

錢 高 組 正会員 ○平川 淳¹⁾ 京都大学工学研究科 フェロー 松本 勝
 京都大学工学研究科 正会員 白土博通 神戸製鋼所 正会員 市川靖生²⁾
 住友重機械工業 正会員 大東義志 住友重機械工業 正会員 坂井田実

¹⁾ 研究当時京都大学工学部 ²⁾ 研究当時京都大学大学院

1. はじめに 長大斜張橋端 2 主桁断面は構造形式が単純であり、経済的利点を有する断面であるが、その空力特性に関する詳細なデータが不足していた。よって本研究では、端 2 主桁断面においてフェアリング、耳桁（エッジプレート）、中央鉛直板（センターバリア）等の付属物設置による空力特性への影響を把握することを目的とし、特にねじれフラッター安定性に着目した。まず静的三分力を測定し、その結果ねじれフラッター安定性の向上が期待される断面については非定常空気力測定を行い、動的空気力特性の解明を試みた。

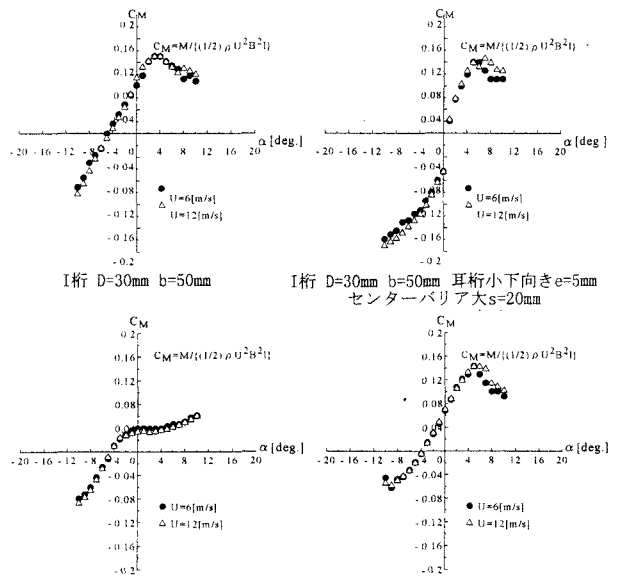
2. 風洞実験概要 本研究で用いた 2 次元剛体模型を Fig.1 に示す。主桁として I 桁、Box 桁、円柱桁を、最内側のときで床版端から 50mm の位置に設置することができ、各主桁を設置したとき断面辺長比 B/D はそれぞれ 10, 12, 約 9.4 となる。主桁は内側に設置した方がねじれフラッターに対し安定性が増すことが実験で確かめられており[1]、本研究では主として I 桁を最内側（主桁位置 $b=50\text{mm}$ ）に設置した断面について述べることにする。模型は両端をロードセルにより水平支持され、ロードセルを含めたたわみ、ねじれ各 1 自由度で定常振幅加振することが可能であり、非定常空気力は検出される各空気力成分より、無風時に同一条件で加振して得られる模型の慣性力を数値的に差し引くことにより求められる。



Fig.1 I桁小断面 $D=30\text{mm}$ $b=50\text{mm}$ $e'=20\text{mm}$

3. 静的三分力特性 断面に様々な付属物を設置し、静的三分力を測定したが、ここではねじれフラッター発生の可能性を考える上で重要な静的モーメント係数 C_M について示す (Fig.2)。この静的モーメント係数 C_M に負勾配が見られる迎角域の風に対しては、ねじれフラッターに対し不安定になることが危惧される。

I 桁を内側（主桁位置 $b=50\text{mm}$ ）に設置した断面において、カナダの Annacis Island Bridge (斜張橋・支間長 465m) でも検討されたように[2]、耳桁小（高さ $e=5\text{mm}$ 、以下耳桁小と略）を床版端に下向き設置し、さらにセンターバリアを設置した場合、 C_M が負勾配に転じるピークの迎角が約 $1^\circ \sim 2^\circ$ 高迎角側になり、迎角 0° 付近での C_M の勾配も大きくなっていることから、ねじれフラッターに対する安定性は向上すると考えられる。耳桁小のみを設置した断面では、設置しない断面と比較して C_M の傾向がほとんど変化していないことから、主にセンターバリアによる改善効果であると考えられる。ただし、センターバリア設置によつては渦励振の発生も危惧され、さらに詳細な検討をすることが必要であると考えられる。又、床版上面での剥離を制御する



I桁 $D=30\text{mm}$ $b=50\text{mm}$ 耳桁上向き $e'=20\text{mm}$ I桁 $D=30\text{mm}$ $b=50\text{mm}$ フェアリング設置

Fig.2 静的モーメント係数 C_M

ねらいで耳桁を上向き設置した断面では、耳桁大（高さ $e'=20\text{mm}$ 、以下耳桁大と略）を上向き設置した場合に、正迎角で勾配は緩やかなものの負勾配が見られなくなり、ねじれフラッター安定性の改善が期待され

た。フェアリングを設置した場合、 C_m のピークの迎角が $+3^\circ$ から $+5^\circ$ に上がり、迎角 0° 付近での勾配も大きくなったことから、フェアリングの設置によりねじれフラッター安定性が向上すると考えられる。これはBox桁、円柱桁の場合も同様のことが確かめられた。

4. 非定常空気力特性 フェアリングを設置した断面、耳桁大を上向き設置した断面については非定常空気力測定も行った (Fig.3)。非定常空気力には以下のような定式化が提案されており、ねじれ振動の空力減衰を示す非定常空気力係数 A_2^* の値が小さく負値を示すとねじれフラッターに対し空力的に安定であると

$$L = \frac{1}{2} \rho (2b) U^2 \left\{ kH_1 \cdot \frac{\dot{\eta}}{U} + kH_2 \cdot \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 H_3 \cdot \phi + k^2 H_4 \cdot \frac{\eta}{b} \right\}$$

$$M = \frac{1}{2} \rho (2b^3) U^2 \left\{ kA_1 \cdot \frac{\dot{\eta}}{U} + kA_2 \cdot \frac{b\dot{\phi}}{U} + k^2 A_3 \cdot \phi + k^2 A_4 \cdot \frac{\eta}{b} \right\}$$

L : 単位スパン当たりの揚力 (下向き正), M : 単位スパン当たりのモーメント (頭上げ正, 弦長中央点まわり), η : たわみ変位 (下向き正), ϕ : ねじれ変位 (頭上げ正), $(\dot{})$: 時間微分, U : 風速, ρ : 空気密度, b : 半弦長, k : 換算振動数 ($=b\omega/U$), ω : 円振動数

言える。耳桁大を上向き設置した断面は、静的空気力 C_m に負勾配が見られなかったものの、 A_2^* は迎角 0° 、 $+2^\circ$ ともにわずかな風速から正值を示し、動の実験の結果、耳桁大の上向き設置によりねじれフラッター安定性は逆に悪化することが分かった。フェアリングを設置した断面では、迎角 0° では設置しない断面とほとんど変化がないが、迎角 $+2^\circ$ ではフェアリングを設置した断面のみ A_2^* が負値を示していることから、一般には渦励振対策であるフェアリングの設置だが、小さな正迎角ではねじれフラッター安定性の改善効果もあることが確かめられた。

5. 長大斜張橋を想定した諸元によるフラッター解析

支間長 600m の長大斜張橋を想定した諸元による複素固有値解析を行った (Fig.4)。阪神高速道路公団により架設された支間長 485m の斜張橋、東神戸大橋の耐風設計基準は、迎角 $\pm 3^\circ$ 以下で 72m/s が限界風速であるが [3]、I 桁を最も内側 ($b=50\text{mm}$) に配しフェアリングを設置した断面では迎角 $+2^\circ$ までこの基準を満たしている。Box 桁を $b=50\text{mm}$ に配しフェアリングを設置した断面では迎角 $+6^\circ$ でもフラッター限界風速が約 80m を超え基準を十分満たしていることから、実橋への採用へ向けさらに詳細な検討が必要と考えられる。

6. まとめ

一般に渦励振対策であるフェアリングの設置であるが、正迎角においてねじれフラッター安定性を向上させる効果が認められた。これは小さな迎角ではフェアリング設置により剥離がスムーズになり、床版上面に形成される剥離バブルの大きさが迎角 0° のときとそれほど変化しなかったため迎角 0° のときと近い空力特性を示したと考えられる。また、カナダの Annacis Island Bridge で検討された床版端への耳桁の設置だが、今回試みた断面形状では必ずしもねじれフラッター安定性を向上させないことが分かった。

参考文献

[1]大東他；長大斜張橋端 2 主桁断面の空力特性に及ぼす主桁形状及び主桁位置の影響，平成 10 年度土木学会関西支部年次学術講演会 [2]Irwin,H.P.; Recent Experiences in Wind Tunnel Test of Longspan Bridges, Proceeding IABSE Congress Vancouver 1984 [3]阪神高速道路公団；東神戸大橋工事誌 (5号湾岸線)，1994 年

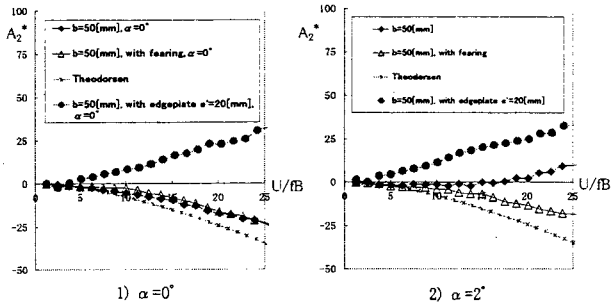
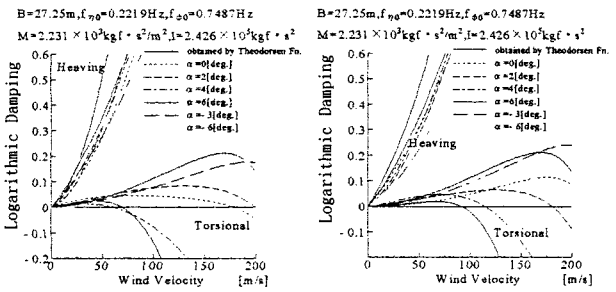


Fig.3 I桁で付属物を変化させた時の非定常空気力係数 A_2^*



I桁 D=30mm b=50mm フェアリング設置 Box桁 D=25mm b=50mm フェアリング設置

Fig.4 長大斜張橋を想定した諸元によるフラッター解析結果