

## 開口部を有する箱桁のフラッター特性に関する研究

建設省土木研究所 正員 佐藤 弘史  
建設省道路局 正員 日下部 毅明

本州四国連絡橋公団 正員 鳥海 隆一  
飛鳥建設株式会社 嶋本 栄治  
(株)大林組 星加 益朗

## 1. まえがき

スパンが2000mを超える超長大橋の設計においては、耐風安定性を確保することが最重要課題の一つである。そこで本研究では、中央開口部を有する二箱桁断面に着目して、その空力特性の改善を目的としたバネ支持模型実験を実施するとともに、有効な対策を施した桁断面について非定常空気を計測し、多自由度フラッター解析を行った。

## 2. バネ支持模型実験

箱桁断面においては、桁中央に開口を設けることが耐風安定性向上に有効であることが確認されている<sup>1)</sup>。そこで開口率( $b/B$ )25%の箱桁に対し、図-1のような耐風対策部材を設置して、桁の空力特性をさらに改善するため、バネ支持模型実験を実施した。図-2に示すように、センターバリアとガイドベーンが空力特性の向上に非常に有効であることが分かった。しかし、図-3に示すように迎角 $-3^\circ$ のフラッター限界風速が他の迎角に比べて劣っていた。そこで桁下面に高欄部材を取り付けたところ、 $-3^\circ$ においてもフラッター限界風速が改善されることが分かった。

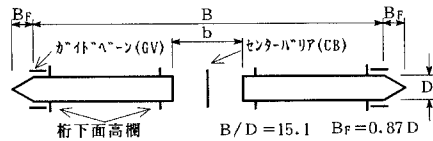


図-1 耐風対策部材

また、大きな中央開口はフラッター特性を改善するが、主塔基礎の建設コストの観点から言えば、開口幅は狭い方が良い。そこで開口率 $b/B$ を25%から20%に減少させたところ、図-4に示すようにフラッター限界風速も低くなった。今回対象とした箱桁では、優れた耐風安定性を確保するためには桁幅の25%以上の開口幅が必要であると考えられる。

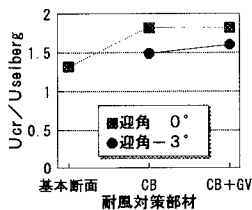


図-2 耐風対策部材の効果

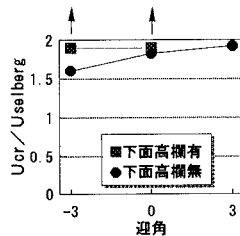


図-3 桁下面高欄部材の効果

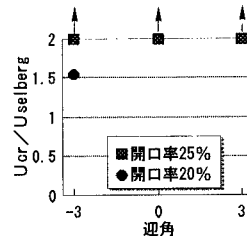


図-4 開口率の影響

## 3. 非定常空気力係数の測定

本実験では、強制加振法により模型に作用する非定常空気力係数を検出した。慣性力は機械的に除去した。非定常空気力係数は式①の定義に基づき、加振時の変位のパワースペクトルと変位と空気力のクロススペクトルにより算出した。

$$\begin{aligned} L &= \pi \rho b^2 [L_{ZR} \omega^2 z + L_{ZI} \omega \dot{z}] + \pi \rho b^3 [L_{\theta R} \omega^2 \theta + L_{\theta I} \omega \dot{\theta}] + \pi \rho b^2 [L_{YR} \omega^2 y + L_{YI} \omega \dot{y}] \\ M &= \pi \rho b^3 [M_{ZR} \omega^2 z + M_{ZI} \omega \dot{z}] + \pi \rho b^4 [M_{\theta R} \omega^2 \theta + M_{\theta I} \omega \dot{\theta}] + \pi \rho b^3 [M_{YR} \omega^2 y + M_{YI} \omega \dot{y}] \\ D &= -\pi \rho b [D_{ZR} \omega^2 z + D_{ZI} \omega \dot{z}] - \pi \rho b^2 [D_{\theta R} \omega^2 \theta + D_{\theta I} \omega \dot{\theta}] - \pi \rho b [D_{YR} \omega^2 y + D_{YI} \omega \dot{y}] \end{aligned} \quad \text{---①}$$

ここで、 $L$ ,  $M$ ,  $D$ : 揚力, モーメント, 抗力;  $z$ ,  $\theta$ ,  $y$ : 鉛直, 回転, 水平変位;  $\rho$ : 空気密度  
 $b$ ,  $d$ : 桁幅 (模型有効幅), 桁高 (模型有効高);  $\omega$ : 円振動数  
 $L_{ZR}$ ,  $L_{ZI}$ ,  $L_{\theta R}$ ,  $L_{\theta I}$ ,  $L_{YR}$ ,  $L_{YI}$ ,  $M_{ZR}$ ,  $M_{ZI}$ ,  $M_{\theta R}$ ,  $M_{\theta I}$ ,  $M_{YR}$ ,  $M_{YI}$ ,  
 $D_{ZR}$ ,  $D_{ZI}$ ,  $D_{\theta R}$ ,  $D_{\theta I}$ ,  $D_{YR}$ ,  $D_{YI}$ : 非定常空気力係数 (断面形状により決まる固有の係数)  
 添字  $z$ : 鉛直 (上下) 加振時  $R$ : 実部  
 $\theta$ : モーメント (回転) 加振時  $I$ : 虚部  
 $y$ : 抗力 (水平) 加振時

実験結果を図-5に示す。図にはTheodorsen関数より求まる平板の非定常空気力係数、および二つの平板に空力的干渉が生じないと仮定して求めた非定常空気力係数<sup>1)</sup>も併せて示している。図より、全般的に実験値は二つの平板の非定常空気力係数に近い値を示していることが分かる。

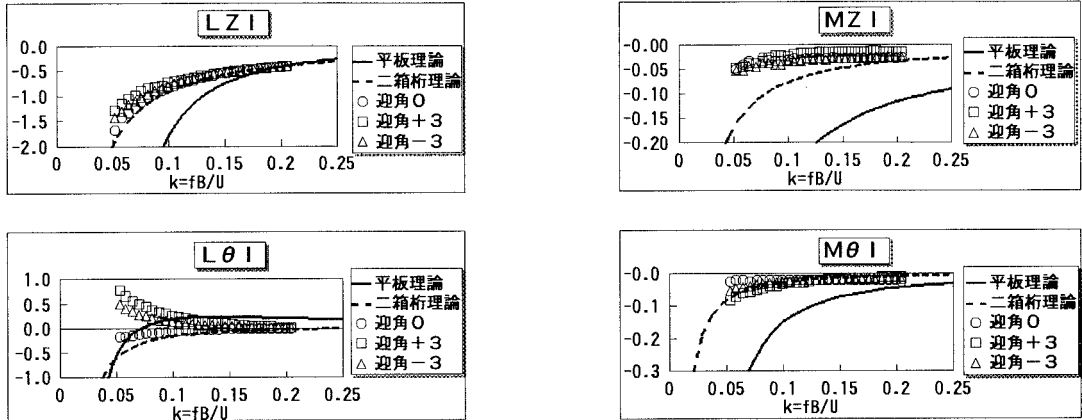


図-5 箱桁模型の非定常空気力係数実験値と理論値の比較

#### 4. 多自由度フラッター解析

解析モデルは中央径間2500m、橋長5000mの二箱桁断面を有する吊橋とした。解析手順としては、まず固有値解析と静的な解析を行い、振動時のモードと有風時のねじれ角を求め、これを考慮してフラッター解析を行った。この時、使用したモード数は20個である。解析結果を表-1と図-6に示す。二箱桁断面のフラッター限界風速は平板空気力の場合に比べ約2.4倍の値を示している。

表-1 解析結果要約

|                          |            |
|--------------------------|------------|
| 鉛直たわみ対象 1 次固有振動数         | 0.055      |
| ねじれ対称 1 次固有振動数           | 0.097      |
| Selberg Ucr (単位質量・極慣性使用) | 33.36(m/s) |
| Selberg Ucr (等価質量・極慣性使用) | 37.88(m/s) |
| 平板空気力使用時 Ucr             | 34.54(m/s) |
| 実験空気力使用時 Ucr             | 84.18(m/s) |

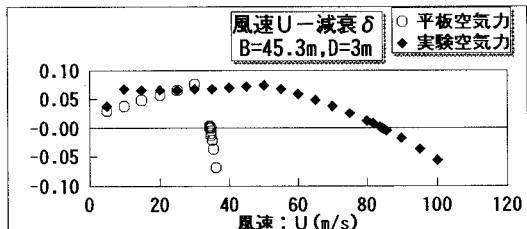


図-6 風速と減衰の関係

#### 5. まとめ

- ・ 桁中央部に開口部を有する箱桁に、センターバリアやガイドペーンのような耐風対策部材を設置することにより、耐風性が更に向上することが確認された。
- ・ 耐風対策を施した開口部を有する箱桁断面の非定常空気力係数は、二つの平板に空力的干渉が生じないと仮定して求めたものに近い特性を示した。この断面を超長大橋に適用した場合、平板空気力を用いた場合に比べてフラッター限界風速が高くなることを多自由度フラッター解析により確認することができた。

以上により、開口部を有する箱桁は、超長大橋に適用できる可能性のある補剛桁形式の一つであると考えられる。

#### <参考文献>

- 1) 佐藤・鳥海ほか：超長大橋の耐風安定性確保に関する基礎的検討，第13回風工学シンポジウム，1994.11
- 2) 大橋ほか：明石海峡大橋の耐フラッター性に関する予備的検討，第10回風工学シンポジウム，1988.12