

平成21年 4月 22日現在

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2007～2008

課題番号：19580171

研究課題名（和文）森林が斜面崩壊抑制機能を発揮する崩壊規模の実証的・解析的研究

研究課題名（英文）Empirical and analytic study on the influence of forest relating to the scale of slope failure

研究代表者 林 拙郎（HAYASHI SETSUO）

三重大学・大学院生物資源学研究科・教授

研究者番号：50024584

研究成果の概要：

三重県宮川調査区域と福井県美山調査区域において森林の斜面崩壊抑制機能を明らかにするために、樹林における崩壊土砂の堆積について調査研究を行った。主要な研究成果は次の2点である。①立木の平均胸高直径と崩壊深との関係図において堆積事例と非堆積事例は判別分析により区分される。この傾向は、両調査区域にみられた傾向である。②立木に作用する受働土圧と堆積深との関係より、堆積可能な胸高直径 d_b は崩壊深 D の $3/2$ 乗に比例する関係が得られた。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2008年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,300,000	690,000	2,990,000

研究分野：林学

科研費の分科・細目：林学・森林工学

キーワード：斜面崩壊，土砂堆積，林内堆積，立木堆積，立木転倒

1. 研究開始当初の背景

(1)平成16年の豪雨災害は、三重県宮川流域、福井県足羽川流域などにおいて目立った災害が発生した。本研究は、三重県宮川調査区域と福井県美山調査区域において樹林にて発生した崩壊土砂の堆積状況と崩壊規模との関係について調査研究を行ったものである。

(2)従来の豪雨に伴う崩壊地の研究は、崩壊の発生しやすい場所がどこかという見方から数多くの調査がなされてきた。ところが、これまで樹林内の立木によって崩壊土砂が

堆積する調査研究はほとんどなされて来なかった。これは、大崩壊に着目することが比較的多く、その場合、樹林における堆積事例が無いためであった。小崩壊でも、樹林による堆積事例は少なく、また戦後植栽された樹林の生長度合いも低く、崩壊に対して期待がもてなかったためである。しかし、今後は樹林の生長発達が見込まれる時期にあり、今回の調査においても崩壊後の樹林内に崩壊土砂が堆積した事例がいくつか見つかっている。

2. 研究の目的

(1) 三重県宮川調査区域の斜面崩壊事例のうち、小滝地区の崩壊では、崩壊発生後、崩壊土砂が一時的に停止したことが確認されている。これは崩壊した土砂が、立木密度の高い樹林帯によって狭い範囲に堆積し、ダム状の堆積物の背後に雨水が溜まり堆積物が決壊・流下したと推察される。仮に崩壊地下部に位置する樹林帯によって崩壊土砂を広い範囲に分散して透過・堆積させることが可能であれば、崩壊土砂背後への雨水の貯留もなく、崩壊・堆積した土砂のごく一部が斜面下部に流下する程度となることが考えられる。しかし、地形や地質、林況等の因子が複雑多岐にわたる森林斜面において、崩壊土砂が樹林帯で堆積した事例の研究を定量化することや、その理由を解明することは容易でないことから、これまで詳細な研究事例は少なかった。効果の範囲が的確に明らかにされれば、今後の土砂災害の軽減のため、樹林帯を崩落防止工事と併用して利用することが期待される。

(2) そこで本研究では、調査区域として平成16年の宮川災害の主要地である旧宮川村村内の宮川調査区域と福井災害の主要地である美山調査区域を取り上げ、森林の斜面崩壊抑制機能の実態を把握することを目的として崩壊土砂の堆積状況と崩壊規模について調査した。

3. 研究の方法

(1) 両調査区域において2004年の豪雨災害時に発生した崩壊地に対し、森林が関係した斜面崩壊の現地調査を行った。地すべりのようにすべり面が深い場合には森林の影響はほとんど関係しないが、小規模で比較的浅い場合には森林の影響が関係する。この調査では、発生した崩壊の中で、崩壊土砂が樹林内で停止している堆積事例と、樹林内を通り抜けて流下している流下事例を対象として、崩壊による堆積事例と流下事例の状況、および崩壊地周辺に残存する立木の状況を調査した。

(2) このような考え方で、樹林が関係した崩壊土砂の停止堆積の状況を把握するために、崩壊の源頭部から堆積部上端までの崩壊斜面長 l 、崩壊幅 W 、崩壊深 D 、崩壊地斜面傾斜角 α などの崩壊形状と堆積形状、周辺立木の配置とその胸高直径 d_b を測量計測した。計測にあたっては、レーザタイプのトランシットを使用した。

4. 研究成果

(1) 三重県宮川調査区域における研究成果

調査の結果、堆積事例16箇所と流下事例10箇所を確認した。宮川調査区における堆積事例の全体的傾向は、崩壊幅：2~14m、崩壊

深：0.6~2.0m、崩壊傾斜角：15~50°であった。崩壊深に関する堆積事例と流下事例の分布範囲を図-1に示す。図-1より、堆積事例の崩壊深は流下事例より小さく、また図-2より堆積事例の崩壊幅、崩壊深は流下事例よりも小さいことがわかる。

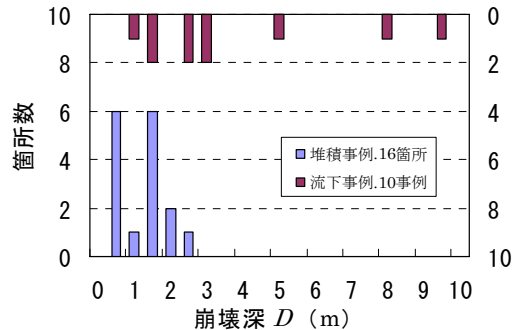


図-1 崩壊深 D の頻度分布
(宮川調査区域)

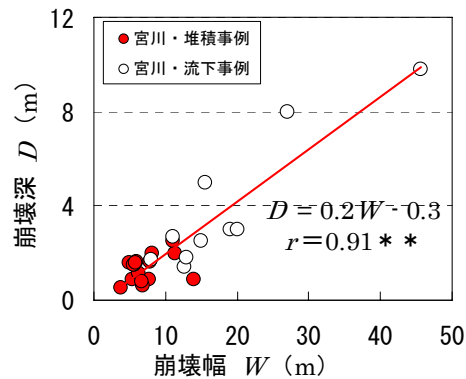


図-2 崩壊幅 W と崩壊深 D の関係
(宮川調査区域)

(2) 次に、平均胸高直径 d_b の頻度分布図(図-3)より胸高直径が15cm以下では崩壊土砂が流下し、流下事例の d_b の範囲は12cm~25cm(平均15cm)にある。堆積事例の d_b の範囲は15cm~35cmの範囲に分布し、平均径は26cmである。両者の差は11cmある。もちろん、堆積は胸高直径だけで決まるわけではないが、胸高直径 d_b の影響は大きいものと考えられる。

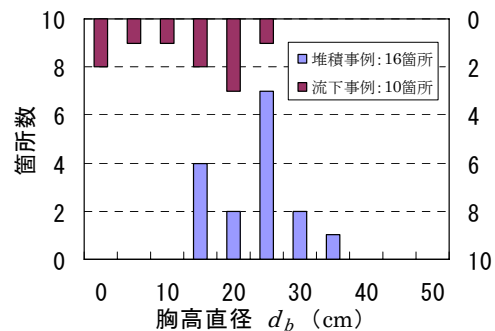


図-3 胸高直径 d_b の頻度分布
(宮川調査区域)

(3)崩壊深 D と崩壊地の周辺立木の平均胸高直径 d_b との関係を判別分析によって区分した結果を図-4に示す。この図より、堆積事例と流下事例は図に示す直線によって判別されることがわかる。今後事例数を増す必要があるが、この結果から、崩壊土砂を堆積させるには、崩壊深が大きくなるにつれて、大きな胸高直径が必要となるものと考えられる。

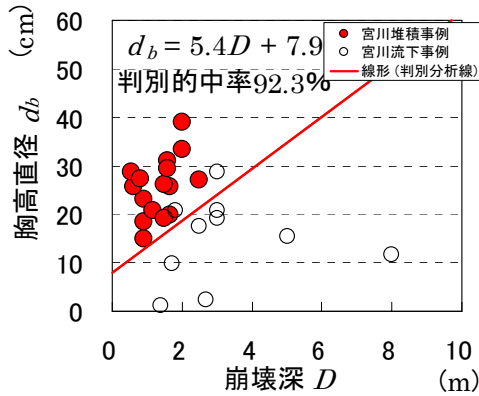


図-4 崩壊深 D と胸高直径 d_b による堆積・流下事例の判別分析 (宮川調査区域)

(2) 福井県美山調査区の研究成果

調査の結果、堆積事例6箇所と流下事例13箇所を確認した。美山調査区の堆積事例と流下事例の調査結果を図-5~7に示す。堆積事例では、崩壊幅は4~20m(平均幅10m)、崩壊深は1.0~3.0m、崩壊傾斜角は30~40°であった。

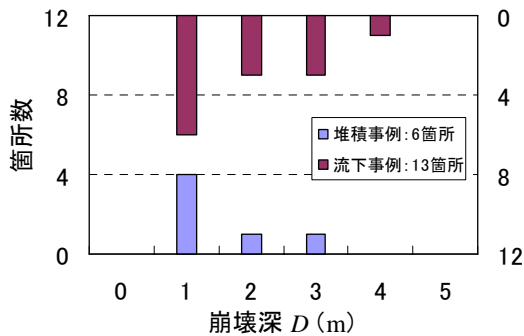


図-5 崩壊深 D の頻度分布 (美山調査区域)

美山調査区域の崩壊深について、堆積事例の上限は流下事例より小さく(図-5)、堆積事例の崩壊幅、崩壊深は、流下事例に近い値分布し、かつ流下事例より少し小さい範囲に分布する(図-6)。

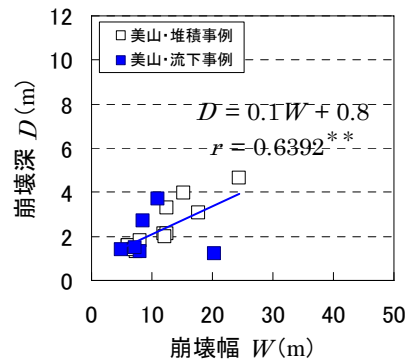


図-6 崩壊幅 W と崩壊深 D の関係 (美山調査区域)

図-7より平均胸高直径 d_b の頻度分布をみると、 d_b が15cm以下では崩壊土砂が流下する。流下事例の分布範囲は5~40cmに分布し、平均値は24cmであった。これに対し、

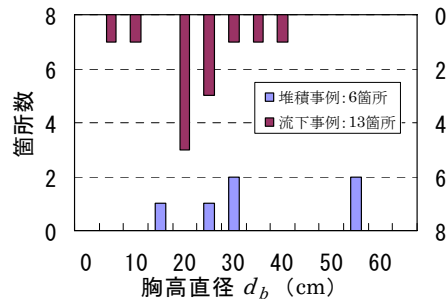


図-7 胸高直径 d_b の頻度分布 (美山調査区域)

堆積事例では d_b が15~55cmと大きく、平均値は37cmであり、堆積事例の d_b は、宮川調査区域と比較すると大きい傾向にある。崩壊深と崩壊地の周辺立木の平均胸高直径との関係を判別分析によって求めた結果を図-8に示す。この図を宮川調査区域と比較すると堆積事例と流下事例との区別がより判然としない状態にある。これは、美山調査区域が安山岩の風化土からなるのに対し、宮川調査区域が堆積岩からなる構成土という相違もあるが、平均胸高直径の違いによるところが大きい。

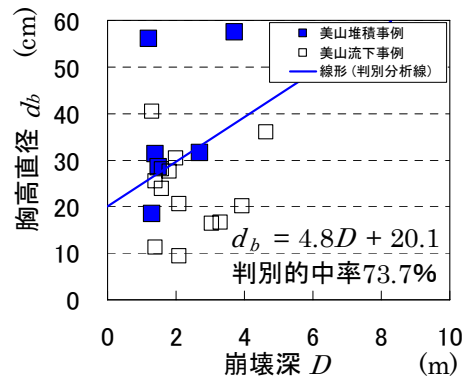


図-8 崩壊深 D と胸高直径 d_b による堆積・流下事例の判別分析 (美山調査区域)

このことは、宮川調査区域と美山調査区域を合併したデータによる判別分析の結果を見るとよくわかり、平均胸高直径の大きいデータが美山調査区域の堆砂事例のデータである。今後、直径の多きい樹林を作成することは重要な意味があり、樹林が小さい場合にはそれに代わるパイル等の設置も考えられる。

(3) 樹木の胸高直径と堆積土砂の関係

樹木に横荷重 P は地上 H_p の高さに作用し、 P の作用点での樹幹径を d とし、後では実用上胸高直径を用いる。このような引き倒し力 P に対し、根株には、根系抵抗力の合力 R が地下 z_0 の点に作用することによって地下 z の点 C を中心にして回転するようにして転倒する。

転倒時の抵抗モーメント Mr は胸高直径 d_b の 3 乗に基本的に関係するが、 H_p の大小によって変化する。ここで、 H_p が大きくて H_p が著しく変化しない場合には、 Mr は d_b の 3 乗に比例することになる(林ら,1998)。

立木に引き倒し力として横加重 P が作用する場合、このようなメカニズムによって、立木は地下根株周辺内の C 点を中心にして回転するようにして転倒する。この場合、横荷重 P の作用高 (H_p) の高低関係によって回転中心の深さ z は、変化することが考えられる。例えば、風圧 F は通常高い所に作用するので、 z は地上部に近いところとなる。ところが、引き倒し試験などでは、幹折れを心配して通常、枝下高より低い位置にワイヤーを掛けて引き倒すので、幹の剛性的な特徴が強くなり、剪断力としての作用も加わる。このため回転深さ z は、 P の作用高 (H_p) が小さくなるほど、大きくなることが考えられる(林ら, 1998)。

ここで、回転中心 z の値は林ら(1998)の推定式を用い、モーメントの腕の長さとして地上高と回転中心を与えて求める。玉手らの針葉樹のデータと草野の 10cm 以下を除く胸高直径のデータ、筆者らの針葉樹のデータに対するモーメントと胸高直径 d_b の関係図より次式が得られている。

$$Mr = a \cdot d_b^3 \quad (1)$$

ここに、 d_b : 胸高直径である。

(4) 立木径と崩壊深との関係

さて今回は、崩壊土砂が移動することによって樹木の立木に土圧が作用する場合の転倒問題である。このときの土圧は、擁壁等の設計に通常用いられる主働土圧では無く、受働土圧 P が作用する。崩壊して移動する土砂が立木に作用する状況は、正に受働時の状態である。このとき、受働破壊面の角度 α は崩壊地底面の角をとることが考えられる。また、作用高は、堆積土砂の高さを H とすると

底面から $H/3$ である。したがって、崩壊土砂の加重 P は次式のように書くことができる。

$$P = k \gamma H^2 \cdot d / 2 \quad (2)$$

ここに、 k : 受働土圧係数、 γ : 土の単位堆積重量、 d : 受働土圧が作用する範囲の立木の直径である。ここで、(2)式の直径 d を(1)式と同じ胸高直径 d_b で表し、転倒モーメントと抵抗モーメントとの釣り合いをとると次式が得られる。

$$d_b = (k \gamma H^3 / (6a))^{1/2} \quad (3)$$

さらに、立木への堆積深 H と崩壊深 D とが比例すると考えると

$$H \propto D$$

となり、(3)式は次式のように書くことができる。

$$d_b \propto (k \gamma D^3 / (6a))^{1/2}$$

あるいは、

$$d_b = bD^{3/2} \quad (4)$$

となり (b : は新しい係数)、胸高直径 d_b は崩壊深 D の 3/2 乗に比例することになる。

胸高直径と崩壊深との分析については、今後事例数を増す必要があるが、この結果から、崩壊土砂を堆積させるためには、崩壊土砂量が多くなるにつれて、大きな胸高直径の樹林帯が必要となるものと考えられる。このことは、防災対策としてもパイル群の有効性が示唆される。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 4 件)

- ① 林 拙郎, 近藤観慈, 川邊 洋, 花岡正明, 秋山一弥, 沼本晋也, 向井啓司, 福田睦寿, 鈴木 滋, 能登半島地震による土砂災害の特徴, 砂防学会誌, 61(3), 31-36, 2008, 査読有り
- ② 林 拙郎, 近藤観慈, 川邊 洋, 花岡正明, 秋山一弥, 沼本晋也, 鈴木 滋, 向井啓司, 福田睦寿, 2007年3月25日能登半島地震による土砂災害の発生形態, 砂防学会誌, 60(2), 51-58, 2007, 査読有り
- ③ 林 拙郎, 川邊 洋, 山地流域の流出土砂量に関する土砂タンクモデルの適用—三重県君ヶ野ダム流域と長野県松川ダム小渋ダム両流域との比較—, 水利科学, 51(2), 16-31, 2007, 査読有り
- ④ 稲葉誠博, 近藤観慈, 沼本晋也, 林 拙郎, 水年開始日の設定が低水・濁水流況解析に及ぼす影響—竜の口山森林理水試験地の場合—日本森林学会誌, 89(6), 412-415, 2007, 査読有り

[学会発表] (計 6 件)

- ① 内田芳貴, 林 拙郎, 近藤観慈, 沼本晋也, 林斜面における崩壊土砂の堆積および流下形態, 第118回日本森林学会大会, 平成

- 19年4月3日，九州大学，2008，
- ②岡山 司，近藤観慈，林 拙郎，森林流域における洪水到達時間と流出係数の検討－宮川ダム流域を事例として－，平成19年度砂防学会，平成19年5月23日，福井県民ホール，2008
 - ③内田芳貴，林 拙郎，近藤観慈，沼本晋也，樹林帯による崩壊土砂の流下抑制効果について－三重県多気郡宮川村および福井県足羽郡美山町を事例として－，第56回日本森林学会中部支部大会，平成19年10月13日，信州大学農学部，2008
 - ④渥美功介，沼本晋也，野々田稔郎，近藤観慈，林 拙郎，島田匡博，武井量宏，ヒノキ人工林における強度間伐前後の流出土砂量変化，第56回日本森林学会中部支部大会，平成19年10月13日，信州大学農学部，2008
 - ⑤内田芳貴，林 拙郎，沼元晋也，樹林帯のよる斜面崩壊土砂の流下抑制機能－三重県多気郡宮川村と福井県足羽郡美山町を事例として－，第119回日本森林学会，平成20年3月28日，東京農工大学，2008
 - ⑥山田 孝，森 健司，沼本晋也，林 拙郎，三重県藤原岳西之貝戸川における土石流発生－溪床堆積断面からの排水，表面流発生に関する画像判読結果－，第57回日本森林学会中部支部大会，平成20年10月11日，岐阜大学農学部，2008

[図書] (計 1件)

- ①林 拙郎(2008)自然環境保全のための保全砂防学入門－土砂災害の予知と防災，電気書院，p.292，2008.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 拙郎 (HAYASHI SETSUO)
三重大学・大学院生物資源学研究科・教授
研究者番号：50024584

(2) 研究分担者

山田 孝 (YAMADA TAKASHI)
三重大学・大学院生物資源学研究科・准教授