

空力特性から見たインデントケーブルのパターン改良

横浜国立大学 フェロー 勝地 弘
横浜国立大学 学生会員 ○小寺拓実

横浜国立大学 フェロー 山田 均
首都高速道路(株) (元横浜国立大学) 岩崎 聖

1. はじめに

斜張橋ケーブルのレインバイブレーション対策として開発されたインデントケーブル(図1)は、多々羅大橋に採用されて以来、おもに海外の長大斜張橋において採用されてきた。開発時にインデントのサイズとパターンは、直径150mmのケーブルに対して、抗力係数、振動振幅の観点から模索され、決定された。そして、多々羅大橋においては、直径の異なる3種類のケーブルに対して、インデントサイズは直径に応じた面積比で、パターンは直径比で拡大、縮小して用いられた。このため、直径の異なるケーブルに対するインデントの効果は、直接には検証がなされていない。本研究では、直径の異なる場合のインデントサイズとパターンの最適化と、更なるインデントサイズ・パターンの最適化を目的として、風洞実験による振動応答、抗力係数の計測によって検討を行った。



図1 インデントケーブル(多々羅大橋)

2. 風洞実験の概要

風洞実験は、有効長1.5mのケーブル剛体模型を用いて、振動応答(降雨有・無)、抗力係数の測定を行った。インデントパターンは、基本形(P1、直径140mm)として図2に示すものとした。これは、直径150mmの多々羅大橋のものを直径比で設定したものである。比較案として、表1に示すように、P1をベースに、サイズ、ピッチを面積比、直径比で縮尺した110mm径ケーブル、また、列数を8列から6列に変更したもの、さらにはインデントをスパイラル状に配置したものを採用した。風洞実験は、表1に示すものをシリーズ1として実施し、後に述べるように列数6のP4ケーブルが良好であったため、シリーズ2として列数6のインデントパターンを同様に検討した。

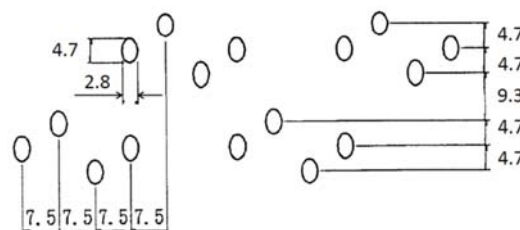


図2 基本インデントパターン(径140mm)

表1 インデントパターン(シリーズ1)

パターン	列数	サイズ	ピッチ
P1 (140mm)	8	4.7×2.8	4.7+4.7+9.3+4.7+4.7
P2 (110mm)	8	4.3×2.6	3.7+3.7+7.3+3.7+3.7
P3 (110mm)	8	4.7×2.8	4.7+4.7+9.3+4.7+4.7
P4 (110mm)	6	4.7×2.8	4.7+4.7+9.3+4.7+4.7
P5 (140mm)	8 (スパイラル 39.7°)	4.7×2.8	4.7+4.7+9.3+4.7+4.7
P6 (110mm)	8 (スパイラル 27°)	4.7×2.8	4.7+4.7+9.3+4.7+4.7

3. 振動応答と抗力係数

振動応答は、有効長1.5mの剛体ケーブル模型を鉛直傾斜角25°、水平偏角45°で鉛直1自由度でバネ支持し、降雨あり、なしの条件で計測した。図3、4にケーブル径で正規化した無次元振動振幅を示す。模型の固有振動数は、各ケースで0.9~1.0Hz程度、対数構造減衰率は0.02程度であった。振動応答については、インデントケーブルのため、レインバイブレーションは発生せず、降雨ありで風速とともに振幅が増大するのはドライギャロッピング的な特性が現れているものと考えられる。

キーワード：インデントケーブル、風洞実験、振動応答、抗力係数

連絡先： 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-5 TEL 045-339-4041

P5、P6 のスパイラル配置については、他の直線配置に比べて、特に降雨なしで振動応答が顕著に大きくなることが分かる。また、P1 についても降雨なしでわずかに振幅が大きくなる傾向にある。P2~P4 では大きな差はないが、6 列配置の P4 が降雨あり、なしともに最も振幅が小さい。

次に、シリーズ 1 に対する抗力係数の測定結果を図 5 に示す。ここでは、インデントのない一般部を風向きにした場合の結果を示す。図には、P1~P6 の結果に加え、多々羅大橋のインデントケーブル開発時に計測された抗力係数も併せて示す（基本）。インデントパターンのため、レイノルズ数が 50,000 程度から抗力係数が低下し始め、150,000 程度で最低値を示し、その後わずかに増大するパターンが見られる。このうち、振動応答で最も良好であった P4 が抗力係数においてもわずかながら最も低い値（約 0.64）を示した。

シリーズ 1 において、6 列配置の P4 が最も良好な特性を示したことから、シリーズ 2 として、基本の 8 列配置に変えた 6 列配置（110 mm 径）に対して、インデント面積比、インデント幅比（一般部幅／インデント部幅）を変更し（それぞれ、2.7~3.7%、0.8~1.3）、その特性を調査した。そのうち、抗力係数の結果を図 6 に示す。基本形（インデント面積比 3.2%、インデント幅比 1.05）に対して、特に No.3（インデント面積比 2.7%、インデント幅比 1.3）が高風速でも低い抗力係数を保ったままで良好な特性を示した。

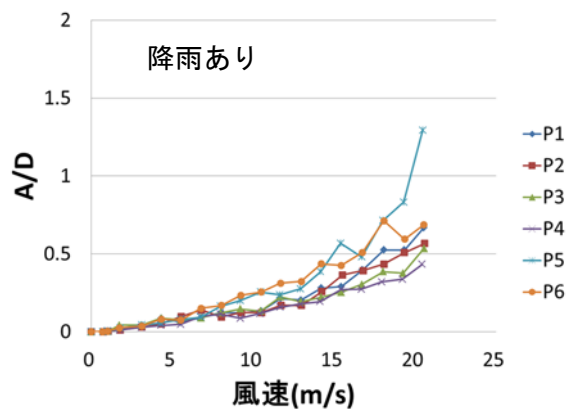


図 3 降雨ありでの振動応答

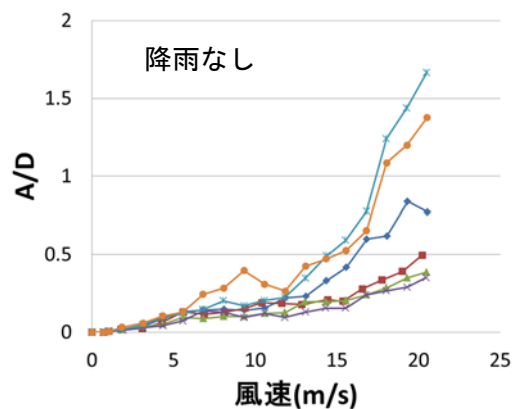


図 4 降雨なしでの振動応答

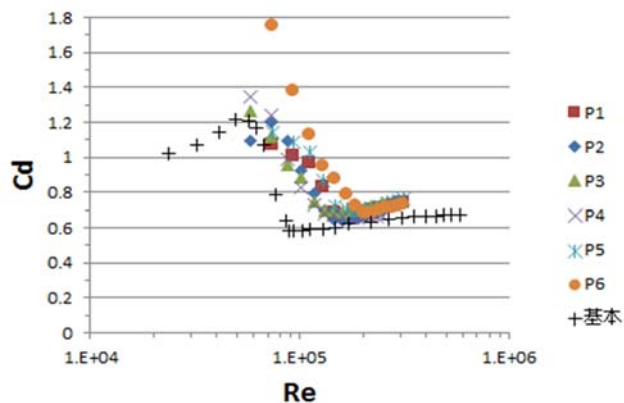


図 5 抗力係数（シリーズ 1）

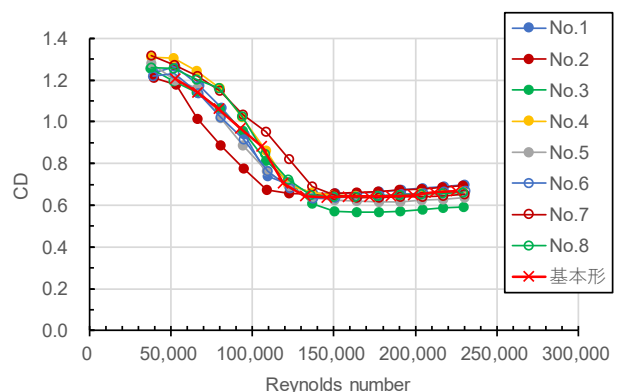


図 6 シリーズ 2 での抗力係数

4. まとめ

斜張橋ケーブルの空力振動対策として提案されているインデントケーブルの性能確認と改良を目的として、インデントパターンを種々変更したモデルに対して、振動応答、抗力係数の観点から検討を行った。その結果、現在用いられているインデント 8 列と比較して、6 列のほうが振動振幅、抗力係数ともに低くなることが分かった。さらに、6 列モデルに対しても、インデントパターンを変更することで更に抗力係数を低減できることが分かった。今後は、振動応答の調査も行い、より空力特性に優れたインデントケーブルの開発を継続する予定である。

謝辞：ケーブル供試体の提供を含め、本研究は東京製綱（株）との共同研究で実施した。ここに感謝の意を表する。