

4. 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

尾上 聡史

1. 目的 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載荷試験，疲労試験およびFEM 応力解析を行った．

2. 内容

2.1 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12mm，Uリブ厚を6mmあるいは8mm，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．

2.2 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載荷試験（載荷荷重：60kN）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：1.2N/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5mm）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：0.2~0.6N/mm²)を挿入することで静的載荷試験を行った．ゴム厚は5，20，40，80，120mmの計5種類とした．載荷荷重60kN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5mm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20mmの場合，5mm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80mm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60kNとしたときの静的載荷試験とFEM 応力解析の結果を示している．圧縮応力はゴム厚が40mmの場合に最も小さくなっており，その値は110N/mm²である．また，ゴム厚が5mmから40mmに増加するにしたがって減少しており，40mmから120mmの領域では逆に増加している．これはゴム厚が40mm以下では載荷板の外周部に荷重が集中し，40mm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80mmを採用することとした．

4橋の鋼床版橋における動的載荷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．

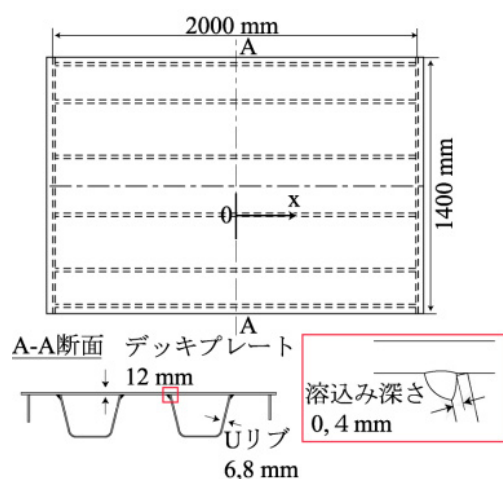


図-1 試験体の形状および寸法

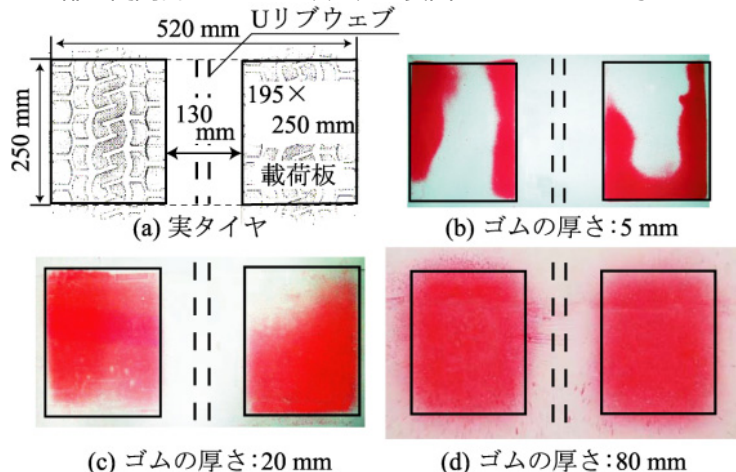


図-2 面圧分布の測定結果(載荷荷重：60 kN)

4. Development of experimental system for simulating fatigue behavior of welded joints between the deck plate and U-rib in orthotropic steel deck

Satoshi Onoue

Recently, various types of fatigue cracks are reported in orthotropic. In particular, it the fatigue cracks from the root tip of the welded joints between deck plate and U-rib. The road cave-in caused by the fatigue crack growth that from the welded joints between the deck plate and the U-rib in the orthotropic steel deck propagates through the deck plate, it becomes impossible to secure the running safety of the vehicles. In addition, rainwater leak in the U-rib from the fatigue cracked the deck plate. As a result, the considerable corrosion damage occurs in U-rib by the stagnant rainwater. Therefore, it is necessary to clarify the mechanism of the fatigue cracks initiation and propagation from the welded joints between the deck plate and U rib in the orthotropic steel deck.

In this study, in order to develop the original experimental system to simulate for the initiating and cracks propagating develop from the root of welded joints between the deck plate and U-rib in the orthotropic steel deck. The load dispersion through asphalt pavement on deck plates and the measured service stress wave by a traffic vehicle were investigated, and The static loading tests, the fatigue tests, and the finite element stress analyses used model specimens.

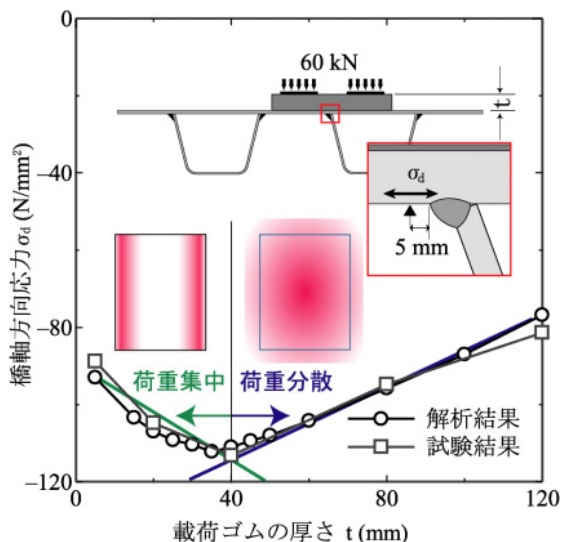


図-3 静的荷重試験結果とFEM応力解析結果

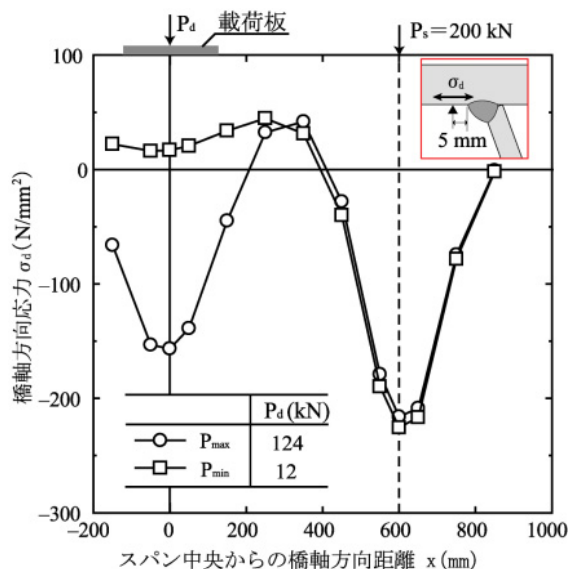


図-5 疲労試験時の応力

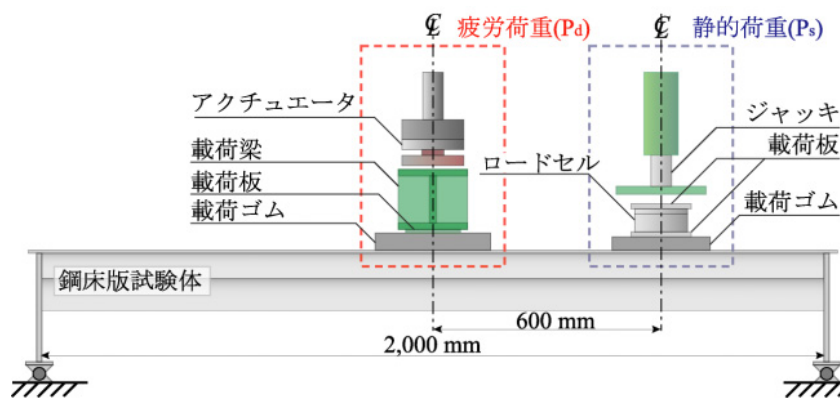


図-4 試験システムの概略図

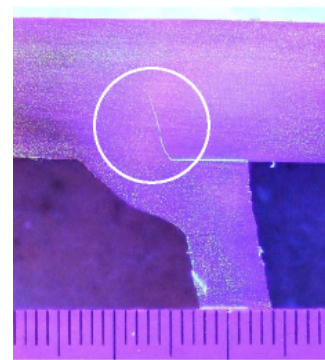


図-6 疲労き裂の発生・進展の状況 (x=150 mm)

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、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から得られた最大値に基づき 180 N/mm² とした。

2.3 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。

3. 結論 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。