

P7. 事例紹介-地形・地質からみた土石流発生・流下特性の違い

Observation Report – Difference of landslides and Debris-flow Property from Geomorphological and Geological View

○木下三郎（(株) 日航コンサルタント）

1. はじめに

本調査の目的は、地形・地質条件が異なる図-1、2に示す4溪流で想定外の被害を生じた素因を探り、将来的に土石流被害想定区域の設定精度向上、警戒避難計画や対策施設計画のための資料とすることです。また、本調査は、自治体インフラデータや公的研究機関の成果データのオープン化の流れの中で、オープンソース(QGIS, 差分処理ソフト)、公開データ(地理院、応用地質学会他)及び提供を受けたデータ(点群地形データ(国交省))を利用して、土石流の素因となる地形・地質(図-1、2)と土石流発生後の点群地形データによる微地形解析や土石流発生前・後の点群地形データ差分による土石流発生・流下特性解析の結果を合わせて検討したことを特徴とする。

2. 調査方法

本調査は、次の手順で行った。なお、調査対象は、氾濫開始点(谷出口)より上流側とした。

1) 予察図の作成

土石流発生前・後の点群地形データの標高差分計算(国土地理院 2013)により、流域内の侵食域・堆積域深度区分図や土石流発生前の点群地形データより溪流縦断面図を作成し、それらの図を基に、土石流発生・流下特性の概要を把握し、土石流発生・流下跡範囲や現地計測箇所設定等の仮設定を行い予察図とする。なお、土石流発生・流下特性区分は、発生域(崩壊型)、同(土石流化型)、発達域、堆積・発達域及び堆積域とした。また、谷出口とまとまった堆積域が始まる地点を氾濫開始点とした。

2) 現地確認による土石流発生・流下特性の確定

予察図を基に現地踏査・溪流横断面計測を行い、土石流の発生・流下による侵食・堆積状況を確認・把握し、予察図の土石流発生・流下特性区分や土石流発生・流下跡範囲を見直し・確定する。なお、土石流発生後の点群地形データを用いて微地形図(戸田堅一郎 2012)を作成し、微地形を判読し踏査範囲外についても同様に確定する。

3) 流出土砂量、侵食・堆積関係諸量の集計

QGIS(<https://qgis.org/ja/site/forusers/download.html>)を用いて土石流発生・流下跡範囲の侵食域と堆積域に関する諸量を計算し、集計グラフを作成する。流出土砂量は全体の地形変化量、侵食域土量及び堆積域土量は、侵食(プラス)、堆積(マイナス)のそれぞれ地形変化量、平均侵食深及び平均堆積深は、それぞれの量を分布域面積で割った値です。



図-1. 調査対象地域の地形
(国土地理院地図に加筆)

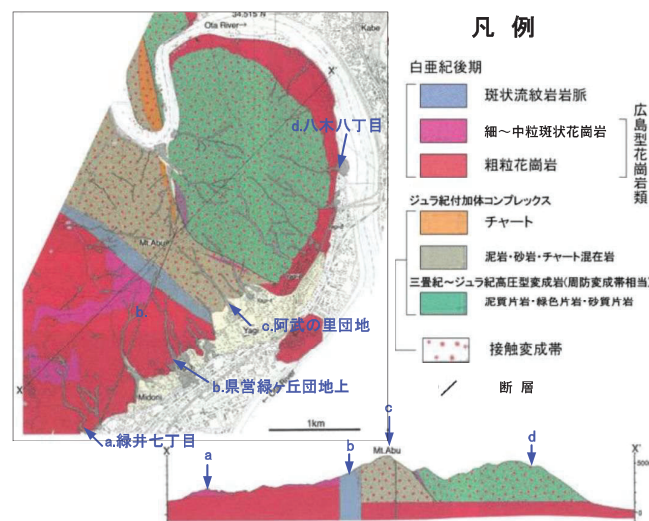


図-2. 調査対象地域の地質
(斎藤真他(地質学雑誌 2015. 9))

3. 調査結果

本調査の結果は、対象4渓流の微地形図及び土石流発生・流下跡範囲の侵食域・堆積域深度区分図・同集計の結果を図-3～6. 土石流発生・流下特性の解析図に示す。また地形・地質条件の違いを整理して、解析事項をまとめたものを表-1. 解析結果の取りまとめ一覧表に示す。

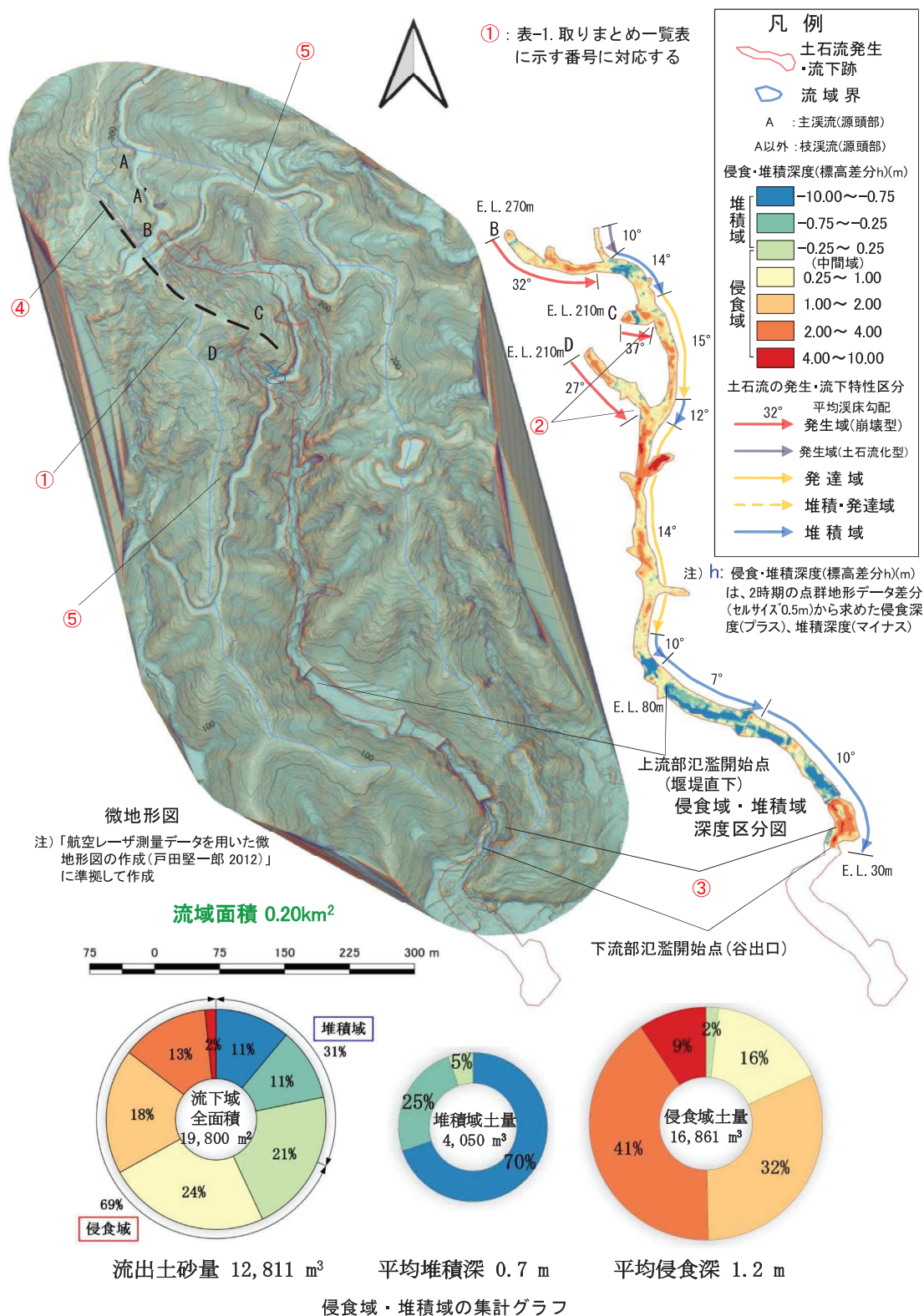


図-3. 土石流発生・流下特性の解析図(a. 緑井七丁目_広島型花崗岩)

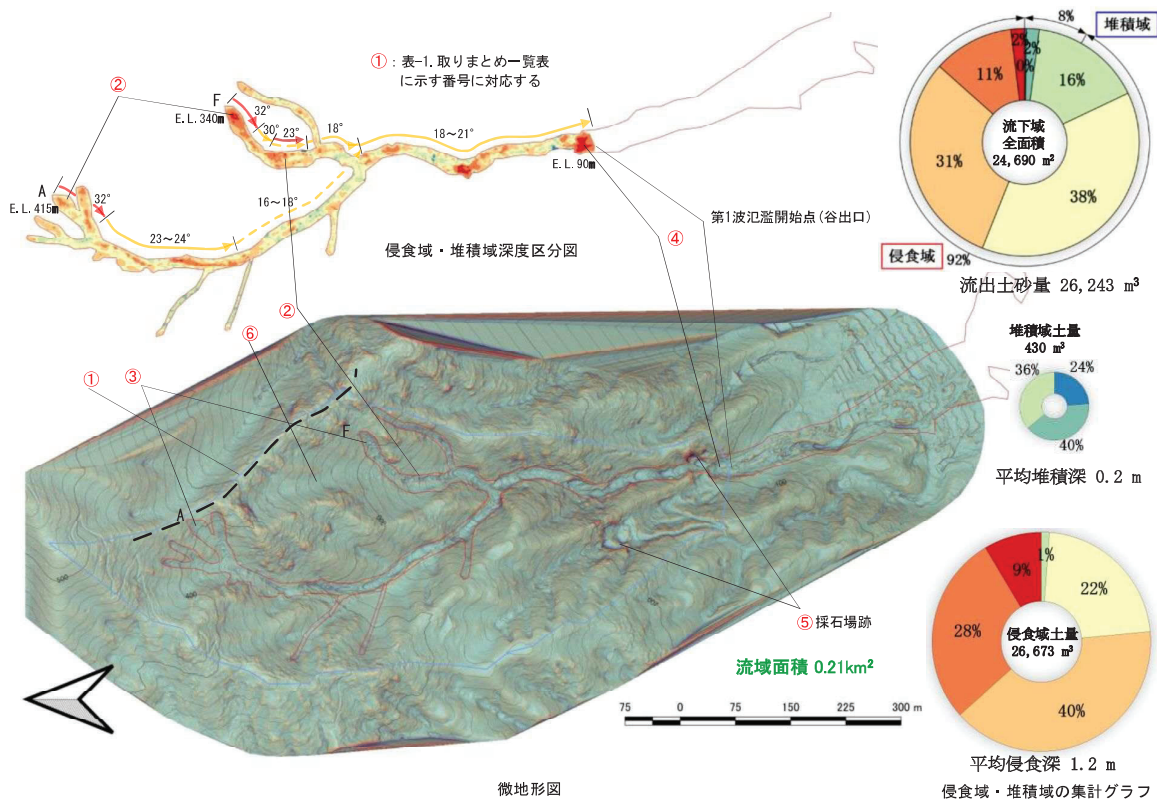


図-4. 土石流発生・流下特性の解析図(b. 県営緑ヶ丘団地上_左・右岩体境界部)

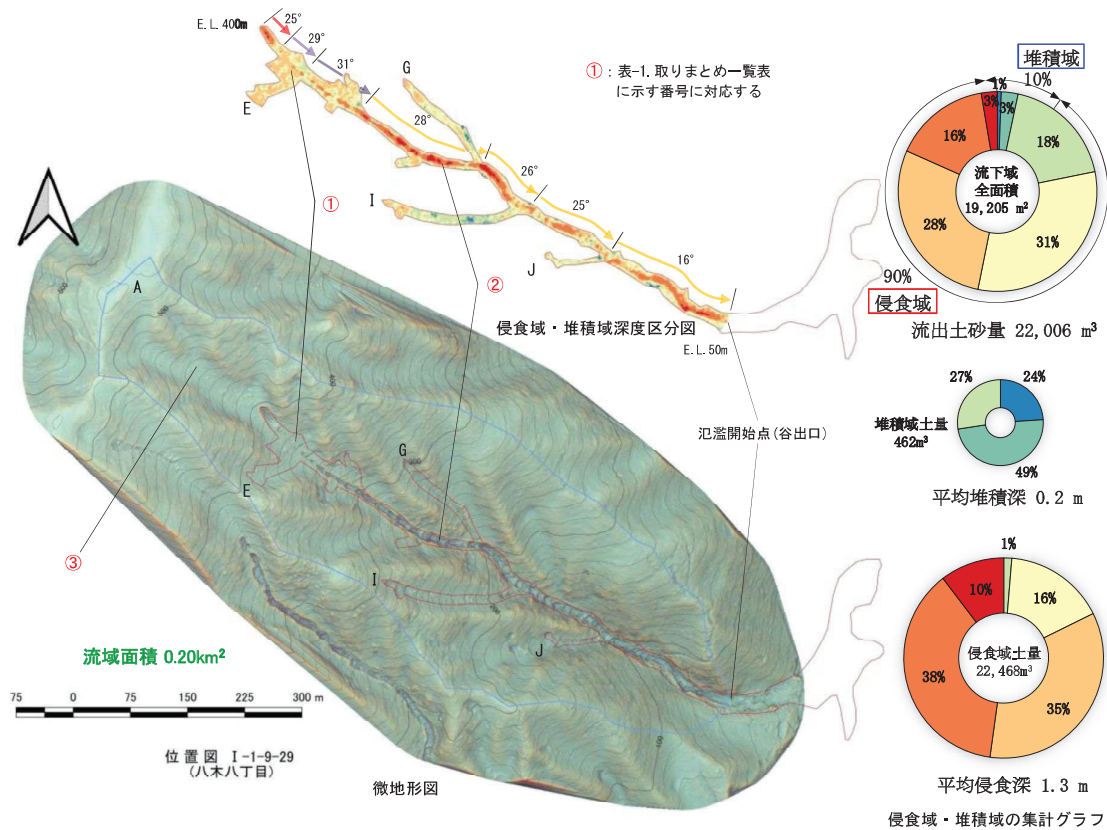


図-5. 土石流発生・流下特性の解析図
(d. 八木八丁目_三疊紀～ジュラ紀高圧型変成岩 接触変成帯)

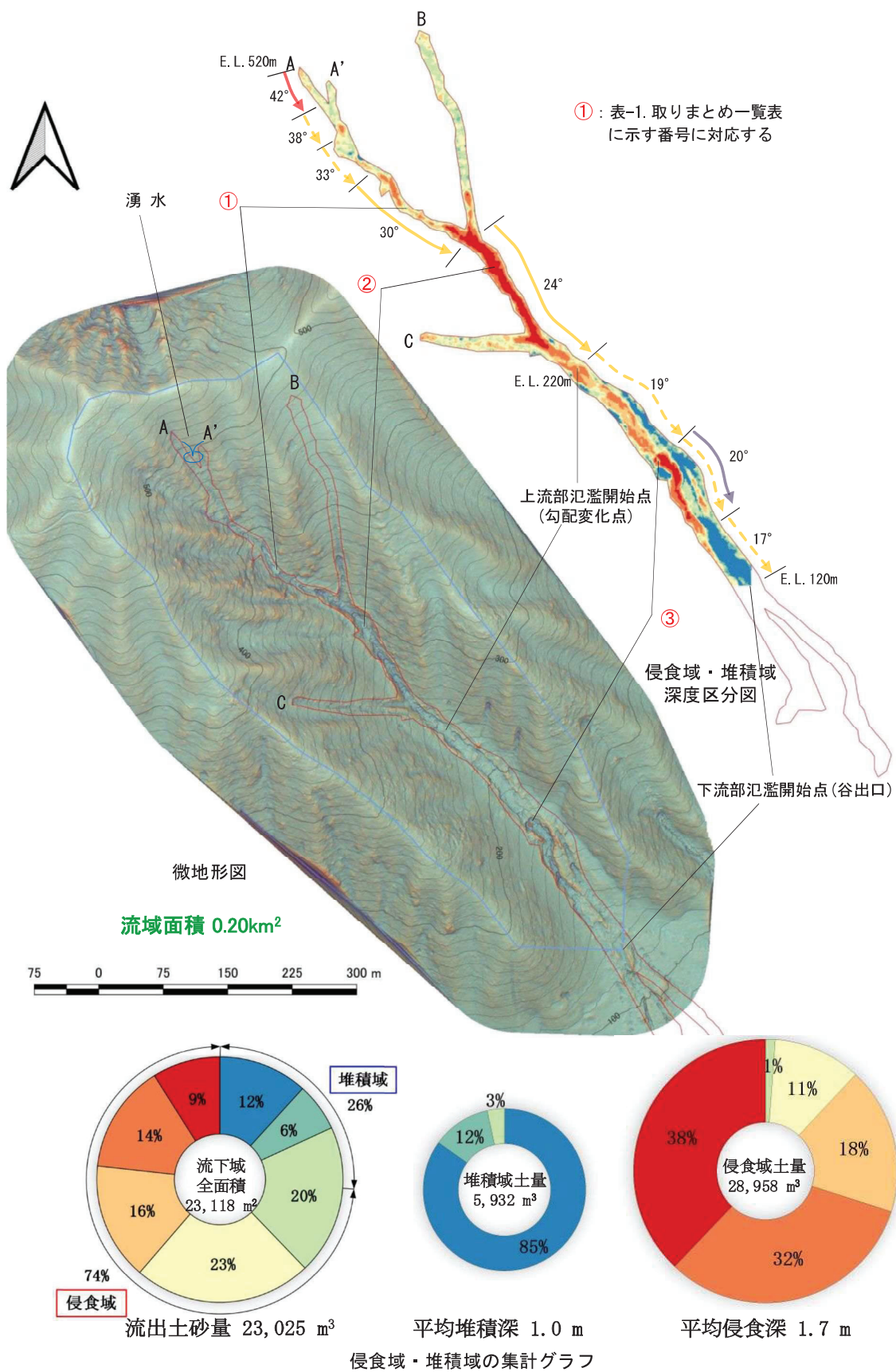


図-6. 土石流発生・流下特性の解析図
(c. 阿武の里団地_ジュラ紀付加体コンプレックス_接触変成帯)

4. 地形・地質条件と土石流の発生・流下特性

調査対象 4 溪流は流域面積がほぼ等しく、一連の尾根に対して同じ SE 方向に向いた斜面のため、誘因となる降雨条件に大きな差はないと思われる。以下に、各溪流の素因である地形・地質条件の違いと土石流の発生・流下特性を比較して述べる。なお、表-1 の記述根拠事項に付した○番号は、図-3～6 の対応する解析図の位置に同じものを示す。

1) a. 緑井七丁目(広島型花崗岩類)

●想定外：本溪流は、少なくとも 3 回土石流を発生した。土石流は下流の治山ダムで抑制されたが、谷出口付近で大きく曲流するために、攻撃側脚部侵食とその上方斜面に表層崩壊が生じた。その結果、想定外に大きな氾濫となったと推察された。

●発生域：主な土石流の発生源となった表層崩壊は、細～中粒斑状花崗岩の尾根周辺に集中する。詳細は不明であるが、名水として知られる湧水があり、比較的風化しにくい細～中粒斑状花崗岩の裂隙系に胚胎する地下水に関係することが推察される。また、一部に市道からの表流水の流入や地形改変の影響が疑われる表層崩壊がある。

●侵食域・堆積域：平均侵食深は 1.2m で、勾配は緩いが、b 溪流と同じで広島型花崗岩分布域の平均的な値と推察される。平均堆積深は 0.7m で、4 基の治山堰堤の効果で b 溪流の 3 倍以上となる。

2) b. 県営緑ヶ丘団地上(左・右岩体境界部)

●想定外：本溪流は 2 回以上の流出土砂量が大きい土石流を発生した。第 1 波氾濫開始点(土田孝他 2015)の上流で、G 枝溪流との合流点付近に大きな土砂流出量が認められる。採石による人工的な多量の不安定な土砂があって、想定外の氾濫となったと推察される。

●発生域：大きな土石流の発生源となった崩壊は、表層パイプ流に加えて、NNW 方向の尾根を形成する斑状流紋岩岩脈に関係して、裂隙系発達とそこに胚胎する地下水にも起因すると推察される。F 枝溪流中流部の発生域(土石流化型)は、岩盤部を含めた侵食であるが、左岸側上方の広い集水地形で集水された水圧の影響があると推察される。

●侵食域・堆積域：平均侵食深は 1.2m で、勾配が急で堆積域はほとんどないが、a 溪流と同じで広島型花崗岩分布域の平均的な値と推察される。平均堆積深は 0.2m で極めて小さい。これは堆積域が小さく勾配が急なことを反映する。堆積域は急勾配のところでも勾配変化点に認められる。

3) c. 阿武の里団地(ジュラ紀付加体コンプレックス 接触変成帯)

●想定外：本溪流は、3 回程度の土石流を発生した。上流部氾濫開始点が谷出口より約 350m 上流ある。ここは勾配変化点にあたる。その下流は堆積域となるが、その中に 2 次的な発生域(土石流化型)が生じた。この発生域に 2 つの流下経路が出来て、その一方の流下経路は従来と異なる流下方向を取って想定外の被害となった。

●発生域：風化に強い変形の少ない混在岩が分布し、土石流の発生源は表層パイプ流に起因する小規模な表層崩壊である。一方、源頭部付近にも湧水箇所があり、崩壊は裂隙系に胚胎する地下水も関係することが推察される。

●侵食域・堆積域：平均侵食深は 1.7m で、最も大きい。混在岩は急勾配でブロック化し侵食されて土石流を発達させる。平均堆積深も 1.0m で最も大きい。本地域の土石流は岩石ブロック含有率が高く、上流部氾濫開始点から岩石ブロックを堆積する。

4) d. 八木八丁目(三畳紀～ジュラ紀高圧変成岩 接触変成帯)

●想定外：本溪流は、大きな流出土砂量の土石流を 1 回発生した。この流出土砂量は比較的大きく、想定外の範囲まで土砂流出があった。

●発生域：主溪流の上流部は、広い凹型集水地形を示す。その周辺斜面の結晶片岩は崩落・堆積して岩屑堆積物となる。発生域(崩壊型、土石流化型)はこの岩屑堆積物の中に生じた。このタイプの発生域は大きな土砂流出となると推察される。

●侵食域・堆積域：平均侵食深は 1.3m で、広島型花崗岩地域よりわずかに大きい。平均堆積深は 0.2m で極めて小さい。これは b 溪流と同じように堆積域が小さく勾配が急なことを反映する。一方、本溪流は b 溪流と違って勾配変化点がなく、氾濫開始点まで発達域が連続する。

5. まとめ

本調査の結果から、想定外の土石流被害は、対象 4 溪流とも素因である地形・地質条件に起因することが判明した。一方、キーとなる要因は、それぞれ谷出口付近の曲流、谷出口付近の人

表-1. 解析結果の取りまとめ一覧表

地 質	a. 緑井七丁目 (広島型花崗岩類)	b. 県営緑ヶ丘住宅上 (左・右岩体境界部)	c. 阿武の里団地 (ジュラ紀付加体コンプレックス 接触変成帯)	d. 八木八丁目 (三量紀～ジュラ紀高圧型変成岩 接触変成帯)
	粗粒花崗岩は一般に等粒状で風化して真砂になるのに対し、細粒～中粒斑状花崗岩は基質が細粒で1cmを越える石英、カリ長石の結晶を含み、風化を被って真土色を呈する程度で、真砂になりにくい	主に粗粒花崗岩が分布する。上流部は、斑状流紋岩脈が卓越し、④NNW方向に伸び920mを越える厚さのところがある。これを境に地質構造が大きく異なる。風化に強く急斜面をつくる	渥在岩は、泥質基質に砂岩、チャート、石灰岩のブロックを含む。変形は弱く、引き延ばされたようなブロック状ではない。接触変成作用を被っている。風化に強く急斜面をつくる	結晶片岩類は泥質片岩と斑状泥質片岩からなり、砂質片岩も伴う。基質質片岩は風化すると赤褐色を示す。砂質部に含むものでは、砂岩が引き延ばされたブロック状になっているところがある。接触変成作用を被っている。上流部に岩屑堆積物が広く分布する
地 形	権現山 (E. L. 396. 8m) 付近の山地	標高差約200mを繋ぐ山地 (鞍部E. L. 306m)	阿武山 (E. L. 585. 9m) 付近の山地	阿武山に続く山地 (山頂部 E. L. 534m)
	開析が進み、谷出口は2次谷となる	開析は相対的に遅く、谷出口は1次谷である		
土 石 流 発 生 ・ 流 下 の 特 性	B渓流とC、D渓流の土石流発生・流下跡の標高差は240、180m ●発生域(崩壊型): B、C、D枝渓流(勾配32°、37°、27°)で発生した表層崩壊を引き金として主たる土石流が発生した ①崩壊が集中する尾根は、細～中粒斑状花崗岩が分布し、その道路沿いに湧水箇所がある ●発達域: 勾配14～15°で比較的緩い ●中流の堆積域: 土石流を生じた枝渓流との合流点付近(勾配14°、12°)が堆積域となる ●下流の堆積域: 治山堰堤の効果で、流出土砂が堆積する(勾配7～10°) ●谷出口とは別の上流氾濫開始点は最上流の堰堤の直下で、堆積域が広がるところとする ②合流点の侵食域・堆積域パターン(以下色相パターン)から判定すると、土石流の発生順番はB→C→D枝渓流となる ③谷出口上流の曲流地点に攻撃側脚部侵食とその上方斜面の表層崩壊がある	A渓流とF渓流の土石流発生・流下跡の標高差は325、250m ●発生域(崩壊型): 源頭部A、F付近の複数の崩壊(勾配32°)を引き金として土石流が発生した ②発生域(土石流化型): F枝渓流の中流部谷底で花崗岩中に幅4m、長さ10m、深さ3mの崩壊が生じて、土石流化した ●発達域: 上流側で23～24°、下流側で18～21°と急こう配を示す ●堆積・発達域: 開始点は勾配変化点付近にあり、その変化はA渓流側で23～24°→16°→18°、F渓流側で30→23°を示す ③A渓流は強風化層の表層崩壊で、F渓流はコアストーン分布域の比較的深い崩壊である(③微地形図では、深い崩壊の方が等高線の乱れる) ④第1波氾濫開始点直上流(勾配18°)、G枝渓流との合流付近に大きな土砂流出がある ⑤G枝渓流沿いは、深い崩壊の上方が等高線変がある	土石流発生・流下跡の標高差は400m ●発生域(崩壊型): A、A'、B、C渓流は色相パターンから同じ崩壊タイプとして、A渓流の観察結果から表層崩壊(勾配42°)を引き金として土石流が発生した ●発達域: 上流側で30°、下流側で24°を示し、最も急こう配を示す ①強風化層は薄く崩壊規模は比較的小さいが、土石流流下とともに亀裂が多くブロッコ化した岩盤を取り込む ②発達域の色相パターンをみると、侵食域の幅・深さが最も大きい ●堆積・発達域: 開始点(上部氾濫開始点)は勾配変化点付近で、24°→19°を示す。開始点の下流は谷出口まで堆積・発達域で、堆積域の形成後に侵食・流下したように侵食域が分布する ③下流の発生域(土石流化型): 堆積・発達域中流部の滝を形成する程の侵食・崩壊は、土石流化により生じたものと判断した。この開始点より下流は大きな勾配変化はないが、谷出口(勾配17°)に向かって、次第に堆積域が大きくなる	主渓流の土石流発生・流下跡の標高差は350m ●発生域(崩壊型、土石流化型): A主渓流沿いの発生域(勾配25～31°)は、幅が広く、源頭部でなく谷中にある。 ①この付近には、崩壊型と土石流化型の両方の土石流タイプがある。発生域は周辺斜面から崩落・堆積した岩屑堆積物の分布地域である ●発生域(崩壊型): G、I、J渓流は、色相パターンからみると、A渓流と異なり表層崩壊を引き金として土石流化した ●発達域: A主渓流では上流～中流側で25～28°とほぼ一定した急こう配で下流側で16°の勾配を示す ②A主渓流をみると、発生域から発達域に移ると谷出口(氾濫開始点)まで、ほとんど堆積域がない。また、発達域の幅は比較的狭く、その延長は最も長い(②微地形図では、階段状侵食地形が発達しているのを判読)
侵食域・堆積域の集計結果	●堆積域の面積比率が31%と他の3渓流と比較して最も大きい ●平均堆積深は中間で、平均侵食深はb渓流とほぼ同じ ●流出土砂量は最も小さい	●堆積域の面積比率が8%でd渓流とほぼ同じくらいで、a、c渓流と比較して著しく小さい ●平均堆積深は最も小さく、平均侵食深はa渓流と同じ ●流出土砂量は最も大きい	●堆積域の面積比率は26%とa渓流よりやや小さいが、比較的大きい ●平均堆積深、平均侵食深とも、最も大きく、平均堆積深はb、d渓流の5倍となる ●流出土砂量は2番目に大きい	●堆積域の面積比率が10%で、a、c渓流と比較して著しく小さい ●平均堆積深はb渓流と同じで、平均侵食深はa、b、d、c、e、f、g、h、i、j、k、l、m、n、o、p、q、r、s、t、u、v、w、x、y、z、aa、ab、ac、ad、ae、af、ag、ah、ai、aj、ak、al、am、an、ao、ap、aq、ar、as、at、au、av、aw、ax、ay、az、ba、bb、bc、bd、be、bf、bg、bh、bi、bj、bk、bl、bm、bn、bo、bp、bq、br、bs、bt、bu、bv、bw、bx、by、bz、ca、cb、cc、cd、ce、cf、cg、ch、ci、cj、ck、cl、cm、cn、co、cp、cq、cr、cs、ct、cu、cv、cw、cx、cy、cz、da、db、dc、dd、de、df、dg、dh、di、dj、dk、dl、dm、dn、do、dp、dq、dr、ds、dt、du、dv、dw、dx、dy、dz、ea、eb、ec、ed、ee、ef、eg、eh、ei、ej、ek、el、em、en、eo、ep、eq、er、es、et、eu、ev、ew、ex、ey、ez、fa、fb、fc、fd、fe、ff、fg、fh、fi、fj、fk、fl、fm、fn、fo、fp、fq、fr、fs、ft、fu、fv、fw、fx、fy、fz、ga、gb、gc、gd、ge、gf、gg、gh、gi、gj、gk、gl、gm、gn、go、gp、gq、gr、gs、gt、gu、gv、gw、gx、gy、gz、ha、hb、hc、hd、he、hf、hg、hh、hi、hj、hk、hl、hm、hn、ho、hp、hq、hr、hs、ht、hu、hv、hw、hx、hy、hz、ia、ib、ic、id、ie、if、ig、ih、ii、ij、ik、il、im、in、io、ip、iq、ir、is、it、iu、iv、iw、ix、iy、iz、ja、jb、jc、jd、je、jf、jg、jh、ji、jj、jk、jl、jm、jn、jo、jp、jq、jr、js、jt、ju、jv、jw、jx、jy、jz、ka、kb、kc、kd、ke、kf、kg、kh、ki、kj、kk、kl、km、kn、ko、kp、kq、kr、ks、kt、ku、kv、kw、kx、ky、kz、la、lb、lc、ld、le、lf、lg、lh、li、lj、lk、ll、lm、ln、lo、lp、lq、lr、ls、lt、lu、lv、lw、lx、ly、lz、ma、mb、mc、md、me、mf、mg、mh、mi、mj、mk、ml、mm、mn、mo、mp、mq、mr、ms、mt、mu、mv、mw、mx、my、mz、na、nb、nc、nd、ne、nf、ng、nh、ni、nj、nk、nl、nm、nn、no、np、nq、nr、ns、nt、nu、nv、nw、nx、ny、nz、oa、ob、oc、od、oe、of、og、oh、oi、oj、ok、ol、om、on、oo、op、oq、or、os、ot、ou、ov、ow、ox、oy、oz、pa、pb、pc、pd、pe、pf、pg、ph、pi、pj、pk、pl、pm、pn、po、pp、pq、pr、ps、pt、pu、pv、pw、px、py、pz、qa、qb、qc、qd、qe、qf、qg、qh、qi、qj、qk、ql、qm、qn、qo、qp、qq、qr、qs、qt、qu、qv、qw、qx、qy、qz、ra、rb、rc、rd、re、rf、rg、rh、ri、rj、rk、rl、rm、rn、ro、rp、rq、rr、rs、rt、ru、rv、rw、rx、ry、rz、sa、sb、sc、sd、se、sf、sg、sh、si、sj、sk、sl、sm、sn、so、sp、sq、sr、ss、st、su、sv、sw、sx、sy、sz、ta、tb、tc、td、te、tf、tg、th、ti、tj、tk、tl、tm、tn、to、tp、tq、tr、ts、tt、tu、tv、tw、tx、ty、tz、ua、ub、uc、ud、ue、uf、ug、uh、ui、uj、uk、ul、um、un、uo、up、uq、ur、us、ut、uu、uv、uw、ux、uy、uz、va、vb、vc、vd、ve、vf、vg、vh、vi、vj、vk、vl、vm、vn、vo、vp、vq、vr、vs、vt、vu、vv、vw、vx、vy、vz、wa、wb、wc、wd、we、wf、wg、wh、wi、wj、wk、wl、wm、wn、wo、wp、wq、wr、ws、wt、wu、wv、ww、wx、wy、wz、xa、xb、xc、xd、xe、xf、xg、xh、xi、xj、xk、xl、xm、xn、xo、xp、xq、xr、xs、xt、xu、xv、xw、xx、xy、xz、ya、yb、yc、yd、ye、yf、yg、yh、yi、yj、yk、yl、ym、yn、yo、yp、yq、yr、ys、yt、yu、yv、yw、yx、yy、yz、za、zb、zc、zd、ze、zf、zg、zh、zi、zj、zk、zl、zm、zn、zo、zp、zq、zr、zs、zt、zu、zv、zw、zx、zy、zz
微地形図の判読・利点	④判定が難しい流域界 ⑤道路沿いの崩壊	①発生域(崩壊型、土石流化型)の状況(深い侵食痕、⑥上方の広い集水地形)や⑤地形変化の状況	③堆積・発達域中流部の滝を形成する侵食・崩壊	①発生域(崩壊型、土石流化型)の状況(点状の侵食痕、③上方の広い集水地形)
	●発生域の崩壊・侵食状況の判読は、侵食域・堆積域深度区分図より正確	●発達域の階段状侵食地形の階段密度は、侵食の大きさと関係する		