

(14) 伊唐大橋 束ねケーブルの耐風安定性

鹿児島県出水耕地事務所	永池 清隆
同 上	前田 勉
鹿島・小牧・桑木共同企業体	藤岡 秀信
鹿島技術研究所 正会員	向 弘晴

1. はじめに

近年、PC斜張橋は長大化する傾向にあり、斜材として、複数本のケーブルを用いる並列ケーブルが採用されるケースも増加している。例えば、青森大橋、碓氷橋、十勝大橋などの一面吊りのPC斜張橋では、一本のケーブルが受け持つ荷重が大きいので、容量の大きいケーブルが2本配置され、また、呼子大橋、新渡橋、秩父公園橋などの2面吊りのPC斜張橋では架設スペースが狭いため、施工性を考慮して、小規模の揚重施設で架設できる容量の小さいケーブルが2本ずつ配置されている。

伊唐大橋は、コンクリート橋で我が国最大級のスパン長260mを有する5径間連続PC斜張橋であり、斜材は、2面吊り形式で、小容量ケーブルを2本ずつ並列に配置している。さらに本橋では、このような並列ケーブルに特有な、ウエイクギャロッピング<sup>1) 2) 3) 4)</sup>と呼ばれる風による発散振動を空力的・機械的に低減させる新しい構造を採用している。詳細は後述するが、これは、並列の2本のケーブルを主塔及び主桁近傍でクランプにより束ねた<sup>5)</sup>ものであり、以下ではこれを束ねケーブルと呼ぶ。その制振効果については、施工中よりケーブルの風応答観測を行い確認してきた。本稿では、これまでの観測結果を基に、束ねケーブルの耐風安定性について検討した結果を報告する。

2. 風応答観測の概要

風応答観測は、1994年1月より施工の進捗に合わせて、図-1に示すように、P3側において、長さの異なる3種類のケーブル（長さ約25、60、110m）について行い、1995年7月現在も、13段目のケーブル（長さ110m）を中心に引き続き観測を行っている。

観測は、毎正時及び平均風速6~8m/s以上の強風時に自動的に行われており、1回の計測では風速、風向、ケーブル振動変位の10分間の最大値、最小値、平均値、R.M.S等の統計データが収録される。さらに強風時には、ケーブル振動変位の波形データも収録している。振動計は、図-2に示すような桁上縁から約2.5mの高さに、各ケーブルに1個設置されており、ケーブル直角上下方向の振動を計測している。

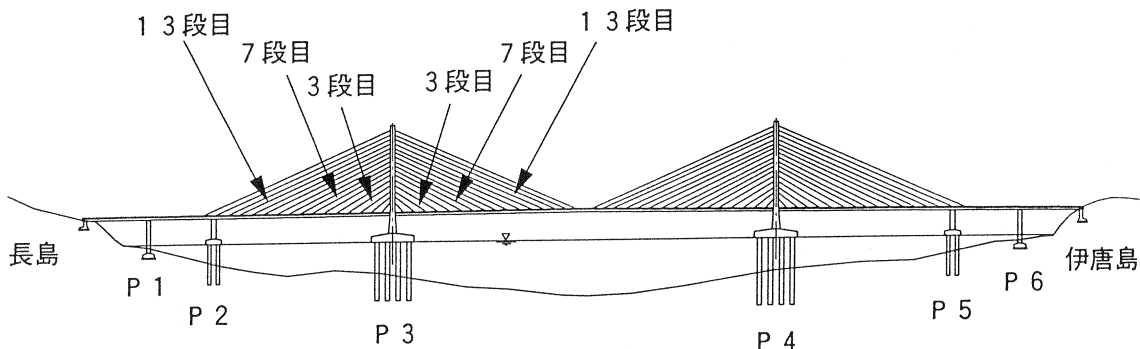


図-1 伊唐大橋一般図

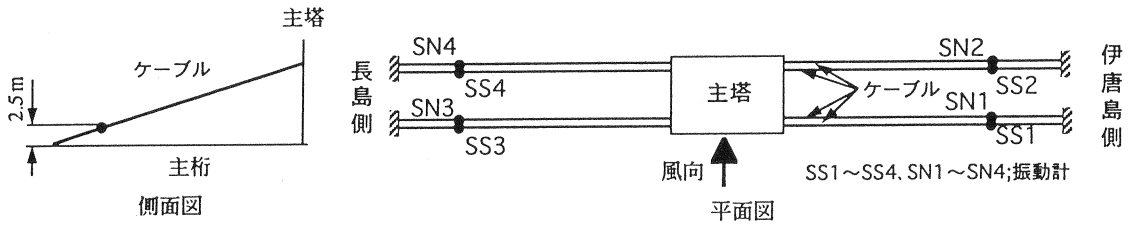


図-2 観測ケーブル

### 3. 束ねケーブルの設置状況

図-3に束ねケーブルの概念図を示す。束ねケーブルは、ウエイクギャロッピングに対してケーブル間隔を空力的に安定な間隔(ケーブル径Dの25%)に拘束する端部クランプと、ケーブル間隔を保持し、2本のケーブルの一体化を図る中間クランプよりなる。この中間クランプの間隔を決めるために、表-1に示すように、7段目のケーブル(長さ60m)で、4ケースのクランプ間隔について、制振効果を比較した。また、13段目ケーブル(長さ110m)では、9m間隔で中間クランプを設置し、さらに束ねケーブルに減衰を付加するため、ダンパーを設置した。このダンパーの制振効果を調べるために、表-2に示すような2ケースの減衰を付加したケーブルで観測を行った。ただし、ダンパーを設置した時のケーブルの構造減衰は複素固有値解析を基に計算した値である。

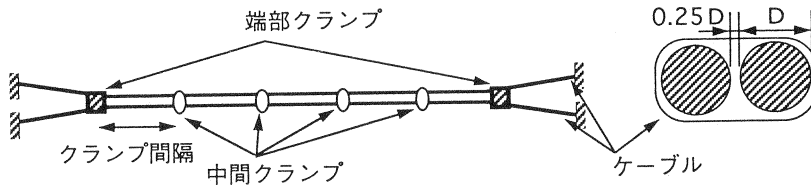


図-3 束ねケーブル概念図

表-1 クランプ間隔

ケース	中間クランプ		設置位置 図-2参照
	設置数	設置間隔(m)	
1	0	5 6	SS1,SN1
2	2	1 9	SS4,SN4
3	3	1 4	SS3,SN3
4	5	9	SS2,SN2

表-2 減衰

ケース	ダンパー		ケーブル 構造減衰	設置位置 図-2参照
	設置数	高さ(m)		
5	1	4. 4	0. 1 >	SS4,SN4
6	2	1. 5	0. 0 5	SS3,SN3

注) ケース5は、中間クランプ間隔11m

ケース6は、中間クランプ間隔13m

## 4. 風観測結果

### 4. 1 中間クランプの間隔の検討

#### (1) 端部クランプのみ(ケース1)

図-4(a)に端部クランプのみを設置した束ねケーブルの風下側ケーブルSN1の変位と風速の関係を示す。平均風速2m/s程度で振動が発生し、その後風速の増加とともに振幅も増加している。振動の形状は端部クランプを固定端とし、2本のケーブルが逆位相で振動する1次モード振動であり、振幅の大きさは風下側のケーブルSN1の方が大きく、平均風速18m/sで最大片振幅40mmに達した。これはケーブル中央の1次モード最大振幅に換算すると120mm(1.4D、D:ケーブル径83.5mm)に相当する。

(2) 端部クランプ+中間クランプ2個(ケース2)

図-4(b)に中間クランプを2個設置した束ねケーブルの風下側ケーブルSN4の変位と風速の関係を示す。平均風速7m/sで振幅10mm以上の振動が発生する場所が見られたが、その発生回数は端部クランプのみの場合より少ない。また、この振幅10mm以上の振動は、目視によると、隣接するクランプを固定端として逆位相の1次モードで振動するサブスパン振動であった。

(3) 端部クランプ+中間クランプ3個(ケース3)

図-4(c)に中間クランプを3個設置した束ねケーブルの風下側ケーブルSN3の変位と風速の関係を示す。風速11m/sで振幅10mm以上の振動が発生する場所があったが、中間クランプ2個設置した場合に比べてその回数がかなり減少している。この振動も、隣接するクランプを固定端とする逆位相のサブスパン振動であった。

(4) 端部クランプ+中間クランプ5個(ケース4)

図-4(d)に中間クランプを5個設置した風下側ケーブルSN2の変位と風速の関係を示す。特に大きな振動は発生していなかった。

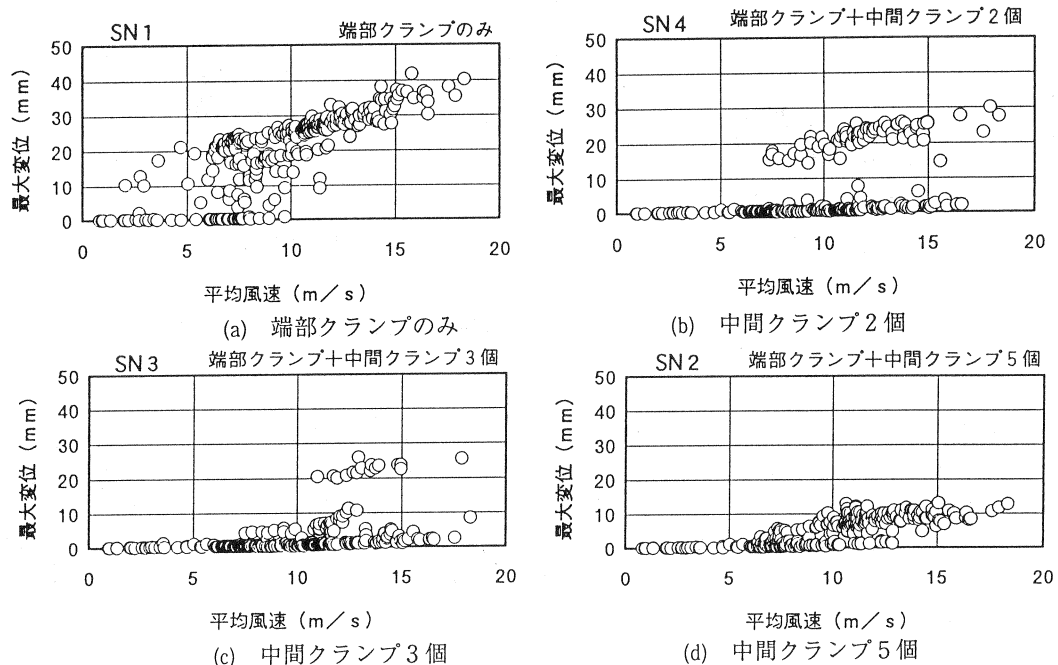


図-4 各中間クランプ設置個数でのケーブル変位と風速の関係

図-5にクランプ間隔とサブスパン振動の発現風速の関係を示す。クランプ間隔14m以上では発現風速が11m/s以下であるが、クランプ間隔9mでは振動は観測されていない。したがって、クランプ間隔が14m以上の場合はクランプを固定端とするサブスパン振動が発生することが考えられるため、クランプ間隔を9m程度以下とする必要がある。

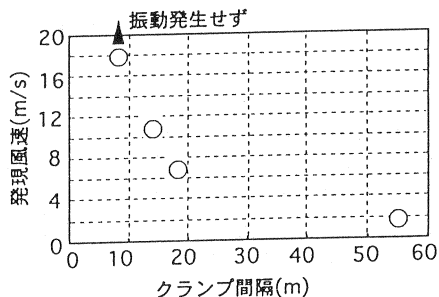


図-5 中間クランプ間隔と発現風速の関係

4. 2 減衰付加の効果 (ケース5、ケース6)

高位置にダンパーを設置してケーブルの構造減衰 $\delta$ を0.1以上にした束ねケーブルと、低位置にダンパーを設置して $\delta$ を0.05程度にした束ねケーブルの、風下側ケーブルの変位と風速の関係を図-6に示す。ただし、発生した振動は、ダンパーの有無、構造減衰の大小に関わらずいずれの場合も塔及び桁の定着部を固定端として、束ねた2本のケーブルが1次モードでねじれるような振動であった。また、ダンパーを設置しない場合、観測位置での振幅の最大値を基に、1次モードで変位が最も大きくなるケーブルスパン中央部付近の振幅を計算すると、片振幅で約4.4cm程度(ケーブル径の約半分)であった。また、 $\delta$ が0.05程度の時、6割程度に、 $\delta$ が0.1以上の時、5割程度にそれぞれ振幅が低減されており、ダンパーを取り付けることによりさらに振幅が低減されているのが分かる。発現風速については $\delta$ が0.05程度の時はほとんど変わらないが、 $\delta$ が0.1以上の時、5m/sから6m/sに上昇している。

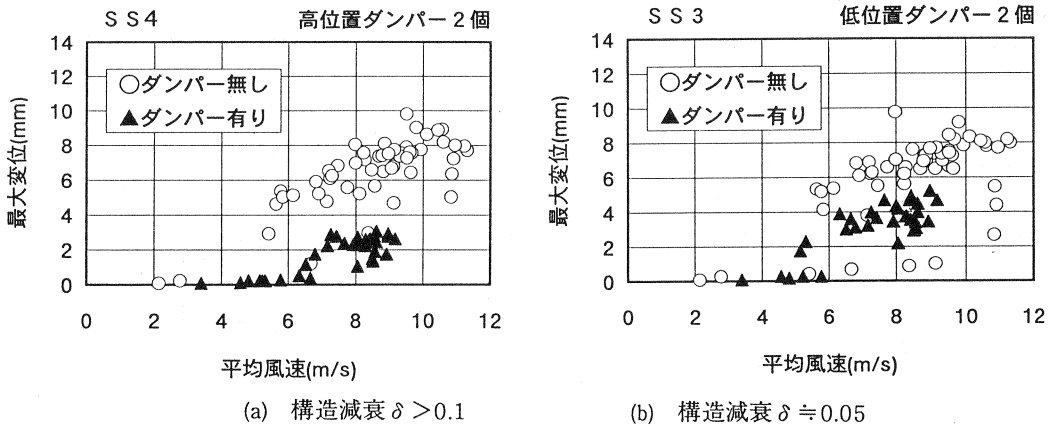


図-6 各構造減衰でのケーブル変位と風速の関係

5. おわりに

以上の風応答観測結果から、少なくとも7段目のケーブル(長さ60m)までは、主にサブスパン振動に対する振動対策として、この中間クランプ設置が有効であることが分かった。また、13段目のケーブル(長さ110m)では、桁側及び塔側のケーブル定着点を固定端とする1次モードの振動(片振幅0.5D程度)が発生していたが、ダンパーを設置することにより振幅が5~6割程度に低減できることが分かった。しかし、ダンパーを設置したケーブルの応答については、これまで平均風速9m/sまでの観測データしかないため、今後、高風速時の挙動を調べる必要があると考えている。

謝辞

本研究の遂行にあたり九工大久保教授に有益なご助言、ご指導を頂いた。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 国土開発技術研究センター：斜張橋ケーブルシステムの耐風性に関する検討報告書、昭和63年
- 2) 宇都宮英彦、鎌倉米康：近接する並列円柱系の空気力学的挙動、土木学会論文報告集、第366号、1983年
- 3) 白土博道：複数構造物の空気力学的挙動に関する研究、京都大学博士論文、昭和63年
- 4) 土木研究センター：斜張橋ケーブルの耐風性検討報告書、平成5年3月
- 5) 久保喜延、前田博他：斜張橋用複数本ケーブルの耐風挙動、第13回風工学シンポジウム、1994年、pp.251-256