

ケーブルの表面粗度と渦励振に関する
実験的研究

建設省土木研究所
//
新日本製鐵（株）

正員 日下部 毅明
正員 横山 功一
正員 北條 哲男

1. まえがき

斜張橋のケーブルは風によって様々な種類の振動が発生するが、その中の渦励振について、ケーブルの表面粗度が渦励振にどのような影響を与えるかは必ずしも明かとはされていない。本論文は、ケーブル表面粗度および構造減衰が渦励振に与える影響を調査した結果を示すものである。

2. 実験手法

ケーブル表面粗度が渦励振に及ぼす影響を明らかにするために、剛体模型を用いたバネ支持実験および三分力試験を実施した。バネ支持実験は直接的に渦励振振幅を明らかにするために、また三分力試験は模型粗度が発揮する見かけのレイノルズ数の向上効果を調査するために実施したものである。模型は実寸大程度の径を有し(D=135mm)、アルミニウム管に実物と同じポリエチレンが被覆されたものである。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には人工的に30~1500μの粗度を付した。また人工的に粗度を与えない供試体(粗度3μ)についても実験を行った。なお、実橋に用いられるケーブルは表面粗度が0~30μである。ケーブル重量は実験施設の制約により、標準的なケーブルの約1/6~1/7に軽量化されている。

3. 調査結果

3.1 粗度が渦励振振幅に及ぼす影響

表面粗度が渦励振振幅に及ぼす効果を図-1に示す。風速と振幅の関係は表面粗度が極端に異なるA6断面を除き最大振幅に限らずほぼ同一である。振動の発展性状にも有意と見られる差がないことから、それぞれのケーブルにはほぼ同一の空気力が作用していると考えられる。この結果は、表面粗度の直径に対する比k/Dが0.01以下では、粗度の相違は渦励振振幅に殆ど影響を与えないことを示すものである。

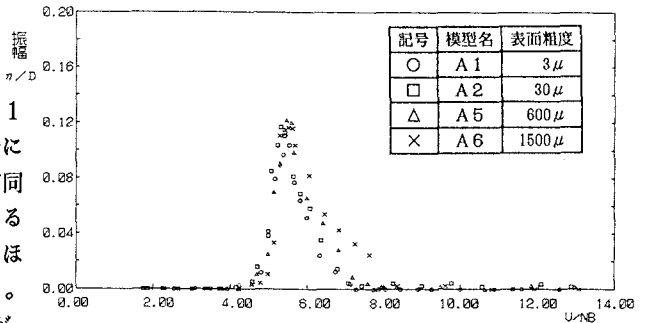


図-1. 渦励振振幅に及ぼす粗度の影響

多くの斜張橋のケーブルはポリエチレン被覆された円断面であるが、渦励振発現の頻度が橋梁により異なる場合がある。ケーブル表面粗度の相違はこの原因の一つとして挙げられていたが、上記の結果はむしろその原因が、乱れ強さや風向などの気流の特性および構造減衰等の相違にあることを示すものと考えられる。構造減衰については図-2に示すように、構造減衰が小さい場合を除き、振幅と構造減衰が反比例する傾向が確認できる。最大振幅の発現する無次元風速の逆数は図-3に示すように、構造減衰が大きくなるにしたがって円断面のストローハル数とみなせる0.2に近づいている。

今回の実験は軽量模型であるため、実際の斜張ケーブルの渦励振振幅との関連について考察が必要である。ここでは例として、ケーブルの渦励振の長期的な観測がなされた生口橋で得られたデータ¹⁾を参照する。生口橋では、角折れ緩衝材を設置する以前の構造減衰は完成時に比べかなり小さく、渦励振の発現が見られた。渦励振の無次元振幅は0.08~0.1程度であり、風洞実験において構造減衰が0.01のケースにおいて発生した振幅程度といえる。渦励振が観測されたケーブルは、無次元質量($m/\rho D^2$)が6.5倍であり、構造減衰は0.001~

0.006の範囲でばらついてはいるが、概ね0.002付近の実験よりもかなり小さい値が多いようである。この値を仮定するならば渦励振振幅はスクルトン数に反比例するという補正は妥当と見せる。

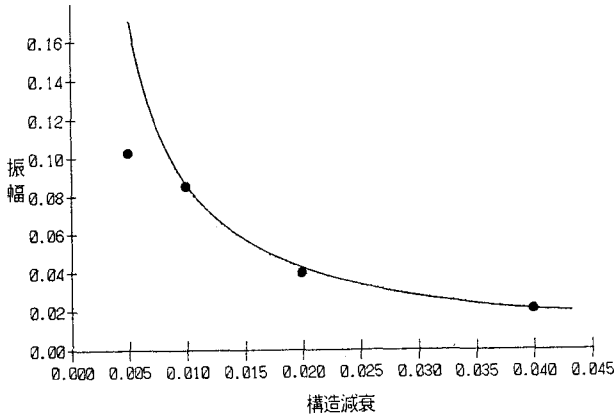


図-2. 構造減衰と渦励振最大振幅

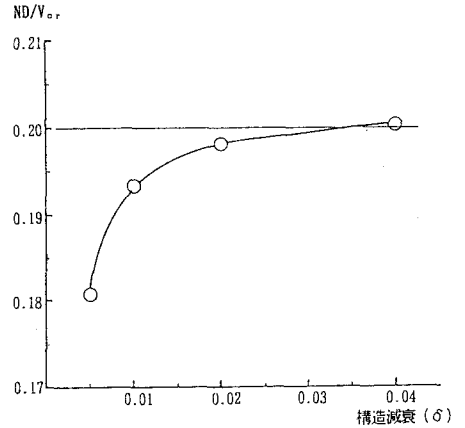


図-3. 構造減衰と最大振幅出現風速

3.2 粗度が発揮するレイノルズ数の向上効果

図-4にケーブル表面粗度と抗力係数の関係を示す。表面粗度がある程度大きくなると、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。ただし抗力の低下は滑らかな表面の円柱の真の超臨界域のそれに比して小さく、風速の上昇とともに抗力係数の回復が見られる。この結果は、ケーブルの表面粗度は気流の剥離および再付着に何らかの影響を与えるものの、流れのパターンは亜臨界域と超臨界域の中間的なものとなっていることも示している。A6断面は渦励振発生風速域において抗力係数が低下しているにもかかわらず、渦励振振幅は小さくなっていないが、このような抗力の特性と密接な関係があると推定できる。

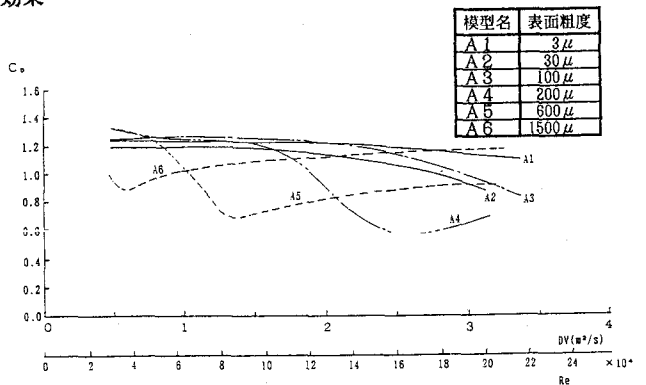


図-4. 表面粗度と抗力係数

4. まとめ

今回の実験および解析によって、 $k/D=0.01$ 程度までの一様な粗度が渦励振振幅に与える影響はかなり小さいことが明らかとなった。また、表面粗度が抗力係数に影響を与え、低風速で見かけ上超臨界域に達することが確認されたが、渦励振は必ずしも、見かけ上の超臨界域において抑えられるわけではないことが示された。

参考文献

- 1) 本州四国連絡橋公団、生口橋ケーブル動態観測報告書、1991年8月