

損傷集中モデルを用いた鋼橋の疲労損傷解析

九州大学 学生員 金丸 佳介

九州大学 正会員 園田 佳巨

九州大学 正会員 彦坂 熙

1. 緒言

近年、構造物のライフサイクルコストの低減を目的とした適切な維持・補修を行うために、既設構造物の余寿命評価手法の確立が望まれている。本研究では、構造物の余寿命評価を目指す基礎的な考察として、損傷集中モデルを用いた鋼橋の疲労寿命予測手法について考察を試みた。

2. 解析手法の概要

本研究で用いる損傷力学は、力学的要因により部材内部に発生する損傷度を内部変数 D として評価するもので、この損傷変数の発生がもたらす部材剛性の低下により疲労の進展を考慮するものである。一般に、大規模な構造物の全体系を連続体モデルで評価することは、膨大な計算量が必要であり、現在の一般的な計算機的能力では困難である。

そこで、本研究では構造全体系を骨組モデルで表し、部材要素として損傷集中モデルの概念を用いた。これは、図-1に示すように部材内部を弾性は要素と仮定し、両端の非弾性ヒンジにより損傷の影響を考慮することで部材内の損傷を簡易に評価するものである。この損傷集中モデルを用いる事で、部材要素端部の非弾性ヒンジの変形により損傷の進展を考慮することで損傷値 D は、次のように表される。

$$D = D_M + D_N \quad \cdots (1)$$

ここに、 D_M : 曲げによる損傷度、 D_N : 軸力による損傷度

本研究では、予め各構造部材の損傷進展則として連続体モデルを用いた3次元弾塑性解析で、それぞれ曲げと軸力のみが作用する場合のS-N曲線を求めておくことにした。図-2、3にそれぞれ曲げと軸力に対するS-N曲線を示す。その後、線形累積損傷則の概念により、ある応力 σ が発生したらそれに対する破壊までの載荷回数 N をS-N曲線から読み取り、その逆数により損傷値 D の増分を次のように簡易に評価した。

$$\Delta D = \frac{1}{N} \quad \cdots (2)$$

本研究では、走行荷重に対する構造物の動的応答解析を行い、各時刻における部材断面力を基に損傷増分を求め、前ステップまでの損傷値 D に加えることで時刻歴に進展する損傷度の評価を行った。

3. 数値計算例および考察

3.1 I型断面ラーメン構造の疲労破壊シミュレーション

図-4に解析モデルを示す。このモデルはI型断面(I-800×150×25×15mm)で構成されたラーメン構造であり、左上端部の水平 P_H 、鉛直 P_V 方向に最大値 16、15.5、14.5、13.5、12.5kN の両振幅交番荷重をそ

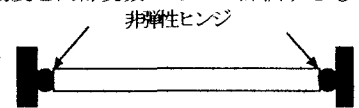


図-1 損傷集中モデル

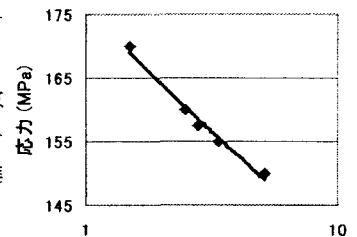
破壊までの載荷回数 $N (\times 10^5)$ 回

図-2 曲げによるS-N曲線

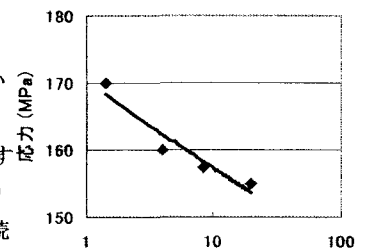
破壊までの載荷回数 $N (\times 10^5)$ 回

図-3 軸力によるS-N曲線

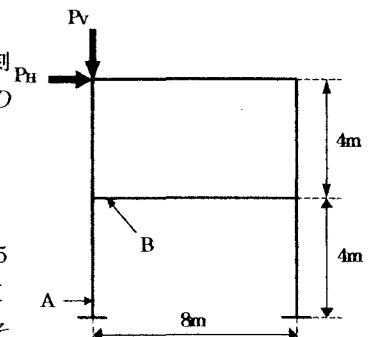


図-4 解析モデル

れぞれ与えた。

図-5は、荷重載荷点における載荷回数と水平変位との関係である。この図より、部材の変形が進むにつれて部材内部で損傷が進展し、変位が次第に大きくなっていく様子が確認できる。図-6にA、B点における損傷値 D の進展具合を示す。この図より、 10^4 回まではA点における損傷が急激に増加するが、その後は、B点における損傷の進展の方が顕著になることが確認できた。図-7は、載荷荷重の最大値と破壊までの載荷回数との関係である。この図より、載荷荷重13.5kNを越えたあたりで破壊までの載荷回数が急激に増加する傾向にあることが確認できた。

3.2 プレートガーダー橋の疲労破壊シミュレーション

次に、プレートガーダー橋を想定した余寿命評価を行った。本手法を実構造物に適用するためには、応力が集中する溶接部や切り欠き等を再現した連続体モデルで部材別にS-N曲線を求めておく必要があるが、ここでは簡易にするためにすべての要素において同じS-N曲線を用いた。

図8に解析モデルを示す。今回は、ニューマーク β 法を用いて、最大走行荷重50t $\times$ 50台/日に対する動的応答解析を行った。

図-9は、スパン中央部における最大変位応答である。この図より、損傷の影響により最大変位応答が次第に大きくなっていく様子が確認できる。図-10は、C、D点における損傷値 D の進展具合を示す。この図より、まず橋桁と橋脚との連結部から損傷は進展し、本計算モデルでは、供用期間50年あたりからスパン中央部の損傷が顕著に増加することが確認できた。図-11は、走行車両台数と橋の供用期間との関係である。この図より、本手法に適切な入力データを与える事ができれば、鋼橋の妥当な余寿命評価結果を得ることができると考えられる。

3.3 結論

損傷集中モデルの概念を用いることで、鋼橋の余寿命評価が簡易に行える事が示された。今後、各部材に対して適切な損傷集中モデルを設定することが可能となれば、より妥当な余寿命評価法の確立へとつながるものと思われる。

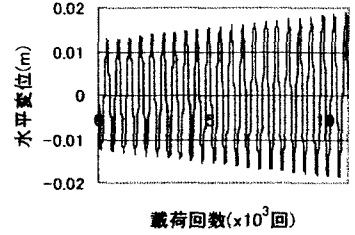


図-5 変位に対する損傷の影響

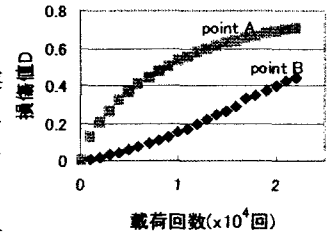


図-6 損傷進展の具合

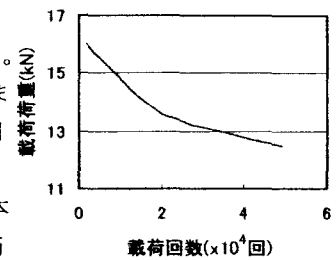


図-7 載荷荷重と載荷回数との関係

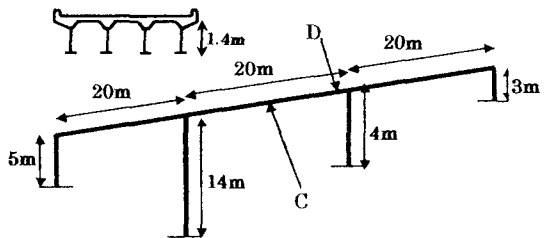


図-8 解析モデル

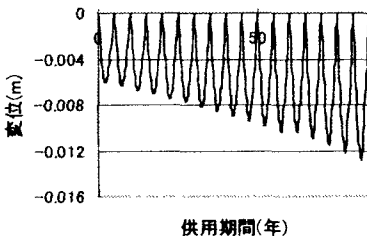


図-9 変位に対する損傷の影響

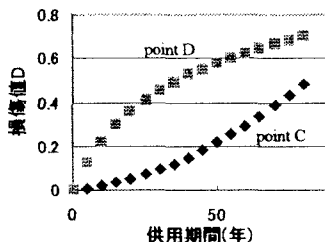


図-10 損傷の進展具合

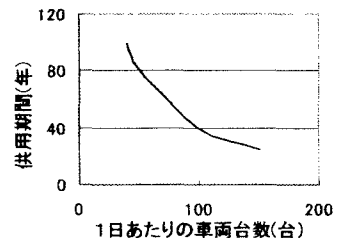


図-11 車両台数と供用期間との関係