

既設 U リブ鋼床版の下面対策におけるデッキプレートへの追加溶接の熱影響に関する検討

(株) 高速道路総合技術研究所 (名古屋大学) 正会員 ○服部雅史
名古屋大学 フェロー 館石和雄, 正会員 判治剛, 正会員 清水優

1. はじめに

鋼床版の U リブとデッキプレート(以下, デッキ)の溶接部において, 溶接ルートを起点としてデッキや溶接ビードへ進展する疲労き裂が報告されている. これらの疲労損傷の対策として, 補強材の設置や, 舗装材料の変更が一般に行われるが, 多くの場合で交通規制が必要であり, 死荷重が増大する. そこで, 筆者らは交通規制が不要で, 死荷重が増加しない対策として, U リブを開断面化して内側に溶接を追加する

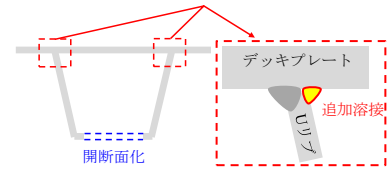


図1 考案した対策方法

図1の方法を考案した¹⁾. 本工法は既設鋼床版に溶接を追加することから, アスファルト舗装への熱影響や, 溶接残留応力による疲労への影響が懸念される. 本稿では, 溶接実験および温度—変位連成解析により懸念事項に対する確認を実施したので報告する.

2. 溶接実験の概要

グースアスファルトを 40mm 厚で舗装した鋼床版部分モデルの試験体(図2)を製作し, 図に青破線で示した溶接線に追加溶接を行った. 追加溶接は CO₂ ガスシールド溶接により, 電圧 210V, 電流 31A, 速度 440mm/min の条件で行った. また, 止端形状改善のため TIG 処理を電圧 150V, 電流 11A, 速度 80mm/min の条件でデッキ側の既設ビードと追加ビードの両方の止端に行った. どちらの溶接も試験体の橋軸方向中央付近は自動溶接, それ以外は手溶接とした. 計測項目は舗装下面温度である. 温度はデッキ上に貼付けた熱電対で計測した. 舗装への熱影響は舗装とデッキの残存付着力を計測すること確認した. 残存付着力は, 図に○で示した位置にφ50のコアを舗装上面からデッキまで削孔し, 建研式引張試験を行うことで確認した. 付着試験は上記の自動溶接, 手溶接の箇所に加え, デッキ上面を 330℃まで加熱した箇所と, 比較のため追加溶接していない溶接線の計4ケースを3箇所ずつ実施した. 本試験は試験体が 5℃の条件で実施し, 計測値は最高で 280℃だった. 夏場はデッキ下面が 50℃程度になるため, 夏場施工を想定して 330℃まで加熱した箇所を作った. 試験箇所は引張試験に対する構造の影響を排除するため, すべて溶接線直上とした.

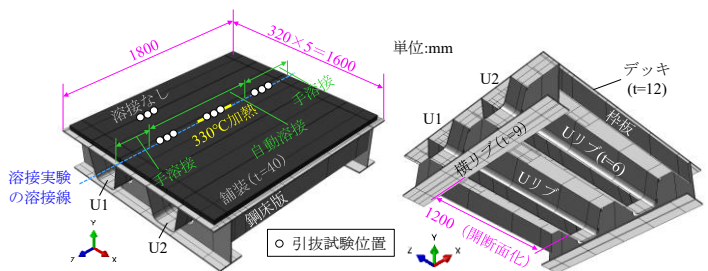
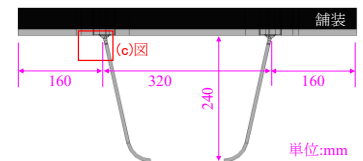
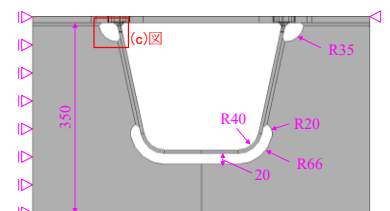


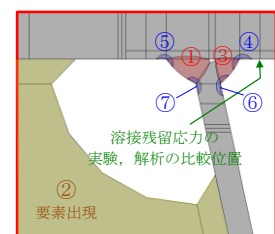
図2 溶接実験の鋼床版部分モデルの試験体



(a) 一般部の温度解析モデル (4節検討用)



(b) 横リブ交差部の温度—変位連成解析モデル (5節検討用)



(c) 入熱, ステップ順説明図

図3 温度—変位連成解析モデル

3. 温度—変位連成解析の概要

解析は Abaqus 2021 を用いて行った. 解析は溶接実験の試験体を対象に図3に示すモデルで実施した. 図3(a)が4節検討用, 図3(b)が5節検討用のモデルである. モデルは解析時間短縮のため, 3次元でなく2次元平面ひずみモデルとした. 鋼材の材料特性のうち温度依存性は文献2)の図3と同じとした. 鋼材の応力—ひずみ関係はバイリニア, 降伏後の2次勾配は 1/100 とした. 舗装の材料特性のうち温度依存性は文献3)の表2の標準値と同じとした. 解析は図3(c)の, ①Uリブ・デッキの溶接(以下, 元溶接), ②横リブの要素出現, ③Uリブ・デッキの付加溶接, ④付加溶接デッキ側止端

の TIG 処理, ⑤元溶接デッキ側止端の TIG 処理, ⑥付加溶接 Uリブ側止端の TIG 処理, ⑦元溶接 Uリブ側止端の TIG 処理, のステップ順で実施した. 各ステップ間では冷却時間を 3 時間とっている. ①, ②は鋼床版製作時の, ③~⑦は本工

キーワード 鋼床版, 疲労き裂, 維持管理, 下面からの対策, 熱影響

連絡先 〒194-8508 東京都町田市忠生 1-4-1 TEL042-791-1943

法の施工手順を想定している。溶接入熱は図3(c)の各番号ハッチングの範囲に物体熱流束として与えた。入熱範囲は溶接の断面マクロ写真から熱影響部と考えられる範囲としている。物体熱流束は試験体製作時の溶接電流、電圧、速度より入熱量を計算し、入熱効率は実験の計測温度と整合するよう65%とした。熱源は二重半楕円ガウス熱源モデル⁴⁾を想定し、時間に応じて物体熱流束を変化させることで2次元に対し移動熱源を表現している。熱源モデルの分布形状を決定する各種パラメータは文献²⁾と同様に入熱量に比例すると仮定した。なお、②においての溶接による入熱は解析上無視している。

解析の妥当性を確認するため、実験結果と比較した。温度解析の一例として、図3(a)の③の際の舗装下面の温度と時間の関係を図4に示すが、両者は概ね一致している。TIG処理の場合(④、⑤)も同様にピーク温度や冷却時の温度と時間の関係は概ね一致していた。また、本報では記載を省略するが、本工法を施した試験体の定点疲労試験を実施しており、横リブ交差部の④、⑦でTIG処理した面からき裂が発生し、デッキのき裂は一部貫通に至った。き裂近傍のひずみゲージの残留ひずみが溶接残留応力に相当するとし、その値(デッキに進展したき裂は計3箇所発生し、それぞれ213.8, 192.9, 252.8N/mm²)と温度一変位連成解析結果(248.2N/mm²)を比較したところ差は22.3%以内であった。以上より、本解析は概ね妥当な結果を与えると思判断した。

4. アスファルト舗装への熱影響

付着試験の結果を表1に示す。追加溶接していない溶接線はデッキ付近で凝集破壊した。追加溶接したものはそれよりも残存付着力が3~4割高く、舗装表面付近で材料破壊した。解析において、舗装の温度が最も高くなった⑤の際の温度コンター図を図5に示す。図はグースアスファルトの舗装温度である240℃以上となる範囲を赤で示しているが、その範囲はデッキ上面から舗装内に1mm程度しかおよばないことがわかる。また、舗装の最高温度が240℃以上となった時間も7.267秒と短い。このことから、アスファルト舗装は熱劣化することなく、むしろバインダが再溶融してデッキとの付着面積が増大することにより、残存付着力が増加したと思われる。

5. 溶接残留応力による疲労への影響

本工法適用前後(適用前:②の後、適用前:③の冷却後、適用後:⑦の冷却後)の溶接残留応力(絶対値最大の主応力)のコンター図を図6に示す。図6(b)より、追加溶接でデッキ側止端部に高い引張残留応力が生じるため、無対策ではき裂発生が懸念される。

図6(c)より、き裂の発生した④、⑦でTIG処理した面の残留応力が引張であることがわかる。一方で、⑥でTIG処理した面は圧縮となった。また、本報では記載を省略するが、TIG処理の順序を入れ替えると、処理面の残留応力の符号が変化することも解析により確認した。よって、適切に処理手順を設定することで引張残留応力の制御がある程度可能と思われる。

6. まとめと今後の予定

- 1) 本稿の条件で追加溶接を実施すればアスファルト舗装への熱影響がないことを確認した。
- 2) 本稿の温度一変位連成解析で追加溶接による溶接残留応力を推定できる可能性を示した。

今後はこの解析モデルを用いて、本工法のTIG処理手順や、必要に応じてピーニング箇所の選定など引張残留応力を制御する方法を検討し、本工法が耐用年数100年以上となるように設計する予定である。

謝辞 本検討は中日本高速道路株式会社の「鋼床版疲労き裂の対策検討業務」に対する株式会社高速道路総合技術研究所の技術支援として実施したものである。関係各位に感謝の意を表す。

参考文献 1) 服部ら:既設鋼床版のUリブ・デッキプレート溶接部の疲労損傷に対する下面からの対策検討, 土木学会年次学術講演会, I-279, 2021. /2) 岡野ら:移動熱源の影響に着目した入熱パラメータと角変形の関係に関する一考察, 溶接学会論文集, 28(3), 2010. /3) 上田ら:鋼床版舗装の温度測定, 開発土木研究所月報, 572, 2001. /4) J. Goldak et al.: Computer Modeling of Heat Flow in Welds, Metallurgical Transactions B, 17B, 1986.

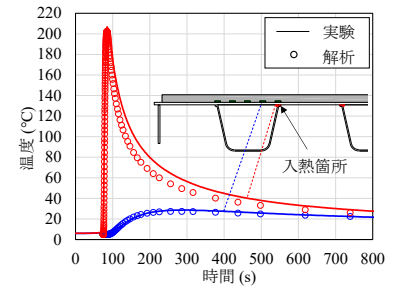


図4 温度と時間の関係

表1 付着試験結果

	平均 (N/mm ²)	標準偏差 (N/mm ²)	破壊形態
自動溶接	3.13	0.08	舗装表面付近:材料
手溶接	3.17	0.21	舗装表面付近:材料
330℃加熱	2.79	0.02	舗装表面付近:材料
溶接なし	2.21	0.03	デッキ付近:凝集

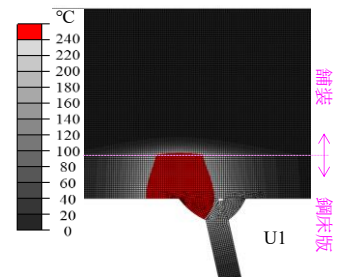


図5 温度コンター図

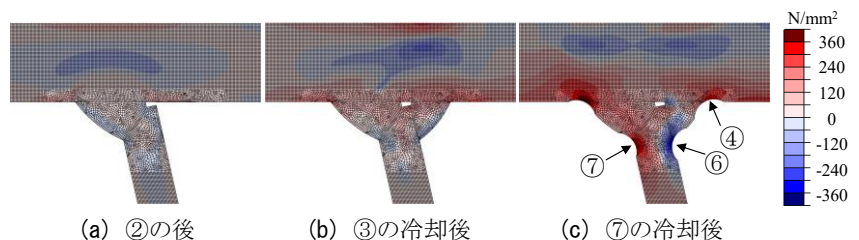


図6 溶接残留応力のコンター図