

(株)長大橋設計センター(正) 大月 哲
同上 (〃) 青柳 史郎

(1) まえがき

先に、講演者の一人が長大吊橋の地震応答解析について論文⁽¹⁾を公にしたが、本稿はそれを補足するものである。先の論文では橋軸線を含む鉛直面内での地震応答を上下部一体構造の力学モデルについて、影響線マトリックスをもとに解いた。すなわち次の振動方程式をもとにした。

$$\alpha = \Phi y + F_0 z_0$$

$$FM\Phi\ddot{y} + \Phi y = -FMF_0\ddot{z}_0 \quad (1)$$

ここで α : 質点絶対変位のベクトル, Φ : モードマトリックス, y : 一般化座標, F_0 : 基礎の単位変位に対する質点変位の影響マトリックス, z_0 : 基礎の変位ベクトル, F : 質点変位の影響マトリックス。

変位の影響マトリックス F の内、ケーブルと補剛桁の鉛直変位 η の項を次の(2)式で表した。

$$\eta = H\eta_H + N\eta_N + P\eta_P \quad (2)$$

ここで H : ケーブル水平張力増分, N : ケーブルに作用する水平外力, P : ケーブルと補剛桁に作用する鉛直外力, また η_H , η_N , η_P はそれぞれ単位 H , N , P が単独に作用したときの影響線であり、くわしくは文献⁽¹⁾を参照されたい。しかしこの(2)式は正確には、

$$\eta = H\eta_H + N\eta_N + (P - \gamma'N)\eta_P \quad (3)$$

でなければならぬ。これはケーブルに作用する水平力 N が橋点での力の釣合から必然的にハンガー張力 $(-\gamma'N)$ の変化を生じ、これが鉛直外力 P に付加されることによるものである。なお γ' はケーブルの死荷重的分配で、センタータイ位置では0である。したがってセンタータイにのみ水平力を想定した先の論文の数値解には影響をおよぼさない。ここに間違いを正し、おわけする。

(2) 各次モード減衰係数の設定

モード重は正規化されていて、その各次モード ϕ_i は

$$\phi_i^T M \phi_i = \sum_j M_j \phi_{ji}^2 = \sum_k a_{ki} = 1 \quad (4)$$

を満足する。振動系をいくつかの構造部分に分け、(4)式をそれぞれの構造部分 k で合計 a_{ki} に分割すれば、 a_{ki} は i 次モードでの振動エネルギーが各部分にどのように分配されるかを意味する。一般に a_{ki} は1構造部分に集中する傾向をもつことから先の論文では最大の a_{ki} をもつ構造部分に与えられる減衰係数 k_{ki} をもつ i 次モードの減衰係数 k_i とする方法を提案したが、構造部分間で強い連成を示すモードで上記の傾向を示さない場合も生じるので次の方法がよいと考える。すなわち i 次モードの減衰係数 k_i を次式で求める。

$$k_i = \sum_k k_{ki} a_{ki} \quad (5)$$

また地震応答を応答スペクトル S_i を用いて求める場合、減衰係数 k_{ki} に対して与えられるスペクトル S_{ki} から各次モードのスペクトル S_i は次式で逆求できよう。

$$S_i = \sum_k S_{ki} a_{ki}$$

(6)

(3) カ学モデルの改善

先の論文では、ケーブルと補剛桁の橋軸方向横力は中央径間に於いてだけセンタータイに集中的に作用するとしたが、実際的でないで図-1に示すようなモデルに改良してみた。すなわち○印で示す支点は水平方向と同軸方向とに自由度をもつ剛体であり、●印は鉛直方向に自由度をもつ支点である。また○印で示した支点は水平方向横力をもつとした。ハンガーは伸びないとしているのでケーブルに作用する鉛直方向横力は補剛桁のそれに含むと考える。補剛桁の軸力はセンタータイを介してケーブルに伝えらる。側径間補剛桁に作用する水平方向横力は無視した。

中央径間長 1100m の 3 径間 2 ヒンジ 吊橋についてカ学モデルのちがいの影響をみてみた。ケーブル水平張力、補剛桁軸力は外ではあまり大きな差は生じていない。平均速度応答スペクトル（減衰常数、下部：0.05、上部：0.02）を用いて 4 個の基礎に独立な地震波が作用した場合の両者の主なちがいをみると表-1 のごとくである。すなわち応答値はベクトル和の形で求めたものを表示した。表-1 からみて、ケーブル水平張力は死荷重張力 54500t に対し約 14% 増となっている。センタータイ位置での張力差 7772t は悪文詳細であったが、3162t すなわち補剛桁軸力約 1600t（1 橋当り）が生じるとした方がよいと考えらる。

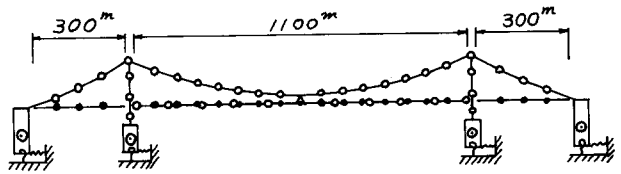


図-1

表-1

(単位: ton)

着目量	旧モデル	新モデル
ケーブル水平張力増分	6561	7544
各径間ケーブル水平張力差	2091	2080
センタータイでの張力差	7772	3162

(4) 過渡現象について

1 基の吊橋基礎から入力される地震の影響が各構造部分に十分な形でゆきわたるのにどの程度の時間を要するかは、地震現象のタイムスケールとの関連が興味あるところである。吊橋における過渡現象を調べるための手段として、1 基の基礎に与えられる単位変位の影響がどのような時間的経過で各部の応答として現れようかを見る方法も有効であろう。基礎Kがスラック程度数の強制変位をうけるときの注意着目量の応答は各次モードの減衰常数 h_i を考慮して

$$z = f_{ok}^0 - \sum_i \phi_i^0 \frac{R_{ik}}{\sqrt{1-h_i^2}} \cos(\sqrt{1-h_i^2} \omega_i t - \theta_i) \quad (7)$$

$$R_{ik} = \phi_i^T M f_{ok} \quad , \quad \tan \theta_i = h_i / \sqrt{1-h_i^2}$$

ただし f_{ok}^0 : 基礎Kの単位変位(静的)による着目量 z の変化, ϕ_i^0 : 着目量 z の i 次モード, f_{ok} : F_0 のK列ベクトル。

(7) 式の数値計算例は当日報告より予定である。

[引用文献] (1) 青柳史郎: 地震動の位相差を考慮した長大吊橋の地震応答について, 土木学会論文報告集, 第190号, 1971年6月, P37~48。