

運輸省港湾技術研究所構造部 正会員 白石 悟

同 上

正会員 上田 茂

1. はじめに

本研究では港湾および海洋構造物の信頼性の検討に際して必要となる各種荷重のうち風荷重、地震荷重、波浪荷重について、荷重のN年最大値の平均値および変動係数を極値分布を用いて地点ごとに算定した。

2. 荷重のN年最大値の平均値およびその変動係数の算定法

荷重のN年最大値の平均値および変動係数を精度よく求めるためには、長年月のデータが必要であるが、現実には、長期間にわたる信頼度の高いデータが得られていないことが多い。そこで、荷重の年最大値の確率分布関数からN年最大値の確率分布関数を推定し、N年最大値の平均値および変動係数を求めた。

荷重の年最大値の確率分布関数としては、式(1)～(3)に示す極値Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型分布が風速などの極値分布としてよく適合するとされているので、本研究でもこれらの確率分布関数を用い荷重のN年最大値を算定する。確率分布関数の未知パラメータは回帰分析により求めるが、式(3)の極値Ⅲ型分布の未知パラメータ A_3, B_3, k のうち、 k については Petruaskas・Aagaard に従って、 $k=0.75, 0.85, 1.0, 1.1, 1.25, 1.5, 2.0$ と仮定し他の未知パラメーターを求め、適合度の最も良いものを選定する。

$$\text{極値Ⅰ型分布 } P(x) = \exp[-\exp\{-(x-B_1)/A_1\}] \quad (1)$$

$$\text{極値Ⅱ型分布 } P(x) = \exp\{-(A_2/x)^k\} \quad (2)$$

$$\text{極値Ⅲ型分布 } P(x) = 1 - \exp[-\{(x-B_3)/A_3\}^k] \quad (3)$$

ここに、 $P(x)$: 荷重の確率分布関数、 x : 荷重、 A_1, B_1, A_2, A_3, B_3 : 極値Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型分布のパラメータである。

各年の荷重の年最大値の発生確率が互に独立であると仮定すると、N年最大値の確率分布関数 $P_N(x)$ は年最大値の確率分布関数 $P(x)$ を用いて $P_N(x) = [P(x)]^N$ と表される。

したがって、荷重のN年最大値の確率分布関数はそれぞれ、以下の式となる。

$$\text{極値Ⅰ型分布 } P_N(x) = \exp[-\exp\{-(x-B_1-A_1 \ln N)/A_1\}] \quad (4)$$

$$\text{極値Ⅱ型分布 } P_N(x) = \exp\{-(A_2 N^{1/k}/x)^k\} \quad (5)$$

$$\text{極値Ⅲ型分布 } P_N(x) = [1 - \exp\{-(x-B_3)/A_3\}^k]^N \quad (6)$$

ここで、極値Ⅰ、Ⅱ型分布についてはN年最大値の平均値 x_{Nm} 、変動係数 V_N は以下の式となる。

$$\text{極値Ⅰ型分布 } x_{Nm} = (B_1 + \gamma A_1) + A_1 \ln N, \quad V_N = \pi A_1 / (\sqrt{6} \cdot x_{Nm}) \quad (7)$$

$$\text{極値Ⅱ型分布 } x_{Nm} = A_2 \cdot \Gamma(1-1/k) \cdot N^{1/k}, \quad V_N = [\Gamma(1-2/k) - \{\Gamma(1-1/k)\}^2]^{1/2} / \Gamma(1-1/k) \quad (8)$$

ここに、 γ : オイラー定数 ($\gamma=0.5772$)、 π : 円周率、 $\Gamma(\cdot)$: ガンマ関数である。

極値Ⅲ型分布に基づく荷重のN年最大値の確率分布関数(式(6))の平均値および変動係数は簡単な式では表現できないので、 $P_N(x)=0.0001 \sim 0.001$ 、 $P_N(x)=0.999 \sim 0.9999$ では $\Delta p_i=0.0001$ 、 $P_N(x)=0.001 \sim 0.01$ 、 $P_N(x)=0.99 \sim 0.999$ では $\Delta p_i=0.001$ 、 $P_N(x)=0.01 \sim 0.99$ では $\Delta p_i=0.01$ とし数値積分を行う。この方法を用いて得られる極値Ⅰ型分布($A_1=25.4, B_1=42.7$)の50年最大値の平均値および標準偏差と解析解(式(7))との相対誤差はそれぞれ 1.9×10^{-4} 、 1.5×10^{-3} であり、上記の数値積分は十分な精度を有する。

3. 荷重の変動係数

(1) 算定手順

①風荷重 1929～1983年の気象庁観測の風速データ(年最大値データ)を用い、全国131地点の風荷重(速度圧)の50年最大値の平均値および変動係数を算定した。ただし、抗力係数の変動、構造物の高さ方向の風速の変動などについては風荷重の変動の要因として考慮していない。

②地震荷重 日本の沿岸地域190地点の最大加速度データ（1885～1981年の地震のマグニチュードから推定した上位20個の極値時系列データ）を用い水平震度の50年最大値の平均値および変動係数を算定した。ただし、加速度から水平震度への変換には野田の経験式 ($K_h=(1/3) \cdot (a/g)^{1/3}$ ($a \geq 200\text{Gal}$), $K_h=a/g$ ($a < 200\text{Gal}$)), ここで、 K_h :最大水平震度、 a :基盤の最大加速度 (Gal)、 g :重力加速度 (Gal)である)を用いた。なお、地震のマグニチュードと基盤の最大加速度との関係および加速度と震度の関係のばらつきについては荷重の変動要因として考慮していない。

③波浪荷重 全国23地点の波浪観測データ（ただし個数28～366個の極値時系列データ、欠測等を考慮した有効統計年数は1.95～9.50年）を用い、有義波高の50年最大値の平均値および変動係数を算定した。なお、波周期の影響、波の浅水変形、砕波変形などの影響については波浪荷重の変動要因として考慮していない。

(2) 算定結果

図-1は風荷重（風圧力）について、再現期間50年の風圧力と50年最大風圧力を対比したものである。図中の黒丸は平均値を白丸は平均値+標準偏差を示す。50年最大風圧力の平均値および平均値に標準偏差を加えたものは、それぞれ再現期間50年の風圧力の1.05～1.2倍、1.2～1.5倍である。50年最大風圧力の平均値は再現期間50年の風圧力より大きく、また地点毎にかなり異なる。また、その標準偏差も地点ごとに異なるので、以下、変動係数に着目し検討する。

図-2, 3, 4はそれぞれ風荷重（風圧力）、地震荷重（水平震度）、波浪荷重（有義波高）の50年最大値の変動係数の算定結果である。50年最大荷重の変動係数は荷重の種類、地点によつて大きく異なる。我が国のデータから推定した50年最大荷重の変動係数は風圧力で0.08～0.35、水平震度で0.05～0.55、有義波高で0.05～0.20である。以上のばらつきは地域特性によるもので、風圧力の変動係数は関東から南九州にかけての地帯で大きく、水平震度の変動係数は北海道から九州にかけての太平洋側で小さいという傾向が認められる。また、冬季の風浪により有義波高の大きな値が生ずる日本海側や東北部の太平洋側においては、台風により有義波高の大きな値が生ずることが多い関東以西の太平洋側の地域に比べて50年最大有義波高の変動係数が小さいという傾向が認められる。ただし、波浪については有効統計年数は最長でも9.5年であり今後データを蓄積することにより、ここで示した数値は変る可能性がある。

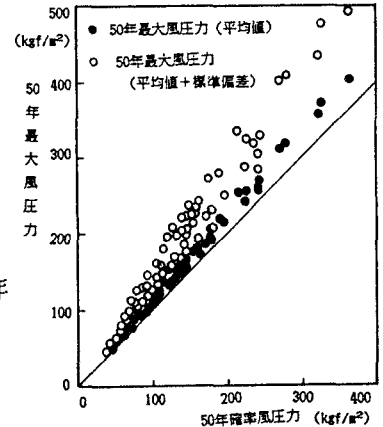


図-1 50年最大風圧力

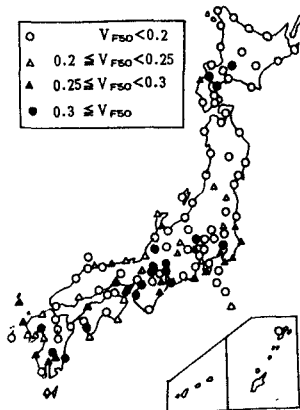


図-2 風荷重の変動係数

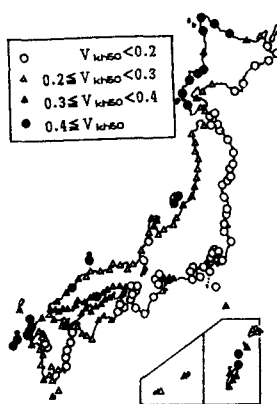


図-3 地震荷重の変動係数

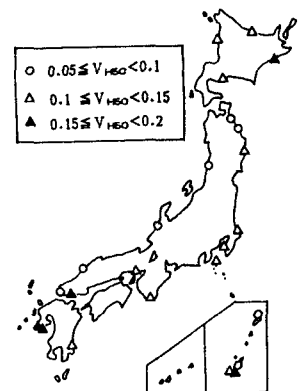


図-4 波浪荷重の変動係数

参考文献 白石, 上田: 港湾構造物及び海洋構造物の安全性照査に関する検討, 港研報告第26巻2号②, 1987