

京都大学工学部 学生員 ○岡田 太賀雄 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学工学研究科 正会員 八木 知己 京都大学大学院 学生員 酒井 精一郎
 京都大学大学院 学生員 大谷 純

1.はじめに 斜張橋ケーブルにおいて発生する高風速渦励振（レインパイブレーション，雨無し振動）は，カルマン渦励振の共振風速域よりも高い無次元風速 $V/fD=20,40,80$ 等で発現する風速限定型の振動現象である．その発生要因として，降雨時にケーブル表面に形成される水路，ケーブルの後流域に発生する軸方向流，カルマン渦の 3 次元的放出，軸方向渦とカルマン渦との相互干渉などが指摘されているが，未解明な点も多い．そこで本研究では剛体ケーブル模型に作用する低周波数成分及びカルマン渦成分の変動揚力に着目して，高風速渦励振の発生メカニズムについて考察を行った．

2.剛体傾斜ケーブル模型のスパン方向変動揚力特性

過去の研究¹⁾において水平偏角 $\beta=45^\circ$ に設置された傾斜円柱模型後流には高風速渦励振の励振力の一つと考えられる低周波数成分が模型スパン方向全般にわたって発生しており，特に模型スパン方向上流端側で強く発生していることが報告されている．そこで図 1 に示すような 71 個のエレメントを有する模型（EAR 模型）を水平偏角 $\beta=45^\circ$ に設置し，個々のエレメントに作用する変動揚力を測定し，模型スパン方向の変動揚力分布を調べた．また，降雨時の状況を再現するために模型上面に人工水路（ $\theta=72^\circ$ ）を設置し，さらに気流の違いによる影響についても検討した．

図 2 に変動揚力のスペクトル解析結果を示す．図 2 より高風速渦励振の励振力と考えられる低周波数成分が模型スパン方向上流端側において強く現れており，過去の研究¹⁾において模型後流域変動風速の低周波数成分が卓越している位置とほぼ対応していることが確認された．従って，模型後流域に発生している低周波数成分が卓越する個所において高風速渦励振の励振力が強く作用しているものと考えられる．また一様流中に比べ乱流中では高風速渦励振の励振力と考えられる低周波数成分が弱められている．しかし，気流の違いに関係なく人工水路を設置することで高風速渦励振の励振力と考えられる低周波数成分が模型スパン方向中央部においても強められている．つまり水路の設置によってより強い高風速渦励振の励振力が模型に作用していると考えられる．

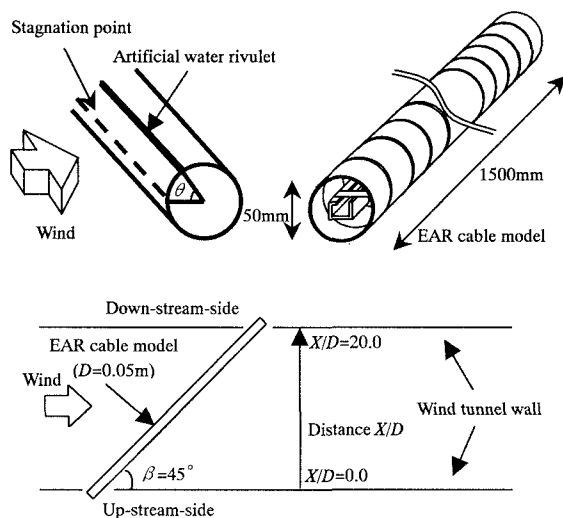


図 1 EAR 模型及び人工水路の設置位置

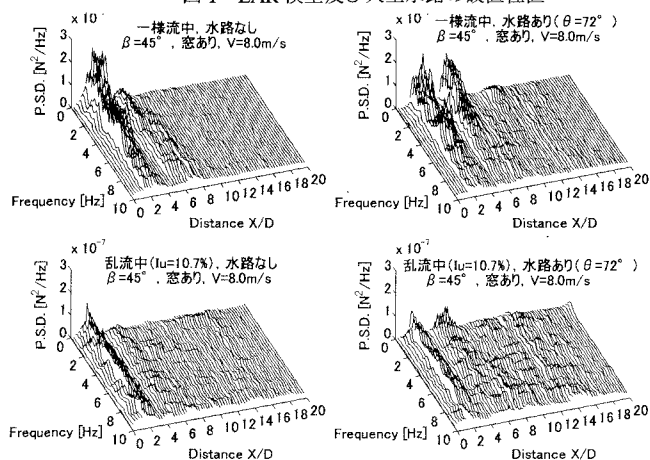


図 2 EAR 模型に作用する変動揚力の P.S.D. 図

3.剛体傾斜ケーブル模型 のカルマン渦放出特性

次に、人工水路の設置位置 θ を変化させて剛体ケーブル模型に作用する変動揚力を模型端部に設置したロードセルより測定した。図 3 に上流端側ロードセルにより検出した変動揚力のスペクトル結果を、図 4 にその卓越

周波数から求めた St 数の分布図を示す。傾斜することによってカルマン渦によるピークがワイドバンドになっているのが分かる。また、水路の設置位置によりカルマン渦の放出周波数が大きく変化していることが分かる。

一方、過去の研究¹⁾において剛体傾斜ケーブル模型に作用する変動圧力から求めたスパン方向の St 数の分布図を図 5 に示す。ケーブル端部に窓を設けた場合、特に上流端側において St 数のスパン方向の変化が大きいこと

がわかる。実橋ケーブルにおいて自然風は高度方向に風速が異なることを考慮すると、ケーブルスパン方向にカルマン渦の放出周波数は一定でないと考えられる。従って、風洞実験において「窓あり」にすることでより実橋ケーブルに近い特性を再現しているものと考えられる。さらに「窓あり」にすることで高風速渦励振の励振力と考えられる低周波数成分が上流端側で卓越していることと St 数が上流端側で大きく変化していることが対応している可能性があることを考慮すると、カルマン渦放出周波数がケーブルスパン方向に変化していることが長周期の渦を発生させ、高風速渦励振を励起しているものと推察できる。

更に、実橋ケーブルにおいてはケーブル表面に形成される水路はケーブルスパン方向に一定の位置に水路が形成されているとは考えにくい。従って、上記の風洞実験の結果を考慮すると、水路形成位置がケーブルスパン方向に一樣でない場合には、カルマン渦放出周波数のケーブルスパン方向への変化がさらに増幅していると考えられ、降雨時により多くの高風速渦励振（レインパイブレーション）が観測されていることに対応する。

4.まとめ 傾斜ケーブルにおいてカルマン渦放出周波数がケーブルスパン方向に変化することにより高風速渦励振が励起されている可能性が示唆された。また、実橋ケーブルにおいて降雨時に高風速渦励振が多く観測されているのは、ケーブルスパン方向に一樣に水路が形成されていないことで、晴天時よりもカルマン渦放出周波数のスパン方向変化が増幅されているためであると考えられる。

参考文献 1) 松本 勝，八木知己，對馬大輔，後藤光理，酒井精一郎，斜張橋ケーブルにおける軸方向渦と高風速渦励振に関する基礎的研究，第 16 回風工学シンポジウム論文集，2000

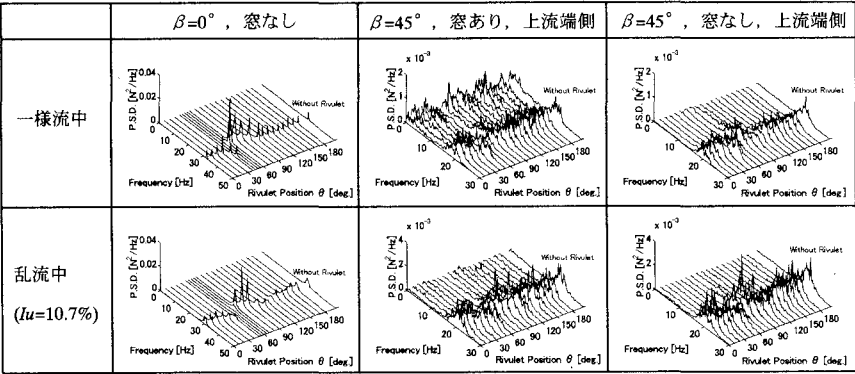


図 3 剛体ケーブル模型に作用する変動揚力の P.S.D.図 ($V=8.0\text{m/s}$)

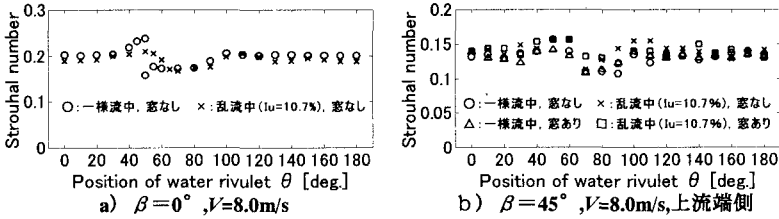


図 4 剛体ケーブル模型に作用する変動揚力から求めた水路位置による St 数の分布図

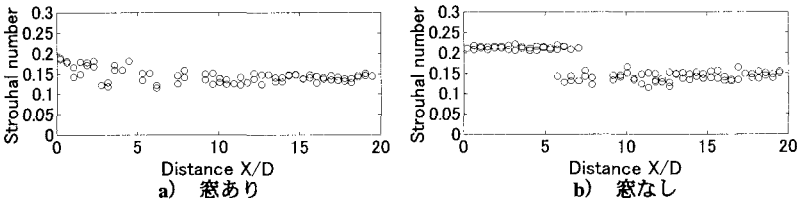


図 5 傾斜剛体ケーブル模型に作用する変動圧力から求めたスパン方向の St 数の分布図（一様流中，水路なし， $\beta=45^\circ$ ， $V=4.0\text{m/s}$ ）