

(64) 地震危険度に基づく設計震度の地域区分と重要度係数

運輸省港湾技術研究所 正会員 ○北澤 壮介

” ” 上部 達生

” ” 桧垣 典弘

1. まえがき

各種の土木構造物の耐震設計に用いられる設計震度は、標準設計震度、地域による補正係数、地盤による補正係数、および重要度係数の積で与えられることが多い。地域による補正係数は、一般にその地域の地震危険度（対象とする期間内に、ある強さの地震が来襲する危険度）に基づいて、全国を2～4のクラスに区分して与えられている。港湾構造物に対する設計法¹⁾では、標準設計震度と地域による補正係数の積に相当する地域別震度が示されている。これは、河角による最大加速度期待値の分布図に従って定められたものであり、より信頼性の高い地震資料を用いることができる現時点では、再検討の必要があると考えられる。また、重要度係数は、構造物の重要度に応じて設計震度の割増しと低減を行うための係数であるが、重要度係数と構造物が耐用年数内に設計震度以上の地震に遭遇する確率（ここでは破壊確率と呼ぶ）との定量的な関係は明らかではない。

本報告は、最近得られたより信頼性の高い過去に発生した地震の資料を用いて全国の沿岸地域の地震危険度を計算し、これに基づいて、地域別震度の地域区分、および重要度係数と構造物の破壊確率との関係について検討を行ったものである。

2. 沿岸地域における地震危険度

本報告では、設計震度を定める地震動の強さの指標として最大加速度のみに注目し、表層地盤の影響が含まれていない基盤の最大加速度と再現期間の関係により地震危険度を示した。

地震資料は、近代的な地震観測が始まってからの最近の97年間のものを用いることとし、最も新しい研究成果を採用した。すなわち、1885年から1980年までの96年間については宇津の表²⁾を、1981年については地震月報を用いた。宇津の表は、1885年から1980年までの日本で有感であったM6以上の地震とM6未満の被害地震を再調査してまとめたものである。なお、関東地震や十勝沖地震などの11個の大地震については、震源位置に代わって断層面を用いた。また、97年という期間は大地震の発生頻度からみると必ずしも十分とは言えないので、参考として1884年以前の地震についても、宇佐美の被害地震総覧を用いて検討した。

地震危険度の計算を行った地点は、全ての特定重要港湾と重要港湾（計129港）を含む沿岸地域の190地点である。

最大加速度の距離による減衰特性については種々の研究成果があるが、本報告では、図-1に示す野田・上部による関係³⁾を用いた。これは、港湾地域強震観測網（主としてSMAC強震計）で得られた岩盤上の地震記録、および地盤上での記録から応答計算で求めた基盤（岩盤あるいはN値50以上の洪積砂層、洪積砂レキ層）における地震波形の最大加速度から求めたものである。距離としては、断層面距離、あるいはMから決まる半径を有する球状の震源域を仮定してその縁からの距離（実効距離⁴⁾）を採用している。

基盤における最大加速度と再現期間の関係の例を図-2に示す。計算結果は両対数軸上でほぼ直線となることから、次式により回帰計算を行った。

$$\log T_R = A + B \log \alpha \quad (1)$$

ただし、 T_R : 再現期間(年)、 α : 基盤の最大加速度(Gal)

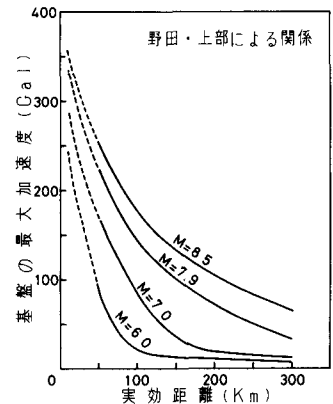


図-1 最大加速度の距離による減衰

図中の再現期間10年と100年の間にある2本の破線は、全地点の標準偏差の範囲を示している。大部分の地点では、青森港と同様に、1884年以前の地震資料による加速度期待値(図中の△印)は、最近の97年間の地震資料によるもの比べてかなり小さい。しかし、大阪港などでは、再現期間50年以上において両者は比較的良好一致しており、これは、この地域では大地震の記録もれが少ないためと考えられる。

各地点の地震危険度を相対的に評価するために、加速度期待値を全地点の平均値で割って正規化したものを図-3に示す。図の横軸は加速度の平均値に対する倍率を表わしており、したがって、直線が1.0よりも右側にあることは、相対的に危険度が高いことを示している。また、直線の傾きが正の地点は、再現期間が長い場合ほど相対的な危険度が高いことを、逆に傾きが負の地点は、再現期間が長い場合ほど相対的な危険度が低いことを示している。

地震危険度に基づいて全国の沿岸地域をA～C地区の3クラスに区分した例を図-4に示す。区分に際しては、地震危険度の計算結果のほかに、地震資料の地域による信頼性、加速度の距離による減衰のばらつき、1884年以前の地震資料を考慮して判断した。

3. 重要度係数と破壊確率

港湾構造物の現行設計法においては、構造物の重要度を4つに区分し、それぞれの重要度係数を定めている。しかしながら、重要度を高くするとどの程度破壊確率が小さくなるのか、また同じ重要度の構造物の破壊確率は地域によらず等しいのかどうか、ということとは明らかでない。ここでは、次に示す考え方に基いて、重要度係数と破壊確率について検討をした。

- ①重要度の高い構造物とは、その破壊確率を小さくしなければならない構造物である。
- ②同じ重要度の構造物は、建設される地点の地震危険度にかかわらず、その破壊確率は等しい。
- ③最大加速度と設計震度は、正比例の関係にある。

構造物の耐用年数をT(年)、最大加速度の再現期間を T_R (年)とすると、T年間に再現期間 T_R 年の加速度が発生しない確率は、次式で表わされる。

$$f = (1 - 1/T_R)^T \quad (2)$$

これを f をパラメータとして図示したものが図-5である。図から明らかなように、非破壊確率 f を大きくする

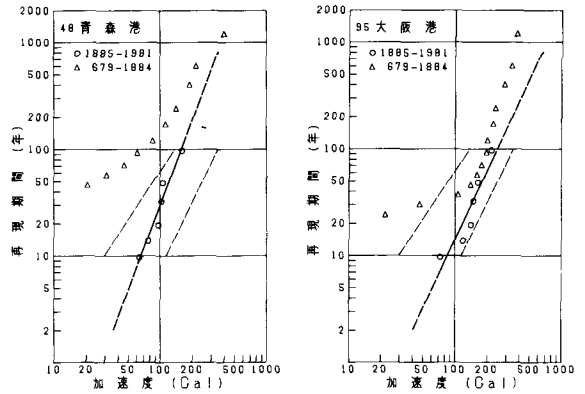


図-2 最大加速度と再現期間

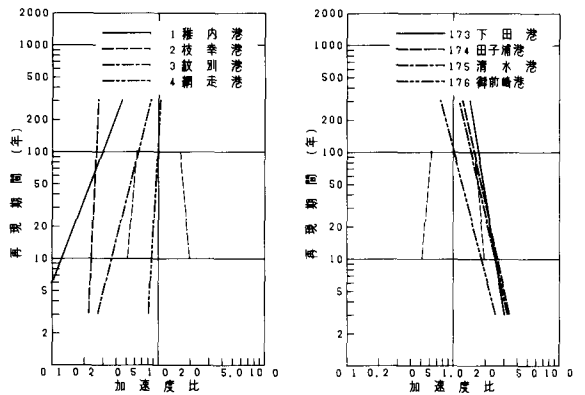


図-3 最大加速度比と再現期間

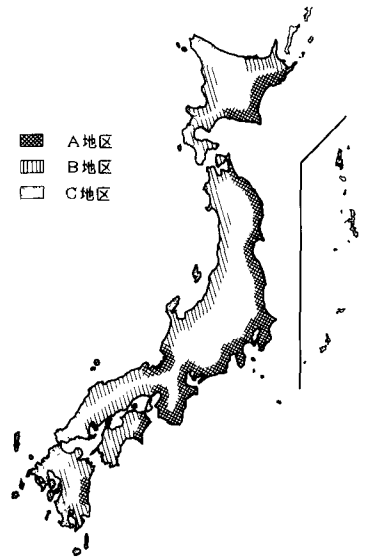


図-4 地震危険度の地域区分

ということは、構造物の耐用年数は与えられるもので変わらないから、設計の対象とすべき最大加速度の再現期間が長くなることを意味する。

重要度が普通である構造物の非破壊確率を g_1 、建設しようとする構造物の非破壊確率を g_2 とし、それぞれに対応する最大加速度の再現期間を Tr_1 、 Tr_2 年とすると、式(2)より次の関係が得られる。

$$\frac{Tr_2}{Tr_1} = \frac{1 - g_1^{\frac{1}{T}}}{1 - g_2^{\frac{1}{T}}} \quad (3)$$

式(3)は、重要度が普通の構造物に対して、そうでない重要度の構造物を建設する際に考慮すべき再現期間の倍率を示している。 $g_1 = 0.5$ (耐用年数50年の構造物を再現期間75年の最大加速度に対して設計することにほぼ相当する)として、 g_2 を重要度に応じて0.7~0.3と変化させた場合の再現期間の倍率を表-1に示す。表からわかるように、再現期間の倍率は、耐用年数にかかわらず、重要度すなわち非破壊確率ごとにほぼ一定値とみなせる。このことは、図-5の両対数軸上で g をパラメータとする線がほぼ平行であることから明らかである。したがって、以下に述べることは、構造物の耐用年数と無関係に成立することになる。

次に、再現期間が表-1に示した倍率で変化した場合、設計の対象とする最大加速度がどのように変化するかについて検討する。再現期間 Tr_1 、 Tr_2 年に対応する最大加速度をそれぞれ α_1 、 α_2 Gal とすると、式(1)より次式が得られる。

$$\log Tr_1 = A + B \log \alpha_1 \quad (4)$$

$$\log Tr_2 = A + B \log \alpha_2$$

式(4)より、

$$\log (Tr_2/Tr_1) = B \log (\alpha_2/\alpha_1) \quad (5)$$

となる。ここで、最大加速度の倍率を $\alpha_2/\alpha_1 = \nu$ として、式(5)をかきかえると、

$$\nu = (Tr_2/Tr_1)^{1/B} \quad (6)$$

となる。式(6)は、再現期間の倍率と回帰係数 B の値のみによって、加速度の倍率 ν が定まることを意味している。ところで再現期間の倍率は、非破壊確率 g_2 と与えらる構造物の耐用年数と無関係に定まるものであるから、結局 ν は係数 B のみによって決まることになる。最大加速度と設計震度とが正比例すると考えると、加速度の倍率 ν はそのまま重要度係数とみなすことができる。

重要度係数 ν と回帰係数 B との関係を図-6に示す。図より、係数 B が小さいと重要度係数の値の範囲が広く、逆に、係数 B が大きいと重要度係数の値が1に近づいてくることがわかる。これは、係数 B の値が小さいほど、すなわち図-2における回帰直線の傾きが小さいほど、再現期間のわずかな変化に対する最大加速度の変化が大きいということと同じ意味である。

ところで、実際の係数 B の値の分布を示したものが、図-7、図-8である。図-7は、計算を行った全地点について示したものであり、大部分の地点の係数 B は、1.0 ~ 3.0 の範囲にある。また、図-8は、図-4に示

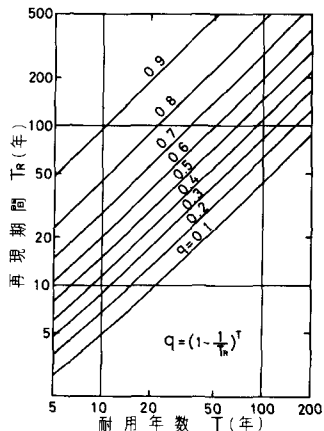


図-5 耐用年数と再現期間

表-1 再現期間の倍率

重要度	非破壊確率 g_2	耐用年数 T			
		25年	50年	75年	100年
I	0.7	1.930	1.937	1.939	1.940
II	0.6	1.352	1.354	1.355	1.356
III	0.5	1.000	1.000	1.000	1.000
IV	0.4	0.760	0.758	0.758	0.757
V	0.3	0.582	0.579	0.578	0.577

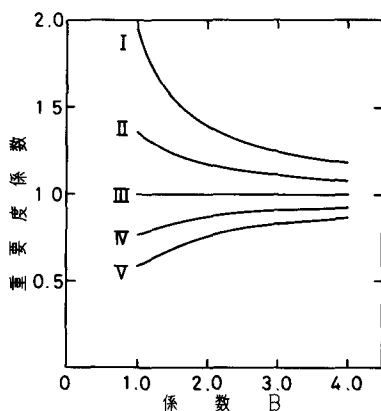


図-6 重要度係数と係数Bの関係

した地域区分ごとに示したものである。図-8より、A地区、B地区、C地区の順に分布の山が右寄りにあり、地震危険度の高い地域ほど係数Bの値が大きいという傾向が認められる。

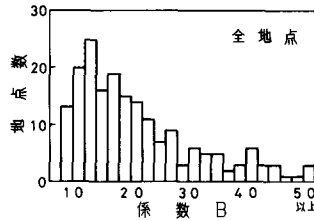


図-7 係数Bの分布(全地点)

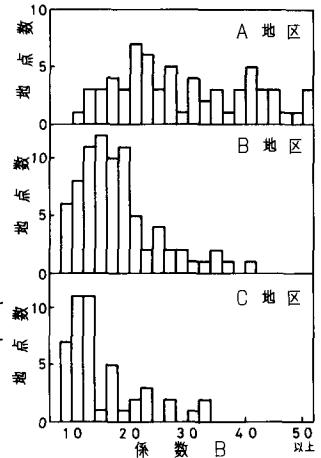


図-8 係数Bの分布(地区別)

それぞれの分布のほぼ中央値に当たる係数Bを採用した場合の重要度係数を表-2に示す。

地震危険度の高いA地区では重要度係数の範囲が狭く、C地区ではその範囲が広い。A～C地区の基準となる設計震度に表-2の重要度係数をかけた値を設計震度とすれば、同じ重要度の構造物の破壊確率は、地区によらずほぼ等しくなると考えられる。

4. 現行設計法における重要度係数の評価

港湾構造物の現行設計法では、重要度を特定、A級、B級、C級の4つに区分して、それぞれ1.5、1.2、1.0、0.5の重要度係数を定めている。これらの重要度係数を定量的に評価するために、3.で述べた考え方に従って、重要度係数と非破壊確率との関係を示したものが図-9である。図より、それぞれの重要度係数に対応する非破壊確率は、係数Bによりかなりの範囲で変化することがわかる。

全地点およびそれぞれの地域区分を代表する係数Bに対応する非破壊確率を表-3に示す。表よりわかるように、重要度C級の構造物の非破壊確率は他の重要度と比べてかなり小さい。

5. あとがき

最近77年間の地震資料を用いて全国の沿岸地域における地震危険度を計算し、その地域区分を示した。また、経験的に定められていた重要度係数と構造物の破壊確率との定量的関係を明らかにした。今後は、設計震度を定める係数のうち、今回の報告には含まれていない地盤による補正係数と地表層における地震動の増幅との関係について検討する必要がある。また、最大加速度と設計震度との関係についても、構造種別ごとに検討する必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 運輸省港湾局：港湾の施設の技術上の基準・同解説、日本港湾協会、1979。
- 2) 宇津徳治：日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表：1885～1980年、地震研究所叢報、Vol.57、1982。
- 3) 野田節男、上部達生ほか：重力式岸壁の震度と地盤加速度、港湾技研報告、Vol.14、No.4、1975。
- 4) 勝又護：地震動の最大加速度の推定、駿震時報、Vol.37、No.3、1975。

表-2 重要度係数

重要度 \ 係数 B	全国	A地区	B地区	C地区
特定	1.9	2.7	1.7	1.3
I	1.4	1.3	1.5	1.7
II	1.2	1.1	1.2	1.3
III	1.0	1.0	1.0	1.0
IV	0.85	0.9	0.85	0.8
V	0.75	0.8	0.7	0.65

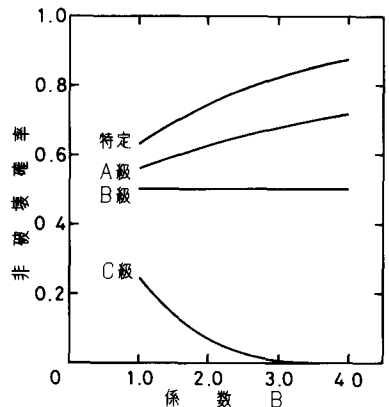


図-9 非破壊確率と係数Bの関係

表-3 現行の重要度係数に対応する非破壊確率

重要度係数	非破壊確率			
	全国	A地区	B地区	C地区
特定 1.5	0.73	0.79	0.71	0.66
A級 1.2	0.61	0.65	0.60	0.58
B級 1.0	0.50	0.50	0.50	0.50
C級 0.5	0.07	0.01	0.10	0.18