

鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接ルート部の疲労き裂に対する試験システムの構築

九州大学 学生会員 ○尾上 聡史

九州大学 正会員 貝沼 重信

九州大学 学生会員 三浦 健一

(財)土木研究センター 正会員 井口 進

1.はじめに 近年、鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接ルート部の先端から疲労き裂が発生し、デッキプレートを貫通する疲労損傷が報告されている。このルート部から発生するき裂（以下、ルートき裂と呼ぶ）がデッキプレートを貫通すると路面が陥没するため、車両事故の原因となる。また、デッキプレートのき裂貫通部から雨水がUリブ内に浸入・滞留することで、Uリブの腐食損傷の原因ともなる。そこで、本研究ではルートき裂の発生・進展をシミュレートするための試験システムを構築することとした。そのために、交通車両の輪荷重のアスファルト舗装による荷重分散と実働応力波形に着目し、鋼床版のモデル試験体を用いた静的荷重試験、疲労試験およびFEM応力解析を行った。

2.試験体 鋼床版のモデル試験体は、図-1に示すようにデッキプレートとUリブ2本で構成することとした。試験体は3種類、計5体製作し、そのデッキプレート厚を12 mm、Uリブ厚を6 mmあるいは8 mm、Uリブ厚に対する溶込み深さを0 %あるいは50 %とした。デッキプレートとUリブの溶接は、水平下向きで半自動CO₂溶接あるいは手溶接により行った。以下では、試験体をそれぞれD12U6SP0、D12U8SP50、D12U8MP50(D:デッキプレート厚(mm)、U:Uリブ厚(mm)、S:半自動CO₂溶接、M:手溶接、P:Uリブ厚に対する溶込み深さ(%))と呼ぶ。

3.試験システムの構築 載荷板のサイズは大型車両の後輪ダブルタイヤを用いた静的荷重試験（載荷荷重：60 kN）の結果に基づき、図-2(a)に示す寸法とした。また、実橋における輪荷重は、アスファルト舗装により分散されデッキプレートに伝達される。そこで、載荷ゴム(G12、公称せん断弾性係数：1.2 N/mm²)の厚さが図-3中のデッキプレートとUリブの溶接位置（止端から5 mm）の発生応力に及ぼす影響を検討した。この検討の目的は、載荷板の端部にデッキプレートのたわみにより荷重が集中することなく、十分な荷重分散が得られるゴム厚を決定することである。そのために、載荷ゴムとデッキプレート上面の間に感圧紙(発色感度：0.2～0.6 N/mm²)を挿入することで静的荷重試験を行った。ゴム厚は5、20、40、80、120 mmの計5種類とした。載荷荷重60 kNとした場合の面圧分布の測定結果を図-2(b)～(d)に示す。ゴム厚が5 mmの場合、載荷板の端部に荷重が集中している。また、ゴム厚が20 mmの場合、5 mmと同様に載荷板の端部の面圧が大きく、中央に近づくにしたがって減少している。一方、ゴム厚が80 mmでは載荷板の中央の面圧が大きく、端部に近づくにしたがって減少している。載荷点直下における溶接部近傍の応力を図-3に示す。図中のプロットは載荷荷重60 kNとしたときの静的荷重試験とFEM応力解析の結果を示している。圧縮応力はゴム厚が40 mmの場合に最も小さくなっており、その値は110 N/mm²である。また、ゴム厚が5 mmから40 mmに増加するにしたがって減少しており、40 mmから120 mmの領域では逆に増加している。これはゴム厚が40 mm以下では載荷板の外周部に荷重が集中し、40 mm以上では荷重は載荷板の端部に集中すること無く分散しているためと考えられる。そこで、本研究では載荷荷重が十分に分散されデッキプレートに伝達されるゴム厚として80 mmを採用することとした。

4 橋の鋼床版橋における動的荷重試験の実働応力波形より、デッキプレートとUリブ交差部におけるデッキプレート側の溶接止端部付近では、交通車両の輪荷重の移動により引張応力と圧縮応力が交番して発生することが確認されている。本研究では、この交番応力による溶接ルート部の開閉口がルートき裂の発生要因の一つであると考えた。そこで、この交番応力を試験システムに導入することとした。本試験システムを図-4に示す。本システムでは、

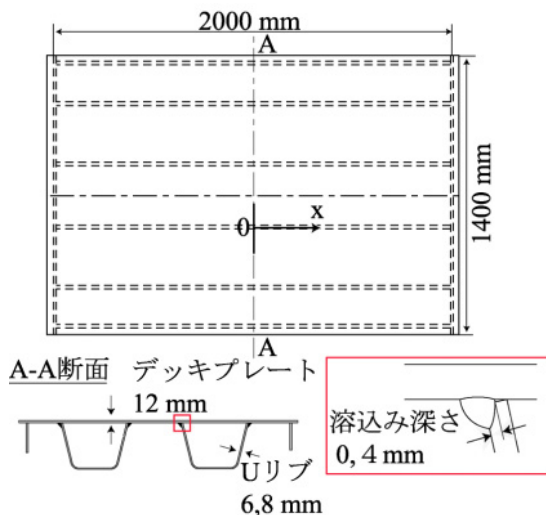


図-1 試験体の形状および寸法

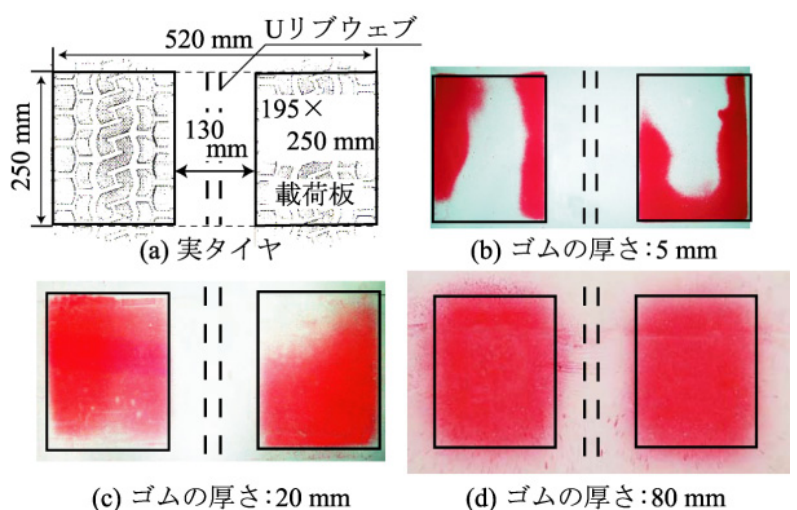


図-2 面圧分布の測定結果(載荷荷重：60 kN)

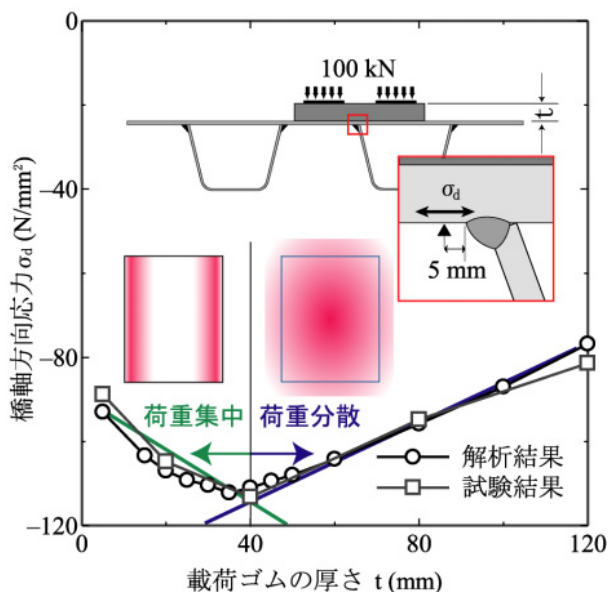


図-3 静的荷重試験結果とFEM応力解析結果

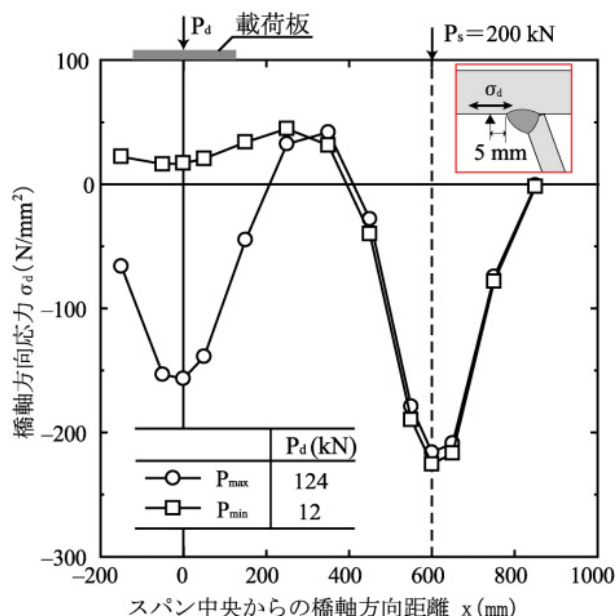


図-5 疲労試験時の応力

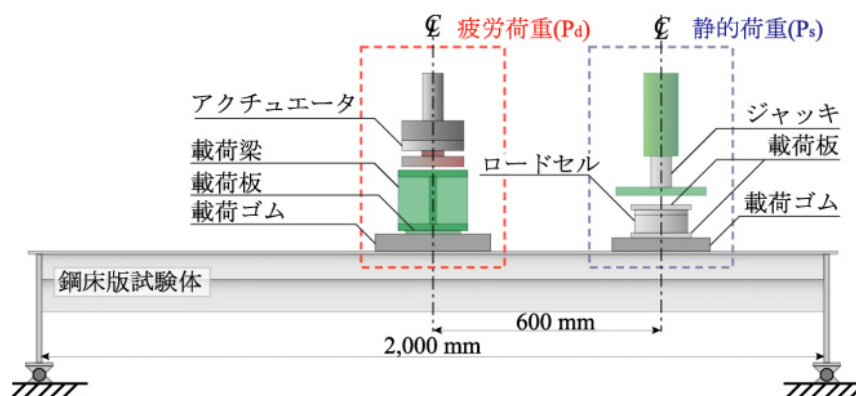
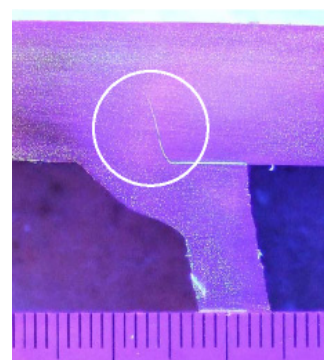


図-4 試験システムの概略図

図-6 疲労き裂の発生・進展の状況
(x=150 mm)

疲労荷重の直下近傍におけるデッキプレートとUリブの溶接ルート部を開口させるために、試験体のスパン中央から橋軸方向に600 mm離れた位置のUリブウェブ直上に静的荷重を作用させ引張応力を導入した。静的荷重に加え、疲労荷重を作用させることにより、実働応力波形の正負交番応力をシミュレートした。本試験に用いた図-3中の溶接止端位置における最大応力に対する最小応力の比は、実測された実働応力波形に基づき0.13とした。また、応力範囲は断面交通量100,000台/日(3車線)の重交通下における実橋の応力頻度の測定結果に基づき180 N/mm²とした。

4. 試験システムの検証 疲労試験時に発生する着目部の最大応力および最小応力の橋軸方向の応力分布を図-5に示す。スパン中央では引張応力20 N/mm²が発生している。一方、スパン中央から200 mmの位置では引張応力が40 N/mm²発生している。そのため、スパン中央に比べスパン中央から200 mmの位置では、疲労き裂が発生しやすいと考えられる。300万回繰返し荷重したD12U6SP0における疲労き裂の発生・進展状況を図-6に示す。この図は、橋軸方向スパン中央から150 mmの位置における断面を示している。疲労き裂はデッキプレートとUリブの溶接ルート部の先端から発生し、デッキプレートの表面方向へ進展しており、実橋で発見されたルートき裂と良く一致している。また、Uリブ厚を6 mmから8 mm、溶込み深さを0%から50%に変化させたD12U8SP50についてもルートき裂が発生した。一方、静的荷重を載荷せずに、疲労荷重のみで疲労試験を行ったD12U8SP50では、ルートき裂は発生しなかった。したがって、引張応力による溶接未溶着部の開口がルートき裂の発生要因の一つであると考えられる。以上から、本試験システムを用いることで、ルートき裂をシミュレートできると言える。

5. まとめ 本研究では、ルートき裂の発生・進展をシミュレートするために、アスファルト舗装による交通車両の輪荷重の荷重分散を検討した。また、交通車両の実働応力波形を考慮した荷重条件を検討した。これらの結果から、G12の荷重ゴム(ゴム厚:80 mm)により荷重分散に配慮した上で、溶接ルート部を開閉口させるための引張応力を導入させる試験システムを構築した。