

摩擦攪拌接合によって製作されたアルミニウム床版の疲労強度

石川島播磨重工業（株） 正 員 鳴尾 亮 大阪大学大学院 学生員 中原 太樹
大阪大学大学院 正 員 大倉 一郎 日本軽金属（株） 正 員 萩澤 亘保

1. はじめに

これまで筆者らは摩擦攪拌接合（以下 FSW）によって製作されたアルミニウム床版に対して静的載荷試験、疲労試験および FEM 解析を行うことで、その疲労特性を調べてきた¹⁾。これまでの研究成果を要約すると以下の通りである。

- ① 輪荷重の移動により橋軸方向の応力は正負交番するが、橋軸直角方向の応力は正負交番しない。
- ② アルミニウム床版の疲労試験では、図-1 に示すように、床版の上板の FSW 部に沿って疲労亀裂が発生した。この疲労亀裂をタイプ 1 の疲労亀裂と呼ぶ。この疲労亀裂は、図-2 に示すように、輪荷重に対する上板の局部変形による板曲げ応力により発生する。

アルミニウム床版の疲労試験においては、支持間隔が 2m と短かったため、下板に疲労亀裂が発生しなかった。しかし、支持支間が広くなると曲げモーメントが大きくなるので、図-3 に示すように、FSW 部に直角な方向に疲労亀裂が発生すると予想される。この疲労亀裂をタイプ 2 の疲労亀裂と呼ぶ。

本論文では、これら 2 種類の疲労亀裂に対して、その疲労強度を明らかにする。

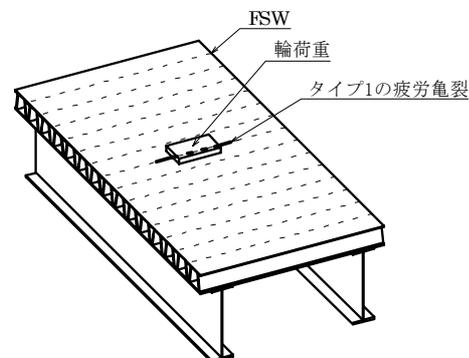


図-1 タイプ1の疲労亀裂

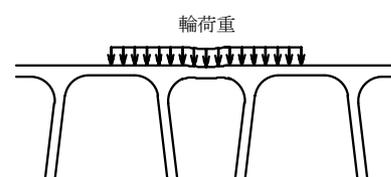
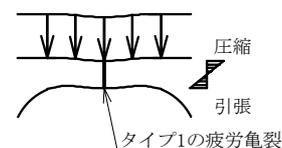


図-2 上板の局部変形



2. タイプ1の疲労亀裂の疲労強度

アルミニウム床版のタイプ 1 の疲労亀裂の疲労強度を明らかにするために、図-4 に示す試験体 A に対して疲労試験を行った。疲労試験は試験体 A を鋼桁の上に置き、下板の鉛直方向の変位を拘束した。疲労荷重は幅 10cm の硬質ゴムを介して与えた。疲労荷重を与えると上板に板曲げ応力が発生する。応力比 R は 0.1 である。

疲労試験の結果を図-5 に示す。引張試験片タイプの母材の引張疲労試験の結果¹⁾、引張試験片タイプの FSW 部の接合線直角方向の引張疲労試験の結果¹⁾、Eurocode 9 で規定される溶接線直角方向の MIG 溶接の S-N 曲線²⁾ も同図に示す。さらに、図-1 に示すアルミニウム床版の疲労試験の結果も示してある。

図-5 からタイプ 1 の疲労亀裂の疲労強度に関して次のことが分かる。

- ① 試験体 A の疲労強度は、MIG 溶接の S-N 曲線と比べて非常に高い。
- ② 引張試験片タイプの母材の傾き ($-1/6.58$) と引張試験片タイプの FSW 部の接合線直角方向の傾き ($-1/6.84$) はほぼ同じである。これらと比べて、試験体 A の試験結果の傾き ($-1/2.64$) は大きい。
- ③ 試験体 A の疲労強度は、引張試験片タイプの FSW 部の接合線直角方向の疲労強度と比べて高い。これは次の理由による。試験体 A の疲労試験においては疲労亀裂を発生させた応力が板曲げ応力である。そして、FSW 部の接合線直角方向の残留応力は圧縮である¹⁾。一方、引張試験片タイプの疲労試験においては疲労亀裂を発生させた応力が引張応力であり、FSW 部の圧縮の残留応力は開放されている。
- ④ 試験体 A の疲労強度のばらつきが大きい。
- ⑤ アルミニウム床版の疲労強度は、試験体 A の疲労強度のばらつきの範囲内にある。

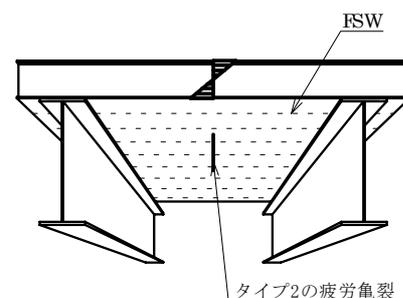


図-3 タイプ2の疲労亀裂

Keyword : アルミニウム床版, 摩擦攪拌接合, 疲労

連絡先 : 〒562-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1 TEL:06-6879-7620 FAX:06-6879-7621

3. タイプ2の疲労亀裂の疲労強度

アルミニウム床版のタイプ2の疲労亀裂の疲労強度を明らかにするために、図-6に示す試験体B, Cに対して疲労試験を行った。試験体Cは図-1に示したアルミニウム床版を橋軸直角方向に切断することにより作製した。試験体は、試験体Bが1体、試験体Cが4体の計5体である。試験体B, Cの疲労試験の支持条件は単純支持である。上下フランジの中央にFSW部が存在する。疲労荷重は試験体中央に、幅10cmの鋼板を介して与えた。応力比 R は0.1である。

疲労試験の結果を図-7に示す。引張試験片タイプの母材の引張疲労試験の結果¹⁾、引張試験片タイプのFSW部の接合線方向の引張疲労試験の結果、Eurocode 9で規定されている溶接線方向のMIG溶接のS-N曲線²⁾も同図に示す。引張試験片タイプのFSW部の接合線方向の引張疲労試験は今回新たに行ったものである。

疲労亀裂の発生位置は、5体のうち3体が支間中央付近のくぼみからであった。このくぼみは摩擦攪拌接合ツールのショルダーの跡である。残り2体の疲労亀裂の発生位置は、最大応力が生じる位置のFSW部であった。

図-7からタイプ2の疲労亀裂の疲労強度に関して次のことが分かる。

- ① 試験体B, Cの疲労強度は、MIG溶接のS-N曲線と比べて高い。
- ② 引張試験片タイプの母材の傾き(-1/6.58)とFSW部の接合線方向の傾き(-1/6.64)はほぼ同じである。これらと比べて、試験体B, Cの試験結果の傾き(-1/3.22)は大きい。
- ③ 試験体B, Cの疲労強度は、引張試験片タイプのFSW部の接合線方向の疲労強度と比べて低い。これは次の理由による。試験体B, Cにおいては下フランジのFSW部にくぼみが存在していた。そして、FSW部の接合線直角方向の残留応力が引張りである¹⁾。一方、引張試験片タイプの疲労試験においてはくぼみが存在せず、FSW部の引張りの残留応力が開放されている。

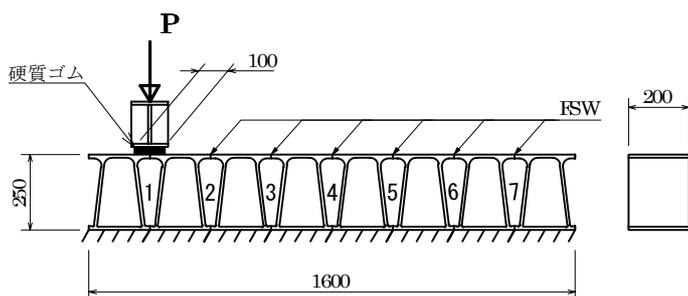


図-4 試験体Aの疲労試験

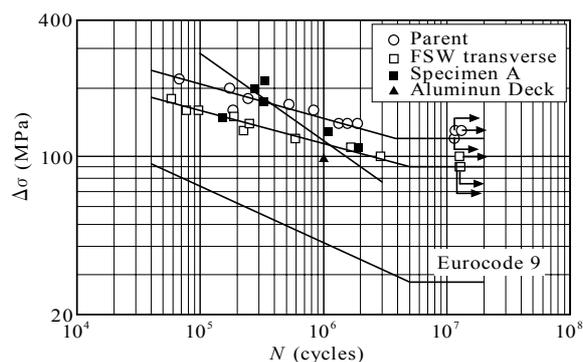


図-5 S-N関係

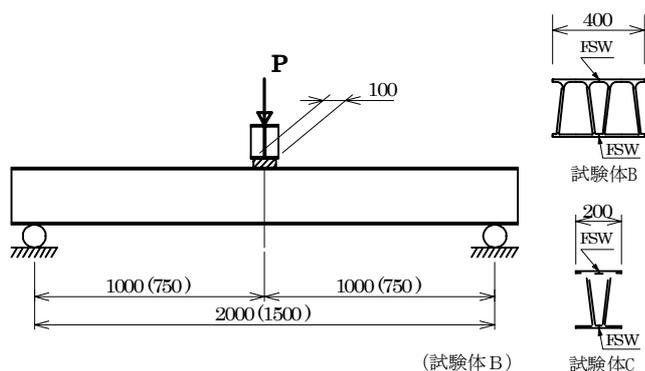


図-6 試験体B, Cの疲労試験

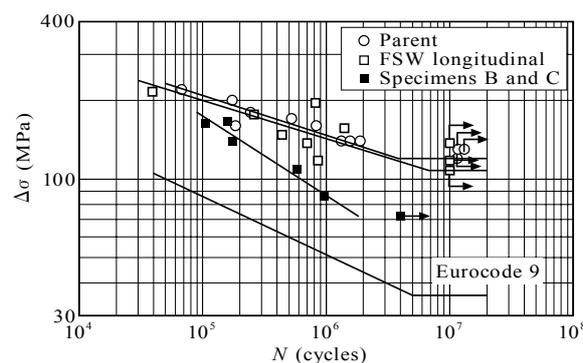


図-7 S-N関係

参考文献 1) 大倉一郎, 鳴尾亮, Vigh, Laszlo Gergely, 萩澤亘保, 戸田均: 摩擦攪拌接合で製作されたアルミニウム床版の材料・構造特性, 土木学会, 第二回道路橋床版シンポジウム講演論文集, pp.131-136, 2000. 2) Eurocode 9: Design of Aluminum Structures, Part 2: Structures Susceptible to Fatigue, prENV 1999-2, 1997.