

橋梁断面に作用する静的空気力の2次元・3次元解析の違いに関して

中央大学 正員 平野 廣和* 中央大学 学員 渡邊 茂

1 はじめに

近年の急速な計算機性能や計算手法の向上に伴い、数値流体解析が大きな進歩とげ、風工学の分野でも着実に成果を挙げるに至っている。しかし、大規模かつ詳細な解析が行われるようになるにつれて、2次元の計算では、静的3分力風洞実験結果などとの比較において差異が生ずることが指摘¹⁾されるようになってきた。この傾向は、詳細な計算をすればするほど大きくなる傾向が見られる。この原因と考えられるのは、第1に実験と計算とのレイノルズ数の相違、第2は流れの3次元性の影響等である。

このような背景から、本報では、箱桁断面補剛桁橋梁の耐風設計技術の確立を目指すために、風洞実験に近いレイノルズ数での有限要素法による2次元・3次元の解析を行い、風洞実験から得られている静的空気力係数との比較を行うものである。これにより得られた2次元解析と3次元解析の違いを報告する。

2 箱桁断面のモデル化

本報で用いた橋梁断面は、図-1に示す、下部のコーナー部分がカットされた辺長比 (B/D) が4.94の断面であり、高欄やフェアリング等が設置されていない基本断面である。これは、川田工業(株)所有の多目的風洞²⁾で実験が行われた断面と同一諸元である。

2次元解析における解析領域と境界条件を図-1に併せて示す。この解析による閉塞率は、約3.5%である。

ところで、従来、Bruffな断面を扱う研究では、レイノルズ数の影響が少なくとして、風洞実験と数値解析では異なった値のレイノルズ数を採用する場合が多かった。しかし、本報の目的は、風洞実験と数値解析とが何処まで一致を見ることができるかであるので、ここでは、両者のレイノルズ数を極力同一オーダーにすることを試みた。具体的にはレイノルズ数が 10^5 である。また、最小メッシュ幅は $0.00134D$ である。

3次元解析は、図-1の2次元解析領域をスパン方向に桁高 $1D$ (D は桁高) 広げた領域で解析を行う。スパン方向の要素幅 dz は $0.1D$ とし、均等幅で10層分の分割を行っている。3次元解析における解析領域と境界条件を図-2に示す。

3次元解析の境界条件は、図-2に示す様に物体まわりでno-slip条件 ($u = v = 0.0$)、スパン方向

の $x-y$ 境界面では周期境界条件を採用した。総節点数は246,840、総要素数は220,800である。また、3次元解析の初期条件は、2次元解析の結果を用い、スパン方向に同一のデータを与えている。

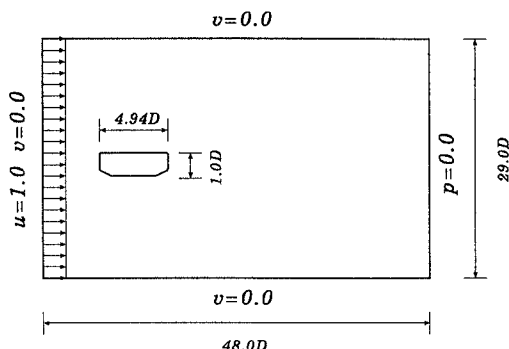


図-1 2次元の解析領域と境界条件

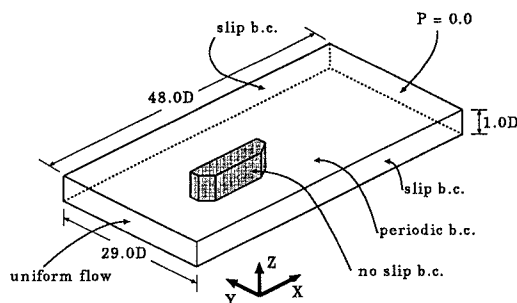


図-2 3次元の解析領域と境界条件

3 解析結果

図-3に迎角 $\alpha=0$ 度の時の2次元解析での静的空気力係数の時刻歴図を示す。この図より、 C_d 、 C_l 、 C_m ともに大きな振幅でかつ高周波成分を持つ振動が発生している。さらに、低周波でのうねりも確認できる。

図-4、5に迎角 0 度の時の2次元解析を初期値とした空力係数と物体後方 $0.3D$ におけるスパン方向の流速 w の時刻歴変化を示す。この図よりスパン方向の流速の発生に伴い、空気力係数の高次の波形振動が明白に抑えられていることが分かる。

風洞試験²⁾で得られた静的空気力係数と数値解析結果との比較を図-6に示す。これによると抗力及び揚力はある程度良い傾向を示し、また揚力の勾配に関しては、3次元解析の結果の方が2次元解析より

*耐風、数値流体解析、橋梁、空気力 〒192-03 八王子市東中野742-1 TEL:0426-74-4170, FAX:0426-74-4118

風洞試験結果に近づく傾向がある。しかしながら、フラッター振動に大きく関与する回転力係数 (C_m) に関しては、3次元解析の結果の方がより良い傾向を示しているものの、迎角の増加に伴う C_m の明かな負勾配を見ることはできなかった。

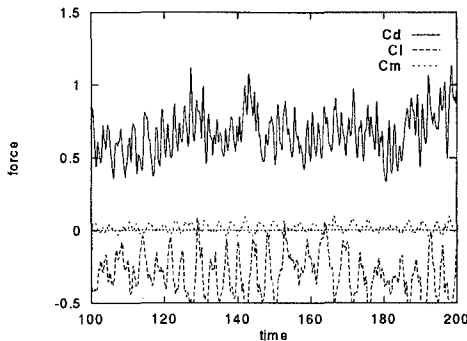


図-3 空力係数時刻歴図 (2-D, 迎角 0°)

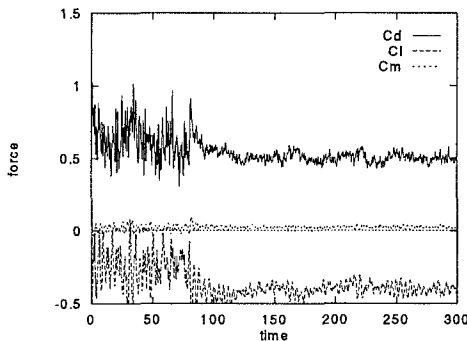


図-4 空力係数時刻歴図 (3-D, 迎角 0°)

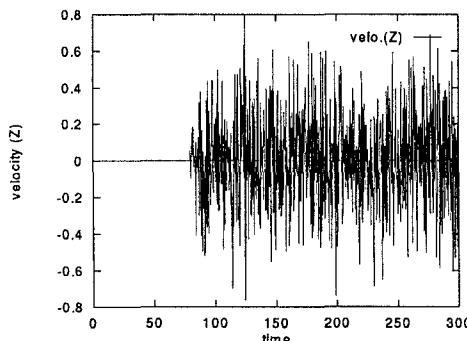


図-5 スパン方向の流速 w の時刻歴 (迎角 0 度)

図-7 に、2次元、3次元解析それぞれの迎角 5° の平均圧力分布図を示す。2次元解析では先端で剥離した流れが上部から押さえられ、高圧部が床版に分布する傾向を示すのに対して、3次元解析では押さえられる量が少なく、高圧部の発生量も少なくなっている。この流れの差が、 Cl の差に寄与していることが考えられる。

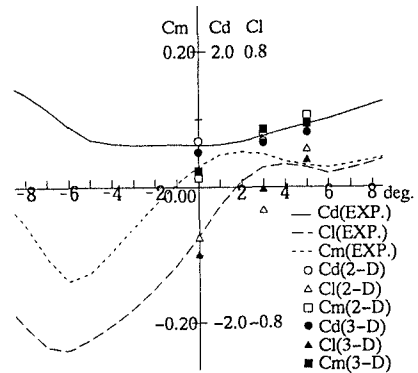


図-6 三分力係数の比較

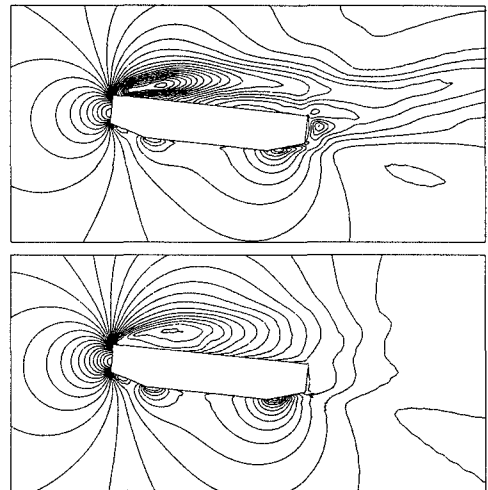


図-7 平均圧力分布 (迎角 5°)

4 終わりに

本解析結果から次のことが得られた。

1. 静的空気力係数は、2次元解析よりも3次元計算の方が実験値に近い値を示す。
 2. 流れの3次元性 (軸方向の流れ) が生じると、空気力係数の時刻歴に含まれる高周波成分が抑えられる。ただし、その成分は軸方向流の変動に含まれる。
- 以上のことより、静的空気力を求める解析では、3次元計算を行うことが望ましいことが分かった。特に、この空気力を使って構造との連成解析を行うためには、3次元計算が必要になると思われる。2次元計算では、高周波成分が含まれることから、これが何らかの影響を及ぼすと推定される。一方、工学的な見知から考えると、概略の空気力を求める場合には2次元計算でも対応できると考えられる。なお、本研究は、構造工学委員会「風工学における数値計算の応用と評価」研究小委員会の活動の一環として行われたものである。

参考文献

- 1) 例えば、田村哲朗らの研究
- 2) 米田、宮地、瀬戸内、枝元：偏平箱桁断面に対する水平プレートの空力制振効果に関する実験的研究、構造工学論文集, Vol. 42A, pp.825-832, 1996