

地域別モデル台風による海洋構造物の設計条件について (その 1)

堀 田 健 治*・ 佐久田昌昭**・ 加 藤 渉**

1. はじめに

海は昔から生産の場、あるいは交通の場として利用されて来、ここを舞台として様々な文明が築かれて来たことは遍く我々の知る所である。近年、海洋構造物も沿岸を中心とした比較的小規模な物から、将来は大型で機能的にも一ヶ所に定着する建築物的性格を持った構造物、例えば海上空港、漁業基地等のようなものが、計画から実用化の方向に向うものと思われ、その設置海域も沿岸から中間海、深海域の方に範囲が広がるものと予想される。本研究においては中間海を、土木・建築でいう敷地と考え定着性の構造物という想定から、当然、設置海域からの特性を十分に把握しなくてはならないわけであるが、著者等は海洋構造物設計・計画の立場から日本の太平洋側の海域を大きく4つに分け、統計資料に基く海域別のモデル台風を設定し、設計における諸元の算定を試みたものである。沿岸域での構造物の設計には観測施設の数も多く気象、海象の資料も入手しやすいが、沖合の中間海から深海にかけては観測資料にも限りがあり設計諸元を算定する時、多くは風、波の推算予測によっているのが現状である。このため、著者等はウィルソンの風波推算基礎式¹⁾を用いて井島が確立した風域が移動する場合の式²⁾に仮定を加え簡便化した式を試み、風速、波高、周期、波長の各々につき算定を行なったものである。

2. 構造物の耐用年数と地域別モデル台風について

本研究ではコンクリートによる構造物を想定したが、コンクリート構造物の耐用年数については研究例も少なく、船や浮上ブリッジなどでは100年等と記録が見られるが、水セメント比35%で63年、25%で2180年という研究報告³⁾があり、本四架橋や関西海上空港などの耐用年数を60年としていることなどから本研究において構造物の耐用年数を60年と仮定した。又地域別のモデル台風については光田寧⁴⁾等の研究が見られ主として陸上の防災の立場から論じたものであるが、本研究におい

ては海洋を中心としたモデル台風について、日本の太平洋側の海域を、九州 (Area 1)、四国・紀伊 (Area 2)、東海・関東 (Area 3)、東北 (Area 4) の4つに分け、1913年から1970年の57年間に上陸又は通過・接近した台風146個を極東天気図から、1) 中心気圧、2) 進行速度、3) 中心から最大風速域までの距離、のそれぞれを読み取り、構造物の耐用年数60年との仮定より風速の再現期間を求めるため(1)式⁵⁾を用い118年と算定し、113年以内に起こりうる気圧の場の解析から、中心気圧の低下量(ΔP)の値を Hazen の式(2)⁷⁾、(3)より計算し、最小二乗法による回帰分析を行ない予測し、その結果を図-1に示した。

$$R = 1/(1-q)^{1/a} \dots\dots\dots (1)$$

$$P_r = m - 0.5/n \dots\dots\dots (2)$$

$$T = 1/P_r \dots\dots\dots (3)$$

ここに、

R : 再現期間

q : 期待値

a : 耐用年数

T : ΔP の再現期間

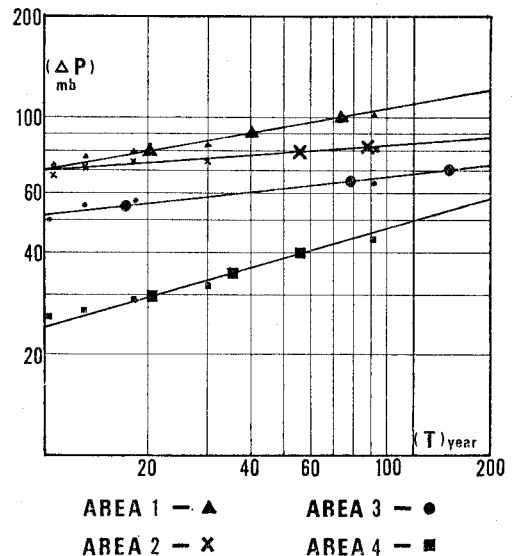


図-1

* 学生会員 日本大学大学院建築科
** 正会員 工博 日本大学教授 理工学部建築科

n : 観測総年数

m : 順位

ここで扱った台風は Area 1, 64 個, Area 2, 41 個, Area 3, 25 個, Area 4, 16 個の計 146 個であるが, 上記の中心気圧同様, 進行速度 (V_a), 中心から最大風速域までの距離 (R_0) についても分析し台風の規模を計算してみると, 3つのファクターがそれぞれ大きい場合, 規模も大きいとは言えず, 中心気圧の低下量 (ΔP), R_0 , V_a の順で規模が決まる

ものと思われ, 各地域別のモデル台風の諸元を表一に示した.

図一, 及び 表一 を見ると ΔP は九州地域よりも, 四国・紀伊の地域の方が大きな値を示しており, 北上するに従い低下量は少なくなっているが, これは光山等⁹⁾が九州, 四国・紀伊, 東海・関東の順であるとしたものと異なるところである. V_a については北上するに従い速度が増し, 同様 R_0 も大きくなっているが, これは上空の偏西風の影響を受けるためであり, R_0 についてはコリオリスの力が働いている理由によるものと思われる.

3. モデル台風による波浪推算について

台風域内の波浪の推算については先人による多くの研究があり, 大きく有義波法, スペクトル法, 経験法と分けられているが, 確一的な方法があるわけではなく, それぞれの立場から研究が行なわれて来たが, 本研究では有義波法に基いて行なったものである.

一般に台風域内の風速の分布は気圧の分布を知ることにより, よく表わされるが, 波については任意性のない条件を設定するのは難しく, 特に風域が移動する場合は式自体も難解なものとなっている. 有義波法における研究ではウィルソンの方法⁹⁾があり, その基礎式を使ってプレシュナイダー¹⁰⁾, 井島等¹¹⁾によって行なわれた研究が多く, 推算式を確立したと言える. 海を敷地と考える時, 敷地内の変化を時間と距離の関数で把握することは構造物設計及び計画の立場から大変重要なこととなって来る. 本研究では, 風, 波の最大の諸元が台風の接近・通過に伴い時間的にどの辺で現われるかに主眼を置き, 行なったものである.

(1) 方法及び仮定

基本的仮定は台風の進行速度および方向は一定であり, 又進行中の台風の風域内の風向も一定であるとする.

波の推算は前記の地域別のモデル台風の値を使い, 風域内の風速および波の諸元を X, Y 座標の交点を中心とする 30° ずつの動径上に分布させ, R_0 の地点で X 軸

と進行方向と平行になるように切り, 台風が 1 時間で進む距離の点での風速の値を 30 時間について求め, 数値計算を行ない, 風速, 波高, 周期, 波長について最大の値を求めた.

(2) 基礎式の誘導

基礎式はウィルソンが 1965 年に求めた式 (4)¹²⁾ 及び, 井島が 1967 年に誘導した風速分布の式 (5)¹³⁾ を用い, 風波の分布については同じく井島の式 (6)¹⁴⁾ を考察し簡便化を試み使用した.

$$\left. \begin{aligned} \frac{gH}{U^2} &= K_3 \left[1 - \frac{1}{\{1 + K_4(gF/U^2)^{0.5}\}^2} \right] \\ \frac{gT}{2\pi U} &= K_1 \left[1 - \frac{1}{\{1 + K_2(gF_e/U^2)^{1/3}\}^5} \right] \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

$$\left. \begin{aligned} F(R) &= \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_a} \cdot \frac{R_0}{R} e^{-R_0/R} + \left(\frac{f}{2} R\right)^2} - \frac{f}{2} R \\ U &= C_1 F(R) \sqrt{1 + M^2 - M(\sin \theta - \sqrt{3} \cos \theta)} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

$$\left. \begin{aligned} H_0 &= H_a \cos \theta + K_3 K_4^2 \frac{Y}{1 - Y^{1/2}} \Delta F \\ Y &= 1 - \frac{1}{K_3} \left(\frac{g H_a \cos \theta}{U_a^2} \right) \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (6)$$

ここに,

- U : 海面 10 m での風速
- g : 重力加速度
- F : 吹送距離
- $K_1=0.685, K_2=0.008, K_3=0.3, K_4=0.004$
- $F(R)$: 傾度風速
- ρ_a : 空気密度
- r : 任意点
- f : コリオリスの係数
- $C_1=0.7, M=V_a/F(R_0)$
- θ : 動径とのなす角度

式 (6) については参考文献参照されたい.

(3) 推算式の誘導

停止台風においては風域内の風速分布及び風の吹送距離は一定とみなすことが出来るが, 台風が移動する場合は風速の値も変化し吹送距離も変化するとみなすことが出来る. すなわち進行に伴い増減した風速 ΔU と吹送距離 ΔF の関係から進行時における最終的な波高, 周期が求められるとすると ΔU と ΔF の間に比例関係が存在するように思われ ΔH という形で現れて来るように思われる. すなわちここで台風の進行に伴い変化する風速 ΔU の値が的確にとらえられるなら, これによって変わる吹送距離を $F + \Delta F$ の形で求めれば進行時での波高, 周期が求められる. ここで井島が誘導した式 (6) を見ると, 第一項の初期条件と, $K_3, K_4, U_a^2, \theta, g, H_a$ が

与えられたなら ΔF を与えるのみで計算出来る。そこで ΔF を求める式として式 (7) を導いている。

$$\Delta F = \frac{l}{\sqrt{(V_a/C_g)^2 - 2(V_a/C_g)^2 \sin \alpha + 1}} \dots\dots\dots (7)$$

すなわち吹送距離を波のグループベロシティによる進行距離にして考えているが、 F 及び ΔF を風の吹送する距離とすると前述の様に無次元化された基礎式において、移動によって増加する ΔF も ΔH も ΔU との比例関係にあるとし、プレシュナイダー¹⁵⁾の ΔU の増加分に相当する ΔF , ΔH の増加, すなわち ΔU の割合に対する ΔH , ΔF の考えを式 (8), (9) の様に考慮すると,

$$F/U = (F_e + \Delta F)/U + \Delta F \dots\dots\dots (8)$$

$$\frac{\Delta F}{F} = \frac{2\Delta U}{U} + \left(\frac{\Delta U}{U}\right)^2 \dots\dots\dots (9)$$

ここに,

F_e : 有効吹送距離

式 (9) より ΔF が求まり, ΔU は式 (5) から求まるが, 同式で求まる U を U と ΔU に分け, それぞれを基礎式 (4) に代入すると,

$$\frac{gH_s}{(U + \Delta U)^2} = 0.3 \left[1 - \left\{ 1 + 0.004 \left(\frac{g(F_e + \Delta F)}{(U + \Delta U)^2} \right)^{0.5} \right\}^{-2} \right] \dots\dots\dots (10)$$

又

$$\begin{aligned} & \frac{gT_s}{2\pi(U + \Delta U)} \\ &= 1.37 \left[1 - \left\{ 1 + 0.008 \left(\frac{g(F_e + \Delta F)}{(U + \Delta U)^2} \right)^{1/3} \right\}^{-5} \right] \dots\dots\dots (11) \end{aligned}$$

を得る。

(4) 検証及び結果

上記の式による値の妥当性を調べるため伊勢湾台風, 及び三陸沖の台風について井島が導いた式と, 更にプレシュナイダーが導いた式 (12), (13)¹⁶⁾を用い計算を行った。すなわちプレシュナイダーが導いた式

$$\frac{gH_s}{U^2} = A_1 \tanh B_1 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{m_1} \dots\dots\dots (12)$$

$$\frac{gT_s}{2\pi U} = A_2 \tanh B_2 \left(\frac{gF}{U^2} \right)^{m_2} \dots\dots\dots (13)$$

ここに,

$$A_1 = 0.283, A_2 = 1.2$$

$$B_1 = 0.0125, B_2 = 0.077$$

$$m_1 = 0.42, m_2 = 0.25$$

に, F を $F_e + \Delta F$, U を $U + \Delta U$ とし代入した式を用いた。式 (10), (11), (12), (13) のそれぞれについて井島の計算値と比較するとプレシュナイダーの式での ΔU は,

$$\Delta U = \frac{1}{2} V_a \cos \theta \dots\dots\dots (14)$$

として計算を行っているが, 式 (5) で求めた ΔU の値

と大きな差は見られず双方の場合につき計算を行ったが, 値は一般に風速が同じであっても波高, 周期それぞれ低めの値を示した。又式 (10), (11) の値は, 中心から遠い所では差が見られるが, 最大値の値はやや高めであるがほぼ一致した値を示した。しかし分布においては図-2 に示すように異なり第4象限の上方に出ている。

構造物の設計では最大の値を知ることが大切と思われる, その意味では吹送距離の導入に仮定があるにもかかわらず式を簡略化でき, 計算時間も短くなった様に思われる。今後詳細な分析を行い精度的にも向上させてゆく考えである。

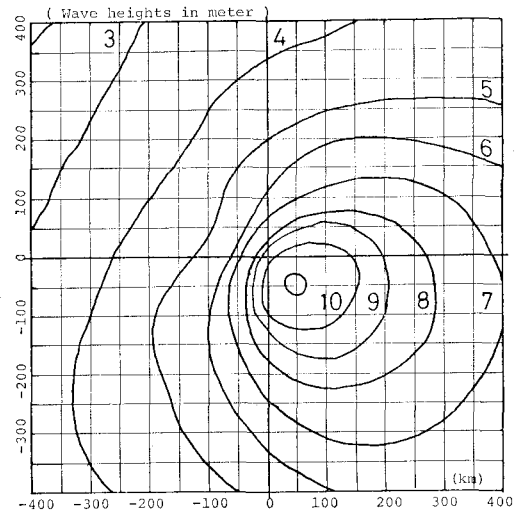


図-2

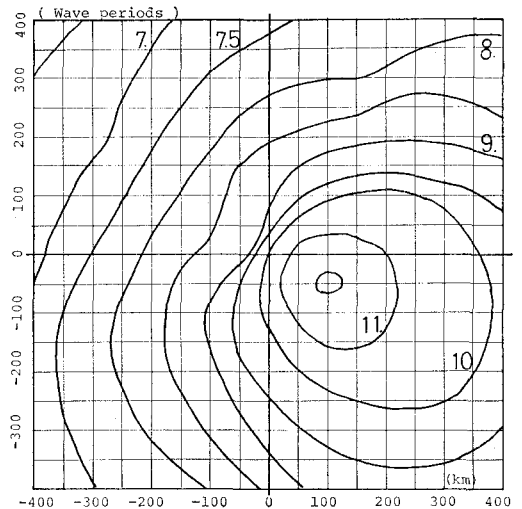


図-3

4. 地域別モデル台風による設計諸元

2. で得られたモデル台風の値を用いて, 台風が進行方向, 及び速度を一定とした時, 接近・通過する過程で

30 時間の風速を進行速度に伴うメッシュ上で読み取り計算を行った。 V_a は宇治⁷⁾の研究で 48 Km/時 の付近が最も最大波高が出るとしており、井島の場合は M の値が 0.3 付近としているが、当計算では 48 Km/時 と各地区とも固定した。

又 R_0 は北上するに従い大きくなって来るが、規模計算を行ってみると R_0 の値の大小にさほど関係は見られないが、 R_0 が大きい時は吹送距離を考慮する時に風域の長さとして関わって来る。ここでは R_0 の値を Area 1, 2 で 50 Km, Area 3, 4 で 75 Km として計算し、有効吹送距離 F_0 を台風の資料の天気図から求めて行った。計算については、停止台風での風速、移動時での風速、有義波高, 1/10 有義波高, 有義周期, 波長の各々について行い、その結果を表-2 に示した。なお設計時での波高は、

設計波高 = 風波 + 天文潮位 + 気象潮位 + サージ

で得られる値を最終の波高とするものであるが、特に浅海では海底の摩擦を受けたサージが重要なものと考えられる。台風による気象潮位、及びサージについては紙面に限りがあるため本発表では計算式や値を載せることが出来なかったが、詳しくは第 28 回応用力学連合講演集を参照していただければ幸いである。

表-2 地域別推算値

	U_s	U_F	H_s	$H_{1/10}$	T_s	L
Area 1	31.4	44.4	13.2	16.8	12.7	250.3
Area 2	35.5	48.6	14.0	17.8	12.9	259.1
Area 3	28.1	41.1	12.2	15.5	12.3	236.1
Area 4	25.3	38.6	11.6	14.7	12.1	228.4

5. ま と め

構造物を設計する場合、モデル台風が設定されてきたわけであるが ΔP の決め方や規模に妥当性を欠く面も見受けられたが、今回 ΔP の値を明示出来たと共に、九州は上陸又は通過数が多いにもかかわらず四国・紀伊の方に大きな値が出ていることがわかった。通常モデル台風の決定には、風速が、速い—中位い—遅い、と進行速度が、速い—中位い—遅い、の各々の組合せによって決定しているが、規模を理論的に把握することは難しく問題も残っているが、一応の値を示すことが出来た。又波の諸元については、風潮波を考慮していない段階では地域別による差は 1 m 位ずつであり、設計における波高の

値の大小は経済的な面に大きくかかわってくるものであり、又距離と時間による変化は構造物の応答解析、又波数による疲労度の問題を扱う上で重要なものと思われる。今回一応の値を算出したが、今後更に研究を続けて行き御批判を仰ぎたい。なお現在、設計条件とは別に稼働条件値（従来定説無し）について分析中であるが前者は構造物の安全、存続性にかかわってくる条件であり、稼働条件は構造物の持っている用途、機能の能率性、有効性にかかわってくるもので、設置地域で最も頻度の高い海象条件に左右され、構造物での居住環境、動揺、サイズ等、構造物の計画にかかわってくる条件であると思われるが別に機会を譲り、合わせて御批判をいただきたい。以上海洋を敷地と考えた場合のスペースの有効利用の立場から行って来たものであるが、本研究を進めるにあたり、気象庁の台風研究所の奥田穰博士に多くの助言をいただき、合せて当大学の卒研の学生に統計資料の分析を手伝っていただいたことに感謝の意を示すものである。

参 考 文 献

- 1) 日本港湾協会, 港湾構造物設計基準, 1967 年.
- 2) 井島武士・副島 毅・松尾隆彦: 数値計算による台風域内の波の分布について, 第 14 回, 第 17 回海工講演集, pp. 29~38, pp. 27~33.
- 3) 関 慎吾: コンクリートは生きていて病気になる, 別刷りにより出典不明, 著者, 日大教授電中研顧問.
- 4) 日本造船研究協会, 関西国際空港計画に係る浮体工法の評価のための基礎調査, 1978.
- 5) 光田 寧・藤井 健・文字信貴・川平浩二・塚本 修: 改良された標準計画台風, 京都大学防災研究所年報 B, pp. 393~404, 1978 年.
- 6) 土木学会編, 海洋鋼構造物設計指針(案)解説, 1973, pp. 12~14.
- 7) 前出 5)
- 8) 前出 2)
- 9) 磯崎一郎: 海洋波浪の調査研究に関する現況報告書より, pp. 286~289.
- 10) C. L. Bretschneider: Wind Wave Forecasting Method, Univ. of Hawaii, Class Handout, 1974.
- 11) 前出 2)
- 12) 前出 2), 9)
- 13) 前出 2)
- 14) 前出 2)
- 15) C. L. Bretschneider: Hurricane Wind and Wave Forecasting Techniques, Look Lab Hawaii, 1976.
- 16) C. L. Bretschneider: The Two-Direction Significant Wave Forecasting Model with Special Application to U.S. Weather Service Hurricane Wind Model, 1979.
- 17) Takashi, Uji.: Numerical Estimation of the Sea Wave in Typhoon Area, Collected Reprints, Vol. 12, pp. 199~217, 1978.