

鋼床版のデッキプレートとUリブの溶接ルート部における疲労き裂の発生要因と進展性状に関する研究

九州大学大学院 学生会員 ○三浦 健一

九州大学大学院 正会員 貝沼 重信

九州大学 学生会員 尾上 聡史

(財)土木研究センター 正会員 井口 進

1. はじめに 鋼床版においてデッキプレートとUリブの溶接ルート部から疲労き裂が発生し、デッキプレート表面に向かって進展する疲労損傷が報告されている。このき裂（以下では、このき裂をルートき裂と呼ぶ）がデッキプレートを貫通すると路面が陥没し、車両の走行安全性を確保できなくなる。そこで、本研究ではルートき裂の発生要因と進展性状を明らかにすることを目的とした。そのために、独自に構築した試験システムにより疲労試験を実施することで、ルートき裂の発生要因を検討した。また、Uリブ厚、溶接溶込み深さおよび溶接方法（半自動溶接、手溶接）がルートき裂の進展性状に及ぼす影響を検討した。

2. 試験方法 試験体はFEM解析の結果に基づき、図-1に示すように2本のUリブを有する鋼床版モデルとした。Uリブ厚、溶接溶込み深さおよび溶接方法を変化させた3種類、計5体の試験体を製作した。以下では、これらの試験体を表-1に示すように、それぞれD12U6SP0-FS1、D12U6SP0-FS2、D12U8SP50-FS、D12U8SP50-F、D12U8MP50-FSと呼ぶ。

実橋を走行する車両の輪荷重は、アスファルト舗装により分散された後にデッキプレートに伝達される。そこで本システムでは静的载荷試験およびFEM解析の結果に基づき、図-1に示すように疲労荷重側の载荷板とデッキプレート上面の間に载荷ゴム(G12, 80mm)を挿入することで十分に荷重を分散させることに配慮した。また、図-2に示すデッキプレートとUリブの交差部における溶接止端近傍の実働応力波形は、輪荷重の移動により図-2(a)に示すように引張応力と圧縮応力が交番して発生している。この交番応力は、デッキプレートとUリブの交差部における溶接ルート部においても生じることをFEM解析結果により明らかにしている。この溶接ルート部に発生する応力の交番により、溶接未溶着部が開閉口することでルートき裂が発生すると推測された。そこで、本システムは、図-1に示すようにアクチュエータによる疲労荷重とジャッキによる静的荷重を組み合わせることで、図-2(a)の実働応力波形を模擬して図-2(b)に示すような正弦波で応力の交番を再現した。

3. 試験結果 疲労試験時の試験条件および試験結果を表-1に示す。D12U6SP0-FS1、D12U6SP0-FS2およびD12U8SP50-FSの3体の試験体ではルートき裂が発生した。いずれの試験体においてもルートき裂の発生領域は、疲労荷重の载荷点直下から橋軸方向に50～150mmの範囲であった。また、D12U8SP50-FではデッキプレートとUリブの交差部における溶接ルート近傍に引張応力を導入しない作用応力下で検討するために、疲労荷重のみを载荷して疲労試験を実施した。その結果、疲労き裂は発生しなかった。以上から、ルートき裂はデッキプレートとUリブの交差部におけるデッキプレート側の溶接ルート近傍に作用する引張応力によって発生すると言える。ルートき裂が発生した3体の試験体の内、D12U6SP0-FS1とD12U6SP0-FS2では、 300×10^4 回载荷しており、そのき裂長さは最大でそれぞれ3.2mm、5.7mmであった。一方、D12U8SP50-FSでは繰返し回数を 1000×10^4 回まで増加させた。そのき裂長さは最長で3.8mmであり、前述の2体のき裂長さと同程度であった。したがって、ルートき裂は進展後にデッキプレートを貫通せずに、停留している可能性が考えられる。D12U8SP50-FSにおいてはルートき裂に加え、止端からも疲労き裂も発生した。この止端き裂が発生した領域におけるルートき裂長さは0.5～0.8mmであった。これはルートき裂のみ発生した領域のき裂長さと比較して短くなっている。したがって、止端き裂が発

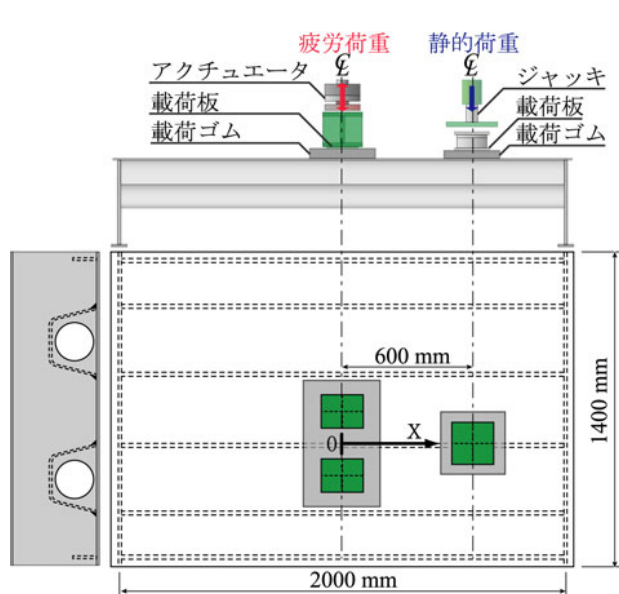


図-1 試験体の形状・寸法および疲労試験システム

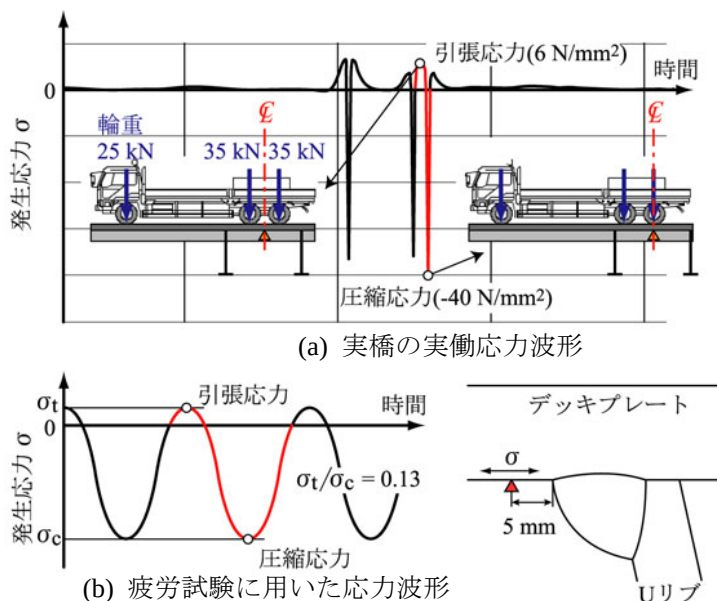
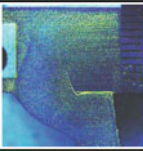
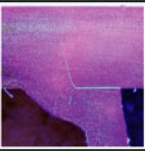
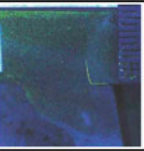
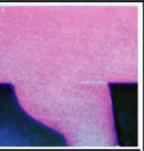
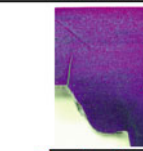


図-2 応力波形

表-1 試験条件および試験結果

試験体*	D12U6SP0-FS1	D12U6SP0-FS2	D12U8SP50-FS		D12U8SP50-F	D12U8MP50-FS
発生き裂の発生起点と進展状況	 ルートき裂 6 mm 6 mm	 6 mm 6 mm	 4 mm 8 mm	 止端き裂 4 mm 8 mm	 き裂未発生 4 mm 8 mm	 デッキプレート 止端き裂 貫通き裂 4 mm 溶接ビード 手溶接 8 mm 方向
き裂長さ** a (mm)	3.2	5.7	3.8	止端 : 2.5 ルート : 0.8	なし	止端 : 4.4 デッキプレート : 12 ビード : 0.8
断面の位置 x(mm)	150	-100	150	-50	0	-50
応力 (N/mm ²)	引張応力 σ_t	20	40	20	0	23
	圧縮応力 σ_c	160	140	160	180	185
繰返し回数 N ($\times 10^4$ 回)	300	300	1000	300	190	190

* 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リブ厚に対する溶接溶込み深さ(%), F:疲労荷重, S:静的荷重

** a:デッキプレート厚方向への投影長さ(mm)

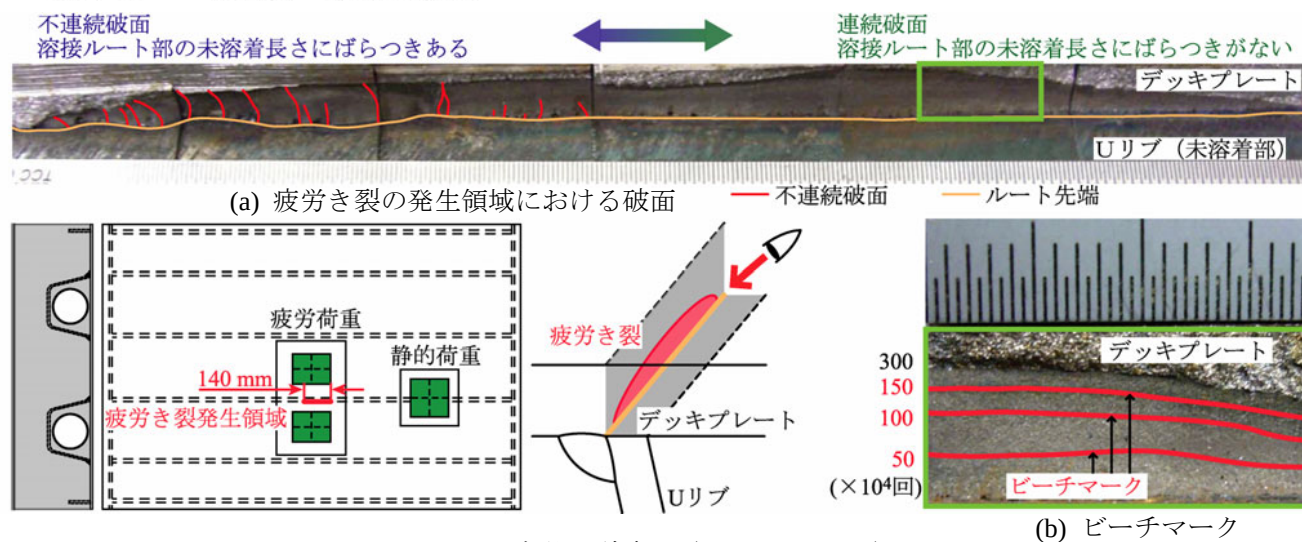


図-3 疲労き裂破面 (D12U6SP0-FS2)

生した場合、ルートき裂は進展しにくいと考えられる。

ルートき裂の破面は、図-3(a)に示すように部分的に不連続であった。また、不連続破面となっている領域の未溶着長さは最大で1.5mm程度のばらつきがあった。以上から、未溶着長さのばらつきが大きい場合、橋軸直角方向の複数箇所からルートき裂が発生し、不連続な破面を形成すると考えられる。未溶着長さのばらつきが0.5mm程度の小さな領域において複数箇所から発生したルートき裂は、進展に伴い合体した。一方、未溶着長さのばらつきが大きな領域では、発生したルートき裂は合体せずに単独で進展した。D12U6SP0-FS2におけるビーチマーク試験結果を図-3(b)に示す。ビーチマーク試験は繰返し回数50, 100, 150 $\times 10^4$ 回の計3回行った。各ビーチマークの間隔は、疲労荷重の繰返し回数が増加するにしたがって小さくなっていることから、ルートき裂の進展速度はき裂進展に伴い減少し、停留したと考えられる。

D12U8MP50-FSでは、静的荷重および疲労荷重をともに増加することで正負交番応力の応力範囲を約15%増加した疲労試験を行った。その結果、この試験体ではルートき裂は発生せず、表-1に示すような3種類のき裂が発生した。それらのき裂の中で、デッキプレート表面から発生したき裂は190 $\times 10^4$ 回の載荷で貫通に至った。このき裂は疲労荷重を増加したため、Uリブウェブ直上のデッキプレート表面が降伏応力に達したことにより発生した。また、ルート部から発生したき裂は、溶接ビード方向へ0.5mm進展し、停留した。

4. まとめ 本研究では独自に構築した疲労試験システムにより、載荷荷重の分散効果と車両走行に伴う動的応力波形の交番を模擬した疲労試験を行った。その結果を以下に示す。1)ルートき裂の発生要因は、輪荷重の移動によってデッキプレートとUリブの交差部における溶接ルート部に引張応力が発生することで、未溶着部が開口するためである。2)デッキプレートとUリブの溶接部の未溶着長さに大きなばらつきがある場合、ルートき裂は複数箇所から発生し、不連続な破面を形成する。3)ルートき裂の進展速度はき裂進展に伴い減少して停留する。