

I-306 渦励振における部分模型による風洞実験法に関する考察

徳島大学工学部 正員 長尾文明
徳島大学大学院 学生員 高島秀明徳島大学工学部 正員 宇都宮英彦
鴻池組 寺岡 潔

1. まえがき 長大橋梁等の耐風安定性を検討するための風洞実験は、部分（二次元）模型を使用するのが一般的である。筆者らは、桁高幅員比 $B/D=2$ の矩形断面を用いて自由振動法により、二次元(2D)模型と、全橋模型の特性を持つ三次元(3D)模型（タウトストリップ模型を用いた）のたわみ渦励振応答特性を調べ、3D模型の応答を2D模型に作用する空気力の振幅依存性を考慮して推定したが、実測値と推定値は必ずしも一致しないことを示した¹⁾。これは、なんらかの三次元的流れの存在が応答に影響を与えていると考え、模型表面の非常圧力測定、ならびに流れの可視化を行い、三次元的流れの有無、またその影響について考察し、部分模型による風洞実験法の有効性を検証する。

2. 実験方法 非常圧力の測定、流れの可視化とも強制振動法により、2D模型の場合、バネ支持形式で模型を平行移動させるように加振し、3D模型の場合、三次元特性を与えるのに簡単に都合のいい方法である一端をヒンジ固定した片持形式とし、可視化実験は、スモークワイヤー法にて行った。

3. 流れの可視化による結果 実験は、参考文献1)に示す応答図（図5）の最大振幅発現風速 $V/fD=5.0$ において、換算振幅 $A/D=0.20, 0.14$ （最大振幅）、 $0.09, 0.05$ の計4通り行った。結果として3D模型を用いた場合、2D模型を用いた場合見られなかった、重要と思われる橋軸方向の流れが2通り見られた（写真1）。一つは、前縁付近での弱い流れ（ $A/D=0.20, 0.14$ の大振幅の時見られ、 $A/D=0.09, 0.05$ と振幅が小さくなるにつれて不明確で見られなくなる）である。これは模型振動変位の上死点を位相角 $\omega t=0^\circ$ （下死点 $\omega t=180^\circ$ ）とし、一周期を $\omega t=360^\circ$ と定めると、 $\omega t \approx 85^\circ \sim 135^\circ$ で、前縁から $B/4$ 付近より、小振幅側から大振幅側への速くて小さい流れが認められ、これ以降、大振幅側へ移動することなく流下し、 $\omega t \approx 350^\circ$ で後縁側から離脱する。これは、剥離バブル内で生じており、前縁から剥離によって生じたものかどうか定かでないため、ここではこの渦を、バブル内二次渦と呼ぶ。もう一つは、中央付近から後縁にかけての強い流れである。これは、 $\omega t \approx 170^\circ \sim 50^\circ$ で前縁側に巻き込む渦（再付着点付近での剥離流の死水領域への巻込による渦：ここではこれを再付着渦と呼ぶ）が生じ、この時点で橋軸方向への流れはないが、 $\omega t \approx 70^\circ$ でこの渦が小振幅側から大振幅側へ流れ始め、これより大振幅側へ流れながら側面上を流下し、 $\omega t \approx 250^\circ \sim 270^\circ$ で離脱する。この渦は A/D が大きいほど前縁で形成される（図2、例えば、 $A/D=0.14$ のとき、前縁より約 $2B/5$ ）。

4. 圧力測定結果を用いた流れの考察

各振幅における、2Dの瞬間

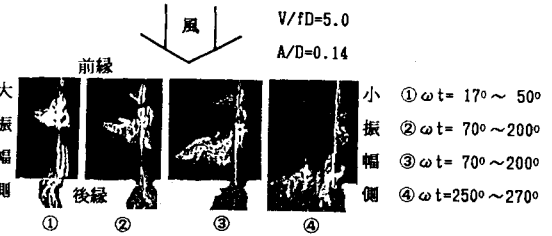


写真1. 側面を流下する渦（三次元状態）

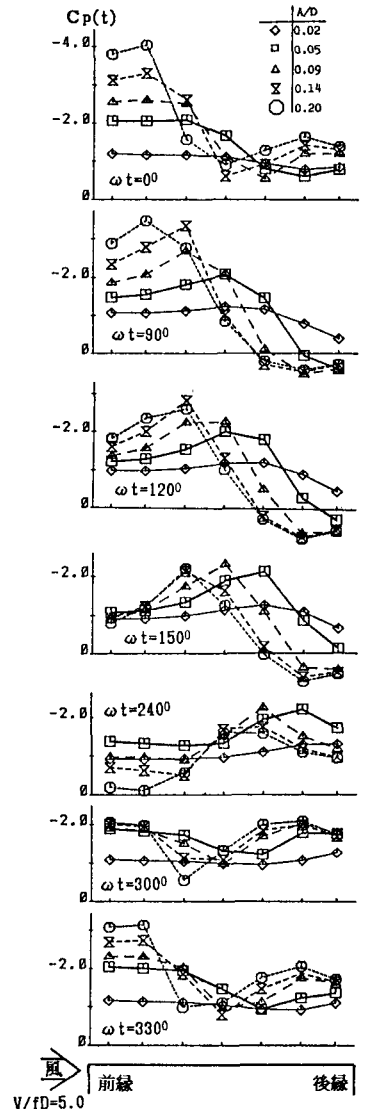


図1. 各振幅における2Dの瞬間圧力分布

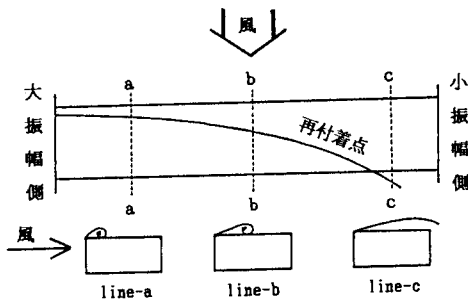


図2. A/D の違いによる再付着点の様子

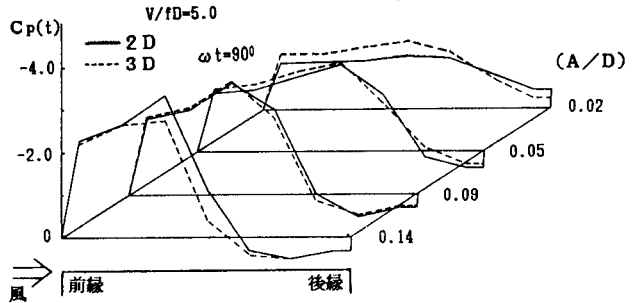


図3. 各振幅における2Dと3Dの瞬間圧力分布の比較

圧力分布を図1に示す。これは、2D模型を用いて、 $V/fD=5.0$ で図中に示す各振幅に対する幅員方向の各測点の瞬間圧力 $C_p(t)$ （各 ωt に対する圧力）の分布である。これと可視化実験による結果より前縁部の剥離バブルの形成、バブル内二次渦、および再付着渦等が表面圧力を支配していると考え、橋軸方向の流れの発生過程を考える。まず、バブル内二次渦の流れを考える。橋軸方向に流れが生じる前縁部において、 A/D が大きいほど負圧が大きくなっている。一般に、圧力が高いところから低いところへ向って流れが生じることより、ここで大振幅への流れが生じると考えられる。つぎに、再付着渦の流れを考える。まず、渦が発生したとき、橋軸方向に再付着渦を連ねた管状の閉じた空間が存在すると考える（図2）。この空間の大振幅側では、曲率の大きい巻込が起こり、圧力が著しく低下するのに対し、小振幅側では、静止時の圧力分布に近い状態にある。このため、大、小振幅間に大きな圧力差が生じ、この結果、大振幅側への強い流れが起こる。ここで、各振幅における再付着点の位置（再付着渦の生じる場所）を2Dと比較すると、大振幅側の影響ですべて若干前縁側に移動していることが考えられる。これは、例えば、 $\omega t=90^\circ$ における瞬間圧力分布を2D, 3Dで比較すると（図3）、大振幅側において、2Dより3Dでの圧力回復が前縁側で生じていることより明らかである。図4は、2Dと3Dにおける非定常圧力の変位との位相差 ϕ を示したものであり、後縁側において3Dの位相遅れが大きくなっている。後縁側の変動圧力振幅は、可視化によると、バブル内二次渦の流下に対応している。このことより、位相の大きな遅れは、再付着点の上流側への移動の影響を受けていると考えられる。非定常圧力測定結果に基いた3D応答の推定値も図5に示す。3Dの実測値¹⁾を3D状態での非定常圧力測定値より求める（3Dの計算値）と、やや過大評価ではあるが、その特性をよく示している。一方、2Dによる推定値は、最大応答発生風速が異なっている。

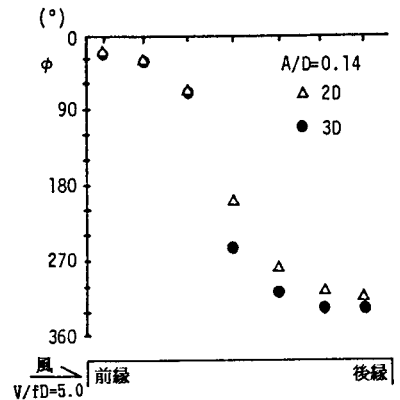


図4. 2Dと3Dにおける非定常圧力の変位との位相差の比較

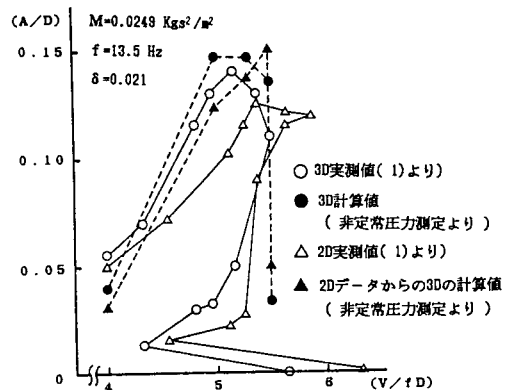


図5. 応答図

値¹⁾を3D状態での非定常圧力測定値より求める（3Dの計算値）と、やや過大評価ではあるが、その特性をよく示している。一方、2Dによる推定値は、最大応答発生風速が異なっている。

5. 結論 以上より、3D模型においては、橋軸方向の流れが存在する。そしてこれにより圧力分布の変化が起こり2D模型と異なる応答特性を示すものと考えられる。現段階で用いられている部分模型を用いた3D応答の推定では、この橋軸方向流れを無視していることより推定誤差が生じる可能性がある。

<<参考文献>>

1) 宇都宮英彦：部分模型の有効性に関する基礎的研究、昭和60年度 風工学会年次研究発表会 梗概集