

東北電力 正員 ○鈴木一広
 東北大学工学部 正員 倉西 茂
 東北大学工学部 正員 中島章典

1. はじめに

近年、吊橋の鉄道橋としての実用性が証明され、本州四国連絡橋の中にもいくつかの鉄道吊橋が出現しようとしている。本研究は、鉄道吊橋として最も有利な補剛形式である連続吊橋に、列車荷重、特に新幹線荷重を想定した走行荷重が載荷された時の挙動を解明しようとしたものである。

2. 解析方法

幾何学的非線形性を考慮した修正荷重増分法に、Newmarkの β 法を適用した数値積分法を用いて、平面骨組構造としてモデル化した連続吊橋の応答計算を行った。

構造計算は一般的な有限要素法の手順に従い、ケーブル及びバランガーは、初期張力による剛性を考慮したトラス要素に置換した。

3. 解析モデル

対象とした吊橋は、図-1に示すような三径間連続補剛トラスを有する吊橋で、径間比は0.4、サグ比が

0.085、死荷重による主ケーブルの水平反力は21400 ton となっている。また補剛係数は15.1である。載荷した走行荷重は、新幹線荷重の3.8 ton/mを補剛トラスノール分まとめて集中荷重に置換して152 tonとした。ここでは、特に断わらない限り、この集中荷重を、一定速度で補剛桁の一端から一端へ移動させて求めた応答を示してある。また、160 km/hは新幹線の設計速度である。

4. 走行荷重を受ける連続吊橋

図-3は、補剛桁の鉛直変位曲線である。縦軸は応答、横軸は添付した吊橋略図に示すような、走行荷重の通過位置である。破線は荷重に速度を与えずに移動させた時の応答、つまり静的な応答曲線である。この図より、補剛桁のたわみ振動と応答の増幅が観察できるが、ここで、次式のように二種類の動的増幅率を定義する。

$$\text{増幅率 } A = \frac{(\text{動的応答値})_{\max}}{(\text{静的応答値})_{\max}} - 1$$

$$\text{増幅率 } B = \frac{(\text{静的応答値})_{\max} + (\text{振幅})_{\max}}{(\text{静的応答値})_{\max}} - 1$$

側径間補剛桁の鉛直変位(図-3のa点)に関して、この二つの増幅率を計算し、走行荷重の速度との関係を示すと、図-4と図-5のようになる。この連続吊橋の振動モードは図-2に示すとおりであるが、ここで1次モードを仮定し、さらに側径間のモードのみに注目すると、固有周期と載荷周期の関係から、増幅率は約300 km/hで極大となると予想できる。図-4では約150 km/hで極大が現れてお

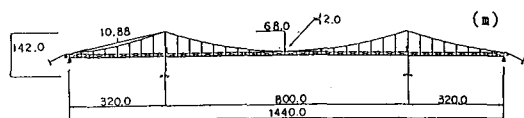


図-1 解析モデル

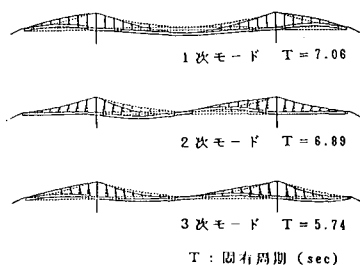


図-2 振動モード

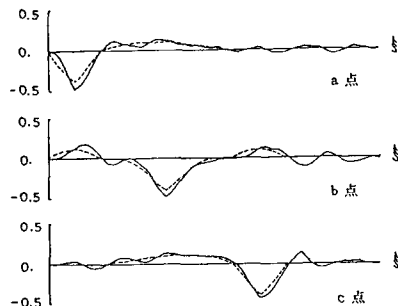
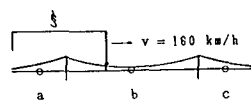


図-3 補剛桁鉛直変位応答 (m)

り、系の振動の複雑さを示しているが、それでもなお、走行荷重は側径間から侵入してくるために、側径間の応答が比較的純粋に動的増幅を受けることがわかる。

図-5には、新幹線の列車長分だけ前述の集中荷重を連ねた進行荷重の場合を示してあるが、荷重強度が大きくなる分応答も大きくなるが、増幅率は集中荷重の場合より小さくなる。

この連続吊橋の最も短いハンガーは、中央径間中央のハンガーであるが、この中央ハンガーの傾斜応答曲線を図-6と図-7に示してある。傾斜は、(ケーブルの高さ)/(水平変位の差)で示している。ハンガーの傾斜は、主ケーブル補剛桁の水平変位量の差から生じるものであるが、この水平変位応答を、ケーブルと補剛桁の格点について図-8に示した。右向きの水平変位^{プラス}として示してある。ケーブルは、補剛桁のような周期を持った水平振動を起さないため、ケーブルと補剛桁の間に配置されたハンガーに傾斜が生じるわけである。当然のごとく傾斜は軒材長の短いハンガーに大きく現れ、張力を増大することが確認されている。このような傾斜振動をハンガーが繰り返すと、ハンガー取り付け部にせん断力が集中したり、また疲労という問題が生じてくる。この連続吊橋では、タワー支承として吊下げ形式のタワーリンクを用いているが、このタワーリンクも傾斜振動を起し、反力を増大することがわかっていてる。

このハンガーの傾斜という現象は、いわゆるたわみ度理論では考慮が困難であるし、またこれまでにあまり注目されなかった項目であるが、本研究の結果、この現象を定量的に把握することができた。

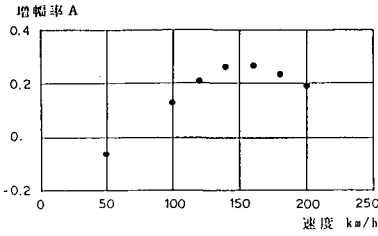


図-4 動的増幅率 (A)

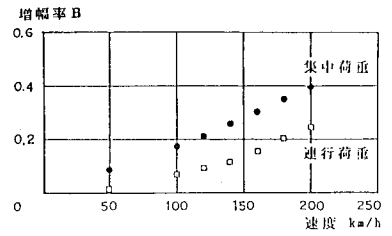


図-5 動的増幅率 (B)

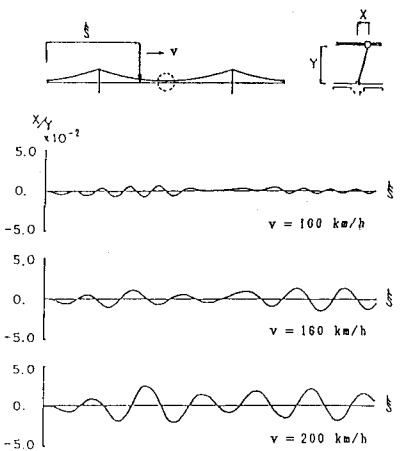


図-6 中央ハンガーの傾斜応答

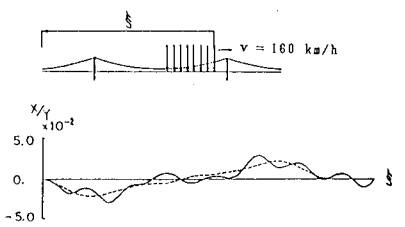


図-7 中央ハンガーの傾斜応答

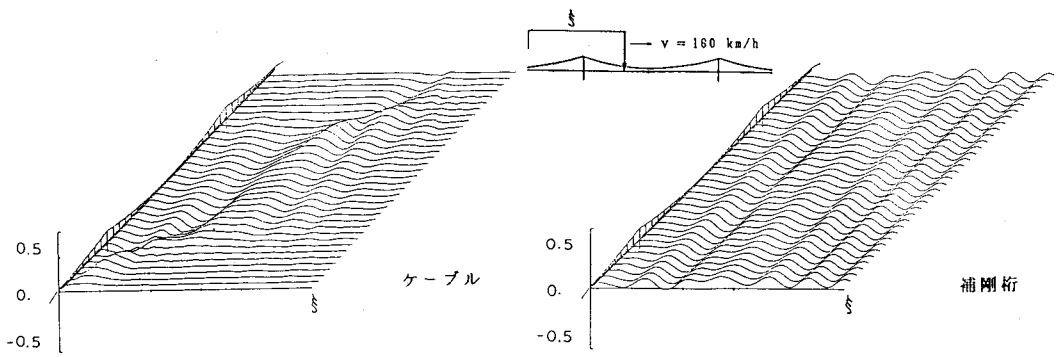


図-8 ケーブルと補剛桁の水平変位応答 (m)