

CL 設定における応答曲面の調整方法に関する試行的検討

中電技術コンサルタント株式会社 ○池田 寛、秦 雅之、村上智哉、竹田梨夏
国土交通省 国土技術政策総合研究所 瀧口茂隆、岸本優輝、小林正直

1 はじめに

現在、土砂災害警戒情報の発表基準線（以下、CL）は、CL の設定で対象とする土砂災害（以下、対象災害）が発生した発生メッシュと発生しなかった非発生メッシュで設定の考え方が分けられている。発生メッシュでは、対象災害発生時刻の雨量を捕捉するように CL を設定するが、非発生メッシュでは、様々な CL の設定方法が提案されている。

非発生メッシュでは、降雨の履歴順位を活用して CL を設定する事例が多く見られるが、この方法による近年の検討結果では、同履歴順位の降雨であっても RBFN 出力値が広範囲にばらつく場合があることが課題として確認されている。

この原因としては、①活用可能な降雨データの期間が短いことや、②応答曲面作成で設定する RBFN プログラムのパラメータ（以下、RBFN パラメータ）が全国一律¹⁾であることが考えられ、筆者らは②に着目して検討を進めてきた²⁾。

本稿は、履歴順位 1 位または 2 位の降雨を捕捉する RBFN 出力値（以下、履歴上位 RBFN 値）のばらつきを抑制するための RBFN パラメータ（正規化パラメータ λ_{max} ）の調整方法を試行的に検討したものである。

2 検討方針

応答曲面を作成する際には、RBFN パラメータの設定が必要であり、RBFN パラメータによって「応答曲面と雨量データの相関の強弱（応答曲面の誤差 E と大きく関与）」や「応答曲面の歪みの大小」を調整することができる。

応答曲面の誤差 E と歪みはトレードオフの関係にあり、特に λ_{max} が大きく関与していると考えられる（図-1 参照）。

このため、履歴上位 RBFN 値のばらつきを抑制しつつ、CL として使用可能な程度に応答曲面の歪みを抑制するには、応答曲面の誤差 E と歪みの双方の閾値を設定し、双方の閾値を満たす λ_{max} を設定する必要があると考えられる（図-2 参照）。

これらを踏まえ、本稿では、(1)応答曲面の誤差 E の閾値（以下、 E の上限値）と応答曲面の歪みの閾値（以下、歪みの許容値）を設定し、双方の閾値を満たす λ_{max} の設定が可能であるかを検証するとともに、(2) λ_{max} の調整による履歴上位 RBFN 値のばらつきの抑制効果を検証した。

なお、本検討では、応答曲面の歪みを鋭敏に反応させるため、基底関数の半径を推奨値¹⁾よりも小さい値に設定した。

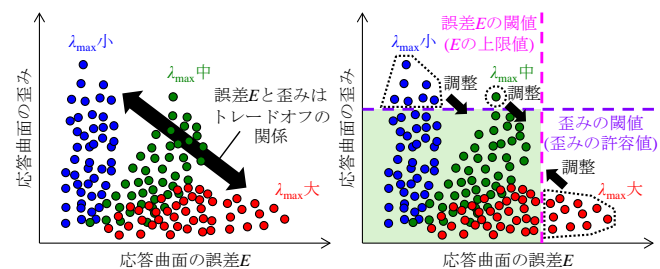


図-1 応答曲面の誤差 E と歪みの関係（イメージ）

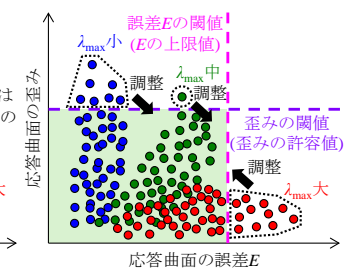


図-2 λ_{max} の調整方法（イメージ）

3 検討ケース

検討ケース（検討対象箇所、降雨データ期間、基底関数の半径、 λ_{max} 、歪みの評価）は、筆者らの既往検討²⁾と同様に表-1 のとおりとした。なお、歪みの評価方法（数値化）の詳細については、既往検討²⁾を参照されたい。

表-1 検討ケース

検討条件	case1 case6	case2 case7	case3 case8	case4 case9	case5 case10
検討対象箇所	計1,006箇所（北海道留萌振興局、神奈川県、三重県、広島県、鹿児島県の5kmメッシュの中心点）				
降雨データ期間	case1~case5 : 1995年~2023年（計29年） case6~case10 : 2006年~2023年（計18年）				
基底関数の半径	$r_x=50, r_y=25$ （推奨値 $r_x=145, r_y=80$ よりも小さい）				
λ_{max}	500	1,000	3,000	5,000	10,000
歪みの評価	最大曲率、平均誤差率				

4 E の上限値の設定

E の上限値を検討するにあたり、 E と履歴上位 RBFN 値の関係を分析した。 E と履歴上位 RBFN 値の散布図を図-3 に示し、 E と履歴上位 RBFN 値のばらつき（以下、ばらつき）の折れ線グラフを図-4 に示す。なお、ばらつきは、四分位範囲（IQR : 25 パーセンタイル~75 パーセンタイル）で評価（定量化）した。

図-3 より、 E が増加するほどプロットが縦軸方向に広がっており、ばらつきが大きくなる様子が確認できる。この結果より、 λ_{max} を調整して E を抑制することで、ばらつきを抑制することが可能であると考えられる。

また、図-4 より、 E の増加に伴い、ばらつきが段階的に大きくなる様子が確認できる。この結果より、 E の増加に伴いばらつきが「減少または横ばい」から「増加」に転じる変化点（図-4 の赤丸）を E の上限値として設定した。

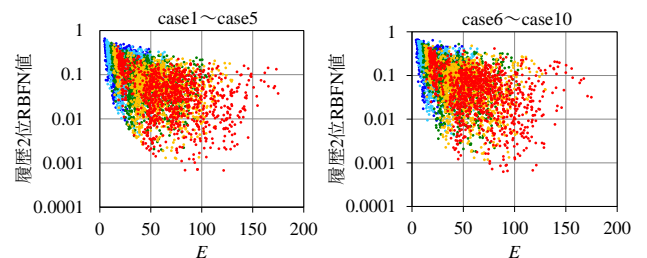


図-3 E と履歴上位 RBFN 値の散布図（代表例）

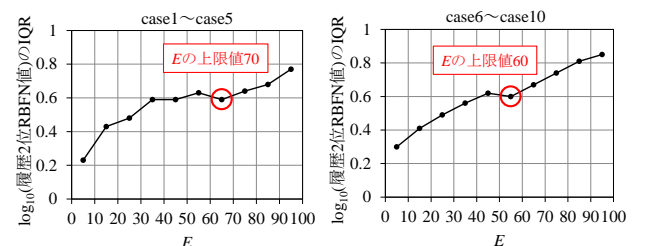


図-4 E とばらつきの折れ線グラフ（代表例）

5 歪みの許容値の設定

応答曲面の歪みは、最大曲率または平均誤差率により数値化しているが、歪みが発生していない場合であってもこれらの数値が小さくならない場合がある。このため、歪みの許容値は、応答曲面を目視確認し、大きな歪みの有無（目視確認結果）と数値化した歪みの関係から設定した。数値化した歪みの大きさごとに大きな歪みが発生する検討対象箇所割合を整理した結果を図-5に示す。

図-5より、最大曲率の場合は0.02と0.03で、平均誤差率の場合は7%と11%で大きな歪みを有する検討対象箇所が大幅に増加していることが確認できる。

この状況を踏まえ、数値化した歪みの増加に伴い大きな歪みを有する検討対象箇所が増加する変化点（図-5の赤枠）を歪みの許容値として設定した。

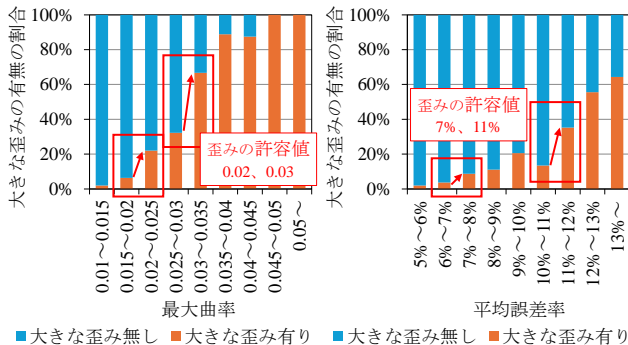


図-5 大きな歪みが発生する検討対象箇所割合

6 λ_{max} による応答曲面調整の可能性検討

4章及び5章で設定したEの上限値と歪みの許容値の組合せ（計12パターン）において、 λ_{max} を調整可能な検討対象箇所割合を図-6に整理し、 λ_{max} 調整前後の履歴上位RBFN値の比較図を図-7に整理した。ここで、図-7における λ_{max} の調整方法は、Eの上限値と歪みの許容値の双方を満たすケースが1つしか存在しない場合はそのケースに調整し、複数存在する場合は λ_{max} が中央値となるケースに調整する方法とした。

図-6より、 λ_{max} を調整可能な検討対象箇所割合は、全パターンにおいて90%以上であり、ほとんどの検討対象箇所Eの上限値と歪みの許容値の双方を満たす λ_{max} の調整が可能であることが確認できる。

図-7では、履歴上位RBFN値の分布、バイオリンプロット（データの密度を示した図中の水色のポリゴン）、箱ひげ図、標準偏差を対数軸で示している。この図より、 λ_{max} 調整前と比較して λ_{max} 調整後の方が①分布のばらつきが小さいこと、② \log_{10} (履歴2位RBFN値)が2以下の範囲でバイオリンプロットの横幅が狭い（データ数が少ない）こと、③箱ひげ図のIQR及びひげの長さが短いこと等が確認できる。

また、 λ_{max} 調整前後におけるばらつき（IQR）の比較結果を表-2に示す。この表より、ばらつきを λ_{max} 調整前後で比較すると、履歴1位RBFN値のばらつきは11%~20%減少（平均で17%減少）しており、履歴2位RBFN値のばらつきは14%~24%減少（平均で22%減少）していることが確認できる。

これらの結果より、Eの上限値と歪みの許容値の双方を満たすように λ_{max} を調整することで、ばらつきが抑制できることが確認された。

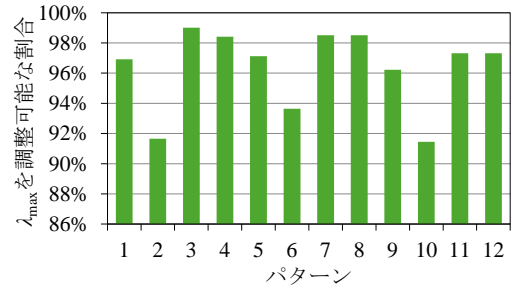


図-6 λ_{max} を調整可能な検討対象箇所割合

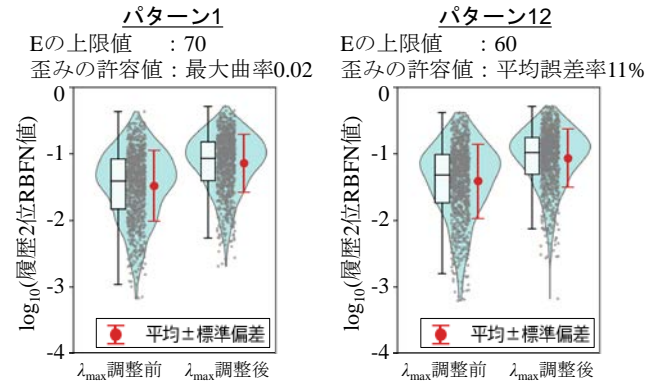


図-7 λ_{max} 調整前後の履歴上位RBFN値の比較図（代表例）

表-2 λ_{max} 調整前後におけるばらつき（IQR）の比較結果

パターン	case	Eの上限値	歪みの許容値	履歴1位RBFN値のばらつき			履歴2位RBFN値のばらつき		
				λ_{max} 調整前	λ_{max} 調整後	減少率	λ_{max} 調整前	λ_{max} 調整後	減少率
1	1~5	70	最大曲率0.02	1.10	0.93	15%	0.75	0.59	22%
2	1~5	70	平均誤差率7%	1.10	0.98	11%	0.75	0.65	14%
3	1~5	70	最大曲率0.03	1.10	0.92	16%	0.75	0.57	24%
4	1~5	70	平均誤差率11%	1.10	0.93	15%	0.75	0.57	24%
5	6~10	70	最大曲率0.02	1.17	0.95	19%	0.73	0.56	23%
6	6~10	70	平均誤差率7%	1.17	1.02	13%	0.73	0.59	19%
7	6~10	70	最大曲率0.03	1.17	0.94	19%	0.73	0.56	23%
8	6~10	70	平均誤差率11%	1.17	0.95	19%	0.73	0.56	23%
9	6~10	60	最大曲率0.02	1.17	0.94	20%	0.73	0.56	23%
10	6~10	60	平均誤差率7%	1.17	0.99	15%	0.73	0.60	18%
11	6~10	60	最大曲率0.03	1.17	0.93	20%	0.73	0.55	24%
12	6~10	60	平均誤差率11%	1.17	0.93	20%	0.73	0.55	24%

7 おわりに

本稿では、履歴上位RBFN値のばらつきを抑制するための λ_{max} の調整方法を基底関数の半径を小さい値に設定して試行的に検討した。この結果、(1)ほとんどの検討対象箇所Eの上限値と歪みの許容値の双方を満たす λ_{max} の調整が可能であること、(2)この調整により、履歴上位RBFN値のばらつきを抑制する効果が一定程度あることが確認された。

本検討では、応答曲面の歪み鋭敏に反応させるため、基底関数の半径を推奨値よりも小さい値で設定しているが、今後は、CL設定において現実的な基底関数の半径を設定し、本検討と同様の検討を実施した場合に、 λ_{max} の調整による履歴上位RBFN値のばらつきの抑制効果があるかを検証したいと考えている。

【参考文献】

- 1) 土砂災害警戒情報の基準設定及び検証の考え方、令和5年3月、国土交通省水管理・国土保全局砂防部、気象庁大気海洋部、国土交通省国土技術政策総合研究所
- 2) 池田寛ら：RBFNパラメータの違いがCL作成過程の応答曲面に与える影響の分析、令和7年度砂防学会研究発表会概要集、p.523~p.524、2025.5