

建設省土木研究所 正員 横山功一
 建設省土木研究所 正員 佐藤弘史
 建設省土木研究所 正員 ○福田 誠

1. まえがき

箱桁橋は、一般に吊橋や斜張橋に比べ剛性が高いため、耐風性が問題となるようなことは従来ほとんどなかった。しかしながら、箱桁橋もスパンが長大するに従い、鉛直たわみ振動数が斜張橋と比較しても同程度のものとなる為、耐風性の検討が必要となってきた。

箱桁橋では、ねじれモードの固有振動数と鉛直たわみモードの固有振動数との比が高く、ねじれモードの振動の発現風速がかなり高くなるため、鉛直たわみモードの振動に対する耐風設計が重要となる。本研究では、3次元および2次元模型実験を行い、高風速における鉛直たわみ振動におよぼす風の乱れの影響を検討した。実験の対象とした橋梁は、4径間連続箱桁橋(149m+189m+189m+149m)であり、1次の鉛直たわみ振動数は、0.40 Hz である。図-1に断面形状を示すが、桁高は橋軸方向に変化する。

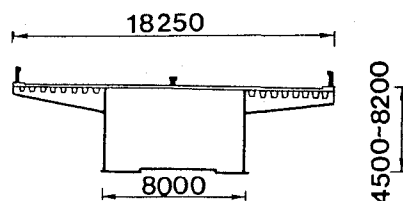


図-1 断面形状

2. 3次元模型実験

縮尺 1/120 の3次元弾性模型を用い、一様流中および乱流中で風による振動を測定した。乱流の主流方向の乱れ強さ I_u は 9.7%、鉛直方向の乱れ強さ I_w は 7.8% であり、その特性は、草原あるいは農地における自然風をほぼ相似させたものとなっている。実験より得られた応答と風速との関係を図-2に示す。図中の振幅は実橋換算約7分間の観測データにおける振動変位の標準偏差を橋桁幅員で除して無次元化したものである。

低風速においては一様流中および乱流中で渦励振が発生し、また、高風速においては一様流中では風速 3.5 m/s 以上から振幅が急激に増加し、乱流中では風速とともに振幅が徐々に増大している。振動波形は一様流中では規則的な正弦波であったが、乱流中では不規則な波形であった。

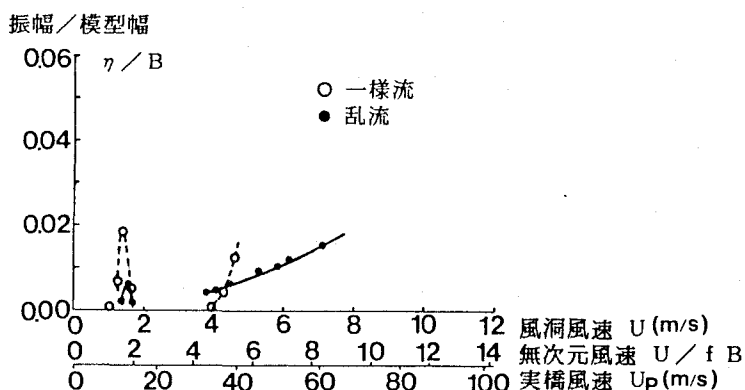


図-2 風速-振幅曲線

3. 2次元模型実験

縮尺 1/60 の2次元剛体模型(実橋中央径間 1/6 点の断面を模型化した)を用い、慣性力を機械的に除去し、一様流および乱流中で模型を模型幅の 1% の振幅で強制加振させた場合と静止させた場合について変動揚力を測定した。使用した乱流の I_u は 6.2%、 I_w は 5.0%、乱れのスケールは模型幅の 1/3 程度であり、高風速領域では穏やかな海上に相当するパワーをもった乱流となっている。模型を加振させた場合にはその変位も同時に測定し、空力減衰を計算した。模型の無次元質量(模型の質量を

空気密度と模型幅の2乗で除したもの)に空力減衰を掛けたもの(以下 $M*\delta$ と略す)と無次元周波数(周波数 f に模型幅 B を掛けて風速 U で除したもの)の関係を図-3に示す。また、静止模型に作用する揚力のパワースペクトル(揚力を動圧、模型幅、模型長で無次元化したもののパワースペクトル)を図-4に示す。

4. 考察

4.1. 一様流中の振動について

3次元実験では、図-2に示したように $U/fB \geq 5$ で振幅が急激に増加するが、図-3に示したように $fB/U \leq 0.2$ で $M*\delta$ は負になっており本橋の無次元質量(31.6)、構造減衰(0.02)を考慮すると、空力減衰と構造減衰の和は負となる。したがって $U/fB \geq 5$ の振動は自動的な空気力により発現した鉛直たわみ振動、すなわちギャロッピングであると考えられる。

4.2. 乱流中の振動について

図-3に示したように $fB/U \leq 0.12$ では、 $M*\delta$ は正であり、図-4に示したように静止模型に作用する変動揚力は乱流中で著しく増大する。さらに乱流中では振動が不規則であることから乱流中での振動は自励振動ではなく接近流の乱れあるいは橋桁背後の渦により生じた変動空気力に起因する強制振動であると考えられる。また、2次元模型実験で用いた乱流の $fB/U \approx 0.1 \sim 0.2$ におけるパワーは高々穏やかな海上における自然風の乱れ程度であることから、本橋のような断面形状の箱桁橋では比較的小さな乱れでもギャロッピングは発現しにくくなるといえる。以上の事項から箱桁橋の耐風設計においては、強制振動を考慮することが重要であると考えられる。

5. まとめ

箱桁橋の高風速における鉛直たわみ振動におよぼす乱れの影響を調査するために、3次元模型および2次元模型を用い風洞実験を行った。その結果、一様流中ではギャロッピング(鉛直たわみモードの自励振動)が発現するが、乱流中ではギャロッピングは発現しにくくなり、強制振動が発現することが明らかとなった。したがって箱桁橋の耐風設計にあたっては、乱れの影響を考慮することが重要であり、強制振動に対しても留意する必要があると考えられる。

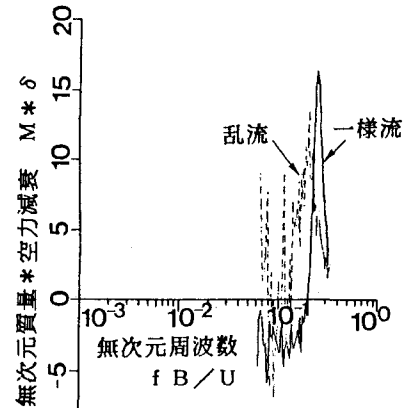


図-3 空力減衰

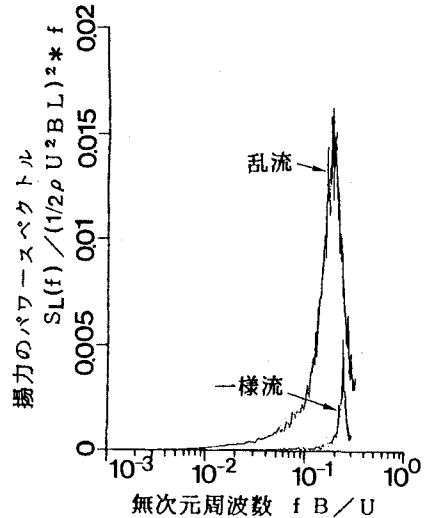


図-4 揚力のパワースペクトル