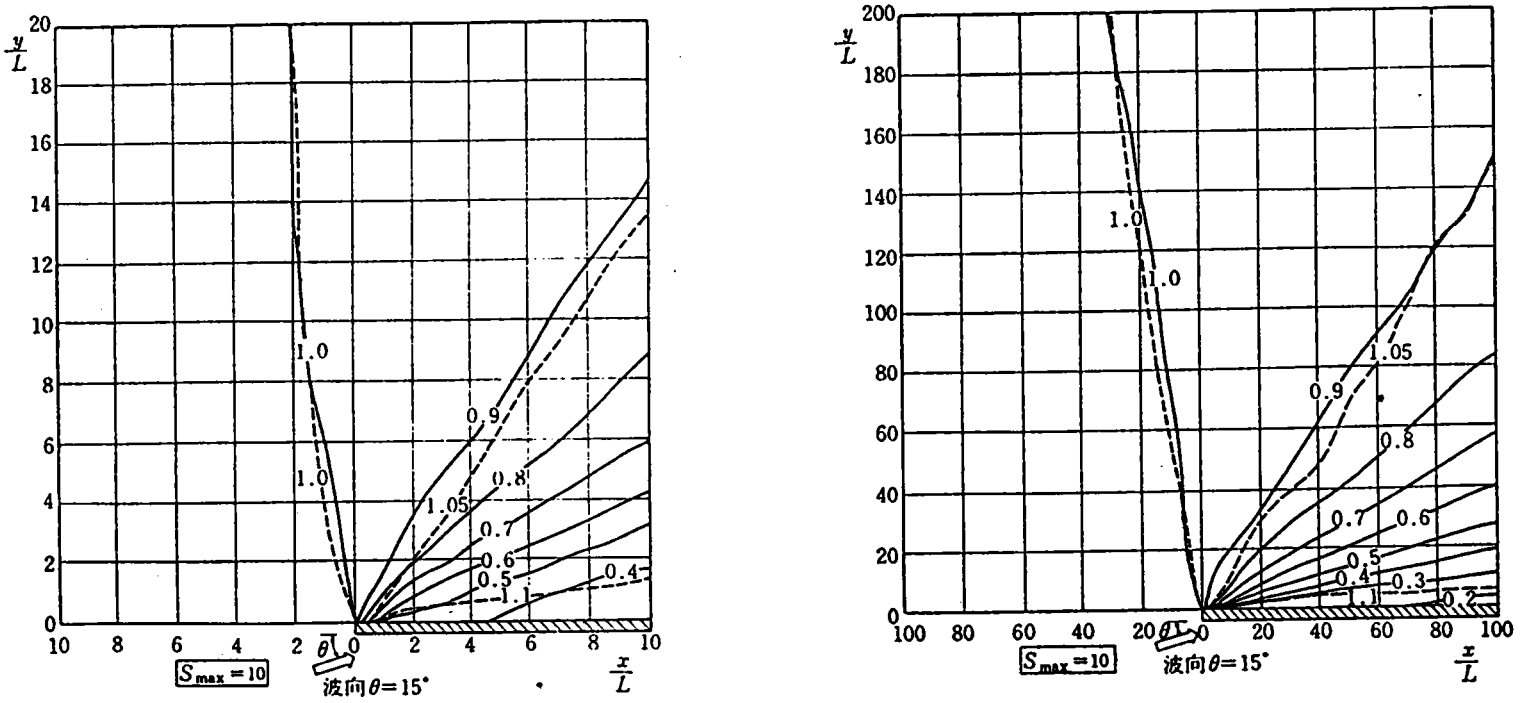
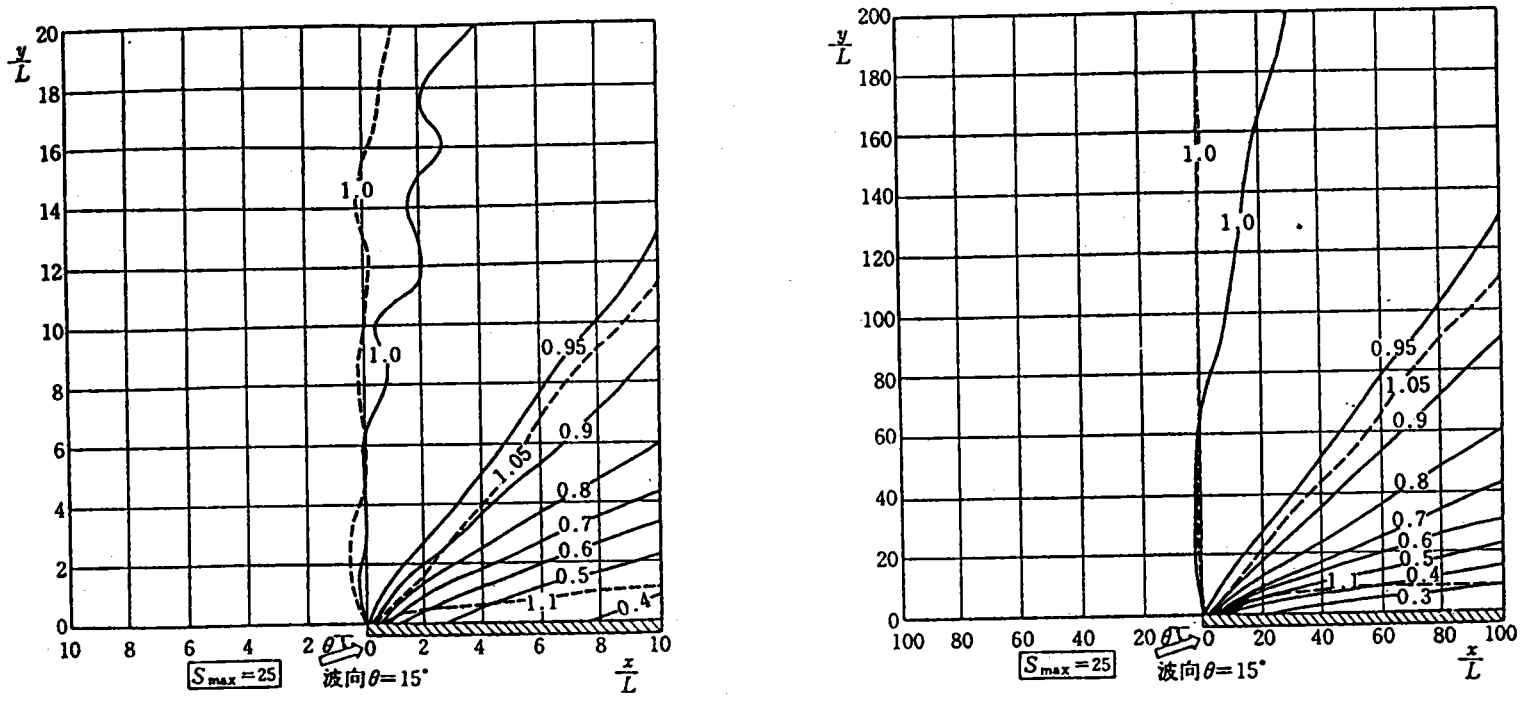


図-解4.24 仮想開口幅 B' と回折波の軸線角度 θ'



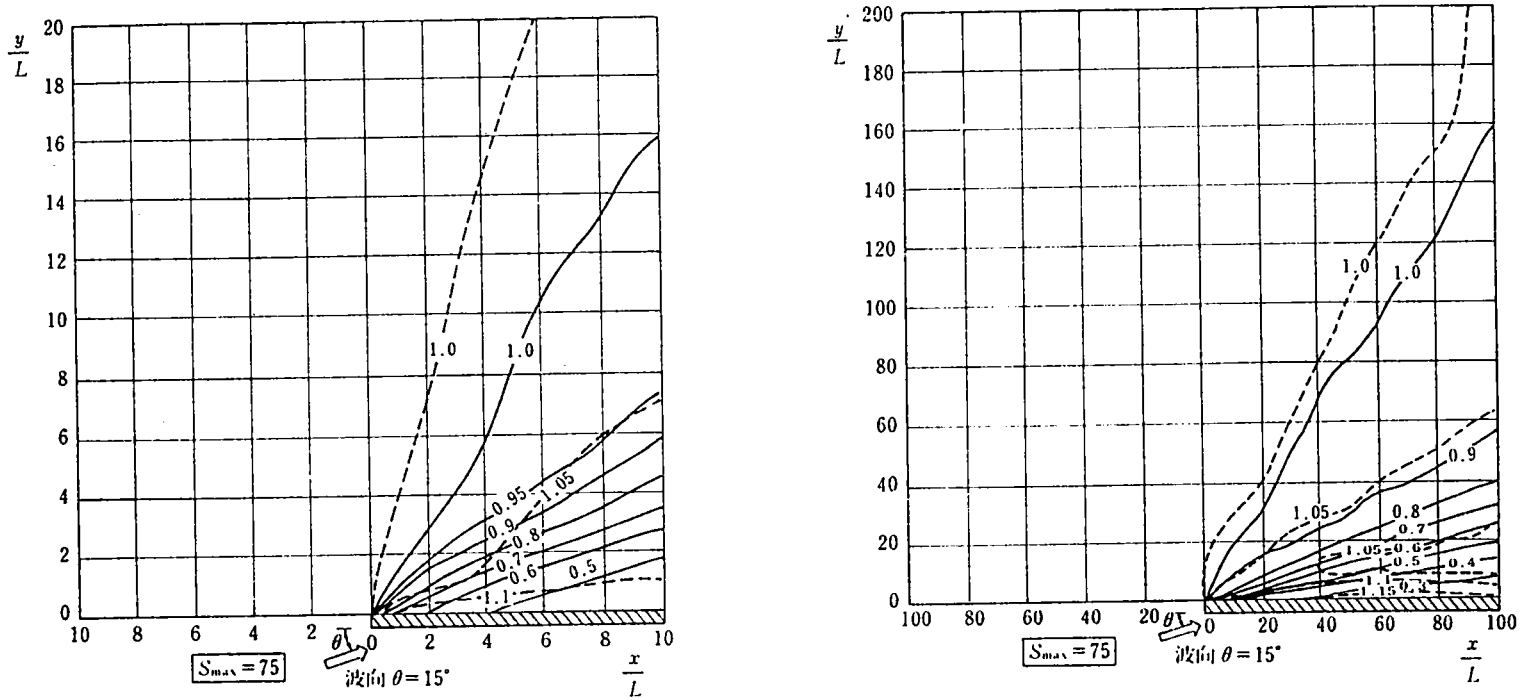
(a) $S_{max}=10$

図-解 4.13　半無限堤による回折図（$\theta=15^{\circ}$）



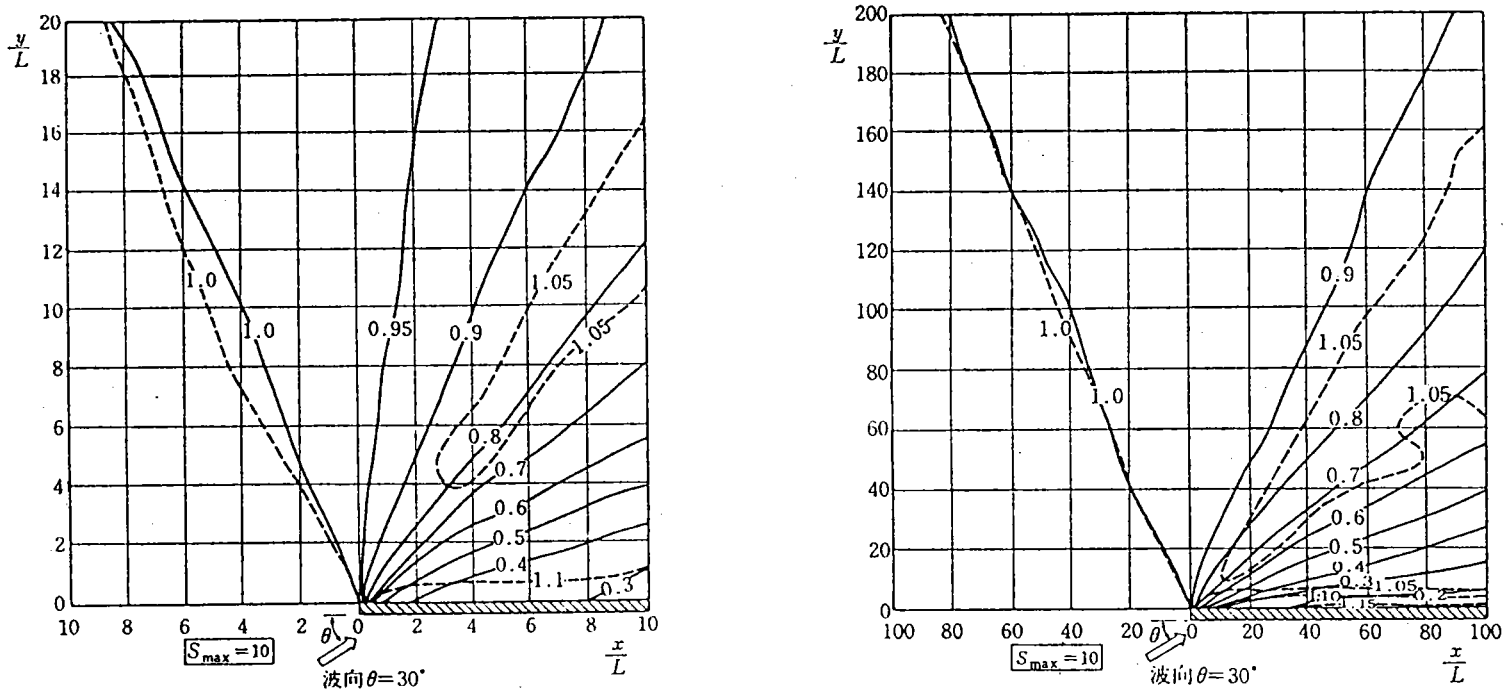
(b) $S_{max}=25$

図-解 4.13 半無限堤による回折図（$\theta=15°$）



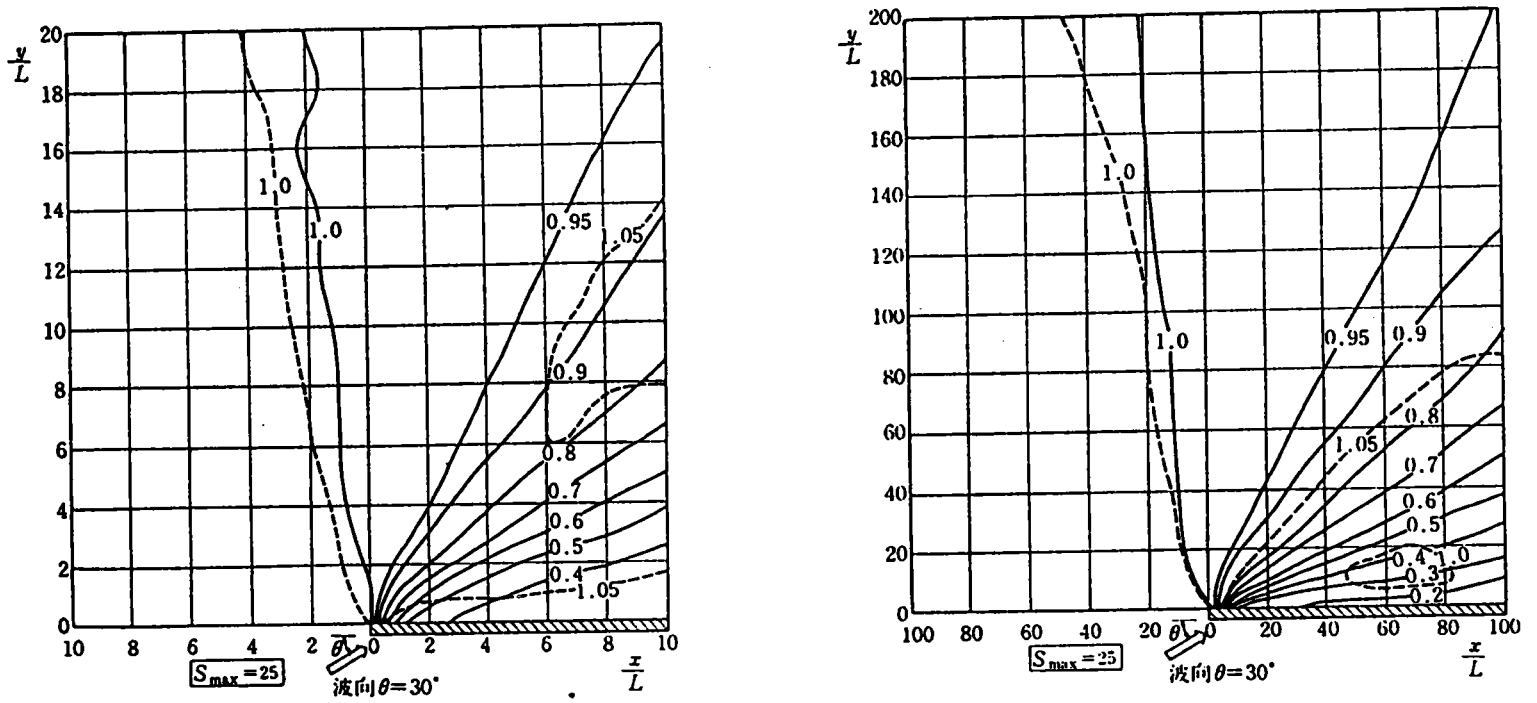
(c) $S_{max}=75$

図-解4.13 半無限堤による回折図（$\theta=15°$）



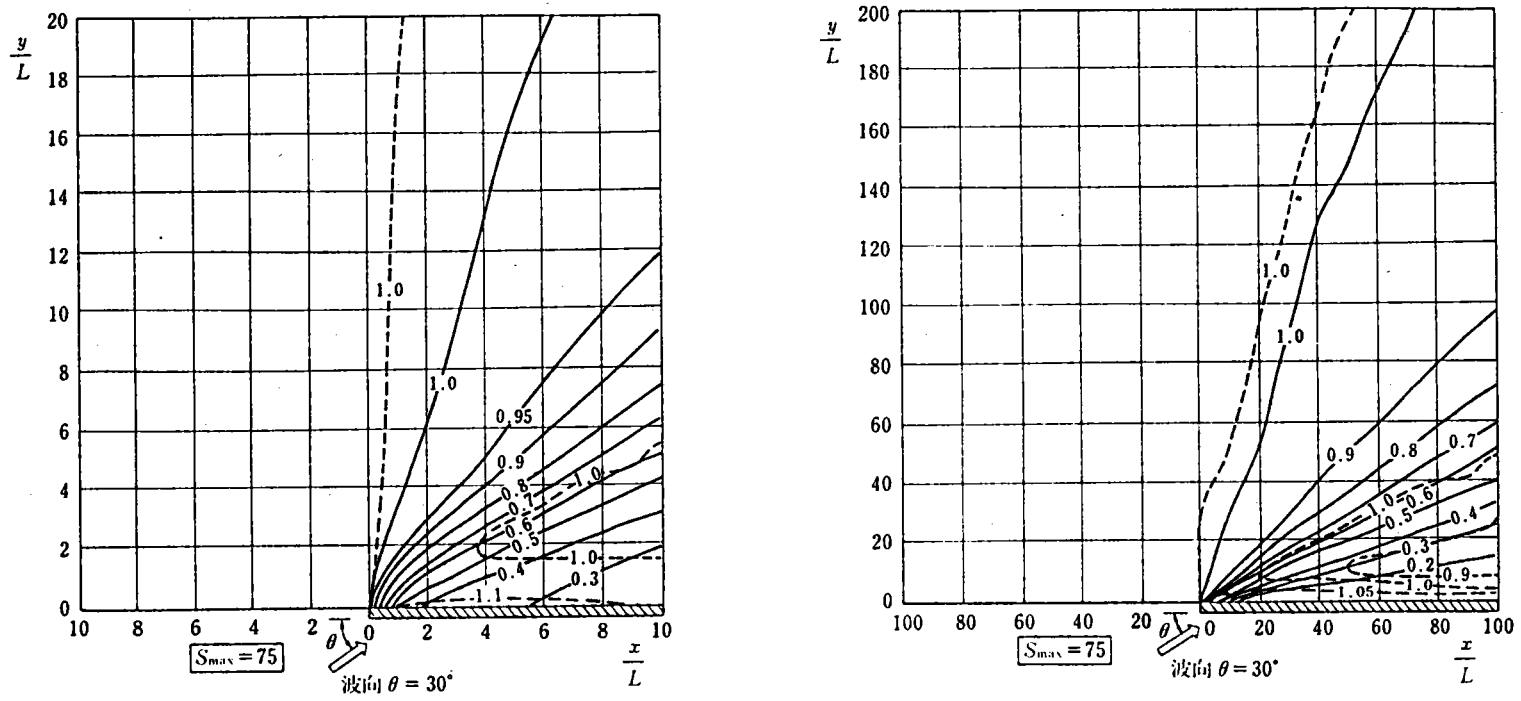
(a) $S_{max}=10$

図-解4.14　半無限堤による回折図（$\theta=30°$）



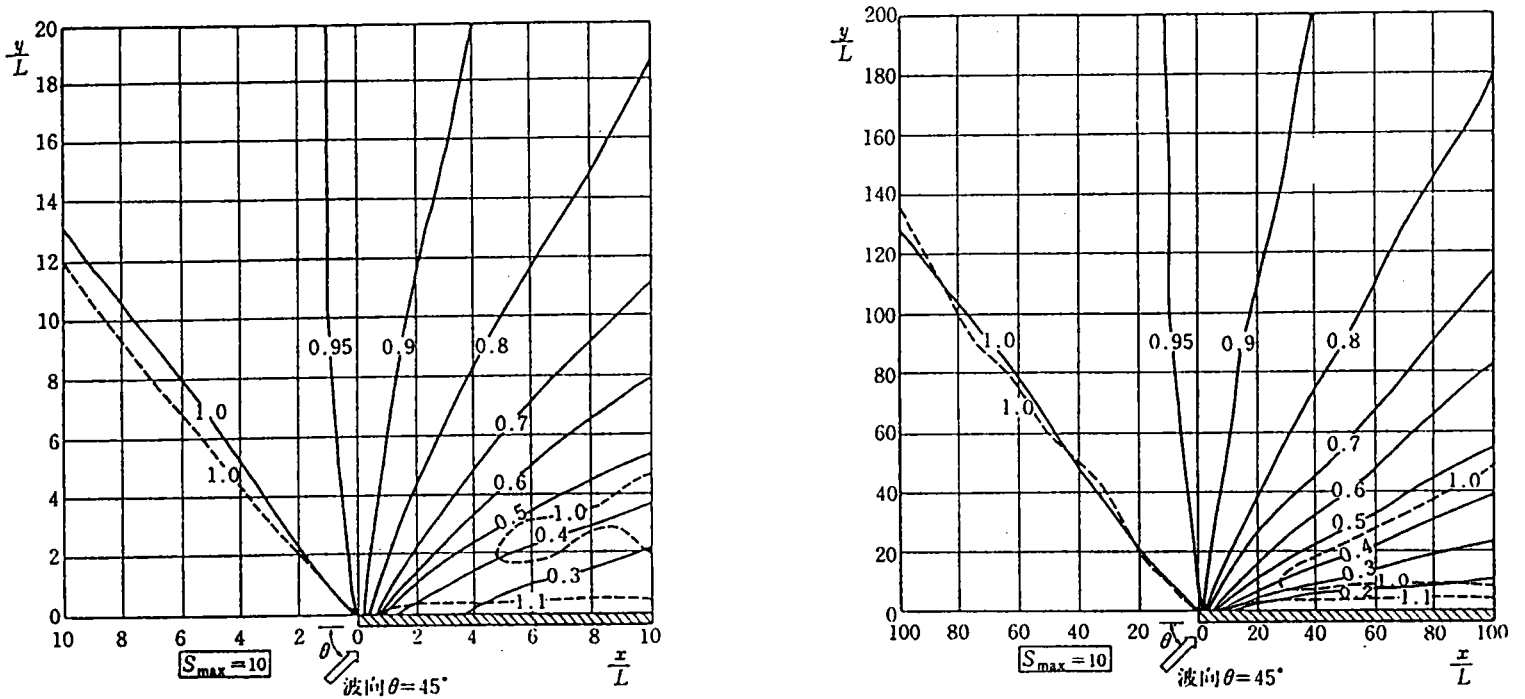
(b) $S_{max}=25$

図-解4.14 半無限堤による回折図（$\theta=30°$）



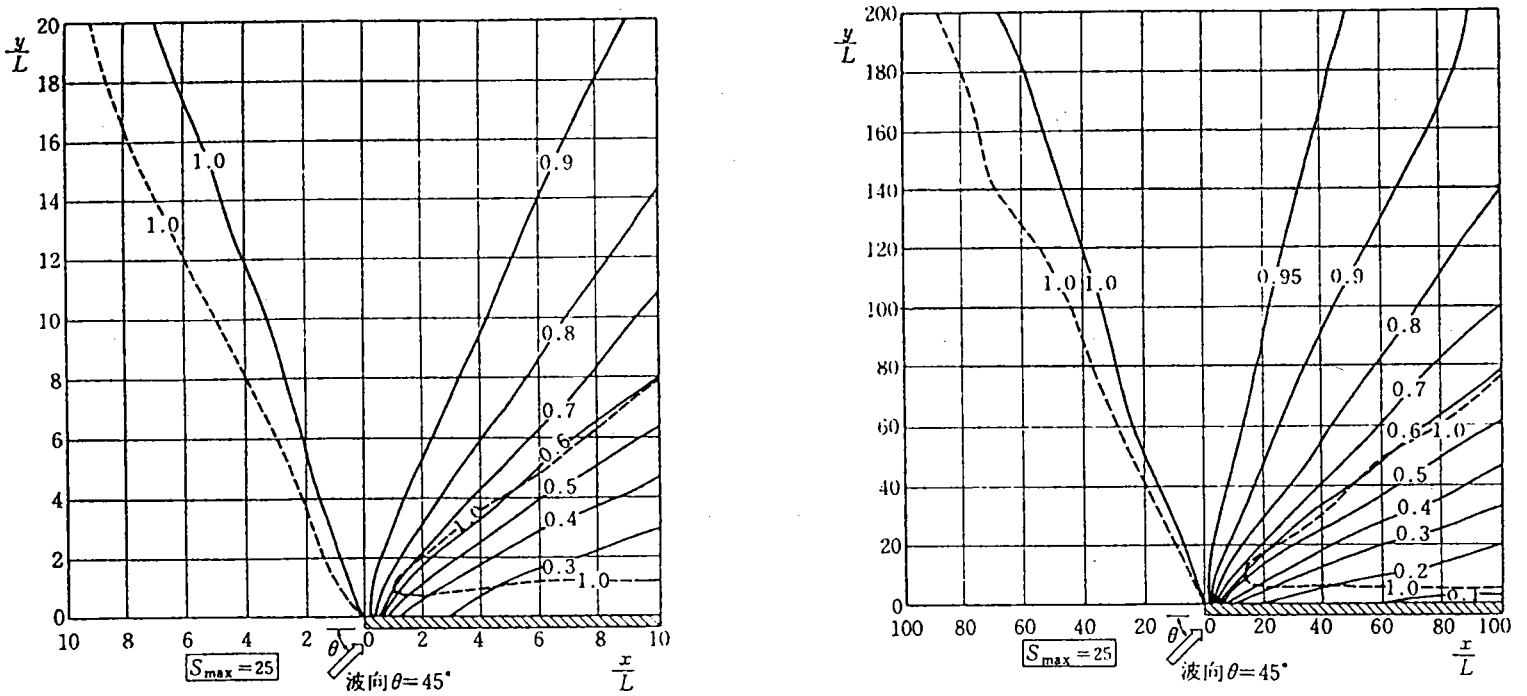
(c) $S_{max}=75$

図-解4.14　半無限堤による回折図（$\theta=30°$）



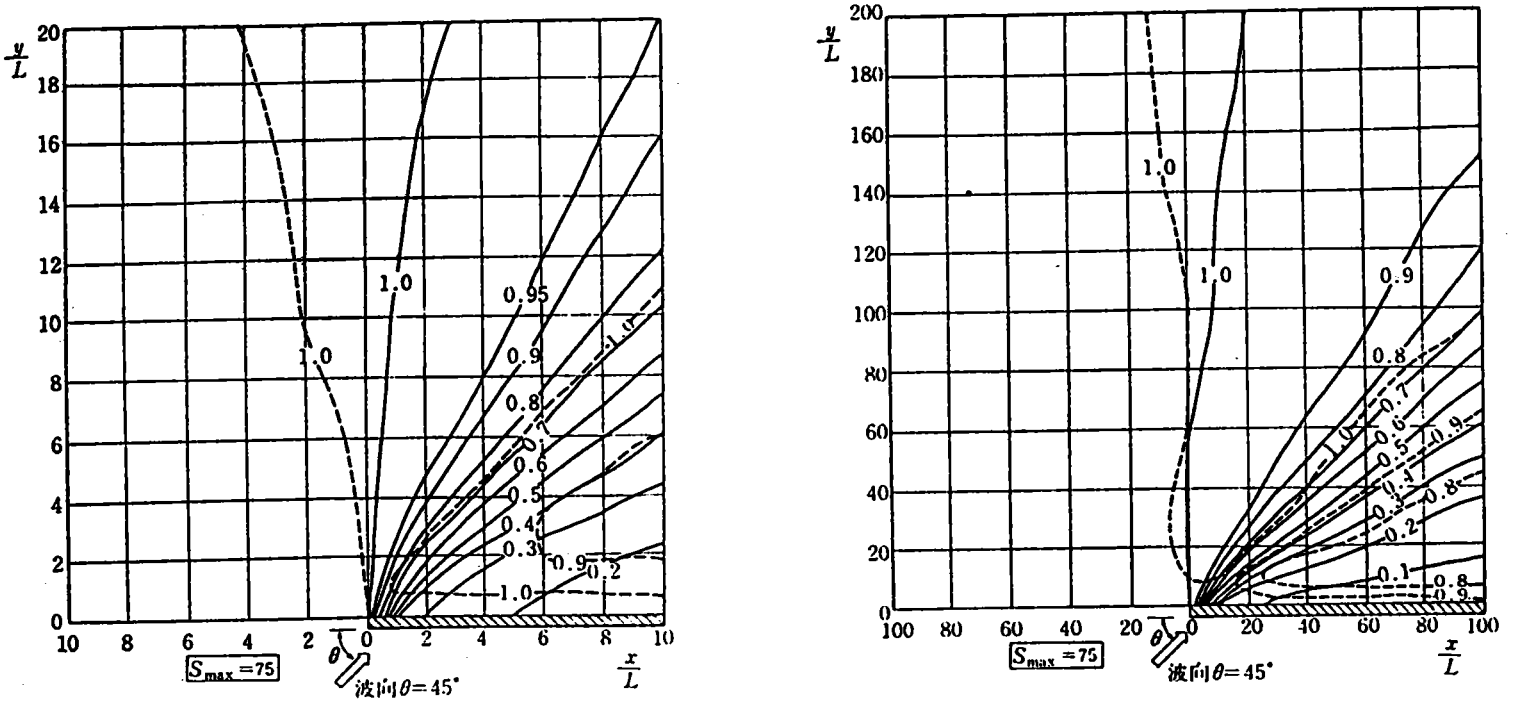
(a) $S_{max}=10$

図-解4.15 半無限堤による回折図（$\theta=45°$）



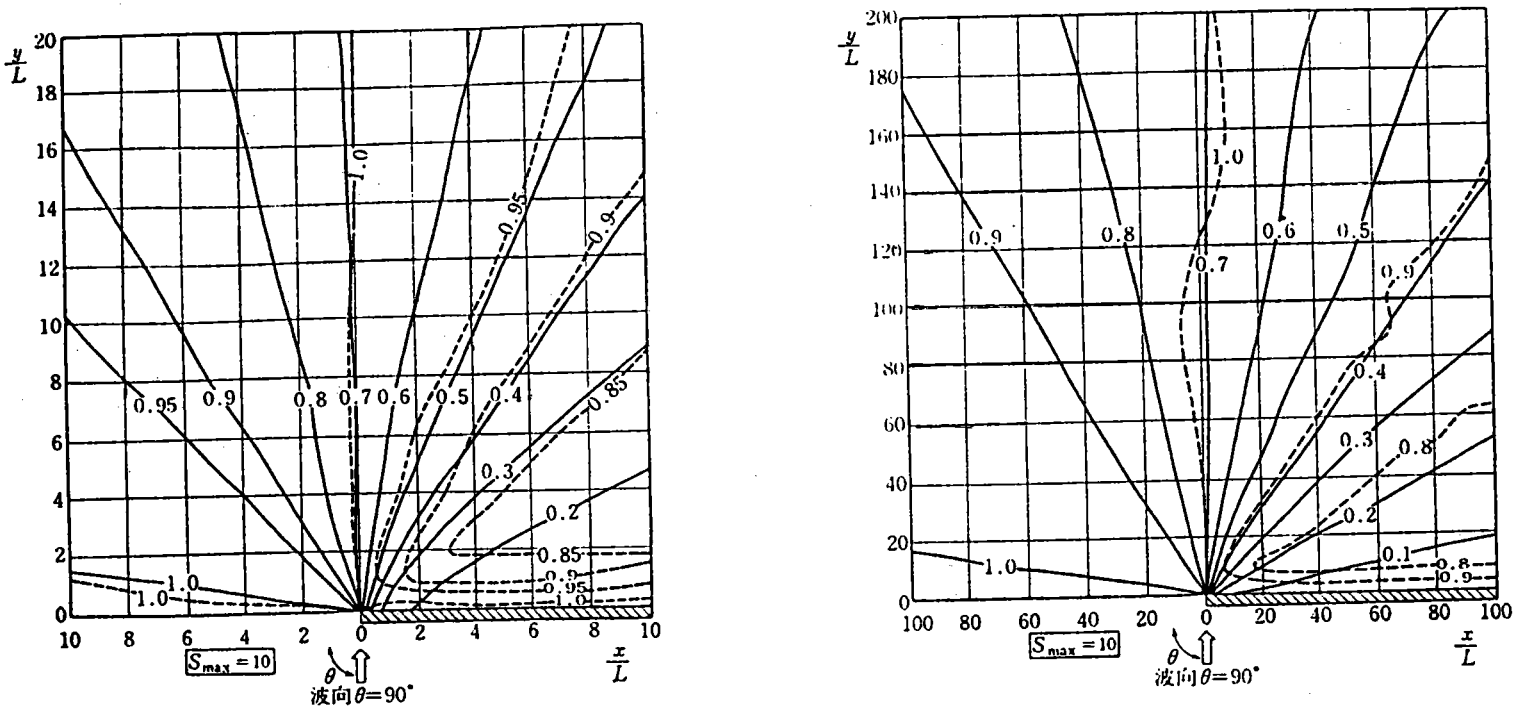
(b) $S_{max}=25$

図-解 4.15 半無限堤による回折図（$\theta=45°$）



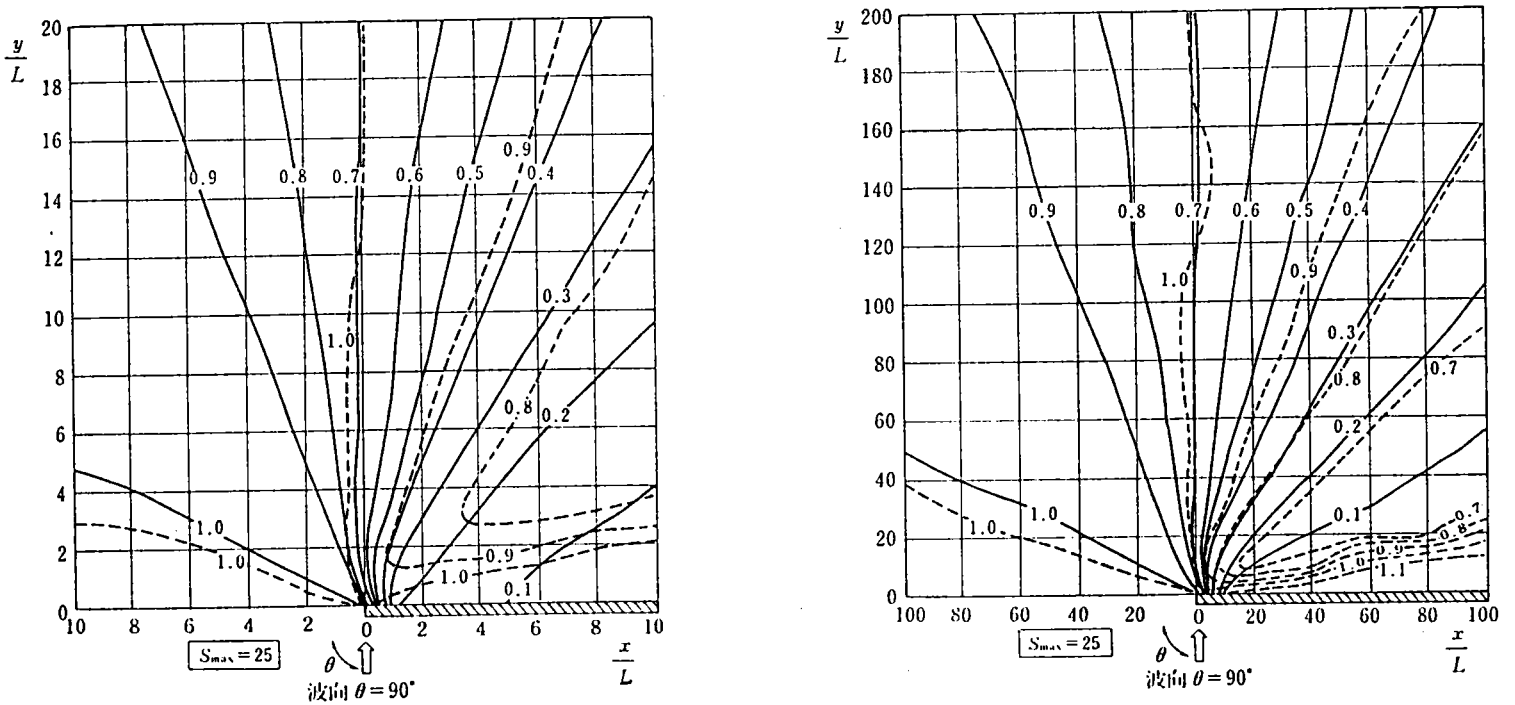
(c) $S_{max}=75$

図-解4.15　半無限堤による回折図（$\theta=45°$）



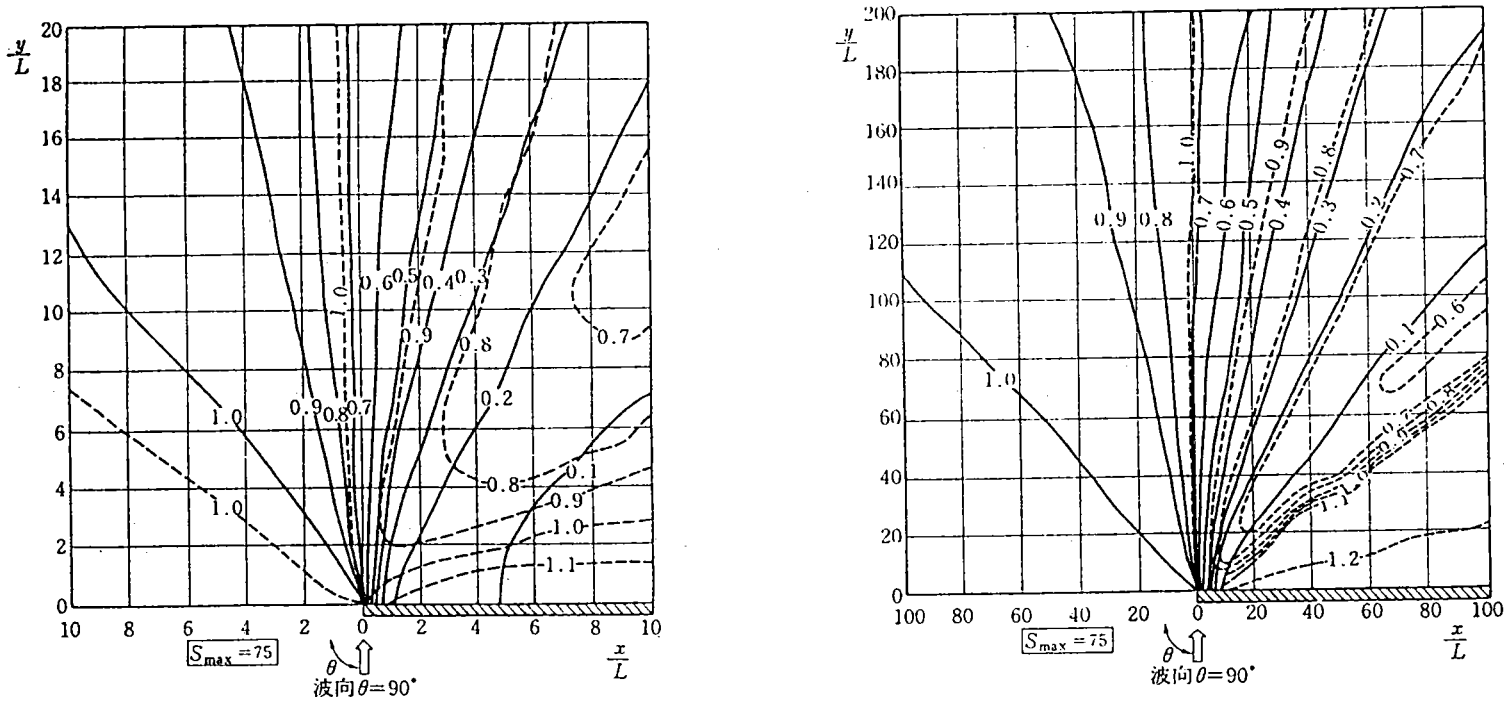
(a) $S_{max}=10$

図-解 4.16　半無限堤による回折図（$\theta=90°$）



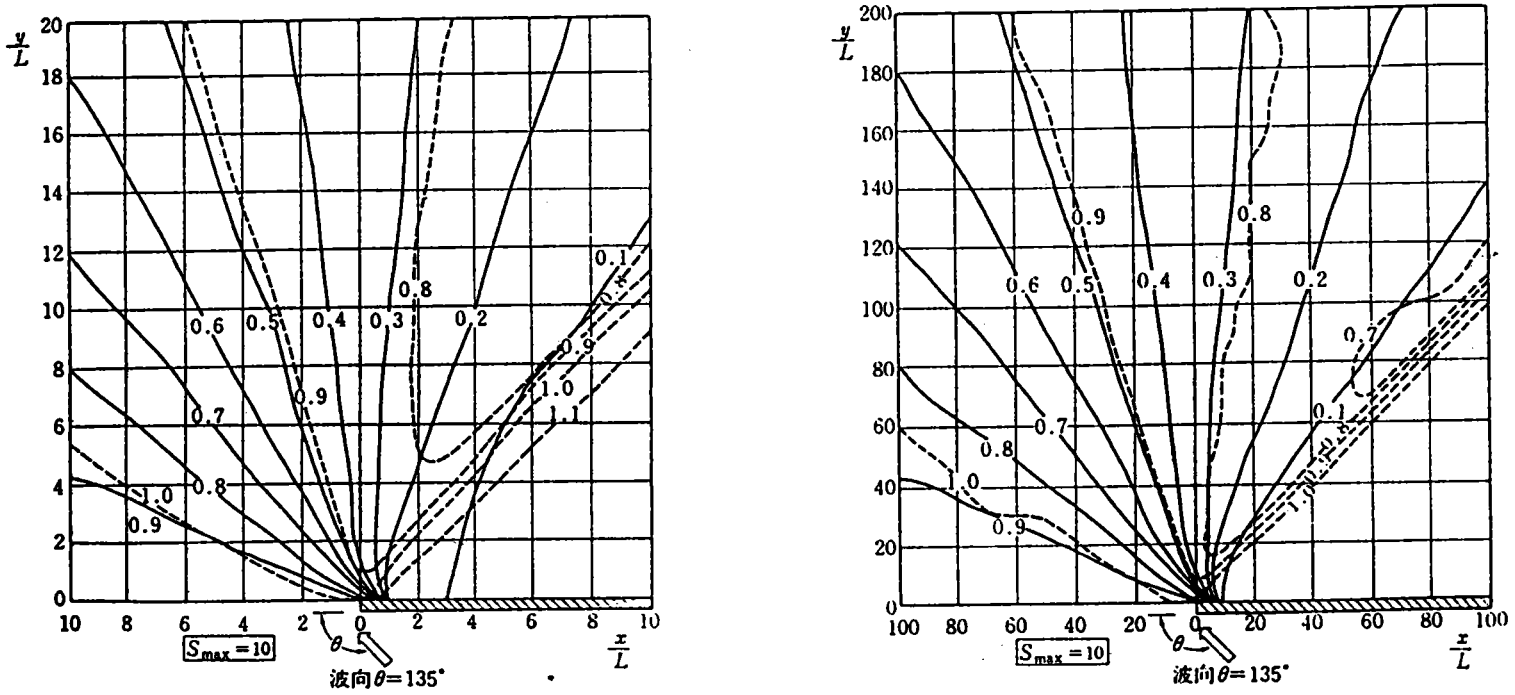
(b) $S_{max}=25$

図-解4.16　半無限堤による回折図（$\theta=90°$）



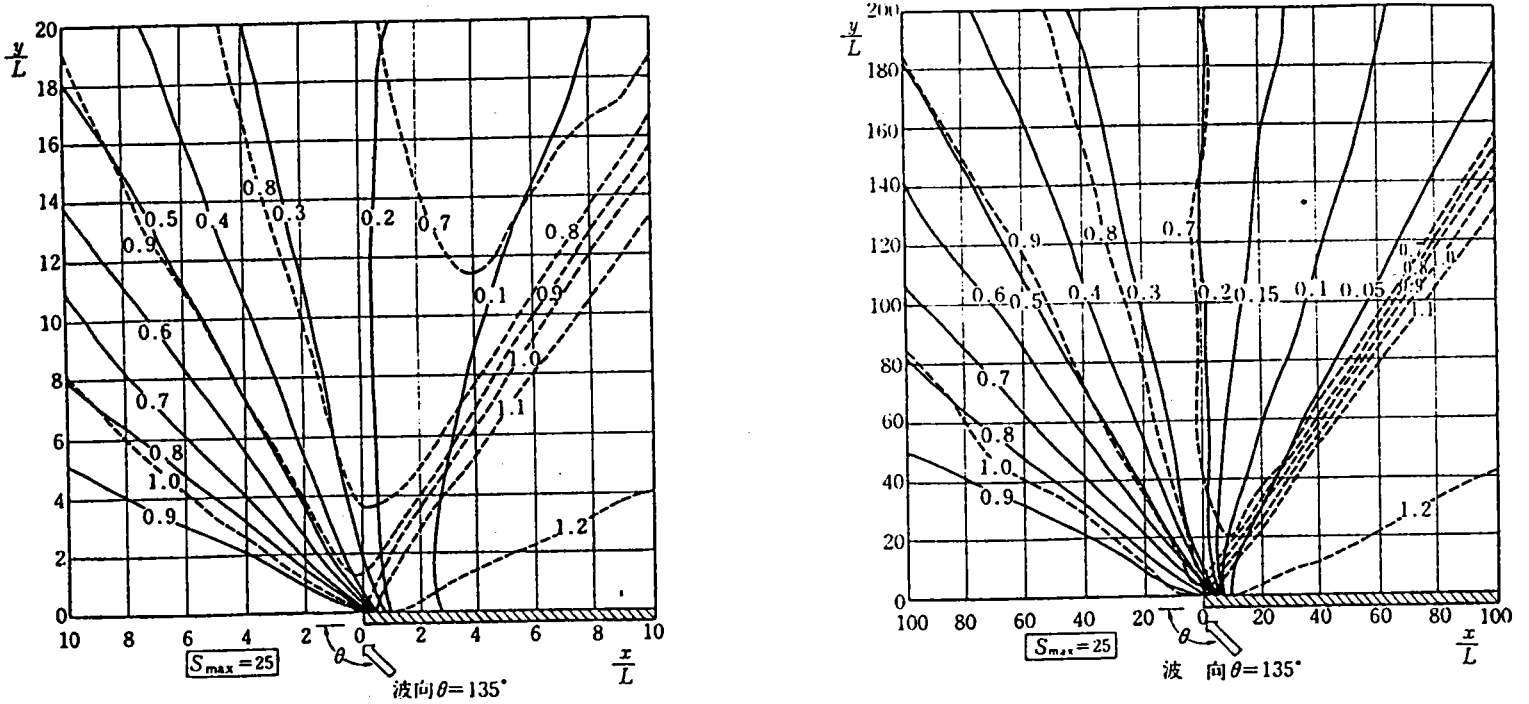
(c) $S_{max}=75$

図-解 4.16　半無限堤による回折図（$\theta=90°$）



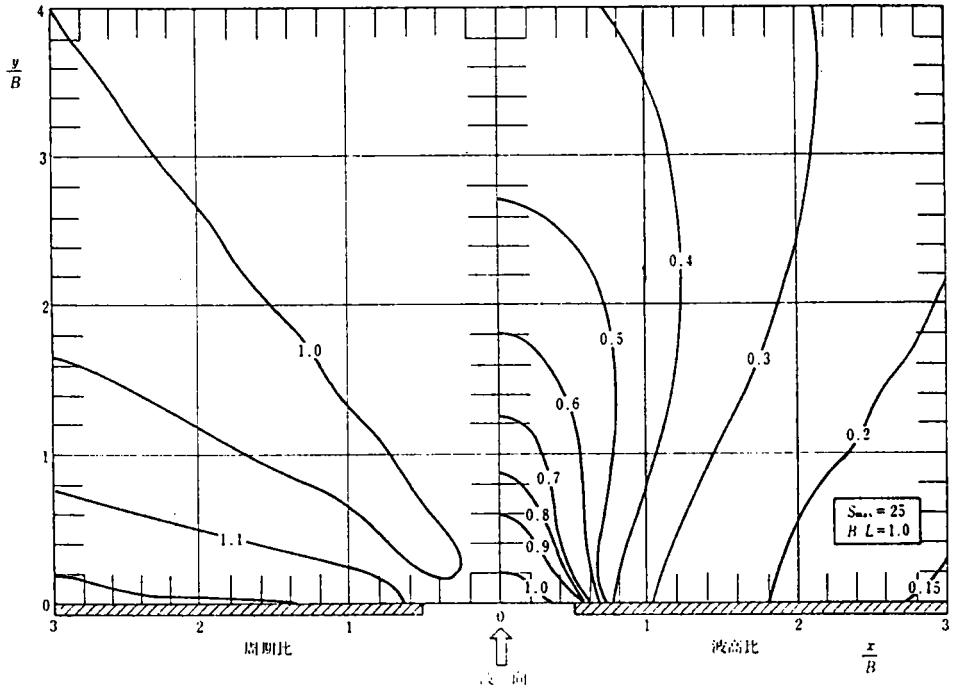
(a) $S_{max}=10$

図-解4.17　半無限堤による回折図（$\theta=135°$）



(b) $S_{max}=25$

図-解 4.17　半無限堤による回折図（$\theta=135°$）



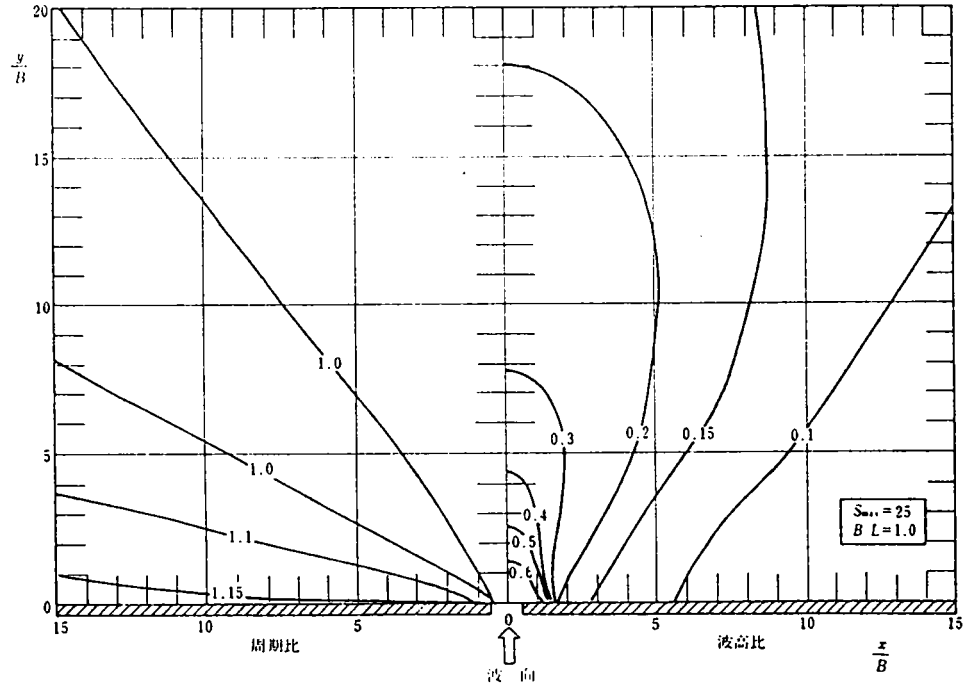
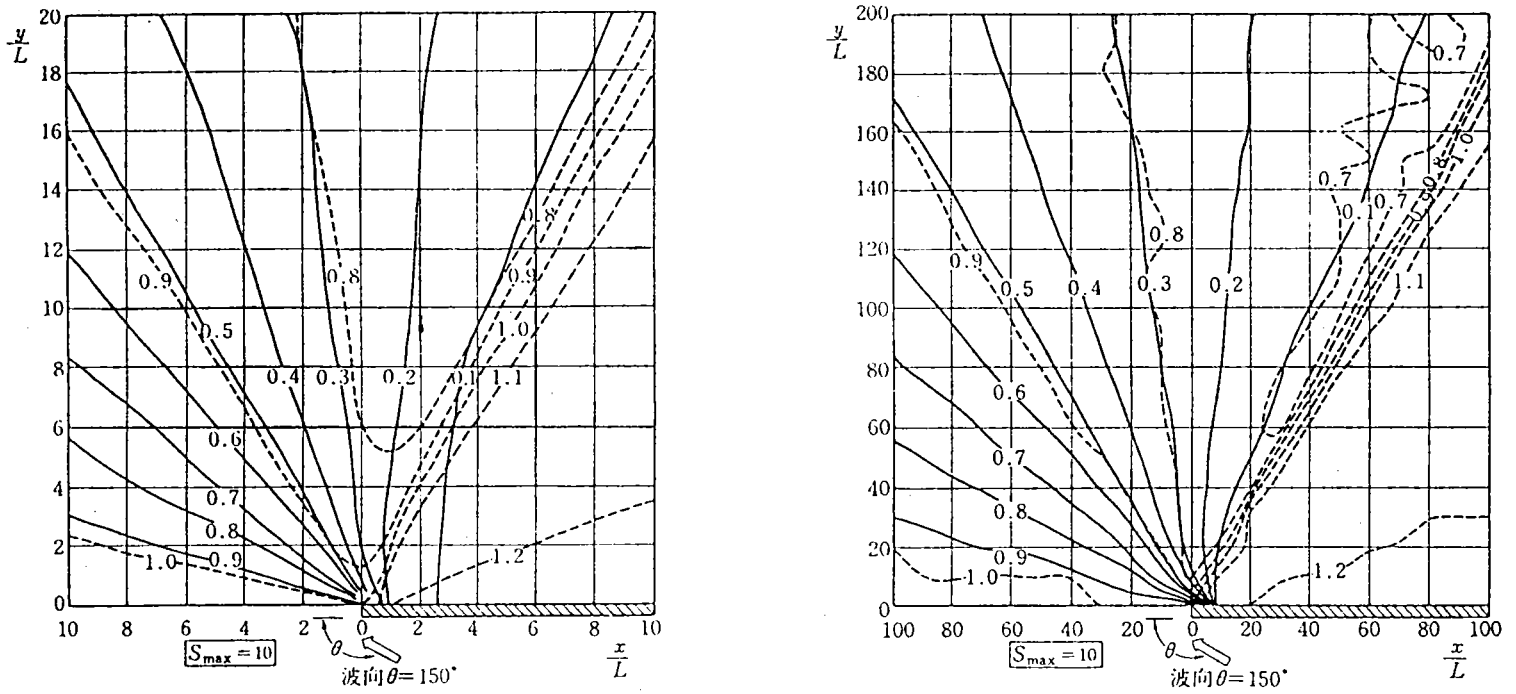
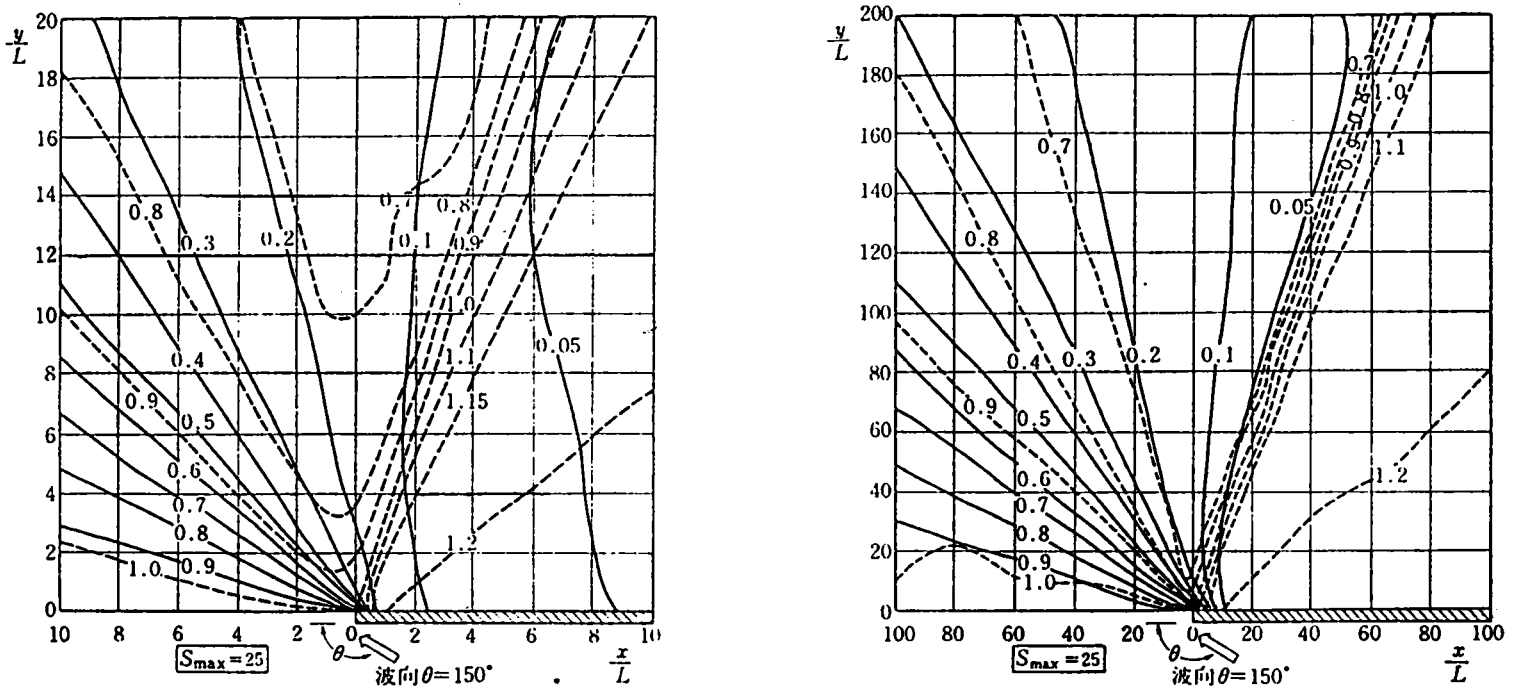


図-解4.20(b) 開口防波堤による回折図 ($B/L=1.0$, $S_{max}=25$)



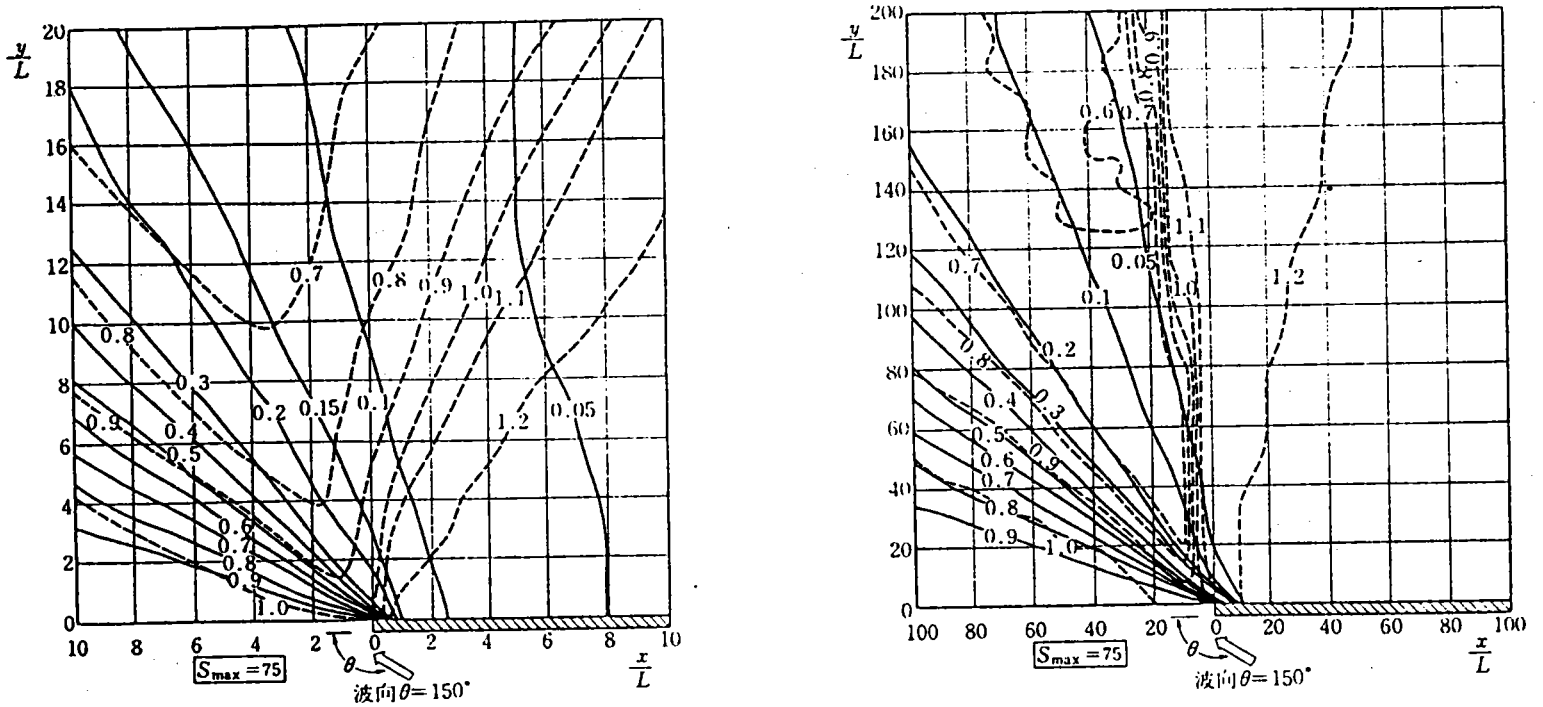
(a) $S_{max}=10$

図-解4.18 半無限堤による回折図（$\theta=150°$）



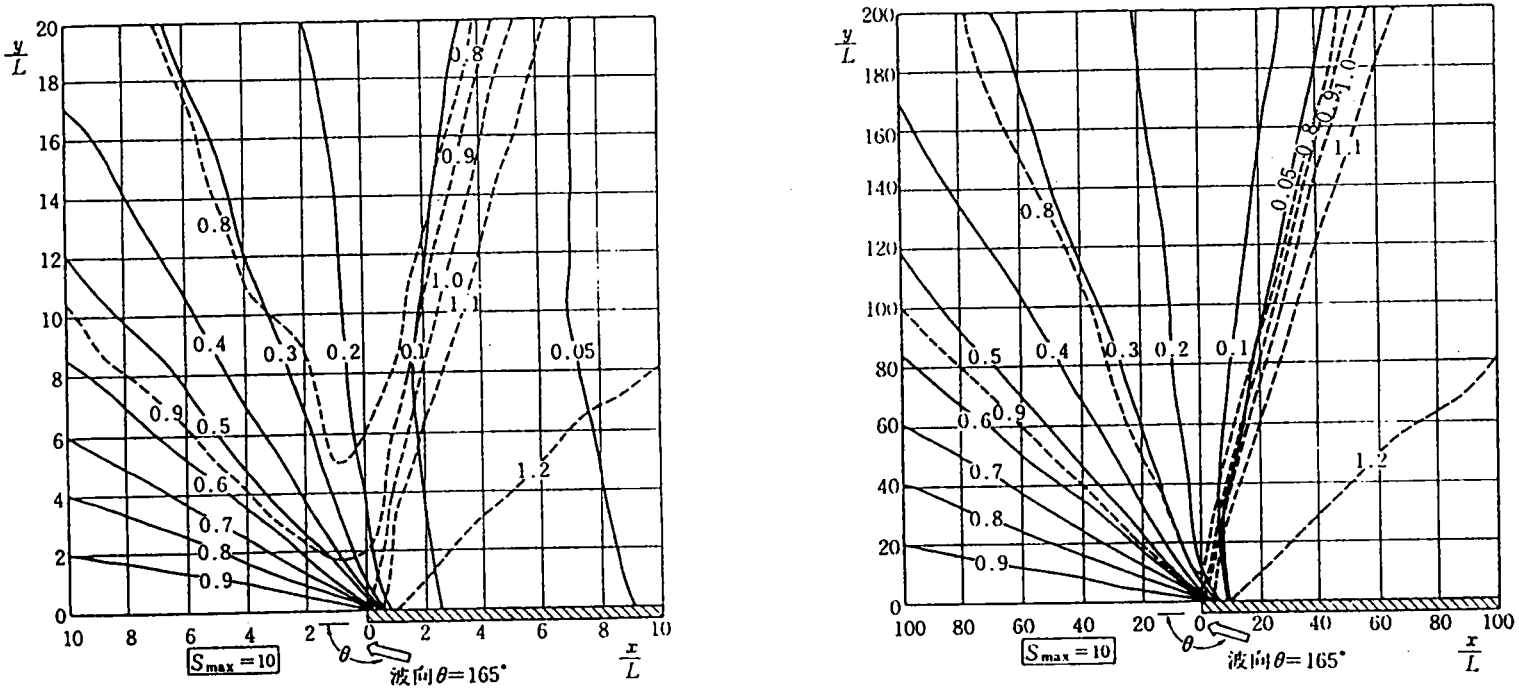
(b) $S_{max}=25$

図-解 4.18 半無限堤による回折図（$\theta=150°$）



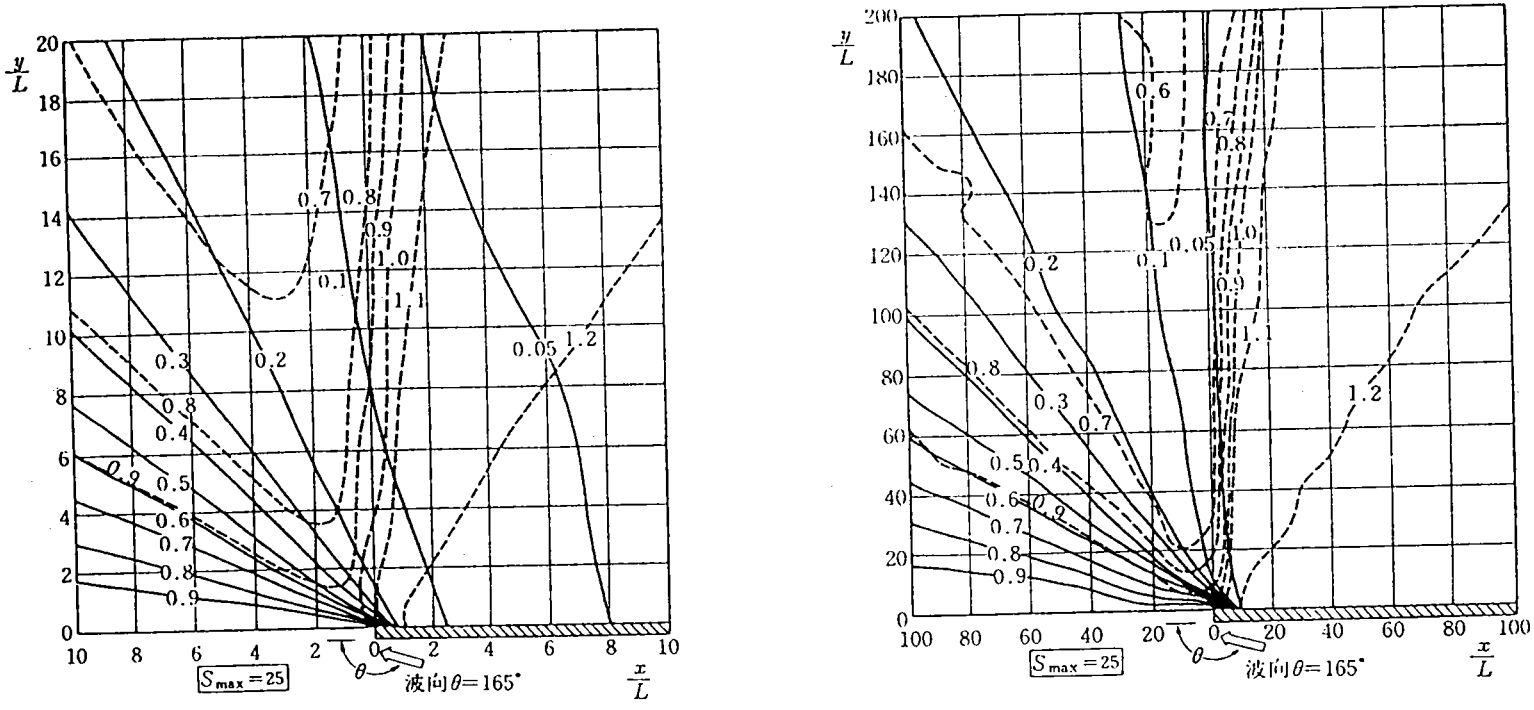
(c) $S_{max}=75$

図-解 4.18 半無限堤による回折図（$\theta=150°$）



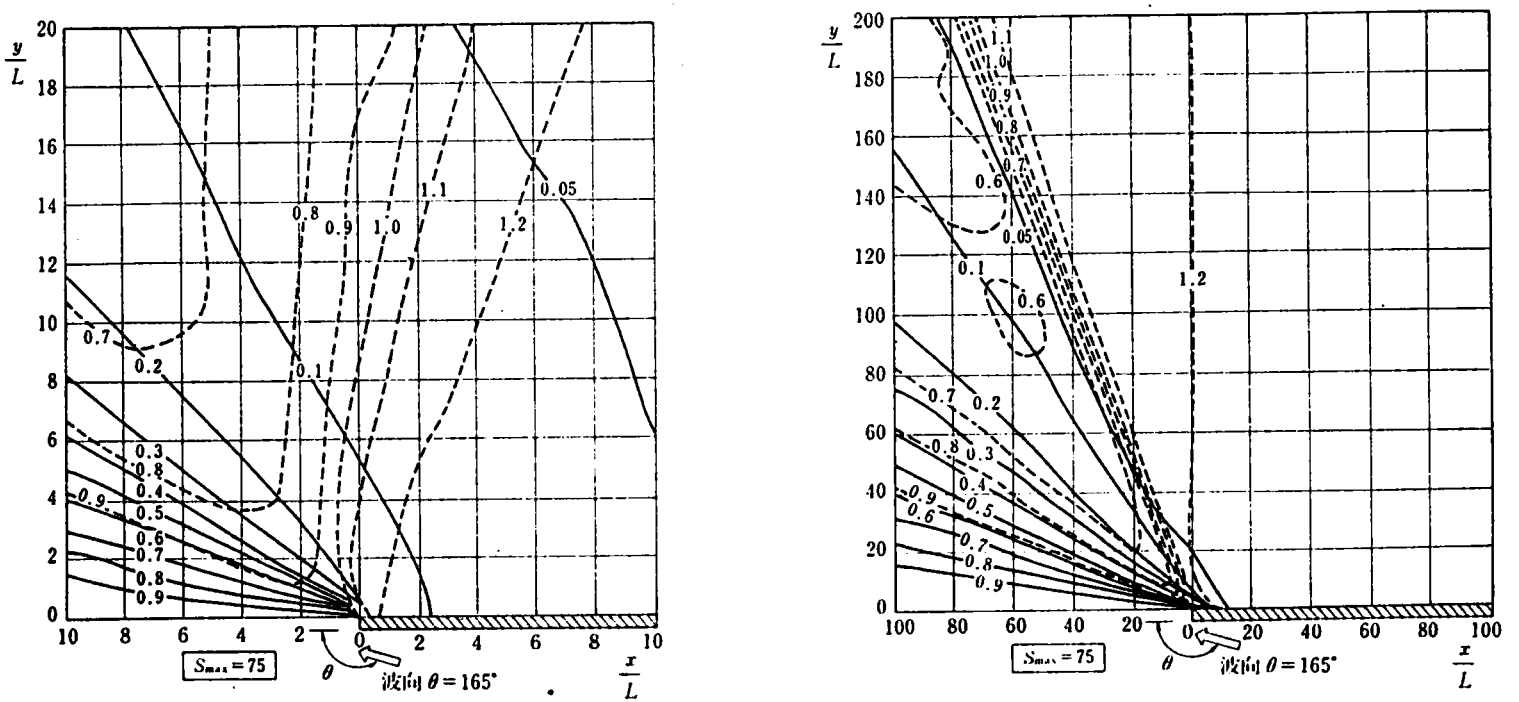
(a) $S_{max}=10$

図-解4.19 半無限堤による回折図（$\theta=165°$）



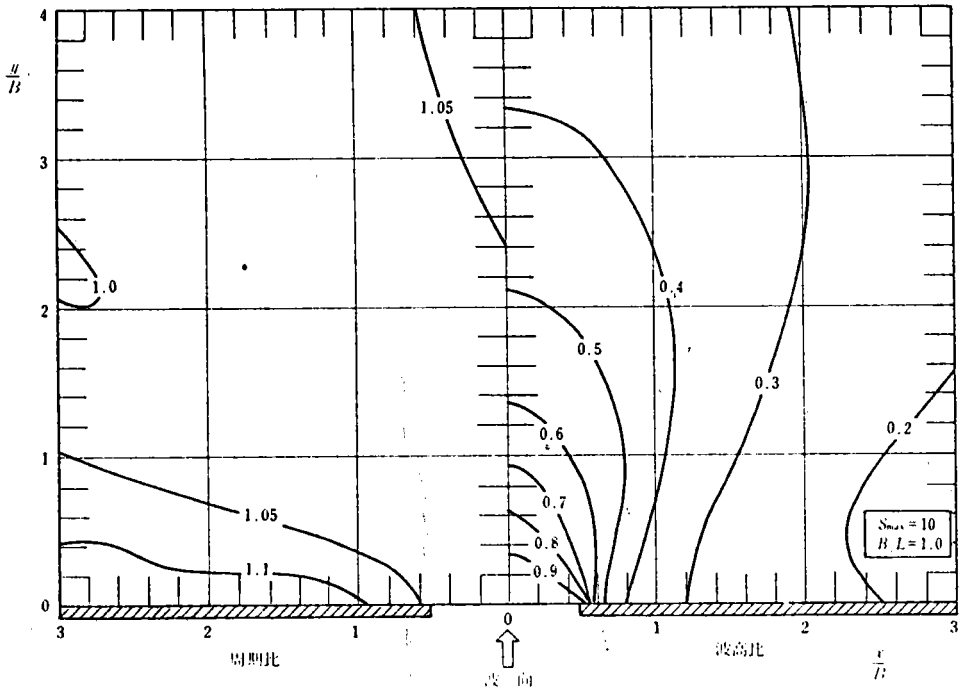
(b) $S_{max}=25$

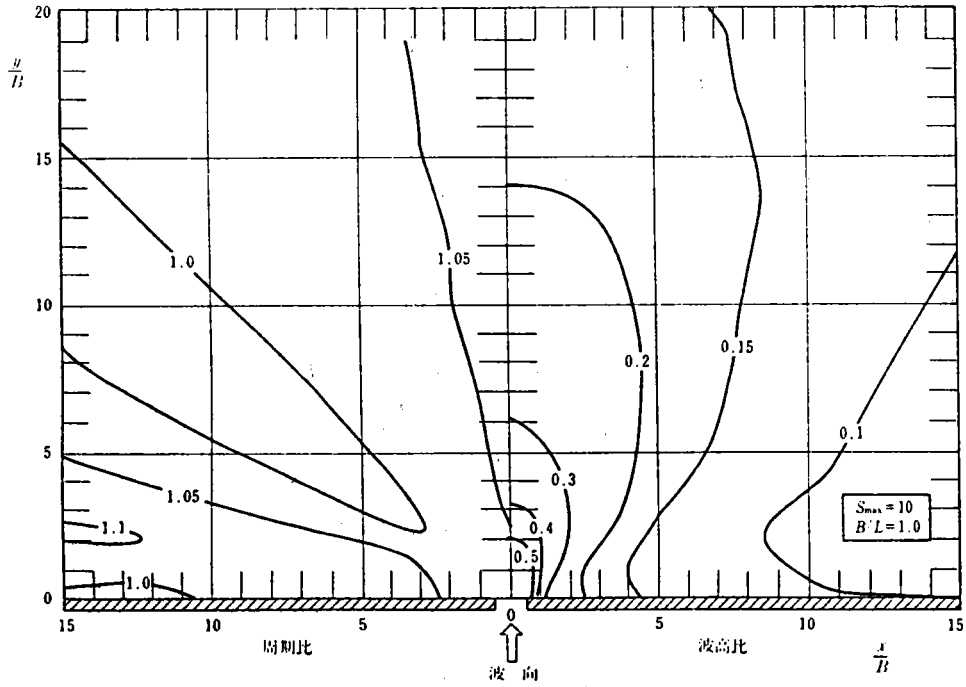
図-解4.19　半無限堤による回折図（$\theta=165°$）



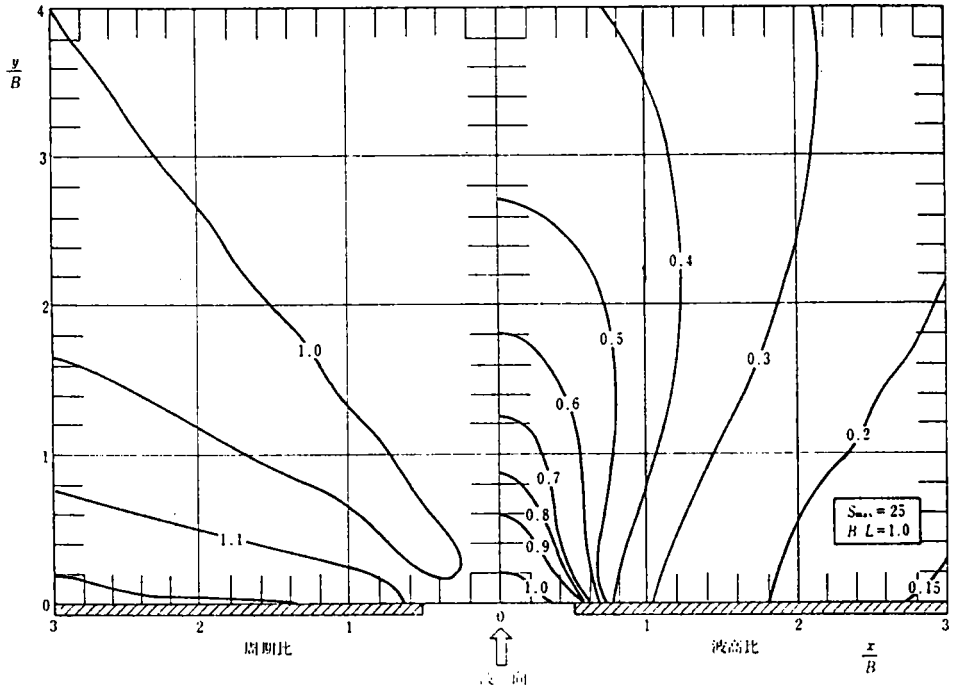
(c) $S_{max}=75$

図-解 4.19 半無限堤による回折図（$\theta=165°$）





図－解 4.20(a) 開口防波堤による回折図 ($B/L=1.0$, $S_{max}=10$)



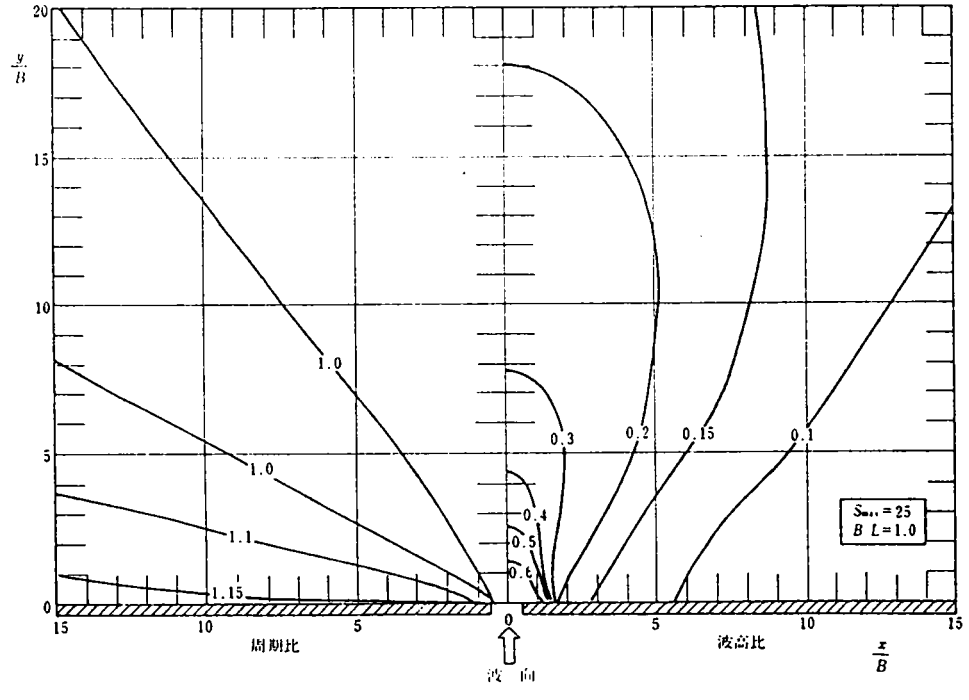
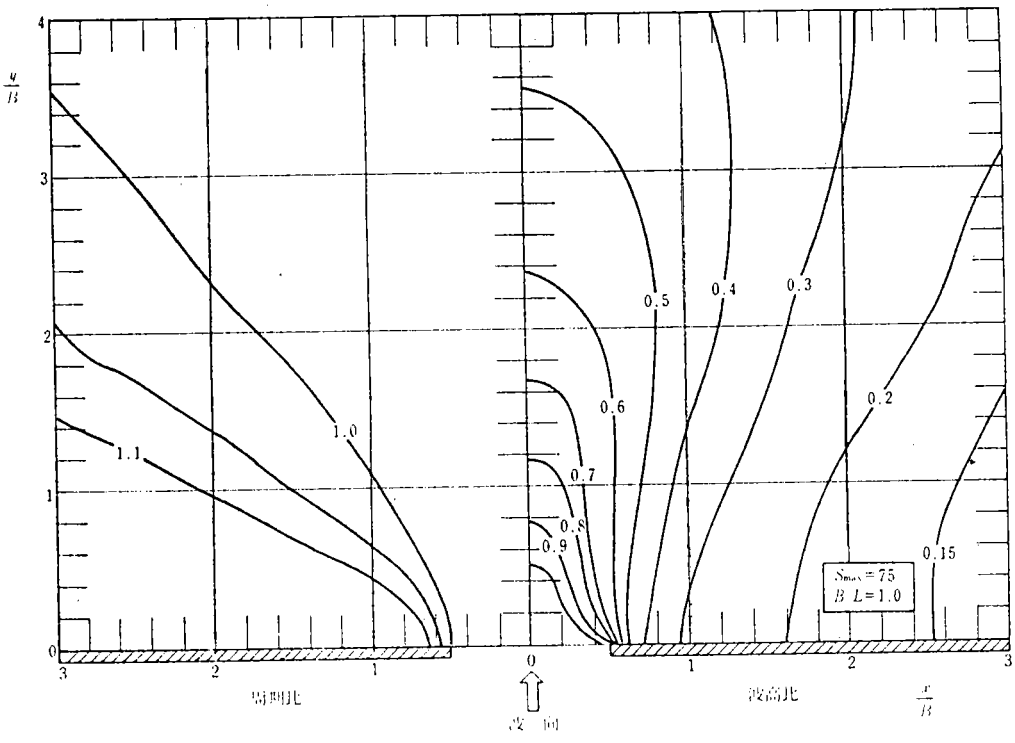


図-解4.20(b) 開口防波堤による回折図 ($B/L=1.0$, $S_{max}=25$)



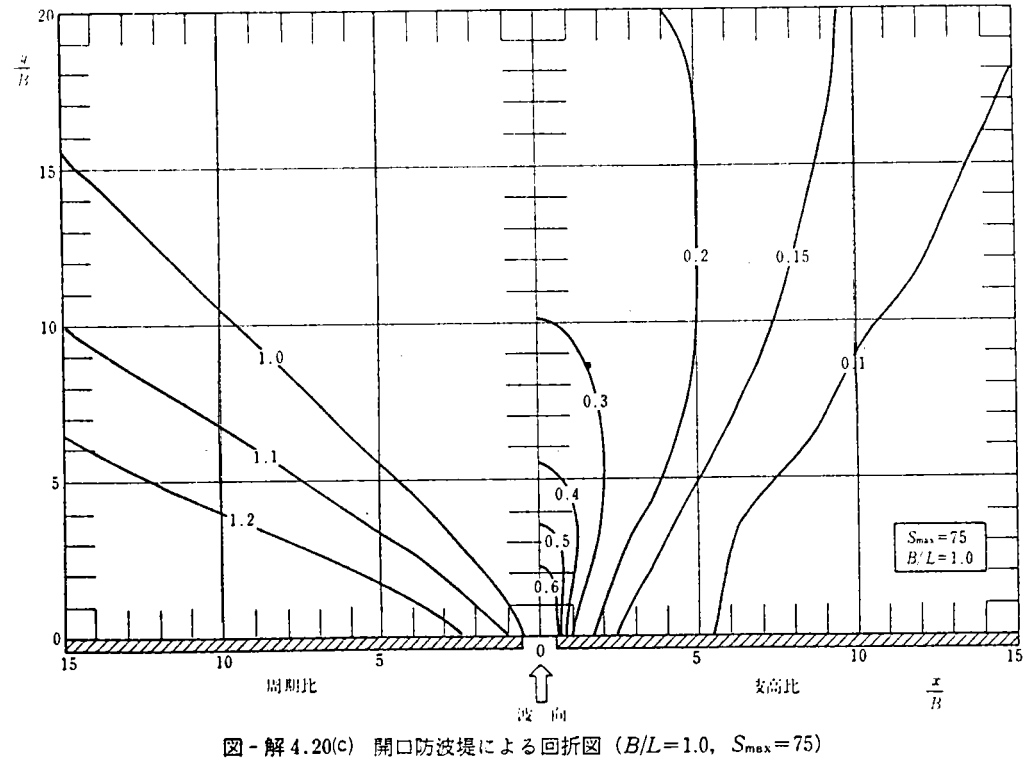
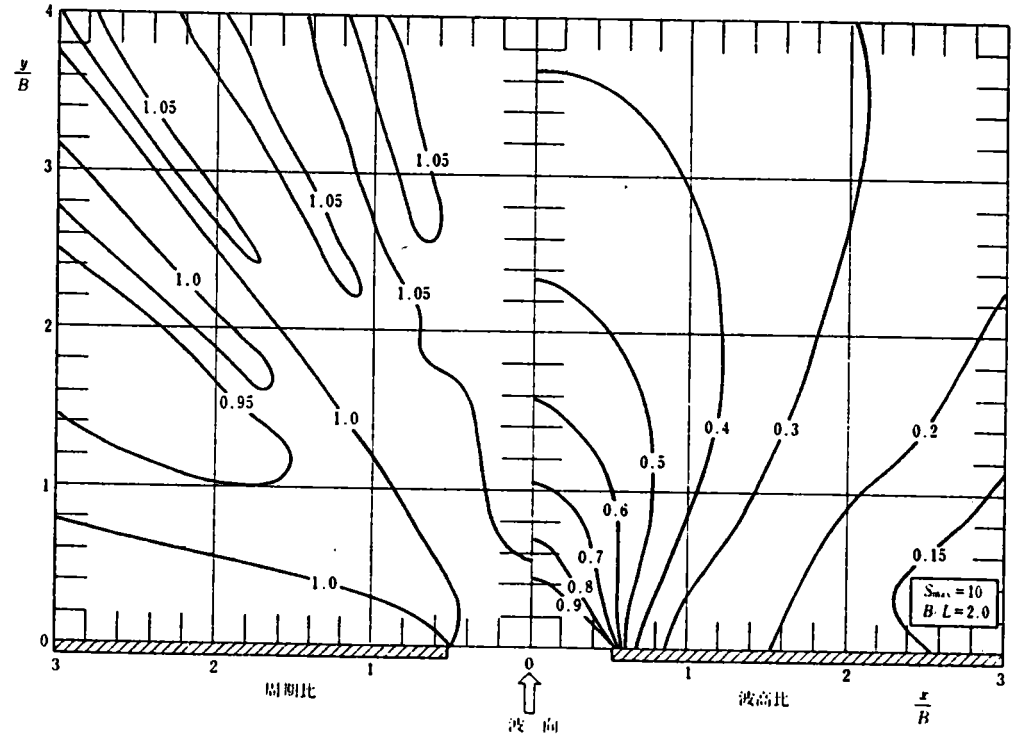
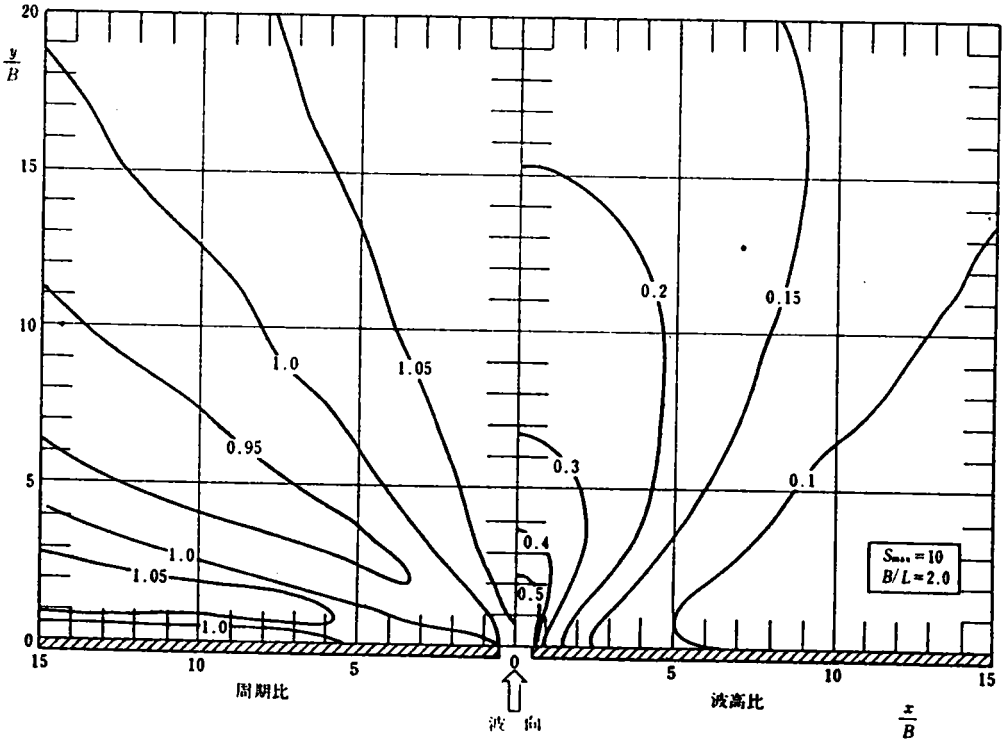
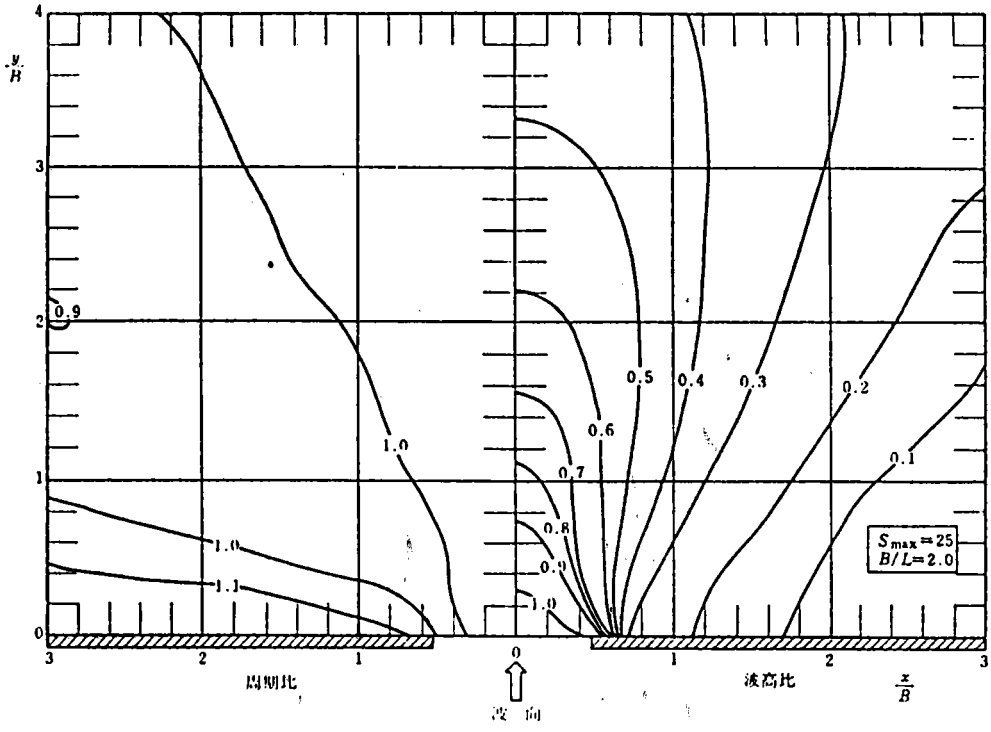


図-解 4.20(c) 開口防波堤による回折図（$B/L=1.0$, $S_{max}=75$）





図－解 4.21(a) 開口防波堤による回折図 ($B/L=2.0$, $S_{max}=10$)



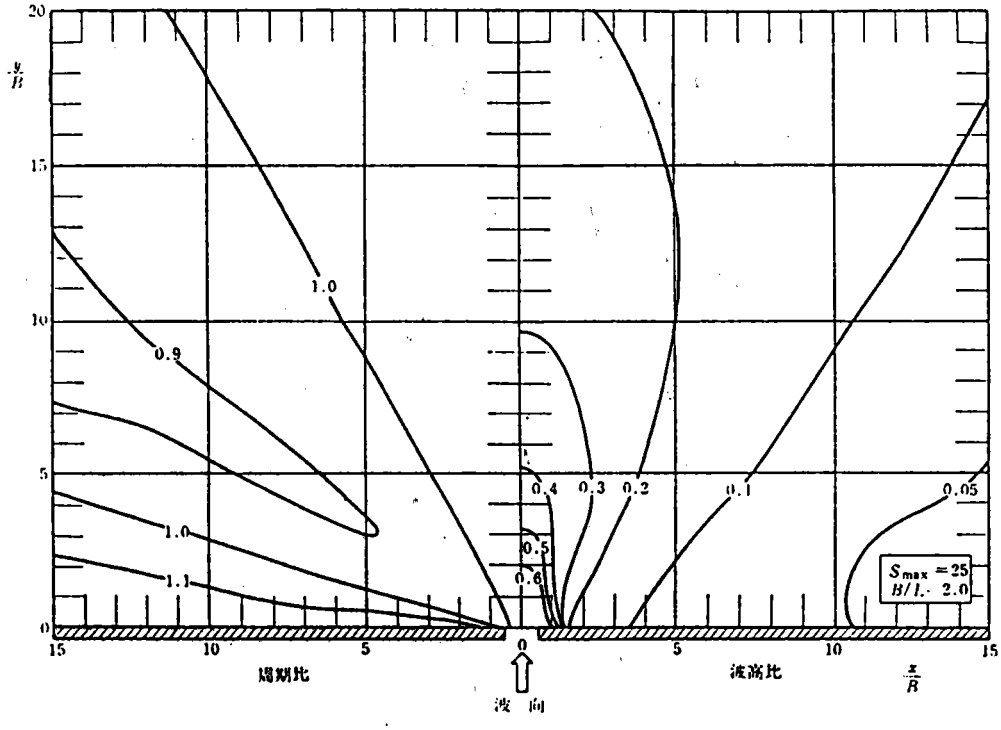
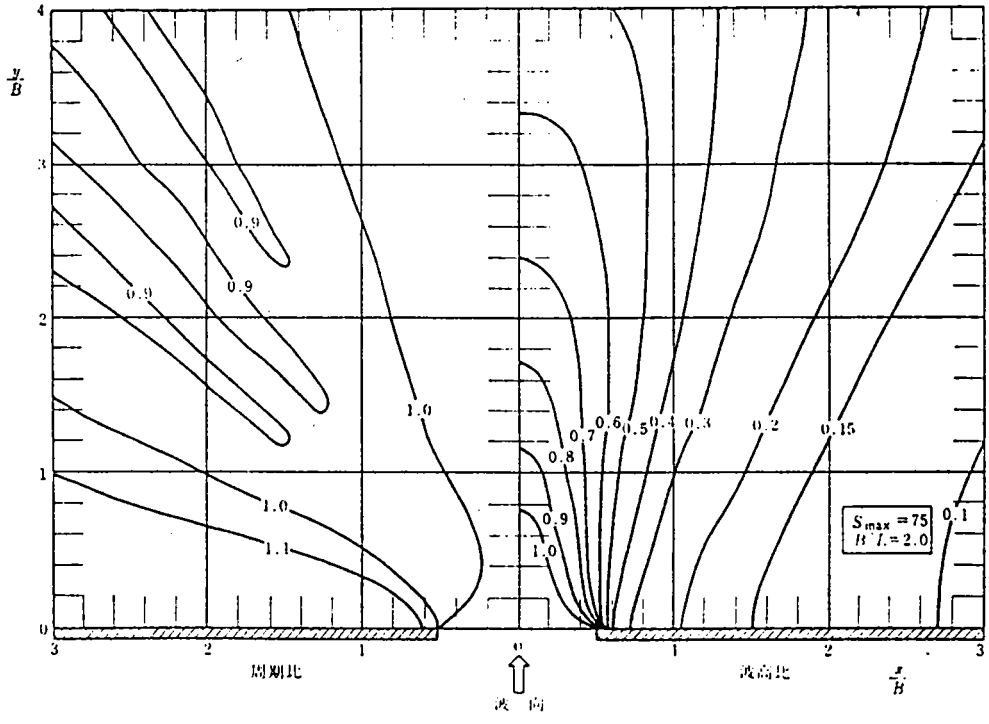


図-解 4.21(b) 開口防波堤による回折図 ($B/L=2.0$, $S_{max}=25$)



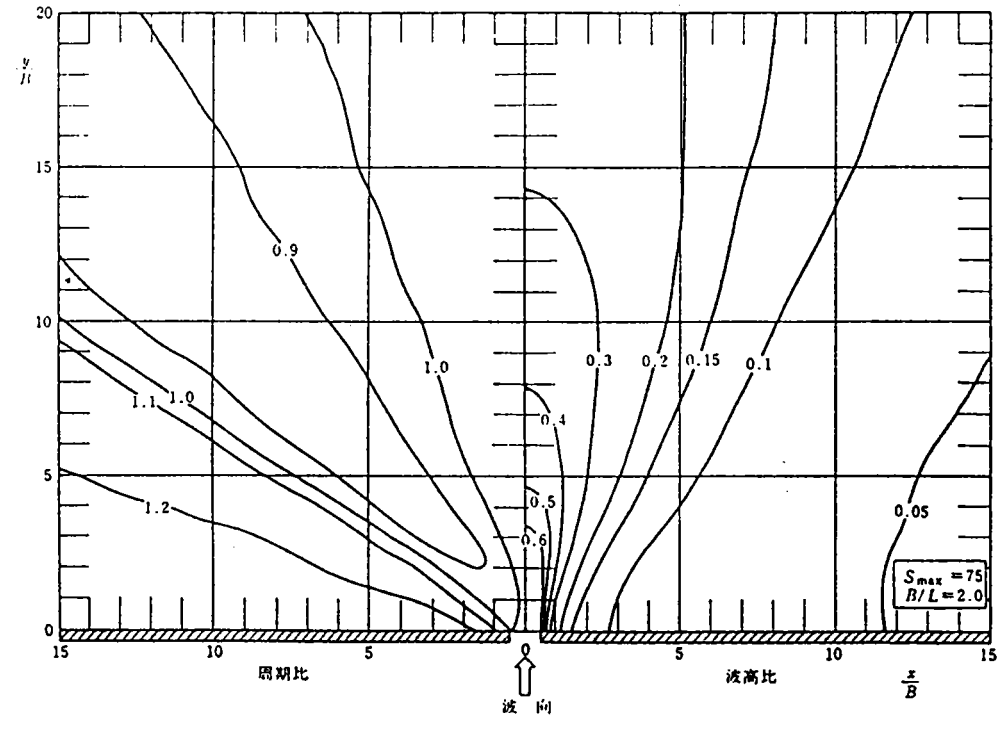
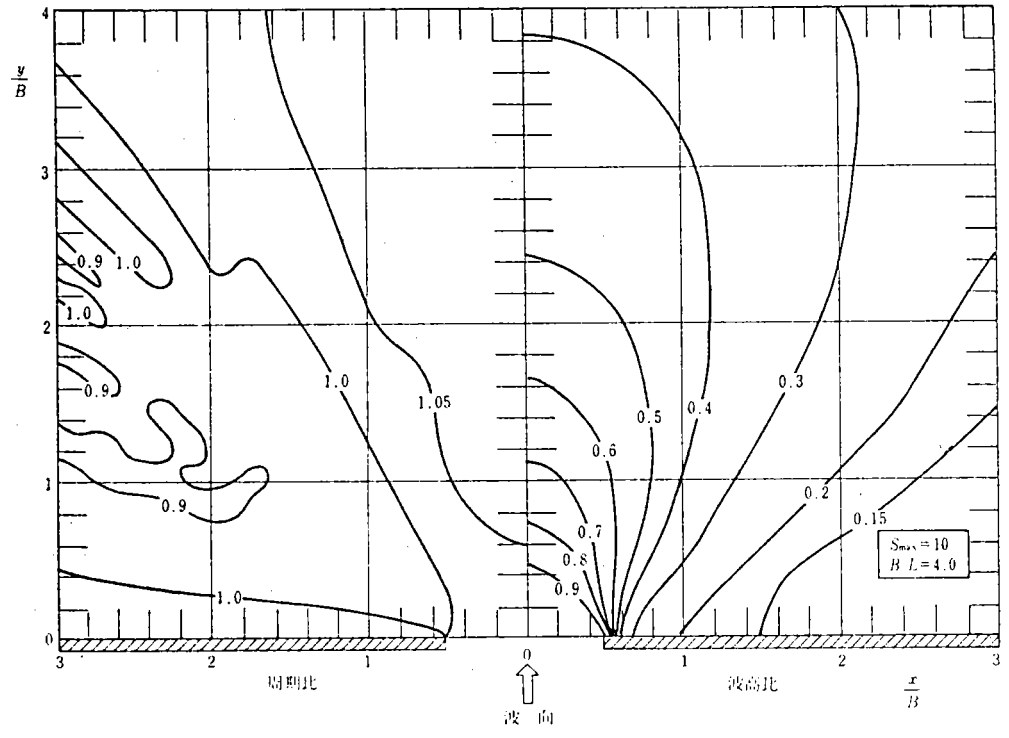
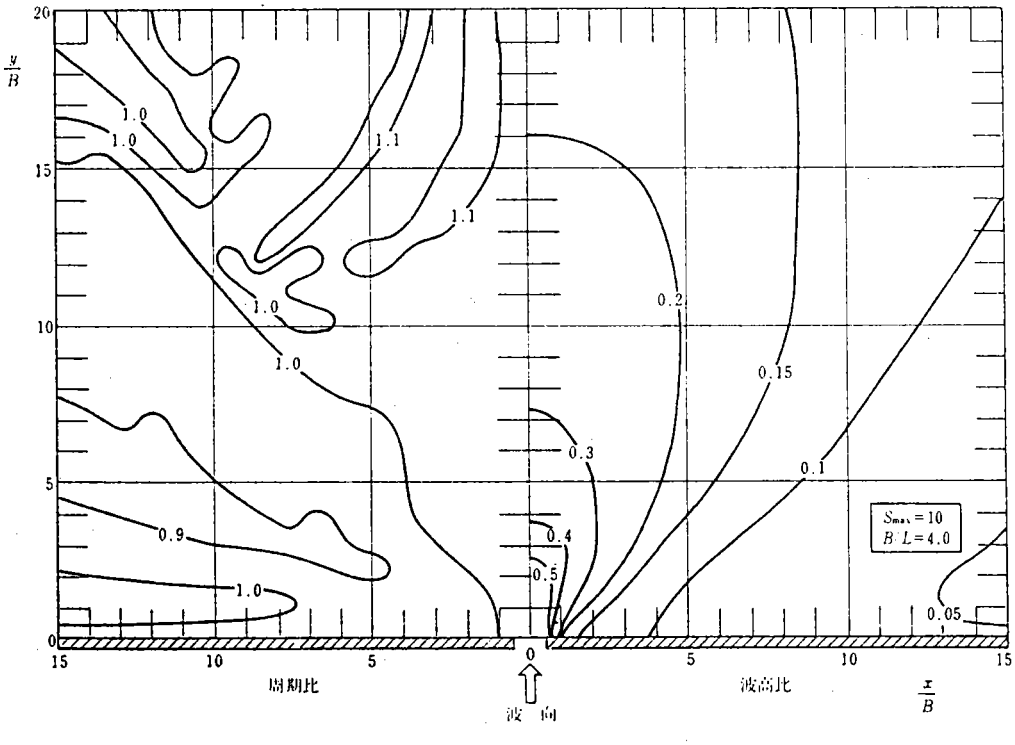
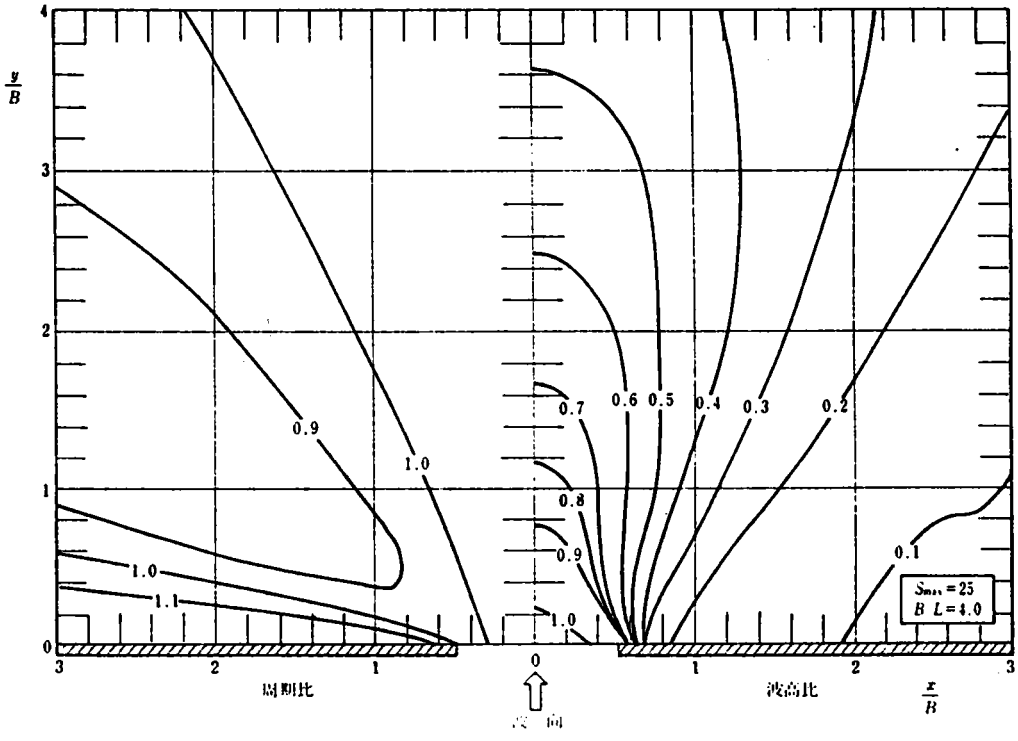


図 - 解 4.21(c) 開口防波堤による回折図 ($B/L=2.0$, $S_{max}=75$)





図－解 4.22(a)　開口防波堤による回折図（$B/L=4.0$, $S_{max}=10$）



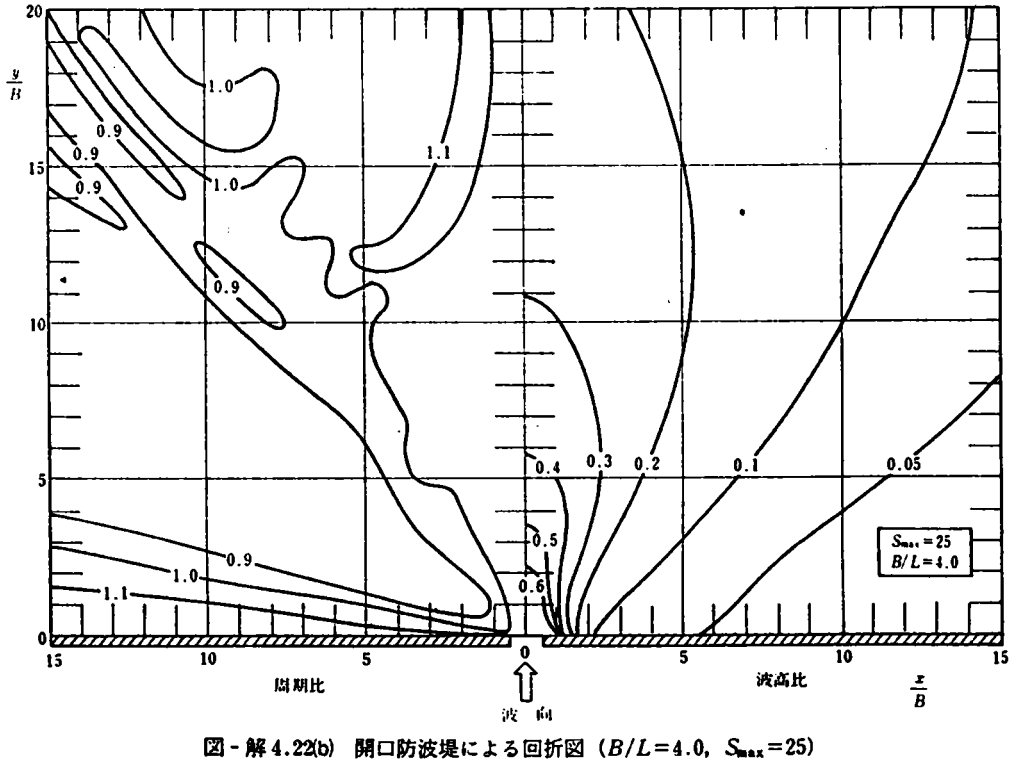
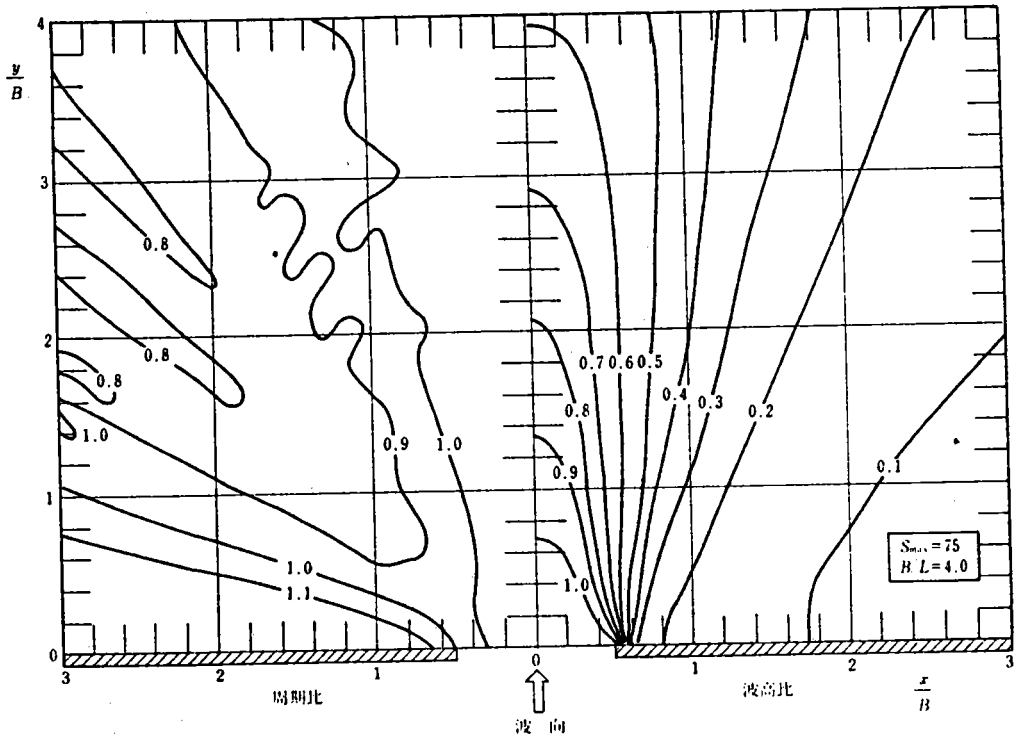


図-解4.22(b) 開口防波堤による回折図 ($B/L=4.0$, $S_{max}=25$)



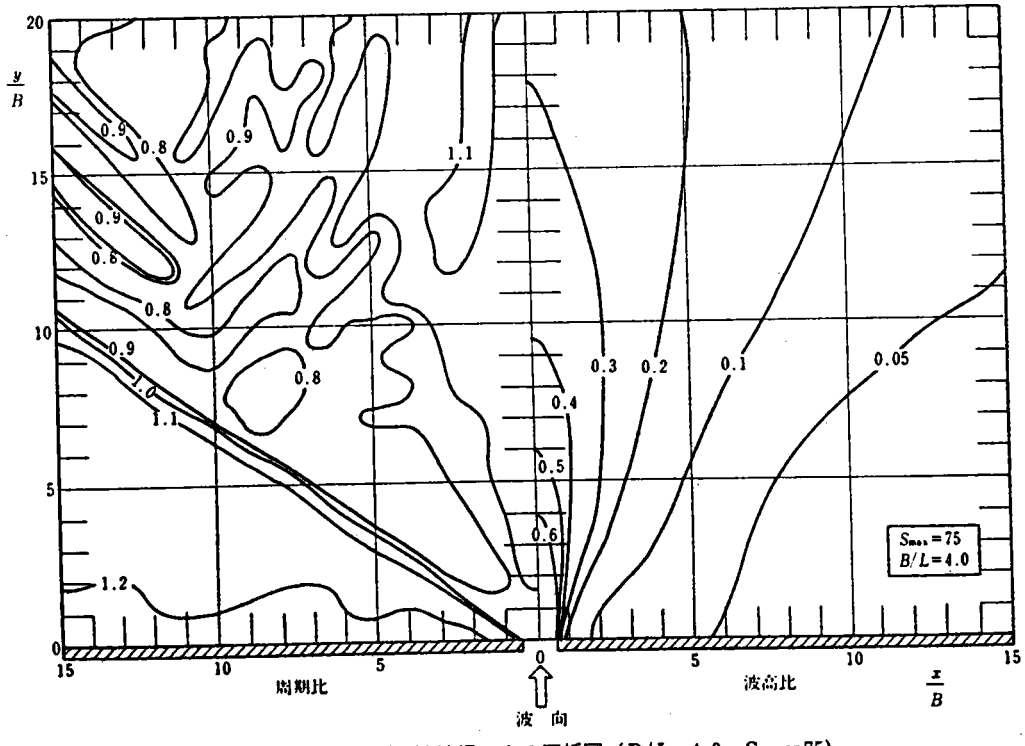
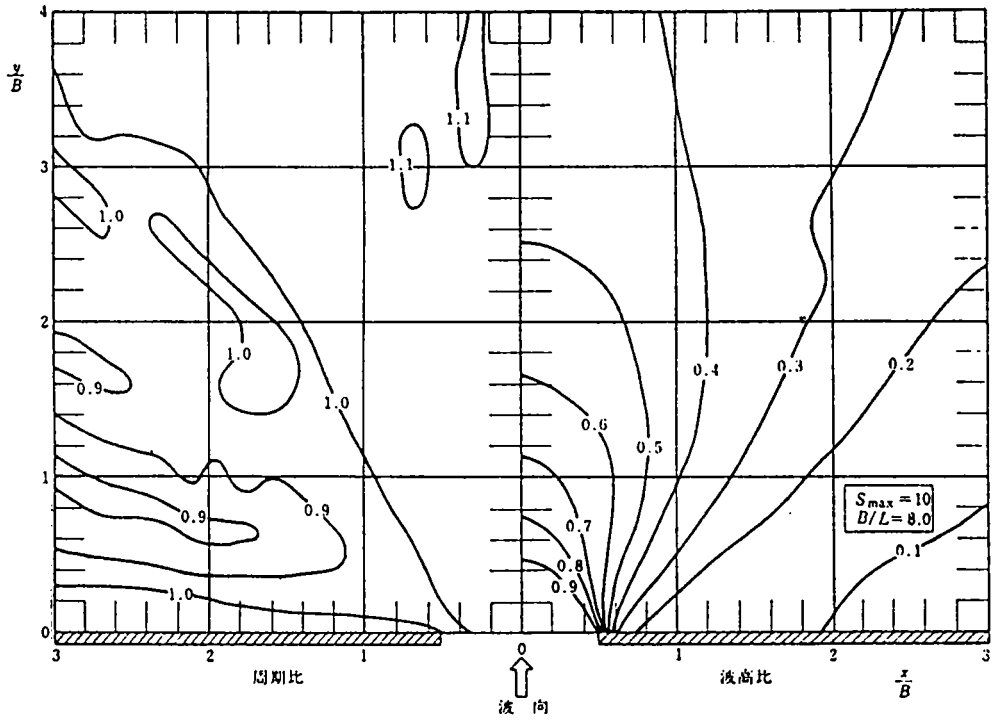


図-解 4.22(c) 開口防波堤による回折図 ($B/L=4.0$, $S_{max}=75$)



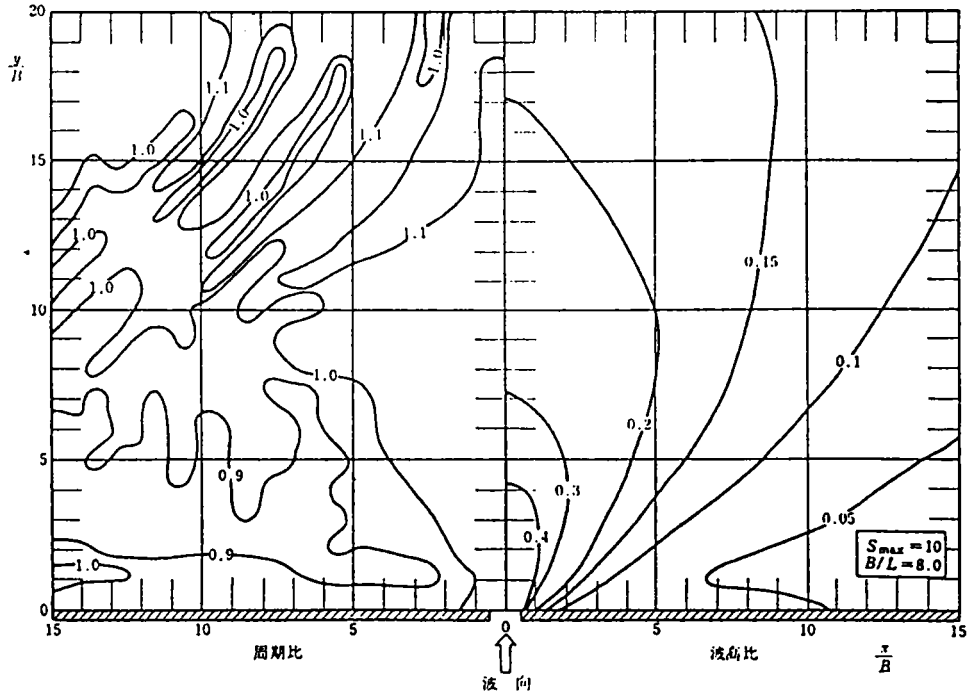
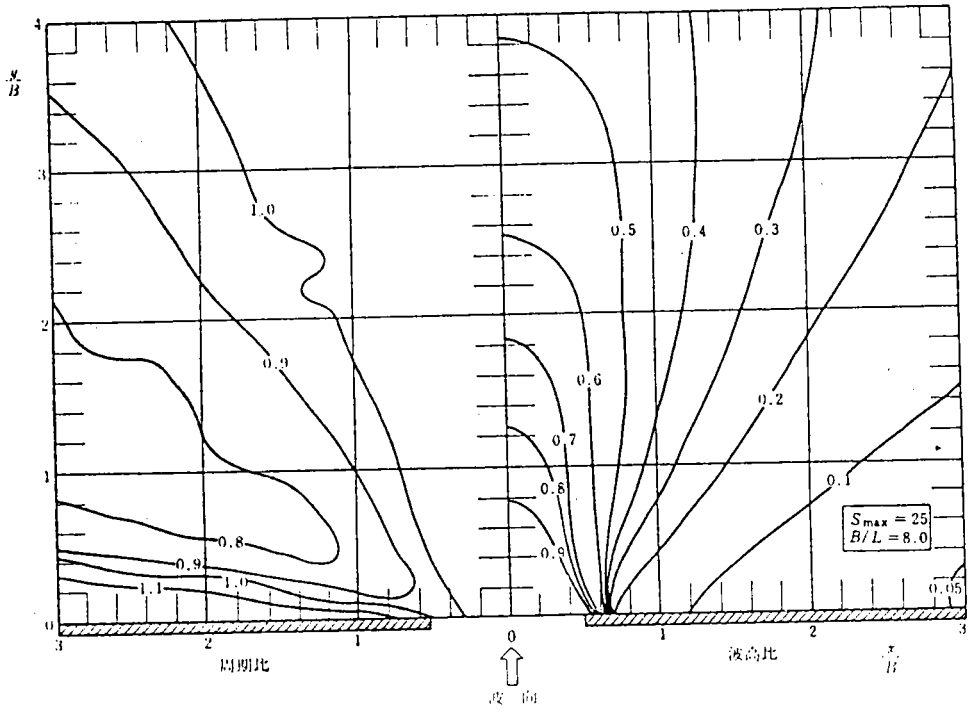


図-解 4.23(a)　開口防波堤による回折図（$B/L=8.0$, $S_{max}=10$）



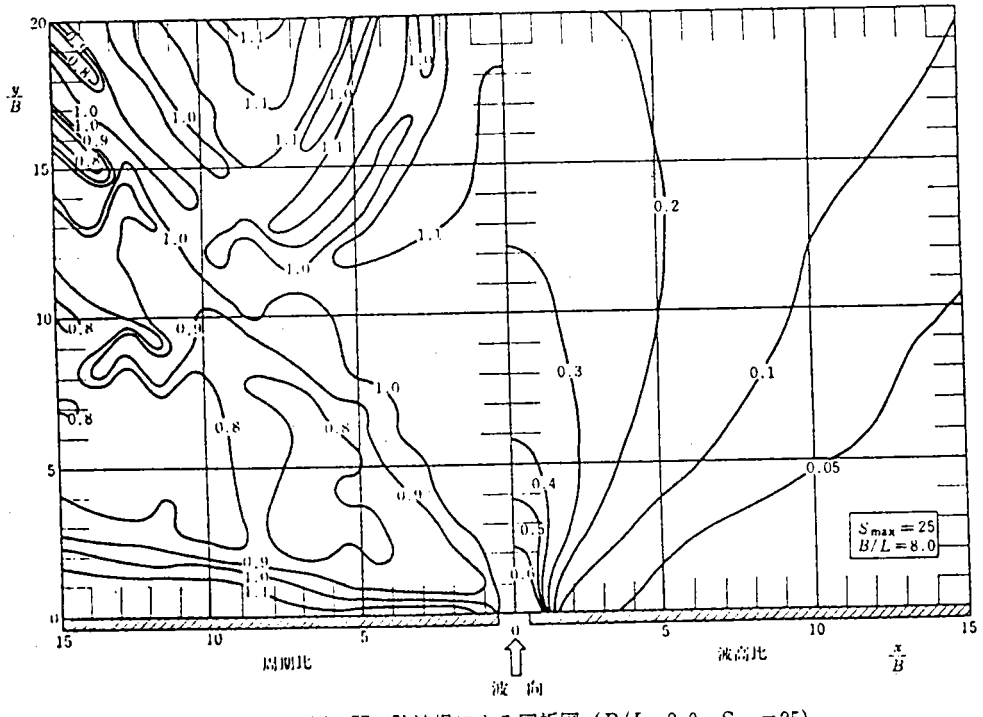
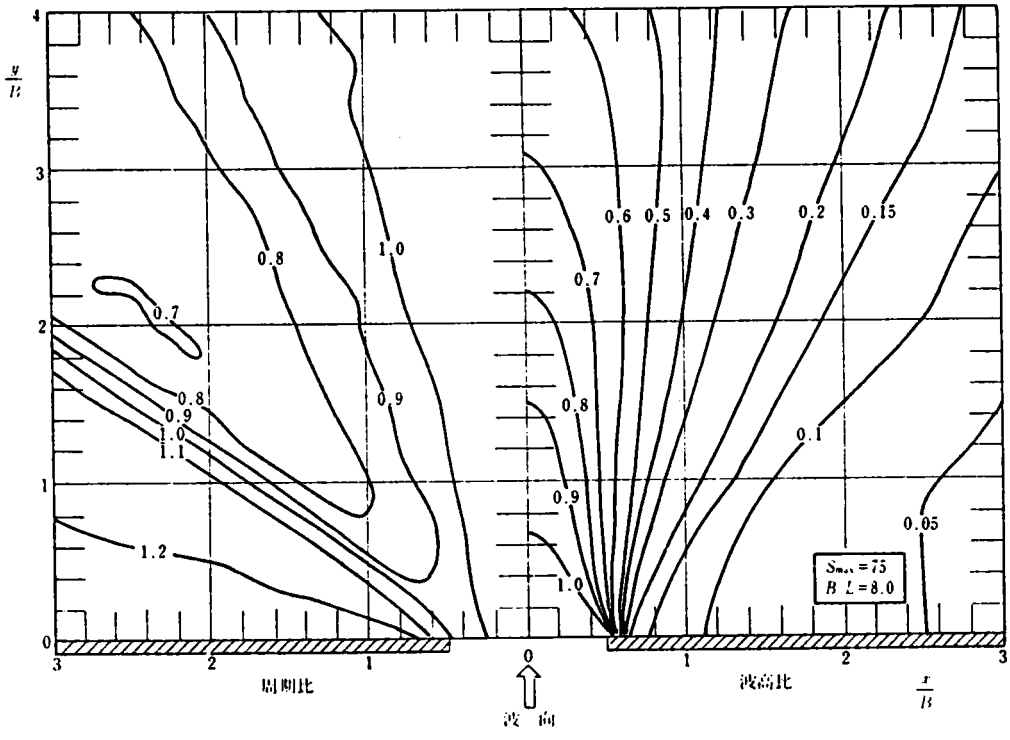


図-解 4.23(b) 開口防波堤による回折図 ($B/L=8.0$, $S_{max}=25$)



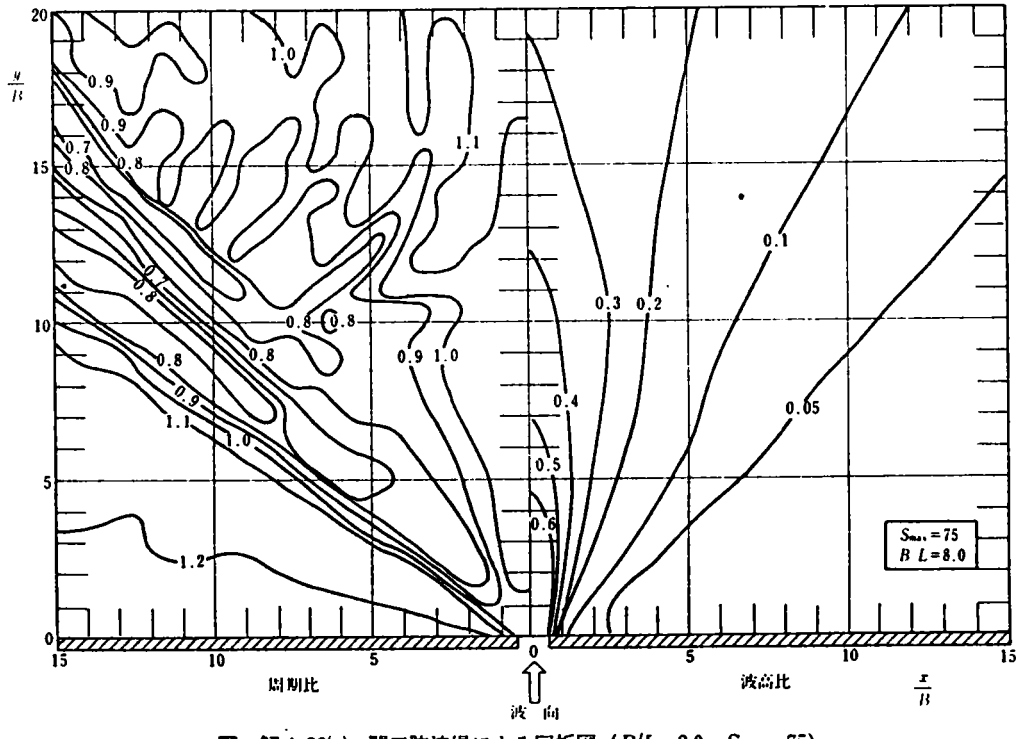


図-解 4.23(c) 開口防波堤による回折図（$B/L=8.0$, $S_{max}=75$）

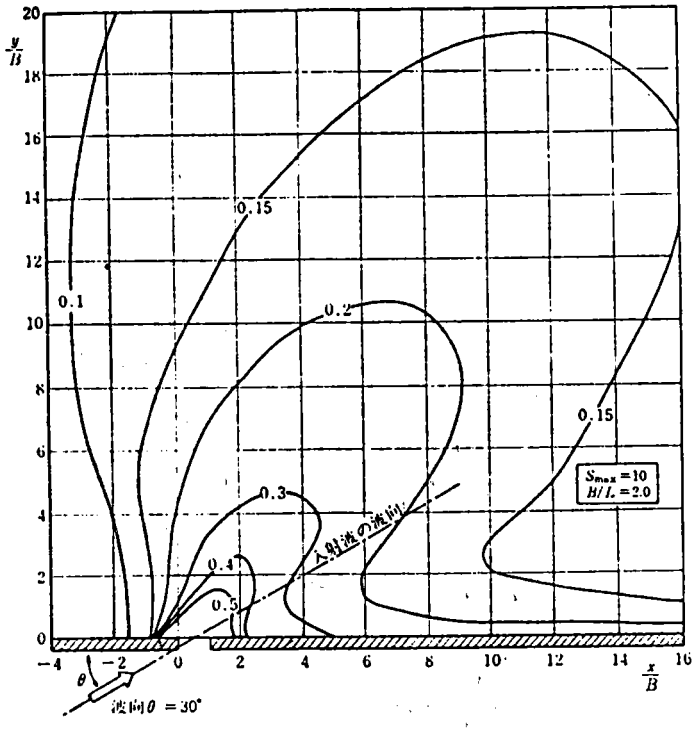


図-解 4.25(a) 斜め入射波の回折図（$B/L=2.0$, $\theta=30°$）$S_{max}=10$

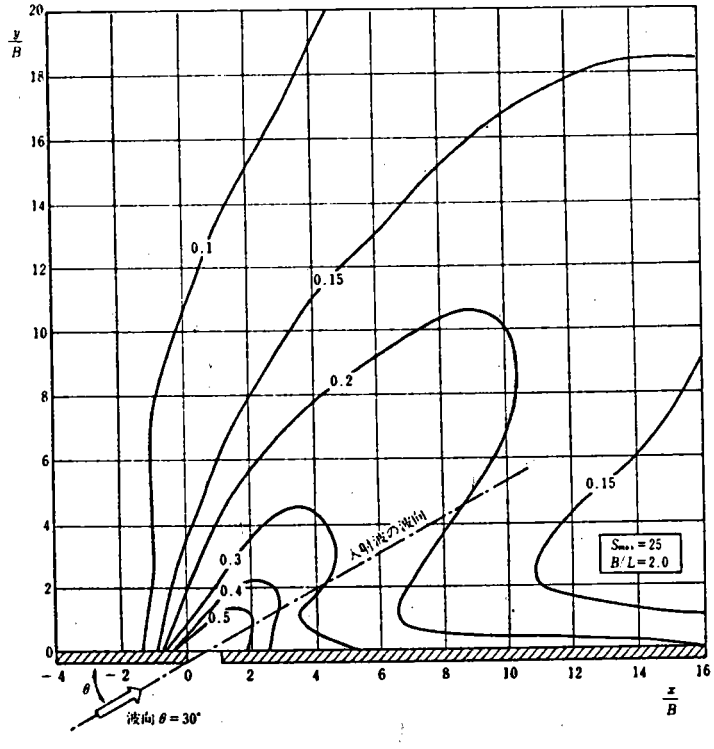


図-解 4.25(b) 斜め入射波の回折図（$B/L=2.0$, $\theta=30°$）$S_{max}=25$

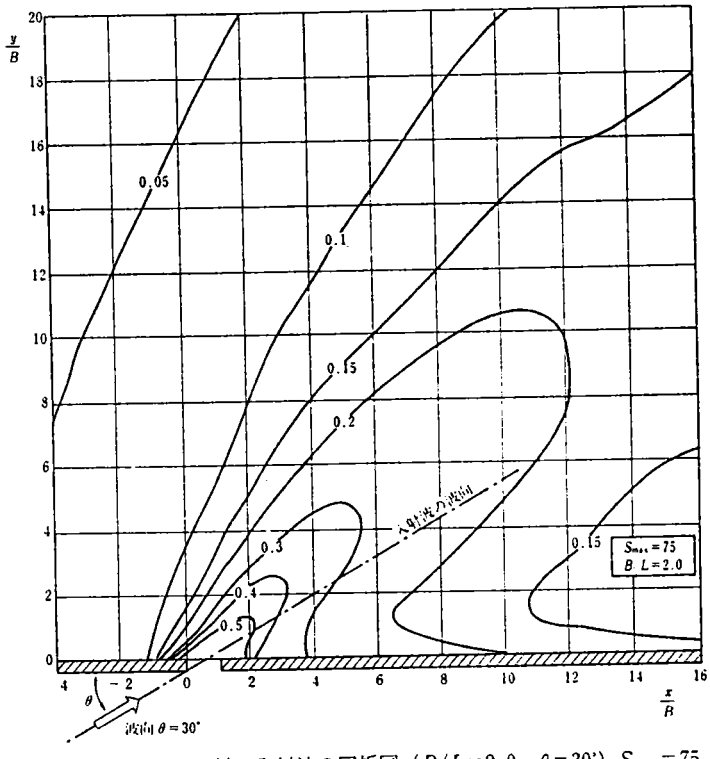


図-解 4.25(c)　斜め入射波の回折図（$B/L=2.0$, $\theta=30°$）$S_{max}=75$

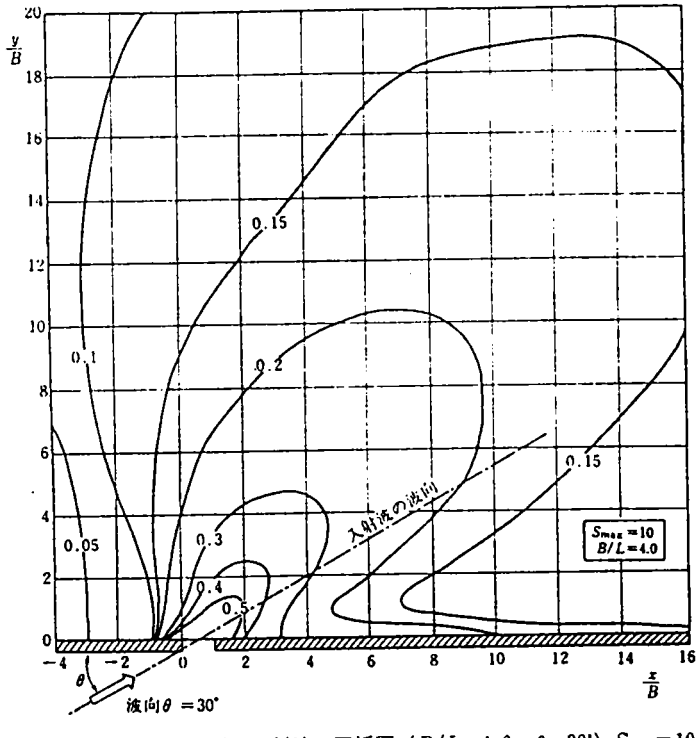


図-解 4.26(a)　斜め入射波の回折図（$B/L=4.0$, $\theta=30°$）$S_{max}=10$

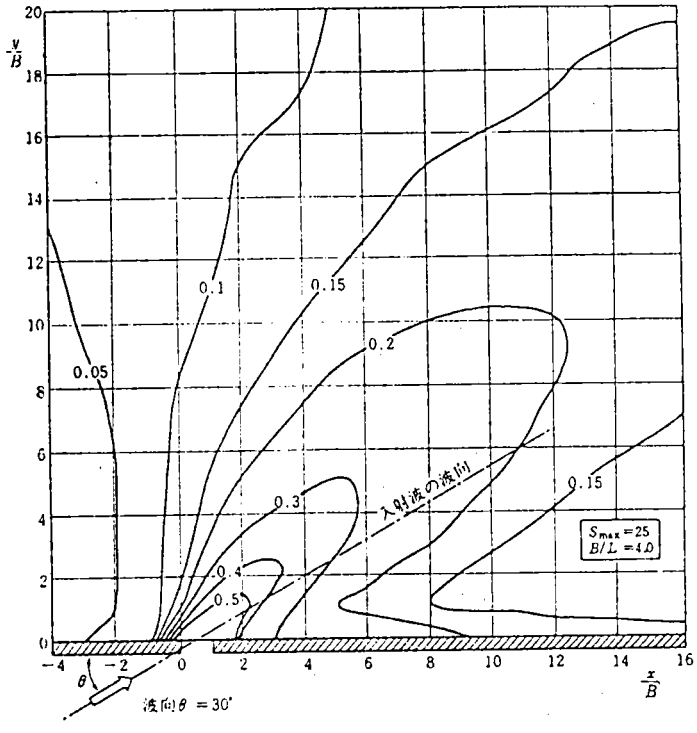


図-解 4.26(b)　斜め入射波の回折図（$B/L=4.0$, $\theta=30°$）$S_{max}=25$

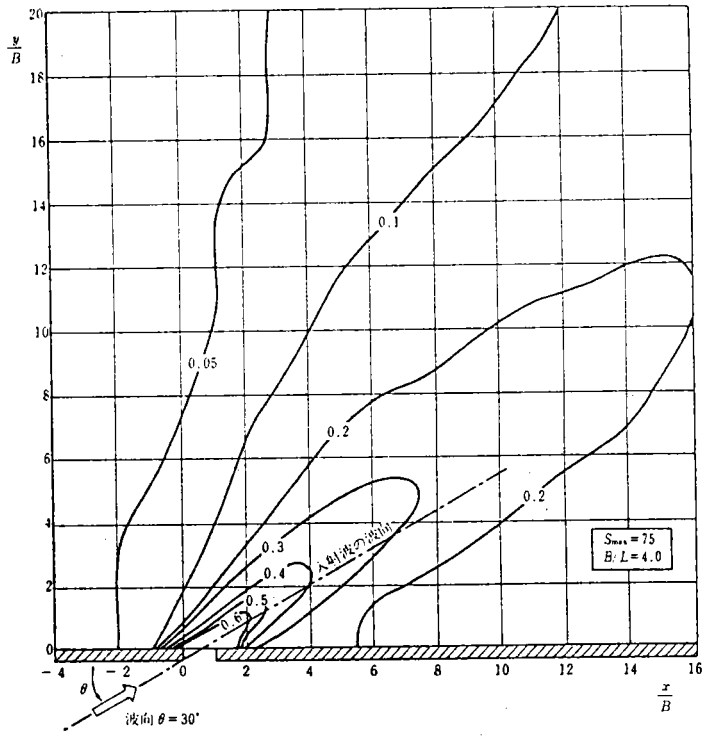
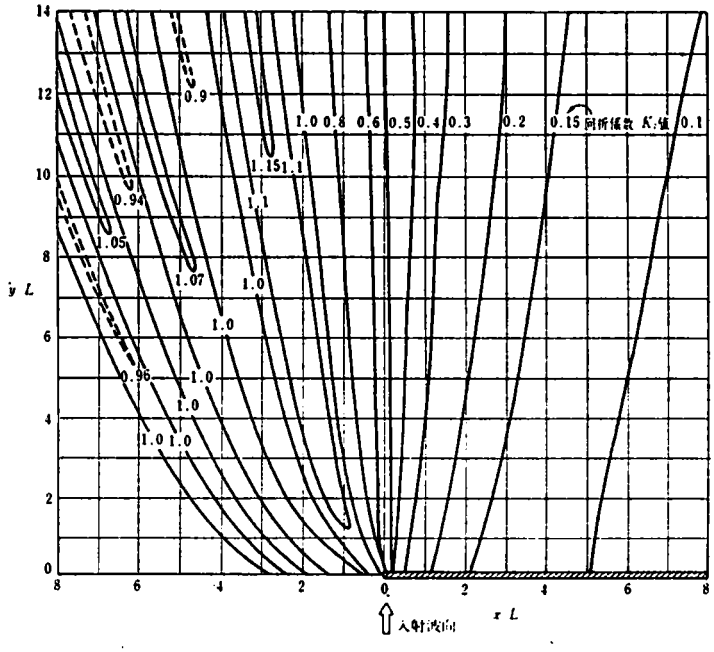
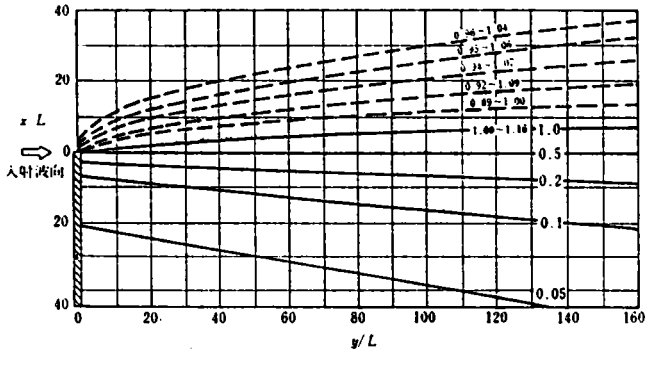


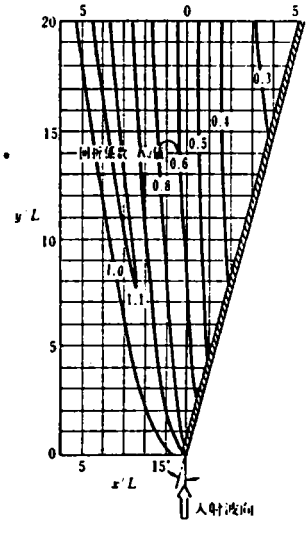
図-解 4.26(c)　斜め入射波の回折図（$B/L=4.0$, $\theta=30°$）$S_{max}=75$



(a) $\theta_0 = 90^\circ$

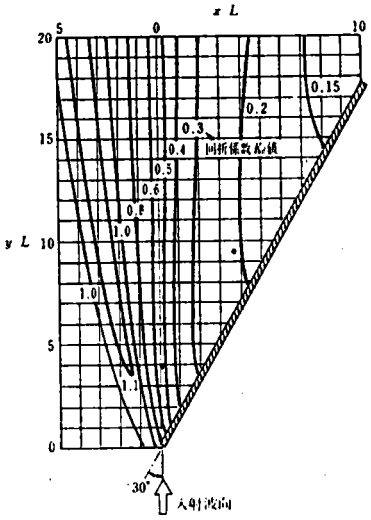


(b) $\theta_0 = 90^\circ$

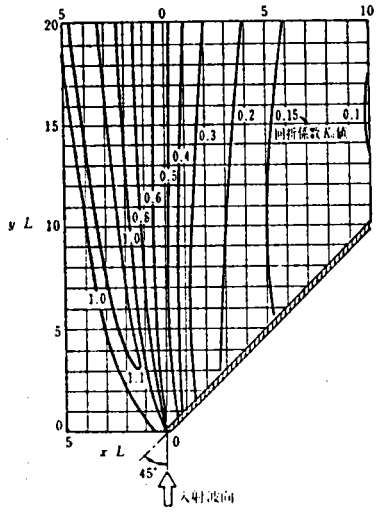


(c) $\theta_0 = 15^\circ$

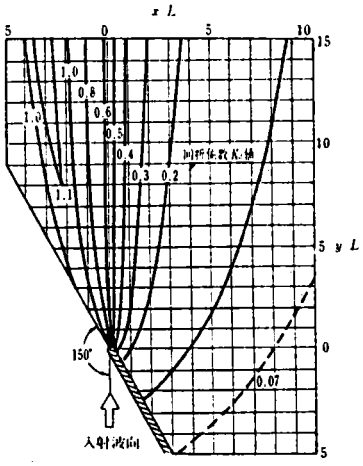
図-解 4.27　半無限防波堤による規則波の回折図



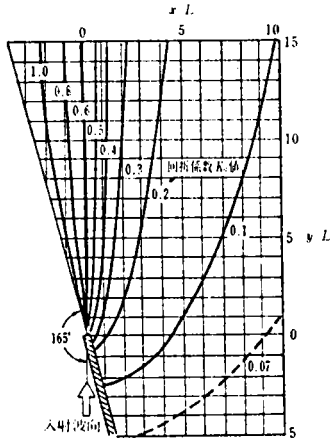
(d) $\theta_0 = 30°$



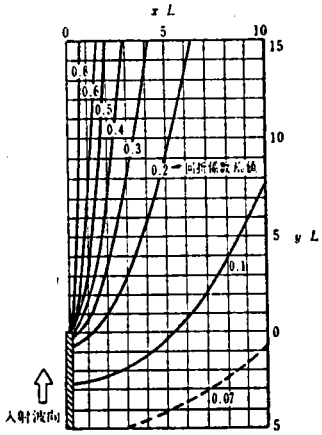
(e) $\theta_0 = 45°$



(f) $\theta_0 = 150°$

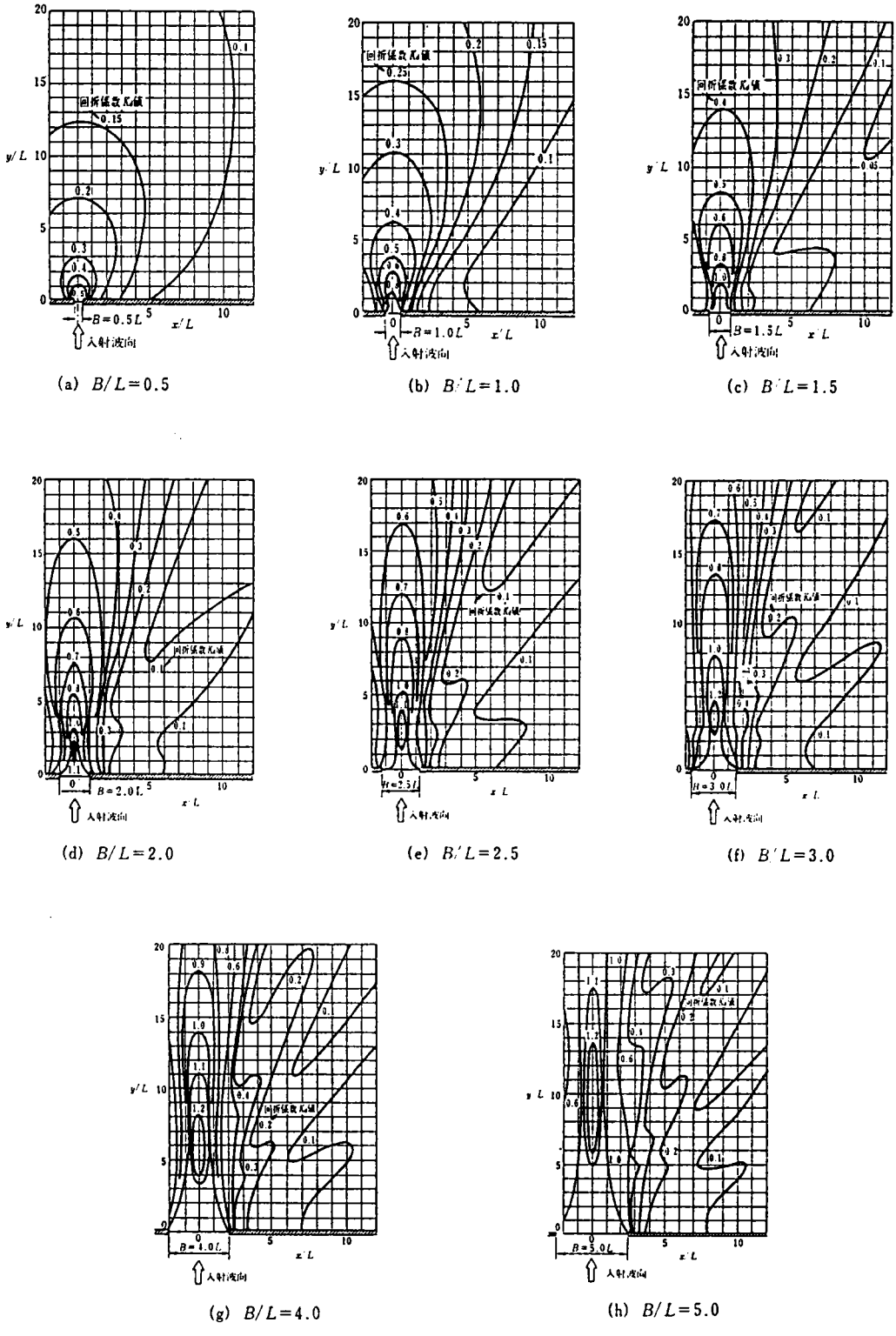


(g) $\theta_0 = 165°$



(h) $\theta_0 = 180°$

図-解 4.27　半無限防波堤による規則波の回折図



(a) $B/L=0.5$　(b) $B/L=1.0$　(c) $B/L=1.5$

(d) $B/L=2.0$　(e) $B/L=2.5$　(f) $B/L=3.0$

(g) $B/L=4.0$　(h) $B/L=5.0$

図-解 4.28　開口部を有する防波堤による規則波の回折図

由直角方向入射之繞射圖中，選出與假設開口寬度比相等開口比之繞射圖，並旋轉使繞射圖之入射方向與表4-2 所求出繞射波之軸線方向成一致，即成了斜向入射波之繞射圖，此種近似法所生之誤差在防波堤開口部附近最大，以繞射係數值來說大約是0.1。

(4)若無與開口寬度比B/L相等之繞射圖時， 採用與此相近值之繞射圖亦或近似之二個繞射圖加以內插。

(5)由於波浪之繞射、波向之變化較週期之變化影響大，因此與波浪之波長相比，如很大之島嶼等之繞射，可以只考慮波浪能量之方向分散而以方向分散法計算。

(6)若在波浪之遮蔽水域中，水深之變化大時，應考慮波浪之折射。

(7)繞射後不規則波之有義波週期與繞射前不同應加以注意。

(8)繞射後之波浪被碼頭等反射時，可採用折返繞射圖法或其他適當的方法加以計算。

(9)規射波之繞射圖如圖4-27(a)～(h)與圖4-28(a)～(h)所示。圖4-27爲單堤之繞射圖，圖4-28爲雙堤開口防波堤之繞射圖。

(10)當波高很大之暴風時，碎波進入港口部，此時亦可以上述之繞射圖計算港內波高，但是由於產生碎波時，波浪之能量集中度較高，因此波浪集中度參數Smax採用75以上，亦或利用規則波之繞射圖。

4-5-4 波浪之反射

[1]概要

(1)港灣設施設計時，鄰近設施所致反射波之影響，以及該設施之反射波對鄰近設施之影響等應加以檢討。

(2)因反射波等致多數之波群存在時，其波高可依4-1式計算。

$$H_S=\sqrt{H_1{}^2+H_2{}^2+...+H_n{}^2}$$

式中 H_S:波群全體之有義波高

$H_1{}^2+H_2{}^2+...+H_n{}^2$:各波群之有義波高

[說明]

(1)防波堤之反射波使航路擾亂，亦或碼頭等之多重反射使港內擾亂，像此種因港內設施之反射波而對船舶之航行或裝卸有很大之影響，須加以注意。

(2)反射波之間亦或入射波與反射波相重合時之波高，在規則波時可以波形之單純重疊加以求取，並隨重疊位相之情況有很大之起伏，但是在不規則波時，由於包含很多之成分波因此起伏較平均，反射波之波高爲各波群之能量組合，所以可以4-1 式計算，但此種能量合成只成立在反射面0.7波長以上相離之地點。

(3)對波浪之繞射或折射來說，波向爲重要之要素，各波群之波向不同時，對各波群進行所要之計算，求取各波群之有義波高，並以4-1 計算合成波高，另外，求取各波群之波譜，並計算這些波譜所構成之各數群波之波譜形式而以此計算折射或繞射。

(4)不同週期之2種波群重疊之時，有義波高可以式4-1之能量合成計算，有義波週期以式4-33求取。

$$T_{1/3}=k.\sqrt{\frac{(H_{1/3})^2\,\mathrm{I}+(H_{1/3})^2\,\mathrm{II}}{\dfrac{(H_{1/3})^2\,\mathrm{I}}{(T_{1/3})^2\,\mathrm{I}}+\dfrac{(H_{1/3})^2\,\mathrm{II}}{(T_{1/3})^2\,\mathrm{II}}}}$$

式中 $k=1.0+a(R_h/_u)^{-0.121A\ln(R_h/u)}$

$a=0.08(\ln R_t)^2-0.15\ln R_t$

$$\mu=\begin{cases}0.632+0.144\ln R_t & ;\ 0.1\leqq R_t\leqq 0.8\\ 0.6 & ;\ 0.8\leqq R_t<1\end{cases}$$

$$A=\begin{cases}13.97+4.33\ln R_t & ;\ 0.1\leqq R_t\leqq 0.4\\ 10.0 & ;\ 0.4\leqq R_t<1\end{cases}$$

$R_h=(H_{1/3})\,\mathrm{I}/(H_{1/3})\,\mathrm{II}$

$R_t=(H_{1/3})\,\mathrm{I}/(H_{1/3})\,\mathrm{II}$

$(H_{1/3})\,\mathrm{I}$，$(H_{1/3})\,\mathrm{II}$：重疊前之波群Ⅰ，Ⅱ之有義波高

$(T_{1/3})\,\mathrm{I}$，$(T_{1/3})\,\mathrm{II}$：重疊前之波群Ⅰ，Ⅱ之有義週期

[2] 反射率之計算

反射率應加以合理決定。

[說明]

反射率最好能以現場觀測來計算，但觀測困難時亦或爲施工前之狀況，可參考水工模型試驗之結果加以計算，實驗波最好使用不規則波。

[3] 轉角部、防波堤堤頭部附近以及島堤周邊波浪之變形。

(1)在計算構造物之轉角處或防波堤堤頭部附近之波高分佈時，可得到起伏很大之分佈形式，但若將波浪之不規則性加以考慮的話，除了在距轉角處未滿一波長之範圍內以外，其分佈形式均很平滑，波高亦小因此可知，以規則波所作之計算，波高之增加可預見爲太多。

(2)以不規則波所作轉角處分佈如圖4-29(a)、(b)所示，由於此圖爲以數值計算，對各主方向所得之波高最大分佈形，因此，可知波浪因防波堤而反射，圖中之K_d爲主防波堤前面之波高與入射波高之比，計算所採用不規則波爲具 Smax=75之波譜形式，爲具相當方向集中度之波浪，圖中之點線爲近似計算求得各點之波高，最大值分佈，$_1$爲主防波堤長度 $_2$爲轉角防波堤長度，β爲轉角角度。

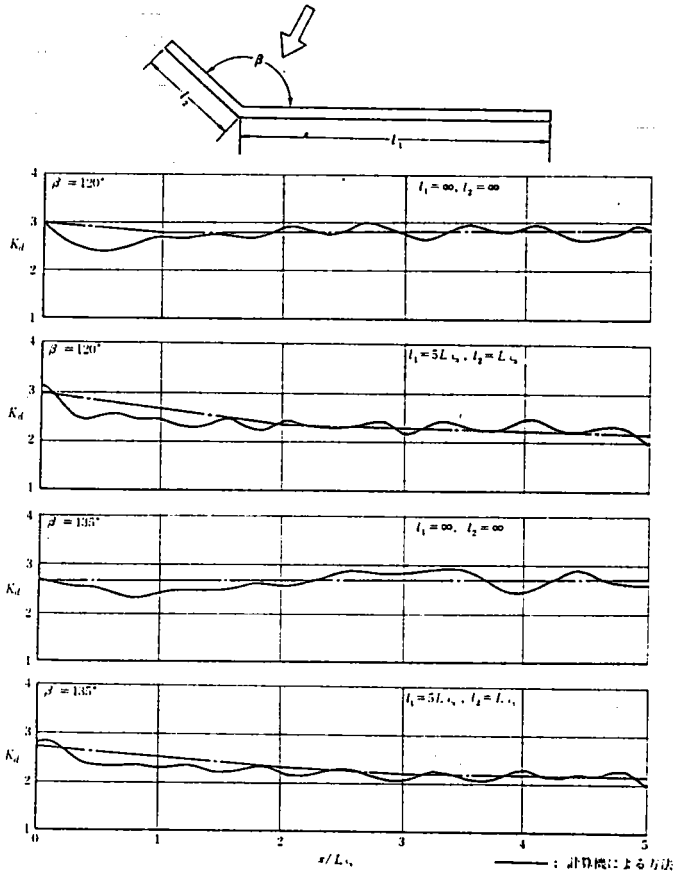
轉角部之波高分佈可以採用此圖計算。

(3)若設置消波塊以減輕轉角部之波高增加，若所放之消波塊能使防波堤之反射率低於0.4 以下時，因轉角部所致波高之增加可以不必考慮，但是此爲指折角部防波堤之全延長均有消波塊時，若折角防波堤很長，由於折角防波堤反射波之影響，可達到轉角點相離很遠之處，因此若消波塊無法在防波堤延長上設置時，效果就不多，另外主防波堤對折角防波堤之效果亦同。

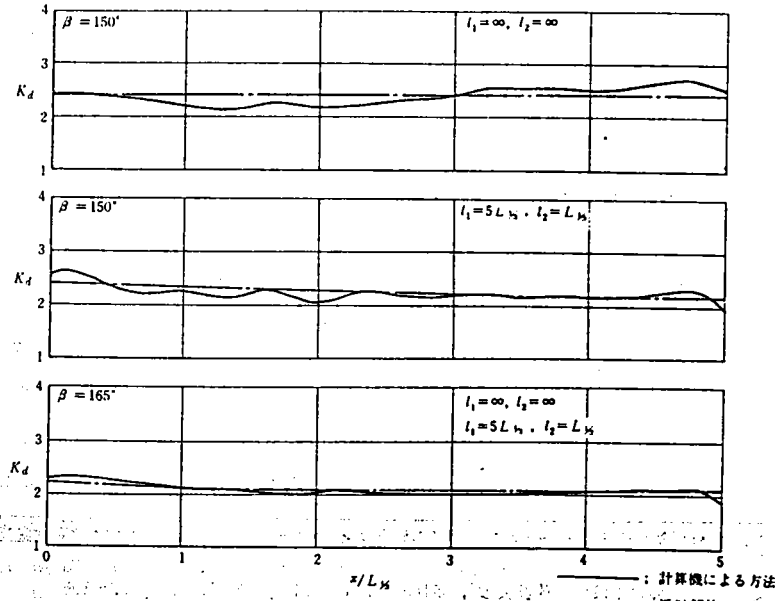
(4)單堤以及雙堤開口防波堤之堤頭部附近（由堤頭開始至未滿一波長之範圍）由於波浪之繞射效果，可能會產生較通常重複波之波高較大之波浪，另外，由於防波堤後面，波高分佈呈現波狀形，因此要注意內外水位差所產生之很大波力。

(5)島堤亦相同，堤兩端因波浪之繞射效果會產生較一般重複波爲高之

波浪，因此堤背面波高分佈亦呈波狀形，此種內外水位差使波力變大，特別是島堤之堤長與波長之比，以及因波向而產生最大波力之地方會改變須留意。

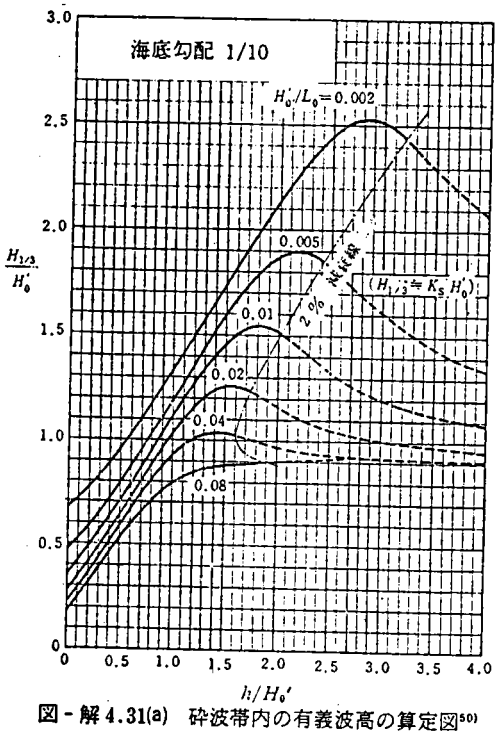


図－解 4.29(a) 波高の最大値の分布(1)[46]

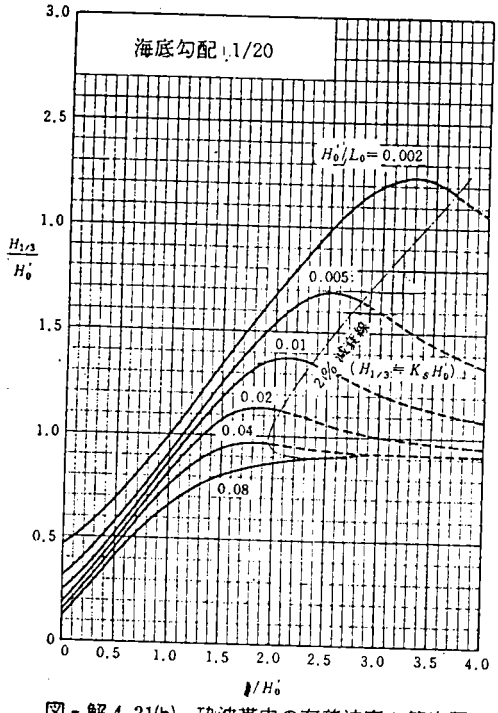


図－解 4.29(b) 波高の最大値の分布(2)[46]

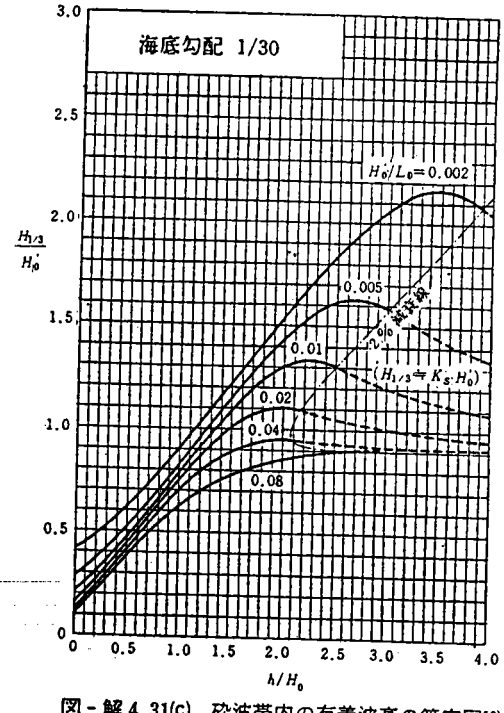
$$\left.\begin{aligned}\beta_0^* &= 0.052(H_0'/L_0)^{-0.38}\exp[20(\tan\theta)^{1.5}]\\ \beta_1^* &= 0.63\exp[3.8\tan\theta]\\ \beta_{max}^* &= \max\{1.65,\ 0.53(H_0'/L_0)^{-0.29}\exp[2.4\tan\theta]\}\end{aligned}\right\} \quad (解\ 4.43)$$



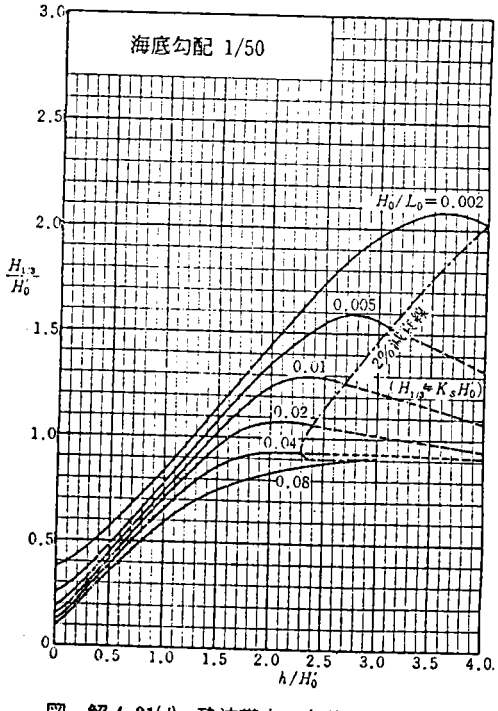
図－解 4.31(a)　砕波帯内の有義波高の算定図[50]



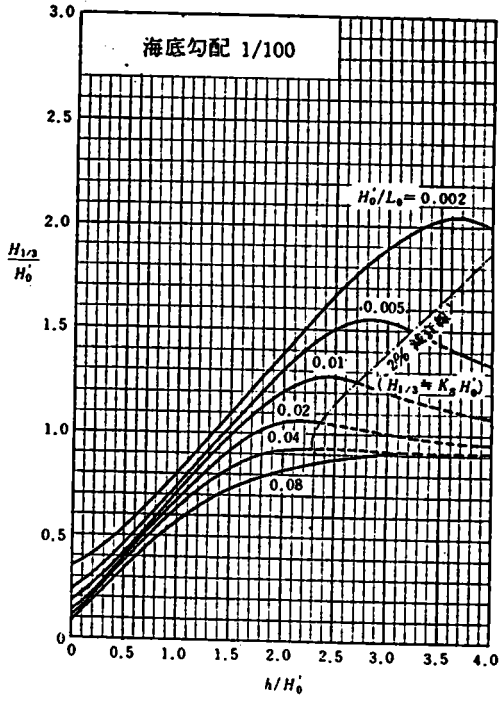
図－解 4.31(b)　砕波帯内の有義波高の算定図[50]



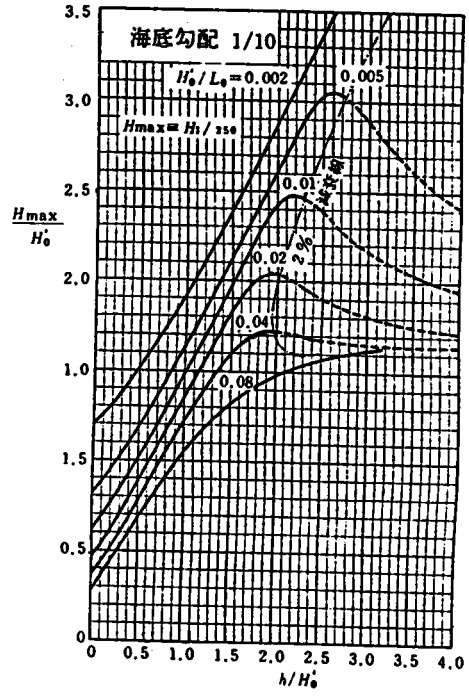
図－解 4.31(c)　砕波帯内の有義波高の算定図[50]



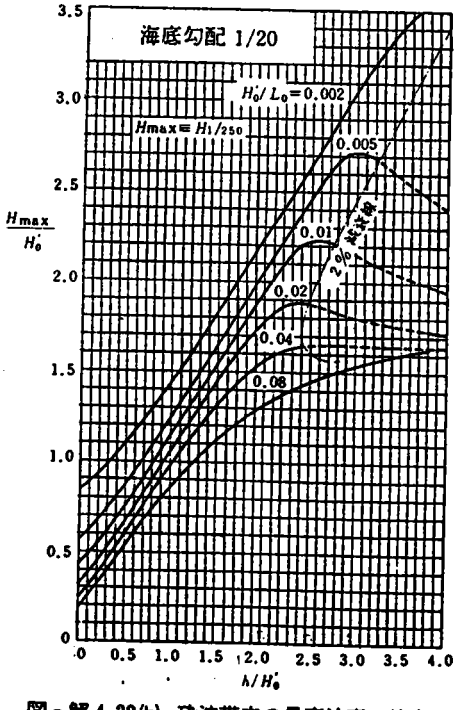
図－解 4.31(d)　砕波帯内の有義波高の算定図[50]



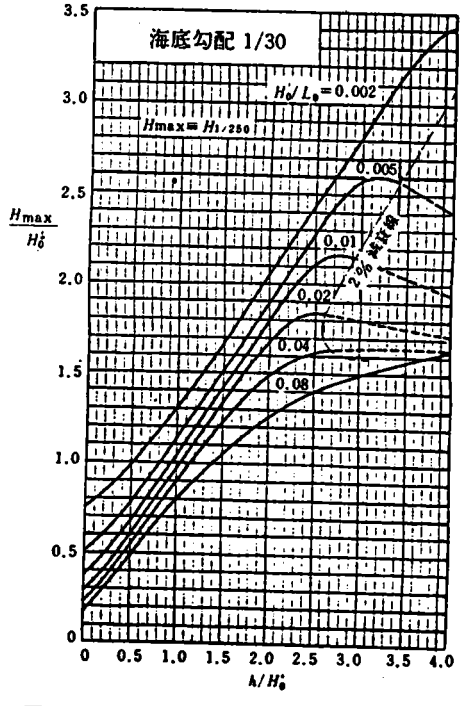
図－解 4.31(e)　砕波帯内の有義波高の算定図[50]



図－解 4.32(a)　砕波帯内の最高波高の算定図[50]



図－解 4.32(b)　砕波帯内の最高波高の算定図[50]



図－解 4.32(c)　砕波帯内の最高波高の算定図[50]

4-5-5 淺水變形

(1)淺海區域波浪進行時，除折射、繞射外，亦應考慮淺化之影響
(2)淺化係數之計算，須考慮波浪之非線型性。

[說明]

(1)圖4-30爲首藤根據非線型長波理論所作成之圖，但亦包含微小振幅波之線型解，可推算波浪由深海域進入淺海域之變形，在此K_s爲淺化係數，H'_o爲換算深海波高，H爲水深 h處之波高，L_o爲深海波波長。

(2)當不規則波進入長波領域時，不規則波中之各成分波均會收斂成長波之波速，由於因頻率所致波速之差已不存在，因此波列之形狀不會改變而進行。像此種以碎波以前之波浪爲對象，對於不規則波群中之每一個波浪可適用非線型長波之變形理論，合田已表示過，因此對於規則波之非線型長波之變形公式，也適用於不規則波。

(3)具有Bretshneider或 Pierson與 Moskovitz波譜形式之不規則波的各成分波，假設其與微小振幅有相同之淺水變形，計算不規則波之淺化係數，其與微小振幅之規則波之淺化係數與$h/L_o>0.05$之領域至多也僅有5%之差，因此，即使在長波領域外，不規則波之淺化係數亦可以微小振幅之規則波之淺化係數近似使用。

(4)由(2)及(3)碎波以前之淺海域之規則波淺化係數，不論是否在長波領域內外，可以有義波來代表，由圖4-30求取。

(5)圖4-30中之點、線爲受碎波之影響，有義波高減衰98%之地點，此線上方之領域，由於碎波所致波高減衰之效果很大， 不能僅以淺水變形推算波高。

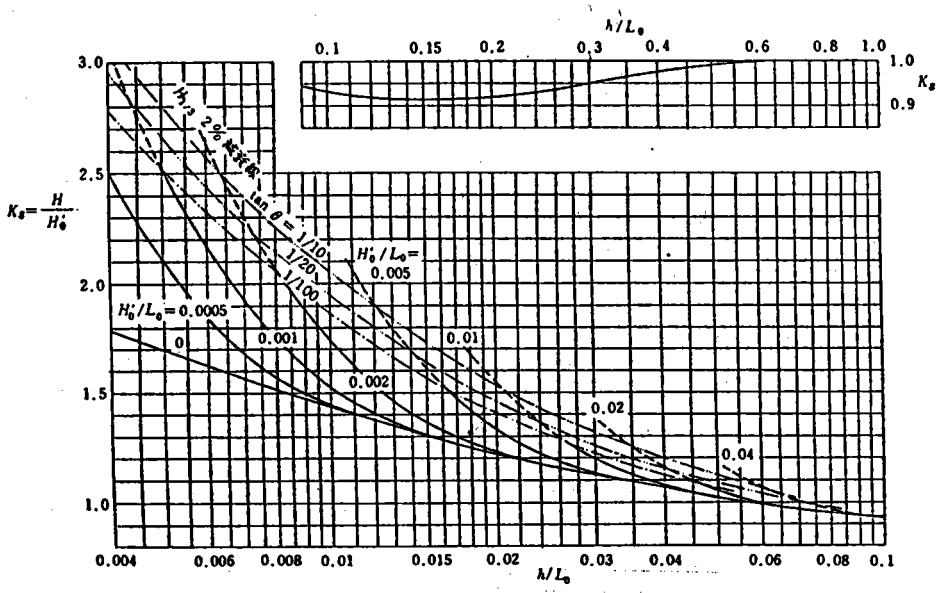


図-解4.30 浅水係数の算定図[50]

4-5-6 碎波

(1)當水深爲換算深水波高之大約3倍以下之地點，應考慮碎波所致波高之變化。
(2)碎波所致波高之變化計算，應考慮波浪之不規則性。

[說明]

(1)碎波所致波高之變化，可依圖4-31(a)～(e)或圖4-32(a)～(e)去求取，這些圖爲合田依碎波之理論模式，計算得到之不規則波波高變化。

(2)圖中點線右線區域之波高變化，可依4-5-5 淺化係數加以計算，點線左側區域，由於因碎波所致波高之變化顯著，因此須以此圖決定波高。

(3)海底坡度爲以水深與換算深水波高之比H/H_o'在1.5～2.5之範圍內之平均坡度爲準。

(4)圖中波高比之值雖分的很細，但實際之波浪$H_{1/3}/H_o'$之比在±0.1程度亦或有超過此值之差異，須充分加以考慮。

(5)水深在換算深水波高之0.5 倍程度以下之地點，流之能量遠較波浪產生之水位變化影響爲大，因此在計算作用於構造物之波力時，希望能採用水深爲換算深海波高0.5倍地點之波高。

(6)通常以碎波理論模式計算波高變化時，須以電腦進行計算，但是考慮現象之變動性及綜合之精確度，可以採用以下之簡便公式計算波高變化。

$$H_{1/3}=\begin{cases}K_sH_o' & (h/L_o\geqq 0.2)\\ \min\{(\beta_oH_o'+\beta_1h),\beta\max H_o',\ K_sH_o'\} & (h/L_o<0.2)\end{cases}$$

式中 $\beta_o=0.028(H_o'/L_o)^{-0.38}\exp[20(\tan\theta)^{1.5}]$

$\beta_1=0.52\exp[4.2(\tan\theta)]$

$\beta\max=\max\{0.92,0.32(H_o'/L_o)^{-0.29}\exp[2.4\tan\theta]$

淺化係數K_s可以圖4-30求取，$\tan\theta$爲海底坡度

同樣的，最高波Hmax之概略式如下

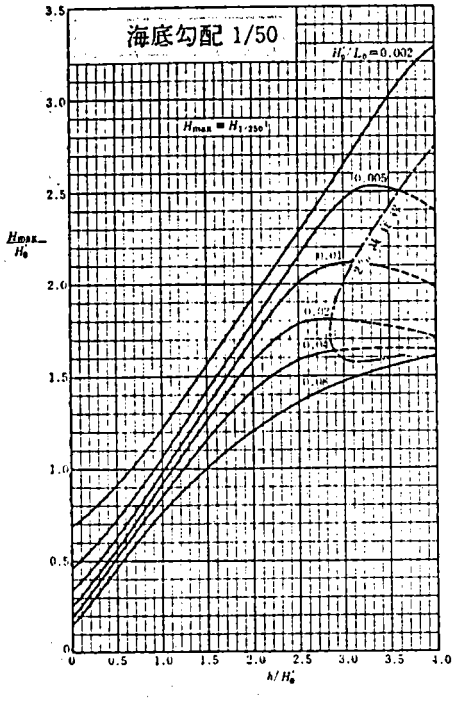
$$Hmax=\begin{cases}1.8K_sH_o'(h/L_o\geqq 0.2)\\ \min\{(\beta_o*H_o'+\beta_1*h),\beta*\max H_o',\ 1.8K_sH_o'\}(h/L_o<0.2)\end{cases}$$

式中 $\beta_0^*=0.052(H_0'/L_0)^{-0.38}\exp[20(\tan\theta)^{1.5}]$

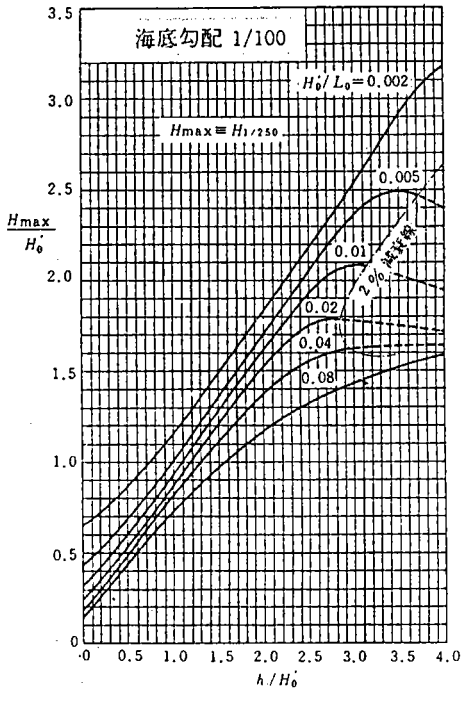
$\beta_1^*=0.63\exp[3.8(\tan\theta)]$

$\beta^*_{max}=\max\{1.65,0.53(H_0'/L_0)^{-0.29}\exp[2.4\tan\theta]\}$

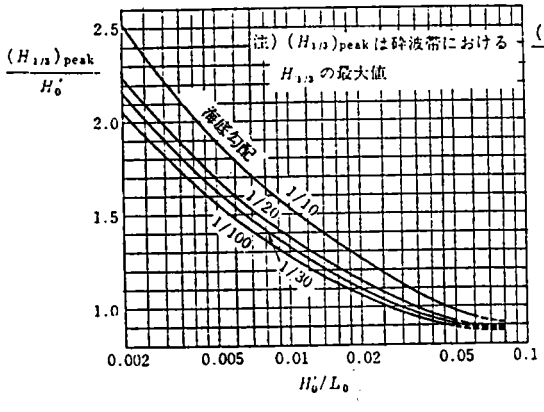
(7)如果碎波帶內有義波高之最大值$(H_{1/3})$peak爲碎波高的話，碎波指標曲線可以用圖4-33 表示，另外如果有義波高爲最大時之水深 $(H_{1/3})$peak爲碎波水深的話，碎波水深可用圖4-34表示。



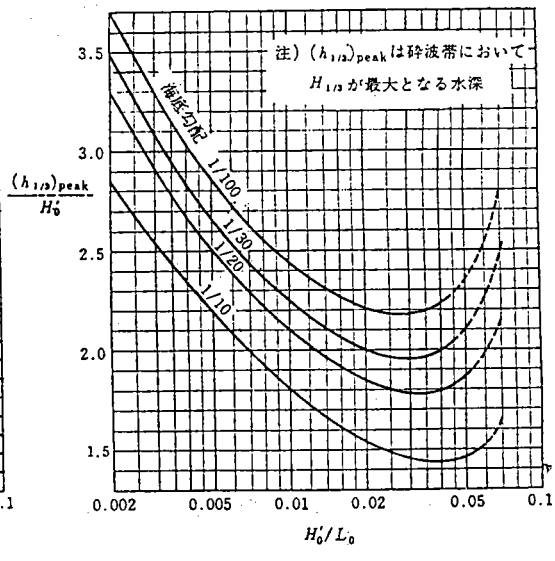
図－解 4.32(d) 碎波帶內の最高波高の算定図[50)]



図－解 4.32(e) 碎波帶內の最高波高の算定図[50)]



図－解 4.33 碎波帶內の有義波高の最大値の算定図[50)]



図－解 4.34 有義波高の最大値の出現水深の算定図[50)]

(8)圖4-35 爲規則波之碎波臨界波高，根據此圖可計算採用規則波之水工模型試驗等之碎波界限波高，圖中之曲線爲式4-44之近似值。

$$\frac{H_b}{L_o} = 0.17\{1-\exp[-1.5\frac{\pi h}{L_o}(1+15\tan^{4/3}\theta)]\}\ldots(4-44)$$

式中 $\tan\theta$ 爲海底坡度

另外圖4-35 爲第1次碎波點之臨界波高，在水深較淺處，由於碎波使水位上昇水深增加，因此碎波帶內臨界波高推定時，須考慮水位上昇之影響。

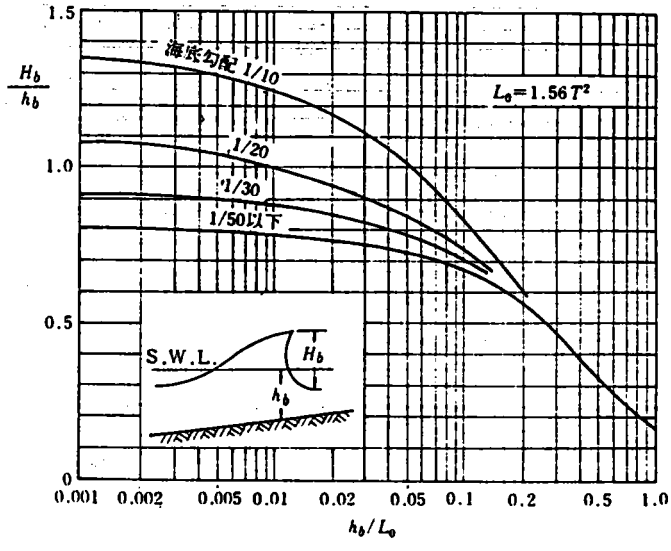


図-解4.35 規則波の砕波限界波高[52]

4-6 越波及傳遞波

對於越波量在設計上爲重要因素之構造物來說，應根據水工模型試驗亦或以往水工模型試驗資料，計算越波量，此時應考慮波浪之不規則性。

[說明]

(1)以實驗計算越波流量之時，原則上採用不規則波，但若無法以不規則波進行實驗時，亦可以規則波實驗來計算。以規則波實驗計算越波流量之時，首先以實驗作出越波流量曲線（對深海波之越波流量圖）此時，規則波之週期，可使用有義波週期，求出越波流量曲線後，乘上各波高之出現率以計算越波流量之期待值（此稱爲期待越波流量)作爲不規則波之推定值。

(2)對於沒有護基方塊，頂部無反射波浪設施之單純形狀之直立及消波護岸可以用圖4-36～4-39推算越波流量，這些圖爲根據不規則波實驗所作成的，越波流量曲線之精確度由實驗以及現場觀測結果之對比，大致如表4-3 所示之範圍，另外消波護岸之越波流量係對頂部上層爲2例並排之條件所得的。

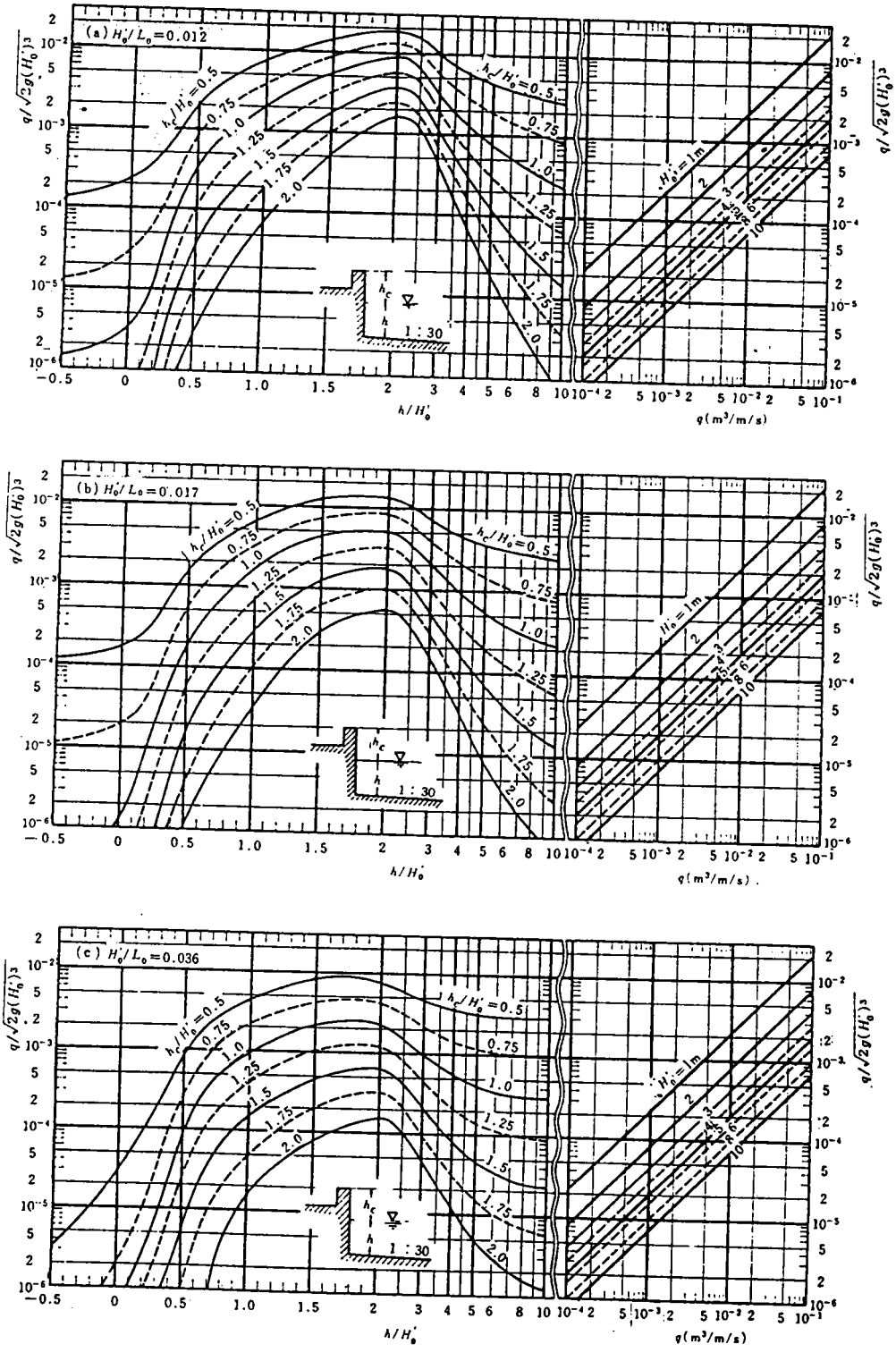
表4-3 相對於越波流量推算值之眞值設定範圍

$q/\sqrt{2g(H_o)^3}$	直立護岸	消波護岸
10^{-2}	0.7～1.5倍	0.5～ 2 倍
10^{-3}	0.4～ 2 倍	0.2～ 3 倍
10^{-4}	0.2～ 3 倍	0.1～ 5 倍
10^{-5}	0.1～ 5 倍	0.05～10 倍

(3)越波量爲越波之水的總容積，而越波流量爲越波量除以測定時間所得之單位時間越波之水的平均容積，通常這些量以單位寬度表示。

(4)以實驗推算越波量時，應考慮潮位變化，並變化水位進行。

(5)有關容許越波量，隨護岸之構造、護岸背後之土地利用狀況、排水設施之能力等而不同，須依狀況加以設定。



図－解 4.36　直立護岸の越波流量推定図[54]（海底勾配1/30）

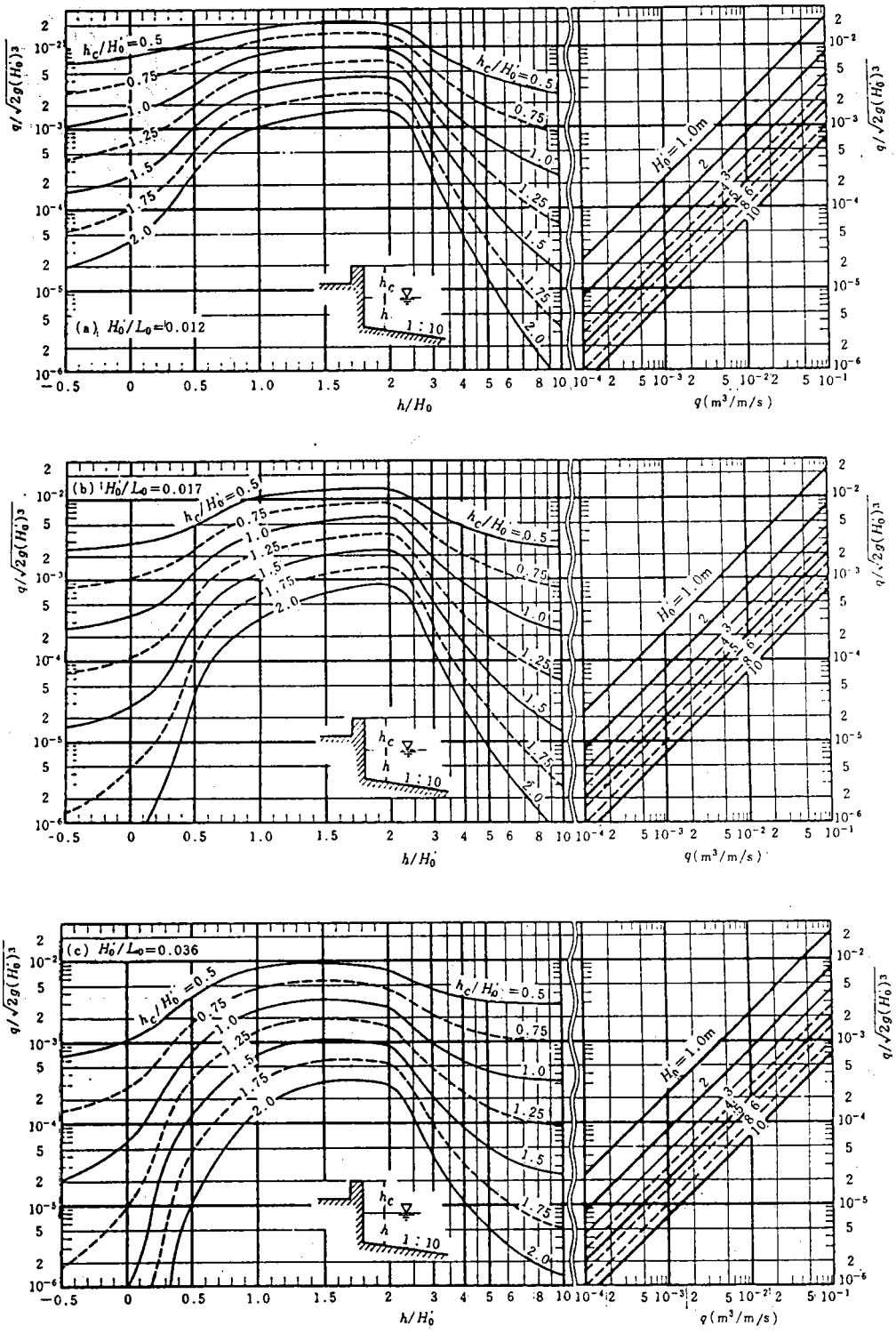
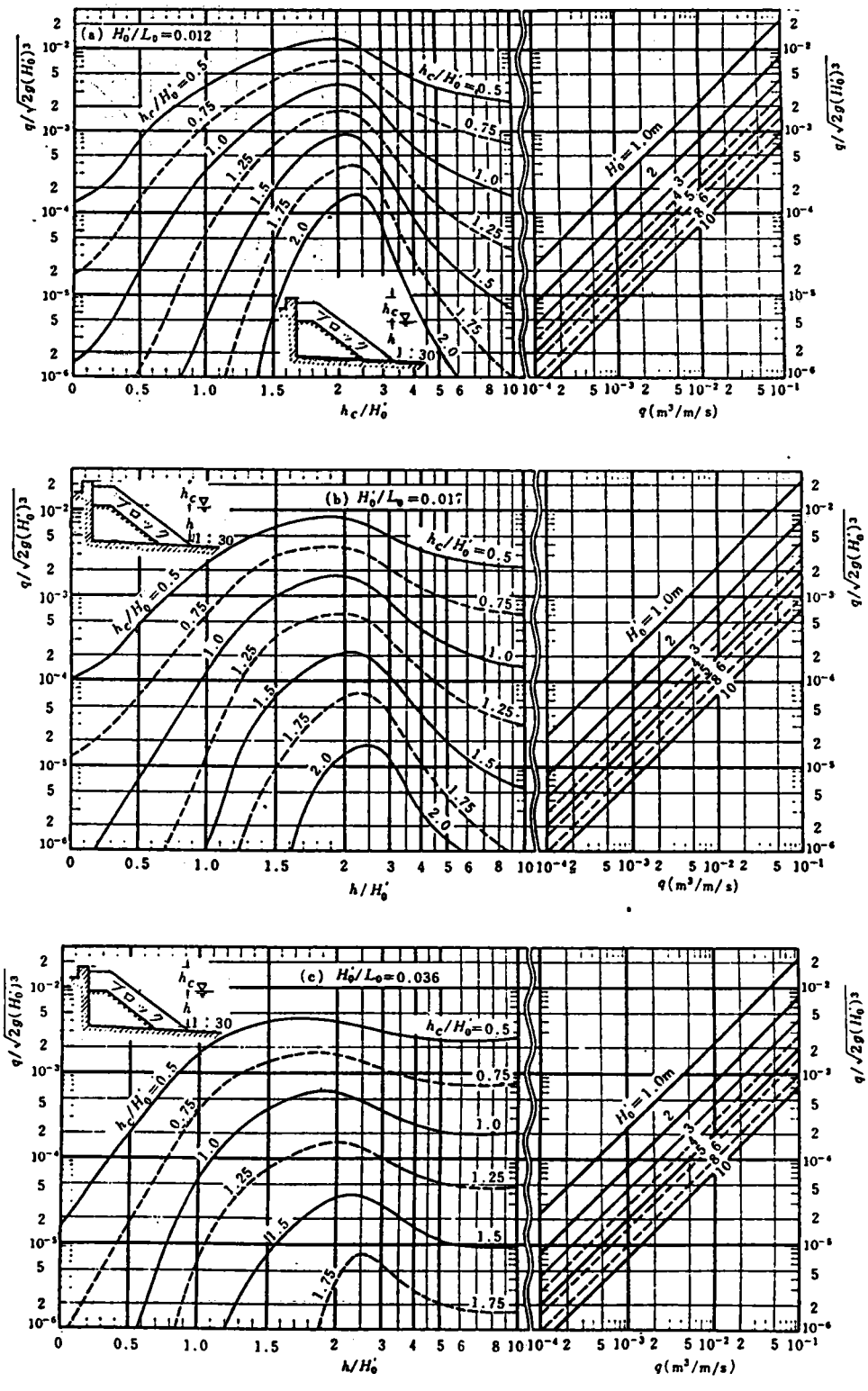


図-解 4.37　直立護岸の越波流量推定図[54]（海底勾配1/10）



図－解 4.38　消波護岸の越波流量推定図[54]（海底勾配1/30）

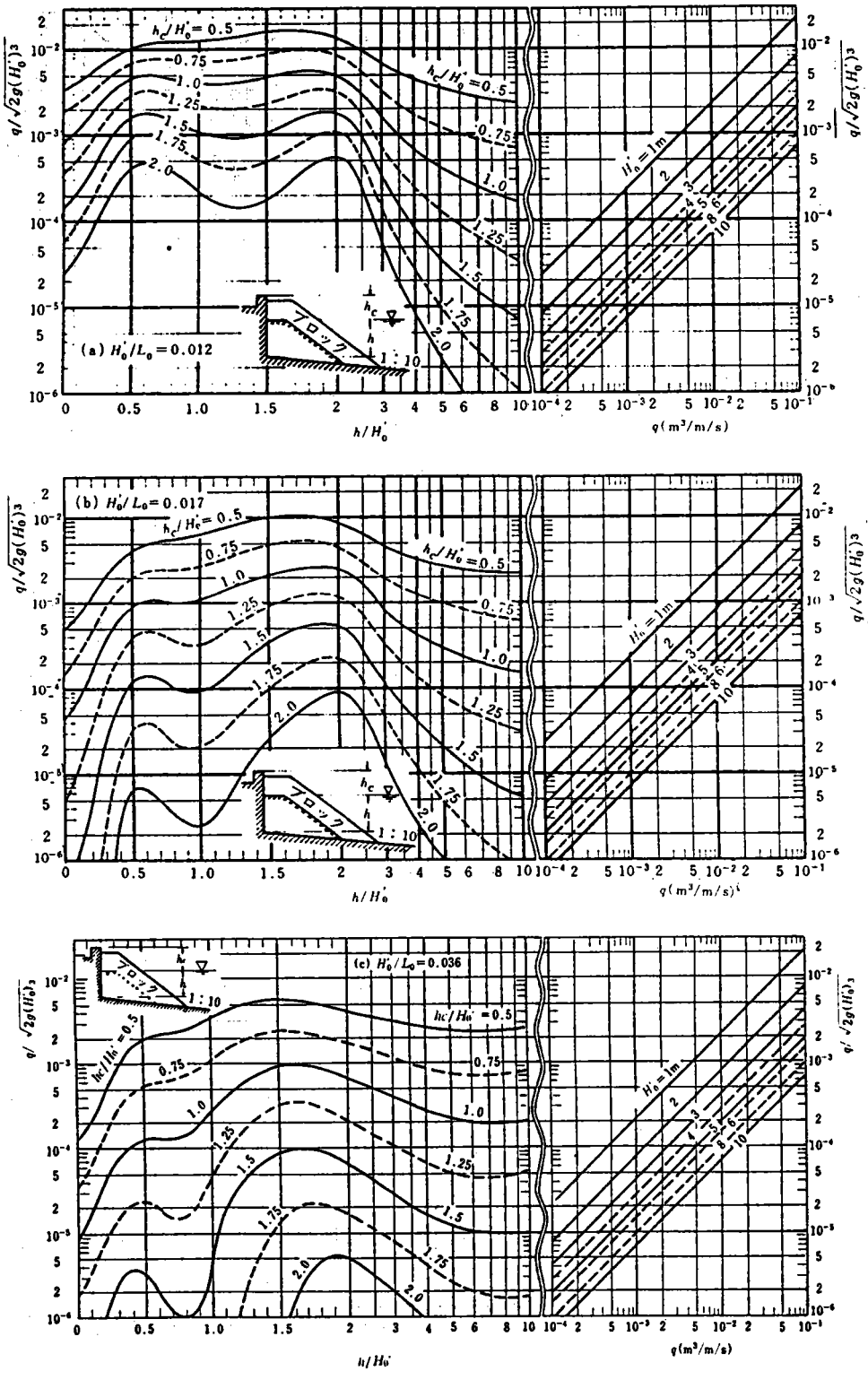


図-解 4.39　消波護岸の越波流量推定図[54]（海底勾配1/10）

4-6-2 傳遞波高

越過防波堤之波浪亦或通過拋石基礎所產生傳遞波之波高， 應依水工模型試驗之結果亦或參考過去之資料來計算。

[說明]

(1)越過合成式防波堤之波浪以及通過基礎層傳遞至港內之傳遞波高，可以利用圖4-40來計算。

(2)不規則波之波高傳遞也與圖4-40 幾乎一致，對1/10最大波高，以及平均波高亦成立。

(3)傳遞波之週期較所對應入射波之週期減少50～80%。

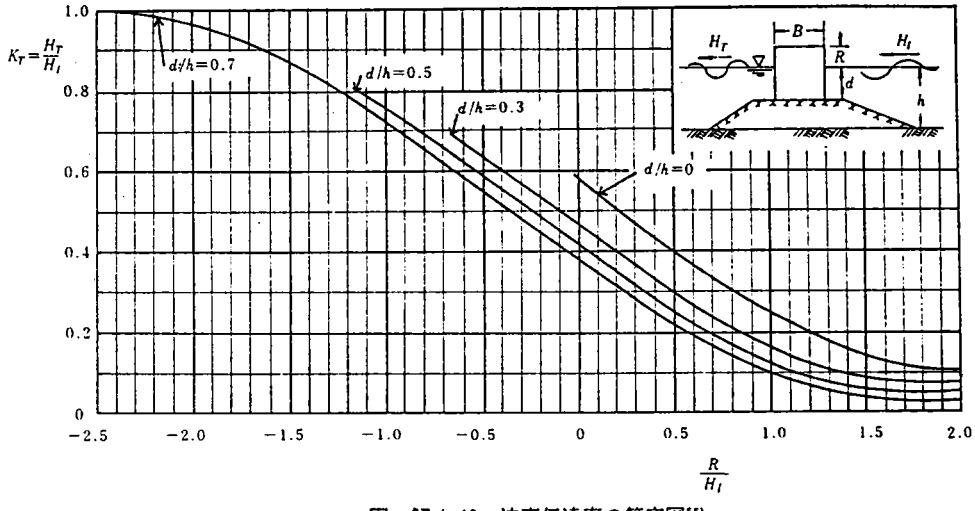


図-解 4.40 波高伝達率の算定図[55]

4-7 波浪所致平均水位之上昇

進入沿岸之波浪，隨著波浪之破碎，在碎波帶內所產生平均水位之上昇量，在構造物之設計時，隨著需要應加以考慮。

第五章　波　力

5.1 概說

作用於構造物之波力，應考慮構造物之型式、海底地形、水深以及波浪等之各因素，而以水工模型試驗亦或計算公式加以計算，此時須充分考量波浪的不規則性。

[說明]

(1)隨構造物之型式波力大致可分爲以下幾種

a.作用於壁狀溝造物之波力。

b.作用於覆蓋石(塊)之波力。

c.作用於海中構材之波力。

d.作用於水面附近構造物之波力。

由於隨著各種構造物型式、波力之取法不同，因此須依狀況採用合適的計算法。另外，隨著構造型式，亦有作用波力不很清楚的，對實績較少之構造物應以模型試驗加以檢討。

(2)波浪之不規則性與波力

實際海上之波浪，其波高、週期每一波均爲不規則，隨著水深或海底地形，而有非碎波碎波後之波浪在作用波力計算時，應依設計條件，以帶給構造物最嚴重影響之波浪來檢討，此時須充分考慮波浪之不規則性以及隨構造型式波力表現之特性。

通常對波高而言，由於愈大波高之波浪，可帶來愈大的波力，因此，以到達構造物之不規則波群中之最高波作爲波力之對象即可，但對作用於坡面之覆坡石、塊等之安定性，剛性較低之柱狀構造物以及浮體構造物上所作用之波力，則應考慮不規則波浪之連續作用之影響。

(3)以模型試驗進行波力計算

以模型試驗進行波力之檢討時，須充分考慮對象構造物之破壞情況，而採取適當的測定法，另外亦須充分考量現場波浪之不規則性，特別是以規則波進行試驗之時，原則上須包含對最高波之檢討。

5-2 作用於直立壁之波力

5-2-1 作用於直立壁之波力一般性質

> 作用於直立壁之波力，由於受潮位、水深、海底地形、構造物之斷面形狀、法線形狀等而改變，因此須將此考慮而加以適當計算。特別是海底坡度陡處亦或位於高基上之直立壁，由於會產生強大衝擊碎波壓之作用，因此須充分留意其發生條件而計算波力。

[說明]

(1)影響直立壁波力之因素

影響作用於直立壁波力之主要因素爲，波浪之週期、波高、波向、潮位、水深、海底坡度、基礎高程之水深及基礎寬度、基礎坡度、直立壁之頂高以及海底水深等。除此外，法線形式特別是延長線上有轉角時，往往會承受較直線部較大之波力，因此須考慮此法線形狀之影響。另外，直立壁前面以消波塊覆蓋之時，消波塊之特性，頂端高程及寬度等均有影響。

(2)波力之種類

作用於直立壁之波力，隨作用波浪之形態，可分爲重複波力、碎波後之波力等，但其變化應爲連續性的。重複波力爲與水深相比波高較小之波浪所產生，波壓之時間變化較緩。隨著波高之增大，作用之波力，亦大通常位於直立壁稍微海側破碎之波浪時，將會產生最大之波力，因此除了在非常淺之區域外，在直立壁前方破碎之碎波力較距直立壁很遠處破碎之很大波高波浪之作用力爲大，特別是在坡度很陡之海底面上直立壁，亦或坡度雖緩但基礎拋石很高之直立壁上，碎波作用時，會產生強大之衝擊碎波壓，此點須留意。

5-2-2 作用於直立壁之重複波及碎波波力

[1]波峰作用之時

> 作用於直立壁之最大波力以及當時之揚壓力應以下列之方法加以計算。
>
> (1)前面波壓
>
> 在靜水面之高度爲最大值P_1，靜水面上η^*之高度上爲0，水底下爲P_2之直線分佈，考慮直立壁底面至頂端爲止之波壓。

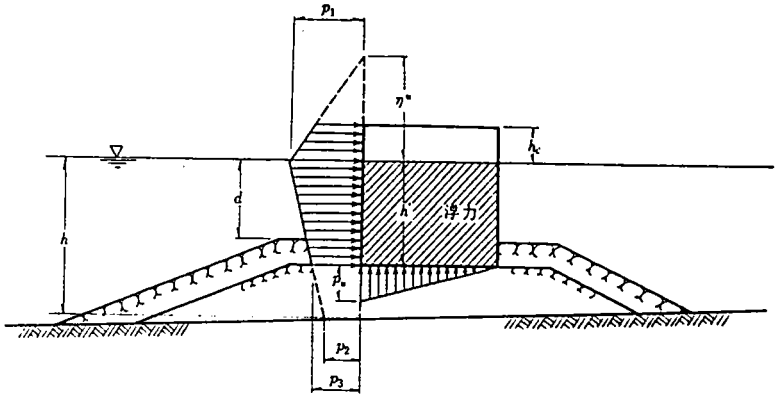


図-解5.1　設計計算に用いる波圧分布

$$\eta^*=0.75(1+\cos\beta)H_d \quad \cdots\cdots(5.1)$$

$$P_1=\frac{1}{2}(1+\cos\beta)(\alpha_1+\alpha_2\cos^2\beta)\omega_0 H_d \quad \cdots(5.2)$$

$$P_2=\frac{P_1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad \cdots\cdots(5.3)$$

$$P_3=\alpha_3 P_2 \quad \cdots\cdots(5.4)$$

$$\alpha_1=0.6+\frac{1}{2}\left(\frac{4\pi h/L}{\sinh(4\pi h/L)}\right) \quad \cdots\cdots(5.5)$$

$$\alpha_2=\min\left(\frac{h_b-d}{3h_b}\left(\frac{Hd}{d}\right)^2,\ \frac{2d}{Hd}\right) \quad \cdots\cdots(5.6)$$

$$\alpha_3=1-\frac{h'}{h}\left(1-\frac{1}{\cosh(2\pi h/L)}\right) \quad \cdots\cdots(5.7)$$

式中

η^*:静水面上波壓強度爲0之高度(m)

P_1:静水面之波壓強度(t/m²)

P_2:海底面之波壓強度(t/m²)

P_3:直立壁底面之波壓強度(t/m²)

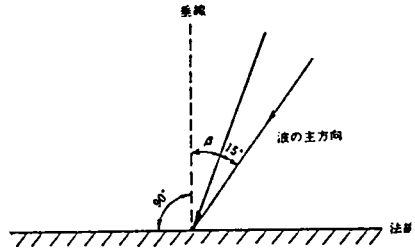


図-解5.2　波の入射角βの取り方

h:直立壁前之水深(m)

h_b:直立壁前方海側5倍有義波高距離處之水深(m)

h′:直立壁底面之水深

d:覆基方塊或覆　石(塊)中水深較小者(m)

ω_o:海水單位體積重(t/m³)

H_d:設計波高(m)

L:水深h處之設計計算所使用之波長(m)

min(a,b):a或b中較小者

β:直立壁法線垂線與由波浪之主方向±15°範圍中修正之角度。

(2)揚壓力

作用於直立壁底面之揚壓力爲前趾P_u後趾爲0之三角形分佈。

$$P_u=\frac{1}{2}(1+\cos\beta)\alpha_1\alpha_3\omega_o Hd$$

此時之浮力僅考慮靜水中之體積部份。

(3)設計波高及波長

設計計算所採用之波高Hd及波長L爲最高波之波高及波長。

最高波之波長爲與有義波週期相對應之波長，波高應採用以下之最高波高。

1)最高波高不受碎波之影響時

$$Hd=Hmax=1.8H_{1/3}$$

式中

$H_{1/3}$:直立壁前面水深之進行波的有義波高(m)

2)最高波高受碎波之影響時

Hd=(考慮不規則之碎波變形的Hmax)

但是此時之最高波爲直立壁前方海側$5H_{1/3}$距離處之水深h_b處之值。

(1)有關合田公式

在此所表示之波力計算公式爲合田根據波壓試驗結果以及對現場防波堤之適用成果加以考察。加上修正波向之效果所提案之公式稱爲合田公式。依此，不須對重複波及碎波加以區別，可對作用於直，立壁之波力加以連續求得。但儘管如此，對坡度很陡之海底面上之直立壁或高拋石基礎上之直立壁，強大衝擊碎波力作用之條件來說，波力可能會產生過小之評估，因此在應用時，對衝擊碎波力發生之危險性須予以留意。

本公式之波壓爲以靜水時爲基準，波浪之作用所產生之壓力，波浪作用以前之狀態的靜水壓需依須要另外考慮。另外，本方式主要爲檢討直立壁堤體之安定性之波力爲對象，特別是在碎波之作用時，並不一定是表示各位置之局部最大波壓，在作構材之檢討時，此點須特別留意。

(2)波力計算時所採用之波高及波長

由於本計算式可說是表示每個波浪之作用波力，因此，通常須採用設計對象之波群中產生最大波浪之波浪各因素，而以最高波爲對象。由於不規則波群中最高波之出現爲概率性的，因此很難加以明確決定。但由本方式對現場防波堤之適用成果來看，波長以有義波週期相對應之波長，波高則在不產生碎波變形之處，以有義波高之1.8倍相當之最高波爲準。至於本文(3)之1)2)中，最高波是否受碎波之影響，則可以本篇 4-5-6求取碎波之最高波高圖爲境界，較此爲深的話不受碎波之影響，較淺則可考慮爲受碎波之影響。另外，最高波高以簡單式求取時，h 以 h_b 代入即可。

此外，若5-9式之右邊係數1.8，採用其他值時，須充分檢討最高波之出現等，而採用適切之值。

(3)有基腳時之揚壓力

沉箱等當有基腳時，在波浪之作用側基腳之上面有往下作用之波力以及底面前趾有P_u'後趾爲 0 之揚壓力作用，但儘管如此，通常其合力與無基腳時之揚壓力並無很大之差別，因此，如圖 5-1所示般，可忽視基腳而以無基腳之狀態加以計算揚壓力。

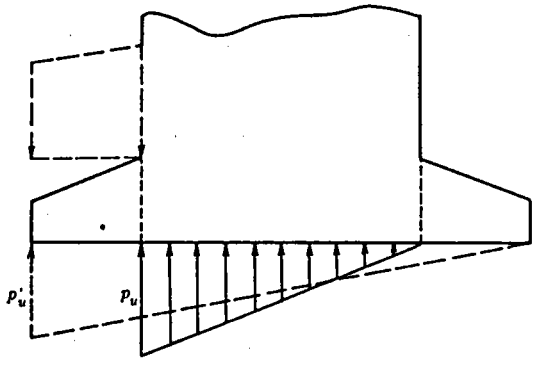


図-解5.1　フーチングを有するときの揚圧力

(4)其他理論式或計算式之適用

本文所顯示的波力計算公式，由重複波至碎波其波力之適用界限並無區別，同時具相當之精確度，並可連續加以求取，相當便利因此以其爲準。但是，如與水深相比波高很小，很明顯的爲重複波波力作用時，可採用精度較高之重複波理論式。但是此時須充分考量現場波浪之不規則性。同時須以最高波來檢討。

另外，依據現有防波堤之實績，可確定適用性之時，以下之設計式亦可採用。

(a)廣井式等

此時設計計算所採用之波高H_d爲堤體設置位置之進行波的有義波高。

i)波峰時之前面波壓

1)$d/H_{1/3} \geqq 2$(重複波)之時

圖5-2所顯示般Sainflou之概算式所計算之波壓外，再考慮部份碎波壓作爲波壓分佈。

在靜水面上下0～$H_d/2$之範圍

P_b:廣井公式之碎波波壓(t/m²)

在靜水面上$H_d/2$以上以及靜水面下$H_d/2$以下之範圍

P_1, P_2 Sainflou之概略式計算之重複波波壓(t/m²)

$$P_1=(P_2+\omega_o h)\left(\frac{H_d+\delta_o}{h+H_d+\delta_o}\right)$$

$$P_2=\frac{\omega_o H_d}{\cosh\frac{2\pi h}{L}}$$

$$\delta_o=\frac{\pi H_d^2}{L}\coth\frac{2\pi h}{L}$$

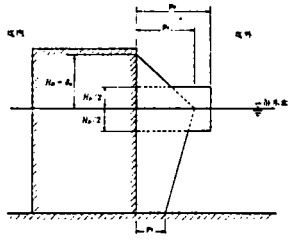


図-解5.2 $d/H_{1/3}\geq 2$の場合の波圧分布（断分砕波圧を考慮したサンフルーの略式）

式中：

P_1:波壓來臨時堤體靜水面之波壓強度(t/m²)

P_2:堤體下端之波壓強度(t/m²)

ω_o:海水之單位體積重量(t/m³)

δ_o:水位上昇量(m)

h:堤體前面水深(m)

H_d:設計波高(m)

L :水深 h 處有義波波長

但是，堤體高程小於$H_d+\delta_o$時，以及若有基礎拋石時，其前端寬度B_1較波長L之1/2短時，波壓分佈即依此，而作用範圍則由直立壁之頂端至底面爲止，若B_1較1/2L長時，則將拋石基礎當作海底地形之一部分，計算所採用之波高以及波長均爲拋石基礎上端之水深。此外，Sainflou之概略式，對重複波壓不作波向修正。

2)$d/H_{1/3}<2$(碎波)之時

式5-22廣井式計算之平均波壓強度爲靜水面上$1.25H_d$亦或堤頂二者較低之高度爲止平均作用。

$P_b=1.5\omega_o H_d\cos^2\beta$.(5-2)

式中：

P_b:碎波之波壓強度(t/m²)

ω_o:海水之單位體積重量(t/m³)

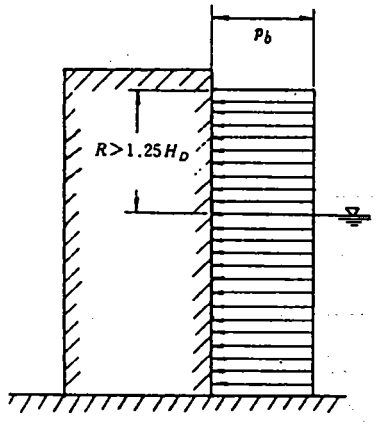


図-解5.3 $d/H_{1/3}<2$の場合の波圧分布

H_d:設計波高(m)

β:構造物之法線與波浪之主方向±15°修正之入射角。

但是，在$d/H_{1/3} \geq 2$重複波之時，若修正波向使部份碎波壓之強度較Sainflou之波壓強度爲小時，應採用Sainflou式。

ii)揚壓力

1)頂端高不生越波時

構造物之頂端在靜水面上較$H_d+\delta_o$(重複波時)，亦或$1.25H_d$(碎波時)爲高時，可考慮爲不產生越波。靜水面以下之部份受浮力之作用外，作用於直立部底面之揚壓力不能不考慮。

揚壓力之強度爲堤前趾爲P_u，後趾爲0之三角形分佈，堤體前趾之揚壓力強度可以式5-3，5-4計算。

重複波作用時($d \geq 2H_{1/3}$)

$$P_u=\frac{\omega_o H_d}{\cosh\frac{2\pi h}{L}}$$

但如有拋石基礎時與作用於堤體底面之波壓值相同

碎波作用時($d \leq 2H_{1/3}$)

$$P_u=1.25\omega_o H_d$$

式中:

P_u:堤體前趾之揚壓力強度(t/m^2)

H_d:設計波高(m)

h:前面水深(m)

L:水深 h之有義波波長(m)

ω_o:海水單位體積重量(t/m^3)

2)頂端低產生越波時

構造物之頂端低會產生越波時，構造物之全部均受浮力作用，而揚壓力則包含在浮力中。

(b)伊藤之計算式

計算合成堤直立部滑動量的期待滑動量方式，係伊藤依據不規則波的滑動試驗結果，將由重複波至碎波連續的波高與波壓關係，以式5-5表示。

$$P=0.7\omega_o H \qquad (H/_d \leq 1)$$

$$P=\{0.7+0.55(\frac{H}{d}-1)\}\omega_o H \quad (H/_d \geq 1)$$

式中：

P:波壓強度(平均分佈)以及前趾之揚壓力強度(三角形分佈)(t/m²)

ω_o:海水單位體積重量(t/m³)

H:堤體設置位置之進行波波高(m)

d:拋石基礎上之水深(m)

本計算式中設計所採用之波高H使用最高波高Hmax，其與合田式之Hmax之取法相同，但由5-5式之第2式可知，拋石基礎上之水深d小而波高很大時，波壓強度將會顯著變大，在d=0之極端場合，將成無限大，因此在適用時應注意。

此外式5-5 爲根據波向爲直角時之試驗結果，而伊藤之原始論文對波向之修正均未提到，但亦有對式5-5之右邊第二項乘上cos²β修正波向之例。

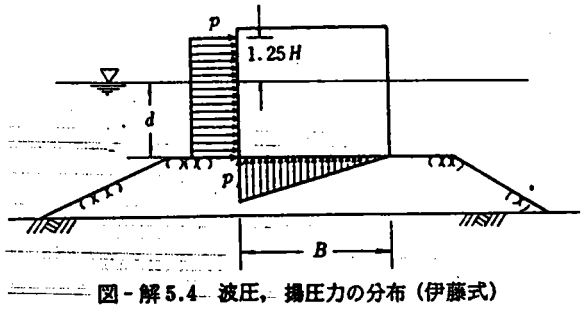


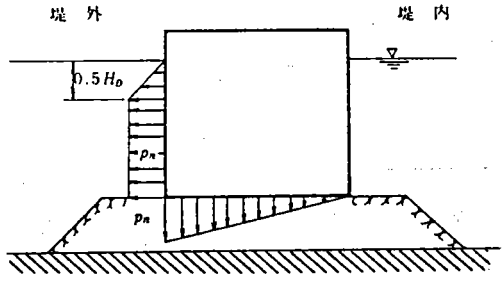
図-解5.4 波圧，揚圧力の分布（伊藤式）

[2]波谷作用於壁面時

當堤面波谷作用時，所產生負的波力，可依據水工模型試驗亦或適切的計算公式加以計算。

[說明]

堤面波谷作用時，堤體之負波壓如圖5-5所示般在靜水面爲0，靜水面下$0.5H_d$爲 P_n，至底面爲止均爲不變之直線分佈波壓，向海側作用。



$$P_n=0.5\omega_o H_d$$

式中：

P_n：波壓強度

ω_o：海水之單位體積重量(t/m³)

H_d：設計波高(m)

另外，作用於底面之負的揚壓力，如圖5-5般，前趾爲P_n後趾爲0之三角分佈往下作用之揚壓力。

5-2-3 衝擊碎波力

> 當衝擊碎波力有可能發生時，原則上以水工模型試驗進行檢討。對於有可能產生強大衝擊碎波力的斷面形狀及構造應儘可能避免採用，在海底坡度較陡無法避免之時，應加以適當的消波工以緩和波力之作用。

[說明]

(1)衝擊碎波力之特性

衝擊碎波力作用時之最大波壓，隨著條件可達波高相當之靜水壓($1.0\omega_o H_d$)之數倍亦或數10倍，此已由模型試驗等顯示。但僅管如此，其作用時間很短，同時爲局部性的，稍微之條件變化其變動亦很顯著，另外，由於爲衝擊性之原故，隨著構造物之力學特性對安定性或構材應力之效果亦不同，因此，對衝擊碎波力無法以一般之計算法求得，須以對個個之力學條件相對應之模型試驗，對波力進行檢討，此爲其原則。

(2)衝擊碎波力之發生條件

衝擊碎波力之發生原因很多，很難以一般性加以規定。由各種之試驗結果，當構造物法線之垂直線與波向之交角β在20°以內，同時又有以下之情況時，可說衝擊碎波力很易發生。

(a)海底地形很陡時

當海底坡度較1/30爲陡時，在直立壁之稍爲海側換算深水尖銳度在0.03以下(包含碎波時)很容易產生擊碎波力。

(b)高基礎時

海底坡度雖平緩，但隨基礎之形狀亦會產生衝擊碎波力，此時除波浪之條件外，基礎拋石比較高，而且前肩寬度相當廣亦或斜坡度平緩，在拋石基礎之斜坡面亦或斜坡肩部附近如有水壁狀之碎波衝突時會產生衝擊碎波力。海底坡度較1/50爲緩時，若設置水深與拋石基礎高程上之水深比較0.6 爲大時，強大之衝擊碎波力將不會發生。

(3)對策工法

若強大的衝擊碎波力作用於直立壁時，其前面投入消波塊加以保護，使作用波力很顯著的減小。特別是高基拋石基礎時，若有充分的消波塊加以保護可防止衝擊碎波之發生，另外，直立堤採用適宜的消波沉箱，亦或斜面沉箱等異型沉箱，有時亦可避免衝擊碎波力之作用。

(4)以模型試驗檢討波力

以模型試驗進行衝擊碎波力作用時的檢討，須考慮衝擊力碎波對構造物之反應特性。直立壁整體之安定性檢討，例如堤體之滑動試驗，胸牆等之構材強度檢討，可以應力測定實驗進行。

5-2-4 作用於消波塊覆蓋之直立壁的波力

作用於消波塊覆蓋之直立壁的波力，隨著消波工之頂高、寬度、消波塊之特性等而變化，將此予以考慮，而以水工模型試驗亦或適切的計算法加以計算。

[說明]

(1)因消波塊覆蓋所致波力之變化

直立壁前方投入異型塊等設置消波工時，作用於堤體之波力將產生變化，其變化程度，隨來襲波之特性外，更依消波工之頂高以及寬度、消波塊之種類、塡充石之有無等。消波工之構造而不同，通常直

立壁原本在重複波作用時波力之變化並不大，但在強大的衝擊碎波力作用時，隨消波工之覆蓋，波力將有相當程度之減少，但儘管如此，僅在消波工有充分的寬度與頂高時，波力才有減小效果。特別是消波工之頂部較設計潮位低時，經常會使波力增大，此須注意。

(2)消波塊充分覆蓋時之波力計算式

由於作用於消波塊充分覆蓋時之波力，隨著消波工之構造而變化，因此，通常隨條件根據模型試驗加以計算爲原則。但如消波工之頂端與直立壁之頂端相同，且波浪之作用消波塊之安定亦能確保時，作用於直立壁之波力，可依以下合田公式加以計算。

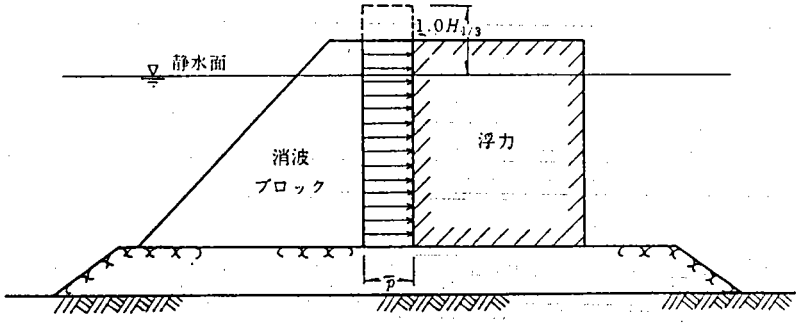


図-解5.7 消波ブロックに被覆されているときの設計計算に用いる波圧分布（森平式）

$$\eta^* = 0.75(1+\cos\beta)\lambda H_d$$
$$P_1 = 1/2(1+\cos\beta)\lambda\alpha_1\cdot\omega_0 H_d$$
$$P_u = 1/2(1+\cos\beta)\lambda\alpha_1\cdot\alpha_2\cdot\omega_0 H_d$$

式中：

η^*=靜水面上波壓強度爲0之高度(m)

P_1=消波塊覆蓋時靜水面之波壓強度(t/m²)

P_u=消波塊覆蓋時底面前趾之揚壓力強度(t/m²)

β=直立壁之法線垂直線與波浪主方向±15°範圍內最危險方向所成角度

λ=因消波塊覆蓋之波壓遞減率

α_1=式5-5之係數

α_2=式5-7之係數

ω_0=海水單位體積重量

H_d=設計波高(最高波高Hmax(m))

消波塊覆蓋所致波壓遞減率λ，爲隨覆蓋之程度及波浪之條件而決定之係數，對於消波塊充分覆蓋時之直立壁安定性等之檢討，一般採用λ=0.8者爲多，但是像斜坡堤上部工般，直立壁之基面在靜水面附近時，λ之值隨週期會有很大之變化，週期較長時須注意亦有λ=1.0之情形。

(3)森平式

當消波塊充分覆蓋時，而且有義波受碎波之影響而減小的碎波帶內時，亦可使用以下森平等所提案之方法。式5-10之平均波壓強度爲由直立壁之基部至靜水面上$1.0H_{1/3}$亦或直立壁頂端二者較低者爲準之高度爲止平均作用。

$$P=1.0\omega_0 H_{1/3}$$

式中：

P=作用於消波塊覆蓋時之直立壁的平均波壓強度(t/m²)

ω_0=海水單位體積重量(t/m²)

$H_{1/3}$=設計有義波高(m)

揚壓力爲包含於作用於堤體浮力之作用中。但如頂高較$1.0H_{1/3}$爲高時，對揚壓力之評估將成過大。

對於斜向入射時之波力，可以式5-11計算

$$P=1.0\omega_0 H_{1/3}\cos\beta \qquad 0\leq\beta\leq45^0$$

$$P=0.7\omega_0 H_{1/3} \qquad \beta\geq45^0$$

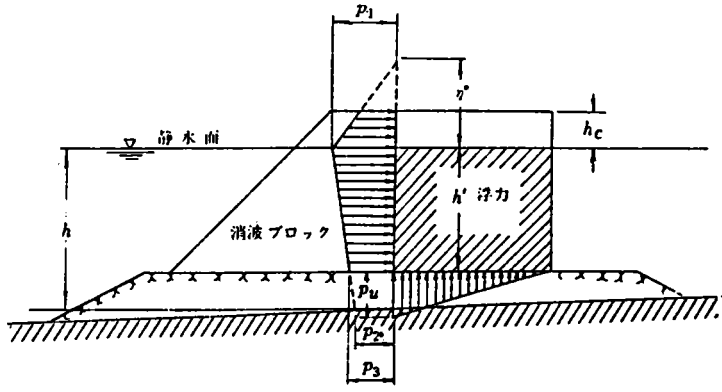


図-解5.6 消波ブロックで被覆されているときの設計計算に用いる波圧分布（合田式）

5-2-5 考慮法線形狀影響的波力計算

> 對波向成凹狀之法線形狀時，須考慮入反射波之相互干涉所致波力之增大加以計算。此時，進行波之波高，須乘上受法線形狀之影響的增加率作爲設計波高。

[說明]

(1)法線形狀所致波高變化與蛇行災害

通常法線不連續之時，由於波浪之反射以及繞射效果等，使沿法線之波高分佈成不一致，伊藤、谷本由現場受災防波堤之滑動狀況大多呈波狀分佈，將此稱爲蛇行災害，其原因之一爲沿法線之波高分佈不同，影響作用波力。像此種波高之局部變動傾向，特別是對波向有凹狀之隅角的法線形狀時特別顯著。

(2)考慮法線形狀影響的波力計算法

目前爲止考慮法線形狀影響的波力計算法並未有完整成果，應依條件以模型試驗加以檢討。但由於波力之增大與法線形狀之波高增大有相當之對應關係，因此如式5-1 般，設計波高應隨影響之程度予以比例增加，而波力計算則依合田式即可

$$H'_d=\mathrm{mix}\{K_cH_d, K_{cb}H_b\}$$

式中：

H'_d=考慮法線形狀之影響，計算波力時之波高

K_c =法線形狀之影響所致波高增大率　$K_c \geqq 1.0$

K_{cb}=碎波臨界波高之增大率極限值　$k_{cb} \fallingdotseq 1.4$

H_d =未考慮法線形狀影響時之設計波高

H_b =有義波高5倍距離遠之海側處的碎波臨界波高(m)

式5-12之波高增大率K_c，一般可以式5-13表示，在波浪不破碎之條件下，根據沿法線之重複波高之分佈加以決定。

$$K_c=H_s/\{H_i(1+K_r)\}$$

式中：

H_s:在堤面之波高(m)

H_i:入射波高(m)

K_r:堤之反射率

此時，以規則波來處理沿法線之波高增加率將會有很顯著的變動結果，另外隨入射波的週期或入射方向，會有敏銳之影響，因此須考慮週期以及入射方向之不規則性。但是如此求得之K_c值會沿法線變動，亦會產生 $K_c<1.0$之值，但不能因此而將設計波高加以打折。

式5-12右邊第2項爲考慮法線形狀之影響，使波高增大，受水深限制之影響碎波臨界波高 H_b，當最高波高受碎波之影響範圍內有直立堤時，可以採用本篇4-5-6碎波中考慮波浪之不規則性之碎波變形的最高波高Hmax 即可，若較爲海側時，則採規則波之碎波指標之值即可。碎波臨界波高之增大率的極限值K_{cb}仍未充分了解，但依以往之試驗成果來看取1.4即可。

5-2-6 水深急遽變化處作用於直立堤之波力

在岩礁等水深急遽變化之場所，由於波浪之變形顯著,最好能根據水工模型試驗計算波力。

5-2-7 作用於直立消波沉箱之波力

作用於直立消波沉箱之波力，由於隨消波部之構造而變化，因此應依水工模型試驗亦或適當的計算式加以計算。

[說明]

(1)作用於直立消波沉箱之波力與通常的直立堤相同，隨波浪、潮位、水深、海底地形、拋石基礎形狀等而變化外，並依消波部之構造，產生複雜之變化，無法以一般計算法加以規定，因此構造物除了充分可信賴之計算法以外，必須依各個條件進行水工模型試驗加以檢討，此時除安定性之檢討所用之波力外，作用於構材之波力亦須充分加以檢討，另外，遊水室中有上封版及無封版時波力之發生形態不同須予以注意。

(2)遊水室中無上封版時，安定性檢討所用之波力

作用於直立消波沉箱之波力，隨消波部之構造條件而不同，因此很難加以統一規定，遊水室中無上封版時，安定性之檢討所使用之波力，可將合田式加以修正而使用。

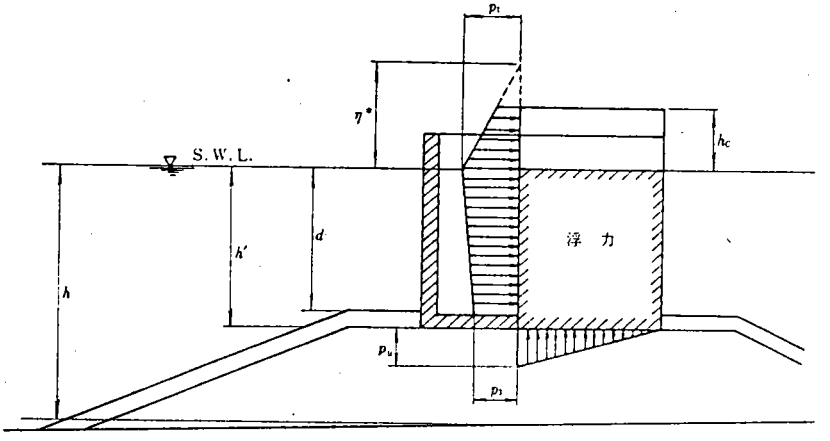


図-解5.8 安定性の検討に用いる波圧分布（遊水室上床版がない場合）

$$\eta^*=0.75(1+\cos\beta)\lambda_1 H_d$$

$$P_1=1/2(1+\cos\beta)(\alpha_1+\lambda_2\alpha_2\cos^2\beta)\lambda_1\cdot\omega_0 H_d$$

$$P_u=1/2(1+\cos\beta)\lambda\alpha_1\cdot\alpha_3\cdot\omega_0 H_d$$

式中

η^*=靜水面上波壓強度爲0之高度(m)

P_1=靜水面上波壓強度(t/m²)

P_u=不考慮消波部之沉箱主體部底面前端之揚壓力強度

β=直立壁法線之垂直與由波浪之主方向±15°範圍最危險方向所成之角度

λ_1, λ_2=直立消波箱之構造等之波壓修正係數

α_1, α_2, α_3=式(5-5)(5-6)(5-7)之係數

ω_0=海水之單位體積重量(t/m³)

H_d=設計波高(最高波高Hmax)

修正係數λ_1, λ_2隨構造物給予適宜之值，曲面開孔沉箱之場合

$\lambda_1=1.0$, $\lambda_2=0$

(3)遊水室有上封版時安定性檢討所使用之波力

遊水室頂部因有上封版而密閉時，由於波浪之作用，上部之空氣被壓縮之瞬間，產生衝擊壓特別是在構材之設計時所採用之波力更應考慮，雖然此衝擊壓可經由開設適當的空氣孔加以減輕，但若開口部太大由於波面將會直接作用，反而會使波力變大，此須要注意。

5-3 覆蓋石以及型塊所須重量

5-3-1 斜坡面之覆蓋石以及型塊所須重量

(1)受波力作用之斜坡面構造物之表面斜坡，所應覆蓋之拋石以及混凝土型塊所須重量，可依式5-10加以計算

$$\omega=\frac{r_1H^3}{K_d(S_r-1)^3\cot\alpha}$$

式中：

ω=拋石亦或混凝土塊之最小重量(t)

r_1=石塊或型塊之空中單位體積重量(t/m^3)

S_r=石塊亦或型塊對海水之比重

α=坡面與水平面之角度

H=設計波高

K_d=依覆蓋材以及破壞率所決定之係數。但是對較靜水面下1.5H爲深處之覆蓋石可以採用較式5-10之重量爲輕者。

(2)式5-10所採用之波高爲在構造物設置水深處之有義波高($H_{1/3}$)

[說明]

(1)Hudson公式

此計算公式爲1959年Hudson爲取代Iribarren-Hudson式而發表的。係根據很多的室內試驗結果以及現場之使用實績而確認坡面護蓋材所須重量可依此公式計算。但儘管如此由於影響覆蓋材之安定性的原因很多，同時變動性亦大，因此對於重要設施等須根據條件而以適宜的試驗加以檢討後再決定。

另外，對於現場亦或相同條件處之施工例，如有受災例，可作爲參考並可將依式5-10之計算值加以修正。

(2)設計波高

由於本計算公式爲根據規則波的試驗結果所提案的，因此，對於實際之不規則波的作用適用性，究竟應使用何種波高即爲一問題，但是在拋石亦或型塊所構成之構造物中，並非由不規則波群之最高波Hmax之一波的作用，而導致破壞，而係大小波浪之連續作用而逐漸形成

破壞，此與以往之實績相比較式5-10之波高 H，應代表不規則波群之規模。因此應採用坡面設置之位置進行波的有義波高爲準。但是當水深在換算深水波高之0.5倍以下時，可以使用換算深水波高之0.5倍水深處的有義波高。

(3)K_d值以及破壞率

係數K_d在式5-10中爲表示拋石或型塊之種類以及堆積，波浪特性等之影響係數，隨這些因素其值會變化，同時隨容許破壞之程度亦會不同。因此，設計採用之K 值，須依狀況根據模型試驗之結果加以適當的決定，但是，採用有義波相對應之規則波的試驗結果與不規則波試驗結果相比較之例中，不規則波之作用較規則波具破壞之傾向，因此試驗應以不規則波進行。

破壞率通常爲對檢查區域內之石塊亦或型塊之移動總數亦或傾覆個數之百分比加以定義，圖5-9爲對消波塊覆蓋堤之不規則波的試驗結果，波高與消波塊破壞率之關係例。橫軸之$H_{1/3}$=0爲破壞率爲0時相當之臨界有義波高， $H_{1/3}$爲任意之破壞率相對應之有義波高，圖中爲根據斜坡堤之覆坡方塊爲對象之Ouellet所作不規則試驗結果以及Hudson之碎石之規則波的試驗結果， 雖然結果有很大的差距，但依此可以作爲波高(K_d值)與破壞率關係之參考。

(4)堤頭部之重量增加

由於堤頭部承受各方向來襲之波浪，所以斜坡覆蓋材往背面傾覆翻倒之危險較大，因此，堤頭部所使用的拋石及混凝土塊須使用較(5-10)式計算值較大之重量。

雖然Hudson建議堤頭部拋石增加10%、混凝土塊增加30%之重量，但此種程度依然不足，至少須使用較式5-10 之重量大1.5倍之拋石以及混凝土塊。

(5)水面下部份之覆蓋材重量

由於斜面堤之水面下方波浪之作用較弱，因此在靜水面下$1.5H_{1/3}$以下處可使用重量較小之拋石或混凝土塊。

(6)對波向之修正

有關波向之影響檢討之例較少，還未充分了解除了以試驗加以確認者以外通常對波向不加以修正。

(7)混凝土塊之強度

異型混凝土塊之場合除了對設計波之作用須確保所要之重量外，型塊本身亦須有充分的構造強度。

(8)暗礁上消波塊之安定性

暗礁上消波塊之安定性受 暗礁斜坡寬度之距離以及暗礁上之水深影響很大，因此須充分考慮而設計。

(9)頂端高程低的斜坡堤之安定性

背後無壁面之支撐，而且堤頂高程低之斜坡堤的消波塊，頂端面特別是背後側之方塊很易破壞須特別注意。

(10)海底坡度陡之方塊的安定性

海底坡度陡同時又有呈卷狀之碎波時，隨方塊之形狀會有強力之波力作用，須將此加以考慮，而進行適宜之檢討。

5-3-2 合成堤拋石基礎之覆蓋石以及方塊之所須重量

合成堤拋石基礎之覆蓋石以及方塊所須重量，視波浪之因素及設置水深、基礎形狀、覆蓋材之特性等而有所變化， 應依水工模型試驗亦或合適的計算公式加以計算。

(1)拋石基礎覆蓋材之所須計算

合成堤拋石基礎覆蓋材爲維持安定所須之重量，依波浪因素及設置水深拋石基礎厚度、前肩寬、斜坡坡度等之基礎形狀覆蓋材之種類及堆積方法等而不同，特別是波浪之因素與拋石基礎形狀之對式5-10之影響很顯著，將此加以考量，須以符合條件之模型試驗結果亦或根據合適的計算公式加以計算，亦須充分注意波浪之不規則性影響。

(2)所須重量計算之基本式

合成堤之拋石基礎覆蓋材之所須重量可依式5-17加以計算。

$$\omega = \frac{r_r}{N_s{}^3(S_r-1)^3} H^3$$

式中：

ω：石塊亦或混凝土塊所須重量

r_r：石塊亦或混凝土塊之空中單位體積重量(t/m^3)

S_r：石塊亦或混凝土塊之對海水比重

H ：設計計算波高

N_s：因波浪之條件、拋石基礎形狀、覆蓋材之特性等而決定之安定係數。

此公式爲Hudson在作坡面覆蓋材之安定性檢討時，所使用之公式。Brebner. Donnelly 將其作爲直立壁之拋石基礎所須重量計算之基本式後廣泛地被使用。由於在理論上之檢驗具有相當程度之妥當性，因此可以此式作爲計算合成堤拋石基礎覆蓋材之所要重量的計算。但是，安定係數N_s隨水深、波浪條件、拋石基礎形狀、覆蓋材之特性等而不同，因此須依條件而以模型試驗等加以決定，另外，設計計算所使用之波高適通常爲有義波高，模型試驗應以不規則波來作。

第十一章　土　質

11-1 土壤的物理性質

11-1-1 單位體積之土壤重量

> 單位體積之土壤重量，應從原地點採取未受擾動之土樣，或就原地點之土壤直接求取爲原則。

〔說明〕

1.單位體積之土壤重量係指單位體積之土壤在空氣中之重量。
單位體積之土壤重量的測定，粘性土應以採取未受擾動之土樣，以室內試驗法求之，若爲砂質土時，因採取未受擾動之土樣較爲困難，可就原地點之土壤直接求取之。

2.單位體積之土壤重量
單位體積之土壤重量爲單位體積內土粒之重量與其孔隙中水重量兩者之和，一般可用(11-1)式求之。

$$r_t=\frac{G_s+\frac{S_r}{100}e}{1+e}r_\omega=\frac{1+\frac{w}{100}}{1+e}r_\omega G_s \quad\cdots\cdots(11\text{-}1)$$

上式中

r_t=單位體積之土壤重量(tf/m³)
G_s=土粒之比重
e =孔隙比
S_r=飽和度(%)
ω=含水比(%)
r_ω=水之單位體積重量(tf/m³)

3.土壤之乾密度(Dried Density)
土壤之乾密度係僅考慮單位體積內土粒本身之重量，即(11-1)式中 ω=0 或 S_r=0，可由下式求之。

$$r_d=\frac{G_s+r_\omega}{1+e} \quad\cdots\cdots(11\text{-}2)$$

上式中

r_d=土壤之乾密度(tf/m³)

而土壤單位體積之重量r_t與土壤乾密度r_d之關係，則如(11-3)式所示。

$$r_d=\frac{r_t}{1+\frac{\omega}{100}} \quad \cdots\cdots(11\text{-}3)$$

4.土壤水中之單位體積重量

土壤在水中之單位體積重量係將土粒孔隙中之水完全灌至飽和，即(11-1)式中S_r=100%，並將浮力加入考慮之，可用下式求之。

$$r'=\frac{G_s-1}{1+e}r_w \quad \cdots\cdots(11\text{-}4)$$

上式中

r'=土壤水中之單位體積重量(tf/m³)。

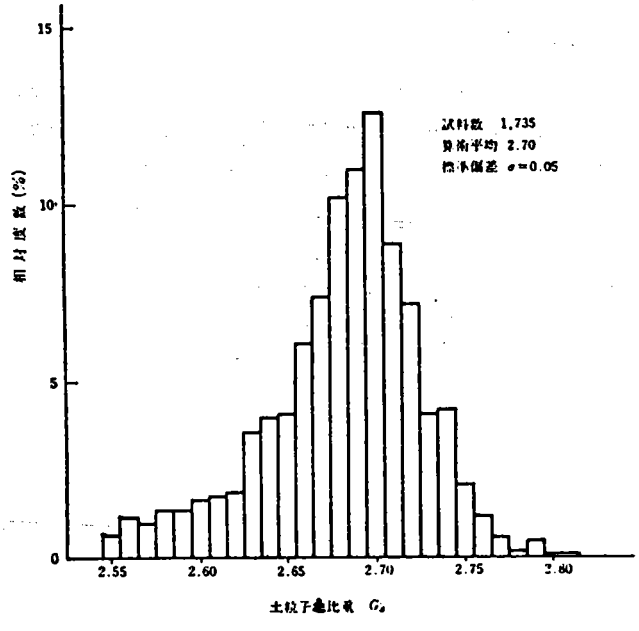


圖11-1所示者爲供作計算土粒比重G_s之柱狀統計圖(Histogram)。

5.相對密度(Relative Density)

砂質土的鬆緊狀況，可以(11-5)式所求相對密度之方法求之。

$$D_r=\frac{e_{max}-e}{e_{max}-e_{min}}=\frac{r_d-r_{dmin}}{r_{dmax}-r_{dmin}}\cdot\frac{r_{dmax}}{r_d}\quad\cdots\cdots(11\text{-}5)$$

上式中

D_r=相對密度。

e_{max}=土壤在最鬆狀態之孔隙比。

e_{min}=土壤在最緊密之孔隙比。

e=土樣(試體)之孔隙比。

r_{dmax}=土壤在最緊密狀態之乾密度(tf/m^3)

r_{dmin}=土壤在最鬆狀態之乾密度(tf/m^3)

r_d=土壤之乾密度(tf/m^3)

6.砂質土的力學特性係以相對密度(D_r)之相關形式表示爲多。

砂質土的密度，因受顆粒之形狀及粒徑之均勻性影響，其單位體積之土壤重量及由其所計算之孔隙比，不能正確表示其密度之大小，必須借重相對密度，方能瞭解其土壤的緊密或鬆散程度即土壤密度。求相對密度D_r，須先測定e_{max}，e_{min} (r_{dmin},r_{dmax})，然而對所有的土壤均用同樣的方法測定時，不一定均能測得其極限值。目前雖尚無明確之規定，惟普通 e_{max}(r_{dmin})係用乾砂從規定高度流入容器的方法測定，而 e_{min}(r_{dmax})則係採用水將土砂飽和之，並加以振動使其密實後予以測定。砂質土因採取未受擾動動之土樣非常困難，故其相對密度採用探測(Sounding)等間接方法測定者爲多。

Terzaghi氏以標準貫入試驗(Standard Penetration Test)所得N值與相對密度之關係表示如表11-1。

表 11-1 N值相對密度之關係(Terzahghi)

N 值	相對密度
0～ 4	極鬆散
4～10	鬆散
10～30	中等
30～50	密實
50以上	極密實

以分類統一分類法已被世界各國所採用。誠如上述，日本已將最適宜於工程上的土壤分類予以標準化，如圖11-2至圖11-5及表11-3所示。

- 土質材料（75μ以下之地層材料）
  - 粗粒土：粗粒成分（74μ以上之材料）多於50%。
    - 礫石土 G：粗粒料中礫石成分（2.0～75mm之材料）多於50%。
    - 砂質土 S：粗粒料中砂質成分（74μ～2.0mm之材料）多於50%。
  - 細粒土 F：細粒成分（74μ以下之材料）佔50%以上。
  - 高有機物質土 {P}：大部份為有機物質之材料。

- 礫石質土
  - 礫石 {G}（細粒成份在15%以下）
    - 良好的礫石 {G}
      - 良好之礫石類型 (GW)：$U_c \geq 10$，$1 < U_c' \leq \sqrt{U_c}$
      - 不良之礫石類型 (GP)：不能滿足GW者。
        - 均勻顆粒之礫石 (GP_S)：$U_c < 10$
        - 級配顆粒之礫石 (GP)：$U_c \geq 10$，$U_c' \geq 1$ 且 $U_c' > \sqrt{U_c}$
    - 細粒成份混有礫石 {G-F}
      - 泥混有礫石 (G-M)：細粒成份為泥。
      - 粘土混有礫石 (G-C)：細粒成份為粘性土。
      - 有機物質土混有礫石 (G-O)：細粒成份為有機物質土。
      - 火山灰混有礫石：(G-V)：細粒成份為火山灰質土。
  - 礫石質土 {GF}（細粒成份在15%以上50%以下）
    - 泥質礫石 (GM)：細粒成份為泥。
    - 粘土質礫石 (GC)：細粒成份為粘性土。
    - 有機質礫石 (GO)：細粒成份為有機物質土。
    - 火山灰質礫石 (GV)：細粒成份為火山灰質土。

- 砂質土 S：在分類系統中屬於礫石類之分類，可在砂中加註礫石字樣，即在S記号中加註G記号。

- 細粒土 F
  - 泥 {M}：在塑性圖A線之下，PI很低。有顯著的膨脹收縮現象，乾燥強度很低。
    - 泥（低液性界限）(ML)：$w_L < 50\%$
    - 泥（高液性界限）(MH)：$w_L \geq 50\%$
  - 粘性土 {C}：在塑性圖A線以下及其附近，PI很高，無膨脹現象，乾燥強度很高。
    - 粘質土 (CL)：$w_L < 50\%$
    - 粘土 (CH)：$w_L \geq 50\%$
  - 有機質土 {O}：在塑性圖A線之下的有機質，呈暗黑色且有有機臭味。
    - 有機質低液性土 (OL)：$w_L < 50\%$
    - 有機質粘土 (OH)：$w_L \geq 50\%$
    - 有機質火山灰土 (OV)：有機質的火山灰土。
  - 火山灰質粘性土 {V}：在塑性圖A線之下的火山灰質
    - 火山灰質粘性土（I型）(VH_1)：$w_L < 80\%$
    - 火山灰質粘性土（II型）(VH_2)：$w_L \geq 80\%$

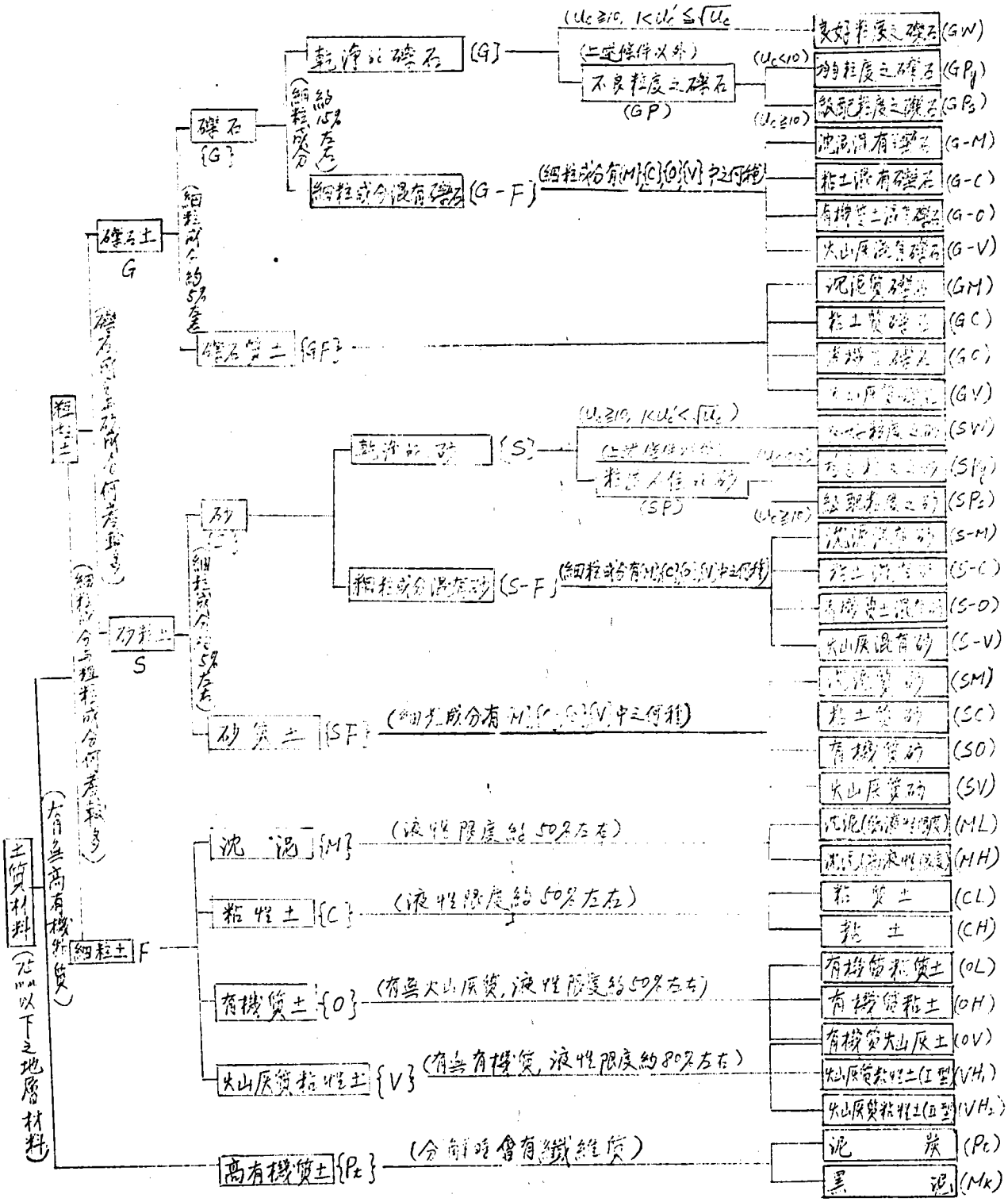
- 高有機質土 {Pt}
  - 泥炭土 (Pt)：纖維質之高有機物質土
  - 黑泥 (M_k)：已分解之有機質土，呈黑色

附註：(1)礫石質土及詳細分類以外之土壤混有礫石時，在主分類名稱上加註「混有礫石」，即在英文記号後加添g字。
(2){G-F}及其詳細分類時，連接記号為表示顆粒之良好與否，W，P等可以{GWF}，{GPC}等代替之。{S-F}及其詳細分類記号時亦相同。

圖11-3 工程學上的土質分類標準

表11-3 土質名稱及其定義與說明

簡易分類名稱	土質名稱			定義及說明		对应於工程上的分類名稱	
礫石	礫石		細粒成分在5%以下	大部份的顆粒在2~75mm時		〔G〕	{G}
	粗礫石			〃 〃 20~75mm時			
	中礫石			〃 〃 5~20mm時			
	細礫石			〃 〃 2~5mm 〃			
	砂礫石			頗多砂分含有礫石			
	沈泥	混以 礫石 粗礫石 中礫石 細礫石 砂礫石	細粒成分在5%以上15%以下	細粒成分為沈泥 (M)	(G.M)	(G.F)	G
	粘土			〃 粘性土 (C)	(G.C)		
	有機質土			〃 有機質土 (O)	(G.O)		
	火山灰			〃 火山灰質粘性土 (V)	(G.V)		
礫石質土	沈泥	質 礫石 粗礫石 中 〃 細 〃 砂 〃	細粒成分在15%以上50%以下	細粒成分為沈泥 (M)	(GM)		{GF}
	粘土			〃 粘性土 (C)	(GC)		
	有機			〃 有機質土 (O)	(GO)		
	火山灰			〃 火山灰質粘性土 (V)	(GV)		
砂	礫石混以砂		細粒成份在5%以下	礫石含有砂 大部份從74μ~2.0mm的情形		〔S〕	{S}
	砂			〃 0.42mm~2.0mm 〃			
	粗砂			〃 74μ~0.42mm 〃			
	細砂						
	沈泥	混著 砂 粗砂 細砂	細粒成分在5%以上15%以下	細粒成份為沈泥 (M)	(S.M)	(S.F)	S
	粘土			〃 粘性土 (C)	(S.C)		
	有機質土			〃 有機質土 (O)	(S.O)		
	火山灰			〃 火山灰質粘性土 (V)	(S.V)		
砂質土	沈泥	質 砂 粗砂 細砂	細粒成分在15%以上50%以下	〃 沈泥 (M)	(SM)		{SF}
	粘土			〃 粘性土 (C)	(SC)		
	有機			〃 有機質土 (O)	(SO)		
	火山灰			〃 火山灰質粘性土 (V)	(SV)		
沈泥	砂質沈泥		細粒成份在50%以上	砂份很顯著 膨脹現象很顯著乾燥強度低 $W_L<50$	(ML)		{M}
	沈泥			砂份不顯著 在沈泥與沈泥質粘土之間 $W_L\geq50$	(MH)		
	粘土質沈泥						
粘性土	砂質粘土			砂份很顯著 無顯著的膨脹現象,乾燥強度很高,而內呈暗黑 $W_L<50$	(CL)		{C}
	沈泥質粘土						
	粘土			砂份不顯著 $W_L\geq50$	(CH)		
有機質土	有機質沈泥			含有機成份,暗黑色,有有機臭味 無機成份為沈泥			F
	有機質沈泥粘土			〃 沈泥質粘土 $W_L<50$	(OL)		{O}
	有機質砂質粘土			〃 砂質粘土			
	有機質粘土			〃 粘土 $W_L\geq50$	(OH)		
火山灰質粘性土	閩東爐坩(黑色)			〃 火山灰質粘性土	(OV)		{V}
	灰土			火山灰質粘土 $W_L<80$	(VH₁)		
	閩東爐坩等各地之爐坩			〃 〃 $W_L\geq80$	(VH₂)		
高有機質土	泥炭等			纖維質的高有機質土	(Pt)		{Pt}
	黑泥等			已分解之高有機質土	(Mk)		



附註:(1)礫石粒土與其詳細分類以外之礫石混合時,附記分類名稱表示混有礫石,且可在英文記号後添加g字。
(2)[C-F]及其詳細分類記号時,其中[-]連字記号表示粒度之良否,可以P來替代{GWF},如{GPF}。
[S-F]與其詳細分類記号時亦相同。

圖11-5 工程學上的土質分類體系(依日本統一土質分類)

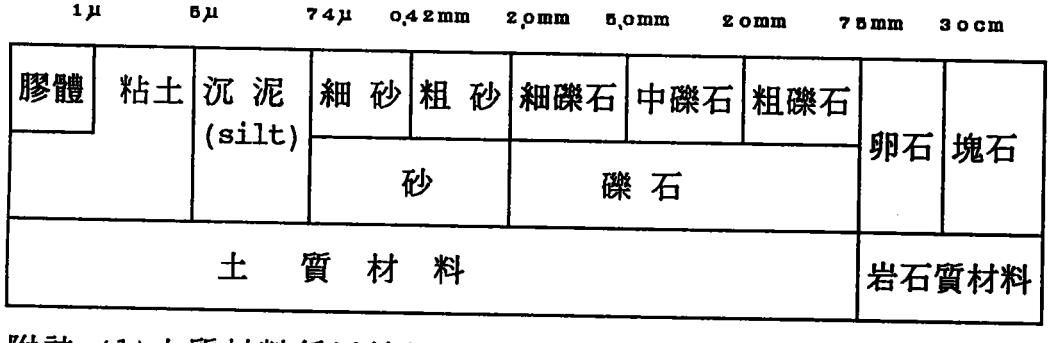
11-1-2 土壤分類

土壤分類係粗粒土以顆粒大小分類，細粒土以稠度(Consistancy)分類爲原則。

[說明]

1.土壤按其使用目的而有多種之分類方法。最近鑑於統一土壤分類法逐漸被世界各國所採用，故採用統一土壤分類法。而本基準所適用的範圍爲粒徑在75mm以下之土質材料。以粒徑作區分並命名如圖11-2所示。

圖 11-2 粒徑區分及其名稱



附註:(1)土質材料係以粒徑爲區分而命名，例如75mm～2.0mm者稱爲礫石』，2.0mm～74μ者稱『砂』而74μ～5μ者稱爲沉泥(Silt)，5μ以下者稱爲粘土。

(2)土質材料74μ以下者又稱『細粒料』，74μ～75mm者又稱『粗粒料』。

粗粒土壤係由礫石及砂土的成分混合而成者，即顆粒成分爲75mm～74μ，細粒土壤係由沉泥(Silt)與粘土成分混合者，即74μ以下之顆粒成分者。以往用於以港灣爲對象之土壤種類較爲特殊，因此使用土壤爲材料者較少，而很容易以現場判斷即可爲理由，而使用三角座標分類法。此種分類法對於粗粒土壤以顆粒加以適當的區分，即可應付工程學上的性質。

然而，其缺點是細粒土壤無法因應工程上的特性者非常的多，究其原因，問題乃是出自土壤顆粒的比重計分析法上。此種分析試驗的前一階段須從土塊中的每一土壤顆粒作許多零碎的作業，而此種作業

又頗爲困難，而應用斯篤克氏(Stokes)定律使用比重浮標作比重計分析。但在斯篤克氏(Stokes)定律的沉殿理論與實際的分析法在土壤顆粒的沉殿有很大的差異，如表11-2所示，此即爲其誤差的主要原因。

由此須求出各個土壤顆粒之粒徑是頗爲困難的，而三角坐標圖表上僅只記載土壤之名稱，而無法供作他用，其利用價值甚低，因此三角坐標分類法在現代的分類法中被刪除。最近由於土壤的特性在工程上之關係甚爲重要，而粗粒土壤依粗徑爲分類，細粒土壤則依稠度加以分類統一分類法已被世界各國所採用。誠如上述，日本已將最適宜於工程上的土壤分類予以標準化，如圖11-2至圖11-5及表11-3所示。

2.顆粒分類

顆粒分類係將構成土壤的各種土壤顆粒以所含粒徑之大小依所佔百分比之比例加以分類，通常74μ以下微細顆粒是使用比重計作沉殿分析， 而74μ以上的粗顆粒成分則以篩分析測定之。 此類測定法在JISA 1204已有規定可循。 分析結果以粒徑累加曲線表示，可求出其均勻係數μ_c，曲率係數μ'_c及有效粒徑D_{10}。

均勻係數μ_c爲表示砂質土的粒徑分佈良劣與否，可由(11-6)式求之。

$$\mu_c=D_{60}/D_{10} \quad \cdots\cdots (11\text{-}6)$$

上式中

μ_c=均勻係數(Uniformity Coefficient)

D_{60}=依重量百分比(由小粒徑算起)，相當於試樣60%之粒徑(mm)。

D_{10}=依重量百分比，相當於試樣10%之粒徑(mm)，又稱爲有效粒徑。

Hazen氏發現在鬆散狀態之砂，其透水性(Permeabilty)與均勻係數及有效粒徑，具有連帶關係。

曲率係數可由(11-7)式求之。

$$\mu'_c=(D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60}) \quad \cdots\cdots (11\text{-}7)$$

上式中 μ'_c=曲線係數

D_{30}=依重量百分比，相當於試樣30%之粒徑(mm)

μ_c及μ'_c之數值，用表示顆粒級配之良否如下：

良好級配(GW),(SW):$\mu_c \geqq 10, 1 < \mu'_c \sqrt{\mu_c}$

均勻級配(GP_u),(SP_u):$\mu_c < 10$

等級級配(GP_s),(SP_s):$\mu_c \geqq 10, \mu'_c \leqq 1, \mu'_c > \sqrt{\mu_c}$

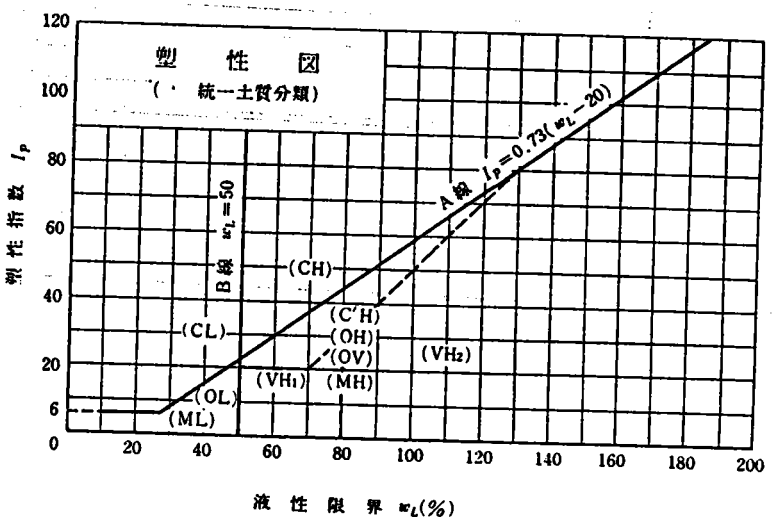


図 11-4 塑性図(統一土質分類)

3.稠度(Consistency)分類法

所謂粘土之特性係有膠質(Colloid)性顆粒之活性(Activity)所產生，膠質性顆粒徑均在1-2μ 以下，無論在礦物結構方面或在理化性質方面，與較其粒徑更大之土粒相比，係爲完全不同的物質。此種膠質顆粒及其共存之物質(非結晶膠質及鹽類)，在某種堆積環境下，具有特殊的工程物理性質。

依據以上所述，對土壤在工程特性上的分類，不能單獨以粒徑5μ以下之土粒爲標準，亦須將1μ以下之膠質含量加以考慮。而更進一步對與膠質土粒共存物質，亦須加作定量與定性分析。可是土質試驗常用的試驗方法係將試料予以分散並在分散後求其安定性，而以斯篤克氏(Stokes)定律所採用之沉澱法，與以比重法在有關顆粒試驗的精度有許多誤差的問題存在著，因此對於分散及分散後安定性之處理，操作及土壤中之共存物質的分析等，在普通土壤實驗室的設備及能力方面而言，實際上很多難以處理者。

有關構成粗粒土之顆粒級配,對工程方面之用途非常重要。然在細粒土壤方面，如上述理由，除有特別的目的以外，作土粒大小之試驗，實無意義。細粒土之稠度試驗，可探求土粒之活性及與土粒共存物質對土粒之影響，故細粒土之稠度與工程方面之用途，具有重要的連帶關係。又細粒土之稠度試驗比土粒大小之分析試驗較爲容易。所以細粒土之分類應以稠度試驗結果爲依據較爲合理。

4.粘性土之稠度與工程性質之關係

如前節3所述，粘性土之工程性質，在物理性質中與稠度具有淵源之關係。稠度可用所測定之液性限度(Liquid Limit)與塑性限度(Plastic Limit)及由兩限度所求得之塑性指數(Plastic Index)與液性指數(Liquidity Index)等表示。又液性限度與土壤性質之關係如下，即土壤內所含之水量愈多，則其流動性愈大， 所含之水量愈少則流動性愈小，若所含之水量逐漸減少，最後終至無流動性 。故所謂液性限度乃指土壤所含之水量，恰足以使土壤開始具有流動性。一般砂爲20%、沉泥爲27%、泥炭爲44.5%、粘土爲100%，液性限度在20%至40%之間時，即表示土壤中之大部分爲砂或沉泥。

Skempton氏在原地用正常壓度(Normally Consolidated)之飽和粘土作試驗，結果發現其黏滯度(Visconsity)， 隨有效載重之增加而增大，其增大之黏度，可用下式求之。

$$\frac{\Delta C}{\Delta P} = 0.11+0.0037I_p \quad \text{.....(11-7)}$$

上式中

ΔC=增加之黏力(tf/m^2)

ΔP=增加之有效載重(tf/m^2)

I_P=塑性指數

又靈敏度(Sensitivity)在中等以下而受壓密之黏土壓縮係數(Compression Index)，可用下式求之。

$$C_c=0.009(W_L-10) \quad \text{.....(11-8)}$$

上式中

C_c=壓縮係數

W_L=液性限度(%)

11-1-3 土壤之透水係數(Permeability Coefficient)

在完全飽和之土壤內流動之浸透流，如係定常之流層(Laminar Flow)時，其透水係數可用(11-9)式求之。

$$k=q/(i.A) \quad \cdots\cdots (11\text{-}9)$$

上式中

k=透水係數(cm/s)

q=單位時間內流動於土層中之水量(cm^3/s)

i=水力比降(Hydraulic Gradient) $i=\frac{h}{L}$

h=損失水頭(cm)

L=浸透流路之長度(cm)

A=斷面積(cm^2)

[說明]

(1)概述

透水係數k之決定乃係由土壤之斷面A，水力比降i及單位時間內流動於土層中之水量來決定，依達西(Darcy)定律可用(11-9)式計算求之。

Darcy 定律之適用範圍是需要有流層來決定 R_e值 (Reynolds Number)。即使用有效粒徑D_{10}時，Reynolds Number 限度爲$3<R_e<10$的限制範圍。有效粒徑D_{10}如表11-4所示。

表11-4達西(Darcy)定律之適用範圍(D_{10}爲重量百分率10%相對應之粒徑)

材料	礫			砂礫	砂		砂質土,沉泥
	大	中	小		粗	細	
D_{10}(mm)	76.2	25.4	9.52	2.0	0.59	0.25	0.074～0.02
浸透流之狀態	實際上常爲亂流狀態			疏鬆砂h/L<0.2～0.3 密實砂h/L<0.3～0.5			一般之h/L爲通常流程

k之測定有從現場採取土樣回返實驗室作室內透水試驗及在現場直接作現場透水試驗兩種方法。

15-4 活荷重

> 活荷重包括火車荷重、汽車荷重、牽引機連拖車荷重、車載起重機荷重、有軌起重機荷重、貨櫃裝卸機荷重。普通對荷重所引起之衝擊荷重、煞車荷重、開車起動荷重、離心荷重，均不加以考慮。

15-4-1 火車荷重

> 火車荷重普通是依鐵路建造規章的活荷重爲標準，在K荷重及S荷重中，採用對構造物最大之影響者。

依據日本鐵路建造規章進出碼頭火車活荷重之標準如圖15-1所示，普通以 KS-12～KS-15爲標準。

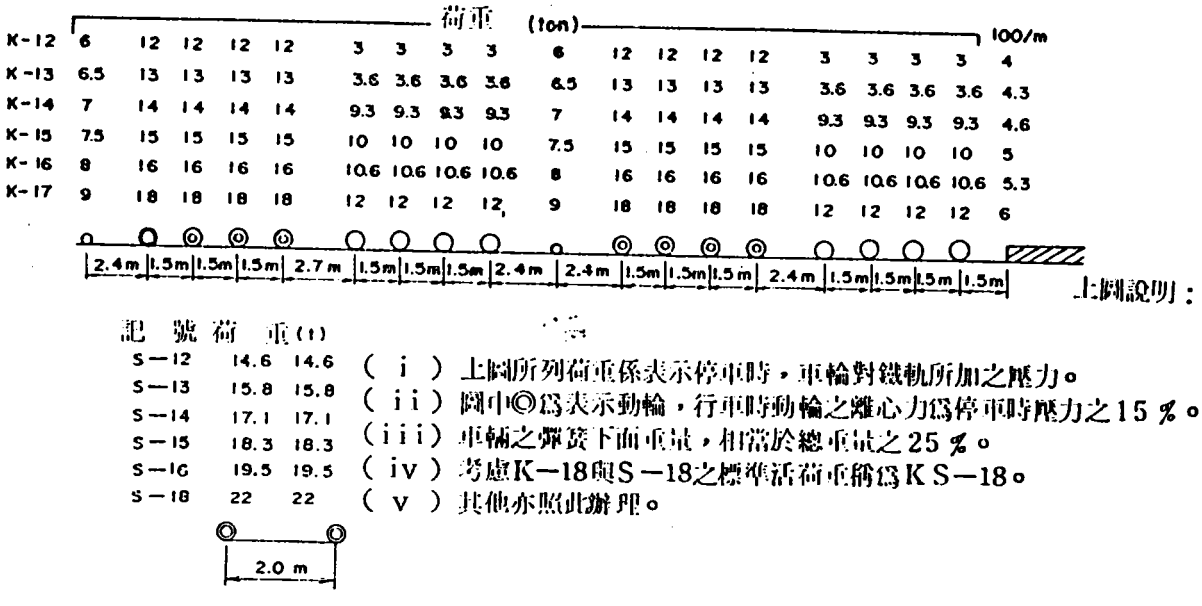


圖 15-1 鐵 路 標 準 活 荷 重

15-4-2 汽車荷重

> 汽車荷重須依公路橋樑設計規範辦理。

1.以汽車荷重爲設計標準時，則15-4-5所述之行人荷重不必另加考慮。

物之彈性分析之用。但求取 E_s之臨界應變量並無統一的方法，故應用E_s時須特別加以注意。 變形係數可在原地點試驗以下述的方法求得。

(a)平板載重試驗。

(b)CBR試驗。

(c)鑽探孔內載重試驗。

通常可供使用之變形係數的初期正切係數E_i及正割係數E_s(E50)之概略值，可以(11-10)式求得。

$$\left.\begin{array}{l} E_i=210Cu \\ E_s(E50)=180Cu \end{array}\right\} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}10)$$

上式中

E_i=初期正切係數(Kgf/cm²)

$E_s(E_{50})$=正割係數(Kgf/cm²)

Cu=依非壓密排水試驗求得之表面粘著力(Kgf/cm²)

3.Poisson's Ratio

Poisson's Ratio 之求法，目前雖然有許多方法，但尚無確實的試驗方法。大致的目標爲飽和狀態之非排水條件下 ν=1/2，其他的則由 ν=1/3～1/2範圍加以適當的選擇決定之。

11-2-2 壓密特性

測定壓密現象之壓密係數，須以室內試驗求取之。

[說明]

1.概說

所謂壓密(Consolidation)係土壤經載重後，其孔隙水 (Pore Water)並不與空氣交換，而是徐徐排出，且呈體積縮小之現象。

土壤之壓密特性中所顯示的壓密係數($C\nu$) 與壓密之進行速度有關，壓密之進行愈快其值愈大。而體積壓縮m_v則係用以預測沉陷量之用，即某載重所產生的土壤壓縮量與體積壓縮係數 (Coefficient of Compressibility)正比例。

土壤之壓密特性，不僅只用於因載重所引起之沉陷， 而且在地層改善工程中，亦可推算土壤之剪力情形。 壓密試驗時，將壓密應

力及用該壓力完成壓密後之孔隙比，繪入半對數紙後，即可得如圖11-7所示之壓力與孔隙比關係曲線圖（e-LogP之曲線圖）。e-LogP曲線之abc部份，係表示載重之過程，約略成一直線。而此abc部份所表示之壓密狀態稱爲正常壓密(Normally Consloidation)狀態。

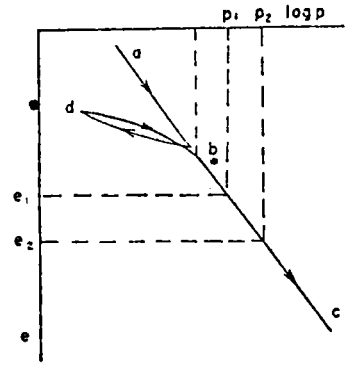


圖 11-7 壓力與孔隙比關係曲線

另一方面由圖11-7中b點之壓力，慢慢予以減少至內應力與外壓力兩者達到平衡狀態爲止，而其內應力與外壓力二者達到平衡狀態時之孔隙比與壓力之關係，即變成如圖中bd所示部份。而此bd部份所表示之壓密狀態，即稱爲過度壓密狀態(Overconsolidation)，而相當於b點之壓力，則稱爲預壓載重(Preconsolidation Load)。

圖11-7中abc部份之孔隙比e與壓力P之關係，可用(11-11)式求之。

$$e_2=e_1-C_c\log\frac{P_2}{P_1}\quad\cdots\cdots(11\text{-}11)$$

上式中

C_c係表示abc部份之傾斜度，普通稱爲壓縮指數（Compression Index）。而上式中壓力自P_1增至P_2時孔隙比之減少，可由下(11-2)式求之。

$$\Delta e=e_1-e_2=C_c\log\frac{P_2}{P_1}\quad\cdots\cdots(11\text{-}12)$$

2壓密沉陷量

利用體積壓縮係數m_v求沉陷量之方法，係將壓力P_o增加至(P_o+ΔP)時，可用(P_o+1/2ΔP)點之m_v之值，以(11-13)式求之。

$$S=m_v\Delta Ph\quad\cdots\cdots(11\text{-}13)$$

上式中

S=壓密沉陷量(cm)

ΔP=壓力增加量(Kgf/cm²)

h=土層厚度(cm)

體積壓縮係數m_v普通以 cm^2/Kgf表示，m_v之值，隨壓密壓力之增加而減少，在正常壓密狀態下，如將P與m_v之關係，繪入對數紙時，約略成爲直線。利用壓密試驗以孔隙比與載重之關係求取沉陷量時，即用P_o壓力壓密而發生e_o孔隙比之土壤，如增加壓力ΔP時，厚度h之土層，其壓密沉陷量可由(11-14)式求之。

$$S=h\frac{C_c}{1+e_o}\log\frac{P_o+\Delta P}{P_o} \quad \cdots\cdots(11\text{-}14)$$

上式中C_c=壓密係數。

此壓密理論，雖僅適用於飽和之粘土，依Terzaghi壓密理論計算其沉陷量，惟對不飽和之土壤，如先求出圖11-7所示之e-log曲線後，亦可利用上式求其沉陷量之大小。

3.沉陷之速度

飽和之粘土如在不排水情狀下，加以壓力P時，則增加與P相等之孔隙之水壓。在壓密開始時，其孔隙水壓則隨著時間而減少，同時土壤顆粒間之應力(或有效應力)σ'則在增加，然所增加之孔隙水壓μ與所增加之顆粒間應力σ'之和，經常保持與載重壓力P相等。即

$$P=\sigma'+\mu \quad \cdots\cdots(11\text{-}15)$$

粘土層h厚度之上下兩面，若透水性較大之砂層存在時，當加以壓密壓力P時，σ'或μ之深度情況則如圖11-8(a)所示。即壓密開始時(t=0)，μ=P，σ'=0，即成爲圖11-8(a)DC線所示之狀態。壓密完成時μ=0，σ'=P則變成如圖11-8(a)AB線所示狀態。 然在壓密開始經過t 時間之狀態則如圖11-8(a)AEB曲線所示。

如上所述，離排水層較遠部份壓密進行之速度，亦相應較爲緩慢。在各種深度顆粒間之應力與載重壓力之比(σ'/p)， 稱爲該深度之壓密度U_z(Degree of Consolidation)， 而各深度之壓密度以全土層厚度予以平均後，則稱之爲平均壓密度μ(Mean Degree of Consolidation)。由圖11-8可知平均壓密係面積AEBCD與面積ABCD之比。即t=0 時，則μ=0，壓密完成時則 μ=1.0。在理論上而言，在$t\rightarrow\infty$時，則μ=1.0。

壓密進展的情況可以平均壓密度μ之大小表示之。而表示時間的標準則用時間係數T_ν表示之。然時間係數T_ν與實際時間t之關係，則以(11-16)式表示之。

$$T_\nu=\frac{C_\nu t}{H^2}\quad\cdots\cdots(11\text{-}16)$$

上式中

T_ν=時間係數

C_ν=壓密係數(普通以cm^2/min表示之)

t=壓密開始後之時間(min)

H=孔隙水流程之最大距離即最大排水距離(cm)

如圖11-8所示，土層上下兩面均可排水時 $H=\frac{h}{2}$，若排水僅單面時H=h。對各種條件之時間係數與平均壓密度之關係，則如圖11-9所示。而有關圖11-8(b)及圖11-9所示之曲線，則另有詳細之數值表可供實際計算之用。

11-2-3 土壤之剪力特性

土壤之剪力強度，原則上應分砂質土與粘性土兩種加以考慮，並可分別用下式計算之。

1.砂質土(砂之含有量在80%以上)

$$\tau_f=(\sigma-u)\tan\phi'\quad\cdots\cdots(11\text{-}17)$$

2.粘性土(砂之含有量在80%以下)

$$\tau_f=Cu\quad\cdots\cdots(11\text{-}18)$$

上式中

τ_f=剪力強度(tf/m^2)

σ=剪力面上之垂直應力(tf/m^2)

u=孔隙壓力(tf/m^2)

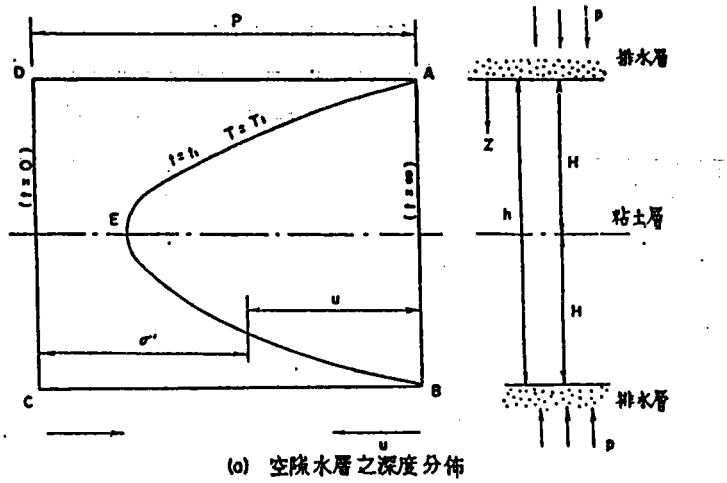
ϕ'=有效應力之抗剪角(Angle of Shearing Resistance)(度)

Cu=表面粘著力(tf/m^2)

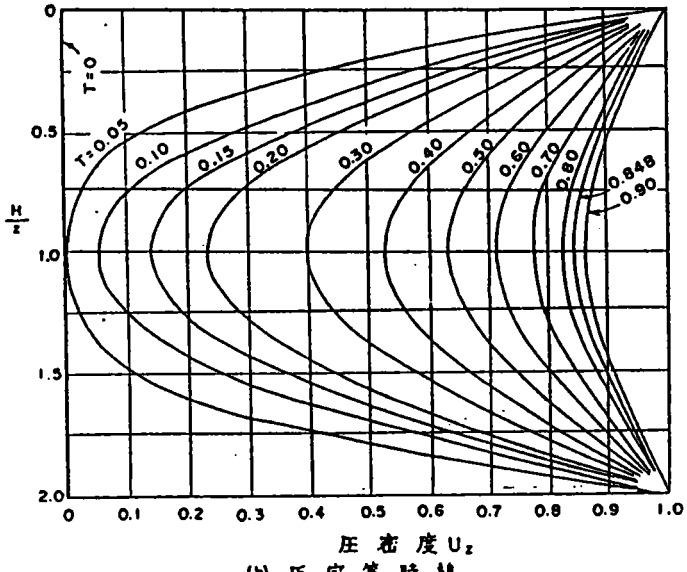
[說明]

1.概述

土壤之剪力強度，通常用下列公式求之。



(a) 空隙水層之深度分佈



(b) 壓密等時線

圖 11-8 壓密之進行狀態

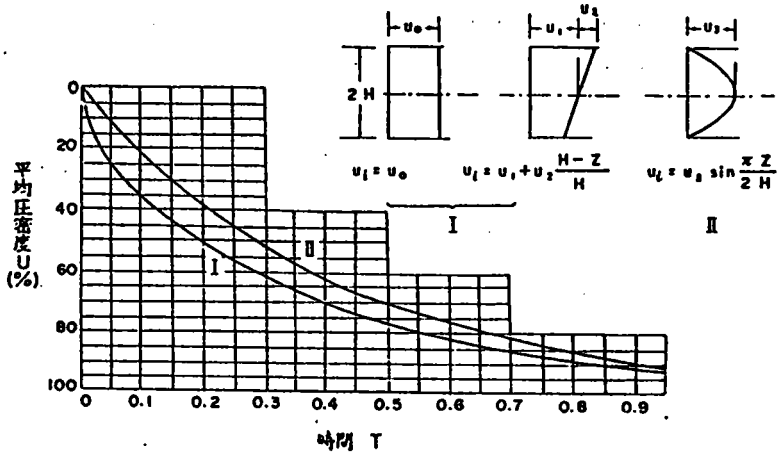


圖 11-9 平均壓密與時時間係數之關係

$$\tau_f = C + \sigma \tan\phi \quad \cdots\cdots (11\text{-}19)$$

上式中

τ_f=剪力強度(tf/m²)

C=粘著力(又稱表面粘著力)(tf/m²)

ϕ=剪力抵抗角(度)

σ=剪力面上之垂直應力(tf/m²)

土壤加以外力後，其內部之有效應力與孔隙壓力(飽和土壤則爲孔隙水壓力)，均發生變化。若加以土壤之外力當作σ,有效應力當作σ'，孔隙壓力當作u時，其三者間具有下列之關係

$$\sigma = \sigma' + u \quad \cdots\cdots (11\text{-}20)$$

$$\sigma' = \sigma - u \quad \cdots\cdots (11\text{-}21)$$

對σ'而言，σ則稱爲全應力(Total Stess)。

因土壤之剪力強度係依有效應力之數值而變化，故上述(11-19)式對Coulomb氏之破壞條件而言，應改寫如下式：

$$\tau_f = C' + (\sigma - u)\tan\phi' = C' + \sigma'\tan\phi' \quad \cdots\cdots (11\text{-}22)$$

上式中

C'=有效應力之表面粘著力(tf/m²)

ϕ'=有效應力之剪力抵抗角(度)

砂及正常密粘土之C'=0，而過壓密粘土則C'＞0。砂之ϕ'比粘土之ϕ'爲大。C與ϕ依剪力試驗時所附帶之條件而變化，附帶條件中則以土壤之排水與否，具最大影響。依此排水與否之條件，可分爲下述三種試驗法。

2.試驗法

剪力試驗分述如下：

(1)不壓密不排水試驗(UU試驗)(Unconsolidated-Undrained Test)

在不使試樣中所含之水份與空氣外洩狀態下，對試驗加以外壓力，同樣在不使水份與空氣進出孔隙狀態下作剪力試驗。

(2)壓密不排水試驗(CU試驗)(Consolodated-Undrained Test)

試樣在某種外力下先施以密壓，並在不排水條件下作剪力試驗。

(3)壓密排水試驗(CD試驗)(Consolidated-Drained Test)

在試驗孔隙內之水份與空氣，允許自由流通狀態下加以壓密或膨脹，且在孔隙內之水份及空氣能與外界流通而使其發生孔隙壓力之狀態下，作剪力試驗。

一般將剪力試驗結果，繪成Mohr氏應力圖以求剪力強度參數(Shear Strength Parameter)， 爲辨別(C)或(ϕ)以上述三種剪力試驗方法中，用何種方法去所求得者，而須在C之右下加(u)，(cu)，(d)等字尾(Suffix)來表示，如C_u，ϕ_u，C_{uu}，ϕ_{cu}，C_d，ϕ_d等。用三軸壓縮試驗儀作不排水之剪力試驗時，可測定孔隙壓力。故將其試驗結果，用有效應力加以整理後，亦可求C′及ϕ′。惟這些剪力強度參數應被稱爲表面粘著力及剪力抵抗角。 茲將剪力強度參數與剪力試驗方法間之關係，表示如圖11-10。

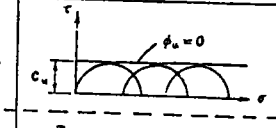
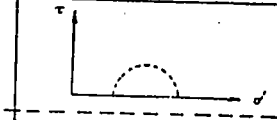
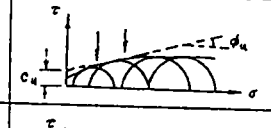
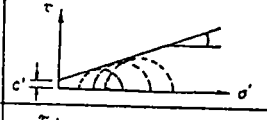
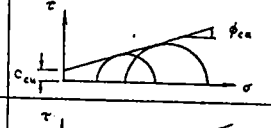
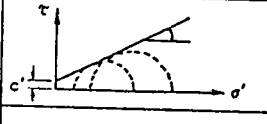
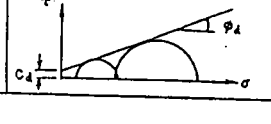
排水條件	土之狀態	總應力	有効應力	備考
非圧密非排水試驗	飽和土			以有效應力表示只能求出一破壞圓
	不飽和土			繪出C_u、ϕ_u之範圍表示，應力大時 $\phi_u=0$
圧密非排水試驗	飽和土 不飽和土			
排水試驗	飽和土 不飽和土			測出之應力有效應力 粘土中 $\phi_d \fallingdotseq \phi'$

圖11-10 剪力試驗方法與剪力強度參數之關係

3.砂之剪力強度

普通可稱爲砂者，依照顆粒分析，砂之含有量須在80%以上。砂之剪力強度可用(11-23)式求之。

$$\left.\begin{array}{l}\tau_f=(\sigma-u)\tan\phi' \\ \tau_f=(\sigma-u)\tan\phi_d'\end{array}\right\}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(11\text{-}23)$$

上式中

τ_f=砂之剪力強度(tf/m²)

σ=剪力面上之垂直應力(tf/m²)

u=孔隙壓力(tf/m²)

ϕ'=有效應力之剪力抵抗角(度)

ϕ_d=在排水試驗時之剪力抵抗角(度)

普通所作砂的剪力試驗爲壓密排水試驗。由此所求得之ϕ_d與有效應力所示之ϕ'間之關係如下。即鬆散之砂時$\phi'\fallingdotseq\phi_d$，緊密之砂時，通常爲$\phi_d>\phi'$。而發生$\phi_d>\phi'$之原因，係由於剪力所引起之體積變化關係，在外觀上表示著強大之抗剪力，故須加以修正。由砂之剪力試驗結果所得之ϕ_d，與試驗前之孔隙比相對繪入圖表後，即可明瞭初期孔隙比愈小則ϕ_d愈大。

砂之剪力試驗最好用三軸壓縮試驗儀來試驗，通常應避免使用單向度剪力試驗作剪力試驗。由於使用單向度剪力試驗儀作砂之剪力試驗時，因試驗儀器之結構關係,往往發生所求ϕ_d之數值過大。在本編11-5『N值』乙節所述標準貫入試驗結果與ϕ_d之間具有連帶關係，故如不作剪力試驗時，亦可由標準貫入試驗結果推算之。

砂之抗剪角係隨孔隙比之大小而變化。故如將砂之剪力試驗結果應用於實際工程問題時，須查明原地層砂之孔隙比。然而目前尚無測定未受擾動砂孔隙比之方法，以致無從將剪力試驗結果應用於實際工程問題上。砂之抗剪角依體積之變化程度而有差別，故實際構造物破壞時，在目前情況下，推測發生於鄰近砂中之體積變化情形尚不可能。

如上述之理由，在目前砂之剪力試驗結果應用於解決實際工程問題尚屬困難，按一般情形而言，在實際設計時所採用之抗剪角比由剪力試驗所得之數值小5^0～10^0較爲普遍。然而，普通設計時,須作種種的假定並參考以往之經驗，故上述砂之剪力特性已十分明瞭，於應用時仍需加以研討與其他因素之相關性後，方能作決定。

4.粘性土之剪力強度

所謂粘土者，按其顆粒大小分析，須含有40%以上之粘土與沉泥。然對砂之含有量在60%～80%間之土壤性質，尚有許多不明瞭之處，惟本節將粘土與沉泥之含有量在40%～20%之間的土壤亦視爲粘土處理。粘性土之剪力強度可用(11-24)式求之。

$$\tau_f = Cu = \frac{q_u}{2} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}24)$$

由不壓密不排水試驗所求得之表面粘著力C_u(tf/m²)，在粘土有關之土壤力學方面常被應用，故又稱爲不排水強度。 q_u則稱爲單向壓密(One Dimensional Consolidation)強度，其單位以tf/m²表示之。

因單向度壓密試驗方法非常簡單，故一般均採用此法作試驗。惟在試驗前一旦土樣被擾動，q_u值會敏感的減少，故製作試樣之操作時須特別加以留意。未受擾動土壤之q_u值與其充分重塑後之土壤q_u值之比稱爲敏感比(Sensitivity Ratio)。 通常正常壓密粘土之敏感比大多在5～10左右。粘土之重塑不但影響應力，而且對變形性亦有影響。即未受擾動之粘土在單向度壓密試驗中其相對應之q_u值因軸向的變形大約相差5%左右，而重塑後之土壤其相對應之q_u值因軸向的變形誤差則高達15%以上。

粘土之不排水強度即粘土之粘力(Cu)，隨壓密之進展而增大。壓密載重愈大，壓密後的Cu值亦愈大。故對粘土地層而言，深度愈深，則上部覆蓋土的重量愈重，亦即壓密載重愈大，因此Cu值隨著其深度加深而增大。而實際設計時可用(11-25)式求之。

$$Cu = Co + kZ \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}25)$$

上式中

Cu=深度Z處之粘度(從地面算起)(tf/m²)

Co=在地面之Cu值(tf/m²)

k=Cu與深度相對之增加率(tf/m²)

Z=深度(m)

5.粘性土壓密後粘力之增加率

粘性土之粘力Cu，如前述隨壓密的進展而增加，在壓密載重P時Cu之增加率，可以Cu/P表示之。

由壓密所引起之粘力增加率Cu/P，爲地層改善工程非常重要的資料。土壤Cu/P之數值愈大，則其強度增加愈大，對地層改善工程非常有效。假設地下某處之粘土，其垂直載重增加量爲△P(tf/m²)，粘土之Cu/P以β表示時，壓密完成時粘土的增加量 △C=△Pβ，在壓密過程中，假設該處之壓密度爲U_z時，則該處Cu的增加量則爲△PβU_z。

以單向度壓強度q_u對深度方向而言，如係直線增加時，可由下列q_u與z的關係式求得Cu/P之值。

$$q_u=kz \quad \text{.....(11-26)}$$

$$q_u=2Cu \quad \text{.....(11-27)}$$

$$P=(r_t-r_\omega)z \quad \text{.....(11-28)}$$

$$\frac{C_u}{P}=\frac{k}{2(r_t-r_\omega)} \quad \text{.....(11-29)}$$

上式中

q_u=單向度壓密強度(t_f/m^2)

k=深度對q_u之增加率(t_f/m^2)

z=深度(m)

C_u=粘性土之粘力(t_f/m^2)

p=有效覆蓋土之壓力(t_f/m^2)

r_t=土的單位體積重量(t_f/m^2)

r_ω=水的單位體積重量(t_f/m^2)

依據Skempton氏的說法，在正常狀態下之粘土不排水強度即粘土之粘力C_u與上部有效覆蓋土之壓力p之比，當作塑性指數($I_p=\omega_L-\omega_P$)之變數時，其關係可用(11-30)表示之。

$$\frac{Cu}{P}=0.11+0.0037I_p \quad \text{.....(11-30)}$$

在實驗室用單向剪力試驗儀，以壓密不排水試驗法求Cu/p之數值時，因欲使其達到不排水狀態是非常的困難，故試驗時此點應加注意。另利用三軸壓縮試驗儀作試驗時，因普通係以三軸室內之水壓力作壓密關係，故主應力比K=1.0，而直接採用壓密壓力P與主應力差之一半數值作爲計算時，則所得Cu/p之數值常過大。

6.因膨脹引起粘土剪力強度之減少

如前述，粘土之剪力強度Cu係隨壓密而增大。然壓密後將一部份或全部載重予以解除後，粘土即開始吸水膨脹，其剪力強度則隨經過的時間而逐漸減少。膨脹所需的時間約較壓密所需時間爲短。故利用壓密方法作地層改善工程，經壓密完成後，即將載重解除時，應事先將因膨脹所減少之土壤剪力強度Cu預計在內。

粘土因膨脹而引起剪力強度之減少率，可由過壓密比(Over Consolidation Ratio) 而定。過壓密比爲載重解除前之壓力與載重解除後之壓力比。而在地層下某種深度之粘土，其載重解除前後之有效覆蓋土之比，即爲其過壓密比。 圖11-11係表示過壓密比與C_u之比，即膨脹前後之C_u比之關係。

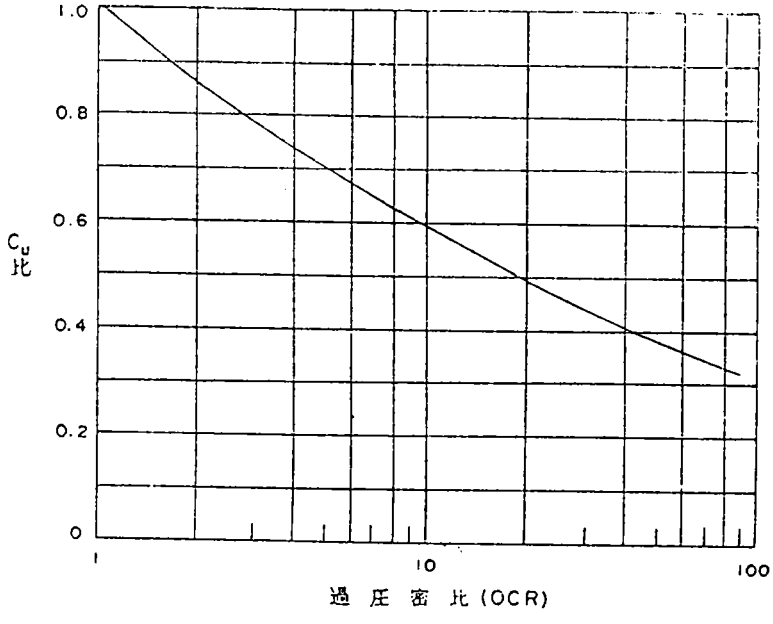


圖 11-11 粘土膨脹對 Cu 比之減少與過壓密比之關係

11-3 土壤之動態性質

11-3-1 動態變形係數

作地震解答分析時，土壤的動態變形係數須加以適當的設定。

[說明]

1.概述

耐震設計法有靜態設計法及動態設計法，靜態設計法爲代表性之震度法。係將地震力以靜態的慣性力，作用於地層或結構物上，再以力的平衡加以研討其穩定的方法。動態設計法則係計算淺的基礎地層及結構物之基礎對加速度、速度剪應變等的相對倍率與增幅值後，以研討地層或結構物穩定與否的方法。作地震應答分析時，對構成地層的土壤動態應變係數須加以適當的作用力予以處理。

通常土壤之動態剪應力～剪應變間的關係，如圖11-12所示，分主體曲線及經歷曲線來處理，然作用之剪應振幅很大時，如主體曲線所示顯係非線性者。而分析此類土壤之剪應力～剪應變曲線所使用的方法，則有等值線性法、雙曲線法等許多方法。而這些方法中，在實際的地震解答分析時，從計算時間或安定性之解析而言，最適合的爲等值線性法，故大多數均採用等值線性計算法。

2.等值線性法

推測地震時地層的合理變動，廣範圍的剪應變振幅對於土壤的動態應力～應變之非線性應以適當的方法加以評估。土壤的動態應力～應變關係若以等值線性法替代時，其剛性率G及衰減比h兩種參數，可如圖11-12(b)所示，以作用的剪應變振幅相對應之(11-31)式及(11-32)式求之。

$$G=\frac{\tau}{r} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}31)$$

$$h=\frac{1}{2\pi}\frac{\triangle\omega}{\omega} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (11\text{-}32)$$

上式中

τ =剪應力振幅

r =剪應變振幅

ω=應變能量

$\triangle\omega$=衰減能量

對於隨意剪應振幅r所求得的剛性率G及衰減比h則隨r之大小而異，如圖11-12(C)G/G_0～r曲線，h-r曲線所示。其中G_0爲$r\fallingdotseq10^{-6}$之剛性率。

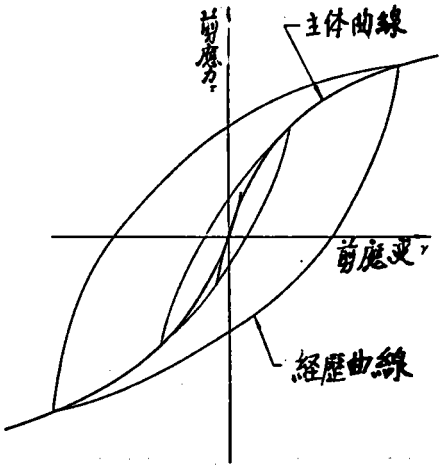


圖11-12(a)應力～應變曲線

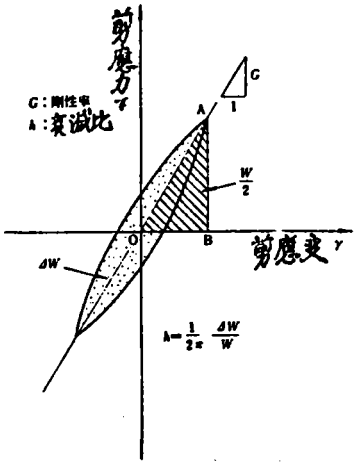


圖11-12(b)等值線性圖

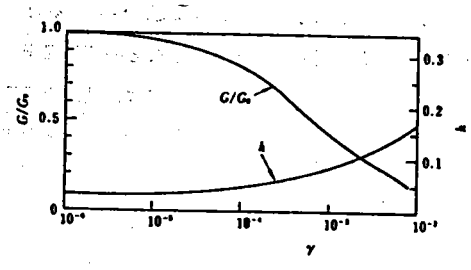


圖11-12(c)剛性率、衰減比及剪應變振幅

3.剛性率及衰減比之量測

剛性率及衰減比以利用共振試驗，三軸振動試驗等室內試驗,或PS檢驗法、孔隙速度量測法等的彈性波在原地試驗求取爲原則。在作室內試驗時,必須從原地點採取未受擾動之土樣,而剪應變則從10^{-6}至破壞爲止，並以此廣範的剪應變來量測相對應之剛性率及衰減比，同時隨著結構物的興建應量測動態變形係數可能的變化，以供廣範圍應用。而三軸振試驗，則可假設 Poisson's ratio ν 並依(11-33)式求取剛性率。

$$G=\frac{\sigma_a}{2\varepsilon_a(1+\nu)} \quad \cdots\cdots(11\text{-}33)$$

上式中

G=剛性率

σ_a=軸應力振幅

ε_a=軸應變振幅

ν=Poisson's Ratio，通常採用0.45

同理衰減比可由圖11-12(b)之軸應力～軸應變曲線中讀取ω及$\triangle\omega$，並可由(11-32)式計算之。 在原地試驗，若限制僅以約10^{-6}之剪應變振幅來測定相對應之剛性率時，在廣闊的剪應變振幅領域中，其剛性率及衰減比並無較實用的測定方法可循，只要有利於直接將原地層之剛性率及衰減比測出即可。而地層之彈性係數則是利用鑽孔以彈性波探測法將彈性波速度測出後，再用(11-34)，(11-35)，(11-36)各式計算之。

$$G=\rho V_s^2=\frac{r_t}{g}V_s^2 \quad \cdots\cdots(11\text{-}34)$$

$$E=2(1+V)G \quad \cdots\cdots(11\text{-}35)$$

$$V=\frac{\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2-2}{2\left\{\left(\frac{V_s}{V_p}\right)^2-1\right\}} \quad \cdots\cdots(11\text{-}36)$$

上式中

G=剛性率(tf/m²)

V_p=縱波速度(m/s)

V_s=橫波速度(m/s)

E=楊氏係數(Young's Modulus)(tf/m²)

ν=Poisson's Ratio

ρ=密度(tf/m²)

r_t=單位體積速度(tf/m³)

g=重力加速度(m/s²)

在作軟弱海底地層之彈性波探測時，尤須特別注意者爲彈性波(縱波、橫波)之起振，受振方法或波形讀取之精度、孔壁之保護等事項。茲將室內試驗之剛性率G_o與原地點試驗時之剛性率G_o加以比較，得知原地點試驗之剛性率G_o(In Situ)約爲室內試驗所得剛性率 G_o(lab.)之0.5倍～2.0倍之間，如圖11-13所示。

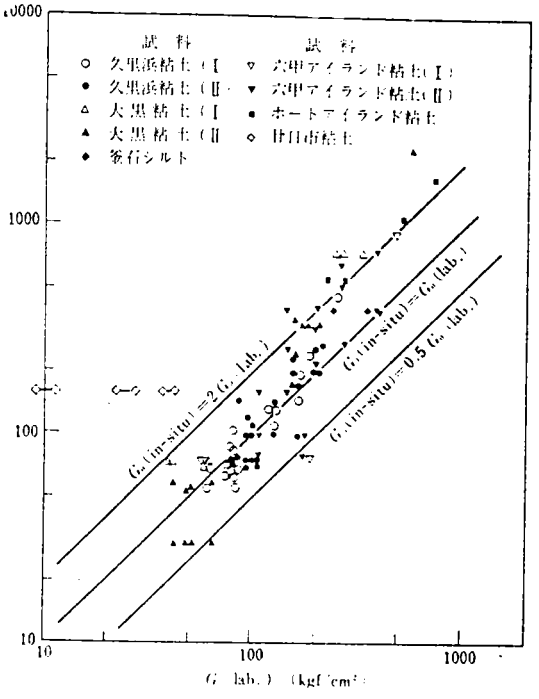


圖11-13 室內試驗與原地點試驗之剛性率比較

4.剛性率衰減比之簡易推測法

無法作室內試驗或原地點試驗時，可用下述方法推測地層之剛性率及衰減比。

(1)就粘性土而言，可由以往的土質調查結果中，依其塑性指數Ip辨別地層之層次結構。此時 Ip≧30，30＞Ip＞N.P(非塑性)，而Ip=N.P則需以3種之地層分類行之。

(2)求取有效覆蓋土壓時，須考慮分類層塊之壓密狀況，而假設地層中之應力比K′(水平方向之有效應力σ'_h與σ'_v之比)且以$(1+2K')\sigma'_v/3$爲平均有效主應力σ'_m計算之。壓密完成後水平地層一般以$K'=K_o'=0.5$的情況者爲多。但Ip＞30之地層，則需另加推算地層之孔隙率e。

(3)由分類層塊之Ip，σ'_m，e等，以微小剪應變振幅求取剛性率G_o。G_o，σ'_m 之單位爲Kgf/cm^2。

求G_o時，Ip≧30時，用(11-37)式求之，Ip＜30時，用(11-38)式求之，但Ip=N.P時(11-38)式中之Ip=0

$$G_o=a\sigma'_m, \qquad a=285-2Ip \quad \cdots\cdots(11\text{-}37)$$

$$G_o=A\frac{(2.973-e)^2}{1+e}\sigma'^{0.5}_m, \quad A=1.6Ip+185 \quad \cdots\cdots(11\text{-}38)$$

砂質土時，可用(11-39)式及(11-40)式。

$$G_o=700\frac{(2.17-e)^2}{1+e}\sigma'^{0.5}_m \quad (\text{圓形砂粒}) \quad \cdots\cdots(11\text{-}39)$$

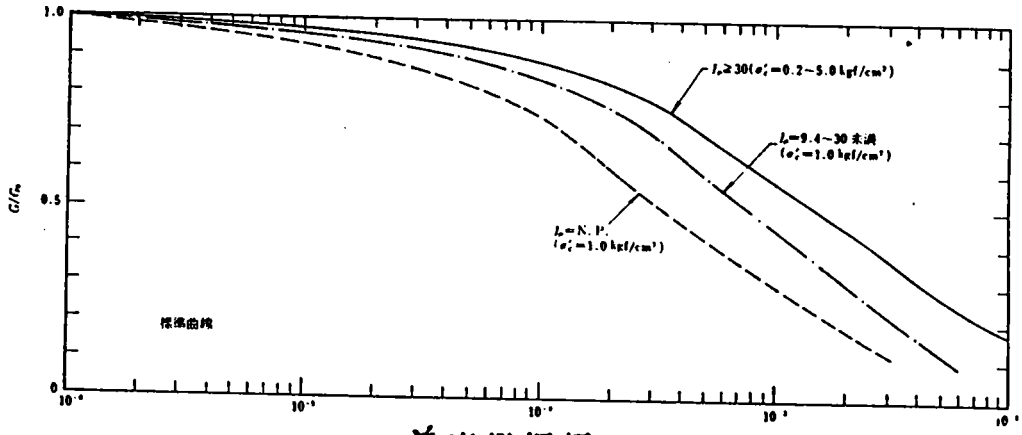
$$G_o=330\frac{(2.973-e)^2}{1+e}\sigma'^{0.5}_m \quad (\text{菱角形砂粒}) \quad \cdots\cdots(11\text{-}40)$$

(4)對於中、大剪應變振幅($10^{-6}<r<10^{-2}$)之剛性率G，如圖11-12(c) G/G_o～r曲線所示。而平均有效主應力σ'_m=Kgf/cm²時之G/G_o～r曲線則稱爲標準曲線，如圖11-14所示。Ip≧30時，G/G_o～r曲線則不受σ'_m之影響。但Ip＜30時，則須考慮σ'_m之影響，並以(11-41)式求之。

$$G/G_o=\bar{A}(Ip,r)\sigma'_m, \quad \bar{n}(Ip,r) \quad \cdots\cdots(11\text{-}41)$$

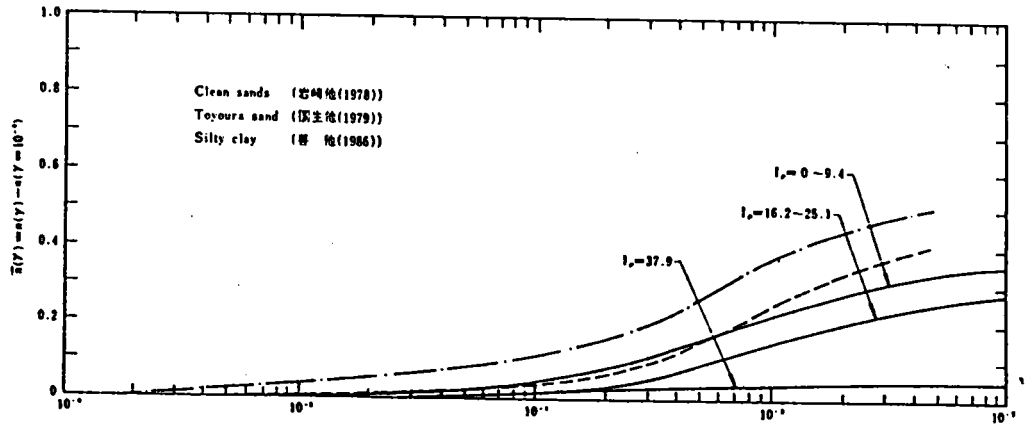
上式中，$\bar{A}(Ip,r)$,$\bar{n}(Ip,r)$爲試驗係數，如圖11-15及表11-6所列者。砂的時候，則適用Ip=N.P～9.4以下欄內之值。故對於G/G_o～r曲線在實用上，對孔隙比、二次壓密時間、其他方法之壓密應力狀況的影響等可不須加以考慮。

(5)有關衰減比，因平均有效主應力、孔隙比、二次壓密時間之影響等均無明確之規定，因此對Ip≧30與Ip＜30之土壤衰減比，各分別如圖11-16(a),(b)實線之標準曲線所示。而由標準曲線讀取相對應於剪應變振幅之h值則如表11-7所示。



剪應變振幅r

圖 11-14 G/G_0～r曲線



剪應變振幅r

圖 11-15 G/G_0之修正曲線

圖 11-6 相對於剪應變振幅之$\bar{A}(I_p,r)$,$\bar{n}(I_p,r)$值

せん断ひずみ振幅	塑性指数 I_p					
	N.P.～9.4未満		9.4～30未満		30以上	
γ	$\bar{A}(I_p,\gamma)$	$\bar{n}(I_p,\gamma)$	$\bar{A}(I_p,\gamma)$	$\bar{n}(I_p,\gamma)$	$\bar{A}(I_p,\gamma)$	$\bar{n}(I_p,\gamma)$
10^{-6}	1	0	1	0	1	0
10^{-5}	0.93	0.01	0.96	0	0.97	0
5×10^{-5}	0.83	0.03	0.91	0.01	0.93	0
10^{-4}	0.75	0.05	0.84	0.02	0.89	0
2.5×10^{-4}	0.56	0.10	0.74	0.05	0.82	0
5×10^{-4}	0.43	0.16	0.59	0.09	0.70	0
10^{-3}	0.30	0.22	0.45	0.16	0.58	0
2.5×10^{-3}	0.15	0.30	0.26	0.22	0.42	0
5×10^{-3}	—	—	0.12	0.26	0.28	0
10^{-2}	—	—	—	—	0.18	0

表11-7 相對應於剪應變振幅之h值

せん断ひずみ振幅	塑性指数 $I_p<30$			塑性指数 $I_p\geqq30$		
	減衰比 h			減衰比 h		
γ	平均	最大	最小	平均	最大	最小
10^{-6}	0.026	0.040	0.016	0.025	0.050	0.010
10^{-5}	0.030	0.040	0.018	0.030	0.054	0.010
5×10^{-5}	0.033	0.042	0.020	0.034	0.062	0.014
10^{-4}	0.037	0.048	0.026	0.038	0.070	0.018
2.5×10^{-4}	0.055	0.068	0.040	0.050	0.088	0.030
5×10^{-4}	0.080	0.098	0.060	0.066	0.108	0.042
10^{-3}	0.120	0.145	0.092	0.086	0.133	0.056
2.5×10^{-3}	0.174	0.200	0.148	0.118	0.174	0.080
5×10^{-3}	0.200	0.222	0.178	0.144	0.208	0.100
10^{-2}	0.220	0.240	0.200	0.175	—	0.125

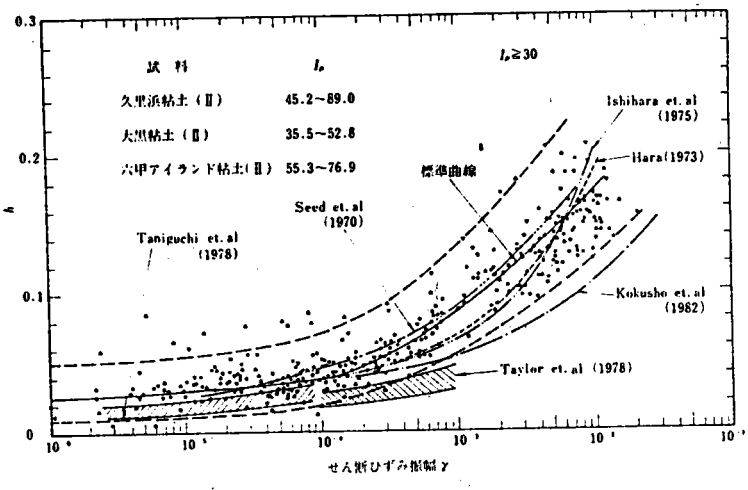


図-解11.16(a) $h\sim\gamma$ 曲線（$I_p\geqq30$）

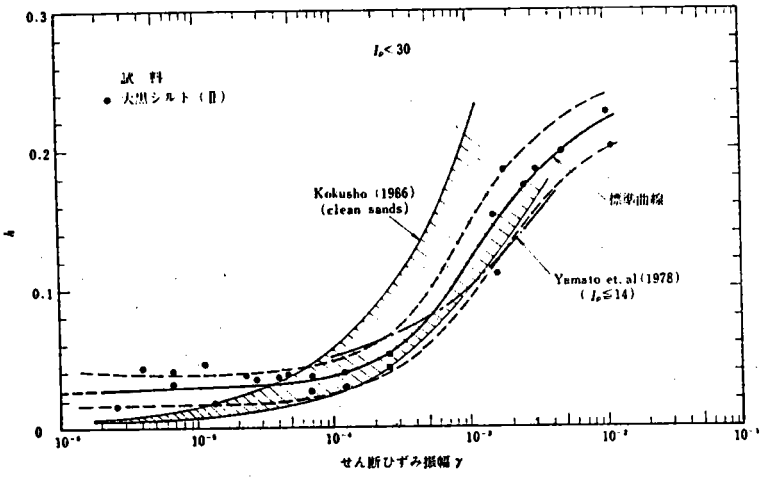


図-解11.16(b) $h\sim\gamma$ 曲線（$I_p<30$）

11-3-2 動態強度特性

> 對於土壤之動態外力強度，係取決於實驗室內試驗結果爲基準，然在此情況時，須適當的設定外力特性及地層之狀態。

[說明]

1.概說

(1)動態外力之種類與特徵

對於靜態外力與動態外力明顯的不同處爲:(a)外力的作用時間是短暫的。(b)外力爲反復作用二點。如地震力， 須有雙方面的特徵，如爆破所生之衝擊力，僅發生一次之作用時間是非常的短暫，而另一方面的特徵亦有之。如波力係爲返復的外力，而以較爲遲緩的載荷速度作返復的作用，亦即爲動態外力介入之廣義情形。圖11-17係依載荷時間與返復次數所作的動態問題分類。 通常以波力而言，應考慮10秒前後之波浪周期。

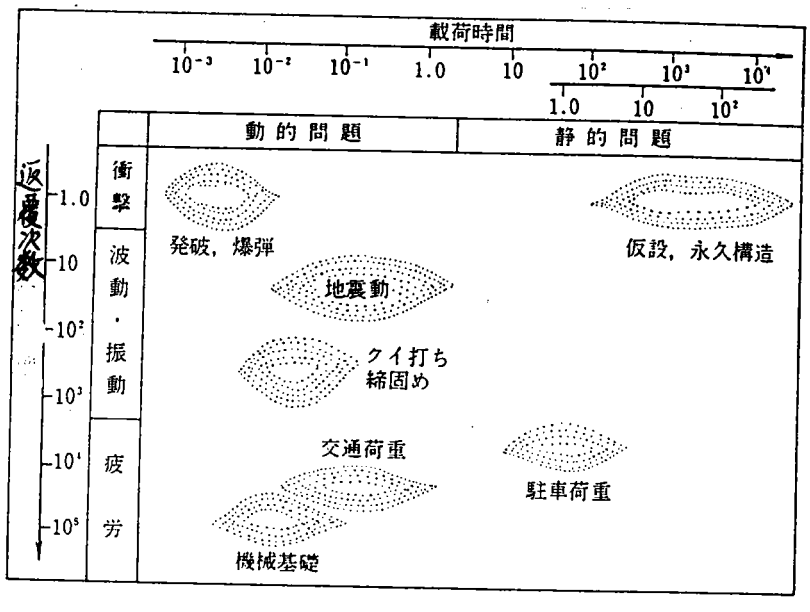


圖11-17 依載荷時間與返覆次數所作的動態問題分類

(2)地震力與波力

港灣所遭受到最具代表性的動態外力爲地震力與波力。此類動態外力，在必要的情形下須作動態荷重處理時，通常均將其轉換爲

震度法中的靜態荷重來處理。在此情形下，地震時需依振動三軸試驗結果來預測飽和砂之液化狀況，而波力的承受則以結構物基礎地層所持有的剪力強度爲依據。

2.試驗方法

動態強度調查法有室內試驗與原地試驗兩種，然因原地點試驗需大規模的設備及龐大的費用，且受限於試驗條件等關係，故多採用室內試驗。而室內試驗則以採用未受擾動之試樣爲原則，若以調查塡築材料的強度爲目的時，則可採用已受擾動之試樣爲之。

動態強度試驗有振動三軸試驗(也可稱爲返復三軸試驗)、純振動剪力試驗、彎曲剪力試驗等，且各有其特徵，然由振動三軸試驗所得之結果，較無個人技術上的差異，故其設置的普及性最高，而以調查返復剪力強度爲目的者，亦多採用振動三軸試驗裝置。

土壤的返復剪力強度，在土壤的物理特性或應力狀態均相同，依動態外力所持有兩種特徵(作用時間及返復次數)而有顯著的不同。而對外力的作用速度則視其相對應之排水條件，返復剪力強度亦有所異。因此對動態外力的作用下，欲知土壤的剪力強度時，須適當的考慮及動態外力的特性與地層的狀態。

在作室內試驗時，動態外力可用載荷條件轉換成適當的載荷行之。在此情形下，除了外力的特性外還須考慮波形(振幅、周期)返復次數、載荷速度與波形的不規則性等。

土壤之剪力強度係隨排水條件而異。如承受地震力之動態外力的地層、載荷速度對地層的排水速度會相對的減小，甚至成爲不排水狀態，故須在不排水條件之前堤下加以試驗。對於波力而言，排水與不排水的區別則視波浪的特性或地層結構爲依循，故作強度及變形的評估時對安全側的排水條件須加以設定。粘土時則在不排水條件下加以試驗。

3.試驗結果的適用性

室內試驗所得之動態強度，並非仍是以動態外力載荷來求之取之，有時亦可以單純的載荷條件求得，故對其適用性而言必須充分的考慮動態外力的特性及地層狀況與試驗條件的相關性。

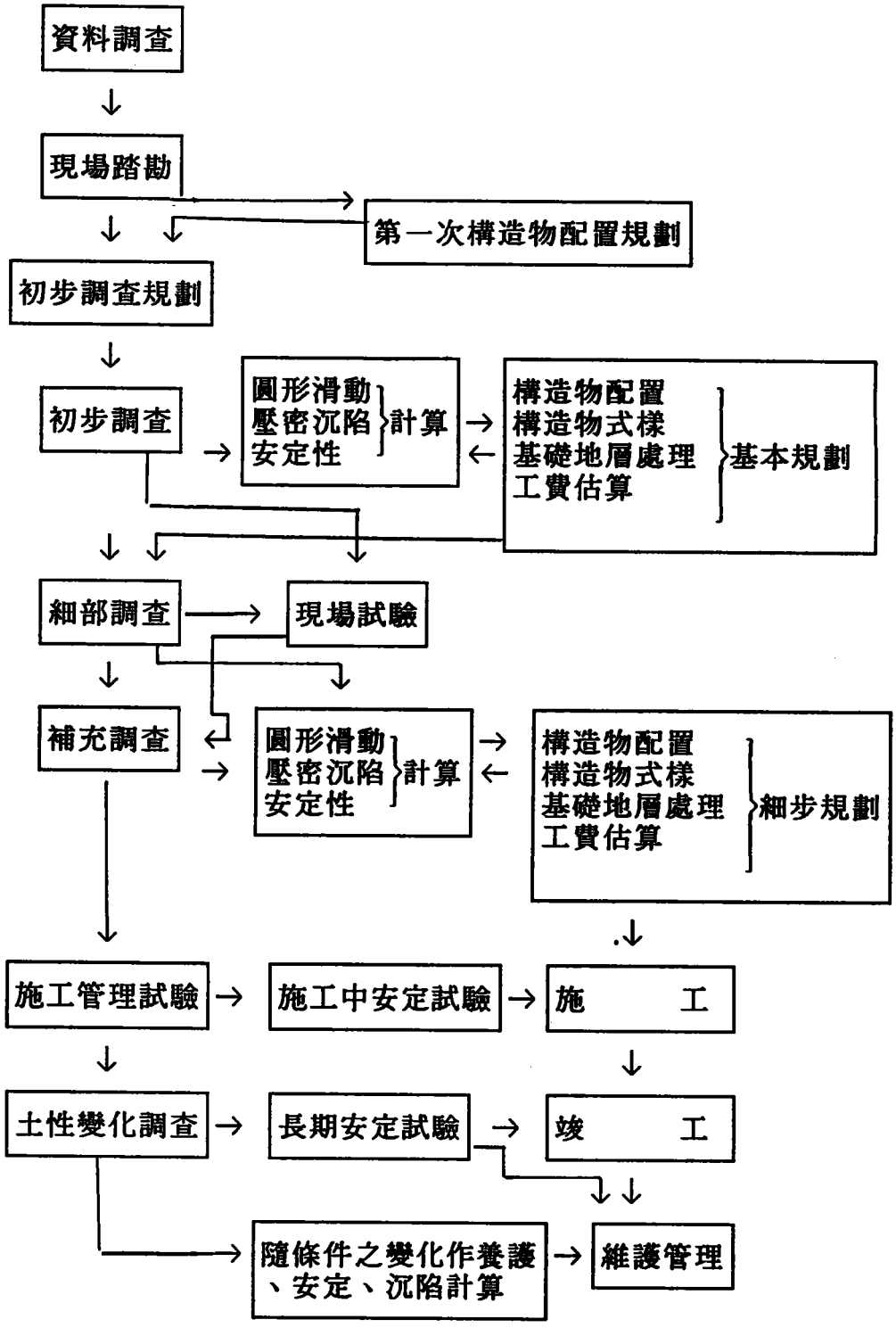


圖11-18 有關設計時之土質調查流程圖

11-4 土質條件之決定

11-4-1 決定方針

設計所需之土質條件，原則上須經實地土質調查及土壤試驗，方可決定。

[說明]

1.概說

有關設計時之土質調查如圖11-18所示之流程進行，而設計時所用土質條件則包括承載層之深度、軟弱層之厚度、地層之成層狀態、硬度、結實度、剪力特性、壓密特性、透水性及地下水位等。圖11-18之流程爲包括調查階段之調查方法，而表11-8所示者爲調查內容。

表11-8　包括調查階段的調查方法

分　類	調查方法	調　查　內　容
預備調查	資料調查	鑽探、探測資料、地形圖、地質圖、航空照像、構造物等沉陷、損害記錄、構造物之施工記錄等。
	現地踏勘	周圍的地形、地質、構造物等沉陷、損害記錄
初步調查	鑽探 取樣 探測 物理探究	基層深度、成層狀態、強度(q_u, ϕ等)壓密特性、分類特性(ω, r_t, G_s, W_t, W_P等) 壓密特性(W_{opt}, CBR等)透水性 (地下水)
細部調查	鑽探 取樣 探測	同　上
補充調查	同　上	同　上

2.調查位置之配置間隔及調查深度

鑽探或探測(Sounding)之位置，其間隔與深度，除考慮按構造物之大小、地層內的應力分佈及地層成層狀態的均勻性外，並涉及調查費用及構造物之重要性等，故不能作硬性之規定，唯一般均採用下列之標準。

(1)鑽探間隔

(a)成層狀態在水平方向及垂直方向，均比較均勻時

		法線方向		法線垂直方向	
		鑽探	探測	鑽探	探測
初步調查	廣範圍地域	300～500m	100～300m	50m	25m
	小範圍地域	50～100m	20～50m		
細部調查		50～100m	20～50m	20～30m	10～15m

(b)成層狀態較複雜時

	法線方向		法線垂直方向	
	鑽探	探測	鑽探	探測
初步調查	50m以下	15～20m	20～30m	10～15m
細部調查	10～30m	5～10m	10～20m	5～10m

附註:1.探測有時需要鑽孔，有時不需要鑽孔。

2.表中所示之值爲探測不需要鑽孔。

3.需要鑽孔之探測，可採用鑽探欄內之數值。

(2)調查深度

以鑽探或探測至確實具有充分支持力之承載力層止爲原則。而充分的承載力層視構造物之式樣及規模之大小而異，故不作硬性規定。規模比較小的構造物或是基礎構造不需打樁來支撐時以 N≧30，而大型構造物需以打樁作爲支撐時則以N≧50爲目標。

所需之地層厚度如下:

N值在10～20時爲5m以上
N值在20～30時爲3～5m以上
N值在30～50時爲2～3m以上

但此時之試驗間隔需1m進行一次。
遇到岩層時，至少需作1.0m之取樣，證實確爲岩質爲止。

(3)深度方向之取樣間隔

欲知物理特性及強度特性之變化時，在主要調查鑽孔中以每隔1.5m深度，取樣一次爲原則，而在特別重要的情形則須每隔1.0m深度，取樣一次。在補充性的調查鑽孔時，則以每隔2m深度，取樣一次。欲知壓密特性時，須將地層按種類予以分割後，對各層之代表性土樣，加以試驗。通常在均勻的地層時，須每隔1.5m即將試料取樣一次，而在複雜的地層或壓密沉陷特別厲害處時，因應其重要性，可將取樣間隔適當的縮減。

4.探測間隔

需要鑽孔者或操作較爲複雜者，其間隔與鑽探間隔相同。操作較爲簡便者，因爲每一探測地點所需之費用及作業時間較少，故可將其水平方向之間隔縮短爲鑽探間隔之1/3以下， 使之儘量增加探測地區。

11-4-2 調查方法之選擇

依構造物之種類、規模、重要性等，並考慮附近之土質性狀，選擇最適宜的調查方法以達成設計目的。

[說明]

1.土質調查應考慮調查範圍、重要性及所需費用等，選擇最適宜的調查方法。表11-9所示者，係以調查目的爲區分之調查方法及調查內容。

表11-9 以調查目的爲區分之調查方法及調查內容

調查目的	調　查　方　法	調　查　內　容
確定成層狀態	鑽探 土壤試體 物理探究	基層深度 軟弱層厚度 層　次
支持力 斜坡安定 土　壓	未受擾動之土壤試體 土壤試體 現場試驗	一軸壓密強度　q_u 剪力強度　τ_f 剪力抵抗角　ϕ 相對密度　D_r
壓密特性	未受擾動之土壤試體	壓密係數　Cv 體積壓縮係數　mv
透水性	未受擾動之土壤試體 現場試驗	透水係數　k
凝固特性	受擾動之土壤試體亦可，現場試驗	最大乾密度　γd_{max} 最佳含水量　ω_{opt} CBR
分類特性	未受擾動之土壤試體	單位體積重量　r_t 含水量 ω，土粒比重 G_s，粒度濃度 W_l，W_p

2.調查方法之種類

(1)現有資料之收集分析

研討鑽探資料、地下水位異動記錄、附近構造物之損害、沉陷記錄等。

(2)踏勘現地地質、地形等。

(3)物理性探究(彈性波及電氣抵抗等)

探究廣範地域之成層狀況或地下水位等，必須先由鑽探資料中研判土質及成層或地下水所在之深度。

(4)鑽探(包括取樣)

此爲調查土質的確實方法、初步調查及細部調查均採用之。鑽探時對粘性土壤(Cohessive Soil)須採取未受擾動之土樣(Undisturbed Soil)，兼作所必需之土壤試驗。若因鑽探方法及採樣方法不當或因

鑽探技術及取樣技術不熟練，致使所採取之土樣受擾動程度過甚而生不良後果，故對採取未受擾動之土樣，須特別加以注意。對砂質土壤因欲採取未受擾動土樣非常困難，故可施行標準貫入試驗(Standard Penetration Test)等探測(Sounding)法及現地試驗法。必要時，可取樣求取原地之孔隙比(Void Ratio)後，再以土樣按所需目的，作各類孔隙比之試驗，以推測原地土砂之物理性質。以粘土之採樣及探測(Sounding)爲目的之鑽探，可用鑽管(Drill Pipe)方式，而採取未受擾動之土樣時，則以使用附有導鞘之固定式導管採樣器(Thin Walled Sampler)爲原則。

(5)探測(Sounding)

此法用於初步地質調查，測定已知成層狀況之地層強度及測定不易採取未受擾動土樣之地層或測定承載力層之深度。如設計需要精密資料時，可將現場所採土樣，在所能預料之各種條件下，作各種所必需之土質試驗後與探測所得結果互相比較，就兩者間之相關性加以詳細之研討。

(6)原地試驗

此法在採取未受擾動之土樣非常困難或認爲原地試驗效果較高時使用。且爲測定樁基礎等地層橫向反力係數k_h值所必需，並包括以放射性同位素(Radio Isotope)法測定原地密度在內。

11-5 N值

測定N值，應以土壤標準貫入試驗(Standard Penetration Test)方法辦理。

[說明]

1.概述

N值係以重量63.5Kg之鐵錘，自75cm之高處使其自由落下，將標準貫入試驗之採樣管打入土中30cm深處，所需之錘擊(Blow)次數。

2.適用範圍

標準貫入試驗除岩層、卵石及粗礫石含量多的土質外，對其他所有的土質均能適用，惟對軟弱粘土及10mm以上砂礫，在判別土性方面的精度較差。通常的沖積粘土時應採取未受擾動之試樣，也有其他探測之

適當調查方法，但以不使用爲佳。且此種試驗可以取得非常接近未受擾動之土樣供作試驗，而由其入土深度與錘擊次數即能推測土壤之相對密度及相對稠度。由其錘擊次數亦能推測土壤之強弱及其支承力。由於此種試驗具有上述之各種優點，故廣爲工程界所採用。如遇粒徑較大之土壤時可將採樣器前端之切靴(Cutting Shoe)更換爲錐形頭（Cone)。

3.影響N值之因素

N值隨著砂之密度增加而增大，在相同的密度時，N值則受含水量、地下水位、有效載重及深度等條件的影響，茲將其影響情形分述如下：

(1)含水量之影響

除了密實細砂及沉泥質砂外，按照飽和砂、乾砂及濕砂等順序其N值逐漸增大。

(2)有效載重之影響

N值隨著有效載重之增減而增減。

(3)地下水位之影響

由於地下水位之變動而發生有效載重及含水量之影響。

(4)連接採樣管之鑽桿長度之影響

因調查深度加深，連接採樣管之鑽桿長度亦加長，故在鬆散砂土時，由於鑽桿重量增加N值反而減少。於密實砂，因鑽桿之撓曲及橫向振動，打擊效率減少之故，N值有變大之傾向。

(5)其他因素之影響

除上述因素外尚有顆粒大小，顆粒形狀，顆粒膨脹(Dilatancy),試驗方法及試驗儀器磨損等影響。然因上述各種影響因素互相重複，且目前對N值作定量之修正法又未確定，故在設計上需要高精度之N值時，對現場之砂，須充分加作比較試驗。圖11-19係表示影響N值因素之一實驗例。

4.N值在使用時應注意之事項

(1)由N值推測ϕ時，若無法求得原地點之密度或相對密度則無從求取其正確值,因此N值應用於設計時，須愼重研討N值與現場土性之連帶關係。惟在目前情況下,如將測定條件加以充分考慮時，則可應用表11-10及11-11所示之關係。

表11-10及11-11爲砂質土N值與Dr及ϕ之關係

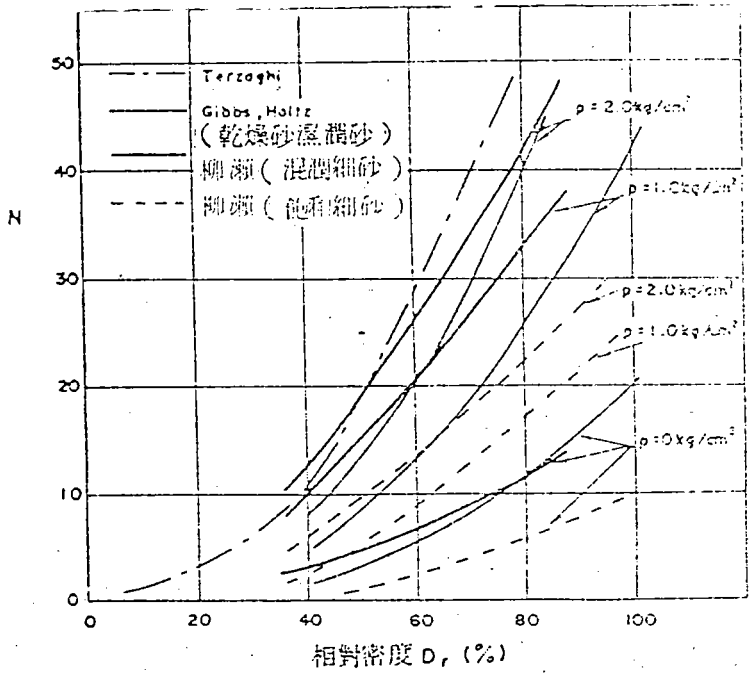


圖11-19 對不同之含水量與在不同之有效荷重下 N 值與相對密度間之關係

表11-10 砂質土之N值與Dr, ϕ 之關係

N 值	相對密度 (D_r)	內摩擦角 (ϕ)	
		Peck	Meyerhof
0 ～ 4	0 ～ 0.2	28.5°以下	30°以下
4 ～ 10	0.2～ 0.4	28.5 ～ 30	30 ～ 35
10 ～30	0.4～ 0.6	30 ～ 36	35 ～ 40
30 ～50	0.6～ 0.8	36 ～ 41	40 ～ 45
50 以上	0.8～ 1	41 以上	45 以上

註:有關表中Meyerhof ϕ 值說明如下:

1. ϕ 之下限值:對均勻粒徑之砂偏於安全側，對沉泥質砂，若經剪力試驗不能判定其值時，則減5°以上。

2. ϕ 之上限值：對級配良好之砂偏於安全側，礫之混合土壤，若實施剪力試驗則可知大於上表5°以上。

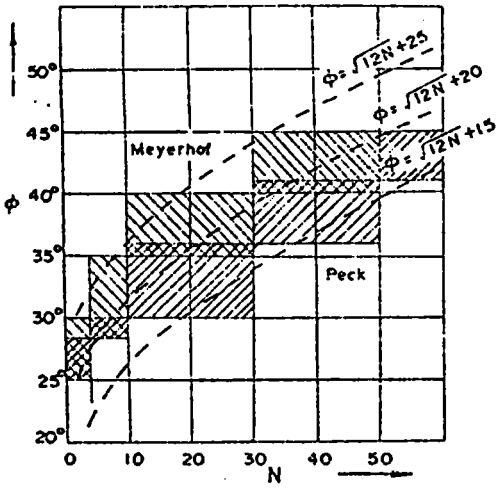


圖 11-20 砂之內摩擦角ϕ與N值之關係

表 11-11 砂質土之N值與ϕ之關係

	內摩擦角（ϕ）
粒徑相同之圓顆粒	$\phi=\sqrt{12N}+15$
粒徑相同圓顆粒級配良好	$\phi=\sqrt{12N}+20$
粒徑相同之角狀顆粒	$\phi=\sqrt{12N}+20$
級配良好之角狀顆粒	$\phi=\sqrt{12N}+25$

表 11-12 乾燥砂具有代表性之內摩擦角值

	粒徑均一之圓狀顆粒	角狀顆粒級配良好
疏散狀態	28.5°	34°
密實狀態	35°	36°

表11-10係 Terzaghi氏及Peck氏由表11-1及表11-11所導出者。將表11-10及表11-11歸納整理後，即得圖11-20。惟應用圖11-20時，對N值之測定條件及地層狀況亦須加以考慮。

(2)依據Terzaghi氏認爲有效粒徑在0.1mm～0.05mm之細砂或沉泥質砂，因滲透性小之關係，如用水飽和之，在與其原相對密度對照之下，在鬆散土砂部份因發生流動現象，N值變成過小，在密實土砂部份，因膨脹受阻礙，N值則變成過大。將相當產生膨脹之界限孔隙之比之N值當作15，若上述情形之砂，在水面下之N值超過15時，如不按下式加以修正，則不能適用表11-1內相互間之關係。

$$N'=\frac{N-15}{2}+15 \qquad (11\text{-}38)$$

上式中：

N=實測數值(N>15)

N'=修正數值

5.粘性土之N值

粘性土之N值，除土壤之剪力強度外，其他飽和度、靈敏度比(Sensitivity ratio) 及砂與其他雜物之含有量等，與砂質土同樣受鑽孔擾亂不清(因鑽探技術不良所引起)及貫入桿重量增加(因鑽孔深度加深，貫入桿長度亦加長關係)等等影響。在強度小之粘性土，因其N值亦小關係；上述鑽孔底擾亂不清及貫入重量增加等，對其所測得之數值影響更大。 鑽探海底粘土層時，僅因採樣管及鑽桿之重量或僅在打頭(Knocking head)上安放垂錘，其貫入深度即超過預定甚多，以致無從測定N值。

依據以往經驗及實驗結果，如q_u未達1Kg/cm²以上之土壤，測定其N值則非常困難。在q_u＞1Kg/cm²之粘性土， 爲求設計用之力學數值而作此種鑽探毫無意思。具有可以測定N值之粘性土，其存在深度非常深，且採樣時容易受擾動，砂之含有量又多；故所測定之q_u 值不甚準確。除上述理由外，另因N值與q_u之測定精度低，且以往之實例又少，故目前對二者之關係尚不甚明瞭， 圖9-12表示日本港灣地區之粘土層(除測定q_u時其壓縮應變在7%以上者及比q_u之深度方向分佈情形更散亂者)，故牧泥岩(Mud stone)(包括砂質土。 N值在50以上者，已按比例換算)及其他所調查之內陸地層之 q_u與 N值之關係。圖中直線部份係表示以前所提案之關係，惟顯然與實際情況不同。

第十二章　地震及地震力

12-1概說

港彎設施須有適當的耐震性，故在設計上須考慮地震之影響。

[說明]

1.港灣設施須依本章所述的方法作耐震設計。但次要設施則可分別適用各有關之基準、規範等，再加以研討其耐震性。

2.研討對象設施之耐震性時，須考慮下列事項：

(1)對象區域內之地震活動度。

(2)興建地點之地層條件。

(3)設施之重要性(依據社會性、經濟性等綜合之判斷)。

3.有關耐震性之研討項目如下：

(1)結構物整體之安定性。

(2)對於基礎地層滑動的安定性。

(3)液化現象對基礎地層的安定性及上部結構物所遭致的影響。

(4)結構物的材料應力。

(5)由功能上來觀測各部份結構物或鄰近結構物與地層之相對變位。

12-2地震力之計算

設計耐震構造物時，地震力視爲靜重及荷重及與設計震度之乘積，作用於水平方向。活荷重爲有軌起重機之荷重時，作用於起重機之地震力中，僅就對構造物有影響者加以考慮。

[說明]

1.設計港灣耐震構造物時與一般土木建築工程相同，均依照震度規範辦理。

2.垂直震度對港灣構造物安全之影響，按構造物之結構與種類而不同，且又非常複雜，故實際上設計耐震構造物時，爲避免計算之複雜，普通不考慮垂直震度。

3.計算地震力時，不能以減去浮力後之重量乘設計震度。但是，計算土壓力時，因係用已考慮浮力之水中單位體積重量，故可用假震度。

4.依據震度規範，設計時如將最大地震力當作靜力經常作用於構造物，故所用材料之容許應力強度及安全率等應採用與平時不同之數值。

12-3 決定設計震度之方法

設計震度須按地區、地層及構造物之重要性，依照下述方式決定之。

設計震度=地區震度×地盤分類係數×重要係數

但設計震度僅考慮水平震度，取小數點以下二位爲止，第二位以下以2捨3取或7捨8取，取捨後當0或5。

決定構造物設計震度之因素爲地震發生地區之危險度，地層之良否，構造物之力學特性及構造物之重要性等。但其中構造物之力學特性，因大部份港灣構造物之固有振動週期較短，其衰減較大，故不必加以考慮。然直樁棧橋或高聳建築物須依照動力學解析之耐震設計法或修正之震度規範設計。

12-3-1 地域別震度

臺灣區地域別震度以表12-1之值爲準。地震分區圖如圖12-1。

表12-1　臺灣區地域別震度表

表 12-1 臺灣區地域別震度表

强度地震地區	①新城、花蓮、壽豐、鳳林、瑞穗之間地區。 ②瑞穗鎮、富春之間地區。 ③苗栗、銅鑼、三義、豐原之間地區。 ④斗六、虎尾、斗南、大林、民雄、嘉義、後壁、新營、白河、關子嶺、東山、梅山之間地區。	0.15
中度地震地區	①沿蘇澳、南方澳、天祥、玉里、新港、臺東之間地區。 ②大武、楠港、枋寮之間地區。 ③瑞穗信義、集集、名間、溪洲、北港、朴子、學甲、臺南、新化、玉井、瑪雅之間地區。 ④環繞新竹、竹南、後龍、苑裡、大甲、清水、彰化、臺中、東勢、卓蘭、大湖、鹿谷、竹東之間地區。 ⑤基隆、臺北、板橋、桃園、中壢之間地區。 ⑥澎湖。	0.10
輕度地震地區	强烈地震及中度地震以外地區。	0.05

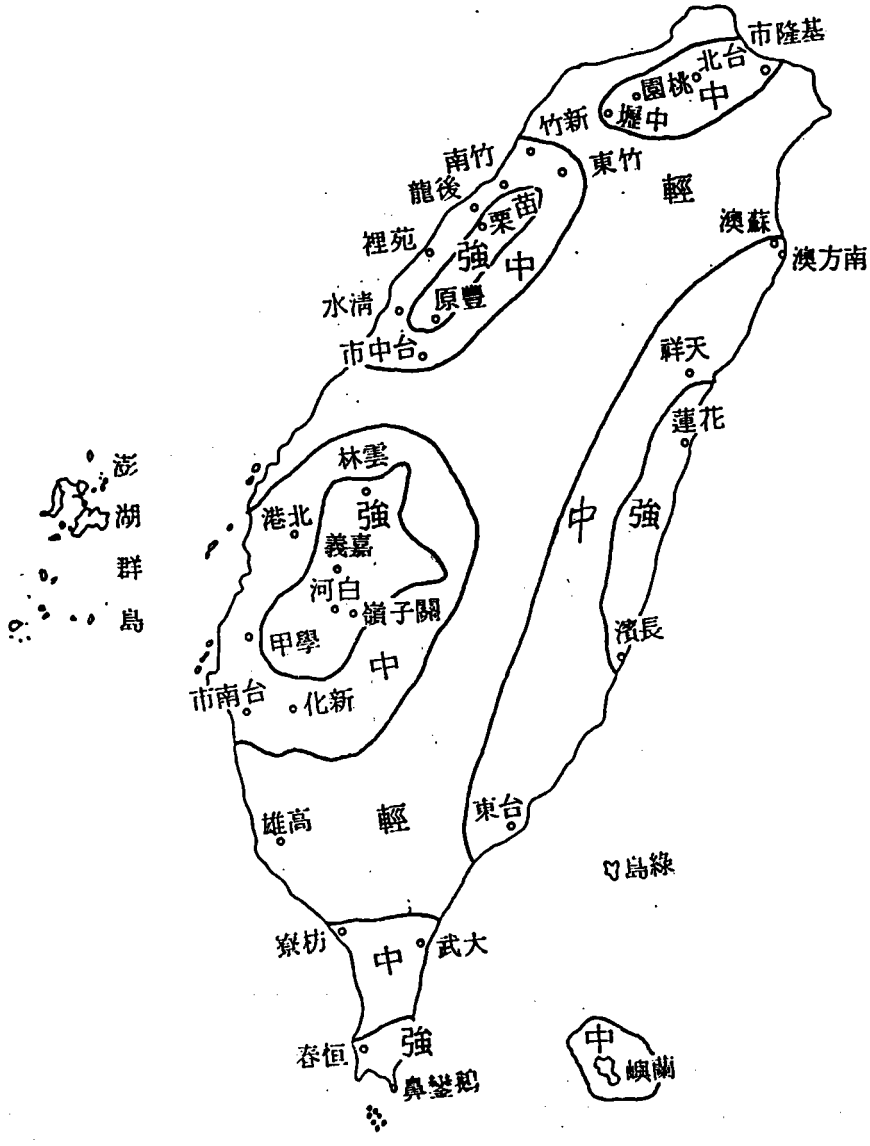


圖 12-1 臺灣區地震分區圖

12-3-2 地盤係數

地盤分類係數以表12-2之值爲標準。

表 12-2 地盤分類係數

地盤別	第1種地盤	第2種地盤	第3種地盤
係數	0.8	1.0	1.2

地盤分類按沖積層、洪積層之厚度及其他因素等決定如表12-3所示。

表12-3 地 盤 分 類

第4紀層厚度	砂 礫 層	一般之砂、黏土地盤	軟弱地盤
5m 以下	第 1 種	第 1 種	第 2 種
5 ～ 25m	第 1 種	第 2 種	第 3 種
25m 以上	第 2 種	第 3 種	第 3 種

1.兩種地層之混合地層，以較厚之地層爲其地層種類，若由兩種以上厚度相同之地層混合而成者，取其低地層種類爲準（例如砂土地層與軟弱地層混合時，取軟弱地層之種類）。
2.表12-3所列地層種類中，N值在4以下之砂質地層及q_u在0.2Kg/cm²以下之粘土地層，均視作軟弱地層處理。

12-3-3 重要度係數

重要度係數按構造物之重要程度而定，其範圍爲0.5～1.5。

構造物之重要程度劃分，可參照下列事項決定之。

1.構造物破壞後對四周居民生活之影響。
2.構造物因破壞而失去效用後，對四周城市之震災復舊影響。

12-4 假震度(Apparent)

對水中土壤之震度，應由下式所求之假震度

$$K'=\frac{r}{r-1}k \qquad (12\text{-}1)$$

上式中 K'=在水中之假震度
K=在空氣之震度
r=飽和土壤在空氣中單位體積重量(t/m³)

在水中之土壤普通係用水中單位體積重量，故計算水中土壓力以上列公式所求之假震度代入地震時，空氣中土壓力公式，即可直接求得地震時水中之壓力。

上述方法雖然可以節省很多複雜之計算，甚爲便捷，惟其結果與實際情況，可能發生相當誤差。例如地震時水中物體之實質部份之運動與孔隙水中之運動，可能各有不同，其結果發生動水壓力或孔隙水壓力或孔隙水之變化，對實質部份或有影響。對上述種種之複雜現象，目前幾乎尚未研究明白。

圖12-2表示振動箱內之飽和砂作用於固定壁體土壓之實驗結果，供作水中震度對土壓力影響之參考。圖中壓力係振動時在正常狀態下所測之數值，對非正常狀態下之壓力，亦作實驗，所測壓力較圖中數值爲大，實驗結果雖尚未與實際時作用相比較，惟已知實驗所得之土壓力值較用假震度所求地震時土壓力數值爲大。

如上所述，計算水中土壓力尚有很多未能解決問題。目前不得不用上述公式所求假震度求之。

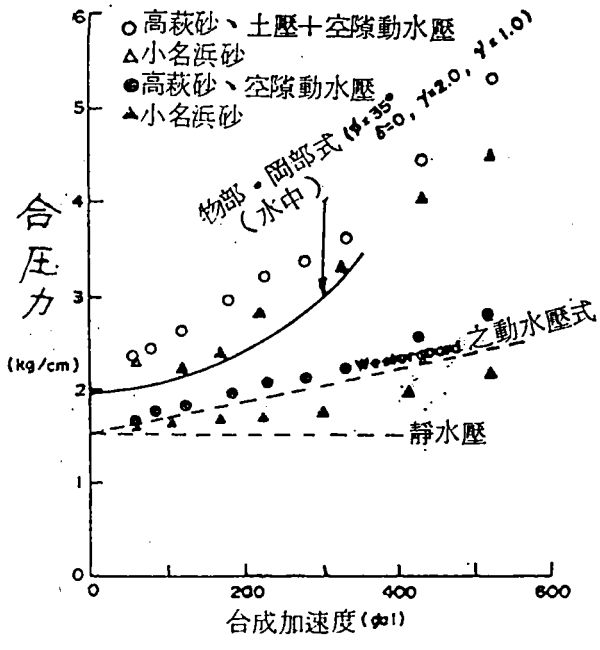


圖 12-2　加速度變化飽和砂作用於固定壁之壓力

第十三章　砂質土之液化

13-1 砂質土之液化

盛裝鬆弛的飽和砂質土由於地震而液化後，將使構造物遭致損害，因此在構造物之設計及施工時應依照需要加以考慮之。

1.對於液化之研討，通常可依下列順序行之。

資料調查
↓
土質調查
↓
地震時地下剪應力之推測
↓
液化之預測及推測
↓
對策工之設計及施工

圖13-1 對於液化研討之順序

本節所謂之『砂質土』係液化可能性大的土壤均稱爲砂質土，而與土壤力學中之土壤分類之砂質土意義稍有不同。

2.土壤調查之目的爲(1)推測地震時地下之剪應力(2)作液化之預測與判斷(3)掌握液化對策工程設計與施工所必需的土質條件與係數等。 土質調查應依調查的目的選擇適當的調查位置、深度及調查方法加以進行。

(a)調查位置及深度應依調查目的考慮對象設施之結構及對象地基之成層狀況而定。

(b)調查方法及調查項目請參照第二編11-4節土質條件之決定法與港灣調查指針(日本港灣協會)，而液化之研討則對其特徵及調查的目的須審愼考慮而後擇定之。

茲將通常可用於液化研討之調查法及調查項目列舉於下：

1)標準貫入試驗。
2)未受擾動試料之採樣。
3)振動三軸試驗。
4)PS檢層。
5)透水係數及體積壓縮係數。

3.使用於液化研討之地下剪應力，須於研討地點的基層設定適當的地震振動，以此當作外力，求取該地基表層地震時剪應力之大小。

13-2 液化之預測及判斷

構造物之設計及施工時須考慮液化者爲研討對象地基是否會液化，作一適當預測及判斷。

1.盛裝鬆弛的飽和砂質土由於地震而液化，將使結構物遭致損害，故對地震振動須估計是否會液化，作適當的預測及判斷。
(1)估計對於地震振動所研討的對象地基是否液化，並預測及判斷所採用的概略粒徑與N值。
(2)僅用粒徑與N值來預測尚無法判斷是否液化時，則採以未受擾動之砂作振動三軸試驗，以其結果加以研討並預測及判斷對象地基是否液化。

2.依粒徑與N值來預測及判斷液化情形。
(1)利用圖13-2依粒徑作土壤分類。圖13-2係按照均勻係數之大小分別使用。均勻係數之大小可以$U_C=D_{60}/D_{10}=3.5$爲大致的標準來加以判斷。
上式中U_C=均勻係數，D_{60}=通過百分比爲60%之土粒直徑，D_{10}=通過百分比爲10%之土粒直徑(又稱爲有效粒徑)。而在 A,B_f,B_c 範圍以外之土壤，可判斷爲無液化。若粒徑跨越兩種分佈曲線範圍時則分類會有所困難，而且依分類結果,以粒徑與N值所預測的與以判斷法判斷的結果有顯著的差異時，須以振動三軸試驗來預測，且採用適當判斷法于以適應之。

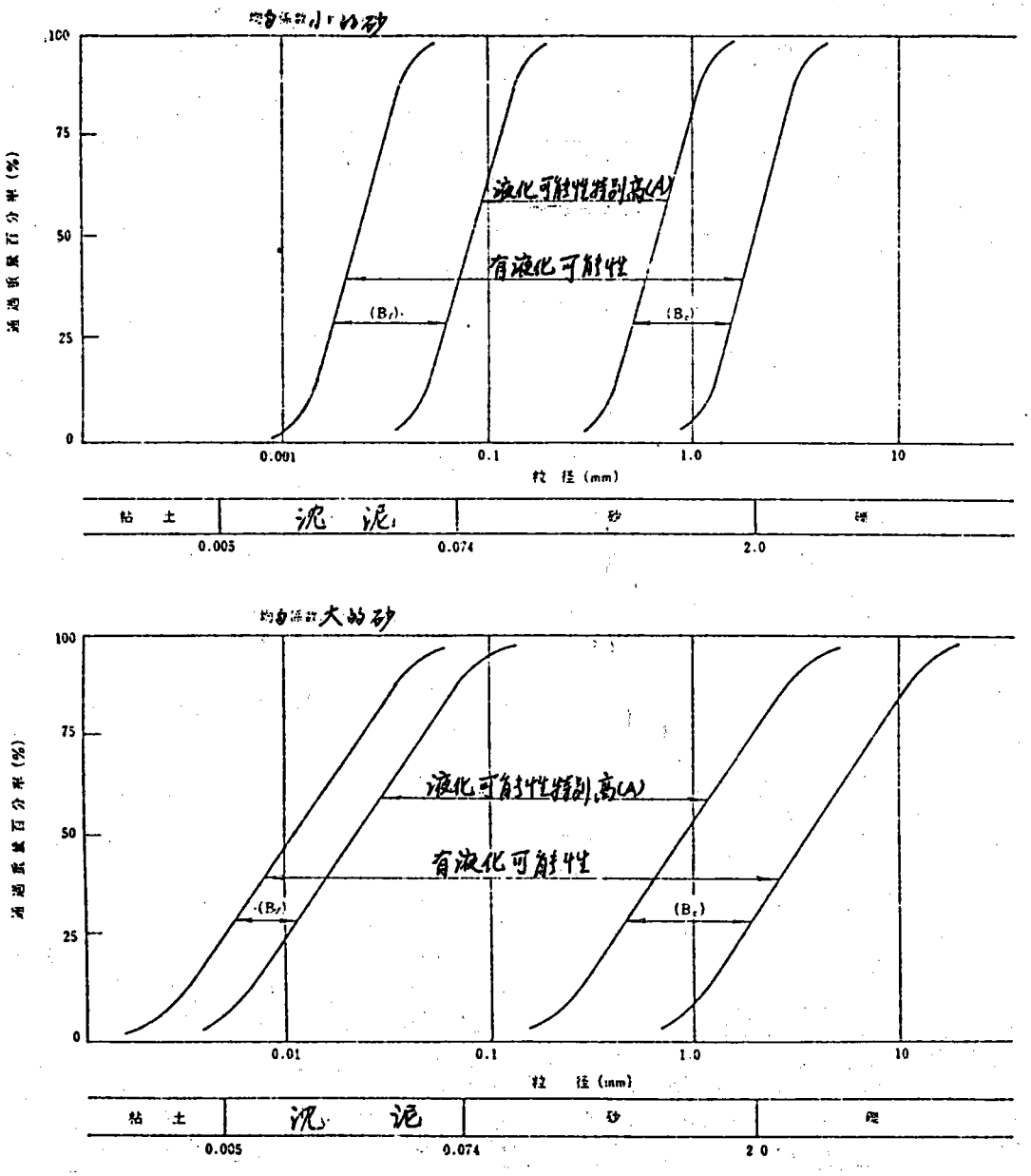


圖13-2 有液化可能性之土壤粒徑

(2)土增所含之粒徑在圖13-2 A與B_c之範圍內時，可依下式計算之。

$$(N)_{0.65}=\frac{N-1.828(\sigma'\nu-0.66)}{0.399(\sigma'\nu-0.66)+1} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(13-1)$$

上式中

$(N)_{0.66}$=N值之等值

N=土層之N值

σ'_{ν}=土層之有效上載壓力(Kgf/cm²)

但(13-1)式所適用的範圍爲$2 \leq (N)_{0.66} \leq 40$，$0 \leq \sigma'_{\nu} \leq 3$Kgf/cm²

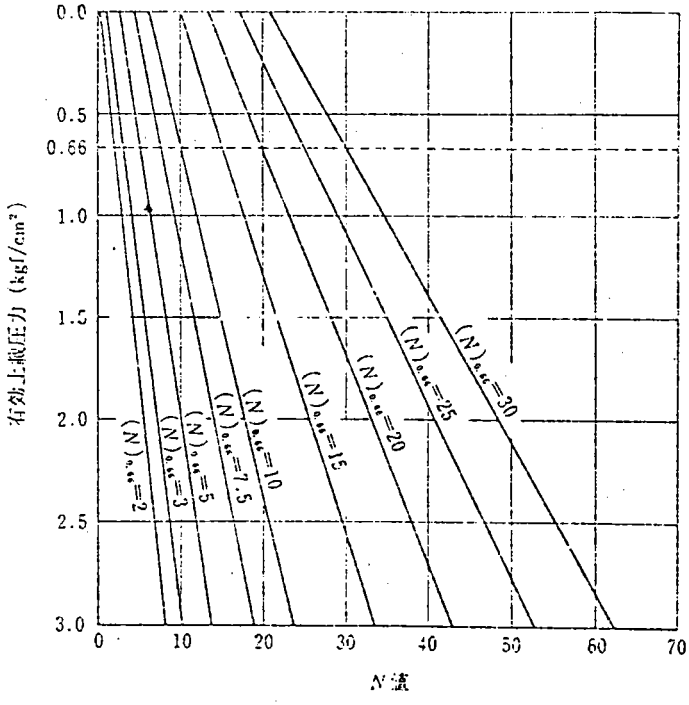


圖13-3 等值N值換算圖(直線表示相對密度一定時，N值與有效上載壓力之關係) 等值N值係將各土層之N值在有效上載壓力爲0.66 Kgf/cm²時，換算成同一相對密度土層之N值。而以地下水面附近土層之N值作爲液化之判斷。

(3)對含有圖13-2 A,B_f,B_c範圍內所含粒徑之土層，須作等值加速度之計算。此相當於1979年(昭和54年)港灣構造物設計標準預測法中所採用之最大加速度，而採用以地震計算所求得之地基最大剪應力，依下式計算各土層之等值加速度。

$$a_{eq}=0.7\times\frac{\tau_{max}}{\sigma'_{\nu}}\times g \quad \cdots\cdots\cdots\cdots (13\text{-}2)$$

上式中

a_{eq}=等值加速度(Gal)

τ max=最大剪應力(Kgf/cm²)

σ'_{ν}=有效上載壓力(Kgf/cm²)(計算等值加速度時之有效上載壓力係依地震時之地基高度求之)

g=重力加速度(980Gal)

(4)從對象土層的等值N值與等值加速度在圖13-4 所示Ⅰ～Ⅳ的範圍內加以研究。圖13-2粒徑在A範圍之土層，須與圖13-4(a)加以比較研討，而粒徑在B_f與B_c範圍之土層則與圖13-4(b)加以比較研討。更且粒徑在A範圍之土層中細粒成分(粒徑74μ以下之成分)在5%以上時,圖13-4(a)所示各界線範圍,其等值N值須如圖13-5所示之遞減係數加以降低再作研討。但爲權宜處理計， 各範圍界線降低替代各土層之等值N值須依圖13-5所示係數之比例求取其換算值來使用，亦可依圖13-4(a)加以研討。 其結果則是完全相同。

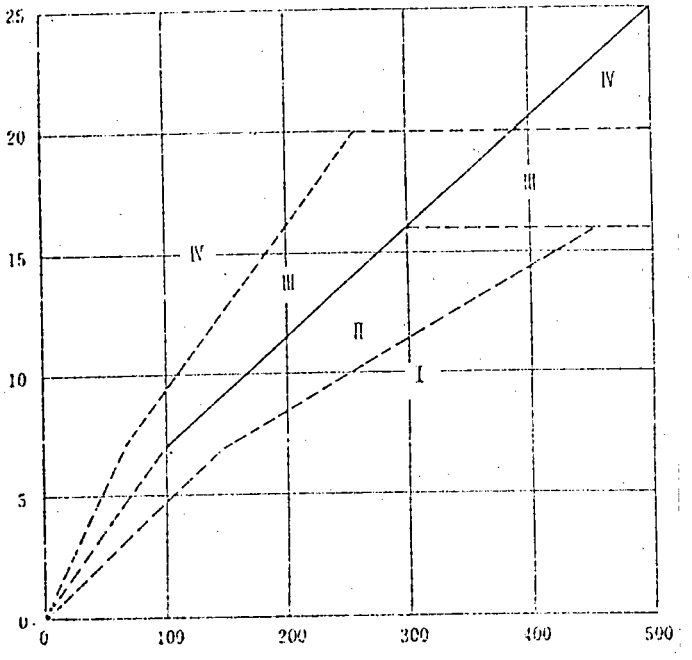


圖13-4(a)爲預測液化以等值加速度與等值N值所作之土壤分類
(對粒徑A範圍之土層)

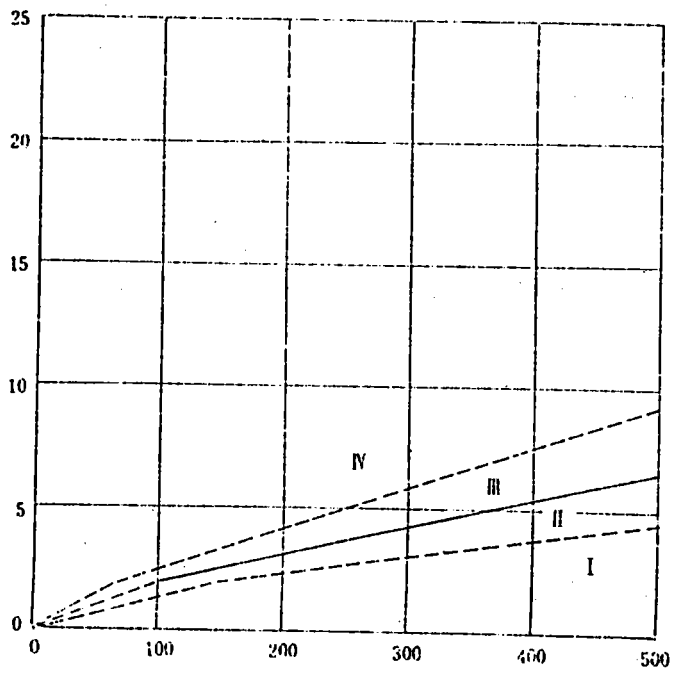


圖13-4(b)爲預測液化以等值加速度與等值N值所作之土壤分類
(對粒徑B_f與B_c範圍之土層)

又在B_c範圍之土層中，在較其土層之上層若存有粘土或沉泥層等透水性低的土層時，則須以A範圍土層相同的方法加以研討之。

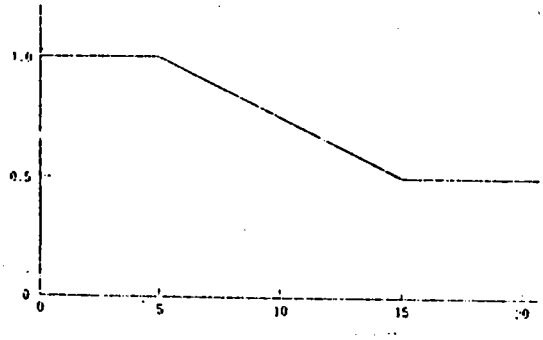


圖13-5對應於細粒成分臨界N值之遞減係數
(僅適用於粒徑A範圍之土層)

(5)因應(4)項之土壤分類，對各土層所作之液化預測及判斷則如表13-1 所示。而液化之判斷是以估計構造物的安全程度爲對象，但亦須考慮物理現象以外的因素，而對於各別預測結果的判斷則不能一概而論之。表13-1所示認爲對各項結果係一標準的判斷。因此須要以安全性來估計構造物爲對象時，表13-1之Ⅲ對液化的判斷須改依振動三軸試驗之判斷爲標準。

(6)依據(5)項所作各土層的液化判斷而言， 須考慮及被判斷液化土層的厚度與該土層存在的深度等，以作爲整體地基液化之研判。通常某一地基是否液化係依噴沙、噴水、沉陷等予以判斷。本項所謂以整體地基來觀察液化者，乃係因應噴砂、噴水、沉陷等液化所發生的程度而言。而整體地基液化的判斷，則須依個別實例加以綜合的判斷行之。

表13-1 以粒徑與N值所作各土層液化的預測及判斷

圖13-4所示之範圍	依粒徑與N值所作液化的預測	依粒徑與N值所作液化的判斷
Ⅰ	會液化	判斷爲會液化
Ⅱ	會液化的可能性很大	是否判斷爲會液化？須以振動三軸試驗來判斷決定之。
Ⅲ	不會液化的可能性很大	是否判斷爲不會液化？須以振動三軸試驗來判斷決定之
Ⅳ	不會液化	判斷爲不會液化

3.以振動三軸試驗結果來預測及判斷

(a)以粒徑與N值研討對象地基是否液化的預測法，無法判斷有無液化時，須以地基的地震震度計算兼作未受擾動砂的三軸試驗，以由兩者所得地震時地下的剪應力強度對地基的液化情形加以比較，作爲地基液化的預測及判斷。

(b)地基的地震度計算結果及振動三軸試驗可說是顯示地基內的實際現象，故非加以適當的修正不可。

(c)對地基整體的液化而言，則須依據各土層予以綜合的判斷。

13-3 液化對策

施作液化對策時，爲維持構造物的功能計，須加研討其適當的對策工法行之。

1.對液化對策工法而言，依下列事項加以適當的決定爲之。

(a)對策工法。

(b)對策工法的施工範圍(平面的範圍及深度)

(c)對策工法的細步設計。

2.液化對象工法可考慮如下：

①直接防止超額孔隙水壓的發生。

(a)壓密法

(b)替換法(以易於壓密的砂替換之)。

②謀求超額水壓力之消散

(c)設置排水管。

(d)替換法(以粗砂、砂礫等替換之)。

③是①與②併用之。

(e)單純的①與②併用之。

(f)考慮①及②與構造物的關係加以適當的安排。

3.液化對策時的地基改良範圍係爲維持構造功能所需要的範圍。

4.施以液化的對策之壓密時，壓密後之N值，必須爲本編13-2節液化之預測與判斷中所述確實可被判斷爲不液化之N值加以壓密爲原則。

5.在液化策對象工法的施工上，其設計之指標，須適當的予以顧慮到原有構造物之影響及周圍地區之影響。

第十四章　土壓力及水壓力

14-1 土壓力

作用於構造物之土壓力應依砂質土、粘性土等土質，構造物之種類及憑主動、被動等狀態，平時、地震時等的狀況而計算之。

14-2 平時之土壓力

14-2-1 砂質土之土壓力

1.主動壓力(Active earth pressure)(參考圖14-1)作用於牆面之主動土壓力強度以下式計算

$$\left.\begin{aligned} P_{ai} &= K_{ai}\left[\sum \gamma_i h_i + \frac{w\cos\psi}{\cos(\psi-\beta)}\right]\cos\psi \\ K_{ai} &= \frac{\cos^2(\phi_i-\psi)}{\cos^2\psi\cos(\delta+\psi)\left[1+\sqrt{\dfrac{\sin(\phi_i+\delta)\sin(\phi_i-\beta)}{\cos(\delta+\psi)\cos(\psi-\beta)}}\right]^2} \end{aligned}\right\} \cdots(14\text{-}1)$$

破壞面(Rupture Surpace)與水平所成之角度以下式求之

$$\cot(\zeta_i-\beta) = -\tan(\phi_i+\delta+\psi-\beta) + \sec(\phi_i+\delta+\psi-\beta)\sqrt{\frac{\cos(\psi+\delta)\sin(\phi_i+\delta)}{\cos(\psi-\beta)\cos(\phi_i-\beta)}} \cdots(14\text{-}2)$$

2.被主動壓力(Passive earth pressure)(參考圖14-1)作用於牆面之被動土壓力強度以下式計算

$$\left.\begin{aligned} P_{ai} &= K_{pi}\left[\sum \gamma_i h_i + \frac{w\cos\psi}{\cos(\psi-\beta)}\right]\cos\psi \\ K_{pi} &= \frac{\cos^2(\phi_i+\psi)}{\cos^2\psi\cos(\delta+\psi)\left[1-\sqrt{\dfrac{\sin(\phi_i-\delta)\sin(\phi_i+\beta)}{\cos(\delta+\psi)\cos(\psi-\beta)}}\right]^2} \end{aligned}\right\} \cdots(14\text{-}3)$$

破壞面(Rupture Surpace)與水平面之角度由下式計算

$$\cot(\zeta_i-\beta)=\tan(\phi_i-\delta-\psi+\beta)+\sec(\phi_i-\delta-\psi+\beta)\sqrt{\frac{\cos(\psi+\delta)\sin(\phi_i-\delta)}{\cos(\psi-\beta)\sin(\phi_i+\beta)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}4)$$

上式中

P_{ai}, P_{pi}=作用於i層土層下面牆面之主(被)動土壓力強度(tf/m²)

ϕ_i=i層之土層土壤內摩擦角(o)

γ_i=i層之土層土壤之單位體積重量(tf/m³)

h_i=i層土層之厚度(m)

K_{ai}, K_{pi}=i層土層之主(被)動土壓係數

ψ=牆面與垂直面所成之角度(o)

β=牆面與水平面所成之角度(o)

δ=牆面摩擦角(o)

ζ_i=i層土層破壞面與水平面所成之角度(o)

w=水平每單位面積之載重(tf/m²)

3.靜止土壓力(Earth pressure at rest)

牆之位移微小時，以下式求靜止壓力

$$P=K_o\sum\gamma h \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}5)$$

上式中 K_o=靜止土壓力係數

4.土壤之抗剪角(內摩擦角)

平時大約爲30°左右，如背塡良好時，當作40°計算亦可。

5.牆面摩擦角

牆面摩擦角以±15°～20°爲準

6.土壤單位體積重量

土壤單位體積重量爲

殘留水位以上者爲 1.8tf/m³

殘留水位以上者爲 1.0tf/m³

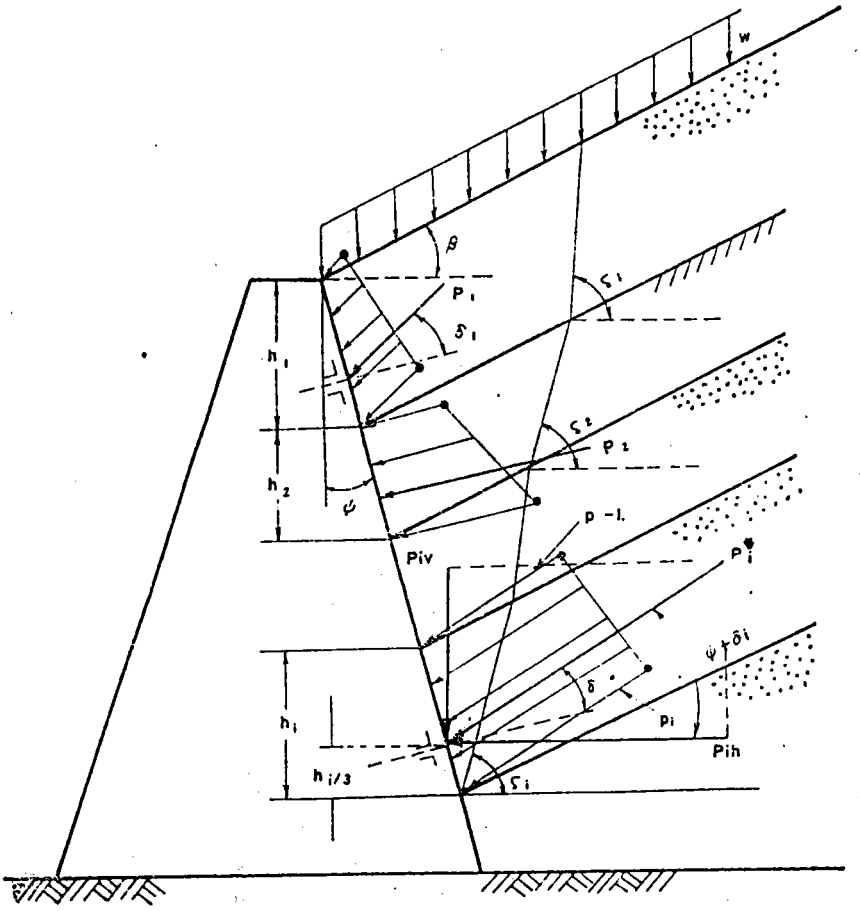


圖 14-1 土　　壓

註：

1.一般土壤向水平方向伸展時，在地層內各區，可發生滑動狀態之最大壓力稱爲主動土壓力，如土壤向水平方向被壓縮時之最小壓力稱爲被土壓力。如無充足之伸展或壓縮使其發生滑動時，因土壓係數不明，可依據土壤應變狀態，取 $K_a > K_o > K_p$之間之數值。

2.上例(14-1)～(14-4)之土壓公式，係先假設平坦破壞面，而且在破壞面將Coulomb氏之定律當作可成立時所求之Coulomb氏土壓力。此法並無準確之理論依據，雖然其他尚有種種計算土壓力方法，但此法較簡單，且所求土壓力非常接近實際值，故一般均採用此法。

3.因牆面之變位很小，接觸牆面之土壤不能充分發揮抗剪力時，應用靜止摩擦係數較合理。

4.牆面摩擦角(δ)符號之使用方法規定如下：

(1)主動土壓時，土壤沿牆面向下落之狀態爲『正』。

(2)被動土壓時，牆面將前面之土壤向下推動之狀態爲『負』。

上述兩種狀態爲正常，而與$\delta=0$時相比，主動土壓力減少而被土壓力增加，但如遇特殊情形時，亦有呈相反現象，即主動狀態而且牆頂載有巨大之集中荷重，將牆壁向地下壓入時，(δ)則變爲負，在被動狀態，因版樁之錨碇太深，拉桿變成傾斜，拉力之垂直分佈向上作用，錨碇版面即將前面之土壤向上推移，則(δ)變爲『正』。在此種現象時主動土壓力增加，被動土壓力減少。土壓力計算圖表中(δ)之符號使用方法與上述不同者亦有，使用圖表時對此點應加留意。

5.土壓合力須分層計算，在i層土層可用下式求之

$$P_i=\frac{P_{i-1}+P_i}{2}\ \frac{hi}{\cos\psi} \quad \cdots\cdots(14\text{-}6)$$

土壓合力之水平及垂直分力以下式計算

$$\left.\begin{array}{l}\text{水平分力}:P_{ih}=P_i\cos(\psi+\delta)\\ \text{垂直分力}:P_{iv}=P_i\sin(\psi+\delta)\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(14\text{-}7)$$

14-2-2 粘性土之土壓力

1.主動土壓力

作用於牆面之主動土壓力強度由下列兩式計算後，擇其對構造物較危險者，供作設計之依據，但由(14-8)式計算所得土壓力爲負時，則不予考慮。

$$P_a=\sum\gamma h+w-2C \quad \cdots\cdots(14\text{-}8)$$

上式中 P_a=各土層下面之牆面主動土壓強度(tf/m^2)

C=粘力(tf/m^2)

$$P_a=K_c(\sum\gamma h+w) \quad \cdots\cdots(14\text{-}9)$$

上式中 K_c=壓密平衡係數(Coefficient of Equilibrium)=0.5

2.被動土壓力

被動土壓力強度用下式計算

$$P_a=\sum\gamma h+w+2C \quad \cdots\cdots(14\text{-}10)$$

上式中 P_a=各土層下面之牆面被動土壓強度(tf/m^2)

3.靜止土壓力

$$P = K_o \sum \gamma h \quad \cdots\cdots (14\text{-}11)$$

上式中 K_o=靜止土壓係數

4.牆面摩擦

粘性土時，土壤與牆面間所作用之粘力，可以不計。

5.土壤之單位體積重量

粘性土之單位體積重由土壤試驗決定之，如不作土壤試驗時，以下列數值爲準。

(1)殘留水面以上者　1.8tf/m^3

(2)殘留水面以下者　1.0tf/m^3

註：

1.主動土壓力強度用前述(14-8)或(14-9)式計算出後，重力式構造物須採取大之土壓合成力。惟在版樁式構造物，對版樁之入土深度，版樁之應力及錨碇版之應力等，發生危險土壓分佈情形有所不同，設計時應加注意。

2.打設版樁岸壁時，其土質如係沖積土，則應用(14-9)式計算爲宜，此係由大規模型試驗及長時間之現場觀測結果。

3.粘性土之靜止土壓力係數普通爲0.6-1.0，惟在過壓密粘土，有時亦有達2.0-4.0。故應用時 K_o與 K_c需加以區別方可。

4.如將地面之傾斜，牆面之傾斜及牆面之粘力等加以考慮時，亦能用Coulomb方法求土壓力，且亦能繪製圖表。然粘力按壓密狀態而有變化，土壓力受潛變(Creep)等土壤之變形影響，故應用時須愼重加以檢討。

14-3 地震時之土壓力

14-3-1 砂質土之土壓力

1.主動土壓力

作用於牆面之土壓力強度，可用下式計算

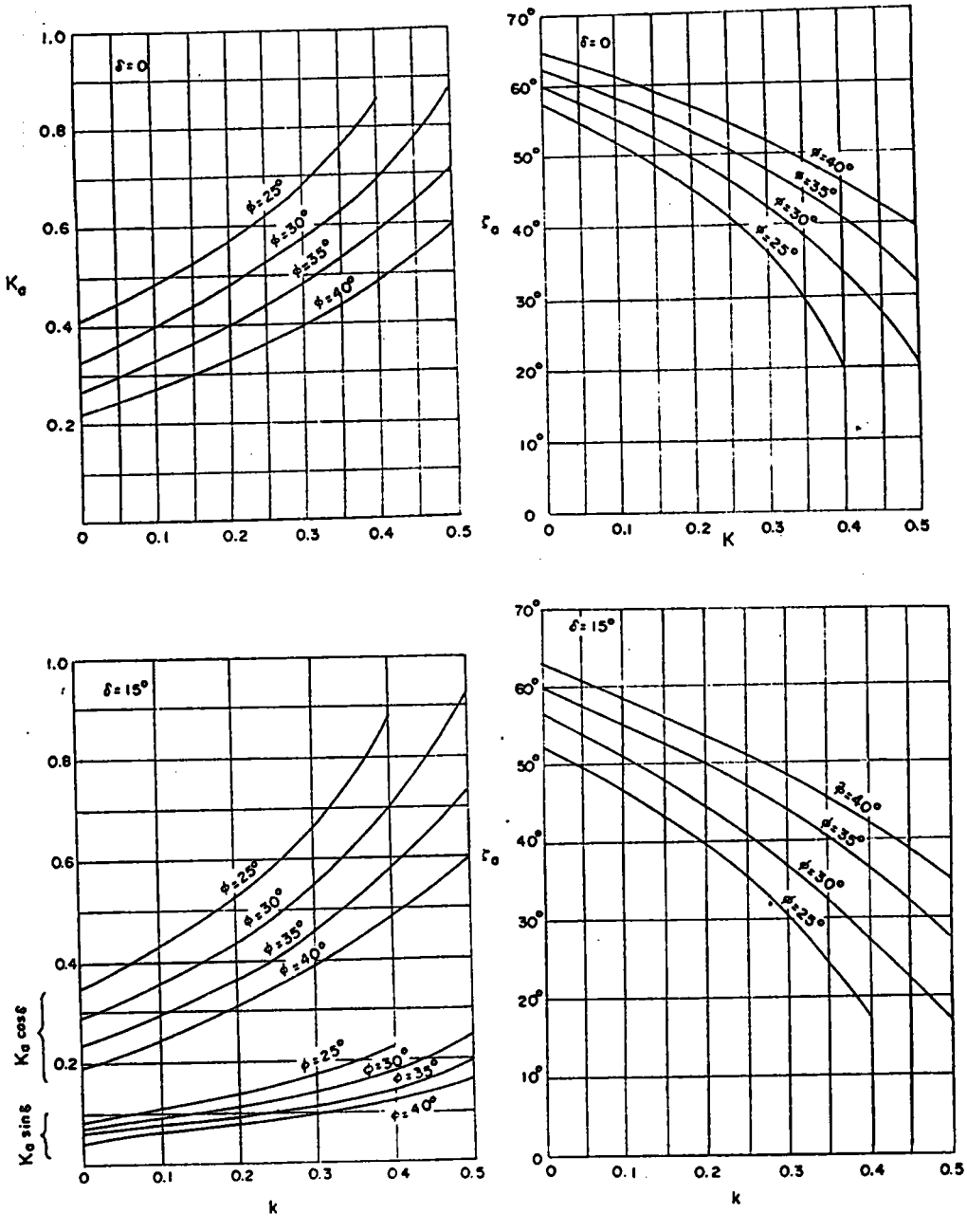


圖 14-2 主動土壓力係數與破壞角

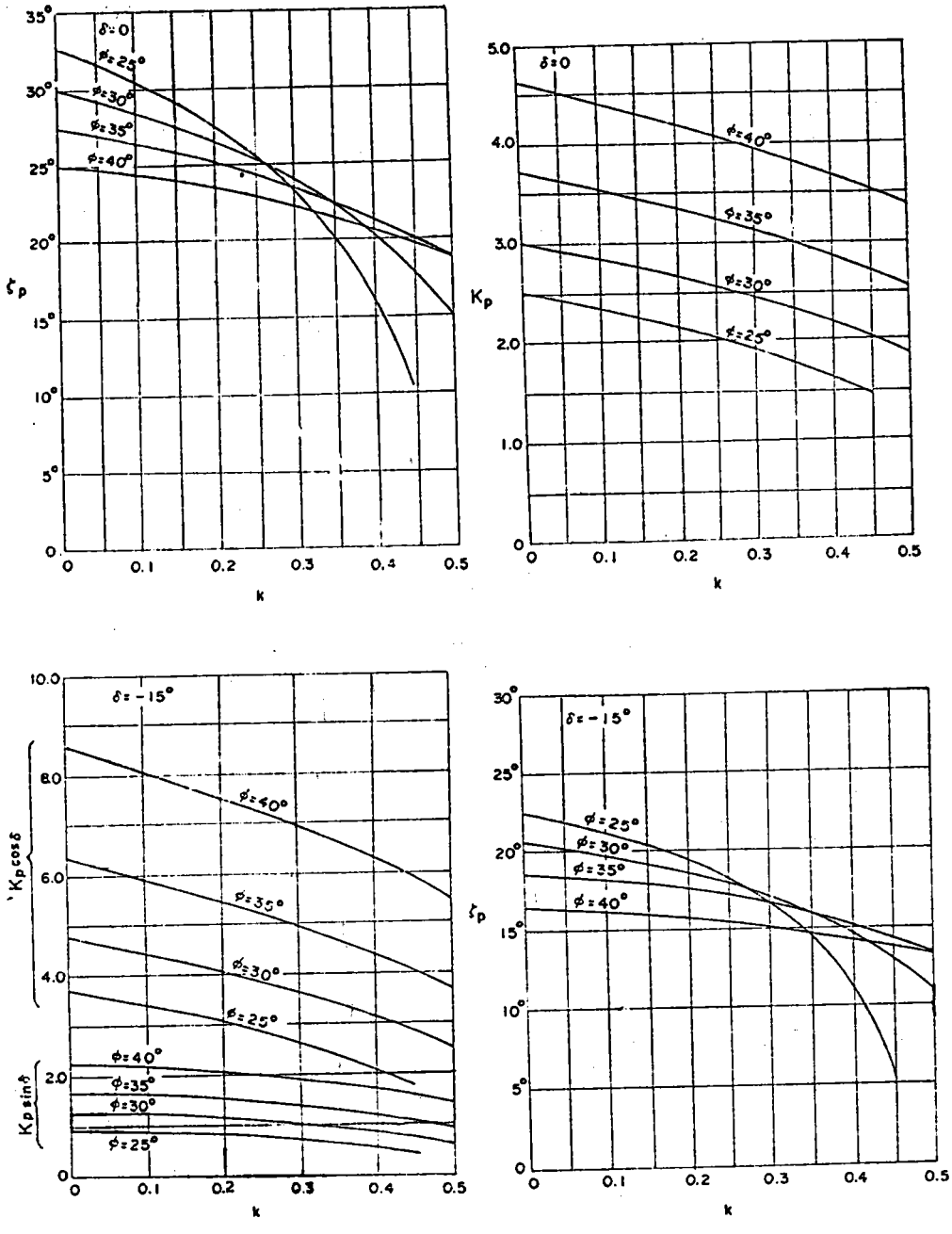


圖 14-3 被動土壓力係數與破壞角

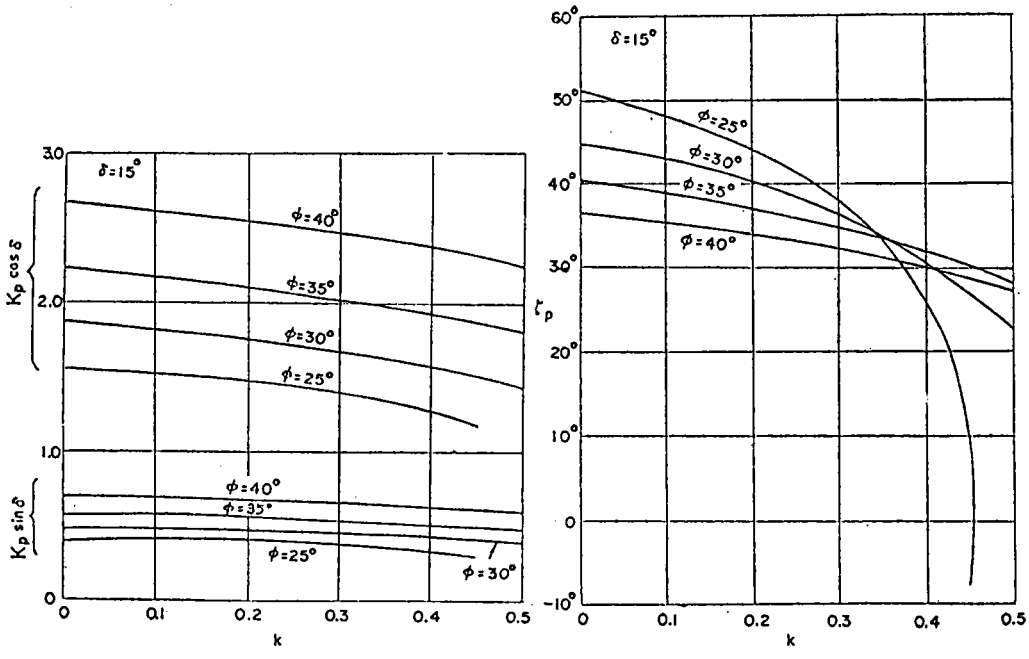


圖 14-4　被動土壓力係數與破壞角

表- 14.1(a) 土圧係数及び振角

$\phi=20^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.4903	2.0395	55.0	35.0
0.05	0.5273	1.9662	52.0	33.5
0.10	0.5688	1.8883	48.5	31.8
0.15	0.6164	1.8043	44.3	29.7
0.20	0.6722	1.7121	39.3	27.2
0.25	0.7405	1.6074	33.0	23.8
0.30	0.8310	1.4805	24.7	19.0
0.35	0.9358	1.2893	11.2	9.8
0.40				

$\delta=15^\circ$

0.00	0.4196	1.2995	49.5	59.7
0.05	0.4593	1.2866	46.1	57.9
0.10	0.5051	1.2714	42.3	55.8
0.15	0.5592	1.2533	37.9	53.1
0.20	0.6246	1.2312	32.8	49.7
0.25	0.7083	1.2031	26.8	44.8
0.30	0.8245	1.1648	19.3	37.1
0.35	1.0372	1.0971	8.3	20.0
0.40				

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.6389	2.9261	67.7	23.9
0.05	0.6689	2.7715	65.7	22.9
0.10	0.7013	2.6109	63.2	21.8
0.15	0.7367	2.4420	60.1	20.4
0.20	0.7760	2.2615	56.0	18.7
0.25	0.8213	2.0631	50.2	16.5
0.30	0.8769	1.8322	41.1	13.2
0.35	0.9618	1.5046	21.3	6.9
0.40				

$\phi=22^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.4550	2.1980	56.0	34.0
0.05	0.4905	2.1221	53.2	32.7
0.10	0.5301	2.0421	50.0	31.3
0.15	0.5748	1.9569	46.3	29.5
0.20	0.6264	1.8650	41.9	27.5
0.25	0.6874	1.7636	36.7	24.9
0.30	0.7630	1.6475	30.2	21.6
0.35	0.8664	1.5038	21.4	16.6
0.40	1.0779	1.2519	5.5	5.1

$\delta=15^\circ$

0.00	0.3908	1.4036	51.1	55.5
0.05	0.4282	1.3870	48.0	53.9
0.10	0.4710	1.3681	44.4	52.0
0.15	0.5207	1.3463	40.4	49.7
0.20	0.5797	1.3208	35.9	46.8
0.25	0.6520	1.2902	30.7	43.1
0.30	0.7454	1.2519	24.5	38.0
0.35	0.8793	1.1994	16.8	29.9
0.40	1.1761	1.0923	4.1	9.3

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.5800	3.2176	66.2	23.4
0.05	0.6109	3.0565	64.1	22.5
0.10	0.6442	2.8901	61.8	21.6
0.15	0.6803	2.7167	58.9	20.5
0.20	0.7201	2.5340	55.3	19.1
0.25	0.7650	2.3379	50.6	17.4
0.30	0.8175	2.1209	44.0	15.1
0.35	0.8844	1.8633	33.8	11.7
0.40	1.0058	1.4428	9.7	3.7

$\phi=23^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.4381	2.2826	56.5	33.5
0.05	0.4729	2.2054	53.8	32.3
0.10	0.5116	2.1243	50.7	31.0
0.15	0.5551	2.0383	47.2	29.4
0.20	0.6048	1.9461	43.1	27.5
0.25	0.6630	1.8455	38.2	25.3
0.30	0.7336	1.7324	32.3	22.4
0.35	0.8255	1.5981	24.8	18.3
0.40	0.9691	1.4120	13.7	11.4

$\delta=15^\circ$

0.00	0.3771	1.4565	51.9	53.8
0.05	0.4134	1.4383	48.8	52.2
0.10	0.4548	1.4179	45.4	50.4
0.15	0.5027	1.3946	41.6	48.3
0.20	0.5590	1.3678	37.3	45.7
0.25	0.6270	1.3362	32.4	42.4
0.30	0.7127	1.2978	26.7	38.1
0.35	0.8293	1.2479	19.8	31.7
0.40	1.0228	1.1706	10.5	20.1

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.5535	3.3764	65.7	23.1
0.05	0.5845	3.2116	63.7	22.3
0.10	0.6179	3.0418	61.4	21.4
0.15	0.6540	2.8655	58.6	20.4
0.20	0.6937	2.6808	55.2	19.2
0.25	0.7382	2.4844	50.9	17.7
0.30	0.7895	2.2703	45.1	15.7
0.35	0.8523	2.0253	36.8	13.0
0.40	0.9424	1.7033	22.2	8.2

$\phi=25^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.4059	2.4639	57.5	32.5
0.05	0.4393	2.3839	55.0	31.5
0.10	0.4762	2.3003	52.1	30.3
0.15	0.5174	2.2125	48.9	29.0
0.20	0.5640	2.1193	45.2	27.4
0.25	0.6175	2.0192	40.9	25.6
0.30	0.6805	1.9095	35.9	23.4
0.35	0.7578	1.7856	29.8	20.5
0.40	0.8603	1.6364	22.1	16.4

$\delta=15^\circ$

0.00	0.3507	1.5654	53.4	50.8
0.05	0.3852	1.5446	50.5	49.4
0.10	0.4241	1.5215	47.3	47.8
0.15	0.4687	1.4957	43.8	45.9
0.20	0.5203	1.4667	39.9	43.7
0.25	0.5814	1.4335	35.4	41.1
0.30	0.6558	1.3946	30.4	37.8
0.35	0.7506	1.3475	24.7	33.4
0.40	0.8823	1.2860	17.7	27.0

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.5048	3.7234	65.1	22.4
0.05	0.5357	3.5505	63.2	21.8
0.10	0.5689	3.3731	61.0	21.0
0.15	0.6048	3.1900	58.4	20.2
0.20	0.6439	2.9999	55.3	19.2
0.25	0.6873	2.8003	51.6	18.0
0.30	0.7362	2.5874	46.9	16.5
0.35	0.7935	2.3541	40.7	14.5
0.40	0.8651	2.0840	31.9	11.8

表- 14.1(b) 土圧係数と破壊角

$\phi=27^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.3755	2.6629	58.5	31.5
0.05	0.4076	2.5799	56.1	30.6
0.10	0.4429	2.4936	53.4	29.6
0.15	0.4821	2.4035	50.4	28.4
0.20	0.5259	2.3087	47.1	27.2
0.25	0.5756	2.2081	43.2	25.7
0.30	0.6330	2.0998	38.9	23.9
0.35	0.7009	1.9809	33.8	21.7
0.40	0.7852	1.8457	27.6	18.8

$\delta=15^\circ$

0.00	0.3259	1.6801	54.8	48.3
0.05	0.3536	1.6570	52.1	47.0
0.10	0.3953	1.6317	49.1	45.5
0.15	0.4371	1.6039	45.8	43.9
0.20	0.4849	1.5731	42.2	42.1
0.25	0.5406	1.5385	38.2	39.9
0.30	0.6069	1.4991	33.7	37.3
0.35	0.6880	1.4532	28.6	34.0
0.40	0.7925	1.3976	22.9	29.7

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.4608	4.1156	64.9	21.8
0.05	0.4913	3.9334	63.1	21.2
0.10	0.5240	3.7471	60.9	20.6
0.15	0.5593	3.5558	58.5	19.8
0.20	0.5976	3.3584	55.7	19.0
0.25	0.6396	3.1531	52.3	18.0
0.30	0.6864	2.9374	48.3	16.9
0.35	0.7397	2.7067	42.4	15.4
0.40	0.8027	2.4527	36.9	13.5

$\phi=28^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.3610	2.7698	59.0	31.0
0.05	0.3925	2.6852	56.6	30.2
0.10	0.4270	2.5975	54.1	29.2
0.15	0.4652	2.5061	51.2	28.2
0.20	0.5078	2.4104	47.9	27.0
0.25	0.5553	2.3092	44.3	25.6
0.30	0.6108	2.2010	40.2	24.0
0.35	0.6753	2.0834	35.4	22.0
0.40	0.7533	1.9522	29.8	19.6

$\delta=15^\circ$

0.00	0.3140	1.7401	55.5	47.1
0.05	0.3459	1.7160	52.8	45.9
0.10	0.3816	1.6897	49.9	44.5
0.15	0.4220	1.6610	46.8	43.0
0.20	0.4682	1.6293	43.3	41.3
0.25	0.5215	1.5941	39.4	39.3
0.30	0.5846	1.5545	35.1	36.9
0.35	0.6606	1.5090	30.4	34.0
0.40	0.7560	1.4550	25.0	30.4

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.4403	4.3311	65.0	21.4
0.05	0.4705	4.1428	63.1	20.9
0.10	0.5029	3.9525	61.0	20.3
0.15	0.5378	3.7566	58.6	19.6
0.20	0.5755	3.5549	55.9	18.9
0.25	0.6169	3.3460	52.8	18.0
0.30	0.6626	3.1276	49.0	16.9
0.35	0.7143	2.8961	44.5	15.6
0.40	0.7743	2.6452	38.8	14.0

$\phi=30^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.3333	3.0000	60.0	30.0
0.05	0.3635	2.9121	57.8	29.3
0.10	0.3966	2.8213	55.3	28.4
0.15	0.4329	2.7272	52.6	27.5
0.20	0.4733	2.6291	49.6	26.5
0.25	0.5183	2.5263	46.3	25.3
0.30	0.5693	2.4176	42.6	24.0
0.35	0.6279	2.3013	38.4	22.5
0.40	0.6967	2.1747	33.6	20.6

$\delta=15^\circ$

0.00	0.2911	1.8660	56.9	45.0
0.05	0.3215	1.8401	54.3	43.9
0.10	0.3554	1.8121	51.6	42.7
0.15	0.3935	1.7817	48.6	41.4
0.20	0.4366	1.7486	45.3	39.9
0.25	0.4861	1.7123	41.8	38.2
0.30	0.5434	1.6721	37.8	36.2
0.35	0.6112	1.6270	33.6	33.9
0.40	0.6934	1.5753	28.8	31.1

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.4019	4.8069	65.1	20.7
0.05	0.4315	4.6083	63.3	20.2
0.10	0.4631	4.4061	61.3	19.7
0.15	0.4970	4.1997	59.0	19.1
0.20	0.5337	3.9882	56.5	18.5
0.25	0.5736	3.7705	53.6	17.8
0.30	0.6174	3.5449	50.3	16.9
0.35	0.6661	3.3088	46.4	15.9
0.40	0.7214	3.0583	41.7	14.7

$\phi=32^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.3073	3.2546	61.0	29.0
0.05	0.3362	3.1632	58.8	28.3
0.10	0.3678	3.0690	56.5	27.6
0.15	0.4025	2.9719	54.0	26.8
0.20	0.4408	2.8711	51.2	25.9
0.25	0.4833	2.7661	48.1	25.0
0.30	0.5309	2.6560	44.7	23.9
0.35	0.5848	2.5396	40.9	22.6
0.40	0.6469	2.4150	36.7	21.1

$\delta=15^\circ$

0.00	0.2696	2.0011	58.2	43.1
0.05	0.2984	1.9735	55.8	42.1
0.10	0.3306	1.9439	53.1	41.0
0.15	0.3666	1.9122	50.3	39.8
0.20	0.4072	1.8778	47.2	38.5
0.25	0.4532	1.8405	43.9	37.1
0.30	0.5060	1.7998	40.3	35.4
0.35	0.5674	1.7547	36.4	33.5
0.40	0.6401	1.7043	32.1	31.3

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.3687	5.3521	65.4	19.9
0.05	0.3954	5.1406	63.6	19.5
0.10	0.4261	4.9259	61.7	19.1
0.15	0.4590	4.7073	59.6	18.6
0.20	0.4945	4.4842	57.2	18.0
0.25	0.5329	4.2557	54.5	17.4
0.30	0.5749	4.0203	51.5	16.7
0.35	0.6210	3.7763	48.1	15.9
0.40	0.6726	3.5211	44.1	15.0

表- 14.1(c) 土圧係数と破壊角

$\phi=33^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.2948	3.3921	61.5	28.5
0.05	0.3231	3.2988	59.4	27.9
0.10	0.3541	3.2030	57.1	27.2
0.15	0.3880	3.1041	54.6	26.5
0.20	0.4253	3.0019	51.9	25.6
0.25	0.4666	2.8956	48.9	24.7
0.30	0.5127	2.7846	45.7	23.7
0.35	0.5646	2.6677	42.1	22.6
0.40	0.6240	2.5434	38.1	21.2

$\delta=15^\circ$

0.00	0.2592	2.0724	58.8	42.2
0.05	0.2874	2.0441	56.4	41.2
0.10	0.3188	2.0138	53.9	40.2
0.15	0.3538	1.9814	51.1	39.1
0.20	0.3931	1.9465	48.1	37.9
0.25	0.4376	1.9088	44.9	36.5
0.30	0.4885	1.8677	41.4	35.0
0.35	0.5472	1.8226	37.7	33.3
0.40	0.6161	1.7726	33.6	31.3

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.3501	5.6549	65.6	19.5
0.05	0.3784	5.4364	63.9	19.1
0.10	0.4086	5.2147	62.0	18.7
0.15	0.4410	4.9894	59.9	18.3
0.20	0.4759	4.7598	57.6	17.8
0.25	0.5136	4.5250	55.0	17.2
0.30	0.5546	4.2838	52.1	16.6
0.35	0.5996	4.0348	48.8	15.9
0.40	0.6496	3.7756	45.1	15.0

$\phi=35^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.2710	3.6902	62.5	27.5
0.05	0.2981	3.5930	60.5	26.9
0.10	0.3277	3.4934	58.3	26.4
0.15	0.3601	3.3910	55.9	25.7
0.20	0.3956	3.2855	53.3	25.0
0.25	0.4347	3.1764	50.6	24.2
0.30	0.4780	3.0630	47.6	23.4
0.35	0.5265	2.9446	44.3	22.4
0.40	0.5811	2.8199	40.7	21.3

$\delta=15^\circ$

0.00	0.2393	2.2236	60.1	40.5
0.05	0.2662	2.1939	57.8	39.6
0.10	0.2960	2.1623	55.4	38.7
0.15	0.3292	2.1287	52.7	37.7
0.20	0.3664	2.0928	49.9	36.6
0.25	0.4081	2.0542	46.9	35.5
0.30	0.4554	2.0126	43.6	34.1
0.35	0.5094	1.9674	40.1	32.7
0.40	0.5720	1.9180	36.4	31.0

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.3189	6.3314	66.1	18.7
0.05	0.3462	6.0973	64.4	18.4
0.10	0.3754	5.8602	62.5	18.0
0.15	0.4067	5.6198	60.5	17.6
0.20	0.4403	5.3755	58.3	17.2
0.25	0.4766	5.1266	55.9	16.8
0.30	0.5158	4.8721	53.3	16.2
0.35	0.5586	4.6108	50.3	15.6
0.40	0.6057	4.3411	47.0	15.0

$\phi=37^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.2486	4.0228	63.5	26.5
0.05	0.2746	3.9214	61.5	26.0
0.10	0.3029	3.8178	59.4	25.5
0.15	0.3338	3.7115	57.2	24.9
0.20	0.3676	3.6024	54.7	24.3
0.25	0.4047	3.4899	52.1	23.6
0.30	0.4456	3.3737	49.3	22.9
0.35	0.4910	3.2529	46.2	22.1
0.40	0.5417	3.1269	42.9	21.2

$\delta=15^\circ$

0.00	0.2205	2.3873	61.3	38.9
0.05	0.2462	2.3564	59.1	38.1
0.10	0.2745	2.3237	56.8	37.3
0.15	0.3061	2.2890	54.3	36.4
0.20	0.3412	2.2521	51.6	35.4
0.25	0.3805	2.2128	48.7	34.4
0.30	0.4247	2.1707	45.6	33.3
0.35	0.4748	2.1253	42.4	32.0
0.40	0.5321	2.0763	38.9	30.6

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.2900	7.1196	66.6	17.8
0.05	0.3163	6.8676	65.0	17.6
0.10	0.3445	6.6129	63.2	17.3
0.15	0.3746	6.3550	61.2	17.0
0.20	0.4070	6.0936	59.1	16.6
0.25	0.4418	5.8280	56.9	16.2
0.30	0.4794	5.5574	54.4	15.8
0.35	0.5202	5.2810	51.7	15.3
0.40	0.5647	4.9973	48.6	14.7

$\phi=38^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.2379	4.2037	64.0	26.0
0.05	0.2633	4.1002	62.1	25.5
0.10	0.2910	3.9944	60.0	25.0
0.15	0.3212	3.8861	57.8	24.5
0.20	0.3542	3.7750	55.4	23.9
0.25	0.3903	3.6607	52.9	23.3
0.30	0.4301	3.5428	50.1	22.6
0.35	0.4741	3.4206	47.2	21.9
0.40	0.5231	3.2936	44.0	21.1

$\delta=15^\circ$

0.00	0.2115	2.4744	61.9	38.1
0.05	0.2365	2.4429	59.8	37.4
0.10	0.2642	2.4097	57.5	36.6
0.15	0.2949	2.3745	55.0	35.7
0.20	0.3291	2.3372	52.4	34.8
0.25	0.3673	2.2975	49.6	33.9
0.30	0.4101	2.2551	46.6	32.8
0.35	0.4585	2.2097	43.4	31.7
0.40	0.5135	2.1608	40.1	30.4

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.2763	7.5633	66.9	17.4
0.05	0.3022	7.3014	65.3	17.2
0.10	0.3298	7.0369	63.5	16.9
0.15	0.3594	6.7693	61.6	16.6
0.20	0.3911	6.4982	59.6	16.3
0.25	0.4252	6.2232	57.3	15.9
0.30	0.4620	5.9435	54.9	15.5
0.35	0.5018	5.6583	52.3	15.1
0.40	0.5451	5.3664	49.4	14.6

表- 14.1(d) 土圧係数及び傾角

$\phi=40^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.2174	4.5989	65.0	25.0
0.05	0.2418	4.4907	63.1	24.6
0.10	0.2632	4.3803	61.1	24.2
0.15	0.2970	4.2576	59.0	23.7
0.20	0.3284	4.1523	56.7	23.2
0.25	0.3628	4.0340	54.3	22.6
0.30	0.4005	3.9124	51.7	22.1
0.35	0.4419	3.7871	49.0	21.4
0.40	0.4878	3.6573	46.0	20.7

$\delta=15^\circ$

0.00	0.1942	2.6601	63.2	36.6
0.05	0.2181	2.6276	61.1	35.9
0.10	0.2444	2.5935	58.8	35.2
0.15	0.2736	2.5574	56.5	34.5
0.20	0.3060	2.5193	53.9	33.7
0.25	0.3421	2.4790	51.3	32.8
0.30	0.3823	2.4362	48.5	31.9
0.35	0.4275	2.3906	45.5	30.9
0.40	0.4786	2.3418	42.3	29.8

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.2506	8.5697	67.6	15.6
0.05	0.2754	8.2856	65.9	16.0
0.10	0.3020	7.9990	64.2	15.1
0.15	0.3304	7.7096	62.4	15.9
0.20	0.3608	7.4169	60.4	15.6
0.25	0.3935	7.1207	58.3	15.3
0.30	0.4287	6.8202	56.0	15.0
0.35	0.4667	6.5147	53.6	14.5
0.40	0.5078	6.2035	50.9	14.2

$\phi=42^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.1982	5.0447	66.0	24.0
0.05	0.2215	4.9314	64.2	23.6
0.10	0.2467	4.8161	62.2	23.2
0.15	0.2742	4.6986	60.2	22.8
0.20	0.3042	4.5786	58.0	22.4
0.25	0.3368	4.4559	55.7	21.9
0.30	0.3726	4.3301	53.2	21.4
0.35	0.4117	4.2009	50.6	20.9
0.40	0.4548	4.0678	47.9	20.3

$\delta=15^\circ$

0.00	0.1778	2.8630	64.3	35.2
0.05	0.2006	2.8296	62.3	34.6
0.10	0.2257	2.7946	60.1	33.9
0.15	0.2534	2.7578	57.9	33.3
0.20	0.2842	2.7190	55.5	32.5
0.25	0.3183	2.6782	52.9	31.8
0.30	0.3563	2.6350	50.2	31.0
0.35	0.3987	2.5892	47.4	30.1
0.40	0.4463	2.5406	44.4	29.2

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.2267	9.7676	68.2	15.7
0.05	0.2505	9.4577	66.7	15.5
0.10	0.2760	9.1453	65.0	15.3
0.15	0.3032	8.8303	63.2	15.1
0.20	0.3324	8.5124	61.3	14.9
0.25	0.3637	8.1910	59.3	14.6
0.30	0.3974	7.8658	57.1	14.3
0.35	0.4336	7.5362	54.8	14.0
0.40	0.4726	7.2014	52.3	13.7

$\phi=43^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.1891	5.2893	66.5	23.5
0.05	0.2117	5.1733	64.7	23.2
0.10	0.2364	5.0554	62.8	22.8
0.15	0.2633	4.9353	60.7	22.4
0.20	0.2925	4.8128	58.6	22.0
0.25	0.3244	4.6877	56.3	21.6
0.30	0.3592	4.5596	54.0	21.1
0.35	0.3973	4.4283	51.4	20.6
0.40	0.4391	4.2932	48.8	20.0

$\delta=15^\circ$

0.00	0.1700	2.9716	64.9	34.5
0.05	0.1922	2.9378	62.9	33.9
0.10	0.2167	2.9024	60.8	33.3
0.15	0.2438	2.8653	58.6	32.7
0.20	0.2737	2.8262	56.2	32.0
0.25	0.3069	2.7851	53.7	31.3
0.30	0.3438	2.7418	51.1	30.5
0.35	0.3849	2.6959	48.3	29.7
0.40	0.4309	2.6474	45.4	28.8

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.2154	10.4539	68.6	15.2
0.05	0.2387	10.1293	67.0	15.1
0.10	0.2636	9.8025	65.4	14.9
0.15	0.2903	9.4731	63.6	14.7
0.20	0.3189	9.1407	61.7	14.5
0.25	0.3495	8.8052	59.7	14.3
0.30	0.3824	8.4659	57.6	14.0
0.35	0.4177	8.1224	55.4	13.7
0.40	0.4558	7.7740	53.0	13.4

$\phi=45^\circ$

$\delta=0^\circ$

k	$K_a\cos\delta$	$K_p\cos\delta$	ζ_a(度)	ζ_p(度)
0.00	0.1716	5.8234	67.5	22.5
0.05	0.1932	5.7068	65.7	22.2
0.10	0.2157	5.5833	63.9	21.9
0.15	0.2423	5.4577	61.9	21.5
0.20	0.2702	5.3298	59.8	21.2
0.25	0.3005	5.1995	57.7	20.8
0.30	0.3336	5.0664	55.4	20.4
0.35	0.3695	4.9304	53.0	20.0
0.40	0.4091	4.7909	50.5	19.5

$\delta=15^\circ$

0.00	0.1550	3.2046	66.1	33.1
0.05	0.1761	3.1702	64.1	32.6
0.10	0.1994	3.1342	62.1	32.1
0.15	0.2251	3.0965	59.9	31.5
0.20	0.2536	3.0569	57.6	30.9
0.25	0.2851	3.0154	55.2	30.2
0.30	0.3199	2.9718	52.7	29.6
0.35	0.3587	2.9259	50.1	28.8
0.40	0.4018	2.8774	47.3	28.1

$\delta=-15^\circ$

0.00	0.1941	12.0412	69.3	14.4
0.05	0.2163	11.6835	67.8	14.2
0.10	0.2401	11.3236	66.2	14.1
0.15	0.2657	10.9612	64.4	13.9
0.20	0.2930	10.5952	62.6	13.7
0.25	0.3223	10.2281	60.7	13.5
0.30	0.3537	9.8566	58.7	13.3
0.35	0.3874	9.4812	56.6	13.1
0.40	0.4237	9.1015	54.3	12.8

$$P_{ai}=K_{pi}\left[\sum \gamma_i h_i+\frac{w\ \mathrm{Cos}\,\psi}{\mathrm{Cos}(\psi-\beta)}\right]\mathrm{Cos}\,\psi$$

$$K_{ai}=\frac{\mathrm{Cos}^2(\psi_i-\psi-\theta)}{\mathrm{Cos}\,\theta\,\mathrm{Cos}^2\psi\,\mathrm{Cos}(\delta+\beta+\theta)\left[1+\sqrt{\dfrac{\mathrm{Sin}(\phi_i+\delta)\mathrm{Sin}(\phi_i-\beta-\theta)}{\mathrm{Cos}(\delta+\psi+\theta)\ \mathrm{Cos}(\psi-\beta)}}\right]^2}$$

破壞面(Rupture Surpace)與水平面之角度由下式計算

$$\mathrm{Cot}(\zeta_i-\beta)=-\tan(\phi_i+\delta+\psi-\beta)+\mathrm{Sec}(\phi_i+\delta+\psi-\beta)\sqrt{\frac{\mathrm{Cos}(\psi+\delta+\theta)\mathrm{Sin}(\phi_i+\delta)}{\mathrm{Cos}(\psi-\beta)\ \mathrm{Sin}(\phi_i-\beta-\theta)}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}13)$$

上式中

θ=地震合成角，$\theta=\tan^{-1}K$ 或 $\theta=\tan^{-1}K'$

K=震度

K′=假震度

其他符號與14-2-1 砂質土之土壓力及圖14-1相同。

2.被動土壓力

作用於牆面之壓力強度，可由下式計算

$$P_{pi}=K_{pi}\left[\sum \gamma_i h_i+\frac{w\ \mathrm{Cos}\,\psi}{\mathrm{Cos}(\psi-\beta)}\right]\mathrm{Cos}\,\psi$$

$$K_{pi}=\frac{\mathrm{Cos}^2(\phi_i+\psi-\theta)}{\mathrm{Cos}\,\theta\,\mathrm{Cos}^2\psi\,\mathrm{Cos}(\delta+\psi-\theta)\left[1-\sqrt{\dfrac{\mathrm{Sin}(\phi_i-\delta)\mathrm{Sin}(\phi_i+\beta-\theta)}{\mathrm{Cos}(\delta+\psi-\theta)\ \mathrm{Cos}(\psi-\beta)}}\right]^2}$$

破壞面(Rupture Surpace)與水平面所成之角度由下式計算

$$\cot(\zeta_1-\beta)=\tan(\phi_1-\delta-\psi+\beta)+\sec(\phi_1-\delta-\psi+\beta)\sqrt{\frac{\cos(\psi+\delta-\theta)\sin(\phi_1+\delta)}{\cos(\psi-\beta)\sin(\phi_1+\beta-\theta)}}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}15)$$

上式中

θ=地震合成角，$\theta=\tan^{-1}K$ 或 $\theta=\tan^{-1}K'$

K=震度

K′=假震度

其他符號與14-2-1 砂質土之土壓力及圖14-1相同。

3.牆面摩擦角

普通在±15°以下

4.殘留水位上下之土壓力

(1)在殘留水面以上者，用空氣中震度求土壓強度。在殘留水附近爲不同性質之土層時，按殘留水面上下各土層在空氣中之震度求其土壓強度。

(2)在殘留水面以下者，對各土層之上下面，用假震度計算土壓力。

(3)在土層內者，將境界面之壓力強度，以直線連結。

註：

1.平時之土壓力，在地震時究竟作如何變化，迄今尚未明瞭，僅從過去大地震時，岸壁所受損害情形推測，大概可以利用(14-12)與(14-14)二式所計算之土壓力，作用於地震時之構造物。在(14-12)與(14-14)兩式之相似之假設條件下，利用振動臺作振動試驗結果顯示如土樣係乾土壤，以上述(14-12)式計算土壓力，作用於地震時之構造物較符合。

2.當β=0，ψ=0時之 K Cosδ，K Sinδ及ξ之數值，如圖14-2，圖14-3，圖14-4及表14-1(a)～(d)所示。

3.日本松尾及大原二氏建議，地震時作用於重力式岸壁之壓力爲平時之土壓力加上以背塡土當作彈性體所作計算之振動土壓力，作用於岸壁前面由(14-20)式(即Westergaard公式)計算之動水壓力，加上作用於岸壁背面而由Westergaard公式所求動水壓力之70%。

4.日本市原氏建議，地震時作用於不動牆壁之土壓力，將平時之靜止土壓力加上地震時之土壓力增加量即可。

14-3-2 粘性土之土壓力

1.主動土壓力

地震時對構造物的安全而言，須考慮以震度土壓力公式計算之。

2.被動土壓力

地震時對構造物的安全而言，應以適當的土壓力公式計算之。

註：

1.主動土壓力強度可以(14-16)公式計算之。

$$P_a=\frac{(\Sigma\gamma h+\omega)\mathrm{Sin}(\xi_a+\theta))}{\mathrm{Cos}\,\theta\ \ \mathrm{Sin}\,\xi a}-\frac{C}{\mathrm{Cos}\,\xi a\ \mathrm{Sin}\,\xi a}\ \cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}16)$$

破壞面與水平所成之角度則以(14-17)公式求之。

$$\xi a=\tan^{-1}\sqrt{-\left(\frac{\Sigma\gamma h+2\omega}{2C}\right)\tan\theta}\ \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}17)$$

上式中

P_a=主動土壓力強度(tf/m^2)

r=土壤之單位體積重量(tf/m^2)

h=土層厚度(m)

w=上面載重(tf/m^2)

c=粘土之粘力(tf/m^2)

θ=地震合成角(°)，$\theta=\tan^{-1}K$ 或 $\theta=\tan^{-1}K'$

K=震度

K'=假震度

ξa=破壞面與水平所成之角度(°)

2.對於粘性土地震時被動土壓力的求法，不詳之處尚多，以往本篇是採用粘性土之土壓力公式(14-10)所示以平時土壓力計算公式求之，如今仍以權宜之方法以(14-10)公式求之。

3.在海底面下求取粘性土地震時之土壓力時，按土層深度分別應用之公式如下：

甲、粘土層比海底面下10ᵐ更深處之土壓力計算方法如下：

(甲)海底面及海底面以上之土壓強度，可依照上述(1)項公式計算。

(乙)在海底面以下時，將海底面下10ᵐ深度之震度當作零，亦照上述(1)項公式計算土壓力。然計算結果所得數值如較海底面數值小時，即改用在海底面計算之數值。

(丙)海底面與海底下10ᵐ間之土壓力當作直線變化，即與深度成比例而變化(參照圖14-5(a))。

(丁)較海底面下10ᵐ更深處之土壓力強度，可比照14-2-2節『粘性土之土壓力』求之。

乙、粘性土在比海底面下10ᵐ淺處，且夾雜相當程度之砂層時，其土壓力計算方法如下：

(甲)海底面及海底面上之土壓力，依照第(1)項公式計算。

(乙)海底面以下之粘土層，可將至海底面下10ᵐ止視爲全粘土層，依照上述甲項方法計算土壓力後，當作實際粘土層部份之土壓力。但如所計算之土壓力數值比在海底面計算之土壓力數值爲小時，即改用海底面之數值。

(丙)粘土層下面之砂層土壓力，則用14-3-1『砂質土之土壓力』所例(14-12)及(14-14)兩公式在砂層上下面計算土壓力強度，以直線連結，參照11-2-1『砂質土之土壓力』。

(丁)砂層土之粘土壓層壓力，可將上面視爲全粘土層，依照14-2-2『粘性土之土壓力』所述方法求之(參照圖14-5(b))。

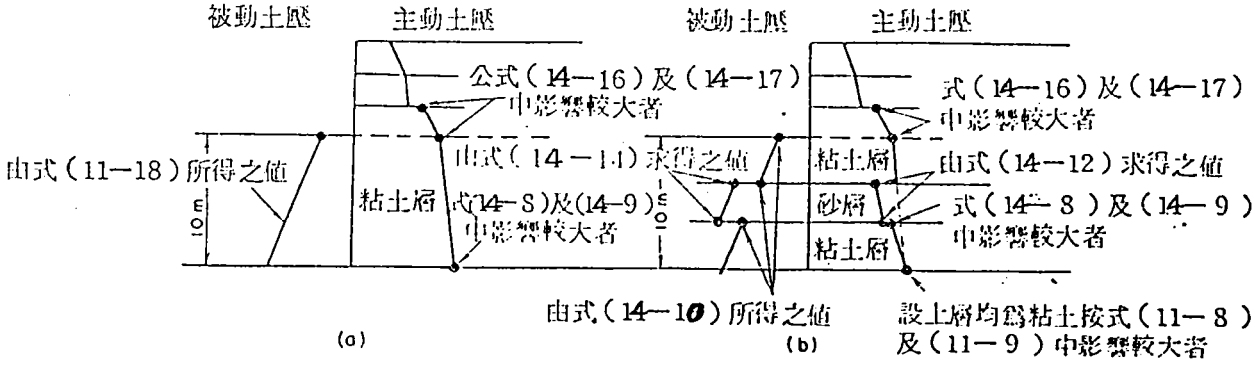


圖 14-5 粘土層之土壓力

14-3-3 假震度

對水面下之土壤在地震時土壓力的計算，須採用(14-18)式以假震度求之。

$$k'=\frac{r}{r-1}\cdot k \qquad (14\text{-}18)$$

上式中

k'=水中之假震度

k=空氣中之震度

r=被水飽和之土壤在空氣中的單位體積重量(tf/m^3)

1.在地震時水下之土壤係假設其土粒子與水成一整體之運動，而作用於土壤的地震力爲土壤飽和重量之假震度。同時水面下之土壤受浮力的關係因此作用於土壤的垂直力即爲土壤在水中之重量。故地震時作用於水面下土壤之合力與空氣中者迴異。而計算地震時之土壓力，對於水面下之土壤須用假震度代入地震合成角，再依地震時以空氣中土壤的土壓公式求得土壓力。以作用於水面下土壤之垂直力求取土壓力時，因欲求土層之假震度受該土層以上土層重量及載重之影響，故需併入計算。爲考慮這些影響因素併入時，應採用下列之(14-19)及(14-20)公式求之。採用上述(14-18)公式是水面上無土層及無載重時之假震度。

2.荒井氏與橫井氏之公式

用(14-19)公式計算土壓力時，須加考慮作用於牆面前面的動水壓力。

$$K'=\frac{2(\sum rh_i+\sum r_t h_j+w)+r_t h}{2\{\sum rh_i+\sum (r_t-1)h_j+w\}+(r_t-1)h}K \qquad (14\text{-}19)$$

上式中

h_i=殘留水位以上土層之厚度(m)

$h_{j\,i}$=殘留水位以下欲求土壓力土層上面之土層厚度(m)

h_j=殘留水位以下欲求土壓力之土層厚度(m)

r=土壤之單位體積重量(tf/m^3)

r_t=土壤飽和後之單位體積重量(tf/m^3)

w=每一單位面積之載重(tf/m^2)

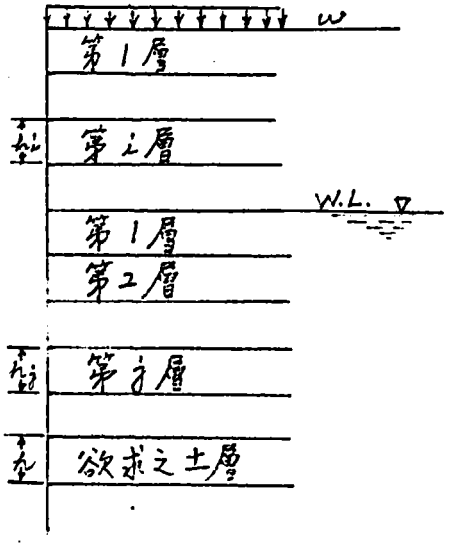


圖 14-6 假震度之符號

3.二建氏之公式

$$K'=\frac{\Sigma rh+r_{\omega}h_{\omega}+w}{\Sigma rh+w}K \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14\text{-}20)$$

上式中

r=土壤之單位體積重量(tf/m³)

r_{ω}=海水之單位體積重量(tf/m³)

h=土層之厚度(m)

h_{ω}=土層浸水之深度(m)

w=每一單位面積之載重(tf/m²)

14-4 水壓力

14-1-1 殘留水壓力

岸壁背填料內之水位與岸壁前之水位，如有高低差時須由下式計算作用於岸壁的殘留水壓力。

$0 \leq y < h_{\omega}$ 時

$P_{\omega}=\gamma_{\omega}\, y$

$h_{\omega} \leq y$ 時 $\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (14\text{-}21)$

$P_{\omega}=\gamma_{\omega}\, h_{\omega}$

上式中

P_ω=殘留水壓力(tf/m²)

h_ω=殘留水位差即背填料內之水位比岸壁前面高時之最大水位差(m)

y=自背填料內之水面至欲求殘留水壓力點止之深度(m)

γ_ω=水之單位體積重量(tf/m³)

h_ω之大小視岸壁排水之良否及潮位差而有別，故須就附近構造物加以調查後予以決定。對重力式岸壁之h_ω，如背填料、基礎塊石及構造物之接縫等排水情形良好時，則不必考慮。但對粘性土，尤其排水不良之構造物，須加考慮。普通h_ω取岸壁前潮位差之1/3～2/3。

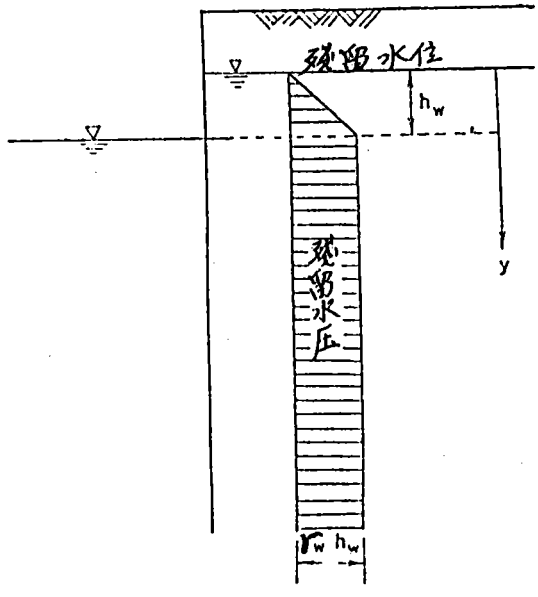


圖 14-6 殘留水壓力

因岸壁係不透水性結構物或背填料之透水性小，以致背填料內水位變化比岸壁前水位變化緩慢，而使兩水位間發生高低差。因此作用於岸壁前之水壓力與作用岸壁背面之水壓力亦不同，雖然作用於岸壁之前面與背面的水壓力有所不同，但是可視爲兩水位差之水壓力作用於該岸壁上。故設計岸壁，僅須考慮岸壁背填料內水位比岸壁前面之水位高到最大時之水位差即可。而由該兩水位差作用於岸壁之水壓力，即本節所述之殘留水壓力。

作用於岸壁前面及背面之水壓力，如背填料內或岸壁前面之地層中無水流時即爲靜水壓力。但岸壁前面與背面如有水位差時，則背填料內之水經背填料下面之地層及岸壁前地層向岸壁外流出，或發生相反之水流。如發生此種現象時，則作用於岸壁之水壓力與靜水壓力不同。 圖14-7(a)所示爲版樁岸壁無水流時之水壓力，分佈情形如虛線所示爲靜水壓力。惟實際上，背填料中之水經岸壁下面向岸壁前面流出，其水壓力分佈情形即變成如(a) 圖中實線所示部份。故作用於版樁之水壓力爲圖14-7(b)實線所示部份。 背填料中之水向岸壁前面流動時，其背後之土壓力增加，而岸壁前面之水壓力反而減少，故背填料中之水位比岸壁前面水位高出甚多時，對高低兩水位分界處之結構，須特別加以檢討。

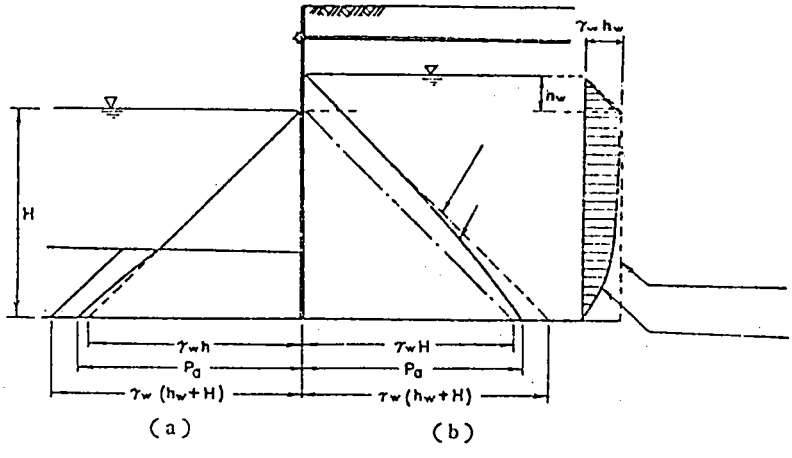


圖 14-7 回填層內之水通過壁底流出時水壓分佈

14-4-2 地震時之動水壓力

在水中之構造物及構造物內部的一部份空間或全部盛以水時，須考慮地震時的動水壓力。

1.動水壓力之計算，須考慮構造物的特性，構造物的剛性，整體之安定條件等。

2.構造物內部的空間盛以液體時，須憑該液體考慮動態壓力。

3.現在所用的動水壓力計算法係依據穩態振動所求得的動水壓力。若考

慮及其他外力等的位移關係時，設計上須採用不規則振動求取其動水壓力。

4.作用於岸壁之動水壓力。

重力式碼頭及版樁式碼頭，在地震時岸壁前面之海水會發生動水壓力並作用於岸壁。以往對岸壁前面海水所引起之動水壓力，並不視爲外力設計之先例。然依據研究結果，認爲設計岸壁時，須考慮岸壁前海水所引起之動水壓力較爲合理，今後似應以此觀念進行設計。以上所述，並非認爲因現在採用之不考慮動水壓力設計法，有發生動水壓力之危害，而是現在所用之設計方法，係依據以往之種種經驗逐步加以改善，故雖未考慮動水壓力，但可推想在設計之某部份，對未考慮之動水壓力，於不知不覺之中已加以彌補，故在整個設計仍能保持安全。因此對原來之設計法，如再加上岸壁前之動水壓力時，其設計則會變成過份安全。故如欲對原來之設計法，再加岸壁前之動水壓力時，須先明瞭在原來設計法之某部份，是否於不知不覺中，將岸壁前之動水壓力加以考慮，再決定對原來之設計法，是否需要另加岸壁前之動水壓力。但建立新設計法時，希望能將岸壁前之動水壓力，加以用外力設計計算之，設計水壩時，作用於壩體之動水壓力，爲其考慮之主要外力之一，故動水壓力之研究與水壩設計，甚相類似，Westergaard氏對此方面之研究，最有成就。故Westergaard氏建議作用於壁體之動水壓力以下列公式求之。

$$P_{d\omega}=\pm\frac{7}{8}K\gamma_{\omega}\sqrt{Hy} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}21)$$

上式中

$P_{d\omega}$=作用於岸壁前之動水壓力(tf/m^3)

k=震度

γ_{ω}=水之單位體積重量(tf/m^3)

y=水面至欲求動水壓力點止之深度(m)

H=壁體前面之水深(m)

由上式所求之動水壓力，係將地震之加速度振動當作 Kg(g爲重力加

速度）之正弦動時，作用於壁體之動水壓力之最大數值或最小數值。實際作用於壁體之水壓力，係靜水壓力與動水壓力二者之和，故由上式所計算之數值，如爲正號時，表示作用於壁體之動水壓力比靜水壓力爲大如負號時，則比靜水壓力爲小。動水壓力依壁體之振動而變化，故如壁體與地層之相對變位小，又將地震視爲正弦振動時，可將上述兩個數值視爲最大值與最小值作週期性的變化。

日本煙野氏指出Westergaard氏之解法，在數學上尚有不週全之處，其對共振週期及其以下之週期不能適用。並提供此Westergaard氏更正確之解法。 其他尚有日本安藏氏對地震時作用於岸壁之動水壓力亦從理論導出解法。設計岸壁考慮動水壓力時， 可應用Westergaard公式。 日本煙野氏所作數學解法因用無限級數計算，應用上非常不便，且所指Westergaard氏之解法在數學上之不完備各點，於設計岸壁等港灣構造物方面並無影響。作用於岸壁之地震力與動水壓力間之關係，如地震當作正弦振動向海側變化時，則岸壁前面之水壓力變成比靜水壓力更小，在外觀上岸壁被拉出海側。因此可將以(14-21)式用正號所計算之動水壓力，使其作用於與地震力同一方向即可。然由(14-21)式所求之動水壓力係作週期性增減，故由(14-21)式所求之動水壓力並非經常作用於岸壁，對此點須加以注意。

目前爲止，對動水壓力之研究，均以地震作爲正常之正弦振動，惟實際上地震並非正弦振動。此點今後尚須繼續研究。

5.設計一長方體空間盛以水，如水受長方體一邊平行方向振動之地震力時，作用於與振動方向成垂直之壁體之動水壓力，可以下式計算之（參照圖14-8）。

$$P_{d\omega}=\pm\frac{7}{8}CK\gamma_{\omega}\sqrt{H_y}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(14\text{-}22)$$

上式中

$P_{d\omega}$=動水壓力(tf/m²)

k=震度

γ_{ω}=水之單位體積重量(tf/m³)

y=水面至欲求動水壓力點止之深度(m)

H=水深(m)

C=調整係數

在下列兩種條件下，作用於底面之動水壓力，可由下式求之。

$\frac{L}{H}$ ＜1.5時　　C=L/1.5H

$\frac{L}{H}$ ≧1.5時　　C=1.0

$$P_{d\omega}=\pm\frac{7}{8}CK\gamma_{\omega}H\frac{\cosh\left(\frac{\pi}{2}\frac{x}{H}\right)-\cosh\left(\frac{\pi}{2}\frac{L-x}{H}\right)}{\sinh\left(\frac{\pi}{2}\frac{L}{H}\right)}\quad..(14\text{-}23)$$

上式中

L=振動方向長方體之一邊長度(m)

x=自振動方向成垂直之壁體至欲求動水壓力之距離(m)

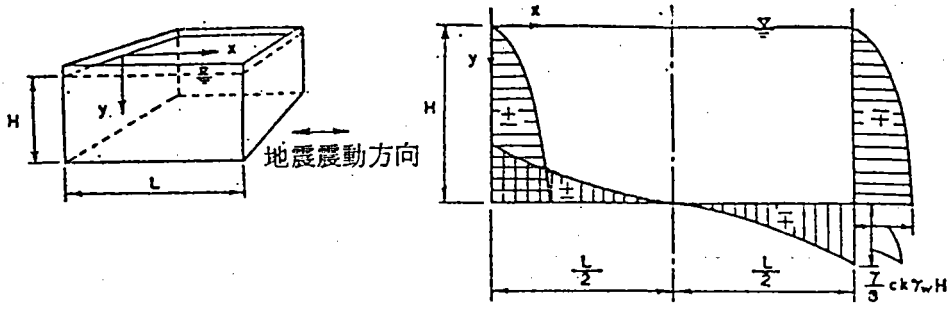


圖 11-8　中空四方體之動水壓力

長方體容器內之水，受長方體一邊平行之振動力時，作用於與振動方向成垂直之壁面之動水壓力之合成力，依Werner與Standquist二氏之理論所求結果，如圖14-9所示，即L/H=0～3.0之間，動水壓力之合力逐漸增加

L/H＞3.0時，則動水壓力之合力維持一定數值。然Werner與Standquist二氏係利用非常複雜之公式求動水壓力之合力，應用上頗覺不便，爲計算方便，根據下述理由，仍應用(14-22)式計算。

(1)如圖14-9虛線示，L/H＞1.5時，其動水壓力之合力與用Westergaard 公式所求者相近。

(2)L/H＜1.5時，動水壓力之分佈情形與用Westergaard 公式所求者有相同之趨勢，其合力係採用隨震度而減小之近似公式計算。

(3)實際上L/H變小時，動水壓力之分佈情形接近均勻分佈，故在 L/H＜0.5求壁體下端之力矩時，用Westergaard 公式所求者較實際略小，然實用上並無影響。

若需要準確之動水壓力分佈情形及力矩時，可用Werner與Standquist二氏之計算公式。使用符號之區別與作用於壁體之動水壓力者相同。但在一端採取正號之動水壓力時，在他端則需採取負號，故就整個有水容器而言，須受作用於一端之動水壓力兩倍之水平力作用。縱使係水平方向之振動，底面亦須受動水壓力之作用。此種動水壓力視爲與以無限級數所表示之Werner與Standquist二氏之解法第一項之分佈相同，並使其與在兩端作用於垂直壁體之動水壓力能成爲一致而定。關於長方體以外之容器內動水壓力(例如圓筒內之動水壓力可參考 Werner與 Standquist等原著『On Hydrodynamic Earthquake Effects』, Trans. of A.G.U., Vol30, No.5 (1949)。

6.地震時之土壓力用假震度計算時，作用於Coulomb氏士楔內孔隙用之地震力，亦同時包括在土壓力內求出，故在此種情形時， 不必再考慮因孔隙水引起之動水壓力。如背填料之透水性較大時，可以推想到在地震時,孔隙水所引起之動水壓力作用於岸壁。 對此點以往曾作各種研究，然迄今尚未獲得結論，可供作設計之依據，有待今後再繼續研究的必要,故作上述『背填料之地震時土壓力用假震度計算時， 則對背填料中孔隙水所引起之動水壓力，不必特別加以考慮』。

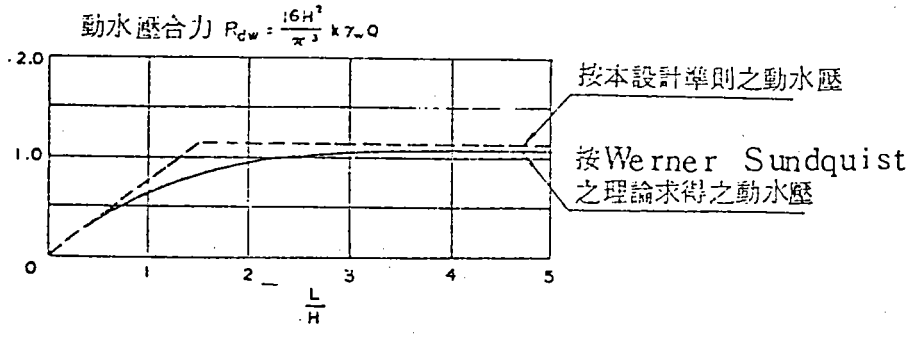


圖 14-9 Werner 與 Sandquist 方法與本規範方法求得動水壓力之比較

第十五章　載　重

15-1 概說

在設計港灣設施時，應須考慮載重。

載重分爲靜荷重與載荷重兩種。

1.靜荷重:構造物本身的荷重。

2.載荷重:分爲裝載荷重與活荷重兩種。

(1)裝載荷重:包括碼頭、通棧、倉庫等裝載之雜貨、散貨等重量。而在冬季會積雪的區域，其碼頭上的積雪亦視爲裝載荷重。

(2)活荷重:如汽車、裝卸機械等動態荷重，故在設計港灣構造物時須考慮下列之荷重。普通對荷重所引起之衝擊荷重、煞車荷重、開車起動荷重、離心荷重 則均不加以考慮。

(a)火車荷重

(b)汽車荷重

(c)牽引車連拖車荷重

(d)裝卸機械荷重

(e)群衆荷重

15-2 靜荷重

計算靜荷重所用之材料單位體積重量以表15-1爲準，已知重量之材料用其數值即可。

表15-1 材料之單位體積重量　　(單位:tf/m³)

材　　料	單位體積重量
鋼	7.85
鑄　鋼	7.85
鑄　鐵	7.25
無筋混凝土	2.3
鋼筋混凝土	2.45

木　　材	0.8
瀝青混凝土	2.3
石　　材	2.6
砂、小石子、塊石(乾)	1.6
砂、小石子、塊石(濕)	1.8
"　(飽和狀態)	2.0
"　(水　中)	1.0

15-3 裝載荷重

15-3-1 平時的裝載荷重

平時的裝載荷重須對貨物的種類、包裝、數量、裝卸方法及放置時間等慎重的加以考慮後予以決定。

1. 普通在計算構造物之整體安全性時，將碼頭、通棧及倉庫等規劃爲一區，其允許裝載荷重則取其平均數值，如碼頭規劃爲一區時，其允許之平均裝載荷重之大小，依其繫船碼頭的規模與處理貨物的種類大致上均有一定之值，可參考以往的設計實例。例如雜貨碼頭時是以0.5tf/m²～3tf/m²者爲多。而計算構材時，則採直接作用於購材之荷重，普通以1tf/m²～3tf/m²爲準。
2. 碼頭的裝載荷重與通棧、倉庫等裝載荷重非加以區別不可，因爲碼頭的裝載荷重影響碼頭的安全計算甚鉅，尤其對裝卸貨物的種類、包裝、數量、裝卸方法及放置時間等均須慎重的加以考慮。
3. 普通倉庫之允許裝載荷重及散裝貨物之單位體積重量如表15-2及表15-3。

表 15-3　散裝貨之單位體積重量　　(單位：t/m³)

名稱	重量
焦炭	0.5
煤(塊)	0.9～1.0
煤(粉)	1.0～1.1
鐵鑛石	2.0～3.0
水泥	1.5
砂、小卵石、塊石	1.9

表 15-2 普通倉庫載重

名稱	捆裝狀態	單位面積每日之載重	普通堆積高度
米穀類	蔴袋、草袋、袋	2.0~3.5 t/m²	3.0~5.0 m
油類	罐、箱	2.0~3.5	3.5~5.0
棉花，羊毛	布包	1.0~2.0	3.0~4.0
生糸，糸類	布包	1.0~2.0	3.0~4.0
水泥	袋	3.0~3.5	
金屬以及其製品		2.0~3.5 t/m²	0.5~2.5 m
肥料	草袋	2.0~2.5	2.5~5.0
砂糖、飲料、罐頭等食品		1.0~3.0	2.0~4.5
針織品及其製品	布包、木箱	1.0~2.5	1.5~4.0
紙、紙漿及其製品	板條包	1.0~2.5	1.5~4.0
鑛物，藥品	罐箱包	1.5~3.5	2.0~4.5
機械、器具及雜品	箱	0.5~1.5	1.5~4.0

註：(1) 每單位面積之載重即爲除去通道外，載重區域之每單位面積所載之重量。

(2) 通棧以處理貨物及臨時儲放貨物爲目的，故其單位面積載重可比上表數值爲小。

(3) 單位面積之載重與堆高數值，按各貨物之種類而有差別，其上限，下限之數值，不一定相對應。

15-3-2 地震時之裝載荷重

設計時對將來地震發生時，於某地點是否有某種荷重存在，應愼重考慮後，加以決定地震時的裝載荷重。

地震時裝載荷重存在與否，須依通棧、倉庫、露置場、碼頭等設施加以區分之。如通棧、倉庫、露置場等，可考慮其經常存放貨物，故地震時之裝載荷重與平時之裝載荷重相同。又如護岸則經常不放置貨物，故不論平時或地震時均可將其裝載荷重視爲零。而碼頭則因船隻靠岸後，在裝卸時間內，碼頭上會有相當的裝載荷重。但不裝卸時，碼頭上裝載荷重之大小與裝載情形則會有很大的變動。故此類設施設計者須考慮依貨物的種類、裝卸的形態及碼頭構造的型式等，應用或然率的理論方法加以研討後決

定地震時之裝載荷重。然目前此種或然率的理論方法尚未成立，故只好由設計負責人，作愼重的考慮後，決定地震時的裝載荷重。而在普通碼頭之地震裝載荷重，大致採取平時之1/2爲多。

15-3-3 不均佈裝載荷重

> 普通對整個構造物之安全，以碼頭面、通棧及倉庫等視爲一區域，將不均佈荷重折算爲均佈荷重後，予以計算。但如係巨大之集中荷重時，不得折算爲均佈荷重，仍須以集中荷重加以檢討。

在一規劃區內全部的貨物無論如何均無法使其載重達成均勻分佈，通常可將其不均佈載荷換算爲均勻載荷。但是貨物之載荷有時非將其視爲集中荷重(線荷重或點荷重)不可。例如放置鋼材料時，地下先舖以木材，此時鋼材料的重量則可視線荷重之作用。

而考慮規劃成一區時，以均勻視之將其納入替換之均勻分佈荷重之值中時，仍須留意集中荷重之作用。例如板樁式碼頭，在其碼頭直立壁項端後面如有巨大荷重作用時，則有可能發生危險。而棧橋式碼頭在其樑的突出部份或樑、地板的中央帶有集中荷重作用時，則有遭致損害之虞，而這些可能性在設計時須詳加考慮。

15-3-4 雪荷重

> 冬季會下雪的地區，雪荷重最好能加以研討。

1. 冬季會下雪的地區，在碼頭上積存的雪被卡車滾壓而凝固後，則成爲裝載荷重，故雪荷重最好加以研討。
2. 普通雪荷重以100Kgf/m²者爲多。
3. 可施行除雪作業之碼頭，雪荷重多爲一個晚上的積雪量爲準。此時須充分的考慮以往的最大積雪量，下雪時的氣象狀況、雪質、積雪的單位體積重量及除雪情況，由設計者加以決定雪荷重。

15-4 活荷重

> 活荷重包括火車荷重、汽車荷重、牽引機連拖車荷重、車載起重機荷重、有軌起重機荷重、貨櫃裝卸機荷重。普通對荷重所引起之衝擊荷重、煞車荷重、開車起動荷重、離心荷重，均不加以考慮。

15-4-1 火車荷重

> 火車荷重普通是依鐵路建造規章的活荷重爲標準，在K荷重及S荷重中，採用對構造物最大之影響者。

依據日本鐵路建造規章進出碼頭火車活荷重之標準如圖15-1所示，普通以 KS-12～KS-15爲標準。

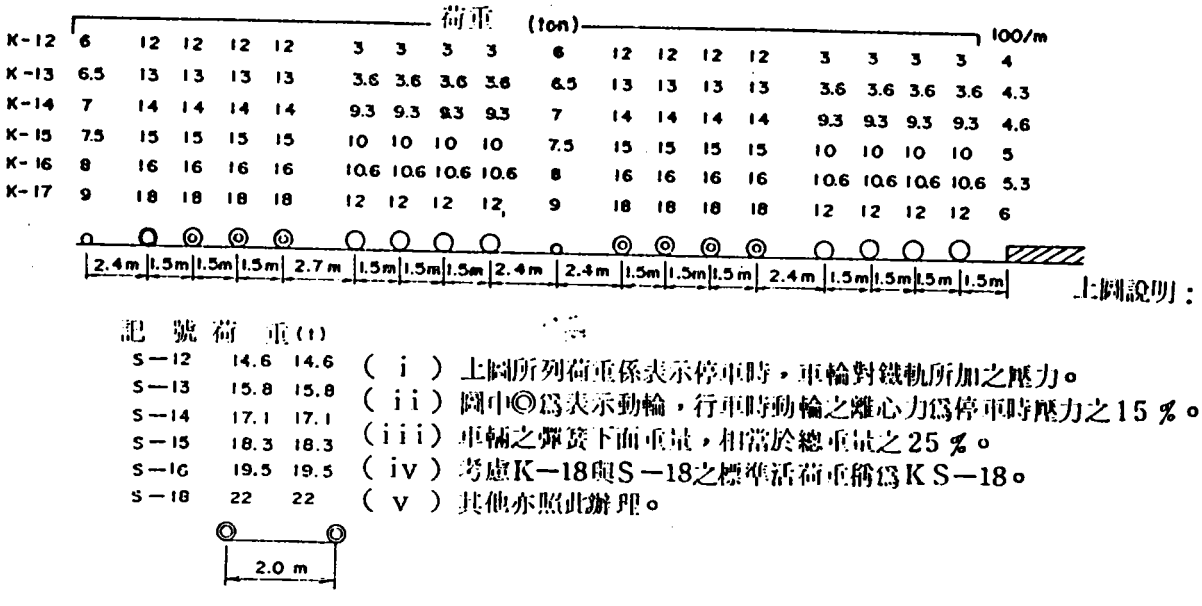


圖 15-1 鐵 路 標 準 活 荷 重

15-4-2 汽車荷重

> 汽車荷重須依公路橋樑設計規範辦理。

1.以汽車荷重爲設計標準時，則15-4-5所述之行人荷重不必另加考慮。

2.公路橋樑設計規範所規定之汽車荷重如圖15-2與表15-4及圖15-3與表15-5所示。

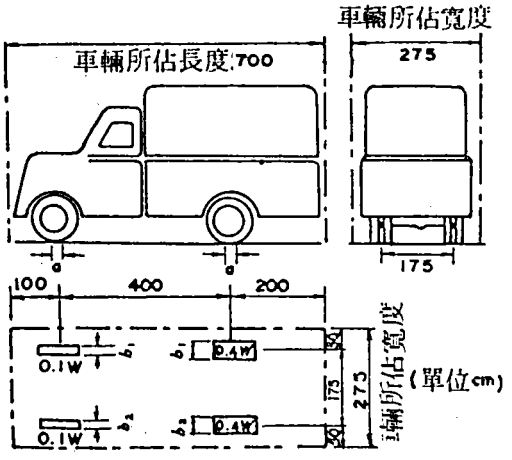


圖 15-2 T 荷 重

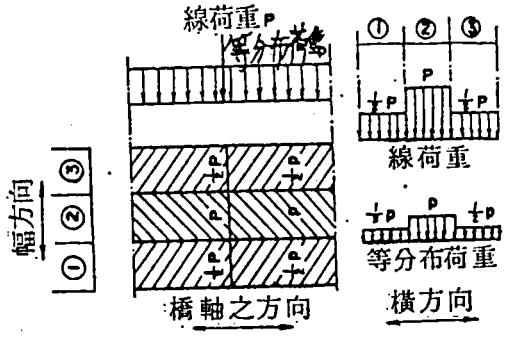


圖 15-3 L 荷 重

表 15-4 T 荷 重

橋之等級	荷 重	總重量 W(t)	前輪荷重 0.1W(kg)	後輪荷重 0.4W(kg)	前輪輪寬 b_1(cm)	後輪輪寬 b_2(cm)	車輪接地長 a(cm)
一 等 橋	T — 20	20	2,000	8,000	12.5	50	20
二 等 橋	T — 14	14	1.400	5,600	12.5	50	20

表 15-5 L 荷 重

橋之等級	荷 重	主荷重			副荷重
		線荷重	等分布荷重		主荷
		P (kg/m)	$l \leq 80$	$l > 80$	
一 等 橋	L — 20	5,000	350	430—l	重之 50 %
二 等 橋	L — 14	一 等 橋 之 70 %			

15-4-3 牽引車連拖車荷重

將預計使用之牽引車與拖車連結後，所發生最大之車輪荷重，即爲牽引車連拖車之設計用荷重。

1.應就預計使用之牽引車與拖車，用一切配合方式連結後所發生之荷重，加以檢討後取其最大者，作爲設計荷重。然爲簡便起見，由預計使用之拖車中，選其裝載後可發生最大車輪荷重之拖車，再由可能與該車連結之牽引車中，擇其與該拖車連結後，可產生最大輪荷重之牽引車，將二者配合連結後所產生之荷重，視爲設計荷重亦可。
2.牽引車與拖車之代表性配合方式，如圖15-4及表15-6。
3.國際標準化機構(ISO)建議之貨櫃標準規格如表15-7所示。

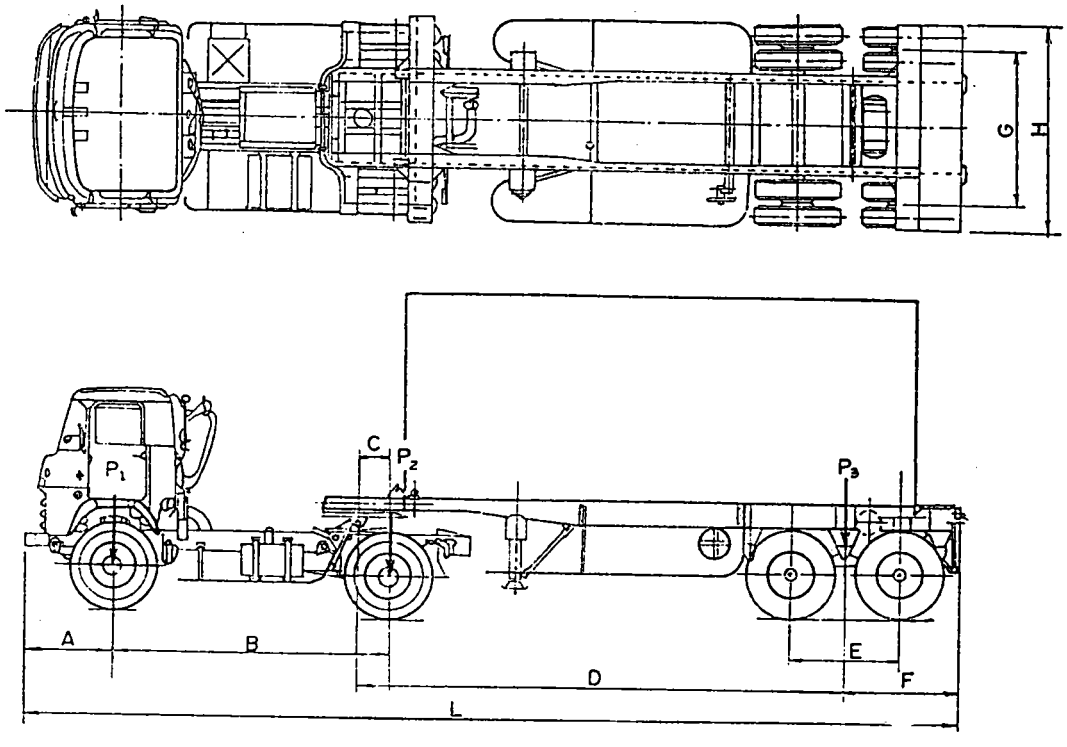


圖 15-4 牽引車與拖車連接圖

表 15-6 牽引車連拖車荷重之例

項目 / 用途	組合 牽引車 + 拖車	諸元 -front overhang A	tractor wheel base B	off set C	trailer wheel base D	軸距 tandem E	rear over hang F	tread C	全寬 H	連結全長 L	最大裝載量	軸重 P_1	P_2	P_3	車輛總重量
		mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	kg	kg	kg	kg	kg
20英尺用	T811ZR+CT220B	1,060	3,300	365	5,850	1,230	1,350	1,800	2,480	11,310	20,320	4,046	9,830	15,440	29,315
40英尺用	8TC81T+FT40CC	1,000	3,300	490	7,420	1,245	3,635	1,820	2,440	14,925	25,000	5,155	9,785	19,805	34,745
40碼專用	T810BD改+TCY401	1,250	3,100	420	0,000	1,300	2,890	1,780	2,600	15,840	30,430	4,810	13,346	23,070	41,228

表 15-7 國際標準化機構 (ISO) 1968 年建議貨櫃標準規格

貨櫃名稱	高度 mm	公差 mm	ft in	公差 in	寬 mm	公差 mm	ft in	公差 in	長度 mm	公差 mm	ft in	公差 in	公稱總重量 t
1A	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	12,190	+2 −8	40	0 −0.375	30
1B	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	9,125	0 −10	29 11.25	0 −0.375	25
1C	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	6,055	+3 −3	19 10.5	0 −0.25	20
1D	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,990	+1 −4	9 9.75	0 −0.1875	10
1E	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	1,965	+3 −2	6 5.5	0 −0.1875	7
1F	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	2,435	+3 −2	8	0 −0.1875	1,460	0 −3	4 9.5	0 −0.125	5
2A	2,100	0 −5	6 10.5	+0.1875 0	2,300	0 −5	7 6.5	+0.1875 0	2,920	0 −5	9 7	0 −0.1875	7
2B	2,100	0 −5	6 10.5	+0.1875 0	2,100	0 −5	6 10.5	+0.1875 0	2,400	0 −5	7 10.5	0 −0.1875	7
2C	2,100	0 −5	6 10.5	+0.1875 0	2,300	0 −5	7 6.5	+0.1875 0	1,450	0 −5	4 9	+0.0625 −0.125	7

15-4-4 裝卸機械荷重

車載起重機及貨櫃裝卸機等移動式裝卸荷重，與有軌裝卸機荷重及固定裝卸機荷重如下：

(1)移動式裝卸荷重是將預計使用之起重車最大車輪荷重或履帶之最大接地壓力，當作設計用之車載起重機荷重。

(2)有軌起重機在計算整個構造物安全時，可用全重或作用於構造前柱之重量，計算購材時，可用最大車輪荷重。

(3)固定式裝卸機荷重則用最大荷重。

1.車載起重機(Mobil Crane)爲膠輪起重機(Wheel Crane)、卡車起重機(Truck Crane)及履帶起重機(Crawler Crane)之總稱。其主要規格如表15-8。 而貨櫃裝卸機爲船上貨櫃裝卸時所使用的裝卸機械，即跨載機(Straddle Carrier)、貨櫃移載機(transfer Crane或Transtainer)、正面堆高機(Front Fock Life)及側載機(Side Loader)等之總稱。圖15-5及表15-9爲貨櫃裝卸機之代表性實例。移動式裝卸機其他尚有堆高機測速機。所使用之車載起重機如膠輪起重機、卡車起重機等，因其集中荷重的作用頗大，故設計時應預估其最危險的載荷當作設計時之荷重。圖15-6爲貨櫃起重機之例。

表 15-8 膠輪起重機膠輪卡車起重機及履帶式起重機之實例

(1) 膠輪起重機

	吊重	全寬	全長	軸距	輪距	壓船重量	最小回轉半徑	最大車輪荷重力(吊起重物時)
膠輪起重機	5 t 以下	2.24 m	6.28 m	1.90 m	前 1.77m 後 1.22	6,200 kg	3.80 m	outrigger 6,100 支架
		2.20	5.80	2.30	前 1.68 後 1.60	6,500	5.50	4,150
		2.38	7.15	2.20	前 2.00 後 1.70	6,000	4.60	3,560
		2.24	折 7.80	2.60	前 1.76 後 1.68	8,600	6.50	4,980
	5 t 以上 10 t 以下	2.40	11.80	2.49	前 2.00 後 2.00	8,000	7.00	6,500
		2.50	11.90	2.40	前 2.10 後 2.10	11,550	5.70	6,700
		2.48	6.40	2.70	前 1.82 後 1.80	10,000	5.40	outrigger 8,500 支架
		2.50	11.70	2.60	前 2.06 後 2.06	16,000	7.00	outrigger 12,980 支架
		2.89	11.25	2.60	前 2.35 後 2.35	14,500	7.50	6,700
	10 t 以上 15 t 以下	2.64	11.90	2.60	前 2.20 後 2.20	17,500	7.20	10,830
		2.76	12.60	2.60	前 2.13 後 2.13	16,000	7.00	9,900
		3.12	19.80	3.50	前 2.53 後 2.53	32,000	12.65	17,300
		2.62	16.80	1.85	前 2.00 後	29,000	9.50	15,000
	15 t 以上 20 t 以下	2.43	折 8.19	3.05	前 1.63 後 1.83	15,200	8.38	10,100
	20 t 以上	2.82	10.10	3.35	前 2.19 後 2.08	27,350	11.90	21,700

(2) 卡車式起重機

	吊重	全寬	全長	軸距	輪距	壓輪重量	最小回轉半徑	最大車輪荷重力(吊起重物時)
		m	m	m		kg	m	kg
卡車式起重機	10 t 以上 15 t 以下	2.25	7.70	4.10	前後 1.75m 1.80	10,200	7.80	支架 7.500
		2.40	10.60	4.20	前後 1.54 1.77	10,700	8.80	5.020
		2.42	8.00	4.20	前後 1.84 1.82	12,000	8.00	支架 10,500
		2.49	10.90	4.80	前後 1.84 1.82	13,500	8.00	支架 7,250
		2.50	11.43	4.30	前後 1.84 1.82	14,000	9.30	9,630
		2.48	11.80	4.30	前後 1.91 1.80	14,000	8.20	11,230
		2.47	11.50	4.37	前後 1.80 1.85	19,080	10.80	支架 15,600
		2.50	11.79	4.37	前後 1.80 1.85	18,100	8.50	15,115
		2.50	11.93	4.00	前後 1.98 1.88	19,200	10.80	15,770
	15 t 以上 20 t 以下	2.48	11.60	4.00	前後 1.91 1.88	19,900	8.30	支架 21,000
		2.48	11.82	4.10	前後 1.85 1.86	19,800	9.00	15,740
		2.49	11.47	4.00	前後 1.91 1.88	19,525	8.50	15,200
		2.47	11.46	4.37	前後 1.80 1.85	19,600	10.80	支架 19,740
		2.50	11.70	4.10	前後 1.85 1.86	19,840	9.00	15,692
	20 t 以上	2.50	12.00	4.00	前後 1.87	19,900	8.50	支架 21,320
		2.44	14.80	5.24	前後 2.00 1.83	27,500	12.00	支架 26,750
		2.49	12.85	4.50	前後 1.99 1.87	27,960	10.50	25,040
		3.20	11.80	5.80	前後 2.65 2.49	54,400	11.50	32,000

(3) 履帶式起重機

	吊重	全寬	全長	軸距 中心距離	履帶 中心距離	履帶寬	裝備重量	(吊起重物時)
		m	m	m	m	m	kg	t/m²
履帶式起重機	15 t 以下	2.65	11.41	2.29	2.03	0.41	14,600	7.8
		3.01	12.50	2.54	2.50	0.51	18,000	6.3
		3.14	11.70	2.82	2.38	0.51	19,700	9.2
	15 t 以上 25 t 以下	3.13	13.30	3.34	2.53	0.60	22,300	5.4
		3.16	12.69	3.66	2.50	0.66	21,900	3.8
		3.13	12.90	3.34	2.53	0.60	25,000	6.4
		3.97	12.38	3.66	3.15	0.82	31,500	4.9
		3.14	11.79	3.60	2.53	0.61	25,000	5.9
	25 t 以上 40 t 以下	3.25	18.49	3.25	2.64	0.62	42,000	8.0
		3.51	18.64	4.18	2.75	0.77	47,500	7.0
		3.59	17.68	3.72	3.71	0.61	43,300	31.5
	40 t 以上	3.72	20.63	3.91	2.96	0.76	58,400	8.0
		3.51	18.96	4.18	2.75	0.77	52,500	8.0
		4.30		3.72	2.82	0.79	76,000	13.5
		3.88	21.26	4.63	2.96	0.92	75,600	8.0

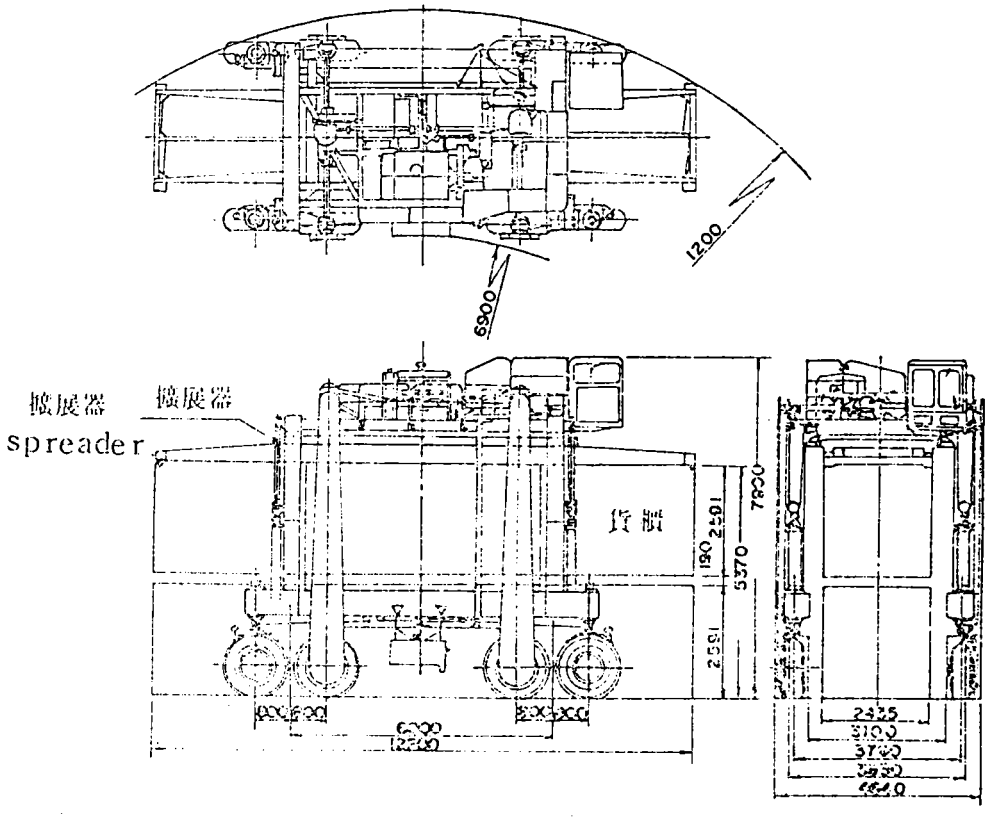


圖 15-7 貨櫃跨載機之實例

表 15-11 貨櫃裝卸機實例

項目	單位	跨載機			換載機	叉動機（堆高機）		側方叉動車
		VSC40	S520	S520		FD250	FD200	FDE 25-325
最大荷重	噸	32	22.7	30.5	30.5	25.0	2	25
貨櫃尺寸		20′ 40′	20′	40′		20	20	
全長	mm	12,000	11,400	12,200	10,950	9,300	8,550	8,700
全寬	mm	4,600	4,300	4,700	21,991	3,700	3,300	3,600
全高	mm	7,900	7,950	8,500	16,835	3,960	5,000	5,510
高距	mm	6,000	5,105	5,250	6,400	4,500	4,000	5,450
跨距	mm	動軸 3,900 遊輪 3,760	前 3,600 中 3,480 後 3,612	動軸 4,150 遊輪 4,000	23,170	前 2,800 後 2,410	前 2,330 後 2,700	前 2,000 後 2,650
行走速度（載重時）	km/hr	16.4	15	15	—	15	20	26
行走速度（空車時）	km/hr	18.0	25	25	54	21	33	35
最小回轉半徑	m	12.0	11.0	9.0	直角方向移動	7.0	6.0	8.6
車輛重量	噸	42	35	47	90	39.8	33.4	43
載重時輪荷重	噸／輪	均等	前 9 後 11	均等	最大 19.5	前 13.7 後 3.2	前 12.3 後 2.1	最大 9
輪數 前／後		4/4	4/2	4/4	4/4	4/2	4/2	4/4

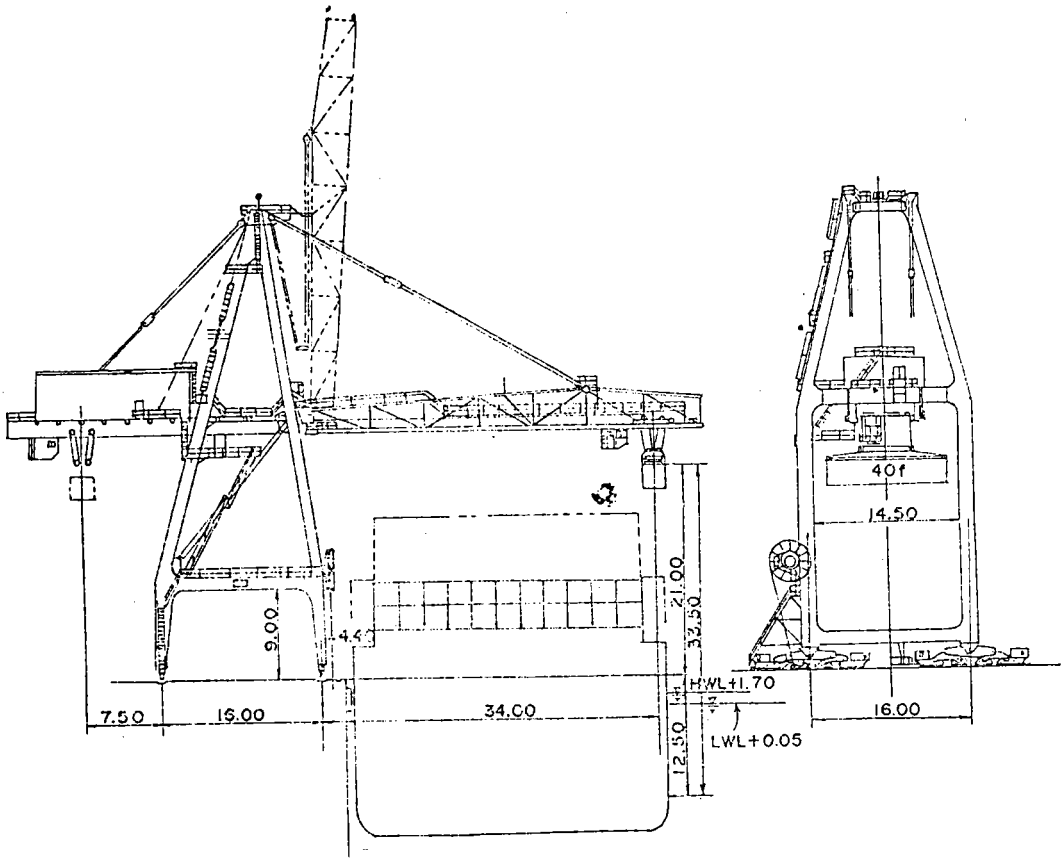
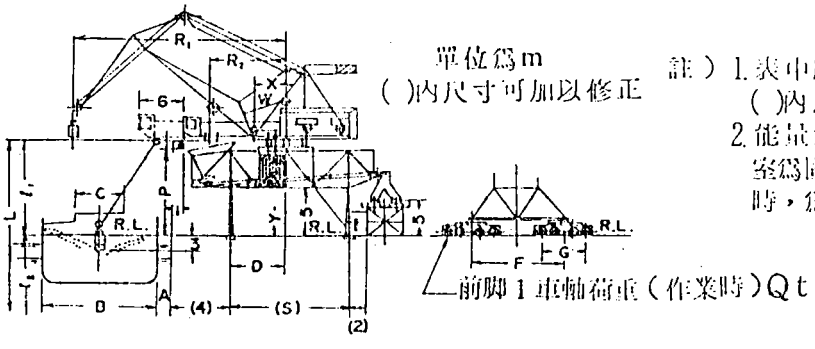


圖 15-5 貨 櫃 起 重 機 之 例



單位爲m
( )內尺寸可加以修正

註）1.表中所記，電動機輸出功率及( )內之尺寸僅係參考值。
2.能量爲200 t/h 以下時操作室爲固定型者，250 t/h 以上時，爲可滑動者。

圖 15-6 煤炭裝卸用縮式起重機

表 15-10 日本有軌起重機例 (2)

		設置地點	定格荷重	軌距×脚內有效寬	車輪數	車輪荷重 作業時	車輪荷重 暴風時	重量
海上貨櫃船	貨櫃起重機	東京港品川碼頭(1)	30.5 t	16.0×14.2m	海側 12 陸側 12	37.0 t 21.8	37.0 t 36.7	475 t
		東京港品川碼頭(2)	24.5	16.0×13.5	海側 12 陸側 8	37.5 42.5	34.0 53.0	450
		横濱港本牧碼頭D突堤(1)	30.5	30.0×14.5	海側 16 陸側 12	26.0 27.0	33.5 39.5	600
		横濱港本牧碼頭D突堤(2)	30.5	30.0×14.5	海側 16 陸側 12	26.0 27.0	33.5 39.5	650
		横濱港本牧碼頭A突堤6—(1)	30.5	16.0×14.5	海側 12 陸側 12	38.0 27.0	40.0 45.0	530
		横濱港本牧碼頭A突堤5—(2)	30.5	16.0×14.5	海側 12 陸側 12	38.0 27.0	40.0 45.0	530
		横濱港本牧碼頭A突堤4—(2)	30.5	16.0×14.5	海側 12 陸側 12	38.0 27.0	40.0 45.5	530
		清水港興洲第2碼頭	30.5	16.0×14.5	海側 12 陸側 12	39.0 29.0	43.0 48.0	500
		名古屋港金城碼頭(1)	30.5	17.0×14.5	海側 12 陸側 12	38.0 28.0	47.0 54.0	500
		名古屋港金城碼頭(2)	30.5	17.0×14.5	海側 12 陸側 12	38.0 28.0	47.0 54.0	500
		四日市港第3碼頭	30.5	16.0×14.5	海側 12 陸側 12	37.0 23.0	33.0 40.0	500
		大阪港南港貨櫃碼頭1—(1)	30.5	16.0×14.5	海側 16 陸側 12	26.7 24.7	27.2 42.7	520
		大阪港南港貨櫃碼頭2—(2)	30.5	16.0×14.5	海側 16 陸側 12	26.8 27.0	29.0 46.8	520
		神戶港摩耶碼頭(1)	25.4	16.0×15.1	海側 16 陸側 12	22.6 21.8	25.6 38.6	464
		神戶港摩耶碼頭(2)	30.5	16.0×14.5	海側 16 陸側 16	24.9 24.3	31.4 42.0	530
		北九州港門司港區田之洲碼頭(1)	30.5	30.0×14.5	海側 12 陸側 12	39.0 32.0	49.5 44.0	500

表 15-11 附有卸煤機之裝卸煤炭起重機標準

裝卸能力(計算值) t/h		125	160	200	250	315	400
對象最大船舶 (t)		4,000	6,000	6,000	10,000	10,000	15,000
船舶寬度 B (m)		14	16	16	20	20	22
船舶寬幅 C (m)		6	6	6	7	7	8
抓斗容積		2m³(1.6 t)	2.5(2)	3.15(2.5)	4(3.2)	5(4)	6.3(5)
捲上荷重(約) (t)		3.2	4	5	6.4	8	10
最大半徑 R_1 (m)		20	22.4	22.4	25	25	28
最小半徑 R_2 (m)		6.3	7.1	7.1	8	8	9
伸出長(距岸壁) (m)		10.5	11.9	11.9	13.5	13.5	15
軸距 S (m)		10	10	10	11	11	14
輪距 T (m)		8	8	8	9	9	10
車輪外輪間隔 G (m)		0.8	1.8	1.8	1.9	2.1	2.4
吊高 ($l_1+l_2=L$) (m)		10+11=21	11+11=22	11+11=22	11+12=23	11+12=23	12+13=25
槍前端高度 P (m)		9	9	9	9	9	9.5
岸壁與船體間距 A(m)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
回旋中心(距岸壁) D(m)		9.5	10.5	10.5	11.5	11.5	13
全重量 W，重心位置 XY		150 t 1.5m×9m	175 1.7 ×9	200 1.7 ×9.1	240 2.4 ×9.8	280 2.5 ×9.7	350 2.5 ×9.8
前脚之1輪荷重，1組輪數		23 t ×2	12.5×4	14.5×4	17.5×4	20.5×4	24.5×4
速度・電動機輸出量	捲上	80m/min 60kw	80 75	90 100	100 125	100 150	100 200
	開閉	80m/min 20kw	80 30	90 40	100 50	100 60	112 75
	引進	63m/min 7.5kw	71 10	71 15	80 15	80 20	100 30
	旋回	1.6m/min 10kw	1.6 15	1.6 20	1.25 20	1.25 30	1 30
	走行	20m/min 2×15kw	20 2×20	20 2×20	20 2×30	20 2×30	20 2×40
	機內輸送帶	110m/min 3kw	90 3	110 3.7	90 3.7	120 5.5	110 7.5
機內輸送帶寬 (mm)		600	750	750	900	900	1,050

(註) 1. 表中所列高動機馬力及 ( ) 內尺寸爲參攷用數值。

2. 鋼軌以 50 kg/m 爲標準。

3. 200 t/h 以下之絮駛房爲固定式，250 t/h 以上之絮駛房迂動式。

2.裝卸煤炭、 石等散裝貨物之橋式高架起重機 (Bridge Gantry Crane) 或裝卸船上貨櫃之起重機，大部份距大且笨重，因地震時所受水平力很大，故構架桁與支柱連結處，在海側之一端用鉸鏈(Hinge)，在陸側之一端電焊固定，使地震水平力由陸側基礎承受較爲適宜。

3.關於附有雙環(Double Ring)型退縮起重機，日本機械學會所訂規範如表15-12所示，請參照圖15-7。

15-4-5 群衆荷重

群衆荷重以0.5tf/m²爲標準。

設計客船用浮碼頭及棧橋時，以上述人群荷重爲標準，然對特殊的設施而言，視其設施的利用狀況，亦可將上述荷重的數值予以降低。

表 1 -1 附有卸煤機之裝卸煤炭起重機標準

裝卸能力(計算値) t/h		125	160	200	250	315	400
對象最大船舶 (t)		4,000	6,000	6,000	10,000	10,000	15,000
船舶寬度 B (m)		14	16	16	20	20	22
船舶寬幅 C (m)		6	6	6	7	7	8
抓斗容量		2m³(1.6 t)	2.5(2)	3.15(2.5)	4(3.2)	5(4)	6.3(5)
搭上荷重(約)(t)		3.2	4	5	6.4	8	10
最大半徑 R_1 (m)		20	22.4	22.4	25	25	28
最小半徑 R_2 (m)		6.3	7.1	7.1	8	8	9
伸出長(距岸壁) (m)		10.5	11.9	11.9	13.5	13.5	15
軸距 S (m)		10	10	10	11	11	14
輪距 F (m)		8	8	8	9	9	10
車輪外輪間隔 G (m)		0.8	1.8	1.8	1.9	2.1	2.4
吊高 ($l_1+l_2=L$) (m)		10+11=21	11+11=22	11+11=22	11+12=23	11+12=23	12+13=25
船前端高度 P (m)		9	9	9	9	9	9.5
岸壁與船體間距 A(m)		0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.7
回旋中心(距岸壁) D(m)		9.5	10.5	10.5	11.5	11.5	13
全重量 W，重心位置 X Y		150 t 1.5m×9m	175 1.7 ×9	200 1.7 ×9.1	240 2.4 ×9.8	280 2.5 ×9.7	350 2.5 ×9.8
前脚之1輪荷重，1組輪數		23 t ×2	12.5×4	14.5×4	17.5×4	20.5×4	24.5×4
速度・電動機輸出量	搭上	80m/min 60kw	80 75	90 100	100 125	100 150	100 200
	開閉	80m/min 20kw	80 30	90 40	100 50	100 60	112 75
	引進	63m/min 7.5kw	71 10	71 15	80 15	80 20	100 30
	旋回	1.6m/min 10kw	1.6 15	1.6 20	1.25 20	1.25 30	1 30
	走行	20m/min 2×15kw	20 2×20	20 2×20	20 2×30	20 2×30	20 2×40
	機內輸送帶	110m/min 3kw	90 3	110 3.7	90 3.7	120 5.5	110 7.5
機內輸送帶寬 (mm)		600	750	750	900	900	1,050

(註) 1. 表中所列高動機馬力及 ( ) 內尺寸爲參攷用數値。

2. 鋼軌以 50 kg/m 爲標準。

3. 200 t/h 以下之駕駛房爲固定式，250 t/h 以上之駕駛房活動式。

第十六章　摩擦係數

對整個構造物之滑動安全計算須採用適當的摩擦係數。

1.於安定計算所採用之靜止摩擦係數，普通可採用表16-1之值。

表 16-1　　靜止摩擦係數

1.混凝土與混凝土	0.5
2.混凝土與岩層	0.5
3.水中混凝土與岩層	0.7～0.8
4.混凝土與拋石	0.6
5.拋石與拋石	0.8
6.木材與木材	0.5(乾)～0.2(濕)

2.靜止摩擦係數爲靜止物體之滑動抵抗力與垂直荷重之比，但實際上對物體之滑動抵抗因素Amantons及Coulomb二氏之摩擦定律大部份均不能適用,即滑動抵抗因素，除摩擦抵抗外，尚有其他力量存在，例如二物體接觸面之形狀、軟弱、粗糙度等因素垂直荷重與水平外力之大小與作用位置而相異。

3.本章上表所列摩擦係數之數值，僅供平時整個構造物之滑動安全計算所採用，其他如計算基樁承載力所用之樁與土壤間之摩擦係數，計算沉箱由斜道下水所用之摩擦係數及計算土壓力所用之墻面摩擦角等，另在其他有關章節論述之。

4.本章所述係平時之摩擦係數，至於地震時，在振動狀態下之摩擦係數，目前尚不能完全明瞭。

5.其他材料之摩擦係數列舉如下，僅供設計之參考。

(1)石與金屬	0.3～0.4
(2)木材與石	0.4
(3)木材與金屬	0.6(乾)～0.2(濕)
(4)橡皮與橡皮	0.5

(5)砂與鐵　　0.4～0.7

(6)砂與混凝土　　0.5～0.6

6.摩擦法則係在適當荷重下方能成立之近似經驗法則，故在同一條件下反覆實驗所得摩擦係數之數值，有相當出入，故本章未列之摩擦係數，須另作實驗後決定之。本章所列摩擦係數取自往昔之實驗與經驗，依據日本永井實驗,拋石堤上之混凝土方塊與石料間之靜止摩擦係數如下：

(1)碎石與混凝土方塊　　0.77～0.89

(2)卵石與混凝土方塊　　0.69～0.74

依據山田及福田二氏實驗結果如下：

拋石與混凝土方塊　　0.45～0.69

依據廣井氏實驗結果如下：

(1)塊石與塊石　　0.720～1.037

(2)塊石與混凝土方塊　　0.564～0.679

(3)混凝土方塊與混凝土方塊　0.566～0.692

7.如在合作堤之直立堤體港測，放置護基方塊與護基塊石時，拋石基礎與直立堤體間之靜止摩擦係數，比本章所述之數值增加很多，在L 型擋土墻或合成堤之直立堤體底部，加做凸狀趾版之施工實例多。據日本市原及井上二氏實驗顯示，底部有趾版之滑動抵抗(砂質地層之抗剪力)比無趾版者約增25%。

8.重力式構造物下面加舖柏油蓆墊試作增加阻力。日本和歌山縣下津港之有田防波堤及姬路港之妻鹿西防波堤等，即在底部加舖柏油蓆墊之施工例，舖設柏油蓆墊後之滑動抵抗程度，按柏油種類、配方、溫度、載重、載重時間及摩擦面之粗糙程度等而有所不同。在靜止時之滑動抵抗最大，開始滑動後，其滑動抵抗則逐漸減少一定值。日本加川氏在水溫10°c～30°c之間作試驗結果，發現如在柏油蓆墊上加舖一層混凝土時，影響滑動抵抗與載重比之因素，與製造蓆墊之配方有關，尤其與所用之柏油量之灌入最有關係。如所用製造蓆墊之配方適宜，則滑動抵抗力與載重比之下限數值如表16-1所示。

表16-1　舗設柏油蓆墊時滑動抵抗與載重比

配合				滑動抵抗與載重比	
柏油灌入度	柏油量(%)	塵埃/柏油	粗骨材量(%)	靜止時	滑動時
30/40	10.5	1.5/2.5	35～45	0.8	0.65
30/40	12.0	1.5/2.5	35～45	0.9	0.70

第四篇　預鑄混凝土

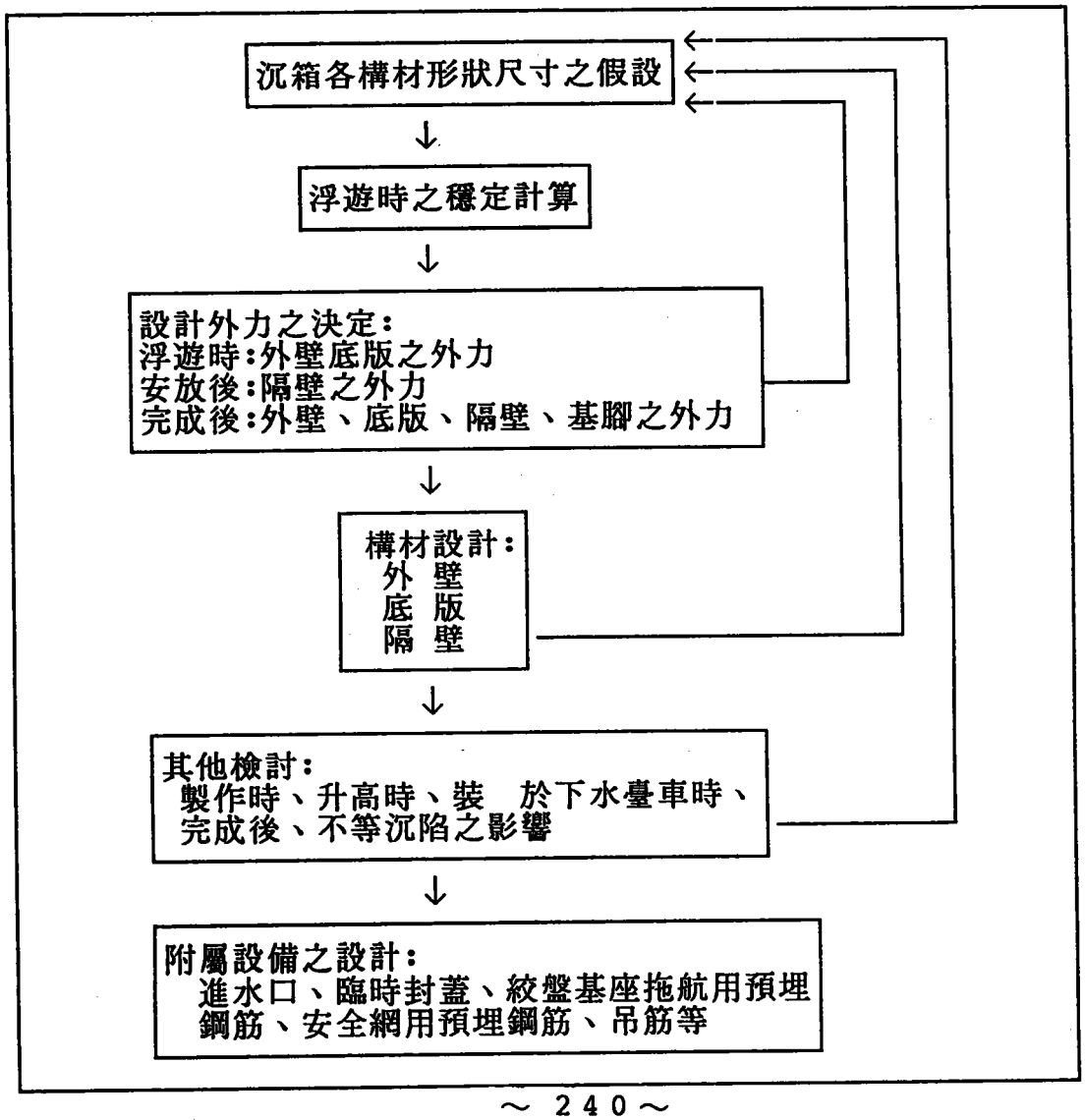
第一章 沉 箱

1-1 設計程序

本章之規定，適用於通常之沉箱設計

[說明]

沉箱設計之一般程序如下：



1-2 尺寸之決定

在設計沉箱各構材形狀及尺寸時，應考慮下列各項因素：

1.沉箱製作設備之能力。
 (1)沉箱製作臺之寬度及強度:沉箱重量之限制。
 (2)起重機之能量:沉箱高度之限制。
 (3)混凝土澆置能量。
 (4)進水能力，諸如吃水深度、塢門寬度、水深、浮沉箱塢能量、下水臺車強度。
 (5)製作時千斤頂位置。
2.沉箱製作時作業上所需要之構材最小尺寸。
3.沉箱吃水與安放位置水深及拋石基礎頂高度之關係。
4.自立浮遊沉箱在浮遊中之穩定。
5.拖航及沉放作業條件如:潮流、波浪、風等。
6.沉箱安放後之作業條件填充及上部結構施工之關係。
7.不等沉陷問題。
8.碼碩岸壁用沉箱應考慮其上部結構、後方設施以及車輛、起重機、貨物等相關問題。

[說明]

1.設計時應滿足第三篇第三章『混凝土之容許應力度』、及本篇1-4節『設計外力』、及1-5節『構材之設計』之規定事項。
2.沉箱之製作設施，以儘可能使用現有設施爲原則。 如採用新設施或局部改善原有設施，應併同整體工程作經濟上的檢討。
3.沉箱之長度一般愈長愈經濟。 但如過長，因潮流及波浪之影響可能使拖航及安放作業困難。尤以安放後之填充作業，如不能於短時間內完成,應顧及遭受災害。
4.沉箱安放後之箱頂高度，以堤頂混凝土可用乾工法施工原則， 並考慮波浪不使模板受損，不妨礙打設基礎之可能， 故對基礎構造相關事項必須顧及。
5.沉箱之長度如過大，當頂起(Jack-Up)或發生不等沉陷時，應檢討受扭曲之影響。
6.碼碩沉箱應考慮其頂面載重，如貨物、車輛、起重機等。 碼頭沉箱背後鄰接倉棧，沉箱基腳有阻礙打設基礎之可能， 故對基礎構造相關事項必須顧及。

7.安放沉箱之餘裕水深應愼重決定。 爲考慮沉箱偏斜、搖擺、微波及吃水計算誤差等影響之最小限度， 沉箱吃水與拋石基礎頂面之差通常應在0.5m以上。爲使沉箱安放作業時間不受限制，以避免配合潮位與夜間作業,沉箱設計所考慮之安放潮位通常在M.W.L左右。

8.沉箱各部份之名稱如圖1-1，如隔壁間隔在5m以內,外壁厚度約爲35cm～40cm，底版厚約爲40cm～60cm，隔壁厚度約爲20cm～30cm程度者較多。

9.加強頂緣可增加沉箱之剛性，並且具抵抗不等沉陷及波浪之效果。加強頂緣在施工上雖不便，但於波浪強大處有其需要，可用混凝土塡充。

10.隔壁間距之決定，應考慮內模板之通用性。由於模板之互相通用，可減少模板組數及堆置場地。

1-3 漂浮穩定

爲使沉箱自力漂浮時不致有傾覆或傾斜，應做穩定計算。

1.爲保持沉箱之穩定，應滿足公式1-1或1-2及1-3公式之條件。

$$\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} > 0 \quad \text{.....(1-1)}$$

式中(參閱1-2圖)

V=排水容量(m^3)

I=吃水面對長軸之斷面慣性矩(m^4)

C=浮心

G=重心

M=傾心

2.在壓艙物爲水之狀態下拖航時，以公式1.2計算之。

$$\frac{I}{V}(I'-\sum i)-\overline{C'G'} > 0 \quad \text{.....(1-2)}$$

3.壓艙物爲砂、石或拋混凝土等時

$$\frac{I'}{V'} - \overline{C'G'} > 0 \quad \text{.....(1-3)}$$

i=各內隔間水面平行於沉箱回轉軸中線之斷面慣性矩(m^4)

V'、I'、C'、G'=加壓艙物時之各值或位置。

通常爲安全起見 $\overline{GM}$ 之值最好能取吃水之5%以上。

[說明]

1.公式1-1及1-2適用於斷面爲左右略對稱而且沉箱僅會產生較小之偏斜時適用。

2.由公式1-1，參閱圖1-3浮體平衡狀態有下列三種：

(a) $\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} > 0$ 穩定

(b) $\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} = 0$ 中立

(c) $\frac{I}{V} - \overline{CG} = \overline{GM} < 0$ 不穩定

3.僅單側有底腳之沉箱，須加壓艙以保持平衡如圖1-4所示，以以式1-4計算之：

W_1=壓艙重量

W=沉箱重量(包括底腳重)

F=沉箱浮力(包括底腳)

l_1=沉箱外壁緣至W_1作用點之距離

l_w=沉箱外壁緣至W作用點之距離

l_f=沉箱外壁緣至F作用點之距離

1-4 設計外力

1-4-1 短期載重

下列條件時之設計外力，得視爲短期載重，其容許應力應依規定加成。

(1)安放時。

(2)地震時。

(3)塡充物爲混凝土，拖航時間短不作暫時漂浮儲泊時。

[說明]

1.沉箱安放自進水開始至就位，通常於一小時內完成，較地震時之受力雖長，但受影響者以內隔壁爲主。隔壁由於內外之水位差受彎曲，但塡充完成後彎曲之影響消失，不致長久存在，而僅有拉力作用，所以可視爲短期載重考慮。

2.沉箱如以混凝土塡充，沉箱僅爲模板之作用，稍有龜裂並無妨礙。但沉箱拖航需時在五小時以上，或製作完成後有浮儲之情形時，爲考慮受突發性之暴風可能發生意外事故，則需按長期載重設計。

1-4-2 製作時之外力

在乾塢或浮塢製作沉箱時，不需檢討其外力。在滑道或製作臺上製作沉箱時，須以千斤頂移動沉箱，或將沉箱移置在下水臺車上，受其自重之作用。

[說明]

視沉箱全體爲一承受集載重之樑，按1-5-4節『其他』規定計算之。

1-4-3 下水及漂浮時之外力

在乾塢、浮塢或一般滑道製作沉箱時，其所受靜水壓按吃水深度加約1.0m超高計算，但在下水時，如有短暫的超過此壓作用之可能性時，應另行檢討。

1.外壁

作用於外壁之水壓，爲自底版中心線受全壓力遞至箱頂壓力等於零之三角形分佈載重，如圖1-5所示。

2.底版

作用於底版之水壓，等於底版下端靜水壓減去底版重之均佈載重，如圖1-6之P_z。

$$P_z=P_\omega - W$$
$$=1.03\ H_o-W$$

式中：

W=底版自重，如有塡充砂土作平衡用壓艙時，應包括壓艙重量，但不扣減浮力。

3.隔壁：

沉箱在下水或浮游中，不考慮隔壁之外力。

[說明]

1.沉箱由滑道下水時，除受靜水壓外，尚受衝擊等動水壓之作用。利用絞車、或制動桿控制下水臺車之移動時，其速度通常在5m/min，不致發生衝擊壓。但沉箱設在滑道斜坡下水道時，其前側將受吃水深度加1～1.5m之靜水壓，惟其時間甚短暫。

沉箱在乾塢或浮塢下水，當沉箱底版脫離製作臺時所增加之多餘靜水壓，通常爲10～40cm。

沉箱混凝土澆置由於模板鼓起而增大吃水深度，鋼筋混凝土單位體積重量計算與實際之差異所增減吃水深度均約1m。

2.隔壁之厚度通常在20cm以上，可視具充分強度之支柱，不需詳細核算。

3.沉箱以滑道下水，受衝擊動水壓，爲短期載重，應考慮水深度有1m之超高。如滑道斜坡末端之坡度甚大，沉箱有全體沒入水中之可能性，應加設臨時封蓋。

4.沉箱以起重機拖吊下水，在吊鈎處產生拉力，沉箱發生彎曲。因吊鈎設置與否，作用於外壁之力亦有所不同，應按實際載重條件各別核算。

1-4-4 拖航時之外力

1.沉箱在拖航中，所受靜水壓、動水壓及波壓之影響，可不檢討。

2.拖航時之拉力

沉箱拖航時之拉力，由公式(1-5)計算之。

$$T=\frac{\rho}{2g}C_d V^2 A \quad \cdots\cdots(1\text{-}5)$$

T=牽引力(t)

g=重力加速度，$g=9.8\,m/sec^2$

C_d=抗力係數

V=拖航速度(m/sec)

A=沉箱前進方向之浸水面積(m^2)

$A=a\times(D+\delta)$

D=吃水深度(m)

δ=前面波高(m)

=沉箱長度(m)

a=沉箱寬度(m)

ρ=海水密度，$\rho=1.03\,t/m^3$

[說明]

1.拖航時之水壓

沉箱拖航，一般受壓力抵抗及拖行抵抗。通常避免在大波浪時拖放沉箱，所以按1-4-3節『下水漂浮時之外力』說明以吃水深度加 1m超高計算沉箱之強度已足夠涵蓋此種影響因素，故可不必再予核算。

2.拖航時之拉力

一般沉箱之乾舷不大，且在強風時不拖航，所以可不考慮風之抵抗。流體之抵力係數(C_d)依水流方向垂直面之形狀之不同而異，通常按長方形板。依第2編4-15節『作用於水中及水面上物體之波浪及流動力』決定。拖航速度通常爲每小時2～2.5海浬，如以大馬力拖航，其拖航速度大約爲每小時3海浬。

1-4-5 安放時之外力

1.不須檢討外壁及底版。 2.隔壁考慮施工條件，其載重爲隔間水位差。

[說明]

1.沉箱安放時所受之外力，較漂浮及安放後所受載重爲小，因之可不予核算。

2.沉箱安放之進水方法有幫浦法及閥門法。以閥門進水，水位差可考慮爲1公尺，已充分安全。以幫浦進水，應適當控制幫浦水管移動,其水位差應在1公尺以內。若水位差超過1公尺以上，可能使20公尺厚單排鋼筋隔壁發生龜裂。

1-4-6 完成後之外力

1.外壁

作用於沉箱外壁之外力應考慮內部土壓及內部水壓，同時，對作爲防堤使用之沉箱，其前壁應考慮波力之作用。

[說明]

(1)內部土壓

甲、土壓係數(K)以0.6計算，但如以型塊、混凝土內填時，則不考慮土壓。

乙、土壓爲至與內隔間間隔b相同之距離爲止，直線增加，如圖1-12。圖1-12符號說明如下：

q=上加載重(t/m^2)

r=內填料之水中單位體積重。一般 $r=1.0t/m^3$

K=內部土壓係數， k=0.6

b=內隔間間距(m)

丙、若沉箱內部無載重影響時，則場鑄混凝土上之載重，可不視爲上加載重。

(2)內部水壓

甲、碼頭岸壁:取L.W.L之水頭差。

乙、防波堤:由於波谷來臨時之內部水壓較大，因此須依狀況考慮。

(3)內部載重之換算

內部載重可換算爲均佈載重，如圖1-13。

(4)安放後作用於外壁及底版之設計外力及設計荷重，如圖1-14。

(5)沉箱式防波堤，由於至目前爲止，因受強大之波力作用，而有使前壁產生破壞之例，波力之作用依2篇5章之波力，其餘均依現行法檢討。

2.底版

1.由外壁，隔壁所包圍之固定部在設計時，須考慮底面反力、靜水壓力、揚壓力、填充料重量、蓋版混凝土重量、底版重量以及載荷重。此外，由於這些合成荷重，通常都呈現不規則之形狀，因此設計時，可將此分佈換算成適當的均佈荷重與三角形荷重來計算。

2.基腳

作用於基腳之荷重應考慮底面反力，基重量(須考慮浮力)以及基腳上上之載荷重。

[說明]

(1)作用於四邊固定版載重分佈如圖1-12所示。由於載重分佈狀態多不規則，應修正爲均佈載重或三角形載重計算之。沉箱頂上加場鑄混凝土，如對沉箱內部無影響，得不視爲上加載重。

(2)底面反力

底面反力參照圖1-14，以公式(1-60或公式(1-7)計算。

偏心距 $e \leq \frac{1}{6} b$

$$P_1=(1+\frac{6e}{b})\frac{V}{b}$$

$$P_2=(1-\frac{6e}{b})\frac{V}{b}$$

偏心距 $e > \frac{1}{6} b$

$$P_1=\frac{2}{3}\frac{V}{(\frac{b}{2}-e)}$$

$$b'=3(\frac{b}{2}-e)$$

偏心距 e 由公式(1-8)求之。

$$e=\frac{b}{2}-x$$

$$x=\frac{M_\omega-M_h}{V}$$

式中：

P_1=前端反力(t/m)　　H=水平合力(t)

P_2=後端反力(t/m)　　e=全合力之偏心距(m)

V=垂向合力(t)　　b=底版寬度(m)

$b' = e > \frac{1}{6} b$時，反力寬度(m)

M_ω=垂向合力對A點之力距(t-m)

M_h=水平合力對A點之力距(t-m)

(3) 靜水壓

靜水壓指設計潮位時作用於沉箱底面之靜水壓。

(4) 揚壓力：當波力作用於堤體或壁體時，須考慮揚壓力，揚壓力之計算可參照第2篇第五章波力。

(5) 內塡重量

內塡重量指內塡料在顆粒間隙充滿水狀態下之重量，單位體積重量以2.0t/$_m{}^3$計算。

(6) 蓋版混凝土重量

蓋版混凝土重量爲不計浮力之重量，其單位體積重量，無筋混凝土爲2.3t/$_m{}^3$，鋼筋混凝土2.45t/$_m{}^3$。

(7) 底版重量

底版重量不計浮力之單位體積重量以2.45t/$_m{}^3$計算。

(8) 上載荷重

作用於底版之上載荷重應考慮沉箱上之覆土重量、積載荷重等，但如沉箱上有現場打設混凝土，可視爲對沉箱內部無影響時，可不考慮上載荷重。

作用於基腳之載重如圖1-16所示，其符號說明如下：

P=底面反力(t/m)

W=上加載重與基腳重量之和(t/m)，應扣除浮力

P=設計載重(t/m)　　P=S-W

3.隔壁

隔壁之設置，係防止外壁受內部土壓與內部水壓發生傾倒，並應考慮隔壁與底版之脫離。

[說明]

(1)爲防止隔壁與外壁之脫離所應考慮之載重如圖1-17所示。

(2)爲防止外壁與底版之脫離所應考慮之載重如圖1-18所示。

圖1-18所使用符號說明如下：

W=每m^2之設計載重(t/m)

P=核算脫離所用設計載重(t/m，爲隔壁兩側之載重。

4.不均勻地盤承載力或不均勻內塡重量之檢討：

沉箱因不均勻地盤承載力，或不均勻內塡重量所承受不均勻荷重作用時，視沉箱爲一跨度等於其長度1/3之懸臂樑考慮之，如圖1-19所示。

2.外壁

(1)概說

沉箱外壁除受波壓之外，在某些地區可能受流冰、流水等衝擊力及結冰等之影響，惟其對已塡充沉箱之影響程度如何，尚未明瞭，配筋時應妥爲補強頂部。

(2)內部土壓

甲、土壓係數按砂之靜止土壓係數，取爲0.60以碎石塡充，根據過去研究結果，其土壓係數並不一定減少，故仍取爲0.6。

乙、塡充土壓以內隔間之間距爲高，故若取實在高之土壓則浪費等理由，係依據從前設計不考慮土壓之實例權宜之決定。塡充土壓值，以靜止土壓係數計算，但是否完全正確，不無疑問，有待依據今後之實測紀錄再加以檢討。

(3)內部水壓

重複波進行至堤前，如係波谷，內部水壓相當大，應以混凝土塡充，或使隔壁間距縮小設計，工程司應謹愼判斷之。

(4)內部載重之換算

沉箱外壁以均佈載重代替規則內部設計，如圖1-13所示，通常雖上部設計載重變大，下部載重變小，但依據既往沉箱發生龜裂之傾向，以及內部土壓之實際載重狀態推算(參照圖1-22)尚屬合理。

3.底版

(1)底版之設計載重

作用於底版之設計載重爲不規則形，爲方便計，以適當均佈或三角形載重代替，如圖1-23所示。

(2)塡充重量

由室內試驗，以定量容器裝加水，再將砂緩慢投入容器中，其空隙率約爲40%左右。設砂之眞比重爲2.65，海水中重量爲2.0t/m³ (0.6×2.65+0.41×1.03=2.0)。但實際作業，其值或略有出入，而以γ=2.0t/m³計算。

使用眞比重顯著不同之砂岩時，應將該值修正(參照第3篇5.1概說)。砂之眞比重及空隙率與砂重量之關係如圖1-24所示。

4.隔壁

隔壁分擔載重之區分一般以帶樑面版分擔重之劃分方式區分之。

(1)隔壁與外壁之脫離

載重分佈圖通常接近三角形，如圖1-25(a)所示，但每單位長度鋼筋量，常不按載重圖之最大值配置，而應依圖1-25(b)適當區分配筋，始不致有過大之偏差。

(2)隔壁及底版之脫離

隔壁之換算載重如圖1-18所示，爲兩側承受載重之換算載重，如單側載重，取其值之1/2。

5.不均勻地盤承載力或塡充重量狀態地盤承載力或塡充重量不均勻，依圖1-26所示各種考慮載重之分佈觸地狀態。但由於斜觸地重量分佈之不易，如假定爲一半觸地，但接觸壓力偏大，故一般按沉箱底版長度之1/3懸空檢討之。

1-5 構材之設計

1-5-1 外壁

1.原則上，外壁以三邊固定一邊自由之平版設計。
2.邊長比1:5以上之沉箱，可依1:5版之值來設計。
3.外壁固定邊如有不平衡彎矩，依照外壁之剛度(Stiffness)分配。
4.外壁與底版間之一平衡彎矩，仍按原值計算。
5.計算跨度爲中心間矩。
6.主鋼筋之保護層厚度，原則上外側不小於7cm，內側不小於5cm。

[說明]

1.沉箱外壁之頂部有加強緣樑時，得依四邊固定之平版計算，加強緣樑得以箱型剛結構計算。但一般加強緣樑斷面與厚度比較常不大，其固定程度不能確定，因此除特別情形外，仍以按三邊固定一邊自由之平版計算爲宜。

2.在二外壁接合之固定部位如有較不平衡彎矩，應依外壁端之剛度分配，爲安全計，應將分配彎矩加大一半。第二隔間或內部支承受分配不平衡彎矩之影響較小，不必分配之。

3.外壁與底版間雖也產生不平衡彎矩，但其分配方法尚有疑問，所以仍取原值。

1-5-2 隔壁：

1.安放時，依三邊固定一邊自由之平版計算。
2.安放時，應檢討隔壁與外壁及底版之脫離現象。
3.計算跨度取中心間矩。
4.主鋼筋被覆厚度，以5cm以上爲原則。

1-5-3 底版

1.底版以四邊固定平版計算。
2.基腳以懸臂版計算。
3.四邊固定平版計算跨度取中心間距。
4.基腳之計算斷面取支承前端之全斷面。
5.主鋼筋保覆層厚度，以外側7cm以上，外側5cm以上爲原則。

[說明]

基腳之設計，在承受隔間塡充土壓及地盤反力時，如圖1-30所示。點A之應力解析極爲困難。但外壁與隔壁及底版構成堅強之剛結構，基腳之彎矩對沉箱本體尚不致有明顯影響，所以得視基腳爲鋼筋混凝土樑與獨立連續懸臂版。

1-5-4 其他：

> 爲考慮沉箱在拖航中之垂及拱上現象，安放後之由不均勻沉陷所引起之不均勻支承狀態現象，可視沉箱整體爲樑，以下列任一方法檢討之：
> 1.根據有效換算斷面，核算鋼筋及混凝土之應力。
> 2.以拉力載重亦由混凝土抵抗，依據混凝土拉應力強度，不得超過0.06 α_{28}。

[說明]

1.圖解法[4]求得有效算斷面之中立軸位置及對中立軸之慣性力矩等，以一般抗彎力公式(1-9)再計算均質樑之最大彎應力。

$$\alpha=\frac{M}{Z} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}9)$$

沉箱在塡充狀態，如產生不均等沉陷，鋼筋同時受塡充應力及不均等沉陷所產生之應力，僅由公式(1-9)核算彎應力，無法保證沉箱之安全，應加以特別注意。

2.假設沉箱整體爲一樑，核算混凝土淨斷面之彎應力雖無上述第1種方法(無鋼筋)之雙重作用。但假設沉箱爲樑，因高度大，彎應力之分佈是否是與距中軸離成比例，尚有疑問。此外，即是超出無筋混凝土之容許抗彎拉應力，實質上有鋼筋之沉箱並不致有危險，抗彎拉應力值應取何值，仍有待進一步檢討。

3.尺寸相同沉箱，由1.及2.方法計算結果比較，如扛表1-1表示[5]。

各例混凝土之強度按σ_{28}=210Kg/cm²計算結果，拉應力σ_t均超出無筋混凝土標準規範之容許彎扭應力3Kg/m²。抗彎容許拉應力以0.06 σ_{28} 檢討之。

雖然1、2方法均有若干問題存在，但大體上有同樣安全度，所以採用任何一法均可。

附錄1-1壁版之計算圖表[6]

1.概述

連續或固定薄版之彈性微分程如公式(4-10)所示。

$$\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2\frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} = \frac{P}{D} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(4\text{-}10)$$

式中:

w=撓度

P=載重強度

D=版之剛度， $D=\dfrac{ET^3}{12(1-\nu^2)}$

E=版之彈性模數

t=版厚

ν=柏松比

依公式(1-10)解承受均佈載重，或三角分佈載重之三邊固定自由平版，及四邊固定平版之彎矩，製成計算圖表以節省計算程序。

2.三邊固定一邊自由平版

(1)計算圖表使用法

設自由邊平行方向爲y座標，相對垂直方向爲x座標，將y邊四邊分，x邊爲六等分，如圖1-31。各格點之彎矩，可由公式(1-11)及(1-12)求之。

$\lambda \leqq 1$時:

$$M_x = Xql^3{}_x \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}11)$$

$$M_y = Ygl^3{}_x$$

$\lambda > 1$時:

$$M_x = Xql^2{}_x \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(1\text{-}12)$$

$$M_y = Ygl^2{}_x$$

式中:

λ:邊長比， $\lambda = l_x/l_y$

M_x, M_y:格點x,y方向之彎矩(t-m)

x,y:格點x,y方向之彎矩係數

l_x, l_y:x方面，y方向之長度(m)

q:均佈載重爲載重強度，三角形分佈載重爲最大強度($t\text{-}m^2$)

(2)計算圖表

三邊固定一邊自由版之彎矩係數，如表1-2。

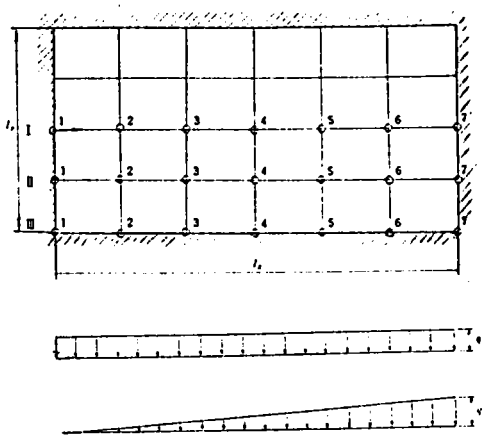


圖 6-1

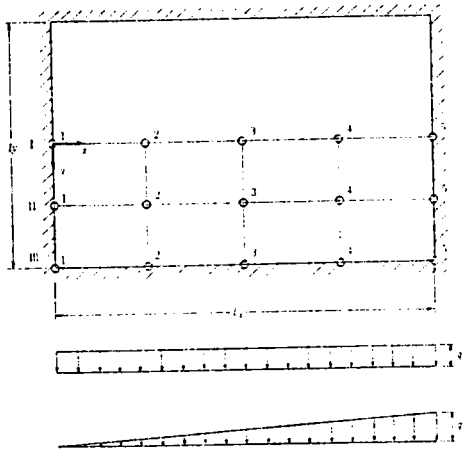


圖 6-2

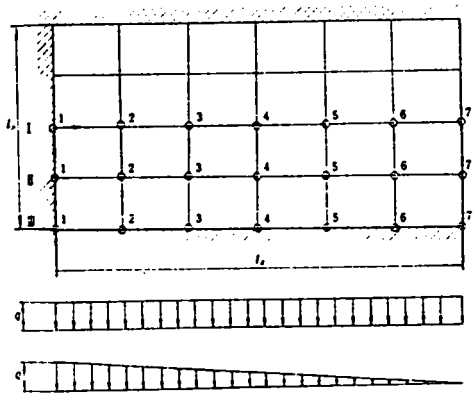


圖 6- 3

表 6-1 : FOUR SIDE FIXED;UNIFORM LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5
0.50	X	I	-.0828	.0110	.0407	.0110	-.0828
		II	-.0669	.0100	.0308	.0100	-.0669
		III	.0000	-.0058	-.0095	-.0058	.0000
	Y	I	-.0138	.0038	.0105	.0038	-.0138
		II	-.0112	.0068	.0139	.0068	-.0112
		III	.0000	-.0345	-.0570	-.0345	.0000
0.75	X	I	-.0701	.0110	.0318	.0110	-.0701
		II	-.0477	.0078	.0200	.0078	-.0477
		III	.0000	-.0057	-.0094	-.0057	.0000
	Y	I	-.0117	.0089	.0179	.0089	-.0117
		II	-.0079	.0069	.0125	.0069	-.0079
		III	.0000	-.0345	-.0565	-.0345	.0000
1.00	X	I	-.0513	.0096	.0206	.0096	-.0513
		II	-.0324	.0059	.0116	.0059	-.0324
		III	.0000	-.0054	-.0086	-.0054	.0000
	Y	I	-.0086	.0116	.0206	.0116	-.0086
		II	-.0054	.0059	.0096	.0059	-.0054
		III	.0000	-.0324	-.0513	-.0324	.0000
1.25	X	I	-.0559	.0119	.0189	.0119	-.0559
		II	-.0343	.0067	.0097	.0067	-.0343
		III	.0000	-.0074	-.0111	-.0074	.0000
	Y	I	-.0093	.0181	.0295	.0181	-.0093
		II	-.0057	.0074	.0108	.0074	-.0057
		III	.0000	-.0442	-.0664	-.0442	.0000
1.50	X	I	-.0570	.0133	.0158	.0133	-.0570
		II	-.0346	.0071	.0073	.0071	-.0346
		III	.0000	-.0090	-.0126	-.0090	.0000
	Y	I	-.0095	.0233	.0354	.0233	-.0095
		II	-.0058	.0086	.0112	.0086	-.0058
		III	.0000	-.0538	-.0756	-.0538	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5
1.75	X	Ⅰ	-.0571	.0139	.0128	.0139	-.0571
		Ⅱ	-.0346	.0071	.0052	.0071	-.0346
		Ⅲ	.0000	-.0102	-.0134	-.0102	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0275	.0389	.0275	-.0095
		Ⅱ	-.0058	.0094	.0112	.0094	-.0058
		Ⅲ	.0000	-.0611	-.0805	-.0611	.0000
2.00	X	Ⅰ	-.0570	.0139	.0105	.0139	-.0570
		Ⅱ	-.0345	.0068	.0038	.0068	-.0345
		Ⅲ	.0000	-.0112	-.0138	-.0112	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0308	.0406	.0308	-.0095
		Ⅱ	-.0058	.0100	.0110	.0100	-.0058
		Ⅲ	.0000	-.0669	-.0828	-.0669	.0000
2.25	X	Ⅰ	-.0569	.0136	.0089	.0136	-.0569
		Ⅱ	-.0345	.0063	.0028	.0063	-.0345
		Ⅲ	.0000	-.0119	-.0140	-.0119	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0335	.0415	.0335	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0104	.0108	.0104	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0714	-.0837	-.0714	.0000
2.50	X	Ⅰ	-.0569	.0129	.0080	.0129	-.0569
		Ⅱ	-.0345	.0057	.0023	.0057	-.0345
		Ⅲ	.0000	-.0125	-.0140	-.0125	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0356	.0418	.0356	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0106	.0107	.0106	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0749	-.0839	-.0749	.0000
2.75	X	Ⅰ	-.0568	.0121	.0074	.0121	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0051	.0020	.0051	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0129	-.0140	-.0129	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0373	.0419	.0373	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0106	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0775	-.0839	-.0775	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5
3.00	X	Ⅰ	-.0568	.0113	.0071	.0113	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0045	.0018	.0045	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0133	-.0140	-.0133	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0386	.0419	.0386	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0105	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0795	-.0837	-.0795	.0000
3.25	X	Ⅰ	-.0568	.0106	.0070	.0106	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0039	.0018	.0039	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0135	-.0139	-.0135	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0395	.0418	.0395	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0105	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0809	-.0836	-.0809	.0000
3.50	X	Ⅰ	-.0568	.0098	.0069	.0098	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0035	.0017	.0035	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0137	-.0139	-.0137	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0403	.0418	.0403	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0104	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0819	-.0834	-.0819	.0000
3.75	X	Ⅰ	-.0568	.0092	.0069	.0092	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0031	.0017	.0031	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0138	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0408	.0417	.0408	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0104	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0826	-.0833	-.0826	.0000
4.00	X	Ⅰ	-.0568	.0087	.0069	.0087	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0028	.0018	.0028	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0138	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0412	.0417	.0412	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0107	.0104	.0107	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0831	-.0833	-.0831	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5
4.25	X	Ⅰ	-.0567	.0083	.0070	.0083	-.0567
		Ⅱ	-.0343	.0025	.0018	.0025	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0414	.0417	.0414	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0107	.0104	.0107	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0834	-.0832	-.0834	.0000
4.50	X	Ⅰ	-.0567	.0079	.0070	.0079	-.0567
		Ⅱ	-.0343	.0023	.0018	.0023	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0416	.0417	.0416	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0106	.0104	.0106	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0835	-.0832	-.0835	.0000
4.75	X	Ⅰ	-.0567	.0077	.0070	.0077	-.0567
		Ⅱ	-.0343	.0021	.0018	.0021	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0417	.0417	.0417	-.0094
		Ⅱ	-.0057	.0106	.0104	.0106	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0836	-.0832	-.0836	.0000
5.00	X	Ⅰ	-.0567	.0075	.0070	.0075	-.0567
		Ⅱ	-.0342	.0020	.0018	.0020	-.0342
		Ⅲ	.0000	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0417	.0417	.0417	-.0094
		Ⅱ	-.0057	.0105	.0104	.0105	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0836	-.0832	-.0836	.0000

表 6-2 : FOUR SIDE FIXED;TRIANGULAR LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5
0.50	X	I	-.0331	.0019	.0203	.0092	-.0497
		II	-.0254	.0015	.0154	.0084	-.0415
		III	.0000	-.0021	-.0047	-.0036	.0000
	Y	I	-.0055	.0013	.0052	.0025	-.0083
		II	-.0042	.0025	.0070	.0042	-.0069
		III	.0000	-.0127	-.0285	-.0219	.0000
0.75	X	I	-.0268	.0020	.0159	.0091	-.0433
		II	-.0167	.0010	.0100	.0068	-.0310
		III	.0000	-.0021	-.0047	-.0036	.0000
	Y	I	-.0045	.0037	.0090	.0052	-.0072
		II	-.0028	.0024	.0062	.0045	-.0052
		III	.0000	-.0126	-.0283	-.0218	.0000
1.00	X	I	-.0179	.0015	.0103	.0080	-.0334
		II	-.0101	.0006	.0058	.0052	-.0223
		III	.0000	-.0019	-.0043	-.0035	.0000
	Y	I	-.0030	.0047	.0103	.0069	-.0056
		II	-.0017	.0018	.0048	.0040	-.0037
		III	.0000	-.0116	-.0257	-.0208	.0000
1.25	X	I	-.0171	.0017	.0095	.0102	-.0389
		II	-.0092	.0006	.0048	.0061	-.0251
		III	.0000	-.0025	-.0055	-.0049	.0000
	Y	I	-.0028	.0069	.0147	.0111	-.0065
		II	-.0015	.0021	.0054	.0053	-.0042
		III	.0000	-.0151	-.0332	-.0291	.0000
1.50	X	I	-.0149	.0017	.0079	.0116	-.0421
		II	-.0079	.0006	.0036	.0065	-.0267
		III	.0000	-.0029	-.0063	-.0061	.0000
	Y	I	-.0025	.0083	.0177	.0151	-.0070
		II	-.0013	.0023	.0056	.0063	-.0045
		III	.0000	-.0172	-.0378	-.0365	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5
1.75	X	Ⅰ	-.0128	.0018	.0064	.0121	-.0442
		Ⅱ	-.0068	.0006	.0026	.0065	-.0278
		Ⅲ	.0000	-.0031	-.0067	-.0071	.0000
	Y	Ⅰ	-.0021	.0090	.0194	.0185	-.0074
		Ⅱ	-.0011	.0024	.0056	.0070	-.0046
		Ⅲ	.0000	-.0184	-.0403	-.0427	.0000
2.00	X	Ⅰ	-.0112	.0018	.0052	.0121	-.0458
		Ⅱ	-.0059	.0006	.0019	.0062	-.0287
		Ⅲ	.0000	-.0032	-.0069	-.0080	.0000
	Y	Ⅰ	-.0019	.0094	.0203	.0214	-.0076
		Ⅱ	-.0010	.0025	.0055	.0075	-.0048
		Ⅲ	.0000	-.0192	-.0414	-.0477	.0000
2.25	X	Ⅰ	-.0099	.0019	.0045	.0117	-.0470
		Ⅱ	-.0052	.0006	.0014	.0057	-.0293
		Ⅲ	.0000	-.0033	-.0070	-.0086	.0000
	Y	Ⅰ	-.0016	.0097	.0207	.0238	-.0078
		Ⅱ	-.0009	.0025	.0054	.0079	-.0049
		Ⅲ	.0000	-.0196	-.0419	-.0518	.0000
2.50	X	Ⅰ	-.0089	.0019	.0040	.0110	-.0480
		Ⅱ	-.0047	.0006	.0011	.0051	-.0298
		Ⅲ	.0000	-.0033	-.0070	-.0092	.0000
	Y	Ⅰ	-.0015	.0099	.0209	.0257	-.0080
		Ⅱ	-.0008	.0026	.0053	.0081	-.0050
		Ⅲ	.0000	-.0200	-.0420	-.0549	.0000
2.75	X	Ⅰ	-.0080	.0019	.0037	.0102	-.0488
		Ⅱ	-.0042	.0006	.0010	.0045	-.0302
		Ⅲ	.0000	-.0034	-.0070	-.0096	.0000
	Y	Ⅰ	-.0013	.0100	.0210	.0272	-.0081
		Ⅱ	-.0007	.0026	.0053	.0082	-.0050
		Ⅲ	.0000	-.0202	-.0419	-.0573	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5
3.00	X	Ⅰ	-.0074	.0019	.0036	.0094	-.0495
		Ⅱ	-.0039	.0006	.0009	.0039	-.0306
		Ⅲ	.0000	-.0034	-.0070	-.0098	.0000
	Y	Ⅰ	-.0012	.0102	.0209	.0284	-.0082
		Ⅱ	-.0006	.0026	.0052	.0082	-.0051
		Ⅲ	.0000	-.0204	-.0419	-.0591	.0000
3.25	X	Ⅰ	-.0068	.0019	.0035	.0086	-.0500
		Ⅱ	-.0036	.0006	.0009	.0034	-.0308
		Ⅲ	.0000	-.0034	-.0070	-.0101	.0000
	Y	Ⅰ	-.0011	.0102	.0209	.0293	-.0083
		Ⅱ	-.0006	.0026	.0052	.0082	-.0051
		Ⅲ	.0000	-.0205	-.0418	-.0604	.0000
3.50	X	Ⅰ	-.0063	.0019	.0035	.0080	-.0505
		Ⅱ	-.0033	.0005	.0009	.0029	-.0311
		Ⅲ	.0000	-.0034	-.0070	-.0102	.0000
	Y	Ⅰ	-.0011	.0103	.0209	.0300	-.0084
		Ⅱ	-.0006	.0026	.0052	.0082	-.0052
		Ⅲ	.0000	-.0206	-.0417	-.0613	.0000
3.75	X	Ⅰ	-.0059	.0019	.0035	.0074	-.0509
		Ⅱ	-.0031	.0005	.0009	.0026	-.0313
		Ⅲ	.0000	-.0034	-.0069	-.0103	.0000
	Y	Ⅰ	-.0010	.0103	.0209	.0305	-.0085
		Ⅱ	-.0005	.0026	.0052	.0081	-.0052
		Ⅲ	.0000	-.0207	-.0417	-.0619	.0000
4.00	X	Ⅰ	-.0055	.0018	.0035	.0069	-.0512
		Ⅱ	-.0029	.0005	.0009	.0023	-.0314
		Ⅲ	.0000	-.0035	-.0069	-.0104	.0000
	Y	Ⅰ	-.0009	.0104	.0209	.0308	-.0085
		Ⅱ	-.0005	.0026	.0052	.0081	-.0052
		Ⅲ	.0000	-.0207	-.0416	-.0624	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5
4.25	X	Ⅰ	-.0052	.0018	.0035	.0065	-.0515
		Ⅱ	-.0027	.0005	.0009	.0020	-.0316
		Ⅲ	.0000	-.0035	-.0069	-.0104	.0000
	Y	Ⅰ	-.0009	.0104	.0208	.0310	-.0086
		Ⅱ	-.0005	.0026	.0052	.0081	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0208	-.0416	-.0626	.0000
4.50	X	Ⅰ	-.0049	.0018	.0035	.0061	-.0518
		Ⅱ	-.0026	.0005	.0009	.0018	-.0317
		Ⅲ	.0000	-.0035	-.0069	-.0105	.0000
	Y	Ⅰ	-.0008	.0104	.0208	.0312	-.0086
		Ⅱ	-.0004	.0026	.0052	.0080	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0208	-.0416	-.0628	.0000
4.75	X	Ⅰ	-.0046	.0018	.0035	.0059	-.0520
		Ⅱ	-.0024	.0005	.0009	.0016	-.0318
		Ⅲ	.0000	-.0035	-.0069	-.0105	.0000
	Y	Ⅰ	-.0008	.0104	.0208	.0313	-.0087
		Ⅱ	-.0004	.0026	.0052	.0080	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0208	-.0416	-.0628	.0000
5.00	X	Ⅰ	-.0044	.0018	.0035	.0057	-.0523
		Ⅱ	-.0023	.0005	.0009	.0015	-.0319
		Ⅲ	.0000	-.0035	-.0069	-.0105	.0000
	Y	Ⅰ	-.0007	.0104	.0208	.0313	-.0087
		Ⅱ	-.0004	.0026	.0052	.0079	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0208	-.0416	-.0629	.0000

表 6-3 : THREE SIDE FIXED,ONE SIDE FREE;UNIFORM LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
0.5	X	I	-.2053	-.0916	-.0229	.0136	.0269	.0220	.0000
		II	-.1269	-.0538	-.0124	.0075	.0131	.0098	.0000
		III	.0000	-.0034	-.0122	-.0215	-.0301	-.0389	.0000
	Y	I	-.0342	-.0079	.0203	.0465	.0688	.0866	.1005
		II	-.0212	-.0051	.0093	.0207	.0293	.0356	.0410
		III	.0000	-.0203	-.0731	-.1293	-.1805	-.2332	-.2816
0.75	X	I	-.0990	-.0258	.0080	.0197	.0198	.0132	.0000
		II	-.0602	-.0145	.0049	.0103	.0088	.0048	.0000
		III	.0000	-.0035	-.0101	-.0156	-.0195	-.0226	.0000
	Y	I	-.0165	.0032	.0236	.0406	.0531	.0619	.0688
		II	-.0100	.0005	.0093	.0144	.0173	.0189	.0205
		III	.0000	-.0208	-.0604	-.0938	-.1171	-.1359	-.1475
1.00	X	I	-.0565	-.0063	.0106	.0133	.0110	.0069	.0000
		II	-.0343	-.0034	.0058	.0064	.0044	.0020	.0000
		III	.0000	-.0032	-.0079	-.0111	-.0127	-.0137	.0000
	Y	I	-.0094	.0059	.0203	.0304	.0364	.0398	.0428
		II	-.0057	.0023	.0075	.0098	.0105	.0108	.0111
		III	.0000	-.0193	-.0476	-.0664	-.0762	-.0820	-.0836
1.25	X	I	-.0567	.0000	.0133	.0128	.0096	.0061	.0000
		II	-.0344	.0003	.0069	.0056	.0033	.0014	.0000
		III	.0000	-.0045	-.0097	-.0125	-.0135	-.0139	.0000
	Y	I	-.0095	.0098	.0261	.0354	.0395	.0413	.0435
		II	-.0057	.0039	.0090	.0106	.0107	.0106	.0107
		III	.0000	-.0271	-.0584	-.0748	-.0808	-.0832	-.0830
1.50	X	I	-.0568	.0048	.0139	.0113	.0083	.0058	.0000
		II	-.0344	.0029	.0068	.0045	.0025	.0011	.0000
		III	.0000	-.0058	-.0111	-.0133	-.0138	-.0138	.0000
	Y	I	-.0095	.0136	.0307	.0384	.0409	.0416	.0434
		II	-.0057	.0053	.0100	.0108	.0106	.0104	.0105
		III	.0000	-.0346	-.0665	-.0795	-.0827	-.0830	-.0829

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
1.75	X	Ⅰ	-.0568	.0082	.0135	.0099	.0075	.0058	.0000
		Ⅱ	-.0344	.0047	.0062	.0035	.0020	.0010	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0069	-.0121	-.0137	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0172	.0342	.0402	.0414	.0415	.0433
		Ⅱ	-.0057	.0065	.0105	.0108	.0105	.0104	.0104
		Ⅲ	.0000	-.0416	-.0724	-.0820	-.0833	-.0827	-.0832
2.00	X	Ⅰ	-.0568	.0107	.0125	.0087	.0071	.0060	.0000
		Ⅱ	-.0344	.0058	.0054	.0028	.0018	.0011	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0080	-.0128	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0205	.0367	.0411	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0057	.0075	.0107	.0107	.0105	.0103	.0104
		Ⅲ	.0000	-.0480	-.0765	-.0832	-.0834	-.0825	-.0837
2.25	X	Ⅰ	-.0567	.0122	.0114	.0080	.0070	.0062	.0000
		Ⅱ	-.0343	.0065	.0046	.0023	.0017	.0013	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0090	-.0132	-.0139	-.0139	-.0137	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0235	.0386	.0415	.0416	.0414	.0432
		Ⅱ	-.0057	.0084	.0108	.0106	.0104	.0103	.0104
		Ⅲ	.0000	-.0537	-.0793	-.0836	-.0834	-.0825	-.0840
2.50	X	Ⅰ	-.0567	.0132	.0104	.0075	.0069	.0063	.0000
		Ⅱ	-.0342	.0068	.0039	.0020	.0017	.0014	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0098	-.0135	-.0140	-.0139	-.0137	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0262	.0398	.0417	.0416	.0414	.0432
		Ⅱ	-.0057	.0090	.0108	.0105	.0104	.0103	.0104
		Ⅲ	.0000	-.0588	-.0811	-.0837	-.0834	-.0825	-.0843
2.75	X	Ⅰ	-.0566	.0136	.0096	.0072	.0069	.0065	.0000
		Ⅱ	-.0341	.0068	.0033	.0019	.0017	.0015	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0105	-.0137	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0286	.0407	.0418	.0416	.0414	.0432
		Ⅱ	-.0057	.0095	.0108	.0105	.0104	.0103	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0632	-.0821	-.0837	-.0835	-.0825	-.0845

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
3.00	X	Ⅰ	-.0565	.0137	.0089	.0070	.0069	.0066	.0000
		Ⅱ	-.0340	.0066	.0029	.0018	.0017	.0015	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0112	-.0138	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0308	.0412	.0418	.0416	.0414	.0432
		Ⅱ	-.0057	.0099	.0107	.0105	.0104	.0103	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0669	-.0828	-.0836	-.0835	-.0826	-.0846
3.25	X	Ⅰ	-.0564	.0136	.0083	.0070	.0069	.0067	.0000
		Ⅱ	-.0339	.0063	.0026	.0017	.0016	.0016	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0117	-.0138	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0326	.0415	.0417	.0416	.0414	.0432
		Ⅱ	-.0056	.0102	.0107	.0104	.0104	.0103	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0702	-.0831	-.0835	-.0835	-.0827	-.0847
3.50	X	Ⅰ	-.0563	.0132	.0080	.0070	.0068	.0068	.0000
		Ⅱ	-.0337	.0059	.0024	.0017	.0016	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0121	-.0139	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0342	.0417	.0417	.0416	.0414	.0432
		Ⅱ	-.0056	.0105	.0106	.0104	.0104	.0103	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0729	-.0832	-.0834	-.0835	-.0828	-.0848
3.75	X	Ⅰ	-.0562	.0128	.0077	.0069	.0068	.0068	.0000
		Ⅱ	-.0335	.0055	.0023	.0017	.0016	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0125	-.0139	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0356	.0418	.0417	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0056	.0106	.0106	.0104	.0104	.0104	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0751	-.0832	-.0834	-.0836	-.0829	-.0848
4.00	X	Ⅰ	-.0561	.0122	.0075	.0069	.0068	.0069	.0000
		Ⅱ	-.0333	.0051	.0022	.0017	.0016	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0128	-.0139	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0093	.0368	.0418	.0417	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0056	.0107	.0106	.0104	.0104	.0104	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0770	-.0832	-.0833	-.0836	-.0830	-.0849

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
4.25	X	Ⅰ	-.0559	.0116	.0074	.0070	.0068	.0069	.0000
		Ⅱ	-.0331	.0047	.0021	.0017	.0016	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0131	-.0139	-.0139	-.0139	-.0138	.0000
	Y	Ⅰ	-.0093	.0378	.0418	.0417	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0055	.0107	.0105	.0104	.0104	.0104	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0786	-.0832	-.0833	-.0836	-.0830	-.0849
4.50	X	Ⅰ	-.0557	.0111	.0074	.0070	.0067	.0069	.0000
		Ⅱ	-.0328	.0043	.0021	.0018	.0015	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0133	-.0139	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0093	.0386	.0418	.0417	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0055	.0108	.0105	.0104	.0104	.0104	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0798	-.0831	-.0833	-.0836	-.0831	-.0849
4.75	X	Ⅰ	-.0555	.0105	.0074	.0070	.0067	.0069	.0000
		Ⅱ	-.0325	.0039	.0021	.0018	.0015	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0135	-.0138	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0093	.0393	.0418	.0417	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0054	.0108	.0105	.0104	.0104	.0104	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0808	-.0831	-.0833	-.0836	-.0832	-.0848
5.00	X	Ⅰ	-.0553	.0100	.0074	.0070	.0067	.0070	.0000
		Ⅱ	-.0322	.0035	.0021	.0018	.0015	.0017	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0136	-.0138	-.0139	-.0139	-.0139	.0000
	Y	Ⅰ	-.0092	.0398	.0418	.0417	.0416	.0415	.0432
		Ⅱ	-.0054	.0107	.0105	.0104	.0104	.0104	.0105
		Ⅲ	.0000	-.0816	-.0830	-.0833	-.0836	-.0832	-.0848

表 6-4 : THREE SIDE FIXED,ONE SIDE FREE;TRIANGULAR LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
0.50	X	I	-.0858	-.0267	.0040	.0151	.0144	.0078	.0000
		II	-.0594	-.0149	.0051	.0106	.0084	.0035	.0000
		III	.0000	-.0023	-.0059	-.0083	-.0095	-.0103	.0000
	Y	I	-.0143	-.0021	.0082	.0160	.0212	.0246	.0273
		II	-.0099	-.0006	.0059	.0091	.0100	.0097	.0098
		III	.0000	-.0140	-.0353	-.0498	-.0571	-.0617	-.0616
0.75	X	I	-.0519	-.0067	.0110	.0137	.0095	.0038	.0000
		II	-.0348	-.0030	.0075	.0080	.0048	.0013	.0000
		III	.0000	-.0024	-.0052	-.0066	-.0065	-.0058	.0000
	Y	I	-.0087	.0020	.0105	.0155	.0173	.0174	.0175
		II	-.0058	.0016	.0059	.0070	.0061	.0047	.0037
		III	.0000	-.0141	-.0314	-.0393	-.0390	-.0349	-.0263
1.00	X	I	-.0350	-.0001	.0097	.0089	.0049	.0013	.0000
		II	-.0229	.0006	.0058	.0047	.0022	.0002	.0000
		III	.0000	-.0023	-.0045	-.0050	-.0044	-.0033	.0000
	Y	I	-.0058	.0035	.0103	.0129	.0124	.0106	.0094
		II	-.0038	.0021	.0049	.0049	.0038	.0024	.0014
		III	.0000	-.0135	-.0267	-.0299	-.0262	-.0198	-.0111
1.25	X	I	-.0391	.0035	.0112	.0083	.0038	.0005	.0000
		II	-.0251	.0026	.0063	.0041	.0014	-.0002	.0000
		III	.0000	-.0033	-.0058	-.0059	-.0047	-.0031	.0000
	Y	I	-.0065	.0064	.0146	.0162	.0137	.0101	.0079
		II	-.0042	.0033	.0060	.0054	.0038	.0021	.0008
		III	.0000	-.0196	-.0347	-.0354	-.0280	-.0186	-.0083
1.50	X	I	-.0420	.0065	.0114	.0071	.0029	.0001	.0000
		II	-.0266	.0042	.0060	.0031	.0009	-.0004	.0000
		III	.0000	-.0043	-.0069	-.0065	-.0048	-.0029	.0000
	Y	I	-.0070	.0094	.0183	.0184	.0142	.0094	.0065
		II	-.0044	.0045	.0067	.0056	.0037	.0019	.0006
		III	.0000	-.0258	-.0413	-.0388	-.0286	-.0173	-.0066

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
1.75	X	Ⅰ	-.0441	.0088	.0108	.0059	.0024	.0001	.0000
		Ⅱ	-.0277	.0053	.0053	.0023	.0006	-.0004	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0053	-.0077	-.0068	-.0048	-.0027	.0000
	Y	Ⅰ	-.0074	.0124	.0212	.0197	.0142	.0087	.0055
		Ⅱ	-.0046	.0054	.0071	.0055	.0036	.0018	.0004
		Ⅲ	.0000	-.0318	-.0462	-.0407	-.0285	-.0162	-.0057
2.00	X	Ⅰ	-.0457	.0105	.0099	.0050	.0022	.0002	.0000
		Ⅱ	-.0285	.0060	.0046	.0017	.0004	-.0003	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0062	-.0083	-.0069	-.0047	-.0026	.0000
	Y	Ⅰ	-.0076	.0153	.0234	.0204	.0142	.0082	.0047
		Ⅱ	-.0048	.0063	.0073	.0055	.0035	.0017	.0004
		Ⅲ	.0000	-.0373	-.0497	-.0416	-.0283	-.0154	-.0052
2.25	X	Ⅰ	-.0469	.0117	.0089	.0043	.0021	.0003	.0000
		Ⅱ	-.0291	.0064	.0038	.0013	.0004	-.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0071	-.0087	-.0070	-.0047	-.0025	.0000
	Y	Ⅰ	-.0078	.0179	.0250	.0208	.0141	.0078	.0042
		Ⅱ	-.0049	.0070	.0074	.0054	.0035	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0424	-.0521	-.0420	-.0281	-.0149	-.0048
2.50	X	Ⅰ	-.0478	.0123	.0079	.0039	.0021	.0005	.0000
		Ⅱ	-.0296	.0066	.0032	.0011	.0004	-.0001	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0078	-.0089	-.0070	-.0047	-.0024	.0000
	Y	Ⅰ	-.0080	.0204	.0262	.0209	.0140	.0076	.0038
		Ⅱ	-.0049	.0075	.0074	.0053	.0034	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0469	-.0536	-.0420	-.0280	-.0145	-.0045
2.75	X	Ⅰ	-.0486	.0126	.0071	.0037	.0021	.0006	.0000
		Ⅱ	-.0299	.0065	.0027	.0010	.0004	-.0001	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0085	-.0091	-.0070	-.0047	-.0024	.0000
	Y	Ⅰ	-.0081	.0226	.0269	.0209	.0139	.0074	.0034
		Ⅱ	-.0050	.0080	.0073	.0053	.0034	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0508	-.0546	-.0420	-.0280	-.0143	-.0042

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
3.00	X	Ⅰ	-.0492	.0126	.0064	.0036	.0021	.0007	.0000
		Ⅱ	-.0301	.0063	.0023	.0009	.0004	.0000	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0090	-.0092	-.0070	-.0047	-.0024	.0000
	Y	Ⅰ	-.0082	.0245	.0274	.0209	.0139	.0073	.0032
		Ⅱ	-.0050	.0083	.0073	.0052	.0034	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0543	-.0551	-.0419	-.0279	-.0141	-.0040
3.25	X	Ⅰ	-.0496	.0123	.0059	.0035	.0022	.0008	.0000
		Ⅱ	-.0303	.0059	.0020	.0009	.0004	.0001	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0095	-.0092	-.0070	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0083	.0262	.0277	.0209	.0139	.0072	.0029
		Ⅱ	-.0050	.0086	.0072	.0052	.0034	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0572	-.0554	-.0418	-.0279	-.0140	-.0038
3.50	X	Ⅰ	-.0500	.0119	.0056	.0035	.0022	.0009	.0000
		Ⅱ	-.0304	.0055	.0018	.0009	.0004	.0001	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0099	-.0093	-.0070	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0083	.0277	.0278	.0209	.0139	.0071	.0027
		Ⅱ	-.0051	.0088	.0072	.0052	.0034	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0597	-.0555	-.0418	-.0279	-.0139	-.0036
3.75	X	Ⅰ	-.0503	.0115	.0054	.0035	.0022	.0009	.0000
		Ⅱ	-.0304	.0051	.0017	.0009	.0004	.0001	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0103	-.0093	-.0070	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0084	.0290	.0279	.0209	.0139	.0071	.0026
		Ⅱ	-.0051	.0089	.0071	.0052	.0034	.0017	.0003
		Ⅲ	.0000	-.0618	-.0555	-.0417	-.0280	-.0139	-.0034
4.00	X	Ⅰ	-.0505	.0109	.0052	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0304	.0047	.0016	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0106	-.0093	-.0070	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0084	.0301	.0279	.0209	.0139	.0070	.0024
		Ⅱ	-.0051	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0635	-.0555	-.0417	-.0280	-.0138	-.0033

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
4.25	X	Ⅰ	-.0507	.0104	.0051	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0303	.0043	.0015	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0108	-.0092	-.0070	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0310	.0280	.0208	.0138	.0070	.0023
		Ⅱ	-.0051	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0649	-.0555	-.0417	-.0280	-.0138	-.0032
4.50	X	Ⅰ	-.0508	.0098	.0051	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0302	.0039	.0015	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0110	-.0092	-.0069	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0318	.0279	.0208	.0138	.0070	.0022
		Ⅱ	-.0050	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0661	-.0554	-.0417	-.0280	-.0138	-.0030
4.75	X	Ⅰ	-.0509	.0092	.0051	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0301	.0035	.0015	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0112	-.0092	-.0069	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0325	.0279	.0208	.0138	.0070	.0021
		Ⅱ	-.0050	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0670	-.0553	-.0417	-.0280	-.0138	-.0029
5.00	X	Ⅰ	-.0509	.0087	.0051	.0035	.0020	.0011	.0000
		Ⅱ	-.0299	.0032	.0016	.0009	.0003	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0113	-.0092	-.0069	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0330	.0279	.0208	.0138	.0069	.0020
		Ⅱ	-.0050	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0678	-.0553	-.0417	-.0280	-.0138	-.0028

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
4.25	X	Ⅰ	-.0507	.0104	.0051	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0303	.0043	.0015	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0108	-.0092	-.0070	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0310	.0280	.0208	.0138	.0070	.0023
		Ⅱ	-.0051	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0649	-.0555	-.0417	-.0280	-.0138	-.0032
4.50	X	Ⅰ	-.0508	.0098	.0051	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0302	.0039	.0015	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0110	-.0092	-.0069	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0318	.0279	.0208	.0138	.0070	.0022
		Ⅱ	-.0050	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0661	-.0554	-.0417	-.0280	-.0138	-.0030
4.75	X	Ⅰ	-.0509	.0092	.0051	.0035	.0021	.0010	.0000
		Ⅱ	-.0301	.0035	.0015	.0009	.0004	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0112	-.0092	-.0069	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0325	.0279	.0208	.0138	.0070	.0021
		Ⅱ	-.0050	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0670	-.0553	-.0417	-.0280	-.0138	-.0029
5.00	X	Ⅰ	-.0509	.0087	.0051	.0035	.0020	.0011	.0000
		Ⅱ	-.0299	.0032	.0016	.0009	.0003	.0002	.0000
		Ⅲ	.0000	-.0113	-.0092	-.0069	-.0047	-.0023	.0000
	Y	Ⅰ	-.0085	.0330	.0279	.0208	.0138	.0069	.0020
		Ⅱ	-.0050	.0090	.0071	.0052	.0034	.0017	.0002
		Ⅲ	.0000	-.0678	-.0553	-.0417	-.0280	-.0138	-.0028

表 6-5 : FOUR SIDE FIXED;UNIFORM LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
0.50	X	I	-.0828	-.0127	.0276	.0407	.0276	-.0127	-.0828
		II	-.0669	-.0078	.0218	.0308	.0218	-.0078	-.0669
		III	.0000	-.0033	-.0078	-.0095	-.0078	-.0033	.0000
	Y	I	-.0138	-.0011	.0074	.0105	.0074	-.0011	-.0138
		II	-.0112	.0015	.0107	.0139	.0107	.0015	-.0112
		III	.0000	-.0196	-.0466	-.0570	-.0466	-.0196	.0000
0.75	X	I	-.0701	-.0073	.0230	.0318	.0230	-.0073	-.0701
		II	-.0477	-.0037	.0149	.0200	.0149	-.0037	-.0477
		III	.0000	-.0033	-.0077	-.0094	-.0077	-.0033	.0000
	Y	I	-.0117	.0026	.0138	.0179	.0138	.0026	-.0117
		II	-.0079	.0027	.0100	.0125	.0100	.0027	-.0079
		III	.0000	-.0197	-.0464	-.0565	-.0464	-.0197	.0000
1.00	X	I	-.0513	-.0021	.0162	.0206	.0162	-.0021	-.0513
		II	-.0324	-.0009	.0094	.0116	.0094	-.0009	-.0324
		III	.0000	-.0032	-.0071	-.0086	-.0071	-.0032	.0000
	Y	I	-.0086	.0052	.0165	.0206	.0165	.0052	-.0086
		II	-.0054	.0028	.0080	.0096	.0080	.0028	-.0054
		III	.0000	-.0190	-.0428	-.0513	-.0428	-.0190	.0000
1.25	X	I	-.0559	.0015	.0166	.0189	.0166	.0015	-.0559
		II	-.0343	.0012	.0089	.0097	.0089	.0012	-.0343
		III	.0000	-.0045	-.0094	-.0111	-.0094	-.0045	.0000
	Y	I	-.0093	.0096	.0244	.0295	.0244	.0096	-.0093
		II	-.0057	.0042	.0094	.0108	.0094	.0042	-.0057
		III	.0000	-.0272	-.0567	-.0664	-.0567	-.0272	.0000
1.50	X	I	-.0570	.0053	.0156	.0158	.0156	.0053	-.0570
		II	-.0346	.0032	.0078	.0073	.0078	.0032	-.0346
		III	.0000	-.0058	-.0111	-.0126	-.0111	-.0058	.0000
	Y	I	-.0095	.0136	.0302	.0354	.0302	.0136	-.0095
		II	-.0058	.0054	.0102	.0112	.0102	.0054	-.0058
		III	.0000	-.0349	-.0664	-.0756	-.0664	-.0349	.0000

CASE 5 : FOUR SIDE FIXED;UNIFORM LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
0.50	X	Ⅰ	-.0828	-.0127	.0276	.0407	.0276	-.0127	-.0828
		Ⅱ	-.0669	-.0078	.0218	.0308	.0218	-.0078	-.0669
		Ⅲ	.0000	-.0033	-.0078	-.0095	-.0078	-.0033	.0000
	Y	Ⅰ	-.0138	-.0011	.0074	.0105	.0074	-.0011	-.0138
		Ⅱ	-.0112	.0015	.0107	.0139	.0107	.0015	-.0112
		Ⅲ	.0000	-.0196	-.0466	-.0570	-.0466	-.0196	.0000
0.75	X	Ⅰ	-.0701	-.0073	.0230	.0318	.0230	-.0073	-.0701
		Ⅱ	-.0477	-.0037	.0149	.0200	.0149	-.0037	-.0477
		Ⅲ	.0000	-.0033	-.0077	-.0094	-.0077	-.0033	.0000
	Y	Ⅰ	-.0117	.0026	.0138	.0179	.0138	.0026	-.0117
		Ⅱ	-.0079	.0027	.0100	.0125	.0100	.0027	-.0079
		Ⅲ	.0000	-.0197	-.0464	-.0565	-.0464	-.0197	.0000
1.00	X	Ⅰ	-.0513	-.0021	.0162	.0206	.0162	-.0021	-.0513
		Ⅱ	-.0324	-.0009	.0094	.0116	.0094	-.0009	-.0324
		Ⅲ	.0000	-.0032	-.0071	-.0086	-.0071	-.0032	.0000
	Y	Ⅰ	-.0086	.0052	.0165	.0206	.0165	.0052	-.0086
		Ⅱ	-.0054	.0028	.0080	.0096	.0080	.0028	-.0054
		Ⅲ	.0000	-.0190	-.0428	-.0513	-.0428	-.0190	.0000
1.25	X	Ⅰ	-.0559	.0015	.0166	.0189	.0166	.0015	-.0559
		Ⅱ	-.0343	.0012	.0089	.0097	.0089	.0012	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0045	-.0094	-.0111	-.0094	-.0045	.0000
	Y	Ⅰ	-.0093	.0096	.0244	.0295	.0244	.0096	-.0093
		Ⅱ	-.0057	.0042	.0094	.0108	.0094	.0042	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0272	-.0567	-.0664	-.0567	-.0272	.0000
1.50	X	Ⅰ	-.0570	.0053	.0156	.0158	.0156	.0053	-.0570
		Ⅱ	-.0346	.0032	.0078	.0073	.0078	.0032	-.0346
		Ⅲ	.0000	-.0058	-.0111	-.0126	-.0111	-.0058	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0136	.0302	.0354	.0302	.0136	-.0095
		Ⅱ	-.0058	.0054	.0102	.0112	.0102	.0054	-.0058
		Ⅲ	.0000	-.0349	-.0664	-.0756	-.0664	-.0349	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
1.75	X	Ⅰ	-.0571	.0084	.0142	.0128	.0142	.0084	-.0571
		Ⅱ	-.0346	.0048	.0065	.0052	.0065	.0048	-.0346
		Ⅲ	.0000	-.0070	-.0121	-.0134	-.0121	-.0070	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0173	.0342	.0389	.0342	.0173	-.0095
		Ⅱ	-.0058	.0066	.0106	.0112	.0106	.0066	-.0058
		Ⅲ	.0000	-.0418	-.0729	-.0805	-.0729	-.0418	.0000
2.00	X	Ⅰ	-.0570	.0107	.0127	.0105	.0127	.0107	-.0570
		Ⅱ	-.0345	.0059	.0054	.0038	.0054	.0059	-.0345
		Ⅲ	.0000	-.0080	-.0128	-.0138	-.0128	-.0080	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0206	.0368	.0406	.0368	.0206	-.0095
		Ⅱ	-.0058	.0076	.0108	.0110	.0108	.0076	-.0058
		Ⅲ	.0000	-.0480	-.0771	-.0828	-.0771	-.0480	.0000
2.25	X	Ⅰ	-.0569	.0123	.0114	.0089	.0114	.0123	-.0569
		Ⅱ	-.0345	.0065	.0045	.0028	.0045	.0065	-.0345
		Ⅲ	.0000	-.0089	-.0133	-.0140	-.0133	-.0089	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0235	.0387	.0415	.0387	.0235	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0084	.0109	.0108	.0109	.0084	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0536	-.0798	-.0837	-.0798	-.0536	.0000
2.50	X	Ⅰ	-.0569	.0133	.0103	.0080	.0103	.0133	-.0569
		Ⅱ	-.0345	.0069	.0038	.0023	.0038	.0069	-.0345
		Ⅲ	.0000	-.0098	-.0136	-.0140	-.0136	-.0098	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0262	.0399	.0418	.0399	.0262	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0090	.0108	.0107	.0108	.0090	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0586	-.0815	-.0839	-.0815	-.0586	.0000
2.75	X	Ⅰ	-.0568	.0137	.0094	.0074	.0094	.0137	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0069	.0032	.0020	.0032	.0069	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0105	-.0138	-.0140	-.0138	-.0105	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0286	.0407	.0419	.0407	.0286	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0096	.0108	.0106	.0108	.0096	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0629	-.0826	-.0839	-.0826	-.0629	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
3.00	X	Ⅰ	-.0568	.0139	.0087	.0071	.0087	.0139	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0068	.0027	.0018	.0027	.0068	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0111	-.0139	-.0140	-.0139	-.0111	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0307	.0412	.0419	.0412	.0307	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0100	.0107	.0105	.0107	.0100	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0666	-.0832	-.0837	-.0832	-.0666	.0000
3.25	X	Ⅰ	-.0568	.0137	.0081	.0070	.0081	.0137	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0065	.0024	.0018	.0024	.0065	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0116	-.0139	-.0139	-.0139	-.0116	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0326	.0415	.0418	.0415	.0326	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0103	.0106	.0105	.0106	.0103	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0698	-.0835	-.0836	-.0835	-.0698	.0000
3.50	X	Ⅰ	-.0568	.0134	.0077	.0069	.0077	.0134	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0062	.0021	.0017	.0021	.0062	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0121	-.0140	-.0139	-.0140	-.0121	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0342	.0417	.0418	.0417	.0342	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0105	.0106	.0104	.0106	.0105	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0725	-.0837	-.0834	-.0837	-.0725	.0000
3.75	X	Ⅰ	-.0568	.0130	.0074	.0069	.0074	.0130	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0058	.0020	.0017	.0020	.0058	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0124	-.0140	-.0139	-.0140	-.0124	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0356	.0417	.0417	.0417	.0356	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0106	.0105	.0104	.0105	.0106	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0747	-.0838	-.0833	-.0838	-.0747	.0000
4.00	X	Ⅰ	-.0568	.0125	.0072	.0069	.0072	.0125	-.0568
		Ⅱ	-.0344	.0054	.0018	.0018	.0018	.0054	-.0344
		Ⅲ	.0000	-.0128	-.0140	-.0139	-.0140	-.0128	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0368	.0418	.0417	.0418	.0368	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0107	.0105	.0104	.0105	.0107	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0765	-.0838	-.0833	-.0838	-.0765	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
4.25	X	Ⅰ	-.0567	.0120	.0071	.0070	.0071	.0120	-.0567
		Ⅱ	-.0343	.0050	.0018	.0018	.0018	.0050	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0130	-.0140	-.0139	-.0140	-.0130	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0377	.0418	.0417	.0418	.0377	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0105	.0104	.0105	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0781	-.0837	-.0832	-.0837	-.0781	.0000
4.50	X	Ⅰ	-.0567	.0114	.0070	.0070	.0070	.0114	-.0567
		Ⅱ	-.0343	.0046	.0017	.0018	.0017	.0046	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0132	-.0139	-.0139	-.0139	-.0132	.0000
	Y	Ⅰ	-.0095	.0386	.0418	.0417	.0418	.0386	-.0095
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0104	.0104	.0104	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0793	-.0837	-.0832	-.0837	-.0793	.0000
4.75	X	Ⅰ	-.0567	.0109	.0069	.0070	.0069	.0109	-.0567
		Ⅱ	-.0343	.0042	.0017	.0018	.0017	.0042	-.0343
		Ⅲ	.0000	-.0134	-.0139	-.0139	-.0139	-.0134	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0393	.0417	.0417	.0417	.0393	-.0094
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0104	.0104	.0104	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0803	-.0837	-.0832	-.0837	-.0803	.0000
5.00	X	Ⅰ	-.0567	.0104	.0069	.0070	.0069	.0104	-.0567
		Ⅱ	-.0342	.0039	.0017	.0018	.0017	.0039	-.0342
		Ⅲ	.0000	-.0135	-.0139	-.0139	-.0139	-.0135	.0000
	Y	Ⅰ	-.0094	.0398	.0417	.0417	.0417	.0398	-.0094
		Ⅱ	-.0057	.0108	.0104	.0104	.0104	.0108	-.0057
		Ⅲ	.0000	-.0811	-.0836	-.0832	-.0836	-.0811	.0000

表 6- 6 : FOUR SIDE FIXED;TRIANGULAR LOAD
X : 代表 X 方向彎矩係數
Y : 代表 Y 方向彎矩係數

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
0.50	X	I	-.0331	-.0085	.0104	.0203	.0172	-.0042	-.0497
		II	-.0254	-.0061	.0078	.0154	.0141	-.0018	-.0415
		III	.0000	-.0010	-.0032	-.0047	-.0045	-.0023	.0000
	Y	I	-.0055	-.0009	.0031	.0052	.0043	-.0002	-.0083
		II	-.0042	.0002	.0046	.0070	.0061	.0013	-.0069
		III	.0000	-.0059	-.0194	-.0285	-.0272	-.0137	.0000
0.75	X	I	-.0268	-.0058	.0082	.0159	.0148	-.0015	-.0433
		II	-.0167	-.0038	.0049	.0100	.0100	.0001	-.0310
		III	.0000	-.0010	-.0032	-.0047	-.0045	-.0023	.0000
	Y	I	-.0045	.0008	.0062	.0090	.0076	.0018	-.0072
		II	-.0028	.0006	.0040	.0062	.0060	.0021	-.0052
		III	.0000	-.0060	-.0193	-.0283	-.0271	-.0137	.0000
1.00	X	I	-.0179	-.0032	.0052	.0103	.0110	.0011	-.0334
		II	-.0101	-.0021	.0028	.0058	.0067	.0013	-.0223
		III	.0000	-.0009	-.0029	-.0043	-.0042	-.0022	.0000
	Y	I	-.0030	.0019	.0072	.0103	.0092	.0033	-.0056
		II	-.0017	.0006	.0030	.0048	.0049	.0023	-.0037
		III	.0000	-.0056	-.0175	-.0257	-.0253	-.0134	.0000
1.25	X	I	-.0171	-.0023	.0047	.0095	.0119	.0039	-.0389
		II	-.0092	-.0017	.0022	.0048	.0067	.0028	-.0251
		III	.0000	-.0013	-.0037	-.0055	-.0057	-.0033	.0000
	Y	I	-.0028	.0033	.0103	.0147	.0141	.0063	-.0065
		II	-.0015	.0008	.0034	.0054	.0060	.0034	-.0042
		III	.0000	-.0076	-.0224	-.0332	-.0343	-.0196	.0000
1.50	X	I	-.0149	-.0014	.0039	.0079	.0117	.0066	-.0421
		II	-.0079	-.0011	.0016	.0036	.0061	.0042	-.0267
		III	.0000	-.0015	-.0042	-.0063	-.0069	-.0043	.0000
	Y	I	-.0025	.0042	.0121	.0177	.0181	.0094	-.0070
		II	-.0013	.0010	.0035	.0056	.0067	.0045	-.0045
		III	.0000	-.0090	-.0252	-.0378	-.0412	-.0258	.0000

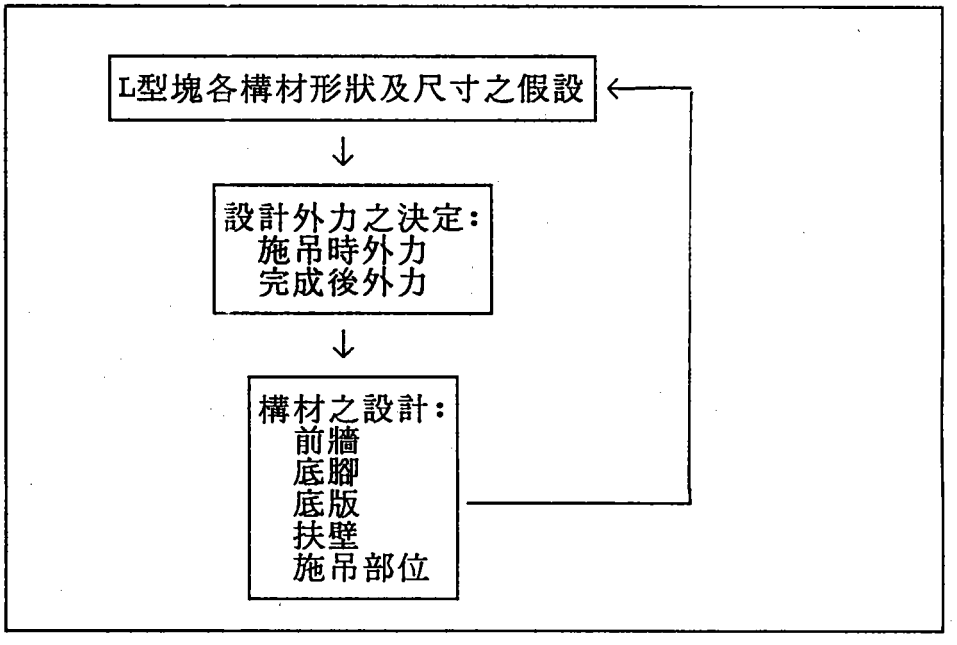
邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
1.75	X	Ⅰ	-.0128	-.0005	.0033	.0064	.0109	.0089	-.0442
		Ⅱ	-.0068	-.0006	.0012	.0026	.0053	.0053	-.0278
		Ⅲ	.0000	-.0017	-.0044	-.0067	-.0077	-.0053	.0000
	Y	Ⅰ	-.0021	.0049	.0130	.0194	.0212	.0124	-.0074
		Ⅱ	-.0011	.0011	.0035	.0056	.0071	.0054	-.0046
		Ⅲ	.0000	-.0100	-.0266	-.0403	-.0463	-.0317	.0000
2.00	X	Ⅰ	-.0112	.0001	.0029	.0052	.0099	.0106	-.0458
		Ⅱ	-.0059	-.0002	.0009	.0019	.0045	.0061	-.0287
		Ⅲ	.0000	-.0018	-.0045	-.0069	-.0083	-.0062	.0000
	Y	Ⅰ	-.0019	.0053	.0134	.0203	.0234	.0153	-.0076
		Ⅱ	-.0010	.0013	.0035	.0055	.0073	.0063	-.0048
		Ⅲ	.0000	-.0108	-.0272	-.0414	-.0499	-.0372	.0000
2.25	X	Ⅰ	-.0099	.0005	.0026	.0045	.0088	.0117	-.0470
		Ⅱ	-.0052	.0000	.0008	.0014	.0037	.0065	-.0293
		Ⅲ	.0000	-.0019	-.0046	-.0070	-.0087	-.0070	.0000
	Y	Ⅰ	-.0016	.0056	.0136	.0207	.0250	.0179	-.0078
		Ⅱ	-.0009	.0014	.0035	.0054	.0074	.0070	-.0049
		Ⅲ	.0000	-.0114	-.0275	-.0419	-.0523	-.0422	.0000
2.50	X	Ⅰ	-.0089	.0009	.0025	.0040	.0078	.0124	-.0480
		Ⅱ	-.0047	.0002	.0007	.0011	.0031	.0066	-.0298
		Ⅲ	.0000	-.0020	-.0046	-.0070	-.0090	-.0078	.0000
	Y	Ⅰ	-.0015	.0058	.0137	.0209	.0261	.0204	-.0080
		Ⅱ	-.0008	.0015	.0035	.0053	.0073	.0075	-.0050
		Ⅲ	.0000	-.0119	-.0276	-.0420	-.0539	-.0467	.0000
2.75	X	Ⅰ	-.0080	.0010	.0024	.0037	.0069	.0127	-.0488
		Ⅱ	-.0042	.0003	.0007	.0010	.0025	.0066	-.0302
		Ⅲ	.0000	-.0021	-.0046	-.0070	-.0091	-.0084	.0000
	Y	Ⅰ	-.0013	.0061	.0138	.0210	.0269	.0226	-.0081
		Ⅱ	-.0007	.0016	.0035	.0053	.0073	.0080	-.0050
		Ⅲ	.0000	-.0123	-.0277	-.0419	-.0549	-.0506	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
3.00	X	Ⅰ	-.0074	.0012	.0024	.0036	.0063	.0127	-.0495
		Ⅱ	-.0039	.0004	.0006	.0009	.0021	.0064	-.0306
		Ⅲ	.0000	-.0021	-.0046	-.0070	-.0092	-.0090	.0000
	Y	Ⅰ	-.0012	.0062	.0138	.0209	.0273	.0245	-.0082
		Ⅱ	-.0006	.0016	.0035	.0052	.0072	.0083	-.0051
		Ⅲ	.0000	-.0126	-.0277	-.0419	-.0555	-.0540	.0000
3.25	X	Ⅰ	-.0068	.0012	.0024	.0035	.0057	.0125	-.0500
		Ⅱ	-.0036	.0004	.0006	.0009	.0018	.0061	-.0308
		Ⅲ	.0000	-.0022	-.0046	-.0070	-.0093	-.0095	.0000
	Y	Ⅰ	-.0011	.0064	.0139	.0209	.0276	.0262	-.0083
		Ⅱ	-.0006	.0017	.0035	.0052	.0072	.0086	-.0051
		Ⅲ	.0000	-.0129	-.0278	-.0418	-.0558	-.0569	.0000
3.50	X	Ⅰ	-.0063	.0013	.0024	.0035	.0053	.0121	-.0505
		Ⅱ	-.0033	.0004	.0006	.0009	.0015	.0057	-.0311
		Ⅲ	.0000	-.0022	-.0046	-.0070	-.0093	-.0099	.0000
	Y	Ⅰ	-.0011	.0065	.0139	.0209	.0278	.0277	-.0084
		Ⅱ	-.0006	.0017	.0035	.0052	.0071	.0088	-.0052
		Ⅲ	.0000	-.0131	-.0278	-.0417	-.0559	-.0593	.0000
3.75	X	Ⅰ	-.0059	.0013	.0023	.0035	.0051	.0117	-.0509
		Ⅱ	-.0031	.0004	.0006	.0009	.0014	.0054	-.0313
		Ⅲ	.0000	-.0022	-.0046	-.0069	-.0093	-.0102	.0000
	Y	Ⅰ	-.0010	.0066	.0139	.0209	.0279	.0290	-.0085
		Ⅱ	-.0005	.0017	.0035	.0052	.0071	.0089	-.0052
		Ⅲ	.0000	-.0133	-.0278	-.0417	-.0560	-.0614	.0000
4.00	X	Ⅰ	-.0055	.0013	.0023	.0035	.0049	.0112	-.0512
		Ⅱ	-.0029	.0004	.0006	.0009	.0013	.0050	-.0314
		Ⅲ	.0000	-.0022	-.0046	-.0069	-.0093	-.0105	.0000
	Y	Ⅰ	-.0009	.0067	.0139	.0209	.0279	.0301	-.0085
		Ⅱ	-.0005	.0017	.0035	.0052	.0070	.0090	-.0052
		Ⅲ	.0000	-.0134	-.0278	-.0416	-.0559	-.0631	.0000

邊長比		座標	1	2	3	4	5	6	7
4.25	X	Ⅰ	-.0052	.0013	.0023	.0035	.0047	.0107	-.0515
		Ⅱ	-.0027	.0004	.0006	.0009	.0012	.0046	-.0316
		Ⅲ	.0000	-.0023	-.0046	-.0069	-.0093	-.0108	.0000
	Y	Ⅰ	-.0009	.0067	.0139	.0208	.0279	.0310	-.0086
		Ⅱ	-.0005	.0017	.0035	.0052	.0070	.0091	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0135	-.0278	-.0416	-.0559	-.0645	.0000
4.50	X	Ⅰ	-.0049	.0013	.0023	.0035	.0047	.0101	-.0518
		Ⅱ	-.0026	.0004	.0006	.0009	.0011	.0042	-.0317
		Ⅲ	.0000	-.0023	-.0046	-.0069	-.0093	-.0109	.0000
	Y	Ⅰ	-.0008	.0068	.0139	.0208	.0279	.0318	-.0086
		Ⅱ	-.0004	.0017	.0035	.0052	.0070	.0091	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0136	-.0278	-.0416	-.0559	-.0657	.0000
4.75	X	Ⅰ	-.0046	.0013	.0023	.0035	.0046	.0096	-.0520
		Ⅱ	-.0024	.0004	.0006	.0009	.0011	.0038	-.0318
		Ⅲ	.0000	-.0023	-.0046	-.0069	-.0093	-.0111	.0000
	Y	Ⅰ	-.0008	.0068	.0139	.0208	.0279	.0325	-.0087
		Ⅱ	-.0004	.0017	.0035	.0052	.0070	.0091	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0137	-.0278	-.0416	-.0558	-.0666	.0000
5.00	X	Ⅰ	-.0044	.0013	.0023	.0035	.0046	.0092	-.0523
		Ⅱ	-.0023	.0004	.0006	.0009	.0011	.0035	-.0319
		Ⅲ	.0000	-.0023	-.0046	-.0069	-.0093	-.0112	.0000
	Y	Ⅰ	-.0007	.0068	.0139	.0208	.0278	.0330	-.0087
		Ⅱ	-.0004	.0017	.0035	.0052	.0069	.0091	-.0053
		Ⅲ	.0000	-.0137	-.0278	-.0416	-.0558	-.0674	.0000

第二章　L型塊

2-1 設計程序



2-2 各影響因素之決定

L型塊各構材形狀尺寸之決定，應考慮下列各因素：

1.L型塊製作設施之能力。

2.起重機之施吊能力。

3.壁體設計水深。

4.潮差。

5.上部結構之高度。

[說明]

1.L型塊岸壁之設計高度，應考慮依上部結構施工之難易程度與壁前水深及潮差決定之。L型塊岸壁之縱深與L型塊高度及岸壁高度之關係，如圖2-1 所示。設計地震係數依當地情況而定，如地震係數加大，縱深應相對加大。

2.L型塊之寬度通常受其重量之限制。高度愈大，由於起重機吊重能力之

限制，寬度愈應縮小。但此不僅對L型塊安放時之穩定有不良影響，並且因接縫數增加，而減低壁體橫方向之整體性作用， 形成極不穩定之形態。又因扶壁之間距變小可能成不經濟設計。

3.L型各部位之厚度大約如下：

前牆　30cm～40cm。

底腳　50cm～70cm。

底版　40cm～60cm。

扶壁　30cm～40cm。

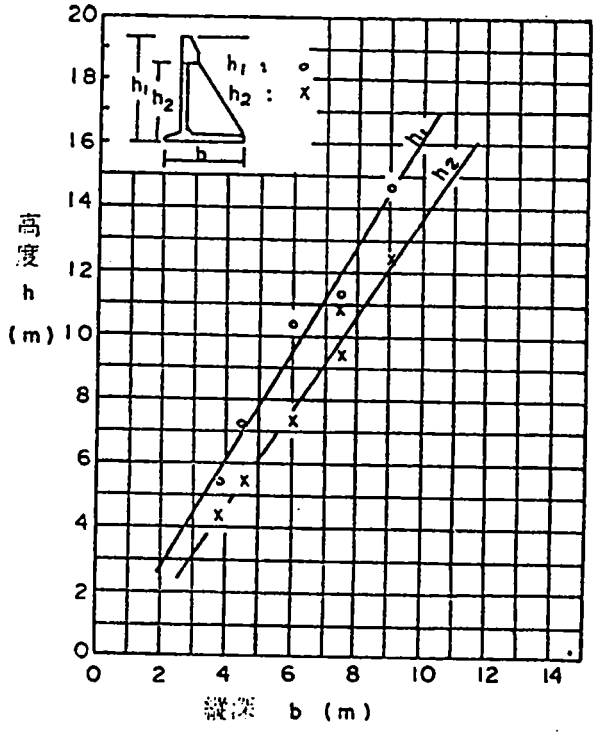


圖 2-1　L型塊縱深與高度之關係

2-3 作用於構材之載重

2-3-1 概述

作用於L型塊各構材之載重，不論是平時或地震時，均應考慮下列各點：

1.前牆：

(1)上載荷重及背填石料或砂土之土壓。

(2)殘留水壓。

2.底腳：

(1)地盤反力。
(2)底腳自重。

3.底版：
(1)上加載重。
(2)上加砂土載重。
(3)底版自重。
(4)地盤反力。

4.扶壁：
(1)前牆之支承反力。
(2)底版之支承反力
(3)作用於扶壁背面之土壓及殘留水壓。
(另外施工時應考慮以下之荷重)
(4)起吊載重。
(5)扶起載重。

[說明]

1.作用於L型塊各構材之載重如圖2-2所示。

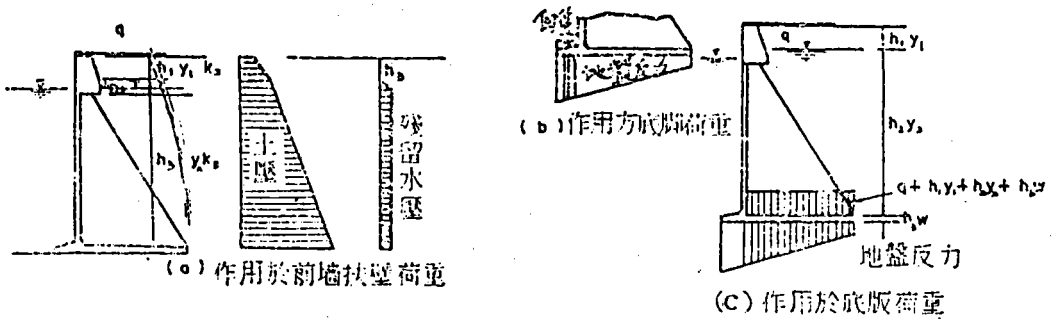


圖 2-2 作用於L型塊之載重

2.L型塊之混凝土，有時以橫置形態澆置，在此種情況，須考慮L型塊扶起時所受之外力。

3.地盤反力計算，參照1-4-6『完成後之外力』決定之。

2-3-2 作用於構材之土壓

作用於L型塊構材之土壓，按壁體穩定計算所使用之壓決定之。

[說明]

L型塊岸壁之背填料通常使用雜石， 壁體縱有微小變位，由於有底版之之存在，所以前牆與背填石間相對變位不易產生，故牆面摩擦角可假定爲0°；或許近似靜止土壓之作用。由於背填雜石與岸邊所填築砂土之內摩擦角不同，作用於前牆之載重仍取用穩定計算之值，似有不妥。但由作用於L型塊壁體外力之實測資料及以往之設計實例， 土壓應依照本基準所規定各點決定。

2-3-3 載重分割方法

作用於L型塊壁體之載重，爲計算方便，得予適當分割。載重之分割，不得使構材之設計載重偏低，以確保安全。

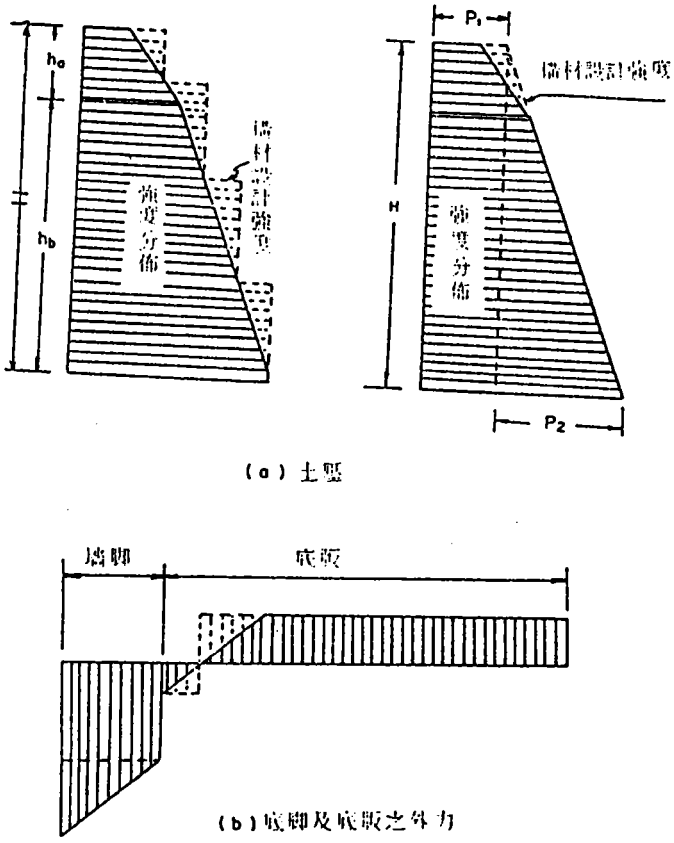


圖 2-3 載重分割方法

2-4 構材之設計

2-4-1 前牆

1.前牆原則上按扶壁支承之版設計。如扶壁僅有一個時，前牆視懸臂版，扶壁二個以上時，前牆以連續版設計之。
2.前牆之構材長度爲扶壁之中心距。
3.前牆背後之載重，原則上作用於構材全長。
4.前牆主鋼筋之被覆厚度，原則上不得小於下列數值：

海側：7cm

陸側：5cm

[說明]

1.前牆除由扶壁支承外，在構造上同時由底版支承，所以前牆得按二邊或三邊支承版設計之。一般高度大之L型塊岸壁受底版之支承影響不大，爲考慮底版銜接處之鋼筋配置之複雜性，原則上以懸臂版或連續版設計之。倘若認爲以二邊或三邊支承版設計較適當時，得不依本規定辦理。

2.前牆構材之長度及載重之作用狀態，如圖2-4所示。

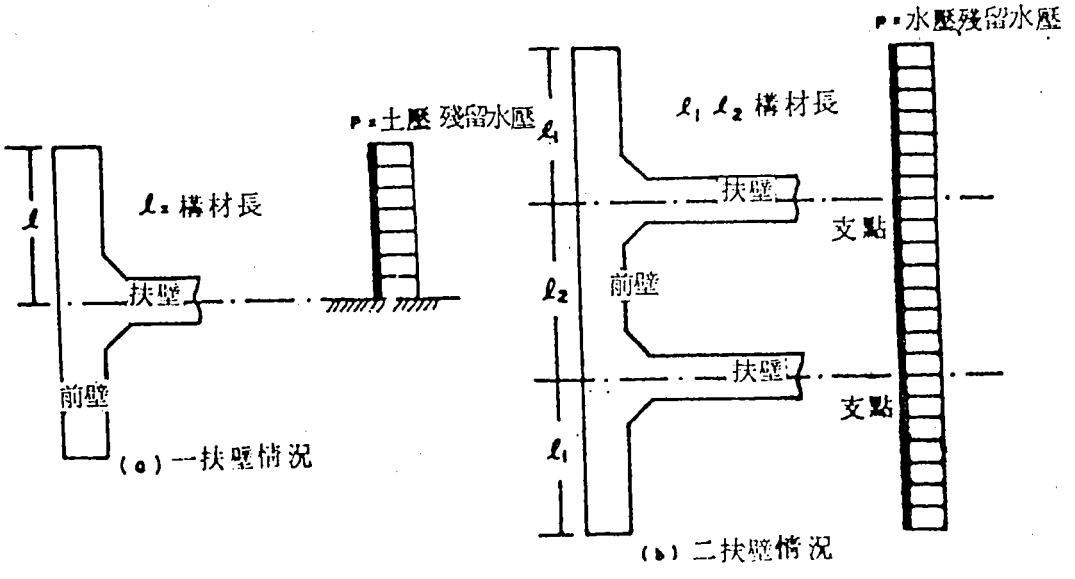


圖 2-4 前壁構材長度及載重作用狀態

2-4-2 底腳

1.底腳按以前牆支承之懸臂版設計。
2.底腳構材長度爲腳尖至前牆面之距離。
3.底腳主鋼筋之被覆厚度原則上不得小於7cm。

[說明]

底腳構材長度及載重作用狀態如圖2-5所示。

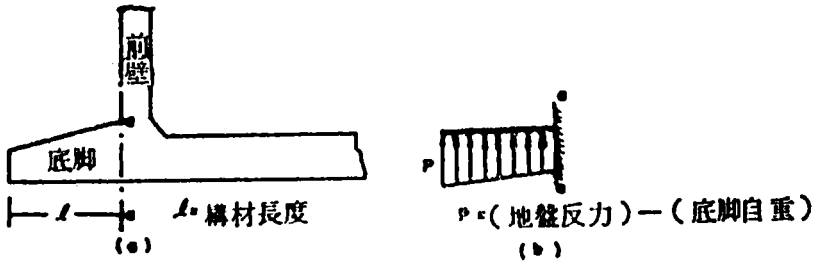


圖 2-5 底腳構材長度及載重作用狀態

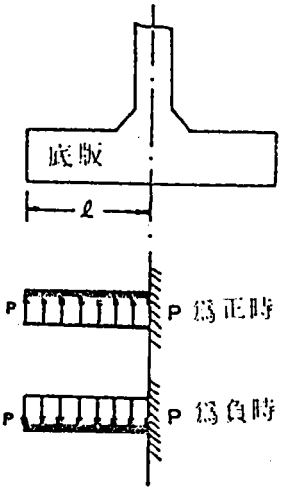
2-4-3 底版

1.底版原則上按以扶壁支承之版設計，即扶壁一個時以懸臂版，扶臂二個以上時以連續版設計之。
2.底版之構材長度爲扶壁之中心距。
3.作用於底版之載重，原則上作用於構材全長。
4.底版主鋼筋之被覆厚度，原則上不得小於下列數值：
　底面 7cm。
　頂面 5cm。

[說明]

1.底版除由扶壁支承外，在構造上也由前牆支承，所以底版得以二邊或三邊支承版設計，但原則上以懸臂版或連續版設計。

2.底版之構材長度與載重作用狀態如圖2-6所示。



P =地盤反力－底版自重－上加土砂荷重

圖 2-6 底版之構材長度及載重作用之狀態

3.作用於底版之載重，其中地盤反力入作用於構材全長，惟作用於底版上側之載重，如背塡料載重，僅作用於淨長度(Clear Span)，惟其對構材設計之影響不大，爲計算方便計，原則上仍假定作用構材全長。

2-4-4 扶壁

1.扶壁依據底版及前牆之反力設計。
2.按扶壁係與前牆構成一體之T型樑設計。
3.扶壁按承受前牆反力，固定於底版之懸臂樑之設計。
4.按扶壁之設計，與底版平行之斷面設計之。
5.扶壁與前版應互相確實連結，因之配筋之設計，應特別計算抵抗剪力所需之副筋量。
6.扶壁主鋼筋被覆厚度不得小於5cm。

1.如前牆及底版依照本規定方法設計，得不考慮扶壁背後之載重。

2.扶壁之構材長度應取包括底版厚度之全高，如圖2-7所示，載重應包括上部構造部份。圖2-7符號說明如下：

p=土壓強度與殘留水壓之和

h=扶壁之構材長度

b=底版寬度

H=L型塊高度

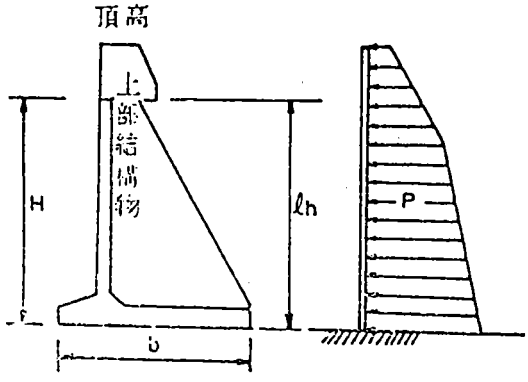


圖 2-7 扶壁之構材度及載重狀態

2-5 起吊部位之設計

1.作用於起吊部位之載重包括下列三項：

(1)L型塊本身重量。

(2)製作臺附著力。

(3)衝擊力。

製作臺附著力與衝擊力均係短期載重，且非同時作用。

2.使用吊筋時，原則上應考慮軸向拉應力及起吊部位之剪應力。

3.吊筋之容許應力如按長期載重決定，則吊筋斷面可由L型塊自重計算。

[說明]

1.L型塊混凝土澆置後使用起重機起吊時，由於其製作臺間之附著力影響，需要較型塊重略大之起重能力。附著力之值尚無充分實測資料據以確定

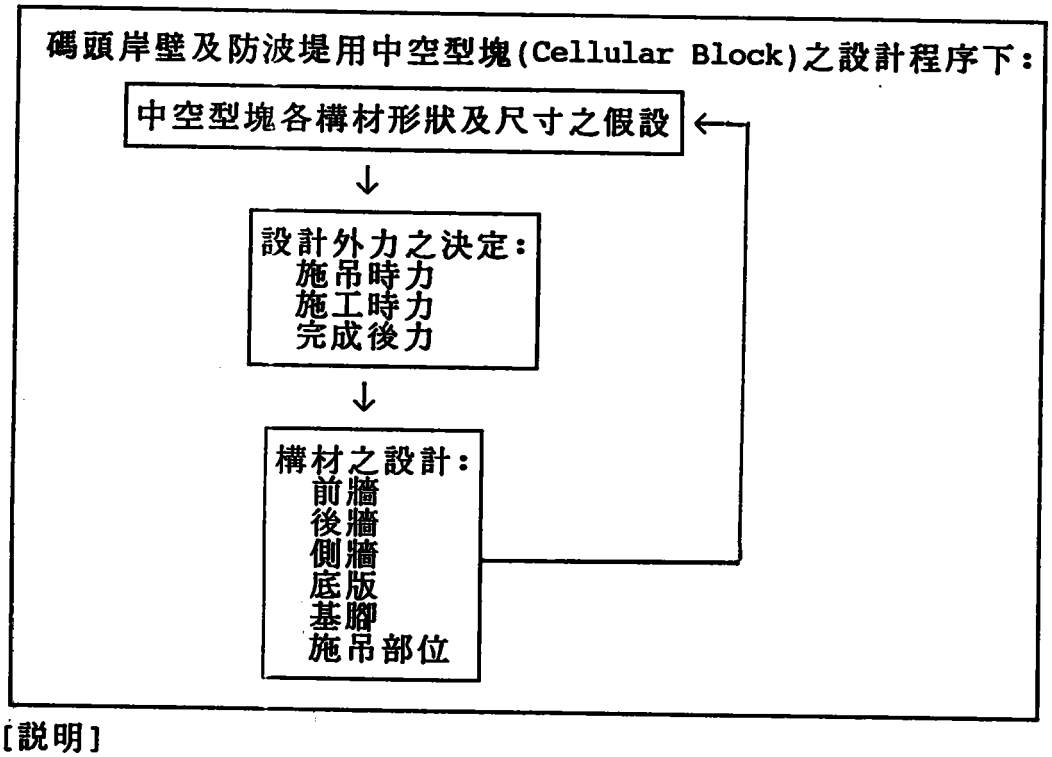
，但在施工間由起重船吃水增加及船體傾斜角之觀察，估計約爲型塊自重之20%。

2.使用起重船起吊衝擊力約按型塊自重之20%估算。

3.吊筋之容許應力，對附著力或衝擊力等短期載重增加約50%，因附著力或衝擊力僅爲型塊自重約20%，吊筋斷面之計算可僅考慮型塊自重。

第三章　中空型塊

3-1 設計程序



[說明]

1. 碼頭岸壁及防波堤用中空型塊之範圍，就狹義而言，係指框型無底版之空心塊；　就廣義而言，附有底版之沉箱類型，I字型塊及類似L型塊等均可視爲中空型塊之範疇。中空型塊之設計應充分把握其特徵，以適當方法設計之。
2. 中空型塊斷面形狀種類甚多，較常用者如圖3-1所示。

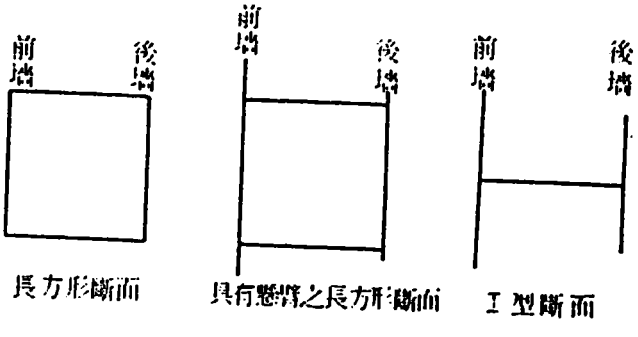


圖 3-1　常用中空型塊面例模式圖

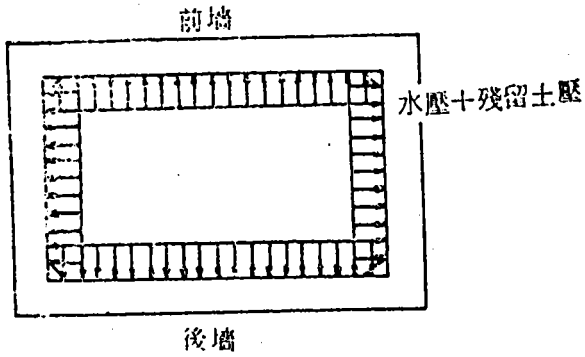


圖 3-2 作用於中空型塊之載重

3-2-2 填充土壓

中空型塊之填充土壓，依照1-4-6節『完成後之外力』計算。

[說明]

中空型塊內填充受框牆之拘束，其原理及構想與沉箱之填充相似，填充土壓依照沉箱規準決定之。

3-3-3 載重分割法

爲計算方便計，作用於中空型塊載重之分割，應依照2-3-3節『載重分割方法』規定辦理。

3-4 構材之設計

3-4-1 前牆

1. 前牆原則上以側牆所支承之版設計之。如前牆左右兩側有突出懸臂部份時，支承點之平衡彎矩傳達於側牆。
2. 前牆之構材長度以側牆之中心間距計。
3. 前牆背後之載重原則上作用於構材全長。
4. 前牆主鋼筋之被覆厚度，原則上不得小於下列數值：

3-2 設計因素之決定

中空型塊各構材之形狀及尺寸，應考慮下列事項設計之。
1.空心方塊製作設施之能力。
2.起重機之施吊能力。
3.壁體設計水深。
4.潮差。
5.上部構造施工高度。
6.複段式方塊堆積之整體性。

3-3 作用於構材之載重

3-3-1 概述

作用於中空型塊之載重，不論平時或異常時，均應考慮下列各項載重：
1.填充土壓。
2.殘留水壓。
3.型塊自重。
4.上部構造重量。
5.上加載重。
6.地盤反力。
7.施工時之載重。
8.波力。
其中1及7兩項均不考慮地震之影響。

[說明]

1.後牆所受背後土壓及殘留水壓等外力， 由填充土壓所抵消，所以一般對此類載重不必檢討。
2.作用空心塊之填充土壓及殘留水壓如圖3-2所示。作用於壁體之背填主動土壓及殘留水壓， 使側牆及後牆由填充土壓所引起之應力顯著減低。但一般施工過程中，常先行填充，仍應依照說明狀態設計之。
3.一般可不考慮波力，但如受強力衝擊波壓時，應予考慮。
4.有關施工中之載重，大部份與L型塊相同。

海側：7cm。

陸側：5cm。

[說明]

1.前牆原則上按以側牆爲支點之固定版設計，但支點之不平衡彎矩一律傳達於側牆。

2.前牆之構材長度及載重作用狀態，如圖3-3 所示，載重以均佈載重計算。

3.中空型塊前牆之厚度，一般爲30cm～40cm。

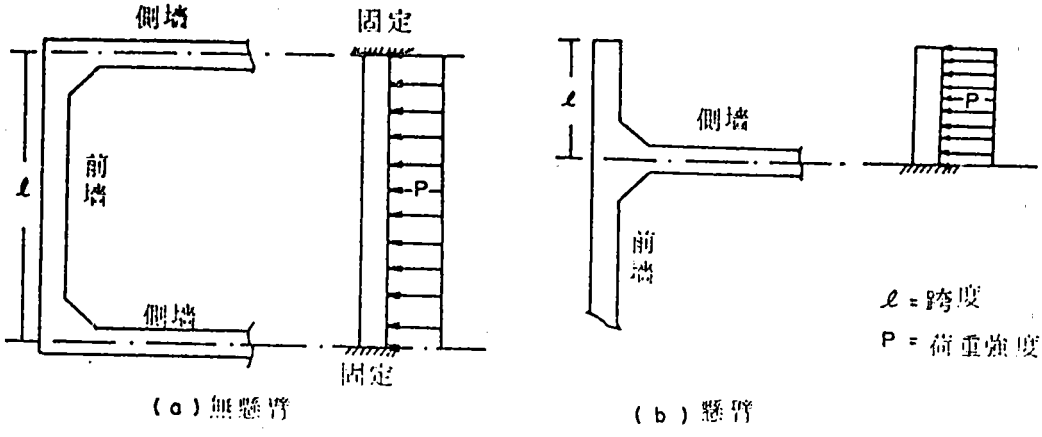


圖 3-3 前壁之構材長度載重作用狀態

3-4-2 後牆

1.後牆原則上依照前牆之設計準則設計。

2.外力係指型塊塡充土壓，背後之主動土壓原則上不考慮。

3.後牆主鋼筋之被覆厚度以5cm以上爲原則。

[說明]

後牆與前牆之不同點，即前牆前面係空間，後牆背後受土壓作用。但在施工當中，一般常先行在型塊內塡充，而使後牆與前牆之受力條件相同，其設計法與前牆亦相同。

3-4-3 側牆

1.側牆原則上按以前牆及後牆之反力與傳達彎矩設計。
2.側牆之構材長度爲前牆與後牆之中心距。
3.側牆構材如有托肩，依照日本『鋼筋混凝土標準規定』第117條規定，決定構材厚度。
4.側牆主鋼筋之被覆厚度，原則上不得小於5cm。
5.在施工中，由於型塊內塡充所產生之土壓，側牆強度之影響，應予檢討。

[說明]

1.側牆之構材長度及載重之作用狀態，如圖3-4所示。
2.圖內符號說明如下：

P_f=來自前牆之反力
M_f=由前牆傳達之彎矩
P_b=來自後牆之反力
M_b=由後牆傳達之彎矩
ℓ =支間間矩

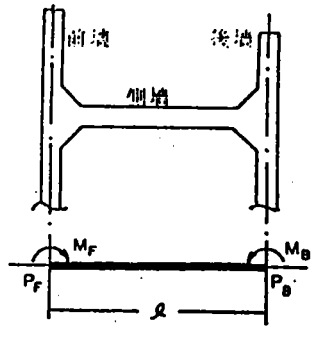


圖 3-4 側壁之構材長度及載重作用狀態

3-4-4 底版

中空型塊最下面有底版時，其設計應考慮底版之上加載重及地盤反力作用。

3-5 施吊部位之設計

施吊部位依前章L型塊之準則設計。

[說明]

施吊部位與L型塊類似，但中空型塊施吊部位之配置應特別注意，應避免在構材之中央部位。

第六篇　水域設施

第一章　概　說

水域設施之規劃應求船舶停泊與航行安全及貨物便利爲目的。除地形、地質、氣象與船型外，並應充分考慮已有之設施而作適當週詳之配置。因此對航道與港口等外廓有關設施，須考慮船舶所必須保有之水域面積並考慮港內水面之穩定。

[說明]

1.水域設施乃指航道、泊地、迴船池、船渠與貯木池等而言。

2.當規劃航道、港口及航行所需水域面積時，應廣徵航業界及引水人等各方面有關人員之意見。

3.港內水面須經常保持穩靜，但事實上於天候惡劣時保持水面充分穩靜並非易事，港內之波高若保持在0.5～1.0公尺以下，尚可裝卸貨物及維持港內船隻之交通，故水域設施之配置及設計之決定，通常以風速達每秒10～15m之強風時，亦可保持上述限度之波高爲目標。

4.小型船渠於天氣惡劣時多利用作爲避難所。故在天氣惡劣時，亦須保持充分穩靜，應以波高不超過0.5公尺爲目標。又對盪漾之防止亦應注意，方不致有使繫船纜索拉斷等事故發生。

5.大型船舶尤以貨櫃船遭遇波高小而週期長之波浪侵襲時，貨物裝卸亦發生困難，故對長波須特別注意。

6.油類化學品等危險物品及木材之裝卸設施，原則上應與一般設施隔離，設置專用地區。

7.港埠規劃以10萬噸級以上大型船舶爲對象時，水域設施必須參考以往之實例，並同時充分考慮此類大型船舶之性能，使用拖船之性能、航道標誌之配置以及航行管制方法等。本篇所述若用於大型船舶，須酌情予以適當修正。

8.港內水域利用計劃：

規劃港灣時須按吞吐量及自然條件，擬定港內水域之利用計劃。計劃時應注意下列各點：

(1)航道與泊地應明確劃分，泊地設在平穩之處。

(2)航道應儘量避免彎曲。

(3)轉船場不設在船舶航行交通量頻繁之航道上，應設於泊地附近。

(4)大小船舶之航道最好分開，航道避免交叉，出港與入港之航道最好分開。

(5)載運危險品與石油船舶用之泊地須與港中交通頻繁之區域隔離。石油用管線輸送，其管道亦須不通過主要港區。

(6)港內應有檢疫與等候碼頭之船舶之泊地。

(7)港內並應有造船下水、修船、燃料補給、練習船、停航船、廢船等之水面與泊地。

(8)港灣污染如何排除防止，事先須加考慮。

(9)超大型船隻之碇泊地須安置在最外圍鄰近港口之處，勿使進入內港。

(10)現有水域利用計劃不得妨礙將來港灣之擴展。

第二章　航　道

2-1 航道計劃之基本方針

航道計劃時須考慮船舶安全的航行，操船之容易度、地形、氣象、海象條件與有關設施間之整合性。

[說明]

(1)所謂航道爲提供船舶航行所設定具一定水深與寬度之水路，如果在航行功能上，能滿足以下條件時，可稱爲良好。

①航道之法線近於直線。

②寬度廣闊、水深充分。

③風、潮流以及其他氣象、海象條件良好。

④航路標識，信號設備良好。

(2)供專用船舶航行之水域，如無航道之指定，在此水域內應避免船舶之停靠、轉頭等。

2-2 航道之法線

航道曲線中心線之交角以不超過30度爲原則。超過30度時，以船長4倍以上之長度爲半徑繪製與航道中心線相切之圓弧，而且航道寬度應較原所需之寬度爲大。

[說明]

1.風與潮流之方向與航道接近垂直時，對行船影響大。故在風與潮流較強之地區必須愼重考慮此等因素之影響。

2.決定航道法線時，除應參考類似港灣之實例外，同時應進行出入港船舶之航路調查，並徵詢當地富於經驗之引水人等之意見。此外，應考慮該港航道標誌配置狀況及航行管制與航道分隔方法，以及是否使用拖船等。

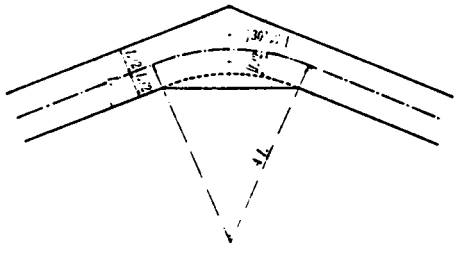
3.跨越航道架設橋樑時，橋下應確保充分之淨空。決定淨空一般除通過船

舶之船桅高度外，另尚須注意下列事項：

(1)潮汐　　(2)船舶航行時之艏艉吃水差

(3)波高　　(4)駕駛者之心理影響

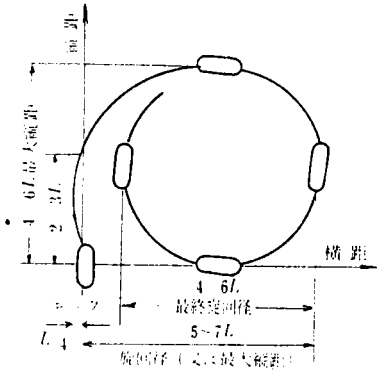
4.交角超過30度以上曲線之法線，若雙向航道之寬度爲L時，須如圖2.1所示，作交角加寬。



図－解2.1　屈曲部

5.船舶在航行中將舵轉靠一方轉向時，船隻逐漸脫離原航線，形成螺線形迴轉。當90度至180度反向後形成近似圓形之迴旋運動至360度時，脫離原航線偏在轉向側某距離處。此種迴旋運動中船體重心之軌跡稱爲迴旋圈(Truning Circle)。迴旋圈之大小以最大縱距(Max.Advance) 與最大橫距(Max.Trannsfer)表示之，一般以船長之倍數表示之，如圖2-2所示。商船以最大舵角35度航行時迴旋直徑爲5L至7L，最大縱距約與最終迴旋徑(Final Diameter)相等，即爲4L至6L。航道之彎曲部份，半徑採用此迴旋徑之半，即3.5L，另加「船身側移」(Kick)及其他餘裕，取4L以上爲標準。

6.轉舵初期，船尾偏轉迴旋方向相反側之現象稱爲「船身側移」(Kick)，當船首轉向達11.25°時爲最大。此時船身側移原航線外之距離，約達船長之1/4。船身側移至迴旋方向相反側之航行距離約爲船長2倍至3倍，自此乃進入轉向側，轉入迴旋圈，迴旋情形如圖2-2。



図－解2.2 旋回圏

2-3 航道寬度

航道之寬度，以下列之值爲標準

(1)一般之航道：雙向航道時，須依航道之長度以及通行狀況，以表2-1之值爲準。

(2)航行量很明顯很多之航道以及可能有橫斷航道之船舶航行之航道，或以超大型船舶爲對象之航道，應對表2-1之寬度依利用實態再加上若干餘裕。

(3)漁船亦或總噸數500噸未滿之船舶爲對象之航道，須依利用實態決定適當之寬度。

表 2-1 航道之寬度

航道長度	通行狀況	寬度
距離較長之航道	船舶往來頻繁時	2 L
	其他	1.5 L
其他	船舶往來頻繁時	1.5 L
	其他	L

2-4 航道水深

航道水深除應確保船席相同之水深外，更應隨狀況而加上若干餘裕水深。

[說明]

(1)船舶因裝載以及航行所產生的船體前後吃水差稱爲起伏(Trim)，通常船舶載貨在低速時，船首下沉，高速時船尾下沉之傾向。

(2)海底地質若爲很硬之海底地盤，若船底與海底接觸時將會產生很大的事故，所以最好能取多一點的餘裕。

2-5 停止可能距離

港口部航路之長度以及相連泊地之寬度應考慮對象船舶停止可能距離，而加以適當的決定。

2-6 航路之靜穩度

航路之靜穩度應考慮船舶之安全、領港之上船、拖船之利用等而加以適當的決定，特別是由港口部至泊地爲止之水域，應隨對象船舶之船型及種類，以及若利用拖船時隨拖船之船型，應採取可充分確保靜穩度之措施，另外除侵入波外，沿防波堤或碼頭而來之波浪或反射之影響亦須考慮。

[說明]

(1)對航行船舶之波浪的影響，小型船時在橫波時較大，大型船時追波之影響較大，特別是大型船舶在港口附近以低速航行時，若有由後而來之追波，船舶與波浪之相對速度變小，較不易掌舵，因此在港口附近須避免後方45°以內受追波影響之航路方向。

(2)在波浪條件惡劣之處須考慮對象船舶之進港速度，決定停止可能距離，確保與船舶之操船特性所須之靜穩度。

(3)在不得已餘裕水深較小之處，爲防止船舶之動搖所致之沉下，應將靜穩度提高。

2-7 航道之保護

航道爲確保港灣能圓滿利用以及船舶航行之安全，因此水深及寬度須加以適當的保護。在河口港亦或所預測之海濱部漂沙將很大處規劃航道時，應推算洪水時之流沙量亦或波浪以及潮流所致之漂沙量以便預測將來維持浚深所須之數量。

第三章　防波堤外之航道

3-1 航道計劃之基本方針

在規劃防波堤外之航道時，除依本篇第二章航道之規定外，應依本章之規定使船舶能安全且以經濟之速度航行，決定佈置及構造物。

[說明]

本章所說之航道爲在防波堤外，船舶以平常速度航行之航路。

3-2 航道之寬度

防波堤外航道之寬度，應較本篇2.3航道之寬度所顯示之寬度以上，考慮波浪、風、潮流、地形等之自然條件，以及航行速度而決定。

[說明]

(1)在有船舶並行、超越之航道的寬度，須考慮二船間之吸引作用，航道寬度對操船者之心理作用等。

(2)所謂二船間之吸引作用，爲二船靠近航行之時，由於其他之存在使船體周圍水流變化，相互間有一力及力矩之作用，來往船之時力矩爲向外作用，力量也是短時間之作用，影響較小，超越之時由於作用力之時間較長，同時亦與距離成反比，因此作用較強。

3-3 航道水深

防波堤外航道之水深，須確保本篇2.4之航道水深， 此時防波堤外之航道通常海象條件愈差，由於船舶之航行速度較大，因此，特別是對於船舶之搖動，船體沉下、底質等須對餘裕水深加以充分考慮，而決定所須水深。

[說明]

(1)波浪所致船體之搖動，由船長、船寬、船速、波長、波高等所定，但因搖動所須之餘裕水深，通常小型亦或中型船時，大約爲波高之2/3。大型船時，預估爲1/2即可，但應參考船舶之航行條件之其他航道之實績。

(2)淺水區域或航道斷面積小之水域，航行中船體周圍之水被加速，壓力減小，船體附近水位減低使船體下沉，另外此時隨著起伏之變化，出現掌舵不易之現象，因此在設定航道水深時應留意。

3-4 航道之維護

防波堤外之航道對船舶交道而言很重要，而且要經常浚深亦很困難，因此在預期會埋沒之地點，須確保安定之斜坡面，以及爲加深對船舶安全航行之影響。

第四章　泊　地

4-1 泊地計畫之基本方針

爲使船隻航行操行船方便、繫泊安全平穩及貨物裝卸便利，泊地必須具有平靜與廣闊之水面，並有充分之水深，同時海底地質須爲適於拋錨之處所。

［說明］

1.泊地除錨地、浮標泊地外，還包含迴船場等之操船水面，因此須考慮風、波浪、潮流、港內反射波、航行波等之影響以及對象船舶之操船性能而加以佈置。

2.泊地在功能上若能滿足以下之條件時，可說爲一良好之泊地

①具有靜穩而且充分廣闊之面積

②底質之錨碇良好

③有浮標設施

④風、潮流等之氣象條件良好

4-2 泊地位置與面積

4-2-1

泊地位置應考慮防波堤、碼頭、航路等之配置，而決定可確保靜穩度之場所。

4-2-2 停伯亦或供靠船之泊地面積

(1)所謂泊地或供靠船用之泊地指除了碼頭、係船樁以及浮棧橋前面泊地以外者，以錨泊以及浮標泊之泊地。 泊地之面積依利用目的及方式以表4-1所決定者爲標準。

表4-1 泊地之規模　　L:對象船舶之船長(m),D爲水深(m)

利用目的	利用方式	海底質亦或風速	半　徑
外海等待亦或裝卸	單錨停泊	錨碇良好 錨碇不佳	L+6D L+6D+30m
	雙錨停泊	錨碇良好 錨碇不佳	L+4.5D L+4.5D+25m
壞天氣避　泊		風速每秒20m	L+3D+90m
		風速每秒30m	L+4D+145m

(2)以浮標停泊須使船舶能安全停泊亦或靠泊時沒有障礙之寬度,依利用型式以表4-2所決定者爲標準。但在潮差大之時，由於浮標之水平移動量很大，此應考慮。

表 4-2　泊地之規模

利用方式	規　　模
單浮標停泊	半徑(L+25m)之圓
雙浮標停泊	(L+50m)以及L/2爲邊之長方形

(3)停泊亦或供靠船之泊地爲碼頭，係船樁、棧橋以及浮棧橋前面之規模雖有規定，其中泊地之長度爲對象船舶之船長，加上對象船舶在橫靠時所須要之延長爲標準。泊地之寬度爲使船舶之離靠能安全順利進行爲準。

(4)突堤與突堤泊地之寬度應考慮船型、碼頭數，有無拖船等愼重決定。多數之突堤並列時突堤間之泊地，依突堤單側碼頭數，須確保以下所決定之寬度。

1)一隻突堤，碼頭數在3個以下時　　L

2)一隻突堤，碼頭數在4個以上時　　1.5L

L爲對象船舶之船長(m)

但是對於較一般貨船爲大之船寬的船長或供油船，給水船、駁船等所使用之泊地的寬度，須依利用實況加上若干餘裕。

(5)泊地之寬度須考慮船舶之靠離岸，以及往泊地之出入及錨泊地之投錨誤差，載運危險品船舶所利用之泊地等，應考慮安全距離。

4-2-4 操船水域面積

[1]迴船池

雖然迴船池之面積規定爲超過對象船舶船長1.5倍爲半徑之圓的範圍，但亦有隨迴船形態，不須此寬度之必要時，即利用錨自力迴轉及利用拖船回轉時，以超過對象船舶船長爲半徑之圓的範圍爲標準。

[說明]

(1)迴船池通常最好設置在靠船設施之前面。

(2)迴船池之面積以下值爲標準。

以自力迴轉時 → 以3L爲直徑之圓

以拖船迴轉時 → 以2L爲直徑之圓

另外，因地形等不得已之場合，利用錨、風或潮流時，可以下值加以減縮以自力迴轉時 → 約2L爲直徑之圓

以拖船迴轉時，約1.5L爲直徑之圓

[2]繫泊解纜泊地

繫泊解纜泊地，須考慮有無拖船、風、潮流之影響，使解纜之操船不發生困難愼重決定。

[說明]

通常，由港灣設施之效率配置及利用面來看，將繫泊解纜水面與航道規劃於同一水面，但在船舶通行較頻繁之處，亦有將其分離之情形。

4-3 泊地水深

(1)泊地水深適當的深度係指工程用基準面下對象船舶滿載吃水再加上滿載吃水之10%值爲標準。但是像渡輪等爲對象之泊地，在裝卸中船首尾吃水差會變動，應予考慮。

(2)有關泊地水深，若對象船舶之滿載吃水不很清楚，可參考表4-3之值而決定。

表 4-3　泊地水深

表-4.3 泊地の水深

種類	水深 (m)	対象船舶
旅客船	4.5 5.0 6.0 6.5 7.0 7.5 9.0 10.0	総トン 2,000 3,000 5,000 8,000 10,000 15,000 20,000 30,000
カーフェリー	4.5 5.5 6.0 6.5 7.5 8.0 8.0 9.0	総トン 1,000 2,000 3,000 4,000 6,000 10,000 13,000 15,000
貨物船	4.5 5.0 5.5 6.5 7.5 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 18.0 20.0	重量トン 700 1,000 2,000 3,000 5,000 8,000 10,000 15,000 30,000 40,000 50,000 70,000 90,000 100,000 150,000
コンテナ船	12.0 13.0 14.0 15.0	重量トン 20,000 30,000 40,000 50,000
タンカー	4.5 5.5 6.5 7.5 9.0 10.0 11.0 12.0 13.0 14.0 15.0 16.0 17.0	重量トン 1,000 2,000 3,000 5,000 10,000 15,000 20,000 30,000 40,000 50,000 60,000 70,000 80,000
自動車専用船	5.0 5.5 6.5 7.0 7.5 8.0 9.0 10.0 11.0	総トン 700 1,000 2,000 3,000 5,000 6,000 10,000 15,000 20,000
ガス運搬船	5.5 6.5 7.5 8.5 10.0 12.0 13.0 14.0 15.0	総トン 1,000 2,000 3,000 5,000 10,000 15,000 20,000 30,000 50,000

4-4 泊地之靜穩度

泊地隨利用狀況，利用時亦或對異常氣象之避難時須充分靜穩。另外停泊地或供繫留之泊地碼頭前面，每年必須有95～97.5% 以上可供繫泊亦或可能有這麼多之繫泊日數。但是年間利用頻率很少，利用臨界條件已決定者不在此限。

爲確保上述之靜穩度，減少繞射波、越波、反射波等，防波堤之配置、延長、頂高以及消波塊之設置等，即需加以適當的規劃。

[說明]

繫留設施前面泊地之裝卸臨界波高，須考量對象船舶之船種、船型、裝卸特性等而加以適當的決定。亦可依表4-4爲準。

表 4－4

船　　型	裝卸臨界波高（$H_{1/3}$）
小型船	0.3 m
中、大型船	0.5 m
超大型船	0.7～1.5m