

3403 EADaS 手法に基づく災害危険度評価システムの開発

正 [土] ○増井 洋介 (JR 東日本)

正 [土] 輿水 聡 (JR 東日本)

正 [土] 島村 誠 (JR 東日本)

鈴木 隆介 (JR 東日本)

Development of a Disaster Risk Factor Evaluation System Based on the EADaS Method

Yosuke MASUI, East Japan Railway Company 2-479, Nisshin-cho, Kita-ku, Saitama City

Satoru KOSHIMIZU, East Japan Railway Company

Makoto SHIMAMURA, East Japan Railway Company

Takasuke SUZUKI, East Japan Railway Company

It is well known that the types and frequency of potential natural disasters at a certain site are closely related to the topographical and geologic features at the sites. JR East has developed a method to quantify the relationships on the basis of the existing qualitative knowledge in order to assess the risk of potential natural disasters at arbitrary sites along the railway. The method is abbreviated to the EADaS (Environment, Agent, Disaster mode and Structure) method, which is currently revised for constructing the software called the EADaS system. The system can be handled by engineers as an evaluation tool of the natural disaster risk factor.

Keywords: EADaS system, Natural disaster prevention, Map reading

1. はじめに

従来の災害危険度評価では、土砂災害や落石といった特定の災害別に、あるいは路線の限定された範囲を対象に行われることが多く、各路線各地点で発生する可能性のあるすべての自然災害の危険度については、同一の尺度で比較することができなかった。本研究では、地形工学・地質工学的見地より、任意の地点で発生する可能性のある全ての自然災害の危険度を評価するためのEADaS (イーダス) 手法を開発し、そのソフト (EADaS システム) 化を進めた。なお、EADaS とは Environment, Agent, Disaster mode and Structure の略である。

本報告ではEADaS 手法とEADaS システムの概要について述べるとともに、今後の開発の方向性について紹介する。

2. EADaS 手法の概要

本報告で使用する用語を、表 1 のように定義する。EADaS 手法とは、災害危険度を評価したい地点の地形、地質条件等から、①発生しうる自然現象およびその頻度を抽出し、②その自然現象がもたらす被害状況を点数化し、③災害危険度評価点として算出する手法である。なお、EADaS 手法では自然災害の中でも地形災害のみを対象とする。以下に、その詳細を述べる。

2.1 発生しうる自然現象およびその頻度の抽出

ある地点で発生する災害形態は、その地点の自然環境に大きく制約される。例えば、下記のような例が挙げられる。

- ・ 海岸に近く、標高の低いところでは、津波・高波災害を受ける可能性が高い
- ・ 落石がよく発生する斜面に近い構造物ほど、落石被害を受けやすい
- ・ 過去に地すべりを起こした形跡のある場所では、地

Table 1. Definition of Terminology

用語	定義	具体例
災害環境要素 (E) 約800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
災害営力 (A) 90種類	鉄道施設などに被害を発生させる可能性のある自然現象	豪雨、河川氾濫、落石、崩落、地すべり、土石流、地盤液状化、地震
災害様式 (D) 20種類	災害営力によって鉄道施設などがこうむる被害状況	岩塊堆積、土砂堆積、流水・冠水、地盤破壊、施設破壊、植生消失
検索施設 (S) 135種類	調査箇所が存在する鉄道施設など	鉄道、道路、切取のり面、盛土のり面、橋りょう、トンネル、家屋、電柱
自然災害	自然現象に起因する災害	自然発火の山火事、地磁気変動などのほか、災害営力欄に同じ
地形災害	自然災害のうち、地形変化を伴う災害	災害営力欄に同じ
災害因子	災害営力の諸性質のうち、被害状況に直結する素因的な性質	頻度、予知可能性、制御可能性など

すべりが再発する可能性が高いケースが多い。

すなわち、従来の地形工学・地質工学の知見を論拠として、その地点の自然環境下で発生する可能性がある自然現象の種類の抽出と、その発生頻度の高低を階級区分することができる。

まず、EADaS 手法では災害環境要素 (E_n :自然環境) を約 800 種類に分類した。この自然環境は気候環境、海岸環境、河川環境、地形環境、地質環境などに大別され、一つの地点で複数の自然環境が抽出されることとなる。

次に、それぞれの自然環境下において起こりうる災害営力 (A_n :自然現象、90 種) の頻度 (f_{FA} と記す) を、定性的に 4 階級 (0~3 点) で評価した (図 1)。4 階級評価は下記のように行っている。

E:災害環境要素(自然環境)		A:災害営力(自然現象)				
調査内容	調査結果	河川水位の急上昇	剥落型落石	岩盤崩落	地すべり	土石流
		1	2	3	3	3
河川距離	0.2km以下	1	—	—	—	3
位置	尾根線下方	2	3	3	3	3
斜面型	凹型斜面	—	2	1	1	1
斜面傾斜	90° > θ	—	3	3	3	—
岩盤分類	硬岩	—	1	1	1	—
節理の開口	充填物無し	—	2	2	—	—
無植生地	がけ	—	2	3	1	—
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
評価点合計(ΣE _{FA})		15	54	54	35	30

自然環境と自然現象の関係性を数値化

Fig.1 Example of Part of the E_{FA} Table

Table 2 Example of Agents

用語	具体例
気象災害営力	気温、強風、竜巻、豪雨、豪雪、雪崩、吹雪、濃霧
海岸災害営力	高波、高潮、津波、砂浜海岸侵蝕、岩石海岸侵蝕、漂砂
河川災害営力	ガリー侵食、河川水位の急上昇、谷頭侵食、岩盤下刻、砂礫床洗掘、砂礫堆積
集団移動営力	転落型落石、剥落型落石、土砂崩落、岩盤崩落、急激な地すべり、土石流、湧水、地盤沈下
表層地盤災害営力	地下水位変化、湧水、噴泥、地盤沈下
火山災害営力	水蒸気爆発、火山灰降下、熱雲、溶岩流、火砕流、火山性地震
変動災害営力	地震、褶曲運動、急激な隆起・沈降

Table 3 Example of risk factors

災害因子	素因的危険度				
	危険度大	危険度中	危険度小	危険度小	危険度小
階級	5	4	3	2	1
頻度	毎年	数年	数十年	数百年	数千年以上
予知可能性	不可能	ほとんど不可能	一般に可能	例外を除き可能	可能
制御可能性	不可能	ほとんど不可能	一般に可能	例外を除き可能	可能
素因	不明	ほとんど不明	稀に判明	しばしば判明	判明
襲来速度	数十m/秒	数十m/分	数十m/時間	数十m/日	数m/年
予報の時間的余裕	0秒～数秒	数十秒	数十分	数時間	数日
継続時間	数ヶ月以上	数日	数時間	数分	数秒
影響範囲	数百km	数十km	数km	数百m	数十m
潜在的破壊力	放棄・復旧不可能	局所的に復旧可能	復旧に数ヶ月必要	数日で復旧可能	数時間で復旧可能
避難の難易度	避難不可能	避難困難	稀に避難可能	避難可能	避難不要

3：必ず発生する
1：例外的に発生する
—：無関係

2：発生する
0：発生することはない

なお、自然現象については日本で発生するものを7種に大分類し、それぞれを細分化して90種としている。その一例を表2に示す。

この E_{FA} 表により、自然環境と自然現象が、4 階級の発生頻度評価で結び付けられる。

2.2 自然現象がもたらす被害状況の点数化

個々の自然現象が発生したとき、その現象がもたらす

Table 4 Example of Disaster Modes

災害モード	災害営力とそれによる被害状況の例
空間閉塞災害	視程悪化 濃霧、ほこり、豪雨、強風、竜巻、吹雪、飛沫などによる視程悪化
	物体飛散 強風、竜巻、豪雨、吹雪、飛沫などに伴う大気中の塵埃、枝葉・砂礫・人工物の飛散による空間閉塞
	地物振動 強風、竜巻、地震動などによる構造物や樹木の機能障害
	有毒大気 火山ガス、酸欠空気、火災などで発生した有毒ガスによる各種障害や人命損傷
被覆災害	岩体定着 溶岩流、火砕流、岩盤崩落、地すべりなどに伴う岩体定着による施設の損傷・埋没・破壊
	岩塊堆積 河川氾濫、津波、落石、岩盤崩落、地すべり、土石流、火山噴出などによる岩塊の堆積と施設の埋没
	砂礫堆積 強風、河川氾濫、高波、津波、落石、土砂崩壊、土石流、火山噴出などによる土砂の堆積と施設の埋没
	流送物体堆積 強風、河川氾濫、高潮、津波などによる流送物体の堆積に伴う施設の機能障害
	流水・冠水 河川氾濫、内水、高波、津波などに伴う土地の冠水による人命・施設の損傷・埋没・流失
	冠雪 積雪、雪崩、雪泥流による各種施設の機能障害・損傷・埋没、稀に人命損傷
	普水・凍結 普水・凍結・凍上・霧柱による各種施設の機能障害、岩盤崩壊による斜面不安定化
	着氷 強風による飛雪や海水の冠水による着氷に伴う電気系統の異常、施設の機能障害
破壊災害	地盤破壊 各種の侵蝕、集団移動、火山活動、地震などによる自然地盤の破壊・変形に伴う地形変化
	施設破壊 あらゆる災害営力による構造物の変位・破壊・消失とそれに伴う人命損傷
	動体破壊 あらゆる災害営力による動体(車両、自動車、船舶、航空機)の脱線・転覆・衝突・墜落に伴う被災
	植生消失 あらゆる災害営力による農作物、森林などの風倒、枯死、火災、消失、流失に伴う被災
劣化災害	地盤劣化 あらゆる災害営力による自然地盤の変位、強度劣化、含水比、地下水位などの変化に伴う地盤の不安定化
	構造物劣化 あらゆる災害営力による構造物の変位、振動、風化、疲労、強度低下に伴う機能劣化
	植物異常繁殖 植生の不都合な繁殖による生活・生産活動・交通の環境劣化
	動物異常繁殖 動物の異常繁殖や害虫害による生活・生産・交通環境及び機能の劣化

Table 5 Definition of Risk Level

危険度階級	災害復旧時間	災害モードの例
5	数ヶ月以上(稀に放棄)	橋りょう、高架橋、トンネルの大規模破壊、地山の地すべりや崩落による路盤の破壊・埋没
4	1ヶ月程度	橋脚の部分的損傷、切取法面の崩壊、土石流による路盤の埋没
3	数日	盛土の破壊、大規模な氾濫や高潮による冠水
2	1日程度	小規模の落石による路盤の破壊、動体破壊、豪雪による運休
1	数時間以内	強風、豪雨、霧による視程悪化、路盤への少量の土砂流入、豪雨などによる路床の流失

被害の程度は自然現象の諸性質によって異なる。その異なる被害程度を定量化することにより、災害危険度の定量化が可能となる。そこで、下記により自然現象がもたらす被害状況を評価した。

a) 自然現象が持つ、そもそもの素因的危険度の評価

自然現象の災害因子を10項目設定し(表3)、それぞれの項目において危険度を5階級で評価し、素因的危険度評価点を設定した。なお、災害因子は国際的には9項目に区分¹⁾されているが、EADaSでは1項目(避難の難易度)を追加している。

b) 自然現象によりもたらされる想定被害状況の評価

想定される被害状況を20種類設定し(表4)、それぞれの被害状況の復旧に要する時間の長短で危険度を5階級に評価した(表5)。

c) 自然現象ごとの被害状況の発生頻度の評価

すべての自然現象がすべての被害状況が発生させるわけではないため、自然現象ごとの被害状況の発

D:災害様式(被害状況)	A:災害営力(自然現象)				
	河川水位の急上昇	剥落型落石	岩盤崩落	地すべり	土石流
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
地盤劣化	1	2	3	3	2
施設劣化	1	2	3	3	2
...	...	...	...	...	...
評価点合計(ΣAHC_D)	21	41	59	59	49

自然現象と被害状況の関係性を数値化

Fig.2 Example of Part of the AHC_D Table

	災害営力(自然現象)					$EAHP_D$
	河川水位の急上昇	剥落型落石	岩盤崩落	地すべり	土石流	
1.自然環境・自然現象の評価点	15	54	54	35	30	
2.自然環境・被害状況の評価点	21	41	59	59	49	
3.災害危険度評価点($① \times ②$)	315	2214	3186	2065	1470	22468
合計						$\Sigma EAHP_D$

その場所における災害危険度評価点

Fig.3 Example of Part of the Evaluation Grade Table

生頻度を4階級に評価した。この4階級評価は、2.1.1項と同等である。

d) 自然現象がもたらす被害状況の点数化

a)~c)を掛算することにより算出した。なお、最終的に算出された評価点は、その大小から11階級(0~10点、 AHC_D と記す)へ振り分けている。最終的な評価結果の一例を図2に示す。

2.3 災害危険度評価点の算出

任意の地点における地形災害の危険度評価には、その地点の自然環境下(E_n)において発生しうる個々の自然現象(A_n)の発生頻度の合計(ΣEFA)と、その自然現象がもたらす被害状況の危険度階級の合計(ΣAHC_D)との積を指標とした。すなわち、下記の式で表わされる。

$$EAHP_D = \Sigma EFA \times \Sigma AHC_D \quad (式 2.1)$$

$EAHP_D$ は、「任意地点で発生しうる個々の自然現象による全ての被害状況の潜在的危険度」と定義する。 $EAHP_D$ の一例を図3に示す。

3. EADaS システムの概要

3.1 EADaS システムによる評価の流れ

EADaS 手法に基づく評価を自動化するため、EADaS システム(ソフト)には EFA 表及び AHC_D 表を搭載している。システムによる評価フローを図4に示す。

システムを起動すると、まず評価地点の基礎情報を登録(評価地点名称、評価者名、評価地点のキロ程等の入力)する。その後、評価対象地点の自然環境を特定するための数々の質問を、系統的かつ自動的に評価者に問いかけるようになっている。評価者が地形図や地質図など

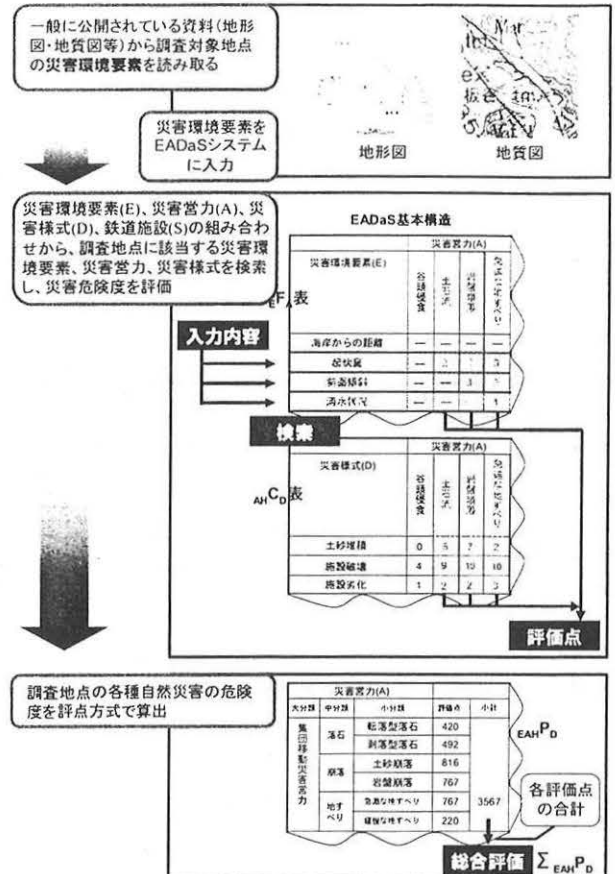


Fig.4 Basic Flow of the EADaS System Evaluation

の既存資料を見ながら、その質問の回答を選択することにより、その地点に関係のある自然現象が選択され、 EFA 表および AHC_D 表に基づき評価点が自動的に算出される仕組みとなっている。

3.2 EADaS システムの使用例

実際に、EADaS システムを用いた評価について、図5の丸印地点を例として紹介する。この地点では、過去に岩盤崩落による災害が発生している。

EADaS システム自体はサーバにインストールされており、インターネット回線を通じてEADaSのウェブページにアクセスしてシステムを利用する作業法を想定している。システムにアクセスすると、調査地点の基本情報(線区、キロ程、駅間など)を登録する画面となり、登録を完了するとその地点の自然環境を特定する質問が出される画面に自動的に切り替わる。

表6に、その質問と回答のいくつかを例示する。基本的に、質問の内容は地形図や地質図から読み取れるものが多いが、現場を確認しなければわからない質問もいくつかある。その場合は、回答を「ワカラナイ」として回答内容を一度保存し、現地調査を行ったのちに、その回答内容に調査結果を追加入力していくことができる。

「ワカラナイ」という回答を残したままでも、災害危険度評価点は算出されるが、「ワカラナイ」とした項目を0点とするため、過小評価となる。したがって、「ワカラナイ」とした項目をできるだけ少なくして、評価点の信頼性を上げる必要がある。

また、質問には地形学、地質学の専門用語が使われているが、ユーザーガイダンス機能(参照)を利用するこ



Fig.5 Location of Example for Evaluation

Table 6 Examples of Questions and Responses

No	質問事項	回答
1	気候区	北関東区
2	評価する季節	適年(季節不問)
3	評価地点の海岸からの距離(km)	20km以上
4	河川と評価地点の間の地形	河川に向かって低下する斜面
5	河川との距離(D、km)	$0.2 > D \geq 0.02$
...	...	...
17	評価地点のある斜面の斜面型	尾根型・凹形斜面
18	評価地点の斜面傾斜(θ 、度)	$90 > \theta \geq 60$
...	...	...
31	活火山に対する評価地点の位置	評価地点の西方(火山からみて風下)に活火山がある
...	...	...
47	地層の傾斜(α 、度)	$5 > \alpha \geq 1$
48	斜面の傾斜方向と地層の傾斜方向による斜面分類	流れ盤斜面
...	...	...
57	自由地下水面の深さ	ワカラナイ
58	植生環境の大分類	無植生
59	無植生地の中の分類	がけ(岩)
60	至近の顕著な遷移線までの距離	存在しない

とにより、用語の意味や地形図などから読み取らなければならない情報を確認しながら回答することを可能にしている（図 6）。

なお、今回の事例紹介地点では質問数は 60 問となっているが、質問の回答内容によって次に出される質問内容が自動的に変わるため、対象地点によってこの質問内容と質問数は異なってくる。

3.3 災害危険度評価点の意味

図5の事例紹介地点を評価した結果を図7に示す。これまで、50地点以上で災害危険度評価を行い、EADaSシステムの評価点と実際の発生災害との関係を検証した結果から、評価点には次のような傾向があることがわかっている。

- (1) 過去の災害は、総合災害危険度評価点が2,500点以上（総合評価点3点以上）の地点で発生していること。
- (2) 発生する災害は、評価点上位3位までに含まれる自然現象に起因していること（図5の事例では、岩盤崩落、土砂崩落、剥落型落石が上位3位の自然現象であり、発生したのは岩盤崩落）。
- (3) (1)のような地点でも災害がない地点は、防災対策として効果のある構造物が設置されていること。

以上のことから、今回の事例紹介地点においても、これまでの評価点の傾向と同様の結果が確認できた。

4. 今後について

土木構造物の設計においては、考慮される環境条件は



Fig.6 EADaS Screen and User Guidance Function

[illegible]

その構造物周囲の狭い範囲に限定されがちである。しかしながら防災業務においては、対象地点を中心とした数 km もの範囲の地形図を見て、災害発生に至る自然環境を読み取る（読図²⁾する）必要がある。

読図に関する知識や経験があれば、EADaS システムを用いた災害評価の精度、および信頼性の向上や、実務面での多岐にわたる応用が期待できる。一例としては、斜面の張コンクリートに変状が発生した場合に、施工不良などといった非常に狭い範囲で起きている変状か、あるいは張コンクリートのある自然斜面自体が地すべり地形にあり斜面全体が滑動し始めたために起きた変状か、を判断することが出来るようになる。

このような技術を若手社員に継承していくことが重要であり、EADaS システムはその教育ツールとしての役割も果たせるものと考えている。今後は、EADaS システムを活用した、現場社員の技術力向上の方策を検討すると共に、EADaS システムをさらに使いやすいシステムとするための改善も行っていく。

参考文献

- 1) 下鶴大輔, 荒牧重雄, 井田喜明編: 火山の事典, 朝倉書店, 590p, 1995.
- 2) 鈴木隆介: 建設技術者のための地形図読図入門(全4巻), 古今書院, 1322p, 1997~2004