

箱桁下面の鉛直板による渦励振応答の低減に関する数値流体解析

ニチゾウテック 正会員 ○松田 良平 立命館大学 正会員 伊津野和行
 ニチゾウテック 正会員 畑中 章秀 立命館大学 フェロー 小林 紘士

1. はじめに

橋梁の主要な空力振動問題の1つに渦励振が挙げられる。渦励振は、発生風速域や振幅にある一定の範囲を持つ限定振動であり、構造物の疲労耐久性や使用性に悪影響を与えるため、おろそかにはできない現象である。

渦励振を空力特性の改善によって抑制する場合、現在でも経験豊富な実務者が過去の経験を基に、風洞実験による試行錯誤を行うことが通例である。

本稿では、 $B/D=4.0$ (B :幅, D :高さ) の箱桁断面に生じる鉛直たわみ渦励振に着目し、桁下面のみに鉛直プレートを設置した場合の渦励振抑制効果を数値解析により検証した。このとき、効率よい耐風付加物の選定に資することを目的に、静止した箱桁断面の時間平均的な流れと鉛直プレートの位置やサイズとの関係を含めて考察を行った。

2. 解析手法および解析モデル

解析には離散渦法を用いた。境界要素法に属するこの方法は、物体表面の境界層や剥離せん断層など、粘性の影響がおよぶ範囲を離散的な渦点に置き換え、その他の部分を渦なし非粘性流れで表すものである¹⁾。物体に作用する力や圧力分布は、渦点の位置や強さをを用いて計算することができる。本論文では、物体表面の圧力係数は、非定常 Bernoulli 式²⁾³⁾で計算を行った。

図1に解析断面を示す。断面は基本断面(鉛直プレートなし)と対策断面(鉛直プレートあり)の2つとした。バネ支持モデルの Scruton 数は 20.39 (D^2 で無次元化)で、鉛直プレートの位置と寸法を除き、文献⁴⁾⁵⁾と同じ諸元とした。文献⁴⁾⁵⁾において、流況や Strouhal 数などにより解析モデルの妥当性は確認されている。

図2は時間平均的な剥離せん断層位置を得るため、静止した基本断面の渦点分布図を10秒分重ね合わせたものである。図の3つのプレート位置(桁前縁側～中央付近: $x/B=0.125, 0.250, 0.400$)において求めた平均的な剥離せん断層高さ H に対し、鉛直プレート高さ h は、剥離せん断層内部にとどまるもの ($h/H=0.58$)、剥離せん断層とプレート先端が干渉するもの ($h/H=1.00$)、剥離せん断層より十分大きいもの ($h/H=1.50$) の3つを想定して定めた。

3. 解析結果

図3にバネ支持モデルの風速応答図を示す。図より応答振幅は、次に記すように x/B の影響よりも h/H に応じた一定の傾向を示すことがわかった。最もプレート高さが小さい(a)の $h/H=0.58$ は基本断面に近い風速応答曲線であるが、ピーク応答の減少と渦励振の発生風速域が狭くなることが確認された。(c)の $h/H=1.50$ は、非常に大きなプレートを要するものの渦励振抑制効果が低く、発散的な応答を示す場合があるため耐風対策に用いるには不適當である。(b)の $h/H=1.00$ は、他のケースに比べ、渦励振のピーク応答を最も低下させ、フラットな風速応答特性となったものの、基本断面における渦励振発生領域よりも高風速域では、基本断面よりも応答が大きくなる傾向が見られた。

次に、図3の★印で示した風速、振幅で断面を正弦的に加振し、その時の桁下面および床版の圧力分布を求めた。図4に圧力のなす仕事 W (正は励振力)を示す。基本断面では桁下面・床版上面とも上流側は減衰力が作用し、下流に向かうに従って励振力の作用へと変化している。前縁剥離渦励振では渦の流下にともない側面の W の分布が変化し、ピーク応答近傍では、およそ $B/2$ の位置にて正負の変化点が存在することが指摘されており⁶⁾、本解析結果はこの傾向と一致している。

対策断面の桁下面は、プレートを境に上流側と下流側で W の分布が大きく変化していることがわかる。プレートの上流側に着目すると、 h/H の増加に伴いプレート近傍で励振力が働いている。これは桁の動きに伴ってプレート上流側に生成される2次的な渦⁴⁾⁵⁾に起因すると考えられ、この2次渦が明確に生成されない $x/B=0.125$ では h/H によらず、概ね一定の減衰力が分布している。

一方、プレートの下流側は、全般的にはプレート近傍で減衰力が生成されていることがわかる。ただし、 $h/H=0.58$ の場合、桁の動きに伴ってプレート下流側に生成される2次的な渦⁴⁾⁵⁾の発達が弱く、再付着が十分に促進されないため、基本断面と大差ない W の分布が見られる。 $h/H=1.00$ は他のケースに比べ、プレートの上流側および下流側の

キーワード 渦励振, 数値流体解析, 離散渦法, 箱桁, 鉛直プレート, 時間平均流

連絡先 〒551-0023 大阪市大正区鶴町2丁目15番26号 TEL 06-6555-7055

両方の2次渦の生成が明瞭であり、剥離領域の縮小と再付着の促進が減衰力の形成に寄与したものと考えられる。

床版の W は、基本断面に比べて後流側の励振力が低下する傾向が見られ、桁下面の付加物が床版側の流れにも影響を与えていることがわかる。

4. まとめ

本研究では、数値解析を用いて箱桁下面の鉛直プレートによる渦励振抑制効果の検討を行った。渦励振応答は、プレートの位置 x/B よりも、鉛直プレート高さ h と静止した基本断面の平均的な剥離せん断層高さ H との比 h/H の影響が強いことが分かった。

本解析からは、箱桁下面に鉛直プレートを設置する場合、剥離せん断層とプレート先端が干渉することを想定した $h/H=1.0$ 近傍のプレート高さが望ましく、 $h/H=1.5$ のような過大なプレートは不適当と判断された。また、静止断面の解析結果から耐風対策をある程度絞り込める可能性が示された。今後は、より多くの h/H での検討や、桁の振動に伴う剥離せん断層の軌跡のばらつきなども考慮した H の検討などを行う予定である。

本研究は、立命館大学ポスドク研究員の中尾尚史氏に多くの協力を得た。ここに感謝の意を表する。

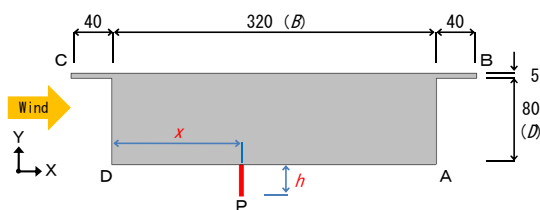


図1. 解析断面

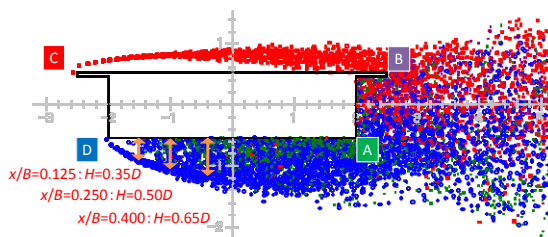
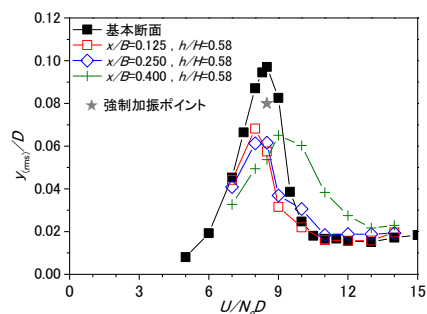
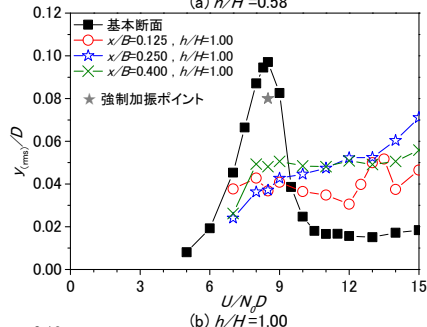


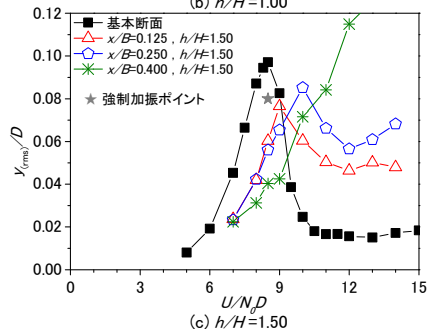
図2. 基本断面の剥離せん断層の平均高さ H



(a) $h/H=0.58$

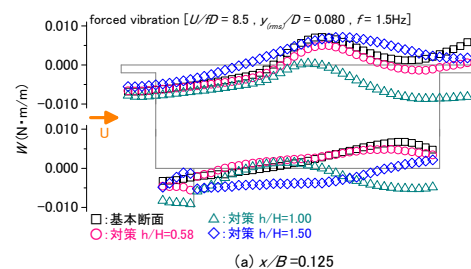


(b) $h/H=1.00$

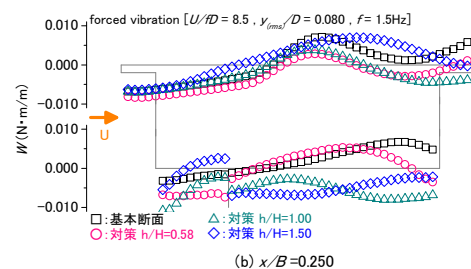


(c) $h/H=1.50$

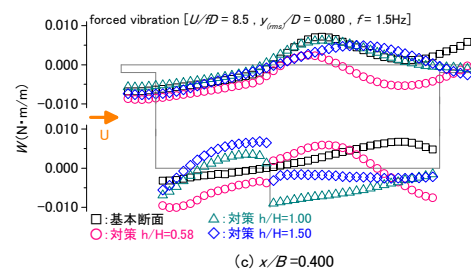
図3. 風速応答



(a) $x/B=0.125$



(b) $x/B=0.250$



(c) $x/B=0.400$

図4. 圧力のなす仕事

参考文献 1) 坂田, 足立, 稲室, 日本機械学会論文集B編 49 巻 440 号 pp. 801-808, 1983 年 4 月 2) 葛原, 木村, 盧, 日本航空宇宙学会誌第 36 巻第 417 号 pp. 473-479, 1988 年 10 月 3) 白土, 松本, 第 14 回風工学シンポジウム論文集 pp. 169-174, 1996 年 12 月 4) 松田, 伊津野, 畑中, 小林, 第 21 回風工学シンポジウム論文集 pp. 357-362, 2010 年 12 月 5) 松田, 伊津野, 畑中, 小林, 第 60 回理論応用力学講演会, 2011 年 3 月 6) 小林, 大阪大学博士学位論文, 1978 年 11 月