

I-239

ニールセンアーチ橋の耐風安定性に関する研究

京都大学工学部 正 員 白土 博通
 京都大学工学部 正 員 白石 成人
 京都大学大学院 学生員 S.Stoyanoff
 京都大学大学院 学生員 八木 知己

京都大学工学部 正 員 松本 勝
 大阪府 正 員 小西 一平
 京都大学大学院 学生員 桂 一詞
 京都大学国際コース S.Martinov

1. まえがき

本研究は、現在建設計画中のニールセンアーチ橋に対し、部分模型による風洞実験を実施し、その耐風安定性について検討を加えるものである。対象とした橋梁は図-1に示すように、スパン長195.1mの鋼ニールセンアーチ橋である。本橋は、モノレール専用橋であるため、桁部は開床構造となっており、その上に上下線として2本の軌道が設置される構造となっている。

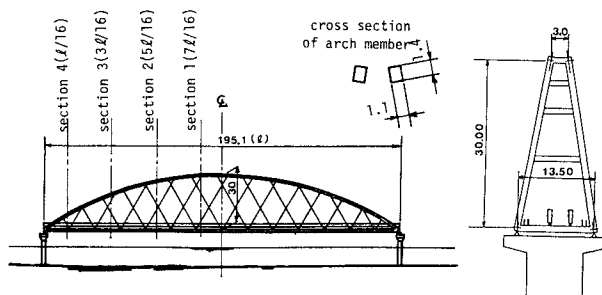


図-1 ニールセンアーチ橋概略図（単位m）

（各section番号は2次元部分模型実験の対象断面を表す）

したがって、本橋の断面形状は空力的には2本の軌道、主弦材、およびアーチ部材から成っており、これら部材相互の空力干渉効果が空力特性に影響を及ぼすものと考えられる。また、本橋は桁部とアーチ部の間隔がスパン方向に連続的に変化するいわゆる3次元性の強い形状であり、橋梁全体の耐風性を議論する際にこの点を考慮する必要がある。本研究では次節に述べるように、スパン方向に4箇所の断面形状について2次元部分模型実験を実施した。

2. 風洞実験概要

部分模型は縮尺1/100であり、2本のアーチ部材と桁との相対位置を任意に変化できる構造となっている。本研究ではスパン方向に4断面を選び、個々に鉛直たわみ1自由度の自由振動実験を実施した。得られた結果は断面ごとの振動応答（ $V-A-\delta$ ）図および非定常空力係数 H_1^* のかたちでまとめられ、さらに、振動モード形状を用いて全体系の応答性状を評価した。なお、各振動モードごとに橋梁の鉛直たわみに関する等価質量を算出し、実験対象モードに関して検討を加えた結果、鉛直たわみ最低次モードは全体系の4次モード（ $f=1.234\text{ Hz}$ ）に対応するものと判断された。4次モードにおける等価質量と橋梁単位スパン長あたりの質量との比は1.084である。なお、模型縮尺および実験装置の制約上、模型質量は所要値よりも大きな値となるため、本研究では振動系の構造減衰を調整し、スクルトン数により実橋との相似をはかった。

3. 風洞実験結果

図-2に4種類の各断面の振動応答の一例（風の傾斜角 $\alpha=5^\circ$ 、一様流）を示す。これより、橋梁中央寄りの断面1および2では無次元風速 $V_r (=U/fB)$ （ U ：風速、 f ：固有振動数、 B ：断面幅員（弦材中心間隔））4～5付近より発散振動（ギャロッピング）が生じている。この振動は橋梁支承部寄りの断面3および4では発生せず、アーチ部と桁部との空力的な干渉により安定化したものと考えられる。また、このギャロッピングは格子乱流中（主流方向乱れの強さ $I_u=4.8\%$ ）では安定化した。

図-3にはスパン中央部の断面1について、一様流中で風の傾斜角を変化させた場合の応答図を示す。これより、負の傾斜角（ $\alpha=-5^\circ$ ）および $\alpha=0^\circ$ 、 1.5° では安定であるのに対し、 $\alpha=3^\circ$ およ

び $\alpha = 5^\circ$ では前述のギャロッピングが発生している。また、 $\alpha = 7^\circ$ では $Vr = 2.5 \sim 4.7$ の範囲で限定型の振動に変化している。

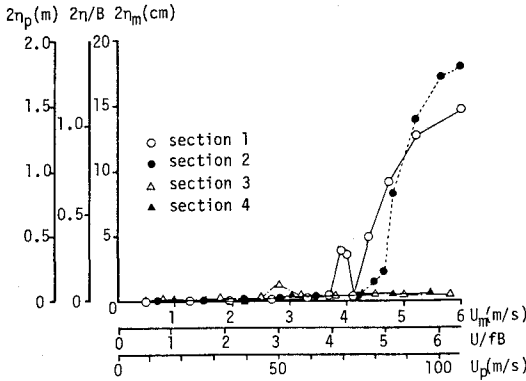


図-2 各断面の応答特性 ($\alpha = 5^\circ$ 、一樣流)

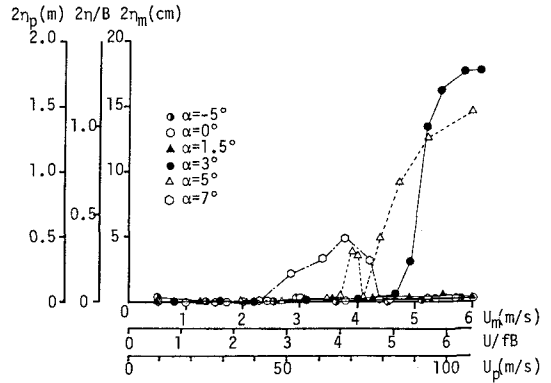


図-3 風の傾斜角による応答特性の変化
(section 1、 $\alpha = 5^\circ$ 、一樣流)

上述の各断面ごとに得られた空力振動応答特性を非定常空気力係数 H_1^* ($H_1^* = -2m\delta_a / \pi\rho B^2$ 、 m : 振動系の単位長さ当りの質量、 δ_a : 空力減衰 (対数減衰率)、 ρ : 空気密度) の形でまとめ、さらに次式を用い、対象とするある風速、振幅における振動系 (実橋) の減衰率を算出した。

$$\zeta = \zeta_0 - \frac{\rho B^2 \int_L H_1^* \eta^2 dx}{4m_{eq} \int_L \eta^2 dx}$$

ただし、 ζ : 臨界減衰比、 ζ_0 : 臨界構造減衰比、 η : 鉛直たわみモード関数

図-4には上式より得られた橋梁全体系の応答 ($V-A-\delta$) 図を示す。図より実橋の対数構造減衰率 $\delta_0 = 0.02$ 、一樣流、 $\alpha = 5^\circ$ の状態では、実風速 80 m/s 付近よりギャロッピングが発生する結果となった。なお、このような応答特性は前述の2次元部分模型のうちスパン中央部の断面1および2の特性に近く、モード形状を考えれば、この部分が全体系の応答特性に支配的であるものと判断される。なお、 $\alpha = 5^\circ$ におけるギャロッピング限界風速は充分に高風速であり、また、 $\alpha = 0^\circ$ および乱流中では、空力的に安定であることから、本橋の耐風安定性は充分に確保されているものと判断される。

4. まとめ

本研究では、対象としたニールセンアーチ橋に対し、スパン方向の4断面についてそれぞれ空力特性を調査した結果、スパン中央部の断面では正の傾斜角 ($\alpha = 5^\circ$) を持つ一樣流が作用した場合に、ギャロッピングの発生が認められた。モード形状を用いて全体系の応答解析を実施したところ、全体系においてもギャロッピングが発生する結果となったが、その限界風速は充分に高風速であることから、 $\alpha = 0^\circ$ および乱流中では安定化することから、本橋の耐風安定性は充分に確保されているものと判断される。なお、全体系の応答特性にはスパン中央付近の断面の空力特性が支配的であった。

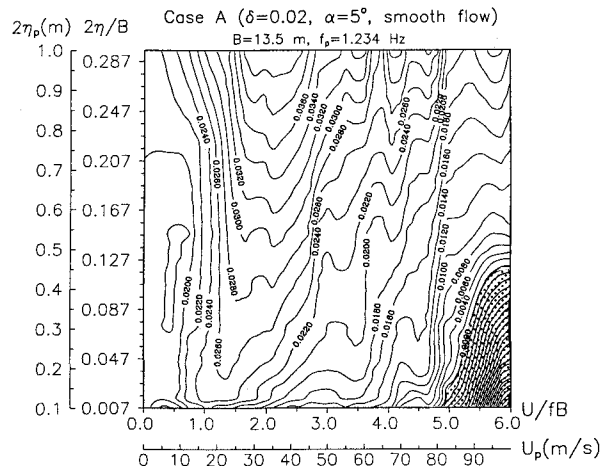


図-4 橋梁全体系の振動応答 ($V-A-\delta$) 図
($\alpha = 5^\circ$ 、一樣流、対数構造減衰率 $\delta_0 = 0.02$)