

鋼床版垂直スティフナー溶接部に生じる疲労き裂の再現

法政大学大学院 学生会員 ○長田 樹
法政大学大学院 学生会員 原田 英明

法政大学 正会員 森 猛
東京鐵骨橋梁 正会員 柳沼 安俊
東京鐵骨橋梁 正会員 山田 浩二

1 はじめに

鋼床版のデッキプレート・垂直スティフナー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てデッキプレートを進展するき裂（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と③のき裂については、既に著者らは実験的に再現している。

本研究では、②と④の疲労き裂を再現することを目的とし、鋼床版デッキプレート・垂直スティフナー接合部を模擬した小型試験体の疲労試験と応力測定試験、そして FEM 解析を行う。また、疲労き裂発生事例が最も多いデッキプレート側溶接止端から疲労き裂が生じる場合の疲労耐久性の向上を目指した止端仕上げの効果についても検討する。

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、ギャップ（デッキプレートと垂直スティフナーの間隔）なしの試験体（G0 試験体）2 体、ギャップ 2mm の試験体（G2 試験体）2 体を用いた。なお、試験体 1 体で 2 箇所の着目すべき溶接継手があるため、それらを L・R で区別した。溶接のままの状態での溶接脚長は、デッキプレート側で 9.5mm、スティフナー側で 8.4mm であった。

G0-1 試験体と G0-2 試験体のデッキプレート側溶接止端をバークラインダーで仕上げた。曲率半径はそれぞれ 3.9mm と 4.3mm、5.2mm と 5.5mm であった。これらは、②の疲労き裂再現を目指している。G2-1 試験体と G2-2 試験体は、④の疲労き裂の再現を目指したものである。G2-1 試験体ではデッキプレート側溶接止端を仕上げており、そこでの曲率半径は 5.0mm と 5.5mm であった。G2-2 試験体についてはスティフナー側溶接止端も仕上げており、デッキプレート側溶接止端の曲率半径は 5.9mm と 5.7mm、スティフナー側溶接止端で 4.8mm と 3.8mm であった。G2-2 試験体では、ルートき裂を誘発するために、溶接部を切削し、溶接サイズを 6.9mm まで小さくした。

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目的で磁粉探傷試験を 1 日（荷重繰返し数 40 万回程度）に 1 回行った。

G0-1、G0-2 試験体では、スティフナー側溶接止端から発生し、デッキプレート方向に向かう疲労き裂を観察した。このき裂の例を写真 1 に示す。

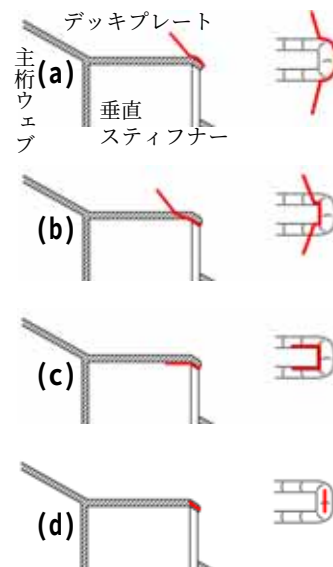


図 1 疲労損傷事例

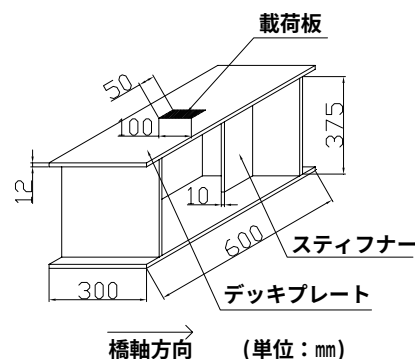


図 2 試験体



写真 1 疲労き裂の観察例

キーワード：鋼床版、垂直スティフナー、疲労き裂、グラインダー処理

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

このき裂がさらに進展すれば、②のき裂と同じとなるが、ここで観察されたき裂は停留した。その他、③のき裂も観察されたが、このき裂も停留した。G2-1とG2-2試験体では、G0-1の試験体と同様に②の途中段階の停留き裂と③の停留き裂が観察された。これらの試験体では④のき裂の再現を目的としたが、それを観察することはできなかった。

図3はデッキプレート側の疲労寿命（デッキプレート下面のき裂長さが30mmとなった荷重繰返し数）を示したものである。図中には、同じ寸法・形状の溶接ままの4体の試験体の疲労試験結果も示している。今回行った実験において、デッキプレート側溶接止端からき裂が確認されたのは、曲率半径が3.9mmと最も小さかったG0-1L側のみであった。溶接ままの疲労寿命は60万回～210万回となっているのに対し、溶接止端を上げるとG0-1L側を除き500万回以上の応力繰返しによっても疲労き裂は生じていない。このことは、デッキプレート側の溶接止端を曲率半径5mm程度以上に仕上げることで、その疲労耐久性を大幅に改善できる可能性が高いことを示している。

4 3次元FEM解析

先に示した仕上げの効果と、き裂が停留した原因を明らかにする目的で、ここで用いた試験体を対象とした3次元有限要素弾性応力解析を行った。着目部の要素寸法は0.2mm、荷重の大きさは5kNとしている。図4にデッキプレート側の溶接止端近傍の応力分布を示す。デッキプレート側止端を仕上げることで最大

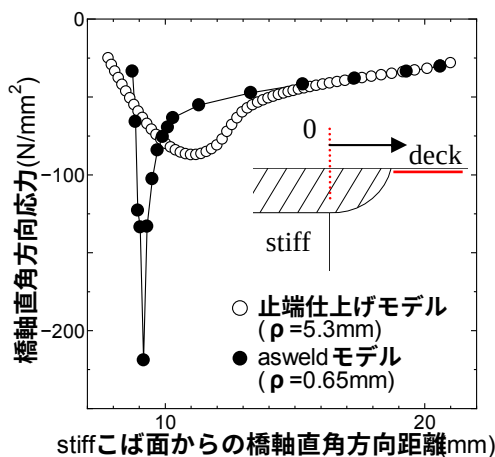


図4 デッキプレートの応力分布

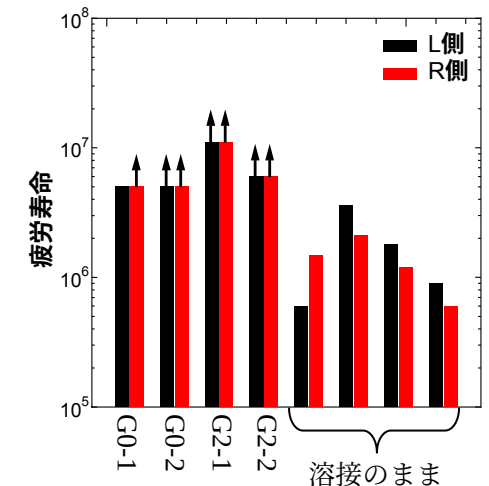


図3 仕上げの効果

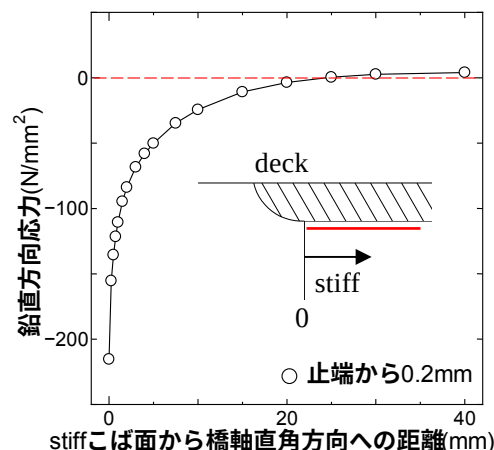


図5 垂直スチフナーの応力分布

の応力は -220N/mm^2 から -90N/mm^2 と約2/5となっている。このことから、仕上げによりデッキプレート側止端から疲労き裂が生じる場合の疲労耐久性が大幅に改善されると期待される。

図5は垂直スチフナー側溶接止端に沿った応力分布を示している。疲労き裂が生じるスチフナー端部で高い応力集中が生じているものの、そこから20mm程度離れた位置での応力はほぼ0となっている。これが、疲労き裂が停留した原因と考えられる。

溶接ルート部の応力に対する溶接サイズとギャップの影響について検討した結果を図6に示す。溶接サイズが小さくなるにしたがって、またギャップが大きくなるにしたがってルート部の応力は高くなっている。したがって、実橋で観察された④のき裂が生じた溶接部は、ギャップが大きく、溶接サイズが小さかったものと推察される。

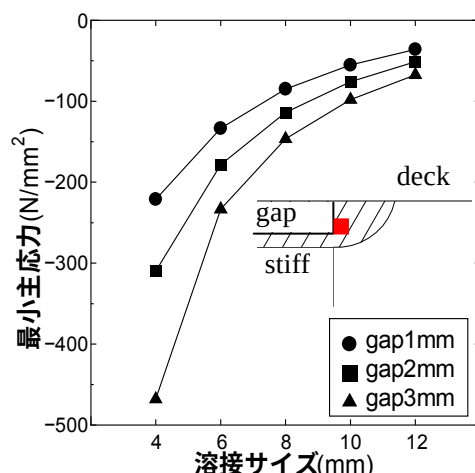


図6 ルート部の応力に対する溶接サイズの影響

5 まとめ

スチフナー側止端からデッキプレート側に進展するき裂の発生と進展方向を再現した。デッキプレート側止端を仕上げることで、疲労耐久性を改善できる。