LPデータを用いた道路防災危険箇所の抽出

三浦　健一郎

基礎地盤コンサルタンツ株式会社　中国支社　地質技術部.

航空レーザ測量（以下LP）データの道路防災事業への本格導入が全国的に始まった．本報告では本格導入に先駆け，昨年度より中国技術事務所内で試行した“LPデータによる広域スクリーニング”の継続検討結果を報告する．今回はレベル500LPデータを用いて傾斜量図とCS立体図を作成し，危険箇所の定量抽出を試みた．結果として，検証対象とした既往カルテ点検220箇所中の36%にあたる77箇所で，これまで把握されていない危険リスクの抽出に繋がった．過不足ない効率的な点検実施に繋げるためにも，客観的かつ定量的な抽出を行い，危険箇所の見逃しと空振りを最小限とすることが重要である．

キーワード　道路防災点検，道路防災診断，レベル500航測LP，傾斜量図，危険箇所机上抽出

1. はじめに

航空レーザ測量の斜面防災事業への適用に関しては，近年多くの研究事例がある．その中で，LPデータから作成した微地形表現図に基づくスクリーニングに際して，以下の共通した課題が存在する．“危険箇所抽出には明確な基準がないため，技術者による判読差異が著しく，抽出精度に対する評価が難しい．特に対象範囲が広域に及ぶ場合には，抽出誤差や作業量が膨大となる．”

これに対し，昨年度は中国地方整備局管内の直轄国道（当時の総延長1912.8km）を対象に，レベル500（点群座標分布4点/m^{2}以上，0.5mメッシュDEM）～レベル2,500（点群座標分布1点/4m^2 以上, 2.0mメッシュDEM）のLPデータから傾斜量図を作成し，道路防災点検に資する危険箇所の広域定量スクリーニングを試みた．また，代表地点を選定して現地確認を行い，スクリーニング抽出結果を検証した[1]．

結果として，傾斜量図を用いて不安定落石源を抽出する際の閾値としては傾斜60°が適するとの結論を得た．レベル500のLPデータを用いて作成した傾斜量図の場合，傾斜60°を閾値とした場合の空振り率は15%，見逃し率は3%と実務に十分に適用しうるレベルであった（国道約23 km区間での試行結果[2]）．一方でレベル2,500のLPデータの場合は，現地で露頭を探す目安として使用できる程度であり，不安定落石源の机上抽出には精度が不足するという結果となった（図-1）．

なお，本試行の実施時点ではレベル500のLPデータは限られた範囲でしか取得されていなかったため，直轄国道全区間を対象としたレベル500LPデータによる広域スクリーニングの実施には至らなかった．また，不安定落石源以外の災害要因に対する実用的な閾値の設定に課題を残していた．

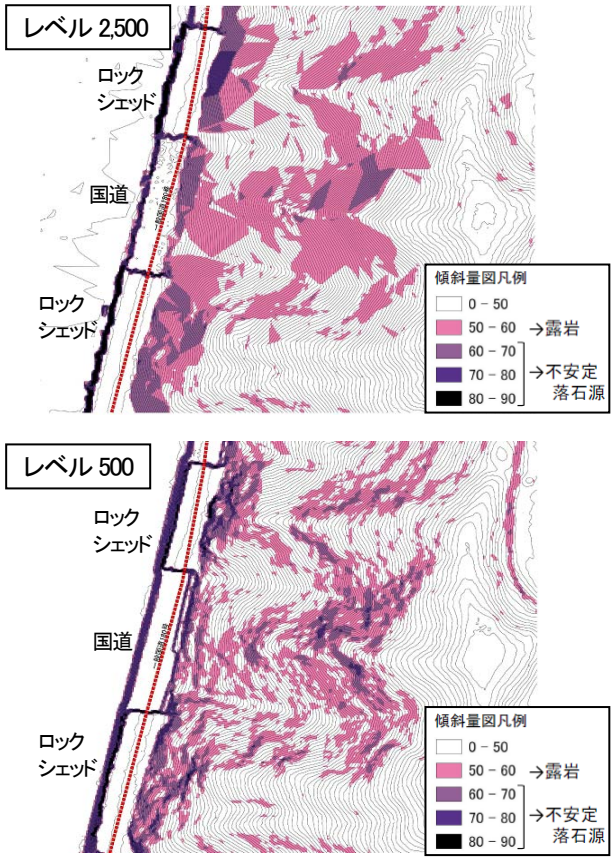


図-1　LPデータの精度による傾斜量図の表示の違い
（60°以上が不安定落石源，コンターは1.0m間隔）

2. レベル500LPデータによる傾斜量図，CS立体図を用いた危険箇所机上抽出

課題解決に向け，今回は林野庁撮影のレベル500データ（H30年撮影）[3] を活用した危険箇所の机上抽出を試行した．林野庁では平成30年7月豪雨を受けて，広島県と岡山県（新庄村を除く）を対象にレベル500のLP撮影を実施している．中でも，被害の大きかった広島県南部と岡山県南西部については各種図化に必要なDEMデータが揃っていたことから，本地域を検証範囲とした（**図-2**）．具体には，①検証範囲内の直轄国道（総延長390 km）について，レベル500LPデータを用いて傾斜量図とCS立体図を作成した．②対象延長内の道路防災カルテ点検箇所（220箇所）を対象に，傾斜量図とCS立体図を用いて危険箇所を机上抽出した．

ここで，CS立体図とは長野県林業総合センターにより考案された微地形表現図で，曲率と傾斜量の重合により凹凸の度合いを寒暖色で強調表示した図面である[4]．斜面崩壊やすべりは水が集積する箇所で発生するが，LPデータをCS立体図に加工することで，0次谷や湧水箇所，ガリー浸食等の斜面中で水の集積する地形情報を抽出可能とした（**図-3**）．

傾斜量図に関しては，前回報告と同様に傾斜量に応じた6段階表記を基本とした（**図-4**）．また，落石と岩盤崩壊リスクが顕著な斜面に対しては，傾斜50°以上の急傾斜箇所に着目（50°以上を着色）した傾斜量図も併せて作成した（**図-5**参照）．

CS立体図と2種類の傾斜量図を用いて危険箇所の机上抽出を行った結果，対象とした全220箇所のうち全体の36%にあたる77箇所について，既存防災カルテ点検では把握されていない危険リスクを抽出した．抽出した危険リスクの割合は落石が57%，土石流33%，崩壊10%となる．なお，今回対象区間では地すべりは確認していない．また，既存のカルテ点検箇所に該当しない区間は，今回の机上抽出の対象外としている．

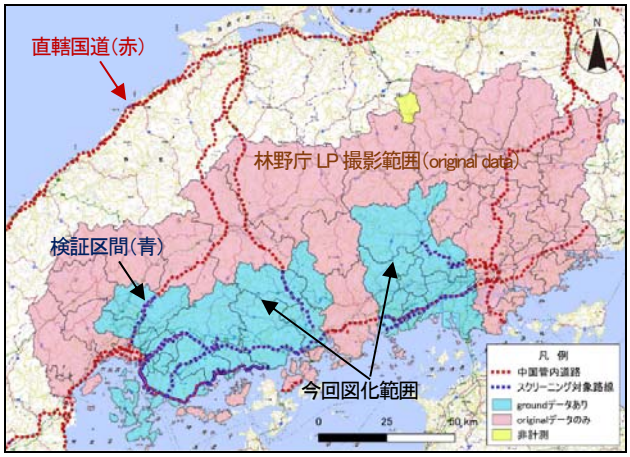


図-2　林野庁LP撮影範囲と今回の検証区間

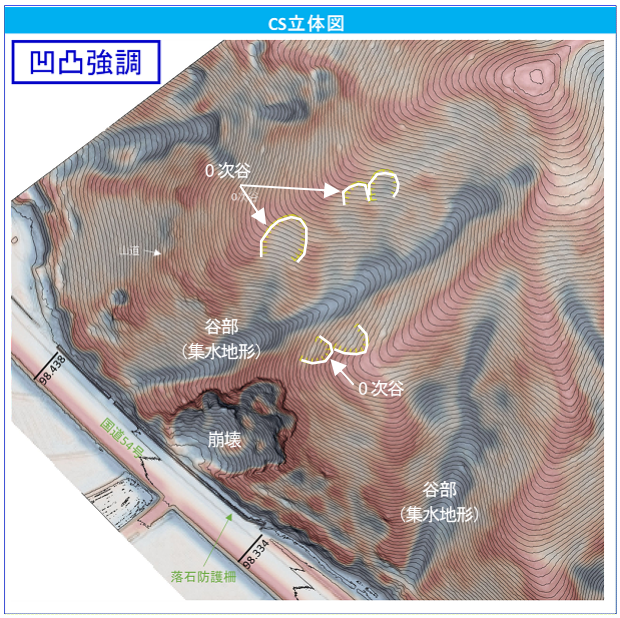


図-3　CS立体図による水の集積箇所抽出事例

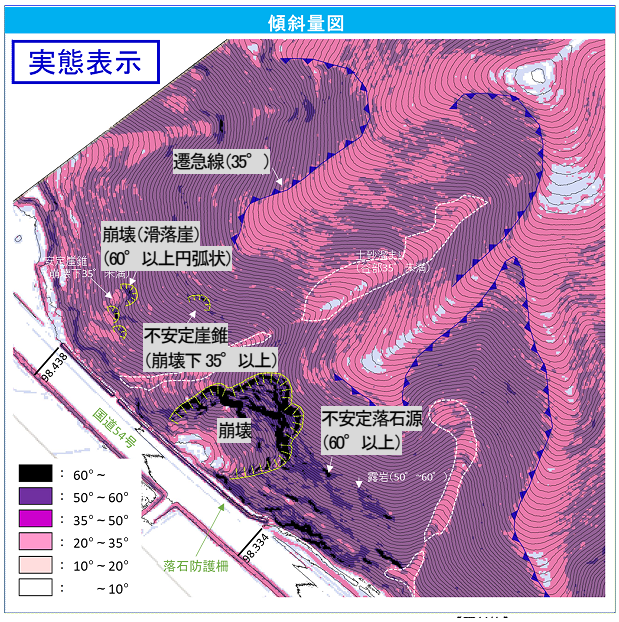


図-4　傾斜量図による危険箇所抽出事例（図-3同地点）

3. 道路防災重点診断箇所での現地検証結果

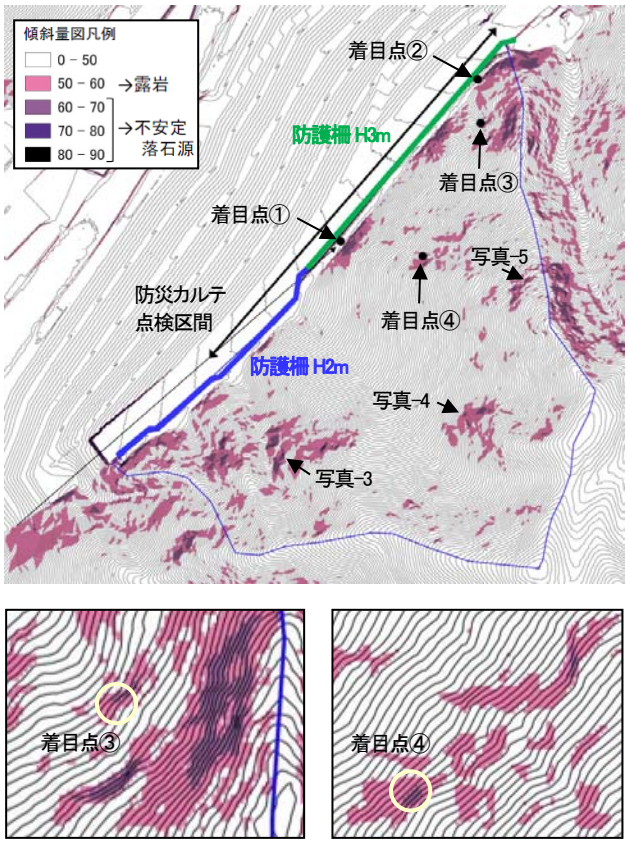
a）傾斜量図（50°以上着色）による落石・岩盤崩壊危険箇所抽出結果の現地検証

既存防災カルテ点検で見逃されている可能性のある77箇所の危険リスクを抽出したことに対し，代表箇所を選定して防災重点診断に供することとした．ここで，防災重点診断とは，道路防災診断業務の中で総合評価や対策工の必要性について意見が分かれる地点や，緊急対策が求められる箇所等で，地域防災に精通した道路防災ドクターに現地診断を行って頂き，的確な助言を求める重要

な工程である．

以下に，落石崩壊を対象とした防災カルテ点検箇所の防災重点診断による検証結果を掲載する．なお，該当斜面は落石を主対象としているため，傾斜量図を主体とした危険箇所の抽出を行っている．

図-5に，防災重点診断箇所の傾斜量図（50°以上着色）を示す．ここで，傾斜50~60°は露岩が想定される斜面[5)]，傾斜60°以上は不安定落石源の想定分布域とした．図中の黒丸印4箇所は防災カルテ点検による着目点であり，着目点①,②は防護柵背後の新規落石の有無，着目点③,④は上部斜面中の落石源の動きが監視されている．**図-5**をみると，不安定落石源とされる着目点③,④とも，“傾斜50°以上の露岩中に存在する傾斜60°以上の不安定範囲”として机上抽出された．また，防災カルテ点検の着目点以外にも，不安定落石源として抽出される箇所が点検区間の上部斜面や点検区間外で多数存在した．現地踏査の結果，これら各地点にはそのすべてに不安定落石源が存在することを確認した（**写真-3**，**写真-4**，**写真-5**に代表写真を示す）．これらはいずれも，高さが1.0mを超える規模の岩塊であった．また，傾斜60°を超える中でも傾斜量が90°に向かって急峻となるほど，不安定化の度合いを増す状況を確認した．



着目点③付近の拡大図　　着目点④付近の拡大図

図-5　防災重点診断箇所の傾斜量図
（50°以上を着色，コンターは1.0m間隔）

写真-1　着目点③の不安定落石源（防災カルテ点検）

写真-2　着目点④の不安定落石源（防災カルテ点検）

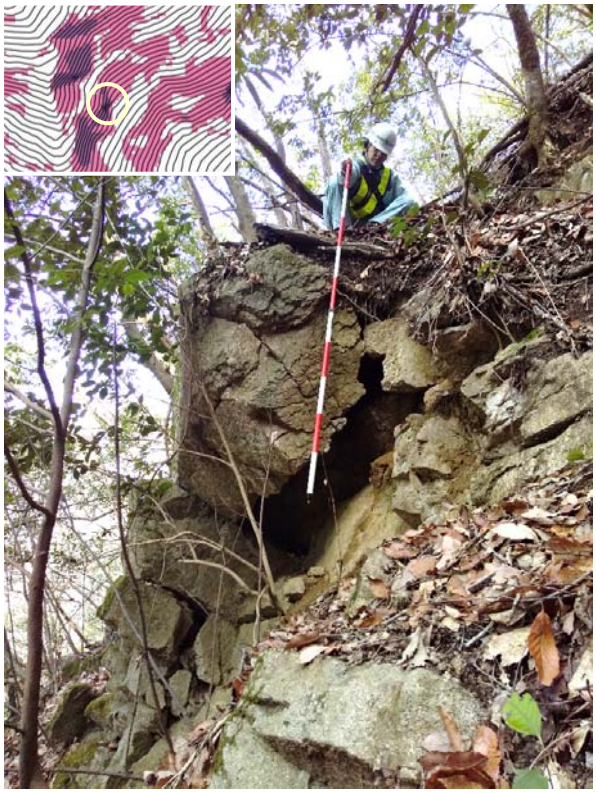


写真-3　不安定落石源（H2.2×1.4×1.0m）傾斜70-80°

写真-4　不安定落石源（H1.0×0.7×0.5m）傾斜60-70°

写真-5　不安定落石源（H1.0×0.8×0.5m）傾斜60-70°

b)　傾斜量図（6段階着色）による崖錐・転石群危険箇所抽出結果の現地検証

次に，**図-6**に示すように6段階に着色した傾斜量図を作成し，落石・岩盤崩壊以外の災害形態に関する危険箇所の机上抽出を行った．ここで，傾斜35°は土砂（礫混じり土）の安定勾配の目安であり（道路土工-斜面安定工指針など），斜面中に滞留する崖錐・転石群の安定度を予測するための閾値とした．また，10°と20°は地すべりや土石流等の危険箇所を抽出する際に用いた閾値であるが，当該斜面には該当する災害要素は抽出されなかった．

結果として，円弧状の滑落崖（傾斜60°以上）を目安にその直下で傾斜35°以上の斜面を不安定崖錐・転石群，傾斜35°未満の場合は安定した崖錐・転石群として机上抽出した．現地において前者は非常に不安定な転石群，後者は苔生して噛み合った（再滑動し難い）安定した転石群として確認できた（**写真-6**，**写真-7**）．

以上のように，2種類の傾斜量図を用いることにより，落石危険箇所の大多数を机上抽出段階で把握することが可能となり，その中でも特に危険な落石源の分布も傾斜量の度合いで推測できるようになった．

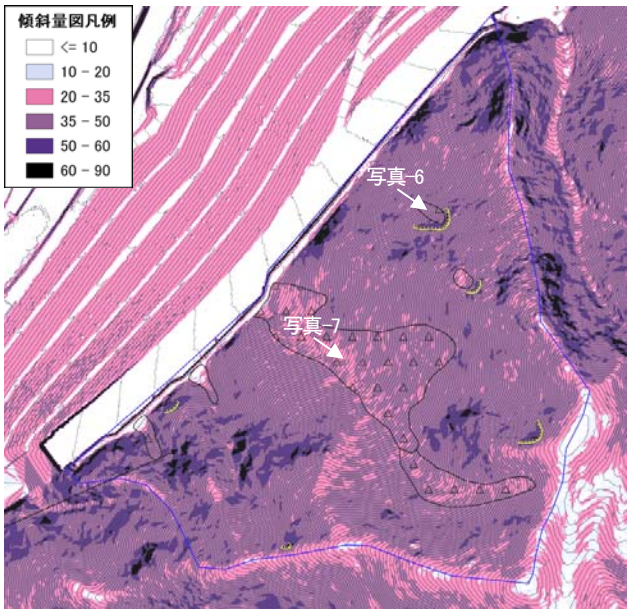


図-6　防災重点診断箇所の傾斜量図（6段階着色）

写真-6　崩壊部滑落崖下の不安定崖錐・転石群
（傾斜35-50°の斜面中に不安定転石が散在）

写真-7　中央谷地形内の安定崖錐・転石群
（傾斜20-35°の谷部に苔生した転石が堆積）

c)　UAV-LPデータとレベル500航測データによる危険箇所抽出結果の比較検証

最後に，道路防災診断業務内で撮影したUAV-LPデータ（精度600点/m2，0.25mメッシュ）から傾斜量図を作成し（傾斜60°以上着色），レベル500航測データによる危険箇所抽出とどの程度の差異があるかを検証した（図-7）．結果として，レベル500による不安定落石源抽出結果（図-5）とUAV-LPによる抽出結果は多くの地点で同様の結果が得られた．ただし，谷地形内で広葉樹が密に繁茂する範囲においては，レベル500航測データでは大規模露頭でも見え難い箇所があった（写真-7）．

以上のように，レベル500航測データは道路防災点検箇所の危険箇所抽出に対して必要十分なデータ精度といえる．その中で，谷部で広葉樹が密なエリアでは抽出精度に差異が出るので留意が求められる．

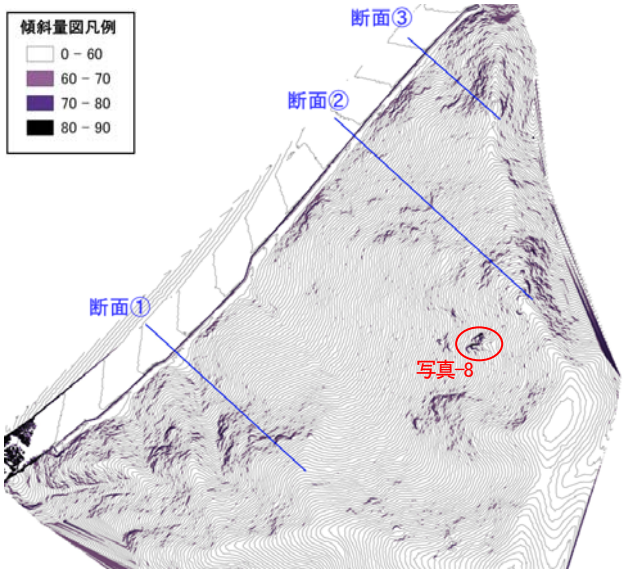


図-7　UAV-LPデータによる傾斜量図（60°以上着色）

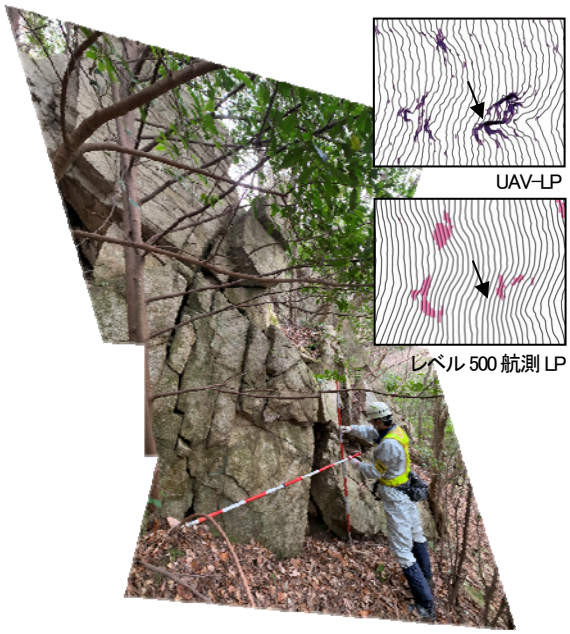
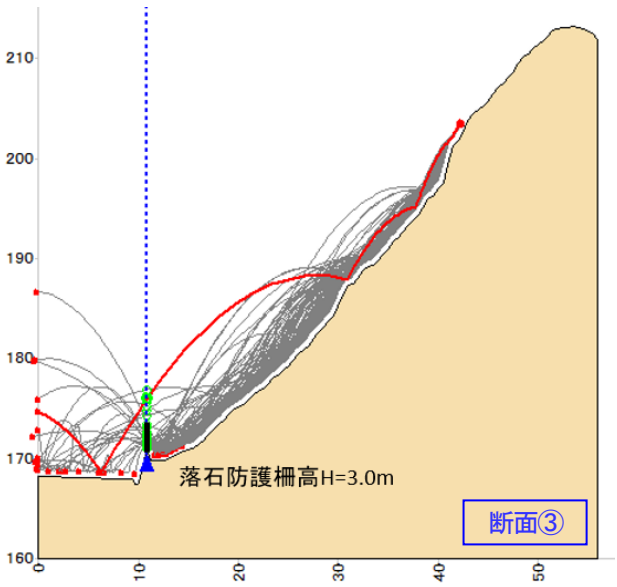


写真-8　谷部広葉樹繁茂下の露頭状況（図-7赤丸部）

なお，LPデータは三次元点群座標として得られるため，任意の断面図作成も容易である．ここでは，主要な落石源のある3断面を選定して落石シミュレーションに供した（図-8）．結果，いずれの断面においても防護柵の高さ・捕捉エネルギーとも不足しており，対策が必要であることを示す裏付けとなった．また，防災重点診断の際には，3Dプリンターで作成した落石危険斜面の実体モデルによる説明を行うことで，危険箇所に対する既存対策状況等の診断のポイントを全員で共有できた（図-9）．いずれも，LPデータの活用利点である．



落石防護柵衝突個数	落石防護柵上方通過個数	擁壁天端からの最大通過高 (m)	最大エネルギー (kJ)
25	5	6.3	463

図-8　LPデータを活用した落石シミュレーション（図-7の断面③）

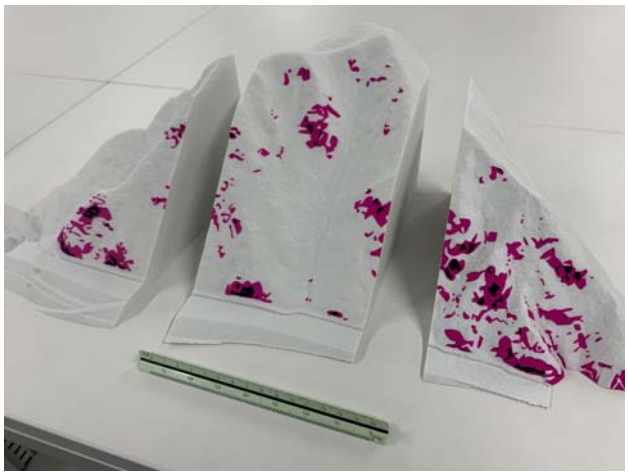


図-9　3Dプリンターによる落石危険斜面のモデル化（防災重点診断箇所，モデル切断面：落石シミュレーション実施断面，着色部：不安定落石源を含む露岩部）

4. 結論

本報告では，LPデータによる広域危険箇所の机上抽出について，特に落石等の地形的特徴に着目した検証結果を整理した．傾斜量や曲率に基づく定量的な危険箇所抽出手法を適用することにより，技術者による判読差異を最小限にするとともに，今後は机上抽出に対する作業量の抑制に繋がることが期待される．また，防災重点診断箇所を対象に2種類の傾斜量図により防災カルテの照査を行った結果，これまで把握されていなかった危険箇所を多数抽出し，カルテ対応から要対策への総合評価の変更に繋がった．さらに，点検区間の延伸やより効果的な点検時着目点の設定など，道路防災ドクターの判断に資する有益な材料となった．

今回，実証した事項は次のとおりである．①道路防災に関する危険箇所抽出にはレベル 500 相当の LP データで必要十分である（ただし，谷部広葉樹繁茂下では見逃しがある可能性があり，留意が必要である）．②不安定落石源としての落石（岩盤崩壊）の危険箇所抽出には，閾値として傾斜 60°が妥当である．③岩盤が露出する斜面は傾斜 50°以上が目安となる．④以上より，不安定落石源は“傾斜 50°以上の露岩部中の傾斜 60°以上の範囲”として，現地状況に則した形で抽出されることが多い．⑤傾斜 60°以上の落石危険斜面の中でも，傾斜や規模（高さ）が大きくなるほど危険度が増す傾向にある．⑥抽出できる不安定落石源は，レベル 500 では高さ 1m 以上が目安となる．

また，従来，転石群については机上抽出は困難とされてきたが，⑦崩落箇所の頭部滑落崖（傾斜 60°以上の円弧状急崖部として抽出）下の緩傾斜面を対象に，傾斜 35°（密実でない礫の安定傾斜）を閾値として判定することで不安定箇所を机上抽出可能となる．なお，斜面中の崖錐の安定性に関しては，以下式の該当有無を確認することで判定間違いを低減することが可能である（$\alpha \geqq 44 - 4\log S$　ここで，S：崖錐の斜面長,α：崖錐の平均傾斜，該当する場合は非常に不安定[6]）．

最後に，本報告では割愛したが，CS 立体図を適用した地点については，水の流れを詳細地形として把握することで，崩壊および土石流危険箇所についても客観的な机上抽出に繋げている．こちらに関しては，今後の豪雨等に関連した発災記録と机上抽出結果の突き合わせが必要であり，次の機会での報告としたい．

5. 今後の課題と解決案

今年度，中国技術事務所より令和元年度以降のレベル 500LP データを用いた防災危険箇所分析評価業務が 4 件発注されている．これら業務における分析評価結果は，管内各事務所から発注予定の道路防災カルテ点検業務へフィードバックされる予定とのことである．

そこで，より効果的な道路防災事業に繋げるための課題として，危険箇所の増加を見据えた点検の重点化・効率化が挙げられる．LP データの活用により,これまで把握されていなかったリスクが抽出されることによる危険箇所数の増大が予想される．これに対し，LP による危険箇所抽出結果に地質リスクや被災履歴等の情報を GIS 上で重ねて危険度ランクを設定することなどで，点検の重点化・効率化に資する検討が求められる．併せて，近年急速に進展しつつある I-construction 関連技術について利点と課題，維持管理への適用性を整理するとともに，その中で有望な技術を現地で試行し改善点や具体の利用方法を検証することで，今後を見据えた対応を事前に検討しておくことが大切と考える．

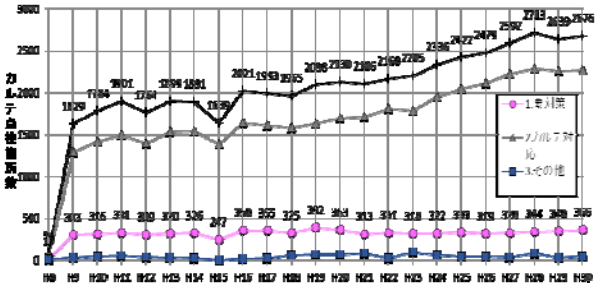


図-10 中国地方整備局防災カルテ点検箇所数の推移
（中国地方整備局防災カルテDBより集計）

謝辞：道路防災ドクターの各位には，防災重点診断を通してLPデータを活用した危険箇所抽出や今後の対応方法に関し，多くの有益なコメントとアドバイスを頂いた．また、中国技術事務所維持管理技術課の各位には，本試行の実施にあたり的確なご指導と本成果発表のご快諾を頂いた．本原稿は、第71回中国地方技術研究会の同課報告原稿を使用させて頂いたものである．ここに記して感謝申し上げます．

参考文献

1) 河中響平（2019）：道路防災点検（LP データ）手法検討，第 70 回中国地方整備局技術研究発表会
2) 三浦健一郎・寺脇直志・入谷正人（2019）：LP 傾斜量図を用いた危険箇所の抽出・評価手法の開発と適用事例，第 33 回日本道路会議論文集
3) 林野庁（2019）：平成 30 年度森林域における航空レーザ計測業務（その 1）
4) 戸田堅一郎（2014）：曲率と傾斜による立体図法（CS 立体図）を用いた地形判読，森林立地，56（2），75-79，2014
5) 長谷川淳・浦越拓野（2017）：数値標高モデルを用いた落石ハザードマップ作成手法，RTRI REPORT，Vol31，No.5，May，2017
6) 池田和彦（1971）：崩壊堆積物斜面の安定について，応用地質，Vol.12，No.3