

LES を用いた強制加振法による橋梁の渦励振応答振幅評価における スパン方向解析領域およびレイノルズ数の影響の検討

清水建設 正会員 ○伊藤 靖晃 京都大学 正会員 野口 恭平 京都大学 正会員 八木 知己

1. 目的 長大橋梁の設計において、風に対する安定性の確保は重要な課題の1つである。従来、風洞実験により耐風安定性の評価が行われてきたが、近年の計算機能力の向上により、数値流体解析による耐風安定性の評価についても検討が行われている。伊藤・Graham¹⁾は、Large Eddy Simulation を用いて箱桁断面の非定常空気力係数の評価を行い、風洞実験と同等の精度で評価が可能であることを明らかにした。さらに、伊藤ほか²⁾は、伊藤・Graham の手法により低風速域の非定常空気力係数の評価を行い、非定常空気力の振幅依存性を用いて渦励振の応答振幅評価を行った。振幅の評価精度に課題は残るものの、渦励振の発現風速域は適切に評価できることを確認した。数値流体解析を耐風設計に活用するためには、振幅の評価精度についても改善を図る必要があり、本研究では、渦励振応答振幅の評価に対するスパン方向解析領域およびレイノルズ数の影響について検討を行う。

表1：解析条件一覧

2. 解析手法, 解析対象および解析条件 本研究では、伊藤・Graham の研究で用いられた手法を用いて数値流体解析を実施した。解析対象および振動諸元は、伊藤ほかの研究で用いられた地覆付の箱桁橋梁断面であ

ケース	Re 数	解析領域 Lz/D	加振振幅 η_0/D	無次元風速 U/fD
1	20,000	1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 20.0	0.075, 0.100, 0.125, 0.150	10.0
2	2,000	10.0	0.075, 0.100, 0.125, 0.150	10.0

り、振動諸元も伊藤ほかの研究と同一とした。ただし、スパン方向の格子幅はいずれのケースも $D/20$ とした。スパン方向の解析領域 Lz は $Lz/D=1.0, 2.0, 5.0, 10.0, 20.0$ の5ケースについて、レイノルズ数(Re)は2,000と20,000の2ケースについて検討を行った。解析条件を表1にまとめる。

3. 解析結果 伊藤ほかの研究で行った風洞実験結果、および $Lz/D=1.0, Re=20,000$ の条件で行った渦励振応答振幅の比較を図1に再掲する。 $Lz/D=1.0, Re=20,000$ の条件では、実験値に対して振幅を過大評価することが確認された。 $Lz/D=1.0$ でスパン方向に周期境界条件を用いた場合、3次元的な流れ場が形成されづらく、スパン方向の相関が高まり、渦励振が励起されやすくなる可能性がある。そこで、スパン方向の解析領域を最大 $Lz/D=20.0$ として解析を実施し、スパン方向解析領域が非定常空気力係数に与える影響について検討を行った。解析結果を図2に示す。なお、たわみ空力減衰項である H_1^* は、揚力振幅 $L\eta$ と変位と揚力の位相差 Ψ_L から、もしくは式に示す $\tilde{C}_{pH_1^*}$ の積分値として算出できる。

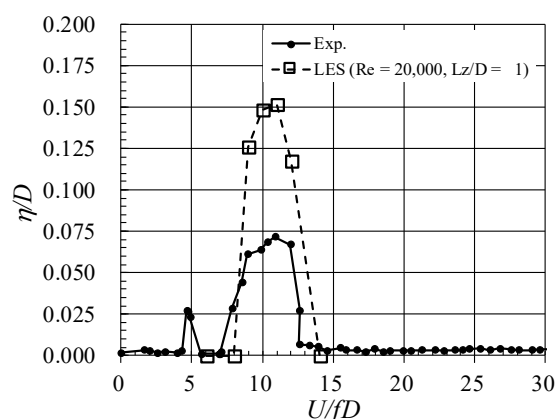


図1：風洞実験結果と解析結果の比較

図2に示す通り、 H_1^* はスパン方向領域が大きくなるほど小さくなる傾向が確認された。図3に示す通り上下面とも下流側の $\tilde{C}_{pH_1^*}$ の値は、 $Lz/D=1.0$ の方が大きくなっており、断面下流側の流れ場の違いにより H_1^* に差異が生じたことが確認できる。ただし、 $Lz/D=10.0$ の解析結果を用いて算出される応答振幅は $\eta/D=0.14$ 程度であり、今回の条件において振幅評価結果に与える影響は比較的小さいといえる。また、実験結果に対して、解析結果は依然として過大評価となる。

$$H_1^* = -\frac{L_\eta \sin \Psi_L}{\frac{B}{D} \times \tilde{\omega}^2 \times \frac{\eta_0}{D}} = \frac{1}{\frac{B}{D} \times \tilde{\omega}^2 \times \frac{\eta_0}{D}} \int (-\tilde{C}_p \sin \Psi_p) dx = \frac{1}{\frac{B}{D} \times \tilde{\omega}^2 \times \frac{\eta_0}{D}} \int \tilde{C}_{pH_1^*} dx \quad (1)$$

図2に示す通り、 H_1^* はスパン方向領域が大きくなるほど小さくなる傾向が確認された。図3に示す通り上下面とも下流側の $\tilde{C}_{pH_1^*}$ の値は、 $Lz/D=1.0$ の方が大きくなっており、断面下流側の流れ場の違いにより H_1^* に差異が生じたことが確認できる。ただし、 $Lz/D=10.0$ の解析結果を用いて算出される応答振幅は $\eta/D=0.14$ 程度であり、今回の条件において振幅評価結果に与える影響は比較的小さいといえる。また、実験結果に対して、解析結果は依然として過大評価となる。

キーワード 長大橋梁, 強制加振法, 渦励振, レイノルズ数, スパン方向解析領域

連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設 技術研究所 TEL 03-3820-5523

風洞実験において、渦励振が確認された風速域のレイノルズ数(UD/ν)はおおよそ 2,000 であり、解析条件 ($Re=20,000$) と比較して小さい。そこで、 Lz/D を 10.0、レイノルズ数を 2,000 としたケースについても解析を行い、レイノルズ数が解析結果に与える影響について図 2: スパン方向解析領域と非定常空気力係数の関係 ($U/fD=10.0$, $Re=20,000$) においても検討を行った。図 4

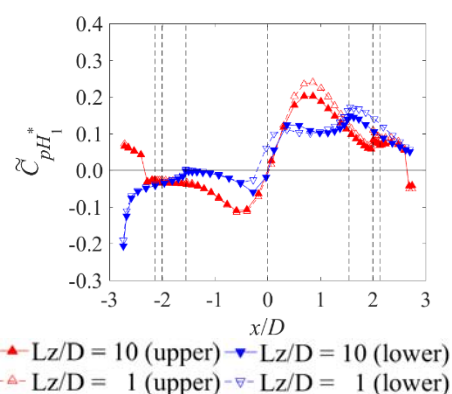
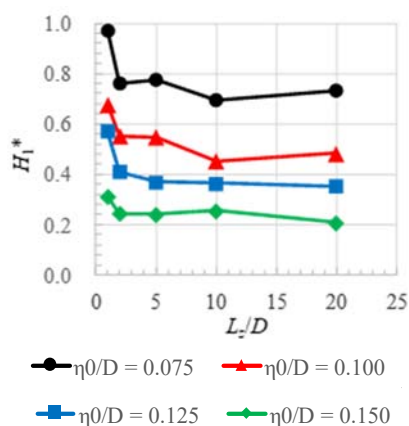


図 3: スパン方向解析領域と $\tilde{C}_{pH_1^*}$ の関係 ($U/fD=10.0$, $Re=20,000$)

に示す通り、 H_1^* はレイノルズ数が小さいほうが小さくなることが確認された。 H_1^* は、式(1)に示すように揚力振幅と位相によって決定される。揚力の振幅は $Re=2,000$ の方が大きい、 $Re=20,000$ では位相差の絶対値が小さくなっており、位相の効果により H_1^* が小さくなることが確認できる。さらに、図 5 に示す通り

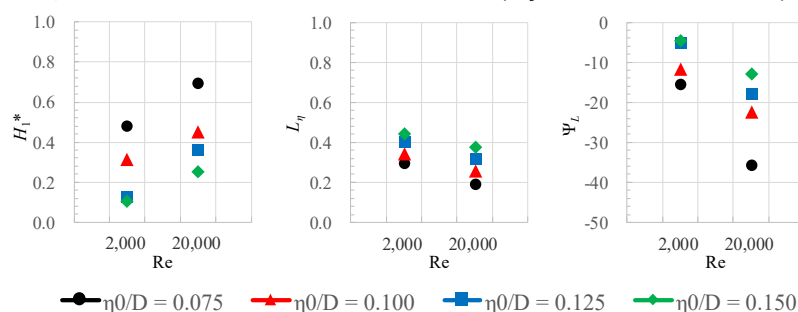


図 4: スパン方向解析領域と非定常空気力係数の関係 ($U/fD=10.0$, $Re=20,000$)

$Re=2,000$ と $Re=20,000$ では、 $\tilde{C}_{pH_1^*}$ の分布が大きく異なっており、橋桁まわりの流れ場が大きく変化していることが確認できる。圧力の変動量、位相の分布ともに、特に桁下面では定性的にもレイノルズ数によって大きく異なり、レイノルズ数の影響を強く受けていることが確認できる。今回対象とした形状は流線形に近い箱桁断面であり、桁下面の剥離点がレイノルズ数によって変化したことが要因であると考えられる。なお、レイノルズ数が小さい方が H_1^* は小さくなっており、渦励振の振幅は小さくなる。風洞実験の自由振動実験で渦励振の評価を行う場合、比較的低いレイノルズ数を使わざるを得ない場合があり、実現象と比較して振幅の過小評価となる可能性があるため、注意を要するといえる。

4. 結論 強制加振法を用いた渦励振評価に対するスパン方向領域(Lz)とレイノルズ数の影響について検討を行った。渦励振を対象とした風速域では、スパン方向領域が大きいほど、またレイノルズ数が小さいほど H_1^* が小さくなることが確認された。自由振動実験で渦励振の評価を行う場合には、レイノルズ数が小さい場合があり、振幅の過小評価となる可能性があるため、注意を要する。

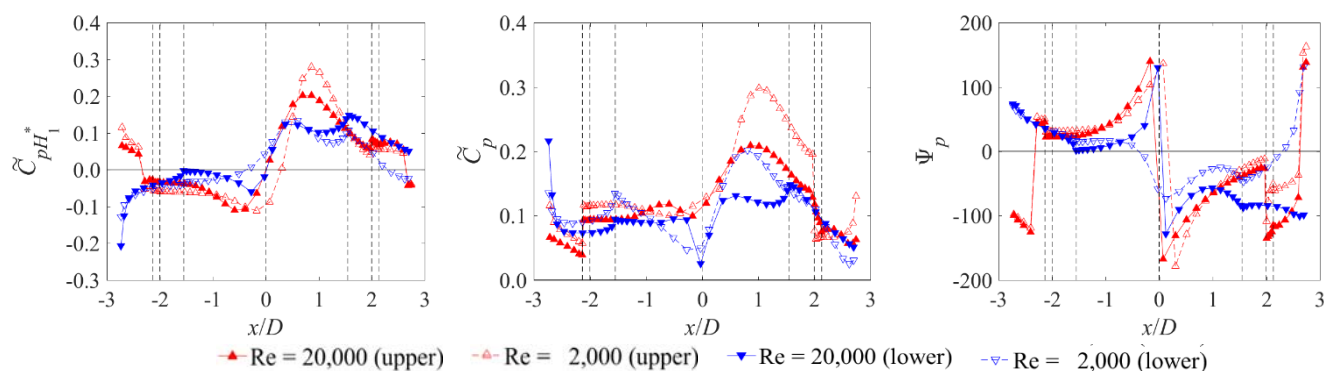


図 5: スパン方向解析領域と非定常空気力係数の関係 ($U/fD=10.0$, $Lz/D=10.0$)

参考文献 1) 伊藤靖晃, J. Michael R. Graham, "LES による箱桁橋梁断面の空気力評価とスパン方向解析領域の影響の検討", 土木学会論文集 A1 (構造・地震工学), Vol. 73, No. 1, pp. 218-231, 2017. 2) 伊藤靖晃, 野口恭平, 八木知己, "強制加振法を用いた LES による箱桁橋梁断面の渦励振の振幅評価", 土木学会第 73 回年次学術講演会, 2018.