

道路ネットワークに対する斜面崩壊のリスク分析

(株) 荒谷建設コンサルタント	正会員	○ 水口 浩宣
(株) 荒谷建設コンサルタント	正会員	渡邊 修司
(株) 荒谷建設コンサルタント	正会員	川本 篤志
鳥取市役所	正会員	長谷川幸彦
(有) シー・エー・イー	正会員	伊藤 則夫
鳥取大学	正会員	松原 雄平
香川大学	正会員	白木 渡

1. まえがき

2011 年 3 月 11 日に発生した三陸沖を震源とするマグニチュード 9.0 の巨大地震は、東北地方を中心として、広範囲にわたる甚大な被害をもたらした。今後、この災害による被害及びその原因、復旧・支援体制などについて調査・総括が行われるであろうが、今現在、物資・人材等の輸送の遅れが感じられてならない。

東北地方内陸部にある国道 4 号線から太平洋側の被災地に至るルート確保を目的とした「くしの歯作戦」の終了が発表されたのは災害発生より 1 週間を経過した 3 月 18 日のことであった。

災害時において、被災者の救助・支援を行う上で道路ネットワークが果たす役割は非常に大きく、その管理手法として筆者らはライブ管理^{1),2)}を提案してきた。ライブ管理とは、長期的な使用性能の確保と災害時の被害軽減を効率的に展開する管理の方法である。ライブ管理の実施にあたって、道路ネットワークが現在どのようなリスクを有しているのかを正しく把握しておくことは重要である。ここでいうリスクとは、道路ネットワークを構成する土工部、橋梁部及びトンネル部などにおいて異常時に発生する可能性のある何らかの障害を示すものである。

本研究では、様々なリスクのうち道路ネットワークの土工部の自然斜面・切土斜面に着目し、斜面の崩壊に伴う道路閉塞のリスクについて研究した結果を報告する。

2. 研究方針

建設省河川局では急傾斜地崩壊対策事業の一環として、昭和 44 年から平成 9 年までの 29 年間にわたり全国で発生した土砂災害のデータを集積している。本研究においては、当該事業の資料集³⁾⁴⁾として公開されて

いる昭和 50 年～57 年の 8 年分のデータのうち斜面の形状・高さ等、特別に地質調査を必要としない情報を用いて斜面の下端から崩土先端までの水平距離である崩土到達距離を確率的に求めることにする。

実は、筆者らは以前にもニューラルネットワークを用いて崩土到達距離を予測するための研究を行っている⁵⁾。しかし、この研究では予測の評価基準を予測値と実測値の差が数%内に収まることと考えていたため満足できる結果が得られず打ち切りとしていた。

しかし、崩土到達距離の実測値が理論上の到達距離とばらつきの合計からなるものと考えたと以前の研究とは別の評価ができる。すなわち、理論上の崩土到達距離を何らかの方法で予測し、予測値と実測値の差である残差をばらつきと考える。そして残差の分布が統計的に妥当であるかを検討する。

表 1 説明変数

No	データ項目		説 明
1	斜面の種類		自然斜面, 人工斜面
2	斜面の向き		北、北東等 8 区分
3	斜面型	横断方向	尾根部, 谷部 等
4		縦断方向	上昇型, 下降型 等
5	斜面の	状態	尾根, 台地 等
6	上端	利用状況	水路又は沢, 道路 等
7	斜面の	状態	平地, 上昇直線型 等
8	下端	傾斜角	(度)
9	斜面の平均傾斜角		(度)
10	斜面高		(m)
11	地被物	種類	裸地, 草地 等
12		密度	疎, 中, 密
13	過去の崩壊の有無		同一箇所, 付近の合計回数

表 2 地すべりデータ

	鳥取	島根	岡山	広島	山口	合計
S50~52	3 (3)	58 (54)	43 (42)	72 (46)	30 (29)	206 (174)
S53~57	8 (8)	16 (13)	24 (24)	49 (34)	122 (111)	219 (190)
合計	11 (11)	74 (67)	67 (66)	121 (80)	152 (140)	425 (364)

崩土到達距離の予測にはニューラルネットワークの 1 種のバックプロパゲーション法(以下、BP 法と呼ぶ)を用いる。また、残差の分布を正規分布にあてはめることで残差をばらつきと考えることの正当性を示す。

BP 法は関数近似・補間に適した理論である。関数近似問題には重回帰分析、数量化理論 1 類が広く用いられている。しかし、説明変数として使用できるのが重回帰分析では定量的なデータのみ、数量化理論 1 類ではカテゴリ化したデータのみに限定されるのに対して、BP 法は両者の混在を許す点で優れている。

説明変数としては表の 13 項目を考える。表中で着色を施した項目が定量的データで、その他はすべてカテゴリ化データである。また、13 番目の過去の崩壊の有無は資料集では同一地点と付近に分けて記録していたものを合算している。

対象を中国 5 県に限定すると表の通り 425 件の地すべりデータがある。しかし、一部のデータが欠損しているものも少なくなく、そのようなデータを除くと表の括弧内に示す通り 364 件となった。

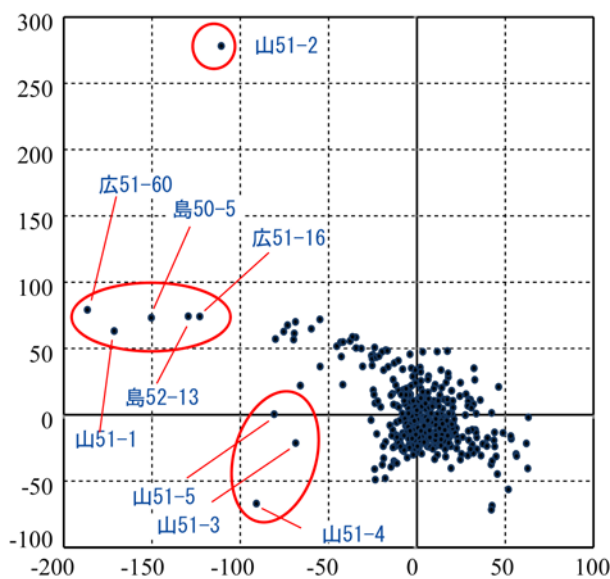


図 1 サモンマップ

3. データのフィルタリング

データ群の中には、何かの事情から他とは性格が大きく異なる特異なデータが存在する。特異なデータを放置したまま分析することは予測精度の低下を招く原因となるため、分析に先立ち、特異なデータを見つけ出し取り除くフィルタリングの操作を実施した。

一般に、特異なデータを見つけ出す方法としては、基本統計量を調べ、またヒストグラムや散布図を作成してこれを調べる。しかし、データ量・データ項目が多いときにはかなり大変な作業となる。

そこで、本研究では主にサモンマップ⁶⁾を用いて特異データの抽出を行う。サモンマップは多次元空間内のデータを 2 次元平面で表現する図化手法である。平面上の座標値は、多次元空間上でのデータ同士の距離関係とほぼ同等となるように決められる。

図 1 がサモンマップである。図の縦横軸に示された数値はデータ点の座標値を表すものであるが、サモンマップを調べるときにはこの数値自体は意味を持たない。視覚的にデータ点の塊をとらえることで図の分析を行う。

図から赤丸で囲んだ 9 件が他のデータ群から離れていることが分かる。図中に示したラベルは県名の 1 字、年度および連番で構成されている。

同じデータで斜面高および崩土到達距離について散布図を作成すると図 2 のようである。図 1 の赤丸内のデータについては図 2 でも同様にラベルを付して示しているが、図からこれらのデータでは斜面高や崩土

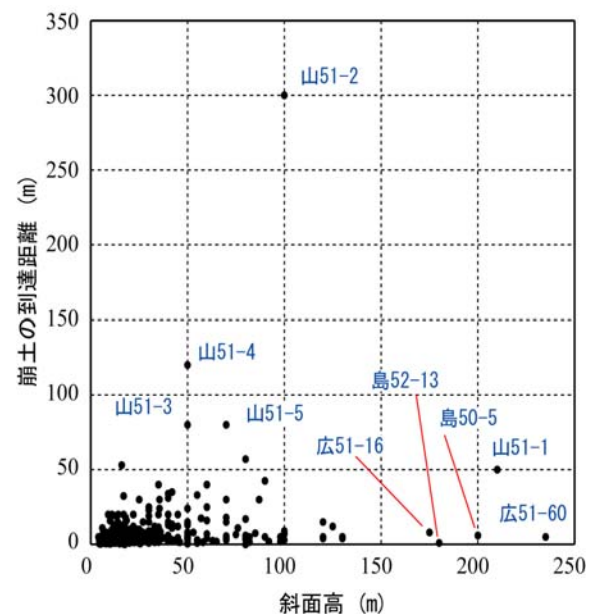


図 2 散布図

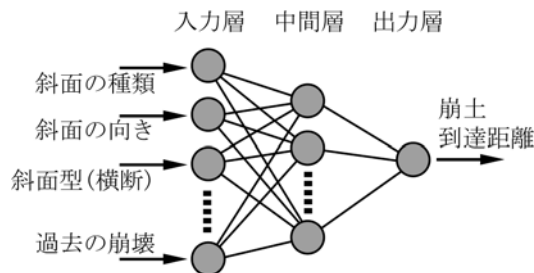


図 3 ニューラルネットワークの構造

到達距離が極端に大きいことが分かる。

この 9 件を特異データとし、これらを取り除いた後でもう 1 度サモンマップを作成した。そして、さらに 3 件を特異データとして取り除いた。結局、分析に用いるデータは 352 件とした。

4. BP 法による予測システムの構築

前述の 352 件のデータを学習に用いるデータ 322 件および予測システムの検証に用いるデータ 30 件の 2 つのグループに分割する。

BP 法のニューラルネットワークは図 3 のように入力層、中間層および出力層の 3 層からなり、各層にはそれぞれニューロンが存在する。本研究の場合、入力層のニューロン数は 13 個、出力層では 1 個となる。

中間層のニューロン数を n としたとき、学習により決定すべき結合重みの総数 N_w は $(13+1) \times n + (n+1) \times 1$ となるが、これと学習データ数 $N_d (=322)$ の比 N_d/N_w

をできるだけ大きくすることが望ましい。しかし、現実にはデータ数は限定されており、せめて $N_d/N_w > 2$ を満足するように中間層ニューロン数を設定することとした。そして、 $n=5, 8, 10$ 個と変化させて試算した結果 $n=10$ を採用した。このとき N_d/N_w は 2.1 となる。学習回数は 5,000 回とした。

図 5 は予測システムによる学習データの残差(予測値－実測値)のヒストグラムである。また、図 5 赤丸内のデータ(6 件)を外れ値と考えて削除し、正規確率プロットを行うと図 5 のようになる。図 5 から残差は正規分布に従っていると言えそうである。実際、コルモゴロフ・スミルノフ検定を行うと有意確率 P は 0.012 となった。そして残差の平均値 $\overline{\Delta L_m}$ は 0.74m、標準偏差 σ_L は 2.37m となった。

5. 崩土到達距離の予測

先に構築した予測システムを用いて検証用データ 30 件の崩土到達距離を求め、予測残差を示すと図 6 の通りである。図中に示した曲線は前節で決定した正規分布曲線であり、崩土到達距離のばらつきの程度を示すものである。残差が非常に大きいものもあるが 30 件中 21 件は $\overline{\Delta L_m} \pm 3\sigma_L$ の範囲に含まれている。残差が大きいものを調べると広 51-12 では実測値が 3.0m に

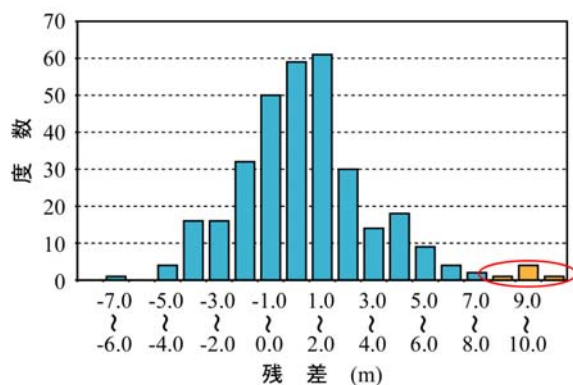


図 4 残差の分布

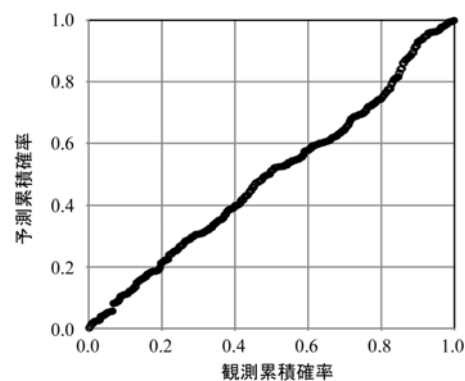


図 5 正規確率プロット (正規 P-P プロット)

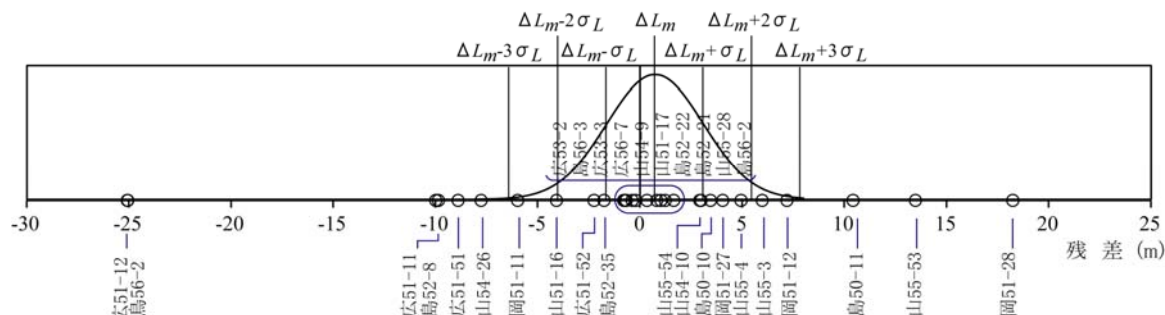


図 6 未学習データに対する予測残差

表 1 予測システムを用いた崩土到達距離の予測値とその生起確率

データ名	実測値(m)	予測値 L_m (m)	① = $L_m + \overline{\Delta L_m}$ (m)	① + σ_L (m)	① + $2\sigma_L$ (m)	① + $3\sigma_L$ (m)
島根 50-10	13.0	9.55	10.28	12.65	17.39	24.50
島根 50-11	15.0	4.58	5.31	7.68	12.42	19.53
島根 52-8	2.3	12.16	12.89	15.26	20.01	27.12
島根 52-21	2.8	1.78	2.51	4.88	9.62	16.73
島根 52-22	1.9	1.07	1.81	4.18	8.92	16.03
生 起 確 率			50.0%	84.0%	97.5%	99.9%
超 過 確 率			50.0%	16.0%	2.5%	0.1%

対して予測値は 28.0m, 岡 51-28 では実測値が 20.0m に対して予測値は 1.8m であった.

表 3 には検証用データの一部について予測システムを用いた崩土到達距離の予測値と, 崩土がある距離を超える確率(超過確率)を正規分布に従って求めて示している. これにより, 斜面崩壊によりある道路が完全に不通となる場合, 片側は通行可能である場合を確率的に求めることができる.

6. あとがき

本論文では道路ネットワークが有するリスクのうち, 自然斜面・切土斜面の崩壊が道路に及ぼす影響について述べた. そして, ニューラルネットワークを用いて, 斜面崩壊により道路交通が阻害されるリスクを確率的に求められることを示した.

今後の発展として, 本論文で述べた方法を実際の地域内の道路ネットワークに適用することを考えている. 実際の地域に適用本手法を適用することで, 地域が抱える問題点が明確になり, リスクを限定的なものとするための改修計画の立案, 復旧体制の整備, 諸資材の備蓄計画などに大きく寄与できるものと思われる.

筆者らが提案するライブ管理は効率よく日常の維持管理(通常管理)を行いながら, 災害に備え被害を最小化するための管理シナリオを作成し(ライブデザイン(事前対応)), 災害時には事前に準備されている管理シナリオを利用して迅速な緊急, 応急及び復旧・復興を行う(ライブデザイン(緊急, 応急及び復旧・復興対応))ものである.

ライブ管理の実施のためには, リスクを正しく評価することが大前提となる. もとより, 道路ネットワークが有するリスクには斜面崩壊のみならず, さまざま

なものがある. 従って, それらを丹念に洗い出し, 一つ一つ丁寧に評価していく必要がある.

謝辞

本研究の実施にあたり, 土木学会中国支部より研究活動助成金(B)を受けた. また, 湖山構造研究会の会員各位には議論に参加し, 有益な意見をいただいた. ここに, 関係各位に深く感謝の意を表するものである.

参考文献

- 1) 川本篤志・白木渡・保田敬一・伊藤則夫・堂垣正博: 社会基盤施設の維持管理におけるライブデザインの考え方, 安全問題研究論文集, 土木学会, Vol.1, pp. 73-78, 2006.11.
- 2) 川本篤志・白木渡・保田敬一・伊藤則夫・堂垣正博: ライブ管理手法を用いた道路ネットワーク評価システムの構築, 構造工学論文集, 土木学会, Vol.54A, pp.152-161, 2008.3.
- 3) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課, 建設省土木研究所砂防部急傾斜地崩壊研究室: かけ崩れ災害実態について(昭和 50 年~52 年)(資料集),1978.3.
- 4) 建設省河川局砂防部傾斜地保全課, 建設省土木研究所急傾斜地崩壊研究室: かけ崩れ災害実態について(昭和 53 年~57 年),1983.8.
- 5) 伊藤則夫・白木 渡・今井慈朗・井面仁志・石川浩: 自己組織化特徴マップを用いた斜面崩壊予測システムの高精度化に関する研究,第 15 回ファジイシステムシンポジウム講演論文集,1999,6.
- 6) T.コホーネン著,徳高平蔵ら監修: 自己組織化マップ改訂版,シュプリング・ジャパン,2005,6.