

1-23 吊橋塔、及び橋脚の動的解析について

日本交通技術株式会社 正員・日置克幸
・ 高山弘美

1. まえがき

長大吊橋に於いて、その耐震安全性の問題は非常に重要であり、多くの問題を含んでいる。近年高速度電子計算機の発達により、地震時に於ける構造物の動的解析は容易になって来た。したがって、設計の方針が確立され、普遍性のある仮定が見出されれば、構造物の実際の振動状態を正確に知ることが出来る。ここでは、デジタル計算機を用いて、動的解析の方法を述べて計算例を示す。

2. 動的解析の手順

構造物は一般に連続体よりなり、振動学的には無限の自由度をもつ。このためコンピュータを用いる場合は、構造物を有限の質点系で表わすのが便利である。構造物を動的に解析する場合、その固有振動数を求めなければならない。固有振動数及び振動形を求めるための連立方程式をマトリックスの形で表わすと、

$$[(K_{ij}) - \omega_n^2 (M_{ij})] \{\phi_n\} = 0 \dots \dots \dots (1)$$

となる。ここに (k_{ij}) は剛度マトリックスで、たわみ影響係数より求められる、 (M_{ij}) は質量の対称マトリックス、 ω_n は n 次の振動数、 $\{\phi_n\}$ は n 次の振動形を示すベクトルである。

次に、実際の地震記録が与えられた場合に、その地震動が、構造物にどのような影響を与えるかを知る必要がある。ある構造物の手えられた地震加速度の時間的経過 $\ddot{x}_g(t)$ に対する動的変位 $Y_n(t)$ は、減衰を考えた構造物の振動数を減衰を受けない場合の振動数に等しい。即ち減衰率は非常に小さく、値があると仮定すると、その特定な地震動に対して次式を計算することによって得られる。

$$Y_n(t) = -\frac{R_n}{M_n \omega_n} \int_0^t \ddot{x}_g(\tau) e^{-\lambda_n \omega_n (t-\tau)} \sin \omega_n (t-\tau) d\tau \dots (2)$$

ここで、 $R_n = \{\phi_n\}^T [M_{ij}]$ 、 $M_n = \{\phi_n\}^T (M_{ij}) \{\phi_n\}$ 、前者は n 次の振動形が地震によって刺激される度合を示すものであり、後者は、一般化された質量である。地震加速度 $\ddot{x}_g$ は解析函数ではないので、(2)式の積分は数値積分によらなければならない。(2)式より $Y_n(t)$ は n 次の振動の時間 t における値を示すマトリックスとして得られ、ある時間 t に於ける質量 M の変位 x は n 次の振動に於ける相対変位のマトリックス $\{\phi_n\}$ を用いて、移動座標に変換出来る。即ち

$$\{x(t)\} = [\phi_n] \{Y_n(t)\} \dots \dots \dots (3)$$

質点の変位が求まると、曲げモーメント、せん断力は静力学的に容易に求めることが出来る。

3. 数値計算例及び結果の考察

計算例として、中央径間 850m 吊橋の塔、橋脚の動的解析を挙げる。この場合実際の構造物に近似させるための質点の数は応答に効果的な振動形の約 2 倍とすればよいと考えた。減衰定数は独断的に 0.05 とし、地震動は、1940 年 EL Centro (N-S) の記録の 1/2 のものを用いた。実際の計算には、

その架設地盤の地震記録が、或いは、その地盤の地盤特性によって補正されたものを用いるべきである。したがって、この計算結果は我々のものは全く異ったものであるかも知れない。しかし乍らたとえ別の地盤のものであっても、このような実際の記録を耐震設計に適用することは、従来の設計の合理及び非合理的面を再検討する意味に於いては有用であろう。又一度プログラムしておけば、地盤動の記録を入れ代えることによって実際の応答を得ることが出来る。

図-1は質点系、

また橋脚基部に最も大きな変位及び曲げモーメントを生ずるものである。これより2次及び3次のモードの影響、等していることが示される。尚橋脚各部の最大応力

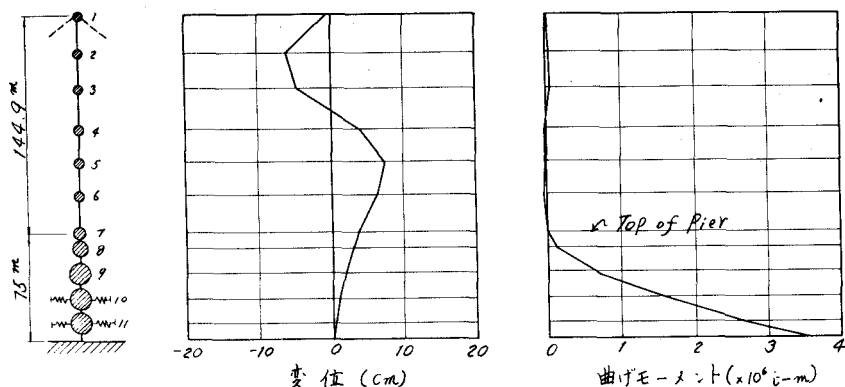


図-1 2.75秒後に於ける各点の変位及び曲げモーメント

を示す。この時刻に生じている。

表-1は塔、橋脚各部の最大応力度を示す。これより塔の上部の応力度が大きく、静的な計算と異った傾向を示すものである。構造物の応答解析を地盤加速度から求めるには、膨大な計算を必要とする。長大スパンの吊橋のように数少ない構造物ではこの程度の計算はやむを得ないかも知れないが、実際の設計を進める上からはもっと簡単な計算があれば、これに代わることはない。

ここで、Howser 教授の平均速度スペクトルの方法と比較をしたが、この方法では、剛度の大きな橋脚部では、十分な近似をし得るが、塔では相当の誤差を生ずる。又従来の水平震度法により、近似を試みた。この場合やはり、質量、剛性の大きな橋脚部分のみであれば十分近似し得るが、塔、橋脚を考えた場合は系統だった結果は得られなかった。

4. おまじ

以上動的解析の一例を述べたが、この方法を実際の設計に適用するには尚多くの問題を含んでいる。まず、地震波の入力パターンを如何に設定するかは先決問題であり、基礎地盤の特性、橋脚の周りの土の剛性、見かけの質量等どのように仮定するか、又、構造物自体の動力学的特性等が決められなければならない。これらに適切な仮定が与えられれば、先に述べた如く、構造物の実際の振動状態を正確に知ることが出来る。

POINT	最大応力度 kg/cm^2
2	-2246
3	-2015
4	-1432
5	-1678
6	-1402
7	-1683
7'	-13
8	-4
9	-16
10	-36
11	-56
12	-75