

京都大学工学部 学生員 ○坂野 亮太 京都大学大学院工学研究科 正会員 石川 敏之
 京都大学大学院工学研究科 正会員 服部 篤史 京都大学大学院工学研究科 正会員 河野 広隆
 阪神高速道路 (株) 正会員 青木 康素

1. はじめに

近年、鋼床版のデッキプレート上面において、図 1 のような腐食の発生が報告されている。このような腐食があると、デッキプレートの断面減少や孔食による応力集中によりデッキプレートに生じる応力が大きくなり、疲労き裂が発生しやすくなる可能性がある。デッキプレートの腐食は舗装取替工事の際に発見されるため、当て板接着補修のような数時間で施工できる補修方法であれば、新たな道路規制をすることなくその場で補修できる可能性がある。本研究では、デッキプレートの当て板接着補修の基礎的研究として、断面欠損を有する鋼板に当て板鋼板を接着し、曲げ試験と FEM 解析を行い、曲げを受ける当て板接着鋼板に生じる応力を明らかにする。



図 1 デッキプレートの腐食例

2. 実験および解析概要

本実験では $50 \times 12 \times 600 \text{mm}$ の鋼板を使用した。試験体の中心に腐食を模擬した断面欠損部を設け、断面欠損部の厚さを 8mm (欠損深さ 4mm)、長さを 5mm とした。この鋼板の中心に $50 \times 4.5 \times 300 \text{mm}$ の鋼板を貼り付けた。実験で使用する母材鋼板は、降伏強度 $409 [\text{N}/\text{mm}^2]$ 、引張強さ $548 [\text{N}/\text{mm}^2]$ の SM490Y、当て板鋼板は、降伏強度 $340 [\text{N}/\text{mm}^2]$ 、引張強さ $466 [\text{N}/\text{mm}^2]$ の SS400 である。接着剤の引張せん断強度は $27.6 [\text{MPa}]$ 、圧縮弾性係数は $2000 [\text{MPa}]$ である。実験装置の概略図を試験結果および解析結果と合わせて図 2 に示している。図 2 のように、当て板が曲げの引張を受けるように設置し、当て板がはく離あるいは鋼板が降伏するまで荷重を载荷した。解析も同様のモデルとし、2 次元弾性線形解析を行った。鋼板および接着剤には、4 節点の平面応力要素を用いた。

3. 鋼板に生じる応力

本実験では、母材が降伏するまで当て板のはく離は起こらなかった。図 2 に実験および FEM 解析から得られた試験体の母材下面の応力分布を示す。図には、構造力学から計算される理論値も示されている。解析値は、载荷点からの距離 $x=400 \text{mm}$ の位置の母材下面に生じる応力 σ_{L400} の理論値で除して無次元化した値を示している。実験結果も荷重 0.3kN 载荷した際の応力を σ_{L400} で除して無次元化した値を示している。

図 2 から分かるように、実験値と解析値はほぼ一致している。しかし、当て板接着端部および断面欠損部において理論値まで応力が低下していない。母材の断面力が接着剤を介して当て板に伝達される際に接着剤層において断面力が十分に伝達されない現象が生じる。そのため、当て板接着端部では当て板が母材の断面力を十分に分担していないと考えられる。

4. 断面欠損部に生じる応力の推定

図 3 に当て板厚さ t_p を変化させた際の断面欠損部母材下面に生じる応力と当て板厚さの関係を示

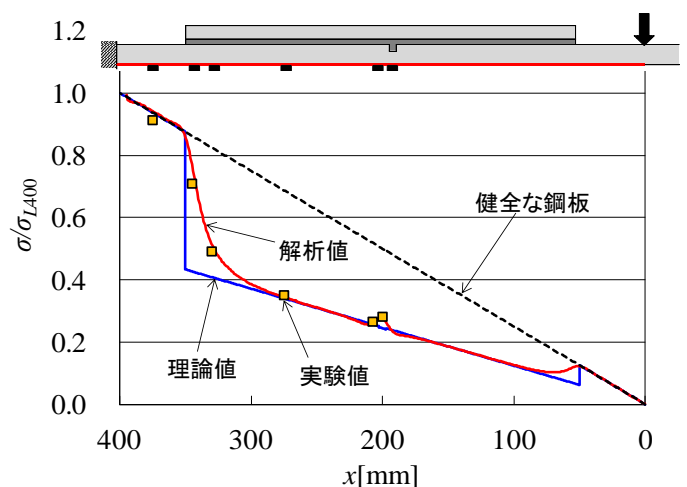


図 2 鋼板下面の応力分布

す。構造力学により与えられる理論値も σ_{b0} として示している。図から分かるように、当て板厚さが薄い場合、解析値は理論値まで低下していない。しかし、当て板が厚くなると断面欠損部に生じる応力は小さくなり、理論値に近づいている。

当て板が接着された鋼板では、当て板と母材の断面力の伝達は接着剤を介して行われるため、急激な断面変化が生じた位置では断面力の分配が完全に行われないと考えられる。そこで本研究では断面欠損部に作用する軸力が、構造力学で算出される健全部に生じる軸力と断面欠損部に生じる軸力の間の値になると仮定する。分担断面力の観点から、断面欠損部の当て板および母材に生じる軸力 $N_{p\alpha}$ 、 $N_{b\alpha}$ をそれぞれ次式で与える。

$$N_{p\alpha} = \alpha N_{h1} + (1 - \alpha) N_{d1} = -N_{b\alpha} \quad (1) \quad N_{h1} = -A_p a_{h1} M / I_{hv} \quad (2) \quad N_{d1} = -A_p a_{d1} M / I_{dv} \quad (3)$$

M ：作用曲げモーメント A_p ：当て板の断面積

I_{hv} 、 I_{dv} ：それぞれ健全部および断面欠損部の合成断面の断面二次モーメント

当て板と断面欠損部の母材の曲率が一定であるという条件から、断面欠損部の当て板および母材に作用する曲げモーメント M_{d1} 、 M_{d2} はそれぞれ次式で与えられる。

$$M_{d1} = \{M + N_{p\alpha}(a_{d1} + a_{d2})\} I_p / (I_p + I_{d2}) \quad (4) \quad M_{d2} = \{M + N_{p\alpha}(a_{d1} + a_{d2})\} I_{d2} / (I_p + I_{d2}) \quad (5)$$

I_p 、 I_{d2} ：それぞれ当て板および断面欠損部の母材の断面二次モーメント

断面欠損部の当て板および母材に生じる応力 $\sigma_{p\alpha}$ 、 $\sigma_{b\alpha}$ はそれぞれ次式で与えられる。

$$\sigma_{p\alpha} = N_{p\alpha} / A_p + M_{d1} y_{d1} / I_p \quad (6) \quad \sigma_{b\alpha} = N_{b\alpha} / A_{d2} + M_{d2} y_{d2} / I_{d2} \quad (7)$$

y_{d1} 、 y_{d2} ：それぞれ断面欠損部の当て板および母材中央から板厚方向の距離

A_{d2} ：断面欠損部の母材の断面積

この式では、 $\alpha=0$ の場合当て板と断面欠損した鋼板間で完全合成になるように軸力が分配された状態 σ_{b0} になり、 $\alpha=1$ の場合、軸力の分配が健全部と同じ状態 σ_{b1} になる。つまり、図3からFEM解析結果は α が0~1の間の値になっている。本解析の断面欠損深さ4mm、欠損長さ5mmの解析結果から、 α を推定すると $\alpha=0.4$ になる。式(1)に $\alpha=0.4$ を代入し、式(7)より与えられる母材下面の断面欠損部に生じる応力 $\sigma_{b0.4}$ を図3に示す。この図から分かるように、 $\sigma_{b0.4}$ は解析値とほぼ一致している。断面欠損が長くなった場合、母材下面の断面欠損部に生じる応力が理論値と近づくので $\alpha=0.4$ として当て板厚さが安全側に設計できる。また、断面欠損深さが変化した場合、断面欠損部に生じる応力を上記の様に軸力の分配を変えることによって推定できる。

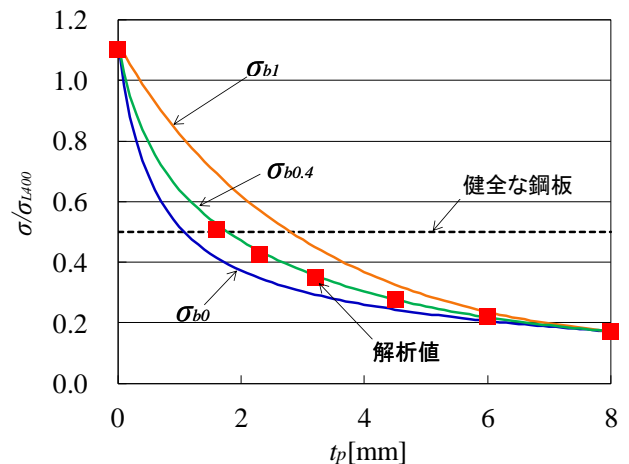


図3 断面欠損部の応力と当て板厚さの関係

5. まとめ

断面欠損を有する当て板接着鋼板の曲げ試験とFEM解析を行い、鋼板に生じる応力を明らかにした。さらに、断面欠損部に生じる応力の推定式を与えた。

謝辞：本研究を実施するにあたり、コニシ(株)堀井久一氏に試験体の製作にご協力頂いた。ここに記して謝意を示します。

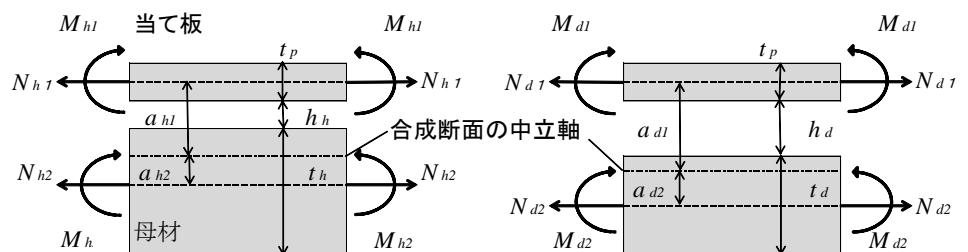


図4 当て板と母材の水平力のつり合い