

並列ケーブルに生じるウェークギャロッピングの数値解析

東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 学生会員 ○松本 圭生  
東京大学大学院工学系研究科 社会基盤学専攻 正会員 石原 孟

1. はじめに

徳島県の吉野川にかかる東環状大橋は、干潟の環境保護の観点から並列ケーブルを用いている。しかし、並列ケーブルを用いた場合、後流側ケーブルに大振幅の振動すなわちウェークギャロッピングが発生するという問題がある。ウェークギャロッピングの発生メカニズムとして、白石らは<sup>1)</sup>揚力係数の勾配が負で、後流側円柱の変位に対して非定常揚力の位相が遅れる場合に空力負減衰が生じるためであることを示した。このことから、ヘリカルワイヤを巻く場合などの制振対策を行った場合に数値解析により、定常空気力や非定常空気力を求めることができれば対策の効果を予測することが可能になる。

そこで、本研究では、まず並列円柱を対象として3次元LESモデル<sup>2)</sup>を利用し静的解析を行うとともに、2次元k- $\omega$ モデルを利用し、スライディンググリッドを用いた動的解析を行うことで従来の風洞実験で説明されているウェークギャロッピング発生理論を数値解析により説明する。

2. 数値解析モデル

本研究では、久保ら<sup>3)</sup>が用いた円柱間隔3.3Dの並列円柱を対象とした。ただし、静的解析に関しては3.3D間隔の定常空気力のデータがないため、藤澤ら<sup>4)</sup>が用いたのと同じ円柱間隔3Dの並列円柱をモデル化した。図1には作成した数値解析モデルの計算領域と並列円柱の鳥瞰図を示す。

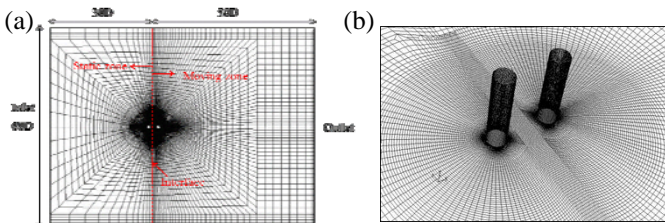


図1 数値解析モデルの(a)解析領域と(b)鳥瞰図

領域は風洞実験の特性を再現するために高さを60D、幅を80Dとしている。また、流入領域から幅30Dの位置でスライディンググリッドを用いることで、右側の領域を移動可能領域とし、後流側円柱の迎角を変化させている。動的解析では久保らの実験でウェークギャロッピングの発生した迎角15°に後流側円柱を配置させ、次式であらわされる振動方程式を解くことで後流側円柱を移動させながら計算を行っている。

$$F(t) = m\ddot{x} + c\dot{x} + kx \tag{1}$$

ここで、 $m$ は質量、 $c$ は粘性係数、 $k$ はばね定数、 $F(t)$ はモデルに生じる時間依存性のある力である。

3. 数値解析結果

3.1 静的解析

まず、円柱間隔3D、迎角0°における後流側円柱の平均圧力分布を図2-(a)に示す。迎角0°では、図3-(a)に示すように、後流側円柱の圧力は全域で負の値を示している。この負圧は、後流側円柱全体が上流側円柱の後流内に入っているために生じている。

一方、円柱間隔3D、迎角15°における後流側円柱の平均圧力分布 図2-(b)では、図3-(b)に示すように後流側円柱の下側のみが後流の影響を受けるため、270°付近での負圧が大きくなっている。

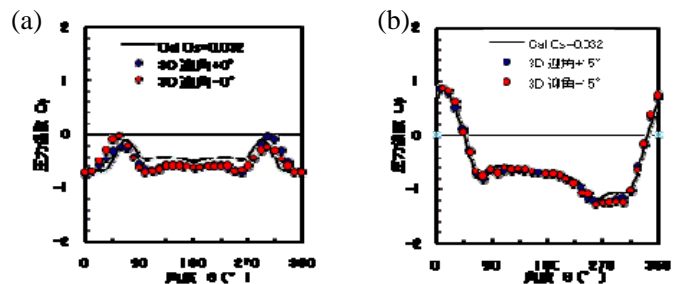


図2 後流側円柱の平均圧力分布

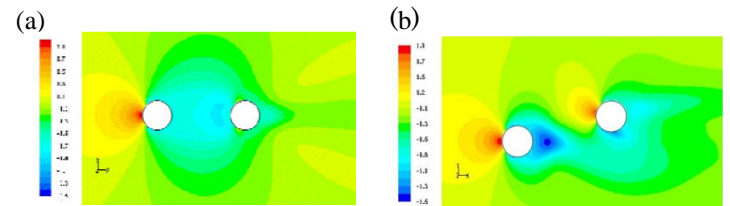


図3 並列円柱まわりの平均圧力場

次に円柱間隔  $d=3D$  における揚力係数の分布を図4に示す。縦軸は迎角の絶対値を示し、横軸は揚力係数を示し、円柱中心方向に働く力を負としている。

迎角  $0^\circ$  における揚力係数は図2-a)で示したように、後流側円柱全体が上流側円柱の後流内に入り、後流側円柱の上下に生じる圧力が対象となるため0となっている。一方、下流側円柱が上方に変位すれば後流中心に近い円柱下側の圧力が相対的に低下するため、迎角  $15^\circ$  付近の揚力係数の勾配が負となっている。

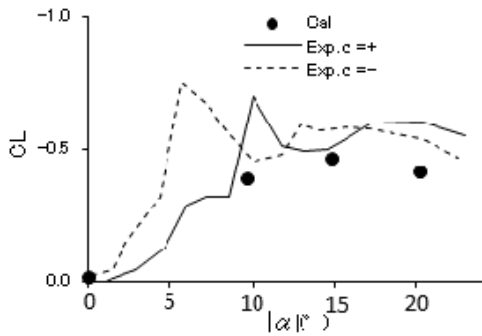


図4 後流側円柱に作用する定常揚力係数( $d=3D$ )

3.2 動的解析

動的解析を行う際は sarwar<sup>5)</sup>らと同様にスライディンググリッドを用いた。乱流モデルは  $k-\omega$  モデルを用い、振動方程式の解法は Newmark- $\beta$  法を用いている。本研究では、後流側円柱の風方向の振動を固定してある。

迎角  $15^\circ$  において、大振幅の振動が見られ、ウェークギャロッピングが発生しているということがわかる。

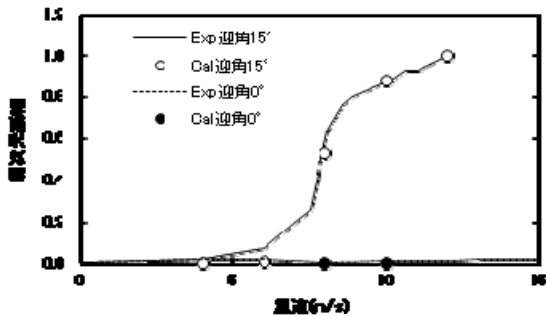


図5 後流側円柱の無次元振幅

次にウェークギャロッピング発生時(迎角  $15^\circ$ 、風速  $10\text{m/s}$ )における後流側円柱の変位と非定常揚力の時系列を図6に示す。ここで変位は振動中心からの変位であり、揚力は後流側円柱に生じる揚力から平均揚力を引いたものとなっている。

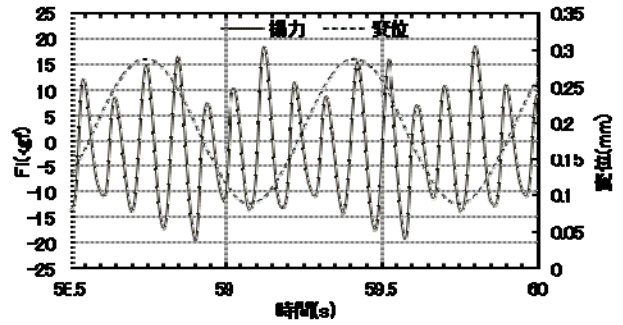


図6 ウェークギャロッピング発生時の揚力の時系列波形

これらをフーリエ変換し、変位の卓越周波数と同周波数成分の揚力の位相差を求めたところ  $50^\circ$  遅れとなっていることが分かった。

4 結論

本研究では、並列円柱に対して静的解析と動的解析を行い、以下の結論を得た。

- 1) 下流側円柱が上方に変位すれば後流中心に近い円柱下側の圧力が相対的に低下するため、迎角  $15^\circ$  付近の揚力係数の勾配が負となる。
- 2) 迎角  $15^\circ$  のウェークギャロッピング発生時には後流側円柱の変位に対して非定常揚力の周期が位相遅れの状態になる。
- 3) このため、空力負減衰が生じる条件を満たし、数値流体解析によりウェークギャロッピング発生理論の説明を行った。

参考文献

- (1) 白石也人: 2 本直列柱の空力応答特性とその発生機構に関する基礎的研究.第 8 回風工学シンポジウム pp.563-564 (1984).
- (2) 石原孟, 岡新一, 藤野陽三: 一様流中に置かれた正方形角柱の空気力特性の数値予測に関する研究.土木学会論文集 Vol.62A, No.1, pp.78-90 (2006).
- (3) 久保義人, 結城洋一, 石井博典, 畠中真一, 河藤千尋: 実物大供試体を用いた橋梁の並列ケーブルのウェイクギャロッピング特性.構造学論文集 Vol.58 (2012).
- (4) 藤澤伸光: 並列円柱のウェークギャロッピングと定常及び非定常圧力分布.土木学会論文集 Vol.65A, No.4, pp.966-979 (2009)
- (5) M.W. Sarwar. and T. Shihara : Numerical study on suppression of vortex-induced vibrations of boxgirder bridge section by aerodynamic countermeasures. pp701-711 (2010).