

II-326

信頼性設計法による防波堤の消波ブロック重量の算定について

東北電力(株)電力技術研究所 正会員 氏家久芳

1. はじめに

信頼性設計法により、構造物の安全性指標 β 、信頼度 R_s 、破壊確率 P_f を求めることが出来る。いま、信頼性設計法を用いて防波堤の消波ブロック重量の過不足(安全性)を検討する時、現行の設計法との整合の上から、許容安全性指標 β_a 、許容信頼度 R_{sa} 、許容破壊確率 P_{fa} が定義されたとすると、今後設計すべき防波堤の消波ブロック重量の算定もこれらを用いて可能となる。長期間に亘って供用されている構造物は、十分許容される安全性レベルを有していると考えて、既設防波堤の有する許容安全性指標 β_a がどの程度の値になるかを検討したものである。

2. 既設防波堤の消波ブロック重量

既設防波堤の消波ブロック重量については、ハドソン式から次のように算定されている。

$$W = \frac{\gamma_r \cdot H^3}{K_D \cdot (S_r - 1)^3 \cdot \cot \alpha} = \frac{2.3 \times 5.3^3}{6.6 \times (2.23 - 1)^3 \times 4/3} = 20.9 \text{ t} < 23.0 \text{ t (実重量)} = \text{採用ブロック重量値}$$

ここに、 W :消波ブロックの最小重量(t)、 H :設計波高(m)、 K_D :定数、 γ_r :ブロックの空中単位体積重量(t/m^3)、 S_r :ブロックの海水に対する比重、 α :斜面が水平面となす角度($^\circ$)

3. 安全性指標 β の算出

β の算出には、信頼性設計法で用いられる一次ガウス近似法によった。ここでは、 H 、 K_D を確率変数として、 W 、 γ_r 、 S_r 、 α を確定量として取り扱った。したがって、信頼性設計法上の、ハドソン式から誘導される性能関数は、 $Z = g(H, K_D)$ となり他のパラメーターを確定量($\gamma_r=2.3$, $S_r=2.23$, $\cot \alpha=1.33$, W =標準偏差を有しない各重量値)とすると、性能関数は次のように表わされる。

$$Z = W - \frac{0.927 \cdot X(1)^3}{X(2)} \quad \begin{array}{l} X(1): \text{確率変数としての } H \\ X(2): \text{確率変数としての } K_D \end{array}$$

各々の確率変数の分布形と各々の確率変数のバラツキを表わす平均値と標準偏差については、適宜仮定して行なった。 Z を破壊モードの性能関数とする時 P_f と β は $P_f = 1 - \Phi(\beta) = 1 - \Phi(\mu_Z / \sigma_Z)$ で表わされる。ここで、 μ_Z と σ_Z は各々 Z の平均値および標準偏差であり、 $\Phi(\cdot)$ は平均値0、標準偏差1の標準正規確率分布関数である。図-1は、 H 、 K_D を確率変数とし、各々の分布形を $[H, K_D = \text{NORMAL}]$ と $[H = \text{LOGNOR}, K_D = \text{GUMBEL}]$ とした W と β との関係である。消波ブロック重量の算定値20.9tに対して、採用値23.0tの β のオーダー値は $\beta = 0.4 \sim 0.6$ 程度である。

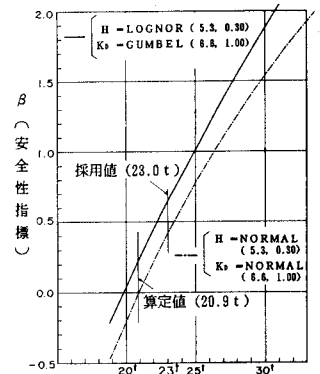
図-1. β と W との関係4. 安全性指標(β)の変化率($\Delta\beta$)を用いた感度分析

図-2、図-3は二つの確率変数 H 、 K_D のうち、 K_D を確率変数とし H を確定量としたケースと、 H を確率変数とし K_D を確定量としたケースの信頼性設計法の感度分析結果である。これらの図のうち、安全性指標 β の変化率 $\Delta\beta$ に著しい影響を与えるのは、図-3のケースであり、消波ブロックの重量の安全性(過不足)レベルに影響を及ぼすのは、設計波高 H の方が K_D 値より大きいと言える。図-4、図-5は図-2、図-3に対応するもので、各々、設計波高 H の変動係数 ν_H と β との関係、 K_D 値の変動係数 ν_K と β との関係を示した図である。また、図-4、図-5は、より厳しい安全性レベルを評価する β の算出には設計波高 H の変動係数 ν_H を用いるべきことを示している。

5. 許容安全性指標 β_a

図-6は $K_D=6.6$ を確定量として、設計波高 $H=NORMAL[5.3, \sigma]$ を確率変数とした β と ν_H との関係を示すが、この図の曲線は、あらゆる消波ブロック重量 W の値に対応する曲線を定めるから、曲線の表示は補助変数 W のパラメータ表示となっている。すなわち、図-6に示すように、 $W=20.9t$, $25.08t$, $29.26t$ に対応して、曲線 $\beta \cdot \nu_H$ は $\beta \cdot \nu_H=0.0009, 0.0636, 0.1197$ になっている。言い換えると、 $\beta \cdot \nu_H$ は、第一象限にある直角双曲線で座標軸はいずれも直角双曲線の漸近線となっている。 β 座標軸は、 $\nu_H \rightarrow 0, \beta \rightarrow \infty$ で安全性のレベルは破壊に全く至らないことを意味し、 ν_H 座標軸は、 $\nu_H \rightarrow \infty, \beta \rightarrow 0$ で安全性のレベルは破壊に至ることを意味している。

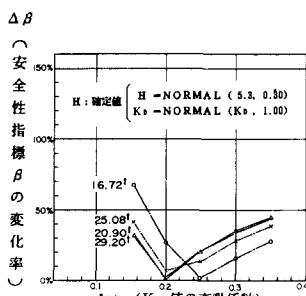
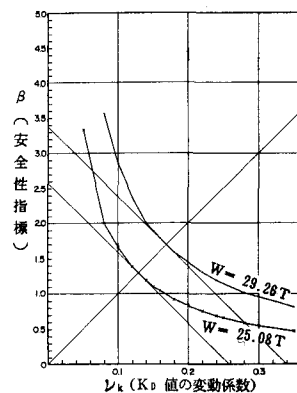
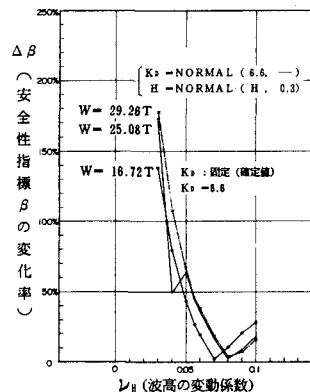
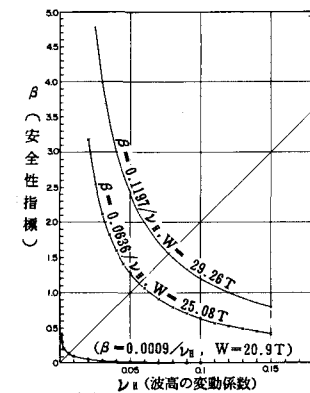
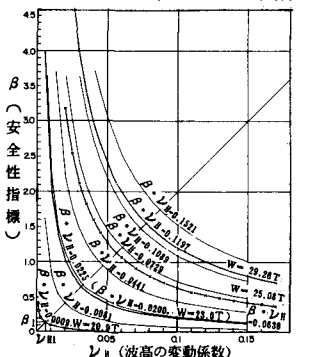
いま、ハドソン式によって算定された消波ブロック重量 $W=20.9t$ でパラメータ表示される曲線 $\beta \cdot \nu_H$ は、 $\beta \cdot \nu_H=0.0009$ と解析的に近似できるから、最適設計点を表わすような点($\nu_{H1}=0.0067, \beta_1=0.1343$)も解析的に求められる。同様にして、消波ブロック重量 $W=25.08t$ でパラメータ表示される曲線 $\beta \cdot \nu_H$ は、 $\beta \cdot \nu_H=0.0636$ と解析的に近似でき、最適設計点を表わすような点の座標は(0.0564, 1.1277)と解析的に求められる。既設の防波堤の消波ブロック重量 W は、 $W=23.0t$ が採用され、この防波堤は長期間に亘って被災を受けることなく供用されているから、これをいま許容安全性指標 β_a として採用できるとすると、同様に解析的に、 $W=23.0t$ でパラメータ表示できる曲線 $\beta \cdot \nu_H=0.0200$ 、最適設計点の座標(0.0316, 0.6333)が求められるから、 $\beta_a=0.6333=4.7156 \times 0.1343$ となる。すなわち、算定値 $20.9t$ に対して安全性指標0.6333は4.7156倍の安全性レベルを持って充分機能していることになる。したがって、ハドソン式から算定される消波ブロック重量値($W=20.9t, \beta=0.1343$)から信頼性設計法を用いた許容安全性指標 β_a を解析的に定義することが可能である。

6. おわりに

今後、確率変数の分布形の設定とか、信頼性設計法によるさらに合理的な消波ブロック重量の算定などについて検討していく。

<参考文献>

- 1) 星谷 勝・石井 清：構造物の信頼性設計法，鹿島出版会，1986
- 2) 山本正明ほか：土質データのばらつきと設計，土質工学会誌，土と基礎，1987，vol35.

図-2. $\Delta\beta$ と ν_K との関係図-4. β と ν_K との関係図-3. $\Delta\beta$ と ν_H との関係図-5. β と ν_H との関係図-6. $\beta \cdot \nu_H$ のパラメータ(W)表示