

ケーブル断面周りの流れへの刺激による斜張橋ケーブルの空力特性への影響

京都大学大学院工学研究科 学生員 ○初田 英明
 京都大学大学院工学研究科 正会員 八木 知己
 京都大学大学院工学研究科卒業生 劉 慶寛

京都大学大学院工学研究科 フェロー 松本 勝
 西松建設株式会社 足立 洋一
 京都大学大学院工学研究科 学生員 島 宜範

1. はじめに

過去の研究において、カルマン渦の放出強度が弱い場合に軸方向流が強く形成されており、その際に発散型振動が確認された。時刻歴変位波形からも、カルマン渦放出周波数で模型が振動している時間帯は模型固有振動数成分が抑えられ、模型固有振動数で振動している時間帯はカルマン渦放出周波数成分が抑えられていることも確認された。そのため、カルマン渦放出と軸方向流は密接に関係しており、カルマン渦が発散振動を抑制している可能性が示唆された。そこで本研究では、カルマン渦がケーブルの空力特性に与える効果をより明確に把握するために、カルマン渦強度を制御して各種空力特性について考察を行った。

2. スプリッタープレートの開口率を変化させた際のケーブル模型の空力特性におけるカルマン渦の効果

水平偏角 $\beta=0^\circ$ にケーブル模型を設置し穴あきスプリッタープレートを後流域に挿入し、その開口率を徐々に変化させることで、段階的にカルマン渦の放出強度を変化させ、各種空力特性について考察を行った（Photo.1 参照）。ただし、スプリッタープレートはカルマン渦放出を抑制するという点において、軸方向流と同等の効果を果たすが、スプリッタープレートは常にケーブル模型の wake center に設置しているのに対して、軸方向流は時間的にも空間的にも非定常に存在しているので、注意を要する。

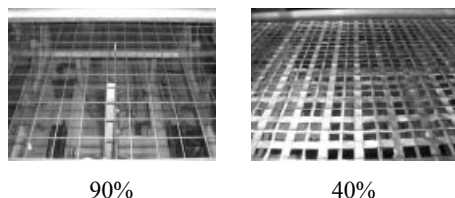


Photo.1 Variation of open ratio of splitter plate

2.1 静的空気力特性

ケーブル模型後流域スプリッタープレートを挿入し、その開口率を0%~100%まで段階的に変化させ、ケーブル模型の静的空気力特性について調査した。Fig.1 に変動揚力係数、Fig.2 に変動揚力のスペクトル解析結果を

示す。スプリッタープレートの開口率を減少させることで、カルマン渦放出を段階的に制御できることが確認された。

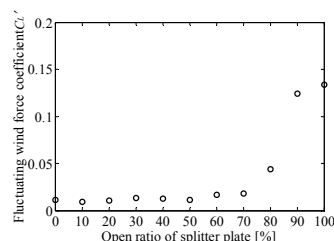


Fig.1 Fluctuating wind force coefficient of the cable

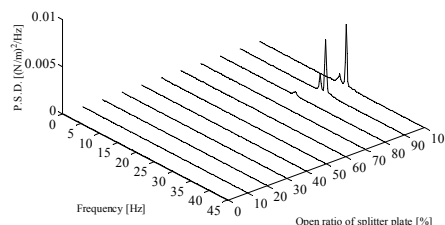


Fig.2 P.S.D. of the fluctuating lift force on the cable model

2.2 外的刺激を与えた際の静的空気力特性

及び後流域変動風速特性

(1) パルセーターによる刺激

パルセーターを用いてケーブル模型の剥離剪断層に上下面同相の刺激を与えた場合の後流域変動風速のスペクトル解析結果図を Fig.3 に示す。スプリッタープレートの開口率に関わらず、カルマン渦放出周波数付近の刺激の振動数を後流域変動風速で確認することはできなかった。その要因として、カルマン渦は上下逆相で放出されているのに対して、本研究では上下同相で刺激していることで本来ケーブルの有しているカルマン渦放出周波数と近い周波数では上下同相である外的刺激の渦が形成されにくいと考えられた。

(2) 翼列による刺激

翼列を用いてケーブル模型の剥離剪断層に対して上下面逆相の刺激を与えた場合の変動揚力のウェーブレット解析結果図を Fig.4 に示す。接近流が周期的に相対迎角を持つことによる変動揚力とカルマン渦による変動揚力とを比較した場合、カルマン渦による変動揚力成分と翼列の刺激による変動揚力成分がそれぞれ存在

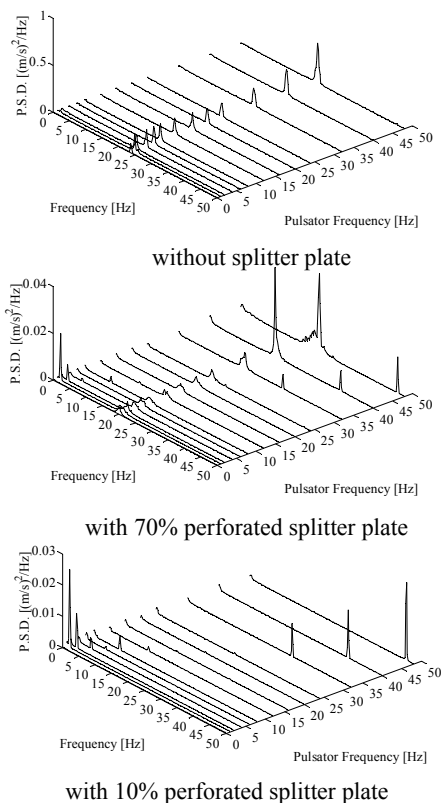


Fig. 3 P.S.D. of the fluctuating wind velocity in the wake of the cable
し、スプリッタープレートの開口率の増加に伴いカルマン渦による変動揚力成分が増加し、一方翼列の刺激による変動揚力成分は減少することが確認された。また、翼列の刺激による変動揚力成分は定常的であるのに対してカルマン渦による変動揚力は非定常であることが確認された。

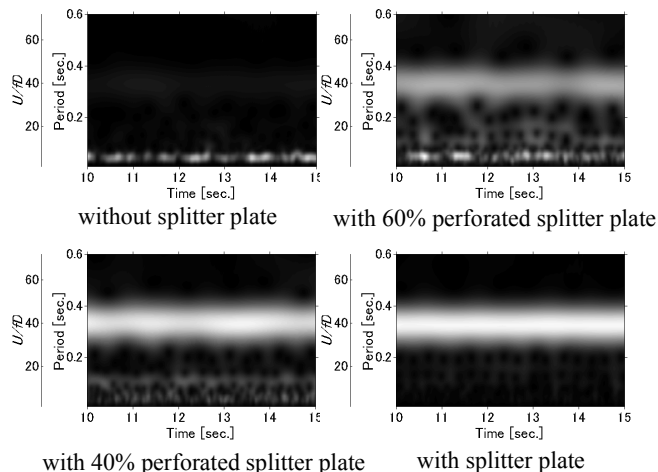


Fig. 4 Wavelet analysis of the fluctuating lift force on the cable model with gust generator

2.3 空力振動特性

自由振動実験結果を Fig.5 に示す。スプリッタープレートの開口率 100~40% のケースでは、スプリッタープレートを挿入することでカルマン渦強度が弱まっているにもかかわらず、渦励振の最大振幅が大き

くなることから、振幅が大きい場合は自己励起型渦によって振動することで最大振幅が増幅している可能性が示唆される。スプリッタープレートの開口率を徐々に小さくするとカルマン渦励振の発現風速域は広範囲になり、リミットサイクルを伴いながら最大で無次元風速 $U/fD=20$ 付近まで振動している。渦励振が存在している場合、高風速域で確認される定常振動が $U/fD=20$ 付近より高い風速で確認され、過去の研究¹⁾での高風速渦励振の発現風速 $U/fD=20$ と対応している。また、高風速域で定常振動が確認される開口率 60%以下では、翼列による変動揚力がカルマン渦放出周波数成分の変動揚力よりも卓越しており、変動相対迎角を持った際に生じる変動揚力が制振力として作用しているカルマン渦の変動揚力よりも大きい場合に振動が励起される可能性と考えられる。

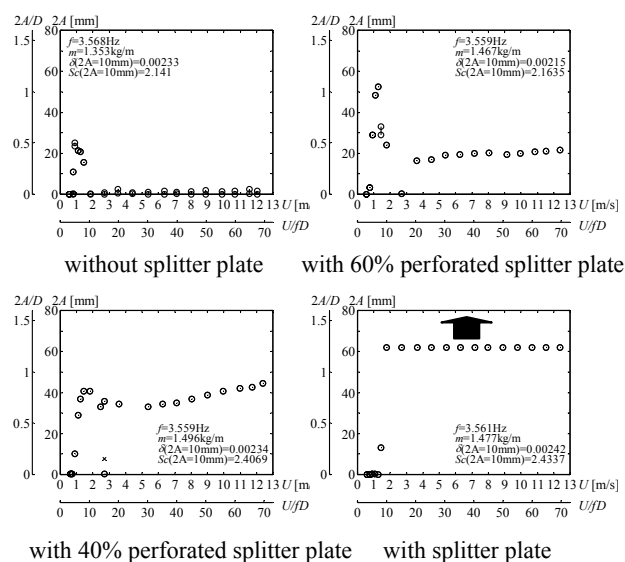


Fig.5 Velocity - Amplitude diagram

3. 結論

スプリッタープレートの開口率を変化させることでカルマン渦の放出強度を制御し、その際のケーブル模型の空力特性について考察を行った結果、開口率が減少すると発散振動が確認された。また、その発現風速は自己励起型と考えられる渦励振が存在する場合、 $U/fD=20$ 付近となっており、過去の研究で報告されている高風速渦励振との発現風速と一致しているが、その関係についてはより詳細な検討を要する。

参考文献

- 1) Matsumoto, M. et.al. Wind-induced cable vibration of cable-stayed bridges in Japan. Proc. of Japan-Canada Joint Workshop on Bridge Aerodynamics; 101-110, 1989.