

## (論文内容の要旨)

本論文は、長大橋梁のフラッターについて、鉛直たわみ、およびねじれ各1自由度振動中の偏平矩形断面表面の非定常圧力とその制御に着目し、その基本的分布形および振動モードや端部形状に依存しない相似性、普遍性を示すとともに、空力的安定化対策として鉛直板および開口部の設置による非定常圧力の変化を定量的に示したものである。本論文は本文全7章と4つのAppendix、および参考文献からなり、その概要および得られた成果は次のとおりである。

第1章では本論文の序論であり、旧タコマ橋のねじれフラッターによる落橋を契機として、それ以後の研究による様々な知見に基づき支間長の増大が可能となったこと、曲げねじれ連成フラッターに対する安定性確保の観点から、支間長のさらなる増大に対してはより空力的に優れた桁断面形状の提案が必要であることが示されている。次いで、そのためには試行錯誤的な開発ではなく、振動中の桁に作用する非定常圧力と桁断面形状の関連を系統的に調査する必要があり、得られた情報に基づく非定常空気力制御が重要であることが示されている。本論文の目的として、長大橋の桁断面形状を偏平矩形断面に単純化し、鉛直板の設置および桁間の空隙を非定常圧力制御上の着目点とし、それらの設置位置や空隙長さを変化させることによる非定常圧力への影響を風洞実験により調査し、フラッター安定性に富む桁断面形状の開発に資する基本的情報を得ることが示されている。最後に本論文の構成が記されている。

第2章は橋梁工学分野における空力弾性学に関する従来の知見を総括し、吊形式橋梁の歴史的発展の概説とともに、長大橋の桁に想定しうる空力振動現象として渦励振、パフエッティング、フラッター現象を挙げ、とくにフラッターについて、応答特性や発生機構による分類を含めた既往の重要な知見がまとめられている。また、非定常空気力を含む運動方程式の定式化、曲げねじれ振動中の桁に作用する非定常圧力の定義、および非定常空気力係数 (Aerodynamic Derivatives) と非定常翼理論に基づく Theodorsen 関数との対比、非定常圧力と非定常空気力係数の関係、非定常空気力係数間の従属性に関する従来の知見が述べられている。

第3章では曲げねじれ2自由度連成フラッターの安定化に寄与する非定常空気力係数について既往の研究成果をまず概説し、 $H_3^*$  (ねじれ変位比例揚力成分)、 $A_2^*$  (ねじれ変位速度比例ピッチングモーメント成分)、 $A_3^*$  (ねじれ変位比例ピッチングモーメント成分) の制御が安定性確保のために重要であることを示すとともに、これらの制御のために非定常圧力の相対迎角に対する位相差分布が桁断面の上流側で  $0 \sim \pi/2$ 、下流側で  $-\pi/2 \sim 0$  の範囲にあることが必要条件であることを示している。次いで非定常圧力の振幅分布を断面全体にわたり一様と理想化した上で、位相差分布を上述の範囲内で変化させた場合、および振幅分布と位相差分布をそれぞれ矩形状に理想化し、その位置を断面幅員方向に変化させ、かつその大きさを種々変化させた場合について、フラッター限界風速を比較した結果、最適な非定常圧力分布形は位相差分布が上述の値の範囲内にあること、および矩形状の振幅分布が断面の下流側半分が存在する場合に最も安定性を発揮することが示されている。

第4章では矩形断面の非定常圧力の断面比を通じた普遍性と共に、非定常空気力係数に対する断面上流側半分の非定常圧力の重要性が示され、次いで断面比  $B/D=20$  ( $B$ :断面幅員、 $D$ :桁高) の矩形断面を対象に、端部形状を三角形および半円形の4種類とした場合の非定常圧力分布を風洞実験により計測し、振幅および位相差分布が端部形状によらず普遍であること、さらに無次元風速による変化の様子もほぼ同一であることが明らかにされている。また、位相差分布は余弦関数で、振幅分布はワイブル分布で良く近似できることを示し、フラッター安定化のための非定常圧力制御の一般性に結びつく知見を得ている。

第5章では、桁高および桁高の1/2の高さを有する鉛直板を  $B/D=20$  矩形断面に設置し、前述の各端部形状を有する各断面に対して鉛直板設置位置を変化させた様々なケースについて非定常圧力制御を試みている。その結果、鉛直板の設置位置が非定常圧力分布に支配的であり、端部形状の影響は見られないこと、鉛直板の設置は設置位置近傍の非定常圧力位相差を急激に変化させる効果、および非定常圧力振幅に局所的なピークを生じさせる効果を有することが示されている。また、とくに断面前縁の鉛直板設置はより小さな断面比の非定常圧力分布に等しいこと、断面後縁の鉛直板設置はより大きな(偏平な)断面比の非定常圧力分布に等しいことがそれぞれ示され、さらにフラッター安定化のために有効な、鉛直板の最適設置位置の見出し方を示唆する有益な知見を与えている。

第6章では、桁間中央部に開口部を設けた2箱桁形状について、開口幅を変化させ非定常圧力に対する影響を調査し、①とくに開口幅が小さい場合に下流側箱桁の非定常圧力の振幅低減効果を発揮すること、②その効果が最も敏感に現れる非定常空気力はねじれ変位速度に起因するピッチングモーメント成分( $A_2^*$ 成分)であること、③開口部の存在は上下流各々の桁断面の空力特性を本質的に変えるものではないこと、④鉛直板の設置による非定常圧力の変化は、単一箱桁における位相差および振幅の変化とほぼ等価であること、⑤開口部をグレーチングで覆うことは、グレーチングの開口率に依存して2箱桁とこれに等しい全幅を有する1箱桁の非定常圧力特性の中間的な傾向を示すこと、等の諸特性を明らかにしている。

第7章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、長大橋梁のフラッターについて、鉛直たわみ、およびねじれ各1自由度振動中の偏平矩形断面表面の非定常圧力とその制御に着目し、その普遍的な特性を明らかにするとともに、空力的安定化対策に有効な情報を定量的に示したものである。本論文で得られた成果は次のとおりである。

1. 相対迎角に対する非定常圧力の振幅分布および位相差分布の組合せを仮想的に変化させ、フラッター安定性を発揮する非定常圧力の特性を明らかにした。

2. 4種類の端部形状を有する偏平矩形断面 ( $B/D=20$ 、 $B$ :桁幅、 $D$ :桁高) を対象に非定常圧力分布を風洞実験により計測し、端部形状に関わらず、位相差分布は余弦関数で、振幅分布はワイブル分布でそれぞれ良く近似できることを示した。

3. 桁高および桁高の  $1/2$  の高さを有する鉛直板を同矩形断面に設置し、その設置位置による非定常圧力分布への影響を調査した結果、鉛直板が、設置位置近傍の位相差を急激に変化させるとともに、非定常圧力振幅に局所的なピークを生じさせる効果を有することを示した。

4. 桁間中央部に開口部を設けた2箱桁形状について、開口幅を変化させ非定常圧力に対する影響を調査した結果、①とくに開口幅が小さい場合に下流側箱桁の非定常圧力の振幅が大きく低減すること、②その効果はねじれ変位速度に起因するピッチングモーメント成分 ( $A_2^*$ 成分) に最も敏感に影響を与えること、③開口部の存在は上下流各々の桁断面の空力特性を本質的に変えるものではないこと、④鉛直板の設置による非定常圧力の変化は、単一箱桁における位相差および振幅の変化とほぼ等価であること、⑤開口部をグレーチングで覆うことは、グレーチングの開口率に依存するものの、2箱桁とこれに等しい全幅を有する1箱桁の非定常圧力特性の中間的な傾向を示すこと、等の諸特性を明らかにした。

本論文は、フラッター安定性に富む橋梁桁断面形状の開発に資するものであり、学術上のみならず、長大橋の耐風設計技術上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成21年8月4日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。