

54 ニューラルネットワークを用いた砂防施設効果を考慮した河床変動推定に関する考察

防衛大学校 ○長通伸幸, 深和岳人, 香月智
 (財) 砂防・地すべり技術センター 松村和樹
 国土交通省四国山地砂防工事事務所 小山内信智

1 緒言

近年, 山地源流部から河口部に至る全域での土砂移動を管理するシステムの構築が急務とされている^{1)~3)}. このような背景から, 砂防施設の効果を含まれた河床変動の予測手法の確立が望まれる. そこで本研究は, 四国重信川の約30年間にわたる実測データを利用して, 砂防区間直下における河床変動を降雨データおよび砂防事業の履歴データを入力因子とするニューラルネットワークを用いて予測するシステムの開発を試み, これを用いて砂防施設効果に関する評価を行ったものである.

2 システム構成

2.1 ニューラルネットワークシステム

本研究では, 学習則にバックプロパゲーション法を用いた3層の階層型ネットワークを用いる⁴⁾.

2.2 対象流域

本研究の対象とする重信川は愛媛県のほぼ中央部にあり, 流域面積の80%を山地が占め, 四国地方でも稀な急勾配河川である. 流域は直轄河川施工区間と直轄砂防施工区間(以下, 砂防区域)に分けられる. 本研究は土砂流出が活発である砂防区域(流域面積74.4km²)を対象とし, 区域の最下流部で砂防基準点でもある河口から17.0km地点の河床変動量の予測を行う.

2.3 使用データ

国土交通省四国山地砂防工事事務所では, 流域の工事, 溪岸荒廃, 降雨記録および河床変動について昭和36年~平成11年の39年間にわたって記録している. このうち昭和40年~平成5年の29年間の記録について砂防区域を重信川流域と表川流域に分け, 入力データとしては, 降雨について最大日雨量, 最大3時間雨量, 年降水量を用いるものとした. また, 流量については年最大流量および年平均流量を用いる. 砂防施設は竣工後もそのポケットが満砂になるまでに経過時間を要するなどその効果が現れるまでにタイムラグがあると考えられるため, 当該年度から4年前までの計画貯砂量の合計, およびさらに遡って5年前~10年前の計画貯砂量の合計を入力データとした. また, 降雨についても山腹荒廃や降雨の蓄積などによる土砂流出のポテンシャル向上などタイムラグ効果がある可能性がある. そのため,

さらに対象年度の前年度の年降水量および最大日雨量を入力データとして加えてシステムを構築した. 予測のための教師データは観測された河床高から算出した. 使用データの一例を表-1に示す. なお, 昭和43~45年, 58, 59, 63年, 平成2年においては河床高計測が未実施もしくはデータ化されていないため学習過程には使用できない.

また, 図-1に河床変動量と年降水量の関係を示す. これより, 河床変動量はだまかに年降水量が増大すると減少する傾向が見られるが, そのばらつきは極めて大きいことがわかる. このように各データと河床変動量には, 明確な相関関係は見当たらない.

3 結果と考察

3.1 学習の検定

図-2に, 教師データとして用いた河床変動量と学習を終了したニューラルネットワークシステムによる予測結果を示

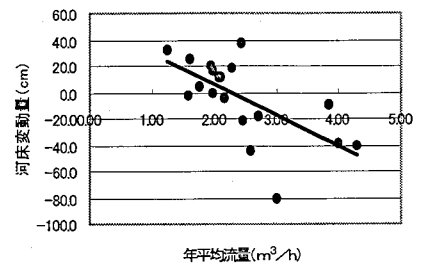


図-1 河床変動量と年降水量の相関

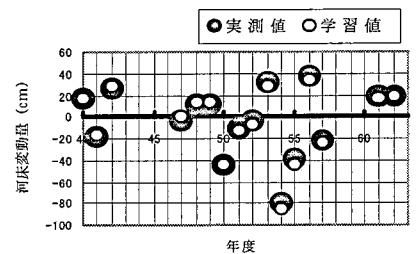


図-2 学習結果

表-1 使用データ

要 因	S40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
年 降 水 量 (mm)	1800	1850	1480	1555	1450	1810	1480	2285	1565	1670	1955	2485	1580	1195	2170
年最大3時間雨量 (mm)	1800	1775	1440	1555	1250	1660	1480	1960	1340	1700	1685	2275	1345	1145	2120
年最大日雨量 (mm)	22.1	16.6	32.2	28.5	15.5	59.3	8.8	23.4	10.6	31.3	22.3	22.1	15.1	18.7	36.2
年最大流量 (m ³ /s)	19.3	18.5	43.3	28.8	11.8	51.1	14.8	26.8	11.2	32.4	28.1	27.1	10.2	29.7	29.6
年平均流量 (m ³ /s)	170.9	107.9	142.6	187.6	112.8	235.5	83.7	92.0	69.1	176.4	176.5	236.9	79.0	115.4	204.1
前年降水量 (mm)	132.5	129.2	132.7	130.4	69.2	148.8	163.9	173.5	113.0	204.1	197.1	230.8	74.0	117.0	167.9
前年最大日雨量 (mm)	51.1	37.8	47.3	111.3	53.9	206.6	37.2	19.7	32.1	141.3	91.5	189.6	37.2	43.1	232.6
前年最大流量 (m ³ /s)	127.2	117.5	220.5	237.8	58.0	357.0	112.8	66.4	10.8	205.5	124.8	277.5	73.1	100.6	311.0
年平均流量 (m ³ /s)	1.97	2.70	1.60	2.05	2.43	1.98	1.97	2.15	2.06	2.10	2.58	3.84	1.57	1.24	2.99
前年降水量 (mm)	2.50	4.50	2.10	2.55	1.90	2.74	1.75	2.63	2.15	2.78	3.73	5.92	1.76	1.09	2.74
前年最大日雨量 (mm)	26.9	22.1	16.6	32.2	28.5	15.5	59.3	8.8	23.4	31.3	22.3	22.1	15.1	18.7	36.2
前年最大流量 (m ³ /s)	31.3	19.3	43.3	28.8	11.8	51.1	14.8	26.8	11.2	32.4	28.1	27.1	10.2	29.7	29.6
計画貯砂量 (10m ³)	169.7	170.9	107.9	142.6	187.6	112.8	235.5	83.7	92.0	69.1	176.4	176.5	236.9	79.0	115.4
計画貯砂量 (10m ³)	162.8	132.5	129.2	132.7	130.4	69.2	148.8	163.9	173.5	113.0	204.1	197.1	230.8	74.0	117.0
計画貯砂量 (10m ³)	40960	40960	3180	3180	0	0	2170	15620	25570	27370	20290	5040	0	8890	8890
計画貯砂量 (10m ³)	3440	900	900	750	5230	12160	7690	8620	14480	5840	1050	1660	3580	3370	1820
河床変動量 (cm)	120980	120980	101650	96480	84870	68230	57690	44140	46310	18800	30920	42990	48030	48030	48030
河床変動量 (cm)	14240	13130	10430	11330	11330	8240	12710	17260	13820	22440	27400	27690	23830	19510	-80.0
要 因	55	56	57	58	59	60	61	62	63	H11	2	3	4	5	
年 降 水 量 (mm)	2695	1850	1910	1640	1500	1650	1370	1775	1570	1885	2070	1820	1645	2595	
年最大3時間雨量 (mm)	2585	1585	1670	1300	1250	1485	1365	1655	1435	1800	1850	1710	1510	2510	
年最大日雨量 (mm)	33.2	24.3	27.9	11.3	15.9	24.5	15.5	27.2	19.6	20.1	27.9	17.5	27.1	26.8	
年最大流量 (m ³ /s)	29.5	19.8	24.5	11.3	15.5	19.1	16.3	22.5	4.0	30.5	19.0	22.2	20.8	26.9	
年平均流量 (m ³ /s)	129.3	157.8	180.2	134.3	131.2	68.9	96.6	233.9	95.1	165.0	190.3	128.8	90.6	197.4	
前年降水量 (mm)	116.7	125.0	176.0	104.4	144.1	54.2	80.5	208.8	89.8	138.6	152.7	130.2	92.8	211.2	
前年最大日雨量 (mm)	42.3	95.7	205.2	49.8	63.1	64.0	49.0	143.5	34.1	139.2	180.0	96.2	40.0	126.2	
前年最大流量 (m ³ /s)	84.4	184.5	123.0	33.7	79.6	54.7	70.9	368.2	138.9	132.9	167.4	100.5	56.4	228.2	
年平均流量 (m ³ /s)	4.01	2.41	2.46	1.89	1.58	1.72	1.93	2.27	1.68	2.38	2.62	2.11	1.77	4.31	
前年降水量 (mm)	4.12	2.19	2.22	1.68	1.28	1.67	1.64	2.22	1.83	2.34	2.88	2.24	2.00	4.31	
前年最大日雨量 (mm)	36.2	33.2	24.3	27.9	11.3	15.9	24.5	15.5	27.2	19.6	20.1	27.9	17.5	27.1	
前年最大流量 (m ³ /s)	29.6	29.5	19.8	24.5	11.3	15.5	18.1	16.3	22.5	4.0	30.5	19.0	22.2	20.8	
計画貯砂量 (10m ³)	204.1	129.3	157.8	180.2	134.3	131.2	68.9	96.6	233.9	95.1	165.0	190.3	128.8	90.6	
計画貯砂量 (10m ³)	167.9	116.7	125.0	176.0	104.4	144.1	54.2	80.5	208.8	89.8	138.6	152.7	130.2	92.8	
計画貯砂量 (10m ³)	0	1580	1580	1890	1890	0	1900	2750	2810	1960	0	0	0	3800	
河床変動量 (cm)	1820	5270	5590	2120	1890	0	1520	2370	850	1310	2870	1610	1610	2120	1870
河床変動量 (cm)	54750	41300	29180	15510	10470	12270	12270	3380	5280	6130	6510	6510	4710	4710	
河床変動量 (cm)	19510	12710	6850	12120	11390	12580	9210	9210	8910	9760	4490	5480	5040	5290	
河床変動量 (cm)	-39.0	37.0	-21.0				20.0	19.0					4.0	-40.0	

す。これより、提案するシステムによって、少なくとも過去の生起事例の条件下では極めて精度良く河床変動を推定できることがわかる。ところで、本研究ではネットワークの予測精度を評価するため、ある年度を隠しデータとし、それ以外のデータを用いて学習を行い、学習終了後にその隠しデータを予測させ、実測値と予測値を比較させている。これを学習データすべてについて行い、平均誤差をもって評価した。ちなみに今回用いたパラメータの組み合わせは平均誤差が最も小さい組み合わせである。このモデルでの予測結果を図-3に示す。システムは概ね良好な予測をしていることがわかるが、昭和50年、51年、54年(図中①~③)を見ると誤差が大きい年度もある。これらの年度について調べたところ、昭和54年は調査期間の中で最も河床が下降した年度であり、このデータがネットワークの外挿にあたるため予測精度が悪くなったものと考えられる。また、昭和50年、51年についても降雨・流量データの一部が外挿のデータを含んでいた。しかしながら、全体的には傾向を良く捕らえた予測結果であり、平均誤差は14.0であった。

3.2 砂防施設効果の評価

図-4(a)に、本システムを用いて砂防施設の建設が河床変動量に及ぼす影響について行った感度解析結果を示す。これは、他の入力値を表-1に示す入力データの平均値に固定したうえで、表川流域の当年度から4年前の計画貯砂量の合計および5~10年前の計画貯砂量の合計について、最小値から最大値まで変化させて出力される河床変動量を調べたものである。まず、当該年度~4年前の計画貯砂量合計量を見ると、計画貯砂量が増加することにより河床変動量が減少していることがわかる。同じ様に5~10年前の合計量についても、その計画貯砂量が増加することにより河床変動量が減少している。両パラメータの感度を比較した際、5~10年前の合計量の感度が若干大きいだが、ほぼ同じ感度であることがわかる。比較のために図-4(b)に雨量と流量に対する感度を示す。年最大流量の感度は、最小値から最大値まで約30cm変化しており砂防施設の影響よりも大きい。ところで、この図において全般的に非常に滑らかな曲面を形成していることから、本システムが過学習によって複雑なネットワークを形成していないことも読み取れる。

続いて、このシステムを用いて連続する数年間の河床変動を予測し、実測河床高と比較し、長期予測への適用性について検討する。図-5に昭和57~60年における予測値と実測値の比較結果を示す。昭和58年と59年は実測河床高が計測されていないが、予測の基礎となる雨量や流量および砂防施設のデータはある。実測ではこの3年間で97.61cmから97.23cmと38cm河床が低下しているが、予測値も97.32cmと29cm下降すると予測しており、良好な予測をしている。参考のために重回帰モデルによる予測結果も示すが、97.61cmから97.64cmと3cm上昇と傾向が逆に予測している。このようにニューラルネットワーク予測システムは、数年間程度の長期予測でも良好な精度で予測できる。

4 結言

本研究は、実河川の河床変動実測データを用いたニューラルネットワークシステムによって、河床変動予測システムの構築に関する基礎的な検討を行ったものである。河川の年間降雨特性や砂防施設のタイムラグ効果を考慮することにより予測精度が高いシステムを構築できることが認められた。また、砂防効果量に関するパラメータの感度解析を行うことによりその特性を調べ、一般的な物理現象と一致することを確認した。また、このシステムは長期予測に対しても適用できることを示した。

参考文献

- 1) 松村和樹:砂防計画の新しい展開と施設機能, 砂防学会誌, Vol.52, No. 6, pp.76-80, 2000年3月.
- 2) 砂防基本計画検討委員会作成要領(案)検討部会:砂防基本計画作成要領(案)(未定稿), 1987年.
- 3) 河川審議会 総合対策委員会 総合土砂管理小委員会:「流砂系の総合的な土砂管理に向けて」報告, 1998年.
- 4) 市川紘:階層型ニューラルネットワーク 非線形問題解析への応用, 共立出版株式会社, 1993年6月.

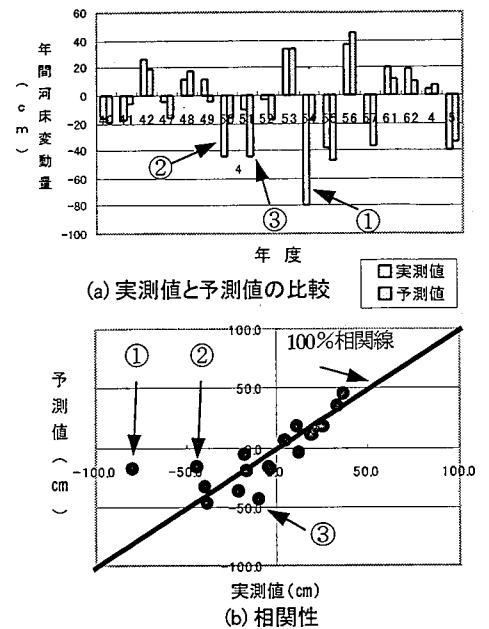


図-3 河床変動量予測結果

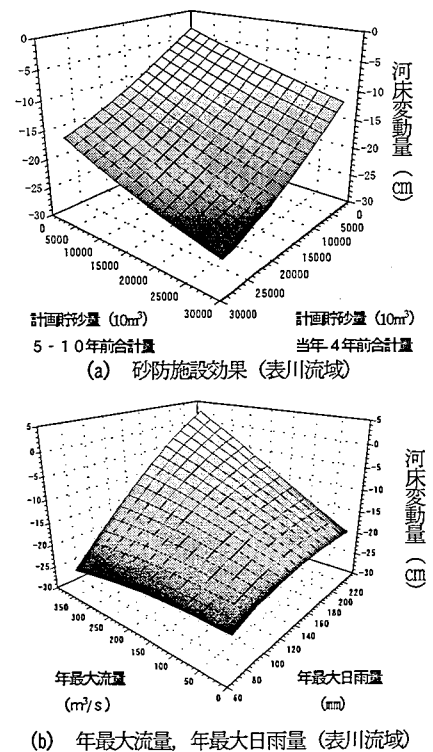


図-4 感度解析結果

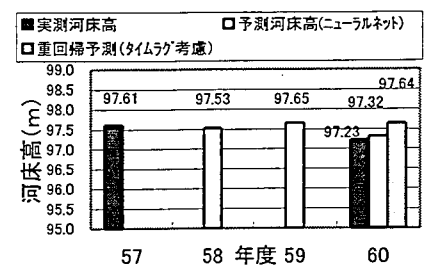


図-5 長期予測と実測地の比較 (昭和57~60年)