

審 査 結 果 の 要 旨

論文題目「Corrosion Performance of Bridge Cables with Zn-Al Galvanized Wires
and Structural Characteristics of Tubular Bridges」

(亜鉛・アルミニウムめっきケーブルの腐食性能およびチューブ橋の構造特性)

学位申請者 JARWALI TURKIAHMAD

本論文では、鋼製橋梁に関する新しいケーブル材料および新構造形式を提案し、その実現性および優位性を実験および数値解析により研究した。

1) 亜鉛・アルミニウムめっきケーブルの腐食性能

吊橋や斜張橋などの吊り形式橋梁では、命綱というべきケーブルの腐食・破断事例が報告されている。通常、ケーブルを構成する高強度鋼線は亜鉛めっきにより防食しているが、より強力な防食対策が求められている。本研究では、防食性の向上が期待できる亜鉛・アルミニウムめっき鋼線を用いた橋梁ケーブルを開発し、その基本的な耐食性能を実験的に調査研究した。

亜鉛 (含有率90%)・アルミニウム (含有率10%) 合金めっき鋼線を19本平行に束ねたケーブルを開発・製作し、その耐食性能を従来の亜鉛めっき鋼線を用いたケーブルと比較することにより検討した。その結果、相対湿度 100% 以下では、亜鉛・アルミニウム合金めっき鋼線ケーブルの腐食による質量減少は亜鉛めっき鋼線ケーブルより小さかった。また、外層鋼線・内部鋼線・中心鋼線の腐食量の差異は少なく、腐食の進行はケーブル内部でほぼ均一であることを見出した。

湿潤状態の腐食環境下においては、亜鉛めっき鋼線ケーブルおよび亜鉛・アルミニウム合金めっき鋼線ケーブルともに相対湿度 100%より腐食量は大きかった。また、この湿潤腐食環境においても、亜鉛・アルミニウム合金めっき鋼線ストランドの腐食量は亜鉛めっき鋼ストランドよりも小さく、耐食性に優れていることを明らかにした。

さらに、腐食した亜鉛・アルミニウム合金めっきおよび亜鉛めっき鋼線ケーブルを光学顕微鏡により外観および断面を観察するとともに、EPMAにより主要元素の濃度を分析した。その結果、亜鉛めっき鋼線ケーブルに関しては、内部鋼線は亜鉛めっきのみが腐食しているが、外層鋼線では鋼も腐食していた。これは、外部鋼線が湿ったガーゼに直接触れておりより厳しい腐食環境に晒されているためであった。また、亜鉛の腐食生成物が体積膨張、密度は粗く、鉄層から剥離されやすいことを見出した。一方、亜鉛・アルミニウム合金めっき鋼線ケーブルに関しては、外層鋼線と内部鋼線とも亜鉛は腐食しているが、鋼およびアルミニウムはほぼ健全であった。これは、アルミニウムが均一に分布しており、めっき層は緻密であり鉄層と剥離しにくいためであることを見出した。

以上より、2種類のストランドとも腐食量は相対湿度が60%および100%および湿潤環境の順に増大すること、および相対湿度が60%および100%および湿潤環境のすべてにおいて亜鉛・アルミニウム合金めっき鋼線ストランドは従来の亜鉛めっき鋼線ストランドより優れた耐食性を有することを明らかにした。これらの研究成果は極めて新規性に富み、工学的有用性が高いと判断された。

2) チューブ橋の構造特性

建設費の縮減および景観との調和が社会的に求められており、これを実現するために新形式の鋼橋が提案され建設されつつある。しかし、新形式橋梁は、過去の研究が少ないため、想定外の危険をはらんでいることがある。このような新形式橋梁を設計するためには、常時作用する外力に対しての安全性を確保するのみならず、構造物の終局強度および崩壊過程を把握することが極めて重要である。

本研究では、新しい機能・優れた景観・高い経済性を有する鋼管を用いたチューブ橋を開発し、その構造特性を明確にした。チューブ橋は、6本の鋼管を6角形に配置し（上鋼管，中央鋼管，下鋼管それぞれ2本），2本の下鋼管間に縦桁・横桁・床版を設置して、チューブの内部空間を歩行者用に確保した斬新な構造である。本提案形式では製鉄所で製造される鋼管を直接利用しているため建設費を大幅に低減できる利点を有する。

検討の第一段階では、設計荷重レベルの弾性構造解析を実施し、上鋼管は圧縮軸力，下鋼管は引張軸力，中央鋼管は曲げモーメントが支配的な断面力であること，歩行者荷重によるたわみは許容範囲以内であることを見出した。また、チューブ橋の構造特性はフィレンディール構造と同一であることを明らかにした。

第二段階では、鋼管およびリング構造をファイバー要素に分割し、各要素は弾塑性材料を想定した終局強度解析を実施した。その結果、活荷重係数が1.70までは線形挙動を示すが、その後は鋼管に塑性域が広がったため非線形挙動を示し、活荷重係数が2.70に達したときに鋼管に塑性ヒンジが生じ、橋が崩壊した。また、鋼管どうしを接合するリング構造により接合されているが、終局時においても弾性域に留まっており、健全に機能していることを確認した。以上より、提案したチューブ橋は安全かつ実現可能であることを明らかにした。これらの研究成果は、新形式の橋梁を設計するために有益かつ貴重な知見を提供しているものであり高く評価される。

以上の結果、本論文は学位論文として十分な内容を有するものと審査委員全員の一致で判定された。したがって、申請者 JARWALI TURKI AHMAD 氏は東海大学博士（工学）の学位を授与されるに値すると判断した。

論文審査委員

主査	博士（工学）	杉山 太宏	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	工学博士	笠井 哲郎	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	伊達 重之	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	博士（工学）	梶田 佳孝	工学部准教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）
委員	Ph.D.	中村 俊一	工学部教授	（総合理工学研究科総合理工学専攻）