

繰り返し荷重を受け座屈した腐食鋼板の強度評価曲線に関する研究

第一コンサルタント 正会員 ○又川嵩哉
高知工業高等専門学校 正会員 勇 秀憲

1. はじめに

現在、日本だけでなく世界中で建設された社会基盤構造物の深刻な老朽化問題が進んでおり、それらの維持管理の重要性が指摘されている。特に、経年劣化により機能損失した鋼橋の腐食および疲労の増加により、様々な腐食事例が相次いで見られる。アメリカや日本をはじめ世界中で、腐食橋の落橋など悲劇的な事故に繋がることも過去にいくつかあった。こうした鋼橋の維持管理においては、その腐食と疲労などをどのように評価するかが重要な課題である。特に、今後日本では、東海・南海地震などの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。

楠目¹⁾は、腐食鋼板が座屈後に非常に大きな弾塑性変形を伴い繰り返し荷重を受けるときの強度特性を、強度曲線の形で提案した。本研究では、その強度曲線の精度向上を目指して同様の解析を行い、強度特性に及ぼす幅厚比パラメータ、板厚損失比や繰り返し回数などの影響をより明確な形で示す。

2. 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（板長 $a = 0.4\text{m}$ 、板幅 $b = 0.4\text{m}$ 、初期板厚 t_0 ）を図1に示す。要素分割は 40×40 とし、4接点四辺形薄肉線形シェル要素139（各接点6自由度）を用いた。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。

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、式(1)の板厚損失比 r_c を定義し、幅厚比パラメータ R_{ave} を式(2)で表す（座屈係数 $k = 4$ 、降伏応力 $\sigma_y = 235.2\text{MPa}$ 、ヤング率 $E = 205.8\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ ）。

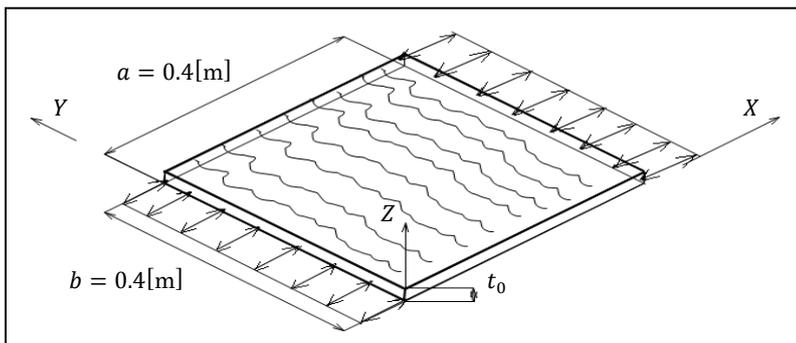


図1 繰り返しの圧縮・引張を受ける腐食鋼板モデル

板厚損失比 r_c

$$r_c = \frac{t_0 - t_{ave}}{t_0} \quad (1)$$

幅厚比パラメータ R_{ave}

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

本研究では、与えられた幅厚比パラメータ R_{ave} と板厚損失比 r_c に対して、平均板厚 t_{ave} と初期板厚 t_0 を求め、この鋼板モデルの両面独立にSACにより初期板厚 t_0 から平均板厚 t_{ave} となるような腐食を生じさせた。

SACによる腐食面の作成は、ポアソン乱数を用いた独立腐食深に対し距離減衰を考慮し、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感覚を 5mm とし、距離減衰に関するパラメータ β は既存の研究²⁾から $0.4/\text{mm}$ と固定した。

Marcによる弾塑性大変形解析は、周辺単純支持、一様面内変位拘束条件で実行し、腐食鋼板モデルの繰り返し強度特性を評価する。腐食鋼板の塑性座屈、弾塑性座屈および弾性座屈は、式(1)の幅厚比パラメータ R_{ave} によって支配されている。ここでは、初期たわみと残留応力は考慮していない。

本研究では、楠目¹⁾の研究の幅厚比パラメータ $R_{ave} = 0.8, 1.0, 1.2$ の3通りに加えて、幅厚比パラメータ $R_{ave} = 0.9$ と 1.1 の2通りに変化させ、それぞれに対し、板厚損失比 $r_c = 0.1 \sim 0.5$ の間で 0.1 ずつ5通りに変化させた。

3. 残存強度と損傷たわみ

3.1 繰り返し荷重

本研究ではいずれのケースも6回の繰り返し荷重（池内ら³⁾のものを使用）とし、一様面内ひずみとして、図1の荷重辺上のX軸方向に、一様面内変位拘束条件により繰り返し荷重した。

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が繰り返し荷重を受けるときの残存強度—たわみ曲線を、 $r_c = 0.1$ のとき図2に、 $r_c = 0.5$ のとき図3に示す。また、残存強度 N_r を幅圧比パラメータ R_{ave} の関数として、以下の回帰式(3)を求めた。ここで、回帰式の係数 A 、 B を表1に示す（図2および図3の理論値）。

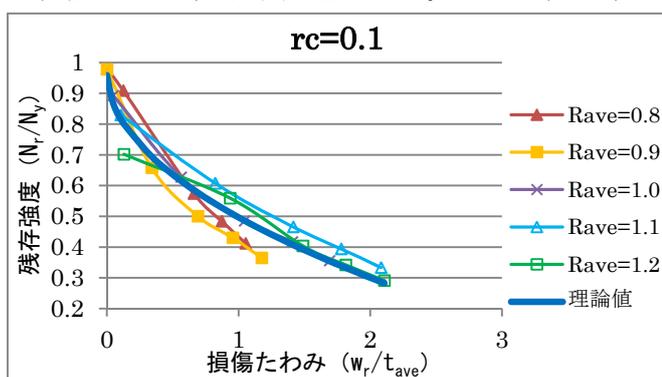


図2 残存強度—損傷たわみ曲線 ($r_c = 0.1$)

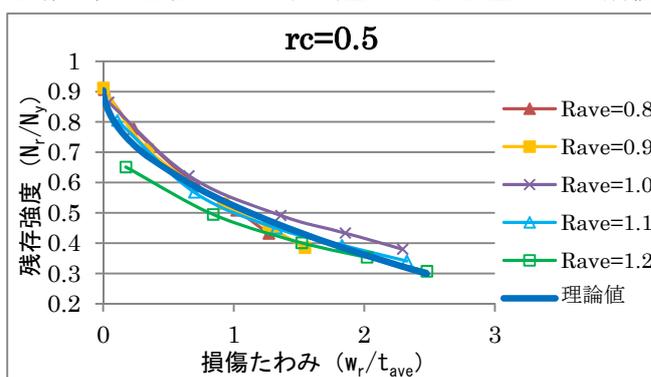


図3 残存強度—損傷たわみ曲線 ($r_c = 0.5$)

$$N_r/N_y = A\sqrt{R_{ave}} + B \quad (3)$$

図2と図3を比較すると、板厚損失比 r_c が0.1の場合より0.5の場合の方が、残存強度が低下し、損傷たわみが増加している。しかし、各 r_c ごとの結果（表1）を見ると、理論値の A 、 B にあまり差がないことが分かる。つまり、板厚損失比 r_c が変化しても各グラフの形状や傾きはほとんど変わらないことから、残存強度や損傷たわみに板厚損失比 r_c の依存は小さいと考えられる。

次に残存強度 N_r に及ぼす R_{ave} 、 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。その結果を式(4)に示す。

$$N_r/N_y = 1.3361 - 0.1223n - 0.4091R_{ave} - 0.0433r_c \quad (4)$$

決定係数は0.896であり、非常に精度高く求められた。この式(4)を残存強度評価式として提案する。

4. まとめ

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強度特性を調べ、その結果から強度評価曲線式を提案した。回帰式(3)、重回帰式(4)とともに決定係数が高く、非常に精度よい式が提案できた。

参考文献

- 1) 楠目ほか、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、平成24年度土木学会四国支部第18回技術研究発表会講演概要集、I-5, pp.9-10, 2012.
- 2) 藤井ほか、腐食鋼板表面形状モデル作成における空間的自己相関モデルの適応性、構造工学論文集、第10号, pp.115-122, 2011.
- 3) 池内ほか、繰返し荷重により座屈損傷を受けた鋼板の極限強度、構造工学論文集、Vol.50A, pp.1437-1445, 2004.