

数値流体解析による付加物を有した二箱桁断面橋梁の空力特性の検討

○中央大学 学生員 栗林伶二 中央大学 正会員 平野廣和  
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。しかし二箱桁断面は、箱桁断面を並列に並べることにより一箱桁断面に比べて流れの干渉が生じ、複雑な流れ場を形成することが確認されている。また、高欄や検査車レール等の付加物の形状や設置位置の違いにより耐フラッター性能に変化が生じることが指摘されている。

そこで、本研究では3次元数値流体解析を行い、二箱桁断面を対象として高欄や検査車レールなどの付加物の違いにより、耐風安定性が変化することを検討する。具体的には、実橋梁に近い断面に高欄を設置し、断面下面にある検査車レールの設置を変えるモデルとする。このモデルで静的解析及び動的解析を行い、流れの特性や流れ場の可視的検討により、検査車レールの位置の違いによる耐風性を把握する。また、振動の発生原因の特定や耐風性能の向上の要因を把握する。なお、今回は高欄を断面の内側には設置せず、外側のみに付加することで流れの状態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、離散化には、丸岡ら<sup>1)</sup>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 SGS モデルを採用する。

(2)対象断面

図-1 に本研究で用いる3種類の断面を示す。各断面は、 $B/D=4$  ( $B$ :桁幅,  $D$ :桁高)と開口部幅  $4D$  を組合せた箱桁断面に風よけ部材であるフェアリング, 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。検査車レールは各断面の下面に設置し、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。

(3)付加物のモデル化

高欄のモデル化には既存の風洞実験<sup>2)</sup>を参考としたものを風上・風下断面の外側にそれぞれに設置した。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、四節点四角形要素を用いてモデル化を行い、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た。検査車レールの寸法は前述の風洞実験<sup>2)</sup>と同様の矩形柱でモデル化を行なった。物体近傍の最小要素幅は  $0.0005D$  としている。

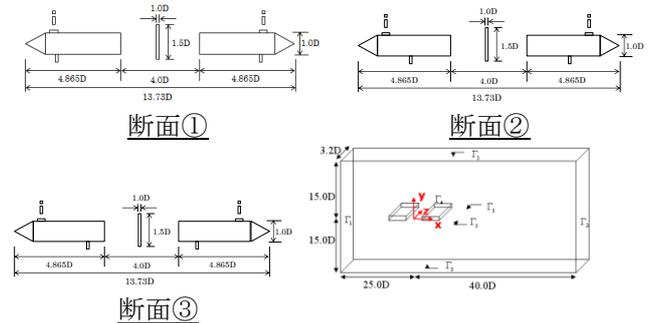


図-1 対象断面 図-2 解析領域

表-1 解析諸元

断面形状	断面①	断面②	断面③
時間増分 $\Delta t$	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 $Re$	$3.0 \times 10^4$		
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		

(4)解析条件

表-1 に解析諸元、図-2 に解析領域を示す。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, 側方で slip 条件, 物体周りで no-slip 条件, 軸方向で周期境界条件としている。

3. 解析結果

3.1 定常空気力静的解析

図-3 に各断面の静的空気力係数を示す。図-3(a)の  $C_d$  に着目すると断面②, ③は断面①に比べて迎角を増加させても抗力が低く抑えられていることから、抗力低減効果のある断面であることがわかる。さらに、図-3(b)の  $C_l$  に着目すると、3種類の断面全てで迎角変化に伴う勾配が正勾配であることからたわみ振動現象発生の可能性は低い。一方、図-3(c)の  $C_m$  に着目すると、断面①の迎角  $\alpha=5^\circ \sim 6^\circ$  で負勾配になっていることから高迎角時でねじれ振動現象発生の可能性が考えられる。このように二箱桁断面では付加物の違いにより空気力に変化が生じることが確認できた。

3.2 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  $\theta=1.0deg$  とし、風洞実験値<sup>2)</sup>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-4 に非定常空気力係数の解析結果を示す。ここでは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  $C_{M\eta l}$ ,  $C_{L\theta R}$ ,  $C_{M\theta R}$ ,  $C_{M\theta l}$  に着目して検証を行う。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ければフラッターに安定的だと言われている。さら

キーワード： 数値流体解析 二箱桁断面 非定常空気力係数 付加物

連絡先：〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 tel. 03-3817-1816 fax. 03-3817-1803

に  $C_{Mor}$  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  $C_{Mnl}$  では、断面①、②において  $U/(fB)=15.0$  を超えると徐々に断面③とは流れの特性が異なり、正の値を示していることから高風速時ではギャロッピング振動に対して不安定になると考えられる。また、ねじれ振動解析結果である  $C_{LOR}$  では、 $U/(fB)=10.0$  を超える付近で断面①と断面③の値が急激に大きくなっているが、断面②では低く抑えられている。 $C_{Mor}$  では3断面は同様の傾向を示しているが、 $C_{Mor}$  では断面②が高い値を示している。断面②では連成フラッター発生の可能性もあると考えられる。

(2)瞬間圧力分布図による検討

図-5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たわみ加振  $U/(fB)=15.0$  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、高欄の存在により整流となっ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。断面下面に設置してい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。また、検査車レールの設置位置によって開口部に入り込む gap flow の強さが異なっていることが確認できた。特に断面②では gap flow が強くなっており、これが  $C_{Mnl}$  の不安定性に寄与していると考えられる。このことから検査車レールの設置位置も非定常空気力の結果に影響を及ぼ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、静的解析及び動的解析を行い空気力係数の検討を行うことで耐風安定性能を定量的、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迎角を変化させた際の定常空気力に断面毎の違いが見られ、gap flow の強さにより非定常空気力に変化が生じることが確認できた。

<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

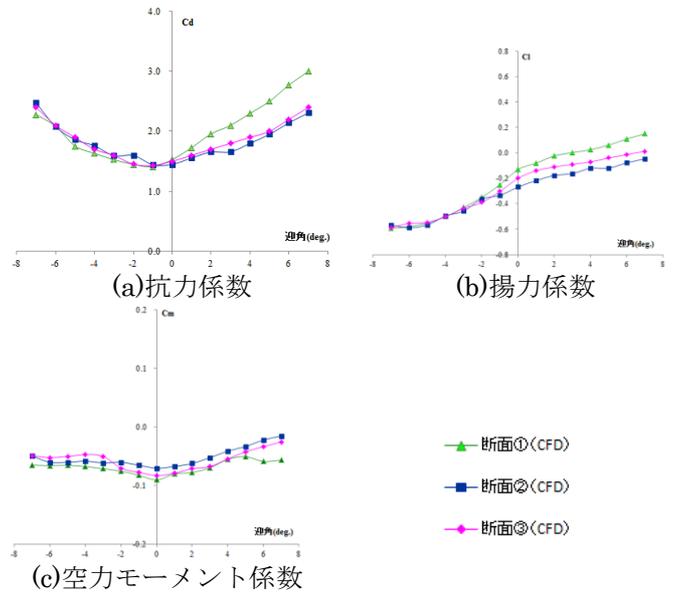


図-3 迎角変化時における静的空気力係数

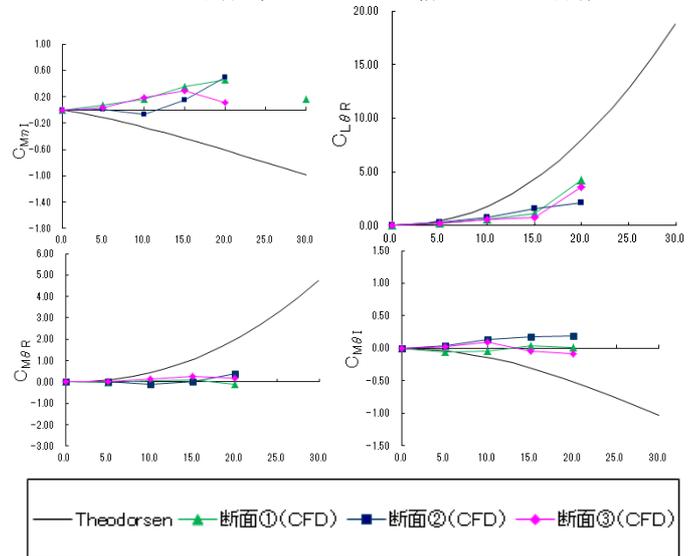


図-4 非定常空気力係数の解析結果

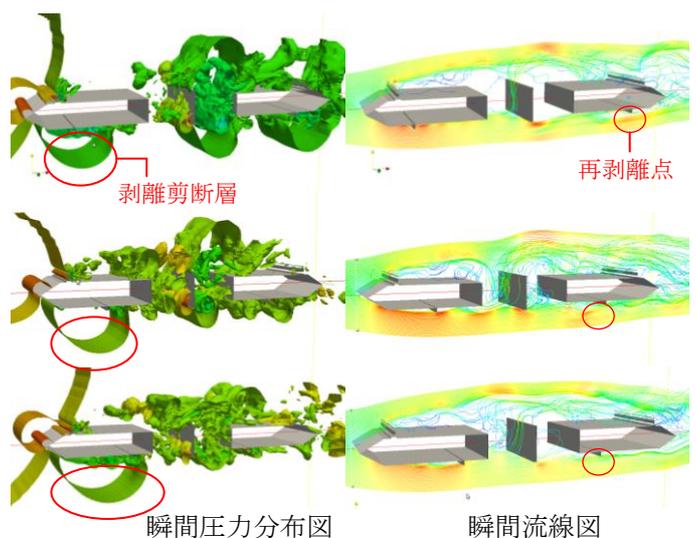


図-5 強制加振時の流れ場 (たわみ加振  $U/fB=15.0$ )

- 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