

I-364

表面粗度を持つケーブルの空力特性

横浜国立大学 正員 宮田利雄 新日本製鐵㈱ 正員 北條哲男
 横浜国立大学 正員 山田 均 新日本製鐵㈱ 正員 山崎伸介
 (前) 横浜国立大学大学院 正員 河野仁治

1. はじめに

長大斜張橋では、多数のケーブルが密に配置され、ケーブルに生じる風荷重で桁・塔の断面が支配されるようになるため、抗力係数が小さく、しかも制振性に優れた空力対策ケーブル断面を検討することが必要となる。円形ケーブル断面は変形度が大きくなると、高レイノルズ数領域では抗力係数は $C_D = 1.2$ に漸近するため、本研究ではケーブル表面の微小な変化、即ち表面粗度に着目し、抗力係数の低減化及びレインパイブレーションの制振対策について実験的に検討したものである。

2. 試験方法

ケーブルの表面粗度が空気力特性に及ぼす影響を把握するための、三分力試験及びレインパイブレーション制振効果を把握するためのバネ支持試験を実施した。

2. 1 三分力試験 模型は実物大の直径を有し、アルミニウム管に実物と同じポリエチレンを被覆したものを用いた。粗度の影響を明らかにするために、模型表面のポリエチレン全面に一樣な粗度を付けたもの（模型A）、全面に格子状の粗度を付けたもの（模型B）及び円形状の凹又は凸を部分的に付けたもの（模型C）を製作し、三分力試験を行った。表-1に模型諸元を示すが、ここで粗度とは平均的な粗さを示した。模型A及びBについてはレイノルズ数 2.2×10^5 程度（風洞風速約20m/s）、模型Cについてはレイノルズ数 5.5×10^5 程度（風洞風速55m/s）まで試験を実施した。図-1、2に代表的な模型の表面形状を示す。

2. 2 バネ支持試験 バネ支持試験は、模型Cを用いて実施した。試験模型（長さ3m）をケーブル軸直角方向に1自由度でバネ支持し、模型上端からの補給水による降雨方法とした。ケーブル姿勢は鉛直角 $\alpha = 45^\circ$ ・水平角 $\beta = 45^\circ$ の正姿勢で降雨試験を実施し、鉛直角 $\alpha = 45^\circ$ ・水平角 $\beta = 135^\circ$ の逆姿勢では無雨状態について試験を行った。ケーブル模型の重量は6.7kgf/m、固有振動数は約1.8Hz、対数減衰率は約0.003、スクルトン数は1.8である。

3. 試験結果

3. 1 三分力試験 図-3から、表面粗度がある程度大きくなると、これまでの報告の結果と同様に、超臨界域で見られるような抗力係数の低下が生じることがわかる。ただし抗力係数の低下は、粗度係数 K/D が大きいほど、低いレイノルズ数領域において発生し、風速の増加とともに抗力係数は上昇し $C_D = 1.2$ に漸近する傾向が認められる。直径の1%程度の粗度を持つ模型A4では、レイノルズ数 4×10^4 程度で抗力係数が約0.9となり、 2.2×10^5 程度で約1.2となった。図-4は模型A2～A4とほぼ同程度の大きさの粗度を持ち、平滑な部分を持つ格子状の模型Bの抗力係数の測定結果を示したものである。直径の1%程度で格

表-1 ケーブル模型諸元

模型名	直径 D (m)	粗度 k (μ m)	粗度係数 (k/D)	備 考
A 1	0.1315	3	2.3×10^{-5}	平滑
A 2	0.1235	200	1.6×10^{-3}	全面一様凹凸
A 3	0.1240	600	4.8×10^{-3}	"
A 4	0.1275	1500	1.2×10^{-2}	"
B 1	0.1465	200	1.6×10^{-3}	全面格子状
B 2	0.1465	600	4.1×10^{-3}	"
B 3	0.1490	1200	8.1×10^{-3}	"
C 1	0.140	3	2.1×10^{-5}	平滑
C 2	0.140	1500	1.1×10^{-2}	離散的凹型
C 3	0.140	1500	1.1×10^{-2}	離散的凸型

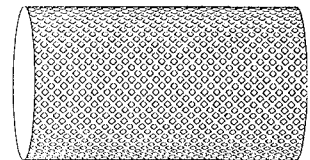


図-1 模型B3

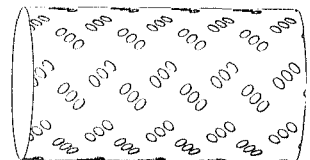


図-2 模型C2

子状の粗度を持つ模型B 6は、限界レイノルズ数が 7×10^4 程度となり、 2.2×10^5 程度で抗力係数は約1.0を示し、抗力係数の上昇の様子は模型Aとは異なる傾向が認められた。平滑な部分が多く、直径の1%程度の粗度を持つ模型C 2, C 3の抗力係数を測定結果を図-5に示す。模型Cは限界レイノルズ数が 1×10^5 程度、抗力係数は約0.6であり、 5.5×10^5 まで測定を行ったが、この範囲では抗力係数はほぼ一定値をとり増加する傾向は見られなかった。従って、同じ大きさの粗度を持つ断面でも、離散的に粗度を施せば、設計風速レベルでも平滑な円断面とほぼ同程度の抗力係数が得られることが判明した。

3. 2 レインバイブレーション試験 原型（模型C 1）に補給水により散水した場合の振動特性を図-6に示す。平滑な表面を持つ断面では、これまでの風速試験の結果と同様に風洞風速10~15m/s程度でレインバイブレーションの発生が認められた。但し、 $A/D \approx 0.1$ における対数減衰率は、補給水の水量によっては $\delta = -0.07$ 程度となり、既往試験例よりもやや大きな値となる場合もあった。一方、部分的な凹又は凸の表面粗度を付与した模型C 2, C 3については、図-7に示すようにレインバイブレーションの発生は全く認められず、制振対策として有効であることが確認できた。この主な要因として、表面粗度による乱流効果、表面形状による水路特性の変化等が考えられる。また、無雨状態についても発振しないことを確認した。

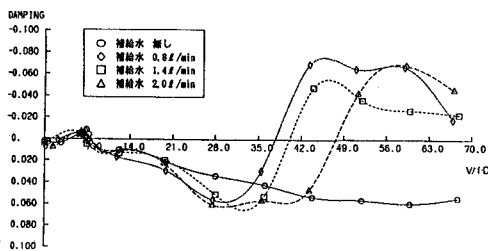


図-6 ケーブル模型C 1の流量と減衰特性

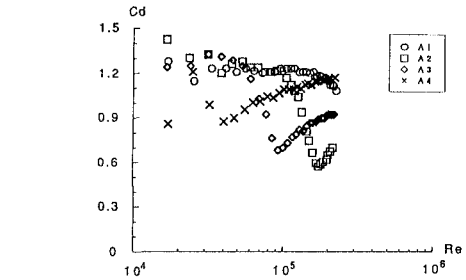


図-3 表面粗度と抗力係数（模型A）

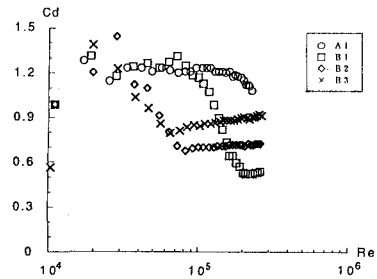


図-4 表面粗度と抗力係数（模型B）

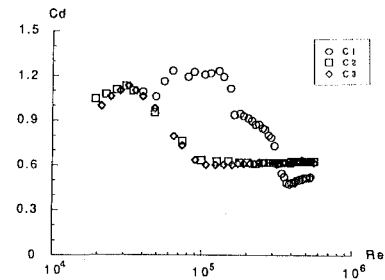


図-5 表面粗度と抗力係数（模型C）

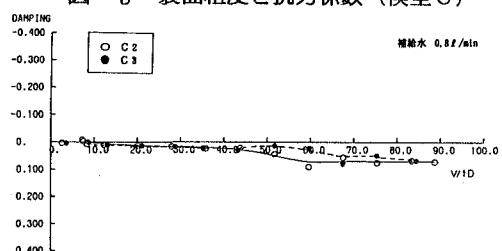


図-7 ケーブル模型C 2, C 3の減衰特性

4. まとめ

今回の試験により、表面粗度は大きさの他にその分布や形状により、円断面の空力特性が大きく変化することが明らかとなった。直径の1%程度の粗度を離散的に付与した断面は、設計風速域においてケーブルの抗力係数が平滑断面と同程度で、しかもレインバイブレーションの制振にも有効であることが確認された。

最後に、レインバイブレーション関係の実験の実施にあたっては、住友重機械工業㈱の関係各位にお世話になり、謝意を表する次第である。

参考文献 : 1)「ケーブル振動試験」報告書, 建設省土研 他 1991年11月

2)「ケーブルの渦励振応答特性に関する実験的研究」横山他, 第12回 風工学シンポジウム