

特別
寄稿



岐阜県の災害事例から学ぶこと

岐阜大学

八嶋 厚・沢田和秀



1. はじめに

岐阜県は、標高3,000m級の山々が連なる飛騨地方から、海拔ゼロメートル地帯を有する美濃地方まで、日本の縮図的な地形で構成されている。図-1.1は、岐阜県を鳥瞰したものである。北東部に濃茶色が示す高い山々が分布し、西南部には青色で示された海面より低い地域(正確には朔望平均満潮位以下の地域)が分布していることがわかる。

図-1.2は、岐阜県の地質図を示している¹⁾。非常に軟弱な美濃平野を取り囲むように、西濃・中濃域においては、中生代のチャート、泥岩、砂岩などが広く分布している。東濃地方から飛騨地域にかけては、火山活動を起源とする花崗岩、溶結凝灰岩(濃飛流紋岩)が広く分布するとともに、飛騨片麻岩などの変成岩も見られる。中部地方は日本列島の中でも活断層の分布密度が最も高い地域の一つであり、とりわけ岐阜県には大規模な活断層が数多く分布している。明治24年の濃尾地震で動いた根尾谷断層は世界的に知られた活断層であり、ほぼ同じような規模をもつ阿寺断層や跡津川断層など、かなり確実度の高い活断層が多く分布する。いわば「活断層の巣窟」とでもいえる地域である。このように地質的にも日本の縮図と言っても差し支えない。

東濃に位置する多治見は日本一暑い町として知られている。一方、高山市荘川町六廐は本州で最も寒い居住地域の一つとして知られる場所である。県内で観測された最高・最低気温差は65°C以上となる。つまり気候的にも日本の縮図である。

以上述べてきたように、岐阜県は、地形、地質、気候について日本の縮図の特徴を有しており、高潮や津波など沿岸部における自然災害を除いて、ほとんどの形態の自然

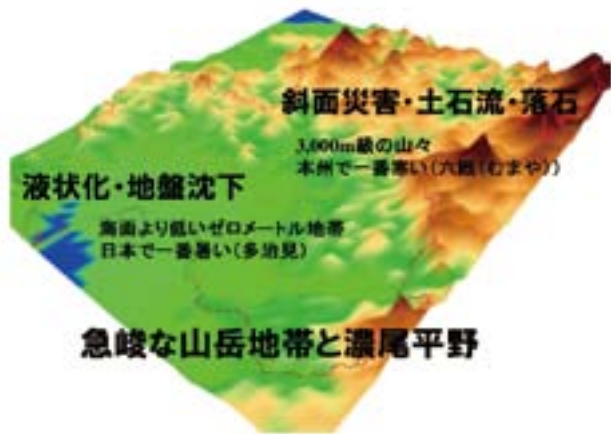
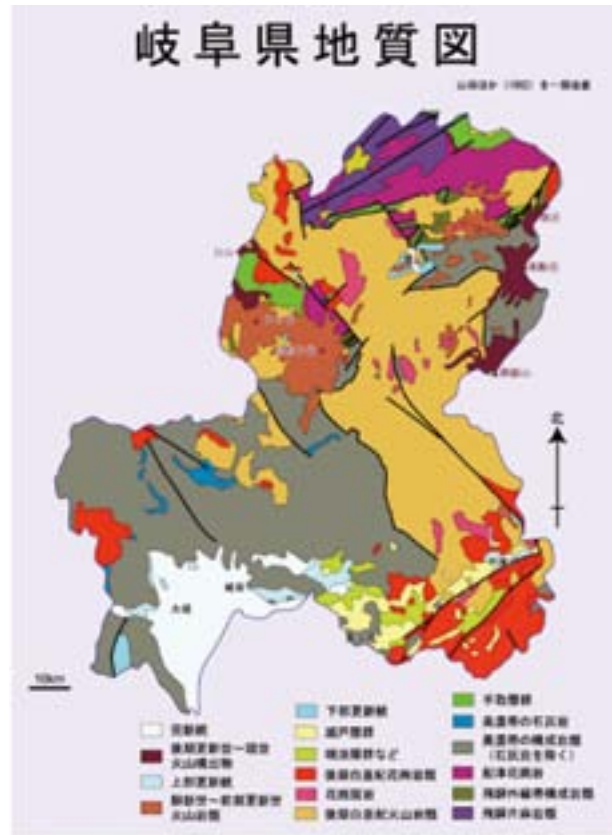


図-1.1 岐阜県の地形鳥瞰図



(岐阜大学の地学・よもやま話(岐阜大学小井土教授作成HP)より転載)

図-1.2 岐阜県地質図

災害を経験してきた。若干古い統計データであるが、図-1.3に岐阜新聞(旧岐阜日日新聞のデータより)がまとめた岐阜県における5年ごとの自然災害による死者数を示す²⁾。明治24年の濃尾地震を筆頭に、台風による河川氾濫の死者が数多く見られる。また、昭和43年の飛騨川バス転落事故では土石流により104名の尊い人命が失われている。この事故を契機として、定期的な道路防災点検が義務付けられたほか、異常気象時通行規制が実施されるようになった。平成24年における異常気象時通行規制箇所は、県管理道で92カ所、504.4km、国が管理する直轄国道で9カ所、82.7kmとなっている。また、冬期の通行不能箇所は41カ所、299.5kmに達している。この規制延長距離は、岐阜県の道路がいかに危険な斜面等に面しているかを示している。ちなみに、岐阜県管理道における年間のべ規制回数は、例えば平成11年度および16年度においては約500回である。直近の平成23年度においても452回の通行規制を実施している。他の都道府県における異常気象時の通行規制回数が多くても100回程度であることを考えれば、岐阜県における道路斜面の脆弱性は容易に理解できる。さらに、昨今の斜面災害を振り返ると、人工林における風倒木と後続の雨を原因とする斜面災害が

数多く見られる。県土の約80%が森林で覆われ、森林面積率(森林面積を県土面積で除した数値)が高知県に次いで全国2位の岐阜県において、その半分の森林がスギやヒノキなどの根が発達しない人工林で構成され、さらに間伐がされていない、枝打ちがされていないなどの管理不十分な人工林による風倒木は、後続の雨による斜面崩壊や土石流災害を助長している。

平成22年7月15日に発生した豪雨災害においては、美濃帯(砂岩・頁岩・チャート)を母岩とする岩屑堆積物で構成された斜面の崩壊により複数の人命が失われた。平成23年9月台風15号の接近・通過に伴う連続降雨により、花崗岩強風化部・マサ土で構成された斜面の崩壊により、直轄国道通行中の人命が失われた。また、平成24年9月台風16号による大雨に起因して、大垣市上石津町において土石流が発生した。本稿では、近年連続的に発生している岐阜県の斜面災害事例を取り上げ、特に微地形判読の重要性の観点から考察を加える。

2. 平成23年台風15号による国道21号の土砂災害から学ぶこと

平成23年9月20日台風15号の接近・通過に伴う連続

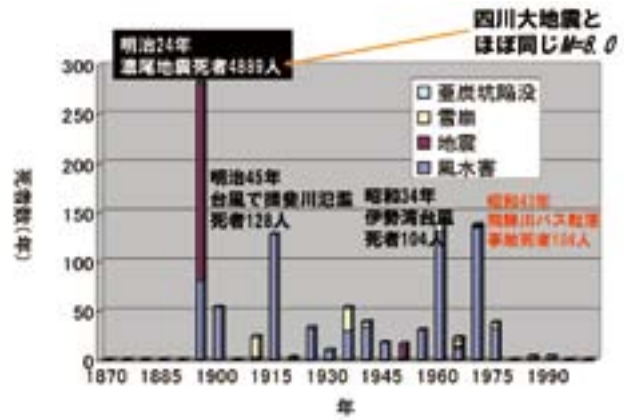


図-1.3 岐阜県の災害史(5年毎の死者)

降雨の影響により、国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所が管理する国道19号および国道21号において斜面崩壊に伴う土砂流出および道路盛土崩壊などの災害が発生した。台風15号の接近と通過に伴う降雨の状況と災害発生日時を図-2.1に示す。国道19号においては、

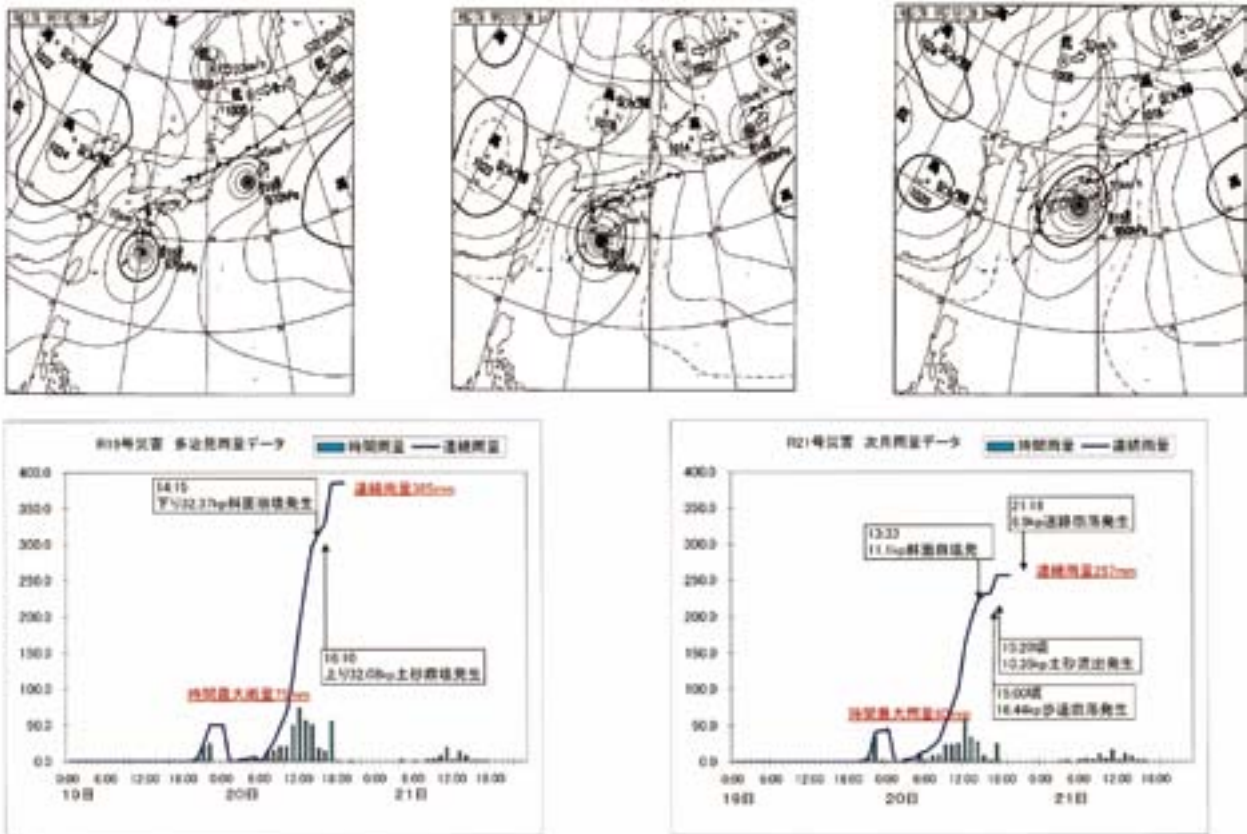


図-2.1 台風15号の接近と通過に伴う降雨の状況と災害発生日時
(国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所提供)



雨量観測点多治見において時間最大雨量75mmを経験後、連続雨量が300mmを超えた時点で斜面崩壊が発生している。国道21号においては、雨量観測点次月において連続雨量が200mmを超えたあたりで自然斜面が崩壊し、その崩壊土砂が道路上に流出している。また最大連続雨量257mmを観測した後に道路本体盛土の崩壊が確認された。国道21号次月の被災位置図を図-2.2に示す。また、被害写真(平成23年9月20日撮影)を位置図とともに図-2.3に示す。

本稿では、図-2.2および図-2.3に示す国道21号次月の2箇所自然斜面崩壊について詳しく検討する。図-2.4に10.35kpと11.1kpの縦断面図を示す。この図および現地踏査の結果より、崩壊の素因として以下が考えられる。

- ・崩壊地付近には、花崗岩の強風化部が形成されており、さらに上方の斜面から供給されたマサ土がそれを被覆している状況にあった。
- ・当該斜面は、不明瞭な沢地形を呈しており、崩壊の発生した冠頭部が**0次谷**となっていた。また、マサ土や花崗岩強風化部が周囲よりも厚く分布していた。

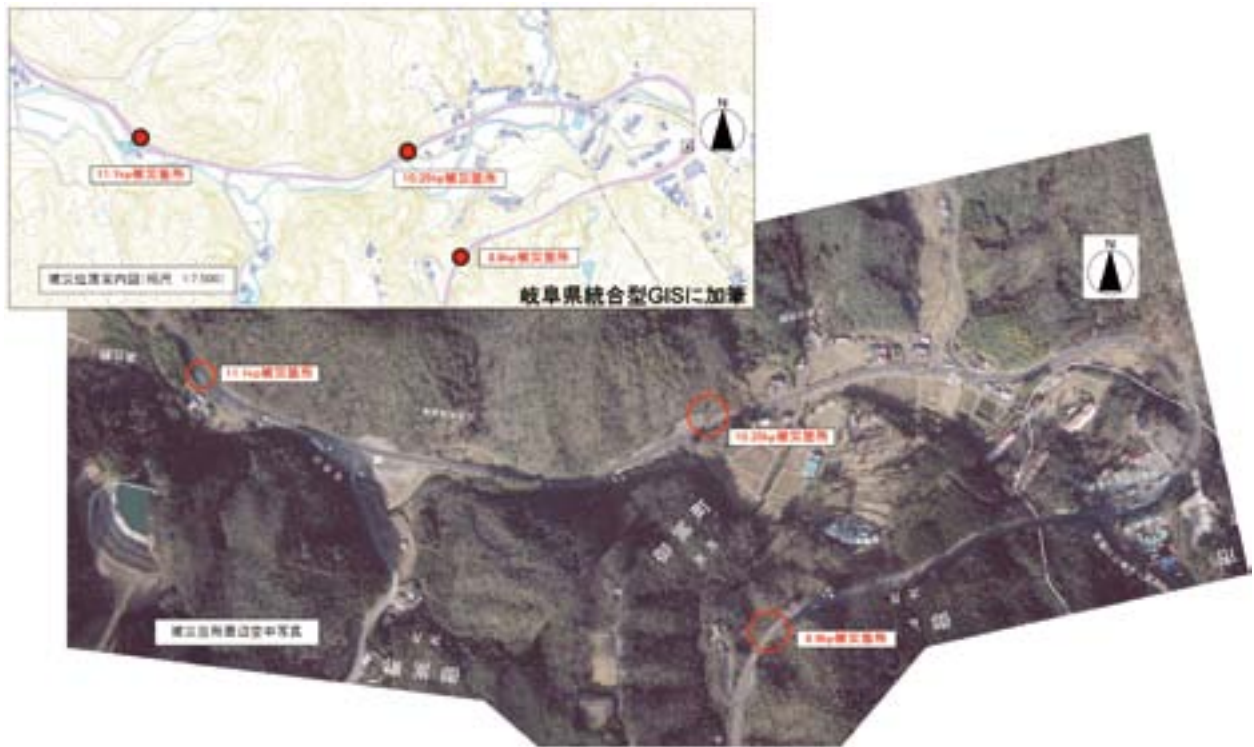
誘因は、図-2.1からもわかるように、台風15号の接近・通過に伴う大雨である。また、平成8年度の道路防災総点

検において両箇所とも点検対象外であり、平成18年度の見直しでも点検対象外となっていた。

したがって、同様の災害を未然に防ぐためには、次のような項目に着目して微地形判読を実施することが重要であることがわかった。

- ①崩壊の前線となる遷急線の位置
- ②0次谷や小規模な集水地形などの水の集まりやすい箇所
- ③のり面や遷急線と②の位置関係

これらの着目点に合致した箇所を抽出し、現地踏査を実施することが重要である。災害危険箇所の抽出(スクリーニング調査)、安定度調査、詳細調査などのフローをまとめると図-2.5のようになる。それぞれの調査項目の詳細は図-2.6にまとめた。図-2.6においても述べているように、微地形判読から災害危険箇所を抽出するためには、詳細な地形図を準備しなければならない。このためには、詳細な等高線情報が入手可能なレーザプロファイラーによる計測地形図(LP地形図)の利用促進が重要である。例えば、2mDEMを用いたLP地形図による被災2箇所周辺の地形的特徴は図-2.7のように示される。なお、詳細地形図の重要性については、次章で詳述する。



被災箇所位置案内図

図-2.2 国道21号被災箇所位置図 (国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所提供)



図-2.3 被災箇所の概要 (国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所提供)

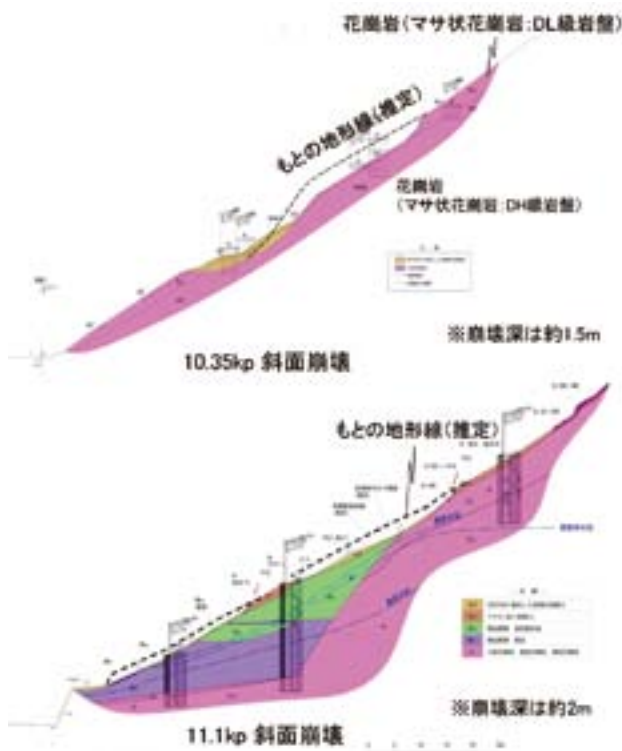


図-2.4 被災箇所の縦断面図
(国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所提供)

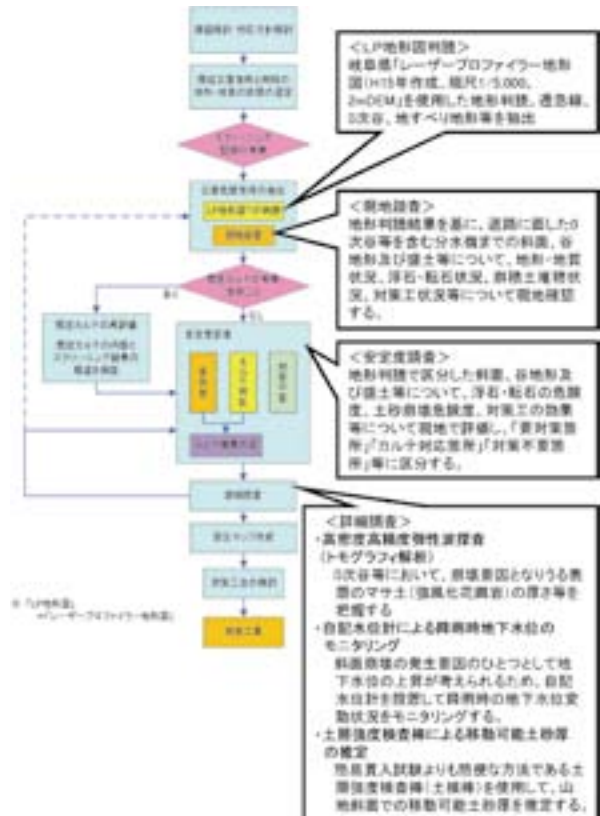


図-2.5 一般国道21号 次月地区の被災を踏まえた
自然斜面の調査フロー

3.1 土砂災害防止法における地形図の位置づけ

岐阜県の西濃地域では、平成24年9月17日～19日に渡って続いた台風16号による大雨に起因して、18日午後、大垣市上石津町において土石流が発生した。同地域は、平成20年度に砂防基礎調査が実施されており、基礎調査によって指定されたレッドゾーンおよびイエローゾーンの範囲と、今回発生した土石流の範囲とを比較することが可能となったので、これを紹介する。

図-3.3および図-3.4に、基礎調査によるレッドゾーンおよびイエローゾーンの算出範囲と実際の土石流氾濫範囲(青線)を重ね合わせて表示した。各図で、上図は斜め上空からの航空写真にゾーンを重ね合わせたもの、下図は砂防基盤図を用いた調査票に実際の土石流氾濫範囲を重ねたもので、青線が氾濫範囲である。岐阜県砂防課は、図-3.3に示す土石流について、状況調査結果として以下のように報告している。【土石流は、地形勾配が急峻であることから、大半が堆積せずに現況流路に沿って流下している。土砂の氾濫開始始点は、谷の出口で放棄された耕作地と溪岸の高低差のないところとなっている。土石流の流下方向は、現況の谷に沿って流下している。】

また、基礎調査の結果と比較して、以下のようにまとめている。【地形勾配が急峻であることから、広範囲な堆砂は見られず、溪岸部に少量の堆積が見られる。市道から県道までの区間は、急勾配の三面張り水路となっているため、土砂は堆積せずに牧田川まで一気に流下している。したがって、流下した土石流の流出範囲は、基礎調査におけるレッドゾーンと一致していると言える。氾濫開始地点について、土砂災害時では、谷の出口より土砂の氾濫痕跡が確認できることから、妥当と言える。流下方向についても、土砂災害では、現況の谷に沿って流下していることから、妥当と言える。】以上のように、条件がそろえば、砂防基盤図を用いた基礎調査の結果と実際の土石流の流下領域が合致することがわかった。

同日の報告に、岐阜県砂防課は、図-3.4に示す別箇所の土石流について、災害状況調査により、以下のようにまとめている。【今回の土砂流出による施設の倒壊被災は、流出規模に比して少ない印象を受ける。これは、上流の砂防堰堤(H10災関緊急砂防)の設置により、巨礫(D95～D70クラス)が保全区域まで流下せず、砂防堰堤堆砂域で捕捉または停止したためと考えられる。無施設であったら、巨礫が直接家屋に衝突する可能性が高いため、被害は拡大していたと推定できる。したがって、保全区域(下流域)へ流出した礫は、比較的小粒径($\phi 5\sim 20\text{cm}$ 程度)であったと考えられるため、基礎調査のイエローゾーンに近い氾濫エリアな



図-3.3 基礎調査による予測範囲と実際の土石流氾濫範囲(上ノ谷)

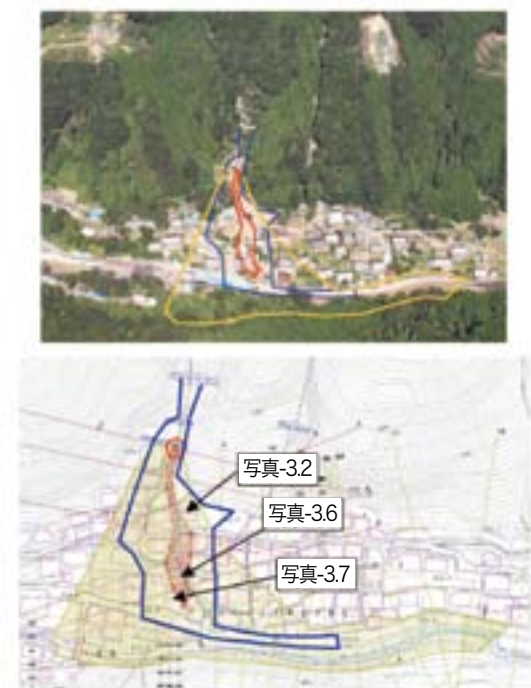


図-3.4 基礎調査による予測範囲と実際の土石流氾濫範囲(滝根谷)



たと推測できる。】写真-3.1は氾濫開始点直下の写真であるが、確かに流出土砂の粒径は小さい。流出土砂の中間位置(写真-3.2)および最下流部付近(写真-3.3)についても、土砂の粒径は大きくないことが確認できる。

また、基礎調査の結果と比較して、以下のように検証している。【イエローゾーンと今回の土砂氾濫範囲を重ね合わせると、氾濫基準点からの広がり(30°)および氾濫端部の挙動は、イエローゾーンと概ね一致する。下流域で裾が広がっていない点は、両側に家屋が建ち並び流出進路が拘束されたためと考えられる(写真-3.4参照)。したがって、土砂が流出(氾濫)する範囲は概ねイエローゾーン範囲内と考えて差し支えないことが検証された(イエローゾーンは地形条件(2°)のみから決定されるため、家屋等の構造物による阻害は一切考慮されていない)。左岸側でイエローゾーンから逸脱している氾濫範囲があるが、これは流出した土砂が家屋に衝突し、分散したため方向が変化したと考えられる。レッドゾーンと現地を比較すると、レッドゾーンが土石流エネルギーの高い範囲を示すという設定のとおり、レッドゾーン内に比較的巨礫が堆積していることが確認できる(写真-3.5)。

当該流域のレッドゾーンにかかる家屋は、3戸(木造)で、基準点に最も近い家屋が倒壊している(写真-3.2参照)。基礎調査によって得られた外力計算と照合すると、倒壊家屋(写真-3.2)は 73.9kN/m^2 ($h=1.0\text{m}$)、未倒壊家屋は、写真-3.6: 18.5kN/m^2 ($h=0.4\text{m}$)・写真-3.7: 17.9kN/m^2 ($h=0.4\text{m}$)となり、家屋に作用した力に大きな差異があることが確認できる。したがって、基礎調査の解析結果は、実際の被災状況を的確に表現できていると考えられる。(図-3.4下参照)】

ここで示した砂防基盤図は、LP地形図を砂防基礎調査における解析システムに適用するに当たって、1/2,500レベルに変換している。レーザ計測によって得られた最大の詳細さを用いれば、1/1,000レベルより詳細な地形図を表現できるため、ここで示した土石流予測より、さらに精度の良い氾濫区域を想定できると考えられる。さらに、地形図だけでなく家屋や樹木を表現できるDSM(Digital Surface Model)を用いれば、微地形だけでなく構造物によって規制される土砂流の挙動をより詳細に予測できると考えられる。詳細な地形図を利用した詳細な土石流等の数値解析による予測は、砂防基礎調査に用いられるような簡易的な数値解析手法でなく、CFD(Computational Fluid Dynamics)に基づく手法⁵⁾やSPH(Smoothed Particle Hydrodynamics)法^{6),7)}、DEM(Distinct Element Method)^{8),9)}など、物理現象を直接的に表現できる解析方法を用いることが望ましい。



写真-3.1 氾濫開始点直下



写真-3.2 中間域



写真-3.3 下流域



写真-3.4 家屋による流路の規制



写真-3.5 レッドゾーン内の礫



写真-3.6 未倒壊家屋



写真-3.7 未倒壊家屋

3.2 落石対策工の検討

乗鞍スカイライン(主要地方道乗鞍公園線)は、岐阜県高山市から乗鞍岳畳平を繋ぐ延長約14kmの山岳観光道路で、冬期は積雪のため閉鎖されているが、開通期間には、マイカー規制が行われているものの、年間30万人弱が訪れる観光地である。岐阜県では、県管理道路における災害に至る要因の早期発見と点検データの蓄積を目的とし、既設点検箇所に対して定期点検(履歴調査)により変状の進行状況を把握するとともに、防災点検のデータ管理を適正かつ容易に行えるシステムの整備を目的として、既存の岐阜県道路防災点検管理システムの機能拡張等と同システ

ムの運用・保守を行っている。つまり、防災点検のデータ管理をGISによって行い、その機能拡張のために常に保守を継続している。その中で、乗鞍スカイラインにおける落石発生の多い箇所について、その対策のために落石シミュレーションを行った。対象の箇所は、図-3.5中心付近のヘアピンカーブが連続する斜面で、標高は約2,500mである。

写真-3.8および写真-3.9で示すように、多数の転石・浮き石が存在し発生源となっている。通常、落石対策工の設計には、日本道路協会の落石対策便覧が用いられ、総検査対象数約130を計算したところ、最大の落石エネルギーは約20,000kJになった。しかし、そのように突出したエネルギーを持つ落石は少なく、図-3.6のように5,000kJのエネルギーに対応できる防護工を作れば、90%以上の落石に対応できることがわかった。ここで、写真-3.8および写真-3.9を見てもわかるように、対象箇所は高標高な上に、地形、地質条件が特殊(傾斜の緩い岩塊層やハイマツで覆われている)であることから、落石対策便覧で用いる簡便式によって得られる落石エネルギーと異なる可能性がある。したがって、別途数値シミュレーションによって落石エネルギーを算出することになった。



図-3.5 落石シミュレーションによる検討箇所



写真-3.8 多数の転石・浮き石



写真-3.9 多数の転石・浮石

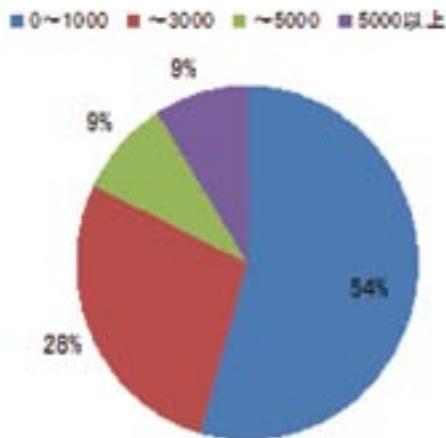


図-3.6 落石エネルギー分布(単位kJ)

質点系3次元シミュレーションによる解析を実施し、防護工の設置区間および落石エネルギーを検討した。岐阜県は、県域統合型GIS¹⁰⁾を一般公開しており、その基本地図として2mメッシュごとの標高値をもつデジタルデータ (DEM: Digital Elevation Map) を全県域保有している。これを用いることにより、詳細な3次元地形図を利用したシミュレーションが実施できる。質点系3次元シミュレーションのためのパラメータの決定には、次の事例を基に設定した。平成22年6月22日の道路パトロールにより確認された不安定岩塊のうち、特に不安定な状態の3個の岩塊が除去され、そのうちの1個が道路まで落下し、落石防護柵と路面に損傷を与え、道路脇に停止した。その状況が土木事務所によりビデオに記録されていたため、その再現解析を実施し、パラメータフィッティングを試みた結果、最も近い結果から選出した。図-3.7に、パラメータフィッティングのための落石シミュレーションによる検討結果の例を示した。図のように、詳細に表現された微地形上を質点モデルの落石挙動が表現できる。

現地に則した落石の反発・すべり・転がりに関する解析パラメータが得られたあと、具体的には、写真-3.8、写真-

3.9に示したように、個々の岩塊に番号を付け、それぞれの岩塊から岩径の異なる落石が発生したときの落下経路と到達地点を数値解析によって予測した。一例として、種々の岩径の転石が斜面上に設定された解析モデルの外観を図-3.8に示す。このように、現地調査で判明した落下する危険性のある岩塊について、シミュレーションを行い、道路上に落下する場所・落石の経路と大きさから、防護工の設置場所と大きさおよび必要とするエネルギー吸収能を決定し、設計用のデータとする。図-3.9は、ある程度まとまった岩塊が存在する箇所からの落石を想定したケースを同時に表示した結果である。この結果から、落石対策便覧によって設定された5,000kJの耐力は安全率を見込んだ上での設定とすることができるとがわかり、なおかつ、防護工の設置場所および形状を確定することができた。シミュレーションの結果から、適正な箇所に適正な防護工を設置することが提案できた。これは、詳細な現地調査を行ったことと、その調査結果を活かすことのできる詳細地形図を使った数値シミュレーションによって得られた成果である。

航空レーザ計測は、10年ほど前から全国的に実施されているが、平面図や横断面といった従来通りの使われ方をしただけで、その後活用されてないことが多い。3次元データとして使用することによって、適切な社会基盤の整備に大いに役立てられるよう、活用が望まれる。

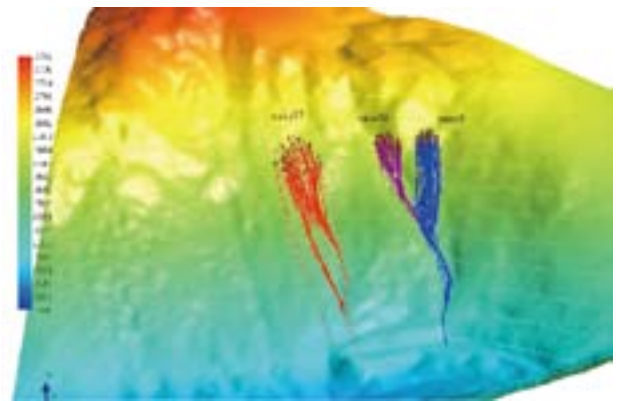


図-3.7 落石シミュレーションによる検討結果例

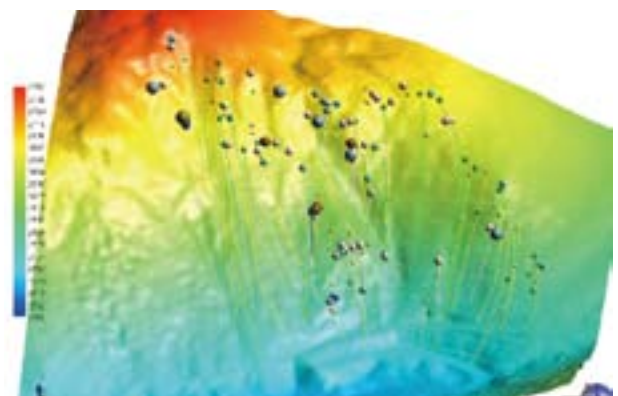


図-3.8 現地調査結果から設定された落石モデル

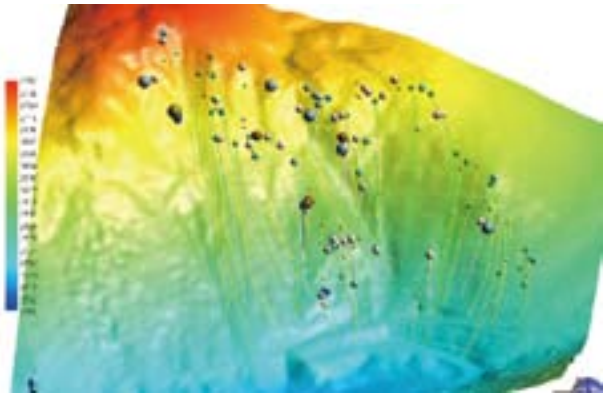


図-3.9 岩塊群からの落石経路

私たちは、LP地形図という詳細地形図を手に入れた。調査の第1歩として、詳細地形図を用いたスクリーニングに挑戦しよう。この情報に基づいて、丁寧な現地踏査、さらには詳細なサウンディングなどに挑戦しよう。いままでの知識と経験に、新しい技術を取り込んで、技術者としての知恵を豊かにしていくことが、国民の生命と財産を守ることに繋がるのではないだろうか。

紹介したデータ等は、国土交通省中部地方整備局多治見砂防国道事務所および岐阜県県土整備部より提供を受けた。誌面を借りて感謝の意を表します。

4. おわりに

本稿では、近年岐阜県内で発生した土砂災害(斜面崩壊、土石流、落石等)を取り上げ、将来の災害予測や防災・減災のために、詳細地形図を用いた微地形判読が非常に重要であることを強調した。

筆者の一人である八嶋は、国土交通省の道路防災ドクターとして約15年活動しているが、土構造物や自然斜面を「見る」ことの重要性をいつも考えている。つまり「見識」を示すことが重要である。調査や点検において「覧(みる)」ことだけで済ますことはできない。管理者や専門技術者によって与えられた資料を「閲覧」するだけでは「見識」を示すことはできない。現場を訪れて、「視る(みる)」だけでも不十分である。対象とする現場について、限られた部分にのみ集中するのではなく、全体を俯瞰することはもちろん重要であるが、「視察」では何も得られない。技術者にとって、重要なことは、1)「観る(みる)」ただし観察する、観測すること、2)「診る(みる)」ただし診断すること、そして3)「看る(みる)」ただし看護方法を提案することである。丁寧に観察して、時には計測して、対象物の安全性評価(診る)を実施しなければならない。危険と判断された対象物については、対策工法(看る)を提案しなければならない。これらのステップを踏んでこそ、現場についての「見識」が示せるものと信じている。(図-4.1参照)

参考文献

- 1) 小井土 由光: 岐阜の地学・よもやま話, 岐阜県地質図,
URL: <http://chigaku.ed.gifu-u.ac.jp/chigakuhp/html/kyo/chisitsu/gifunochigaku/index.html>
- 2) 岐阜新聞: 岐阜県の災害史
- 3) 例えば, 吉川知弘, 川下茂樹, 田中比月, 小川紀一郎, 佐野寿聰: 土砂災害防止法における砂防基盤図の重要性と精度について, APA, Vol.82, No.9, pp.54-62, 2002.
- 4) 講座: わかって使うレーザ計測, 地盤工学会誌, Vol.59, No.10~No.12, 2011., Vol.60, No.1~No.3, 2012.
- 5) Moriguchi, S., Yashima, A., Sawada, K., Uzuoka, R. and Ito, M.: Numerical simulation of flow failure of geomaterials based on fluid dynamics, Soils and Foundations, Vol.45, No.2, pp.155-165, 2005.
- 6) Lucy, L.B.: A numerical approach to the testing of the fission hypothesis, Astron. J., Vol. 82, pp. 1023-1024, 1977.
- 7) 沢田和秀, 野々山栄人, 八嶋 厚, 森口周二: 斜面崩壊土砂の挙動予測解析へのSPH法の適用, 混相流, 22巻4号, pp.339-347, 2008.
- 8) Cundall, P.A. and Strack, O.D.L.: A discrete numerical model for granular assemblies, Geotechnique, Vol.29, No.1, pp.47-65, 1979.
- 9) 内田吉彦, 伯野元彦: 粒状体シミュレーションによる岩屑流・土石流の解析, 東京大学地震研究所, 第65号, pp.321-411, 1990.
- 10) 県域統合型GISぎふ, URL: <http://www.gis.pref.gifu.jp/>

「見る」ことのできる技術者

- 「覧る」: 管理者や専門技術者によって与えられた資料を「閲覧」するだけでは、「見識」を示すことはできない。
- 「視る」: 「視察」だけでは、「見識」を示すことはできない。
- 「観る」: 「観察」して、時には計測(観測)する。
- 「診る」: 対象物の安全性評価(診断)を実施する。
- 「看る」: 危険な対象物については、対策工法(看護方法)を提案する。
- 「見る」: これらのステップを踏んでこそ、現場についての「見識」を示せる。

図-4.1 知識から見識へ