

第4章 最近の調査研究資料

2012 年土木学会土木史研究発表(平成24 年6 月16～17 日)の一部修正版(平成30年10月)

4.1 明治、大正期の長野県牛伏川砂防施設の歴史と評価*

History and evaluation of the Nagano Ushibuse River erosion control institution of Meiji, Taisho era*

山浦 直人** 小西純一*** 竹村 正**** 井上 公夫*****

By Naoto YAMAURA Junichi KONISHI Tadashi TAKEMURA Kimio INOUE

概要

明治 10 年代から大正中期にかけて砂防工事が施工された牛伏川は、荒廃した水源地の土砂対策に取り組んだ日本の近代砂防事業を代表する箇所である。実施された砂防工事の工種が多様であることに加え、各工事は計画性をもち、緻密な施工がおこなわれており、すでに砂防工事の技術的、歴史的な評価が与えられている。

その中心的な施設である「牛伏川階段工」は、幾つかの工法をくみあわせた技術で、急流砂防河川に対応する技術性に加え、階段を流れる水流が周辺環境と調和する景観性もそなえる土木技術の傑作である。

本研究では、完成以来、90 数余年をえた牛伏川砂防工事の経過を改めて整理し、新たな史料の考察を加え、今も役割を果たし続けている砂防施設に対する技術的な評価、歴史的評価をまとめることとする。

4.1.1 はじめに

長野県松本市南東に位置する牛伏川は、鉢伏山の南横峰(1531m)を水源にし、西に向かって流下し、一級河川田川に合流する。田川は松本盆地で奈良井川に合流するが、下流は、犀川、千曲川と流下する信濃川水系の水源地の一つにあたる。

水源地の地質は、砂岩、泥岩の砕屑岩類に、石英閃緑岩や花崗閃緑岩など火山岩が分布する。

脆弱な地質に影響され、地形は急峻で、崩壊地が随所にみられ、古くから土石流など大量の土砂流出災害が多発している。下流に位置する松本は、戦国時代以降城下町として発達してきたが、幾つかの河川扇状地に形成されたが故に洪水と土砂災害と戦いながら、まちづくりが進められた。

牛伏川は災害の原因となる河川の中でも、特に土砂流出の著しい溪流であったため、明治、大正期に砂防事業が大規模に行われた。工事は、土木技術の近代化を指導したオランダ人などの影響もあるが、日本の伝統的な石積み技術を活かした工法により施工された施設が多く、近代砂防工事の成立期において景観と調和した施設として高い評価をえている。

本研究は、牛伏川砂防工事の経緯を整理し、その技術的、歴史的な評価を試みるものである。

* Keyword:歴史的砂防施設 階段工 景観 オランダ人

** 正会員 博(工) 前長野県建設部

〒388-8011 長野市篠ノ井布施五明 341-7

*** 正会員 工博 信州大学名誉教授

**** 長野県建設部砂防課

***** 博(農) (財)砂防フロンティア整備推進機構

4.1.2 長野県における近代砂防工事の開始

明治の 10 年代半ばから 20 年代前半において、長野県の千曲川、犀川流域の支川では、石積堰堤などの砂防施設が施工されている。その概要は内務省発刊の資料などをもとに既往研究に次のようにまとめている¹⁾²⁾³⁾。

・工事実施箇所 当時 14 村の 12 溪流

・工事内容 河床対策(石堰堤、土堰堤、谷止工等)

山腹対策(柵止工、積苗工、苗木植付等)

・工事の実施主体 内務省土木局第3区監督署(新潟県)

長野市山布施に残る明治 19 年建立の砂防工碑には、「我政府聘治水工師於和蘭国以使修治漠川工師先歴視水源専為殄止崩砂之計昼之請砂防工乃泰西治水家之所最必要也行之於該河川数年当局員頗頗慣工法今其為法雖有諸種要在艱山谷之地皮以防砂害於未崩又使既崩土砂不及下流近頃信濃川脩治」(内務省土木局次長中村孝禧)と「政府招聘オランダ人技術者は、水源地を調べ、土砂殄止計画を立てることを重視。信濃川の治水工事が始まったが、水源地砂防工事をまず始めた。」などとある。また、当時の県や地域の文書には、土砂災害を被っていた地域から「砂防御普請願」⁴⁾が提出された記録が残る。

明治前半期の砂防は、河床浸食防止のための「石堰堤」と斜面崩壊防止のための「積苗、苗木植付」に分類され、特に石堰堤が数百基にり、現存施設も少なくない。現在、「薬師沢水路工など 4 溪流」(小川村)、「荏沢川石堰堤 4 基」(千曲市)、芦澤石堰堤 4 基(麻績村)が国登録有形文化財となり、近代土木遺産として評価されている。

牛伏川では、石積堰堤が 5 基施工されたが、工事は明治 22 年で中断され、砂防法成立をうけ、明治 31 年から長野県初の補助砂防工事として再開され、継続される歴史をたどる。

4.1.3 明治前半期の牛伏川砂防工事

(1) 牛伏川災害の歴史

牛伏川の土砂災害の歴史は古く、回数も多い。主な災害を次に掲げる(「牛伏川砂防工事沿革史」⁵⁾)。

- ①元禄三(1690)年八月、大洪水、水害四百町歩、白姫52戸流失。「一の劔(はね)」の西から破堤。
- ②宝永二(1705)年十月、洪水、田地二百余町、白姫区の「二の劔」より破堤
- ③享保十二(1727)年七月、洪水、被害反別三百町歩下瀬黒の「樋口下」から西に破堤。下瀬黒区は東中山の麓の現在地に移住。
- ④寛延三(1750)年六月、洪水、被害反別五十町歩「下川原」で破堤。切口の下は砂石累々で原野化。
- ⑤宝暦十三(1763)年六月、洪水、被害反別二千町歩白川区の「上川原」で破堤。水勢益々激しく、西田川を突き、平田・野溝・小島まで及ぶ。
- ⑥天明元(1781)年6月、洪水、田地五百町歩、人家60戸流失。白姫、上瀬黒、竹淵の良田が流失。
- ⑦文化十二(1815)年秋、洪水、田地二百余町歩流失埴原区界の字「一の劔(はね)」より西に溢れ、白川の東端を突き、方向を変じ、北に折れた。
- ⑧文政八(1825)年八月大雨甚しく、牛伏川・塩澤川共に大洪水。特に、塩澤川は人間欠の押出しや崩れて、砂石夥しく押出。難儀至極(天然ダム形成か)。
- ⑨文政九(1826)年洪水畑数十町歩(数10ha)、田畑二百五十町歩。白川「一の劔(はね)」より西に破堤。
- ⑩天保十(1839)年七月洪水田地四百町歩、溜池2箇所が流亡。並柳の全区の人家を浸水。上瀬黒「矢澤」で東岸破堤、並柳を押流。
- ⑪弘化元(1844)年十月流亡田地百八十町歩。全破壊人家10余戸。上瀬黒「鯉澤」で西に破堤。
- ⑫万延三(1862)年洪水、田地十五町歩流亡。下瀬黒「中川原」で西に溢流。
- ⑬慶応元(1865)年六月洪水。田畑・宅地計百四十三町歩流亡。白姫「長筏」で東西に、「和合」で西に破堤。
- ⑭明治29年(1896)4月、7月21日に牛伏川で大洪水・土砂氾濫。

「破堤」「溢流」との記録は、災害が多発していた牛伏川で、なんらかの治水工事がおこなわれてきたと推測させる。また、土砂氾濫区域が数百～2千町歩(数百ha～千ha)との記録は、流出土砂量も百万m³の可能性を示唆しており、「土石流」の発生、天然ダムの形成も窺える。

なお、明徳、明応時代に地震により上流で崩壊があった(牛伏川工事沿革史)との記述もみられる。

土砂災害を繰り返した牛伏川は明瞭な土砂氾濫地形を形成し、本流は北に曲げられ、流下する特徴的な地形を形成した。(図1)(写真3)

(2) 砂防工事の概要

内務省土木局第3区監督署の直轄工事として計画され、実施された。工事は、河床勾配の浸食防止のための「石

積堰堤と斜面の崩壊防止のための植生工が考えられたと見られ、施工された石積堰堤の概要は次のとおり⁶⁾⁷⁾。

- ・堤高は、4.5～8.1m、下流のり勾配は1割以上。
- ・雑割石の空積み構造、石の大きさは不揃いである。
- ・総工費は24,000円である。

設置された内務省石積堰堤は5基で、それらはすべて現存するが、1号堰堤は、改造され、後述する「階段工」の一部に組み込まれている。なお、植生工はごく一部実施されたとみられるが、詳細は明らかでない。

工事の期間は、県内の他の溪流より少し遅れて、明治18年～22年の5年間に計画されているが、途中1,2年の中断期間を挟んでいる。(写真1)

なお、牛伏川の南に位置し水源地を隣接、田川の支川である塩沢川では、牛伏川と同時に砂防工事が行われた。その内容は、

「石堰堤 38箇所、柵止2箇所、積苗11ヶ所」で明治19年に竣工している。(写真1)

(※原文引用の場合、石積堰堤は「石堰堤」という。)

(3) オランダ人技術者の係わり

信濃川の水源地砂防を指導したのは、オランダ人エッセルの後をうけて赴任したオランダ人ムルデルとみられる。ムルデルは、「信濃川海口改修ノ件」で「第一の事業は、幹線水源の景況を点視し、其山岳に適宜の砂防工を施し、以て新潟港の為、砂州の拡大を防ぐに在り」(「古市公威とその時代」⁸⁾)とのべている。

下流の新潟県では、水源地である長野県内の支流からの土砂流出について大きな関心を寄せていた。例えば、明治8年に信濃川上流部の状況を「信濃川治水日記」⁹⁾をまとめた高橋健三は、千曲川、犀川合流点の河床堆積や弘化4(1847)年の善光寺地震による大崩壊地である岩倉山などを詳細に調査している。これらの状況をふまえた上で、ムルデルは水源地砂防工事として長野県内の直轄砂防工事の施工を急ぐことを主張したと見られる。

なお、長野県内に現存する資料に具体的にムルデルの関与を示した書類は見当たらない。

次に、オランダ人技師デ・レイケの係わりである。

デ・レイケは長野県知事からの要請に基づき、明治23年8月千曲川など県内の調査を行い、その報告書¹⁰⁾(訳書)は同年12月に内務省土木局長古市公威名で県に送付されている。報告書では、千曲川、犀川、梓川、牛伏川などの治水に関するデ・レイケの考えが読み取れる。

「小官ハ河上氏ト奈良井川ノ一支流ナル牛伏川ヲ遡リタリ・・・其岩石ハ粗柔ニシテ割レ易ク其深サ数十尺ニ達スルモノアリ、此山谷ノ全体ハ石塊等ノ堆積スルガ故ニ、平地ノ処ニ於テハ水流暴漲スル時ニ当リ其水量ヲ両堤間ニ保持スルコト甚タ困難ナリ・・・崩壊シタル山岳ノ麓ニ五箇ノ石堰堤アリ・・・此等ノ石堰堤ハ其位置宜シキヲ得・・・誠ニ完全ナルガ如シ、故ニ(此等峻険ヲ急下セザル様段階ヲ設ケ勾配ヲ緩ニセシナリ)左右諸山ヨリ土石ノ崩壊ヲ防クニ足ルヘシ・・・故ニ河上氏ニ指示セシ如ク、尚ホ十数箇ノ堰堤ヲ其上部ニ築造スルハ最モ

2012 年土木学会土木史研究発表(平成24 年6 月16～17 日)の一部修正版(平成30年10月)

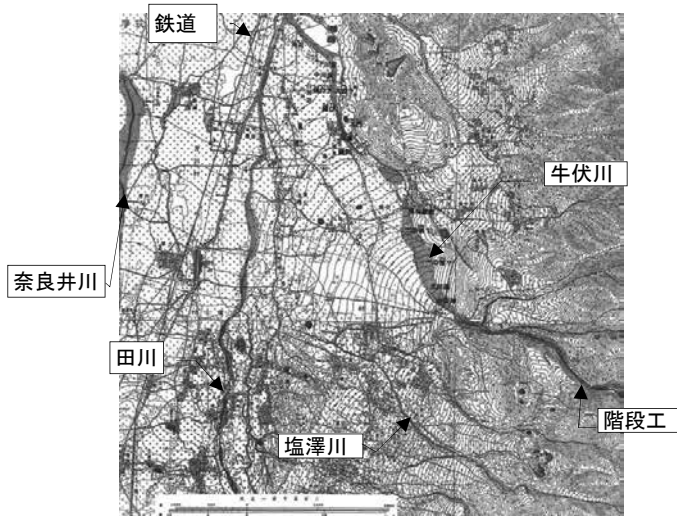


図1 牛伏川下流 土砂氾濫図
明治43年測図1/2.5万旧版地形図(松本,塩尻,
山辺,鉢伏山)より編集作成。

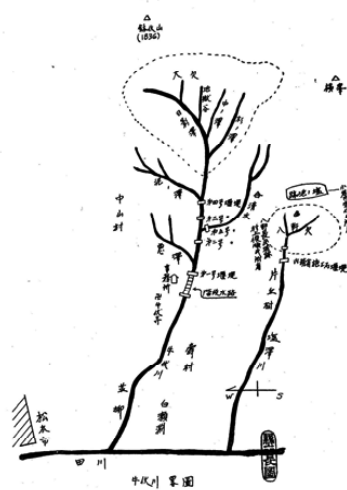


写真1 牛伏川・塩澤川砂防工事概略図(牛伏川
砂防工事沿革史)



写真2 内務省4号堰堤(撮影明治44年)



写真3 下流の土砂流出、堆積状況(撮影明治35年)

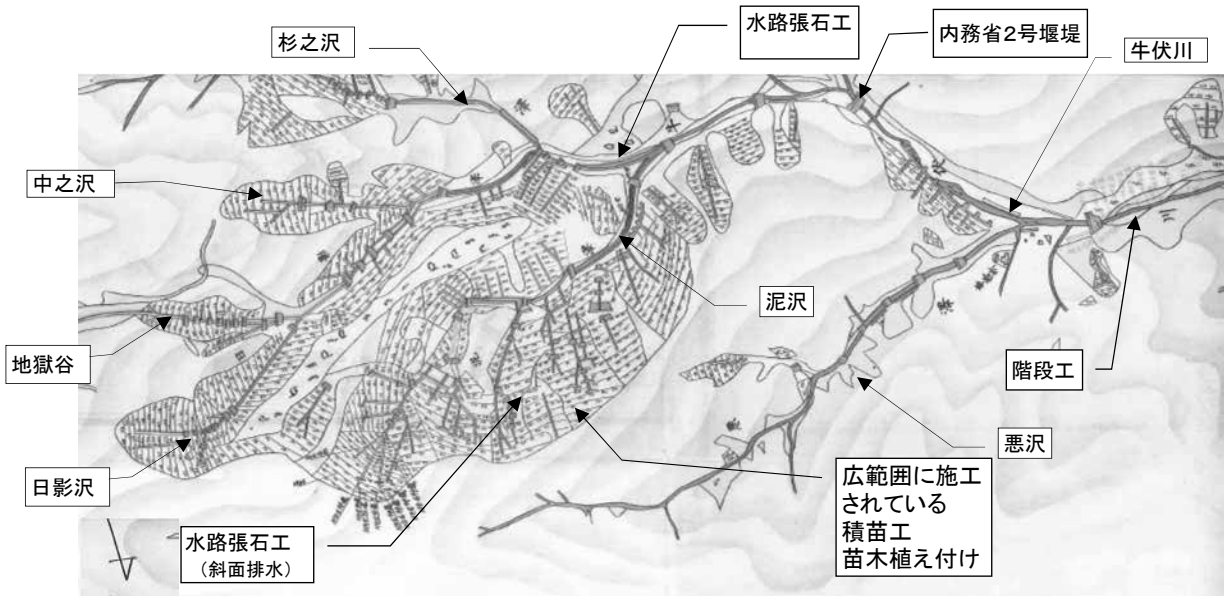


写真4 牛伏川上流(泥沢、日影沢、杉之沢)の多様な砂防施設の竣工状況 (大正7年竣工図=写真6の一部拡大)
(写真4, 5, 13～18は 長野県行政文書に含まれる図: 長野県立歴史館所蔵)

緊要ノコトナリ」

デ・レイケは、牛伏川を視察したうえで、石積堰堤が効果をあげていることを具体的に指摘しているが、その技術的な指摘は「河床浸食防止」での効果と、両岸斜面の崩壊防止（脚部浸食防止）と述べたうえで、さらに、石積み堰堤の設置数を増やすよう指摘している。

この調査報告書に登場する河上氏とは、内務省第3区監督署員 技手四等河上義雄と思われるが、このデ・レイケの指摘に対してその後内務省が砂防工事を行った事実はなく、砂防工事は一旦中断となる。

4.1.4 明治後半から大正期の砂防工事

(1) 工事の概要

明治30年に河川法と共に砂防法が制定され、これ以降、牛伏川では国庫補助をうけ、県が事業主体となる「補助砂防工事」が開始される。

工事は大正7年まで続き、堰堤工、山腹工、石張水路工、積苗工などが総工費22万8000円で施工された。

工種は、牛伏川砂防工事沿革史⁵⁾では、工事完了時点として、表1のように系列分類している

表1 砂防工事分類体系（「牛伏川砂防工事沿革史」より）

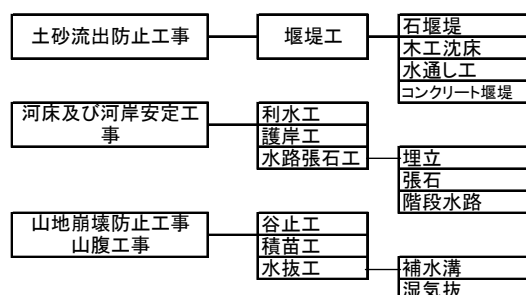


表2 明治大正期の牛伏川砂防工事の施工経緯⁵⁾¹¹⁾

年次	石積堰堤	土堰堤	谷止工	護岸石積	水路張石	工事費
M31	29	4	3	3		11,027
M32	18	8	1			10,400
M33	18	4	6	26		13,628
M34	10	9	6	29		8,803
M35	10	12	6	123		9,275
M36	8	17	8	216		11,944
M37		(工事中断)				
M38						
M39	3	12	8	44		8,679
M40	1	9	9		水通し2	11,630
M41		2	3	54	500	15,663
M42			5	42	36	10,025
M43			1	84	410	10,640
M44			1	45	546	15,914
M44			2	28	461	16,023
T2				49	529	16,289
T3	1			61	671	15,980
T4	1			61	342	10,463
T5	10			31	275	15,988
T6				34	489	15,949
	109基	77基	59基	930間	4259間	228,320円

施工範囲は、牛伏川本流のほか、杉ノ沢、地獄谷、日影沢、泥沢、合清水沢、境沢、千石沢、蟹堀沢、音無川などの一帯ノ溪流とその隣接する崩壊斜面などを対象に行われたため、その面積は100町歩（約99万m²）におよぶ広大な面積である¹²⁾。（写真5～10）

また、これらの施設はその後補修があったにせよ、ほぼ現存しており、工法の選択と施工品質に優れている。

(2) 各工種の施工順序

工事は異工種を同時施工したのではなく、表2の施工経緯⁵⁾¹¹⁾から、各工種の施工順序の傾向が推測できる。

- ・第1段階: 溪流の安定をはかる石積堰堤を施工する。
- ・第2段階: 斜面脚部に当たる護岸を石積で補強する。
- ・第3段階: 斜面の排水、溪流の縦侵食を防ぐ石張水路を施工。特に山腹斜面に施工した石張水路は、「補水溝」「湿気抜」という目的をもたせ、排水により斜面の安定化を促進させた。(沿革史の分類は斜面の「水路張石」も河床の水路に含まれ、目的と一致していない。)

水路張石工(写真9など)は、石積堰堤に代わり、明治41年以降施工数が急増するのが特徴である。これは工事分類にもある「河床及び河岸安定」の効果を期待したことと「斜面の安定をはかる積苗工」と一体に施工されていたことから、施工延長が大きく増加したとみられる。

山腹崩壊防止工事ではまず斜面の整形、安定化を図る積苗工が、明治31年以降、1年に1,640～40,200間 総計132,363間が施工された。これと同時に、苗木植付工は、総計704,523本、種類はアカマツ、ニセアカシア、ヤマハンノキなどが植栽された⁵⁾。

これらの各種工事の施工範囲は、写真4, 5, 6の竣工図や施工後の写真8, 9に示されたとおりで、溪流全体をカバーしていることが大きな特徴でもある。

そして工種の選択、組合せによる工事の計画的な施工が溪流全体の安定に効果的であったと評価できる。

(3) 階段工の概要

上流の砂防工事の効果により土砂流出が減少したが、最下流に近い位置にあった内務省第1号石積堰堤の下流部、右岸部では浸食が進み、河床が大きく低下していた。

この対策として施工されたのが「階段工」である。

工種の分類では石張水路工の1つであるが、その構造は床固、護岸と石張水路を組合せたもので、それまでの砂防施設見られない構造である。

階段工の概要は

- ・内務省1号堰堤から最下流の練石積みの第1号根止石積まで延長 141m
- ・落差 23mを19基の床固めの落差と勾配で処理。
- ・構造は空石積み、標準的な水路幅 5.4m

階段工は、内務省第1号堰堤の下流右岸部が大きく河床低下していたため、左岸側に水路の中心を寄せ、平面的な形状は、全体がゆるく曲線を描いている⁵⁾¹²⁾etc。

最大の特徴が床固め間に3段、10cm程度の小段差を設

2012 年土木学会土木史研究発表(平成24 年6 月16～17 日)の一部修正版(平成30年10月)



写真5 明治40年施工箇所見取図
(写真6の竣工図と比べ、簡略であり、施工範囲が限られている。参考資料18)より)

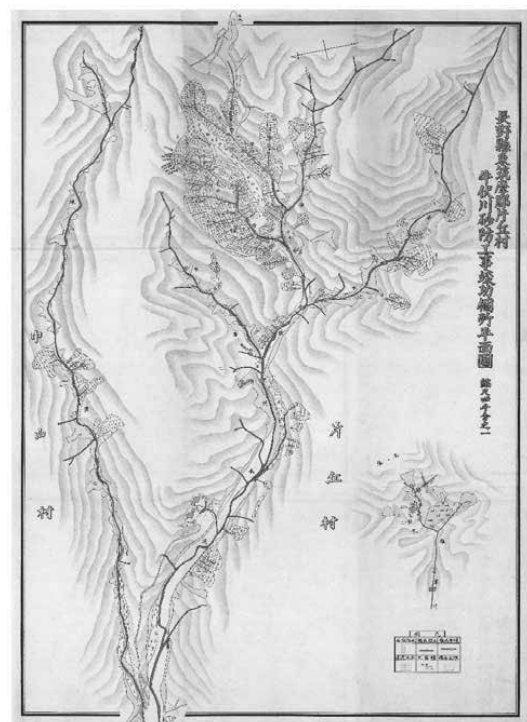


写真6 大正7年牛伏川砂防工事箇所竣工図
各溪流の工事が詳細に記述されている。本図は、大正7年牛伏川砂防工事竣工箇所平面図をもとに、

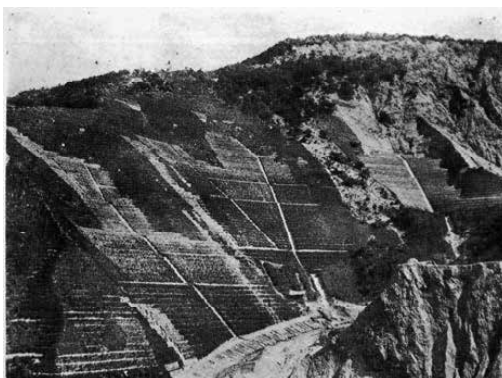


写真7 泥沢 積苗工、水路張石工(撮影大正元年)
(写真は7～10は牛伏川砂防工事沿革史より)

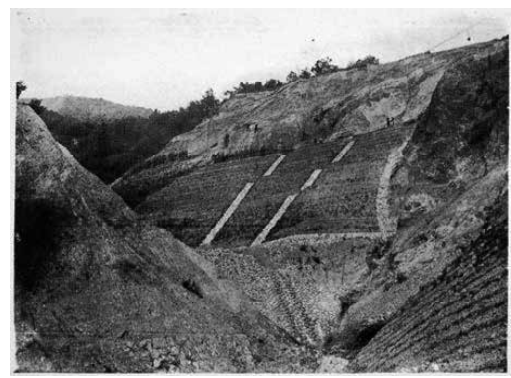


写真8 日影沢 積苗工、水路張石工(撮影明治36年)



写真9 泥沢 水路張石工、積苗工(撮影大正元年)



写真10 地獄谷 谷止工(撮影明治36年)

けている点である。この縦断構造と平面的な形状が相俟って、柔らかな水の流れを造りだしている可能性が高く、景観と調和させた技術力の成果と言える。(写真 11, 12)

なお、「階段工」は、平成 14 年に国登録有形文化財となり、平成 24 年国重要文化財に指定されている。

(4) 階段工計画設計の経緯

階段工の設計思想は、内務省技師池田圓男によってもたらせられた。池田は明治 44 年に内務省から欧州に派遣され、その際に入手した図書に書かれていた工法を指導したとされる。その図書には「急勾配の場合は、床固を設け、その床固工間にも小床固をつくって勾配を緩和する。最下部には練石積の小堰堤をつける場合もある」¹³⁾¹⁴⁾とされ、牛伏川階段工の構造そのものである。

内務省技師池田圓男の設計プランがどのように、階段工の施工に反映されたかは、長野県行政文書¹⁵⁾により次のようにまとめることができる。

①大正 5 年 3 月 16 日小橋内務省土木局長からの「大正 5 年度国庫補助砂防工事設計変更ノ件ニ付照会」には、
「客年 12 月 28 日土甲第 5 号ヲ以テ標記ノ件・・右計画
中ニハ牛伏川本流既設堰堤ノ下流河床低下ノ箇所ニ水路
張石工等ヲ設計セラレアルモ 該堰堤ノ水叩ニハ相当ノ
水褥ヲ設クルニ非サレハ維持困難ト認メラルルノミナラ
ズ 本箇所ハ水路ヲ左岸ニ付替ユルヲ得策ト為スカ 或
ハ現在水路ニ堰堤ヲ設クルヲ得策ト為スカ 篤ト精査ノ
上ニアラサレハ容易ニ判断難致存候ニ付 之レヲ大正 6
年度ニ譲リ」と長野県が内務省 1 号堰堤下流に計画した
「水路張石」工事を再検討するため、施工を翌年度に延ばすよう求めている。

②これを受けて長野県は、同年 3 月 28 日付で土木局長ニ
回答之件で「御照会相成候 本県大正 5 年度国庫補助砂
防工事設計変更ノ件 右牛伏川本流既設石堰堤ハ右岸ニ
偏シ築設シアルヲ以テ流身ハ右岸崩壊地ニ衝突シ
山脚ヲ押流スコト著シク 右崩壊地ヲ治ムルニ就テハ山
腹ノ傾斜殊ニ急ナルヲ以テ現在ノ水路ヲ中央部ニ移シ
相当ノ余地ヲ存ジ基礎工ヲ設ケザレバ 本工ノ完成ヲ図
ル能ハス又現在ノ石堰堤ハ明治十九年ノ築設ニシテ既ニ
石積摩擦ノ為損傷シ 此俟維持ノ見込覺束ナク 加之河
床低下著シク危険ノ状態ニ有之候ニ付 是レガ保護上水
路張石ヲ設ケ 一方積苗工ノ基礎トシ 両々相持ツテ其
完成ヲ期スルノ方針ニ有之候・・」と河床低下対策とし
て水路張石とその中心を変更するなどと回答した。

③これに対して、同年 4 月 13 日池田内務技師が、長野県
土木課長である西池技師あての書簡で「貴県大正 5 年度
砂防工事牛伏川本流第 2 号水路張石ノ事ニ付 先般一
法々ノ曲線張石工事ニ設計変更相成度 御話致置候処
別紙謄写図ノ如キ 実施例ニ倣ヒ 概略ヲ設計シタル別
紙図面ノ如キ設計トセバ 「コンクリート」ヲモ要セズ
維持ニ良好ナランカト存候 問篤ト御研究ノ上 可然御
決定相成度候」と伝え、「別紙謄写図」として「サニエルの
階段水路」の図面を添付している(写真 13, 14, 15)。

④大正 5 年 5 月 13 日の大正 5 年度砂防工事設計変更ニ付

認可稟伺ノ件で長野県は、「本年 4 月 14 日附土第 39 号御
認可相成候 本県牛伏川本年度砂防工事 今回施工ニ際
シ再調ノ結果左記ノ理由ニヨリ 計画変更施行致度候条
至急御認可相成候様致度 関係書類添付此段及稟伺候也、
変更理由

1 第二号工ハ水路勾配急峻ニ過クルヲ以テ階段ヲ付シ
施行スル方維持上得策ト認ム

1 第二号水路張石ノ保護上上流ニ護岸石積ノ必要ヲ相
認メ増工

との回答し、ここで張石水路が急勾配なので、「階段」
をもうける旨を回答している。

これらの経過から整理できることは、階段工の形状は
長野県の技術者が池田圓男の設計指導を仰ぎながら、数
回の修正を経て設計、或いは製図を仕上げたとみられる
点である(写真 16～18)。池田圓男の指導は徹底しており、
その後同年 7 月にも新たに長野県に対して縦断面図の
提出をもとめ、これにまた、指導意見を述べて返送し
た形跡がみられる程である。

階段工は、単にフランスの事例を模倣したのではなく、
内務技師池田圓男の技術者としての熱意ある追求と、詳
細な設計を実現できた現場における高い施工技術との結
合が産んだ優れた成果であり、それが今日に至ってもそ
の効果を継続でき、技術的な評価をえる源といえる。

(5) 関与した技術者

階段工を設計指導した池田圓男に加え、牛伏川砂防工
事の計画指導や現場の高い施工技術を支えた技術者に対
して高い賞賛が与えられている(牛伏川砂防工事沿革史)。
補助砂防工事となった明治 31 年以降の牛伏川砂防工
事全体には、多くの技術者が係わっている。

そこで、溪流全体の砂防工事を指揮できた技術者、現
場へ適合できる施工技術などを支えた技術者などを資料
を基に、所属別にまとめてみる。

全体計画を指導したと見られる内務省技術者等
・小柴保人 明治 24～44 内務省第 3 区監督署
・前川貫一 明治 31 以降 内務省第 3 区監督署
・山縣要助 明治 31 以降 長野県技師(内務省)

このうち、前川貫一は、「牛伏川砂防工事沿革史」の序
において 明治 30 年代に第 3 区土木監督署の「監督部」
技師として計画並びに監査にあたったと述べている。

大正 7 年まで続けられた牛伏川砂防工事は、工事内容
から明治前半期から始まった「水源地砂防」の思想に沿
う工事であると考え、小柴、前川ら第 3 区土木監督
署の技術者が全体像策定に影響を与えたと推測される。

一方現場にあつて高い施工技術を支え、現場測量、設
計、製図、監督にあたった技術者を次に掲げる。

・胡桃沢謹一 明治 31～37 年 長野県工事監督
・平野銀八 明治 36～40 年 松本工区主幹
・森泉玄吾 明治 39～大正 5 年 長野県吏員
・吉田鎮一郎 松本工区主幹
・丸山丈之助、西村林十など

2012 年土木学会土木史研究発表(平成24 年6 月16～17 日)の一部修正版(平成30年10月)



写真11 牛伏川階段工全景



写真12 牛伏川階段工の床固工間の小落差

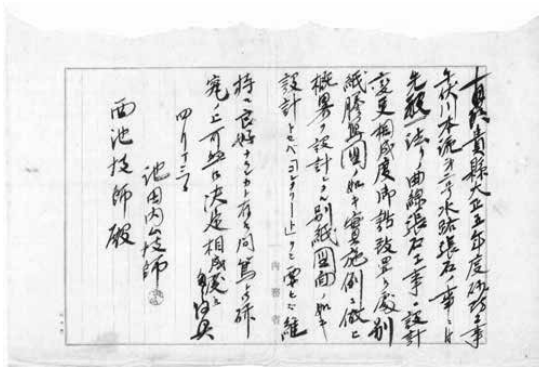


写真13 池田内務技師から長野県西池技師あての書簡
(写真13～118は資料15より)

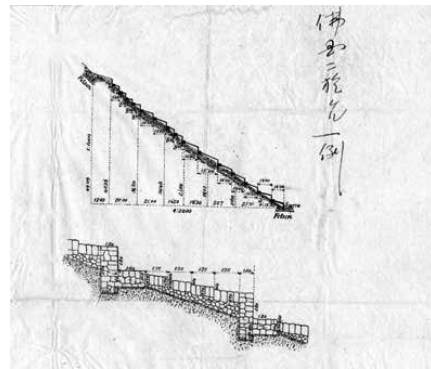


写真14 池田内務技師から書簡に同封された

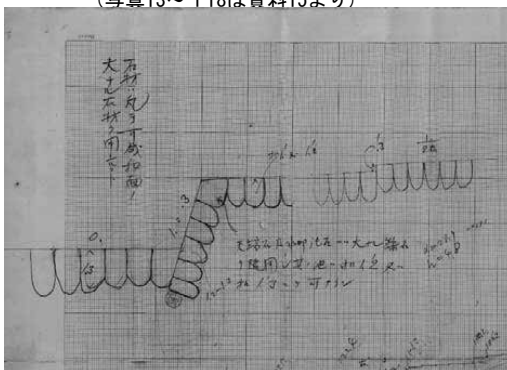


写真15 池田内務技師から送付された階段工の設計指導図
(床固間の小段差が明記されている。)

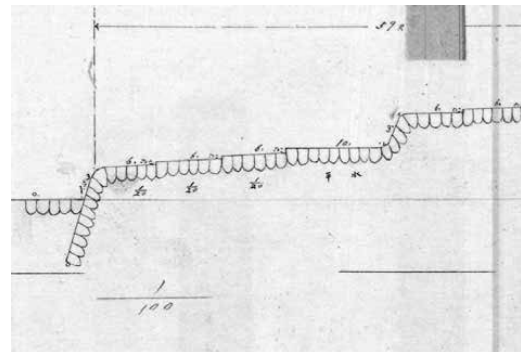


写真16 池田内務技師から図を基に書かれた
牛伏川階段工設計図

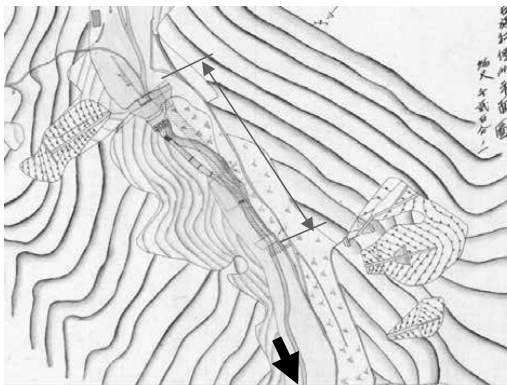


写真17 牛伏川階段工平面図(図面上が上流)
※引き出し線は筆者加筆

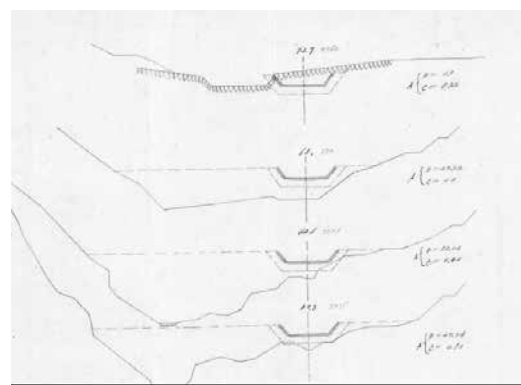


写真18 牛伏川階段工横断面図(最上段の横断面図が内務省1号堰堤。中心を左岸に寄せている。)

これらの技術者は、内務技師として赴任していた山縣などの指示をうけ、県庁での実務や現場工区において砂防工事を担当していた技術者である。

これらの技術者達が牛伏川砂防工事の測量図、設計図、内訳書などを作成しており、年ごとに竣工図や出来形図が作成されている^{16)～19)}。

しかし、関係した技術者は、係わった時期が限られており、工事図面も工事の進捗とともに、全体像が徐々に増加している傾向も窺える。したがって、牛伏川砂防工事は、最初から全体計画が確定して行われたとは考えにくく、これに係わった多くの技術者達が試行錯誤を重ねながら、全体像を確立していったと考える。

4.1.5 まとめ

本研究では、牛伏川砂防工事の経緯について原史料(行政文書)を中心に調査、整理し、次の考察をまとめることができた。

- ・牛伏川砂防工事は、信濃川河口の堆積対策をふくむ信濃川治水工事を目的とすると指摘されてきたが、城下町から近代都市に発展する下流の松本地域への土砂災害多発の歴史を考慮すれば、工事を求める地域の強い要望が背景にあったと指摘できる。

- ・オランダ人デ・レイケとの関係は、内務省直轄砂防工事として行われた石積堰堤について、溪流河床の浸食防止に高い効果があると指摘した調査報告はあるが、さらに堰堤を追加するよう求めたデ・レイケの提言は実施されず、それ以上の関係は確認できない。

- ・明治後期から大正にかけて実施された県の補助砂防工事は、溪流全体を安定化させようとしたもので、幾つかの工種を組み合わせ、施工順序にも配慮した総合的な溪流安定対策として評価できる。

- ・階段工は、床固工の詳細部分まで技術を追求した池田圓男の熱意ある設計指導とその考えを実現させた現場での高い施工技術が結びついた成果である。

牛伏川砂防工事の象徴的存在である「階段工」は、高い技術が活かされていることが改めて確認できた。

さら全体の砂防工事の工種の施工順序などをふくめて、溪流全体の安定を図るべく、工事全体を計画的に施工した技術は、明治以降の水源砂防技術の集大成ともいえ、近代砂防として評価は階段工に対してひけをとらない。

このような牛伏川砂防工事の歴史は地域でも高く評価され、その保全活動が取り組まれている²⁰⁾。

牛伏川は砂防工事により大きく安定し、工事の効果により、溪流と森林が一体となった素晴らしい環境を作り出している。また、災害の歴史と工事に挑んだ技術者たちの足跡を学べる場ともなっており、スケールの大きな「土木遺産」として今後の活用が望まれる。

本研究に関して工事経過、設計図などの当時の文献調査、撮影などにあたり、長野県立歴史館文献史料課 下

育郎様にご協力を頂きました。記して謝辞とします。

参考文献

- 1) 山浦直人 小熊友和 小西純一：「千曲川及び犀川流域において明治前半に施工された砂防施設について」：土木史研究 Vol. 25, 2005
- 2) 長野県教育委員会編：「長野県近代化遺産(建造物等)総合調査報告書」, 2009 年 3 月
- 3) 山浦直人 小西純一編：「オランダ人デ・レイケがみた州の河川・道路」, (社)北陸建設弘済会研究助成事業成果品, 2009年4月
- 4), 10), 15)～19)長野県立歴史館：「長野県行政文書」(長野県宝指定)：国からの命令、伝達、国への伺いと指示及び郡・市町村への布達などの県庁文書を年度と行政組織によって分類編纂、綴じ本で約 4,900 点ある。この行政文書中に道路河川など土木行政に係わる資料(図面を含む)がある。これに對をなす道路河川などの測量設計図面が「長野県測量図」(3,292 点)である。この測量図に牛伏川下流部の実測平面図(大正7 年)などが存在する。
- 4)「新川掘鑿及堰路溜池ノ部・砂防工ノ部・新道開鑿ノ部・水車建築ノ部」(明治17 年 G-3)
- 5)牛伏川砂防工事沿革史編纂会：「牛伏川砂防工事沿革史」, 昭和8 年, (平成3 年復刻版あり)
- 6)建設省松本砂防工事事務所：「信濃川上流直轄砂防百年史」, 1977 年
- 7)竹村正：「長野県松本市 牛伏川流域の砂防事業について(明治・大正時代につくられた砂防設備)」月刊建設, Vol. 56, 2012 年 3 月
- 8)土木学会(編)：「古市公威とその時代」, 2004 年
- 9)大河津分水双書(五百川清編著)：「第三卷 信濃川治水日記抄 信濃紀行」, 北陸建設弘済会, 2004 年
- 10)「三州及高府街道計画について デレーケ氏巡視関係(明治22 年6 月～23 年9 月)」(明治23 年 2B-21)
- 11)長野県砂防課：「牛伏川砂防工事概要」, 昭和33 年
- 12)長野県松本建設事務所：「牛伏川砂防の歴史-砂防に学ぶ-」, 1999 年
- 13)大久保駿：「牛伏川の砂防とサニエル溪」, 講演資料
- 14)国土技術政策総合研究所：「景観デザイン規範事例集(河川編)」, 国総研資料第434 号, 平成20 年3 月
- 15)「砂防工事関係書類」(大正6 年 2B-2)
- 16)「砂防工事関係書類 土木課 全」(大正5 年 2B-2)
- 17)「砂防工事関係書類」(明治40 年 2B-1)
- 18)「砂防工事竣工調書(明治41～42 年)」(明治42 年 2B-1)
- 19)「砂防修繕工事関係書類」(大正3 年 2B-3)
- 20)加藤輝和：「遠大なプロジェクト明治の牛伏川砂防」pp14--18, 牛伏川鉢伏山友の会資料

4.2 ^{うしぶせがわ}牛伏川周辺の地質

(株) 北信ボーリング 塩野 敏昭 赤井 静夫

4.2.1 牛伏川周辺の地形

牛伏川は、松本市南東部の鉢伏山系に源を発する信濃川水系の1級河川である。本論は、牛伏寺砂防ダム（標高約 900m）より上流の牛伏川源流域を対象とする（図 4.2.1、図 4.2.2）。

牛伏川の源流域は、鉢伏山（標高 1,928.5m）から南方の横峰（標高 1,670m）に至る稜線を東縁として南北に約 1.5km の幅を有し、流域面積は約 3.4 km² である。

牛伏川源流域には悪沢、泥沢、日影沢、杉の沢、合清水沢などの支流が発達し、源流部の河床勾配は、牛伏寺砂防ダムから松建小屋（標高約 1,130m）付近に至る2次谷区間で5.5～11%、その上流の1次谷区間で約22%、0次谷（山腹）部分で約33%を示す。

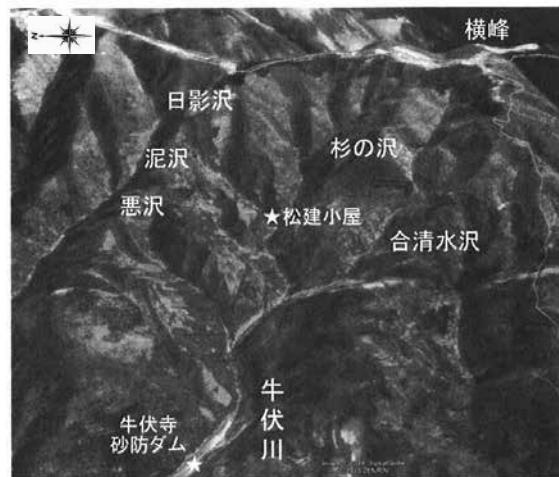


図4.2.1 牛伏川源流域の全景（Google earthを元に作成）

4.2.2 牛伏川周辺の地質

松本市史（1996）によると、本地域を含む松本市東部の地質は、新第三紀の内村層・別所層とこれを貫く石英閃緑岩・玢岩類およびこれらを覆う美ヶ原—三城地域の火山岩類等から構成される。牛伏川源流の稜線一帯には内村累層を構成する本郷層のうち、細礫岩や泥岩・砂質泥岩を挟在中粒ないし粗粒の砂岩から



図4.2.2 牛伏川源流域の地形図（国土地理院発行の2.5万分の1地形図「鉢伏山」を元に作成）

なる大正山砂岩層が分布する。この付近における大正山砂岩層の構造は、地質図から北西―南東の走向と 60 度～80 度南西傾斜であり、牛伏川源流域の山腹斜面に対してほぼ流れ盤構造を示す。

中山丘陵から牛伏川の牛伏寺橋付近を経て、崖の湯にかけては、北北西―南南東方向に延びる 8 km 余りの牛伏寺断層と呼ばれる活断層が分布する。

後述するように、本地域の石英閃緑岩は、一部で熱水による変質を受けて粘土化し、炭酸カルシウムを含む湧水が見られる。5 万分の 1 地質図幅説明書「諏訪」(1953)では、牛伏川南方の崖の湯において、石英閃緑岩中より鉱泉が湧出し、しばしば地すべりを起こすほど脆弱であると述べている。

高畑 (2015) によると、牛伏川周辺には北東―南西方向の崖の湯断層群と北西―南東方向の牛伏寺断層群の 2 系統の活断層群が発達する。

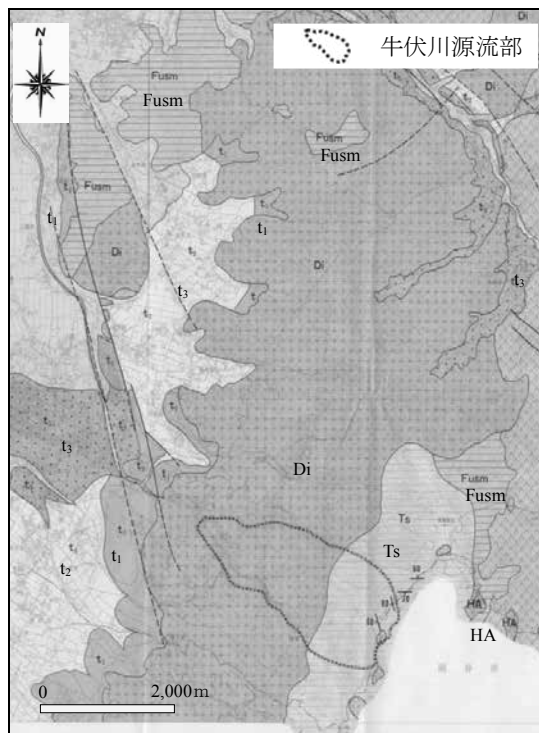
崖の湯活断層群の多くは右横ずれ成分を伴って東側地塊が上昇する逆断層のセンスを持ち、牛伏寺断層群に変位を与えている場合が多く、本地域では最も優勢な活断層であると報告している。

* 活断層: 第四紀まで地殻変動を繰り返した断層(新版地学辞典)

<牛伏寺断層について>

牛伏寺断層は、小林 (1967) により提唱された断層である。地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2010) は、平均変位速度 5～14m/1,000 年 (水平成分)、平均活動間隔約 1,000 年で、今後 30 年間の大地震発生確率は 14%とした。その根拠として、池田ほか (1986) は、牛伏寺北方の大久保山で第四紀の礫層に 475mの左横ずれを主とするくい違いを与えているとしている。

一方、5 万分の 1 地質図幅「松本地域の地質」(産業技術総合研究所、2009)では、牛伏寺断層は大久保山の礫層を垂直に 30m変位させているものの横ずれの規模は小さいと述べている。



t₁: 中位段丘面、t₂: 低位段丘面、t₃: 最低位段丘面
Ts: 大正山砂岩層、Fum: 藤井砂岩泥岩層、
Di: 石英閃緑岩、Ha: 角閃石安山岩

図4.2.3 牛伏川付近の地質図 (松本市史1996に一部、加筆)

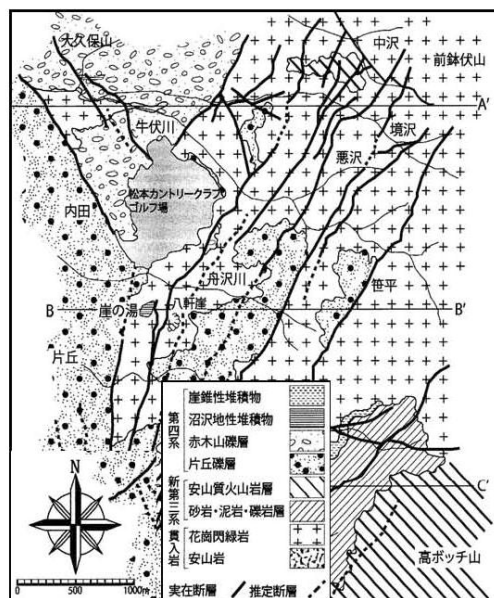


図 4.2.4 牛伏川周辺の断層群
高畑 (2015) より引用加筆

4.2.3 各沢の地質概要

(1) 悪沢

悪沢の踏査結果の概要を図4.2.5に示す。堰堤は概略の位置を示した。

悪沢の平均河床勾配は、悪-1堰堤（標高約1,050m）から悪-7堰堤付近（標高約1,100m）までの約300m間で約10%、堰堤群が途切れる悪-7より上流約100m間は約5.5%と緩くなる。

河床部では、少量の黒雲母を含み柱状の角閃石が目立つ中粒で新鮮な石英閃緑岩が露岩する。悪-1堰堤から悪-7堰堤間の両岸には各所に崩壊地形が発達し、崩落土砂とともに倒木が沢を埋積している個所も見られる（写真4.2.1、4.2.4）。

崩壊地には、断層破砕帯を伴って高角の節理を有する石英閃緑岩が露岩する。破砕帯は粘土混じり砂状を呈し、ハンマーピックで掘削できるほどの硬さである。しばしば地下水の浸みだしが見られる。破砕帯の構造は、節理面に調和的で沢筋と高角度で斜交する北西-南東方向を示す。

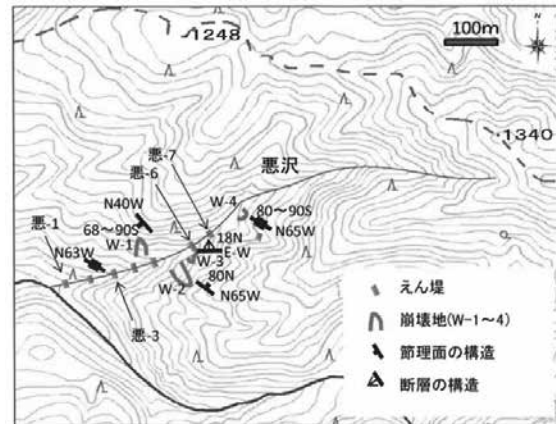


図4.2.5 悪沢の平面図



写真4.2.1 崩壊地の状況



写真4.2.2 節理面の構造 N63W 70S~80N



写真4.2.3 断層破砕帯を伴う崩壊地



写真4.2.4 節理面の構造 N63W 70S~80N

＜悪-6 堰堤の破損についての考察＞

悪-6 堰堤は左岸袖部が大きく崩れて破損している。堰堤の破損は左岸側山脚部の崩壊に伴うものであり、この崩壊には左岸に存在する断層破碎帯が関わっていると推定される。断層破碎帯はハンマーピックで掘削できる程度に脆い。破碎帯の上位には硬質の石英閃緑岩が見られ、断層破碎帯との境界は明瞭である。

破碎帯はこの境界に沿って沢の上下流方向に伸びており、河床レベルとの関係では、堰堤の上流では河床付近、堰堤の下流では河床から 3m 程度高いレベルに伏在すると推定される。

左岸の崩壊は、堰堤の左袖部に存在する破碎帯が側方浸食を受けることにより、斜面が不安定化して発生した可能性がある（写真 4.2.5～4.2.7）。

石英閃緑岩に発達するこの断層破碎帯は、東西方向の走向と約 18° の低角で北傾斜を示す。



写真 4.2.5 悪-6 堰堤の左岸袖部が破損



写真 4.2.6 悪-6 堰堤上流左岸の崩壊地



写真 4.2.7 悪-6 堰堤左岸の断層破碎帯

(2) 合清水沢

合清水沢の踏査結果の概要を図 4.2.6 に示す。堰堤は概略の位置を示した。

合清水沢の最下流に施工された内務省 5 号堰堤の上流には巨礫を含む粗粒な河床堆積物が厚く堆積し、沢水は伏流水となって流れる。これは、主に右岸側の崩壊地から供給された土砂によるものである。崩壊地は右岸の山腹斜面に沿って延長約 200m、高さ約 30m に及び、明瞭な滑落崖を有する。また、崩落土砂が斜面の途中に留まって段差地形を呈している様子も見られる。崩壊地の上部は石英閃緑岩の角礫からなる砂礫層が厚く堆積し、下部には風化した石英閃緑岩が露岩する（写真 4.2.8）。

崩壊地の上流の河床部には、角閃石を多く含む中粒で新鮮な石英閃緑岩が露岩する（写真 4.2.9）。

左岸の崩壊地では、粘土化した断層破碎帯を介して石英閃緑岩の垂角礫を多く含む礫層と石英閃緑岩が接している（写真 4.2.10）。断層の構造は不明である。

上流部の左岸には、石英閃緑岩を切る断層が分布する。断層の構造は N10E、60W である（写真 4.2.11）。

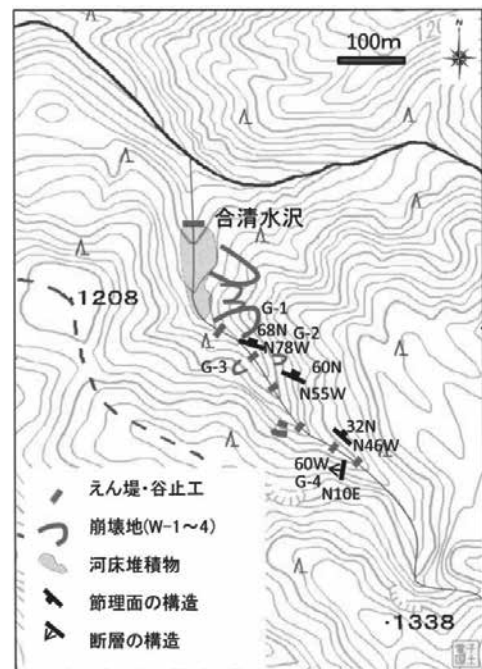


図4.2.6 合清水沢の平面図



写真 4.2.8 G-1 左岸の山腹に分布する厚い砂礫層



写真 4.2.9 G-2 石英閃緑岩の露頭



写真 4.2.10 G-3 砂礫層と断層で接する石英閃緑岩



写真 4.2.11 G-4 石英閃緑岩を切る断層

(3) 泥沢

泥沢の平面図を図 4.2.7 に示す。堰堤は概略の位置を示した。

泥沢は、河床部に露岩する石英閃緑岩が一樣に、黄灰色～黄褐色を呈する堅い付着鉱物により覆われていることが特徴である（写真 4.2.12）。この鉱物は、エックス線回折から炭酸カルシウムを主成分とすることが判明したことから石灰華と考えられる。

泥沢に分布する基盤岩は角閃石の目立つ硬質の石英閃緑岩であり、堰堤の石材は石英閃緑岩が主体であるが、最上流部の堰堤の石材には細礫岩および砂岩が見られる。この石積は、牛伏川源頭部に分布する新第三紀堆積岩（内村層）起源と考えられる。

泥沢の山腹においては、各所で粘土化した花崗閃緑岩と湧水が見られる。付近には溶出した炭酸カルシウムが表土や落ち葉などを取り込んで石灰華として晶出しているのが観察される（写真 4.2.13、4.2.14）。



図4.2.7 泥沢の平面図



写真4.2.12 D-1泥沢の河床に付着した石灰華



写真 4.2.13 D-2 炭酸カルシウムを主成分とする石灰華



写真 4.2.14 D-3 粘土化した石英閃緑岩（湧水を伴う）

4.2.4 牛伏川源流域の崩壊要因の考察

今回の調査により、牛伏川の源流域には広く石英閃緑岩とそれを覆って砂礫層が局所的に厚く分布している状況が観察された。これらの地層は、断層により各所で破碎され脆弱となって崩壊地を形成している。さらに、泥沢の山腹には粘土化した変質帯が分布し、湧水を伴って山腹を脆弱化させていることも確認された。

また、文献調査によると源頭部の山腹および稜線には流れ盤構造を呈する新第三紀層が分布する。

牛伏川源流域の崩壊は、これらの地質的要因が複合的に重なり合っているものと考えられる。

牛伏川砂防工事沿革史 復刻版（1991）から、地質などに関する部分を抜粋して以下に示す。一部、ルビを付けたり、現代仮名遣いに改訂した。

「牛伏川上流より鉢伏山に亘る地質」（丸子高等女学校 小山 進）より抜粋

・牛伏川中流（牛伏寺）以東横峰西約 700mより鉢伏山頂上西約 1,500m に至る線以西は中粒質石英閃緑岩にして牛伏川上流崩壊地は全部この岩石よりなり生成後南北に通ずる断層並びに風化作用により折裂を生じ崩壊せるものと認められる。

・・・更新世中期に入山辺の地溝を生じ又牛伏川上流地方を南北に横り断層を生じ西側へ沁落をなしこれに因り此地方に岩石の折裂崩壊を生ずるに至れるものなり。

「決壊の原因は何なりや」（編集者）より抜粋

・此の邊一帯の地質は所謂ジュラ層中の中世紀層を主とし、半鹹半淡^{はんげんはんたん}の水中に沈成し地盤は礫岩、粘盤岩、頁岩等の累層より成れり彼の太古代に於て地殻幾度か變動し、明德、天文、天正年間に亘り我が火山活動の旺盛なりし時代に於て角閃安山岩が重硫酸及び硫化水素の作用に感じて其塩類溶却せられ白色の珪質岩の化成し尚ほ漸次変化して現時の地質を現したのものならんか。

・・・而して当砂防区域の溪谷は前述の影響に由り流化作用を感受し其作用は岩石の表面のみに作用する風化作用と異り岩石の内部に於て深く其作用を及ぼすものなれば作用の根底、区域広範に亘り之れが崩壊の主なる原因をなしたるものならん。

・・・水蝕作用が古昔より漸次崩壊に大なる影響を与えたりとは推測し得ずといえども、彼の乱伐^{はいつ}が這箇の崩壊と水害を招来したる最大原因なりしこと断じて疑うべからず。いわんや明德、明応、天明の地震をや、

※ここで「決壊」とは、文意から天然ダムの決壊などとは異なり、崩壊の意と解せられる。

文 献

新版 地学辞典（1996）：地学団体研究会 新版地学辞典編集委員会、平凡社。

松本市史（1996）：第1巻 自然編, p.53, 松本市。

小林国夫（1967）：松本平ができるまで、松本と安曇の話，安筑郷土試料刊行会，3-33。

高畑萌子（2015）：松本盆地南東部，高ボッチ山西麓に発達する“崖の湯断層群”，地球科学 69 巻，pp.31～45。

地震調査研究推進本部（2010）：全国地震動予測地図 2010 年版。

Ikeda, Y. and Yonekura, N., (1986) : Determination of late Quaternary rates of net slip on two major fault zones in central Japan, *Bull. Dept. Geogr., Univ. Tokyo*, 18, 49-63.

5 万分の 1 地質図幅「松本地域の地質」（2009）：産業技術総合研究所。

5 万分の 1 地質図幅説明書「諏訪」（1953）：地質調査所。

4.3 牛伏川流域の水質

日本総合建設（株） 小野和行

4.3.1 はじめに

牛伏川は、松本盆地東縁部に広大な扇状地を形成しており、上流山地域の荒廃が顕著で有ったことを窺わせている。

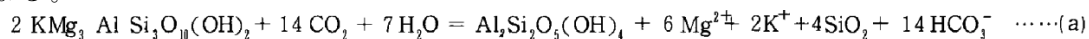
その様な地域でおこなわれた治山治水事業の状況を把握する事と平行して、崩壊のし易さと水質という視点から本調査を行った。

調査を行うにあたって、「水の科学；北野康 NHK 出版」及び「河川水の水質からみた岩石風化量；北野康」で述べられている下記考え方を参考とした。

北野等は、六甲山流域河川水の水質調査を行い、その水質特性と崩壊事象とに相関性を見出し、地下から噴出する炭酸ガスが浸透水に溶けこみ岩石を溶解し、花崗岩のうち特に結合力の小さい Ca イオンを溶出させるとともに炭酸ガスは炭酸水素イオンに変化するとし、以下にしめす化学式の反応が進行していると考え、Ca イオン及び HCO₃⁻ イオンの含有量が多いほど岩石の風化が進行しており、崩壊も発性し易いと考えた。

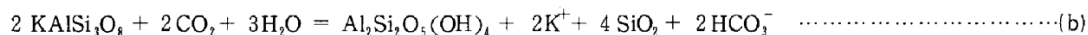
牛伏川は六甲山地域にくらべると、同じ花崗岩類ではあるが第三紀中新世の花崗岩類で新しいものの、構成する鉱物は類似することから北野等の提案に似たような傾向があるかと推察し、試行することにした。

試算された花崗岩を構成する鉱物の風化変質過程を推察する化学式は次の様になる。



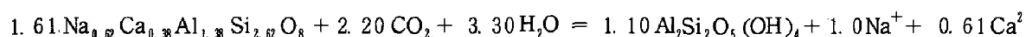
黒雲母

カオリン



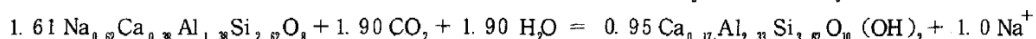
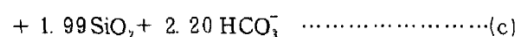
正長石

カオリン



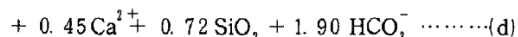
斜長石

カオリン



斜長石

モンモリロナイト



調査は、北野等が実施したような全試料の成分分析は行わず、各沢ごとに下流から上流にむけて石積堰堤下等で電気伝導度と pH を測定し、最上流部での表流水や明らかに湧水と思われるところで採水し成分分析を行った。

これは、費用的な問題もあるが、陽イオン量や炭酸水素イオン量と電気伝導度 (Ec) との相関性も高いことから、電気伝導度のような手軽な手段で広範囲な流域の特性を把握することを試行したいと言う側面もあった。

本報告は、この様な観点からまとめた。

4.3.2 各沢の簡易水質調査結果

調査を行うにあたっては、調査日の条件が異なるので、できるかぎり本川も測定するよう心がけた。

(1) 電気伝導度 (Ec)

各沢の結果をまとめてみると表 4.3.1 となる。

合清水沢、泥沢、日影沢の上流点はこの地点よりも上流では伏流水化しており、最上流点での測定にあわせ採水した。しかし、悪沢は、中流域でまでしか測定していない。その為か泥沢以外の沢水よりもやや高い値となっており、最上流部では他の沢と類似した値となる可能性はあろう。

ただし、悪沢と言う名前が示す意味が荒廃している意味と近似するのであれば電気伝導度が他よりたかいという事も有りえるであろう。

一方、泥沢は他の沢と比べ異常とも言える高い値を示している。これは、濁りのない水にも関わらず名前が示すように唯一河床に沈澱物(泥?)を堆積している沢である。

又、本川は基本的には近似した値と考えるべきところであるが測定日の違いという条件としてみると、合清水沢、日影沢は悪沢よりも電気伝導度の低い沢と言えよう

さらに、表 4.3.2 に示す各種水質と対比すると合清水沢、日影沢はきれいな河川に近く、悪沢は一般河川に近い電気伝導度が高い沢となっている。

その中で、泥沢がミネラルウォーターの3倍の溶存イオン量となることは特筆すべきであろう。

表 4.3.1 電気伝導度 (mS/m)

各沢	下流	上流	支谷	本川
悪沢	14.54	11.5(表流水)	18.7	15.23
合清水沢	13.87	6.14(湧水?)	29.74	18.47
泥沢	55.7	73.7(湧水?)	—	—
日影沢	15.45	7.34(湧水)	—	22.0

表 4.3.2 各種水質の電気伝導度 Ec (mS/m)

種類	蒸留水	雨水	きれいな河川水	一般河川	ミネラルウォーター
電気伝導度	0.1以下	1~10	3~5	10	10~20

(2) 水素イオン濃度 (pH)

電気伝導度ほどの差を示すことはないが、泥沢および日影沢はpHが高い。

支谷は電気伝導度が高くなっていたが、pHでは有為の差違にはなっていない。

表 4.3.3 各沢の pH

各沢	下流	上流	支谷	本流
悪沢	7.65	7.50	7.61	7.71
合清水沢	7.66	7.19	7.54	7.98
泥沢	8.17	7.86	—	—
日影沢	8.55	7.82	—	7.80

表 4.3.4 一般的な水の pH

種類	水道水（東京都水道局）	井戸水	海水
pH	6.9～7.9	7.0～8.0	8.0～8.5

4.3.3 各沢の水質分析結果

調査した各沢の上流ないし、該当沢で特異な沢水について採水し成分分析を行った。

悪沢については、最上流まで行かなかったため採水しなかった。

試験結果は、1 リットル中の濃度とイオン当量を求め表 4.3.5 にまとめた。

表 4.3.5 牛伏川水質分析結果表

沢区分		合清水沢		泥沢		日影沢
試験項目	単位	堰堤5号下支谷	堰堤8号	松建小屋	上流湧水	源流(湧水)
PH		7.1	7.4	8	7.7	7.4
Na	mg/l	3.2	2.6	7.8	5.2	3
K	mg/l	1.3	0.7	2.4	2.1	0.2
Ca	mg/l	42	6.7	7.3	79	4.9
Mg	mg/l	4	1	33	19	0.6
Fe	mg/l					0.03
HCO ₃	mg/l	47.9	25.6	232	170	17.1
SO ₄	mg/l	79	4.4	130	140	3.5
Cl	mg/l	1.2	0.8	1.1	1.1	1
EC	(ms/m)	27	6	62.8	53	4.49
Na	m-equ	0.13919	0.11309	0.33928	0.2262	0.1305
K	m-equ	0.03325	0.0179	0.06138	0.05376	0.00512
Ca	m-equ	2.09581	0.33433	3.64271	6.4938	0.40278
Mg	m-equ	0.32915	0.08229	2.71549	0.9481	0.02994
HCO ₃	m-equ	0.78501	0.41955	3.80216	2.788	0.28044
SO ₄	m-equ	1.64477	0.09161	2.70659	2.912	0.0728
Cl	m-equ	0.03385	0.02257	0.03103	0.03102	0.0282

4.3.4 各沢の水質特性

(1) ヘキサダイアグラムから見た水質特性

表 4.3.5 に示す各成分のイオン当量を下記に示す形態のヘキサダイアグラムにして、各沢の水質特性を見ることにした。

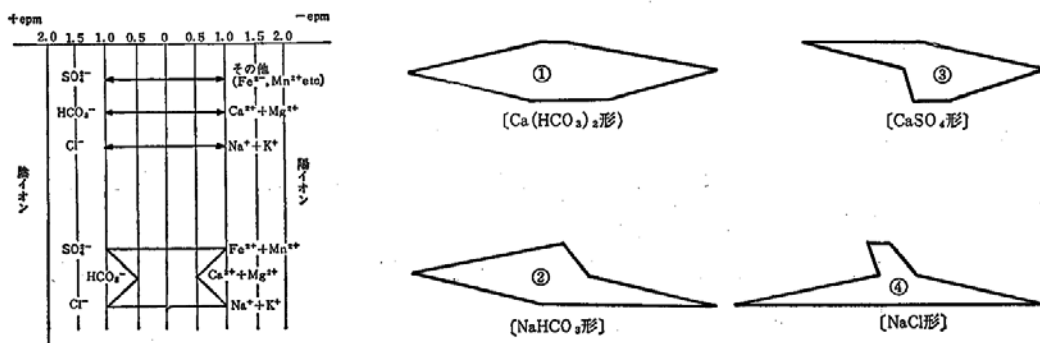


図 4.3.1 ヘキサダイアグラムのイオン配置と水質区分

各沢のヘキサダイアグラムは、図 4.3.2 のようになり $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型と CaSO_4 型の 2 タイプに区分される。

ただし、泥沢松建小屋の水質は、炭酸水素イオンが多く $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型に区分されるが、合清水沢・日影沢とは明らかにヘキサダイアグラムに違いがあり、同類とは言い難く CaSO_4 型に近いといえる。

さらに、厳密な区分をすると合清水沢の支谷は CaSO_4 型といえるが、泥沢については炭酸水素イオンも硫酸イオンも多く $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ 型と CaSO_4 型の複合型と言った方が良く、調査対象とした沢の水質は、3 タイプに区分される。

泥沢及び合清水沢支谷の水質は、カルシウムイオンと炭酸水素イオン・硫酸イオンが卓越しており、北野が提案した花崗岩の風化過程の産物とは言いがたく、調査地南西方にある崖の湯温泉の水質に近似しており鑛泉に近い水質と言えよう。

参考：崖の湯温泉の泉質（薬師平 茜宿の HP より）

泉質；カルシウム・マグネシウム－硫酸塩・炭酸水素塩冷鉱泉（中性低張性冷鉱泉）

泉温：12.8℃

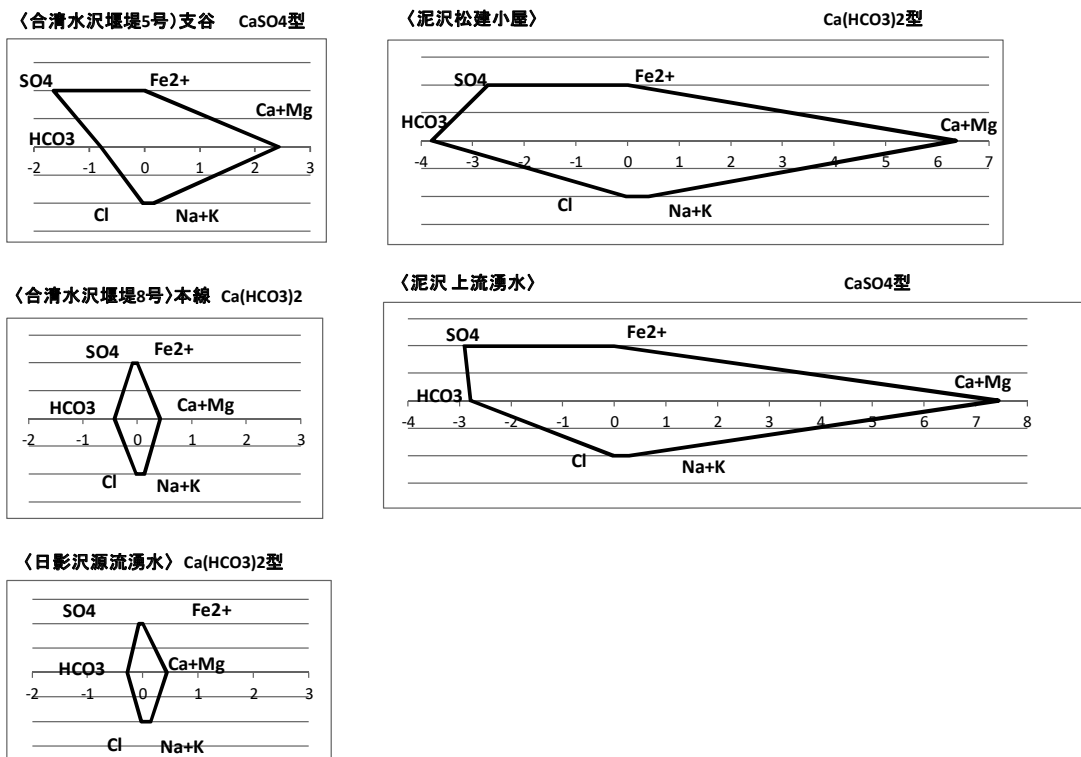


図 4.3.2 各沢のヘキサダイアグラム

表 4.3.6 牛伏川水質区分表

沢区分	合清水沢		泥沢		日影沢
項目	堰堤8号	堰堤5号下支谷	松建小屋	上流湧水	源流湧水
水質区分	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$
水質分類	河川水	鉱泉	鉱泉	鉱泉	河川水

(2) 各沢の Ca イオンと HCO_3 イオンの相関性

六甲山流域で調査した北野等は Ca イオンと HCO_3 イオンとの間には相関性が高く、イオン濃度が高いほど山地の風化が著しく崩壊の危険度が高いとした。

そこで、六甲山調査結果に今回の結果を重ね合わせてみると、日影沢、合清水沢では六甲山の結果と類似した傾向を示すほか、溶存イオンも比較的低い傾向を示している。

しかしながら、鉱泉タイプにした泥沢および合清水沢の支谷については、既存結果と解離した結果となっている。

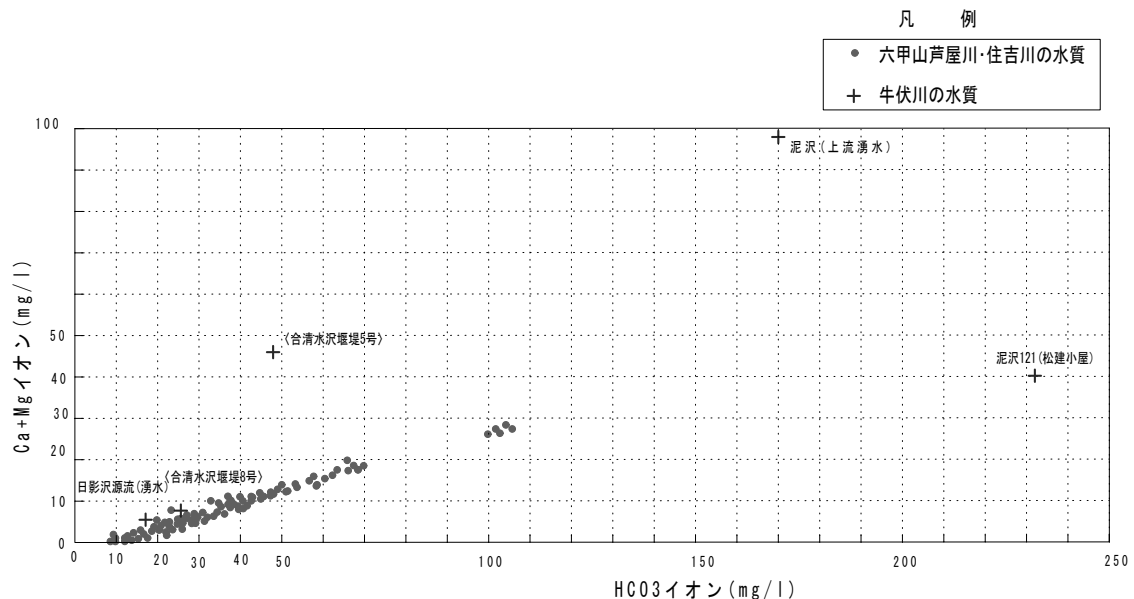


図 4.3.3 カルシウムイオン (Ca+Mg イオン) と炭酸水素イオン (HCO_3) との相関図

(3) 各沢の電気伝導度と Ca イオン・ HCO_3 イオンとの相関性

電気伝導度を横軸にカルシウムイオンおよび炭酸水素イオン濃度を縦軸にとり、その関係を見ると電気伝導度が高いほど炭酸水素イオン濃度が高いことを示し、一般的傾向と矛盾しない結果となっている。

一方、カルシウムイオン濃度は泥沢松建小屋を除いて、電気伝導度との相関性が高い傾向を示す結果となった。

松建小屋でのカルシウムイオン濃度は、泥沢上流湧水の半分以下となっている。

これは、上流湧水が沈澱物が少ない中で採水したのに対し、下流の松建小屋では沈澱物が生成しつつ流下してきた表流水を採水しており、カルシウムイオンが、沈澱物の生成に寄与していることが推察される。(図 4.3.4 参照)

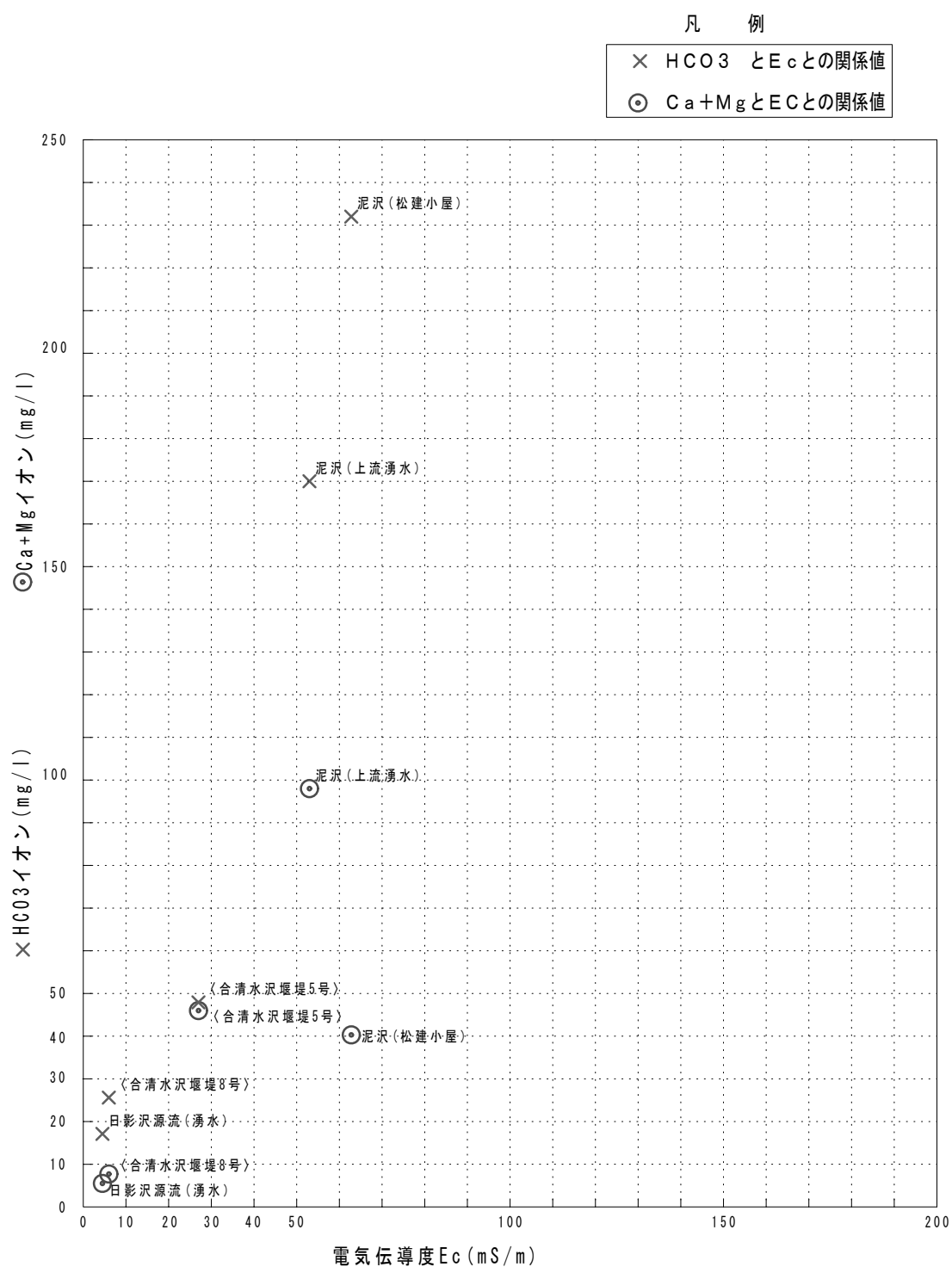


図 4.3.4 電気伝導度 (E_c) とカルシウムイオン ($\text{Ca}+\text{Mg}$ イオン) ・炭酸水素イオン (HCO_3^-) との相関図

4.3.5 泥沢の白色沈澱物について

白色沈澱物が沢底にみうけられる松建小屋付近の泥沢は、水質分析により電気伝導度が高く炭酸水素イオン濃度が高いにもかかわらず、カルシウムイオン濃度は沈澱物が見受けられない地点における濃度の半分であることがわかった。

そこで松建小屋付近の泥沢に沈澱する白色物質を粉末X線回析法により同定した。

その結果は、大半が**方解石**（炭酸カルシウム）で石英が若干存在するのが確認された。

図4.3.5に示すように、回折結果（上段のピーク図）は、方解石（ CaCO_3 ）のピークパターン（中段のピークパターン図）に合致し、石英のピークパターン（下段のピークパターン図；最大ピーク $2\theta = 26.67^\circ$ ）も確認できる。

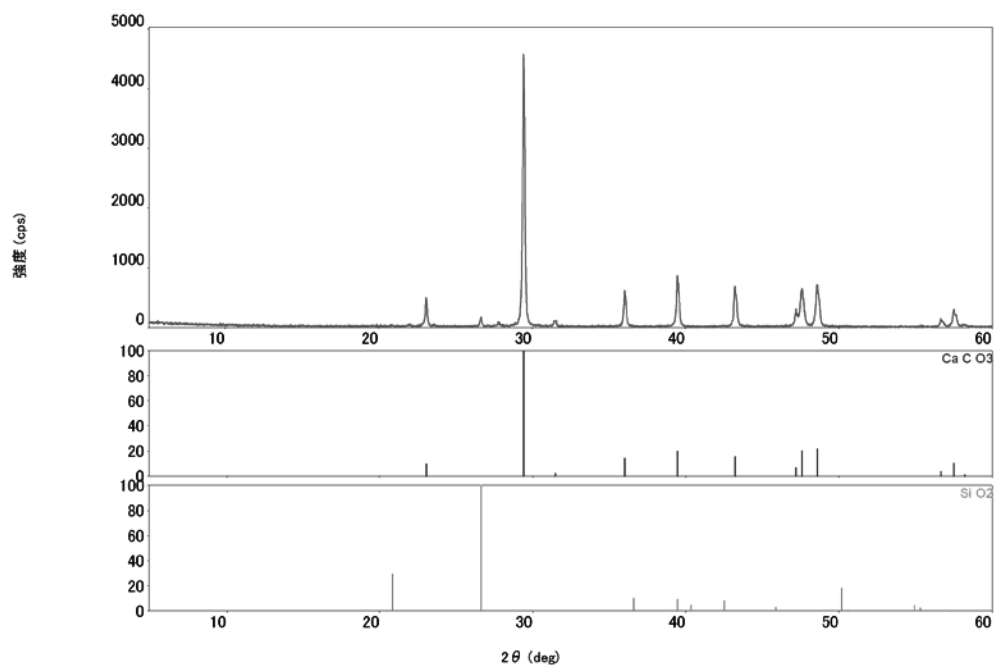


図 4.3.5 白色物質のX線回析分析結果図

表 4.3.7 ピーク一覧表

No.	2 θ (deg)	d値(Å)	高さ(cps)	結晶相名
1	23.0988	3.84731	452.98	Calcite(0,1,2)
2	29.4586	3.02959	4182.88	Calcite(1,0,4)
3	31.4995	2.8378	86.25	Calcite(0,0,6)
4	36.0399	2.49001	528.91	Calcite(1,1,0)
5	39.487	2.28022	696.67	Calcite(1,1,3)
6	43.2445	2.0904	505.55	Calcite(2,0,2)
7	47.2096	1.92366	204.22	Calcite(0,2,4)
8	47.605	1.9086	625.43	Calcite(0,1,8)
9	48.6046	1.87166	667	Calcite(1,1,6)
10	56.6794	1.62268	102.37	Calcite(2,1,1)
11	57.5174	1.60101	283.64	Calcite(1,2,2)
12	58.2049	1.58373	28.06	Calcite(1,0,10)
13	20.9039	4.24606	19.31	Quartz(1,0,0)
14	26.6721	3.33944	23.97	Quartz(1,0,1)
15	26.6721	3.33944	55.99	Quartz(0,1,1)
16	36.6266	2.45146	4.43	Quartz(1,1,0)
17	39.4824	2.28047	3.81	Quartz(1,0,2)
18	39.4824	2.28047	0.57	Quartz(0,1,2)
19	40.3635	2.2327	1.97	Quartz(1,1,1)
20	42.5472	2.12303	3.11	Quartz(2,0,0)
21	45.8826	1.97615	1.14	Quartz(2,0,1)
22	45.8826	1.97615	0.54	Quartz(0,2,1)
23	50.1948	1.81602	6.25	Quartz(1,1,2)
24	50.6031	1.80232	0.18	Quartz(0,0,3)
25	54.9452	1.66972	0.33	Quartz(2,0,2)
26	54.9452	1.66972	1.45	Quartz(0,2,2)
27	55.3287	1.65905	0.01	Quartz(1,0,3)
28	55.3287	1.65905	0.77	Quartz(0,1,3)
29	57.3666	1.60486	0.1	Quartz(2,1,0)

4.4 3Dレーザースキャナーによる内務省えん堤調査

株式会社みずず総合コンサルタント 高藤亨仁

4.4.1 はじめに

牛伏川内務省えん堤は、牛伏川砂防工事の中流に位置し、上流域溪流（泥沢・日影沢・杉の沢及び合清水沢）の直下に設けることで溪岸浸食の抑止と上流の溪流勾配を緩和することで土石流を一時的に堆積させる働きがある。

内務省えん堤は、自然石の空石積で建設されているため、従来の測量による方法では、その形状を明らかにする事が困難であった。

そこで本調査では、地上型スキャン式レーザー測距儀（以降、レーザースキャナーという）を用いて形状調査を行ったものである。

牛伏川全体では内務省堰堤は5基あり、このうち本調査では2号～5号までの4基について調査を行った。

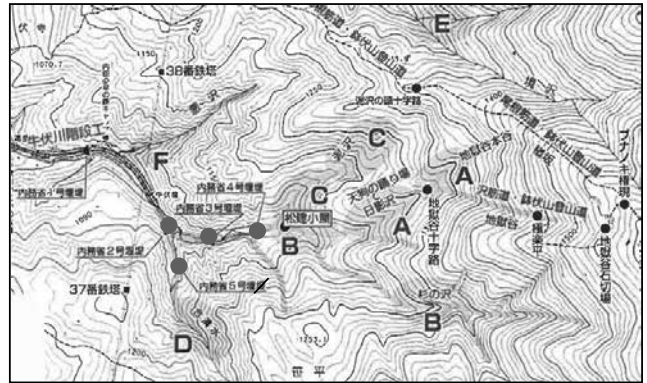


図 4.4.1 位置図

4.4.2 レーザースキャナーによる測量概要

(1) 計測原理と性能

レーザースキャナーは、地上において使用することを目的としたスキャナタイプのレーザーセンサであり、ノンプリズムタイプの光波測距儀の一種である。

1秒間に数千点以上をスキャンし、高速高密度に位置情報を取得することが可能である。計測原理は、測定対象物に向かって放射したレーザーパルスが反射して戻ってくるまでの時間により斜距離を計測し、機械を基準とした水平角と垂直角を計測することにより対象点の3次元座標を取得するものである。

本調査に使用した機械の性能を表-1に示す。

表 4.4.1 レーザー性能一覧表

レーザー安全規格	クラス 1
測定距離範囲	: 1,000m
測定制度	: $\pm 10\text{mm}$
測定分解能力	: 5 mm
レーザー波長	: 近赤外線
ビームの広がり角	: 0.25mrad
※ 「0.25mrad」は 100m の距離で 2.5cm のビーム幅に相当する。	



(2) 作業方法

作業の流れを図-2に示す。

① 標定点測量

複数の箇所から観測したデータを一体化させるため、高輝度反射板（リフレクターターゲット）を用いた標定点を設置し、現地に設けた基準点を与点としてトータルステーションによって標定点の観測を行い、位置座標を確定する。

② レーザースキャナーによる計測

対象物全体を把握するため、共通の評定点を含む複数方向からの計測を行う。また、計測段階で植生の影響を減少させることを目的に、ラストパルスモード（樹木等の隙間を抜け地表面にレーザーがあたり計測



写真 4.4.1 作業状況

されたもの)で計測する。計測ステップは、器械位置でのレーザービームが隙間無く並ぶ0.12度以下で計測した。(距離100mでの概略観測点間隔 $= \tan(0.12^\circ) \times 100.0\text{m} = 0.20\text{m}$)

③解析作業

a.オリジナルデータ作成

取得したデータは、XYZの座標に置き換えられ、各計測位置からの点群データを標定点を基に合成する。この点群データは、RGBの色情報を持つ。次に計測したデータからノイズ等のエラーデータを除去したデータを作成する。

b.メッシュデータ作成

必要な点群データからTIN (Triangulated Irregular Network : 不整三角網モデル) を形成し3次元地形モデルを作成する。

④図面の作成

TINメッシュ地形モデルで作成したデータから地形図、縦横断面図等を作成する。

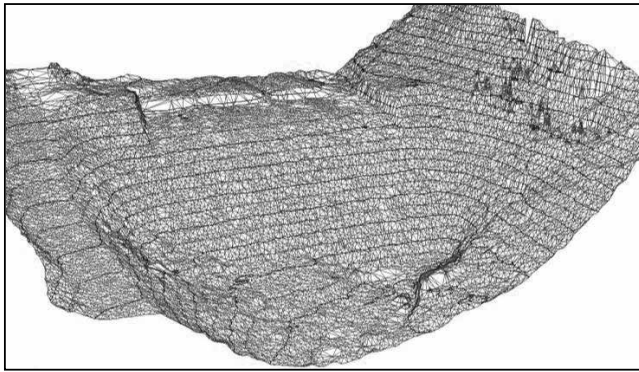


図 4.4.3 2号堰堤 TIN モデル

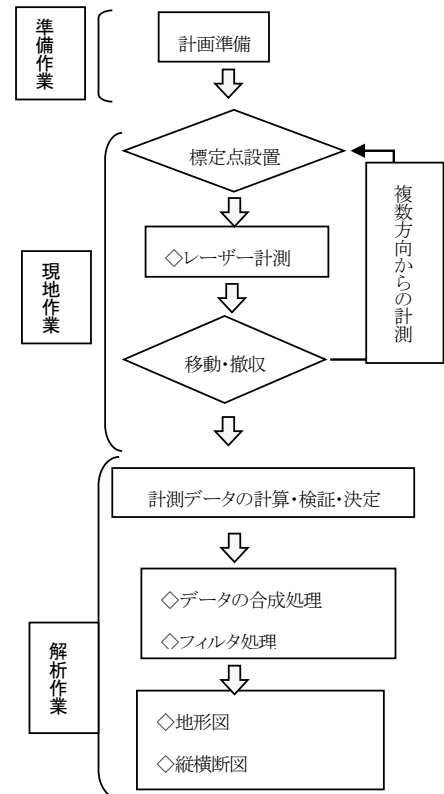


図4.4.2 計測作業の流れ

4.4.3 調査結果

成果図面を図-1～図-5に添付する。

計測に基づく堰堤の主要な寸法を表-2に水通しの形状及び寸法を表-3示す。堰堤の高さは7m～8m程度であり、同時期にデ・レーケが指導した堰堤としては、比較的大規模である。

デ・レーケの指導の基に施工された明治期の空石積砂防えん堤は、下流のり勾配が1:1.0～1:1.5程度と緩勾配であり、ダムの堤底、水通し天端、下流法面の水衝部など主要な部分には磨耗や破壊防止のために礫径60～90cmの巨石が積まれていた。

本内務省えん堤もこの特徴を示しており、下流のり勾配は概ね1:1.3となっている。一方、使用されている礫径の平均は、表-4に示すように3号、4号については70cm程度であるが、5号は若干小さく、

表 4.4.2 主要構造寸法

えん堤番号	えん堤高さ	えん堤長	下流のり勾配
2号	7.0m	24.5m	1 : 1.31
3号	8.2m	22.2m	1 : 1.27
4号	7.0m	19.7m	1 : 1.28
5号	7.8m	17.5m	1 : 1.21

表 4.4.3 水通し形状寸法

えん堤番号	形状	河床幅	高さ	水通し勾配
2号	矩形	15.7m	1.0m	垂直
3号	台形	5.5m	1.3m	1 : 1.1～1.39
4号	台形	5.4m	1.3m	1 : 1.1～2.58
5号	矩形	4.3m	1.0m	垂直

2号は40cm程度である。ただし、最大径でいえば2号については80cm程度であり、5号についても法面上に0.9m程度の巨石も使用されている。

水通しの袖勾配に着目すると、3号、4号は緩勾配であることに對して2号、5号は垂直である。デ・レーケの指導した明治期の砂防えん堤は何れも袖勾配が2割程度と緩かったが、次第に急勾配に変化し現在は5分勾配が一般的である。

このような形状の違いから3号、4号については、デ・レーケの指導した砂防えん堤の特徴をほぼ踏襲しているが2号、5号については多少異なるという結果になった。

表 4.4.4 巨石の径

えん堤番号	平均径	巨石径の凡その範囲
2号	0.36m	0.3m～0.8m
3号	0.67m	0.5m～0.8m
4号	0.68m	0.5m～0.8m
5号	0.57m	0.5m～0.9m

※ 平均径は、下流のり面長をその箇所で使用された巨石数で除して算出。

4.4.4 おわりに

レーザースキャナーを活用した調査を行うことで、不定形な巨石によるえん堤形状を把握することができ、その特徴の一端を表すことができた。しかし、構造的な違いによる建設当時の考え方等については今後も調査が必要である。

また、今回計測したデータは三次元座標として永年保存が可能であり今後の変化に対しても差分解析等を行うことで検証が可能である。土木遺産のように図面等の存在しない大規模な構造物を三次元データとして保存することは有効な手段であり、今後も活用が期待される。

参考文献：

- 1) 池田暁彦、松村和樹：砂防ダムの下流法勾配．平成8年度砂防学会研究発表会

平成30年度砂防学会研究発表会要旨を引用

4.5 牛伏川上流におけるニセアカシア林相転換の状況

長野県建設部砂防課 田下 昌志・○山田 晃

長野県松本建設事務所 相河 政登¹⁾・横山 達²⁾一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 蒲原 潤一³⁾・井上 公夫・中根 和彦

アジア航測株式会社 中田 慎

1)現 長野県長野建設事務所 2)現 福島県相双農林事務所 3)現 国土交通省砂防部保全課

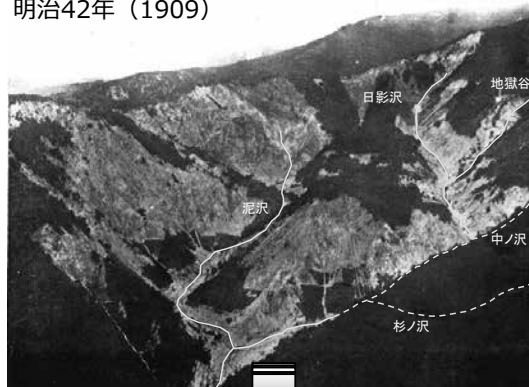
4.5.1. はじめに

牛伏川上流では、江戸時代から森林乱伐や野火等により森林が荒廃し、たびたび土砂災害が発生していた。牛伏川からの土砂流出は信濃川下流の土砂堆積の一原因とされ、明治から大正にかけて、内務省や長野県により砂防工事が実施されてきた。この砂防工事では山腹工（積苗工）でアカマツ、ヒメヤシバシ、ニセアカシアが植栽されたが、昭和50年代を迎える頃には、牛伏川上流域はニセアカシア優占林となっていた。ニセアカシアが老齢期を迎え、倒木による山の荒廃や、在来種の生育阻害等の問題を生じたことから、平成8年度（1996）に長野県によるニセアカシア林の林相転換事業が開始された。

明治期の荒廃状況と、現況の比較を写真-1に示す。荒廃地は、明治～大正期の積苗工を中心とした砂防事業により、植生が回復していることがわかる。

本報告は、ニセアカシア林相転換事業の現状と今後の方向性について説明する。

明治42年（1909）



平成29年（2017年）



写真-1 牛伏川上流域の植生回復

4.5.2. 林相転換事業の概要

(1) 事業実施範囲

事業実施範囲は、長野県松本市の信濃川水系奈良井川右支の牛伏川上流であり、重要文化財である牛伏川階段工から600mほど上流に位置する（図-1）。その範囲内に、第Ⅰ期施業区（短冊状に流域全体43地区）と、第Ⅱ期施業ブロック（事業対象範囲のうち第Ⅰ期施業区を除く範囲）を設置し、事業が実施された。なお、事業実施範囲のうち南東部の区域は、施業を実施しない比較対象地とした。

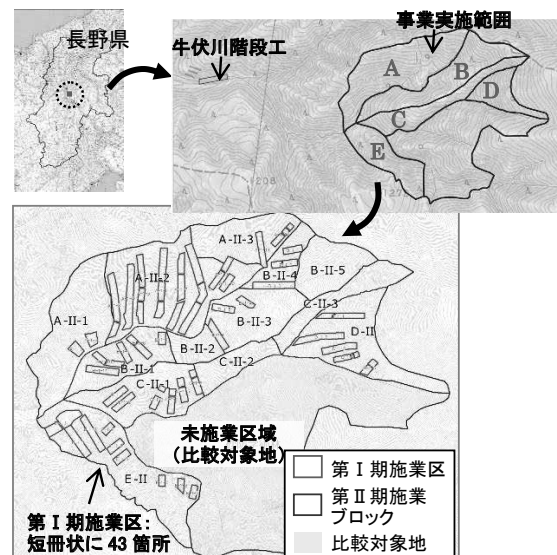


図-1 調査地位置図

(2) 第Ⅰ期施業（平成8～16年度）

第Ⅰ期施業区内の全てのニセアカシアを伐採し、コナラ、ミズナラ、シナノキ、サワグルミ等を植栽した（43地区のうち3地区は伐採のみの実施）。

(3) 第Ⅱ期施業（平成21～25年度）

A～Dの第Ⅱ期施業ブロックは、ニセアカシアの伐採・巻き枯らし（写真-2：地際付近の形成層を切除し枯死させる手法であり、伐採と比較して萌芽が少ないとされている。）・萌芽除去を実施した。



写真-2 巻き枯らしの状況

新たな苗木の植栽は実施しなかった。

(4) 第Ⅲ期施業（平成 26～29 年度）

A～Dブロックにて、ニセアカシアの萌芽除去を年 3 回実施するとともに、巻き枯らしを実施した。

4.5.3. 調査手法

現地調査により事業実施範囲の経過観察を行うとともに、萌芽除去業者へのヒアリングにより、萌芽状況の把握を行った。また、ドローンによる空中写真撮影など過去と現在の比較を行った。

4.5.4. 調査結果

(1) ニセアカシアの伐採・巻き枯らしの状況

事業当初に実施した伐採では、株・根からの萌芽が多く確認された。一方、近年実施している巻き枯らしは展葉、株・根からの萌芽がほとんど見られず枯死しており、伐採と比較し良好な結果となった。今後は、巻き枯らし後に立ち枯れしているニセアカシアの伐倒を推進する必要がある。

(2) ニセアカシアの萌芽の状況

平成 24 年度（2012）から年 3 回の萌芽除去を実施したことで、ニセアカシアの萌芽数は 5 年前の 1 割程度にまで減少した。

(3) 林内の植生等の状況

ニセアカシアの優占林であった事業実施範囲の林は、ニセアカシアの伐採・巻き枯らし・萌芽除去とともに、植栽木・既存木の成長により、在来種の良好な植生となりつつある（写真-3 参照）。



ニセアカシア林（伐採前）

転換種（コナラ林）

写真-3 林内状況の変化(Aブロック第Ⅰ期施業区)

4.5.5. 課題と対応方針

(1) 林冠の閉塞

ニセアカシアは、相対照度 10%以下の暗い環境では根萌芽の発生が少なく、伐採後に発生する萌芽の再生が悪いことが指摘されている（崎尾 2003）。伐採・巻き枯らしにより、樹冠が開けている箇所は、ニセアカシアの萌芽に適した状況になっていることから、ニセアカシアの萌芽除去を今後も継続的に行う予定である（写真-4 参照）。また、今後林冠を覆う次世代在来木本種の成長を妨げないように、ニセ

アカシアの萌芽のみを除去するよう配慮する。



写真-4 林内状況の変化(Aブロック第Ⅱ期施業区)

(2) 林相転換未実施エリアの実施

これまで林相転換が実施されていない未施業区域や、第Ⅱ期施業が行われていないEブロックにはニセアカシア優占林が残存し、他地域へのニセアカシア供給源となるおそれがある。今後はこれらの地区についても、巻き枯らし等によりニセアカシアを除去していく予定である。

(3) 牛伏川階段工周辺のニセアカシアの伐採

平成 29 年（2017）に牛伏川階段工右岸でニセアカシアの倒木が発生した（写真-5 参照）。牛伏川階段工周辺にはニセアカシアの高木が多く生育しており、倒木による施設の損傷が懸念されるため、ニセアカシアを除去する必要がある。牛伏川階段工は重要文化財であるため、周辺景観を考慮し、立ち枯れとなる巻き枯らしではなく伐採と継続的な下草刈りによるニセアカシアの除去を行う予定である。



写真-5 階段工周辺での倒木

4.5.6. おわりに

ニセアカシアの林相転換も影響し、現地には国蝶であるオオムラサキが多数生息する環境となっている。今後もニセアカシアの分布の拡大を抑え、在来種の生育が進むようモニタリング等を継続するとともに、砂防事業の定量的な効果を検証するため、流出土砂量の計測等を検討していきたい。

また、完成から 100 年を迎える階段工と植生の回復した牛伏川を訪れ、先人から継続される砂防事業の効果に触れていただきたい。

参考文献

牛伏川砂防工事沿革史編纂会（1933）：牛伏川砂防工事沿革史、212pp.

崎尾均（2003）：ニセアカシアは溪畔域から除去可能か？、日本林学会誌、85（4）、p. 355-358