落石のハザードマップ―基図としてのあり方―

STUDY ON HAZARD MAP OF ROCKFALL DISASTER

上野将司*・大河原彰**
Shouji UENO and Akira OOKAWARA

Disasters of rock falls occur frequently along roadsides in Japan because 70% of the country is mountainous. The Ministry of Construction and local government are researching the distribution of unstable rocks on slopes along roadsides. We can estimate the area of rock falls generally using simulation method. In this paper we discuss how to make a hazard map , how to use it and the technical problems with the present hazard map.

Key Words : *rockfall , simulation method , hazard map*

１．はじめに

日本の国土はその70%以上が山地や丘陵であることから、山間部に多くの集落や交通路が位置し、大小の落石災害が頻発している。とくに道路や鉄道での災害が目立ち、経済発展に伴う交通量の増大、交通路の整備、交通の高速化により、他の土砂災害とあわせて深刻な問題となっている。

従来の落石対策は、落石に関する研究が遅れていたこともあって、多くの場合、詳細な検討がなされないままにストンガードやロックネットなどの対策がなされてきた。しかし、平成元年の国道305号越前岬の岩盤崩壊、平成 2 年の国道11号鳴門市での落石、平成 3 年の国道158号猿なぎ洞門の崩壊、さらには平成 8 年の国道229号豊浜トンネル岩盤崩落などの道路災害の発生により、斜面における防災対策が精度を上げて精力的に進められることとなった。

すなわち、道路では精度を上げた防災総点検が行われ、落石対象斜面については発生源の分布や安定度などの詳しい状況が明らかにされてきた。この点検結果を一歩進めて、一部の区間では防災地質図(鉄道では斜面管理図)と呼ばれる縮尺1/2500～1/5000の大縮尺の土砂災害対策用の土木地質図が作成されている。

一方では、落石対策工を設計する上での落石シミュレーションが盛んに行われるようになり、落石の挙動や到達域に関する情報が増加してきた。

これらの成果を発展させるべく、斜面における落石のハザードマップについて筆者らの所属する日本応用地質学会斜面地質研究委員会落石WGで検討してきたが、簡便な方法で落下経路の斜面の抵抗を評価して到達点を予測することができなかった。したがって、ここではハザードマップの基図としてのあり方と今後の課題についてまとめた。

２．落石事例と対象とする落石規模

過去23年間の落石災害について、公表された資料をもとに**表－１**にまとめた。(空欄は不明)これには国道305号越前岬や国道229号豊浜トンネルで発生したような大規模な岩盤崩落は除外し、比較的小規模なものに限った。

この災害事例によれば、落石は砂岩、チャート、火山岩のような硬質で塊状になりやすい地質で発生しており、地形的にはおうおうにして、風光明媚な峡谷や海食崖にあたっている。誘因は、降雨、凍結融解などが考えられるが、まったく想定が出来ない事例もある。

落石発生形態(落石タイプ)は、抜け落ち型落石(転石タイプ)と剥離型落石(浮き石タイプ)に 2 区分[1]され、岩塊が単体ないし数個で落下する場合が典型例であるが、風化帯や崖錐の表層崩壊、および比較的小規模な岩盤崩壊に起因して集団で落下するような落石が目立つ。

落石タイプはこれまでの 2 区分で妥当と考えるが、表層

＊　応用地質株式会社
＊＊　首都圏事業部 防災部

崩壊や岩盤崩壊タイプを追加した模式図を**図－１**に示す。つまり表層崩壊タイプは転石タイプと同様な地質条件で発生するし、岩盤崩壊タイプは浮き石タイプと同様な岩盤斜面で発生するために、従来の２区分に従った。

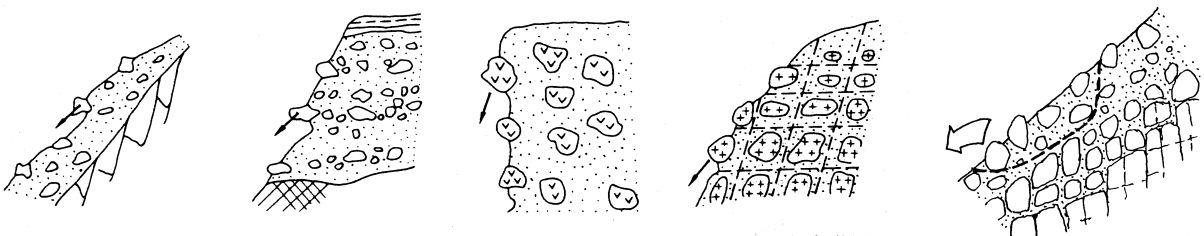
３．ハザードマップの基図としてのあり方

(1) 既往の落石危険斜面のマップ

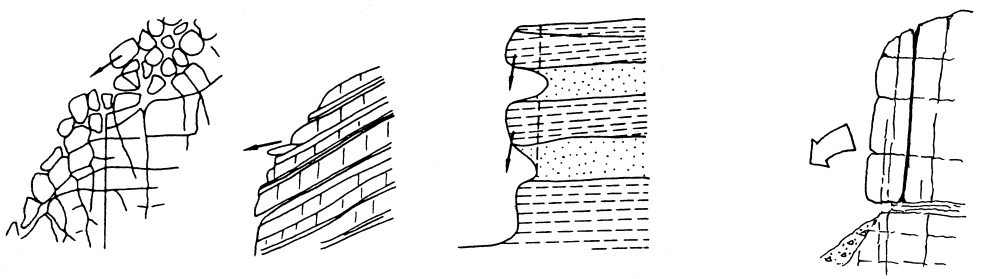
鉄道や道路沿いにおいて、土砂災害対策の一環として崩壊、地すべり、土石流とともに落石調査が行われ、斜面管理図ともいうべき土木的な地質図が部分的に作成されてい

表－１　落石災害事例一覧表

No	名称	位置	発生年月日	時刻	誘因	降雨状況	地質	落石タイプ	規模	被害状況
1	上越線岩本	群馬県沼田市	1977/03/08	20:30	凍結融解		安山岩	岩盤崩壊	700m³	列車脱線、108名負傷
2	国道33号別子口	高知県吾川村	1979/02/07	不明			秩父帯石灰岩	岩盤崩壊	42m³、max9m³(11個)	国道33号被害軽微
3	国道33号柳谷村	愛媛県柳谷村	1979/07/01	14:00	降雨	連続84mm時間10mm	秩父帯砂岩粘板岩	岩盤崩壊	200m³	国道33号被害軽微
4	国道32号板木野	高知県大豊町	1985/12/06	23:50		連続15mm時間 4mm	秩父帯チャート	岩盤崩壊	250m³、max1m³	国道32号被害軽微
5	県道東洋安田線	高知県北川村	1988/08/11	8:20	降雨		四万十帯砂岩	転石落下	1t	軽トラ衝突、1名死亡、1名重傷
6	国道321号	高知県大月町	1988/08/12	14:20	降雨		四万十帯砂岩	岩盤崩壊	小崩壊	乗用車内に落下、1名死亡、1名重傷
7	国道11号鳴門	徳島県鳴門市	1990/10/08	10:00	降雨	連続63mm時間28mm	和泉層群砂岩	浮石落下	max1.4t(6個)	死者3名(バスの乗員・乗客)
8	山田線腹帯	岩手県新里村	1991/02/16	19:00	降雨	連続135mm	チャート砂岩粘板岩	浮石落下	16t	防護柵破損
9	山田線腹帯	岩手県新里村	1991/03/02	13:05			チャート砂岩粘板岩	浮石落下	max1.3t(5個)	防護柵破損
10	飯田線湯谷温泉	愛知県鳳来町	1992/11/10	16:13	降雨？	前日85mm	流紋岩	岩盤崩壊	120m³	列車30本運休
11	国道32号大歩危	徳島県山城町	1993/10/09	20:00	降雨？	前日46mm	砂質片岩	岩盤崩壊	700m³、max30t	国道通行止め30日間
12	国道49号谷花	新潟県三川村	1994/03/05	不明			流紋岩	岩盤崩壊	200m³	防護柵破損
13	県道東洋安田線	高知県北川村	1996/03/02	7:50	降雨？	28時間前まで:43mm	四万十帯砂岩	浮石落下	10t	乗用車衝突1名死亡
14	高山線下呂	岐阜県下呂町	1996/06/25	21:00	降雨	連続128mm時間9mm	濃飛流紋岩	表層崩壊転石落下	6個以上max60t	特急列車脱線16名負傷
15	国道32号大歩危	徳島県山城町	2000/01/30	8:20			砂質片岩	浮石落下	数個max3t	防護柵破損反対車線建物破損



図－１(a)　転石タイプ･表層崩壊タイプの落石源[1)]



図－１(b)　浮き石タイプ･岩盤崩壊タイプの落石源[1)]

写真－１　杉林によって抑止された落石でワイヤーによる応急的な固定対策を実施済み

写真－２　河床に分布する転石は右側斜面から供給された過去の落石である

る。一例を**図－２**に示す。

既往のこの種の地図は、落石以外の土砂災害をも対象とするため、地質構造、割れ目の状況、断層、崩壊地、ガリー、湧水などについて表現されているが、落石源の詳しい分布と大きさ､その安定性などについては示されていない。落石源を表現するような防災地図が一般的に出てこなかった理由として、落石源は対象が小さいために空中写真を用いた抽出が困難であり、急斜面での綿密な踏査による確認が主体となること、表現用の大縮尺地形図（1/2500程度）が未整備であったことがあげられる。

(2) 必要な情報

落石ハザードマップを意識するときに必要と思われる情報は、落石災害事故調査事例(**図－３**)をもとに考えると概略つぎのようである。

①落石発生源情報

②落石経路情報

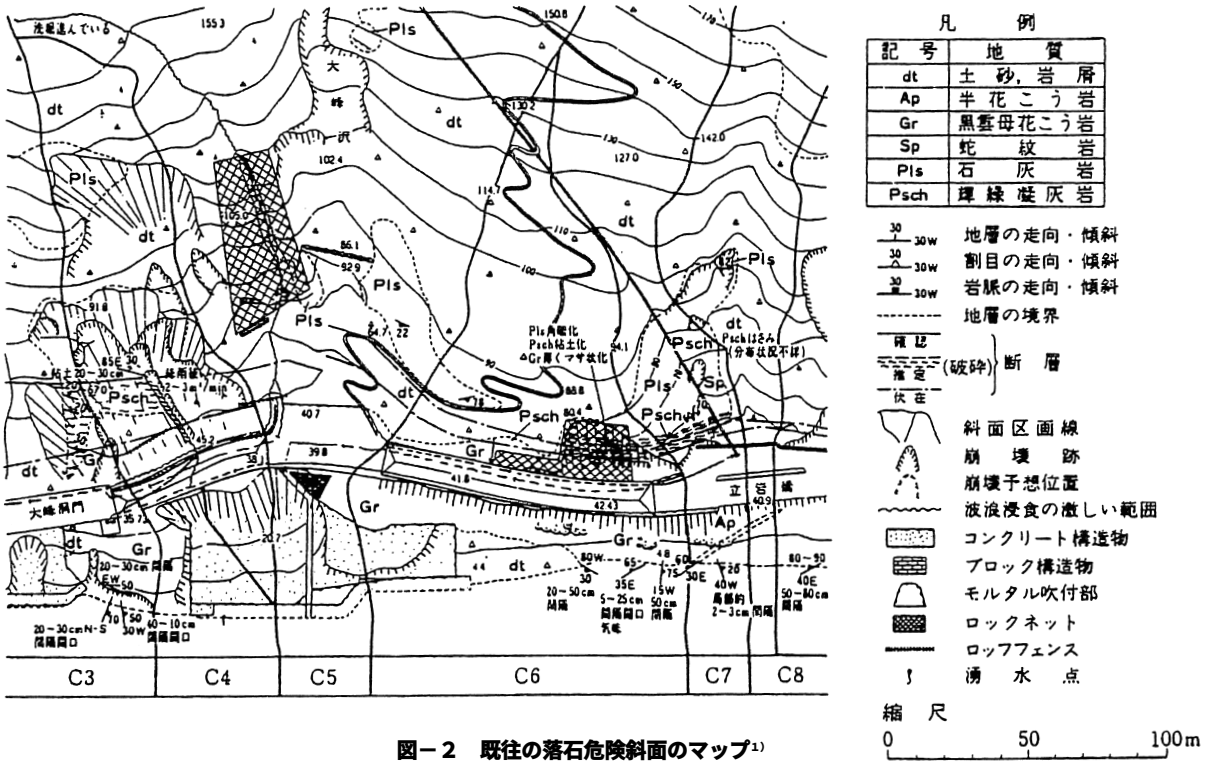
③到達停止域情報

これらの事項について以下に説明する。

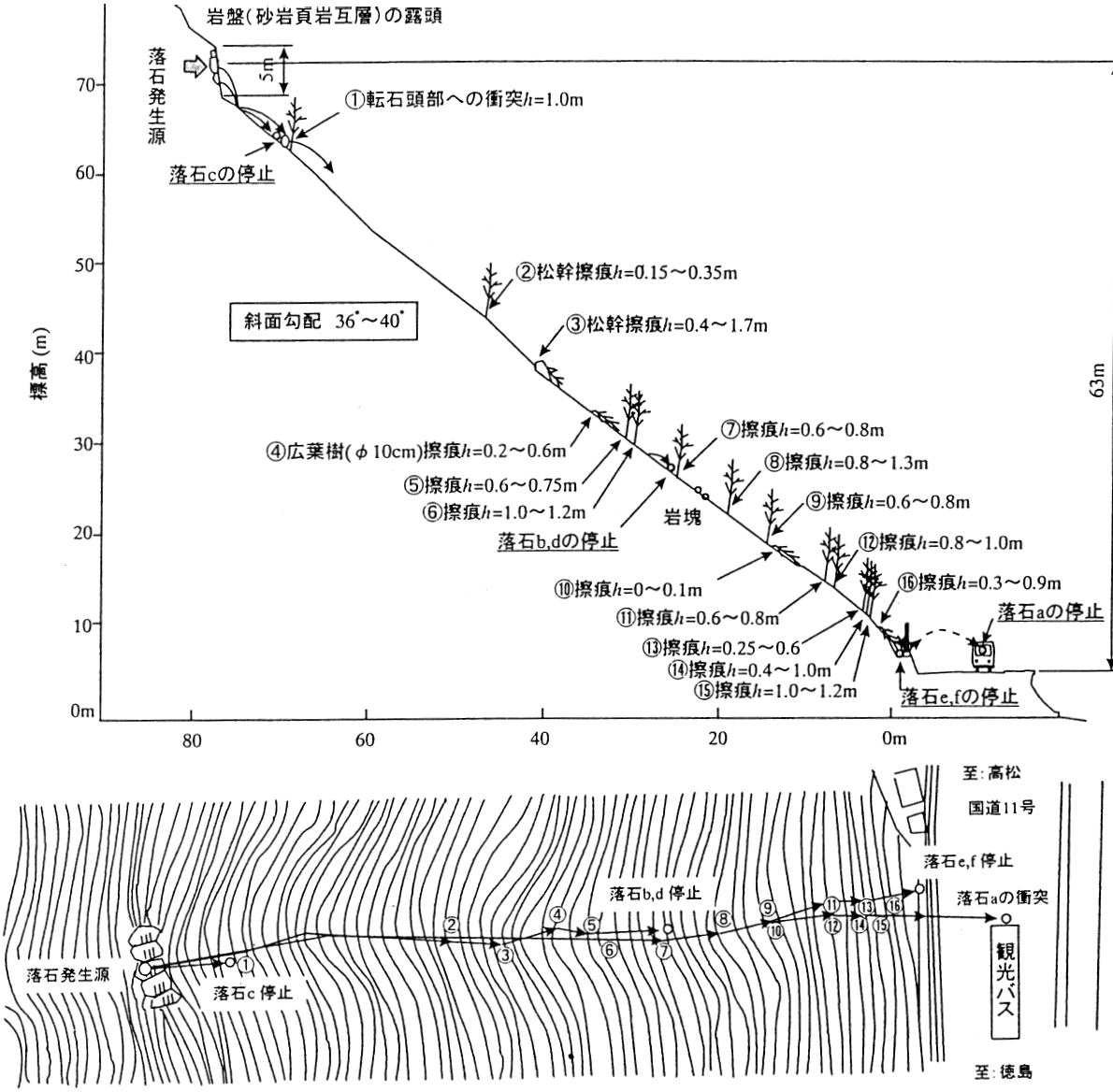
1) 落石発生源情報

地形条件として、遷急線の位置と斜面傾斜、地質条件として、露岩部の地質と構造、割れ目や風化の状況などの基本的な情報を知ることにより、崩壊や落石を含めた斜面の形成過程を推定することが出来る。

つぎに、落石が発生するとすれば、露岩部からの岩石崩



図－２　既往の落石危険斜面のマップ[1)]



図－3　落石災害事故調査事例[2)]

壊や浮き石であるのか、崖錐および風化帯の表層崩壊や転石であるのかを見極め、降雨、積雪、地震などの誘因との関係にも注意を払うべきである。そして落石源としての転石や浮き石の大きさ、形状、安定性、数、分布状況を示す必要がある。

落石発生源の評価方法については、高速道路調査会[3)]の報告からつぎの事項を参考にすることができる。

・転石の露出割合(%)から石の安定状態を 5 段階評価(浮き石については定性的な説明のみ)
・石の形状から移動しにくい扁平、移動しやすい球または円筒形、中間形に 3 段階評価
・落石源の密度(100m^{2}あたりの個数)により 5 段階評価

なお、落石発生源の調査手法として、大縮尺斜め写真や熱赤外線の適用がなされ、転石や浮き石の安定度の把握については、各種の物理探査手法を適用した研究が進められている。

2）落石経路の情報

落石経路については従来の落石対策工の検討で必要な情報として、斜面の傾斜角および等価摩擦係数の採用根拠としての斜面の凹凸、崖錐の分布、立木の有無について調べる程度であった。しかし、最近の傾向として落石対策工の検討に際し、各地で落石シミュレーションが適用され精度の高い設計が行われるようになった。同時にシミュレーションのパラメーターを逆算で求めるために、落石発生箇所での詳細調査が行われ、多くの情報が得られるようになった。この結果、露岩地以外での落石経路における落石エネルギー損失が大きいことがわかってきた。ここでは落石のエネルギーに大きな影響を与える植生に関する情報を中心

に、落石シミュレーションの適用を意識したハザードマップの基図に必要と思われる事項について述べる。

①地形：落石の平面経路や縦断での軌跡を解析するために必要な基本的情報で、平面形、縦断形、遷急線などを把握する。縮尺1/2500～1/1000の大縮尺地形図が整備されていることが望ましい。

②地質：落石エネルギーの減衰に差がでるため、露岩、表土および崩積土の分布状況を明らかにする。

③植生：落石多発地区で試験的に行われた詳細調査では、つぎのような防止効果が認められた。

・樹木による抑止落石の重量、１トン以下

・抑止落石エネルギー、98KN･m以下

・落石抑止に効果的な樹幹径、10cm以上

また、落石エネルギーの減衰と立木密度（単位面積当たりの樹木本数）や基底面積（単位面積当たりの樹幹面積）との相関があるらしいことがわかってきた。

このため、今後は植生の密度などに関する定量的な把握が重要になるものと考えられ、調査に際しては部分的な現地調査に加えて空中写真判読の適用が効果的と思われる。

3）到達停止域の情報

落石に関する調査を行っていると、数十m上方の斜面から落下してきた大落石がストンガード背後の平場やスノーシェッド上で停止していることがある。しかも、これらの構造物が無傷なことが多い。落石エネルギーから考えてこれらの構造物では抑止不可能であるが、現実に落石が抑止されている。この理由として、前述のような落下経路での落石エネルギーの減衰と、落石到達域の幅の広い平場や小段、および緩斜面の存在があげられる。欧米での落石対策として、溝や土堤が多用されている状況を見ても、わずかな平場や緩斜面の存在が対策にとって有効であることがわかる。したがって、ここでも微地形の把握が重要である。

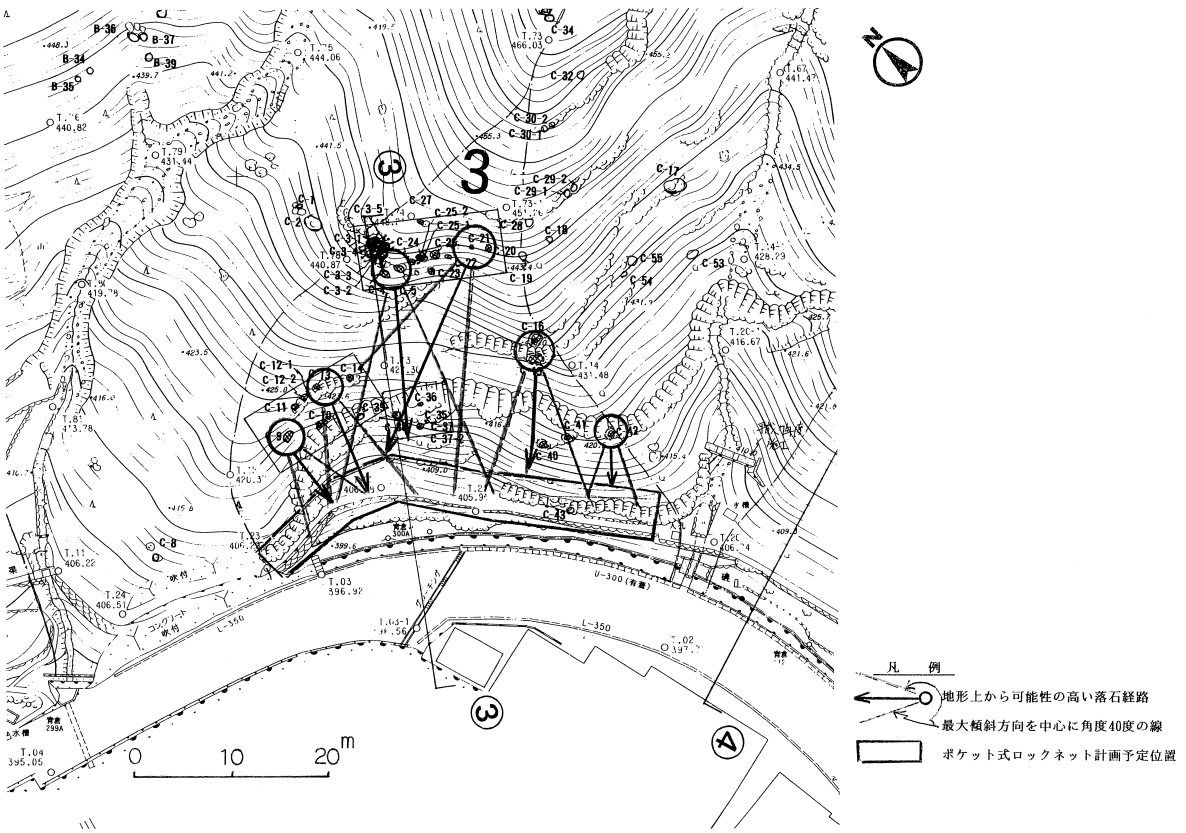
つぎに既設の落石対策としての構造物と設置位置が問題であり、概略の抑止エネルギーを明らかにしておく必要がある。

道路や鉄道では落石履歴が整備されているので、これを丹念に調べれば落石エネルギーの概略を推定することが可能である。記録がない場合には、河川や海岸での転石分布が落石頻度やエネルギー推定の参考になる。この情報は、空中写真などから判読することが可能である。

４．落石ハザードマップ基図の事例

(1) 事例１

図－４は、関東地方のある落石ハザードマップ基図の事例を示す。調査対象斜面の規模は、幅、奥行きとも約200mで、平均勾配約35度の斜面である。基盤の地質は秩父帯の輝緑凝灰岩で、岩盤からなる急崖下方に崖錐緩斜面



図－４　事例１　平面図（現地調査による落石経路の推定）

が広がり、上部から土砂・落石の供給が活発な斜面である。緩斜面下部には保全対象として人家および県道が分布する。

本図には落石の危険度を可能な限り判断できるよう、以下の情報を記載した(第3章と対比させて示す)。

1）落石発生源情報

・地形図：縮尺1/500の実測平面図を用いた。

・落石発生源の位置：浮き石、転石などの分布を、現地踏査と測量作業を並行して行い、測量成果として平面図上に記入した。

・落石発生源の情報：**図－5**に示す調査表を作成した。同表には落石発生源ごとに地形・土質・植生の他、落石発生源の規模・形状・埋没率などを記載して、安定度評価の目安とすることができる。さらに、スケッチ・写真を貼付して、追跡調査が可能となっている。

2）落石経路の情報

本事例では、落石発生機構の検討と落石対策工の設計を目的とした落石シミュレーションが実施されるため、それを意識して情報を収集した。

・地形：大縮尺(縮尺1/500)の実測平面図を作成し、尾根・沢および保全対象の分布形状から、落石経路の面区分を行った。

・地質：露岩地および表土・崩積土の分布を示した。

・植生：樹種、樹径、植生密度を現場で計測した。 また、既往落石による樹木の擦痕から既往落石の経路が推定できる場合は、それを平面図上に記載している。

3）到達停止域の情報

・保全対象：落石経路～到達停止域周辺に存在する保全対象(人家・道路など)を記入した。

・既設構造物：既設の落石防護柵や擁壁があれば、過去の落石情報やそれに対する効果が推定できる。

・過去の災害履歴：過去の落石による履歴を現地踏査おした。これにより、落石の発生機構をある程度具体的に推定することが可能となる。

4）落石シミュレーション

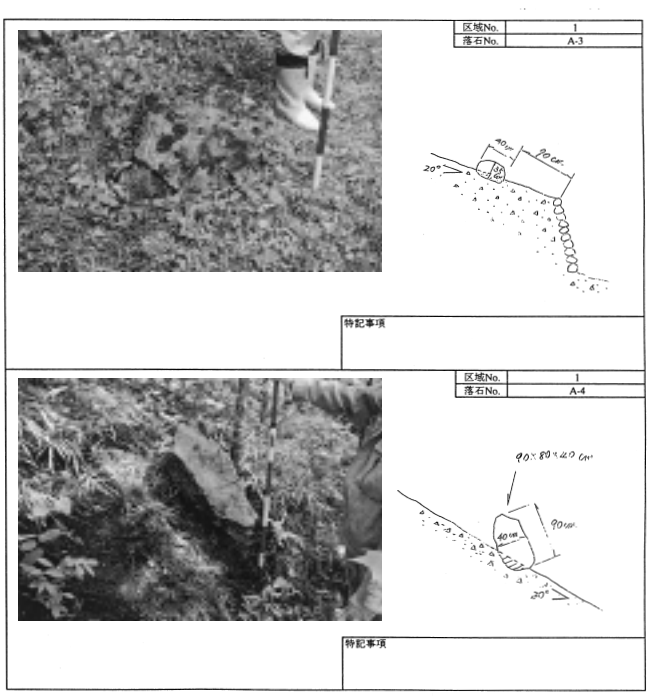
・平面解析：平面解析は具体的な落石経路の推定を目的として実施した。本現場では、植生分布による最大傾斜角からの分散角度を40度以内と算定し、それを可能性の高い落石経路として平面図上に記入した。また、植生密度による減衰効果を算定し、反発係数として断面解析に反映させた。

・断面解析：**図－6**に示すような断面解析により、想定される落石の軌跡を求め、既設対策工の効果判定や、対策工検討の基礎資料とした。シミュレーション結果については、上記の各種調査結果との照査を行うことによって、推定の精度を上げる必要がある。また落石エネルギーを求めることにより、対策工設計の資料とすることができるが、現行設計法との対比が必要である。

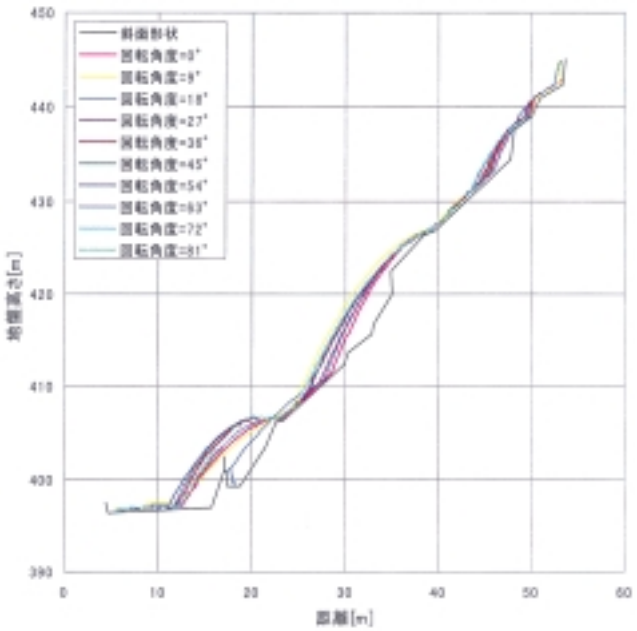
(2) 事例2

図－7は、北陸地方のある落石ハザードマップ基図の事

区域No.				1		1	
落石No.				A-3		A-4	
項目		評点区分	配点	状況	評点	状況	評点
地形	斜面高	H＜10m	0	9 m	0	20 m	1
	保全対象から転石基部までの比高	10≦H＜50	1				
		50≦H	2				
	斜面勾配(転石周辺)	θ＜45°	0	20°	0	30°	0
		45°≦θ	1				
	オーバーハング(転石基部)	無	0	有	1	有	1
		有	1				
土質	基質部の土質	礫質土	0	礫質土	0	礫質土	0
		砂質土	1				
		粘性土,なし(＝直下に岩)	2				
	含水状態	乾燥	0	乾燥	0	湿潤	1
		湿潤	1				
環境	植生状態	樹木＋草地	0	草地	2	樹木＋草地	0
		草地(主に笹),低木	1				
		裸地	2				
	隣接部での最近の崩壊履歴	無	0	無	0	無	0
		有	1				
転石の状態	転石の大きさ $\sqrt[3]{\text{長x中x短軸}}$ (cm)	φ＜50cm	0	$\sqrt[3]{60\times 40\times 35}$ ＝44 cm	0	$\sqrt[3]{90\times 60\times 40}$ ＝60 cm	1
		50≦φ＜100cm	1				
		100cm≦φ	2				
	転石の形状	板状	0	角柱	1	角柱	1
		角柱,角錐,楕円体,レンズ状	1				
		球,円柱,立方体	2				
	埋没率	50%＜γ	0	30 %	1	30 %	1
		10＜γ≦50%	1				
		γ≦10%	2				
	転石群の重なり具合	安定	0	安定	0	不安定	1
		不安定	1				
	周辺の浸食状況	無	0	無	0	無	0
		有	1				
	立木による支持状況	無	0	無	0	無	0
		有	1				
評点合計 ⓐ				5		7	
技術者判断 ⓑ		不安定	○	×		△	
		やや不安定	△				
		安定	×				
保全対象への影響度 ⓒ		影響大きい	Ⅰ	Ⅲ		Ⅳ	
		影響あり	Ⅱ				
		影響小さい	Ⅲ				
		ほとんどなし	Ⅳ				
転石の危険度評価 ⓐ－ⓑ－ⓒ				5－×－Ⅲ		7－△－Ⅳ	
総合判定				C		C	



図－5　落石調査表



図－6　事例　断面図（シミュレーション結果）

例を示す。調査対象斜面の規模は、幅約600m、奥行き約300mで、平均勾配約45度の斜面である。基盤の地質は中・古生層および貫入岩で、貫入岩からなる急崖下方に崖錐緩斜面が広がり、上部から落石の供給が活発な斜面であると共に、岩石崩壊の可能性についても指摘した。斜面末端には保全対象として鉄道および国道が位置する。

本図には、以下の情報を記載した。

1）落石発生源情報

・地形図：縮尺1/500の航測平面図を現地補測して用いた。

・落石発生源の位置：落石発生源は、貫入岩体で形成される急崖部の無数の浮き石であり、落石発生源の個別表示ではなく、崩壊予想範囲として、一括して表示した。

・落石発生源の情報：大規模崩壊を想定して、位置、岩塊の形状、予想崩壊形態、対象岩塊規模などを記載した危険個所一覧表を作成した。危険個所については上記地形図上にその位置を記入した。

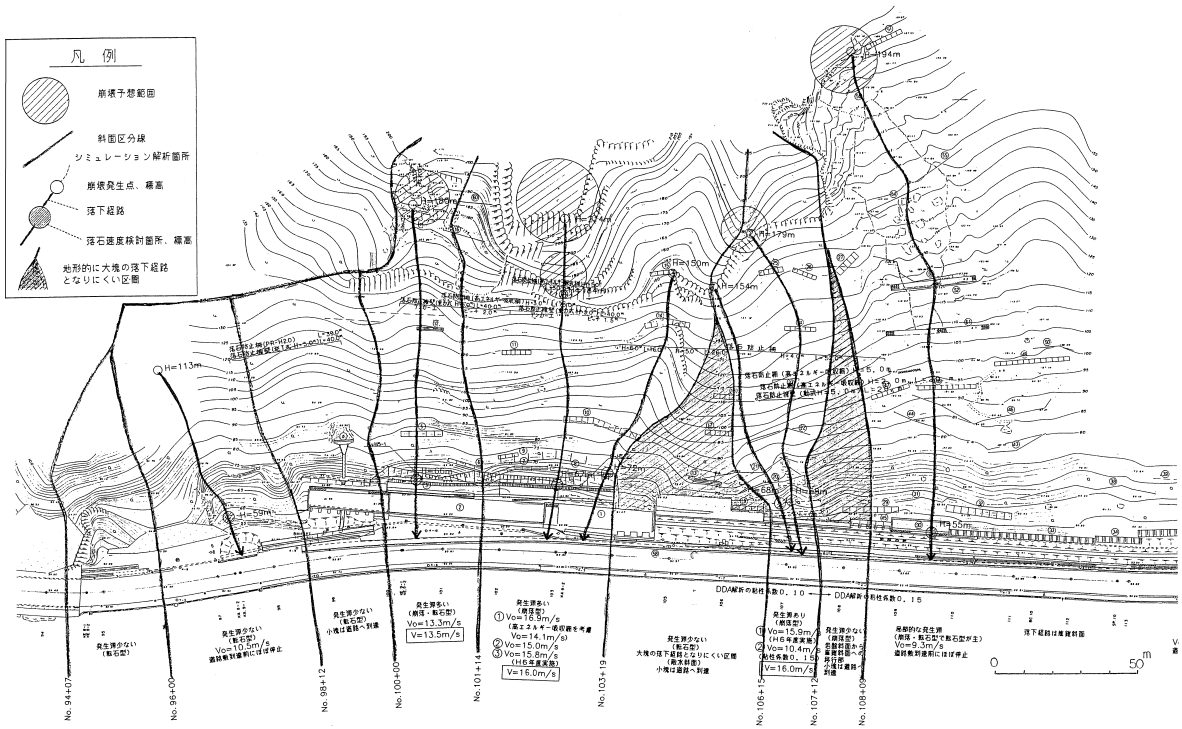
2）落石経路の情報

本事例でも、落石発生機構の検討と落石対策工の設計を目的とした落石シミュレーションを実施した。

・地形：大縮尺（縮尺1/500）の実測平面図を作成し、尾根・沢および保全対象の分布形状から、落石経路の面区分を行った。落石経路については、1/500平面図を10mメッシュで分割し、メッシュごとの最大傾斜方向から、落石経路を推定し、地形図に記入した。さらに、地形的に落石の経路となりにくい範囲を図示した。

・地質：露岩地および表土・崩積土の分布を示した。（別途地質平面図を作成）

・植生：本事例では、斜面規模や勾配、対象岩体の規模から植生の影響は小さいと考え、特に植生に関する検討は実施していない。



図－7　事例2　平面図（シミュレーションによる落石速度の推定）

3）到達停止域の情報

・保全対象：保全対象は、斜面末端部の鉄道および国道である。

・既設構造物：崖錐緩斜面や末端部には、既設の落石防護柵や擁壁がある。

・過去の災害履歴：現地では落石のモニタリングが実施されており、これと現地踏査結果から落石発生源の多少、崩落型（浮き石タイプに相当）と転石型（転石タイプに相当）の区分を行い、面区分ごとに表示した。

4）落石シミュレーション

・平面解析：平面解析は具体的な落石経路の推定を目的として実施した。本現場では、上記の通りメッシュ図の地形解析から落石経路を推定した。

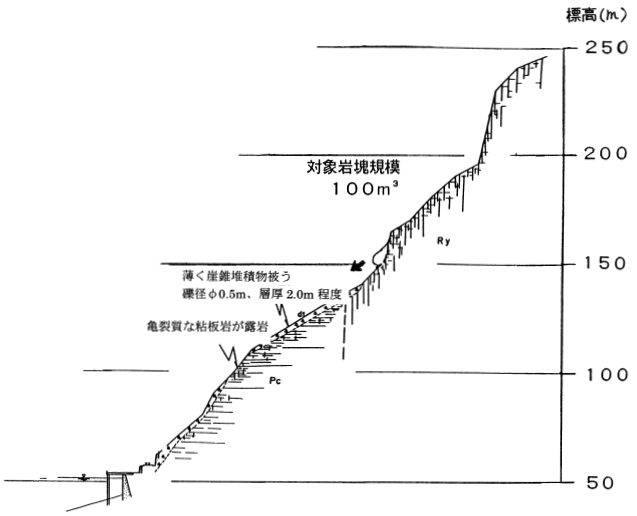
・断面解析：**図－8**に示すような地形断面図を用いて、想定される落石のエネルギーを求め、過去の崩落事例との対比・検証を経て、既設対策工の効果判定および新設対策工検討の基礎資料とすることができる。この結果に基づき、想定落石速度を面区分ごとに記入した。

5．今後の課題

以上述べてきた、落石ハザードマップの基図としてのあり方と実際の事例などから、今後の課題について以下に示す。

(1) 落石ハザードマップの目的

従来の落石に関するマップは、過去の災害履歴や、対象斜面の現況の転石、落石の分布を表現しており、いわば斜面の現況図にすぎなかった。今後のハザードマップのあり方としては、落石発生の可能性やその影響度を図面から読みとり、適切な対応を管理者がとれるような図面であることが目標となる。



図－8　事例　断面図

(2) 大縮尺の地形図の整備

落石ハザードマップの場合、基本的に対象岩塊の位置や規模が地形図上に表現できることが重要である。したがって、小縮尺の地形図では落石危険区域全体の範囲しか表現できず不適当であり、落石規模に応じて1/500～1/2,500程度の大縮尺の地形図の整備が必要である。

(3) 落石発生源の調査

転石、浮き石などの落石発生源については、基本的に現地踏査で位置や安定度などを調査することが必要となる。したがって、上記の大縮尺の地形図を用いて現地調査を行い、対象岩塊の分布を精度良く把握しなければならない。また、植生分布が落石の発生および経路に大きく影響することが考えられ、樹種、樹径、植生密度などを同時に把握する必要がある。転石や植生の効率的な調査方法については、現地踏査に加えてリモートセンシング的な手法を併用すると効率的と思われ、今後の検討課題である。

(4) 落石経路の推定

落石が発生した場合の経路の推定については、次のようないくつかのアプローチ方法がある。①過去の落石経路および到達範囲の調査、②対象斜面の地形的な面区分、③落石シミュレーションによる平面解析などである。①の方法は聞き込みや樹木の擦痕、管理者の記録などから調査できるもので、事例があれば相当の情報が得られる。②については、保全対象への影響を検討する上で有効であり、かつ、地形図を用いて比較的簡便に実施できる。③については、必ずしも一義的に決定することはできないが、影響範囲の検討の補助的手段となるものと思われる。また、植生の影響を適切に評価する必要がある。

(5) 落石発生の誘因

これまでの事例調査の結果からは、落石発生の直接の誘因については、必ずしも明らかになっていない。誘因としては、①降雨時の流水による周辺地盤の浸食や崩壊発生、②地震動による周辺地盤との応答特性の違い、③風による樹木の揺れや倒木の影響、④凍結・融解の繰り返しによる浮き石の分離などが考えられる。事例ごとの誘因が明らかになれば、落石発生源の安定度をさらに適切に評価して、ハザードマップに表現できるものと思われる。

(6) シミュレーションの活用

上記のような基図が適切に作成されれば、落石の影響を

検討する基本条件はある程度そろうことになり、今後は簡便な方法による落石シミュレーションを活用することが可能になる。これにより、落石が発生した場合の影響をある程度定量的に表現することができ、本来のハザードマップとしての役割が期待される。しかしながら、植生密度の評価、地盤定数の設定や、発生確率の導入など克服すべき課題は多い。

(7) ハザードマップのデータベース化

これらの調査結果やシミュレーション結果については、GISなどを活用して基本的にデジタルデータとしてデータベース化を図り、ハザードマップとしての精度を高めていくことが望ましい。GIS化により管理者に実務レベルで使用してもらうこととともに、情報公開を進めることがよりよいハザードマップの作成・活用につながるものと思われる。

参考文献

1）日本道路協会(1983)：落石対策便覧
2）右城猛(1997)：剛性擁壁の合理的な土圧評価法と落石の運動に関する研究、愛媛大学学位論文
3）高速道路調査会(1974)：落石防護施設の設置に関する調査研究報告書