

走行荷重を受ける連続吊橋について

東北大学工学部 学生員 ○鈴木一広

東北大学工学部 正 員 倉西 茂

1. はじめに

吊橋は 長スパンの橋を経済的に架けようとする時最も有利な橋梁形式であることは言うまでもない。しかし、吊橋は活荷重による変形が大きく しかも振動性状は複雑であり、鉄道橋としての使用は敬遠されつけてきた。だが、近年鉄道橋としての吊橋の実用性が証明され、本州四国連絡橋に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を有する連続吊橋に、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。構造解析は一般的な有限要素法の手順に従った。ケーブル及びハンガーは、初期張力による剛性を考慮したトラス要素に置換してある。

3. 解析モデル

研究対象とした吊橋は、図-1 に示すような三径間連続補剛トラス橋を有する吊橋である。径間比 0.4 サグ比 0.085、死荷重によるケーブルの水平反力は 21400 ton である。また補剛係数は 15.1 である。載荷した走行荷重の大きさは、新幹線荷重の 1 パネル分を集中荷重に置換して 152 ton とした。走行速度は、新幹線の設計速度である 160 km/hour を標準としている。

4. 走行荷重による連続吊橋の振動

図-2 は 走行荷重の速度が 160 km/hour の時の補剛桁の曲げモーメントの応答曲線である。縦軸は応答値であり、横軸は荷重の通過位置を表わし、添付した吊橋略図と対応するようになっている。破線は、静的な荷重載荷による応答を表わしている。補剛桁の曲げモーメントは 補剛桁の鉛直たわみでほぼ決定される。つまり、走行荷重の速度効果によって増大した補剛桁の鉛直たわみ量から、このように補剛桁の曲げモーメントを増大させている。

また図-4 には この補剛桁の曲げモーメントの動的増幅率と走行荷重の速度の関係を示してある。ここで、動的増幅率とは次式で定義するもので、示力書等で示されているところの衝撃係数とは正確には意を異にする。

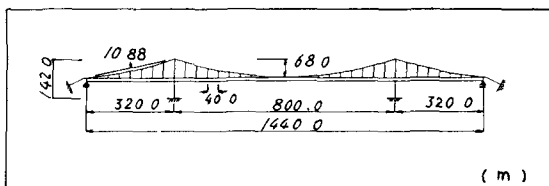


図-1 連続吊橋モデル

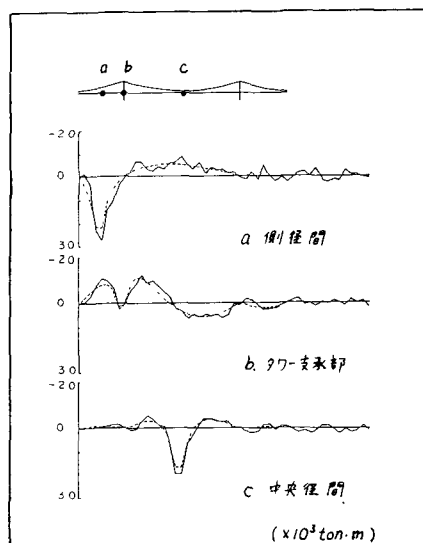


図-2 補剛桁曲げモーメント応答

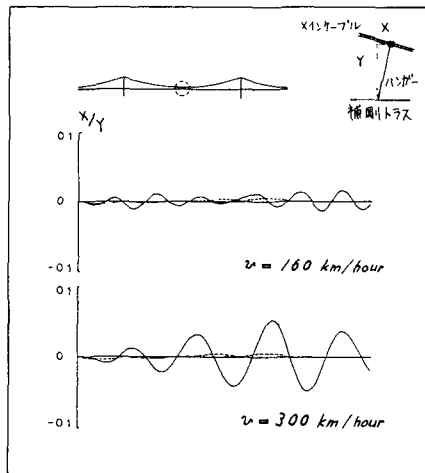


図-3 ハンガー傾斜応答

$$i = \eta_{dmax} / \eta_{smax}$$

ここで、 η_{dmax} と η_{smax} は、それぞれ走行荷重の載荷による応答と、静的載荷による応答の最大値である。走行荷重はその性格上、常に側径間から載荷が始められる。したがって、吊橋のような複雑な構造系では、各点変化等から振動パターンを判別することは困難であるが、走行荷重が側径間にある時には、比較的純粋な応答の動的増幅効果を示すと思われる。よって側径間への載荷パターン及び側径間の振動モードが、吊橋全体の挙動を左右すると言える。

図-3は、中央ハンガーの傾斜の応答を示している。従来ハンガーの傾斜は微小なものとして無視され、また、現在もなお吊橋の基礎理論であるたわみ度理論においては考慮することができない項目である。しかし、有限変形を考慮した全体解析の結果、確実にハンガーは傾斜し、しかも走行荷重の載荷を受けると、5~6度の角度で傾斜振動をくりかえすようになる。図-6には、このハンガーの傾斜の動的増幅率が示されているが、走行荷重速度が300 km/hourまで著しく増大している。また、図-5からこれに伴ってハンガー張力も増大することがわかる。よって、走行荷重により、ハンガーがこのような傾斜振動をくりかえすと、基部に発生するせん断力及び疲労により、ハンガー切断という事象がおこる可能性がある。

このハンガーの傾斜は、補剛桁か橋軸方向に水平変位をしていることも示している。図-7には、側径間の補剛桁端の水平変位の増幅率を示してある。これの実際の値は、両振幅で10 cm ~ 20 cmに及び、実橋では、列車の走行性を著しく低下させると思われる。

ここに示した各動的増幅率の図を見ると、ある走行荷重の速度で極大値となることかわかる。これは、走行荷重の動的効果であるZimmermann効果であると考えられる。走行荷重の速度が200 km/hour特に、300 km/hourをこえるような場合、あまり実際のとは言えないが、これは、Zimmermann効果を確認するために、このような速度を設定したものである。この結果、連続吊橋にも、この動的効果は現れ、変位及び応力の応答は、走行荷重の速度の増加によって必ずしも増大するわけではないことが証明された。

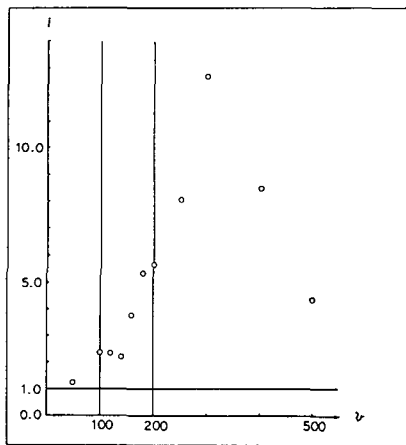


図-6 ハンガー傾斜の増幅率

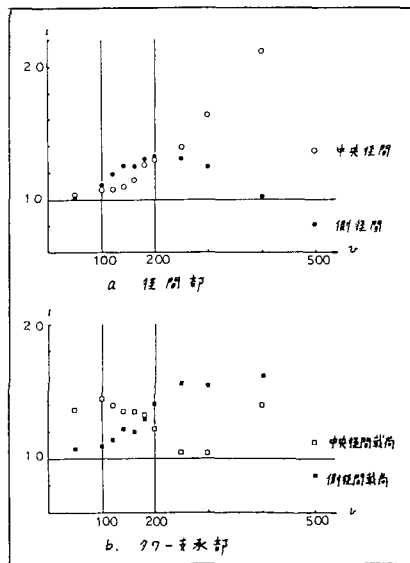


図-4 補剛桁曲げモーメントの増幅率

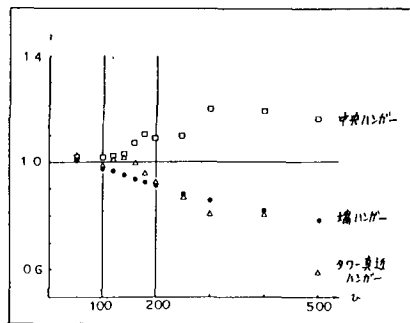


図-5 ハンガー張力の増幅率

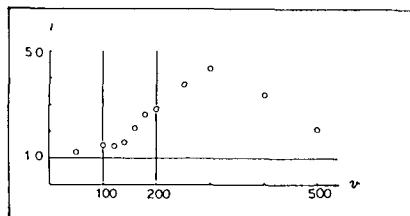


図-7 桁端水平変位の増幅率