

「近年の法面崩壊災害のメカニズムと技術対応について」 広島大学大学院総合科学研究科 (公社)砂防学会長 海堀 正博 氏

平成30年度広島県法面協会技術講習会 平成30年9月13日(木) 広島YMCA国際文化センター

近年の法面崩壊災害のメカニズムと技術対応について



広島大学大学院総合科学研究科
(公社)砂防学会長
海堀正博

参考図書としてお薦めします！

平成30年北海道胆振東部地震

- 9/6(木) 3:07発生、M6.7、震源の深さ37km
震度7 厚真町
震度6強 安平町、むかわ町
- この地震により、厚真町の吉野地区などでは、斜面崩壊が連続的に発生し、多くの命を失った
- 表層の土砂移動であるが、境界層の部分だけが強度低下し、地すべり的な挙動につながったように見える
- また、斜面下での水平方向への移動距離が長いように見える

平成28年の熊本地震での土砂移動との共通点もありそう



南阿蘇村 火の鳥温泉周辺

上の写真の右下付近に白色粘土層があり、この物質が外力に対して特異な挙動を示すことを現地でも確認した。

平成28年の熊本地震での土砂移動との共通特性もありそう



火の鳥温泉周辺の白色物質を採取し、持ち帰る間に、流動化したもの。この物質には粘土鉱物のハロイサイトが含まれていることを確認。また、時間経過に伴い、ややうす茶色に変色することも確認。その後、火の鳥温泉周辺だけでなく、その他の土砂移動発生現場のうすい茶色の粘土層も同様であることを確認した。

そのようなこともあり、北海道胆振東部地震により、厚真町で起きている斜面崩壊にも同様な傾向があるのではないかと推測している。

近年の雨の特徴と土砂災害

- 突発的に激しい強さで降り始め、同じところに数時間～数日にわたって降り続くこともある
- 2010年 7.16. 広島県庄原市土砂災害(最大3時間173mm)
- 2011年 9月上旬 紀伊半島での土砂災害(総雨量1,400mm超)
- 2012年 7月中旬 九州北部豪雨土砂災害(最大1時間108mm、総雨量800mm超)
- 2013年 7.28. 萩・津和野の土砂災害(最大1時間143mm、最大2時間244.5mm、最大3時間283mm、総雨量400mm超)
- 10.16. 伊豆大島土砂災害(最大1時間118.5mm、最大2時間236.5mm、最大6時間549.5mm、最大24時間824mm)
- 2014年 7. 9. 南木曾の土砂災害/ 8.17. 兵庫県丹波の土砂災害
- 8.20. 広島土砂災害(最大1時間130mm、最大2時間211mm、最大3時間239mm、最大24時間287mm)
-
- 2017年 7.4-7. 九州北部豪雨災害(最大1時間145mm、最大9時間774mm、最大24時間803mm)
- 2018年 7.5-8. 平成30年豪雨災害(広島では、最大1時間84mm、最大24時間430mm、最大総雨量677mm・・・死者109人、不明5人、うち88人が土砂災害で)



東広島市黒瀬町の
広島国際大学の
土砂移動状況
(国土地理院写真に加筆)

(国土地理院撮影写真)

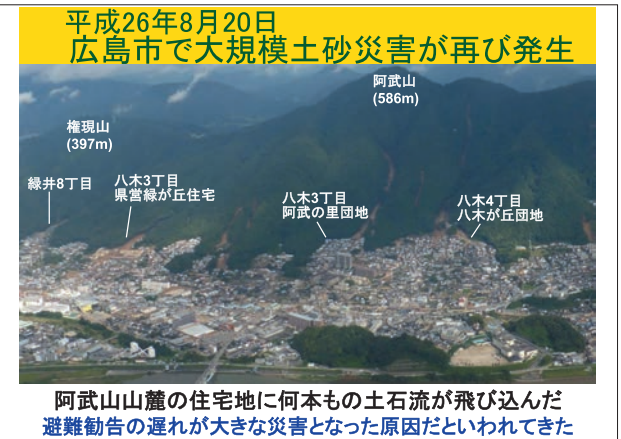
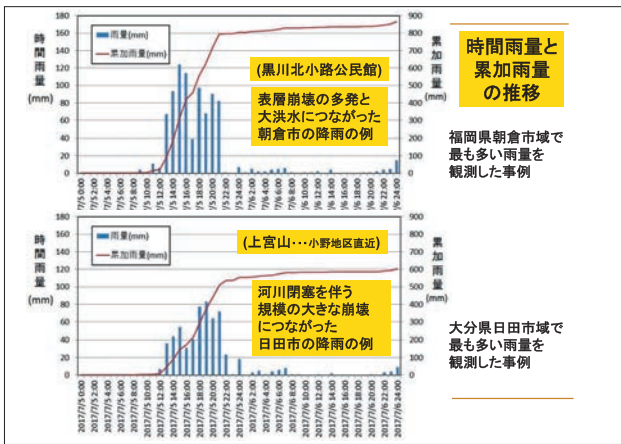
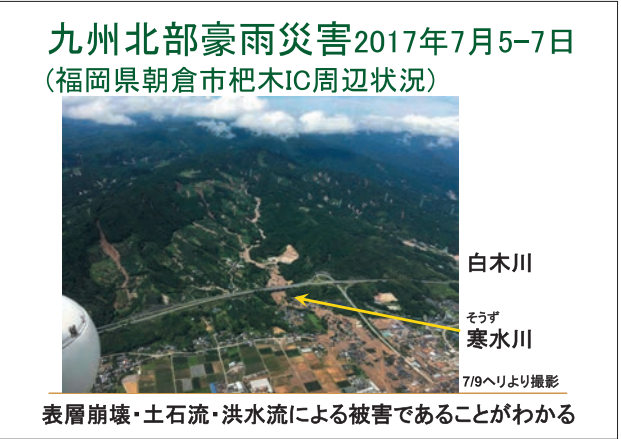
非常に緩い傾斜地でも発生しており、流下幅の広いものも目立った



(国土地理院撮影写真)

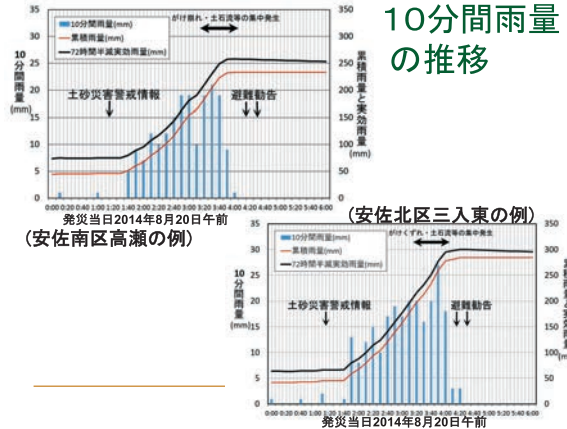
(2018.7.10撮影)

広島国際大学前の前平山に発生している土石流も、その西隣の本岳に発生している土石流も、稜線、または山頂近くから周囲に向かって多数発生している。



2014年の広島災害では、99.6.29災害の時以上の3つの悪い条件が重なった！

- 誘因となった降雨が、広島にとっては**未曾有の強雨**であったこと
 - 強雨が、**人家の密集した地域**を含む小高い山体部にもたらされたこと
 - 強雨のもたらされた**時間帯が真夜中**で、最も対応の難しい状況であったこと
- ↓
- その結果、**崩壊・土石流・濁流の発生は必然的**なものとなり、それらが居住エリアを襲って、**甚大な被害**を引き起こしてしまったのである



安佐南区阿武山の南東側の被災前後の様子



70人超の犠牲者が出た安佐南区

右のマップは、平成11年の6.29広島災害後、いつでも誰でも見ることができる形で公表されていた。しかし、十分に認知されておらず、活かされなかった、といえる。

ただし、土砂災害防止法に基づく警戒区域の指定や公表は、今回の災害前には行われていなかった。

広島県防災Webの土砂災害危険箇所図

安佐北区高松山の南～東側の被災前後の様子



土砂災害危険箇所図(広島県防災Webより)

土砂法による土砂災害警戒区域図

この地域では土砂法に基づく警戒区域指定と公表も行われていた。住民への説明会もあり危険性が周知され、防災訓練や自主的な防災活動が今回の災害でも活かされた可能性。



避難勧告が遅れたために犠牲者が多くなったといわれているが...

8.20の広島災害では

- 1:15 広島市全域に土砂災害警戒情報の発表(県・気象台)
- 2時前後以降 道が川ようになっていた可能性あり
- 3:21 安佐南区山本のがけ崩れ(生き埋め死亡)
- 3:30以降 土石流の集中発生
- 4:15 避難勧告発令(広島市安佐北区)
- 4:30 避難勧告発令(安佐南区)

避難所への避難行動がより危険だった可能性は？

- 避難勧告等の対象者は十数万～数十万人
避難行動は瞬時には終わらない

避難勧告等の発令について

- 「避難勧告等は災害発生前に発令すべきである」しかし、
 - ・土砂災害発生前であれば、直前であっても発令すべき、と考えるといけないこともあるのではないかと
 - ...盲目的に避難所に向かう人が少ない状況ではかえって危険
 - ・災害直前の発令でも適切といえるのは、「避難」が「自宅内の少しでも危険度の低い場所への移動」も含むことが浸透してはじめて言えるのではないかと
 - ・「まだ危険度の低いうちに」自宅外の避難場所等への移動ができる間に、発令すべき ...しかし、空振り増も問題！
- 危険なところに住んでいる人には、危険性のあるところに住んでいるという意識を持ってもらい、「避難勧告」等に頼らず、自発的な警戒・避難行動をしてもらえる環境づくりが、まず必要

2014年8月20日の広島土砂災害で明らかになったこと

- 真夜中の未曾有の降り方の集中豪雨であったこと
 - ...最新技術を使っても適切予測が困難な場合がある！
 - ...避難勧告の遅れ等を生む最大の原因となった！
- 山麓斜面や谷筋に沿う人家の密集する場で被災していたこと。水の集まりやすい谷筋に入り込むように、より危険度の高い勾配のきついとこに、無防備に宅造が進んでいたこと。
 - ...99年6.29広島土砂災害の教訓は何だったか？
- 土砂災害警戒区域指定箇所では自主的な防災行動が多くの命を守ることにつながっていたこと。一方、土砂災害危険箇所図の公開だけの地域は、警戒避難の行動がほとんどとれていなかったこと。
 - ...住民への説明・理解を促す大切さが示唆された！

行政からの一方的な防災対応だけでは全く不十分

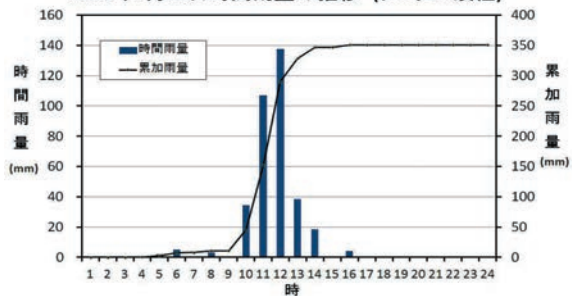
2013年7月28日発生 of 山口県萩市須佐・島根県津和野周辺の豪雨土砂災害

- 近年頻発している**極端気象**現象のひとつが誘因
- 10日以上 of 無降雨の後、7月28日の数時間の豪雨により災害が起きたこと
- 28日の降り始め前はかなり乾燥した状態 (半減期72時間の実効雨量値で見ると、1~3mm程度)
- 総雨量は多いところで400mm超(阿武町長沢421mm)
- 時間雨量が100mm超になったところが複数

→たとえば、1983年7月23日に発生した島根災害の時の豪雨と比べると、総雨量は多くないものの、より短時間に強い雨が集中していた、と言える

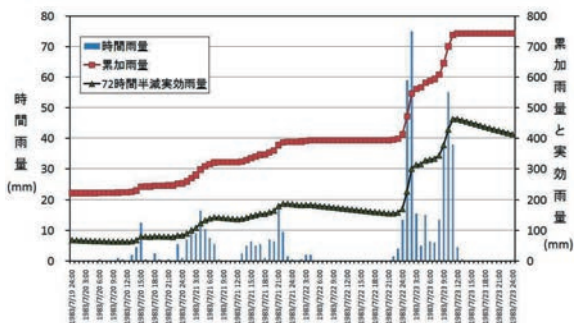
2013年7月28日災害時の豪雨例

2013年7月28日時間雨量の推移 (アメダス須佐)



1983年7月23日島根災害の豪雨

時間雨量の推移(アメダス浜田) (起点: 7月1日 1:00とした)

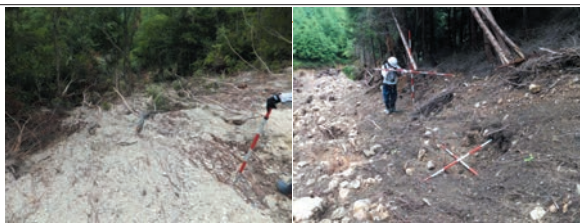


(左上・右上)地中から水が噴き出した痕跡 写真はいずれも、山口県萩市須佐にて

(左)斜面林床に表面流の発生した痕跡 写真は島根県津和野町にて

雨が地中に浸透しきれなかったことを示しており、短時間に降った雨の強さを示唆するものといえる

(写真は砂防学会調査団報告(2013)にも使用)



崩壊土砂の流下部にあった地表植生について(写真はいずれも山口県萩市須佐にて)

(左上)ンダやササなどの草本類は葉の部分がもぎ取られて葉柄(軸)の部分が押し倒されている状況、小さな木本類も同様の状況

(右上)木本類の中には、根こそぎ引き抜かれているものや、地表面下10~20cm付近で根が引きちぎられているものも見られる

→ 崩壊土砂の移動がかなり高速で破壊力が大きかった可能性が示唆される

(写真は砂防学会調査団報告(2013)にも使用)

山口県萩市須佐・島根県津和野町周辺の7月28日発生 of 土砂災害は

地中の深い部分まで緩んだ状態にならないうちの、短時間の激しい雨によって引き起こされた土砂災害

斜面の至るところから水の湧き出しが起き、表面流が生じ、それによって表層崩壊と薄い侵食が発生

また、表面流上を土砂の流れが高速で通過し、樹木を押し倒したり、根を引きちぎるような外力として作用したと考えられる。

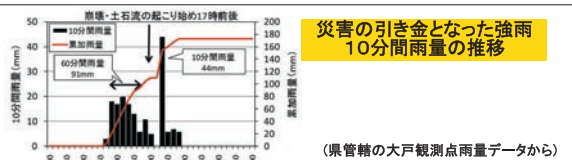
2010年7月16日広島県庄原の土砂災害

15時半から18時頃までの3時間弱の間に、173mm、最大1時間雨量は、91mmという激しさだった。



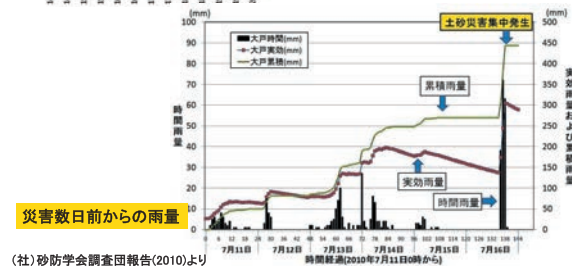
広島県庄原市での土砂災害では、局地的な集中豪雨により崩壊や土石流が集中発生し、1名の命が奪われた

崩壊・土石流の集中発生は、庄原市の3つの町境付近の、5km弱四方の範囲で起きている。いずれも表層崩壊で、深いものでも2~3m程度の深さ、ほとんどが1m前後以下。(2010.7.18撮影)



災害の引き金となった強雨 10分間雨量の推移

(県管轄の大戸観測点雨量データから)



災害数日前からの雨量

(社)砂防学会調査団報告(2010)より

特徴2 樹木の種類や大きさ等によらず、崩壊等が集中発生している

- スギ・ヒノキの人工林や松枯れの分布地だけでなく、広葉樹の雑木林でも、高密度に崩壊や土石流が起きている

25m前後のトチノキ、22m前後のケヤキやホオノキの大木、コナラやアベマキなど、ドングリをつけるような樹種の成木(20m前後以上の高さ)が構成する斜面でも、崩壊等が集中発生している

紅葉した篠堂川左岸側斜面
(2010年11月18日撮影)



広葉樹の成林でも崩壊等が集中発生している



(2010.7.18.撮影)

源頭部崩壊箇所からの水の湧き出しや流下しているのが見える



(2010.7.18.撮影)

広葉樹林での崩壊・土石流にも水の湧き出し穴が認められる
(2010年7月19日撮影)

特徴3 源頭部から水の湧き出し跡や湧き出しが認められる

- 災害発生翌々日の7月18日、白い束状の水流が源頭部崩壊地や流下部にあることを確認(ヘリ視察により)
- 地上調査でも、湧き出し跡や白い束状の水流や水の湧き出しを確認
- 崩壊周辺部やあまり侵食を受けていない流下部地表面、また、未崩壊斜面などでも水が湧き出したような多くの穴を確認



庄原災害篠堂川周辺(国土地理院撮影写真、広島県/パフより)

崩壊地の中に白い筋状に水流が認められる



発災後、白い束状の水の湧き出しが見られた広葉樹の幼齢地斜面の源頭部崩壊

少し離れると水の湧き出しが崩壊につながっていることがわかる

(2010年8月1日撮影)

地表の穴から水の湧き出しが認められる斜面このエリアは崩壊土砂流が通過したところ

(2010.8.30.撮影)

たくさんの小さな水の湧き出し穴付近の表土が膨らんでいるのも確認

(2010.8.1.撮影)

土砂災害防止法制定のきっかけとなった 平成11年(1999年)6.29広島土砂災害

- 誘因となった豪雨はそれまでの最大と同程度
前線性集中豪雨
最大時間雨量 81 mm (道路公団八幡川橋観測点)
最大日雨量 271 mm (県管轄 戸山観測点)



この雨により、水の湧き出しも生じていた。崩壊や土石流の発生につながったものがあったと思われる。

6.29土砂災害現場(広島市安佐北区)から



岩盤内に水圧がかかっており、岩の割れ目から水の湧き出しが見られた(1999.7.1.撮影)

斜面に表れた異常のその他の例1



立木が多方向に傾いているのは地盤が流動化に近い状態になった証拠。溪床にはいくつかの穴と、その中に水流も認められた。

斜面に表れた異常のその他の例2



崩壊地で立木が頭を上にして傾いているのは地中の崩壊面付近の流動速度が大きかった証拠

斜面に表れた異常のその他の例3



崩壊地周辺の木々に泥しぶきが付着しているのは崩土が高速流動したか、境界面に過剰水圧があり地上に噴き出した証拠

斜面に表れた異常のその他の例4



崩壊地周辺の木々の根元にはパイピング痕跡が目立つ。崩壊前であればこの部分にあった多くの立木の根元から同様なパイピングがあったと想像できる。

斜面に表れた異常のその他の例5



崩壊しなかった部分の多くの立木の根元に見られるパイピングの痕跡

斜面に表れた異常のその他の例6



パイピングの痕跡

斜面に表れた異常のその他の例7



パイピング痕跡

まとめ

- 近年の豪雨は、強雨の程度も大きく、また、数時間～十数時間、中には、数日間も降り続いて、累加雨量が1,000mm超となることもある。
- 先行降雨に続く強い雨の場合は、表層崩壊の多発、小規模ながら土石流の発生につながりやすい。
- 強雨や大雨により、地中水が噴き出すこともあり、それが原因で崩壊し土石流化することも多い。
- さらに降り続いて600mm程度以上になると、表層崩壊や土石流の規模の拡大、時に、深層崩壊など大きな規模の崩壊も起きる場合がある。

課題

- 近年の豪雨による土砂災害では、斜面の不安定化、崩壊の発生、崩土の土石流化に、地中からの湧出水・噴出水(パイピング)の影響が大きいと思われる
- しかし、その流出水量、湧出また噴出する圧力、降雨との関係でどのようなタイミングでそのような現象が起き、その影響が拡大していくのか、について定量的な議論ができる状況にない
- また、斜面地盤の含水状態や水圧の高まった状況を把握する簡易計測手法の開発も望まれる

(補足)山の植生の地下部の効果 (根による土壌緊縛効果の及ぶ深さ)

一般学生へのアンケート

- 樹木の根の深さは地中のどのくらいまで及んでいると思いますか？
- たとえば、樹齢42年、樹高16m、胸高直径30cmのアカマツでは？
- あるいは、樹齢80年、樹高20m、胸高直径38cmのブナでは？
- 長さではありませんよ、**深さ**ですよ！

49

樹木の根の深さに関するアンケート結果

根の深さ	アカマツ		ブナ	
	人数	割合(%)	人数	割合(%)
100m～	18	1.2	98	6.6
80～100m	33	2.2	140	9.4
60～80m	92	6.2	239	16.0
40～60m	223	15.1	254	17.0
20～40m	354	23.9	293	19.6
10～20m	322	21.8	199	13.3
5～10m	197	13.3	130	8.7
3～5m	141	9.5	84	5.6
～3m	98	6.6	57	3.8
無回答	1	0.1	1	0.1
合計	1,479	100.0	1,495	100.0

(2003.10.14.～2018.4.9.実施分の合計)

木の根の深さ

- ほとんどが1～3m程度の深さまでしか根を張っていない
- しかし、あまり知られていない

崩壊地の調査から

- 崩壊面の深さも地表面から1～3m程度までがほとんどで、1m前後までのものが特に多いこと
- また、根の引きちぎられた痕跡は崩壊周縁部には多く認められるが、底の部分では少なめ

崩壊面は樹根の多くが無くなる深さで生じやすい
伐採・植林後、十年前後は補強効果が極小の時期

だからといって、樹林などあっても無くてもいっしょだ、ということではない！

伝えなければいけないこと

- 風化した花崗岩や流紋岩類・マサ土や風化土の分布地域に多くの人が住んでいること
 - …多くの土砂災害危険箇所
- 樹林や防災施設があっても、崩壊や土石流や土砂移動現象が居住地まで来うこと
 - …補強効果や防災効果には限界がある
- 土砂移動の特性をふまえた注意や警戒等の対応が必要なこと
 - …曲流部の挙動や前兆などへの対応
- 近年の雨は降るときには短時間に集中して、また、ごく局所的に激しくなる傾向
 - …水の条件を考えて臨機応変な対応が必要
 - …雨量次第で大規模で流動的な現象の想定も

おわりに 安全性とともにさらに求められているもの

- 災害は起きない方が良いに決まっている

しかし、平和な時代には、
豊かな自然環境
豊かな生態系 も、なくなることは許されない

↓
短期的な現状だけの視点ではなく、
過去から現在、未来までを見据えた
長期的な視点からの判断が求められる

↓
特に、責任ある地位の人
施策の決定権を持つ人に

あえて小規模な対応にとどめ、自然からのメッセージが伝わり感じとれる空間を確保できるようにする考え方も必要ではないか