鋼鈑桁の腐食損傷に対する当て板補修の解析的検討

首都高速道路株式会社　正会員　○青木　貴之
首都高速道路株式会社　正会員　平野　秀一
首都高速道路株式会社　正会員　神田　信也
首都高速道路株式会社　正会員　深谷　卓央
大阪市立大学大学院　正会員　山口　隆司
法政大学　正会員　内田　大介
日本エンジニアリング㈱　正会員　政門　哲夫
日本エンジニアリング㈱　小宮　謙一

1．はじめに

首都高速道路において，鋼桁の伸縮装置部からの漏水や雨掛かりの影響により，桁の端部や桁下フランジに，腐食による断面欠損の損傷が生じており，断面性能を回復することを目的としたボルト接合による当て板補修が行われている．当て板での補修は腐食部を避けた範囲でボルト 2 列配置し，中心間隔や縁端距離は道路橋示方書に準拠している．しかし，上記の補修構造に対して定量的な補修効果の把握に至っておらず，技術者の判断に拠るところが多い．また，補修材取付けに際し，必要ボルト本数を同時に孔明すると部材の許容応力度を超過する恐れがあることから，1 孔明け 1 ボルト締付けを繰り返すことにより，施工が煩雑となっている．

そこで，本稿では FEM 解析を用いて，補修構造の定量的な効果と施工時のボルト孔の先行孔明の留意点について検討した．

2．解析モデル

首都高速道路の標準図集に記載されている鋼単純合成 I 桁をモデル化した．腐食を再現する周辺をソリッド要素，その他は梁要素とした．解析モデルを**図-1** に示す．また，腐食部は**写真-1** に示すような腐食損傷をイメージし，ウェブ，下フランジそれぞれ板厚に対して最大で 50%程度減肉させ，同心円状に 1 ㎜刻みで擦り付けた．腐食部のモデルを**図-2** 及び**図-3** に示す．なお，本検討では支間中央の損傷で検討を行った．

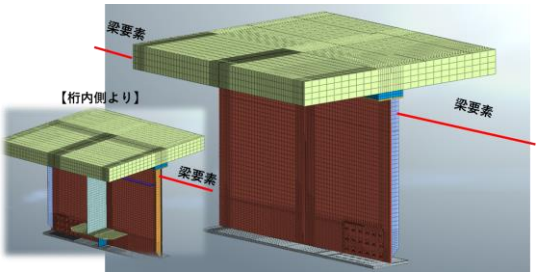

図-1 解析モデル図

写真-1 ウェブ-フランジ腐食損傷

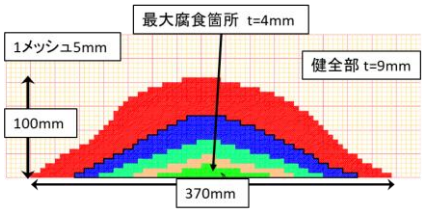

図-2 腐食部モデル（ウェブ側）

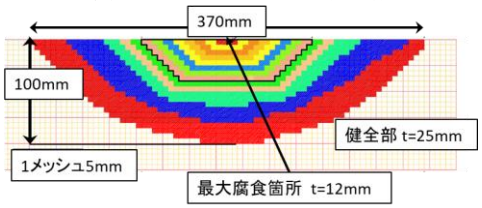

図-3 腐食部モデル（下フランジ側）

3．解析条件

解析は弾性解析で，ウェブと下フランジは SM570 材の仕様とした．死荷重は，有効幅を考慮した床版（舗装を含む），鋼重を考慮して，2.70kN/m を載荷した．また，活荷重は B 活荷重を 1 主桁分に換算して載荷した．境界条件は 1 主桁をモデル化するため支承部を変位固定で回転のみ自由とした．また，当て板に使用するボルトはソリッド要素でモデル化し，ワッシャー部を剛体連結にて軸力伝達させた．なお，添接部の摩擦係数は 0.4 とした．また，当て板の際に腐食部に充填する不陸整正材は弾性係数を 5.83kN/mm^2，ポアソン比を 0.3 とした．弾性係数は，別途実施した実験値とカタログ値を比較し，安全側の評価となるように値の低いカタログ値を採用した．

キーワード　腐食，縁端距離，ボルト本数，補修，当て板
連絡先　〒103-0015　東京都中央区日本橋箱崎町 43-5　首都高速道路（株）東京東局　TEL 03-5640-4865

© Japan Society of Civil Engineers

4．解析結果

1）健全と腐食モデル比較

応力度の評価点は**図-4** に示す，最大腐食部を含む断面とした．

健全と腐食モデルのミーゼス応力におけるコンター図を**図-5** に示す．ウェブ側の下端 W-1 を比較すると，腐食モデルでは 244N/mm^2 生じており，これは健全モデルと比較すると 120%程度となる．健全部と比較して腐食箇所に応力集中が生じているため，解析は妥当と考えられる．

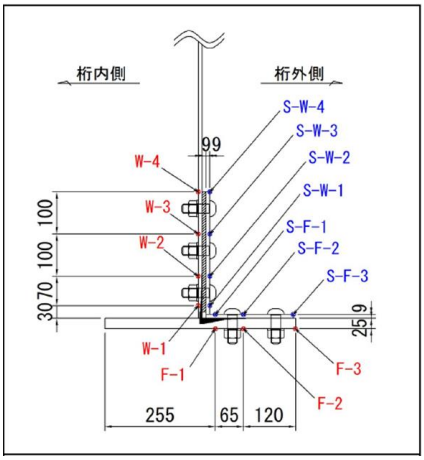

図-4 応力評価点 （単位：mm）

2）ボルト配列比較

腐食部の外側にボルト 1 列配置と 2 列配置の補修効果について比較した．それぞれのミーゼス応力におけるコンター図を**図-4** に示す．下フランジのウェブ側 F-1 を比較すると，ボルト 2 列配置は 219N/mm^2 で健全モデルと同程度となるが，ボルト 1 列配置では 237N/mm^2 となり，若干増加する傾向であった．この結果より，ボルトは腐食部の外側に 1 列配置ではなく 2 列配置が望ましい．

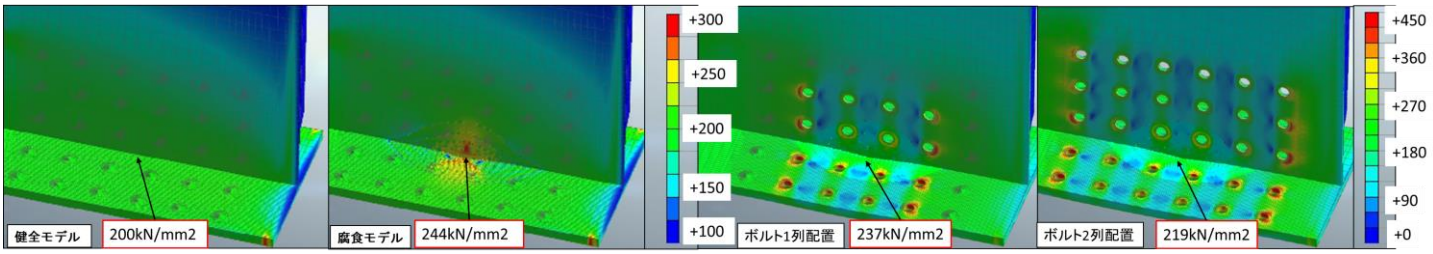

図-5 健全・腐食モデルボルト 1 列配置 2 列配置モデルコンター図（ミーゼス応力 ）

3）施工時のボルト孔明け検討

腐食モデルを用いて，施工時にどの程度孔明けが可能かどうか検討した．応力度の評価位置とボルト孔明け位置は**図-6** に示す最大腐食部を含む断面とした．**表-1** にボルト孔明けのケース，**表-2** に各ケースのミーゼス応力値を示す．ケース 1，4 より，下フランジにボルト 2 列孔明けすると許容応力度（255N/mm^2）を超えることが分かった．また，ケース 3 より，ウェブを全て孔明けし，下フランジ 1 列孔明けしても問題ないことが分かった．

そのため，支間中央では，下フランジ側 1 列の先行孔明が効率的である．

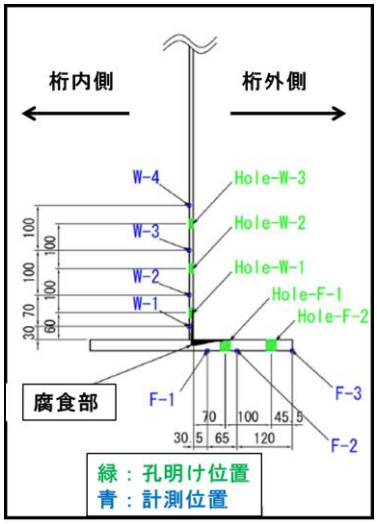

図-6 ボルト孔明け位置・応力評価位置図

表-1 ボルト孔明けケースまとめ

母材孔明け箇所（●印は孔明け箇所を示す）					
ケース		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
ウェブ側	Hole-W-3		●	●	●
	Hole-W-2		●	●	●
	Hole-W-1		●	●	●
下フランジ側	Hole-F-1	●		●	●
	Hole-F-2	●			●

表-2 各ケースでの応力値（ミーゼス応力）

応力値（N/mm^2）					
ケース		ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
ウェブ側	W-4	169.1	174.6	176.2	178.0
	W-3	183.2	195.5	197.8	200.1
	W-2	207.9	221.5	225.1	228.5
	W-1	253.7	245.6	250.5	**255.4**
下フランジ側	F-1	**257.5**	239.0	254.5	**261.6**
	F-2	201.9	206.3	191.5	204.4
	F-3	236.7	192.5	201.4	239.2

5．まとめ

鋼 I 桁支間中央部に生じた腐食損傷の補修について，FEM 解析を用いて検証し，補修構造の定量的な効果と施工時のボルト孔明について，以下の結果を得た．

① 下フランジウェブ側の応力低減効果より，腐食部の外側にボルトを 1 列配置するより 2 列配置することが望ましい．

② 施工時に必要ボルト本数を下フランジに全て同時孔明することは許容応力度を超過するため望ましくない．

鋼 I 桁端部についても解析を進めており，本解析結果と合わせて，最適な補修方法を提案する．

© Japan Society of Civil Engineers