

斜張橋ケーブルの空力振動特性の理解と それに基づく空力制振法の提案

松本 勝¹・青木 淳²・藤井大三³・北山暢彦⁴・大東義志⁵

¹正会員 工博 京都大学工学部土木工学教室 助教授 (〒 606-01 京都市左京区吉田本町)

²正会員 工修 西日本旅客鉄道株式会社* (〒 590 大阪市北区芝田 2-4-24)

³正会員 工修 西日本旅客鉄道株式会社* (〒 590 大阪市北区芝田 2-4-24)

⁴正会員 石川島播磨重工株式会社** (〒 104 東京都中央区佃 2-5-4)

⁵学生員 京都大学大学院環境地球工学専攻 (〒 606-01 京都市左京区吉田本町)

(* 研究当時京都大学大学院生, ** 研究当時京都大学学生)

本研究は、斜張橋の長支間化と共にますます重要視されるであろうケーブルの空力振動現象に関して、特に雨を伴う強風時に観測されている「レインバイブレーション」などの振動現象について、その振動特性及び振動発生機構の解明、さらにそれらに基づいた有効な制振対策を施したケーブルの提案などを目標として、風洞実験を行い考察したものである。ケーブル周りの流れ場は非常に3次元性が強く、従来より指摘されているレインバイブレーションの振動発生要因である「軸方向流」や「水路形成」に加え、この3次元性に注目することが制振を考える上で重要である。そこで本研究ではケーブルの空力振動現象の有効な制振対策として楕円板つきケーブルを提案し、その有効性を考察するものである。

Key Words : high speed vortex-induced excitation, three dimensionality, stabilization by elliptical plates, vibration mode

1. はじめに

斜張橋ケーブルは構造減衰が小さいため、渦励振・ウェイクギャロッピング・レインバイブレーション等の空力振動現象が観測されている。特に雨を伴う強風時に発生すると言われているレインバイブレーションについては、振動振幅が大きく、特に長大斜張橋ではダンパーによる制振が困難になると考えられるので、その発生機構の解明とそれに基づいた空気力学的な制振対策を開発することが望まれている。

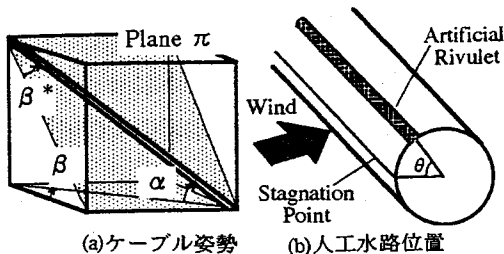
従来の研究^{1)~4)}からレインバイブレーションの発生要因は、①気流がケーブルに対して偏角(風向偏角)を有して吹くことによってケーブル背後に形成される「軸方向流」、②雨水によってケーブル表面に形成される「上面側水路」、③カルマン渦の渦放出がスパン方向に一樣ではないこと(渦放出の3次元性)による、「長周期の風速変動」の3つが指摘されているが、現在提案されている制振効果のあるケーブル断面の多くは、雨水による水路形成を阻害する

ことのみが目的である。しかし、残りの2つの要因で発生していると思われる振動が現に観測されており、上記の3つの発生要因に基づいた制振対策はほとんど無いといえる。

本論文ではまず、風洞実験結果から得られたレインバイブレーションの特性および発生機構⁴⁾についてまとめ(第2章~第4章)、次にその発生機構に基づいた制振対策である「楕円板つきケーブル」の制振効果を明らかにする(第5章)。また、風に対して偏角をもつケーブルの後流域や表面圧力の特性について検討を加える(第6章)。さらに、実ケーブルで観測される波動伝播的な挙動を考慮して、風洞実験ではヒービングモードとローリングモードという2つのモードで実験を行い、それらの特性について考察した(第7章)。

2. ケーブル姿勢および人工水路位置

斜張橋ケーブルの風に対する姿勢は、図-1-(a)に



(a)ケーブル姿勢 (b)人工水路位置
 図-1 ケーブル姿勢及び人工水路位置

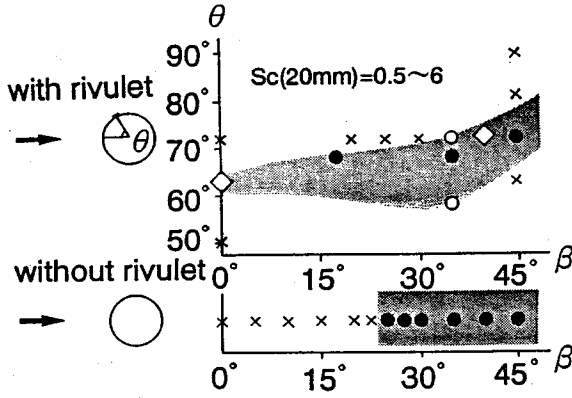
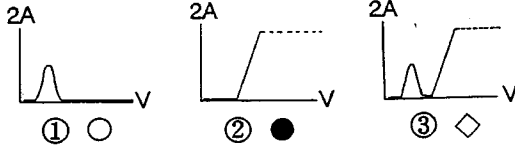


図-2 風向偏角(β)と人工水路位置(θ)の組み合わせによる振動応答特性(一様流中)

示すように、鉛直面内傾斜角 α と水平面内風向偏角 β の2つの角度によって定義される。風との相対的な位置関係を示す実際の風向偏角 β^* は、 α 、 β を用いて、 $\beta^* = \sin^{-1}(\cos \alpha \cdot \sin \beta)$ と表される。本研究における実験は、京都大学工学部土木工学教室内に設置された吹き出し式エッフェル型風洞(測定部高さ1000mm、幅700mm、長さ5000mm)を使用して行った。ケーブル模型は直径50mm、長さ1400mmのアルミニウム製の2次元剛体パイプを用いた。また、水路つきケーブル模型として擬似水路として図-1-(b)に示すように幅7.5mm、厚さ1.2mmのテープを張り付けて人工的に再現した。本論文では、模型を水平($\alpha = 0^\circ$)に支持し、振動方向は鉛直1自由度とした。

3. 自由振動応答特性

(1) 自由振動特性

風洞実験におけるケーブル模型の自由振動応答特性は、風向偏角 β 、人工水路の有無およびその位置

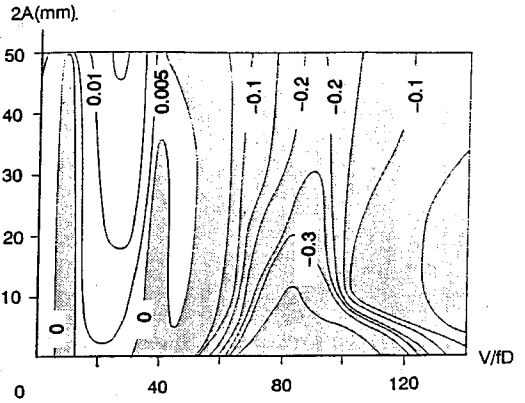


図-3 V-A- δ 図 ($\beta = 45^\circ, \theta = 72^\circ$, 一様流中)

θ 、気流の種類、スクリーン数等によって複雑な影響を受けているが、大別して、①風速域限定型振動、②風速域発散型振動、③両者の混在した振動の3タイプに分けられる(図-2)。

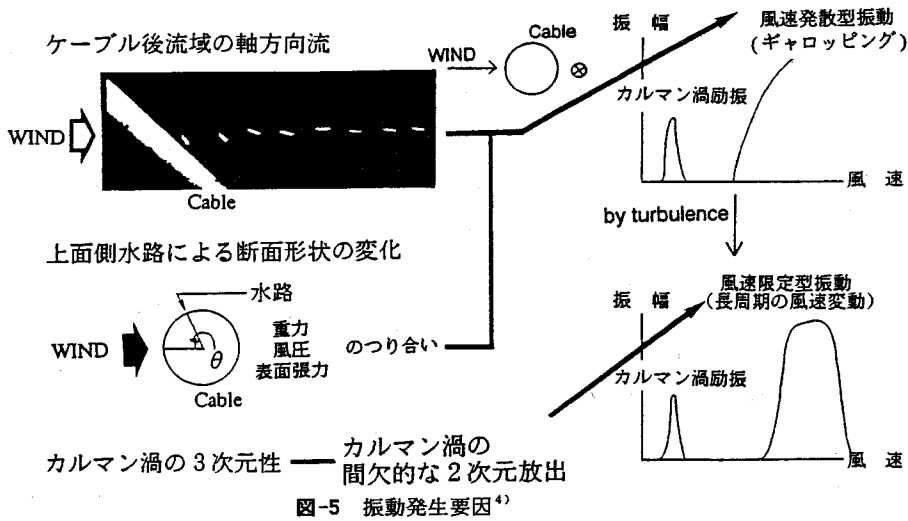
図-2の記号説明図において、振動応答特性の横軸Vは風洞風速であり、縦軸Aは応答振幅である。また×印は振動が安定化しているケースである。

実橋で観測されているレインパイプレーションは、発振風速域が限定された振動であることが多く、この振動は、水路形成位置が実風速に支配されるために空力的に不安定な水路位置となる風速域が限定されることによると一見考えられるが、人工水路はその位置が固定されているので、無次元風速 $V/fD=40$ (V:実風速[m/s], f:模型の固有振動数[Hz], D:模型直径[m])付近で発生している限定型振動は実風速に支配されているとは必ずしもいえない可能性がある。

(2) 減衰特性

図-3は風向偏角 $\beta = 45^\circ$ 、水路位置 $\theta = 72^\circ$ 、一様流の条件下において、風速と振幅をパラメータとしたときの模型の対数減衰率の関係を示した図、V-A- δ (Velocity-Amplitude-Damping) 図である。網掛けをした領域は減衰率が負、すなわち振動が発生している領域である。無次元風速 $V/fD=40$ において限定型振動が発生し、 $V/fD=50$ 以上の風速域で風速発散型のギャロッピング振動が発生している。そしてギャロッピング型振動の中の無次元風速 $V/fD=80$ 付近に減衰率が局所的に小さくなるピークがみられる。言い替えるとこの風速域ではケーブルの励振力が局所的に大きい。すなわち、 $V/fD=40$ 付近だけでなく、 $V/fD=80$ 付近にも限定型振動が混在していることがわかる。

また、図-4は風向偏角 $\beta = 0^\circ$ 、水路なし、一



4. 振動発生機構に関する考察

レインパイプレーションの発生機構に関する研究から得られた成果を取りまとめると次のようになる(図-5)⁴⁾。

(1) 図中の写真に示すように、風に対して偏角(β)を有するケーブルの背後には軸方向流が流れており(後流域の白旗の方向はその点における風向を表す)、これは後流域にスプリッター板を挿入したのと同様の効果、すなわち内部循環流を形成し、 $dC_f/d\alpha < 0$ というギャロッピング発生条件を成立させる効果をもつ。

(2) 雨水によってケーブル表面に形成される水路は風圧・重力・表面張力の釣り合いによりその形成位置が決定されるが、その位置(θ)によってはケーブルの形状が空力的に不安定なものになり、このことに起因した振動が発生していると考えられる。

(3) カルマン渦の放出がスパン方向に一樣でなく、3次元的に分布しており(渦放出の3次元性)、特に2つの周波数の渦放出が卓越し、その2つの周波数の差に相当する周波数で2次元性の強い渦が間欠的に放出されている。すなわち、何回かの渦放出に一回それらの位相がスパン方向に揃うとき、他の渦よりも大きな渦放出がなされ、これによる長周期の風速変動が無次元風速 $V/D=40, 80, 120, \dots$ で発生する可能性のある限定型振動の励振力となっていると考えられる。

図-6は風向偏角 $\beta = 0^\circ$ 、水路なしの条件下でケーブル模型を静止させ、一樣流 ($V=8\text{m/s}$) 中での後流域流速変動パワースペクトル密度をスパン方向の各点で測定したものである。これを見ると、スパン

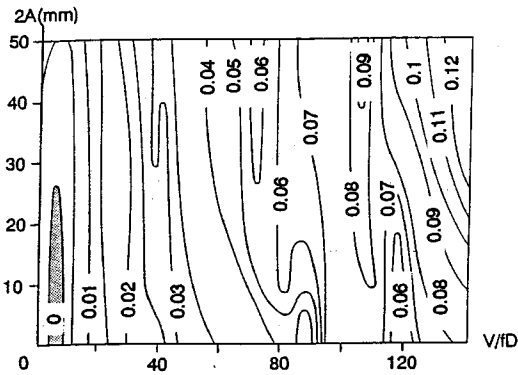


図-4 V-A- δ 図 ($\beta=0^\circ$, 水路なし, 一樣流中)

様流の場合のV-A- δ 図であるが、この場合もやはり渦放出の3次元性に起因すると考えられる、ストローハル数 ($St=0.2$) の整数倍に対応する $V/D=40, 80, 120$ 付近で、若干減衰が小さくなっている。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。ただし、これらのV-A- δ 図は、測定風速約20風速における、応答振幅 $2A=50, 40, 30, 25, 20, 15, 10, 5, 2.5\text{mm}$ の各振幅における対数減衰率より求めた。このように、限定型振動は風向偏角を持たず ($\beta=0^\circ$)、水路のない円断面ケーブル自体が潜在的に有する性質であり、無次元風速 $V/D=40, 80, 120$ 付近にその要因を有している。そして水路形成、風向偏角などによって不安定性が増幅され、振動が発現するに至るものと考えられる。

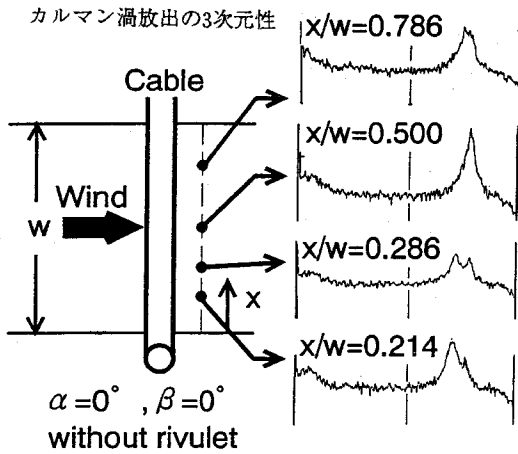


図-6 後流域流速変動 P.S.D

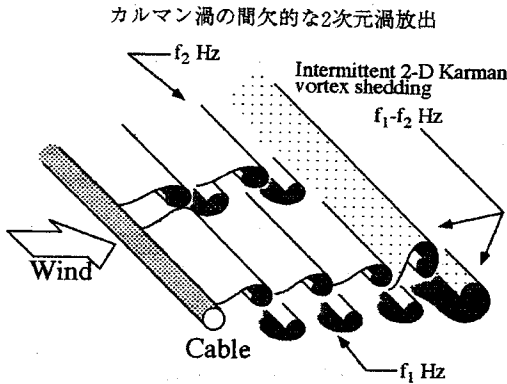


図-7 渦放出の3次元性の模式図

方向に渦放出特性が異なり、ある測定位置においては2つの卓越する渦放出周波数が見られる。図-7は、渦放出の3次元性の模式図であるが、図-6のスペクトル特性から判断して、ケーブル周りでは、このように渦放出の3次元性に起因して間欠的な2次元渦放出がなされていると考えられる。

5. 楕円板つきケーブルの制振効果

前章で述べた3つの要因のすべてに対して有効に働くと考えられる制振対策として、図-8に示すように風向偏角 $\beta = 45^\circ$ の円断面ケーブル模型にスチロール製の楕円板を設置した。楕円板の大きさは、ケーブルを $\beta = 45^\circ$ に設置したときに楕円板が気流方向を向くように短径と長径の比を $1:\sqrt{2}$ とした。

図-9は、円断面ケーブルと楕円板つきケーブルの自由振動実験結果である。楕円板間隔は50mm(1D)と100mm(2D)、400mm(8D)の3通りとした。楕円

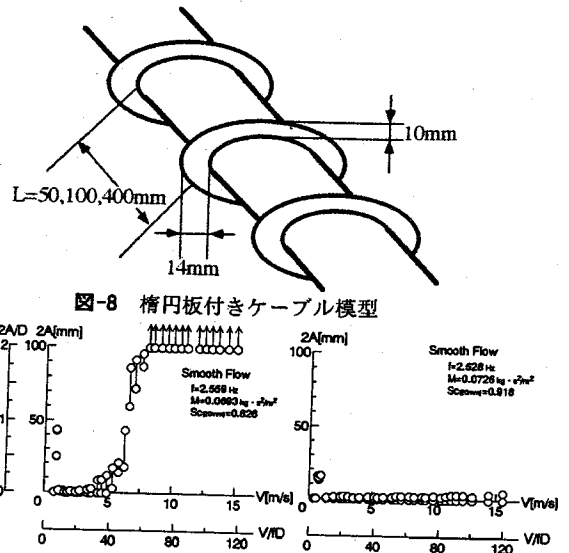
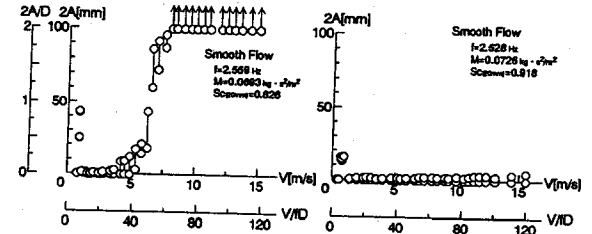


図-8 楕円板付きケーブル模型



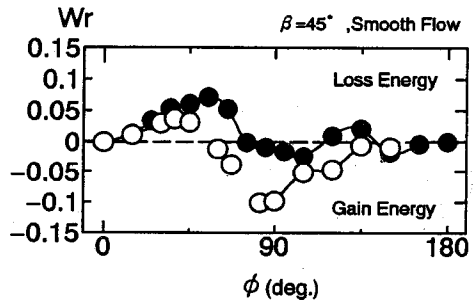
(a)楕円板無し

(b)楕円板間隔 L=50mm

(c)楕円板間隔 L=100mm

(d)楕円板間隔 L=400mm

図-9 楕円板つきケーブルの振動応答特性



○ Plane Circular Cylinder ($V=4\text{m/s}, f=1\text{Hz}$)
● with Elliptical Plates (50mm) ($V=4\text{m/s}, f=1\text{Hz}$)

図-10 非定常圧力特性から得られたケーブル断面周りの無次元仕事分布

板がない場合は、無次元風速 $V/d=40$ 付近からギャロピング型の不安定振動が発生するが、楕円板の設置によって安定化していることが分かる。さらに、加振振動数1Hzで模型を強制加振(無次元風速 $V/d=80$, 実風速 $V=4\text{m/s}$)し、模型表面の非定常圧力を測定した。それから得られた流体のする仕事 Wr を図-10に示す(楕円板間隔は50mm)。

ここで、無次元仕事は次式のように定義した。

$$Wr = \pi \cdot Cp \cdot (\eta/D) \cdot \sin \phi \cdot \sin \theta$$

ただし、 η は振動振幅、 D はケーブル径、 ϕ は模型変位頭上げ最大に対する各測定点での負圧のピークの遅れを正とした場合の位相差、 θ は Stagnation Point からの各測定点までの角度である。

$Wr < 0$ のとき、振動を起こす方向に流体力が働いている。この図より $\phi = 90^\circ$ (模型頂部) 付近の流体力の差により、楕円板つきケーブルが空力的に安定していることが判明した。すなわち、円断面ケーブルにおいて流体から不安定化に作用する大きなエネルギーが供給されていると考えられる模型頂部付近の流れを楕円板により 2 次元化し、圧力変動を小さくすることにより制振効果が得られると考えられる。

また、今回の風洞実験は「雨なし」の条件下で行ったが、楕円板により水路は形成されないものと予想されるので、水路に起因した不安定性に対しても有効であると考えられる。

6. ケーブル後流域特性と渦放出の3次元性

傾斜したケーブルの後流域は、スパン方向の一様性が保たれておらず、3次元的な特性を示しており、そのことに起因してレインパイプレーション等の空力不安定振動が発生している。また、傾斜円柱のカルマン渦放出について、従来の仮説である Cos 法則(円柱軸に垂直の速度成分を考えれば渦放出周波数は流れに直角におかれた円柱の場合と同じ程度になる)は、見かけ上は正しいが、流れの現象と対応するものではないとし、渦放出周波数の低下の原因は、その後流中に発生する 2 次流れ(軸方向流)であるという報告⁹⁾もある。ここでは、実橋においても存在すると考えられるケーブル周り流れの軸方向の非一様性を考える上で、風洞実験においてケーブル後流域の特性と渦放出の 3 次元性について検討する。

(1) 軸方向流のスパン方向分布特性

図-11 はケーブル模型を水平風向偏角 $\beta = 22.5^\circ$ で一様流中に固定して軸方向流の (a) 大きさ (Va/V , Va : 軸方向流の平均流速, V : 主流方向平均風速), (b) 乱れ強さ (R.M.S. 値の Va に対する割合), および (c) ストローハル数を熱線流速計を用いて測定し、そのスパン方向各点の分布を示したものである。以後、後流域特性のスパン方向分布は、上流側側壁からの距離を X とする。測定条件としては、風洞側

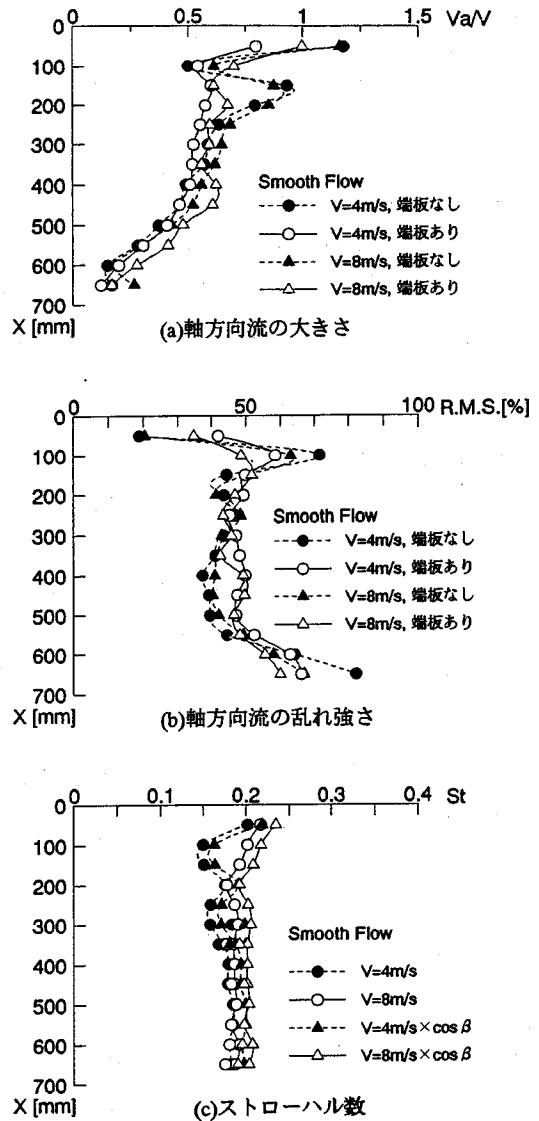


図-11 軸方向流とストローハル数のケーブルスパン方向の変化($\beta=22.5^\circ$, 水路なし, 一様流)

壁の模型が貫通している部分に $200mm \times 200mm$ の大きさの窓を開けておいたものが「端板なし」であり、それを塞いだものが「端板あり」である。接近風速は $4m/s$, $8m/s$ の 2 通りとした。熱線流速計の設置位置は (a), (b) についてはケーブル後方 $30mm$, ケーブル断面中心と同じ高さ, (c) についてはケーブル後方 $60mm$, ケーブル上端から $5mm$ 下方である。

図より、軸方向流は接近風速に比例して大きくなっていることが判る。また風洞の両端は、端板の有無に関わらず乱れが大きくなっている。またその乱

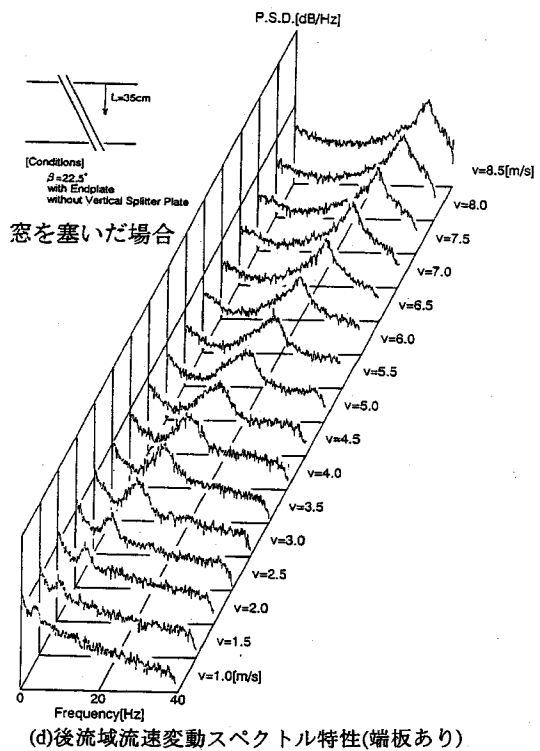
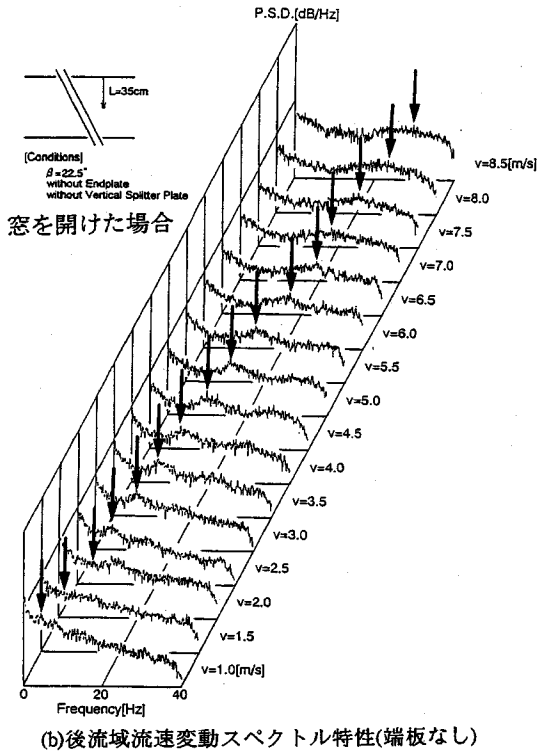
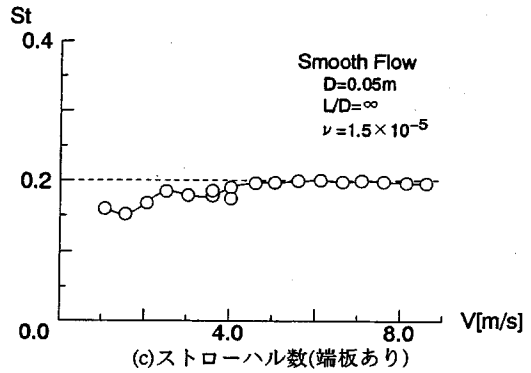
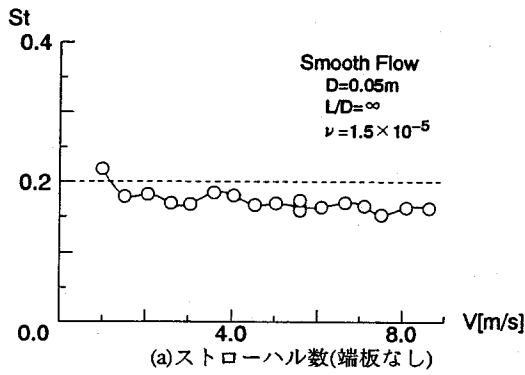


図-12 ケーブル後流域のストローハル数及び後流変動のP.S.D

(窓(端板)の有無による比較, $\beta=22.5^\circ$)

れ方の特徴として、「端板なし」では両端の乱れの変化は大きいですが、風洞中央では端板ありの場合よりも乱れが小さいことが挙げられる。このことは「端板なし」では吹き入れ口や吹き出し口があるために風洞外側の空気と干渉して両端での乱れが大きくなるが、軸方向流が安定して供給されるため、風洞中央では乱れが小さいものと考えられる。さらに軸方向流はケーブル上流側で流速が大きく、下流側へ向かって小さくなる傾向があることが判った。

またストローハル数をみると、スパン方向にストローハル数は一様ではなく、特にケーブル上流側において従来一般に知られてきた円柱のストローハル

数 ($St=0.2$) とは異なるばらつきの多い値になっている。これは、軸方向流が上流側において流速が大きく、乱れていることと対応していると考えられる。

(2) 窓の有無による渦放出特性の変化

ケーブル模型が水平風向偏角 $\beta=22.5^\circ$ のときについて、後流域の流速変動を窓の有無で条件を変えてストローハル数と P.S.D. を測定した。測定風速は $V=1.0 \sim 8.5\text{m/s}$ の 0.5m/s 間隔としたが、ケーブル後流域に生成する軸方向流は主流風速に影響されるため、このように詳細に測定を行った。また、測定点位置は風洞中央のケーブル後方で P.S.D. の比

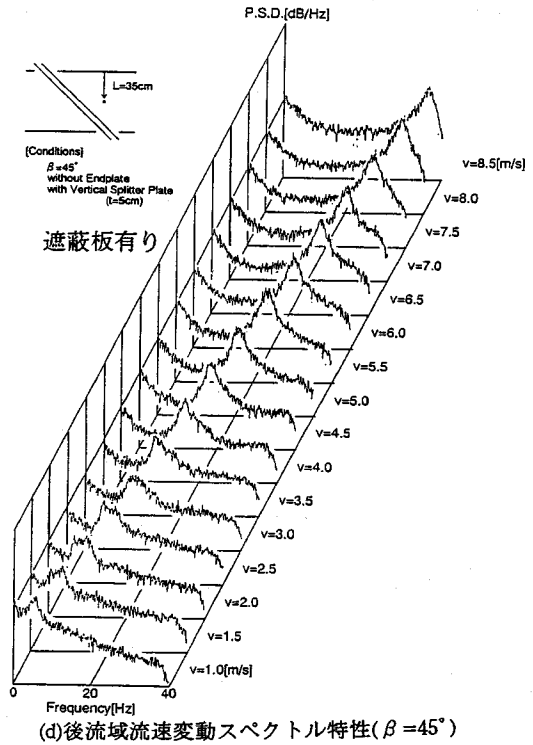
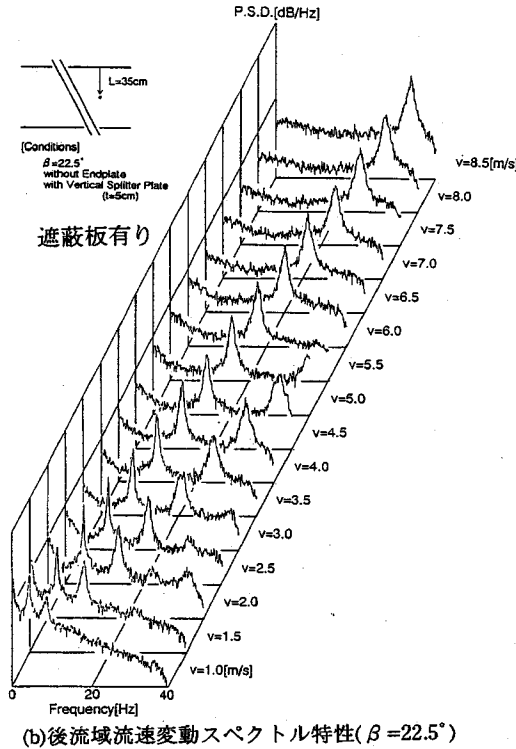
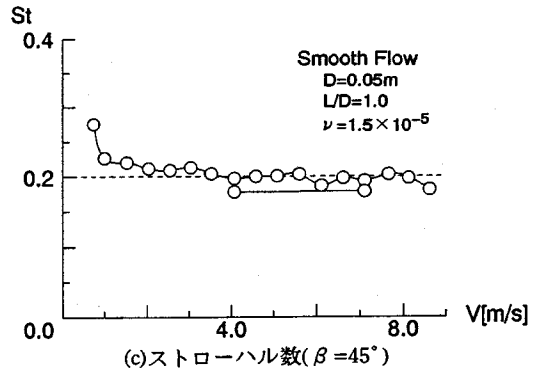
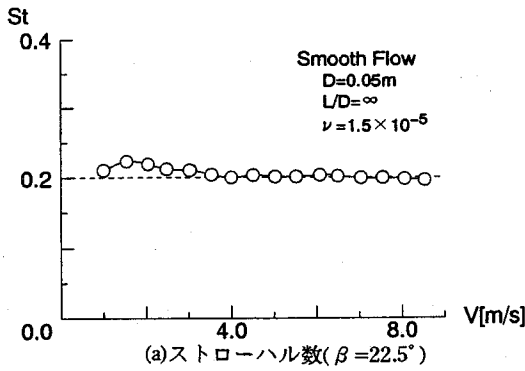


図-13 ケーブル後流域のストローハル数及び後流変動のP.S.D

(遮蔽板を挿入した場合, $\beta=22.5^\circ, 45^\circ$)

ークがなるべく立つところとした。この結果を図-12に示す。

窓の有無でP.S.D. 図を比較すると明らかに「端板なし」の方がピークがWide-Bandである。これは、「端板なし」では「端板あり」よりも軸方向流の供給が大きいと考えられ、そのことにより渦放出が複雑な影響を受けているものと考えられる。さらに、ストローハル数を窓の有無で比較すると、「端板なし」の方がストローハル数が低くなっている。「端板なし」の場合のスペクトルピーク値は、図中の矢印のピークにおける値である。このことより、単純に風洞偏角 β によるみかけの接近流速の変化によってストロ

ーハル数が低下している(Cos 法則)のではないということが示唆される。言い換えるとSt数の低下には、軸方向流が何らかの影響を及ぼしているものと考えられる。このことは、白樫ほかの研究⁵⁾でも指摘されている。

(3)「遮蔽板」による後流域特性の変化

次に、前章で述べた楕円板つきケーブルに関連して、楕円板が持つ効果(=軸方向流、水路形成、渦放出の3次元性の3要因の低減)をより強調し、明確に示すと考えられる「遮蔽板⁵⁾」(軸方向流の遮断と後流域の2次元性の確保を目的として、水平面内

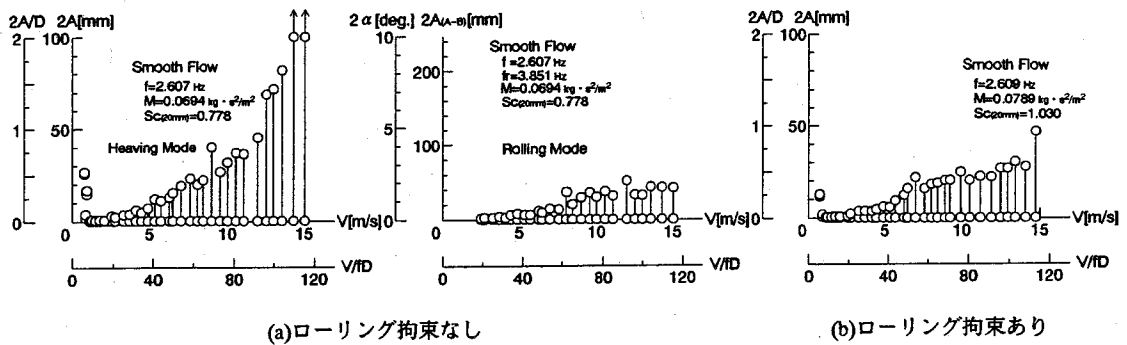


図-14 ローリングモードの有無による振動応答の違い

に固定されたケーブル模型の後流直後にスプリッター板状の2枚の薄い平板(高さ910mm,長さ470mm)を鉛直に挿入したもので,先端はエッジ状にしてある)を後流域に設置して(遮蔽板間隔は50mm)その間に熱線流速計を設置し,同様に後流域の流速変動特性を調べた(図-13).模型姿勢は水平風向偏角 $\beta = 22.5^\circ, 45^\circ$ の2通りとした.(b)の $\beta = 22.5^\circ$ のパワースペクトル密度図において, $V=1.0$ から 5.5m/s で2つのピークが見られるが,高周波成分は低周波成分の2倍の値となっており,高周波側のピークはケーブル上下面におけるカルマン渦放出に対応していると考えられたため,(a)のストローハル数においては,低周波側のピークに対応する値のみをプロットした.

遮蔽板の挿入によって,軸方向流がほぼ完全に遮断され,後流域の2次元性が確保されたことでP.S.D.の鋭いピークが立ったと考えられる.また,遮蔽板によって軸方向流を完全に遮断するとストローハル数は風向偏角によらずほぼ0.2で一定となる.

以上,後流域流速変動についてまとめると次のようになる.

- (1)「端板なし」のときには,P.S.D.のピークがWide-Bandになる.これは軸方向流が安定して供給され,後流域が非定常な何らかの影響を受けているものと考えられる.
- (2) 軸方向流の存在下では,カルマン渦放出周波数が低下している可能性がある.
- (3) 軸方向流を遮り,後流域の2次元性を確保することにより,P.S.D.のピークは鋭くなる.このことより軸方向流が渦放出の3次元性に大きな影響を及ぼしていることが判明した.

7. モードの差による振動応答特性

実橋ケーブルの挙動は非常に複雑であり,2次元

剛体模型を用いた風洞実験結果から対応をとり,実橋での挙動を予測する際にはその取り扱いに十分注意を払う必要がある.ここでは,2次元実験でのヒービングモードとローリングモードの違いに着目し,その特性を明らかにすることで,実橋振動のメカニズム解明の手がかりをつかむことを目標とする.具体的にはローリング拘束やヒービング拘束の有無などの条件を変えて自由振動実験を行い, $V-A$ 特性から考察した.この際,ケーブル模型と平行に上部からバネ支持された棒を設置し,そこから模型を吊すことによりローリング拘束を行った.また,風洞内において模型中央をピアノ線により固定しローリングモードのみを許すことにより,ヒービング拘束を行った.

次にそれぞれのモードで強制加振し,そのときの表面非定常圧力を測定し検討を試みた.

図-14は風向偏角 $\beta = 22.5^\circ$,一様流中で(a)ローリング拘束を行わない場合,(b)ローリングを拘束した場合のヒービングモードの $V-A$ 図である.ここでいうヒービングモードとはケーブル端が同相で変位するモードであり,ローリングモードとはケーブル端が逆相で変位するモードである.この図を見ると,ローリング拘束をするとヒービングでの振動が比較的安定化し,振動振幅が小さくなることが判る.このことから,ヒービングはローリング存在下の方が不安定化する可能性が考えられる.

次に,ヒービングモードとローリングモードでそれぞれ強制加振し(加振振幅30mm,加振振動数1Hz,風速4m/sで $V/\beta D=80$ とした),圧力測定を行った.測定位置は,スパン方向各点において断面周り $0^\circ \leq \phi \leq 180^\circ$ の範囲である.しかし,圧力の時系列波形は後縁に近づく程非定常性が増し,定量的評価は困難であった.

そこで,ある程度定常的であると判断できる $\phi = 30^\circ$ について考察を行うことにする.図-15は $\phi = 30^\circ$ での変動圧力係数及び位相差のスパン方向

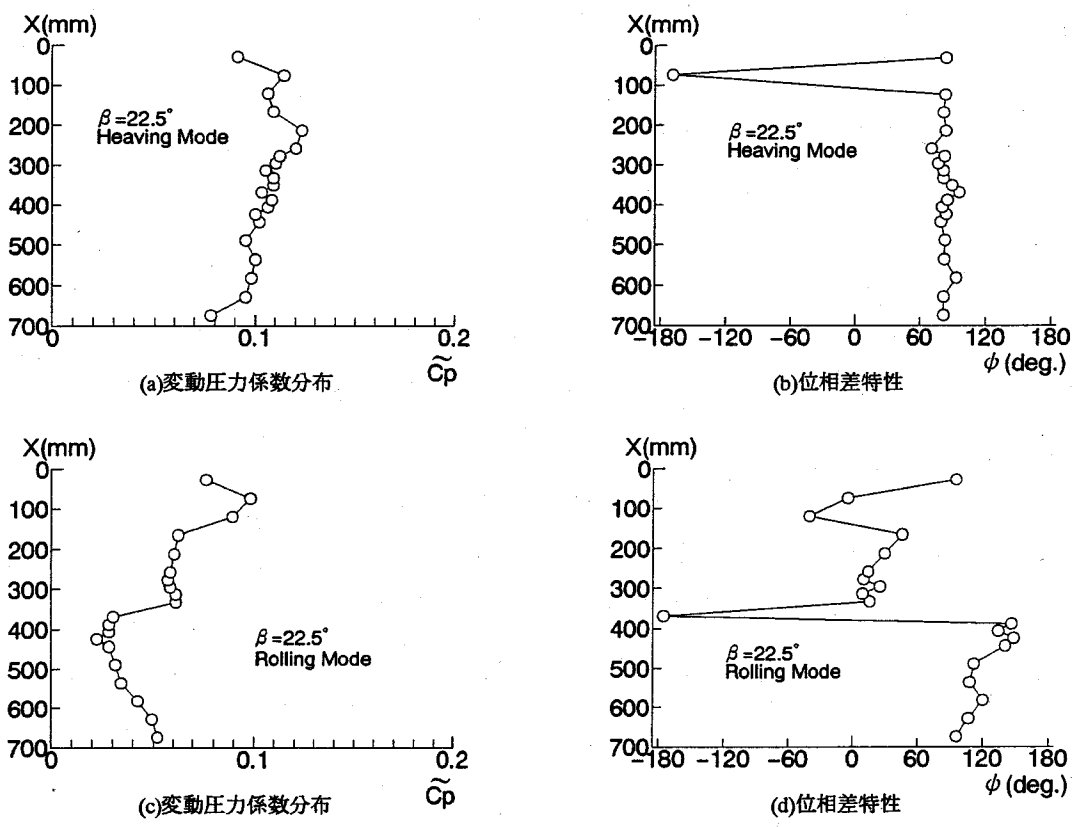


図-15 強制加振時の変動圧力係数及び位相差のスパン方向分布
 $(\phi = 30^\circ, f = 1\text{Hz}, V/VD = 80, 2A = 30\text{mm})$

分布特性を示したもので、それぞれ「 $\beta = 22.5^\circ$ ・ヒービングモード」、 「 $\beta = 22.5^\circ$ ・ローリングモード」の場合のものである。ヒービングモードの場合の変動圧力係数及び位相差はスパン方向にほぼ一様であり、ヒービングモードで振動しているときはスパン方向の2次元性がおおよそ保たれているものと考えられる。ローリングモードの方を見ると模型中央を挟んで位相が急変しているが、完全に対称な 180° の位相を持っているわけではない。変動圧力係数分布をみると、ヒービングモードではスパン方向にほぼ一様であるが、ローリングモードでは上流側と下流側で異なる性質を示し、しかも振幅によって線形的に変動している訳ではない。また静止しているはずの模型中央でも変動が0ではない。このことよりローリングモードは、微小部分のみに注目した場合ヒービングモードと同じであるとはいえず、ローリングモードそれ自体がヒービングモードとは異なる流れ場を形成するものと考えられる。またそれがヒービングモードを不安定化させている可能性が考えられる。ローリングモードが作り出す流れ場

については詳細については不明であるが、ローリングモードが風洞内の3次元性を増大させていると考えられ、それにより、ヒービングモードだけではスパン方向に2次元性であった渦放出が、スパン方向に3次元的に分布することにより、間欠的に2次元性の強い長周期の風速変動を発生させ、それが振動系を不安定にしていると推察することも可能である。

8. 結論

本論文はケーブルのレインバイブレーション現象に着目し、その振動特性・メカニズムおよび制振対策の効果などの解明を目標に各種風洞実験を実施した。以下にその結論を述べる。

(1) レインバイブレーションの発生要因である「軸方向流・渦放出の3次元性」の2つに対して有効な「楕円板つきケーブル」の制振効果が、自由振動応答および非定常圧力特性の両面から確認できた。また、その断面形状から、水路の形成を抑制し水路形成に

起因する不安定性に対しても有効であると考えられる。ただし、風向が楕円板に対して迎角を有する場合や、静的風荷重の問題、景観性など実橋への適用には更に検討が必要である。

(2) 軸方向流のケーブルスパン方向分布が明らかになった。また、軸方向流が渦放出の3次元性に大きな影響を及ぼしていることが判明した。

(3) 軸方向流によってカルマン渦の渦放出周波数がWide-bandに変化している。また、その周波数は軸方向流によって低下していると考えられる。

(4) ローリングモードにより流れ場の3次元性が強まり、その流れ場によってヒービングモードが不安定化している可能性が示唆された。

謝辞：本研究を遂行するに当たり、ご指導・ご協力いただいた、京都大学工学部白石成人教授、白土博通助手、および京都大学橋梁工学研究室の皆様へ深く感謝致します。

参考文献

- 1) 松本 勝, 白石成人, 北沢正彦, 金 潤石, 辻井正人: 風雨条件下のケーブル振動現象に関する考察, 第10回風工学シンポジウム論文集, pp.133-138, 1988.
- 2) 松本 勝, 白石成人, 白土博通, 平井滋登, 佐野祐一, 桂 一詞: 斜張橋ケーブルの Rain Vibration 発生機構における2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, pp.263-267, 1990.
- 3) 松本 勝, 白石成人, 白土博通, 平井滋登, 佐野祐一, 桂 一詞: 斜張橋ケーブルのレインパイプ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ートン数の影響, 第11回風工学シンポジウム論文集, pp.269-274, 1990.
- 4) 松本 勝, 青木 淳, 山岸 稔, 藤井大三, 白土博通: 斜張橋ケーブルの空力振動現象に関する研究, 第13回風工学シンポジウム論文集, pp.257-262, 1994.
- 5) 白樫正高, 長谷川 篤, 脇屋正一: 傾斜円柱からのカルマン渦放出周波数に対する二次元流れの影響, 日本機械学会論文集(B編), 第51巻463号 pp.2499-2504, 1992.

(1995.5.12 受付)

AERODYNAMICS OF THE CABLE OF CABLE-STAYED BRIDGES

Masaru MATSUMOTO, Jun AOKI, Daizo FUJII,
Nobuhiko KITAYAMA and Yoshiyuki DAITO

This paper aims to investigate the vibration mechanism of the rain-wind induced vibration of the cables in cable-stayed bridges, and to describe the important role of three dimensional flow field around inclined cables on cable aerodynamics, in particular subject to so-called "High speed vortex-induced excitation". The cable with "Elliptical plates" is proposed. This control means guarantee its stability against the wind. And the relationship between the Karman-vortex shedding and the axial flow behind the cable is surveyed. On the other hand, unsteady pressure around the cable is measured in order to clarify the characteristics of the heaving vibration and rolling vibration.