

P-13. 風化花崗岩の崩壊面の形態を規制する風化帯構造と根系

Weathering Zone and Plant-Root Systems as Controlling Factors of The Slope Failure Morphology of Weathered Granite

○ 藤田勝代 ((財)深田地質研究所)・横山俊治 (高知大学)

1. はじめに

2003年7月18-20日、梅雨前線の活発化で発生した集中豪雨は九州各地に甚大な被害をもたらした。福岡県太宰府市では17日午前1時から19日午前8時にかけて、観測史上最大となる総降水量361mm、最大時間降雨量104mmが記録され多くの斜面崩壊や土石流などの土砂災害が発生した¹⁾²⁾。同年8月、筆者らは太宰府市四王寺山南東部で現地踏査を行ない、四王寺林道沿いに斜面崩壊が多数発生しているのを確認した。林道沿いの斜面崩壊は自然斜面でごく少なく、そのほとんどはかつて林道建設時に掘削された切土斜面で発生している。いずれも崩壊深1m未満の表層崩壊であるが、崩壊面には特徴的な形態が残されている。また、崩壊した部分は樹木の根系が発達する領域であることから、稲垣(2000)によって滋賀県鈴鹿山脈の花崗岩地域で報告された「根系層崩壊」と多くの共通点が認められる³⁾⁴⁾。本論では、切土斜面の崩壊に特徴的に認められる崩壊面の形態と根系層崩壊の実態を調べ、本地域で豪雨時に発生した風化花崗岩の切土斜面における崩壊様式を明らかにする。

2. 調査地域の概要

2.1 地形と地質

調査地域は福岡県福岡市博多区から南東約10km、太宰府天満宮の北西に位置する四王寺山の南東斜面である。四王寺山南部は全体的に開析が進み、南西・南東斜面が急傾斜を成しているが、その接合部にあたる比較的緩傾斜な凸形斜面に四王寺林道はつくられている。ここは開析が進んでいないことから周辺よりも風化層が厚いことが推定される。林道沿いには、後期白亜紀の花崗岩である粗粒の黒雲母アダメロ岩の早良花崗岩が分布し⁵⁾、その中を幅数cm～数10cmのアプライト脈がしばしば走っている。また、山頂小起伏面には閃長岩の小岩体が点在分布する。

2.2 花崗岩の風化状況

通常、林道沿いの斜面は灌木や草木に覆われているが、豪雨で現われた崩壊面の観察から花崗岩の風化状況を確認出来た。地表部には表層堆積物が分布し、その下には上位からDL、DM、DHの3等級に分類できるマサが分布する。風化の区分は山県ほか(1984)⁶⁾を用い、赤色化し素手で握ると固まりになる程度の粘土分をもつものをDL、ハンマーで掻くと細かい砂状に崩れるものをDM、表面がざらざらでハンマーで引っ掻いても崩れにくい打撃により礫状～砂状に崩れるものをDHとした。D級岩盤には数ミリメートルオーダーの間隔をもち緩傾斜で平行なクラック群を呈するラミネーションシーティングが形成されている⁷⁾。ラミネーションシーティングがもっとも明瞭に認められるのはDHで、DMではやや不明瞭になる。DLになると化学的風化による赤色化が著しくほとんど確認は不可能だが、かつてはラミネーションシーティングの形成があったことが推察される。D級岩盤の下位には角礫状に割れるCLが分布し、林道沿いで確認できるのはCLまでである。その下位に分布するCM～CH級の花崗岩は開析の進んだ谷の河床で認められるのみである。

2.3 林道沿いの斜面崩壊

林道沿いの切土斜面の高さは4～15m程度で15mを越えるものは少ない。勾配は自然斜面でほぼ

40° 前後, 切土斜面で 60~70° 前後である。林道へ流出した崩壊土砂は土嚢で囲われていたため移動・堆積域の情報は失われていたが, 崩壊域はほとんど手つかずの状態が残っていた。調査範囲は「国民年金健康保養センター太宰府」の建つ太宰府市連歌屋三丁目を出発点とし, 岩屋山と水瓶山の間を通り, 遷急線を形成する四王寺山脈までの全長約 3.5km である (図1)。計 50 箇所崩壊が確認され, 斜面のタイプ別にみると自然斜面 8% (4 箇所), 切土斜面 70% (35 箇所), 盛土斜面 22% (11 箇所) となった。この結果から, 2003 年 7 月の豪雨によって, 自然斜面はほとんど崩れず, その多くは切土・盛土といった人工斜面で崩壊が発生したことが明らかになった。

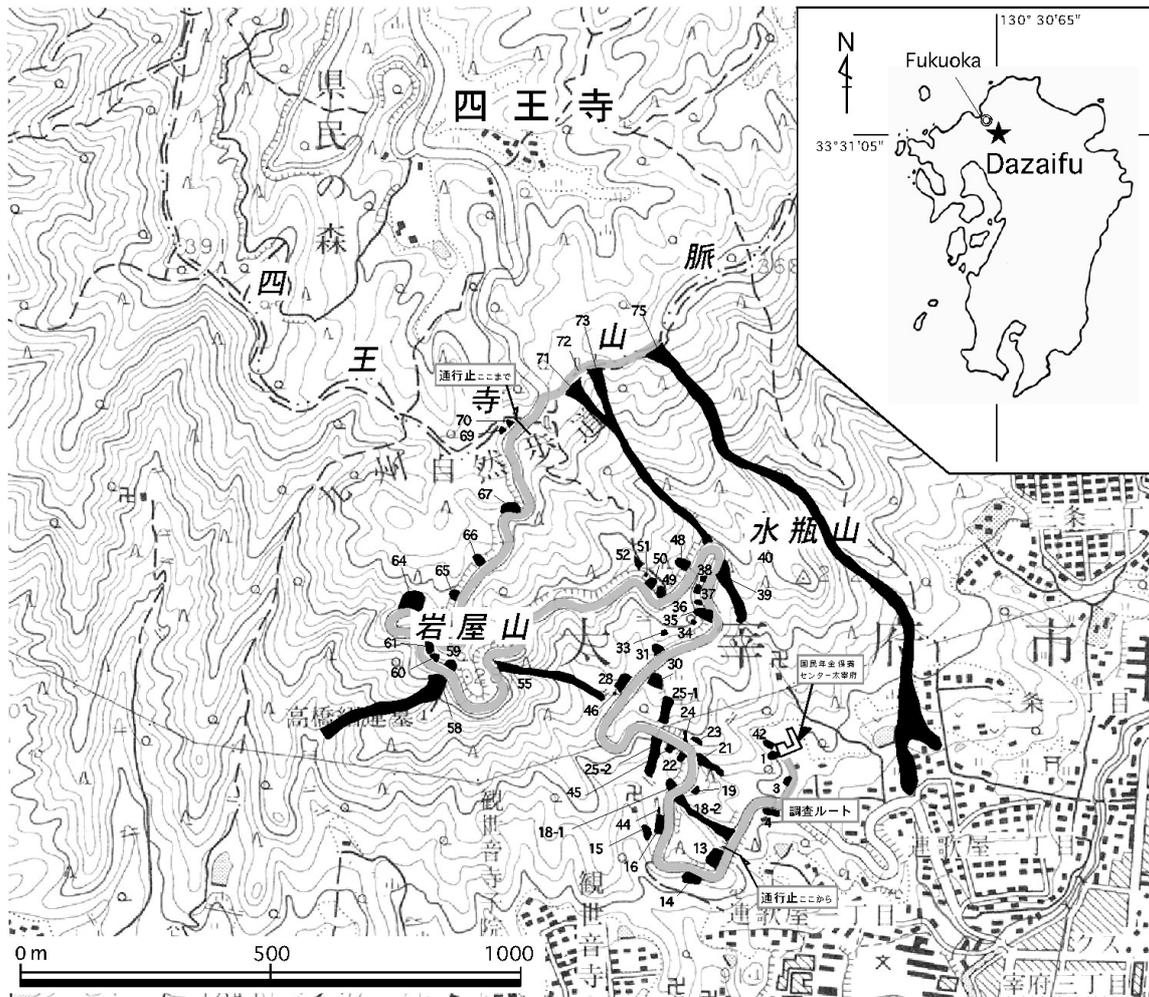


図1 調査ルートと崩壊箇所の分布 (黒色部分は崩壊箇所, 番号は作業番号)

3 切土斜面の崩壊の特徴

3.1 崩壊面の形態

切土斜面の崩壊は全崩壊の7割を占めている。いずれも崩壊深1m未満の表層崩壊であるが, その崩壊面に残された形態は一様ではない。そこで崩壊面の形態に注目し, 崩壊面の形が似ているものを斜面型の9種区分(鈴木, 1977)⁸⁾に基づき次の3タイプに分類した(図2)。

タイプⅠ (等斉直線斜面) : 崩壊面は全体的にほとんど平らで断面は直線をなす。崩壊面上部では, 樹木の根が落ちきっていない場合, 表土がひさしのように残り樹根が垂れ下がるほか, パイプ孔が確認できる。DM-DH級岩盤に多くみられる。

タイプⅡ (凹型谷型斜面) : 崩壊面は上部から下部にかけて緩い凹型を呈し, 断面はお椀型・スプー

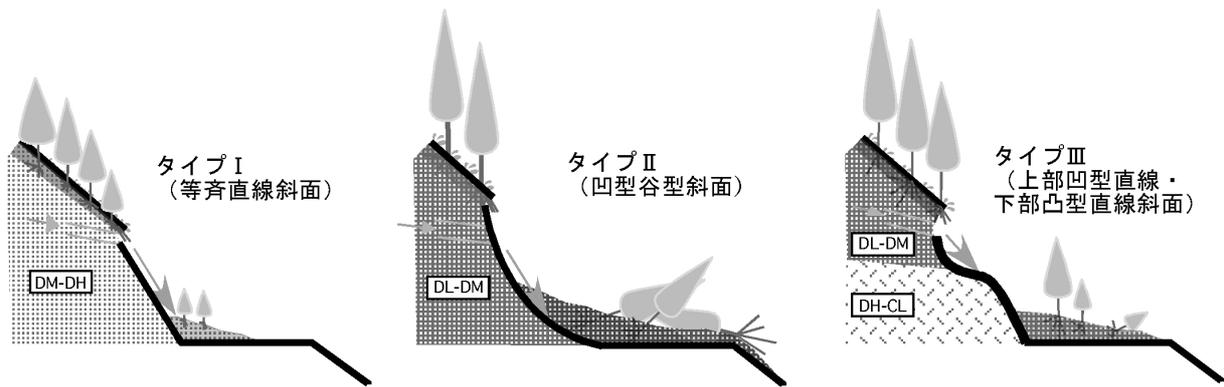


図2 切土斜面に認められる崩壊面の形態の分類

ン型にえぐれた形をなす。崩壊面上部では、樹木の根が落ちきっていない場合、表土がひさしのように残り樹根が垂れ下がるほか、パイプ孔が認められる。赤色化した表土や DL-DM 級岩盤に多くみられる。

タイプⅢ（上部凹型直線・下部凸型直線斜面）:崩壊面上部は表層堆積物あるいは DL-DM 級岩盤は凹形にえぐれる。上部と下部の境界で緩やかな凸型を呈し、下部は平面をなす。タイプⅠと同様に、崩壊面上部には樹木の根が落ちきっていない場合、表土がひさしのように残り樹根が垂れ下がっているほか、表層堆積物中にはパイプ孔が確認できる。崩壊面下部は DH-DM 級岩盤であることが多い。上部が崩壊したため凸形に見えるが、元の斜面の状態に近く、わずかに植生が残っていることもある。

3.2 崩壊面と根系

切土斜面の崩壊において、崩壊面に植生が残っていることはほとんどないが（上記タイプⅢの下部岩盤では稀に認められる）、いずれの崩壊面にも上部や側方部から樹木の根が多数垂れ下がっている。また崩壊堆積物中には小高木～高木がそのまま立木で残っている例も多いことから、切土斜面の崩壊は根系の発達した領域ごと崩れたと考えられる。このような斜面崩壊と植生の関連の重要性は「根系層崩壊（稲垣,1999）⁴⁾」で論じられている。「根系層崩壊」とは表層崩壊の中でもその崩壊土層の内部構造が根系により緊縛された表土からなるものをいい、斜面崩壊に対する植生の関与を意味したことばとして用いられている。そこで、本地域でも切土斜面に認められる崩壊面と根系との関係に着目し、代表的な 2 地点、A 地点（図 1-loc.69,70）、B 地点（図 1-loc.65）において詳細な観察をおこなった。

1) A 地点の崩壊の状況（図 3）

崩壊面上部は表層堆積物、下部は DH-DM 級岩盤と CL-DH 級岩盤からなる。下部の岩盤にはそれぞれ緩傾斜のラミネーションシーティングの形成が認められる。崩壊深は 40cm 未満であるが、表層堆積物のほうがやや凹型のため、下部が凸型に見えるタイプⅢを呈する（図 2）。崩壊面の傾斜は表層堆積物 65°、DH-DM 級岩盤の節理面 70°、それより下位で 62° である。地表植生は、ヤシャブシの高木が目立つが、ササ、アカガシ、マツ、ヌルデ、ヒサカキ、クリ、コナラなどの小高木が密生する。崩壊面にはヤシャブシの根が張り付いており、根の表面にキズがあることから、ここではヤシャブシの根と節理面を境界に崩壊したと考えられる。また、崩壊面の側方で認められる崩壊断面から、切土面に根付いた樹木の根系は斜面に対して垂直ではなく、斜面に平行して発達しているのが観察された。表層堆積物中には楕円型や直径 10cm 以下のパイプ孔後が多数認められる。そのほ

か、崩壊面を取り巻くように古い破れたネットがかけられていることから、過去にも崩壊履歴があると推察される。

2) B 地点の崩壊の状況 (図 4)

崩壊面上部は明瞭な堆積層をもつ表層堆積物、崩壊面下部は緩傾斜のラミネーションシーティングの形成をともなう不均質な DH-DM 級岩盤からなる。表層堆積物の崩壊深は 1m と厚く凹型をなしパイプ孔が多数確認され、根系をともなったごく表層部が廂のように突き出している。一方、DH-DM 級岩盤の崩壊深は厚いところでも 30cm 未満である。崩壊面の傾斜は表層堆積物 52°、DH-DM 級岩盤の節理面 48°、それより下位は 55° と 60° である。A 地点と同様に表層堆積物と DH-DM 級岩盤を境界は緩やかに凸型を呈しタイプⅢの形態にあてはまる。地表植生はヤシャブシの高木が多く、そのほかササ、ネジキ、クリが繁茂する。崩壊面にはこれらの根系が崩壊面上方と側方から垂れ下がっており、崩壊以前の地盤には、植生が繁茂していたことが推察される。また A 地点と同様に崩壊面を取り巻くように古い破れたネットがかけられていることから、過去にも崩壊履歴があると推察される。

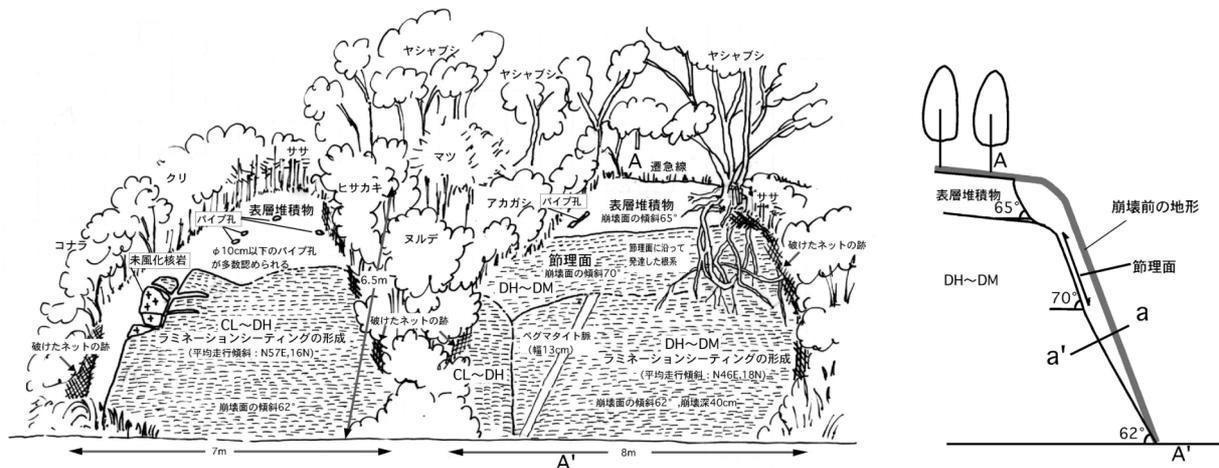


図 3 A 地点の崩壊事例と崩壊断面

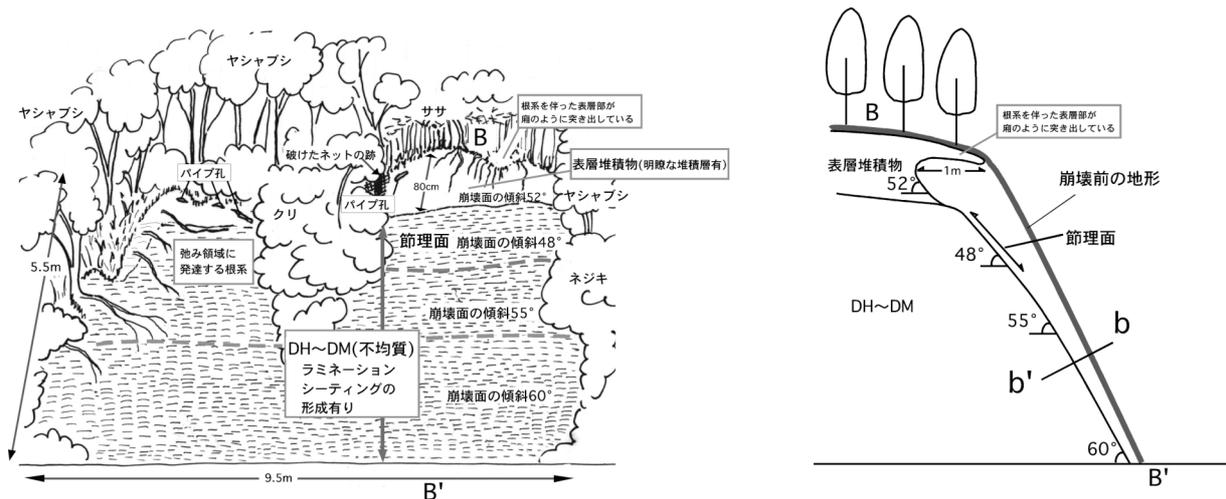


図 4 B 地点の崩壊事例と崩壊断面

3) 根系の発達する領域と地盤の強度

根系の発達する領域としない領域の違いを明らかにするため、A 地点と B 地点において測線 a-a'

(図 3) と b-b' (図 4) で地盤の強度測定を行なった。測定は山中式土壌硬度計を用い、測定領域は地表面から深部に向かって①崩壊前の切土斜面②根系の発達する領域 (表層から約 10cm 深部) ③根系の発達していない崩壊面の順に行なった。なお測定は同じ領域にて 10 回計測した値の平均値を用いる。

A 地点 (a-a') の測定は②と③のみであるが、②の根系の発達する領域では硬度指数は 13.7mm、③の崩壊面は 22.5mm となった。B 地点(b-b') では 2 箇所測定を行なった結果、①の切土斜面のごく表層部は 2.9mm と 6.9mm、②の根系の発達する領域は 13.3mm と 16.7mm、そして③の崩壊面では 29.9mm と 30.1mm となった。この結果から、A 地点 (a-a') B 地点(b-b')のいずれも、切土斜面に対して平行に地盤の強度が低下する弛み領域が存在し、そのような領域に根系が発達していることが明らかになった。

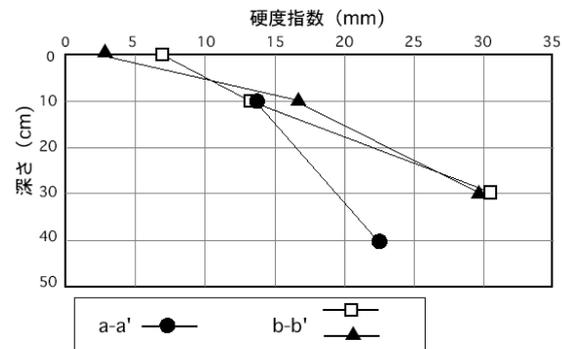


図 5 山中式土壌硬度計による地盤強度の測定結果

4. 考 察

「根系層崩壊」については稲垣(2004)⁹⁾で詳述されており、以下の6つがその特徴として述べられている。①崩壊の厚さが1m未満ときわめて薄いこと②斜面の傾斜が40°前後と急であること③表流水や地下水が集まりやすい地形・地質で生じること④根系のある表層の直下に岩盤が分布し、Nc値が2以下から50以上に急変すること⑤表層直下の岩盤に根系が入り込む割目がないこと⑥崩土内の立木が立ったままで崩土全体が速い速度で流下する等。これらの特徴を本地域で検証したい。

①はすべての箇所該当する。②は本地域の場合切土斜面であるが、傾斜は60-70°と急斜面である。③は表層堆積層に多数のパイプ孔があることから該当すると考えられる。④は図5の結果より、根系層の直下で地盤の強度が急変が明瞭に現われている。⑤はラミネーションシーティングが形成で割目は発達しているが、ここでは植生の進入が不可能な強度が保たれている。⑥は崩壊土砂の中に立ったままの立木がある事例も確認されている。これらのことから、本地域における表層崩壊は、切土斜面における「根系層崩壊」に相当すると考えられる。

では、そのような根系層はどのようにして形成されるのかを考えてみたい。現在の切土斜面の地質構造は掘削前の構造と掘削後の構造が交差することで特徴付けられる。すなわち、地質時代に形成された花崗岩の風化帯構造と切土面が現われてから始まった強度低下である。四王寺林道は昭和37-39年度に施工された林道で、当時の切土面が残っているとすると40年以上が経過している。そのため切土面からの強度低下を考慮する必要がある。掘削後の強度低下は、花崗岩の風化帯構造のどの位置で切土面を切ったかによってその速度が異なってくると考えられる。例えば、切土面にDL-DM級岩盤であれば風化の進行が速く、DH級以上の岩盤であれば風化の進行は遅いと考えられる。そのような掘削前の構造と掘削後の構造が交差することで、現在の切土斜面には新たな弛み領域が形成されおり、そのような弛み領域に根系層が形成されると考えられる。

図5で示されたように、根系層が形成されている領域とそうでない領域の岩盤強度の差は著しい。豪雨にみまわれた場合、パイプ孔の形成によって地中侵食が促進され、根系層の領域が一気に崩壊すると考えられる。すなわち切土斜面で認められた崩壊面の形態の違いは、このような花崗岩の風化帯に規制されて強度低下を起こした新たな弛み領域と根系層の分布が反映されたものと考えられ

る。DM-DH 級岩盤に多かったタイプⅠの崩壊は表層堆積物にパイプ孔が形成された後、切土面と平行に発達した根系層が一気に崩壊し平面形を呈した。赤色化した表土、DL-DM 級岩盤に多くみられるタイプⅡの場合、根系層も深いと考えられ、パイプ孔の形成で地中侵食が深部まで進んだ後崩壊した可能性が高い。凹凸のあるタイプⅢは、上部の表土～DM 級岩盤にパイプ孔が形成され凹型に崩壊し、下部の根系層が比較的薄い DH-CM 級岩盤はごく表層のみが崩壊したので凸型に残ったと考えられる。

ま と め

- 1) 2003 年 7 月の豪雨により、福岡県太宰府市四王寺山の四王寺林道沿い約 3.5km 区間で、50 箇所斜面崩壊が発生した。崩壊発生割合は自然斜面 8%、盛土斜面 22%、切土斜面 70%で、そのほとんどは林道建設にともない掘削された切土斜面で発生した。
- 2) 切土斜面の崩壊はいずれも崩壊深 1m 以下の表層崩壊で、樹木の根系により緊縛された根系層が崩壊する「根系層崩壊」で特徴付けられる。
- 3) 切土斜面における根系層の形成は、掘削以前にもともとあった花崗岩の風化帯構造と掘削後に切土面が強度低下した部分が交差して形成される、新たな弛み領域に支配されると考えられる。
- 4) 切土斜面に認められた崩壊面の形態の違いは、新たに形成された弛み領域と根系層の分布が反映されたものと考えられる。

引用文献

- 1) 地盤工学会・土木学会・九州地方豪雨災害合同調査団 (2003) :平成 15 年 7 月梅雨前線豪雨による九州各地の土砂災害調査速報, 土と基礎, Vol.51, No.10, pp.40-44.
- 2) 日本応用地質学会九州支部 土砂災害ワーキンググループ(2004):平成 15 年 7 月九州豪雨災害 特集-水俣・三郡山塊-, GET 九州, No.25, pp14-35.
- 3) 稲垣秀輝 (2000) :滋賀県南西部に分布する風化花崗岩の表層崩壊の特徴, 応用地質, Vol41, No.2, pp.103-112.
- 4) INAGAKI H. and Yunohara T.(1999): An estimation of slope failures based on erosion front and weathering front, IS Shikoku '99, ISSMGE, pp,1269-1274.4)
- 5) 唐木田芳文・早坂祥三・長谷義隆(編) (1992) :「九州地方」, 日本の地質 9, 共立出版, 371p.
- 6) 山県守・栗野純孝 (1984) :岩盤分類の実例-橋梁基礎(風化花崗岩), 応用地質, 特別号, pp.91-102.
- 7) 藤田勝代 (2002) :花崗岩中のラミネーションシーティング研究の現状と課題, 深田地質研究所ニュース, 財団法人深田地質研究所, no.61, pp.7-22.
- 8) 鈴木隆介 (1977) :現場技術者のための地形図読図入門 (3). 地形断面図と斜面の形態的分類). 測量, 7月号, pp.43-52.
- 9) 稲垣秀輝(2004): 植生による斜面安定効果に関する地盤工学的研究, 愛媛大学学位請求論文, 2004, 118p.