

京都大学工学部 学生員 ○田中大介
京都大学大学院 正会員 橋本国太郎

京都大学大学院 正会員 杉浦邦征
阪神高速道路管理技術センター 正会員 丹波 寛夫

1. 研究背景および目的

我が国は、温暖で湿度が高い気象条件であることや周囲を海に囲まれた島国であること、さらに冬期には路面が凍結する地域が多くあり、凍結防止剤など飛来塩分の影響で鋼橋では腐食が代表的な損傷となっている。特に、桁端部は、水がたまりやすく、腐食損傷事例が多い。また、このような腐食損傷している部位を補修する際に、現在鋼板を用いた当て板による補修が主流である。しかし、当て板のサイズやボルトの本数は設計上、必要以上の強度を有している可能性がある。そこで、より合理的な補修方法を提案し、その補修効果を明らかにする。

2. 解析モデル

本章では、鋼橋桁端部の有限要素解析モデルを構築した後、荷重載荷位置の検討と、桁の横倒れを防ぐ面外拘束の有無、鋼材の機械的性質を変えて解析を行う。さらに、要素サイズを変えることで、本研究で用いる要素サイズの妥当性を実証する。

2.1 解析手法

図-1 のように実橋の桁端部 1 パネル分を忠実に再現したモデルを作成する。載荷版およびソールプレートはソリッド要素で、残りの部位はシェル要素でモデル化した。境界条件として、試験区間側をピン、反対側をローラー支持とした。また、1 要素は約 25mm×25mm とした。このモデルに対し図中の矢印に示す位置に強制変位 25mm を与え載荷した。なお、各部材の材質は、上フランジ、ウェブには SM490 を用い、残りの部材には SS400 を用いた。

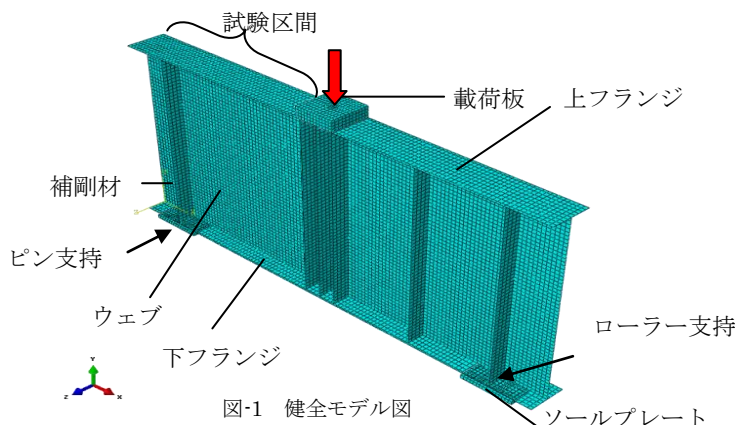


図-1 健全モデル図

2.2 解析モデルの決定

本研究では、腹板および支点上補剛材の腐食後および補修後の桁の耐力を検討することから、載荷位置は中央にする。また、鋼材の機械的性質は、より安全

な状況を想定して、規格値を用いる。さらに、桁端部のせん断耐力を評価するため、面外を拘束する。従って、本研究で用いる健全桁のモデルを図-1 に示すように載荷位置を中央にし、鋼材の機械的性質は規格値を用い、載荷板位置で境界条件として Z 軸方向の変位を固定したモデルに決定した。

3. 腐食した鋼桁の耐力

本章では、桁端部に腐食損傷を有する鋼桁の残存耐力に関して考察する。腐食のパターンは大きく分けて 2 種類とした。最初のケースは 1 つの部材構成要素のみを腐食させたパターンを設定した。ここでは、対象とする個々の部材要素が腐食した場合に桁の残存耐力がどの程度変化するかを考察する。次に、上述した個々の腐食パターンを組み合わせた腐食損傷を対象とする。本研究では、鋼桁端部の腐食損傷事例の中から、著しい損傷事例に基づいて、ウェブの桁端と支点上補剛材が腐食したケースを考えた。

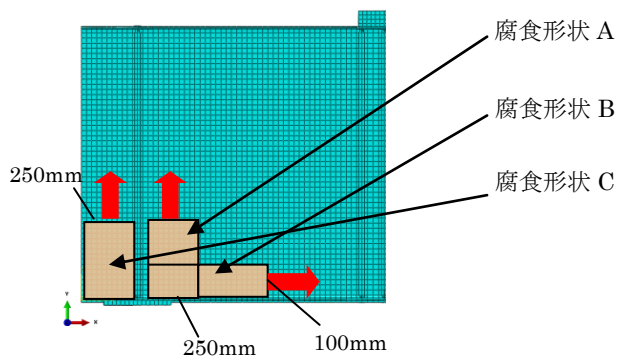


図-2 腐食損傷概要図

3.1 腐食部材のモデル化

図-2 に示すように、ウェブでは腐食形状 A,B,C を設定した。形状 A,C では、橋軸方向に 250mm の範囲として固定し、高さ方向に腐食範囲を変化させた。形状 B では、下フランジからの高さは 100mm で一定値とし、橋軸方向に腐食範囲を変化させた。また、支点上補剛材の腐食では、補剛材の減肉量を 1/2, 1/4 の 2 パターンを、腐食高さを 50mm, 100mm の 2 パターンを、合計 4 パターンを設定した。

一方、個々の部材要素の腐食を組み合わせたケースでは、桁端部のウェブの腐食の大きさ 2 パターン (250mm×50mm, 250mm×100mm) と、支点上補剛材の腐食 4 パターン (減肉 : 1/2, 1/4, 腐食高さ : 50mm, 100mm) を組み合わせた 8 パターンを設定した。

3.2 解析結果および考察

1) ウェブが欠損する場合、基本的に腐食面積が大きい

ほど、桁の耐力力は小さくなることがわかった。

2) 腐食範囲が限定される場合、その構造の特性上、応力が健全時とは異なる分布になり、結果的に桁の耐力力が向上する場合があった。

3) 支点上補剛材が座屈するほど腐食していない場合、ウェブがその抵抗力を負担することで、せん断座屈が生じ、桁の耐力力は下がるにしても、それほど影響はないことがわかった。

4) 支点上補剛材に座屈がしやすいほど腐食している場合は、桁の耐力力が急激に下がることわかった。

解析例として、上記の 3),4)の傾向を示した桁の応力コンター図、および耐力低下率を以下に示す。

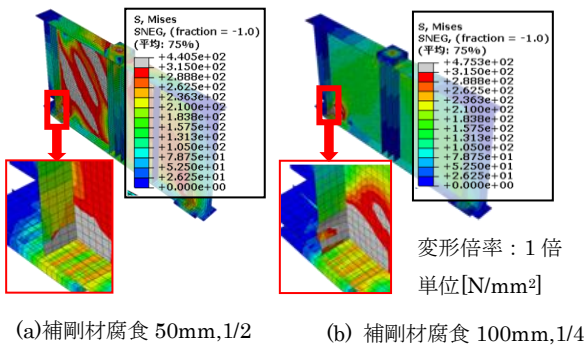


表-2 腐食モデルの荷重比較

解析ケース	最大荷重 [kN]	低下率[%]
健全	3260.6	0
ウェブ腐食 100mm 補剛材腐食 50mm×1/2(図-3(a))	2997.1	9.1
ウェブ腐食 100mm 補剛材腐食 100mm×1/4(図-3(b))	1590.4	51.2

図-3(a)では、欠損部の補剛材は降伏に至っているものの、ウェブ全体に応力が分布しており、ウェブがせん断座屈強度に達したと考えられる。一方、(b)のケースでは、補剛材欠損部に応力が集中しており、ウェブやフランジに抵抗力が伝わる前に補剛材が座屈したため、桁の耐力力が大きく下がったと考えられる。

4. 当て板による補修方法の検討

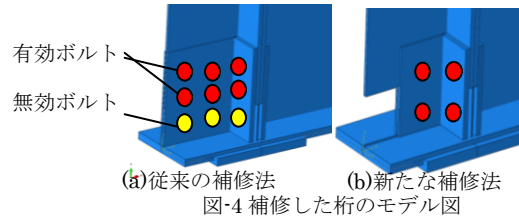
本章では、前章で用いた腐食モデルに対し、当て板による補修を施したモデルを 2 パターン設定して解析を行い、その違いを明らかにする。本研究では、桁の耐力力が一番低下した、ウェブ桁端：100mm、補剛材の腐食：1/4,100mm を用いた。

4.1 既存の補修設計法に関する知見

当て板部材は、母材と同厚とし、支点上を柱として考え、支点上補剛材からウェブ板厚の 12 倍の範囲を有効とし、応力を算出し、ボルト本数を照査する。なお、通常は欠損している部位すべてを当て板する。ウェブへの当て板補修設計計算によると、必要ボルト本数が 1 本以下になることが多いが、ボルトの最小本数 2 本以上となるように決められているので¹⁾、2 本設置する。この考え方を図-4(a)に示す。

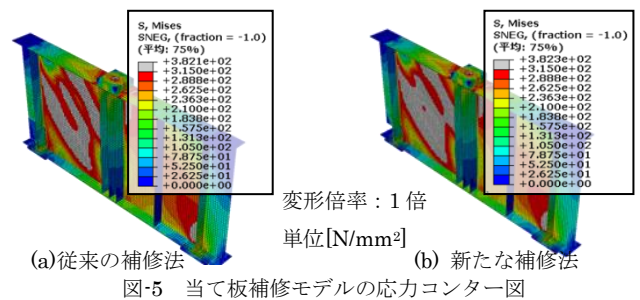
4.2 新たな補修方法の提案

図-4(b)に示すように、新しく提案する補修法は当て板をウェブと考え、垂直補剛材の設計法の観点から²⁾、当て板の幅をウェブ板厚の 12 倍として設計する。この補修法では、当て板のサイズも小さく、ボルト本数も既存の方法より少なくできることがわかる。なお、ボルト本数については、欠損部に締めているボルトは通常無効ボルトであるが、これを有効ボルトとカウントした。



4.3 解析結果および考察

既存の当て板補修をしたモデル(図-5(a))と新たに提案した補修モデル(図-5(b))の最大荷重は、それぞれ 3155.4kN、3158.1kN となった。この結果より、以上 2 つの補修モデルは、健全モデルとほぼ同じまで耐力力が回復したことがわかる。以下に最大荷重時の応力コンター図を示す。



(a),(b)ともに当て板をすることで抵抗力がウェブに分担されていることがわかる。その結果、桁の耐力力は健全モデルとほぼ同じまで回復したと考えられる。

5. 結論および今後の課題

- 1) ウェブや支点上補剛材がそれぞれ単一で腐食した場合、一般的に耐力力は腐食面積が大きくなるにつれて、耐力力は低下する傾向にある。
- 2) ウェブと支点上補剛材が同時に腐食している場合、支点上補剛材の減肉量が桁の耐力力に一番大きな影響を与える。
- 3) 当て板補修をした桁の解析により、新しく提案された補修法は、従来の方法とほぼ同等の補修性能を有する可能性があることがわかった。
- 4) 解析上当て板を部材と剛結しているが、実際はボルトで締めるなど、解析特有の問題があるため、今後実験を行い、補修効果を確認する必要がある。

参考文献

- 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説鋼橋編 7.3.13.
- 2) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説鋼橋編 11.5.2.