

令和4年度

山地保全調査

(保安林整備と併せて筋工等が設置された  
森林における浸透能の把握に関する調査)

委託事業報告書

令和5年3月

林野庁



---

# 目 次

---

1. 調査の実施方針等.....	1
1.1. 目的 .....	1
1.2. 業務内容.....	2
1.3. 基本方針.....	4
1.4. 調査計画の検討.....	5
1.5. 調査計画.....	10
2. 調査地の概要 .....	11
2.1. 位置 .....	11
2.2. 地形と地質 .....	13
2.3. 土壌.....	15
2.4. 気象.....	16
2.5. 林況.....	20
3. 調査の実施及び結果 .....	24
3.1. 現地調査の実施時期.....	24
3.2. 調査地における調査項目と試験装置の配置 .....	25
3.3. 自然降雨試験.....	37
3.4. 人工降雨試験 .....	45
3.5. 冠水型浸透能試験.....	68
3.6. 林相と地形調査.....	72
3.7. 土壌調査.....	74
3.8. 土壌中水分の移動状況 .....	83
3.9. シミュレーションの適用.....	89
4. 調査結果のまとめ .....	94
4.1. 筋工の有無による浸透能の差 .....	94
4.2. まとめ.....	96
5. 資料集.....	97
5.1. 浸透能に関する文献 .....	98
5.2. 調査候補地 .....	101
5.3. 調査観測結果.....	109
5.4. 学識経験者の助言.....	146



## 1. 調査の実施方針等

### 1.1. 目的

第二次世界大戦直後の日本では、戦中戦後の木材需要の異常な高まりによる乱伐・過伐により、森林は著しく荒廃し、山地災害や洪水被害が多発していた。その後、我が国の森林は、適切な保育・管理、及び保安林整備や治山事業の進展に伴い、樹木根系が発達して森林土壌の形成・保持が進む等、過去と比較して現在は良好な状態となっており、豪雨災害の防止・軽減に寄与している。

しかし近年、気候変動に伴い短時間豪雨の増加や強度の強い豪雨の長時間の継続など、降雨形態の変化による災害が頻発しており、特に平成29年九州北部豪雨による流木災害、平成30年7月豪雨による土石流災害は、多くの犠牲者を出す激甚災害となった。これらの災害の調査分析をもとに、林野庁では治山対策の方向性をとりまとめ、全国的に対策を強化している。

一方、令和元年東日本台風、令和2年7月豪雨では、山地災害の発生に加え広い範囲にわたって河川の氾濫が発生し、甚大な洪水被害をもたらした。これを受け抜本的な治水対策として、集水域と河川区域のみならず、氾濫域も含めて一つの流域として捉え、ハード・ソフトの両面の対策を推進する「流域治水」の取組として、上流域の森林整備・治山対策についても、河川事業などと連携を進める動きが進展している(図1.1参照)。今後も気候変動に伴う豪雨の激化が予測される中、森林の災害防止機能をより高度に発揮させることが期待されている。



図 1.1 流域治水の推進(出典:国土交通省 HP)

近年の異常な豪雨による山地災害の広域化・同時多発化等を受け、「令和2年度山地保全調査(近年の豪雨災害を踏まえた治山計画策定方針検討調査)」において設置された「豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会」の議論の中で、図1.2のとおり森林の洪水緩和機能を維持・向上させるための対策の方向性として、森林土壌の保持を通じた浸透能の向上を図ることを目的に、筋工や柵工を森林整備と併せて積極的に配置することや、これらの対策をより効果的に実施するため、定量的データを収集する必要性があることが指摘された。

### 豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会とりまとめ(令和3年3月)

- ✓ (前略) 森林整備と簡易な土木的工法を組合せた対策を推進し、適切な水循環の確保、森林土壌の保持を図りつつ健全な林内環境の整備を図るべきである。これまで主に崩壊地復旧に活用されてきた筋工・柵工を森林内で活用することが有効である。斜面において等高線状に細かな筋切り・段切りを行うことで、森林土壌を保持し雨水の浸透を図るとともに、たとえ森林土壌が移動してもそれが最小化されることを目指すことが必要。
- ✓ 筋工・柵工については、例えば伐採木一本を横に並べ置くだけでも一定の土壌の保持効果が期待できることから、急傾斜地の箇所や地山が強固である等施工条件が厳しい箇所等においては、統一的な規格で配置することよりも、より広いエリアに面的に配置していくことを優先して規格を選定し、対策を講じていくべきである。
- ✓ これらの取組は、森林整備に伴って発生する木材の有効利用の拡大の観点からも進めてくべきである。

図 1.2 豪雨災害に関する今後の治山対策の在り方検討会とりまとめ(抜粋)

このことを踏まえ、「令和3年度山地保全調査(森林整備が表層崩壊防止機能等に及ぼす効果等に関する検討調査)」においては、保安林整備(本数調整伐)と併せて筋工等を設置することによる森林土壌の浸透能に及ぼす効果等を、定量評価するための現地検証方法の確立及び検証を試行した。

令和4年度は、引き続き現地検証を実施し、筋工等の設置による土壌の浸透能に及ぼす効果等を把握することを目的として実施した。

調査対象とした筋工は図 1.3 のとおり、神奈川県山北町における県営林内の筋工 1 箇所及び静岡県富士宮市の財産区有林における 2 箇所の筋工、計 3 箇所である。



図 1.3 調査対象の筋工(左:神奈川県県営林、中央と右:静岡県富士宮市財産区有林)

## 1.2. 業務内容

仕様書に基づく本業務の内容は次のとおりである。

### 1.2.1. 現地調査計画及び文献等調査

令和3年度山地保全調査(森林整備が表層崩壊防止機能等に及ぼす効果等に関する検討調査)では、保安林整備(本数調整伐)と併せて設置した筋工における森林土壌の浸透能に及ぼす効果等を定量評価するため、検証方法の確立と検証を実施した。その試行成果を参考とし下記 1.2.3 の調査内容を計画する。また、現地調査及び結果の分析に活用するため、必要に応じ、過去に実施された森林土壌の浸透能に関する調査事例の文献等を収集する。

### 1.2.2. 調査候補地の調査及び調査地の設定

関東地方から近畿地方の範囲内で調査候補地を選定し、現地の林況、地況、施工履歴等、関係情報を収集する。その結果に基づき調査地を3地区以上決定し、各地区内で保安林整備(本数調整伐)と併せて筋工等が設置されている試験地(以下、「筋工有」という)と、設置されていない試験地(以下、「筋工無」という)をそれぞれ1箇所以上設定する。

### 1.2.3. 現地調査の実施及び調査結果の分析

上記1.2.2で設定した調査地において、次の調査を行い分析する。

#### (1) 浸透能調査

##### 1) 現場型振動ノズル式散水装置を用いた人工降雨による測定(以下、「人工降雨試験」という)

1試験地あたり20分以上実施する。

##### 2) 雨量計と表面流観測装置などを組み合わせた自然降雨による測定(以下、「自然降雨試験」という)

1試験地あたり1ヶ月以上実施する。

##### 3) 単管式冠水型浸透計による測定

1地区あたり6箇所以上実施する。

なお、1)は2地区以上、2)は3地区以上で実施するが、1)と2)が同一地区となることは妨げない。また、3)は2)と同一地区において実施する。

#### (2) 林相調査

試験地周囲の林相を把握するため、標準地調査等を実施する。

#### (3) 土壌調査

土壌の構造等を把握するため、リター被覆厚、乾重量等の表層被覆状況調査、土壌断面調査、土壌透水性測定等の調査を実施する。

#### (4) 地形調査

調査地の微地形を把握するため、地上レーザ計測等の調査を実施する。

### 1.2.4. 学識経験者による助言等

林野庁担当職員と調整の上、学識経験者3名以内に本業務に関するアドバイザー業務を要請し、上記1.2.1から1.2.3の実施に当たって助言や現地指導を得ることとする。

### 1.2.5. 報告書のとりまとめ

上記(1)から(5)の内容を本事業の成果として報告書にとりまとめる。

### 1.3. 基本方針

現地調査計画の樹立に当たって基本方針は以下(1)から(4)のとおりである。本事業は、筋工の有無を観点として(4)の浸透能調査を実施し、森林土壌の浸透能に係る因子について、関係性を把握しつつ効果を定量評価することとする。

#### (1) 気候変動の影響を念頭に置いた調査計画

- 森林土壌の浸透能に係る既存調査の多くは、森林の保水力や水源涵養機能を評価するために実施されてきた。近年、気候変動に伴う豪雨の激化と山地災害リスクの高まりが懸念される中、森林の災害防止機能をより高度に維持、発揮させることが求められている。
- 本事業においては、近年、頻度が高まっている、短時間豪雨や豪雨の長時間継続といった特徴的な降雨形態や森林土壌の乾湿状態の違いが、森林土壌の浸透能に与える影響を把握する等、気候変動の影響を念頭においた調査計画となるよう留意する。

#### (2) エビデンスに基づく定量的データの収集及びそれらの発信

- 森林の洪水緩和機能の維持・向上のため、森林整備と併せて筋工や柵工を設置することの有効性を広く普及し、これらの対策をより効果的に推進していくためには、定量的なデータの積み上げと当該データの発信が不可欠。
- 近年、推進されているEBPM(evidence based policy making: 証拠に基づく政策立案)の観点に基づき、文献調査や現地観測による検証等を通じて、科学的根拠に基づくデータの収集及び当該データを用いた定量的な評価を行う。

#### (3) 空間スケールの違いを踏まえた因子の考慮

- 浸透能を直接的に制御する因子あるいは間接的に影響を与える様々な因子は、対象とする空間スケール(プロット～流域)の違いによって変動することが分かっている。
- そのことを踏まえ、今年度も引き続き「プロット」スケールを対象とした調査を行い、同スケールにおいて特に重要と考えられる、地表層や浅い土壌層に係る因子が浸透能に及ぼす影響について、昨年度よりも検証パターンを増やして、知見の積み上げを行う。

#### (4) 調査手法の改善と提案

- 自然降雨による浸透能の計測では、林内雨の偏在性に配慮してデータを取得する。
- 人工降雨による浸透能の計測は、前年度の成果と課題をもとに、降雨強度を従来調査よりも低減し、降雨時間を長くすることによって最終浸透速度を算出する。
- 簡便な方法を適用し、様々な立地条件で浸透能を計測できるよう、自然降雨や人工降雨の試験を参照しながら、簡易的な浸透能計測方法の適用と方法を提案する。

## 1.4. 調査計画の検討

文献調査、前年度業務の成果及び課題の整理、学識経験者へのヒアリングをもとに調査計画(現地調査方法と分析方法)を検討した。

### 1.4.1. 文献調査

森林土壌の浸透能に関連する文献を収集し、調査計画を立案する際に参考とした。収集した文献は付表 1 から付表 4 のとおりである。これらによると、様々な過年度の林野庁事業や、他の研究機関による調査において、土壌浸透能と様々な因子との関係性を把握するための調査が実施されてきた。現場型振動ノズル式散水装置を用いてプロットスケールで実施された調査結果では、いずれも共通して下層植生やリター乾重量といった地表被覆に関する因子と土壌浸透能との相関が高かったことから、これらが土壌の保水力に寄与する主な因子と考えられている。

### 1.4.2. 前年度業務の成果及び課題の整理

#### (1) 前年度業務の内容と成果

本事業は、「令和3年度山地保全調査(森林整備が表層崩壊防止機能に及ぼす効果等に関する検討調査)委託事業」の中で実施した土壌浸透能調査の継続業務にあたる。前年度業務においては、表 1.1 のとおり、①学識経験者の技術的な助言等を受けながら、②既存調査事例等の収集及び調査方法の検討、③調査候補地の検討や選定を行い、④現地調査により得られた結果の分析により、⑤筋工や柵工等の設置が森林土壌の浸透能に及ぼす効果等を定量評価しとりまとめた。

土壌の保水力や浸透能に関わる因子の関係は図 1.4 のとおり整理した。「土壌浸透能(保水力)」と樹種、林齢、立木密度等の「森林」因子、下層植生やリター重量等の「地表被覆」因子、土層厚、土壌密度、土壌硬度等の「土質・土壌」因子、傾斜等の「地形・地質」因子等の様々な因子との関係性を把握することで、土壌浸透能を評価できると考えられる。

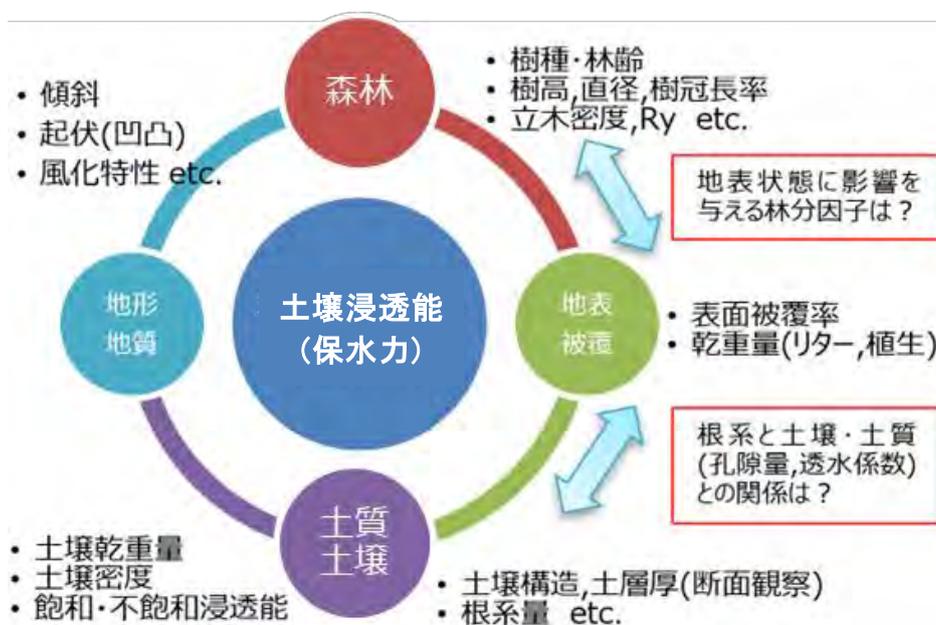


図 1.4 土壌の保水力や浸透能に関わる因子

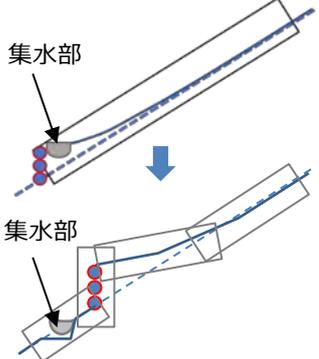
表 1.1 前年度業務の内容と成果

調査項目	内容及び成果											
学識経験者の技術的な助言等	東京農工大学 石川芳治名誉教授と同大学五味高志教授にアドバイザー要請をし、調査計画、現地調査、とりまとめにおいて技術的助言を受けた。											
既存調査事例等の収集及び調査方法の検討	過去に林野庁や大学研究機関により実施された土壌浸透能調査に関する文献収集・整理の結果、最大浸透能は下層植生乾重量やリター乾重量と相関が高い結果が得られていることが分かった。											
調査候補地の検討及び選定	発注者と受託者の協議を踏まえ、神奈川県足柄上郡玄倉及び愛甲郡清川村煤ヶ谷の2候補地のうちアクセスが容易で安全性も高い清川村煤ヶ谷を調査対象地として選定した。											
現地調査により得られた結果の分析	<p>現場型振動ノズル式散水装置を用い、筋工有と筋工無の土壌浸透能を測定した結果、筋工有は筋工無の1.72倍高い浸透強度が確認され、また、植生やリターの調査において、筋工有の乾重量が大きいことが確認された。</p> <table border="1" data-bbox="528 853 1102 1003"> <thead> <tr> <th colspan="2">箇所</th> <th>降雨強度 mm/hr</th> <th>浸透強度 mm/hr</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">清川村</td> <td>プロット1(筋工あり)</td> <td>232.9</td> <td>177.4</td> </tr> <tr> <td>プロット2(筋工なし)</td> <td>222.8</td> <td>103.1</td> </tr> </tbody> </table> <p>1.72倍</p> <p>筋工有では、捕捉された土砂やリターが筋工に堆積し、部分的に斜面傾斜が緩やかになることで、下層植生が繁茂しやすく、リターが堆積しやすくなっていた。その結果、表面流の流速が低下あるいは筋工で表面流が滞留することによって表面流の流出が抑制され、筋工無よりも浸透強度が高まったと考えられた。</p>	箇所		降雨強度 mm/hr	浸透強度 mm/hr	清川村	プロット1(筋工あり)	232.9	177.4	プロット2(筋工なし)	222.8	103.1
箇所		降雨強度 mm/hr	浸透強度 mm/hr									
清川村	プロット1(筋工あり)	232.9	177.4									
	プロット2(筋工なし)	222.8	103.1									
筋工や柵工等の設置が森林土壌の浸透能に及ぼす効果等を定量評価	<p>下層植生・リター乾重量と最大浸透能の関係性を、加藤らのグラフ上にプロットすると、当該調査結果に近似した結果となった。</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="603 1317 890 1570"> <p>(a) <math>y=21.7\ln(x)+104.7</math> <math>R^2=0.89</math></p> </div> <div data-bbox="895 1317 1182 1570"> <p>(b) <math>y=0.17x+22.3</math> <math>R^2=0.81</math></p> </div> </div> <p>筋工有の方でより高い浸透能が得られたことから、筋工等の設置は本数調整伐施業等がもたらす従来の土壌保水力の維持・向上効果に、さらにプラスの効果を与える可能性が示唆された。</p>											

## (2) 前年度業務の課題

令和3年度調査における検討と現地検証の試行の結果、浸透能試験の実施においていくつかの課題が明らかとなった。その内容と解決の方向性は表1.2のとおりである。これらに配慮しつつ、令和4年度の調査計画を検討した。

表 1.2 前年度の課題と解決の方向性

項目	課題と解決の方向性
候補地の制限	<p>課題： 本数調整伐と併せて施工され、調査目的に合致する筋工の状況(筋工の背面に土砂堆積し、5～10年機能を維持している)にある立地が限られる。また、降雨装置用の水を確保できることを含め、調査試験が可能なサイトが限られる。</p> <p>解決の方向性： ⇒施業履歴(施工年次や方法)を確認でき、背面に土砂が堆積している筋工を選定する。また、大雨後にも安全に到達可能で散水用の水の確保が可能な立地を選定する。 ⇒各都道府県へのヒアリング結果をもとに、できる限り多くの候補地から条件に適する立地を選定し、現場踏査を経て決定する。</p>
現場型振動ノズル式散水装置の制限	<p>課題： 現場型振動ノズル式散水装置は、自然降雨の雨滴衝撃力(雨滴サイズ)を再現しているが、降雨強度が現実的でなく(200mm/h以上)、大量の水が必要な上に降雨時間の制約が大きい。</p> <p>解決の方向性： ⇒ノズルの変更等により降雨強度を100mm/h程度に低下させる。 ⇒20分以上の降雨を発生させるため400ℓ/回以上の水を準備できるよう、降雨装置周辺の機材(給水タンクや揚水ポンプ等)を準備する。</p>
集水部の設置位置や集水枠の構造	<p>課題： 筋工の直上に集水部(軒樋)を設置したため、集水部と接する筋工による堆積部の斜面に発生した土砂が流入しやすくなった。</p> <p>解決の方向性： ⇒筋工の効果を含めて評価するため、筋工の下部斜面に集水部を設置する。 ⇒散水時に筋工の平面が湛水する可能性があるため集水枠は遮水性の高い資材を適用する。</p> 
土壌水分観測	<p>課題： 表面流の計測だけでなく、特に不飽和状態での降雨浸透過程の土壌水分等(土壌中の水の動き)も把握する必要がある。</p> <p>解決の方向性： ⇒テンシオメータを適用し、不飽和状態の土壌における降雨浸透過程を実測する。</p>
データ量不足	<p>課題： 1箇所1回のみでの浸透能試験となったため、データ量が不十分であった。</p> <p>解決の方向性： ⇒実施前に予備試験を行う。また散水時間を極力長く確保する。</p>
定量的評価	<p>課題： 課題⑤とも関連して、実験結果の限られたデータのみで分析・評価を行うにはデータ量が不十分であり、また、評価結果の適用範囲は現地条件下に限られる。</p> <p>解決の方向性： ⇒様々な地形条件を与えた場合の降雨浸透を再現可能なモデルを検討する。</p>

### 1.4.3. 学識経験者へのアドバイザー委嘱

今年度の調査に当たり、昨年度と同様の下記の下記の学識経験者をアドバイザーとして招聘し、調査の各段階において適宜技術的な助言を受けた。

表 1.3 技術アドバイザー

氏名	所属
石川 芳治	東京農工大学 名誉教授
五味 高志	名古屋大学大学院生命農学研究科 教授



図 1.5 試験時の現地指導

### 1.4.4. 調査地の検討と決定

#### (1) 調査候補地

令和4年度の調査地の選定は、静岡県、長野県及び近畿中国森林管理局から調査候補地の提供を受け、書類等による整理とともに令和4年8月から10月にかけて現地踏査を行った。

図 1.6 及び資料集の付表 4 のとおり、各県と局から入手した情報は 25 箇所である。これに昨年度の候補地であった神奈川県の大倉を含め、26 箇所から調査地を選定することとした。



図 1.6 調査候補地の位置

## (2) 調査地の選定条件

調査地の選定条件は、浸透能の機能に影響する因子として、地上部の樹種、下層植生の状態及び母岩特性が考えられること、また、筋工の有無による比較を実施することから、以下の状態の筋工が設置されている立地から選定することとした。

- 施工された筋工の背面に土砂が堆積していること
- 筋工施工後の堆積土砂に周辺立木の根系が侵入する程度の年数が経過していること
- 相当年数が経過し、周辺斜面と同化し劣化していないこと(設置から10年以内を目安と想定)

上記の条件に加え、人工降雨試験を実施するため、水場を確保できること、異常気象の発生後においても、比較的容易に調査地にアクセスできること等を条件として考慮し、図 1.6 及び資料集の付表 5 のとおり8箇所の現地踏査を行った。

## (3) 調査地の決定

選定の結果、神奈川県山北町玄倉(以下「玄倉」、略号「Kuro」という)及び静岡県富士宮市猪之頭区財産区の2地区(以下「猪之頭1」、略号「Ino1」及び「猪之頭2」、略号「Ino2」という)、計3箇所の森林において調査を実施することとした。なお、調査地の詳細は『2 調査地の概要』に示す。

## 1.5. 調査計画

前年度調査の課題と解決の方向性、文献調査結果やアドバイザーの指導をもとに、3地区における設定手順を含め調査計画を立案した。作業内容と工程は図1.7のとおりである。

取得したデータを総合的に判断し、筋工有と筋工無の集水枠の調査結果の比較により、筋工が施工地の土壌や斜面にどのような影響を与えているかを検討した。また、単年度の事業において、実施可能な試験回数や立地条件設定は限られているため、様々な条件設定により、浸透能や斜面安定がどのように変化するかシミュレーションソフトを使用して解析することとした。

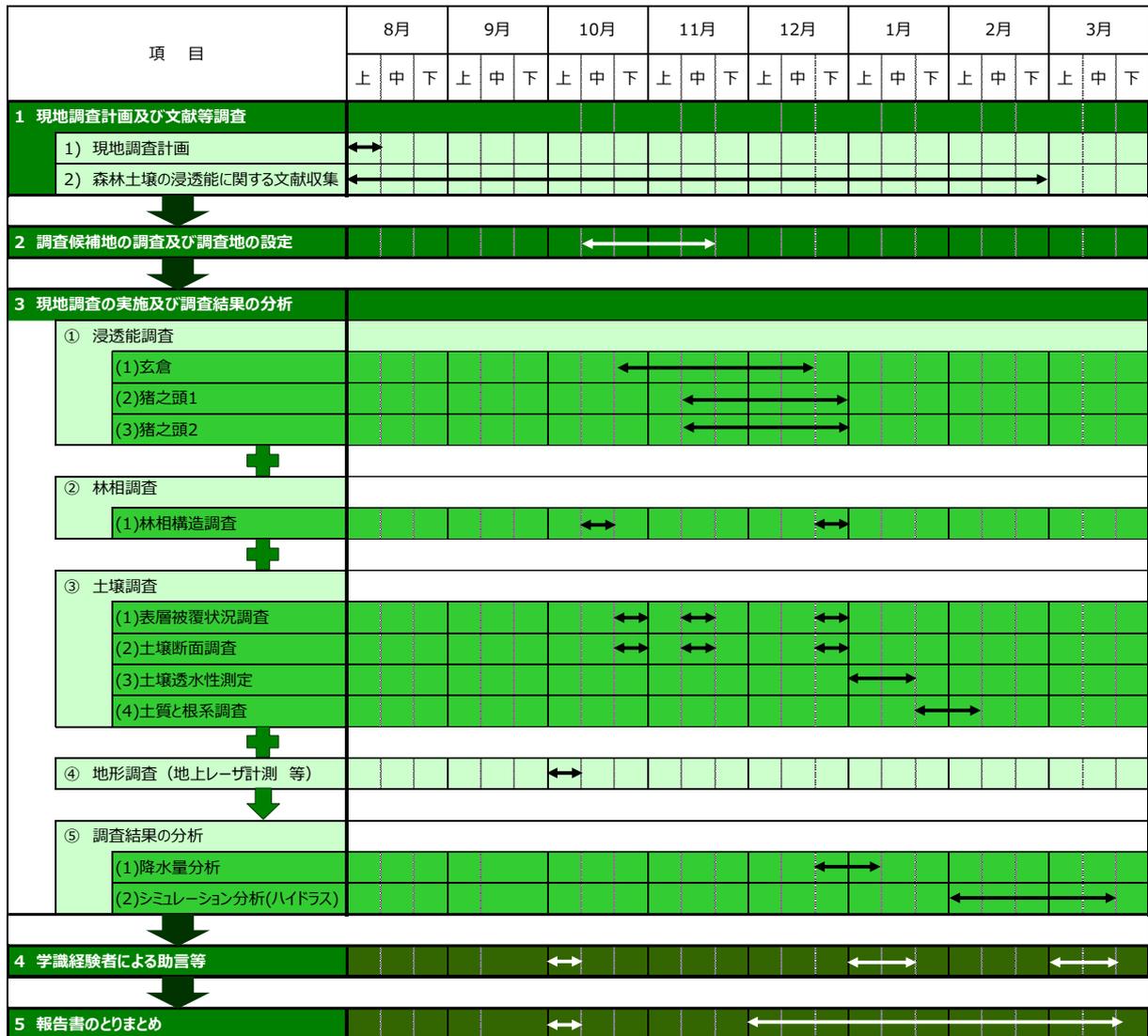


図 1.7 本業務の作業内容と工程

## 2. 調査地の概要

調査地の広域特性について示す。

### 2.1. 位置

選定した3地区の調査地の位置は図 2.1 及び図 2.2 のとおりである。



図 2.1 調査地位置(1)

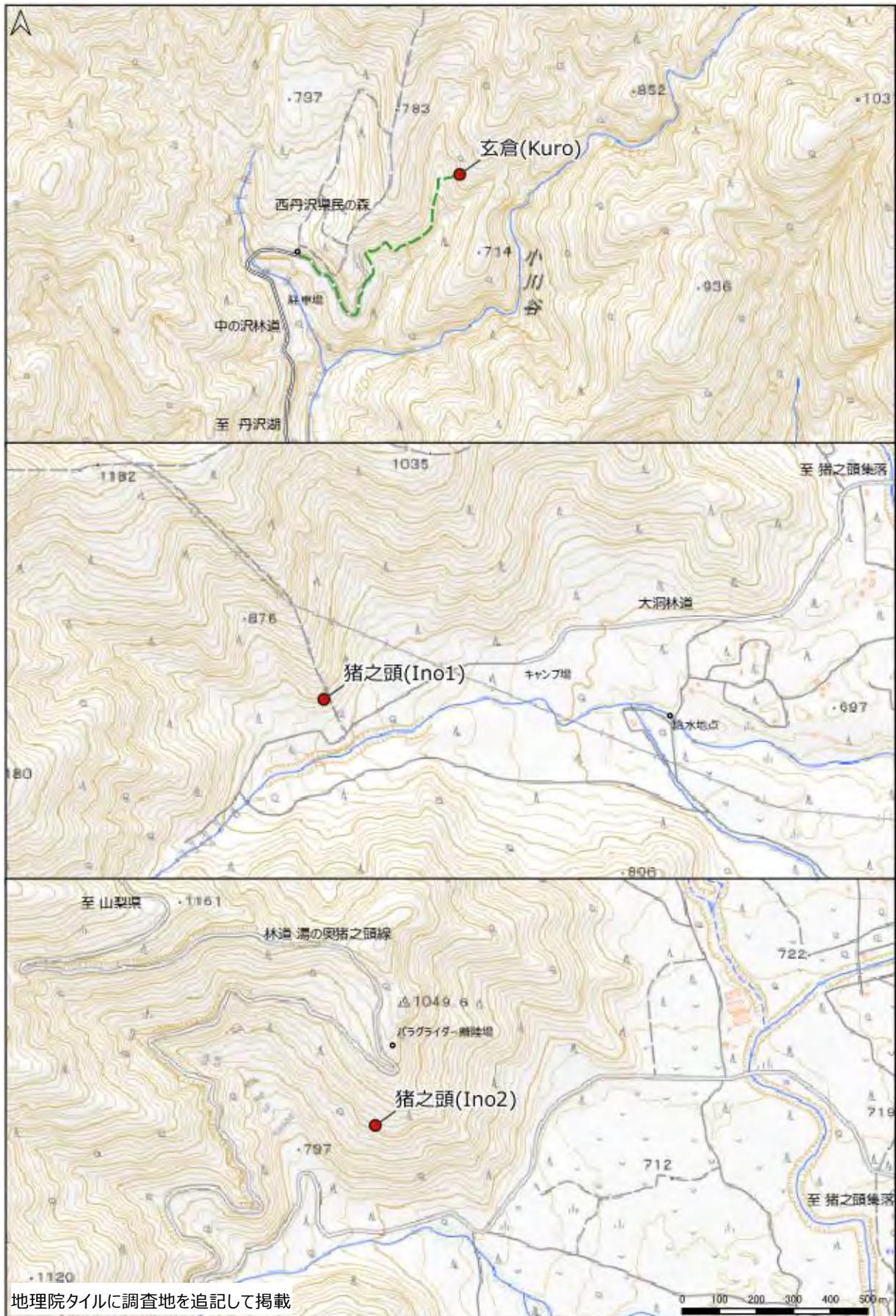


図 2.2 調査地位置(2)

## 2.2. 地形と地質

調査地は富士山を囲む山地の東側と西側に位置している。玄倉は丹沢山地にあり、猪之頭2地区は天守山地の山麓に位置する。

富士山とその周辺地形は図 2.3 のとおりである。富士山の広い裾野は北－西側は御坂山地と天守山地に囲まれ、東側は丹沢山地の西端に達している。御坂山地と天守山地は、本栖湖付近で連なり、北西に張り出した弧状山脈をなしている。御坂山地の東端には北東に延びる西桂の谷が入り込み、以東の丹沢山地と離隔している。また、丹沢山地の南側には箱根火山、その西には愛鷹火山があり伊豆半島に続いている。当該エリアは本州島弧にフィリピン海プレートが衝突して形成された南部フォッサマグナ(多重衝突帯)<sup>1</sup>に位置する。



図 2.3 富士山周辺の等高線地形図<sup>2</sup>

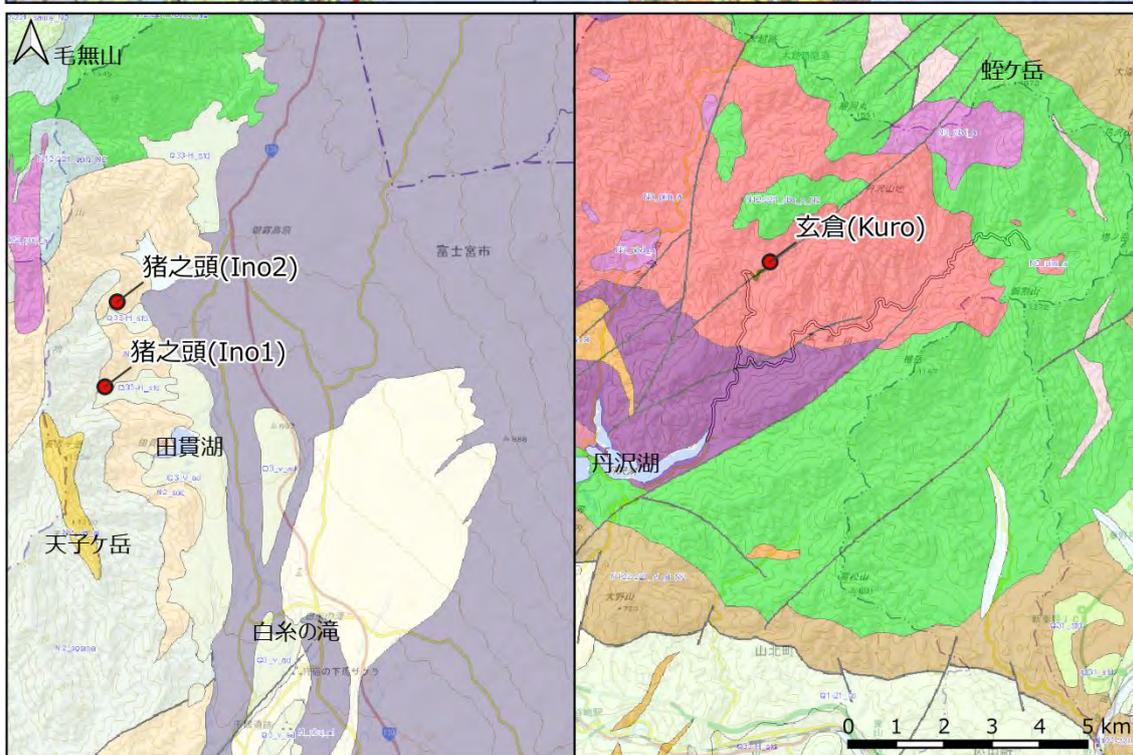
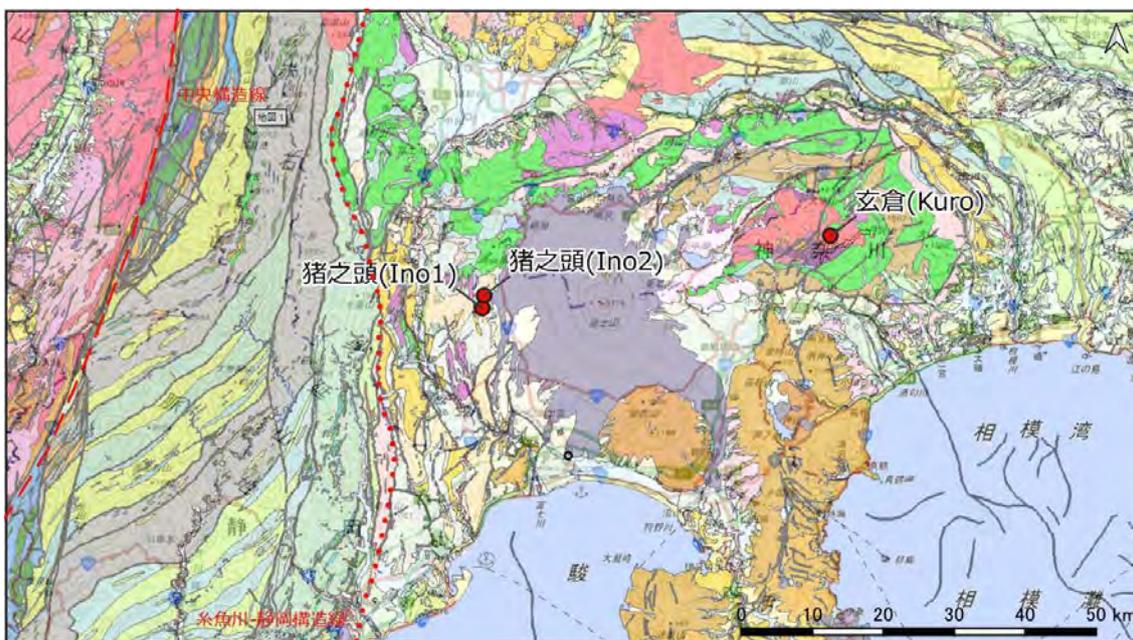
富士山とその周辺の地層は、厚さ1万mを超える新第三紀の厚層からなり、下部を占める主に中新世中期の地層群(西八代層群、丹沢層群)と、上部を占める主に中新世後期-鮮新世の地層群(富士川層群、西桂川層群)の2つに大別される。

周辺の地質構造について、玄倉が立地する丹沢山地は、丹沢層群がつくる東西の軸を持った大きな背斜構造であり、その南翼は地層が大規模に逆転している。背斜の軸部には石英閃緑岩体が進入し、丹沢山・蛭ヶ岳・大室山・御正体山など丹沢山地の主稜線は、大部分この石英閃緑岩周辺の変質・硬化した丹沢層群からなる。その他は主に玄武岩質の火砕岩・溶岩から成り、凝灰岩にはタービダイトの構造が認められ、時に浅海性の有孔虫や珊瑚を含む石灰岩をはさむが、概して深い海底の堆積物である。一方、猪之頭が立地する富士川層群は、礫を多量に含む主にタービダイト性の砂泥礫互層である。その中の厚い粗粒の礫岩層(丸滝礫岩層)が、この南北性の山地の中央部(身延-猪之頭間)をほぼ東西に横断して分布している。

地質図 Navi による表層地質分類は図 2.4 のとおりである。

<sup>1</sup> 日本列島の骨組を組み替えた大断層(大鹿村中央構造線博物館 HP <https://mt1-muse.com/mt1/aboutmt1/tectonic-lines/>)

<sup>2</sup> 松田時彦(2007)富士山の基盤の地質と地史, 富士火山, 山梨県環境科学研究所 P45-57



区分	岩石	形成年代	凡例	岩石	形成年代
堆積岩	海成層 礫岩	新生代 新第三紀 中新世 後期ランギアン期～トートニアン期	火成岩	花崗閃緑岩・トナル岩 塊状 島弧・大陸	新生代 新第三紀 中新世 メッシンアン期～鮮新世
堆積岩	扇状地・崖錐堆積物	新生代 第四紀 後期更新世後期～完新世	付加体	玄武岩 海洋 前期中新世 後期-中期中新世付加体	新生代 新第三紀 中新世 後期パーティガリアン期～後期サーバリアン期
堆積岩	海成層 砂岩泥岩互層	新生代 新第三紀 中新世 後期ランギアン期～トートニアン期	火成岩	閃緑岩・石英閃緑岩 島弧・大陸	新生代 新第三紀 中新世 メッシンアン期～鮮新世
火成岩	玄武岩溶岩・火砕岩	新生代 第四紀 完新世	変成岩	舌鉄質片岩 低P/T型 広域変成岩 緑色片岩相	新生代 新第三紀 中新世 メッシンアン期～鮮新世
付加体	玄武岩 海洋 前期中新世 後期-中期中新世付加体	新生代 新第三紀 中新世 後期パーティガリアン期～後期サーバリアン期	火成岩	デイサイト・流紋岩 貫入岩	新生代 新第三紀 中新世 メッシンアン期～鮮新世
火成岩	閃緑岩・石英閃緑岩 島弧・大陸	新生代 新第三紀 中新世 後期サーバリアン期～トートニアン期			

図 2.4 調査地周辺の表層地質図<sup>3</sup>

<sup>3</sup> 地質Navi/20万分の1日本シームレス地質図

### 2.3. 土壌

土壌について文献によると、玄倉は乾性褐色森林土の分布域に隣接する褐色森林土域、猪之頭 1 及び猪之頭 2 は褐色森林土の分布域に隣接する黒ボク土域(猪之頭 1: 佐折 2 統、猪之頭 2: 猪之頭 1 統)に立地している。

黒ボク土のうち、猪之頭 1 に隣接する佐折 3 統は 50cm 以上の厚さに対し、佐折 2 統と猪之頭 1 統の黒ボク層は 50cm 未満の適潤性土壌で、ヒノキ林や広葉樹林として利用されている。



図 2.5 玄倉周辺の土壌図<sup>4</sup>

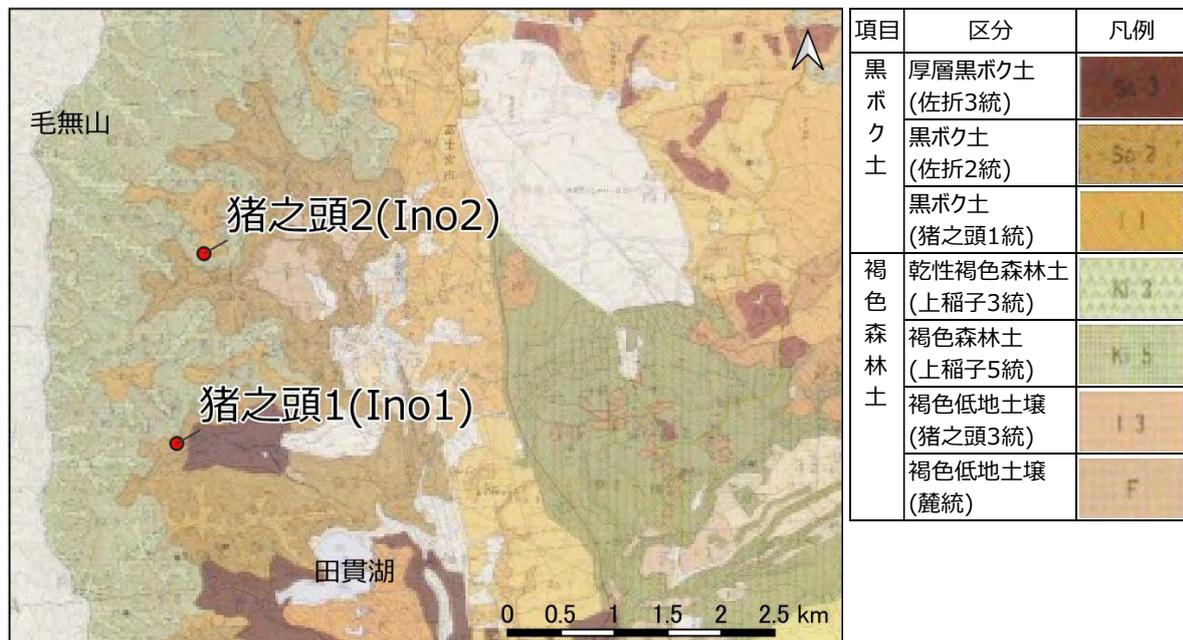


図 2.6 猪之頭周辺の土壌図<sup>5</sup>

<sup>4</sup> 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査(秦野・山中湖) (1990)

<sup>5</sup> 5 万分の 1 都道府県土地分類基本調査(富士山・山中湖・秦野・小田原) (1990)

## 2.4. 気象

### 2.4.1. 概況

最寄りの気象庁地域気象観測所(以下「アメダス」という)の観測値を利用して気象特性を示す。玄倉について、降水量はアメダス「丹沢湖」(足柄上郡山北町神尾田、標高:330m)、気温は参考値としてアメダス「小田原」(小田原市扇町、標高 14m)の観測値をアメダス「丹沢湖」との標高差をもとに補正(0.6℃/100m)して適用する。猪之頭 1 及び猪之頭 2 については、降水量はアメダス「白糸」(富士宮市厚原、標高 530m)、気温は参考値としてアメダス「富士」(富士市厚原、標高 66m)の観測値を標高補正して適用する。なお、各アメダスの位置は前述の図 2.1 のとおりである。

アメダス平年値は表 2.1 のとおり、降水量と気温(平均気温、日最高・最低気温)ともに、玄倉と猪之頭(猪之頭 1 及び猪之頭 2)の地域間に大きな差はなく、図 2.7 のとおり雨温図においても、2 地域の月毎の観測値の変動は同様の傾向を示している。

表 2.1 最寄りの地域気象観測所の平年値

調査地	観測所	降水量 (mm)	平均気温(℃)			標高 (m)	備考
			平均	日最高	日最低		
玄倉	最寄り「丹沢湖」	2,298.8	13.7	18.3	9.6	330	平均気温は「小田原」の値を標高補正
	参考値「小田原」	1,996.5	15.6	20.2	11.4	14	
猪之頭	最寄り「白糸」	2,341.6	13.4	18.0	9.5	530	平均気温は「富士」の値を標高補正
	参考値「富士」	2,159.1	16.2	20.8	12.3	66	

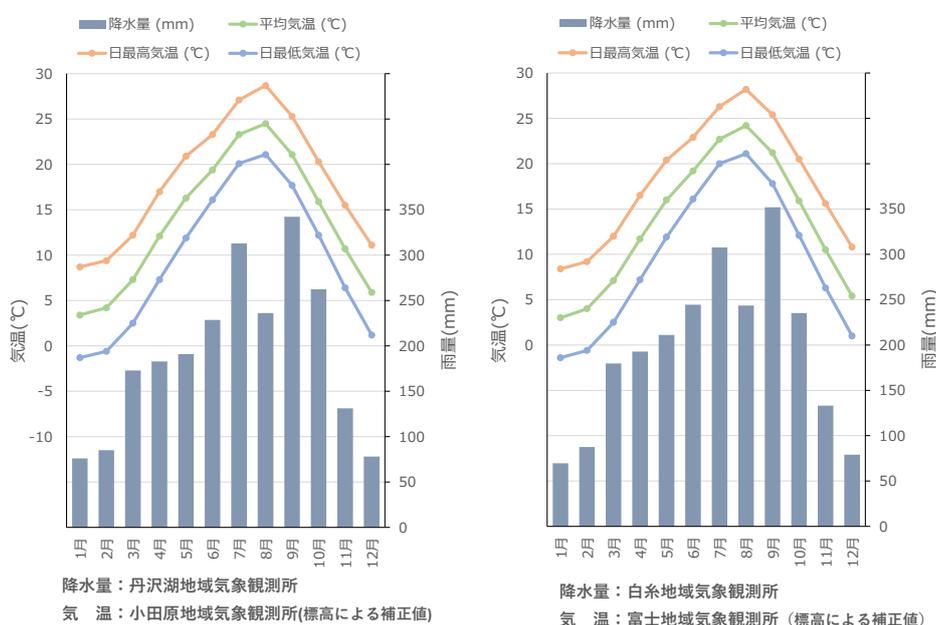


図 2.7 2010～2020 年における月別平均気温と月間合計降水量

### 2.4.2. 降雨特性

玄倉と猪之頭(猪之頭 1 及び猪之頭 2)の 2 地域において、最寄りのアメダス平年値をもとにした日降水量の階級別日数をみると表 2.2 のとおりである。これによると、多雨期は 6 月から 10 月で、強雨は 7 月から 9 月に多い。また、11 月から 2 月は寡雨期に相当する。

直近 3 年間の 7 月から 12 月に観測された日降水量と降水強度の傾向について、資料集の付図 23 から付図 25 に示す。多雨期の 7 月から 9 月の傾向をみると、100mm/day を超えた日数は、アメダス

「丹沢湖」では7月に6回(2.0日)、8月は3回(1.0日)、9月は1回(0.3日)、アメダス「白糸」では7月から9月は各4回(1.3日)となっており、両地域ともに、平年値の日数よりも高い頻度で100mm/day以上の雨を観測している。一方寡雨期では、12月に100mm/dayの雨を観測する可能性は低く、2地域ともに3年間に50mm/day以上の降雨が発生した日数は1日であるため、平年値が示す日数と頻度はほぼ一致している。

表 2.2 最寄りのアメダスの平年値(日降水量の階級別日数)

調査地	観測地点	月	降水量合計(mm)	日降水量の階級別日数(日)						降水傾向
				1.0mm以上	10.0mm以上	30.0mm以上	50.0mm以上	70.0mm以上	100.0mm以上	
玄倉	最寄り「丹沢湖」	4	182.8	10.8	5.4	2.1	0.8	0.3	0.1	
		5	190.9	11.5	5.5	2.0	0.8	0.4	0.1	
		6	228.5	13.5	6.1	2.5	1.0	0.5	0.2	
		7	313.0	13.2	6.2	2.8	1.8	1.1	0.7	
		8	236.1	10.4	4.4	1.9	1.2	0.9	0.7	
		9	342.2	12.2	6.8	3.2	1.9	0.9	0.6	
		10	262.4	11.1	5.9	2.8	1.6	0.8	0.4	
		11	131.2	8.3	3.2	1.1	0.5	0.3	0.2	
		12	77.9	6.3	2.5	0.6	0.3	0.1	0.0	
		1	76.0	6.0	2.4	0.8	0.2	0.1	0.0	
		2	85.0	6.8	2.7	0.8	0.3	0.0	0.0	
		3	172.9	11.4	5.4	2.0	0.6	0.1	0.0	
		年	2,298.8	121.5	56.5	22.4	10.8	5.6	3.1	
猪之頭	最寄り「白糸」	4	192.7	10.1	5.1	2.1	1.1	0.5	0.2	
		5	211.0	11.6	5.5	2.1	1.0	0.4	0.3	
		6	244.4	14.6	6.5	2.3	1.1	0.6	0.3	
		7	307.6	15.0	6.4	3.1	1.9	1.2	0.6	
		8	243.6	12.6	5.5	2.3	1.3	0.8	0.4	
		9	351.9	12.2	7.0	3.5	2.2	1.7	1.0	
		10	235.2	10.4	5.5	2.4	1.2	0.8	0.4	
		11	133.2	7.4	3.1	1.4	0.7	0.3	0.2	
		12	79.0	5.6	2.4	0.6	0.3	0.2	0.1	
		1	69.6	5.6	2.2	0.5	0.1	0.1	0.0	
		2	87.5	6.4	2.8	0.9	0.4	0.0	0.0	
		3	179.6	10.2	5.1	1.8	0.9	0.4	0.2	
		年	2,341.6	121.3	56.7	23.2	12.3	7.0	3.7	

降水量の平年値 統計期間:1991~2020(30年間)

### 2.4.3. 調査地の降雨量観測(林外雨の観測)

山地における降雨は標高の影響を受け、一般に降雨量は標高の増加に伴って増える傾向、すなわち降水量の標高依存性(例えば山田ら<sup>6</sup>, 大槻ら<sup>7</sup>)が知られている。今回の調査地はいずれも近隣のアメダスよりも高標高に立地する。そこで、自然降雨に対して調査地が与える影響特性を把握するため、転倒マス型雨量計を設置した。

設置場所は、後述する各森林プロットに近接する開空空間とした(玄倉は図 3.3、猪之頭 1 は図 3.10、猪之頭 2 は図 3.16 参照)。機種は、玄倉と猪之頭 1 は図 2.8 のとおり、SATOTEC 製(MJ-AME、

<sup>6</sup> 山田ら(1995) 山地流域での降雨特性に関する統計的解析, 土木学会論文集, No. 257 / II-33, 1-13.

<sup>7</sup> 大槻ら(2022) 我が国における降水量標高依存性とその地域性, 水文・水資源学会誌, Vol. 35, No. 6, 376-390.

1 転倒 0.5ml)を使用した。猪之頭 2 は Davis 製雨量センサー(S-RGF-M002、1 転倒 0.2ml)を使用した。パルスの記録は各調査地ともにパルスロガー(HIOKI 製 LR5061)を使用し、パルスを 10 分単位の雨量に換算した。なお、受水面は地表面から概ね 1m とした。



図 2.8 転倒マス型雨量計とデータ記録用のパルスロガー(写真は林内の雨量計を参考掲載)



図 2.9 林外の雨量計設置状況(上:玄倉 中:猪之頭 1 下:猪之頭 2)

本調査における降雨観測期間は、玄倉では 10 月下旬から 12 月中旬の約 2 カ月、猪之頭 1 及び猪之頭 2 では 11 月中旬から 12 月下旬の約 1 か月である。

観測結果は、資料集の付表 7 のとおりである。当該期間において、玄倉では 11 月 23 日に 40.5 mm、11 月 29 日に 52.5mm を観測し、猪之頭では、11 月 23 日に 40.0mm(猪之頭 1)及び 33.8mm(猪之頭 2)、11 月 29 日に 126.5mm(猪之頭 1)及び 70.6mm(猪之頭 2)を観測している。これらの降雨事象は、寡雨期としては多く、2~5 年に 1 回の頻度の事象と思われる。

一続きの降雨におけるアメダスに対する調査地の林外雨量の関係は図 2.10 のグラフの傾きのとおり、玄倉は 1.17、猪之頭 1 は 1.54、猪之頭 2 は 1.00 となった。

表 2.3 一続きの降雨におけるアメダスと林外雨量

調査地	観測日		① アメダス (mm)	② 林外雨量 (mm)	②/① 立地比
	開始日	終了日			
玄倉	10月26日	11月16日	5.0	8.0	1.60
	11月16日	11月25日	61.5	64.5	1.05
	11月25日	11月29日	4.5	5.5	1.22
	11月29日	12月3日	42.0	60.0	1.43
	12月3日	12月16日	23.5	28.0	1.19
猪之頭1	11月19日	11月24日	43.0	63.5	1.48
	11月24日	12月1日	103.0	160.5	1.56
	12月1日	12月8日	3.5	14.0	4.00
	12月8日	12月19日	15.0	39.5	2.63
猪之頭2	12月19日	12月25日	33.0	42.5	1.29
	11月20日	11月24日	43.0	51.4	1.20
	11月24日	12月2日	104.0	92.4	0.89
	12月2日	12月8日	2.5	7.4	2.96
	12月8日	12月23日	48.0	66.2	1.38

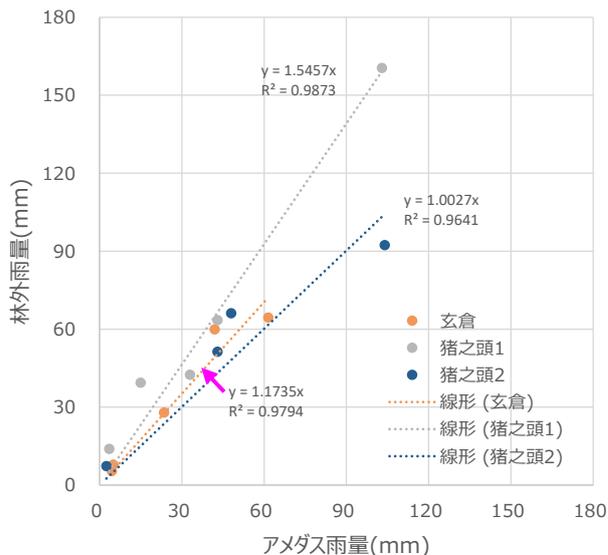


図 2.10 調査地別アメダスと林外雨量

参考情報ではあるが、調査地において林外雨量を計測していない場合、山田ら<sup>8</sup>による以下の計算式を用いて推定林外雨量を算出することもできる。

アメダスのデータから推定林外雨量を算出し、実測値との比を算定したところ、玄倉は1.37、猪之頭1は1.25、猪之頭2は1.37となった。実測値をもとにした近似曲線の傾きの値と比較すると、玄倉と猪之頭2は補正雨量の方が高い値を示すが、猪之頭1は補正雨量の方が低い値を示した。

$$P = P_0\{C(z - h_0) + 1\}$$

$P$  : 推定降雨量(mm)

$P_0$  : 標高  $h_0$  の実測降雨量(mm)

$C$  : 定数( $1.0 \times 10^{-3}$ )

$z$  : 標高(m)

<sup>8</sup> 山田ら(1995)「山地流域での降雨特性に関する統計的解析」

## 2.5. 林況

玄倉、猪之頭 1 及び猪之頭 2 における林況や施業履歴は次のとおりである。なお、平均樹高や直径、Ry 等の算出根拠は後述の『3.6 林相と地形調査』のとおりである。

### 2.5.1. 玄倉

#### (1) 林相

本調査地は、神奈川県山北町三保県営林内の 70 年生のヒノキ林及び広葉樹林(平均樹高 21m、胸高直径 38 cm、収量比数 0.56)で、標高は約 700m、微地形で凹形状となった西南西方向の斜面に位置する。



図 2.11 調査地の林相(左:下側から 右:上側から)



図 2.12 筋工の設置状況

#### (2) 施業履歴

本調査地は、平成 22 年度に奥地保安林保全緊急対策事業として、本数調整伐及び丸太筋工が施工されている。丸太筋工の構造は 3 段積の筋工である。横木は加工丸太であるが、杭木は加工丸太ではなく鋼管杭を使用している。

施工方法は、地山を水平に階段掘削して杭木を打設後、地山に密着するように 1 段目の横木を配置してなまし鉄線で結束固定し、同様に 2 段目と 3 段目を固定後、筋工の背面に掘削土砂を埋め戻していると思われる。

#### (3) 現況

旧崩壊地と思われる地形を呈しており、崩壊地の外縁部は基岩の花崗閃緑岩が露出している。凹部では 2 次マサが堆積しており、筋工の補強のため、16mm の異形鉄筋を挿入したところ、1.5m まで大きな抵抗を受けることなく地中に押し込むことができたため、筋工付近の土層は 1.5～2.0m と想定される。

調査地周辺域には下層植生保護を目的とした防鹿柵がパッチ状に配置されている。柵内の下層植生の種は豊富に生育しているのに対し、柵外では林床及び低木層の植生が消失している。

草本層は不嗜好性植物のオオバノイノモトソウや、採食耐性植物であるチヂミザサ<sup>9</sup>が主であり、かつその密度は低く、シカの食害の影響が大きいものと考えられる。リターが消失し裸地化している地表面には、雨滴侵食による土柱が観察できた。



図 2.13 調査地に隣接する防鹿柵の内側と外側の下層植生の繁茂状況



図 2.14 調査地周辺の草本層と雨滴侵食による土柱の発生状況

## 2.5.2. 猪之頭 1

### (1) 林相

本調査地は、静岡県富士宮市猪之頭区財産区有林内の 40 年生のヒノキ林(収量比数 0.92~0.94、平均樹高 22m、胸高直径 24~25 cm)で、標高は約 780m、南~南東方向の尾根に位置する。



図 2.15 猪之頭 1 の筋工無付近の林相

<sup>9</sup> 神奈川県自然環境保全センター(2016)シカ不嗜好性植物図鑑



図 2.16 猪之頭 1 の筋工有付近の林相



図 2.17 猪之頭 1 の林冠方向(左:筋工有 右:筋工無)

## (2) 施業履歴

静岡県の工事台帳によると H26 年に本数調整伐を実施している。その際の伐採木を現地において丸太加工して杭木と横木を作成し、図 2.18 のとおり筋工を設置している。静岡県の丸太筋工の構造は、横木に対し杭木を山側と谷側へ交互に打設し、鉄線を使わずに横木を固定する構造となっている。



図 2.18 筋工の配置状況と雨滴侵食による土柱の発生

## (3) 現況

ヒノキ林であるため鱗片化したリターと枝条が堆積している。林床及び低木層の植生が消失しており、シカの食害の影響が大きいものと考えられる。丸太筋工の背面の土砂堆積部には、ニホンジカの足跡がみられ獣道として利用されていると思われる。

### 2.5.3. 猪之頭 2

#### (1) 林相

本調査地は、静岡県富士宮市猪之頭区財産区有林内 の 60 年生のヒノキ林(収量比数 0.85、樹高 25m、直径 36 cm)で、標高は約 900m、南南西方向の平衡斜面に位置する。



図 2.19 猪之頭 2 における森林プロットの林況と筋工の設置状況



図 2.20 猪之頭 2 の林冠方向と筋工有の集水枠設置の選定。

#### (2) 施業履歴

静岡県の工事台帳によると、平成 30 年度に本数調整伐を実施している。その際の伐採木を現地加工によって杭木と横木を作成し、図 2.19 のとおり筋工を設置している。現地発生材の直径が大きいいため、横木は 1 段もしくは 2 段で施工されている。

猪之頭 2 の丸太筋工の構造は猪之頭 1 と同様、横木に対し杭木を上流側と下流側へ交互に打設し、鉄線を使わずに横木を固定する構造となっている。

#### (3) 現況

ヒノキ林であるため鱗片化したリターと枝条が堆積している。林床及び低木層の植生が消失しており、シカの食害の影響が大きいものと考えられる。なお、集水枠の斜面上部にヒノキの根返木が 2 本ある(図 2.20 参照)が、集水枠内に覆いかぶさる枝条は除去した。

### 3. 調査の実施及び結果

#### 3.1. 現地調査の実施時期

玄倉と猪之頭1及び猪之頭2において表3.1のとおり各種調査を行った。

表 3.1 調査実施期間

調査地	集水 枠名	筋工 有無	自然降雨 試験	人工降雨 試験	冠水型浸 透能試験	土壌調査		地形・ 林相調 査
						土壌 断面	土壌 水分※	
玄倉	Kuro-1	有	10/27- 12/16	11/29	12/16,17	12/16,17	11/29	10,12 月
	Kuro-2	無						
猪之頭 1	Ino1-1	有	11/19- 12/23	12/23※	12/25	-	12/23※	12月
	Ino1-2	無						
	Ino1-3	有	-	12/09	-	12/25,26	-	12月
	Ino1-4	無						
猪之頭 2	Ino2-1	有	11/20- 12/25	-	12/23,24	12/23,24	-	12月
	Ino2-2	無						

※:テンシオメータにより不飽和状態の土壌中水分の吸引圧を計測した。

猪之頭1(Ino1-1,2)は、計測時に凍結の影響を受けたため、一部データが取得できなかった。また、得られたデータは参考値として扱うこととした。

### 3.2. 調査地における調査項目と試験装置の配置

各調査地においては、適宜、技術アドバイザーの現地指導のもと、林相や筋工の状況等を考慮しながら浸透能の試験に適した位置を選定しつつ図 3.2 のとおり、林相調査と地形調査を行う森林プロットを設定し、その内側に試験装置として集水枠や林内雨量計等を設置した。



図 3.1 技術アドバイザーや業務担当者との現地協議

集水枠は、筋工が設置されている場所(筋工有)と、設置されていない場所(筋工無)のそれぞれに設定した。なお、試験に適した筋工有と筋工無の集水枠の設置位置が離れており、ひとつの森林プロットに両者を配置できない場合には、林相や傾斜、地表面条件が同等となる場所に、筋工有と筋工無の集水枠を森林プロットに1箇所ずつ設定した。

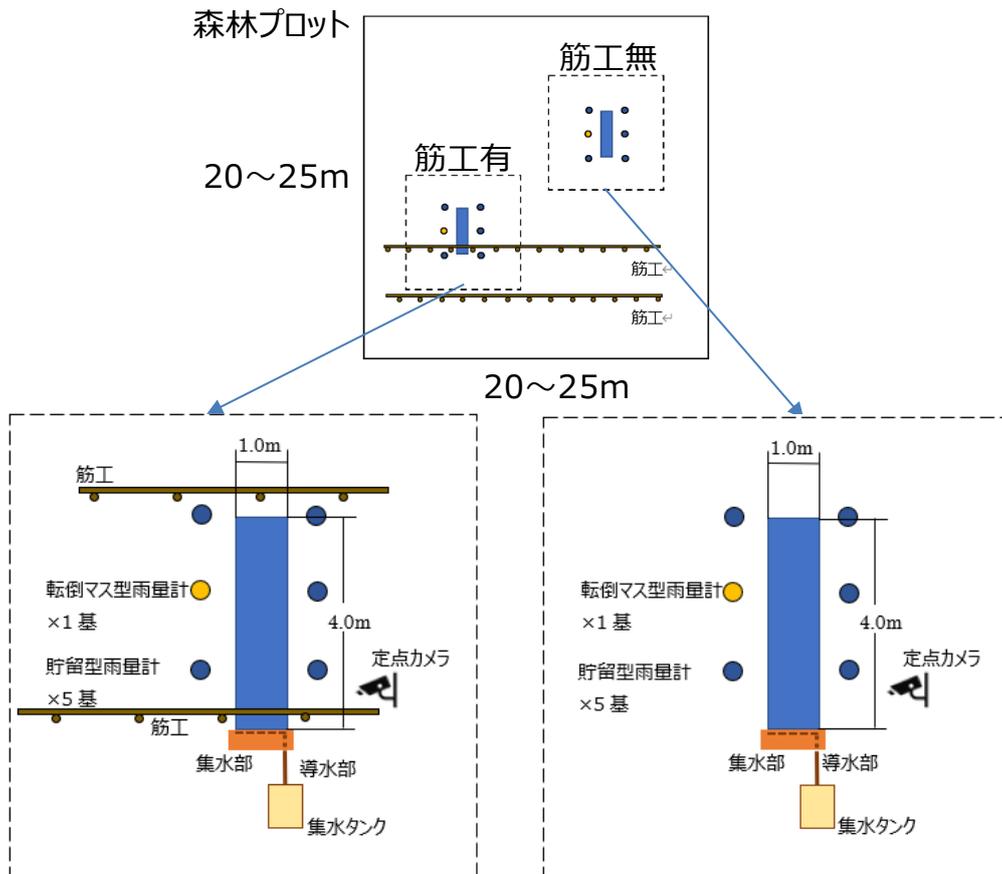


図 3.2 森林プロットと自然降雨試験の集水枠等の設置イメージ

### 3.2.1. 玄倉

図 3.3 のとおり、玄倉は1箇所の森林プロット(25×25m)に対し、筋工有(Kuro-1)と筋工無(Kuro-2)の集水枠(1.0×4.0m)を設置した。森林プロットの位置は尾根から上端部まで水平距離で約 30m 離れ、プロット内の地形は微地形で凹斜面である。プロット下端部から渓流域までは、水平距離で約 40m 離れている。その地点まで明瞭な谷地形は確認されない。

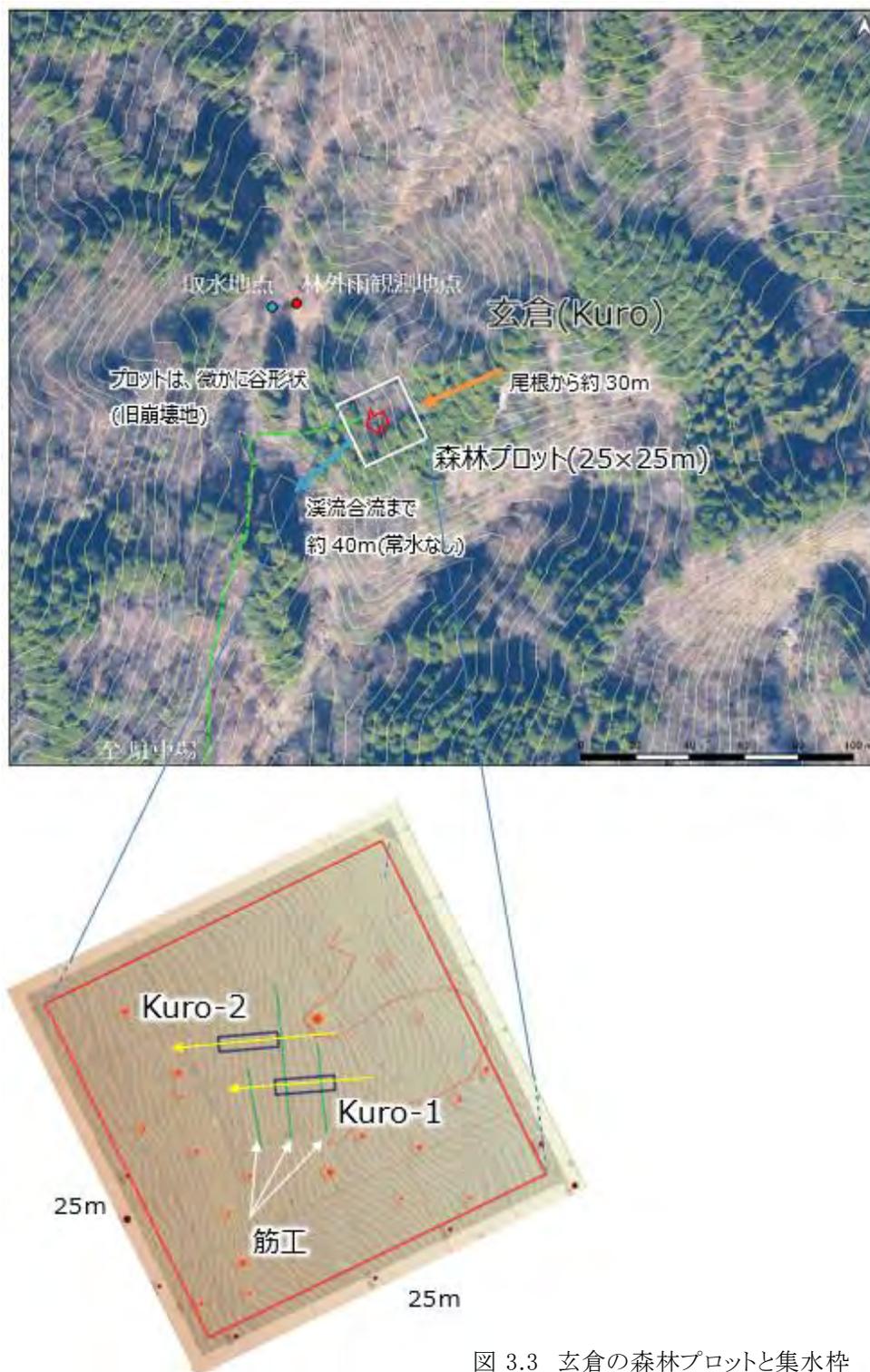


図 3.3 玄倉の森林プロットと集水枠

本調査地での浸透能調査は、自然降雨試験及び人工降雨試験、さらに円筒による冠水型浸透試験を実施した。まず自然降雨試験から実施するため、水平幅 1.0m×水平長 4.0mの集水枠を設置し、周囲に雨量計を配置し、さらに集水枠内には土中の水分ポテンシャルを計測するテンシオメータを設

置した。人工降雨試験は、自然降雨試験の1か月経過後にこの集水枠の下部を流用して実施するため、筋工(または集水部)から山側に1m程度の位置に遮水板を追加設置し、水平幅1.0m×水平長1m程度のサイズに集水枠を調整した。また、冠水型浸透試験、土壌や植生の調査を集水枠内または近傍で実施した。以上の調査や試験装置の配置は図3.4のとおりである。

現地で計測した微地形条件(図3.6及び図3.7参照)については、Kuro-1では集水枠内の平均勾配は95%、筋工の直上部の土砂堆積勾配は50%である。また、Kuro-2では、集水枠内の平均勾配は93%、人工降雨の散水空間に相当する集水部の直上部の勾配は100%である。

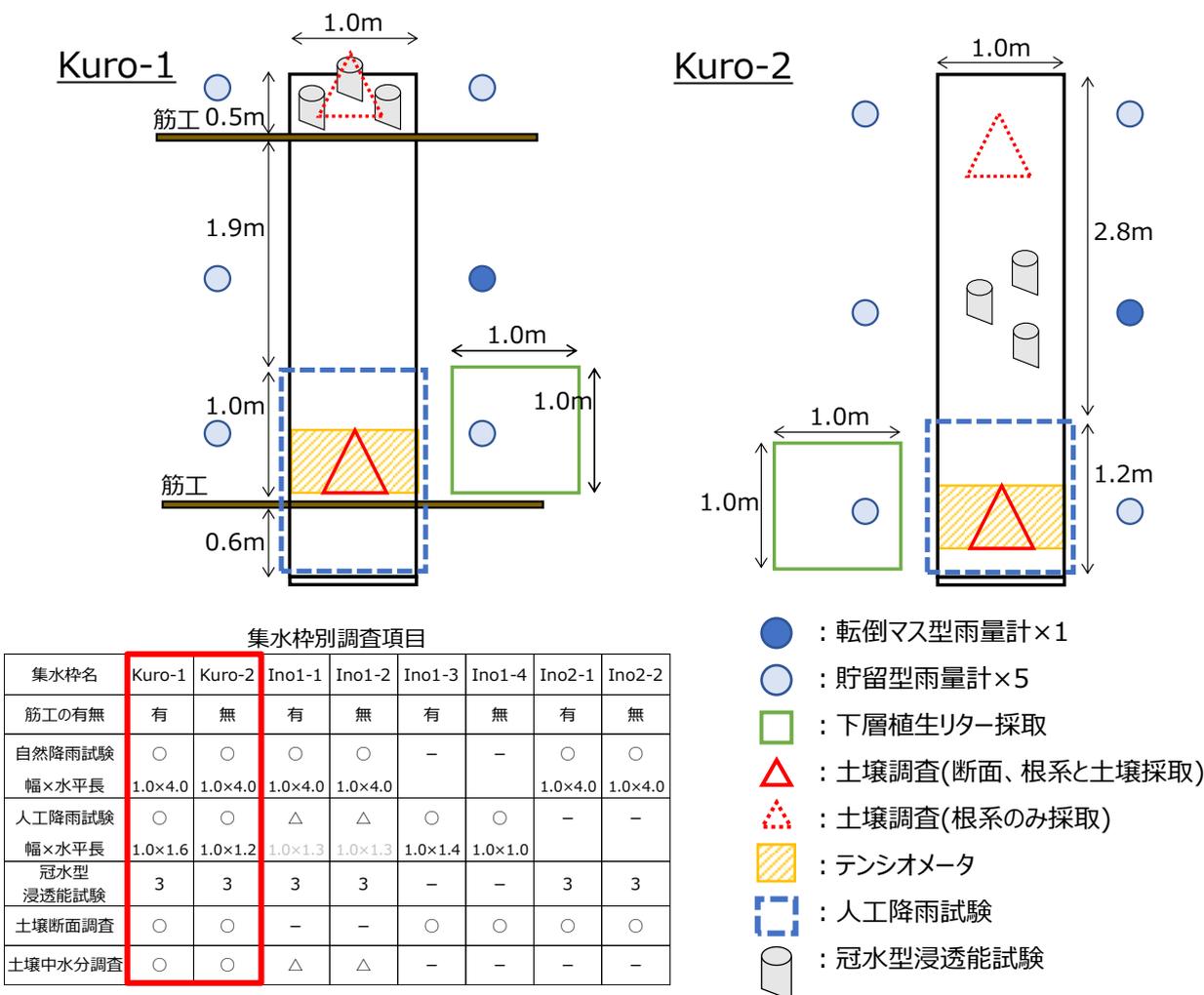


図 3.4 集水枠周辺における調査項目



図 3.5 自然降雨試験における雨量観測状況(左:筋工有 右:筋工無)

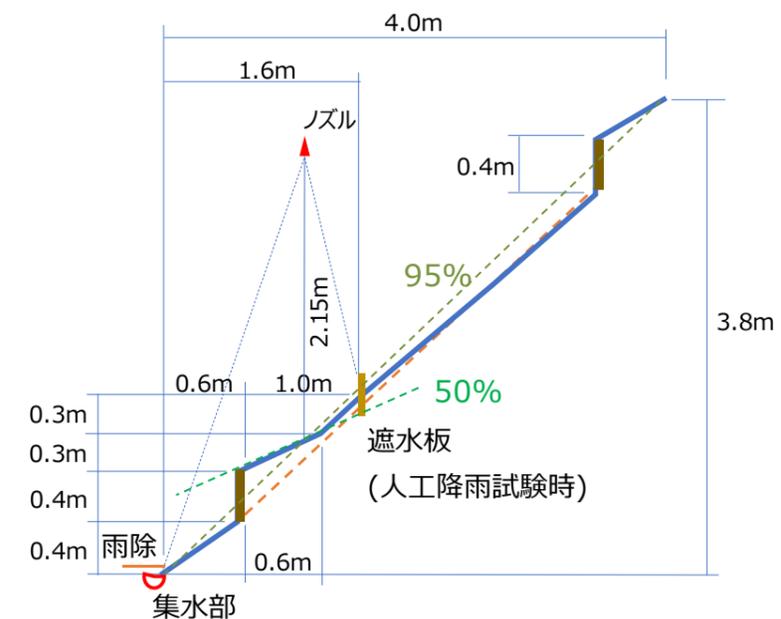
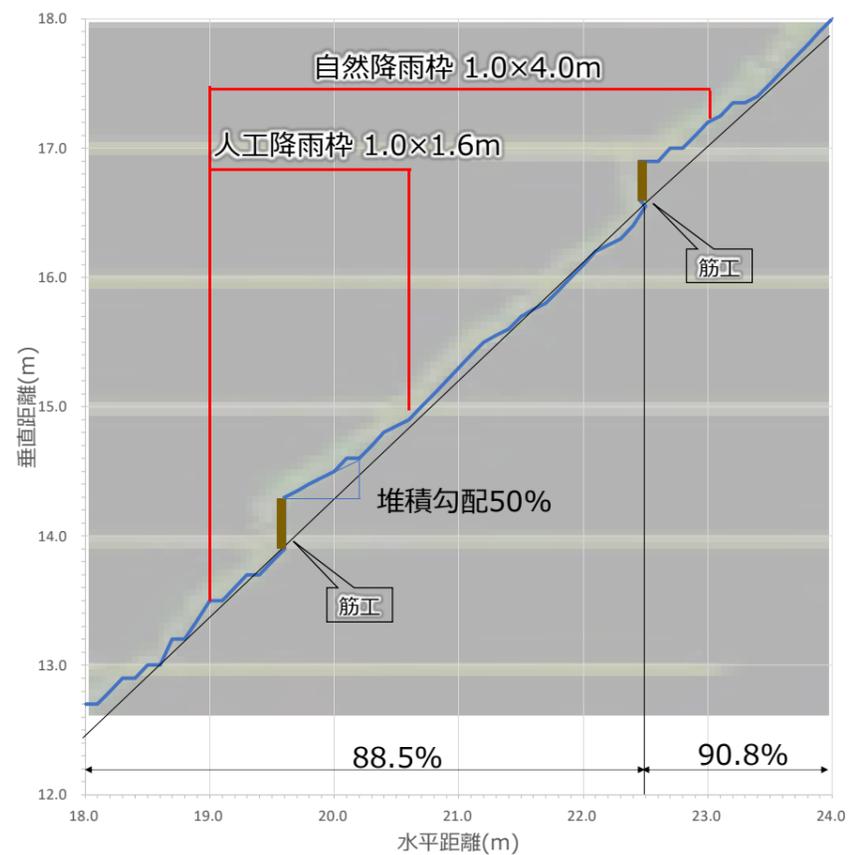
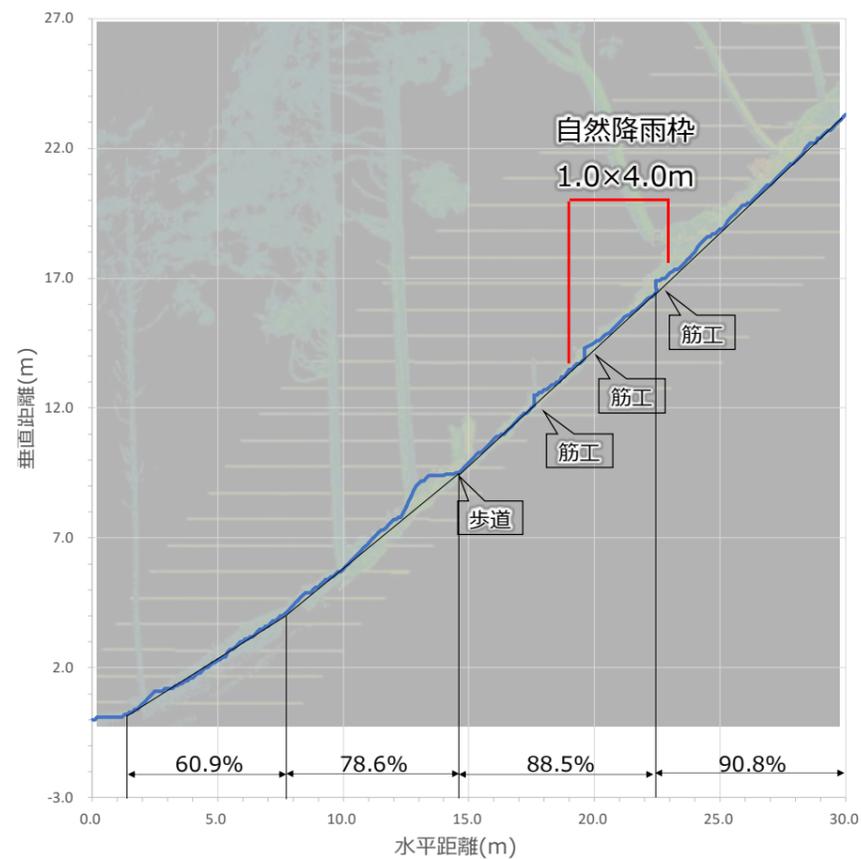


図 3.6 玄倉\_筋工有(Kuro\_1)の集水枠設置状況

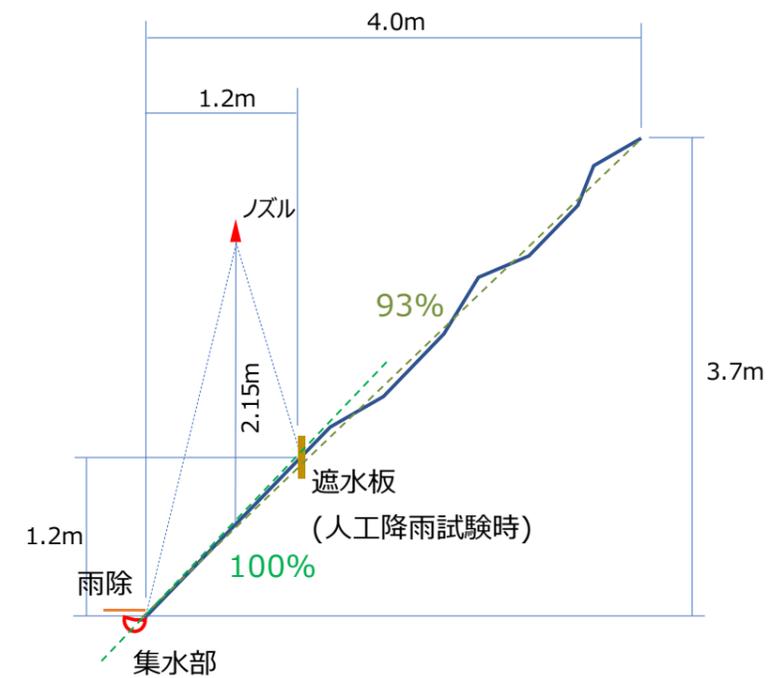
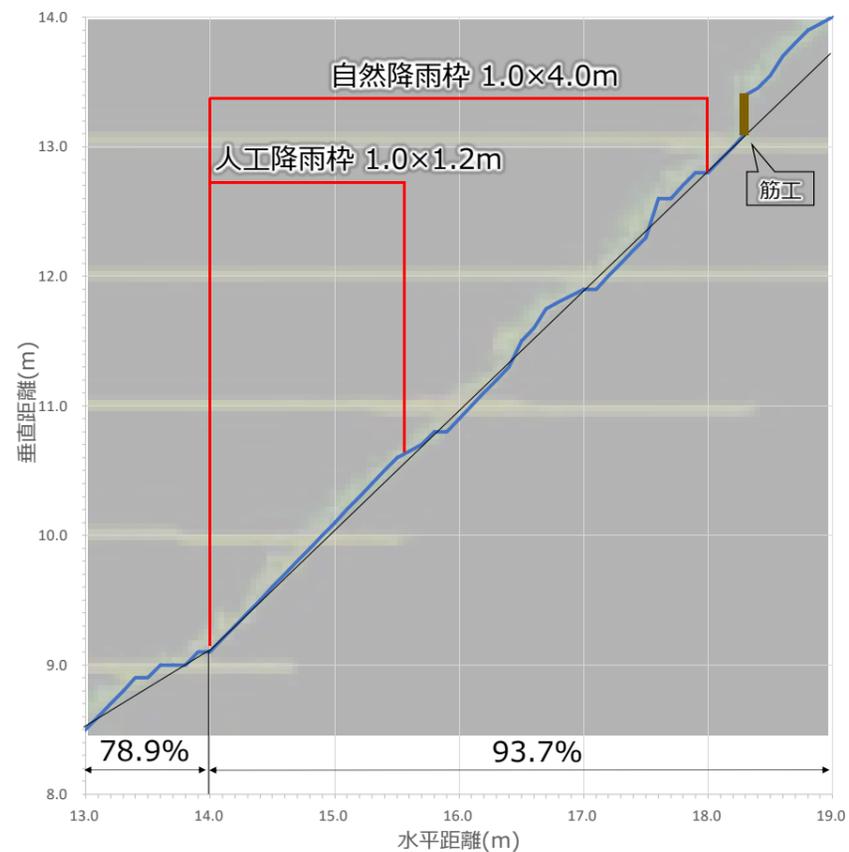
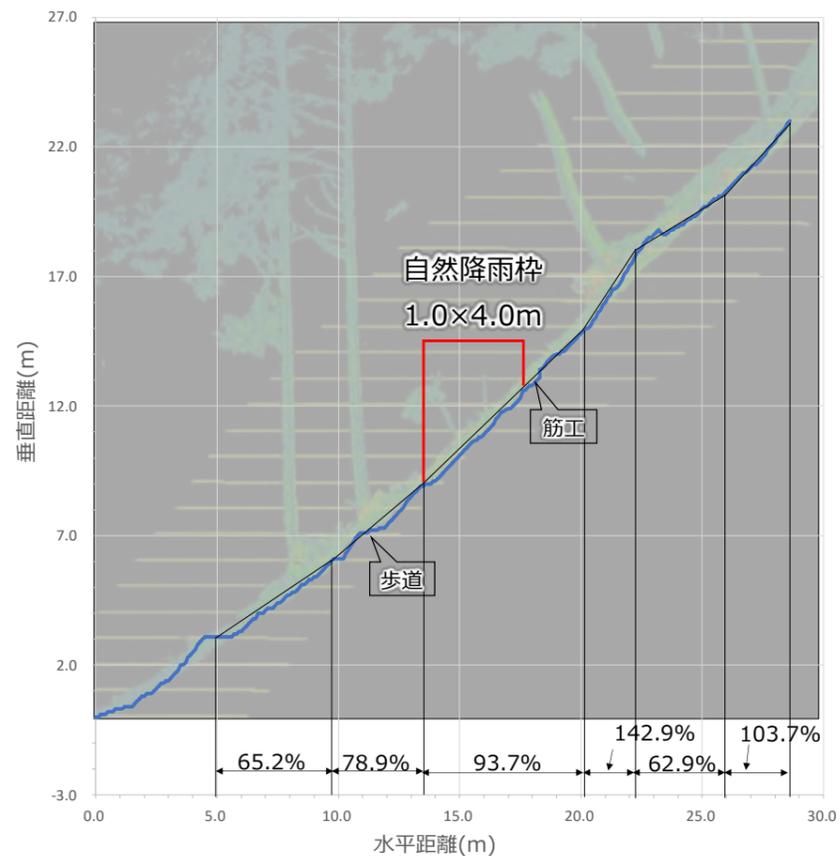


図 3.7 玄倉\_筋工無(Kuro\_2)の集水枠設置状況

### 3.2.2. 猪之頭 1

図 3.10 のとおり、猪之頭 1 は 2 箇所の同質の森林プロット(20×20m×2)に対し、それぞれ筋工有(Ino1-1)と筋工無(Ino1-2)の集水枠(1.0×4.0m)を設定した。森林プロットの位置は尾根から上端部まで水平距離で約 30~40m 離れ、プロット内の地形は微地形で平衡斜面である。プロット下端部から平坦部あるいは渓流域までは、水平距離で約 20m 離れている。

本調査地では、自然降雨試験を実施するとともに、近隣の溪流に常水があることから、渓流水を揚水し人工降雨試験を実施した。

まず自然降雨試験から実施するため、水平幅 1.0m×水平長 4.0mの集水枠及び雨量計を設置した。人工降雨試験については、自然降雨試験の 1 か月経過後にこの集水枠の下部を使用して実施する計画であったが、12 月の凍結期に当たる可能性があり、1 か月経過を待たずに測定を行うこととした。

代替地として、Ino1-1 及び Ino1-2 の隣接 10m 以内でできる限り同様の地形条件を呈す位置を選定して筋工有(Ino1-3)及び筋工無(Ino1-4)の集水枠(1.0×1.0m)を追加して設置した。また、冠水型浸透試験、土壌や植生の調査は集水枠内または近傍で実施した。以上の調査や試験装置の配置は図 3.8 及び図 3.9、並びに図 3.11 のとおりである。

現地で計測した微地形条件(図 3.12~図 3.15)については、Ino1-1 では集水枠内の平均勾配は 75%、筋工直上部の土砂堆積勾配は 2%である。代替地の Ino1\_3 では、集水部から水平4mにおける平均勾配が 80%、筋工直上部の土砂堆積勾配は Ino1-1 と同様 2%である。Ino1-2 では集水枠内の平均勾配は 65%、集水部の直情部の勾配は 69%である。代替地の Ino1\_4 では、集水部から水平 4mにおける平均勾配が 60%、集水部の直上部の勾配は 65%である。



図 3.8 猪之頭 1 筋工有の集水枠(Ino1-1 Ino1-3)



図 3.9 猪之頭 1 筋工無の集水枠(Ino1-2 Ino1-4)

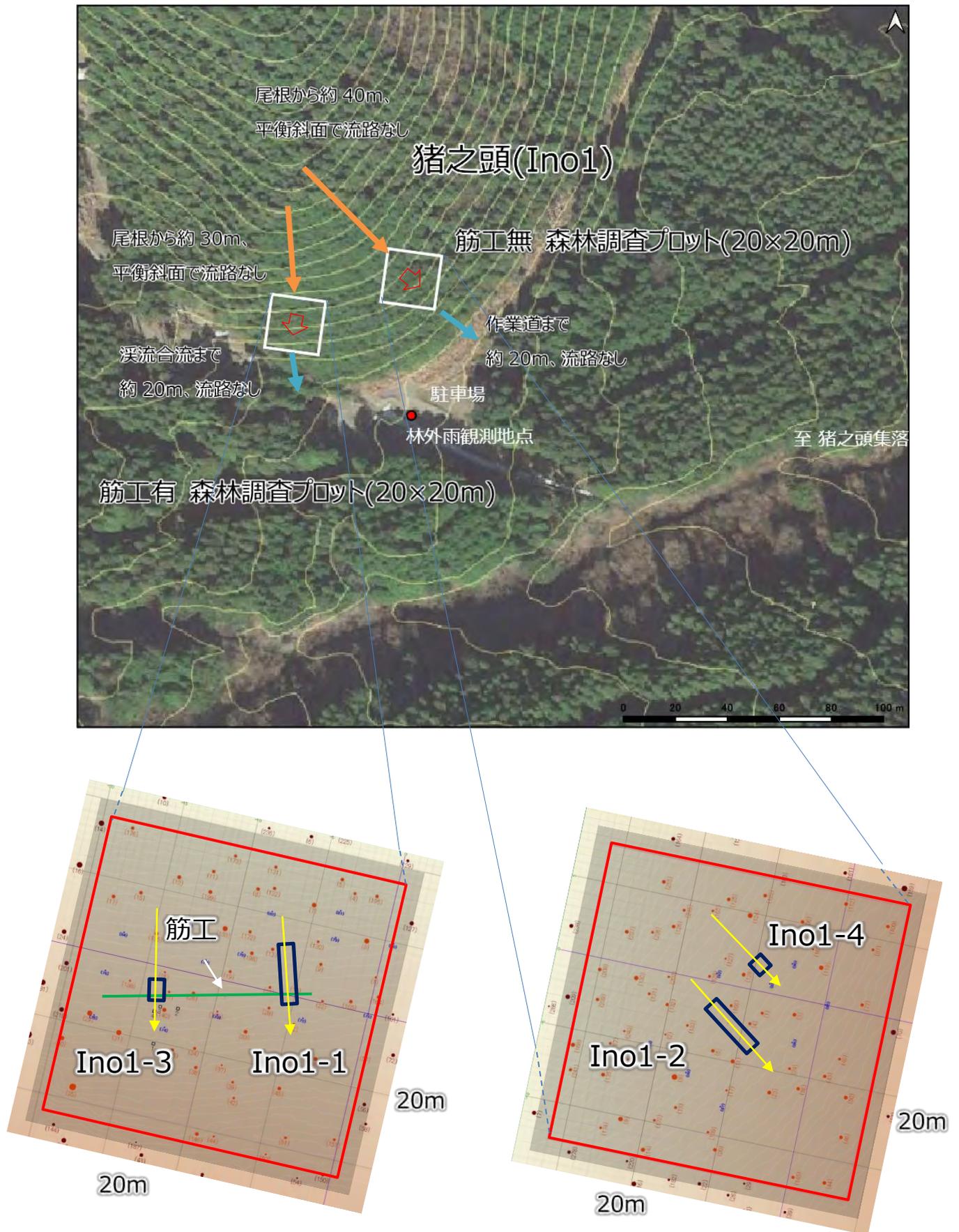


図 3.10 猪之頭1の森林プロットと集水枠

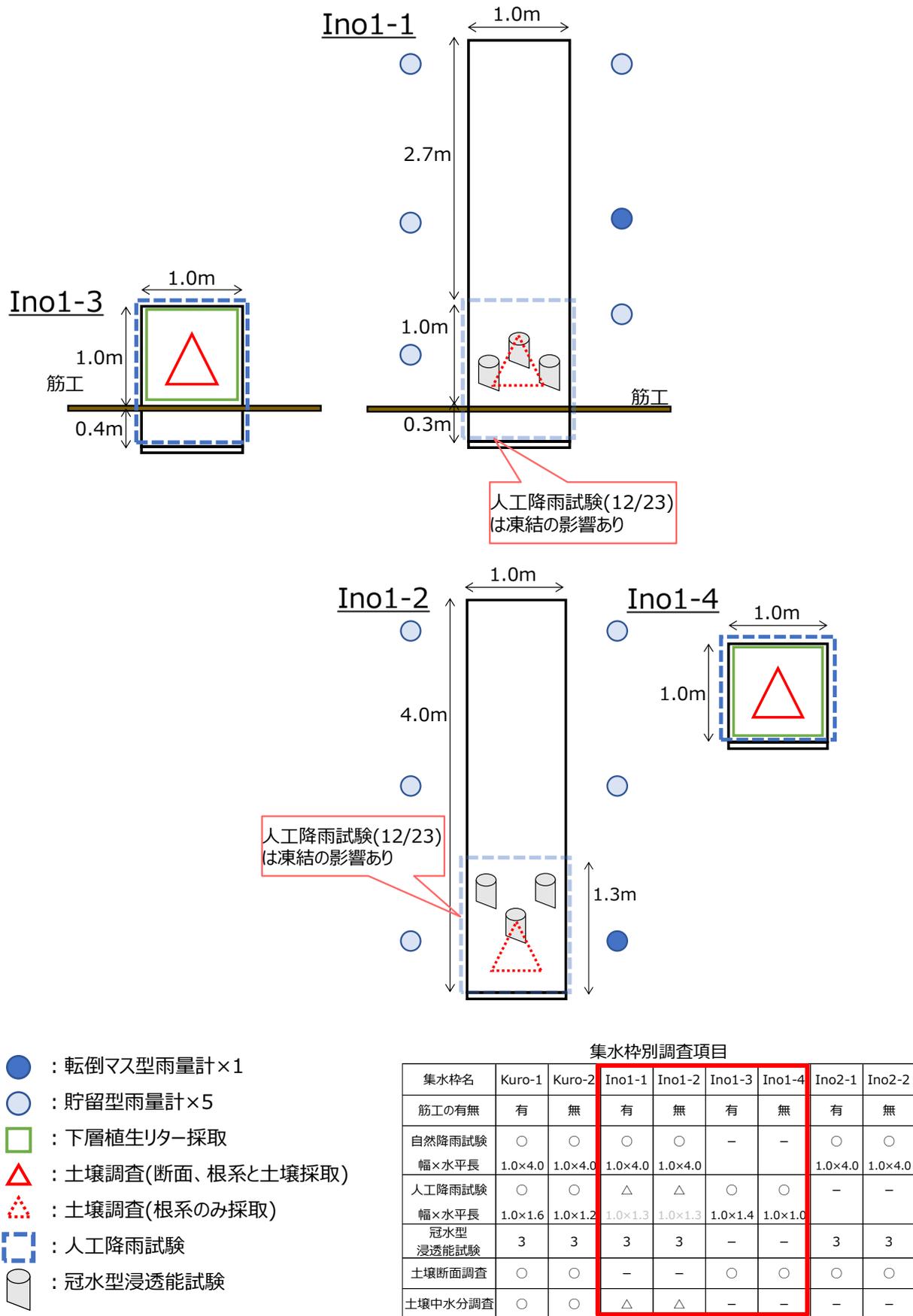


図 3.11 集水枠周辺における調査項目

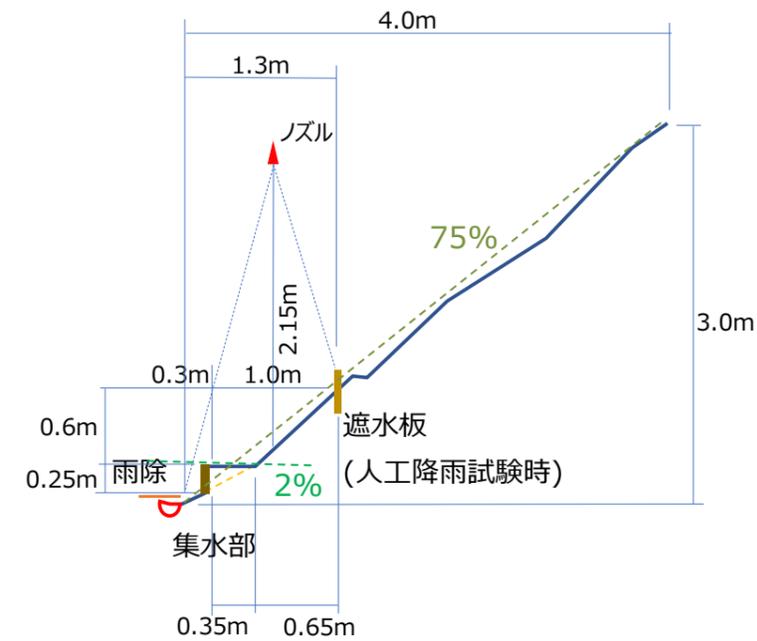
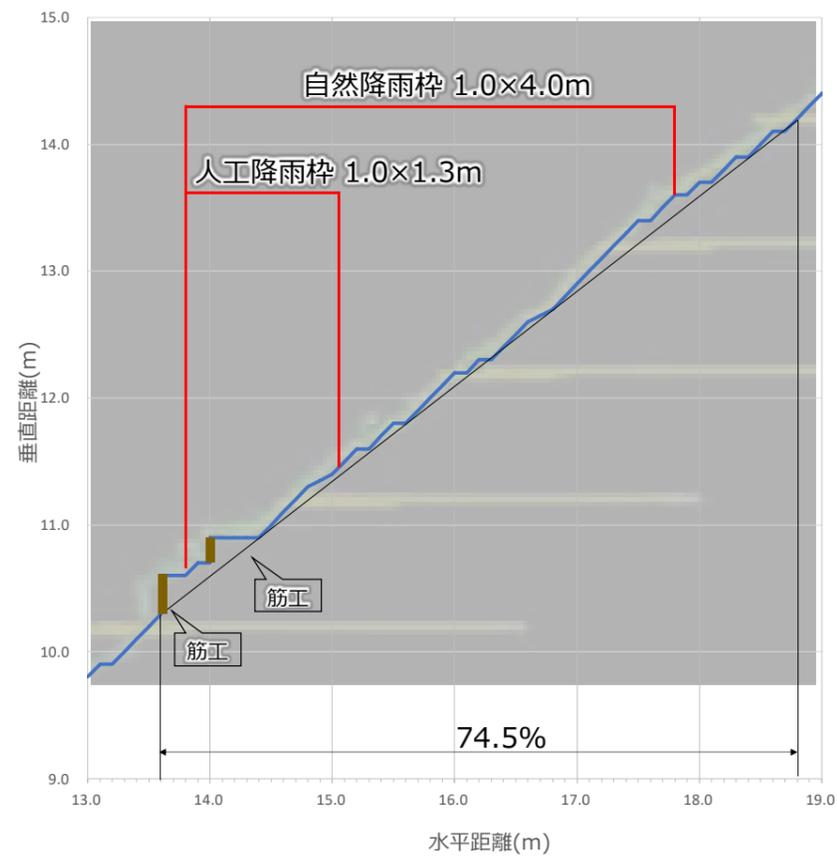
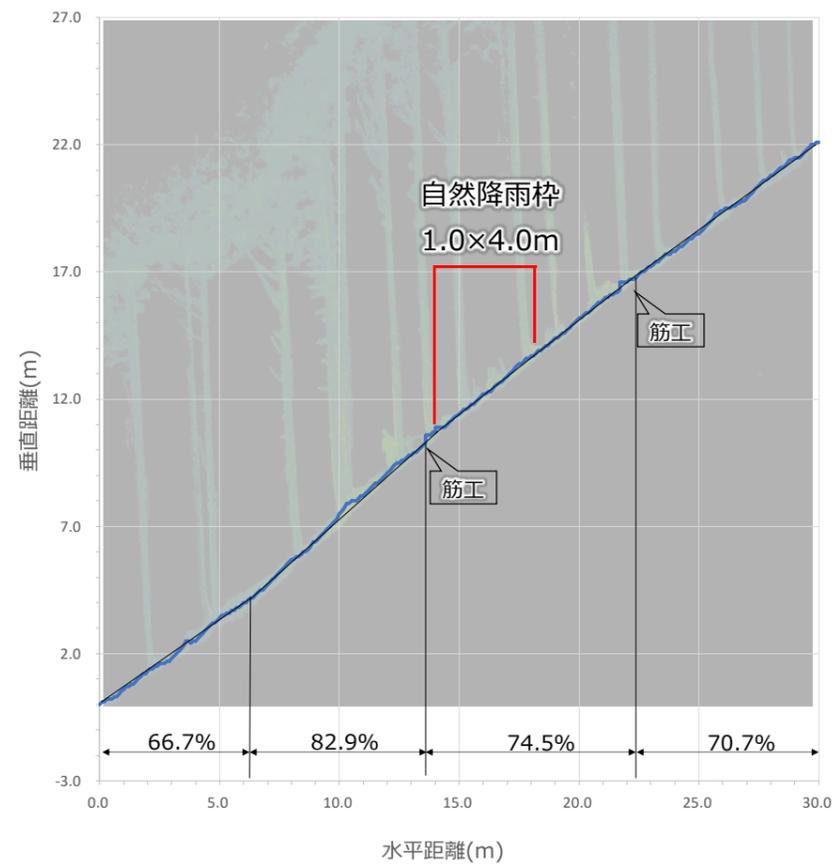


図 3.12 猪之頭 1(Ino1\_1)の設置状況

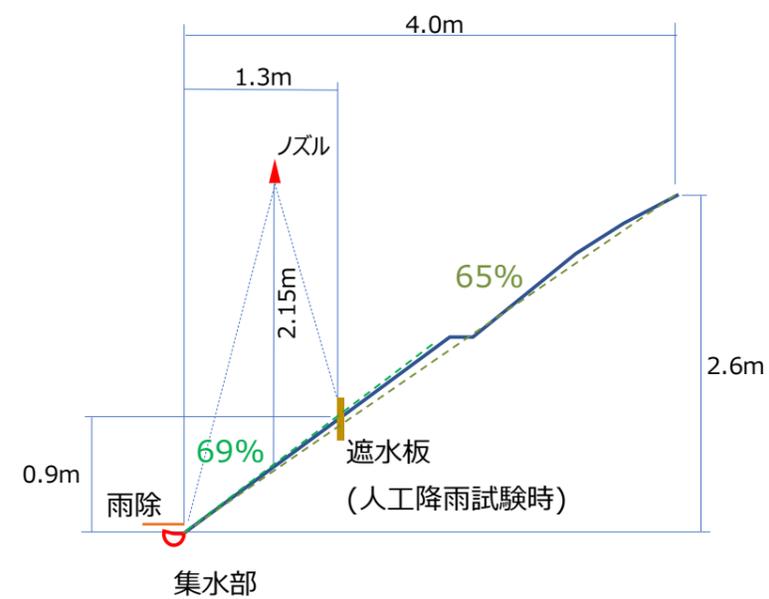
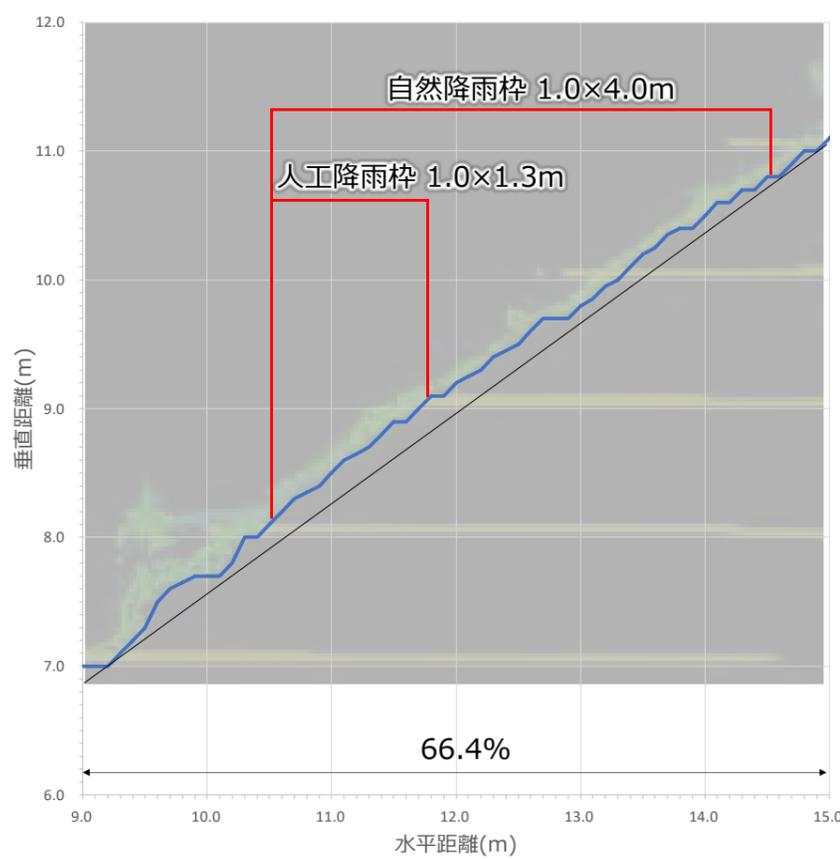
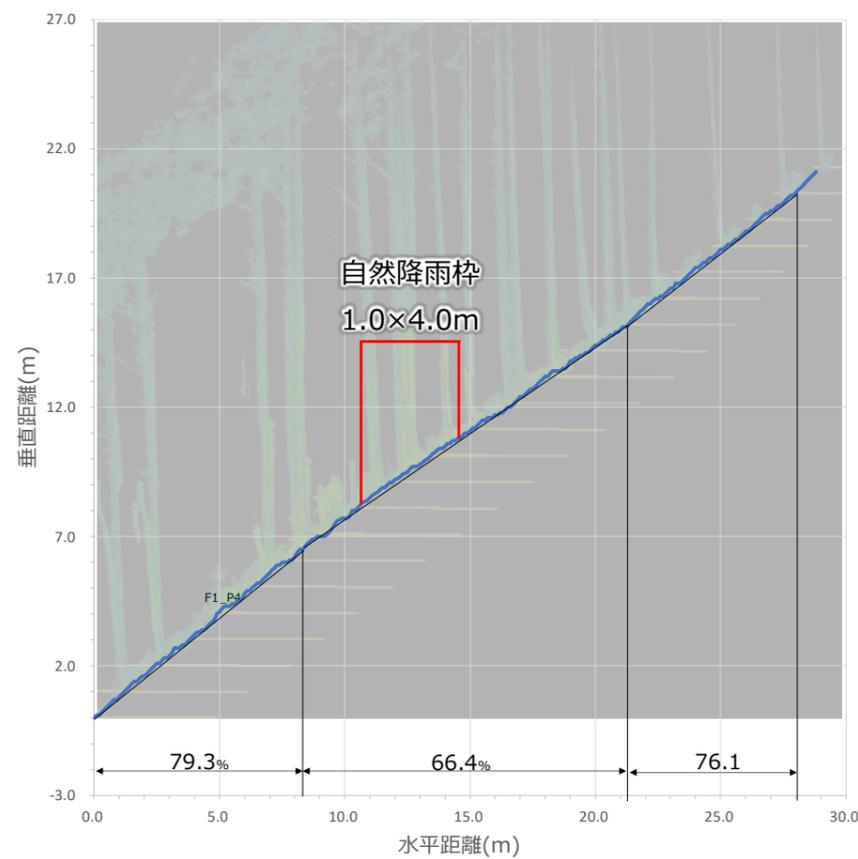


図 3.13 猪之頭 1(Ino1\_2)の設置状況

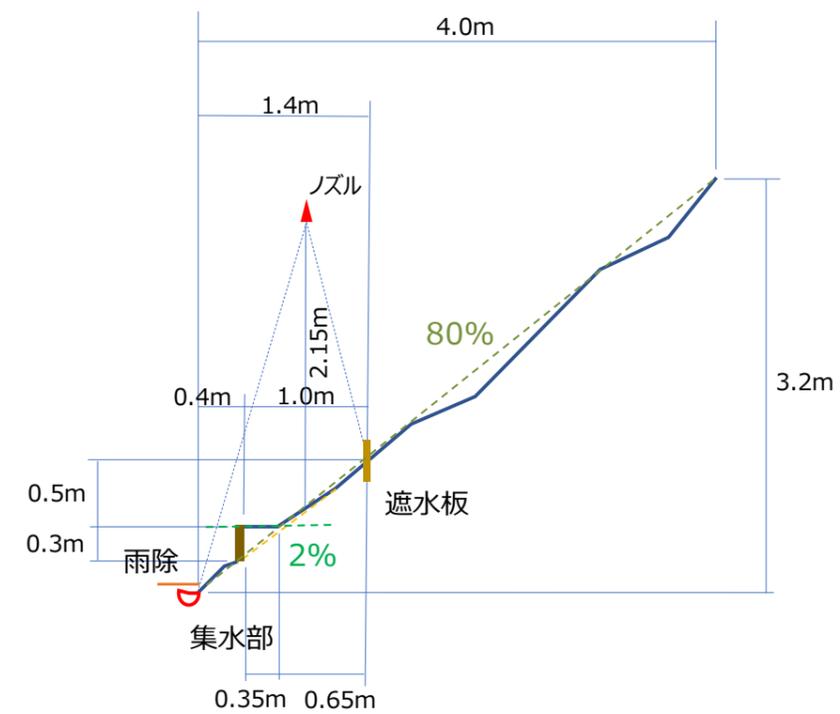
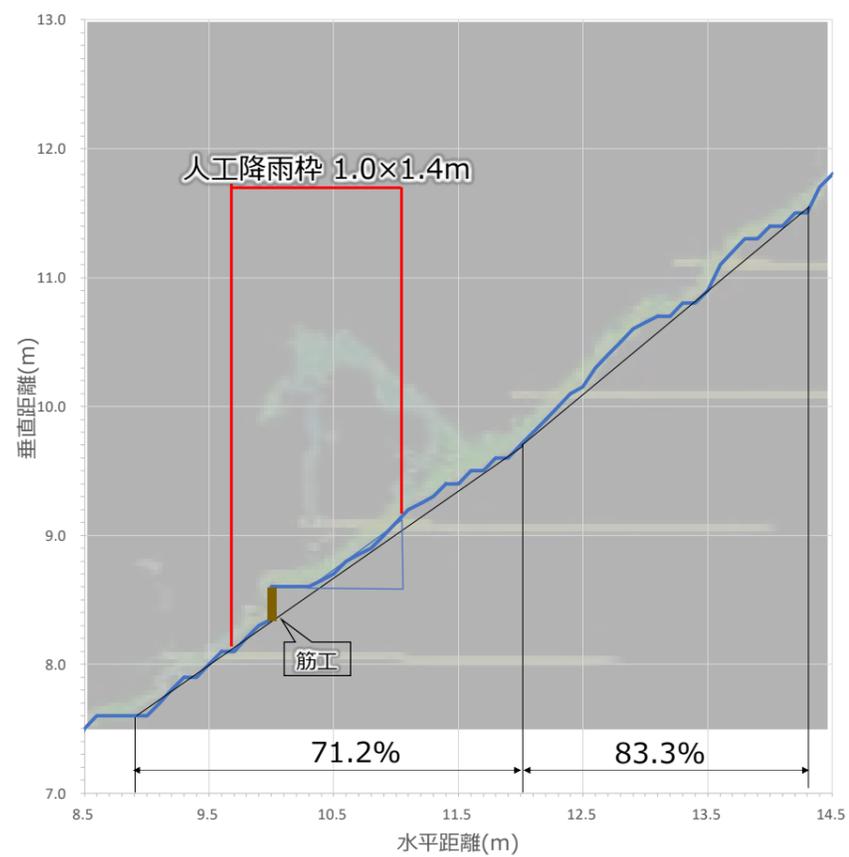
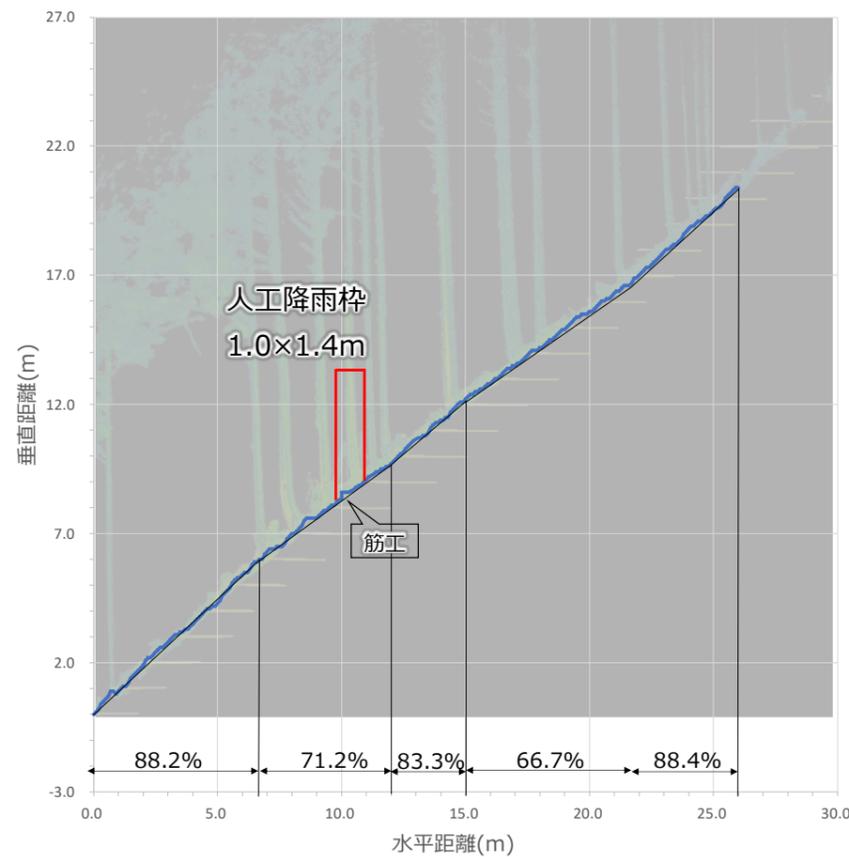


図 3.14 猪之頭 1(Ino1\_3)の設置状況

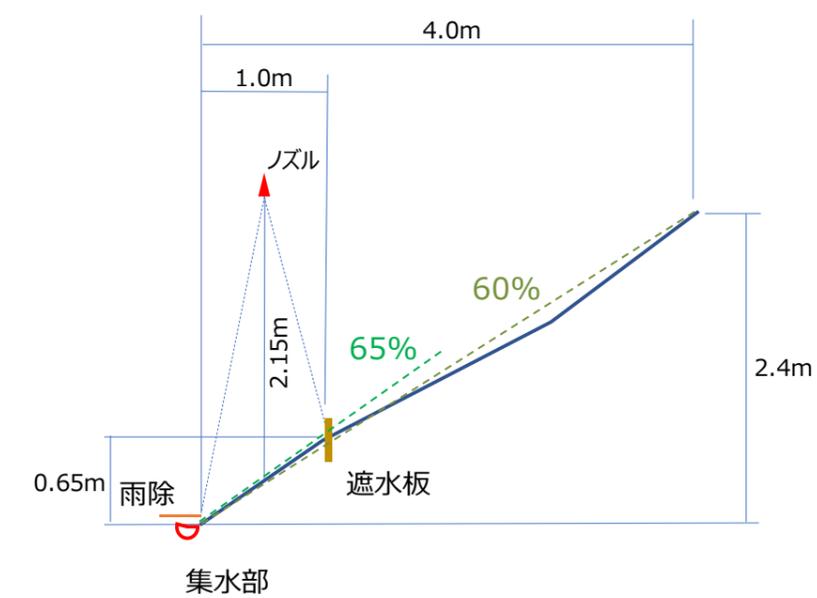
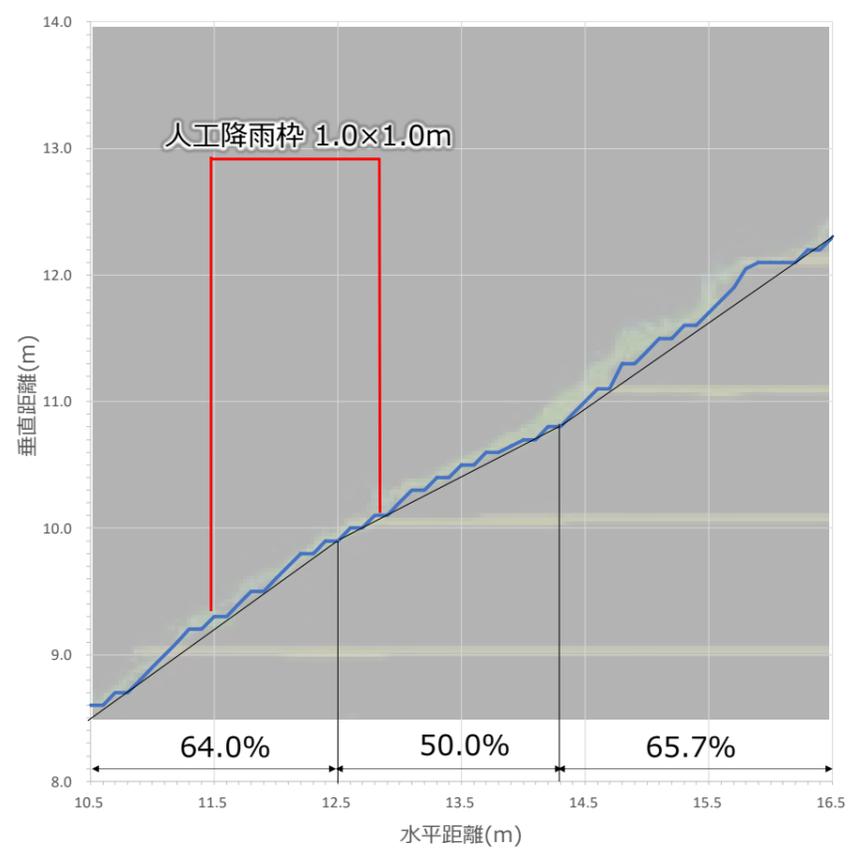
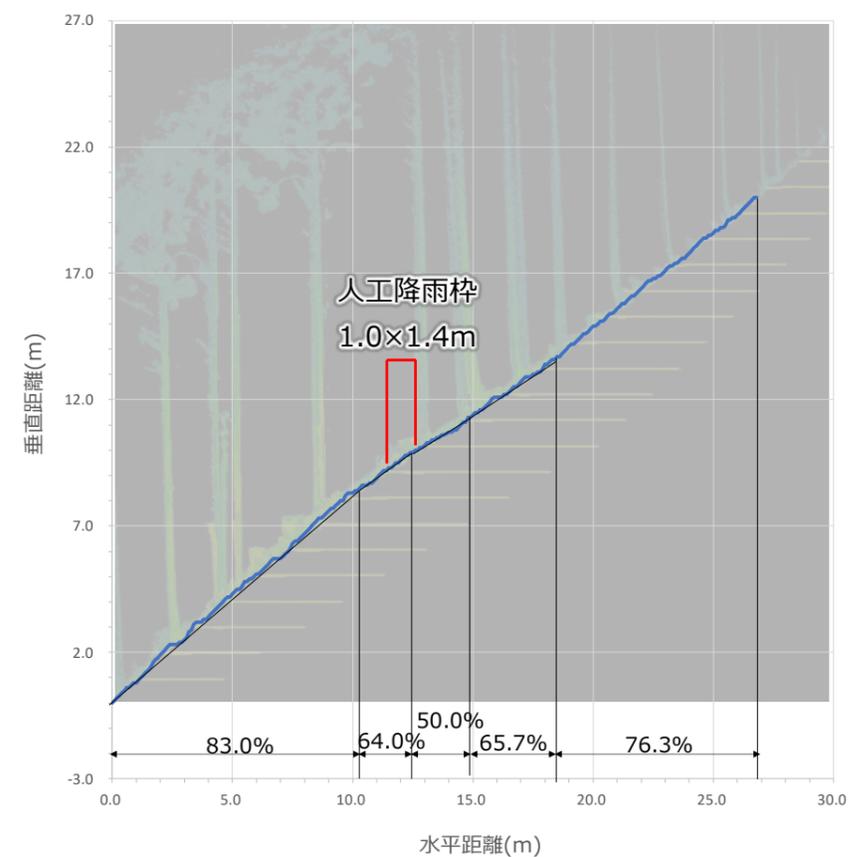


図 3.15 猪之頭 1(Ino1\_4)の設置状況

### 3.2.3. 猪之頭 2

図 3.16 のとおり、猪之頭 2 は 1 箇所の森林プロットに筋工有(Ino2-1)と筋工無(Ino2-2)の集水枠を設定した。本調査地での浸透能調査は、自然降雨試験を実施し、さらに円筒を活用した冠水型浸透試験を実施した。自然降雨試験を実施するため、水平幅 1.0m×水平長 4.0mの集水枠及び雨量計を設置した。また、冠水型浸透試験、土壌や植生の調査を集水枠内または近傍で実施した。以上の調査や試験装置の配置は図 3.17 のとおりである。

現地で計測した微地形条件(図 3.19、図 3.20 参照)については、Ino2-1 では集水枠内の平均勾配は 75%、筋工直上部の土砂堆積勾配が 14%である。また、Ino2-2 では集水枠内の平均勾配は 75%、集水枠の直上部の勾配は 85%である。

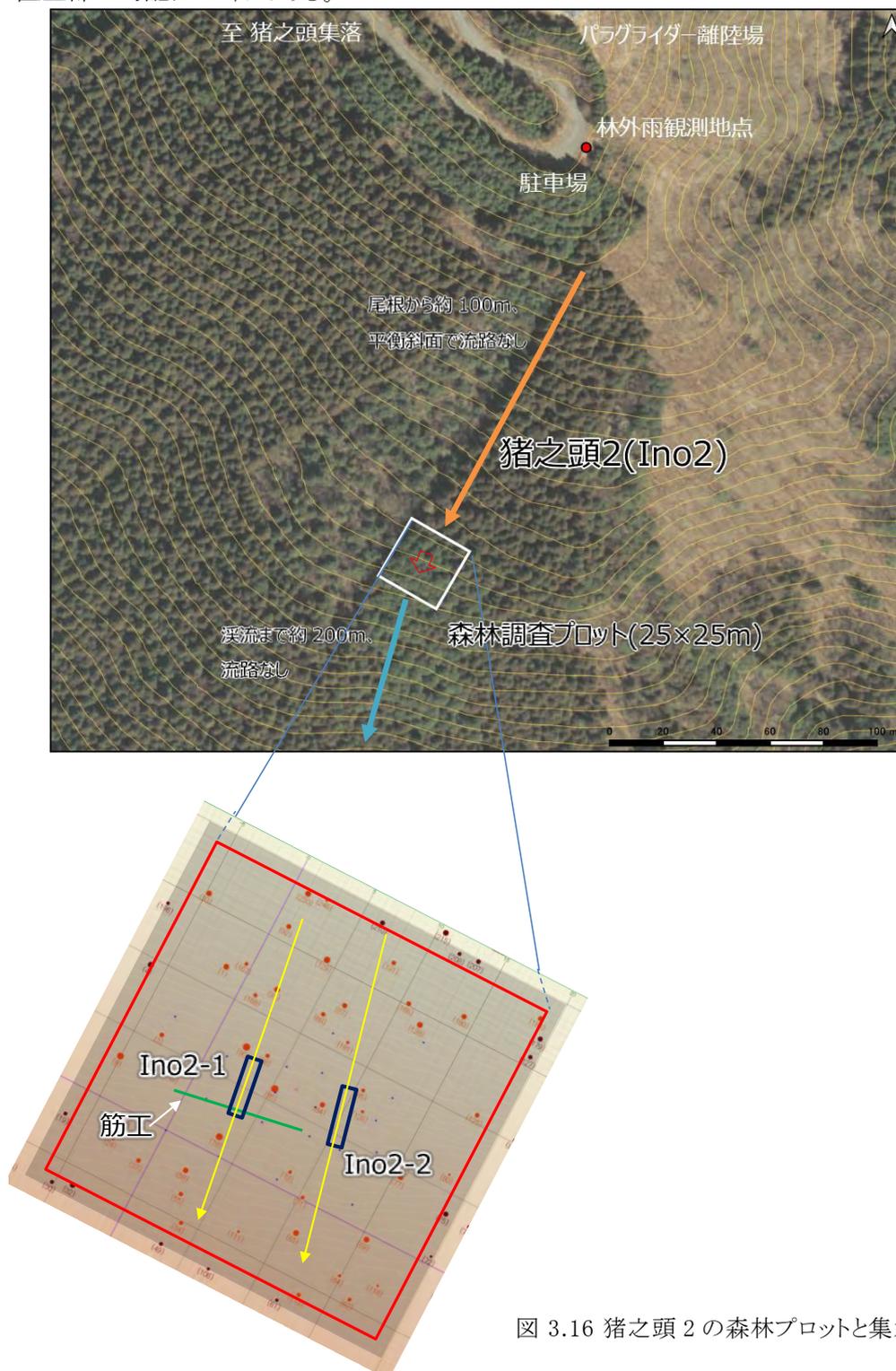


図 3.16 猪之頭 2 の森林プロットと集水枠



図 3.17 集水枠周辺における調査項目



図 3.18 猪之頭 2 の集水枠(左:Ino2-1 右:Ino2-2)

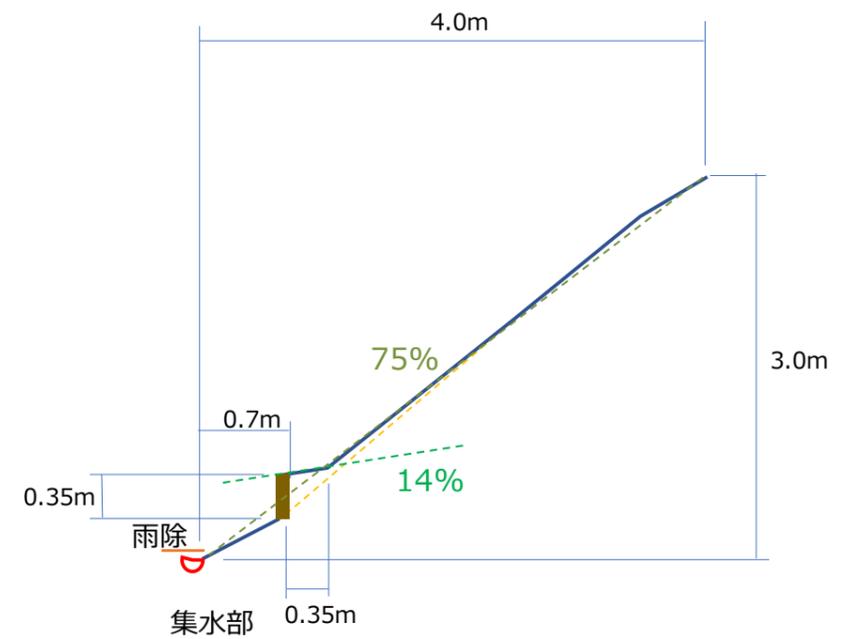
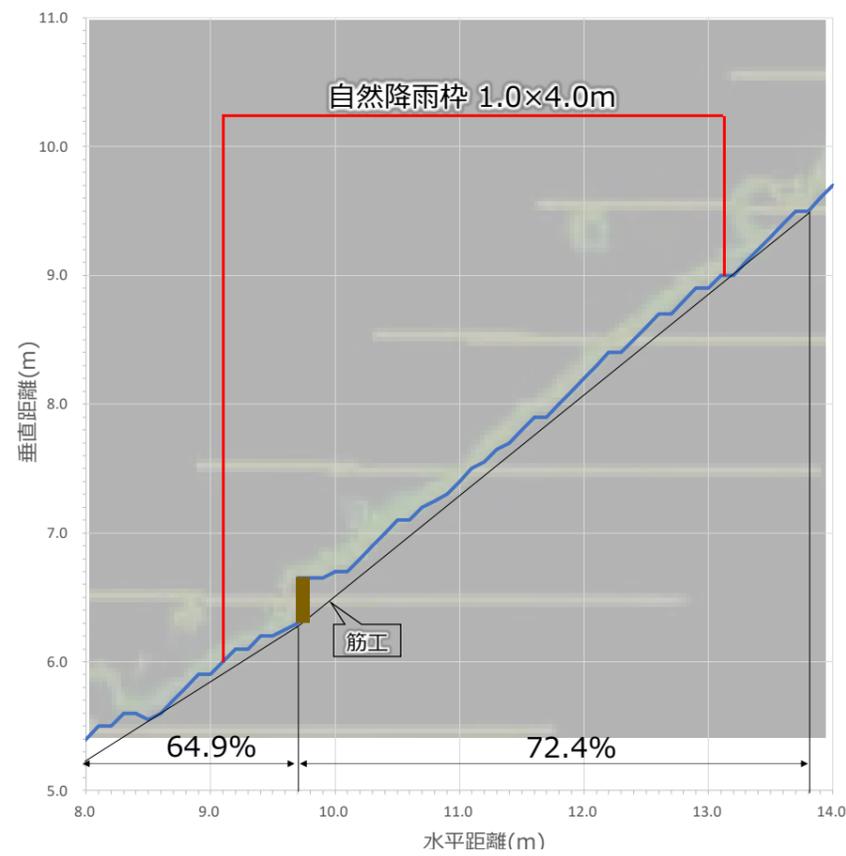
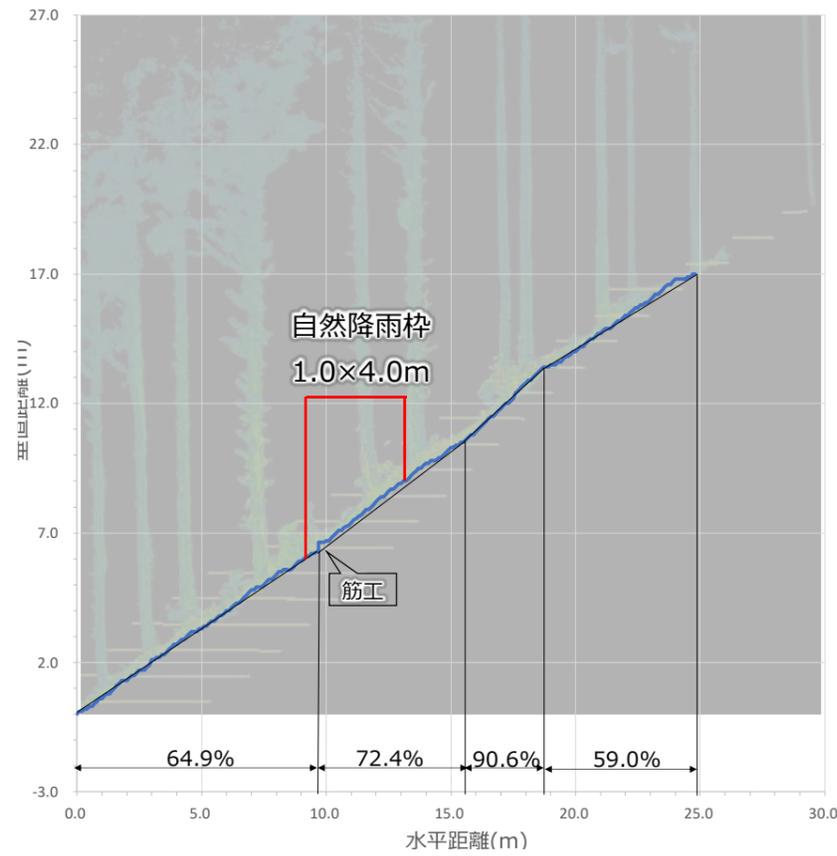


図 3.19 猪之頭 2(Ino2\_1)の設置状況

Ino2\_P2\_無\_1×4

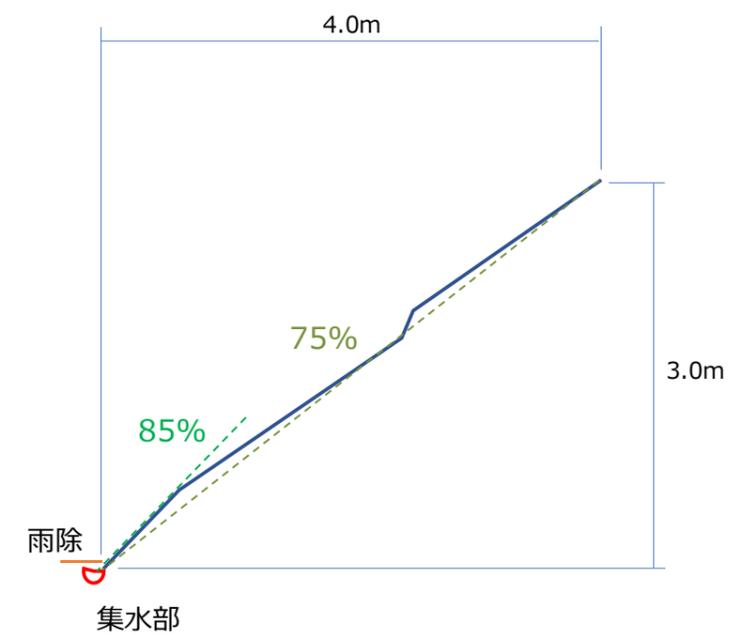
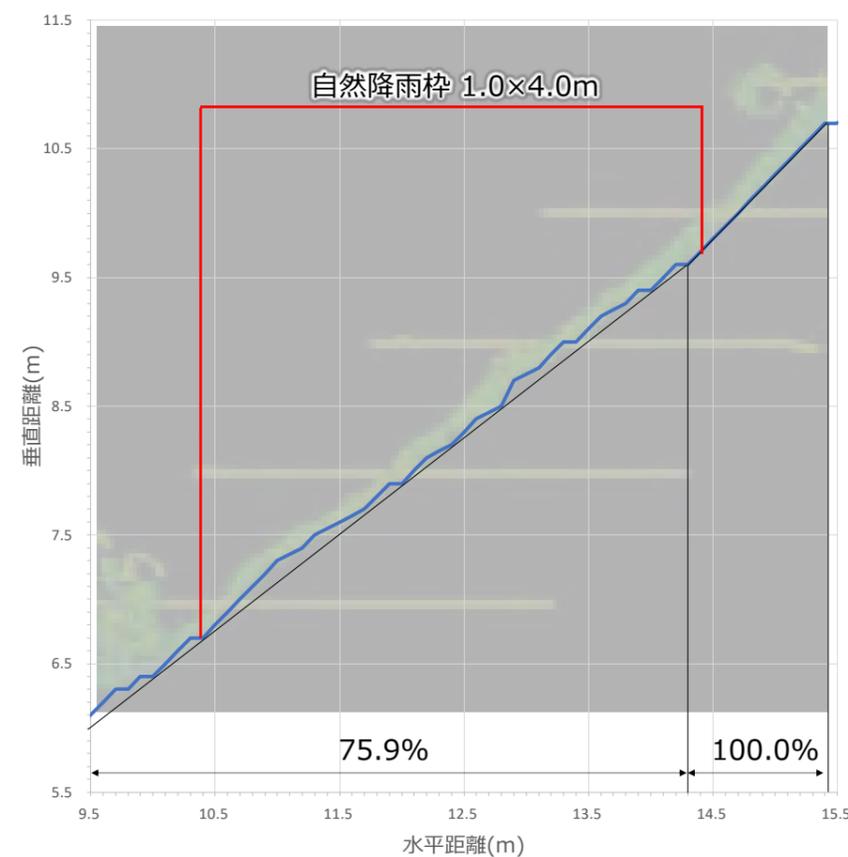
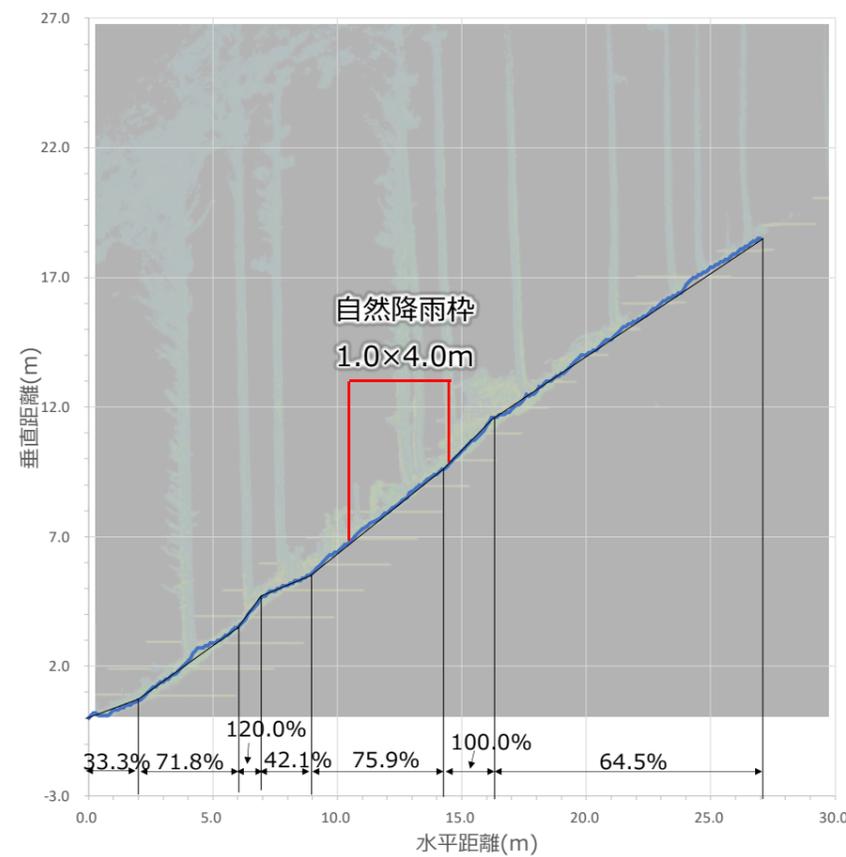


図 3.20 猪之頭 2(Ino2\_2)の設置状況

### 3.3. 自然降雨試験

玄倉、猪之頭 1、猪之頭 2 の3調査地において、森林土壌の浸透能を把握するための手法の一つとして、雨量計と表面流観測装置を組み合わせた自然降雨による試験を実施した。本手法では、降雨量と地中に浸透せずに表面流として流出した水量を同時に計測することにより、表面流の流出率を算定することができる。

本調査での自然降雨試験における集水枠等の観測機材の設定方法は以下のとおりである。なお、観測期間は1か月以上とした。

#### 3.3.1. 集水枠の設定

図 3.21 及び図 3.22 のとおり、筋工が配置された場所の集水枠(以下「筋工有」という)と、配置されていない場所の集水枠(以下「筋工無」という)を設定した。

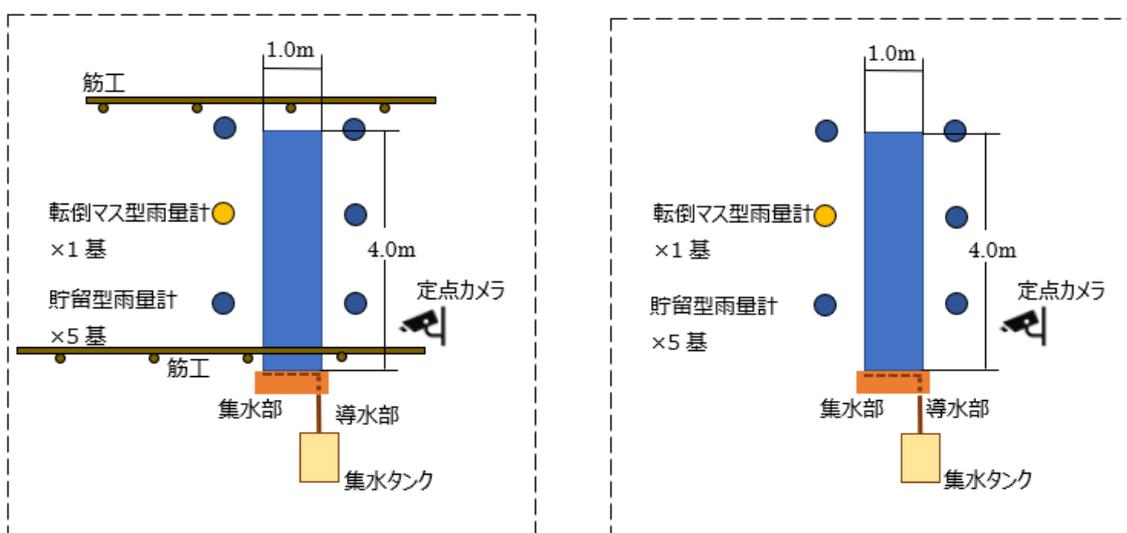


図 3.21 自然降雨試験の集水枠等の設置イメージ(平面図、再掲)

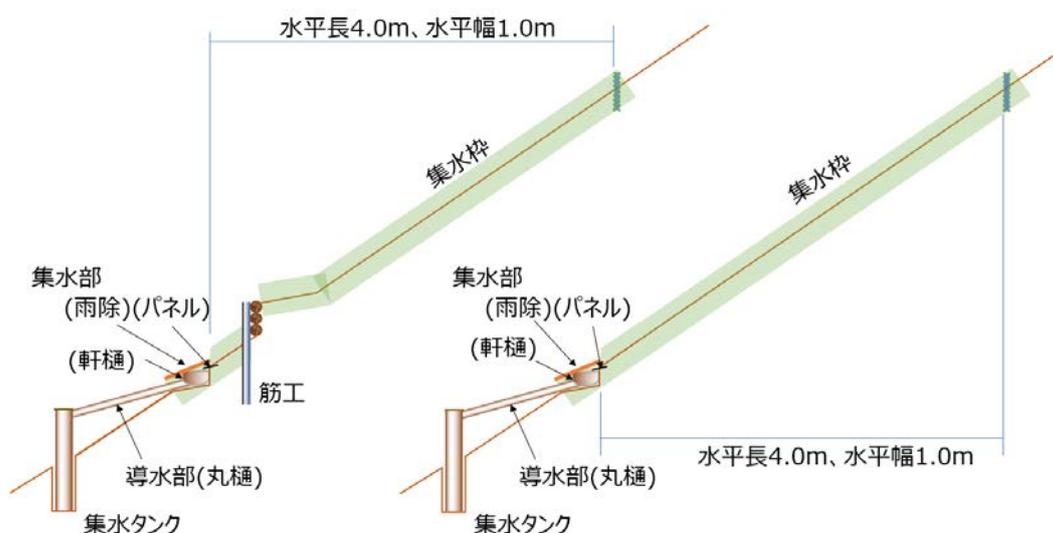


図 3.22 自然降雨試験の集水枠等の設置イメージ(側面図)

## (1) 集水枠の設置

集水枠は、大きさが水平距離で幅 1.0m×長さ 4.0m となるように、筋工有と筋工無の2種類を設置した。設置時の注意点として、同じ調査地内の筋工有と筋工無において、地表面の状態(リターの堆積状況や集水枠 4.0m 区間の勾配)や、地上部の林冠状況に大きな差がない場所、かつ集水枠が立木の根元や根際に極力当たらず、枠内に立木が入らないような位置に設定した。



図 3.23 集水枠の設置

集水枠の枠材料は、遮水性があり、かつ加工しやすい畔板シート(幅 30cm×長さ 120cm、以下「畔板」という)を使用した。畔板を地面に挿し込む際に集水枠内の土壌を攪乱しないようにレシプロソー等で土壌や根系を切断し、幅 30cm のうち 10cm 程度を埋め込んだ。集水枠の斜面上端部は、集水枠の斜面勾配に応じて鉛直に畔板を埋め込んだ。その際、上端部の畔板は 1.0m 幅に切断せず長さ 1.2m の長さで設置し、できる限り斜面上部からの表面流の混入を抑止した。

## (2) 集水部の設置

表面流を捕捉する集水部については、表面流を地表面から分離する構造部(パネル)と、分離した表面流を捕捉する構造部(軒樋)及び雨除に区分して示す。なお、筋工有の集水部は、筋工との干渉を避けるため筋工から 30～60cm 谷側に離隔して設置した。

### 1) 分離部(パネル)の設置

表面流を地表面から分離する構造部(パネル)は、集水枠の斜面上端部において長さ 5～10cm の断面を形成し、地表面から高さ 2～3cm の地点にステンレスもしくはアルミ製のパネル(幅 7cm 以上×長さ 1.0m)を、図 3.24(左図)のとおり水平に深さ 2～3cm 挿入する形で設置した。

### 2) 捕捉部(軒樋)の設置

分離部(パネル)によって地表面から分離した表面流を捕捉するための捕捉部は、図 3.24(右図)のとおり、軒樋(φ 105mm)をパネルの下に設置した。

パネル上部の土壌が崩れやすく、表面流とともに軒樋に混入しないように粘着性かつ不溶性等の特性をもつ材料(エアコン用配管パテ等)を使用し、高さ 1cm 程度を目途に盛り上げて土壌固定した<sup>10</sup>。また、集水枠とパネルとの隙間も密着固定し漏水を回避した。さらに、パネルと軒樋の間には、落葉や小石が混入しないように 5mm 間隔程度のメッシュシートを設置した。軒樋は 1～3% 程度の排水勾配とし、表面流が速やかに導水部を経て集水タンクへ流下するように設置した。



図 3.24 集水部におけるパネルの設置(左)と軒樋とメッシュシートの設置(右)

<sup>10</sup> 本年度調査では、当初油粘土を用いたが、水溶性であったことが判明しすぐにエアコン用配管パテに交換した。

### 3) 雨除の設置

集水部(軒樋)に直接降雨が混入しないように雨除を設置した。雨除の材料は畔仕切り用の波板(幅30cm)を使用し、軒樋を覆うように設置して固定した。

地表面から雨除までの高さは最終的に5cmとし、集水部直近の雨滴の跳水が混入しないようにした。なお、観測開始当初は、雨除をもっと高く設置していたが、雨滴跳水の混入と思われる結果が見られたことから、雨除は可能な限り低く設置することが望ましいと考えられる。



図 3.25 雨除の設置状況

### (3) 導水部(丸樋)と集水タンクの設置

集水部で捕捉した表面流の水量計測は、タンクなどで貯留して測る方法や、転倒マス型雨量計などを用いて測る方法が考えられる。本調査では、表面流に含まれる懸濁物の分析も想定し、集水部から導水部(丸樋)を通じて集水タンクに貯留することとした(図 3.26(左))。

集水タンクは、水位計の併用も想定し、用意する水位計の仕様等も考慮して直径4cm、長さ1.0mの透明なアクリルパイプを使用した(図 3.26(右))。なお、透明なパイプにすることで水位変化を目視でも明瞭に確認できる利点がある。

なお、水位計は、玄倉に2基(Kuro-1とKuro-2)、猪之頭1に2基(Ino1-1とIno1-2)設置したが、猪之頭1は動作不良のため計測できていなかった。

また、本調査で観測した結果、集水タンクから溢れてしまうほどの表面流が発生したことから、今後実施する際にはより大きな集水タンクを用意するか、転倒マス型量水計による計測が考えられる。



図 3.26 導水部(左)、人工降雨装置の散水範囲(中)、集水タンク(右、水位計を設置した例)

### (4) 定点カメラ等の設置

自然降雨試験及び人工降雨試験における地表面の状況や、機器類の異常を記録することを目的にタイムラプスカメラ(brinno 製、TLC200Pro)を10分間隔あるいは1分間隔にして設置した。また、必要に応じ動画もアクションカメラ(SONY 製、HDR-AS300)を用いて撮影した。



図 3.27 タイムラプスカメラの設置

### 3.3.2. 林内降雨量の観測

林内降雨は樹冠の影響を大きく受けるため、計測位置によって降雨が偏在することを想定し、値を平均化するため、図 3.21 のとおり集水枠の周辺域に 1 枠当たり貯留型雨量計 5 基を設置し、さらに時系列雨量を把握するため、転倒マス型雨量計 1 基を設置した。各調査地における設置状況は、前述の図 3.5、図 3.11 及び図 3.17 のとおりである。また、各調査地の雨量計の設置番号や設置状況及び林冠方向の状況は、資料集の付図 26 から付図 31 のとおりである。

転倒マス型雨量計について、受水面の設置高は林外雨観測と同じ 1m とし、観測機器は玄倉と猪之頭 1 の 4 基については SATOTEC 製、猪之頭 2 の 2 基については Hobo 製(RG3-M、1 転倒 0.2ml)を使用した。パルスの記録はロガー(HIOKI 製 LR5061)を使用し、パルスを 10 分単位の雨量に換算した。受水面は地表面から 1m とした。

貯留型雨量計は、一続きの降雨終了後に捕捉量をメスシリンダー等により現地計測し、5 基の平均値を期間降水量とした。図 3.28 のとおり、集水枠 6 箇所 30 基のうち、玄倉の筋工無の立地のみ 1 つを気象庁制式のステンレス雨量計(ナリカ製、RG-20B)を使用した。残りの 29 基は簡易式として、底部と上部の直径が概ね同じ 90 の半透明バケツ(山研工業 ラウンドペール 90、直径 230mm)を使用した。降雨時の跳水と貯水後の蒸発をできる限り抑止するため、直径 240mm のロート(サンプラテック ポリプロピレンハイスピードロート)を上部に被せて観測し、一続きの降雨終了後、蒸発する前にできる限り早く現地計測した。なお、受水面の高さは、周辺地上部からの跳水の混入を抑止するため、少なくとも地表面から 30cm 以上隔離した。



図 3.28 貯留型雨量計(気象庁制式と簡易式)の設置と捕捉量の計測状況

### 3.3.3. 降雨量観測の結果

玄倉と猪之頭 1 及び猪之頭 2 において観測された林内総雨量について、転倒マス型 1 基及び貯留型 5 基の観測値、並びに 5 基の平均値は図 3.29 及び表 3.2 のとおりである。表 3.2 の算出根拠である詳細な観測結果は資料集の付表 7 のとおりである。なお、比較対象として『2.4.3 調査地の降雨量観測(林外雨の観測)』の林外雨を再掲した。

一続きの降雨による期間降水量は、5 基の貯留型雨量計の平均値を適用し、時系列で林内降雨量を表現する場合は、次式をもとに補正した値を適用した。

$$\text{林内降雨量(mm)} = \text{転倒マス型降雨量} \times \left( \frac{\text{貯留型 5 基の期間降水量平均}}{\text{転倒マス型期間降水量}} \right)$$

転倒マス型雨量計による林内降雨量と林外降雨量の比率(林内雨/林外雨)は、玄倉では筋工有で 0.93、筋工無で 0.84、猪之頭 1 では筋工有で 0.72、筋工無で 0.65、猪之頭 2 では筋工有で 0.96、筋工無で 1.03 となった。樹冠による遮断の影響をうけ、林内雨は林外雨よりも低減する傾向があるが、その比率は、立地によって 0.65～1.03 と異なる値を示した。

貯留型雨量計については、各集水枠の5基のデータにばらつきが見られた。特に、猪之頭1においてばらつきが大きい。貯留型雨量計と林内の転倒マス型雨量計の観測値の比率を算出したところ、玄倉では筋工有が0.79、筋工無が1.04、猪之頭1では筋工有が0.96、筋工無が0.88、猪之頭2では筋工有が0.94、筋工無が0.86となり、玄倉の筋工無を除き、貯留型雨量計は転倒マス型雨量計より降雨量が少なく観測される傾向があった。

観測位置や方法によって異なる観測値を示す状況において、林外雨は転倒マス型雨量計、林内雨は貯留型雨量計5基の平均値として、林内雨と林外雨の比率をみると、玄倉では筋工有が0.74、筋工無が0.87、猪之頭1では筋工有が0.69、筋工無が0.57、猪之頭2では筋工有が0.91、筋工無が0.89となった。これらの比率と、林冠の開空率との関係を後述の図3.86に示す。

林内雨は樹冠による遮断の影響を大きく受け、特に樹冠高が大きく鬱閉した林分においては、表面侵食の一因となる雨滴衝撃力が大きくなることが報告されている<sup>11</sup>。本調査では、林内雨を直接計測することにより、林地斜面の集水枠内に供給される雨量を把握したが、遮断量と雨滴衝撃力との関係は調査対象としておらず、今後の調査において、検討する必要がある。

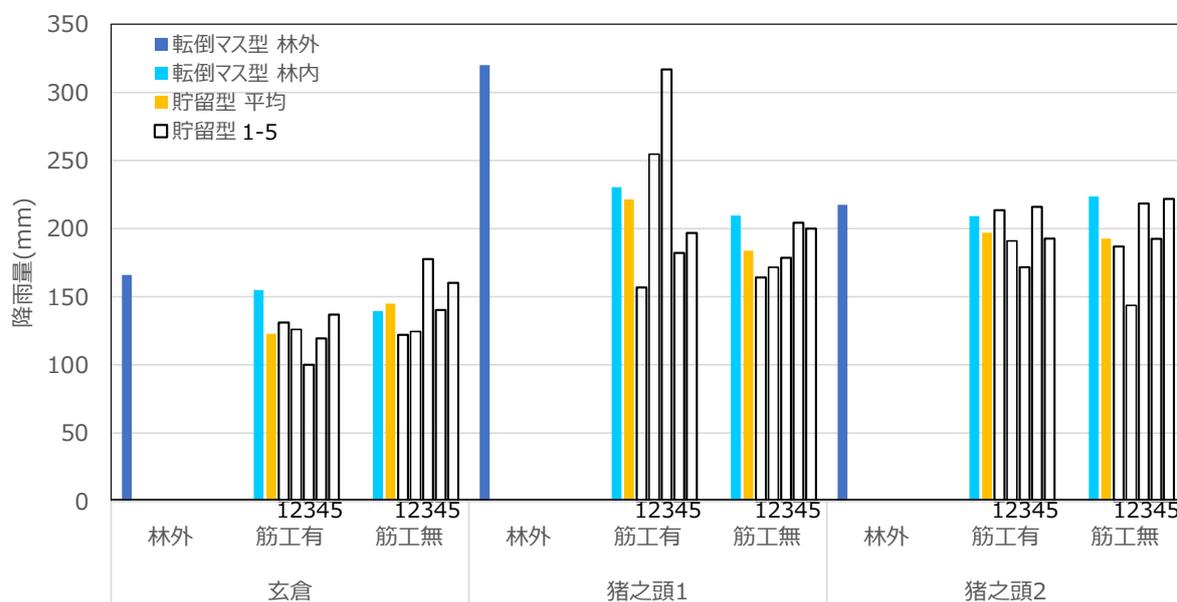


図 3.29 降雨量の観測結果

表 3.2 降雨量の観測結果

立地	月日	林外		林内																				
		転倒マス型	転倒マス型	筋工有								筋工無												
				貯留型								転倒マス型		貯留型						⑥/⑤	⑥/②			
		②	③	③/②	1	2	3	4	5	④	④/③	④/②	⑤	⑤/②	1	2	3	4	5			⑥	平均	
玄倉	合計	166.0	155.0	0.93	131	126	100	120	137	123	0.79	0.74	139.5	0.84	122	124	178	140	160	145	1.04	0.87		
	比率				0.87	0.84	0.67	0.80	0.91	0.82					0.90	0.91	1.31	1.03	1.18	1.07				
猪之頭1	合計	320.0	230.5	0.72	157	255	317	182	197	221	0.96	0.69	209.5	0.65	164	172	179	204	200	184	0.88	0.57		
	比率				0.68	1.10	1.37	0.79	0.85	0.96					0.78	0.82	0.85	0.98	0.95	0.88				
猪之頭2	合計	217.4	209.2	0.96	214	191	172	216	193	197	0.94	0.91	223.6	1.03	187	144	218	193	222	193	0.86	0.89		
	比率				1.02	0.91	0.82	1.03	0.92	0.94					0.84	0.64	0.98	0.86	0.99	0.86				

<sup>11</sup> 塚本良則(1975) 森林樹冠と雨滴侵食, 森林立地, Vol.17, No.2, 5-9.

### 3.3.4. 表面流の観測結果

#### (1) 流出率

自然降雨試験で観測された表面流量は、筋工有と筋工無毎、データ回収期間別に図 3.32 に示した。また、観測された林内降雨量と表面流量をもとに、次式により流出率も算出した。

$$\text{流出率} = \text{表面流量}^{*1} / \text{林内降雨量} \times 100$$

\*1 表面流量は、流量(ml)を集水枠の平面積(m<sup>2</sup>)で除した値を適用。

なお、自然降雨試験を実施していた際、以下2点のように注意を要する事象が発生した。

#### 事象1) 集水部の雨除の高さ調整

11月21日に回収した玄倉の集水タンクの表面流量が、降雨量に対して多く、集水部直近の雨滴跳水の混入が考えられた。そのため、11月25日に集水部の雨除の高さを15cmから5cmに変更した。一方、猪之頭1及び猪之頭2は12月8日に変更した。



雨除高さ 15cm

雨除高さを 5cm に変更

図 3.30 雨除の高さ調整

#### 事象2) 集水タンクの溢水

玄倉の11月25日と12月3日の筋工有、猪之頭1の11月24日と12月1日の筋工無、及び猪之頭2の11月24日の筋工無におけるデータ回収時、集水タンクは満水であった。玄倉の集水タンクは、水位計データから11月23日は19時40分の降雨終了時まで溢水、11月30日は4時40分までに溢水していることを確認した(集水タンクの満水位は98cmを想定)。溢水した期間は、満水位の水量で表面流量と流出率を参考値として算定した。

これらの事象を踏まえ、参考値とすべきデータについては、図 3.31 や資料集の付表 9 において、注意書きをしている(例えば、集水タンクが溢水した場合など)。雨除を下げて以降、猪之頭の1及び猪之頭2は、筋工有ともに表面流量は低減しているように見えるが、玄倉については低減しているかどうかは不明瞭であった。

参考値を除いて平均流出率を算出すると、玄倉では筋工有は0.41%、筋工無は0.18%と筋工有の方が大きい結果となった。一方、猪之頭1の平均流出率は筋工有が0.19%、筋工無が0.26%、また猪之頭2は筋工有が0.01%、筋工無が0.14%と、筋工無の方が大きい結果となった。

今回の観測は、表面流が多く発生する多雨期に実施することができず、1%に満たないほどの流出率であり、誤差の範囲という見方もできるが、今回の結果としては、以上のような傾向であった。

玄倉においては、観測期間の途中(11月16日)から集水タンクに水位計を設置し、時系列の水量を把握できていることから、水位計データに基づき、一続きの降雨期間別に表面流量と流出率の関係を資料集の付表10の算出値をもとに図 3.32 のとおり再整理した。

11月20日～21日の林内降雨18.5mmに対し、筋工有の集水タンク水位は71.6cm上昇し85.5cmとなった。11月23日の6時10分から19時40分までに30mmの林内降雨を観測しているが、満水位98.0cmまでの貯水可能な水位は12.5cmしかなく、降り始めから2時間後の8時10分には溢水が始まったと考えられ(2時間の期間雨量は2.5mm)、多くの表面流を溢流させ、本来の流出率は参考値よりも大きい値を示すと考えられる。一方、11月29日～30日の表面流は、11月29日の14時10分から11月30日の4時40分までの期間雨量44.5mmに対し、水位は21.4cmから100.5cm(水位差79.1cm)まで変化している。集水タンクの満水位は98.0cmであるため、29日の21時30分以降、30日の4時40分までの降雨量である19.5mmに相当する表面流が溢水していると考えられる。

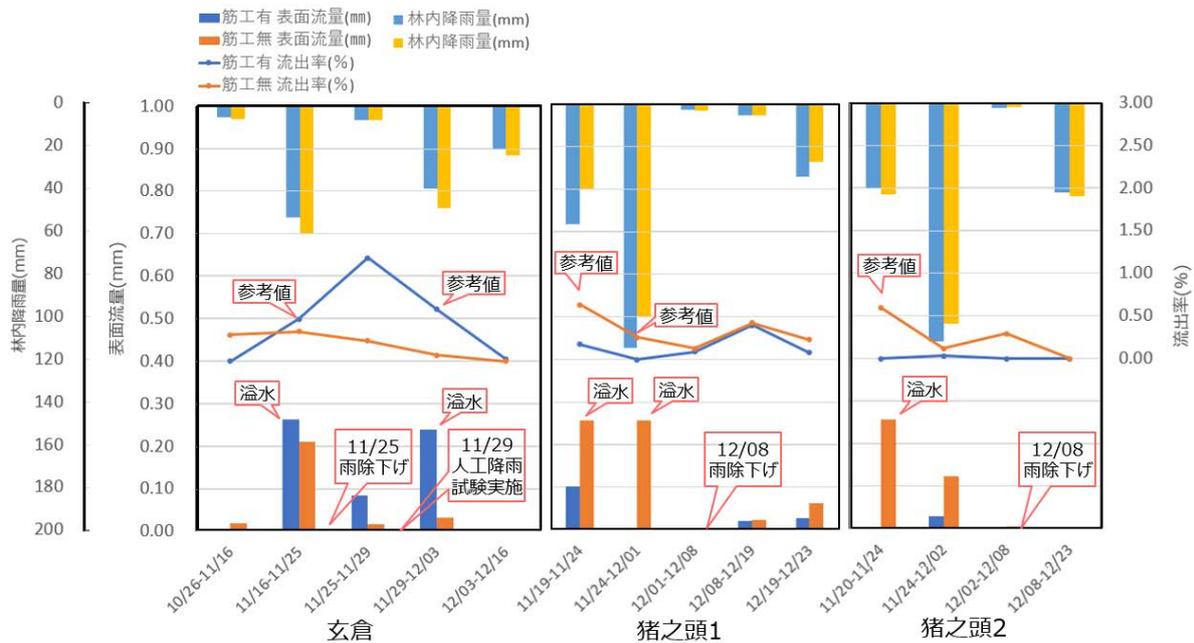


図 3.31 自然降雨と表面流量の関係(データ回収期間別)

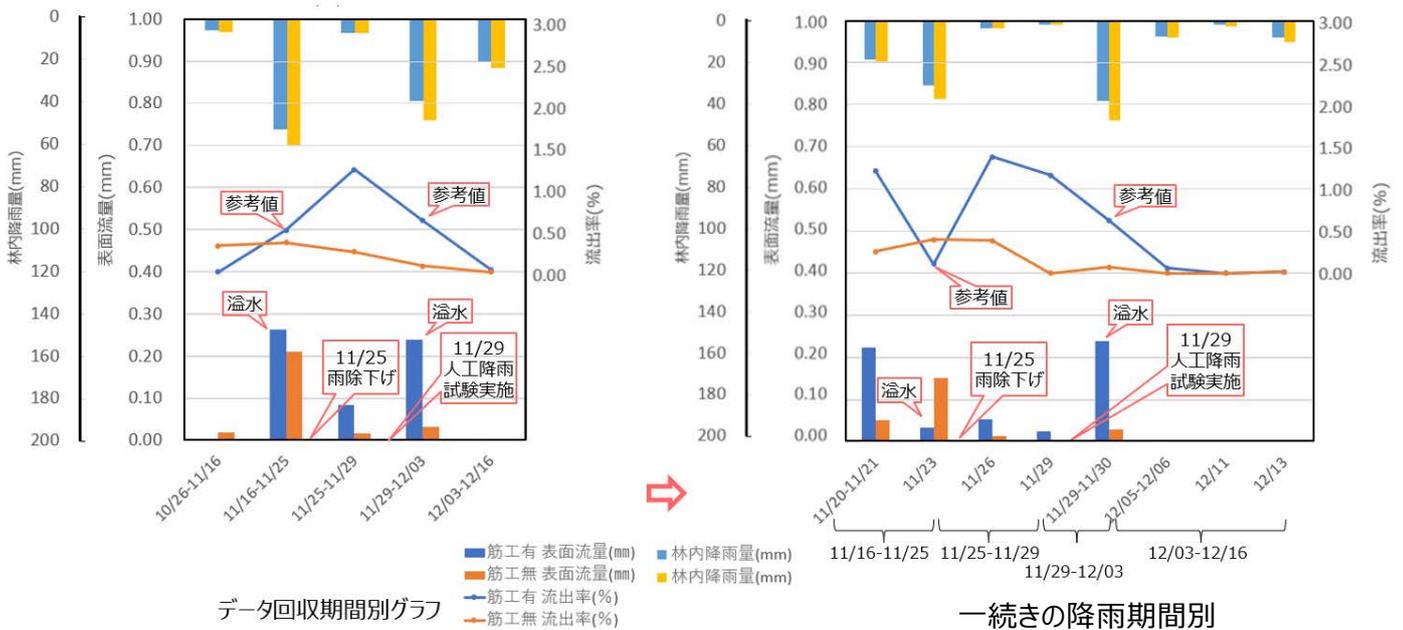


図 3.32 玄倉における水位データを活用した自然降雨と表面流量の関係

## (2) 土砂流出量

自然降雨による表面流について、その流量とともに SS 濃度を算出した結果は表 3.3 のとおりである。なお、表面流の貯水タンクが溢水した際の流量及び SS 総量は、表中データに着色(グレー)し備考欄に記載した。その際の SS 濃度等は参考値として示した。また、11月16日に回収した玄倉筋工無の SS 濃度は、『3.3.1 集水枠の設定』のとおり、表面流を捕捉する集水部の土砂止に使用した油粘土が溶出したために白濁し 862mg/ℓと大きい値を示したと考えられることから、これも参考値として示した。このために、それ以降土砂止は不溶性のエアコン配管用パテに変更した。

本調査において SS 濃度が高いのは、12月8日に回収した猪之頭2筋工無の 614mg/ℓ、12月3日に回収した玄倉筋工無の 381mg/ℓが挙げられる。なお、SS 総量は、概ね 20mg/m<sup>2</sup>以下となっている。筋工有と筋工無を比較すると、筋工有の方が高い傾向が認められるが、この原因については不明である。

表 3.3 期間降雨量と表面流の流量と SS 濃度

位置	調査期間		筋工有					筋工無					備考
	開始日	終了日	期間 雨量 (mm)	表面流			備考	期間 雨量 (mm)	表面流			備考	
				流量 (mℓ)	SS濃度 (mg/ℓ)	SS総量 (mg/m <sup>2</sup> )			流量 (mℓ)	SS濃度 (mg/ℓ)	SS総量 (mg/m <sup>2</sup> )		
玄倉	10月26日	11月16日	5.4	0	-			6.2	78	862	16.8	白濁	白濁原因は油粘土の溶出。 →エアコン配管用パテに交換。
	11月16日	11月25日	52.5	1,056	151	39.9	溢水	60.3	846	89	18.8		11/25雨除を下げる。
	11月25日	11月29日	6.9	336	60	5.0		6.9	65	-			11/29人工降雨試験日
	11月29日	12月3日	39.1	962	151	36.3	溢水	48.3	130	381	12.4		
	12月3日	12月16日	20.1	20	28	0.1		23.5	0	48	0.0		
猪之頭1	11月19日	11月24日	56.7	405	142	14.4		40.3	1,030	12	3.1	溢水	
	11月24日	12月1日	114.5	0	-			99.9	1,030	0	0.0	溢水	
	12月1日	12月8日	2.9	10	-			3.2	17	-			12/8雨除けを下げる。
	12月8日	12月19日	5.5	87	-			5.5	95	-			
	12月19日	12月25日	34.2	114	143	4.1		27.3	252	6	0.4		
猪之頭2	11月20日	11月24日	39.9	0	-			43.0	1,030	24	6.2	溢水	
	11月24日	12月2日	112.3	117	127	3.7		103.7	492	127	15.6		
	12月2日	12月8日	2.5	0	-			2.0	23	614	3.5		12/8雨除を下げる。
	12月8日	12月23日	42.1	0	-			44.0	0	-			



図 3.33 左:玄倉筋工無(11月16日) 右:猪之頭1筋工有(11月24日)

### 3.4. 人工降雨試験

玄倉及び猪之頭1の2地区の調査地において、森林土壌の浸透能を把握するための手法の一つとして、人工降雨による試験を行った。

#### 3.4.1. 調査方法

人工降雨試験における散水装置は、『現場型振動ノズル式散水装置』(図 3.34 参照。以下「散水装置」という。ただし、引用文献を除く)を使用した。

散水装置を含む人工降雨試験の機材等の構成は①送水部、②散水部、③集水枠及び集水部に区分される。①の送水部は、給水タンクや送水機器としてエンジンポンプやサクション(吸引)ホース、サクションホース端部に設置するストレーナ、耐圧送水ホース、送水量を確認する流量計や水量を調整するバルブから構成される。②の散水部は、振動ノズル式散水装置(ノズルと、ノズルを一定の振幅で揺動させる機構部とその振幅の制御パネル)とその稼働を担う電源、振幅両端部の散水を回収し、給水タンクに戻す余剰水回収部から構成される。③の集水枠及び集水部は、集水枠と発生した表面流を捕捉する集水部によって構成される。

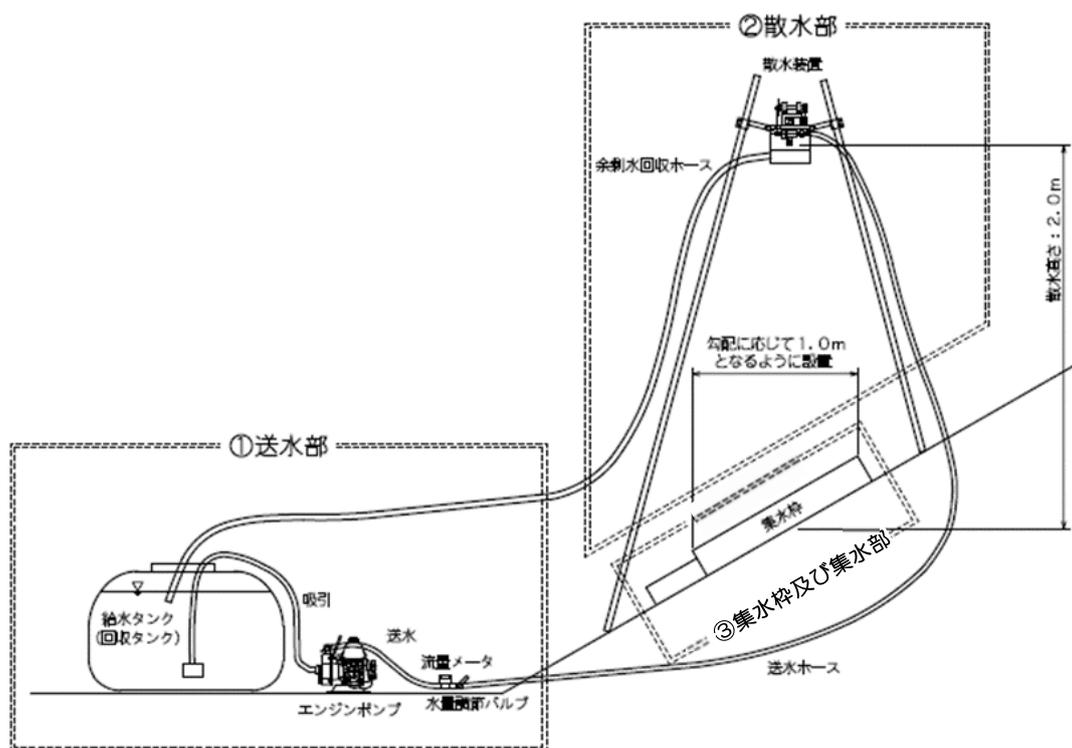


図 3.34 人工降雨装置の全体図<sup>12</sup>

計測内容は、①では給水タンクから散水装置への送水量、②では散水対象範囲への降雨強度、③では散水対象範囲からの流出量及び流出土砂量を測定した。

本年度は表 3.4 のとおり、前年度の人工降雨試験からの改善として、給水タンク内のストレーナにメッシュネットを被せ、サクションホース内への異物混入を抑止するとともに、流量計の流入側にストレーナとゲートバルブを設置し、散水ノズルの目詰まり抑止と吐出量の微調整を可能とした。また、使用するホースはすべて新品の耐圧送水ホースに交換し、ホースジョイントは加圧時に漏水しないよう、ホースバンド等で圧着した。なお③は、均質に散水可能な空間が限られるため、自然降雨における表面流

<sup>12</sup> 平成24年度山地保全調査(水源森林保全調査)報告書の図2に追記(③集水部を③集水枠及び集水部に修正)

の計測装置を使用しつつ、散水面積(集水枠内の面積)を 1.0×1.0m を標準としつつ、現地状況に合わせてサイズで対応した。

表 3.4 散水装置の構成と改善点

構造	構成	計測内容	改善点
① 給水部	給水タンク、エンジンポンプ、 サクシオンホース、ストレーナ、 耐圧送水ホース、流量計、 ゲートバルブ	送水量(L/min)	ストレーナにメッシュネットを被せる Y型ストレーナ、ゲートバルブの適用
② 散水部	ノズル、ノズル揺動機構、 振幅制御ボックス、 電源(車載バッテリー)	降雨強度(mm/h)	吐出能力の異なるノズル準備による 降雨強度の調整
③ 集水枠及び集水部	集水枠、パネル、軒樋、雨除、 メッシュシート 散水範囲は1.0×1.0mを標 準。	流出量(mL/min)、 流出土砂量(mg/L) 計測方法によって、集水部の未 端に転倒マス式量水計や貯水 タンクを設置。	エアコン用パテ(不溶性、粘着性)の 使用 表面流を水位計で計測(玄倉のみ) 自動採水装置の適用

本調査における人工降雨試験は、大まかな流れは次のとおりとした。

- (1)東京都千代田区の緑地(受託会社の敷地内)において機器調整を実施。
- (2)調査地において散水装置の稼働に必要な周辺機器を設置。
- (3)本試験予定地に隣接する箇所に散水装置を設置し、予備試験を実施。
- (4)本試験予定地に散水装置を設置し、散水量のキャリブレーションを実施。
- (5)本試験を実施。

### (1) 機器の調整

人工降雨装置は、自然降雨の雨滴衝撃力を再現するためにノズルの径や設置高を規定している。しかし、過年度調査で設定した降雨強度 200～300mm/h 以上は各地の異常気象時の降雨強度と比較して現実的でなく、試験実施の際は大量の水が必要な上に降雨時間の制約が大きい。そのため本年度調査では、ノズルの変更等により降雨強度を 100mm/h 程度に低下させ、20 分以上の降雨を発生させる方式に改良した。

まず、人工降雨装置の機器特性を把握するため、東京都千代田区の緑地において、エンジン回転数、ノズル径、振動周期を変化させて、吐出量に対し 1.0m×1.0m の空間面積に発生可能な降雨強度を確認した。同時に散水量を確認し連続的な散水試験において持続時間と必要な水量を把握した。また、表面流量の観測に使用する三角ノッチについて、流量と水位の関係を実測した。



図 3.35 千代田区の緑地における人工降雨装置の調整と三角ノッチの流量実測

## (2) 周辺装置類の設置

### 1) 給水タンク(送水部)

給水タンクは試験 1 回につき連続して 400ℓ散水できるよう準備した。林内に設置可能な重量や形状、持ち運びを考慮して図 3.36 左図に示す給水タンク(スイコー製スーパーローリータンク 200ℓ)を2個使用した。満水時に給水タンクが転倒しないよう、安定した場所へ配置した。また、給水タンクへの補給方法を現地状況に合わせて準備した。水場から直接供給できる場合は、揚程力を有するエンジンポンプ(ホンダ製 WX15TJX 等)を使用した。水場が遠い場合は、図 3.36 右図のように車両に積載した給水タンクで調査地へ運搬した。



図 3.36 給水タンクの配置と水の確保

### 2) エンジンポンプと流量計(送水部)

散水装置のノズルから一定の吐出圧をかけるために図 3.37(左図)に示すエンジンポンプ(株式会社工進製 KM-25S)を使用し、エンジン回転数により吐出圧を調整した。流量計は図 3.37(右図)に示す堀場製作所製(LW10-PTN:1.5~20ℓ/min 対応)を使用した。本年度は、流量計の流入側に KITZ 社製 Y 型ストレーナ(YK-15A)及びゲート式バルブ(FH-15A)を設置し、異物流入の抑止及び散水装置への流出量を調整し、できる限り一定量をノズルから吐出(散水)させた。なお、エンジンポンプの回転数や給水タンクの水位等により、流量は微変動するため、試験実施の際は 1 分単位でその時点の流量を記録し、微変動による流量の変化に対応した。



図 3.37 エンジンポンプと流量計(ストレーナ、ゲートバルブ付)

## (3) 人工降雨装置(散水部と集水枠及び集水部)の設置

散水装置を設置する前に、人工降雨試験用に集水枠の設置を行った。自然降雨試験の集水枠を流用する場合、図 3.38 のとおり筋工有は筋工の上流端部から山側に水平距離で 1.0m、筋工無は集水部の端部から山側に水平距離で 1.0m の位置に遮水板(畔板シート)を設置し、人工降雨試験用の集水枠とした。自然降雨試験の集水枠を流用しない場合(猪之頭 1 の Ino1-3 及び Ino1-4 に適用)、近隣のできる限り同様の地形条件を呈す位置を選定し、新たに人工降雨試験用の集水枠を設置した(設置位置は前述図 3.10 参照)。

本調査で用いた散水装置は、ノズルの高さを 2.15m の位置に設定した際に、直下の 1.0×1.0m の水平空間において均質に散水できる設計となっているため、三脚等を用いて適切な高さに設置した。また、水平方向のノズルの位置は、筋工有では筋工、筋工無では集水部より山側の集水枠を平面で見た際に中央となる位置とした。

ノズルと集水枠の位置関係は図 3.38 のとおりである。なお、本調査で用いた現場型浸透ノズル式散水装置の散布面積は、 $1.0\text{m} \times 1.0\text{m} = 1.0\text{m}^2$  を標準として使用されているものであるが、本調査では筋工との干渉を避けるように集水部を設置したことにより、散布面積が  $1.0 \sim 1.6\text{m}^2$  となっており、散水による降雨強度や浸透強度の算出において散布面積を  $1\text{m}^2$  当りに換算した。

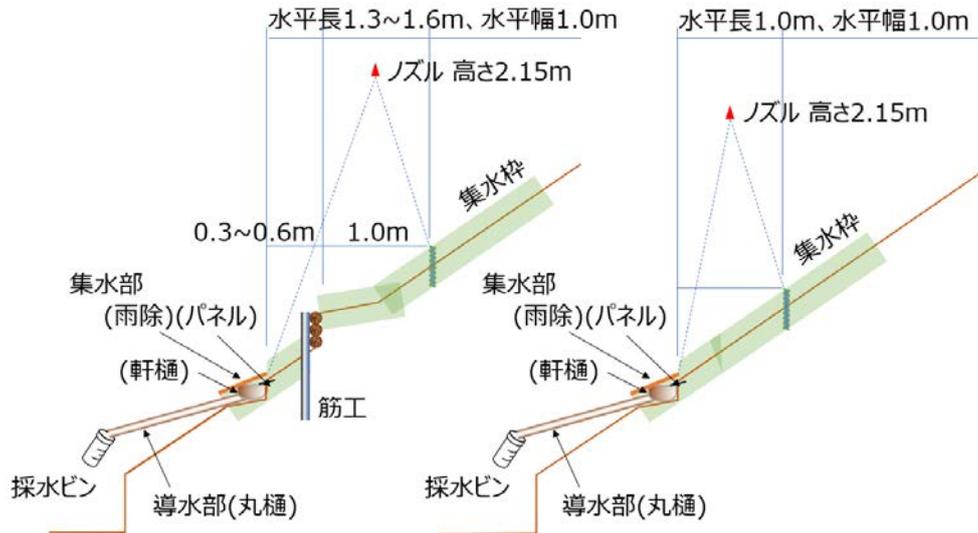


図 3.38 現場型振動ノズル式散水装置の設置位置



図 3.39 ノズル揺動用の電源や振幅制御パネルと人工降雨装置の設置

人工降雨試験では、自然降雨試験における集水タンクと同じ位置で表面流を捕捉した。下記(4)に示す予備試験の結果、表面流量が少ないと想定される場合は、導水部から直接採水ピンでサンプリングするが、多く発生すると想定される場合、図 3.41 のとおり、三角ノッチと水位計及びオートサンブラを使用して、自動的に採水できるよう計画した。



図 3.40 表面流の採水状況とオートサンブラ

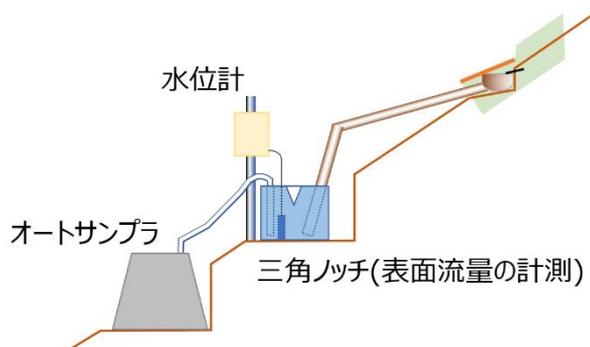


図 3.41 表面流の流出量が多い場合の対応(自動採水装置の使用)

#### (4) 予備試験

本試験を実施する集水枠隣接地において散水装置等の機材を設置し、(1)の機器調整をもとに100mm/h程度の降雨を発生させ、地表流の発生状況を確認する試験を実施した。この際、筋工背面の土砂堆積平坦部に湛水することが判明し、本試験においてはその動向を確認するように努めた。



図 3.42 猪之頭 1 の筋工有における予備試験状況(左)及び集水枠内の筋工背面の湛水(右)



図 3.43 猪之頭 1 の筋工無における予備試験状況(左)及び表面流の発生状況(右)

#### (5) 本試験前のキャリブレーション

散水装置の枠外の散水を考慮し、散水量(送水量)と集水枠内に降り注ぐ水量の関係を把握するためキャリブレーションを実施した。まず集水枠内に防水シートを設置し、集水枠内の散水量と集水部にて捕捉する表面流量が一致するように準備した。次にエンジンポンプの回転数及び流量計の流入側に設置したゲートバルブを調整し、上記(1)における調整結果や(4)の予備試験をもとに、一定の散水量となるよう調整した。この状態において、流量計の送水量と捕捉された表面流量を記録し、散水装置の送水量と降雨強度の関係式を導いた(5.3.3.人工降雨試験 付表 14～付表 19)。



図 3.44 本試験立地におけるキャリブレーション

## (6) 本試験

キャリブレーション後、防水シートを外してから散水を開始し、1分毎の表面流を 500ml 採水ビンで捕捉した。1分未満で 500ml を超える表面流が発生した場合、採水ビンの満水位までの時間を記録し、1 分当たりの表面流量に換算した。また、採水と同時に 1 分毎の採水開始時点の流量計の値を送水量として記録した。採水はできる限り 30 分以上行うこととし、30 分までは 1 分毎、30 分以降は 5 分間隔で 1 分間の採水を行った。

1 分毎に捕捉した表面流量と記録した送水量をもとに浸透強度と降雨強度を算出した。また、室内試験にて捕捉した表面流の容積及び含まれる土砂量を計測した。



図 3.45 本試験の実施 左:玄倉筋工有(Kuro\_1) 右:猪之頭1筋工無(Ino1-4)



図 3.46 本試験実施後の筋工の状況と集水部の状況

### 3.4.2. 降雨強度と浸透強度の関係

人工降雨試験の結果について、降雨強度と浸透強度の関係を以下に示す。

降雨強度は、キャリブレーションの結果得られた送水量と降雨強度の関係式に、毎分の送水量を代入して得られる降雨強度の期間平均を適用した。また、浸透強度は、毎分の表面流量を人工降雨の散布面積で除して流出高とし、毎分の降雨強度との差を浸透強度とした。

ここで、林野庁の「平成 20 年度荒廃現況調査(水土保持機能事業評価指針策定調査)報告書」では、浸透能を以下のように記載している。

『浸透能は、時間内の降水量と表面量(地表流)との差で表わされ、地形・地質や土壌の種類、森林の発達段階、階層構造、下層植生、落葉腐植層(リター層)等の状態によって異なる。降雨当初においては短時間で急激に減少するが、やがて緩慢となり、その後は一定値に近づく。この一定値を最終浸透能といい、単に浸透能という場合、多くはこの最終浸透能を指している(図 3.47 参照)。』

これらの考え方をもとに、散水開始後に流出高が安定してから散水終了するまでの期間における平均浸透強度を最終浸透能とした。

各調査地における降雨強度と浸透強度の関係は図 3.48 のとおりである(データは付表 11 から付表 16 参照)。流出高に変化がなく浸透強度が安定し、最終浸透能が認められる場合は、図に赤点線を示した。なお、12 月 23 日に実施した猪之頭1の Ino1-1 及び Ino1-2 は地表面水分の凍結が確認され

たため、その影響を考慮し参考値とした。

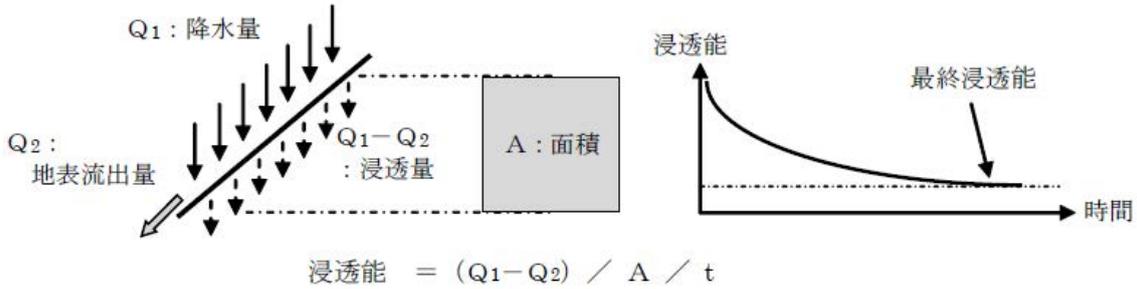


図 3.47 浸透能の算出方法と最終浸透能の概念

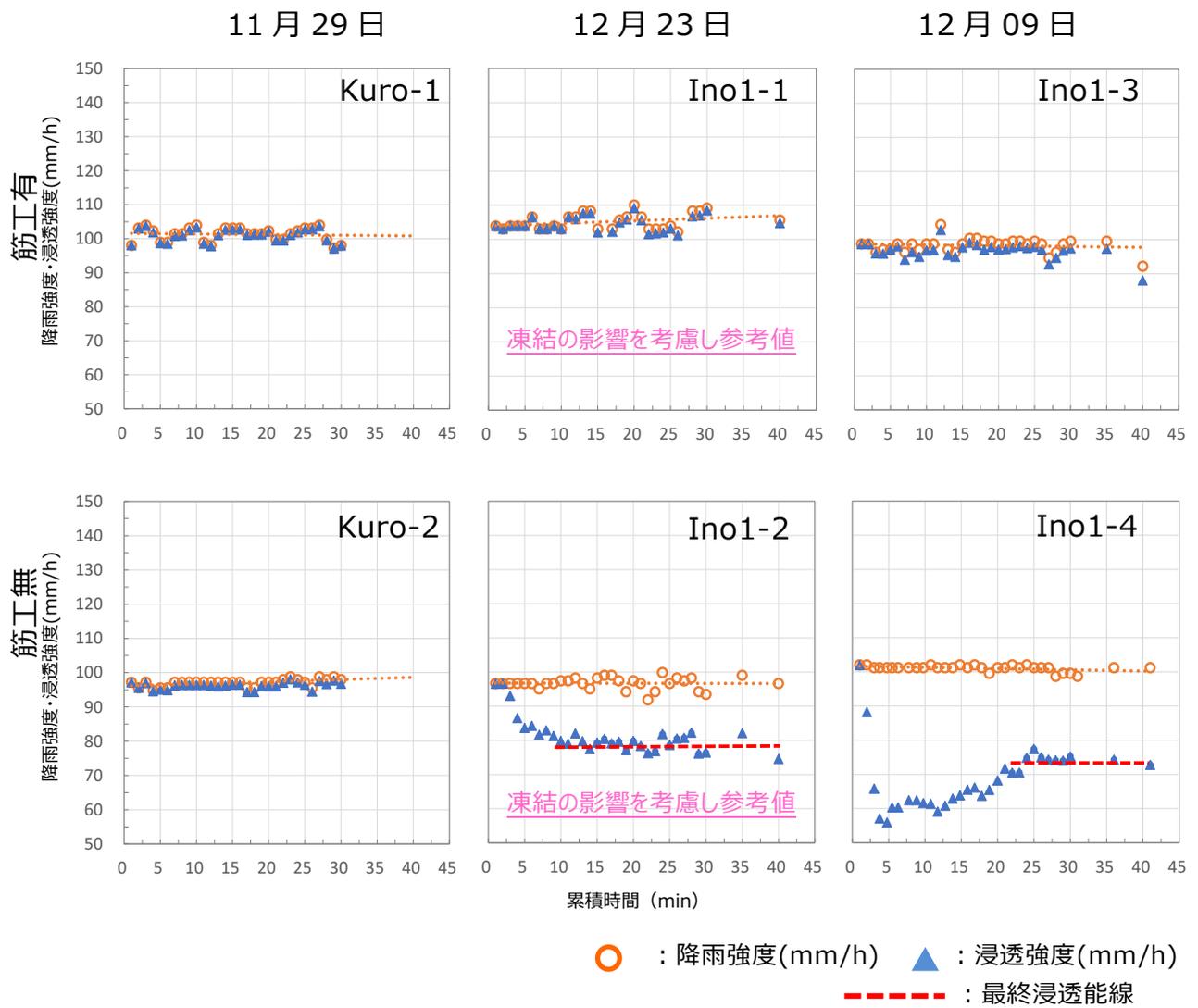


図 3.48 降雨強度と浸透強度の経時変化

## (1) 玄倉(11月29日)Kuro-1 及び Kuro-2

玄倉の人工降雨試験は11月29日に実施した。先行降雨は24時間(28日9時から24時間、林内の筋工有及び筋工無の転倒マス型雨量計の観測平均値)で3.3mm、72時間で7.3mmであった。調査期間中から午後にかけて時折小雨が降る状況であったが試験を決行した。

### 1) 筋工有(Kuro-1)

図3.49のとおり筋工有の空間において30分間、期間平均101.3mm/hの降雨強度を発生させたところ、期間平均浸透強度は101.0mm/hとなり、期間平均流出率は0.32%とほぼ全ての降雨は土壌中に浸透した。散水期間中は雨滴衝撃によるリターの移動が確認されたものの、表面流は確認されなかった。

結果として今回の100mm/h程度の降雨強度では表面流が発生せず、図3.48のとおり浸透強度との差が生じなかったため、最終浸透能を示すには至らなかった。なお、当該期間の土壌中の水分移動状況(テンシオメータによる計測)については『3.8 土壌中水分の移動状況』のとおりである。



図 3.49 散水開始4分後(左)と散水終了直後の地表面状況



図 3.50 タイムラプスカメラによる散水開始直後と30分散布後の状況



図 3.51 アクションカメラ(動画)による散水開始直後と30分散布後の状況

## 2) 筋工無(Kuro-2)

図 3.52 のとおり筋工無の空間において 30 分間、97.1mm/h の降雨強度を発生させたところ、期間平均浸透強度 96.2mm/h となり、期間平均流出率は 0.87% となった。筋工有と同様、ほぼ全ての降雨は土壌中に浸透した。散水期間中は図 3.53 及び図 3.54 のとおり雨滴衝撃によりリターの移動が確認されたものの、表面流は確認されなかった。なお、集水枠外では散水により踏査部に水みちが形成され、表面流が発生する状況をタイムラプスカメラで確認することができた。

結果として降雨強度が十分ではなく、図 3.48 のとおり浸透強度との差が生じなかったため、最終浸透能を示すことができなかった。なお、当該期間の土壌中の水分移動状況(テンシオメータによる計測)については、筋工有と同じく『3.8 土壌中水分の移動状況』のとおりである。



図 3.52 人工降雨試験状況(左)と散水終了直後の地表面状況(右)



図 3.53 タイムラプスカメラによる散水開始直後と 30 分散布後の状況



図 3.54 アクションカメラ(動画)による散水開始直後と 30 分散布後の状況

## (2) 猪之頭 1(12月9日)Ino1-3 及び Ino1-4

猪之頭 1 の人工降雨試験については、『3.2.2 猪之頭 1』のとおり、Ino1-1 及び Ino1-2 では、凍結期の調査となるため、隣接地でできる限り同様の地形条件を呈す位置に 1.0×1.0m の集水枠をもつ筋工有(Ino1-3)及び筋工無(Ino1-4)を設置し、12月9日に調査を実施した。先行降雨は 24 時間(8日9時から24時間、林内の筋工有及び筋工無の転倒マス型雨量計の観測平均値)で 0.3mm、7 日間で 3.3mm とわずかしか降雨が観測されていない状況であった。

### 1) 筋工有(Ino1-3)

図 3.55 及び図 3.56 のとおり筋工有の空間において 40 分間、98.3mm/h の降雨強度を発生させたところ、期間平均浸透強度は 97.0mm/h となり、期間平均流出率は 1.60%となった。流出量の変化をみると、流出高は期間を通じて 0~4.2mm/h と大きな変動はなく平均は 1.6mm/h となった。降雨強度に対し浸透能が十分に大きく、図 3.48 のとおり浸透強度と差が生じなかった。



図 3.55 人工降雨試験実施状況



図 3.56 散水開始前の状況(左)と散水終了直後の状況(右)

なお、筋工が設置された箇所は、施工当時の筋工背面の埋戻しにより幅 50 cm程度の平坦部が造成されており、今回散水した降雨が筋工を越流することなく筋工背面上に一時的に湛水していた。湛水していた時間は、散水開始4分後から散水終了8分後までの 44 分間で、最終的には筋工背面に浸透した。

今回の筋工有の人工降雨試験の結果、100 mm/h 程度の降雨強度では、浸透強度との差が生じず、最終浸透強度を示すには至らなかった。



図 3.57 タイムラプスカメラによる開始直前(左)と開始4分後(右)



図 3.58 タイムラプスカメラによる開始40分後(左)と終了後8分後(右)



図 3.59 アクションカメラ(動画)による開始4分後(左)と開始40分後(右)

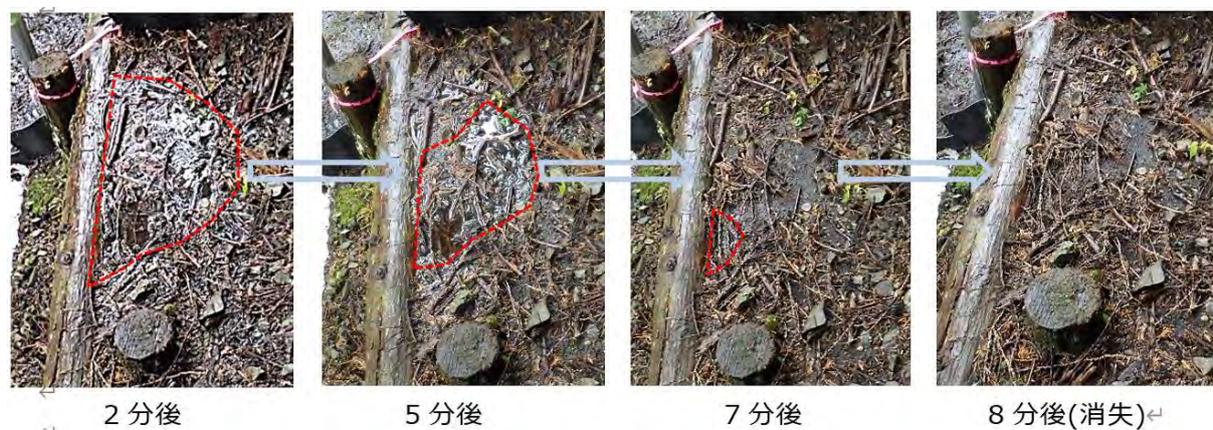


図 3.60 猪之頭1筋工有(Ino1-3) 散水終了後2分、5分、7分及び8分後の湛水状況

## 2) 筋工無(Ino1-4)

図 3.61 及び図 3.62 のとおり筋工無の空間において 40 分間、101.1mm/h の降雨強度を発生させたところ、期間平均浸透速度は 68.4mm/h となり、期間平均流出率は 32.12%となった。



図 3.61 人工降雨試験実施状況



図 3.62 散水開始前の状況(左)と散水終了直後の地表面状況(右)

流出量の変化をみると、図 3.48 のとおり最初の 1 分間の流出高は 0.1mm/h とわずかであるが、2 分から 13.8mm/h、3 分では 35.4mm/h となり、4 分の 44.1mm/h まで急激に流出高が増加した。その後 23 分までの間 45mm/h から 30mm/h と段階的に減少し、24 分以降は平均 26mm/h(24.3～28.4mm/h)に安定した。最初の 4 分間は地表面あるいは土壌の表層において、降雨が浸透しにくい条件だったと思われる。先行降雨が一週間前からほぼ観測されない状況であったため、地表面が乾燥していたと考えられる。土壌は一度乾燥すると吸湿しにくくなる性質をもつ<sup>13</sup>ため、散水の初期段階でこのような流出高変化を示したのではないかとと思われる。

24 分以降の流出高が安定した浸透強度の平均値を最終浸透強度として算出すると 74.7mm/h となり、最終浸透速度を維持している期間の流出率は 25.7%となった。

タイムラプスカメラによる散水開始前から散水開始終了後における散水空間の変化は、図 3.62 から図 3.64 のとおりである。静止画では確認が困難ではあるが、散水開始直後から雨滴衝撃により地表面の細粒リターが徐々に移動する状況を観察できた。特に、図 3.64 右側写真における赤矢印部の凹地において、その移動速度が速いことを確認した。

タイムラプスカメラと同時に撮影したアクションカメラの動画のキャプチャ映像は図 3.65 及び図 3.66 のとおりである。散水開始 2 分後に図 3.65 右図の赤丸部に地表流が確認され、5 分後には図 3.66 左図の矢印のように凹部に表面流が発生したことを確認した。この表面流は散水を終了する 40 分まで継続していることを確認した。

<sup>13</sup> 森林土壌研究会編(1982)森林土壌の調べ方とその性質, P231



図 3.63 散水開始前の状況(左)と散水 10 分後の地表面状況(右)



図 3.64 散水 30 分後の状況(左)と散水終了直後の地表面状況(右)



図 3.65 アクションカメラ(動画)による開始直後(左)と散水開始 2 分後(右)



図 3.66 アクションカメラ(動画)による開始 5 分後(左)と開始 40 分後(右)

### (3) 猪之頭 1(12月 23 日)Ino1-1 及び Ino1-2

12 月 21 日と 22 日はこの季節には比較的暖かい雨が降り、先行降雨は 24 時間(22 日 9 時から 24 時間、林内の筋工有及び筋工無の転倒マス型雨量計の観測平均値)で 7.5mm、48 時間で 30.5mm であった。23 日の朝の段階では、土壌の凍結が見られなかったため試験を実施したが、11 時頃から急激に気温が低下し、ホース内の水が凍結しノズルが閉塞した。このような状況下では土壌中の水分が凍結する可能性があった。試験により以下の結果が得られたが、土壌中の水分凍結が結果

に影響を与えた可能性があるため、参考値として取り扱うこととした。

### 1) 筋工有(Ino1-1)

図 3.67 及び図 3.68 のとおり筋工有の空間において 40 分間、105.1mm/h の降雨強度を発生させたところ、期間平均浸透強度は 104.5mm/h となり、期間平均流出率は 0.56%となった。集水枠内の筋工の背面に湛水は確認できなかったが、枠外の筋工背面の平坦部に湛水した。この湛水は、主に枠外の散水によると考えられた。なお、筋工側面からの漏水は確認されなかった。タイムラプスカメラは散水開始 10 分後にレンズに水滴が付着して適切な撮影ができなかった。また、アクションカメラは低温のため動作不良となり撮影できなかった。



図 3.67 人工降雨試験実施状況



図 3.68 散水終了後のテンシオメータ状況(左)と湛水状況(右)



図 3.69 タイムラプスカメラによる散水開始直後(左)と 10 分後(右)これ以降はレンズ水滴で判別不能

筋工有の人工降雨試験の結果、図 3.48 のとおり Ino1-3 と同様に降雨強度と浸透強度との差が生じず、最終浸透能を示すことができなかった。

## 2) 筋工無(Ino1-2)

96.7mm/h の降雨強度を発生させたところ、期間平均浸透強度は 81.6mm/h となり、期間平均流出率は 15.8%となった。

流出量の変化をみると、図 3.48 のとおり最初の 2 分間の流出高は 0.1mm/h とわずかであるが、その後 10 分まで 3.6mm/h から 17.6mm/h に段階的に増加した。先行降雨が 2 日前までに 300mm 程度あり、地表面は湿気を帯びていた。そのため、初期流出高が安定的に増加したのと考えられ、Ino1-4 における初期の流出高の増加は、前日までの乾燥の影響をうけたものと思われる。

10 分以降は平均 17.8mm/h (15.6~22.1mm/h)に安定した。10 分以降の流出高が安定した浸透強度の平均値を最終浸透強度として算出すると 79.1mm/h となり、最終浸透速度を維持している期間の流出率は 18.4%となった。



図 3.70 人工降雨試験実施状況



図 3.71 タイムラプスカメラによる散水開始直後(左)と 10 分後(右)



図 3.72 タイムラプスカメラによる散水開始 30 分後(左)と 40 分散水終了直後(右)

### 3.4.3. 最終浸透能と最大浸透能

最終浸透能は、降雨強度が大きくなるに従って高くなることが指摘されている(村井・岩崎、1975、Hawkins、1982)。また、時刻  $t$  における浸透能  $F$  は、初期浸透能  $f_0$  と最終浸透能  $f_e$  との関係で示され、それは Horton の浸透能式と呼ばれる。

Horton の浸透能式

$$F = f_e + (f_0 - f_e) \cdot \exp(-a \cdot t) \quad (1)$$

田中・時岡は、村井・岩崎・Hawkins 等の知見を発展させ、振動ノズル式散水装置を用いて、元牧草地、公園グラウンド、公園の自然状態の平地、山地斜面など、異なる土地利用において浸透能測定を行い、降雨強度と浸透強度の関係が以下の双曲線関数で近似できることを示した。降雨強度が強くなるにつれて、最終浸透能が増大するという現象の土壌物理学的な解釈を行うために実施した数値シミュレーションから、『斜面における浸透能は、地表面近傍の土層の保水性・透水性だけでなく深部の土層の保水性・透水性にも依存しており、さらに空間的な不均質性の影響も受けている。これらの複雑な場の条件を積分した結果として、浸透強度と降雨強度の関係が導かれる』としている。

降雨強度と浸透強度の関係は、下記の双曲線関数で近似できる(田中・時岡、2007)。

$$FIR = FIRmax \tanh(R / FIRmax) \quad (2)$$

$FIR$  : 実験で得られた浸透強度(mm/h)

$FIRmax$  : 降雨強度が十分高い時の最大浸透能(mm/h)

$R$  : 実験の降雨強度(mm/h)

最大浸透能 : 降雨強度が十分に高いと全ての地表面で降雨余剰(=地表流)が発生するため浸透能が一定値になり、この一定となった時の浸透能を最大浸透能と定義している。

(2)式を使って、最大浸透能( $FIRmax$ )を計算することが可能であるが、この式から直接、最大浸透能を計算することはできないため、以下のように逆算して求めた。

- a. 上式の  $FIRmax$  の初期値(想定最大浸透能  $\alpha$ )として「計測された浸透強度-10」を与え、 $\alpha$  を漸増させて浸透強度を計算。
- b. 算出した浸透強度と計測された浸透強度との誤差を計算、誤差が0に最も近い時の浸透強度を次の  $\alpha$  とする。
- c. この  $\alpha$  を初期値としてa、bと同様に浸透強度、誤差を計算して次の  $\alpha$  を求める。
- d. 以下、小数点以下の桁数を下げ繰り返し計算し、計算した誤差が設定した誤差以下となるまで逐次計算する。

本調査により最終浸透強度を判定することができた猪之頭 1-4 筋工無 100、及び猪之頭 1-2 筋工無 100(凍結の影響を考慮し参考値)において算出した最大浸透能は、表 3.5 のとおりである。また、過去に林野庁調査事業で実施された浸透能調査結果(令和3年度清川村、平成24年度京都市)も比較検討のため併せて掲載した。

なお、平成24年度の群馬県北山での調査時の降雨強度についてスギ林は200 mm/h程度と300 mm/h程度の2段階、ヒノキ林では200 mm/h程度と調整されていた。また、令和3年度の清川村の調査時の降雨強度については筋工有及び筋工無ともに200 mm/h程度となるように調整されていた。本年度は前述の『3.4.1 調査方法』のとおり、降雨強度が100 mm/hとなるように設定した。

算出されたこれらの最大浸透能を、上述の(2)式をもとに浸透能推定曲線を描き、各調査地の降雨強度の変化に対する浸透能の変化について、過年度の調査結果と比較した。

表 3.5 浸透能試験結果(平成24年度及び令和3年度の浸透能試験結果を含む)

調査年度	箇所		降雨強度 mm/hr	浸透強度 mm/hr	最大浸透能 mm/hr
R4年度試験	猪之頭	Ino1-2筋工無100	97.1	79.1	114.9
		Ino1-4筋工無100 (参考)	101.2	74.7	94.7
R3年度試験	清川村	P1筋工有※	232.9	177.4	233.0
		P2筋工無	222.8	103.1	106.3
H24年度試験 (参考)	北山1	(H24)スギ北200	162.2	145.4	272.8
		(H24)スギ南200	166.3	151.8	308.2
		(H24)ヒノキ	182.3	117.5	134.0
		(H24)スギ北300	244.9	208.4	331.7
	北山2	(H24)スギ東200	162.0	148.5	307.3
		(H24)スギ西200	159.6	150.9	381.5
		(H24)ヒノキ	157.4	34.0	34.1
		(H24)スギ東300	249.4	229.1	479.7
(H24)スギ西300	241.7	227.6	557.3		

R3年度のP1筋工有の集水部は筋工背面の堆積端部に設置している。

### (1) 猪之頭 1(12月9日実施、Ino1-4)

12月9日に試験を実施した猪之頭1の筋工無(Ino1-4)では、最終浸透能が74.7mm/hとなり、最大浸透能は94.7mm/hと算出された。この値は、過去の調査で類似するものはみられなかった。参考として過年度調査結果との比較のため作成した、降雨強度と浸透強度の関係及び浸透能推定曲線は図3.73のとおりである。降雨強度と浸透能強度の関係をみると、過年度の調査と比較して低い値であった。また、箇所別浸透能推定曲線は、令和3年度清川村P2無、及び平成24年度北山1ヒノキと同様となっている。

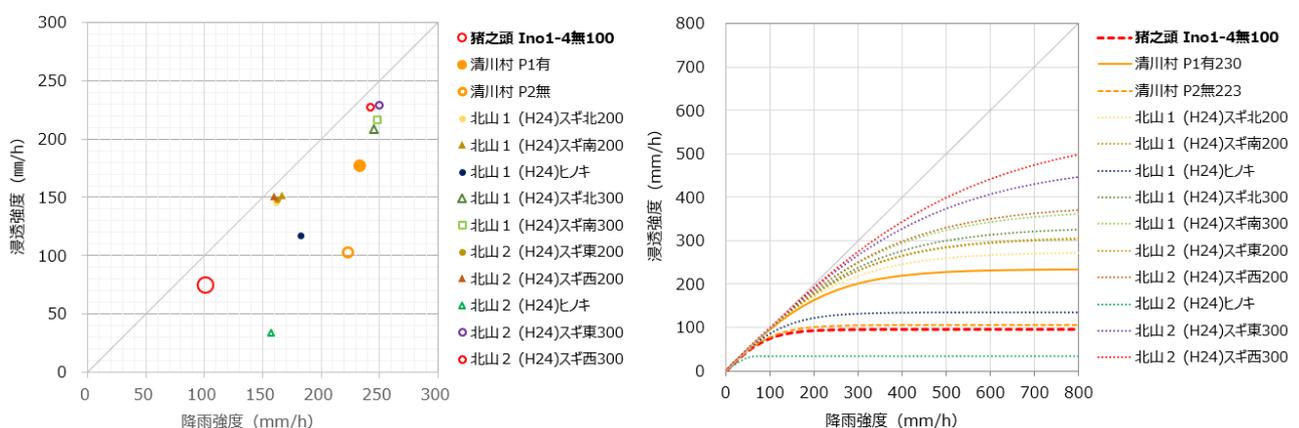


図 3.73 降雨強度と浸透強度及び箇所別浸透能推定曲線(猪之頭1、Ino1-4)

### (2) 猪之頭 1(12月23日実施、Ino1-2)

凍結の影響が考慮されるため12月23日に試験実施した猪之頭1-2について参考値として示す。筋工無(Ino1-2)では、最終浸透速度が79.1mm/h、最大浸透能は114.9mm/hと算出された。この値はIno1-4と同様、過去の調査で類似するものはみられなかった。参考として過年度調査結果との

比較のため作成した、降雨強度と浸透強度の関係及び浸透能推定曲線は図 3.74 のとおりである。降雨強度と浸透能強度の関係をみると、過年度の調査と比較しても低い値であった。また、箇所別浸透能推定曲線は、令和3年度清川村 P2 無、及び平成24年度北山1ヒノキと同様となっている。

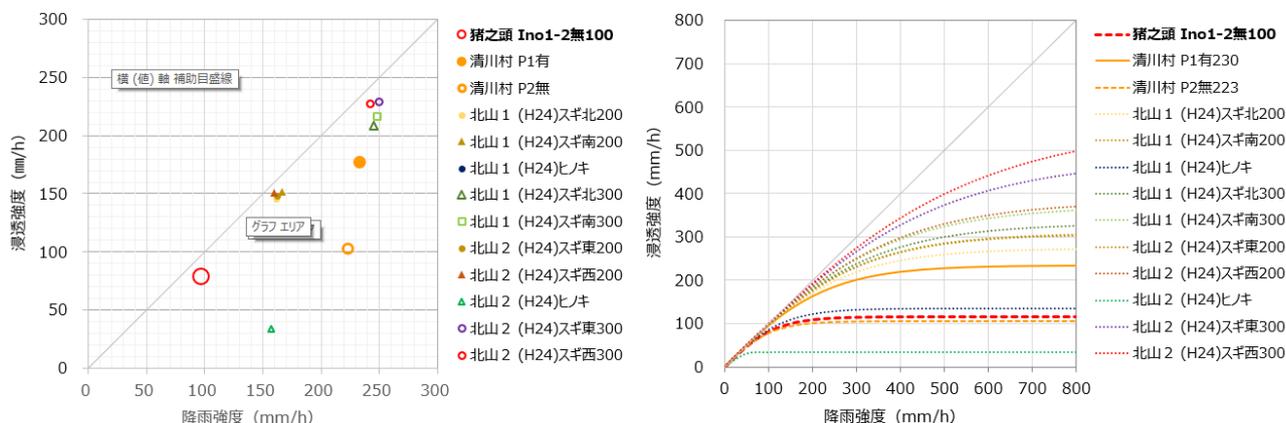


図 3.74 降雨強度と浸透強度及び箇所別浸透能推定曲線(猪之頭 1、Ino1-2)

### 3.4.4. 最終浸透能とリター乾重の関係

林野庁が平成20年度から24年度までに実施した調査において、最終浸透能と各因子との関係を検討した結果、最終浸透能は、ヒノキ林ではA層厚、下層植生乾重量、リター乾重量と相関があり、特に下層植生乾重量との相関が極めて高いことが示された。また、他機関による調査(加藤ら, 2008、平岡ら, 2010)においても、最終浸透能は、下層植生乾重量やリター乾重量と相関が高いという結果が得られている。このことから、最終浸透能に対しては、A層厚、下層植生乾重量、リター乾重量が特に寄与度の高い因子であることが伺えた。

そこで、前年度及び今年度の調査で得られたリター乾重量(3.7.1にて後述)と最終浸透能の関係を、加藤ら(図9)のグラフ(降雨強度180 mm/h)上にプロットしてみると図3.75のとおり、リター乾重量の多い集水枠の結果が、少ない乾重量の集水枠よりも高い浸透能を保持していることが示され、概ね既往の研究結果に沿う形となった。

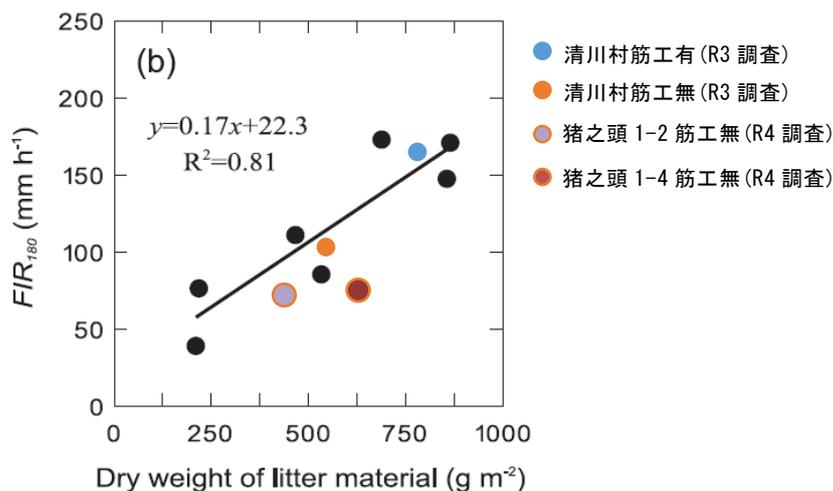


図 3.75 リター乾重量と最終浸透能の関係

### 3.4.5. 表面流発生に伴う流量と発生土砂量

森林土壌は一般に高い浸透能を有するとされ、計測された飽和透水係数も高い値を示す。そのため、森林斜面において表面流は発生しないと考えられ、過去における表面流観測の事例はわずかであった。一方、近年の研究において過密で下層植生の失われたヒノキ林では、浸透能を上回る降雨時に表面流が発生することが報告されており、林床被覆率の違いが表面流発生に影響することが示されている。過密で林床被覆の乏しい森林においては、浸透能を評価するための表面流の流量計測とともに、それに伴い発生する土砂量の評価も重要であるため、土砂量の計測を実施した。

#### (1) 測定方法

人工降雨による調査時において、集水枠から流出する土砂量を評価するため、SS(Suspended Solids:浮遊土砂)の測定を行った。SSとは、浮遊土砂に相当する水中に懸濁している不溶解性物質のことで、2mmのフルイを通過し、1μmのろ過材上に残留する物質のことをいう。人工降雨の発生中に集水枠下部で捕捉した表面流を1μmメッシュのろ過材でろ過し、後日、105℃に設定した恒温乾燥機で試料中の水分を蒸発させた残渣の乾重を計測した。計測結果は、流出する1分毎の表面流10当たりのSSの濃度(mg/l)として算出した。このSS濃度と1分当たりの表面流量の積が、1分当たりの表面流に含まれるSS流出量(g/min)となる。

#### (2) 結果

3地区における筋工の有無別の表面流量、SS濃度ならびにSS流出量の平均値は表3.6のとおりである。また、当該表のもととなる時系列の実測データは付表17から付表19のとおりである。試験開始から30分間の表面流量及びSS流出量については、各試験地の散水面積をもとに1m<sup>2</sup>当たり換算した数値を示した。なお、12月23日に人工降雨試験を実施した猪之頭1のIno1-1及びIno1-2は、地面の凍結によると思われる影響が見られたため、その影響を考慮し参考値とした。

表 3.6 3地区の筋工の有無別表面流及びSSにおける平均値と30分流量

地区	区分	散水面積(m <sup>2</sup> )	表面流(1m <sup>2</sup> 当たり)		SS(1m <sup>2</sup> 当たり)	
			平均(ml/min)	30分流量(ml/30min)	濃度平均(mg/l・min)	30分流出量(g/30min)
玄倉	筋工有(Kuro-1)	1.6	5.3	160.0	-	-
	筋工無(Kuro-2)	1.2	13.8	412.9	12.8	0.0089
	有/無の比率(%)		38.6	38.7	-	-
猪之頭1	筋工有(Ino1-1)	1.3	8.9	268.2	21.4	0.0109
	筋工無(Ino1-2)	1.3	252.2	7,565.2	97.5	0.9958
	有/無の比率(%)		3.5	3.5	21.9	1.1
	筋工有(Ino1-3)	1.4	24.3	728.2	101.5	0.1288
	筋工無(Ino1-4)	1.0	546.5	16,396.2	670.9	11.9766
	有/無の比率(%)		4.4	4.4	15.1	1.1

Ino1,2は12/23凍結の影響を考慮し参考値

表面流量について、最も多いのは猪之頭のIno1-4(筋工無)で30分間の流量は16,396.2mlを計測し、平均は546.5ml/minとなった。また、最も少ないのは玄倉のKuro-1(筋工有)で30分間の流量は160.0mlを計測し、平均は5.3ml/minとなった。

猪之頭1のIno1-3及び4の表面流量について、筋工無が最も多かったが、筋工有は筋工無と比較して4.4%となった。SS濃度は15.1%、SS流出量は1.1%と、筋工によって土砂流出が顕著に

抑止されていた。参考値の Ino1-1 及び 2 も同様の傾向で、筋工有は筋工無と比較して、流量は 3.5%、SS 濃度は 21.9%、SS 流出量は 1.1%となった。玄倉の表面流量は、猪之頭と比較して筋工有及び筋工無ともに少ないものの、筋工有は筋工無と比較して 38.6%と半分以下の流量であった。なお、筋工有の流量が少ないため、筋工有無の SS に関する比較はできなかった。

次に、表面流量と SS 流出量の経時変化をグラフに示すと図 3.76 及び図 3.77 のとおりである。猪之頭 1 の Ino1-4(筋工無)は、表面流量が多く、試験開始後5分まで急激に増加し、その後緩やかに減少した。また、SS 流出量は試験開始後に急激に増大し、開始 3 分後にピークを迎え、その後増減を繰り返しながら減少する傾向であった。一方、Ino1-3(筋工有)は、30 分の試験期間を通じ、表面流量は 100ml/min 以下で顕著な変動を示していない。

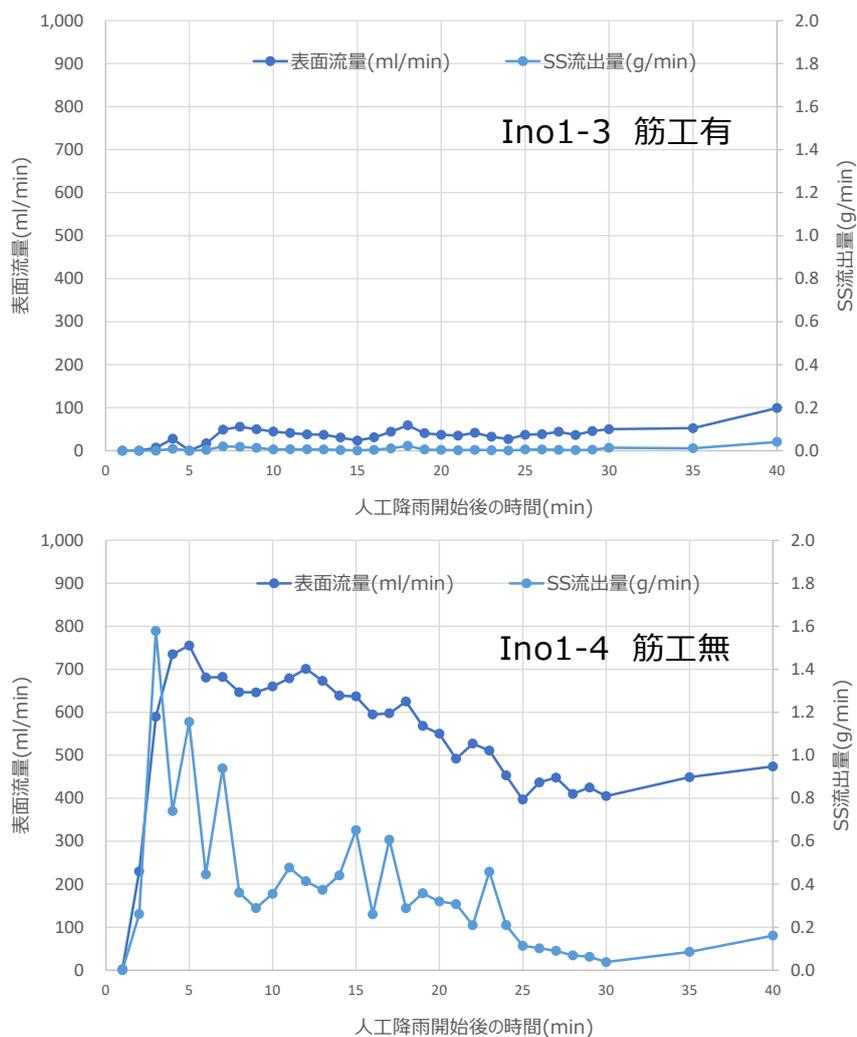


図 3.76 SS と流出量の経時変化(上:Ino1-3、下:Ino1-4)

参考値として猪之頭 1 の Ino1-1(筋工有)及び Ino1-2(筋工無)の経時変化グラフをみると、Ino1-2(筋工無)は、試験開始とともに表面流量が増加し、開始 10 分後頃から 400ml/min 付近で一定の流量となっている。それに対し SS の流出量は、0.1g/min 以下となっており、表面流量の変動に連動していない。一方、Ino1-1(筋工有)については、表面流量と SS 流出量ともにわずかであった。

筋工無の Ino1-2 と Ino1-4 の SS 流出量の違いについて、Ino1-4 は人工降雨試験の直前に枠を設置し、枠内の地表面に不安定な土砂が存在していた。一方 Ino1-2 は、枠設定後に自然降雨試験を実施しており、人工降雨試験を適用した地表面に不安定土砂がなかった。この要因が SS 流出量の違いとして示されたと考えられる。なお、玄倉は筋工有及び筋工無ともに試験期間を通じて表面流量、SS 流出量もわずかであったため省略した。

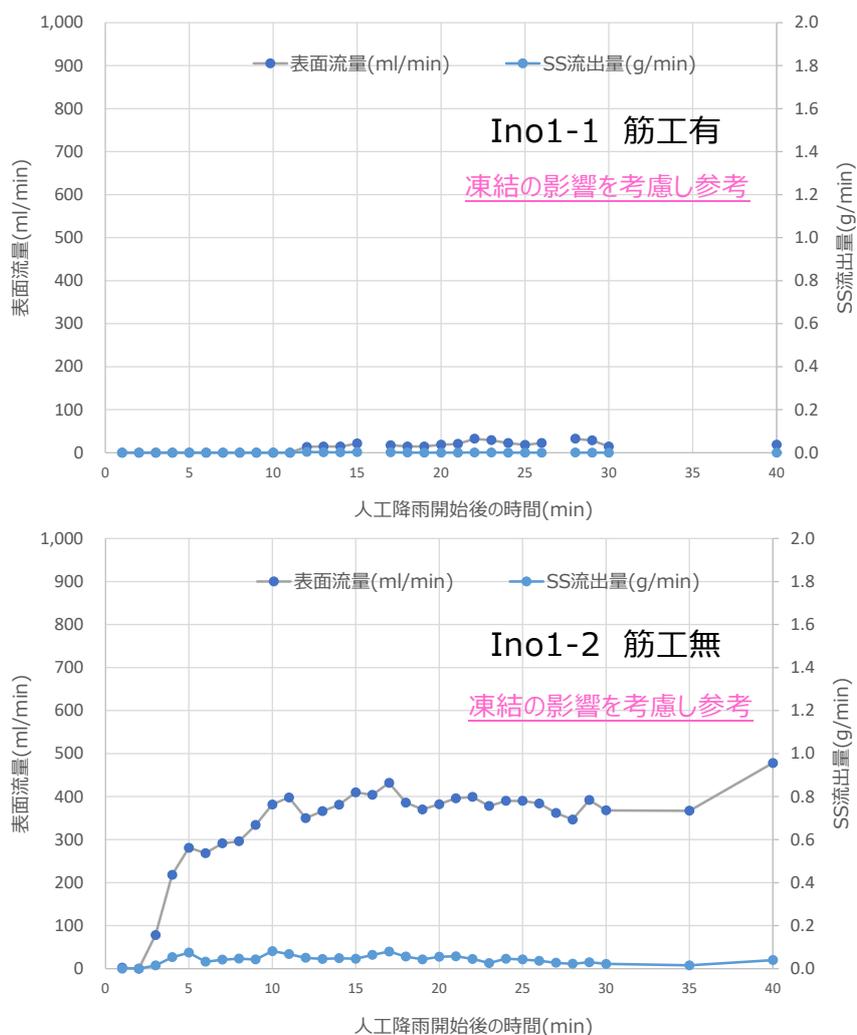


図 3.77 SS と流出量の経時変化(上:Ino1-1、下:Ino1-2)

### (3) SS 中の有機物量(参考)

3 地区において取得した SS について、その中にどの程度有機物を含んでいるかを確認するために強熱減量試験(VSS)を実施した。ろ過した残渣を、ろ紙とともに 600℃のマッフル炉に 30 分程度燃焼し、有機物を消失させその重量差分をもとに無機物と有機物に区分した。猪之頭 1 における Ino1-4(筋工無)の時系列グラフ及び Ino1-2(筋工無)の時系列グラフ(参考値)は図 3.78 のとおりである。また、当該表のもととなる時系列の実測データは付表 17 から付表 19 のとおりである。

Ino1-4(筋工無)について、人工降雨試験開始後 3 分で急激な SS 流出量(1.5783g/min)を確認したが、その際の有機物率は 67.7%であった。その後 SS 流出量は漸減するが、有機物率は 36.8～85.4%の範囲で変化し期間平均は 63.3%であった。参考として Ino1-2(筋工無)の有機物率は 52.8～95.2%で期間平均は 58.1%であった。SS 流出量のうち概ね 6 割が有機物由来であることが明らかとなった。なお、玄倉の筋工有と筋工無及び猪之頭 1 の筋工有の 2 箇所(Ino1-1 及び Ino1-3)は、SS の流出量が少なく、有機物と無機物の比率に関する傾向は不明であった。

猪之頭 1 の表層土壌は黒ボクに相当し、有機物を多く含む。土壌中の有機物の分布状況を把握するため、参考としてリターに付着していた粒子、地表面(0～5cm)、及び土中(深さ 10cm 以下の黒ボク層)の有機物率について、SS と同様強熱減量試験を適用した。試験に適用した試料は、リターの計測や、土壌サンプリング試験の際に取得した試料を利用した。ふるい分けして 250 μm メッシュを透過し 106 μm メッシュに捕捉された残渣と、106 μm を透過した細粒物質に区分して実施した。

結果は図 3.79 のとおり、リター付着、地表面、土中の順で有機物率が低くなっている。また、106

$\mu\text{m}$  メッシュに捕捉された残渣の方は、細粒物質より有機物率が高い傾向となった。それぞれの条件で比率は異なるものの概ね有機物率は 40~65%の範囲となっていた。このことから、SSが人工降雨によって移動する際、有機物率が 60%を超えると、地表面のリター由来の有機物が主に流出しているのではないかと考えられた。

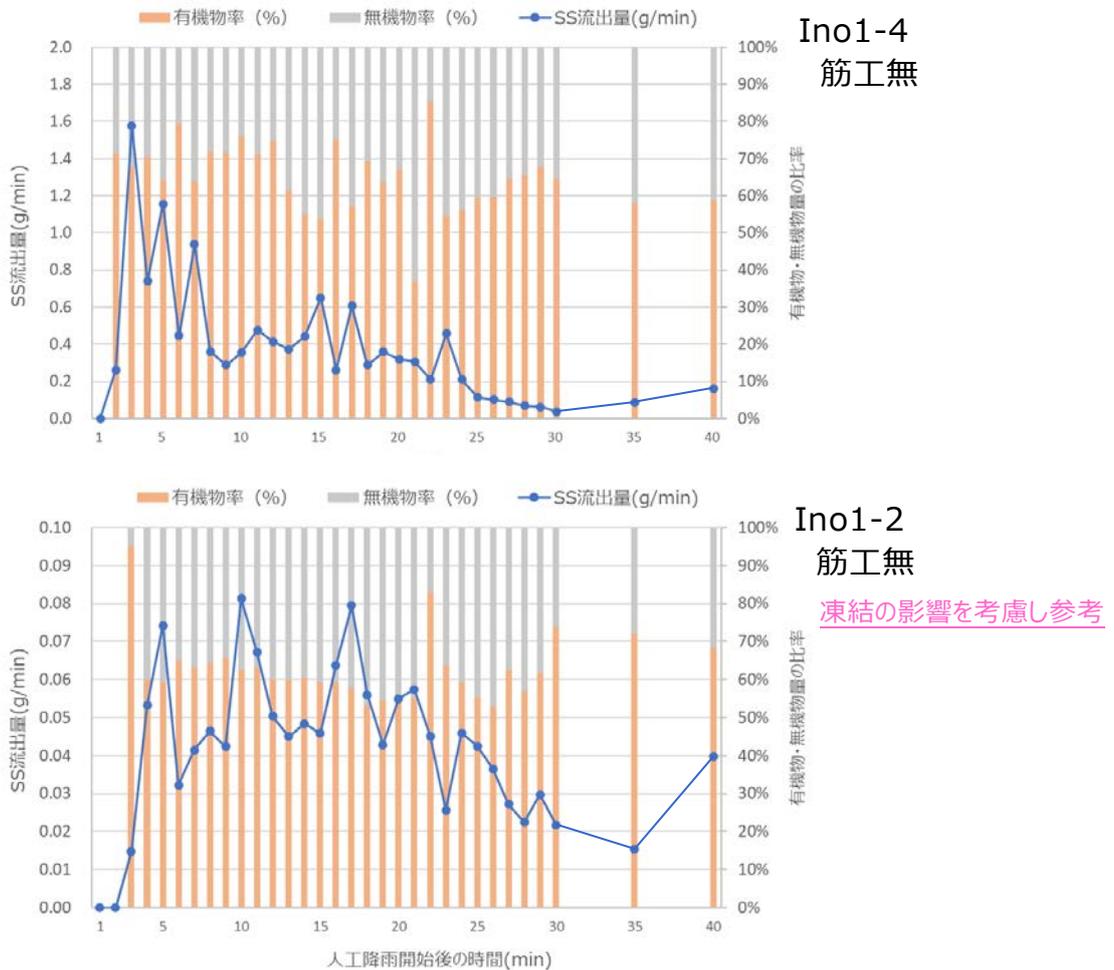


図 3.78 SS 流出量と SS 中の有機物と無機物の比率変化(上:Ino1-4、下:Ino1-2(参考値))

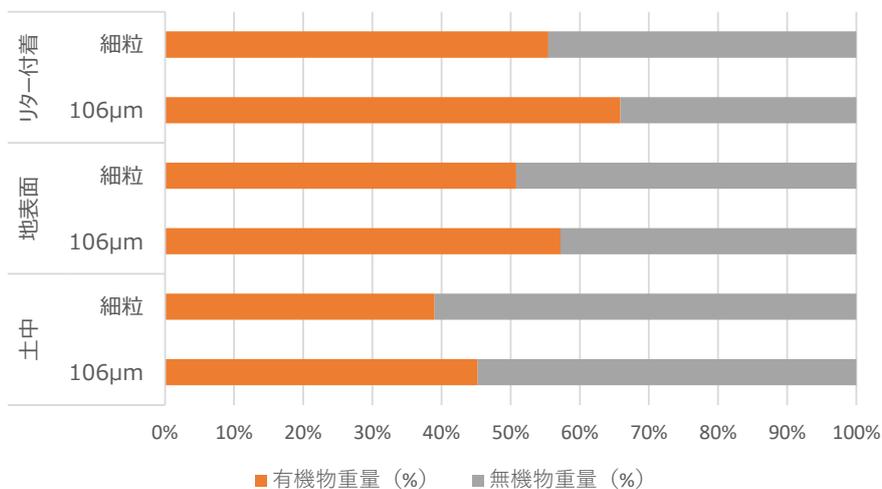


図 3.79 土壌、地表面及びリターに付着していた土壌粒子内の有機物と無機物の比率

### 3.4.6. 表面流量と流出土砂濃度の関係

既往の研究により、河川における浮遊土砂の出現傾向を知るため、土砂濃度 C と河川流量 Q との関係が検討され、その間には正の相関があることが知られており、 $C=a Q^b$  (a, b は定数)で表される。しかしながら、この関係には非常にばらつきが大きく、その一因として両者の間のヒステリシスが注目されている。

※ヒステリシス：土砂濃度(C)と河川流量(Q)の間にみられる履歴現象のことであり、具体的には C と Q のピークの関係が、①C のピークが Q のピークより早く来る場合、②Q のピークが C のピークより早く来る場合、③ C と Q のピークが同時に来る場合の3パターンに分けられ、2者間のピークのずれにより非常にばらつく現象のこと。

Williams<sup>14</sup>によれば、河川でみられる C-Q 間のヒステリシスの原因として、流域内の降雨状況と土砂供給源の2つがあげられている。さらに Kurashige<sup>15</sup>は、小流域においてもヒステリシスが存在し、浮遊土砂供給メカニズム自身がヒステリシスの原因であるとして供給源の推定を試みており、ヒステリシスの分析によって浮遊土砂発生メカニズム解明を試みている。

本調査では、人工降雨試験により発生、捕捉した表面流について、サンプルを取得した時間毎に SS 量を計測したが、1 リットル当たりの SS 量である浮遊土砂濃度(mg/l)に換算して算出した SS 濃度が上述の土砂濃度 C に相当することから、C-Q グラフに相当するものとして、横軸に流出量、縦軸に SS 濃度を目盛、経過時間毎の流出量と SS 濃度の値をプロットし作成した SS-Q グラフは図 3.80 のとおりである。

降雨強度 100 mm/h の人工降雨において、玄倉では筋工有及び筋工無ともに明瞭な流出量は計測されなかった。一方、猪之頭の2箇所では筋工無で顕著な流出量が計測され、その流出に伴う SS 濃度も観測された。特に、Ino1-4 筋工無においては、初期の流出量の増加時に急激に SS 濃度も増加しており既存の主な堆積土砂が濁水となって流出したものと考えられ、グラフの線形は C-Q 間のヒステリシスによる時計回りの形態を示した。これに対し Ino1-3 筋工有の場合は、流出量及び SS 濃度ともに Ino1-4 に比較して小さな値に留まっており明瞭なループを示しておらず、筋工の存在が流出量の低減と SS 濃度の抑制に効果を発揮したと考えられる。

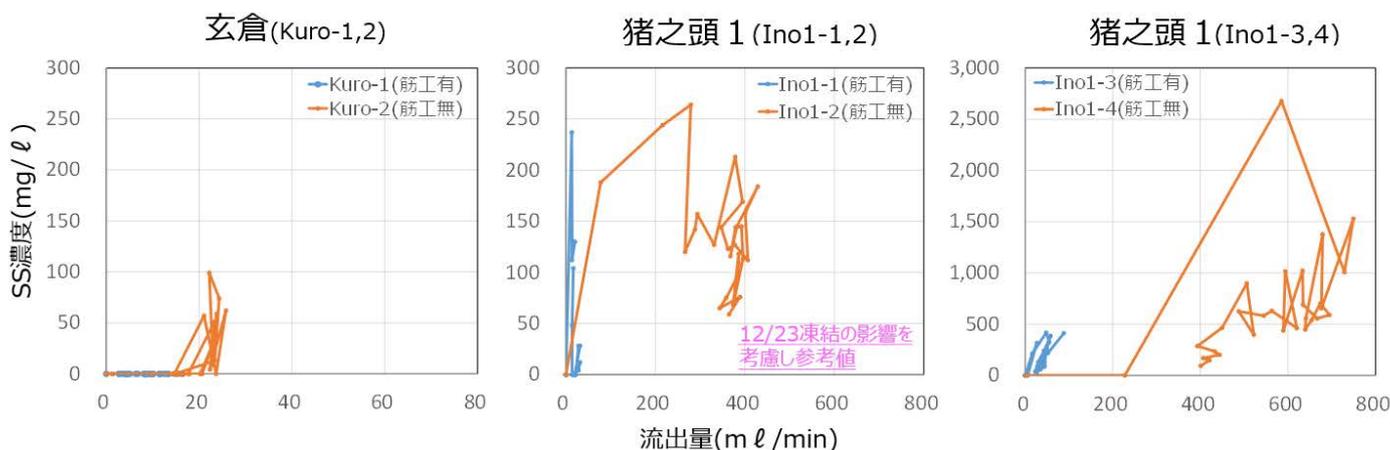


図 3.80 SS-Q(SS 濃度と流出量の関係)グラフ

<sup>14</sup> Williams, G. P. (1989) Sediment concentration versus water discharge during single hydraulic event in rivers, Journal of Hydrology, 111, 89-106.

<sup>15</sup> Kurashige, y. (1994) Mechanism of suspended sediment supply to headwater rivers, Transactions,

## 3.5. 冠水型浸透能試験

### 3.5.1. 調査方法

自然降雨及び人工降雨による浸透能試験は観測に時間を要し、機材の準備に労力を要するため、より簡易に浸透能を計測することを目的として単管式冠水型浸透計による試験を実施した。

従来の冠水型浸透計の代表例として、マスグレーブ円筒型浸透計と単管式浸透計がある<sup>16</sup>。マスグレーブ円筒型浸透計は、内径 20～30cm、高さ 30～40cm の金属円筒を、地表から B 層に達する程度まで差し込み、円筒内に常に水膜が張られるように給水続け、給水シリンダーの減水量を一定時間間隔で読み取り、浸透能とする方法である。一方、単管式浸透計は、内径 10～30cm の円筒管を土壤に 5～10cm 挿入し、円筒管内に一定水位を保つように上部のタンクから給水し、減水量を一定時間間隔で計測することによって、浸透能を求める方法である。

本調査においては、できる限り簡易な方法をもって筋工有と筋工無の浸透能の違いを確認することを目的としているため、より簡易な装置の適用や方法を検討した。

図 3.81 のとおり、直径 15cm、長さ 50cm、厚さ 2mm の亜鉛性スパイラルダクトの下端は、調査地の斜面傾斜を考慮して斜めにカットし、側面には水位計測用の窓を開け、簡易冠水型浸透計を作成した。

本装置を筋工有と筋工無の斜面に設置し、一定量を注水し、その水位低下量と減水時間を計測し、浸透能を求めることとした。従来の方法は水頭圧力が 0 もしくは一定水位により等圧であるのに対し、本試験では変水位であるため、水頭圧力が変化することとなる。



図 3.81 簡易冠水型浸透計

計測手順は次のとおりである。

最初に土壤の表層や土層をできる限り攪乱しないように円筒管を地表に置き、剪定鋏や小型スコップで円筒管の周囲の小枝や細根を切断した。次に、円筒管の外周に沿って、ナイフや包丁を活用して土壤に切り込みを入れ、円筒管内部の土壤を攪乱させないよう周辺部を掘削した。

円筒管の上部に板を載せて徐々に荷重を加え、極力回転させず鉛直方向へ 5～10cm 程度挿入して埋設した。円筒管が地中内の石礫等に当たるなどして十分な深さまで挿入できない場合、場所を変え同じ作業を繰り返した(図 3.82 参照)。



図 3.82 簡易冠水型浸透能試験 左:円筒の設置 右:円筒の埋設

<sup>16</sup> 恩田裕一・奥西一夫・飯田智之・辻村真貴編(1996)水文地形学-山地の水循環と地形変化の相互作用-,P25-26

設置場所は、各調査地に設定した1.0×4.0mの集水枠内とし、枠内の3箇所において繰り返した。繰り返し試験の影響を避けるため、筋工無では水平距離で30cm程度離隔し、できる限り地上高の低い位置から開始するように努めた。また、筋工有は、筋工の丸太から10cm以上離隔し、筋工によって土砂が堆積している場所にて実施した(図3.83左参照)。

埋設後、円筒管を挿入する際に乱れた円筒管の外周と内周沿いの土砂を整え、漏水しないよう指等で軽く圧密した。最後に、円筒管の内径とほぼ同径のキッチンシンクの排水溝に設置するゴム蓋を逆さにして円筒管内部の地表面に押し込み、注水時の地表面の攪乱を極力抑えた。また、ゴム蓋は、冠水した際、地表面のリターができる限り水面に浮上しないようにする役割も兼ねた(図3.83右参照)。



図 3.83 簡易冠水型浸透能試験 左:筋工有における配置 右:円筒内のゴム蓋の設置

水位の測定は、円筒管内のゴム蓋の上端部を水位0とし、1回当たり2ℓの水を注水した。直径15cmの円筒であるため、注水直後の浸透が無いと仮定すると、水位は11cm上昇する。

測定は、注水と記録の2名で行い、野帳には水の注入開始時間、2ℓの注入完了時間とその際の水位、浸透後水位0になった時間を記録した。測定終了は、注水10回以上、あるいは測定時間の合計が、浸透速度に応じて1時間とし、それまで繰り返し行った。水位が0になると次の測定のためにすぐに注水を開始するが、注水容器が少ない場合は2ℓを準備するのに時間を要す場合があり、予め5回分程度は2ℓの容器に小分けして準備した。

浸透速度(cm/sec)は、注水完了時の水位を、注水完了から水位0になるまでに要した時間で除すことで求めた。注水速度(cm/sec)は、注水完了時の水位を、注水に要した時間で除すことで求めた。



図 3.84 冠水型浸透能試験の方法 左:注水容器による注水 右:水減量と浸透時間の計測

### 3.5.2. 結果

調査地別の浸透速度の結果は資料集の付図 35 から付図 40 のとおりである。また、それらの結果を調査地別にまとめると図 3.85 の左図のとおりである。なお、浸透速度の横軸について、猪之頭 1 はその他 2 地区の倍のスケールとなっている。また、各集水枠で測定した最終値を便宜上浸透速度とし、各地区内の 3 箇所での浸透速度の平均を算出すると表 3.7 のとおりである。

玄倉では筋工有の浸透速度(0.14cm/sec)は筋工無(0.06cm/sec)と比較して 2 倍以上速かった。猪之頭 2 についても、浸透速度は玄倉とほぼ同じ傾向を示し、筋工有(0.07cm/sec)の方が筋工無(0.03cm/sec)よりも 2 倍以上速かった。一方、猪之頭 1 は、筋工有の浸透速度 0.02cm/sec に対し、筋工無は 0.09cm/sec と、筋工有の方は 4 倍以上浸透速度が遅く、玄倉及び猪之頭 1 と筋工の有無による傾向は逆の結果となった。なお、筋工有の浸透速度は、3 箇所の繰り返し試験でばらつきが生じた。

表 3.7 3 地区の浸透速度(3 箇所繰り返し試験の最終値の平均)

浸透速度 (最終値の平均値) cm/sec		玄倉	猪之頭 1	猪之頭 2
	● 筋工有	0.14	0.02	0.07
	● 筋工無	0.06	0.09	0.03

冠水型浸透試験は地表面に設置した円筒内で強制的に水を注入して浸透させる現地試験であり、また、飽和透水試験は土壌断面から採取したサンプルを水中で飽和させた状態から強制的に水を注入し透水させる室内試験であり、測定方法は違うものの、どちらも土に水が透過していく速度を計測した試験結果(前者は浸透速度、後者は飽和透水係数として表現)である。このことからこの2つのデータの関係性をみるために冠水型浸透試験の結果に加え、後述する土壌調査における『3.7.3 土壌サンプリング調査』の飽和透水試験の結果を図 3.85 右に示した。

もし仮に、冠水型浸透試験によって得られた最終浸透速度と飽和透水係数が概ね同様の値の場合で、土壌深度による飽和透水係数が小さくなる変換点が見られた場合には、その変換点の深度辺りに透水速度の異なる水を通しにくい土壌層があると推定できると考える。

このようなことが、今回の調査対象の3地区においてみられるかどうかを次のとおり確認した。

玄倉については、冠水型浸透試験によって得られた筋工有の浸透速度が 0.14 cm/sec に対して、飽和透水係数は 0.13~0.20 cm/sec と若干大きな値を示し、筋工無の浸透速度は 0.06 cm/sec に対して、飽和透水係数が 0.01~0.02 cm/sec と 1/3 以下の値を示していた。

猪之頭1については、冠水型浸透試験によって得られた筋工有の浸透速度が 0.02 cm/sec に対して、飽和透水係数は 0.04~0.05 cm/sec と2倍以上の大きな値を示し、筋工無の浸透速度は 0.09 cm/sec に対して、飽和透水係数が 0.15~0.33 cm/sec と同様に2倍以上の値を示していた。

また、猪之頭2については、冠水型浸透試験によって得られた筋工有の浸透速度が 0.07 cm/sec に対して、飽和透水係数は 0.002~0.05 cm/sec と1桁以上小さな値を示し、筋工無の浸透速度は 0.03 cm/sec に対して、飽和透水係数が 0.002~0.009 cm/sec と同様に1桁以上小さな値を示していた。

このようにどの地区においても、最終浸透能と飽和透水係数が概ね同じ個所がみられないことから、前述のような関係性はみられなかった。

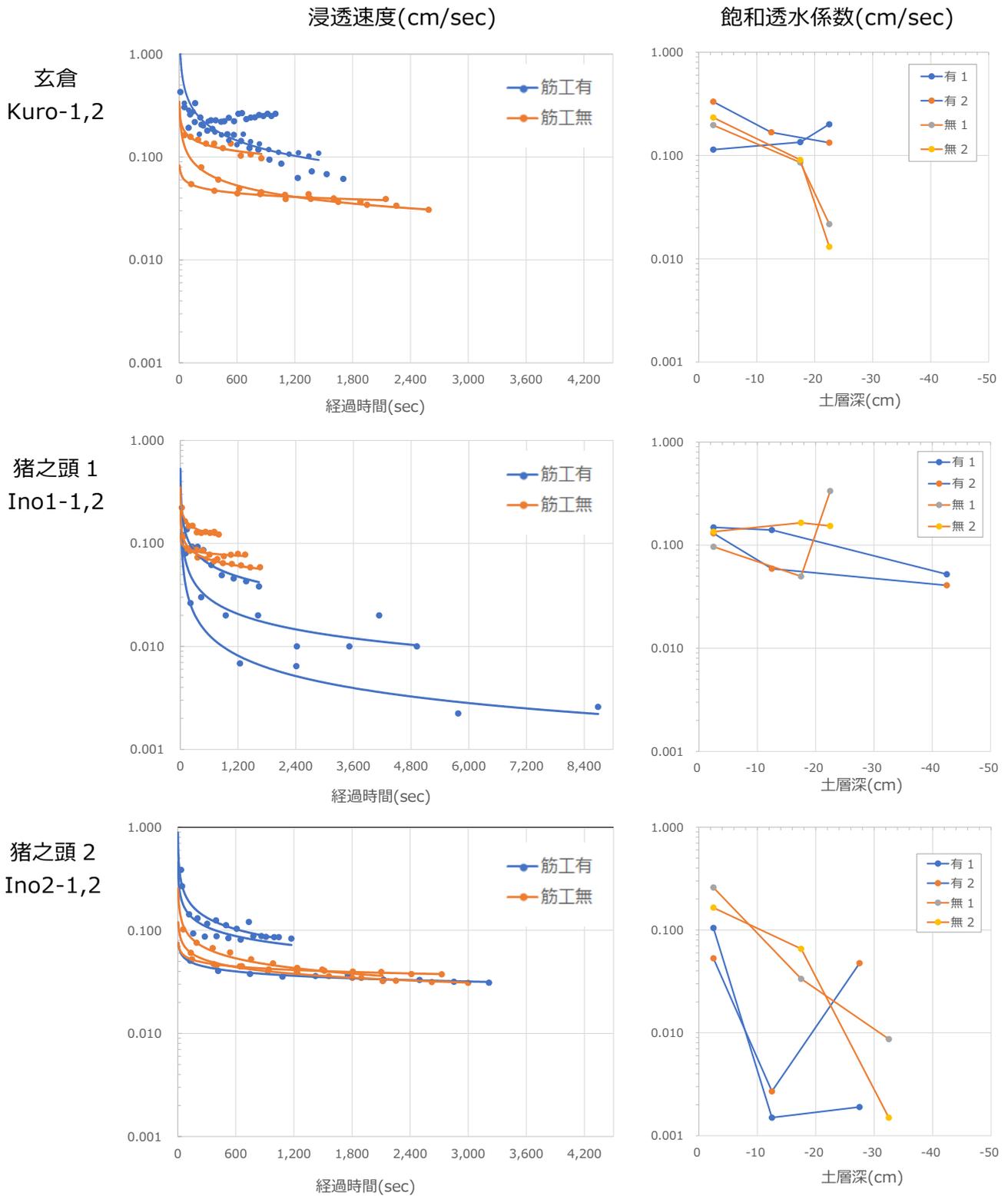


図 3.85 浸透速度と飽和透水係数

### 3.6. 林相と地形調査

#### 3.6.1. 林相調査

##### (1) 森林プロット調査

林相調査及び地形調査を行う森林プロットは、調査対象となる筋工有及び筋工無の集水枠を含み、かつ周辺森林の標準地的な林相として位置づけられる立地において、平均樹高(20~25m程度)を辺長とする方形枠で設定した。各調査地の森林プロットの配置状況について、玄倉は図3.3、猪之頭1は図3.10、猪之頭2は図3.16のとおりである。

森林プロット毎に地上レーザ計測機器(株式会社アドイン研究所製森林3次元計測システムOWL、以下「OWL」という)を使用して森林プロット内をレーザスキャンし、地形や立木の計測を同時に実施した。OWLによって計測したデータから高~中階層の木本類の位置、本数、樹高、胸高直径を抽出し、さらに毎木調査により樹種の把握や、樹高、胸高直径の実測を行った。調査結果は資料集の『5.3.6 森林プロット調査』のとおりであり、その概要は表3.8のとおりである。

表 3.8 森林プロットの諸元

地	筋工	標高(m)	方位	面積	林相	樹種	本数(本)	立木密度(本/ha)	樹高(m)	胸高直径(cm)	収量比数
玄倉	有	700	西南西	25m×25m	針広混交林	ヒノキ、ミズメ、シデ類	27	432	19.9	35.3	0.60
	無	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
猪之頭1	有	770	南南西	20m×20m	針葉樹林	ヒノキ	57	1,425	21.6	24.4	0.94
	無	〃	南東	〃	〃	ヒノキ、スギ	58	1,450	22.3	24.8	0.95
猪之頭2	有	900	南南西	25m×25m	針葉樹林	ヒノキ、スギ	46	736	22.9	35.8	0.84
	無	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

##### (2) 林冠調査

360°カメラ(RICHO製Theta)を用いて全天空写真を撮影し、画像解析ソフト「Gap Light Analyzer」を用いて樹冠の開空度を算出した。開空率と内外比(林内雨量と林外雨量の比)との関係は、図3.86のとおりである。開空率が小さい場合、概ね内外比が小さくなり、遮断量が大きくなる傾向が見られた。

立地		開空率(%)	内外比
玄倉	有	4.84	0.74
	無	7.51	0.87
猪之頭1	有	7.99	0.69
	無	6.79	0.57
猪之頭2	有	10.4	0.91
	無	11.4	0.89

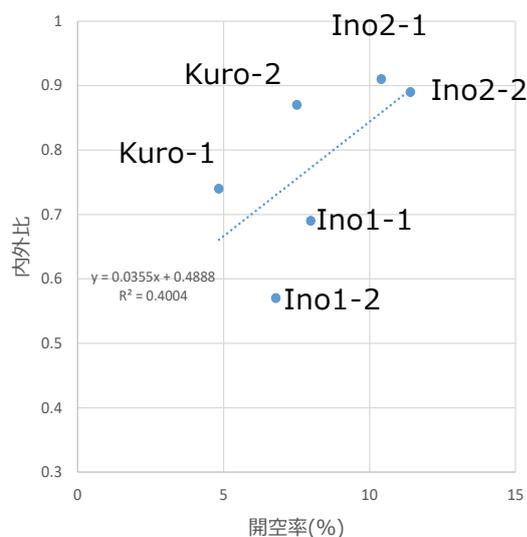


図 3.86 開空率と内外比の関係

### 3.6.2. 地形調査

OWLにより計測したデータから地形調査として作成した平面図や縦断面図は、3.2.1.玄倉～3.2.3.猪之頭2に掲載のとおりである。

### 3.7. 土壌調査

調査地の土壌特性を把握するため、表面被覆や土壌断面の調査を行った。筋工の背面では等高線方向に加え、直交方向の断面も形成し等高線方向との連続性を確認するために撮影を行った。

断面の層位の変化、あるいは硬度の変化に応じ、100ml の採土円筒で土壌をサンプリング(同じ層で2箇所採取)し、乾重量や密度などの土壌の物理性に関する調査及び飽和透水試験を適用した。

#### 3.7.1. 表層被覆

##### (1) リターによる表層被覆

表面被覆状態は、リターの乾重をもとに評価した。集水枠内の筋工直上(筋工有)や集水部直上(筋工無)、または、その隣接部において水平面積 1.0m×1.0m のリターを回収し、1m<sup>2</sup> 当たりの乾重として算定した。玄倉は 1 箇所、猪之頭 1 及び猪之頭 2 は 2 箇所において回収した。乾重を計測する際、葉、枝及び球果に区分した。葉はできる限りスギ、ヒノキ、広葉樹の別に区分した。分解が進行した葉、特にヒノキは鱗片化し、スギは葉片が葉軸と区分困難なため、スギの鱗片が多い場合はヒノキの鱗片を除き、ヒノキの鱗片が多い場合は、スギの鱗片を除くことによって対応した。また、含まれる土石は、図 3.88 のとおり、水洗し浮遊したリターを乾燥して計測した。計測結果は表 3.9 のとおりである。

筋工の有無によるリター量を比較すると、筋工有の方がリター量は多く、その比率は筋工無と比較して、玄倉で約 2.8 倍、猪之頭 1 及び猪之頭 2 で約 1.2～1.3 倍である。



図 3.87 リターの区分状況(左:玄倉 右:猪之頭 2)



図 3.88 区分困難なリターにおける土石の除去

表 3.9 リターによる表層被覆(乾重量)

立地	筋工有無	葉							枝(g)	球果(g)	総計(g)	有/無	
		区分可能(g)			主な樹種で区分(g)			合計					有/無
		スギ	ヒノキ	広葉樹	スギ	ヒノキ主	広葉樹						
玄倉	有		15.73	89.71			23.26	128.70	1.50	234.92	3.21	366.83	2.80
	無		6.50	74.21			5.19	85.90		46.31	1.13	133.34	
猪之頭1	有	44.34	39.71	0.20			254.26	338.51	1.30	265.44	12.89	616.83	1.20
	無	41.51		0.41			209.71	251.63		232.14	20.44	504.20	
猪之頭2	有	176.76	23.96	0.26			60.65	261.63	0.90	665.59	10.30	937.51	1.30
	無	209.14	11.27	0.50	61.85			282.76		407.43	13.43	703.62	

## (2) 草本層による被覆

玄倉における草本層の状況は資料集付表 27 のとおりである。猪之頭 1 及び猪之頭 2 においては、林床植生の消失地を選定したため省略した。

リターの被覆厚は、玄倉については 1 m<sup>2</sup>の空間を 9 ブロックに区分し、そのうち中央部と 4 辺部中央のリター厚を実測した平均値であり、筋工有が 2cm、筋工無が 3cm であった。なお、猪之頭 1 及び猪之頭 2 は、被覆高計測前にリターを採取したために、実測値は取得していない。

### 3.7.2. 土壌断面調査

集水枠内の筋工直上(筋工有)及び集水部の直上(筋工無)において、C 層が確認できる深さまで掘削して土壌断面を作成し、層位区分、土色、土性、団粒構造、堅密度等の目視観測を行った。

#### (1) 玄倉

玄倉の土壌は、図 3.92 及び図 3.93 の断面観察をもとに、崩積性の BD 型:適潤性褐色森林土壌に分類される。A 層は深く、筋工の有無で層位や土色、構造に大きな差はないが、目視で筋工有の方が根系量は多く、深さ 60cm 付近まで根系が発達している。70~80cm 付近で C 層として基岩風化物(1 次マサ)が出現する。筋工無の断面 20cm 付近では、飽和透水係数が低下している。



図 3.89 玄倉の筋工付近の土壌断面

#### (2) 猪之頭 1

猪之頭 1 の土壌は、図 3.94 及び図 3.95 の断面観察をもとに、IBI 型:淡黒色土亜群土壌に分類される。A 層は 30~40cm 程度の黒ボク土が分布しており、A 層と B 層の境界は明瞭である。

B 層に径 10~20cm 程度の礫を含み、表層地質の特性を考慮すると、残積性の土壌と想定される。

筋工の有無による差は、土色、腐植、土壌構造、飽和透水係数等において差はほとんどない。なお、筋工有では、筋工の横木付近に根系が多く出現する。



図 3.90 猪之頭 1 の筋工付近の土壌断面

### (3) 猪之頭 2

猪之頭 2 の土壌は、図 3.96 及び図 3.97 の断面観察をもとに、猪之頭 1 と同様、IB1 型: 淡黒色土 亜群土壌と分類される。A 層は 40~50cm の層厚をもつ黒ボク土である。A 層と B 層の境界は明瞭である。B 層に径 0~10cm 程度の大礫を含むものの、表層地質の特性を考慮すると残積性の土壌と想定され、筋工有の 0~10cm 層に硬さの異なる A 層があり、飽和透水係数等は異なる特徴をもつが、土壌断面全般(土色、腐植、構造等)について、筋工の有無による差は小さいと考えられる。なお、筋工の横木付近に根系が多く出現していた。



図 3.91 猪之頭 2 の筋工付近の土壌断面

土壌断面調査票 Kuro-1(筋工有)

場所:神奈川県山北町玄倉

調査日:2022年12月18日

条件:筋工あり、傾斜44°

母岩:花崗岩

崩積土

断面写真	断面図	土層			土色	腐植	土性	構造	石礫	山中式硬度 (cm)		有機物	根系 (gd/l)		石礫(8mm以上)		2mm以上		2mm未満		乾重密度 (gd/cm <sup>3</sup> )		強熱減量 (%)		
		層名	層位 (cm)	採取						硬度	平均		①	②	①		②		①		②			①	②
															個数	重量(gd)	個数	重量(gd)	個数	重量(gd)	個数	重量(gd)			
		A <sub>0</sub>			-	-	-	-	-	-	-	広葉樹リターが堆積													
	0	A	00-30	○	7.5Yr 3/2	富む	壤土	なし	含む	08,06,10 08,10	8	細根あり	1.0	0.9	16	11.82	7	15.77	27.64	15.30	35.39	33.05	0.76	0.64	0.19
	10			○									2.3	2.0	12	5.70	7	7.01	25.58	22.10	38.95	42.32	0.71	0.72	0.24
	20			○									0.4	0.8	12	7.46	5	2.13	23.73	18.46	32.20	47.32	0.64	0.68	0.19
	30	AB	30-70		7.5YR 4/4	含む	砂質壤土			12,10,16 12	13	中根あり													
	40																								
	50																								
	60																								
	70	C	70-			基岩色	-	未熟	なし	1次マサ															
	80																								
90																									
100	備考)C層は基岩層であるが、風化が著しく、容易に粉碎される(1次マサ)。																								

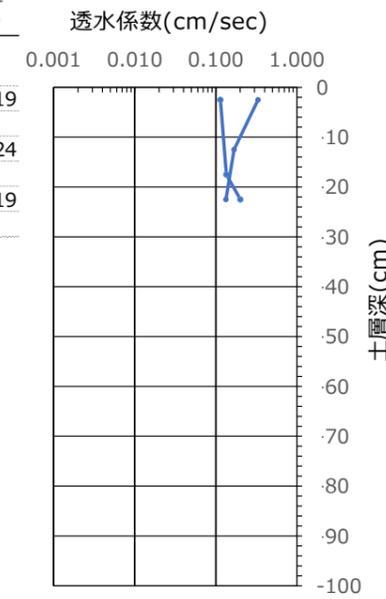


図 3.92 土壌断面と飽和透水係数 Kuro-1(筋工有)

土壌断面調査票 Kuro-2(筋工無)

場所:神奈川県山北町玄倉

調査日:2022年12月18日

条件:筋工なし、傾斜44°

母岩:花崗岩

崩積土

断面写真	断面図	土層			土色	腐植	土性	構造	石礫	山中式硬度 (cm)		有機物	根系 (gd/l)		石礫(8mm以上)		2mm以上		2mm未満		乾重密度 (gd/cm <sup>3</sup> )		強熱減量 (%)		
		層名	層位 (cm)	採取						硬度	平均		①	②	①		②		①		②			①	②
															個数	重量(gd)	個数	重量(gd)	個数	重量(gd)	個数	重量(gd)			
		A <sub>0</sub>			-	-	-	-	-	-	-	広葉樹のリターが面的に被覆。													
	0	A1	00-05	○	7.5YR 3/2	富む	砂質壤土	細粒状	含む	08,08,04	6	細根あり	2.2	2.1	4	1.74	10	8.11	17.38	13.85	37.58	32.71	0.57	0.55	0.20
	10	A2	10-40						なし	10,12,09 09	10		2.3	1.0	7	6.74	8	4.25	22.39	12.07	34.39	36.56	0.64	0.53	0.22
	20												0.7	0.0	5	2.39	9	4.00	18.28	16.29	42.88	41.06	0.64	0.61	0.20
	30																								
	40	A3	40-60			7.5YR 3/3				12,10,16 16,13 10,12,16	12	中・細根含む													
	50																								
	60	B	60-80			7.5YR 4/4	含む			12,12,12															
	70																								
	80	C	80-			基岩色	-	未熟		多し	10,12,16														
90																									
100	備考)深部まで崩積土で構成されている。																								

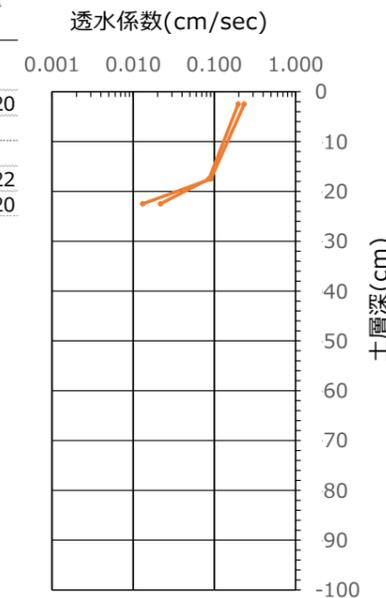


図 3.93 土壌断面と飽和透水係数 Kuro-2(筋工無)

土壌断面調査票 Ino1-3(筋工有)

場所:静岡県富士宮市猪野頭1 調査日:2022年12月26日 条件:筋工あり、傾斜30° 母岩:礫岩+クロボク(火山性もしくは草地起源の黒色土) 圃行土

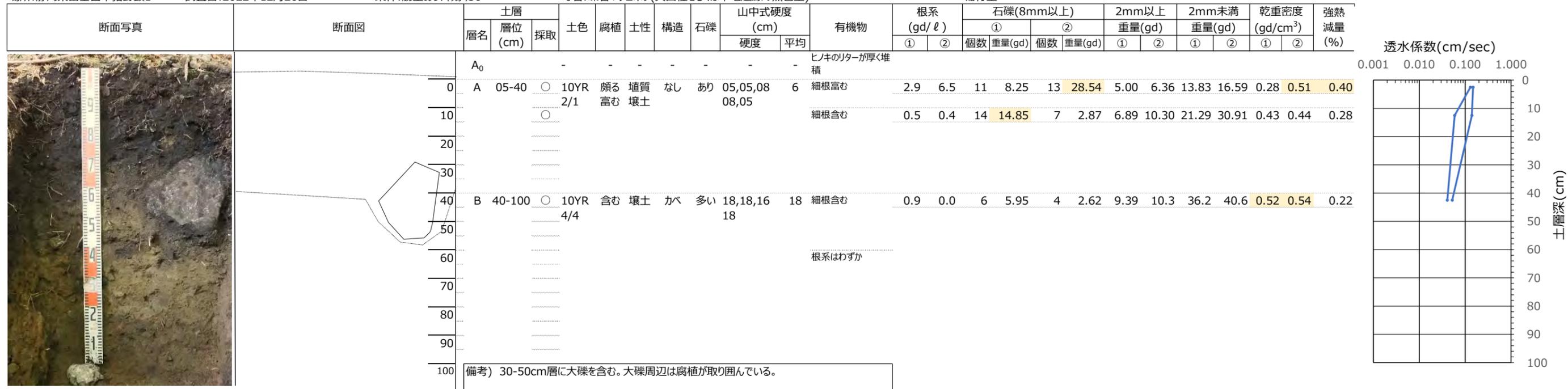


図 3.94 土壌断面と飽和透水係数 Ino1-3(筋工有)

土壌断面調査票 Ino1-4(筋工無)

場所:静岡県富士宮市猪野頭1 調査日:2022年12月26日 条件:筋工なし、傾斜30° 母岩:礫岩+クロボク(火山性もしくは草地起源の黒色土) 圃行土



図 3.95 土壌断面と飽和透水係数 Ino1-4(筋工無)



### 3.7.3. 土壌サンプリング調査

土壌断面調査の際、土層の違いあるいは同じ土層内において特徴が異なる層において 100ml の採土円筒によりサンプリングした土壌について、土壌重量・密度、強熱減量並びに土壌粒径分布等の土壌物理性の分析を行った。

#### (1) 土壌重量・密度

乾燥重量は 105℃の乾燥機で水分を蒸発させた状態で量った重量(g/100ml)で、密度は、これを g/cm<sup>3</sup> に換算して求めた。各調査地の土壌重量及び密度は付表 20 のとおりであり、その結果のうち密度についてグラフ化すると図 3.98 のとおりである。

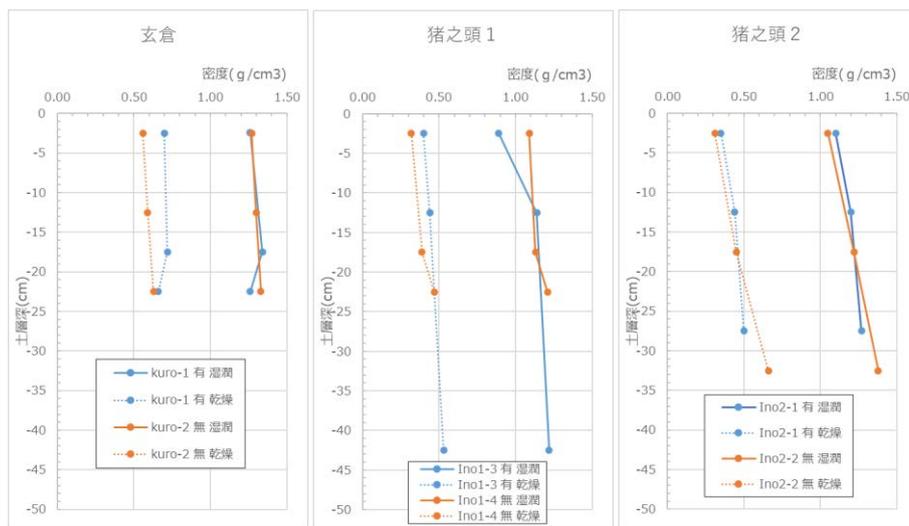


図 3.98 土壌密度

#### (2) 強熱減量

表面流の VSS 測定と同様、採取した土砂サンプルを 600℃に設定した小型電気炉(マッフル炉)で 2 時間程度加熱(強熱)し、揮散した物質質量を量ったものを強熱減量といい、試料中の有機物量の目安となる。各調査地で採取した土壌の強熱減量は図 3.99 及び付表 21 のとおりである。

有機物量の目安となる強熱減量は、玄倉よりも猪之頭 1 及び猪之頭 2 のほうが、筋工の有無に関わらずやや高い値となった。特に猪之頭 1 及び猪之頭 2 では表層に近いサンプルの値は高く、落葉などの有機物が局所的に多く含まれていた可能性がある。

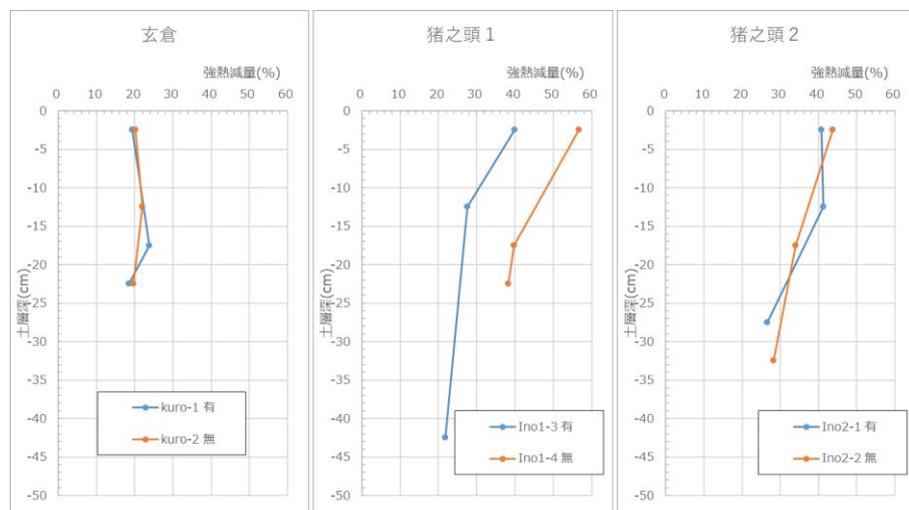


図 3.99 強熱減量

### (3) 土壌粒径分布

土壌の種類は粒径別の名称によって区分され、粒径 0.005mm 以下の粒子を「粘土」、粒径 0.005～0.075mm の粒子を「シルト」、粒径 0.074～2mm の粒子を「砂」、粒径 2mm 以上の粒子を「礫(レキ)」と呼ぶ。粒度によって、土壌の良し悪しが表現されることもあり、含まれる土粒子の粒径範囲が広い土は、大きな粒子がつくる間隙にさらに小さな粒子が入り、密で安定な構造をつくりやすいため、“粒度が良い”土壌といえる。一方で、土粒子の粒径範囲が狭い土は、密実につまりにくく不安定な状態にあることから、“粒度が悪い”といえる。玄倉と猪之頭1及び猪之頭2の3地区における筋工の有無別の土壌粒径加積曲線は図 3.100 のとおりである。なお、分布試験は各地点の各層において2回繰り返し試験を実施しており、その結果は付図 32 から付図 34 のとおりである。

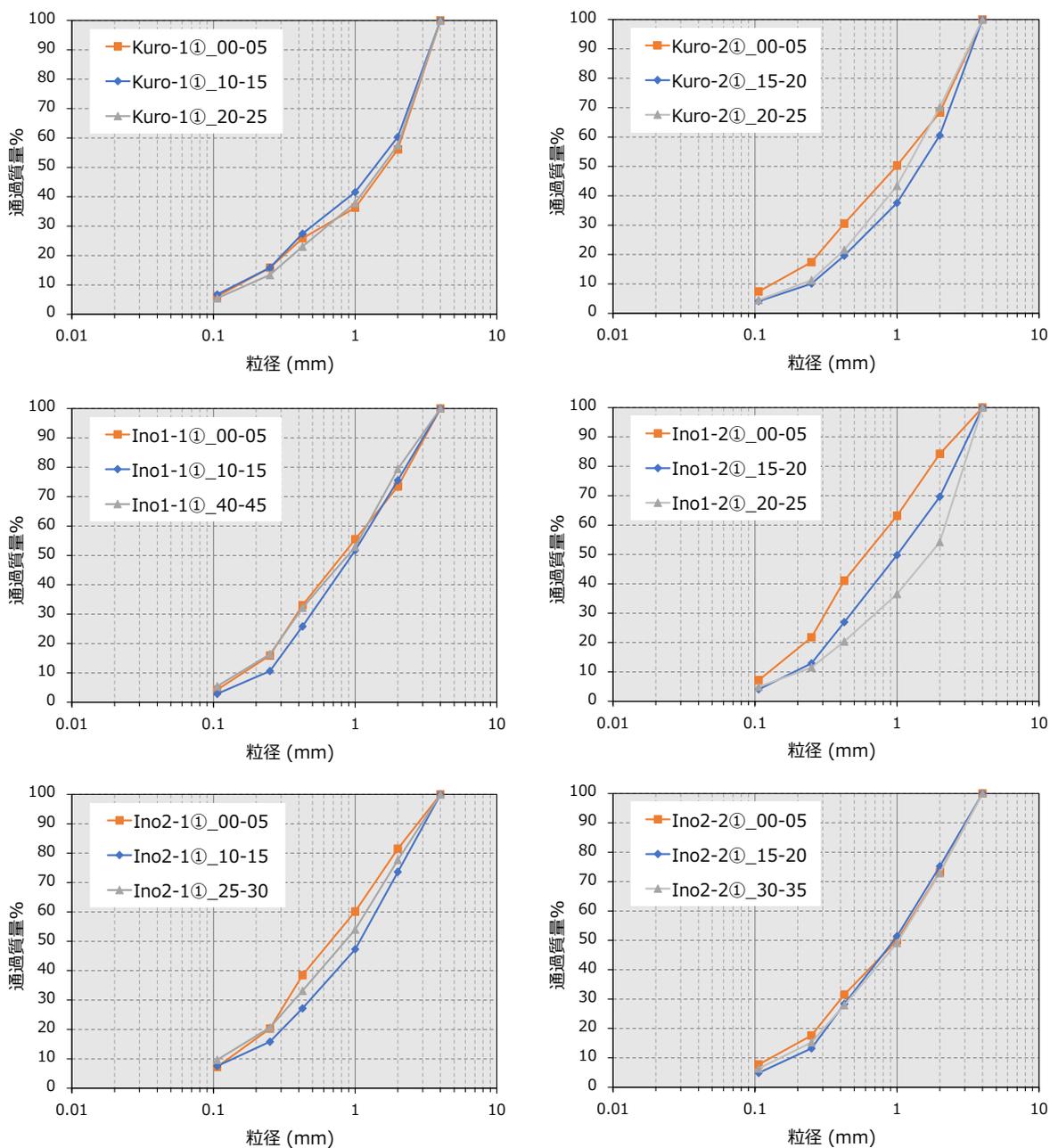


図 3.100 土壌粒径加積曲線

### 3.7.4. 飽和透水試験

飽和透水係数は、土壌調査に際して掘削した土壌断面から不攪乱状態で採取した試料(100cc)について、図 3.101 のとおり、土壌透水性測定器(大起理化製 DIK-4012)を用いて測定した。なお、対象とする土壌の空隙が比較的多い砂質土であるため、透水性が高い場合に用いられることの多い定水位法を用いて測定とした。なお、飽和透水係数  $k$  は、以下の式による。

$$k = \frac{Q}{At} \cdot \frac{l}{h} \quad (\text{cm/s})$$

ここで、 $k$  : 飽和透水係数(cm/s)、 $Q$  : 排水量(cm<sup>3</sup>)、 $A$  : 試料断面積(cm<sup>2</sup>)、 $l$  : 試料長、 $h$  : 湛水面と排水面の高低差(cm)、 $t$  : 時間(sec)である。

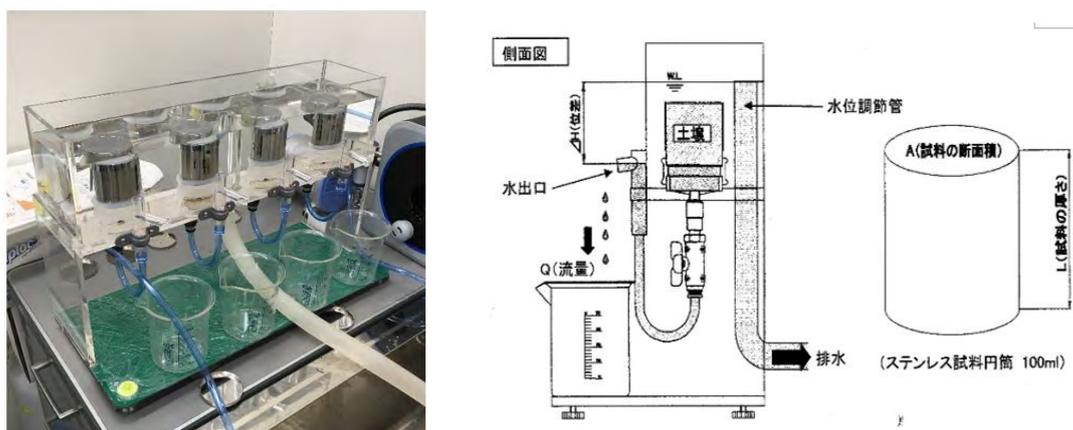


図 3.101 定水位透水性試験の状況

上記の室内飽和透水試験の結果は付表 22 のとおりである。結果をもとに土層深さ別に飽和透水係数を示すと図 3.102 のとおりである。玄倉では筋工無の 20~25cm 層、猪之頭 2 の筋工有の 10~15cm 層及び筋工無の 30~35cm 層において、比較的透湿度の小さい空間があると想定される。なお、飽和透水性は、土壌空隙が全て水で満たされた場合の透水速度の指標であり、通常不飽和状態にある土壌の透水性は、飽和状態に比べて小さくなるため、必要に応じ不飽和浸透特性を計測することが望ましい。

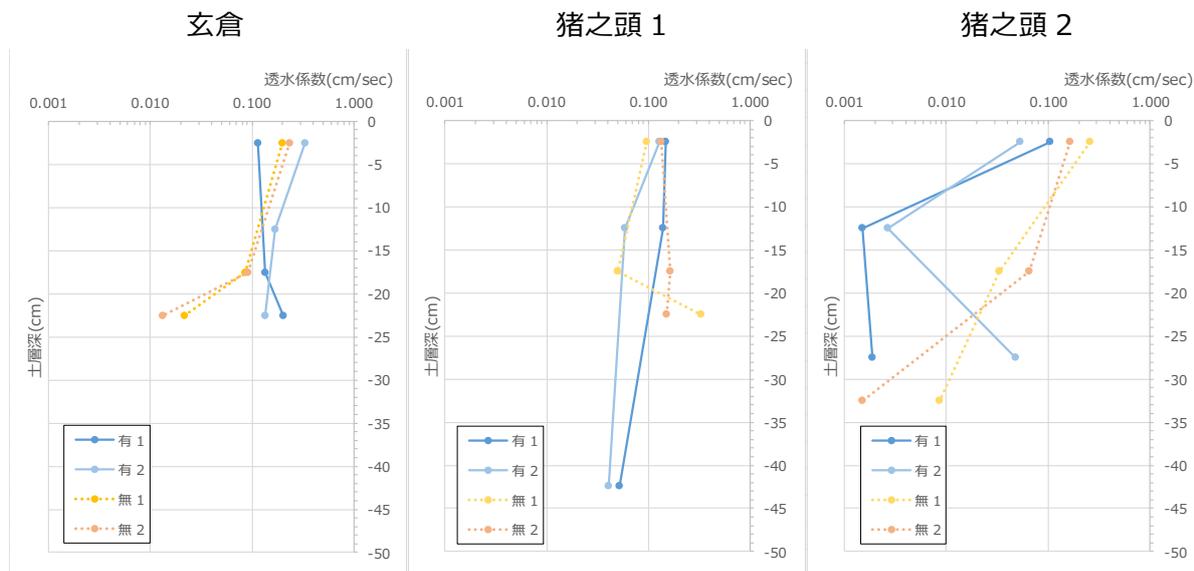


図 3.102 定水位飽和透水試験

## 3.8. 土壌中水分の移動状況

### 3.8.1. 測定方法

自然降雨と人工降雨における不飽和状態での土壌水分の挙動をもとに、筋工設置の効果を把握することを目的とし、受託者提案事項として不飽和状態を示す吸引圧(負圧)を計測するテンシオメータを玄倉に設置し計測した。なお、猪之頭1については、人工降雨試験の直前に設置したが、凍結のため計測できなかった。

設置については、長期間の観測を前提とし、本年度は人工降雨試験の実施地区のうち玄倉の集水枠(筋工有、筋工無)に設置した。斜面への設置は、筋工の堆積物内の土壌水分を計測することを目的とし、筋工から約20cm離隔してテンシオメータを挿入した。深さは10cm、20cm、40cm、及び60cmとした。また、堆積物の上流側、あるいは地山の土壌水分を計測することを目的として、下流設置地点から40～50cm程度離隔し、同様の深さで4本のテンシオメータを設置した。なお、設置の詳細については、図3.101～図3.105のとおりである。

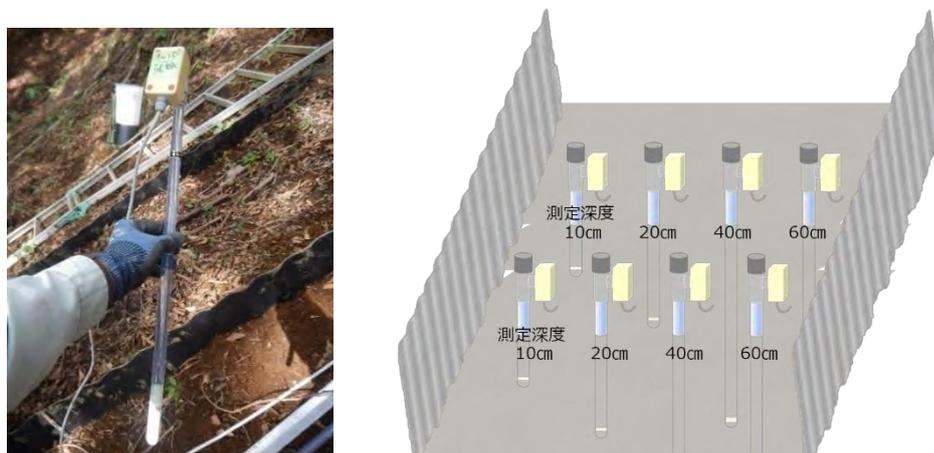


図 3.103 使用したテンシオメータと配置方法



図 3.104 テンシオメータの現地設置状況(左:筋工有 右:筋工無)

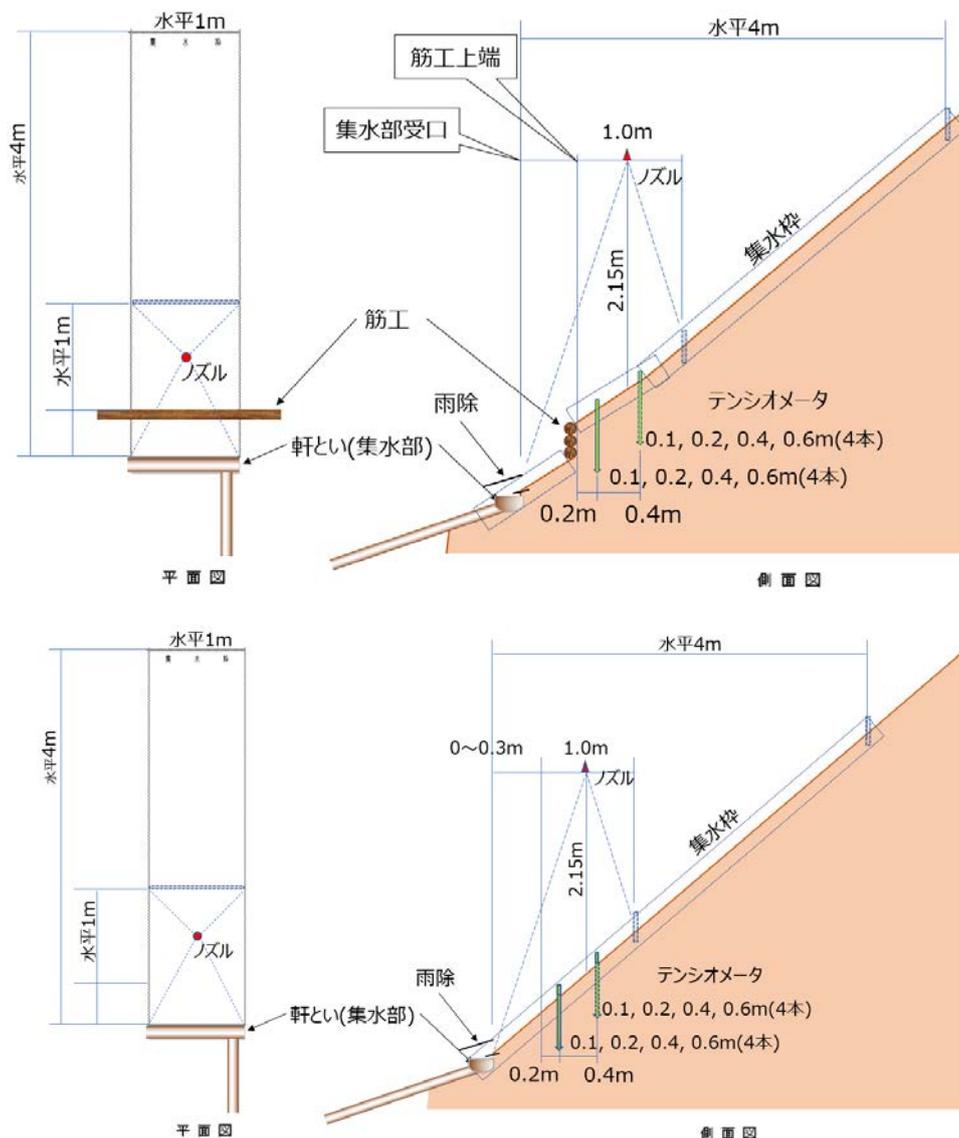


図 3.105 テンシオメータの設置位置

### 3.8.2. 結果

玄倉のテンシオメータの設置期間は、2022年10月28日から2022年12月16日までとしたが、明らかな異常値や原因不明の値を示した期間が多く、結果のほとんどは参考値とし、適切な観測値が得られたと考えられる11月29日の結果を以下に示す。また、吸引圧と水分恒数及び土壌水の関係については図3.109のとおりである。

#### (1) 玄倉の人工降雨試験(11月29日)

30分間の降雨のうち、最初の10分で筋工無の上下深さ10cm、20cm及び40cm地点、筋工有の上下深さ10cm、20cm、40cm及び60cm地点(上40cmと上60cmを除く)は、吸引圧が急激に小さくなった。その後20~30分間は吸引圧の変化はなく、降雨終了後、徐々に吸引圧が大きくなった。筋工無の上下60cm地点、筋工有の上40cmと上60cm地点では、少し遅れて吸引圧が小さくなった。

図3.106において、筋工有と筋工無毎の全ての吸引圧を比較すると、散水前は各層位の吸引圧の分布幅は、筋工有の方が広く(無①と有②の比較)、散水中の分布幅は概ね筋工有の方が狭くなっていた(無③と有④の比較)。なお、散水後は概ね同じ分布幅を示していた(無⑤と有⑥の比較)。これらの分布幅の違いについて、図3.109における土壌中の水分状態を検討し、筋工の有無の違いについて推定することとする。

人工降雨の発生とともに、筋工有及び筋工無ともに深さ 10～20cm では 30cmH<sub>2</sub>O よりも吸引圧が小さくなり、最大毛管容水量を超え、重力水を主とした土壤水に満たされる。試験終了後に重力水は排出され、吸引圧は 30cmH<sub>2</sub>O に戻り、地表面は毛管重力水が主となる。

一方、深さ 40cm 及び 60cm の深さでは、人工降雨の発生後に吸引圧は低下するが、筋工有の方が吸引圧の変化量は大きく、筋工無よりもより多くの水分を土壤中に保水していると考えられる。

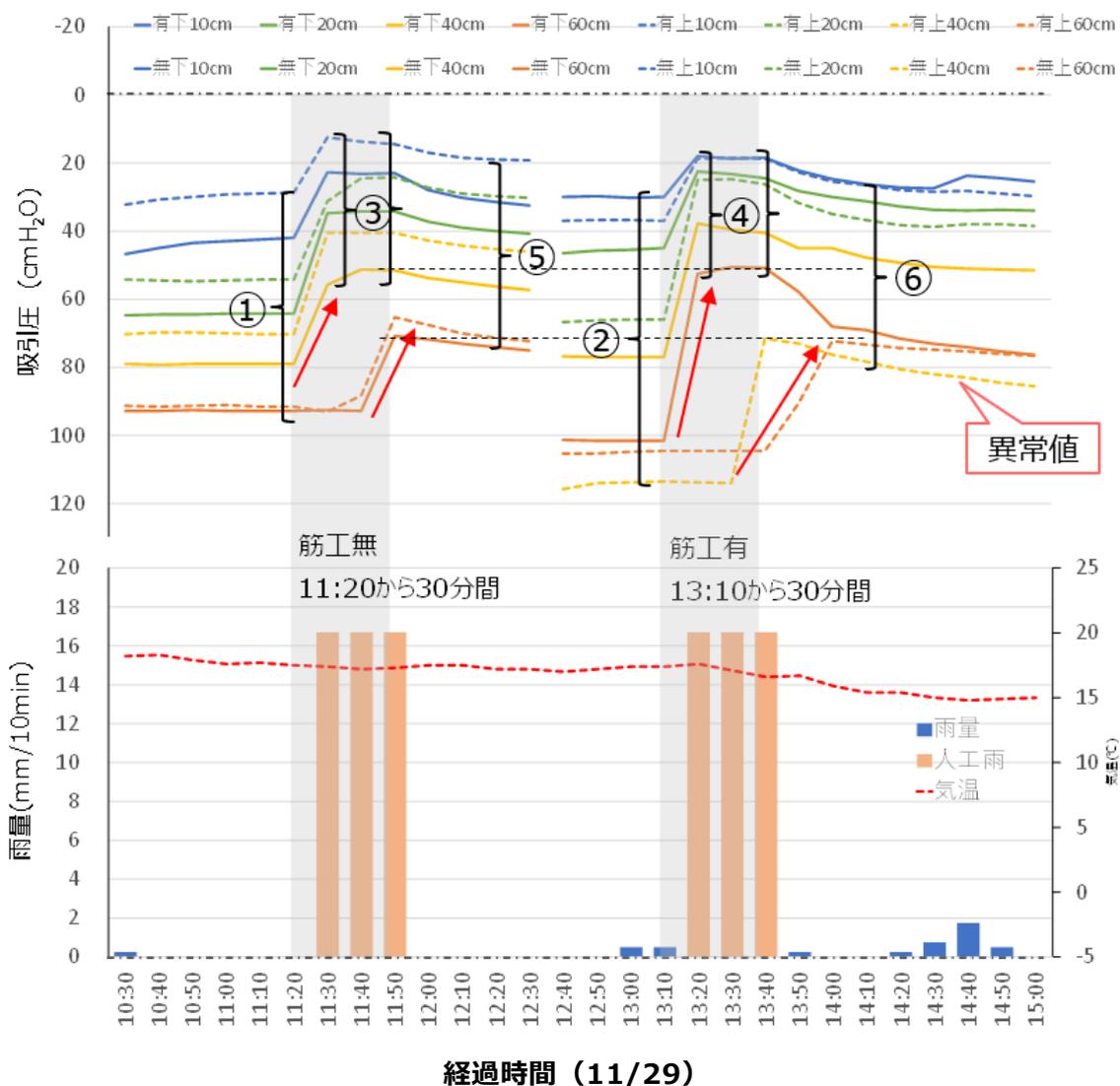


図 3.106 玄倉 11 月 29 日における人工降雨試験

## (2) 自然降雨によるテンシオメータの挙動(参考)

他の期間におけるテンシオメータの挙動について、人工降雨試験前は図 3.107、人工降雨試験後は図 3.108 のとおりである。

人工降雨試験の 10 月 24 日から 11 月 10 日については、約 16 日間の無降雨期間となっており、深さ 60cm 地点の吸引圧(水頭圧:単位 cmH<sub>2</sub>O)の変化は、筋工無は 100→140cmH<sub>2</sub>O、筋工有は 120→150cmH<sub>2</sub>O と大きくなった。また、深さ 10cm 地点では、筋工無が 50→140cmH<sub>2</sub>O と 90 ポイントの変化に対し、筋工有は 50→180cmH<sub>2</sub>O と 130 ポイントと大きく変化した。観測期間を通じ、筋工有は筋工無よりも時間経過に伴い、地表に近いほど吸引圧が大きくなる傾向が見られ、筋工有については表層土壌が比較的乾燥しやすい傾向が認められた。

人工降雨試験後の11月29日午後から12月16日では、人工降雨試験直後の降雨を含め4回程度の自然降雨が発生し、各深さにおける吸引圧が変化している。

筋工の有無にかかわらず10~20cm地点は、降雨発生直後に低下し、概ね20cmH<sub>2</sub>Oの値を示す。40~60cm地点は、降雨直後の吸引圧の急激な変化はみられず、12時間程度経過後に、緩やかに吸引圧が低下する傾向を示している。なお、10~20cm地点の吸引圧について、筋工有の斜面上部と下部の吸引圧は、各降雨においてほぼ同じ変化を示し、吸引圧もほぼ同じ値を示す一方、筋工無では、各降雨において、斜面上部の吸引圧は低く、斜面下部は高い傾向にある。

それぞれの吸引圧が示す数値について、土壌水や植物の成長の観点でみると、人工降雨及び自然降雨発生時は、最大毛管含水量を超え重力水が主となるが、降雨が終了すると重力水が排水され、すぐに毛管重力水を主とする土壌水分環境となる。この変化は、筋工の有無による違いはない。一方、無降雨期間が継続すると、筋工無よりも筋工有の方が乾燥する傾向にある。しかし、植物の成長に影響するような乾燥条件(水分当量、500cmH<sub>2</sub>O)には至っていない。

なお、図中の吸引圧変化に生じている日周期の変化は、気温変化が吸引圧を測定している圧力変換器の出力に影響した結果であり、テンシオメータの地上露出部分を断熱材で覆うことによって低減できると考えられる。

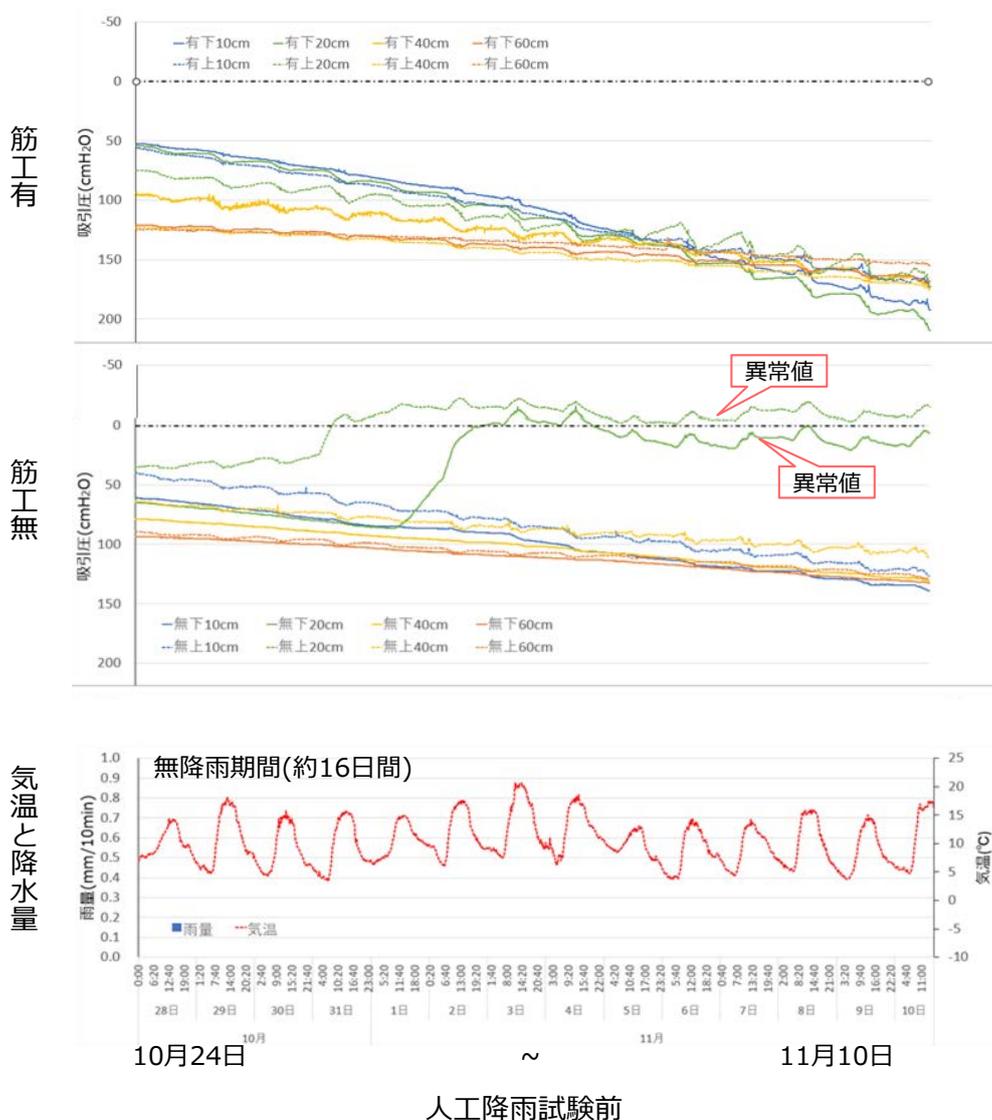


図 3.107 人工降雨試験前のテンシオメータの計測結果

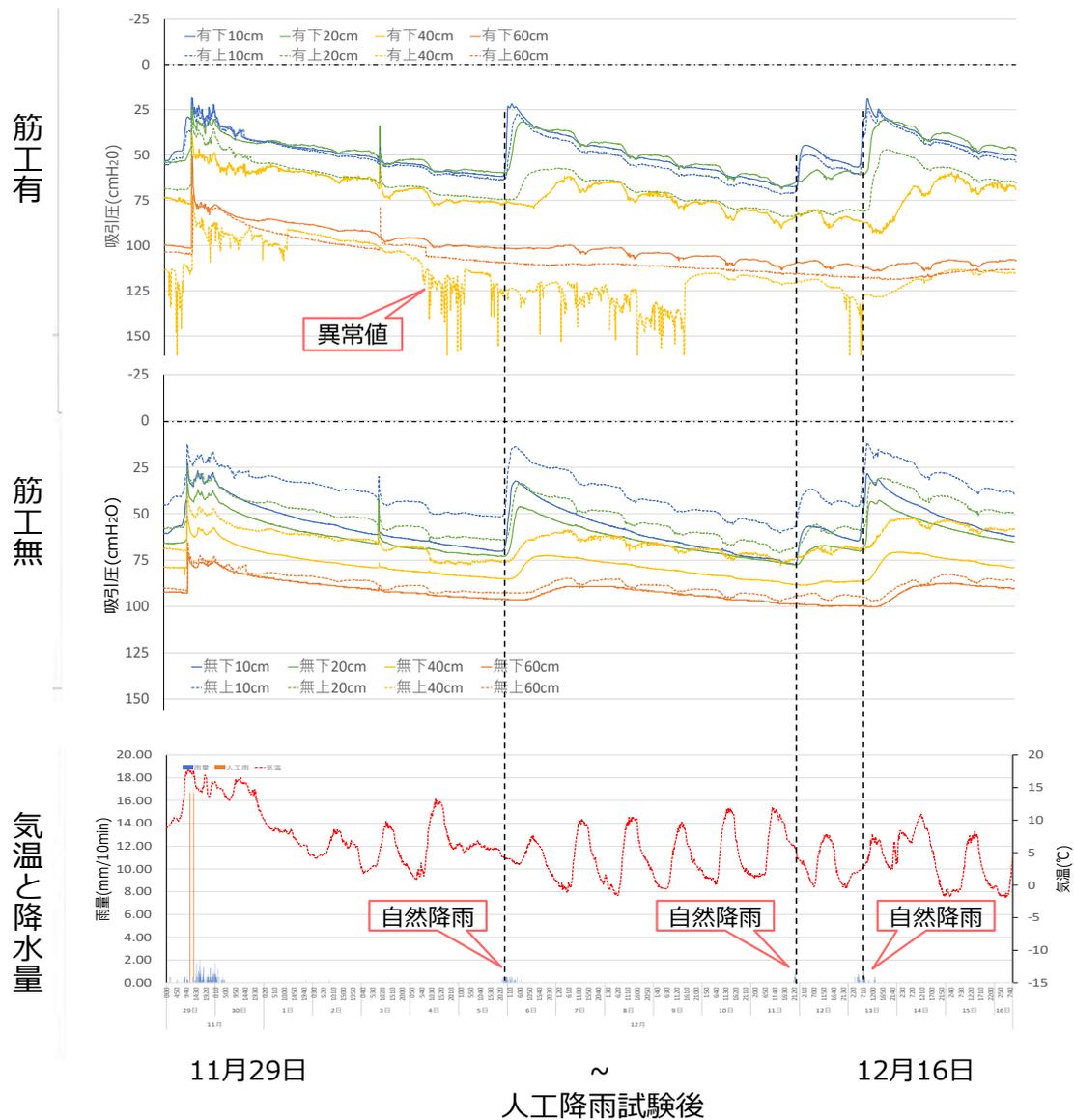


図 3.108 人工降雨試験前後のテンシオメータの計測結果

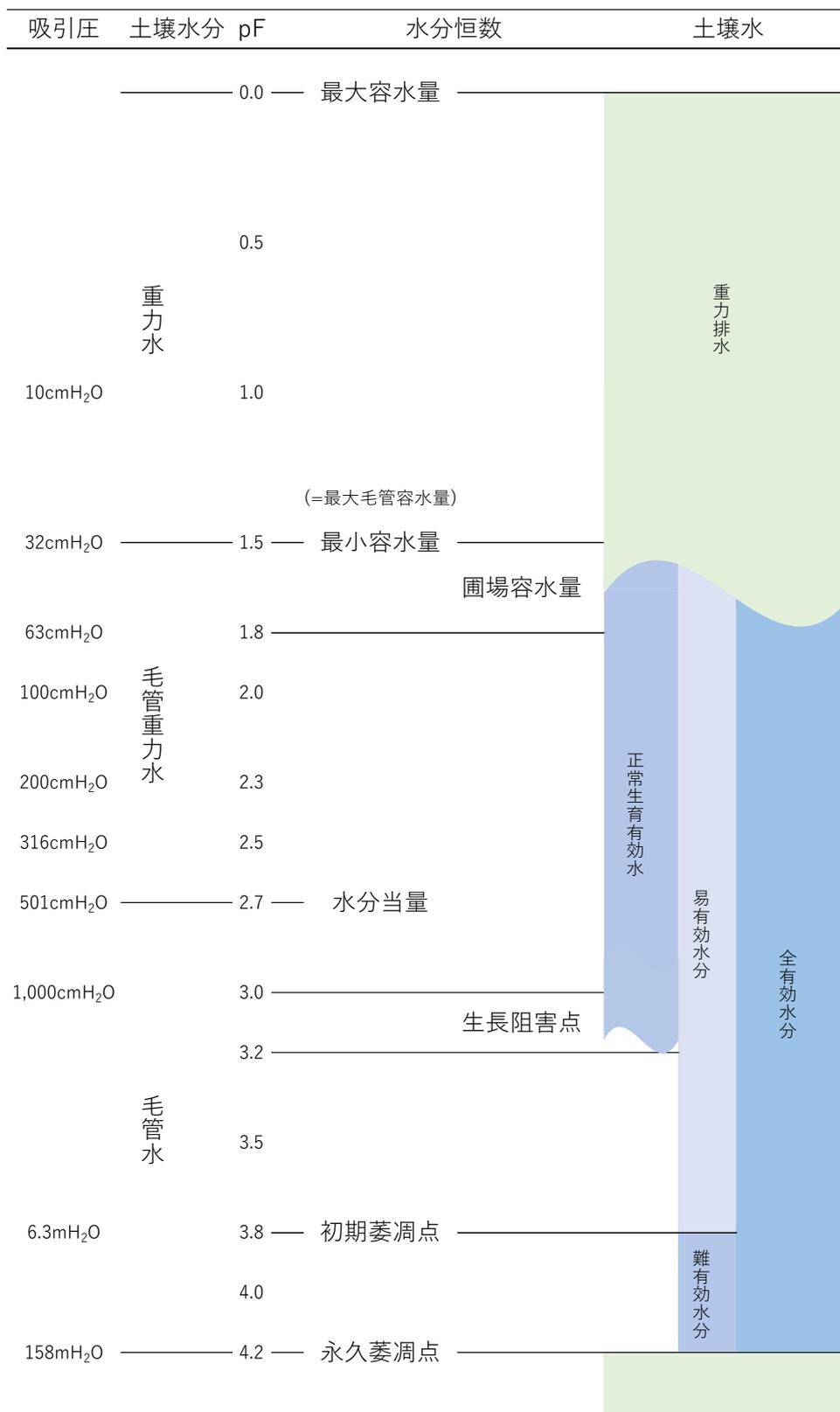


図 3.109 吸引圧と水分恒数及び土壌水の関係

## 3.9. シミュレーションの適用

### 3.9.1. 目的

受託者提案事項として、本業務において実施した不飽和土壌中の水分移動結果を用いて、シミュレートするソフトウェア(Hydrus-2D)を活用し、玄倉の筋工有における結果をモデル化し、条件を設定して再現を試みた。

図 3.110 は「平成 24 年度山地保全調査(水源森林保全調査)事業」報告書において、京都大学教授小杉賢一郎氏が、林地斜面において不飽和浸透過程を考慮した解析により、森林土壌の浸透強度と降雨強度との関係について、これまでの森林土壌層の透水性と保水性に関する結果<sup>17</sup>をもとに検討を加えたものである。

本手法は、現地試験における限られた条件下での実験結果の評価に際し、様々な斜面勾配や地形等の条件を与えた場合の降雨浸透を再現することが可能と考えられる。

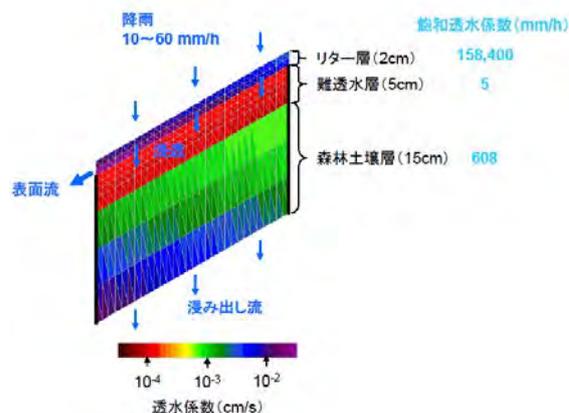


図 3.110 数値シミュレーションのイメージ

筋工による森林の保水機能向上効果は、筋工の背面に堆積する土壌による勾配緩和及び林床被覆による粗度上昇に伴う表面流の流速低減によるものと推定される。そこで現地での土壌水分観測とともに、筋工周辺における降雨時の不飽和状態を含む降雨浸透過程を併せて検討することとする。土壌の不飽和浸透特性に関して著名な van Genuchten 博士と米国カリフォルニア大学の Simunek 教授が開発に関わった「Hydrus-2D」は、土壌の飽和不飽和浸透解析のためのシミュレーションソフトウェアである。複雑な土壌の不飽和浸透特性を扱える解析コードとして利用されている。

### 3.9.2. 方法

前述の玄倉筋工有における集水枠周辺の微地形計測(図 3.6 参照)や土壌断面調査の結果をもとに、図 3.111 の左図のとおり不透水基盤面を想定した。また、図 3.111 の右図のとおり地表面から基盤面までの土壌空間を要素分割するとともに、テンシオメータによる土壌水分観測位置を設定した。

次に、分割した要素を筋工背面の埋戻土、表層土、下層土に区分し、土壌孔隙率や飽和透水係数等について、実測値を参考に van Genuchten(1980)による標準的な土壌材料(表 3.10 参照)の特性値を適用して条件を入力した。また、人工降雨を散水する空間の地表面を透水面、その他の地表面は大気圧解放面、想定基盤面及び斜面下部の鉛直境界については遮水面として設定した。なお、想定基盤面は、本来透水性を持つと考えられるが、モデルの簡素化のため不透水面とした。また、斜面末端部の鉛直区分線も、本来は無限斜面として想定するべきであるが、本件では単純化のため制限を加えている。

この条件下において図 3.113 のとおり、初期水分条件モデルを設定した後、100mm/h の降雨を 20 分間発生させた場合の土壌中の不飽和浸透の結果としての吸引圧に関する時系列シミュレーションを試みた。

<sup>17</sup> Kosugi et al. (2001) と Kosugi (1997)

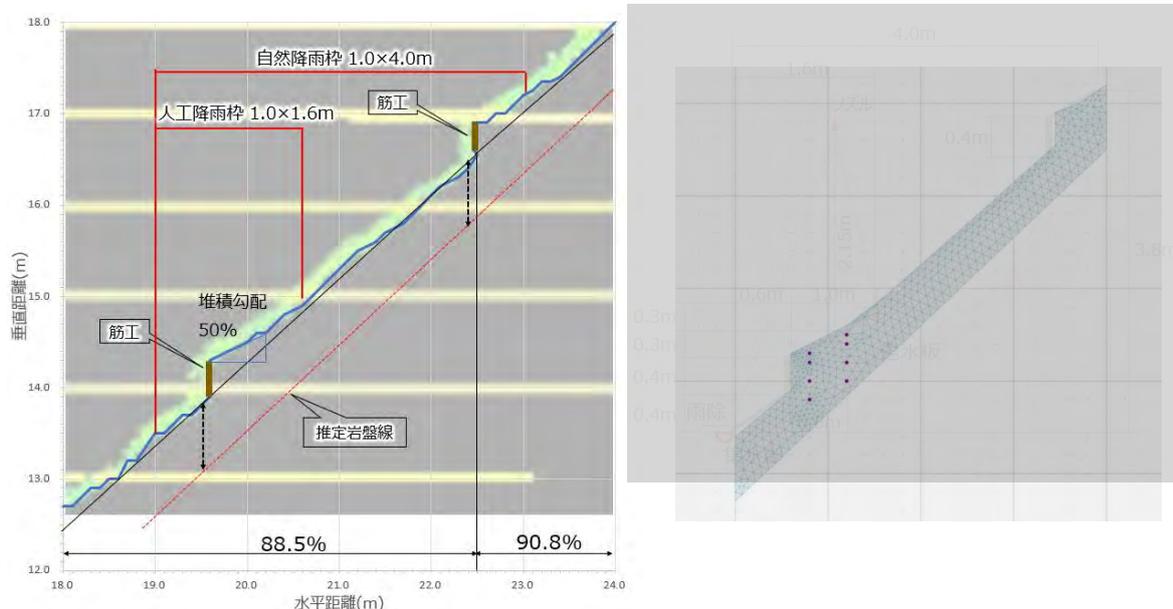


図 3.111 玄倉筋工有(Kuro-1)縦断図と要素分割及びテンシオメータ計測地点の設定

表 3.10 標準的な土壌材料の特性値

材料 No.	材料名	Qr	Qs	Alpha	N (1/cm)	飽和透水係数 (cm/min)
1 青	砂	0.045	0.43	0.145	2.68	0.495
2 水色	ローム質砂	0.057	0.41	0.124	2.28	0.243194
3 黄緑	砂質ローム	0.065	0.41	0.075	1.89	0.0736806

Carsel and Parrish[1988].USDA 土性三角図における van Genuchten [1980] の土壌水分特性

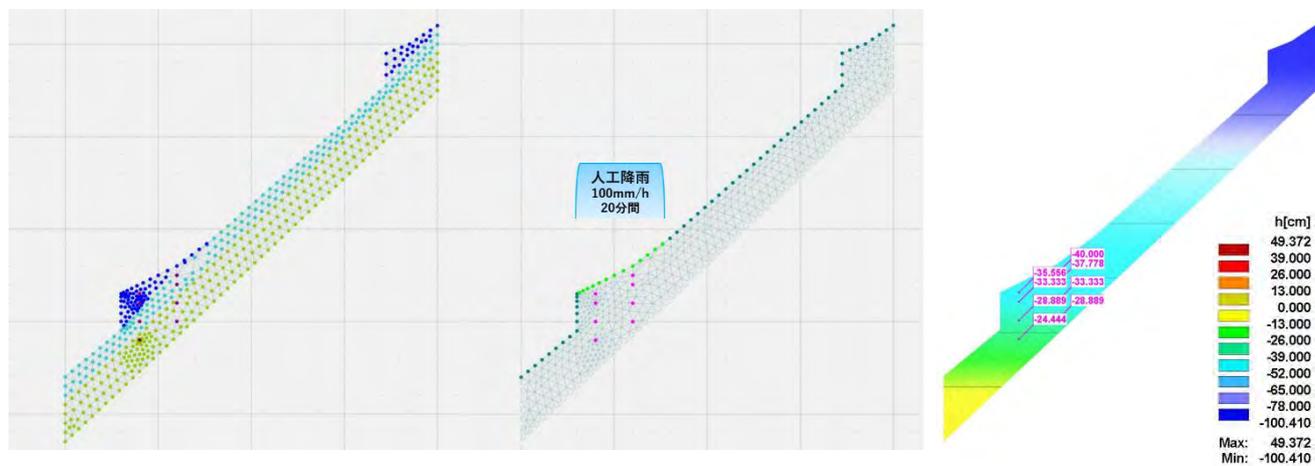


図 3.112 土壌内部と地表面への条件設定とテンシオメータの実測値入力

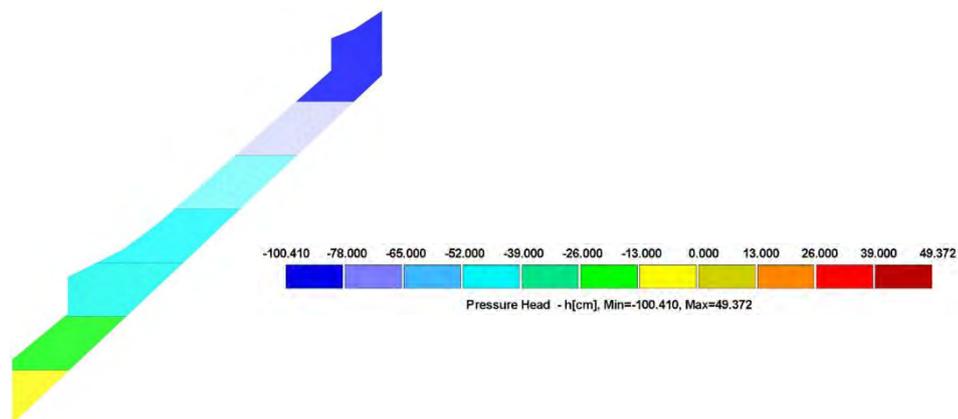


図 3.113 人工降雨発生前の土壌水分モデル(初期圧力水頭分布)の設定

### 3.9.3. 結果

シミュレーションによる時系列変化は図 3.114 のとおりである。また、適用した条件による各深度のテンシオメータの吸引圧の変化は図 3.115 のとおりである。

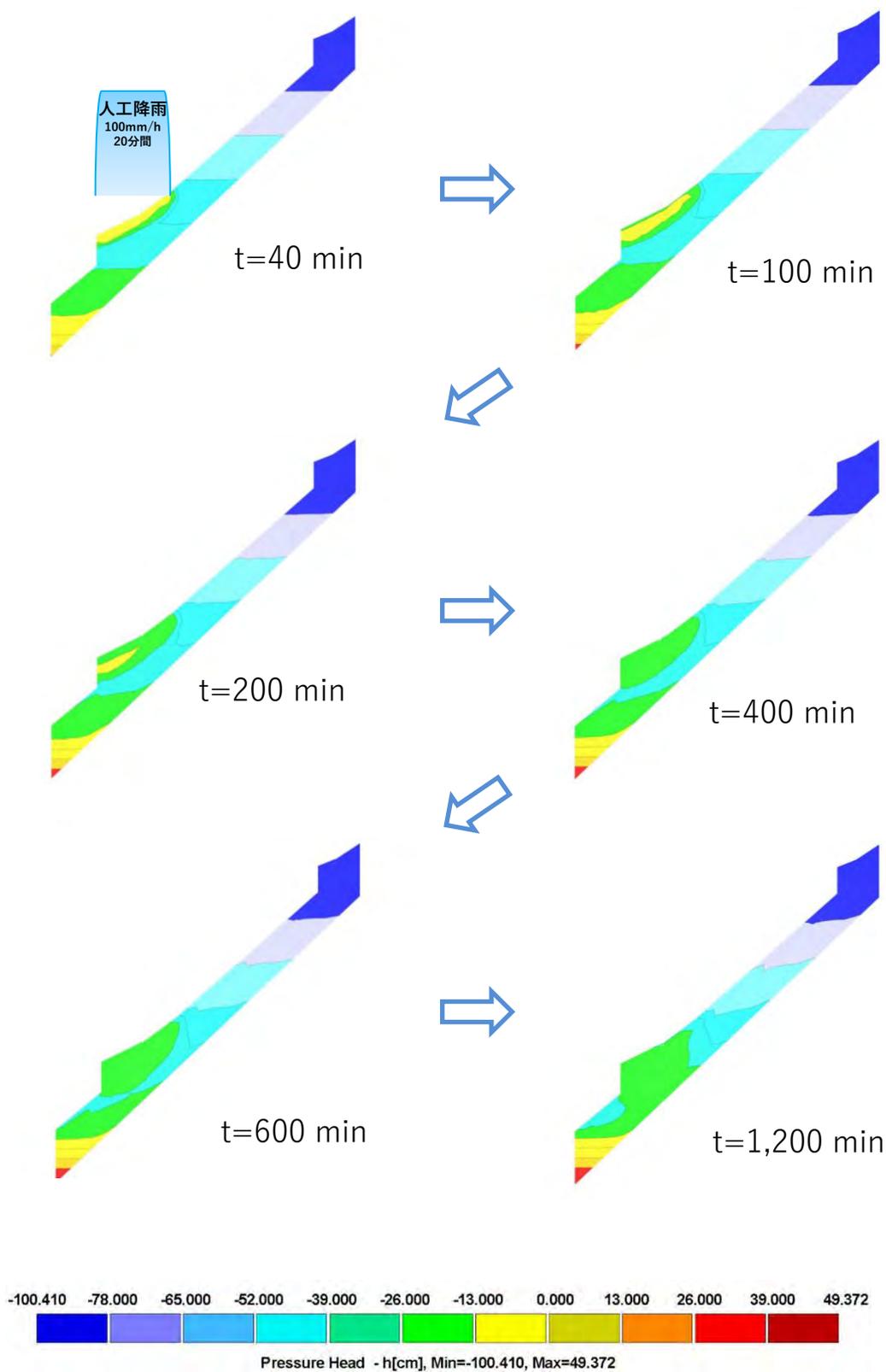


図 3.114 吸引圧分布の時系列変化

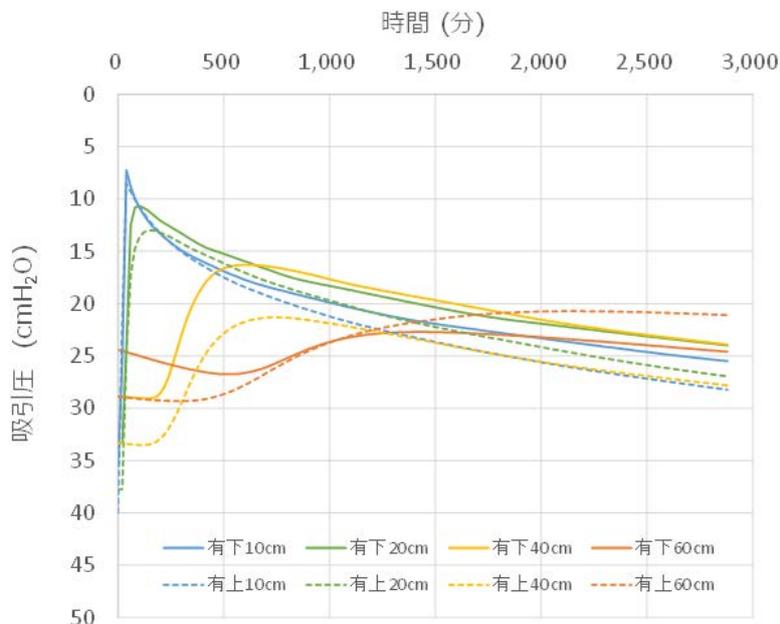


図 3.115 シミュレーションによる各土層の吸引圧の変化

シミュレーションでは、人工降雨発生前は浅い層(深さ 10~20cm)及び中層(深さ 40cm)が 30~35cmH<sub>2</sub>O、深い層(40~60cm)の吸引圧が、25~30cmH<sub>2</sub>O の範囲に分布しており、深い層よりも浅い層の方が吸引圧は高い状態となっている。人工降雨発生に伴い、浅い層の吸引圧は急激に低下するが、深い層の吸引圧は 4 時間程度変化せず、その後、浅い層の吸引圧が高くなるとともに低下し、その後緩やかに上昇する傾向を示す。

玄倉筋工有の人工降雨時におけるテンシオメータの実測結果は図 3.116 のとおりである。人工降雨の開始時間は先行降雨の影響をうけ、浅い層の吸引圧は低下するものの 25cmH<sub>2</sub>O 付近の値を示している。一方、深い層の吸引圧は浅い層とほぼ同じタイミングで 100cmH<sub>2</sub>O から 50cmH<sub>2</sub>O と急激に低下している。人工降雨終了後を見ると、自然降雨があったため浅い層はほぼ同じ吸引圧を維持しているが、深い層は、降雨終了後に急激に吸引圧を回復させているが、その後の自然降雨期間中は、80cmH<sub>2</sub>O 付近の吸引圧を維持し、自然降雨停止後に緩やかに上昇している。

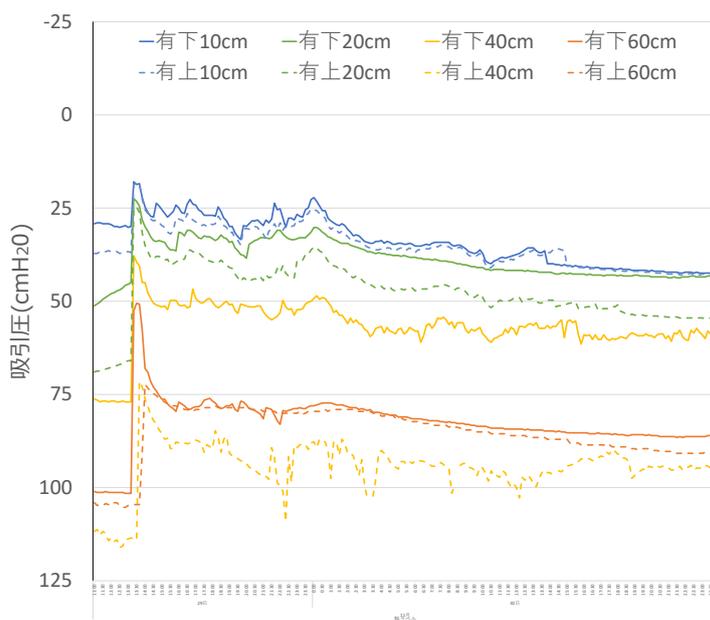


図 3.116 実測結果との比較(人工降雨時の玄倉筋工有)

シミュレーションの結果と実測の結果を比較すると、実測では、人工降雨実施前後の自然降雨の影響を受けており、単純に比較することは難しいと考えられた。

人工降雨試験だけでなく、人工降雨試験後の各層の吸引圧の変化をみると、まとまった降雨(5mm/h)を3回記録している。そのうち12月5日から8日までの実測値は図3.117のとおりである。

降雨発生前の表層が60cmH<sub>2</sub>O、中層が75cmH<sub>2</sub>O、深層が100cmH<sub>2</sub>Oと、各層によって土壌水分に差があるが、降雨発生後は、シミュレーションと同じく、最初に表層で吸引圧が低下し、その変化と連動するように中層の吸引圧力が低下している。なお、深層は大きな変化を示していない。また、同様の各層の吸引圧の変化は、別の日(12月16日)の降雨においても観察することができる。

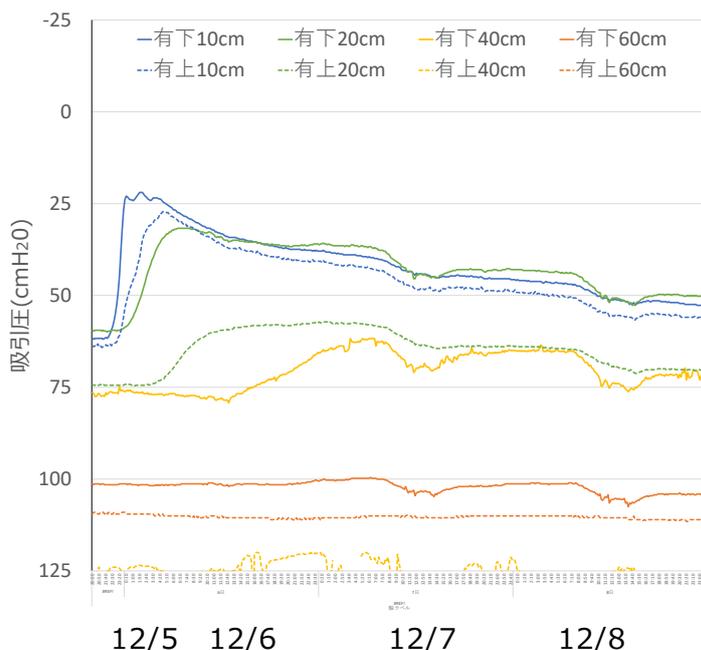


図 3.117 実測結果との比較(玄倉筋工有の自然降雨の一部区間)

降雨前の水分条件や、降雨量、降雨後の水分浸透に伴う深度毎の土壌水分の推移に係る時間は異なり、人工降雨試験時の実測値とシミュレーション値は、異なる傾向を示した。しかし、人工降雨試験後に3回程度記録された自然降雨試験では、いずれも降雨後の各層の吸引圧の変化について、シミュレーション結果と、同じような傾向を繰り返し確認することができた。

今後、現地の土砂の不飽和浸透特性を踏まえた解析によって、筋工周辺での水分変動の特徴を把握できれば、筋工の機能の定量的把握が可能となり、森林内に面的に点在する複数の筋工の効果を表現できると考える。

また、本シミュレーションソフトは、従来は浸透現象と同時に解析できなかった表面流の発生についても併せて解析できるため、猪之頭地区のような、比較的透水性の小さい土質においては、降雨に伴う表面流の推定も可能であり、柵工・筋工の土砂流出防止効果の予測手法としての活用が可能と考えられる。

## 4. 調査結果のまとめ

### 4.1. 筋工の有無による浸透能の差

本調査では、3種の異なる測定方法の浸透能試験を3地区の調査地における筋工有及び筋工無において実施し、筋工の有無による浸透能の違いを評価した。

土砂流出率についてみると、自然降雨試験(3調査地)では、猪之頭1及び猪之頭2では筋工無が大きく、玄倉では筋工有が大きくなった。人工降雨試験(2調査地)では、玄倉と猪之頭1は概ね同じ傾向を示し、総流出量とSS濃度はともに筋工無の方が大きくなった。冠水型浸透能試験(3調査地)では、玄倉と猪之頭2では筋工有の方が大きかったが、猪之頭1は筋工無の方が大きくなった。

このように、筋工有及び筋工無の流出率は、調査地と調査方法によって異なった傾向が見られたため、主な調査結果の平均値等を用い、図4.1のように対数軸で筋工の有無別の数値を比較した。なお、図4.1は縦軸を対数軸としているため、1目盛で数値は相対的に10倍異なる表示となっている。

まず地形や土壌の条件については、調査地間の差はみられるが、同じ調査地内の筋工の有無による差はほとんど認められない。ただし、猪之頭1及び猪之頭2における筋工または集水部の直上勾配の値は、筋工有が筋工無よりも小さくなっており、筋工背面における平坦面の有無が大きな差となっている。

筋工の有無によって大きな差が生じているのは、人工降雨試験の際に採水した表面流のSS濃度である。玄倉においては表面流の流量はわずかであるが、そこに含まれるSS濃度は筋工有がわずかであるため、筋工によって土砂流出が抑止されたと考えられる。この傾向は、猪之頭においては少し異なる状態となっている。SS濃度については、グラフにおいては大きな差が確認されないが、表面流量に10倍以上の差が生じている。人工降雨によって、筋工有及び筋工無ともに、同様の濃度の土砂が発生したが、表面流量が筋工によって抑制されたため、結果として土砂流出は抑止されたと想定される。

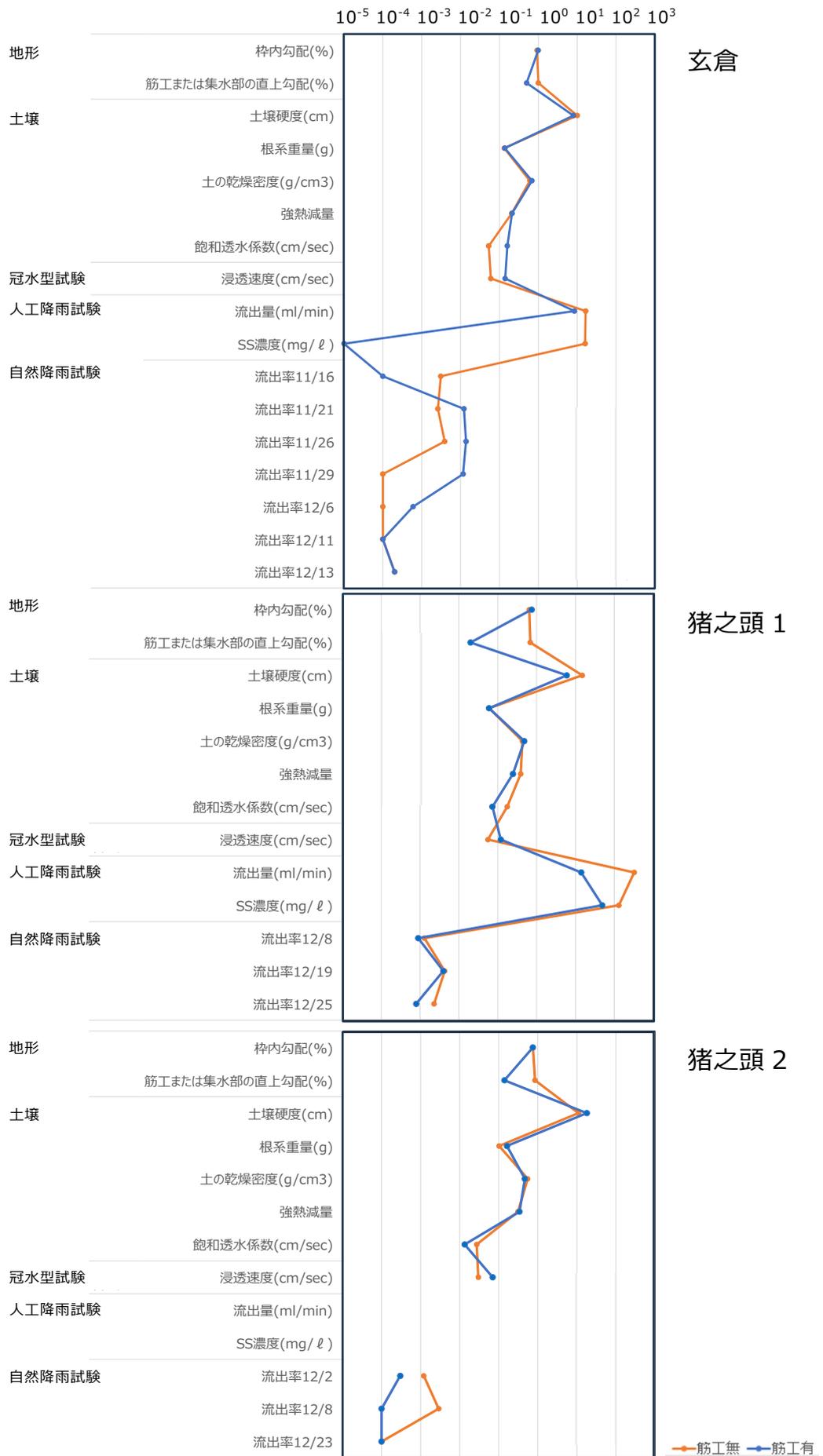


図 4.1 筋工有と筋工無の比較

## 4.2. まとめ

人工降雨試験(降雨強度 100mm/h 程度)の結果において、表面流の流出率をみると、猪之頭1では筋工無が約 18~26%に対し、筋工有では 0.5~1.6%とわずかであり、筋工有の浸透能が大きいことが示された。猪之頭 1 の筋工有は、散水開始後まもなく筋工背面の平坦部に湛水し、散水停止後にゆっくり地中へ浸透し湛水面が消失した様子が確認された。これらのことから、筋工有と筋工無で浸透能に差が生じたのは、筋工により形成された平坦部における湛水の効果が大きいと考えられる。

筋工の平坦部における湛水は、表面流を一時的に貯留しており、流出率の低減に貢献しているが、湛水が平坦部を形成する筋工背面の土壌の浸透能促進に貢献しているかどうかは、テンシオメータによる浸透状況を計測する必要があるが、本年度の調査では把握できなかった。

一方、玄倉では筋工の有無にかかわらず、流出率は 0.3~0.9%と流出が極めて少なく、また表面流も観察されなかった。猪之頭と比較して浸透能が大きいことが示された。

土壌調査における飽和透水係数に関して、玄倉は猪之頭 1 及び猪之頭 2 と比較して大きな差はなかったが、母岩の風化過程において崩積性の砂質土壌であったことに対し、猪之頭 1 及び猪之頭 2 は、残積性の黒ボク土壌で土壌粒子が細かく、かつ土壌層中にカベ状構造が形成されていることが確認された。玄倉では、筋工無あるいは筋工有で背面に平坦面がなくても、100mm/h 程度の雨量強度であれば、浸透能が十分大きく、表面流や湛水を発生させなかったと想定される。

自然降雨試験では、集水タンクからの溢水や集水部直近における雨滴跳水の影響等、装置の設置方法に改善すべき課題があり、本調査で得られた値は参考値として取り扱う。降雨量が少ない時期の観測であったため、表面流がほとんど発生せず、図 3.31 及び図 3.32 のとおり、筋工の有無にかかわらず流出率は 1.5%以下と極めて小さい値となり、自然降雨に対し浸透能が十分大きい値であったと考えられた。

浸透能や透水性を把握する調査の一つとして、冠水型浸透能試験及び土壌サンプリングによる飽和透水係数の算出を実施したが、2~3 回の繰り返し試験においては、筋工の有無に関する明確な結果は得られなかった。

受託者提案事項として本年度は、玄倉におけるテンシオメータを使用した土壌中の水分移動を計測した。その結果、筋工有付近の土壌は、筋工無より深層(40~60cm 地点)の吸引圧が高く、乾燥傾向にあることがわかった。降雨が発生すると、速やかに深層まで水分が浸透し、重力水が排水されると、重力毛管水の状態で、保水されるようになっていると考えられ、筋工無との当初の乾燥条件の違いにより、より多くの降雨を土壌中に保水することができると考えられた。

土壌断面観察や土壌試料の室内試験結果によると、筋工有と筋工無の立地において、リターの堆積量に差が生じているが、土壌構造や特性に顕著な差は認められず、地表面の状態や礫の混入、腐植や根系の存在によって、浸透能は変化すると考えられた。

今後も引き続き、降雨時の土壌中の水分移動状況を詳細に計測し、筋工背面の表面流の湛水や滞留効果を想定して、自然降雨試験と人工降雨試験を実施することが望ましいと思われる。

加えて、今後の展開として、冠水型浸透能試験等の簡易な試験方法をもとに広域的な調査を実施し、浸透能に差があった地点で、掘削して土壌断面を観察し、その差の発生原因を解明する等、異なる森林や調査面積、立地特性を考慮した浸透能特性を把握していくことも有益と思われる。

---

## 5. 資料集

---

## 5.1. 浸透能に関する文献

付表 1 浸透能に関する文献(1/3)

発行年	文献名	巻号	キーワード	概要
1975	林地の水および土壌保全機能に関する研究(第1報)ー森林状態の差異が地表流下、浸透および侵食に及ぼす影響ー	274, 23-84		森林や他の地被を持つ場所における地表流下や浸透の態様を究明するとともに、個別の地被の持つ浸透能を具体的に明らかにするために、可搬式測器を用いて多くの現地測定や、傾斜浸透装置を用いた室内の実験を行なった。林地の持つ侵食防止機能については、落葉地被物、根系、表土の条件などが有力な支配因子と考えて、人工降雨などを用いた侵食実験や現地における抜根強度の測定などを行なった。
1993	広葉樹林地、針葉樹林地および草生地の水文特性の比較	271, 1-40	浸透能, 土壌貯水能	「広葉樹林を針葉樹人工林や草生地に転換したとき、水文学的にみてどのように機能に変化を与えるか」について改めて比較考察してみたい。
1994	林地土壌の保水・排水特性の斜面位置による違い			
1995	ヒノキ林地において下層植生が土壌の浸透能に及ぼす影響(Ⅰ) 散水型浸透計による野外実験	77(3), 224-231		下層植生が失われた林地における浸透能の低下の現状と原因を明らかにするために、三重県の鈴鹿山地の下層植生の被覆状態がさまざまなヒノキ林において、土壌の浸透能と土壌物理性の測定を行った。浸透能測定には、雨滴衝撃の少ない散水型浸透計を使用した。
1995	宝川森林理水試験地における土壌孔隙量をもとにした保水容量の推定：初沢小試験流域1号沢および2号沢の比較	37(2), 49-58		
1995	筑波共同試験地理水流域における土壌の分布とその保水・流出特性にかかわる物理的特性	369, 189-207		
1997	森林理水機能調査(森林整備手法等基準化調査)報告書			足尾荒廃地の流出特性、吾妻川モデル流域における土砂流出・濁水防止対策の検討調査、河畔域・河畔林に関する研究の現状
1998	森林理水機能調査(森林整備手法等基準化調査)報告書			足尾荒廃山地の流出特性、吾妻川モデル流域における土砂流出・濁水防止対策の検討調査、河畔林に関する研究
2000	樹木の存在が林地土壌中の水分動態に与える影響	82(3), 287-294		
2002	樹木根系の存在が森林土壌中の水分移動に与える影響	55(4), 12-22	heterogeneity, forest root (living-root and decayed-root), hydrologic properties in forest	現地斜面内で人工降雨実験を実施し、斜面内の不均一性を構成する要素の一つである樹木根系(活性根、腐朽根)が土層内での水移動に及ぼす影響を明らかにするとともに、樹木の根系部周辺での雨水の挙動の定量化を試みた。
2003	雨水の鉛直浸透過程に及ぼす樹木根茎の影響に関する実験的研究	45(1-2), 11-20		
2005	荒廃したヒノキ人工林における浸透能測定法の検討	18(6)	浸透能、ヒノキ人工林、放置林、下層植生、大型散水試験、冠水型浸透計	裸地化した林床における浸透能を把握するため、冠水型浸透計、霧雨散水型浸透装置、人工降雨型浸透計を用いて浸透能を計測したところ、人工降雨型で最も実態に近い数値を安定して示した。
2007	森林流域の保水容量と流域貯留量	403, 101-110.	森林流域、保水容量、流域貯留量、水源かん養機能、保留量曲線	森林流域の水源かん養機能の指標である保水容量と流域貯留量について理解を深めるため、既往成果の整理と収集した52流域(流域規模：10-2 ~ 102 km <sup>2</sup> )について簡易な水文解析を行った。
2007	IV 堂平地区における林床植生衰退地での土壌侵食と浸透の実態	445-458		林床被度小の試験区画では土壌侵食量はリターの堆積量の季節変化によっても影響を受けており、リター堆積量の少ない夏期には春期および秋期に比較して降雨量に対する土壌侵食量が増大する傾向が認められた。林床植生の衰退は雨水の表土層への浸透や土壌水分の変化にも影響を与えており、林床植生が衰退すると浸透率が低下するとともに地表流になる割合も増加する。

付表2 浸透能に関する文献(2/3)

発行年	文献名	巻号	キーワード	概要
2007	大洞沢の降雨と流出			大洞沢における降雨流出特性、土砂流出特性を調査した。大洞沢流域においては降雨流出初期に浮遊砂量の濃度が比較的高くなることがわかった。また、流出量のモデルシミュレーションより、降雨のうちおよそ40%が降雨時に速やかに流域外に流下する直接流出となり、40%が比較的ゆっくりと流出する基底流出となるという結果が得られた。
2007	森林の水源涵養機能に土層と透水性基岩が果たす役割の評価	20(3)	水源涵養機能、斜面水文過程、森林土壌、基岩、風化花崗岩	土層と透水性基岩のインタラクションを考慮した水文観測ならびにモデル解析により、水源涵養機能に関して土層と基岩のそれぞれが果たしている役割の評価を行った。
2008	ミヤコザサ被覆による斜面表層土の保水効果	3(2)	ミヤコザサ、土壌水分、保水効果、野外観測、水収支	ミヤコザサ被覆のある斜面とミヤコザサを除去した斜面で土壌水分の変化を観測し、前者では表層土に70~80%が保水され、後者では約70%が流下浸透した。
2009	やまぐち森林づくり県民税関連事業評価報告書	1-123		公益森林整備事業施行地16箇所、竹繁茂防止緊急対策事業8箇所において、植生の回復状況に加え、人工降雨装置による現地調査を行った。現地調査では、「荒廃した森林」と「健全な森林に回復した場合」を比較するとともに、植生の回復などの経年変化を把握するため、平成17年度から19年度までの事業施行地から調査地を設定した。
2009	荒廃現況調査報告書			荒廃森林の水源かん養機能を向上させるための望ましい森林整備のあり方を提言することが目的。
2010	荒廃ヒノキ人工林の強度間伐が森林水源涵養機能に与える経済効果の試算	23(6)	経済的評価、強度間伐、ヒノキ人工林、浸透能、代替法	荒廃ヒノキ人工林における強度間伐が森林の水源涵養機能に与える影響を調べることを目的として、現地での散水実験・強度間伐のデータに基づき、水資源貯留機能及び水質浄化機能の経済的効果を試算した。
2010	ヒノキ人工林における浸透能に対する下層植生の影響	92	浸透能、下層植生、ヒノキ人工林、振動ノズル式散水装置、水土保全機能	14のヒノキ人工林で最大最終浸透能を測定したところ、最大最終浸透能と下層植生量、植比率との間に有意な生の線形関係が認められた。植比率が50%をしたまわると自然降雨化においてホートン型地表流の発生する可能性の高いことが示された。
2010	荒廃現況調査報告書			荒廃した森林を水源かん養機能が高度に発揮される森林へと誘導するための望ましい森林整備のあり方を検討するものである。
2011	いしかわ森林環境基金事業の取組成果と今後の方向性	1-22.		人工降雨装置を用いて降雨状態を再現し、強度間伐を実施した森林(21箇所)、手入れ不足人工林(13箇所)、下層植生が豊かで健全な森林:目標林(6箇所)という3つのタイプそれぞれにおいて、浸透能(保水力)及び土砂流出量を測定し、森林の状態の違いによる水源かん養機能・土壌保全機能の発揮の程度を比較した。
2011	Q&A「森林の水と謎を解く」を公開		森林、水源涵養機能	このたび、緑のダムと言われる森林と水の関係を広く広報するために、Q&A形式に取りまとめた「森林と水の謎を解く」をHPに公開しました。最新の研究成果にもとづいた森林と水の関係を体系的に理解されることが期待できます。
2011	荒廃現況調査報告書			林況や施業履歴の異なる森林において森林土壌の浸透能測定等を行い、荒廃森林における整備・保全効果の定量的把握に資する
2012	林地の浸透能	1534, 67-73		
2012	環境モニタリング水土保全機能調査-振動ノズル式降雨実験装置を用いた浸透能野外試験-	44	強度間伐、最大浸透能、新党強度、振動ノズル式降雨実験装置、土砂流出	スギ・ヒノキアスナロ人工林の強度間伐実施前・後・下層植生が豊かな箇所において地表流量や地表流中の土砂濃度を測定したところ、強度間伐をすることで浸透能が高まり、流出水中の土砂濃度も減少することが解った。

付表3 浸透能に関する文献(3/3)

発行年	文献名	巻号	キーワード	概要
2013	丹沢堂平地区のシカによる林床植生衰退地における降雨量、降雨係数および地表流出量と土壌侵食量との関係	95, 163-172	ブナ林, 土壌侵食量, 地表流出量, 降雨量, 降雨係数	ブナ林の森林内の斜面に林床植生およびリター堆積量の異なる試験プロットを5カ所設置し、2008年4月～2010年11月の樹冠通過雨量、地表流出量と土壌侵食量(雨滴侵食量+布状侵食量)を測定し、降雨に関する3要因(降雨量、降雨係数、地表流出量)と土壌侵食量(雨滴侵食量+布状侵食量)・雨滴侵食量・布状侵食量との相関を検討した。
2013	西丹沢ヌタノ沢の水文地質と流出状況	10		シカ採食圧により林床植生が衰退した森林の水源環境の対策を想定し、試験流域のヌタノ沢流域の自然特性を調査した。その現況を反映させた水循環モデルを構築し、シナリオ解析を行って施業の実施と効果のモニタリング調査に役立てる計画である。このため、事前モニタリング調査として森林の水源かん養機能に果たす土壌および基盤岩の役割に注目し、現地踏査とボーリング調査による水文地質調査および流量調査による流況把握を行った。
2013	試験流域の水文地質等の流域特性	10		森林の水源環境の保全・再生のため、水源環境モニタリング調査を行っている。その中で想定される植生保護柵設置や間伐等の施業の効果をシミュレーションにより予測する水循環モデルを構築している。モデルは、地形・地質、植生、土壌などの自然特性をベースに構築する。とくに、現地モニタリング結果を出来るだけ反映させるため、既存データに追加して流量観測調査とボーリング調査を行って地質と表流水との関係を調査した。
2014 2016	森林伐採後の団粒破壊に伴う土壌物理性変化に関する研究	p76		人工降雨試験(恩田ら2008)についての記載有
2017	森林斜面の洪水緩和効果はどのように評価できるのか	55, 41-50		
2017	斜面水文環境の変化と土砂流出・地すべりの発生過程	47(2)	vegetation, volcanic eruption, wild fire, storm runoff, sediment discharge	山地の植生、火山噴火、森林火災が斜面水文環境に及ぼす影響に関する研究の現状を概観する
2018	山地流域の水・土砂流出における空間スケールの影響 (1) : 流域面積に対する水・土砂流出量の応答に関する観測例	31	空間スケール依存性, 空間不均一性, 水流出, 浮遊砂流出, 掃流砂流出	これまでに得られてきた流域面積と平水時や出水時、それらを包含する長期的な水・土砂出現象の関係についての調査・観測結果の収集と分析から、空間スケール依存性と空間不均一性に焦点を当て、空間スケールと水・土砂出現象の関係を明らかにすることを試みた
2018	山地流域の水・土砂流出における空間スケールの影響 (2) : 集中的な観測が行われた流域の事例	31	空間スケール依存性, 空間不均一性, 水流出, 土砂流出, 流出プロセス	水・土砂流出量と流域面積の関係に関する新たな解析を加え、空間不均一性、空間スケール依存性が生じるプロセスについて考察した
2018	火山活動が桜島の周辺斜面における森林の繊維と土壌浸透能に及ぼす影響	23(2)	火山活動, 桜島の周辺斜面, 森林の遷移, 土壌浸透能	桜島の周辺斜面で実施した植生調査、土壌断面調査および土壌浸透能の測定の結果に基づき、火山活動が桜島の周辺斜面における森林の遷移と生育環境および土壌浸透能に及ぼす影響について検討した
2018	森林小流域における降水および渓流水の水質モニタリングー釜淵森林理水試験地における2000～2014年の結果ー	17(3)	森林、積雪、降水、渓流水、溶存成分濃度、経年変化、東北地方	東北地方山形県の釜淵森林理水試験地1号沢における2000～2014年の降水と渓流水の主要な溶存成分濃度の年平均値と降水による年流入負荷量を算出し、それらの経年変化について報告する
2020	高山源流部・一次流域における水文観測をベースとした水流出・地下水循環研究	50(2)		・高山域では山麓部の数倍以上の降水量が計測されることがある ・高山域は、水資源の主要な涵養域とされ、陸域における水流出の最高表高知であり、気候変動の影響を受けやすい地域でもある
2020	高山の水文地質学：世界の河川の源流を支える地下水の役割	62(1)	高山地帯、モレーン、岩石水河、基底流	高山の一次、二次流域の地下水貯留流出特性は個々の帯水層の大きさや分布によって決まり、それが大規模河川の基底流特性を支配する

## 5.2. 調査候補地

### 5.2.1. 調査候補地の概要

紹介をうけた候補地のうち、本数調整伐と筋工が施工されている立地を候補地に選定。  
 立地について：近いほどA、立地1:東京からの距離 立地2:最寄りの道路からの距離  
 優先度について： 年度:時間が経過するほどA、最近ほどC、 地利:アクセスが容易なほどA、困難ほどC、 樹種:ヒノキ以外の林分ほどA、ヒノキはC、 構造:2段で埋め戻しされているとA、簡易なほどC。

5	5	5	6	1	3	5
5	4	3	4	7	5	4
8	7	8	6	11	8	7
18	16	16	16	19	16	16

A
B
C
計

付表4 候補地26箇所の概要

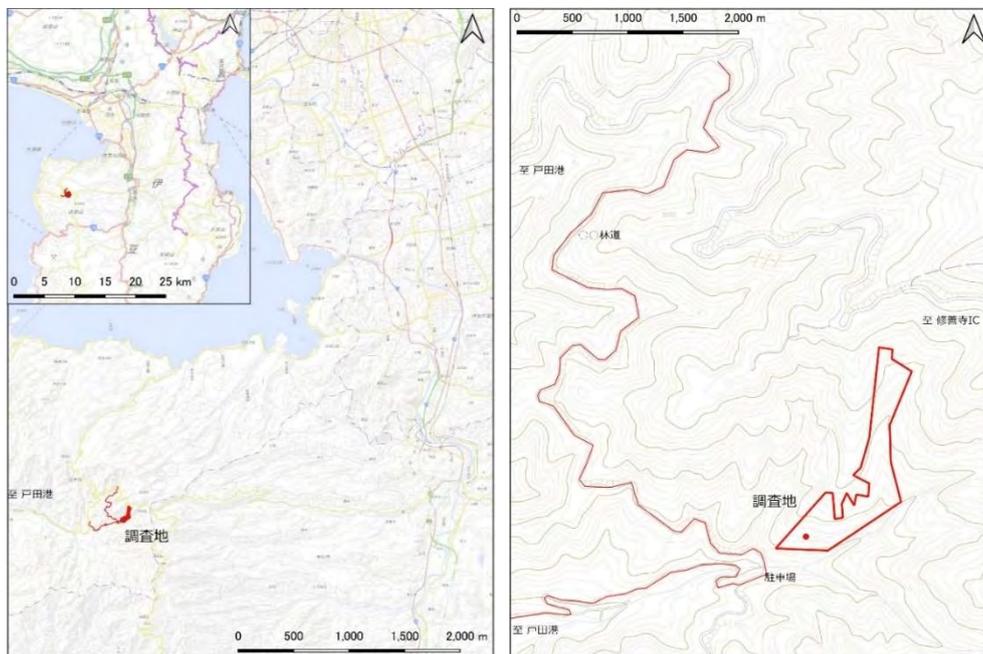
県	連番	番号	優先度							踏査候補	地質	年度	工事名	施工地				筋工の概要				樹種	林齢	本数調整伐と樹種比率	地利(現地へのアクセス)	水場との距離
			年度	立地1	立地2	水場	樹種	構造	総合					市郡	町村	箇所名	国有林名	構造	延長(m)	施工地の指定(計画の有無)	特徴					
静岡	1	1	C	A	A	A	C	B	B	○	安山岩・玄武岩	R2	保安林改良	沼津市	戸田	材松	-	現採材2段	195	施工空間と延長は指定。縦横現採材。	地山整形あり。平面凹凸型。背面埋め戻し不明。	ヒノキ	42	R2:3.75ha、H15:除間伐以前不明	道から100m程度。	沢が近接。
	2	2	A	A	A	B	C	C	A	○	堆積岩(礫岩)	H26	水源再生	富士宮市	猪之頭	猪之頭1	-	現採材1段	400	筋工位置固定。	地山整形あり。平面凹凸型。背面埋め戻し不明。	スギ・ヒノキ	40	H26:25.51ha以前不明	道から40m程度。	距離100m、揚水あるいはみ上げが必要。
	3	3	A	A	B	C	A	C	A	○	堆積岩(礫岩)	H30	水源再生	富士宮市	猪之頭	猪之頭2	-	現採材1段	100	施工空間を指定。	地山整形あり。平面凹凸型。背面埋め戻し不明。	スギ・ヒノキ	60	不明	道から100m程度。	確保困難。
	4	4	C	B	A	C	C	A	B	-	付加体 泥岩砂岩互層	R3	水源再生	静岡市 葵区	坂本	坂本・赤沢	-	現採材2段	100	施工空間と延長は指定。	地山整形あり。平面凹凸型。背面埋め戻しあり(水平)。	スギ・ヒノキ	26~100	R3:15.68ha以前不明	林道沿い。	確保困難。
	5	5	B	B	C	C	C	C	C	-	泥質片岩 (広域変成岩)	R1	保安林改良	浜松市 北区	引佐町 狩宿	クマ山	-	現採材2段	300	筋工位置固定。	地山整形なし。背面埋め戻し不明。	スギ・ヒノキ	50	R1:4.05ha以前不明		
	6	6	C	C	C	A	C	B	B	-	付加体 砂岩泥岩互層	R2	保安林改良	浜松市 天竜区	春野町 田河内	宮ノ沢	-	現採材2段	120	施工空間と延長は指定。	地山整形あり。平面凹凸型。背面埋め戻しあり(水平)。	スギ・ヒノキ	35	R3:7.51ha以前不明		
	7	7	C	C	C	B	B	A	C	-	付加体 混在岩	R2	保安林改良	浜松市 天竜区	横川	ウシロ沢	-	現採材2段	30	施工空間と延長は指定。	地山整形あり。平面凹凸型。背面埋め戻しあり(水平)。	スギ ヒノキ(落葉にスギ)	60	R2:7.99ha以前不明		水場に水にあるが微妙
長野	8	1	B	A	A	A	C	C	A	○	安山岩・玄武岩	R1 (繰越)	保育	小県郡	長和町	大門	-	現採材1段	183	筋工位置固定。 延長は出来形(設計と実測対比)。	地山整形なし。 背面埋め戻しなし。	ヒノキ	24		林道東沢線から近い。一番遠い筋工まで上り徒歩20~30分程度	事業地東側20m程度の場所に常水のある沢
	9	2	B	A	B	B	A	C	A	○	変成玄武岩 (広域変成岩)	R1	緊急予防治山	諏訪郡	下諏訪町	菟川	-	現採材1-2段	104	施工空間と延長は指定。	地山整形(階段切付)あり。	カマツ・広葉樹	56-115	樹種多様。	国道142号木落坂トンネル下諏訪町側入り口を左折した町道脇	一級河川砥川左岸近く
	10	3	C	C	C	B	C	C	C	-	花崗閃緑岩	R2 (繰越)	保安林改良	下伊那郡	阿智村	清内路	-	現採材1-2段	375	空間と箇所数指定(150箇所) 延長は出来形管理。	地山整形なし。 地山との隙間は間詰処理。	ヒノキ	不明		村道から徒歩30分	筋工施工箇所直下に沢
	11	4	B	C	C	C	C	C	C	-	片麻状花崗岩	R1 (漁場 奥地保安林)	保安林改良	下伊那郡	根羽村	外山	-	現採材1-2段	100	空間と箇所数指定(80箇所) 延長は出来形管理。	地山整形なし。隙間は枝条充填。地山との隙間は間詰処理。	ヒノキ・スギ	54-103	雪害木を利用	松ヶ峰神社下社から東に10分	50m直下に沢
	12	5	A								H30 (繰越)	保安林改良	木曽郡	木祖村	鳥居峠	-	現採材1段	540	空間と箇所数指定(30箇所) 延長は出来形管理。	地山整形なし。隙間は枝条充填。地山との隙間は間詰処理。	ヒノキ	不明		村道鳥居峠線付近は、分散・点在しているため場所特定困難	尾根付近で水場なし	
	13	6	B	B	C	C	C	C	C	-	付加体 混在岩	R1	保安林改良	木曽郡	木祖村	鳥居峠	-	現採材1段	202	施工位置は概ね指定。 杭木は剥皮指定。	地山整形なし。隙間は枝条充填。地山との隙間は間詰処理。	ヒノキ	30-105			尾根付近で水場なし
	14	7	C								R2	保安林改良	木曽郡	木祖村	鳥居峠	-	現採材1段	240	空間と箇所数指定(85箇所)	地山整形なし。隙間は枝条充填。地山との隙間は間詰処理。	ヒノキ	40-70			尾根付近で水場なし	
三重	15	8	C	B	B	C	B	C	B	-	堆積岩(泥岩)	R2 (繰越)	保安林 緊急改良	安曇野市	田沢北	-	現採材1段 (丸太杭打工)	400	空間と箇所数指定(50箇所)	地山整形なし。隙間は枝条充填。地山との隙間は間詰処理。	広葉樹 (アカマツ伐採)	55-71	松くい被害地 樹種転換に合わせ被害木を利用	長峰山荘駐車場から300m	水場については未確認	
	16	9									堆積岩(混合)		保安林 緊急改良	北安曇郡	池田町	陸郷	-	現採材1段	145	筋工位置固定。	標準図では地山整形と埋め戻しあり。現実不明。	広葉樹 (アカマツ伐採)	41-71	松くい被害地 樹種転換に合わせ被害木を利用	作業道起点から820m	沢まで直高90m、尾根付近であるため水場なし
	17	1	A	C	C	A	B	C	○	花崗閃緑岩	H29	保安林整備 (国有林)	津市	芸濃町	南之垣内	赤坂 316い	現採材2段	160	施工位置は概ね指定。	地山整形あり。 背面埋め戻しなし。	スギ・ヒノキ	52	H29:7.29ha ス:ヒ=47:53	細越林道から車を降りて30分程度尾根を越え、沢を下る必要あり。 アクセス困難。	筋工施工地と沢は近い。水場は確保できる予想。	
	18	2										保安林整備 (国有林)	津市	芸濃町	南之垣内	赤坂 316ロ	現採材2段	30		スギ・ヒノキ	47	H29:0.58ha ス:ヒ=47:53				
	19	3										保安林整備 (国有林)	津市	芸濃町	南之垣内	赤坂 316ぬ	現採材2段	40		スギ・ヒノキ	45	H29:0.97ha ス:ヒ=12:88				
	20	4										保安林整備 (国有林)	津市	芸濃町	南之垣内	赤坂 31733	現採材2段	70		スギ・ヒノキ	45	H29:2.96ha ス:ヒ:L=48:50:2				
21	5	C	C	B	C	B	B	C	-	付加体 砂岩泥岩互層	R2	保安林整備 (国有林)	多気郡	大台町	大杉	大杉谷 579い	現採材2段	50	施工位置は概ね指定。	鉄線筋束式と挟込式あり。 地山整形あり。 背面埋め戻しなし。	スギ・ヒノキ	59	H23:10.92ha、R2:10.34ha ス:ヒ:L=43:55:2	船津駅から30分、千尋隧道から林道5分、下車等高線状に500m歩く。	谷上流部の凹地形に施工。水確保は困難と予想。	
22	6									保安林整備 (国有林)		多気郡	大台町	大杉	大杉谷 579ろ	現採材2段	50		スギ・ヒノキ	60	H23:11.33ha、R2:10.20ha ス:ヒ:L=40:56:4					
23	7	A	C	A	A	B	B	A	○	付加体 砂岩泥岩互層	H30	保安林整備 (国有林)	北牟婁郡	紀北町	十須	鍛冶屋又 625ろ	現採材2段	100	施工位置は概ね指定。	地山整形あり。 背面埋め戻しなし。	スギ・ヒノキ クロマツ	57	H30:16.75ha ス:ヒ:ク=40:40:20	紀伊長島ICから約11km。沢沿い徒歩400~700m。		
24	8											保安林整備 (国有林)	北牟婁郡	紀北町	十須	鍛冶屋又 626い	現採材2段	100		スギ・ヒノキ クロマツ	59	H30:12.16ha ス:ヒ:ク=25:51:24				
25	9											保安林整備 (国有林)	北牟婁郡	紀北町	十須	鍛冶屋又 627ろ	現採材2段	100		スギ・ヒノキ クロマツ	55	H30:4.10ha ス:ヒ:ク=35:47:18				
神奈川	26	1	A	A	C	A	C	A	A	済	花崗閃緑岩	H22	奥地保安林 保全緊急対策	足柄上郡	山北町	玄倉	仲の沢	加工材3段	354	施工位置は概ね指定。	縦杭は単管(鋼管) 背面埋め戻しあり。	ヒノキ (広葉樹あり)	70	H22:9.46ha	危険地を通過する。ロープ等養生が必要。	近い。

付表5 踏査した候補地8箇所の概要

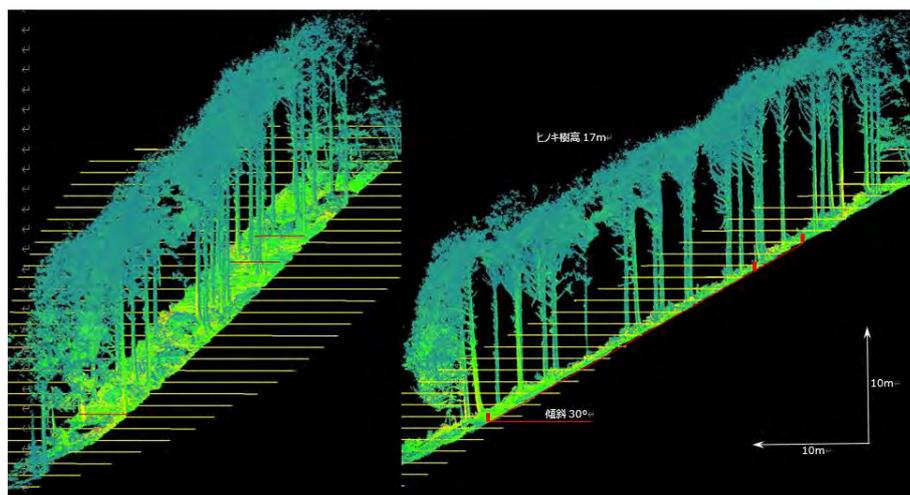
県		静岡			長野		三重		神奈川
連番	1	2-1	2-2	7	8	16	22	25	
番号	1	2		1	2	1	7	1	
工事名	保安林改良	水源再生		保育	緊急予防治山	保安林整備 (国有林)	保安林整備 (国有林)	奥地保安林 保全緊急対策	
施工年度	R2	H26	H30	R1(繰越)	R1	H29	H30	H22	
施工地	市郡	沼津市	富士宮市		小県郡	諏訪郡	津市	北牟婁郡	足柄上郡
	町村	戸田	猪野頭		長和町	下諏訪町	芸濃町	紀北町	山北町
	箇所名	材松	猪野頭1	猪野頭2	大門	菰川	南之垣内	十須	玄倉
	国有林名	-	-	-	-	-	赤坂	鍛冶屋又	仲の沢
	林小班	-	-	-	-	-	316い	625ろ	
	表層地質	安山岩・玄武岩	堆積岩(礫岩)		安山岩・玄武岩	変成玄武岩 (広域変成岩)	花崗閃緑岩	付加体 砂岩泥岩互層	花崗閃緑岩
	地形・傾斜	凹斜面30°	平衡斜面34°	平衡斜面35°	谷に接する平衡斜面31°	平衡斜面31°	谷に接する平衡斜面46°	平衡斜面41°	崩壊凹斜面44°
踏査日	8月23日	8月23日	10月17日	8月24日	8月24日	8月16日	8月15日	8月18日	
立地特性	広域	三島駅から修善寺ICを経て約50分。林道にゲート、沼津市役所にて鍵を借りる必要あり。	田貫湖から10分程度。		アクセスする林道が狭い。		経ヶ峰登山道を活用。	左沢は災害復旧地帯。右沢は、平成23年の大規模崩壊に伴い荒廃し渡渉が必要。	
	狭域(林相等)	緩傾斜ヒノキ林。尾根には広葉樹が分布している。	隣接する渓流域は、治山施設が配置されている。	60年生のスギヒノキ林。尾根にヒノキ、中腹から谷部にかけスギ。	上木(アカマツ、カラマツ)、下木(ヒノキ)の2段林。	斜面上部はアカマツ林。斜面下部はスギ林。		ヒノキ林が崩壊しミズメやシデ類を主とする広葉樹が林冠を被覆。	
	駐車場との距離	道から100m程度。	道から40m程度。アクセスは良い。	林地斜面上部と下部に林道が通過。上部から近い(40°斜面を120m程度下りる)。	林道の橋手前に駐車。調査地まで徒歩20分程度。	林道板倉線途中の治山資材運搬路に駐車。谷沿いは民家が多く、道が狭いため、駐車が難しい。	細越林道から車を降りて30分程度尾根を越え、沢を下る必要あり。アクセス困難。	紀伊長島ICから約11km。沢沿い徒歩400~700m。	危険地を通過する。ロープ等養生が必要。
	水場	沢が近接。試験地と渓流域に落差(崖)があり、確保困難。	距離100m、車両ピストンと揚水が必要。	確保困難。	事業地東側20m程度の場所に常水のある沢。谷部は表流水なく確保困難。	砥川左岸近く。渓流域へのアクセスが困難なため、確保は困難。	筋工施工地と沢は近い。水場は確保できる予想。	渓流域まで、比高差があり、確保困難。	近い。→試験地まで比高あり。
筋工と周辺部	構造	現採材2段	現採材1段→3段	現採材1段→1段(大径木)	現採材1段	現採材1-2段	現採材2段	現採材2段	加工材3段
	延長(m)	195	400	概ね100m程度	183	104	160	100	354
	施工地の指定(計画の有無)	施工空間と延長は指定。縦横現採材。	筋工位置固定。	施工空間は指定されているが、施工位置は未指定。	筋工位置固定。延長は出来形(設計と実測対比)。	施工空間と延長は指定。	施工位置は概ね指定。	施工位置は概ね指定。	施工位置は概ね指定。
	斜面整形	あり	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり(侵食あり)
	埋戻し	なし	不明	あり	なし	なし	なし	なし	あり
	土砂の堆積	2段のうち1段目程度	あり(水平、シカ踏圧あり)	あり(水平、シカ踏圧あり)	あり	あり(抜けあり)	2段のうち1段目程度	2段のうち1段目程度	あり(勾配あり)
	リターの被覆	乏しい	あり	乏しい	多密(カラマツ+アカマツ)	多(アカマツ)	あり	乏しい	乏しい
	草本層	なし	光環境に依存	なし	なし	小	なし	あり	なし
	低木層	乏しい	疎	なし	なし	小	なし	あり	乏しい
	シカの影響	大	大	大	食跡や踏圧痕跡は少ない	中	中	中	大
	特徴	緩やかな凹地形に分散配置されている。枝払いされた丸太も横配置されている。鉄線を使わない方法は良好。	林縁部に配置され、埋め戻し部にシダを含む草本層が繁茂。	林地の傾斜変換点付近に設置されている。	ヒノキの林齢が若く、現地発生材を活用しているため、筋工の規模や機能は小さい。	アカマツの丸太が散乱配置されており、地山と接しておらず機能発揮度は低い。	谷沿い斜面に1箇所施工であり、面的な機能は期待されていない。	落葉とともに、中〜小礫が堆積している。	縦杭は単管(鋼管)で背面埋め戻しあり。
	主な樹種	ヒノキ	スギ・ヒノキ→ヒノキ	スギ・ヒノキ→ヒノキ	ヒノキ	カラマツ・広葉樹	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ・クロマツ	ヒノキ(崩壊地形で林冠は広葉樹)
	林齢	42	60		24	56-115	52	57	70
本数調整伐樹種比率	R2:3.75ha、H15:除間伐以前不明	H26:25.51ha以前不明	H30:面積は不明		樹種多様。	H29:7.29ha ス:ヒ=47:53	H30:16.75ha ス:ヒ:ク=40:40:20	H22:9.46ha	
法規制		水源涵養保安林				水源涵養保安林	水源涵養保安林	土砂流出防備保安林	
優先度	施工年度	C	A	A	B	B	A	A	A
	立地1	A	A	A	A	A	C	C	A
	立地2	A	A	B	A	B	C	A	C
	水場	A→C	B	C	A→C	B→C	A	A→C	A→B
	樹種	C	C→A	C	C	A	B	B	C
	筋工構造	B	C→A		C	C	B	B	A
	総合	B	A	B	C	C	B	B	A
	候補地提案	○	◎	○	X	X	△	△	◎

## 5.2.2. 調査地以外に踏査を行った候補地

### (1) 静岡県-沼津市戸田



付図1 調査位置



付図2 斜め図と縦断面図



付図3 調査地全景(マツカゼソウやシキミ等のシカ忌避植物がわずかに定着)



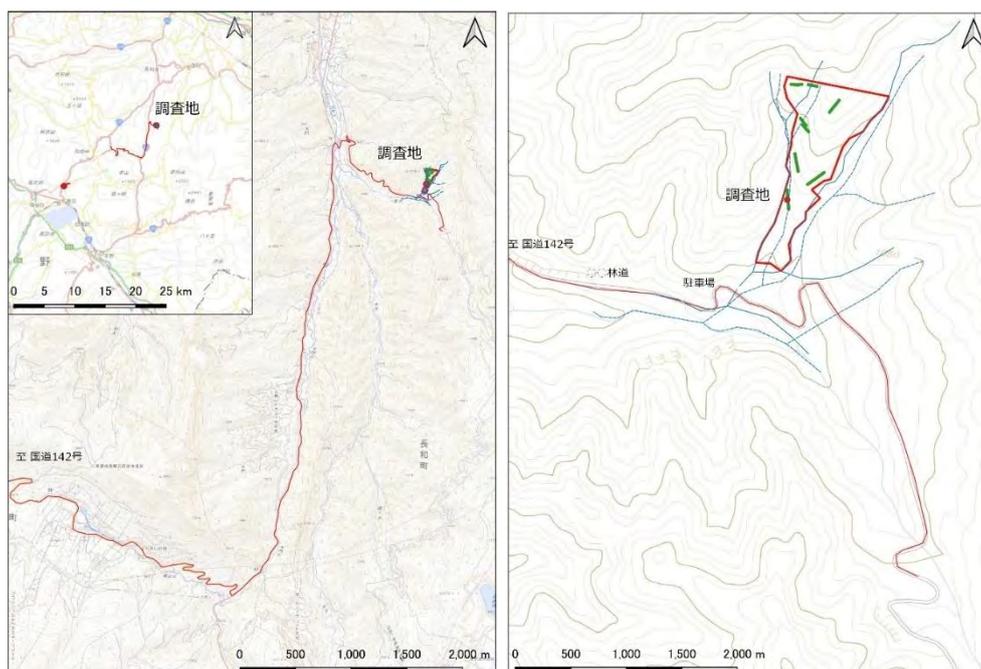
付図4 筋工の設置状況(ヒノキの鱗片や枝条を捕捉。また小～中礫も捕捉)



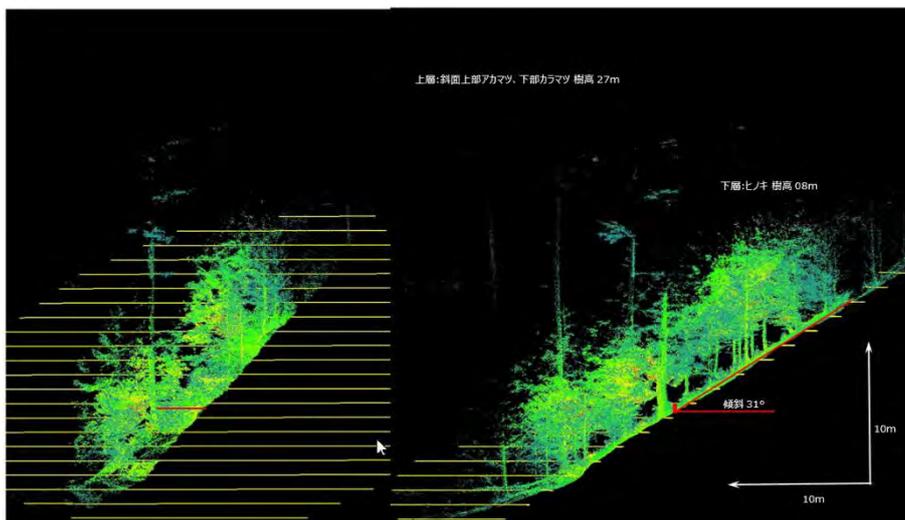
付図5 筋工の背面と接続する地山部分(ヒノキの細根が露出)

筋工の背面には枝条とともに中小の石礫が堆積している。背面堆積部に接する地山斜面は土壌の流亡が著しく、地表面のヒノキの細根が露出している。

(2) 長野県-長和町大門



付図6 調査位置



付図 7 斜め図と縦断面図(上層木のアカマツやカラマツはレーザの照度不足により可視化されていない)



付図 8 筋工周辺のリター堆積状況

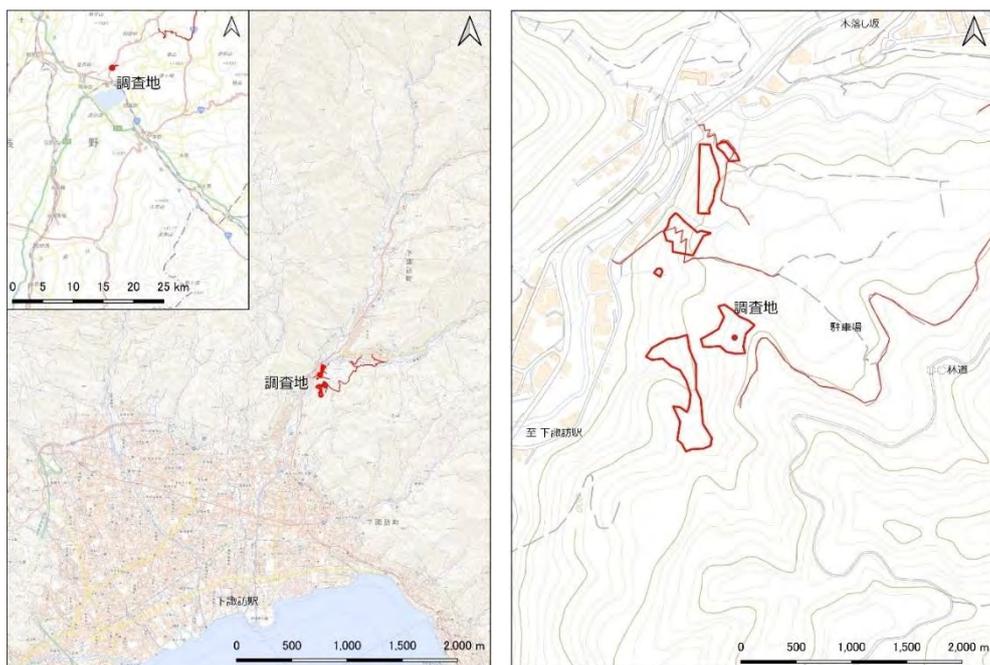


付図 9 調査地前景

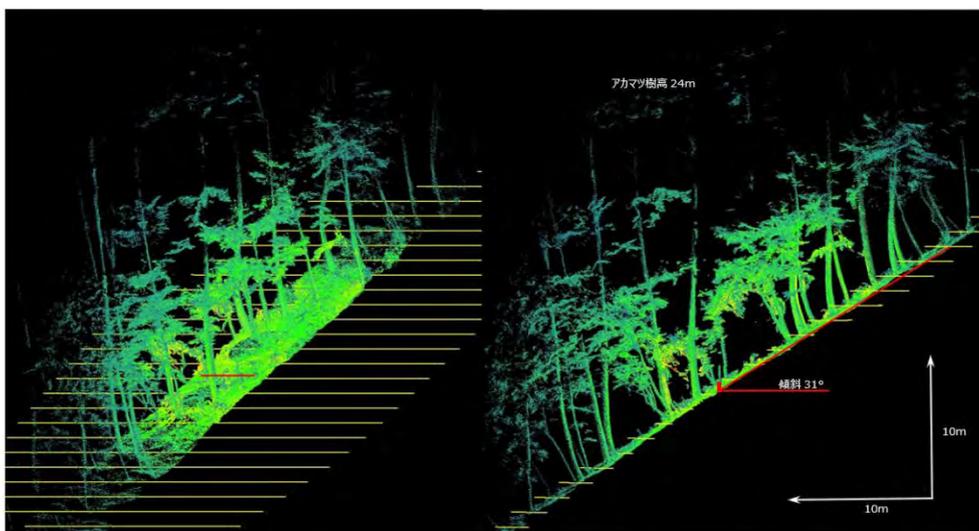


付図 10 筋工の施工状況

### (3) 長野県-下諏訪町菰川



付図 11 調査位置



付図 12 斜め図と縦断面図

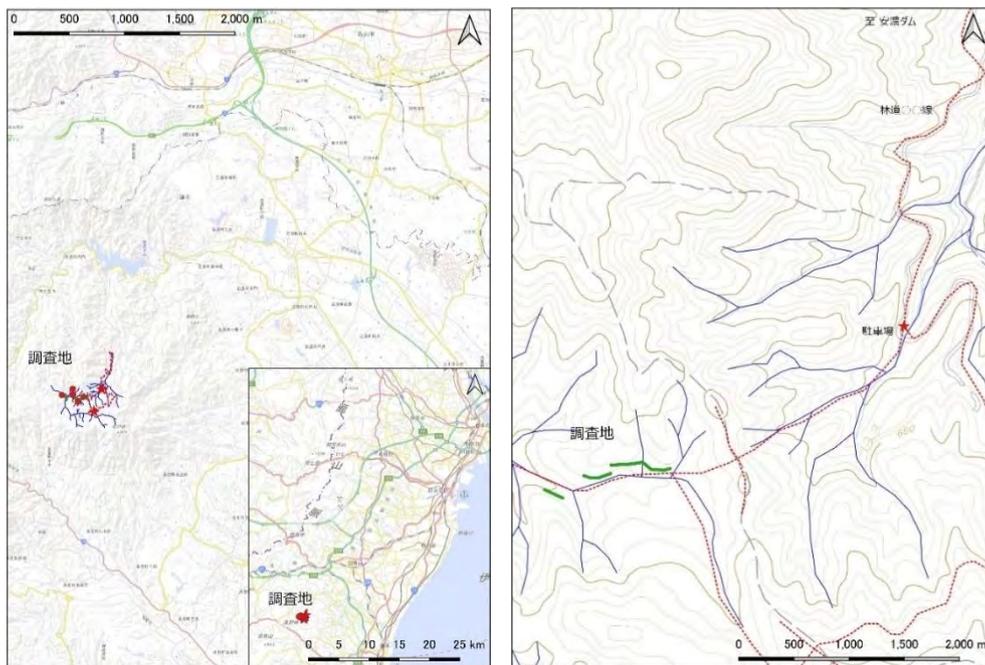


付図 13 調査地全景

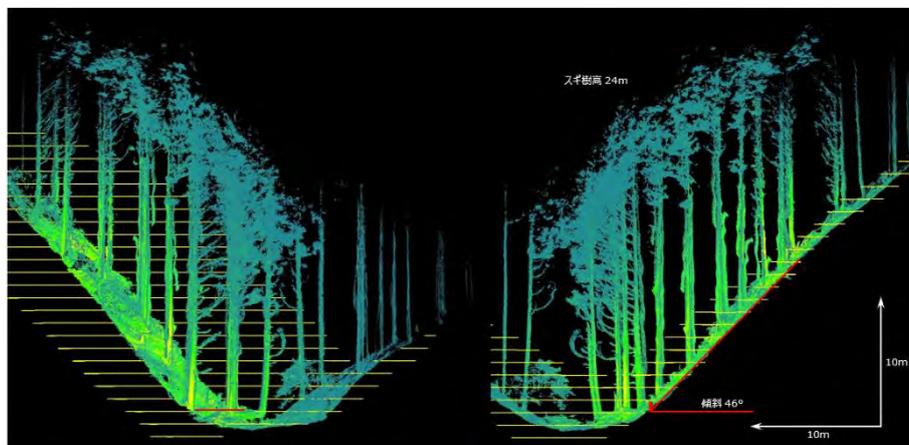


付図 14 筋工の施工状況

(4) 三重県-芸濃町赤坂国有林



付図 15 調査位置(左)と詳細図(右)



付図 16 斜め図と縦断面図

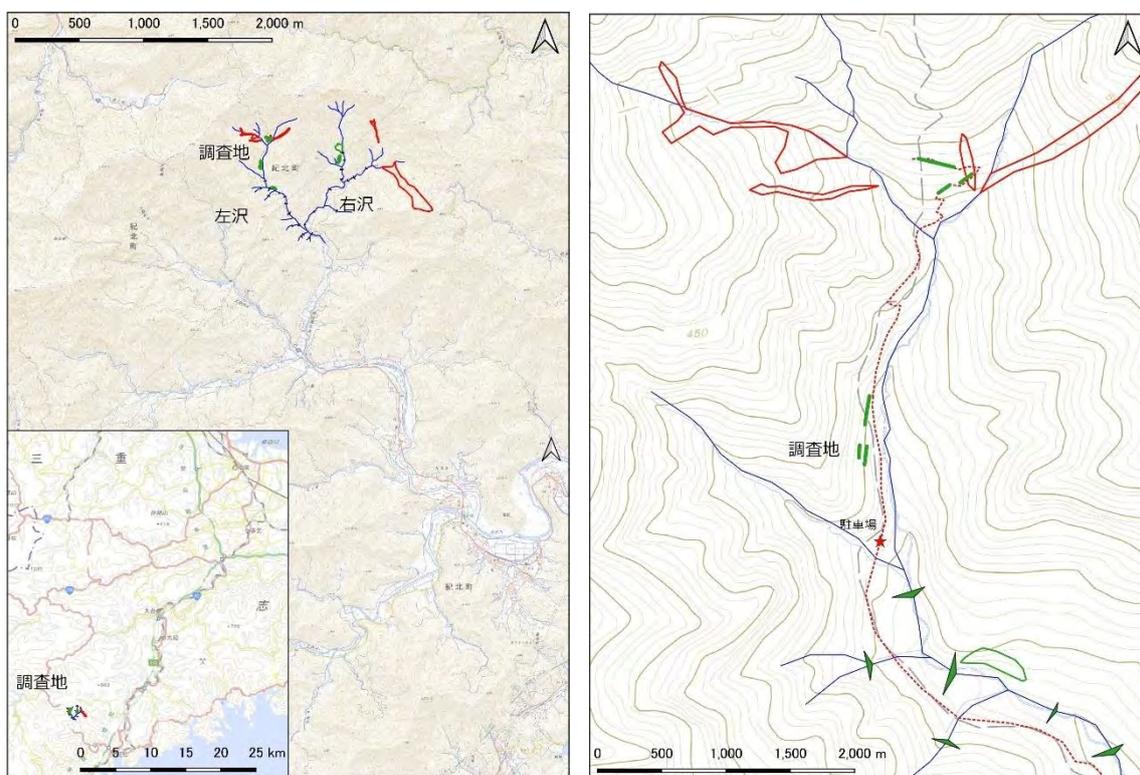


付図 17 調査地全景

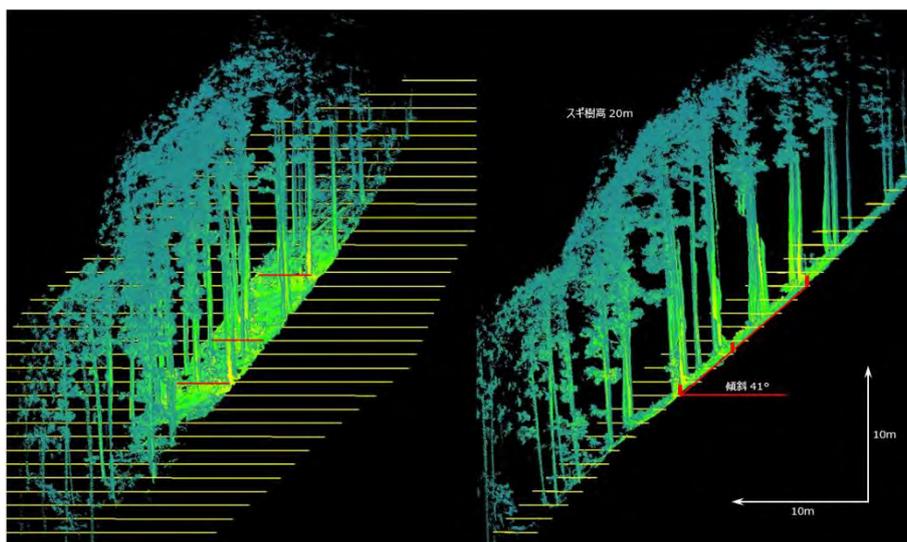


付図 18 根返りした際の土砂が筋工の背面に堆積している。

(5) 三重県-紀北町鍛冶屋又国有林



付図 19 調査位置(左)と詳細位置図(右)



付図 20 斜め図と縦断面図



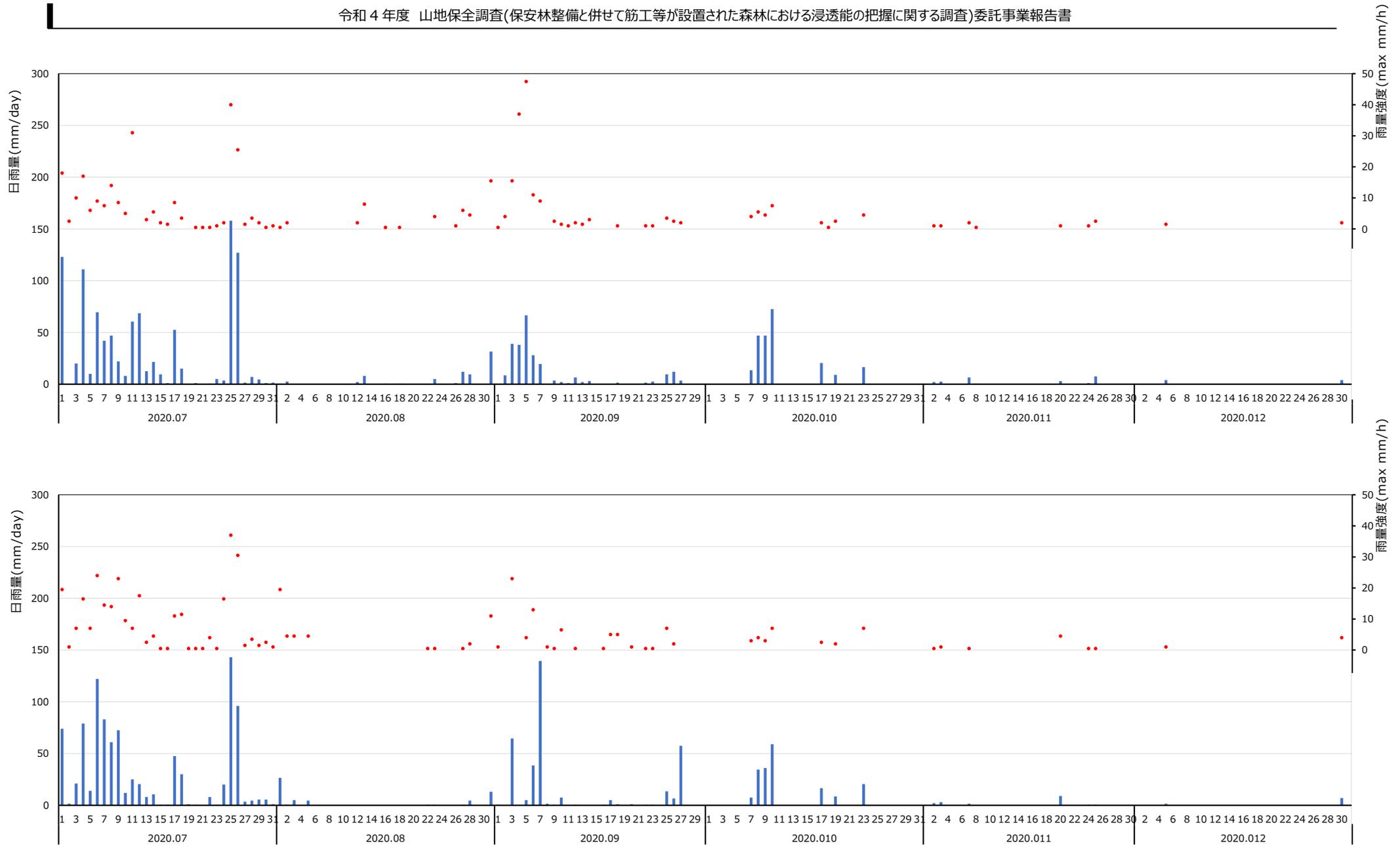
付図 21 左沢のスギ



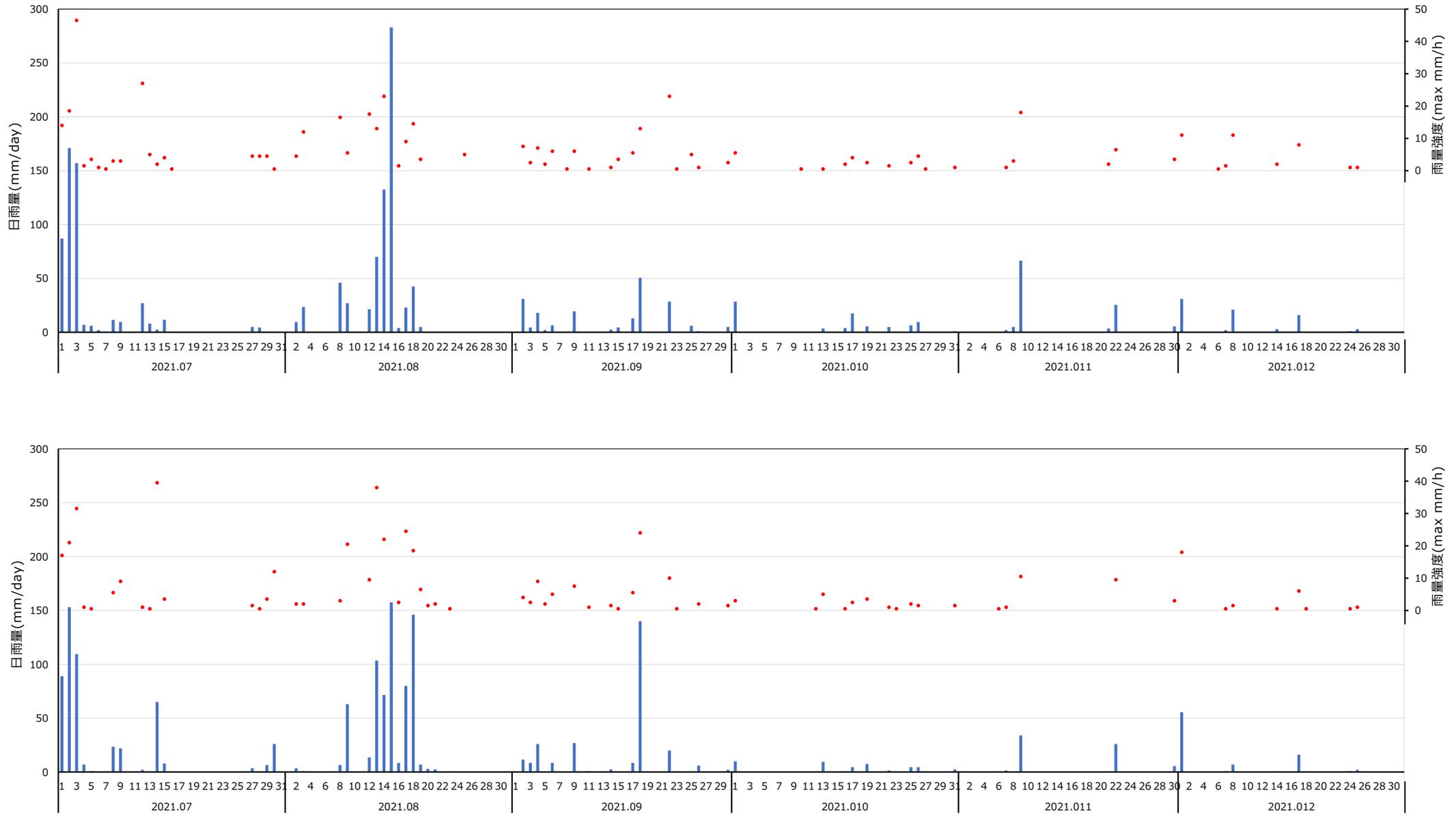
付図 22 筋工背面の土砂堆積状況(左)と土壌流亡状況

### 5.3. 調査観測結果

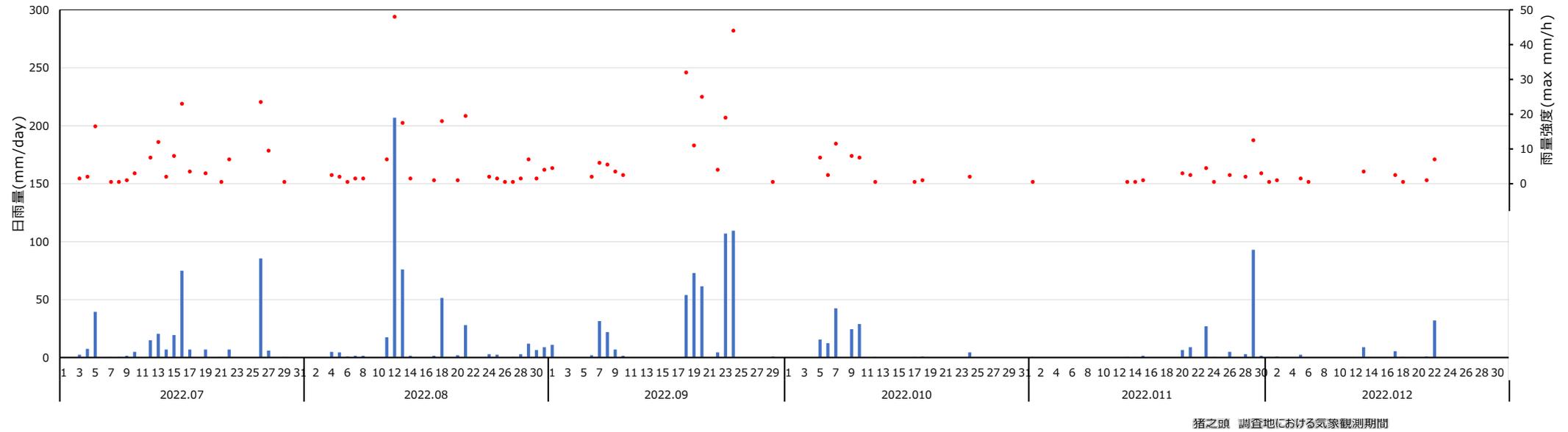
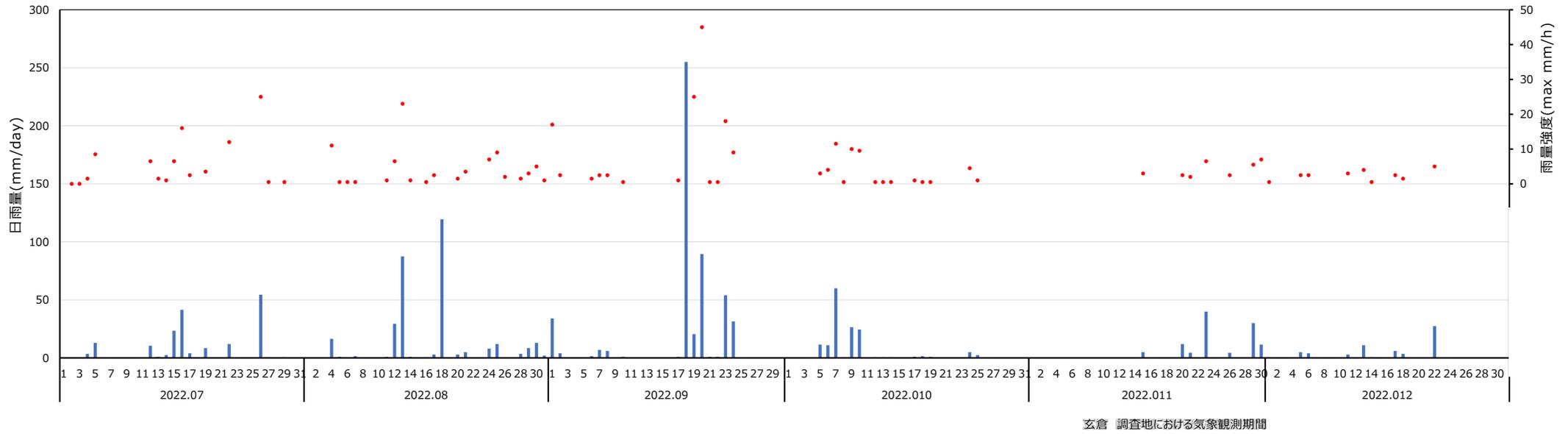
#### 5.3.1. 気象及び雨量観測



付図 23 2020年7-12月の日雨量と雨量強度(上:丹沢湖、下:白糸)



付図 24 2021年7-12月の日雨量と雨量強度(上:丹沢湖、下:白糸)

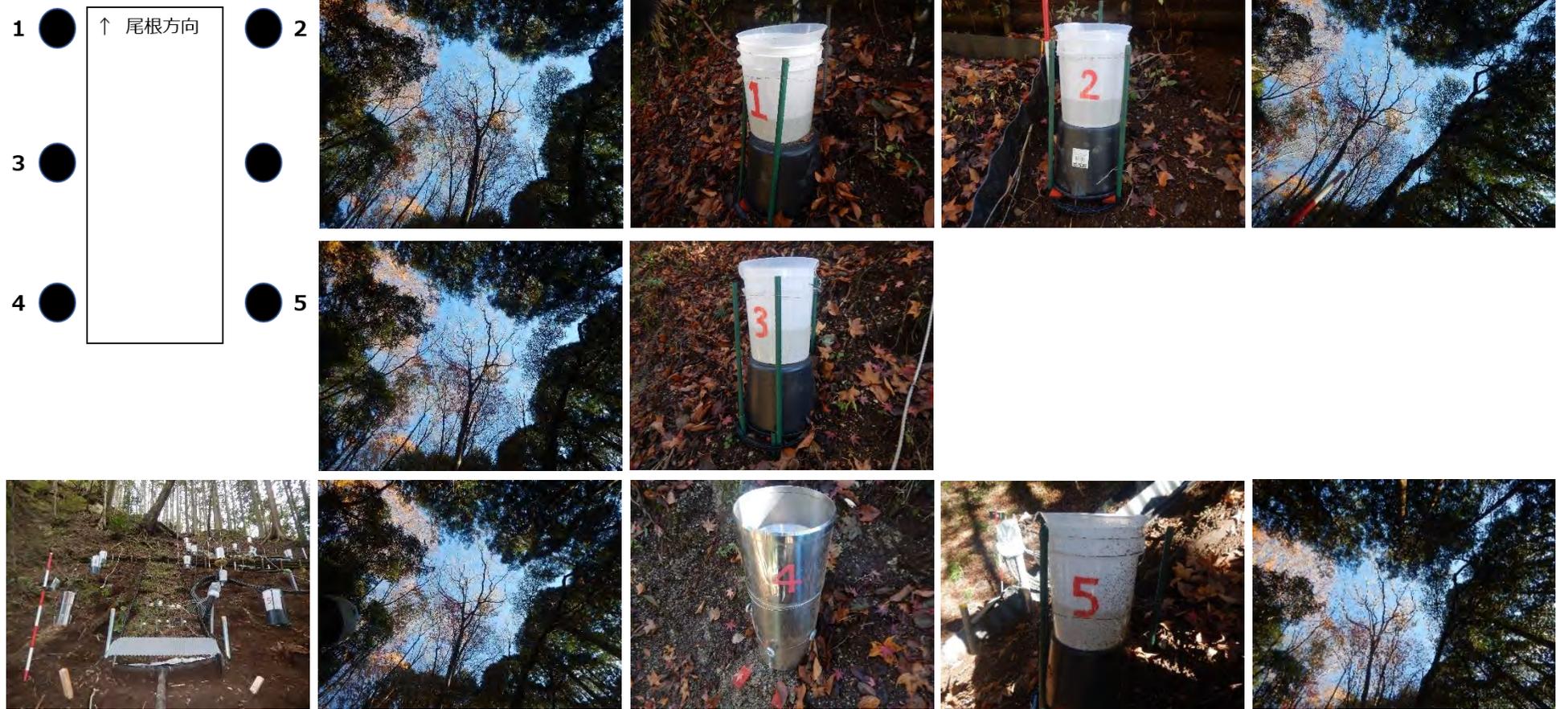


付図 25 2022年7-12月の日雨量と雨量強度(上:丹沢湖、下:白糸)





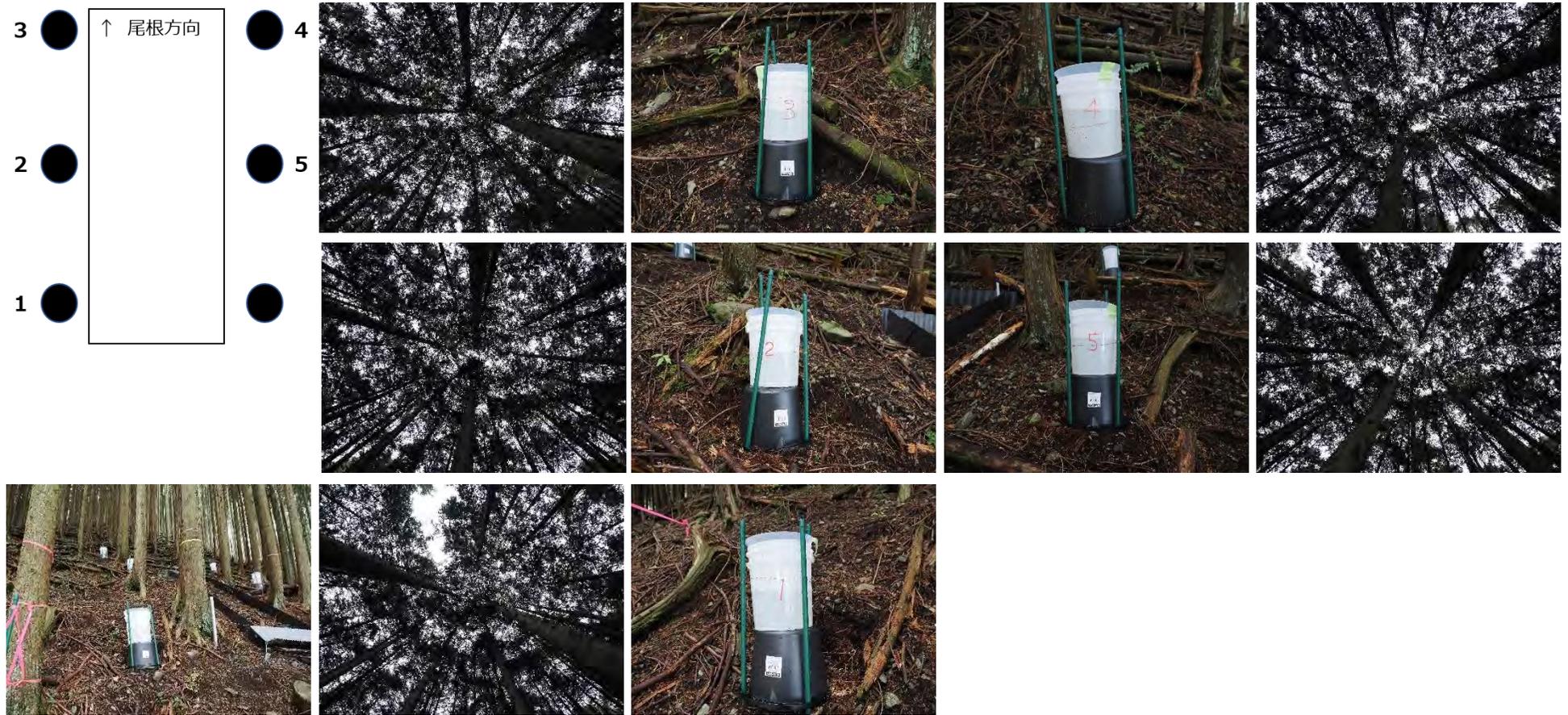
付図 26 玄倉筋工有(Kuro-1)



付図 27 玄倉筋工無(Kuro-2)



付図 28 猪之頭 1 筋工有(Ino1-1)



付図 29 猪之頭 1 筋工無(Ino1-2)



付図 30 猪之頭 2 筋工有(Ino2-1)



付図 31 猪之頭 2 筋工無(Ino2-2)

付表7 自然降雨の観測結果(転倒マス型雨量計)

立地	観測期間		林内					林外					林内																				
	開始	終了	筋工有					筋工無					転倒マス型					貯留型					④/③			貯留型					⑥/⑤		
			貯留型					貯留型					貯留型					貯留型					⑤/②										
			1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	① アメダス	② 林外	②/① 立地比	③ 林内	③/② 内外比	1	2	3	4	5	④ 平均	④/③	⑤ 林内	⑤/② 内外比	1	2	3	4		5	⑥ 平均
玄倉	10月26日	11月16日	270	250	180	280	250	230	270	320	200	300	5.0	8.0	1.60	6.0	0.75	6	6	4	6	6	5.4	0.90	6.5	0.81	5	6	7	6	7	6.2	0.95
	11月16日	11月25日	2,410	2,225	1,963	2,649	2,600	2,141	2,510	3,359	1,740	3,083	61.5	64.5	1.05	64.0	0.99	53	49	43	59	58	52.4	0.82	58.5	0.91	47	56	74	55	68	60.1	1.03
	11月25日	11月29日						-	-	-	-	-	4.5	5.5	1.22	5.0	0.91	-	-	-	-	-	-	-	3.5	0.64	-	-	-	-	-	-	-
	11月29日	12月3日	2,264	2,230	1,680	1,765	2,219	2,335	1,932	3,038	1,741	2,667	42.0	60.0	1.43	52.5	0.88	50	49	37	39	49	44.9	0.86	48.0	0.80	52	43	67	55	59	55.2	1.15
	12月3日	12月16日	985	990	705	710	1,122	820	913	1,313	727	1,198	23.5	28.0	1.19	27.5	0.98	22	22	16	16	25	20.0	0.73	23.0	0.82	18	20	29	23	27	23.4	1.02
猪之頭1	11月19日	11月24日	1,650	3,250	4,245	1,780	1,888	1,685	1,580	1,742	2,150	1,983	43.0	63.5	1.48	42.0	0.66	37	72	94	39	42	56.6	1.35	37.0	0.58	37	35	39	48	44	40.4	1.09
	11月24日	12月1日	3,716	5,892	7,043	4,365	4,948	3,995	4,330	4,176	5,019	4,963	103.0	160.5	1.56	114.5	0.71	82	130	156	97	109	114.8	1.00	103.0	0.64	88	96	92	111	110	99.4	0.97
	12月1日	12月8日	145	113	105	147	145	120	131	137	143	179	3.5	14.0	4.00	12.5	0.89	3	3	2	3	3	2.9	0.23	12.0	0.86	3	3	3	3	4	3.2	0.27
	12月8日	12月19日	512	465	520	798	633	523	635	833	543	560	15.0	39.5	2.63	29.5	0.75	11	10	12	18	14	12.9	0.44	28.5	0.72	12	14	18	12	12	13.7	0.48
	12月19日	12月25日	1,067	1,800	2,424	1,158	1,288	1,103	1,095	1,190	1,393	1,362	33.0	42.5	1.29	32.0	0.75	24	40	54	26	29	34.2	1.07	29.0	0.68	24	24	26	31	30	27.2	0.94
猪之頭2	11月20日	11月24日	2,245	1,790	1,652	1,655	1,705	1,562	1,640	2,085	2,282	2,194	43.0	51.4	1.20	36.6	0.71	50	40	37	37	38	40.0	1.09	43.0	0.84	35	36	46	50	49	43.2	1.00
	11月24日	12月2日	5,015	4,765	4,285	6,060	5,270	4,985	3,203	5,470	4,050	5,660	104.0	92.4	0.89	120.8	1.31	111	105	95	134	117	112.3	0.93	117.8	1.27	110	71	121	90	125	103.3	0.88
	12月2日	12月8日	97	95	115	137	135	113	95	90	77	75	2.5	7.4	2.96	5.0	0.68	2	2	3	3	3	2.5	0.50	5.6	0.76	3	2	2	2	2	2.0	0.36
	12月8日	12月23日	2,302	1,984	1,721	1,918	1,605	1,793	1,562	2,236	2,302	2,104	48.0	66.2	1.38	46.8	0.71	51	44	38	42	36	42.1	0.90	57.2	0.86	40	35	49	51	47	44.2	0.77
玄倉		合計											136.5	166.0	1.22	155.0	0.93	131	126	100	120	137	123		139.5	0.84	122	124	178	140	160	145	
		比率																0.87	0.84	0.67	0.80	0.91	0.82				0.90	0.91	1.31	1.03	1.18	1.07	
猪之頭1		合計											197.5	320.0	1.62	230.5	0.72	157	255	317	182	197	221		209.5	0.65	164	172	179	204	200	184	
		比率																0.68	1.10	1.37	0.79	0.85	0.96				0.78	0.82	0.85	0.98	0.95	0.88	
猪之頭2		合計											197.5	217.4	1.10	209.2	0.96	214	191	172	216	193	197		223.6	1.03	187	144	218	193	222	193	
		比率																1.02	0.91	0.82	1.03	0.92	0.94				0.84	0.64	0.98	0.86	0.99	0.86	

アメダスについて、玄倉は「丹沢湖」、猪之頭は「白糸」を適用。

付表8 期間降雨量と表面流の量及びSS

位置	調査期間		筋工有					筋工無					備考
	開始日	終了日	期間 雨量 (mm)	表面流			備考	期間 雨量 (mm)	表面流			備考	
				流量 (ml)	SS濃度 (mg/l)	SS総量 (mg/m <sup>2</sup> )			流量 (ml)	SS濃度 (mg/l)	SS総量 (mg/m <sup>2</sup> )		
玄倉	10月26日	11月16日	5.4	0	-			6.2	78	862	16.8	白濁	白濁原因は油粘土の溶出。 →エアコン配管用バテに交換。
	11月16日	11月25日	52.5	1,056	151	39.9	溢水	60.3	846	89	18.8		11/25雨除を下げる。
	11月25日	11月29日	6.9	336	60	5.0		6.9	65	-			11/29人工降雨試験日
	11月29日	12月3日	39.1	962	151	36.3	溢水	48.3	130	381	12.4		
	12月3日	12月16日	20.1	20	28	0.1		23.5	0	48	0.0		
猪之頭1	11月19日	11月24日	56.7	405	142	14.4		40.3	1,030	12	3.1	溢水	
	11月24日	12月1日	114.5	0	-			99.9	1,030	0	0.0	溢水	
	12月1日	12月8日	2.9	10	-			3.2	17	-			12/8雨除けを下げる。
	12月8日	12月19日	5.5	87	-			5.5	95	-			
	12月19日	12月25日	34.2	114	143	4.1		27.3	252	6	0.4		
猪之頭2	11月20日	11月24日	39.9	0	-			43.0	1,030	24	6.2	溢水	
	11月24日	12月2日	112.3	117	127	3.7		103.7	492	127	15.6		
	12月2日	12月8日	2.5	0	-			2.0	23	614	3.5		12/8雨除を下げる。
	12月8日	12月23日	42.1	0	-			44.0	0	-			

付表9 自然降雨と表面流量の関係(データ回収期間別)

調査地	区分	開始日時	終了日時	期間 日数	筋工有								筋工無						備考		
					データ精査		林内雨量(mm)			表面 流量 (mℓ)	表面 流量 (mm)	流出率 (%)	データ精査		林内雨量(mm)			表面 流量 (mℓ)		表面 流量 (mm)	流出率 (%)
					採用 可否	除外 理由	期間 観測値	補正 係数	林内 降雨量				採用 可否	除外 理由	期間 観測値	補正 係数	林内 降雨量				
玄倉	試験前	10月26日	11月16日	21	○		6.0	0.90	5.4	0.0	0.0000	0.00			6.5	0.95	6.2	78.0	0.0195	0.31	
		11月16日	11月25日	9	△	溢水	64.0	0.82	52.5	1056.0	0.2640	0.50	○		58.5	1.03	60.3	846.0	0.2115	0.35	筋工有は溢水のため参考値としてグラフ化。
		11月25日	11月29日	4	○		8.0	0.86	6.9	336.0	0.0840	1.22	○		6.0	1.15	6.9	65.0	0.0163	0.24	11/25に雨除を下げた。
	試験後	11月29日	12月3日	4	△	溢水	45.5	0.86	39.1	962.0	0.2405	0.61	○		42.0	1.15	48.3	130.0	0.0325	0.07	筋工有は溢水のため参考値としてグラフ化。
		12月3日	12月6日	13	○		27.5	0.73	20.1	20.4	0.0051	0.03	○		23.0	1.02	23.5	0.0	0.0000	0.00	
猪之頭1	人工降雨試験前	11月19日	11月24日	5	○		42.0	1.35	56.7	405.0	0.1013	0.18	△	溢水	37.0	1.09	40.3	1,030.0	0.2575	0.64	筋工無は溢水のため参考値としてグラフ化。
		11月24日	12月1日	7	○		114.5	1.00	114.5	0.0	0.0000	0.00	△	溢水	103.0	0.97	99.9	1,030.0	0.2575	0.26	筋工無は溢水のため参考値としてグラフ化。
		12月1日	12月8日	7	○		12.5	0.23	2.9	10.0	0.0025	0.09	○		12.0	0.27	3.2	17.0	0.0043	0.13	12/08に雨除を下げた。
		12月9日	12月19日	11	○		13.0	0.44	5.5	87.0	0.0218	0.40	○		11.5	0.48	5.5	95.0	0.0238	0.43	
		12月19日	12月23日	6	○		32.0	1.07	34.2	114.0	0.0285	0.08	○		29.0	0.94	27.3	252.0	0.0630	0.23	
猪之頭2	-	11月20日	11月24日	4	○		36.6	1.09	39.9	0.0	0.0000	0.00	△	溢水	43.0	1.00	43.0	1,030.0	0.2575	0.60	筋工無は溢水のため参考値としてグラフ化。
		11月24日	12月2日	8	○		120.8	0.93	112.3	117.0	0.0293	0.03	○		117.8	0.88	103.7	492.0	0.1230	0.12	
		12月2日	12月8日	6	○		5.0	0.50	2.5	0.0	0.0000	0.00	○		5.6	0.36	2.0	23.0	0.0058	0.29	12/08雨除を下げた。
		12月8日	12月23日	15	○		46.8	0.90	42.1	0.0	0.0000	0.00	○		57.2	0.77	44.0	0.0	0.0000	0.00	

※本表は、集水タンクで集水を開始してから水を回収(水量計測)するまでの期間毎(データ回収期間別)に整理したもの。

※表中の「採用可否」において、「△」としている期間の表面流量は参考値として取り扱う。

付表 10 自然降雨と表面流量の関係(玄倉:水位データ活用)

区分	開始日時	終了日時	期間 日数	筋工有											筋工無											備考		
				データ精査		林内雨量(mm)			水位変化(cm)				表面 流量 (m <sup>2</sup> )	表面 流量 (mm)	流出率 (%)	データ精査		林内雨量(mm)			水位変化(cm)				表面 流量 (m <sup>2</sup> )		表面 流量 (mm)	流出率 (%)
				採用 可否	除外 理由	期間 観測値	補正 係数	林内 降雨量	始期 水位	終期 水位	変化量	適用 変化量				採用 可否	除外 理由	期間 観測値	補正 係数	林内 降雨量	始期 水位	終期 水位	変化量	適用 変化量				
試験前	11月16日11:30	11月20日14:10	4	-		0.5	0.82	0.4	13.94	13.94	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	-		0.5	1.03	0.5	12.03	12.03	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	
	11月20日14:10	11月21日07:00	1	○		22.5	0.82	18.5	13.94	85.50	71.56	71.56	899.2	0.2248	1.22	○		19.0	1.03	19.6	12.03	28.26	16.23	16.23	204.0	0.0510	0.26	
	11月21日07:00	11月23日06:10	1	-		0.5	0.82	0.4	85.50	87.02	1.52	1.52	19.1	0.0048	1.19	-		0.5	1.03	0.5	28.26	28.57	0.31	0.31	3.9	0.0010	0.20	
	11月23日06:10	11月23日19:40	1	△	溢水	37.5	0.82	30.8	87.02	104.76	17.74	10.98	138.0	0.0345	0.11	○		36.5	1.03	37.6	28.57	76.87	48.30	48.30	607.0	0.1518	0.40	筋工有は溢水のため参考値。満水位98cmと想定。
	11月23日19:40	11月25日13:30	2	×	溢水	3.0	0.82	2.5	104.76	102.13	-2.63	0.00	0.0	0.0000	0.00	○		2.0	1.03	2.1	76.87	79.31	2.44	2.44	30.7	0.0077	0.37	11/25雨除を下げ、貯留型雨量計及び貯水タンク計量
	11月25日13:30	11月26日08:50	1	-		0.5	0.86	0.4	12.02	12.12	0.10	0.10	1.3	0.0003	0.08	-		0.0	1.15	0.0	16.49	16.49	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	
	11月26日08:50	11月26日11:30	1	○		4.5	0.86	3.9	12.12	29.25	17.13	17.13	215.3	0.0538	1.38	○		3.5	1.15	4.0	16.49	21.46	4.97	4.97	62.5	0.0156	0.39	
	11月26日11:30	11月29日01:20	0.5	-		0.5	0.86	0.4	29.25	30.67	1.42	1.42	17.8	0.0045	1.11	-		0.5	1.15	0.6	21.46	21.67	0.21	0.21	2.6	0.0007	0.11	
	11月29日01:20	11月29日08:50	1	○		2.5	0.86	2.2	30.67	38.78	8.11	8.11	101.9	0.0255	1.16	○		2.0	1.15	2.3	21.67	21.67	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	
試験後	11月29日14:10	11月30日04:40	0.5	△	溢水	44.5	0.86	38.3	21.44	100.50	79.06	76.56	962.1	0.2405	0.63	○		41.5	1.15	47.7	18.11	28.06	9.95	9.95	125.0	0.0313	0.07	筋工有は溢水のため参考値としてグラフ化。満水位98cmと想定。
	11月30日04:40	12月03日10:20	4	×	溢水	1.0	0.86	0.9	100.50	97.97	-2.53	0.00	0.0	0.0000	0.00	-		0.5	1.15	0.6	28.06	28.47	0.41	0.41	5.2	0.0013	0.22	12/03雨除を下げ、貯留型雨量計及び貯水タンクの水を計量。
	12月03日10:20	12月05日21:40	2	-		0.5	0.73	0.4	15.77	15.87	0.10	0.10	1.3	0.0003	0.08	-		1.0	1.02	1.0	16.59	16.59	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	
	12月05日21:40	12月06日04:40	1	○		11.0	0.73	8.0	15.87	17.39	1.52	1.52	19.1	0.0048	0.06	○		8.0	1.02	8.2	16.59	16.69	0.10	0.10	1.3	0.0003	0.00	
	12月06日04:40	12月11日21:10	5	-		1.0	0.73	0.7	17.39	17.39	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	-		0.5	1.02	0.5	16.69	16.08	-0.61	0.00	0.0	0.0000	0.00	
	12月11日21:10	12月11日22:20	0.5	○		3.0	0.73	2.2	17.39	17.29	-0.10	0.00	0.0	0.0000	0.00	○		3.0	1.02	3.1	16.08	16.08	0.00	0.00	0.0	0.0000	0.00	
	12月11日22:20	12月13日03:10	2	-		0.5	0.73	0.4	17.29	16.88	-0.41	0.00	0.0	0.0000	0.00	-		0.5	1.02	0.5	16.08	15.48	-0.60	0.00	0.0	0.0000	0.00	
	12月13日03:10	12月13日13:20	0.5	○		11.5	0.73	8.4	16.88	17.39	0.51	0.51	6.4	0.0016	0.02	○		10.0	1.02	10.2	15.48	16.08	0.60	0.60	7.5	0.0019	0.02	
	12月13日13:20	12月16日12:00	3	-		0.0	0.73	0.0	17.39	15.87	-1.52	0.00	0.0	0.0000	0.00	-		0.0	1.02	0.0	16.08	13.75	-2.33	0.00	0.0	0.0000	0.00	12/16に貯留型雨量計及び貯水タンクの水を計量。

※本表は、取得した時系列の雨量データに基づき、一続きの降雨が発生した期間毎、玄倉の集水タンクに設置した水位計で取得した時系列データを活用して再整理したもの。

※表中の「採用可否」において、「△」としている期間の表面流量は参考値として取り扱う。「×」は溢水期間のため分析に活用しない。「-」は降雨量がわずかであるため分析に活用しない。

### 5.3.2. 人工降雨試験

付表 11 玄倉筋工有(Kuro-1)人工降雨試験

玄倉・筋工有(Kuro-1)

プロット番号	1 (筋工あり)	開始日・時刻	2022/11/29 13:13		
標高(m)	700	優占樹種	ヒノキ	散水面積(m <sup>2</sup> )	1.6
斜面方位	西南西	表面被覆率(%)	-	筋工堆積勾配	50%
柵勾配	95%	下層植生乾重(g/m <sup>2</sup> )	-	降雨強度(mm/h)	101.3
土壌タイプ	B <sub>D</sub>	リター乾重(g/m <sup>2</sup> )	367	浸透強度(mm/h)	101.0

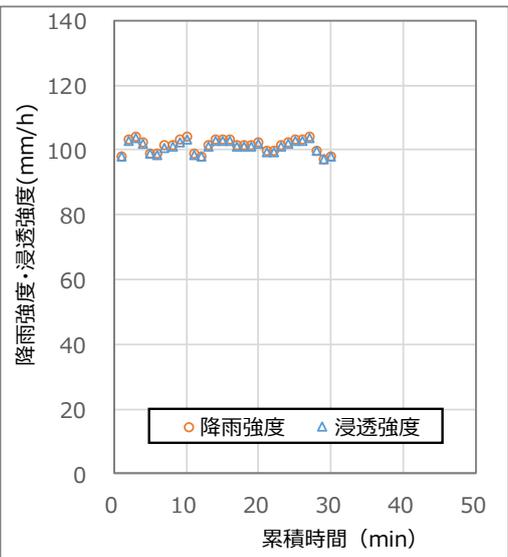


No.	測定間隔	累積時間	送水量	降雨強度	流出量	流出高	浸透強度
	sec	min	L/min	mm/h	ml	mm/h	mm/h
0							
1	60	1.0	11.7	98.1	0.00	0.0	98.1
2	60	2.0	12.3	103.1	3.10	0.1	103.0
3	60	3.0	12.4	104.0	6.32	0.2	103.8
4	60	4.0	12.2	102.3	9.69	0.4	101.9
5	60	5.0	11.8	98.9	4.01	0.2	98.7
6	60	6.0	11.8	98.9	11.45	0.4	98.5
7	60	7.0	12.1	101.4	14.81	0.6	100.8
8	60	8.0	12.1	101.4	13.34	0.5	100.9
9	60	9.0	12.3	103.1	16.40	0.6	102.5
10	60	10.0	12.4	104.0	15.45	0.6	103.4
11	60	11.0	11.8	98.9	11.53	0.4	98.5
12	60	12.0	11.7	98.1	8.43	0.3	97.8
13	60	13.0	12.1	101.4	11.68	0.4	101.0
14	60	14.0	12.3	103.1	13.34	0.5	102.6
15	60	15.0	12.3	103.1	12.50	0.5	102.6
16	60	16.0	12.3	103.1	10.08	0.4	102.7
17	60	17.0	12.1	101.4	6.77	0.3	101.1
18	60	18.0	12.1	101.4	5.05	0.2	101.2
19	60	19.0	12.1	101.4	4.62	0.2	101.2
20	60	20.0	12.2	102.3	4.61	0.2	102.1
21	60	21.0	11.9	99.8	8.45	0.3	99.5
22	60	22.0	11.9	99.8	8.90	0.3	99.5
23	60	23.0	12.1	101.4	8.10	0.3	101.1
24	60	24.0	12.2	102.3	10.01	0.4	101.9
25	60	25.0	12.3	103.1	9.47	0.4	102.7
26	60	26.0	12.3	103.1	8.76	0.3	102.8
27	60	27.0	12.4	104.0	8.17	0.3	103.7
28	60	28.0	11.9	99.8	4.21	0.2	99.6
29	60	29.0	11.6	97.2	2.65	0.1	97.1
30	60	30.0	11.7	98.1	3.90	0.1	98.0
平均				101.3	8.53	0.3	101.0

キャリブレーション

No.	測定間隔	送水量	流出量	降雨強度
	sec	L/min	ml	mm/h
1				
2	12	11.9	521	97.7
3	12	11.9	583	109.3
4	12	12.1	521	97.7
5	12	12.1	521	97.7
6				
平均		12.0	536.6	100.6

毎分降雨強度 =  $100.6 * (x / 12.0)$   
 x : 送水量



期間平均流出率 0.32 %

流出高が安定しているか判断困難なため、最終浸透能は評価しない。

最終浸透能における流出率 - %

付表 12 玄倉筋工無(Kuro-2)人工降雨試験

玄倉筋工無(Kuro-2)

プロット番号	2 (筋工なし)		開始日・時刻	2022/11/29 10:21	
標高(m)	700	優占樹種	ヒノキ	散水面積(m <sup>2</sup> )	1.2
斜面方位	西南西	表面被覆率(%)	-	筋工堆積勾配	-
枠勾配	93%	下層植生乾重(g/m <sup>2</sup> )	-	降雨強度(mm/h)	97.1
土壌タイプ	B <sub>D</sub>	リター乾重(g/m <sup>2</sup> )	133	浸透強度(mm/h)	96.2

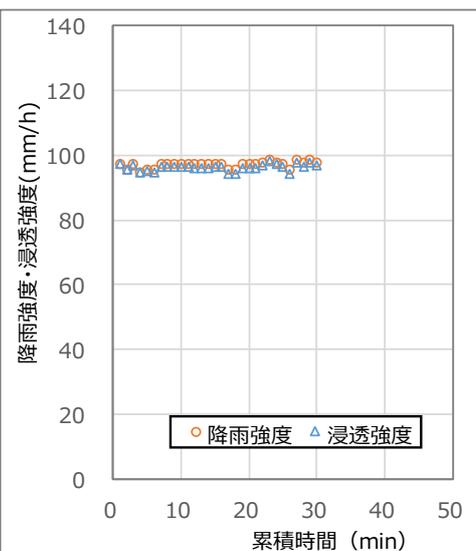


No.	測定間隔	累積時間	送水量	降雨強度	流出量	流出高	浸透強度
	sec	min	L/min	mm/h	ml	mm/h	mm/h
0							
1	20	1.0	12.1	97.2	0.00	0.0	97.2
2	20	2.0	11.9	95.6	0.00	0.0	95.6
3	20	3.0	12.1	97.2	1.20	0.2	97.0
4	20	4.0	11.8	94.8	1.51	0.2	94.6
5	60	5.0	11.9	95.6	9.73	0.5	95.1
6	60	6.0	11.9	95.6	13.81	0.7	94.9
7	60	7.0	12.1	97.2	17.95	0.9	96.3
8	60	8.0	12.1	97.2	15.69	0.8	96.4
9	60	9.0	12.1	97.2	16.64	0.8	96.4
10	60	10.0	12.1	97.2	15.21	0.8	96.4
11	60	11.0	12.1	97.2	15.52	0.8	96.4
12	60	12.0	12.1	97.2	20.64	1.0	96.2
13	60	13.0	12.1	97.2	23.03	1.2	96.0
14	60	14.0	12.1	97.2	20.22	1.0	96.2
15	60	15.0	12.1	97.2	14.33	0.7	96.5
16	60	16.0	12.1	97.2	14.81	0.7	96.5
17	60	17.0	11.9	95.6	23.34	1.2	94.4
18	60	18.0	11.9	95.6	24.31	1.2	94.4
19	60	19.0	12.1	97.2	22.18	1.1	96.1
20	60	20.0	12.1	97.2	23.00	1.2	96.0
21	60	21.0	12.1	97.2	23.33	1.2	96.0
22	60	22.0	12.2	98.0	17.63	0.9	97.1
23	60	23.0	12.3	98.8	14.26	0.7	98.1
24	60	24.0	12.2	98.0	16.16	0.8	97.2
25	60	25.0	12.1	97.2	14.66	0.7	96.5
26	60	26.0	11.9	95.6	21.04	1.1	94.5
27	60	27.0	12.3	98.8	23.66	1.2	97.6
28	60	28.0	12.2	98.0	25.77	1.3	96.7
29	60	29.0	12.3	98.8	22.32	1.1	97.7
30	60	30.0	12.2	98.0	23.74	1.2	96.8
平均				97.1	16.52	0.8	96.2

キャリブレーション

No.	測定間隔	送水量	流出量	降雨強度
	sec	L/min	ml	mm/h
1		11.8		
2	17	12.2	510	90.0
3	17	11.9	580	102.4
4	17	11.9	580	102.4
5	17	11.9	510	90.0
6				
平均		12.0	545.1	96.2

毎分降雨強度 =  $96.2 * (x / 12.0)$   
 x : 送水量



期間平均流出率 0.87 %

流出高が安定しているか判断困難なため、最終浸透能は評価しない。

最終浸透能における流出率 - %

付表 13 猪之頭1筋工有(Ino1-1)人工降雨試験

猪之頭1筋工有(Ino1-1)

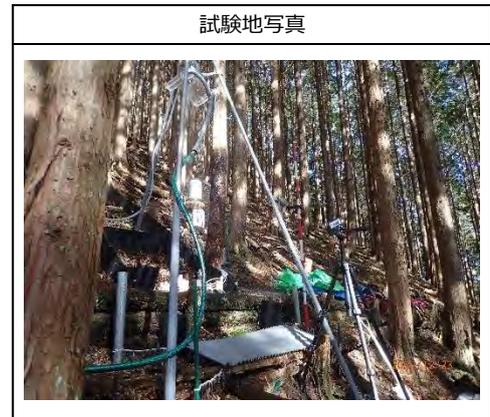
プロット番号		3 (筋工あり)		開始日・時刻		2022/12/23 11:53	
標高(m)	780	優占樹種	ヒノキ	散水面積(m <sup>2</sup> )		1.3	
斜面方位	南	表面被覆率(%)	-	筋工堆積勾配		2%	
枠勾配	75%	下層植生乾重(g/m <sup>2</sup> )	-	降雨強度(mm/h)		105.1	
土壌タイプ	IBI	リター乾重(g/m <sup>2</sup> )	583	浸透強度(mm/h)		104.5	

No.	測定間隔	累積時間	送水量	降雨強度	流出量	流出高	浸透強度
	s	min	L/min	mm/h	ml	mm/h	mm/h
0							
1	60	1	11.9	103.9	0.00	0.0	103.9
2	60	2	11.8	103.0	0.00	0.0	103.0
3	60	3	11.9	103.9	0.00	0.0	103.9
4	60	4	11.9	103.9	0.00	0.0	103.9
5	60	5	11.9	103.9	0.00	0.0	103.9
6	60	6	12.2	106.5	0.00	0.0	106.5
7	60	7	11.8	103.0	0.00	0.0	103.0
8	60	8	11.8	103.0	0.00	0.0	103.0
9	60	9	11.9	103.9		0.0	103.9
10	60	10	11.8	103.0	0.00	0.0	103.0
11	60	11	12.2	106.5	0.00	0.0	106.5
12	60	12	12.2	106.5	13.50	0.6	105.9
13	60	13	12.4	108.3	14.50	0.7	107.6
14	60	14	12.4	108.3	14.30	0.7	107.6
15	60	15	11.8	103.0	21.50	1.0	102.0
16	60	16	12.1				
17	60	17	11.8	103.0	17.30	0.8	102.2
18	60	18	12.1	105.6	14.50	0.7	104.9
19	60	19	12.2	106.5	14.50	0.7	105.8
20	60	20	12.6	110.0	18.50	0.9	109.1
21	60	21	12.2	106.5	20.50	0.9	105.6
22	60	22	11.8	103.0	32.30	1.5	101.5
23	60	23	11.8	103.0	29.00	1.3	101.7
24	60	24	11.8	103.0	22.30	1.0	102.0
25	60	25	11.9	103.9	18.30	0.8	103.1
26	60	26	11.7	102.1	22.30	1.0	101.1
27	60	27	11.8				
28	60	28	12.4	108.3	32.30	1.5	106.8
29	60	29	12.4	108.3	28.50	1.3	107.0
30	60	30	12.5	109.1	14.50	0.7	108.4
34-35	60	35	12.5				
39-40	60	40	12.1	105.6	18.50	0.9	104.7
平均				105.1	13.11	0.6	104.5

期間平均流出率 0.56 %

流出高が安定しているか判断困難なため、最終浸透能は評価しない。

最終浸透能における流出率 - %

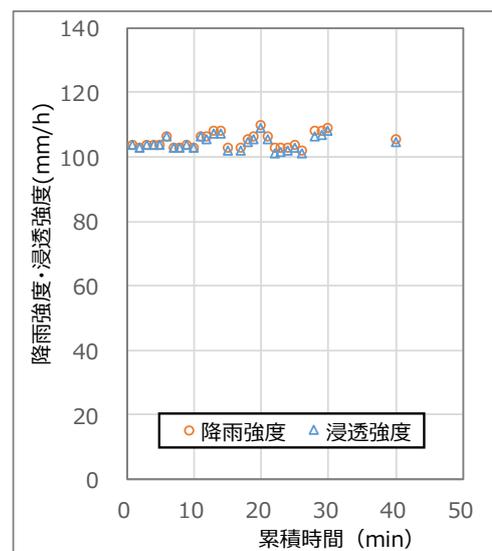


キャリブレーション

No.	測定間隔	送水量	流出量	降雨強度
	sec	L/min	ml	mm/h
1	13	11.1	430	91.6
2	12	12.1	458	105.7
3	11.4	11.6	430	104.5
4	12.2	11.7	486	110.3
5	13.4	12.2	486	100.4
6				
平均		11.7	458.0	102.5

$$\text{毎分降雨強度} = 102.5 * \left( \frac{x}{11.7} \right) \quad (x: \text{送水量})$$

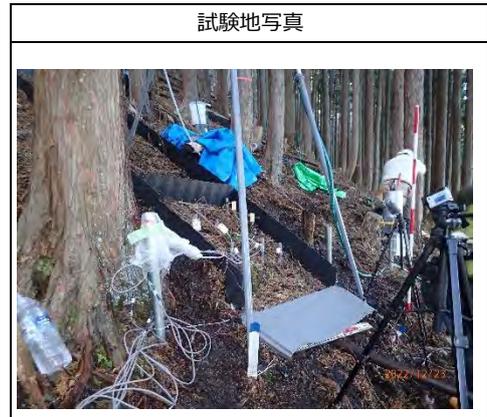
No.9、16、27、34-35は、採水ビンを入れたコンテナを運搬中に転倒し、コンテナ内部で破損し内部が漏洩したため不採用とした。



付表 14 猪之頭1筋工無(Ino1-2)人工降雨試験

猪之頭1筋工無(Ino1-2)

プロット番号	4 (筋工なし)	開始日・時刻	2022/12/23 13:00		
標高(m)	780	優占樹種	ヒノキ	散水面積(m <sup>2</sup> )	1.3
斜面方位	南東	表面被覆率(%)	-	筋工堆積勾配	-
枠勾配	65%	下層植生乾重(g/m <sup>2</sup> )	-	降雨強度(mm/h)	96.7
土壌タイプ	IBI	リター乾重(g/m <sup>2</sup> )	377	浸透強度(mm/h)	81.4

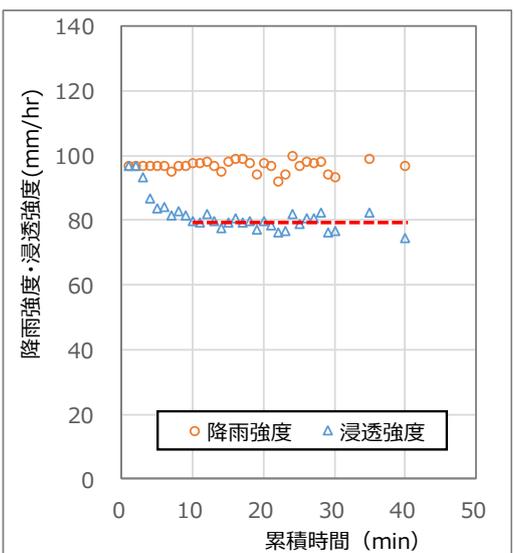


No.	測定間隔	累積時間	送水量	降雨強度	流出量	流出高	浸透強度
	s	min	L/s	mm/h	ml	mm/h	mm/h
0							
1	60	1	12.1	96.6	2.00	0.1	96.5
2	60	2	12.1	96.6	0.00	0.0	96.6
3	60	3	12.1	96.6	78.00	3.6	93.0
4	60	4	12.1	96.6	218.00	10.1	86.5
5	60	5	12.1	96.6	281.00	13.0	83.6
6	60	6	12.1	96.6	268.50	12.4	84.2
7	60	7	11.9	95.1	291.30	13.4	81.7
8	60	8	12.1	96.6	296.00	13.7	82.9
9	60	9	12.1	96.6	334.00	15.4	81.2
10	60	10	12.2	97.4	381.50	17.6	79.8
11	60	11	12.2	97.4	398.00	18.4	79.0
12	60	12	12.3	98.2	350.00	16.2	82.0
13	60	13	12.1	96.6	366.00	16.9	79.7
14	60	14	11.9	95.1	381.00	17.6	77.5
15	60	15	12.3	98.2	410.00	18.9	79.3
16	60	16	12.4	99.0	404.00	18.6	80.4
17	60	17	12.4	99.0	432.00	19.9	79.1
18	60	18	12.2	97.4	386.00	17.8	79.6
19	60	19	11.8	94.3	370.00	17.1	77.2
20	60	20	12.2	97.4	382.00	17.6	79.8
21	60	21	12.1	96.6	396.00	18.3	78.3
22	60	22	11.5	91.9	339.00	15.6	76.3
23	60	23	11.8	94.3	378.00	17.4	76.9
24	60	24	12.5	99.8	390.00	18.0	81.8
25	60	25	12.1	96.6	390.00	18.0	78.6
26	60	26	12.3	98.2	384.00	17.7	80.5
27	60	27	12.2	97.4	362.00	16.7	80.7
28	60	28	12.3	98.2	346.50	16.0	82.2
29	60	29	11.8	94.3	392.00	18.1	76.2
30	60	30	11.7	93.5	368.00	17.0	76.5
34-35	60	35	12.4	99.0	367.00	16.9	82.1
39-40	60	40	12.1	96.6	478.00	22.1	74.5
平均				96.7	331.87	15.3	81.4

キャリブレーション

No.	測定間隔	送水量	流出量	降雨強度
	sec	L/s	ml	mm/h
1	14.9	12.1	536	99.5
2	14.8	12.1	529	99.0
3	13.4	11.8	518	106.9
4	16	11.8	484	83.8
5	15.8	11.9	500	87.6
6				
平均		11.9	513.2	95.4

毎分降雨強度 =  $95.4 * (x / 11.9)$   
 x : 送水量



期間平均流出率 15.83 %  
 最終浸透能(浸透強度緑着色部の平均値) 79.1 mm/h  
 最終浸透能における流出率 18.36 %

付表 15 猪之頭1筋工有(Ino1-3)人工降雨試験

猪之頭1筋工有(Ino1-3)

プロット番号	1 (筋工あり)		開始日・時刻	2022/12/9 10:24	
標高(m)	780	優占樹種	ヒノキ	散水面積(m <sup>2</sup> )	1.4
斜面方位	南	表面被覆率(%)	-	筋工堆積勾配	2%
枠勾配	80%	下層植生乾重(g/m <sup>2</sup> )	-	降雨強度(mm/h)	98.5
土壌タイプ	IBI	リター乾重(g/m <sup>2</sup> )	651	浸透強度(mm/h)	96.7

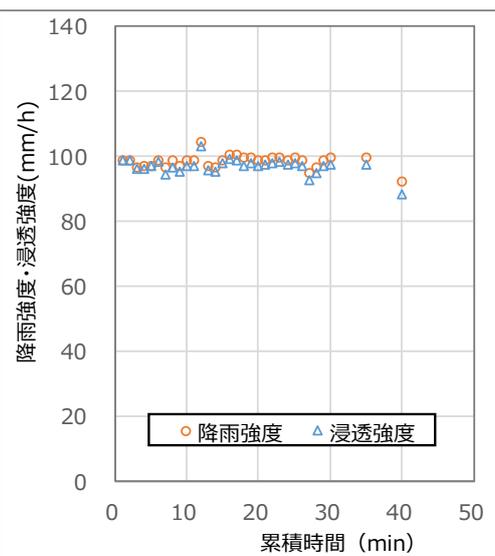


No.	測定間隔	累積時間	送水量	降雨強度	流出量	流出高	浸透強度
	s	min	L/min	mm/h	ml	mm/h	mm/h
0							
1	60	1	12.1	98.7	0.00	0.0	98.7
2	60	2	12.1	98.7	0.00	0.0	98.7
3	60	3	11.8	96.2	7.00	0.3	95.9
4	60	4	11.9	97.1	27.50	1.2	95.9
5	60	5	11.9	97.1	0.00	0.0	97.1
6	60	6	12.1	98.7	17.00	0.7	98.0
7	60	7	11.8	96.2	49.00	2.1	94.1
8	60	8	12.1	98.7	55.50	2.4	96.3
9	60	9	11.9	97.1	50.00	2.1	95.0
10	60	10	12.1	98.7	44.50	1.9	96.8
11	60	11	12.1	98.7	41.00	1.8	96.9
12	60	12	12.8	104.4	38.00	1.6	102.8
13	60	13	11.9	97.1	37.00	1.6	95.5
14	60	14	11.8	96.2	30.50	1.3	94.9
15	60	15	12.1	98.7	23.50	1.0	97.7
16	60	16	12.3	100.3	31.00	1.3	99.0
17	60	17	12.3	100.3	44.00	1.9	98.4
18	60	18	12.2	99.5	59.00	2.5	97.0
19	60	19	12.2	99.5	40.50	1.7	97.8
20	60	20	12.1	98.7	37.00	1.6	97.1
21	60	21	12.1	98.7	35.00	1.5	97.2
22	60	22	12.2	99.5	41.50	1.8	97.7
23	60	23	12.2	99.5	32.50	1.4	98.1
24	60	24	12.1	98.7	27.00	1.2	97.5
25	60	25	12.2	99.5	37.00	1.6	97.9
26	60	26	12.1	98.7	38.50	1.7	97.0
27	60	27	11.6	94.6	44.00	1.9	92.7
28	60	28	11.8	96.2	36.50	1.6	94.6
29	60	29	12.1	98.7	45.50	2.0	96.7
30	60	30	12.2	99.5	50.00	2.1	97.4
30-35	300	35	12.2	99.5	262.00	2.2	97.3
35-40	300	40	11.3	92.2	495.00	4.2	88.0
平均				98.3	55.52	1.6	96.7

キャリブレーション

No.	測定間隔	送水量	流出量	降雨強度
	sec	L/min	ml	mm/h
1	15	12.0	536	91.9
2	15	12.0	539	92.4
3	14	12.0	552	101.4
4	15	12.0	567	97.2
5	14	12.0	580	106.5
6				
平均		12.0	554.8	97.9

毎分降雨強度 =  $97.9 * (x / 12.0)$   
 x : 送水量



期間平均流出率 1.60 %

流出高が安定しているか判断困難なため、最終浸透能は評価しない。

最終浸透能における流出率 - %

付表 16 猪之頭1筋工有(Ino1-4)人工降雨試験

猪之頭1筋工無(Ino1-4)

プロット番号	2 (筋工なし)		開始日・時刻	2022/12/9 13:00	
標高(m)	780	優占樹種	ヒノキ	散水面積(m <sup>2</sup> )	1
斜面方位	南東	表面被覆率(%)	-	筋工堆積勾配	-
枠勾配	60%	下層植生乾重(g/m <sup>2</sup> )	-	降雨強度(mm/h)	101.2
土壌タイプ	IBI	リター乾重(g/m <sup>2</sup> )	631	浸透強度(mm/h)	68.7

No.	測定間隔	累積時間	送水量	降雨強度	流出量	流出高	浸透強度
	s	min	L/s	mm/h	ml	mm/h	mm/h
0							
1	60	1.00	12.2	102.1	2.00	0.1	102.0
2	60	2.00	12.2	102.1	230.00	13.8	88.3
3	60	3.00	12.1	101.2	589.50	35.4	65.8
4	45	3.75	12.1	101.2	551.00	44.1	57.1
5	46	4.77	12.1	101.2	579.00	45.3	55.9
6	43	5.48	12.1	101.2	488.00	40.9	60.3
7	49	6.30	12.1	101.2	557.00	40.9	60.3
8	45	7.77	12.1	101.2	485.00	38.8	62.4
9	48	8.85	12.1	101.2	517.00	38.8	62.4
10	46	9.77	12.1	101.2	506.00	39.6	61.6
11	48	10.80	12.2	102.1	543.00	40.7	61.4
12	44	11.73	12.1	101.2	514.00	42.1	59.1
13	46	12.77	12.1	101.2	516.00	40.4	60.8
14	48	13.80	12.1	101.2	511.00	38.3	62.9
15	48	14.80	12.2	102.1	509.50	38.2	63.9
16	51	15.85	12.1	101.2	505.50	35.7	65.5
17	49	16.82	12.2	102.1	488.00	35.9	66.2
18	48	17.80	12.1	101.2	500.00	37.5	63.7
19	51	18.85	11.9	99.5	483.00	34.1	65.4
20	60	20.00	12.1	101.2	550.00	33.0	68.2
21	60	21.00	12.1	101.2	492.00	29.5	71.7
22	60	22.00	12.2	102.1	527.00	31.6	70.5
23	60	23.00	12.1	101.2	511.00	30.7	70.5
24	60	24.00	12.2	102.1	453.00	27.2	74.9
25	60	25.00	12.1	101.2	397.00	23.8	77.4
26	60	26.00	12.1	101.2	437.00	26.2	75.0
27	60	27.00	12.1	101.2	448.00	26.9	74.3
28	60	28.00	11.8	98.7	410.00	24.6	74.1
29	60	29.00	11.9	99.5	425.00	25.5	74.0
30	60	30.00	11.9	99.5	405.00	24.3	75.2
31	60	31.00	11.8	98.7			
34-35	60	36.00	12.1	101.2	449.00	26.9	74.3
39-40	60	41.00	12.1	101.2	474.00	28.4	72.8
平均				101.1	470.39	32.5	68.7

期間平均流出率 32.12 %  
 最終浸透能(浸透強度緑着色部の平均値) 74.7 mm/h  
 最終浸透能における流出率 25.70 %

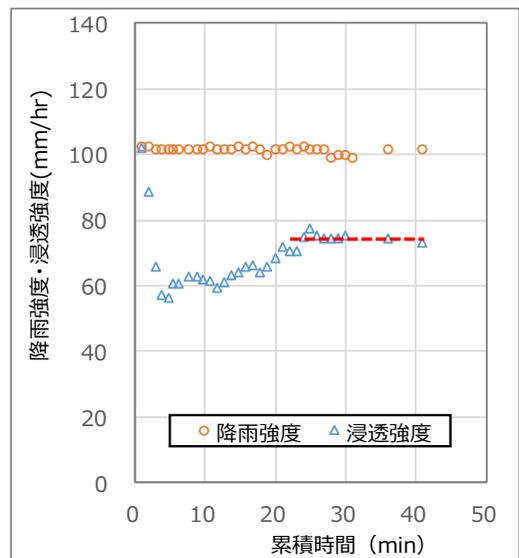


キャリブレーション

No.	測定間隔	送水量	流出量	降雨強度
	sec	L/s	ml	mm/h
1	20	12.1	538	96.8
2	20	12.1	519	93.4
3				
4	18	12.1	513	102.6
5	17	12.1	529	112.0
6				
平均		12.1	524.8	101.2

毎分降雨強度 =  $101.2 * (x / 12.1)$   
 x: 送水量

キャリブレーションのNo.3及びNo.31は、運搬途中で漏水したため不採用とした。採水ビンと蓋の規格が異なり、漏水した。



### 5.3.3. 土砂流出量

付表 17 玄倉人工降雨試験における土砂流出量

ID	Kuro-1(筋工有)						Kuro-2(筋工無)					
	表面流量(ml/min)			SS			表面流量(ml/min)			SS		
	取得量 (ml)	取得 時間 (sec)		濃度 (mg/ℓ)	SS流出量(g/min)	有機物率 (%)	取得量 (ml)	取得 時間 (sec)		濃度 (mg/ℓ)	SS流出量(g/min)	有機物率 (%)
1	0.0	60	0.0	-	0.0000	-	0.0	60	0.0	-	0.0000	-
2	3.1	60	3.1	-	0.0000	-	0.0	60	0.0	-	0.0000	-
3	6.3	60	6.3	-	0.0000	-	1.2	60	1.2	-	0.0000	-
4	9.7	60	9.7	-	0.0000	-	1.5	60	1.5	-	0.0000	-
5	4.0	60	4.0	-	0.0000	-	9.7	60	9.7	-	0.0000	-
6	11.5	60	11.5	-	0.0000	-	13.8	60	13.8	-	0.0000	-
7	14.8	60	14.8	-	0.0000	-	18.0	60	18.0	-	0.0000	-
8	13.3	60	13.3	-	0.0000	-	15.7	60	15.7	-	0.0000	-
9	16.4	60	16.4	-	0.0000	-	16.6	60	16.6	-	0.0000	-
10	15.5	60	15.5	-	0.0000	-	15.2	60	15.2	-	0.0000	-
11	11.5	60	11.5	-	0.0000	-	15.5	60	15.5	-	0.0000	-
12	8.4	60	8.4	-	0.0000	-	20.6	60	20.6	-	0.0000	-
13	11.7	60	11.7	-	0.0000	-	23.0	60	23.0	30.4	0.0007	-
14	13.3	60	13.3	-	0.0000	-	20.2	60	20.2	-	0.0000	-
15	12.5	60	12.5	-	0.0000	-	14.3	60	14.3	-	0.0000	-
16	10.1	60	10.1	-	0.0000	-	14.8	60	14.8	-	0.0000	-
17	6.8	60	6.8	-	0.0000	-	23.3	60	23.3	12.9	0.0003	-
18	5.1	60	5.1	-	0.0000	-	24.3	60	24.3	74.0	0.0018	-
19	4.6	60	4.6	-	0.0000	-	22.2	60	22.2	99.2	0.0022	0.0
20	4.6	60	4.6	-	0.0000	-	23.0	60	23.0	8.7	0.0002	-
21	8.5	60	8.5	-	0.0000	-	23.3	60	23.3	51.4	0.0012	0.0
22	8.9	60	8.9	-	0.0000	-	17.6	60	17.6	-	0.0000	-
23	8.1	60	8.1	-	0.0000	-	14.3	60	14.3	-	0.0000	-
24	10.0	60	10.0	-	0.0000	-	16.2	60	16.2	-	0.0000	-
25	9.5	60	9.5	-	0.0000	-	14.7	60	14.7	-	0.0000	-
26	8.8	60	8.8	-	0.0000	-	21.0	60	21.0	57.0	0.0012	-
27	8.2	60	8.2	-	0.0000	-	23.7	60	23.7	-	0.0000	-
28	4.2	60	4.2	-	0.0000	-	25.8	60	25.8	62.1	0.0016	-
29	2.7	60	2.7	-	0.0000	-	22.3	60	22.3	4.5	0.0001	-
30	3.9	60	3.9	-	0.0000	-	23.7	60	23.7	59.0	0.0014	-
解析 値	合計値(30分)		256.0	0.0	0.0000		合計値(30分)		495.5	459.2	0.0107	
	平均値(30分)		8.5	0.0	0.0000	0.0	平均値(30分)		16.5	15.3	0.0004	0.0
	流出有データ数		29	0	0	0	取得データ数		28	10	10	2
	流出有データ平均		8.8				取得データ平均		17.7	45.9	0.0000	0.0
	最大値		16.4	0.0	0.0000	0.0	最大値		25.8	99.2	0.0022	0.0
	最小値		0.0	0.0	0.0000	0.0	最小値		0.0	4.5	0.0000	0.0

付表 18 猪之頭人工降雨試験(Ino1-1 及び 2、参考値)における土砂流出量

ID	Ino1-1(筋工有、凍結のため参考値)							Ino1-2(筋工無、凍結のため参考値)						
	表面流量(ml/min)			SS				表面流量(ml/min)			SS			
	取得量 (ml)	取得 時間 (sec)		濃度 (mg/ℓ)	SS流出量(g/min)		取得量 (ml)	取得 時間 (sec)		濃度 (mg/ℓ)	SS流出量(g/min)			
						有機物率 (%)						有機物率 (%)		
1	破損	0.0	60	0.0	-	0.000	-	2.0	60	2.0	-	0.000	-	
2		0.0	60	0.0	-	0.000	-	0.0	60	0.0	-	0.000	-	
3		0.0	60	0.0	-	0.000	-	78.0	60	78.0	188.0	0.015	95.2	
4		0.0	60	0.0	-	0.000	-	218.0	60	218.0	244.0	0.053	60.0	
5		0.0	60	0.0	-	0.000	-	281.0	60	281.0	264.0	0.074	59.2	
6		0.0	60	0.0	-	0.000	-	268.5	60	268.5	120.0	0.032	65.0	
7		0.0	60	0.0	-	0.000	-	291.3	60	291.3	142.0	0.041	63.0	
8		0.0	60	0.0	-	0.000	-	296.0	60	296.0	157.0	0.047	64.4	
9	破損	0.0	60	0.0	-	0.000	-	334.0	60	334.0	127.0	0.042	65.8	
10		0.0	60	0.0	-	0.000	-	381.5	60	381.5	213.0	0.081	62.5	
11		0.0	60	0.0	-	0.000	-	398.0	60	398.0	169.0	0.067	63.1	
12		13.5	60	13.5	237.0	0.0032	31.2	350.0	60	350.0	144.0	0.050	60.2	
13		14.5	60	14.5	131.0	0.0019	-	366.0	60	366.0	123.0	0.045	59.8	
14		14.3	60	14.3	112.3	0.0016	-	381.0	60	381.0	127.0	0.048	60.5	
15		21.5	60	21.5	130.2	0.0028	-	410.0	60	410.0	112.0	0.046	59.3	
16	破損							404.0	60	404.0	158.0	0.064	59.2	
17		17.3	60	17.3	104.3	0.0018	-	432.0	60	432.0	184.0	0.080	57.9	
18		14.5	60	14.5	48.3	0.0007	-	386.0	60	386.0	145.0	0.056	53.0	
19		14.5	60	14.5	-	0.0000	-	370.0	60	370.0	116.0	0.043	54.6	
20		18.5	60	18.5	-	0.0000	-	382.0	60	382.0	144.0	0.055	55.4	
21		20.5	60	20.5	-	0.0000	-	396.0	60	396.0	145.0	0.057	55.2	
22		32.3	60	32.3	27.9	0.0009	0.0	399.0	60	399.0	113.0	0.045	82.6	
23		29.0	60	29.0	27.6	0.0008	-	378.0	60	378.0	68.0	0.026	64.0	
24		22.3	60	22.3	-	0.0000	-	390.0	60	390.0	118.0	0.046	59.2	
25		18.3	60	18.3	-	0.0000	-	390.0	60	390.0	109.0	0.043	55.2	
26		22.3	60	22.3	-	0.0000	-	384.0	60	384.0	95.0	0.037	52.8	
27	破損							362.0	60	362.0	75.0	0.027	62.5	
28		32.3	60	32.3	12.4	0.0004	-	346.5	60	346.5	65.0	0.023	56.7	
29		28.5	60	28.5	3.5	0.0001	-	392.0	60	392.0	76.0	0.030	61.7	
30		14.5	60	14.5	-	0.0000	-	368.0	60	368.0	59.0	0.022	73.9	
35	破損							367.0	60	367.0	42.0	0.015	72.0	
40		18.5	60	18.5	-	0.0000	-	478.0	60	478.0	83.0	0.040	68.5	
解析 値	合計値(30分)			348.6	834.5	0.0142		合計値(30分)			9,834.8	3,800.0	1.2945	
	平均値(30分)			11.6	27.8	0.0005	0.0	平均値(30分)			327.8	126.7	0.0432	58.1
	流出有データ数			17	10	10	2	取得データ数			29	28	28	28
	流出有データ平均			20.5	83.5	0.0000	0.0	取得データ平均			339.1	135.7	0.0000	62.2
	最大値			32.3	237.0	0.0032	31.2	最大値			432.0	264.0	0.0813	95.2
	最小値			0.0	3.5	0.0000	0.0	最小値			0.0	59.0	0.0000	52.8

付表 19 猪之頭人工降雨試験(Ino1-3 及び 4)における土砂流出量

ID	Ino1-3(筋工有)						Ino1-4(筋工無)					
	表面流量(ml/min)			SS			表面流量(ml/min)			SS		
	取得量 (ml)	取得 時間 (sec)		濃度 (mg/ℓ)	SS流出量(g/min)		取得量 (ml)	取得 時間 (sec)		濃度 (mg/ℓ)	SS流出量(g/min)	
						有機物率 (%)						有機物率 (%)
1	0.0	60	-	-	0.0000	-	2.0	60	2.0	-	0.0000	-
2	0.0	60	-	-	0.0000	-	230.0	60	230.0	1,135.0	0.2611	71.4
3	7.0	60	7.0	-	0.0000	-	589.5	60	589.5	2,677.3	1.5783	67.7
4	27.5	60	27.5	316.4	0.0087	35.6	551.0	45	734.7	1,008.0	0.7406	70.4
5	0.0	60	-	-	0.0000	-	579.0	46	755.2	1,529.0	1.1547	64.1
6	17.0	60	17.0	211.8	0.0036	80.6	488.0	43	680.9	655.0	0.4460	79.4
7	49.0	60	49.0	416.3	0.0204	80.4	557.0	49	682.0	1,377.0	0.9391	63.9
8	55.5	60	55.5	324.3	0.0180	60.6	485.0	45	646.7	558.0	0.3609	71.7
9	50.0	60	50.0	264.0	0.0132	52.3	517.0	48	646.3	447.0	0.2889	71.6
10	44.5	60	44.5	125.8	0.0056	69.6	506.0	46	660.0	539.0	0.3557	76.1
11	41.0	60	41.0	158.5	0.0065	70.8	543.0	48	678.8	703.0	0.4772	71.1
12	38.0	60	38.0	171.1	0.0065	76.9	514.0	44	700.9	590.0	0.4135	74.6
13	37.0	60	37.0	154.1	0.0057	87.7	516.0	46	673.0	555.0	0.3735	61.3
14	30.5	60	30.5	95.1	0.0029	-	511.0	48	638.8	690.0	0.4408	55.1
15	23.5	60	23.5	38.3	0.0009	-	509.5	48	636.9	1,023.0	0.6515	53.8
16	31.0	60	31.0	129.0	0.0040	-	505.5	51	594.7	438.0	0.2605	75.3
17	44.0	60	44.0	238.6	0.0105	57.1	488.0	49	597.6	1,016.0	0.6072	57.1
18	59.0	60	59.0	384.7	0.0227	48.5	500.0	48	625.0	461.0	0.2881	69.4
19	40.5	60	40.5	135.8	0.0055	-	483.0	51	568.2	630.0	0.3580	63.5
20	37.0	60	37.0	89.2	0.0033	-	550.0	60	550.0	582.0	0.3201	67.0
21	35.0	60	35.0	57.1	0.0020	-	492.0	60	492.0	625.0	0.3075	36.8
22	41.5	60	41.5	89.2	0.0037	81.1	527.0	60	527.0	398.0	0.2097	85.4
23	32.5	60	32.5	61.5	0.0020	-	511.0	60	511.0	897.0	0.4584	54.6
24	27.0	60	27.0	14.8	0.0004	-	453.0	60	453.0	464.0	0.2102	56.0
25	37.0	60	37.0	137.8	0.0051	-	397.0	60	397.0	286.0	0.1135	59.4
26	38.5	60	38.5	140.3	0.0054	-	437.0	60	437.0	234.0	0.1023	59.8
27	44.0	60	44.0	84.1	0.0037	-	448.0	60	448.0	201.0	0.0900	64.7
28	36.5	60	36.5	65.8	0.0024	-	410.0	60	410.0	168.0	0.0689	65.5
29	45.5	60	45.5	92.3	0.0042	-	425.0	60	425.0	148.0	0.0629	67.6
30	50.0	60	50.0	268.0	0.0134	44.0	405.0	60	405.0	93.0	0.0377	64.5
35	262.0	300	52.4	216.0	0.0113	50.5	449.0	60	449.0	190.0	0.0853	57.9
40	495.0	300	99.0	411.0	0.0407	49.9	474.0	60	474.0	340.0	0.1612	58.8
解析 値	合計値(30分)		1,019.5	4,263.9	0.1803		合計値(30分)		16,396.2	20,127.3	11.9768	
	平均値(30分)		34.0	142.1	0.0060	28.2	平均値(30分)		546.5	670.9	0.3992	63.3
	流出有データ数		27	26	26	13	取得データ数		30	29	29	29
	流出有データ平均		37.8	164.0	0.0000	65.0	取得データ平均		546.5	694.0	0.4000	65.5
	最大値		59.0	416.3	0.0227	87.7	最大値		755.2	2677.3	1.5783	85.4
	最小値		7.0	14.8	0.0000	35.6	最小値		2.0	93.0	0.0000	36.8

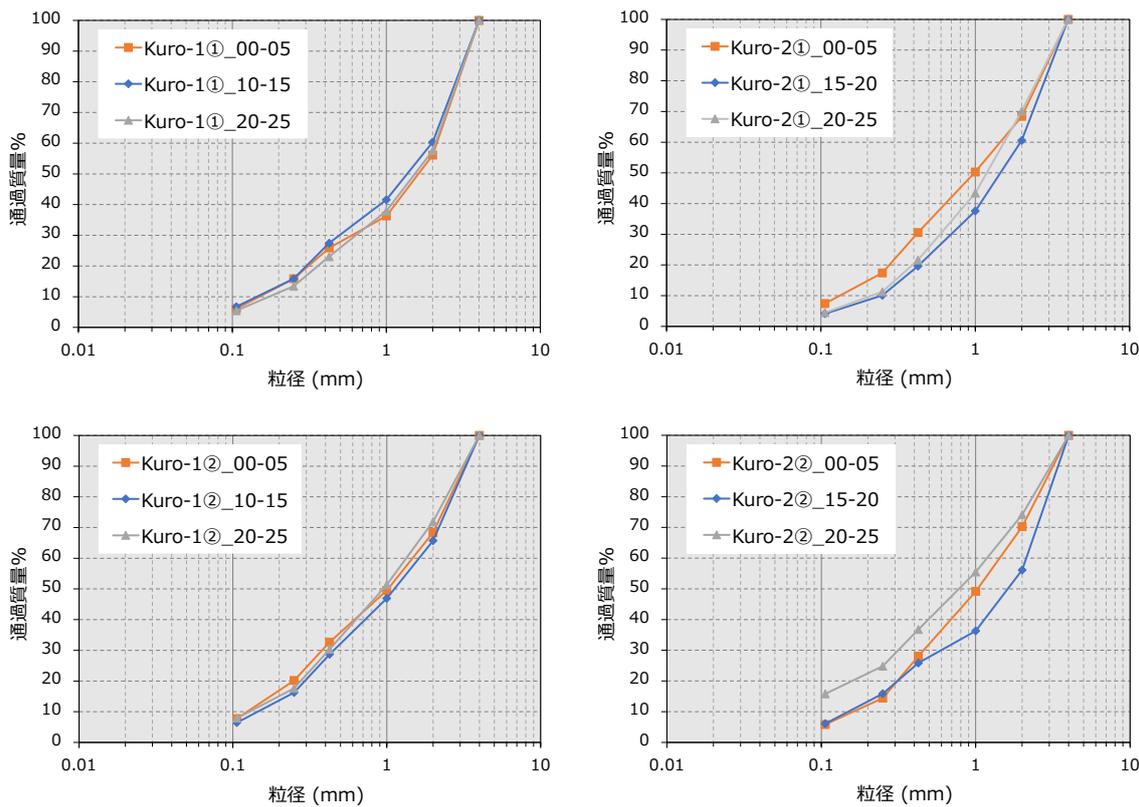
### 5.3.4. 土壌及び土質調査

付表 20 土壌重量及び密度の測定結果

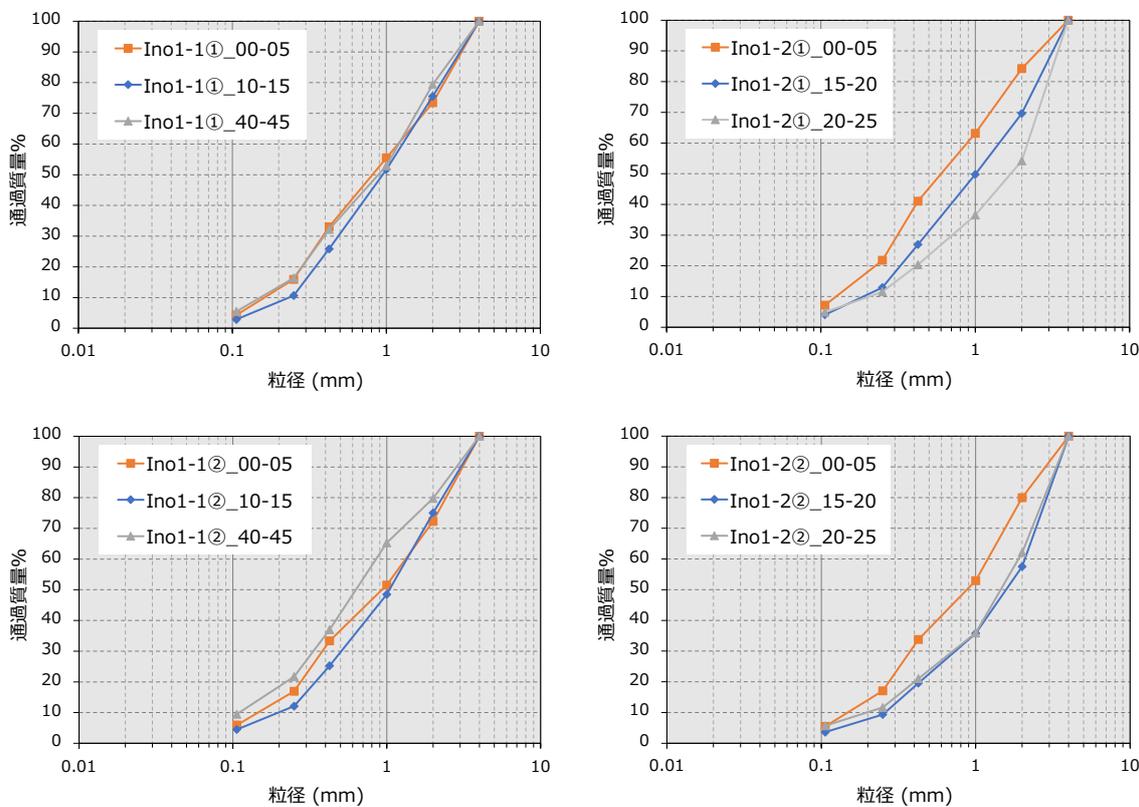
立地	筋工	区分	採取層位 (cm)	土壌重量 (g)		密度 (g/cm <sup>3</sup> )		立地	筋工	区分	採取層位 (cm)	土壌重量 (g)		密度 (g/cm <sup>3</sup> )	
				湿潤	乾燥	湿潤	乾燥					湿潤	乾燥		
Kuro-1	有	①	00-05	133.70	75.53	1.34	0.76	Ino1-4	無	①	00-05	110.44	33.49	1.10	0.33
			10-15	131.40	71.01	1.31	0.71				15-20	113.07	40.08	1.13	0.40
			20-25	121.49	63.67	1.21	0.64				20-25	123.51	48.31	1.24	0.48
Kuro-1	有	②	00-05	118.49	63.91	1.18	0.64	Ino1-4	無	②	00-05	106.82	30.35	1.07	0.30
			10-15	136.30	71.57	1.36	0.72				15-20	112.12	38.24	1.12	0.38
			20-25	130.77	67.85	1.31	0.68				20-25	118.11	46.18	1.18	0.46
Kuro-2	無	①	00-05	129.38	56.55	1.29	0.57	Ino2-1	有	①	00-05	109.71	34.81	1.10	0.35
			15-20	134.61	63.59	1.35	0.64				10-15	119.50	42.09	1.20	0.42
			20-25	133.97	63.69	1.34	0.64				25-30	132.90	53.67	1.33	0.54
Kuro-2	無	②	00-05	124.01	54.84	1.24	0.55	Ino2-1	有	②	00-05	110.31	34.20	1.10	0.34
			15-20	124.51	52.99	1.25	0.53				10-15	120.41	45.01	1.20	0.45
			20-25	130.75	61.48	1.31	0.61				25-30	119.57	45.38	1.20	0.45
Ino1-3	有	①	00-05	81.12	27.51	0.81	0.28	Ino2-2	無	①	00-05	97.76	27.35	0.98	0.27
			10-15	110.32	43.13	1.10	0.43				15-20	123.35	45.51	1.23	0.46
			40-45	119.57	51.76	1.20	0.52				30-35	123.21	73.44	1.23	0.73
Ino1-3	有	②	00-05	97.42	51.39	0.97	0.51	Ino2-2	無	②	00-05	111.74	35.18	1.12	0.35
			10-15	117.59	44.40	1.18	0.44				15-20	121.06	43.02	1.21	0.43
			40-45	124.48	53.83	1.24	0.54				30-35	151.79	58.34	1.52	0.58

付表 21 強熱減量の測定結果

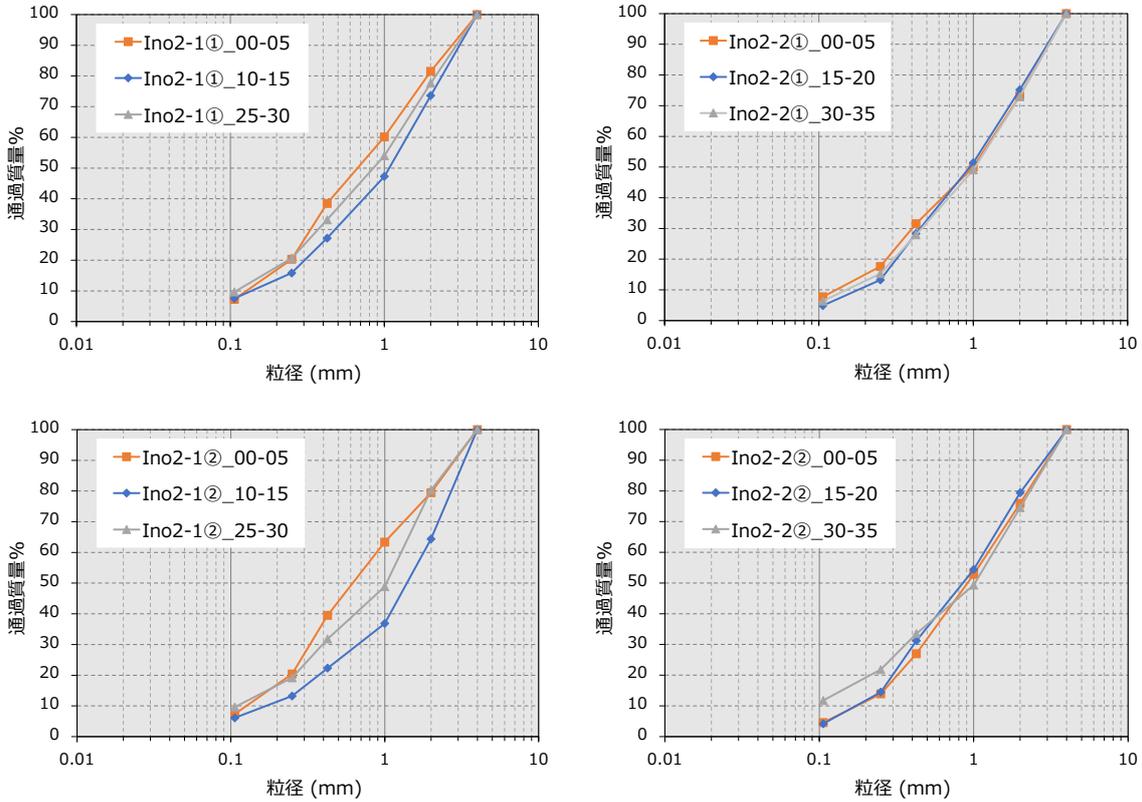
立地	筋工	採取層位 (cm)	強熱減量	立地	筋工	採取層位 (cm)	強熱減量	立地	筋工	採取層位 (cm)	強熱減量
			有機物量(%)				有機物量(%)				有機物量(%)
Kuro-1	有	00-05	0.193	Ino1-3	有	00-05	0.399	Ino2-1	有	00-05	0.407
		10-15	0.237			10-15	0.275			10-15	0.413
		20-25	0.185			40-45	0.218			25-30	0.266
Kuro-2	無	00-05	0.202	Ino1-4	無	00-05	0.566	Ino2-2	無	00-05	0.438
		15-20	0.220			15-20	0.398			15-20	0.339
		20-25	0.196			20-25	0.383			30-35	0.283



付図 32 土壌粒径加積曲線(玄倉、左上下:Kuro-1、右上下:Kuro-2)



付図 33 土壌粒径加積曲線(猪之頭 1、左上下:Ino1-3、右上下:Ino1-4)

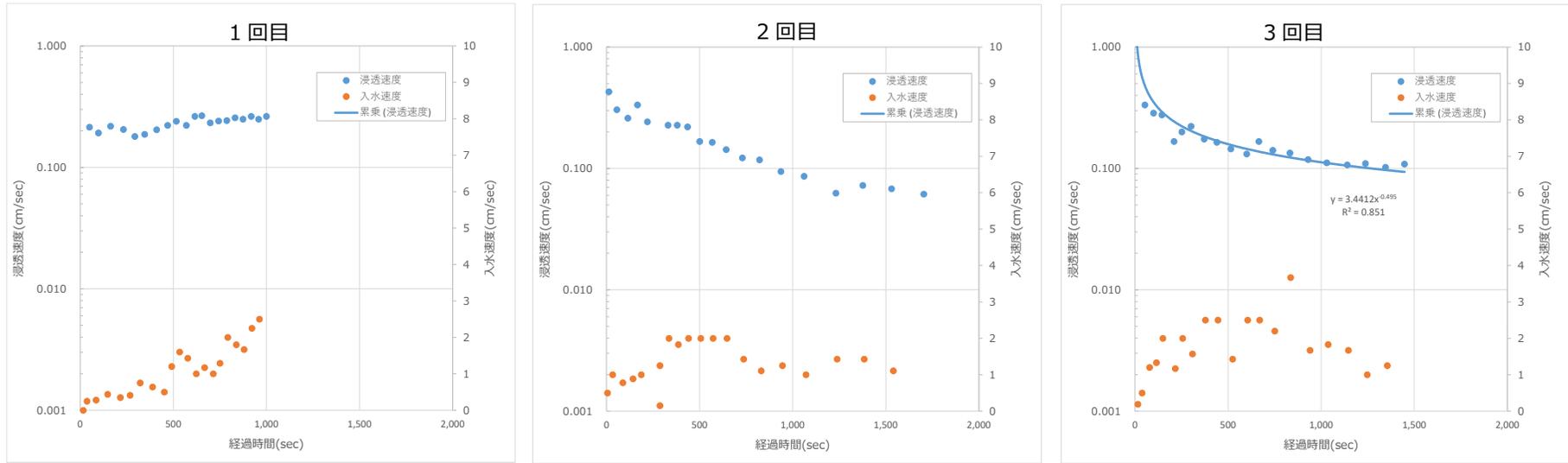


付図 34 土壤粒径加積曲線(猪之頭2、左上下:Ino2-1、右上下:Ino2-2)

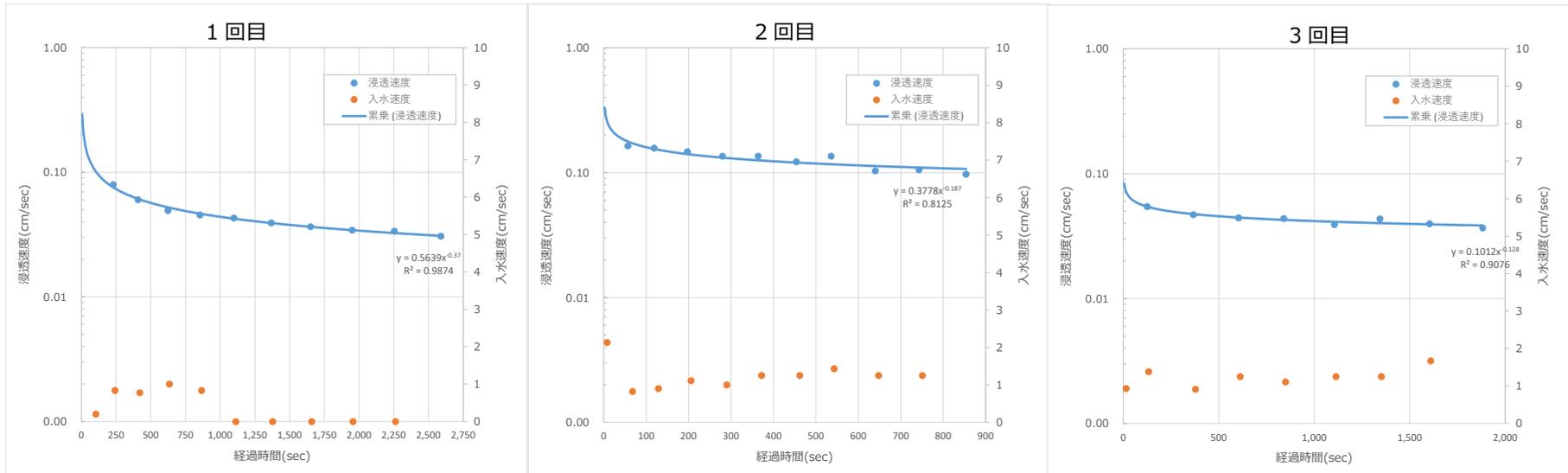
付表 22 定水位飽和透水試験

立地		透水時間と透水量(mℓ)										透水係数(cm/sec) : 水温11°C					
立地	筋工	1回目		2回目		3回目		4回目		5回目		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
		秒	透水量	秒	透水量	秒	透水量	秒	透水量	秒	透水量						
4	5	28	29	31	32	34	35	37	38	40	41	42	43	44	45	46	47
玄倉	有	50	145	56	150	56	150	57	149	59	147	0.123705	0.114260	0.114260	0.111507	0.106281	0.1140
		42	148	46	150	47	148	50	150	53	152	0.150315	0.139099	0.134324	0.127971	0.122337	0.1348
		33	147	34	167	31	151	33	154	33	152	0.190017	0.209521	0.207780	0.199065	0.196480	0.2006
玄倉	有	19	152	19	146	20	155	19	148	21	161	0.341255	0.327785	0.330591	0.332275	0.327036	0.3318
		35	147	38	150	40	157	38	148	40	148	0.179159	0.168382	0.167428	0.166137	0.157830	0.1678
		46	150	45	148	47	148	49	148	51	147	0.139099	0.140294	0.134324	0.128841	0.122952	0.1331
玄倉	無	32	148	32	153	33	156	33	150	34	150	0.197288	0.203953	0.201651	0.193895	0.188192	0.1970
		65	150	69	150	81	147	82	158	80	146	0.098439	0.092732	0.077414	0.082193	0.077849	0.0857
		226	148	267	154	276	139	347	148	376	145	0.027935	0.024604	0.021483	0.018194	0.016450	0.0217
玄倉	無	26	150	27	153	28	153	28	152	32	160	0.246097	0.241722	0.233089	0.231566	0.213284	0.2332
		63	145	68	147	70	148	72	150	76	150	0.098179	0.092214	0.090189	0.088869	0.084191	0.0907
		345	148	435	150	492	148	598	152	702	149	0.018299	0.014709	0.012832	0.010843	0.009054	0.0131
猪之頭1	有	36	150	39	148	44	150	47	149	52	150	0.177737	0.161877	0.145421	0.135231	0.123049	0.1487
		38	149	44	150	46	149	50	150	53	151	0.167260	0.145421	0.138171	0.127971	0.121532	0.1401
		112	150	113	150	119	151	130	149	144	150	0.057130	0.056624	0.054128	0.048891	0.044434	0.0522
猪之頭1	有	41	142	45	144	49	150	66	190	56	149	0.147738	0.136502	0.130582	0.122800	0.113498	0.1302
		96	147	113	152	109	150	102	143	115	146	0.065318	0.057379	0.058702	0.059803	0.054156	0.0591
		115	151	121	151	218	150	192	150	202	151	0.056010	0.053233	0.029351	0.033326	0.031887	0.0408
猪之頭1	無	54	150	57	148	118	145	62	149	66	152	0.118491	0.110758	0.052417	0.102514	0.098240	0.0965
		106	148	120	150	126	145	138	145	145	144	0.059559	0.053321	0.049089	0.044821	0.042363	0.0498
		21	160	18	147	19	151	19	150	20	152	0.325005	0.348365	0.339010	0.336765	0.324192	0.3347
猪之頭1	無	42	145	45	145	47	146	47	144	49	146	0.147268	0.137450	0.132509	0.130693	0.127100	0.1350
		39	153	36	145	42	162	39	146	46	173	0.167346	0.171812	0.164534	0.159690	0.160427	0.1648
		41	150	43	154	41	147	41	146	40	144	0.156062	0.152771	0.152941	0.151900	0.153565	0.1534
猪之頭2	有	56	151	58	150	61	149	63	146	69	153	0.115021	0.110320	0.104195	0.098856	0.094587	0.1046
		1491	97	3600	120	3600	93	3600	94	3600	78	0.002775	0.001422	0.001102	0.001114	0.000924	0.0015
		2820	164	3600	166	3600	154	3600	148	3600	139	0.002481	0.001967	0.001825	0.001754	0.001647	0.0019
猪之頭2	有	104	147	110	146	120	151	131	150	139	149	0.060294	0.056617	0.053677	0.048844	0.045726	0.0530
		895	91	1405	95	1706	95	1897	96	2218	100	0.004337	0.002884	0.002375	0.002159	0.001923	0.0027
		117	150	121	147	132	148	148	152	161	150	0.054688	0.051823	0.047827	0.043810	0.039742	0.0476
猪之頭2	無	22	152	25	153	26	155	26	150	27	151	0.294720	0.261060	0.254301	0.246097	0.238563	0.2589
		147	149	172	150	201	154	222	150	253	152	0.043237	0.037201	0.032682	0.028822	0.025628	0.0335
		511	161	975	210	848	152	922	142	998	160	0.013440	0.009188	0.007646	0.006570	0.006839	0.0087
猪之頭2	無	40	157	38	152	38	149	40	151	41	151	0.167428	0.170628	0.167260	0.161030	0.157102	0.1647
		82	146	99	153	95	144	101	147	107	149	0.075950	0.065924	0.064659	0.062085	0.059401	0.0656
		2485	85	3724	79	3600	90	3600	176	3600	154	0.001459	0.000905	0.001066	0.002085	0.001825	0.0015

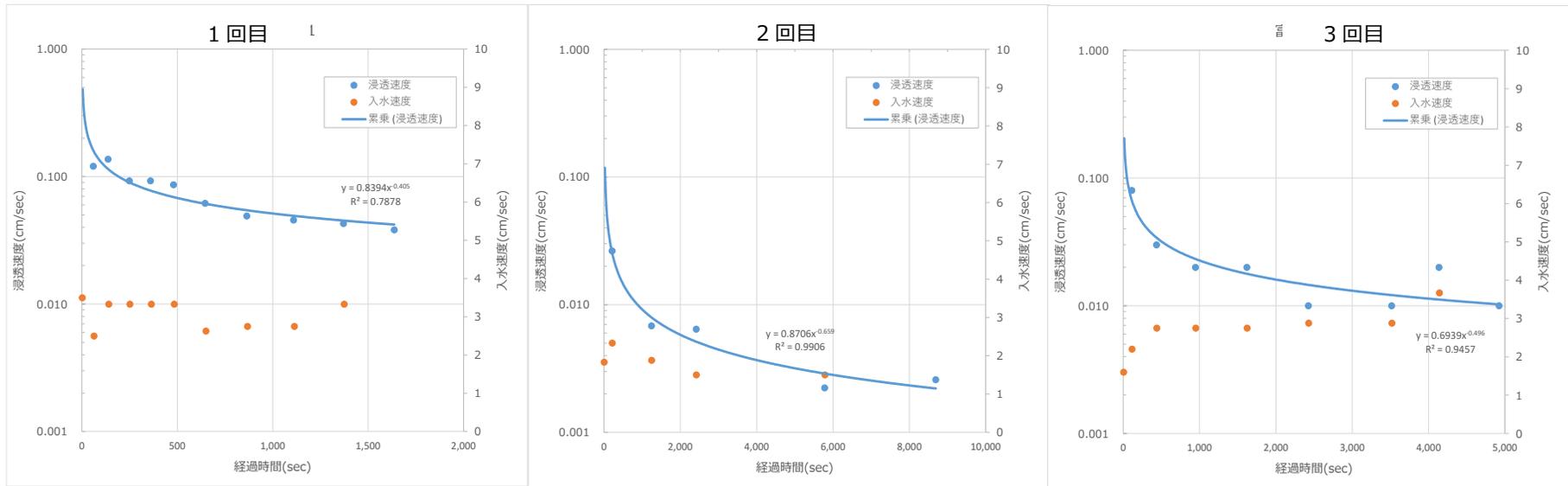
### 5.3.5. 冠水型浸透計による浸透計測



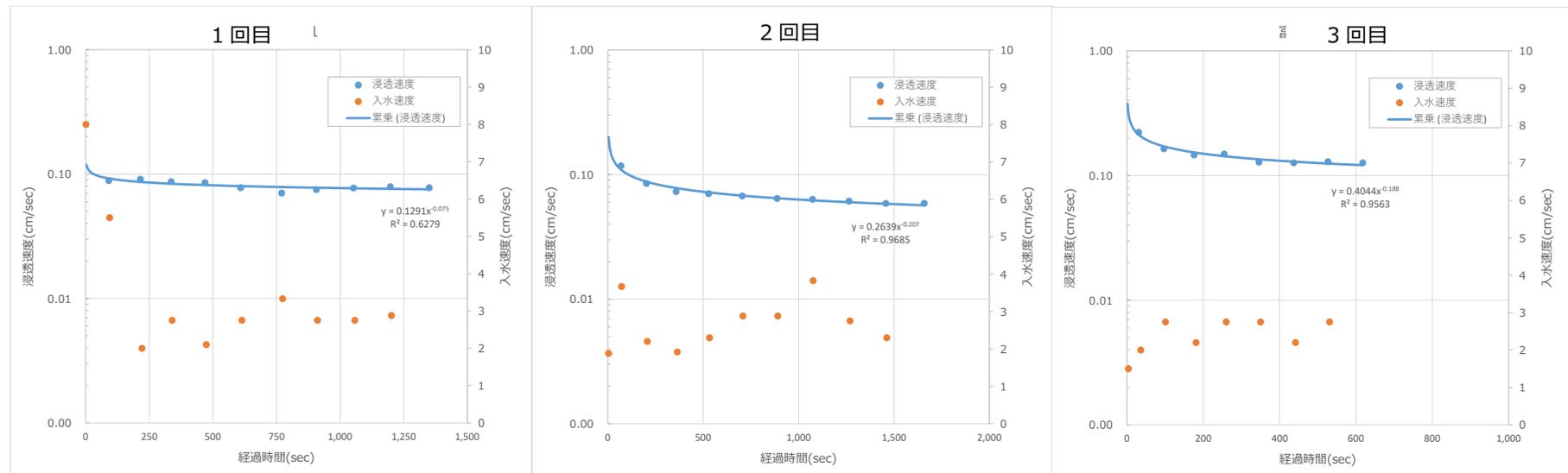
付図 35 冠水型浸透能試験 玄倉\_筋工有



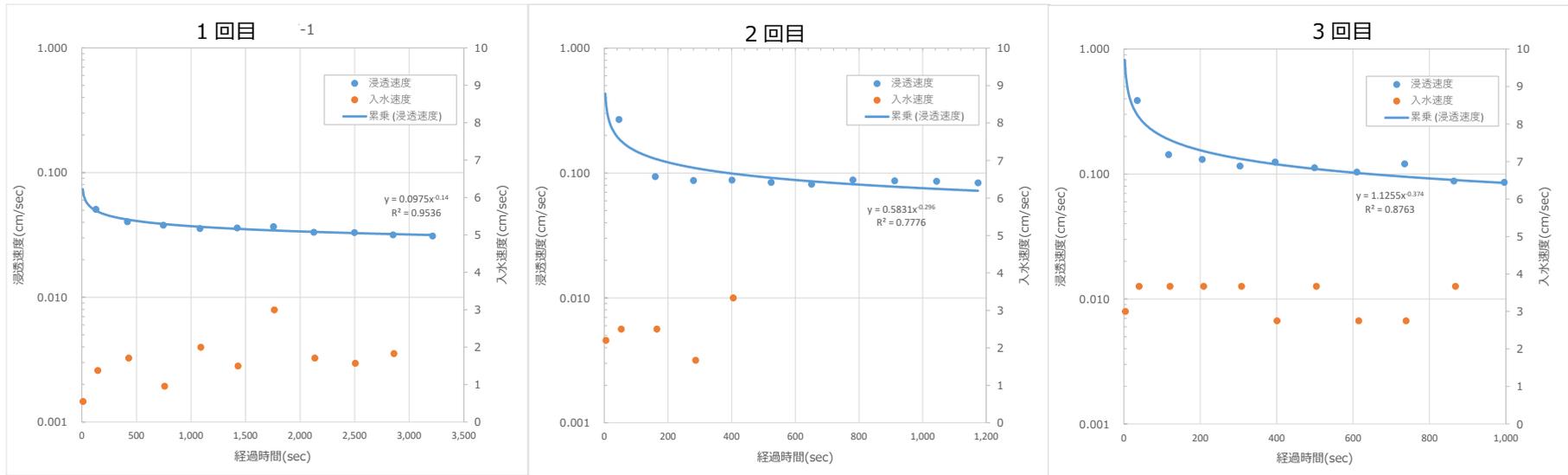
付図 36 冠水型浸透能試験 玄倉\_筋工無



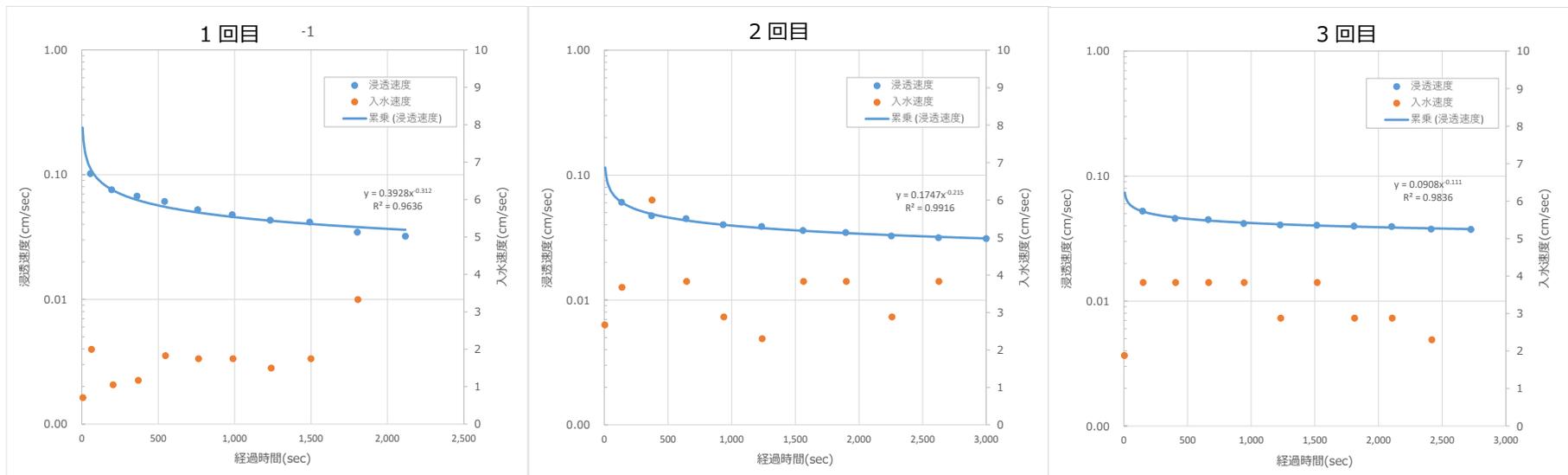
付図 37 冠水型浸透能試験 猪之頭 1筋工有



付図 38 冠水型浸透能試験 猪之頭 1筋工無



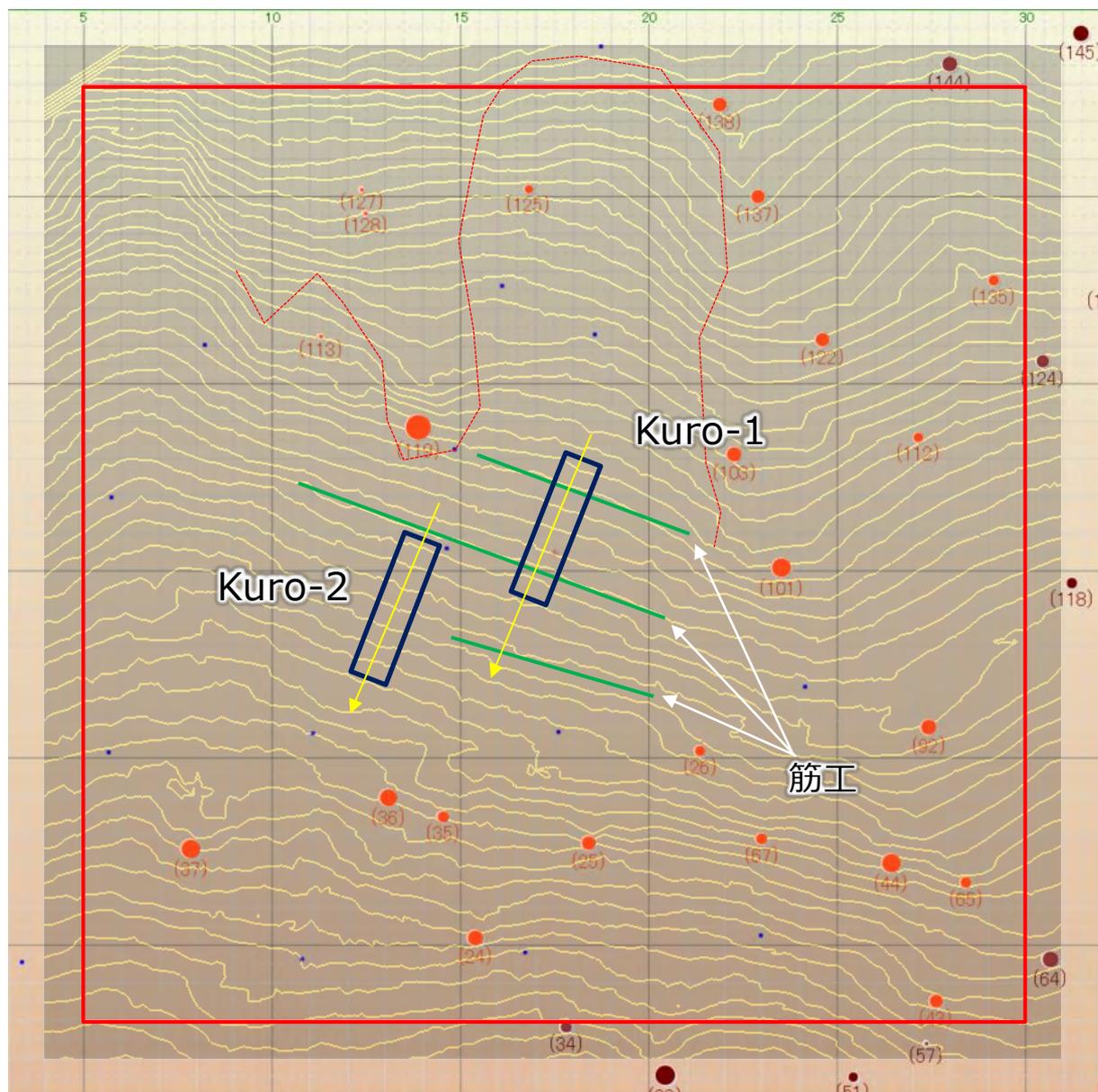
付図 39 冠水型浸透能試験 猪之頭 2\_筋工有



付図 40 冠水型浸透能試験 猪之頭 2\_筋工無

### 5.3.6. 森林プロット調査

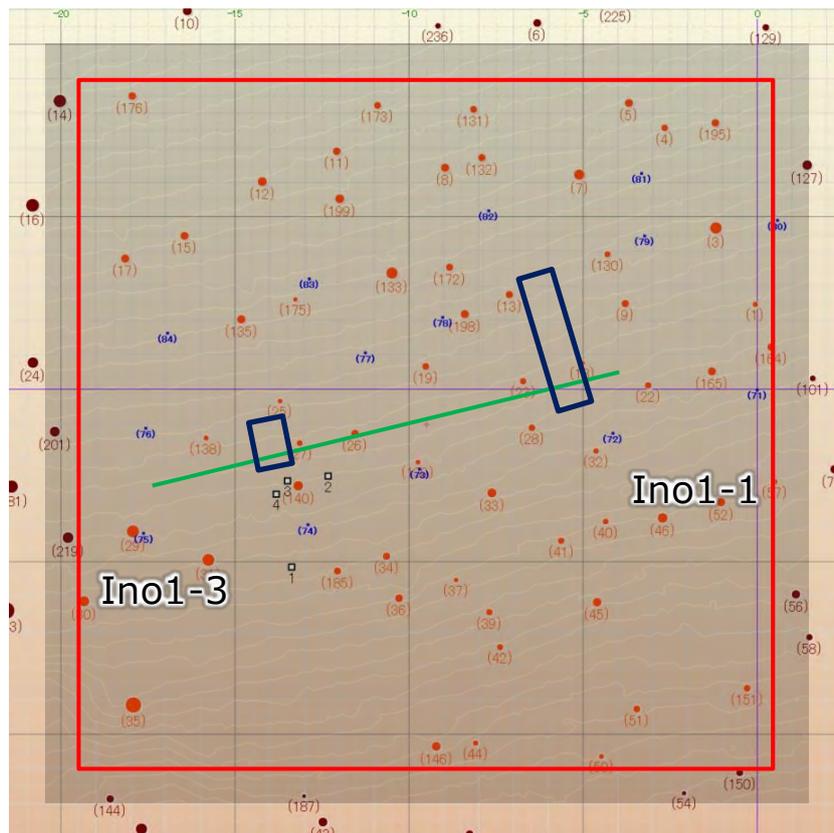
#### (1) 玄倉



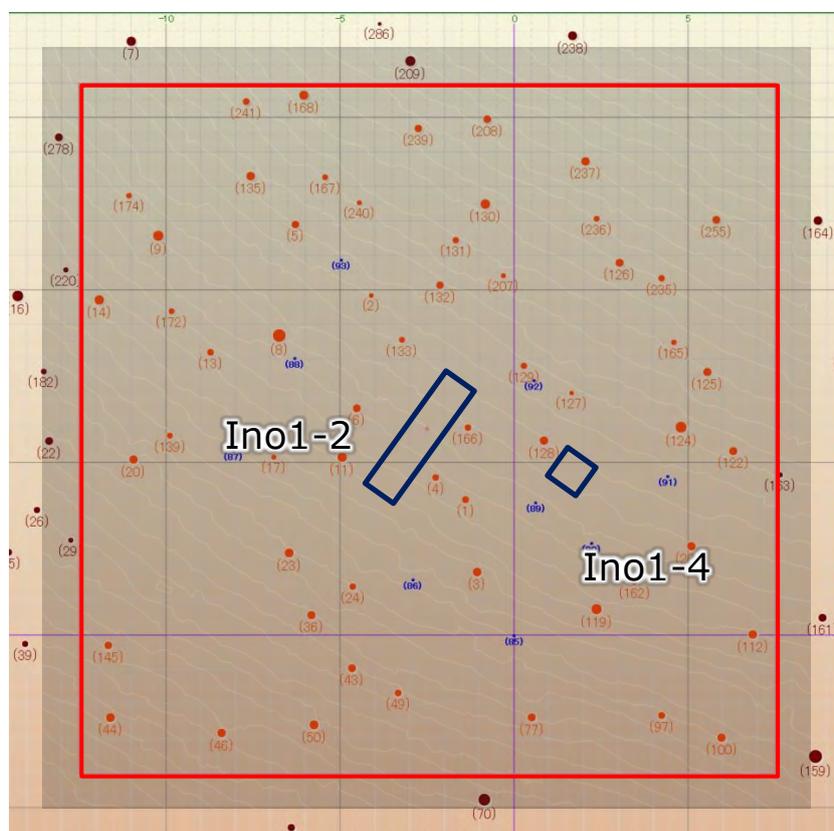
付図 41 玄倉の森林プロット平面図



(2) 猪之頭 1



付図 42 猪之頭 1 筋工有の森林プロット平面図



付図 43 猪之頭 1 筋工無の森林プロット平面図

付表 24 立木調査結果(Ino1-1 及び 3)

調査日 2022/12/26

天 候 晴

調査員 山本(照)・渋谷

調査地点:猪之頭1筋工有(Ino1-1,3)

ID	樹種	上層木	Ry 対象	胸高直径[cm]		樹高[m]		ID	樹種	上層木	Ry 対象	胸高直径[cm]		樹高[m]	
				OWL	実測	OWL	実測					OWL	実測	OWL	実測
1	ヒノキ	○	○	18.2	17.2	19.2	20.1	52	ヒノキ	○	○	27.0	25.9	19.0	21.5
3	ヒノキ	○	○	36.1	34.1	18.2	22.8	57	ヒノキ	○	○	19.5	19.2	18.9	20.9
4	ヒノキ	○	○	21.7	21.7	15.0	22.4	130	ヒノキ		○	20.3	19.5	18.8	19.5
5	ヒノキ	○	○	25.7	26.0	15.8	22.8	131	ヒノキ	○	○	22.8	23.7	15.1	22.5
7	ヒノキ	○	○	32.5	31.4	19.7	21.9	132	ヒノキ	○	○	23.7	24.0	15.6	21.4
8	(立枯)			26.1	26.3	18.6	24.5	133	ヒノキ	○	○	35.2	34.7	18.0	24.8
9	ヒノキ	○	○	23.9	24.3	18.6	20.8	135	ヒノキ	○	○	26.6	25.0	17.1	21.5
11	ヒノキ	○	○	24.9	24.8	17.6	25.3	138	ヒノキ	○	○	17.3	16.6	18.5	20.4
12	ヒノキ	○	○	28.6	29.5	18.4	23.4	139	(立枯)			16.6	16.0	17.9	15.9
13	ヒノキ	○	○	24.0	23.5	18.5	20.8	140	ヒノキ	○	○	30.4	28.2	19.4	22.0
15	ヒノキ	○	○	25.6	26.0	16.2	22.7	146	ヒノキ		○	29.3	30.0	18.5	19.3
17	ヒノキ	○	○	26.5	27.2	16.2	23.3	151	ヒノキ		○	22.9	23.1	16.5	18.8
18	(立枯)			16.2	16.0	13.0	14.2	164	ヒノキ	○	○	24.3	23.2	19.0	21.8
19	ヒノキ	○	○	22.6	21.7	18.8	20.5	165	ヒノキ	○	○	26.1	25.7	19.5	21.5
22	ヒノキ	○	○	21.3	20.4	19.5	21.4	172	ヒノキ	○	○	23.4	22.8	18.9	23.3
23	ヒノキ	○	○	21.2	20.8	18.8	20.7	173	ヒノキ	○	○	22.4	22.9	15.2	22.6
25	ヒノキ			16.3	15.4	18.4	19.4	175	ヒノキ		○	15.5	15.6	15.1	18.2
26	ヒノキ	○	○	24.6	23.6	18.1	21.4	176	ヒノキ	○	○	25.0	26.1	12.7	23.9
27	ヒノキ	○	○	19.4	18.5	18.3	21.3	185	ヒノキ	○	○	23.4	22.9	18.0	21.7
28	ヒノキ	○	○	21.8	20.4	18.7	20.0	195	ヒノキ	○	○	24.5	24.5	17.5	23.3
29	スギ		○	37.8	37.4	22.2	26.2	198	ヒノキ	○	○	26.3	24.8	18.4	21.6
30	スギ		○	32.2	31.6	21.5	23.8	199	ヒノキ	○	○	28.1	28.6	17.0	24.8
31	スギ		○	37.6	34.1	20.6	23.9	平均			52		24.4		21.6
32	ヒノキ		○	18.9	18.2	18.0	19.3	上層樹高							21.8
33	ヒノキ	○	○	28.7	26.6	19.6	21.9	Ry	0.92						
34	ヒノキ		○	23.8	22.8	18.3	19.9								
35	スギ		○	47.5	48.6	20.9	27.2								
36	ヒノキ	○	○	25.3	24.5	18.6	21.6								
37	ヒノキ	○	○	16.4	16.0	18.0	20.2								
39	ヒノキ		○	21.4	21.8	18.3	19.7								
40	ヒノキ	○	○	19.5	18.4	18.8	20.4								
41	ヒノキ		○	20.9	19.5	18.3	19.8								
42	ヒノキ	○	○	20.5	20.4	18.6	20.3								
44	ヒノキ		○	18.1	19.1	16.7	19.2								
45	ヒノキ	○	○	27.7	27.8	18.6	20.7								
46	ヒノキ	○	○	30.1	30.6	19.7	20.8								
50	ヒノキ	○	○	17.5	19.0	17.5	20.0								
51	ヒノキ		○	23.0	22.3	18.0	19.3								

付表 25 立木調査結果(Ino-2 及び 4)

調査日 2022/12/25・26

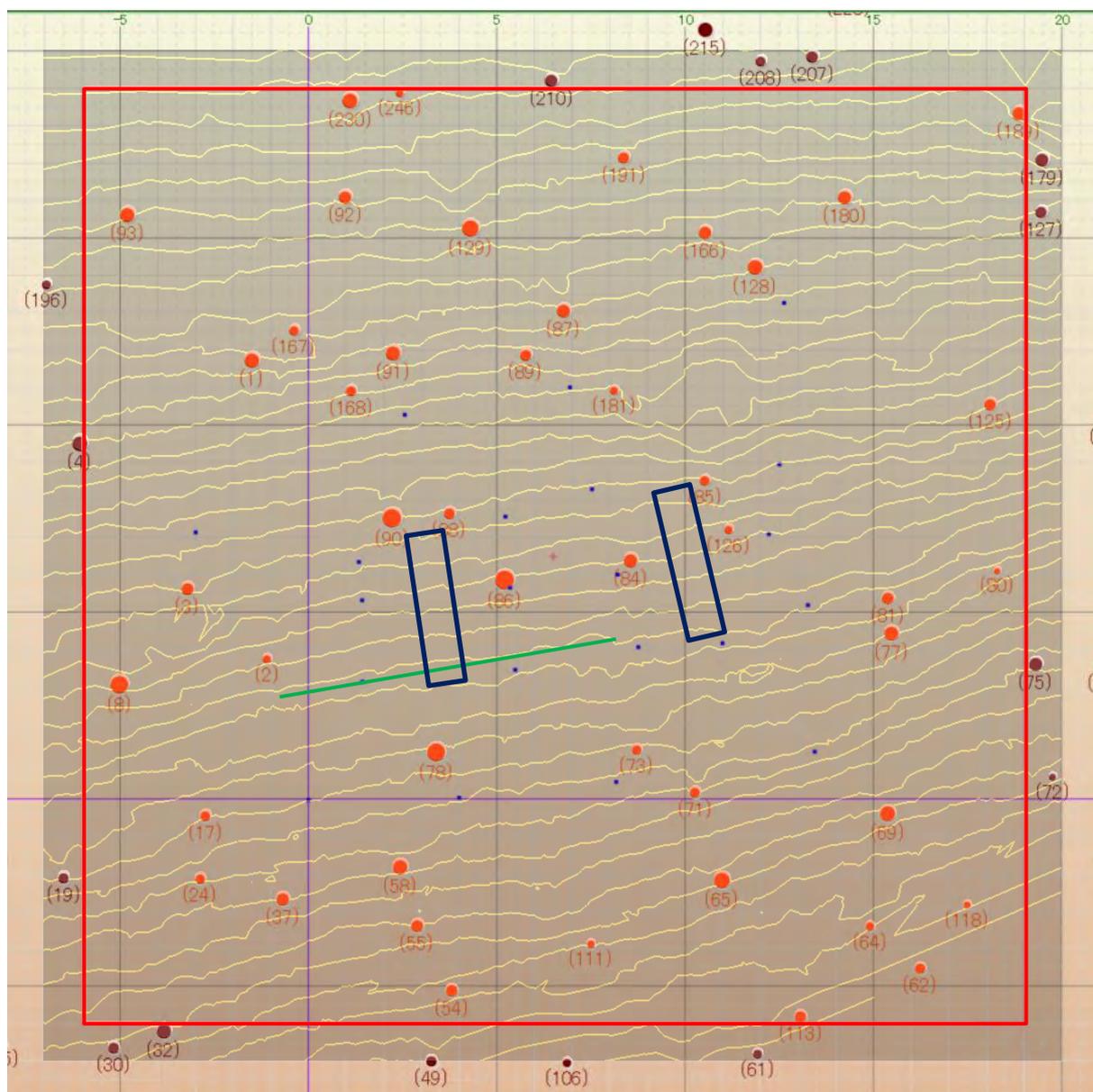
天候 晴

調査員 山本(照)・渋谷

調査地点:猪之頭1筋工無(Ino1-2,4)

ID	樹種	上層木	Ry 対象	胸高直径[cm]		樹高[m]		ID	樹種	上層木	Ry 対象	胸高直径[cm]		樹高[m]	
				OWL	実測	OWL	実測					OWL	実測	OWL	実測
1	ヒノキ	○	○	23.2	22.9	18.9	23.2	133	ヒノキ	○	○	19.9	20.6	16.0	22.1
2	ヒノキ	○	○	16.6	15.6	15.9	21.0	135	ヒノキ	○	○	27.4	27.0	18.8	23.0
3	ヒノキ	○	○	27.6	26.2	19.5	22.0	139	ヒノキ	○	○	20.2	20.1	18.8	21.5
4	ヒノキ	○	○	22.3	21.5	17.9	21.8	145	ヒノキ	○	○	24.9	25.3	20.5	22.2
5	ヒノキ	○	○	24.6	24.4	16.3	22.5	162	ヒノキ		○	17.8	17.0	19.1	20.4
6	ヒノキ	○	○	25.0	24.6	19.6	23.8	165	ヒノキ	○	○	18.9	19.6	14.2	22.7
8	ヒノキ	○	○	39.3	38.0	20.0	24.4	166	ヒノキ	○	○	22.1	20.7	19.1	21.8
9	ヒノキ	○	○	32.2	32.5	18.3	22.4	167	ヒノキ	○	○	19.8	20.0	15.4	21.8
11	ヒノキ	○	○	30.1	30.4	19.6	22.1	168	ヒノキ	○	○	29.1	28.7	13.9	23.1
13	ヒノキ	○	○	22.2	21.5	19.7	21.4	172	ヒノキ		○	20.2	19.0	18.9	19.0
14	ヒノキ	○	○	30.4	31.4	18.3	23.0	174	ヒノキ	○	○	19.0	20.1	14.2	22.5
17	ヒノキ		○	17.9	17.7	19.1	20.6	204	ヒノキ			33.3		0.0	
20	ヒノキ	○	○	27.2	26.6	19.1	22.3	206	ヒノキ	○	○	27.3	25.8	19.5	21.7
23	ヒノキ	○	○	28.5	28.0	20.0	23.1	207	ヒノキ	○	○	17.5	16.8	14.8	21.6
24	ヒノキ	○	○	22.0	22.3	20.3	22.4	208	ヒノキ	○	○	25.2	28.2	14.5	23.7
36	ヒノキ	○	○	27.3	25.3	20.3	22.3	235	ヒノキ	○	○	21.7	22.2	13.2	23.2
43	ヒノキ	○	○	26.1	26.3	20.8	21.2	236	ヒノキ	○	○	19.6	20.6	12.8	21.0
44	ヒノキ	○	○	28.6	29.5	19.7	21.8	237	ヒノキ	○	○	26.9	30.4	12.0	23.1
45	ヒノキ			30.9		0.0		239	ヒノキ	○	○	24.1	23.3	14.1	22.0
46	ヒノキ	○	○	27.9	30.1	19.4	21.6	240	ヒノキ	○	○	17.1	16.9	15.5	21.0
49	ヒノキ	○	○	22.2	21.3	12.7	21.5	241	ヒノキ	○	○	22.7	22.0	15.1	21.3
50	ヒノキ	○	○	28.8	30.2	21.4	22.4	255	ヒノキ	○	○	25.7	26.5	13.1	22.2
77	ヒノキ	○	○	26.4	26.6	20.4	23.4	257	ヒノキ	○	○	21.1	24.9	0.0	21.3
93	ヒノキ			29.5		0.0		平均			55	24.6	24.8		22.3
97	ヒノキ	○	○	23.3	24.5	19.8	21.6	上層樹高							22.4
100	ヒノキ	○	○	27.1	26.8	19.1	22.5	Ry	0.94						
112	ヒノキ	○	○	27.8	27.7	18.9	22.8			1					
119	ヒノキ	○	○	32.4	33.0	20.8	24.1								
122	ヒノキ	○	○	26.3	25.9	20.0	23.6								
124	ヒノキ	○	○	34.6	35.2	18.1	23.3								
125	ヒノキ	○	○	26.5	28.8	16.5	23.4								
126	ヒノキ	○	○	25.7	26.6	14.1	23.3								
127	ヒノキ	○	○	16.4	16.3	15.9	21.2								
128	ヒノキ	○	○	27.5	27.0	18.1	23.4								
129	ヒノキ	○	○	21.3	22.0	17.0	22.3								
130	ヒノキ	○	○	29.4	30.0	15.6	22.8								
131	ヒノキ	○	○	21.3	21.2	15.4	23.1								
132	ヒノキ	○	○	24.5	26.9	17.0	22.3								

(3) 猪之頭 2



付図 44 猪之頭 2 の森林プロット平面図

付表 26 立木調査結果(Ino2-1 及び 2)

調査日 2022/12/23

天 候 晴

調査員 山本(照)・崔・渋谷

調査地点:猪之頭2(Ino2)

ID	樹種	上層木	Ry 対象	胸高直径[cm]		樹高[m]		ID	樹種	上層木	Ry 対象	胸高直径[cm]		樹高[m]	
				OWL	実測	OWL	実測					OWL	実測	OWL	実測
1	スギ	○	○	41.8	47.5	19.1	27.4	167	スギ	○	○	29.1	30.7	17.8	38.0
2	ヒノキ	○	○	25.8	25.6	20.2	22.3	168	スギ	○	○	30.9	31.0	18.0	26.6
3	ヒノキ	○	○	36.1	36.1	19.9	25.3	180	スギ		○	38.5	-	16.8	-
8	ヒノキ	○	○	51.5	46.3	22.0	27.4	181	スギ	○	○	25.0	24.9	19.1	22.6
17	ヒノキ	○	○	30.0	31.0	23.7	27.5	189	スギ		○	38.7	-	14.3	-
24	ヒノキ	○	○	29.2	30.3	23.3	25.4	191	スギ		○	33.0	-	15.9	-
37	ヒノキ	○	○	36.7	37.2	24.2	26.2	230	スギ		○	43.1	-	14.2	-
54	ヒノキ		○	34.5	-	24.4	-	246	スギ		○	24.2	-	13.9	-
55	ヒノキ	○	○	35.3	34.6	24.5	26.0	平均				36.3	36.1	21.2	24.5
58	ヒノキ	○	○	42.2	42.4	24.1	29.1	上層樹高							25.5
62	スギ		○	31.1	32.6	22.4	21.4	Ry	0.85						
64	スギ	○	○	26.2	27.9	22.3	22.4								
65	ヒノキ	○	○	45.2	44.8	23.7	22.0								
69	ヒノキ	○	○	43.6	45.7	23.6	24.2								
71	スギ	○	○	30.6	30.7	23.0	23.6								
73	スギ	○	○	28.1	26.8	22.0	23.5								
77	スギ	○	○	40.8	40.9	25.4	26.6								
78	ヒノキ	○	○	51.0	50.4	21.7	24.5								
80	スギ		○	19.6	20.0	20.0	20.3								
81	スギ	○	○	34.4	35.2	22.7	24.0								
84	ヒノキ	○	○	39.0	38.7	23.4	24.5								
85	スギ		○	29.7	28.8	21.3	21.1								
86	ヒノキ	○	○	53.5	52.8	22.4	26.5								
87	スギ	○	○	38.7	38.0	13.9	26.6								
88	ヒノキ	○	○	32.4	31.4	23.5	26.1								
89	スギ	○	○	33.3	33.0	19.9	22.4								
90	ヒノキ	○	○	52.6	51.9	23.8	27.0								
91	スギ	○	○	40.7	43.2	19.5	28.0								
92	スギ		○	36.6	-	13.5	-								
93	スギ		○	41.6	-	14.4	-								
111	スギ		○	23.9	24.2	23.0	21.5								
113	スギ		○	33.6	-	22.6	-								
118	スギ	○	○	22.1	24.0	21.4	22.6								
125	スギ		○	34.1	34.3	20.4	21.2								
126	スギ	○	○	25.8	25.2	22.2	22.5								
128	スギ	○	○	42.8	43.7	17.6	24.8								
129	スギ		○	47.0	-	15.5	-								
166	スギ		○	36.4	-	15.8	-								

### 5.3.7. 林床被覆状況

付表 27 林床被覆状況(玄倉)

プロット名	玄倉調査地・筋工ありの類似立地			林床被覆率	90 %	開空率	4.8 %
植生高	6 cm	林床被覆高	2 cm	出現種数		6	
階層	被度・群度	植物名		概況			
IV	+						
	+	ノイバラ					
	+	チョウセンテイカカズラ					
	+	アメリカスミレサイシン					
	+	オニタビラコ					
	+	ムラサキシキブ					
	+	チズミザサ					

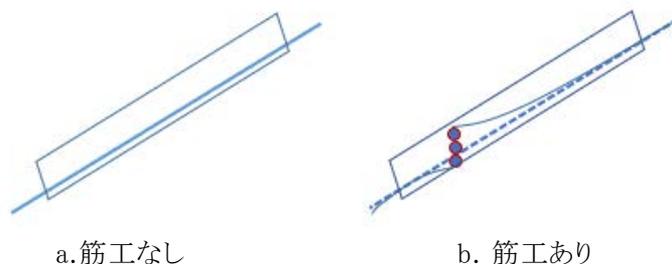
プロット名	玄倉調査地・筋工なしの類似立地			林床被覆率	80 %	開空率	7.5 %
植生高	8 cm	林床被覆高	3 cm	出現種数		8	
階層	被度・群度	植物名		概況			
IV	3・2	チズミザサ					
	1・1	オオバノイモトソウ					
	+	チョウセンテイカカズラ					
	+	コセンダングサ					
	+	ツルオドリコソウ					
	+	ヤマズミ					
	+	アオミズ					
	+	タニギキョウ					

## 5.4. 学識経験者の助言

今年度の調査に当たり、下記の学識経験者をアドバイザーとして招聘し、下記のとおり技術的な助言を受けた。

### (1) 比較対象プロットの考え方

比較対象プロットの採り方によりその結果は異なる。異なる条件、同じ条件をどのように考えるのか。



- 筋工設置前の斜面勾配を同一とする。
- 筋工の効果(i)リターの捕捉効果と同時に(ii)斜面勾配を局所的に緩くする効果)を考えると、筋工を含んで、筋工の下部で流出量を計測する。

付図 45 比較対象プロットの考え方

### (2) 調査計画について

筋工、柵工に期待される主な効果としては次の3つがあると考えられる。

- 浸透能を高めて、地表流量を減少させる。
- 斜面勾配(局所的ではあるが)を緩め、リターの堆積等により地表流の流速を減少させる。
- 土壤侵食量を減少させる。

「浸透能」については、現地で浸透能試験を行うことも重要だが、個々のプロットにおける土壌、下層植生、リター堆積、勾配等が異なるので、バラツキも大きく、多数のデータを集める必要がある。一方、「リター乾重量」や「A層厚」が大きくなると浸透能も大きくなる傾向があるのは既往の多くの研究から広く認められている。

「リター乾重量」や「A層厚」は浸透能試験と比較すると現地での調査が行い易いので、今後は、「柵工・筋工なし」と「柵工・筋工あり」について、同じ森林で「リター乾重量」、「下層植生乾重」、「合計被覆率(下層植生被覆率、リター被覆率)」、「A層厚」、「斜面勾配」等を調査する方法も効率的で有効と考えられる。なお、リターの堆積(及び下層植生)は上記の3項目の全てについて効果があると考えられるので「リター乾重量」、「下層植生乾重量」、「合計被覆率(下層植生被覆率、リター被覆率)」だけを多数の地点で調査することは非常に有効と考えられる。さらに、「地表面流速緩和効果」については、今回の方法では正確に測定することはできないので、もう少し斜面長が長いプロット(例えば10～30m程度)を作成して自然降雨で地表面流速を測定するか、水路等に柵工・筋工の模型を設置して地表面流速を測定する方法も有効と考えられる。

### (3) 浸透能の簡易計測について

冠水型浸透計を実施し、自然降雨や人工降雨における浸透形態と比較し、できる限り簡易に調査してデータ取得できる方法を並行して検討することが必要である。

#### (4) 筋工の効果に関する人工及び自然降雨試験の整理方法

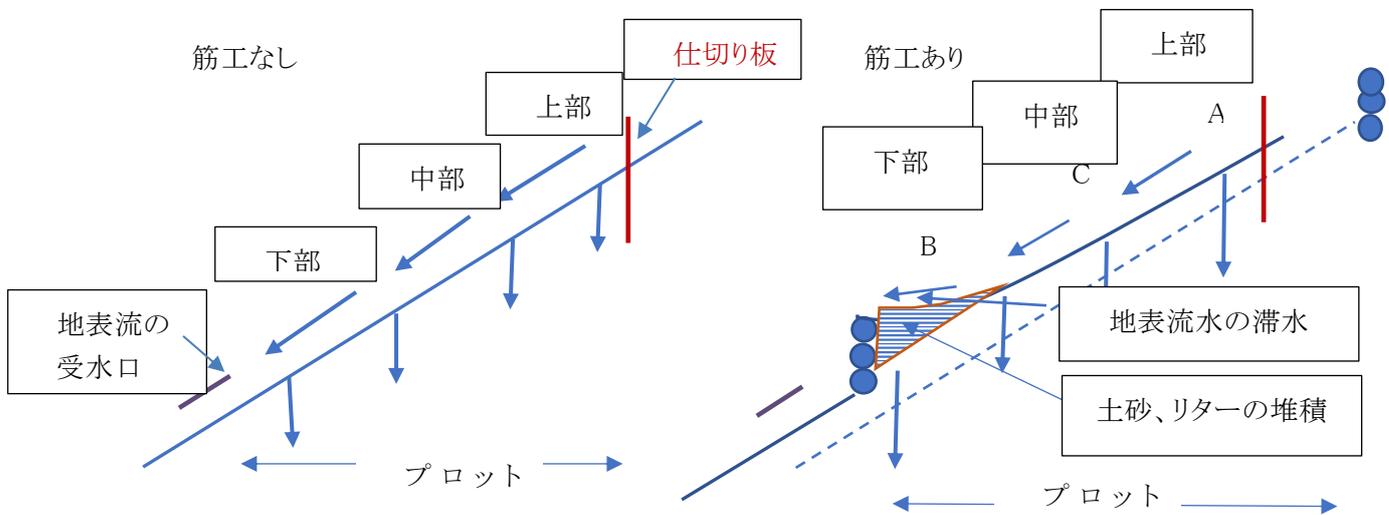
##### 1) 筋工の効果検証

- ① 浸透能の増大＝地表流(量)の減少
- ② 地表流のピーク流量の減少
- ③ 地表流のピーク流量の遅延(流出の遅れ)

##### 2) 筋工の効果が発揮されるメカニズムの検証

- (1)浸透能の増大＝地表流(量)の減少←透水係数の増加(上部での侵食) :A
- (2)地表流のピーク流量の減少←A 及び←浸透時間の増加＝筋工直上部での滞水→浸透:B
- (3)地表流のピーク流量の遅延(流出の遅れ)←斜面勾配の減少(緩勾配になる):C

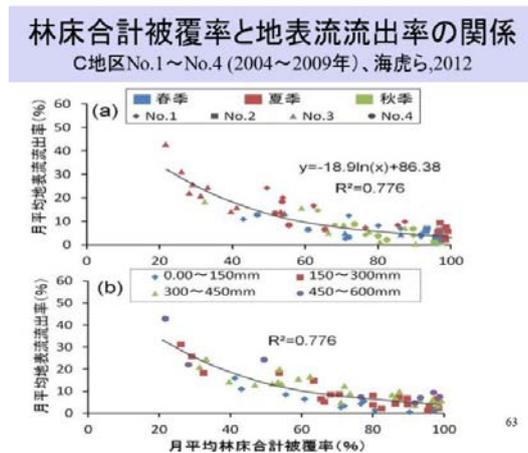
プロット及び付近の正確な(詳細な)縦断面図を作成する。斜面勾配(均一でない場合は適当な区間毎に)、筋工の高さ、筋工の部分の水平部の幅(水平部の凹み量)等の数値を算出することが望ましい。



付図 46 筋工効果の検証方法

##### 3) 秋季にリター堆積量が増すと、地表流流出率はどう変化するか？

丹沢堂平(ブナを主とした広葉樹林)の観測結果では、右図に示すように、秋季にリター堆積量が増加すると(林床合計被覆率が増加することもあり)地表流流出率は減少するという結果になっている。玄倉では増加しており、異なる結果となっている。



付図 47 林床合計被覆率と地表流流出率の関係

