

## 講座

## 海洋・港湾構造物の設計 (1)

## 1

## まえがき

PC 構造物を海洋・港湾構造物へ応用する例は、海外においてかなりある。すなわち、北海の石油掘削装置(ニニアン、エコフィスク等の油田で使われている)、オランダのオースターシェルト、アラスカの浮遊式繫船岸等である。我が国の現状を見ると、まだ試験の段階をでないようである。運輸省第四港湾建設局が造った浮防波堤のようなもの、または、第一港湾建設局が造った船川港曲面スリットケーソン等、二、三の例はあるが、そのニーズに比べるとまだ少ないと言えるであろう。この講座では、海洋・港湾構造物を設計するのに欠かせない条件である。波のことについて述べる。

## 2

## 波 浪

海洋・港湾構造物を設計するにあたってまず考慮しなければならないものに、波浪がある。まず、日本列島周辺で発生している波について述べてみたい。港湾構造物の設計に使われる波の諸元の定義は、運輸省港湾局が監修した「港湾の施設の技術上の基準・同解説」(以下技術基準と言う)によれば、次のとおりである。

港湾の施設の設計に用いられる波の諸元の定義は次のとおりとする。

有義波 ( $H_{1/3}$ ,  $T_{1/3}$ ): ある波群中で波高の大きい方から数えて、全体の波数の 1/3 の数の波を選び出し、それらの波高及び周期の平均値に等しい波高及び周期を有する仮想的な波をいう。

最高波 ( $H_{max}$ ,  $T_{max}$ ): ある波群中で最大の波高を示す波をいう。

沖波 ( $H_0$ ,  $T_0$ ): 水深が波長の 1/2 以上の地点における

波で、有義波の諸元で表わす。

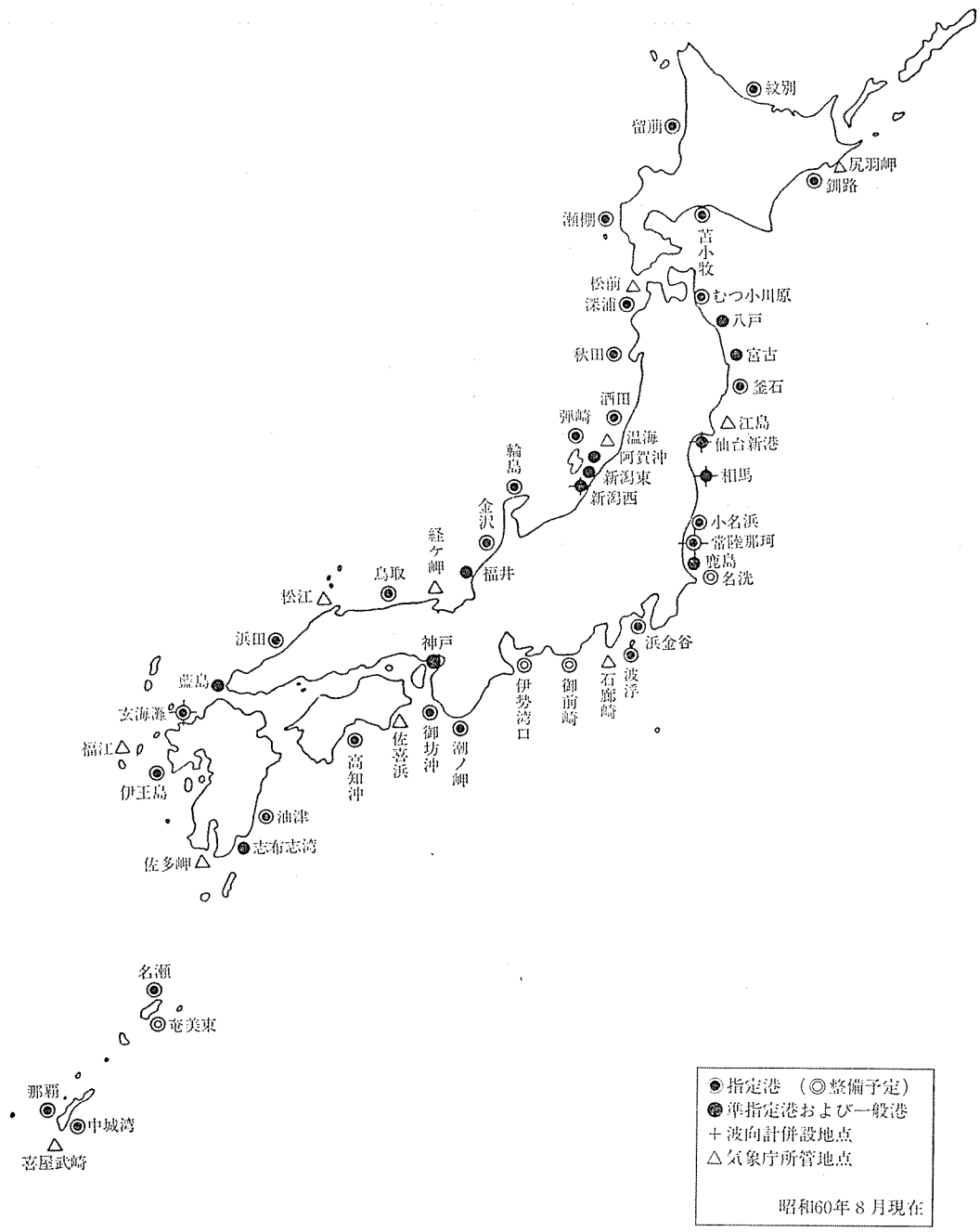
換算沖波波高 ( $H_0'$ ): 沖波に波の屈折、回折など平面的な地形変化の効果を補正した仮想的な波高であり、有義波高で表わす。

ここに、( ) 内の記号は各定義波の波高及び周期を示したものである。

海の上の波は、実験室で造ることのできる規則的な波と違い、不規則なもの集まりである。したがって上で述べたような定義が必要となる。有義波とは、不規則な波群の統計指標としての仮想上の波であると言える。

以上の定義を頭に入れて日本周辺の波の状態を見てみよう。運輸省港湾局は、昭和 43 年に「波浪に関する拠点観測実施要綱」を策定し、全国に観測網をしき、観測をはじめた。図-1 は、沿岸波浪観測地点の位置図である。その結果、昭和 59 年 12 月末までの各地点の既往最大有義波および対応最高波の値は、表-1 に示すとおりである。表中、 $H_{max}$  の前に \* で示した波は、対応最高波が既往最大最高波である。発生要因は、波を発生させる風が何によっているかを示している。日本海側に大きく見られる「冬型」は、冬、日本海を中国大陸から吹いてくる風、いわゆる冬期風浪によっている。太平洋側は西側が台風、東側がその他の低気圧によっている。表中、最大の波高 (14.03 m) を示している深浦港は青森県の日本海側にあり、観測地点の水深は、-50 m である。次に高い値を示した地点は油津港であり、これは宮崎県の南部に位置している。すなわち、日本中どこでもこのくらいの波高の波がおしよせてくる確率が高いことを示している。なお念のため述べておくと、瀬戸内海のように海の幅が狭い所では風の吹く距離が短いので波高も大きくはならないということである。ちなみに神戸港の最大波は 5.41 m で、これは既往最大最高波である。

次に構造物の設計に使う波浪について述べる。この場



図一 沿岸波浪観測地点位置図 (集中処理対象港)  
 (港湾技研資料 No. 545, 沿岸波浪観測年報, 昭和 59 年より)

合考慮しなければならないことは、波だけでなく構造物自体の耐用年数、重要度等もある。耐用年数および重要度に対応して波高を決定しなければならないのである。この場合、最初に述べたように波の発生は統計的または確率論的なものであるから、それに見合った波高、すなわち確率波高または何年期待値波高が必要となる。通常、港湾構造物は、耐用年数が50年であるので、50～100年期待値波高（または50～100年確率波高）が必要となる。この値の算定は、前述の統計基礎データから推定することとなる。一例を表一に示す。これは昭和

45年から昭和54年までの10年間の基礎データをもとにして推定したものである。表からわかるように、1年確率波と、30年確率波では、かなり波高が違う。したがって設計しようとしている構造物の耐用年数および重要度によって使いわけることとなる。ちなみに、運輸省第一港湾建設局が秋田県船川港に建設した船川港曲面スリット堤に使われた設計波高は、50年確率波で、 $H_{1/3}=5.5\text{m}$ ,  $H_{\text{max}}=9.9\text{m}$  となっている。

表-1 各港における既往最大有義波 (昭和 59 年 12 月現在)

地 点 名	既往最大有義波および対応最高波					起 時 (年 月 日 時)	機種水深 (m)	発 生 要 因	集中処理 開 始 (年 月)
	$H_{1/3}$ (m)	$T_{1/3}$ (s)	$H_{max}$ (m)	$T_{max}$ (s)	波向				
秋 田 港	8.03	11.8	*12.97	13.1		S. 58.11.19. 4	加速度計 -700	冬 型	S. 56.10
酒 田 港	8.63	12.6	9.94	11.5		45. 2. 2. 2	PW -15	冬 型	44.11
弾 崎	7.23	10.5	11.03	8.7		54.10.19.20	USW -54	台風第 7920 号く ずれの低気圧	53.10
阿 賀 沖	6.46	9.5	10.36	9.4		57. 1.29.14	SRW-V -80	冬 型	55. 1
新 潟 東 港	4.46	9.2	7.45	10.1		59.12.19. 4	USW -29.8	冬 型	58. 9
新 潟 西 港	6.34	11.8	9.02	12.3		58.12. 1.16	USW -22.7	日本海低気圧	57. 9
輪 島 港	7.19	10.5	10.30	11.0		55. 1. 7. 8	USW -50	冬 型	54. 1
金 沢 港	7.67	12.4	10.07	12.2		55.10.26.24	USW -20.2	二つ玉低気圧	45. 1
福 井 港	7.79	13.2	10.10	11.8		56.12. 2. 6	USW -21.3	冬 型	55. 9
深 浦 港	7.31	10.3	*14.03	10.7		58.12. 1.16	USW -49.6	日本海低気圧	54.12
むつ小川原港	6.10	9.3	8.93	9.0		57. 5.21.12	USW -49	二つ玉低気圧	49. 4
八 戸 港	6.09	13.1	8.70	12.0		58.12.27. 2	USW -21	南岸低気圧, 冬型	46. 3
宮 古 港	3.88	9.2	* 7.38	8.4		58. 3.14. 2	USW -23.3	南 岸 低 気 圧	56. 7
釜 石 港	5.07	11.2	8.27	12.1		54. 2.25.10	USW -49	前線性低気圧	53. 3
仙 台 新 港	5.36	9.9	8.70	11.0		57.10.20.10	USW -20	二つ玉低気圧	54. 1
相 馬 港	4.99	12.1	7.54	8.9		58. 2.18.20	USW -16	二つ玉低気圧	57. 8
小 名 浜 港	5.89	11.7	8.44	12.4		56. 4.20.18	USW -20	二つ玉低気圧	55. 1
常 陸 那 珂 港	5.58	12.1	9.30	16.3	ESE	58. 2.18. 6	USW -30	二つ玉低気圧	54.12
鹿 島 港	7.09	13.2	* 9.60	10.5		50.11.12. 2	USW -22	台風第 7519 号	47. 4
浜 金 谷	4.45	8.4	7.02	7.5		54. 3.30.24	USW -22	前線性低気圧	47. 9
波 浮 港	8.36	10.7	11.02	9.0		56. 8.23. 2	USW -49	台風第 8115 号	48. 4
潮 岬	6.65	13.5	9.03	15.3		57. 8.27. 4	PW -12.8	台風第 8213 号	45. 8
御 防 沖	4.76	8.7	7.67	11.8		59. 8.21.24	加速度計 -170	台風第 8410 号	58.12
高 知 沖	8.60	13.1	12.29	14.0		57. 9.25. 4	加速度計 -120	台風第 8219 号	55. 9
鳥 取 港	7.51	11.2	*12.57	10.3		56.12. 2. 4	USW -30	冬 型	54. 9
浜 田 港	7.51	10.5	10.59	12.2		51. 2. 5.22	USW -51	冬 型	49. 3
神 戸 港	2.66	5.9	* 5.41	7.0		58. 5.16.18	USW -17	南 岸 低 気 圧	46. 5
油 津 港	10.34	13.0	*13.42	15.3		55. 9.10.22	USW -45	台風第 8013 号	50. 3
志 布 志 湾	7.88	12.3	11.03	14.3		57. 8.26.22	USW -35	台風第 8213 号	55. 4
名 瀬 港	6.02	10.1	7.64	12.1		54.10.19. 6	USW -50	台風第 7920 号	52. 3
伊 王 島	6.73	11.0	10.50	13.6		59. 8.21.16	USW -50	台風第 8410 号	49.12
玄 界 灘	5.62	10.7	9.26	11.0		58. 9.28.18	USW -45	台風第 8310 号 くずれの低気圧	55. 8
藍 島	4.28	9.2	* 6.67	6.7		55.12.24.18	USW -20.7	二つ玉低気圧	50. 4
鯛 路 港	7.19	12.3	10.50	12.0		54.10.20. 2	USW -19.5	台風第 7920 号 くずれの低気圧	46. 3
苫 小 牧 港	6.10	15.5	8.10	15.0		47. 2.28.10	SRW -13.3	二つ玉低気圧	45. 1
瀬 棚 港	6.95	10.9	9.67	11.6		56.10.24.10	USW -24	冬 型	55. 1
留 萌 港	7.33	10.5	11.20	9.0		57.11.25.10	USW -50	冬 型	45. 1
紋 別 港	7.30	12.9	10.20	9.0		50.11. 9. 4	USW -18	冬 型	50. 1
中 城 湾	8.46	15.0	12.11	10.4		54. 8.22.16	USW -53	台風第 7911 号	48.11
那 覇 港	7.41	10.0	*12.25	13.5		54.10.18.18	USW -51	台風第 7920 号	48. 7

表-2 確率波高一覧表

地点名	1年波高	2年波高	5年波高	10年波高	20年波高	30年波高
酒田(1)	6.89	7.53	8.36	8.96	9.50	9.88
酒田(2)	7.01	7.58	7.90	8.80	9.28	9.56
金沢	6.55	7.07	7.72	8.18	8.62	8.87
むつ小川原	4.92	5.37	5.94	6.34	6.74	6.97
八戸(1)	4.22	4.64	5.17	5.56	5.94	6.16
八戸(2)	4.42	4.88	5.46	5.89	6.30	6.54
釜石	4.48	5.02	5.72	6.24	6.76	7.05
鹿島	5.34	5.94	6.72	7.32	7.92	8.27
浜金谷	3.06	3.38	3.81	4.15	4.50	4.71
波浮	5.71	6.29	7.06	7.64	8.23	8.57
潮ノ岬	4.23	4.67	5.24	5.67	6.09	6.33
浜出	5.56	5.96	6.45	6.81	7.14	7.34
神戸	2.06	2.30	2.62	2.85	3.08	3.21
宇部	2.53	2.98	3.58	4.03	4.49	4.75
油津	5.26	5.98	6.93	7.64	8.36	8.78
名瀬	5.22	5.64	6.16	6.54	6.91	7.11
端島	5.20	6.19	7.54	8.61	9.69	10.34
伊王島	2.14	2.59	3.21	3.70	4.20	4.50
藍島	2.67	2.88	3.14	3.33	3.51	3.61
鯛路	4.88	5.66	6.77	7.66	8.58	9.14
苫小牧	3.94	4.47	5.21	5.78	6.37	6.72
留萌	5.70	6.33	7.15	7.76	8.37	8.72
紋別	5.28	6.02	6.99	7.73	8.47	8.90
中城湾	5.34	6.40	7.88	9.03	10.21	10.91
那覇	5.21	5.77	6.51	7.06	7.62	7.95

港湾技研資料 No. 401, 波浪に関する拠点 10 年統計 (昭和 45 年~昭和 54 年) より

### 3 波 圧

次に②で述べた波浪が構造物に作用した時の波の圧力について述べる。発生する波圧は、版状の構造物と、棒状の構造物で違う。版状の構造物では、技術基準 5.2.2 「直立壁に作用する重複波および碎波の波力」で次のように定めている。これは合田波圧と呼ばれている式で、いろいろな種類の波についてこの1つの式で波圧を算定できるようにしている。

直立壁に直角に入射する波によって波の進行方向に作用する最大波力及びその時の揚圧力は、以下の方法により算定するのを標準とする。ただし、同等の設計条件であって、当該周辺水域において、十分な耐波実績の確認されている算定法についてはそれによる事が出来る。

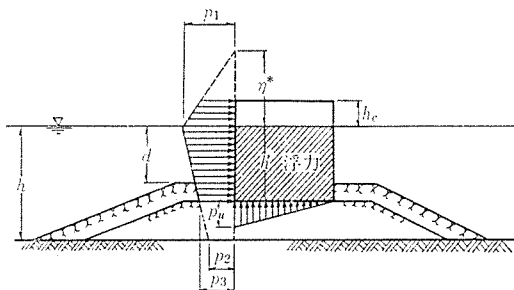


図-5.1 設計計算に用いる波圧分布

#### (1) 前面波圧

静水面の高さで最大値  $p_1$ , 静水面上  $\eta^*$  の高さで 0, 水底で  $p_2$  となる直線分布とし、直立壁底面から天端までの波圧を考慮する (図-5.1 参照)。

$$\eta^* = 1.5 H_D \quad (5.1)$$

$$p_1 = (\alpha_1 + \alpha_2) \omega_0 H_D \quad (5.2)$$

$$p_2 = \frac{p_1}{\cosh(2\pi h/L)} \quad (5.3)$$

$$p_3 = \alpha_3 p_1 \quad (5.4)$$

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

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

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

ここに

$\eta^*$ : 静水面上波圧強度が 0 となる高さ (m)

$p_1$ : 静水面における波圧強度 (t/m<sup>2</sup>)

$p_2$ : 海底面における波圧強度 (t/m<sup>2</sup>)

$p_3$ : 直立壁底面における波圧強度 (t/m<sup>2</sup>)

$h$ : 直立壁前面における水深 (m)

$h_b$ : 直立壁前面から沖側へ有義波高の 5 倍だけ離れた地点での水深 (m)

$h'$ : 直立壁底面の水深 (m)

$d$ : 根固め工又は、マウンド被覆工天端のいずれか小さい方の水深 (m)

$\omega_0$ : 海水の単位体積重量 (t/m<sup>3</sup>)

$H_D$ : 設計計算に用いる波高 (m)

$L$ : 水深  $h$  における設計計算に用いる波長 (m)

$\min\{a, b\}$ ;  $a$  又は  $b$  のいずれか小の値

#### (2) 揚圧力

直立壁底面に働く揚圧力は前し (趾) で式 (5.8) で与えられる  $p_u$  (t/m<sup>2</sup>), 後しで 0 となる三角形分布とする (図-5.1 参照)。

$$p_u = \alpha_1 \alpha_3 \omega_0 H_D \quad (5.8)$$

なお、この場合の浮力は静水中の排除体積に対してのみ考慮するものとする。

棒状の構造物については、5.4 「海中部材に作用する波力」で次のように定めている。これは、モリソン公式と呼ばれているもので、海中の杭のように波の進行を阻止しない構造物に作用する波圧を与えている。水粒子の速度の 2 乗に比例する抗力と、加速度に比例する慣性力の和として波圧を算定している。

海中部材に作用する波力は式 (5.13) に基づいて算定するものとする。

$$\vec{f}_n = C_D \frac{\omega_0}{2g} D u_n |u_n| ds + C_M \frac{\omega_0}{g} A \alpha_n \vec{a}_n ds \quad (5.13)$$

ここに

$\vec{f}_n$ : 部材軸方向の微小長さ  $ds$  (m) に作用する、部材軸と水粒子運動方向の共通面における部材軸に直角な方向の力 (t)

$\vec{u}_n, \vec{\alpha}_n$ : 部材軸と水粒子運動方向の共通面における、部材軸直角方向 ( $\vec{f}_n$  と同じ方向) の水粒子速度成分

(m/sec) 及び加速度成分 (m/sec<sup>2</sup>) (部材によつて乱されない入射波による成分)

$|u_n|$ ;  $\vec{u}_n$  の絶対値 (m/sec)

$C_D$ ; 抗力係数

$C_M$ ; 慣性力係数

$D$ ;  $\vec{f}_n$  の方向から見た部材軸直角方向の部材幅 (m)

$A$ ; 部材軸に垂直な面で切った部材断面積 (m<sup>2</sup>)

$w_0$ ; 海水の単位体積重量 (t/m<sup>3</sup>)

$g$ ; 重力の加速度 (m/sec<sup>2</sup>)

## 引用・参考文献

- 1) 菅原一晃ほか:「沿岸波浪観測年報(昭和59年)」港湾技研資料, No. 545, Mar. 1986
- 2) 運輸省港湾局監修「港湾の施設の技術上の基準・同解説」, 昭和54年3月

【記: 古賀尚宏 ピー・エス・コンクリート(株)技術部】

## ◀刊行物案内▶

## 最近のプレストレストコンクリート構造物の設計, 施工と30年の歩み

本書は、全国七都市で開催された第14回PC技術講習会のテキストとして編纂されたもので、各題目とも広範囲な内容でとりまとめられました。特に本四連絡橋では折込図面を多く挿入するなど、予定を超える頁数となりましたが、誠に見応えのある貴重な技術資料であると考えられます。PC技術者にとっては是非一冊手元に備えておきたい図書です。ご希望の方は代金を添えて(社)PC技術協会(〒102 東京都千代田区麹町1-10-15)宛お申し込み下さい。

体 裁: A4判 192頁

定 価: 3500円

送 料: 450円

内 容: (A) PPCの勧め——設計計算法, PPC適用例(箱断面橋, 屋根梁, 沈埋トンネル)。 (B) アンボンドPCフラットスラブについて——荷重釣合法によるPC鋼材の配置, 設計荷重, 架構応力の計算, 柱列帯と柱間帯へのスラブ梁モーメントの配分, 必要PC鋼材量と引張補強筋の配置, 長期荷重に対するたわみ量の検討と最小スラブ厚さ, 柱周パンチングシアに対する検討, 耐火性とPC鋼材かぶり厚さ, アンボンドPCフラットスラブの曲げ破壊時の性質, 結言。 (C) PC円形構造物の現況——I) 序論, II) 水槽(PCタンクの種類, 設計, 施工), III) 消化槽(概要, 設計, 施工), IV) LNG・LPG貯槽(低温液化ガス用PC構造の実績, LNG地上式貯槽のPC防波堤, LPG地上式貯槽のPC外槽, LPG半地下式貯槽のPC外槽), V) 原子炉格納容器(概説, PCCVの構造と特徴, PCCVの構造形式の選定, PCCVの設計・品質保証)。 (D) 本四連絡橋児島一坂出ルートにおけるPC橋について——児島一坂出ルートの概要, PC橋の構造形式および施工法。 (E) PCげた橋の新しい連続化工法——連結部の接続方法, 連結部の設計, 阪神高速道路堺線における試験工事の施工報告。 (F) プレストレストコンクリートの30年——PCの沿革(橋梁, 建築, 容器類, 海洋構造物, その他), PC工場製品の沿革, PC橋の塩害対策。