

論文の要旨

題目 腐食による継手、主桁ウェブの性能低下を考慮した鋼構造物の残存耐荷力評価に関する研究
(Evaluation for remaining strength of steel structure considering performance deterioration of girder web and joint due to corrosion)

氏名 佐竹 亮一

現在、社会基盤構造物の高齢化、老朽化が大きな社会問題となっている。このような中、維持管理の重要性が強く認識されるようになり、維持管理のあり方も「事後保全から予防保全への移行」、「効率的維持管理による長寿命化や延命化」に、大きくパラダイムシフトしつつある。

構造物が安全であるか否かを把握するために残存耐荷力を評価する場合、構造物（構造全体）の残存耐荷力が要求性能よりも大きければ構造物は安全である。構造物の維持管理においては、すでにその構造物が実存しているので、もし構造全体の残存保有耐荷力を正確に評価することが可能であれば、構造全体の耐荷力に基づいて維持管理行為を行えばよい。しかしながら多くの場合、構造全体の残存耐荷力を評価するのは極めて難しい。したがって、現時点では、部材の残存耐荷力に注目して評価せざるを得ないと考えられ、事実、いままでの多くの維持管理において採られてきた方法である。

しかしながら、構造部材の残存耐荷力評価も必ずしも容易ではない。部材断面が同じでも、構造形式の違いにより、構造物全体の中での役割や作用断面力が異なるため部材が設置されている様々な状態における残存耐荷力評価が必要となる。従来、部材の残存耐荷力評価は、非線形有限要素解析や評価指標を用いた簡易耐荷力評価法がある。簡易耐荷力評価法は、有限要素解析に比べ精度が若干劣るものの容易に耐荷力評価が可能であり実務への適用性は高いといえる。このときの評価指標は、板厚などの計測結果から得られる統計量(平均板厚、標準偏差等)を用いて定められることになるが、残存耐力をより高精度で評価するためには、評価指標の設定法などについてなお検討すべき課題が残されている。また、部材は継手によって連結されている場合もあり、継手部の強度が部材強度を決める要因となることも考えられる。

ところで、残存耐荷力を評価するためには腐食状態を把握する必要がある。そのために板厚計測などが実施される。このとき、計測精度が高ければ高いほどより高精度な残存耐荷力が推定できる。しかしながら、実務での作業性や経済性を考慮すると、現状では超音波板厚計によって数点、多くとも20点程度の計測が実務上適用可能な範囲と思われる。したがって、実務ではこの程度の測定点数を基に部材の残存耐荷力評価を行うことになる。この場合、得られた測定結果から実際に近い腐食表面の再現方法や残存耐荷力を推定するための評価指標をどのように定めるかといった問題を解決しなくてはならない。加えて、測定結果から将来の腐食進展を予測できれば、合理的効率的維持管理のために有効であると考えられる。

本研究は、腐食により板厚が減肉して性能低下した鋼構造物の部材の残存耐荷力を評価するために、リベット継手および高力ボルト継手の残存強度、プレートガーダーのウェブの残存せん断耐荷力について、実務測定で取得可能な程度の計測情報から得られる腐食統計量を用いた残存耐荷力評価法を確立することを目的とする。

上記の目的のために、供用後撤去された鋼橋の継手部およびプレートガーダー橋主桁の腐食状況を測定・把握し、次いで残存耐荷力を得るための載荷試験や腐食表面を考慮した複合非線形有限要素解析を行って、腐食損傷が部材の残存耐荷力におよぼす影響を明らかにし、鋼構造部材の残存耐荷力評価法を提案する。このとき、部材の腐食状況を把握するための計測が必要であるが、実験室レベルで従来採用されてきた高密度で高精度の計測結果と実務レベルで計測可能な超音波板厚計などを用いた計測結果から得られる腐食統計量の特徴や違いを明らかにするとともに、残存耐荷力を簡易に評価するための評価指標について、実務で取得可能な測定結果から得られる腐食統計量を用いた残存耐荷力評価方法を提案した。

本論文は、全7章で構成される。第1章では、研究の背景と本論文の目的と構成を述べた。第2章では、腐食した鋼構造物の残存耐荷力について、構造全体の残存耐荷力と部材を対象とした残存耐荷力の観点から研究成果を整理するとともに、リベット継手と高力ボルト継手の残存耐荷力および主桁の残存せん断耐荷力の評価に関するいままでの研究成果と課題をまとめた。また、腐食統計量を得るための腐食表面形状計測法の特徴を実務への適用性や作業性の面から検討した。

第3章では、腐食したリベット継手の残存耐荷力を評価するために、単せんおよび複せん継手の引張強度試験を実施した。リベット継手頭部の腐食量をパラメータとした载荷試験結果から継手強度と破壊形式を明らかにし、これまでに行われてきた継手強度評価のための基礎資料を補足した。腐食を模擬した単せん強度試験を行い、リベット頭部が高さ方向に75%減肉しても継手強度が低下することはなかった。しかし、リベット頭部がない場合、母材と添接板からリベットが抜け出すことにより、リベット頭部が健全な場合に比べ継手強度が20%程度低下した。あわせてリベット継手を採用している架設年代の古い鋼材の材料特性試験、リベットと母材および添接版の内部欠陥の調査や成分分析を実施して、架設年代の古い鋼材は、強度的には現在の鋼材と遜色ないが、部位によっては脆性破壊を起こすこと、補修等には溶接性が劣ることなどを明らかにした。

第4章では、腐食した高力ボルト摩擦接合の残存耐荷力評価のために、高力ボルト頭部およびナットを切削して減肉させた場合のボルトの残存軸力とボルトあるいはナットの腐食状態との関係を実験的、解析的に調べた。実験と解析により、高力ボルト頭部の高さ方向の減肉による残存軸力の評価を提案した。実際の継手における腐食、すなわち高力ボルト頭部の高さ方向のみならず幅方向にも減肉するような場合には、高力ボルト頭部の減肉した体積を用いた残存軸力の評価式と高さと同幅方向それぞれの減肉に伴う残存軸力評価から残存軸力を推定する方法を提案した。結果として、残存軸力の簡易評価法の十分な精度による提案はできなかったが、腐食によりボルト頭部の高さ方向だけが減肉した場合については、精度よい残存軸力評価が可能であることを示した。

第5章では、実務上行いえる測定点数での板厚計測結果を用いて残存耐荷力を評価・予測する方法を提案した。すなわち現場計測で得られる測定点数の違いによる計測データのばらつきを勘案しつつ、残存耐荷力評価において実際よりも過大評価とならないための評価板厚を平均板厚と板厚の標準偏差を用いて求める方法を提案した。そして、この評価板厚を適用して腐食した円形鋼管の残存圧縮耐荷力を求めた結果、腐食の無い圧縮耐荷力評価式を用いて安全側に評価できることを示した。さらに、現場計測値に基づいて人工的に腐食表面を作成し、複合非線形有限要素解析や簡易耐荷力評価法により残存耐荷力の経年予測が可能であることを示した。

第6章では、ウェブが局部腐食したプレートガーダーのせん断耐荷力について、载荷試験と解析的検討を行い、局部腐食を有するウェブのせん断応力分布の評価法と残存せん断耐荷力評価法を提案した。局部腐食により下フランジとウェブが分離している場合のせん断応力分布は、下フランジを無視した断面がせん断力に抵抗すると仮定して、はり理論に基づいて求めることが可能であることを明らかにした。また、残存せん断耐荷力は、腐食の無い板のせん断座屈に関する座屈強度評価式に局部腐食範囲の平均板厚と標準偏差から決まる代表板厚を適用すれば、容易に推定可能であることを示した。

第7章では、本論文で得られた研究成果を総括した。