

I - A 99 相互結合型ニューラルネットワークによる静的応答構造同定法の開発

北海道開発コンサルタント(株) 正会員 佐々木 雄一 茨城大学 正会員 呉 智深
福島工業高等専門学校 正会員 岩松 幸雄 茨城大学 正会員 原田 隆郎

1. はじめに

現在、構造物の健全性を同定するための方法として、構造物に動的な刺激を与えることによって得られるデータを利用した構造同定手法の研究が活発に行われている。しかし構造物の質量、減衰特性、剛性の全てに関連づけている動的な構造同定の場合、測定データにおけるノイズの内在やモデル内のパラメータの不確定な挙動や、構造物の大型化や複雑化に伴う解析精度の低下等が考えられる。一方で動的な応答における定常応答や、過渡応答の前兆として考えられるのが静的な応答である。静的な応答はノイズの影響が比較的少なく、あらかじめ大型構造物の内部状況を把握することが可能であると考えられる。このため、外部の負荷状況や測定方法の面において、静的な手法を用いることで動的な手法の問題点を補うことができる。そこで、著者らは、いままで有限要素に離散化された構造物の剛性の低下している位置と、要素レベルの剛性の健全率 α_j を同定する相互結合型ニューラルネットワークによる組み合わせ非線形最適化問題定式化を試みていた[1][2]。本論文は、その後の解析ツールの一般化による橋脚構造体の同定効果について述べたものである。

2. 静的応答構造同定法の数値解析モデルの構築

有限要素解析モデルで計算された節点力と実際の構造物より測定したものの間の応力誤差関数の最小二乗推定式より、二通りの手法で非線形最適化問題の定式化を行い、相互結合型ニューラルネットワークにより組み合わせ最適化問題としてモデルを構築した[2]。

(1) 全体構造同定

全体構造同定法では構造物全ての要素ごとのパラメータを同定する。また、当然ではあるが劣化位置($X_1, \dots, X_m$)の要素 m 個を限定した同定も行えるようになっている(図1)。但し次元は全体剛性マトリックスの構造体の領域のもの ne になる。同定する j 番目の要素の健全率を α_j とすると目的関数は次の式(1)のように設定できる。

$$J_{r1} = \frac{1}{2} \sum_{h=1}^{nlc} \left[\alpha_h \sum_{s=1}^{2l} \left\{ \left(\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{2l} K_{j,s,t} \cdot \delta \alpha_j \cdot u_{h,t} + \sum_{j=m+1}^{ne} \sum_{t=1}^{2l} K_{j,s,t} \cdot u_{h,t} \right) - f_{h,s} \right\}^2 \right] \quad (1)$$

ここで nlc は実験の回数である。

(2) 静的縮小法を用いた局所構造同定

構造物の劣化箇所は、目視によりひびわれや傷のある位置を探し出すことにより、ある程度の部分領域を限定して同定を行う。そこで、静的縮小法を用いることにより剛性マトリックスの次元を減らし、限定された領域のみについて上記の同定方法と同様に劣化していると推定した位置($X_1, \dots, X_m$)のパラメータだけにきり同定を行う。したがって、図2のように境界線に囲まれた部分を部分1、その他の部分の部分2として、次のような目的関数を設定できる。

$$J_{r2} = \frac{1}{2} \sum_{h=1}^{nlc} \left[\alpha_h \sum_{s=1}^{2k} \left\{ \left(\sum_{j=1}^m \sum_{t=1}^{2k} K_{j,s,t} \cdot \delta \alpha_j \cdot u_{h,t} + \sum_{j=m+1}^{ne} \sum_{t=1}^{2k} K_{j,s,t} \cdot u_{h,t} + \sum_{j=ne+1}^{pe} \sum_{t=1}^{2k} K_{j,s,t} \cdot u_{h,t} \right) + \sum_{t=1}^{2k} \left([K_{12} [K_{22}]^{-1} [K_{21}]]_{j,j} \cdot u_{h,t} \right) - \left(\{f_h^1\} - [K_{12} [K_{22}]^{-1} \{f_h^2\}]_s \right) \right\}^2 \right] \quad (2)$$

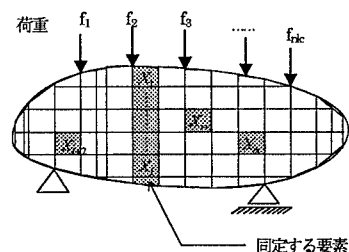


図1 全体構造同定離散化モデル

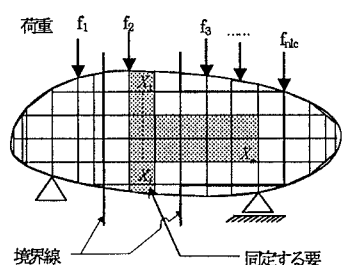


図2 静的縮小法を用いた局所構造同定離散化モデル

キーワード : 静的構造同定 健全率 ニューラルネットワーク 有限要素法

連絡先 : 〒316 茨城県日立市中成沢町4-12-1 Tel 0294-38-5172 Fax 0294-35-8146

上記した目的関数をニューラルネットワークにより逆解析するに当たり、式(1),(2)の健全率 α_j を(3)のようにニューロン表現する。

$$\alpha_j = A \sum_w X_{jw} \quad (3)$$

また、ニューラルネットワークのエネルギー関数は次のように表されるため

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j W_{ij} X_i X_j - \sum_i I_i X_i \quad (4)$$

式(3)を式(1),(2)に代入しその式を展開、整理して、式(4)と比較してニューラルネットワークの重み $W_{jw}^{j^*w^*}$ としきい値 I_{jw} を設定し、組み合わせ最適化問題を解く。その評価について文献[2]に参照されたい。

3. 数値解析及び検証

解析に用いたモデルは、図3に示すような50要素に離散化された2次元橋脚モデルである。解析条件の概要は図3の通りである。実験回数は1回とする。

(1) 全体構造同定した場合

モデルの全要素を同定した解析結果の要素番号13～24及び36について、図4に示す。要素番号14、18、22は劣化部である。この場合22番の要素の推論値だけが設定値0.60と比べて0.01の誤差がある0.61を示した。他の要素の推論値(図に示していない要素も含む)は、全て設定値と全く一致した。

(2) 静的縮小法を用いて局所構造同定した場合

要素番号13～24、35～44、48～50の合計25要素を静的縮小法を用いて局所的に同定した場合、図5に示すように要素番号14、22のニューラルネットワークによる推論値は0.61であり、設定値の0.60と比べて0.01の誤差がある。また36番の要素の推論値は0.99であり、この要素についても誤差が0.01ある。その他の要素の推論値については、設定値と全く一致した。ただし、解析時間では全体構造同定の約8分の1であった。

3. おわりに

本研究では、静的応答構造同定法として、構造物の劣化位置とその健全度を同定するために非線形最適化問題として目的関数の定式化により実構造物と想定した構造モデルの数値解析を行った。その結果、静的な情報による構造同定手法の目的関数の正当性が確認できた。また、静的縮小法を用いた局所構造同定では、かなり高い精度を有し、また全体構造同定に比べ計算時間が大幅に短縮できるということが確認できた。

しかし、本モデルでは、解析に用いる変位全てを測定値として扱った。しかし、実際の構造物において、荷重応答変位を全て測定することは困難な場合がある。ゆえに、ある程度の未測定節点変位があっても同定できるように、モデルを拡張することが望まれる。

【参考文献】

- [1] 水田 敦、岩松 幸雄、呉 智深、原田 隆郎、片柳 聡：静的な応答による既存構造物の構造同定に関する研究、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、I-A137, PP.274-275, 1996.9
- [2] Z.S.Wu, S.Iwamatsu, T.Harada "Computational Modeling on Parameter Estimation of Large Scale Structures from Static Responses", Proceedings of The Third Asian-Pacific Conference on Computational Mechanics, Vol.2, PP.1105-1110, 1996.9

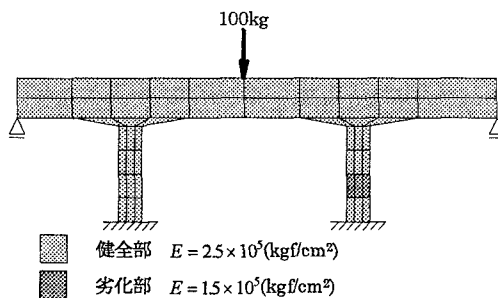


図3 2次元50要素モデル概要

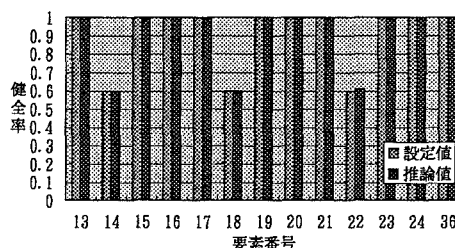


図4 全体構造同定の解析結果

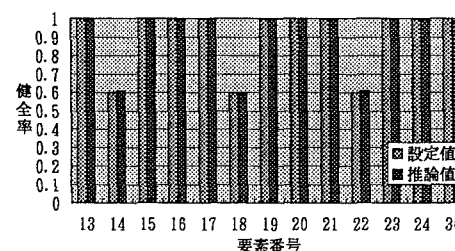


図5 静的縮小法を用いた局所構造同定解析結果