

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 Muhammad Waheed Sarwar

長大橋の設計においては風による橋の動的応答を定量的に評価することが極めて重要であり、長大橋の橋桁の空気力特性を調べるにはこれまでに風洞実験が広く用いられてきた。しかし、風洞実験からは、橋桁まわりの複雑な流れに起因する空力振動現象の発生メカニズムを解明することが難しく、風洞実験の結果を一般に利用することは困難である。本研究は、数値流体力学を用いて、橋断面の辺長比、断面形状、高欄などの付加物、空力制振装置、風向などの要因がフラッター発振風速や渦励振の振幅に与える影響を調べ、長大橋における空力振動現象の発生メカニズムの解明を試みたものである。本研究では流線形箱桁断面を有する南京長江第三大橋と非流線型箱桁断面を有する東京湾アクアラインを対象に、フラッター発振風速と渦励振の振幅を予測し、風洞実験と比較することにより実橋梁断面における空力振動現象の予測精度を検証するとともに、数値風洞を利用するための境界条件の設定方法や効率的な格子生成方法を提案している。

第1章は序論であり、長大橋における耐風設計のプロセスを概説し、フラッターや渦励振に代表される空力振動現象の解明の重要性を述べるとともに、本論文の構成を記述している。

第2章は、長大橋の空力振動現象に関する既往研究のレビュー、問題点の抽出及び本研究の目的を述べている。本研究は、橋桁の空気力特性に及ぼす高欄などの付加物の影響を明らかにするための数値モデル及び数値予測手法の構築、橋断面の辺長比、フェアリングの設置、高欄などの小さな付加物が空力不安定振動発生に及ぼす影響及びそのメカニズムの解明、渦励振を低減するための空気力学的な制御方法と迎え角の影響の定量的な評価を目的とする。

第3章は風洞実験について述べている。橋桁の空気特性を調べるための静的三分力試験、強制加振試験、自由振動試験について説明すると共に、本研究で開発した数値モデルの予測精度を検証するための風洞実験及び現地観測の結果をまとめている。また橋桁の空気力特性に及ぼす影響を明らかにするために、手すり、高欄、検査車レールなどの付加物がある場合とない場合の橋桁に関する静的三分力試験を実施し、付加物による橋桁の抗力、揚力、モーメント係数の変化を定量的に評価した。

第4章は、本研究で開発した実橋梁断面における付加物の数値モデルの作成方法と風洞実験を模擬するための新しい境界条件の設定方法を述べている。構造と非構造格子を用いた複合型格子を提案することにより、複雑な幾何学形状を有する付加物の数値モデルの高精度化と高効率化を実現している。また橋桁の空気特性を調べるために、静的三分力試験、強制加振試験、自由振動試験を模擬した数値モデルを開発し、スライディング格子を用いることにより、数値的に橋桁における強制加振と自由振動を再現することを可能にした。

第5章は、付加物を有する橋桁断面の抗力、揚力、モーメント係数の数値予測結果及び高効率の格子生成方法を述べている。橋桁断面に比べ、付加物の大きさが極めて小さいが、そのモデル化が空気力係数の予測精度に寄与し、迎角の小さい場合の抗力係数及び迎角の大きい場合

の揚力とモーメント係数に大きな影響を与えていることを明らかにしている。また本研究では小さな付加物の周辺及び付加物の 8~10 倍の後流域に計算格子を集中させることが可能な領域分割法を採用し、従来の数値解法に比べ、短時間かつ少ない計算機で格子依存性のない解を得ることを可能にしている。

第 6 章は、橋断面の辺長比、フェアリングの設置、高欄などの小さな付加物がフラッター発振風速に与える影響及びその発生メカニズムを述べている。①橋断面の辺長比を長くすることにより、橋桁先端部に発生するピーク圧力が低減し、空力安定性が高まること、②フェアリングを設置することにより、前縁剥離やピーク圧力が抑えられ、辺長比の小さい橋断面でも高い空力安定性を得られること、そして、③付加物の存在が剥離点の位置を移動させ、フラッター発振風速に大きな影響を与えることを明らかにしている。また 3 次元解析を実施することにより、2 次元解析に比べフラッター発振風速の予測精度が向上されることを示した。

第 7 章は、空力制振装置、風向などの要因が渦励振の振幅に与える影響及びその発生メカニズムを述べている。フェアリングに比べ、ダブルフラップが渦励振への抑制効果が大きいことを再現し、平均揚力係数の勾配が渦励振の振幅に大きな影響を与えることを明らかにするとともに、迎角の増加が後流渦の振動数を変化させ、迎角の増加に伴い渦励振振幅が急速に減少するメカニズムを解明している。また渦励振の発振風速を同定することにより、渦励振の最大振幅を高精度に予測できる数値解析手法を提案している。

第 8 章は結論であり、第 7 章までに得られた結論をまとめるとともに、今後の課題に言及している。

以上のように、本論文は付加物を有する実橋梁断面における空気力特性を予測することの可能な数値解析手法を構築し、それを用いて南京長江第三大橋及び東京湾アクアラインを対象にフラッター発振風速と渦励振の振幅を予測するとともに、橋断面の辺長比、断面形状、高欄などの付加物、空力制振装置、風向などの要因がフラッター発振風速や渦励振の振幅に与える影響を明らかにしたものである。この研究成果は実橋梁断面における空力不安定現象の発生メカニズムの解明及びその対策に有用な知見を提供し、空気力特性の優れた橋桁の開発及び長大橋梁の耐風安全性の向上に貢献するものである。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認める。