

2005年台風14号による 広島での土砂災害とその原因

SEDIMENT DISASTERS AND THEIR CAUSES IN HIROSHIMA PREFECTURE INDUCED BY THE TYPHOON NABI (T0514) IN 2005

海堀 正博¹・中井 真司²・大本 直樹³・森田 耕司⁴・作野 裕司⁵

Masahiro KAIBORI¹, Shinji NAKAI², Naoki OOMOTO³, Kouji MORITA⁴, and Yuji SAKUNO⁵

¹ 広島大学 大学院総合科学研究科環境科学部門(〒739-8521 東広島市鏡山1-7-1)

E-mail: kaibori@hiroshima-u.ac.jp

² 復建調査設計(株)防災システム部(〒732-0052 広島市東区光町2-10-11)

E-mail: nakai@fukken.co.jp

³ 広島県土木部土木整備局砂防室(〒730-8511 広島市中区基町10-52)

E-mail: n-oomoto89303@pref.hiroshima.jp

⁴ 国土交通省中国地方整備局太田川河川事務所(〒730-0013 広島市中区八丁堀3-20)

E-mail: morita-k87uj@cgr.mlit.go.jp

⁵ 広島大学 大学院工学研究科地球環境工学講座(〒739-8527 東広島市鏡山1-4-1)

E-mail: sakuno@hiroshima-u.ac.jp

Key Words: debris flow, Typhoon Nabi, rainfall index, air-photo analysis, precise surveying

1. はじめに

2005年9月6日台風14号は中国地方にも豪雨をもたらし、各地で土砂災害を発生させた¹⁾。山口県内では山陽自動車道の盛土部が崩れ、一部が流動化して民家を襲い3名の犠牲者を出した。広島県内でも、宮島(現、廿日市市)の白糸川に土石流が発生したほか、旧佐伯町(現、廿日市市)、旧湯来町(現、広島市佐伯区)、広島市安佐南区沼田町など県西部地域の合計10数箇所土砂災害が、旧湯来町の1箇所地すべりが、また、その他広島市内だけでも数十箇所でがけ崩れが発生したが、幸い死者を出さずにすんでいる。ここでは広島地域の土砂移動発生と降雨形態との関係および発生場の特徴について、事前にその発生を予測できたかどうかという観点から検討した。

2. 主な土石流・地すべりの発生位置と地質や地上観測降雨との関係



図-1 広島県西部の主な土石流・地すべりの発生場(X印で示す。がけ崩れや山腹崩壊のみの現象はプロットしていない。20万分の1地質図『広島』²⁾に加筆。凡例は省略したが、おおむね濃い部分は古生層。表-1参照)

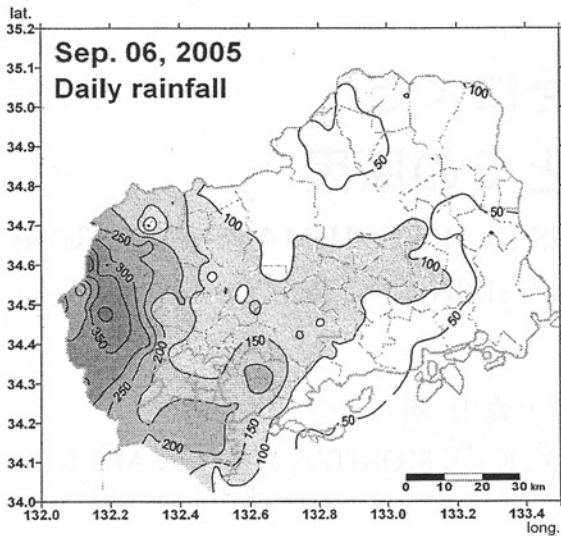


図-2 広島県の日雨量分布(2005年9月6日)
×印は主な土石流や地すべり発生地点を示す。

広島では1999年6月29日に集中豪雨で32名(うち24名は土砂災害)の犠牲者を出している(以下、6.29災害と呼ぶ)³⁾が、その当時は豪雨のエリアもまた土砂災害の発生場もほとんど花崗岩地帯に限られていた。それに対して、今回2005年9月6日の台風14号豪雨による土砂災害は、その発生場が広島県のさらに西部～北部に偏っており、主として花崗岩地帯と古生層の分布地帯が該当していた(図-1)。広島県防災Web (<http://www.bousai.pref.hiroshima.jp/hdis/index.jp>)から得られる気象データや気象庁のアメダス等を使って当時の降雨について検討してみると、中国地方は9月3日昼頃まで

は降雨の少ない状態が続き、たとえば、広島県内では3日15時の72時間半減実効雨量値が全290雨量観測点で6mm未満、さらに、そのうち245観測点で4mm未満という乾燥した状態が続いていた。その後は断続的に強く降ることがあったが、6日の明け方からは連続的な強雨になっている。3日15時から6日24時の間に山口県羅漢山では509mm(6日だけの日雨量は472mm)、玖珂では426mm(同382mm)、広島県横川では549mm(466mm)、もみのきでは489mm(420mm)、田吹で466mm(397mm)、吉和で438mm(385mm)、布原で427mm(361mm)、戸河内で412mm(333mm)の大雨となっている(図-2)。広島県の雨は1999年の災害時と比べると南西部の花崗岩類地帯では同程度だったが、北西部の古生層分布地帯ではかなり多めであったといえる(表-1)。

3. 土砂移動現象の発生状況

前述したように今回の豪雨で発生した土石流は6.29災害時の土石流の発生形態に比べると明らかに集中的な発生数が少ない。前回と今回の豪雨分布と地質分布の違いも一因であると思われる。また、北西部にも花崗岩類地帯は存在していたが、この付近がふだんから比較的雨量の多い地域であり耐力があったからであるとも思われる。表-1の花崗岩地帯の玖島川沿いの土石流の場合、豪雨が集中したこともあり、この付近だけであるが集中的に土石流が発生していたことからすると、その他の地域においても土石流の多発する直前の状態ではあったが、たまたま引き金となるような短時間強雨がそれ以上加わらなかったことにより、集中発生が避けられ

表-1 土石流等の発生地域における降雨比較

今回の主な土石流等	今回2005年9月6日21～23時の台風14号豪雨	前回1999年6.29災害時の14～16時の豪雨	発生時刻
宮島の土石流 (花崗岩地帯)	日雨量は200mm弱 6時間雨量の最大は140mm程度 72時間半減実効雨量値170mm程度に30mm/h以上の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値210mm程度に10mm/h弱の1時間雨量が加わる	日雨量は170mm程度 6時間雨量の最大は140mm程度 72時間半減実効雨量値170mm程度に40mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値210mm程度に15mm/h程度の1時間雨量が加わる	6日22時頃
玖島川沿いの土石流 (花崗岩地帯)	日雨量は300mm超 6時間雨量の最大は220mm程度 72時間半減実効雨量値250mm程度に50mm/h以上の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値300mm程度に20～30mm/hの1時間雨量が加わる	日雨量は170mm程度 6時間雨量の最大は140mm程度 72時間半減実効雨量値170mm程度に40mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値210mm程度に20mm/h程度の1時間雨量が加わる	6日22時頃?
吉山川沿いの土石流 (源頭部は古生層・花崗岩の境界部、氾濫・堆積部は花崗岩地帯)	日雨量は170～200mm程度 6時間雨量の最大は140mm程度以上 72時間半減実効雨量値170mm程度に40mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値200mm程度に30～40mm/hの1時間雨量が加わる	日雨量は200～250mm程度 6時間雨量の最大は160～190mm程度以上 72時間半減実効雨量値200mm程度以上に50～60mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値250mm程度に20～35mm/h程度の1時間雨量が加わる	6日23時～7日1時頃?
赤土地の土石流 (古生層)	日雨量は350mm弱 6時間雨量の最大は220mm超 72時間半減実効雨量値270mm程度に50mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値310mm程度に40mm/h弱の1時間雨量が加わる	日雨量は170mm程度 6時間雨量の最大は130mm程度 72時間半減実効雨量値180mm程度に40mm/h弱の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値220mm程度に20mm/h程度の1時間雨量が加わる	6日22時頃
志井の地すべり、小多田・大谷の土石流 (古生層)	日雨量は380mm程度 6時間雨量の最大は220mm超 72時間半減実効雨量値300mm程度以上に50mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値350mm程度に30mm/h程度の1時間雨量が加わる	日雨量は150mm弱 6時間雨量の最大は100mm弱 72時間半減実効雨量値170mm程度に20mm/h程度の1時間雨量が加わる 72時間半減実効雨量値180mm程度に10mm/h程度の1時間雨量が加わる	志井のみ 7日10時50分 小多田不明

たといえるかも知れない。

ところで、このような状況の中で、比較的降雨量の少なかった広島県南部の宮島でなぜ土石流発生に至ったかが注目される。また、西部の広島市佐伯区赤土地地区の土石流発地点では過去の風倒木が目立っていたことも注目される。以下にこれらについて検討する。

4. 宮島の土石流

宮島では北向きに流れる白糸川と南向きに流下して大砂利地区に入る谷すじとの2箇所ですり落ちが発生した。白糸川の土石流については源頭部の東向き斜面に崩壊があり、この土砂の一部が流動化して流下したものである⁴⁾。崩壊地の規模は、幅が約30m、長さが約90m、深さは4m(最大8m)程度で、やや裾広がりの形をしている。崩壊土砂量は1~2万m³と見積もられるが、崩壊地の傾斜が23°程度で緩かったことから、崩壊土砂の半分程度は斜面の途中や脚部付近に残存していた。また、崩壊斜面の脚部で白糸川本流に合流してからもしばらくの間は溪床勾配が10~6°程度と緩かったことから、流下した土石流による侵食を受けて幅約15m、深さ約4mの溝状の流路地形を呈する状況となったものの、この部分の溪床周辺にも不安定土砂が多く残存していた。これらの不安定土砂は多数の巨石と多くの細粒土砂の混じった典型的なまさ土で、災害直後はもちろん、約8ヶ月を経た現在も降雨量が多くなると極めて軟弱な状態となる。

誘因となった降雨については、宮島での地上雨量観測データを見る限り、土石流の発生時刻である9月6日22時の時点でさえ、72時間半減実効雨量値170mm程度(21時のところに22時まで約30mmの1時間雨量が加わった程度である。1999年の6.29災害時の72時間半減実効雨量値170mm程度のところに約40mmの1時間雨量が加わった状況においても土石流発生はなかった事例と比べると、今回の台風14号のもたらした雨量が今回のみ土石流を発生させるような大きな数値であったとはいえない(表-1参照)。たとえば、前年2004年の18号台風の強風によってこの白糸川沿いにも樹木

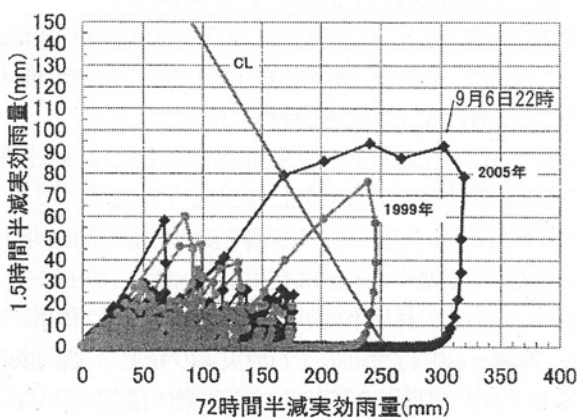


図-3 レーダー解析雨量(宮島東部エリア)での比較

の幹折れや根返りや傾きが多数見られたことを筆者の一人は確認していたが、そのような影響により斜面地盤の強度低下などがあり容易に崩れたのかも知れない(なお、後述するように、その危険性があらかじめ予想されたことから、2005年3月に空中ヘリから白糸川流域を撮影しておいた)。そこで、広島県砂防室を通じてレーダーアメダス解析雨量値の提供を受け、これを比べてみた。2005年と1999年の宮島東部エリアの解析雨量のスネーク曲線を図-3に示す。これを見ると、レーダーアメダス解析雨量値の精度にもよるが、宮島東部エリアの今回の降雨が6.29災害の時よりも量も強さもかなり大きかったことが推察される。もしも、雨の量や強さが実際に大きかったことが事実であれば、今回だけ土石流の発生につながったとしても特に問題があるわけではなく、今後はこのような強雨がしっかりと観測できるような体制づくりにつなげればよいことになる。しかし、後述するように、レーダーアメダス解析雨量値を用いて地上観測雨量値で行っていたのと同じ解析作業をすることにはやや難点がある。

5. 赤土地地区の土石流

赤土地地区は旧湯来町(現、広島市佐伯区)に属しており、赤土地川下流の河床には堅硬な花崗岩岩盤の露出が見られるが、今回土石流の発生した源頭部付近から流下部にかけては古生層が分布する。土石流は、幅6~8m、深さ2~6mでほぼ一様に侵食された流路を谷出口付近より400m程度さかのぼった斜面から発生していた。源頭部崩壊地の周辺でも古生層の粘板岩とその淡い茶褐色の粘着性のある風化土を確認できた。源頭部崩壊が発生した斜面勾配は40°を超える急傾斜地で、スギの人工林地帯となっていた。周辺表土層は深さ70cm程度で、その下にはその表面形状が平ら~部分的にやや凸型で集水地形ではない岩盤が張り出していた。前年(2004年)の台風18号がもたらした南西からの強風の影響と思われる風倒木があちこちに見られ、特に、源頭部崩壊地の周辺は根こそぎ崩壊地に向かって倒れ込んでいるものが目立ち、崩壊はそのような風倒木の多く見られる場で起き



写真-1 赤土地地区(広島市佐伯区湯来町)の土石流源頭部崩壊前年の台風によると思われる風倒木が目立っていた



写真-2 源頭部崩壊地付近にある過去の風倒木の倒れ方と根系痕の凹地
同様な凹地が崩壊地周囲に十箇所程度残っていた

ていると思われた(写真-1)。斜面の斜め下向きに倒れているスギ(高さ15~20m)は元の位置に水をためられるような大きな窪地を形成し、さらに、根株が堰のような役を演じる位置にあるため、豪雨によってたまった水をこぼれにくくしていたのではないかと思えた(写真-2)。通常なら雨水がとどまることのないような急傾斜地であるが、風倒木のこのような作用のために斜面の中に多くの水がたまるような状態が豪雨の際につくられた可能性がある。風倒木のこのような窪地形成に関してはすでに報告事例がある⁹⁾が、樹木の倒れる方向と倒れ方も事前調査の重要な視点であることを示唆するものである。

6. レーダーアメダス解析雨量の問題点

レーダーアメダス解析雨量は気象レーダーによる雨量観測値と地上雨量観測値との間でキャリブレーションを行い、事例を増やしつつ精度向上を図っているとされている。しかし、広島県内の1991~2000年の毎時の地上観測雨量値とその

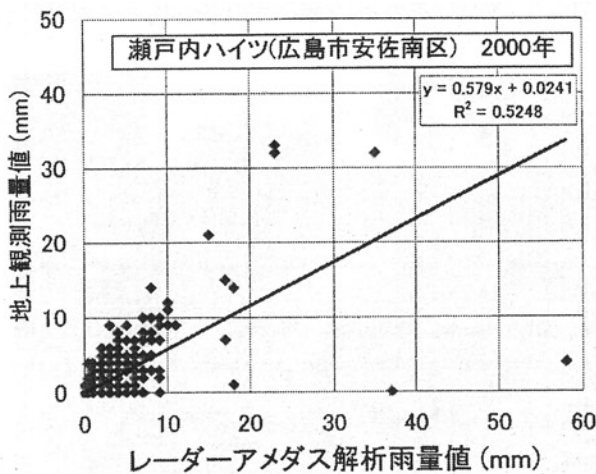


図-4 レーダーアメダス解析雨量値と地上観測雨量値との相関の例(広島市安佐南区瀬戸内ハイム観測点 2000年)

当該箇所を含むエリアのレーダーアメダス解析雨量値との相関を見たところ、1年約8,760時間の8割は0mm対0mmの対応であり、災害の発生が懸念される数十mm以上の事例は非常に少ないだけでなく、一律の係数で実際の雨量値を推定するのが容易でない状態であることがわかる(図-4)。すなわち、レーダーアメダス解析雨量値だけをリアルタイムに近い状態で地上雨量観測値の代わりのデータとして用いることは、なお地上での実測値との差が大きい場合が少なくはなく、レーダーアメダス解析雨量から先行降雨を数値化して警戒・避難等に用いようとするのは現段階ではまだ困難であるように思える。

すなわち、2005年の台風14号の際の宮島東部でのレーダーアメダス解析雨量値が土石流発生を説明できるものであったとしても、結果が既知の場合に言うるのであって、さらなる検証が必要である。現時点では予測の部分にレーダー雨量が用いられることには問題ないが、それぞれの地点の過去の降雨による影響度をリアルタイムに見る作業にはこれまでどおり地上観測雨量値を継続して公表・利用されることが望まれる。

7. 土石流発生場所の事前把握の可能性

先述したように、宮島の土石流は前年2004年に来襲した暴風を伴う台風18号の影響の強かった斜面において起きていた可能性がある。さらに、赤土地地区の土石流に関しても、源頭部崩壊地の周辺には明らかに前年の台風による風倒木が集中して見られる場所で発生していた。このような場所が、広域で撮影された空中写真などで抽出できるものであるかどうかを検討した。

両地区を含む周辺はちょうど今回の土石流災害の発生前であつたその前年の台風18号よりも後にあたる時期に空中写真が撮られていた。宮島地区についてはたまたま白糸川筋に風倒木が目立ったことから、2005年3月にヘリから撮影したものである。また、赤土地地区については太田川河川事務所によって2004年11月に撮影されたものである。

結論から述べると、両事例とも、土石流の源頭部崩壊地となった場所は、発生後の事実を知った上でようやくその他の地域から見分けることができる程度であった。

写真-3は赤土地地区の発生前後の写真とある画像処理を行ったものである。写真-3(上)は2004年台風18号(9月7日)や台風23号(10月20日)の影響を受けた後の2004年11月撮影だが、崩壊や土石流は発生していない。植生は主にスギ・ヒノキの人工林地帯だが、広葉樹林の部分は落葉している。写真-3(中)は今回の土石流災害の発生3週間後の2005年9月27日撮影の写真でまだ広葉樹も落葉していない時期のものである。両者の比較から、源頭部崩壊の位置を把握して、周辺植生の樹林に土石流発生前の段階で強風の影

響による異常がかるうじて読みとれることを確認した。その現れ方は樹林密度の異常である。おそらく風倒木の発生によってギャップが形成されたことによるものと思われ、その部分には立木とは異なる方向に樹幹の色合いの線も見られる(カラー写真を拡大した場合)。しかし、この認識は、土石流の発生後、現地調査も行って風倒木が存在する状況を知った上でのものであり、果たして客観的にこの位置を識別することができたかどうかについては疑わしい。そこで、画像処理により、この場所の抽出が客観的に可能であったかどうかを調べている。写真-3(下)に試行的に HSI 変換⁶⁾ (H: Hue 色相, S: Saturation 彩度, I: Intensity 明度)処理した彩度画像(数回のスムージング処理も実施)を示す。発生前写真には陰による影響が大きいため現時点では何となくではあるが、崩壊部のギャップが出てきているようにも見える。もしも、解像度が数~数十 cm 程度まであげられれば、おそらく風倒木の様子が見出せたであろうが、広範囲を含むふつうの空中写真でこの地

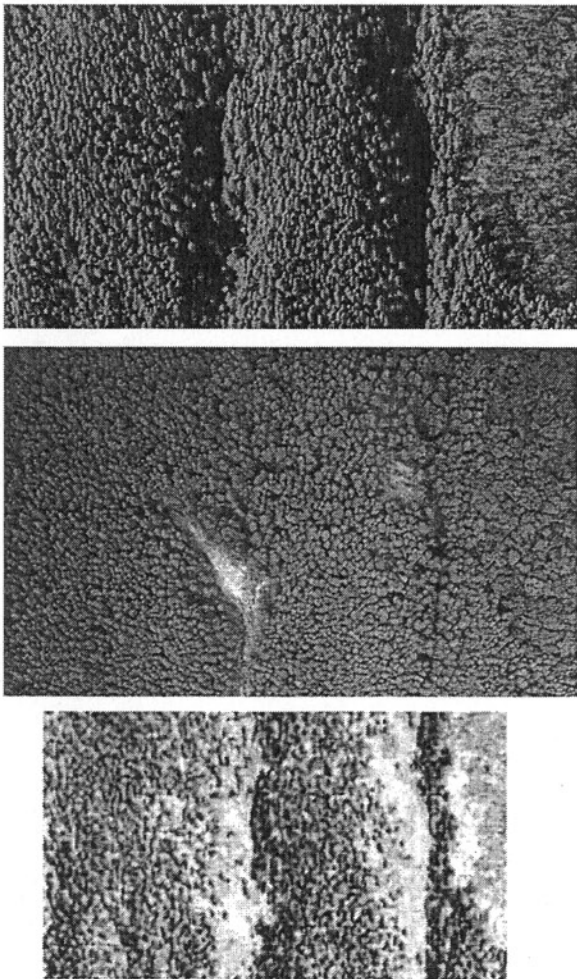


写真-3 赤土地地区土石流発生前後の源頭部崩壊地の周辺の状況

(上)発生前.2004年11月撮影(太田川河川事務所)

(中)発生後.2005年9月27日撮影(中サービス)

(下)発生前写真の HSI 変換後の彩度画像(数回のスムージング処理も行っている)

点を拡大して識別することは容易ではないと思われた。

一方、宮島については、いわゆる天然記念物『弥山原始林』内で発生した崩壊地であり、周囲にはアカマツの枯れ木やさまざまな広葉樹・針葉樹が生育しており、さらに周辺には露岩地も多く存在していたことから、前述の赤土地地区以上に困難を極めた。たとえば、植生の粗密や乱れなどから発生場を識別することは困難であっただけでなく、植生の活性状態を見るために近赤外画像を使って植生指数を出してみたが、今回の土石流の源頭部崩壊部に際立った活性度の低さは読み取ることもできなかった。

しかし、前年の台風による影響とは別に、源頭部崩壊の発生場が特異な地形構造のところできていることが現地調査から確かめられ、事前の空中写真画像中にも読みとれることがわかった。それは、盛土構造と思われる平坦地形が樹林の中に続いていたことであり、崩壊地はそのうちの一部に起きており、それに隣接する斜面部にはある降雨後の調査の際、水たまりが形成されていることが確認できた。すなわち、豪雨があれば、この平坦部と山側の急崖との間に水たまりができ、水圧のかかる状況が生まれることが確認できた。空中

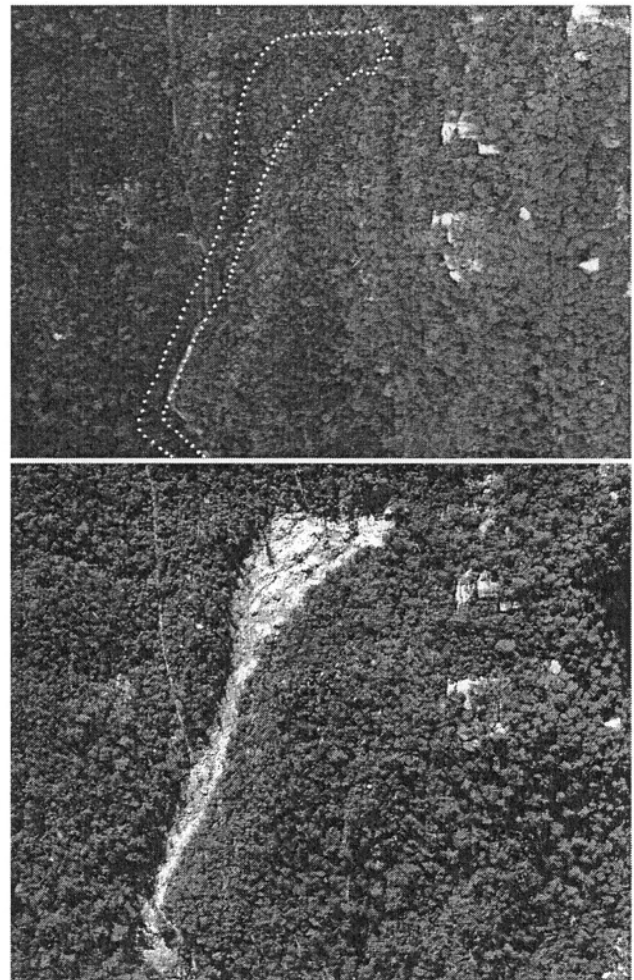


写真-4 宮島白糸川の土石流源頭部崩壊地

(上)災害発生前(2005年3月撮影)

(下)発生後(2005年10月撮影)

写真にはこの平坦部にあたる植生の色調がやや濃く出ている。太陽高度の違いによる影のつき方の差であろうが、明らかにその部分については識別できる(写真-4)。

もしも、たとえばレーザー測量などの手法を応用して、事前にこのような微地形把握ができたならば、弱部の推定や異常な水圧の形成などが予測できたかも知れない。しかし、広範囲に撮影した空中写真だけからでは風倒木の状況やその影響で地盤の強度が低下している可能性、水のたまりやすい可能性まで事前に把握することは容易でない。

8. まとめ

2005年9月6日の台風14号こともなう豪雨によって、広島地域においても土石流や地すべり、崩壊等による土砂災害が発生した。前回1999年の6.29災害時を上まわる雨量のもたらされた地域がある一方で、前回なみかそれ以下の地上観測雨量値にもかかわらず、前回には発生しなかった土石流が起きた地域もあった。雨量と土砂災害の発生の関係、事前予測の可能性等について検討した結果、以下の事項が明らかになった。

- (1) 地上観測降雨量が多くなかった土石流発生地域のひとつである宮島でも、レーダーアメダス解析雨量値は十分にその発生を説明できる大きな数値となっていた。
- (2) レーダーアメダス解析雨量値をリアルタイムに近い状態で用いる場合には実際の雨量値との間にかなりの差が生じてしまう可能性がある。レーダーアメダス解析雨量から先行降雨を数値化して警戒・避難等に用いることは現段階ではまだ困難であると思われる。
- (3) 台風等の強風の影響などで風倒木が生じていたり、地盤強度の低下や微地形の異常などによる崩壊発生可能性の

事前把握のためには、空中写真や画像等の解像度を上げることやレーザー測量などを応用した微地形把握が必要である。

謝辞: 調査・研究の遂行にあたり、広島市消防局からも資料を提供していただいた。また、空中写真の撮影や測量の実施にあたり、(株)ECR、(株)スカイマップの各位にもお世話になった。ここに記して心から感謝いたします。

参考文献

- 1) 谷口義信・内田太郎・大村寛・落合博貴・海堀正博・久保田哲也・笹原克夫・地頭蘭隆・清水収・下川悦郎・寺田秀樹・寺本行芳・日浦啓全・吉田真也: 2005年9月台風14号による土砂災害, 砂防学会誌, Vol. 58, No. 4, p. 46-53, 2005.
- 2) 地質調査所: 20万分の1地質図『広島』, 1986.
- 3) 海堀正博・石川芳治・牛山素行・久保田哲也・平松晋也・藤田正治・三好岩生・山下祐一: 1999年6月29日広島土砂災害に関する緊急調査報告(速報), 砂防学会誌, Vol.52, No.3, p.34-43, 1999.
- 4) 海堀正博・浦 真・吉村正徳・藤本英治: 2005年9月6日広島県宮島で発生した土石流災害, 砂防学会誌, Vol.58, No.5, p.18-21, 2006.
- 5) 西本晴男・栗原淳一・武澤永純・土井康弘: 風倒木災害地域における土石流・流木災害に関する検討, 独立行政法人土木研究所資料, 第3972号, 32p., 2005.
- 6) たとえば, 以下のホームページを参考にした。
<http://www.science.aster.ersdac.or.jp/p/glossary/p/H/hsi.html>
http://www.esri.com/support/erdas/faq/faq_spectral_r2i/faq_spectral_r2i.html

(2006. 5. 19 受付)