

“諸戸北郎の欧州留学の足跡を通した” 19世紀末から20世紀初頭における欧州の砂防技術

SABO technology in European countries in the period around 1900

by referring to Moroto's footprint during his study in Europe

西本晴男*

Haruo NISHIMOTO

Abstract

The first laboratory of SABO in Japan was established at the University of Tokyo in 1900. In the incipient period of this laboratory (1901–1909), two foreign teachers were invited to lecture on SABO. In 1912, Kitao MOROTO became the first professor as Japanese in charge of this laboratory. MOROTO studied SABO under F. WANG in Vienna, Austria from 1909–1912. He not only studied in Vienna but also visited many places where SABO projects were executed in France, Germany, Switzerland, Italy, Czech, Poland, Croatia and Montenegro. Through these studies and field trips, he gained much theoretical and technological knowledge concerning SABO. He wrote many articles about his studies and field trips and brought back many photos of SABO facilities in European countries to Japan. After coming back to Japan, he wrote a series of technological books and introduced new technologies of SABO in Europe to Japan. In recent several years, author visited many sites mainly where MOROTO had visited and remained many photos of SABO facilities constructed during several decades before and after 1900 and surveyed these SABO facilities. In European countries, the downside slope of check dam had already been steep in those days, although in Japan it had been gentle till 1920s. Also the way of piling stones for check dam in European countries was different from that in Japan. In this paper the present situation and features of these facilities are described too. This paper will contribute toward studying about structural maintenance and effectual utilization of old SABO facilities in Japan.

Key words : European SABO technology, Old SABO facility, Check dam, Kitao MOROTO

1. はじめに

19世紀の半ば以降、フランスでは山岳・丘陵地域で盛んに砂防工事が行われるようになり、1878年にはプロスパー・デモンゼー (Prosper Demontzey) が砂防工事の指導書を著した。その内容はいち早くオーストリアに取り入れられ、オーストリアでもアルトファ・ゼッケンドルフ (Arthur Seckendorf), フェルディナンド・ワング (Ferdinand Wang, 以下「ワング」という) などの指導者のもとで、砂防工事が積極的に実施されるようになった (例えば、野口, 1980)。19世紀末には、オーストリアにおいて砂防に関する学問・技術の体系が確立され、周辺諸国に影響を及ぼし、日本の砂防もその発展過程で大きな影響を受けた (例えば、砂防学会, 1992)。

日本では、1897 (明治30) 年に砂防法が成立し、1900 (明治33) 年には東京帝国大学に砂防の講座が開設された。この頃の日本の砂防技術は、江戸時代以来の土砂留め技術が、明治初年以降のデレーケなどの指導によるヨーロッパ由来の河川改修工法と融合した形でできていた (太田, 2010)。砂防堰堤の工法は、巨石を使用した下流

法の勾配が一割程度より緩いものが主であった (例えば、武居ら, 2009)。また、東京帝国大学に設置された砂防講座では、当初はドイツとオーストリアからの外国人教師による講義が行われた (伊藤, 1942; 西本, 2018a)。

1900年頃からは、オーストリアに留学し、ワングなどから当時の世界最先端の砂防の理論と技術を学ぶ日本人が出てきた。このうちの一人である、東京帝国大学で日本人初の砂防講座教授となった諸戸北郎 (以下、「諸戸」という) が、1915 (大正4) 年～1921 (大正10) 年にかけて、5編からなる「理水及砂防工学」を著した。この中で、溪流工事における流量の計算法、縦断計画の立て方、放水路断面の決め方、砂防堰堤の下流法の勾配は2分 (1:0.2) が適当であるなどの定量的考え方を示し、欧州の砂防技術を初めて体系的に日本に紹介した (西本, 2017a)。

諸戸は、欧州留学時 (欧州滞在期間: 1909 (明治42) 年3月～1912 (明治45) 年5月) に、当時のオーストリア帝国をはじめフランス、スイスおよびドイツの砂防工事を視察し、数多くの写真を残すとともに、視察記を大日本山林会の会誌などに記している。1914 (大正3)

* 正会員 株式会社東京建設コンサルタント Member, TOKEN C. E. E Consultants Co. Ltd. (nishimoto-h@tokencon.co.jp)

年には、留学の成果を取りまとめた、「欧羅巴諸国ニ於ケル野溪留工事調査復命書」（以下、「留学復命書」という）を農商務大臣に提出している（諸戸，1915）。また、諸戸がこれらの写真を整理したアルバム（以下、「諸戸アルバム」という）が東京大学森林理水及び砂防工学研究室に所蔵されている（西本，2017 a）。

日本においては、欧州の砂防技術について、20世紀後半以降の砂防施設の事例を紹介したものとして、砂防学会（1992）、武居（1990）などがあるが、オーストリアで砂防技術の体系が確立されたといわれている1900年前後の事例を具体的に紹介したものはほとんど無い。

著者は、2012年～2017年にかけて、フランス、オーストリア、イタリア、クロアチア、モンテネグロ、チェコにおいて、諸戸が残した写真と視察記などを手がかりに、1900年前後に造られた砂防施設の調査を行った。

本論では、この調査をふまえ、19世紀末から20世紀初頭に欧州6カ国で施工された砂防工事11事例（図-1）について、諸戸アルバム等にある施工時の写真と現況の写真を対比し、施設効果として溪流が安定化していることを示すとともに、砂防堰堤の下流法勾配と石積様式に着目し、欧州の砂防技術の日本の近代砂防への影響について述べる。

2. 当時の欧州の地政学的状況と砂防事情

19世紀後半から20世紀初頭にかけての欧州は、イギ

リス、フランス、ドイツ帝国、イタリア、オーストリア帝国、ハンガリー王国などの大国が微妙な地政学的均衡を保っていた。1867年には、オーストリア帝国とハンガリー王国が外交、軍事および財政を共同管理する体制をとるオーストリア＝ハンガリー二重帝国ができた。この時代のオーストリア帝国の領土は、現在のオーストリアの領域よりはるかに広く、現在のチェコ、ポーランド、クロアチア、スロベニアなどに及び（図-2）、この情勢は1918年に第一次世界大戦が終結するまで続いた（例えば、増谷ら，2011）。当時の二重帝国においては、内政である砂防事業はオーストリア帝国とハンガリー王国がそれぞれで実施していた。諸戸の留学期間は、まさにこの時期に当たる。

オーストリアの砂防が、日本の近代砂防に大きな影響を及ぼしたことは、これまで多くの文献で論じられてきている（例えば、山口，1981）。この場合の、「オーストリア」が意味するところは、1918年以前の砂防技術の紹介を行っている場合は「オーストリア帝国」と解する必要がある。1903年に出版されたワングの著書では、オーストリア帝国内の砂防として、現在のチェコにおける砂防工事を紹介している（Wang F., 1903）。

オーストリア帝国内では、1910年時点で、12の砂防事務所が16の州で砂防工事を実施していた（諸戸，1915）。これについては、1984年に出版された「オーストリアの治山治水100年史」（Bundesministerium für Land-und



図-1 砂防施設箇所位置図（World Ocean Base（ArcGIS Online ベースマップ）に加筆）

Fig.1 Location of Sabo works described in this paper

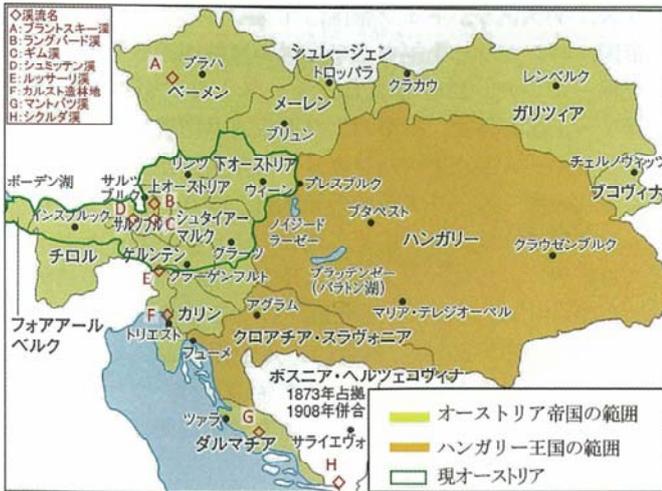


図-2 1867-1918年におけるオーストリア=ハンガリー二重帝国の構成(増谷(2011)に加筆)
 Fig.2 Territory of the Austrian Empire in 1867-1918 (From Masutani, 2011)

Forstwirtschaft, 1984) においてほぼ同様の説明がなされている。

これらの州のうち、上オーストリア州、下オーストリア州、シュタイアーマルク州、ザルツブルグ州、ケルンテン州、チロル州、フォアアールベルグ州および南チロル州については、上記100年史などで当時行われていた砂防工事の内容を知ることができる。

一方、ガリツィア州(ポーランドの最南部)、ベーメン州(チェコの西部と中部)、メーレン州(チェコ東部)、シュレーゼン州(チェコ北東部とポーランド南西部)、ブコヴィナ州(ルーマニアの北西部)、カリン州(スロベニア中央部)、海岸州(スロベニア西部)およびダルマチア州(クロアチア)における砂防工事については、日本ではほとんど論じられていない。これらの地域においても、当時は現在のオーストリアの領域で実施されていた砂防工事と同様の砂防工事を実施されていた(諸戸, 1915)。

3. 各国の砂防技術の状況

3.1 オーストリア

3.1.1 概要

諸戸は、留学中にオーストリア各地の砂防工事を視察している。諸戸は、当時の写真を諸戸アルバムに残し、視察記に現地の状況と自身の所感を記している(諸戸, 1910 a; 諸戸, 1910 b; 諸戸, 1911)。これらの砂防工事のうちで、著者が2012年9月に現地調査を行った3箇所の砂防工事について述べる。

3.1.2 ラングバート溪

諸戸は、明治43(1910)年8月にラングバート(Langbaht)溪を訪れている。この溪流があるザルツブルグ地方では製塩業が盛んで、上流域で製塩用の燃料木を大量に伐採したため、流域が荒廃し土砂災害が多発し



図-3 ラングバート溪の砂防工事の1910年頃(a)と現況(b)(c)((a)諸戸アルバムより、(b)(c)2012年、著者撮影)
 Fig.3 Langbaht torrent in around 1910(a) and in 2012(b)(c)((a) From Moroto's photos album, (b)(c) Taken by author)

た。このため、ラングバート溪において砂防工事が施工された(図-3(a))。その結果、溪流は安定し下流地区の安全が確保された(諸戸, 1910 b)。

著者が現地を訪れた際に同行してくれた地元砂防事務所の係官によると、ラングバート溪では1899年に560 mm/72 hrの降雨で土石流が発生し、下流の市街地に大きな被害が生じたため、砂防堰堤が造られた。近年では、2010年に386 mm/36 hrの降雨があったが、砂防堰堤の効果で災害は発生していない。堰堤は下流法勾配が2分の練石積(布積)で損傷がほとんど見られず、溪流は植生が繁茂し安定した状況を呈している(図-3(b)(c))。

3.1.3 ギム溪

諸戸は、明治43(1910)年8月にギム(Gim)溪を訪れている(諸戸, 1910 b)。

著者の現地調査において、左岸に見られる崩壊地は現在も残っており、ラングバート溪と同様に、砂防堰堤の存在と背後の山の形状から諸戸アルバムの写真(図-4(a))の箇所であると想定できる場所(図-4(b))を訪れた。同行の地元砂防事務所の係官によると、この溪流では、2002年、2004年、2006年、2008年、2010年にあいついで土石流が発生しており、流出土砂が多い溪流である。現存している1900年頃施工の砂防堰堤は、下流法勾配が2分の練石積(布積)である(図-4(c))。溪岸

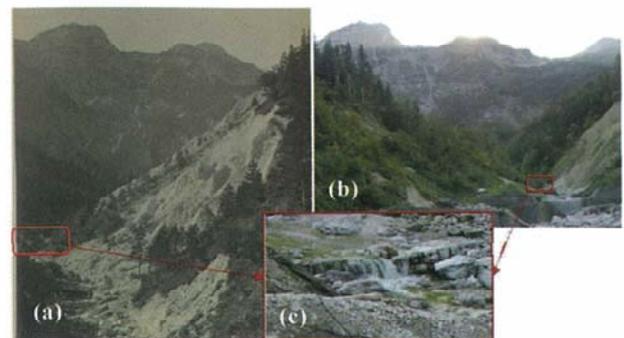


図-4 第10号石堰堤建設中(枠内)のギム溪の1910年頃の状況(a)と第10号堰堤の現況(b)(c)((a)諸戸アルバムより、(b)(c)2012年9月著者撮影)
 Fig.4 Gim torrent in around 1910(a) and No. 10 check dam in 2012(b)(c)((a) From Moroto's photos album, (b)(c) Taken by author)

斜面の植生の回復までには至ってはいないものの、溪床固定により縦横侵食を防止し、荒廃の拡大を防いでいる。

3.1.4 シュミッテン溪

諸戸は、明治 43 (1910) 年 8 月 25 日にシュミッテン (Schmitten) 溪を訪れている。当時の状況について諸戸は、「1854 年の工事であり、石積堰堤を設け溪流の勾配を修正し、水源地の禿山にはマツ、トウヒ、カラマツを植栽したことにより、今では土砂は流下していない」(諸戸, 1911) と記している。現在は、山腹と溪岸の植生が回復し安定した状況を呈しており、堰堤は損傷がほとんど見られない。

図-5(a)の堰堤天端の石材(写真の枠内)にある堤銘版には「104」と書かれている(図-5(c))。図-5(b)の堰堤は、天端の石材(写真の枠内)と図-5(a)の堰堤の石材とが同一形状であることを現地を確認できたことから、104号堰堤である。堰堤は下流法勾配が2分である。表面が苔に覆われているため、布積であることは分かったが練石積かどうかの確認はできなかった。この堰堤は165年の歳月の間、溪流の安定に効果を発揮している。なお、堰堤の上流右岸には山腹工が実施されている(図-5(a)の右岸斜面に筋工が見える)。

3.2 フランス

3.2.1 概要

諸戸は留学中に、フランスのアルプス地方、ピレネー地方などを視察している。諸戸は留学復命書の中で、フランスの砂防事情について、「視察した地域は、アルプス地方、セベンヌ地方ならびにピレネー地方である。ピレネー地方は石材が入手しやすいことから大きな石材を使用し堅固な構造の工事が多い。セベンヌ地方では簡単な堰堤が多く、造林法としては播種法を多く採用している。アルプス地方では、練石積または混合石積堰堤が多く、造林法としては植樹法を多く採用している」(諸戸, 1915) と記している。

この留学復命書の内容からは、諸戸が視察した砂防工事の具体的な場所を特定することはできず、また諸戸アルバム等に砂防工事の写真は無い。このため、砂防工事実施機関であるRTM (Restauration de Tierra en Mon-

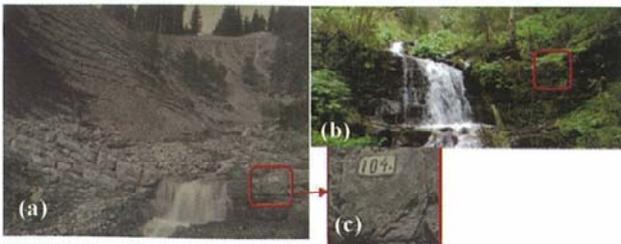


図-5 1910年頃のシュミッテン溪104号堰堤(a)とその現況(b)および堤銘板の数字(c)((a)(c)諸戸アルバムより, (b)2012年9月著者撮影)

Fig.5 No.104 check dam at Schmitten torrent in around 1910 (a)(c) and in 2012(b) ((a)(c)From Moroto's photos album, (b) Taken by author)

tagne: 山地修復事業) 部局の資料 (Conseil Général des Bouches-du-Rhône, 2004)などを基に、RTM事務所とIRSTEA(グルノーブル市にある国の研究機関)の協力を得て現地調査を行った。この中からアルプス地方の3溪流について述べる。なお、諸戸はこれら地域のほかに、海岸砂防の研究のため、ボルドー市に近く大西洋に面するジロンド(Gironde)県アルカーション(Arcachon)市附近の海岸砂防工事を視察している(西本, 2017a)。

3.2.2 グリアッツ溪

グリアッツ(Griaz)溪は、フランス・アルプス地方の最北部のオート・サボア(Haute-Savoie)県にある荒廃溪流である。モンブラン山塊を水源としており、ジュネーブ付近でロース(Rhône)川に合流するアルヴ(Arve)川の支溪である。溪流の最上流部には氷河侵食による膨大な量のモレーン堆積物がある。これが雪崩や降雨により侵食され移動し、土石流発生を防止するための対策として、1890年代にベルナル(Bernard)の指導のもと、約10基の砂防堰堤の建設と再植林がRTMにより実施された(図-6(a))。堰堤は布積に近い練石積で、下流法勾配は2分で造られており、その後何度か補修がなされている(図-6(b))。

3.2.3 モレール溪

モレール(Morel)溪は、アルプス地方のサボア(Savoie)県にある、標高2,592mのポンテ・デュ・マテ(Ponte du Mattet)に源を発する流域面積3.4km²の溪流である(伊藤, 1937)。中流部の左岸にある地すべり地からの土砂流出が著しく、下流の川床が上昇し土砂洪水氾濫による被害がしばしば発生していた。このため1896年に溪流左岸の地すべり地の直下流に、高さ12mの砂防堰堤(貯砂量31,000m³)を造ったが、地すべり地からの流出土量に対しては効果が少なかった。このため抜本対策として、地すべり地の直上流で河道を堰き止め、溪流の右岸部に長さ978m、平均勾配11.6%、断面積18m²のトンネルを開削し流水を導水する工事を1902年~1906年に実施した(図-7)。トンネル内の河床の磨耗対策として流速を減ずるため、有効高2mの床固工50基を階段状に設けて各床固工間の河床勾配を1%としている(図-8, 図-9(a))。

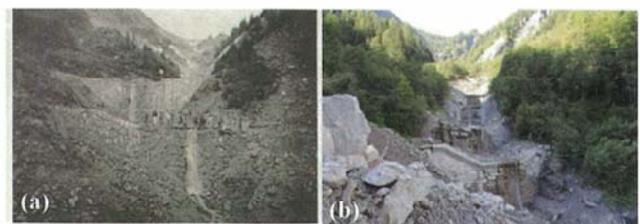


図-6 1895年のグリアッツ溪上流部の堰堤状況(a)とその現況(b)((a)フランス・IRSTEA所蔵, (b)2015年9月著者撮影)

Fig.6 Check dams at upstream of Griaz torrent in 1895 (a) and in 2015(b) ((a)Owned by IRSTEA, (b)Taken by author)



図-7 モレール溪トンネル工平面図 (2017年9月著者撮影の現地展示説明資料に加筆)

Fig.7 Plane figure of diversion tunnel (Retouched to picture of exhibition in Morrel torrent)

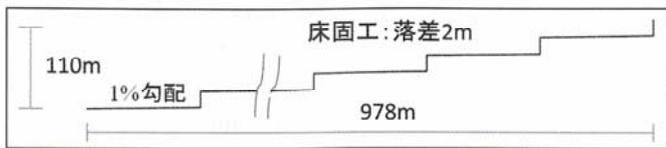


図-8 トンネル工縦断図 (模式図)
Fig.8 Schematic profile of diversion tunnel



図-9 トンネル内部の床固工(a)とトンネルの入口の現況(b) (2017年10月著者撮影)

Fig.9 Groundsils in diversion tunnel (a) and its inlet of the tunnel (b) in 2017 (Taken by author)

トンネルの呑口部 (図-9(b))および上流には、砂防堰堤などは設置されていない。この理由は、モレール溪における土砂生産源はトンネル区間の左岸にある地すべり地のみであるというのが施工当時の考え方であると、同行の研究者から説明を受けた。流木と土砂によるトンネル呑口の閉塞の危険性を指摘したところ、100年以上まったく問題なく経過している事実が上流の施設を必要としないことを証明しているとの見解が示された。著者としては、さらなる長スパンの期間を考えると懸念を生ずるが、トンネル内の河床勾配の緩和工法も含め100年以上前の技術力に驚かされる。

このトンネル工事とあわせて、1905年～1912年にトンネル吐口部の滝 (図-10) 下部から下流区間に、40基の床固工と張石護岸工を設置して渓床溪岸の固定と流路の整正を図っている (伊藤, 1937) (図-11)。なお、これらの床固工は練石積 (布積) で下流法勾配は2分である。階段状に床固工が設置された流路工の両岸には遊歩道があり、近隣地域から人々が散策に訪れている。遊歩道の所々に、過去の災害の説明、砂防工事の説明、樹



図-10 トンネル吐口の滝の1909年当時(a)と現況(b) ((a)現地展示説明資料を2017年9月著者撮影, (b)2017年10月著者撮影)

Fig.10 Outlet of diversion tunnel work in 1909(a) and in 2017(b) ((a)From exhibition in Morrel torrent, (b)Taken by author)



図-11 トンネル吐口の滝下より下流の流路工の1909年当時(a)と現況(b) ((a)現地展示説明資料を2017年9月著者撮影, (b)2017年10月著者撮影)

Fig.11 Channel works in 1909(a) and in 2017(b) ((a)From exhibition in Morrel torrent, (b)Taken by author)

木・植生の説明など、工夫を凝らした展示物が設置されている。

3.2.4 サニエル溪

サニエル (Sanières) 溪は、フランス南東部にあるアルプ・ド・オート・プロバンス (Alps de Haute-Provence) 県の北東部に位置するヨーロッパアルプスの麓の街、バルスロネッテ (Barcelonnette) 市からさらに東へ8km離れたジョジエ (Jausiers) 村に位置する。地中海に注ぐローヌ川水系のデュランス (Durance) 川支川ユバイユ (Ubaye) 川の流域にある荒廃渓流である。日本では、この渓流の名称は、その砂防施設の一部が、長野県松本市郊外にある牛伏川のフランス式階段工のモデルとなったことで知られている。牛伏川のフランス式階段工の設計に際して参考とされたのは、デモンゼーの著書の中で代表的な砂防施設の1つとして示されている、サニエル溪の砂防施設の縦断図と詳細側面図である (西本ら, 2017 b)。

図-12(a)は、サニエル溪中流部において1877年に施工中の堰堤である。牛伏川階段工のモデルとなったDemonzey (1878)にある縦断図の箇所は、この堰堤よりさらに上流に位置しており、その現況は砂防施設の損傷がかなり進行している (図-12(b))。

著者は2004年9月にRTM技術者の協力のもとサニ

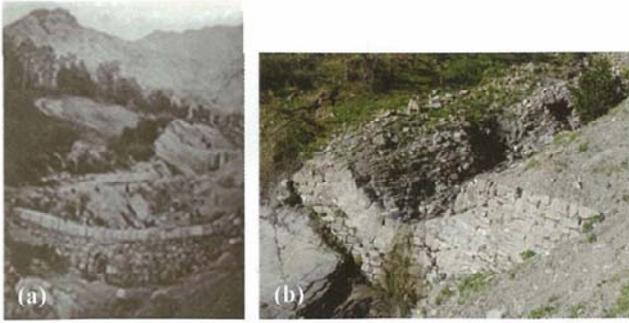


図-12 サニエル溪中流部で1877年施工中の堰堤(a)と牛伏川階段工のモデルになった箇所の現況(b)
((a)RTM(1990)より, (b)RTM Peyron氏提供, 2013年9月撮影)

Fig. 12 Check dam under construction in 1877 at midstream of Sanières torrent (a) and step dams at upstream to which Ushibuse torrent step dams were referred (b) ((a) RTM (1990), (b) Provided by Mr.Peyron from RTM taken in 2013)



図-13 サニエル溪の1897年施工の砂防堰堤(2004年著者撮影)

Fig. 13 Check dam constructed in 1897 at midstream of Sanières torrent (Taken by author in 2004)

エル溪の現地調査を行った。サニエル溪には、約60基の砂防堰堤がある。図-13は、中流部に1880年頃に施工された砂防堰堤の現況である。この堰堤が、図-12(a)の堰堤かどうかは未確認である。堰堤下流面の状況から、築造後に数回にわたり補修が行われている。構造は、左から練石積、空石積(天端部分は練石積)、コンクリートであり、堰堤の損傷箇所を逐次補修しながら現在に至っている(プロスパー・デモンゼー, 2017)。最初は空石積(布積)で造られ、その後練石積で補修され、さらに後にコンクリートで補修がされている。なお、下流法勾配は施工当初から2分勾配である。

3.3 イタリア

3.3.1 概要

諸戸は、留学中と1931(昭和6)年に、アメリカ・ホフマン(東京帝国大学外国人教師、以下「ホフマン」という)との関係で、北イタリア北東端のオーストリア国境に近いタルビジオ(Tarvisio)町周辺の砂防工事を視察している(度山, 1932)。また、留学先の“維納高等地産学校”(度山, 1932, 正式名はUniversität für Bodenkultur)の学生視察旅行に同行し、アドリア海の北東端の港町であるトリエステ(Trieste)市周辺のカルスト造

林地を訪れている(諸戸, 1910c)。

前者については、諸戸が度山(1932)で、「フェッラ川流域のツオルホ溪の砂防工事を見る。石堰堤が多くタウヒの編柵工や張石水路がある。タルビス(筆者注釈:タルビジオのドイツ語呼称)町は、20年前に視察した際にはこの地方は奥国であったが欧州大戦の結果、イタリア領となった所である。1925年頃より施工した砂防工事が多い。次に、シュワルチェン溪の空積堰堤、練積堰堤、木堰堤などの砂防工事を見た」と記している。これは、1931年に諸戸が欧州を訪問した際に、タルビジオを訪れた時のもので、この時視察したタルビジオ周辺溪流の堰堤写真に諸戸自身が写っている(図-14)。今回の調査では、この堰堤を見つけることはできなかった。なお、フェッラ(Fella)川の上流では、2003年の豪雨により多数の右支溪で土石流が発生し多大の被害が生じている。

後者については、カルスト地域の砂防造林の現場視察とともに、トリエステ市にあるホフマンの実家を訪ねている(諸戸, 1910c)。

著者は2016年9月に、イタリアの研究者・技術者の協力のもとタルビジオ町周辺の砂防工事とトリエステ市周辺のカルスト造林地の調査を行った。

3.3.2 ルッサーリ溪

ルッサーリ(Lussari)溪は、タルビジオ町近郊にある荒廃溪流である。この溪流には10数基の石積堰堤が設置されており、著者は1902年完成の図-15の堰堤を訪れた。この堰堤は、練石積(布積)で下流法勾配は2分であり、左岸袖部に損傷が見られた。堰堤直下流には前庭保護工として施工された材木が残っている。なお、ホフマンは1897年に大学卒業後、オーストリア南東部のフィラハ(Villach)市にある事務所で3年間(1897~1900年)勤務し、その時期に当地域の溪流の砂防堰堤の工事に携わっている(西本, 2018b)。堰堤の施工時期から、この堰堤工事にホフマンが関係した可能性がある。

現地を案内してくれた地元事務所の技術者によると、



図-14 1931年諸戸のイタリア訪問時の堰堤写真(度山(1932)の口絵写真, 右の人物は諸戸)

Fig. 14 Check dam and Dr. Moroto when he visited in Italy in 1931 (From Moroto (1932))



図-15 ルッサーリ溪の砂防堰堤(2016年9月著者撮影)

Fig. 15 Old check dam in Lussari torrent, Italy (Taken by author in 2016)

ルッサーリ溪をはじめとするこの地域にある石積砂防堰堤は、オーストリア帝国の支配下にあった時代に造られたことから、構造等の詳細について知るためには、オーストリアで資料調査をする必要があることを示唆された。

3.3.3 トリエステ付近のカルスト造林地

トリエステ市から北西約 30 km にあるモンファルコーネ (Monfalcone) 市にかけての海岸沿いの地域は、第一次世界大戦前から、家庭の暖房用ストーブの薪に利用するために樹木伐採が盛んに行われた結果、一帯が樹木の乏しい禿瘠地になった。諸戸は、1910 年に当地を訪れ、カルスト地帯の植生回復をめざす砂防造林に関する写真 (例えば、図-16(a)) を諸戸アルバムに残すとともに、砂防造林が実施されたことにより植生が順調に回復している様子を述べている (諸戸, 1910 c)。

現在この付近一帯は緑が回復し、諸戸アルバムの写真に見られる荒廃地の面影は無い (図-16(b))。トリエステ市の東隣のバゾピッツァ (Basovizza) 市には、自然学習センター (Centro Didattico Naturalistico di Basovizza, 略称: CDN) が開設されている。CDN ではカルスト地帯の森林の荒廃・回復史などの展示を行っており、人間と自然との共生についての重要性を、地域住民をはじめとし多くの人々に伝える活動を行っている。

3.4 チェコ

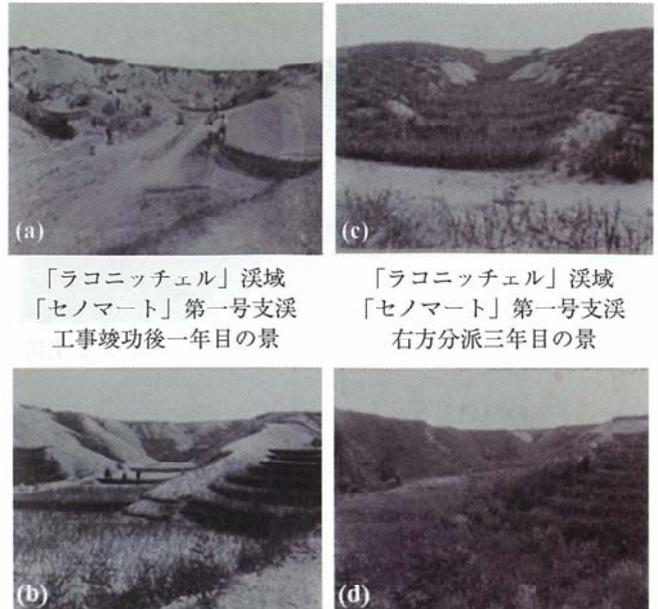
諸戸アルバムに、「ラコニツェル (Rakonitz) 溪域セノマート (Senomat) 溪」の砂防工事とのキャプションのある、工事施工後の経年変化を示した 4 枚の写真がある (図-17)。この砂防工事は、留学復命書に欧州の代表的な砂防工事の 1 つとして紹介されている (諸戸, 1915)。

諸戸は留学復命書の中で、この写真の工事は「バーメン (Böhmen) 州ラコニツ (Rakonitz) 郡セノマート (Senomat) 村」(地名呼称はドイツ語) で実施されたと記している。「ラコニツ郡」は、現在のチェコ西部のボヘミア州にあるラコブニーク (Rakovník, チェコ語呼称) 市で、首都プラハから西へ約 60 km の丘陵地帯に位置している。「ラコニツェル」(ドイツ語呼称) は、「ラコニツ」の複数形であると考えられることから、



図-16 1910 年頃のトリエステ地方のカルスト造林(a)と現況(b)((a)諸戸アルバムより, (b)2016年9月著者撮影)

Fig. 16 Reforestation in karstic land around Trieste in around 1910(a) and in 2016(b)((a)From Moroto's photos album, (b) Taken by author)



「ラコニツェル」溪域
「セノマート」第一号支溪
工事竣工後一年目の景
「ラコニツェル」溪域
「セノマート」第一号支溪
右方分派三年目の景
「ラコニツェル」溪域
「セノマート」第一号支溪
右方分派二年目の景
「ラコニツェル」溪域
「セノマート」第一号支溪
右方分派四年目の景

図-17 ラコブニーク溪の柳編柵工施工後の経年変化を示す写真と諸戸の説明文 (諸戸アルバムより)

Fig. 17 Hedge grounsills woven from willow branches at Rakovník torrent, Czech (From Moroto's photos album)

諸戸が使用している「ラコニツェル溪域」とは、ラコブニーク市周辺地域にあった複数の荒廃溪流の総称と推察できる。また「セノマート村」は、現在のセノマティ (Senomaty, チェコ語呼称) 町にあたり、ラコブニーク市の西方約 6 km に位置しており、そのさらに西方約 3 km にシャノフ (Šanov, チェコ語呼称) 村 (図-20) がある。

諸戸アルバムのラコブニーク溪域の写真は、現在のチェコが 1918 年までオーストリア帝国のバーメン州であった時期に、諸戸が当地を訪れた時に入手したものであると考えられる。4 枚の写真は、裸地化していた丘陵地に施工された編柵工を中心とする山腹工の施工地を経年的に撮影したもので、工事の効果を示している。

この 4 枚の写真は、ワング (1903) の中でも、斜面の侵食対策工法の事例として紹介されている。留学復命書には、口絵写真 10 枚中 3 枚にラコブニーク溪の編柵谷止工の写真があり、本文中にはラコブニーク近傍の溪流対策、特に石積堰堤と編柵工による溪岸と溪床の侵食対策について、地元の野溪留工事監督署長の報告書 (1911 年 12 月) を引用しつつ詳述している。この中で、石積堰堤と編柵工について、設計図に代わる工事雛型として、正面図、平面図、側面図 (図-18, 図-19) とともに、砂防工事全体計画図 (図-20) と詳細な縦断図、横断図を掲載している。

この地域は、当時植生がほとんど無かったため、多数の小支溪から降雨時の侵食による土砂流出が激しく、土石流と下流のラコブニーク市中心部付近での河床上昇に

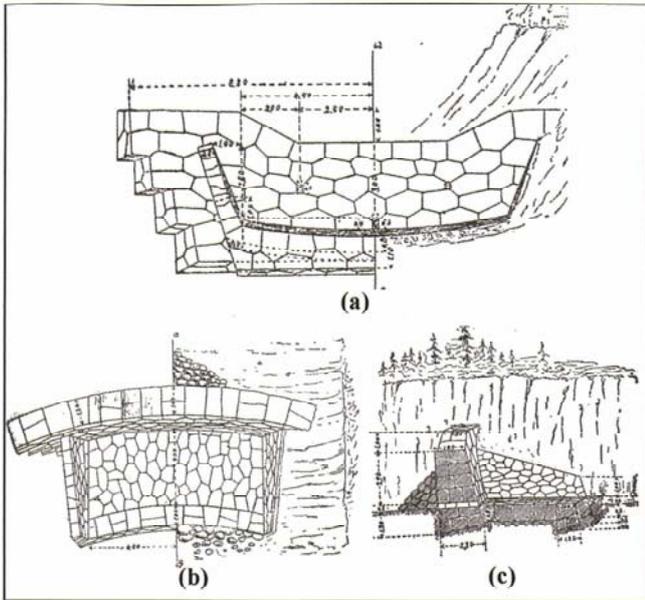


図-18 留学復命書に「ラコブニーク溪砂防工事」の工事雛型として示されている、石積堰堤の正面図(a)、平面図(b)、側面図(c)

Fig.18 Front view, ground plan and profile of check dam around Rakovnik (From Moroto (1915))

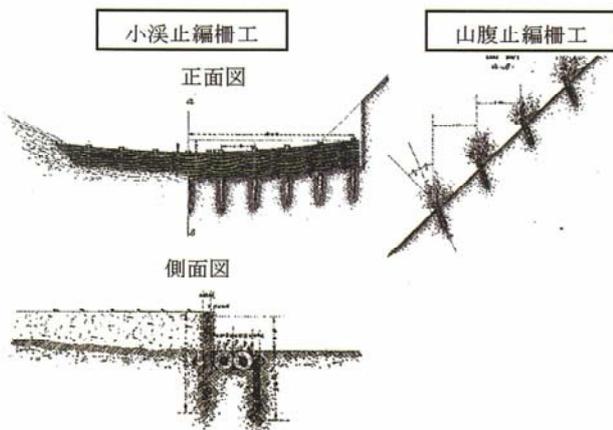


図-19 留学復命書に「ラコブニーク溪砂防工事」の工事雛型として示されている、小渓流と山腹の侵食防止のための編柵工の図面

Fig.19 Hedge grounsill woven from willow branches constructed at Rakovnik torrent, Czech (From Moroto (1915))

よる洪水氾濫が頻発した。このため溪流の安定化と植生回復のための砂防工事が実施された(諸戸, 1915)。

著者は2017年10月に、図-17の砂防工事写真、図-18と図-20の図面および留学復命書の記述内容をふまえて、チェコ工科大学の教授の協力を得て現地調査を行った。

シャノフ村の図-20に示す地区について村役場職員の案内のもと調査を行ったが、耕地整理などで周辺の地形が大きく変化しており、諸戸アルバムの写真の場所と図-18の形式の堰堤を見つけることはできなかった。このため、地元住民やセノマティ町役場職員へのヒアリ

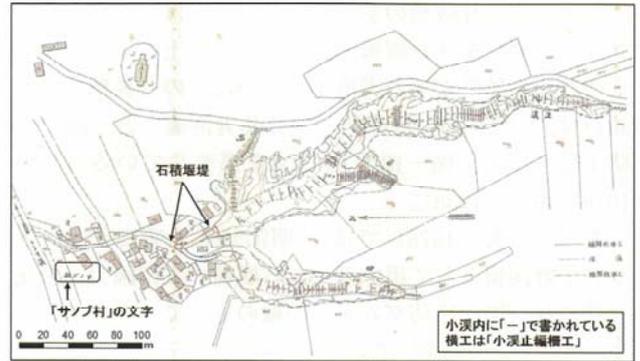


図-20 留学復命書に掲載の「ラコブニーク溪砂防工事」の「全体計画図」(「サノフ村」は「シャノフ村」を指している)

Fig.20 Master plan of erosion control works at a torrent around Rakovnik witten up in Moroto's report of study in Europe (From Moroto, 1915)

ングで得た情報を手掛かりに、周辺の複数の支溪を調査した。その結果、セノマティ町の中心から南へ5.5 kmに位置するプシーチナ (Přicína) 地区において、道路橋の直上流に空石積堰堤(図-21(a))を見つけることができた。この堰堤付近の溪流およびその周辺には樹木が繁茂しており、相当の年月の間、土砂の流出が無かったと推察される。なお、この場所は図-20の全体計画図の場所とは異なることから、図-17の写真の場所ではない。

図-21(a)の石積堰堤のある溪流は、チェコで入手した地形図から、ラコブニーク川に流入するペトロビツキー (Petrovický) 溪のブランドスキー (Brandský) 支溪である。現地で確認した砂防堰堤の形状は、工事雛型図面の正面図に似ており、水通し天端の石材の1つに竣工年と思われる数字「1908」が刻字されている(図-21(b))。堰堤はアーチ形状をした空石積構造で、堤高は3 m、下流法勾配は2分、水通しの袖部小口の勾配は約2割、前庭部には石張りの水叩工と側壁護岸工が施工されている。これらの形状は、水抜き穴の数が5個(図-21(a)の写真)と3個(図-18(a)の正面図)の違いを除けば、図-21(a)の堰堤と図-18の堰堤は同一形状である。



図-21 ブランドスキー支溪の石積堰堤の現況(a)と堰堤天端の石材((a)の枠部分)に刻まれた4桁の数字「1908」(b)(2017年10月著者撮影)

Fig.21 Masonry check dam located in Brandský torrent near Rakovnik and four-digit figure "1908" carved on a stone (Taken by author in 2017)

以上から、丘陵地の多いベーメン州では、同様のタイプの石積堰堤を含む編柵工を使用した、土砂生産流出防止のための砂防工事が実施されていたものと推察できる。諸戸は、「理水及砂防工学・設計及実例編」と「諸戸砂防工学」にも、図-18と図-19を掲載している（諸戸，1919；諸戸，1938）。

また、矢野（1976）では、「明治時代末頃にオーストリアで野溪留として用いられた石堰堤の実例図で、大正初期の我が国の砂防ダムもこの種のものである」と記して、図-18を掲載している。同書で、石堰堤を「オーストリア」の実例として紹介している理由として、日本においては、この堰堤の施工場所は現在のオーストリア国内であると解釈されていた可能性が考えられる。

3.5 クロアチア

諸戸アルバムに、オーストリア帝国のダルマチア州(当時)のマーニタス (Mahnitas, ドイツ語呼称) 溪の写真がある。この溪流は、クロアチアのアドリア海沿岸にある主要都市スプリット (Split) の北北西約 65 km に位置するドルニッシュ (Dрниш) 市の近くにあるマントバツ (Mantovac, クロアチア語呼称) 溪である。

諸戸アルバムに、マントバツ溪における砂防工事 (堰堤, 護岸工, 水路工) の施工前後の写真が 20 枚あり、各写真に諸戸が記したドイツ語と日本語のキャプションがある。この中に「第 69 号砂防堰堤」と記された写真があることから、砂防堰堤は少なくとも 69 基施工されたことが分かる。

著者は 2016 年 9 月に、スプリット大学の教授と水管理事務所の係官の協力を得て現地調査を行った。マントバツ溪の詳細な位置を特定するため、現地の調査に先立ちドルニッシュ市役所を訪れた。面会したヨシフ・ベゴニャ (Josip Begonja) 市長の説明によると、マントバツ溪のある山地丘陵地一帯は、19 世紀からの石炭採掘のため、以前は荒廃が著しかった。

諸戸が 1911 年 5 月に、ドルニッシュ市近くの砂防工事を視察したことを記した記事がある。これには、「ドルニサ (Dрниsa) に行き、そこからスチニコ村 (Stinico) の野溪留工事施行予定地を視察した後、列車でスパラト (Spalato) に到着した」(諸戸, 1912) と記されているが、「マーニタス」溪の名称は記されていない。著者の現地調査では、スチニコ村の位置は特定できなかったが、諸戸アルバムにマントバツ溪の多くの写真があることから、この記事にある視察旅行の際に、諸戸がマントバツ溪を訪れたと推察できる。また、諸戸が「野溪留工事施行予定地」と記しているのは、諸戸アルバムの写真には完成した堰堤と施工中の堰堤があることから、諸戸が現地を訪れた際には約 70 基の砂防堰堤と流路工からなる一連の工事が進行中で、全体としては未完成の時期であったと考えられる。なお、記事中の「ドルニサ」と「スパラト」はドイツ語呼称で、クロアチア語ではそれぞれ「ドルニッシュ」と「スプリット」である。

図-22 は、砂防工事箇所の下流部にある国道橋から上流側を写した 2 時期の対比写真である。砂防工事により溪流が安定し植生が回復していることが分かる。写真にある堰堤は、アーチ型式、堰堤高約 3 m (堰堤直下流が土砂で埋没しているため推定値)、7 段以上の練石積 (布積) で下流法は 2 分である。堰堤の直下流には、石張りの前庭保護工が施工されている。図-23 は、第 35 石積堰堤の 2 時期の対比写真である。2 つの石積堰堤は、その全景と背後の山の形状 ((a) と (c)), 左岸袖部の石材の形状 ((b) と (d)) ならびに石積様式から同一の堰堤である。なお、事務所の係官によると、この地点から上流には堰堤はないとのことである。

3.6 モンテネグロ

諸戸アルバムに、モンテネグロ王国 (当時) のベェリカ・シクルダ (Velika Škurda) 溪の写真が 7 枚ある。この溪流は、コトル (Kotor) 市の旧市街地 (世界遺産になっている) の北隣でコトル湾に流入しており、流域面積 2 km², 流路延長 2 km で、流域の半分は現在も樹木

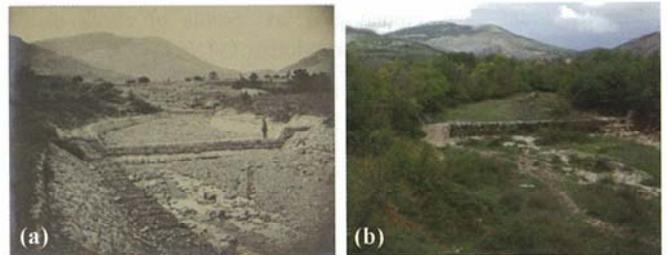


図-22 1910年頃のマントバツ溪最下流の石積堰堤(a)と現況(b)((a)諸戸アルバムより, (b)2016年9月著者撮影)

Fig. 22 Check dam at downstream of Mantovac torrent in around 1910(a) and in 2016(b) ((a)From Moroto's photos album. (b)Taken by author)

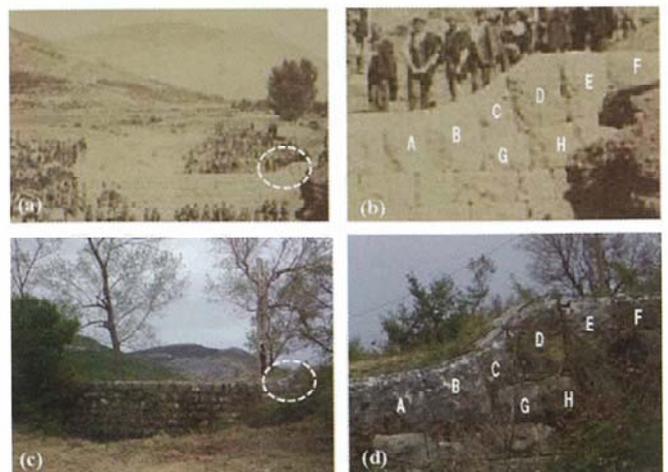


図-23 1910年頃のマントバツ溪第35石積堰堤(a)(b)と現況(c)(d)((a)(b)諸戸アルバムより, (c)(d)2016年9月著者撮影, (b)(d)のアルファベットは2時期の写真の石材が同一であることを示している)

Fig. 23 No. 35 check dam at upstream of Mantovac torrent in around 1910(a)(b) and in 2016(c)(d) ((a)(b) From Moroto's photos album, (c)(d) Taken by author)

が少ない状況にある (Veljko M. Martinović, 2015)。なお、ペェリカ・シクルダとはモンテネグロ語で「大きなシクルダ」の意味である。本論では、「シクルダ溪」という。

諸戸は、留学中の1911年5月にコトル市を訪れた時の記事で、「カタロ町（筆者注釈：コトル市）の野溪留工事を視察した。この工事はホフマンが日本へ赴任する前の4年間、当地の砂防工事に従事した時に設計築したもので、その結果が良好である」（諸戸，1912）と記している。

著者は2016年9月に、諸戸アルバムにあるシクルダ溪1号堰堤の写真（図-24(a)）をもとに、ポドゴリツァ（Podgorica）大学の教授の協力を得て調査を行った。

この堰堤は、1897年施工で堤高は18mであり、当時としてはかなりの高堰堤である。構造はアーチ型式の練石積（布積）で下流法勾配は2分である。堰堤には目立った損傷はなく、山脚固定と流出土砂の調節機能を発揮し、周辺の山地には樹木が繁茂している（図-24(b)）。堰堤左岸の岩盤地山の上流側の表面に、「1897」の文字が刻まれている（図-24(c)）。この文字の意味は、その位置から堰堤の竣工年であると考えられる。

諸戸は、留学復命書と著書（諸戸，1919；諸戸，1938）の中で、このシクルダ溪1号堰堤を紹介しておらず、一方でチェコのラコブニーク溪域の石積堰堤を詳しく紹介している。日本においては、大正時代前期までは、山腹工と小規模溪流における堰堤による山地の荒廃対策が主流であり、堰堤は下流法が緩い空石積の石積堰堤であった（例えば、吉岡ら，1981）。これ以降は練石積になり、下流法が急な堰堤が徐々に施工されるようになったが、昭和時代になるまでは堤高は5m程度以下のものが大部分であった（例えば、武居ら，2009）。こうした背景から、諸戸は著書等において、当時の日本の砂防工事の事情を勘案し、日本に適用できる参考事例としてはラコブニーク溪域の砂防工事を紹介することが妥当と考え、

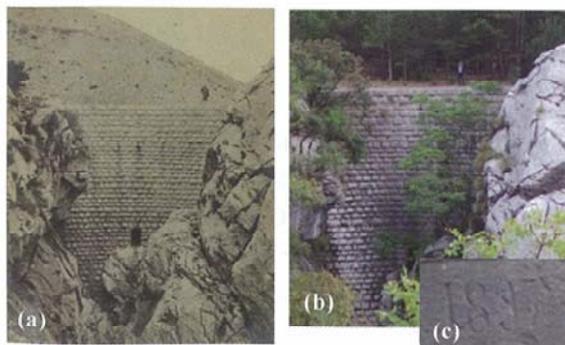


図-24 1900年頃のシクルダ1号堰堤(a)と現況(b)ならびに左岸岩盤に刻まれた4桁の数字「1897」(c)

(a) 諸戸アルバムより、(b) (c) 2016年9月著者撮影
Fig. 24 Skurda No. 1 check dam in around 1900(a) and in 2016(b), and four-digit figure “1897” carved on rock (c) ((a) From Moroto’s photos album, Upper (b) (c) Taken by author)

シクルダ溪についてはあえて紹介しなかったものと推察できる。

4. 日本の近代砂防技術との比較

前章で1900年前後に施工された欧州各国の砂防技術について、砂防堰堤を中心にその特徴を述べた。ここでは、この時期の欧州と日本の砂防技術のうち、堰堤の下流法勾配と石積様式の違いについて述べる。

日本の砂防は、17世紀末から各藩で禁伐、土砂留めなどを行っていた。福山藩では18世紀後半から砂留めを実施しており、堂々川などに多く現存している。これらのうち、下流の勾配が急なものは階段状に小段をつけており、その下流側全体の勾配は6分程度である。明治時代に入ると、砂防堰堤の形状は、巨石を使用し下流法勾配が1割程度と緩いものと、オランダ人技師などの指導による下流側に階段状に小段をつけたものに大別される（図-25）。後者で滋賀県に現存する堰堤の下流法勾配は、4分（オランダ堰堤）、6分（鎧堰堤）とかなり急であるため、小段を設けることで落下水の衝撃を弱めている（例えば、武居ら，2009；吉岡ら，1981）。

大正時代になると、諸戸が1914（大正3）年の留学復命書で欧州の砂防工事の事例を紹介する中で、下流法勾配が2分の石積堰堤の図を示した。さらに1917（大正6）年の「理水及砂防工学工事編」で、「我が国の砂防工事では、堰堤の下流法勾配を一割としているが、欧州では我が国の堰堤のように緩くしている堰堤はない。砂防堰堤の下流法勾配を緩くすると、下流法面上を水と礫が流下して石堰堤を磨損しかつ水の速度が増加する欠点があることから、堰堤の下流面の勾配を急にすべきである。空石積石堰堤では1/4、練石積石堰堤と混合積石堰堤では1/5とし、高さ5m以上の石堰堤は急にすべきである」（諸戸，1917）と記し、砂防堰堤の下流法勾配は2分程度の急な勾配にすべきであると述べている。

1916（大正5）年に、下流法が2分勾配の堰堤が、諸戸の指導により東京都水源林内に造られた（諸戸，1937）（図-26）。その後の状況について諸戸は、「堰堤の下流法を急にすることは大正4、5年まで我が国多数の技術者に反対されたものであったが今日においては至る所にこの種の構造を見るに至って砂防界の為大いに慶賀すべ



図-25 滋賀県の天神川鎧堰堤(a)と福井県の鬼谷堰堤(b)
((a) 2011年著者撮影、(b) 2015年著者撮影)

Fig. 25 Tenjingawa check dam in Shiga pref. (a) and Ontani check dam in Fukui pref. (b)
(Taken by author in 2011(a) and in 2015(b))



図-26 東京都水源林内にある1916年施工の堰堤
(諸戸アルバムより)

Fig. 26 Check dams constructed in 1916 in Tokyo metropolitan watershed forest (From Moroto's photos album)

きことである」(諸戸, 1931)と記し、昭和時代初期には下流法勾配を急にすることを述べている。同じ1916(大正5)年には、山梨県で芦安堰堤(アーチ型、下流法勾配1分)の工事が着手している。その後、昭和20年代までは3分、4分のものも試験的に施工されているが、1958年制定の「河川砂防技術基準(案)」で2分に統一された(武居ら, 2009)。

図-27は、兵庫県の逆瀬川における砂防堰堤の写真である。下部は1903(明治36)年施工で、その後1924(大正13)年と1933(昭和8)年の2時期にわたり高上げされている。最初は下流法勾配が緩く、その後大正13年から勾配が急になってきていることが分かる。

前章で述べたとおり、欧州においては砂防堰堤の下流法は、オーストリアやフランスでは19世紀中頃には、また、イタリア、チェコ、クロアチア、モンテネグロではおそくとも1900年頃には、2分の勾配となっている。

以上から、日本において砂防堰堤の下流法勾配が急になったの時期は、欧州より少なくとも30年程度後であることが分かる。

砂防堰堤の石積様式については、欧州においては布積である。一方、日本においては多くが谷積であり、布積のものは少ない。武居ら(2009)に掲載されているデータによると、日本の登録有形文化財になっている石積の砂防施設(堰堤、床固、砂留)は158基あり、このうち布積のものは26基と全体の約16%である(西本, 2018c)。なお、石積工法を論じた文献には、川を横断する堰堤に布積は向かないと書いているものがあるが(大久保, 1958)、その理由までは言及していない。



図-27 逆瀬川の砂防堰堤(兵庫県砂防課提供)

Fig. 27 Check dam in Sakasegawa torrent (From Hyogo pref.)

5. まとめ

欧州と日本では、概ね19世紀後半から山地や丘陵地の土砂流出対策と植生回復のための砂防工事が盛んに実施されるようになった。こうした中で、欧州では19世紀後半から、砂防堰堤の下流法が2分勾配の石積堰堤が造られている。一方、日本では下流法が1割より緩い巨石積堰堤あるいは小規模な空石積堰堤(砂留、石垣留など)が造られている。諸戸が著書等で欧州の技術を紹介したことにより、堰堤の下流法勾配が急なもの造られ始めるのは1920年頃である。この違いの理由の1つに、砂防工事におけるセメント使用の開始時期の差異が考えられる。しかしながら、欧州では空石積堰堤についても急な勾配となっていることから、別の理由があることも否定できない。

石積様式について見ると、欧州においては布積であり、完成後100年以上経過した砂防堰堤が現在も大きな損傷も無くその機能を維持しているものが多くある。一方で、日本では谷積が主流である。この違いについての理由と評価については、別の機会に考えてみたい。

日本では歴史的砂防施設の文化的価値が認められてきており、本来の防災機能の維持とあわせて構造物の効率的な維持管理、さらにはインフラツーリズムなどへの有効活用が求められてきている。本論で紹介した施設も含め、欧州の砂防施設の歴史的価値が各国でどのように評価されているかは把握していない。しかしながら、一部には施工後100年以上経過した堰堤群の周辺に遊歩道が整備されるなど地域に溶け込んだものもある。

近年、日本と欧州各国との間で砂防技術交流が盛んになってきている。本論が、歴史的砂防施設の適切な維持管理と有効活用に向けての日欧間の議論の一助になれば幸いである。

謝辞

欧州の現地調査にあたっては、多くの方々に多大の協力をいただいた。オーストリアでは、BOKU (Universität Für Bodenkultur Wien) 大学のヒューブル(Johannes Hübl)教授に、フランスではIRSTEAのピトン(Guillaume Piton)博士ほかの研究員とRTM事務所の担当官に、イタリアではCNRのパドバ研究所のバースト(Alessandro Pasuto)博士とマルカート(Gianluca Marcato)博士、国家森林警察のテルリッシャー(Patrizio Terlicher)氏ならびにCDNのマシエロ(Diego Masiello)館長に、チェコではチェコ工科大学のクシェチェック(Josef Křeček)教授に、クロアチアではスプリット大学のアンディチ(Ivo Andić)博士に、モンテネグロではポドゴリツァ大学のスパレビッツ(Velibor Spalevic)博士に協力をいただいたほか、各国の多くの方々に資料収集もふくめて協力をいただいた。

また、諸戸アルバムの写真情報を提供していただいた

鈴木雅一東京大学名誉教授をはじめ、現地調査に著者と共に参加していただいた諸氏、調査全般にわたりご支援いただいた皆様に、記して謝意を表します。

引用文献

- Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft (1984): 100 Jahre Wildbachverbauung in Österreich, p. 23-25
- Conseil Général des Bouches-du-Rhône (2004): Restaurer la montagne-photographies des eaux et forêts du XIX siècle-, 188 pp.
- Demonzey P. (1878): Étude sur les travaux de Reboisement et de Gazonnement des Montagnes, ATLAS. PL. X, XI, 421 pp.
- 度山 (1932): 昭和六年欧米旅行記 (第三回), 砂防, No. 24, 砂防協会, 口絵写真および p. 32-43 (「度山」は, 砂防協会の機関誌「砂防」(昭和3年~19年刊行)における諸戸のペンネームである)
- 伊藤武夫 (1937): ムーゼン先生, 砂防, No. 55, 砂防協会, p. 17-22
- 伊藤武夫 (1942): 学術大観 医学部 傳染病研究所 農学部, 東京帝国大学, p. 708-710
- 増谷英樹・古田善文 (2011): 図説オーストリアの歴史, 河出書房新社, p. 45-67
- 諸戸北郎 (1910 a): 本年八月中旬の大洪水に就て所感を述べ, 大日本山林會報, No. 335, 大日本山林會, p. 13-19
- 諸戸北郎 (1910 b): 明治四十三年夏期修學旅行所感, 大日本山林會報, No. 337, 大日本山林會, p. 25-38
- 諸戸北郎 (1910 c): 南嶼旅行所感, 大日本山林會報, No. 333, 大日本山林會, p. 11-29
- 諸戸北郎 (1911): 明治四十三年夏期修學旅行所感 (承前), 大日本山林會報, No. 339, 大日本山林會, p. 15-27
- 諸戸北郎 (1912): 奥国ダルマチア州 (Dalmatien) 及ボスニア, ヘルチエゴビナ州 (Bosnien und Herzegowina) 旅行日記及所感, 大日本山林會報, No. 350, 大日本山林會, p. 19-26
- 諸戸北郎 (1915): 欧羅巴諸国ニ於ケル野溪留工事調査復命書, 農商務省山林局, 279 pp.
- 諸戸北郎 (1917): 理水及砂防工学・工事編, 三浦書店, p. 146-151
- 諸戸北郎 (1919): 理水及砂防工学・設計及実例編, 三浦書店, p. 291-294
- 諸戸北郎 (1931): 砂防工事の回顧, 山林, No. 582, 大日本山林會, p. 38-41
- 諸戸北郎 (1937): 多摩川流域森林治水に関する座談会記録, 砂防, No. 52, 砂防協会, p. 2-4
- 諸戸北郎 (1938): 諸戸砂防工学, 成美堂書店, p. 331-349
- 西本晴男 (2017 a): 日本人初の砂防担当教授・諸戸北郎の近代砂防における足跡, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 3, p. 13-24
- 西本晴男・倉持紀子・森俊勇 (2017 b): デモンゼー著の「溪流および山腹工事」について, 砂防学会誌, Vol. 69, No. 6, p. 103-106
- 西本晴男 (2018 a): 近代砂防草創期の砂防教育事情, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 5, p. 15-23
- 西本晴男 (2018 b): 東京帝国大学砂防講座外国人教師, アメリカ・ホフマンの業績についての一考察, 砂防学会誌, Vol. 70, No. 5, p. 24-33
- 西本晴男 (2018 c): 1900年前後の欧州砂防技術, 平成30年砂防学会研究発表会概要集, p. 289-290
- 野口陽一 (1980): 治山技術の見直しと展望, 山林, No. 1159, 大日本山林會, p. 4-19
- 大久保森蔵 (1958): 石積の秘法とその解説, 理工図書, p. 16-18
- 太田猛彦 (2010): 治山・砂防学の成立と展開, 農林水産叢書 No. 64 草創期における林学の成立と展開, 財団法人農林水産奨励会, p. 103-111
- ブロスパー・デモンゼー (2017): 溪流および山腹工事 (翻訳書), 砂防フロンティア整備推進機構, 関連事項捕捉説明・p. 10-18
- RTM (1990): Ubaye, La Foret Reconstituée, 112 pp.
- 砂防学会 (1992): 砂防講座第10巻・世界の砂防, 5.1 ヨーロッパ, 砂防学会, p. 50-114
- 武居有恒 (1990): 砂防学, 山海堂, p. 122-173
- 武居有恒・田畑茂清・板垣治・大矢幸司 (2009): 歴史的砂防施設の保存と文化財, 財団法人砂防フロンティア整備推進機構, 276 pp.
- Veljko M. Martinović (2015): Erozijska Zemljištai Bujice u Crnogorskom Primorju, Cronogorska Akademija Naukai Umjetnosti 119, p. 53-59
- Wang F. (1903): Grundriss der Wildbachverbauung, Verlag von S. Hirzel, p. 111-116
- 山口伊佐夫 (1981): 日本砂防史, 第2章砂防思想の変遷, 全国治水砂防協会, p. 31-32
- 矢野義男 (1976): 砂防ダム, 山海堂, p. 2-7
- 吉岡良朗・瀬尾克美・渡辺正幸・藤田寿雄・安江朝光・池谷浩 (1981): 日本砂防史, 第6章 技術・工法の変遷, 全国治水砂防協会, p. 441-454

(Received 14 December 2018 ; Accepted 24 September 2019)