

地形から判ること ～地形図から斜面崩壊箇所の特徴を読み解く～

株式会社ウエスコ 伊達裕樹

1. はじめに

国土地理院が発行する 1/2.5 万地形図は、地質調査において欠かせない資料である。地質調査では、主に地形図の等高線や植生記号を利用して、調査地の地形や地質の特徴を把握することを「読図」という。読図で得られる地形・地質的な特徴は、山地・丘陵地・低地などの地形区分や、断層や褶曲などの地質構造、地層境界、地表を構成する岩石や土質の性質などである。これらの特徴を把握することにより、土木工学的な問題点を予察したり、斜面崩壊の原因について考察することができる。

たとえば、平成 22 年度の広島県庄原市内で発生した土石流災害の調査事例では、1/2.5 万地形図を基図として水系図と接峰面図を作成し、「篠堂地区は、他の地区と比べて単位面積あたりの谷の本数(1次水流頻度)が少ない」、「斜流河川や並流河川等の水系模様の対接峰面異常が認められ、断層や差別浸食地形の存在する可能性がある」などの特徴をあげることができた(図-1)。

本稿では、地形図の主題図として水系図と接峰面の紹介、地形図の読み方、地形図の読図事例、最近の地形測量技術について述べる。

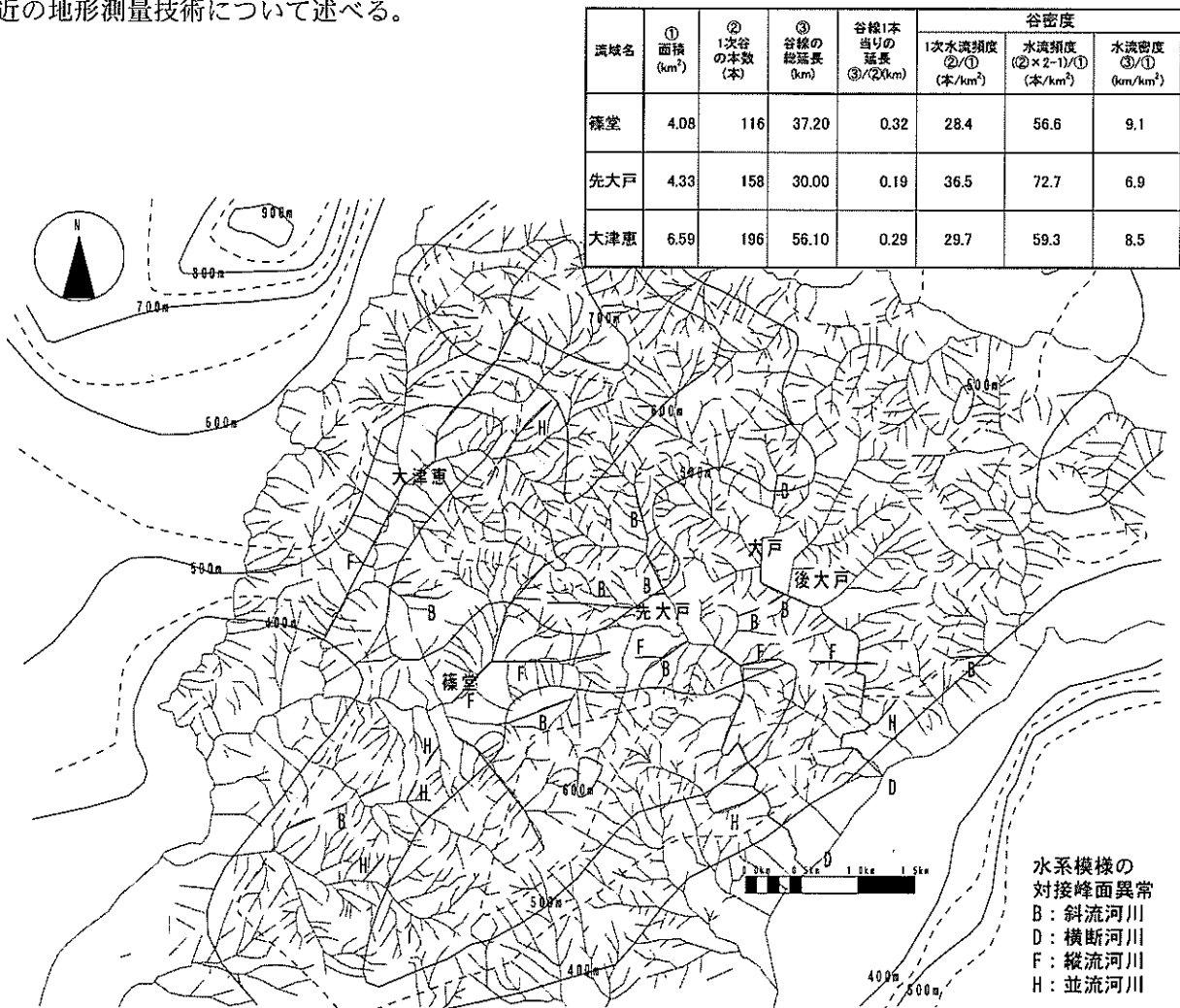


図-1 水系図および接峰面図 (H22 広島県庄原市内土石流災害) ¹⁾

2. 地形判読の主題図について

斜面崩壊を対象とする地質調査では、崩壊原因を考察するために地形図を読図したり、地形図を基図として主題図を作成する。主題図とは、読図によって得られる情報を図式化したものである。よく利用される主題図は、水系図と接峰面図である。以下に、この2つの主題図について述べる。

2.1 水系図

水系図は、河川および谷線だけを抜き出して描いた図である。水系図は、地盤の透水性や地質境界や地質構造を反映して、様々な水系模様を示す(図-2)。たとえば、樹枝状の高密度のものは、頁岩のような難透水性の地層からなる地形面で発達し、平行状のものは節理や地質構造に起因する地形面に認められる(図-3)。また、谷密度を用いておおよその地山の透水性を把握できる(図-4)。水系模様の判読は、地質の変化や地すべり箇所抽出にも活用される。

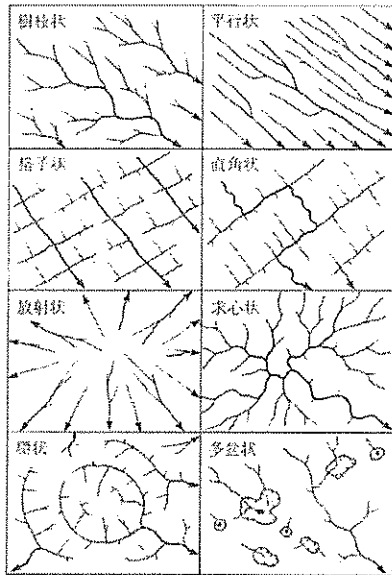


図-2 山地における主要な河系模様ⁱⁱ

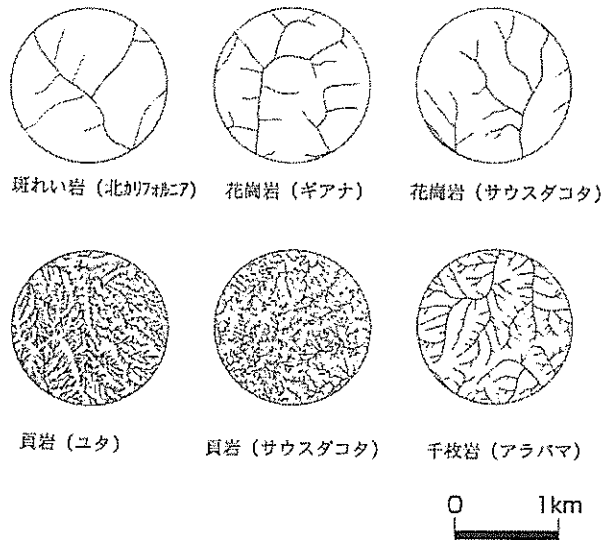


図-3 4種類の基盤岩石上に発達する水系ⁱⁱⁱ

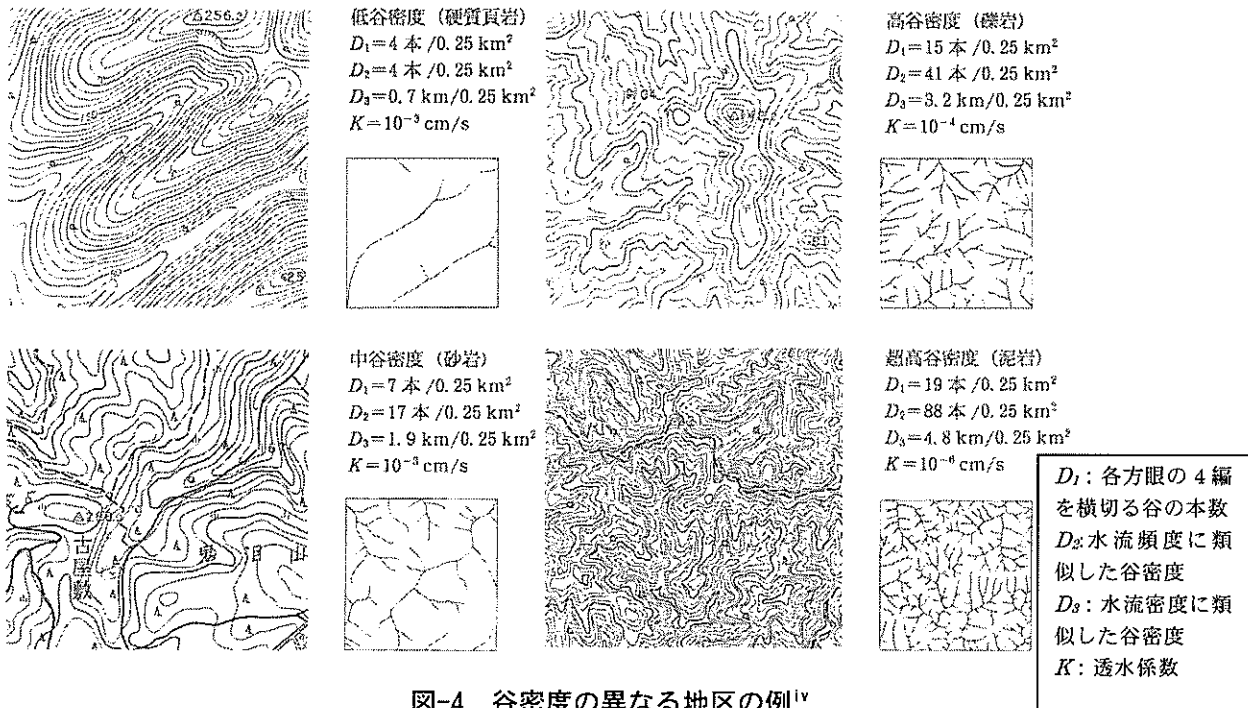


図-4 谷密度の異なる地区の例^{iv}

2.2 接峰面図

接峰面図は、浸食前の地形状況を復元したようなものであり、ちょうど地表面に布を被せて等高線の凹凸をぼやかしたような地形を示す(図-5)。接峰面図より把握できる地形的な特徴は、高度急変部、褶曲軸、河川争奪のポイントなどである。水系図と組み合わせて、水系模様の对接峰面異常を抽出し、断層や褶曲軸などの地質構造や地すべり地形などを読み取ることができる(図-6、表-1)。

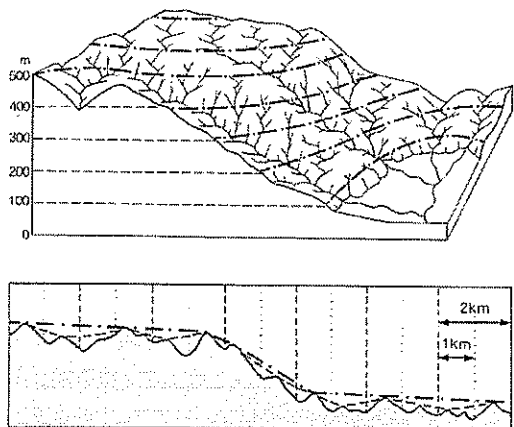


図-5 接峰面の概念^v

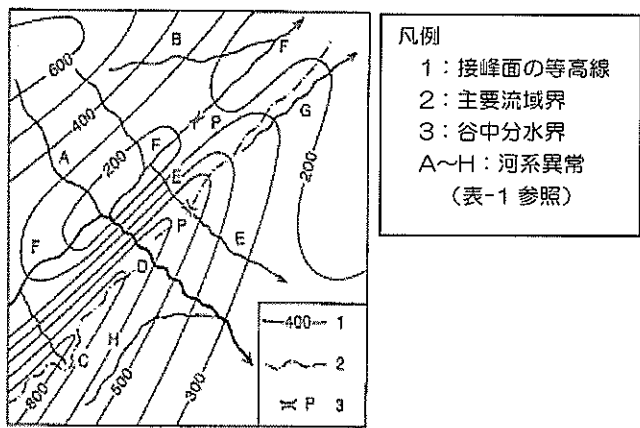


図-6 对接峰面異常^{vi}

表-1 河系模様の对接峰面異常

河川タイプ	接峰面等高線との関係	記事
A: 必従河川	接峰面の最大傾斜方向に流れる	・对接峰面異常ではない
B: 斜流河川	接峰面の最大傾斜方向に流れる等高線群と著しく斜交して流れる。	・必従河川が地盤運動後も流路位置を変えずに下刻し続ける。 ・断層破砕帯、堆積岩互層の軟岩層に沿う。
C: 逆流河川	接峰面の最大傾斜方向に対して逆方向に流れる。	・大規模な断層崖、カルデラ壁の谷頭部。 ・一般に短い。
D: 横断河川	接峰面の尾根を横断して一方向に流れる。	・断層運動または褶曲運動による先行谷。 ・差別侵食による表成谷(剥離型、再従型)。
E: 天祥谷	谷中分水界を有するアーチ形の縦断形をもつ一連の谷。	隆起運動。
F: 縦流河川	接峰面で並走する2本の尾根の間の、長い直線谷ないし緩い弧状の谷を流れる河川。	地質構造、とくに活断層や断層破砕帯に沿って発達。
G: 頂流河川	接峰面の尾根に沿って流れる河川。	変動地形、火山地形、大規模な地すべり地形、崩落地形に沿って小規模なものが形成される。
H: 並流河川	接峰面の等高線にほぼ並行に流れる。	変動地形、地すべり地形、差別侵食地形にしばしばみられる。

3. 地形図の読み方

斜面崩壊箇所の特徴を示すキーワードは、崩壊箇所の規模(幅、深さ、長さ)、地形状況、地質構造および地層構成、植生、地下水などである(図-6)。ここでは、斜面崩壊と関わりの深い地質構造、風化状況、地形図から読み取る方法を概説する。

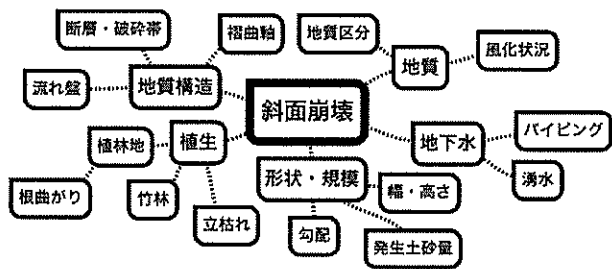


図-6 斜面崩壊のキーワード

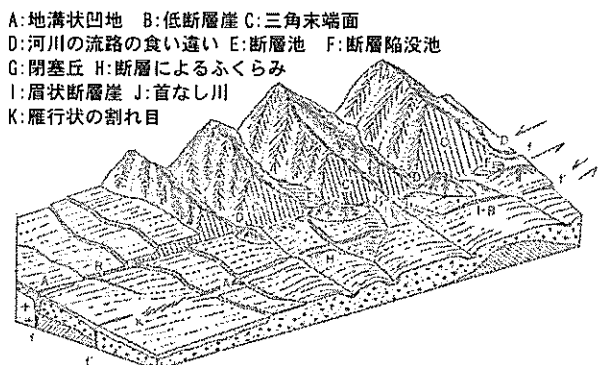


図-7 水平ずれ断層の運動に伴う断層地形^{vii}

3.1 地質構造

地質構造とは、断層、破碎帯、褶曲などである。地形図上では、三角末端面、断層鞍部の直線状配置、河川の屈曲、首なし川などで位置が特定される(図-7)。断層鞍部とは、ラクダのこぶとこぶの間の凹みのような地形であり、稜線に認められる凹地形である。図-8は断層地形の読図例であり、断層鞍部や河川の屈曲が連続して認められる(参考文献に一部加筆)。布引断層では、布引貯水池のところの断層露頭や水平ボーリング調査により、地形学的に推定された断層線上に、断層が存在することが確認されている。

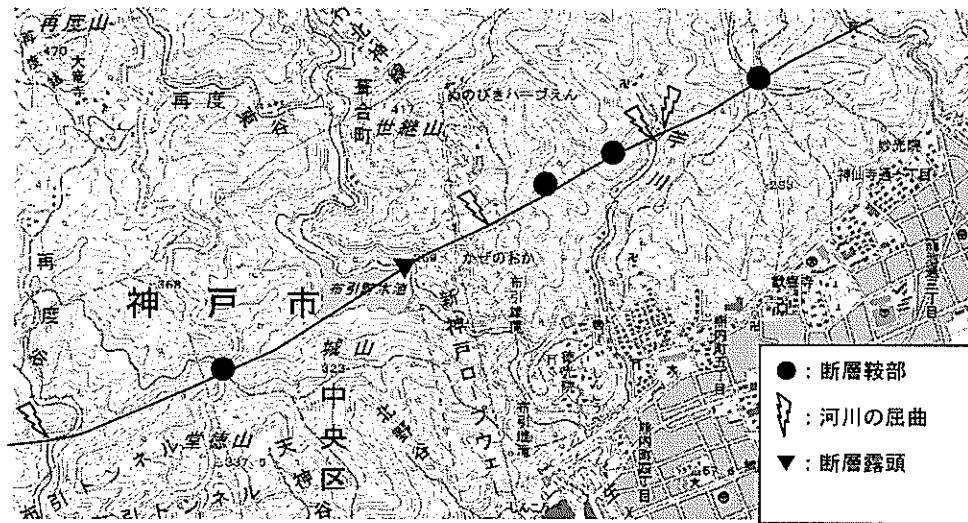


図-8 布引断層沿いの断層地形^{viii}【s=1:25,000】

活背斜尾根の例を図-9に示す(参考文献ixに一部加筆)。接峰面の等高線の50~100mの間に、等高線に平行な水系(並流河川)が認められる。並流河川沿いが活向斜軸であり、その東側にある油井が並ぶ細長い尾根の部分が生背斜軸と推察される。この細長い尾根に顕著な天秤谷が発達していないことから、急激に変位したことを示唆していると解されている。

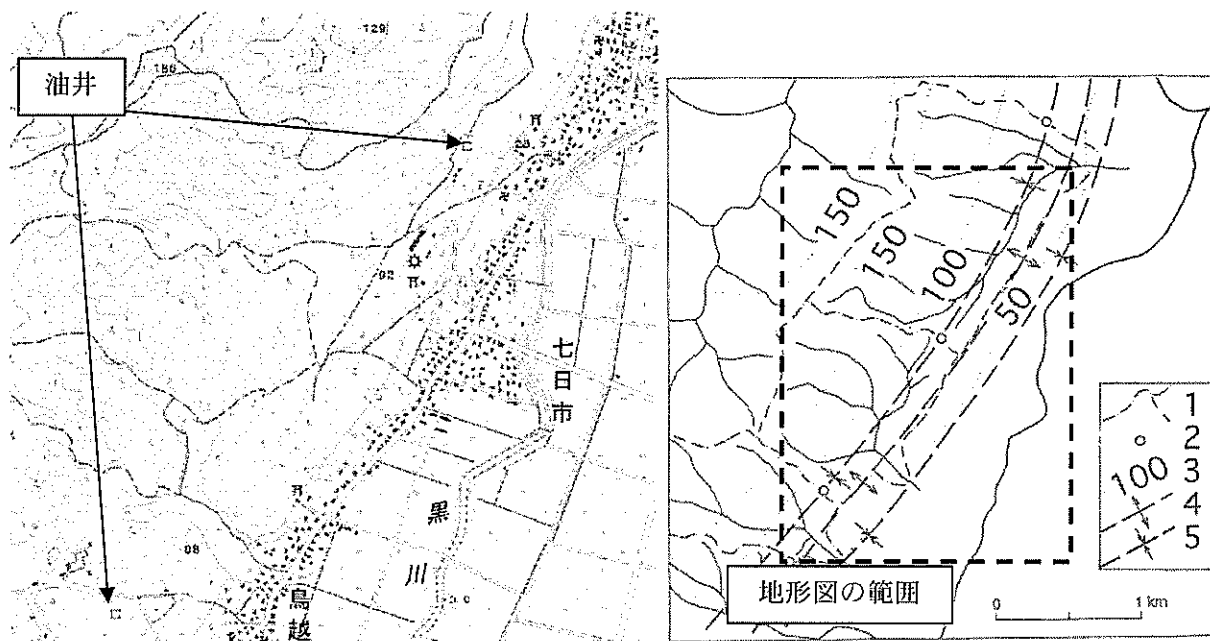
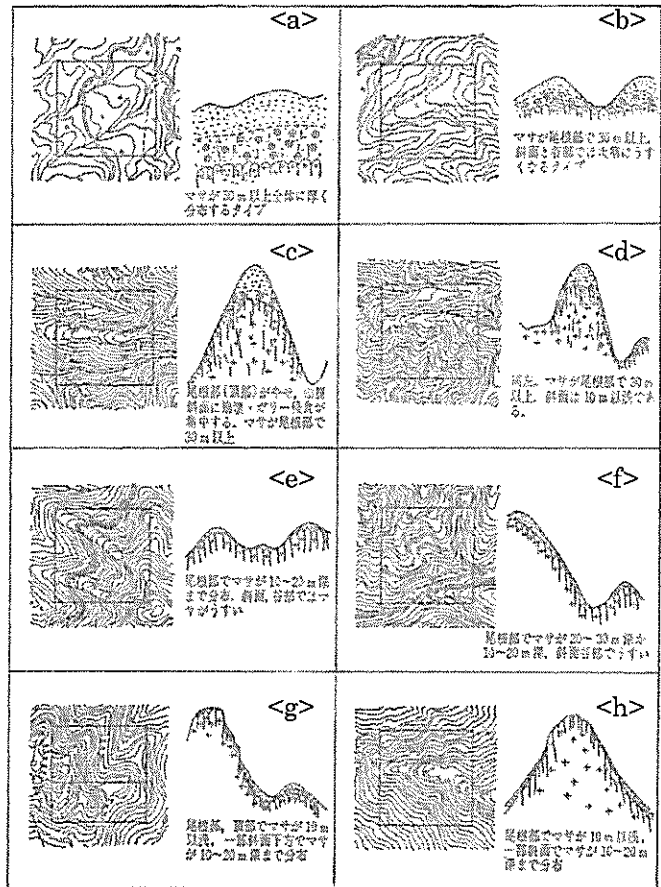


図-9 波長の短い活背斜尾根^{ix}(1: 主要分水界, 2: 接頭直線谷を伴う鞍部と谷中分水界, 3: 接峰面等高線, 4: 活背斜軸, 5 活向斜軸)

3.2 風化状況

風化状況は、斜面や谷の勾配、崖面の存在、等高線の間隔や曲線状況からおおよそ推察される。花崗岩の場合、地形と風化帯の分布状況について関係が整理されている(図-10)。たとえば、山地斜面において全体に等高線間隔は広ければ、風化帯が厚く分布すると推察される(図-10<a>)。やせ尾根状を呈しており、尾根筋が緩い勾配でかつ谷が発達している場合は、尾根部に風化帯が厚く分布すると推察される(図-10<c>)。<c>に比べてやせ尾根部の高さが低く、谷部の勾配がやや急な場合は、尾根部に風化帯がやや厚く、斜面・谷部で薄く分布していると推察される(図-10<e>)。尾根頂部に露岩の記号があり、谷部が緩斜面の場合は、尾根部では岩盤が浅く、谷部で風化帯が厚く分布すると推察される(図-10<g>)。

図-10 花崗岩類の風化形態と地形*



3.3 微地形

微地形は斜面崩壊の原因を把握するために、最も重要な地形情報である。微地形とは、山の斜面や低地部にみられる小規模な地形であり、1/5,000 よりも大縮尺の地形図で表現される(図-11)。斜面にみられる微地形には、崖、遷急線、地すべり地形、0次谷、ガリー、崩積土、崖錐などがある。崖は周囲より急な地形勾配を呈しており、崩壊しやすい箇所である。遷急線は、緩斜面が急斜面に変化する地点であり、侵食前線とも呼ばれる。斜面上の微地形は、局所的な情報である。そのため、微地形の形成過程は、斜面の安定性を把握するために重要な示唆を与える。このことから、斜面崩壊の原因を把握するためには、大縮尺の地形図による読図や現地踏査で微地形を識別することが大切である。

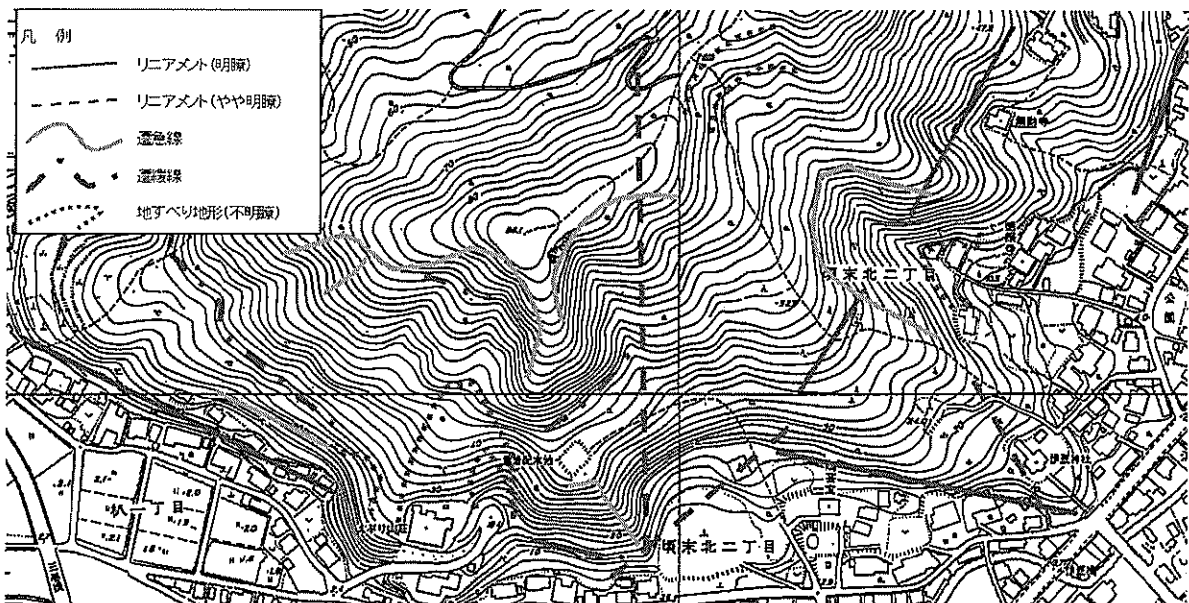


図-11 微地形の読図例【s=1:5,000】

4. 地形図の読図事例（H22 広島県庄原市内で発生した土石流災害）

4.1 土石流災害の概要

庄原地区の土石流災害は、2010年7月16日に広島県庄原市川北町内の県道445号線を中心に、3時間累積雨量173mmの集中豪雨で発生した土砂災害である。4km四方の狭い範囲に200箇所以上で崩壊が発生した。本災害の被害は、死者1名、負傷者1名、全壊家屋13棟、半壊家屋9棟であり、土石流災害37箇所、がけ崩れ災害5箇所、被害総額は43億円であった(図-12)。



図-12 庄原地区土砂災害の発生状況^{x1}

4.2 地形図の読図結果

被災箇所の1/2.5万地形図を用いて、水系模様の対接峰面異常を抽出し、地質構造を読図した(図-1)。水系模様の対接峰面異常の解釈については、表-1の記事欄を参照して、縦流河川を「断層」、並流河川を「層理」、斜流河川を「節理」とした。これにより、北東-南西方および東西方の断層、北東-南西方の層理、北北西-南南東方および北北東-南南西方の節理を判読した(図-13)。

図-4と図-1の水系図から得られる水流密度より、調査地周辺の地山の透水性を推察した。これは、調査地の水流密度(6.9~9.1km/km²)が、図-4の中谷密度の $D_3=1.9\text{km}/0.25\text{km}^2=8.0\text{km}/\text{km}^2$ であることから、透水性を中谷密度と同程度である $K=10^{-3}\text{cm}/\text{sec}=10^{-5}\text{m}/\text{sec}$ とした。3地区のうち、篠堂地区がもっとも水流密度が大きい。すなわち、3地区の中でもっとも透水性が低いと推察される。

篠堂地区は、接峰面図より北東-南西方に伸長する尾根筋に挟まれた標高450mの平坦な面に位置している。さらに、先大戸とは谷でつながっており、谷中分水界が存在する。

以上のことから、篠堂地区は、南北の丘陵地に挟まれた谷に位置すること、地山の透水性が低いこと、断層が存在することから、地表水および浸透水が集水しやすい地形であったと推察される。

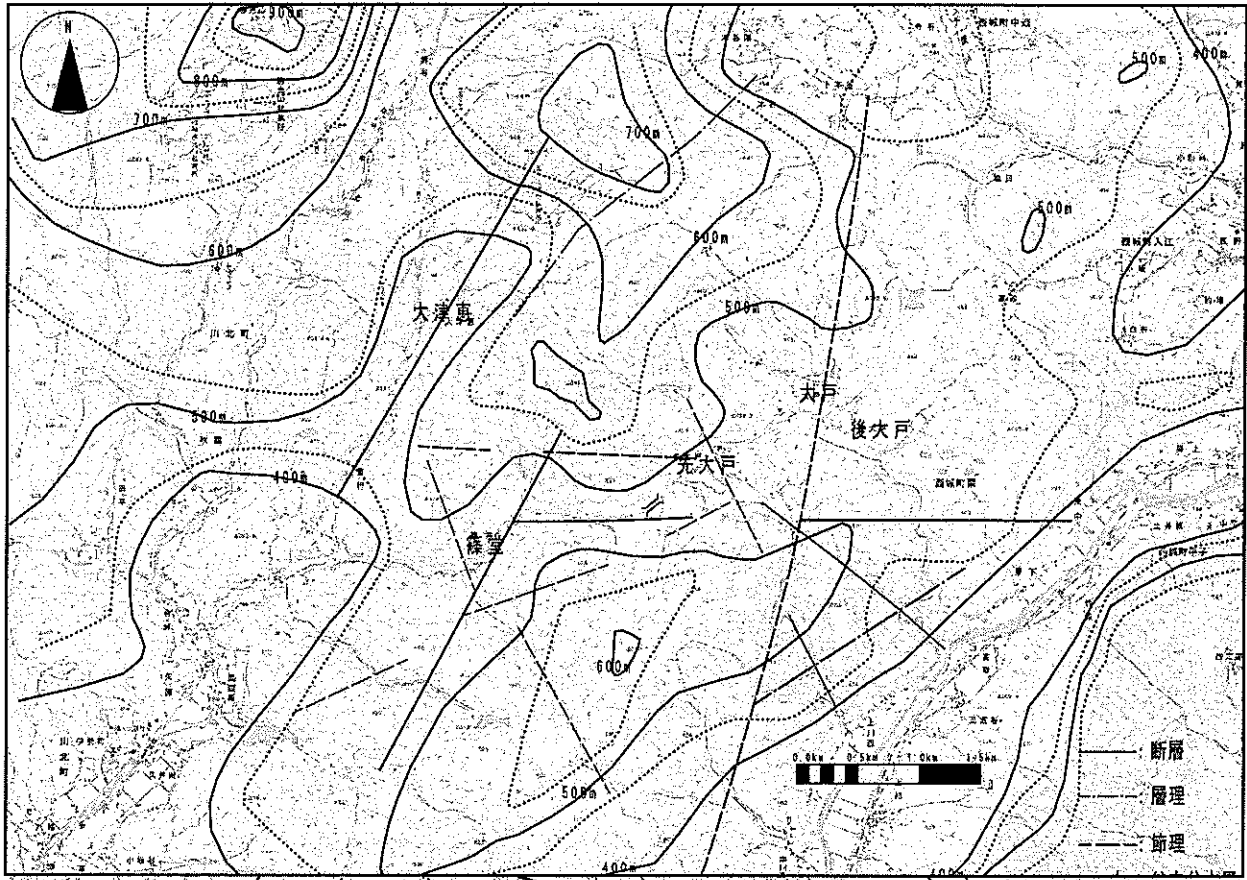
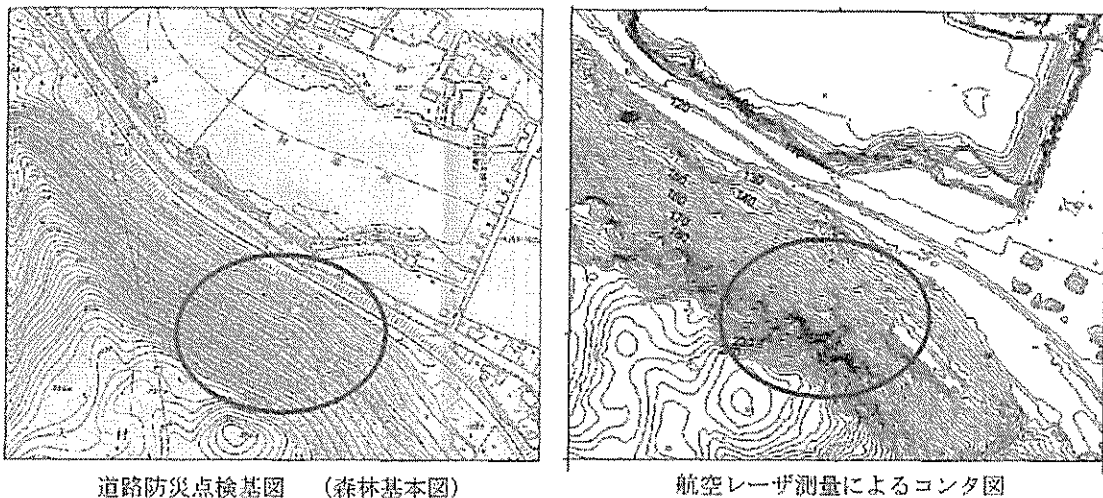


図-13 1/2,5万地形図を用いた判読結果図(接峰面図および地質構造)

5. 最近の地形測量技術

5.1 航空レーザー測量

航空レーザー測量とは、小型航空機（セスナ、ヘリコプター）に近赤外線レーザー照射器を搭載し、地面へ向けてレーザー光線を照射して、地形面の起伏を計測する技術である。本手法では、樹幹の隙間から直接的かつ客観的に樹幹下の地表面標高を計測する。さらに、1m×1mに1点以上の密度で標高データを取得する。これらのことから、森林基本図(1/5,000)や都市計画図(1/2,500)にくらべて、地形面の起伏を微細に表現できる(図-14)。得られる成果図面は、3次元の点群データと可視画像を取得することから、コンタ図、任意の地形横断図、立体図、航空写真を作成できる。



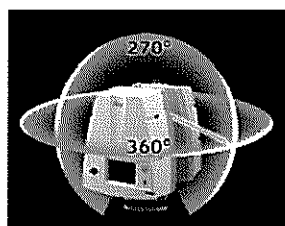
道路防災点検基図 (森林基本図)

航空レーザー測量によるコンタ図

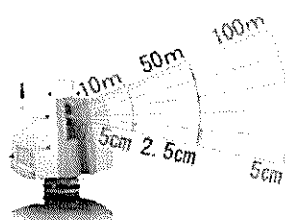
図-14 地形図の精度の違い^{xii}

5.2 固定レーザー測量

固定レーザー測量は3次元スキャナーとも呼ばれ、地上部から対象物にレーザーを照射して、構造物の変位計測や高密度の点群データの取得を行う。計測範囲は水平方向360度、鉛直方向270度、測定距離は300mまで、計測密度は100mで最大5cmである(図-15)。三脚に測定機械を設置するため、建物の中も計測できる(図-16)。活用用途は、災害現場、歴史的な建造物の保存調査、遺跡調査などがある。微地形の計測や任意の断面を取得できることから、地形解析に有力なツールになりうる。



計測範囲(模式図)



計測密度(模式図)

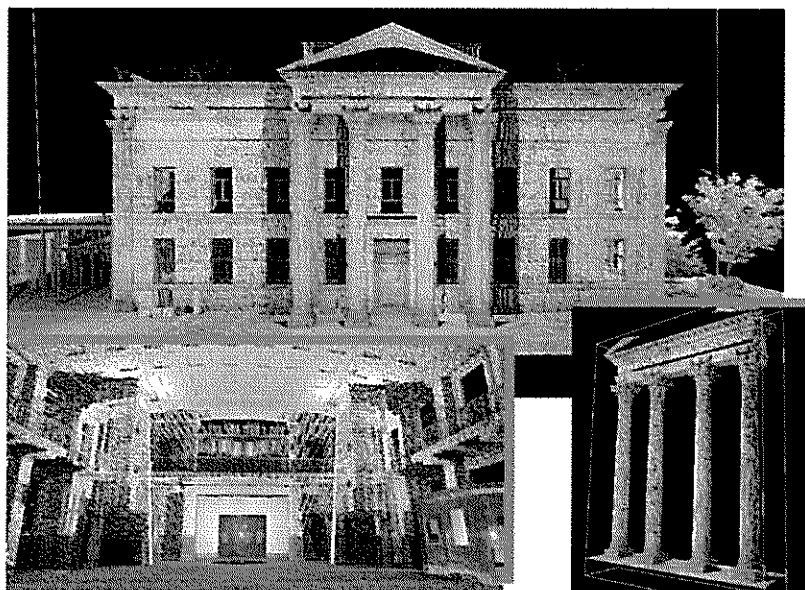


図-16 固定レーザー測量の計測例(点群データ+画像)

図-15 計測範囲・密度

6. おわりに

1/2.5万地形図の利用は、今後さらに増えるであろう。タブレット型端末を利用すれば、現場に電子化された地形図を持ち出して、簡単に拡大・縮小して閲覧できる。さらに、通信付き端末であれば、1/2.5万地形図上で自分の位置を示したり、軌跡を記録する機能が利用できる。

1/2.5万地形図は、その地域の地形・地質の概要を把握するのに適した資料である。しかし、地形図の読図作業は、専用の解析ソフトがなくほとんど手作業であることから、手間と時間を必要とする。さらに、読図の解釈には、地形の複雑さから技術者によって差が生じやすい。

(社)全国地質調査業協会連合会は、「地形と地形判読に関する知識を身につけ、“防災・減災”に役立てる人材を広く育成すること」を目的として、平成24年度より「応用地形判読士」の資格制度を設立した。我々地盤技術者は、公益確保のためにこの資格を取得する等さらに技術研鑽すべきである。

【参考文献】

- ⁱ 土田孝・一井康二・伊達裕樹・武田吉充・花岡尚：2010年7月豪雨による広島県庄原市で発生した土砂災害の調査，地盤と建設 vol.29, pp.145-159,2011
- ⁱⁱ 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地,p716,2000
- ⁱⁱⁱ 日本応用地質学会編：山地の地形工学,p52,2000
- ^{iv} 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地,p727,2000
- ^v 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第1巻 読図の基礎,p186,1997
- ^{vi} 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第3巻 段丘・丘陵・山地,p732,2000
- ^{vii} 貝塚爽平：発達地形学,p86,1998
- ^{viii} 日本応用地質学会編：山地の地形工学,p87,2000
- ^{ix} 鈴木隆介：建設技術者のための地形図読図入門 第4巻 火山・変動地形と応用読図,p1150,2004
- ^x 今村遼平・岩田健治・足立勝治・塚本哲：画でみる地形・地質の基礎知識,p64,1983
- ^{xi} 広島県ホームページ：平成22年庄原地区土砂災害の発生状況
http://www.pref.hiroshima.lg.jp/www/contents/1280731132797/files/heisei22nendo_syoubara.pdf
- ^{xii} (財)道路保全技術センター：道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等),p16,2008