

損傷力学を用いた鋼構造部材の疲労損傷度評価法に関する一考察

九州大学 学生会員 金丸 佳介

九州大学 正会員 園田 佳巨

九州大学 正会員 彦坂 照

1. 緒言

既設構造物の適切な維持・補修を計画的に行うには、構造部材レベルで残存耐力や余寿命を精度良く評価を行うことが必要である。その有効な手法の一つとして、損傷力学を用いた解析が考えられるが、正確な評価を行うには、損傷度の進展に関する材料定数の適切な設定が不可欠である。しかし、一般に試験片や部材レベルで実施する疲労実験結果をもとに材料定数の決定を試みるには、除荷速度の制御等を前提とした緻密な試験方法が要求されるなど容易ではない。そこで、本研究ではニューラルネットワークにより損傷力学に必要な材料定数と疲労破壊特性との関連性を学習させることで、通常の S - N 曲線データから材料定数を決定する信頼性の高い疲労損傷評価法の開発を試みた。

2. 解析手法の概要

2.1 損傷力学

連続体損傷力学は、外的要因による構造部材の破壊を、「微視的に見たときに存在する多数のひび割れや欠陥が、塑性ひずみの蓄積とともに成長・集積し、耐力を喪失するような巨視的ひび割れが発生すること」と定義するもので、損傷度を表す物理量として、図 - 1 および式(1)に示すような部材断面内の抵抗力を失った断面の割合を表す損傷変数 D (<1.0)を用いる。

$$D = \frac{A_D}{A_0} \quad (1)$$

ここに、 A_0 : 全断面積、 A_D : 抵抗力を失った断面積

損傷の進展則は、損傷にともなう散逸ポテンシャルエネルギー関数 F_D を定義し、ひずみエネルギー密度解放率 Y と損傷進展速度 dD が共役な変数であると仮定した関連流動則を用いて、以下のように評価される。

$$dD = \frac{\partial F_D}{\partial Y} dI = \frac{Y}{S} dp \quad (2)$$

式(2)中の S は、損傷進展に必要なエネルギー強度として定義される材料固有の定数であるが、一般にその値を決定するには、除荷速度を制御した緻密な疲労試験が要求されるなど容易ではない。

2.2 階層型ニューラルネットワークの適用

本研究では、最初に図 - 1 に示す円孔を有する構造用鋼材を対象に、エネルギー強度 S を既知データとした順解析をパラメトリックに行った。次に、得られた結果を教師データとみなし、図 - 2 のような多層構造の階層型ニューラルネットワークを用いて、エネルギー強度と疲労損傷特性との関係について学習させることにした。学習後のネットワークを用いれば、疲労試験で得られる実データをもとに信頼性の高いエネルギー強度の値を決定できるものと考えられる。

3. 数値計算例および考察

3.1 教師データの作成

載荷荷重、材料定数 S から疲労破壊に要する載荷回数 N を求める順解析の結果を教師データとした。順解析の条件として、図 - 2 のモデルに 150MPa から 230MPa までの 17 種類のレベルの荷重を与え、それぞれ 21 種類

キーワード：連続体損傷力学、ニューラルネットワーク、材料定数

連絡先：〒812 - 8581 福岡市東区箱崎 6 - 10 - 1 九州大学大学院工学府建設システム工学専攻

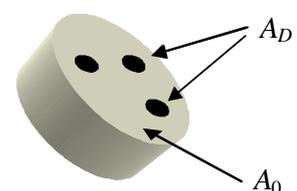


図 - 1 損傷の定義

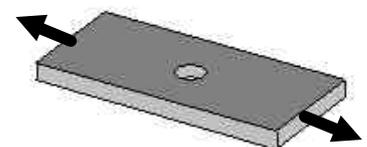


図 - 2 解析モデル

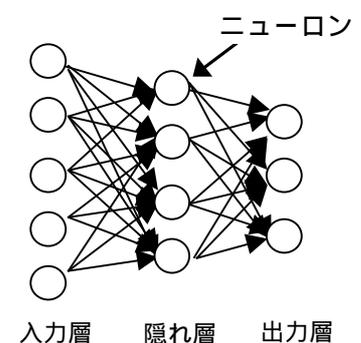


図 - 3 階層型ニューラルネットワーク

のエネルギー強度を与えた。順解析によって得られた結果を整理すると、図-3のようになる。次に、図-3におけるとNを入力値、Sを出力値とみなしてニューラルネットワークによる学習を行った。なお、学習を行うにあたり、入出力データ間の適切な写像関係を得るために、各ユニットの値の順位を(0,1)の範囲に正規化する一般化空間格子変換法(GSL変換法)を用いた前処理を行った。

3.2 逆解析

隠れ層1層のニューラルネットワークを表-1のように作成し、前節で作成した教師データの学習を行った。学習終了後、ネットワークに既往の疲労試験データを15ケース入力すると、表-2のようにエネルギー強度Sにばらつきが見られた。このことから、同一条件下の疲労試験データをもとにエネルギー強度を推定しても、その値にはばらつきが見られ、確率変数として扱う方が望ましいことが推察された。

3.3 疲労損傷解析

次に一般の鋼部材に対して信頼性のある載荷荷重 疲労寿命曲線を得るために、ニューラルネットワークより推定した材料定数Sの最小値0.556を用いて、疲労損傷解析を試みた。解析モデルには、図-5に示すような応力集中が見られる切欠き部を有する鋼桁を用い、桁中央に両振幅交番

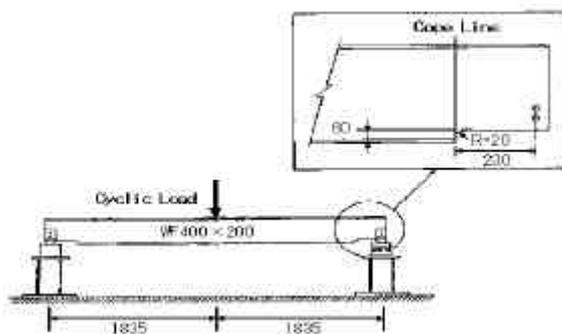


図-5 解析モデル

荷重を与えた。図-6は、解析によって得た載荷荷重と疲労寿命との関係を示したものである。今回、エネルギー強度の推定に用いた試験データは、非超過確率97.7%に対応する下限値であることから、本解析結果による荷重 疲労寿命曲線も同程度の非超過確率を有するものと考えられる。

4. 結論

本解析により、損傷進展に関する材料定数を確率変数として取り扱えば、鋼構造部材の疲労寿命を定量的に評価可能であることが確認できた。今後、適切な確率変数モデルの設定を検討することで、信頼性の高い疲労損傷評価法が確立できるものと考えられる。

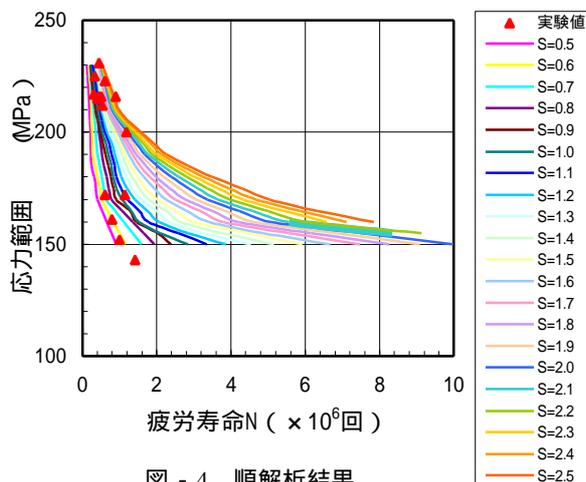


図-4 順解析結果

表-1 ネットワークの設定

ユニット数			
入力層	2	許容誤差(Error)	0.1
隠れ層	30	安定化係数(α)	0.8
出力層	1	学習定数(η)	0.75
		学習パターン数	369

表-2 未学習データの入出力値

入力データ		出力データ
(MPa)	N (回)	S(MPa)
143	1420000	0.556
152	1000000	0.556
161	800000	0.618
172	600000	0.600
172	1140000	1.139
200	1180000	1.859
212	540000	1.057
215	400000	0.855
216	430000	0.983
216	500000	1.115
216	900000	2.414
217	300000	0.799
223	600000	2.153
225	330000	1.133
231	450000	2.193

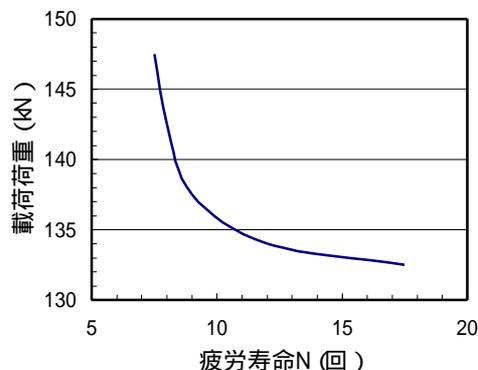


図-6 載荷荷重と疲労寿命との関係