

豪雨による竹林斜面の崩壊と根茎網の影響

EFFECT OF RHIZOME NETWORK ON SLOPE FAILURE OF BAMBOO FOREST BY DOWNPOUR

高口拓也¹・佐藤研一²・藤川拓朗³・古賀千佳嗣⁴

Takuya KOGUCHI, Kenichi SATO, Takuro FUJIKAWA and Chikashi KOGA

¹福岡大学大学院工学研究科 建設工学専攻 (〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

E-mail: td154005@cis.fukuoka-u.ac.jp

²福岡大学工学部 社会デザイン工学科(〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

E-mail: sato@fukuoka-u.ac.jp

³福岡大学工学部 社会デザイン工学科(〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

E-mail: takuro-f@fukuoka-u.ac.jp

⁴福岡大学工学部 社会デザイン工学科(〒814-0180 福岡県福岡市城南区七隈 8-19-1)

E-mail: chikashi@fukuoka-u.ac.jp

Key Words: slope failure, model experiment, bamboo forest, downpour, GIS

1. はじめに

地球温暖化による気候変動により、近年、1時間に50mmを超えるような短時間強雨の発生回数が増えている¹。その結果、大雨による土砂災害が増加しており、毎年約1,000件もの土砂災害が発生している。また、我が国では、国産の竹の需要が減少し、放置竹林や進入竹の影響により、年々竹林の面積は増加傾向にある²。このような背景の中、竹の根は地表から30cm程度にしか生育せず、樹木よりも根が浅いことから森林や里山を構成する広葉樹のように治水効果がなく、大雨による斜面崩壊を起こしやすいといわれている³。その一方で、竹林は樹木類を主とする森林よりも崩壊の頻度は低いという考え⁴もある。さらに、竹が最も身近な資源のひとつとして用いられてきたことから竹林は人里に近い場所に多く分布している。そのため、竹林が斜面崩壊にどのように影響するのかを把握することは、災害発生時の被害の減少に繋がると考え、放置竹林の広がりや斜面崩壊の関係性を解明することを目的としている。

そこで本研究では、まずGISを用いて竹林分布マップを作製し、公表されている土砂災害警戒区域と

重ね合わせることで竹林と斜面崩壊の関係について検討を行った。次に、竹林の根茎が斜面崩壊に及ぼす影響について小型模型土槽を用いて検討した結果について報告する。

2. 竹林と斜面崩壊の関係

(1) 検討手法

放置竹林による被害が懸念されている福岡県糟屋郡篠栗町を対象に地形図、植生データを用いてGISより竹林分布マップの作製を行った。地形図においては、スキヤニングを行い、GIS上で扱えるようにジオリファレンスを施し、データ化を行った。さらに、公表されている土砂災害警戒区域と作製した竹林分布マップを重ね合わせることで竹林と斜面崩壊の関係について検討を行った。ここで地形図は国土地理院の地理院地図⁵、植生データは環境省自然環境局の自然環境情報GIS提供センター⁶の植生調査(ベクターデータ)より使用しており、土砂災害警戒区域については、福岡県国土整備部砂防課の土砂災害警戒区域図⁷より用いている。また、国土数値情報ダウンロードサービス⁸においてGISデータと

して公表されている土砂災害警戒区域は平成 25 年度のものであるが最新の土砂災害警戒区域と比較すると大幅に指定された区域数が異なった。この理由としては、平成 26 年 8 月豪雨による広島市北部での土砂災害後に土砂災害防止法が改正されハザードマップの作製が義務付けされたためである。そこで、今回は公表されている GIS データを使用せず、最新の土砂災害警戒区域の画像をデータ化し用いることとした。

(2) 竹林と斜面崩壊の関係における結果と考察

竹林と斜面崩壊の関係について検討を行うにあたり、篠栗町の地形図と植生データより竹林だけを抽出することで竹林分布マップを作製した。また、土砂災害警戒区域は、地すべりと急傾斜地の崩壊を用い、篠栗町では 161 箇所が土砂災害警戒区域として指定⁷⁾されていた。竹林分布マップより求めた篠栗町の竹林面積の推移を図-1 に示す。これより、篠栗町では約 30 年で 70ha ほど増加しており、年々竹林が拡大しているということが判明した。篠栗町の竹林と土砂災害警戒区域を重ね合わせたものを図-2 に示す。各年を比較すると、竹林が減少している地域と増加している地域が存在する。この理由としては、2013 年の地形図には 1998 年の際に竹林だった場所に針葉樹林等の別の植生が存在したことから人工的

に植生の入れ替えが行なわれたため、竹林が減少したのではないかと考えられる。また、1979 年では 44ha、1998 年では 58ha、2013 年では 47ha の竹林が土砂災害特別警戒区域、土砂災害警戒区域の中に存在し、竹林全体の約 3 割を占めることが判明した。さらに、日浦ら⁹⁾によると、平成 10 年 9 月に高知市を中心とする地域をおそった前線性豪雨では、都市を取り巻く山地の山麓部で多くの崖崩れ災害が発生し、量的には市街地周辺の山麓部の広葉樹林の崩落が多いが、竹林が関与する可能性を含んだ崩壊地の数も約 1/3 であったとされている。以上のことより、放置竹林が増加していくことは明白であり、土砂災害に竹林の存在が何らかの関連を持つてくると考えられる。今後は、過去の災害による斜面崩壊発生箇所を特定し、竹林と斜面崩壊発生箇所の重ね合わせより、竹林と斜面崩壊の関係について検討を行う予定である。

3. 竹林の根茎網が豪雨時の斜面崩壊に及ぼす影響

2 で示された結果より、竹林と斜面崩壊には何らかの関連があると考えられる。さらに、竹は根が浅いことから、大雨による斜面崩壊を起こしやすいといわれている³⁾。そのため、本研究では竹林の根茎に着目し、竹林の根茎網が斜面崩壊に及ぼす影響について小型模型土槽を用いて検討を行った。

(1) 実験概要

a) 実験試料

本研究では、小型模型土槽を用いた実験より竹林が斜面崩壊に及ぼす影響を解明するために、土質試料として大宰府産のまさ土を用いた。まさ土の粒径加積曲線を図-3、物理特性を表-1 に示す。日浦ら⁹⁾は、竹林土壌の表面を覆う竹の根茎網(写真-1)を模擬的に表現し得る材料として麻布を用いており、本

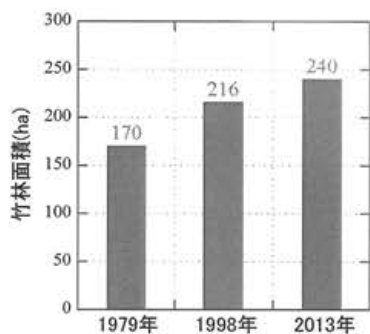


図-1 竹林面積(篠栗町)



図-2 篠栗町の竹林と警戒区域

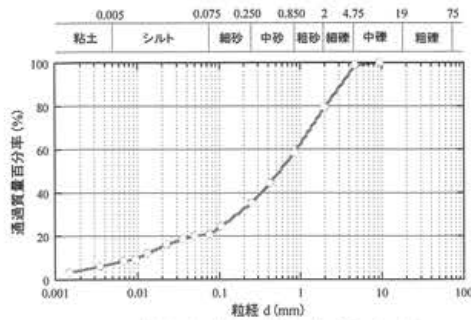


図-3 粒径加積曲線(大宰府まき土)

表-1 物理特性

試料名	太宰府まき土
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.634
初期含水比 w (%)	8.3
強熱減量 I_g -loss(%)	2.8
細粒分含有率 F_c (%)	20.9



写真-1 竹林の根茎網¹⁰⁾



写真-2 根茎網を模擬した麻布

研究ではこれに倣い、目合い約3mmの麻布(写真-2)を竹の根茎網と仮定し竹林の根茎網が豪雨時の斜面崩壊に及ぼす影響の把握を行った。

b) 実験装置

実験に用いた小型模型土槽及び降雨装置の概略図を図-4に示す。この小型模型土槽は、長さ50cm、幅30cm、傾斜20°の緩斜面部と長さ60cm、幅30cm、傾斜40°の急斜面部の二つの斜面から構成されている。降雨装置は長さ97.5cm、幅28cm、高さ20cmの箱型であり、底部に医療用のステンレスチューブを使用した内径0.7mmの注射針が均等に配置され、装置内の水位により注射針にかかる水圧を変化させ、降雨強度を変化させる仕組みである。ここで、小型模型土槽の傾斜角度は実際に斜面崩壊が発生した現場の角度を用いている。また、模型土槽の底部はアクリル板となっており、摩擦が少ないことから、模型土槽の底部には滑り止めを敷設している。

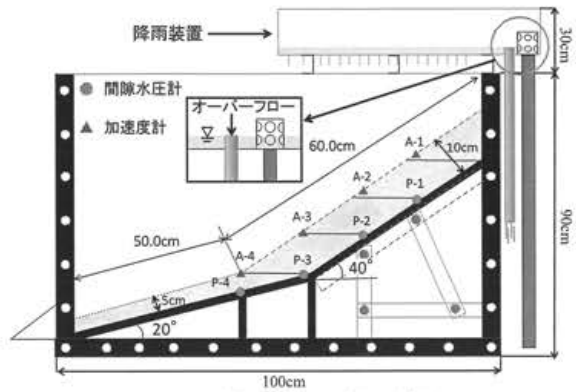


図-4 模型土槽及び降雨装置

表-2 実験条件

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
w_0 (%)			10			
ρ_s (g/cm ³)			1.50			
ρ_t (g/cm ³)			1.65			
e			0.76			
Sr (%) (実験開始前)			34.66			
降雨強度 (mm/h)			144			

c) 実験条件及び実験手順

実験に用いた地盤条件を表-2に示す。ここで、実験Caseは、麻布の敷設方法(表-3)の違いによるものである。実験手順は、まず間隙水圧の挙動を確認するために模型土槽の底面に間隙水圧計P-1~P-4の設置を行い、次に試料の初期含水比を10%に調整し、均一な含水比となるように混ぜた。含水比調整を行った試料を緩斜面部のブロックから順に所定の密度($\rho_t=1.65$ g/cm³)となるように、コテを用いて締固め、模型斜面の作製を行った。次に、模型斜面を作製したのち斜面崩壊に至るまでの土砂の動きを確認するために加速度計A-1~A-4を間隙水圧計P-1~P-4の上部の斜面表面部にそれぞれ設置した。最後に降雨装置を設置し降雨強度を調整した後、降雨・録画・間隙水圧・加速度の記録を開始した。また、鳥居ら¹¹⁾によると、竹林は低標高地域から高標高地域へ拡大してきたとされている。そのため麻布の敷設方法は、斜面全体と斜面下部のみに分け、表-3に示す6パターンで実験を行い、敷設箇所、間隔が斜面崩壊に与える影響について検討を行った。麻布の敷設位置については、斜面表層より深さ2cmの箇所に敷設している。ここで、麻布の敷設深さを2cmにした理由として、竹の根茎網は地表面付近の浅い部分に多く生育するため、模擬斜面の深さから判断したということと、加速度計を模擬斜面の表面部に埋設するために必要な深さであったためである。また、今回設定した降雨強度(144mm/h)は実際の降雨としては異常に強いが、実験の目的は雨水の浸透による斜面内間隙水圧分布と斜面の崩壊形態を調べるためであるため、この値を用いている。

表-3 麻布の敷設方法

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
写真						
概略図						
麻布の埋設方法	無し	斜面全体	斜面下部			
				6cm×6cmの麻布を約4cmで等間隔	6cm×6cmの麻布を縦10cm、横4cmの間隔	6cm×6cmの麻布を斜面下部に約4cmで等間隔

(2) 実験結果及び考察

a) 麻布の敷設箇所による影響

Case1～Case3 の間隙水圧及び加速度挙動の結果を図-5～7 に示す。ここで本研究では、初期段階における流動化が生じ比較的崩壊領域の小さい崩壊が発生したものを小規模崩壊(写真-3)、すべり面を伴う崩壊を大規模崩壊(写真-4)と定義する。麻布なしのCase1 は間隙水圧の上昇が始まり、その後、間隙水圧の上昇に伴う有効応力や粘着力の減少により、せん断破壊が生じ、大規模崩壊に至った。斜面全体に麻布を敷設した Case2 は Case1 と同様に間隙水圧が上昇したものの、崩壊には至らなかった。この原因として、八木ら¹²⁾によれば、斜面における浸潤前線は、斜面に対してほぼ平行に降下し、斜面下部で時間とともに鉛直方向に雨水の浸透を早める傾向があるとされている。本模型斜面では、麻布を連続して敷設したため水平ドレーンの役割を果たし、降雨は麻布を伝い表面部を斜面と平行に流れ、浸潤前線が降下しなかったため、P-1、P-2 で間隙水圧が上昇しなかったのではないかと考えている。斜面下部に麻布を敷設した Case3 は間隙水圧の上昇が始まり、麻布敷設箇所より崩壊が発生し、その直後、大規模崩壊に至った。この崩壊発生の原因として、麻布により斜面下部(P-3)での間隙水圧の上昇は抑制されていたものの、降雨により麻布の自重が増加し、麻布の敷設箇所より斜面表層部分が崩壊したため、斜面の安定力が失われ大規模崩壊に繋がったのではないかと考えられる。

以上のことより、麻布の敷設位置により、間隙水圧の発生箇所が異なることが明らかになった。さらに、斜面の一部を麻布が覆う場合、降雨による間隙水圧の上昇と麻布の自重の増加により、まさ土のみ

の場合よりも崩壊の恐れがあると考えられることも示された。

b) 麻布の敷設間隔による影響

Case4～Case6 の間隙水圧及び加速度挙動の結果を図-8～10 に示す。麻布を約4cm で等間隔に敷設した Case4 と麻布を縦10cm、横4cm の間隔で敷設した Case5 は共に間隙水圧の上昇が始まり、斜面下部において小規模崩壊が発生し、斜面が安定力を失い、その後の間隙水圧の上昇に伴う有効応力や粘着力の減少により、大規模崩壊に至った。しかし、麻布を斜面下部に約4cm で等間隔に敷設した Case6 については間隙水圧が上昇し、大規模崩壊に至ったが、小規模崩壊は発生しなかった。この理由として、P-3 で間隙水圧の上昇は見られたものの、麻布が斜面下部に敷設されていたため、麻布が補強材の役割を果たしたのではないかと考えられる。

Case1, 4, 5, 6 の各間隙水圧計での間隙水圧の発生から崩壊に要した時間を図-11 に示す。斜面下部の間隙水圧計 P-3, P-4 では、麻布を敷設した Case4, 5, 6 と麻布を敷設していない Case1 を比較すると麻布を敷設した Case4, 5, 6 で間隙水圧の発生時間が遅れていることが判明した。また、斜面上部の間隙水圧計 P-1, P-2 では、間隙水圧の発生時間に対して麻布による影響は考えられなかった。これより、麻布を敷設することで麻布が水を吸収し、斜面下部での間隙水圧の発生を遅れさせたのではないかと考えられる。以上のことより、麻布の敷設箇所、間隔によって間隙水圧の発生の仕方や崩壊の形態が異なることが示唆された。今後は実際の竹林の分布状況を考慮した実験によるデータの蓄積を行い、斜面崩壊との関係性について引き続き検討が必要である。

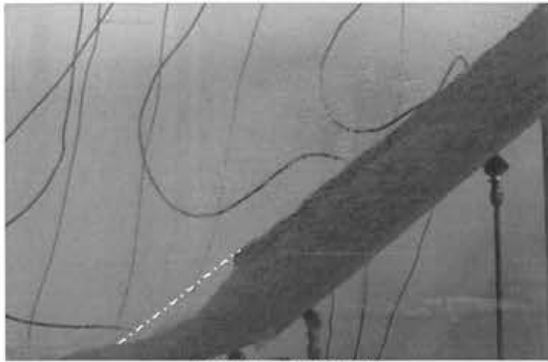


写真-3 小規模崩壊

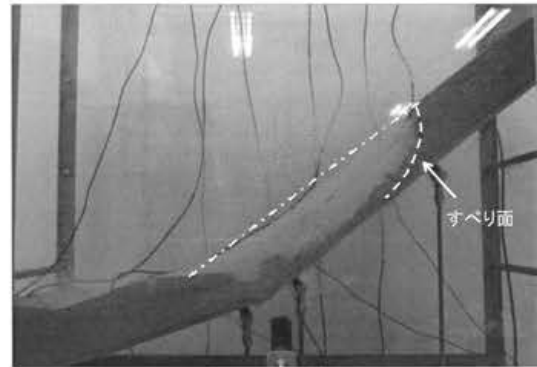


写真-4 大規模崩壊

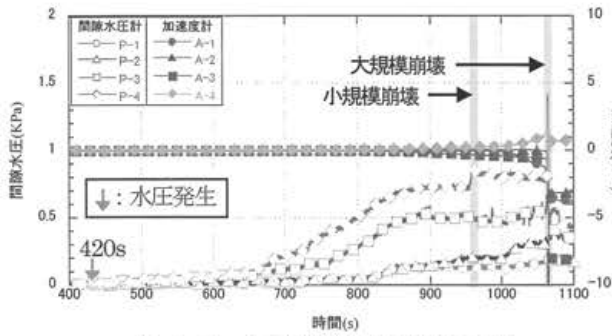


図-5 Case1の空隙水圧及び加速度挙動
(麻布無し)

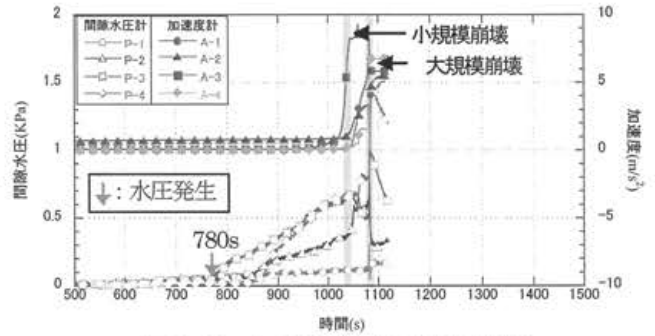


図-8 Case4の空隙水圧及び加速度挙動
(麻布を約4cmで等間隔)

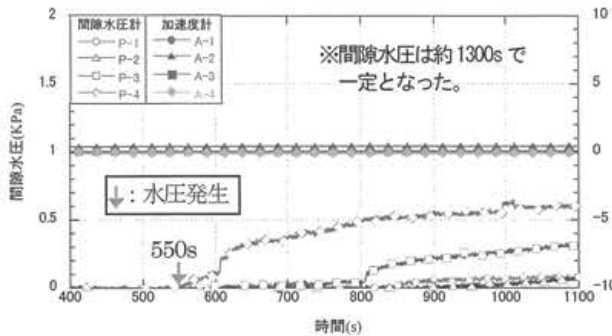


図-6 Case2の空隙水圧及び加速度挙動
(麻布斜面全体)

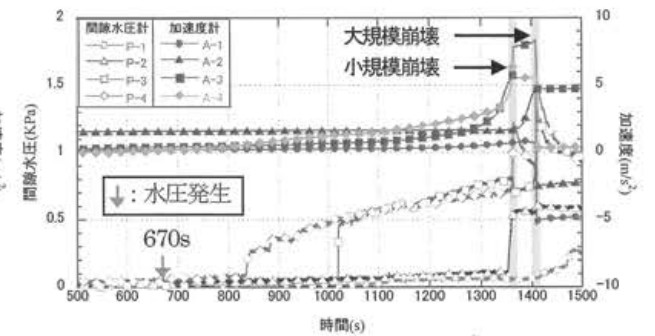


図-9 Case5の空隙水圧及び加速度挙動
(麻布を縦10cm, 横4cmの間隔)

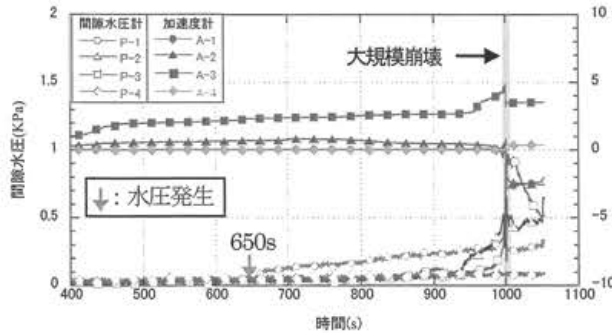


図-7 Case3の空隙水圧及び加速度挙動
(麻布斜面下部)

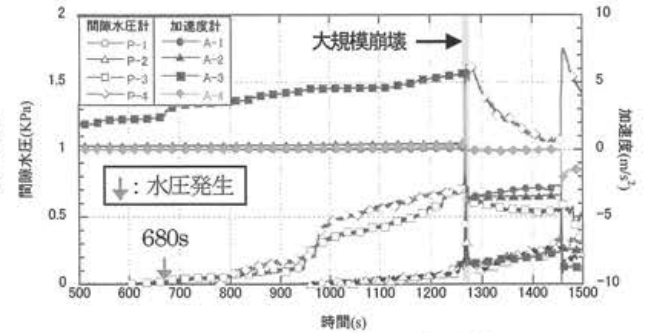


図-10 Case6の空隙水圧及び加速度挙動
(麻布を斜面下部に約4cmで等間隔)

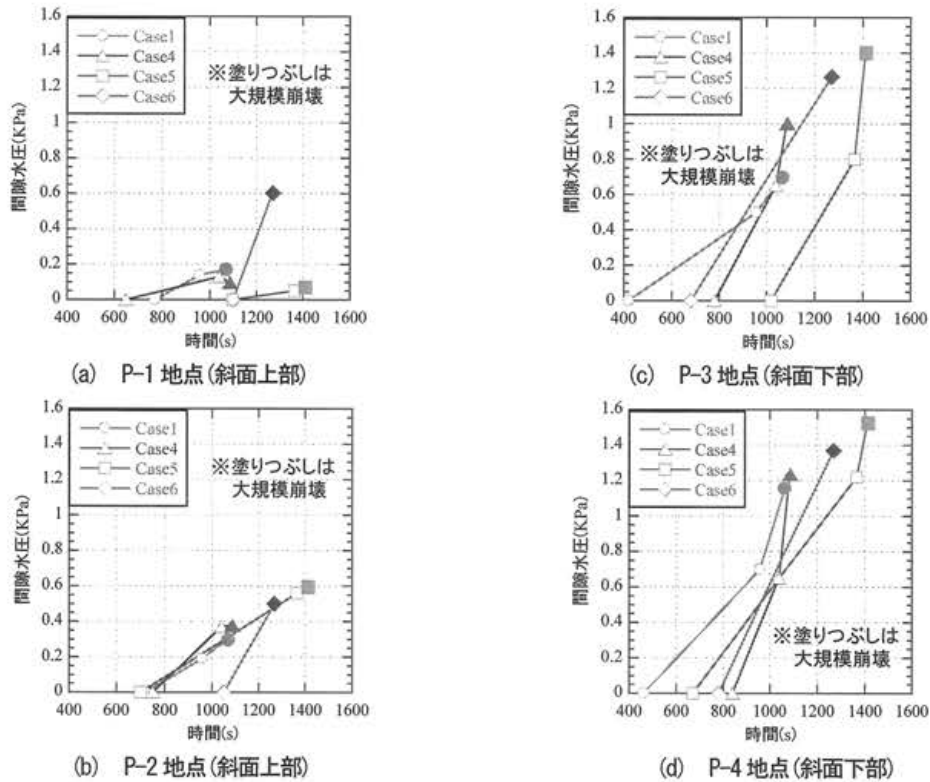


図-11 間隙水圧の発生から崩壊に要した時間

4. 結論

今回の実験において得られた知見を以下に示す。

- 1) 土砂災害警戒区域内に竹林が多く見られたことから、斜面崩壊に竹林が関与している可能性は十分に考えられる。
- 2) 雨水浸透による過剰間隙水圧の発生に伴い、斜面崩壊を発生させる因子となる。これら一連の状況を模型土槽において再現した。
- 3) いずれの条件においても、麻布の有無に関わらず、豪雨時には過剰間隙水圧の影響により、斜面崩壊が見られた。しかし、布を敷設することで麻布が水を吸収し、間隙水圧の発生を遅れさせた。これより麻布の敷設箇所、間隔によって間隙水圧の発生の仕方や崩壊の形態が異なることが判明した。斜面崩壊は、根茎だけでなく、地盤条件にも強く影響を受ける。そして、竹林地帯の土は、含水比が高く、密度が低い。さらに、細粒分を多く含んだ土であるということが予備実験より判明している。そのため今後は、このような地盤条件も考慮した検討が必要である。

謝辞：本研究は、(一社)九州地域づくり協会より研究助成を受けたものであり、関係各位に感謝申し上げます。また本研究の遂行にあたり、山口大学大学院の中田幸男教授に多大なるご協力を頂きました。末

筆ながら感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 奈良県県土マネジメント部砂防・災害対策課：土砂災害の概要, http://www3.pref.nara.jp/doshasaigai/sabokyouiku/contents/dosya_gaiyou/
- 2) 林野庁：竹林面積の推移, 平成 25 年 7 月, <http://www.rinya.maff.go.jp/j/rinsei/singikai/pdf/13071914.pdf>
- 3) 竹炭・竹酢液の竹炭紺屋, 放置竹林の現状, <http://takezumi-koya.com/>
- 4) 佐渡靖紀：森林の保全技術の確保 竹林と山地崩壊との関係究明, 山口県林業指導センター研究年報, pp.59-62, 2004.
- 5) 国土地理院：地理院地図, watchizu.gsi.go.jp/
- 6) 環境省自然環境局：自然環境情報 GIS 提供センター, <http://www.biodic.go.jp/trialSystem/top.html>
- 7) 福岡県県土整備部砂防課：土砂災害警戒区域図, <http://www.sabo.pref.fukuoka.lg.jp/kenmap/>
- 8) 国土交通省国土政策局国土情報課：国土数値情報ダウンロードサービス, <http://nlftp.mlit.go.jp/ksj/>
- 9) 日浦啓全：都市周辺山麓部の放置竹林の拡大にもなる土砂災害危険性, Journal of the Japan Landslide Society, pp.323-334, 2004.
- 10) 房総オルタナティブライフ：竹の根除去作業, <http://2are.blog10.fc2.com/blog-entry-11.html>
- 11) 鳥居厚志, 井鷲裕司：京都府南部地域における竹林の分布拡大, 日本生態学会誌, pp.31-41, 1997.
- 12) 八木則男, 矢田部龍一, 山本浩司：雨水浸透による斜面崩壊, 土木学会論文報告集, pp.107-114, 1983.

(2016. 5. 31 受付)