

ニューラルネットワークによるPC上部構造非線形挙動の認識

九州大学大学院助手	正会員	矢聳 亘
九州大学大学院助教授	正会員	松田泰治
九州大学大学院教授	フェロー会員	大塚久哲

1. はじめに

橋梁の性能規定型設計に向け、上部構造非線形性を考慮した照査・設計のための適切なPC部材の履歴モデルの整備が急務となっている¹⁾。しかしながら、「プレストレスによる原点指向性」や、「PC鋼材の偏心・張出床板の影響による正負の非対称性」等によるPC上部構造部材除荷曲線の特徴を適切に表現するためには、新たな関数の導入やパラメータ数の増加などが必要であり、その複雑な定式化に多大な労力を要しているのが実情²⁾・⁴⁾である。そこで本研究では、ニューラルネットワークの有する関数近似能力⁵⁾を用いて、PC部材の非線形履歴挙動を簡易にモデル化可能であることを示した。

2. 教師データ入手のためのPC桁交番載荷実験

ここでは、ニューラルネットワークによるPC桁の復元力特性のモデル化に必要な教師データ入手のため、交番載荷実験を行った。実験供試体は、①有効幅員9.0mの1室箱桁断面、②80～140mm程度の中央径間を有するラーメン橋のインフレクションポイント付近の桁高を想定し、載荷装置の能力を考慮して1/8.5程度の外形寸法とした。使用材料は、 $\sigma_{ck}=40\text{N/mm}^2$ のコンクリートとSD295(D6, D13)の鉄筋を用い、PC鋼材は現在PC橋で一般に使用されているPC鋼より線とし、IS15.2Aを使用した。プレストレス導入度は、想定した橋梁におけるプレストレス量を考慮して、プレストレスによる平均軸圧縮応力度を3.6MPaに設定した。図-1に供試体の断面図を示す。

載荷方法は、単純曲げ載荷(2点載荷)の正負交番漸増載荷とし、押し引き980kNの油圧ジャッキを用いて、軸方向鉄筋初降伏時の変位 δ_{y0} までは荷重制御、その後は δ_{y0} の整数倍を片振幅とした両振り交番載荷($\pm 2\delta_{y0}$, $\pm 3\delta_{y0}$, $\pm 4\delta_{y0}$...)を、最大荷重以下に低下するまでを目標に行った。本実験で用いた実験装置および供試体設置状況を図-2に示す。

実験で得られた供試体のP- δ 履歴曲線を図-3に示す。PC部材の特徴である除荷時の剛性が荷重の低下とともに小さくなり、履歴曲線は原点付近を指向する結果を得た。本研究では、この結果をニューラルネットワークの教師データ(学習対象)とした。

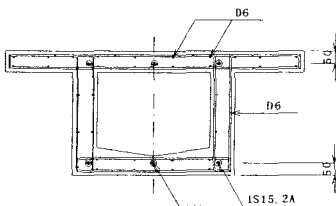


図-1 供試体断面図(単位mm)

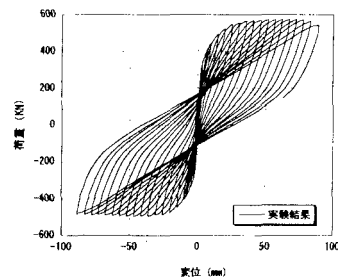


図-3 実験結果

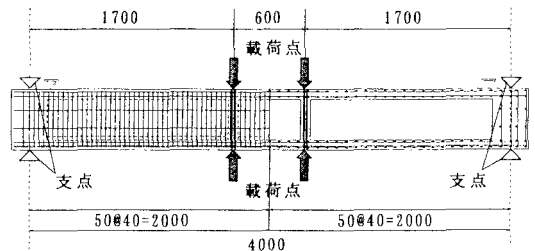
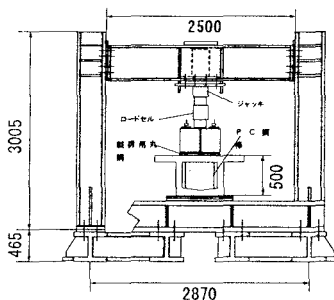


図-2 載荷装置および供試体設置状況(単位mm)

3. ニューラルネットワークの構築と解析

本研究では図-4に示す階層型ニューラルネットワークを使用した。階層型ニューラルネットワークとは、複数のユニットからなる入力層、中間層および出力層から構成され、信号が入力層から中間層を経て出力層に一方方向へ流れる。このため信号処理が単純であり応用範囲も広いのが特徴である。

入力層ユニットは、「最大経験変位」、「最大経験荷重」、「最新の変位折り返し点」、「最新の荷重折り返し点」に加え、接線剛性の変化に関わる情報として「1ステップ前の変位増分」および「1ステップ前の荷重増分」を、さらに現時点での変位を加えた7ユニットとした。これらのパラメータは、学習用教師データ（今回は交番載荷実験）により容易に取得可能な物理量である。出力層は入力層の7ユニットの情報より荷重を推定することから、荷重の1ユニットとした。学習には、誤差逆伝播法を用いた。

4. 解析結果

学習を終えたネットワークに、載荷実験で入力した変位波形と同様の変位波形を入力し、荷重の模擬（ネットワークによる出力）を行った結果（履歴の比較として表わしたもの）を図-5に示す。

両者は非常によく一致しており、学習を行ったネットワークを、荷重の予測子として用いることで、PC部材の特徴である除荷時の原点指向性を再現可能であることが確認できる。

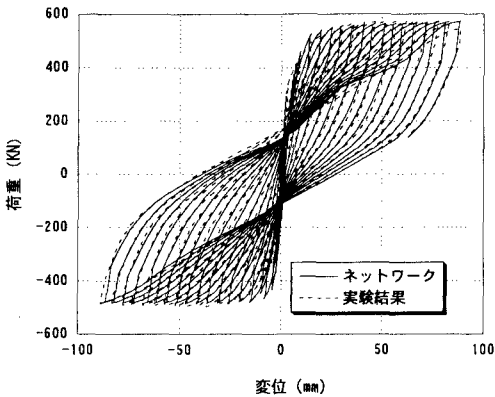
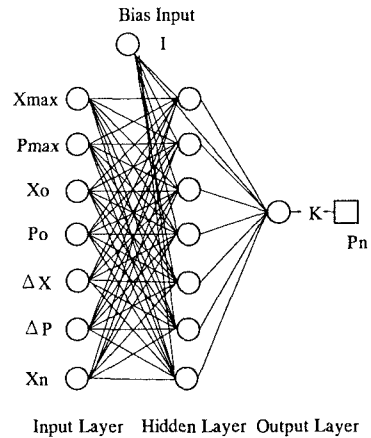


図-5 ネットワークによる出力と実験結果の比較



- Input Layer Hidden Layer Output Layer
- X_{max} : maximum experienced displacement
 P_{max} : maximum experienced load
 X_o : the latest displacement turning point
 P_o : the latest load turning point
 ΔX_{n-1} : increase of displacement in Δt sec ($=X_{n-1}-X_{n-2}$)
 ΔP_{n-1} : increase of load in Δt sec ($=P_{n-1}-P_{n-2}$)
 X_n : present displacement
 P_n : present load

図-4 ニューラルネットワークの構造と入出力ユニット

5. まとめ

本研究では、ニューラルネットワークを用いて、交番載荷実験により得られたPC箱桁部材の履歴復元力特性のモデル化が可能であることを示した。今後は、プレストレスの導入度、鋼材の偏心等を変化させたPC箱桁履歴実験結果に基づくモデル化と、地震応答解析への適用について検討を行う予定である。

謝辞

本研究の一部は、平成12年度文部省科学研究費補助金奨励研究(A)（代表：矢葺 亘）の補助を受けて行ったものである。また、実験を遂行するにあたり浦川洋介氏（九州大学大学院修士課程）には、多大なご協力を賜った。記して謝意を表する。

参考文献

- 1) 大塚, 矢葺ほか: 上部構造の非線形性を考慮したPCラーメン橋の耐震性照査, 構造工学論文集, Vol.45A, pp.967-974, 1999.3
- 2) 鈴木, 森, 山口, 池田: プレストレストコンクリート橋脚の復元力モデル, 第9回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp.673-678, 1999.10.
- 3) 大塚, 岡田他: PC箱桁の復元力特性に関する交番載荷実験, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.2, pp90-97, 2000.4
- 4) 大塚, 岡田他: 交番載荷実験に基づくPC箱桁の復元力特性の提案, プレストレストコンクリート, Vol.42, No.5, pp18-24, 2000.9
- 5) 松田, 矢葺他: ニューラルネットワークによる高減衰積層ゴムの非線形履歴挙動の認識と動的解析への適用, 土木学会論文集 No.605, I-45, 29-36, 1998.10