

繰り返し荷重を受け座屈した腐食鋼板の強度特性に関する研究

大阪大学大学院 学生会員 ○楠目亮 高知高専 正会員 勇 秀憲
徳山高専 正会員 海田辰将

1. 緒 言

高度経済成長以来、我が国では莫大な数の土木構造物が建設されてきた。それらの多くは完工後 50 年以上を迎え、近年鋼橋の腐食や疲労などを含めた維持管理が重要な課題となってきた。

特に今後日本では、さらなる大地震の発生が危惧されており、地震のような繰り返し荷重がこのような腐食鋼板に与える影響を調べることは、急務の課題となっている。

本研究では、空間的自己相関 (SAC) によりモデル化した腐食表面¹⁾を有する腐食鋼板が面内の繰り返し荷重を受けたときの強度特性を、汎用有限要素法解析ソフトウェア MSC.Marc を用いて解析する。

2. 腐食鋼板の有限要素モデル

2.1 腐食鋼板モデルと境界条件

本研究で用いた有限要素腐食鋼板モデルは、板長 0.4m、板幅 0.4m、初期板厚 t_0 とし、要素分割は 40×40 で 4 節点四辺形薄肉線形シェル要素 139 (各節点 6 自由度) を用いた。この鋼板モデル両面に SAC により初期板厚 t_0 から平均板厚 t_{ave} となるような独立した腐食を生じさせた。材料は、完全弾塑性体、von Mises の降伏条件、Plandtl-Reuss の流れ則、等方硬化則を仮定する (降伏応力 $\sigma_y = 235.2\text{MPa}$ 、ヤング率 $E = 205.8\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$)。

SAC による腐食面の生成は、ポアソン乱数を用いた独立腐食深に対し距離減衰を実施し、空間的に互いの腐食深に影響させることで各点の腐食深が決定される。本研究では独立腐食深間隔を 5mm とし、距離減衰に関するパラメータ β は既往の研究¹⁾から 0.4[1/mm]と固定した。鋼板モデルの両面に独立して腐食を生成し、中央面からの偏心距離と板厚の形で腐食鋼板モデルを作成した。

Marc による弾塑性大変形解析は、周辺単純支持、X 方向一様面内圧縮変位の条件で実行した。なお、残留応力と初期たわみなどの初期不整は考慮していない。

2.2 腐食パラメータ

腐食鋼板モデルの腐食前の初期板厚 t_0 、腐食後の平均板厚 t_{ave} および材料特性値を用いて、腐食パラメータとして幅厚比パラメータ R_{ave} および板厚損失比 r_c を次のように定義する。

$$R_{ave} = \frac{b}{t_{ave}} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E} \frac{12(1-\nu^2)}{\pi^2 k}} \quad (1)$$

$$r_c = \frac{t_0 - t_{ave}}{t_0} \quad (2)$$

ここに、座屈係数 $k = 4$ である。式 (1) の幅厚比パラメータ $R_{ave} = 0.8 \sim 1.2$ の間で 0.2 ずつ 3 通りに変化させ、それぞれに対し、板厚損失比を $r_c = 0.1 \sim 0.5$ の間で 0.1 ずつ 5 通りに変化させた。

3. 繰り返し荷重時の弾塑性大変形解析

3.1 繰り返し荷重

鋼製橋脚を構成する腐食鋼板の地震時の荷重状態を再現するために、鋼板に作用する繰り返し荷重は、ひずみパターン^{2),3)}より池内ら⁴⁾のものを使用した。本研究ではいずれのケースも 6 回の繰り返し載荷とし、一様面内ひずみとして、載荷辺上の X 軸方向に一様面内変位拘束条件により、繰り返し載荷した。

3.2 解析結果

SAC によりモデル化した腐食表面を有する腐食鋼板の繰り返し荷重を受けたときの荷重－たわみ曲線を、 $R_{ave} = 0.8$, $r_c = 0.5$ の時 Fig. 1 に示す．縦軸は無次元化載荷面内荷重 N/N_y ，横軸は無次元化中央たわみ w/t_{ave} である．ここに、 $N_y = \sigma_y b t_{ave}$ である．また、繰り返し回数 1 回目の最大圧縮荷重時の面外たわみのコンター図を①に、6 回繰り返し時の最終的な面外たわみのコンター図を②に、繰り返し回数 2 回目および 3 回目の損傷たわみ（面内荷重が圧縮からの除荷途中で 0 になったときの鋼板の残存面外中央たわみ）をそれぞれ③、④とし図内に示す．

図より損傷たわみは、繰り返し回数が増すごとに増加していることがわかる．また、最大圧縮荷重 N_{max} は、繰り返し回数が増すごとに小さくなっていることがわかる．

Fig. 1($R_{ave} = 0.8$, $r_c = 0.5$)の場合、ほとんどたわみが生じることなしに、板要素内の塑性化が進展し、最大圧縮強度 N_{max} に達する．一方、Fig. 2($R_{ave} = 1.2$, $r_c = 0.5$)の場合には、弾性座屈・大たわみが生じて最大圧縮強度 N_{max} に達する．また、面外たわみのコンター図から、繰り返し回数 1 回目の最大圧縮荷重時①は R_{ave} に依らず中央付近で最大たわみとなる一次波形となる．繰り返し回数 2 回目および 3 回目の損傷たわみ③、④は、左右のどちらかにたわみの最大値が寄る．これは最初の腐食が左右で偏りがあることや腐食鋼板の面外の Z 軸方向の偏心により、左右どちらかにたわみが進展していくと推測される．また、6 回繰り返し時の最終的なたわみ②の形状は、いずれも損傷たわみのたわみ形状とほぼ一致している．

また、残存強度（圧縮側の除荷直前の荷重） N_r に及ぼす幅厚比パラメータ R_{ave} 、板厚損失比 r_c および繰り返し回数 n の影響を明確にするために、残存強度 N_r を目的変数とし、 R_{ave} 、 r_c および n を説明変数とした重回帰分析を行った．その結果、残存強度は式（3）で評価できた．この式の決定係数は 0.9031 で、非常に精度が高い．標準偏回帰係数の大きさより、繰り返し回数 n 、幅厚比パラメータ R_{ave} 、板厚損失比 r_c の順に残存強度に影響することがわかった．

$$\frac{N_r}{N_y} = 1.3431 - 0.1185n - 0.4246R_{ave} - 0.0514r_c \quad (3)$$

4. 結 言

SAC による腐食鋼板モデルに対する弾塑性大変形有限要素解析により、繰り返し荷重を受けたときの荷重－たわみ関係、荷重－ひずみ関係などの強度特性を調べた．

無腐食鋼板のモデルの同様の解析結果と比べると、腐食鋼板は荷重－たわみ挙動の定性的な特徴は類似しているが、面外たわみのコンター図は不規則で偏りがあるものとなった．

参考文献

- 1) 海田ほか，土木学会論文集，No.766/I-68(2004)．
- 2) 保高ほか，構造工学論文集，Vol.49A(2003)．
- 3) 小野ほか，構造工学論文集，Vol.48A(2002)．
- 4) 池内ほか，構造工学論文集，Vol.50A(2004)．