

### 3DFEM による鋼床版の疲労損傷解析に関する研究

長崎大学大学院 学生会員 ○浦田 美生  
 (株)K&T こんさるたん 正会員 引地 健彦

長崎大学 正会員 松田 浩  
 長崎大学大学院 学生会員 山根 広知

#### 1. はじめに

近年、車両の大型化と交通量の増加により鋼床版の疲労による損傷事例が数多く報告されている。鋼床版は骨組解析により応力解析が行われてきたが、局所的な解析には適用できない。三次元要素を用いた FEM を用いることで、実際の鋼床版の局所的な応力を算定することができる。本研究では、鋼床版モデルに発生する応力を用い累積被害則を適用することにより、鋼床版の疲労損傷箇所を特定することを目的とする。

#### 2. 解析概要

三次元 FE モデルに移動荷重をイメージした荷重ケースを載荷し、各要素に生じる応力振幅から要素の破壊寿命 (N) と損傷度 (1/N) を求める。破壊寿命の計算には、JSSC 疲労設計指針<sup>1)</sup>の S-N 線図 (A 等級) を用いた。繰返し作用する荷重により疲労損傷が累積すると考え、マイナー則を適用することにより累積損傷度を評価した。累積損傷度が 1 に達した要素から順に疲労破壊が生じると仮定し、要素の弾性係数を低減させ、各要素の疲労損傷度を次の計算ステップに持ち越すといった線形解析を繰返し行った。

実際の解析手順を以下に記す。

- ①各要素の累積損傷度を 0 に設定 (初期値)
- ②各荷重ケースで解析
- ③各要素の主応力振幅から、対応する疲労寿命 ( $N_i$ ) と損傷度 ( $D_i=1/N_i$ ) を算出 (i は要素)
- ④各要素について、(1-累積損傷度 ( $TD_i$ , 初期値は 0)) /  $D_i$  から残存寿命を算出
- ⑤残存寿命 ( $N_{min}$ ) が最小の要素を抽出
- ⑥各要素の累積損傷度 ( $TD_i$ ) を、

$$TD_i = TD_i + D_i \times N_{min} \text{ として算出}$$

- ⑦⑤の要素の弾性係数を低減(1/10)し②へ戻り解析続行
- ここで、要素の応力振幅としては、各荷重ケースにおいて算出された各要素の主応力値より、最大応力と最小応力の差を用いた。この応力振幅から S-N 線図を用い各要素の損傷度 (1/ $N_i$ ) を計算した。前ステップの累積損傷度と本ステップの損傷度から各要素の残存寿命を計算し、残存寿命の最小値を本ステップの換算回数とした。計算のフロー及び S-N 線図を図-1 および図-2 に示す。

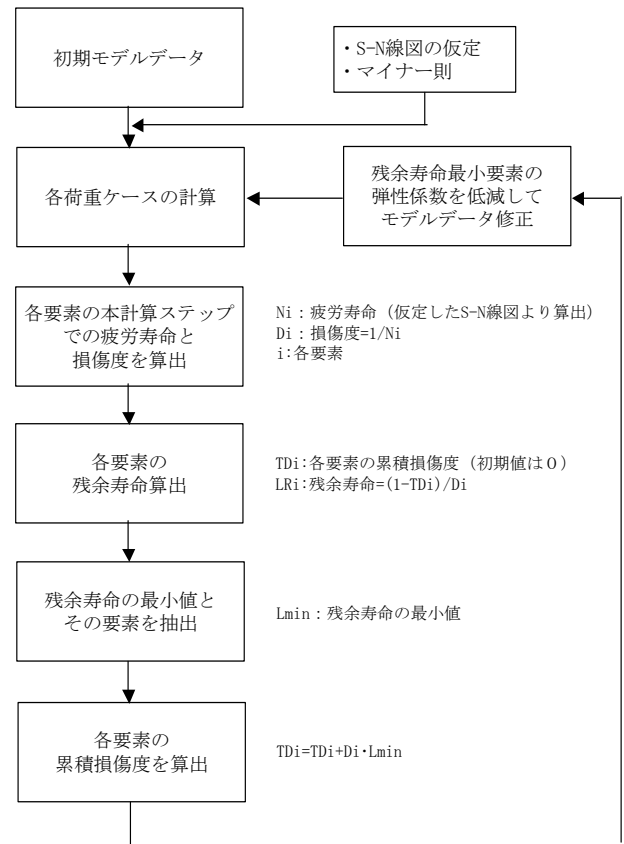


図-1 解析方法の概要

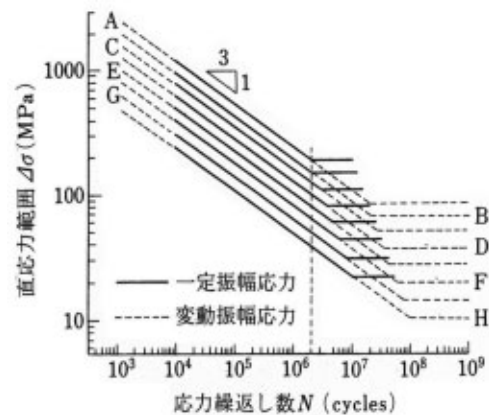


図-2 S-N 線図

#### 3. U型リブ・横リブ付デッキプレートの疲労損傷解析

##### 3-1. モデル概要

モデル概要及び荷重ケース、要素分割状況を図-3 から図-5 に示す。総要素数は 18580 である。デッキプレートはソリッド要素、U 型リブ及び横リブはシェル要素を用いた。境界条件は 4 辺単純支持である。材料定数は弾性係数  $2 \times 10^5$  MPa, ポアソン比 0.3 とし、移動荷重をイメージした荷重ケース 1~14 それぞれについての主応力分布を算出した。

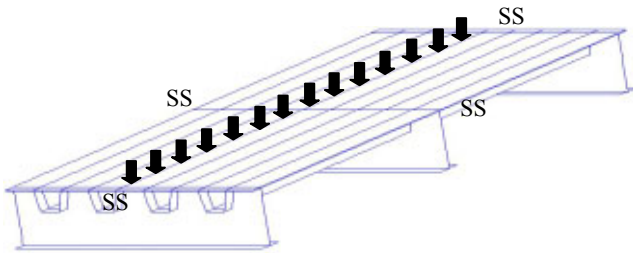


図-3 モデル概要

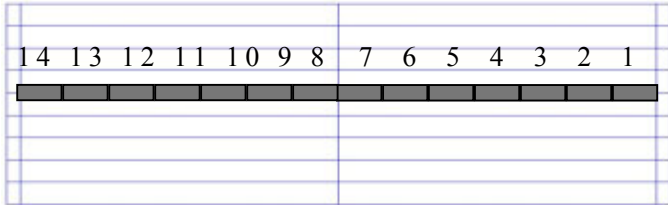


図-4 荷重ケース

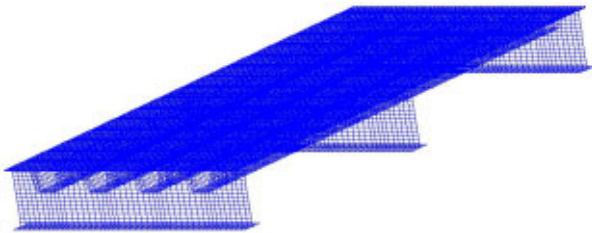


図-5 要素分割図

3-2. 解析結果

算出された主応力分布から、疲労損傷プログラムを用いて 10 ステップの計算を行った。解析ステップと換算回数を図-6 に、換算回数と中央点下部のたわみを図-7 に示す。換算回数とともにたわみが増加することが確認できる。各解析ステップにおいて損傷を受ける位置(要素)を特定することができた。1, 5, 10 ステップにおける疲労損傷要素を図-8 に示す。高い主応力を生じた荷点直下位置にある U 型リブ中央部下面に疲労損傷を生じるといった結果が得られた。

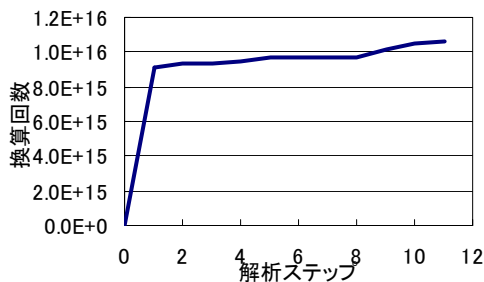


図-6 解析ステップと換算回数

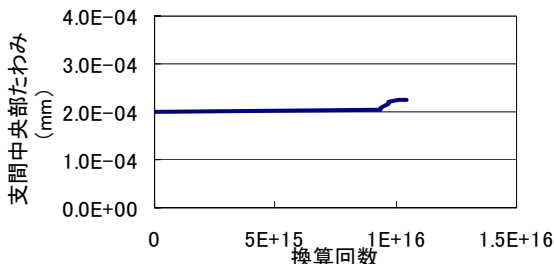
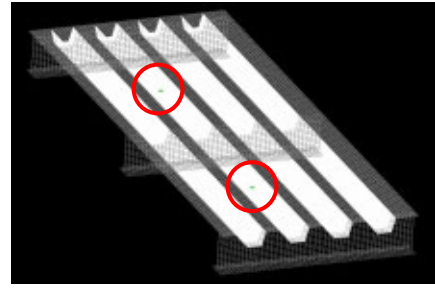
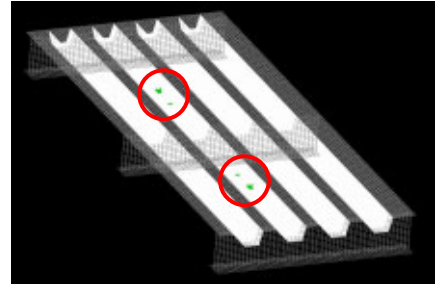


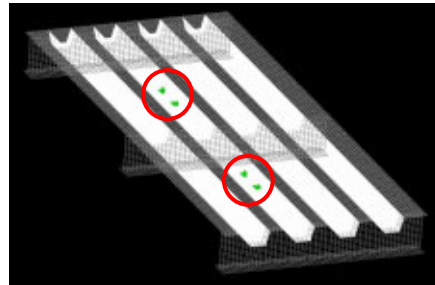
図-7 換算回数と中央点たわみ



Step1



Step5



Step10

図-8 各計算ステップでの疲労損傷要素

4. まとめ

鋼床版の疲労損傷箇所を特定することを目的として、三次元 FE モデルを作成し、累積被害側を適用し解析を行った。その結果、各ステップにおいて疲労損傷を受ける要素を特定することができた。U 型リブ・横リブ付デッキプレートにおいて、荷点直下の U 型リブ下面に損傷が確認できた。また、換算回数の増加に伴い中央点のたわみも増加するといった結果が得られた。

実際の疲労損傷事例では、U 型リブとデッキプレートの溶接部に疲労亀裂が多く発見されており、疲労に大きな影響を与える溶接残留応力を考慮する必要があると考えられる。

今後は、実構造物により近い全体モデルを作成し、溶接残留応力を導入し、実際の車両荷重位置を考慮した荷重ケースを用いた解析を行う予定である。

なお、本研究は 2005 年度「鋼構造研究・教育助成事業」(日本鉄鋼連盟)の助成を受けたことを付記し、謝意を申し上げます。

参考文献

- 1) 本鋼構造協会: 鋼構造物の疲労設計指針・同解説, 技報道出版, 1993
- 2) 鋼構造, 三木千尋著, 共立出版, 2000