

港湾技研資料

TECHNICAL NOTE OF
THE PORT AND HARBOUR RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORT, JAPAN

No. 708 June 1991

限界状態設計法における地震荷重の荷重係数の検討

白 石 悟
上 田 茂
上 部 達 生

運輸省港湾技術研究所



目 次

要 旨	3
1. はじめに	4
2. 地震荷重の荷重係数の計算法	4
2.1 震度の計算法	4
2.2 N 年最大水平震度の平均値および変動係数の計算法	5
2.3 荷重係数の計算法	7
3. 地点別および地域別の N 年最大水平震度の平均値と変動係数	8
3.1 地域区分	8
3.2 N 年最大水平震度の平均値と変動係数の特性	9
3.3 地域別の N 年最大水平震度の平均値および変動係数	12
4. 地震荷重の荷重係数	12
4.1 技術基準の係数値との比較	12
4.2 荷重係数の計算結果	15
5. 結 論	16
参考文献	17
主要記号表	18
付録A 地点別の N 年最大水平震度の平均値および変動係数	19
付録B 建造物の安全性指標	23

Study on the Load Factor of Seismic Loads on Limit State Design Method

Satoru SHIRAISHI*
Shigeru UEDA**
Tatsuo UWABE***

Synopsis

The design code of concrete structures revised in 1986 by the Japan Society of Civil Engineers. In this code, standard values of load factors and material factors are prescribed. On the application of the code to port and offshore structures, safety factors such as the load factor must be examined taking into account the characteristics of loads and structures. Previously, Shiraishi and Ueda reported the load factors of seismic loads for port structures in the Report of PHRI, Vol.26 No.2.

In this report, the relation between seismic coefficients and acceleration records are revised and the load factors of seismic loads are calculated again.

Kitazawa et al. were calculated the maximum base rock acceleration for 190 points along coasts of Japan against each earthquake occurred in Japan after 1885 to 1981. In the calculation, the maximum base rock acceleration at each point was calculated by the relation between the magnitude of earthquake and the epicentral distance, and also the upper twenty values of base rock accelerations were presented and the expected values in recurrence interval were calculated.

Then, authors calculated the maximum mean values and coefficient of variation of the horizontal seismic coefficients in lifetime of structures. Also, the load factor for seismic load was calculated for each point. Furthermore, the mean of load factor was calculated for each five zone which is used in the design for liquefaction prevention on coastal area in Japan.

Major results obtained in this report are as follows.

(1) Means of the 50-yr maximum horizontal seismic coefficient are 0.172, 0.145, 0.124, 0.095, 0.058 for zone A to E, respectively. And coefficients of variation of the 50-yr maximum horizontal seismic coefficient are 0.35, 0.31, 0.45, 0.49, 0.44 for zone A to E, respectively.

(2) Safety indices of the structures which are designed by use of the technical standard of port and harbour structures are 0.85, 0.95, 0.65, 0.60, 0.67 for zone A to E, respectively, when the importance factor for seismic load is 1.0. Although the safety index deferred for each zone, the failure probability is large when the safety index is small. The design of structures is reasonable to get same failure probability of structure for each zone. So, load factors shall be decided to be the safety factor as 1.0 which is the upper value of the safety index of structures for zone A to E.

(3) The load factors for seismic loads are 1.22, 1.19, 1.29, 1.32, 1.29 for each zone, when the safety index of structures is 1.0. Then, the load factor on limit state design method set to 1.2 for zone A, B and 1.3 for zone C, D, E, respectively.

Keyword : Limit State Design, Seismic Loads, Load Factor, Horizontal Seismic Coefficient, Coefficient of Variation, Safety Index

* Senior Research Engineer, Structural Engineering Division

** Chief of Offshore Structures Laboratory, Structural Engineering Division

*** Chief of Earthquake Disaster Prevention Laboratory, Structural Engineering Division

限界状態設計法における 地震荷重の荷重係数の検討

白石 悟*
上田 茂**
上部 達生***

要 旨

昭和61年に改訂された土木学会の「コンクリート標準示方書」には、設計上必要な荷重係数、材料係数などの標準的な数値が提示されている。港湾構造物および海洋構造物にこれを適用するに当たっては、作用荷重および構造物の特性を考慮して、荷重係数、材料係数などの安全係数の値について十分に検討する必要がある。著者のうち白石・上田は地震荷重の荷重係数について、既に報告しているが、本資料では、地盤の加速度と水平震度の関係を見直し、改めて計算を行ったものである。

北澤他は、日本の沿岸地域190地点について、1885年～1981年に日本国内で発生した地震のマグニチュードとその震源域からの距離とから、それぞれの地震に対し基盤の最大加速度を推定し、その上位20位までのデータを提示し、また、基盤の加速度の再現期待値を計算している。本資料では、この加速度データをもとに構造物の耐用年数中における地震荷重の最大値の平均値および変動係数を計算し、ついで、地震荷重に対する荷重係数を地点ごとに計算した。また、港湾の液化化の予測・判定手法に用いられている地域区分に従い、全国を5地域に区分し地域別の荷重係数を求めた。

本資料で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) A～Eの各地区における50年最大水平震度の平均値はそれぞれ0.172, 0.145, 0.124, 0.095, 0.058である。また、その変動係数はそれぞれ、0.35, 0.31, 0.45, 0.49, 0.44である。
- 2) A～Eの各地区における構造物について、重要度係数を1.0として安全性指標を計算すると、それぞれ、0.85, 0.95, 0.65, 0.60, 0.67である。安全性指標は地域ごとに差異があるが、安全性指標が小さいほど構造物の破壊確率が大きい。構造物の設計は破壊確率がほぼ等しくなるように設計するのが合理的と考えられるので、安全性指標として各地区の数値の上限値をとり1.0として荷重係数を決めるのがよいと考えられる。
- 3) 安全性指標を1.0として計算したA～E各地区の荷重係数は1.22, 1.19, 1.29, 1.32, 1.29である。したがって、限界状態設計法における地震荷重の荷重係数はA, B地区では1.2, C, D, E地区では1.3とする。

キーワード：限界状態設計法，地震荷重，水平震度，荷重係数，変動係数，安全性指標

* 構造部 主任研究官（浮体構造担当）
** 構造部 海洋構造研究室長
*** 構造部 地震防災研究室長

1. はじめに

昭和61年に改訂された土木学会のコンクリート標準示方書¹⁾には限界状態設計法を用いて設計する際に必要な荷重係数、材料係数などの安全係数(部分安全係数)の標準的な数値が提示されている。港湾構造物および海洋構造物にこれを適用するにあたっては、地震荷重、風荷重、波浪荷重などの作用荷重および構造物の特性を考慮して、安全係数の値について十分に検討する必要がある。

著者のうち白石・上田²⁾は、野田他³⁾が提案した地盤の加速度と水平震度の関係式(以下、野田の式という)を用いて水平震度を計算し、その N 年最大値の平均値および変動係数を計算し、信頼性理論に基づく手法(安全性指標を用いる方法)を用い地震荷重の荷重係数を検討している。しかしながら、野田の式に基づいて計算した水平震度は、港湾の施設の技術上の基準・同解説⁴⁾(以下、技術基準と記す)に示された地域別震度と比較するとやや過大である。そこで、本資料では、地盤の加速度と水平震度の関係を見直し、地震荷重の荷重係数を改めて求めた。

2. 地震荷重の荷重係数の計算法

2.1 震度の計算法

(1) 検討する変数について

重力式または矢板式の港湾構造物などで土圧を受ける構造物については、固有振動周期が作用する地震波の卓越振動周期に比べて比較的短いこと、減衰性が大きなことから地震動による動的応答効果を考慮しなくともよい場合が多く、これまでも、主に震度法による設計が行な

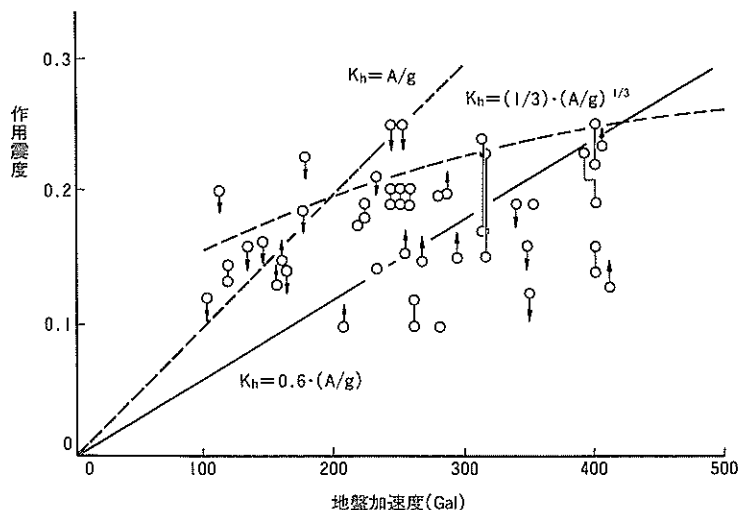
われている。そこで本資料では、震度法を用いて構造物を耐震設計する場合について、構造物の耐用年数中における水平震度の最大値(平均値および変動係数)を計算し、この数値を用いて地震荷重の荷重係数を計算する。震度法では水平方向の地震荷重は構造物の自重と水平震度の積であるが、自重の変動係数は水平震度の変動係数に比べると小さいのでこれを無視し、 N 年最大水平震度(耐用年数 N 年間で構造物に作用する最大の水平震度)の平均値および変動係数を計算する。

(2) 対象としたデータ

北澤他⁵⁾は、日本の沿岸地域 190地点を対象に、1885年～1981年に発生した地震のマグニチュードと震源域からの距離とから地震ごとに各地点の基盤の最大加速度を計算し、その上位20位までのデータを提示し、また、これを用いて基盤の加速度の再現期待値を計算している。本資料では、この上位20位までの加速度を用いて N 年最大水平震度の平均値および変動係数を計算する。

(3) 地盤の加速度と水平震度の関係

野田他³⁾は過去の地震による重力式岸壁の被災事例より滑動および転倒に関する安定解析を行ない、地盤の加速度と作用震度の関係として、図-1に示す関係を示している。図では、○と○の間を直線で結んだものは震度とその範囲にあると推定されるものを、また、○に付けた↑は作用震度とその数値よりも大きいと推定されるものを、↓は小さいと推定されるものを示す。地盤の加速度と作用震度の関係については両者の関係の平均値に対して最大約40%程度の変動がみられるが、野田他はこれらの変動のほぼ上限をとって式(1)の関係を提案している。



図一 地盤の加速度と水平震度の関係(野田他³⁾による)

$$\left. \begin{aligned} K_h &= \frac{1}{3} \cdot \left(\frac{A}{g}\right)^{1/3} & (A \geq 200 \text{Gal}) \\ K_h &= \frac{A}{g} & (A < 200 \text{Gal}) \end{aligned} \right\} (1)$$

ここに、

K_h : 最大水平震度

A : 地盤の最大加速度 (Gal)

g : 重力加速度 (Gal)

である。

著者のうち白石、上田²⁾は、野田の式を用いて、北澤他⁵⁾が求めた各地点の基盤における加速度の上位20位の値に対する水平震度を計算し、これらを用いて、 N 年最大水平震度の平均値および変動係数を計算し、さらに地震荷重の荷重係数を計算した。しかしながら、野田の式は地盤の加速度と作用震度の関係において変動のほぼ上限を与えるので、野田の式に基づいて計算した水平震度は技術基準⁴⁾に示された地域別震度と比較してやや過大に評価される傾向がみられる。そのため、以下に示す方法で計算値の見直しを行なうこととした。

本資料では、図-1に示す地盤の加速度と作用震度の関係から両者のほぼ平均的な関係として式(2)を用いて、基盤の最大加速度から水平震度を計算する。

$$K_h = 0.6 \cdot \left(\frac{A}{g}\right) \quad (2)$$

なお、図-1に示す関係は地震動入力に対する土圧を受ける構造物の応答を示したものであると考えられる。すなわち、本資料で示す地震荷重の荷重係数は、土圧を受ける構造物について検討したものであることに留意する必要がある。

2. 2 N 年最大水平震度の平均値および変動係数の計算法

(1) N 年最大値の計算法

荷重の N 年最大値(耐用年数内の荷重の最大値)の平均値およびその変動係数を精度よく求めようとするれば、非常に長年月のデータが必要であるが、現実には、解析に用いることのできる信頼度の高いデータは数十年間しかないことが多い。地震荷重の場合についても、有史以降の地震についてそのマグニチュードが推定されている⁶⁾が、その精度は近年のものに比べ劣り、また、地域的にはそのデータについても欠落しているものがあると推定される。したがって、本資料では、北澤他⁵⁾が解析した日本の沿岸地域190地点を対象にした1885年~1981年の

97年間の最大加速度の上位20位までのデータを用い、水平震度を計算する。また、これらを用いて N 年最大水平震度の平均値および変動係数を求める。

(2) 年最大値の確率分布関数

荷重の年最大値または極大値(極値時系列)の確率分布関数 $P(x)$ としては、式(3)に示すグンベル分布および、式(4)に示すワイブル分布が極値分布としてよく適合するとされているので、本資料でもこれらの確率分布関数を用いる。

グンベル分布

$$P(x) = \exp\left[-\exp\left\{-\left(\frac{x-B_1}{A_1}\right)\right\}\right] \quad (3)$$

ワイブル分布

$$P(x) = 1 - \exp\left[-\left\{\left(\frac{x-B_2}{A_2}\right)\right\}^k\right] \quad (4)$$

ここに、

$P(x)$: 荷重の年最大値または極大値(極値時系列)の確率分布関数

x : 荷重(ここでは水平震度)

A_1, B_1 : グンベル分布のパラメーター

A_2, B_2 : ワイブル分布のパラメーター

k : ワイブル分布のパラメーター

である。

これらの確率分布関数のパラメーターは最小二乗法を用いて求めるが、ワイブル分布についてはパラメーターが A_2, B_2, k の3個であるが、パラメーター k についてはペトルアスカス・アーガード(Petruaskas・Aagaard)⁷⁾にしたがって、 $k=0.75, 0.85, 1.0, 1.1, 1.25, 1.5, 2.0$ と仮定して、それぞれの k に対し確率分布関数のパラメーター A_2, B_2 を求め、その中から適合度の最も良い A_2, B_2, k の組合せを選定する。その場合、適合度の判定基準としては原データと回帰式で求めたデータとの相関係数の最も大きなものを選択する。

(3) 極値分布の係数を求める際のプロットング公式

極値分布の係数を求める際のプロットング公式としては、幾つかの公式があるが、ここでは、以下に示す2つの方法を比較した。

a) ワイブルプロットング公式

$$P(\alpha_n < x_m) = 1 - \frac{m}{N^2 + 1} \quad (5)$$

ここに、

x_m : 大きいほうから m 番めの最大加速度(または水平

表-1 プロットングの際の係数值

分布関数		α	β
グンベル分布		0.44	0.12
ワイブル分布	($k=0.75$)	0.54	0.64
	($k=0.85$)	0.51	0.59
	($k=1.00$)	0.48	0.50
	($k=1.10$)	0.46	0.50
	($k=1.25$)	0.44	0.47
	($k=1.50$)	0.42	0.42
	($k=2.00$)	0.39	0.37

震度)

N' : 最大加速度 (または水平震度) のデータ数 (ここでは $N'=20$)

α_B : 最大加速度 (または水平震度) である。

北澤他²⁾は式(5)のプロットング公式を用いて、地震加速度の最適分布関数を求めている。

b) グリンゴルテンおよびベトルアスカス・アーガードのプロットング公式

波浪統計では、式(6)のグリンゴルテンおよびベトルアスカス・アーガードのプロットング公式がよく用いられる。

$$P(\alpha_B < x_m) = 1 - \frac{m - \alpha}{N' + \beta} \quad (6)$$

ここに、

α, β : 表-1に示す係数值 (グリンゴルテンおよびベトルアスカス・アーガードによる)

である。

(4) N 年最大値の確率分布関数

想定する N 年間について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 $P(x)$ を用いて次式のように表わされる。

$$P_N(x) = [P(x)]^N \quad (7)$$

したがって、 N 年最大値の確率分布関数はそれぞれ、以下の式となる。

グンベル分布のとき

$$P_N(x) = \exp\left[-\exp\left\{-\frac{x - B_1 - A_1 \ell_n N}{A_1}\right\}\right] \quad (8)$$

ワイブル分布のとき

$$P_N(x) = \left[1 - \exp\left\{-\left(\frac{x - B_2}{A_2}\right)^k\right\}\right]^N \quad (9)$$

ここで、グンベル分布については、 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。

$$x_{Nm} = (B_1 + \gamma A_1) + A_1 \ell_n N \quad (10)$$

$$V_N = \frac{\pi A_1}{\sqrt{6} \cdot x_{Nm}} \quad (11)$$

ここに、

γ : オイラー一定数 ($\gamma=0.5772$)

π : 円周率

である。

また、式(9)に示すワイブル分布に基づく N 年最大値の確率分布関数については、その平均値および変動係数は関数解が得られないので、数値積分によりこれらの数値を求める²⁾。数値積分に際しては $P_N(x) = 0.0001 \sim 0.001$ および $P_N(x) = 0.999 \sim 0.9999$ については $\Delta p_i = 0.0001$ 、 $P_N(x) = 0.001 \sim 0.01$ および $P_N(x) = 0.99 \sim 0.999$ については $\Delta p_i = 0.001$ 、 $P_N(x) = 0.01 \sim 0.99$ については $\Delta p_i = 0.01$ とし積分を行なう。

なお、ここで検討するデータは97年間における、上位20個のデータである。したがって、年最大値データではないので、極値分布の未超過確率 $P(K_{ni})$ から震度 K_{ni} の再現期間 T_R への変換は式(12)によって行なうものとする。

$$T_R = \frac{K}{N'} (1 - P(K_{ni})) \quad (12)$$

ここに、

K : 極値分布の解析に用いたデータの対象期間 (年)

ここでは97年

N' : 水平震度のデータ数、ここでは20個

K_{ni} : 上位から i 番めの水平震度

である。

(5) 荷重の変動係数に関連するその他の要因

荷重の変動要因としては極値分布のプロットング誤差、荷重の計算式の誤差などがある。

合田³⁾は、波高データについて、極値分布のパラメータを推定する際のプロットング誤差の検討を行なっており、有義波高の変動係数は、プロットング誤差による変動についても考慮すると、プロットング誤差の影響を考慮しない場合に比べ50%以上も増加する場合があることを示している。

北澤他⁹⁾は基盤の加速度を地震のマグニチュードおよび震源域からの距離から計算しているが、地盤条件などの影響により、かりにマグニチュードおよび震源域からの距離が同一としても、実際には基盤の加速度は一定でない。また、図-1に示したように加速度が同一としても地盤条件などの影響により、水平震度は一定でない。

上述の変動要因についても、設計荷重を決める際の変動要因として考慮するのがより適当と思われるが、これらの点については定量的に評価するには、データが十分でないので本資料においては考慮しない。

2. 3 荷重係数の計算法

荷重係数の計算手順については、文献(2)において示しているので、本資料ではその要点のみを記す。

限界状態設計法では、式(13)を用いて構造物の安全性が照査される。

$$\frac{R\left(\frac{f_k}{\gamma_m}\right)}{\gamma_b} > \gamma_i \cdot \sum \gamma_a \cdot S(\gamma_{Fi} F_{hi}) \quad (13)$$

ここに、

f_k : 材料強度の特性値

γ_m : 材料係数

$R(f_k/\gamma_m)$: 断面耐力算定値

γ_b : 部材係数

γ_i : 構造物係数

γ_a : 構造解析係数

γ_{Fi} : 荷重 F_{hi} に対する荷重係数

F_{hi} : 荷重の特性値

$S(\gamma_{Fi} F_{hi})$: 断面力算定値

である。

本資料では、構造物の部材設計において設計荷重を構造物の自重と地震荷重とし、また、地震荷重と部材に生ずる断面力との関係が線形であると仮定して解析する。部材係数 γ_b 、構造物係数 γ_i 、構造解析係数 γ_a については、それぞれ、断面耐力を算定する際の不確実性、構造物の重要度、断面力を算定する際の不確実性を評価する安全係数であるが、本資料では、荷重の不確実性に基づく安全係数である荷重係数 γ_{Fi} について議論するので、 $\gamma_b = \gamma_i = \gamma_a = 1$ とし、式(14)を得る。

$$R\left(\frac{f_k}{\gamma_m}\right) > \gamma_{F1} S_{F1} + \gamma_{F2} S_{F2} \quad (14)$$

ここに、

γ_{F1} : 自重 F_1 に対する荷重係数

γ_{F2} : 地震荷重 F_2 に対する荷重係数

S_{F1} : 自重による断面力 S_1 の特性値

S_{F2} : 地震荷重による断面力 S_2 の特性値である。

構造物の終局限界状態の照査については、破壊基準関数として、 $Z = 1 + n(R/S)$ が用いられることが多く、本資料でもこれを採用する。このとき、構造物の安全性指標は式(15)で定義される。

$$\beta = \frac{\ln\left(\frac{R_m}{S_m}\right)}{\sqrt{V_R^2 + V_S^2}} \quad (15)$$

ここに、

R : 断面耐力

S : 断面力 S_1 による断面力 S_1 、地震荷重による断面力 S_2 の和

R_m : 断面耐力 R の平均値

S_m : 断面力 S の平均値

V_R : 断面耐力 R の変動係数

V_S : 断面力 S の変動係数

である。

式(15)において断面耐力 R の平均値 R_m と断面力 S の平均値 S_m との比 θ は中央安全率である。

$$\theta = \frac{R_m}{S_m} \quad (16)$$

荷重係数 γ_{F1} 、 γ_{F2} は、式(15)で定義される安全性指標 β を用い、式(17)で求められる。

$$\left. \begin{aligned} \gamma_{F1} &= \left(\frac{S_{1m}}{S_m}\right) \exp(\alpha_1 \alpha_2 \beta V_{S1}) \\ \gamma_{F2} &= \left(\frac{S_{2m}}{S_m}\right) \exp(\alpha_1 \alpha_2 \beta V_{S2}) \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

ここに、

S_{1m} : 自重による断面力 S_1 の平均値

S_{2m} : 地震荷重による断面力 S_2 の平均値

α_1 : 線形化係数(文献[9]にしたがって、 $\alpha_1 = 0.75$ とする。)

α_2 : 線形化係数(文献[9]にしたがって、 $\alpha_2 = 0.75$ とする。)

V_{S1} : 自重による断面力 S_1 の変動係数

V_{S2} : 地震荷重による断面力 S_2 の変動係数

である。

式(17)の係数 γ_{F1} 、 γ_{F2} のうち、本資料では地震荷重の荷重係数 γ_{F2} について以下の検討を行なう。なお、荷重の特性値としては、コンクリート標準示方書¹¹⁾の解説では、『終局限界状態の検討に用いられる永久荷重、主たる変動

荷重および偶発荷重の特性値としては、耐用期間を上回る再現期間における荷重の最大値または最小値が用いられるのであるが、荷重に関するデータが必ずしも十分になく、そのような特性値を判断する資料に乏しい事情を勘案して、この示方書では最大または最小荷重の期待値を特性値とすることにした。』と記述されている。したがって、断面力の特性値としては、コンクリート標準示方書に従い、期待値すなわち平均値を用いる。この場合には、 $S_{r2} = S_{2m}$ であるので、構造物の安全性指標 β と地震荷重による断面力の変動係数 V_{s2} を用いて、式(18)より地震荷重の荷重係数 γ_{r2} が計算される。

$$\gamma_{r2} = \exp(\alpha_1 \alpha_2 \beta V_{s2}) \quad (18)$$

3. 地点別および地域別のN年最大水平震度の平均値と変動係数

3.1 地域区分

著者のうち白石、上田²⁾は、水平震度の変動係数に基づいて全国を10区分し地震荷重の荷重係数を計算している。しかし、本資料では、北澤ら⁹⁾が示した手法に従い地域区分についても見直しを行ない、表-2および図-2のように全国を5つの地域に区分し、地域別の地震荷重に対する荷重係数を計算した。この5つの地域区分は港湾の液状化の子測・判定手法に用いられているものと同じも

表-2 基盤の最大加速度の地域区分

地区	該当地域
A地区	関東(千葉, 東京, 神奈川) 中部(静岡, 愛知) 近畿(三重, 和歌山)
B地区	北海道(根室, 釧路, 十勝, 日高) 東北(青森県の太平洋側, 岩手, 宮城, 福島) 中部(福井) 近畿(大阪, 兵庫, 京都) 四国(徳島)
C地区	北海道(胆振, 渡島) 東北(青森県の太平洋側を除く地域, 秋田, 山形) 中部(新潟, 富山, 石川) 中国(鳥取, 広島) 四国(高知, 愛媛) 九州(大分, 宮崎, 鹿児島県の奄美諸島, 熊本)
D地区	北海道(網走, 檜山, 後志, 石狩, 留萌) 中国(岡山, 島根) 四国(香川) 九州(長崎県の離島を除く地域, 佐賀, 鹿児島県の奄美諸島を除く地域) 沖縄
E地区	北海道(宗谷) 中国(山口) 九州(福岡, 長崎県の離島)

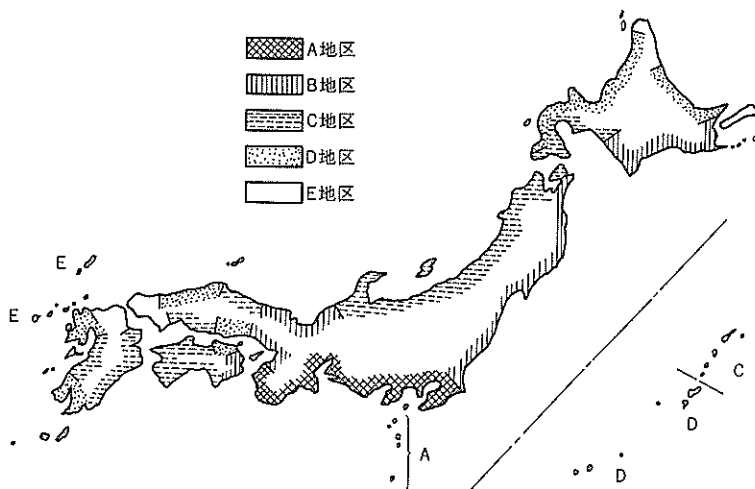


図-2 地域区分

のである。

なお、地点別の N 年最大水平震度の平均値および変動係数は巻末の付録Aに示した。

3. 2 N 年最大水平震度の平均値と変動係数の特性

(1) 各プロットング手法による計算結果の比較

a) 相関係数

図-3は、ワイブルプロットング公式とグリーンゴルテンおよびペトルアスカス・アーガードのプロットング公式による回帰計算値と原データとの相関係数を比較したものである。全体的にグリーンゴルテンおよびペトルアスカス・アーガードのプロットング公式による回帰計算値と原データとの相関係数はワイブルプロットング公式によるものよりも大きい。特に、ワイブルプロットング公式による回帰計算値の相関係数が0.95より小さな地点のデータについては、グリーンゴルテンおよびペトルアスカス・アーガードのプロットング公式による回帰計算値と原データとの相関係数はワイブルプロットング公式によるものよりも大きい。

b) N 年最大水平震度の平均値および変動係数の比較

図-4は、両プロットング公式による50年最大水平震度の平均値を比較したものである。グリーンゴルテンおよびペトルアスカス・アーガードのプロットング公式による50年最大水平震度はワイブルプロットング公式によるものに対し、10%前後小さな数値を与える。

図-5は、同じく、両プロットング公式による50年最大水平震度の変動係数を比較したものである。やはり、グリーンゴルテンおよびペトルアスカス・アーガードのプロットング公式による50年最大水平震度の変動係数はワイブルプロットング公式によるものに対し、10~20%前後小さな数値を与える。

c) 採用したプロットング公式

以上に示したように、両プロットング公式による計算値を比較したところ、その差異は50年最大水平震度の平均値および変動係数ともに約10%~20%であるが、この差異が荷重係数に与える影響は約3%であるので、北澤他⁹⁾がワイブルプロットング公式を用いて加速度の再現期待値を計算していること、また、その数値が「港湾の施設の技術上の基準・同解説」⁴⁾の地域別震度の数値に反映されていることから、本資料では、以下、ワイブルプロットング公式を用いた計算値を用いて荷重係数を計算することとする。

(2) N 年最大値と R 年再現期待値との関係

港湾構造物の設計においては、一般には、ある再現期間 R 年に対する荷重(以下、 R 年再現期待値と呼ぶ)を用いている。本資料で示す N 年最大値は耐用年数 N 年間で

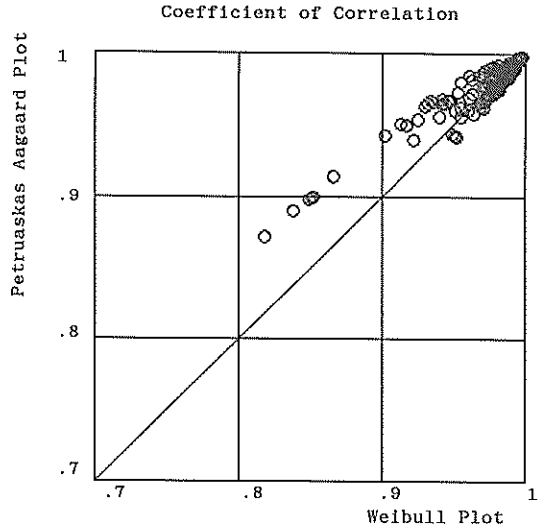


図-3 回帰計算結果の相関係数の比較

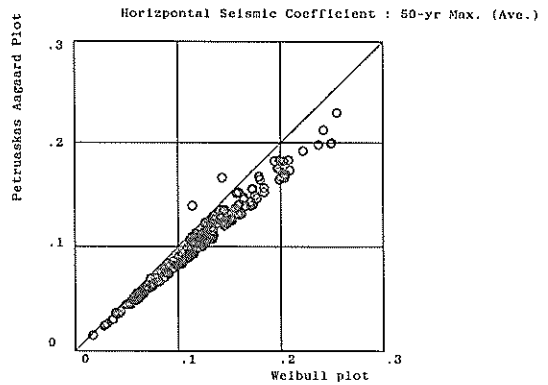


図-4 プロットング公式と50年最大水平震度の平均値の比較

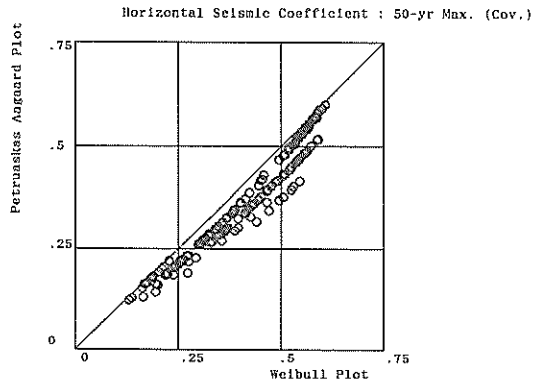


図-5 プロットング公式と50年最大水平震度の変動係数の比較

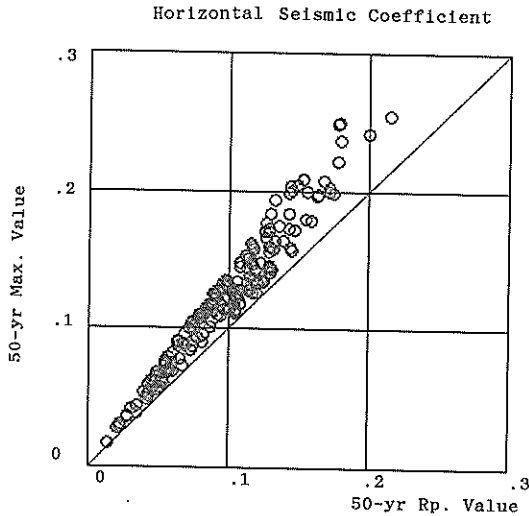


図-6 a) 50年再現期待値と50年最大水平震度の関係

発生する荷重の最大値であるが、これは確率変数であるので、その平均値、標準偏差などが定義される。これに対して、 R 年再現期待値は年最大値または極大値資料に対する分布形から求められる未超過確率を用いて定義されるものである。このように N 年最大値と R 年再現期待値とは定義およびその概念が異なるので、以下両者の数値について比較を行なう。

図-6 (a)および(b)は、全国190地点の水平震度の50および75年再現期待値と50年最大水平震度の平均値との関係を示したものである。50年最大水平震度の平均値は、50年再現期待値の1.2~1.3倍、75年再現期待値の約1.1倍である。

合田⁹⁾はグンベル分布の N 年最大値の平均値に対する再現期間 R として近似式(19)を示している。

$$R \cong 1.781N + 0.5 \quad (19)$$

この関係を用いると再現期間 $R=75$ 年に対し、耐用年数は $N=42$ 年となる。また、合田は同様にワイブル分布では、パラメータ k が $k > 1$ のときには N 年最大値の平均値の再現期間は $1.78N$ 年より短くなることを、 $k < 1$ のときには逆に再現期間は $1.78N$ 年より長くなることを示している。この関係からも、50年最大水平震度の平均値は水平震度の75年再現期待値よりも大きいことが言えるが、その差異は図-6 (b)に示すように最大でも10%程度である。また、技術基準⁴⁾では、地域別震度は再現期間75年に対する加速度を基に定めていることが示されている。以上により再現期間75年に対する耐用年数はほぼ50年と考えられる。そこで、本資料では、耐用年数と

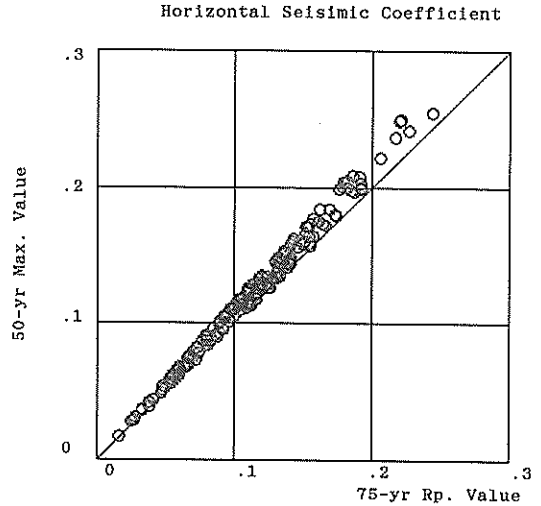


図-6 b) 75年再現期待値と50年最大水平震度の関係

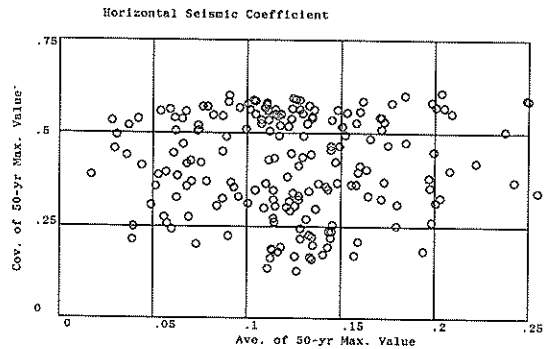


図-7 50年最大水平震度の平均値と変動係数の関係

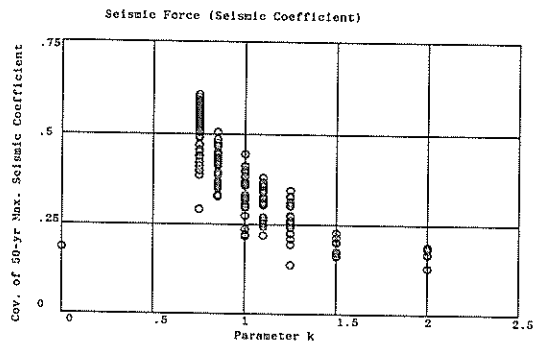


図-8 Weibull 分布のパラメータ k と変動係数の関係 (50年度最大水平震度)

して50年を用い、その平均値および変動係数を計算し、地震荷重の荷重係数を計算する。

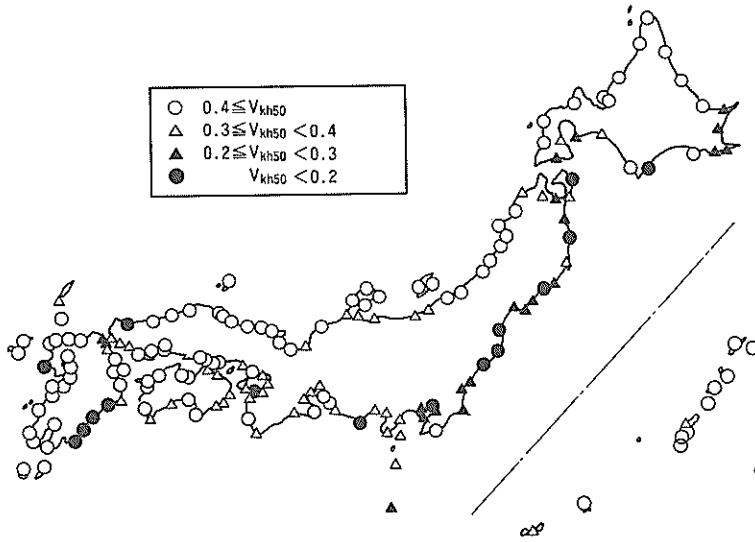


図-9 震度の変動係数の地域特性

(3) 50年最大水平震度の変動係数

a) 50年最大水平震度の変動係数

図-7は、50年最大水平震度について横軸にその平均値を、縦軸にその変動係数を取り両者の関係を示したものである。両者の間にはあまり明確な関係はなく、50年最大水平震度の変動係数は0.15~0.60の間にばらついていることがわかる。

b) ワイブル分布のパラメーター k と変動係数の関係

a) で示したように50年最大水平震度の変動係数は0.15~0.60の間にばらついているが、この原因として極値分布の形状の影響が考えられることから変動係数とワイブル分布のパラメーター k との関係について考察する。

図-8は、横軸にワイブル分布のパラメーター k をとり、縦軸に50年最大水平震度の変動係数を示したものである。ただし、グンベル分布については $k=0$ の位置に変動係数を示している。グンベル分布が適合するのは一地点のみであるが、その変動係数は0.20である。また、ワイブル分布のパラメーター $k=0.75$ が適合する地点では変動係数が0.28~0.60の範囲に分布しているが、とくに、0.50~0.60である地点が多い。ワイブル分布のパラメーター k が大きいものほど、50年最大水平震度の変動係数は小さい。ワイブル分布のパラメーター $k=2.0$ が適合する地点では50年最大水平震度の変動係数は0.15~0.20である。

(4) 地震荷重の変動係数の地域特性

図-8に示したように、50年最大水平震度の変動係数は地点ごとにかなりの差異があるので、50年最大水平震度の変動係数の地域的な特性について検討を行なうこと

とする。

図-9は、各地点の50年最大水平震度の変動係数を $V_{kh50} < 0.2$, $0.2 \leq V_{kh50} < 0.3$, $0.3 \leq V_{kh50} < 0.4$, $0.4 \leq V_{kh50}$ に分類して示したものである。0.3 ≤ V_{kh50} < 0.4および0.4 ≤ V_{kh50} の地点は北海道のオホーツク海側および日本海側、本州の日本海側、瀬戸内海沿岸域、九州の北部と西部、および沖縄などに分布している。これに対して $V_{kh50} < 0.2$ および0.2 ≤ $V_{kh50} < 0.3$ の地点は北海道から関東にかけての太平洋側の地域、および九州の太平洋岸の一部などに分布している。

本資料では、荷重係数を計算する際の地域区分としては、表-2および図-2に示した区分にしたがうものとしたが、ここで、図-9の50年最大水平震度の変動係数の地域的な特性と先に示した地域区分(図-2)とを比較する。A地区では50年最大水平震度の変動係数が0.3から0.4の範囲であるもの(図中の△で示したもの)が多い。B地区では50年最大水平震度の変動係数が0.2以下にあるもの(図中の●で示したもの)、0.2から0.3の範囲であるもの(図中の▲で示したもの)が多いが、一部に50年最大水平震度の変動係数が0.3以上のもの(図中の△で示したもの)もある。C地区では50年最大水平震度の変動係数が0.4以上のもの(図中で○のもの)が多い。同様にD地区、E地区においても50年最大水平震度の変動係数が0.4以上のものが多い。

ここに示したように、50年最大水平震度の変動係数は地域によってかなりの差異があるが、各々の地域区分の区域内においては50年最大水平震度の変動係数の差異は全国的な差異に比べ大きくない。したがって、地震荷重

表-3 N年最大水平震度 (平均値)

地域区分	20年	30年	50年	100年
A地区	0.130 (0.031)	0.148 (0.035)	0.172 (0.041)	0.204 (0.050)
B地区	0.112 (0.020)	0.126 (0.027)	0.145 (0.037)	0.171 (0.054)
C地区	0.087 (0.026)	0.103 (0.030)	0.124 (0.040)	0.155 (0.050)
D地区	0.065 (0.022)	0.078 (0.027)	0.095 (0.033)	0.120 (0.044)
E地区	0.040 (0.019)	0.048 (0.023)	0.058 (0.030)	0.072 (0.039)

() は標準偏差

表-4 N年最大水平震度 (変動係数)

地域区分	20年	30年	50年	100年
A地区	0.460 (0.125)	0.400 (0.112)	0.346 (0.096)	0.293 (0.080)
B地区	0.412 (0.165)	0.355 (0.145)	0.307 (0.122)	0.261 (0.099)
C地区	0.608 (0.169)	0.526 (0.148)	0.449 (0.125)	0.374 (0.102)
D地区	0.661 (0.136)	0.575 (0.115)	0.493 (0.094)	0.411 (0.074)
E地区	0.587 (0.163)	0.514 (0.141)	0.444 (0.118)	0.374 (0.095)

() は標準偏差

の荷重係数の地域区分も、港湾の液状化の予測・判定手法で提案されている地域区分に従って行うものとする。

3. 3 地域別のN年最大水平震度の平均値および変動係数

(1) 平均値

各地点ごとに計算したN年最大水平震度の平均値の地域区分別の平均値を表-3に示す。また、その標準偏差を求め、括弧内に示した。ここでは、耐用年数N年として、20年、30年、50年、100年として計算してみた。

図-10は地区別のN年最大水平震度の平均値を示したものである。

(2) 変動係数

各地点ごとに計算したN年最大水平震度の変動係数の地域区分別の平均値を表-4に示す。また、その標準偏差を求め、括弧内に示した。

図-11は地区別のN年最大水平震度の変動係数を示したものである。

4. 地震荷重の荷重係数

4. 1 技術基準の係数値との比較

(1) 技術基準における係数値とコンクリート標準示方書の安全係数との比較

限界状態設計法の安全性照査における安全係数(荷重係数等)は、技術基準の諸係数値と整合性を失わないように決定する必要がある。このような観点から、コンクリート標準示方書¹⁾で用いられる安全係数と技術基準の

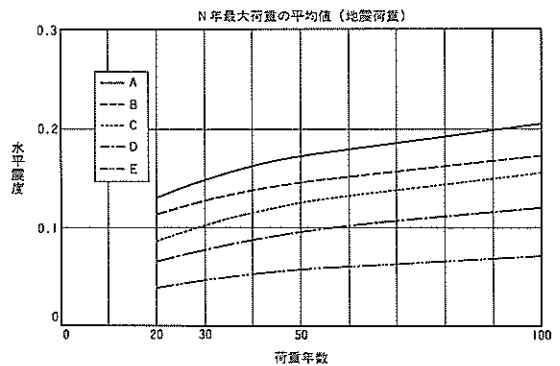


図-10 N年最大水平震度 (平均値)

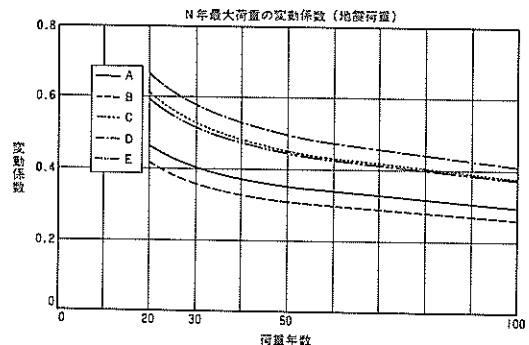


図-11 N年最大水平震度 (変動係数)

表一五 係数値の対比

技術基準	限界状態設計法	係数値に関わる要因
1. 安全率	イ. 材料係数	抵抗力(材料強度等)のばらつき, 構造物の安全性
	ロ. 部材係数	部材断面耐力算定時の不確実性
2. 地域別震度	ハ. 荷重係数	震度のばらつき, 構造物の安全性
	ニ. 構造解析係数	部材断面力算定時の不確実性
3. 地盤種別係数	ホ. 震度の特性値	地域別, 地盤種別別にきまる数値
4. 重要度係数	ヘ. 構造物係数	構造物の重要度(構造物の安全性)

表一六 地域別震度

地域区分	第一地区	第二地区	第三地区
係数	0.15	0.10	0.05

(各地区の区分は表一四参照)

表一七 地盤種別係数
地盤種別係数

地盤種別	第一種地盤	第二種地盤	第三種地盤
係数	0.8	1.0	1.2

地盤種別

第四紀層の厚さ	砂礫層	一般の砂質土, 粘性土地盤	軟弱地盤
5 m以下	第一種	第一種	第二種
5 ~ 25m	第一種	第二種	第三種
25m以上	第二種	第三種	第三種

係数値とを比較する。

表一五は技術基準と限界状態設計法の係数値とそれらに関連する要因をとりまとめたものである。表一五に示すように技術基準において安全率として与えられている数値は、限界状態設計法では、材料係数、部材係数、荷重係数、構造解析係数などの諸係数の合成された値として与えられる。このように、技術基準と限界状態設計法とでは用いる安全係数等が異なるので、以下に各安全係数の値について考察する。

(2) 震度の特性値

イ) 特性値の求め方

震度の特性値は技術基準と同様に地域別震度、地盤種別係数、重要度係数を乗じて求めることとする。

ロ) 地域別震度

限界状態設計法においても地域別震度は技術基準の地域別震度と同一値を採用するのが、限界状態設計法に移

表一八 重要度係数

構造物の種別	構造物の性格	重要度係数
特定	A級構造物のうち①~③の程度が著しいもの	1.5
A級	①構造物が震害を受けた場合、多くの人命・財産の損失を与えるおそれのあるもの ②震災復興に重要な役割を果たすもの ③有害物又は危険物を取扱う構造物で、震害を受けた場合に人命又は財産に重大な損失を与えるおそれのあるもの ④構造物が震害を受けた場合、関係地域の経済・社会活動に重大な影響を及ぼすもの ⑤構造物が震害を受けた場合、復旧にかなりの困難が予想されるもの	1.2
B級	特定、A級及びC級以外のもの	1.0
C級	特定及びA級以外の小規模な構造物で容易に復旧が可能なもの	0.5

行する際により容易と思われる。すなわち、技術基準と同様に、表一六のように、第一地区、第二地区、第三地区に区分し、それぞれ、地域別震度を0.15, 0.10, 0.05とする。

ハ) 地盤種別係数

地盤条件に対する係数である地盤種別係数は、技術基準と同様に、表一七に示すように、各地盤条件に対して、0.8, 1.0, 1.2の係数値とする。

ニ) 重要度係数

技術基準と同様に、表一八に示す重要度係数を用いる。

表-9 地域区分の比較

地区	該当地域	技術基準における地域区分
A地区	関東（千葉、東京、神奈川） 中部（静岡、愛知） 近畿（三重、和歌山）	第一地区
B地区	北海道（根室、釧路、十勝、日高） 東北（青森県の太平洋側、岩手、宮城、福島） 関東（茨城） 中部（福井） 近畿（大阪、兵庫、京都） 四国（徳島）	北海道（根室、釧路、十勝、日高） 関東（千葉、東京、神奈川） 中部（静岡、愛知、福井） 近畿 四国（徳島）
C地区	北海道（胆振、渡島） 東北（青森県の太平洋側を除く地域、秋田、山形） 中部（新潟、富山、石川） 中国（鳥取、広島） 四国（高知、愛媛） 九州（大分、宮崎、鹿児島県の奄美諸島、熊本）	北海道（石狩、胆振、後志、檜山、渡島、留萌） 東北 関東（茨城） 中部（新潟、富山、石川） 四国（高知、愛媛、香川） 中国（鳥根、岡山、広島、鳥取） 九州（大分、宮崎、熊本、鹿児島県の奄美諸島）
D地区	北海道（網走、檜山、後志、石狩、留萌） 中国（岡山、鳥根） 四国（香川） 九州（長崎県の隠島を除く地域、佐賀、鹿児島県の奄美諸島を除く地域） 沖縄	第三地区 北海道（宗谷、網走） 中国（山口） 九州（福岡、佐賀、長崎、鹿児島県の奄美諸島を除く地域） 沖縄
E地区	北海道（宗谷） 中国（山口） 九州（福岡、長崎県の隠島）	

ホ) 震度の特性値の与え方

以上より、例えば、第一地区でかつ第一種地盤、重要度が特定であれば震度の特性値は $0.15 \times 0.8 \times 1.5 = 0.18$ であるので小数点以下2桁めを7捨8入し0.20と設定される。

(3) 荷重係数

本資料では、港湾の液状化の予測・判定手法における地域区分を用いて、全国を5地域区分として、水平震度に対する荷重係数を計算する。すなわち、「港湾の施設の技術上の基準・同解説」に示された3地区の区分とは異なる。そこで、両者の地域区分を比較する。

表-9は上記の二つの地域区分を対比したものである。すなわち、技術基準の

第一地区がA地区およびB地区の一部

第二地区がB地区のうち第一地区に区分される地域を除いた地区、C地区およびD地区の一部

第三地区がD地区のうち第二地区に区分される地域を除いた地区およびE地区

に対応する。第二地区はB、C、D地区に対応するが、このうち、東北（青森県の太平洋側、岩手、宮城、福島）および関東（茨城）がB地区に、北海道（檜山、後志、石狩、留萌）、中国（岡山、鳥根）および四国（香川）がD地区に区分される。

(4) 構造解析係数

構造解析係数は、構造計算の精度に関する係数値であるので、本資料では検討しない。各計算手法に応じて、係数値を適切に定めることが望ましいが、現在までよく用いられている計算手法で、計算値が実験値とほぼ同程度となることが確認されている場合については係数値を1.0とすればよい。

(5) 構造物係数

本資料の検討では、構造物の重要度は重要度係数として、震度の特性値の中に含まれている。したがって、構造物係数としては1.0を用いればよい。

4. 2 荷重係数の計算結果

(1) 算定の考え方と安全性指標

4. 1に示した整理をふまえて限界状態設計法における地震荷重の荷重係数について検討する。ここでは、先に示した式(17)を用いて、地震荷重による断面力の平均値 S_{2m} および特性値 S_{2z} 、構造物の安全性指標 β および荷重の変動係数 V_{s2} を与え地震荷重の荷重係数を計算する。荷重係数を計算する際の安全性指標は、従来の設計体系との整合性を図る観点から、現行技術基準で設計された構造物の数値を照査し、これを限界状態設計法において荷重係数を定める際の安全性指標の目標値として設定する。

その場合、構造物の全体安定性と部材の破壊に対する安全性に分けて安全性を照査する必要がある。ここでは、部材の破壊に対する安全性指標を計算する。

技術基準に基づいて構造物の重要度係数をそれぞれC級(0.5)、B級(1.0)、A級(1.2)、特定(1.5)として設計される港湾構造物について、地震荷重に対する設計の際の計算応力度が許容応力度に等しいとして求めた中央安全率は表-10に示すようにそれぞれ、0.67、1.35、1.61、2.02である。ただし、短期荷重として許容応力度を1.5倍にしている。表-10にはこれらの中央安全率に対して各地区の50年最大水平震度の変動係数を用いて構造物部材の安全性指標を計算した結果を示している。

4. 1で示したように構造物の重要度係数は震度の特性値を計算する際に考慮することとするので、荷重係数は重要度係数を1.0とした水平震度の特性値に対して計算する。このとき、A~Eの各地区における構造物の安全性指標は、それぞれ0.85、0.95、0.65、0.60、0.67である。A、B地区とC、D、E地区では水平震度の変動係数に差があるため、技術基準を用い同一重要度係数を用いて設計したとしても構造物の安全性指標には地域的な差異がみられる。構造物の設計上同一重要度係数で設計した構造物については破壊確率が全国的にほぼ等しくなるように設計するのが合理的と考えられるので、安全性指標として各地区の数値の上限値をとり1.0として荷重係数

表-10 構造物の安全性指標 β

地域区分	級				
	V_s	C (0.5)	B (1.0)	A (1.2)	特定 (1.5)
	β	0.67	1.35	1.61	2.02
A地区	0.346	-1.13	0.85	1.35	1.99
B地区	0.307	-1.27	0.95	1.51	2.22
C地区	0.449	-0.88	0.65	1.05	1.52
D地区	0.493	-0.80	0.60	0.96	1.41
E地区	0.444	-0.89	0.67	1.06	1.56

(断面耐力の変動係数 $V_R = 0.075$)

$$\beta = 1n\theta / \sqrt{V_R^2 + V_s^2}$$

表-11 地震荷重の荷重係数

地域区分	安全性指標															
	$\beta=0.5$				$\beta=0.6$				$\beta=0.8$				$\beta=1.0$			
	20年	30年	50年	100年	20年	30年	50年	100年	20年	30年	50年	100年	20年	30年	50年	100年
A	1.14	1.12	1.10	1.09	1.17	1.14	1.12	1.10	1.23	1.20	1.17	1.14	1.30	1.25	1.22	1.18
B	1.12	1.11	1.09	1.08	1.15	1.13	1.11	1.09	1.21	1.17	1.15	1.13	1.27	1.23	1.19	1.16
C	1.19	1.16	1.13	1.11	1.23	1.19	1.16	1.13	1.32	1.27	1.22	1.18	1.42	1.36	1.29	1.24
D	1.20	1.18	1.15	1.12	1.25	1.21	1.18	1.15	1.35	1.30	1.25	1.20	1.45	1.38	1.32	1.26
E	1.18	1.16	1.13	1.11	1.22	1.19	1.16	1.13	1.30	1.26	1.22	1.18	1.40	1.34	1.29	1.24

地域区分	安全性指標															
	$\beta=1.5$				$\beta=2.0$				$\beta=3.0$				$\beta=4.0$			
	20年	30年	50年	100年	20年	30年	50年	100年	20年	30年	50年	100年	20年	30年	50年	100年
A	1.48	1.40	1.34	1.28	1.70	1.59	1.49	1.40	2.24	2.01	1.83	1.67	2.96	2.57	2.26	1.99
B	1.43	1.36	1.30	1.25	1.62	1.52	1.43	1.35	2.10	1.89	1.72	1.58	2.75	2.37	2.09	1.85
C	1.68	1.57	1.47	1.37	2.04	1.85	1.69	1.54	2.94	2.54	2.21	1.92	4.28	3.49	2.89	2.41
D	1.75	1.63	1.52	1.41	2.11	1.92	1.74	1.59	3.10	2.67	2.31	2.01	4.55	3.72	3.07	2.54
E	1.65	1.55	1.46	1.37	1.97	1.81	1.67	1.53	2.80	2.45	2.16	1.91	4.00	3.34	2.82	2.54

表-12 安全性指標と荷重係数の関係 (N=50年)

地域区分	変動係数	安全性指標							
		$\beta=0.5$	$\beta=0.6$	$\beta=0.8$	$\beta=1$	$\beta=1.5$	$\beta=2$	$\beta=3$	$\beta=4$
A地区	0.346	1.10	1.12	1.17	1.22	1.34	1.49	1.83	2.26
B地区	0.307	1.09	1.11	1.15	1.19	1.30	1.43	1.72	2.09
C地区	0.449	1.13	1.16	1.22	1.29	1.47	1.69	2.21	2.89
D地区	0.493	1.15	1.18	1.25	1.32	1.52	1.74	2.31	3.07
E地区	0.444	1.13	1.16	1.22	1.29	1.46	1.67	2.16	2.82

を決めるのがよいと考えられる。なお、ここでは安全性指標としてかりに $\beta=0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0$ として荷重係数を計算し、安全性指標と荷重係数との関係を検討してみた。これらの安全性指標に対する構造物の破壊確率は断面耐力および断面力の確率分布関数が対数正規分布であるとき、それぞれ、0.31, 0.27, 0.21, 0.16, 0.067, 2.3×10^{-2} , 1.3×10^{-3} , 3.2×10^{-6} である。

(2) 計算結果

表-11は、安全性指標をかりに $\beta=0.5, 0.6, 0.8, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0$ 、耐用年数(N年)を20, 30, 50, 100年として、各地区ごとに荷重係数を計算した結果を示したものである。

図-12は耐用年数50年の構造物について、構造物の安全性指標と地震荷重の荷重係数との関係を示したものである。安全性指標が $\beta=1.0$ のときには、荷重係数はA, B地区では1.19~1.22, C, D, E地区では1.29~1.32である。同一安全性指標に対する地区別の荷重係数に差異があるのは、C, D, E地区においては50年最大震度の変動係数が0.44~0.49であるのに対し、A, B地区では0.31~0.35と小さいためである。

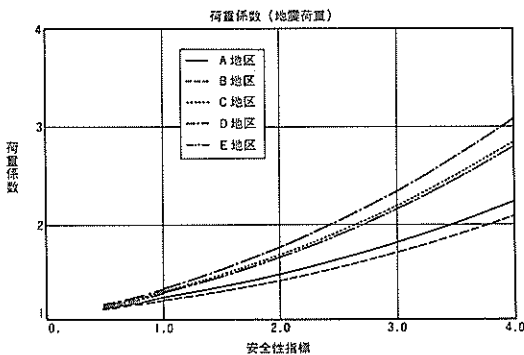


図-12 水平震度の特性値のとり方

(3) 考察

本検討で得られた地震荷重の荷重係数を再度とりまとめて、表-12に示す。ただし、耐用年数としてN=50年とする。

前述したように、構造物の重要度係数は震度の特性値を計算する際に考慮するので、荷重係数は重要度係数を1.0として計算すればよい。A~Eの各地区における構造物について、重要度係数を1.0として安全性指標を計算すると、それぞれ、0.85, 0.95, 0.65, 0.60, 0.67であった。構造物の設計は破壊確率がほぼ等しくなるように設計するのが合理的と考えられるので、安全性指標を1.0とすると、A~E各地区の荷重係数は表-12に示すように、1.22, 1.19, 1.29, 1.32, 1.29となる。この結果、限界状態設計法における地震荷重の荷重係数はA, B地区では1.2, C, D, E地区では1.3とするのが適当であると考ええる。

(4) 他の基準の数値との比較

土木学会のコンクリート標準示方書⁹⁾では、構造物の終局限界状態に対しては、荷重係数の標準的な数値として、1.0~1.2を用いることが示されている。ただし、これがどのような荷重に対して適用できるかについては明示されていない。また、ノルウェーの船級協会の海洋構造物の設計基準¹⁰⁾では、終局限界状態に対し、波浪荷重、地震荷重などの自然荷重の荷重係数としては、1.3を用いることが提示されている。本資料において $\beta=1.0$ として得られた荷重係数はA, B地区では1.2, C, D, Eでは1.3であるので、上記の設計基準等における数値とほぼ同等であると考えられる。

5. 結論

本資料では、限界状態設計法における地震荷重の荷重係数について信頼性理論に基づく手法(安全性指標を用いる方法)を用いて検討した。その手順は以下のとおりである。北澤・上部他は、日本の沿岸地域190地点について、1885年~1981年に日本国内で発生した地震のマグニ

チュードとその震源域からの距離とから、それぞれの地震に対し基盤の最大加速度を推定し、その上位20位までのデータを提示し、また、基盤の加速度の再現期待値を計算している。本資料では、この加速度データをもとに構造物の耐用年数中における地震荷重の最大値の平均値および変動係数を計算し、ついで、地震荷重に対する荷重係数を地点ごとに計算した。また、港湾の液状化の予測・判定手法に用いられている地域区分に従い、全国を5地域に区分し地域別の荷重係数を求めた。

本資料で得られた結論は以下のとおりである。

- 1) A～Eの各地区における50年最大水平震度の平均値はそれぞれ0.172, 0.145, 0.124, 0.095, 0.058である。また、その変動係数はそれぞれ、0.35, 0.31, 0.45, 0.49, 0.44である。
- 2) A～Eの各地区における構造物について、重要度係数を1.0として安全性指標を計算すると、それぞれ、0.85, 0.95, 0.65, 0.60, 0.67である。安全性指標は地域ごとに差異があるが、安全性指標が小さいほど構造物の破壊確率が高い。構造物の設計は破壊確率がほぼ等しくなるように設計するのが合理的と考えられるので、安全性指標として各地区の数値の上限値をとり1.0として荷重係数を決めるのがよいと考えられる。
- 3) 安全性指標を1.0として計算したA～E各地区の荷重係数は1.22, 1.19, 1.29, 1.32, 1.29である。したがって、限界状態設計法における地震荷重の荷重係数はA, B地区では1.2, C, D, E地区では1.3とする。

(1991年3月30日受付)

参考文献

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書（平成三年版）・設計編，1991.9，206p.
- 2) 白石悟，上田茂：港湾構造物および海洋構造物の安全性照査に関する検討，港湾技術研究所報告，第26巻2号②，1987.6，pp.493～576
- 3) 野田節男，上部達生，千葉忠樹：重力式岸壁の震度と地盤加速度，港湾技術研究所報告，第14巻4号，1975.12，pp.67～111
- 4) 日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説（改定版），1989.2，pp.194～197
- 5) 北澤壯介，上部達生，檜垣典弘：沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定，港湾技研資料No.486，1984.6，137p.
- 6) 例えば，宇佐美龍夫：資料日本被害地震総覧，東京大学出版会，1975年
- 7) Petruaskas, C. and P. M. Aagaard: Extrapolation of Historical Storm Data for Estimating Design Wave Heights, *Proc. of 2nd Offshore Technology Conference*, 1970, pp. I-409～428.
- 8) 合田良実：極値統計におけるプロットングならびに推定値の信頼区間に関する数値的検討，港湾技術研究所報告，第27巻第1号，pp.31～92
- 9) Lind, N. C.: Consistent Partial Safety Factors, *Proc. of ASCE, Vol. 97 No. ST6*, 1971, pp. 1651～1669
- 10) DNV: *Rules for the Design and Construction and Inspection of Offshore Structures*, 1977, 67p.

主要記号表

A	: 地盤の最大加速度 (Gal)	V_N	: N 年最大値の変動係数
A_1	: グンベル (Gumbel) 分布のパラメーター	V_R	: 断面耐力 R の変動係数
A_2	: ワイブル (Weibull) 分布のパラメーター	V_S	: 断面力 S の変動係数
B_1	: グンベル (Gumbel) 分布のパラメーター	V_{S_1}	: 自重による断面力 S_1 の変動係数
B_2	: ワイブル (Weibull) 分布のパラメーター	V_{S_2}	: 地震荷重による断面力 S_2 の変動係数
F_{ki}	: 荷重の特性値	V_σ	: 降伏応力の標準偏差
f	: 摩擦係数	W	: 構造物の浮力を除いた全鉛直力で、自重、鉛直土圧成分、上載荷重の和
f_k	: 材料強度の特性値	x	: 荷重 (ここでは水平震度)
g	: 重力加速度 (Gal)	x_m	: 大きいほうから m 番めの最大加速度 (または水平震度)
K	: 極値分布の解析に用いたデータの対象期間 (年) 本資料では97年	x_{Nm}	: N 年最大値の平均値
K_h	: 最大水平震度	α	: グリンゴルテンおよびベトルアスカス・アーガードによる係数値 (表-1)
K_{hi}	: 上位から i 番めの水平震度	α_1	: 線形化係数 (文献 [9] にしたがって、 $\alpha_1=0.75$ とする。)
k	: ワイブル (Weibull) 分布のパラメータ	α_2	: 線形化係数 (文献 [9] にしたがって、 $\alpha_2=0.75$ とする。)
k_σ	: 標準正規分布におけるある累積確率に対する係数	α_B	: 最大加速度 (または水平震度)
k_{hd}	: 設計震度	β	: グリンゴルテンおよびベトルアスカス・アーガードによる係数値 (表-1) または構造物の安全性指標
k_{hB}	: 地域別震度	γ	: オイラー定数 ($\gamma=0.5772$)
k_{ns}	: 地盤種別係数	γ_a	: 構造解析係数
k_{ni}	: 重要度係数	γ_b	: 部材係数
N	: 構造物の耐用年数 (年)	γ_f	: 荷重 S_f に対する荷重係数
N'	: 最大加速度 (または水平震度) のデータ数または水平震度のデータ数、ここでは20個	γ_{fi}	: 荷重 F_{ki} に対する荷重係数
R	: 再現期間 (年) または断面耐力	γ_{f1}	: 自重に対する荷重係数
R_f	: 構造物の滑動抵抗力	γ_{f2}	: 地震荷重に対する荷重係数
$P(x)$: 荷重の確率分布関数	γ_i	: 構造物係数
$P_N(x)$: N 年最大値の確率分布関数	γ_m	: 材料係数または構造物の滑動抵抗力に対する安全係数
$R(f_k/\gamma_m)$: 断面耐力算定値	θ	: 中央安全率
R_m	: 断面耐力 R の平均値	θ'	: 技術基準の地域別震度と50年最大水平震度の平均値との比
S	: 断面力	θ_1	: 技術基準による設計震度と50年最大水平震度の平均値との比
$S(\gamma_{fi}F_{ki})$: 断面力算定値	θ_2	: 鋼材の強度の中央安全率
S_f	: 地震荷重 (水平力) の特性値で、構造物に作用する土圧の水平成分、構造本体の水平作用力および上載荷重の水平成分の和	σ_a	: 許容応力度
S_{f1}	: 自重による断面力 S の特性値	σ_{ym}	: 降伏応力の平均値
S_{f2}	: 地震荷重による断面力 S の特性値	σ_y^*	: 降伏応力の規格値
S_m	: 断面力 S の平均値	π	: 円周率
S_1	: 自重による断面力		
S_2	: 地震荷重による断面力		
S_{1m}	: 自重による断面力 S_1 の平均値		
S_{2m}	: 地震荷重による断面力 S_2 の平均値		
V_{h50}	: 50年最大水平震度		

付録A 地点別のN年最大水平震度の平均値および変動係数

の最大加速度を用いて、本文中の式(2)を用いて計算した水平震度に対するものである。

参考文献

表-A.1は地点別のN年最大水平震度 (N=20, 30, 50, 100年)について適合度の最も良い回帰式およびその回帰式のパラメーター、N年最大水平震度の平均値および変動係数、および相関係数を示す。なお、適合度の最も良い回帰式のパラメーターは北澤他²⁾が提示した基盤

- 1) 北澤壯介, 上部達生, 檜垣典弘: 沿岸地域における基盤の最大加速度期待値の推定, 港湾技研資料 No.486,1984.6,137p.

表-A.1 地点別のN年最大水平震度の平均値と変動係数

地点名	最良回帰式		最良回帰式パラメーター		20年		30年		50年		100年		相関係数
	型	k	A	B	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	
稚内	III	0.75	5.90	3.78	0.019	0.706	0.023	0.617	0.028	0.532	0.036	0.446	0.9402
枝幸	III	0.75	5.23	6.67	0.021	0.575	0.025	0.517	0.029	0.459	0.036	0.395	0.9358
紋別	III	0.75	13.64	6.09	0.044	0.718	0.053	0.627	0.065	0.538	0.084	0.448	0.9476
網走	III	0.75	21.92	16.71	0.077	0.655	0.092	0.580	0.112	0.505	0.141	0.426	0.9904
宇登呂	III	1	14.94	25.35	0.055	0.351	0.061	0.309	0.069	0.276	0.079	0.241	0.9905
津港	III	1.25	25.06	31.61	0.074	0.303	0.081	0.258	0.090	0.224	0.101	0.192	0.9893
根室	III	1.1	30.26	48.86	0.105	0.318	0.116	0.277	0.128	0.245	0.146	0.213	0.9832
霧多布	III	1	31.87	43.38	0.107	0.382	0.120	0.337	0.136	0.297	0.158	0.257	0.9841
釧路	III	0.75	24.12	42.33	0.109	0.516	0.125	0.469	0.147	0.423	0.179	0.370	0.9800
十勝	III	1.25	34.80	62.38	0.121	0.263	0.131	0.222	0.143	0.195	0.159	0.170	0.9768
浦河	III	0.75	32.24	67.86	0.156	0.481	0.178	0.440	0.208	0.400	0.251	0.353	0.9455
小牧	III	1	22.26	22.20	0.067	0.425	0.076	0.372	0.087	0.325	0.103	0.277	0.9899
室蘭	III	1.25	18.56	14.64	0.046	0.354	0.051	0.301	0.058	0.259	0.066	0.218	0.9639
森	III	0.85	9.88	15.84	0.039	0.445	0.044	0.400	0.051	0.358	0.061	0.312	0.9727
函館	III	1.25	18.14	17.89	0.049	0.331	0.054	0.282	0.060	0.243	0.068	0.206	0.9914
江差	III	0.75	7.05	13.50	0.033	0.499	0.038	0.455	0.044	0.412	0.054	0.362	0.9668
瀬棚	III	0.75	6.09	9.32	0.026	0.542	0.030	0.490	0.036	0.439	0.044	0.381	0.9516
岩内	III	0.75	12.18	9.22	0.043	0.656	0.051	0.581	0.062	0.505	0.078	0.427	0.9818
小樽	III	0.75	14.96	9.12	0.050	0.684	0.060	0.602	0.074	0.520	0.094	0.437	0.9839
石狩(1)	III	0.75	14.46	10.86	0.051	0.657	0.060	0.581	0.074	0.506	0.093	0.427	0.9817
石狩(2)	III	0.75	14.70	10.73	0.051	0.661	0.061	0.584	0.075	0.508	0.094	0.429	0.9807
留萌	III	0.75	23.63	1.12	0.066	0.817	0.082	0.699	0.104	0.587	0.135	0.480	0.9553
羽幌	III	0.75	21.15	-1.16	0.057	0.847	0.071	0.720	0.091	0.601	0.119	0.488	0.9424
天塩	III	0.75	5.90	5.06	0.021	0.639	0.025	0.567	0.031	0.495	0.039	0.420	0.9473
能代	III	0.85	37.20	15.17	0.103	0.627	0.123	0.545	0.149	0.465	0.186	0.387	0.9770
船川	III	0.75	45.14	9.11	0.134	0.775	0.164	0.669	0.205	0.567	0.266	0.467	0.9719
秋田	III	0.75	35.72	18.16	0.117	0.705	0.141	0.617	0.173	0.531	0.221	0.444	0.9853
本荘	III	0.85	43.10	10.74	0.113	0.663	0.136	0.571	0.166	0.484	0.208	0.400	0.9883
酒田	III	0.75	45.03	3.25	0.128	0.810	0.158	0.694	0.199	0.584	0.259	0.478	0.9612
加茂	III	0.75	39.83	4.11	0.114	0.801	0.141	0.688	0.177	0.580	0.230	0.475	0.9534
岩船	III	0.75	29.18	1.43	0.082	0.816	0.102	0.698	0.128	0.587	0.167	0.480	0.8381
新潟	III	0.75	24.67	3.37	0.072	0.792	0.088	0.681	0.110	0.575	0.144	0.472	0.8490
両津	III	0.75	14.62	4.21	0.045	0.754	0.054	0.654	0.068	0.556	0.087	0.460	0.8182
小木	III	0.75	12.92	5.52	0.041	0.722	0.050	0.630	0.062	0.540	0.079	0.450	0.8512
柏崎	III	1.1	38.69	8.18	0.080	0.514	0.094	0.435	0.110	0.365	0.132	0.300	0.9800
直江津	III	1.1	38.20	13.65	0.085	0.482	0.098	0.411	0.114	0.348	0.136	0.288	0.9869
魚津	III	1.25	31.92	9.84	0.064	0.432	0.073	0.364	0.084	0.306	0.098	0.252	0.9939
伏木	III	1.25	38.97	4.76	0.071	0.474	0.082	0.396	0.095	0.329	0.113	0.268	0.9809
富山	III	1.25	38.97	4.76	0.071	0.474	0.082	0.396	0.095	0.329	0.113	0.268	0.9809
七尾	III	0.75	27.76	8.76	0.085	0.748	0.104	0.649	0.129	0.553	0.166	0.458	0.9936

(注) 最良回帰式のパラメーターAおよびBの数値は、表中の数値に 1.0×10^{-3} を乗じた数値である。

表-A.1 地点別の N 年最大水平震度の平均値と変動係数 (続き)

地点名	最良回帰式		最良回帰式 パラメーター		20年		30年		50年		100年		相関係数
	型	k	A	B	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	
飯田	III	0.75	28.84	0.62	0.080	0.824	0.100	0.704	0.126	0.590	0.164	0.482	0.9323
輪島	III	0.75	24.17	4.78	0.072	0.776	0.088	0.670	0.110	0.567	0.142	0.467	0.9851
福浦	III	0.75	42.84	-2.06	0.116	0.845	0.145	0.718	0.184	0.600	0.241	0.488	0.9342
金沢	III	1.25	56.97	0.80	0.098	0.502	0.114	0.417	0.133	0.344	0.158	0.278	0.9493
福井	III	0.85	64.41	5.82	0.159	0.705	0.193	0.601	0.237	0.505	0.301	0.413	0.9903
敦賀	III	1.25	69.45	10.31	0.128	0.467	0.148	0.391	0.172	0.325	0.202	0.266	0.9793
和田	III	0.85	43.92	17.43	0.122	0.629	0.145	0.546	0.175	0.466	0.219	0.388	0.9939
深浦	III	1.1	31.77	9.35	0.069	0.495	0.079	0.421	0.093	0.355	0.111	0.293	0.9887
青森	III	0.85	18.05	26.57	0.069	0.460	0.079	0.412	0.091	0.367	0.109	0.319	0.9790
野辺地	III	1.25	37.38	27.55	0.091	0.361	0.102	0.307	0.114	0.263	0.131	0.221	0.9836
大湊	III	1.25	38.71	23.97	0.090	0.378	0.101	0.321	0.114	0.273	0.131	0.229	0.9760
大間	III	1.5	25.65	21.61	0.061	0.288	0.066	0.239	0.073	0.203	0.081	0.170	0.9909
尻屋崎	III	1.25	28.78	51.26	0.100	0.263	0.108	0.223	0.118	0.196	0.131	0.170	0.9867
むつ小川	III	0.85	30.22	46.94	0.118	0.451	0.134	0.405	0.156	0.362	0.185	0.315	0.9890
八戸	III	1.5	52.68	27.52	0.108	0.328	0.120	0.272	0.133	0.228	0.150	0.189	0.9893
久慈	III	1.5	46.69	41.37	0.112	0.284	0.123	0.235	0.135	0.200	0.150	0.168	0.9917
宮古	III	0.85	22.78	45.84	0.099	0.406	0.112	0.367	0.128	0.332	0.150	0.293	0.9916
釜石	III	0.75	13.93	62.44	0.100	0.332	0.110	0.308	0.123	0.292	0.142	0.270	0.9837
大船渡	III	1.25	18.83	67.14	0.098	0.190	0.104	0.153	0.111	0.137	0.119	0.122	0.9945
気仙沼	III	1	21.86	64.79	0.108	0.270	0.118	0.237	0.129	0.216	0.144	0.194	0.9896
女川	III	1.5	42.43	55.72	0.120	0.247	0.130	0.203	0.141	0.174	0.154	0.148	0.9793
石巻	III	1.1	35.88	51.32	0.118	0.334	0.130	0.290	0.146	0.256	0.166	0.221	0.9880
塩釜	III	1.1	34.15	41.75	0.105	0.354	0.117	0.308	0.132	0.270	0.151	0.231	0.9875
相馬	III	1.5	32.30	47.84	0.097	0.236	0.104	0.192	0.112	0.165	0.123	0.142	0.9875
久之浜	III	1.5	37.98	58.60	0.116	0.232	0.125	0.189	0.135	0.163	0.147	0.139	0.9812
小名浜	III	2	45.17	50.93	0.111	0.202	0.119	0.155	0.126	0.129	0.135	0.108	0.9688
日立	III	1.1	30.52	64.27	0.121	0.283	0.132	0.245	0.144	0.219	0.162	0.193	0.9906
大洗	III	1	26.72	65.55	0.119	0.297	0.130	0.262	0.144	0.237	0.162	0.211	0.9914
鹿島	III	1	23.48	65.80	0.113	0.278	0.122	0.245	0.134	0.222	0.150	0.199	0.9867
興津	III	0.75	34.79	48.61	0.144	0.559	0.168	0.504	0.200	0.449	0.246	0.388	0.9635
木更津	III	1.25	41.43	62.64	0.132	0.282	0.145	0.240	0.159	0.210	0.177	0.181	0.9791
千葉	III	1	27.06	66.18	0.120	0.297	0.131	0.262	0.145	0.237	0.164	0.211	0.9928
東京	III	1.5	47.21	62.40	0.134	0.246	0.145	0.202	0.157	0.173	0.172	0.148	0.9818
川崎	III	0.85	35.85	74.38	0.159	0.401	0.178	0.362	0.203	0.328	0.239	0.290	0.9970
横浜	III	1.1	50.25	66.51	0.160	0.344	0.177	0.299	0.199	0.263	0.227	0.226	0.9784
横須賀	III	1.1	43.63	64.71	0.145	0.329	0.161	0.286	0.179	0.252	0.204	0.219	0.9875
元町	III	1.1	84.06	33.85	0.190	0.473	0.219	0.404	0.255	0.342	0.302	0.284	0.9863
三池	III	1	43.07	38.74	0.125	0.439	0.143	0.383	0.164	0.333	0.194	0.283	0.9866
八重根	III	1.25	19.08	11.51	0.044	0.380	0.049	0.323	0.056	0.275	0.064	0.230	0.9836
舞鶴	III	0.75	44.71	14.76	0.138	0.744	0.168	0.646	0.209	0.551	0.269	0.457	0.9711
久美浜	III	0.75	57.12	2.17	0.160	0.820	0.198	0.700	0.250	0.588	0.327	0.480	0.9781
柴山	III	0.75	57.15	1.09	0.159	0.825	0.197	0.704	0.249	0.591	0.326	0.482	0.9892
鳥取	III	0.75	48.12	-5.24	0.128	0.864	0.160	0.731	0.204	0.609	0.268	0.493	0.9678
赤崎	III	0.75	32.44	7.40	0.097	0.769	0.119	0.664	0.148	0.564	0.192	0.465	0.9786
境	III	0.75	36.62	2.56	0.104	0.811	0.128	0.694	0.162	0.584	0.211	0.478	0.9712

(注) 最良回帰式のパラメーター A および B の数値は、表中の数値に 1.0×10^{-3} を乗じた数値である。

表-A.1 地点別のN年最大水平震度の平均値と変動係数(続き)

地点名	最良回帰式		最良回帰式 パラメーター		20年		30年		50年		100年		相関係数
	型	k	A	B	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	
西郷	III	0.75	12.94	2.98	0.039	0.768	0.047	0.663	0.059	0.563	0.076	0.465	0.9301
松江	III	1	43.13	-2.55	0.085	0.641	0.102	0.538	0.123	0.445	0.153	0.360	0.9512
久手	III	0.75	24.90	2.30	0.071	0.804	0.088	0.690	0.110	0.581	0.144	0.476	0.9706
浜田	III	0.75	17.48	6.28	0.055	0.737	0.066	0.641	0.082	0.548	0.106	0.455	0.9835
益田	III	0.75	22.52	2.67	0.065	0.797	0.080	0.685	0.100	0.578	0.131	0.474	0.9424
袋	III	1.1	71.85	7.92	0.142	0.539	0.166	0.454	0.197	0.379	0.237	0.309	0.9910
文里	III	0.85	50.06	42.21	0.161	0.545	0.187	0.481	0.222	0.419	0.271	0.356	0.9847
和歌山	III	0.85	26.95	46.35	0.110	0.433	0.124	0.390	0.143	0.350	0.170	0.306	0.9871
下津	III	2	59.37	13.86	0.094	0.292	0.103	0.232	0.113	0.189	0.125	0.154	0.9941
阪南	III	1	39.63	22.44	0.102	0.492	0.118	0.426	0.138	0.365	0.165	0.306	0.9844
堺北	III	1.25	47.68	14.57	0.095	0.433	0.109	0.365	0.125	0.306	0.146	0.252	0.9820
大塚	III	1.25	45.79	14.90	0.093	0.429	0.106	0.361	0.121	0.304	0.141	0.250	0.9795
尼崎	III	1.1	40.74	17.32	0.093	0.468	0.107	0.400	0.124	0.340	0.147	0.282	0.9919
神戸	III	0.75	24.91	22.07	0.091	0.634	0.108	0.563	0.130	0.493	0.164	0.418	0.9899
東播磨	III	1.25	38.95	10.17	0.076	0.442	0.087	0.372	0.101	0.311	0.118	0.256	0.9728
姫路	III	1	25.62	34.00	0.085	0.386	0.096	0.340	0.109	0.300	0.126	0.259	0.9905
洲本	III	0.85	17.02	14.26	0.055	0.546	0.064	0.482	0.075	0.420	0.092	0.356	0.9966
岡山	III	0.85	15.22	13.27	0.049	0.540	0.057	0.477	0.068	0.417	0.083	0.354	0.9902
宇野	III	0.75	12.04	13.69	0.047	0.594	0.055	0.532	0.066	0.470	0.082	0.403	0.9925
水島	III	0.85	15.98	12.47	0.050	0.555	0.059	0.489	0.070	0.425	0.086	0.360	0.9903
福山	III	0.85	21.07	11.49	0.061	0.598	0.073	0.522	0.087	0.450	0.108	0.377	0.9742
尾道	III	0.75	27.96	6.46	0.084	0.768	0.102	0.664	0.128	0.563	0.165	0.465	0.9709
呉	III	0.75	24.55	8.34	0.076	0.742	0.093	0.645	0.115	0.550	0.148	0.456	0.9750
広島	III	1.1	33.78	26.29	0.089	0.409	0.101	0.353	0.115	0.305	0.134	0.257	0.9781
小松島	III	1.1	39.57	23.49	0.097	0.438	0.111	0.376	0.128	0.322	0.150	0.270	0.9820
橘	III	1.1	52.54	9.89	0.108	0.519	0.126	0.440	0.148	0.368	0.178	0.302	0.9864
浅川	III	0.75	36.15	14.49	0.114	0.728	0.138	0.634	0.171	0.543	0.220	0.452	0.9875
津知	III	0.75	19.64	14.07	0.068	0.663	0.081	0.586	0.099	0.509	0.126	0.430	0.9979
高須	III	1	22.84	11.66	0.058	0.502	0.067	0.434	0.078	0.371	0.094	0.310	0.9820
須崎	III	0.85	30.24	20.74	0.092	0.572	0.108	0.502	0.129	0.435	0.159	0.367	0.9760
あしり	III	0.85	28.21	25.91	0.039	0.533	0.108	0.471	0.127	0.412	0.155	0.351	0.9901
片島	III	0.85	26.52	19.03	0.082	0.566	0.096	0.498	0.114	0.432	0.141	0.364	0.9906
宇和島	III	0.85	25.61	19.68	0.080	0.557	0.094	0.491	0.112	0.427	0.137	0.361	0.9912
八幡浜	III	0.75	25.85	11.49	0.083	0.718	0.100	0.627	0.124	0.538	0.158	0.449	0.9888
松山	III	0.75	23.11	11.00	0.075	0.712	0.090	0.622	0.111	0.535	0.142	0.446	0.9887
今治	III	0.75	21.94	12.22	0.073	0.695	0.087	0.610	0.107	0.526	0.137	0.440	0.9870
東予	III	0.75	24.68	9.49	0.078	0.732	0.094	0.637	0.117	0.545	0.150	0.453	0.9762
新居浜	III	0.75	22.30	10.47	0.072	0.713	0.087	0.623	0.107	0.535	0.137	0.447	0.9803
三島	III	1.1	19.73	10.60	0.047	0.448	0.054	0.384	0.062	0.328	0.074	0.274	0.9907
坂出	III	1	19.15	12.12	0.051	0.480	0.058	0.416	0.068	0.358	0.081	0.301	0.9926
高松	III	0.75	25.18	8.72	0.078	0.740	0.095	0.643	0.118	0.549	0.152	0.456	0.9784
岩国	III	0.75	16.98	15.34	0.062	0.631	0.074	0.561	0.089	0.491	0.112	0.417	0.9826
徳山	III	1	20.41	10.79	0.052	0.499	0.060	0.431	0.070	0.369	0.084	0.309	0.9902
三田尻	III	0.85	12.05	13.59	0.042	0.502	0.049	0.447	0.057	0.394	0.069	0.338	0.9797
宇部	III	0.85	11.02	13.50	0.040	0.490	0.045	0.437	0.053	0.386	0.064	0.333	0.9720
小野田	III												

(注) 最良回帰式のパラメーターAおよびBの数値は、表中の数値に 1.0×10^{-3} を乗じた数値である。

表-A.1 地点別のN年最大水平震度の平均値と変動係数(続き)

地点名	最良回帰式		最良回帰式 パラメーター		20年		30年		50年		100年		相関係数
	型	k	A	B	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	平均値	変動 係数	
下関	III	1.25	12.20	11.04	0.032	0.340	0.035	0.289	0.039	0.249	0.045	0.211	0.9902
萩	III	0.75	23.76	1.54	0.067	0.812	0.083	0.695	0.105	0.585	0.136	0.478	0.9218
北九州	III	1.5	14.44	9.87	0.032	0.307	0.035	0.254	0.039	0.215	0.043	0.179	0.9838
刈田	III	1	11.85	14.36	0.038	0.399	0.043	0.350	0.049	0.308	0.057	0.265	0.9755
高田	III	0.75	24.52	15.47	0.083	0.680	0.100	0.599	0.122	0.518	0.155	0.435	0.9813
大空	III	0.75	30.27	19.21	0.103	0.679	0.123	0.598	0.151	0.518	0.191	0.435	0.9943
分港	III	0.75	29.23	24.95	0.106	0.639	0.125	0.568	0.152	0.496	0.191	0.421	0.9814
別府	III	0.75	25.46	33.96	0.104	0.567	0.121	0.511	0.144	0.454	0.179	0.392	0.9792
津久見	III	1	30.42	33.58	0.095	0.412	0.107	0.361	0.122	0.316	0.143	0.271	0.9964
佐伯	III	2	59.14	26.79	0.106	0.261	0.116	0.206	0.126	0.170	0.137	0.139	0.9888
細島	III	2	62.44	29.33	0.113	0.259	0.123	0.205	0.134	0.168	0.146	0.138	0.9852
高鍋	I	—	27.88	68.91	0.169	0.212	0.180	0.199	0.194	0.184	0.213	0.168	0.9510
宮崎	III	2	59.17	17.77	0.097	0.281	0.107	0.224	0.117	0.183	0.128	0.149	0.9733
油津	III	1	28.84	30.03	0.088	0.419	0.100	0.367	0.114	0.321	0.134	0.275	0.9634
志布志	III	0.75	22.33	20.01	0.082	0.632	0.097	0.562	0.117	0.492	0.147	0.418	0.9692
大泊	III	0.75	44.41	7.91	0.131	0.782	0.160	0.673	0.201	0.570	0.260	0.469	0.9553
鹿児島	III	0.75	30.11	14.36	0.097	0.711	0.118	0.622	0.145	0.535	0.185	0.446	0.9611
指宿	III	0.75	29.54	7.06	0.089	0.766	0.108	0.662	0.135	0.562	0.175	0.464	0.9545
平崎	III	0.75	28.19	12.07	0.090	0.722	0.109	0.630	0.134	0.540	0.172	0.450	0.9856
川内	III	0.85	31.82	19.74	0.095	0.584	0.112	0.511	0.134	0.442	0.165	0.371	0.9925
西之表	III	0.75	23.68	14.60	0.080	0.683	0.096	0.601	0.117	0.520	0.149	0.436	0.9867
宮之浦	III	0.75	28.45	10.95	0.089	0.731	0.109	0.367	0.134	0.545	0.173	0.453	0.9780
名瀬	III	0.75	34.59	9.94	0.105	0.754	0.129	0.654	0.160	0.556	0.206	0.460	0.9879
湾	III	0.75	27.17	6.00	0.081	0.771	0.099	0.665	0.124	0.565	0.160	0.466	0.9707
徳泊	III	0.75	18.40	6.91	0.058	0.734	0.070	0.639	0.087	0.546	0.111	0.454	0.9749
与論	III	0.85	14.55	8.63	0.043	0.589	0.051	0.515	0.061	0.444	0.075	0.373	0.9839
水俣	III	0.85	36.15	14.58	0.100	0.628	0.119	0.545	0.144	0.461	0.180	0.387	0.9840
八代	III	1	51.74	12.55	0.117	0.559	0.138	0.477	0.164	0.403	0.199	0.332	0.9894
三角	III	1	51.94	8.26	0.113	0.579	0.134	0.493	0.160	0.413	0.196	0.339	0.9853
本渡	III	0.75	33.01	9.71	0.101	0.753	0.123	0.652	0.153	0.556	0.197	0.460	0.9944
熊本	III	0.85	47.10	15.11	0.127	0.646	0.152	0.559	0.184	0.475	0.231	0.394	0.9864
三池	III	0.75	26.93	15.22	0.090	0.693	0.108	0.608	0.132	0.525	0.168	0.440	0.9906
住の江	III	0.75	22.29	7.69	0.069	0.741	0.084	0.644	0.104	0.550	0.134	0.456	0.9887
長崎	III	0.75	28.68	0.06	0.079	0.830	0.098	0.708	0.125	0.593	0.163	0.484	0.8523
福江	III	0.75	7.49	4.53	0.025	0.685	0.030	0.602	0.037	0.521	0.047	0.437	0.9363
青方	III	0.75	8.78	3.92	0.028	0.718	0.034	0.627	0.042	0.538	0.054	0.448	0.8657
佐世保	III	0.75	16.85	3.14	0.050	0.779	0.061	0.672	0.076	0.569	0.099	0.468	0.9019
伊万里	III	0.75	17.49	3.24	0.052	0.780	0.063	0.672	0.079	0.569	0.103	0.468	0.9437
唐津	III	0.75	20.32	1.54	0.058	0.807	0.071	0.693	0.090	0.583	0.117	0.477	0.9247
郷ノ浦	III	0.75	11.68	3.38	0.036	0.754	0.043	0.653	0.054	0.556	0.070	0.460	0.9172
蹴原	III	0.75	2.58	6.00	0.013	0.461	0.015	0.423	0.017	0.386	0.021	0.343	0.9602
博多	III	0.75	21.13	4.13	0.062	0.777	0.077	0.670	0.096	0.568	0.124	0.468	0.9132
熱海	III	0.85	48.14	69.37	0.183	0.463	0.209	0.415	0.242	0.370	0.290	0.321	0.9931
下田	III	1.1	61.00	40.05	0.153	0.428	0.175	0.368	0.200	0.316	0.235	0.265	0.9927
田ノ浦	III	0.85	37.80	61.76	0.151	0.442	0.171	0.397	0.198	0.356	0.235	0.311	0.9882

(注) 最良回帰式のパラメーターAおよびBの数値は、表中の数値に 1.0×10^{-3} を乗じた数値である。

表-A.1 地点別のN年最大水平震度の平均値と変動係数(続き)

地点名	最良回帰式		最良回帰式パラメーター		20年		30年		50年		100年		相関係数
	型	k	A	B	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	
清水	III	1.1	53.87	38.16	0.138	0.420	0.157	0.362	0.180	0.311	0.210	0.262	0.9912
御前崎	III	2	58.91	15.24	0.094	0.288	0.104	0.229	0.114	0.187	0.125	0.152	0.9774
浜名	III	1	36.52	15.01	0.089	0.522	0.103	0.449	0.122	0.382	0.147	0.318	0.9830
三河	III	0.75	32.41	17.25	0.107	0.700	0.128	0.613	0.158	0.529	0.201	0.442	0.9807
衣浦	III	0.75	33.96	24.03	0.118	0.665	0.141	0.587	0.171	0.510	0.217	0.430	0.9775
名古屋	III	1	50.40	25.92	0.127	0.501	0.148	0.433	0.173	0.371	0.208	0.310	0.9899
四日市	III	1	44.79	27.05	0.117	0.485	0.135	0.420	0.158	0.361	0.189	0.303	0.9799
津松坂	III	1.1	49.04	13.31	0.105	0.500	0.121	0.425	0.142	0.358	0.170	0.295	0.9896
鳥羽	III	0.75	35.99	14.42	0.114	0.728	0.138	0.634	0.171	0.543	0.219	0.452	0.9786
尾鷲	III	1	49.42	14.64	0.114	0.546	0.134	0.468	0.159	0.396	0.193	0.327	0.9796
運天	III	1	19.00	7.48	0.046	0.525	0.053	0.452	0.063	0.384	0.076	0.319	0.9843
金武湾	III	0.75	25.05	6.19	0.075	0.764	0.092	0.661	0.115	0.561	0.149	0.464	0.9871
中城湾	III	0.75	29.60	4.54	0.086	0.788	0.106	0.678	0.133	0.573	0.173	0.471	0.9806
那覇	III	0.75	24.12	6.36	0.073	0.760	0.089	0.658	0.111	0.559	0.143	0.462	0.9879
平良	III	0.75	22.19	5.13	0.066	0.768	0.081	0.664	0.101	0.563	0.131	0.465	0.9730
石垣	III	1.1	35.00	12.60	0.078	0.481	0.090	0.410	0.105	0.347	0.124	0.288	0.9857

(注) 最良回帰式のパラメーターAおよびBの数値は、表中の数値に 1.0×10^{-3} を乗じた数値である。

八入した数値が設計震度 k_{nd} となる。すなわち、地域別および重要度係数別の設計震度は付表-B.1に示すとおりである。

付録B 構造物の安全性指標

B.1 部材安全性に関する安全性指標

1) 技術基準の設計震度

技術基準では、設計震度 k_{nd} は式(B.1)で求められる。

$$k_{nd} = k_{nB} \times k_{nS} \times k_{ni} \quad (B.1)$$

ここに、

k_{nd} : 設計震度

k_{nB} : 地域別震度

k_{nS} : 地盤種別係数

k_{ni} : 重要度係数

である。

地盤種別係数が1.0の場合には $k_{nB} \times k_{ni}$ (地域別震度×重要度係数)の小数点以下二桁めを二捨三入または七捨

2) 耐用年数内に作用する最大震度

港湾の液状化の予測・判定手法の5地域区分の各地区別の50年最大水平震度の平均値 k_{h50m} および変動係数 V_{k50} は付表-B.2に示すとおりである。

付表-B.2 地域別震度

地区	50年最大水平震度	
	平均値	変動係数
A地区	0.172	0.346
B地区	0.145	0.307
C地区	0.124	0.449
D地区	0.095	0.493
E地区	0.058	0.444

付表-B.1 地盤種別係数が1.0の場合の設計震度

地域	地域別震度	重要度係数			
		特定(1.5)	A級(1.2)	B級(1.0)	C級(0.5)
第一地区	0.15	0.225→0.25	0.180→0.20	0.150→0.15	0.075→0.10
第二地区	0.10	0.150→0.15	0.120→0.10	0.100→0.10	0.050→0.05
第三地区	0.05	0.075→0.10	0.060→0.05	0.050→0.05	0.025→0.05

表中の数値は左側が地域別震度と重要度係数を乗じた数値

右側が左側の数値の小数点以下二桁めを二捨三入または七捨八入した数値である。

技術基準の地域別震度 k_{hB} と50年最大水平震度の平均値 k_{h50m} との比 θ' は付表-B.3に示すとおりである。

$$\theta' = \frac{k_{hB}}{k_{h50m}} \quad (\text{B.2})$$

付表-B.3 地域別震度 k_{hB} と50年最大震度(平均値) k_{h50m} の比

地域区分	50年最大水平震度 k_{h50m}	技術基準における地域区分	地域別震度 k_{hB}	θ'
A地区	0.172	第一地区	0.15	0.872
B地区	0.145			1.034
C地区	0.124	第二地区	0.10	0.690
D地区	0.095			0.806
E地区	0.058	第三地区	0.05	1.053
				0.526
				0.862

3) 設計震度と50年最大水平震度との比

技術基準による設計震度 k_{hd} と、50年最大水平震度の平均値 k_{h50m} との比 θ_1 を付表-B.4に示す。

$$\theta_1 = \frac{k_{hd}}{k_{h50m}} \quad (\text{B.3})$$

4) 材料の安全率

鋼材の降伏応力の分布が正規分布に従うものすると、降伏応力の規格値と降伏応力の平均値との関係は式(B.4)で表わされる。

$$\sigma_y^* = (1 - k_\sigma V_\sigma) \sigma_{ym} \quad (\text{B.4})$$

ここに、

σ_{ym} : 降伏応力の平均値

σ_y^* : 降伏応力の規格値

k_σ : 標準正規分布におけるある超過確率に対する係数

V_σ : 降伏応力の変動係数

である。

ここで、降伏応力の変動係数が0.075で、降伏応力の規格値が降伏応力の平均値に対して超過確率0.98で定められているとすると、式(B.4)において、 $k_\sigma = 2.06$ 、 $V_\sigma = 0.075$ であるので、 $\sigma_y^* = (1 - 2.06 \times 0.075) \sigma_{ym}$ 、すなわち $\sigma_y^* = 0.8455 \times \sigma_{ym}$ より $\sigma_{ym} = 1.18 \sigma_y^*$ の関係が得られる。

したがって、地震時荷重に対して断面に作用する計算応力が許容応力度に等しいとし、また短期荷重として許容応力度を50%割増している場合の鋼材の強度に関する安全率 θ_2 は式(B.5)となる。ただし、鋼材の降伏応力と許容応力度との比は $\sigma_y^*/\sigma_a = 1.71$ である。

$$\theta_2 = \frac{\sigma_{ym}}{\sigma_w} = \frac{1.18 \sigma_y^*}{1.5 \sigma_a} = \frac{1.18}{1.5} = 1.345 \quad (\text{B.5})$$

ここに、

σ_w : 断面に作用する計算応力

σ_a : 許容応力度(割増し前)

である。

5) 中央安全率

部材の降伏に対する中央安全率 θ は式(B.6)に示すように、荷重の安全率(設計震度と50年最大水平震度の比) θ_1 と鋼材の強度に関する安全率 θ_2 の積で表わされる。

$$\theta = \theta_1 \times \theta_2 \quad (\text{B.6})$$

そこで、地域区分および重要度係数別に中央安全率を示すと付表-B.5となる。付表-B.5において、下段の数

付表-B.4 設計震度と50年最大震度(平均値)との比

地域区分	技術基準における地域区分	重要度係数			
		特定(1.5)	A級(1.2)	B級(1.0)	C級(0.5)
A地区	第一地区	1.453	1.163	0.872	0.581
B地区		1.724	1.379	1.034	0.690
C地区	第二地区	1.034	0.690	0.690	0.345
D地区		1.210	0.806	0.806	0.403
E地区	第三地区	1.579	1.053	1.053	0.526
		1.053	0.526	0.526	0.526
		1.724	0.862	0.862	0.862

付表一B.5 中央安全率

地域区分	技術基準における 地域区分	重要度係数			
		特定 (1.5)	A級 (1.2)	B級 (1.0)	C級 (0.5)
A地区	第一地区	1.955	1.564	1.173	0.782
B地区		2.319	1.855	1.391	0.928
C地区	第二地区	1.391	0.928	0.928	0.464
D地区		1.627	1.085	1.085	0.542
E地区	第三地区	2.124	1.416	1.416	0.708
		1.416	0.708	0.708	0.708
$\theta'=1.0$ のとき		2.319	1.159	1.159	1.159
		2.018	1.614	1.345	0.673

付表一B.6 安全性指標

地域区分 ()は50年最大水平 震度の変動係数	技術基準における 地域区分	重要度係数				
		特定 (1.5)	A級 (1.2)	B級 (1.0)	C級 (0.5)	
A地区 (0.346)	第一地区	1.89	1.26	0.45	-0.70	
B地区 (0.307)		2.66	1.96	1.05	-0.24	
C地区 (0.449)	第二地区	1.05	-0.24	-0.24	-2.43	
D地区 (0.493)		1.07	0.18	0.18	-1.35	
E地区 (0.444)	第三地区	1.51	0.70	0.70	-0.70	
		0.70	-0.70	-0.70	-0.70	
$\theta'=1.0$ のとき	変動係数	0.30	2.27	1.55	0.96	-1.28
		0.40	1.73	1.18	0.73	-0.98
		0.50	1.39	0.95	0.59	-0.79

付表一B.7 荷重係数

地域区分 ()は50年最大水平 震度の変動係数	技術基準における 地域区分	重要度係数				
		特定 (1.5)	A級 (1.2)	B級 (1.0)	C級 (0.5)	
A地区 (0.346)	第一地区	0.99	1.10	1.25	1.50	
B地区 (0.307)		0.92	1.02	1.16	1.39	
C地区 (0.449)	第二地区	1.16	1.39	1.39	1.91	
D地区 (0.493)		1.08	1.30	1.30	1.77	
E地区 (0.444)	第三地区	0.96	1.15	1.15	1.57	
		1.15	1.57	1.57	1.57	
$\theta'=1.0$ のとき	変動係数	0.30	0.98	1.08	1.18	1.61
		0.40	0.98	1.09	1.18	1.61
		0.50	0.98	1.09	1.18	1.61

値は地域別震度 k_{hB} が50年最大水平震度 k_{h50m} に等しいとしたとき、すなわち $\theta' = 1$ のときの中央安全率である。

6) 安全性指標

安全性指標は式(7)で計算される。

$$\beta = \frac{1n\theta}{\sqrt{V_R^2 + V_S^2}} \quad (B.7)$$

ここに、

V_R : 断面耐力の変動係数

V_S : 断面力の変動係数

である。

地域区分および重要度係数ごとの安全性指標を付表-B.6に示す。構造物の安全性指標は各地域区分に対して差異がみられる。港湾構造物の設計においては、重要度係数としてA級を用いていることが多いが、この場合の安全性指標は1.0~2.0である。

7) 荷重係数

荷重係数を式(B.8)で計算した結果を付表-B.7に示す。

$$\gamma_{r2} = \frac{S_{2m}}{S_{r2}} \exp(0.56\beta V_{s2}) \quad (B.8)$$

ただし、 S_{2m} は50年最大水平震度の平均値 k_{h50m} に比例する値、 S_{r2} は技術基準における設計震度 k_{hd} に比例する値であるので、 S_{2m}/S_{r2} は付表-B.4に示した θ_1 の逆数 $1/\theta_1$ である。

B.2 全体安定性に関する安全性指標

1) 安全性の照査式

重力式構造物の全体安定性(滑動安定性)を限界状態設計法における安全性の照査式で記述すると式(B.9)となる。

$$\frac{R_f}{\gamma_m} > \gamma_r S_r \quad (B.9)$$

ここに、

R_f : 構造物の滑動抵抗力で $R_f = fW$

f : 摩擦係数

W : 構造物の浮力を除いた全鉛直力で、自重、鉛直土圧成分、上載荷重の和

γ_m : 構造物の滑動抵抗力に対する安全係数

γ_r : 荷重係数

S_r : 地震荷重(水平力)の特性値で、構造物に作用する土圧の水平成分、構造本体の水平作用力および上載荷重の水平成分の和

である。

2) 抵抗力の安全率

重力式構造物の地震時荷重に対する滑動の安全率は1.0である。すなわち、滑動に対する抵抗力の安全率は $\theta_3 = 1.0$ である。

3) 中央安全率

中央安全率 θ は式(B.10)のように、荷重の安全率 θ_1 と滑動に対する抵抗力の安全率 θ_3 の積で表わされる。ここで、 $\theta_3 = 1.0$ であるので、地域区分、重要度係数別の中央安全率は付表-B.8の数値となる。

$$\theta = \theta_1 \times \theta_3 = \theta_1 \quad (B.10)$$

4) 安全性指標

地域区分、重要度係数ごとの安全性指標を付表-B.9に示す。ただし、式(B.7)の V_R として摩擦係数の変動係数を用いる。摩擦係数の変動係数については、第一港湾建設局で実施されたケーソンとマウンド間の摩擦係数の実験結果を参考に0.10とする¹⁾。また、 V_S として50年最大

付表-B.8 滑動に対する中央安全率

地域区分	技術基準における地域区分	重要度係数			
		特定(1.5)	A級(1.2)	B級(1.0)	C級(0.5)
A地区	第一地区	1.453	1.163	0.872	0.581
B地区		1.724	1.379	1.034	0.690
C地区	第二地区	1.034	0.690	0.690	0.345
D地区		1.210	0.806	0.806	0.403
E地区	第三地区	1.579	1.053	1.053	0.526
		1.053	0.526	0.526	0.526
		1.724	0.862	0.862	0.862
$\theta' = 1.0$ のとき		1.5	1.2	1.0	0.5

付表-B.9 滑動に対する安全性指標

地域区分 ()は50年最大水平 震度の変動係数	技術基準における 地域区分		重要度係数			
			特定 (1.5)	A級 (1.2)	B級 (1.0)	C級 (0.5)
A地区 (0.346)	第一地区		1.04	0.42	-0.38	-1.51
B地区 (0.307)			1.69	1.00	0.11	-1.15
C地区 (0.449)	第二地区		0.11	-1.15	-1.15	-3.30
D地区 (0.493)			0.41	-0.47	-0.47	-1.97
E地区 (0.444)	第三地区		0.91	0.10	0.10	-1.28
			0.10	-1.28	-1.28	-1.28
$\theta'=1.0$ のとき	変動係数	0.30	1.28	0.58	0.0	-2.19
		0.40	0.98	0.44	0.0	-1.68
		0.50	0.80	0.36	0.0	-1.36

付表-B.10 滑動に対する荷重係数

地域区分 ()は50年最大水平 震度の変動係数	技術基準における 地域区分		重要度係数			
			特定 (1.5)	A級 (1.2)	B級 (1.0)	C級 (0.5)
A地区 (0.346)	第一地区		0.90	0.96	1.04	1.16
B地区 (0.307)			0.86	0.91	0.99	1.11
C地区 (0.449)	第二地区		0.99	1.11	1.11	1.36
D地区 (0.493)			0.95	1.06	1.06	1.28
E地区 (0.444)	第三地区		0.89	0.99	0.99	1.19
			0.99	1.19	1.19	1.19
$\theta'=1.0$ のとき	変動係数	0.30	0.89	0.95	1.00	1.22
		0.40	0.90	0.95	1.00	1.21
		0.50	0.90	0.95	1.00	1.20

水平震度の変動係数を用いる。

5) 荷重係数

滑動に対する荷重係数を式 (B.11) で計算し、付表-B.10に示す。

$$\gamma_f = \frac{S_m}{S_f} \exp(0.75\beta V_s) \quad (\text{B.11})$$

ただし、 S_m は50年最大震度の平均値 k_{h50m} に比例する値、 S_f は技術基準における設計震度 k_{hd} に比例する値であるので、 S_m/S_f は付表-B.8に示した θ_1 の逆数 $1/\theta_1$ である。

参考文献

- 1) 鈴木慎也：信頼性理論の防波堤滑動安定性への適用 (その2)、港湾技研資料No.582,1987.6,pp.10~11

港湾技研資料 No. 708

1991. 6

監 修 運輸省港湾技術研究所

発 行 所 運輸省港湾技術研究所

印 刷 所 株式会社 昭和工業写真印刷所

Edited by Port and Harbour Research Institute
Nagase, Yokosuka, Japan

Copyright © (1991) by P.H.R.I

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P.H.R.I

この資料は、港湾技術研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本資料の全部又は一部の転載、複写は、港湾技術研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。