

PC斜張橋ケーブルのレインバイブレーションとその制振対策

清水建設 和泉研究室 正会員 若原 敏裕 石川県珠洲農林総合事務所 非会員 宮坂 昭夫
清水建設 土木本部 設計部 正会員 大野 浩 石川県七尾農林総合事務所 非会員 池田 俊文

1. はじめに 斜張橋のケーブルは本質的にその構造減衰が小さいことから、比較的低い風速(10m/s前後)で、渦励振、レインバイブレーションあるいはウェイクギャロッピング等の空力振動現象が発現し、条件次第ではかなりの大きさの振幅に達する。斜張橋のケーブルは構造系を成立させるための主要な構造要素であり、ケーブルに生じるこのような空力振動は、利用者に不安感を与える問題も含め、橋としての使用性を損なうばかりか、構造の安全性に関する問題を生じさせる可能性も指摘されている⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾。

本報告は、写真-1に示す中能登農道橋(橋長450m、支間長230mの3径間連続PC斜張橋)のケーブルに対して行った空力振動に関する風応答観測および空力振動対策のための粘性せん断型ダンパー設置について報告する。

2. ケーブルの空力振動 施工時の精度管理の目的から、図-1に示すような計測システムを用いて常時風応答観測(常時10分毎の平均値、最大値、最小値、標準偏差などの統計量の観測)を実施しており、ケーブルの空力振動も同時に計測している。図-2はケーブルの張力調整時(平成10年9月22日)に台風7号に見舞われた際のケーブルの振動状態を示したものである。図-2に示すように、台風7号通過時の最大瞬間風速は30m/s程であり、10分間平均風速で20m/sである。この際、発現した振動はレインバイブレーション(ケーブル表面のリブレットと風向で判断)であり、図-2に示すように15:30~19:30の間(風向NNE, 平均風速で5m/s~20m/sの範囲)でS1ケーブルの加速度応答は 250cm/s^2 以上に達している。また、その間の数時間は事前に設定していた計測機器のフルスケールである 250cm/s^2 を超えた加速度応答が生じており、設定レンジオーバーのため 250cm/s^2 以上の値は記録できていない。なお、目視による確認では、その際のレインバイブレーションの最大振幅は15cm~30cm程度(ケーブル径の1~2倍程度の振幅)に達していた。また、レインバイブレーションが生じたケーブルはS1~S10(いずれも低次の固有振動数が3.0Hz以下)であり、中島町側(側径間)に集中しており、能登島側(中央径間)のS15~S28では目立った振動を生じていない。このように、本橋において台風7号通過時に観測されたレインバイブレーションの特徴は、以下に示す既往の斜張橋で観測されたケーブルのレインバイブレーションの特徴⁽³⁾：

- 1) 振動は1~3次の比較的低い次数のモードで発現し、その固有振動数が3.0Hz以下である。
- 2) 平均風速5m/s~20m/sの範囲で生じており、無次元風速で20以上で振動が発現する。
- 3) 風向に対して正姿勢(ケーブルが主塔に対して風下)のケーブルに振動が集中する。



写真-1 中能登農道橋(中島町より)

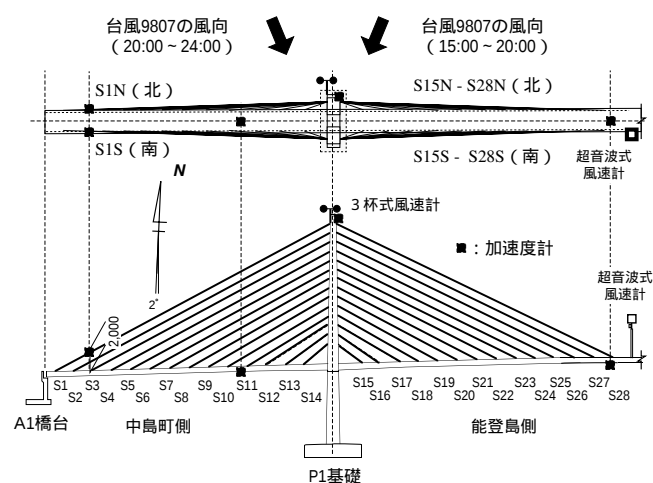


図-1 計測機器配置およびケーブル番号と位置

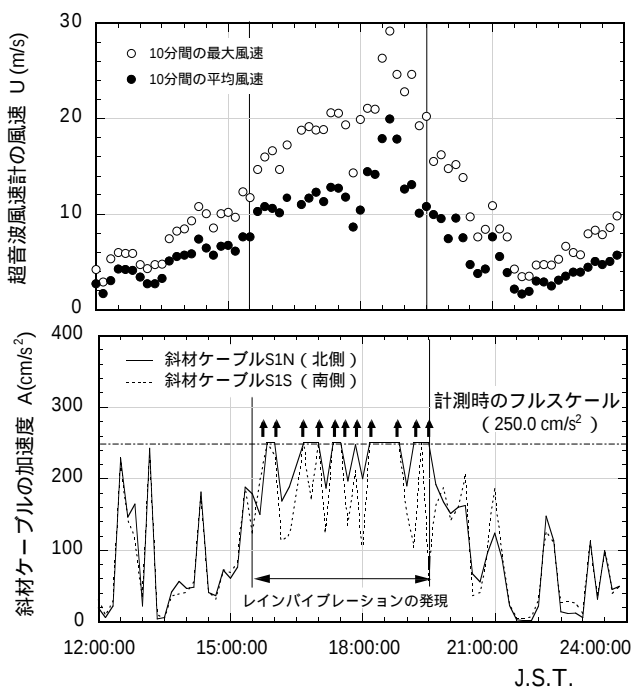


図-2 平成10年台風7号時のケーブルの空力振動

キーワード：ケーブル、レインバイブレーション、粘性ダンパー、PC斜張橋、対数減衰率、風応答観測

連絡先：〒105-0011 東京都千代田区幸町2-2-2 富国生命ビル27F TEL：03-(3508)-8982, FAX：03-(3508)-2196

と整合している。図-3は、S1ケーブルの1次固有振動数 $f_1=0.783$ と外径 $D=16\text{cm}$ を用いて計算した無次元風速 U/fd とS1ケーブルの最大値(常時10分間)の関係をプロットしたものである。図-3に示す結果より、レインバイブレーションにより大きな振幅を生じているのは、無次元風速で $U/fd=20$ 前後、30~40、70~80、110以上の範囲であり、松本ら⁽⁴⁾⁽⁵⁾の斜張橋ケーブルのレインバイブレーションの発現メカニズムに関する一連の研究成果(あるいは、高風速渦励振としての考察)と良く対応しているものと考えられる。

3. ケーブルの制振対策 レインバイブレーションに対する制振対策として、図-4に示すような粘性せん断型ダンパーを設置することとした⁽⁶⁾。なお、粘性せん断型ダンパーの設置は最低次の固有振動数が3.0Hz以下となるケーブルを対象とした。粘性せん断型ダンパーは主桁側に設置する粘性体が入った槽の部分とケーブル側に設置する連結棒(振動子)から構成される⁽⁶⁾。ダンパーの設置位置を主桁からの高さを2.0mの位置とし、注入する粘性体の量(粘性体の高さ h)は、粘性体の高さが極端に小さくならない範囲で、対数減衰率 δ が0.03以上(レインバイブレーションが発現しないとされる対数減衰率⁽³⁾)となる $h=8.0\text{cm}$ (粘性せん断面積 $A_v=464\text{cm}^2$)を定めた⁽⁶⁾。図-5は、粘性せん断型ダンパーの制振効果を確認する目的で行ったケーブルの振動実験結果を示している。図-5に示したダンパー設置前後の対数減衰率 δ の比較から、ダンパー設置前では1次モードの対数減衰率は $\delta=0.008$ 程度であったが、ダンパー設置後は $\delta=0.045$ 程度の値となっており、ダンパーの効果は、ケーブル固有の構造減衰に対し、その5倍程度の減衰付加効果となっている。また、2次モードに対しても、ダンパー設置前では平均的に見て対数減衰率は $\delta=0.004$ 前後の値であったが、ダンパー設置後は $\delta=0.03$ 前後の値まで増加していることがわかる。図-6は、ダンパー設置前後のS28Nケーブルの自由減衰波形を比較したものであり、ケーブルに設置した粘性せん断型ダンパーの効果が伺われる。

4. おわりに 中能登農道橋のケーブルに対して行った空力振動の風応答観測、空力振動対策として設置した粘性せん断型ダンパーの効果について検討した。本報告の結果をまとめると、ケーブルの構造減衰は小さく、対数減衰率で $\delta=0.002\sim0.008$ 前後の値しかなく、降雨を伴う風速 $5\text{m/s}\sim20\text{m/s}$ の風で激しいレインバイブレーションを生じる。粘性せん断型ダンパーの設置後は、ケーブルの対数減衰率は概ね $\delta=0.03\sim0.045$ 程度まで増加し、対策前の5~7倍程度の値となっている。

参考文献

- (1) 植上：斜張橋ケーブルのレインバイブレーション，日本風工学会誌，第27号，1986年。
- (2) 松本，白石，白土，平井，佐野，桂：斜張橋ケーブルのRain Vibrationの発生要因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，1990年。
- (3) 斜張橋ケーブルの耐風安定性委員会：斜張橋ケーブルの耐風性の検討[報告書]，財団法人土木研究センター，1993年。
- (4) 松本勝，青木淳，山岸裕，藤井大三，白土博道：“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，pp257~262，1994年。
- (5) 松本勝，對馬大輔，佐久間智，矢木知己，重村好則：“斜張橋ケーブルの振動特性並びに高風速渦励振の発生メカニズムに関する研究”，第15回 風工学シンポジウム論文集，1998年。
- (6) 米田：斜張橋ケーブルの風による振動とその制御，第2回振動制御コロキウム Part A，土木学会，1993年。

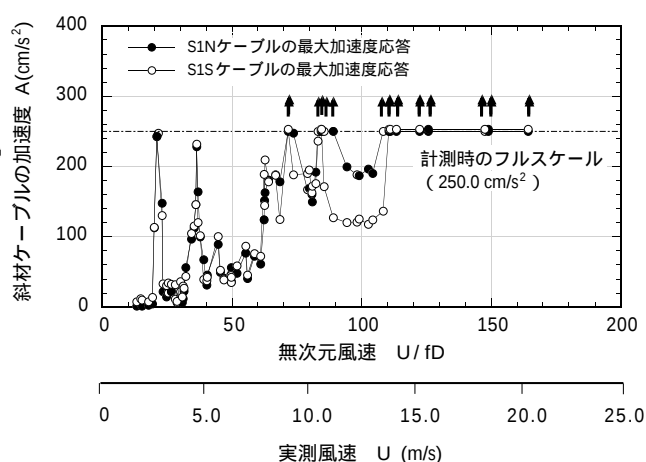


図-3 無次元風速とケーブルの加速度応答の関係

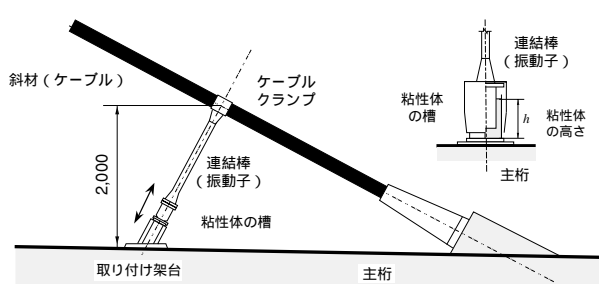


図-4 粘性型ケーブル制振ダンパーの概要

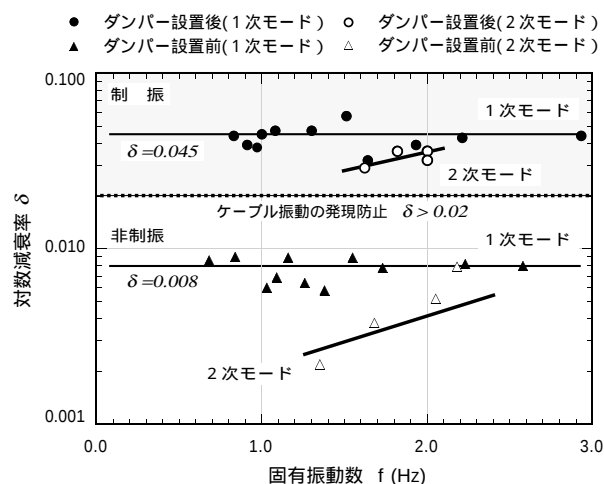


図-5 斜材ケーブルに設置した粘弾性型ダンパーの効果

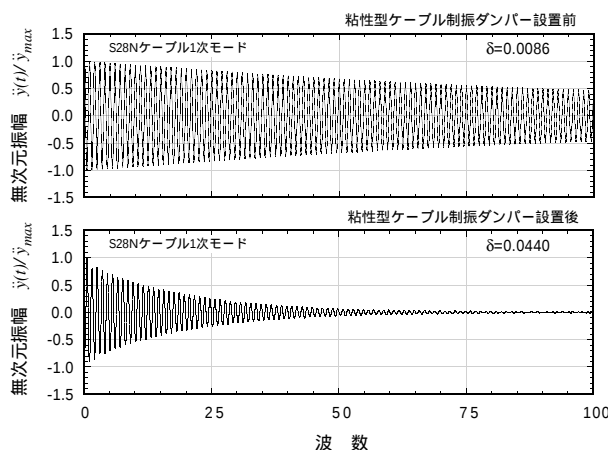


図-6 粘性型ダンパー設置前後の自由減衰波形の比較