

研究資料 (Research record)

2013 年台風 26 号により伊豆大島で崩壊が発生した 崩壊斜面頭部の樹木根系の分布状況について

村上 亘^{1)*}、小川 明穂²⁾、小川 泰浩¹⁾、大丸 裕武¹⁾

要旨

2013 年 10 月 16 日の台風 26 号の通過に伴い大規模な斜面崩壊が発生した伊豆大島において、崩壊斜面周辺に分布する倒木の樹種、樹高、根系深や根系幅といった根系の分布状況について調査を行った。調査した倒木の根系深と根系幅は樹種によって異なっていた。計測した倒木はヒサカキが最も多く、次にハチジョウイヌツゲが多く分布していた。これらは表層の浅い範囲に根を広げる傾向があった。ヤブツバキやオオシマザクラは比較的地下深くに根を広げる傾向が認められたが、本数は少なかった。このことから、崩壊した斜面では崩壊を抑制させづらい樹種構成であったことも崩壊の素因としてあったことが推測された。

キーワード：伊豆大島、台風 26 号、崩壊、倒木、樹種、根系分布、地形・地質

1. はじめに

伊豆諸島北部では 2013 年 10 月 16 日の台風 26 号の通過に伴い 16 日未明から明け方にかけて非常に激しい雨となり、伊豆大島では大規模な斜面崩壊が発生した。これまでに行われた緊急調査により、崩壊は表層から 1m 以浅のごく浅い部分で発生したこと、崩壊した斜面では根系の侵入があまり認められないことなどが報告されており、樹木の成立による斜面に対する根系の補強効果が弱かった可能性が指摘されている(平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団 2014)。また、この報告によれば、崩壊した斜面では粗い火山灰と粒径が細かく透水性の低いレスの互層となっており、レスの土質特性が根系の侵入を阻害していた可能性も指摘されている。しかし、斜面に成立していた樹種構成と根系の補強効果との関係、あるいは地形(傾斜)・地質と成立する樹種との関係など、明らかにされていないことが多い。

本研究では、斜面に成立していた樹種構成と根系の補強効果との関係を明らかにするために、崩壊頭部の縁辺部において倒木の樹種、樹高、根系深や根系幅といった根系の分布状況について調査を行った。本報告では調査した倒木の根系分布の樹種ごとの相違、および分布する斜面の地形状況との関係について、これまでの知見を報告する。

2. 調査地概況

伊豆大島では台風 26 号の通過の際、1 時間に 122.5mm、

24 時間降水量では 824.0mm のいずれも観測史上 1 位の猛烈な雨を観測した(東京管区気象台 2014)。この豪雨に伴う斜面崩壊は、伊豆大島西部に位置する元町地区の東側、三原山の外輪山斜面で発生した(Fig. 1)。崩壊斜面頭部の状況は Photo 1 のとおりである。崩壊した斜面より上流では 14 世紀の噴火による割れ目火口や火砕丘が北西方向に伸びており、崩壊斜面にはそれらより噴出した溶岩、スコリアが堆積し、それらの上に粗粒の降下火砕物(火山砂層)と風化火山灰(レス)が互層となって堆積している。表層崩壊は透水性の高い火山砂層と透水性の低いレスの間で発生した(平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団 2014)。

3. 調査方法

調査は Fig. 1 に示す崩壊斜面の頭部付近で行い、崩壊頭部の縁辺部に存在する倒木を対象とした。調査した倒木は地形状況との関係についても検討する目的から、崩壊に伴い流送していないと判断した倒木のみを対象とし、倒木の樹種、樹高、根系深や根系幅を計測した(Fig. 2)。対象とした倒木の位置情報はハンディ GPS で計測した。倒木が生育していた斜面の傾斜度は、国土地理院の 10m メッシュ DEM より作成した傾斜分布図に計測した位置情報を重ねて取得した。計測結果についてはそれぞれの関係性を明らかにするために相関分析を行った。以上の調査結果から、根系の分布状況および地形(傾斜)との関係について樹種別に検討した。

原稿受付：平成 28 年 4 月 25 日 原稿受理：平成 28 年 6 月 1 日

1) 森林総合研究所森林研究部門森林防災研究領域

2) 元森林総合研究所水土保全研究領域

* 森林総合研究所森林研究部門森林防災研究領域 〒305-8687 茨城県つくば市松の里 1

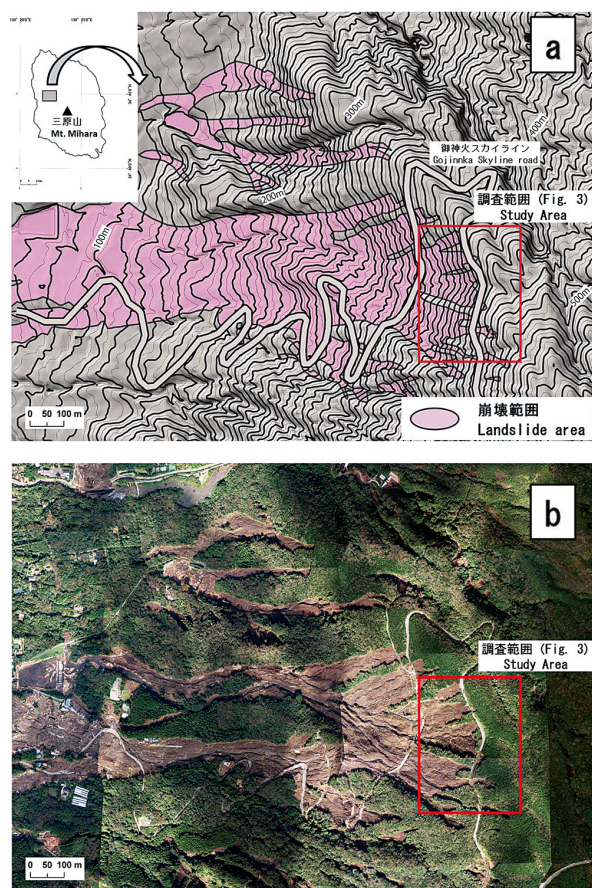


Fig. 1. a: 調査位置図 b: 調査地のオルソ画像
写真画像は災害後に東京都が撮影した。
a: Study area b: Ortho photograph of study area
Ortho photograph was taken after the hazard by
Tokyo Prefecture.



Fig. 2 倒木の計測項目 (樹高、根系深、根系幅) と計測位置
Survey method (tree height, root depth and root width)



Photo 1. 崩壊斜面の概況
View of the landslide

4. 調査結果

調査した倒木とその位置を Fig. 3 に示す。調査した倒木の樹種およびそれらの樹高、根系深や根系幅については Table 1 にまとめている。樹種はヒサカキ (*Eurya japonica*) が多く、ハチジョウイヌツゲ (*Ilex crenata* var. *hachijoensis*)、オオシマザクラ (*Prunus lannesiana* var. *speciosa*)、ヤブツバキ (*Camellia japonica*)、ヤブニッケイ (*Cinnamomum japonicum*) の順であった。調査した倒木の多くは株立ちしていた。

倒木の樹高と根系深との関係を Fig. 4a に示す。調査した倒木の樹高はほとんどが 5~7m 程度であるが、オオシマザクラは 5 本中 4 本が 8~9m と高かった。根系深は樹種によって分布に違いがみられた。樹高に対して根が地表より最も深く入っていたのはヤブツバキで、地表から 120~160cm であった。一方でオオシマザクラとハチジョウイヌツゲは、樹高に対して根系を浅く分布させる傾向があった。オオシマザクラは樹高に対して見ると浅い傾向となるが、80~120cm と比較的深いところまで根が入っていた。ハチジョウイヌツゲの根系は地表から 40~60cm の浅いところに分布する傾向にあり、深いもの



- ヒサカキ *Eurya japonica*
- ハチジョウイヌツゲ *Ilex crenata var. hachijoensis*
- オオシマザクラ *Prunus lannesiana var. speciosa*
- ヤブツバキ *Camellia japonica*
- ヤブニッケイ *Cinnamomum japonicum*
- その他 Etc.

Fig. 3. 調査した倒木の樹種とその位置図
Species of surveyed fallen trees and distribution

でも 80cm 程度であった。ヒサカキはほかの樹種に比べると根系の分布にばらつきが見られた。ヒサカキの根系は 180cm の深さまで達しているものもあったが、多くは 80cm より浅かった。ヤブニッケイはオオシマザクラやハチジョウイヌツゲよりも樹高に対して根系を深く分布させる傾向が認められたが、ヤブツバキほどではなく、深いもので 110cm であった。

根系深と根系幅の関係を Fig. 4b に示す。ヤブツバキを除く樹種で根系が深くなるほど根系幅も大きくなる傾向が認められた。ハチジョウイヌツゲはほかの樹種に比べ、根系を浅い部分で広げる傾向が認められた。

Fig. 4c に根系深と傾斜との関係を示す。ハチジョウイヌツゲは傾斜が大きくなるにつれて根系を浅く分布させる傾向があった。ほかの樹種はばらつきが大きかった。このうちヒサカキは傾斜が大きくなると根系を浅く分布させる傾向が認められたが、30° より緩い斜面では傾斜が大きくなるほど根系を深く分布させる傾向があり、傾斜が 25 から 30° 付近で最も根系が深く分布していた。

調査した倒木の樹種ごとの樹高、根系深、根系幅とそれぞれの相関、および根系深と傾斜との相関を取った結

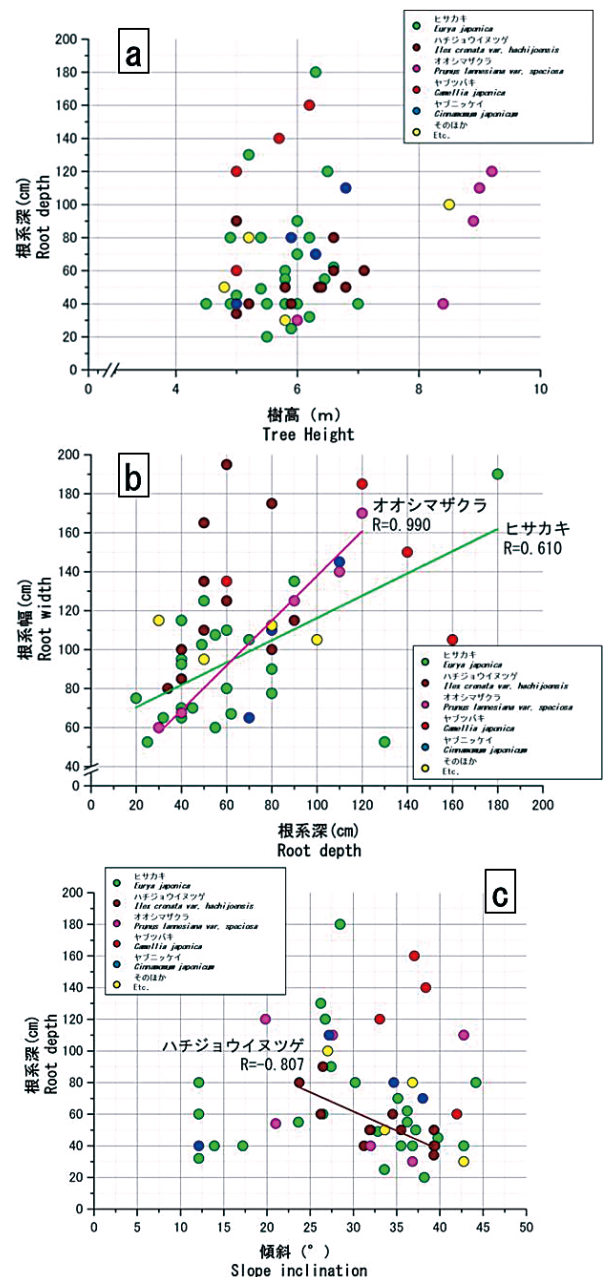


Fig. 4. a: 倒木の根系深と樹高との関係、b: 根系深と根系幅の関係、c: 根系深と傾斜の関係
直線は有意水準 5% で有意な関係を示している。
a: Relationship between root depth and tree height
b: Relationship between root depth and root width
c: Relationship between root depth and slope inclination
Straight lines show the relationship that is meaningful with 5% of levels of significance.

果を Table 2 に示す。ヒサカキは根系深と根系幅との間に正の相関が認められたが、根系深と樹高、あるいは根系深と傾斜との間に有意な相関は認められなかった。ハチジョウイヌツゲは根系深と傾斜との間に負の相関が認められた。また、Fig. 4a および Fig. 4b では根系深と樹高、あるいは根系深と根系幅との間にも関係性があるように見えるものの、有意な相関は認められなかった。オオシマザクラは根系深と根系幅との間に正の相関が認められ

Table 1. 調査した倒木の樹種、樹高、根系深および根系幅
Survey method (tree height, root depth and root width)

樹種 Species	樹高 (m) Height	根系深 (cm) Root depth	根系幅 (cm)		平均 Average	備考 Remarks
			長辺 Long side	短辺 Short side		
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.60	62	80	54	67	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.45	55	75	45	60	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.40	49	110	95	102.5	株立 2 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.20	130	60	45	52.5	株立 2 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.80	55	115	100	107.5	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.40	80	105	50	77.5	株立 2 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.50	120	210	130	170	株立 5 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.90	25	40	65	52.5	株立 2 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.80	40	80	50	65	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.00	60	50	110	80	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	7.00	40	70	120	95	株立 5 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.00	40	160	70	115	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.80	60	90	130	110	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.20	80	140	80	110	株立 2 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.20	32	70	60	65	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.00	90	160	110	135	株立 3 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.00	70	120	90	105	株立 3 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.00	45	90	50	70	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.50	20	70	80	75	根が岩ごと 倒れる
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	4.90	40	80	110	95	スコリア巻 き込み
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.00	40	100	70	85	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	4.50	40	70	70	70	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.80	60	90	130	110	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	4.90	80	100	80	90	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	5.50	40	95	90	92.5	
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	6.30	180	300	80	190	株立 3 本
ヒサカキ (<i>Eurya japonica</i>)	4.80	50	160	90	125	
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	7.10	60	130	120	125	株立 6 本
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	6.60	60	230	160	195	株立 4 本
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	6.60	80	180	170	175	
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	6.60	80	130	70	100	
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	5.20	40	70	130	100	株立 5 本
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	5.80	50	170	160	165	株立 4 本
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	5.00	90	90	140	115	
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	5.90	40	80	90	85	
ハチジョウウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	6.35	50	140	80	110	株立 2 本

Table 1. つづき
continued.

樹種 Species	樹高 (m) Height	根系深 (cm) Root depth	根系幅 (cm)		平均 Average	備考 Remarks
			長辺 Long side	短辺 Short side		
ハチジョウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	6.40	50	110	80	95	
ハチジョウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	5.00	34	90	70	80	
ハチジョウイヌツゲ (<i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>)	6.80	50	120	150	135	株立 2 本
オオシマザクラ (<i>Prunus lannesiana</i> var. <i>speciosa</i>)	8.40	40	45	90	67.5	
オオシマザクラ (<i>Prunus lannesiana</i> var. <i>speciosa</i>)	9.20	120	140	200	170	
オオシマザクラ (<i>Prunus lannesiana</i> var. <i>speciosa</i>)	6.00	30	60	60	60	
オオシマザクラ (<i>Prunus lannesiana</i> var. <i>speciosa</i>)	9.00	110	140	140	140	根周径: 22 cm (中央から 50 cm)
オオシマザクラ (<i>Prunus lannesiana</i> var. <i>speciosa</i>)	8.90	90	170	80	125	
ヤブツバキ (<i>Camellia japonica</i>)	5.70	140	150	150	150	
ヤブツバキ (<i>Camellia japonica</i>)	5.00	60	210	60	135	株立 5 本
ヤブツバキ (<i>Camellia japonica</i>)	6.20	160	120	90	105	直根周径: 41 cm (深さ: 44 cm)
ヤブツバキ (<i>Camellia japonica</i>)	5.00	120	120	250	185	
ヤブニッケイ (<i>Cinnamomum japonicum</i>)	6.30	70	70	60	65	
ヤブニッケイ (<i>Cinnamomum japonicum</i>)	5.00	40	90	90	90	
ヤブニッケイ (<i>Cinnamomum japonicum</i>)	6.80	110	180	110	145	
ヤブニッケイ (<i>Cinnamomum japonicum</i>)	5.90	80	80	140	110	
アカメガシワ (<i>Mallotus japonicus</i>)	5.20	80	85	140	112.5	根が岩ごと 倒れる
アカメガシワ (<i>Mallotus japonicus</i>)	5.80	30	60	170	115	
シロダモ (<i>Neolitsea serisea</i>)	4.80	50	90	100	95	株立 2 本
シロダモ (<i>Neolitsea serisea</i>)	8.50	100	100	110	105	株立 3 本。主 根が最深部 (100 cm) 付 近でねじ切 られる。

た。根系深と樹高についても正の相関が認められたが、有意性は認められなかった。ヤブツバキは樹高と根系深の間に正、傾斜と根系深との間に負の相関が認められるものの、有意性は認められなかった。ヤブニッケイは根系深と樹高、根系幅、そして傾斜との間に正の相関が認められたが、有意性は認められなかった。

5. 考察および今後の課題

根系が深くまで分布していない要因として、透水性の高い火山砂層とその直下の透水性の低いレスの組み合わせという火山特有の土質状況が指摘されている（平成25年10月台風26号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団2014）。今回の調査結果は崩壊斜面に成立していた樹種によって根の侵入する深さが異なっており、比較的浅いところに根を広げる樹種が多く成立していたことも要因として考えられた。

崩壊斜面周辺で調査した倒木はヒサカキが最も多く、次にハチジョウウイヌツゲが多く分布していた（Table 1）。伊豆大島の植生図（東京都環境局・アジア航測2013）によると、調査した崩壊地頭部はオオシマザクラ・オオバエグノキ群集とその上部のハチジョウウイヌツゲ群落の境界付近に位置している。伊東ら（2016）の調査では、崩壊した斜面頭部周辺はヒサカキとハチジョウウイヌツゲ、あるいはオオシマザクラとヤブツバキが優占する樹種構

成であることを報告している。本報告で調査した崩壊地頭部の周辺斜面には、踏査した限りではヒサカキあるいはハチジョウウイヌツゲが優占していたことから、調査した倒木の樹種構成は調査斜面に成立する代表的な樹種の構成であると判断した。

調査した倒木は樹種によって樹高、根系深、根系幅、および立地する傾斜との関係において異なる傾向を示していた。調査本数が最も多かったヒサカキはFig. 4aに示されるように根系深にばらつきが大きい傾向はあるものの、多くは地表から80cm以下の浅い場所に根系が分布していた。根系深と根系幅には正の相関が認められた。ハチジョウウイヌツゲはほかの樹種に比べて表層付近の浅い範囲に根を広げる傾向が顕著であった（Fig. 4b）。根系深と傾斜との間に負の相関が認められた（Fig. 4c）が、樹高および根系幅との間には有意な相関は認められなかった。オオシマザクラは根系が深くまで分布する傾向にあったが本数は少なかった（Fig. 4a）。オオシマザクラはほかの樹種よりも樹高が2~3m高い傾向があった（Fig. 4a, Table 2）。調査したほかの樹種は常緑樹であるがオオシマザクラは落葉樹である。調査した斜面は西~北西向きの斜面であるが、冬季の季節風が斜面に吹き付けることが推察されることから、冬季に葉を落とすオオシマザクラはほかの常緑樹に比べて冬季の季節風の影響を受けづらく、そのためにほかの樹種よりも樹高が高くな

Table 2. 倒木の樹種ごとの調査本数、樹高、根系深、および各相関係数
Measured fallen tree's species, counts, height, root depth and each coefficient of correlation (R)

樹種 Species	調査 本数 Counts	樹高 Tree height	根系深 Root depth	相関係数 樹高-根系深 R: Tree height - Root depth	相関係数 根系深-根系幅 R: Root depth - Root width	相関係数 傾斜-根系深 R: Slope inclination- Root depth
ヒサカキ <i>Eurya japonica</i>	27 本	4-7m	20-80 cm max 180 cm	0.177	0.610	-0.082
ハチジョウウイ ヌツゲ <i>Ilex crenata</i> var. <i>hachijoensis</i>	12 本	5-7m	30-60 cm max 90cm	0.202	0.353	-0.807
オオシマザク ラ <i>Prunus</i> <i>lannesiana</i> var. <i>speciosa</i>	5 本	6-10m	30-120 cm	0.806	0.990	-0.115
ヤブツバキ <i>Camellia</i> <i>japonica</i>	4 本	5-6m	60-160 cm	0.817	0.209	-0.620
ヤブニッケイ <i>Cinnamomum</i> <i>japonicum</i>	4 本	5-7m	40-110 cm	0.924	0.734	0.512

相関係数の太字斜体は有意水準5%で有意である。

The bold-italic type of R shows that it is meaningful with 5% of levels of significance.

ったことが推察される。ヤブツバキは調査した樹種の中では最も根が深くまで分布する傾向があったが本数は少なかった (Fig. 4a)。ヤブツバキとヤブニッケイは調査した倒木の本数が少なかったため、根系深と樹高、根系幅、傾斜との間に有意な関係性を明らかにすることができなかった。このことについては調査斜面にこれらの樹種の分布が少ない要因と合わせて今後、調査、検討する必要があると考える。

荏住 (1979) はヒサカキやハチジョウイヌツゲの近接種であるイヌツゲは浅根性であり、特にイヌツゲは主根がなく地表から浅い土層に根を広げる傾向があることを報告している。崩壊地ではオオシマザクラやヤブツバキといった比較的根系を地下深く侵入させる樹種も分布するが、調査した崩壊斜面頭部周辺では本数が少ないことから、表層崩壊を抑制する根の補強効果が調査斜面では弱かったことが推測される。このことから、崩壊の発生は土質状況だけではなく、根の補強効果、特に主根を地下深く侵入させることによる杭の効果を発揮させにくい樹種構成であったことも素因としてあったことが推測された。崩壊斜面周辺の露頭の観察から、露頭に露出するヒサカキやハチジョウイヌツゲの根系の多くは表層付近の透水性の高い火山砂層に分布し、レスの層にあまり侵入していなかった。一方で、ヤブツバキやオオシマザクラはレスの層まで根系を比較的深く侵入させていた。調査した崩壊斜面の露頭を見ると、崩壊頭部の急傾斜な斜面では透水性の高い火山砂層と透水性の低いレスの互層は薄くなり、その下層の部分的に溶結したスコリア層の露出が認められた。ヤブツバキやオオシマザクラはレスの層までは根系を伸ばすものの溶結したスコリア層には根系が侵入できず、崩壊斜面では地下深くまで根系を伸ばすことができなかったことが推察される。このことが崩壊斜面周辺にヤブツバキやオオシマザクラが少ない理由となっている可能性がある。一方でヒサカキやハチジョウイヌツゲは、荏住 (1979) が報告するように浅根性のため、表層付近の透水性の高い火山砂層に根を分布さ

せることで成立が可能であり、このことが崩壊斜面においても成立が可能であったものと推測される。

調査した倒木の多くは株立しており、斜面内には炭焼きの跡が認められる。伊豆大島の森林の多くは過去に薪炭利用されていたために、主要群落であるオオシマザクラ - オオバエゴノキ群集は二次林群落であるとされている (伊東ら 2016)。このため、今回調査した崩壊斜面頭部周辺の樹種構成は人為的な利用も一因となった可能性もある。このことについても土質条件と成立する樹種との関係と合わせて調査、検討する必要があると考える。

謝辞

調査にあたっては東京都庁伊豆大島支庁の東亮太氏に便宜を図っていただいた。本研究は、森林総合研究所交付金プロジェクト「局所的豪雨による山地災害の発生機構」により実施した。

引用文献

- 伊東 宏樹・松井 哲哉・飛田 博順・五十嵐 哲也・小川 明穂・松浦 陽次郎 (2016) 伊豆大島 2013 年 10 月 16 日斜面崩壊発生地点周辺の樹木の現存量。森林総合研究所研究報告。15, 21-30.
- 荏住 昇 (1979) 樹木根系図説。誠文堂新光社、東京、1121pp.
- 東京管区气象台 (2014) 災害時気象速報 平成 25 年台風 26 号に伴う 10 月 15 日～16 日の伊豆大島の大雨。東京管区气象台 22pp.
- 平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害緊急調査団 (2014) 平成 25 年 10 月台風 26 号による伊豆大島豪雨災害調査報告書。土木学会・地盤工学会・日本応用地質学会・日本地すべり学会 90pp.
- 東京都環境局・アジア航測 (2013) 平成 24 年度伊豆諸島植生図、平成 24 年度東京都 (伊豆諸島) 現存植生調査委託報告書 (別冊)。東京都環境局自然環境部計画課・アジア航測株式会社。

Characteristics of roots distribution around slopes in Izu-Oshima Island where landslides occurred because of Typhoon No. 26 (Wipha) in 2013

Wataru MURAKAMI^{1)*}, Akiho OGAWA²⁾, Yasuhiro OGAWA¹⁾ and Hiromu DAIMARU¹⁾

Abstract

We investigated the distribution of root systems of fallen trees around the slopes of Izu-Oshima Island where landslides occurred because of Typhoon No. 26 (Wipha) on October 16, 2013. We surveyed tree species, tree height, root depth, and root width of fallen trees. Distribution of root systems was different for different tree species. Species of the surveyed fallen trees were *Eurya japonica*, *Ilex crenata* var. *hachijoensis*, *Prunus lannesiana* var. *speciosa*, *Camellia japonica*, etc. Distribution of *E. japonica* and *I. crenata* var. *hachijoensis* was high on the slopes. These trees had wide roots in the shallow range under the slope surface. In contrast, *P. lannesiana* var. *speciosa*, and *C. japonica* had relatively wide roots in the deep range under the slope surface. These findings suggested that tree species that took roots in the shallow range under the slope surface could not prevent the occurrence of landslides.

Key words : Izu-Oshima Island, Typhoon No. 26 (Wipha), landslide, fallen tree, tree species, root systems, topography and geology

Received 25 April 2016, Accepted 1 June 2016

1) Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI)

2) Department of Soil and Water Conservation, FFPRI

* Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, FFPRI, 1 Matsunosato, Tsukuba, Ibaraki, 305-8687 JAPAN

e-mail: wmura@ffpri.affrc.go.jp