

1. はじめに 著者らは、前報¹⁾において、日本の沿岸地域における最新の基盤加速度データから、設計震度の地域区分ごとに地震荷重（N年最大水平震度）の変動係数を求めている。本研究では、限界状態設計法を適用して港湾構造物を耐震設計する場合を想定し、前報¹⁾で得られている地震荷重の極値確率分布関数と重力式岸壁の破壊確率から推定された目標安全性指標を用いて、設計震度の地域区分ごとに地震荷重の荷重係数を算定した。

2. 重力式岸壁の破壊確率および目標安全性指標の算定法 地震荷重の荷重係数を計算するためには、地震荷重の確率分布関数を推定するとともに、耐震設計を行おうとする港湾構造物に対して目標安全性指標を設定する必要がある。その場合、構造物の地震に対する安全性は、日本全国においてほぼ同程度となるように設定することが合理的である。そこで、本研究では、日本全国の港湾構造物（重力式岸壁）の地震に関する被災資料を基に構造物の耐用年数50年に対する破壊確率を算定し、構造物の破壊基準関数の確率分布が近似的には正規確率分布であると仮定することにより、構造物の破壊確率から目標安全性指標を求めることにした。まず、当所所有の港湾施設データベース、被災施設データベースおよび港湾技研資料など²⁾を基にして、日本全国に存在する重力式岸壁（セル式、たな式を除く）のバース数および各1年間ごとに地震荷重によって被災したバース数を調査した。このとき、港湾施設の地震被害調査が確実にされている1964年の新潟地震以降の地震による港湾施設の被災を対象とした。そして、各年の被災バース数と日本全国に存在するバース総数から、各1年間ごとの重力式岸壁の破壊確率、1年間の平均破壊確率および耐用年数50年間に於ける構造物の破壊確率を次式により算定した。

$$P_i = \hat{n}/\hat{m}, \quad P_m = \sum_{i=1}^{\hat{N}} P_i / \hat{N}, \quad P_f = 1 - (1 - P_m)^{50} \quad (1), (2), (3)$$

ここで、 P_i ：ある1年間の破壊確率、 $\hat{n}$ ：被災したバース数、 $\hat{m}$ ：全国に存在するバース数、 P_m ：1年間の平均破壊確率、 $\hat{N}$ ：調査年数（1964年～1998年の35年）、 P_f ：耐用年数50年間の破壊確率、である。本研究では破壊基準関数として非線形式（ $Z = \ln R - \ln S$ 、 Z ：破壊基準関数、 R ：抵抗力、 S ：地震荷重）を採用し、構造物の抵抗力は正規分布、地震荷重（N年最大水平震度）は極値確率分布に従うと考えている。よって、構造物の破壊確率から安全性指標を算定する際には、破壊基準関数が線形で各々の基礎変数が正規確率分布に従う場合に正確な対応関係を示す構造物の破壊確率と安全性指標の関係式である次式を、破壊基準関数が非線形で各々の基礎変数が非正規確率分布の場合においても近似的に成立すると仮定して準用した。

$$P_f \cong \Phi(-\beta) \Leftrightarrow \beta \cong -\Phi^{-1}(P_f) \quad (4), (5)$$

ここで、 $\Phi(\cdot)$ ：標準正規確率分布関数、 β ：安全性指標、である。

3. 地震荷重の荷重係数の計算法 日本の沿岸地域の各地点の地震荷重の極値確率分布関数と目標安全性指標から、各地点ごとの地震荷重の荷重係数を算定した後、各地域区分に含まれる地点の荷重係数を地域区分ごとに平均し、各地域区分ごとに地震荷重の荷重係数を算定する。その際、地震荷重が極値確率分布に従い、破壊基準関数が非線形であることから、地震荷重の荷重係数を反復法による収束計算によって算定する必要がある³⁾。すなわち本研究では、地震荷重の確率分布関数を既知とし、また正規分布に従う抵抗力の平均値を未知数（変動係数は既知で一定値=0.1）として、目標安全性指標に対応する設計点とそのときの抵抗力の平均値を反復収束計算により算定し、次式によって各地点の地震荷重の荷重係数を求めた。

$$\gamma_s = x_s^* / \mu_s = P_N^{-1}(\Phi(x_s^*)) / \mu_s = (\mu_s^N + \sigma_s^N \cdot x_s^*) / \mu_s = (\mu_s^N - \sigma_s^N \cdot \alpha_s^* \beta) / \mu_s \quad (6)$$

キーワード：限界状態設計法、地震荷重、荷重係数、破壊確率、安全性指標

連絡先：〒239-0826 横須賀市長瀬 3-1-1 運輸省港湾技術研究所構造部海洋構造研究室 TEL 0468-44-5032

ここで、 γ_s ：地震荷重の荷重係数、 $P_N(\cdot)$ ：N年最大水平震度の確率分布関数、 μ_s ：N年最大水平震度の平均値、 x_s^* および x_s^{**} ：元の空間および標準化空間における地震荷重に対する設計点、 μ_s^N および σ_s^N ：地震荷重の極値確率分布に対応する近似正規分布の平均値および標準偏差、 α_s^* ：地震荷重に対する標準化空間における単位ベクトルの方向余弦、 β ：目標安全性指標、である。

4. 重力式岸壁の破壊確率および目標安全性指標 地震の各発生年ごとの重力式岸壁の破壊確率を示す（表 - 1）。重力式岸壁の耐用年数 50 年に対する破壊確率は、1995 年の兵庫県南部地震を含む場合（CASE-A）と含まない場合（CASE-B）の 2 ケースについて計算した。破壊確率は CASE-A の場合は 0.1035、CASE-B の場合は 0.0686 となり、CASE-A の場合の破壊確率は CASE-B の約 1.5 倍にもなる（表 - 2）。このことは、港湾構造物に甚大な被害をもたらした兵庫県南部地震が破壊確率の算定に大きな影響を及ぼすことを意味している。そして、前述の手法に従って、破壊確率から目標安全性指標を近似的に推定すると、目標安全性指標は CASE-A の場合は 1.26、CASE-B の場合は 1.49 となる（表 - 2）。

5. 地震荷重の荷重係数 地域別震度の 5 つの地域区分および目標安全性指標に対して地震荷重（50 年最大水平震度）の荷重係数を示す（表 - 3）。CASE-A および CASE-B の場合の目標安全性指標 1.26 および 1.49 も表に含まれている。また、地震荷重の荷重係数と目標安全性指標の関係を示す（図 - 1）。全体としては、地域別震度が小さい地区ほど、地震荷重の荷重係数は大きくなる傾向にある。ところが、A 地区と B 地区の荷重係数については順序が逆転している。これは前報¹⁾で示した地震荷重の変動係数の傾向と一致する。すなわち、地震荷重の変動係数の大小が、地震荷重の荷重係数の大小に強く影響しているのである。一方、目標安全性指標が大きくなるほど、地震荷重の荷重係数もまた大きくなることもわかる。CASE-A および CASE-B の場合を含む目標安全性指標が 1.0 から 1.5 の範囲においては、地震荷重の荷重係数はおおむね 1.3 から 1.8 である。

6. おわりに 重力式岸壁の破壊確率から算定された目標安全性指標と地震荷重の確率分布関数を用いて、限界状態設計法の適用時に必要となる地域区分ごとの地震荷重の荷重係数を新たに提示した。ここで提案された地震荷重の荷重係数は、限界状態設計法によって港湾構造物の耐震設計を行う場合に利用されることが期待される。

表 - 1 地震の発生年の重力式岸壁の破壊確率

地震の発生年	重力式岸壁の被災バース数	重力式岸壁のバース総数	破壊確率
1964	10	1055	0.009
1968	23	1379	0.017
1973	6	1935	0.003
1974	3	2043	0.001
1978	4	2507	0.002
1982	7	3123	0.002
1983	6	3242	0.002
1993	39	4411	0.009
1994	20	4499	0.004
1995	122 (0)	4576	0.027 (0.0)
合計	240 (118)		0.076 (0.050)

() は兵庫県南部地震を含まないケースを示す。

表 - 2 耐用年数 50 年の破壊確率および目標安全性指標

	CASE-A	CASE-B
構造物の耐用年数50年に対する破壊確率	0.1035	0.0686
目標安全性指標	1.26	1.49

CASE-A：兵庫県南部地震を含む場合

CASE-B：兵庫県南部地震を含まない場合

表 - 3 地震荷重（50 年最大水平震度）の荷重係数

地域区分	目標安全性指標 β									
	0.50	0.60	0.80	1.00	1.26	1.49	1.50	2.00	3.00	4.00
A	1.09	1.12	1.19	1.27	1.39	1.50	1.50	1.78	2.51	3.50
B	1.08	1.12	1.18	1.26	1.36	1.46	1.47	1.72	2.39	3.26
C	1.10	1.15	1.24	1.35	1.50	1.66	1.67	2.07	3.17	4.73
D	1.10	1.15	1.25	1.36	1.52	1.68	1.68	2.09	3.22	4.81
E	1.11	1.16	1.27	1.40	1.58	1.76	1.77	2.24	3.58	5.52

野田・上部の関係式の0.59倍

構造物の耐用年数50年

ワイブルプロットング公式

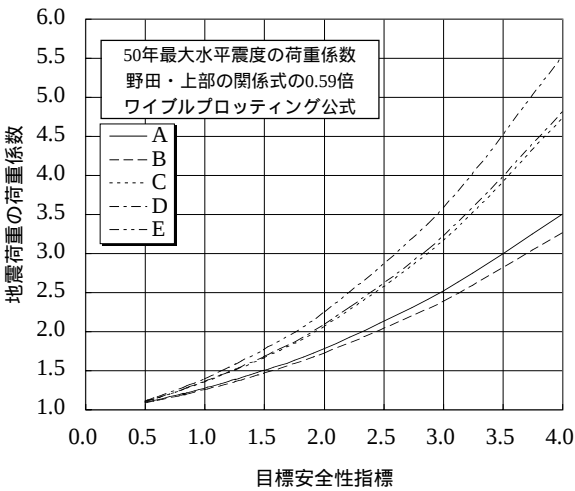


図 - 1 地震荷重の荷重係数と目標安全性指標の関係

参考文献

- 1) 米山治男他：最新の基盤加速度データに基づいた地震荷重の変動係数の地域特性、第 54 回土木学会年次学術講演会概要集 1-B471、1999.9
- 2) 例えば、稲富隆昌他：1995 年兵庫県南部地震による港湾施設等被害報告、港湾技研資料 No.857、1997.3、1762p.
- 3) 伊藤學他：土木・建築のための確率・統計の応用、丸善、1988.1、pp.357 ~ 467