

腐食損傷を有する鋼床版デッキプレートの応力集中に関する解析的検討

(株)東京鐵骨橋梁 正会員 ○細見 直史 九州大学 正会員 貝沼 重信
九州大学 学生会員 加藤 祐介

1. はじめに 鋼床版のデッキプレート（以下、デッキと呼ぶ）の上面に路面からの雨水が漏水・滞水することによる腐食損傷が報告されている。この腐食損傷を長期間放置すると、デッキに腐食孔を起点とした高い応力集中が生じることによる疲労損傷の発生が懸念される。そこで、本研究では既往の研究¹⁾に基づき腐食表面を空間統計数値シミュレートすることで腐食表面を生成した。また、その表面を導入した鋼床版モデルの有限要素応力解析を実施することで、腐食損傷を有するデッキの応力集中を解析的に検討した。

2. 空間統計数値シミュレーション¹⁾ 腐食表面性状の数値シミュレーションは、デッキ上面の腐食環境と比較的類似していると考えられる37年間供用された鋼製壁高欄の基部から切り出した試験体から抽出した腐食表面性状の空間統計量（平均腐食深さ、レンジおよびシル）を用いて行なった²⁾。試験体の腐食表面性状は、全面腐食と局部腐食が混在していた。そのため、試験体の腐食表面性状を回帰樹分析により、同様の腐食特性と見なせる腐食領域に分類した。次に、各々の確率場のバリオグラム分析を行うことで、腐食表面性状の各統計量（平均腐食深さ、レンジおよびシル）を求めた。その後、それらの統計量と平均腐食深さとの相関を検討することで定式化した。最後に、この統計量に基づいて、空間的自己相関構造を有する正規乱数を発生させ、平均腐食深さを考慮することで、平均腐食深さが1、3および6mmに相当する腐食表面を生成した。数値シミュレーションによる腐食表面性状、および最大腐食深さ d_{max} を含む断面の腐食深さ分布を図-1に示す。3体の試験体の最大腐食深さ d_{max} は1.76、4.12および7.53mmであり、それぞれ平均腐食深さ d_{mean} の1.76、1.37および1.26倍であった。

3. 有限要素応力解析 解析モデルは鋼床版1パネルとした。鋼床版の緒元には標準的な寸法を用い、Uリブ本数は5本とした。また、80mmのアスファルト舗装をモデル化し、その物性値については、夏季を想定して弾性係数およびポアソン比をそれぞれ500N/mm²および0.35と仮定した³⁾。解析モデルの要素分割例を図-2(a)に示す。腐食前のデッキ厚は12mm、腐食後については前述した平均腐食深さ分だけデッキ走行面から板厚を低減させた。本研究では車両走行時にデッキとUリブの溶接部近傍において発生するデッキの局部曲げによる応力集中について検討することとした。そこで、着目する溶接線のスパン中央部におけるデッキ上面に腐食部材の表面性状を導入した。腐食部の要素分割例を図-2(b)に示す。解析モデルには8節点ソリッド要素を用い、節点数および要素数は、それぞれ99万および86万とした。着目する腐食部分の最小要素寸法は0.4×0.4×0.4mmとした。荷重条件は道路橋示方書T荷重におけるダブルタイヤ後輪軸重を参考にして100kNとし、その載荷面積は既往の研究⁴⁾からタイヤの接地面積とした。載荷位置は着目部に最もデッキに局部曲げが発生する位置とするため、ダブルタイヤ載荷は着目する溶接線を跨ぐ位置とした。境界条件としては、解析モデルの橋直方向端部を全自由度拘束とし、橋軸方向端部のデッキ、Uリブおよびアスファルトの断面について橋軸方向に拘束した。

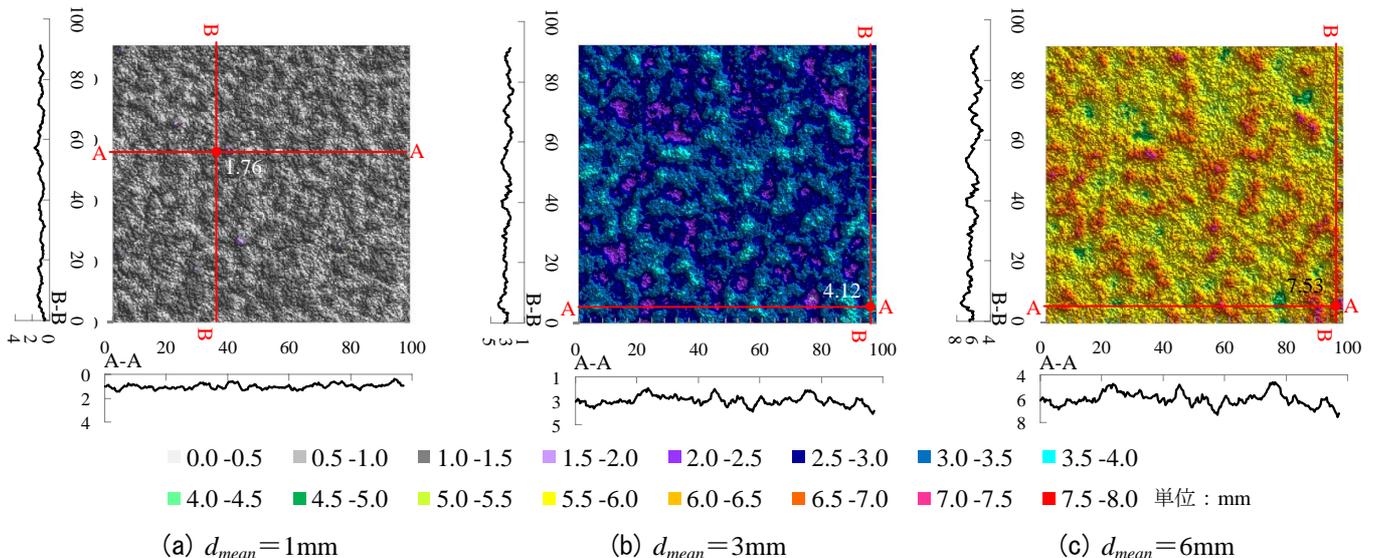


図-1 空間統計数値シミュレーションにより生成した腐食表面の例

キーワード 腐食, 鋼床版, 応力集中, デッキプレート, 空間統計分析, 有限要素応力解析
連絡先 〒302-0038 茨城県取手市下高井 1020 (株)東京鐵骨橋梁 技術本部 TEL 0297-78-1113

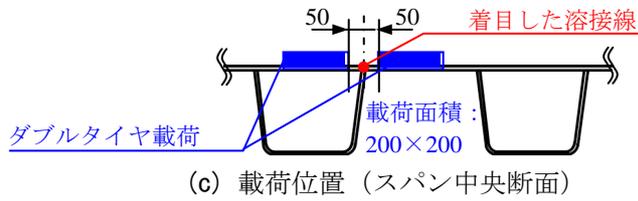
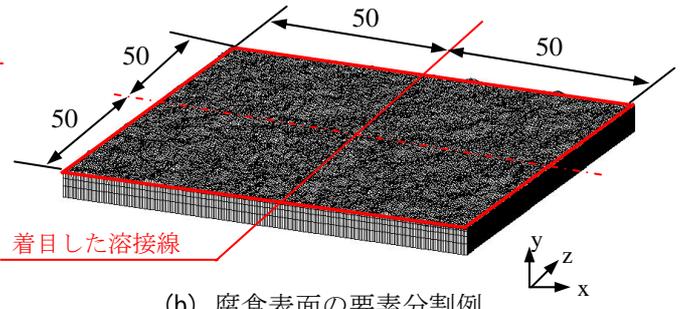
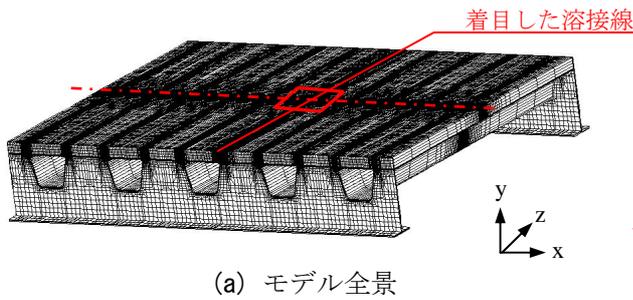


図-2 解析モデル (単位: mm)

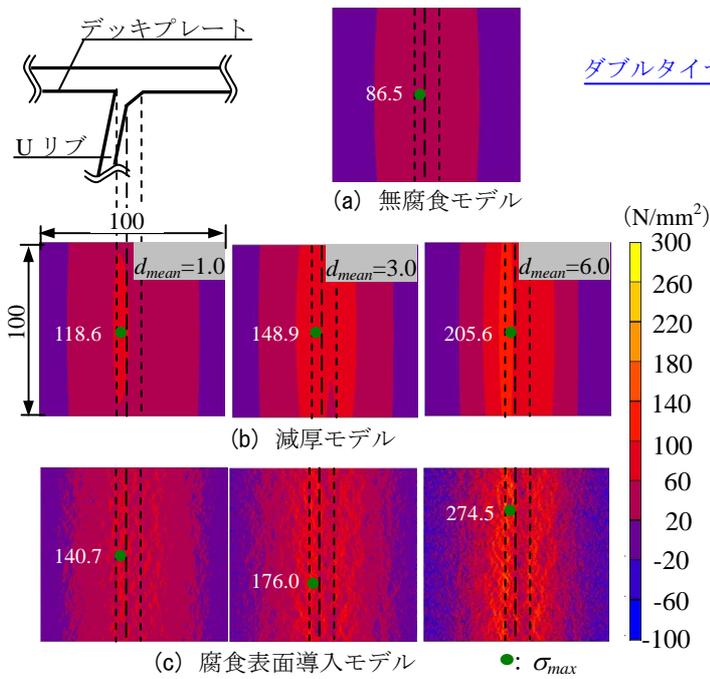


図-3 ダブルタイヤ荷重時のデッキプレート表面の主応力分布

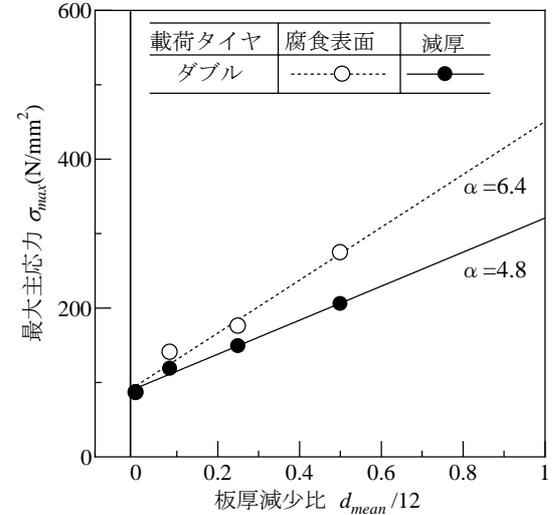


図-4 板厚減少比と最大主応力

デッキ上面に導入した腐食表面 (平均腐食深さ 1.0, 3.0 および 6.0mm) に発生する主応力分布と最大主応力の発生位置を図-3 に示す。Uリブ, およびデッキ側の溶接止端部に位置するデッキ上面において, 高い応力集中が発生している。この傾向は, 無腐食, 減厚および腐食表面導入モデルにおいて同様であった。無腐食のデッキ上面における最大主応力は, デッキ厚を平均腐食深さ 1.0, 3.0 および 6.0mm 分だけ減厚することで, それぞれ約 1.37, 1.72 および 2.38 倍増加した。この減厚モデルの発生応力に対して, 腐食表面導入モデルの最大主応力は, 腐食表面の凹凸の影響により, それぞれ約 1.19, 1.18 および 1.34 倍増加した。無腐食時のデッキ厚 12mm に対する平均腐食深さ d_{mean} の比 (以下, 板厚減少比と呼ぶ) と最大主応力 σ_{max} の関係を図-4 に示す。図中の実線および破線は, 回帰直線を示している。デッキ上面の最大主応力は, 減厚モデルおよび腐食表面導入モデルに関わらず, 線形増加の傾向にある。それらの回帰直線の傾きは, 4.8 および 6.4 となっている。腐食によるデッキの板厚減少, および腐食孔による応力集中により, 無腐食の場合に比べて, 板厚減少比が 0.3 の場合の最大主応力 σ_{max} は約 2 倍増加する。また, 板厚減少比が 0.5 の場合については, 最大主応力 σ_{max} は約 3 倍に増加する。ここで, 既往の研究⁵⁾では, 腐食表面の凹凸を考慮した最大応力範囲で S-N 線図を整理できることが示されている。したがって, 腐食により板厚が 30% あるいは 50% 程度減少した場合, 腐食前のデッキプレートに対して, 疲労寿命がそれぞれ腐食前の 1/8 および 1/27 になると考えられる。

4. まとめ 1) 腐食損傷を有するデッキプレートの最大主応力と腐食前に対する腐食後のデッキプレート厚の比には線形関係がある。2) 腐食損傷によりデッキプレート厚が 30% 程度減少した場合, その最大主応力は腐食前の約 2 倍になる。

参考文献 1) 貝沼重信, 細見直史: 鋼構造部材のコンクリート境界部における経時的腐食表面性状の数値シミュレーション, 土木学会論文集 A, Vol.6, No.2, pp.440-453, 2006. 2) 加藤祐介, 貝沼重信, 向川優貴: 腐食環境が鋼部材の腐食表面性状に及ぼす影響に関する基礎的研究, 鋼構造年次論文報告集, 第 18 巻, pp.603-608, 2010. 3) (社) 土木学会: 鋼構造シリーズ 19 鋼床版の疲労 2010 改訂版, 丸善, 2010. 4) 貝沼重信, 山田健太郎, 上仙靖, 岩崎雅紀, 西山武宏: 縦リブの疲労き裂が鋼床版に及ぼす影響の実測と解析, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.927-936, 1996. 5) 例えば, 細見直史, 貝沼重信: コンクリート境界部で腐食した鋼構造部材の疲労挙動に関する基礎的研究, 土木学会論文集 A, Vol. 64, No. 2, pp.333-349, 2008.