I－3　塔状構造物の地震による最大応答の推定について

徳島大学工学部　正員　宇都宮英彦
徳島大学工学部　正員　沢田　勉
徳島大学大学院　学生員　○篠原修二

1．まえがき

本研究は，長大吊橋，高層建築物などの長周期構造物について，不規則振動論の立場に基づく確率統計的方法すなわち，地震動および応答量を確率過程としてとらえることにより，耐震設計上重要な評価基準となる最大応答量の推定を試みるものである。まず，アナログ計算機によりシミュレーションされた地震波を，モデル化した1自由度3質点系の塔状構造物（大鳴門タワーモデル）に作用させ，その場合の最大応答量をもとめた。また一方，中尾の不規則振動論に基づく構造物の最大応答量の推定式[1]を用いて，最大応答量の推定を行い，その推定値と実応答値を比較，検討した。さらに，構造物の応答の成長を考慮したT.K.Caughey，H.J.Stumpfの式[2]を用いて修正応答推定値を求め，この方法による修正の妥当性を考察してみた。また，応答の成長について調べるため，実地震波を用い，地震動スペクトルの時間的変化および地震動スペクトルが時間的に変化する地震波による構造物の応答について調べてみた。

2．地震動のシミュレーション

まず，入力地震波としては，1967年篠塚によって発表されたシミュレーション手法[3]を用いて作成した地震波を用いる。これは，下記に示すように定常ガウシアンWhite noiseを入力として，2階の線形微分方程式である地盤システムに対応するフィルターに通したものに，振幅特性を表わす非定常な確定関数ψ(t)を掛け合せて作成される。

White noise ──→ (h(t)) ──→ (ψ(t)) ──→ 地震波
　　　　　　　　地盤フィルター　確定関数

また，地盤フィルターの固有円振動数に関しては，地盤性状を考慮して，比較的硬い地盤，中程度の地盤，軟らかい地盤の3種類を考え，それぞれ，ω_g＝18.00，12.00，6.00とした。つぎに，作成された地震波に対して，自己相関関数，スペクトル密度，分散値を求めるために，TEAC C－110実時間ディジタル相関計と，TEAC F－100スペクトルアナライザーを用いて計算を行なった。その結果は，ほぼ考えている地盤フィルターの固有円振動数付近で卓越したピークが出現することがわかった。

3．構造物の自由振動解析および最大変位応答量

対象とする塔状構造物としては，徳島県土木部が昭和40年度に設計計算を行なっている大鳴門橋タワーを考える。これを図－1のような質点構造物とすると振動方程式は式(1)のようになる。

$$-m_i\ddot{Y}_i=\sum_{j=1}^{m}C_{ij}\left(1+r_I\frac{d}{dt}\right)Y_i+m_i\ddot{y}_0 \qquad (1)$$

ここで　m_i ：各質点の質量
　　　　y_0 ：基礎の静止座標に対する変位
　　　　y_i ：質点の静止座標に対する変位
　　　　C_{ij} ：弾力係数
　　　　r_I ：内部摩擦係数
　　　　$Y_i=y_i-y_0$

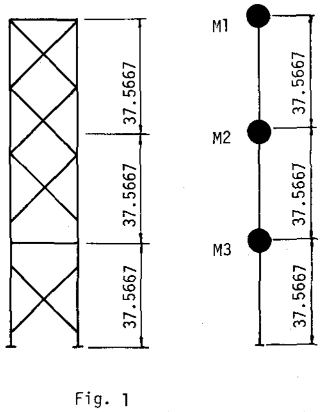

Fig. 1

上記の振動方程式において，減衰と剛性をそれぞれ h = 0.05, 0.02, 0.075, 0.10, 0.20, 0.40, I = 2.8482, 2.80, 3.20, 3.60, 4.00, 4.40, 4.80, 5.20 m^4 と変化させて合計13タイプの振動方程式を作成し、おのおののタイプ別にヤコビの方法で自由振動解析を行った。つぎに、式(1)の振動方程式に対して、2節で作成した9個の地震波を外力として作用させアナログ計算機により応答計算を行い、3質点系モデル13タイプについて最大変位応答量を求めた。

4. 最大変位応答量の推定

中尾の推定式は、下記の式(2)である。

$$y_{max} = k \cdot \left[\sum_{i=1}^{\infty} \frac{\beta_i^2 S_0(\omega_i)}{8 h_i \omega_i^3} \phi_i^2(x) \right]^{1/2} \cdot \ddot{y}_{0max} \qquad (2)$$

ここで　β：刺激係数　$_s\beta = \sum_i m_{is}\phi_i / \sum_i m_{is}\phi_i^2$

　　　　h：減衰定数

　　　　S_0：正規スペクトル

　　　　φ：固有振動形

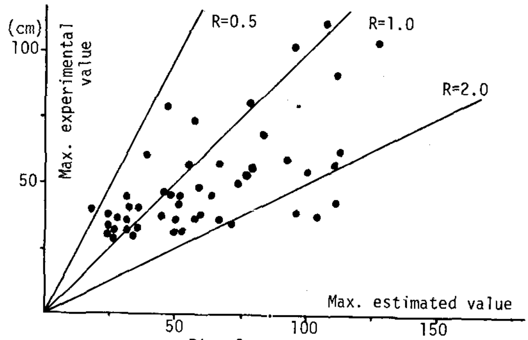

Fig. 2

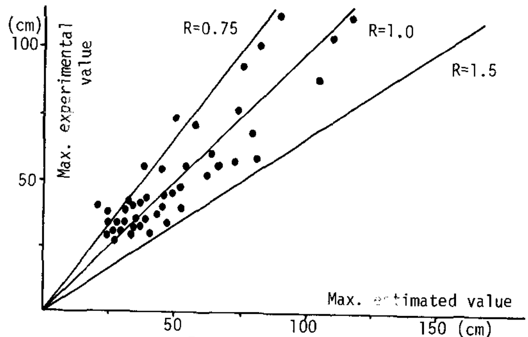

Fig. 3

式(2)を用いて最大変位応答量の推定を行なうと、一般に過大評価となる。とくに減衰が小さいタイプほど過大評価となる。例えば h=0.02 のタイプにおいては推定値が実応答値の2.83倍となる。この過大評価の原因の1つとして応答の成長、つまり実応答が十分成長していないと考えられる。これを修正するために、T.K. Caughey・H.J. Stumpf の応答の成長に関する研究を用いて、推定値を修正した。修正式は式(3)で示される。

$$y_{tmax} = y_{max} \{ 1 - \exp(-2h\omega_0 t) \}^{1/2} \qquad (3)$$

ここで　y_{tmax}：応答の成長を考慮し、過渡的な部分の最大応答推定値

　　　　t　：応答の成長する時間

　　　　y_{max}：中尾の推定式による推定値

無修正の場合と修正した場合を比較したのが、図-2,3である。この図からわかるように、修正することにより、推定値が実験値に近づき、ばらつきも小さくなっている。このことから、修正式を用いることにより、より精度の高い推定ができることがわかった。

5. 結言

以上のことより結果および問題点として、(1)長周期構造物、特に減衰の小さい場合には、中尾の推定式では不十分であると考えられる。(2)地震特性を示すパラメータとして、最大加速度 $\ddot{y}_{0max}$ にかわるような、より精度の良いパラメータを見い出す必要がある。(3)修正式において用いた時間tの評価が問題であり、実地震波およびシミュレーション地震波の解析を行い、時間tに関係するパラメータを見い出し、時間tの決定の根拠を与える必要がある。(3)の点に関しては、実地震波を用い地震動スペクトルの時間的変化を調べ、スペクトルが時間的に変化する地震波を作成しその応答計算を行った。この結果については当日紹介する予定である。

参考文献

(1) 中尾好昭；統計的方法による耐震弾性設計に関する研究，日本建築学会論文報告集，第179号，S.45年11月

(2) T.K.Caughey, H.J.Stumpf; Transient of a dynamic system under Random excitation, Journal of Applied Mechanics, Dec., 1961.

(3) 篠塚正宣；Simulation of nonstationary random process, Proc. ASCE, vol. 93, EM1, 1967