

手取川における戦後の流域開発が手取川河道の 樹林化に与えた影響に関する研究

田屋 祐樹¹・傳田 正利²

¹正会員 (株) 国土開発センター環境1部 (〒924-0838 石川県白山市八束穂3-7)

E-mail: taya_yuuki@kokudonet.co.jp

²正会員 博士(工学) 筑波大学大学院 システム情報工学研究群 構造エネルギー工学専攻
連携大学院 准教授 (茨城県つくば市天王台1丁目1)

E-mail: denda.masatoshi.fm@u.tsukuba.ac.jp

河川法改正以来、治水・利水に加え環境への配慮が求められている。本研究では、手取川を対象に、既往研究が対象としていない河川環境の内、近年の河川管理で問題となる樹林化（河道内における過剰な樹林繁茂）の変遷を整理した。

その結果、手取川の扇状地河道では、ダム完成後の平成に入ってから、「石の河原」が減少して樹林化が進行していることが確認できた。ダム建設に伴う土砂輸送量と自然攪乱（出水）の減少、流路の深ぼれの進行が、樹林化を促したことが推定された。

Key Words: *The Tedor river, Watershed developmenst, Developments of the Tedorigawa Dams, Decreases of sedi-ments trasports and natural disturbance, Overgrowth of woodlands*

1. はじめに

手取川は、日本有数の扇状地河川である。北陸特有の多くの降雪があり、白山を含む急峻な流域に集水された水が、日本海に向けて一気に流れ下る。また、手取川流域は、土砂生産量が多く、山間地を搬送された土砂は、白山市周辺に多くの土砂を搬送し見事な扇状地を形成する。これらの特徴的な手取川の流域特性は、肥沃な扇状地だけでなく、良好な水資源、砂礫を主とした土砂、自然環境などの恵みをもたらす。一方、水災害の発生は、多くの被害をもたらした。歴代の手取川を治めた為政者は、手取川扇状地の開発を行うため手取川の改修を積極的にを行い社会基盤の安定に努めた。

手取川の土木史に関する既往研究は、これらの先人達の偉業である河道変更、橋の変遷、用水利用、霞堤による治水研究等について取りまとめられ、流域開発や治水という観点から、手取川の歴史は整理されている。しかし、手取川において、近年の河川管理を行う上で重要な観点である河川環境の変遷についての研究は少ない。河川法改正以来、治水・利水に加え環境への配慮が求められている。治水、利水及び環境を一連のシステムとしての河川管理が求められている。既往研究の取り組みである治水・利水に加え、河川環境の歴史を土木史的観点から整理している事例は少ない。本研究では、手取川にお

ける治水・利水の歴史と環境の変化の関係性を整理し、手取川の流域開発（治水、利水）が河川環境に与えた影響を一連の流れとして整理することを目的とする。

河川環境に関しては、近年、環境研究の主要な関心である河道内陸域における樹林化（過剰な樹林繁茂）に着目する。全国の多くの河川において、治水事業の進展に伴う出水による自然攪乱の減少が、樹林化を生じさせることが報告されている。本研究が対象とする手取川は、後述するが、日本有数の急流河川である。この手取川の特徴は、自然攪乱が多いことを意味し、手取川においても樹林化が進行しているとすれば、日本の河川管理においては、高い確率で生じる河川環境問題と考えることができ、全国の河川管理者は、樹林化に関して十分な留意をする必要性を確認できる。このような背景から、本研究では、①既往の手取川研究が取り組んでいない手取川における樹林化の進行を検証する、同時に、②手取川の流域開発、特に、治水及び利水が、樹林化の進行に与えた影響を整理することを目的とする。

2. 手取川及び手取川ダムの概要

(1) 手取川の概要

暴れ川の異名をとる手取川は、日本三大霊山のひとつ白山（標高2,702m）を源に、多くの支流を集めながら山

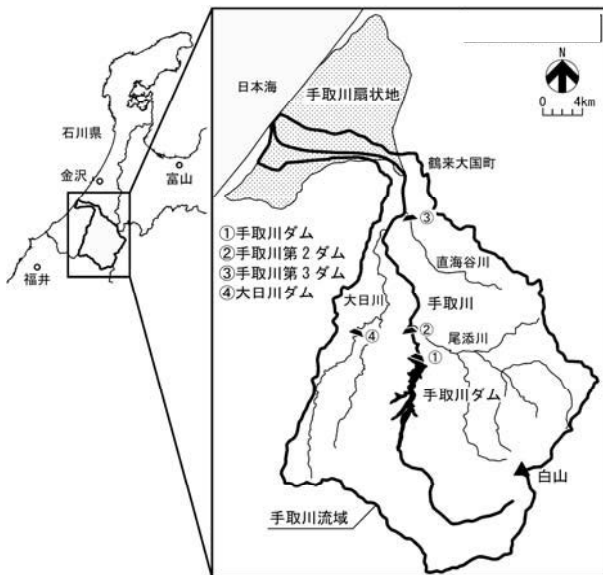


図-1 手取川流域図

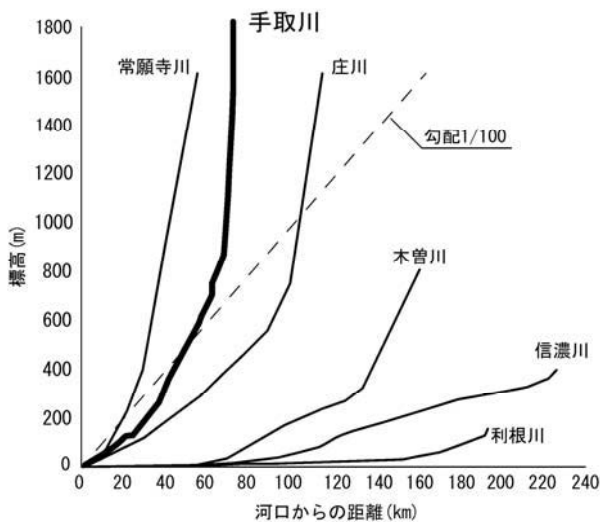


図-2 手取川縦断面図

間を北上し、石川県鶴来大国町付近で加賀平野に出て進路を西に変え、扇状地を流れて日本海に注ぐ、流域面積809km²、幹線水路延長72kmの1級河川である¹⁾(図-1)。水源から河口までの平均勾配は1/27、扇状地においても1/144~1/411であり、河口まで急勾配が続く、我が国屈指の急流河川である²⁾(図-2)。

手取川扇状地は、東は富樫山地沿いに、西は能美山地沿いに半径約12km、約110度の角度で広がっており、上流で発生した土砂が下流へ運搬され、氾濫を繰り返すことで形成された¹⁾。扇状地を流れる手取川の河道を、河床勾配より区分すると、下流部0~2km、中流部2~7km、上流部7~13kmの3区間に区分される(図-3)。

流域は日本海型気候に属し、年平均降水量は下流域の平野部で2,600mm、山間部では3,300mmと多い³⁾。北陸は豪雪地帯であり、雪解け水をあわせる手取川の流量は非常に豊富である。ふだんは沿川住民に多くの恵みをも

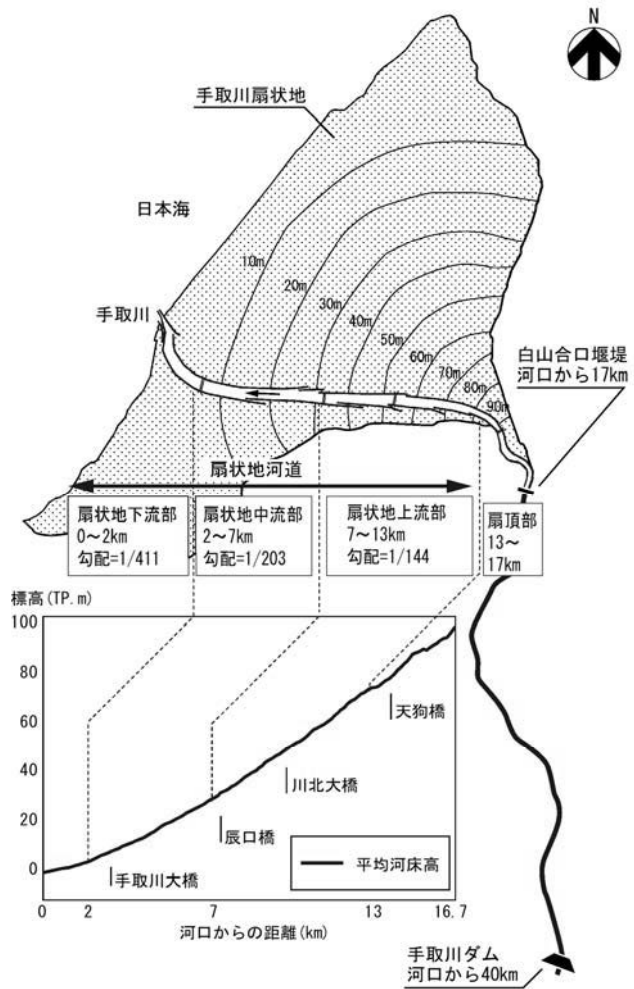


図-3 手取川扇状地と河道区分

たらず手取川も、ひとたび悪天候に見舞われると、しばしば大氾濫を起こしてきた¹⁾。

現在、手取川流域には、手取川本川に手取川ダム及び手取川第2ダム、支川直海谷川に手取川第3ダム、支川大日川に大日川ダムが整備され(図-1、表-1)、下流域の治水安全度の向上だけではなく、発電、上水道水の供給など広範囲にわたり大きな恩恵をもたらしている¹⁾。手取川ダムの年堆砂量(約20万m³/年)は、手取川流域内の4ダム(手取川ダム、手取川第2ダム、手取川第3ダム、大日川ダム)の合計年堆砂量(約26万m³/年)のうち、約8割を占めている⁴⁾。手取川上流域は牛首川流域(手取川本川)と尾添川流域に大別され、手取川ダムは牛首川流域の集水端部に位置している¹⁾。

(2) 手取川研究の利点

樹林化に関する既往研究は、樹林化の進行の要因は、ダム建設に伴う上流から土砂供給の減少、高度成長期における砂利採取・河道掘削による河道地形変化、河道地形変化に伴う表層土壌材料の変化が出水による攪乱を減少させたことを指摘する⁵⁾⁶⁾。また、一部の河川におい

表-1 手取川流域内のダム諸元

ダム名	河川名	目的 ※	管理者名	竣工 年月	流域面積 (km ²)	堤高 (m)	総貯水容量 (千m ³)	有効貯水容量 (千m ³)
手取川ダム	手取川	FWIP	国土交通省	S55.3	247.2	153.0	231,000	190,000
手取川第2ダム	手取川	P	北陸電力(株)	S54.7	7.2	37.5	2,120	1,700
手取川第3ダム	直海谷川	P	北陸電力(株)	S54.3	67.5	50.0	4,430	3,200
大日川ダム	大日川	FAP	石川県	S43.9	83.9	59.9	27,200	23,900

※F：洪水調節・農地防災，A：灌漑，特定(新規)灌漑用水，W：上水道用水，I：工業用水道用水，P：発電

表-2 手取川の主な水害（既往洪水の上位3位）

発生日月 (原因)	鶴来地点流量・水位 ※1	被害状況
昭和9年7月11日（梅雨前線） 【既往最大の洪水】	流量:4,100m ³ /s ※2 水位:—	死者97名，行方不明者15名，床上浸水586棟。手取川堤防の決壊は約18km（堤防全長の約3割）を超えた。
昭和36年9月16日（第二室戸台風） 【戦後最大の洪水(既往2番目)】	流量:4,000m ³ /s 水位:5.40m	床上浸水57戸 外水被害なし
昭和39年7月8日（梅雨前線） 【既往3番目】	流量:2,900m ³ /s 水位:4.40m	堤防一部流出 外水被害なし
平成10年9月22日（台風7号） 【ダム完成後最大の洪水(既往3番目)】	流量:2,900m ³ /s (4,100m ³ /s ※3) 水位:3.10m	導流堤の深掘れ破損、河岸の一部流出 外水被害なし

※1 流量は有効桁2桁丸め

※2 痕跡水位からの推定流量

※3 鶴来地点流量：下段（ ）は、手取川ダム（S55年完成）がなかった場合の推定流量

ては、ハリエンジュ等，成長・定着が早い外来種の侵入による要因を指摘する⁸⁾。

手取川は，水源から河口までの流路延長72kmに，砂防，ダム，河川，海岸までの領域が凝縮された河川である。ダム上流は，別当谷，甚之助谷などの重荒廃地を含む，土砂生産が活発な荒廃河川である⁹⁾。ダム下流の扇状地河道では，石川県の名の由来ともなった「石の河原（手取川では砂礫河原を石の河原という）」が減少して樹林化が進行する等，河川環境が変化してきている¹⁾。

手取川流域の治水・利水に大きく貢献する手取川ダムは，手取川の流域開発において最も重要な施設のひとつである。手取川ダムは，河口から上流40kmに位置しており，下流の扇状地河道とダム間の距離が比較的短く，扇状地河道におけるダムの影響を評価しやすい利点を手取川にはある。砂利採取や河道掘削に関しては，多くの実績が推定されるが，資料収集が十分できていない状況である。外来種の侵入に関しては，一部でハリエンジュの侵入が見られるものの，他の河川と比較して，手取川におけるハリエンジュの侵入は少ない¹⁰⁾。

上記のような理由から，本研究では，手取川の上流から下流までがコンパクトにまとまった特性を活かし，ダム，河道地形変化及び河床材料変化と樹林化の関係を初期段階として，分析することに注力する。

(3) 手取川の水害と治水事業の歴史

手取川はかつて，「水路を7度変えた」といわれる暴れ川であった。ふだんは沿川住民に多くの恵みをもたらす手取川も，ひとたび悪天候に見舞われると，その急流という河川特性からしばしば大氾濫を起こした¹⁾。特に大きな被害が出るのは平野部で，江戸時代には「村囲い」と呼ばれる堤防を各村ごとに作り，人々は水害を阻止しようとした¹⁾。

最初の本格的な河川事業は，明治24年から29年に起きた大洪水をきっかけとして，石川県が同29年に着手した¹¹⁾。しかし，その後も洪水は収まらず，昭和9年には未曾有の大氾濫が発生した¹⁾。同年7月，活発な梅雨前線による豪雨と残雪による融雪洪水も加わり大洪水となり，堤防が数カ所で決壊し，死者97名，行方不明者15名を出した¹⁾。堤防の被害は，全体の約3割，18kmにわたって破壊された¹⁾。流域に発生した崩壊土砂は2億m³⁹⁾，扇状地に流れた土砂は2千万m³⁹⁾，流量は鶴来地点で既往最大の4,100m³/sと推定されている¹⁾（表-2）。

この大洪水を契機として，鶴来地点における計画高水流量を4,500m³/sとする手取改修工事計画が昭和9年に策定された⁹⁾。翌年には国直轄事業として河川改修工事が始まり，築堤・護岸補強・河道掘削が漸次進められた⁹⁾（図-4）。

その後，計画高水流量を上回る洪水の発生はなかった

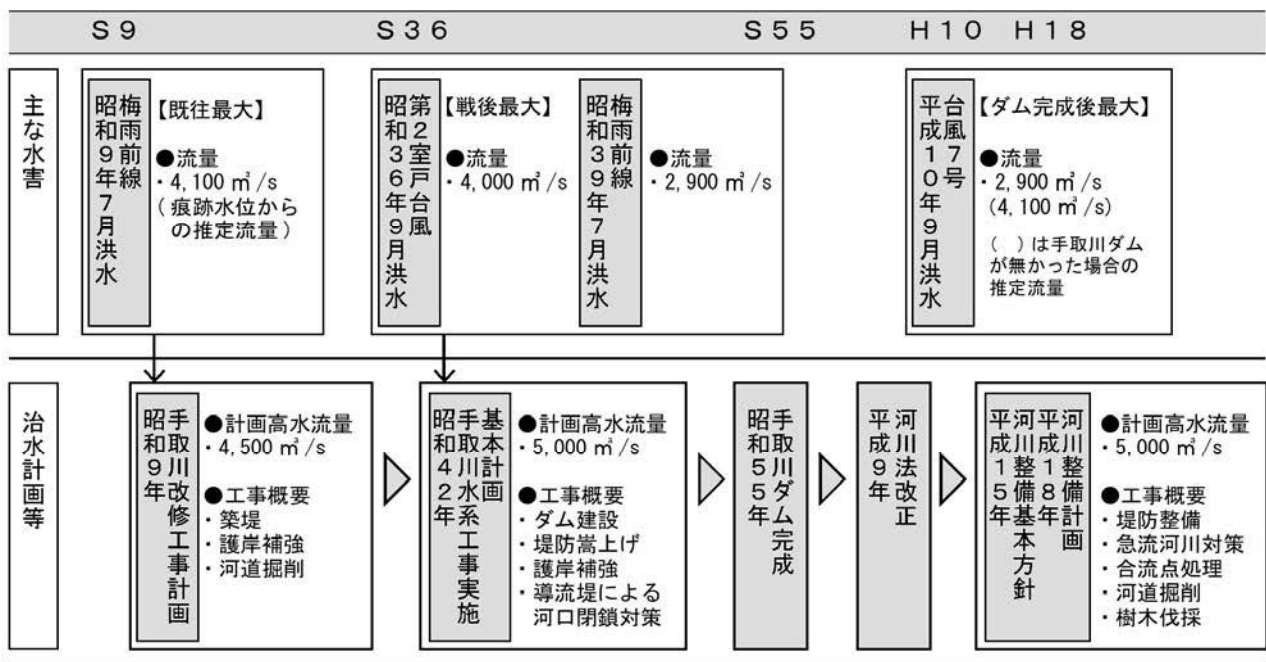


図4 手取川の水害・治水の系譜図

が、昭和9年の大洪水と近い規模となった昭和36年9月の第二室戸台風による洪水及び、昭和41年1級河川に指定されたのを契機として、治水計画の見直しが行われ、基本高水のピーク流量6,000m³/s、計画高水流量5,000m³/s、ダム調節流量1,000m³/sとする手取川水系工事実施基本計画が昭和42年に策定された⁹⁾。

当該計画に基づき、弱小堤の嵩上げ、水衝部の堤防補強・拡築を中心に進められ、昭和55年に事業の主格である手取川ダムが完成した⁹⁾。手取川ダム完成後、平成10年9月の台風7号による洪水では、昭和9年の大洪水とほぼ同じ流量であったが、ダムと河川改修等の整備により氾濫被害は発生しなかった¹⁾ (表-2)。

平成9年の河川法改正に伴い平成15年に手取川水系河川整備基本方針、平成18年に同河川整備計画が策定された³⁾。当該計画に基づき、現在、河床低下による護岸の基礎の浮き上がりに対する根継工事、河積を確保するための河道掘削や樹木伐採等が実施されている³⁾。

(4) 手取川ダムの建設概要とその恩恵

我が国において、昭和20年に第2次世界大戦が終結すると、戦後復興の一つの柱として、洪水調節による治水対策、電力増強、食料増産を目指す灌漑用水の確保が求められた¹²⁾。多目的ダムの建設は、戦後の国土総合開発の中核的事業となり、電源開発促進とともに大いに促進された¹²⁾。

手取川における改修工事は前述のとおり、昭和41年に1級河川に指定されたのを機会に、計画高水流量の見直しが行われ、100年確率規模の降雨があっても、水害が発生しないように河道計画と合わせてダム計画を行い、

計画高水流量を5,000m³として改修事業が行われた⁹⁾。下流域においては経済発展と生活の向上に伴い、上水道用水の需要量が増大し、主要な供給源であった地下水も地盤沈下や、地下水位の低下で、これ以上の供給が困難となった⁹⁾。このため河川水からの供給が計画された⁹⁾。一方金沢港を中心とした流通加工基地での、工業生産性の増大に伴う工業用水需要の急増に対処するため、河川水からの供給も計画された⁹⁾。また、電力について石川県の使用電力は、昭和45年に26億6千万kwであった。これに対する県内の発電電力量は10億4千万kwであり、使用電力量の39%しか供給できず富山県・福井県から供給を受ける状態であった⁹⁾。このような状態を解消する手段の一つとして大規模貯留式発電が計画された⁹⁾。このように未利用の河川水量を十分に活用して、水力発電の拡大開発を図り、あわせて上水道、工業用水の確保と治水、さらには副次的に下流金沢平野での流況の安定をねらって着手されたのが手取川ダムの開発であった⁹⁾。

手取川ダムは、治水(洪水調節)、上水道用水、工業用水ならびに発電を目的とした多目的ダムである⁹⁾。手取川ダムによって、上流域に100年確率規模の降雨(350mm/日)による流出量(計画高水量)に対して、洪水調節して、下流へ安全放流する⁹⁾。すなわち、ダム地点の計画高水流量、2,400m³/sのうちから、800m³/sの洪水調節を行い、既往の大日川ダムにおいて調節される200m³/sと合わせて、鶴来地点における基本高水流量6,000m³/sを1,000m³/sカットして、計画高水量を5,000m³/sに低減させ、洪水を防除する⁹⁾。このため、融雪出水期(3月1日～6月14日)にはダム貯水池の水位を常時満水より1m引き下げ、常時満水位までの容量550万m³を

利用して洪水調節を行い、夏季出水期（6月15日～10月15日）には、ダム貯水池の水位を常時満水位より4m引き下げ、常時満水位までの容量2,000万 m^3 を利用して洪水調節を行うものである⁹⁾。

手取川ダムによって貯留される有効貯水量1億9千万 m^3 のうち、1,620 m^3 を利用して水道用水ならびに工業用水の供給を行う⁹⁾。手取川ダムは、金沢市を中心に9市4町の水道用水として1日に最大で44万 m^3 、工業用水として1日で最大5万 m^3 を供給する能力を持ち合わせている¹³⁾。水力発電では、手取川第1、第2、第3発電所の3つ合わせて、最大367,000kwを発電でき、これは石川県の総発電可能量の10%になる¹³⁾。さらに、手取川ダムの水は、広大な加賀平野の穀倉地帯を潤している。手取川の扇状地には約8,600haの水田地帯が広がり、県下でも有数の穀倉地帯となっている¹⁴⁾。手取川扇状地の扇頂部に位置する白山合口堰堤（図-3）では、最大56 m^3/s の農業用水を取水し、手取川左右岸に樹枝状に張り巡らされた農業用水路を通じて白山市ほか4市1町の水田に供給している¹⁵⁾。

手取川ダムは、建設省、石川県及び電源開発株式会社・北陸電力株式会社の官民4者で共同開発した¹⁶⁾。通産省は昭和44年度に実施した現地調査をもとに、治水、上水道、工業用水、発電を目的とする手取川総合開発計画を策定した¹⁶⁾。当該計画にもとづき、手取川ダムと手取川第一発電所の建設は電源開発が、手取川第二ダム及び同発電所、手取川第三ダム及び同発電所の建設は北陸電力がそれぞれ担当した¹⁶⁾。補償交渉の過程では、時に激しい争いも交えたが、昭和48年には県があっせんし、白峰、尾口、河内3村の水没地区と電源開発、北陸電力の間で補償協定書の調印が交わされ、翌昭和49年に起工式が行なれた¹⁶⁾。6年の歳月と約770億円の予算をかけ、昭和55年に完成した¹³⁾。

手取川ダムの規模は流域面積247.23 km^2 、高さ153m、堤長420m、総貯水量約2億3,100万 m^3 石川県内最大、国内でも最大級のロックフィルダムである¹³⁾。

3. 研究の方法

(1) 手取川における樹林化状況と変遷の把握

手取川の扇状地河道（0～13km）において、ダム完成前後の樹木分布図を作成した。ダム完成前は、昭和43年10月撮影の空中写真をもとに、空中写真の色、きめ、密度により、木本、草本、人工地、石の河原を判読し、図化した。凸凹がはっきりしており高い樹高や樹冠が判別できたものを木本とした。表面が一様でなめらかなものを草本とした。田畑や公園、人工構造物を人工地とした。灰白色でゴロゴロ感があり礫状に見えるものと水域を石の河原とした。

ダム完成後は、平成4年、平成14年に実施された手取川水系河川水辺の国勢調査の植生図データ¹⁷⁾¹⁸⁾を用いて、「河川水辺の国勢調査植物調査（河川版）植物群落・コード一覧表」の植生基本分類をもとに、群落を木本、草本、石の河原、人工地の4区分に統合した。石の河原は、自然裸地、カワラヨモギーカワラハハコ群落、水域とした。カワラヨモギーカワラハハコ群落は、出水攪乱に適応した河川環境に固有の群落であると同時に、河原環境を代表する群落である。また、当該群落は、手取川の本原植生であり、手取川水系河川整備計画で長期目標として掲げられている「石の河原の復元」を指標する群落である。水域については、河床の主体が石の河原であること、また、水域の面積は空中写真撮影時及び調査時の水位により変化することから、石の河原に含めて整理した。

ダム完成前の昭和43年、ダム完成後の平成4年、平成14年の木本、石の河原、草本・人工地の面積を集計し、比較した。

(2) 手取川ダムによる土砂・流量制御の状況

河川の大規模横断工作物であるダムは、治水、利水機能に果たす役割は大きいものの、土砂・流量制御に伴って下流河川環境へも相当に影響する。そのため、ダム湖の堆砂状況、ダム完成前後の流況を整理した。手取川ダムでは、昭和55年から概ね毎年、貯水池内の測量が実施されており、平成21年、平成24年、平成28年はナローマルチビーム測深器により詳細な測量が実施されている（その他の年は重錘法、シングルマルチビーム法）。まず、ダム完成前後の測量データを用いて、ダム湖の平面、縦断の堆砂状況を図化した。ダム完成後の平面コンタ図は、平成28年のナローマルチビームによる面的測量データ¹⁹⁾を用いた。ダム完成前は、昭和54年の測量データを用いた。60の各横断側線において、標高点を平面図にプロットし、標高点をつなぐことによりコンタ図を作成した。ダム完成前後のコンタ図を重ね合わせ、堆砂箇所を平面に図示した。また、最深河床縦断図を重ね合わせ、縦断の堆砂高を図化した。次に、ダム堆砂量の経年データを用いて、ダム完成後37年経過した平成28年時点の堆砂量を整理した。そして、ダム湖の河床材料データを用いて、礫堆積量を見積もった。これには、平成5年に実施された、手取川ダム貯水池上流端付近に位置する百合谷砂防堰堤上流の河床材料調査結果を用いた。4深土の粒径加積曲線の平均値より砂と礫の割合を算出し、礫の割合に、ダム湖に堆積している土砂の総量を乗じて、ダム湖の礫堆積量を算出した。

流況の変化は、鶴来観測所の流量観測データ²⁰⁾を用いて、ダム完成前後における平均年最大流量を比較した。

(3) 扇状地河道の環境変化

a) 河道形状の変化

第一に、ダム完成前の昭和 54 年に対する平成 29 年の低水路河床高を整理した。昭和 54 年、平成 29 年に測量された 200m ピッチの横断データ²⁰⁾を用いて、図-3 に示す扇状地下流部 (0~2km)、中流部 (2~7km)、上流部 (7~13km) の各区分における低水路測量点を取り出し、区間平均して低水路河床高を算出した。次に、低水路河床高の変動に、各区分の延長と平均低水路幅を乗じて、ダム完成後における河床変動のボリュームを見積った。

第二に、各区分の中で樹林化した断面 (1.4km, 6.0km, 12.0km 断面) について、ダム完成前 (S54 年) と完成後 (H19 年) の横断データを重ね合わせ、断面形状の変化を比較した。また、断面ごとに低水路の全測量点を取り出し、低水路標高の平均値と標準偏差を算出し、ダム完成前後を比較した。

b) 河床材料の変化

ダム完成前 (S54 年)、完成後 (H21 年) の河床材料調査データ²²⁾²³⁾²⁴⁾を用いて整理した。

河床材調査調査は、粒径 100mm 以下の礫は容積サンプリング法で、粒径 100mm 以上の礫は表面サンプリング法で実施されている。容積サンプリング法は、調査箇所を表層を 30cm 剥ぎとり、幅 1m×長さ 1m×深さ 0.5m の土砂を採取し、ふるい分析によって粒度分布を求めるもの、表面サンプリング法は、現地で表面の礫を 100 個

採取し、長・中・短径の測定して粒度分布を求めるものである。それら 2 つの粒度分布から混合比を求め合成し、その地点の粒度分布が求められている。

昭和 54 年の調査では、概ね 400m ピッチに側線が設定され、各側線あたり 2 地点程度、扇状地 (河口~13km) で計 78 地点の調査が実施されている。平成 21 年の調査では、概ね 1km ピッチに側線が設定され、各側線あたり 4 地点程度、扇状地 (河口~13km) で計 59 地点の調査が実施されている。全て、流路付近の河原で調査が実施されている。

全地点の粒径加積曲線を作成し、図-3 に示す扇状地下流部 (0~2km)、中流部 (2~7km)、上流部 (7~13km) の各区分で粒径加積曲線を平均化し、ダム完成前後を比較した。

4. 研究の結果

(1) 樹林化の進行

樹林化の進行図を図-5 に示す。ダム完成前の昭和 43 年に対して平成 4 年は、木本の面積が約 76ha 増加し、石の河原の面積が約 148ha 減少した。木本は、ダム完成後に全川で急激に増加し、代わって石の河原が減少した。平成 4 年から平成 14 年では、木本の面積が約 13ha 増加し、石の河原の面積が約 10ha 減少した。木本面積の増加、石の河原の減少は、継続していた。

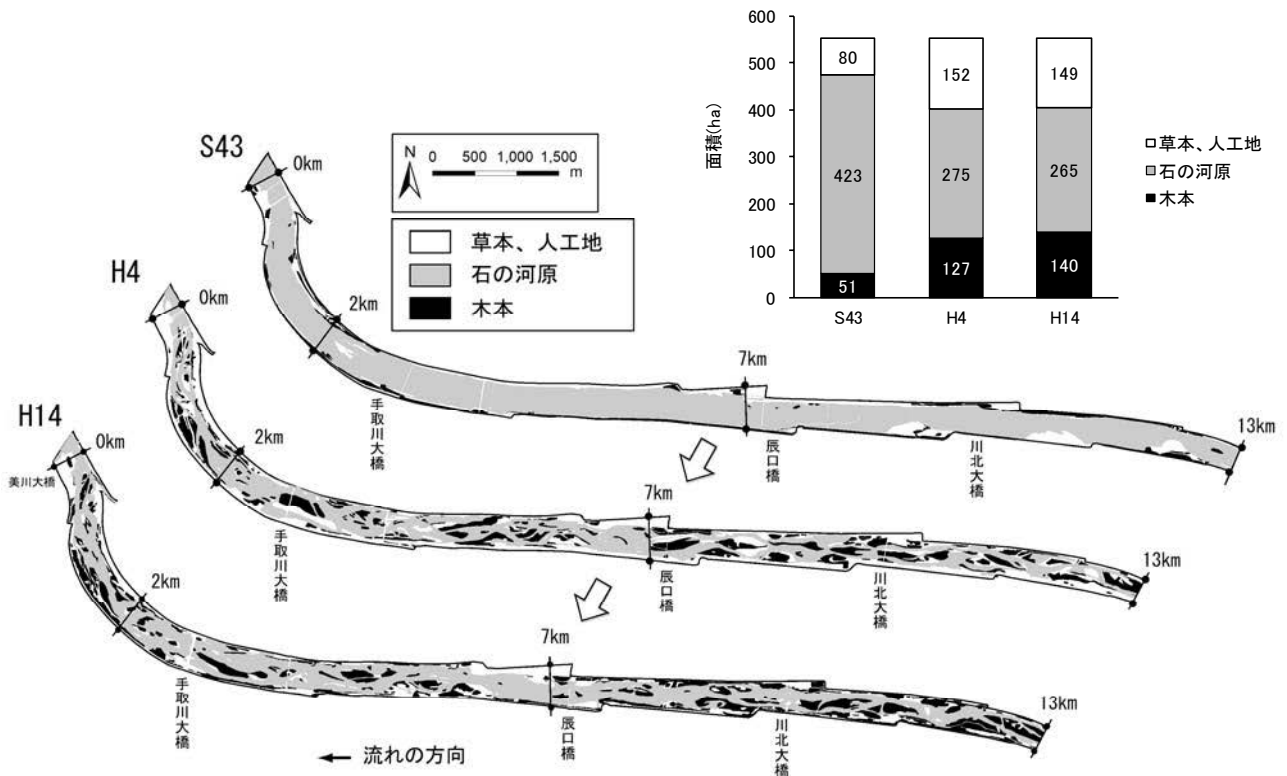


図-5 樹林化の進行

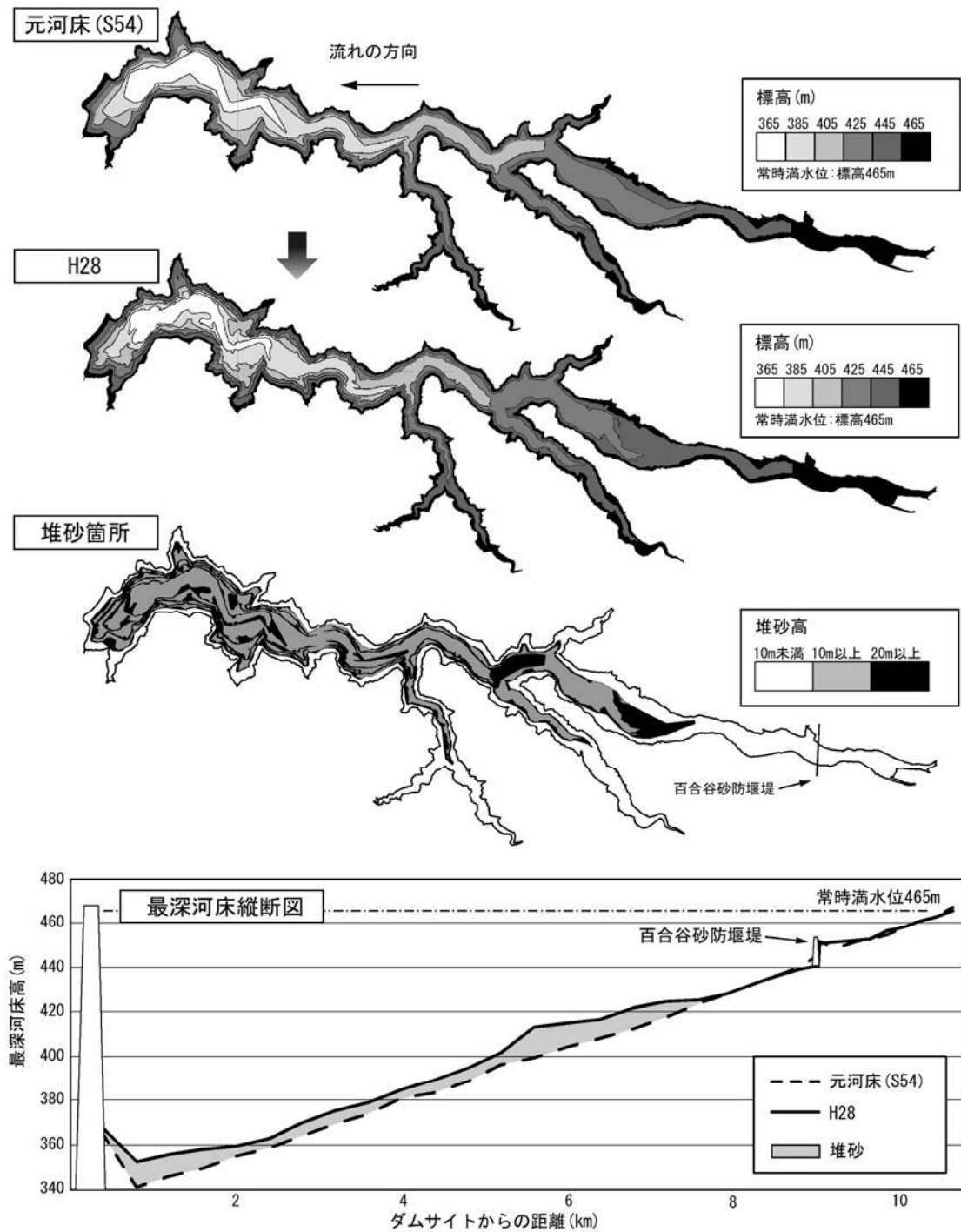


図-6 手取川ダムの堆砂状況

(2) 手取川ダムによる土砂・流量制御の状況

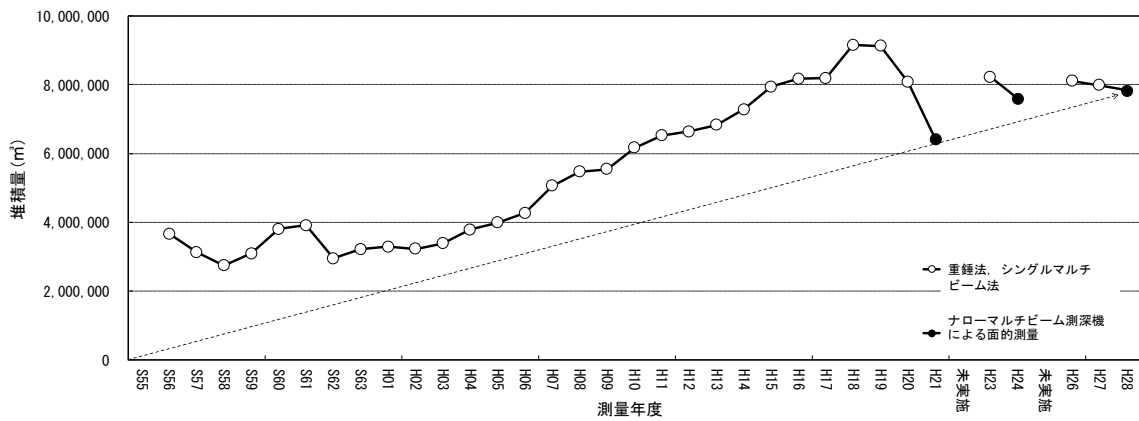
a) ダム湖の堆砂状況

ダムの堆砂状況を図-6 に示す。ダム堤体から上流約 8km の区間において、10～20m 程度堆砂していた。平成 28 年におけるダム湖の堆砂区間の標高は 425m 付近であった。ダム完成前の昭和 54 年に対して、平成 28 年は、標高 425m の上流端が堆砂によって約 1km 前進していた。

手取川ダム堆砂量の推移を図-7 に示す。ナローマルチビーム測深器により測量した平成 21 年の堆砂量は約

640 万 m^3 、平成 28 年の堆砂量は約 780 万 m^3 であり、平成 21 年から平成 28 年の 7 年間で約 140 万 m^3 、年平均で約 20 万 m^3 の土砂がダム湖に堆積した。ダム完成後、ダム湖の堆砂は徐々に進んでおり、年間の堆砂量は、概ね一定である。

手取川ダム堆砂土砂の粒径加積曲線を図-8 に示す。4 深土の平均をとると、砂分 (2mm 未満) が 73.5%、礫分 (2mm 以上) が 26.5%であった。ダム湖に堆積している土砂の総量 (約 780 万 m^3) に礫分の割合 (26.5%) を乗



※ナローマルチビーム測深機による面的測量：湖底に向かって扇状に音波を放射することによる3次元測量

図-7 手取川ダム堆砂量の推移

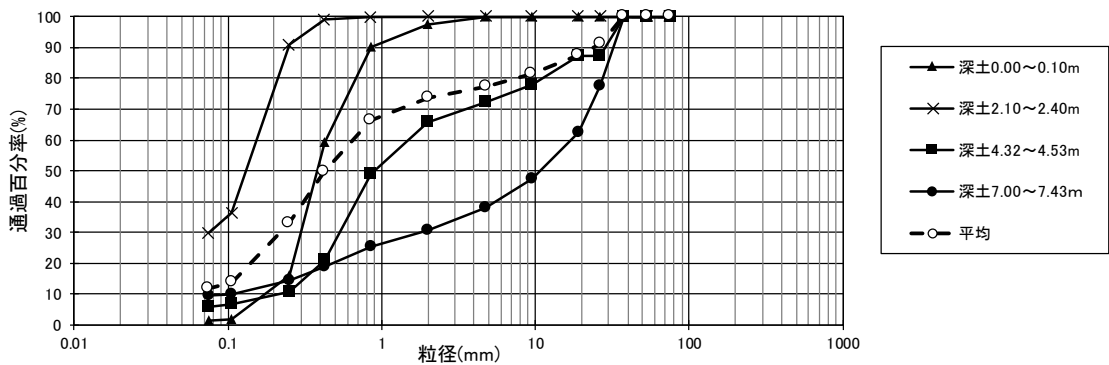


図-8 手取川ダム堆砂土砂の粒径加積曲線

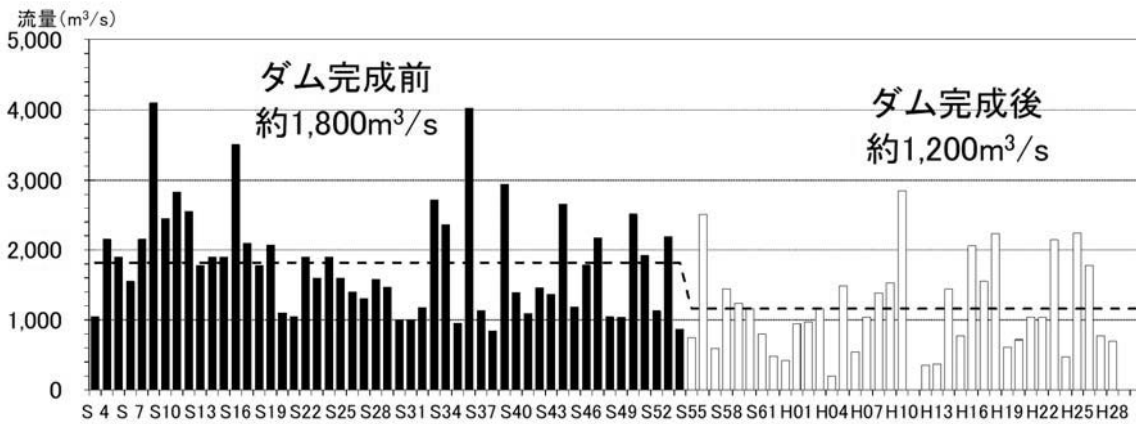


図-9 平均年最大流量の推移 (鶴来観測所：S4～H28)

じ、ダム湖の礫堆積量を見積もると約 207 万 m^3 (年間 5.6 万 m^3) となった。

b) ダム完成前後の流況変化

平均年最大流量の推移を図-9 に示す。扇状地河道における平均年最大流量(鶴来観測所)は、ダム完成以前は約 1,800 m^3/s であったが、ダム完成以後は約 1,200 m^3/s であった。昭和 55 年に手取川ダムが完成して以後、洪水時の流量は 2/3 程度に減少した。なお、ダムの洪水調節量を加算した流量ではダム完成前後で有意な差がなく、この変化が雨の変化によるものでなくダムによる洪水調節によっていることが確認されている²⁵⁾。

(3) 扇状地河道の環境変化

a) 河道形状の変化

手取川ダム完成前の昭和 54 年に対する平成 29 年の低水路河床高を表-3 に示す。低水路河床高は、下流部の 0～2km では 0.21m とやや上昇し、中流部の 2～7km では 0.09m とやや低下、上流部の 7～13km では 0.52m 低下した。低水路河床高の変動に、区間延長と低水路幅(区間平均)を乗じて、河床変動量を見積もると扇状地河道全体で約 117 万 m^3 の減であり、これは、手取川ダムにおける礫堆積量約 207 万 m^3 の 57%にあたる。

手取川ダム完成前後の断面形状の変化を図-10 に示す。

表-3 手取川ダム完成前(S54年)に対する平成29年の低水路河床高, 河床変動量

河道区間	S54河床高に対する H29の河床高(m)	区間延長(m)	低水路幅(m)	河床変動量(m ³)
	a	b	c	d=a×b×c
0- 2k	0.21	2,000	412	176,000
2- 7k	-0.09	5,000	419	-192,000
7-13k	-0.52	6,000	371	-1,158,000
合計				-1,174,000

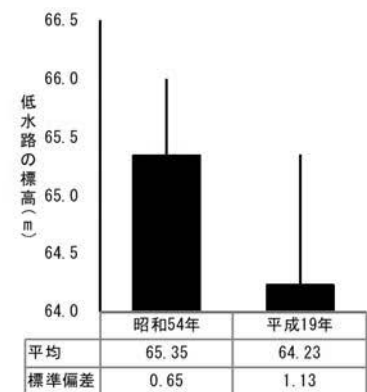
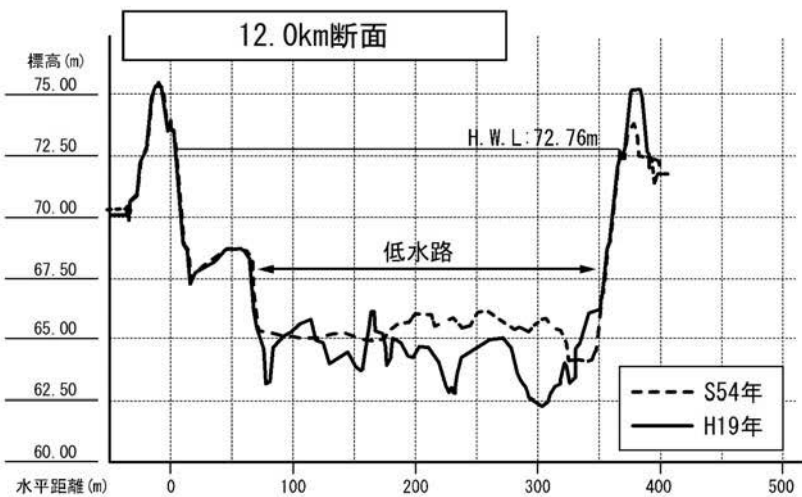
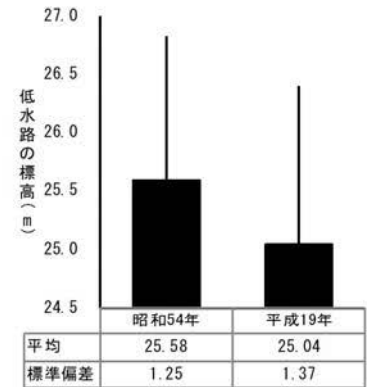
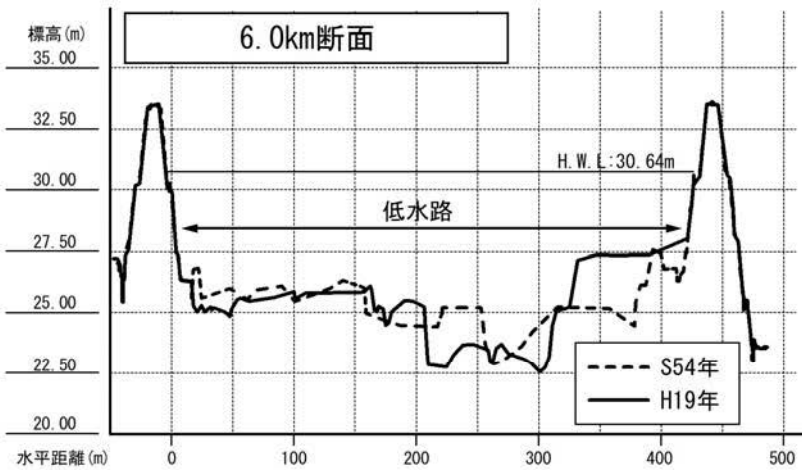
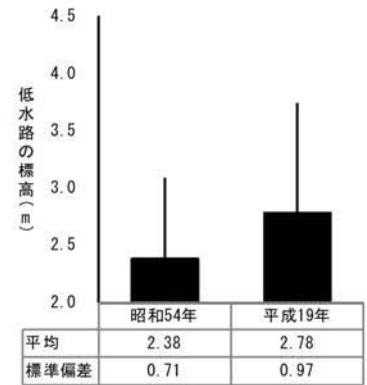
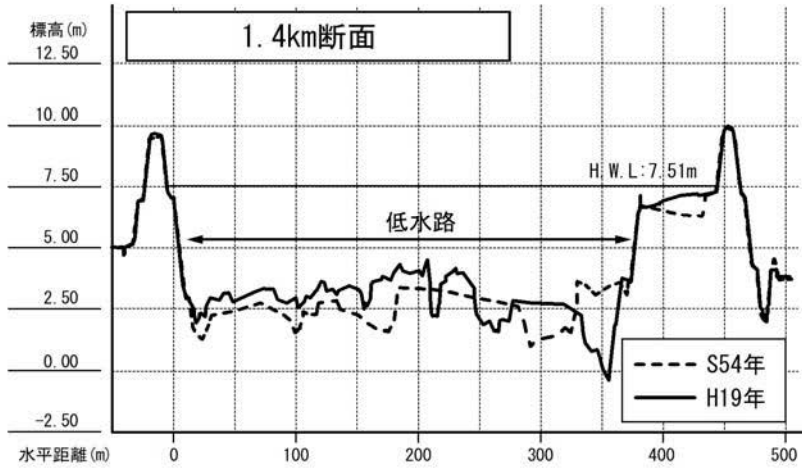


図-10 断面形状の変化

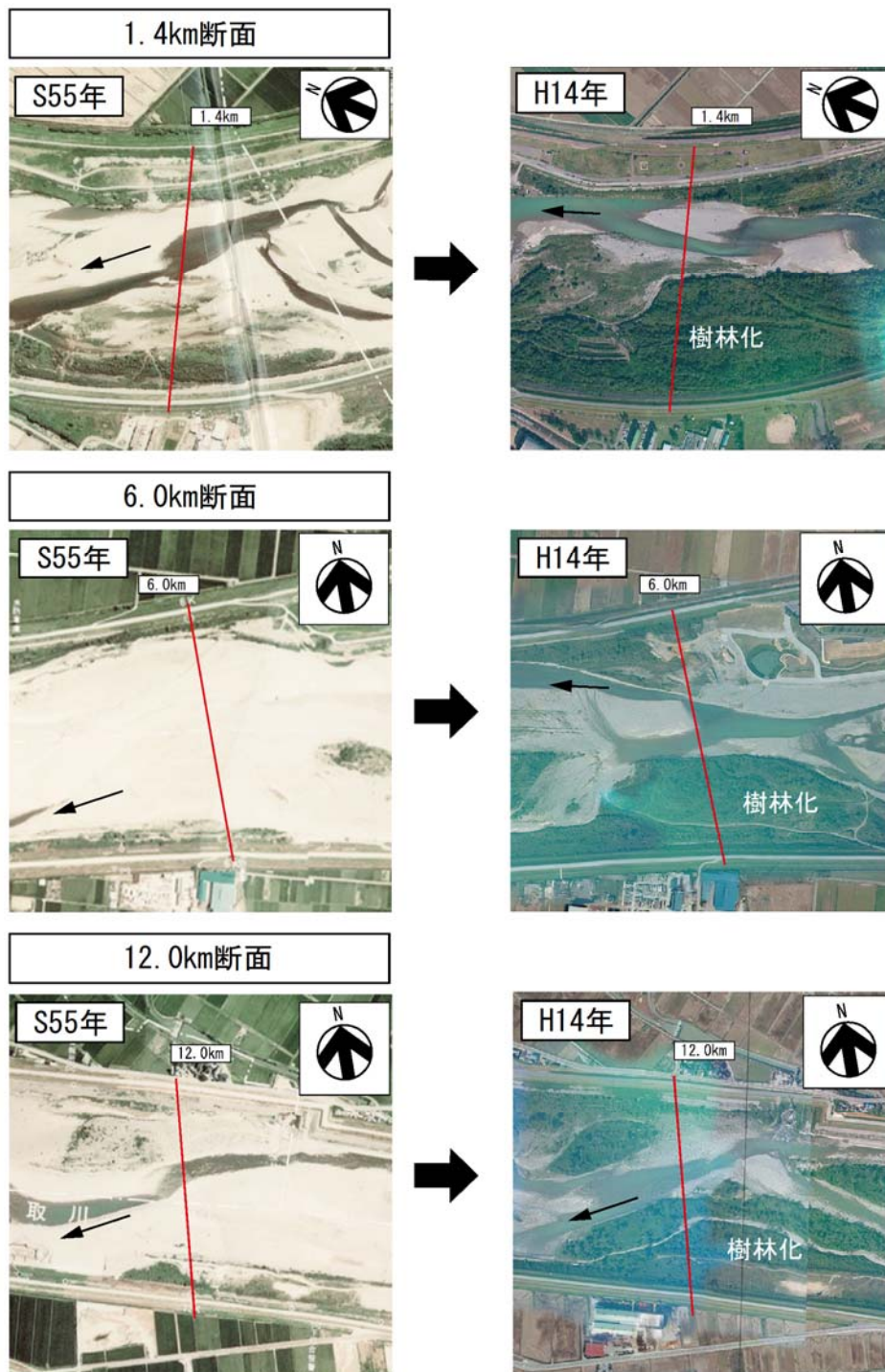


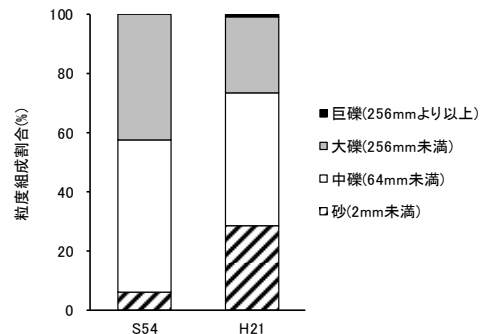
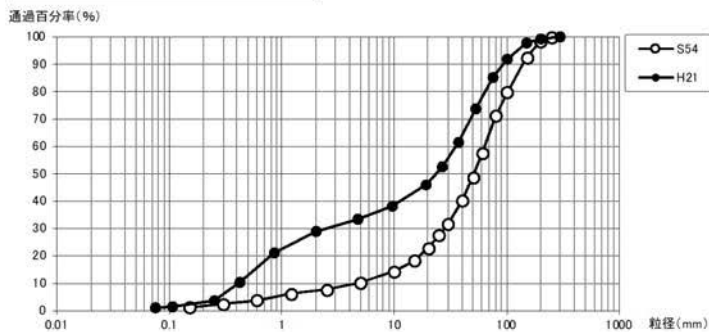
図-11 比較断面の空中写真

平成 19 年の低水路の標高はダム完成前 (S54 年) に対して、1.4km 断面は 0.4m 上昇し、6.0km 断面は約 0.5m、12.0km 断面では約 1.1m それぞれ低下した。低水路標高の標準偏差は、全ての断面において、ダム完成前 (S54 年) に対して平成 19 年に大きくなった。ダム完成前 (昭和 55 年)、完成後 (平成 14 年) の空中写真を図-11 に示す。図-10 と照らし合わせてみると、ダム完成後、低水路が深ぼれし、水域の陸域の比高差が増大していた。比高が拡大した陸域は木本が繁茂していた。

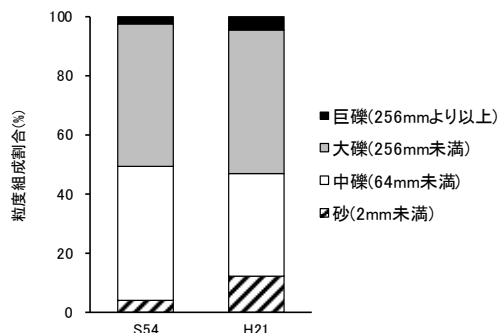
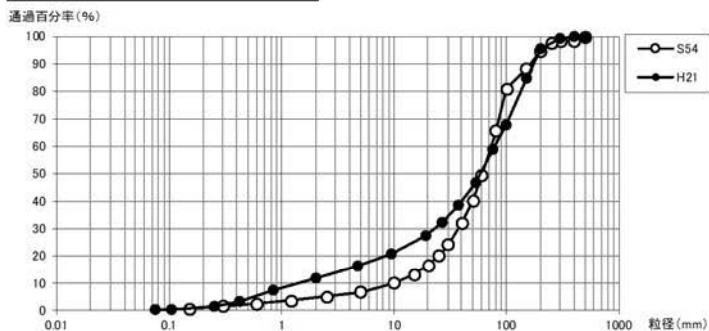
b) 河床材料の変化

手取川ダム完成前後の河床材料の変化を図 12 に示す。ダム完成前 (S54 年) に対してダム完成後 (H21 年) の粒度組成は、全ての区間で、礫の割合が減少し、砂の割合が増加した。砂の割合は、0~2km で約 23%、2~7km で約 8%、7~13km で約 12%、それぞれ増加していた。ダム完成後、扇状地河道の全川において砂の占める割合が増加した。

0~2km



2~7km



7~13km

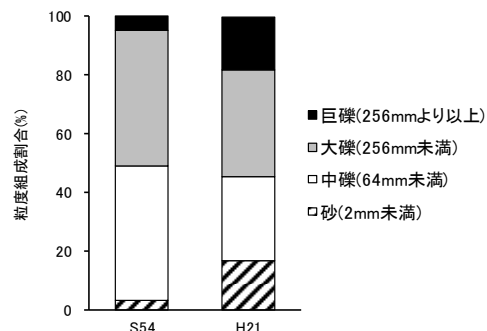
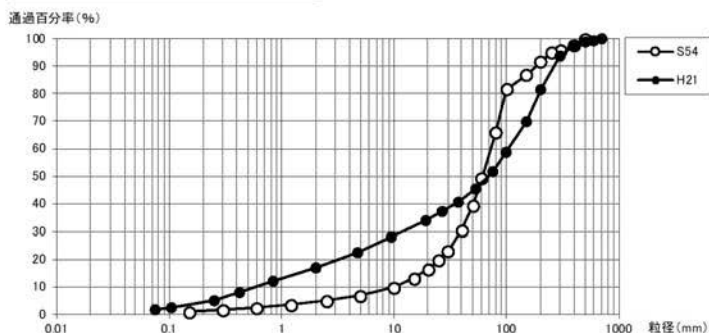


図-12 河床材料の変化

5. 考察

(1) 手取川における 樹林化の進行の検証

扇状地河道では、ダム完成後の平成に入ってから、石川県の名の由来ともなった「石の河原」が減少して樹林化が進行している（図-5）。S43年には河道の堤防沿いにしか確認されない。H4年、H14年には、河道中心部に広がったのが確認できる。また、この現象は、扇状地河道部の上流から下流までの主要区間でも確認できる（図-5、図-11）。日本屈指の急流河川であり自然攪乱が大きい手取川においても、樹林化の進行が確認された。

(2) 手取川の流域開発、特に、治水及び利水が、樹林化の進行に与えた影響

図-5、図-11の結果は、手取川ダム群の建設が手取川の樹林化進行を促した可能性を指摘している。図-6、図-7は、手取川ダム群が多くの土砂を堆積させたことを示し、図-8は、堆積土砂の多くが、砂・礫であることを示す。昭和55年に手取川ダムが完成した後はほとんどの礫がダムに堆積し（図-7）、扇状地河道への礫供給は激減した。その量は約200万 m^3 以上と見積もられた。土砂供給量が少ない場合、河床低下が生じ、砂州は単列的になり流路の固定化が進むことが報告されている²⁶。手取川ダム群の建設は、ダム下流への土砂輸送を促し、自然攪乱（洪水攪乱）を促す出水の規模を変化させたことも確認できる。手取川ダム群建設前の年最大流量は1,800 m^3/s であったのに対し、ダム完成後は、1,200 m^3/s に減少している。ダムにより洪水の規模が調整され、年最大流

量はダムが完成した後に 2/3 程度に減少した (図-9) .
ダム建設に伴うダム湖内の土砂堆積・自然攪乱の減少、
これらの要因に伴う礫供給の減少が、流路の更新、流
路・砂州の固定化及び深ぼれを進行させ、樹林化を促し
たものと推察される。扇状地の上流部 7~13km では、ダ
ム完成後に流路が深ぼれし、水域と陸域の比高差が拡大
した (図-10) .

河道内の微視的な環境としては、ダム完成前後で河床
材料の組成も変化している (図-12) . 樹林化に関する
既存研究の多くは、表層土壌材料内の細粒分の増加が砂
礫に比べ土壌水分量の増加を促し、草本類・木本類の進
行を促すことを指摘している^{27,28)}。手取川においても、
同様の機構が働きが樹林化に拍車をかけた可能性がある。

これらの結果から、既存研究が指摘する機構、すなわ
ち手取川ダム群による土砂輸送、洪水調整及水資源利用
等が手取川の樹林化を促したことが推定される結果とな
った。しかし、樹林化だけに着目し手取川ダム群の影響
を負の影響と評価するのは一つの側面からの評価に過ぎ
ないと考えている。より俯瞰的にみれば、手取川ダム群
がもたらした洪水調整・利水機能等の便益は極めて高く、
手取川ダム群の恩恵を受ける流域社会が、手取川ダム群
の負の影響である樹林化を抑制し、石の河原等の自然再
生を積極的に進める取り組みの方が、真に持続的な社会
の実現といえると考えている。

(3) 本研究の意義と土木史研究への発展性

本研究で整理した治水・利水 (主として治水：ダム、
河道地形変化) と樹林化の関係性は、既往研究が指摘す
る樹林化の機構を追試・追認した側面がある。しかし、
手取川における既往研究が明らかにしていない手取川の
樹林化の実態を明らかにしたのは、大きな成果である
(図-5) .

また、水災害史、流域開発史及び治水史の整理 (表-2,
図-4) を図り、空間情報化を始めた本研究は、史料の解
釈に重きを置く土木史研究に空間情報科学の切り口を加
える新たな取り組みの萌芽を示す。今後は、土木史研究
者との議論を通じ、土木史研究に新たな手法論を提案し
ていきたい。また、空間情報を用いて植生予測技術の検
討を行う等、手取川の植生管理の効率化の提案に向けて
研究を進めていきたい。

謝辞：本研究を進めるにあたり、金沢河川国道事務所の
担当者の方々には、多大なご協力を頂いた。ここに謹ん
で感謝の意を表し、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 手取川水系河川整備計画, 国土交通省北陸地方整備
局, pp.1-2, pp.13-14, 2006.

- 2) 平成 26 年度 手取川河川行政マネジメント検討業務
報告書, 金沢河川国道事務所, pp.4.14-4.15, 2015.
- 3) 金沢河川国道事務所ホームページ手取川事業概要パ
ンフレット, <http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/chisui/doc/tedori.pdf>, 2020 年 4 月 20 日確認.
- 4) 平成 27 年度手取川水系総合土砂管理計画検討業務報
告書, 金沢河川国道事務所, pp.2.15, 2016.
- 5) 河川計画論, 玉井信行, 東京大学出版会, pp.146-
147, 2004.
- 6) 扇状地礫床河道における安定植生域消長の機構とシ
ミュレーション, 藤田光一, 土木学会論文集 No. 747,
2003.
- 7) 礫床河川の河道内樹林化に関する一考察, 清水義彦,
水工学論文集第 43 巻, 1999.
- 8) ハリエンジュによる動的河道内樹林化について, 水
工学論文集第 45 巻, 清水義彦, 2001.
- 9) 治水事業のあゆみ, 金沢工事事務所, pp. 143-161,
pp.262-263, pp.388-388, pp.390-393, 1985.
- 10) 河川内に生育する樹木について (樹種と分布の地域
的傾向), 財団法人リバーフロント整備センター,
pp. 25-27, 2012.
- 11) 手取川水系河川整備基本方針 基本高水等に関する資
料, 国土交通省河川局, pp.3, 2003.
- 12) ダムと環境の科学 I ダム下流生態系, 池淵周一, 京
都大学学術出版会, pp.60, pp.2009.
- 13) 金沢河川国道事務所ホームページ手取川ダムの概要,
http://www.hrr.mlit.go.jp/kanazawa/mb2_jigyoo/river/jigyoo/dam.html, 2020 年 4 月 20 日確認.
- 14) さわやか西北陸第 42 号, 西北陸土地改良調査管理事
務所, pp.7, 2011.
- 15) さわやか西北陸第 50 号, 西北陸土地改良調査管理事
務所, pp.13, 2015.
- 16) ダムとふるさと, 北國新聞社, pp.108-109, 2019.
- 17) 平成 4 年度手取川水系植物調査報告書, 金沢工事事
務所, 1993.
- 18) 平成 14 年度手取川水系植物調査報告書, 金沢河川国
道事務所, 2003.
- 19) 平成 28 年度手取川ダム貯水池深淺測量業務報告書,
金沢河川国道事務所, 2017.
- 20) 鶴来観測所時刻流量月表, 金沢河川国道事務所資料.
- 21) 平成 29 年度手取川・梯川河川横断測量業務報告書,
金沢河川国道事務所, 2017.
- 22) 昭和 54 年度手取川河床材調査報告書, 金沢工事事
務所, 1979.
- 23) 平成 21 年度手取川下流部河床材料等調査作業報告書,
金沢河川国道事務所, 2010.
- 24) 平成 21 年度手取川流域河床材料等調査作業報告書,
金沢河川国道事務所, 2010.
- 25) 手取川における樹林化と大出水時の植生破壊, 辻本
哲郎, 河川技術に関する論文集, 第 5 巻, 1999.
- 26) 供給土砂量の変化が流路形態に及ぼす影響に関する
実験的研究, 泉典洋, 一般財団法人北海道河川財団
研究紀要, 2009.
- 27) 礫床河川の樹林化に果たす洪水と細粒土砂流送の役
割, 李參熙, 水工学論文集第 42 巻, 1998.
- 28) 樹木管理に向けた中流域砂州の植生遷移の動的予測
モデルの開発, 浅枝隆, 土木学会論文集 B1(水工学)
Vol.70, 2014

(2020. 4. 20 受付)