

EADaS手法による自然災害危険度評価システムの開発



大島 竜二*



外狩 麻子*



友利 方彦*



鈴木 博人*

鉄道沿線ではさまざまな規模の自然災害が発生するが、地すべり、岩盤崩落や土石流などの地形が大きく変化するような大規模な自然災害の発生危険度を評価できるシステムの開発に取り組んできた。本研究では、地形学・地質学の知見に基づいて鉄道沿線で起こりうるさまざまな自然災害の発生危険度を評価するEADaS手法に着目し、その手法のシステム化を行ってきた。EADaS手法およびEADaSシステムの概要を紹介するとともに、EADaS手法を用いた鉄道沿線の既往の災害発生箇所の評価結果について報告する。

●キーワード：自然災害、災害営力、地形学、地質学、EADaS 手法

1. はじめに

鉄道沿線で起こりうるさまざまな自然災害に対して、発生が想定される箇所を抽出し、対応策を講じておくことは重要である。鉄道沿線で発生する自然災害は、盛土や切取の崩壊といった比較的規模の小さなものから、地すべり、岩盤崩落や土石流などのように地形を大きく変化させる大規模なものまで、その規模は多岐にわたる。本研究では、これらの自然災害のうち、地形図に表れる規模で地形に変化をもたらす大規模な自然災害を対象に、その発生危険度を評価できるシステムの開発に取り組んできた。

大規模な自然災害を対象とした発生危険度の評価においては、地形図から読み取れる地形・土地利用状況などの素因条件に基づく判断が非常に有効である。そこで、2万5千分の1の地形図などの広域の地形情報を活用して自然災害の発生危険度を評価するために鈴木¹⁾が考案した「日本の任意地点で発生しうる地形災害の種類とその潜在的危険度の総合的評価法」に着目をした。なお、この手法は、英訳である「A reference system for predicting possible geomorphic disasters at a given site in Japan on the basis of the combination of Environment, Agent, Disaster mode and Structure at the site」を基に、EADaS(イーダス)手法と略称する。EADaS手法は、地形学・地質学における読図などの経験則に基づいた多種多様な評価項目を数値化し、それら多数の評価項目を組み合わせ、地形図に表れる規模で地形に変化をもたらす大規模な自然災害の発生危険度を評価するものであり、その手法をシステム化したものがEADaSシステムである。EADaS手法およびEADaSシステムは、鉄道沿線の任意地点で潜在的に発生が想定される大規模な自然災害を定量的に把握し、災害発生の可能性が高い箇所の抽出への活用が期待できる。今回、EADaS手法とEADaSシステムの概要を紹介し、EADaS手

法を用いて鉄道沿線の既往の災害発生箇所でも評価を実施したので報告する。

2. EADaS 手法及びシステムについて

2.1 EADaS手法の概要

2.1.1 EADaS手法の基本概念

地形学では、地形変化をもたらす自然現象のことを地形営力(表1参照)と定義し、地形営力による地形変化が基となって生じる自然災害を地形災害と定義している。個々の地形災害はどこでも起こるわけではなく、特定の地形場(表1参照)にある特定の地形種(表1参照)の地区で起こる。したがって、少なくとも地形図の読図によって、任意地点の地形場と地形種を特定すれば、そこで起こりうる地形災害の種類とおおよその規模を定性的に予測することができる¹⁾。地形種に対して起こりうる地形災害の種類を表したものを図1に示す。

表1 地形に関する用語²⁾

地形	地球表面の起伏形態であり、その成因とは無関係に、山、尾根、谷、高台、崖、半島、などといった形態と相対位置をさす日常語(以下、形態用語という)で記述される。
地形過程	地形は、①地球の内外で発生した力によって、②地表の構成物質(土と岩：地形物質と総称)が、バラバラな岩屑(例：砂礫)または大小の岩塊(例：地すべり移動体、大陸)として、動かされて変化する。その変化の時間的・空間的な成り行きを地形過程または地形の成因とよぶ。
地形営力	地形を変える能力のある自然現象をいう。つまり、上記①であって、地形営力が加わらない限り、地形物質は動かないから、地形は変化しない。
地形種	限りなく続く地球表面の起伏(地形)のうち、特定の成因によって形成された特定の形態的特徴をもつ部分として地形学的に認定された特定の地形を地形種とよぶ。崖、扇状地、自然堤防、砂丘、段丘、火山、活断層崖、などがその例で、特定の「成因用語」が与えられている。地形種の認定は鉄道防災にも重要である。
地形場	任意の地点・地区の地形過程を制約する「周囲を含む元の地形」を地形場という。

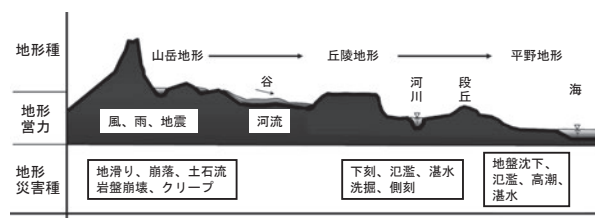


図1 地形種で起こりうる地形営力と地形災害の種類

それぞれの地形種に応じて、例えば、山岳地形では地すべりや土石流や崩落など、河川付近の平野地形では河川氾濫や洗掘などの地形災害が生じる。EADaS手法は、地形学・地質学における読図の観点に基づき、任意地点における地形災害の発生危険度を評価するものである。なお、地形災害は自然災害の一種ではあるが、以降、本研究では、地形災害のことを自然災害と称することとする。

2.1.2 EADaS手法の構成要素

EADaS手法の構成要素は、災害発生を誘発・抑制する自然環境を意味する災害環境要素 (E: Enviroment)、評価対象箇所において被害を生じさせるおそれのある自然現象を意味する災害営力 (A: Agent)、災害営力によって評価対象箇所で生じる被害状況を意味する災害様式 (D: Disaster)、評価対象箇所に存在する構造物 (S: Structure) の4つである。EADaS手法の構成要素の定義と具体例を表2に示す。

表2 EADaS手法の構成要素

用語	定義	具体例	記事
災害環境要素 (E) 224種類	災害発生を誘発したり、抑制する自然環境	気候、海岸、河川、地形、地質、地下水、植生	EADaSによる評価方法を開発済 (今回、検証を実施した部分)
災害営力 (A) 90種類	被害を生じさせる可能性のある自然現象	豪雨、津波、河川氾濫、落石、崩落、地すべり、土石流、地盤液状化、火山噴火、地震	
災害様式 (D) 20種類	災害営力によってこわむ被害の状況	岩塊堆積、土砂堆積、流水・冠水、地盤破壊、植生消失、施設劣化	評価方法を開発中 (今後の検討が必要な部分)
対象構造物 (S) 135種類	対象箇所に存在する鉄道構造物など	切取のり面、盛土のり面、橋梁、トンネル、電力柱	

2.1.3 EADaS手法の対象範囲

地すべり、岩盤崩落や土石流などの地形図に表れる規模で地形を大きく変化させるような大規模な自然災害の発生危険度の評価では、線路周辺の広範囲にわたる地形・地質な

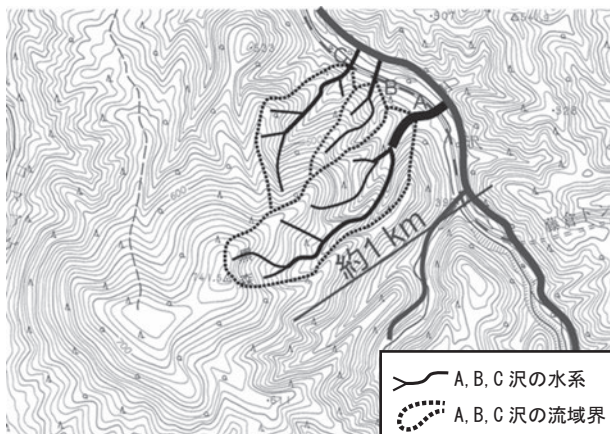


図2 2万5千分の1の地形図の一例²⁾

どの素因条件による判断が重要となる。EADaS手法では、2万5千分の1の地形図 (図2参照) や地質図などから得られる広範囲にわたる周辺の地形情報や地質情報を評価の判断材料として、上記のような大規模な自然災害を対象として、その潜在的な発生可能性の評価を行うものである。

2.2 EADaS手法の構成

2.2.1 EADaS手法における評価式の定義

EADaS手法による評価では、災害環境要素 (E) に対する災害営力 (A) の発生頻度を点数化したEA表と、災害営力 (A) ごとに生じる災害様式 (D) の危険度を点数化したAD表と、EA表とAD表の点数を乗じて整理したEAD表を用いて行う。EA表、AD表、EAD表の具体的な内容については以下のとおりである。

(1) EA表の定義

EADaS手法では、地形学・地質学の観点に基づいて、任意の災害環境要素 (E) の下で、発生し得る頻度が高い災害営力 (A) から、ほとんど発生し得ない災害営力 (A) まで定性的に分類を定義した。この分類に基づいて、任意の災害環境要素に対する災害営力の発生頻度を点数化し、整理したものをEA表として定義した。(図3; EA表参照)

図3上段のEA表の列は災害営力であり、行は災害環境要素である。災害環境要素は、斜面傾斜や河川からの距離といった要素で分類しており、それらの要素に対する対象箇所の条件を特性区分とした。図3で示すEA表を例にあげると、災害環境要素の河川距離という分類では、対象箇所の特性区分は0.2km以下という条件であることを表している。行列の交点の数字は、それぞれの災害環境要素の特性区分における各災害営力の発生頻度として定義している。地形学・地質学の知見に基づき、定性的に発生頻度を4段階で定義し、数字が大きいくほど発生頻度が高いと定義している。特性区分の一つである斜面傾斜: $90^\circ > \theta \geq 60^\circ$ を例にあげると、岩盤崩落などの集団移動営力による災害が発生しやすい環境であるため、岩盤崩落の災害営力の発生頻度を3点と定義している。

(2) AD表の定義

EADaS手法では、ある災害営力 (A) が発生した場合に生じる災害様式 (D) の危険度を点数化し、整理したものをAD表として定義した。(図3; AD表参照)

図3中段のAD表の列は災害営力であり、行は災害様式である。行列の交点の数字は、各災害営力によって生じる災害様式が評価対象箇所に与える危険度として定義している。点数は、影響範囲、潜在的破壊力などに基づき11段階に分

け、数字が大きい程、危険度が高いと定義している。災害営力の一つである岩盤崩落を例にあげると、岩盤崩落によって生じる地盤破壊や施設破壊などの災害様式は、影響範囲や潜在的破壊力が非常に大きなものとなることから、危険度を10点と定義している。列方向の値の合計が、その災害営力が鉄道運行や諸設備に与える危険度を示している。

(3) EAD表の定義

EADaS手法では、災害環境要素(E)と災害営力(A)の発生頻度を整理したEA表と、災害営力(A)ごとの災害様式(D)の危険度を整理したAD表を乗じたものを災害営力の評価点として定義した。これらを整理したものをEAD表と呼び、図3に一部の例を示す。

図3のEAD表の列は、落石、崩落、地すべりといった個々の災害営力に対する評価点を示しており、これらの災害営力の評価点を自然災害の発生危険度として定義している。例えば、EAD表の岩盤崩落の自然災害発生危険度は、①災害環境要素・災害営力による発生頻度(EA表)の評価点54点に、②災害営力・災害様式による関連性(AD表)の評価点59点を乗じた結果の3,186点となる。個々の災害営力の評価点の総和を、対象箇所における総合危険度評価点とする。

E: 災害環境要素(自然環境)		A: 災害営力(自然現象)					
分類(質問項目)	特性区分(回答)	河川水位急上昇	剥落型落石	岩盤崩落	地すべり	土石流	...
河川距離	0.2km以下	1	0	0	0	3	
斜面型	尾根型・凸形斜面	0	2	3	3	1	
斜面傾斜	$90^\circ > \theta \geq 60^\circ$	0	3	3	3	0	
岩質の分類	泥岩	0	1	2	3	0	
節理の開口	充填物無し	0	2	2	0	0	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
評価点合計(ΣE _A)		15	54	54	35	30	
D: 災害様式(被害状況)		A: 災害営力(自然現象)					
岩体定着		0	0	4	10	3	
岩塊堆積		0	7	9	9	7	
土砂堆積		0	5	7	2	5	
地盤破壊		5	9	10	10	9	
施設破壊		7	9	10	10	9	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	
評価点合計(ΣA _D)		21	41	59	59	49	
		A: 災害営力(自然現象)					
①災害環境要素・災害営力の評価点		15	54	54	35	30	...
②災害営力・災害様式の評価点		21	41	59	59	49	...
③災害危険度評価点(①×②)		315	2214	3186	2065	1470	...
		総合危険度評価点					
		22468					

図3 災害環境要素と災害営力と災害様式の関連性を表すEA表、AD表、EAD表の一部の例示

2.2.2 EADaS手法で算出される災害営力の概要

EADaS手法では、表3で示す災害営力の分類ごとに評価点を算出する。評価点は、河川水位急上昇、土砂崩落といった小分類単位で算出され、河川災害営力、集団移動営力といった大分類単位に集計される。さらに、大分類による災害営力の評価点の合計が、総合危険度評価点として算出され

る。EADaS手法では、災害営力の評価点が大きい程、自然災害の発生危険度が高いと評価される。ただし、河川水位急上昇、土砂崩落などの災害営力ごとにEA表およびAD表の配点が異なるため、それらを積上げたEAD表による評価点は、災害営力ごとに異なったものとなる。よって、EADaS手法による評価点の最大値は、個々の災害営力で異なった値となる。

表3 EADaS手法における災害営力の分類

大分類	小分類
気象災害営力	強風、竜巻、豪雨、豪雪、雪崩、吹雪、落雷、濃霧 など
海象災害営力	高波、高潮、津波、岩石海岸浸食 など
河川災害営力	ガリー浸食、河川流量急増、河川水位急上昇、砂礫床洗掘、砂礫堆積、氾濫、流木堆積 など
集団移動営力	匍行、転落型落石、剥落型落石、土砂崩落、岩盤崩落、地すべり、土石流、土砂流 など
表層地盤災害営力	地下水位変化、湧水、パイピング、地盤液状化、噴砂、陥没、落盤、地盤沈下 など
火山災害営力	火山ガス噴出、水蒸気爆発、噴石弾道降下、火山灰降下、溶岩流、 など
変動災害営力	地震危険度の極小・小・中・大・極大、地表地震断層運動、褶曲運動、急激な隆起・沈降 など

2.3 EADaSシステムによる評価手順

EADaS手法を用いた自然災害発生危険度の評価では、対象箇所に関係するすべての災害環境要素の特性区分をEA表、AD表、EAD表で該当する項目に照らし合わせ、評価点を算出する。対象箇所に関係する災害環境要素を特定した後のEA表、AD表、EAD表で該当する項目との照らし合わせの作業を自動的に行えるようにしたものが、EADaSシステムである。EADaSシステムによる評価の手順は以下のとおりである。

- (1) 地形図上で、線路近接斜面や渓流部、河川攻撃箇所などの地形区分を1つの評価対象単位として評価箇所を設定する。(図4: 地形図参)
- (2) 地質図・地形図などを用いて、技術的見地から評価対象箇所の災害環境要素の状況を読み取り、災害環境要素をEADaSシステムに入力する。なお、地形に応じて災害環境要素が異なり、一つの評価対象箇所では、概ね60~90項目程度の災害環境要素の入力が必要となる。(図4: EADaSシステム入力画面参照)
- (3) EADaSシステム内で災害環境要素が特定され、その災害環境要素に関係のある災害営力、災害様式に基づき、評価対象箇所における自然災害の発生危険度評価点が算出される。(図4: EA表、AD表、評価結果参照)

2.4 EADaSシステムと3D線路情報との連携機能

EADaSシステムを用いた評価の際には、地形図などから地形情報を読み取り、システムに入力する作業を繰り返すこと

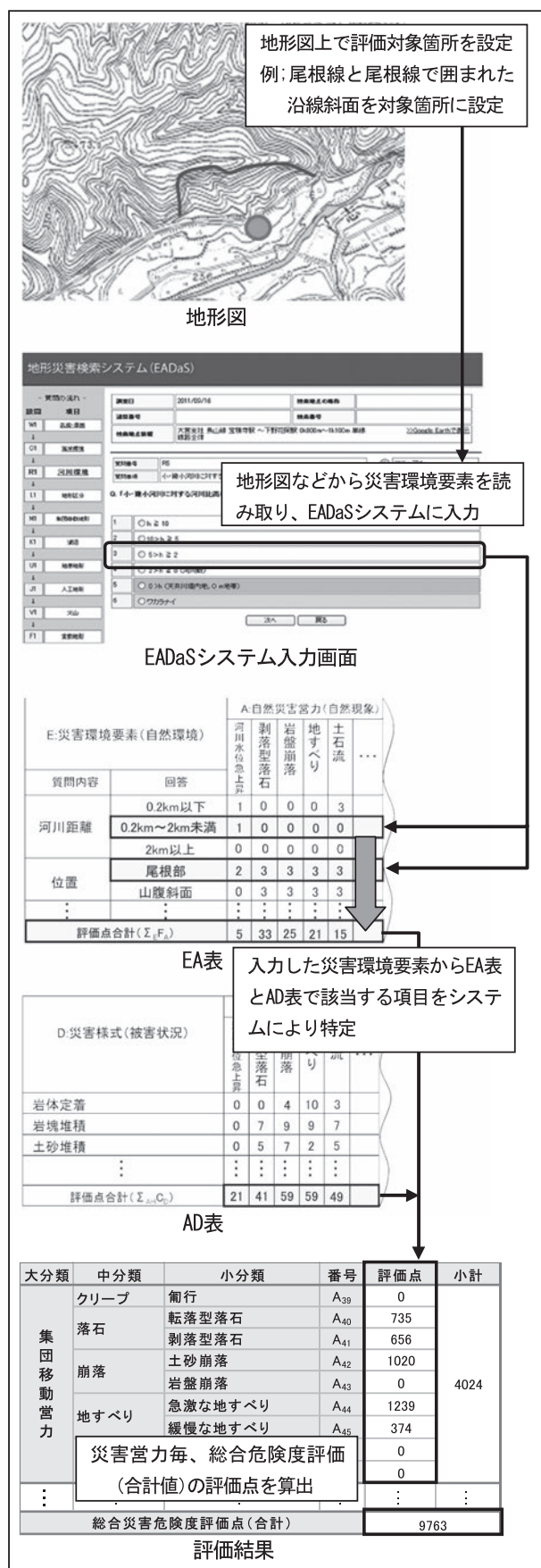


図4 EADaSシステムによる自然災害危険度の評価手順果

となり繁雑であった。一方で、地形情報の電子データ化が進んでおり、このようなデータを活用することで、EADaSシステムを用いた評価における作業量が軽減できると思われる。東日本旅客鉄道株式会社（以下、JR東日本とする）では、2万5千分の1地形図、航空写真、線路平面図、標高情報などの線路周辺の地形情報を参照するシステム（以下、3D線路情報とする）が整備されている。このシステムとEADaSシステムを連携することで、EADaSシステムによる評価時の作業量の軽減を図ることができる。主な連携機能を以下に示す。

(1) 評価対象箇所を3D線路情報で表示

EADaSシステム使用時に、3D線路情報の標高情報などに基づいて、比高、仰角、距離といった判断に必要な地形情報を取得できる。（図5）

(2) 3D線路情報上で評価結果を表示

EADaSシステムの評価結果を3D線路情報で地形図や航空写真といった地図情報に重ねて表示することができる。この機能を活用することで、鉄道沿線上の自然災害危険度の分布を俯瞰して見る事が可能となる。（図6）

(3) 公開GIS（地理空間情報）データの取り込み

行政機関公開GISデータと組み合わせることで、距離や位置に関するものなどは、対象位置（キロ程）に応じて、災害環境要素を特定できる。行政機関公開GISデータに基づき、

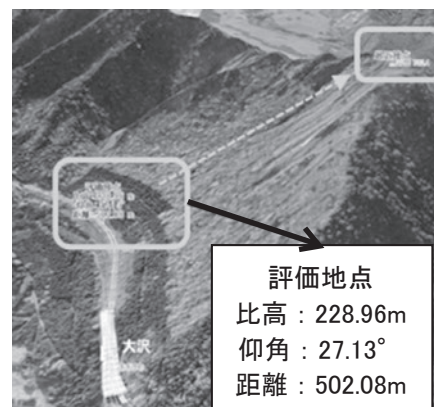


図5 3D線路情報によるEADaSシステムの評価例

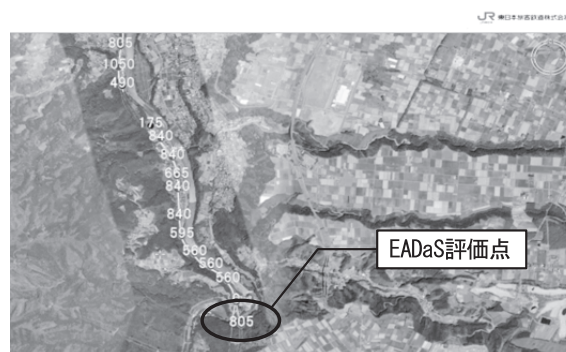


図6 EADaSシステム評価結果の3D線路情報上での表示例

表4 行政機関公開のGISデータに基づき
特定可能となる災害環境要素

No	災害環境要素	参照する行政機関 のGISデータ
1	検索地点の海岸距離	国交省 国土数値情報 海岸線
2	構成物質による海岸の大分類	
3	砂浜海岸の構成物質による分類	
4	人工海岸に対する位置	国交省 国土数値情報 河川
5	河川距離	
6	検索地点の河川規模(本流の長さ)	
7	大・中河川に対する河川比高	
8	小・微小河川に対する河川比高	
9	検索地点の河床勾配	国交省 国土数値情報 ダム
10	ダムに対する検索地点の位置	
11	直近のダムに対する検索地点の位置	国交省 土地分類調査・ 水調査 地形分類図
12	検索対象とする河川と検索地点の間の地形	
13	地形の大分類	国交省 土地分類調査・ 水調査 火山分布図
14	活火山に対する検索地点の位置	
15	検索地点の西方の活火山までの距離	
16	検索地点の西方以外の活火山までの距離	
17	火山麓と検索地点との間の地形	
18	火山に対する検索地点の位置	産業技術研究所 地質図
19	地質の大分類	
20	植生環境の大分類	国土地理院 数値地図 土地条件 環境省 植生分布図
21	無植生地の分類	
22	林地の種類	
23	畑・果樹園などの分類	

特定可能となる災害環境要素を表4に示す。現状のEADaSシステムでは、海岸距離の災害環境要素で公開GISデータを取り込んでおり、今後、ほかのデータも実装することで、EADaSシステムによる評価作業の効率化が期待できる。

3. EADaS 手法を用いた鉄道沿線の評価

3.1 検討概要

EADaS手法では、地形学・地質学の知見に基づき、定性的に定義付けた配点の積上げから評価点が算出される。2章で示したように、同じ種類の自然災害の発生危険度では、EADaS手法による評価点が大きい箇所ほど、災害発生危険度が高いといえる。

これに対して、自然災害の発生危険度を評価するにあたって、現状の検討課題として以下のことが考えられる。

- (1) 地すべり、岩盤崩落や土石流などの個別の自然災害の発生危険度を評価する際に、どの程度の評価点になれば、災害の発生可能性が高いかということが判断できない。
- (2) 2.2.2で述べたように、EA表およびAD表の配点が個々の災害営力で異なることから、評価点の最大値は、個々の災害営力ごとに異なる値となる。そのため、同一箇所でも複数の自然災害の発生危険度を比較することができない。
- (3) 同様の理由で、複数の箇所における総合危険度評価点を比較することはできない。

(1)の課題に対しては、EADaS手法による評価点から自然災害発生の可能性が高い箇所を抽出するための判断基準(目安)を設ける必要がある。そのため、EADaS手法により既往の災害発生箇所について評価を実施した。

3.2 既往の災害発生箇所のEADaS手法による評価

3.2.1 評価対象とした既往の災害発生箇所の概要

JR東日本管内で過去40年間に発生した災害事例についてEADaS手法による評価を実施した。災害事例は、路盤流出や線路支障などを引き起こした事例を対象とした。具体的には、土砂崩落が10件、岩盤崩落が7件、土石流が4件の計21事例である。また、選んだ事例の災害発生箇所が発生しやすいと想定される集団移動営力(転落型落石、剥落型落石、土砂崩落、岩盤崩落、急速な地すべり、土石流)(2.2.2表3参照)の各評価点も合わせて算出した。

3.2.2 土砂崩落事例の評価結果

土砂崩落事例の全10ヶ所の災害発生箇所におけるEADaS評価点を図7に示す。図中の縦軸はEADaSシステムにより算出した評価点を示す。災害発生箇所ごとに転落型落石、剥落型落石、土砂崩落、岩盤崩落、急速な地すべり、土石流の災害営力の評価点を順に記載している。土砂崩落が発生した箇所では、全10ヶ所中6ヶ所で土砂崩落の災害営力の評価点がほかの災害営力よりも高くなった。また、土砂崩落の評価点は、最低値で1,071点、平均値で1,647点、最大値で2,142点であった。

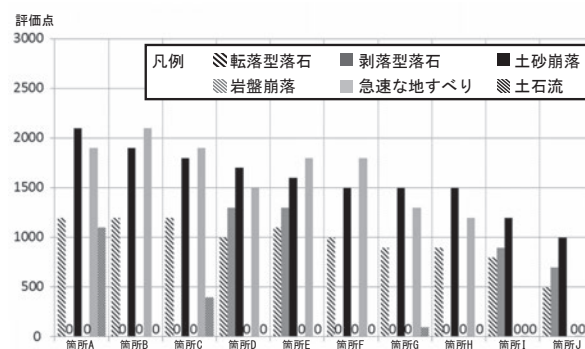


図7 土砂崩落事例の評価結果

3.2.3 岩盤崩落事例の評価結果

岩盤崩落事例の全7ヶ所の災害発生箇所におけるEADaS評価点を図8に示す。岩盤崩落が発生した箇所は、全7ヶ所で岩盤崩落の災害営力の評価点がほかの災害営力よりも高くなった。また、岩盤崩落の評価点は、最低値で1,888点、平均値で2,385点、最大値で3,068点であった。

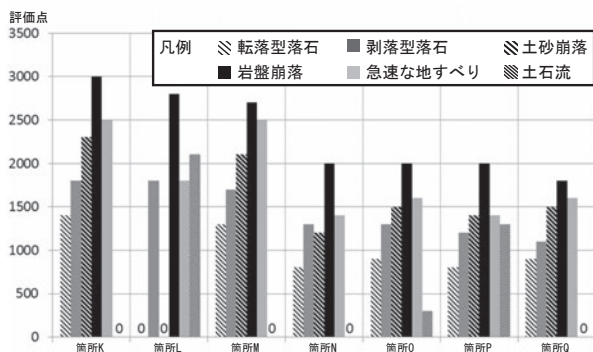


図8 岩盤崩落事例の評価結果

3.2.4 土石流事例の評価結果

土石流事例の全4ヶ所の災害発生箇所におけるEADaS評価点を図9に示す。土石流が発生した箇所では、全4ヶ所で土石流の災害営力がほかの災害営力の評価点よりも高くなった。また、土石流の災害営力の評価点は、最低値で1,519点、平均値で2,034点、最大値で2,254点であった。

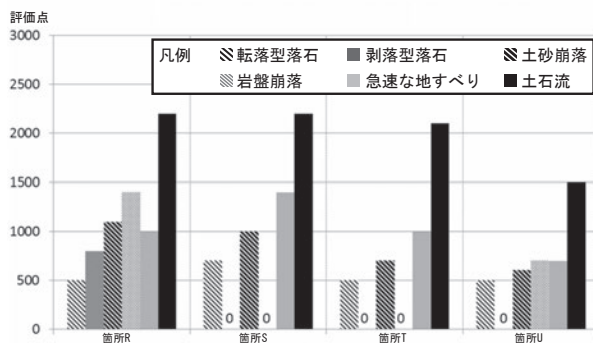


図9 土石流事例の評価結果

3.3 評価結果のまとめ

鉄道沿線の既往の災害発生箇所に対するEADaS手法による評価から得られた結果は以下のとおりである。

土砂崩落では、該当する土砂崩落の災害営力が約1,000点以上の評価点で災害が発生していた。同様に、土石流では約1,500点以上で、岩盤崩落では約1,800点以上で当該の災害が発生していた。

4. おわりに

EADaS手法の評価点から自然災害の発生可能性が高い箇所を抽出するための判断基準を設けるためには、既往の災害発生箇所の評価だけでなく、災害未発生箇所も含めて検討する必要がある。そこで、今後は、より多くの災害発生箇所と未発生箇所に対してEADaS手法を用いて評価することで、任意地点において災害の発生可能性を判断する際の目安値を統計的に求めたいと考えている。これについては、

今回対象とした自然災害（土砂崩落、岩盤崩落、土石流）以外に対しても、同様の検討を行っていく。また、同一箇所における複数の自然災害の比較や、複数の箇所における総合危険度評価点の比較ができる方法についても研究を進めていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門，第4巻 火山・変動地形と応用読図 改訂版，古今書院，pp. vi, pp.1212, 2012.10.
- 2) 鈴木隆介：鉄道施設防災のための地形図読図 (1) 地形図読図の講義，日本鉄道施設協会誌，第41巻，第4号，pp.67-68, 2010.4.