

1-1 塔状構造物の地震最大応答に関する基礎的研究

徳島大学工学部 正真 宇都宮英彦
 徳島大学工学部 正真 沢田 勉
 徳島県庁 正真 〇音見 敬三

1. まえがき

本研究は、近年注目されている不規則振動論の立場に基づき統計的方法を用いて、構造物の耐震性を評価しようとする研究に着眼し、それによる最大応答量の推定について、その提言を行なうものである。まず、1967年に保塚が発表したシミュレーション手法に基づいて、アナログ計算機により地震波を作成した。このシミュレーション波と塔状構造物(大島門橋タワー)に作用させ、その場合の最大変位応答量を求めた。また一方、不規則振動論の手法による中震の推定値を用いて、最大応答量の推定を行ない、その推定値と実際の応答量を比較検討する。その結果、中震の推定値が、長周期構造物に対しては過大評価であることを指摘し、その原因について、若干の考察を行ない、より精度の増した修正推定値を考えるものである。

2. 地震動のシミュレーション

まず、モデル地震動としては、前述の保塚のシミュレーション手法に基づいて行なった、地盤フィルターの固有円振動数に関しては、地盤状況を考慮して、比較的硬い地盤、中程度の地盤、軟らかい地盤の3種類を考えた。保塚のシミュレーション手法には Process I, II の2通りの方法があるが、どちらの方法を用いても大差のないことが示されているので、Process I の方法を用いる。

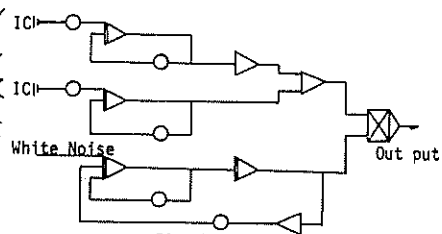


Fig. 1

この Process I によるアナログブロックダイアグラムの作成方法を説明すると、図-1のように定常ガウシアン White Noise を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、それに非定常関数(4倍)を掛け合せて地震波を作成する。作成された地震波は合計9個であるが、その1例を図-2に示す。また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 実時間デジタル相関計と、TEAC F-100 スペクトルアナライザを用いて計算を行なった。その結果の1例を図-3に示す。この図から、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る。

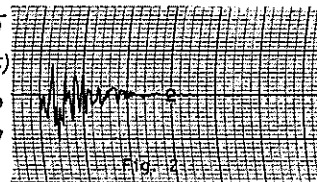


Fig. 2

3. タワーの自由振動解析および最大変位応答量

対象とな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島門橋タワー³⁾を考える。これをいままゝ3質点系構造物と考え、アナログ計算機の容量の制約から、図-4のような3質点系構造物と考える。また、タワーの減衰率と剛性を表わさせて、合計13タイプの3質点系振動方程式を作成する。この1例として、タイプ-Aの振動方程式は(1)式のとおりである。

$$\left. \begin{aligned} -\ddot{Y}_1 &= 209.17\ddot{Y}_1 + 21.22\ddot{Y}_1 - 120.27\ddot{Y}_2 - 12.20\ddot{Y}_2 + 31.38\ddot{Y}_3 + 3.18\ddot{Y}_3 + \ddot{Y}_0 \\ -\ddot{Y}_2 &= -120.27\ddot{Y}_1 - 12.20\ddot{Y}_1 + 115.04\ddot{Y}_2 + 11.67\ddot{Y}_2 - 41.83\ddot{Y}_3 - 4.24\ddot{Y}_3 + \ddot{Y}_0 \\ -\ddot{Y}_3 &= 31.38\ddot{Y}_1 + 3.18\ddot{Y}_1 - 41.83\ddot{Y}_2 - 4.24\ddot{Y}_2 + 12.30\ddot{Y}_3 + 1.26\ddot{Y}_3 + \ddot{Y}_0 \end{aligned} \right\} \text{----- (1)}$$

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なう。つぎに、このように計算された3質点系構造物の振動方程式に対してアナログブロックダイアグラムを作成し、前述の9個の地震波に対して、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る。

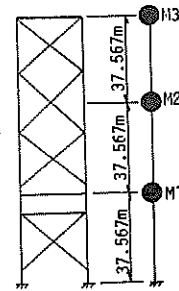


Fig. 4

4. 最大応答量の推定について

中屋の推定式は、つぎのとおりである。

$$y_{max} = k \cdot A \cdot \ddot{y}_{omax} \text{----- (2)}$$

ただし、 $k = \begin{cases} 2 & \text{上階値} \\ 1 & \text{期待値} \\ 0.3 & \text{下階値} \end{cases}$

$$A = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \beta_i^2 \omega_i^2}{8 \sum_{i=1}^n \omega_i^2} \phi_i^2(x) \right]^{1/2}$$

(2)式を用いて最大応答量の推定を行なうと、ほぼ2倍前後の過大評価であることがわかった。この大きな原因の1つは、応答の成長に関するものであるが、この過大評価を修正するために T.K. Caughey & H.J. Stumpf の1自由度系の応答の成長に関する研究を用いて、修正した推定値を考へる。それは、つぎの(3)式で示される。

$$y_{max} = y_{max} \left\{ 1 - (\omega_0 \sqrt{1-R^2}) \exp(-2R\omega_0 t) \right\}^{1/2} \text{----- (3)}$$

ここで、 y_{max} ; 応答の成長を考慮し、過渡的部分の最大応答推定値

t ; 地震動の導先常部分の時間長

y_{max} ; 中屋の推定式による推定値

無修正の場合と修正した場合を示したのが、図-5, 6でこの両図からわかるように、無修正の場合には、推定値が2倍の直線の前後に点が分布し、修正を加えることにより、

(推定値/アナログシミュレーションによる値) = 1の直線に近づく、のてくることわかれる。このように、無修正に比較して、より精度の増した推定ができることがわかったが、それにしても十分とは常えず、今後の問題点としては、(1)地盤の非弾性的な復元力特性を考慮し、地盤と構造物の相互作用を明確にする。(2)構造物に作用する地震力を水平方向だけでなく、鉛直方向の加速度成分をも考慮する。(3)最大応答の定量的な評価において、地震特性、構造特性を十分に把握し、地震動スペクトルの時間的な変化について検討を加える必要がある。また、最大地盤加速度 $\ddot{y}_{omax}$ としてわかるような、より精度のよいパラメータを見出す努力が必要であると思われる。

参考文献

- 1) 藤原正宣 ; Simulation of nonstationary random process, Proc., ASCE, vol. 93, EM1, 1967
- 2) 中屋好昭 ; 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177号, 昭和45年11月
- 3) 徳島県土木部 ; 大土門橋震害調査報告書 (工部工), 昭和40年10月
- 4) H.J. Stumpf ; Transient response of a dynamic system under Random excitation, Journal of Applied Mechanics, Dec. 1961