斜張橋ケーブルの空力振動における水路の周方向の動きの効果について

京都大学大学院	学生員	大石 孝弘	京都大学大学院	フェロー	松本勝
京都大学大学院	正会員	八木 知己	土木研究所	学生員	岡田太賀雄
京都大学大学院	学生員	劉慶寬	京都大学大学院	学生員	足立 洋一

1.目的

斜張橋ケーブルは 降雨を伴った際に大きく振動することが知られてお り,レインバイブレーションと呼ばれている.発生要因として,ケーブル 表面に形成される水路,ケーブルの傾斜により発生する軸方向流,渦の3 次元的非定常な放出等が考えられているが未解明な点が多い 最近の研究 報告^[1]では,水路がケーブル周方向に動くことがケーブルの空力振動に重 要な役割を果たしていると指摘しており、本研究では、水路の周方向振動 がケーブル振動に及ぼす影響について検討を行うこととした.



2.実験概要

水路の周方向の動きを、ケーブル模型のねじれ振動によって模擬できる

ものとし,ケーブル模型のたわみ及びねじれ1自由度強制加振実験を行った(図1参照).模型両端に設置し たロードセルにより非定常空気力を検出し,非定常空気力係数を算出した.さらに,非定常空気力係数から対 数減衰率を求め,水路の周方向振動がケーブル振動に及ぼす影響について考察を行った.

3.解析方法

Scanlan によって提案された 4 個の非定常空気力係数 H_i^* ($i=1\sim4$)を用いて非定常揚力 L を定式化した.

$$L = \frac{1}{2} \rho(2b) V^2 \left\{ k H_1^* \frac{\dot{\eta}}{V} + k H_2^* \frac{b \dot{\phi}}{V} + k^2 H_3^* \phi + k^2 H_4^* \frac{\eta}{b} \right\} \quad (1)$$

ただし, η :たわみ変位(下向き正), ϕ :ねじれ変位(頭上げ正),($^{-}$):時間微分,V:風速, ρ :空気密度, b:半径, k:換算振動数($b\omega/V$), ω : 円振動数 100

> tives 50

deriv

Aerodynamic -50 -100 -150

derivatives 50 0

Aerodynamic -50

100

-100

-150

ここで,たわみ変位鉛直下向き最大からねじれ変位頭上げ最大 までの位相差をんとおくと、ねじれ変位はたわみ変位を用いて,

$$\phi = \phi_0 \sin(\omega t + \lambda) = \left(\frac{\phi_0}{\eta_0 \omega} \sin \lambda\right) \dot{\eta} + \left(\frac{\phi_0}{\eta_0} \cos \lambda\right) \eta$$
 (2)

と表され,対数減衰率は以下のように表すことができる.

$$\delta = 2\pi \times \frac{-\frac{\rho D^2 \omega}{8m} \{H_1^* + R\{(\cos \lambda)H_2^* + (\sin \lambda)H_3^*\}\}}{\sqrt{\omega_0^2 - \frac{\rho D^2 \omega^2}{4m} \{R\{(-\sin \lambda)H_2^* + (\cos \lambda)H_3^*\} + H_4^*\}}}$$
(3)

D=2b, $R=D\phi_0/2\eta$:振幅比, m:単位長さあたりの質量 4.考察

4.1 非定常空気力特性

図 2 に水路なし,水路位置 *θ*=40°,46°,48°,50°,52°,54°,56°,58°, 60°,70°,90°での各風速における非定常空気力係数 H₁^{*}を示す.

式(3)より,H^{*}が正であると励振力,負の場合は制振力として作用する.図2を見ると母50°,52°,54°では H_l^* は高風速域において正となっており,ギャロッピングが発現する可能性が示唆される.

図 2 各水路位置における H₁*

V/fD

V/fD

図1 実験状況

キーワード レインバイブレーション 水路の周方向振動 非定常空気力

連絡先 〒606-8501 京都府京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻 TEL 075-753-5093

4.2 水路の周方向振動の影響

各水路位置において求められた非定常空気力係数を用いて,位相差 λ と振幅比 R をパラメータとして扱い対 数減衰率 δ を求めた.図3に θ =40°, λ =0°を用いた際の解析結果を示す.水路の周方向振動を考慮しない場合, δ は正の値をとり安定であるが,水路の周方向振動の影響を大きくする(R の値を大きくする)につれて δ は 正の値をとりながらも絶対値は小さくなり,水路の周方向振動が不安定化に作用していることがわかる.全て の水路位置において同様の解析を行った結果,水路の周方向振動が安定化,または不安定化に作用するのは位

相差λの値によって異なったことから,水路の周方向振動の効 果には位相差λが重要な役割を果たしているものと考えられる.

また,最近の研究報告^[2]では,風洞実験で人工降雨を用いて 水路の周方向振動を測定しているものがあり,位相差 λ =180°, 振幅比 R=0.0698 であると読み取れる.このパラメータを用い て解析を行った結果,水路の周方向振動を考慮しなくてもギャ ロッピングが発現する可能性が考えられた水路位置を含む, θ =48° ~ 60°において水路の周方向振動は励振力として作用す ることがわかった.特に, θ =56°においては水路の周方向振動 を考慮しなかった場合,るは正で安定であったが,水路の周方 向振動を考慮した場合,高風速域において δ が負となり不安定 になった(図4参照).水路の周方向振動によりギャロッピン グが発現する可能性を持つ水路位置が広がり,その付近の水路 位置においても空力的に不安定になるものと考えられる.



⊠ 3 V−δ ⊠ (θ=40°, λ= 0°)



4.3 各水路位置の特性

⊠ 4 V-δ ⊠ (θ=56°, λ=180°, R=0.0698)

図5に,たわみ強制加振実験で得られた揚力変動と,各水路位置における静的空気力係数を用いて準定常的 に求めた揚力変動とを,各水路位置,風速で比較した結果を示す.この得られた波形を比較すると, $\theta=50^{\circ}\sim$ 70°において高風速域で揚力の振幅,位相共に大きく異なっている.また,ねじれ振動においても同様の傾向 が示された.よって,非定常揚力と準定常的に求めた揚力が異なる水路位置においては,非定常性が強く複雑 な流れ場が形成されていると考えられ,準定常的に議論することが困難である可能性がある.

5.まとめ

水路の周方向振動を考慮しない場合, θ =50°,52°,54°においては発散型振動の傾向が示された.水路の周方向 振動が安定化,または不安定化に作用するのは位相差λの値によって異なったことから,実際のケーブル振動 時の水路の振動状況を把握することが重要であると考えられる.また,非定常空気力と準定常的に求めた空気

力を比較した結果, *θ*=50°~70°で波形が大きく異な り,これらの水路位置では非定常性が強く準定常的 に議論することは困難である可能性が示唆された.

参考文献

[1]H.P. Ruscheweyh, The mechanism of rain-wind induced vibration, Wind Engineering into the 21st Century, Larsen, Larose & Liversy (eds), Balkema, 1999 (Proc. of the 10th ICWE, 1999)

[2]Nicola Cosenteno, Olivier Flamand, Claudio Ceccoli, Rain-wind induced vibration of stay cables: physical interpretation and mechanical modeling(Ingeneria del vento in Italea 2002

