

残留応力の再配分を考慮した腐食鋼板の耐荷力解析法

(株)東海旅客鉄道 正 員 西村 佳大 (株)日本橋梁 正 員 竹内 正一
大阪大学工学部 フェロー 西村 宣男

1. まえがき

現在、わが国で利用されている橋梁は高度経済成長期に建設されたものが多く、供用期間が 30 年を越えて損傷や老朽化が進んでいるものも少なくない。現在、橋梁上部工の損傷による取替え理由の中で床版の破損と共に大部分を占める腐食損傷の場合において、腐食部分の広がりや深さなどの外観を基に担当者の主観により判断されることが多いのが現状で、力学的根拠に基づいての健全度を適切に評価する手法の確立が求められている。そこで本研究では、腐食被害を受けた鋼構造部材を対象とした強度評価法策定のための基礎資料として、まず基本要素である板要素に着目して、その基本的な強度特性の解明を試みる。このとき、鋼部材の耐荷力を考える上で初期不整が重要な要因となってくるが、さらに腐食鋼構造部材においては、板厚減少による残留応力の再分配が起こることによって、その初期不整量が変化すると考えられる¹⁾。そこで本報告では、まず腐食鋼板における残留応力の再分配を再現する解析手法について示し、鋼板に典型的な板厚減少が発生した時の残留応力再分配による影響について検証する。さらに、再分配を受けた腐食鋼板に対し圧縮強度解析を実施し、その強度特性および残留応力の影響について検証する。

2. 残留応力の再分配と解析手法

図-1 のように、軸方向に圧縮の残留応力が支配する鋼板に腐食による板厚欠損が生じたとする。このとき微小区間 A, B, C において、残存部に存在する残留応力だけを考慮すると、区間 A, C において内力の釣り合いが取れていないことが見て取れる。つまり、板厚が欠損する際には、力が釣り合わなくなる断面において、欠損分の残留応力の合力と等価な力が発生して、残存部に外力として作用すると考えられる。これによって、鋼板のたわみ量や残留応力分布などの初期不整に何らかの影響が与えられる。これを、腐食鋼板における残留応力の再分配という。解析を行う際には、図-2 に示すように、板厚欠損部を実際には存在しない仮要素としてモデル化を行い、この要素が有していた残留応力を等価節点力として残存部の節点に作用させることになる。このとき、欠損部と残存部には偏心が生じているため、軸力に合わせてモーメントも作用することになる。以上のモデル化を、本研究では 8 節点のアイソパラメトリックシェル要素²⁾を用いて行った。これによって、滑らかな板厚欠損を表現する共に、適切に残留応力を再分配することができる。

3. 腐食鋼板のモデル化

本研究では、鋼部材の最も基本的な構成要素である板要素に着目した。モデル化に際しては、実際の腐食状況を念頭に置きつつ、条件をある程度理想化した形で行った。支持条件として周辺単純支持と 3 辺単純支持 1 辺フリーの 2 種類を考え、構造パラメータとして幅厚比パラメータを 0.5 から 1.0 まで変化させて与えた。アスペクト比は周辺単純支持板で 1.0, 自由突出板で 4.0 で一定とし、また腐食前板厚も 10mm で一定とした。鋼種は腐食減厚、残留応力、8 節点アイソパラメトリックシェル要素、圧縮強度

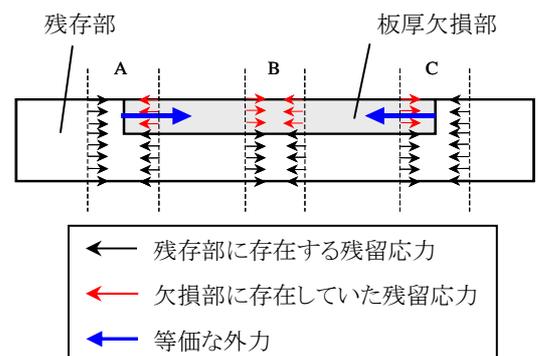


図-1 腐食鋼板における残留応力の再分配

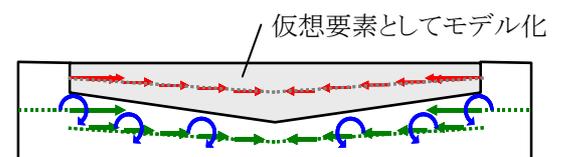
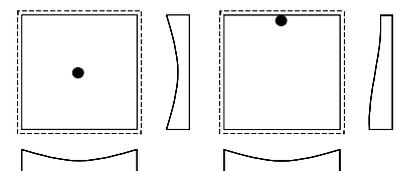


図-2 作用する等価節点力



simple supported plate

図-3 板厚減少形態

SS400 材とし、諸元には全て公称値を用いた。腐食形態として、**図-3** に示すような sine 波形と cosine 波形を組み合わせた幾つかのタイプを、鋼板の両面または片面に与えた。また、板厚減少率として最大減厚量を元板厚の 10% から 30% まで変化させた。初期不整量として、初期たわみを板幅 b に対して周辺単純支持板で $b/150$ 、自由突出板で $b/100$ を与え³⁾、残留応力は圧縮残留応力が $-0.3\sigma_y$ となるような自己平衡型の長方形分布を導入した。

4. 残留応力の再分配による初期不整量の変化

図-4 に周辺単純支持板の中央に腐食最大位置があるタイプについて、応力再分配によるたわみの変化量を示す。最大減厚量、幅厚比パラメータが大きくなるに従って、また両面よりも片面の方が応力再分配の影響が顕著に現れることが見て取れる。また **図-5** に腐食位置の違いに着目して同じく周辺単純支持板の応力分布の変化図を示す。板中央に腐食最大位置が存在する場合、最大で約 20% の圧縮応力の増加が見られた。これは腐食減厚により、圧縮軸力が分配されたことによると考えられる。逆に、支持辺に最大腐食が位置している場合、主に引張軸力が分配され、一部で圧縮応力の減少が見て取れる。この腐食タイプのだわみ量的変化はほとんど現れなかった。このように、腐食形態に応じて初期不整量の変化の状況に違いが生じることが分かる。

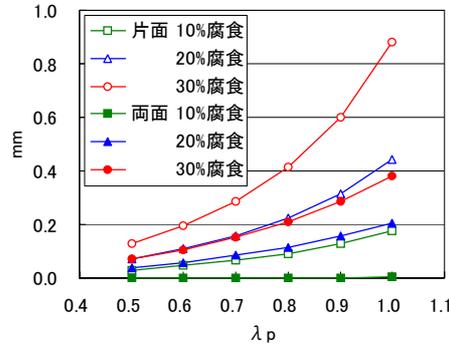


図-4 たわみ量の変化

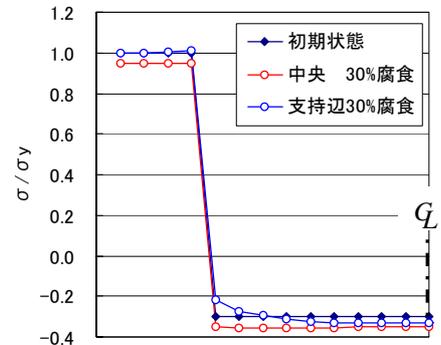


図-5 応力分布の変化

示す。板中央に腐食最大位置が存在する場合、最大で約 20% の圧縮応力の増加が見られた。これは腐食減厚により、圧縮軸力が分配されたことによると考えられる。逆に、支持辺に最大腐食が位置している場合、主に引張軸力が分配され、一部で圧縮応力の減少が見て取れる。この腐食タイプのだわみ量的変化はほとんど現れなかった。このように、腐食形態に応じて初期不整量の変化の状況に違いが生じることが分かる。

5. 腐食鋼板の圧縮強度特性

前項までに説明した、残留応力再分配の影響が考慮された鋼板に対して、引き続き純圧縮の耐荷力解析を行った。**図-6** に周辺単純支持板の中央に腐食が生じた場合の圧縮強度曲線を示す。幅厚比パラメータが小さいモデルにおいてその強度の低下率は大きく、厚板の板中央での断面積の低下が直接の強度低下の原因になったと考えられる。

6. 耐力に残留応力が及ぼす影響

さらに、鋼板の耐力に残留応力が及ぼす影響を調べた。腐食前の等厚鋼板に対して、 $-0.3\sigma_y$ の圧縮残留応力を与えた場合と残留応力を与えない場合の圧縮強度曲線を **図-7** に示す。周辺単純支持板において最大 10%、自由突出板においては最大約 20% の強度低下が見られた。特に自由突出板では、強度特性が厚板から薄板に移行する幅厚比パラメータ 0.7 から 0.8 付近でその強度低下が大きいことが分かった。

7. まとめ

腐食減厚による残留応力の再分配によって初期たわみ量や残留応力分布に変化が生じ、その変化状況は腐食形態や腐食位置によって大きく異なってくる。また引き続き行った圧縮強度解析の結果から、片面 30% 減厚の鋼板で腐食前強度に対して最大 25% の強度低下が見られ、その低下率は幅厚比パラメータによって左右されることが分かった。さらに、残留応力を考慮することによる強度低下は大きく、鋼板の強度を考える上で残留応力は無視できない要因である。

【参考文献】 1) 村上茂之・西村宣男・亀井義典: 腐食被害を受けた周辺単純支持板および自由突出板の圧縮強度特性, 土木学会第 47 回年次学術講演会講演概要集, 1992.9 2) 村上茂之: 変厚および有孔鋼構造要素の極限強度特性に関する研究, 大阪大学学位論文, 1996.7 3) 日本道路橋協会: 道路橋示方書・同解説, II 鋼橋編, 2001

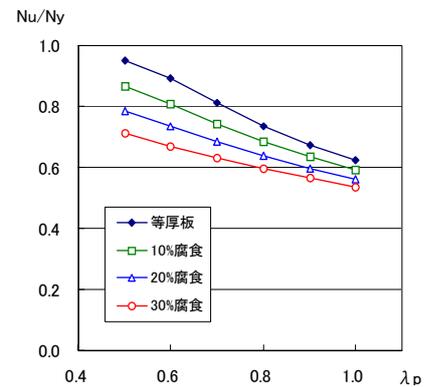


図-6 腐食鋼板の圧縮強度曲線

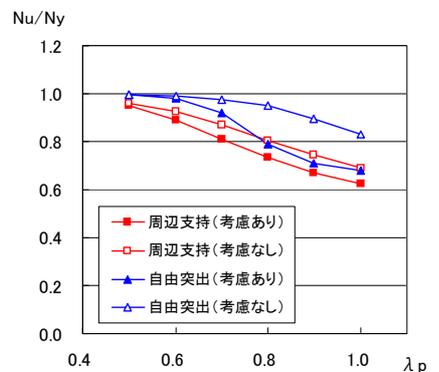


図-7 残留応力の有無による強度低下について