

平成 29 年度 年報



平成 30 年 3 月

筑波大学大学院 生命環境科学研究科

環境科学専攻 持続環境科学専攻

環境防災学講座

平成 29 年度 年報

平成 30 年 3 月

筑波大学大学院 生命環境科学研究科

環境科学専攻 持続環境科学専攻

環境防災学講座

はじめに

筑波大学では、土砂災害などの自然災害から被害の防止・軽減を図るため、また高度な専門制を有する技術者を養成することを目的に、大学院生命環境科学研究科の環境科学専攻（博士前期課程）及び持続環境学専攻（博士後期課程）に、平成 22 年度より財団法人（現一般財団法人）砂防フロンティア整備推進機構からの奨学寄附金を受け環境防災学講座を設置するとともに、履修カリキュラムとしての「環境防災学プログラム」を開設しました。

筑波大学は、全国に先駆け 1977 年に、環境問題に関する高度実務者養成を目的とした、我が国最初の大学院修士課程である環境科学研究科を設立し、以来多数の修了生を、産学官界に輩出しています。また、筑波大学大学院生命環境科学研究科では、複雑な自然環境とその変化のメカニズム、自然との共生のあり方について、フィールドサイエンスの立場から理学・農学・工学・人文科学・社会科学・医学などの個別知を集合し学際的な研究・教育を行っています。環境防災学講座では、このような環境系の専攻科目の基礎の上に、主に社会人入学者を想定し、多様な内容及び講師による授業科目を開設しています。

平成 29 年度においては、専門科目として 4 つの授業科目を開設し、講座専任教員のほか、国土交通省、国土技術政策総合研究所、(独)土木研究所、をはじめとし、NPO 法人、民間会社の幹部による、環境防災に係わる幅広い分野にわたる講義を行いました。平成 29 年度は講座設置の最終年度として、博士前期課程 3 名の教育と研究指導を行い、平成 30 年 3 月に 3 名が博士前期課程を修了しました。

今年度まで 8 年間における修士修了者は 21 名で、その内訳は、社会人 13 名、一般 3 名、留学生 5 名、博士の学位取得者は 2 名となっております。

本書は、以上の平成 29 年度の環境防災学講座の活動を年報としてとりまとめたものです。

環境防災学講座の運営にあたり、ご支援いただきました関係各位に深く感謝申し上げますとともに、今後とも、ご支援を賜りますようお願い申し上げます。

平成 30 年 3 月

筑波大学大学院 生命環境科学研究科
環境科学専攻・持続環境学専攻
環境防災学講座担当教授 西本 晴男

目 次

1. 講座運営	1
1.1 講座の概要	1
1.2 講座の活動	2
1.3 施設	7
2. 平成 29 年度の主要活動	8
2.1 平成 29 年度主要活動一覧	8
2.2 教育活動	10
2.2.1 環境防災プログラム	10
2.2.2 実践実習	23
2.2.3 プログラム修了生	25
2.2.4 その他	25
2.3 研究活動	26
2.3.1 研究発表	26
2.3.2 現地調査	27
2.4 社会連携活動	72
2.4.1 各種会議・講演等	72
2.4.2 各種委員会等	72
2.5 広報活動	73
2.5.1 ホームページ	73
3. 環境防災学講座成果報告会	75
4. 研究成果	92
5. 新聞記事	143
6. 実践実習報告書	

1. 講座運営

1.1 講座の概要

(1) 設立の背景

21 世紀は「環境の時代」であるとともに「災害の時代」でもある。特にわが国では地球温暖化に伴う短時間降水量の大幅な増加、局所的豪雨の発生の頻繁化とそれに伴う土砂災害や洪水災害の増加が懸念されている。実際、近年、降雨記録が大幅に更新され土砂災害なども増加する傾向にある。環境防災学講座は、このような豪雨、豪雪、さらには火山噴火などに伴う急激な流域環境変化とそれに伴う土砂災害などの環境問題やそれらに対する対策を総合的に扱う領域として、平成 22 年 4 月に筑波大学大学院生命科学研究科環境科学専攻（博士前期課程）および持続環境学専攻（博士後期課程）に設置された。

この環境防災学講座は、財団法人（現 一般財団法人）砂防フロンティア整備推進機構の寄附金により設置され、環境防災に関わる高度な専門技術者の育成にあたっている。寄附金は、講座の運営の他、教育研究活動に使用する研究棟の整備に使用されている。寄附講座の設置期間は、当初平成 22～26 年度の 5 年間となっていたが、引き続き平成 27 年度より 3 年間延長することとなっている。

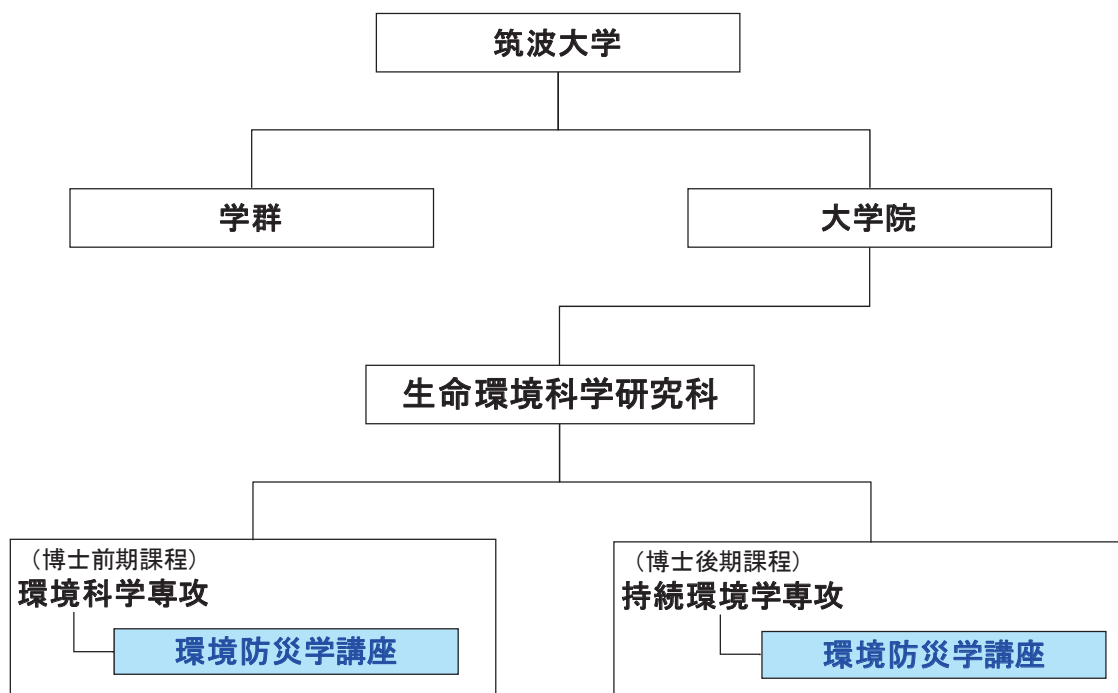
(2) 環境防災プログラム

環境防災プログラムは、環境防災に関わる科学技術に加え、環境防災に関する調査対策技術から政策論、法令論、国際関係まで幅広い範囲にわたる知識・技術力を有し、土砂災害や洪水災害などの自然災害から、自然環境と人間生活との関わりの中で安全・安心を確保するための課題解決能力と独創性を有する高度な専門技術者の育成のための履修カリキュラムであり、環境防災学講座が中心となって運営されている。

平成 22・23 年度は、環境防災関係の授業科目として 11 科目を開講した。平成 24～27 年度は、環境防災関係の授業科目として 10 科目、平成 28 年度は 11 科目を開講した。平成 29 年度は講座の最終年度にあたることから、春学期のみ 4 科目を開講し、必修 1 科目と選択必修 1 科目は常勤教員が担当し、他の 2 科目は非常勤講師が担当した。

(3) 組織

環境防災学講座は、環境科学専攻（博士前期課程）および持続環境学専攻（博士後期課程）に設けられている。平成 29 年度は、専任の教授 1 名、准教授 1 名がその運営に当たっている。寄附講座の運営にかかる事項については、専攻内の教員から構成される「寄附講座環境防災運営委員会」で審議した後に、専攻内で開催される「環境系専攻教員会議」に諮られている。



環境防災学講座組織図

1.2 講座の活動

◇平成 22 年度

平成 22 年 4 月 1 日	寄附講座開設
平成 22 年 4 月 1 日	准教授（石井）着任
平成 22 年 4 月 16 日	教授（西本）着任
平成 22 年 5 月 18 日	環境防災プログラムキックオフ・フォーラム開催
平成 22 年 7 月 13 日	環境防災学講演会開催（砂防会館）
平成 22 年 9 月 29 日	環境防災研究棟建築工事着工、安全祈願祭
平成 23 年 2 月 21 日	インドネシア国ガジャマダ大学と国際学術交流協定を締結
平成 23 年 3 月 17 日	環境防災研究棟完成

◇平成 23 年度

平成 23 年 7 月 6 日	環境防災研究棟披露式
-----------------	------------

◇平成 24 年度

平成 24 年 4 月 1 日	准教授（水野）着任
平成 25 年 3 月 31 日	石井准教授 退任

◇平成 25 年度

平成 25 年 10 月 1 日	インドネシア UGM3 名短期留学生受入（6 ヶ月）
------------------	----------------------------

◇平成 26 年度

平成 26 年 4 月 22 日	砂防学と地形学の連携に関するシンポジウム開催
平成 26 年 10 月 1 日	インドネシア UGM1 名（6 ヶ月）1 名（1 年）短期留学生受入
平成 27 年 3 月 11 日	「環境防災の課題と今後を考える」環境防災学ワークショップ開催
平成 27 年 3 月 30 日	水野准教授 退任

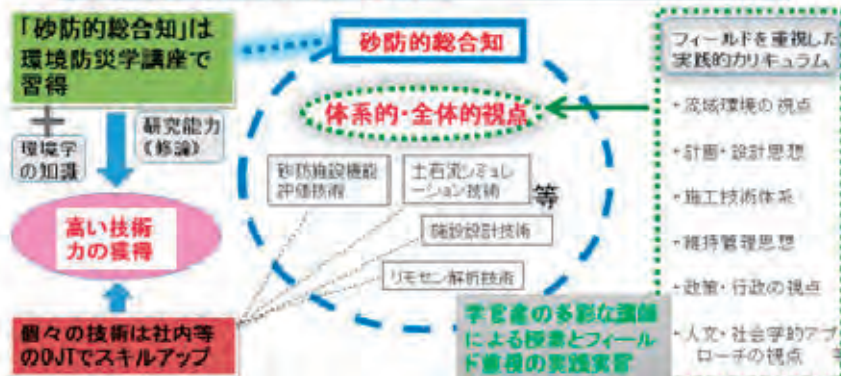
◇平成 27 年度

平成 27 年 4 月 1 日	准教授（秋山）着任
-----------------	-----------

- 平成 27 年 6 月 22 日～26 日 第 6 回国際土石流災害防止会議（DFHM6）の主運営
- ◇平成 28 年度
- ◇平成 29 年度
- 平成 29 年 11 月 29 日 環境防災学講座成果報告会開催
- 平成 30 年 3 月 31 日 西本教授、秋山准教授 退任

筑波大学大学院環境防災学講座の理念

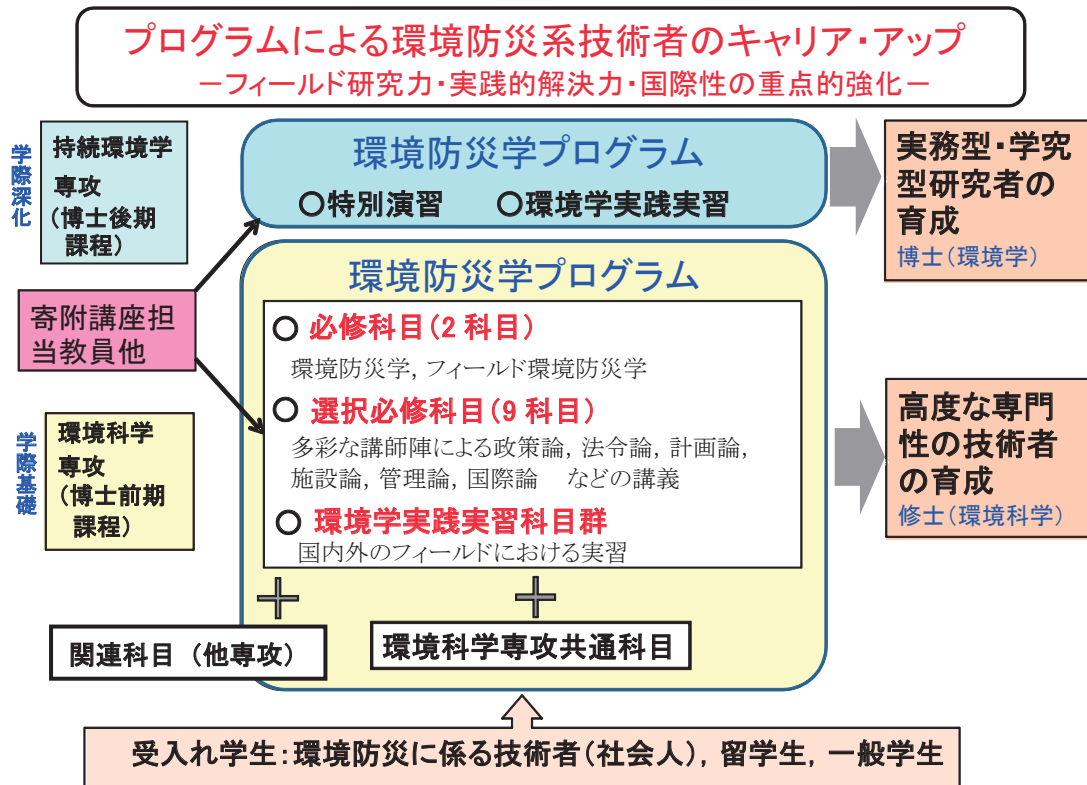
- 主として砂防に携わる社会人を対象に
砂防のスペシャリストとしてのキャリアアップを目指す
- 土砂災害をもたらす土砂移動現象とその対策の知識・技術について、体系的に理解するための全体的視点を重視する姿勢（「砂防的総合知」）を学び、実践的な課題解決能力を習得



環境防災学講座の運営方針



環境防災学プログラムの概要



(1)専任教員等

教 授	西本晴男	(平成 22 年 4 月 16 日～平成 30 年 3 月 31 日)
准 教 授	秋山一弥	(平成 27 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日)
事務補佐員	赤尾美佐	(平成 28 年 4 月 1 日～平成 30 年 3 月 31 日)

(2) 寄附講座環境防災運営委員会

寄附講座環境防災運営委員会の構成と、審議内容は、以下に記載したとおりである。

①構成

委員長 西本晴男 生命環境科学研究科 教授

委 員

辻村真貴 生命環境科学研究科 教授 持続環境学専攻長

宮本邦明 生命環境科学研究科 教授

堀田紀文 生命環境科学研究科 准教授（平成 29 年 10 月 1 日 東大へ異動）

秋山一弥 生命環境科学研究科 准教授

②開催日

平成 29 年 4 月 11 日（火）10：00～11：30

議題：

1. 平成 29 年度授業計画等
2. 平成 28 年度環境防災学講座活動報告
3. 平成 29 年度環境防災学講座活動計画
4. 環境防災プログラム登録者
5. その他

平成 30 年 2 月 1 日（木）メール審議

議題：

1. 平成 29 年度環境防災プログラム修了証授与予定者について

(3) 環境系専攻教育会議

環境防災学講座の運営に関して審議及び報告を行った主な項目は、以下のとおりである。

- ・平成 29 年 4 月 19 日（水） 14:00～16:00

議題：平成 29 年度環境防災学講座活動報告および平成 29 年度活動計画について

- ・平成 29 年 5 月 17 日（水） 16：00～17：00

議題：平成 30 年度の環境防災学に係る教育について

- ・平成 29 年 6 月 14 日（水） 16：00～17：00

議題：環境科学実践実習の履修申請について

- ・平成 29 年 9 月 20 日（水） 14:00～16:00

議題：環境防災学講座成果報告会について

- ・平成 29 年 12 月 6 日（水） 14:00～16:00

議題：環境科学実践実習・環境学実践実習について

- ・平成 30 年 2 月 8 日（木） 16:00～18:00

議題：平成 29 年度 3 月期環境防災プログラム修了証授与予定者について

環境科学専攻における平成 30 年度環境防災学に係る教育について

1. 趣旨

平成 30 年 3 月に寄附講座・環境防災学が終了となるにあたり、筑波大学から所謂「砂防」の道に進む学生を育成するため、環境防災学に関する授業科目を環境科学専攻で開設する。

2. 内容

- 1) 環境防災学に関する専攻専門科目を 2 科目開設することとし、講義については、非常勤講師として国交省の本省、国総研、土研等の研究者等をお願いする。

なお、平成 29 年度から開設されている「山岳科学学位プログラム」においても重要な科目に位置付けられる。

- 2) 開設科目の名称、内容等は次のとおりとする。

科目名	授業概要	講師
環境防災計画論 (1 単位、秋学期・ 時間割講義)	豪雨や火山噴火、地震、地球温暖化の影響などによる環境の劇的な変化とそれに伴う土砂災害にかかわる現象とその対策について考究する。	国総研、土研等の研究者
環境防災政策論 (1 単位、春学期・ 集中講義)	土砂災害対策を中心とする環境防災にかかわる、施策、行政システム、予算制度、災害対応方策等について講述する。	国交省本省の行政官

(注) 環境防災計画論は、環境防災計画論Ⅰまたは環境防災計画論Ⅱを履修した者は履修不可

- 3) 環境科学の専攻及び山岳科学学位プログラムの Web ページに、「環境防災学」の説明ページ(趣旨、開設科目、世話人は山川助教(調整中))を設ける。
- 4) 環境防災学に係る教育・研究に資するため、(一財)砂防フロンティア整備推進機構が世話人の教員に奨学寄附金(研究助成金)として所要額を寄附する意向を有しており、この寄附金を科目の開設経費として活用する。

1.3 施設

環境防災学講座の平成 28 年度の教育研究活動には、以下の施設が使用された。

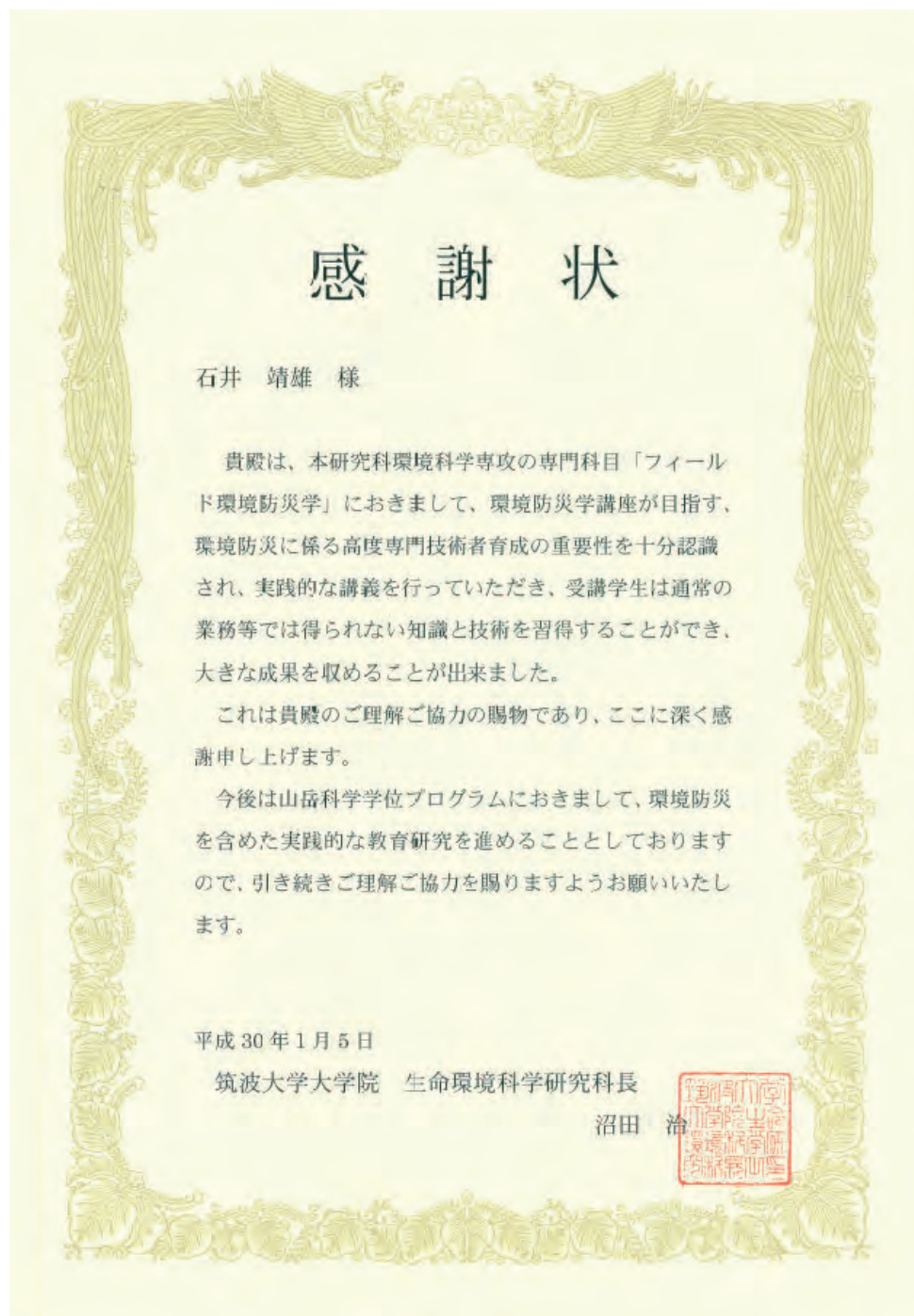
教授室	環境防災研究棟	102 号室
准教授室	環境防災研究棟	101 号室
事務室	環境防災研究棟	103 号室
U. TSUKUBA-MJIIT COOPERATION OFFICE	環境防災研究棟	104 号室
院生室	環境防災研究棟	201 号室
講師控室	環境防災研究棟	202 号室
講義室	環境防災研究棟	203 号室
解析室	環境防災研究棟	301 号室
サーバー室	環境防災研究棟	302 号室
共同研究室	環境防災研究棟	303 号室

2. 平成 29 年度の主要活動

2.1 平成 29 年度主要活動一覧

	講義・実習	環境防災 セミナー等	その他
4 月	・春学期講義開始 (4 科目)		・岩手・宮城県フィールド調査 (4 月 3 日 ～6 日 西本, 塚原, 後藤 (木村)) ・六甲砂防フィールド調査 (4 月 20 日～ 21 日 西本, 塚原, 後藤 (木村))
5 月			・砂防学会研究発表会参加 (5 月 24 日～26 日 西本, 塚原, 後藤 (木 村), 笠原)
6 月			・愛知県『砂防ボランティア全国のつどい』 『土砂災害防止「全国の集い」参加 (6 月 1 日～2 日 西本, 塚原, 後藤 (木 村))
7 月	・実践実習: 後藤 (木村) 美香 鹿島建設(株) 7 月 24 日～8 月 4 日		
8 月			・地すべり学会研究発表会参加 (8 月 22 日～24 日, 秋山) ・北海道砂防フィールド調査 (8 月 28 日～30 日 西本, 塚原, 後藤 (木村), 笠原)
9 月			・立山砂防国際シンポジウム参加 (9 月 29 日 後藤 (木村))
10 月			・オーストリア・イタリア・フランス・チ ェコ現地調査 (10 月 1 日～15 日, 西本)
11 月		・環境防災学講座 成果報告会 (11 月 29 日)	・湯沢砂防管内 (新潟県・長野県) フィー ルド調査 (11 月 16 日～17 日 西本, 塚原, 後藤 (木村), 笠原)
12 月			・砂防構造物および柔構造物合同講習会参 加 (12 月 4 日 後藤 (木村))
1 月			
2 月			渡良瀬川・日光砂防管内フィールド調査 (2 月 20 日～21 日 秋山, 後藤 (木村), 笠原) ・三宅島フィールド調査 (3 月 5 日～7 日 秋山, 後藤 (木村), 笠原)
3 月			

平成 22 年度から 8 年間にわたって講座開設授業でお世話になった非常勤講師、実践実習の実践担当者等に研究科長から感謝状を送った。



2.2 教育活動

2.2.1 環境防災プログラム

環境科学専攻、持続環境学専攻では、複雑な自然環境とその変化のメカニズム、自然との共生のあり方について、フィールドサイエンスの立場から理学・農学・工学・人文科学・社会科学・医学などの個別知を集合し学際的な研究・教育がなされている。環境防災プログラムでは、環境防災学講座が中心となって運営し、このような環境系両専攻の基礎の上に独自のカリキュラムを用意している。特に、これらの科目群は寄附講座を主体に構成されており、環境防災に係わる専門家による調査技術、対策技術から政策論、法令論まで幅広い範囲にわたり基礎から応用上の課題と解決手法に至るまで学際的・実践的な講義が計画され、また、実践的な研究指導を受けることができる。

(1)環境防災プログラムの履修方法

1) 環境科学専攻（博士前期課程）

①プログラムの履修方法

- 専攻共通必修科目 … 計 18 単位
 - 環境防災プログラム必修科目 … 8 単位以上
 - ・環境防災学 … 2 単位
 - ・フィールド環境防災学 … 2 単位
 - ・環境科学実践実習科目群（注1） … 4 単位以上
- 注1 環境防災に関連する実習先で実習を行うことが必要
- 環境防災プログラム選択必修科目 … 4 単位以上
- （9 単位以上履修することが望ましい）

②修了要件

- ・30 単位以上履修し、修士論文の審査および最終試験に合格すること。
- ・40 単位以上履修することが望まれる。

2) 持続環境学専攻（博士後期課程）

①プログラムの履修方法

- 専攻必修科目 … 3 単位
 - ・持続環境学特別演習Ⅰ
 - ・持続環境学特別演習Ⅱ
 - ・持続環境学特別演習Ⅲ
 - 環境防災プログラム必修科目 … 4 単位
 - ・環境学実践実習科目群（注2） … 4 単位以上
- 注2 環境防災に関連する実習先で実習を行うことが必要
- ・持続環境学フォーラム

②修了要件

- ・履修方法に従い7 単位以上修得し、博士論文の審査および最終試験に合格すること。

(2)開設授業科目

平成 29 年度は、環境防災プログラムとして、必修 1 科目、選択必修 3 科目を開講した。各授業科目名と担当教員、時間割、シラバスは、以下に記載するとおりである。

	科目番号	授業科目名	単位	開講 学期	曜時限	教室	担当教員
必修	01AD501	環境防災学	2	春	火 3, 4	203	西本 晴男
選択 必修	01AD522	環境防災 計画論Ⅰ	1	春	月 3	203	西井 洋史 桜井 亘 石 井 靖雄 内田 太郎 藤 村 直樹
	01AD517	環境防災 施設論Ⅱ	1	春	月 4	203	牧野 裕至 林 数一 綿貫 明 安齋 徳夫
	01AD512	環境防災 危機管理論	1	春	月 2	203	秋山 一弥

平成29年度環境防災学講座・授業科目の概要・授業内容(案)				※本表は、検討中の部分もあり今後変更する場合もある。				2017.6.6	
学期	科目名	年次	概 要	担当教員又は とりまとめ講師	月	日	授業内容	講師	所属
春学期	(火曜日3・4時限) 環境防災学	1	豪雨、地震、火山噴火などに伴う土砂災害、洪水災害などの特徴と防災対策・政策について、そのバックグラウンドたる自然環境、社会環境の歴史の変遷過程をふまつつ講述するとともに、気候変動、人口減少社会など将来動向をにらんだ今後の防災対策のあり方について述べ、環境防災学としての視点と課題、解決法などについて考える。	西本 晴男	4	11	総論	西本 晴男	筑波大学
					4	18	日本の国土・社会と防災対策		
					4	25	近年の環境変化と災害動向		
					5	2	環境変化をふまえた防災対策		
					5	9	休講		
					5	16	山地荒廃と土砂生産作用		
					5	23	マスマーブメント		
					5	30	流域における土砂移動、山地水文		
					6	6	溪流安定化と山腹緑化		
					6	13	森林影響論		
	(月曜日2時限) 環境防災危機管理論	1	自然災害の災害対策と危機管理、集中豪雨や地震による山腹崩壊、地すべりによる大規模土砂災害への対応についての講義、大規模土砂災害の発生直後からの危機管理(緊急調査、情報、機関連携、警戒避難体制、応急対策)に加えて、平常時における防災訓練の考え方について講述する。	秋山 一弥	4	17	気候変動と環境防災	秋山 一弥	筑波大学
					4	17	危機管理に関する総論		
					4	24	災害対策と危機管理①防災に関する法律		
					5	8	災害対策と危機管理②防災に関する組織		
					5	15	防災情報と危機管理		
					5	22	大規模土砂災害の発生事例		
					5	29	大規模土砂災害発生時の応急対策		
					6	5	土砂災害緊急情報・緊急調査		
					6	12	深層崩壊の発生機構と危険箇所抽出法		
					6	19	土砂災害発生時の危機管理と広報(マスコミ対応)		
	(月曜日4時限) 環境防災施設論Ⅱ	1.2	自然災害であっても原因は自然の営みによるものだけでなく人間活動の結果として引き起こされる場合が多い。災害発生のメカニズムと災害復旧の手だてのみならず災害予防からも社会経済的側面を含めて明らかにし、環境防災施設のプランニング・マネジメントの体系化と指導者の育成をめざす講義。これら環境防災施設を設置するにあたり必要となる、基本的理念、歴史、法律、入札・契約、現場での施工、出来型・品質管理等について、具体の事例を示しながら講述する。	牧野 裕至	4	17	災害の現座から過去を知り、未来を考える(概論)	牧野 裕至	(株)ニュージェック
					4	24	ハード対策とソフト対策 防災における環境防災施設の役割	牧野 裕至	(株)ニュージェック
					5	8	環境防災施設の実態 石積み環境	(株)ニュージェック	砂防施工管理研究会
					5	15	住民と旅行者から見た環境防災設備	牧野 裕至	(株)ニュージェック
					5	22	環境防災施設の管理と長寿寿命化	牧野 裕至	(株)ニュージェック
					5	29	環境防災施設の実態 受益者の取り組み	(株)ニュージェック	砂防施工管理研究会
					6	5	環境防災施設の実態 発注者の取り組み	(安齋 徳夫)	関東地方整備局企画部工事品質調整官
					6	12	環境防災施設の今後	牧野 裕至	(株)ニュージェック
					6	19	先人に学ぶ 環境防災施設に関する書籍 より	牧野 裕至	(株)ニュージェック
					6	26	まとめ	牧野 裕至	(株)ニュージェック
秋学期	(火曜日3・4時限) 専攻必修講義	2	Mitigation and Prevention of Sediment Disaster	秋山 一弥	10			堀田准教授 秋山准教授 各5回	
					10				
					10				
					10				
					11				
					11				
					11				
					11				
					12				
					12				
					12				
					12				
					12				
					12				

2017年度環境科学専攻時間割

必修

Compulsory

春学期 (Spring Semester)

Period	1			2			3			4			5			6		
Module	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Mon	Terrestrial Ecology C502			Terrestrial Ecology C502			生態系生態学 C502			環境防災基礎論II 防災203			環境微生物遺伝学 B107			環境微生物遺伝学 B107		
	環境政策論 B501			環境防災危機管理論 防災203			環境防災危機管理論 防災203			保全生態学 C502			保全生態学 C502					
							地球環境統計解析 総合A217A											
Tue	水圏生態学 B501			水圏生態学 B501			大気環境論 C502			大気環境論 C502			流域総合管理論 B501			Climate SystemII 総合A217A		
	都市形成史 3C201			都市形成史 3C201			環境防災学 防災203			環境防災学 防災203			住環境計画論 B107			住環境計画論 B107		
Wed	環境科学概論 B107			環境科学実習 B107			環境科学実習 B107			環境科学実習 B107			環境科学実習 B107					
	Simulation of Environmental Policy C502			Simulation of Environmental Policy C502			空間情報科学 3E404			空間情報科学 3E404			Remote Sensing B107					
Thu	Soil and Water Environmental Colloid Science 生態B201			Soil and Water Environmental Colloid Science 生態B201			Climate System Study I 総合A217						生物相互作用論 C502			生物相互作用論 C502		
	原子力災害環境影響評価論I B501			環境化学物質リスク論 B107														
Fri	Introduction to Waste Management C103			Introduction to Waste Management C103			水環境論 B107											

集中(Intensive) : 環境政策論、全要素環境学特論、環境フィールド実習、Environmental Field Appraisal
原子力災害環境影響評価論II、原子力災害環境影響評価論III、環境放射能リスク評価インテンシブII、環境放射能リスク評価インテンシブIII、原子力災害海外特別実習

夏季休業中 (Sum.Vac.) : Ecological Soil Resources

秋学期 (Fall Semester)

Period	1			2			3			4			5			6		
Module	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Mon	Applied Environmental Ethics (Introduction to English Presentation and Debate) B107			Applied Environmental Ethics (Introduction to English Presentation and Debate) B107			Landscape Planning C502			Spatial Information Engineering in Environmental Sciences C502			生態リモートセンシング論 B107					
	植物環境生理学 総合A211																	
Tue	Utilization and Recycling of Bio-resources C502			Utilization and Recycling of Bio-resources C502			Solid Waste Management Systems Planning B107			Solid Waste Management Systems Planning B107			Environmental Microbiology C502			Environmental Microbiology C502		
	Vegetation 樹生学 B107			Vegetation 樹生学 B107			Prevention and Mitigation of Sediment Disaster 防災203			Prevention and Mitigation of Sediment Disaster 防災203								
Wed	Introduction to Environmental Sciences C103			Exercises in Environmental Sciences C103			Field and Laboratory Practices in Environmental Sciences C103			Field and Laboratory Practices in Environmental Sciences C103			Field and Laboratory Practices in Environmental Sciences C103					
				環境ストレス概論 病棟E6階講義室2 (英語)														
Thu	Policy and Planning for Forest Conservation C502			Policy and Planning for Forest Conservation C502			Introduction to Water Environment C502			Introduction to Water Environment C502			Environmental Analytical Chemistry C502			環境放射能動態解析論II B502		
										環境放射能動態解析論II B502			環境放射能動態解析論II B502			環境放射能動態解析論II B502		
Fri	都市・地域解析学 3E404			都市・地域解析学 3E404			Environmental Health Perspective 病棟E6階講義室2			Environmental Health Perspective 病棟E6階講義室2			環境生態化学 B501			環境生態化学 B501		
							Introduction to Environmental Policy B501						地域環境保健学 C502			地域環境保健学 C502		

集中(Intensive) : Environmental Law、環境フィールド実習、Environmental Field Appraisal、原子力災害特別セミナー、環境放射能リスク評価インテンシブII、環境放射能リスク評価インテンシブIII、原子力災害海外特別実習

環境防災プログラム授業科目の推移

H 22

時間割科目	10単位	3科目	7科目
集中講義科目	3単位	3科目	3科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	1	秋・4
フィールド環境防災学	2	2	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	1	月4
環境防災計画論	1	1	月5
環境防災施設論	1	1	金5
環境防災特別講義	1	2	水3
環境防災政策論Ⅰ	1	2	集中
環境防災政策論Ⅱ	1	2	水4
環境防災法令論	1	1	水5
国際環境防災論	1	2	集中
環境防災高度技術論	1	1	金4

H 23

時間割科目	10単位	3科目	7科目
集中講義科目	3単位	3科目	3科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	1	秋・4
フィールド環境防災学	2	2	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	2	金3
環境防災計画論	1	1	月3
環境防災施設論	1	1	月4
環境防災特別講義	1	1	木5
環境防災政策論Ⅰ	1	2	金4
環境防災法令論	1	2	金5
環境防災政策論Ⅱ	1	2	集中
国際環境防災論	1	1	集中
環境防災高度技術論	1	2	集中

H 24

時間割科目	9単位	3科目	7科目
集中講義科目	3単位	3科目	3科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	1	秋・4
フィールド環境防災学	2	2	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	1	金5
環境防災計画論	1	1	月3
環境防災施設論	1	1	月4
環境防災特別講義	1	2	金3
環境防災政策論Ⅰ	1	2	金4
環境防災法令論	1	2	集中
国際環境防災論	1	1	集中
環境防災高度技術論	1	2	集中

H 25

時間割科目	9単位	3科目	7科目
集中講義科目	3単位	3科目	3科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	春	秋・4
フィールド環境防災学	2	秋	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	春	金5
環境防災計画論	1	春	月4
環境防災施設論Ⅰ	1	開講せず	
環境防災施設論Ⅱ	1	春	月3
環境防災特別講義	1	秋	金3
環境防災政策論Ⅰ	1	秋	金4
環境防災法令論	1	秋	集中
国際環境防災論	1	春	集中
環境防災高度技術論	1	春	集中

H 26

時間割科目	9単位	3科目	7科目
集中講義科目	3単位	3科目	3科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	春	秋・4
フィールド環境防災学	2	秋	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	春	金5
環境防災計画論Ⅰ	1	開講せず	
環境防災計画論Ⅱ	1	春	月3
環境防災施設論Ⅰ	1	春	月4
環境防災施設論Ⅱ	1	開講せず	
地域環境防災基本論	1	秋	金3
地域環境防災実践論	1	秋	金4
環境防災政策論	1	春	集中
国際環境防災論	1	春	集中
環境防災高度技術論	1	春	集中

H 27

時間割科目	9単位	4科目	7科目
集中講義科目	4単位	4科目	4科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	春	秋・4
フィールド環境防災学	2	秋	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	春	金5
環境防災計画論Ⅰ	1	春	月3
環境防災計画論Ⅱ	1	開講せず	
環境防災施設論Ⅰ	1	開講せず	
環境防災施設論Ⅱ	1	春	月4
地域環境防災基本論	1	秋	金3
地域環境防災実践論	1	秋	金4
環境防災政策論	1	春	集中
国際環境防災論	1	春	集中
環境防災高度技術論	1	春	集中

H 28

時間割科目	9単位	4単位	7科目
集中講義科目	4単位	4科目	4科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	春	秋・4
フィールド環境防災学	2	秋	秋・1,2
環境防災危機管理論	1	春	金2
環境防災計画論Ⅰ	1	開講せず	
環境防災計画論Ⅱ	1	春	月3
環境防災施設論Ⅰ	1	春	月4
環境防災施設論Ⅱ	1	開講せず	
地域環境防災基本論	1	秋	金3
地域環境防災実践論	1	秋	金4
環境防災政策論	1	春	集中
国際環境防災論	1	春	集中
環境防災高度技術論	1	春	集中
環境防災施工論	1	秋	集中

H 29

時間割科目	5単位	4科目	0科目
集中講義科目	0単位	0科目	0科目
科目名	単位	学期	時限
環境防災学	2	春	秋・4
環境防災危機管理論	1	春	月2
環境防災計画論Ⅰ	1	春	月3
環境防災計画論Ⅱ	1	開講せず	
環境防災施設論Ⅰ	1	開講せず	
環境防災施設論Ⅱ	1	春	月4
地域環境防災基本論	1	開講せず	
地域環境防災実践論	1	開講せず	
環境防災政策論	1	開講せず	
国際環境防災論	1	開講せず	
環境防災高度技術論	1	開講せず	

(3)開設授業科目のシラバス

01AD501 環境防災学

春学期： 火曜日 3， 4 時限 1・2 年次対象（2 単位）

教員： 西本晴男

1. 授業概要

豪雨，地震，火山噴火などに伴う土砂災害、洪水災害などの特徴と防災対策・政策について、そのバックグラウンドたる自然環境、社会環境の歴史的変遷過程をふまえつつ講述するとともに、気候変動、人口減少社会など将来動向をにらんだ今後の防災対策のあり方について述べ、環境防災学としての視点と課題，解決法などについて考える。

2. 授業内容

- 第1週 総論
- 第2週 日本の国土・社会と防災対策
- 第3週 近年の環境変化と災害動向
- 第4週 環境変化をふまえた防災対策
- 第5週 山地荒廃と土砂生産作用
- 第6週 マスムーブメント
- 第7週 流域における土砂移動、山地水文
- 第8週 溪流安定化と山腹緑化
- 第9週 森林影響論
- 第10週 気候変動と環境防災

3. 参考書

環境防災学 （授業時に配布）

そのほか、必要に応じ資料を配布する

4. 備考

- 1) 成績は出席とレポートの結果で評価する。

01AD517 環境防災計画論 I

春学期： 月曜日 3 時限 1 年次・2 年次対象（1 単位）

教員：桜井 亘

1. 授業概要

地球温暖化による気候変動にともなう降雨量の増加、強度の増大が予測されるなど、自然環境の変化が防災上懸念されている。環境防災を効率的かつ効果的に実施するため、最新の各種調査計画設計基準やガイドラインの考え方について講述し、今後の調査計画設計について講究する。

2. 授業内容

第1週 総論

第2週 砂防計画の基本（砂防の枠組み）

第3週 国土保全の砂防

第4週 水系砂防調査計画

第5週 水系砂防被害推定手法

第6週 土石流・流木対策調査、計画

第7週 土石流概論

第8週 土石流・流木対策設計

第9週 大規模土砂災害の復旧・復興

第10週 まとめ

3. 参考書

必要に応じ資料を配布する

参考書，参考文献は講義で示す。

4. 備考

成績は、出席状況と課題レポートの結果で評価する。

01AD522

環境防災施設論Ⅱ

春学期： 月曜日 4 時限 1 年次・2 年次対象（1 単位）

教員： 牧野裕至

1. 授業概要

自然災害であっても原因は自然の営みによるものだけでなく人間活動の結果として 引き起こされる場合が多い。災害発生メカニズムと災害復旧の手だてのみならず災害予防からも 社会経済的側面を含めて明らかにし、環境防災施設のプランニング・マネジメントの体系化と指導者の育成をめざす講義。これら環境防災施設を設置するにあたり必要となる、基本的理念、歴史、法律、入札・契約、現場での施工、出来型・品質管理等について、具体の事例を示しながら講述する。

2. 授業内容

- 第1週 災害の視座から過去を知り、未来を考える（概論）
- 第2週 ハード対策とソフト対策 防災における環境防災施設の役割
- 第3週 環境防災施設の実例 石積み堰堤
- 第4週 住民と旅行者から見た環境防災設備
- 第5週 環境防災施設の管理と長寿命化
- 第6週 環境防災施設の実例 受注者の取り組み
- 第7週 環境防災施設の実例 発注者の取り組み
- 第8週 環境防災施設の今後
- 第9週 先人に学ぶ 環境防災施設に関する書籍 より
- 第10週 まとめ

3. 参考書

必要に応じ資料を配布する

参考書、参考文献は講義で示す。

4. 備考

成績は、出席状況と課題レポートの結果で評価する。

01AD512 環境防災危機管理論

春学期：月曜日 2 限 1 年次・2 年次対象（1 単位）

教員：秋山一弥

1. 授業概要

自然災害の災害対策と危機管理、集中豪雨や地震による山腹崩壊、地すべりによる大規模土砂災害への対応についての講義。大規模土砂災害の発生直後からの危機管理（緊急調査、情報、機関連携、警戒避難体制、応急対策）に加えて、平常時における防災訓練の考え方について講述する。大規模土砂災害

2. 授業内容

- 第1週 危機管理に関する総論
- 第2週 日本の災害対策と危機管理①防災に関する法律
- 第3週 日本の災害対策と危機管理②防災に関する組織
- 第4週 防災情報と危機管理
- 第5週 大規模土砂災害の発生事例
- 第6週 大規模土砂災害発生時の応急対策
- 第7週 土砂災害緊急情報・緊急調査
- 第8週 深層崩壊の発生機構と危険箇所抽出法
- 第9週 土砂災害発生時の危機管理と広報（マスコミ対応）
- 第10週 土砂災害発生時の住民避難と防災訓練

3. 参考書

必要に応じ資料を配布する。

参考書，参考文献は講義で示す。

4. 備考

成績は、出席状況と課題レポートの結果で評価する。

(4)選択必修科目の講師一覧

01AD523 環境防災計画論ⅠⅡ

教員：桜井 亘ほか

月日		講師	内容	備考
4月	17日	休講		
	24日	西井 洋史（国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ長）	総論	
5月	8日	桜井 亘（国土技術政策総合研究所土砂災害研究部研究室長）	国土保全の砂防	
	15日	内田 太郎（国土技術政策総合研究所土砂災害研究部主任研究官）	推計砂防調査計画	
	22日	内田 太郎	水系砂防被害推定手法	
	29日	藤村 直樹（国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ主任研究員）	土石流概論	
6月	5日	石井 靖雄（国立研究開発法人土木研究所土砂管理研究グループ上席研究員）	土石流・流木対策調査・計画	
	12日	藤村 直樹	土石流・流木対策設計	
	19日	桜井 亘	大規模土砂災害の復旧・復興	
	26日	西井 洋史	砂防計画の基本（砂防の枠組み）・まとめ	

月日		講師	内容	備考
4月	17日	牧野 裕至 ((株)ニュージェック 執行役員)	災害の視座から過去を知り、未来を考える (概論)	
	24日	牧野 裕至	ハード対策とソフト対策 防災における環境防災施設の役割	
5月	8日	林 数一 (砂防施工管理研究会)	環境防災施設の実際 石積み堰堤	
	15日	牧野 裕至	住民と旅行者から見た環境防災設備	
	22日	安齋 徳夫 (国土交通省関東地方整備局企画部工事品質調整官)	環境防災施設の管理と長寿命化	
6月	5日	牧野 裕至	環境防災施設の今後	
	12日	牧野 裕至	先人に学ぶ 環境防災施設に関する書籍 より	
	19日			
	26日	牧野 裕至	まとめ	

月日		講師	内容	備考
4月	17日	秋山 一弥 (筑波大学准教授)	危機管理に関する総論	
	24日	秋山 一弥	災害対策と危機管理①防災に関する法律	
5月	8日	秋山 一弥	災害対策と危機管理②防災に関する組織	
	15日	秋山 一弥	防災情報と危機管理	
	22日	秋山 一弥	大規模土砂災害の発生事例	
	29日	秋山 一弥	大規模土砂災害発生時の応急対策	
6月	5日	秋山 一弥	土砂災害緊急情報・緊急調査	
	12日	秋山 一弥	深層崩壊の発生機構と危険箇所抽出法	
	19日	秋山 一弥	土砂災害発生時の危機管理と広報 (マスコミ対応)	
	26日	秋山 一弥	土砂災害発生時の住民避難と防災訓練	

(5)履修登録者数一覧

学期	曜時限	科目名	履修登録者数			備考
			M1	M2	計	
春 学期	火3・4	環境防災学	25 (26)	2 (2)	27 (28)	
	月3	環境防災計画論 I	6 (6)	3 (3)	9 (9)	
	月4	環境防災施設論 I	9 (9)	3 (3)	12 (12)	
	月2	環境防災危機管理論	10 (10)	0 (0)	10 (10)	

(注) 上段：単位取得者数、下段：履修登録者数

(6) 講座専攻院生

平成 29 年度の環境防災学講座専攻院生は、以下のとおりである。

博士後期課程 0 名

博士前期課程 2 年 3 名

1 年 0 名

課程	氏 名	学 年	備 考
前 期	塚原 直幸	2 年	社会人学生
	後藤（木村）美香	2 年	社会人学生
	笠原 友樹	2 年	一般学生

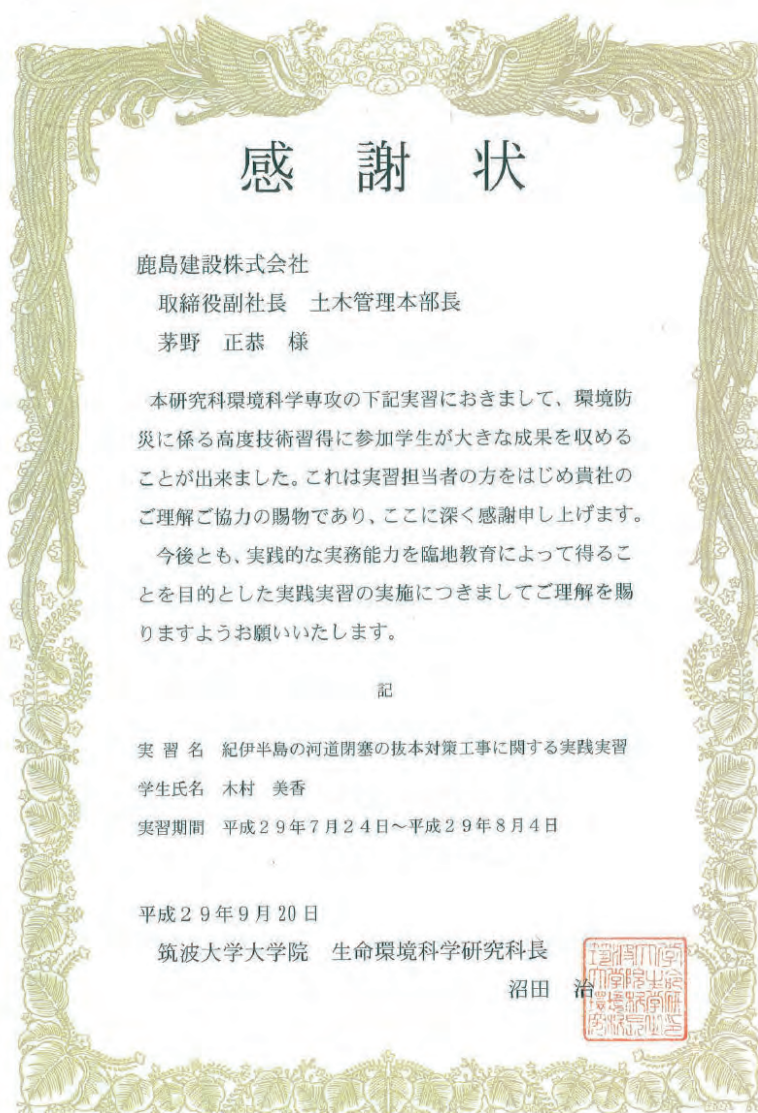
2.2.2 実践実習

環境科学専攻と持続環境学専攻では、実践能力を養うため、国内と海外でさまざまなインターンシップを行っている。環境防災学プログラムは、環境防災に関わるフィールドでの実践実習がプログラムの履修が必修となっている。平成 29 年度は、以下のとおり、1 名が中期実践実習を履修した。「期間」は現地における実習期間である。

・環境科学実践実習Ⅲ（M2）

氏名	実習先	実習名	期間
後藤（木村） 美香	鹿島建設(株)	紀伊半島大水害で発生した河道閉塞対策工事に関する実践実習	H29.7.24～8.4

学生を受け入れ実践実習について指導していただいた鹿島建設株式会社に、生命環境科学研究科長から感謝状を贈った。



2.2.3 プログラム修了生

平成 29 年度のプログラム修了生は以下の 2 名であり、このうち環境防災学講座に所属していた学生は塚原、後藤（木村）（博士前期課程）の 2 名である。プログラムの修了生には、学位記のほかプログラム修了証が授与された。

氏名	専 攻	博 士 論 文・修 士 論 文	指導教員
塚原 直幸	環境科学	荒廃溪流における土砂動態と濁度の関係性	西本晴男
後藤（木村） 美香	環境科学	昭和 5（1930）年に発生した北伊豆地震の特性 と土砂災害発生機構の関係	西本晴男

2.2.4 その他

（1）専攻共通科目

環境防災学講座の秋山准教授が平成 29 年度に行った専攻共通科目の講義は以下のとおりである。

月 日	科目番号	授業科目名	内 容
10 月 17 日～ 11 月 14 日 火曜日 3・4 限	01AD592	Prevention And Mitigation Of Sediment Disaster	土砂災害の概論、土石流災害の特徴、地すべり・ がけ崩れ災害の特徴、土砂災害のハード対策（構 造物）、大規模土砂災害、土砂災害の対策（行政 と法律、避難）、土砂災害のソフト対策（気象・ 土砂災害警戒情報）、土砂災害のソフト対策（土 地利用規制・ハザードマップ）

2.3 研究活動

2.3.1 研究発表

平成 29 年度の環境防災学講座の常勤教員及び学生の発表論文等は、原著論文 4 編、その他 7 編（砂防学会研究発表会 4 編、その他 3 編）を発表した。

以下に論文のリストを記載する。

（1）原著論文

- 1) 西本晴男：東京帝国大学砂防講座外国人教師，アメリゴ・ホフマンの業績についての一考察，Vol.70, No.5, pp.24-33, 2018.1
- 2) 西本晴男：近代砂防草創期の砂防教育事情，Vol.70, No.5, pp.15-23, 2018.1
- 3) 西本晴男：日本人初の砂防担当教授・諸戸北郎の近代砂防における業績，砂防学会誌, Vol.70, No.3, pp.13-24, 2017.10
- 4) 照沼利浩，水野秀明，西本 晴男：災害対応に要する時間の推定モデルー複数のパスからなる災害対応への適用ー，自然災害科学，Vol.36, No.2, pp.167-178, 2017.8

（2）その他論文

- 1) 秋山一弥，塚原直幸：小型ドローンを用いた全層雪崩の調査，雪氷研究大会（2017・十日町）講演要旨集，p.80, 2017.9
- 2) 秋山一弥，和泉薫：新潟県下越地域で発生した雪崩災害の統計と特徴，雪氷研究大会（2017・十日町）講演要旨集，p.216, 2017.9
- 3) 秋山一弥，笠原友樹，吉田喜高：多視点撮影画像を用いた砂防施設のモデリング，第 56 回日本地すべり学会研究発表会講演集，pp.207-208, 2017.8
- 4) 西本晴男，倉持紀子，森俊勇：デモンゼー著書「溪流および山腹工事」について，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.258-259, 2017.5
- 5) 秋山怜子，宮本邦明，西本晴男：崩壊発生時における土層の地下水深解析法，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.612-613, 2017.5
- 6) 笠原友樹，秋山一弥，吉田喜高：画像解析による石積み堰堤の調査，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.788-789, 2017.5
- 7) 吉田喜高，西本晴男，瀬戸秀治：オーストリア・イタリア東部国境地域における土石流対策，平成 29 年度砂防学会研究発表会概要集，pp.802-803, 2017.5

2.3.2 現地調査

1) 平成 29 年 4 月 3 日～6 日：岩手県・宮城県

1. 調査概要

1.1 調査期間

平成 29 年 4 月 3 日（木）～6 日（金）

1.2 調査参加者

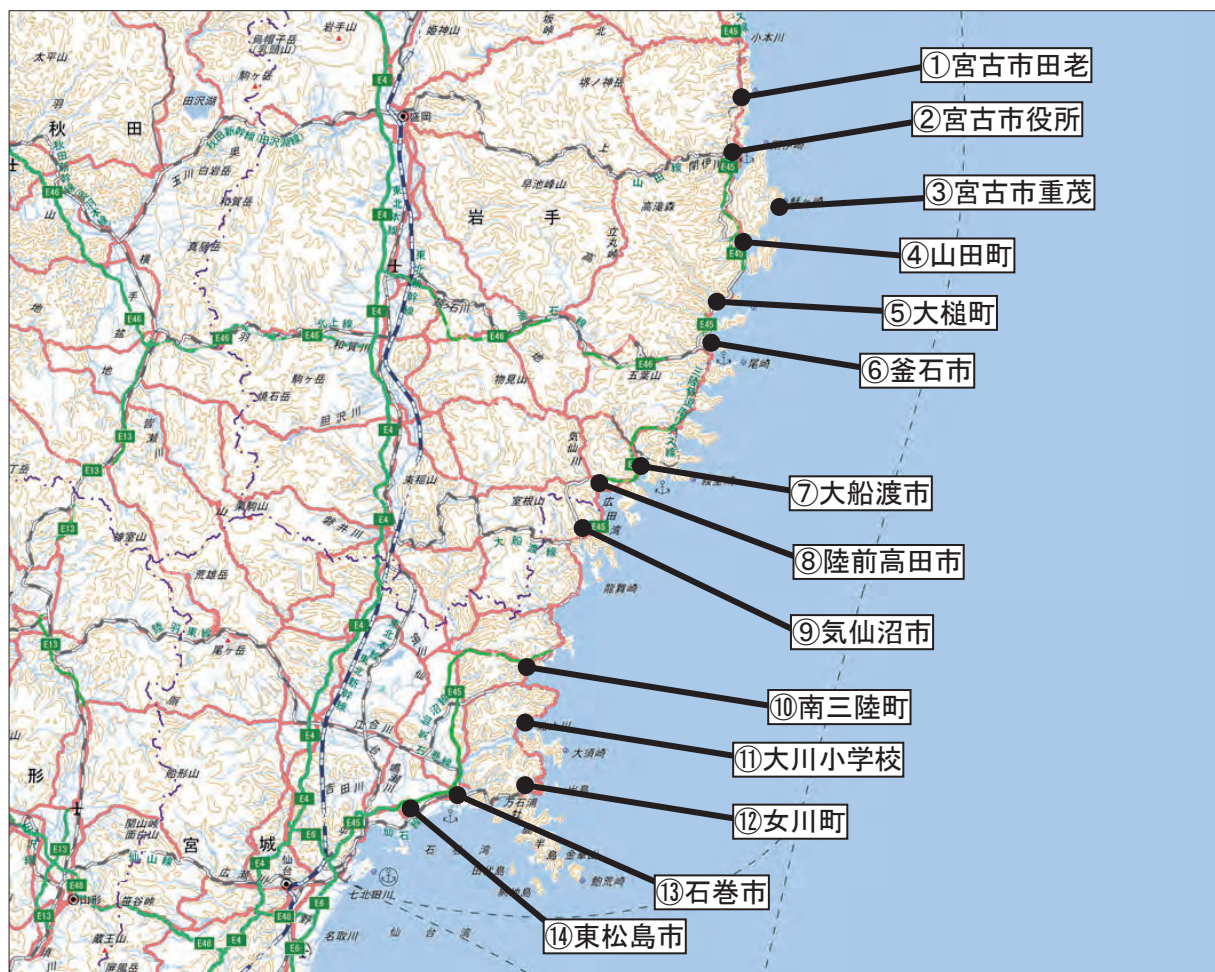
○教員 西本晴男 教授

○博士前期課程 2 年 塚原直幸，後藤（木村）美香

1.3 調査目的

震災から 6 年が経過した現地の復旧・復興状況を調査し、大規模な災害が発生した場合に地域の防災のあり方、被災後の地域の復興のあり方及び効果的な防災施設整備の在り方を考えるため、平成 29 年 4 月 3 日から 6 日にかけて、平成 23 年 3 月 11 日の東日本大震災の岩手・宮城県の被災地を訪れた。

1.4 調査箇所



調査位置図(国土地理院：地理院地図より)

①宮古市田老

被災地は現在復旧工事が行われているが、いまだ更地の箇所も多い。住宅地は高台に移転しており、被災箇所にはグラウンド施設等が設置されている。



被災地現況



新たに設置されたグラウンド

防潮堤は津波で破壊され、復旧作業が行われている。海岸沿いには新たな堤防の設置が行われている。



破壊された防潮堤



新たな堤防

過去に 10m 以上の津波が多数発生しているが、東日本大震災時の津波は過去最大級の規模であった。



過去の津波の記録

過去の震災を後世に伝えるため、昭和 9 年に津波到達及び避難促進について記された石碑が設置された。また高台に避難のための避難路(手すり付きのスロープ)が、町の到る所に造られている。



石碑



高台への避難路

【学ぶ防災】

津波の恐ろしさと早期避難の大切さを人々に伝えるため、宮古観光文化交流協会による「学ぶ防災ガイド」が行われている。学ぶ防災ガイドでは、津波発生時の状況、住民の避難状況の説明や、たろう観光ホテル(災害遺構として残されている)から撮影された津波襲来時の映像の上映等が行われている。



ガイドによる説明



災害遺構のたろう観光ホテル

②宮古市役所

宮古市役所付近はほぼ復旧している。後世に津波の危険性を伝えるため、津波到達高さを示している。



津波到達時の状況①(岩手日報社, 2011)



平成 28 年の宮古市の様子



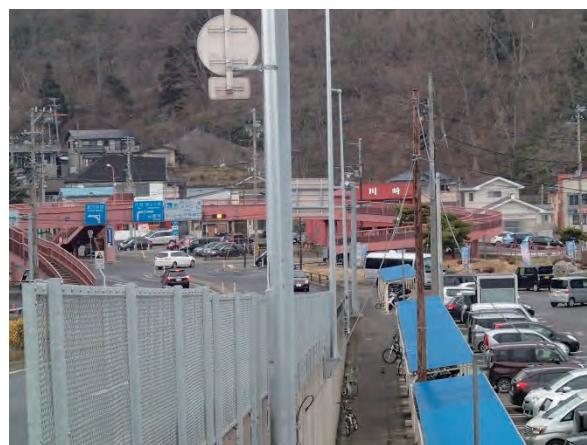
宮古市の現況①



津波到達高さの明示



津波到達時の状況②(岩手日報社, 2011)



津波到達時の状況②

③宮古市重茂

重茂地区には昭和 8 年の昭和三陸地震後に設置された石碑が建っている。この石碑には津波到達の危険性を伝えるため、「此处より下に家を建てるな」と記載されており、現在でもこの石碑より海岸側には住家は建てられていない。



津波到達の石碑



津波到達の石碑遠景

東日本大震災時の津波は、この石碑より約 100m 海岸側まで到達しているが、津波による人的被害や家屋被害は発生していない。津波後、新たに津波到達地点の石碑が設置された。



東日本大震災時の津波到達の石碑



東日本大震災時の津波到達の石碑遠景

④山田町

海岸沿いに、約 1.8km、高さ約 9.7m の堤防設置工事が行われている。



堤防施工状況



設置された堤防①



設置された堤防②

復旧・再建されている建物もあるが、現在も地盤の嵩上げ工事が行われている。



被災地全景



盛土による嵩上げ工事状況

後世に震災を伝えるため、被災した JR 陸中山田駅に設置されていた大時計(被災時刻の 3 時 27 分で止まっている)と、犠牲者を祀る「鎮魂と希望の鐘」が公園に設置されている。



JR 陸中山田駅に設置されていた大時計



鎮魂と希望の鐘

⑤大槌町

現在も被災地の復旧工事が実施されている。平成 28 年時の状況と比較すると、道路や家屋が復旧されているところもあるが、いまだ更地が多い状況である。また後世に震災を伝えるため、災害遺構として被災した建物が残されているほか、高台には犠牲者を祀る「希望の灯り」が設置されている。



平成 28 年の大槌町の様子



大槌町の現況



災害遺構



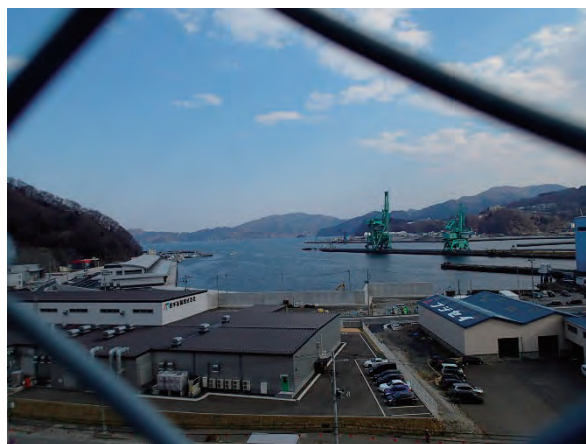
希望の灯り

⑥釜石市

海岸沿いに堤防設置工事が実施されている。平成 28 年時は堤防設置工事は実施されていなかった。盛土による地盤の嵩上げ工事も計画されている。また建物の多くは復旧されている。



平成 28 年の釜石市の様子



釜石市の現況



設置中の堤防



嵩上げの計画高



被災地全景①



被災地全景②

後世に津波の危険性を伝えるため、津波到達高さを示しているほか、住民が迅速に避難できるよう高台への避難場所の明示を行っている。



津波到達高さの明示



左写真の近景



津波避難場所の明示①



津波避難場所の明示②

⑦大船渡市

平成 28 年時と比較して、道路や建物が多くなっており復旧が進んでいる状況である。防波堤も復旧されている。



平成 28 年の大船渡市の様子



大船渡市の現況



平成 28 年時の防波堤の状況



防波堤の現況

⑧陸前高田市

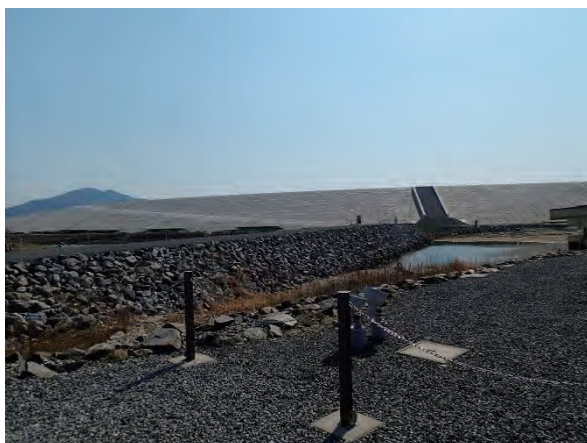
被災地は現在復旧工事中で、地盤の嵩上げ作業が行われており、海岸沿いには堤防が設置されている。



地盤の嵩上げ状況①



地盤の嵩上げ状況②



設置された堤防



堤防の近景

被災地の海岸沿いに約 7 万本の松の木が植林されており、津波によりなぎ倒されたが、一本の松の木が津波に耐えて立ったままとなっていた(奇跡の一本松)。奇跡の一本松はバス停より徒歩約 15 分の場所に立っており、途中には安全面を考慮して避難路の看板が立てられている。



奇跡の一本松



避難路の看板

後世に震災を伝えるため、被災した建物を災害遺構として残しているほか、津波被害に関する展示施設も造られている。



災害遺構①



災害遺構②



被災した道の駅



津波被害に関する展示

震災により気仙沼線及び大船渡線が被災した。鉄道の運行が困難となった区間については「BRT(バス高速輸送システム)」としてバスによる運行が行われている。BRT の路線の一部区間は鉄道の線路を道路に改良して使用している。



BRT のバス



BRT のバス停

⑨気仙沼市

被災地は現在復旧工事中で、地盤の嵩上げ作業等が行われている。



平成 28 年の気仙沼市の様子



気仙沼市の現①



気仙沼市の現況②



気仙沼市の現況③

⑩南三陸町

被災地は大規模な嵩上げ工事と堤防の設置工事が行われている。いまだ更地が広がっている状況である。



南三陸町の現況



地盤の嵩上げ及び堤防設置状況①



地盤の嵩上げ及び堤防設置状況②

被災した志津川地区の事業者により、2012年に「南三陸さんさん商店街」が開設された。様々な催しが開催されており、観光拠点となっている。



南三陸さんさん商店街①



南三陸さんさん商店街②

⑪大川小学校

大川小学校は石巻市にあり、津波により児童 84 名と教員 13 名が犠牲となった。小学校は災害遺構として残っており、津波到達高さも明示している。また犠牲者を祀るため、慰霊碑が設置されている。被災地は現在更地となっている。



大川小学校



大川小学校の破損状況



慰霊碑①



慰霊碑②



津波到達高さの明示

⑫女川町

被災地は嵩上げ工事と堤防の設置工事が行われているが、いまだ更地が広がっている状況である。高台に建っていた病院の一階部分も津波により浸水しており、津波到達高さが明示されている。



港の復旧状況



高盛土工事の状況



女川町地域医療センター



同左の柱の津波到達高さの表示

被災した JR 女川駅は高台に復旧され、周辺には公共施設や観光施設が造られている。



復旧した JR 女川駅



同左のホーム

⑬石巻市

被災地は嵩上げ工事と堤防の設置工事が行われているが、いまだ更地が広がっている状況である。高台には震災を後世に伝えるための石碑が設置されている。



高台から望む旧北上川河口



津波被災地と高盛土工事



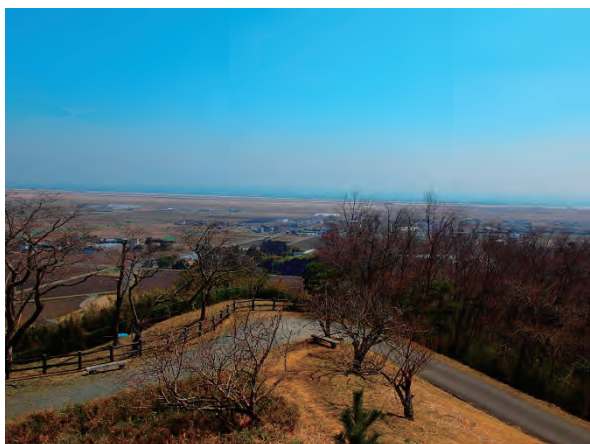
高台の津波記念碑



同左の碑文

⑭東松島市

高台には犠牲者を祀るため、慰霊碑が設置されている。



高台から望む津波被災地



高台にある慰霊碑

2)平成 29 年 4 月 20 日～21 日：六甲砂防

1. 調査概要

1.1 調査期間

平成 29 年 4 月 20 日（木）～21 日（金）

1.2 調査参加者

○教員 西本晴男 教授

○博士前期課程 2 年 塚原直幸，後藤（木村）美香

1.3 調査目的

本調査は日本で初めて実施された「溪流砂防工事」である逆瀬川の砂防及び六甲砂防事務所管内の現地調査を行うことにより、砂防事業の計画・設計・施工に関する知識を深めることを目的とする。

1.4 調査箇所

調査を実施した箇所および日程を表 1.4.1、図 1.4.1 に示す。

表 1.4.1 調査箇所一覧表

箇所名		備考
20 日（木）		
逆瀬川砂防		日本初の溪流砂防
21 日（金）		
六甲砂防事業	焼ヶ原堰堤	兵庫県南部地震による斜面崩壊対策
	五助堰堤	昭和 42 年大水害で効果を発揮
	渦ヶ森グリーンベルト	グリーンベルト事業の見本林
	保久良地区斜面对策	植生と崩壊対策
	剣谷第四堰堤	鋼製透過型堰堤



※図中の緑ハッチング部はグリーンベルト対象区域（概略）

図 1.4.1 調査位置図

2. 調査内容

2.1 逆瀬川

明治期の砂防工事といえば山腹工が一般的であり、逆瀬川においては明治 28 年より、山腹工が施されてきたが、溪流侵食に起因する山腹崩壊および堆積土砂の流出が治まらなかった。そこで、昭和 3 年より、護岸工と床固工を組み合わせた溪流砂防工事が日本で初めて実施された（兵庫県資料より）。

これらの施設により、溪床が安定して山腹崩壊の防止、土砂流出の抑制が図られてきた結果、山には木々が生き茂り、下流域での洪水被害が減少した。また、逆瀬川の一部は「砂防清流ふれあいゾーン」（写真 2.1.3）として整備されており、砂防教育の場ともなっている。



写真 2.1.1 逆瀬川と武庫川の合流部



写真 2.1.2 床固工群



写真 2.1.3 砂防清流ふれあいゾーン



「兵庫県資料」に引用加筆

2.2 六甲砂防事業

六甲山系は断層の活動、風化した花崗岩の分布のため、土砂災害の危険性が高い地域である。急峻な山地から瀬戸内海に注ぐ河川では、多くの土砂供給のため洪水が頻発し、その度に洪水氾濫防止のため堤防を高くした結果、写真 2.2.1～2.2.4 に示すように、周囲の街の地盤高よりも河床地盤が高い天井川が形成されてきた。

本地域ではこれまで、昭和 13 年 7 月の阪神大水害、昭和 42 年 7 月の大水害、平成 7 年 1 月の兵庫県南部地震による災害など多くの土砂災害に見舞われてきた。また、経済成長に伴い六甲山系を這い上がるように市街地化が進んだため、土砂災害の潜在的な危険性が高い箇所が多く存在する。六甲砂防事務所では土砂災害の危険性が高い箇所への施設整備を進めつつ、「六甲山系グリーンベルト」事業として、市街地に面する斜面について、安全性を確保するための管理の一環として、土地の取得を行うとともに斜面对策を行っている。



写真 2.2.1 天井川の状況 (1)



写真 2.2.2 天井川の状況 (2)

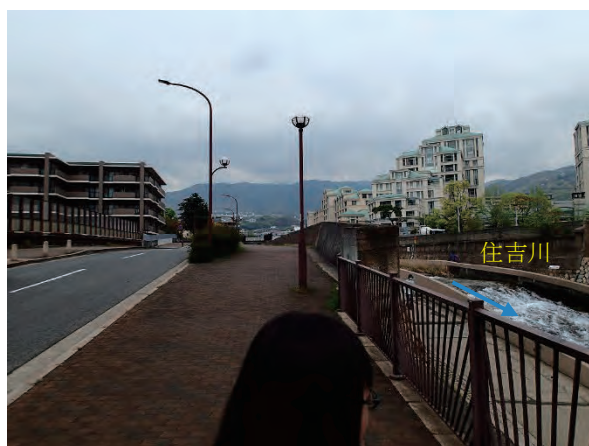


写真 2.2.3 天井川の状況 (3)



写真 2.2.4 住吉川と背後地の高低差

2.2.1 焼ヶ原堰堤

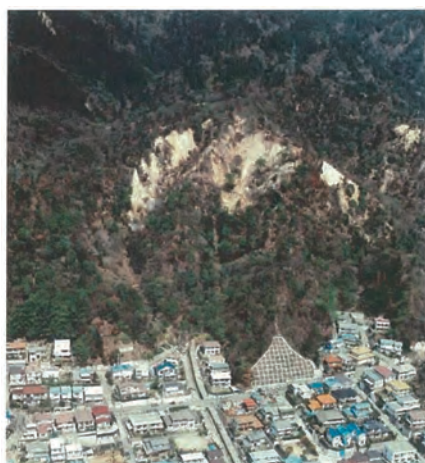
平成7年に発生した兵庫県南部地震により、住吉山手地区では住宅地背後で山腹崩壊が発生した。幸い、崩壊土砂は住宅地までには到達せず、直接的な被害には至らなかったが、土砂災害に対する住民の不安感が高まる結果となった。そのため、住民からの要望もあり、本地区では写真2.2.5に示す堰堤1基（H=14.0m）、その上流側に堰堤2基（H=9.0m、14.0m）が整備された。写真2.2.6に示すように谷出口と住宅地が近接しており、本施設は防災上非常に重要な役割を担っている。



写真 2.2.5 焼ヶ原堰堤



写真 2.2.6 焼ヶ原堰堤と保全対象



震災直後（平成7年4月）

【焼ヶ原堰堤】

溪流番号：I-221

施設効果量：3,089m³

土砂整備量：3,037m³

流木整備量：52m³



焼ヶ原堰堤

対策完了後（平成12年3月）



焼ヶ原堰堤

現在（平成27年10月）

「六甲砂防事務所資料」より

2.2.2 五助堰堤

五助堰堤は昭和 32 年に竣工した貯砂量 37.4 万 m^3 ※、高さ $H=30.0\text{m}$ の練石積構造であり、六甲山系の砂防堰堤の中でも最大級の規模である。竣工から 10 年後の昭和 42 年 7 月災害時には、およそ 12 万 m^3 の土砂を貯留し、下流部での土砂災害を防止した。現在では満砂している堆砂敷に遊歩道が整備されており（写真 2.2.8、2.2.9）、好天時には周辺を散策できる。



写真 2.2.7 五助堰堤



写真 2.2.8 五助堰堤堆砂敷（1）



写真 2.2.9 五助堰堤堆砂敷（2）



災害前



災害後（12万 m^3 の土石流を貯留）

「六甲砂防事務所パンフレット」より

※「六甲山系住吉川五助堰堤工事報告（豊田安富，新砂防 Vol. 1958，No. 29）」より

2.2.3 渦ヶ森グリーンベルト

六甲山系では①土砂災害の防止、②都市のスプロール化の防止、③良好な都市環境、風致景観、生態系および種の多様性の保全・育成、④健全なレクリエーションの場の提供を目的として、グリーンベルト事業が実施されている。グリーンベルト事業では「様々な高さの木や下草がバランス良く生え、いろいろな年齢・樹種により構成された樹林」を目標とした樹林整備を行っている。その中で渦ヶ森地区は樹林整備を行う一方、見本林として見学コースが設けられており、理想的な樹林の整備状況を見学することができる。

渦ヶ森地区では、事業に賛同する民間企業による間伐が実施されていた（写真 2.2.10）ほか、高圧線に接触しないよう樹種選定に工夫がされる（写真 2.2.11）。



写真 2.2.10 間伐された樹林



写真 2.2.11 高圧線と低木

2.2.4 保久良地区斜面对策

保久良地区では平成 25 年の台風 15 号、台風 18 号の影響により、斜面崩壊が発生した。その災害復旧とグリーンベルト事業の一環として斜面崩壊対策工事が実施された。本地区で採用された対策工法は、連結したワイヤーをアンカーで固定した構造（ノンフレーム工法）であり、コンクリートやモルタルを使用した法枠工、吹付工等と違い、植生を保護したまま斜面崩壊対策が可能であり、複雑な地形にも追従可能である。六甲山系では植生の保護の観点から、斜面の安定性が確保できる場合は本工法が積極的に採用されている。



写真 2.2.12 ノンフレーム工法 (1)



写真 2.2.13 ノンフレーム工法 (2)

2.2.5 剣谷第四堰堤

剣谷第四堰堤は高さ $H=12.5\text{m}$ の鋼製透過型砂防堰堤であり、保全対象である人家 100 戸を土石流から守るために建設された。施設上下流の流路には底張として、現地で発生した $\phi 300\sim 500\text{mm}$ 程度の花崗岩の石材が敷設されている（写真 2.2.14、2.2.15）。

また、堰堤下流の右岸側上部斜面には石筋工と思われる石積が見られた（写真 2.2.16）。これらは、明治時代以降に行われた山腹工ではないかと六甲砂防事務所では考えている。



写真 2.2.14 剣谷第四堰堤

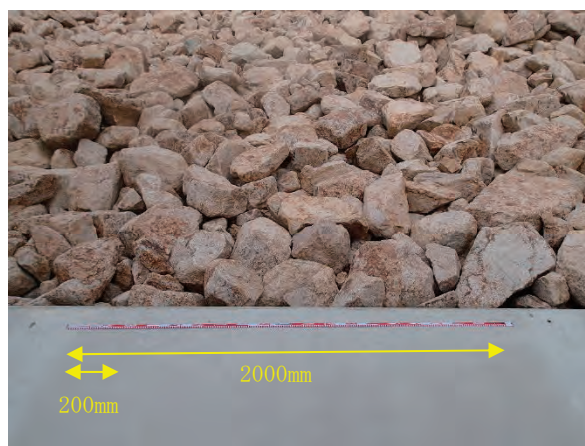


写真 2.2.15 花崗岩レキ



写真 2.2.16 堰堤下流右岸の石積



写真 2.2.17 鋼製スリット部

3)平成 29 年 8 月 28 日～30 日：北海道

1. 調査概要

1.1 調査期間

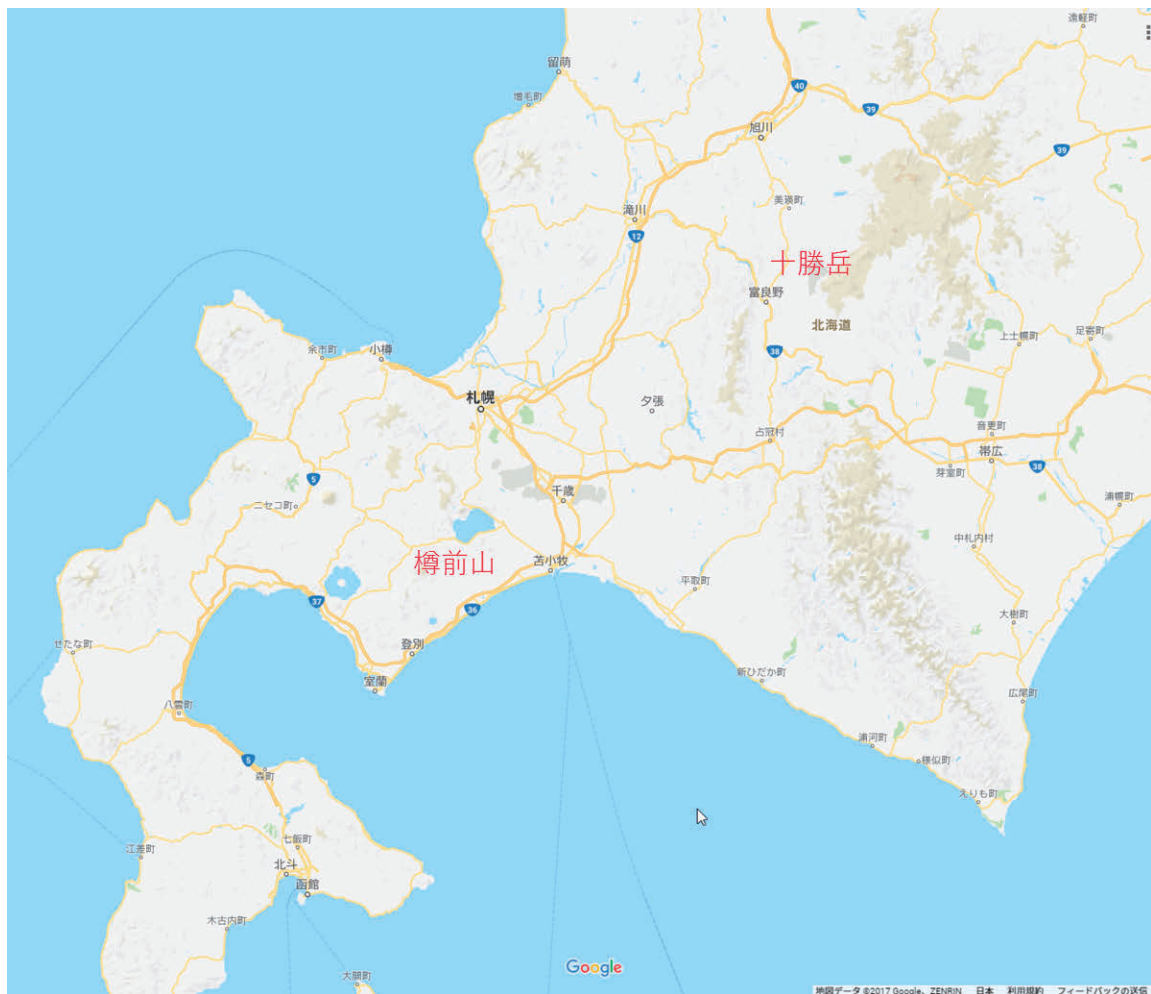
平成 29 年 8 月 28 日（月）～30 日（水）

1.2 調査参加者

○教員 西本晴男 教授

○博士前期課程 2 年 塚原直幸，後藤（木村）美香，笠原友樹

1.3 調査地概要



調査地（google マップ一部加筆）

1 樽前山

樽前山(標高 1,041m)は、約 4 万年前の支笏火山噴火後に誕生した活火山で、約 9 千年前に活動を開始した。1667 年から 1978 年までに大～小規模の噴火を繰り返している。1667 年および 1739 年の大規模噴火では、大量の火砕物を噴出し、火砕流が流下して、森林の消失や家屋の埋没などにより、多くの犠牲者が発生した。

樽前山では、火山噴火に伴う泥流の氾濫を抑制し火山泥流災害の軽減を目的として、平成 6 年度に直轄火山砂防事業が着手された。火山砂防事業では、過去 200 年程度で最大規模の噴火である 1739 年噴火と同規模の噴火により発生する融雪型火山泥流を対象としており、計画対象土砂量は約 32 万 m^3 である。火山泥流には、堆積した火砕物が降雨により流下することにより発生する『降雨型火山泥流』と、高温の火砕物により雪や氷が溶けて発生する『融雪型火山泥流』がある。泥流の規模は融雪型火山泥流の方が大きく、樽前山における計画泥流量は融雪型火山泥流が 32,140 千 m^3 、降雨型火山泥流が 2,945 千 m^3 である。

1.1 錦多峰川 2 号遊砂地

平成 13 年度に着手され、17 年度に完成した。鋼製セル型堰堤が 9 基設置してあり、小規模から大規模な噴火にまで対応する。



鋼製セル型堰堤



全景の写った説明版

1.2 樽前山覚生川 1号堰堤

堰堤高さ 14.5m，直径 22～29m のセル 13 基からなる透過型堰堤であり，幅 1.7m のスリットを 1箇所設けている．堰長は 342m，水通し幅は 181m

下記に 2013 年～完成までの経過写真を示す。



樽前山覚生川 鋼製セル型堰堤 (2013)



樽前山覚生川 鋼製セル型堰堤 (2013)



樽前山覚生川 鋼製セル型堰堤 (2014)



樽前山覚生川 鋼製セル型堰堤 (2014)



樽前山覚生川 鋼製セル型堰堤 (2017)



樽前山覚生川 鋼製セル型堰堤 (2017)

1.3 樽前山覚生川 2号堰堤

現在施工中の堰堤。堰堤高さ 14.5m, 直径 26~31m のセル 8 基からなる透過型堰堤であり, 幅 1.7m のスリットを 1 箇所設けている。堰長は 235m, 水通し幅は 128m の計画である。



鋼製セル型堰堤施工の様子



鋼製セル型堰堤施工の様子

2. 十勝岳

十勝岳（標高 2,077m）は、北海道の中央部の大雪—十勝火山列の南西端に位置する活動的な活火山である。記録に残されている主な噴火活動は、1857 年（安政 4 年）、1887 年（明治 20 年）、1926 年（大正 15 年）、1692 年（昭和 37 年）、1988~89 年（昭和 63 年~平成元年）であり、最近 100 年では 30~40 年おきに噴火を繰り返している。前兆現象としては、20 世紀の 3 回の事例をみるといずれの場合も噴火の数年前から噴煙量増加・下降温度上昇など熱活動活発化を示す事象が現れ、数か月前から有感地震を含む 地震活動が活発化している。特に 1926 年（大正 15 年）5 月 24 日の噴火では山頂北西部の斜面が崩壊し岩屑なだれが発生した。高温の崩壊土砂は積雪を急速に溶かし、大規模な融雪型火山泥流となって、上富良野川、美瑛川に流下した。このときの火山泥流は大正泥流と呼ばれている。大正泥流による死者行方不明者は 144 人、建物の被害は 372 棟に及ぶ大災害となった。

2.1 十勝岳美瑛川第 1 号堰堤

十勝岳では昭和 63 年の噴火をきっかけに、平成元年に「十勝岳火山泥流対策基本計画」が策定され、直轄火山砂防事業に着手している。大正泥流と同規模の融雪型火山泥流（泥流総量 1,900 万 m³）を対象としている。

十勝岳の砂防施設整備は、美瑛川筋は北海道開発局、富良野川筋は北海道庁による砂防施設が整備され、白金温泉より上流は北海道森林管理局により治山施設が整備されている。

下記に十勝岳美瑛川第一号堰堤の写真を示す。2013 年調査では、施工途中であったが、今回調査した際には、すでに完成していた。



十勝岳美瑛川第 1 号堰堤 (2013)



十勝岳美瑛川第 1 号堰堤 (2017)



十勝岳美瑛川 INSEM 工法による袖部 (2015)

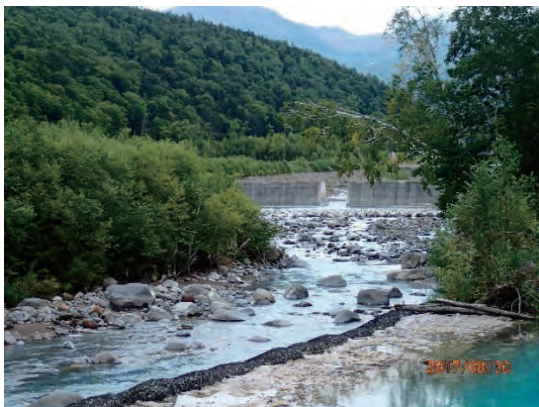


十勝岳美瑛川第 1 号堰堤を左岸から望む

2.2 青い池

1988 年 12 月に噴火した十勝岳の堆積物による火山泥流被害を防ぐために美瑛川に着工された堰堤に水が溜まったもの。

青く見える理由として、池の水に含まれる微粒子（コロイド）と光の反射で、人間の目には青く見えると考えられているが、その理由は完全に解明されていない。



青い池の放流口



青い池

2.3 富良野川4号底面スクリーンダム

スクリーンにより火山泥流から水を分離して、火山泥流を減勢する施設である。平成元年～2年に施工された。現在の延長は40mだが、将来的には80mまで伸ばす計画もある。泥流の発生部では前述の床固工群により浸食を防ぎ、泥流の流下部では底面スクリーンダムにより泥流を減勢する計画である。第2波以降はダムの側部に流す構造となっている。

底面スクリーンダムは、全国に4つしかなく他には桜島、焼岳、富士山（大沢くずれ）に設置されている。

酸性水によって水通し部の鋼材が腐食したため、コンクリートにより補修されている。

スクリーン上部と下部に土石が堆積した場合は、重機を用いて除石が行われる。竣工から20年程度経過しているが、この間に泥流・土石流は発生していない。



富良野川4号底面スクリーンダム全景



富良野川4号底面スクリーンダム下流面



富良野川4号底面スクリーンダム内部



一部、損傷した様子も見られた。

2.4 富良野川 2号透過ダム

鋼製透過型堰堤であり、堤長は 917m、鋼管は径 600mm、厚さ 13～25mm、鋼管の間隔は 2.0m である。鋼材の総量は 3,801t であり、総事業費は 53 億円である。平成 7 年～平成 12 年にかけて施工された。



富良野川 2号透過ダム下流面



富良野川 2号透過ダム上流面

2.5 富良野川 3号砂防ダム

上流側から本堤、第 1 副堤、第 2 副堤、垂直壁で構成される。本堤の堤高は 18m、堤長は 449m である。当初は土石流対策を目的としたため現在の第 1 副堤 1 基であった（堤高 15m、堤長 370m）が、火山泥流対策として平成 22 年に本堤・第 2 副堤・垂直壁が増築された。



富良野川 3号砂防ダム全景

4)平成 29 年 11 月 16 日～17 日：湯沢砂防

1. 調査概要

1.1 調査期間

平成 29 年 11 月 16 日（木）～17 日（金）

1.2 調査参加者

○教員

西本 晴男 教授

○博士前期課程 2 年

塚原直幸

後藤（木村）美香

笠原友樹

1.3 調査目的

本調査は湯沢砂防事務所管内で実施された砂防事業を調査することにより、砂防事業の計画・設計・施工に関する知識を深めることを目的とする。

1.4 調査箇所

調査を実施した箇所を表 1.4.1、図 1.4.1、図 1.4.2、図 1.4.3 に示す。

表 1.4.1 調査箇所一覧表

箇所名		施設名等
中津川流域	中津川	中津川上流 1 号砂防堰堤
		中津川床固工群
		上結東砂防堰堤
	小赤沢川	小赤沢砂防堰堤群
清津川流域	釜川	七ツ釜砂防堰堤
魚野川流域	大源太川	大源太川第 1 号砂防堰堤
	登川	登川床固工群
	芋川	神沢川
		東竹沢
		寺野
		東川

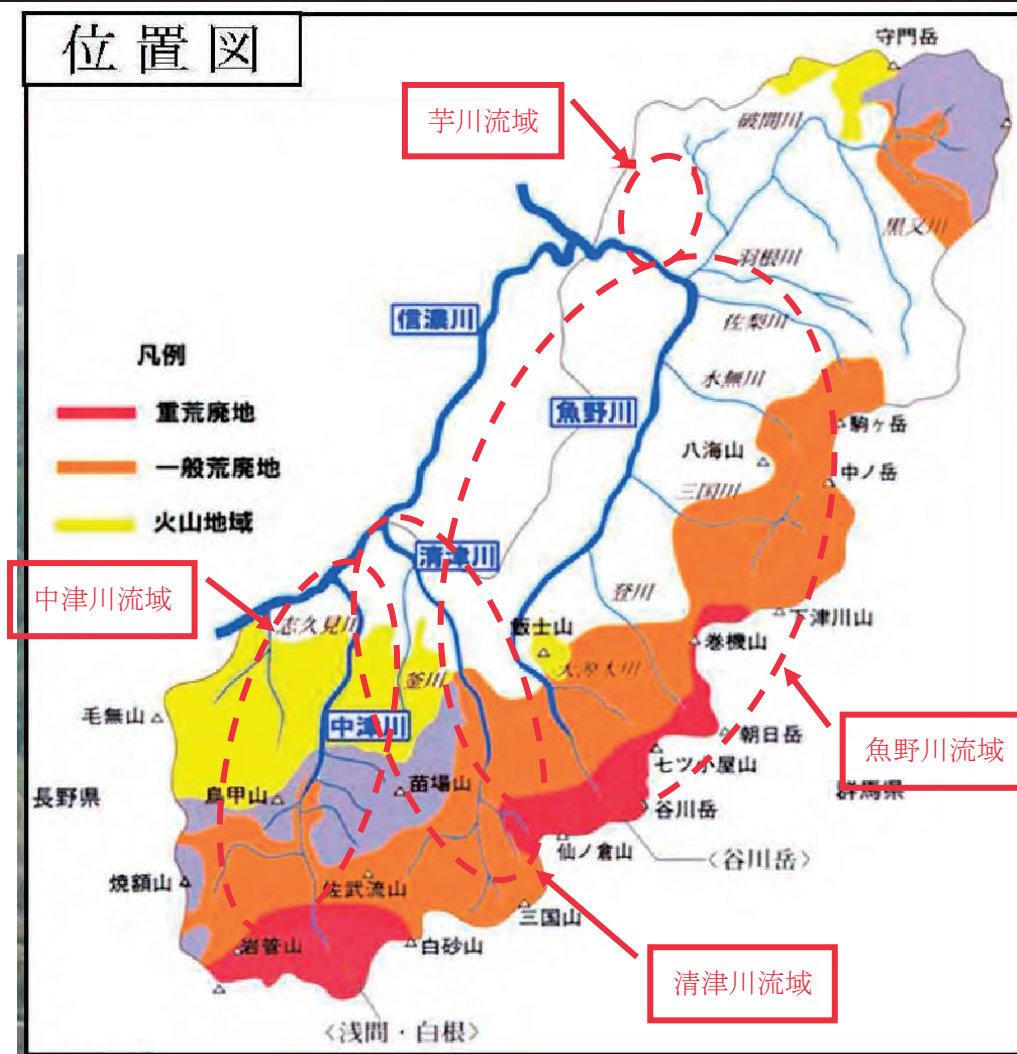


図 1.4.1 調査位置図 (1)

※湯沢砂防事務所事業計画概要引用加筆



図 1.4.2 調査位置図 (2)

※湯沢砂防事務所事業計画概要引用加筆

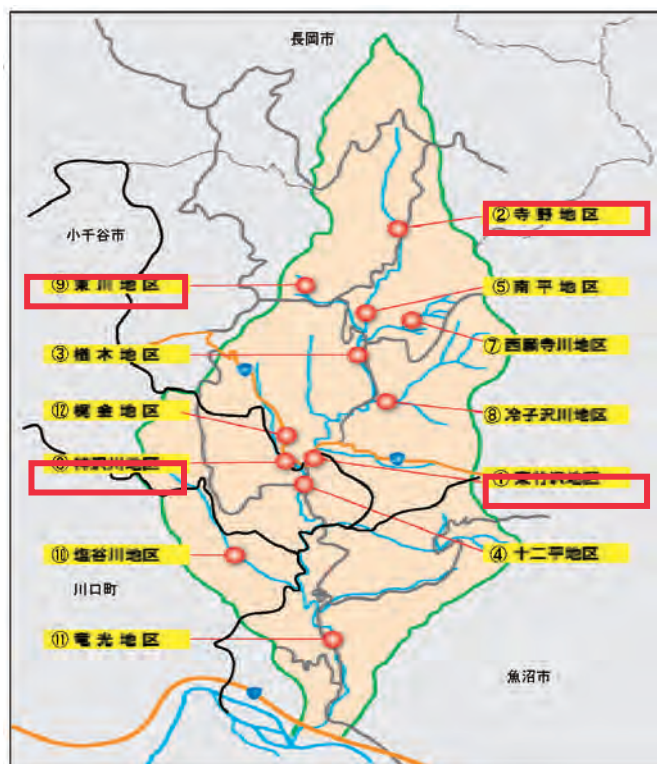


図 1.4.3 芋川調査位置図

※湯沢砂防事務所事業計画概要引用加筆

2. 調査内容

2.1 中津川流域

2.1.1 中津川

中津川は清津川と並んで信濃川に流れ込む支川で、中・上流域は長野県、下流域は新潟県に位置している。流域全体が第四期火山噴出物でおおわれており、急峻な山々は荒廃し、下流域には河岸段丘が発達している。

中津川流域では大正3年8月13日の集中豪雨による土石流災害（死者21名）、昭和20年代前半には昭和23年9月16日のアイオン台風をはじめとする豪雨により河川氾濫が多発しており、昭和26年度より清津川とともに直轄砂防事業が開始された。

1) 中津川上流1号砂防堰堤

中津川流域内には多数の崩壊地が存在し、溪床には不安定な土砂が堆積物しており、近年では昭和56年8月の台風15号や平成25年9月の台風18号による豪雨で被害が発生している。これらの被害から下流沿岸地域を保全するため、中津川本川上流部では、2基の砂防堰堤と溪流保全工の整備を計画している。中津川上流1号砂防堰堤は計画されている2基の砂防堰堤のうち下流に位置する高さ14.5mのスリット形式の透過型コンクリート砂防堰堤である。

これまで、本堰堤左右岸袖部が完了しており、本年度は副堰堤左岸袖部と側壁の一部が施工され、冬場の積雪期間に向けて後片付け工が行われていた。



図 2.1.1 中津川上流1号砂防堰堤（左岸側）



図 2.1.2 中津川上流1号砂防堰堤（右岸側）



図 2.1.3 施工時の危機管理水位



図 2.1.4 仮排水状況

2) 中津川床固工群

中津川の下流域では、上流からの流出土砂の堆積と偏流により局所的な洗堀が繰り返され、昭和 56、57、58 年に相次いで堤防・護岸が決壊した。近年では平成 25 年 9 月の台風 18 号豪雨により不安定土砂が堆積しており、これらの流出や河床上昇に起因する土砂災害を防止するために床固工群の整備が計画されている。流路延長 5.7km の間に床固工 10 基、帯工 4 基が設置される予定となっている。

現地調査を行った石坂橋上流の第 3 号床固工は、床固工としては珍しく魚道を兼ねたスリットを有しているところが特徴的である。平成 25 年 9 月 16 日に発生した台風 18 号による豪雨により、施設下流部が洗堀し、右岸側の木工沈床が露出した。また、石坂橋下流の石坂頭首工が被災し、洗堀による石坂橋への影響が懸念されたため、新潟県により床固工として復旧された。



図 2.1.5 中津川第 3 号床固工を下流から望む



図 2.1.6 木工沈床の露出状況



図 2.1.7 復旧された石坂頭首工



図 2.1.8 石坂橋の銘板

3) 上結東砂防堰堤

上結東砂防堰堤は昭和 36 年に建設された高さ 33m のアーチ式堰堤であり、株式会社関電工が事業主体となり、小水力発電設備の設置工事が実施されている。発電方式は流れ込み式であり、取水口から取り入れられた水が発電機を作動させることで発電する。発電に利用された水は昭和 36 年の堰堤築造当初に設けられた仮設排水トンネルを利用して堰堤下流に排水される。調査時には立坑の構築が行われていた。



図 2.1.9 上結東砂防堰堤を下流から望む



図 2.1.10 上結東砂防堰堤銘板



図 2.1.11 立坑を上面から望む

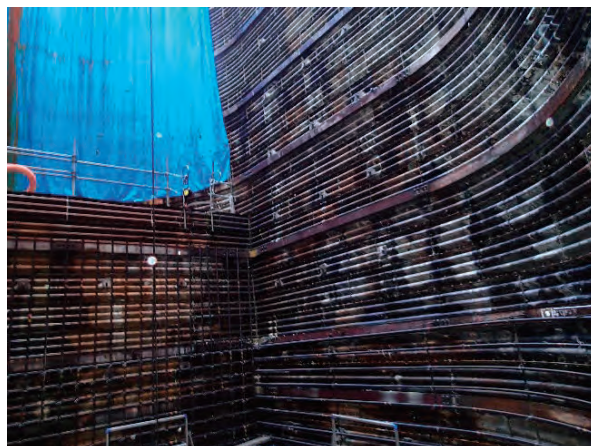


図 2.1.12 立坑内部の状況

2.1.2 小赤沢川（小赤沢川砂防堰堤群）

小赤沢川は流域面積 8.2km² の中津川右支川である。上流部は火山の苗場山に属しているため、流域は第四期の火山噴出物で構成されており、非常に脆弱な地質である。大正 3 年 8 月の豪雨では、斜面崩壊・土石流により家屋流出 5 戸、半壊 6 戸、死者 12 名の災害が発生した。このため、昭和 38 年より砂防堰堤群の整備が進められ、平成 21 年までに合計 27 基が整備された。



図 2.1.13 赤沢川砂防堰堤群を下流から望む



図 2.1.14 小赤沢川第 11 号砂防ダム堤銘板



図 2.1.15 小赤沢砂防堰堤群を上流から望む

2.2 清津川流域

清津川流域は第四紀の火山噴出物で構成された苗場山を源流とする支川からの土砂流出が顕著な状態である。中津川と同様に昭和 20 年代前半には昭和 23 年 9 月 16 日のアイオン台風をはじめとする豪雨により河川氾濫が多発し、昭和 26 年度より直轄砂防事業が開始された。

2.2.1 釜川（七ツ釜下流砂防堰堤）

釜川は清津川の下流域で合流する左支川であり、その上流部は苗場山に属しており、脆弱な火山噴出物で構成されている。中流域は新第三系中新統の凝灰角礫岩（西田尻層）と、それを貫く安産岩から構成され、両岸には安山岩の岩床が発達した柱状節理を形成しており、七ツ釜滝として国の名勝天然記念物に指定されている。

平成 7 年 4 月の融雪出水により一の滝が上流側に 130m 後退するとともに、河床洗堀による右岸法面の崩落が発生した。今後、豪雨による法面崩壊や土砂流出が懸念されるため、流出前の一の滝の現位置に七ツ釜下流砂防堰堤が建設された。施工地周辺が天然記念物に指定されているため、堰堤表面には現地の岩盤から取った型を使用して作成した擬岩ブロックが施され、人工物と岩盤の見分けがつかない状況であった。



図 2.2.1 七ツ釜砂防堰堤を下流から望む



図 2.2.2 竣工記念碑

2.3 魚野川流域

魚野川は流域面積約 1,504km²、流路延長 68.4km で管内の流域面積のうち約 3/4 を占める信濃川中流域最大の支川である。流域内の 2,000m 級の山岳地帯は活発な風化侵食作用により複雑で急峻な山地を呈し、土砂流出が顕著である。

昭和 10 年 9 月 25 日の魚沼大水害では魚野川流域の各所で山腹崩壊が発生し、魚野川本川が氾濫し大きな被害をもたらした。このため、昭和 12 年度より、直轄砂防事業が開始された。

2.3.1 大源太川（大源太川第 1 号砂防堰堤）

大源太川は流域面積 45.8km²、流路延長 9.7km の魚野川右支川である。水源は 1,597m の大源太山に発し、流域内の広範囲で花崗岩が分布しており、急峻な地形とこれらの風化により豪雨の度に土砂が流出していた。昭和 10 年の魚沼大水害でも大量の土砂流出があり、下流域で被害をもたらしたことから、大源太川では直轄砂防事業として 3 基の砂防堰堤が計画された。

大源太川第 1 号砂防堰堤は、直轄砂防事業で設置された高さ 18m のアーチ式堰堤で、昭和 13 年 5 月の着工から 1 年半後の昭和 14 年 11 月に竣工した。表面を割石で積み上げ、内部を転石とコンクリートで充填した粗石コンクリート構造を採用しており、当時高価であったコンクリートの使用量を抑えている。美しいアーチ形状と石積からなる景観と、戦前に建設されて今も現存する土木施設としての文化的価値が評価されて平成 15 年に登録有形文化財に登録、平成 23 年に土木学会の推奨土木遺産に認定された。

大源太川第 1 号砂防堰堤は完成後約 80 年が経過し、堤体内部の空洞化や漏水などの老朽化が進んでいることと、現行基準に基づいた地震時の安定性が確保できないことから、補強対策工事が実施されている。補強工種は天端幅 3m の上流側コンクリート腹付と既設堤体に対するグラウト注入による空隙充填である。工事はドライ条件で行う必要があるため、仮締切工と仮排水トンネル工による水替工が必要である。仮締切工は鋼管と鋼矢板を用いた二重締切形式であり、天端は施工ヤードとして利用できる。仮排水トンネルは NATM 工法で掘進され、覆工コンクリートは移動式のスライドセメントルを利用して打設されていた。



図 2.3.1 大源太川第 1 号砂防堰堤を下流から望む



図 2.3.2 仮締切工と仮棧橋

仮締切



図 2.3.3 主堰堤と仮排水トンネル排水口



図 2.3.4 仮排水トンネル呑口



図 2.3.5 仮排水トンネル内部のスライドセントル

2.3.2 登川（登川床固工群）

登川は流域面積 83.2km²、流路延長 18.5km の魚野川右支川である。水源は 1,954m の朝日岳に発し、流域内の広範囲で花崗岩が分布しており、急峻な地形とこれらの風化により豪雨の度に土砂が流出していた。登川では予算制約のため、必要最低限の治水対策として古くから河畔に砂防林が設けられていたが、出水の度に流出していた。その後、昭和 41 年に地元で改修促進期成同盟会が設立され、関係機関への要望が行われ、昭和 51 年度から直轄砂防事業として流路工の整備が開始された。

現在も登川上流部は荒廃が激しく、多量の不安定土砂が堆積しており、平成 23 年の新潟・福島豪雨時にも多量の土砂が流出し、局所的な洗掘・堆積が発生した。そのため、床固工が整備されていない登川下流部には新たな床固工の整備、既に床固工が整備されている登川中・上流部においては下流面が洗掘した床固工の補強と全断面魚道化が進められている。

現地調査時には既設床固工の補強と全断面魚道化工事を調査した。



図 2.3.6 No. 27 床固工堤銘板



図 2.3.7 水叩き工施工状況



図 2.3.8 現地発生材を利用した仮締切



図 2.3.9 上流の全断面魚道

2.3.3 芋川

芋川は流域面積 38.4km²、流路延長 17.2km の魚野川右支川である。水源は 679m の猿倉岳に発し、流域内の広範囲で泥岩が分布している。平成 16 年 10 月に発生した新潟県中越地震では、芋川流域に甚大な被害が発生し、砂防事業 11 箇所、地すべり対策事業 1 箇所の計 12 箇所の緊急事業が実施された。

1) 神沢川

神沢川では河道沿いで発生した山腹崩壊により河道閉塞が発生し、その崩壊土砂が下流に流出する恐れがあったため、神沢川砂防堰堤が整備された。神沢川砂防堰堤は高さ 14.5m の重力式鋼製セル型堰堤であり、5 つの円柱セルから構成され、中詰め材は東竹沢で発生した崩壊土砂を流用している。



図 2.3.10 神沢川砂防堰堤を下流側から望む

2) 東竹沢

東竹沢では大規模な地すべりが発生し、河道を閉塞させ、上流の木籠集落が水没した。崩壊土砂量は 1,295,540m³、河道閉塞は長さ 350m、幅 295m、高さ 30m であった。その後、平成 19 年には河道閉塞土砂の二次移動を防止するための東竹沢 1 号・2 号砂防堰堤が完成している。



図 2.3.11 東竹沢崩壊斜面の状況 図 2.3.12 東竹沢 1 号・2 号砂防堰堤を上流から望む



図 2.3.13 河道閉塞の影響で水没した住宅

5) 寺野

寺野地区では芋川左岸側で発生した地すべりに伴い河道閉塞が発生した。崩壊土砂量は1,040,220m³、河道閉塞は長さ360m、幅230m、高さ25mであった。その後、河道閉塞土砂の安定化のための3基の砂防堰堤が完成した。



図 2.3.14 寺野地区崩壊斜面の状況



図 2.3.15 寺野地区崩壊斜面より上流を望む

6) 東川

東川上流部で山腹崩壊が発生し、不安定な土砂が残存した。この不安定土砂が流出した場合、下流の県道が不通となるため、これらの保全を目的として平成18年に東川砂防堰堤が整備された。東川砂防堰堤は高さ14.8mのコンクリートブロック式堰堤であり、堰堤設置位置の地盤が軟弱であることから、不等沈下に追従できるよう、コンクリートブロック方式が採用された。



図 2.3.16 東川砂防堰堤を下流から望む



図 2.3.17 東川砂防堰堤下流の県道

2.4 社会連携活動

2.4.1 各種会議・講演等

- ・福井県 砂留会議

日 時：平成 29 年 10 月 21 日（土）～22 日（日）

講 師：西本晴男

講演題目：欧州の砂防遺産紀行

- ・世界の砂防遺産に関する勉強会

日 時：平成 29 年 11 月 1 日（水）15:00～

会 場：国土交通省会議室

講 師：西本晴男

講演題目：欧州の砂防遺産紀行

2.4.2 各種委員会等

平成 29 年度は、環境防災学講座の常勤教職員が委嘱を受け 5 件の委員会等に出席した。

月日	氏名	依頼元	依頼内容
H23.8.12～	西本晴男	特定非営利活動法人防災 情報研究所	理事
H26.5.29～	西本晴男	(公社)砂防学会	監事
H26.7.1～	秋山一弥	(公社)日本地すべり学会	監事
H27.11～	西本晴男	第 6 回国際土石流災害 防止会議実行委員会	第 6 回国際土石流災害防止会議論文 編集委員長

2.5 広報活動

2.5.1 ホームページ

環境防災学講座のホームページでは、環境科学専攻及び持続環境学専攻のホームページのもとに開設されており、活動レポートなどの更新を行った。

筑波大学大学院 生命環境科学研究科 環境科学専攻・持続環境学専攻

環境防災学講座

EDIP (Environment Disaster Prevention Program)



ホーム

概要

カリキュラム

活動レポート

研究室

ゼミ

研究成果

アクセス

リンク

環境防災学講座は、土砂災害対策に関する高度専門技術者を育成するため、学際的・実践的な教育・研究活動を行っています。また、調査・対策技術、政策・法令論、現地での実践実習など幅広い科目からなるカリキュラムを用意しています。

新着情報

- »2017.12.14 環境防災学講座成果報告会を11月29日（水）に実施しました。
- »2017.10.23 環境防災学講座成果報告会を11月29日（水）に開催します（参加受付は11/2に終了しました）。
- »2017.10.04 研究室・研究成果を更新しました
- »2017.08.08 研究室・研究成果を更新しました。
- »2017.04.28 活動レポートを更新しました。

» 更新履歴一覧



筑波大学
University of Tsukuba

更新履歴

- 2017.12.14 環境防災学講座成果報告会を 11 月 29 日（水）に実施しました。
- 2017.10.23 環境防災学講座成果報告会を 11 月 29 日（水）に開催します。
- 2017.10.04 研究室・研究成果を更新しました
- 2017.08.08 研究室・研究成果を更新しました。
- 2017.04.28 活動レポートを更新しました。

3. 環境防災学講座成果報告会

筑波大学大学院環境防災学講座は、土砂災害対策に関する高度な専門技術者と研究者を養成する必要性が高まってきていることをふまえ、一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構からの寄附金により平成22年4月に設置され、平成30年3月をもって8年間の活動を終了することとなった。8年間の講座の活動について学内外に報告することを目的として、環境防災学講座成果報告会を平成29年11月29日に環境防災研究棟で行い、当日は約80名が出席した。

報告会のプログラムは以下のとおりである。



環境防災学講座成果報告会

日時：平成29年11月29日（水）15:00～17:15
場所：筑波大学 環境防災研究棟 203講義室

平成25年10月 台風26号による
伊豆大島の災害
アジア航測株式会社撮影

プログラム

1) 挨拶	筑波大学 副学長（教育担当） 清水 諭
2) 来賓挨拶	一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 理事長 亀江 幸二
3) 8年間の講座活動	筑波大学大学院 環境防災学講座 西本 晴男
4) 講座修了生紹介	
5) 講座修了生による 現況報告	安海 高明（社会人学生・朝日航洋株式会社） 大村 さつき（社会人学生・応用地質株式会社） 朱 培紅（留学生・現 東亜グラウト工業株式会社） 照沼 利浩（後期課程社会人学生・株式会社パスコ）
6) 特別講演	「土砂災害対策の現状と課題」 国土交通省 砂防部長 栗原 淳一氏
7) 閉会挨拶	筑波大学大学院 生命環境科学研究科長 沼田 治

【問い合わせ先】筑波大学大学院生命環境科学研究科
持続環境学専攻、環境科学専攻
環境防災学講座 西本、秋山、赤尾 ☎ 029-853-5883

(1) 出席者一覧

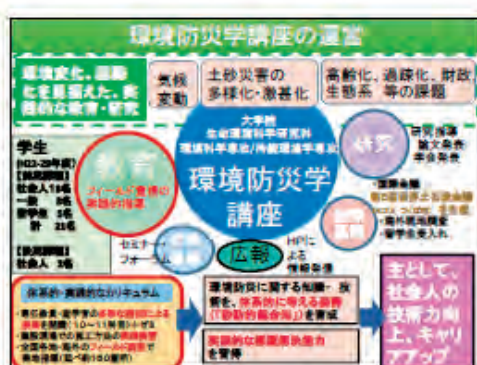
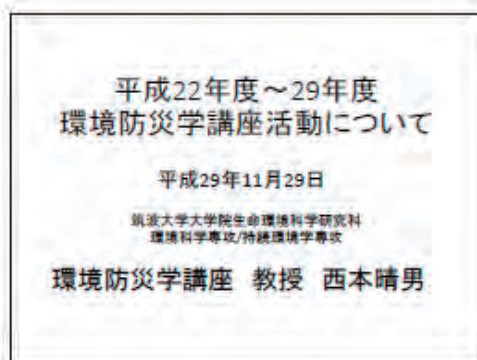
筑波大学大学院環境防災学講座成果報告会 出席者(1/2)

2017.11.29

	氏名	区分	現所属	備考
1	清水 諭	筑波大学	副学長(教育担当)	
2	栗原 淳一	国交省	国土交通省水管理・国土保全局砂防部長	
3	松本 宏	筑波大学	大学院 生命環境系長	
4	沼田 治		大学院 生命環境科学研究科長	
5	辻村 真貴		大学院 生命環境科学研究科 持続環境学専攻長	
6	濱 健夫		大学院 生命環境科学研究科 環境科学専攻長	
7	宮本 邦明		大学院 生命環境科学研究科 教授	
8	岡本 敦	国・財団法人等	国土交通省 国土技術政策総合研究所 土砂災害研究部長	
9	西井 洋史		国立研究開発法人土木研究所 土砂管理研究グループ長	
10	亀江 幸二		一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 理事長	
11	田畑 茂清		一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 顧問	
12	森 俊勇		一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構 研究所長	
13	大野 宏之		一般財団法人砂防・地すべり技術センター 専務理事	
14	杉浦 信男		一般社団法人斜面防災対策技術協会 専務理事	
15	藤平 大	非常勤講師	国立研究開発法人土木研究所	
16	水野 正樹		国立研究開発法人土木研究所	
17	安齋 徳夫		国土交通省関東地方整備局	
18	荻原 弘		一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構	
19	富田 陽子		一般財団法人砂防・地すべり技術センター	
20	林 真一郎		北海道大学大学院農学研究院	
21	三木 洋一		応用地質株式会社	
22	松井 宗廣		朝日航洋株式会社	
23	堀内 成郎		株式会社パスコ	
24	佐藤 文雄		大日本土木株式会社	
25	長屋 勝博		日本無線株式会社	
26	林 数一		砂防施工管理研究会	
27	綿貫 明		砂防施工管理研究会	
28	渡部 文人		株式会社神戸製鋼所	
29	守山 浩史		株式会社神戸製鋼所	
30	原田 照美		広島市自主防災会連合会	
31	高瀬 健二	実践実習先	鹿島建設株式会社	
32	船越 彰		株式会社北陸ジオテック	
33	酒井 啓介		東亜グラウト工業株式会社	
34	川端 武志		日光産業株式会社	
35	大曾根 啓介	社会人学生派遣会社	応用地質株式会社	
36	北原 哲郎		応用地質株式会社	
37	岩崎 恒明		応用地質株式会社	

38	間宮 清		元応用地質株式会社	
39	熊谷 清		朝日航洋株式会社	
40	木村 義一		朝日航洋株式会社	
41	江口 正紀		元朝日航洋株式会社	
42	石垣 勝之		玉野総合コンサルタント株式会社	
43	田村 尚		株式会社東京建設コンサルタント	
44	高橋 大地		株式会社東京建設コンサルタント	
45	茂木 鉄平		株式会社東京建設コンサルタント	
46	浦 正光		株式会社日本海コンサルタント	
47	北條 善久		株式会社日本海コンサルタント	
48	下村 博之		株式会社パスコ	
49	島村 秀樹		株式会社パスコ	
50	萬徳 昌昭	砂防関係	国土交通省国土技術政策総合研究所	
51	寺田 秀樹		国土防災技術株式会社	
52	花岡 正明		株式会社建設環境研究所	
53	吉川 知弘		大日本コンサルタント株式会社	
54	渡辺 義治		株式会社建設環境研究所	
55	西本 晴男	環境防災学講座 教職員	大学院 生命環境科学研究科 教授	
56	石井 靖雄		国立研究開発法人土木研究所	元准教授
57	秋山 一弥		大学院 生命環境科学研究科 准教授	
58	倉持 紀子			元講座事務職員
59	赤尾 美佐		環境防災学講座事務職員	
60	千葉 伸一	修了生	応用地質株式会社	社会人学生
61	亀澤 奈央			一般学生
62	田中 義成		株式会社キタック	社会人学生
63	朱 培紅		東亜グラウト工業株式会社	留学生
64	黄 麗		応用地質株式会社	留学生
65	安海 高明		朝日航洋株式会社	社会人学生
66	大村 さつき		応用地質株式会社	社会人学生
67	中根 和彦		玉野総合コンサルタント株式会社	社会人学生
68	関根 敬		株式会社東京建設コンサルタント	社会人学生
69	王 禕		(中国在住)	留学生
70	神保 啓		株式会社キタック	社会人学生
71	江藤 稚佳子		朝日航洋株式会社	社会人学生
72	阿部 拓実		応用地質株式会社	社会人学生
73	劉 詩雨		国立研究開発法人土木研究所	留学生
74	吉田 喜高		株式会社東京建設コンサルタント	社会人学生
75	照沼 利浩		株式会社パスコ	後期課程、社会人学生
76	塚原 直幸	在学生	株式会社日本海コンサルタント	社会人学生
77	後藤 美香		応用地質株式会社	社会人学生
78	笠原 友樹			一般学生

(2) 8年間の講座活動



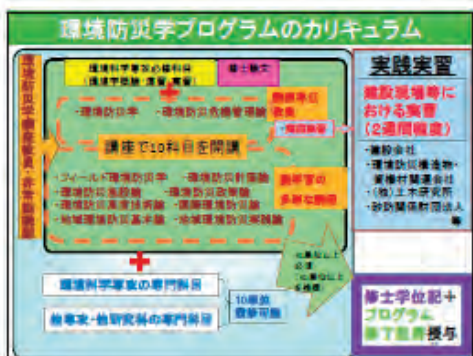


修了学生数 (H30年3月修了予定3名を含む)									
年度	前期				後期				合計
	入学	一期	二期	計	入学	一期	二期	計	
H22年入学	1人	1人	0人	2人	0人	0人	0人	0人	2人
H23年入学	1人	0人	2人	3人	0人	0人	0人	0人	3人
H24年入学	2人	0人	0人	2人	0人	0人	0人	0人	2人
H25年入学	3人	0人	1人	4人	1人	0人	3人	4人	7人
H26年入学	3人	1人	1人	5人	1人	1人	2人	4人	7人
H27年入学	1人	0人	1人	2人	0人	0人	0人	0人	2人
H28年入学	2人	1人	0人	3人	0人	0人	0人	0人	3人
H29年入学	0人	0人	0人	0人	0人	0人	0人	0人	0人
合計	13人	3人	5人	21人	4人	1人	5人	9人	29人
退学・休学・退学	2人	0人	0人	2人	0人	0人	0人	0人	2人
合計	15人	3人	5人	23人	4人	1人	5人	9人	29人

※H29年度は、在学期間の関係から、入学生無し。

環境防災学講座 修了学生の所属会社名等

所属	H22	H23	H24	H25	H26	H27	H28	H29
企業	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
公務員	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人
その他	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人	1人

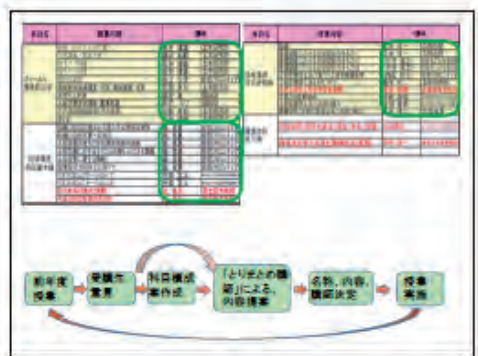


環境防災学講座の開講科目(平成25年度)と到達目標

開講科目	到達目標
環境防災学の基礎知識の習得	環境防災学の基礎知識の習得
フィールドワークの習得	フィールドワークの習得
防災演習の習得	防災演習の習得
論文の執筆	論文の執筆

多様な講師陣による「政策」から「施工・管理」の講義

科目名	担当講師	内容
環境防災学	山本 隆	環境防災学の基礎知識の習得
フィールドワーク	山本 隆	フィールドワークの習得
防災演習	山本 隆	防災演習の習得
論文の執筆	山本 隆	論文の執筆





町役場で「町長さん」の生の声を聞く



兵庫県信用貯蓄と貯づくり・地域防災について意見交換 (H24.8)

学会発表会・講習会・イベントへの参加



修士論文

竣工 年数	氏名	徳文(建築師)学位名大分介小
	亀澤春夫	砂防堤堰の形状、材料及び基礎工法上の改善の并発
H23	千葉伸一	人的災害を軽減するための土砂災害警戒区域の米穂と土砂災害 危険箇所の効果分析
H26	寺嶋紅	土砂災害の発生箇所の調査からみた災害河川に与える法制的 的負担
	賀嶋	大津波被害発生時の避難所整備に関する中国と日本の比較
	山本雄哉	津波に対する土砂災害に対する防災民衆の意識行動の研究-小 松における避難所内事例-
H23	安田康典	土砂災害による土砂・洪水の制約施設に関する研究
	大村さつき	地質調査を導き出したアンダー・アース管埋プログラムによる性質 土砂災害に対する防災意識向上計画
	中野知重	砂防堤堰の下流側配流及び石壁形状に着目した近代日本砂防技 術に類する数例アルプス地区の影響
H26	賀嶋春夫	離陸土砂の侵入に伴う砂防堰の形状と土流過程の解明
	宮村直紀	降水和泥水が避難行動に与える物理的の抑制に与える影響
	土屋	土質の異なる土砂災害の発生と人的被害の発生

修了生の修士論文

修了 年度	氏名 (フリガナ)	論文(国際共同)学術論文タイトル
	神保 聖	土砂・崩壊等自然災害における住宅の脆弱性とAI予測法の検討に関する基礎的調査
	山岡 博之	有型体模型による水の動きの再現に実験の設計方法が及ぼす影響の検討
1427	岡田 拓海	陥没が示唆する土砂災害発生時の脆弱性と危険性に関する研究
	大賀 将希	深透水に含まれる電解質の無機陽離の濃度と排水・塩化濃度の決定
	劉 納爾	日本と中国の飲料水における防災管理内容の比較分析
1428	吉田 雅志	丹波西部流域における土砂流出抑制管理の効果
	藤原 聖	自然災害に対する施設次第管理法の妥当性調査
1429 (卒業)	深澤 直希	紀伊山地における土砂移動現象と深流水特性との関係
	佐藤 麻希	北伊豆地域における発生した土砂災害の特徴
	笠原 大樹	調査解析による河床内環境の調査手法

修士論文作成のための調査



研究成果发表·共同研究

年度	国際学生	留学生	国際学生 留学期間	留学期間 平均年
1923	2名		3名	1.0年
1924	2名	1名(英米)		3.0年
1925	3名		3名	1.0年
1926	3名		2名	1.0年
1927		1名(英米)	2名	1.0年
1928	1名	2名(英米)	1名	1.0年
1929	2名			10.0年
1930				
1931	2名	1名(英米)		7.0年
計	13名	2名	9名	6.0年

※「1931」が「計」は、現時点の数値

江戸北船博士の夢



[illegible]

環境防災講演会

日 時:
平成22年7月13日(火)14:30~17:00

場 所:
砂防分館 会議室3(会議室「六」)
[東京都千代田区 平河町3-5-5]

参加対象:
筑波大学環境科学専攻員
神保町高等学校長 山崎 大

特別講演:
「筑波大学における教育研究と社会連携」
筑波大学 副学長 渡水 一孝
「砂防は何を目標としているのか」
国土交通省河川局砂防部
砂防計画課 部長 岡 賢行

講 義:
「砂防分館の技術開発状況」
(財)砂防センター環境防災協議会
理事長 奥 誠美
「環境防災学について」
筑波大学大学院
社会環境科学研究科 教授 西本 義典



[illegible][illegible]

The screenshot shows the homepage of the OPRM (Osaka Prefecture Research Marine) website. The header features the title "講座ホームページ" (Lecture Home Page) in large green Japanese characters. Below it, a navigation bar contains links such as "HOME", "OPRMについて", "研究内容", "施設案内", "お問い合わせ", and "English". The main content area is divided into several sections. On the left, there's a section titled "お知らせ" (Notice) with a link to "最新のお知らせ" (Latest Notice). In the center, there's a large image showing a group of people standing in front of a boat. To the right, there's a section titled "高知のレポート" (Report from Kochi) which includes a map of Japan highlighting Kochi and some text about local research. At the bottom left, there's a logo for "OPRM" and a URL "http://wd-pdrx.nibge.org/". The overall design is functional and informative, typical of a university or research institution website.



環境防災学講座で学んだ数学・研究の成果(派遣先社)

- [illegible]

講座のスタッフ

教授

西本晴男

1125-4-1125-1



准教授

石井靖雄

【圖書上本】

水野秀明

【九州大学】



秋山一弼

11274130.3



串移

倉持紀子

402-4426-21

小笠原初典
(1975.4.15~)

里邊田區

1027.41033

赤尾美佐

(105-41003)

● 十、五、三、二、一

環境防災研究所の四季



山岳科学学位プログラム

◎山形城をとり巻く環境問題の解決。山形を基幹の持続的発展に貢献できる組織と技術を開発した人材育成を目標として、新潟大学、信州大学、静岡大学、山梨大学の4大学が連携する大学院（博士前期課程）として、平成29年4月より開校。
◎教育の3本柱①山形環境（自然）の保全 ②林業実用化 ③中山間地の開発

Figure 1. The structure of the proposed model.

○国、研究機関等にインターンシップを要入してもらい、院生が実践的な専門知識と技術

山岳科学の修士プログラム

[illegible]

交流協定の内容

[illegible]

国際会議・ワークショップ



第6回国際土石流災害防止会議に出席が主体的に促る

環境防災学講座で学んだ勉学・研究の成果(修了生)

[illegible]

平成30年度以降について

○概要

- 「環境科学学位と専門科目として、『環境防災学』に関する科目を補助予定。
- 「環境学」は、非常設機関として環境省防務部の行政官、農林省・土研の研究者に行っているため予定。
- 平成29年度に開設された「山形県大学校プログラム」における専攻科目に位置付けられる。
- 「環境学研究会」で整備した「環境防災研究棟」は、岩手大学における防災関係の教育・研究の拠点として活用していきたい。

○開設科目の名称・内容・講師

科目名	概要・内容・講師	備考
環境防災学概論 (環境学・環境防災学)	環境学と防災学、環境学・防災学との関係について、環境学・防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について。	環境学、防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について。
環境防災学概論 (環境学・環境防災学)	環境学と防災学、環境学・防災学との関係について、環境学・防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について。	環境学、防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について、環境学・防災学の発展の歴史について。

まとめ

- ・家族多忙の中、講座を担当していただいた非常勤講師の先生方、並びに東武東上線・現地調査先の会社・機関と担当者の方々の協力をもまして講座の運営を行うことが出来ました。心から御礼を申し上げます。
- ・社会人学生陳氏は、所属会社に感謝しつつ、留学に臨みました。
- ・修了生は、学んだ知識・自己の資質向上と生かし、立派に家業に就事しており、技術力の向上と社会人としてのキャリアアップを實現してきています。
- ・寄付講座「環境防災学」の運営に、ご指導・ご協力いただいた大学当局と先生方並びに一般財団法人移防フロンティア整備推進機構に感謝いたします。
- ・講座終了後は、関係機関のご協力のもと、環境防災学関係の2科目が開設され、飯塚大学で学際型2科目環境防災の教育が継続される予定です。

(3) 講座修了生による現況報告

環境防災学講座成果報告会 講座修了生の報告

平成25年度修了
安海 高明 (社会人学生, 朝日航洋株式会社)

入学時の志望動機

当時、土石災害対策施設の計画・設計に携わり始めた。
↓
業務では「マニュアルや指針に照準すればよい」という考えに陥りがち。
「なぜそうすべきか？」という本質がわからぬまま「適訳」「判断」

マニュアルや指針類を盲目的に扱う状況から脱却したい

研究課題：「土石流対策施設の機能および効果の検証」
砂防技術を本質的・体系的に身に着けたい

環境防災学講座の開講講義を受講して

環境防災学 (西本先生)、環境防災施設論 (田畑先生)
環境防災危機管理論 (水野先生)、フィールド環境防災学 (石井先生)
環境防災計画論 (小山内先生、岡本先生、高田先生)
地域環境防災論 I (森先生)、地域環境防災論 II (三木先生)

- 環境防災学講座で受講した講義では、土石災害と砂防技術について歴史や背景とともに広範な知識を得ることができた。
- 特に、講師の先生がたの、「砂防」に対する思いや考え方を直接、お聞きできたのは大変、新鮮かつ勉強になった。

H24中期実践実習 平成24年度紀伊半島の 河川閉塞の緊急対策工事

調査機関：森谷工務事務所

H25中期実践実習 葛葉山腹工の工法及び その効果調査

調査機関：葛葉産産所

修士論文 土石流導流工による土石流・流木の制勢効果に関する研究 (指導教官：水野准教授)

- 土石流導流工の制勢効果に関する研究
- 住宅地付近の道路の閉塞は住民の避難行動を阻害
- 平成24年7月九州北部豪雨の八反田山の事例に着目し、道路の閉塞を軽減させた巨木の停止や谷底までの土砂の堆積のプロセスを数値計算をもとに明らかにすることを目的に研究を遂行した。

巨木の停止メカニズム

数値計算モデルの研究については、水野准教授のもとでH26に開始さん、H27に江崎さん(円)市研究を継続している。

環境防災学講座の2年間で得たこと

- 講義や国内外のフィールド調査で得た知識は、職場の後進への指導や事例紹介にとても役立っている。
- 砂防施設の計画・設計をおこなう際に、マニュアルを盲目的に扱うのではなく、その歴史や背景を踏まえ、多面的に検討をするようになった。
- 中期実践実習のフィールドで、実際の施工現場で経験したことや建設会社の技術者との話で得たことは、コンサルタントとして構造物の設計、施工計画を検討する際に重要な知見となった。
- 修論研究では土石流工学、数値計算に関して、基本的な内容から熱心な指導をいただいた。本研究で得た多くの知見を、現在、実務で応用すべく活動をおこなっている。
- 環境防災学講座で一緒に勉強させていただいた、社会人学生や一般学生の皆様との出会いは大きな財産となっている。

環境防災講座成果報告会 講座修了性報告

2017年11月29日(水)
広南建設株式会社 防災・防災事業部
片桐 太朗氏

OYO

発表内容

- 自己紹介
- ①就学中に得たこと
(座学、実践実習、現地調査、修論)
- ②現在の仕事現場で①がどう役立っているか
- ③今後の抱負

OYO

発表内容

- 自己紹介
- ①就学中に得たこと
(座学、実践実習、現地調査、修論)
- ②現在の仕事現場で①がどう役立っているか
- ③今後の抱負

OYO

自己紹介

- 平成19年3月 徳島大学工学部建築学科 卒業
- 平成19年4月 広南建設株式会社 入社
東京支社 ショッピングセンター企画
- 平成21年まで 同部署に所属。数箇年建築設計メイン
砂防のソフト対策分野の業務がメインに
- 平成24年4月 筑波大学大学院 社会環境科学研究科
環境防災工学講座に社会人学生として入学
- 平成26年4月 大学院を卒業。業務に専念。砂防メインに、
筑波大学との関係もあり、広南で
タイムライン(事前防災計画)検討を実施。
- 平成29年度(入社11年目) 砂防・防災事業部所属
土砂災害防止に関するソフト対策業務に従事

OYO

発表内容

- 自己紹介
- ①就学中に得たこと
(座学、実践実習、現地調査、修論)
- ②現在の仕事現場で①がどう役立っているか
- ③今後の抱負

OYO

①就学中に得たこと

- 環境防災プログラムについて
- ・最新の動向や実践的な内容を扱う授業
:75分授業×約100コマ
 - ・実際の施工計画に関わった方と直接意見交換ができる現地調査:2年間で30回以上
 - ・最新の技術が使われている砂防の職場での経験が可能な中期実践実習:2週間×2箇所
 - ・人脈・施設・資料が豊富な中で
自由なテーマを設定し実施可能な修論

OYO

①就学中に得たこと(座学)

◆実施した内容



OYO

①就学中に得たこと(実践実習)

◆実施した内容

- ・平成24年度 ダイイチ(株)
「平成24年度常盤寺川の砂防施設の工事及びその効果調査に関する実践実習」
- ・平成25年度_北陸ジオテック
「環境リサイクルに関する実践実習」



OYO

①就学中に得たこと(現地調査)

◆実施した内容



①就学中に得たこと

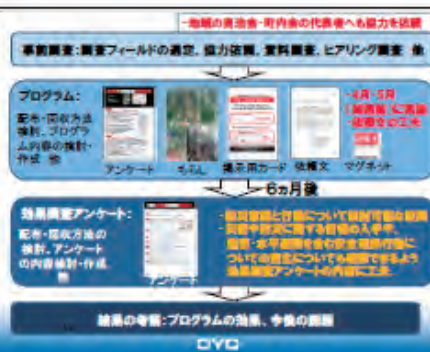
- ◆国、県、市町村、自主防災の方々が講師として来られる
 - 所属会社に最新の動向や情報をフィードバック。
- ◆法整備を含む系統だった知識・現場の知識を講義・現地調査・実習の中で得る
 - 下流側の業務を実施しているだけではわからない知識を取得。具体例の提示が可能に。
- ◆教育分野やリスクコミュニケーションといった防災関連分野の知識も取得
 - 業務実施の上で必要となる幅広い視点を習得

①就学中に得たこと(修論)

◆実施した内容

テーマ:「地域特性を考慮したアンケート式自己学習プログラムによる住民の土砂災害に対する防災意識向上手法」

- 警戒避難の取り組み
- 学生の立場で住民と行政とにヒアリング
- 民間企業では入りこみにくいところでの生の声を聴く機会
- 報告書ではなく「論文」を書くという経験



①就学中に得たこと(修論)

◆警戒避難体制整備のテーマ

- 所属会社ではあまり実施しないテーマを実施。業務を実施している中では触れない情報に触れる。自社の研究開発の下地に。

◆住民、市町村、県へのヒアリングの情報

- 収集した情報を基に情報の提供や提案。

◆研究に関して形成された人脈

- 社内での情報提供。
- 自社研究の研究地として協力を依頼。
- 研究開発の実施。

発表内容

■第1発表

①就学までの経緯とこと

(進学、資格取得、就職調査、修論)

■②現在の仕事職場で①がどう役立っているか

■③今後の抱負

②現在の仕事・職場でどう役立っているか

環境防災講座受講前

◆土砂災害防止法に基づく基礎調査業務

・土砂法、基礎調査について、業務をしながら覚えるので手一杯。

・砂防としての知識は全く無い中、業務をこなしている状況。

◆区域指定説明会の補助

・区域指定後の住民や市町村の戸惑いを感じつつ何もできない状況。

環境防災講座受講後

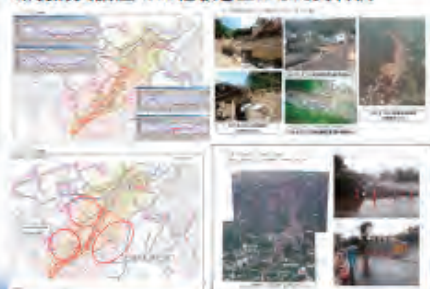
◆土砂災害防止法に基づく基礎調査業務

・他法令との関連や、他県の事例、災害事例等、得た知識を生かし、発注者対応や住民対応が可能となった。

◆区域指定後の取り組みに関する業務にも従事

・県や市町村が実施する区域指定後の警戒避難体制整備に関する業務にも従事。

環境防災講座での経験を生かした資料例



②現在の仕事・職場でどう役立っているか

・区域指定のその先の業務
土砂災害タイムラインの策定：対象 地域住民・市町村



②現在の仕事・職場でどう役立っているか

・区域指定のその先の業務
地区防災計画の策定実施内容：対象 地域住民



発表内容

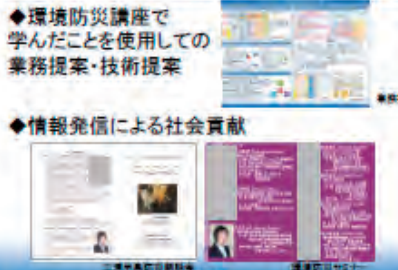
自己紹介
 働いていることに誇ること
 (自主、業務改善、環境改善、勉強)
 働く場での仕事環境や「いいな」思っている事

■③今後の抱負

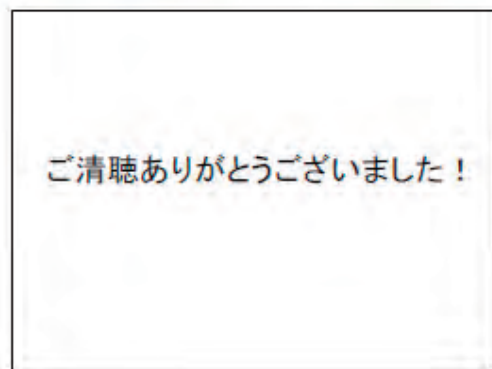
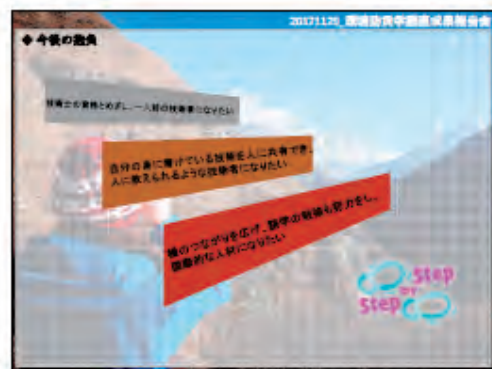
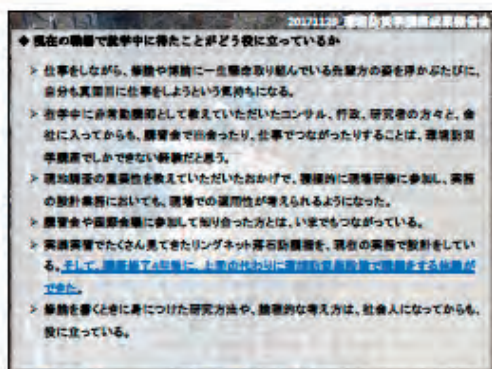
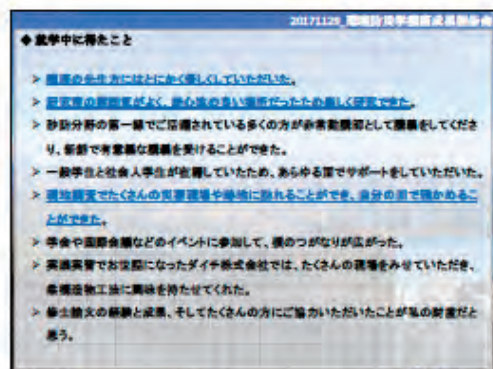
③今後の抱負

◆環境防災講座で
学んだことを使用しての
業務提案・技術提案

◆情報発信による社会貢献



以上で発表を終了いたします。
ご清聴ありがとうございました。



環境防災学講座で学んだこと

深く(Generalist)・専門分野の深さ

- 会社で防災関係システムの構築を支援しているのに、防災のことを断片的にしか理解していない。
- 専門課程の学生は前期課程の授業に出席する必要はないが、環境防災学講座に関する授業には全て出席した。



- ★ 社会人の立場として、現場の第一線で活動している行政機関や研究機関、コンサルタント会社等、様々な立場の講師を招いた授業が特徴であった。

環境防災学講座で学んだこと

深く(Generalist)・浅く(Specialist)

- 長年にわたり、先生方(特に西本先生、水野先生)から熱心な指導を受けた。

1. 論文執筆

- ・自分が選んだ研究テーマに対する論文執筆(守り)の重要性を学んだ。
- ⇒ 論文内容に対する様々な質問・質問(攻め)に対して、論理的に返す。そのためには、質問から研究について多角的に質問回答し、深く考えることが重要。

2. 論文の文章構成

- ・1つ1つの文章に責任を持ち、論理的に筋を組み立てる重要性を学んだ。
- ・日本語の文章の書き方をご指導いただいた。
- ⇒ 自分の文章の癖に気づいた。

例:主語がない、受動態で書いている、敬文になっている 等

過去の仕事にも活かせる

苦労した点

1. 論文の読み込み

- ・研究課題が広くなりながら、重点を絞ることが大変であった。

2. 仕事の研究の両立

- ・業務内容が業務研究に振り付けばよかったが...

3. 異業の理解

- ・家族や職場のみならずのご理解があったからこそ進むことができた。

今後の展望

1. 研究費の確保

- ・環境防災学講座での研究成果を発展させて実用化を目指すことが、ご指導いただいた先生方を含め、ご協力いただいた関係者への恩返しとなる。

2. 政策・異業関係のネットワーク

- ・環境防災というキーワードで結び付いた修士生のネットワークを研ぎそなえることが、お互いにとって助けになり、資源にもなる。

講座修了生による現況報告

平成28年度修了 照沼利浩((株)パスコ)

プロフィール

- 所属: 株式会社パスコ 中央事業部コンサルタント技術部システム技術課(現在)
- 主な業務: 防災関係業務を支援するシステムの構築
- 入学/卒業: 2011年4月 博士後期課程に入学
(財)防災フロンティア推進機構退学(4年間)
- 2017年3月 博士後期課程を卒業 計6年制
- 研究テーマ: 災害対応に要する時間の推定モデルとその適用性
- 指導教員: 主査: 西本雅典教授
調査: 宮本和明教授 堀田和文准教授 秋山一徳准教授
水野秀明上席研究員(現:九州大学)

研究内容

研究背景

災害時の効率的な人員配置に資するため、①作業ネットワークを構築すること、②作業ネットワークを完了させる時間には分布が存在すること、③災害の発生確率が長く時間間隔は一定ではないこと、という3つの特徴を持った災害対応について、その作成に基く時間推定する数値モデルを開発することを目的とした。

研究内容

防災計画が迅速な災害対応が確率論によって推定すると仮定した数値モデルを開いた上で、近似的に解を求める数値式を開発した。この数値式を、災害対応に要する時間の推定モデルとした。

数値式も災害発生時の発生確率に依存する災害対応の防災計画に適用した結果、実測値と計算値が一般で若干乖離したが、それ以外ではほぼ一致した結果となり、本モデルの適用性が示された。



環境防災学講座で学んだこと

防災分野を広く(Generalist)深く(Specialist)学べる場

前期課程の授業

研究活動

4. 研究成果

(1) 原著論文	93
(2) 国内学会	136

総説

日本人初の砂防担当教授・諸戸北郎の近代砂防における業績

Footprint of Dr. Kitao Moroto, the first Japanese professor of SABO in Japan

西本 晴 男*

Haruo NISHIMOTO

Abstract

Imperial University of Tokyo (present the University of Tokyo), which was the first educational organization for studying and learning these fields. After the laboratory was established, two foreign teachers were invited and taught SABO until 1909. In 1909, Dr. Moroto went to Vienna, Austria, to study SABO under F. WANG. He not only studied in Vienna but also visited many places where SABO projects were executed, for example, in France, Germany, Switzerland, Italy, Czech, Poland, Croatia and Montenegro. Through these studies, he gained much knowledge and technology concerning SABO. Just after coming back to Japan, Dr. Moroto became a professor at the Laboratory of SABO, the Imperial University of Tokyo. He produced some technical books and introduced new technology from Europe in many places in Japan. As a professor, he brought up the next generation and promoted research on erosion control technology and forest hydrology. In this paper the footprint Dr. Moroto left are described in the incipient period of modern SABO on the basis of a large literature and field investigation. This paper will contribute to future exchanges between Japan and European countries in the field of SABO based on these historical relationships.

Key words : Laboratory of forest hydrology and erosion control engineering, footprint of Dr. Kitao Moroto, the first Japanese professor of SABO, SABO technology in Europe

1. はじめに

1900 (明治 33) 年に東京帝国大学農科大学に林学第四講座として森林理水および砂防工学を専門とする講座が設置された。この講座 (以下、「東大砂防講座」という) の設置当初は、2 人の外国人教師が招かれて砂防の教育を行ったが、1912 (明治 45) 年に日本人初の砂防を教える教授として諸戸北郎 (1873-1951) が就任した。

諸戸北郎 (以下、「諸戸」という) は、三重県桑名町 (現在の桑名市) の出身で、農科大学林学科を 1898 (明治 31) 年に卒業し、1899 (明治 32) 年 8 月に農科大学助教授となった。1900 (明治 33) 年に森林理水および砂防工学を専門とする講座が設置された後も助教授として、1901 (明治 34) 年 1 月-1903 (明治 36) 年 6 月に滞在したカール・ヘフェル (Karl Hefe) と 1904 (明治 37) 年 5 月-1909 (明治 42) 年 6 月に滞在したアメリカ・ホフマン (Amerigo Hofmann) の 2 人の外国人教師 (宮内庁宮内公文書館所蔵, 1937) とともに砂防の教育に当たった。諸戸は、欧州留学から帰国直後の 1912 (明治 45) 年に東大砂防講座の担当教授となり、1934 (昭和 9) 年 3 月に農学部長を最後に退官している。

この経過のなかで、諸戸は 1899 (明治 32) 年から長きにわたり、日本の近代砂防に多くの業績を残したが、これまで諸戸の業績を詳しく論じたものはない。

著者は今般、内外の史料調査並びに現地調査により、諸戸の業績について新たな知見を得ることができたと考えている。本論では、これら知見をふまえて諸戸の日本近代砂防における業績について、欧州留学の内容、教授就任後の学務・教育などをふまえて述べる。

なお、写真の出典として記している「諸戸北郎博士アルバム」は、東京大学森林理水および砂防工学教室が所蔵している、諸戸が残した写真アルバムを指す。

2. 業績

2.1 著書

諸戸は、1898 (明治 31) 年-1951 (昭和 26) 年に、数多くの著書・論文を執筆している。

著書については、1901 (明治 34) 年-1949 (昭和 24) 年に執筆しており、測量および砂防工学に関する内容が多く、当時の教科書として利用されていたものも多い。砂防関係として「理水及砂防工学」5 編、「諸戸砂防工学」など、測量関係として「諸戸測量学」、「測量家必携」などがあり、その他「大日本有用樹木効用編」などをあわせて表-1 に示す 18 編がある。

これらの中で、1915 (大正 4) 年-1921 (大正 10) 年にかけて出版された 5 編からなる「理水及砂防工学」は、砂防に関する事項を体系的まとめた著書としては日本で最初のものである。本書は緒言 (前書き) で、「根本的

*正会員 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Member, University of Tsukuba (nishimoto.haruo.fp@u.tsukuba.ac.jp)

治水工事ハ理水及砂防工事ニ依ラサル可ラズ（中略）先ヅ理水及砂防工事設計ノ基本トナルベキ水量ニ関スル水量編ヲ印刷ニ附シ次ニ砂防工事ノ理論、実例等順ヲ追フテ印刷ニ附セントス”（諸戸，1915a）と述べているように、対策工を実施するうえで、計画設計の基本である流量観測からはじめ、以降工事までの解説に至る順で著すことにより、ヨーロッパアルプスの本格的な砂防技術をもとに日本の砂防の体系化を図ったものである。砂防工事においても、流量を算出し水路断面を決定することや、流域と溪流の特性を把握し計画設計を行う必要があるという新たな視点を取り入れたといえる。また、国内外の多くの事例を用いて説明をしているところも斬新である。

諸戸は、「理水及砂防工学」5編を著したのち、関東大震災復旧対策、学生指導、技術講習会、各地での技術指導などの経験をふまえて、1938（昭和13）年に「諸戸砂防工学」を著している。本書の構成は、「山地砂防本論」（「理水及砂防工学」5編の「本編」に相当する内容、以下同様）、「量水」（「量水編」に相当）、「積工の安定、水圧及土圧」と「工作物」（「工事編」に相当）、「設計」（「設計編」に相当）および「海岸砂防」（「海岸砂防編」に相当）の6編構成となっている。各編の章・節はほぼ「理水及砂防工学」を踏襲している。本書は、「理水及砂防工学」5編に比して、図面を多く使用しかつ詳細になっていること、写真を使用していること、コンクリートの普及により堰堤工の種類に関する記述が多くなっていること、神奈川県における関東大震災（大正12年）と北伊豆地震（昭和5年）で多発した山腹崩壊地と荒廃溪流の復旧対策について詳述していることなどが特筆できる。全体としては、施工技術、材料の進歩を反映させて、またひらがな表記で分かりやすいものになっている。

2.2 論文

諸戸は、1898（明治31）年～1951（昭和26）年にかけて、大日本山林会と砂防協会の機関誌に、数多くの論文や報文を書いている。また、砂防全般について総記したものとして、1915（大正4）年に農商務省山林局より刊行された欧州留学の復命書がある。

大日本山林会は、林業の改良、進歩を図ることを目的に1882（明治15）年1月に創立され、その活動の一環として翌2月から毎月会誌（以下「大日本山林会誌」という）を刊行している。会誌の名称は、「大日本山林會報告」（第1号～132号）、「大日本山林會報」（第133号～546号）、「山林」（第547号～1255号）と変更され現在に至っている。これらの中の論文や記事の総覧図書として、「大日本山林會報告・大日本山林會報・山林 分類総目録」が1990（平成2）年に刊行されている。大日本山林会誌における諸戸による論文の掲載時期は、諸戸が大学を卒業した1898（明治31）年以降で、明治時代のものが大部分である（大日本山林会，1990）。これは、大正時代に砂防学会（現在の砂防学会とは別組織）がで

表-1 諸戸の著書一覧
Table 1 Books written by Dr. Moroto

書名	出版社	出版年
線路運搬法	諸戸北郎	1901
大日本有用樹木効用篇	三浦書店	1903
簡易測量学（第1巻，第2巻）	三浦書店	1905
簡易測量学（第3巻，第4巻）	三浦書店	1906
測量家必携	三浦書店	1906
簡易測量学（第5巻）三角測量の実例	三浦書店	1907
測量教科書	三浦書店	1907
経緯距表	三浦書店	1908
木材の性質	三浦書店	1909
理水及砂防工学 量水編	三浦書店	1915
理水及砂防工学 本論	三浦書店	1916
理水及砂防工学 工事編	三浦書店	1917
理水及砂防工学 設計及実例編	三浦書店	1919
理水及砂防工学 海岸砂防編	三浦書店	1921
諸戸測量学	成美堂	1931
諸戸砂防工学	成美堂書店	1938
諸戸測量学	成美堂	1941
實用砂防工学	諸戸北郎	1949

きたことと、1928（昭和3）年に「砂防」が発刊され、論文投稿先を主に「砂防」に絞ったためではないかと考えられる。大日本山林会誌に掲載された諸戸の論文は、1898（明治31）年～1910（明治43）年にかけて樹木、森林植物、造林、林産等に係る論文が多く、明治43年以降は砂防に係る論文が多い。また、欧州留学時に行ったオーストリアをはじめとする欧州諸国の視察内容を記した旅行記を書いている。これらは、当時のこれらの国々の砂防等の状況がわかる貴重な資料である。

「砂防」は、諸戸が理事長を務めた「砂防協会」が、1928（昭和3）年～1944（昭和19）年まで毎年ほぼ6回発刊している。全93巻で総ページ数が約7,000に及び、1948（昭和23）年に創刊された砂防学会誌（新砂防）の前身のともいえる、砂防・治山に関する定期刊行物である（西本，2013a；西本，2013b）。日置（1981）は、諸戸がその第1号（昭和3年3月）に、“会誌の発刊に当たっては徒に空論に走らず成るべく工事の実施上に参考になるべきものを掲載し、砂防工事、道路、測量、地質、土壌などの講義を連載して直接砂防工事に従事する人々の技術の向上を図る”と述べ、また休刊号となった第93号（昭和19年1月）に、“山林畑出身の人のみでなく土木畑出身の人もあるから本会は日本林学会に統合することもできない。最後に大東亜戦争完遂まで休刊することになるのは誠に遺憾である”と述べていることを引用し、

戦前における砂防・治山関係の学術・技術情報を知る上で貴重な文献資料であったことを評価するとともに、資金面から休刊になることへの諸戸の無念さを紹介している。

「砂防」における諸戸の論文は、現場視察旅行記、欧米旅行記、学生見学旅行記、論説・随想などに大別される。その内容は、現場における計画・設計・施工に関する所見を述べたものが数多くあるほか、砂防・治山工事の必要性について関係者のみならず広く一般に向けて主張しているものもある（西本，2013a；西本，2013b）。「現場視察旅行記」および「学生見学旅行」においては、内務省、農商務省、府県から依頼のあったものを含めて、諸戸が現地に赴いた時のものであり、現地で指導した内容、技術的な見解が詳細に記述されている。これらは、諸戸が残した諸戸北郎博士アルバムなどの写真と関連させれば、当時の砂防技術を知る上で極めて貴重な史料といえる。

なお、諸戸は「砂防」の中の自身の論文の著者名として、本名の「諸戸北郎」とペンネームの「度山」とを使い分けしている。

2.3 堰堤構造論

明治時代までの日本の砂防堰堤の構造で特徴的なのは、下流の法勾配が1割程度より緩やかなことである。一方、ヨーロッパにおいては1870年代には2分の急勾配が一般化していた（Demontzey, 1878）。

1905（明治38）年に施工されたホフマン工事においては、諸戸（1938a）が“練積堰堤の水裏法（著者注：下流法のこと）は二分にすべきであるが、土堰堤に張石したことから五分勾配にした”と述べていることから、この工事を指導したホフマンと諸戸はヨーロッパと同様にしようとしたが、当時の日本の施工技術から止むを得ず5分で試行したと考えられる。教授就任以降の諸戸は、「理水及砂防工学」工事編で堰堤の下流法勾配を2分にするを推奨しており（諸戸，1917a）、この考え方を実践すべく現場で技術指導をしている（例えば、度山，1930）。



写真-1 東京都水道水源林の大正5年施工堰堤（諸戸北郎博士アルバムより）

Photo 1 Check dam constructed in 1916 in Tokyo metropolitan water conservation forest (From Moroto's photos album)

諸戸は留学から帰国後、当時の東京市と東京府から多摩川上流部の水道水源林の砂防調査を委嘱され、荒廃した水源林を復旧するための砂防計画を策定するとともに、治山堰堤の工事と量水堰堤による森林水文試験を指導した（西本ら，2016）。治山堰堤工事においては、諸戸の指導をふまえ、堰堤の下流法勾配は2分となっている（写真-1）。これに関して諸戸は、“大正四年に萩原山へはじめて埴國式の石堰堤を築設したが、当時の石屋は埴國式の堰堤を造ることを知らぬので、此形状に造らすには随分苦心をした。尤も其当時は全く砂防技術者はハンノキで高さ六尺から七尺位の編柵を造っていた時代の事だから無理もないが、此の埴國式の堰堤を初めて造るのに、山梨県下の石屋を使つたが、法を二分にした事が問題になった。夫れはこんな急な法面を持った堰堤を造つた事がなかった為で、当時に於ては水裏法は、一割及至二割のもので、私の言う二分法を二割法の間違いでないかと言われ、之には私も困りました”（諸戸，1937）と述べ、現場での施工上の苦勞話を紹介し、大正時代初期の段階では下流法勾配を1割程度の緩勾配にすることが、まだ一般的であったことを示唆している。

その後諸戸は、“大正に入つて漸く沸騰の砂防工事に就いて溪間工事をも施行するに至り、その工法も次第に改良されてきた。溪間工事では堰堤の水裏法の如き従来一割乃至二割の緩勾配のものが二分乃至五分の急勾配になり流量を計算して放水路の大きさを定め、又溪底の縦断面図を測定して溪底の勾配を天然勾配になす如く堰堤を設計するに至つた。堰堤の裏法を急にすることは大正四、五年までわが国多数の技術者に反対せられたものであつたが今日に於いては到る所に此の種の構造を見るに至り砂防界の為大いに慶賀すべきことである。”（諸戸，1931）と述べ、昭和時代初期には下流法勾配は2分勾配が妥当である考え方が浸透してきていたことを示唆している。さらに、諸戸がその著書、理水及砂防工学の量水編、工事編、設計及実例編において、堰堤構造の決定方法（諸戸1917b）、流量計算の方法（諸戸，1917c；諸戸，1915a）、縦断計画の考え方（諸戸1918）を日本に紹介したことにより、溪流工事の計画・設計について定量的な考え方が現場に浸透してきていたことについても示唆している。ただし、堰堤の下流法勾配については、昭和20年頃までは3分、4分勾配のものも施工されており、砂防事業において2分に統一されるのは1958（昭和33）年の「河川砂防技術基準（案）」まで待つことになる（武居ら，2009）。

2.4 森林理水

諸戸は、理水及砂防工学の量水編において、砂防工事の設計においては森林からの流量を把握することが基本であることを強調している（諸戸，1915b）。諸戸は、後述するように愛知県演習林（現在の「東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所」、以下「愛知演習林」という）の量水観測に深く係っている。

なお、森林流域試験地における量水観測と研究の経過については、愛知演習林における量水観測より以前に行われていたものも含め、野口（1996）や鈴木（2000）などが詳しい。ここではこれらで述べられていない、諸戸が実施した水文研究の試験と観測について述べる。

諸戸は愛知演習林において、雨水の地下浸透試験を大きな植木鉢を用いて実施している（写真-2）。諸戸（1938 b）は、“東京帝大の愛知県演習林で試験をしたのでありますが、大きな植木鉢を作って之に自然の状態を成べく損ぜぬように、針葉潤葉樹 15 種を植えて、樹木の成長に因る重さの増加と、雨の降った後に水の吸収蒸発に因る重さの変化を知る為に、毎日一回づつ植木鉢を天秤で計ったのであります。一日の浸透量を測定し、一方試験地の降水量を普通雨量計で測定して、浸透割合を定めた。上述の装置で得た 5 ヶ年間の結果（大鉢 20 個に就て）を纏めた。”と述べている。測定結果として、全ての植木鉢の浸透量は雨量の約 2 割 5 分であったこと、浸透を始めるまでに要する雨量は大きい方から針葉樹、常緑潤葉樹、落葉潤葉樹の順であったこと、年雨量に対する浸透水量の割合は大きい方から常緑潤葉樹、落葉潤葉樹、針葉樹の順であったという結果を得たと述べている。この浸透試験は 1929（昭和 4）年から始められており、この浸透試験に関する記載が度山（1943）にあることから、少なくとも 1943（昭和 18）年 7 月までは実施されていた。

諸戸は、東京都水源林において堰堤築造の指導に加えて、雨量強度と樹冠遮断率の関係について観測を行っている。諸戸（1939）では“東京市水道水源地の多摩川の上流落合でやった試験に依りますと 1.2 ミリ位の小さな雨であると、其の 7 割 5 分が樹冠上へ止まり、下へ落ちるのが 2 割 5 分であります。それが 10 ミリも降ると下へ落ちる方が 5 割 4 分になって、樹冠上へ止まる方が 4 割 6 分になる。さようですから、初めの少ない時には大部分が樹冠上へ止まりますが、多くなると下へ落ちる方が多くなると云うことが確かに言えます。”と述べ、諸戸が観測したものか、林業試験場のデータを諸戸が解析

したものか明確でないが、雨量強度と樹冠遮断率との関係などを論じている。

諸戸は、1931（昭和 6）年の訪欧時に、オーストリア 2 箇所とスイス 1 箇所の水位計検定所を訪れている。度山（1932 a）では、“7 月 22 日、農林省に行き、水工事部技師の案内でブラーターの水速計検定場に行く、この所は私が 20 年前に行きし所である。”、次に度山（1932 b）では、“8 月 31 日、農林省水工事試験所に行きエーレンベルグ技師に会い愛知演習林の量水試験の写真を与える。”、さらに度山（1933）では、“昭和 6 年 9 月 13 日、スベルベルグラーベンの量水所で水位計及び雨量計を見る。リードバードの量水所へ行き、係数の試験中である土木技師ウイス氏と話をする。”と述べている。愛知演習林で 4 流域の流出量データが 1930（昭和 5）年から採れるようになった（例えば、野口、1984）ことから、その翌年のこの訪欧において、オーストリアとスイスにおける量水観測の状況との比較するため訪れたものと思われる。

2.5 技術指導

諸戸は、内務省、農林省や県の委嘱を受けて、関東大震災（例えば、諸戸、1923；諸戸、1925）、常願寺川（立山砂防事務所、1997）、北伊豆地震（例えば、度山、1931；諸戸、1938 c）、鬼怒川（度山、1935 a；度山、1940）、足尾山地（度山、1940）、東京都水源林（例えば、度山、1935 b；度山、1936）などに係る数多くの事案について、現地調査を行い計画検討に携わるなど、全国の砂防・治山工事の実施を支えるシンクタンク的な役割を果たしている。例えば、諸戸は、1923（大正 12）年の関東大震災で山地の崩壊による被害が甚大であった、神奈川県丹沢地域周辺における、内務省および帝室林野局が実施した砂防・治山工事の指導を行っている。

写真-3 は、静岡県小山町の酒匂川上流の支溪にある、1926（大正 15）年に帝室林野局が施工した堰堤の当時と現在との比較写真である。この溪流をはじめとして、丹沢周辺の堰堤と崩壊地の写真が諸戸北郎博士アルバムに多く残されていること、また、「砂防」に視察旅行記があること（度山、1930；度山、1932 c；度山、1934 a）から、諸戸博士が関東大震災後の砂防・治山による災害対策で技術指導を行っていたことがわかる。こうした現場での指導を通じて、欧州の砂防技術をふまえた新たな砂防技術の導入が行われたと考えられる。

また、大正 9（1920）年からは、農商務省等が主催する荒廃林地復旧技術講習会で講師を務め、講義と愛知演習林等での実習を通じて技術者の育成に尽力している（例えば、度山、1934 b）。

諸戸の指導を受け後に京都大学砂防担当の初代教授になった村上恵二は、“科目は理水及砂防工学という名前で、荒廃山地に対する植栽工事の話も聞いていたのですが、講義の主体は荒廃溪流の改善に関する事柄でありまして、水理学であるとか砂防ダムに関する



写真-2 穴の宮試験地の浸透試験装置
（東京大学生態水文学研究所蔵）
Photo 2 Equipment measuring infiltration at
Ananomiya experimental site
（Owned by the University of Tokyo）

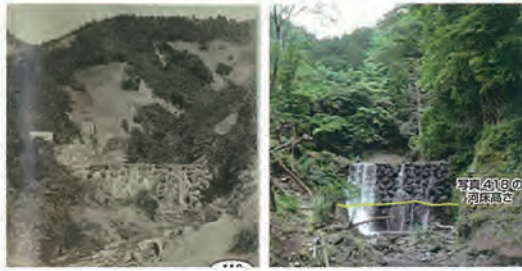


写真-3 峯坂沢第2号堰堤
(左：諸戸北郎博士アルバムより、右：2016年)
Photo 3 Minesakazawa No. 2 check dam
(left: From Moroto's photos album, right: 2016)

ような工学的な内容のものでありました。仏国並びに奥国の砂防工法を紹介されて、従来のわが国の砂防工法に新しい息を吹き込まれた次第です。砂防の学問の方面では、理水及び砂防工学（著者注：「理水及砂防工学」5編を指す）を発表されて、欧州特に奥国の溪流砂防がわが国に紹介されて以来、この書物が一つの基準となって相当広く読まれたようであります。”（村上、1955）と述べている。諸戸が欧州の砂防技術を日本に紹介し、大学においてその内容を講義し研究者や技術者の育成と、現場での技術指導を通じて新たな技術の導入に力を注いだことを示唆している。

ところで、諸戸が行った上記の現地調査・指導時における写真が数多く残っている。博士自身が整理していた写真アルバムが東京大学森林理水および砂防研究室に、東京都水源林における砂防工事に係る写真が東京都水道歴史館に、愛知演習林における量水試験等および愛知県内と岐阜県内の砂防工事に係る写真が愛知演習林に保存されている。これらは当時の日本の山地の状況や土砂災害の対策工の状況を知るための貴重な史料であるといえる（西本ら、2015）。

3. 欧州留学

3.1 欧州留学の経緯

明治時代の初期に来日し日本の砂防に大きな足跡を残した、デ・レーケ（Johannis de Rijke）がもたらした山腹工事、溪流工事に關する知見は、彼の帰国前の時期にあたる1900年頃には、荒廃地復旧の在来工法と既に一体化し展開されるようになっていた。このような時期に東大砂防講座が設立され、近代技術の導入と砂防工学の体系化が求められるようになった（山口、1981；武居、1981）。したがって、明治初期から中期に活躍したデ・レーケの功績は大きい、1900年頃の段階ではデ・レーケの役割は小さくなり、オーストリアの技術の導入が必要になってきていたといえる。

こうした状況下で、東大砂防講座が設置され外国人教師が招聘されるとともに、諸戸をはじめとする人物が当時の世界最先端の砂防技術を学ぶため、“維納高等地

産学校”（諸戸、1915 a）（正式名 Universität für Bodenkultur。以下、「BOKU」という）に留学し、ワング（Ferdinand Wang）の指導を受けた。これらの中で、諸戸の留学前に砂防の専門家として留学した人物は、BOKU所蔵の外国人留学者・訪問者資料および手塚ほか（1992）によると、河合鍾太郎（1900-1901、オーストリアおよびドイツ）、渡辺音吉（1901-1902、オーストリアおよびドイツ）、持田軍十郎（1903-1905、オーストリアおよびスイス）である。なお氏名のあとの括弧内は、留学時期と留学先の国を示す。河合と渡辺はドイツ留学中にBOKUで講義を受講したようであり、この時にBOKUの砂防担当教授のワングと互いの国の砂防に関する情報交換をしたものと推察される。Wang（1903）に日本の砂防の情報を河合と渡辺から得たとして紹介されていることは既に知られている。一方で、河合と渡辺が欧州砂防を紹介した資料は見当たらない。持田は「砂防工法」を1917（大正6）年に著しているが、諸戸の「理水及び砂防工学」量水編、本論より遅く、工事編と同年である。また本著は約100ページの簡潔な解説書であり、欧州の砂防技術は環境条件が異なる日本にはそのまま適用できないとの考え方のもとに、利用可能な学理のみを一部引用して説明するという立場をとっている（武居有恒、1981；持田軍十郎、1917）。また、赤木の留学は諸戸に比べて10年以上後である。以上から、諸戸以前にBOKU訪問者もいて、日本の情報が提供されていた部分もあるが、ホフマンの来日と諸戸の留学によって、欧州の近代砂防技術が体系的に日本に紹介されたといえる。

諸戸の欧州留学は、1909（明治42）年1月～1912（明治45）年6月で、当時最先端の砂防技術を学んだ（諸戸、1931）。留学の内容は、諸戸が1914（大正3）年に農商務大臣に提出した「欧羅巴諸国ニ於ケル野溪留工事調査復命書」（諸戸、1915 b、以下、「留学報告書」という）に詳しい。これによると、1909（明治42）年1月27日に東京を出発し、海路で3月16日イタリアのジェノバを経由し、3月18日オーストリアのウィーンに到着した。3年2カ月間欧州に滞在した後、1912（明治45）年5月20日にウィーンを出発し、シベリア鉄道を使って陸路で6月3日に帰国している。アメリカ・ホフマンが1912（明治45）年6月に任期を終えて帰国していることから、諸戸の留学出発のタイミングはホフマンが日本を発つ約5カ月前ということになる。

諸戸は出発に際し、農商務省より欧州諸国における砂防工事および木材の水運について調査の囑託を受けている（諸戸、1915 b）。諸戸は当初、欧州各国に行き、砂防工事に関する制度、工事の方法等を調査研究する方針であったが、渡欧後、専門家の意見を聞いてこれを変更し、主にオーストリアに滞在することとしている。これは諸戸（1915 b）によると、オーストリアの砂防工事即ち野溪留工事は、もともとフランスのものを模範としていたが、当時既にこれらに関する技術制度および学術上

の研究はフランスを上回っており、また毎年多額の予算で広く工事を実施しその成績も良好であることから、留学の研究および調査はまずはオーストリアで実施し、ドイツ、フランスおよびスイスでは主に工事を視察した方が適当と判断したことによる。このため、諸戸はオーストリアでの調査が終わった後に、フランス、スイスおよびドイツを視察している。

一方、諸戸の渡欧許可は、1908（明治41）年10月26日の諸戸から文部大臣へ申請した「私費留学願」を受け、文部大臣から請議申出がなされ、同年11月6日に、「東京帝国大学農科大学助教授 諸戸北郎森林理水及砂防工学研究ノ為メ私費ヲ以テニヶ年間奥佛両国へ留学ノ件閣議決定相成然ルベシ」（国立公文書館アジア歴史センター所蔵、1908）という内容の閣議決定がなされている。これから、公式な目的は森林理水および砂防工学の研究であり、行先はオーストリアとフランスであったが、農商務省から受けた嘱託の内容は目的、訪問先ともに、より広い範囲であったことがわかる。

なお、当初は私費での留学であったが、途中から公費留学となっている（宮内庁宮内公文書館所蔵、1937）。

3.2 欧州留学中の勉強

諸戸は、オーストリア滞在中に、「維納高等地産学校」に行き、当該校教授の指導を受け、又オーストリア農務省に行き、山林技術野溪留工事部長ワング氏、その他技師の親かな指導を受けその制度を調査し、又ワング部長に随行してオーストリア各州を回って野溪留工事を視察した（諸戸、1915b）と述べているように、当時の慣例で大学教授と行政責任者との併任であったワングから、砂防の理論と実務についての指導を受け、担当技師からも実務について学んだことがわかる。

このようにして勉強あるいは見聞した、オーストリア、ドイツ、フランス、スイスにおける砂防工事の実施体制、砂防技術者の教育方法、砂防工事の方法などと木材の水運について、留学報告書に記している。

なお、諸戸の留学時のオーストリアは、図-1に示す領土を有するオーストリア帝国の時代である。諸戸が彼の書いた論文、報告等というオーストリアとは、現在のオーストリアをはじめとし、当時領土に含まれていた現在のイタリア北部、スロベニア、クロアチア、ボスニア・ヘルツェゴビナ、チェコ、スロバキア、ポーランド、ウクライナおよびモンテネグロにまたがる地域である。諸戸は、この内容について大日本山林会誌に数回にわたって報告するとともに、多くの写真をアルバムに残している。

3.3 欧州各地の視察

諸戸が留学中に得た知見については、留学報告書に詳しい。その内容は諸戸が行った現地視察もふまえてのものとなっているが、諸戸自身の著書や論文を含めて現地視察の内容を一覧できるものはない。ここでは、諸戸が大日本山林会誌に発表した「旅行記」にある記述をもと



図-1 1913年のオーストリア帝国
(オーストリア砂防事業100年記念誌(1984)に加筆)
Fig.1 Territory of the Austrian Empire in around 1910
(From Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, 1984)

に、その現地視察の内容について俯瞰する。ただし、これらは視察のすべてを網羅しているものではない。

1) 1910年5月16日～25日（諸戸、1910a）

諸戸は、「ウイーン高等地産学校第4学年級学生」の修学旅行に同行し、現在のイタリア北東端およびクロアチア北西端にあたる、イストラ（Istra）半島からトリエステ（Trieste）、ゲルツ（Görz）に至る海岸地方を視察している。この地域は、現在のイタリア東北部のアドリア海沿岸地域で、カルスト地形の土地である。家事や暖房の燃料のために樹木を伐採したことにより、「石灰岩の瘠地で大部分は非常なる禿山で岩骨を露出、放牧の為殆どが原野」である土地を一行は訪れ、「官民合同の禿瘠地植栽会の黒松植栽地を視察。35年以前に植栽した所で成績頗る良好」と述べており、森林修復の行為は既に始められており（写真-4）、その効果が出ていた。2016（平成28）年9月に著者がトリエステ近郊の現地を訪れた際に案内を依頼した当地の森林監督官の話によると、その後森林は相当に復元したが、第二次世界大戦時に暖房用の薪にするために濫伐され再びため壊滅的状况になり、その後再度復旧が図られ現在に至っている。

森林荒廃と復元のこの経過は、原因は別として、日本が江戸期から辿った状況（例えば、太田、2012）と似ており興味深い。

2) 1910年8月9日～9月9日（諸戸、1910b；諸戸、1911a；諸戸、1911b）

諸戸は、8月9日～9月9日の1か月間、夏期休暇を利用し、オーストリアとスイスにおける「野溪留工事及理水工事を実地に就いて研究せんと欲し」（諸戸、1910c）で視察を行っている。

ザルツブルク（Salzburg）州では、バート・イシュル（Bad Ischl）市周辺のラングバード溪（Langbaithbach）、シュヴァルツェン溪（Schwarzenbach）、ギン溪（Ginbach）、



写真-4 トリエステ近郊の禿地植栽会による植栽
(諸戸北郎博士アルバムより、1900年頃)

Photo 4 Reforestation at Karst near Trieste in around 1900
(From Moroto's photos album)

リンド溪 (Rindbach) など、そして (ツェル・アム・ゼー湖 (Zell am See) 周辺のシュミッテン溪 (Schmitenbach) (写真-5) を訪れ、堰堤工事や山腹植栽工事を視察している。さらに、ハライン (Hallein) 町で木材管流と製紙工場を視察している。

チロル (Tirol) 州では、エッツ谷 (Ötztal) のエーデル溪 (Ederbach)、ブルーデンツ (Bludenz) 市周辺のシェーサートベル溪 (Schesatobel) を訪れて野溪留工事を視察している。

オーストリアの下奥州のピッテン谷 (Pttental) にあるエドリッツ (Edlitz) 村では、前年 1909 年 6 月に日本からオーストリアへ戻り当地で避暑中のアメリカ・ホフマンに会っている。諸戸 (1910 b) で、“前東京帝國大学農科大学教師奥国人アメリカ・ホフマン君に会う。この地方の野溪留工事を視察し同君の説明を聴き大いに得るところあり”と述べているように、ワングや担当技師以外にも、旧知のホフマンに実地で指導を仰いでいる。

スイスでは、農務省山林局長に面談し概要説明を受け、ブリエンツ (Brienz) 市近くにありスイスの代表的荒廃溪流であるラム溪 (Lammbach) をはじめ、ルツェルン (Luzern) 市近くのムオタ谷 (Muotathal)、スプライト溪 (Spreitbach) などで野溪留工事視察し、ムオト (Muot) 山の雪崩留工事を視察している。

諸戸はこの視察において、日本と同様に急峻な地形を有するオーストリアとスイスの溪流工事と山腹工事について知識を深めたと考えられる。

3) 1911 年 5 月 1 日～5 月 23 日 (諸戸, 1912 a)

諸戸は、5 月 1 日～5 月 23 日に、現在のクロアチアのダルマチア (Dalmatia) 地方とモンテネグロの“野溪留工事”を視察している。当時のこの地域一帯は、石灰岩質の禿山であった。

クロアチアのリエカ (Rijeka) 港からラーブ (Rab) 島 (諸戸はイタリア語で“アルベ Albe 島”と記述。以下同様) に渡り、ワング“奥国野溪留工局長”に面会し、島内の野溪留工事施行予定地を視察している。その後、ザ



写真-5 シュミッテン溪の砂防堰堤と山腹工
(諸戸北郎博士アルバムより、1900年頃)

Photo 5 Sabo works in Schmitenbach torrent in around 1900
(From Moroto's photos album)

ダル (Zadar) 市 (“ザラ Zara 市”), スクラディーナ (Skradina) 市 (“スカルドナ Scardona 市”), スプリット (Split) 市 (“スパラト Spalato 市”) などの周辺にある、石堰堤、敷石溝工などの野溪留工事を視察しながら東南下している。

これらの地域は、数百年以前には森林に覆われていたがベニス隆盛時代に船材を伐出した結果、現在禿山となっている旨を記している。

スプリット市でワング局長と別れ、モンテネグロに入り、コトル (Kotor) 市 (“カタロ Cattaro 市”) におけるアメリカ・ホフマンの設計による野溪留工事を視察している。この工事について諸戸は、“同氏の吾国への赴任前四箇年此の地に在りて此設計築設に従事せられたもので結果は良好である”と評価している。一方で、“モンテネグロ Montenegro 山に行き野溪留工事視察。此の地はモンテネグロ王国に属し損害を被るのは奥国なり、そこで奥国政府はモンテネグロ王国の許可を得て此処で此工事を施工、しかしモンテネグロ王国民は此の如き危険の土地であるにも拘わらず羊及山羊の放牧をなし益々土地を荒廃せしむ。”と述べており、山地の荒廃の原因として粗放的な放牧が大きなウエートを占めていたことがわかる。モンテネグロの沿岸地域には、写真-6 に見られるように現在も斜面中腹に樹木が貧弱な山肌が多く見られる。

諸戸はこの視察において、濫伐や粗放的放牧などによる森林破壊の実態とその対応としての砂防工事について知識を深めたと考えられる。

4) 1911 年 6 月 5 日～6 月 11 日 (諸戸, 1912 b)

諸戸は、6 月 5 日～6 月 11 日に、“維納高等地産学校林学科第 4 学年級生のメーレン州及シュレジエン州への修学旅行”に同行している。両州ともにオーストリア帝国の一部で、メーレン (Mähren) 州は現在のチェコの東部モラヴァ (Morava) に、シュレジエン (Schlesien) 州は現在のポーランド南西部シラスク (Śląsk) にあ



写真-6 モンテネグロ・コトル市のスクルダ川流域の山地状況 (2016年)

Photo 6 Mountain slope situation of Sukurda basin in Kotor, Montenegro (2016)

る。この視察には、当時 BOKU の実習主任であったレオ・ハウスカ (Leo Hauska) も同行している。ハウスカはホフマンの後任教授で、諸戸が留学中に交友が深かった人物であり (度山, 1932 a), 日本では砂防堰堤の堤冠厚を決める「ハウスカの式」で知られている (矢野ほか, 1968)。視察の内容は、砂防工事のほか、人工造林地、木材加工場、林道工事、森林鉄道などである。

諸戸はこの視察において、チェコやポーランドの丘陵地帯における砂防工事ならびに森林施業と防災との関係について見聞を広めたと考えられる。

5) 1912年4月30日 (諸戸, 1914; 度山, 1933)

オーストリアでの勉強を終えた諸戸は、フランスを訪れボルドーに近く大西洋に面するジロンド (Gironde) 県アルカーション (Arcachon) 附近の海岸砂防工事を、地元営林署長の案内で視察している。当地は、「ジロンド河口よりアズール河口に至る六十一里餘の間ビスケー湾に沿って砂丘線あり。ジロンド州に於ける荒蕪地は州の半分を占め面積 1,410,000 町歩あり。ジロンド州に於ける飛砂は数世紀前に於ては天然林の存在に依り固定せられ居りしが其後海岸に存在する森林を亂伐せし為め其伐採後生ぜる材木が土壌を結合し風が之れを動かすを得ざるに至る迄の間は風が内方に砂を吹き飛ばしたり」 (諸戸, 1914) という状況で、一面の荒蕪地であった。

1784年に飛砂を固定するための海岸砂防事業を始めた結果、その約125年後に諸戸が現地を視察した時には、「此地は曩に佛国に於て最も貧弱なる地方なりしが現今は大森林を以て蔽はれ砂丘及沼地は僅少となり木材、テレピン油、樹脂及之に依る工業到處に勃興せし」 (度山, 1933) という状況になった。現在は、古くから存在するピラ (Pilat) 砂丘およびその背後地から南北に広大な松林が広がっている (写真-7)。

この海岸線の海岸砂防工事の具体的な工法については、諸戸博士はその著書「諸戸砂防工学」で詳しく述べている (諸戸, 1938 d)。諸戸はこの視察において、海岸砂



写真-7 飛砂防止のために整備された松林 (2014年)

Photo 7 Pine forest grown by works against blown sand (2014)

防について知識を深め、理水及砂防工学の海岸編に反映させたと考えられる。

4. 教授就任以降の学務・教育

4.1 諸戸が教授時代の東大砂防講座の陣容

諸戸は、1912 (明治 45) 年 6 月に約 3 年半の欧州留学から帰国後、同月 19 日付けで東京帝国大学農科大学林学第 4 講座の担当教授となった。ここに、日本人自らが森林理水と砂防工学について教育、研究、技術指導を行う体制づくりが緒に就いたといえる。

諸戸は東大砂防講座担当の教授として、退官するまで講座の体制づくりを行うとともに、教育、研究および技術指導を行った。ここでは、この間に東大砂防講座を内から支えた人物を、「東京帝国大学一覽」 (東京帝国大学, 1912-1942) より概観する。ただし、途中記録が欠落している場合があり、一つの職の期間を示せていない部分がある。

西垣晋作が、1911 (明治 44) 年から 2 年間、実科講師として「森林理水及砂防工学計画及実習補助」担当になっている。伊藤武夫が、1914 (大正 3) 年から、実科講師として「森林理水及砂防工学計画及実習、森林測量学実習」担当になり、1919 (大正 8) 年からは講師として同科目を担当、その後 1921 (大正 10) 年より 2 年間フランスへ留学している。伊藤は、1939 (昭和 14) 年～1942 (昭和 17) 年に東大砂防講座の教授を務めている。石井来太郎が、1923 (大正 12) 年より、講師として「森林理水及砂防工学実習」を担当し、藤井祐人が、1926 (大正 15) 年より、講師として「測量学、同実習」を担当している。櫻井莊三が、1931 (昭和 6) 年より、講師として「森林理水及砂防工学実習」を担当している。櫻井は、1934 (昭和 9) 年に諸戸の停年退官の後を受け、東大砂防講座担任の助教授となり将来を嘱望されていたが、1939 (昭和 14) 年の海外出張中に病になり不帰の人となった (島田錦蔵, 1934)。荻原貞夫が、1933 (昭和 8) 年より、実科授業担当として「物理学及気象学」を担当している。荻原は、1938 (昭和 23) 年に東大砂防講座の教授になっている。

以上の人物は助手として諸戸教授を支えていた時期も

ある。他に助手の職にいた人物として、青沼正人（諸戸，1942）、後に東京教育大学農学部林学科理水防砂学教授になった藤井眞一（荻原，1944）らがいた。

このように、諸戸の下に講師と複数の助手という陣容で、学生の教育と研究活動が行われた。

4.2 教育

諸戸は、大学では座学はもとより、愛知県、滋賀県等の現場で実習を行い、その指導のもと近代砂防をリードしていく多くの人材が輩出している。

学界では東京大学での砂防教育・研究を受け継いだ伊藤武夫、荻原貞夫、京都大学の砂防工学講座を創立した村上恵二などの研究者を、官界では赤木正雄をはじめ、数多くの研究者と技術者を育てた。その後、他大学にも砂防講座が生まれ、新制大学になってさらに講座が増え、砂防の研究者、技術者が、“先輩のあとに続いてぞくぞく誕生するようになった”（日置，1981）。

早尾（1965）によると、明治時代の内務省の砂防の技術者は工学部出身の池田圓男、前川貫一らであったが、諸戸が教授に就任して以降は赤木正雄（林・大正3年卒）、蒲孚（林・明治44年卒、土木・大正3年卒）など徐々に林学科出身者が土木局技師になるようになってきた。

写真-8は大正3年度の林学科卒業生一同の写真である。最前列左から3人目が諸戸で、5人目に河合鋪太郎、右から3人目に本多静六ら林学科の教授が写っている。前から2列目の左から4人目は卒業生の赤木正雄である。

学生の砂防と測量の実習については、愛知演習林ができるまでは、各所に出かけ実施していたようである。1894年に創設された東京大学千葉演習林においては、1900（明治33）年3月に千葉演習林で、本科2年、実科2年の道路、測量の記録があり（根岸ら，2007）、測量の実習が行われていた。

愛知県（1916）は、“東京帝国大学農科大学林学科においては、砂防工実地演習に適する土地を本県下に設定する計画なりしが、大正元年、同学講師、西垣晋作氏の林学科2年生を指導し、東春日井郡水野村大字中水野字南山の県有砂防地において、一週間にわたり砂防工の演習を実施せり、面積狭小なるをもって、翌大正2年11月に至り、諸戸主任教授の実地調査をまち、愛知郡長久手村内の砂防県有地約700町歩を演習地と確定し、大学の設計にもとづき大正4年度より砂防工を実施することとなれり。而して学生は毎年12月中旬より翌年1月中旬にわたり、諸戸教授の実地指導により砂防工および測量の演習を施行するに至れり”と述べている。これから、1912（大正元）年～1914（大正3）年には、愛知県の水野村（現在の愛知県瀬戸市）で、1915（大正4）年より長久手村（現在の愛知県長久手市）で実習が行われていたことがわかる。また、度山（1939）は、“甲賀郡北杣村牛飼字小野谷の県営荒廃林地復旧工事を視察。この工事は大正5年冬に余の指導で東大農学部林学実科1、2年生61名が測量及砂防設計の実習をした所で大

正7年に野路区が県費の補助を受けて実施した工事”と述べており、滋賀県北杣村（現在の滋賀県甲賀市の一部）でも実習が行われていた。諸戸が砂防を担当するようになって以降は、毎年実習場所を調整しながら愛知県、滋賀県などで、実習が行われていた。

これに関して、佐藤（1996）は、“愛知県愛知郡長久手村が、砂防工事を多工種にわたって施工をしていたため、見学と研究の場として定期的に利用していたこと、県が巨額な費用を投入して治山治水に対応をしていたこと、さらに東京大学農学部林学科で諸戸北郎教授の教えを受けた者が愛知県庁に多数勤務していたことから、諸戸先生の砂防実習の研修には好都合な条件がそろっていた。”と述べている。愛知県では1901（明治34）年から砂防工事を開始し翌年から大正年間にかけて全国一の補助砂防事業費をもって砂防工事が実施されていたこと（打萩，1981）と、1915（大正4）年頃には諸戸が教授になって3年が経過しており、東大砂防講座設置以降に諸戸の指導を受けた多くの技術者が愛知県に在職し、実習への協力を得られる状況にあったと考えられる。

4.3 演習林

1922（大正11）年に、東大砂防講座の学生実習および森林理水および砂防・治山の研究を目的として、愛知県の城東村（現犬山市）と水野村、赤津村、瀬戸村、品野村（すべて現瀬戸市）にある荒廃した山地を帝室林野局から購入し、愛知演習林が設置された。これには諸戸が関係していた可能性がある（愛知県，1916）。その後、当地では砂防・緑化工事が進められ、今日では愛知演習林のほぼ全域が森林で覆われ、これらの森林および施設は森林に関わる様々な研究教育の場として活用されている（東京大学演習林出版局，2010）。

愛知演習林内においては、森林水文の研究のため、1923（大正12）年に穴の宮量水堰堤、1928（昭和3）年に東山量水堰堤、1929（昭和4）年に白坂量水堰堤と数成量



写真-8 東京帝国大学林学科大正3年度卒業生
（諸戸北郎博士アルバムより）

Photo 8 Alumni of forestry department, Tokyo Imperial University in 1914 (From Moroto's photos album)

水堰堤が設置された（東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所, 2013）。数度量水堰堤以外は現在に至るまで量水観測が継続実施されている。これらの量水堰堤の設置にあたっては場所の選定, 設計・施工などに諸戸が深く係っている（諸戸, 1938c; 野口, 1996; 櫻井, 1937）。

1928（昭和3）年には、浜名湖の開口部の西側の遠州灘を臨む位置に、静岡県新居町から土地の寄付を受け、海岸砂防の研究を目的とする新居試験地が設置された。現在は、新居町の海岸林の内の約27haが、愛知演習林の74林班（新居試験地）である。東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所（2016）によると、1925（大正14）年に新居町長から東京帝国大学総長宛に試験地設置についての請願書が提出され、これを受けて1928（昭和3）年に新居試験地が設置され、強風による飛砂を防ぐための海岸砂防林の造成が開始され、1929（昭和4）年からは気象観測も開始された（写真-9, 10）。なお、1966（昭和41）年にはこれらは中止されている。諸戸は、新居試験地において砂防植栽の試験工事並びに気象観測のための施設の設置と観測について指導するとともに学生の実習指導を行った。



写真-9 防風垣と砂防植栽
（東京大学生態水文学研究所蔵）
Photo 9 Hedge and planting along seashore
（Owned by the University of Tokyo）



写真-10 風向・風速観測の気象観測場
（東京大学生態水文学研究所蔵）
Photo 10 Meteorological observatory of wind vane And
anemometer （Owned by the University of Tokyo）

5. まとめ

本論は、近代砂防における諸戸の業績について総覧したものである。諸戸は欧州留学で得た知見を、著書「理水及砂防工学」5編にまとめるなどにより、日本の近代砂防を体系化するとともに欧州の砂防技術を紹介した。大学において砂防の高等教育の基礎を固め、後進の育成を図るとともに、砂防・治山工事現場において理論に裏付けされた新たな技術の導入と技術指導を行った。さらに、愛知演習林などで量水堰堤の設置と試験を開始するなど、森林水文学の必要性和研究の重要性を世に示した。

このように、諸戸は日本人初の砂防担当教授として、日本の近代砂防の礎を固めるとともにその発展に多くの業績を残した。

諸戸の近代砂防における業績について、新たに分かったと考えられる主なものを以下に示す。

- 1) 諸戸が欧州留学で見聞したオーストリアの砂防工事の地理的範囲は、現在のオーストリア、イタリア北部、スロベニア、クロアチア、ボスニア・ヘルツェゴビナ、チェコ、スロバキア、ポーランド、ウクライナ、モンテネグロに跨る地域であり、後の赤木正雄の留学時のオーストリアの領土より広い範囲である。
- 2) 諸戸より以前に、BOKUに留学をした日本人の砂防専門家が少なくとも3人いるが、欧州の砂防工事を体系化した形で、初めて日本に紹介したのは諸戸である。
- 3) 諸戸は、溪流工事における、堰堤下流法勾配を2分にすべきであること、流量の計算法、縦断計画の立て方、放水路断面の決め方などの定量的考え方を、初めて日本に導入した。
- 4) 諸戸は、愛知演習林などでの量水観測以外に、雨水の浸透試験や樹冠遮断率の観測を試みた。
- 5) 諸戸は、海岸砂防のための風向・風速などの気象観測を行った。
- 6) 諸戸は、砂防・治山工事の調査と技術指導を数多く行っており、府県などの砂防コンサルタント的な役割も担っていた。
- 7) 諸戸は、現地視察時の写真と見聞録を数多く残しており、これらを分析することで当時の砂防と治山工事の技術などを明らかに出来る可能性がある。

謝 辞

本研究にあたっては、鈴木雅一東京大学名誉教授ほかの「諸戸北郎博士砂防業績研究会」の諸氏をはじめとし、東京大学生態水文学研究所、BOKUのヒューブル（Hübl）教授、諸戸北郎博士の御子孫、一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構ほか多くの方のご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表するものである。

引用文献

- 愛知県 (1916)：愛知県林業報告，第13号，愛知県
- Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft (1984)：100 JAHRE WILDBACHVERBAUUNG IN ÖSTERREICH，1984，p. 25
- Demontzey P. (1878)：Étude sur les travaux de Reboisement et de Gazonnement des Montagnes，Paris Imprimerie Nationale，422 pp.
- 大日本山林会 (1990)：大日本山林会報告・大日本山林会報告・山林 分類総目録，社団法人大日本山林会，867 pp.
- 度山 (1930)：昭和五年五月相州丹沢御料林視察旅行日記，砂防，No.12，砂防協会，p.34
- 度山 (1931)：昭和五年冬の豆相震災地視察旅行日記，砂防，No.16，砂防協会，p.32-35
- 度山 (1932 a)：昭和六年欧米旅行記 (第二回)，砂防，No.23，砂防協会，p.39-56
- 度山 (1932 b)：昭和六年欧米旅行記 (第五回)，砂防，No.26，砂防協会，p.35-44
- 度山 (1932 c)：昭和七年初夏の丹澤及箱根御料地砂防工事調査旅行日記，砂防，No.25，砂防協会，p.32-35
- 度山 (1933)：昭和6年欧米旅行記，砂防，No.27，砂防協会，p.26-37
- 度山 (1934 a)：丹沢御料地視察日記，砂防，No.37，砂防協会，p.39-41
- 度山 (1934 b)：第十五回農林省主催荒廃林地復舊技術講習会，砂防，No.38，砂防協会，p.23-25
- 度山 (1935 a)：懐古録，砂防，No.41，砂防協会，p.37-50
- 度山 (1935 b)：東京市水道水源林視察旅行記，砂防，No.39，砂防協会，p.29-36
- 度山 (1936)：昭和十一年秋の多摩川水源旅行日記，砂防，No.49，砂防協会，p.32-35
- 度山 (1939)：昭和十四年春の兵庫，滋賀両県下砂防工事視察旅行日記，砂防，No.67，砂防協会，p.31-38
- 度山 (1940)：昭和十四年秋の東京営林局管内砂防工事視察旅行日記，砂防，No.69，砂防協会，p.25-33
- 度山 (1943)：帝国治山治水協会主催第七回荒廃林地復舊技術講習会実習旅行記，砂防，No.91，砂防協会，p.35
- 日置象一郎 (1981)：砂防事業100年によせて，砂防学会誌 (新砂防)，Vol.34，No.1，p.1-2
- 早尾丑磨 (1965)：林政50年－林業技術者の歩んだ道，日本林材新聞社，p.151-156
- 国立公文書館アジア歴史センター所蔵 (1908)：諸戸北郎の留学に係る閣議決定決裁文書
- 宮内庁宮内公文書館所蔵 (1937)：明治大正年間雇外国人教師人名録 下，p.155-156，p.161-163
- 持田軍十郎 (1917)：砂防工法，益友社，98 pp.
- 諸戸北郎 (1910 a)：南嶼旅行所感，大日本山林会報，No.333，大日本山林会，p.11-29
- 諸戸北郎 (1910 b)：明治四十三年夏期修學旅行所感，大日本山林会報，No.337，大日本山林会，p.25-38
- 諸戸北郎 (1911 a)：明治四十三年夏期修學旅行所感 (承前)，大日本山林会報，No.339，大日本山林会，p.15-27
- 諸戸北郎 (1911 b)：明治四十三年夏期修學旅行所感 (承前)，大日本山林会報，No.340，大日本山林会，p.17-27
- 諸戸北郎 (1912 a)：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，大日本山林会報，No.350，大日本山林会，p.19-26
- 諸戸北郎 (1912 b)：明治四十四年六月奥国メーレン州及シュレシエン州修學旅行日記及び所感，大日本山林会報，No.351，大日本山林会，p.19-26
- 諸戸北郎 (1914)：佛国ジロンド州に於ける海岸砂防工事の効果に就て，大日本山林会報，No.468，1914，大日本山林会，p.16-22
- 諸戸北郎 (1915 a)：理水及砂防工学量水編，三浦書店，256 pp.
- 諸戸北郎 (1915 b)：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 a)：理水及砂防工学工事編，三浦書店，p.147-149
- 諸戸北郎 (1917 b)：理水及砂防工学工事編，三浦書店，p.30-52
- 諸戸北郎 (1917 c)：理水及砂防工学工事編，三浦書店，p.161
- 諸戸北郎 (1918)：理水及砂防工学設計及事例編，三浦書店，p.20-31
- 諸戸北郎 (1923)：神奈川縣震災地視察旅行所感，大日本山林会報，No.493，大日本山林会，p.36-48
- 諸戸北郎 (1925)：地震ト山地ノ崩壊トニ就テ，震災予防調査会報告 第百号 (乙)，震災予防調査会，p.79
- 諸戸北郎 (1931)：砂防工事の回顧，山林，No.582，大日本山林会，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 a)：諸戸砂防工学，成美堂書店，p.326-328
- 諸戸北郎 (1938 b)：諸戸砂防工学，成美堂書店，p.96-97
- 諸戸北郎 (1938 c)：諸戸砂防工学，成美堂書店，p.305-311
- 諸戸北郎 (1938 d)：諸戸砂防工学，成美堂書店，p.462-463
- 諸戸北郎 (1938 e)：諸戸砂防工学，成美堂書店，p.75-76
- 諸戸北郎 (1939)：東京帝国大学名誉学博士諸戸北郎講演・森林と治水，財団法人啓明会第八十八回講演集，財団法人啓明会事務所，p.20-21
- 諸戸北郎 (1942)：帝国治山治水協会主催第二回荒廃林地復舊技術講習会旅行記，砂防，No.81，砂防協会，p.47-53
- 村上恵二 (1955)：わが国における砂防の推移，新砂防，16，p.1-7
- 根岸賢一郎，丹下 健，鈴木 誠，山本博一 (2007)：千葉演習林沿革史資料 (6)－松野先生記念碑と林学教育事始めの人々，演習林第46号，東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林，p.88
- 西本晴男 (2013 a)：昭和初期の会誌「砂防」について，砂防学会誌，Vol.65，No.6，p.70-73
- 西本晴男 (2013 b)：「砂防」発刊の経緯と内容，「砂防」復刻版発刊について，砂防学会，p.3-6
- 西本晴男・鈴木雅一・小山内信智・執印康弘・堀田紀文 (2015)：日本の近代砂防と諸戸北郎博士，平成27年度砂防学会研究発表会概要集B，p.166-167
- 西本晴男・鈴木雅一・阿部拓実 (2016)：写真比較による多摩川上流部における荒廃状況の変遷，平成28年度砂防学会研究発表会概要集A，p.448-449
- 野口陽一 (1984)：歴史としての森林影響研究 (Ⅲ)，水利科学，No.159，p.44
- 野口陽一 (1996)：演習林百周年にあたり愛知演習林の思い出と森林流域試験のことなど，東京大学演習林100周年記念 (3)，演習林第34号，p.41-56
- 萩原貞夫 (1944)：「砂防」編輯の思ひ出，砂防，o.93，砂防協会，p.5-7
- 太田孟彦 (2012)：森林飽和，NHK出版，254 pp.
- 櫻井莊三 (1937)：愛知県演習林に於ける流出量測定結果に就いて (豫報)，東大演習林報告，No.25，p.37-61
- 佐藤修 (1996)：秩父演習林・愛知演習林の思い出，東京大学演習林100周年記念資料 (3)，演習林第34号，東京大学演習林，p.33-36
- 島田錦藏 (1934)：櫻井莊三君の逝去を悼みて，砂防，No.64，p.1-3

- 鈴木雅一 (2000) : 森林理水及び砂防工学研究室 100 周年にあたって—講座創設前後の状況—, 森林理水及び砂防工学研究室 100 周年資料, 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学専攻森林理水及び砂防工学研究室, p. 1-7
- 武居有恒・田畑茂清・板垣治・太矢幸司 (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, p. 183-184
- 武居有恒 (1981) : 学問・研究の変遷, 日本砂防史, 社団法人全国治水砂防協会, p. 509-512
- 立山砂防事務所 (1997) : 立山砂防 70 年のあゆみ, p. 37-48
- 手塚見, 国立教育会館 (1992) : 幕末明治海外渡航者総覧 第二巻人物情報編, 柏書房, 508.pp
- 東京大学大学院農学生命科学研究科附属演習林生態水文学研究所 (2013) : 昭和 30 年に作成された穴の宮, 東山, 数成, 白坂の各水位観測所からの諸報告, 演習林 (東大), No. 53, p. 129-152
- 東京大学演習林出版局 (2010) : はげ山が森に戻るまで—東京大学犬山研究林の砂防・緑化のあゆみ—, 東京大学愛知演習林リーフレット④, p. 1-2
- 東京帝国大学 (1912-1942) : 東京帝国大学一覽・明治 42-昭和 17 年度 (年度毎分冊)
- 打萩球男 (1981) : 計画・組織・予算の変遷, 日本砂防史, 社団法人全国治水砂防協会, p. 149-150
- Wang F. (1903) : Grundriss der Wildbachverbauung, Verlag von S. Hirzel, p. 471-475
- 山口伊佐夫 (1981) : 総論, 日本砂防史, 社団法人全国治水砂防協会, p. 30-32
- 矢野義男・谷勲・釣谷義範・渡 正亮 (1968) : 現場技術者のための砂防・地すべり防止工事ポケットブック, 山海堂, p. 62-63

(Received 3 April 2017 ; Accepted 25 July 2017)

近代砂防草創期の砂防教育事情

Condition of the education on SABO in the incipient period of modern SABO

西本晴男*

Haruo NISHIMOTO

Abstract

In 1900, the Laboratory of Forest Hydrology and Erosion Control Engineering (SABO) was founded in the Imperial University of Tokyo (present the University of Tokyo), which was the first educational organization for studying and learning this field. I have considered the educational system of SABO in about 15 years since around 1900, the process of discussion for founding the Laboratory of SABO, the process of choosing suitable foreign teachers and the educational conditions before Dr. Kitao MOROTO who was the first Japanese professor at the Laboratory of SABO. In Japan, we did not have an educational system for SABO before 1900, however, some experts in forestry science qualitatively commented that the functions of the forest were to protect sediment runoff and preserve water resources. Because at the end of the 19th century, many sediment disasters occurred, SABO law was enacted in 1897, and the educational system of SABO was established in the Forest Science Department, the Imperial University of Tokyo, through promotional activities of Prof. Shitaro Kawai and persons involved. As the first foreign instructor for teaching SABO, Karl Hefeke was chosen and came to Tokyo in 1901. He did not have much knowledge about SABO, then he returned to Germany only two years later. After then Amerigo Hofmann became a teacher at the Laboratory of SABO and stayed in Tokyo for about five years. He left great achievements of not only "Hofmann works" in Seto City but also many documents including those published in Austria and in Italy after coming back to Europe. Dr. Kitao Moroto supported Hofmann's performances in Japan as an associate professor. In this paper the condition of the education on SABO is described in the incipient period of modern SABO on the basis of the literature and field investigations. This paper will contribute to the future exchange between Japan and European countries in the field of SABO based on these historical relationships.

Key words : laboratory of forest hydrology and erosion control engineering, education on SABO, foreign teacher, Karl Hefeke, Amerigo Hofmann, Kitao Moroto

1. はじめに

日本で最初の、森林理水および砂防工学を専門とする講座（以下、「砂防講座」という）が、1900（明治33）年に東京帝国大学農科大学の林学第四講座として設置された。この講座設置前から大正時代にかけての砂防教育事情については、武居（1991）や太田（2010）などに述べられている。

他の大学等の砂防教育事情について見ると、1911（明治44）年に東北帝国大学、1925（大正14）年に京都帝国大学、1937（昭和12）年に九州帝国大学に砂防講座が設置されている。ただし、東北帝国大学では砂防の指導者が置かれたのは昭和20年以降である。また、1903（明治36）～1924（大正13）年にかけて、盛岡、鹿児島、三重、宇都宮、宮崎、岐阜の高等農林学校が設立され、また東京帝国大学農科大学に林学実科が設置され、大学4校、専門学校7校で砂防の講義が実施されるようになった。こうして、教育研究は質・量ともに充実し、技術の向上と事業の発展に寄与する多数の人材が輩出される

ようになった（例えば、武居、1981）。

こうした経過の中で、日本最初の砂防講座設置前後の砂防教育の実態、講座新設に向けての議論過程、外国人教師の人選、その後の1912（明治45）年に諸戸北郎が砂防講座担当教授になるまでの砂防教育の事情について詳しく論じたものはこれまでにない。

明治20年代後半に水害が多発したことから、1897（明治30）年に砂防法が制定され、これに続くかたちで砂防講座が設置されたことをふまえると、初めて砂防講座が設置された経緯とその後の講座体制を確立させる過程を俯瞰することは、近年土砂災害が頻発する状況から、将来にわたる砂防教育体制の充実を考える上で意義あるものと考えられる。

本論では、史料調査ならびに現地調査により得た新たな知見をふまえ、1900年前後から明治時代末にかけての、大学における砂防教育事情について取りまとめた。

なお、本論でいう「オーストリア」とはオーストリアーハンガリー二重帝国時代（1867-1918）のオーストリア帝国を指す。写真の出典として記している「諸戸北郎

* 正会員 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Member, University of Tsukuba (nishimoto.haruo.fp@u.tsukuba.ac.jp)

博士アルバム」は、諸戸が残し、東京大学森林理水及び砂防工学教室が所蔵している写真アルバムを指す。また、引用文献における「度山」とは諸戸のペンネームである。

2. 日本初の砂防講座ができるまで

2.1 砂防講座設置以前の砂防教育

日本では砂防講座は農学部林学専攻の学科に置かれている。日本の林業試験研究は、1877（明治10）年に松野 礪が中心となり内務省樹木試験場が開設されて始まり、その後農商務省に移管された後、1982（明治15）年には、東京山林学校が開校されている（福島、2010；小林、2010）。明治時代前期は林学の草創期であり、砂防は研究分野・技術として確立されていない時期である。松野はドイツに留学し、日本人として初めて近代林学を学び、1875（明治8）年に帰国後、近代的林業を行うためには、技術者の養成と学問研究が不可欠であると考え、林学教育体制の確立に力を注いだ。

東京山林学校は1886（明治19）年に東京農林学校となり、1890（明治23）年に東京帝国大学農科大学となる。東京山林学校と東京農林学校では、松野と同様にドイツ留学帰りの中村弥六と志賀泰山の合わせて3人の日本人教授に、外国人教師オイスタッハ・グスマン（Eustach Grassmann）、ハインリヒ・マイエル（Heinrich Mayer）が加わり、林学教育が行われた。この当時の教育内容を見ると、1890（明治23）年の林学科の科目に、森林土壌学、森林利用学、地質及土壌学などがあるが（根岸ら、2007）、砂防に関係する科目はない。

松野は、1889（明治22）年8月に発生した熊野川・紀ノ川の大水害について論じた「暴流論」という題目の論文を書いている。この中で松野は、当時は用語として成立していなかった「土石流」（西本、2011）を、「ドイツにおいてウ井ルバハ（暴流の義）と唱えるもの」と記し、植生が少ない山岳地帯に降った雨により、土石流が発生・流下し被害を惹起する過程を述べている。この「ウ井ルバハ」はドイツ語の「Wildbach」をカタカナ表記したものである。松野（1891）では、フランスのアルプス地方では「暴流」の発生を防止するため、上流域での森林伐採と放牧を制限していることを述べている。さらに、松野が木曾地方の山林を調査中にデレーケ（Johannis De Rijke）と偶然出会った際に聞いた、ライン川上流のオーストリアとスイスの森林保護政策と下流域への影響についてのデレーケの談義を紹介している。また、1891（明治24）年10月の濃尾大地震のあと、現地調査を行い「震原意見」を総理大臣宛に提出したことを述べている。松野がこの論文を書いた背景として、松野自身は砂防の専門家ではないが、林学の専門家として山林には国土保全という重要な機能があることを認識していたことによると考えられる。

当時の海外に目を向けると、19世紀の後半以降フランスの山岳地帯で盛んに砂防工事が行われ、1878年に

は、プロスペル・デモンゼー（Prosper Demontzey）が砂防工事指導書を著した。この中で、渓流理論としての溪床の安定勾配などが既に論じられていた（デモンゼー、2017；Demontzey, 1878）。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 Zeckendorf）、フェルディナント・ワング（Ferdinand Wang）などの砂防工事、砂防工学の指導者が現れた（野口、1980）。

日本では、1892（明治25）年以降の数年間において、ドイツ留学をした本多静六と川瀬善太郎が帰国後、林学教育に加わった。彼らが行った講義の内容は不明であるが、本多静六の「国家と森林の關係・林政学・前編」（明治27年）、同「増訂林政学」（明治36年）や川瀬善太郎の「林政要論」（明治36年）では森林に土砂防止機能や土砂流出防止機能があることを述べている。ただし、その機構や対策工などの技術的な記述はなく、森林機能の定性的な一般論にとどまっている（本多、1894、1903；川瀬、1903）。これらから、砂防講座が設置される1900（明治33）年頃までは、学問としての砂防の教育はなされていなかったと考えられる（西本ら、2015）。

2.2 砂防講座の設置経緯

1900（明治33）年4月に、東京帝国大学（以下、原則として「東京大学」という）に砂防講座が開設された背景については、野口（1980）、武居（1981）、太田（2010）などに詳しい。

太田（2010）は、本来実学であるこのような学問領域が、最高学府たる大学における林学の一講座として取り上げられるようになった背景として、1896（明治29）年の河川法の制定に続く翌1897（明治30）年の森林法と砂防法の成立があるとしている。江戸時代以来の土砂留め技術が、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てできた明治時代中期の砂防技術は、内務省の現場技術者の努力に負うところが大きい。そして、砂防法が前年の関東地方の水害によって必要性を増し緊急に上程成立したものであり、森林法もその成立過程で水害を意識したものであったことが、林学の第四講座として砂防講座が認められた要因であるとしている。

また、鈴木（2000）は砂防の講座が林学科の中に設置された理由について次のように述べている。1900年当時の「荒地」の面積が1985年のそれに比して著しく大きく、荒廃した山地の復旧と山地の保全に対する強いニーズが存在していた。そこで、森林管理の専門家養成のために、教育組織、教育体系を形成する過程において、先行して設置された3講座（森林経理学、造林学、林政学）に加えて山地保全を担当する講座が設置された。

さらに、武居（1991）と太田（2010）は、砂防講座の専門領域として「森林理水」と「砂防」が並列的に掲げられたのは、当時の「森林法」の中で重要な部分を占めている「保安林制度」に関し、その意義を学問的に明確

にして森林行政の基礎を固めようとした意図があったと考えることができるとしている。

次に、東京大学の砂防講座設置に大学内で深く関与したのは、当時森林利用学を担当していた河合鍾太郎と考えられる。河合は1899（明治32）年～1903（明治36）年に、ドイツとオーストリアに留学しており（東京帝国大学、1899；東京帝国大学、1902）、1901（明治34）年にウィーン農科大学（正式名 Universität für Bodenkultur。以下、「BOKU」という）で学んでいる。同大学でワングの講義を聴講し、砂防に関心を持っていた可能性がある。諸戸（1931）は、“明治32年に、河合先生がオーストリアのウィーン市にある高等地産学校にならって、砂防工学を我が国の山林学校の課程に入れることの必要性を主張された”と述べている。このことから、河合の貢献が大きかったことがわかる。

3. 明治時代の東京帝国大学砂防講座

3.1 初代教師の選考

1900（明治33）年に東京大学に砂防講座が開設されたものの、当初は砂防を講義できる日本人がいなかったため、外国人を御雇教師として招聘している。

この時期の事情について、伊藤（1942）は次のように述べている。“本講座の内容たる森林理水及砂防工学の講義は、最初はドイツ人のカール・ヘフェル（Karl Hefele）、次いでオーストリア人のアメリゴ・ホフマン（Amerigo Hofmann）が担当した。ヘフェルは造林学及び森林経済学に造詣深い人に過ぎなかったが、ホフマンは砂防工学の専門家である豊富な経験を有し、我が国砂防界の為に大いに貢献するところがあった。愛知県瀬戸市に現存し、ホフマン工場の名称が付けられているのは彼の所説の現れであって、我が国砂防技術上の好参考資料となっている。次の授業担当者教授である河合鍾太郎は、愛知県より砂防工事設計の嘱託を受け、同県下の砂防工事に貢献するところがあった”。このように伊藤は幾分控え目な表現で、ヘフェルが砂防に関する十分な知識を有していなかったことを示唆している。ヘフェルの後に来日したホフマンは砂防が専門であり、ホフマン工事をはじめとする大きな業績を残した。なお、ホフマンが帰国した後、諸戸が担当教授になるまでの間は、河合が講座の授業を担当した（右田、1917）。

砂防が専門でないと推察されるヘフェルが、砂防講座の最初の教師として選ばれたのは、なぜだろうか。ヘフェルが1901（明治34）年1月に着任していることから、その人選が行われたのは砂防講座ができる1900（明治33）年あるいはその前年までさかのぼると考えられる。この当時の林学科教授は、川瀬善太郎と本多静六であり、助教授として河合鍾太郎、右田半四郎、諸戸北郎、講師として志賀泰山がいた（表-1）。このうちドイツ留学経験者は本多、川瀬、志賀である。工学的側面もあるという意味で砂防に近い森林利用学が専門で、かつ

表-1 1900年頃の東京大学林学科教授等と海外留学
Table 1 Professors of forestry science department who studied abroad in around 1900

氏名	生年	専門分野	帰国後所属先	教授等の期間	留学期間	留学先
志賀泰山	1854	林学全般	農商務省技師試験補	教授 1890～1893 講師 1893～1900	1885～1888.11	ドイツ
村田重治	1861	(官吏)	農商務省山林局林政課長		1900.3～1901.5	ドイツ オーストリア
川瀬善太郎	1862	林政学	東京大学教授	教授 1895～1924	1892～1895	ドイツ
河合鍾太郎	1865	森林利用学	東京大学教授	助教授 1894～ 教授 1903～	1899～1903	ドイツ オーストリア
本多静六	1866	造林学	東京大学助教授	助教授 1892～1900 教授 1900～1927	1890.3～1892.5	ドイツ
右田半四郎	1869	林政学	東京大学教授	助教授 1895～1907	1903～1906	ドイツ オーストリア
諸戸北郎	1873	理水及び砂防工学	東京大学教授	助教授 1899～1912 教授 1912～1934	1910.3～1912.6	ドイツ オーストリア 他

(注) 幕末明治海外渡航者録覧（手塚 晃・国立教育会館編集、1992）ほかより作成

砂防講座設置に熱心であった河合は1899（明治32）年に留学に出発しており、人選が本格化した時点で留学中であった可能性がある。諸戸は1899（明治32）年8月に助教授になったばかりで、かつ留学経験もまだなかったことから、発言力は小さかった可能性がある。

以上から、初代教授の選考に係わった可能性のある人物として、当時の教授、助教授、講師であった川瀬、本多、河合、右田、諸戸および志賀を挙げることができるが、最終的に判断したのは川瀬、本多の両教授と砂防講座設置に係わりの深かった河合の3人の可能性が考えられる。この3人は、大学教員でかつヘフェル着任時にドイツへ留学経験があるか、あるいは留学中であった。後述するように、他にオーストリアの砂防経験豊富な行政官が教師の候補として応募をしていたこと、一方でヘフェルは砂防が専門でなかったことをふまえると、人材の専門性より博士の学位を有するという学術的側面を重視すべきであるとの考え方から、林学教育の先進国ドイツから招聘することになったと推測される。

このあたりの経緯について太田（2010）は、ヘフェルは本多静六と親交があったので、松野彌、中村弥六、グスマン、マイエル、志賀泰山、本多静六、川瀬善太郎と続く、ミュンヘン大学森林植物学ハルティッヒ教授を軸とするルートによる招聘であったと推測されると述べている。この人選の時期より以前には、当時の砂防先進国であるオーストリアへ留学した者がほとんどいなかった

た(手塚晃・国立教育会館編集, 1992)ことから、当時としては、林学先進国のドイツから招聘することに決定されたと推測される。なお、栗原(1957)では、明治32年にドイツを訪問しマイエルに会っている農商務省の村田重治が、行政官としてこの人事に関係している可能性があるとの見方をしている。

諸戸は、留学中にオーストリア国内を視察した際の報文で、“シュレジェン州野溪留置監督ハーニッシュ(Hanisch)氏と同宿する。同氏より、おおよそ10年前に東京帝国大学農科大学林学科に野溪留置講座が新設されるにあたって、外人教師を招聘している際の応募者の一人であったが、ハーフェル氏に確定し、ハーニッシュ氏は不幸にしてその選考に洩れたことは実に残念であったとの懐旧談を聞いた”(諸戸, 1912)と記している。このことから、砂防講座の初代御雇教師として、“ハーニッシュ(Hanisch)”という名前の候補者がいたことがわかる。

筆者は、2014(平成26)年9月、オーストリアの農林省にマリア・パテック(Maria Patek)砂防部長を訪ね、諸戸の報文の中にある、“ハーニッシュ(Hanisch)”についての情報提供を依頼した。後日、オーストリアのケルンテン(Kärnten)砂防事務所のオイゲン・レーンガー(Eugen Länger)氏から、ハーニッシュについての情報がメールで送られてきた。これには、“ベルトホルド・ハーニッシュ(Berthold Hanisch)氏は、1865年生まれである。1892年に砂防事務所へ奉職した。1907年に現在のチェコ共和国オパヴァ(Opava)にあるシレジア(Silesia)事務所の所長となる。第一次世界大戦後、シレジアがチェコスロバキアとポーランドに分割されたため、ハーニッシュ氏はオーストリアに帰国し、グラッツ(Graz)市にあるシュタイエルマルク(Steiermark)砂防事務所の所長となる。1922年に退官した”(原文は英語、著者訳)と記されていた。なお、この文中に出てくる“シレジア(Silesia)”とは、(諸戸, 1912)にあるドイツ語カタカナ表記の“シュレジェン州”(Schlesien)の英語名で、現在のチェコ北東部からポーランド南西部にかけての地域を指す。第一次世界大戦以前の地域名称である。

ハーニッシュは1865年生まれであるので、砂防講座ができた1900年時点で35歳である。年齢的に見ても、1863年生まれ、37歳のハーフェルに近い。2人の違いはハーフェルがドイツ人で、1893年より大学勤務をしており博士の学位を有していたが砂防が専門ではなかったことに対して、ハーニッシュはオーストリア人で砂防事務所勤務の官吏であり砂防が専門であったことである。

また、ハーニッシュは1900年時点でオーストリアの砂防技術者となってから8年が経過していたことになる。ハーフェルの後に、砂防講座の教師となったアメリカ・ホフマンが着任時点で、年齢が29歳でオーストリアの砂防技術者としてのキャリアが6年半であったことと比

べても、ハーニッシュは初代教師として十分に有資格者であったといえる。

3.2 カール・ハーフェル

宮内庁所蔵(1937a)では、砂防講座の最初の教師であるカール・ハーフェルは、“明治34年1月から明治36年9月まで2年8ヶ月間の期限を以て雇入れ”。そして“明治36年6月雇満期前解任帰国”と記されている。当初の期限の3ヶ月前に解任しているが、この理由は不明である。

ハーフェルは、1896年にドイツのミュンヘン大学の講師となり、森林保護学、特に砂防工学の講義を担当し又測樹学の講義を担当していたが、ミュンヘン大学時代における彼の専門が砂防工学であるかどうか定かではない。明治34年1月に東京帝国大学に招聘され、林学通論および砂防工学の講座を担当しながら、時事問題として森林経済について評論を行うとともに、日本各地の森林視察を行って、林業に関する適切な意見を発言したとされている。そして約3年間の活動の“意見の述述”として7項目が示されているが、その最後に「森林及理水」が記されている(宮内庁所蔵, 1937a)。

この中に、“意見の述述”の原文を完備していないので詳細は不明である。最後の「森林及理水」の「理水」のみが、砂防に関するものであることから、彼が砂防の専門家であったかどうか、また砂防講座担当として業績を残したかどうかは不明である。

ハーフェルの日本における業績に関して詳しく述べているのは、筆者が入手できた資料では、宮内庁所蔵(1937a)と諸戸(1912)のみである。諸戸(1912)は、ハーフェルの講義と彼を日本に招聘したことに関して極めて痛烈な批評をしている。すなわち、“全く工学的知識のないハーフェル氏の誤魔化しの海陸工の講義のために、3年間が無駄になったことは、我国の林業にとって実に残念なことである。(中略)今や日本の林業界には野溪留置工事の知識を有する人が多数必要であるが、その数は少なく土木学を修めた者が野溪留置工事に挑むようになった現状を考えると、10年前のこの外国人教師の



写真1 東京大学林学教政館当初の教員と学生
(諸戸北郎博士アルバムより)

Photo1 Members of forestry department, Tokyo Imperial University during 1901 and 1903
(From Moroto's photos album)

選考は日本の林学の盛衰に大きく関係する問題である。10年前の当時は深くこのことを考える者が無かったために、10年後の現在は大変不都合な結果となってしまった。人物の選考は特に慎重に行なわなければならない^{*}と記している。ヘーフェルの行った砂防の講義が稚拙であったことと、新設の東大砂防講座の外国人教師人選のまずさを指摘し、さらにこの人選が日本の砂防学の発展を遅らせたことを嘆いている。諸戸自身がヘーフェルの講義を聴いていたであろうことから考えると、最初の外国人教師の人選の議論に参画できなかったことへの歯がゆさを感じていたのではないかと推察される。

写真-1は、ヘーフェルが日本滞在中（1901年1月～1903年6月）の東京大学林学科における写真である。前列左から2人目から順に、諸戸、川瀬、ヘーフェル、前列右から3人目に本多、5人目に志賀が写っている。

大学の教員名が記載されている、東京帝国大学一覧において、「林学第四講座担任」という形で砂防講座担当教員が示されるのは、諸戸が教授になった直後の1913（大正2）年印刷のものからである。それ以前は、ヘーフェルは「教授及教師」のところに、「林学 カール・ヘーフェル」と記されており（東京帝国大学、1902）。ホフマンについても同様である。また、諸戸は「助教授」のところに「林学 諸戸北郎」と記されており、担当講座は明記されていない。（例えば、東京帝国大学、1911）。

ヘーフェルと諸戸の関係を述べたものは他に見出していないので、写真-1における2人の位置関係から、諸戸が砂防担当の助教授としてヘーフェルを補佐していたことが推測できる。なお、右の柱には「林学科」と書かれた看板が掛かっている。

3.3 アメリゴ・ホフマン

3.3.1 アメリゴ・ホフマンの経歴

ヘーフェルが、1903（明治36）年6月に帰国後、1904（明治37）年5月に、オーストリアからアメリゴ・ホフマンが砂防講座担当の教師として招聘された。

宮内庁所蔵（1937b）によると、ホフマンは1875年にトリエスト市（現在のイタリア東北部に位置）に生まれた。ウィーン農科大学で当時の教授であるワングの指導を受け、1897年に22歳で卒業後、オーストリア政府の森林官となり、砂防工事現場で経験を積んだ。その後、恩師のワングに日本で砂防を教えることを勧められ、1904（明治37）年5月に来日し、1909（明治42）年6月までの約5年間、砂防講座の講義と実習を担当し、学生を指導するとともに、創設間もない砂防講座の充実に努めた。研究においては、日本各地を巡るなど調査・資料収集を行い、その研究成果を各種雑誌に掲載して公表するとともに、特別講義として学生に講授し、森林理水及砂防工学分野の発展に貢献した（宮内庁所蔵、1937b）。

これまで、ホフマンの日本における業績について、東大砂防講座の2人目の外国人教師を務めたことと、愛知県瀬戸市に現存する、ホフマン工事を指導したことのみ

が語られてきた（例えば、武居、1991）。また、オーストリア帰国後については、1910年オーストリア農業省溪流対策局に所属したのち、1718年ウィーン農科大学溪流対策学（砂防工学）の教授になり、1920年に彼の祖国イタリアの森林局に転任し、1927年イタリア国有林長官になっている。その後、1934～1935年にボローニャ大学で教鞭をとった。これまで日本では、これらの経歴については述べられているが、その具体的内容については述べられていない（例えば、太田、2010）。

筆者はここ数年において、アメリゴ・ホフマンについて、彼の欧州での業績や日本での活動などについて多くの情報を収集することができた。具体的には、ホフマンの著書、出身大学による功績文書、オーストリアとイタリアで出された書籍、家族による回想録、子孫が所有している写真、諸戸によるホフマン関係の著述などである。

本項では、これらを基に、日本における業績の概要を述べることにし、その詳細と欧州における業績については、別の機会に紹介したいと考えている。

3.3.2 ホフマンの日本における業績

ホフマンは、ホフマン工事をはじめとする砂防工事の指導を行ったほか、日本国内はもとより朝鮮、台湾へ調査に赴いている。その土地や人、森林植生、地質など幅広く研究し、多くの著作論文を残している（宮内庁所蔵、1937b）。これらの成果物が日本国内では発掘されていないが、帰国後はオーストリアとイタリアにおいて日本の砂防工事を紹介している（例えば、Hofmann A., 1913）。

宮内庁所蔵（1937b）は、ホフマンが日本滞在中の調査研究活動とその報告等について、「ホフマンは、常に講学の余暇を利用して研究のための視察をした。即ち彼は約6年間の在任中に、延べ320日をかけて視察旅行を行い、日本各地を踏破しただけでなく、遠く朝鮮、台湾にまで行った。この視察の結果をふまえて、以下の有用な著作論文を著述するという顕著な業績を残した。

- 1 日本に於ける旅行見聞記
- 2 日本森林樹種を欧米に移植する問題について
- 3 韓国における森林産物について
- 4 日本の河川及礫流
- 5 砂礫流下の点より為したる日本河川の分類
- 6 蓄水溝について
- 7 日本山腹修繕工事について
- 8 日本森林の材木
- 9 日本に於ける森林所有及施業状態
- 10 日本に於ける森林利用及木材商業
- 11 日本に於ける林政及森林法律について

と記されている。視察旅行をふまえて、11項目の論文を著作したことがわかる。

この中で、砂防に関するものは、「4日本の河川及礫流」「5砂礫流下の点より為したる日本河川の分類」「6蓄水溝につき」および「7日本山腹修繕工事につき」であり、自らの専門分野について多くの業績を残すとも

に、日本および周辺国の森林と林業についても多くの論述をしている。

ホフマンは、日本国内は北海道から中国・四国地方にかけて、また朝鮮半島と台湾まで足を延ばしているが、現地調査を行ったことを確認できるものは国内にほとんどない。筆者が見出したものとしては、ホフマン工事関係を除けば、諸戸が度山（1940）において、“昭和14年度新潟県土木課で築設の練積堰堤を見る。夕刻高崎着。明治37年7月に余は奥国人ホフマン君と共に、東大学生を指導して木曾に行く途中高崎に一泊したことがある”と述べているものだけである。これから、学生の指導のために、ホフマンが長野県へ調査出張を行っていることがわかる。

一方で、ホフマンはこれらの調査をもとに、1913年（帰国4年後）にドイツ語で、「Aus den Waldungen Des Fernen Ostens」（極東の森林から）を著述しており、この著書にある写真から前述の各地へ赴いたことを明らかにできる。ホフマンはこの著書で、日本各地はもとより、朝鮮半島と台湾も含めて森林と林業を紹介するとともに、愛知県瀬戸地方や滋賀県の砂防工事を紹介している（Hofmann, 1913）。

次に、筆者が確認した日本における唯一のホフマンの講演記録についてふれる。1907（明治40）年の大日本山林会の記念大会で、ホフマンは東大教師として「日本の砂防工に付いて」と題する講演を行っている。ホフマンはおそらくドイツ語で講演を行ったようで、講演者名の横に川島明八通訳と書かれている。なお、川島明八は東京大学林学実科の授業担任の職にあった人物である（東京帝国大学、1907）。この講演録の中に次の記述がある。“日本のような山岳の多い所では、種々の原因は結びあって砂流の発生を容易にして、かつそれによる災害を多数発生している。即ち山間の溪谷より流れ出る場所の砂流は集約的な産業が行われている土地に氾濫してこれを流出させている。砂流はこれを放置すれば、年々その破壊力を増す事はこれによる損害の増加によって知ることが出来る。砂流に対して砂防工事を実施することは目下の重要な事業である”（ホフマン、1907）。日本では山地からの土砂の流出が著しく、これによる災害が多発していることから、砂防工事が重要な事業であることを強調している。文章中で「砂流」という用語が使われている。おそらくドイツ語での講演であるため、ホフマンが実際にどのような単語を使用したかは、原文が入手できないため不明である。当時は「土石流」という日本語がなかった（西本、2011）ことから、文脈からすると、川島は土石流の意味で使用したものと考えられる。

3.3.3 ホフマン工事

ホフマン工事については、多くの文献でその詳細が述べられているが、諸戸（1938）や愛知県農水産部（2005）などに詳しい。

ホフマン工事は、明治37年にホフマンの指導の下に

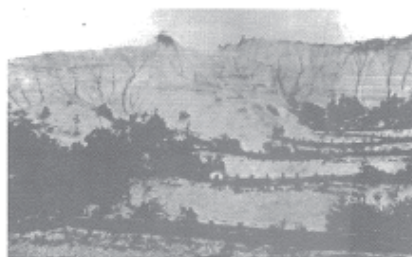


写真-2 1906（明治39）年施工当時のホフマン工事
（愛知県農林水産部、2005より）

柳編構工が施工されている様子がわかる

Photo 2 Hofmann works in Seto, Aichi pref.
（From Aichi pref.）

東大林学科学生の川添孝蔵が卒業論文として設計し、愛知県瀬戸市宇印所地内に愛知県内務部第2課土木係（当時）が明治38年度に施工したものである（例えば、諸戸、1938）。ホフマン工事は、溪床の縦断勾配緩和のため、堰堤工と柳編構工が設計され、堰堤の堆砂による自然勾配によって溪床勾配を安定させる考え方がとられている（写真-2）。一方で、谷が安定すれば山から崩れてくる土砂は安息角で安定し自然に植生が入ることを期待し、山腹工事は実施されなかった。溪床の安定を図るため、土堰堤5基と柳編構谷止工45箇所を配置し、谷の縦断勾配を緩和し山腹斜面の安定を図ることで、植生が自生することを期待している。この工法の従来の工法と異なる点は、①堰堤の下流法を急にしたこと（基本は二分にすべきであるが、土堰堤に張石したので5分にした）、②水抜を設けたこと、③柳編構谷止工を使用したこと、④山腹工事をしなかったことである（諸戸、1938）。

ホフマン工事に関して、川添（1931）は、“明治37年に、河合博士の唱道の下に、ホフマンの砂防工事の方法を愛知県の瀬戸で初めてやってみようじゃないかというので、愛知県知事の依頼により、試験的に2箇所行うことになった。その測量の任に当たったのが、私と台湾総督府にいた山崎嘉夫で、卒業計画という名目のもとに、施設の配置のための測量をした。約一ヶ月間山にいて、ホフマン、諸戸両先生の実地指導を受けた。大学に帰ってからまた両先生の指導を受けた。その結果にもとづき、愛知県が施行をしました”と記している。ホフマン工事は、当時の砂防講座の世話をしていたと推測される林学科の河合錦太郎教授の主導のもと、ホフマンが諸戸と協力しつつ学生を熱心の実地指導していたことがわかる。

ホフマン工事について、武居（1981）では、“この工法は必ずしも成功したとはいえないが、オーストリアの野溪留工事の手法を初めてわが国に適用した実例として興味深い”と、愛知県農水産部（2005）では、“工事跡地は施工後から現在にいたるまで、治山・砂防関係の研究者、技術者、学生など多くの人が訪れ、実習、研修、研究の場として利用されている”と記しているように、

現在でも高く評価されている。

一方で、砂防協会(1929)には、“本工事は奥国及奥国において行われている方法である。ある程度まで土砂の崩壊を自然に放置しておき、崩壊土砂を一定の勾配で保持するために土堰堤と編欄工事を実施する。本箇所は初めは土堰堤を設置したが、その後破壊したため張石をして修繕した。当時は技術も幼稚で柳の編欄工は施工方法が悪かったのも、明治42年にこれを鉄線蛇籠に改築した。また斜面の背面で山腹工事が施行されたことから、土砂の崩落が速くなった。堰堤の数が多過ぎる様に見えるのは、既設の土堰堤を修繕したためであり、やむを得ないものである”との記述が見られる。土堰堤ならびに柳編欄工の施工が不十分なものであったことなど指摘している。この文章は、砂防協会の機関誌「砂防」の第4号にある「雑報」として書かれているもので、その筆者は記されていない。

このあたりの事情については、鈴木(2000)は、砂防講座の米村新之助の卒業論文「愛知県砂防工」の中にほぼ同じ表現があるが、その表現が米村自身のオリジナルなのかは不明であると述べている。米村(1933)は、砂防協会(1929)の4年後の文章であることから、米村が「砂防」にある雑報の文章を引用したともと思われる。米村(1933)はさらに“本工事をホフマン工と称するのは、諸戸博士談によるとホフマン氏も迷惑するところと同氏は大学卒業後まもなく来朝したくらいの人で、同氏が携わってきた現場は、堰堤施設のみで柳欄などを用いる場所ではなかったという”と記している。「砂防」は、諸戸が砂防協会の理事長をしていたことと、米村の学生時代の教授が諸戸であったことから、「砂防」の第4号の文章は諸戸博士自身が書いたものであり、米村の論文にある諸戸博士談も事実に基づくものであると考えるのが自然である。

当時、フランスやオーストリアでは、19世紀末には堰堤にコンクリートを使用した練石積工法を取り入れており、下流法勾配は2分程度になっていた(例えば、Wang, 1903a)。一方、日本では1916(大正5)年に西安堰堤で初めてコンクリートが使用され、堰堤の下流法勾配が



写真-3 萩御殿の石積堰堤(2016年2月24日著者撮影)
土(粘土)を突き固めた堤体の上下流と天端を巻くように割石を張っている。水通部の形状は中央を低くした虹状である

Photo 3 Old masonry check dam at Hagi-goten in Seto, Aichi pref. (Feb. 24, 2016, taken by author)



写真-4 チェコ西部(オーストリア帝国時代のベーメン(Böhmen)州)のラコヴニーク(Rakovník)溪における柳編欄工事施工後2年目の状況(諸戸北郎博士アルバムより)

Photo 4 Hedge dams woven from willow branches at Rakovník torrent, Czech (From Morioto's photos album)

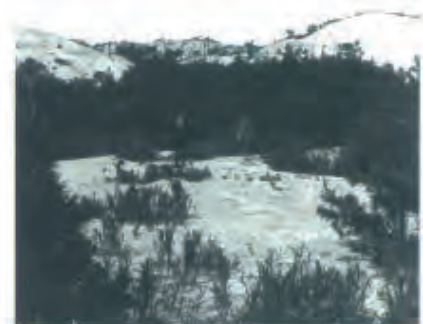


写真-5 ホフマン工の1931年当時の状況
(ホフマンの孫のElsa Niesner氏提供)
山腹の上部は裸地であるが手前には樹木が見える。手前左に諸戸が写っている

Photo 5 Situation of Hofmann Works site in 1931 (Owned by Ms. Elsa Niesner, grand daughter of A. Hofmann)

他になったのはこれ以降である(西本ら, 2013)。大正時代初期までの日本で施工されていた砂防堰堤の下流法勾配は1割あるいはさらに緩くなっていた(中根, 2015)。愛知県瀬戸市のホフマン工事の場所から約3km南にある萩御殿地区には、当時日本で多く施工されていたタイプで、1900(明治33)年施工の石堰堤が現存している(写真-3)。この堰堤の下流法勾配は1割5分である。諸戸(1938)では、ホフマン工事の特徴の一つとして、“堰堤の下流法を急にしたこと(基本は二分にすべきであるが、土堰堤に張石したので5分にした)”と述べているが、このことは当時の日本の施工技術のレベルをふまえて、ホフマンはホフマン工事における堰堤の下流法を可能な範囲で出来るだけ急な5分の勾配にした考えるべきであろう。

また、ホフマンは、ウィーンでの大学時代および卒業

以降に、ゼッケンドルフの著書 (Zeckendorf, 1884) や、ワングの著書 (Wang, 1903b) に記述されているヤナギの木の枝を使用した柳編織工の計画、施工方法を学んでいたと思われる。ホフマン工事で柳編織谷止工を施工しているが、Wang (1903b) と諸戸 (1915) によれば、この工法はオーストリアでも実施されている (写真-4)。

ところで、諸戸博士は1931 (昭和6) 年6月8日から欧州出張時に、ホフマン工事の当時の状況を写したと思われる写真をホフマンに手渡している。写真-5は、著者が、ホフマンの孫であるエルサ・ニースナー (Elsa Niesner) 氏から提供されたプリント写真である。この写真の裏面には、“30 Mai 1931, Prof. Kitao Moroto”と記したメモがある。諸戸には、1931 (昭和6) 年5月29日に大学から愛知県下への出張命令が出ている。写真左手前に諸戸が写っており、撮影日が5月30日であることから、諸戸が訪欧直前にホフマン工事を訪れた際に、写したと思われる。諸戸は、ホフマンに植生の回復が進んでいる現状を説明したと推察できる。

このことから、米村 (1933) にある、ホフマン工事についての諸戸の批評である“本工事をホフマン工事と称するのは、ホフマン氏も迷惑するところ”のくだりは、日本とオーストリアとの技術格差がある中で、ホフマンが可能な範囲でオーストリアの砂防技術を日本に応用しようと試みた、というホフマンの心情を代弁したものと考えることもできる。ホフマンは、諸戸から受け取った写真を見て、帰国後の時の経過の中でホフマン工事施工地の緑が回復してきている状況を知り、彼なりの評価をしていたものと推察できる。

3.4 外国人教師と諸戸北郎

諸戸は、1898 (明治31) 年に東京大学林学科を卒業し、1年間大学院で学んだ後、1899 (明治32) 年8月に助教となり、1912 (明治45) 年6月に教授になっている。この間の1909 (明治42) 年1月～1912 (明治45) 年6月にオーストリアに留学している。なお、砂防講座ができたのは1900 (明治33) 年3月29日であるから、諸戸は助教になった時は砂防担当ではなかった。その後、東京帝大に砂防講座ができてから教授になるまでは、理水・砂防・測量・利用・林道の科目を担当している (根岸ら, 2007)。

ヘーフェルの日本滞在は1901 (明治34) 年1月～1903 (明治36) 年6月であり、ホフマンのそれは1904 (明治37) 年5月～1909 (明治42) 年6月であることから、諸戸は2人の外国人教師のもとで、助教として砂防講座の教育に携わっていた。

この間、ヘーフェルと諸戸との関係がわかる資料は、ヘーフェルの講義を批評した諸戸 (1912) のみであり、その内容からヘーフェルの講義を手伝いながら聴いていたと推察できる。

ホフマンと諸戸との関係については、3.3.2で述べた度山 (1940) の記述と、3.3.3で述べた川添 (1931) の

記述から、学生の調査指導や実習指導で行動を共にしていたことがわかる。また、川添 (1931) は、“ホフマンが農科大学の雇い教師となって日本に参りまして、我々が初めてホフマンの講義を聴いた訳です。当時諸戸さんは大学の助教授をして居られて、ホフマンのアシスタントといいますが、側に居られて、我々が講義を聴いて居ると我々と一緒に席を並べてホフマンのヴィルドバフフエルパウウング (Wildbachverbauung) と云いますか、砂防工事の講義を聴いていた訳です”と記している。ホフマンが砂防講座に在職中は、諸戸はホフマンの講義の手伝いをするともに、自らもホフマンの講義を聴いていたことがわかる。

1905 (明治38) 年に愛知県知事がはげ山の調査を河合に委託している (愛知県農水産部, 2005)。このことは、砂防を教えていたホフマンが御雇教師であるため、森林利用学担当教授である河合が砂防講座の面倒をみていたためと推察される。こうした環境下で、諸戸は助教としてホフマンと共に現地を調査し、「ホフマン工事」などの実習で学生を指導していたことがわかる。

4. まとめ

明治30年に砂防法が制定される頃までは、論文等で森林の土砂防止機能などについて一般論を述べた林学専門家はいたが、砂防教育は体系だてて行われていなかった。明治33年に東京帝国大学で砂防教育が始まり、明治40年代初頭には日本人初の砂防担当教授が誕生した。本論は、この頃までの砂防教育黎明期の事情を取りまとめたものである。

本論では、まず砂防講座の設置前後の関係事情を述べた後、砂防講座設置について、時代背景や林学教育との関係、設置に関与した人物、ならびに外国人教師を招聘した経緯を述べた。次に2人の外国人教師の日本での業績を対照しつつ、特にホフマンについては、これまでホフマン工事を指導したことのみが取り上げられてきたが、他の業績についても述べた。さらに、2人の外国人教師が日本滞在中、林学科の助教授をしていた諸戸の当時の砂防教育における立場を述べた。

これらについて、本論で新たに示したと考える主なもの以下に記す。

- 1) 東京大学に砂防講座が設置される前には、砂防の教育は行われていなかったが、論文、著書で森林管理と土砂流出の関係を定性的に論じた林学の専門家がいた。
- 2) 砂防講座の設置にあたっては河合鋪太郎が大きく関わっていたと考えられる。
- 3) 砂防講座設置後の最初の外国人教師の選考にあたり、ヘーフェルの他にオーストリア人の候補者がいた。選考に係わった可能性のある主たる人物は、川瀬善太郎、本多静六、河合鋪太郎であると考えられる。
- 4) 諸戸は、ヘーフェルとホフマンが砂防講座担当の教

- 師として日本滞在中に、講義などで2人を補佐しながら、助教授として砂防講座の教育に携わった。
- 5) ヘーフェルは、砂防の専門家でなかった可能性があり、砂防講座担当として業績を残したかについては不明である。
- 6) ホフマンは、助教授であった諸戸北郎のサポートを受けながら、学生指導に熱心に取り組む講座体制の充実を図るとともに、日本各地を視察し砂防と林学に関する研究を行った。
- 7) ホフマンは、ホフマン工事に指導にあたり、日本の技術レベルを考慮しながら、当時最先端のオーストリアの工法の導入を目指したと考えられる。

謝 辞

本研究にあたっては、鈴木雅一東京大学名誉教授ほかの「諸戸北郎博士砂防業績研究会」の諸氏をはじめとし、東京大学生態水文学研究所、ウィーン農科大学ヒューブル(Hubbl)教授、諸戸北郎のご子孫、アメリカ・ホフマンのご子孫、一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構ほか多くの皆様のご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表するものである。

引用文献

- 愛知県農水産部 (2005): はげ山復旧の一世紀, ホフマン工
事と萩御殿 (増補・改訂), p. 29-153
- BOKU: Studierende Japan, Universität für Bodenkultur, Wien
- Demontzey, P. (1878): Étude sur les travaux de Reboisement et
de Gazonnement des Montagnes, ATLAS, PL. X, XI, p. 6-11
- 度山 (1940): 昭和十五年初夏の東京農生防砂工事見学旅行
記, 砂防, No. 72, p. 35-52
- 福島康記 (2010): わが国林学草創期にける林政学について,
農林水産省 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. 69-76
- ホフマン (1907): 大日本山林会の記念大会でのホフマンの
講演 (川島明八通訳), 大日本山林会報, No. 290, p. 105-111
- Hofmann, A. (1913): Aus den Waldungen Des Fernen Ostens,
Wilhelm Frick, K. u. k. Hofbuchhändler, 225 pp.
- 本多静六 (1894): 国家と森林の關係林政學前編, 本多氏蔵
版, p. 90-99
- 本多静六 (1903): 増訂 林政學, 博文館, p. 94-102
- 伊藤武夫 (1942): 學術大綱 醫學部 傳染病研究所 農学
部, 東京帝国大学, p. 708-710
- 川瀬善太郎 (1903): 林政要論, 有斐閣書房・成美堂, p. 174
-180
- 川添孝蔵 (1931): 奥国式砂防工事, 林業回顧座談会 (第三
回), 明治林業史・続編, 大日本山林会, p. 176-177
- 小林富士雄 (2010): 松野彌と松野クララ・林学・幼児園教
育事始め, 大空社, p. 72-99
- 宮内庁所蔵 (1937 a): 明治大正年間雇外外国人教師人名録 (下),
文明協会, p. 154-157
- 宮内庁所蔵 (1937 b): 明治大正年間雇外外国人教師人名録 (下),
文明協会, p. 161-164
- 栗原東洋 (1957): 諸戸北郎の進んだ道, 水利科学, No. 1 (1), p. 85
- 松野彌 (1891): 暴流論, 大日本山林会報告, No. 102, 大日
本山林会, p. 27-36
- 右田半四郎 (1917): 中央に於ける明治期の林業教育機関の
沿革, 明治林業史, 大日本山林会, p. 257
- 諸戸北郎 (1912): 明治四十四年六月奥国メーレン州及シュ
レシェン州修学旅行日記及び所感, 大日本山林会報,
No. 351, 大日本山林会, 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, p. 90-104
- 諸戸北郎 (1931): 砂防工事の回顧, 大日本山林会誌, No. 582,
大日本山林会誌, p. 38-41
- 諸戸北郎 (1938): 諸戸砂防工学, 成美堂書店, p. 326-328
- 中根和彦 (2015): 砂防堤堰の下流法勾配及び石積形状に着
目した近代日本砂防技術確立期にける欧州アルプス砂防の
影響, 筑波大学大学院・修士学位論文, p. 92-95
- 根岸賢一郎・丹下健・鈴木誠・山本博一 (2007): 千葉演習
林沿革史料 (6) - 松野先生記念碑と林学教育事始めの
人々 -, 演習林第 46 号, 東京大学大学院農学生命科学研
究科附属演習林, p. 81
- 西本晴男・尾関信幸・亀澤奈央 (2013): 20 世紀前半の砂防
堤堰の構造について, 平成 25 年度砂防学会研究発表会概
要集 A, p. 24-25
- 西本晴男・鈴木雅一・小山内信智・執印康弘・堀田紀文
(2015): 日本の近代砂防と諸戸北郎博士, 平成 27 年度砂
防学会研究発表会概要集 B, 砂防学会, p. 166-167
- 西本晴男 (2011): 「土石流」のはなし, 社団法人全国砂防協
会, 246 pp.
- 野口陽一 (1980): 治山技術の見直しと展望, 山林, No. 1159,
大日本山林会, p. 9-12
- 太田猛彦 (2010): 治山・砂防学の成立と展開, 農林水産省
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,
一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構, p. 6-9
- 砂防協会 (1929): 総報, 「ホフマン工事」の由来, 砂防,
砂防協会, No. 4, p. 53-54
- 鈴木雅一 (2000): 森林治水及び砂防工学研究室 100 周年に
あたって - 講座創設前後の状況 -, 森林治水及び砂防工学
研究室 100 周年, 東京大学大学院農学生命科学研究科森林科学
専攻森林治水及び砂防工学研究室, p. 1-7
- 武居有恒 (1981): 学問・研究の変遷, 日本砂防史 (第 7 章),
社団法人全国治水砂防協会, p. 507-526
- 武居有恒 (1991): 大学における研究, 砂防学講座 (第 1 巻
- 1) 砂防総論 (1), 山海堂, p. 126-128
- 手塚晃・国立教育会館編集 (1992): 幕末明治海外渡航者総
覧 第 1 巻, 柏書房, 506 pp.
- 手塚晃・国立教育会館編集 (1992): 幕末明治海外渡航者総
覧 第 2 巻, 柏書房, 508 pp.
- 東京帝国大学 (1899): 東京帝国大学一覽・明治 32-33 年, p. 271
- 東京帝国大学 (1902): 東京帝国大学一覽・明治 35-36 年, p. 292
- 東京帝国大学 (1907): 東京帝国大学一覽・明治 40-41 年, p. 311
- Wang, F. (1903 a): Grundriss der Wildbachverbauung, Verlag
von S. Hirzel, p. 309-315
- Wang, F. (1903 b): Grundriss der Wildbachverbauung, Verlag
von S. Hirzel, p. 107-125
- 米村新之助 (1933): 愛知県砂防工, 東京帝国大学卒業論文
Zeckendorf, A. (1884): Aufforstung und Berassung der
Gebirgsgründe, p. 84-87

(Received 3 April 2017; Accepted 29 November 2017)

*ブロスパー・デモンゼー (2017) は, Demontzey, P. (1878) の翻訳本である。

総説

東京帝国大学砂防講座外国人教師, アメリゴ・ホフマンの業績についての一考察

A consideration on footprint of Amerigo HOFMANN,
foreign professor of SABO laboratory, the Imperial University of Tokyo

西本 晴 男*
Haruo NISHIMOTO

Abstract

In 1900 the Laboratory of Forest Hydrology and Erosion Control Engineering (SABO) was founded in the Imperial University of Tokyo (present the University of Tokyo), which was the first educational organization for studying and learning this field. As the first foreign teacher for teaching SABO, Karl Hefele was chosen and came to Tokyo in 1901. He did not have much knowledge about SABO, then he returned to Germany only 2 years later. After then Amerigo Hofmann became the teacher holding the Laboratory of SABO and stayed in Tokyo about 5 years. He left many footprints which are not only "Hofmann works" in Seto city, Aichi prefecture, but also many papers and books published in Austria and in Italy before or after coming back to Europe. "Hofmann works" is very famous as the performance of Amerigo Hofmann in Japan, however this is only one result which is distinctly known as his performance in Japan. And the detailed career of Amerigo Hofmann is not known in Japan. In this paper the footprints of Amerigo Hofmann are described in the incipient period of modern SABO on the basis of literature and field investigation. This paper is to contribute to the future exchange between Japan and European countries in the field of SABO based on these historical relationships.

Key words : Amerigo Hofmann, Foreign teacher of SABO, footprint

1. はじめに

1900 (明治 33) 年に東京帝国大学農科大学に林学第四講座として森林理水および砂防工学を専門とする講座 (以下、「東大砂防講座」という) が設置された。

東大砂防講座の設置当初は、外国人教師として、カール・ヘーフェル (Karl Hefele) とアメリゴ・ホフマン (Amerigo Hofmann) が招かれた。カール・ヘーフェルは最初の教師としてその名前が知られているのみで、アメリゴ・ホフマン (以下、「ホフマン」という) については、東大砂防講座の外国人教師として学生を指導し、愛知県瀬戸市に現存する、いわゆるホフマン工事を指導した人物として紹介されてきた。

日本ではホフマンの業績については、前述以外に、オーストリア帰国後に、農林省の浸流対策担当の部署に所属したのち、ウィーン農科大学 (正式名 Universität für Bodenkultur, 以下、「BOKU」という) の砂防工学担当教授を併任し、その後彼の祖国イタリアの公務員に転身し、国有林管理事務局の高官を経て、ボローニャ大学で教育活動に従事したことが述べられてきており、その他の業績はこれまでほとんど明らかにされていない (例

えば、武居, 1981; 太田, 2010)。こうしたなかで西本 (2018) は、ホフマンの日本における業績の一部について述べているが、彼の業績全般をカバーしたものではない。

本論においては、筆者がここ数年において、文献および資料収集、現地調査、関係者からの聞き取りなどにより、ホフマンの日本と欧州での活動などについて得た新たな知見をふまえて、日本と欧州におけるホフマンのより詳細な業績について述べる。本論の題目として「一考察」を加えた理由は、日本国内にある資料が少ないことと、オーストリア、イタリアなどの海外の資料収集には限界があることから、これまでに収集できた資料を根拠として業績をたどらざるを得ないからである。

なお、引用文献の著者として、Hofmann A. はアメリゴ・ホフマンで、Hofmann A. A は、アメリゴ・ホフマンと同姓同名 (ミドルネーム以外で) の孫である Amerigo Alessandro Hofmann 氏である。

2. ホフマンの経歴

1947 年に、Dr. AMERIGO HOFMANN. Ein Gedenkblatt (アメリゴ・ホフマン博士記念冊子) というタイトルで

* 正会員 筑波大学大学院生命環境科学研究科 Member, University of Tsukuba (nishimoto.haruo.fp@u.tsukuba.ac.jp)

25 ページからなる、ホフマンの経歴を綴った冊子が出されている。この冊子はBOKUが所蔵しており、2015年に著者がBOKUを訪れた際に、砂防工学担当のヒューブル(Hübl)教授を通じて入手することができた。本節ではこの冊子(以下、「BOKU(1947)」)というの内容を軸にして関連資料の情報もふまえて述べる。

ホフマン(1875-1945)は、オーストリア-ハンガリー二重帝国時代(1867-1918)のトリエステ市(現在のイタリアの東北端の都市)に生まれ、地元の中学校卒業後、BOKUで学んだ。1897年にオーストリア政府の森林官となり、ケルンテン(Kärnten)州(現オーストリア東南部)、カルニア(Carnia)地方(現イタリア東北部)、カルニオラ(Carniola)地方(現スロヴェニア西部)を管轄するフィラッハ(Villach)の砂防工事事務所で工事の設計ならびに監督に従事した。1900年には、クロアチアのアドリア海沿岸地域のザダル(Zadar)市にある砂防工事事務所勤務となった。

その後、東京帝国大学が砂防工学を講義する教師をオーストリア国内から公募していたことから、ホフマンはBOKUのフェルディナント・ワング(Ferdinand Wang, 以下「ワング」という)教授の助言を得て、日本へ行くことを決意しこれに応募した(Hofmann A. A., 2015 a)。日本に招聘されたホフマンは、1904(明治37)年5月に来日し、東大砂防講座を担当する雇教師となった。1909(明治42)年6月までの約5年間、学生を指導しながら、東大砂防講座の充実に努めた。また、日本国内はもとより朝鮮半島などへ調査に出かけ、砂防をはじめ森林・林業全般について調査研究し、日本の森林理水及砂防工学分野の発展に貢献した(東京帝国大学, 1907)。

ホフマンの東京帝国大学での雇用期間については、宮内庁宮内公文書館所蔵(1937)には、まず“奥国人 アメリゴ、ホフマン 明治37年5月7日より同39年9月23日迄2年4ヶ月17日間雇入 農科大学林学教師”と記されている。また、当時の文部省の資料によると、ホフマンの「雇期」は「自明治37年5月7日、至同39年9月23日」となっている(文部大臣官房秘書課, 1905)。宮内庁宮内公文書館所蔵(1937)には、さらに“明治39年9月24日より同40年9月23日迄1ヶ年間雇継続、明治40年9月24日より同42年9月23日迄2ヶ年間雇継続、同年6月満期前解雇帰国”と続いている。これらのことから、当初は1906(明治39)年9月までの2年4ヶ月間であったが、2度の期間延長がなされ、2度目の延長期限の約3ヶ月前に帰国していることから、結果として約5年間の日本滞在であった。これは、当初契約の残り1年になる時期に、日本政府と大学から教員の任期を3年間延長し、日本から朝鮮、台湾にいたる森林管理に関する相談役も引き受けてほしいとの要請を受け入れたためである(Hofmann, 2015 b)。その後、さらなる期間延長の要請があったようであるが、最初の契約にあった、東大砂防講座の組織強化と自分の後を引き継ぐ研

究者の養成という任務を果たしたとの認識から、この要請を断っている(Hofmann, 2015 c)。なお、文部大臣官房秘書課(1905)によると、ホフマンの「待遇」は、他の多くの雇外国人教師と同様に「奏任」(明治憲法下における官吏任命形式の一つで、内閣総理大臣の奏薦に基づき勅裁を経て任命すること)であった。

オーストリアに帰国後、1910年から農務省溪流保全局勤務となった。1917年に、溪流保全局副局長を兼務しながらワング教授の後を継いでBOKUの砂防工学担当教授となり、この職を1920年まで務めた。この間、1914年6月～1918年11月に第一次世界大戦があった。このため、ホフマンの仕事と家族にとって、この戦争の最後の2年間とオーストリア帝国崩壊直後の2年間は極めて困難な時期であった。即ち、敗戦によりオーストリアは帝国時代の領土が縮小し(終戦後はベルサイユ体制下で領土が確定)、ウィーンは閉塞感が満ちていた。こうしたなか、ホフマンは農務省においては森林と溪流管理の機構改革を目指した。このため兼任していたBOKUの教授としての職務との両立に支障をきたし、さらに機構改革は法律家の抵抗にあい頓挫した。一方で、敗戦後において5人の子供たちの健康問題など養育の困難さが加わった。こうしたなか、1920年にイタリア政府からの国家公務員へのオファーを受け入れ、ウィーンでの役職を1年間休職することとし、イタリアに移った(Hofmann, 2015 d; Bundesministerium für Land-und Forstwirtschaft, 1984)。

その後、イタリア北東部のゴリツィア(Gorizia)の事務所で国有林の再整備事業の仕事をして、イタリア国家公務員としての仕事に移ることを最終的に決断し、イタリア市民権を得た。1927年から1933年にかけて国有林庁の長官(Direttore generale dell' Azienda di Stato per le Foreste Demaniali)を歴任し、1928年には同年設立されたイタリア国家森林警備軍(Console della Milizia nazionale forestale)の顧問を兼任した。その後、1934～1935年にボローニャ大学で溪流管理の講義を行い、1936年からギリシアのロードス島で森林監督官を務めた後、第二次世界大戦中はタルビジオで過ごし、1945年1月当地でその生涯を終えた(BOKU, 1947)。

3. 来日前の業績

ホフマンは、1897年～1900年に、オーストリア帝国のフィラッハ(Villach)の砂防工事事務所に勤務していた。ホフマンが携わった砂防工事の地域は、フィラッハの西方に開けたガイルの谷(Gail Tal)と、タルビジオ(Tarvisio, 現在のイタリア北東部のフリウリー-ヴェネツィア・ジュリア(Friuli-Venezia Giulia)州ウディネ(Udine)県のさらに北東端の森林地帯の町)があるカナルの谷(イタリア語でVal Canale, ドイツ語でCanal tal)である(BOKU, 1947)。このタルビジオ周辺一帯は、イタリア有数の豊かな森林地帯である。ホフマンは、2013年に

国家森林警備隊 (Corpo Forestale dello Stato) が作成した記念誌である「Foresta di Tarvisio Patrimonio culturale e natural 1007-2013 Dieci secoli di storia di uomini e boschi」(タルビジオの森林—文化と自然の遺産としての1007-2013年の10世紀に亘る人間と森の歴史—)の中で、この地域の森林管理に特に貢献があった二人の人物として、長男のアルベルト (Albert Hofmann) とともにその功績が讃えられている (写真-1)。ホフマンは、カナルの谷にある多くの溪流で砂防工事に携わっており (Corpo Forestale dello Stato, 2013)、フリウリー・ヴェネツィア・ジュリア州の砂防主任であるボナーニ (Andrea Bonanni) 氏によれば、写真-2のルサーリ (Lussari) 溪の砂防堰堤の工事の一つである。

1900年には、ザダール (Zadar) 市にあった砂防工事事務所勤務となった。森林監督官兼砂防工事指揮官とし

てダルマチア (Dalmacija) 地方とモンテネグロのコトル (Kotor) の砂防工事を担当した。クロアチアからモンテネグロにかけてのアドリア海沿岸地域はカルスト地域で、年間降水量が少ないことから雑生は灌木が多く、19世紀末頃には家畜の粗放的な放牧により、源流部の土壌侵食により下流への土砂流出が著しかった (諸戸, 1912)。

ホフマンは、モンテネグロのコトル湾に流入するシュクルダ (Škurda) 溪とズヴィロニャック (Zvtronjak) 溪において砂防工事の指導を行っている (諸戸, 1912; Martinović, 2015)。写真-3は、Martinović (2015) に紹介されているズヴィロニャック溪にける砂防工事である。写真の下に書かれた説明文の末尾に「(Foto: A. Hofman)」と記されている。ホフマンが、自身が携わった工事を撮影したものと推察できる。なお、同書には同様の写真が数枚あり、これらのどの写真にも苗字のスペルの最後の「n」一文字が欠落している。

4. 日本における業績

4.1 概要

ホフマンの日本における足跡については、西本 (2018) で概要を述べている。ホフマンの足跡として日本国内で確認できるものはほとんどないが、愛知県瀬戸市におけるホフマン工事が良く知られており (例えば、西本, 2018)、これは彼が携わった現地の施設として日本に残されていることが確認できる唯一のものである。また、ホフマン



写真-1 アメリゴ・ホフマン
(Corpo Forestale dello Stato, 2013より)
Photo 1 Amerigo Hofmann
(From Corpo Forestale dello Stato, 2013)

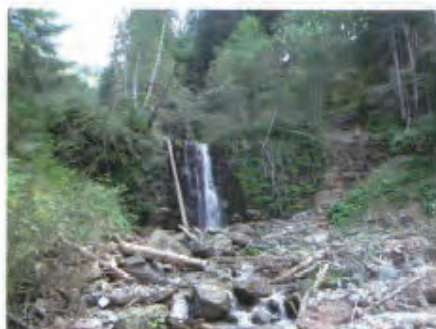


写真-2 ルサーリ溪の砂防堰堤 (2016年9月14日著者撮影)
Photo 2 Check dam at Lussari torrent conducted by A. Hofmann (Sep. 14, 2016, taken by author)



写真-3 ズヴィロニャック溪の砂防堰堤
(Martinović, 2015より)
Photo 3 Check dams at Zvtronjak torrent
(From Martinović, 2015)

が日本において行った講演の講演録が大日本山林会誌に掲載されている（ホフマン、1907）。これはホフマンが日本滞在中に日本国内で論じたものとしては、著者が確認することができた唯一の資料である（西本、2018）。

ホフマンは日本滞在中に、東大砂防講座の担当教師として森林理水および砂防工学について講義し、また砂防工事の指導を行うとともに、各地の森林の管理について指導をした。そして、朝鮮と台湾を含めて広く調査旅行を行い、各地の土地や人の特徴、森林植生、地質など幅広く研究し、これらの調査結果をもとに、多くの論文を発表し著書も著している。（例えば、宮内庁宮内公文書館所蔵、1937；BOKU、1947）

当初、ホフマンの教師職は、森林理水および砂防工学に精通し講義を担当できる日本人が輩出するまでの数年間との契約であったが、この目的を達するまでの1909年まで延長された。ホフマンがこの期間に残した功績に対して、ヨーロッパ出身の教師として初めて、天皇陛下から日本の勲章である「瑞宝章」を授けられた（宮内庁宮内公文書館所蔵、1937；BOKU、1947）。

なお、ホフマンは後述する「植樹の森林から」(Hofmann A., 1913) において、“溪流整備に関する講座は、私の

退職の後、日本の諸戸教授の手に引き継がれたが、教授はオーストリアとスイス、フランスの溪流整備を詳しく研究しており、この講座の開設によって、砂防に関してきわめて重要かつ困難な問題に対する技術的解決策が提供されるものと思う”（著者訳）と述べ、当時助教授であった諸戸北郎博士（以下、「諸戸」という）が自分の後継者としての資質を有する人材に育ったことを示唆している。

写真-4は、ウィーン大学日本学研究所 (Institut für Japanologie, Universität Wien) が、1976 (昭和 51) 年に出している「Japan forschung in Österreich (オーストリアにおける日本研究)」にある写真で、ホフマンが日本滞在中の1904 (明治 37) 年～1909 (明治 42) 年の間で、東京帝国大学の林学教室 (当時) の建物を背景に撮影されたものと思われる。この写真には、“教授と学生に囲まれた日本滞在中のアメリカ・ホフマン。アメリカ・ホフマンのご子息の所有であり、ここに特別に掲載の許可をいただいた。” (著者訳) という解説文が付されている。第2列左から3人目がアメリカ・ホフマンであり、当時助教授であった諸戸北郎は第3列左から3人目である。1列目、4列目が学生で、2列目にホフマンととも

表-1 ホフマン著作の論文
Table 1 List of papers and books written by A. Hofmann

	論文名	言語	論文名和訳	掲載誌	出版年
1	日本の砂防工について*	日本語		大日本山林會報	1907年
2	Das Berftandesmaterial der Waldungen Japans	独語	日本の森林の構成成分	Österreichische Direktorialresschrift für Forstmänner (オーストリア林業季刊誌)	1907年
3	Forstbenutzung und Holzhandel in Japan	独語	日本における森林利用と木材交易	Oe. V. f. F (森林学のためのオーストリア四旬報)	1908年
4	Forstpolitik und Forstgesetzgebung in Japan	独語	日本における森林政策と森林法規	Oe. V. f. F (森林学のためのオーストリア四旬報)	1908年
5	Über Elchunarten Japanisch	独語	日本の鹿の種類について	W. a. F. u. J. Z. (ウィーン一般森林・狩猟新聞)	1910年
6	Das Vorfeld (Sturzbett) bei Gastwerken der Wildbachverbauung	独語	溪流工事の前庭保護工	S. Z. F (森林学のための雑誌)	1910年
7	Die Japanische schwarzkiefer	独語	日本の黒マツ (Pinus Thunbergii)	Oe. V. f. F (森林学のためのオーストリア四旬報)	1911年
8	Die Holzvorrats der Insel Sachalin	独語	サハリン島における木材の在庫	Oe. V. f. F (森林学のためのオーストリア四旬報)	1911年
9	Die forstliche Erschließung der Insel Formosa	独語	台湾島における森林開発	C. f. g. F (総合森林経済学のための中央雑誌)	1911年
10	Visioni forestali del Giappone	伊語	日本の森の姿	イタリア森林誌	1942年

*大日本山林会の記念大会でのホフマン講演録 (川島明八通訳)



写真-4 教授と学生に囲まれた日本滞在中のホフマンの写真 (Institut für Japanologie, 1976より)

Photo 4 Amerigo Hofmann and members of forestry department, Tokyo Imperial University (From Institut für Japanologie, 1976)

に当時の教授(河合鍾太郎、川瀬善太郎、本多静六)らが写っていることから、この当時のホフマンと諸戸との上下関係を明らかにできる資料といえる。

4.2 論文

ホフマンは、日本滞在中に視察旅行を行うなどにより得た知見をもとに多くの論文を書いている。表-1は、著者が独自に入手したものと、BOKU (1947) の末尾にある「アメリカ・ホフマン博士の文献業績リスト」をもとに、当時の日本に関する論文をリストアップしたものである。

発表年から見ると、ホフマンの日本滞在中 (1904-1909) のものは1.~4.であり、オーストリア帰国後以降のものは5.~10.である。後者のなかの1910年のものは当時の通信事情を考慮すると日本滞在中に投稿している可能性がある。

1.については、4.1で述べたホフマンの講演録である。2.は、著者が2015年にBOKUを訪問した際に入手した、1907年にオーストリア帝国林業協会が発刊した「Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen」(オーストリア林業季刊誌)にある「Das Befandesmaterial der Waldungen Japans」(日本の森林の構成成分)である。これは、ホフマンが日本全国の森林を調査した結果をもとに日本の森林と林業について論述している。その内容は、本州、四国、九州における、緯度と標高の差による気候のみによって条件付けられた植生帯ごとの自然林の構成と、人間の関与によって変化した自然林の様相と人工林分の性質について述べている。南方の島嶼部、北海道、千島列島、樺太南部を除いた理由は、当時のこれら地域は営林事業の要請が小さかったためとしている。本書は樹木の分布特性、木材需要と営林活動について述べており、植物地理学と林業社会学的な文献といえる。

3.~9.は、BOKU (1947) の文献業績リストの掲載論文であり、論文自体を入手していないので内容は不詳であるが、論文名からは砂防以外の森林学全般についても調査研究を行っていたことがわかる。

表-2 ホフマンが所有していた地形図一覧

Table 2 List of maps owned by A. Hofmann

図名	国名	地名
KAMAISHI	釜石	岩手県
ISHINOMAKI	石巻	宮城県
AKITA	秋田	秋田県
HONJO	本荘	
NOSHIRO	能代	
OGASHIMA	男鹿	
SHIRAKAWA	白河	福島県
AIZU	会津	
MAEBASHI	前橋	群馬県
KADZUSA	上総	千葉県
KADZUSA	上総	
YAHIKO	弥彦	新潟県
TOYAMA	富山	富山県
UEDA	上田	長野県
IDZU	伊豆	静岡県
IDZU	伊豆	
SHIZUOKA	静岡	
FUJI	富士	
NAGOYA	名古屋	愛知県
TOYOHASHI	豊橋	長知県
TOYOOKA	豊岡	
WAKAYAMA	和歌山	和歌山県
OKAYAMA	岡山	岡山県
SUKUMO	宿毛	高知県
SUSAKI	須崎	
KOCHI	高知	

表-1の10.は、ホフマンの孫(長男 Alberto 氏の長男)で、同姓同名の Amerigo Alessandro Hofmann 氏から2015年に提供を受けた論文である。ホフマンが、日本における森林と林業に関する状況を書いたもので、「極東の森林から」の引用も多く、植物地理学的内容となっている。掲載されている写真の中で記載のある場所は、日光、京都、福岡、名古屋、四国、台湾、北海道および樺太(サハリン)である。

4.3 著書

ホフマンは帰国後、オーストリアとイタリアにおいてそれぞれ著書を著している。

オーストリアにおいては、帰国4年後の1913年に、日本滞在中の調査研究をもとに、225ページからなる「Aus den Waldungen Des Fernen Ostens」(極東の森林から)をドイツ語で著している(Hofmann, 1913)。この情報については、Amerigo Alessandro Hofmann 氏から2015年に得たものであり、現在複製版が出版されている。本書は副題が「日本、台湾、朝鮮およびその他の東アジア地域における森林に関する視察旅行と研究」となっている。この中の「その他の東アジア地域」は、樺太

のことである。この副題を見てわかるように、日本の森林状況と林業について、日本滞在中の調査研究の成果を集大成したものである。当時の日本の領域における森林事情、林業を中心とする森林と国民文化との関係、地勢や民俗的視点からの国民の森林に対する思いなど紹介している。砂防工事としては、愛知県瀬戸、滋賀県草津、栃木県日光などを紹介している。写真-5には“石張り工がされた堰堤（瀬戸、愛知県）”，写真-6には“筋芝と植栽による山腹の安定工事（草津、琵琶湖地域）”，写真

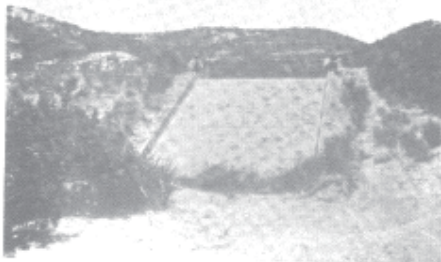


写真-5 愛知県瀬戸の堰堤
(Hofmann, 1936 より)
Photo 5 Check dam at Seto, Aichi pref. Japan
(From Hofmann, 1936)

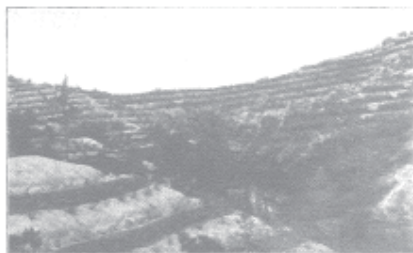


写真-6 滋賀県草津の山腹工
(Hofmann, 1936 より)
Photo 6 Hillside works at Kusatsu, Shiga pref., Japan
(From Hofmann, 1936)



写真-7 大谷川に合流する稲荷川の荒廃状況 (Hofmann, 1936 より)
Photo 7 Confluence of Daiya river and Inari torrent, Tochigi pref., Japan (From Hofmann, 1936)

-7には“日光市の大谷川に合流する荒廃溪流稲荷川”という意味のドイツ語の写真説明が書かれている。

ホフマンは、1936年にイタリアにおいて、「La Sistemazione Idraulico-Forestale Bacini Montani」(山地流域の砂防と治山)をイタリア語で著している (Hofmann, 1936)。本書は、溪流保全対策を中心に書かれた257ページからなる解説書で、日本の砂防工事の紹介と愛知県瀬戸市における砂防工事の写真を掲載している。本書の内容の詳細については、5.2で述べる。

4.4 各地の視察

ここでは、ホフマンの調査視察旅行の範囲について見てみる。

明治期の備外国人教師の在日中の教育研究活動について記されている宮内庁宮内公文書館所蔵 (1937) によれば、ホフマンは大学で学生の指導を行いながら現場で砂防工事の指導を行ったほか、日本各地と朝鮮、台湾に調査旅行を行い、森林植生、地質、民俗など幅広く研究し、彼の専門の砂防をはじめとし、日本および周辺国の森林と林業についても多くの著作論文を書いている。この背景には、2.で述べたように日本側の要請があり、各地へ数多くの調査旅行を行ったことによって多くの知見と資料を得たことにある (Hofmann, 2015 e)。しかしながら、これらの成果物はこれまで日本国内では発掘されておらず、またホフマンが調査視察で実際に訪れた場所もこれまで明らかになっていない。

ホフマンの各地への視察について、宮内庁宮内公文書館所蔵 (1937) は、“彼は常に講学の餘暇を利用して身を研究視察に委ねたり即ち彼は約6年間の在任中320日の日を挙げて悉く之を其の全旅程に費し彼は之に由りて幾と我全土を踏破したる”と述べており、調査旅行を行った回数は相当のものになると推察できる。

この記述の証左となるものとして、ホフマンが日本滞在中に調査のために使用したもので、オーストリアに帰国した際に持ち帰った地形図がある (図-1)。著者はこれらの地形図を、2015年のイタリア訪問時に、ホフマンの孫のエルサ・ニースナー (Elsa Niesner) 氏 (ホフマンの長女の長女) から提供を受けた。これらの地形図は縮尺が1/200,000で全部で24枚ある (表-2)。

文字は全てアルファベットで、地形図によっては作成年が書かれているものとそうでないものがある。

地図の中にはホフマンの直筆と思われるメモが書かれているものもあり、熱心に調査を行った様子がうかがえる。また、地図の片隅に「ブグリン」というカタカナ文字の印が押してあるものもあるが、誰の印かは不明である。

Hofmann (1913) には、ホフマンが訪れた場所の写真が多くあり、これらの写真の現地名称から、ホフマンが訪れた視察調査地を知ることができる。この視察場所と4.2で述べた論文「日本の森の姿」およびホフマンが所有していた地形図の名称を一覧にしたのが表-3である。これから、ホフマンは北海道から四国までの範囲と、朝



図-1 ホフマンが調査旅行に用いた地形図 (Elsa Niessner 氏提供)

Fig.1 Map which Hofmann belonged in field trips (Provided by Elsa Niessner)

鮮、台湾、樺太へ調査視察に行ったことを明らかにできる。

5. 欧州へ帰国後の業績

5.1 オーストリア

BOKU (1947) と Hofmann (2015) をふまえて、オーストリアにおけるホフマンの業績を述べる。

1909 (明治 42) 年にオーストリアへ戻ったホフマンは、帝国農務省の溪流保全局に配属され、精力的に仕事を続けて、1910 年には BOKU から博士論文「森林収益計算の手法について」により農学博士号を授与された。

当時の農務省の溪流保全局長はワング教授であり、その後援してホフマンは溪流保全学の助手を兼任し、複数科目の講義も担当した。

ホフマンは大学と農務省での勤務のかたわら、工学専門誌などへ複数の論文を公表している。そして、日本滞在中に折を見ては日本から寄稿し、オーストリアとドイツで出版された論文や、日本での視察旅行で書き留めた旅行メモを再整理し、遠かなる東方の森林について述べた「樺東の森林から」を出版した。ホフマンはその「まえがき」で、この本は遠い国の自然科学的な側面についてヨーロッパの森林官たちへの情報提供をし、私的には 20 世紀初めに日出ずる国の森林の発見に向けて旅立った「人の開拓者の証として役に立つことを願うものであることを記している。

本書において、日本の砂防事情のみならず、森林事情から文化的側面に至るまで欧州に紹介した意義は大きいものがある。

5.2 イタリア

ホフマンはイタリアに移った後、公務員として砂防と

表-3 ホフマンの主な視察場所
Table 3 Main places where A. Hofmann visited

県名	「樺東の森林から」及び「日本の森の姿」より	ホフマン所有地形図
北海道	北海道、＜北海道＞	
青森県	青森	
岩手県		釜石
宮城県	松島	石巻
秋田県	秋田	秋田、本庄、能代、男鹿
福島県	おさがはら	会津、白河
栃木県	日光、大谷川、中禪寺湖、＜日光＞	
群馬県		前橋
千葉県	館山、房総、安房、katsusa 半島	上総
東京都	東京	
神奈川県	芦ノ湖、箱根	
新潟県	越後	妙高
富山県		富山
山梨県	甲府近郊	
長野県	御嶽山、木曾、木曾川、浅間山	上田
静岡県	富士山	伊豆、静岡、富士
愛知県	瀬戸、熱田、＜名古屋＞	名古屋、豊橋
滋賀県	草津 (琵琶湖地域)	
京都府	＜京都＞	
兵庫県	神戸	
奈良県	奈良、吉野	
和歌山県		和歌山
岡山県		岡山
四国	＜四国＞	
高知県		宿毛、須崎、高知
朝鮮	朝鮮	
台湾	台湾、＜台湾＞	
樺太	樺太 (サハリン)、＜樺太＞	

※ 〈 〉 書きは、「日本の森の姿」より

森林管理に業績を残すとともに、彼の砂防に関する実務と研究の集大成ともいえる著書を著した。

行政としては、1920 年にイタリア政府の要請を受けて、北東部の国有林の再整備事業を指揮し、イタリアで最も豊かな森林地帯といわれているタルビジョの森林計画 (1924 年～1933 年) を作成した。1926 年には、ローマで開催された国際学会で「恒久林と異齡林の整備」と題する発表を行い、当時のイタリア森林・林業学に大きな反響を与えた。その後 1928 年～1932 年の間、国有林庁の長官を務め、1937 年からはロードス島の森林事業の再構築に携わるなど多くの業績を残している (Corpo Forestale dello Stato, 2013)。

ホフマンは、1936 年に「La Sistemazione Idraulica



写真-8 山地流域の砂防と森林整備
Photo 8 SABO in mountainous basin.

Foresta Bacini Montani」(山地流域の砂防と森林整備)を著した(写真-8)。これは、ホフマンの40年間にわたる経験をふまえつつ、東京帝国大学とBOKUで授業を行った時に使用した参考文献やメモを再整理し、ここ10年間のイタリアでの出版物や海外出版物を研究したうえで、書き下したものである。ホフマンは、師であったワングにより築かれた考えから根本的に逸脱しないよう意識しながら、イタリア独自の状況や、山岳流域の整備に関わる様々な観点に最大限の考慮を払いつつ執筆した(Hofmann, 1936)。

ホフマンは「まえがき」で、“複雑な山の問題について最善の技術的解決法を学びたい方々にとって、拙著が不要なものであるとは私は考えていない。山岳関連の技術者たち、とりわけ森林警備軍の構成員たちが、何かしらの利益、何かしらのヒント、何かしらのイニシアチブをこの本から引き出せたならば、私の仕事は高値で報われるであろう。”(著者訳)と述べていることから、彼にとつての自信作であったと思われる。

この書は、フィレンツェ大学(Università degli Studi di Firenze)農学部のフェデリコ・プレティ(Federico Preti)教授によると、イタリア砂防のバイブルと呼ばれており、現在でもイタリアにおける砂防の教科書として使用されているとのことである。

本書の中では、日本における砂防工事の実例として、写真-9と写真-10を示しながら説明がなされている。

本書の目次は、次のとおりである。この第12章までは、日本における昭和40年代に出版された砂防の教科書の構成とはほぼ同様である(例えば、野口ら, 1969)。
第1章 山岳流域の整備の役割～発展史

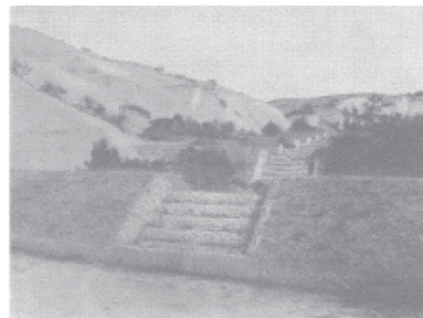


写真-9 愛知県瀬戸地方の蛇籠を使用した階段状の砂防堰堤(Hofmann, 1936より)
Photo 9 Check dams using gabions in Seto, Aichi pref., Japan (From Hofmann, 1936)



写真-10 愛知県瀬戸地方の練石積砂防堰堤(Hofmann, 1936より)
Photo 10 Masonry check dams in Seto, Aichi pref., Japan (From Hofmann, 1936)

- 第2章 溪流の特徴と定義
- 第3章 山岳流域の降水と流量～水文学と流量測定の要約
- 第4章 溪流の中での物質移動
- 第5章 土砂移動現象の種類
- 第6章 溪流の働きに対する植物被覆の影響
- 第7章 溪流対策の基本
- 第8章 地すべり・崩壊・雪崩対策
- 第9章 溪流の浸食防止対策
- 第10章 砂防堰堤
- 第11章 堆積地域の整備
- 第12章 荒廃地の再植林
- 第13章 水文地質学上からの森林管理
- 第14章 山岳流域の農村経済
- 第15章 山岳流域の維持管理

6. 日本での生活と家族

明治期の交通が発達していない時代に、遠く東方の国

に赴任して、日本の砂防の発展に業績を残したホフマンに敬意を抱かざるを得ない。そこで、ホフマンの家族と日本での居住地について得た知見を述べる。

ホフマンの来日は、1904(明治37)年5月7日、29歳の時である。この年の2月には日露戦争勃発している。同年秋には、妻と娘二人が来日し、日本滞在中に長男のアルベルト(Alberto)と三女が誕生している。そして一家は、長男が2歳の時に帰国している。諸戸は1931(昭和6年)に洋行した時に、イタリアのテルビジオでアルベルトに会った際のことを、「アルベルト君は1907(明治40)年生まれになる」(度山, 1932)と記しており、フィレンツェ大学の学生で24歳になったアルベルトを見て時の経過を改めて感じている。なお、当時の事情として、外国人教師はほとんど帰国し、明治30年頃に来日した外国人教師は珍しい存在であったようである(宮内庁宮内公文書館所蔵, 1937)。

ホフマンは、来日直後に住んでいた場所から、家族の来日にあわせて当時の京橋区(現在の中央区の一部)に引っ越している(Hofmann, 2015)。当時の文部省の資料(文部大臣官房秘書課, 1905)によるとホフマンの「居所」は「東京市京橋区築地41番地」となっている。この地は今どこに当たるかについて分析を試みた。

1907(明治40)年の地図を見ると、築地には一丁目、二丁目、三丁目、四丁目があり、このうち二丁目のみに41番地がある。一方、官公署・外国公館・商館・商人・宣教師などの氏名、住所および勤務先を掲載した1908(明治41)年の「The Japan Directory」(ジャパン・ガゼット新聞社, 1908)には、「PROF. A. HOFMAN, MRS. HOFMAN, 41-c, Tsukiji」と記されている。この資料には、ホフマン夫妻以外にも住所を「Tsukiji」と記された外国人の名



図-2 明治40年の京橋区明石町と築地二丁目付近
(明治40年1月調査・東京市京橋区全図
(東京郵便局編, 1907)に加筆)

Fig.2 Map of Akashi district and Tsukiji district in 1907



図-3 明治27年当時の築地居留地鳥瞰図
(立教大学立教学院史資料センター蔵)

Fig.3 Map of Akashi district and Tsukiji district in 1907
(Owned by Rikkyo Archives)

前が多く記載されている。

1868(明治元)年に明治新政府は、外交官や外国商人の拠拠地として築地に隣接する明石町に築地居留地を認定した。この居留地は1899(明治32)年に廃止されたが、居留地廃止後も関東大震災までは外国人が住み洋風の面影のある一画であった(築地居留地研究会, 2000)。明治40年の地図には、明石町の中にも41番の地番が記されている場所がある(図-2)。

以上から、「The Japan Directory」にある「Tsukiji」とは、「明石町」を指していたと考えられる。したがって、ホフマンの居住地は明石町41の区画にあったと推察できる。なお、この土地には現在には聖路加病院が建っている。

図-3は1094(明治27)年に描かれた築地居留地の鳥瞰図(立教大学立教学院史資料センター蔵)である。建物は、教会とミッションスクールと宣教師館が多い。下方右側の橋は居留地の入口である新栄橋(しんさかえばし)であり、左上遠方には筑波山が見える。(築地居留地研究会, 2000)。ホフマン一家は、新栄橋を渡り右方向に向かってすぐの区画に住んでいたものと推察できる。

これまでに著者は、ホフマン自身の写真を日本におい



写真-11 旅行先でのホフマンと二人の娘
(Elsa Niessner氏提供)

Photo 11 A. Hofmann and his two daughters in their vacation
(Provided by Elsa Niessner)

て見出してない。本論では、海外の文献より引用した写真-1と写真-4を前掲した。写真-11は、エルサ・ニースナー氏から提供を受けたもので、ホフマンが日本滞在中に家族旅行をした時のスナップ写真である。中央のホフマンが二人の娘とともに写っている。

7. まとめ

本論は、アメリカ・ホフマンの業績についてこれまで日本で紹介されていない新たに得た知見を中心に述べたものである。ホフマンは、明治期の後半に日本に家族とともに赴任し、日本の砂防の教育体制の確立に尽力するとともに、日本およびその周辺各地の森林に関する調査視察を行い、その成果を欧州に紹介した。また、オーストリアとイタリアにおいて、砂防と森林管理の分野で多くの業績を残した。

ホフマンのこれらの業績について、新たにわかったと考えられる主なものを以下に示す。

- 1) 日本の砂防の教育体制を確立するため来日し、諸戸を自身の後継者として育てた。
- 2) 愛知県、滋賀県、長野県、栃木県をはじめ各地で砂防工事の指導をしており、著書でこれらの地域の砂防工事を紹介している。
- 3) 日本各地、朝鮮、台湾、樺太まで広範囲に調査視察を行い、森林管理の指導をするとともに、これらの地域の森林事情、林業、地域文化を論文や著書で欧州に紹介した。
- 4) 来日前には、現在のオーストリア東南部、イタリア北東部およびモンテネグロにおいて砂防工事の指導を行った。
- 5) ワングの後継者としてBOKUの教授となり、学生指導を行うとともに、オーストリアの森林管理計画の立案に携わった。
- 6) 教育、現場での技術指導、現地調査により得た知見の集大成の一つとして、イタリアで砂防学の専門書を著した。これはイタリアにおいて、長きにわたり学生の教科書、技術者の参考書として活用されている。
- 7) 日本での教師職の期間は、当初は1904(明治37)年からの2年4ヶ月であったが、2度の期間延長を経て通算5年1ヶ月であった。

謝 辞

本研究にあたっては、鈴木雅一東京大学名誉教授ほかの「諸戸北郎博士砂防業績研究会」の諸氏をはじめとし、ウィーン農科大学のHübl教授、ホフマンの御子孫であるAmerigo Alessandro Hofmann氏ならびにElsa Niessner氏、東京大学生態水文学研究所、一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構ほか多くの皆様のご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表するものである。

引用文献

- BOKU (1947): Dr. AMERIGO HOFMANN. Ein Gedenkblatt, 25pp.
 Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft (1984): 100 JAHRE WILDBACHVERBAUUNG IN ÖSTERREICH, 1984, p. 35-36
 Corpo Forestale dello Stato (2013): Foresta di Tarvisio Patrimonio culturale e natural 1007-2013 Dieci secoli di storia di uomini e boschi, 278 pp.
 Das Befundmaterial der Waldungen Japans (1907): Österreichische Vierteljahresschrift für Forstwesen, 度山 (1932): 昭和六年欧米旅行記 (第三回), 砂防, No. 24, 砂防協会, p. 24-32
 ホフマン (1907): 日本の砂防工について, 大日本山林会の記念大会でのホフマンの講演 (川島明八通訳), 大日本山林会報, No. 290, p. 105-111
 Hofmann, A. (1913): Aus den Waldungen Des Fernen Ostens Forstliche Reisen und Studien in Japan, Formosa, Korea und den angrenzenden Gebieten Ostasiens, Wilhelm Prick, k. u. k. Hofbuchhändler, 225 pp.
 Hofmann, A. (1936): La Sistemazione Indaulico-Forestale Bacini Montani, La Nuova Agricoltura D' Italia, Unione Tipografico-Editrice Torinese, 257 pp.
 Hofmann, A. A. (2015 a) : I Forestali Oggi Non Capscono, Lombardi Editori, p. 268
 Hofmann, A. A. (2015 b) : I Forestali Oggi Non Capscono, Lombardi Editori, p. 270
 Hofmann, A. A. (2015 c) : I Forestali Oggi Non Capscono, Lombardi Editori, p. 274-277
 Hofmann, A. A. (2015 d) : I Forestali Oggi Non Capscono, Lombardi Editori, p. 279-303
 Hofmann, A. A. (2015 e) : I Forestali Oggi Non Capscono, Lombardi Editori, p. 276
 ジャパン, ガゼット新聞社 (1908): The Japan Directory, Forty-first annual issue, The Japan Gazette Co.
 Institut für Japanologie, Universität Wien (1976): Japan forschung in Österreich, p. 67
 宮内庁宮内公文書館所蔵 (1937): 明治大正年間雇外国人教師人名録 (下), 文明協会, p. 161-163
 Martiović, M. V. (2015): EROZIJA ZEMLJIŠTA I BUJICE U CRNOGORSKOM PRIMORJU, CRNOGORSKA AKADEMIJA NAUKA I UMJETNOSTI, 119, 177 pp.
 文部大臣官房秘書課 (1906): 雇外国人表 (明治38年5月末日開)
 諸戸北郎 (1912): 奥国ダルマチア州 (Dalmatien) 及ボスニア、ヘルツェゴビナ州 (Bosnien und Herzegowina) 旅行日記及所感, 大日本山林会報, No. 350, 大日本山林会, p. 19-26
 西本晴男 (2018): 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
 野口陽一・武居有恒・村野義郎・河田五郎・日置象一郎・遠藤隆一・岡崎寿彦・末勝海・村井延雄 (1969): 砂防工学, 朝倉書店, 191 pp.
 太田猛彦 (2010): 治山・砂防学の成立と展開, 農林水産省書 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
 立教大学立教学院史資料センター蔵: 築地居留地島嶼園
 武居有恒 (1981): 学問・研究の変遷, 日本砂防史, 社団法人全国治水砂防協会, p. 512
 東京帝国大学 (1907): 東京帝国大学一覽・明治40-41年, p. 311
 東京帝国大学 (1911): 東京帝国大学一覽・明治44-45年, p. 313
 東京郵便局編 (1907): 明治40年1月調査・東京市京橋区全園築地居留地研究会 (2000): 築地居留地, 亜紀書房, 120 pp.
 (Received 24 July 2017; Accepted 29 November 2017)

災害対応に要する時間の推定モデル — 複数パスからなる災害対応 への適用 —

照沼 利浩¹・水野 秀明²・西本 晴男¹

Numerical model for estimating period of disaster response

Toshihiro TERUNUMA¹, Hideaki MIZUNO² and Haruo NISHIMOTO¹

Abstract

In the event of a disaster that might cause severe and extensive damage, such as natural damming due to large-scale mass wasting or out-of-channel flooding of a river due to a breach in a bank, disaster prevention organizations need to take emergency response actions as promptly as possible by making effective use of limited personnel. In order to complete planned activities within a short period of time, it is good practice to estimate the time required for accomplishing a network of emergency response-related activities as a factor to take into account when making decisions as to details such as efficient staffing and whether or not to request for assistance. In this study, a simple formula was developed for estimating the time needed to accomplish a multipath network of emergency response activities by deriving a mathematical model based on the Kolmogorov forward equations and approximating Gaussian integrals to find analytical solutions. The simple formula thus derived was applied to disaster response training associated with an emergency study to be conducted in the event of natural dam (landslide dam) formation to estimate two parameters of the mathematical model, namely, the work done ratio, μ_k , and the rework ratio, λ_k .

キーワード：災害対応, 作業ネットワーク, 確率過程, 処理率, 手戻り率

Key words: emergency response actions, multipath network of emergency response activities, stochastic process, work done ratio, rework ratio

¹ 筑波大学大学院生命環境科学研究科
Graduated School of Life Environmental Sciences,
University of Tsukuba.

² 国立研究開発法人土木研究所（現 九州大学大学院農学
研究院）
Public Works Research Institute

本論文に対する討議は平成 30 年 2 月末日まで受け付ける。

1. はじめに

大規模な土砂崩壊の発生に伴う天然ダムの形成や河川堤防の決壊に伴う氾濫等、被害が甚大かつ広範囲に及ぶ恐れがある災害発生時には、防災組織は参集できた限られた人員で可能な限り迅速に災害対応にあたる必要がある。災害対応とは、人命を守るために災害発生直後に実施する対応であり、人命救助、避難などが挙げられる。災害対策を説明する基本的な概念として、災害マネジメントサイクルと呼ばれる考え方がある（林ら, 2008）。これは応急対応（Response）、復旧・復興（Recovery）、被害軽減（Mitigation）、事前準備（Preparedness）の4段階を一連の流れとして定義したものであり、応急対応と復旧・復興の段階はより短時間で実施することが求められている。本研究では、応急対応の段階を災害対応として呼ぶことにする。災害対応は被害調査や施設点検、避難救助支援、避難場所開設など複数の作業がネットワーク状に結びついて遂行されるものであり、より短時間で作業を完了させることが求められる。特に、同時多発的に災害が発生した場合の被害調査は、防災計画に基づいた作業が発生した災害の数だけ繰り返して実施することになり、時間を要することになる。作業を短時間で完了させるためには、防災訓練等を実施して個人の能力を向上させる方法が考えられるが、組織全体として考えた場合には、防災組織を構成する人員の効率的な配置が有効である。効率的な人員配置のためには、その判断材料として、作業にかかる時間を推定する必要がある。ただし、災害対応の作業に要する時間を推定するためには、次の二つの特徴を考慮しなければならない。

一つ目は、作業ネットワークの各作業にかかる作業時間は、ある程度の変動を伴って分布するという点である。工程管理の代表的な手法であるPERT/CPMでは、工程全体にかかる時間を求めるために、通常は各作業に対して平均値等の確定値を割り当てる方法が用いられる（例えば、Archibald and Yillore, 1967, 毛利ら, 1983, 岡田・豊田, 1996, 小山・翠川, 2006）。さらに、作業の不確実性やリスクを考慮する場合、作業時間を

幅広く見積もって正規分布やポアソン分布などの確率密度関数で近似することになり、工場生産やソフトウェア開発などの様々な場面で用いられている（例えば、吉川・春名, 1970, Clark, 1961, Bajis, 1985, 高岩・松井, 1994, 黒川, 2003, 愛須ら, 2012）。一方、災害対応の場合、災害発生時の緊迫した慌ただしい状況の中では、ある作業を平常時に実施する場合と条件が異なるため、作業を失敗して手戻りすることも多く存在し、作業を処理する率（「処理率」という）、処理した結果に含まれる計算等の誤りによる手戻りの率（「手戻り率」という）、何もせずに推移する率が時間的に積み重なって作業時間に分布が現れることになる。従って、災害対応に要する時間を推定するためには、正確な成果を得られるまでに要した時間からそれらの率を推定する必要があるが、その方法はいまだ開発されていない。

二つ目は、災害対応の作業ネットワークは災害の発生情報が防災組織に届いた時点で開始されるが、その情報は工場のように一定間隔で防災組織に届くのではなく、災害の発生状況が判明した順に同時または断続的に届くことになり、その到着時間間隔は非正常であることが挙げられる。先に挙げた既往の研究成果はいずれも定常な方法、つまり作業の開始時刻から経過時間を変数に持たないため時間的に変化しないことが前提となっている。非正常状態のモデルを基本とした待ち行列理論でも作業時間を求めることができるが（紀ら, 2010）、時間を求める際には極限推移確率を求めるため定常状態となり、時間分布をもった非正常の現象の作業時間を求める方法には適用できない。さらに、時間的に変動する非正常の現象は数理モデルによって表すことができ、またその解は数値計算を用いて求めることが一般的であるが、計算が複雑になる上に計算時間も長く、災害時でも簡単かつ迅速に求められる手法はいまだ開発されていない状況である。

本研究では、作業時間が幅広く分布し、かつ災害の発生情報の到着時間間隔が非正常であるという特徴を踏まえた上で、災害対応に要する時間を簡単かつ迅速に推定できる数理モデルの簡易式を

開発する。前報(照沼ら, 2016)では単一のパスで構成される作業を対象としたが、本研究ではより実際の災害対応に適合させるために、ネットワークを構成する作業を対象とする。また、開発した数理モデルの簡易式を国土交通省が実施する緊急調査の作業に適用し、計測された作業時間と比較することで、その適用性を検証する。なお、災害対応に要する時間を簡単かつ迅速に推定できる数理モデルの簡易式のことを、本研究では推定モデルと呼ぶ。

2. 災害対応に要する時間の推定モデル

2.1 仕事と作業の定義

図1に仕事と作業の関係を示した模式図を示す。本研究では、災害時に防災組織が実施する対応を「作業」、ネットワーク状にむすびついた作業を「仕事」、すべての仕事をまとめて「災害対応」と呼ぶことにした。災害の発生情報が防災組織に届くと、その発生箇所と同数の仕事が防災組織に与えられし、それぞれの仕事において作業を順番に処理する。作業が分岐した場合は、分岐した作業を同時並行で進める。

2.2 基礎方程式

2.2.1 確率過程の定式化

図2に作業パスと作業ネットワークの考え方を示す。ネットワークを形成した作業において、ある作業間の一連の流れを作業パスとし、複数の作業パスによって構成されるネットワークを作業

ネットワークと定義する。作業ネットワークは2.1で定義した「仕事」と同義となる。例えば図2の作業Aから作業Bに至るまでの作業ネットワークを考えた場合、2つの作業パス(作業パス①・②)が存在する。防災組織に2種類の作業パスを有する作業ネットワークが4個与えられた災害対応の場合、同一種類の作業パスが4個ずつ生成されることになる。

図3に作業パスの仕事数によって構成される空間の模式図を示す。本研究で開発する推定モデルは、災害が複数箇所で発生して同一の作業ネットワークを複数回実施する必要がある場面を想定し、ある任意の時間で残っている仕事数の確率密度関数が推移することで、災害対応が完了する確率を求めるものである。作業パスで対応すべき仕事数(個)を m_k 軸 ($k=1,2,\dots$) に設定する。従って、作業パスが n 種類存在すると、 m_k 軸が n 本存在する n 次元ベクトル空間を形成する。作業パス



図2 作業パスと作業ネットワークの考え方

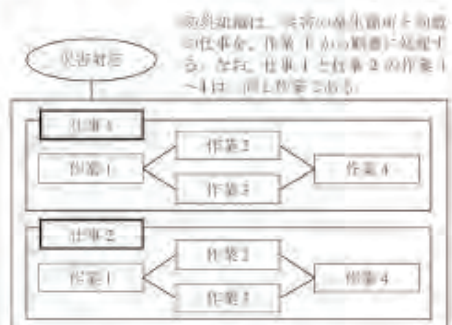


図1 仕事と作業の関係

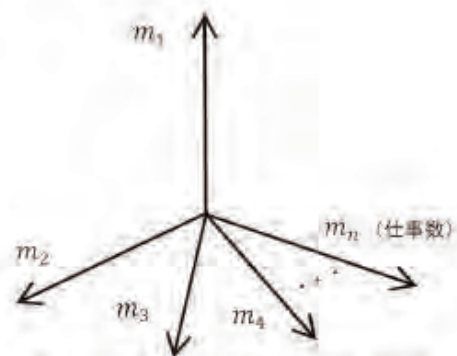


図3 仕事数によって構成される空間の模式図

間の仕事数は互いに独立であるとした。

時刻 T において n 次元ベクトル空間内の任意の点 $\vec{L} = (m_1, m_2, \dots, m_k, \dots, m_n)$ の組み合わせとなる確率密度関数を $P(T, \vec{L})$ とする。

$$\vec{L} \equiv (m_1, m_2, \dots, m_k, \dots, m_n) \quad (1)$$

$P(T, \vec{L})$ は各作業パスに残っている仕事数が時刻 T で $\vec{L}$ となる確率密度関数を意味する。災害が発生すると、 n 次元ベクトル空間内の初期位置 $\vec{L}_0$ (発生した天然ガム分の仕事数) に確率密度関数 $P(0, \vec{L}_0)$ の値が、 P_0 とデルタ関数 $\delta(\vec{L} - \vec{L}_0)$ の積として与えられる。 P_0 は初期の確率の値を意味し、1 となる。前報 (照沼ら, 2016) では、 m_k 軸において単位時間当たりに仕事数が $\vec{L}$ から $\vec{L}_k$ に減少する確率を処理率 μ_k 、単位時間当たりに仕事数が $\vec{L}$ から $\vec{L}_k$ に増加する確率を手戻り率 λ_k とした。各作業パスの仕事数の推移に出生死滅過程 (尾崎, 1996) を適用し、コルモゴロフの前進方程式 (成田, 2016, 大住, 2002) をたてた上で、連続型の確率変数に近似した移流拡散方程式を基礎方程式とした。なお、出生死滅過程において、各作業パスの仕事数の増減の絶対値を合計した値が 2 以上となる確率は非常に小さいものとして無視した。基礎方程式は、前報 (照沼ら, 2016) では時刻 T と 1 個の確率変数を対象としたため、一次元移流拡散方程式となった。本研究では時刻 T と n 個の確率変数を対象としたため、式 (2) の多次元移流拡散方程式となる。

$$\frac{\partial P}{\partial T} = \sum_{k=1}^n \left\{ (\lambda_k + \mu_k) \frac{(\Delta m_k)^2}{2} \cdot \frac{\partial^2 P}{\partial m_k^2} - (\lambda_k + \mu_k) \Delta m_k \frac{\partial P}{\partial m_k} \right\} \quad (2)$$

なお、処理率 μ_k と手戻り率 λ_k は仕事数 m_k と独立であると仮定した。さらに、

$$a_k = (\lambda_k - \mu_k) \Delta m_k \quad (3)$$

$$b_k = (\lambda_k - \mu_k) \frac{(\Delta m_k)^2}{2} \quad (4)$$

とおけば、式 (2) は以下の式に変形できる。

$$\frac{\partial P}{\partial T} + \sum_{k=1}^n \left(a_k \frac{\partial P}{\partial m_k} \right) = \sum_{k=1}^n \left(b_k \frac{\partial^2 P}{\partial m_k^2} \right) \quad (5)$$

式 (5) は、 n 次元ベクトル空間内において、時刻 T で各作業パスに残っている仕事数が $\vec{L}$ である確率密度関数 P が、 a_k の速度で移流するとともに、 b_k の速度で拡散することを意味し、 a_k を移流係数、 b_k を拡散係数と呼ぶ。なお、 a_k は作業の処理速度であると考えることができ、一定時間内にできる作業の割合を意味する「能率」ということができる。

なお、以降解析するにあたり、パラメータ μ_k 、 λ_k は、時刻 T と独立である (時刻によらず一定である) と仮定する。ただし、能率は作業者の疲労や環境要因など様々な作業要因によって変化することが報告されている。作業者の疲労による影響として、作業負荷となる長時間作業や高難度作業は疲労が蓄積し、能率を低下させることが分かっている (大島, 1979)。実際、連続不眠作業実験では 13~17 時間を経過するまでは一定の能率を保持しているが、それ以降になると急激に低下する結果が見られている (例えば、栗盛ら, 1994, Lamond and Dawson, 1999)。なお、能率が低下するまでの時間は、作業の継続時間とともに、生物時計から発せられる覚醒シグナルによる概日リズムが関係していると考えられており、疲労の度合いを定量的に把握するためのモデルも提案されている (Dann, et al., 1984)。

環境要因としては温度や照度の影響が挙げられる。温度に関しては、作業成績が最大となる温度を 22℃ とし、21~22℃ に至るまでは作業効率が向上し、23~24℃ を超える環境では作業効率が低下するモデルが提案されている (Seppanen, et al., 2006)。その一方で、室内の温熱環境要素が作業効率に与える影響については、未だに決定的な知見が得られていないとの報告もある (Lorsh and Abdou, 1994, Heath and Mendell, 2002)。また、照度については、光の質と量を変えた 9 種類に及ぶ照明システムを用いて言語能力や事務作業の効率に与える影響を評価したが、統一した見解は得ら

れなかったとの報告 (Veitch and Newsham, 1997) がある一方、作業場の照明をアップライトとダウンライトと比較し、VDT 作業の作業成績に影響を及ぼしていることが分かっている (Hedge, et al., 1996)。

実際の災害対応においては数日間継続して作業しなければならないこともあり、その場合はこれらの作業要因もパラメータ μ_k, λ_k に影響を及ぼすものと考えられる。本研究では μ_k, λ_k は、時刻 T と独立としたが、将来的には各作業要因と μ_k, λ_k との関係を明らかにし、本モデルの適用範囲を明確にする必要があると考えている。

2.2.2 多次元移流拡散方程式の解

式 (5) の解を求めるために

$$\xi_k = \frac{m_k - a_k T}{\sqrt{b_k}} \quad (6)$$

$$\tau = T \quad (7)$$

とくと、 ξ_k 軸が n 本存在する ξ ベクトル空間を形成する。時刻 τ において ξ ベクトル空間内の任意の点 $\bar{R} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, \dots, \xi_n)$ の組み合わせとなる確率密度関数を $p(\tau, \bar{R})$ とする。

$$\bar{R} = (\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, \dots, \xi_n) \quad (8)$$

$$\begin{aligned} P(T, \bar{L}) &= p(\tau, \bar{R}) \\ &= p(\tau(T, m_1, m_2, \dots), \\ &\quad \xi_1(T, m_1, m_2, \dots), \\ &\quad \xi_2(T, m_1, m_2, \dots), \dots) \end{aligned} \quad (9)$$

式 (5) にコール・ホップ変換 (座標変換) を施すと、新たな変数 $\xi\tau$ 平面上で、原点を初期値とした多次元の拡散方程式に変換できる。

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = \sum_{k=1}^n \left(\frac{\partial^2 p}{\partial \xi_k^2} \right) \quad (10)$$

式 (10) の主要解は、 $G(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_k, \dots, \xi_n, \tau)$ グリーン関数 (松浦ら, 2000) を用いて、以下のように求めることができる。

$$G = \prod_k \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi(\tau - \tau')}} \cdot e^{-\frac{(\xi_k - \xi'_k)^2}{4(\tau - \tau')}} \right\} \quad (11)$$

$\xi'_1, \xi'_2, \dots, \xi'_n, \tau'$: 初期値

従って、 $\tau' = 0$ とすると、式 (11) の拡散方程式の主要解は、以下の通りに表される。

$$G = \prod_{k=1}^n \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}} \cdot e^{-\frac{(\xi_k - \xi'_k)^2}{4\tau}} \right\} \quad (12)$$

主要解 G は、時刻 τ において ξ ベクトル空間内の仕事数が $\bar{R}$ である確率密度関数を意味する。

2.3 災害対応に要する時間の推定モデル

災害対応が完了するという意味は、仕事数 $\bar{L}$ が 0 となることを意味する。従って、 m_k 軸上の開始点 m'_k (災害の発生件数) から、災害対応完了位置 ($\bar{L}_0 = (0, 0, \dots, 0, \dots, 0)$) に向かって確率密度が移流拡散した際の、災害対応完了位置を通過した確率密度関数 $P(U_k(-\infty < X(\bar{L}) \leq 0))$ の積分値が、時刻 T において災害対応が完了する確率 $P_{\text{compl}}(T)$ を意味する。

$\bar{m}$ ベクトル空間内での積分区間は

$$-\infty < \bar{L} \leq 0 \quad (13)$$

となるが、新たな ξ ベクトル空間では、

$$-\infty < \bar{R} \leq \left(-\frac{a_1 T}{\sqrt{b_1}}, -\frac{a_2 T}{\sqrt{b_2}}, \dots, -\frac{a_k T}{\sqrt{b_k}}, \dots, -\frac{a_n T}{\sqrt{b_n}} \right) \quad (14)$$

となる。従って、 ξ ベクトル空間における災害対応に要する時間の確率 $P_{\text{compl}}(\tau)$ は、

$$P_{\text{compl}}(\tau) = \prod_{k=1}^n \int_{-\infty}^{-\frac{a_k T}{\sqrt{b_k}}} \left\{ \frac{1}{2\sqrt{\pi\tau}} \cdot e^{-\frac{(\xi_k - \xi'_k)^2}{4\tau}} \right\} d\xi_k \quad (15)$$

となる。

式 (15) を元の $\bar{m}$ ベクトル空間に戻すと、式 (16) の通りとなる。

$$P_{\text{compl}}(T) = \prod_{k=1}^n \left[\frac{1}{2\sqrt{\pi T b_k}} \int_{-\infty}^0 \frac{-(m_k - a_k T - m'_k)^2}{4\tau} e^{-\frac{-(m_k - a_k T - m'_k)^2}{4\tau}} dm_k \right] \quad (16)$$

式(16)は開始点 m'_k から確率密度関数が係数 a_k および b_k で移流拡散し、災害対応完了位置 L_k を通過した確率密度の面積が $P_{\text{compl}}(T)$ となる。

図4は式(16)の解のイメージである。係数 a_k は $a_k = (\lambda_k - \mu_k) \Delta m_k$ であるので、 $\lambda_k < \mu_k$ (処理率が手戻り率よりも大きい)であれば $a_k < 0$ となり、 m_k の負の方向に移動する。また、 $\lambda_k > \mu_k$ であれば $a_k > 0$ となり、 m_k の正の方向に移動する。仕事が進むという意味は、確率密度関数 P が m_k 軸の負の方向に流れることであるので、 $\lambda_k < \mu_k$ でなければならない。

ところで、ガウス積分を数%の誤差で近似できるWilliams・山内の式(山内, 1972)を応用すると、以下の近似式が成り立つ。

$$\Phi(x) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-x}^0 e^{-t^2} dt \approx \sqrt{\frac{1}{2a}} \left(1 - e^{-\frac{ax^2}{\pi}} \right) \quad (17)$$

ここで、 c は任意の定数である。式(17)はガウス積分を二次元に拡張した上で、一辺が $2x$ の正方形となる積分領域を円に近似することで導いたものである。なお、近似した際の発生する誤差については、今後の研究で検証する予定である。式(17)を用いて、式(16)を式(18)のように近似した。式(18)を用いると、時刻 T において災

害対応が完了する確率 $P_{\text{compl}}(T)$ の近似解を簡単かつ迅速に求めることができ、本式を災害対応に要する時間の推定モデルとした。

$$P_{\text{compl}}(T) = \prod_{k=1}^n \left[\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{(a_k T + m'_k)^2}{\pi T b_k}}} \right) \right] \quad \{-(a_k T + m'_k) = 0\}$$

$$\approx \prod_{k=1}^n \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(a_k T + m'_k)^2}{\pi T b_k}}} \right) \right] \quad \{0 \leq -(a_k T + m'_k)\} \quad (18)$$

3. 災害対応に要する時間の推定モデルの適用性

3.1 適用対象

式(18)の推定モデルを利用すると、作業ネットワークを構成する災害対応に要する時間の確率分布を求めることができる。その際、推定モデルのパラメータである処理率と手戻り率を、作業ネットワークを構成する個々の作業パス単位で求める必要がある。そこで、作業パスにおける災害対応に要する時間の計測結果から、作業パスの処理率と手戻り率を推定した。適用対象としたのは、土砂災害防止法に基づいて実施する天然ダム(河道閉塞)対応の緊急調査である。天然ダムを対象とした緊急調査とは、豪雨や地震に伴って天然ダムが形成された際に、土砂災害が想定される土地の区域と時期の情報を推定し、その情報を関係機関に通知するものである(水野ら, 2011)。緊急調査は、緊急調査着手の判断、初動期の調査、継続監視期の調査、緊急調査終了の判断の4つの段階から構成される。本研究では、このうち初動期の調査を対象とした。

図5に初動期の調査の作業ネットワークを示す。初動期の調査は、土砂災害緊急情報第1号を作成する段階である。地上およびヘリコプターからの天然ダムの現地調査結果をもとに、机上解析によって天然ダムによる湛水区域、天然ダムの決壊時期、天然ダムによる氾濫範囲を推定する。複数の天然ダムが形成された場合は、この作業ネッ

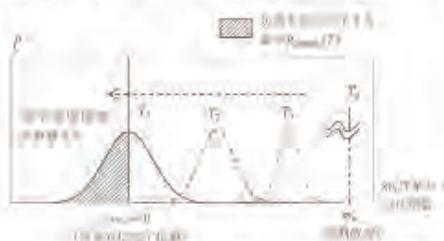


図4 m_k 作業パスの災害対応が完了する確率

トワークを天然ダムの数だけ繰り返す。

緊急調査の作業にかかる時間の計測データとして利用したのは、国土交通省の直轄事務所で実施したロールプレイング型防災訓練での行動記録（作業内容と時刻の記録）であり、訓練参加者もしくは記録担当が、各作業の実施時刻を随時記録している。なお、現地作業は未実施のため、現地で入手できる情報が全て揃ったことを前提とした机上解析を対象とした時間である。本研究では作業パスとして図5で示す「作業4：天然ダムによる湛水区域の推定」（ m_1 作業パス： $S_1 \sim G_1$ ）および「作業5：天然ダムの決壊時期の推定」（ m_2 作業パス： $S_2 \sim G_2$ ）を定め、 m_1 作業パスと m_2 作業パスとで構成される作業ネットワークを推定モデルの適用対象とした。作業6の天然ダムによる氾濫範囲を推定する作業も防災訓練の対象となっていたが、作業開始まで未到達もしくは作業を開始しても時間内に作業が未完了の状況で、計測時間の十分なサンプル数を確保できなかったため、今回は推定モデルの適用対象外とした。

表1に m_1 作業パスと m_2 作業パスの作業開始時刻、終了時刻、計測場所を示す。収集できたのは4事務所で実施した計9回のロールプレイング型防災訓練の結果である。なお、9回とも m_1 作業パスと m_2 作業パスをほぼ同時に行っているが、それぞれの訓練に参加した人物は別人であった。また、各訓練の m_1 作業パスと m_2 作業パスで

は、箇所数は1箇所（仕事が一つで $m'_k=1$ となる）、天然ダムの高さは40～50 m程度で、作業を行った人員は1名であった

表2は表1の作業時刻より求めた作業時間である。 m_1 作業パスと m_2 作業パスに要した時間は、終了時刻から開始時刻を引いた時間を割り当てた。作業ネットワークに要した時間は、 m_1 作業パスと m_2 作業パスに要した時間のうち、長い方の時間を採用した。なお、今回の防災訓練では、机上解析の作業者が全て1名であり、2つの作業パスを交互に実施したため、上記の方法で算出した m_1 作業パスと m_2 作業パスに要した時間には、重複時間が含まれることになる。ただし、作業者が1名の場合には重複時間を含めた時間を計測すべきであるため、この点は問題とならない。仮に m_1 作業パスと m_2 作業パスのみに要した正味時間を抽出した場合、推定モデルによって推定できるのは、2つの作業パスを2名で同時に実施した場

表1 防災訓練における作業時刻の計測結果

No.	m_1 作業パス		m_2 作業パス		計測場所
	開始時刻	終了時刻	開始時刻	終了時刻	
1	9:50	11:20	9:50	11:20	会議室
2	13:30	14:30	13:30	14:30	会議室
3	11:00	12:20	11:00	12:20	会議室
4	10:10	11:50	10:10	10:59	多目的ホール
5	10:15	11:25	10:15	11:25	多目的ホール
6	10:50	11:40	10:50	12:00	体育館
7	10:50	12:50	10:50	12:50	多目的ホール
8	11:00	12:10	11:00	12:10	体育館
9	10:35	11:20	10:35	11:40	体育館

表2 防災訓練における作業時間の計測結果

No.	計測時間（秒）		
	m_1 作業パス	m_2 作業パス	作業ネットワーク
1	5,400	5,400	5,400
2	3,600	3,600	3,600
3	4,800	4,800	4,800
4	6,000	2,940	6,000
5	4,200	4,200	4,200
6	3,000	4,200	4,200
7	7,200	7,200	7,200
8	4,200	4,200	4,200
9	2,700	3,700	3,700

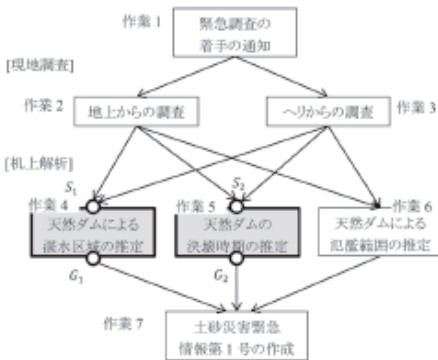


図5 緊急調査における初期の調査の作業ネットワーク

合に要する時間となる。従って、 m_1 作業パスと m_2 作業パスを別々の作業者が並列に進めた場合の時間を推定した場合には、各作業パスの正味時間を抽出するべきであるが、今回は1名であるため、重複時間を含めた時間とした。

3.2 処理率と手戻り率の推定

3.2.1 移流係数と拡散係数の推定

作業ネットワークに対して推定モデルを適用するためには、はじめに作業パスである m_1 作業パスと m_2 作業パスに関する推定モデルを構築する必要がある。作業パスの場合、一次元の移流拡散方程式により災害対応が完了する確率の時間変化を求めることになり、その分布は移流係数 a_k と拡散係数 b_k によって変化する。 a_k と b_k の組み合わせは無数に存在するが、実測値の確率分布に最も近い計算値を示す a_k と b_k が、最適な値の組み合わせであると考えることができる。そこで、 a_k と b_k を 1×10^{-3} の刻みで変化させて、式(18)による確率分布の計算値を算出した。さらに、その計算値と表2で示した防災訓練の結果から求めた確率分布の実測値との残差二乗和を算出し、その値が最小となる場合の a_k と b_k を、 m_1 作業パスおよび m_2 作業パスに関する a_k と b_k として求めた。残差二乗和の計算式を以下に示す。

$$RSS = \sum_{i=1}^n (P_i(T) - P_{compl,i}(T))^2 \quad (19)$$

ここで、 RSS は残差二乗和、 $P_i(T)$ は計測時間 T で仕事が完了する確率の実測値、 n は実測値数の9となる。なお、計測時間 T は、表2で示した m_1 作業パスと m_2 作業パスそれぞれの時間を利用した。

表3は式(19)により求めた a_k 、 b_k 、 RSS の値である。表2の値をもとにすると、 m_1 作業パスの

表3 m_1 作業パスおよび m_2 作業パスの移流係数と拡散係数

作業パス名	移流係数 a_k	拡散係数 b_k	RSS
m_1 作業パス	-0.00024610	0.00000734	0.0052
m_2 作業パス	-0.00024870	0.00000203	0.0206

推定モデルは式(20)、 m_2 作業パスの推定モデルは式(21)のように表すことができる。なお、前述のとおり、 a_k は能率と考えることができるため、 m_1 作業パスの能率は-0.00024610、 m_2 作業パスの能率は-0.00024870となる。

$$P_{compl,m_1}(T) \approx \begin{cases} \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024610 \cdot T)^2}{0.00000734 \cdot T}}} \right] & (0.00024610 \cdot T - 1 < 0) \\ \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024610 \cdot T)^2}{0.00000734 \cdot T}}} \right] & (0 \leq 0.00024610 \cdot T - 1) \end{cases} \quad (20)$$

$$P_{compl,m_2}(T) \approx \begin{cases} \frac{1}{2} \left[1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024870 \cdot T)^2}{0.00000203 \cdot T}}} \right] & (0.00024870 \cdot T - 1 < 0) \\ \frac{1}{2} \left[1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024870 \cdot T)^2}{0.00000203 \cdot T}}} \right] & (0 \leq 0.00024870 \cdot T - 1) \end{cases} \quad (21)$$

図6、図7に災害対応を完了させるのに要する時間の計算値と実測値の比較を示す。図中の実測値は、表1で示したある計測時間以下の標本数を母集団の数で割った値である。 m_1 作業パスでは約8,288秒(138分)、 m_2 作業パスでは約5,872秒(97分)で作業がほぼ完了、つまり災害対応が完了する確率が0.99となった。また、実測値と計算値を比較すると、 m_1 作業パス、 m_2 作業パスともに、実測値がほぼ計算値のグラフ上に位置した一方で、災害対応に要する時間が4,800~5,400秒付近で実測値と計算値が乖離する結果となった。これは、実測値の母集団の数が9件と少ないことが原因である可能性がある。

3.2.2 処理率と手戻り率の推定

構築した推定モデルをもとに、 m_1 作業パスと m_2 作業パスの処理率 μ_k と手戻り率 λ_k を求める。式(3)と式(4)より、 μ_k と λ_k は次式のように表すことができる。

$$\begin{cases} \lambda_k = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{\Delta m_k} + \frac{2b}{(\Delta m_k)^2} \right) \\ \mu_k = \frac{1}{2} \left(\frac{a}{\Delta m_k} - \frac{2b}{(\Delta m_k)^2} \right) \end{cases} \quad (22)$$

また、作業が進むためには、処理率 μ_k が手戻り率 λ_k よりも大きい必要があるとともに、 μ_k と λ_k を足した値は0以上1以下であるため、以下の関係式が成り立つ。

$$\begin{cases} 0 \leq \lambda_k \leq \mu_k \leq 1 \\ \lambda_k + \mu_k \leq 1 \end{cases} \quad (23)$$

式(22)と(23)から、 Δm_k の取りうる範囲は、以下のように整理することができる。

$$\text{Max} \left(\frac{-a_k + \sqrt{a_k^2 + 16b_k}}{4}, \sqrt{2b_k} \right) \leq \Delta m_k \leq \frac{2b_k}{1-a_k} \quad (24)$$

なお、式(2)を求めるにあたり、 ΔT と Δm_k は微小な値とした。式(2)の精度を高めるため

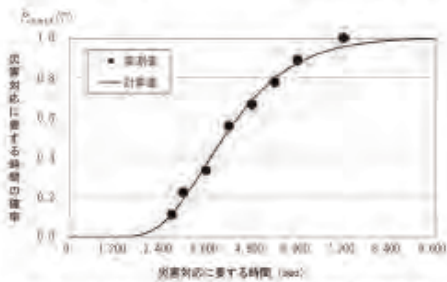


図6 災害対応に要する時間の実測値と計算値の比較 (m_1 作業パス)

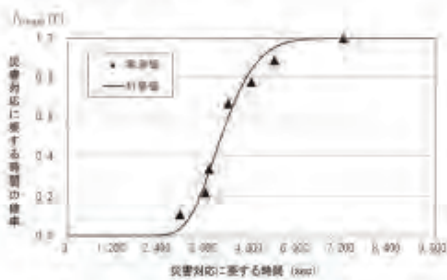


図7 災害対応に要する時間の実測値と計算値の比較 (m_2 作業パス)

には、その誤差を小さくしなければならない。そこで、 Δm_k は取りうる範囲のうち最も小さいとし、次式とした。

$$\Delta m_k = \text{Max} \left(\frac{-a_k + \sqrt{a_k^2 + 16b_k}}{4}, \sqrt{2b_k} \right) \quad (25)$$

ここで、3.2.1で求めた移流係数 a_k と拡散係数 b_k を式(25)に代入し、 m_1 作業パスと m_2 作業パスのそれぞれ Δm_k を算出した上で、式(22)より処理率 μ_k と手戻り率 λ_k を求めた。その結果、 m_1 作業パスでは $\Delta m_k = 0.0038$ の条件で $\mu_1 = 0.5321$ 、 $\lambda_1 = 0.4679$ であり、 m_2 作業パスでは $\Delta m_k = 0.0020$ の条件で $\mu_2 = 0.5617$ 、 $\lambda_2 = 0.4383$ であった。

3.3 作業ネットワークへの適用

3.2.1で求めた作業パスの推定モデルを利用して、作業ネットワークの災害対応に要する時間を求めた。作業ネットワークの推定モデルは、式(18)に示したとおり、作業ネットワークを構成する作業パスの推定モデル同士を掛け合わせればよい。従って、 m_1 作業パスおよび m_2 作業パスで構成される作業ネットワークの推定モデルは、以下の4つの式で表すことができる。

$$\begin{aligned} P_{\text{comp},1}(T) &\approx \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024610 \cdot T)^2}{0.00000734 \cdot \pi T}}} \right) \right] \\ &\quad + \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024870 \cdot T)^2}{0.00000203 \cdot \pi T}}} \right) \right] \\ &\quad (0 \leq 1 - 0.00024610 \cdot T, 0 \leq 1 - 0.00024870 \cdot T) \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} P_{\text{comp},2}(T) &\approx \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024610 \cdot T)^2}{0.00000734 \cdot \pi T}}} \right) \right] \\ &\quad + \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024870 \cdot T)^2}{0.00000203 \cdot \pi T}}} \right) \right] \\ &\quad (0 \leq 1 - 0.00024610 \cdot T, 0.00024870 \cdot T - 1 < 0) \end{aligned} \quad (27)$$

$$P_{\text{completion}}(T) \approx \left[\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024610 \cdot T)^2}{0.00000734 \cdot T}}} \right) \right] \cdot \left[\frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024870 \cdot T)^2}{0.00000203 \cdot T}}} \right) \right] \quad (0.00024610 \cdot T - 1 < 0, 0 \leq 1 - 0.00024870 \cdot T) \quad (28)$$

$$P_{\text{completion}}(T) \approx \left[\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024610 \cdot T)^2}{0.00000734 \cdot T}}} \right) \right] \cdot \left[\frac{1}{2} \left(1 - \sqrt{1 - e^{-\frac{(1-0.00024870 \cdot T)^2}{0.00000203 \cdot T}}} \right) \right] \quad (0.00024610 \cdot T - 1 \leq 0, 0.00024870 \cdot T - 1 < 0) \quad (29)$$

図8は作業ネットワークについて災害対応に要する時間の確率の実測値および計算値の比較を示したものである。実測値と計算値を比較したところ、災害対応に要する時間の確率が0.2~0.6の時間において、実測値と計算値が若干乖離し、それ以外の確率の時間はほぼ一致した結果となった。実測値と計算値が最も乖離したのは4,200秒であり、実測値の確率が0.56であるのに対して、計算値は0.32であり、0.24の差が見られた。実測値と計算値の残差二乗和は0.0345であるものの、計算値は実測値をおおむね再現できたと考えられる。

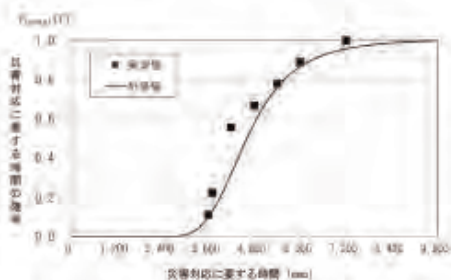


図8 災害対応に要する時間の実測値と計算値の比較（作業ネットワーク）

4. 結論

本研究では、災害対応に関して、複数の作業パスから構成される作業ネットワークを完了させるのに要する時間を求めるために、コルモゴロフの前進方程式に基づく数理モデルを導いた上で、ガウス積分を近似することで近似解を求める推定モデルを開発した。また、推定モデルを天然ダム形成時の緊急調査で実施する机上解析に関する作業に適用し、推定モデルのパラメータである処理率 μ_k と手戻り率 λ_k を推定したところ、「 m_1 ：天然ダムによる湛水区域の推定」に関わる作業パスでは $\Delta m_1=0.0038$ の条件で $\mu_1=0.5321$ 、 $\lambda_1=0.4679$ であり、「 m_2 ：天然ダムの決壊時期の推定」に関わる作業パスでは $\Delta m_2=0.0020$ の条件で $\mu_2=0.5617$ 、 $\lambda_2=0.4383$ であることが分かった。さらに、 m_1 作業パスと m_2 作業パスからなる作業ネットワークに適用した結果、災害対応が完了する確率が0.2~0.6と比較的低い確率の時間において、実測値と計算値が若干乖離していたが、全体的な計算値の傾向は実測値と同じであった。このことは、2つの作業パスによって構成される作業ネットワークに要する時間を推定する際に、本研究で求めた推定モデルを適用できることを示唆する。

本研究で開発した推定モデルを利用し、災害対応に関する様々な作業の μ_k と λ_k の値を明らかにすれば、作業ネットワークを形成した災害対応に要する時間を推定することが可能となる。ここで言う災害対応とは災害発生直後に実施する対応であり、災害マネジメントサイクルにおける4つの段階のうち、応急対策（Response）に該当する。災害対応に要する時間が推定できると、それ以降に実施する作業の開始時刻の目安を把握できる効果がある。本研究では天然ダム形成時の緊急調査を対象としたが、その作業に要する時間を推定できると、それ以降に実施する作業として、関係自治体への説明、住民への情報提供、天然ダムの継続調査等の開始時刻を推定することが可能となるため、それらの段階に割り当てる人員を手配しやすくなり、防災組織の災害対応全体として効率的な人員配置を検討することができる。効率的な人員配置が実現できると、災害対応をより短時間で

実施することが可能となり、ひいては人命や資産に対する被害を最小限に抑えることにつながると考えられる。

今後の課題として、 μ_k と λ_k の値は、モデルでは定数として扱っているため、定常状態で作業が進むことが前提となる。実際の災害対応は長期間継続することがあるため、どの程度の時間まで定常として扱えるか解明する必要がある。また、本研究では災害対応で実施する作業の中でも、比較的安定した条件で作業できる机上解析を対象としたため、処理率と手戻り率という2つの定数で表されるモデルを適用することができた。しかし、机上解析以外の災害対応は、処理率や手戻り率以外にも考えるべき外的条件がある。例えば、現地調査の場合には災害発生場所や交通状況、昼夜の区別などの要素を考慮しなければ、作業にかかる時間を推定することは困難である。本研究では、災害対応の作業にかかる時間を推定するために、考慮すべき条件が少ない机上解析を対象として、基礎的なモデルを開発した。今後、外的条件と作業時間との関係を明らかにすることで、机上解析以外の作業にも拡張することができると考える。

引用文献

愛須英之・大槻知史・竹葉豊幸 (2012): 運行のネットワークモデル化と計画策定支援, オペレーションズ・リサーチ, 57 (8), p.414-419.
 Archibald, R.D. and Yilloria, R.L. (1967): Network-based management systems (PERT/CPM), New York: John Wiley & Sons Inc.
 Bajis, D. (1985): Approximating the distribution functions in stochastic networks, Computers & Operations Research, 12(3), p.251-264.
 Clark, C.E. (1961): The Greatest of a Finite Set of Random Variables, Operation Research, 9(2), p.145-162.
 Dann, S., Beersma, G.M. and Borbely, A.A. (1984): Timing of human sleep: recovery process gated by a circadian pacemaker, American Physiological Society, 246, p.161-178.
 林 春男・牧 紀男・田村圭子・井ノ口宗成 (2008): 組織の危機管理入門ーリスクにどう立ち向かえばいいのか(京大人気講義シリーズ), 丸善,

168p.
 Heath, G.A., Mendell, M.J. (2002): Do Indoor Environments in Schools Influence Student Performance?, A Review of the Literature, Proceedings of Indoor Air 2002, p.802-807.
 Hedge, A., Sims, W.R., Becker, F.D. (1995): Identifying Controlling Features of Engineering Design Iteration, Massachusetts Institute of Technology Sloan School of Management Working Paper, 3348, p.1-34.
 栗森静江・岡 龍雄・柿崎敏雄 (1994): 精神作業による負担と疲労の評価 2.11時間の非規制計算作業負荷実験, 労働医学, 3, p.9-15.
 黒川泰亨 (2003): 林業における就労配分のシステム化に関する研究: 確率的 PERT による林業労働の管理と計画, 森林計画学会誌, 37 (1), p.1-12.
 Lamond, N. and Dawson, D. (1999): Quantifying the performance impairment associated with fatigue, Journal of Sleep Research, 8, p.255-262.
 Lorsh, H.G., Abdou, O.A. (1994): The impact of the indoor environment on occupant productivity - Part 2, Effects of temperature, ASHRAE Transactions, 100(2), p.243-247.
 松浦武信・吉田正廣・小泉義春 (2000): 物理・工学のためのグリーン関数入門, 東海大学出版会, p.129-130.
 水野秀明・石塚忠範・小山内信智 (2011): 「土砂災害防止法の改正」に基づく緊急調査の手引き, 土木技術資料, 53 (12), p.60-61.
 毛利正光・西村 昂・本多義明 (1983): 土木計画学ー理論と実際ー, 株式会社国民科学社, p.158-166.
 成田清正 (2016): 確率解析への誘い, 共立出版, p.255-261.
 岡田成幸・豊田信博 (1996): 地震時における行政組織の防災活動需要時系列モデル構築の試み, 学術講演梗概集, B-2, 構造 II, 振動, 原子力プラント, p.91-92.
 大島正光 (1979): 疲労の研究, 同文書院, p.2-4.
 大住 晃 (2002): 確率システム入門, 朝倉書店, p.71-80.
 小山真紀・翠川三郎 (2006): 市町村における地震時の意思決定支援に向けた災害応急対応モデル化の試み, 自然災害科学, 25-1, p.51-70.
 尾崎俊治 (1996): 確率モデル入門, 株式会社朝倉書店, p.104-114.
 Seppänen, O., Fisk, W.J. and Lei, Q.H. (2006): Room

- Temperature and Productivity in Office Work, Proceedings of Healthy Buildings 2006, 1, p.243-247.
- 高 岩・松井正之 (1994)：一般化コンベヤ生産ステーションの作業時間分布, 日本経営工学会誌, 44 (6), p.526-534.
- 照沼利浩・水野秀明・西本晴男 (2016)：災害対応に要する時間の推定モデル, 砂防学会誌, 69 (2), p.13-18.
- Veitch, J.A. and Newsham, G.R. (1997): Lighting quality and energy-efficiency effects on task performance, mood, health, satisfaction and comfort, IESNA conf. Seattle.
- 山内次郎 (1972)：統計数値表 JSA-1972, 財団法人日本規格協会, 参考 p.6.
- 紀 永儒・柳川佳也・宮崎茂次 (2010)：待ち行列理論を用いた病院の外来患者待ち時間短縮の一提案, 日本経営工学会論文誌, 60 (6), p.298-305.
- 吉川和広・春名 攻 (1970)：施工計画システムへの確率 PERT の導入に関する研究, 土木学会論文報告集, 179, p.81-95.
- (投稿受理：平成28年8月2日
訂正稿受理：平成29年3月28日)

要 旨

大規模な土砂崩壊の発生に伴う天然ダムの形成や河川堤防の決壊に伴う氾濫等、被害が甚大かつ広範囲に及ぶ恐れがある災害発生時には、防災組織は限られた人員で可能な限り迅速に災害対応にあたる必要がある。より短時間に作業を完了させるためには、効率的な人員配置や応援要請の有無等を検討する際の判断材料として、災害対応の作業ネットワークにかかる時間を推定することが有効である。本研究では、複数の作業パスから構成される災害対応の作業ネットワークを完了させるのに要する時間を求めるために、コルモゴロフの前進方程式に基づく数理モデルを導いた上で、ガウス積分を近似することで解析解を求める簡易式を開発した。また、簡易式を天然ダム形成時の緊急調査に関する災害対応の防災訓練に適用し、数理モデルのパラメータである処理率 μ_n と手戻り率 λ_n を推定した。

デモンゼー著書「溪流および山腹工事」について

筑波大学大学院生命環境科学研究科
元筑波大学大学院生命環境科学研究科
一般財団法人砂防フロンティア整備推進機構

○西本晴男
倉持紀子
森 俊男

1. はじめに

1878年にフランスで出版された世界初の砂防および治山工事の解説書である¹⁾、プロスパー・デモンゼー (Prosper-DEMONTZEY, 1831-1898) の著書『Étude sur les travaux de Reboisement et de Gazonnement des Montagnes』(以下、「原著」という)の日本語訳(以下、「和訳版」という)が作成された。原著の内容はオーストリアにも紹介され、1901年にワングが著わした「砂防工学の基礎」(Grundriss der Wildbachverbauung)へと繋がり、さらに日本の近代砂防の発展に結びついた。原著は、山地における溪流と斜面の特徴、侵食作用、溪流工事、山腹工事等について体系的に論理展開されており、砂防と治山の基本的考え方が凝縮されたものになっている。原著の復刻版が近年出ていることからその価値の高さがうかがえる。

今般、和訳版が出来たことにより、多くの砂防関係者の便に供することができることになったと考えるので、原著と和訳版の内容を紹介する。なお、原著はこれまで「山地における再植林と芝付工事に関する研究」の名称で紹介されているが、内容的に日本において砂防と治山で実施している溪流工事と山腹工事について述べていることから、日本語名として表記の名称を使用している。

2. デモンゼーとフランスの砂防・治山

原著の著者であるデモンゼーは、フランスにおける近代砂防・治山事業の指導者としてフランスで高い評価を受けている。フランスにおける森林・林業学の名門であるナンシー (Nancy) 森林大学 (Ecole Nationale du Génie Rural, des Eaux et Forêts)²⁾を1853年に卒業と同時に、山地修復庁 (RIM: Restauration des Terrains en Montagnes) に奉職し、1868年にはフランス南東部のアルプ・ド・オート・プロヴァンス (Alpes-de-Haute-Provence) 地方のディネ (DIGNE) 市にあるRIMの事務所長となった。1872年に、デモンゼーの指揮のもと、フランス国内で最も荒廃の著しかったロース川水系デュランス川支流のユバイユ (Ubaye) 川流域の砂防・治山工事が着手されている。

フランスのアルプス山岳地域では、薪炭や牧畜のための森林伐採が原因で18世紀から荒廃が進み、多くの溪流から活発な土砂生産にもなると土石流の被害に悩まされてきた。このため、アルプス地域における山地溪流の修復事業は年々その重要度を増していた。デモンゼーは、原著の中でこの地域について、「反論を恐れずに言う、非常に多様性に富んだ溪流と荒廃地を併せ持った最も不利な土地と気候の条件の、これほど完璧な組み合わせを他に見つけるのは難しい。」とまで述べている。

こうした状況下で、1860年と1864年に山地修復に関する

法律が成立し、山地の住民に植林を奨励する一方で、荒廃が極めて著しい地域に政府が公共事業として砂防・治山工事を行える権利を付与した。デモンゼーは、アルプ・ド・オート・プロヴァンス地方の砂防・治山工事を指導しながら、数々の観測結果にもとづく研究に没頭すること十数年の歳月をかけ、1878年原著を発表し砂防・治山工事の効果を世に示した。そして、1882年に「山地修復法」が成立し、フランスにおけるRIMの砂防・治山事業が軌道に乗ることになった。

3. 原著について

3.1 原著出版の意義

我国の砂防学の権威である武居有恒博士 (京都大学名誉教授) は、デモンゼーとその功績について日本砂防史のなかで、“18世紀から19世紀にかけてフランス、スイス、オーストリアで次第に発展してきた技術を集大成したのは、フランスのデモンゼー (P. Demontzey) といえる。彼は最初、フランスの森林局技師として実務に携ったが、1880年には学士院会員となり、多くの著書を出している。なかでも1878年に出版された『山地における再植林と芝付工事に関する研究』は、当時最も先進的かつ組織化されていたといわれるフランスの砂防技術を体系化したものとして、アルプス諸国の砂防技術にきわめて大きい影響を及ぼしたといわれる。”と述べ、原著を高く評価している。このように原著は現在の砂防・治山の原点が書かれている名著であると言える。その内容はオーストリアのゼッケンドルフ (A. F. V. Seckendorff) が1884年に著した『Verbauung der Wildbäche und Berasung der Gebirgsgründe』(溪流工事及び山岳地の森林及び芝草の回復)によってオーストリアに紹介され、近代砂防・治山技術の発展に果たした役割は大きいものがある。



図-3 アルプ・ド・オート・プロヴァンスの位置図 (ATLAS PRATIQUE, LAROUSSE, 2014に加筆)

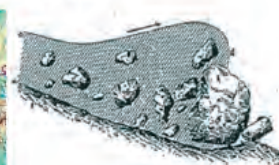


図-2 土石流の流下状況図

3.2 原著の内容

原著は、フランスのアルプス地域の保全に係る諸問題に対応する基礎と応用理論および多くの対策実例を盛り込んだ約400ページに及ぶ労作である。溪流の特性と影響、溪流工事

の種類・効用・計画設計および施工方法、山腹工事の基礎要件・植林の適応樹種・施工方法、並びに維持管理方法及び関連作業について具体的な工事事例にもとづき解説している。また「注解」として、発生した土石流の観測の研究成果を掲載している。特に、ユバイユ川の支流であるフォコン (Faucon) 溪やサニエル (Sanières) 溪などで発生した土石流に関して、その流下状況の生々しい体験談や土石流先頭部の状況図 (図-2) などは貴重なものである。

計画設計については、多くの事例を用いて図解している。図-3 は砂防堰堤の平面図とその側面図であり、後者をみると堰堤の下流法勾配は二分である。原著の出版は明治 11 年であり、当時日本では石垣留と呼ばれる高さ 2m 未満の下流法が緩やかなものが造られていた時代である³⁾。また、図-4 は床固工 (マツ杭と柳柵を使用) を設置することによる溪流の縦断勾配の緩和方法について示したものである。諸戸北郎博士により大正時代初期にこの考え方が日本に紹介された⁴⁾。ことをふまえると、これらは、当時のフランス砂防・治山技術の先進性を示すものである。

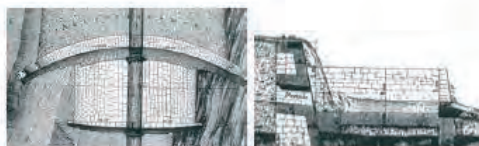


図-3 堰堤の平面図と側面図



図-4 床固め工による縦断勾配緩和の概念図

4. 牛伏川フランス式階段工との関係

長野県松本市の郊外の牛伏川に「フランス式階段工」と呼ばれている砂防工事がある。この施設は、「牛伏川本流水路 (階段工)」の名称で国の重要文化財に指定されている。

この砂防工事は大正 5-7 年に長野県によって施行され、設計にあたっては欧州留学経験のある内務省の池田圓男技師の指導を受けている。長野県から相談を受けた池田技師はフランス南東部にあるサニエル (Sanières) 溪上流部で施工された階段工を参考にした設計図を示し、長野県はこの図を参考に牛伏川の砂防工事を実施した⁵⁾。池田が示した設計図には、ゼッケンドルフの著書の図⁶⁾を模写した図が糊付けされており、その原図はデモンセーの原著にある。これが、「フランス式階段工」と呼ばれるようになった由来といわれている。

5. 和訳版について

和訳版は、原著の翻訳と関連事項の補足説明及び用語集から構成されている。

翻訳にあたっては、原文にできるだけ忠実に行ったが、19 世紀のフランスの社会事情をベースにした記述であることから、難解な表現、用語があり、現代の用語を使用し意識した部分がある。また、読み易くするため、原著の巻末の図版集にある図をそれぞれ本文中の該当箇所に配置した。さらに、読者の理解を助けるために、関連事項補足説明として原著に出てくる地域や溪流などの説明を写真・図を使用しながら記した。さらに、原著に出てきた専門用語等を和仏と和仏の用語集として掲載した。

なお、翻訳については、ユバイユ川流域をはじめフランスの砂防現場を数回訪れたことがある西本とフランス語に詳しい倉持が担当し、全体の構成等については森が監修した。和訳版の概要紹介と入手申し込み方法は、(一財)砂防フロンティア整備推進機構のホームページで公開されている。

6. おわりに

原著は、人為により自然は容易にその安定を失い、一度荒廃した山地の修復には、地道な努力と時間そして複雑に絡む利害関係の解決が必要であることを示している。日本もまた、濫伐等による人為に起因する山地の荒廃と長期間の修復作業を経験してきた。この経験にもとづき、多年の地道な研究と技術開発により砂防と治山について多くの知識、知恵そして技術を蓄積し発展させてきた。一方で、気候変動の影響、都市部周辺での土地開発、地方での過疎化や林業不振など、日本の砂防と治山を取り巻く環境も大きく変化してきている。

このような動向をふまえ、今後の日本の砂防と治山のあり方を考えるとき、その源泉ともいえるこの原著の内容にふれることは意義あるものと考ええる。本書が、砂防と治山の基本理念そして技術の基本思想を、その原点に立ち返り、改めて考えるための糧になれば幸いである。

和訳版を企画・発刊された(一財)砂防フロンティア整備推進機構に敬意を表します。同機構の田畑茂清技術顧問には、叱咤激励と貴重なご助言をいただきましたことに厚く御礼申し上げます。

＜参考文献＞

- 1) 武居有恒: 日本砂防史, (社) 全国治水砂防協会, p.511-517, 1981
- 2) 古井戸宏道: フランス林政における『水と森林』の史的展開序説, 水資源・環境研究, Vol.20, p.73-86, 2007
- 3) 武居有恒・田畑茂清・板垣 治・大矢幸司: 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, p.2-4, 2009
- 4) 諸戸北郎: 理水及砂防工学 設計と実例編, 三浦書店, p.20-31, 1919
- 5) 牛伏鉢伏友の会: 防災遺産 牛伏川の砂防, p.8-12, 2013
- 6) F.V.Seckendolff: Verbauung der Wildbache und Berasung der Gebringsgrunde, p.99, 1884

画像解析による石積み堰堤の調査

筑波大学大学院生命環境科学研究科
○笠原友樹・秋山一弥・吉田喜高

1. はじめに

昭和13(1938)年の6月28日から7月5日かけて茨城県では梅雨前線によって記録的な豪雨となり、筑波山の千寺(せんじゅ)川[※]では7月3日に土石流[※]が発生し、寺社や家屋が全壊し3名が犠牲となる被害が発生した¹⁾。千寺川では翌年の昭和14年から昭和18年にかけて全体で24基の砂防堰堤群が整備され、現在でも筑波山神社やその周辺の家屋を守っている。

このような歴史的施設の管理では石積みの状況を現況のままで記録することが必要と考えられるが²⁾、竣工から約80年が経過して周辺には植生が繁茂し倒木や土砂に覆われるなど、施設の全体を確認することが困難な堰堤もみられ、沢沿いから歩いてアクセスする必要があるなどの理由から簡易な機材を用いた調査方法が望まれる。本研究では、千寺川の下流域に位置する二基の石積み堰堤(図1)を対象とし、簡易な測量と画像を用いた三次元のモデリングを試みた。



図1 調査位置図(背景図は地理院地図を利用)

2. 調査方法

最近では、被写体表面の複数枚の画像を用いて三次元モデルを生成するSfM (Structure from Motion) を用いた調査が多くなっている。撮影は上空からUAV(ドローン)を用いて行うことが多いが、調査地は隣接して筑波山神社をはじめ各種の施設があることや、堰堤の周辺は林になっていて上空からの調査は困難(空中写真では堰堤の存在は確認できない)である。このため、本研究ではカメラやビデオで地上から撮影・録画した画像だけを用いて三次元のモデル構築を試みた。以下に使用した機材を示す(写真1)。

(1) 画像関係

デジタルカメラ(オリンパス TG-4)、ビデオカメラ(JVC GZ-E765)、自撮用一脚(1350mm)

(2) 測量関係

レーザー距離計(Leica Disto D510)、GPS(Garmin eTrex 30xJ)、傾斜計、方位計、スタッフ、巻尺、三脚、基準点・計測点の標識

現地調査は図1に示す①の下流側堰堤と②の上流側堰堤を対象として、平成29年の2月10日(①の全体と②の下流面)と3月10日(②の全体)に行った。地上から撮影・録画が可能な高さは自撮り棒を使用しても最大で高さ3.5m程度のため、撮影の高さを3~4段階変化させるとともに、堰堤の



写真1 使用機材



写真2 堰堤の撮影状況

水通しや袖の上面を含めてオーバーラップしながら全体の記録を行った（写真2）。画像解析には Agisoft PhotoScan Pro.を用いたが、現在のところ解析パラメータを検討している段階である。

3. 結果

3.1 下流側堰堤

①の下流側堰堤の全景写真を写真3に、デジタルカメラで撮影した写真から作成した三次元画像を図2に示す。この堰堤は植生など遮る障害物が少なく撮影は比較的容易で、堰堤から距離を取って撮影したものの、撮影枚数は約1000枚と多くなかった。作成した三次元画像（図2）と全景（写真3）を比較した結果、高いレベルで三次元画像を作成することができたと考えられる。

3.2 上流側堰堤

②の上流側堰堤の全景写真を写真4に、デジタルカメラで撮影した写真から作成した三次元画像を図3に示す。写真4は堰堤から下流へ15mの地点で撮影しているが、堰堤は一部しか確認できず、直下まで到達しないと全体は見えない状態であった。堰堤近傍にも植生が多く、撮影は堰堤に対して近距離で行ったため、堰堤の下流面だけで撮影枚数は約1000枚と多くなったが、図3のとおり可視化することができた。

4. 今後の予定と課題

今後は地理空間上の座標を与えて三次元のモデリングを行う予定である。現在までの課題として、木々が生い茂った場所でも十分なレベルで解析が可能であると考えられるが、堰堤の近傍から撮影を行っているため撮影枚数が多くなる傾向がある。特に②の上流側堰堤では、全体を撮影した場合は3時間半もかかり撮影枚数が約3000枚と非常に多くなったため、今後は撮影時間や枚数を減らして効率化を図る必要がある。

参考文献

- 1) 中央気象台（1938）：中央気象台彙報 第14冊 昭和十三年六月二十八日より七月五日に至る豪雨報告、pp.158-164。（注：中央気象台（1938）では、※は鷺石澤、※※は山津浪と記載されている）
- 2) 濱浦泰成・高島裕介・小野貴稔・広田孝喜・加藤卓也（2016）：砂防施設群の歴史的・文化的価値に関する調査事例 ―写真モデリングとレーザーデータの活用―、平成28年度砂防学会研究発表会概要集B、B-470-471。



写真3 ①下流側堰堤の全景
(堰堤から約28m下流で撮影)



図2 ①下流側堰堤の三次元画像



写真4 ②上流側堰堤の全景
(堰堤から約15m下流で撮影)



図3 ②上流側堰堤の三次元画像

オーストリア・イタリア東部国境地域における土石流対策

筑波大学大学院生命環境科学研究科 環境防災学講座 西本 晴男
 ㈱東京建設コンサルタント 東京本社河川計画本部 ○吉田 喜高
 応用地質㈱ 砂防・防災事業部 瀬戸 秀治

1. はじめに

オーストリア国ケルンテン (Kärnten) 州とイタリア国フリウリ＝ヴェネツィア・ジュリア (Friuli-Venezia Giulia) 州に跨る奥・伊国境付近では、2003年に土石流災害が発生し、甚大な被害を受けた。その後両国では土石流対策のための砂防堰堤等が整備されている。筆者らが2016年9月にこの地域を訪れる機会があったことから、本稿では2003年の土石流災害後に行われた対策の考え方や施設の特徴について述べる。

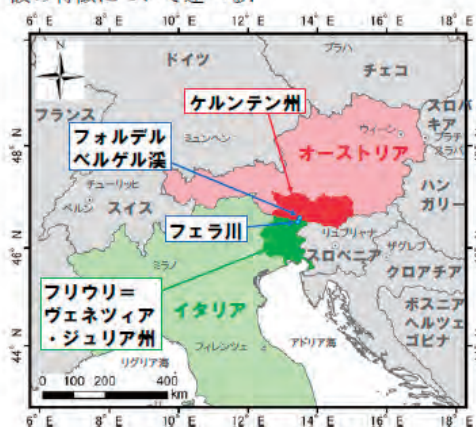


図1 対象地域位置図

2. オーストリア・フォルデルベルゲル (Vorderberger) 溪における土石流対策

フォルデルベルゲル溪はケルンテン州に位置し、ガイル (Gail) 峡谷に流入する流域面積 24km² の溪流である。2003年の豪雨で土砂災害、洪水により多大な被害を受けた。崩壊土砂は 477,500m³ 発生している。

土石流対策のための堰堤整備は15年間にわたって行われ、事業費は7.5百万EUR(0.5百万EUR/年)である。事業費の分担は国が60%、地方(県)が20%、コミュニティ(村)が20%となっている。この事業では地方とコミュニティの分担割合がほぼ同一であるが、地方(県)の分担割合が大きいのが一般的である。

図2中の(A)区間では、近年堰堤が集中的に整備されている。現地では5基の堰堤を確認したが、竣工年を堤銘板で把握できた4基の堰堤は、下流からそれぞれ2009年、2012年、2013年、2016年となっている。これらの上流に、更に6基の堰堤を整備する予定とのことである。堰堤は鉄筋コンクリート構造であり、上流側が鉛直で下流側が2分勾配で施工されている。水通し部に底構造が設けられている。袖小口勾配は、各堰堤サイトの条件に応じて決められており画一的になっていない。水通し部の保護として、エッジ部に鉄・石材等が利用されている。オーストリアでは堤体は鉄筋コンクリートであり、天端の厚さは日本の堰堤と比べて薄い。(写真1)



図2 フォルデルベルゲル溪周辺の空中写真
(オルソフォト: Austrian OGD Basemap)

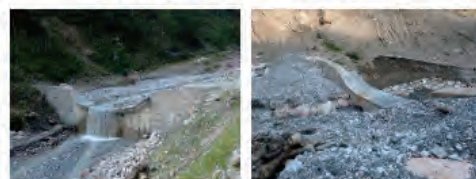


写真1 (A)区間に設置されている堰堤
(左: 2009年竣工, 右: 2013年竣工)

(B)区間においては、1960年ごろに施工された古い堰堤を嵩上げするための下流面への腹付工事が行われていた。堰堤直上流の右岸に崩壊地があり、既設堰堤は満砂状態であった。(写真2)



写真2 (B)区間での堰堤補修の状況と右岸崩壊の状況

3. イタリア・フェラ (Fella) 川流域における土石流対策

フェラ川はアドリア海に注ぐタリアメント (Tagliamento) 川 (流域面積 2,916km²) の右支川である。図3に示すようにフェラ川に複数の溪流が流入している状況にあり、2003年の豪雨では多くの溪流で土石流が発生し多大な被害が生じたため、土石流被害のあった各溪流において集中的に砂防工事が実施されている。加えて、フェラ川に沿ってイタリア北東部からオーストリア・スロベニアへ向かう道路が走っているほか、ロシアからドイツ方面へのパイプラインが通っており、堰堤を整備する上ではインフラの保全も重要な目的となっている。

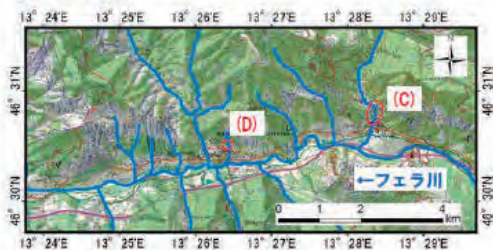


図3 フェラ川周辺位置図
(Alpi Giulie Occidentali Tarvisioに加筆)

図3中の(C)に相当するウッカ (Uqua) 溪により形成された扇状地がウゴヴィッツァ (Ugovizza) という小さな町になっており、扇頂部に透過型堰堤が整備されている。(写真3)

(D)のマルボルゲット (Marborghetto) では、2003年の土石流で2名が犠牲になった。階段状の溪流保全工と横棧の入ったコンクリートスリット堰堤が整備されており、その下流では道路下に流路を通して、対策を実施する際は、民地を購入しているとのことであった。緊急時には行政が取得できる仕組みがあるとのことであった。また、土石流が家屋に侵入しないよう、1階部分に窓を設

けず壁面で窓の絵を描いている状況を確認した。(写真4)



写真3 ウッカ溪(C)の透過型堰堤と保全対象となる扇状地



写真4 マルボルゲット(D)の溪流保全工と外壁に描かれた窓の絵

4. おわりに

本稿では、同時期に発生した2ヶ国の災害の内容について述べた。今回訪れた現場においては、オーストリアでは、中上流部の不安定土砂の流出抑制対策が中心であり、上流部では溪流及び斜面からの土砂生産の抑止、中流部では土石流の捕捉のための砂防堰堤の整備が実施されていた。一方、イタリアでは、溪流上流部で土砂流出抑止のための砂防堰堤の整備、扇頂部での土石流堆積工を中心とした整備が実施されていた。

なお、ウィーン農科大学の Johannes Hubl 教授、オーストリア国 Sektion Kärnten の Christof Seymann 副所長、Hannes Burger 氏、イタリア国家研究評議会 (CNR) の Alessandro Pasuto 博士、Luca Marcato 氏、イタリア国森林警備隊の Patrizio Terlicher 博士、Paolo Molinari 氏に協力をいただいた。

参考文献

- 1) 西本晴男, 瀬戸秀治, 吉田喜高 (2016): 平成 28 年 9 月欧州砂防調査報告書, 筑波大学大学院環境防災学講座

5. 新聞記事

140年目の初和訳

『溪流および山腹工事』
プロスパー・デモンゼー著



訳者
と
1時間

くらもち のりこ
倉持 紀子さん

砂防の真髄が描かれた書とされながら、和訳版がなかったフランスのプロスパー・デモンゼー著『溪流および山腹工事（1878年）』。筑波大学フランス文学科の卒業生で、同大学院環境防災学講座（砂防）に勤務していた倉持紀子さんに、同講座の西本晴男教授が翻訳を依頼。訳者と監訳の二人三脚で、2014年秋から取り組んできた。出版を迎え「貴重な機会をいただきとても感謝しています。砂防に関しては素人ですが、翻訳という形で少しでも役に立てれば光栄です」と話す。

原著は、復刻版が出ていることが示すように、今も評価が高い。

砂防学の権威・武居有恒京都

大学名誉教授は、『日本砂防史』のなかで、デモンゼー著を「アルプス諸国の砂防に大きな影響を与えた」と評した。とくにオーストリアではこの時期、大規模な土砂災害が発生。その復旧にあたってフランスにその秘を求めた。原著をドイツ語訳したゼッケンドルフ、日本に影響を与えた『砂防工学の基礎』の著者ワングがよく知られている。日本においても、東京帝大が砂防講座の担当教授としてアメリカ・ホフマンを招へいたことから、オーストリアの砂防を源流とするが、本（もと）をたどればフランスに行き着く。デモンゼーの著書は、世界で初めて砂防・治山技術を集大成した解説書だった。のちに同講座初の日本人教授となる諸戸北郎は、欧州留学中、ワングの教えを直接受けた。

著者：プロスパー・デモンゼー
監訳：西本晴男
翻訳：倉持紀子
発行：（一財）砂防フロンティア整備推進機構

西本教授が訳書の出版を思い立ったのは、長野県の牛伏川本流水路が「フランス式階段工」と呼ばれるようになった由来にある。

その階段工は大正期、長野県によって造られたが、設計を指導した内務省の池田園男技師が参考にしたのが、ゼッケンドルフの著書にあったフランスのユバイユ川サニエル溪階段工の図だった。さらにその原因がデモンゼーの原著にあった。

倉持さんはフランス留学経験があって、これまで英語の技術翻訳の経験や、環境防災学講座の事務を通じて砂防の大枠の理解はあったものの、「当初、1

アルプスに発祥した砂防の名著



「原著は、編纂工を『生きている堰堤』と呼ぶなど表現が豊かであることや、植林においては子どもにも作業を与え賃金を細かく規定するなど、当時の作業者の労働状況が詳しく説明されている。また、フォコン溪における土石流発生時の目撃者の証言の部分は、刻一刻と迫る土石流から証言者が間一髪で逃れて避難する場面が生々しく描写され、まるで物語を読むようでした」（倉持さん）

カ月で10ページしか進まなかった」という。それでも徐々にテンポが上がり、「2年はかかる」（西本氏）と目された翻訳を1年半で終えた。

単語の意味、用語の解明にはインターネットが役立った。辞書に載っていない単語、辞書に載っていても文章だけでは理解しにくい用語などを、ネットの画像で確認。石積みの種類、植林方法、機具の特定やモノの仕組みの理解を助けた。ユバイユ

川流域の砂防現場に足を運んだ西本氏の経験も適訳に生きた。

原著では巻末にあった図版集の図を、それぞれ本文中の該当個所に配置したことなど、読みやすさを追求した数々の工夫によって、原著を超える便に供したと言って過言でない。

……………
*和訳書はC D版。砂防フロンティア整備推進機構（<http://www.sff.or.jp/>）から申し込む。2,000円（税・送料込み）。

建設通信新聞記事（平成29年9月27日）

8年間の砂防研究振り返る



環境防災研究棟

筑波大環境防災学講座が終了

筑波大学大学院に2010年度開設された「環境防災学講座（担当：西本晴男教授）」が17年度末で終了することになり、11月29日に同講座の拠点となった環境防災研究棟で、8年間の活動を振り返る成果報告会が開催された。同講座終了後も、環境防災計画論・政策論の2科目が山岳科学学位プログラムの重要科目に位置付けられることになる。

同講座は、土石流などへの対策・研究といった砂防に関する高度な専門技術者・研究者養成を目的に、砂防フロンティア整

山岳科学学位プログラムに継承

備推進機構の寄付講座として設置された。翌年には研究棟が完成。当初5年間の設置期間が、防災への社会的ニーズを背景に3年延長された。修了学生数は23人。

報告会で冒頭あいさつに立った清水諭同大副学長は「同講座にご尽力いただいた砂防フロンティア整備推進機構、同機構の田畑茂清顧問、森俊勇前理事長に謝意を表したい」と述べた。次いで亀江幸二同機構理事長が来賓あいさつ、西本教授が8年間の活動報告と修了生の紹介を行った。

建設通信新聞記事（平成 29 年 12 月 4 日）

紀伊半島大水害で発生した河道閉塞 対策工事に関する実践実習

報告書

平成 29 年 11 月

筑波大学大学院 生命環境科学研究科

環境科学専攻 博士前期課程 2 年

学籍番号 201621166 木村 美香

目 次

1. 実習の概要	1
1.1 実習の目的	1
1.2 実習名、実習期間、実習先	1
1.3 実習場所	1
1.4 実習の日程	3
1.5 報告書の構成	4
2. 赤谷地区の深層崩壊と天然ダム	6
2.1 流域概要	6
2.2 地形地質概要	6
2.3 平成 23 年の豪雨	7
2.4 赤谷地区の深層崩壊と天然ダム	10
3. 緊急対策工事及び抜本工事	13
3.1 緊急対策工事着手までの流れ	13
3.2 緊急対策工事概要	13
3.3 工事内容	15
3.4 平成 24 年 6 月の台風 4 号による被災	17
3.5 抜本対策工事概要	19
4. 平成 29 年度の工事	20
4.1 平成 29 年度の工事内容	20
4.2 既に完成した砂防堰堤及び床固工	20
4.3 実習期間中の工事内容	23
4.4 緊急対策工事の現況	28
5. 施工管理	29
5.1 工程管理	29
5.2 安全管理	29
5.3 環境配慮事項	37
5.4 品質管理及び出来形管理	38
6. これまでの実践実習の工事内容と台風被害	41

6.1	これまでの実践実習概要	41
6.2	平成 24 年度実践実習	42
6.3	平成 25 年度実践実習	43
6.4	平成 26 年度実践実習	45
6.5	平成 26 年 8 月の台風 11 号による被災	46
6.6	平成 27 年 7 月の台風 11 号による被災	47
6.7	平成 27 年度実践実習	48
6.8	平成 28 年度実践実習	49
7.	まとめ	51
7.1	平成 29 年度の実習について	51
7.2	6 年間の実習について	51
8.	謝辞	52
9.	参考文献	53

1. 実習の概要

1.1 実習の目的

平成 23 年紀伊半島大水害において、赤谷地区で発生した深層崩壊による河道閉塞箇所での対策手法について習得することを目的に、平成 29 年度に実施している工事について、崩壊土砂(河道閉塞堤体)の安定化のための越流水処理及び砂防堰堤等の設計及び施工方法、現地における崩壊斜面監視調査手法、並びに施工管理手法について実習した。

1.2 実習名、実習期間、実習先

実 習 名：紀伊半島大水害で発生した河道閉塞対策工事に関する実践実習

実習期間：平成 29 年 7 月 12 日～8 月 31 日

(現地実習：平成 29 年 7 月 24 日～8 月 4 日)

実 習 先：鹿島建設株式会社 関西支店 赤谷工事事務所

1.3 実習場所

現地実習は奈良県五條市大塔町を流れる新宮川水系十津川右支流川原樋川の右溪流赤谷の崩壊地において、鹿島建設株式会社が実施している工事現場で行った。図 1.1～図 1.3 に位置図を示す。



図 1.1 現地実習箇所位置図(広域図)

(地理院地図, <http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0> に加筆)

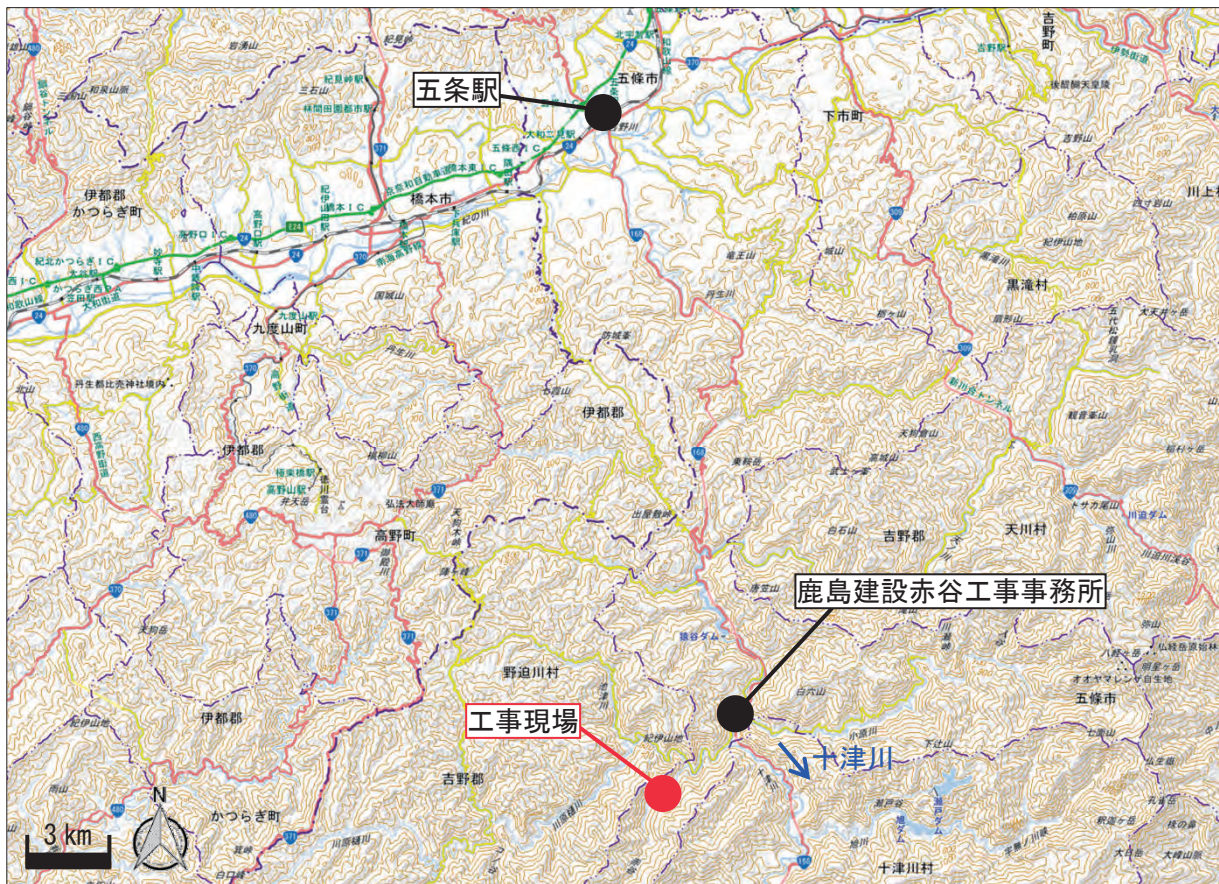


図 1.2 現地実習箇所位置図(五條市周辺)

(地理院地図, <http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0> に加筆)

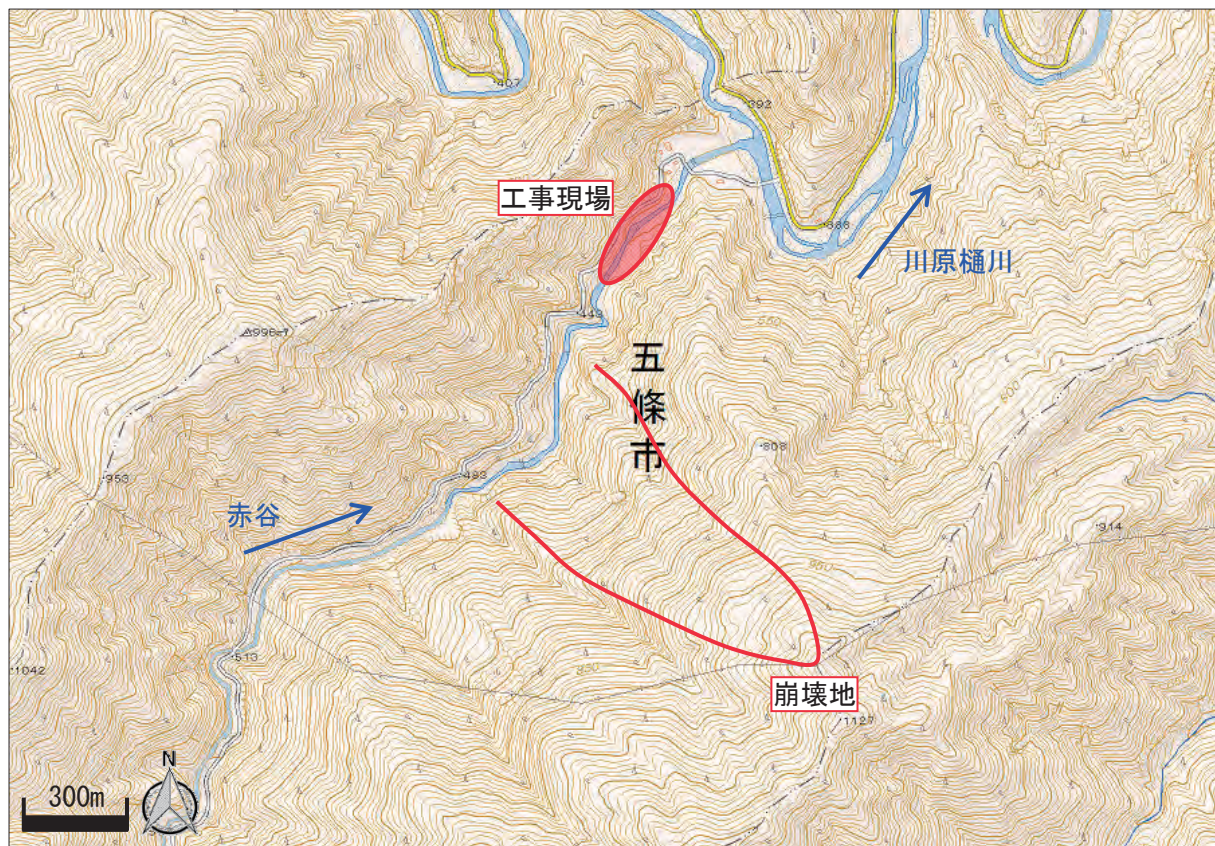


図 1.3 現地実習箇所位置図(詳細)

(地理院地図, <http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0> に加筆)

1.4 実習の日程

現地実習に向けての事前学習は7月12日から21日、現地実習は7月24日から8月4日、成果取りまとめは8月7日から31日の期間に実施した。実習の日程を表1.1に、現地の実習の日程を表1.2、表1.3に示す。

表 1.1 実習の日程

日程	内容	実習時間
平成 29 年 7 月 12 日～7 月 21 日	実習に向けての事前調査	10 時間
7 月 24 日～7 月 26 日	河道閉塞対策における緊急対策及び抜本対策の設計、施工計画調査	25.5 時間
7 月 27 日～7 月 28 日	河道閉塞対策の貯水池及び崩壊斜面監視調査	17 時間
7 月 31 日～8 月 4 日	床固工事及び法面对策工事における施工管理調査	42.5 時間
8 月 7 日～8 月 31 日	実習成果の取りまとめ	30 時間
		計 125 時間

表 1.2 現地実習の日程(1)

日程	内容	実習時間
7 月 24 日	・ 災害の経緯、平成 23～28 年の工事内容に関する机上調査 ・ 深層崩壊箇所及び工事に関する現地調査	8.5 時間
7 月 25 日	・ 既設対策工の性質、特徴及び被災歴に関する机上調査 ・ 工事の特徴及び安全対策に関する現地調査	8.5 時間
7 月 26 日	・ 法面工事内容の現地調査 ・ アンカー工施工に関する現地調査 ・ 安全管理及び環境配慮事項に関する現地調査 ・ シュミットハンマーによる岩検査	8.5 時間
7 月 27 日	・ 災害防止協議会の参加 ・ アンカー材料検査 ・ コンクリートの圧縮強度試験及びコンクリート製造に関する調査 ・ ボーリングコア観察 ・ 工事用道路の整備状況調査	8.5 時間
7 月 28 日	・ 安全管理及び環境配慮事項に関する現地調査 ・ 基準点測量、ICT 使用及び検尺の立会 ・ アンカーの構造、施工方法及び適性試験に関する机上調査	8.5 時間

表 1.3 現地実習の日程 (2)

日程	内容	実習時間
7 月 31 日	・ 3 号床固工、4 号床固工床掘の状況調査 ・ アンカー適性試験立会 ・ 盛土締固試験に関する現地調査 ・ コンクリート吹付状況の確認	8.5 時間
8 月 1 日	・ 安全大会の参加 ・ 河川上流、崩壊箇所及び既設対策工の現況調査 ・ 中間報告資料作成	8.5 時間
8 月 2 日	・ 中間報告 ・ 実習担当者及び世話教員面談	8.5 時間
8 月 3 日	・ 安全パトロールの参加 ・ 資料整理とりまとめ	8.5 時間
8 月 4 日	・ 資料整理とりまとめ	8.5 時間
		計 85 時間

1.5 報告書の構成

本報告書の構成について以下にまとめる。

1 章では、実習の概要として、実習の目的、場所、日程等について述べる。

2 章では、平成 23 年の台風による豪雨及び赤谷地区で発生した深層崩壊とこれによって生じた天然ダム(河道閉塞)について述べる。平成 23 年 8 月、台風 12 号の通過に伴い紀伊半島において記録的な豪雨が発生した。豪雨の影響で赤谷地区では深層崩壊が発生し、土砂が河川を堰き止めて天然ダムを形成した。本実習は、この災害の対策工事の現場で実施した。

3 章では、緊急対策工事及び抜本対策工事について述べる。災害直後の平成 23 年 9 月より緊急対策工事が、平成 24 年 11 月より抜本対策工事が実施された。台風期には崩壊、土砂流出及び出水が複数回発生し、それにより設置した対策工が被災し、復旧を余儀なくされている。平成 28 年度までに、1 号砂防堰堤、2 号砂防堰堤、5 号床固工及び 6 号床固工が完成している。

4 章では、平成 29 年度の対策工事及び本実習内容について述べる。今年度の工事内容は 3 号床固工、4 号床固工及び工事用道路の法面工の設置である。実習期間中の作業内容は、3 号床固工、4 号床固工の床掘及び工事用道路の法面工事である。

5 章では、工事現場で実施されていた施工管理(工程管理、安全管理、環境配慮事項、品質管理及び出来形管理)について述べる。工事現場では現場管理を務める鹿島建設株式会社のほか、砂防堰堤施工業者、ボーリング業者、法面工施工業者等、複数の協力会社が一体となって工事を実施

している。1つの作業が遅延した場合、工事全体の工程に影響するため、現場管理人は各協力会社の進捗状況を把握して工程を調整することが重要である。また工事現場での事故を未然に防ぐため、作業上の危険事項を事前に想定し、対策を講じること、他の現場で発生した安全対策の事例を水平展開することで、危機意識を啓発することが重要となる。更に工事を実施するにあたり、排気ガスの軽減や濁水対策等、環境に配慮すること、工事に使用する材料や施工が完了した箇所について試験や検査を実施し、設計基準を満たしているか確認することも重要である。

6章では、環境防災学講座の院生がこれまでに実施した実践実習についてまとめる。赤谷地区の実践実習は平成24年より毎年実施しており、本実習で6年目となる。平成24年度の実習では台風による土砂流出で被災した緊急対策工の復旧工事、平成25年度の実習では台風による出水で被災した緊急対策工の復旧工事及び2号砂防堰堤の施工、平成26年度及び平成27年度の実習では2号砂防堰堤の施工、平成28年度の実習では2号砂防堰堤下流の水路及び側壁、1号砂防堰堤の施工が実施されていた。

7章では、本実践実習のまとめ及び6年間の実習のまとめについて述べる。

2. 赤谷地区の深層崩壊と天然ダム

2.1 流域概要

赤谷は紀伊山地に位置する溪流で、新宮川水系十津川右支流川原樋川の右溪流であり、流域面積 14.2km²、流路延長 10km である。水源は標高 1,344m の伯母子岳で、平均河床勾配 4°、斜面勾配 30°～40°の急峻な V 字谷形状を呈す河川である。図 2.1 に赤谷の流域図を示す。

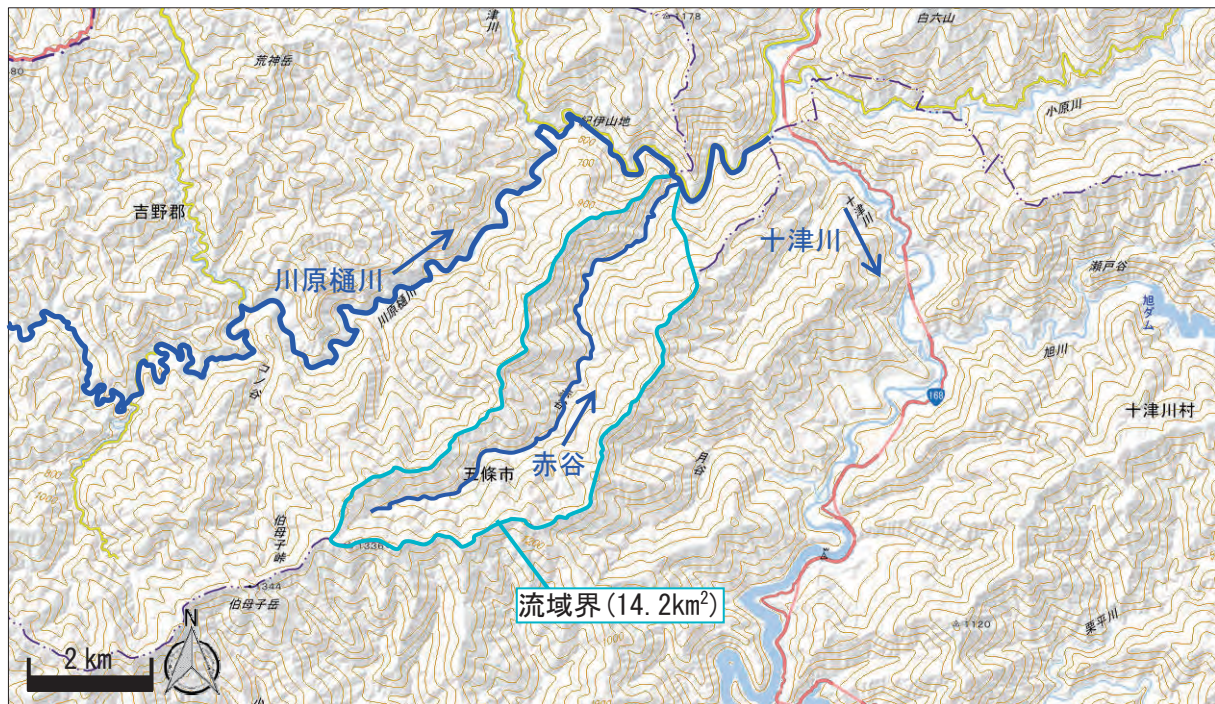


図 2.1 赤谷流域図

(地理院地図, <http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0> に加筆)

2.2 地形地質概要

紀伊山地は標高 2,000m 近い山々が連なる急峻な山地で、中央構造線南側の外帯に位置し、ほぼ東西方向の帯状構造となっている。紀伊山地がこのような急峻な地形を呈しているのは、第四紀より著しい隆起を続けているためである。

紀伊山地は紀の川の北側をほぼ東西に延びる中央構造線を境として、北から三波川帯、秩父帯、四万十帯が分布しており、赤谷地区は四万十帯に位置する。赤谷地区は四万十帯のうち、砂岩、頁岩が互層状に分布する美山層に相当する地域であり、全体的に東北-南西方向の走向に北西に傾斜する地層となっており、赤谷地区の崩壊は流れ盤斜面上で発生している。図 2.3 に赤谷地区周辺の地質図を示す。

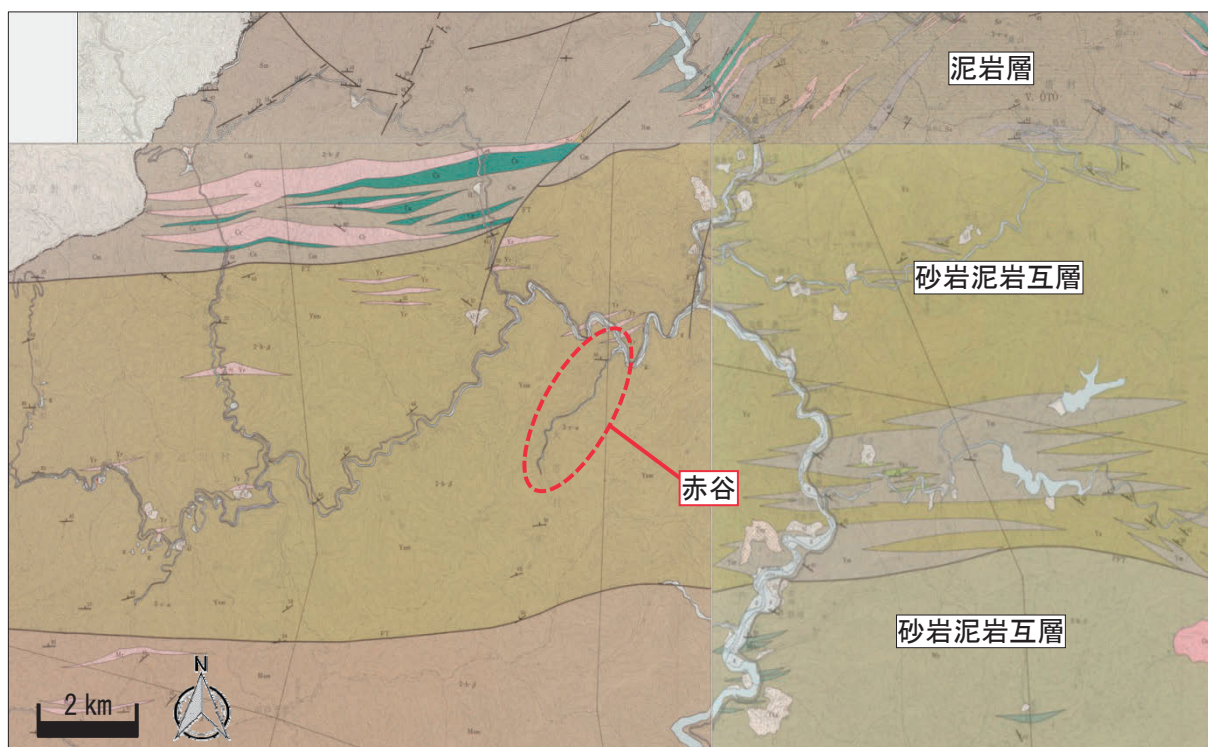


図 2.3 調査地周辺の地質図

(奈良県(1989) : 1/50,000 土地分類基本調査(地形分類図)「伯母子山」に加筆)

2.3 平成 23 年の豪雨

紀伊半島の南東側は太平洋からの上昇気流が発生しやすいため、梅雨や台風の時期を中心に豪雨が 발생し、年間降水量が 4,000mm に達する多雨地域となっている。

平成 23 年 8 月 25 日に発生した台風 12 号は、8 月 30 日から 9 月 5 日にかけて日本列島に接近、横断した(図 2.4)。台風の影響により西日本から北日本の山沿いを中心に豪雨が发生し、紀伊半島では 8 月 30 日から 9 月 5 日にかけて、広い範囲で総降水量 1,000mm(一部地域では 2,000mm)を越える記録的な豪雨となった(図 2.5、図 2.6)。この豪雨により土砂災害(写真 2.1)、河川の氾濫(写真 2.2)等が発生し、奈良県、和歌山県、三重県をはじめ全国で死者 82 名、行方不明者 16 名の甚大な被害となった。

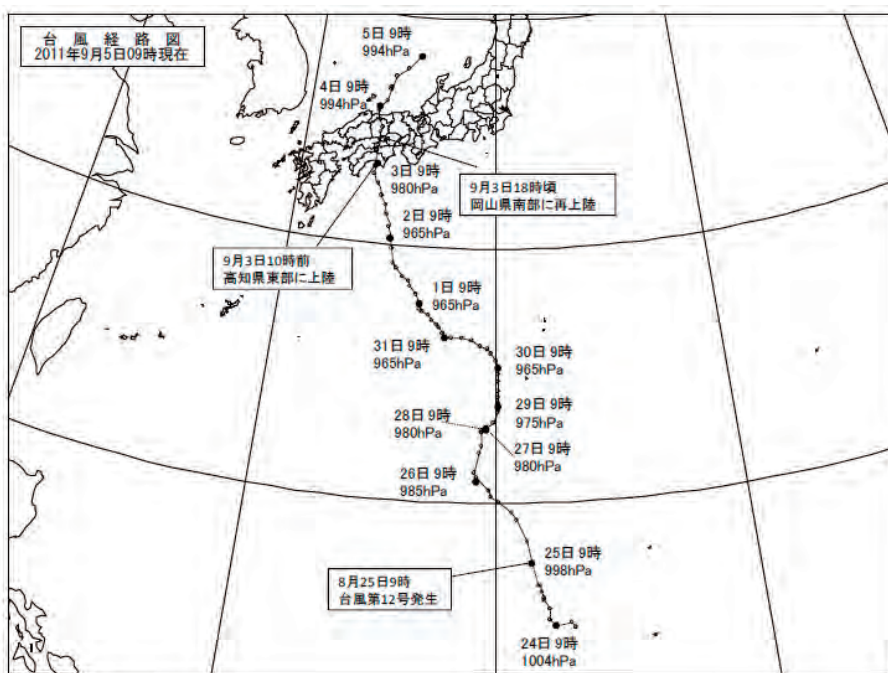


図 2.4 台風 12 号の進路(紀伊山地砂防事務所, 2013)

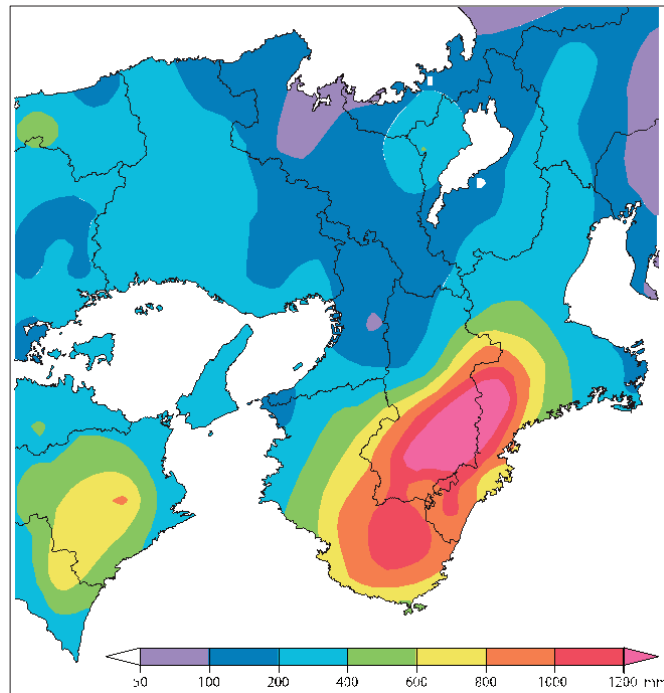


図 2.5 紀伊半島周辺の総降水量
(紀伊山地砂防事務所, 2013)

降水量の推移 (平成23年 8月30日～9月5日)

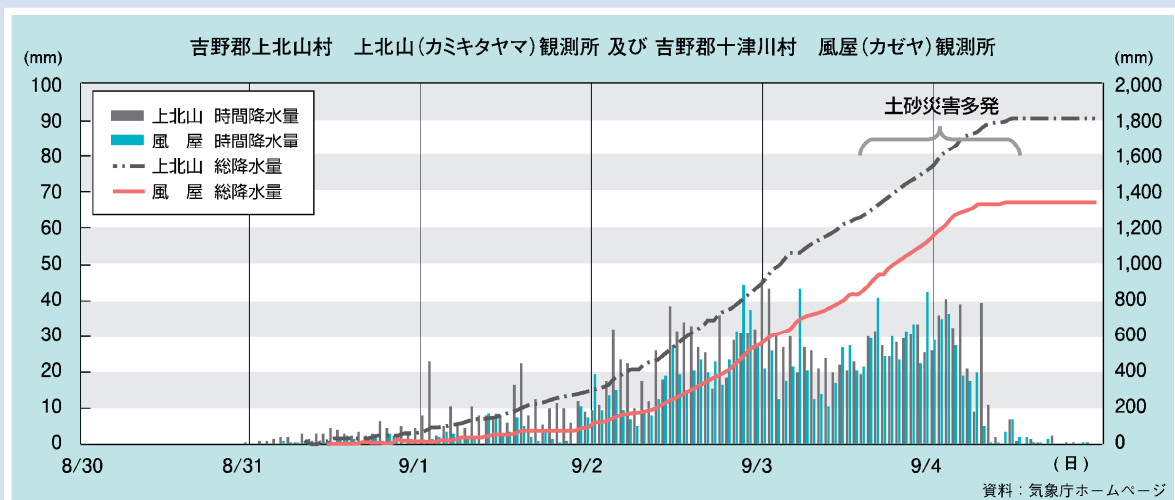


図 2.6 台風 12 号通過時の降水量 (奈良県, 2013)



写真 2.1 那智勝浦町の土砂災害 (国土交通省, 2013)



写真 2.2 熊野川の氾濫 (国土交通省, 2013)

この台風 12 号により、紀伊半島において土石流 58 件、地すべり 13 件、がけ崩れ 30 件の土砂災害が発生した(表 2.2)。また大規模な深層崩壊が 16 箇所が発生し、いずれも河川を堰き止めて天然ダムを形成した。河川が全閉塞となったのは赤谷地区を含め 4 箇所、部分閉塞となったのは 12 箇所である。そのうち 9 箇所については、国土交通省による緊急対策工事が実施された(表 2.1、図 2.7)。赤谷地区は河道閉塞箇所として緊急対策工事が実施されたうちのひとつである。土砂災害防止法によると、河道閉塞の高さが約 20m を超える場合は国土交通省による緊急調査の対象となる。

表 2.1 緊急対策工事箇所

災害分類	地区名（所在地）	流域名	緊急工事着手日
河道閉塞箇所	あかだに 赤谷(奈良県五條市)	熊野川	平成 23 年 9 月 16 日
	ながとの 長殿(奈良県十津川村)	熊野川	平成 23 年 10 月 8 日
	くりだい 栗平(奈良県十津川村)	熊野川	平成 23 年 10 月 8 日
	きたまた 北股(奈良県野迫川村)	熊野川	平成 23 年 9 月 30 日
	い 熊野(和歌山県田辺市)	日置川	平成 23 年 9 月 16 日
大規模斜面崩壊箇所	しみず 清水[宇井](奈良県五條市)	熊野川	平成 23 年 12 月 15 日
	つぼのうち 坪内(奈良県天川村)	熊野川	平成 23 年 12 月 15 日
	みこし 三越(和歌山県田辺市)	熊野川	平成 23 年 12 月 15 日
土石流箇所	なちがわ 那智川(和歌山県那智勝浦町)	那智川	平成 23 年 10 月 31 日

(紀伊山地砂防事務所, 2013)



図 2.7 緊急対策工事箇所

(紀伊山地砂防事務所, 2013)

また奈良県、三重県、和歌山県の3県において、土砂災害により死者41名、行方不明者15名という甚大な被害が生じた(表2.3)。

表2.2 台風12号にともなう土砂災害発生件数

	奈良県	和歌山県	三重県	合計
土石流等	21	24	13	58
地すべり	9	2	2	13
がけ崩れ	3	2	25	30
合計	33	28	40	101

(消防庁ホームページを基に作成)

表2.3 台風12号にともなう死者及び行方不明者(3県)

	奈良県	和歌山県	三重県	合計
死者(人)	10	24	0	34
行方不明者(人)	6	2	1	9

(消防庁ホームページを基に作成)

2.4 赤谷地区の深層崩壊と天然ダム

赤谷地区では赤谷右岸が高さ約600m、斜面長約1,100m、幅約450m、深さ約30mの範囲で深層崩壊が発生し、約900万 m^3 の土砂が流れ下った(写真2.3)。土砂は赤谷の河川を堰き止め、湛水量約1,300万 m^3 の天然ダムを形成した。赤谷地区は他の天然ダム形成箇所と比較して流域面積が広大であり、降雨による湛水位の上昇が顕著であるため、天然ダムの決壊及び土石流の発生といった2次的災害の危険性の高い地区であった(表2.4)。図2.8に河道閉塞の諸元を示す。



写真2.3 赤谷地区の河道閉塞状況
(紀伊山地砂防事務所(2013)に加筆)

表 2.4 河道閉塞箇所の概要

地区名	河道閉塞高 (m)	崩壊土砂量 (万 m ³)	満水時湛水量 (万 m ³)	流域面積 (km ²)
赤谷	85	900	550	14.2
長殿	80	680	270	4.5
栗平	100	1,390	750	8.7
北股	25	120	4	0.4
熊野	60	410	110	1.2

(紀伊山地砂防事務所(2013)を基に作成)

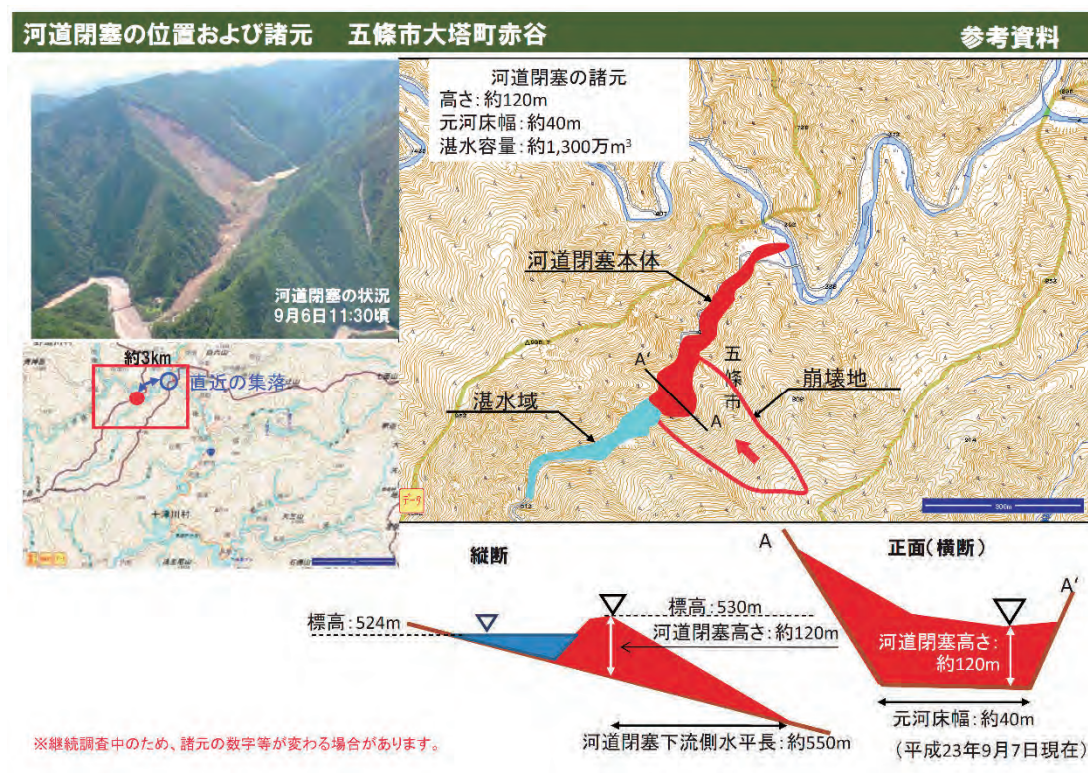
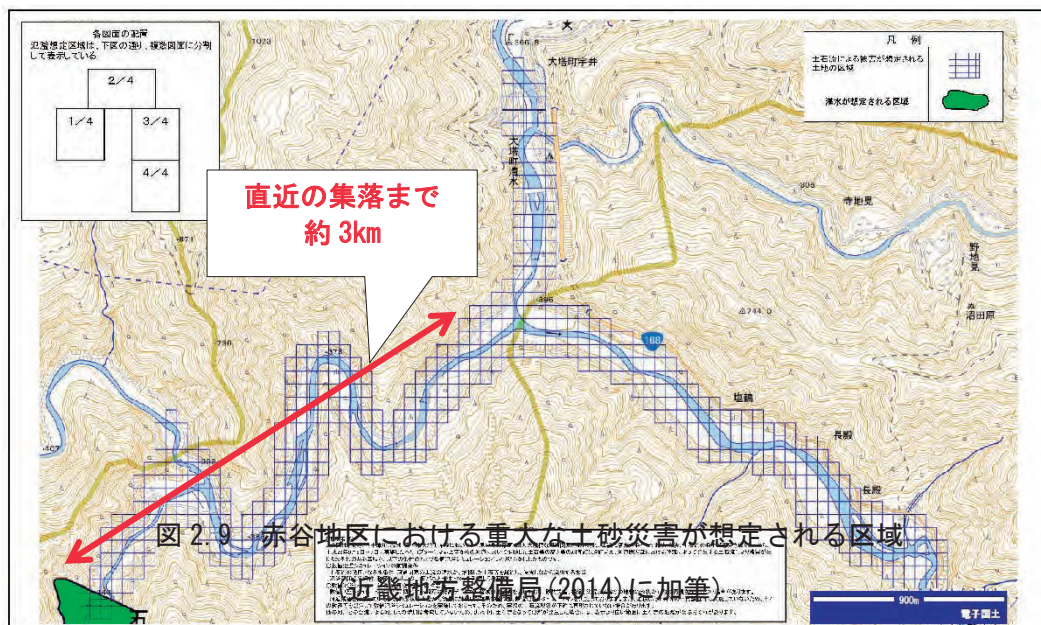
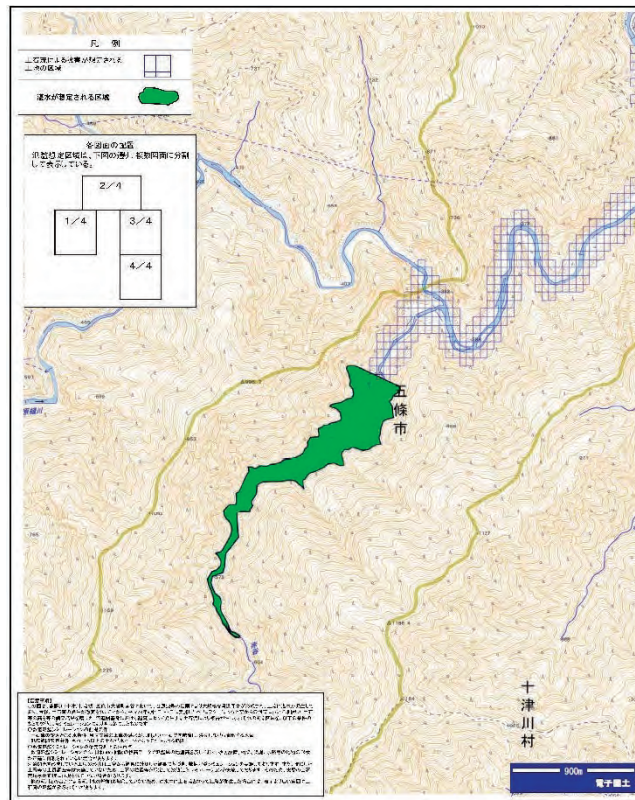


図 2.8 赤谷地区河道閉塞の諸元(近畿地方整備局, 2014)

平成 23 年 9 月 6 日より開始された天然ダム決壊に伴う土石流等による重大な土砂災害について緊急調査を実施した結果、9 月 8 日に土砂災害緊急情報として「重大な土砂災害が想定される区域と時期」が発表された(図 2.9)。これに伴い、赤谷地区に避難指示が発令され、9 月 16 日には警戒区域が設定された(全警戒区域の解除は平成 24 年 2 月 8 日)。



3. 緊急対策工事及び抜本対策工事

3.1 緊急対策工事着手までの流れ

天然ダムが越流や決壊した場合、下流地域に甚大な被害が生じる恐れがあるため、早期の調査及び対策を行う必要があった。赤谷地区では災害発生直後の 9 月 11 日から現地調査を実施し、災害発生からわずか 12 日後の 9 月 16 日には緊急対策工事に着手している(表 3.1)。

表 3.1 緊急対策工事着手までの流れ

日程	内容
平成 23 年 9 月 2 日～4 日	台風 12 号の通過、赤谷川で深層崩壊の発生
9 月 10 日	国土交通省より鹿島建設株式会社へ調査要請
9 月 11 日～15 日	現地調査、着手協議
9 月 16 日	緊急対策工事着手

表は鹿島建設株式会社関西支店赤谷工事事務所長へのヒアリングを基に作成

3.2 緊急対策工事概要

平成 23 年 9 月 16 日から翌年 4 月にかけて、緊急対策工事として、河道閉塞箇所には工事用道路、進入路、水中ポンプ、防護土堤、暗渠工、開水路の仮排水路工(導水路工、カゴマット護岸工、帯工)、シュート工、砂防堰堤を設置した(図 3.1)。設置目的は、湛水位の低下、降雨時の越流水処理や、河道閉塞箇所の侵食及び決壊防止、工事の安全確保である。図 3.2、写真 3.1 に緊急対策工事の平面図を、写真 3.2 に完成した緊急対策工事の全景を示す。

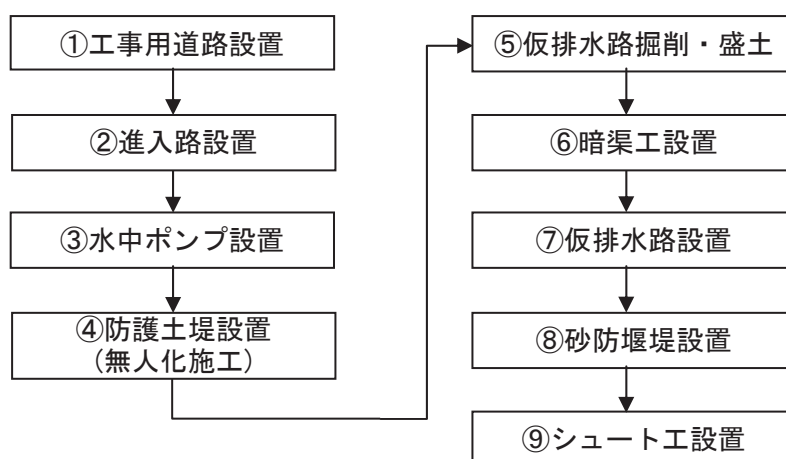


図 3.1 施工フロー(江口・森田, 2015)

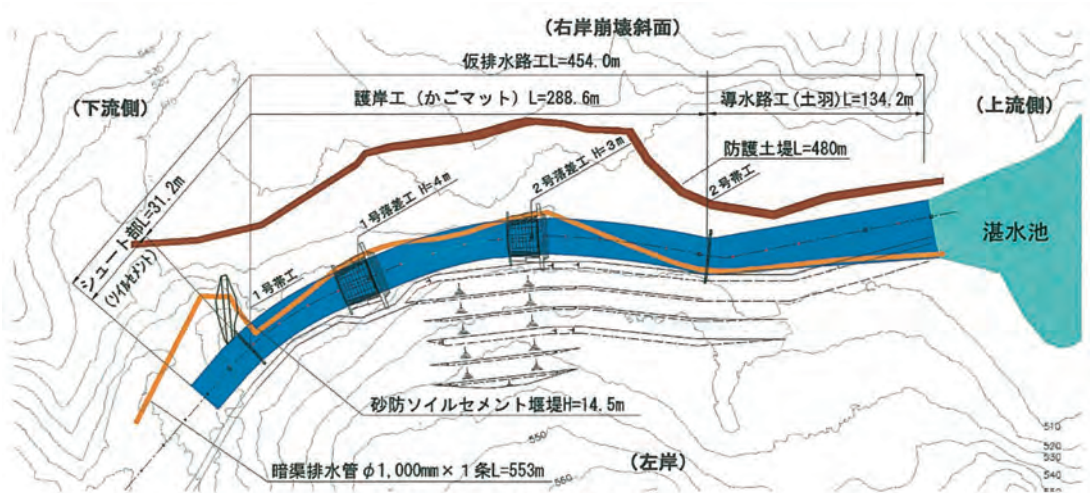


図 3.2 緊急対策工事平面図(江口・森田, 2015)



写真 3.1 緊急対策工事計画全景(鹿島建設提供資料より)



写真 3.2 緊急対策工事全景(鹿島建設提供資料に加筆)

3.3 工事内容

(1) 工事用道路

深層崩壊により、赤谷へ続く道路は全壊し、崩壊現場までの工事用道路を設置する必要があった。初期段階では、緊急性の特に高い水中ポンプの資機材を搬入するため、川原樋川河床を掘削及び盛土し、クローラダンプ等が通行可能な(4m 程度)及び勾配(25%)を最低限確保した。その後、一般工事車両が通行可能なように改良が行われた。

(2) 進入路

赤谷と川原樋川の合流点から上流において、倒木の除去を行った後、天然ダムからの越流水や浸透水により形成された河道を工事の妨げにならないルートに切りかえた。赤谷キャンプ場から天然ダム下流までの区間については、崩土を掘削及び整地し、天然ダム下流は重機の登坂能力を超える急勾配であったため、盛土により進入路を確保した。

(3) 水中ポンプの設置

天然ダムの水位の上昇を抑制するため、ポンプによる排水が計画された。排水計画は緊急性が特に高いため、排水ポンプの資機材はヘリコプターにより運搬し、現地組立てにより対応した。重機進入路設置後は、キャリアダンプにより運搬した。

水中ポンプは $60\text{m}^3/\text{s}$ の能力を有するものを 10 台稼働させ、ポンプが水中に沈まないようフロートに固定するとともに、排水部は礫が堆積し、既に水路が形成されている地点に設け、新たな侵食が生じないように配慮した。

(4) 防護土堤

暗渠排水管及び仮排水路工の設置にあたり、右岸斜面の再崩落や落石の危険性があったため、作業者の安全確保のための防護土堤を設置した。防護土堤の設置にあたっては、重機による通常の施工のほか、改良材による地盤改良を加えた施工、施工中の危険性が特に高い箇所における無人化施工が実施された。

(5) 暗渠工

仮排水路工設置工事にあたり河川水切り替えと上流の水位上昇を抑制するため、仮排水路工の下部にハウエル管($\phi 1,000$)による暗渠排水管を設置した(写真 3.3、写真 3.4)。この暗渠工によって、渇水時に水位は仮排水路工の高さに到達せず、暗渠工によって排水されることとなり、出水期においても暗渠工が天然ダム貯水池低下に重要な役割を果たす。



写真 3.3 ダム堤体上流側の暗渠工呑口部(平成 24 年度実践実習報告書に加筆)



写真 3.4 ダム堤体下流側の暗渠工吐口部(平成 25 年度実践実習報告書より)

(6) 仮排水路工

崩壊地に近接したセメント工場が被災し、セメントの入手が困難で、且つ崩壊地の重機の侵入や資材搬入が困難であること、現地発生土砂には硬質な巨石が混在し、現地発生土砂を破碎して石材として使用することが可能であったため、現地発生土砂の粗石を投入した鋼製カゴマット(写真 3.5)による仮排水路工が選定された。



写真 3.5 仮排水路工
(鹿島建設提供資料より)

(7) 砂防堰堤

崩壊土砂の捕捉及び山脚固定を目的として、天然ダム堤体の下流端右岸に砂防堰堤(写真 3.6)を設置した。コンクリートの入手が困難であったため、砂防ソイルセメントを利用した INSEM ダブルウォール型を採用した。



写真 3.6 仮排水路工全景
(平成 25 年度実践実習報告書に加筆)

(8) シュート工

痩せ尾根より下流側の落差部では、通常ではコンクリートの溪流保全工を設置するところ、災害直後はコンクリートの入手が困難であったため、モルタル吹付の斜路(シュート工)を設置して対応した。図 3.3 にシュート工の平面図を示す。

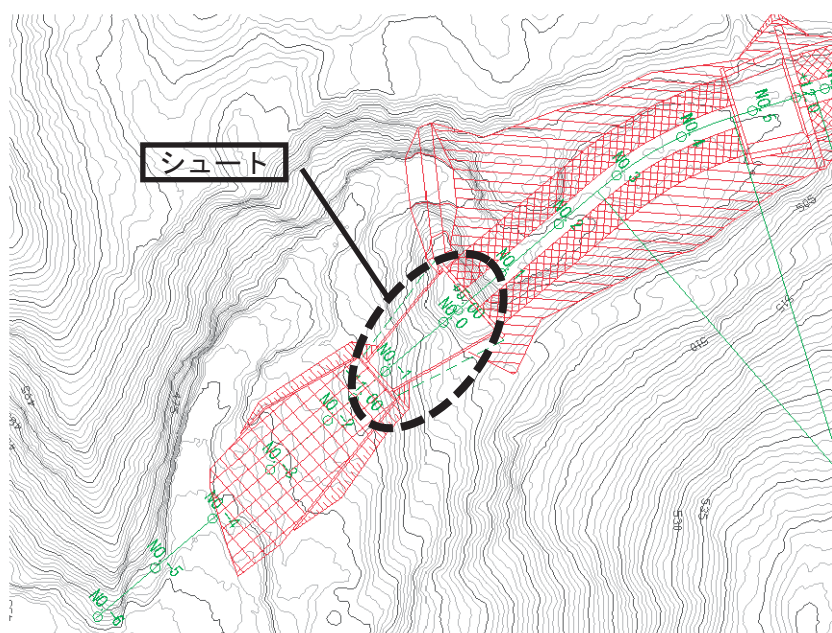


図 3.3 シュート工平面図(鹿島建設提供資料に加筆)

3.4 平成 24 年 6 月の台風 4 号による被災

平成 24 年 4 月までに仮排水路工が概ね完成し、抜本対策工事へと移行する直前の 6 月、台風 4 号の降雨の影響で斜面が崩壊し、約 10 万 m^3 の土砂が流出した。流出土砂により完成直後の仮排水路工の閉塞、シュート工の洗掘が発生した(写真 3.7～写真 3.9)。

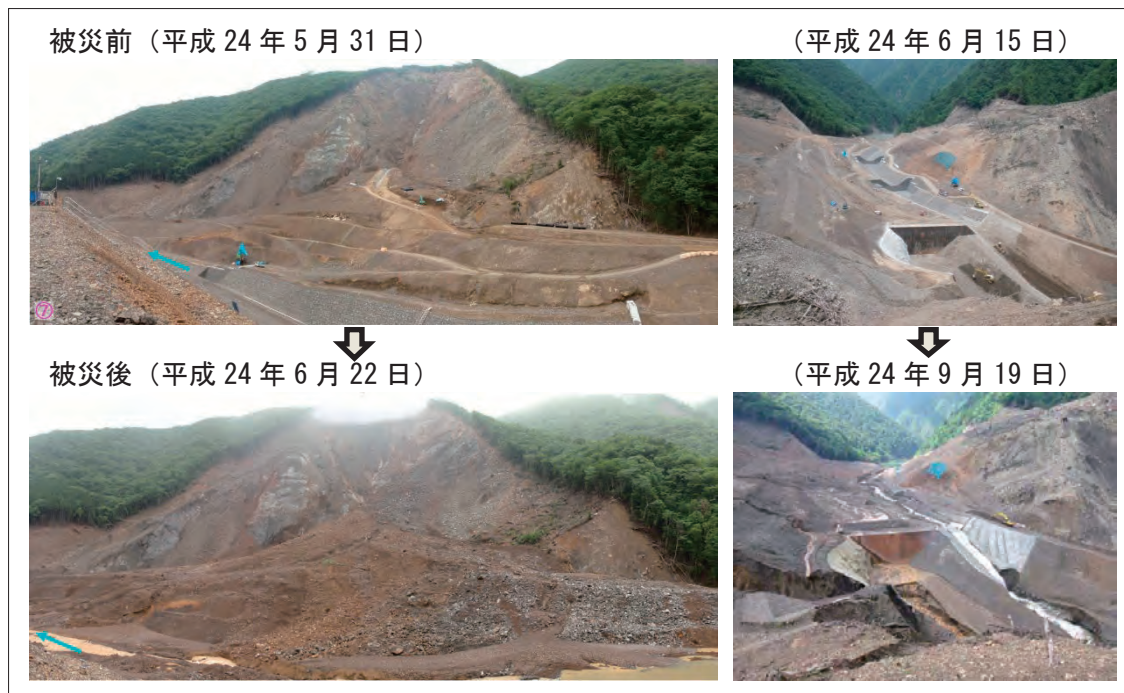


写真 3.7 出水前後状況比較①(平成 26 年度実践実習報告書より)



写真 3.8 出水前後状況比較②(鹿島建設提供資料より)



写真 3.9 仮排水路工への土砂流入状況(鹿島建設提供資料より)

3.5 抜本対策工事概要

緊急対策工事完了後の平成 24 年 11 月より抜本対策工事が開始された。当初の計画では、砂防堰堤 3 基、床固工群及び溪流保全工を設置するとともに、排土工及び緑化工といった法面对策工を実施する計画とした。平成 24 年時点の抜本工事計画は図 3.4 の通りである。



図 3.4 平成 24 年時点の工事計画図(鹿島建設提供資料より)

4. 平成 29 年度の工事

4.1 平成 29 年度の工事内容

平成 28 年度までに、1 号砂防堰堤、2 号砂防堰堤、1 号砂防堰堤より下流の 5 号床固工及び 6 号床固工が完成している。本年度の工事内容は、5 号床固工より下流の 3 号床固工、4 号床固工の設置及び工事用道路の法面工事である(図 4.1)。



図 4.1 工事計画図

(紀伊山系砂防事務所 HP, <http://www.kkr.mlit.go.jp/kiiisankei/map/3.html> に加筆)

4.2 既に完成した砂防堰堤及び床固工

(1) 2 号砂防堰堤

2 号砂防堰堤は、3 基計画されている砂防堰堤のうち、上流から 2 番目にあたる堰堤であり、河道閉塞部の山脚固定を目的としている。平成 24 年より着手し、平成 28 年に完成している。

構造として、砂防ソイルセメントの本堤及び第 1 垂直壁、コンクリートの第 2 垂直壁の三枚板構造となり、本堤の規模は堤高 12m、堤長 105.3m である。2 号堰砂防堤の特徴として、本堤右岸袖部の定着部が軟岩であるため、洗掘防止のためにスラストコンクリートを打設しており、左岸袖部の定着部は堆積した崩壊土砂であるため、人工地山に改良している。水叩き部の洗掘防止ため、磨耗防止コンクリート(写真 4.1)を打設しており、また第 2 垂直壁下流部の洗掘防止のため、延長約 100m のコンクリート三面張の流路工を設置している(写真 4.2)。

流出土砂対策として、堰堤袖部の背後に砂防ソイルセメントを用いた盛土を設置している。袖部の斜面についてはコンクリート吹付、鉄筋挿入工、ネット工で対策(写真 4.3)を実施し、他の切土法面は砂防ソイルセメントを吹付けて強化し、崩壊を防止している。



写真 4.1 2号砂防堰堤全景



写真 4.2 流路工全景



写真 4.3 右岸斜面对策

(2) 1号砂防堰堤

1号砂防堰堤(写真 4.4)は3基の堰堤の最下流に位置しており、土石流の捕捉を目的としている。砂防ソイルセメントの本堤、コンクリートの垂直壁の構造となる。平成 26 年より着手し、平成 28 年に完成している。2号砂防堰堤同様、本堤袖部の定着部が軟岩であるため、洗掘防止のためにスラストコンクリート(写真 4.6)を打設しており、更に左岸(写真 4.7)はスラストコンクリートを補強土壁工で覆い、強化している。袖部の斜面にはコンクリート吹付や鉄筋挿入工を設置し、崩壊を防止している。また水叩き部の洗掘防止ため、磨耗防止コンクリート(写真 4.5)を打設している。土砂流出による本堤の破損防止対策として、本堤背後に砂防ソイルセメント(写真 4.8)を用いた盛土を設置している。



写真 4.4 1号砂防堰堤全景



写真 4.5 磨耗防止コンクリート

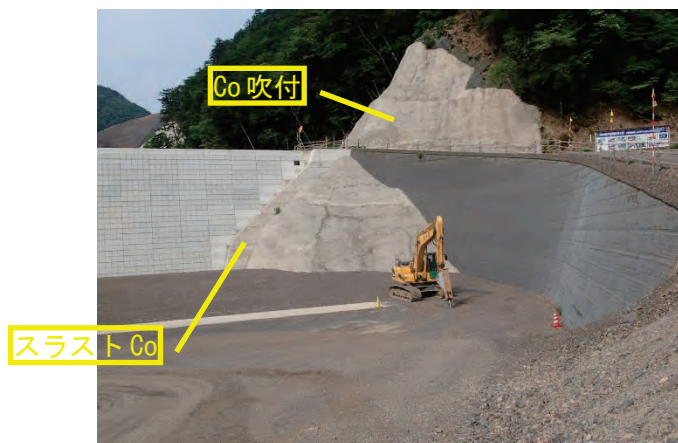


写真 4.6 右岸袖部対策



写真 4.7 左岸袖部対策



写真 4.8 本堤の背面の盛土

(3) 5号床固工及び6号床固工

1号砂防堰堤の約 50m 下流に位置し、上流より 6号床固工、5号床固工(写真 4.9)となる。土砂流入率の高い洪水流を安全に流下させること、河道の縦断及び溪岸侵食防止を目的に設置された。

5号床固工及び6号床固工共に砂防ソイルセメントの本堤、コンクリートの垂直壁の構造となり、垂直壁は堆砂型で、天端のみ目視できる。5号床固工の左岸袖部は基盤岩に定着しているが、右岸袖部は崩壊土砂や旧河床堆積物を定着部としているため、人工地山に改良している



写真 4.9 5号床固工及び6号床固工全景

4.3 実習期間中の工事内容

実習期間中は、3号床固工及び4号床固工の床掘作業、工事用道路の法面のアンカー工設置、ラス張り、コンクリート吹付作業を実施していた。本実習では、各工種の機能、構造及び施工方法に関する机上及び現地調査や、施工基準を満足しているか確認するための試験、検査及び立会を実施した。

(1) 3号床固工及び4号床固工

5号床固工より下流に設置が計画されており、本堤及び垂直壁の構造(図4.2)となる。土砂流入率の高い洪水流を安全に流下させること、河道の縦断及び溪岸侵食防止を目的に設置する。実習期間中は床掘を実施していた(写真4.10)。

床掘時、施工予定箇所より想定外の湧水が発生したため、裏込め材として碎石の敷き詰め作業が追加されていた。このように工事においては想定外の事態により追加作業が発生する場合も多い。それにより作業の遅れや中断が発生しないよう、新たな資材の手配、工程の調整、作業員への指示等、迅速で的確な対応を行わなければならない大変さを感じた。

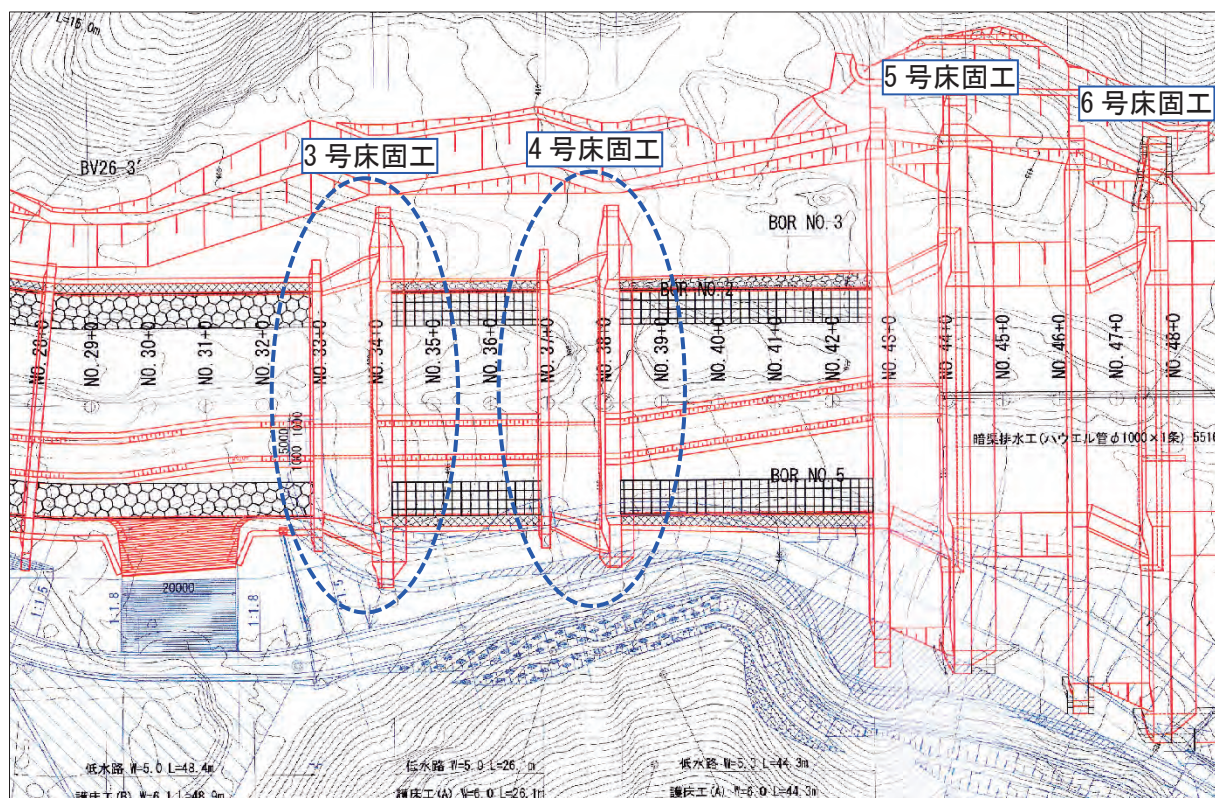


図 4.2 3号床固工及び4号床固工平面図(鹿島建設提供資料より)



写真 4.10 床掘状況

(2) 法面工事

工事用道路(将来的には管理用道路)の法面を補強するため、アンカー工及び鉄筋挿入工(写真 4.11)の施工、法面整形(写真 4.12)、ラス張り、コンクリート吹付(写真 4.13)が実施されていた。

法面全体のラス張り、コンクリート吹付はすべて手作業で行われていた。高所の作業もあるため、落下防止等特に安全面の配慮が重要であると感じた。定着層が想定より深い場合、挿入する鋼材の延長を変更する必要があるが、鉄筋挿入工及びアンカー工は挿入方向が異なっており、鋼材同士がぶつからない様考慮して設計を変更しなければならないため、設計変更の大変さを感じた。



写真 4.11 アンカー工及び鉄筋挿入工全景



写真 4.12 法面整形状況



写真 4.13 コンクリート吹付状況

○アンカー工

アンカー工(写真 4.14)は、硬岩または軟岩の斜面において、中～大規模な崩壊対策で用いられ、土塊のすべり面又は表層の軟弱層より深い地山(定着層)に緊結したり、抑止杭や土留め壁等の工法と併用して斜面の安定性を高める目的で用いる。設置方法として、小さい削孔に高強度の鋼材等の引張り材を挿入し、鋼材を基盤内に定着させて、鋼材の引張り強さを用いて地すべり滑動力等に対抗しようとする工法である。



写真 4.14 アンカー工全景

本調査地の法面では合計 61 本のアンカー工が設置された。図 4.3～図 4.5 にアンカー工の構造を示す。

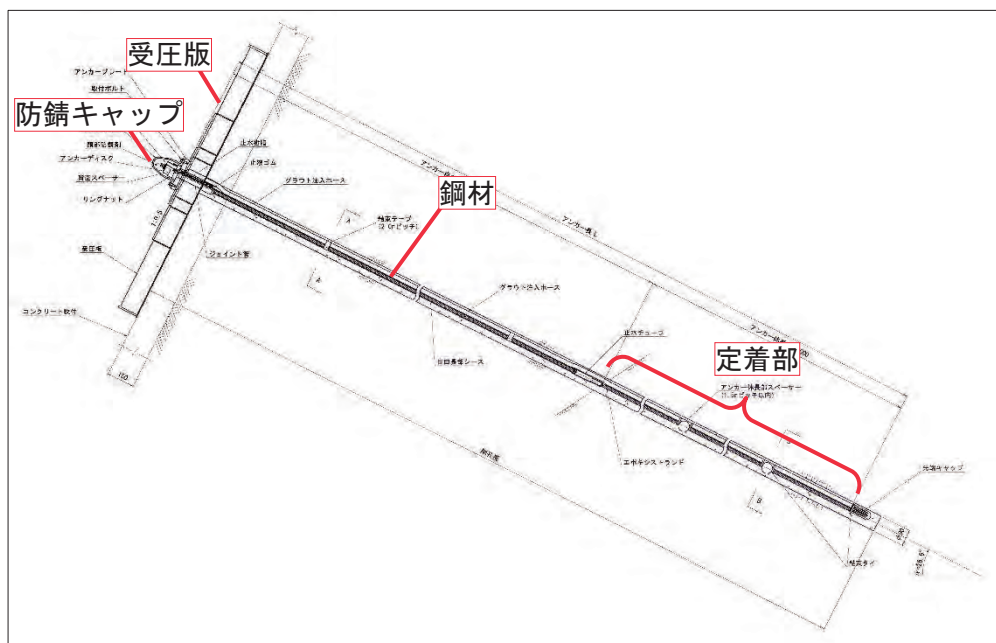


図 4.3 アンカー工構造図(鹿島建設提供資料より)

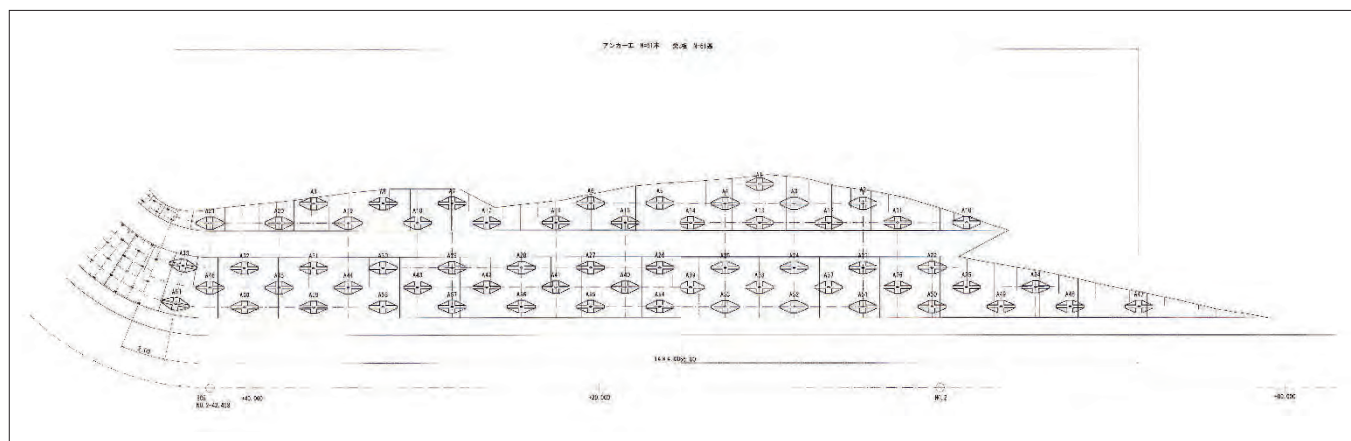


図 4.4 アンカー工施工平面図(鹿島建設提供資料より)

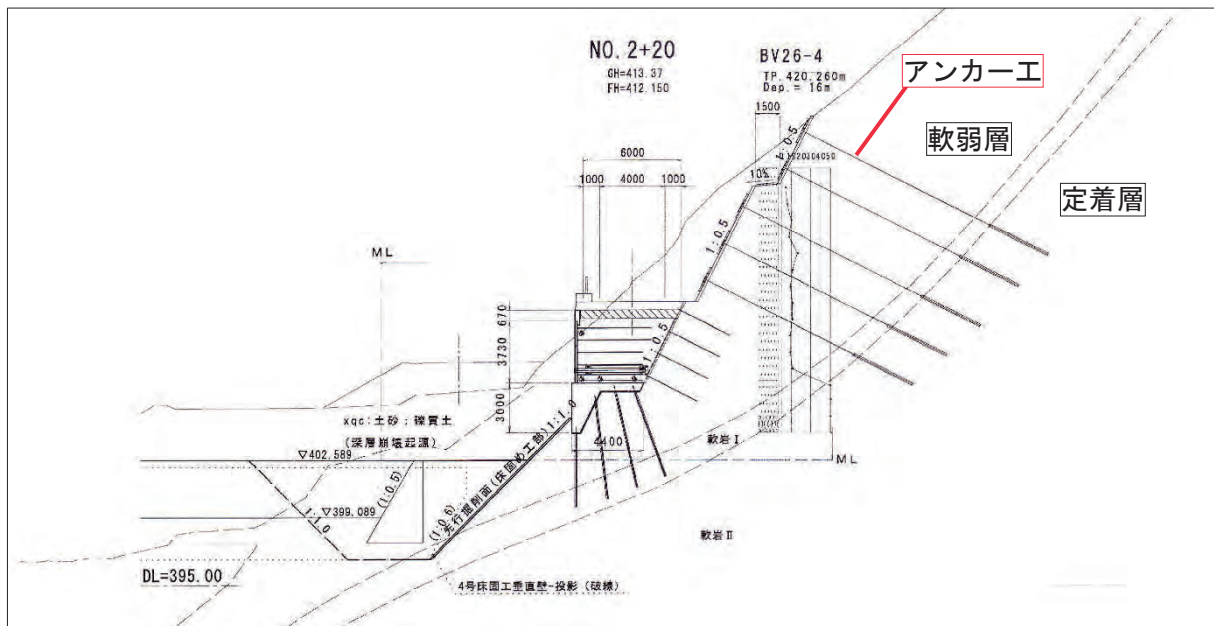


図 4.5 アンカー工施工断面図(鹿島建設提供資料より)

鋼材挿入後(写真 4.15)、アンカー工の性能や施工の適切性を確認するため、適性試験(写真 4.16)及び確認試験を行う。適性試験とは、アンカー工の一部から選定して、多サイクルで所定の荷重まで載荷して行うもので、確認試験とは、適性試験に用いたアンカー工を除くすべてのアンカー工について、1 サイクルで所定の荷重まで載荷して行うものである。



写真 4.15 鋼材挿入状況



写真 4.16 適性試験実施状況

○鉄筋挿入工

鉄筋挿入工(写真 4.17)は、アンカー工と比較して短い鋼材を地山に配置し、主に鋼材の引張力によって法面の崩壊を抑止するために用いられる。比較的崩壊規模の小さい斜面に適用される。図 4.6～図 4.8 に鉄筋挿入工の構造を示す。



写真 4.17 鉄筋挿入工全景

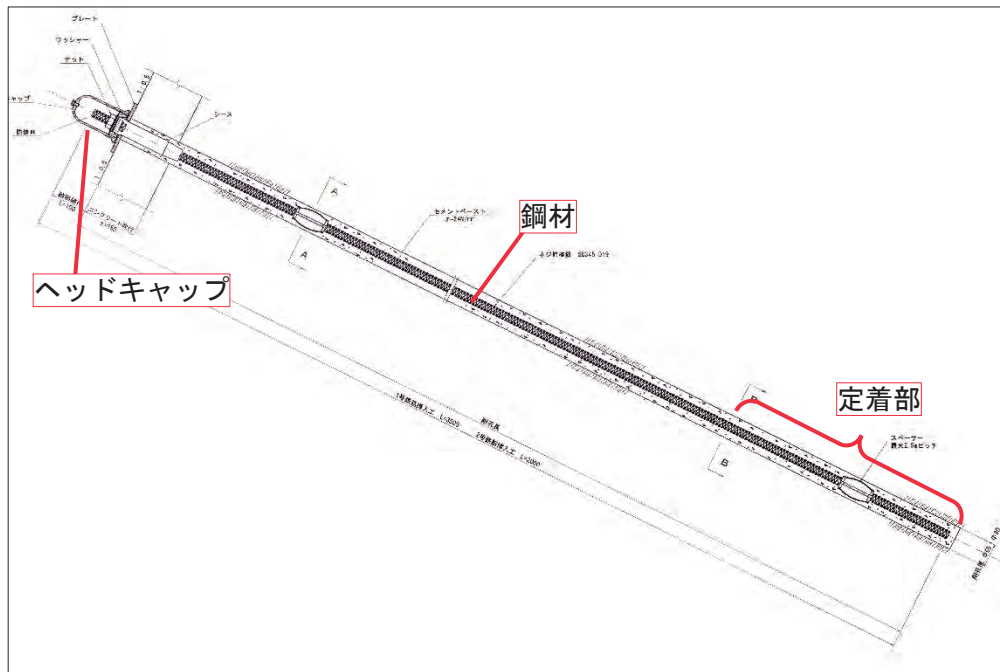


図 4.6 鉄筋挿入工構造図(鹿島建設提供資料より)

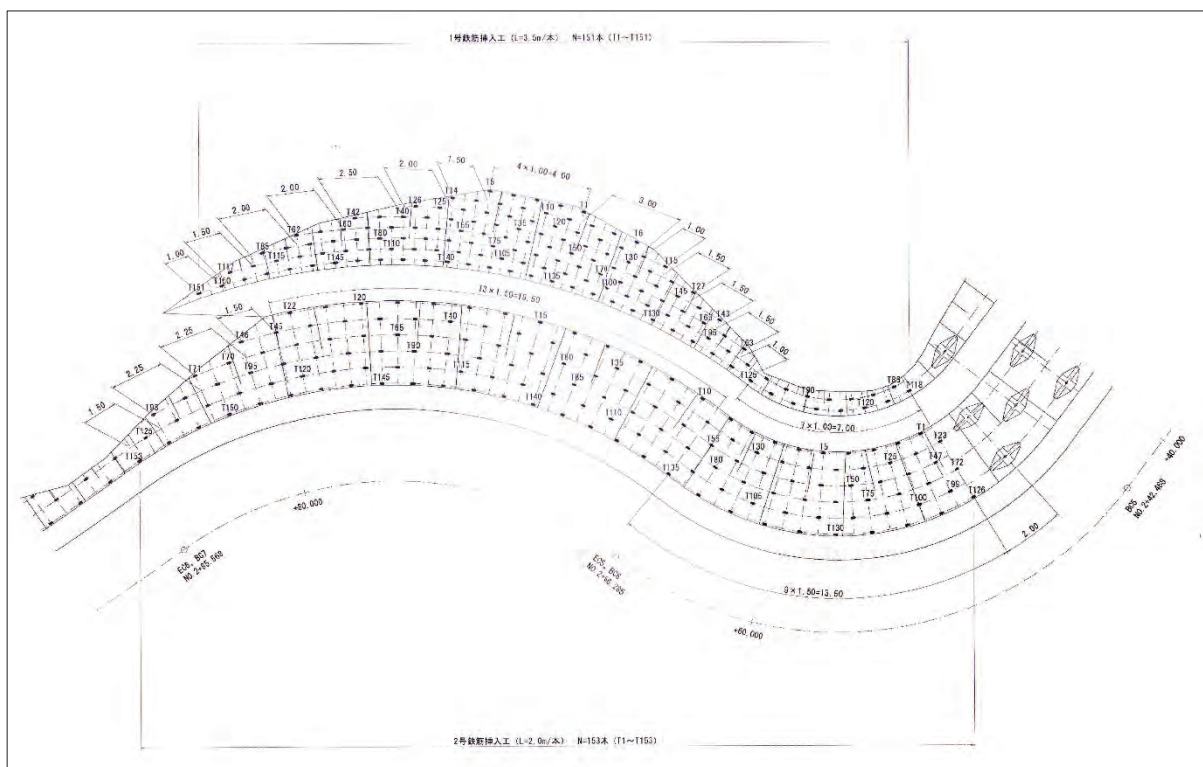


図 4.7 鉄筋挿入工施工平面図(鹿島建設提供資料より)

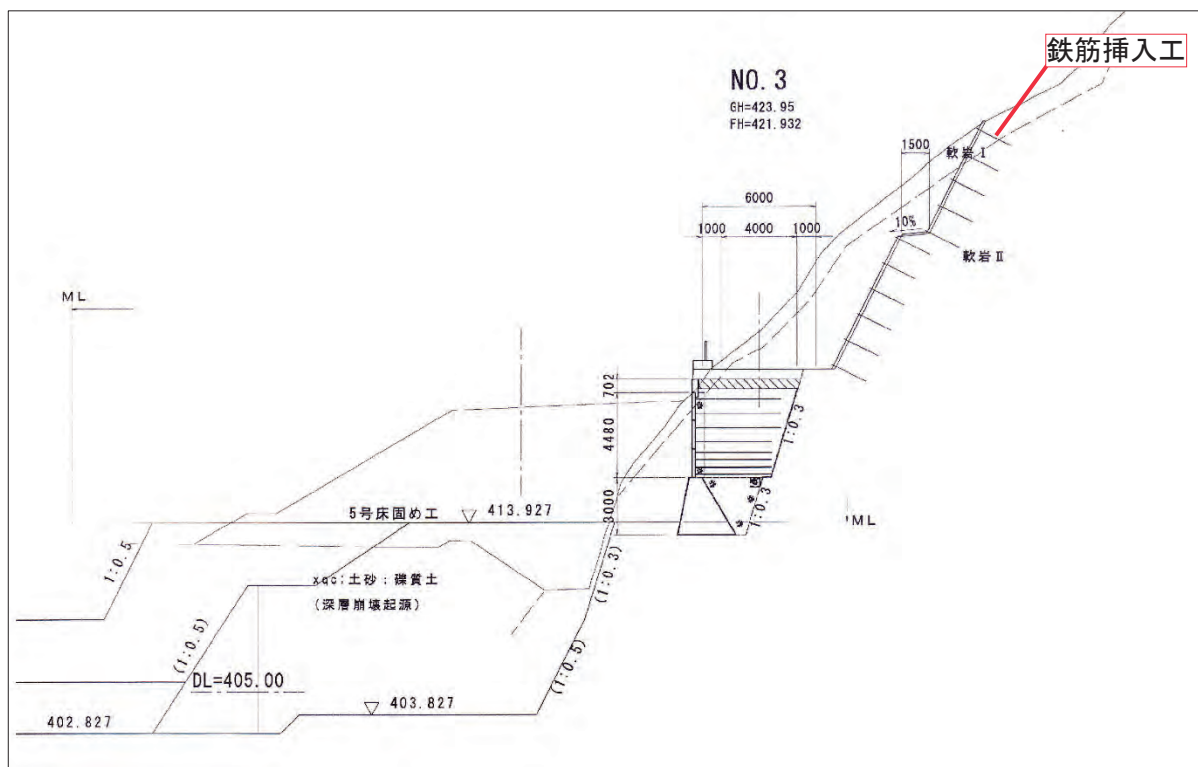


図 4.8 鉄筋挿入工施工断面図(鹿島建設提供資料より)

4.4 緊急対策工事の現況

平成 24 年の台風後も、平成 25 年、26 年、27 年の台風時に土砂流出や出水が生じ、仮排水路工を埋め尽くした。現在、仮排水路工はほぼ埋没しているが、暗渠工(写真 4.20)や崩壊地下流側に設置した砂防堰堤及び床固工により山脚固定や土砂捕捉の効果が見込まれる。しかし、溪岸侵食を防止し、流路を安定させるためには、将来的に溪流保全工を設置する必要があると考える。写真 4.18、写真 4.19 に緊急対策工事の現況を示す。

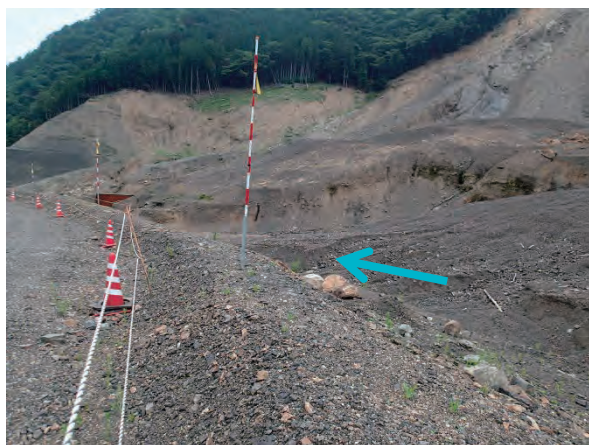


写真 4.18 仮排水路工現況①



写真 4.19 仮排水路工現況②



写真 4.20 暗渠工現況

5. 施工管理

現場で実施していた工程管理、安全管理、環境配慮事項、品質管理及び出来形管理について述べる。

5.1 工程管理

現場では複数の協力会社が一体となって作業を行っており、工事を円滑に実施するために毎朝及び昼に各協力会社の作業内容及び進捗状況を確認し、工程を調整している。本実習期間中は朝礼及び昼礼に毎日参加し、作業進捗状況を確認した。

○朝礼

7時50分より朝礼を実施し、協力会社ごとに本日の作業内容や作業人員の確認を行い、工程の確認と調整を行う。

○昼礼(写真 5.1, 写真 5.2)

午前中の作業状況と午後の作業内容の確認、午後の作業における KY 活動も合わせて実施する。各協力会社の工程を確認し、全体の工程を調整する。



写真 5.1 昼礼実施状況

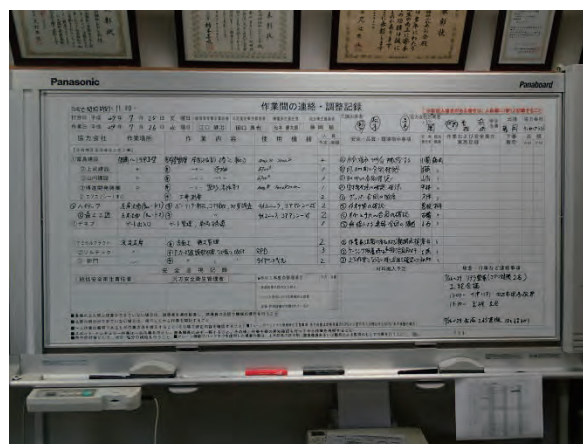


写真 5.2 作業調整記録

5.2 安全管理

現場では KY 活動や掲示物、看板の設置等を行うことで事前の安全対策や危機意識の啓発、安全大会や安全パトロール等で他の現場で実施している安全対策の水平展開等を実施していた。

(1) ミーティング及び掲示物

○体操、KY(危険予知)活動、TBM

体操により体を覚醒させる(写真 5.3)。朝礼では各協力会社の作業内容及び作業人員の確認、KY(危険予知)活動、TBM(ツールボックスミーティング)(写真 5.4)を実施し、工事における危険箇所の発見と、危険回避方法を確認する。特に KY 活動では、危険性の大きさに対してリスク評価の観点を取り入れており、ステップ1では「どこにどんな危険がひそんでいるか(リスクの特定)」、ステップ2では「わたしたちはリスクに対してこうします」というような安全対策を図っている。



写真 5.3 体操実施状況



写真 5.4 TBM 実施状況

○災害防止協議会

月に 1 回の災害防止協議会(写真 5.5)や安全教育の場が設けられ、協力会社に対して、他現場での災害事例やその対策についての水平展開や、熱中症の予防方策の周知が図られていた。

①事故事例報告・通達事項

- ・ 熱中症の予防措置と体調管理に関する注意事項を通達する。
- ・ 事故事例の紹介と現場での注意事項の確認を行う。

②工事工程及び安全衛生管理計画説明

- ・ 次月の工事工程と行事予定の確認を行う。

③安全目標

- ・ 各協力会社が月単位の安全衛生目標(安全目標、環境目標、品質目標)を設定し、今月の目標達成度と次月の目標の内容を報告する。

④現地パトロールの指摘事項

- ・ 事前に各協力会社の安全衛生責任者が現地パトロール(自主パトロール)を実施し、現場の安全に対する指摘事項を報告する。



写真 5.5 災害防止協議会実施状況

○安全大会及び安全パトロール

月に 1 回、安全大会(写真 5.6)及び安全パトロール(写真 5.7)が実施される。安全大会では現場作業における危険事項及び安全対策の周知や、表彰を行い作業員を慰労する。また安全パトロールにより現場を巡視し、第三者目線で見た現場の留意事項について協議する。



写真 5.6 安全大会における表彰



写真 5.7 安全パトロール実施状況

○看板による安全管理事項の掲示

朝礼広場の作業員が目視しやすい場所に看板を設置しており、ワイヤーロープの点検要領(写真 5.8)、クレーンによる吊移動時の指差呼称(写真 5.9)、現場スローガン(写真 5.10)等が掲示されている。

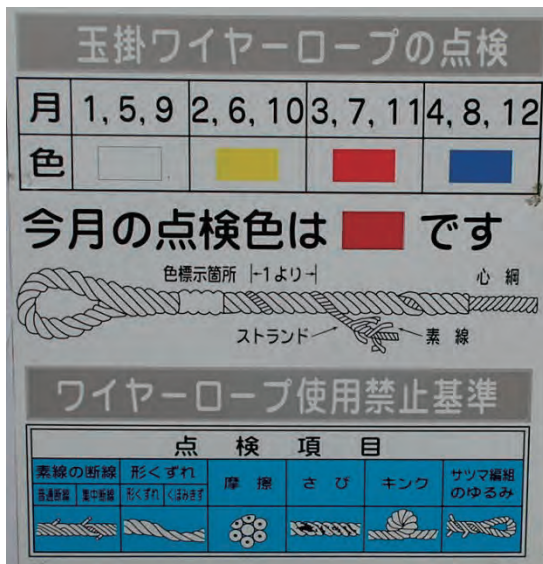


写真 5.8 ワイヤーロープの点検要領



写真 5.9 吊移動及び運転作業要領

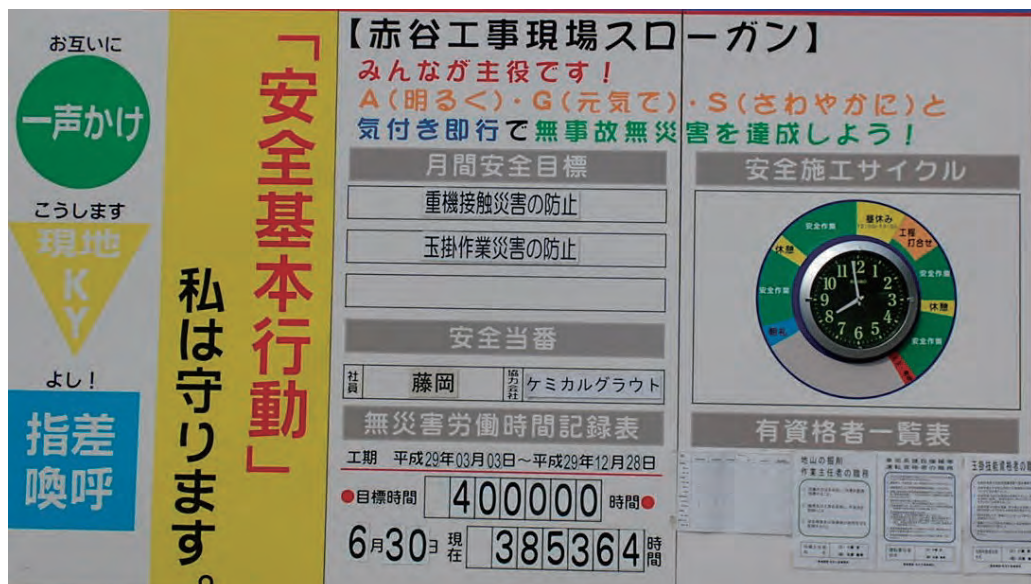


写真 5.10 現場スローガン等

(2) 現場の安全対策

○熱中症対策

現場には遮蔽物の少ないため、熱中症が発生しやすい環境であった。そのため、KY 活動時の熱中症防止の呼びかけ、30 分に 1 回の給水や塩分(塩飴)の摂取の徹底、日差しの遮断(写真 5.11)、扇風機の設置(写真 5.12)、現場内に製氷機の設置(写真 5.13)等、熱中症の対策を実施している。

当現場では様々な熱中症対策を講じているため、昨年及び今年の現場作業において熱中症患者は発生していない。



写真 5.11 日よけ対策



写真 5.12 扇風機の設置



写真 5.13 製氷機の設置

○火気対策

喫煙スペースや、エンジン使用箇所等、火の気のある場所には消火器や消火水(写真 5.14, 写真 5.15)を設置し、火気対策を実施している。

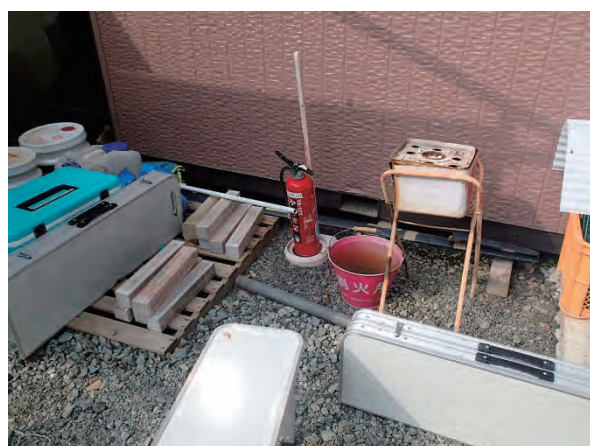


写真 5.14 消火器の設置①

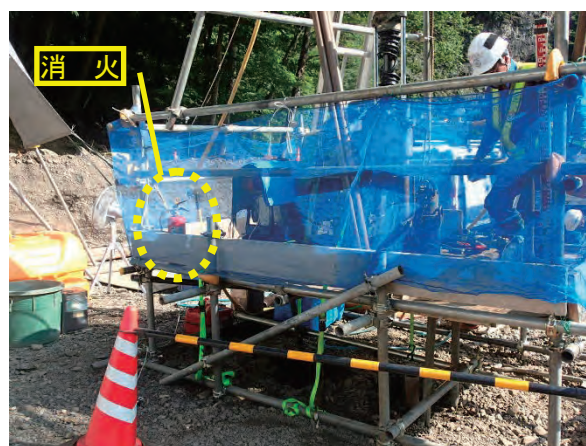


写真 5.15 消火器の設置②

○安全柵の設置

比較的高所で作業員が立入る場所については安全柵が設けられ、落下防止対策が講じられている。工事用道路(写真 5.15)及びに床固工袖部(写真 5.17)に柵が設置されていた。また大型の重機は柵が認識できない可能性があるため、工事用道路の柵沿いに 15m ピッチで 3m のポールが立てられていた(写真 5.16)。ポールの上部には蛍光テープを巻くことで、日が落ちてでも蛍光テープが

光を反射してポールが認識できるように工夫している。また、法面工事箇所について、法肩に簡易落石防止柵とネット工(写真 5.18)を設置して、作業員の安全を確保している。



写真 5.15 安全柵の設置



写真 5.16 ポールによる法肩の明示



写真 5.17 床固工袖部の安全柵

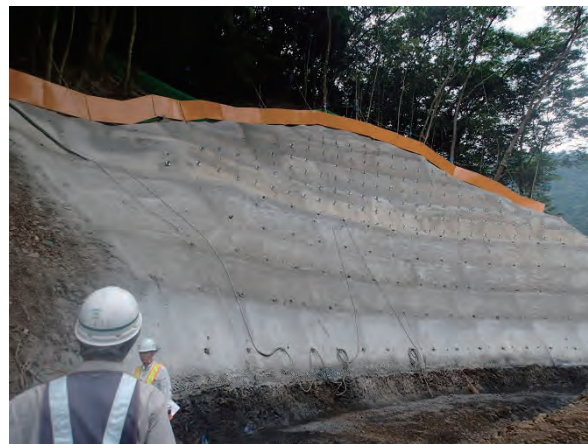


写真 5.18 法肩の簡易落石防護柵

○法面保護

工事用道路の法面の脆弱部において、ネット工(写真 5.19)やモルタル吹付(写真 5.20)を実施することで落石や崩壊を防止し、作業員の安全を確保している。



写真 5.19 ネット工



写真 5.20 ネット工及びモルタル吹付

○危険箇所の明示

危険が予測される箇所については看板が設置され、作業員に明示している(写真 5.21、写真 5.22)。看板は高輝度看板となっており、日が落ちても光を反射して看板が認識できるよう工夫している。法肩(写真 5.23)や電線等の配管(写真 5.24)にも目立つ色で危険喚起の表示板が設置されている。



写真 5.21 下り坂明記看板



写真 5.22 重機侵入看板



写真 5.23 法肩の明示



写真 5.24 配管の明示

○通路の確保

大型の重機やダンプが走行し、且つ作業員の移動が頻繁な場所については、法肩に落下防止対策の波返しを、法肩より 1m の箇所にピン柵を、更に法肩より 2m 離れた位置に緑のカラーコーンを設置して、車道と歩道を区分している(写真 5.25)。



写真 5.25 車道と歩道の区分状況

○作業スペースの出入り口の明示

作業スペースについては黄色のカラーコーンで囲っているが、出入り口は青いカラーコーンを設置することで、作業員が行き来する場所を明示している(写真 5.26)。



写真 5.26 作業スペースの出入り口

○出船駐車と輪止めの設置

現場内に車両は、災害時に迅速に避難が出来るよう、出船駐車(写真 5.27)を徹底している。また、駐車時の車両の誤発進を抑止するため、輪止め(写真 5.28)の設置を行なっている。



写真 5.27 出船駐車状況



写真 5.28 輪止めの設置

○作業中止基準

基準値以上の降水量、地震、観測計器の変位等発生した場合、速やかに作業を中止及び避難できるように、表 5.1 の通り作業中止基準が設けられている。

○出水状況の監視

現場には監視カメラを設置しており、出水状況をウェブ上でリアルタイムで確認することができる(写真 5.29)。

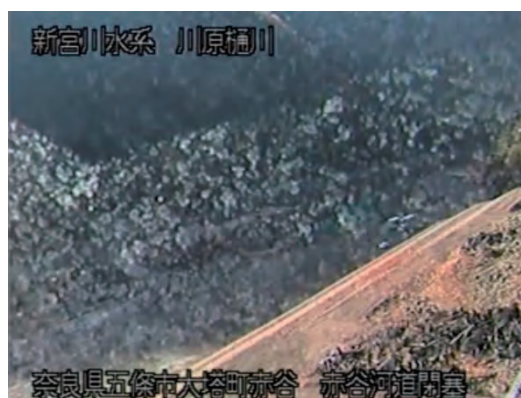


写真 5.29 輪止めの設置

(紀伊山系砂防事務所 HP : <http://www.kkr.ml.it.go.jp/kiisankei/map/3.html> より)

表 5.1 作業中止基準

レベル	内容	崩壊地内及び周辺の警報発令
1	通常 監視	・ 日常点検(ダム湖の水位・湧水状況・堆積土の亀裂状況) ・ 伸縮計・杭式傾斜計(崩壊検知センサ)のデータ確認(作業開始前)
2	作業 注意	・ 気象庁が「大雨注意報」を発令した場合 ・ 時間雨量が 5mm 以上を連続 3 時間観測した場合(赤谷観測) ・ 地盤伸縮計の移動量が 10mm/日以上を観測 ・ 地中伸縮計の移動量が 10mm/日以上を観測 ・ パイプひずみ計の変動量が 240 マイクロストrein/日以上を観測 ・ 複数の杭式傾斜計(崩壊検知センサ)が 9° /日を観測 ＜連続雨量・地盤伸縮計・地中伸縮計による警報メールが届いた場合、ただちに河道閉塞部搬入路の上・下流路でパトライトによる注意表示＞
3	作業 中止	・ 気象庁が「大雨警報」を発令した場合 ・ 連続雨量が 100mm を観測した場合(赤谷地区雨量計) ・ 時間雨量が 10mm を観測した場合(赤谷地区雨量計) ・ 震度 4 以上の地震が発生した場合 ・ 濃霧等で崩落斜面の確認ができない場合 ・ 地盤伸縮計、地中伸縮計の移動量が 25mm/日または 2mm/h 以上を観測 ・ パイプひずみ計の変動量が 40 マイクロストrein/h 以上を観測 ・ 複数の杭式傾斜計(崩壊検知センサ)が 3.0° /h を観測 ・ 複数の杭式傾斜計(崩壊検知センサ)が累計 30° を観測 ・ ワイヤセンサの切断

作業開始基準は以下の通りである。

【降雨等による中止の場合】

- ・ 4 時間連続雨量が無い場合で、下記の点検結果で異常が無いこと。

① 亀裂箇所

② 湧水箇所

【地震・地盤伸縮計・地中伸縮計の数値による中止の場合】

- ・ 伸縮計の移動量及び下記の点検結果で異常が無いこと。

① 拡大崩壊ブロックの亀裂、斜面内に新たな亀裂の発生

② 崩壊地滑落崖の亀裂、崩壊、拡大亀裂

③ 監視装置の操作確認

【杭式傾斜計の数値による中止の場合】

- ・ 検知センサの角度に 4 時間変化が無く、下記の点検結果で異常が無いこと。

- ①堆積土
- ②亀裂箇所、岩盤崩落
- ③監視装置の動作確認

【濃霧等による中止の場合】

- ・崩落斜面が目視で確認できること。

5.3 環境配慮事項

現場では、作業により排出される汚泥や排気ガスの軽減、発生土砂対策として砂防ソイルセメントの使用といった環境配慮が実施されていた。

○排気ガスの削減化

現場内で使用している重機やダンプは、国土交通省が指定している超低騒音型、第2次基準値排出ガス対策型の車両(写真 5.30、写真 5.31)を使用しており、排気ガスの削減や騒音の抑制に配慮している。



写真 5.30 超低騒音型及び
第2次基準値排出ガス対策型の重機



写真 5.31 超低騒音型及び
第2次基準値排出ガス対策型のマーク

○濁水対策

現地には暗渠工が設置しており、工事範囲の本川の溪流水は全て暗渠で流下しているため、工事により出た濁水は溪流水には混ざらず、この現場では濁水がほぼ発生しない。

○発生土対策

砂防堰堤、床固工等、砂防ソイルセメントを使用している。砂防ソイルセメントは現地発生土砂を使用しているため、資源を再利用することで廃棄土の削減、搬出及び運搬作業省略による環境負荷の軽減につながっている。施工業者としても法面整形後に砂防ソイルセメントを吹付けて強化するといった工夫を行なっている。

○土壌汚染対策

現地土壌と一般土用固化材による六価クロム溶出試験を実施した結果、六価クロムの溶出が土壌環境基準値を超えたため、単価が高いが特殊土用固化材を用いて六価クロムの溶出を抑制している。

○粉塵対策

散水により粉塵拡散防止対策を行なっている(写真 5.32)。またダンプが現場から出る時は、タイヤの土や泥を落とし、現場外の道路が泥で汚れないよう対策を行なっている(写真 5.33)。



写真 5.32 散水状況



写真 5.33 タイヤ洗浄状況

5.4 品質管理及び出来形管理

設計基準を満たしているか確認したり、品質の確保を図るため、各種試験及び立会を実施している。本実習では各種試験の現地説明や、立会に同行した。

○シュミットハンマーによる岩検査

シュミットハンマーとは岩盤に打撃を加え、返ってきた衝撃の反射の強さを図ることで岩盤の強度を測定する機器である。現地では設計上軟岩と想定される箇所において、シュミットハンマーを用いて岩検査(写真 5.34)を行った。



写真 5.34 岩検査状況

○材料検査

工事において適切な施工を図るため、使用する材料、製品の品質について施工前に検査を実施した(写真 5.35)。



写真 5.35 アンカー工鋼材材料検査状況

○コンクリートの圧縮強度試験

堰堤及び床固工等で使用するコンクリートの強度が基準を満たしているかを測るため、圧縮強度試験を実施した(写真 5.36)。圧縮強度試験とは、直径 10cm、高さ 20cm のコンクリート供試体を専用の機械に挟み込み、上から圧力をかけ破壊するまでの強度を測定するものである。



写真 5.36 圧縮強度試験状況

○コア観察・検尺

ボーリング掘削後、発注者立会いの下、着岩しているか確認するためのコア観察(写真 5.37)や、ロッド引抜きによる検尺(写真 5.38)を実施する。



写真 5.37 コア観察状況



写真 5.38 検尺状況

○盛土の締固め試験

RI を使用して、盛土材の湿潤密度・含水量・乾燥密度・含水比・締固め・空気間隙率を測定し、盛土材として適した材料であるかを試験した(写真 5.39)。



写真 5. 39 締固め試験状況

6. これまでの実践実習における工事内容

6.1 これまでの実践実習概要

赤谷地区における実践実習は平成 24 年より毎年実施しており、本実習で 6 年目となる。本章ではこれまでの実践実習時に行われていた工事内容についてまとめる。表 6.1 に、平成 23 年～29 年の工事工程を、表 6.2 にこれまでの実践実習の内容を示す。

表 6.1 赤谷地区工事工程表

工種	平成23年				平成24年				平成25年				平成26年				平成27年				平成28年				平成29年			
	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12	3	6	9	12
【緊急対策工事】																												
仮排水路工																												
【抜本対策工事】																												
1号砂防堰堤																												
2号砂防堰堤																												
3号砂防堰堤																												
1号床固工																												
2号床固工																												
3号床固工																												
4号床固工																												
5号床固工																												
6号床固工																												
法面対策工																												
【臨時的な対応】																												
仮排水路復旧工																												
再崩落防止対策等																												

表 6.2 これまでの実習内容

実習年度	実習者名	実習期間	実習内容
24	安海 高明	7月9日～7月20日	平成 24 年 6 月台風の被災に伴う仮排水路の補修工事
25	西村 直記	7月22日～8月2日	平成 24 年 6 月台風の被災仮排水路の補修工事、2号砂防堰堤築造工事(土工など)
26	江藤 稚佳子	7月22日～8月1日	2号砂防堰堤築造工事(本土工など)
27	阿部 拓実	7月27日～8月7日	2号砂防堰堤築造工事 (平成 24 年 6 月台風の被災に伴う復旧)
28	塚原 直幸	7月25日～8月5日	1号砂防堰堤築造工事(本土工など)

6.2 平成 24 年度実践実習

平成 24 年度の現地実習は 7 月 9 日～21 日の期間に実施した。工事内容としては、平成 24 年 6 月の台風 4 号の影響で破損した仮排水路工とシュート工の復旧工事である。

復旧工事実施にあたり、降雨による地表水及び地下水の流入が問題となったため、排水ポンプ(写真 6.1)による排水作業を実施した後、シュート工の復旧工事を開始した。シュート工洗掘防止のために護床ブロック(写真 6.2)を設置し、1:2 の勾配でソイルセメントを敷きならし、シュート工を復旧した(写真 6.3)。



写真 6.1 ポンプによる排水状況
(平成 24 年度実践実習報告より)



写真 6.2 護床ブロック設置状況
(平成 24 年度実践実習報告より)



写真 6.3 シュート工復旧状況(平成 24 年度実践実習報告より)

出水時、暗渠工呑み口部に流木が堆積したため、流木による排水機能低下を防止するために鋼製籠(写真 6.4)を設置し、呑み口部を保護した(写真 6.5)。



写真 6.4 流木進入防止用の鋼製の籠
(平成 24 年度実践実習報告より)



写真 6.5 暗渠工呑み口の保護
(平成 24 年度実践実習報告より)

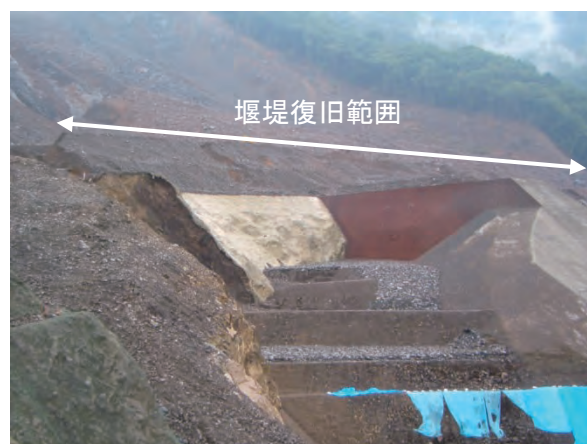
6.3 平成 25 年度実践実習

平成 25 年度の現地実習は 7 月 22 日～8 月 2 日の期間に実施した。平成 25 年 6 月に出水が発生しており、暗渠工の呑口部が破損した。実習期間中は平成 24 年 6 月の台風時に被災した砂防堰堤の復旧、平成 25 年 6 月の出水時に破損した暗渠工呑口部の復旧、天然ダム上流の盛土による工事用道路の施工ヤードの確保及び 2 号堰堤袖部貫入予定箇所の法面整形が実施されていた。

(1) 砂防堰堤の復旧

崩壊土砂捕捉及び山脚固定を目的として、天然ダム堤体の下流端右岸に設置された砂防堰堤が、平成 24 年 6 月に発生した崩壊により被災したため、復旧作業が実施された(写真 6.6)。

写真 6.6 防護土堤復旧範囲
(平成 25 年度実践実習報告より)



(2) 暗渠工の復旧

平成 25 年 6 月の台風に伴う出水により暗渠工呑口部が破損した。破損部からの水の流入により排水されているため急迫した状況ではないが、破損原因の調査と破損部の交換が実施された(写真 6.7)。



写真 6.7 暗渠工破損状況(平成 25 年実践実習報告より)

(3) 天然ダム上流の盛土

掘削等で生じた土砂は、天然ダム上流を埋め立てるように盛土し、工事用道路や施工ヤードの確保に用いられた(写真 6.8)。掘削土砂は多いときには 1 ヶ月で 12 万 m^3 に及んだ。



写真 6.8 掘削土砂による盛土(平成 25 年度実践実習報告より)

(4) 2 号砂防堰堤の施工状況

2 号砂防堰堤は、赤谷地区で 3 基計画されている砂防堰堤のうち、上流から 2 番目にあたる砂防堰堤であり、河道閉塞部の脚部固定を目的としている(図 6.1)。当初、2 号堰堤は本堤、垂直壁、側壁、水叩きの構造としていた。本堤の規模は堤高 14.5m、堤長 126m で、構造は上下流に外部保護材を設置し、中詰め材に INSEM 材を用いた構造(SB ウォール)であり、垂直壁、側壁及び水叩きはコンクリート構造となる。

平成 25 年度の実践実習期間中は、堰堤の袖部貫入予定箇所の法面整形(写真 6.9、写真 6.10)が実施されていた。

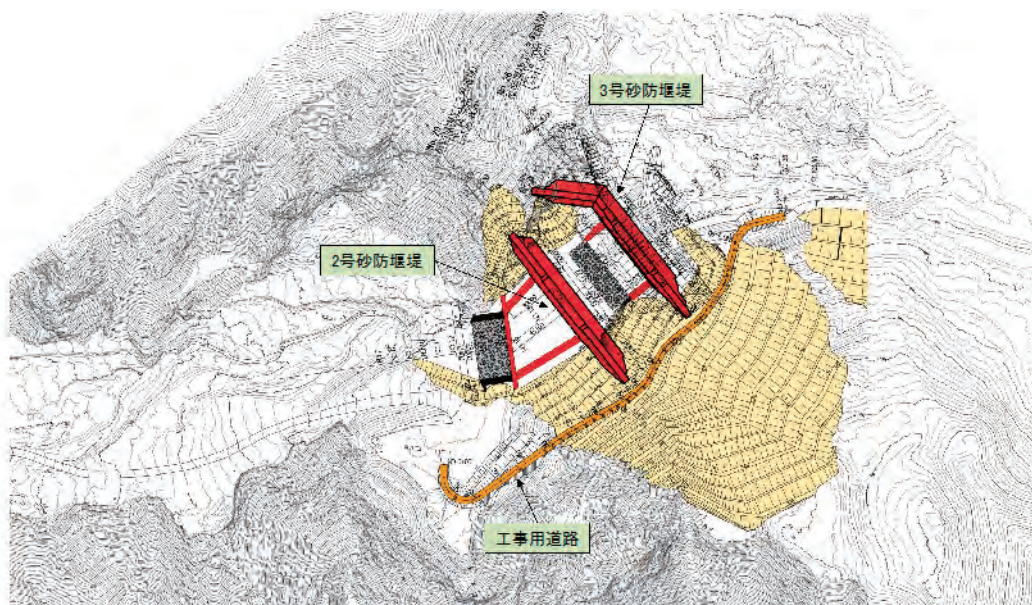


図 6.1 2 号堰堤平面図(平成 25 年度実践実習報告より)



写真 6.9 堰堤左岸袖部貫入予定箇所
(平成 25 年度実践実習報告より)



写真 6.10 堰堤右岸袖部貫入予定箇所
(平成 25 年度実践実習報告より)

6.4 平成 26 年度実践実習

平成 26 年度の現地実習は 7 月 22 日～8 月 1 日の期間に実施した。工事内容としては、2 号砂防堰堤の設置である。

(1) 2 号砂防堰堤の施工状況

平成 25 年 9 月の台風 18 号に伴い斜面が再崩壊したことで、当初の位置では 2 号砂防堰堤の施工が困難となった。そこで安全面を考慮し、堰堤の設置位置を 45m 下流に移動し、新規に施工することとなった。構造として、砂防ソイルセメントの本堤及び第 1 垂直壁、コンクリートの第 2 垂直壁の 3 枚板構造を計画し、本堤の規模は堤高 12m、堤長 105.3m に変更した(写真 6.11)。

平成 26 年の実践実習期間中は、本堤と第 1 垂直壁の水叩きコンクリート施工が実施されていた(写真 6.12)。

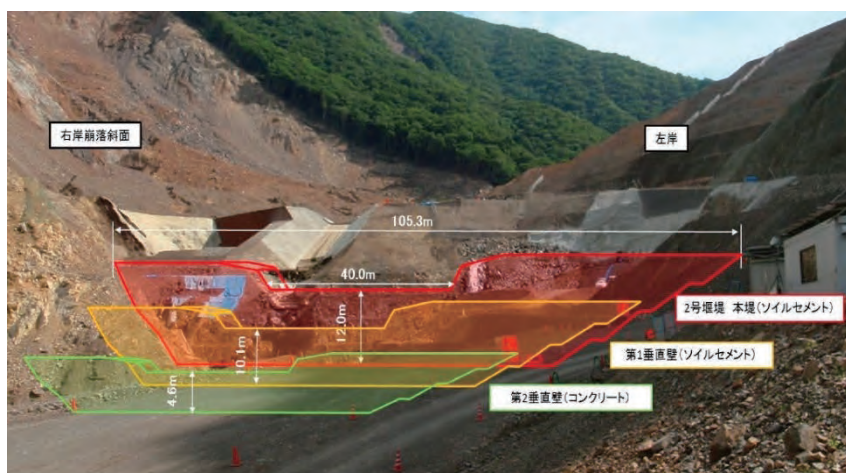


写真 6.11 2 号堰堤施工計画
(平成 26 年度実践実習報告より)



写真 6.12 2 号堰堤施工状況
(平成 26 年実践実習報告より)

6.5 平成 26 年 8 月の台風 11 号による被災

平成 26 年の実践実習直後の 8 月の台風 11 号の影響で斜面が再崩壊し、約 76 万 m^3 の土砂が流出した。流出した土砂は 2 号砂防堰堤を越流し、袖部の破損や上下流の侵食をもたらした(写真 6.13)。対策工事として、袖部の保護のため、袖部背後に砂防ソイルセメントを用いた保護盛土を追加計画した(写真 6.14)。



写真 6.13 平成 26 年台風 11 号の被災前後の状況(平成 27 年度実践実習報告より)



写真 6.14 袖部保護盛土状況(平成 28 年実践実習報告より)

6.6 平成 27 年 7 月の台風 11 号による被災

平成 27 年 7 月の台風 11 号の影響で出水が発生した。比較的土砂分の少ない出水であったため、仮排水路工の底盤部(写真 6.15)、砂防堰堤下流側の暗渠工周辺(写真 6.16)及び 2 号砂防堰堤の第 2 垂直壁周辺にて侵食や地盤の流出が発生した。地盤の流出により第 2 垂直壁左岸袖部は沈下及び転倒した(写真 6.17)。



写真 6.15 出水後の仮排水路工全景
(平成 27 年度実践実習報告より)



写真 6.16 暗渠工周辺の侵食
(平成 27 年度実践実習報告より)

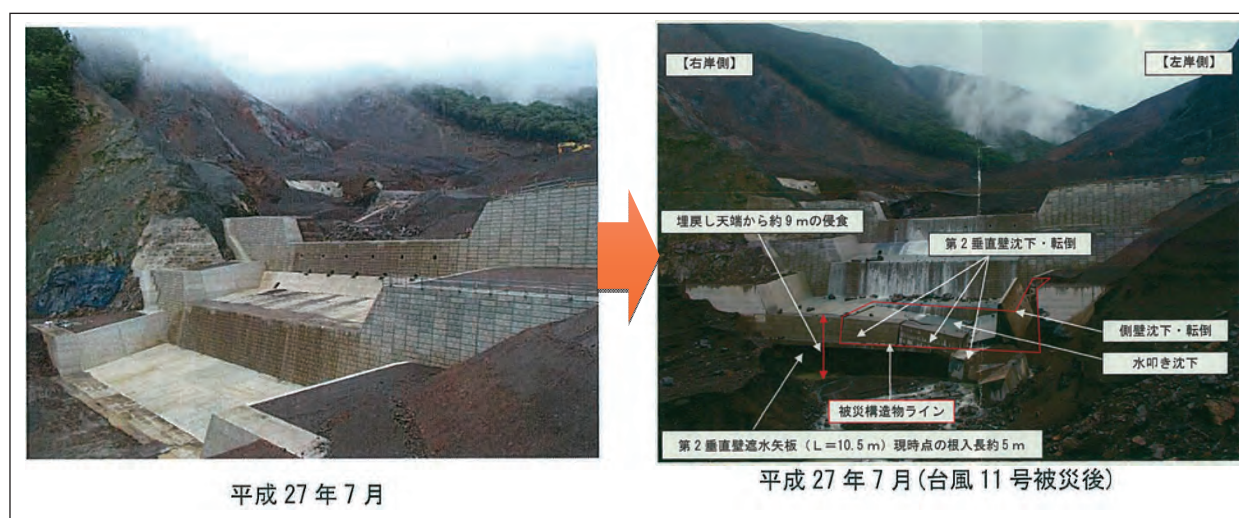


写真 6.17 平成 26 年台風 11 号の 2 号堰堤被災前後の状況
(平成 27 年度実践実習報告より)

6.7 平成 27 年度実践実習

平成 27 年度の現地実習は 7 月 27 日～8 月 7 日の期間に実施した。工事内容としては、台風 11 号の出水により破損した 2 号砂防堰堤の復旧工事である。

(1) 2 号砂防堰堤の施工状況

復旧工事として、第 2 垂直壁直下流側の侵食を抑止するため、砂防ソイルセメントの被覆(写真 6.18)と遮水鋼矢板の延伸打設が計画された。平成 27 年の実践実習期間中は、砂防ソイルセメントの被覆工事が実施されていた(写真 6.19)。



写真 6.18 砂防ソイルセメント施工計画(鹿島建設提供資料より)



写真 6.19 2 号砂防堰堤復旧状況
(平成 27 年実践実習報告より)

6.8 平成 28 年の 2 号堰堤施工状況

平成 28 年度の現地実習は 7 月 25 日～8 月 5 日の期間に実施した。工事内容としては、2 号砂防堰堤下流部の側壁と護岸の施工及び 1 号砂防堰堤の施工工事である。

(1) 2 号砂防堰堤の施工

2 号砂防堰堤は平成 28 年 3 月に完成した(写真 6.20)。平成 28 年の実践実習期間中は 2 号砂防堰堤下流部の側壁と護岸の施工が行われていた。当初設計では枠組み足場による施工を予定していたが、護岸上部では足場と施工面が離れるため、安全な施工のためには埋め戻しと足場の再設置が必要となる。そのため、枠組み足場の代わりにキャットウォーク(写真 6.21)を使用し、工期の短縮が行われていた。



写真 6.20 平成 28 年度実習中 2 堰堤状況
(平成 28 年度実践実習報告より)



写真 6.21 キャットウォーク
(平成 28 年度実践実習報告より)

(2) 1 号砂防堰堤の施工

1 号砂防堰堤は 3 期の堰堤の最下流に位置しており、土石流の捕捉を目的としている。1 号砂防堰堤は砂防ソイルセメントの本堤、コンクリートの垂直壁、側壁、水叩き、前庭保護工で構成されている。

平成 28 年の実習期間中は、本堤、本堤背面盛土、袖部斜面保護工の施工工事が実施されていた(写真 6.22、写真 6.23)。右岸側袖部では人工地山、間詰工の施工のため、足場設置、型枠設置、コンクリート打設が計画されている。しかし右岸側袖部の露岩は脆弱(写真 6.24)で、作業員の安全確保が困難であると施工時に判断され、崩落防止のためのモルタル吹付(写真 6.25)が実施された。

2 号砂防堰堤が台風による 2 度の出水で堤体が破壊された経緯を踏まえ、1 号砂防堰堤の堤体を出水から保護するため、堤体背面に盛土施工が実施された。この盛土により、堤体保護のみならず、施工ヤードとして利用できるため、堤体内部へのアクセスが容易となり、工期短縮に繋がっている。



写真 6. 22 1号堰堤全景
(平成 28 年度実践実習報告より)



写真 6. 23 本堤施工状況
(平成 28 年度実践実習報告より)



写真 6. 24 右岸袖部の露岩状況
(平成 28 年度実践実習報告より)



写真 6. 25 右岸袖部モルタル吹付状況
(平成 28 年度実践実習報告より)

7. まとめ

7.1 平成 29 年度の実習について

本実習では、平成 23 年紀伊半島大水害において、赤谷地区で発生した深層崩壊による河道閉塞箇所での対策手法について習得することを目的に、平成 29 年度に実施している工事について、崩壊土砂(河道閉塞堤体)の安定化のための越流水処理及び砂防堰堤などの設計・施工方法、現地における崩壊斜面監視調査手法、並びに施工管理手法について実習した。実習を通じて学んだこと、今後に生かしたいことを以下に述べる。

(1) 今後の仮排水路工の対応

緊急対策工事で設置された仮排水路工について、平成 24 年から平成 27 年の間に複数回発生した台風による流出土砂により埋没し、機能を十分に果たしていない。現在は暗渠工や崩壊地下流に設置した砂防堰堤及び床固工により山脚固定や土砂捕捉の効果が見込まれるが、溪岸侵食を防止して流路を安定させること、洪水時には暗渠工と併用し、より確実に湛水位の上昇を防ぐことを考慮し、将来的には溪流保全工の設置が必要であると考ええる。

(2) 施設保護を考慮した設計

平成 24 年から平成 27 年の間に複数回発生した台風により土砂流出や出水が発生し、緊急対策工事で設置した仮排水路工や抜本対策工事で設置した 2 号砂防堰堤が被災している。それにより、2 号砂防堰堤については、完成までに 3 年以上費やす結果となった。そこで、過去の被災を受け、出水対策として 2 号砂防堰堤の下流に延長 100m の三面張りの流路工を、流出土砂対策として 1 号砂防堰堤と 2 号砂防堰堤の背後に盛土を設置して対応している。

本現場は、大規模な崩壊及びそれに伴う土石流が発生する特殊な現場であったが、一般的な工事現場においては、度重なる復旧工事は費用の加算及び工期延長に繋がるため、保全対象のみならず、施設自体の保護も考慮した設計をすることが重要であると考ええる。

(3) 施工管理

現場作業は小さなミスで重大事故に繋がる可能性があり、安全管理を細かく実施し、事故を未然に回避する必要がある。当現場では、平成 23 年より続く大規模な工事にも関わらず、重大事故(4 日以上 の 休業)は発生しておらず、また昨年及び今年の熱中症患者も発生していない。

今後私が現場作業や現場管理を実施する際は、赤谷で実施されている安全管理事項を参考に事故ゼロを目指したい。

7.2 6 年間の実習について

平成 24 年より 6 年に及ぶ緊急対策工事及び抜本対策工事における実践実習の「ふりかえり」をすることにより、天然ダム形成後の対策工事をどのようなプロセスで実施してきたか学ぶことができた。

8. 謝辞

本実習を行うにあたり、ご協力を賜りました鹿島建設株式会社、並びに現地においてご指導いただいた赤谷工事事務所の江口所長をはじめ職員の皆様に御礼を申し上げます。

9. 参考文献

- ・ 国土地理院 HP：地理院地図
<http://maps.gsi.go.jp/#5/35.362222/138.731389/&vs=c1j0l0u0t0z0r0f0>
【閲覧日：2017 年 11 月】
- ・ 奈良県(1989)：1/50,000 土地分類基本調査(地形分類図)「伯母子山」
- ・ 紀伊山地砂防事務所(2013)：紀伊山系直轄砂防事業 木津川水系直轄砂防事業パンフレット
- ・ 奈良県(2013)：紀伊半島大水害の記録
- ・ 近畿地方整備局(2013)：2011 年紀伊半島大水害 国土交通省近畿地方整備局 災害の記録
- ・ 紀伊山系砂防事務所 HP：砂防施設の整備状況(平成 29 年 10 月)
<http://www.kkr.mlit.go.jp/kiisankei/map/3.html> 【閲覧日：2017 年 9 月】
- ・ 安海高明(2012)：平成 24 年度実践実習報告書
- ・ 西村直記(2013)：平成 25 年度実践実習報告書
- ・ 江藤稚佳子(2014)：平成 26 年度実践実習報告書
- ・ 阿部拓実(2015)：平成 27 年度実践実習報告書
- ・ 塚原直幸(2016)：平成 28 年度実践実習報告書



筑波大学
University of Tsukuba

筑波大学大学院 生命環境科学研究科 持続環境学専攻、環境科学専攻
環境防災学講座

【住 所】〒305-8572

茨城県つくば市天王台 1-1-1 環境防災研究棟

【電 話】 029-853-5883

【ホームページ】<http://edip-tsukuba.org/>