

1 疲労とは

機器・構造物においては、一定の静荷重に加えて周期的に荷重の載荷と除荷を繰り返し受けることが多いです。この繰り返し荷重による応力変動が静荷重による破壊応力よりも小さくても、ある繰り返しが部材に作用し続けると、材料を破壊させることがあります。この現象は疲労現象として知られています。結晶学的には、金属組織で近接したすべり面上で互いに逆方向のすべりが生じ、多数繰り返されることで金属表面に凸凹が生じます。応力変動の繰り返し回数ごとに、物体は少しずつ疲労して行き、繰り返す回数が重なって疲労が限界を超えると破壊に到ります。疲労は、多くの物体、特に金属製物体の破壊における主要原因の一つであります。

1.1 疲労破壊事故

疲労に関する事故は以下のような様々な産業で発生しており、疲労に関しては長年にわたり研究が行われていますが、事故が皆無になることはありません。これは、新しい材料が次から次に開発され、破壊のメカニズムが多様化するとともに、従来の材料でも経済性の観点から運転期間の延長を行うものが増えてきていることも要因となっています。

- 橋梁の破壊
最も有名なのはアメリカのタコマ橋。1940年7月に開通したが、同年11月には崩壊。海峡から約19mの横風を受けて橋が共振し、その繰り返し荷重により橋のケーブルが疲労破壊。
- 航空機の事故
史上初のジェット旅客機コメットの墜落。ジェット機は、プロペラ機よりも高度が高い上空を飛ぶために、客室を与圧。発着のたびにこれが繰り返し荷重となり、ハッチ付近のリベット穴が疲労破壊。
- 原子力発電所の事故
有名なものは、「もんじゅ」の事故。配管内を流れるナトリウムが温度計に対して流力振動を発生させ、この振動が繰り返し荷重となって温度計のサヤ管部分が疲労破壊。
- 鉄道車両の事故
1988年にドイツの新幹線ICEで防振タイヤの割損により車両事故発生。

1.2 疲労損傷発生の主な要因

疲労破壊直前まで、部材・部品に大きな変形等は生じず、疲労進行していたことは事故が起こって初めてわかるケースが多いです。

- ① 設計時の見落とし
疲労検討不足、設計者の疲労知識不足により、CAEで静解析による構造検討をしましたが、疲労の発生した局部までは検討していないことがあります。
- ② 工作・加工不良
 - 表面傷、ゆがみ(応力集中源)
 - 溶接施工不良、溶接変形

- ③ 検査・保守不良(検査・保守が不十分)
- ④ 疲労現象の把握・評価の難しさ
 - ・ 疲労線図(S-N 線図)、疲労限は材料特有で、試験によって得られる。データにばらつきあり、統計処理で95%信頼データを使用。
 - ・ 評価に使用した応力は S-N 線図にマッチした応力であることを確認。(公称応力、局部応力)
 - ・ 絶対評価より、実績(損傷/非損傷)を重視した相対評価が多い。

2 疲労強度評価の重要性

疲労破壊は小さなクラックから始まります。これは磁気探傷、X線検査等で検知することは難しいです。

- ① クラックは構造の不連続部(断面の変化箇所、キー溝、円孔など)に発生。
- ② 疲労破壊は外観に変化は見られず、危険な場合あり。(静的な延性破壊は外観の変化を伴う)
- ③ 応力集中によりクラックは大きくなり、進展速度を速める。
 - 応力負担領域が減り、応力が増大し残部の破壊が急激に起こる。
- ④ 疲労評価を行うには、疲労試験は必須。
- ⑤ 疲労評価の検討結果は、一つの指針が得られるものと考えべき。
 - 正確な絶対的な結果ではなく、疲労破壊に対して設計上何が重要か。

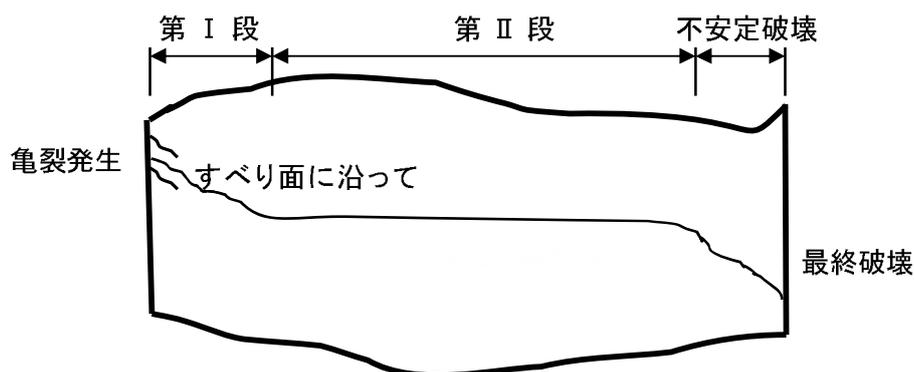
その他、疲労破壊は

- ① 静的な破壊と比べて非常に複雑。
 - 現段階では、サイエンス(破壊力学的手法など)でも疲労現象説明は不可。
- ② 解析はエンジニアリングとサイエンスの組み合わせによるのが現状。
- ③ 何故発生し、疲労強度をあげる有効な方法を検討することが重要。

3 疲労亀裂の発生と展開 (関連情報 補足資料1)

大きく3つの段階に分けることができます。

- ・第Ⅰ段階: 亀裂発生、すべり面に沿って進展
- ・第Ⅱ段階: ストライエーション(縞模様)を形成
- ・不安定破壊領域: 亀裂進展速度は速まり、最終破壊





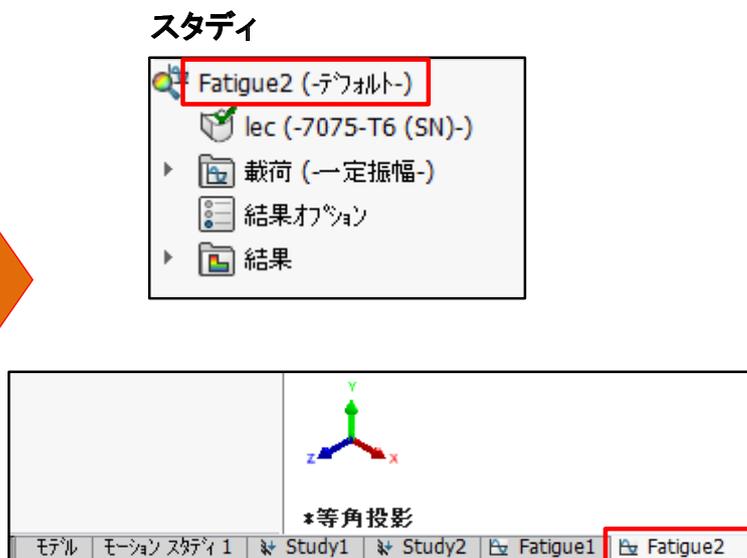
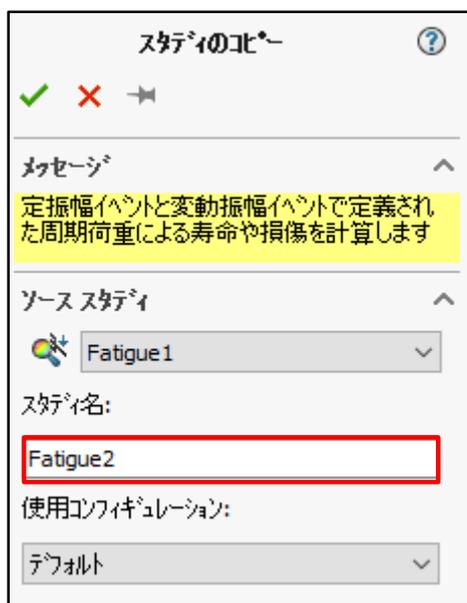
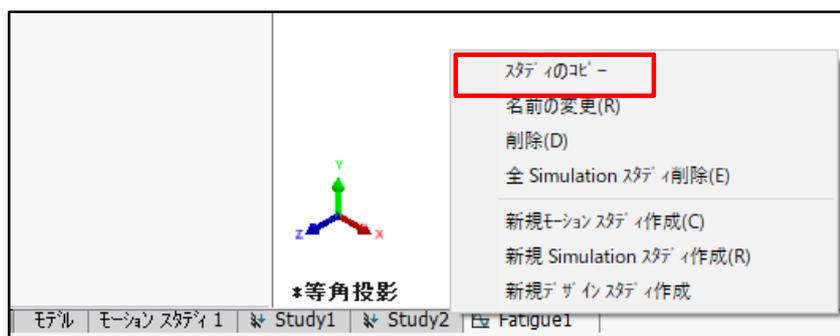
疲労解析の追加（イベント間の相互作用考慮）

さらに疲労解析の実行と結果を確認します。

I. スタディの追加作成：「Fatigue2」

さらに、疲労解析スタディを作成します。

- ① 画面下の「Fatigue1」タブを右クリックし、ポップアップメニューから「スタディのコピー」を選択します。
- ② 「スタディのコピー」プロパティが現れますので、スタディ名に「Fatigue2」を入力します。
- ③ 「OK ✓」をクリックしてスタディを作成します。

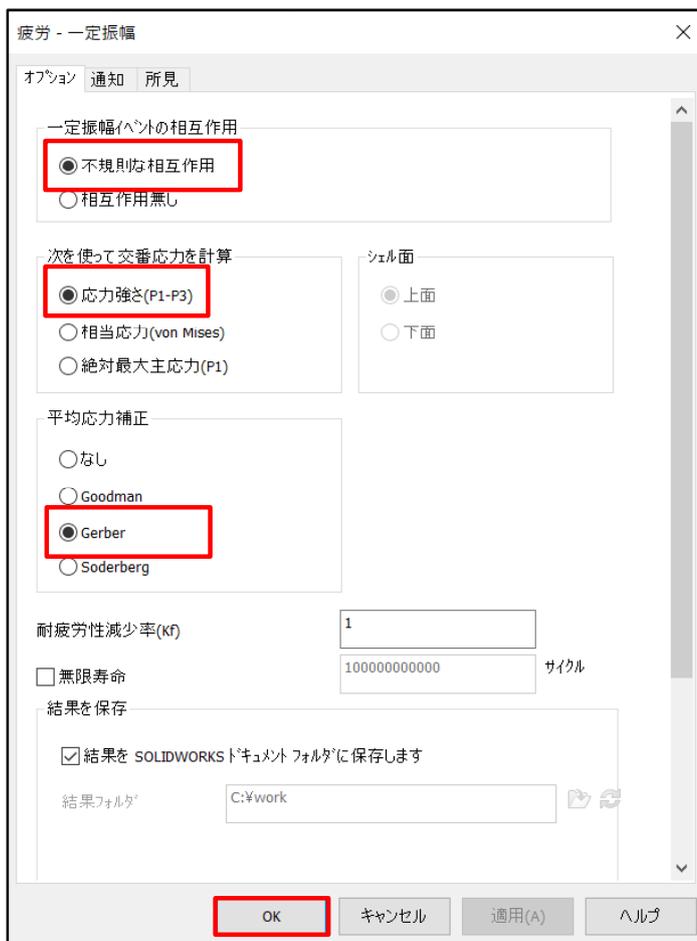
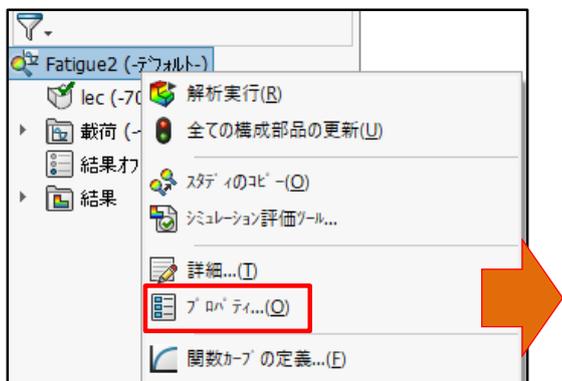


II. スタディのプロパティ設定

疲労解析スタディ作成後、疲労解析プロパティを設定します。

- ① ツリーから「Fatigue2」アイコンを右クリックし、「プロパティ」を選択します。「疲労」ダイアログボックスが表示されます。
- ② 一定振幅イベントの相互作用>で「不規則な相互作用」を選択します。
- ③ 次を使って交番応力を計算>で「応力強さ(P1-P3)」を選択します。
- ④ 平均応力補正>は「Gerber」を選択します。

- ⑤ その他はデフォルトのままとします。
- ⑥ 「OK」をクリックします。



III. 解析結果

解析を実行し、疲労解析結果を評価します。

この結果より集中荷重が Y 方向に

- --700 kgf (上に引っ張る) : 50,000 回
- 190 kgf (下に押す) : 20,000 回

がランダムに組み合わせ(不規則な相互作用)て生じたことにより、梁の寿命は約 20%程度短くなると推測されます。

損傷パーセンテージ

