

# 分離箱桁断面の $k-\varepsilon$ モデルによる非定常空気力予測

清水建設（株）和泉研究室 正会員 若原敏裕  
 清水建設（株）技術研究所 正会員 嶋田健司  
 独立行政法人 土木研究所 正会員 佐藤弘史  
 清水建設（株）技術研究所 松井正宏

1 はじめに 次世代の超々大橋に向けた新たな設計法の開発の中で分離箱桁断面方式が注目されている<sup>[1]</sup>。ところで橋梁構造物の非定常空気力の評価では長い時間にわたる解析が必要なことから、3次元解析では経済的に極めて多大な労力を必要とする。一方、嶋田・石原は Kato-Lauder による修正型  $k-\varepsilon$  モデルを用いた2次元解析により、完全はく離および周期的再付着型矩形断面の渦励振、ねじれフラッターの再現性について検証を行い、比較的ブラブな断面で強い渦が生成される場合では、高速かつ高い精度でこれらの現象を再現できることを示した<sup>[2][3]</sup>。フェアリング付き分離箱桁断面は辺長比が大きいかつフェアリングによりはく離が抑制されることから定常的再付着型断面となる。本研究では非定常空気力特性の評価を行なうことを通して本手法の定常的再付着型断面への適用性について考察を行う。

2 解析手法 解析は Kato-Lauder による修正型  $k-\varepsilon$  モデルと Two-Layer モデルを組合せた手法を一般座標系に拡張したものである<sup>[2]</sup>。Reynolds 数は  $R_e = UD/\nu = 2.2 \times 10^4$  とした。加振振幅は実験に合わせて、たわみ： $\pm 0.11D$ 、ねじれ： $\pm 1.5^\circ$  とした。加振方法は振動数スイープである。分離箱桁断面の解析では領域分割法（重合格子）を用いた<sup>[4]</sup>。分離箱桁の格子点数は  $320 \times 200 + 320 \times 110 = 99,200$  である。

3 実験方法 実験諸元は表1に示すとおりである。

表1 実験諸元

実験機関	独立行政法人 土木研究所	清水建設(株) 技術研究所
実験項目	非定常風力	非定常風圧
$B \times D$ (開口部) mm	459.4 × 27.3 (103)	336 × 20(75.5)
センサー	ロードセル	32ch同時
実験風速(m/s)	6.5	8.4
加振振幅	ねじれ加振	$\pm 1.5^\circ$
	たわみ加振	$\pm 3$ mm
加振振動数(Hz)	0.707 ~ 2.83	1.1 ~ 5.4
Reynolds数( $UD/\nu$ )	$1.18 \times 10^4$	$1.12 \times 10^4$

4 結果 図1に瞬間渦度を示す。開口がない場合では流れは断面に沿って流れている。一方、開口がある場合では風上側断面の風下端から周期的な渦放出が認められ、この渦は風下側断面に impinging している。全体

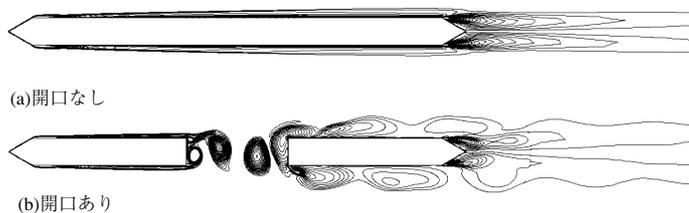


図1 ねじれ強制加振時の瞬間渦度 ( $Ur=5.94$ )

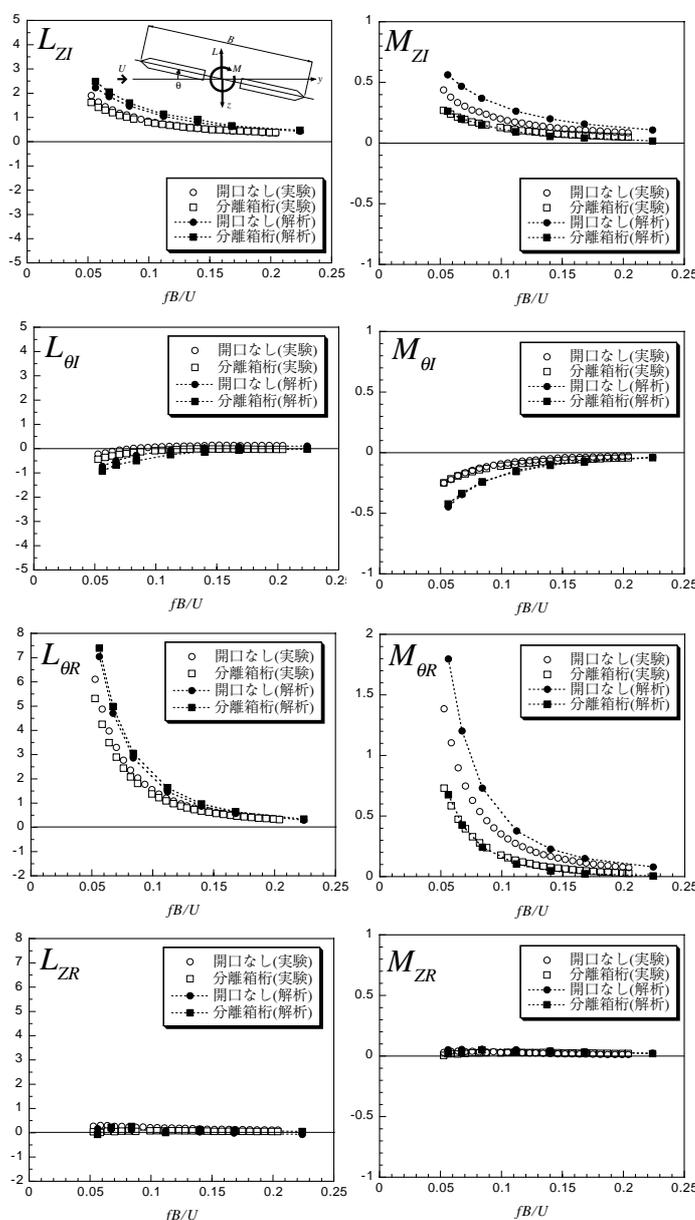


図2 非定常空気力係数

キーワード：分離箱桁, 非定常空気力, 非定常風圧, 数値流体解析,  $k-\varepsilon$  モデル

連絡先：〒100-0011 千代田区内幸町 2-2-2 TEL 03-3508-8982 FAX 03-3508-2196, wakahara@ori.shimz.co.jp

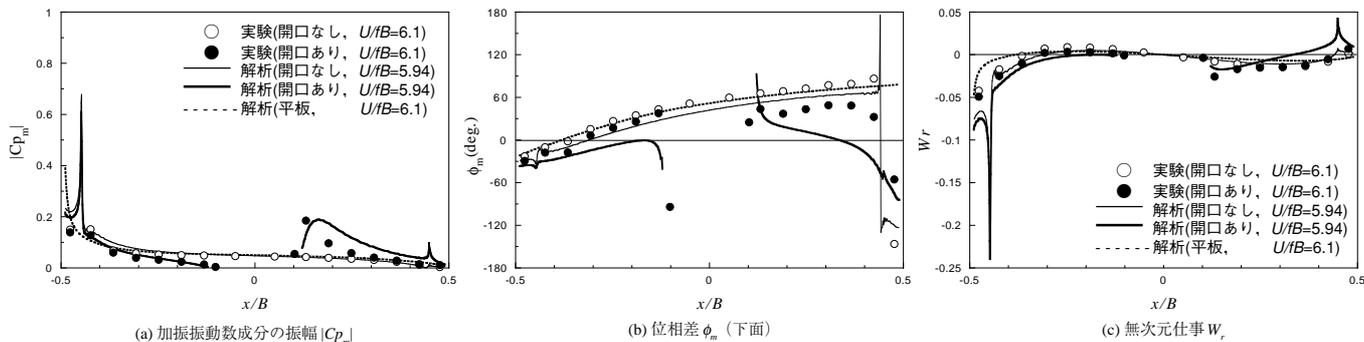


図3 ねじれ強制加振時・開口ありなしの比較

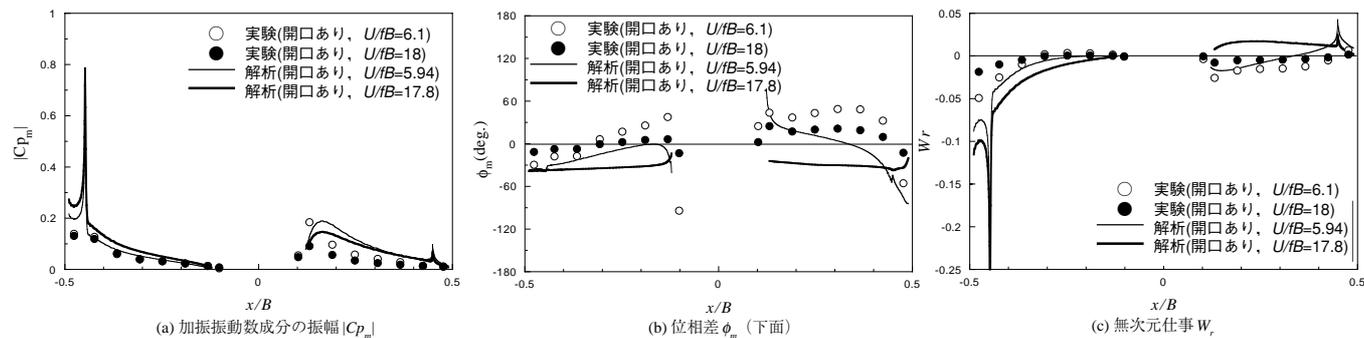


図4 ねじれ強制加振時・無次元風速による比較

的に大きな剥離はなく、流れはほとんど断面に沿っており風下側断面の後流部への明瞭な渦放出は認められない。図2には次式により定義した非定常空気力係数を示す。

$$\begin{Bmatrix} L \\ M \end{Bmatrix} = \pi \rho \omega^2 \begin{bmatrix} B^3 & 0 \\ 0 & B^4 \end{bmatrix} \left\{ \begin{bmatrix} L_{z_i} & L_{\theta_i} \\ M_{z_i} & M_{\theta_i} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{z} / \omega B \\ \dot{\theta} / \omega \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} L_{z_r} & L_{\theta_r} \\ M_{z_r} & M_{\theta_r} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} z / B \\ \theta \end{Bmatrix} \right\}$$

揚力の中では  $L_{\theta r}$  が、モーメントの中では  $M_{\theta r}$  が最も大きい。その他の係数の大きさは概ね同程度である。開口ありなしのちがいは主に  $M_{\theta r}$  と  $M_{z_i}$  に現れている。解析結果は実験結果に比較してやや大きめの値を与えているが、各係数間の相対的な大小関係および開口のありなしの相対的な大小関係はよく表している。図3には非定常風圧分布を示す。加振振動数成分の振幅  $|Cp_m|$  は、開口ありの実験結果は開口なしの場合に比べて風下側断面の leading edge に近い部分で値が大きい。解析結果も同様であり風上側断面から放出される規則的な渦の impinging の影響を表している。位相差は開口がない場合では単調に進んでいるのに対し、開口がある場合では風下側で回復する傾向がある。解析結果はこれらの傾向をよく表しているが、開口がある場合、風下側断面の位相の回復度合いは実験値に比べて大きい。単位面積あたりの無次元仕事は下面については  $W_r = -\pi(x/D) \sin \theta \cdot |Cp_m| \sin \phi_m$  として計算される。実験値は開口がない場合もある場合も風上側断面の一部で正になっているところが見られるが全体的に負となっている。解析は実験結果を概ねよく表わしているが、開口ありの場合、風下側断面で正に転じる部分が見られる。図3には平板の解析結果も示すが、開口なしの実験結果をよく表しており、平板によって近似的に表しうることがわかる。図4には開口がある場合の  $U/B=6$  と  $17.9$  の比較を示す。前者では解析結果は比較的良好に実験結果を表しているが、後者では特に位相にかなりのちがいが見られる。その結果、風下側断面では無次元仕事の符号が実験と解析とでは逆になっている。前述の非定常空気力係数では無次元振動数が小さくなるにつれて実験結果との開きが大きくなる傾向が見られたが、以上のことからこの原因は位相特性が無次元風速が増すにしたがい悪化することに起因するものと考えられる。

5 まとめ 修正型  $k-\epsilon$  モデルにより分離箱桁断面の解析を行った。既往の研究では Karman 渦や前縁はく離渦等の明瞭な渦が認められる場合には  $k-\epsilon$  モデルは有効であることが示されていたが、本研究により、扁平な断面で特に明瞭な渦放出が存在しなくても、断面の運動に伴う非定常空気力の定性的な傾向を本手法は十分にとらえることが可能であることが示された。定量的にもかなり満足いく結果が示されたが、無次元振動数が小さい領域では実験結果との開きが見られた。

【付記】 なお、本研究は、独立行政法人 土木研究所、(財) 本州四国連絡橋公団、(財) 土木研究センター、および、民間8社からなる共同研究「経済性を考慮した超長大橋の耐風設計法に関する研究 (数値流体解析グループ)」の一環として実施したものである。

【参考文献】 [1]Sato, H., Kusuwhara, S., Ogi, K. and Matsufuji, H., *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 88, 297-306, 2000 [2]Shimada, K. and Ishihara, T., *Journal of Aerospace Engineering*, 12(4), 122-135, 1999 [3]嶋田健司・石原 孟, 第16回風工学シンポジウム論文集, 173-178, 1998 [4]嶋田健司・日比一喜, 日本風工学会誌, 第55号, 77-78, 1993.5