

鋼床版垂直スティフナー溶接ルート部から
発生・進展する疲労き裂の再現とその原因究明

法政大学大学院 学生会員 ○長田 樹 法政大学 正会員 森 猛
東京鐵骨橋梁 正会員 柳沼 安俊

1 研究の背景と目的

鋼床版のデッキプレート・垂直スティフナーの溶接部に数多くの疲労損傷が報告されている。これらの疲労き裂は、①デッキプレート側溶接止端から発生しデッキプレートに進展するき裂 (図 1(a))、②垂直スティフナー側溶接止端から発生しデッキプレートに進展するき裂 (図 1(b))、③スティフナー側溶接止端から発生し溶接に沿って進展するき裂 (図 1(c))、そして④ルート部を起点として溶接のど断面を貫通するき裂 (図 1(d)) の 4 パターンからなる。これらのうち①、②と③ のき裂については、著者らがすでに再現している。

本研究では、④の疲労き裂を再現すること、またその発生原因を究明することを目的とし、鋼床版のデッキプレートと垂直スティフナーの接合部を模擬した小型試験体の疲労試験と、FEM 解析を行う。

2 試験体

図 2 に試験体の形状と寸法を示す。疲労試験には、デッキプレートと垂直スティフナーのギャップを 2mm となるように製作した試験体 (G2 試験体) 7 体を用いた。なお、試験体 1 体で 2 箇所の着目点があるため L・R で区別した。また、スティフナーこぼ面を中心に左右に伸びるき裂の進展方向は非対称であるため、(L・R とともにそれぞれ) W・E と区別した。全ての試験体においてデッキプレート側溶接止端、スティフナー側溶接止端を、バーグラインダーを用いて仕上げた。そして、仕上げ前後で歯科用印象材を用いて溶接形状・寸法を測定した。

G2-1・G2-2 試験体は一昨年に疲労試験を行った試験体である。G2-1 試験体のみスティフナー側溶接止端の仕上げを行っていない。G2-3・G2-4 試験体は等脚で脚長 3mm、G2-5・G2-6・G2-7 試験体は不等脚でスティフナー側脚長 3mm を目標に溶接を切削したものである。各試験体の仕上げ後の溶接形状・寸法を表 1 に示す。

3 疲労試験

疲労試験は繰返し速度 5.0Hz、荷重範囲 30kN (上限：30.1kN、下限：0.1kN)、載荷板の大きさを 50mm×100mm として行った。き裂の発生・進展性状を観察するため磁粉探傷試験を荷重繰返し数 40 万回程度ごとに行った。疲労破面を観察する目的で試験終了後に着目部を切り出し、液体窒素で冷却した後、ハンマーで打撃することで破面を曝露した。

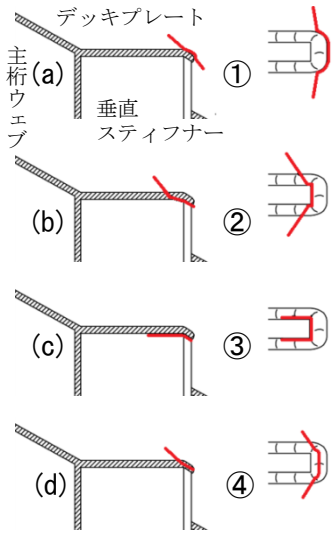


図 1 疲労損傷事例

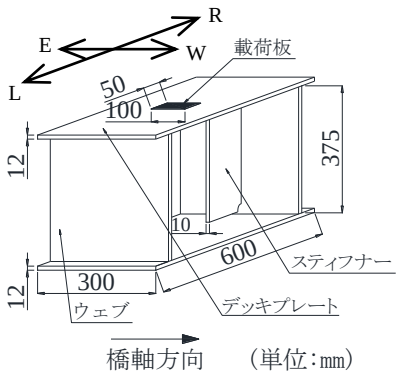


図 2 試験体図

表 1 試験体の溶接形状

試験体	脚長D (mm)	脚長S (mm)	曲率半径 D(mm)	曲率半径 S(mm)	き裂の発生・進展性状
G2-1 L	8.80	8.74	4.95	1.75	スティフナー側溶接止端から発生、 デッキプレートに向かって進展、 溶接内で停留
G2-1 R	9.50	8.88	5.50	1.50	
G2-2 L	8.75	6.70	5.90	4.75	
G2-2 R	8.58	7.05	5.65	3.75	
G2-3 L	3.40	3.40	9.00	10.8	き裂なし
G2-3 R	3.75	3.60	9.10	10.2	
G2-4 L	2.80	2.90	7.00	9.60	デッキプレート側溶接止端から発生、 デッキプレートに進展
G2-4 R	2.95	3.00	4.25	4.63	ルート部から発生、溶接のど断面 を横断しデッキプレートに進展
G2-5 L	5.50	2.95	9.75	8.75	ルート部から発生、溶接のど断面 を横断中に停留
G2-5 R	5.00	2.75	8.00	7.10	ルート部から発生、溶接のど断面 を横断しデッキプレートに進展
G2-6 L	5.00	2.90	6.80	6.25	
G2-6 R	3.85	3.00	6.00	6.75	
G2-7 L	5.80	2.90	5.00	6.00	
G2-7 R	5.10	2.80	5.25	6.00	

キーワード：鋼床版、垂直スティフナー、疲労き裂、ルート破壊

連絡先：〒162-0843 東京都新宿区市谷田町 2-33 法政大学大学院デザイン工学研究科 TEL 03-5228-1429

G2-1・G2-2 試験体はスティフナー側溶接止端からき裂が発生し、デッキプレートに向かって進展し、溶接内で停留した。G2-3 試験体はき裂の確認はできなかった。G2-4 試験体では、R 側の溶接表面でき裂を、L 側のデッキプレート溶接側止端でき裂を確認した。G2-5 試験体は R・L の両側で溶接表面にき裂を確認した。G2-6・G2-7 試験体も G2-5 試験体と同様のき裂を確認した（写真 1）。試験体を切断し溶接部の断面をエッチングし観察したところ、溶接表面で確認したき裂はルート部から発生していたことが確かめられた（写真 2）。このき裂は溶接部を横断しデッキプレートに進展している。各試験体のき裂の進展性状は表 1 に示している。

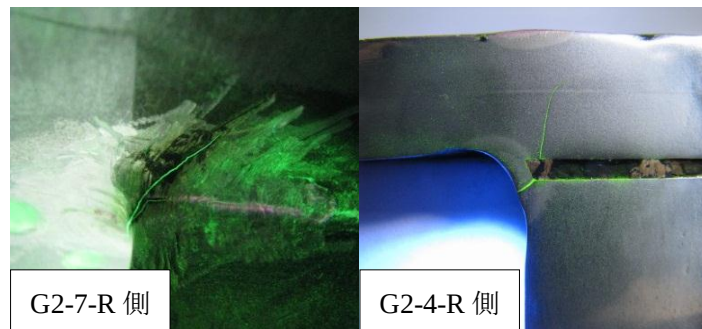


写真 1 疲労き裂の観察例

写真 2 ルート部からのき裂例

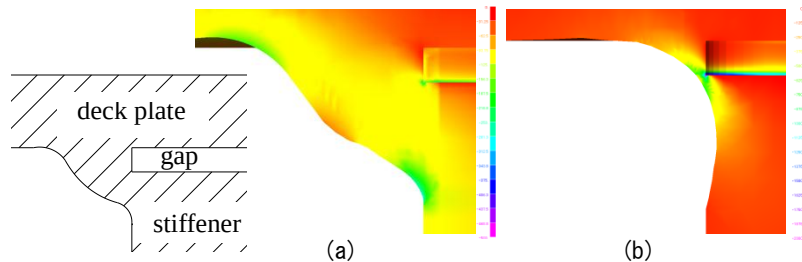


図 3 試験体コンター図の例

4 3 次元 FEM 解析

先に示したデッキプレート溶接側止端からのき裂とルート部からのき裂が発生した原因を明らかにする目的で、試験体を対象とした FEM 解析を行った。図 3 にルート部を含む溶接部の主応力のコンター図の例を示す。ここでは図 3(a) が G2-1・G2-2 試験体に、図 3(b) が G2-4・G2-5・G2-6・G2-7 試験体に対応する。図 3(a) ではスティフナー側溶接止端で応力が高くなっているのに

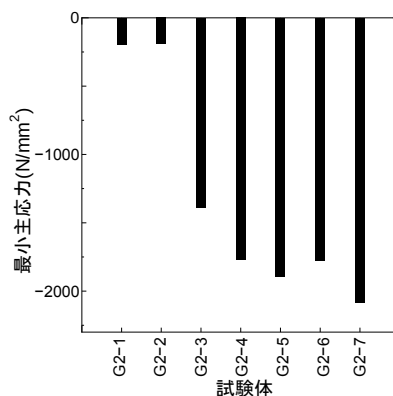


図 4 各試験体のルート部の応力

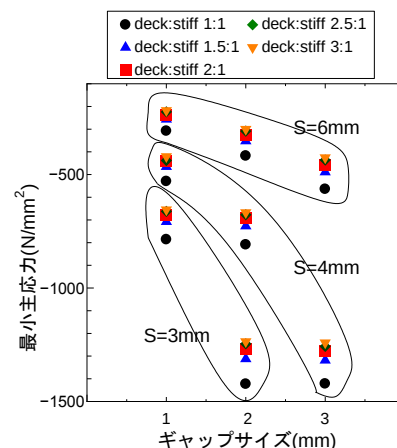


図 5 ギャップと溶接サイズによるルート部の応力変化

対し、図 3(b) ではルート部で応力が高くなっている。また、図 4 に各試験体モデルのルート部の応力を示す。G2-1・G2-2 試験体に比べて G2-4・G2-5・G2-6・G2-7 試験体のルート部の応力集中は高くなっている。そのため、G2-4・G2-5・G2-6・G2-7 の試験体ではルート部からき裂が発生したと考えられる。

溶接サイズ、ギャップサイズによる応力集中の違いを明らかにする目的でも、FEM 解析を行った。解析のパラメータは、デッキプレート側溶接脚長とスティフナー側溶接脚長の比 (1:1, 1.5:1, 2:1, 2.5:1, 3:1)、スティフナー側の溶接脚長 (3mm, 4mm, 6mm)、ギャップ (1mm, 2mm, 3mm) とした。図 5 にルート部の応力と溶接サイズの関係を示す。溶接サイズが小さく、ギャップが大きい場合にルート部に高い応力集中が生じている。図 6 はルート部の応力とのど厚の関係を示している。ルート部の応力とのど厚の関係は、ほぼ一つの曲線で表されている。

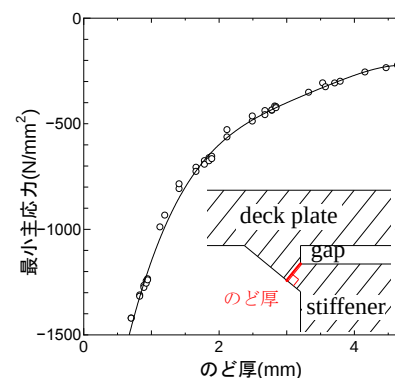


図 6 のど厚によるルート部の応力の変化

5 結論

ルート部から生じる疲労き裂を再現した。ルート部から発生するき裂は、ギャップが大きく溶接サイズが小さい場合に生じる。ルート部の応力は、溶接のど厚で整理できる。