

13. 落石箇所における現地調査時の留意点

応用地質株式会社 徳島支店 ○能見 忠歳
応用地質株式会社 徳島支店 小田桐七郎
応用地質株式会社 技術本部 上野 将司

1. はじめに

四国地方は山地の占める割合が多く、いわゆる山岳道路の延長が長い。四国山地を横断する道路沿いの斜面は、山腹傾斜が $60\sim 80^\circ$ の急崖を呈することも珍しくなく、緩いところでも一般に 40° 前後の傾斜を呈する。このような地域では、多くの落石が発生しており斜面途中で停止或いは防護柵で抑止されている。しかし、一部の落石は防護柵を破壊するなどして路面に達することも少なくなく、落石の実体を正確に把握することは、防災対策工を設計する上で大変重要な点といえる。

本報文では、ある地点で発生した落石箇所の現地調査の結果を詳細に示す。その結果を基に、DDA解析を用い、斜面上の抵抗を示す粘性係数を逆算しシュミレーションを行ったところ、実際の落石経路をほぼ再現することができたこと、さらに、これらの結果から得られた知見および現地調査時の留意点について述べる。

2. 現地調査結果

以下に、平成12年1月30日に発生した落石事例を示すが、落石が発生した数日前には寒波が来襲し10cm程の積雪があった。

(1) 落石の発生状況と発生源

落石が発生したのは、道路からの比高差約100mの急崖斜面である。この現場では、現地を踏査することによって比較的容易に発生源を確認することができた。発生源の岩石の規模は、 $2.0\times 1.2\times 0.8\text{m}$ 程度の長柱状と推定される。この岩石が地山から転倒～すべるように落下して急崖直下の岩盤に衝突して大きく3個に割れ、そのうちの1個が立木や転石に衝突しながら道路沿いにある落石防護柵(H2m)の上段ロープに接触してバウンドし、道路上に落下すると共に反対側の建物に衝突し停止したものである。この落石の衝撃により防護柵ワイヤロープの索端金具が上段から2段はずれ、ワイロープが緩んだ。なお、道路まで達した落石の形状寸法は長柱状を呈し、 $1.2\times 1.0\times 0.6\text{m}$ (重量約1.9t)のものが1個で(写真-1～2参照)、残り



写真-1 落石発生源の状況

の2個は斜面途中で停止した。

(2) 斜面状況及び落石経路

斜面は図-1に示すように、標高242m付近までは32~41°程度の崩積土の堆積した斜面となっており(凹地形の箇所)、その上部付近から崩積土が薄くなり、標高260~280m間の岩盤(泥質片岩)の露出した急崖斜面(凸状斜面)が続く。さらに、標高290m付近から300m付近にかけて、再び30°程度の緩斜面に変化する。

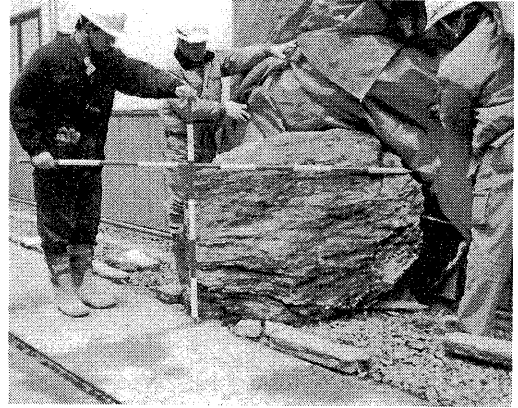


写真-2 道路上に落下した岩石

落石経路は、樹木の傷跡や転石などへの衝突跡などを丹念にマッピングすることによって、概ね図-1及び図-2に示すように推定することができた。斜面上の落石経路が、途中で折れ曲がっているのは、樹木(スギの木)に衝突したためである。

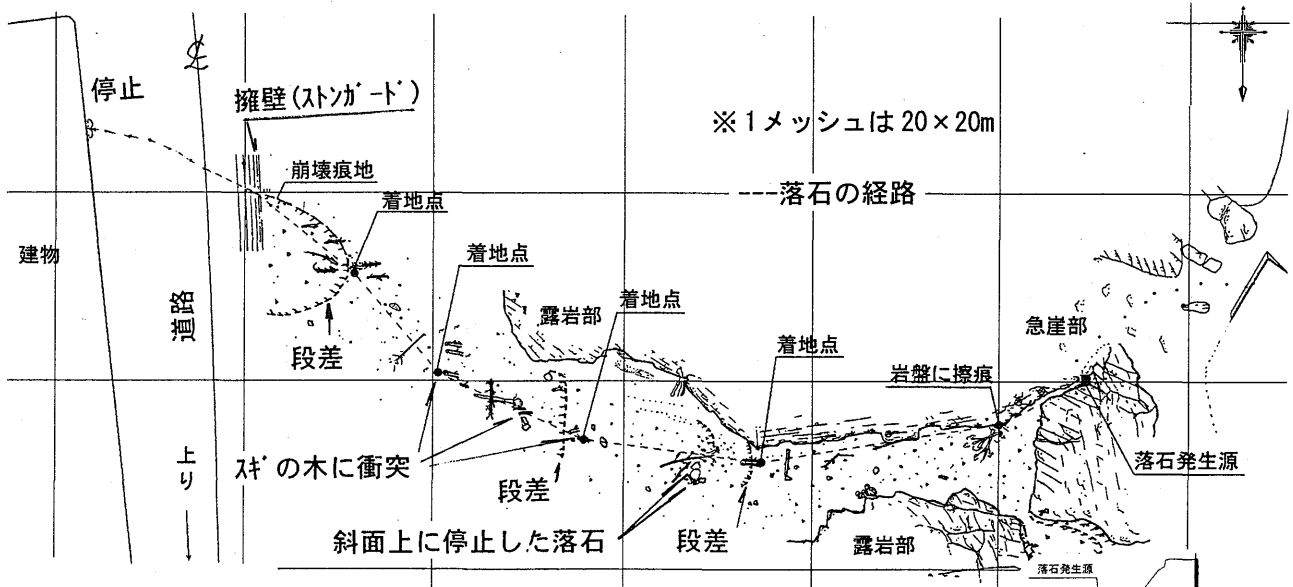


図-1 落石経路沿いの平面図

(3) 崩壊機構

この急崖の地質は泥質片岩からなり、結晶片岩特有の片理面やへき開が道路と平行あるいは直交する方向に発達している。急崖部分では長期間の風化・侵食作用により、割れ目が開口し不安定化が進んでいたもの

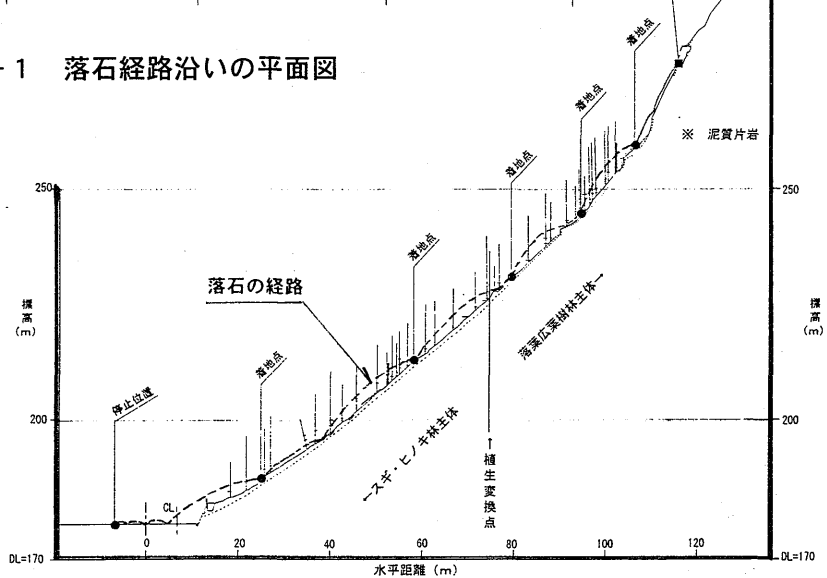


図-2 落石経路沿いの断面図

と思われ、今回落下しなかった部分では浮石化した岩塊が確認できた。このような不安定岩塊が、数日前からの積雪と寒波で凍結～融解の影響によってバランスを失い落下におよんだものと考えられる。

3. 落石経路の植生分布状況

植生が落石に及ぼしている影響を見るために、植生の毎木調査を実施した。毎木調査は落石経路沿いを中心に幅5mの縦断調査区を設定し、調査区に生育する立木の位置、樹種、胸高直径などを把握した。結果を図-4に示す。

落石経路沿いの植生は、発生源から標高230m付近までが落葉広葉樹林、その下部の道路近くまでがスギ・ヒノキ植林となっており、道路直上に若干の落葉広葉樹林が分布している。落葉広葉樹林は立木密度及び基底面積が低い植生であり、落石経路沿いの落葉広葉樹林（発生源から標高230m付近まで）の区間では、樹木の密度が低いのに対し植生がスギ・ヒノキ植林の区間では、立木密度が高くなり落石に対する抵抗力が増加するものと考えられる。

落石の痕跡としては、樹木の幹の擦痕や破損及び樹木の根元に停止した岩片等が確認された。このうち、擦痕あるいは破損の痕跡が認められる樹木は多く、落石経路沿いの樹木のうち半数近くのにのぼる。落石の痕跡の認められる高さは様々であるが、最高で3mに達していた。また、樹木により停止した落石も多く認められた。停止した落石が多く認められた位置は、スギ・ヒノキ植林の上端から25m（斜距離）の道路にかけての区間であった。

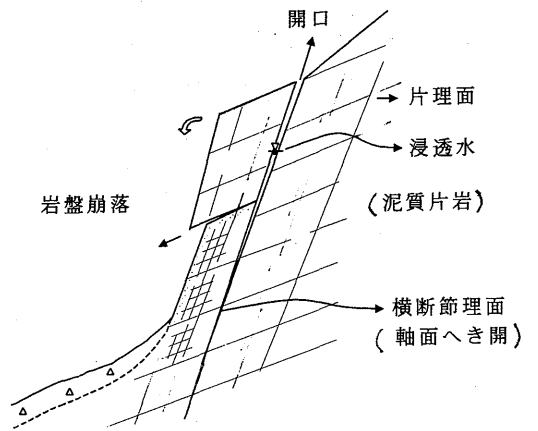


図-3 崩壊機構模式図

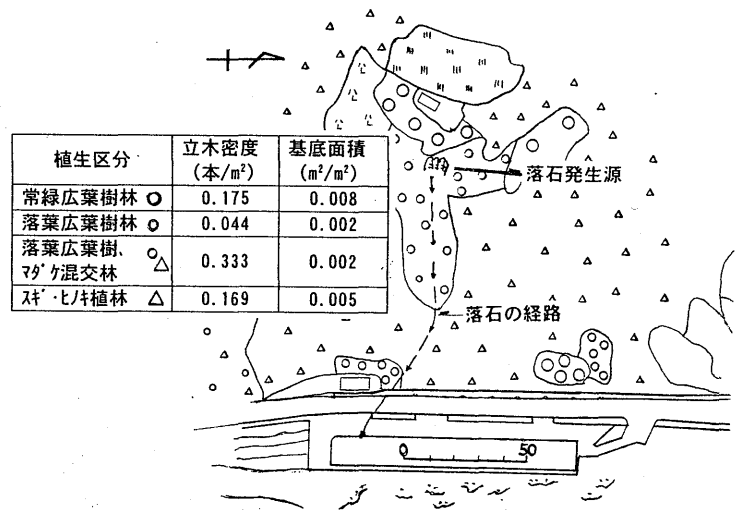


図-4 植生分布図（立木密度、基底面積）

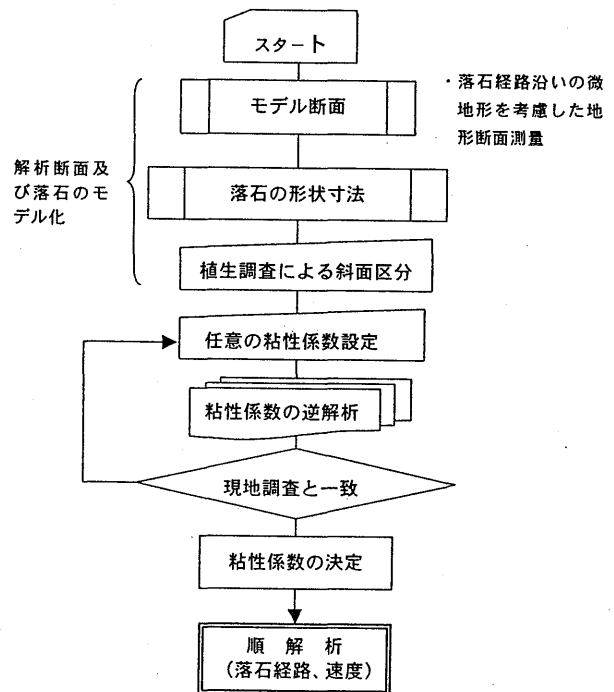


図-5 DDA解析を利用した落石シミュレーションの流れ

4. 落石エネルギーの推定

落石エネルギーを精度よく推定するために、現地調査結果を基にDDA解析を用い、斜面の持っている抵抗力〔地表地質、植生状況、微地形（地表の凹凸）〕を粘性係数に置き換え、逆算により推定することを試みた。

（1）解析の流れ

解析の流れを、図-5のフローチャートに示した。

（2）逆解析結果

図-6に落石の軌跡図および落石速度の解析結果を示した。様々な粘性係数を試行計算した結果、表-1に示す係数でもっとも現実の落石経路（接地地点、跳躍高さ等）と近似することが分かった。併せて、この粘性係数を使用した場合の落石速度、落石エネルギーを求め表-2に示した。なお、当地の条件における落石対策便覧式で求められる落石エネルギーは980kN・m以上のオーダーになる。

表-1 現地調査とDDAの逆算から求めた粘性係数 μ_d

植生状況	地表地質状況	粘性係数 μ_d
落葉広葉樹林帯	表土薄く、岩盤露出	0.02
スギ・ヒノキ植林帯	崩積土分布	0.05

表-2 DDA解析結果から求めた落石エネルギー等

	落石速度 v (m/sec)	落石エネルギー E (kN・m)
スガード付近	11.8	145.0
建物付近	3.1	9.8

5. まとめ

以上の例から、落石発生箇所における現地調査時の留意点を挙げると次のとおりである。これは、対策工の設計・施工を検討する上でも最小限必要な点である。

- ① 落石発生源を特定し崩壊機構を推定する。
- ② 落石の形状寸法、個数、落石経路、落石の停止位置を明らかにする。
- ③ 防護柵等の被災状況を明らかにする。

なお、落石エネルギーを推定する上で、地形・地質状況ばかりでなく、落石経路沿いの植生分布を把握し立木密度及び基底面積を把握することや微地形を正確に捉えることが、DDA解析を行う上で大変貴重なデータとなることが判った。また、対象とする施設位置での落石の速度を精度良く把握する方法としてDDA解析は有効である。

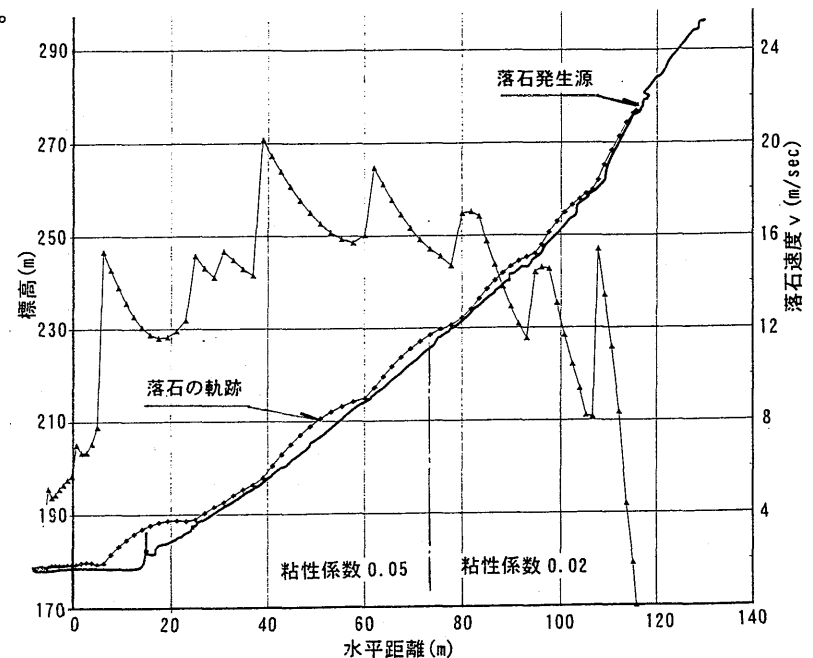


図-6 DDA解析によるシュミレーション結果