

I - B52

斜張橋ケーブルにおける高風速渦励振の発生メカニズムに関する研究

京都大学大学院 学生員 ○對馬 大輔
京都大学工学研究科 正会員 白土 博通

京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
川崎重工業（株） 正会員 重村 好則*

*研究当時京都大学大学院

1. はじめに レインバイブレーションは斜張橋ケーブルが降雨を伴う強風下で振動する現象であり無次元風速 $V/fD=40,80$ 等カルマン渦励振の共振風速より高い風速域で発現することが多く、高風速渦励振の様相を呈している。本研究では、斜張橋ケーブルの高風速渦励振に着目し、実橋ケーブルの振動特性、静止及び振動円柱の揚力特性並びに後流域特性などからその発生メカニズム、降雨・軸方向流などの因子がそれに及ぼす影響について考察を行った。

2. 静止円柱の変動揚力特性 2次元剛体模型を水平支持し、その両端に設置したロードセルでケーブル模型に作用する変動揚力を計測し、スペクトル解析を行った。なお、以下に示す図は風速 $V=3\text{m/s}$ のときの結果である。またケーブルが風洞壁を貫通している部分には直径 200mm の窓が開いている。図 2-1 に示す水平風向偏角 $\beta=0^\circ$ 、すなわちケーブルが主流に対して直角に支持されたときの揚力のスペクトル解析から V/fD 約 20 に対応する周波数で高風速渦励振の励振力となっていると思われる揚力成分の存在が確認された。図 2-2 より主流に対して $\beta=45^\circ$ にケーブルが傾斜するとこの揚力の低周波成分が低周波数側へ移動し、対応する無次元風速が約 40 になっている。過去の研究¹⁾により、傾斜ケーブル後流域にはケーブルの軸方向に沿ったいわゆる軸方向流が存在することが明らかになっており、揚力の低周波成分が低周波数側へ移動したのは軸方向流の影響による可能性が考えられる。この結果は図 2-3 に示すように $\beta=0^\circ$ でケーブル後流域に人工軸方向流を発生させたときに揚力の低周波成分に対応する無次元風速が 40 弱になっていることとも一致する。さらに図 2-4 に示すようにケーブル端部に端板を設置して軸方向流の供給を阻害すると揚力の低周波成分が消滅したことを併せて考えると、高風速渦励振の発現は軸方向流に大きく依存していると考えられる。また水路や乱流が高風速渦励振に及ぼす影響について調べるためにケーブル表面に人工水路を設置したケースや乱流中でも測定したが、これらによって揚力の低周波成分が強調される傾向は明確には現れなかった。

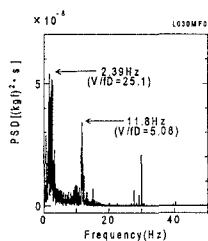


図 2-1 $V=3\text{m/s}$, $\beta=0^\circ$
窓あり、一様流

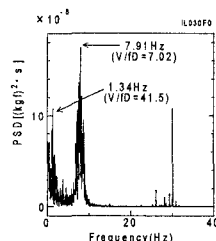


図 2-2 $V=3\text{m/s}$, $\beta=45^\circ$
窓あり、一様流

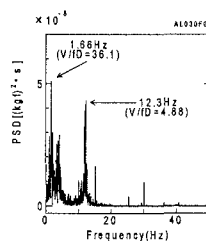


図 2-3 $V=3\text{m/s}$, $\beta=0^\circ$
軸方向流付、一様流

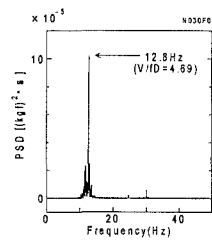


図 2-4 $V=3\text{m/s}$, $\beta=0^\circ$
端板付、一様流

3. 振動円柱の非定常空気力特性 強制加振法による非定常空気力を $\beta=0^\circ$ でロードセルを用いた直接測定によって行った。図 3-1 に示す一様流中での H_1^* 分布を見ると V/fD 約 30 で H_1^* が正の値を示し、この風速域で高風速渦励振が発現する可能性がある。図 3-2 よりケーブル表面の $\theta=72^\circ$ の位置に人工水路を設置したとき $V/fD=20,40,60,100$ などの風速域で励振力が作用し、水路によって空力的に不安定化していることが分かる。またケーブル後流域に人工軸方向流を与えたときの結果を図 3-3 に示す。これを見ると $V/fD=40$ で H_1^* が正となり、この風速域で高風速渦励振が発現する可能性が考えられる。また乱流中で人工水路を設置したところ一

キーワード：レインバイブレーション、高風速渦励振、カルマン渦、軸方向渦

連絡先：〒 606-8501 京都市左京区吉田本町 TEL:075(753)5093 FAX:075(761)0646

様流中と同様に非定常空気力特性が非常に敏感に反応し、ケーブルが不安定化していることがわかった。さらに図 3-4 より乱流中でケーブルの後流域に人工軸方向流を与えたところ $V/\beta D=40$ 付近で大きく不安定化していることがわかる。従って一様流中、乱流中での結果を併せて考えると軸方向流が高風速渦励振の発生に大きく関与している可能性が考えられる。

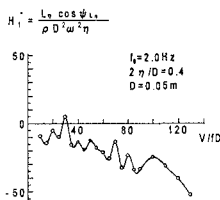


図 3-1 一様流

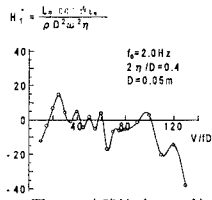


図 3-2 水路付 ($\theta=72^\circ$)
一様流

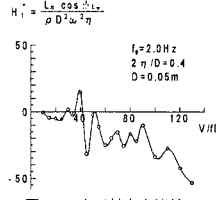


図 3-3 人工軸方向流付
一様流

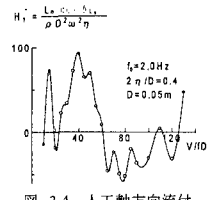
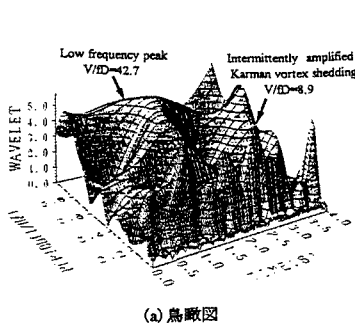
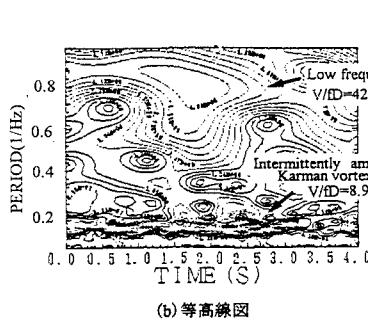


図 3-4 人工軸方向流付
乱流

4. 軸方向流と高風速渦励振 これまでの結果から、高風速渦励振の発現が軸方向流によって何らかの影響を受けていることが判明した。そこでケーブル後流域の流れの可視化を行いビデオカメラで撮影した。その結果、 $\beta=45^\circ$ の傾斜ケーブルの後流域のケーブル表面近くにケーブル軸方向に沿って軸方向渦が発生していることが確認された。またビデオ映像で見るとこの軸方向渦は軸方向の流れからちぎれて主流方向に流されているように見える。また図 4-1 に示すように静止円柱の変動揚力 ($V=3.0\text{m/s}$, $\beta=45^\circ$) のウェーブレット解析を行ったところ、カルマン渦放出によるピークが間欠的に強められており、またその時刻において無次元風速 $V/\beta D=40$ 付近の揚力の低周波成分が現れている。これらの結果を踏まえると、カルマン渦と軸方向渦がカルマン渦放出回数につき 1 回同期して間欠的に強い渦が放出され、その渦によって高風速渦励振が励起されている可能性が考えられる。この概念図を図 4-2 に示す。この仮説に基づいてカルマン渦放出 3 回につき 1 回、軸方向渦とカルマン渦が同期すると仮定すると白樫ら³⁾による $\beta=45^\circ$ の円柱模型がカルマン渦放出周波数の 1/3 倍付近の周波数で高速域共振が発生したという報告に整合し、カルマン渦放出 5～6 回につき 1 回同期すると仮定すると、 $V/\beta D=40$ 付近となり高風速渦励振が発現するとされる風速域と一致する。従ってこの仮説により $V/\beta D=20, 40, 80$ といった風速域で起こると言われる高風速渦励振の発生メカニズムの説明が可能である。



(a) 鳥瞰図



(b) 等高線図

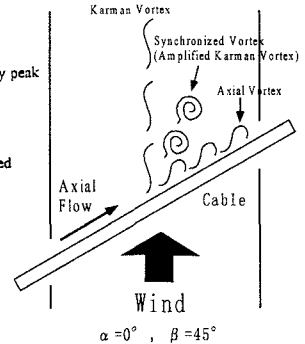


図 4-2 軸方向渦とカルマン渦

5. 結論 静止及び振動円柱の揚力特性などから高風速渦励振の発現には軸方向流が大きく関係していることが判明した。それに基づいて傾斜ケーブル後流域の可視化を行ったところケーブル軸方向に沿って軸方向渦の存在が確認され、この軸方向渦とカルマン渦との同期による間欠的な渦放出によって高風速渦励振が励起されている可能性が示唆された。

参考文献 1) 松本 勝、白石成人、北沢正彦、辻井正人、平井滋登、「傾斜円柱の空力振動特性 —ケーブル Rain Vibration との関連性—」、第 10 回風工学シンポジウム論文集、1988

2) 白樫正高、上野真司、石田康弘、脇屋正一、「弾性支持された円柱の流体力学的振動に関する研究」、日本機械学会論文集 (B 編) 49 巻 446 号、1983