

数値流体解析を用いた二箱桁断面橋梁の非定常空気力特性の把握

○中央大学 学生員 栗林 伶二 中央大学 正会員 平野 廣和
 八戸高専 正会員 丸岡 晃 中央大学 正会員 佐藤 尚次

1. はじめに

中央軽間 2,000m を超える規模の超長大橋の検討において、経済性・耐風性に優れる桁断面として二箱桁断面が提案されている。このような橋梁断面の形状や付加物の決定には、風洞実験や数値流体解析(CFD)による検討が行われており、一箱桁断面の静的空気力係数や非定常空気力係数は、概ね実験値と整合した CFD 結果が報告されている。しかし、二箱桁断面においては、流れの干渉により複雑な流れ場となることから、風洞実験結果と CFD が一致しない場合が報告されている。このため、空力特性に与える影響に関しては、十分な検討と現象の解明が必要であると指摘されている。

そこで、本研究では二箱桁断面を対象とし、高欄や検査車レールなどを付加した実橋梁に近いモデルにおいて、3 次元数値流体解析を行う。具体的には、非定常空気力を把握するために動的解析を行い既往の実験値との定量的な精度比較や流れ場の可視的検討を行う。そして、振動の発生原因の特定や耐風性能の向上要因を明らかにするとともに、二箱桁断面橋梁での付加物の違いによる流れ場を把握することを目的とする。

2. 解析手法

(1)支配方程式

流れ場の支配方程式は、非圧縮 Navier-Stokes 方程式で表され、数値流体解析には、著者ら¹⁾が提案している IBTD/FS 有限要素法を適用する。また、乱流モデルには LES の Smagorinsky モデルを採用する。

(2)対象断面

図-1 に本研究で用いる 3 種類の断面形状を示す。ここで各断面は、 $B/D=4$ (B :桁幅, D :桁高)と開口部幅 $4D$ を組合せた二箱桁にフェアリング、センターバリア、高欄を付加した断面である。本研究では付加物の違いによる空気力の違いを把握するために、検査車レールの設置位置を変化させた 3 種類の断面で検討を行う。断面①は断面外側から $1D$ の位置に設置した断面、断面②は $2D$ の位置に設置した断面、断面③は $3D$ の位置に設置した断面である。本研究で対象とする断面は、出野ら²⁾が行った風洞実験断面であり、比較のため、同一の寸法を用いてモデル化を行っている。

高欄のモデル化には前述の風洞実験²⁾を参考とし、再現したものを風上・風下断面それぞれの端に設置した。具体的には、高さ $0.375D$ の高欄を上下方向に 3 本の矩形柱で構成し、充実率 50%を確保するように合わせることで高欄の再現を行なった。解析メッシュは、四接点四角形要素を用いてモデル化を行っている。モデル化の際、高欄や検査車レールで流れが正確に剥離することを再現するために、物体近傍で分割幅が細くなるように作成し、物体近傍の最小要素幅を $0.0005D$ としている。検査車レールの寸法は風洞実験²⁾と同様の矩形柱でモデル化を行い、解析メッ

表 - 1 解析諸元

断面形状	断面①	断面②	断面③
時間増分 Δt	0.02D/U	0.02D/U	0.02D/U
最小要素幅	0.0005D	0.0005D	0.0005D
総接点数	32330 × 33	30722 × 33	32330 × 33
総要素数	31752 × 32	30168 × 32	31752 × 32
Reynolds数 Re	3.0×10^4		
軸方向長さ	3.2D		
軸方向分割	32		
軸方向幅	0.1D		
モデル定数 C_s	0.1		

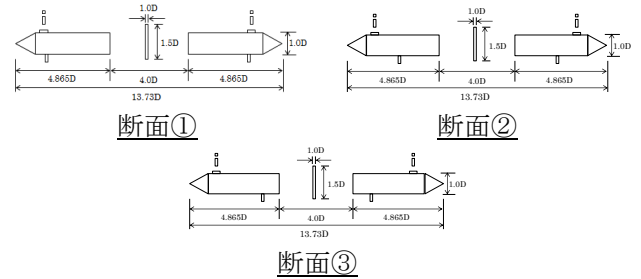


図-1 対象断面

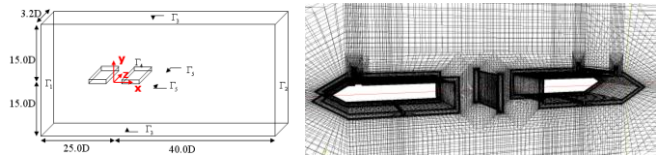


図-2 解析領域と解析メッシュ

は物体近傍が細くなるように作成している。

(3)解析条件

表-1 に解析条件を、図-2 に解析領域と断面近傍のメッシュ図を示す。境界条件は、流入境界で無次元流速である一様流速 1.0, 流出境界は移流境界条件とする。また、側方で slip, 物体周りで no-slip 条件である。メッシュは断面に近くなるほど細くなっている。

3. 解析結果

3.1 非定常空気力動的解析

振動状態に関する流れ場を把握するために、1 自由度たわみ・ねじれ強制加振の非定常空気力動的解析を行う。強制加振はたわみ片振幅 $\eta = 0.1D$, ねじれ片振幅 $\theta = 1.0\text{deg}$. とし、風洞実験値²⁾と同様の値に設定する。

(1)非定常空気力係数による検討

図-3 に非定常空気力係数の解析結果と風洞実験結果の比較を示す。各係数を比較すると無次元風速 $U/(fB) = 15.0$ 以上でそれぞれの断面特性が異なっている。これは高風速時においては検査車レールの設置位置により流れの状態が変化することを表している。

次に実験値と解析値を比較する。まず、フラッター性能に影響を及ぼすと言われている係数である $C_{M\eta l}, C_{L\theta R}, C_{M\theta R}, C_{M\theta l}$ に着目する。一般的に非定常空気力係数の内、 $C_{M\eta l}, C_{L\theta R}$ は値が小さければ小さいほど、また特に $C_{M\theta R}$ は負で絶対値が大きいほどフラッタ

キーワード： 数値流体解析 非定常空気力係数 検査車レール 高欄

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel. 03-3817-1816

fax. 03-3817-1803

一に安定的だと言われている。さらに $C_{M\theta}$ は値が小さいほど、連成フラッターに対し安定性を向上させると言われている。

たわみ振動解析結果である $C_{M\eta}$ では、断面①、②において $U/(fB)=15.0$ を超えると実験値との乖離が生じてきている。また、ねじれ振動解析結果である $C_{L\theta R}$, $C_{M\theta R}$, $C_{M\theta}$ では、断面①、②において良く整合した結果が得られている。一方、断面③では $C_{M\theta}$ において $U/(fB)=15.0$ で実験値との若干の乖離を生じている。これは、既存の実験²⁾では各断面の高欄を風上断面、風下断面の内側にも付加しており、高風速時にはその有無の影響が大きくなると考えられる。二箱桁断面では付加物の違いによりフラッター性能に影響が出ると考えられることから、今後内側に高欄を付加した断面での解析を行い、検討する必要がある。

その他の係数に着目すると、 $C_{L\eta}$, $C_{M\eta R}$ では各断面で $U/(fB)=15.0$ 以上でも実験値とよく整合した結果が得られている。一方で、 $C_{L\eta R}$, $C_{L\theta}$ では各断面で正の値を示しており、風洞実験結果とは異なる性質を示し不安定な状態になることが確認できた。

(2)瞬間圧力分布図による検討

図-4 に流れ場の状態の状態として、非定常空気力係数に変化が表れ始める $U/(fB)=15.0$ 時の瞬間圧力分布と瞬間流線図を示す。まず、瞬間圧力分布図に着目すると、検査車レールが付加している断面下面での剥離剪断層に断面毎の違いが生じている。検査車レールを内側に設置するほどに剥離剪断層が大きくなっていることが確認できた。これより、検査車レールの設置位置により桁断面への変動圧力に違いが生じていることが考えられる。

(3)瞬間流線図による検討

$U/(fB)=15.0$ 時の瞬間流線図に着目する。各断面の上面ではフェアリングに沿って流れた風が、高欄により再付着することなく流れている様子が確認できる。このことから、高欄が風よけとしての役割を果たしていると考えられる。また、センターバリアの存在により下流断面の再付着位置が断面側面となっており、その後検査車レール付近で再剥離している様子が確認出来る。検査車レール付近の圧力は高くなっているが、それ以外の部分は変動圧力を低く抑えており、非定常空気力の低減に寄与していると考えられる。

4. おわりに

本研究では、付加物の設置位置の異なる二箱桁断面に着目し、動的解析を行い非定常空気力係数の検討を行うことで耐風安定性性能を定量的、可視的に検討した。それによると、本解析断面では検査車レールの設置位置により断面毎の空気力に変化が生じることが確認できた。

今後は、フラッター解析に取り組みフラッター発現風速を算出する必要がある。また、高欄の設置位置を増やすことでより詳細な実橋梁断面モデルの検討を行う必要がある。

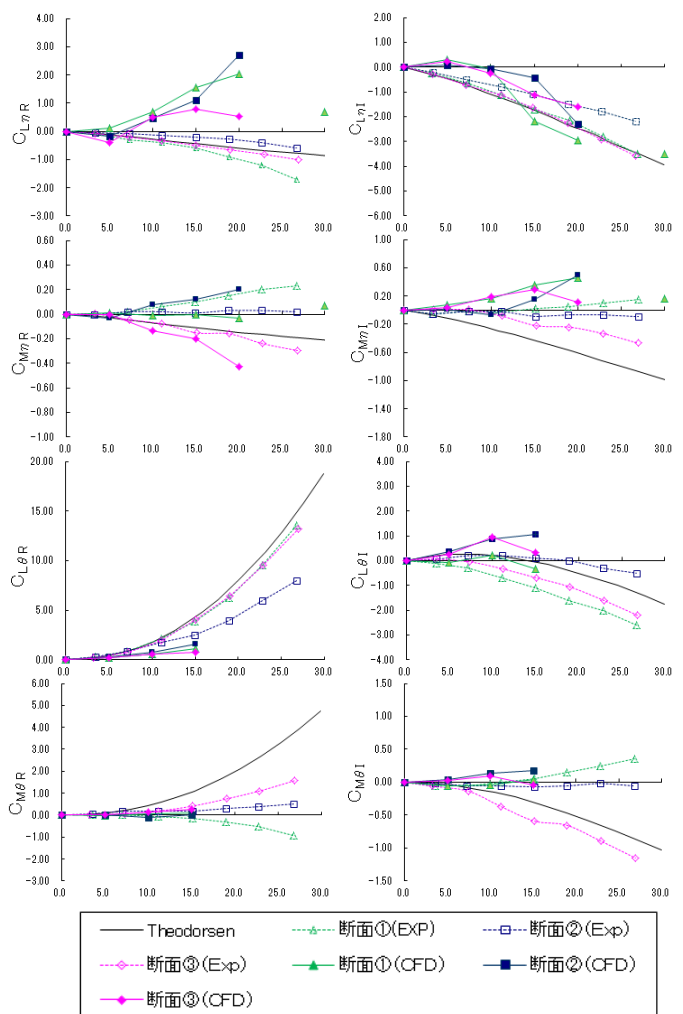


図-3 非定常空気力係数の解析結果と風洞実験結果

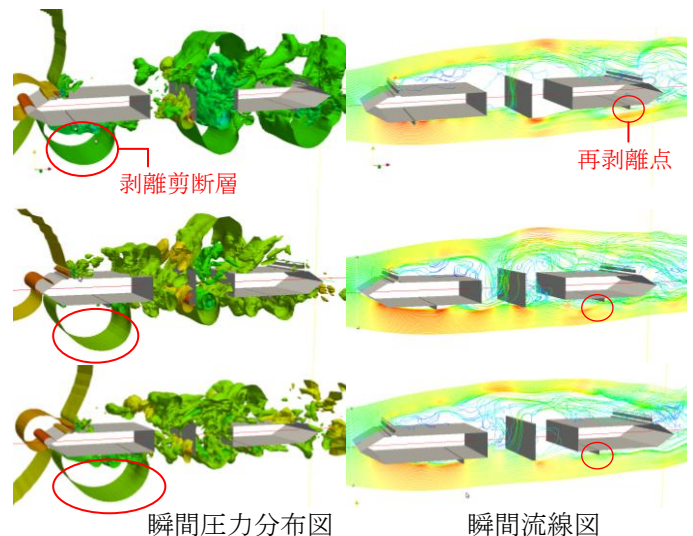


図-4 強制加振時の流れ場（たわみ加振 $U/fB=15.0$ ）

<参考文献>

- 1)丸岡晃, 太田真二, 平野廣和, 川原陸人: 同時補間を用いた陰的有限要素法による非圧縮性流れの解析, 構造工学論文集, Vol.43A, pp.383-394, 1997.4.
- 2)出野真由子, 吉住文太, 曾我明, 井上浩男: 付加物を有する二箱桁断面における耐風安定性の検討, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.634-641, 2007.
- 3)川崎貴之: 数値流体解析による付加物を有する二箱桁断面橋梁のフラッター特性の検討, 構造工学論文集 Vol.57A