

博士論文の審査結果の要旨

氏名 佐伯 彰一

1998年に完成した明石海峡大橋は、中央支間長がほぼ2 kmに達する世界最長の吊橋である。風、地震、潮流、地盤等の、わが国特有の過酷な条件を克服するために様々な技術開発が行われた。その中でもケーブルに関する技術開発は極めてレベルの高いものと思われる。

本論文は、明石海峡大橋の主ケーブル、特に(1)高強度ケーブル、(2)ケーブル設計における安全率、(3)防食システムの3点に絞り、これらの開発研究の成果を述べたものである。

まず、第一章では、本論文の構成、立場をのべている。

2章では高強度ケーブルの開発を論じている。すなわち、従来から使用されてきた引張強さ 160 kg f/mm^2 の亜鉛めっき鋼線よりも引張強度が 20 kg f/mm^2 高い、180キ口級亜鉛めっき鋼線の開発の経緯を詳細に述べている。亜鉛めっき鋼線の高強度化の方策について数多くの実験を行い、鋼へのS iの添加が最も有効であること、また、S iの含有量は、160キ口級亜鉛めっき鋼線の0.12~0.32%に対し0.80~1.0%が適当であることを発見した工学的意義は大きい。

さらに、新たに開発されたS i系合金鋼による180キ口級亜鉛めっき鋼線の特性を実験的に明らかにしている。その結果、強度特性については目標とする規格を満足し、靱延性、めっき特性、さらには疲労、クリープ、低温特性等についても、160キ口級亜鉛めっき鋼線と同等ないしはそれ以上の品質が確保できることを確認して

いる。このケーブルはこれらの事実に基づき、明石海峡大橋、それに続く来島海峡大橋の主ケーブルに用いられた。この鋼線は、吊橋の主ケーブル以外にも、橋梁、建築等の構造用材料として広く適用できると判断され、その実用的価値は高い

3章では、ケーブル設計、とくにその安全率の設定に関する研究を論じている。従来の吊橋では、主ケーブルの許容応力度はその材料である鋼素線の引張強さを基準とし、この値を安全率2.5で除した値としてきたのに対し、明石海峡大橋ではこの安全率を2.2に低減している。このように改めるにあたって検討した成果を述べている。

まず、強度について検討し、変動要因として、材料強度のばらつき、曲げによる二次応力、製作架設誤差による二次応力、支点移動による二次応力を取りあげ、その結果、曲げによる二次応力が 20 kgf/mm^2 、製作架設誤差による二次応力が 2.5 kgf/mm^2 、支点移動による二次応力は無視できることを具体的な解析、データから示した。さらに、主ケーブルを鋼線の集合体と考え、材料強度のばらつきを考慮した二次応力の解析から主ケーブルの引張強さおよび0.8%耐力は、ともに材料のそれらより3%低くなるという結論を得た。

荷重については、死荷重、活荷重および温度変化を対象として検討し、終局限界状態に対して考慮すべき荷重は、本州四国連絡橋設計基準に規定されている設計荷重に対して死荷重は1.03倍、活荷重は1.5倍、温度変化は1.0倍であるとの結論を得ている。

以上の主ケーブルの強度および荷重の検討結果を基に安全率の検討を行い、主ケーブルの終局限界状態をケーブル材料の引張強さとし、不確定要因に対する安全率が2.0であり、主ケーブルの終局限界状態をケーブル材料の0.8%耐力とした場合の

安全率が1.72としたことに相当すること、荷重係数1.5に相当する活荷重は実態荷重より大きいものと判断している。また、活荷重係数が仮に2.0となっても不確定要因に対する安全率は1.93もあること、安全率2.2で設計されたケーブルは、極限と考えられる活荷重載荷状態(全車線にTT-43、路肩に普通自動車満載)しても、その応力は弾性領域にある、ことを明らかにした。

以上から、主ケーブルの安全率をその材料の引張強さに対して2.2とし、すなわち、許容応力度 $82\text{kgf}/\text{mm}^2$ としても主ケーブルの安全性は十分確保されるとの判断を示した。

4章においては、主ケーブルの内部に乾燥空気を送り乾燥させて防食する全く新しい主ケーブルの防食方法について論じている。

まず、国内外の既設吊橋の調査を行い、現在一般的に用いられている主ケーブル防食法は不十分であり、発錆による損傷が避けられないことを明らかにした。すなわち、現在の防食方法では、主ケーブル内部に水が存在することが避けられないこと、主ケーブル内部の空気と外気との短期的流通はほとんどなく、いったん内部の空気が高湿度になればその状態が長期間続く、今まで用いられてきたペーストは時間とともに劣化・保水体化し、主ケーブル内部の腐食環境を悪くしていることを明らかにしている。

この結果から、吊橋の主ケーブルの健全性を保つためには、防食方法を改善する必要があり、ペースト材等の開発、乾燥空気の送気による主ケーブル内部の腐食環境の改善について、試験を含め多岐にわたる検討を解説している。改善点の1つとして、主ケーブルの被覆方法があげられるが、この改善によっても外部からの水の浸入や結露による主ケーブル内部の水の存在は避けられないこと、ペーストは程度

の差はあれ時間の経過とともに劣化すること、劣化したペーストは保水体化し、主ケーブル内部を高湿度あるいは湿潤状態におき、腐食環境を悪化させることを明らかにした。鋼線への接触面では良好な防錆性能を示すペーストを開発することができたが、接触しない内部の鋼線の防錆には寄与せず、また、ペーストの劣化も否定できない。主ケーブル用の亜鉛めっき鋼線の腐食限界湿度は約40%であるが、主ケーブルの内部に乾燥空気を送気することで、内部をこの腐食限界湿度以下に保つことができ、主ケーブルの腐食を防止できる、ことが明らかになった。

以上から、吊橋の主ケーブルについて、その内部に乾燥空気を送気するという新しい防食システムを開発し、明石海峡大橋にこれを適用し、この防食システムを設置後に実橋送気試験行い、実橋に適用できることを確認した。

本論文の成果は吊橋の主ケーブルの技術的發展に寄与するところが多大であり、博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。