

多々羅大橋のケーブル振動計測結果 (第一報)

本州四国連絡高速道路(株)	正会員	○楠原	栄樹
本州四国連絡高速道路(株)	正会員	山田	郁夫
本州四国連絡高速道路(株)	正会員	福永	勸

1. はじめに

世界最大級の斜張橋である多々羅大橋(中央支間長 890m)は、ケーブル長さが最大約 470mであり、風による振動の発生は避けられないことから、建設時において数多くのケーブル風洞試験を実施した^{1,2)}。その結果、設計で想定した風荷重を増加させることなく、レインバイブレーション(降雨時の風による振動)の制振が可能となる「インデントケーブル」(写真-1)を新たに開発し、世界で初めて実橋に採用した。しかし、ケーブルの風による振動現象は複雑であり、その発生メカニズムが十分明らかとなっていない状況であるため、風洞試験結果と実橋挙動との整合性を把握し、インデントケーブルの制振効果を確認する必要がある。また、最近の研究においてドライギャロッピングに関する報告³⁾がなされており、長期間にわたり橋梁の健全性を確保するためには、本橋におけるドライギャロッピング発生の可能性もあわせて把握する必要がある。

本論文は、多々羅大橋のケーブルの安全性を確認するために実施中の現地観測概要と、これまでに観測されたデータの分析結果について報告を行うものである。



写真-1 インデントケーブル

2. 現地計測概要

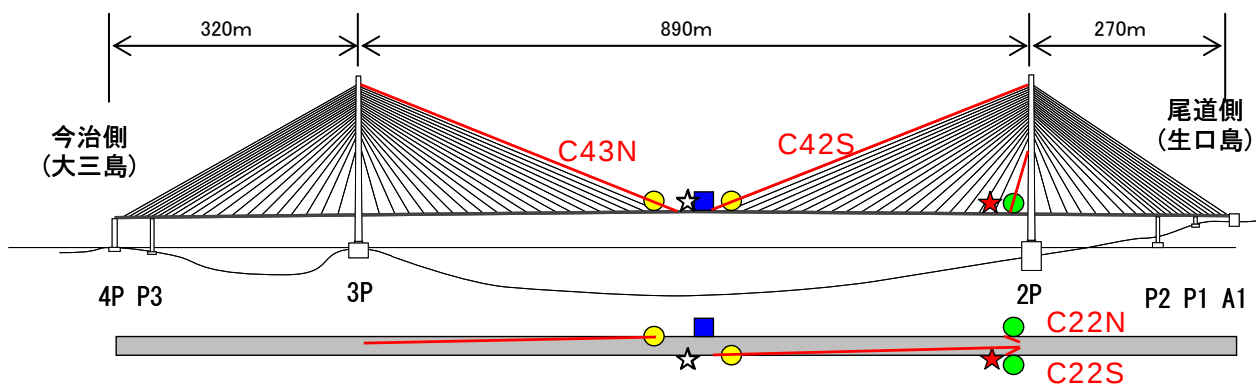
現地計測の対象としたケーブルは、以下に示す建設時の検討結果を考慮して、中央径間の最も長いケーブル(C42S,C43N)と最も短いケーブル(C22N,C22S)を対象とし(図-1)、2007年8月下旬より計測を開始した。

- ① レインバイブレーションは3Hz以下の固有振動数のケーブルで発生し、風向は式-1により計算される相対角度(ϕ)が $30^\circ \sim 60^\circ$ の範囲で発生しやすい。(α : ケーブル傾斜角、 β : 橋軸直角方向からの風向)

$$\cos(\phi) = \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta) \quad (\text{式-1})$$

- ② ドライギャロッピングの発生条件は明らかとなっていないが、風洞試験では式-2で計算されるよどみ角(θ)が $20^\circ \sim 30^\circ$ の場合に発生が確認された事例がある。

$$\tan(\theta) = \frac{\sin(\alpha) \cdot \sin(\beta)}{\sqrt{1 - \sin^2(\beta)}} \quad (\text{式-2})$$



● : サーボ型加速度計 ● : ひずみゲージ型加速度計 ☆ : プロペラ型風速計 ★ : 超音波風速計 ■ : 雨量計

図-1 計測機器の配置図

キーワード 斜張橋, ケーブル, 現地観測, レインバイブレーション

連絡先 〒651-0088 兵庫県神戸市中央区小野柄通 4-1-22 アーバンエース三宮ビル Tel:078-291-1000

3. 現地計測結果

計測開始後の1年間(2007.10~2008.9)の記録データ(約12,000個)に対する分析結果を以下に示す。

1年間に記録されたデータについて、風向と平均風速の関係(風配図)を図-2に示す。計測期間内には台風の日本への上陸が無かったため、20m/s程度までの風のデータしか記録されていない。図-3は、比較的大きな加速度が記録されたケーブル(C22N)における10分間平均風速と最大加速度の関係を示したものである。この図より、平均風速10~12m/s程度の風で、鉛直方向、水平方向ともに大きな加速度が発生していることが確認でき、この傾向はC22Sケーブルでも同様であった。また、この加速度が発生しているのは、2008年9月に台風0813号が四国沖を通過したときであり、時間雨量で20mm程度の降雨が記録されており、レインバイブレーションの可能性が考えられた。

振動加速度の時刻歴波形は、図-4に示すとおりであり、9:45頃より振動が発達し始め、風速の低下に伴い振動が減衰する傾向が確認された。この振動を変位に変換した振動軌跡は図-5に示す通りであり、加速度計設置位置の最大振幅は約2cm、ケーブル振動モードの腹部に換算すると約7cmとなり、許容振幅(15cm)に比べ、十分に小さな値であった。なお、振動発生時の風向は北西となっており、道路橋耐風設計便覧に示されるレインバイブレーションの発生が予想される風向範囲からは外れた風向となっているため、現段階では振動の発生要因の特定に至っていない状況である。

4. まとめと今後の課題

世界最大級の斜張橋である多々羅大橋のケーブル振動特性を把握するための現地調査を実施した結果、降雨を伴う風による振動の発生が確認された。計測された振動は構造の安全性に影響を及ぼすような有害な振動ではないが、1ケースの計測事例に過ぎず、今後もより多くの事例を記録する必要があると考えられる。また、今回計測された振動の発生要因を特定するに至っていない状況であり、ドライギャロッピングの可能性も含め、より詳細な検討を実施する予定である。

参考文献

- 1) 藤原享、森山彰：多々羅大橋ケーブル制振対策、本四技報、Vol.20、No.79、pp.31-41、1996.7
- 2) T. Miyata, T. Fujiwara, H. Yamada, T. Hojo: Wind-resistant Design of Cables for the Tatara Bridge, IABSE Symposium on Long-Span and High-Rise Structure, 1998
- 3) M. Matsumoto, T. Yagi, Q. Liu, T. Oishi, Y. Adachi: Effects of axial flow and Karman vortex interference on dry-state galloping of inclined stay-cables, Proc. of the Sixth International Symposium on Cable Dynamics, pp.247-254, 2005.9

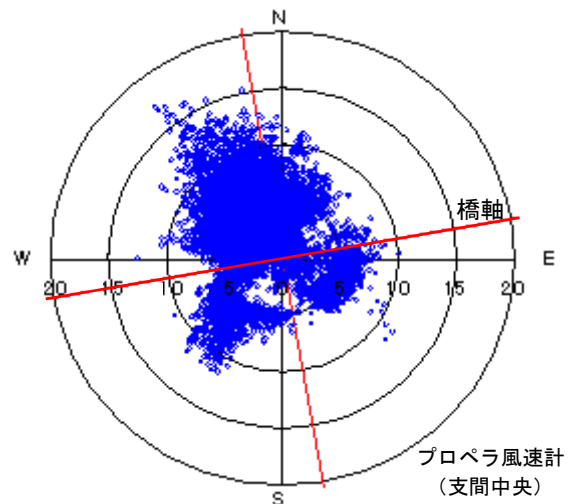


図-2 風配図 (2007年10月~2008年9月)

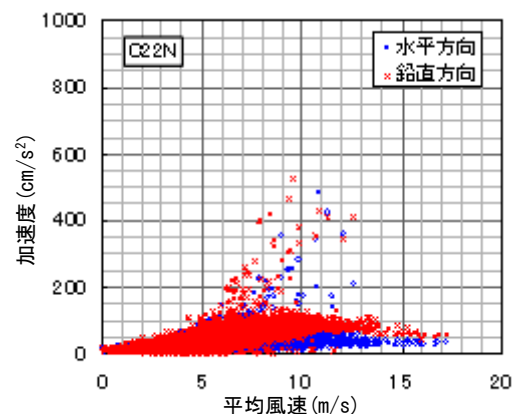


図-3 風速と加速度の関係
(2007年10月~2008年9月)

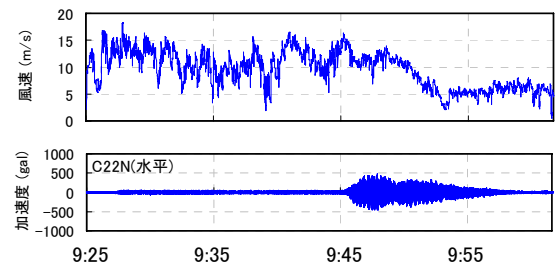


図-4 時系列波形(2008年9月21日)

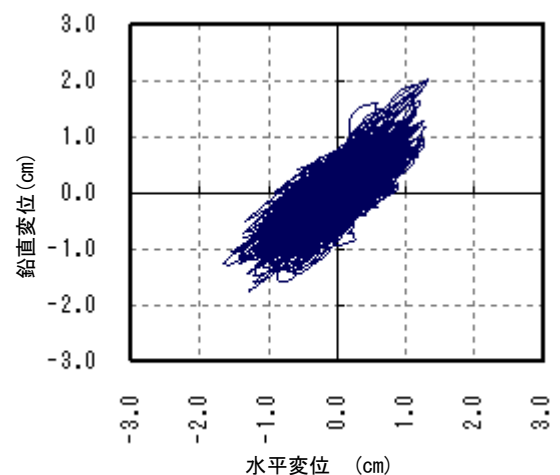


図-5 振動軌跡(C22N ケーブル)