

実態地震荷重からみた建造物の安全性の評価法

鳥取大学工学部 正会員 高岡 宣善 奥村組 正会員 有元 毅
 鳥取大学工学部 正会員 白木 渡 鳥取大学大学院 ○学生員 酒井 太
 鳥取大学工学部 正会員 松保 重之

1. まえがき 不規則な地震動の特性やそれに対する建造物の応答特性を考慮して耐震設計を行うためには、より合理的な設計スペクトルを推定する必要がある。そこで本研究では、実際の地震の発生機構に近いと考えられる断層破壊モデル¹⁾を用いて、確率論的立場から阪神地域と鳥取地域に対する地震応答スペクトルを推定する。そして、その地震応答スペクトルより推定した荷重効果の最大値と現行荷重によって設計された建造物の終局限界状態に対応する保有耐力とを比較することによって安全性の検討を行う。

2. 最大地震荷重の評価 まず、地震の発生機構を断層破壊モデルを用いてモデル化し、このモデルとアテニュエーション式とを用いて、線形挙動をすると仮定した場合の応答スペクトル、すなわち線形応答スペクトルを推定する。いま、対象としている地点から距離 r だけ離れたところにマグニチュード m の地震が発生したとする。この地震による対象地点での地表加速度は、一般にアテニュエーション式によって推定することができる。同様に応答スペクトルもアテニュエーション式 $S_A(T) = A(T) \cdot 10^{B(T) \cdot m} \cdot (r+30)^{C(T)}$ (1) 式を適用して推定することができる。本研究においては、アテニュエーション式として、土研の提案した式(1)を用いた²⁾。 $C \mu h = C \mu \cdot Ch$ (2) ここに、 T は建造物の固有周期、 $S_A(T)$ は加速度応答スペクトル、 $A(T)$ 、 $B(T)$ 、 $C(T)$ は固有周期別、地盤種別に定められる定数である。本研究では、これらの係数として阪神

$$\log C \mu = \begin{bmatrix} 1 & \log h \\ a_{11} & a_{12} \\ b_{11} & b_{12} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \log T \end{bmatrix} \log \mu \quad (3)$$

地域と鳥取地域を対象にして定めた。次に、この線形応答スペクトルをもとに、建造物の非線形性を考慮した非線形応答スペクトルを求める。ここでは、地盤種に応じた固有周期依存型の低減係数を用いて非線形応答スペクトルを求める亀田らによって提案された方法³⁾を用いる。低減係数は式(2)、(3)、(4)で与えられる。式(3)、(4)において μ は塑性率、 h は建造物の減衰定数であり、 a_{ij} 、 b_{ij} ($i, j=1, 2$) の値は、地盤種及び建造物の固有周期によって決まる定

$$\log Ch = \begin{bmatrix} 1 & \log h \\ a_{21} & a_{22} \\ b_{21} & b_{21} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ \log T \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$T_r = \frac{1}{1 - (0.9)^{1/50}} = 475 \text{年} \quad (5)$$

数である。参考のため2種地盤の $C \mu$ 及び Ch の値を固有周期 T に対して示すとそれぞれ、図1、2となる。非線形応答スペクトルは、この低減係数を線形応答スペクトルに掛けることに

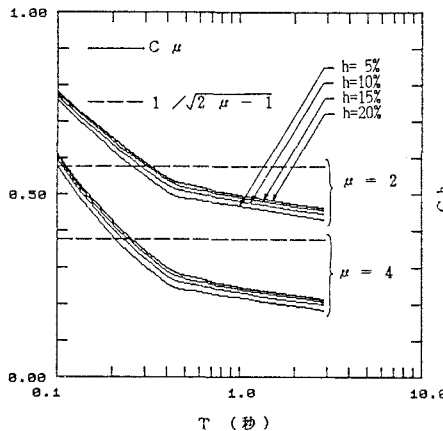


図-1

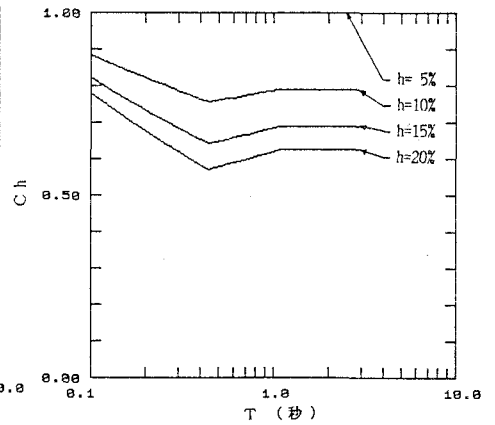


図-2

よって求まる。本研究では確率論的に評価した最大地震荷重として、期間50年における10%超過確率値 S_{10} に対応する地震、すなわち再現期間 $T_r=475$ 年(式(5)参照)の地震を考える。

3. 構造物の安全性の検討 本研究では、上述の期間50年における10%超過確率値 S_{10} に対応する非線形加速度応答と現行の設計震度より求めた構造物の終局限界強度(加速度に変換したもの)とを比較することによって構造物の安全性の検討を行う。ただし、ここでいう終局限界状態とは、想定する最大荷重において構造物が致命的ダメージを受ける少し手前の状態、すなわち構造物が損傷を受けた後も何等かの修復が可能な状態であるとする。この時、終局限界強度 S_u は次のようにして求まる。まず、現行の設計震度(修正震度法)⁴⁾ に対応する加速度の大きさを S_0 とする。

$$S_v = \frac{1.7 \cdot S_0}{1.5} \quad (6)$$

許容応力度の割り増し係数は地震時に対して1.5であるから、 S_0 の加速度レベルで設計された部材の降伏時の加速度は式(6)で表わされる。式中の1.7は、鉄筋、鋼材の材料安全率である。 S_v なる降伏加速度を有する構造物に対する終局限界状態を塑性率 μ で評価する場合、対応する終局限界強度 S_u を線形応答値に換算した加速度レベルで表現すると、式(7)で与えられる。式中の $C\mu$ はエネルギー一定則に従う時は、 $C\mu = 1/\sqrt{2\mu-1}$ となるが、ここでは $h=0.04/T$ としたことにより、地盤種・固有周期に依存する形で与えられる $C\mu$ を用いることにする。式(6)、(7)より、地震荷重の10%超過確率値 S_{10} に対比できる形の終局限界強度 S_u は式(8)で算定できる。このようにして求めた S_{10} と S_u とを比較することによって、構造物の安全性の検討を行うことができる。なお、対象構造物としてはRC単柱橋脚と鋼製単柱橋脚を考えた。

$$S_u = \frac{S_v}{C\mu} \quad (7)$$

$$S_u = \frac{1.7}{1.5 \cdot C\mu} S_0 \quad (8)$$

4. 数値計算例および考察 阪神地域および鳥取地域における非線形加速度応答スペクトルを固有周期 T に対して示すと、それぞれ図3、4となる。この図において、アテニュエーション式の不確定性を無視したものを破線で、不確定性を考慮したもの¹⁾ を実線で示し、参考のために修正震度法による設計震度を加速度に直したものを点線で示した。これらの図より、鳥取地域ではほぼどの固有周期領域においても修正震度法の地震荷重レベルが $T_r=475$ 年スペクトルに比べて比較的高く設定されているため、ごく短周期の領域を除いて十分安全になっていると言える。阪神地域においては、固有周期1.5-2.0秒以上の長周期領域では十分安全であると言えるが、短周期領域では塑性率 μ による低減を考慮した場合においても厳しくなることがあることが分かる。式(6)-(8)より $T=0.5, 1.0$ (秒)の S_u を求めると、RC単柱橋脚は $S_u=694, 938$ (gal)、鋼製単柱橋脚は $S_u=569, 598$ (gal)となり、図3、4の $\mu=1$ の時の加速度よりも大きな値をとる。これは、設定した終局限界強度が比較すべき最大地震荷重を上回ったということで、安全が確保できていることが分かる。

参考文献

- 1) 高岡他: 断層破壊モデルを用いた地震応答スペクトルの確率論的評価, 第39回土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, 1987-5.
- 2) 阪神高速道路公団(財)阪神高速道路公団管理技術センター: 阪神高速道路公団設計荷重(HLD)委員会報告書 阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究, 1986.
- 3) Zoran Milutinovic and Hiroyuki Kameda: Statistical Model for Estimation of Inelastic Responce Spectra, JSCE, Vol.1 NO.2, 1984-10, pp.105-114.
- 4) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説V耐震設計編 (昭和55年5月), 丸善, 1980.

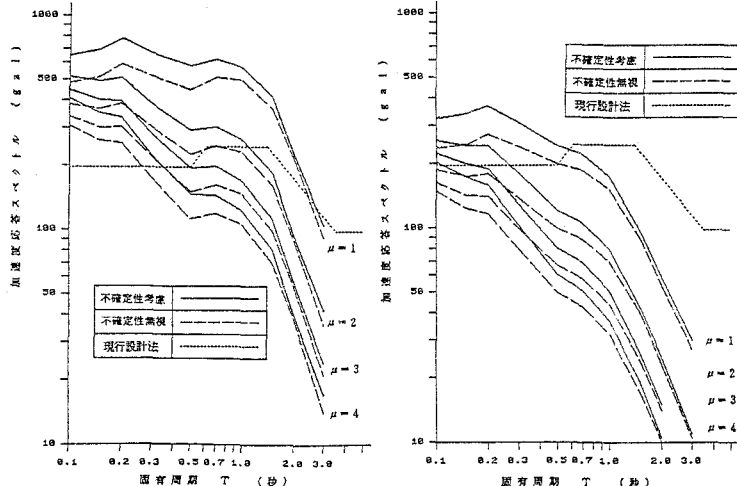


図-3

図-4