

京都大学大学院 学生員○青木 淳
 京都大学工学部 正 員 白石成人
 農 林 水 産 省* 正 員 西崎孝之
 阪神高速道路公団 正 員 北沢正彦

京都大学工学部 正 員 松本 勝
 京都大学工学部 正 員 白土博通
 京都大学大学院 学生員 山岸 稔
 (*当時京都大学大学院生)

1. まえがき レインバイブレーションは、斜張橋のケーブルが風と雨によって振動する現象であり、国内外のいくつかの斜張橋で振動例が報告されている。振動振幅が大きいことや頻繁に起こることにより、斜張橋架設数の増加に伴い最近問題となってきている。実橋での観測から、その特徴として、①降雨時に発生する。②ある限られた風速域で発生する限定型振動である。③風向きが橋軸に対して偏角を持つ。などが挙げられる。一方風洞実験においては、風速限定型と発散型の2種類の振動が発生し、その発生要因として、気流がケーブルに対して偏角（風向偏角）を有して吹くことによるケーブル背後の「軸方向流」および雨によってケーブル表面に形成される「上面側水路（以下水路と呼ぶ）」の2つが指摘され、発散型振動についてはギャロッピングの準定常理論に基づき定性的に説明されている¹⁾。また、発散型の振動は気流の乱れによって安定化されることも指摘されている²⁾。限定型振動のみが生じるという実橋でのケーブル挙動は、発散型振動が自然風の乱れによって抑制された結果といえる。本研究では実橋で発生する風速限定型の振動についてその発生機構を考察する。

2. 実験結果と考察

〈V-A- δ 特性〉 図1は、風向偏角 $\beta=45^\circ$ 、水路位置 $\theta=72^\circ$ 、一様流の条件下におけるV-A- δ 図である。無次元風速 $V/fD=40$ における限定型振動のほかに、 $V/fD=80$ 付近に減衰が局所的に小さくなるピークがみられる。これは、ギャロッピング型振動の中に潜在的に限定型振動が混在していることを示している。また、図2は、風向偏角 $\beta=0^\circ$ 、水路なし、一様流の場合のV-A- δ 図であるが、この場合もやはり $V/fD=40, 80, 120$ 付近にピークが存在している。負減衰までは達せず、振動となって顕在化しないが、限定型振動の要因となるものが潜在していることがわかる。このように、限定型振動は、風向偏角を持たず（ $\beta=0^\circ$ ）、水路のない円柱ケーブル自体が潜在的に有する固有の性質であり、これが水路形成、風向偏角、および乱流によって不安定性を増幅され、振動が発現するに至るものと考えられる。

〈後流域流速変動測定〉 風向偏角 $\beta=0^\circ$ 、水路なしの条件下でケーブルを固定し、一様流（ $V=8\text{m/s}$ ）中での後流域の変動流速のパワースペクトル密度を測定した。その結果を図3に示す。円柱のストローハル数を0.2としたときのこの風速でのカルマン渦放出周波数は32Hzであるがこの図から分かるように、渦放出周波数はスパン方向に異

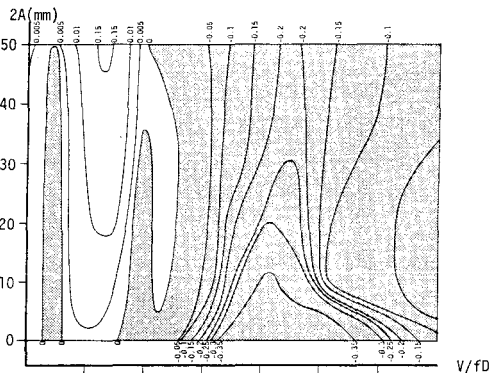


図1 V-A- δ 図 ($\beta=45^\circ, \theta=72^\circ$, 一様流)

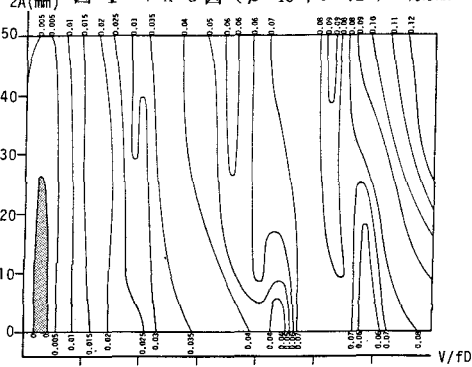


図2 V-A- δ 図 ($\beta=0^\circ$, 水路なし, 一様流)

Jun AOKI, Masaru MATSUMOTO, Naruhito SHIRAIISHI, Hiromichi SHIRATO, Takayuki NISHIZAKI**,
 Minoru YAMAGISHI, Masahiko KITAZAWA

(**former graduate student, Kyoto Univ.)

なっており、特に2つのピークが卓越している。つまり2次元模型において、渦放出の3次元性がみられる。ここで2種類の渦放出周波数の差を Δf とする。これらの渦は、ケーブル静止状態では時間的、空間的にランダムに発生しているが、水路により気流の剥離点が固定されること、ケーブルの運動によって渦生成の位相が揃うことなどの要因によって、ある瞬間にスパン方向に位相が揃った大きな渦が放出される。それ以降、 $1/\Delta f$ (s)に1回スパン方向に揃った大きな渦が発生し、これが限定型振動の発生要因と推察される長周期の渦となっていると考えられる。

次に風向偏角 $\beta=0^\circ$ 、水路なし、一樣流($V=8\text{m/s}$)の条件下でケーブルを1~6Hzで強制加振(倍振幅10mm)し、同様の測定を行った。図4は各無次元風速における変動のパワースペクトルのピークを示したものである。図から分かるように、 $x=35\text{cm}$ のとき $V/fD=40$ 付近に、 $x=20\text{cm}$ のとき $V/fD=75$ 付近において風速変動のピークが大きくなっている。この風速域が限定型振動発生風速域と一致していることより、限定型振動の発生がこの変動に起因するものであると考えられる。この変動は、2次元円柱のSt数が約0.2であることを考えると、それよりも8~15倍の周期を有する極めてゆっくりした変動である。

3. 結論 本論文では斜張橋ケーブルのレインバイブレーションの発生機構に関して、特に風速限定型の振動について考察した。以下にその結論を示す。

- ①限定型振動を引き起こす要因は
風向偏角 $\beta=0^\circ$ の水路のない円柱ケーブル自体にも潜在しており、水路形成などによって空力的不安定性が増幅させられる。
- ②カルマン渦放出のスパン方向の3次元性が確認され、これが限定型振動の発生に大きく関わっている可能性がある。

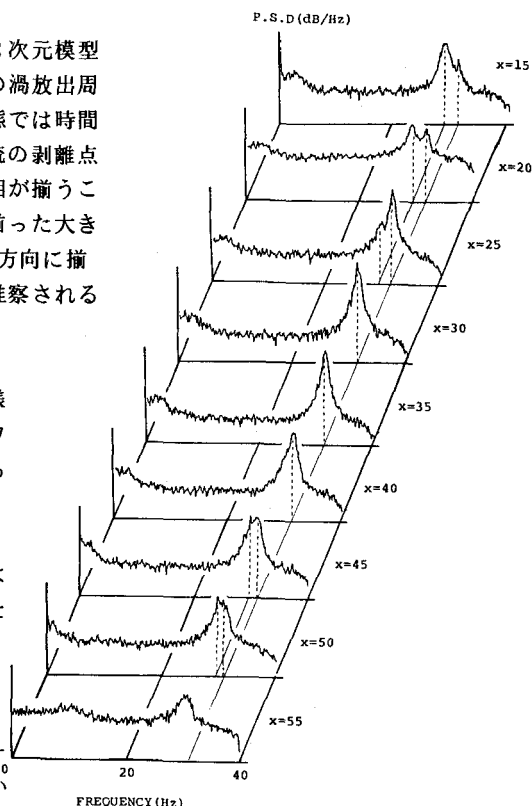


図3 後流域流速のパワースペクトル密度 (x : 風洞側壁からの距離)

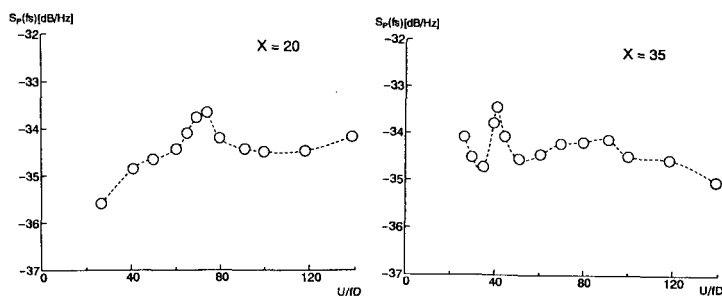


図4 加振振動数における変動風速のパワースペクトル密度のピークの変化

(謝辞) 本研究の遂行にあたり多大なるご協力を頂いた三井建設辻本和弘氏、三井造船赤瀬雅之氏(共に当時京都大学学生)に深く感謝致します。

(参考文献) : (1)松本ら, "斜張橋ケーブルのRain Vibration発生機構における二つの要因についての考察", 第11回風工学シンポジウム論文集, 1990年

(2)松本ら, "斜張橋ケーブルのレインバイブレーションの振動性状とそれに及ぼす乱流およびスクルトン数の影響", 第11回風工学シンポジウム論文集, 1990年

(3)P. W. Bearman, N. Tombazis, "The Effects of Three-Dimensional Imposed Disturbances on Bluff Body Near Wake Flows", 1992

(4)微風振動調査専門委員会, 微風振動ワーキンググループ, "架空送電線の微風振動" 1982