

P10. 地質の違いからみた土石流の性状と解析的検討

Characteristics of the debris flow as seen from the geological difference and analytic study.

宮本 新平, 曾我部 淳, 岩田 直樹, 荒木 義則 (中電技術コンサルタント株式会社),
佐々木 猛 (サンコーコンサルタント株式会社), 大西 有三, 小山 倫史 (関西大学)

1. はじめに

広島市近郊で過去に発生した大規模豪雨災害のうち、1999年の災害¹⁾の土石流発生箇所は、その殆どが花崗岩分布域で発生している。これは、一般に知られているように、大雨の際に花崗岩が崩壊しやすくとされる傾向と整合する。しかし、今回発生した土石流の分布範囲は、広島花崗岩類の分布域以外に玖珂層群相当層および高田流紋岩類の分布域でも土砂流出が発生した。

本報告では、地質(岩種)の違いと土石流の性状(崩壊様式、流出土砂の性状など)に着目した踏査結果の概要を報告するとともに、巨礫の到達距離に着目した解析を行った結果について報告する。

2. 現地踏査結果概要²⁾

図-1に踏査位置図を示す。本報告では、比較的被災規模の大きい5溪流について調査し、そのうち、地質別に3溪流の踏査結果を報告する。以下に各溪流の詳細を記載する。

(1) 阿武の里団地の溪流(玖珂層群相当層分布域)

当溪流は、阿武山(標高586.4m)山頂付近の南東側斜面から南東方向に延びる溪流である。

下流の扇状地の勾配は12~15°程度で、扇状地上に団地が造成されている。土石流の堆積域付近で確認される岩石は、直径数10cm~1m程度の比較的粒径の揃った砂質岩の垂角礫が主体で、一部泥質岩礫や緑色岩礫が混在する。扇頂部には、古い土石流堆積物の削り込みが確認され、その規模は最大で8m程度である。

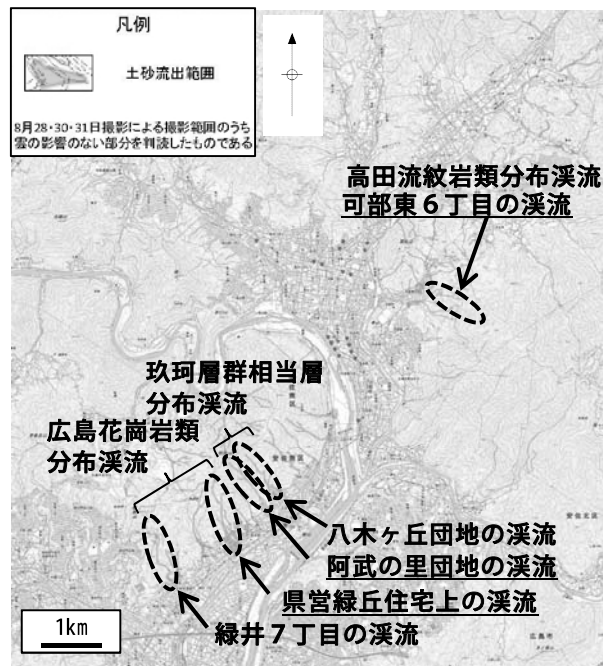
溪流の中~上流部は、ガレ場が形成されている。これらは周辺露頭から崩落してきたものと考えられ、土石流はこのガレ場を幅2~3m程度のガリー状に浸食しながら流下している。

上流部付近では植生と被覆土のみ流失し、全面露頭が形成されている。源頭部に表層崩壊は認められない。また、この地点よりもさらに上流では、中~上流域同様にガレ場が広がっていることから、この付近に分布する玖珂層群相当層は、風化が進行する過程でガレ場を形成すると考えられる。

(2) 可部東6丁目の溪流(高田流紋岩類分布域)

当溪流は、谷頭部の標高約500m程度で、北西~西方向に延びる溪流である。溪流の中央付近を境に下流側に広島花崗岩類、上流側に流紋岩類が分布する。また、花崗岩分布域では、複数の崩壊が認められる。

中流の堆積域で確認される岩石は、直径数10cm~1m程度の比較的粒径の揃った流紋岩の垂角礫が主体である。最上流部では、流水跡が確認され、植生および表土の一部が流失しているが、周辺斜面を含め表層崩壊は認められない。また、さらに上流部を含めた周辺の斜面には、ガレ場が分布していることから、高田流紋岩類についても、玖珂層群相当層と同様、



国土地理院公開資料「空中写真による写真判読図」一部抜粋・加筆
<http://www.gsi.go.jp/common/000095316.pdf>

図-1 踏査位置図(下線の溪流を報告)

風化が進行する過程でガレ場を形成すると考えられる。

(3) 県営緑丘住宅上の溪流（広島花崗岩類分布域）

当溪流は、阿武山（標高 586.4m）山頂付近の南側斜面から南～南東方向に延びる溪流である。また、当溪流は、最も多くの被災者が出た溪流でもある。下流の扇状地は、勾配が6～7°と緩く、遠距離（約 150m 程度）まで最大 3～4m 程度の巨礫混じりのマサ土が到達した（写真－1）。中流部では、風化土砂や溪床堆積物は流され、全面露頭が広く分布する。

中～上流部には、最大径 1m 程度の未風化礫を含み、強風化花崗岩の上に堆積している古い土石流堆積物の露頭が確認できる。この露頭では堆積物と強風化花崗岩がともに削りこまれて流下する。最上流部では、崩壊厚さが最大で 2m 程度の小規模な表層崩壊が多数発生している。崩壊地内にはいずれも CL～CM 級の花崗岩類が露出しており、表土直下に複数のパイピング孔も確認できることから、透水係数の異なる岩盤境界（表層の強風化部と弱風化部）の間隙水圧が高まり、崩壊が発生したと考えられる。

3. 岩種による土石流性状の違い

現地踏査の結果を表－1 にまとめた。なお、高田流紋岩類と玖珂層群分布域に分布する岩石は、比較的近い性状を示すため、まとめて記載した。表－1 のように、岩種による違いが出た要因の一つに、風化特性の違いが挙げられる。

花崗岩類は一般に風化が進むと岩質が軟化し、表層から土砂化が進行する。当地域の山腹斜面等では表層から 1～2m 程度はマサ土となっており、表層崩壊が多発したことが土石流発生の要因になっていると考えられる（図－2 左）。一方、堆積岩類および流紋岩類は風化が進むと岩片自体の硬さはある程度保ったまま、ヘアクラック等の軟質化・顕在化によりブロック化・浮石化し、これらが崩落して溪床にガレ場を形成する（図－2 右）。これらの溪床堆積物が今回の豪雨による流下水流によって削剥・再移動を始めることによって土石流が発生したものと考えられる。

これらの風化特性の違いは、土石流の構成物質の違いにも影響を与えており、踏査溪流において、広島花崗岩類分布域は、マサ土や巨礫を含む礫が主体であるのに対し、玖珂層群相当層および高田流紋岩類分布域では比較的淘汰の良い概ね 1m 程度以下の岩礫が主体であった。



写真－1 巨礫の流出状況³⁾

表－1 現地調査結果のまとめ（地質の違いと溪床の特徴）一覧

	上流域（源頭部）	中流域（流送域）	下流域（堆積域）
広島花崗岩類分布域	<ul style="list-style-type: none"> 表層風化帯を形成（マサ土＋未風化残留礫）。 0 字谷周辺では表層崩壊が多発。滑落崖にはパイピング孔が発達。 	<ul style="list-style-type: none"> なめらのような全面露岩の溪床部分が存在。 高標高部では溪床露岩も弱風化を受けやや軟質化。 	<ul style="list-style-type: none"> 広範囲に堆積し、特にマサ土流は遠距離まで到達。 扇状地の勾配は概ね 10° 以下。
玖珂層群相当層分布域	<ul style="list-style-type: none"> 谷壁斜面には壁岩が発達。浮石化が著しい。 流水痕は認められるものの大規模な表層崩壊は認められない。 	<ul style="list-style-type: none"> 溪床勾配が緩やかな部分や谷幅が広まった部分には二次堆積。 過去の二次堆積物を削り込み、巻き込みながら流下（雪だるま式）。 	<ul style="list-style-type: none"> 谷出口部に集中して礫が厚く堆積。 古い土石流堆によって流路が規制される。 扇状地の勾配は概ね 10° 以上。
高田流紋岩類分布域	<ul style="list-style-type: none"> 溪床は周辺露岩からの落石によりガレ場が形成。 		

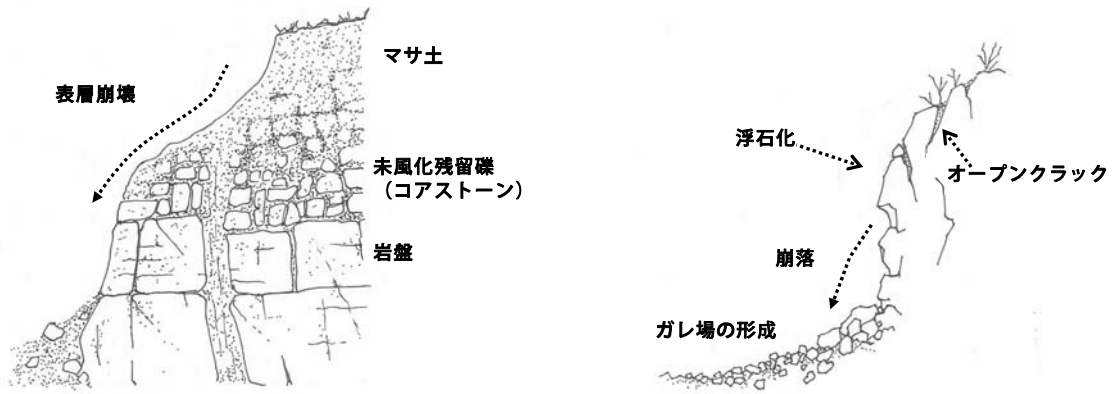


図-2 風化特性の概念図

(左：広島花崗岩類分布域，右：玖珂層群相当層・高田流紋岩類分布域)

4. 解析的検討

広島花崗岩類分布域の県営緑丘住宅上の溪流では、巨礫が遠距離まで到達し、大きな被害をもたらしている。そこで、巨礫が遠距離まで到達した現象について、以下の3点を変化させた解析検討を行い、その要因について考察した。

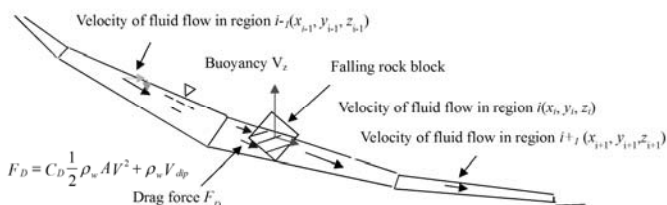
- ①流体力：マサ土を多量に含む流体が、巨礫を遠距離まで到達させた一つの要因であると考え、流体力の有無と巨礫の到達距離について検討を行った。
- ②地盤の速度比（反発係数）：巨礫が地盤と接触した際の反発しやすさは、巨礫の到達距離に影響を与えると考え、速度比を変化させた検討を行った。
- ③礫径：巨礫のサイズによる到達距離の検討を行うため、礫径を変化させた検討を行った。解析は、以下の条件で2次元不連続変形法（以下2D-DDA）を用いて実施した。

(1) 解析手法・条件

2D-DDAによる巨礫解析の概念図を図-3に、解析パラメータを表-2に示す。巨礫ブロックに土石流による流体力を作用させて一個のブロックの運動を解析した。なお、解析に用いた溪流は、県営緑丘住宅上の溪流とし、溪流出口より上流側（溪流部）を500m、下流側（流出部）を300mの範囲でモデル化を実施した。巨礫の形状は四角形とし、土石流ピーク流量（ Q_p ）および土石流流速（ U ）は、国土技術政策総合研究所資料⁵⁾に基づいて算定した。変化させたパラメータは、流体力（あり、なし、流出部のみなし）、速度比（溪流部は新鮮な岩盤を想定して0.8、流出部は土砂～CL級～CM級の岩盤を想定して0.2-0.6の間で変化）、礫径（1.0m～4.0mの間で変化）である。

(2) 解析結果

2D-DDAの解析結果を図-4および図-5に示す。流体力がある場合は、流体力が無い場合に比べて溪流出口からの到達距離は長くなり、いずれのケースでも60m以上、最大で150m以上の距離まで到達し、流出部の速度比の低下や巨礫寸法の増加に伴って到達距離は短くなる結果となった。また、流体力が無い場合には、到達距離は流出部の速度比の変化や巨礫の寸法にあまり影響されず、一部のケースで溪流出口から概ね50m程度到達したのみであった。



ここで、 F_D : 抗力
 C_D : 抗力係数
 ρ_w : 土石流の単位体積重量
 A : 流れ方向の投影面積
 V : 土石流と巨礫の相対流速
 V_{dr} : 土石流に没している巨礫の体積

図-3 DDAによる巨礫解析の概念図⁴⁾

表-2 解析パラメータ一覧

巨礫 ブロック	弾性係数	0.5GPa (CL-CM級)
	ポアソン比	0.2
	単位体積重量	26kN/m ³
	ペナルティ	0.5GPa/m
土石流	減衰定数	0.01
	抗力係数	1.5
	単位体積重量	19.2kN/m ³

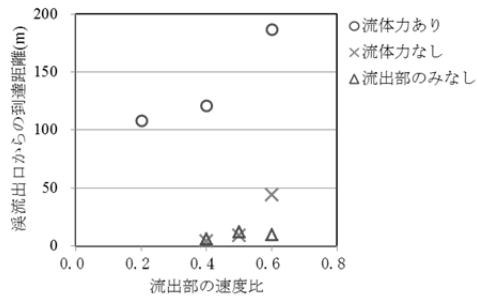


図-4 流体力の有無および速度比と到達距離の関係（巨礫寸法 3m, 溪流部の速度比 0.8）

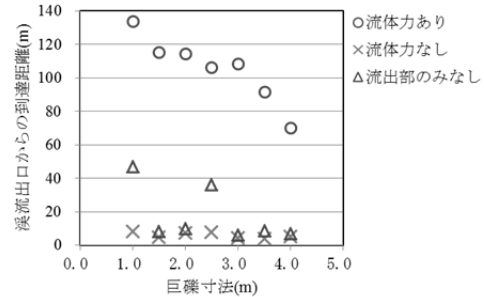


図-5 流体力の有無および巨礫の寸法と到達距離の関係（溪流部の速度比 0.8, 流出部の速度比 0.4）

流体力がある場合に到達距離が長くなり、流体力が無い場合に、流出部の速度比や巨礫の寸法によらず到達距離が短くなるという結果から、巨礫を下流まで流下させるためには、流体力が重要なパラメータであると考えられる。このことは、マサ土を多量に含む流体とともに巨礫が下流まで流下したと考えられる広島花崗岩類分布域の土石流性状と一致する。

一方、礫径 1m 程度の礫を伴う玖珂層群相当層・高田流紋岩類分布域において、谷出口付近に礫が堆積しているという現象は、1m の礫の解析結果（図-5）のうち、到達距離が 130m 以上となる流体力を考慮した場合の解析結果と一致せず、ほとんど流下しないという流体力を考慮しない場合の解析結果と概ね一致する。これは、玖珂層群相当層・高田流紋岩類分布域の土石流が石礫型の土石流で、礫同士が衝突しながら流下するという異なるメカニズムで流下することにより、流体力の影響をあまり受けていなかったと考えられる。

5. まとめ

5箇所の溪流の現地踏査の結果、地質の違いによる風化特性の相違に起因して、発生した土石流の構成物質の違いがあることが確認された。

また、解析的検討の結果、流体力の有無が巨礫の到達距離に影響を与える重要な項目であることが確認された。ただし、今回実施した解析は、側方の動きを考慮していない2次元の解析であることや、複数の礫が衝突しながら流下する現象をどう表現するかなど、今後に向けての課題も挙げられる。

設計以上の巨礫を含む土石流が下流の砂防堰堤に衝突した場合、砂防堰堤を破損させる恐れもあり、このような巨礫の挙動は精度よく把握する必要がある。そのために、今後は風化形態を考慮した調査による巨礫の発生可能性の検討や、より精度の高い巨礫の解析が必要となる。なお、現在より精度よく巨礫の挙動を検討するため、3次元的な地形形状を考慮した解析を実施中である。

6. 参考文献

- 1) 広島県（1999）：平成 11 年 6 月末梅雨前線豪雨災害 6.29 土砂災害（速報版），67p.
- 2) 曾我部淳（2015）：地質の違いから見た土石流の個性と被災状況，平成 26 年広島土砂災害に学ぶー土地の成り立ちを知り，土砂災害から身を守るー，67p.
- 3) 土木学会（2015）：平成 26 年 8 月広島豪雨災害調査報告書，69p.
- 4) T. Sasaki I. Hagiwara N. Iwata S. Miki Y. Ohnishi T. Koyama（2015）：Parameter studies of practical rockfall problems with fluid flow by 3D-DDA, 12th International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation.
- 5) 国土技術政策総合研究所（2007）：砂防基本計画策定指針（土石流・流木対策編）解説，74p.