

4.4 土石流

土石流とは、崩壊した土砂・岩塊が水と一緒に、速い流速で長い距離を流下する運動形態のものを指す¹⁾。この定義では、単純な急斜面の斜面崩壊との区別においてやや曖昧な部分もあるが、ここでは、後に示す衛星写真上の判読によって、土砂の流下痕が筋状であると認められるものを抽出した。その意味では、国土地理院の情報集約マップ²⁾において示されている土石流の判読箇所と整合しない部分もあることをお断りしておく。

4.4.1 発生場所の概要³⁾

図 - 4.4.1 は、地震後 7 月 2 日に撮影した栗駒山付近の衛星画像である。写真の茶色になった筋状の部分が土石流の発生した箇所である。国土地理院の判読を参考にして、ここでは以下の 6 つの区域で土石流を紹介する。

- 駒の湯を襲った土石流（ドゾウ沢，裏沢）
- 産女川上流部
- 耕英南（御沢，冷沢）
- ヒアシクラ沢
- 湯沢市秣岳（まぐさだけ）南
- 山王山

注)このうち、は平成 17 年春の融雪期に生じた地すべり性のものであり、今回の地震では土石流的な動きは示していない。衛星画像から判読にされたため、参考のためここに記す。

表 - 4.4.1 は、上記六つの土石流の諸元を示している。土石流の流下水平距離（崩壊部の源頭から流下端まで）は、ドゾウ沢で発生したものが圧倒的に長い。また、耕英南（御沢，冷沢）は、崩壊部および流下端の勾配とも最も小さい。～ の崩壊部は、沢部に到達していないため、流下端勾配は大きい値となっていることがわかる。なお、崩壊部の土量は、産女川上流部が最も多く、1260 万 m³となっている。（以降の土量は、未推定である）

表 - 4.4.1 発生した土石流の諸元

場所	崩壊源頭標高	崩壊部最急勾配	流下端標高	流下端勾配	流下水水平距離
単位	(m)	(度)	(m)	(度)	(m)
①	1358	22.1	284	4.5	9636
②	1047	27.1	596	4.0	2424
③	533	7.5	313	2.3	2636
④	564	11.8	284	3.5	2145
⑤	1371	23.5	974	9.0	1578
⑥	528	27.1	329	19.0	421

駒の湯を襲った土石流（ドゾウ沢，裏沢）

東栗駒山山頂に近いドゾウ沢に面する斜面で発生した崩壊によって土石流が発生した。国土地理院によれば、源頭部での土砂崩壊の規模は、長さ約 200m、最大幅約 300m、最大厚さ約 30m、崩壊土砂量約 150 万 m³（東京ドーム約 1.2 杯分）と推定されている。写真 - 4.4.1 に源頭部の空撮写真を示す。この写真を見て気がつくことは、源頭部で起こった崩壊が対岸の尾根を乗り越えていること、左下の雪渓の下部が土砂を被って茶色になっていることである。図 - 4.4.2 に衛星画像の拡大図を示した。

標高約 1360m から崩壊した土砂は、沢に沿って一気

に駒の湯まで標高差 800m を流れ下った。死者 7 名を出した駒の湯は、土石流に飲み込まれたものであるが、本来土石流が流下するはずの沢が駒の湯対岸の斜面の崩壊によって埋まったため、土石流の流れが宿側に方向を変えたことが原因である。



図 - 4.4.1 栗駒山付近の衛星画像（黄色の点線が県境を表す）、宇宙航空研究開発機構（JAXA）、岩手大学地域連携推進センターリモートセンシング実用技術開発室（2008.7/2 撮影画像）



図 - 4.4.2 ドゾウ沢，裏沢の土石流の衛星画像、図 - 4.4.1 の拡大図（ALOS “だいち” 衛星画像）

土石流はさらに、駒の湯を越えて裏沢を約 5km 下流の行

者滝（写真 - 4.4.2）まで流れ下った。この間の標高差と距離の関係は、図 - 4.4.3～4.4.4 のようにまとめることができる。土砂の堆積量は、旧地形と堆積後の地形の比較によって、駒の湯付近で約 50 万 m³、行者滝上で約 65 万 m³ と算定されている。両地点で堆積量が多くなっているのは、同地点付近で生じた斜面崩壊によって河道が閉塞されていたためである。なお、源頭部の崩壊及び駒の湯対岸の斜面の崩壊部分は、元々地すべり地形であったことがわかっている。駒の湯に堆積した土砂には、泥まみれになった大きな岩塊やブナの大木が大量に含まれている。写真 - 4.4.3 は、ドゾウ沢で確認された巨大な転石である。

なお、駒の湯を襲った土石流の詳細は 4.4.2 に記述する。



写真 - 4.4.1 ドゾウ沢，土石流源頭部，長さ約 200m，最大幅約 300m，最大厚さ約 30m，崩壊土砂量約 150 万立方メートル（撮影：4 学会合同調査団，6/18）



写真 - 4.4.2 行者滝上部，ドゾウ沢から流下した土石流の端部，人道橋（つり橋）に達している。：4 学会合同調査団，6/15 撮影）

産女川上流部

ドゾウ沢の北側に位置する産女川の上流部では、1260 万 m³ もの土砂崩壊が生じ、2km ほどを流れ下っている。図 - 4.4.5 に当該部分の衛星画像の拡大図を、図 - 4.4.7,8 に土石流の流下部の縦断面図, 3D イメージを示す。

耕英南（御沢，冷沢）

荒砥沢上流部巨大地すべりの北側に位置する御沢，冷沢でも、急斜面での土砂崩壊が沢部に流れ込み、土石流化している。図 - 4.4.9,10 に土石流の流下部の縦断面図, 3D イメージを示す。



写真 - 4.4.3 ドゾウ沢で確認された巨大転石（林野庁提供）

ヒアシクラ沢

荒砥沢上流部巨大地すべりの西側に位置するヒアシクラ沢では 500m ほどの土石流の流下があった。図 - 4.4.11,12 に土石流の流下部の縦断面図, 3D イメージを示す。

湯沢市秣岳（まぐさだけ）南

秋田県湯沢市秣岳南に位置する斜面では、平成 17 年の融雪期に生じた地すべりの崖すい部分が、地震によって拡大した。しかしながら、土砂の土石流的な動きは生じていない。衛星画像では、1.5km ほどを流れ下っていることが読み取れるが、これは平成 17 年時点のものであることがわかっている。図 - 4.4.13, 14 に地すべりの流下部の縦断面図, 3D イメージを示す。

山王山

岩手県一関市山王山の頂上付近から土砂崩壊が生じ、1km ほどを流れ下っている。図 - 4.4.15,16 に土石流の流下部の縦断面図, 3D イメージを示す。



図 - 4.4.5 産女川上流部の土石流の衛星画像，図 - 4.4.1 の拡大図



図 - 4.4.6 耕英南（御沢，冷沢）の土石流の衛星画像，図 - 4.4.1 の拡大図



図 - 4.4.3 駒の湯を襲った土石流の流下経路と推定堆積土砂量（復建技術コンサルタントによる）

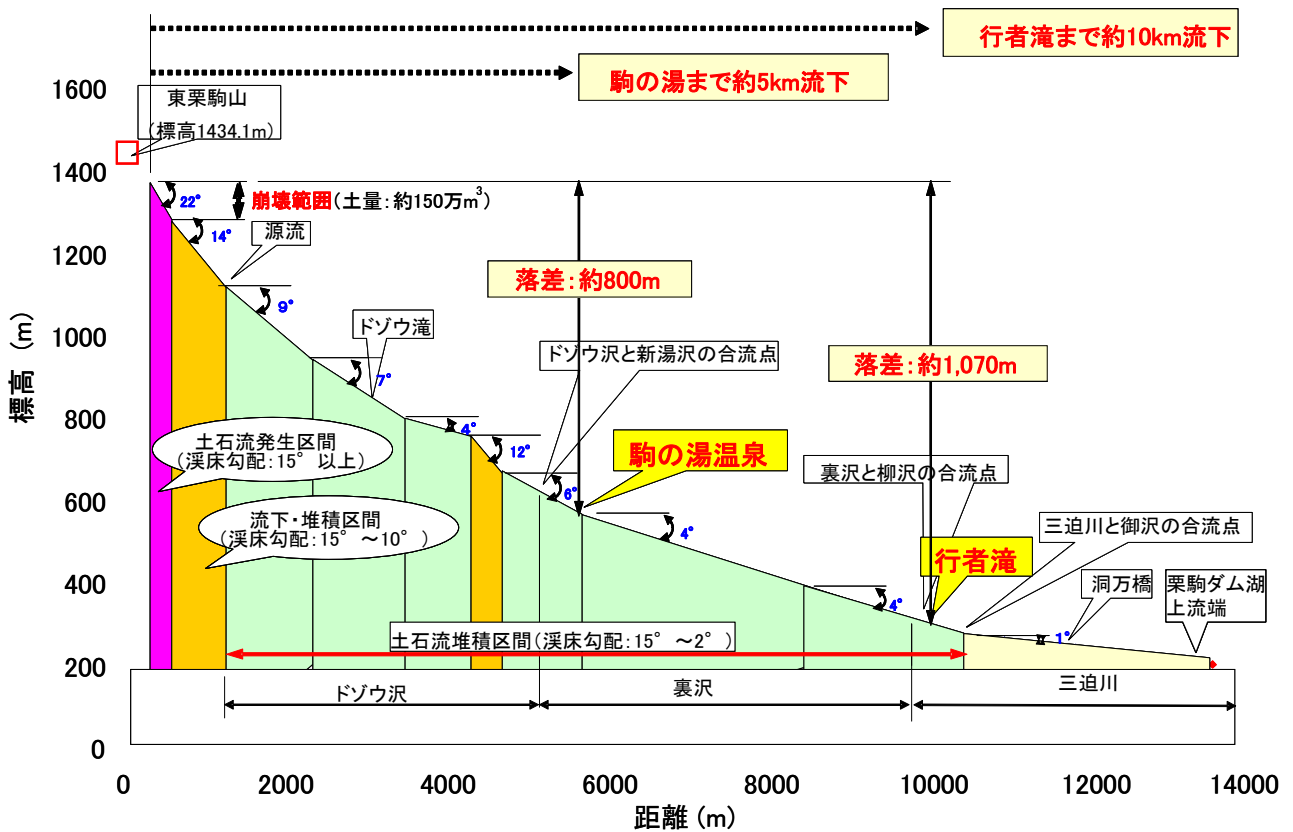


図 - 4.4.4 駒の湯を襲った土石流流下経路の溪床勾配（復建技術コンサルタントによる）

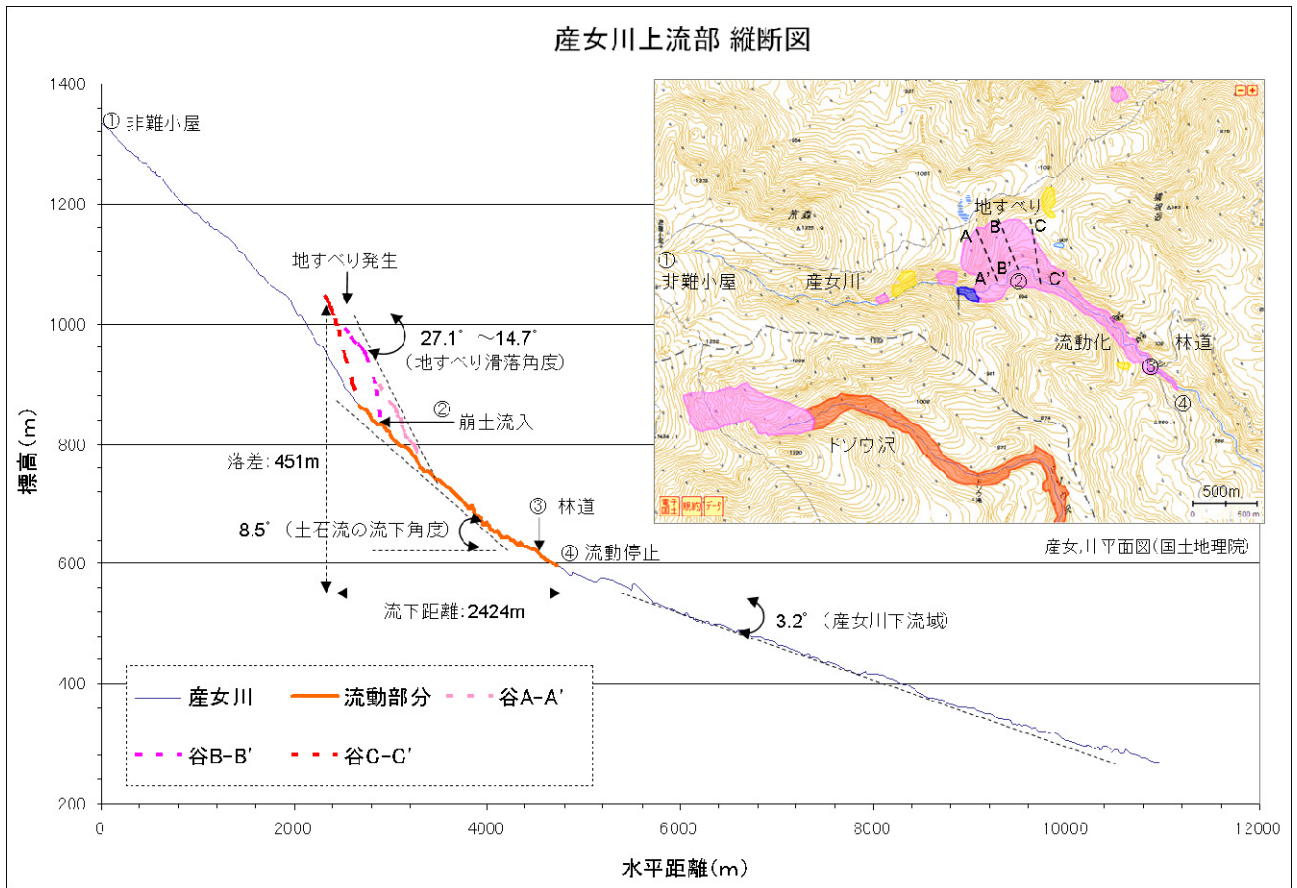


図 - 4.4.7 産女川上流部の土石流の縦断面図

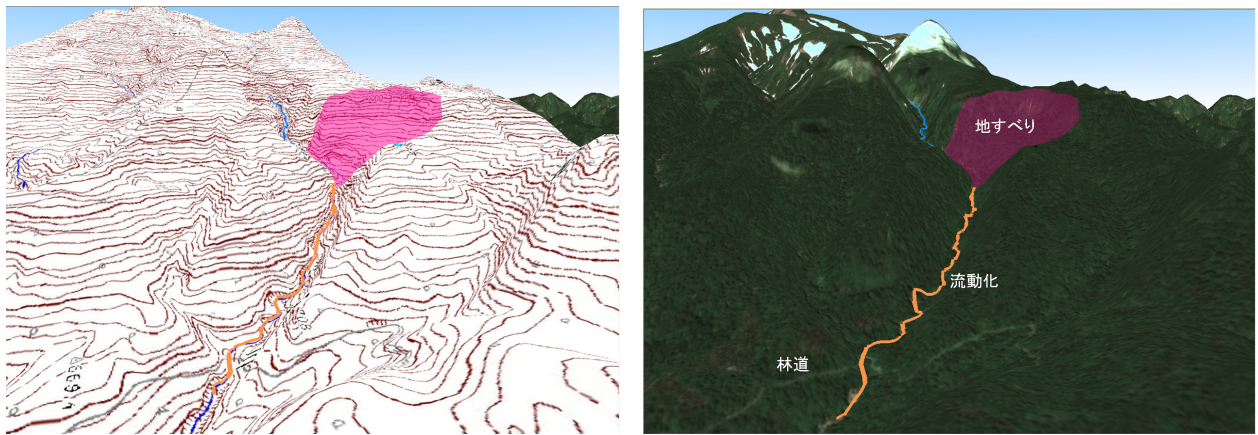


図 - 4.4.8 産女川の土石流 3Dイメージ

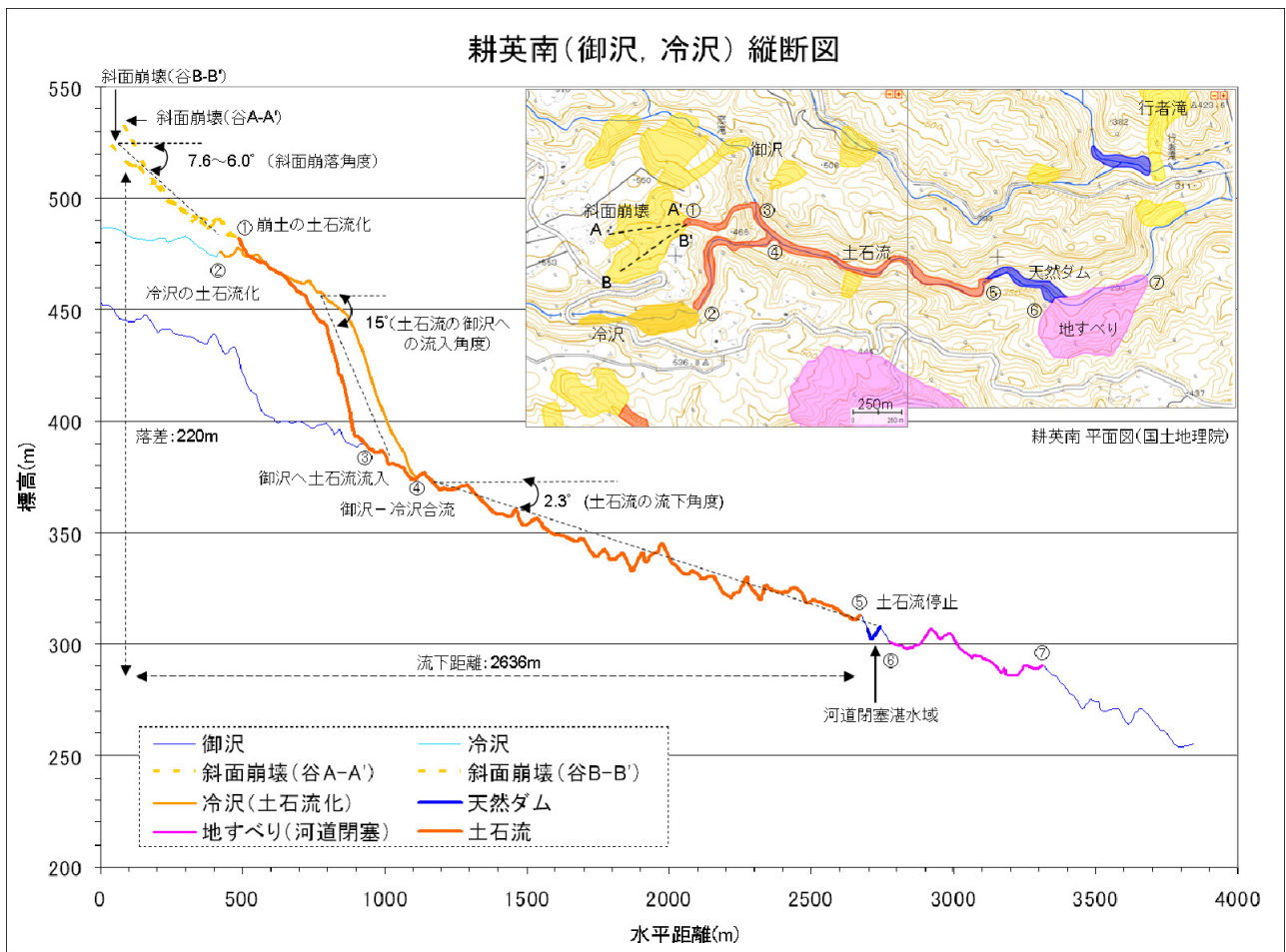


図 - 4.4.9 ヒアシクラ沢の土石流の縦断図

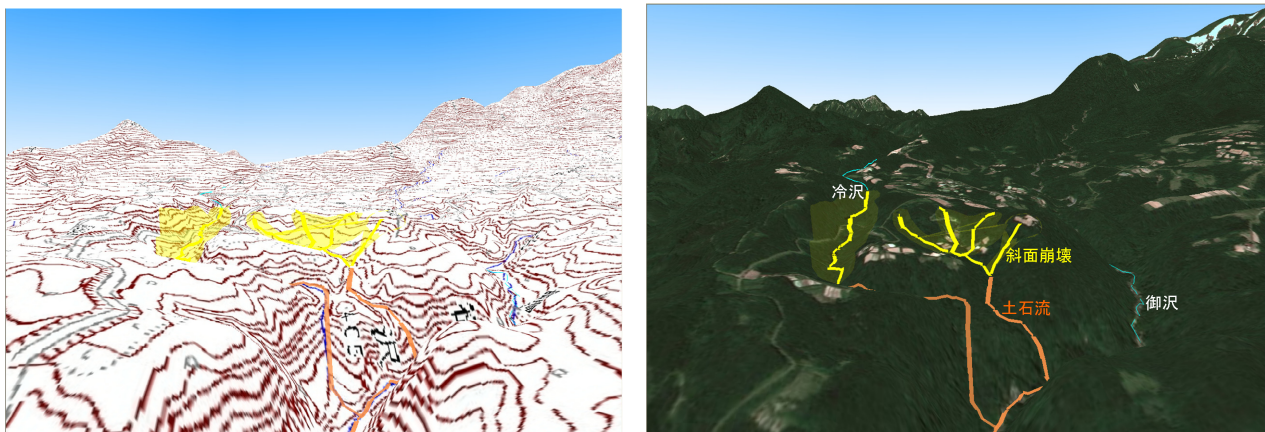


図 - 4.4.10 ヒアシクラ沢の土石流 3Dイメージ

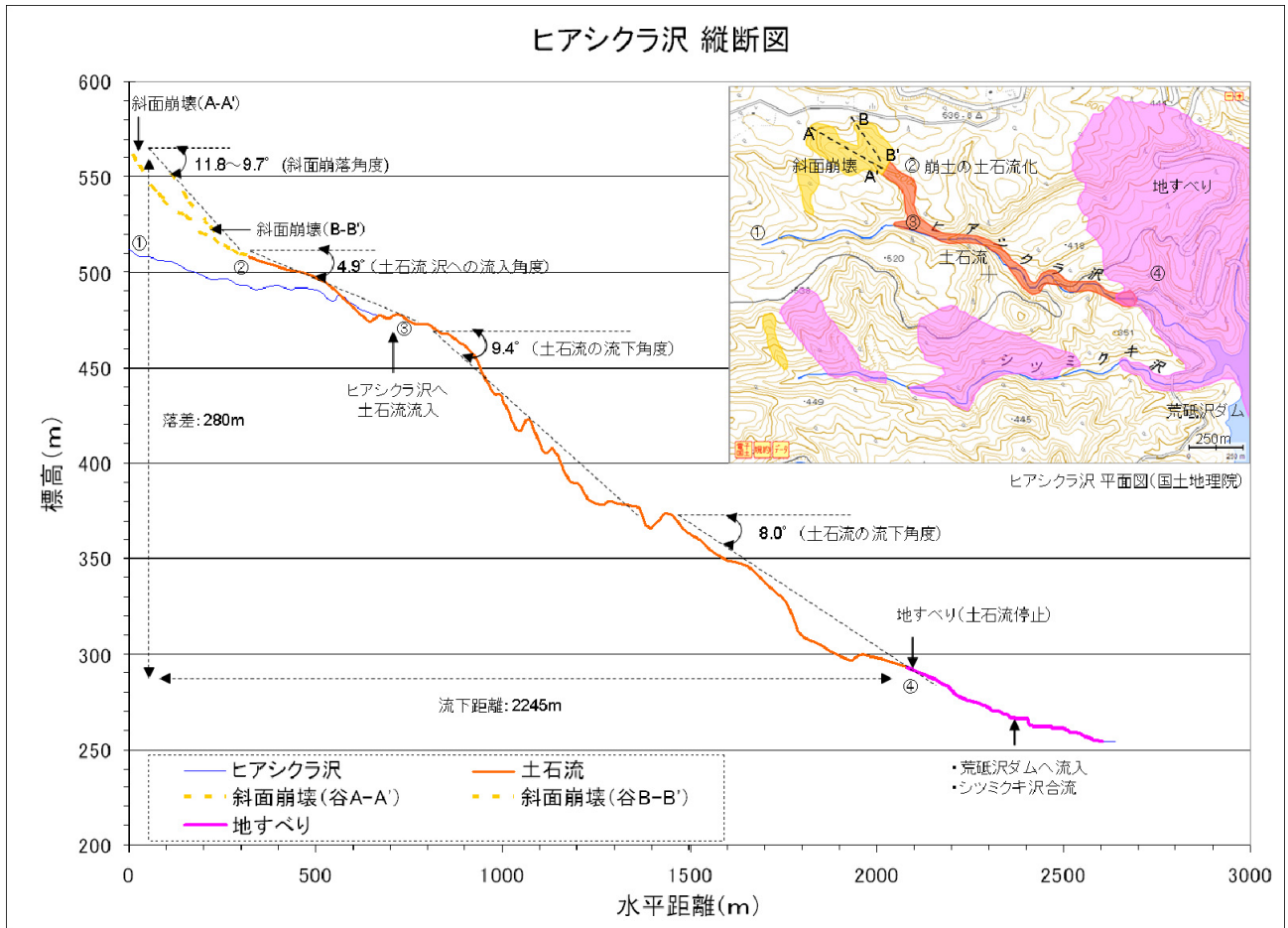


図 - 4.4.11 ヒアシクラ沢の土石流の縦断図

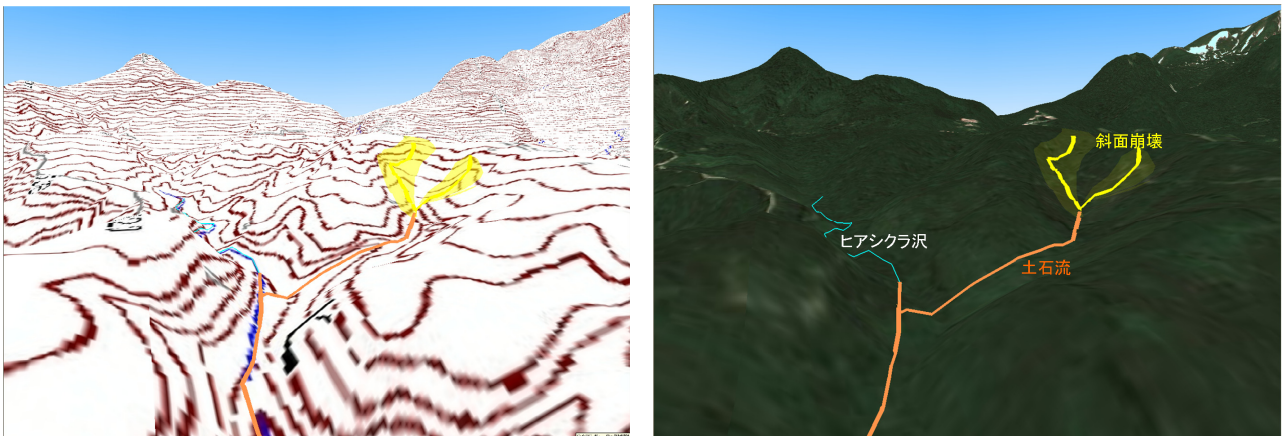


図 - 4.4.12 ヒアシクラ沢 土石流 3Dイメージ

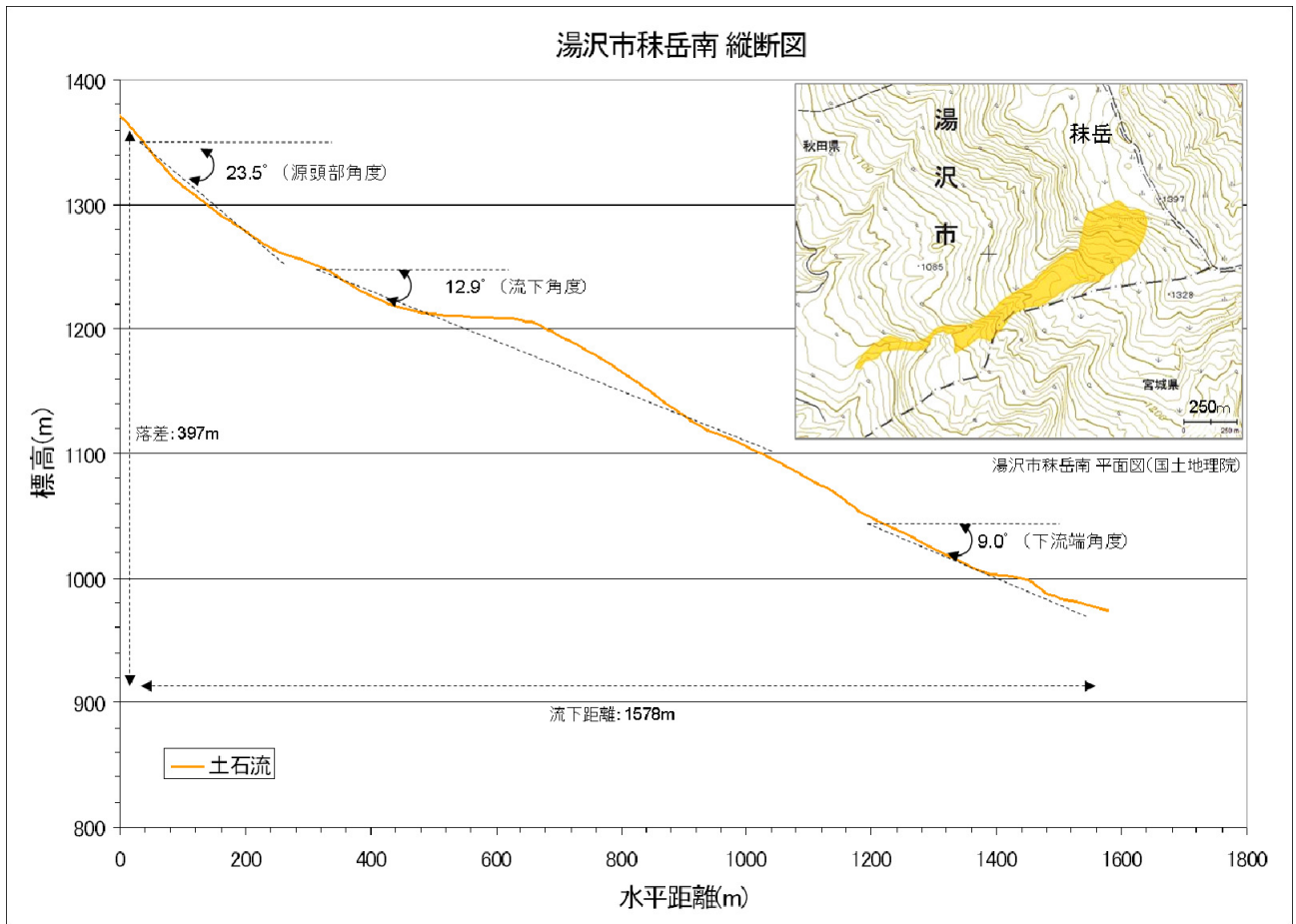


図 - 4.4.13 湯沢市秣岳南の地すべり(H17)の縦断面図

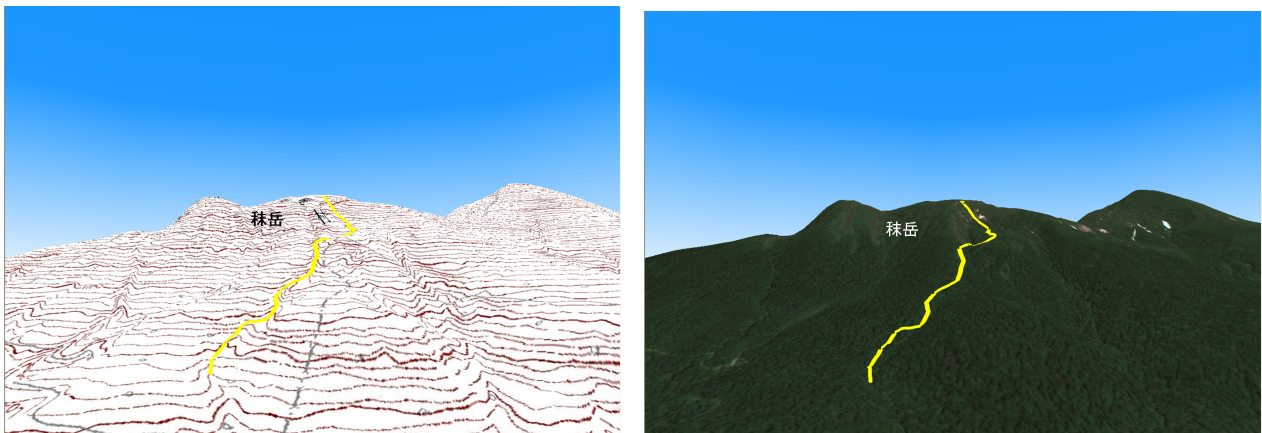


図 - 4.4.14 湯沢市秣岳南の地すべり 3Dイメージ

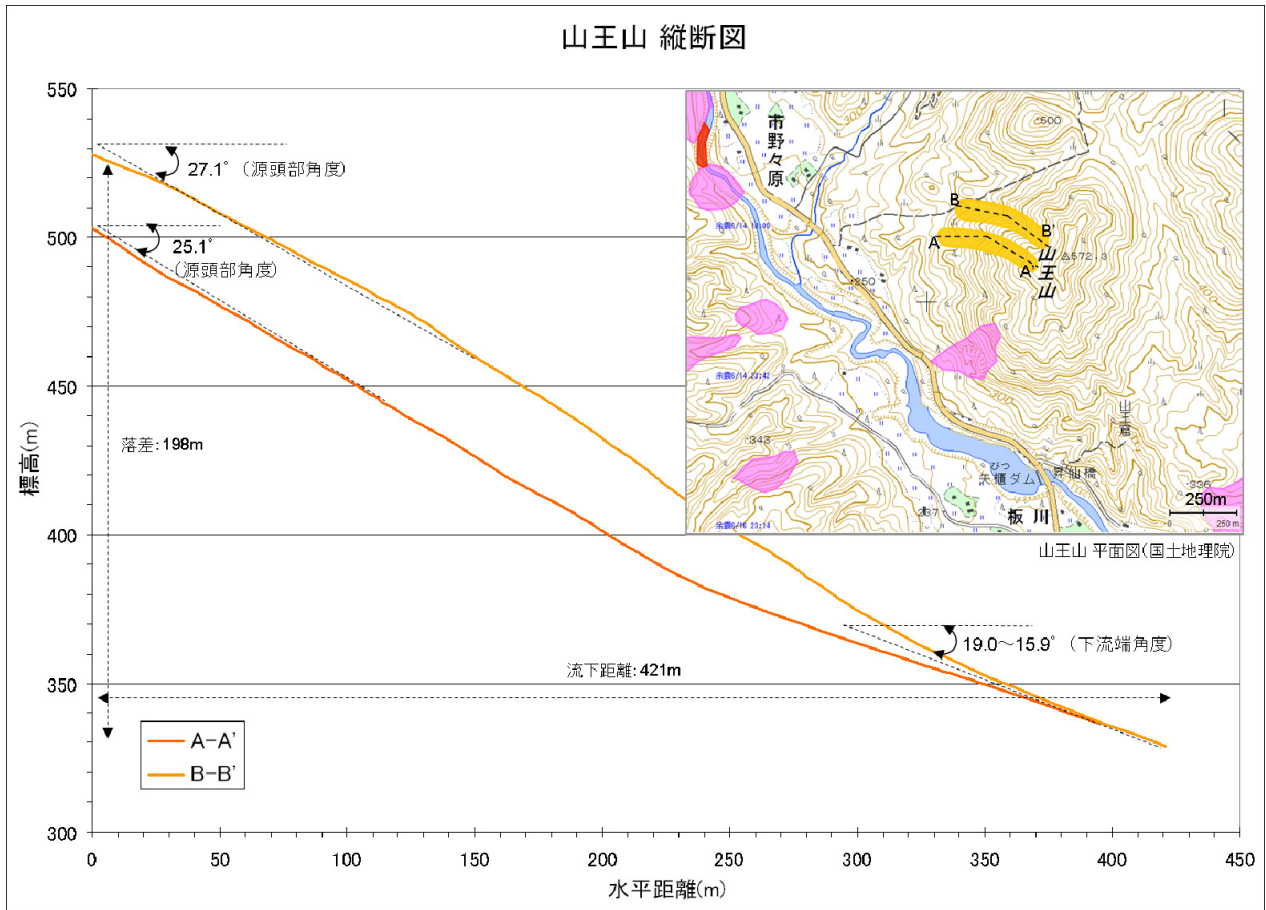


図 - 4.4.15 山王山の土石流の縦断図

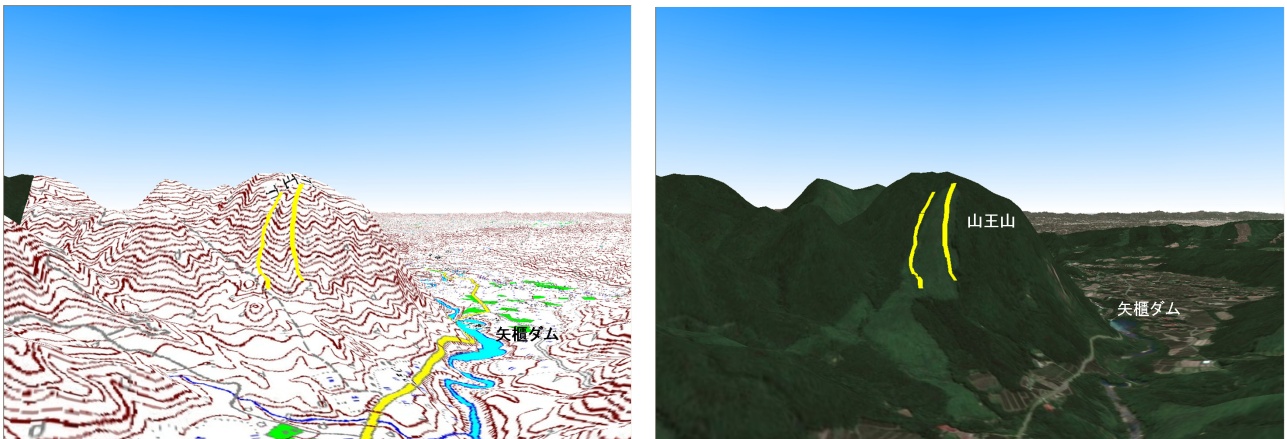


図 - 4.4.16 山王山 土石流 3Dイメージ

4.4.2 駒の湯温泉を襲った土石流の詳細

駒の湯温泉では、土石流により多くの死者・行方不明者を出した。この駒の湯温泉を襲った土石流の推定される時系列は次のとおりである。

東栗駒山頂付近の火山噴出物(安山岩溶岩・火山砕屑岩, 約 150 万 m³: 国土地理院発表)が地震により崩落し, 土石流となって時速約 30km の速さで下流へ流れ始めた。

地震の際に、と同時に駒の湯温泉の対岸の山が地震で地すべり崩壊し, ドゾウ川を閉塞した。

地震発生から約 10~15 分後(後段: 菅原さんの共同記者会見参照)に, 源頭部からの土石流が駒の湯付近まで到達した。河道が閉塞されていたため, 行き場を失った土石流は約 30m 高台にあった駒の湯温泉側に流れ込み宿を襲った。(死者 5 名, 行方不明者 2 名)その後, 土石流の一部はさらに下流に流れ下り, 約さらに 5km 先の行者滝まで到達し, そこに架かる吊り橋に堰き止められる形で止まった。

以降には, 得られた画像等をもとにしながら土石流の足跡を時系列にまとめて示した。

(1) 地震により土石流が発生

- 平成 20 年 6 月 14 日(土) 午前 8 時 43 分頃発生
- 山腹崩壊土量; 約 150 万 m³ (国土地理院発表)



写真 - 4.4.4 源頭部の崩壊状況 (提供: 早川輝雄氏)



図 - 5.4.17 駒の湯温泉を襲った土石流の概要



写真 - 4.4.5 崩壊前の源頭部の状況 (提供: 早川輝雄氏)



写真 - 4.4.6 土石流発生箇所の植生 (提供: 早川輝雄氏)

(2) 駒の湯温泉対岸で地すべり発生

- 土石流襲来の前に対岸の山が地すべり崩壊した。



写真 - 4.4.7 地すべり発生状況 (提供: 早川輝雄氏)



写真 - 4.4.8 地すべり発生状況

(3) 土石流が駒の湯温泉を襲う

- 駒の湯温泉対岸の地すべりによりドゾウ沢が堰き止められた。
- そこへ土石流が襲来し、流路を塞がれた土石流は駒の湯温泉をのみ込んだ。
- 生存者(菅原昭夫氏)の記憶では、地震発生から10~15分後に土石流が襲来した。
- 土石流は約30m下を流れているドゾウ沢から上ってきた。
- 人的被害: 死者7名(内2名は、1年後に遺体収容)
- 建物被害: 本館1棟全壊、ほか4棟程度埋没流失



写真 - 4.4.9 駒の湯温泉を襲った土石流跡

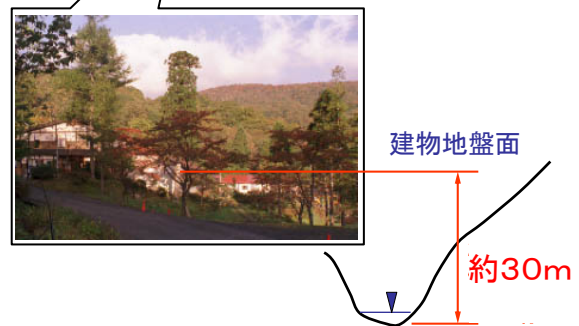
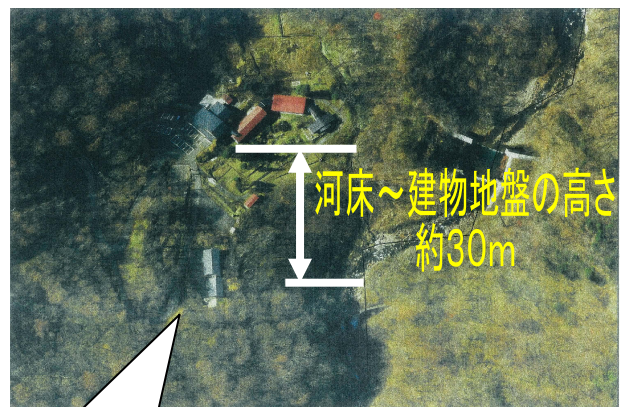


図 - 4.4.18 河床と建物の高低差(約30m)



写真 - 4.4.10 地震直後の駒の湯 (2008/6/14 11:24 飯塚さん撮影, 山岳写真家 早川輝雄さん提供)



写真 - 4.4.13 駒の湯温泉周辺, 堆積した土砂が広がる, 写真奥には現在のドゾウ沢の流路, 手前には行方不明者捜索のために敷かれた足場が見える.



写真 - 4.4.11 捜索状況 (2008年6月18日)



写真 - 4.4.14 土石流通過跡



災害当時この建物はなかった

写真 - 4.4.12 災害当事にあった建物 (提供: 早川輝雄氏, 2003年頃撮影) 写真は上流側を望んでいる. 沢は写真外の右側に位置している. 中央の木は, 土石流によって破壊されなかったもので, 写真 - 4.4.9 との比較により, 建物が 50m ほど回転しながら移動したことがわかる.



写真 - 4.4.15 泥に覆われた巨石



写真 - 4.4.16 泥に覆われたブナの大木

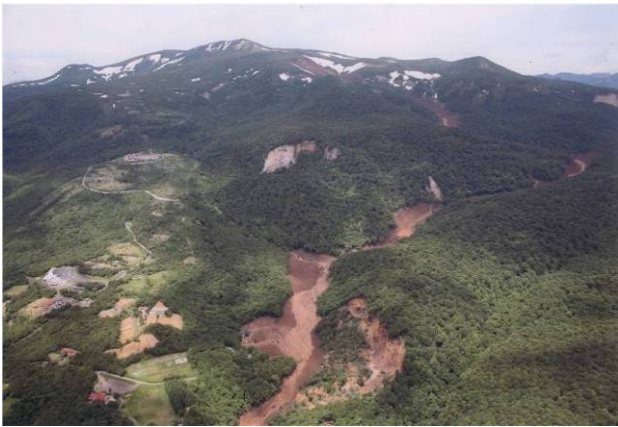


写真 - 4.4.17 源頭部から駒の湯温泉に至る土石流跡

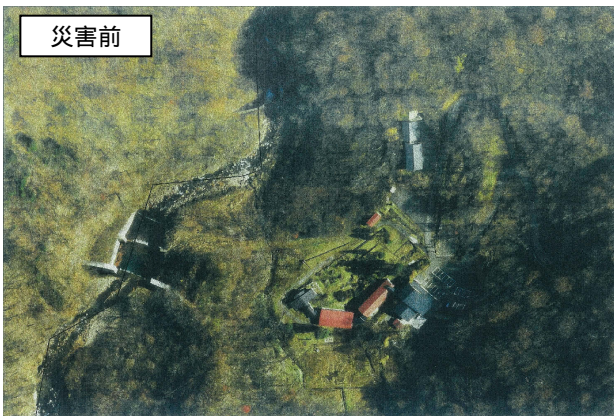


写真 - 4.4.19 災害前のカラマツの木
(提供：早川輝雄氏，上；2006年撮影，下；2003年頃撮影)



写真 - 4.4.18 土石流災害前後の状況



写真 - 4.4.20 無事残ったカラマツの木2本

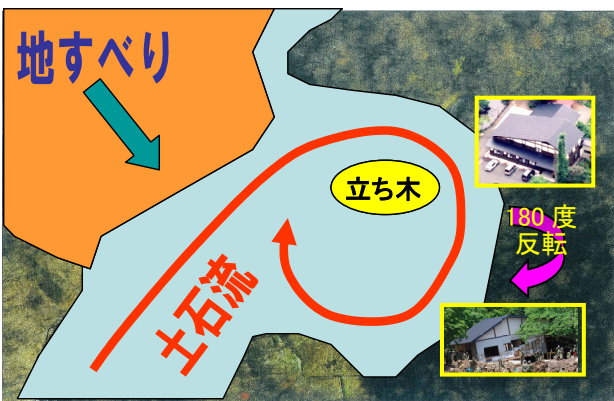


図 - 4.4.19 2本のカラマツの木が残った理由の推定図



写真 - 4.4.21 土石流災害4日後の状況(6/18撮影)
表面排水を施すもマット無しでは歩行も困難であった。



写真 - 4.4.23 吊り橋で土石流が止まった様子(行者滝)



写真 - 4.4.24 行者滝で堰き止められた土石流



写真 - 4.4.22 土石流堆積状況と土石流中の礫等



写真 - 4.4.25 土石流が電線に衝突した衝撃で折れた電柱

(4) 土石流は行者滝に架かる吊り橋で止まる

- 土石流は源頭部から約 10km 下流の行者滝にて、吊り橋に堰き止められる形で止まった。
- 土石流が吊り橋と電線に衝突した衝撃で、吊り橋脇の電柱が破断した。

駒の湯温泉の建物内において土石流に襲われ、奇跡的に救出された生存者（菅原昭夫さん）が語った当時の状況を下記に示す。

向かいの山が崩れ、土石流が襲ってくる状況について

- 駒の湯温泉で奇跡的に救助された菅原昭夫さんの共同記者会見から -

- 「・・・お客さんが“山が崩れた！”と言ってあわてて上がってきたので、私もあわてて外を見ましたならば、向かいの沢が上の崖が崩れていまして、だんだんと水位が上がってくるような感じがしたんですよ。・・・ものすごい轟音とともに土石流が迫ってくるのが見えたとですよ、建物の方へ向かってくるのが。それで、あわてて、土石流が来る方向とは反対側の建物の一番奥の方に、一番遠い方に逃げていったんですよ。もしかしたら、建物が潰されても、そこまでは来ないだろうと、瞬間的にそう思ったんですけどもね。」
- 「そんな勢いではなくて、圧倒的なパワーですね、建物がどんどん潰されて畳まって迫ってくる感じがあったんですよ。逃げるしかないのので、一番奥まで逃げ込んで、裏口から出ようとしたんですけども、そのドアもやっぱりゆがんで開かなくて、結局、洗濯室に閉じ込められた状態だったんですよ。」
- 「母は、目の前のすぐ私の1mぐらい右前方にいたのですが、やっぱり出られなくて、そのうち建物は流されていきながら、母は転倒してしまって、その上に瓦礫が崩れてきて、母も見えなくなってしまったんですよ。」
- 「建物が潰されてくるだけでなく、土台から外れてですね、移動していくのもわかったんですよ。あっ、これは止まってないなと思ってね。その間も、私は転んだら終わりだなと思って、転ばないように必死でバランスをとりながら、どこまでいかわかんないその中で、止まっていたんですけどね。・・・」
- 「・・・一部で、洗濯機ごと2階に押し上げられたという話があったようですけども、そういうことはなくて、私は一番下で埋もれていました。・・・」
- 「・・・そのとき、肋骨と右足の甲の骨が折れていましたので・・・木の枝と空がちょっと見えたので、そちらの方向に行きたかったんですけども、痛くて、腹ばいにならないと出られないのに、腹ばいにはなれなくて、もうやっぱりダメかなあと思ったんですけどもね。もう一回揺れが来て、もう一回土石流が来たらもう終わりだと思って、・・・何とか上へ出たんです。そしたらもう、・・・本当に泥の海で、信じられないような光景が広がってありました。・・・」
- 「・・・目の前の沢というのは、家の玄関からみると30mくらい下を低いところを流れているんですよ。ですので、それがそこを抜いてですね、水が迫ってくるというのはちょっと考えられなかったです。いつも一番心配しているのは、家のすぐ裏に池があって、その池の上の山が崩れてこないかという心配をしていました。また、そこは砂防指定地といいまして、地すべり地帯なんですね。20年くらい前に、地すべり工事をしていまして、下に砂防ダムも3段に造ってまして、何かあった場合の一番心配ごとはその裏の山が崩れてくること、あと、その地すべりで建物自体が沢の方に流れてしまわないかというのが、一番心配でしたけれども、そのときは、あれほどの揺れでしたけれども、裏の山は崩れなかったのので、本来ですと池側の方に逃げるということは危ないことなんですけども、今回に関しては逆でして、結果的にですね、普通考えられない方向から来たと思います。・・・」
- 「(今までみたこともない光景とは)・・・30mも低い沢が目の前で同じ高さまで来たということで、例えば昨日まで病院の5階に入院していたんですけども、そこから下の駐車場を見たよりも低い所から上の5階の窓まで水が上がってきたという感じと想像していただければ。・・・」
- 「・・・私どもの宿は玄関から一段下りたところに1棟、それからもう1段階を下りたところに、1段というか1つ降りたところに1棟、さらにそこからもう一つわたり階段を通ってお風呂という、まあ変形4階ですね、そういう地形上です・・・」
- 「・・・玄関からお風呂場までは廊下で100mほどあるんですよ。その間、階段が40段ほどあります。たぶんだいぶ、いままでないくらい建物がゆがんでおりましたので、歩きにくい状態だったとおもいますが、ただ岸さんたちが走ってきましたんでね、途中の階段とかが壊れてないだろうとは思いましたけどもね。・・・」
- 「・・・お風呂場あたりは15mくらい埋まっていると思いますし、源泉のあたりはお風呂場に近いんですけども、3~4m高いところであって、10m以上土砂に埋まっている状態なんですよ。」
- 「それも、土砂といいまして、泥沼みたいな状態です・・・」
- 「・・・とにかく、出て、建物はあり得ない場所に移動してましたし、1階は潰れて2階は本来ある形とは180度近い動きを変えていましたので・・・」
- 「木が2本だけ残っていますが、それはこの木です。すぐこの脇から玄関だったんですけど、これがはるか後ろのこの木まで移動して、今その木のどれくらいでしょうね、1/3くらいは埋まっているのではないかと思います。」
- 「(地震の揺れが収まってから土石流が来るまでの時間は?)・・・あのときは時計をみる余裕はありませんでしたし、でも感じ的には10分から15分ぐらいの間だった気がするんですけどもね。新聞で見ると、8分から9分で来たという分析のようですけども、だとしたらそうかも知れないですとしか言いようがないですよ。何分くらいかというのは、揺れた時間というのは、実際自分が思っているよりも短かったりしますからね、ですので、感覚的にはその10分前後かまあ少し経ったかというぐらいですかね。・・・」

- 2008年7月31日、栗原市役所に於ける共同記者会見より -

4.4.3 土石流を対象とした土砂災害対策^{4)~8)}

本稿では岩手・宮城内陸地震災害で規模の大きい土石流災害の発生した宮城県栗駒市の三迫川上流域裏沢(ドゾウ沢)と岩手県一関市の産女川における土砂災害対策(ハード対策・ソフト対策)について述べる。二つの土石流とも栗駒山の源頭部に近い国有林野内で発生した大規模崩壊の発生が原因となっている。

裏沢(ドゾウ沢)で発生した大規模崩壊地の最大幅は約300m,最大長は約200m,発生前の斜面勾配は約23°である。崩壊地の下方斜面では表面侵食が卓越する。崩壊土砂上には数m程度の溶岩礫が多数確認でき,崩壊地の対岸に崩壊土砂が乗り上げた斜面にも溶岩礫が多数点在している。

崩壊発生前の空中写真(2007年10月撮影)を判読した結果,崩壊地とその周辺範囲は高山植生で覆われ,崩壊頭部周辺には露岩地が点在し,斜面には大小の沢地形が見られた。崩壊発生後の空中写真では,崩壊地周辺の沢筋や凹地に残雪があったことから,当該崩壊地でも崩壊発生前に残雪があったものと推定される。崩壊地内の流水痕跡の上端(湧水源)は露岩範囲の上端であった。空中斜め写真で確認した結果,露岩範囲の上位には溶岩層が滑落崖となっていたことから,この崩壊地はキャップロック構造となっていた可能性が高い。崩壊地内に多数の流水痕跡が確認できること,周辺に残雪が確認できることから,地震によって崩壊した土砂は地下水や表流水に加えて雪解け水などによって流動化したものと推定される。流動化した土砂は崩壊地対岸のドゾウ沢左岸山腹斜面に乗り上げて流れ,ドゾウ沢の谷に沿って流れた土砂と合わさって土石流となって流下したものと推定される。

土石流は偏流によって左右岸の山腹斜面に乗り上げ,斜面の表層土壌や立木を侵食しながら流下している。なお,土石流が流下した範囲では表層が侵食されているが,斜面上の比較的勾配が緩い範囲には土砂が堆積している。土石流の性状は堆積物から推察するとかなり流動性が高く泥流状であったものと推定される。空中写真から読み取れる流下幅と偏流高から,水山・上原(1981)による左右岸の最大水位差と流速の関係式を用いて土石流の平均流速を試算したところ9~12m/s程度という値を得た。この流速だと土石流は崩壊地から駒の湯温泉まで約7分~9分で到達したものと推定される。

三迫川上流域の荒廃面積は約125ha,荒廃率9.2%,渓床不安定土砂量は89万 m^3 ,崩壊残存土砂量は33万 m^3 ,合計約122万 m^3 の不安定土砂量がある(岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会)。土砂災害対策の方針としては崩壊発生源の対策,崩壊発生源から駒の湯の区間,

駒ノ湯温泉から行者の滝間の区間,行者の滝から栗駒ダム間の4つに区分して対策の検討がなされている。崩壊発生源の対策は今後も浸食による土砂生産は予想されるものの,地形が急峻でかつ気象も厳しいこと,さらに森林生態系保護地域に指定されていることから当面の緊急施工は見送り,航空緑化工などの対策をとることとしている。崩壊発生源から駒の湯の区間は土石流の流下により山腹や渓岸が浸食されており,表層崩壊や河床浸食による土砂の生産が予想されることから,駒の湯温泉の上流側に谷止め工の設置が計画されている。駒ノ湯温泉付近の土石流堆

積区間はえん堤工や渓流保全工の整備がなされる。駒ノ湯温泉から行者の滝間の区間は土砂流出状況や崩壊地の拡大状況をふまえて必要があれば渓間工,えん堤工を検討するとしている。なお,災害発生直後に行者の滝北側で発生した山腹崩壊の土砂が裏沢の河道を閉塞したため,直轄砂防災害関連緊急事業により除石や流木除去がなされた。柳沢を閉塞した沼倉裏沢地区についても同様である。両河道閉塞区間は今後,床固工による通水断面の確保と埋塞土砂の安定化を図るとともに,山腹工の施工もなされる。行者の滝から栗駒ダム間は渓床の変動の大きい区間であり,土砂や流木の流出や渓岸浸食が予想されることからえん堤工の設置が計画されている。

ソフト対策としては工事の安全管理や下流の住民のために雨量計,水位計,ワイヤーセンサ,監視カメラの設置がなされ,国・県・市の一体となった情報連絡体制が構築されている。

産女川においては笹森山の遼急線付近(標高約1000m)から山体崩壊が発生し,対岸を乗り上げて河道を閉塞し,一部は下流へ1.5km程度の狭窄部に流下した。崩壊の規模は斜面長400m,幅350m,最大滑落高さ100mである。狭窄部にかかっていた林道橋は破壊され流出した。狭窄部付近の河道は最大で20~30m程度上昇している。笹森山緩斜面の地質はドゾウ沢と同様に栗駒溶岩である。下部には凝灰角礫岩などの火山性粗粒物である。崩壊発生後の空中写真では,発生源にはドゾウ沢と違い残雪は無かった。このためドゾウ沢に比べ,山体中の地下水が比較的少なく,土石流流下距離が短かったと推定される。なお,地震後の6月19日には旧林道橋から下流1.5kmに土石流が流下している。本土流は狭窄部で堆積していた土砂の流出と下流河床堆積物の浸食によるものである。産女川の荒廃面積は約36ha,荒廃率3.7%,渓床不安定土砂量は248万 m^3 ,崩壊残存土砂量は647万 m^3 ,合計約895万 m^3 の不安定土砂量である(岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会)。土砂災害対策の方針としては崩壊発生源の対策,崩壊発生源から旧林道橋の区間,旧林道橋から国有林境界の区間,国有林境界の区間から磐井川合流間の4つに区分して対策の検討がなされている。

大規模崩壊地の発生した冠頭部と崩壊土砂堆積土砂の末端は不安定となっている。冠頭部背後には開口亀裂があり,拡大傾向が続いている。このため,伸縮計等の変状を計測するシステムが構築され今後の対策が検討されることとなっている。崩壊堆積地本体は流出を防止するため山腹工,水路工,土留工が必要に応じて対策を行うことが計画されている。崩壊発生源から旧林道橋の区間は膨大な土砂が堆積しており,流出する危険性が極めて高い。このため,渓間工の施工が予定されている。なお旧林道橋付近に谷止工の設置が予定されている。旧林道橋から国有林境界の区間は国有林界に谷止工の施工が予定されており,不安定土砂の流出抑制を図る予定である。国有林境界の区間から磐井川合流間は災害発生直後に既設砂防堰堤の緊急除石が直轄砂防災害関連緊急事業によりなされた。

ソフト対策としては工事の安全管理や下流の住民のために大規模崩壊地に伸縮計が設置されている他,雨量計,ワイヤーセンサ,監視カメラの配置がなされ,国・県・市の

一体となった情報連絡体制が構築されている。

今後の土砂流出対策としての課題は、融雪や豪雨による土砂の二次移動である。今回の地震による大規模な土砂イベントは、今後、数十年、あるいはそれ以上の長期間にわたって、土砂生産の発生した上流域だけでなく下流域まで大きな影響を与え続けられると思われる。土砂ばかりでなく、流木、濁水、生態系などの面も含め長期モニタリングが不可欠である。



写真 - 4.4.26 産女川の大規模崩壊地。山体崩壊地及び堰き止め土体から湧出する地下水が見られる。



写真 - 4.4.27 産女川を閉塞してできた堰き止め湖



写真 - 4.4.28 源頭部直下の大規模崩壊末端の堆積状況



写真 - 4.4.29 源頭部直下の大規模崩壊末端から下流を望む。流下堆積痕が高い場所まで残っている。



写真 - 4.4.30 旧林道橋の流出跡



写真 - 4.4.31 旧林道橋直上流の狭窄部末端での土石流停止による堆積物

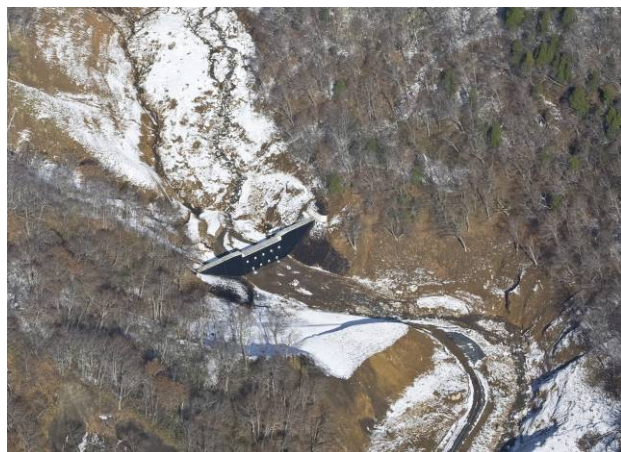


写真 - 4.4.32 二次災害の恐れが高い土砂災害の現場において、安全かつ迅速に工事を実施するため無人化施工機械にて工事を実施した（国土交通省提供）

4.4.4 被災から1年8ヵ月経過後の土砂災害対策⁸⁾

前項は2008年6月14日の地震発生から約半年後の間に実施または検討された対策工について述べたが、ここでは、さらに1年8ヵ月経過後の2010年2月末現在までに実施もしくは計画されている土砂災害対策について述べる。なお、前項同様、本稿では岩手・宮城内陸地震災害で大規模な土石流災害が発生した宮城県栗駒市の三迫川上流域（ドゾウ沢、裏沢）と、岩手県一関市の産女川における土砂災害対策について述べる。

これまでに実施もしくは計画されている土砂災害対策箇所の一覧図を図-4.4.19に示す。



INSEM鋼製谷止工
 堤長: 71.5m, 堤高: 12.0m
 放水路天端幅: 4.0m, 堤体積: 4.294m³

写真 - 4.4.33 ドゾウ沢の治山ダム (林野庁提供)

三迫川上流域（ドゾウ沢、裏沢）

ドゾウ沢では、新湯沢との合流地点の上流で林野庁が治山ダムを計画し、平成21年11月に完成した(写真-4.4.33)。ドゾウ沢については、あと3基の治山ダム新設の治山事業全体計画があるが、施工予定箇所が国定公園第1種特別地域や森林生態系保護地域に指定されているため、治山ダムを更に設置するかどうかについては、土砂流出状況などを見つつ、慎重に検討を進めることとしている。

また、裏沢では駒の湯温泉付近の上下流で計4基、および行者滝の上流1箇所、それぞれ砂防ダムが計画されている。なお、行者滝上流では流路工が施工され平成22年3月に完成した。(写真-4.4.34)

さらに、行者滝下流付近の三迫川でも砂防ダムが1箇所計画されている。

このほか、行者滝の上流左岸の支沢で発生した小規模土石流箇所については、林野庁が山腹工と治山ダム3基を施工し、平成22年2月までに完成した。(写真-4.4.35)



写真 - 4.4.34 流路工 (国土交通省提供)



写真 - 4.4.35 山腹工と治山ダム (林野庁提供)

産女川流域

産女川流域では、林野庁が治山事業として上流域に治山ダム2基（うち1基はセル式治山ダム）を施工し、それぞれ平成21年3月と7月に完成した。（写真 - 4.4.36, 37）

また、小又川との合流点の上流付近に、治山ダムを2基施工し、平成21年11月に完成した。（写真 - 4.4.38, 39）

このほか、磐井川との合流点の上流側2箇所では、砂防ダムが計画されている。なお、同付近では、既設の砂防えん堤で河道が閉塞していたため除石作業が行われた。

産女川の下流部については、民有林直轄地すべり防止事業によって、既に25基の治山ダムが整備されている。



セル式治山ダム

堤長:67.1m, 堤高:12.0m
〔円形セルの直径:16.55m, 堤体積:7,460m³〕

写真 - 4.4.36 セル式治山ダム（林野庁提供）

このため、今後は、林道等が流された地点の上流の不安定

土砂対策として、国有林内に治山ダムの設置を進める計画となっている。

これまでの施工に際しての問題点としては、セルダムの施工に際して、施工箇所までのアクセス道路が被災しており橋の補強等を行う必要があったこと、および、ダム本体の着手が12月になってしまい約8kmの除雪を行うなど資材運搬路の確保に苦労したとのことである。

また、融雪期に土石流発生の恐れがあったため、寒さの厳しい1月を除き2交代の施工体制を組むことによって、融雪期前にダムを完成させることができた。



治山ダム

堤長:66.0m, 堤高:13.0m, 堤体積:4,292m³

写真 - 4.4.38 最下流から2段目の治山ダム（林野庁提供）



治山ダム

堤長:58.0m, 堤高:7.5m, 堤体積:1,547m³

写真 - 4.4.39 最下流の治山ダム（林野庁提供）



写真 - 5.4.37 セル式治山ダム直下の治山ダム (林野庁提供) (堤長:107.5m, 堤高:9.5m, 堤体積:4,283m³)

4.4.5 土砂の流動性評価の試み¹⁰⁾

4.4.1 では、土石流の発生に関する地形的な特性¹¹⁾⁻¹²⁾を述べたが、土砂の流動性評価を試みたので報告する。

流下時の栗駒山周辺の土砂は、礫を除けば主に火山灰質砂質土から構成されていると考えられるが、その含水状態や、空気含有量、流化時のせん断強度と流動性の関係を検討した。

試料としては、宮城県築館より採取した軽石混じり火山灰質砂質土を天日・炉乾燥し、細粒分含有率 Fc および含水比を調整したものを用いた。

(1) 空気含有量試験

細粒分含有率 Fc16, 33, 50%の火山灰質砂質土を含水比 33~50%で攪乱した後、コンクリート空気量試験機を用いて空気含有量を測定した。測定結果を図-4.4.20 に示す。空気含有量は含水比に比例して少なくなる傾向がみられた。また、細粒分含有率 Fc16%の試料はおおよそ Fc33, 50%より空気を多く含んでいた。

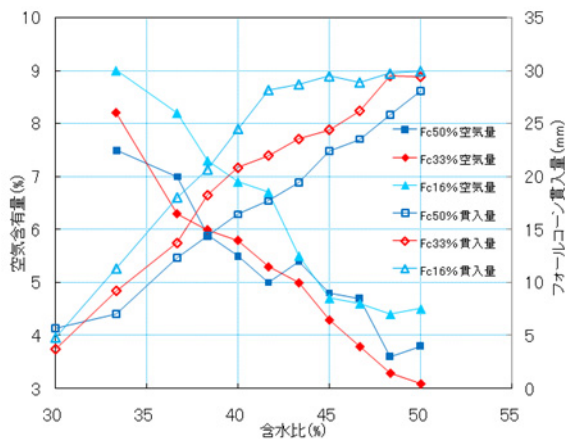


図-4.4.20 空気含有量・フォールコーン貫入量

(2) フォールコーン試験

細粒分含有率 Fc16, 33, 50%の火山灰質砂質土を含水比 30~50%で攪乱した後、フォールコーン試験装置を用いて、貫入量を測定した。測定結果を見ると、含水比に比例して貫入量が増大する傾向がみられ、細粒分が多いほど貫入抵抗が大きいことがわかる。

(3) フロー試験(水平)

含水比 30~50%, 細粒分含有率 Fc16, 33, 50%に調整して、コンクリートのモルタルに対して行われるフロー試験を行った。フロー試験(水平)方法は、直径 30(cm)のフローテーブル中央に、フローコーン(底面直径 10cm)につめた試料を置き、フローコーンを取り去って、15 回の落下運動を与えた後に、試料の広がった径を測定するものである。

図-4.4.21 に試験結果を示す。全体的に、含水量が多ければ大きなフロー値を示すが、Fc16%は含水比 43%付近でその勾配が大きくなった。Fc50%はフロー値が比較的小さい傾向がみられ、含水比が高い領域では細粒分含有率が高いほどフロー値が小さい。

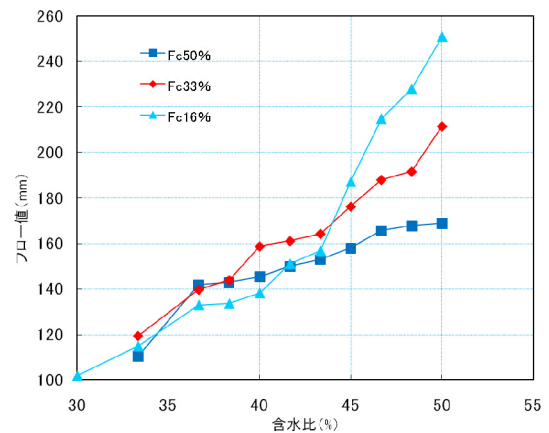


図-4.4.21 フロー試験(水平)の結果

(4) フロー試験(傾斜)

含水比 40~55(%), 細粒分含有率 Fc16, 33(%)に調整してフロー試験(傾斜)を行った。試験方法は傾斜を加えたテーブルに、フローコーン(底面直径 10cm)につめた試料を置き、取り去ったときの流動幅を測定するものである。傾斜角度は 5~35(度)で実施した。

図 - 4.4.22 に試験結果を示す。全体的に高含水比ほど、流動値が大きい。含水比 40%ではすべての傾斜角で細粒分の少ないケースが大きく流動したが、45%ではほぼ同じ流動値であった。50, 55%では傾斜角が大きくなるに従って細粒分が少ない方が大きく流動するようになる傾向がみられた。

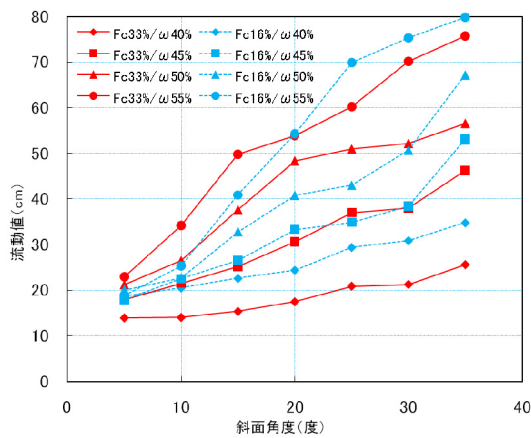


図 - 4.4.22 フロー試験(傾斜)の結果

ここでは、土石流のように土砂と水が攪拌され乱された状態における流動性について、火山灰質砂質土を対象に、その粒度構成、含水比に着目して評価することを試みた。その結果、含水比が多いほど、また、細粒分含有率が少ないほど流動性が大きいこと、空気含有量は細粒分が多いと少なくなること、フールコーン試験は流動性を評価する一つの指標となりうる事がわかった。

【謝辞】

駒の湯の被災前の写真、被災直後の写真につきましては、山岳写真家、早川輝雄さんからご提供いただきました。また、本文の作成にあたっては、国土交通省東北地方整備局、林野庁東北森林管理局、宮城県砂防課に資料のご提供をいただきました。土砂災害対策の実施および計画の掲載においては、林野庁東北森林管理局の江坂文寿室長から多大なるご協力を戴きました。ここに、御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 地盤工学会 ジオテクノート 「土は襲う」地盤災害
<http://www.eri.u-tokyo.ac.jp/Jhome.html>, 2003.
- 2) <http://zgate.gsi.go.jp/iwate2008/index.htm>
- 3) 平塚祐介, 森 友宏, 株木宏明, 渦岡良介, 風間基樹:
2008 年岩手・宮城内陸地震で発生した土石流の地形的考察, 第 44 回地盤工学研究発表会, pp.1435-1436, 2009.8.
- 4) 林野庁東北森林管理局:
<http://www.tohoku.kokuyurin.go.jp/>
- 5) 岩手・宮城内陸地震に係る山地災害対策検討会(東北森林管理局主催)
- 6) 国土交通省砂防部: <http://www.mlit.go.jp/river/sabo/>
- 7) 国土交通省東北地方整備局: <http://www.thr.mlit.go.jp/>
- 8) 砂防学会: <http://www.jsece.or.jp/indexj.html>
- 9) 林野庁東北森林管理局 HP, 平成 20 年岩手・宮城内陸地震災害復旧対策の取組状況(平成 22 年 2 月 26 日),
http://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/koho/saigaijoho/kyoku/h21_press_saigai_36.html
- 10) 株木宏明, 平塚祐介, 渦岡良介, 風間基樹: 火山灰質土の流動性評価の試み, 第 44 回地盤工学研究発表会, pp.681-682, 2009.8.

- 11) 常田賢一: 地震時の天然ダムと土石流の発生特性に関する考察, 第 30 回地震工学研究発表会, No.5-0008, 2009.5.
- 12) 常田賢一: 地震に係る話題と技術的課題, 土木構造物の効率的・効果的な強化・補強に関する報告会, 2009.7.



図 - 4.4.19 三迫川上流域(ドゾウ沢, 裏沢)と産女川地区における土砂災害対策箇所位置図