

バタフライウェブ構造を採用した並列橋の耐風性に関する検討

八木知己*・白土博通*

1. 研究の目的

近年、桁橋やエクストラードード橋のウェブ部にバタフライウェブ構造を採用した形式が多数見られる。従来のコンクリート箱桁に比べて軽量であり、施工も容易であるという構造的特徴がある一方、側面に開口部を有するため、耐風性に関しては未解明な点が多い。さらに、将来既存橋梁に対する並列橋としてバタフライウェブ構造が採用される可能性も考えられ、既存橋梁ならびに新規橋梁の耐風性を事前に検討しておく必要がある。そこで本研究では、中央支間長 180m、橋長 365m のエクストラードード橋を想定し、断面辺長比 $B/D=3.24$ のバタフライウェブ構造を有する橋梁断面について、単独配置および並列配置における耐風性の検討を行った。

2. 研究の方法

本研究では、バタフライウェブ構造を有するエクストラードード橋の主桁部分模型（縮尺率 $1/n=1/80$ ）について耐風性を検討した。模型の諸元に関しては、幅 $B=161.9\text{mm}$ 、高さ $D=50\text{mm}$ 、長さ $L=900\text{mm}$ （断面辺長比 $B/D=3.24$ ）である。詳細な断面寸法については、図 1 ならびに図 2 に示す。同様の模型を 2 基作成し、片側の模型を固定した際の並列橋状態の検討を行った。また、バタフライウェブ構造に伴う開口部には、厚さ 1mm のアクリル板を装着することにより、ウェブ開口部を閉塞することが可能な構造になっている。具体的な検討項目としては、単独橋ならびに並列橋において、ギャロッピングや渦励振に対する応答特性を把握するための「ばね支持自由振動実験」、風荷重算定のために必要な「静的空気力測定実験」、振動現象解明を目的とした「非定常空気力測定実験」等の風洞実験結果を参考に、バタフライウェブ橋断面の耐風性について検討を行った。ただし、本研究ではバタフライウェブ桁断面の基本的空力特性を調査する目的で、実橋梁よりも等価質量や構造減衰が小さい系、すなわちスクルートン数が小さく振動が発生しやすい系において耐風安定性を議論した。

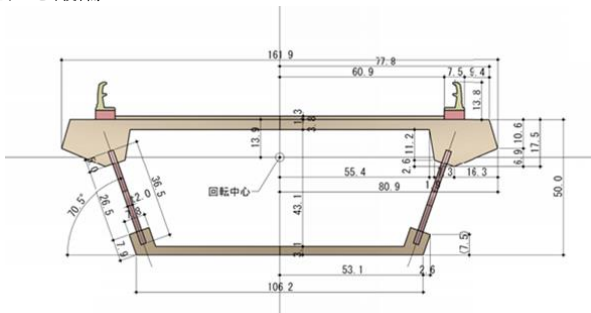


図 1 バタフライウェブ構造を有したエクストラードード橋桁断面模型 (1/80, mm)

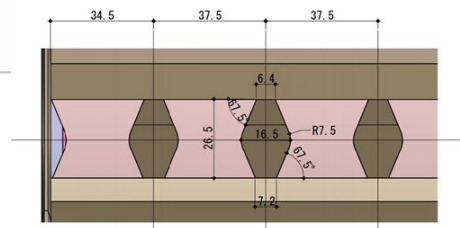


図 2 バタフライウェブ部模型 (1/80, mm)

3. 得られた成果

単独配置における耐風性について

1. 側面開口部の有無に関わらず、迎角 $-3^\circ, 0^\circ, +3^\circ$ のいずれのケースにおいても、無次元風速 4~5 程度で自己励起型渦励振が発生し、迎角 $+3^\circ$ の側面開口部を閉塞したケースではギャロッピング

グの発生が確認された。

2. 側面開口部を開放することで、各迎角で発生した自己励起型渦励振の振幅が、閉塞したケースでの振幅の約半分程度まで減少し、空力的に安定化することが明らかになった。
3. 変動揚力係数の値から、側面開口部を開放すると、カルマン渦の放出が抑制されることが判明した。側面開口部を閉塞したケースと、開放したケースで、ストローハル数には大きな違いは見られず、側面開口部の有無は、カルマン渦の放出周波数には寄与しないことが明らかになった。
4. 迎角+3°のケースで発生したギャロッピングの発現風速に関して、側面開口部を閉塞したケースより開放したケースのほうが大きくなり、側面開口部の開放によりギャロッピングに対して安定化することが判明した。
5. ただし、側面開口部を開放しても、ねじれフラッターに対して安定化されないことが判明した。

上記の内容をまとめると、本研究で対象とした断面の橋梁は、渦励振、ギャロッピングのいずれに対しても、側面開口部を開放することで安定化し、ねじれフラッターに関しては、側面開口部の有無は安定性に寄与しないことが明らかになった。

並列配置における上流側橋梁の耐風性について（下流側橋梁固定）

6. 上流側模型は、単独配置と同様に無次元風速 5 付近から自己励起型渦励振が発現した。また、迎角+3°のケースでは、単独配置でのギャロッピングの発現風速よりも低風速領域でギャロッピングが発現することが判明した。
7. 自己励起型渦励振に関して、上流側模型の側面開口部を開放したケースのほうが、閉塞したケースよりも振幅が減少したことから、側面開口部の開放により、安定化することが明らかになった。一方、下流側模型の側面開口部の閉塞、開放の条件は上流側模型の振動にほとんど寄与しないことも分かった。
8. 迎角+3°で発生するギャロッピングに関しても、上流側模型の側面開口部を開放することで発現風速が上昇し、空力的に安定化した。同様に、下流側模型の側面開口部の条件は、上流側模型のギャロッピングに寄与しないことも明らかになった。
9. また、上流側模型から放出されるカルマン渦の強さに関しても、上流側模型自身の側面開口部を開放したケースのほうが、閉塞したケースよりも弱くなった。一方で下流側模型の側面開口部の有無は、カルマン渦強度には寄与しないことが明らかになった。

並列配置における下流側橋梁の耐風性について（上流側橋梁固定）

10. 下流側模型は、単独配置のケースと比較して、自己励起型渦励振の振幅がやや抑制され、加えて、上流側から放出されるカルマン渦による強制振動が発生することが判明した。ただし、ギャロッピングに関してはいずれのケースでも確認されなかった。
11. 上記の強制振動に関して、上流側模型の側面開口部を開放すると、下流側模型に作用する変動空気力すなわち上流側模型から放出されるカルマン渦による変動揚力が小さくなるが、下流側模型の振幅は変化しないことが明らかになり、今後より詳細な検証が必要と考えられる。一方で、下流側模型の側面開口部を開放することで下流側模型は安定化することが明らかになった。

並列配置での耐風性に関してまとめると、振動する側の模型自身の側面開口部の開放により、空力的に安定化することが明らかになった。

4. 謝 辞

本研究は、三井住友建設株式会社より委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。