道路ネットワーク上の内在リスク分析を 踏まえた行政BCP策定に関する研究

坂田 朗夫¹・伊藤 則夫²・川本 篤志³・白木 渡⁴

¹正会員 豊能町役場 建設環境部建設課 (〒563-0292大阪府豊能郡豊能町余野414-1)

E-mail:kensetsu@town.toyono.osaka.jp

²正会員 (有)シー・エー・イー 代表取締役 (〒680-8064 鳥取市国府町分上2-210)

E-mail:itou@cae.jp

³正会員 (株)荒谷建設コンサルタント コンサルタント第2部 (〒730-0833広島市中区江波本町4-22)

E-mail:atsushi.kawamoto@aratani.co.jp

⁴正会員 香川大学教授 危機管理研究センター (〒761-0396高松市林町2217-20)

E-mail:shiraki@eng.kagawa-u.ac.jp

東日本大震災のような大規模広域災害を想定した場合、従来の防災計画に基づいた対応では十分とはいえない。今回の地震被害を受けて中央防災会議の中間報告では、起こりうる最大規模の被害を想定した対応を求めており、各自治体は少なくとも地域全体の業務継続計画(BCP)を策定し、災害発生後の対応に主眼をおいた危機管理対策が求められる。

本研究においては、中山間地域の被災者の救助・支援活動に不可欠な山間部の道路ネットワークに着目し、地方行政のBCP策定の観点から道路ネットワーク上の内在リスクを評価することとし、特に自然斜面・切土斜面に着目し、斜面の崩壊に伴う道路閉塞のリスク分析を行い、行政BCPのあるべき方向性について検討する。

Key Words : risk analysis, road network, slope failure, neural network, local government, business continuity plan

1. まえがき

わが国では、2004年10月23日に発生した新潟県中越地震を機に、民間企業は社会的責務の立場から業務継続計画¹⁾(Business Continuity Plan: 以下、BCPと略する)を策定し、危機管理能力の向上を目指した努力を払ってきた。これを受けて、総務省内閣府から全国の行政機関に対してもBCP策定を急ぐように指示が出された。しかし、行政機関が災害時に対応すべき危機管理対策は多様で広範囲にわたり、またアクションプランでもあるBCPは多様なリスクに対応したものとする必要があるため、策定作業は容易でなくBCPの普及は進んでいないのが現状である。

全国の都道府県と市区町村を対象として、内閣府により2009年11月に実施されたBCP(地震編)の策定状況調査結果²⁾によれば、BCPを策定済と回答した都道府県は10団体(21%)、市区町村では99団体(5.5%)と低い水準にある。このように、大地震への対応のみに限定しても既に遅れている状況である。筆者らは、このような状況を鑑みて、中小の地方行政のBCP策定の普

及・推進を目的として、昨年少小企業BCPステップアップ・ガイド³⁾を基に「地方公共団体における業務継続計画策定ガイド」案⁴⁾を作成した。

しかし、2011年3月11日に発生した東日本大震災により、被害が大規模かつ広域に及ぶ場合にはこれまでに策定されたBCPでは対応しきれない多くの問題を含んでいることが明らかになった。

第1に、庁舎が津波で流出し多くの職員が被災するという被害を受けた沿岸の市町村では活動の拠点ばかりか人的資源も失われ、救助・支援活動はもちろん被災状況の把握すら困難な状況に陥った。このような想定外の事態の発生が、その後の復旧・復興対応に大きな影響を及ぼすことになる。

第2に、道路・鉄道・港湾・空港等交通インフラの壊滅、燃油の不足などによる物流の機能不全があり、そのため救助・支援活動の遅れ、被災者の孤立状態の長期化をもたらした。この事態もBCPの実行性という観点からすると重要な阻害要因である。

東日本大震災を教訓にして、想定以上の規模の災害に対して、BCPが機能するのか、どのように対処すべき

かについて、多くの企業が BCP の見直しを開始している。行政機関においても、上記の第 1 の課題に対して代替拠点の確保などのハード的な対策に加えて、周辺地域の行政機関との連携による BCP の策定などソフト的な対応も考慮した、従来の枠組みを超えた災害時の広域連携対応が求められる。また、第 2 の課題についても物資の効率的な備蓄、あるいは輸送経路の多重化など考慮すべき問題は多岐にわたる。

災害時における行政機関の間の広域連携を考える場合、被災者の救助・支援を行う上で不可欠な道路ネットワークが果たす役割は非常に大きい。道路ネットワークは、緊急対応から災害後の復旧・復興の段階に至るすべてのフェーズにおいて、ヒトやモノの移動手段として活用され続けなければならない。しかし、中山間地の道路ネットワークを考えた場合、一般に冗長性が低く、土砂災害等による道路の一部の不通が集落の孤立化につながる恐れがある。このような脆弱な状況を考えれば、道路の閉塞に際して迅速な啓開を図るための準備、また集落の孤立化を防ぐための準備が必要となる。そのためには、道路ネットワークに内在するリスクや脆弱性を把握・評価するとともに、孤立化する可能性がある集落について、その危険性を軽減するための対策の検討が求められる。

本研究では、山間部の道路ネットワークに着目して、地方行政の BCP 策定の観点からその内在リスク、特に自然斜面・切土斜面に着目し、斜面の崩壊に伴う道路閉塞のリスク分析を行い、地方行政の BCP のあるべき方向性について検討する。

2. 道路ネットワークの内在リスク分析

近年、日本列島は異常気象や地震の活動期に突入した

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	斜面の上端	状態	尾根, 台地 等
6		利用状況	水路又は沢, 道路 等
7	斜面の下端	状態	平地, 上昇直線型 等
8		傾斜角	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

影響もあり、災害規模の巨大化、被害の広域化の傾向が見られる。道路ネットワークは日本列島に網の目のように張り巡らされており、一度災害が発生すれば被害が甚大になることが懸念されている。特に、山間部の道路ネットワークは盛土、自然斜面・切土斜面、トンネル及び橋梁より構成され、それぞれにリスクが存在するため、リスクの発生により複合的な機能障害が発生する。

本研究では、中山間地域の道路で最も多く存在する自然斜面・切土斜面に着目し、斜面崩壊に起因する道路不通のリスクを検討する。

(1) 急傾斜地崩壊データの整理

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、このうち資料集⁵⁾⁶⁾として公開されている昭和 50 年～57 年の 8 年分のデータを用いて斜面崩壊に起因する道路不通のリスクを評価する。具体的には、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。

筆者らは、これまで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⁷⁾。しかし、過去の研究では崩土到達距離予測値と実測値の差が数%以内となる精度を要求したため、満足できる結果が得られずニューラルネットワークの限界を感じ研究を打ち切りとした。

しかし、崩土到達距離の実測値を理論上の到達距離とばらつきを合計した値と考えると、過去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は予測値と実測値の差である残差を加えて評価できると考え、その残差の分布が正規分布等統計的に妥当な分布特性を有することを確認することで、崩土到達距離を確率的に評価できる。ここでは、崩土到達距離の予測にはニューラルネットワーク（バックプロパゲーション法(BP 法)）を用いる。そして、残差の分布を正規分布にあてはめることで、残差を理論値からのばらつきと考えることの妥当性を示す。

このような予測問題では普通、重回帰分析や数量化理

表-2 斜面崩壊データ

府県名	データ数		府県名	データ数	
京都	19	(17)	鳥取	11	(11)
大阪	15	(14)	島根	74	(66)
兵庫	90	(76)	岡山	67	(66)
奈良	29	(12)	広島	121	(80)
三重	26	(26)	山口	152	(140)
滋賀	4	(4)			
和歌山	17	(17)	合計	625	(529)

論 I 類の方法が用いられることが多い。しかし、説明変数として使用できるのが重回帰分析では量的データのみ、また数量化理論 I 類ではカテゴリ化データのみに限定されるのに対して BP 法では両者の混在が許される点で都合がよい。

崩土到達距離に関する説明変数として、表-1 の 13 項目を考える。表中で着色を施した項目が量的データで、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⁵⁾⁶⁾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。

対象を近畿地方及び中国地方に限定すると表-2 の通り 625 件の斜面崩壊データがある。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-2 の括弧内に示す通り 529 件となった。

(2) データのフィルタリング

データ群の中には均一性を乱すデータが存在し、予測精度の低下を招く原因となる。そこで、分析に先立って、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が必要となる。通常、特異なデータを見つけ出すために、基本統計量を調べ、またヒストグラムや散布図を作成する方法が考えられる。しかし、データ量・項目が多いときには大変な作業となる。

そこで，本研究ではサモンマップ⁸⁾を用いて特異データの抽出を行った．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，データ同士の距離関係が多次元空間上で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。この図の縦横軸に示された数値はデータ点の座標値を表すが、サモンマップでは視覚的にデータ点の塊をとらえることで

図-1 サモンマップ⁹

分析を行うため、この数値自体は意味を持たない。

図-1の赤丸で囲んだデータが他から離れており、特異なデータであることが分かる。そこで、これらのデータが他のものとどのような点で異なっているのかを調べる。特異と思われるデータと他のデータ群と比較した結果、斜面の高さおよび崩土到達距離が極端に大きいことが分かった。そこで、斜面の高さー崩土到達距離の散布図を作成すると図-2 のようになる。2 つの図に示したデータラベルを比較すると、サモンマップで特異と思われる点は散布図でもやはり特異と感じられる。

これらのデータが外れ値といえるかどうかを調べるために、崩土の到達距離及び斜面の高さについてスミルノフ・グラブス検定⁹⁾を行った。検定の結果 33 件が外れ値として検出された。検定により検出されたデータは図-1、図-2 で抽出されたものと一致している。これらの分析結果をもとに、この 33 件を除外して、以後の分析に用いるデータは 496 件とした。

(3) BP 法による予測システムの構築

前述の 496 件のデータを学習に用いるデータ 466 件と予測システムの検証に用いるデータ 30 件の 2 つのグループに分ける.

予測に用いた BP 法のニューラルネットワークは、入力層、中間層および出力層の 3 層構造で、入力層のニューロン数は 13 個、出力層では 1 個とした。

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 $N_d (=466)$ の比 N_d/N_w をできるだけ大きくすることが学習上望ましいとされている。本研究では $N_d/N_w > 2$ を満足することを条件として、 n を変化させて試算した結果 $n = 10$ を採用することとした。このとき N_d/N_w は 3.1 となる。学習回数は試験的に実施し

图-2 散布图

図-3 残差の分布

図-4 正規確率プロット (正規P-Pプロット)

表-3 予測システムを用いた崩土到達距離の予測値とその超過確率

データ名	実測値(m)	予測値 L_m (m)	$A = L_m + \overline{\Delta L_m}$ (m)	$A + \sigma_L$ (m)	$A + 2\sigma_L$ (m)	$A + 3\sigma_L$ (m)
岡山 51-13	10.0	14.96	15.12	18.08	21.03	23.99
島根 52-35	2.5	0.31	0.47	3.42	6.38	9.34
大阪 51-11	6.0	5.23	5.39	8.34	11.30	14.25
兵庫 51-12	5.0	4.29	4.44	7.40	10.35	13.31
三重 57-11	5.0	8.52	8.69	11.64	14.60	17.55
生起確率			55.8%	89.5%	96.8%	99.1%
超過確率			44.2%	10.5%	3.2%	0.9%

た学習結果を参考にして 5,000 回とした。

図-3 は予測システムによる学習データの残差(ΔL_m =予測値-実測値)のヒストグラムである。また、図-3 の赤丸内のデータ(5 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4 のようになる。図-3、図4 から残差は正規分布に従っていると仮定して、コルモゴロフ・スミルノフ検定を行うと有意確率 P は 0.0697 となり仮定は採択された。

残差の平均値 $\overline{\Delta L_m}$ は 0.16m、標準偏差 σ_L は 2.96m となった。また、検証データで残差 ΔL_m が $-3\sigma_L$ を下回るものは 30 件中 0 件、 $3\sigma_L$ を上回るものは 2 件であった。

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た結果も併せて示している。この結果を用いれば、斜面崩壊で道路が完全に不通となる場合、あるいは片側は通行可能である場合のリスクを確率的に評価することができる。

3. BCP への適用事例

(1) 適用地域

大阪府北摂地域の中山間地に位置する大阪府豊能郡豊能町を事例として、崩土による道路閉塞が BCP の実施に及ぼす影響を調べる。同町で検討している BCP としては、国道の広域緊急交通路や府道などの地域緊急交通路である道路ネットワークに支障が生じない、もしくは、

支障が生じたとしても短期間で通行が確保されることを前提としている。これは、道路ネットワークの管理が、ほとんどの場合複数の管理者に分散して行われ、情報も限られており、1 管理者だけではネットワーク全体にわたる被害を想定することが困難なためである。

そこで、豊能町及びその周辺の北摂地域において、緊急交通路に面した急傾斜地崩壊危険箇所の斜面に本研究の手法を適用することとした。

(2) 急傾斜地における崩土到達距離の予測

大阪府豊能郡豊能町において、急傾斜地崩壊危険箇所は、全部で 85 箇所あるが、このうち広域緊急交通路及び地域緊急交通路に面している斜面は約 20 箇所である。ここでは、豊能町役場本庁周辺に的を絞り、図-5 に赤色で示した広域緊急交通路の国道付近で 2 箇所、青色で示した地域緊急交通路の府道付近で 1 箇所の計 3 箇所の斜面について解析を行った。3 つの斜面の崩土到達距離は表4 のように求まった。なお、BP 法による予測システムは検証用データも加えて 496 件の全データを学習して再構成している。

崩土到達距離を平均値 $+3\sigma_L$ と考えれば、箇所①及び③では緊急交通路が完全に崩土により閉塞することが分かった。また、箇所②では、道路まで到達することはないものの、河川が崩土により完全に閉塞してしまい、道路や周辺家屋への二次災害が懸念される結果となった。

図-5 大阪府北摂地域の急傾斜地危険箇所

図-6 大阪府北摂地域の道路ネットワーク

(3) BCP への適用

大阪府北摂地域の道路ネットワークを模式的に表すと図-6 のようになる。この広域緊急交通路ネットワークで箇所①及び②が閉塞などにより通行不可となると、初動業務（フェーズ1）の職員参集さえできない可能性がある。そのため、その後に行うフェーズ2の救助・救急活動や電力・通信・上水・下水等のライフラインの復旧、近隣市からの応援物資輸送などに大きく影響を及ぼす可能性がある。

よって、このような事態の備えとして、道路閉塞等の復旧に要する時間がある程度把握しておく必要がある。

図-7 は各箇所の実際の斜面の様子を示したものであり、各断面図に示した赤線が斜面の崩壊線を示している。崩壊線は斜面下端より平均値 $+3\sigma_L$ の位置を端部とし、崩壊線の上側と下側の土量が等しくなるような勾配を設定

表-4 急傾斜地危険箇所における崩土到達距離予測と応急復旧に要する時間

解析結果	箇所①	箇所②	箇所③
予測値 L_m (m)	7.69	19.60	1.66
$A = L_m + \Delta L_m$ (m)	7.85	19.76	1.82
$A + \sigma_L$ (m)	10.81	22.72	4.78
$A + 2\sigma_L$ (m)	13.77	25.68	7.74
$B = A + 3\sigma_L$ (m)	16.73	28.64	10.70
斜面下端から道路までの距離 C (m)	6.73	30.0	0.0
応急復旧土量面積 D (㎡)	29.1	38.0	41.6
崩壊道路延長 (m)	180.0	450.0	100.0
崩壊土量(㎡)	5242.5	17100.0	4155.0
斜面崩壊後の状況	道路閉塞	河川閉塞	道路閉塞
応急復旧時間 (日)	8.0(片側)	27.0	6.0(片側)

(1) 箇所①, ③

(2) 箇所②

図-7 崩壊断面図

して仮定したものである。

応急復旧のため1車線の通行を確保するものとして、廃土断面を図-7の水色部分のように考えて土量面積Dを算出した。さらに土砂災害危険箇所マップを参考に崩壊道路延長も計測し、崩壊土量と応急復旧時間を算出した。その際、中山間地域での作業で施工ヤードもないため、復旧作業が両側から実施できるものとした。ただし、二次災害防止のため夜間作業は考慮していない。また、この復旧作業も建設機材等の調達が可能であることを前提条件としている。

表-4の応急復旧時間によると、図-6の豊能町役場本庁周辺の箇所①、②においては、片側通行が可能となるまでに8日間を要し、その間は孤立してしまう可能性がある。物資輸送路として、大阪府茨木市側(図-6の⑦⑧)の

地域緊急交通路からの進入も考えられるが、豊能町内だけでも計6箇所の急傾斜地危険箇所があるうえ、他市も同様の地形であることから同様に崩土により閉塞している可能性がある。

したがって、箇所①または②のどちらか1箇所については崩壊防止を目的としたハード対策または迂回路の確保などの予防対策が必要である。これは、発災直後に行政が行うべき最初の重要業務である「住民生活の正常化」、「避難生活の安定化」ためにも必要な対策である。

また、図-6に示すとおり備蓄用資材の保管箇所としては、地域防災計画では西地区の豊能町支所を中心とした各小学校等が指定されているが、東地区の本庁周辺にはあまり備蓄用資材が確保されていない状況である。箇所①、②の閉塞によって東地区では物資の不足に陥る可能性もあり、備蓄計画を見直す必要がある。

このようにリスクを顕在化していくことで、従来の防災計画では災害発生後の危機管理対応が十分でせず復旧・復興の遅れに繋がることが明らかとなった。想定以上の事態が発生した場合はとくに深刻な事態に陥ることになるため、事前に様々な種類・規模の災害が発生した場合を想定したBCPの構築が必要である。

4. 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・切土斜面に着目し、斜面の崩壊により道路交通が阻害されるリスクを確率的に評価する方法を提案した。そして、その提案手法を大阪府北摂地域の中山間地に位置する大阪府豊能郡豊能町内の道路ネットワークに適用して、斜面崩壊に伴う道路閉鎖等による危機的状況の把握並びに復旧上の課題を指摘し、被災後の対応を効果的に実施するためのBCP策定の重要性を示した。

今後の展開として、地域内での対象斜面を増やして、急傾斜地に面する緊急交通路網全てに適用すること、また斜面崩壊リスクに止まらず橋梁やトンネルなど様々なリスクについても検討することを考えている。さらに、近年過去に例のない想定を越える災害が多数発生しており、例えば中山間地域では山体崩壊のような想定以上の

災害についても視野にいれていく必要がある。想定外災害に適切に対応するためには、リスクを限定的なものとせず可能な限り大規模かつ広域にわたる被害に対して対応する必要がある。今後は、そのような想定外の事態に対しても解析し、得られた結果をBCPに基づく改修計画の立案、復旧体制の整備、諸資材の備蓄計画などに反映し、地方行政版の実践的BCPの策定に繋がりたいと考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり湖山構造研究会の会員諸兄にはデータ入力に協力いただき、また議論に参加し有意義な意見をいただいた。ここに関係各位に深く感謝の意を述べるものである。

参考文献

- 1) 丸谷浩明：事業継続計画の意義と経済効果～平常時に評価される実践マネジメントへ、ぎょうせい、2008.5.
- 2) 総務省ホームページ：http://www.soumu.go.jp/.
- 3) 特定非営利活動事業継続推進機構：http://www.bcao.org/index.html.
- 4) 坂田朗夫・松本和也・川本篤志・伊藤則夫・白木 渡・堂垣正博：地方公共団体における業務継続計画策定ガイドの提案，安全問題研究論文集，土木学会，Vol.5，pp. 19-24，2010.11.
- 5) 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：がけ崩れ災害実態について（昭和50年～52年）（資料集），1978.3.
- 6) 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：がけ崩れ災害実態について（昭和53年～57年），1983.8.
- 7) 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回ファジィシステムシンポジウム講演論文集，1999.6.
- 8) 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，シュブリンガ・ジャパン，2005.6.
- 9) 社会情報サービス統計調査研究室：http://software.ssri.co.jp/stat-web2/sample/example_17.html.

(2011.7.22 受付)

A STUDY ON PREPARING THE BCP FOR LOCAL ADMINISTRATION CONSIDERING SUBSISTED RISK ANALYSIS OF ROAD NETWORK

Akio SAKATA, Norio ITO, Atsushi KAWAMOTO, Wataru SHIRAKI

For road networks in mountain site which are very important infrastructures for rescue and support operations in disaster, a study on preparing the BCP for local administrations at less favored area considering subsisted risk analysis is performed. As a risk the stop of road networks caused by collapse of natural slope or cut slope is considered. The effects of the stop of road networks are analyzed and the importance of preparing the BCP is demonstrated.