

和歌山県 正会員 ○中村圭吾
大阪大学大学院 正会員 大倉一郎

1. はじめに

著者らは炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力について明らかにした¹⁾。この研究の応用として、図-1 に示すような疲労亀裂の先端にストップホールを設け、その上に炭素繊維シートを付着させる補修法を考えた。この補修法の効果を明らかにするために、図-2 に示すような試験片の疲労試験を行った²⁾。その結果、以下のことが分かった。

- 炭素繊維シートを2層付着させることにより、円孔端の応力が低減され、疲労寿命が大幅に改善された。
 - 炭素繊維シートを10層付着させた試験片は、初期载荷時に炭素繊維シートがはく離した。
- 本研究は、炭素繊維シートが付着された円孔および亀裂を有する鋼板の応力解析を行い、これらの原因を明らかにすることを目的とする。

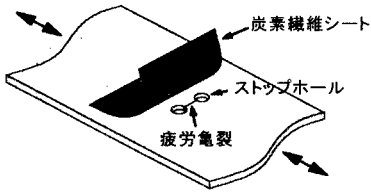


図-1 炭素繊維シートによる補修法

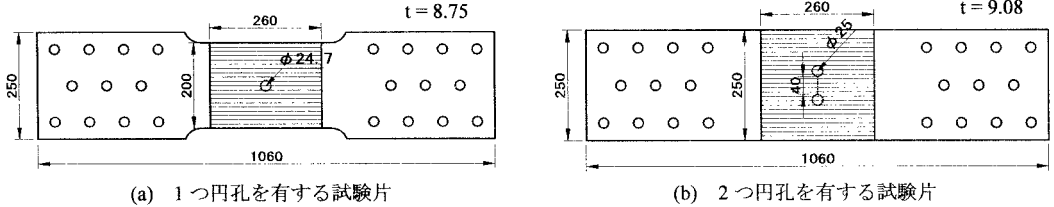


図-2 疲労試験片

2. FEM 解析

解析モデルを図-3 に示す。図-3(a) に示すように、炭素繊維シートが接着された実際の鋼板では、炭素繊維シートと炭素繊維シートとの間にエポキシ樹脂が含まれている。この実際の状態を図-3(b) に示すように、炭素繊維シートを炭素繊維シート1枚の換算厚さを持つ曲げ剛性のない炭素板にモデル化し、この炭素板と炭素板の間にエポキシ樹脂が存在していると仮定する。

解析モデルの要素分割図を図-4 に示す。解析モデルは3次元の弾性体で、対称性を考慮して1/8を解析対象としている。用いた要素は、鋼板とエポキシ樹脂は8節点ソリッド要素(MARCの要素タイプ7)、炭素繊維シートは曲げ剛性がないので4節点膜要素(MARCの要素タイプ18)を用いた。鋼板とエポキシ樹脂は等方性材料、炭素繊維シートは繊維方向にだけ剛性を持つ直交異方性材料とした。鋼板、炭素繊維シートおよびエポキシ樹脂の材料特性は図-2 に示した試験片のものをを用いた。

解析モデルの妥当性は、2層付着と10層付着の1つ円孔を有する試験片と、2層付着と10層付着の2つ円孔を有する試験片の4ケースについて、ひずみゲージによる実験値との比較により確認した。炭素繊維シート上の中央(y=0)のひずみ分布および鋼板の側面(x=125)のひずみ分布について、解析値と実験値の比較を図-5 に示す。

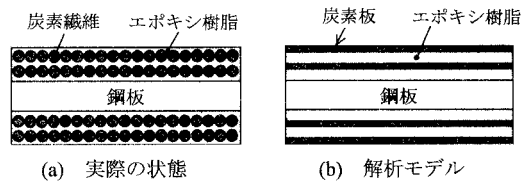


図-3 炭素繊維シートのモデル化

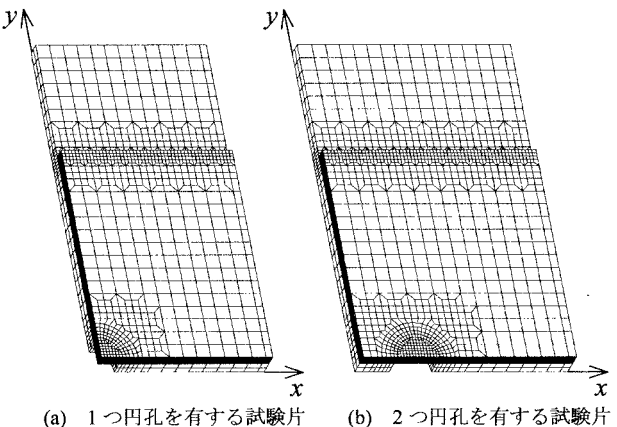
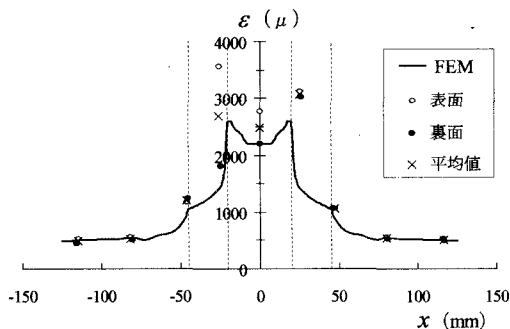
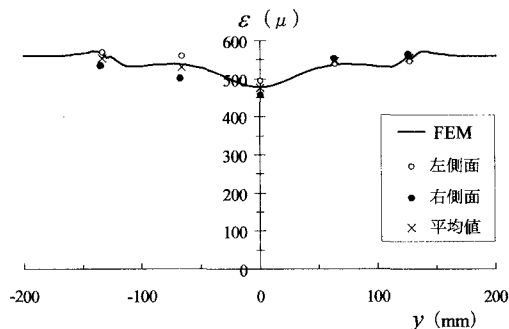


図-4 要素分割図



(a) 炭素繊維シート上のひずみ分布

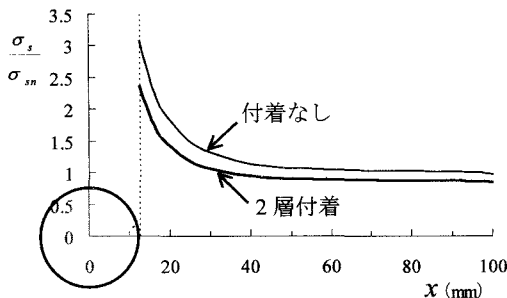


(b) 鋼板側面のひずみ分布

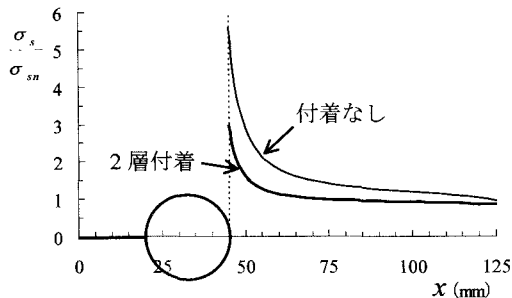
図-5 解析値と実験値のひずみ比較 [2層付着の2つ円孔を有する試験片]

3. 2層付着による円孔端の応力低減

炭素繊維シートを2層付着させた場合における、円孔端から鋼板側面までの荷重方向の鋼板の応力分布を図-6に示す。図の横軸は試験片中央からの距離、縦軸は鋼板の荷重方向の応力 σ_s を公称応力 σ_{sn} で除して無次元化した値である。図には比較のため、炭素繊維シートが無い場合の結果も示している。図から分かるように、炭素繊維シートを2層付着させることによって、円孔端の応力が1つ円孔を有する場合0.76倍、2つ円孔を有する場合0.54倍ほど低下している。



(a) 1つ円孔を有する試験片



(b) 2つ円孔を有する試験片

図-6 鋼板の応力分布

4. S-N 曲線

図-2に示す試験片のS-N関係を図-7に示す。 $\Delta\sigma_m$ は前述のFEM解析により算出された円孔端の応力範囲であり、鋼板の降伏応力 σ_y で基準化されている。 N_i は円孔端に発生する疲労亀裂の発生寿命である。図には比較のため、文献(3)で提案されたS-N曲線も示してある。図から分かるように、炭素繊維シート2層付着の試験結果はS-N曲線付近に分布している。

5. 炭素繊維シートのはく離

10層付着試験片の炭素繊維シートのはく離については紙面の都合上、講演当日に発表する。

【参考文献】

- 1) 大倉一郎, 福井唯夫, 中村圭吾, 松上泰三: 炭素繊維シートによる鋼板応力の低下とはく離せん断応力, 土木学会論文集, No.689/I-57, pp.239-249, 2001.
- 2) 大倉一郎, 福井唯夫, 中村圭吾, 松上泰三, 祝賢治: 炭素繊維シートの鋼板疲労亀裂補修への適用, 鋼構造年次論文報告集, 第8巻, pp.689-696, 2000.
- 3) 大倉一郎, 石川敏之: ストップホールから疲労亀裂の発生を防止する条件, 鋼構造年次論文報告集, 第7巻, pp.181-188, 1999.

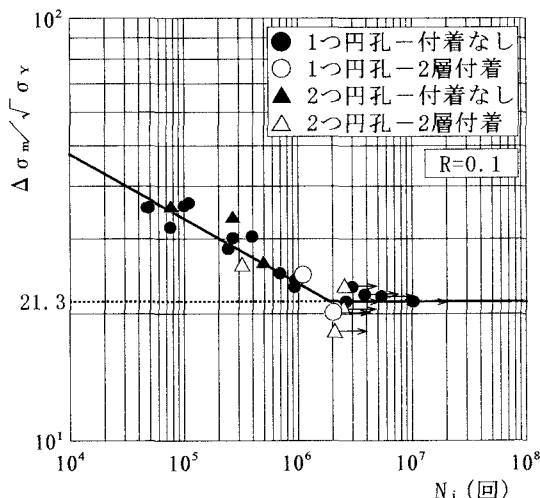


図-7 疲労試験結果