

I-183 橋軸方向地震動のもとでのフリ橋の振動について

(株)長大橋設計センター 正員 大月 哲
埼玉大学工学部 正員 ○東原 絳道

1 研究の概要

長大フリ橋の地震応答解析の前提となる振動モードの分析を、上部工のみならず下部工をも含む全体系に対して行なう。入力地震として水平橋軸方向を想定し、橋軸面内の振動のみを対象とする。一般に下部工の振動は上部工よりも著しく短周期であるため、両者の相互作用は、全体系の比較的高次のモードとして取り出される。これを用いて考察を進める。

2 問題の提起

長大フリ橋の振動に関しては、小西らによる研究⁽¹⁾やHousnerらによる研究⁽²⁾があり、いずれも上部工に対する振動モードの分析を行なう他、前者では地震応答まで求めている。しかし下部工は考察の対象外とされている。上部工と下部工を分離する方法はそれなりの根拠を有しており、その結論は十二分に意義あるものと言えるが、この方法では不可避免的に消去されてしまう上部工と下部工との相互作用の中に警戒すべき有害なモードが存在しないかどうかの検証、もしくはその相互作用の程度と態様の定量的把握への要求はきわめて自然なものと言えよう。この問題は適切に定式化された全体系の同時解析によって最も自然に解決される。もとより何が何でも多くの要因を一括処理すればよいとする考えは少なくとも工学的には誤りであって、本研究が実用上の意義をもちうるためには、上部工と下部工との相互作用の中に注意すべきモードが存在することの蓋然性が、少なくとも定性的に承認されるのであればならない。この考察は全体系のモデル化のためにも不可欠のもので、本研究の序論を成すものであるが、説明の都合上、まず解析の方法を述べることにし、その概念を用いてあらためて議論することにする。

3 解析上の仮定

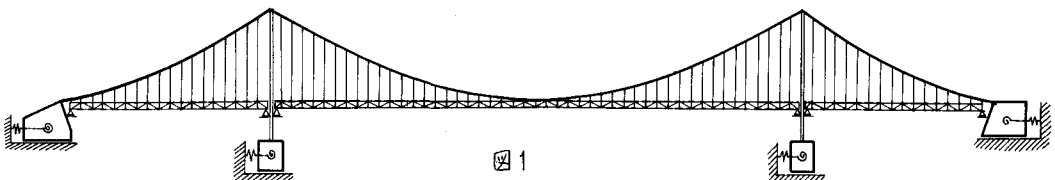
まず上部工に対して次のような仮定をおく。これは現代のフリ橋理論の定説と言えるものである。

- (1) 死荷重強度は各径間毎に一樣である。
- (2) ケーブル水平張力の変化量は死荷重時張力に比して無視できる（線型たわみ理論）。
- (3) 主塔の鉛直方向伸縮は無視できる。
- (4) 各径間で吊材間隔は一樣で、吊材間で補剛トラスの断面剛性は一定である。
- (5) 吊材の伸びは無視できる。
- (6) 吊材の傾きによる応力は無視できる。

次に下部工に対して次のような仮定をおく。

- (7) アンカーブロックおよび橋脚は剛体と見なしうる。
- (8) 地盤反力は線型である。

したがって、各下部工は、その重心に水平ばねと回転ばねを有する剛体として表示され、全体系は図1のようになる。なお本報告では3径間単純支持型式を例にとりて図解する。



4 解析の方法

後述のように賦与した変位の自由度 $\{u\}$ に対して、質量マトリックス $[M]$ と剛性マトリックス $[K]$ を求める。両者ともに正値対称であるため、適当なマトリックス $[\Phi]$ が存在して、次のようになる。

$${}^t[\Phi][M][\Phi]=[I] \quad \text{かつ} \quad {}^t[\Phi][K][\Phi]=[D]=\text{対角型}$$

このとき $[D]$ の対角成分が固有振動数の2乗を与え、それに対応した $[\Phi]$ の列ベクトル $\{\phi\}$ がその振動モードを与える。また一般化質量 ${}^t\{\phi\}[M]\{\phi\}$ は連成状況を表示する。これは定石じおりのモード分析であり、多くの解法があるが、高次モードを精度よく求める必要があるため、然るべき配慮を要する。

剛性マトリックスを手際よく求めるには、図2に示す分割によるsubstructure-synthesis手法が適している。この概念は内部連成問題に対する理論的基礎でもあって、結果の考察にも効果的である。

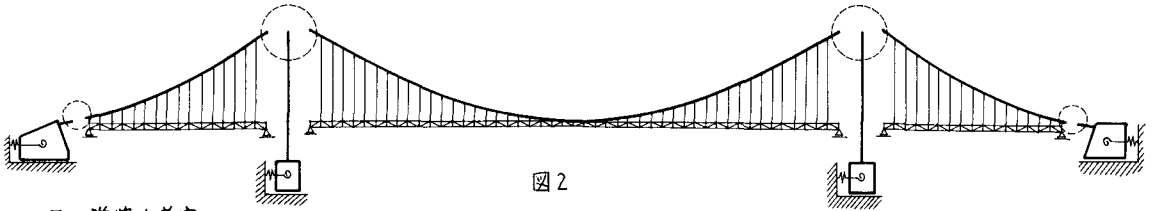


図2

5 準備的考察

各substructureに着目すると、それは固有振動数を有している。これが全体系に合成される際に modal synthesisが生じるので、全体系の振動モードは部分系のモードの単なる重畳ではないが、両者はなお密接な関係を有し、全体系のモード分析は、この両者の関係を問うことによって最も見透しよく遂行される。

いまつり橋の諸元を現実的に設定すると、上部工各substructureと下部工各substructureとの間には、明瞭な基底固有振動数のギャップが存在し、後者の方が高い。したがって両者の間には低次モード同士の相互作用は小さく、連成振動の場合の上部工はかなり高次のモードである。すなわち変位の大きさは問題ないと考えられる。しかし加速度の大きさは問題で、定性的には十分大きい加速度の出現が推測される。それは下部工substructureの固有振動帯とケーブルの橋軸方向振動の固有振動帯が接近しているためで、直截な表現を用いれば、アンカースロックに加えられた入力があるに主塔に伝達される虞れがあるのである。この点については詳細な定量的検討が必要と言えよう。

6 自由度の賦与

前述のように、対象とすべき振動が上部工にとって比較的高次のモードであること、またそのモードではケーブルの橋軸方向振動の寄与が大きいことを考慮して、図3のように自由度(質量点)を配する。

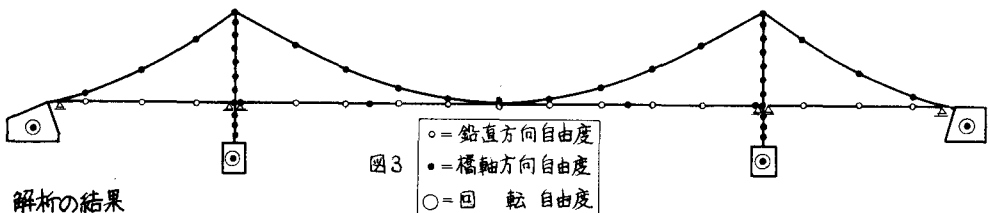


図3

7 解析の結果

現実的な諸元を与えたケーススタディを行ない、低次モードについては前掲の論文に類似した結果を得ると共に、概ね20次以上の高次モードにおいて、5で予想した振動モードを見出し、定量的な検討を加えた。結果の詳細については当日説明する。

8 参考文献

- (1) 小西・山田・高岡: 長大つり橋の地震応答と耐震設計法に関する研究, 土論159号(1968)
- (2) Abdel-Ghaffar・Housner: Vibrations in Suspension Bridges, 6WCBE(1977)