

鳥取大学工学部 正会員 高岡 宣善  
鳥取大学工学部 正会員 白木 渡  
鳥取大学大学院 学生員 堀江 俊光

1. まえがき 不規則過程である地震動によって構造物が受ける荷重、すなわち地震荷重はやはり不規則過程である。構造物の耐震設計を行なう際には、この不規則過程である地震荷重をいかに合理的に評価して設計用地震荷重を決定するかということが重要な問題である。この問題に対して、著者らは先に地震荷重の不規則性およびその作用を受ける構造物の信頼性を、不規則過程の超過の理論を用いて合理的に評価することによって、構造物の設計用地震荷重を決定する方法について研究・発表した<sup>1)</sup>。しかし、実際問題として、このような地震荷重を受ける構造物の信頼性および設計用地震荷重を超過の理論を用いて評価する場合、建設地点における地震動および地盤の特性等の各種パラメータをより合理的な方法で設定する必要がある。また、これら各種パラメータの構造物の信頼性および設計用地震荷重への影響についても認識しておく必要がある。そこで本報告では、先に示した信頼性理論に基づく設計用地震荷重の決定法を用いて耐震設計を行なう場合に必要なパラメータをどのように設定すべきかについて考える。計算例として、構造物の建設地点を鳥取市周辺に想定した場合の各パラメータの設定例を示し、それを基に数値計算を行なう。さらに各パラメータの設計用地震荷重への影響についても考える。

2. 信頼性理論に基づく構造物の設計用地震荷重の決定法 いま、地震動による地動加速度過程は、その主要動部分（強震部分）では正規定常過程であるとし、線型フィルターで濾波された白色雑音過程でシミュレートするものとする。また、これによる構造物の応答加速度過程も正規定常過程であるとする。そして、ある階級の地震動の建設地点での発生回数はポアソン分布に従うものとする。以上の仮定によれば、1自由度の完全弾塑性構造モデルに対しては、設計用地震荷重 $w_d$ は式(1)を満足するような値として定められる<sup>1)</sup>。ここに、 $\omega_0$ ,  $\gamma_0$ ,  $\mu$ : 構造物の非減衰固有円振動数、減衰定数、許容塑性率;  $Y_k$ ,  $T_{sk}$ ,  $\sigma_{sk}$ : 階級  $Y_k$

$$R_k = \exp \left[ -T \sum_{k=1}^m Y_k \left[ 1 - \exp \left\{ -\frac{\omega_0 T_{sk}}{\pi} \exp \left( -\frac{\mu^2 \omega_k^2 (1 - 4\gamma_0^2)^2}{2 \omega_0^2 \sigma_{sk}^2} \right) \right\} \right] \right] \quad (1)$$

( $k=1, 2, \dots, m$ ) の地震動の年平均発生回数、主要動の継続時間、地動変位過程の標準偏差;  $T$ : 構造物の予定耐用期間;  $R_k$ : 信頼度の規定値。ここで地震動を  $m$  個の階級に分けているが、これは例えば客観的数値で示されるマグニチュード、震央距離などを利用して行なえばよい。ところで特別な場合として、 $m=1$  すなわち強震の地震動についてのみ考えると、式(1)は $w_d$ について容易に解くことができる。ここ

$$\beta = \frac{w_d}{a_k} = \frac{1}{(1 - 4\gamma_0^2)^{\mu}} \sqrt{\frac{\omega_0}{\gamma_0} \cdot \frac{\gamma_0 \omega_k^2}{(\omega_0 - \omega_k)^2 + 4\gamma_0^2 \omega_k^2} \ln \left\{ -\frac{\omega_0 T_{sk}}{\pi \ln(1 + \frac{2\mu R_k}{Y_k T})} \right\} \left( \ln \frac{\omega_k T_{sk}}{\pi} \right)^{-1}} \quad (2)$$

では現行の耐震設計示方書で用いられて修正震度法の倍率あるいは構造物の加速度応答倍率との対比のため、建設地点における最大地動加速度 $a_k$ に対する倍率 $\beta$ で表わすことにする。この倍率 $\beta$ は式(2)で与えられる。ここには、 $\omega_k$ ,  $\gamma_0$ : 地動加速度過程のみかけの非減衰固有円振動数、みかけの減衰定数。すなわち、各パラメータの値を定めれば、式(1)あるいは式(2)より規定の信頼度 $R_k$ を有する構造物の設計用地震荷重 $w_d$ を決定できるわけである。

3. パラメータの設定方法 2. で示した式(1)あるいは式(2)を用いて耐震設計用地震荷重を評価する際、地震動および構造物等に関する各パラメータをいかに設定するかということが問題となる。このようなパラメータの設定は、以下のように考えるのが妥当であろう。i) 地震動の階級分けは、マグニチュード、震央距離を用いてその地震動の大きさやその予想される被害の程度によってより細かく分けることができるが、一般には設計上よく言われるように、ごく稀にしか発生しない地震動に対しては局部的な損傷を許し、比較的頻度の高い地震動に対してはその変位を弾性限度内に留めるようにする。2階級を考えるのが妥当であろう。ii) 地震動に関するパラメータの設定には、建設地点での強震記録の統計解析が必要である。しかし、式(2)の $\omega_k$ ,  $\gamma_0$ の場合は、それらは主

に地盤の固有振動数、減衰定数は依存すると考えられることから、これらによって代用することもできるであろう。iii)地震動の年平均発生回数 $\lambda$ は個々の階級の地震動について建設地点での統計解析によって定まる。iv)構造物に関するパラメータ、すなわち予定耐用期間 $T$ 、信頼度の規定値 $R_k$ 、固有振動数 $\omega$ 、減衰定数 $\gamma$ および許容塑性率 $\mu$ については、設計する構造物によりおのずと定まる。

#### 4. 数値計算例

さて、数値計算例として各パラメータの項目について建設

地点を鳥取市周辺に想定した場合の設定例を示し、倍率 $\beta$ の計算を行なった。

ここでは、簡単のため地震動の階級は1つとして、震度階VI以上の鳥取での地震動を対象とした。また、鳥取での強震記録がないため、地震動のパラメータとしては、耐震設計示方書<sup>2)</sup>に示されているもののうち鳥取の条件に近いものを用いることにした。すなわち、主要動の継続時間 $T_a$ は地盤条件別にマグニチュード $M$ と震央距離 $d$ の関係式(表-1)で表わされるものとした。表

-1の式においてここでは $M=7.4$ 、 $d=10\text{km}$ として計算した。また、耐震設計用の地盤種別は、本来その表層地盤において最も大きな地震動の増幅を示す周期、すなわち基盤への入力地震動の応答スペクトルに対する

地表面地震動の応答スペクトルの比を最大とする周期によって表-2のように区分されるべきものである<sup>2)</sup>。これより、ここではこの周期を地震

動の固有周期 $T_0$ として用い、第1種から第4種までの地盤についてそれぞれ $T_0=0.25, 0.5, 0.75, 1.0(\text{sec})$ を対応させ、 $\omega_f=2\pi/T_0$ の関係から $\omega_f$ を定めた。減衰定数 $\gamma$ については、各地盤種とも $\gamma=0.3$ とした。これは

地盤の減衰定数は振動数に無関係であるとしており<sup>3)</sup>、通常は0.1~0.3程度であることから定めたものである。地震動の年平均発生回数 $\lambda$ につ

いては、鳥取県周辺における被害地震の統計解析の結果<sup>4)</sup>を用いた。鳥取における震度階VI以上の地震は西暦880年、1710年、1943年の3回しか記録に残っていない。ここでは900年代から1600年代に記録もれがある

可能性を考慮して、880年の地震を考慮する場合と考慮しない場合の2通りを考へ、a)880年の地震を含めた場合 $\lambda=0.0027$ 、b)含めない場合 $\lambda=$

$0.0074$ とした。最後に、構造物のパラメータについては、減衰定数 $\gamma=0.05$ 、許容塑性率 $\mu=3.0$ 、構造物の予定耐用期間 $T=50$ 年、破壊確率 $Q_k=(1-R_k)=10^{-3}$ と定めた。以上の

設定により、 $T_0=2\pi/\omega$ の関係から構造物の固有周期 $T_0$ に対する倍率 $\beta$ の値を、 $\lambda$ の2つの値についてそれぞれ図-1 a), b)に示した。図には耐震設計示方書の倍率も参考のため併記した。図-1 a), b)から明らかなように、地

震動の平均発生回数 $\lambda$ はあまり倍率 $\beta$ に影響を及ぼさないようである。また、各地盤種、すなわち地盤の固有周期 $T_0$ の影響により倍率 $\beta$ の最大値は $T_0=T_0$ の近傍に表われている。曲線形状は大差ないが $T_0$ の値により曲線全体

が左右に大きく変化することがわかる。この図から直ちに、本研究で得えられた $\beta$ の値と耐震設計示方書における倍率との比較はできないが、各パラメータのもつ意味、その倍率 $\beta$ への影響の特徴は明らかになったものと思

われる。

参考文献 1) 白木・高岡：信頼性理論に基づく構造物の設計用地震荷重の決定法、第16回耐震工学研究発表会講演概要集、1981-5。2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅴ耐震設計編、丸善、1980。3) 土岐憲三：新体系土木学、11・構造物の耐震解析、pp77-80、技報堂出版、1981。4) 高岡・白木・堀江・堀江：山陰地方における被害地震の統計解析、土木学会第33回中四国年次学術講演会概要集、I-20、1982-5。

表-1

|       | $T_a(\text{sec})$                                         |
|-------|-----------------------------------------------------------|
| G.C.1 | $3.89 \times 10^{-4} \times 10^{0.466M} \times d^{0.589}$ |
| G.C.2 | $1.37 \times 10^{-2} \times 10^{0.262M} \times d^{0.485}$ |
| G.C.3 | $2.75 \times 10^{-2} \times 10^{0.291M} \times d^{0.265}$ |
| G.C.4 | $2.28 \times 10^{-1} \times 10^{0.199M} \times d^{0.233}$ |

表-2

|       | $T_0(\text{sec})$     |
|-------|-----------------------|
| G.C.1 | $T_0 \leq 0.25$       |
| G.C.2 | $0.25 < T_0 \leq 0.5$ |
| G.C.3 | $0.5 < T_0 \leq 0.75$ |
| G.C.4 | $0.75 < T_0$          |

