

第2小鳴門橋 風洞実験と空力安定性に関する報告

四国建設コンサルタント(株) 正会員○楠本雅博
 徳島大学工学部 正会員 宇都宮英彦
 徳島県土木部 池田一仁

1. まえがき 第2小鳴門橋は、中央径間280m（側径間125m）の2本主塔を有する3径間連続鋼床版斜張橋である。本橋梁は、経済性及び景観面から1面吊り形式を採用し、また幅約300mの小鳴門海峡を跨ぐため、当初より耐風安定性に対する詳細な照査が不可避であると考えられた。本稿では第2小鳴門橋の実施設計を行うに当たり、実施した予備検討・風洞実験の実状と検討結果を報告する。

2. 設計風速 本橋架橋地点では風特性観測が行われていなかったため、近隣の地形が類似した撫養橋における風特性を利用した。撫養橋は、本橋の東方約2kmの地点にある本四連絡橋明石一鳴門ルートの一橋梁であり、約4年間の風特性の観測が行われていた。この短期観測記録と徳島地方気象台における長期風観測記録の相関関係より撫養橋橋上における再現期待値を求めた。推定された100年再現期待値は、経験的超過確率として Hazenの方法を使用した場合にも、Gringortenの方法を使用した場合にも $V_d = 45.3\text{m/sec}$ となった。さらに、この値を本橋梁に適用するために、水平方向の広がりおよび地形的要因を考慮して、設計風速 $V_d = 55\text{m/sec}$ が求められた。この値は「道路橋耐風設計便覧」に基づいた算出された設計風速 $V_d = 53.2\text{m/sec}$ とほぼ等しい値となった。

3. 予備検討 本橋梁では、その構造形式・地形的要因からねじれフラッターの発現が予想されたため、過去の研究成果ならびに施工実績を検討の上、図-2に示す $B/D = 8.4$ という非常に扁平な断面を採用することにした。この断面に対して、骨組みモデルによる固有値解析を行った結果、表-1のような振動特性を得た。これらの諸元を用いて「道路橋耐風設計便覧」により予備検討を行った結果、以下のようになった。

ねじれフラッタ発現風速 = 49.2m/sec

たわみフラッタ発現風速 = 75.5m/sec

上記のように、設計風速 55m/sec 以下の風速域においてねじれフラッタの発現が予測され、これに対する制振対策を講じる必要があることが明らかとなった。

4. 風洞実験 予備検討により、耐風安定性に対する詳細な検討が必要であることが判明し、風洞実験により詳細に空力特性を把握した。

主桁の基本断面では、水平風および吹下風においては渦励振の振幅も小さく、また設計風速の1.2倍の風速域においてもフラッタの発現は見られず、非常に安定した耐風応答特性を持っているが、吹上風においては渦励振と共に設計風速以下でフラッタの発現が見られた。また、基本断面より高欄を撤去した断面においては、渦励振はほとんど消滅したにもかかわらず、フラッタは基本断面とほとんど変化がなかった。以上のような実験結果および可視化実験より、本橋においては渦励振は高欄によって発生し、フラッタは全体的な断面形状により発生していることが判明した。

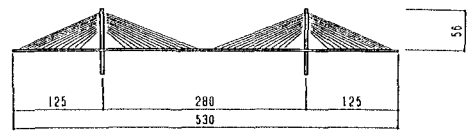


図-1 第2小鳴門橋側面図 (m)

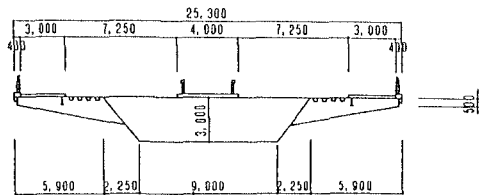


図-2 第2小鳴門橋断面図 (mm)

表-1 第2小鳴門橋の振動特性

等価質量	19.345 t/m
等価極慣性	94.055 tms^2/m
撓み振動数	$f_b = 0.373 \text{ Hz}$
振れ振動数	$f_t = 0.778 \text{ Hz}$
振動数比	$f_t/f_b = 2.086$

特に、フラックの発生はブラケット先端より剝離した流れが、橋面よりかなり離れて流下するため、橋上面の空気圧が低下することによって発生していると考えられた。本来本橋のような扁平断面においては、空力特性は向上するはずであるが、全幅員に比して桁高が低く、張出幅が広く、また板厚が薄いためにねじれ剛性が相対的に低くなり、このためフラックの発現風速が低くなったと考えられる。前記のような流れを持つ断面においては、中央部にグレーチング等を設けて橋上下面の空気圧差を低減すればよいが、本橋のような構造形式ではこのような手法がとれず、フェアリングにより上方に流れる空気流を促進し圧力低下を抑えるか、あるいはフラップにより剝離を低減する方法が考えられる。制振対策としては、上記のような空力ダンパの他にも直接的に質量・剛性を増加させる方法があるが、これらの方法は少なからず設計変更を行う必要があるため、一般の橋梁において行われることは稀である。本橋においては、過去の施工実績や断面周りの空気の流れを充分検討の上、空力ダンパとしてフェアリングおよびフラップを選定し、風洞実験によりその効果を検証した。一般にフラップはフラックの発生を抑制するために有効であるが、橋梁の美観を損ねることや走行車両の視界の妨げになること、本橋のように歩道部が設置されている場合には歩行者に不快感を与えることも考えられるため、国立公園内にある本橋では適していない。そこで、検証したフェアリングの中で最も制振効果の高い図-6に示すフェアリングを本橋の空力ダンパとして採用することとした。図-3～4には基本断面における空力特性を、図-5には同条件において制振対策を施した場合の空力特性を示すが、紙面の都合によりねじり振動に対するV-A図のみを掲載しておく。これにより、採用フェアリングを設置すれば、多少の不規則振動が残るものの自然風の乱流作用等を考慮すれば、通常の車両走行に関しては全く問題のないレベル以下になることが判明した。

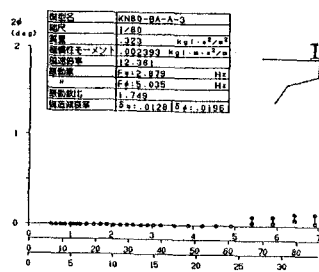


図-3 基本断面空力特性
(吹下風：迎角 3°)

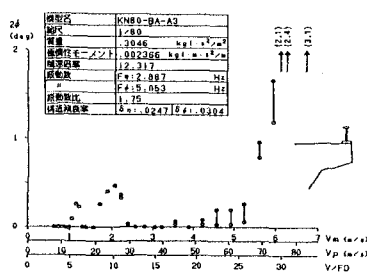


図-4 基本断面空力特性
(吹上風：迎角 3°)

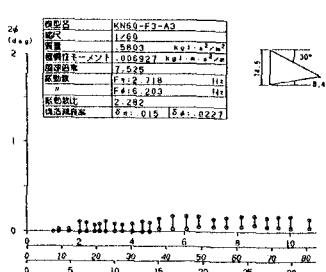


図-5 制振対策後の空力特性
(吹上風：迎角 3°)

5. まとめ 平成3年7月に日本道路協会より「道路橋耐風設計便覧」が発行されたことにより、耐風設計の重要性と共に、耐風設計に対する基本的な指針が示された。本橋梁は、耐風設計便覧の適用範囲外の橋梁に当たるが、総則でも記載されているように、検討内容を充分吟味すればこれらの規定を利用することができる。しかし、高欄形状等の耐風設計便覧で考慮し難いものが、空力特性に大きく影響を与えると判断される場合には、橋梁の重要度・走行状態等を検討の上風洞実験による照査が必要であると考えられる。今後、耐風設計の必要性はますます増大すると考えられ、この点に関しては、振動特性の風洞実験結果と実測データの蓄積とともに、小型計算機による実用的な数値風洞の開発が期待される。

参考文献「道路橋耐風設計便覧(平成3年7月)」(社)日本道路協会 ほか

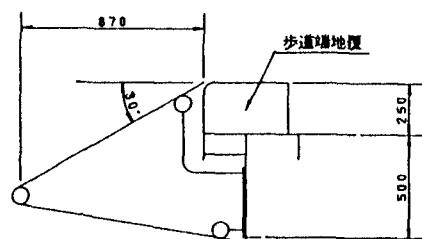


図-6 採用フェアリング形状