

学位論文要旨	
氏名	仲村渠 将
題目	畠地帯における浮遊土砂および栄養塩流出防止対策の評価に関する研究 (Studies on Evaluation of the Effect of Runoff Preventive Measure on Suspended Soil and Nutrients at an Upland Watershed)
<p>沖縄県で実施されている土砂流出防止対策整備事業の事業効果を査定するにあたり、土砂流出防止対策を評価する必要がある。本研究では、畠地帯における浮遊土砂および栄養塩流出防止対策の評価を行う。この目的のために、畠地帯における浮遊土砂流出と栄養塩流出の関係および沈砂池の性能を解明し、そこで得られた知見を評価材料とする。浮遊土砂流出と栄養塩流出の関係に関して得られた結果を以下に述べる。(1) 浮遊土砂流出時の懸濁態栄養塩含有率(懸濁態がトータルに占める割合)は高く、窒素成分では約9割、リン成分では約7割が懸濁態である。(2) 一降雨では浮遊土砂濃度と懸濁態栄養塩濃度の経時変化は類似する。(3) 両者の流出濃度の関係および流出負荷量の関係には有意な相関がある。以上より、浮遊土砂流出に伴い懸濁態栄養塩が流出していることが示される。したがって、土砂流出防止対策は懸濁態栄養塩の流出防止にも寄与することが示唆される。次に、沈砂池の性能に関して得られた結果を以下に述べる。(4) 浮遊土砂濃度および栄養塩濃度は沈砂池通過により低減する。(5) 浮遊土砂の粒径は沈砂池通過により細粒化する。(6) 沈砂池流入口から流出口への到達時間および時間平均流速は比較的粗大なシルト粒子の捕捉にとって適当である。(7) 一降雨ごとの浮遊土砂捕捉率は約50%から約90%の範囲であり、粒径75μm以下の細粒成分の捕捉も認められる。(8) 降雨出水による沈砂池への総流入水量と沈砂池容量との比を示す出水時回転率が増大すると浮遊土砂捕捉率は低下する傾向を示す。これはダム貯水池に関する従来の研究結果と一致する。(9) 粒度分布を用いた沈砂池設計理論上の浮遊土砂捕捉率は約30%から約80%である。(10) 懸濁態栄養塩も捕捉される。これは浮遊土砂の捕捉に伴うものと理解されるが、浮遊土砂、懸濁態窒素および懸濁態リンの捕捉率がそれぞれ異なるという結果を得ている。以上より、沈砂池は浮遊土砂と懸濁態栄養塩の流出を防止する性能を有することが示される。しかし、(6)、(8)および(9)の結果より、沈砂池の性能は降雨出水量や浮遊土砂の粒度分布に応じて変化するものであることがわかる。ここまでに述べてきたことから、浮遊土砂流出と栄養塩流出の関係および沈砂池の概ねの性能は解明されたものといえる。結論として、沈砂池に着目すると、畠地帯における浮遊土砂および栄養塩流出防止対策は浮遊土砂および懸濁態栄養塩の流出防止に寄与するものであるといえる。対策の効率を高めるため、降雨出水量や浮遊土砂の粒度分布を考慮した沈砂池の容量および構造決定が重要である。</p>	

学位論文要旨	
氏名	Nakandakari Tamotsu
題目	Studies on Evaluation of the Effect of Runoff Preventive Measure on Suspended Soil and Nutrients at an Upland Watershed (畠地帯における浮遊土砂および栄養塩流出防止対策の評価に関する研究)
<p>Recently, evaluation of the effect of the soil runoff preventive measure at an upland watershed has become a crucial factor when assessing cost-effectiveness of the project for the measure. This study evaluates the effect of the runoff preventive measure on suspended soil and nutrients at an upland watershed. To get reasons for the evaluation, following problems were investigated. More specifically, correlation between suspended soil runoff and nutrients runoff was analyzed, and the performance of a sedimentation tank was estimated. The following can be understood for first problem: (1) particulated nutrients were the main component of the total nutrients flowed out of the watershed. (2) Time series of concentrations of particulated nutrients showed the similar trend to that of suspended soil. (3) Correlation of runoff load between suspended soil and particulated nutrients was significant. From these results, it was found that runoff of suspended soil and particulated nutrients are closely linked. Next, the following can be understood for second problems: (4) Concentrations of suspended soil and nutrients decreased at the sedimentation tank. (5) Particle size becomes finer. (6) A part of fine soil can be trapped at the sedimentation tank. (7) Soil Trap efficiency of the sedimentation tank was from 50% to 90%. (8) The lower inflow-capacity ratio is, the lower soil trap efficiency. This result is in close agreement with previous study on reservoir. (9) Theoretical soil trap efficiency of the sedimentation tank was estimated from 30% to 80%. (10) Particulated nutrients were trapped at the sedimentation tank. Particulated nutrients trap efficiency of the tank showed different trend to that of suspended soil. From these results on the sedimentation tank, it is found that the sedimentation tank is effective in trapping suspended soil and particulated nutrients. However, from the results of (6), (8) and (9), the performance of the sedimentation tank depends on the amount of precipitation and particle size distribution. In conclusion, the runoff preventive measure on suspended soil and nutrients at an upland watershed contributes to decreasing the amount of runoff of suspended soil and particulated nutrients. It is suggested that the designing of a sedimentation tank be still improvement based on the properties of precipitation and suspended soil particle size distribution for increasing the efficiency of the runoff preventive measure.</p>	

学位論文審査結果の要旨					
学位申請者	仲村渠 将				
氏 名					
審査委員	主査 琉球 大学 教授 吉永 安俊				
	副査 琉球 大学 教授 酒井 一人				
	副査 宮崎 大学 教授 秋吉 康弘				
	副査 琉球 大学 教授 宜保 清一				
	副査 鹿児島 大学 教授 粕井 和朗				
審査協力者					
題 目	畑地帯における浮遊土砂および栄養塩流出防止対策の評価に関する研究 (Studies on Evaluation of the Effect of Runoff preventive Measure on Suspended Soil and Nutrients at an Upland Watershed)				
<p>土砂流出防止対策事業の費用対効果を検証するためには、当事業の事業効果を具体的に評価することが必要である。すなわち、土砂流出防止対策事業で整備する土砂流出防止対策施設等は土砂流出をどの程度防止するのかを明らかにしなければならない。近年では、浮遊土砂流出に伴って栄養塩も流出していることが指摘されており、土砂流出防止対策事業は浮遊土砂のみならず栄養塩の流出防止にも寄与していることが推測される。このことは、土砂流出防止対策事業の多面的効果として大いに評価できる。しかし、これまでのところ、このような土砂流出防止対策事業の多面的効果を実証的に評価したもののは少ない。とくに、集水域の末端に位置する沈砂池の対策効果を定量的に評価することは環境への影響評価の観点から大変重要であるといえる。</p> <p>そこで本研究では、降雨時の現地調査を実施し、畑地帯における浮遊土砂流出と栄養塩流出の関係を解明し、また土砂流出防止対策施設のひとつである沈砂池に着目して、浮遊土砂および栄養塩の流出防止に関する沈砂池の対策効果を解明することを目的とした。</p> <p>浮遊土砂流出と栄養塩流出の関係について以下を明らかにした。(1)浮遊土</p>					

砂の流出濃度に応じて溶存態および懸濁態栄養塩の流出濃度は変化した。とくに、懸濁態栄養塩の流出濃度の経時変化は浮遊土砂のそれと類似した。浮遊土砂と懸濁態栄養塩の流出濃度には高い相関関係(相関係数 0.57~0.99)が認められ、多くの場合で有意な相関であった。このことから、(2)懸濁態栄養塩は浮遊土砂に伴って流出していると考えられた。次に、栄養塩の形態別の流出割合において、窒素成分では約 8 割、リン成分では約 7 割が懸濁態であり、栄養塩の流出形態は主として懸濁態であることが認められた。したがって、水質保全を検討するうえでは懸濁態栄養塩の流出防止が先決であり、浮遊土砂流出と懸濁態栄養塩流出の高い相関関係からして、土砂流出防止対策施設等は栄養塩流出防止に有効な手段であると推測された。

沈砂池の土砂流出防止効果に関して以下を明らかにした。集水域から沈砂池へ流入する懸濁水に含まれる土砂は粒径 $300\mu\text{m}$ より小さい土砂成分(細砂、シルト、粘土、コロイド)から構成されるものであった。このような土砂成分を含んだ懸濁水が沈砂池を通過すると、沈砂池出口に到達した懸濁水の浮遊土砂濃度は低下し、また粒度分布における細砂の割合が小さくなつた。そこで、沈砂池における浮遊土砂の捕捉を確認するため、総雨量が 100mm 以下の降雨を対象に沈砂池の浮遊土砂収支を求めた結果、沈砂池の浮遊土砂捕捉率は 60%~90% であった。このとき、沈砂池に捕捉された浮遊土砂には粒径 $75\mu\text{m}$ 以下の細粒分も多く含まれることがわかつた。

以上の結果を踏まえ、沈砂池の栄養塩流出防止効果について調査し、以下の結果を得た。ひとつの降雨について沈砂池における懸濁態栄養塩収支を求めるとき、懸濁態栄養塩の捕捉率は懸濁態窒素 93%、懸濁態リン 37% となり、沈砂池において懸濁態栄養塩は捕捉されていた。これは浮遊土砂の捕捉に応じたものであると考えられた。

以上のように、本研究は、浮遊土砂流出と栄養塩流出の関係を明らかにするとともに、沈砂池の具体的な土砂流出防止効果を示し、沈砂池において浮遊土砂および懸濁態栄養塩の流出は防止されることを明らかにした。本研究の成果は、効率的な土砂流出防止対策の実施および土砂流出防止対策事業の費用対効果の検証に寄与するものであり、本論文は博士(農学)の学位論文として十分に価値のあるものと判定した。

最終試験結果の要旨					
学位申請者 氏名	仲村渠 将				
審査委員	主査	琉球 大学 教授	吉永 安俊		
	副査	琉球 大学 教授	酒井 一人		
	副査	宮崎 大学 教授	秋吉 康弘		
	副査	琉球 大学 教授	宜保 清一		
	副査	鹿児島 大学 教授	糸井 和朗		
審査協力者					
実施年月日	平成 20 年 1 月 10 日				
試験方法（該当のものを○で囲むこと。）					(口答)・筆答
<p>主査および副査4名は、平成20年1月10日（木）の公開審査会において、学位申請者本人に対して学位申請論文の内容について説明を求め、関連事項について試問を行った。具体的には別紙のような質疑応答がなされ、いずれも満足できる回答を得ることができた。</p> <p>以上の結果から、審査委員会は申請者が博士（農学）の学位を受けるに必要かつ十分な学力ならびに識見を有すると認めた。</p>					

学位申請者 氏名	仲村渠 将
[質問 1] 栄養塩濃度の単位(mgN/L および mgP/L)の表記('N'や'P'のように元素記号を含めた表記)は国際的に通用するものか:	
[回答 1] 國際単位系(SI)としては定義されていない。当該分野における國際誌を参考すると、本論文と同様の表記をするものもあれば、「mg/L」として元素名の略語を含めずに表記するものもある。また、米国で開発されている流域スケールでの土砂と栄養成分の動態を解析するための国際的にも代表的なモデルでは、本論文と同様の表記である。このようなことから、本論文での単位の表記は国際的にも通用するものと理解している。	
[質問 2] 懸濁態栄養塩の含有率を示す回帰式の傾きが、懸濁態窒素(傾き 0.82)より懸濁態リン(傾き 0.67)のほうで小さいことの科学的根拠はあるか。	
[回答 2] 粘土やコロイドなどの微細土砂に固定されたリンの一部は溶存態にも含まれていると考えられ、溶存態リンの割合が比較的高いことが原因であると推測される。観測や観察の結果から微細土砂に固定されたリンの一部が溶存態として存在することのいくつかの定性的な根拠が示されている。まず、溶存態リン濃度の経時変化は浮遊土砂濃度の経時変化と明確には類似しないが、浮遊土砂濃度の経時変化を緩やかにした増減傾向を示しており、粘土やコロイドに固定されたリン成分の影響と考えている。また、浮遊土砂の粒度分布(個数基準)より、溶存態に区分される孔径 1μm のろ紙を通過する大きさの浮遊土砂成分が多数含まれることがわかる。さらに、溶存態試料水ではチングル現象が観察され、粘土やコロイドなどの微細土砂によるものと考えられる。	
[質問 3] 粒度分布の結果では細粒分は沈砂池から流出する土砂成分となっているのに対し、沈砂池における浮遊土砂收支の結果では細粒分も沈砂池で捕捉されていることになっている。これはどういうことか。	
[回答 3] 粒度分布の結果は、沈砂池の流出口から流出する瞬時の浮遊土砂粒度分布であって、流出量全体のものではない。量的にみると細粒分は沈砂池において多量捕捉されている。	
[質問 4] 浮遊土砂粒子に固定される窒素やリンの量は限られているのか。	
[回答 4] 本研究では把握できていない。有機質の性質および量、また粒子周辺の pH に応じた荷電状態の変化などが影響するものと思われる。また、本研究の調査結果の場合、調査時期の違う降雨イベントを比較すると、ほぼ同じ浮遊土砂濃度に対する栄養塩濃度は異なっていた。このように、固定量は一概には決定できないのではないかと考えている。	

[質問 5] 懸濁態栄養塩だけでなく溶存態栄養塩まで含めないと、栄養塩の流出防止効果を評価できないのではないか。

[回答 5] ご指摘のとおりであると考えている。本研究では、浮遊土砂流出を防止することによる栄養塩流出の防止という観点であったため、浮遊土砂流出との関わりの強い懸濁態栄養塩についての防止効果を評価した。今後、無機態栄養塩濃度も同時に測定することによって栄養塩全体としての流出防止効果を評価していくことを考えている。

[質問 6] 沈砂池を貯水せずに空の状態にしておいたほうが対策効果は高い。常時満水状態にある沈砂池の効果を検討しているのにはどのような意図があるのか。

[回答 6] 本研究では、農業用水源としても利用されている沈砂池を調査対象としている。ご指摘のとおり、満水状態の場合、懸濁水の流入と同時に貯留水が流動するため、流入水量が沈砂池容量より小さくても、貯留水による希釈を伴いながら懸濁水は沈砂池出口へ到達し沈砂池から流出する。したがって、流入水量が沈砂池容量より小さい場合には空状態のほうが満水状態よりも効果的といえる。逆に、流入水量が沈砂池容量より大きい場合には空状態と満水状態のどちらが効果的であるかは実際には把握できていないが、模型実験を行った経験からすると空状態での捕捉率は満水状態での捕捉率より若干大きい程度であった。空状態と満水状態のどちらを選択するかは、集水域からどの程度の流入水量を見込むのかということと、施設用地的にどの程度の容量の沈砂池を計画できるのかということとの兼ね合いを考える必要があると思う。

[質問 7] 沈砂池のために確保される施設用地面積はなるべく小さいほうがよい。そこで、満水状態の沈砂池で効果があるのならば、空状態にしたうえで沈砂池容量を小さくすることはできないか。

[回答 7] 満水状態で効果が得られるのには、沈砂池の水面面積、流量および土粒子の沈降速度を勘案して所定の表面負荷率が得られるように沈砂池は設計されているということが条件であると考えている。施設用地面積を小さくする目的で水面面積を小さくすると、表面負荷率が所定の値より大きくなるため効果は下がる。空状態であれば貯留効果が得られるため効果は上がるが、流入水量が沈砂池容量より大きくなる場合には越流水量に応じて効果は下がる。空状態にするかどうかについては、沖縄県の現行の沈砂池設計指針では考慮されていない容量基準に関する検討が必要であり、その場合には一雨雨量、総流出率および降雨出水量などを沈砂池の計画地域ごとに把握する必要がある。

[質問 8] 沈砂池の設計流速はどのくらいか.

[回答 8] 設計流速は 0.15m/s である.

[質問 9] 透水堰堤を水面より高くすれば流速がより緩和され効果が上がる. 現在は水面より低くして常時埋没させているが, その根拠は何か.

[回答 9] 設計指針等に記述がなく, 現在のところ把握できていない. ご指摘のとおり, 泛濫の恐れがなければ水面より高くするほうが効果的と考えている. また, 模型実験によれば, 流入口直下に配置することにより効果が高まることを確認している. 効果向上のため, 透水堰堤の設置方法に関しては検討が必要である.

[質問 10] 栄養塩の捕捉率が高いように思うが, 溶存態栄養塩などの捕捉されにくい成分を適切に把握できているのか.

[回答 10] ここでは, 懸濁態栄養塩のみについてみた場合の捕捉率を示しており, 溶存態栄養塩も含めた結果ではない. 浮遊土砂の捕捉に応じて懸濁態栄養塩は捕捉されるものと考えられ, 栄養塩をトータルでみた場合には沈砂池において栄養塩は捕捉されていることが示されることから, 懸濁態栄養塩は少なからず捕捉されると考えている. ただ, 懸濁態リンについては沈砂池から流出しやすい微細土砂に偏つて分布していると考えられるため, 捕捉率は小さい.