

(I-66) ニューラルネットワークを用いた河床変動推定と砂防施設効果に関する研究

防衛大学校研究科 学生員 長通伸幸 防衛大学校 正 員 深和岳人, 香月智
砂防・地すべりセンター 正 員 松村和樹 建設省四国山地工事事務所 正 員 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め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

本研究においては階層型ネットワークを用いる⁴⁾. また, 学習時にバックプロパゲーション法を用いる.

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流勾配河川である. 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

建設省四国山地砂防工事事務所では, 流域の工事, 渓岸荒廃, 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. 使用データの一覧を表-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.

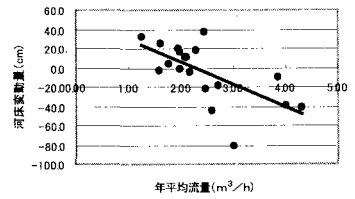


図-1 河床変動量と年降水量の相関

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)	1880	1850	1480	1555	1450	1810	1480	2285	1555	1670	1555	2485	1580	1195	2170
年最大3時間雨量 (mm)	1880	1775	1440	1555	1250	1680	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 (m³/s)	170.9	107.5	142.6	187.6	112.8	235.5	83.7	92.0	69.1	176.4	176.5	256.9	79.0	115.4	204.1
年平均流量 (m³/s)	122.5	129.2	132.7	136.4	68.2	148.8	103.9	133.3	113.0	204.1	197.1	238.8	74.0	112.0	167.9
前年降水量 (mm)	211.1	27.8	47.3	111.3	51.9	208.4	37.2	19.7	32.1	141.3	91.5	189.6	37.2	45.1	232.5
前年最大日雨量 (mm)	127.2	117.5	202.5	237.8	58.0	357.0	112.8	66.4	30.8	205.5	124.8	277.5	73.1	100.6	311.0
前年最大流量 (m³/s)	1.97	2.70	1.60	2.05	2.43	1.98	1.97	2.15	2.06	2.10	2.38	3.84	1.57	1.24	2.99
年平均降水量 (mm)	2.50	4.58	2.10	2.55	1.90	2.74	1.75	2.63	2.15	2.78	3.73	5.52	1.76	1.09	2.74
前年降水量 (mm)	26.9	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
前年最大日雨量 (mm)	31.3	19.3	18.5	45.3	28.5	11.8	51.1	14.8	26.8	11.2	32.4	28.1	27.1	10.2	29.7
計画貯砂量 (10m³)	440.7	170.9	107.9	142.6	187.6	112.8	235.5	83.7	92.0	69.1	176.4	176.5	256.9	79.0	115.4
5年~10年前合計 (10m³)	14240	13130	10430	11350	11330	8240	12710	17260	13820	22440	27400	27400	27690	23830	19510
河床変動量 (cm)	17.0	-18.0	26.0						-4.0	11.0	32.0	-44.0	10.0	-3.0	33.0
要 因	55	56	57	58	59	60	61	62	63	111	2	3	4	5	
年 降 水 量 (mm)	2695	1850	1910	1640	1500	1650	1570	1775	1570	1885	2070	1820	1645	2595	
年最大3時間雨量 (mm)	2695	1585	1670	1360	1250	1485	1365	1655	1435	1890	1480	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 (m³/s)	19.9	19.8	24.5	11.3	15.5	18.1	16.3	22.5	4.0	30.5	19.0	22.2	20.8	26.9	
年最大日雨量 (mm)	129.3	157.8	180.2	134.3	131.2	68.9	96.6	235.9	95.1	165.0	190.3	128.8	90.6	197.4	
年最大流量 (m³/s)	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	
年平均流量 (m³/s)	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	
前年降水量 (mm)	84.4	184.5	133.0	53.7	79.5	34.7	70.9	368.2	48.8	152.9	167.4	100.5	56.4	228.2	
前年最大日雨量 (mm)	4.01	2.41	2.46	1.80	1.58	1.22	3.23	2.27	1.68	2.38	2.92	2.11	1.77	4.31	
年平均降水量 (mm)	6.12	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	
前年降水量 (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	
前年最大日雨量 (mm)	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 (10m³)	204.1	129.3	157.8	180.2	134.3	131.2	68.9	96.6	235.9	95.1	165.0	190.3	128.8	90.6	
5年~10年前合計 (10m³)	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	
河床変動量 (cm)	0	1580	1580	1800	1800	0	1580	2750	2910	0	0	0	0	0	
計画貯砂量 (10m³)	1820	5270	4590	2120	1800	0	1230	2370	3580	3230	2670	1620	2120	1570	
5年~10年前合計 (10m³)	54750	41390	29180	15510	10470	12270	12370	3380	5280	6130	6510	4710	4710	5710	
河床変動量 (cm)	19310	12710	8850	12120	11390	12580	19210	8910	9760	4490	5480	5040	5240		
河床変動量 (cm)	-39.0	37.0	-21.0				20.0	19.0					4.0	-40.0	

キーワード ニューラルネットワーク, 砂防ダム, 河床変動
連絡先 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20 (0468) 41-3810)

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、平成4年および5年については、河床変動の実測値が得られているが、これを教師データから除いて学習させている。このシステムを用いて、平成4、5年度の河床変動量を予測した結果を図-3に実測値と比較して示す。システムは、平成4年度の4cmのわずかな上昇と、平成5年度での40cmの大きな下降について、精度良く推定できていることがわかる。比較のために砂防効果、降雨のタイムラグ効果を考慮しなかった場合の結果を同時に示すが、精度が良くないことがわかる。

3.2 砂防施設効果の評価

図-4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、表川流域の当該年度からさかのぼること3年間の計画貯砂量および5~10年間の計画貯砂量について、表-1に示す最小値から最大値までパラメトリックに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、全パラメータの中で、河床が上昇するのは概ね当該年度~4年前の計画貯砂量が35000m³以下の場合であり、その他の大部分では河床が低下する傾向にあることがわかる。また、当該年度から4年間分の計画貯砂量と5~10年前の合計量との感度の大きさでは、明確に当該年度から4年間分の方が大きくなっていることがわかる。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。

図-3に示すように、砂防施設の効果が現れるのにタイムラグがあるとすると、ある年度での建設は約10年間にわたってその後の河床変動に影響することになる。そこで、表-1のデータにおいて、昭和47年度に表川流域に建設された約60000m³の計画貯砂量を持つ砂防ダムがもしも建設されなかった場合のその後10年間の河床変動を推定した。図-5に事実通り建設した場合と建設しなかった場合の各年度の河床変動の推定値と、47年度からの累積である河床高について比較している。これより、建設しなかった場合には、河床が上昇する年度ではやや大きめに、河床が低下する年度ではやや小さめに河床変動量が推定される傾向が見られる。砂防施設を取り除いたと仮定した場合の河床高は10年後の累積量で29cm上昇となっている。

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い、流域内に建設された砂防施設の効果を定量的に判断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。

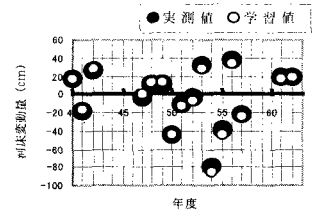


図-2 学習結果

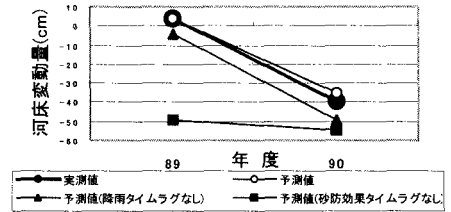


図-3 平成4、5年における河床変動量予測結果

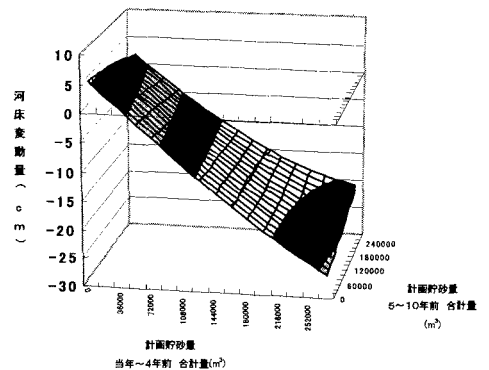


図-4 砂防効果感度

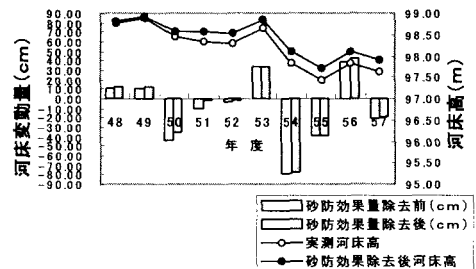


図-5 砂防効果が後年に及ぼす影響（表川）