

3. 平成 16 年台風 23 号による門入ダム上流で発生した大規模土石流

Large-scale debris flow disasters upper the Monnyu Dam due to the typhoon No. 0423

西野勝裕・長谷川修一・山中稔（香川大学）
林宏年（四航コンサルタント）

1. はじめに

香川県東部は、平成 16 年の台風 23 号により記録的な豪雨に見舞われた（図-1）。東かがわ市五名にある県の日下峠雨量観測所では、10 月 19 日～20 日の累計雨量が 674mm に達し、最大時間雨量 116mm を記録した。県東部の山間部では、軒並み 400mm を超える雨量を観測し、膨大な数の崩壊や土石流の発生により住宅や農地、河川構造物などに甚大な被害をもたらした。香川県では、公共土木施設に 400 億円を超える被害が発生している¹⁾。また、これらの台風災害調査結果については、香川大学²⁾や土木学会四国支部³⁾などでまとめられている。

台風 23 号による豪雨は、さぬき市寒川町石田東門入地区において、民家を襲って 2 名の方の命を奪うと共に、門入ダムに大量の土砂を堆積させた大規模土石流を発生させた（図-2）。また、門入ダム上流には、大規模土石流の引き金となったと思われる崩壊が存在しており、その崩壊土砂によって天然ダムが形成された痕跡が認められる。そこで本研究では、現地調査により土石流の発生を明らかにし、地形や地質的特長から崩壊の発生要因について検討を行った。

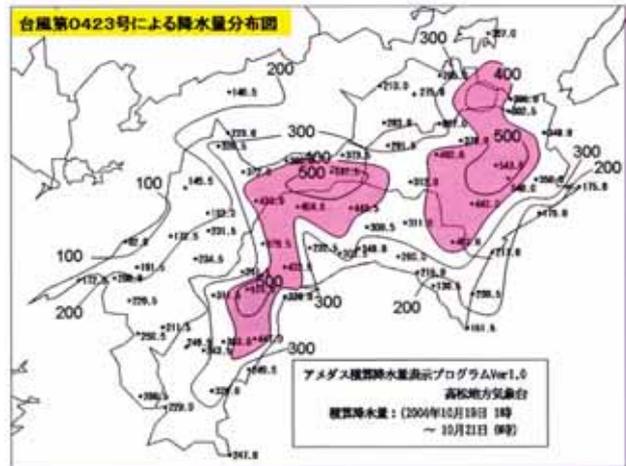


図-1 台風 23 号による総降水量（高松地方気象台）



図-2 門入ダムに大量に堆積した土砂

2. 門入地区の地形と地質

当地域は、香川県の東部に位置し、東西に連なる讃岐山脈の東側に当たる（図-3）。地質は讃岐山脈北側の領家帯花崗岩に属する花崗岩類からなっており、600m 前後の山地に挟まれた 200～400m の丘陵となっている。

門入地区は、津田川水系の梅檀川沿いにあり、門入ダムの上流域に位置する。当地区では、領家帯花崗岩類を基盤として形成された沢沿いの緩斜面が、集落や棚田として利用されている。



図-3 香川県の地質と調査位置図⁴⁾

3. 調査方法

3.1 崩壊の分布と土石流の流下状況

門入ダムに堆積した大量の土砂は、ダム上流の梅檀川と各支流で発生した土石流によるものであり、崩壊や土石流は山頂付近にかけて数多く発生している。本調査では、航空写真オルソ画像の判読により崩壊箇所を抽出して崩壊地の分布状況を調べた。また、現地調査により、土石流の流下・堆積・氾濫域を調査して土石流の流下特性を把握すると共に、梅檀川の縦断図を作成して土石流の見かけの摩擦角を算出した。

3.2 崩壊地調査

梅檀川上流には、今回の土石流に大きな影響を与えたと思われる大規模崩壊が存在する。現地調査より、この崩壊土砂は対岸にまで達した痕跡が残っており、天然ダムを形成した可能性が考えられる。本調査では、踏査や測量、粒度試験により河道閉塞状況を検討し、土石流の発生過程を調べた。また、変水位透水試験とX線回折試験を行って、地下水と変質作用による崩壊発生への影響について検討した。

3.3 崩壊発生時の降雨特性

本調査では、梅檀川上流域で聞き込みを行って土石流の発生時刻を調べた。また、香川県により門入ダムの雨量データを併せて降雨と土砂災害発生時刻の関係について検討した。

4. 崩壊および土石流の分布特性

4.1 崩壊地の分布特性

門入地区の崩壊および土石流の分布を図-4に示す。当地区では、梅檀川の各溪流で土石流が発生しており、崩壊は広範囲に渡って分布している。特に、門入ダムから約1.8km上流では、門入地区の中でも大規模な崩壊が発生している。また崩壊は、植生状態にかかわらず発生しており、ある植生の斜面が一面に崩壊しているわけではないので、植生が主たる要因ではないと思われる。大規模崩壊より下流の左岸にある崩壊地からは、崩壊発生後より硫黄臭のするかなげ水が大量に流出している。

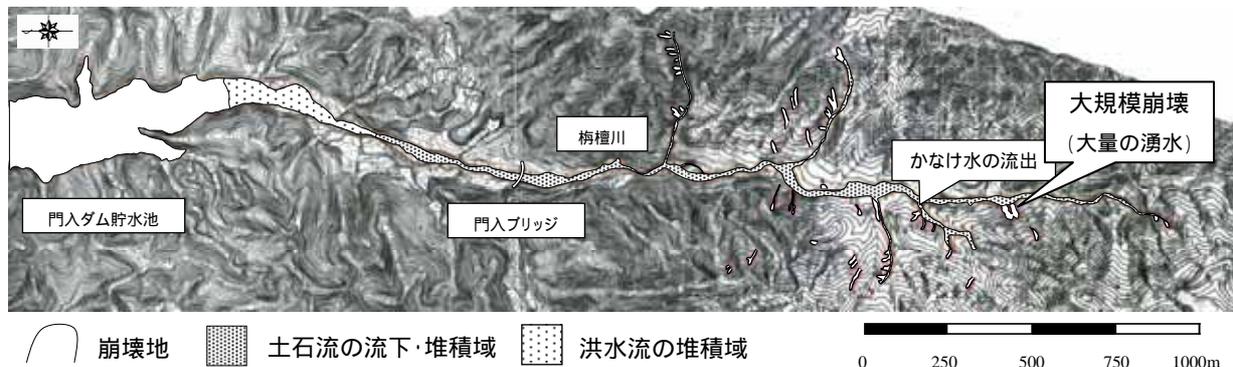


図-4 さぬき市寒川町石田東門入地区における崩壊および土石流の分布
(さぬき市2500分の1都市計画図の一部を使用)

4.2 土石流の流下特性

本調査では、土石流の流下特性を評価するために、梅檀川を対象として大規模崩壊における土砂移動の発生から停止までの縦断図を作成した(図-5)。

大規模崩壊により発生した土石流は、民家を押し流して2名の命を奪うと共に(図-6)、河床の土砂を巻き込みながら成長して梅檀川を長距離に渡って流下し、門入ダムに大量の土砂を堆積させた(図-7)。大規模崩壊より下流の土石流は比較的早い段階から発生しており、大規模崩壊による土石流が最後に発生して下流に大量の土砂を流出している。梅檀川の縦断図より、大規模崩壊から土石流先端までの標高差と水平距離から見かけの摩擦角を求めて土石流の流動性を検討した。その結果、見かけの摩擦角は13.2°を示し、通常の土石流と比べてかなり小さな値となった。また、土石流堆積物は、地表面傾斜が5°~8°で停止している。

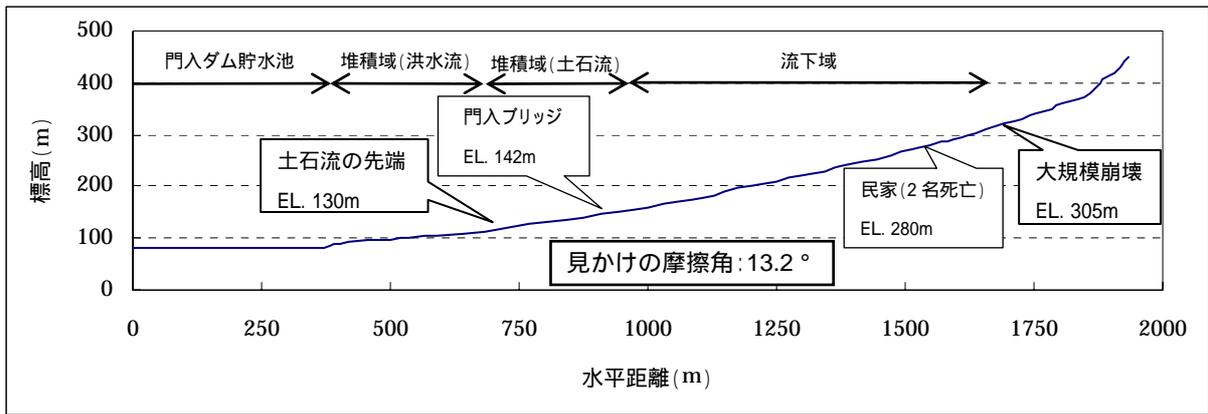


図-5 梅檀川の縦断図と見かけの摩擦角



図-6 土石流により押し流された民家の跡
(梅檀川上流左岸)



図-7 門入地区の土石流堆積物
(門入ブリッジ)

5. 天然ダム決壊型土石流の発生過程

5.1 大規模崩壊による河道閉塞状況

門入ダム上流で発生した大規模崩壊は、崩壊土砂が対岸にまで達した痕跡があり、この崩壊土砂が河道を閉塞して天然ダムを形成したと推測される(図-8)。そこで、測量により崩壊の規模を測定すると共に、A 測線上において天然ダム決壊後の断面図を作成して崩壊土砂の堆積域を検討した。また粒度試験を行って、崩壊土砂と対岸に堆積した土砂、梅檀川から供給された土砂の粒度分布より崩壊に伴って発生した土砂の堆積域を明らかにし、天然ダム形成の可能性を検討した(図-9)。

測量結果より、崩壊の規模は、平均幅 17.8m、斜面長 55.3m、斜面傾斜 43°であり、平均深度 3.3mで最大深度 5mをすべり面とした厚い岩盤のマサが崩壊している。また、崩壊地面積が約 740m²、土量がおよそ 2500m³という大規模な崩壊となっている。



図-8 門入ダム上流の大規模崩壊
(さぬき市寒川町石田東門入)

図-10 に A 測線上の崩壊土砂の縦断面図を示す。縦断面図より、崩壊土砂は対岸の河床から比高約4mの所に30～50cm堆積している。また、図-10 中の点線で示す部分に堆積した土砂は、河道閉塞後の決壊に伴って流出したと思われる。

図-11 に粒度試験結果を示す。粒度分布より、崩壊地の土砂と対岸に堆積した土砂の粒度がほぼ一致し、大規模崩壊より上流から梅檀川により供給されて堆積した土砂と粒度分布が明らかに異なっている結果を示した。

以上の結果より、大規模崩壊による土砂が河道を閉塞して天然ダムを形成した可能性が極めて高いことが明らかとなった。よって、門入地区を襲った土石流は、大規模崩壊が天然ダムを形成したことによる天然ダム決壊型の土石流であると考えられる。

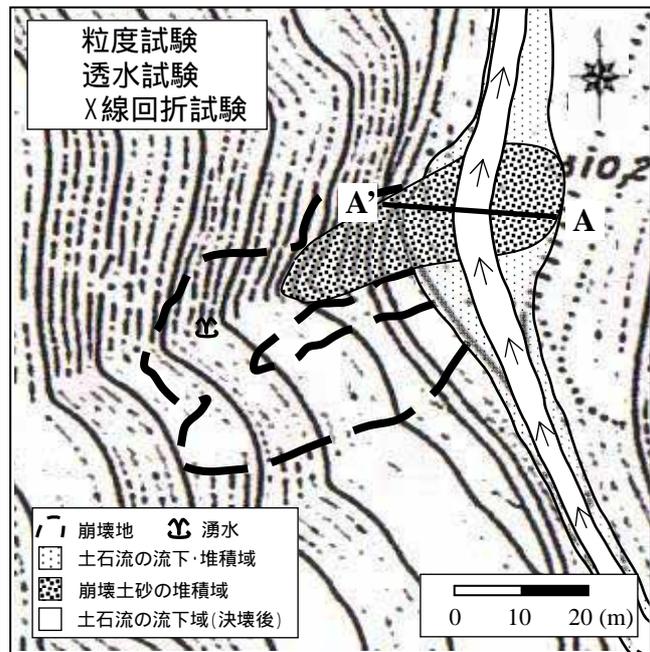


図-9 崩壊土砂の堆積状況および試料採取位置 (さぬき市 2500 分の 1 都市計画図の一部を使用)

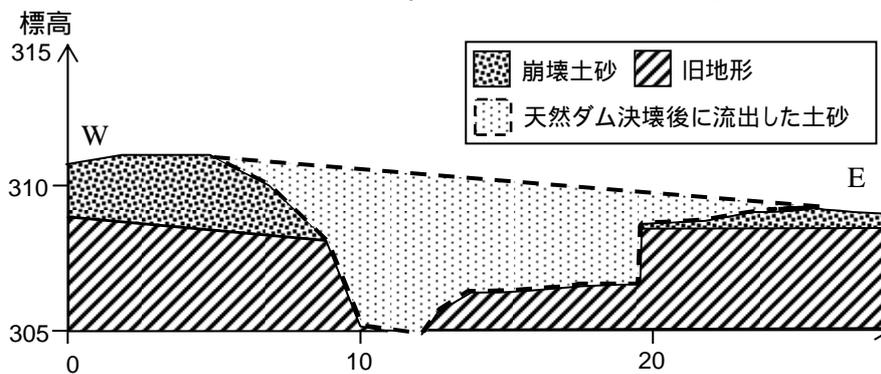


図-10 A 測線上の堆積土砂の縦断面図

5.2 大規模崩壊の発生要因

当地区の崩壊は、花崗岩分布地域にありがちな表層崩壊ではなく、基盤岩内部から崩壊が発生している。また崩壊地からは、大量の湧水があると同時に何層もの粘土層が存在し、地下水が崩壊に大きく影響したと考えられる(図-12)。そこで本調査では、粒度試験とX線回折によりすべり面の構成物と鉱物組成を検討し、変水位等水位試験により6試料に対して崩壊斜面の透水性を調べた。

X線回折試験の結果を図-14、15に示す。粒度試験の結果(図-11)より、すべり面は崩壊地や対岸に堆積した土砂と比べて細粒分が多くなっている。崩壊土砂であるマサ土

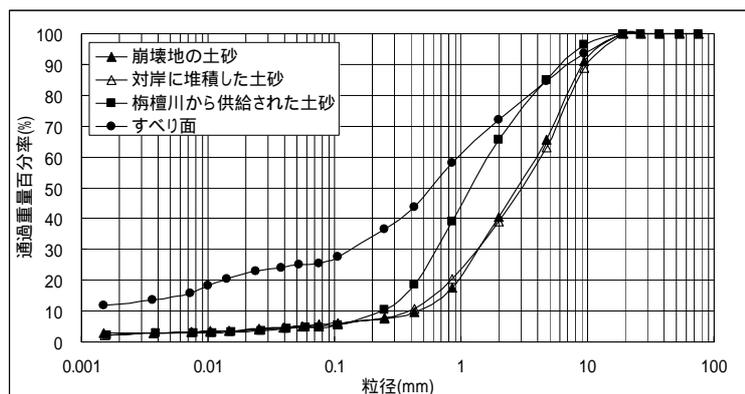


図-11 粒度試験結果

表-1 粘土層の変水位透水試験結果

透水係数 k (cm/s)			
試験結果	1.19×10^{-4}	7.52×10^{-7}	8.81×10^{-8}
	1.49×10^{-7}	5.81×10^{-8}	3.70×10^{-5}
平均	2.62×10^{-7}		

の鉱物組成は、石英と長石を主体として緑泥石を伴う（図-14）。これに対してすべり面の鉱物組成は、緑泥石が消滅して膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトが生成されていることが確認できた（図-15）。また、崩壊地の粘土層における変水位透水試験結果より、透水係数は 2.6×10^{-7} (cm/s) となり、透水性が極めて低いことが確認された（表-1）。

以上の結果より、大規模崩壊は、粘土層が遮水帯を形成し、豪雨に伴う地下水位の増加により間隙水圧が上昇して斜面のせん断抵抗力が減少したことにより発生したと考えられる。また崩壊地には、図-13 に示すように熱水変質によると思われる脈があり、崩壊土砂にはスメクタイトが含まれず緑泥石が存在することから、すべり面は熱水変質に伴い緑泥石がスメクタイト変化したと考えられる。従って、熱水変質による地山内部の劣化現象により斜面が不安定化して崩壊に至ったと推測される。



図-12 崩壊地から流出し続けている大量の湧水



図-13 崩壊地の基盤岩（花崗岩）中にある熱水変質脈

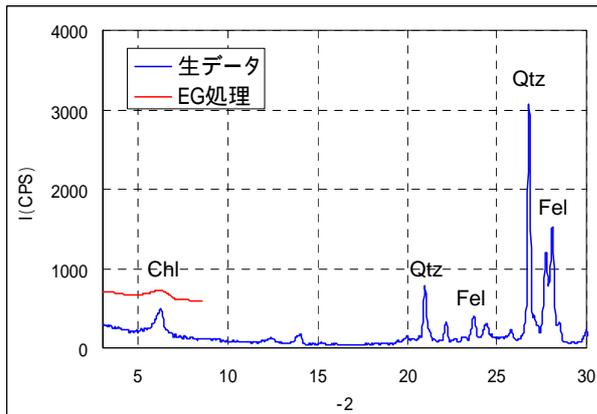


図-14 崩壊土砂のX線回折チャート

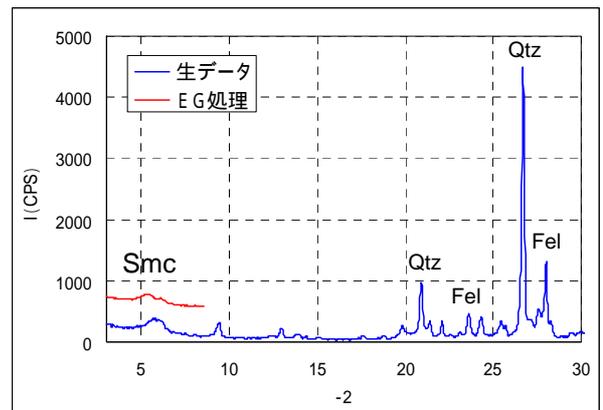


図-15 すべり面のX線回折チャート

6. 大規模崩壊発生時の降雨特性

崩壊地の下流 3.2kmの門入ダムでは、最大時間雨量 76mm、累積雨量 495mmを記録している（図-16）。門入地区の大規模土石流は、聞き込みにより降雨量のピークを過ぎて小雨になった 15 時過ぎに発生している。香川県東部において被害を与えた土石流は、概ね降雨量のピーク時にあたる 14 時前後で発生していることから⁵⁾、門入地区の大規模土石流は、降雨のピークに遅れて発生していることが分かる。これは、大規模土石流は表層崩壊と異なり、降雨に対して時間遅れがある傾向と一致している。

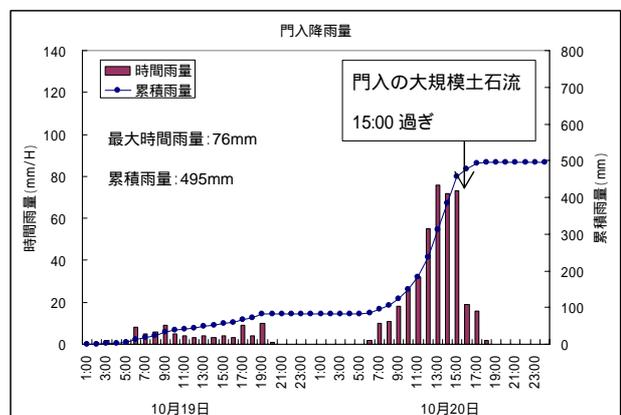


図-16 台風 23 号による降雨状況と土石流発生時刻（香川県門入雨量観測所）

7. まとめと今後の課題

7.1 崩壊および土石流の分布特性

- (1) 門入地区では梅檀川の各溪流で土石流が発生し、崩壊は広範囲に渡って分布している。特に、門入ダムから約 1.8km 上流では大規模崩壊が発生している。
- (2) 大規模崩壊より下流の崩壊は比較的早い段階から発生しており、大規模崩壊による土石流が最後に発生して下流に大量の土砂を流出している。
- (3) 大規模崩壊により発生した土石流は、崩壊地から土石流先端までの標高差と水平距離より求めた見かけの摩擦角が 13.2° を示し、通常の土石流と比べてかなり小さな値となった。

7.2 天然ダム決壊型土石流の発生過程

- (1) 門入ダム上流の大規模崩壊は、平均深度 3.3m、土量 2500m^3 という規模の大きな崩壊であり、その崩壊土砂は対岸にまで達した痕跡が認められる。
- (2) 粒度試験結果より、崩壊地の土砂と対岸に堆積した土砂の粒度はほぼ一致し、梅檀川から供給された土砂の粒度と異なっていることから、大規模崩壊による土砂が河道を閉塞して天然ダムを形成した可能性が極めて高いと思われる。
- (3) すべり面は、崩壊地や対岸に堆積した土砂と比べて細粒分が多く、変水位透水試験結果より崩壊地の粘土層における透水係数は、 2.6×10^{-7} (cm/s) と極めて低い透水性となっている。よって大規模崩壊は、粘土層が遮水帯を形成し、豪雨に伴う地下水位の増加により間隙水圧が上昇し、斜面のせん断抵抗力が減少して発生したと考えられる。
- (4) すべり面には、X線回折試験より膨潤性粘土鉱物であるスメクタイトが生成されている。崩壊土砂の鉱物組成はすべり面とほぼ同様であるが、スメクタイトではなく緑泥石が含まれており、すべり面は熱水変質に伴い緑泥石がスメクタイトに変化したと考えられる。従って、熱水変質による地山内部の劣化現象により斜面が不安定化して崩壊に至ったと推測される。
- (5) 門入地区の大規模土石流は、聞き込みにより 15 時に発生しており、降雨量のピークに対して時間遅れを伴って発生している。香川県東部において被害を与えた土石流は、概ね降雨量のピーク時にあたる 14 時前後で発生していることから、門入地区の大規模土石流は、降雨のピークに遅れて発生していることが分かる。

7.3 今後の課題

門入地区では、領家帯花崗岩分布地域でありながら大規模崩壊が発生している。このような特殊な崩壊に対しては、熱水変質帯による岩盤劣化現象や土石流の発生後に大量に流出した湧水が影響していると考えており、その因果関係についても検討すべき課題である。また、大規模崩壊下流からは、土石流発生後より硫黄臭のするかなけ水が大量に流出しており、この水と崩壊との関係について検討する必要がある。

謝辞: 本調査に用いた雨量データは、香川県土木部砂防課から提供いただいた。また、調査地域の航空写真オルソ画像は、(株)四航コンサルタントから提供いただいた。ここに記して感謝申し上げます。

参考文献:

- 1) 香川県災害対策本部: 平成 16 年台風 23 号に関する被害について (第 15 報), 2004.
- 2) 香川大学平成 16 年台風災害調査団: 香川大学平成 16 年台風災害調査団報告書, 2005.
- 3) 社団法人土木学会四国支部: 土木学会四国支部 平成 16 年台風災害報告会 平成 17 年自然災害フォーラム論文集, 社団法人土木学会四国支部, 2005.
- 4) 長谷川修一・斉藤実: 四国の自然環境と地形・地質, 土と基礎, 地盤工学会 Vol. 39-9(404), p19- p24, 1991.
- 5) 西野勝裕・長谷川修一・山中稔・増田拓朗・守屋均: 地盤災害・地盤環境問題論文集第 5 巻, 愛媛大学防災情報研究会・地盤工学会四国支部, p51-p58, 2005.