

氏名	麓 興一郎		
学位の種類	博士(工学)		
学位記番号	工博乙第89号		
学位授与の日付	平成19年3月23日		
学位授与の条件	学位規則第4条第2項該当		
学位論文題目	ハイブリッド吊橋を用いた超長大吊橋の耐風安定性と 実用性の確保に関する基礎的研究		
論文審査委員	主査	教授	久保喜延
		”	金元敏明
		”	幸左賢二
		”	山口栄輝
	助教		木村吉郎

## 学位論文内容の要旨

本研究では、中央支間3,000m級の超長大橋を取り上げ、従来の吊橋とは異なる形式を採用する等により、重要課題である耐風安定性を確保し、その実現の可能性を示した。本論文は1章から8章までで構成されている。ここでは各編の研究内容の結果を総括し、本論文の結論を示す。

第1章では、本研究の背景、目的、各編の研究内容、全体構成などについて述べた。具体的には中央支間3,000m級の長大橋の必要性とこの支間長で問題となる耐風性について、従来の方法では必ずしも十分には検証できないことなどの課題を整理した。

第2章では、我が国の橋梁の長大支間への取り組みの歴史を辿り、既存の長大橋の耐風性について、それ以前の橋梁より支間が長くなることで何が問題となり、それをどう克服すべきかについて整理した。その結果、支間長2,000mを大幅に超える超長大橋を実現しようとするとき、従来採用された吊橋(桁形式は箱桁やトラス桁)の耐風性に関する諸対策では、ねじり振動数に代表される構造特性や桁の空力特性などの改善には限界があり、耐風安定性を確保することは極めて難しい状況であることが、本四連絡橋に代表される吊橋の耐風性の取り組みから明らかになった。それゆえ、中央径間3,000m級の橋梁を実現しようとする場合、既往の構造形式とは異なる新しい発想が不可欠であり、耐風性向上のためには吊形式の変更と空力的に優れた桁を組み合わせた新しい橋梁の提案が必要であると考えた。

第3章では、第2章を受け、新しい橋梁形式として、吊橋を基本とし、塔付近を斜張形式とした橋梁の構造詳細を検討した。具体的には、塔形式や桁の吊位置(桁の内側または外側)、あるいはケーブルシステムの最適化について、超長大橋の特性を忠実に反映できる解析モデルを用いて固有値解析により検討した。その結果、耐風性に優れた新しい橋梁として、ケーブルシステムは中央支間中央部で吊橋形式とし、主塔近傍には斜張吊形式を用いるとともに、桁は中央支間中央部に二箱桁を配置し、主塔付近には桁幅が狭く軽量な一箱桁を配置した構造を提案した。また、主塔は耐風性と経済性に優れたA型主塔を、桁の吊り形式としては外側を吊る形式が有利であることを明らかにした。

第4章では、第2章で述べたもう1つの着眼点であり、第3章で提案した構造特性に優れた新形式の耐風性をさらに向上させる目的で、二箱桁断面の幾何学的形状について検討した。検討方法としては、フェアリング形状や耐風対策用付加物を選定するための二次元バネ支持試験を実施した。その結果、フェアリングには非対称台形の形状を用いるとともに、桁下面にも耐風対策物を設置する二箱桁の断面形状を採用することにした。

第5章では、第3、4章で提案した新しい橋梁(以下ハイブリッド吊橋と呼ぶ)について、その耐風性を既往のフラッター解析手法を用いて検証した。具体的には、二次元実験で計測した3分力係数とこれまでの計測方法で計測した二次元非定常空気力係数とを用いて、風荷重による大規模な横たわみ変形のもとで三次元フラッター解析を行った。その結果、第4章で提案した二箱桁を有するハイブ

リッド吊橋では、これら二次元空気力を用いる限り発散振動は生じないことが確認された。

第6章では、第5章で得られたフラッター解析結果の妥当性と提案した橋梁の安全性を評価するために、実橋の1/125縮尺の全橋模型を設計・製作し、土木研究所の大型風洞を用いて全橋模型風洞実験を実施した。その結果、第4章で提案した二箱桁を有するハイブリッド吊橋では、事前の解析で発生しないと予測されたフラッターが照査風速以下で生ずること、また、二箱桁の特定区間に対策を追加すればこのフラッターは抑止できることを確認した。

第7章では、第6章の全橋模型試験で発現した発散振動に関する実験値と第5章で得た解析値が相違したことから、フラッター解析手法の改良とその妥当性について詳細に検討を加えた。その結果、非定常空気力の計測に改良すべき点があることが明らかになり、変位と空気力の位相差をクロススペクトル法からウェーブレット法による解析に改良することで精度よく求めることができた。新しい解析方法によりフラッター解析結果は実験値とほぼ一致し、発散振動が起こることを明らかに出来た。一方、耐風対策を施した二箱桁の非定常空気力を反映させたフラッター解析を実施し、この対策により全橋模型では発散振動が起こらないことを解析的にも確認した。

第8章では、ハイブリッド吊橋の実現性について検討した。その結果、外吊りにすることによるハンガーと建築限界の問題を取り上げ、使用性に支障の無いことを示したほか、架設に関して特に複雑な空間的配置をとる主ケーブルの架設について、過去の架設実績を考慮した上で採用可能であることを証明でき、十分な実現性があることを示した。

以上、本論文では中央径間3,000m級の超長大橋の実現について、主として耐風性の観点から、提案したハイブリッド吊橋を適用すればその可能性が極めて高いことを示した。

## 学位論文審査の結果の要旨

本論文は、次期海洋架橋プロジェクトで提案されている中央支間3,000m級の超長大橋の実現の可能性について検討を行ったものである。

第1章では、中央支間3,000m級の長大橋の必要性とこの支間長での耐風性に関する問題点を整理した。

第2章では、我が国の橋梁の長大支間への取り組みの歴史を辿り、世界最長の中央支間1,991mを有する明石海峡大橋を大幅に超える中央支間3,000m級の超長大橋を実現しようとするとき、従来採用されてきた吊橋の耐風性に関する諸対策では、構造特性や桁の空力特性などの改善に限界があることを本州四国連絡橋架橋の経緯から明らかにした。そこで、超長大橋実現のためには、従来とは異なる吊形式と空力的に優れた桁の組み合わせによる橋梁の検討が必要であることを述べた。

第3章では、第2章を受け、新しい橋梁形式として、吊橋を基本とし、塔付近を斜張形式とした橋梁の構造詳細を超長大橋の特性を忠実に反映できるFEM構造解析により検討した。その結果、ケーブルシステムには中央支間中央部で吊橋形式、主塔近傍で斜張吊形式を用い、桁には中央支間中央部で二箱桁、主塔近傍で一箱桁を用いる新しい橋梁構造であるハイブリッド吊橋が、超長大橋を可能にする構造であることを提案した。

第4章では、第2章で述べた二箱桁断面の空力特性を改善するための幾何学的形状について検討した。二次元バネ支持試験によりフェアリング形状や耐風対策用付加物の形状、その設置位置等の検討を行った。その結果、桁形状として、フェアリングには非対称台形を用い、桁下面に耐風対策物を設置する二箱桁の断面を用いることを提案した。

第5章では、第3、4章で提案したハイブリッド吊橋について、二次元実験で計測した空気力係数を用いて耐風性を解析的に検証した結果、第4章で提案したハイブリッド吊橋では、これら二次元空気力を用いる限り発散振動が生じないこととなった。

第6章では、第5章で得られたフラッター解析結果の妥当性と提案した橋梁の安全性を評価するために、長さ40mという実橋の1/125縮尺の全橋模型を設計・製作し、土木研究所の大型風洞を用いて全橋模型風洞実験を実施した。その結果、第4章で提案した二箱桁を有するハイブリッド吊橋では、事前の解析で発生しないと予測されたフラッターが照査風速以下で発生したが、二箱桁の特定区間に対策を追加すればこのフラッターを抑止できることを実験的に確認した。

しかしながら、全橋模型試験で発現した発散振動に関する実験値と第5章で得た解析値が相違したことから、第7章では、フラッター解析手法の妥当性について詳細な検討を行い、比較的小さい非定常空気力の場合の測定方法に問題があることを明らかにした。従来のクロススペクトル法による変位と空気力の位相差の解析では誤差が大きくなることを明確にし、波形近似法による精度の高い非定常空気力推定法の開発を行った。その結果フラッター解析結果と実験値とがほぼ一致し、提案した手法が妥当なものであることを確認した。

第8章では、ハイブリッド吊橋の実現性に関してハンガーと建築限界の問題を取り上げ、使用性に支障の無いこと、特に複雑な空間的配置となる主ケーブルの架設について、過去の架設実績を考慮した上で採用可能であることを検証し、実現性において問題のないことを確認した。

以上、本論文では中央支間3,000m級の超長大橋の実現について、主として耐風性の観点から検討した。その結果、開発された波形近似法を用いることで、ハイブリッド吊橋の応答推定が可能となった。このことは、超長大橋の実現に向けて大きく貢献するものであり、提出された論文が博士(工学)の学位論文として充分であると認められた。

なお、審査委員並びに公聴会出席者から、超長大橋の空力特性、解析手法、風洞実験のありかた、耐風設計の考え方、建設コスト等についての質問がなされたが、いずれについても適切な回答がなされた。

外国語の評価は、英語に関しては英語による論文が多数あることより実力は充分であると判断し、ドイツ語に関しては、ドイツ語の論文の和訳によりその能力を確認した。また、学力については、口頭試問および筆頭により確認した。

以上の結果より、審査委員会は論文提出者 麓 興一郎氏が、博士後期課程修了者と同等以上の学力を有することを確認し、学位論文審査に合格したものと判断した。