

斜張橋並列ケーブルの空力制振対策

本州四国連絡橋公団 正会員 秦 健作

本州四国連絡橋公団 正会員 楠原 栄樹

本州四国連絡橋公団 正会員 ○花井 拓

1. はじめに

斜張橋ケーブル、吊橋のハンガーロープ、送電線等で並列ケーブルを採用した場合、ウェイクギャロッピングがしばしば観測されている。本州四国連絡橋の櫃石島橋及び岩黒島橋（道路鉄道併用斜張橋、中央支間長 420m）においても、建設時にウェイクギャロッピング等のケーブル振動が観測されたため、スパーサー及び制振ロープによる制振対策が施されている。これらの制振対策により、大振幅の振動は抑制されているが、制振ロープを節としたサブスパン振動は完全に抑制できていない。このサブスパン振動はケーブル本体に影響を及ぼさないものであるが、制振ロープの損傷の原因となっていると考えられている。本報告は、櫃石島橋・岩黒島橋の新たなケーブル制振対策として、明石海峡大橋のハンガーロープに設置したものと同様のヘリカルワイヤの適用性について検討した結果を報告するものである。

2. 検討の手順

検討は、図-1 のフローに沿って行った。

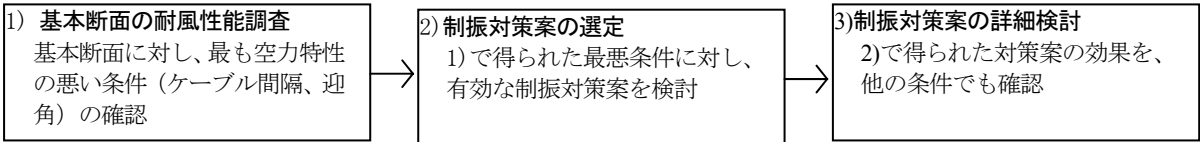


図-1 検討の流れ

3. 試験条件

本検討では、並列ケーブルの基礎的な振動特性を確認するため、既存の制振対策を施す前の状態での振動（1次モード）を対象とした二次元バネ支持試験を行った。実橋ケーブルの振動性状をより正確に再現するために、図-2 に示すように下流側ケーブルをコイルバネで斜め十字に吊った。試験条件を表-1 に示す。

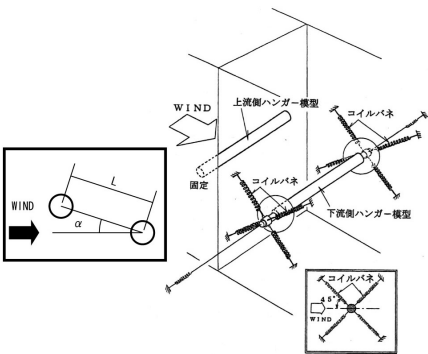


図-2 バネ支持試験概念図

表-1 試験条件

		実橋	実験値
縮尺：n		—	1/1
ケーブル外径：D(m)		0.147	0.147
単位重量：m(kgf/m)		57.4	36.0
振動数(Hz) (1次)	鉛直	約 0.5～0.7	0.65
	水平	約 0.5～0.7	0.65
無風時構造減衰：δ ₀		0.007（仮定）	0.011
スクルートン数：Sc ※(Sc=2m δ ₀ /ρ D ²)		31.6	31.2

※但し、ρ=0.120kgf sec²/m⁴
※※岩黒島橋の2 P側 S3～S6、C3～C6 ケーブル

4. 基本断面の耐風性能調査

まず、無対策時のケーブルにおける、最も耐風安定性が悪化する配置条件を、1)ケーブル間隔 (L=2.5D～5.5D；櫃石島橋・岩黒島橋のケーブル間隔の範囲をほぼ網羅)、2)迎角 (α=0° ～20°) をパラメータとして変化させて確認した。

キーワード 斜張橋、並列ケーブル、ウェイクギャロッピング、風洞試験

連絡先 〒651-0088 兵庫県神戸市中央区小野柄通 4-1-22 本四公団 長大橋技術センター Tel:078-291-1071

図-3 に、発現風速（ここでは、振幅 A が $A/D=0.5$ に達する風速と定義）を示す。ほとんどのケースでウェイクギャロッピングが発現しており、風速 30m/s 以下の領域で発現していないのは $L=4.5D$ の $\alpha=0^\circ$ 、 $5.5D$ の $\alpha=0^\circ, 5^\circ$ のみである。図中の $L=2.5D$ 、 $3.5D$ の低風速における黒く塗りつぶした迎角では、リミットサイクル（一般の限定振動と異なり、ある振幅を境に、振幅が増大する現象）が発生している。発散時の卓越モードとしては、迎角が小さいうちは風向直角方向の振動が卓越するが、迎角が大きくなると風向方向の振動が卓越する状況が確認された。

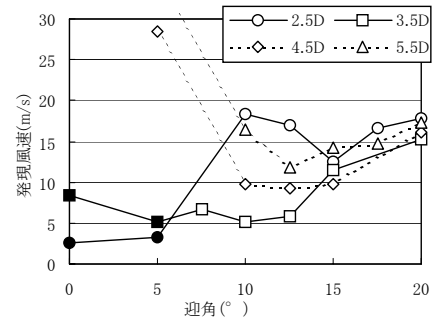


図-3 ケーブル配置と発現風速の関係

5. 制振対策案の選定

4. での検討結果より、ウェイクギャロッピング特性が最も悪いケースを抽出し、そのケーブル配置に対し制振対策の効果の確認を実施した。対象ケースとして、最も発現風速の低い $L=3.5D$ 、 $\alpha=10^\circ$ のケース ($\delta \approx -0.04$)、発現風速は高いが励振力が最も大きい $L=2.5D$ 、 $\alpha=20^\circ$ のケースを選定した。

制振対策としては、ダンパー等による減衰付加を想定した構造的対策（電磁ダンパーにより、構造減衰 $\delta_0=0.15, 0.30$ を設定）と、ケーブル断面を改良することにより周辺気流をコントロールする空力対策（ヘリカルワイヤ。ワイヤ径 2 種×巻ピッチ 2 種=4 ケース）について検討した。

構造減衰を $\delta_0=0.15$ とすると振動はある程度抑制されるものの、実際に斜張橋ケーブルでそのような減衰を付加することは困難である。一方、ヘリカルワイヤの場合、 $\phi 9\text{mm}$ 、巻ピッチ 510mm のヘリカルワイヤ（図-4）とした場合に制振効果が高いことが明らかになった。

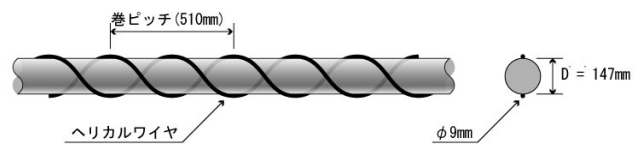
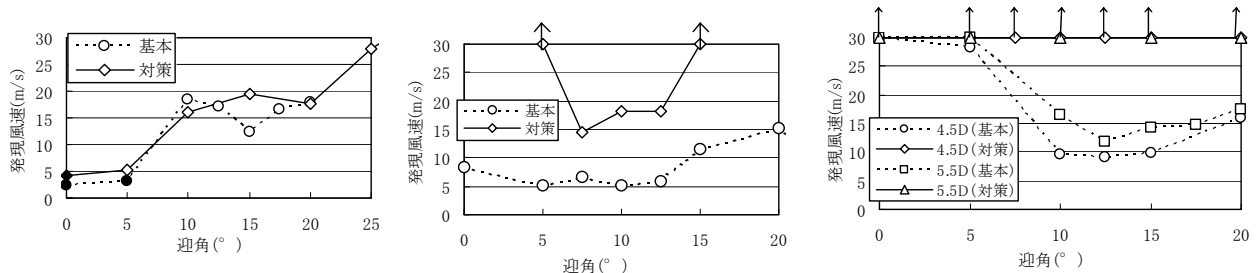


図-4 ヘリカルワイヤ設置図

6. 制振対策案の詳細検討

4. で検討したケーブル配置に対して、5. で選定された制振対策案の制振効果を確認した（図-5）。



(a) ケーブル間隔 $L=2.5D$

(b) ケーブル間隔 $L=3.5D$

(c) ケーブル間隔 $L=4.5D, 5.5D$

図-5 空力対策後の発現風速

ケーブル間隔 $L=3.5D$ 以上の場合、発現風速を大きく上昇させる効果が確認された。特に $L=4.5D, 5.5D$ では風速 30m/s までウェイクギャロッピングは観測されておらず、非常に有効であることが確認された。一方、 $L=2.5D$ のケースについて低迎角での発現風速の上昇は見られないが、励振力はかなり小さくなった。又、実橋でのケーブル間隔は軸方向に変化しており、 $L=2.5D$ が占める範囲は小さい。この三次元性を考慮した場合、振動発現の確率は小さくなるものと考えられる。

7. まとめ

本検討において、ヘリカルワイヤは、明石海峡大橋において発生したウェイクフラッターだけでなく、ウェイクギャロッピングに対しても制振効果を有することが分かった。今後、本制振対策の実橋への適用にあたっては、ケーブル間隔と制振効果の相関の詳細な検討、ケーブル間隔が軸方向に変化する実橋での三次元効果の把握、等が必要と考えられる。