

## 石川県手取川上流治山治水のための堆砂量調査報告

渡辺 和 衛\*

### Report on the Land Devastation and Sediment Accumulation in the Source Area of River Tetori, Ishikawa Prefecture

by

Kazué Watanabe

#### Abstract

The writer intended to carry out the engineering geologic investigations for land and flood conservancies in the field of the remote interior of central Japan. As he met unexpectedly with the heavy rainfall, he changed his program availing himself of high water observation and flood analyses on the transporting debris. He attempted to apply the reliable correlation between the sediment accumulation and the specific discharge of 60 day's high water flow. In the new process, the trap efficiency of weir is not so regarded as before. Nevertheless, he reaffirmed the effective sediment accumulation formula (cf. Bulletin of GSJ, Vol. 10, No. 11), and found the difference of sediment accumulation processes in the field having Sabō works or not.

In conclusion, he estimated the sediment accumulation in the projected Gomishima water reservoir for electric output at 267,000 m<sup>3</sup> per year.

#### 要 旨

治山治水調査も姫川・江川・大井川・耳川・手取川・庄川・日置川・高瀬川・祖谷川と事例を重ねるに至ってその実態が段々と明らかになってきた。

姫川調査で比流量調査をはじめとりあげ、江川で侵蝕係数の計測を試み、大井川では有効流砂量公式を設定して貯水池堆砂量の推定を試みた。耳川では侵蝕係数と岩石種との関係を把握すべく努力した。手取川は江川と同じく1年間の流砂量実測値があって、特に昭和34年の異常高水時の実測であったことは幸であった。そのうえ白山砂防ダムの実測堆砂量を充分に利用でき、侵蝕係数、有効流砂量等の従来からの調査方法に対して、その実証、適用限界の認識等、幾多の効果をあげることができた。比流量も手取川では高水比流が主体となり、新しく60日高水比流量なる概念を導入し、これと堆砂量との関係を把握して、貯水池堆砂量計算について新方法を案出し、従来の方法との比較検討を試みた。

#### 1. 緒 言

治山治水調査の対象地域として北陸地方の本地域をと

りあげた。いままで同様の調査は、中国・東海・九州の方面で実施された。それらはそれぞれの地域において、地質・地形・気象・水文等の各要因を考察して山地崩壊、土砂流出、堆砂等の事象の解析を実施した。多くは電源開発地域であったので、その保全の問題に対して指針を与えることができた。とりわけ貯水池の保全のためその堆砂状況の予測は困難な課題であるが、ある1つの方法を考察して提示した。

今回は手取川上流部を取扱うことによって、北陸地方の特色を示し、次に取扱う庄川上流(御母衣)とともに中部山嶽地帯北縁のわが国最古の地層の発達するといわれる地域の、治山治水上の特質を示すことができるはずである。

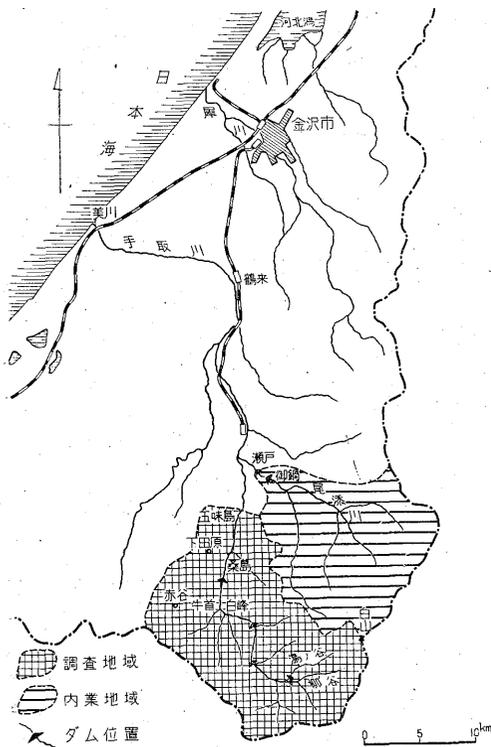
ことに手取川地域の調査に際しては土木研究所の芥川真知氏の紹介によって、建設省手取川工事事務所の白山砂防工事堆砂記録を一覧することができ、得るところが多かった。さらに北陸電力桑島発電所ダムにおいて北陸電力建設部の協力によって1年間、手取川懸濁物質量測定を実施していただき、貴重な資料を入手することができて、これまた流砂現象解析のうえに裨益することが大であった。

\* 地質部

この手取川の調査も、従来と同じく比流量調査、水質分析(電気伝導度測定)、地表地質調査、災害地の観察等の現地調査をなし、この外室内作業として侵蝕係数測定を試みた。そのうえに今回は新しい解析方法として、実測堆砂、侵蝕係数、60日比流量、の三者の相関性を認め、従来の有効流砂量推算のうえに新しい考察を試みた。

## 2. 位置・交通および開発計画

本地域は金沢市の南 50 km の奥地で手取川の最上流部にあたり、金沢市から鶴来を経て白山下まで電車の便がある。今次の調査の主要地域は五味島から上流 248 km<sup>2</sup> の広さの地域である。この五味島には第四次水力調査の結果、堤高 150 m に達する水力用高ダム(アーチダム)を建設する予定になっている地点がある。この地点で手取川をしめきった場合、その背水地点は白木峯方面にまで達するが、この貯水池出現の暁には年間どの程度の堆砂量があるかということの予測は、貯水池保全の立場からぜひとも調査しておきたい点である。ことに水力開発上の問題点として白山の荒廃山地をひかえて、河川の流出土砂量がおびただしいものとの通念が古くから行なわれていることである。この隘路を克服するためには、流砂・堆砂の実態を究明することがまず第一に必要であ



第1図 手取川上流の位置および交通図

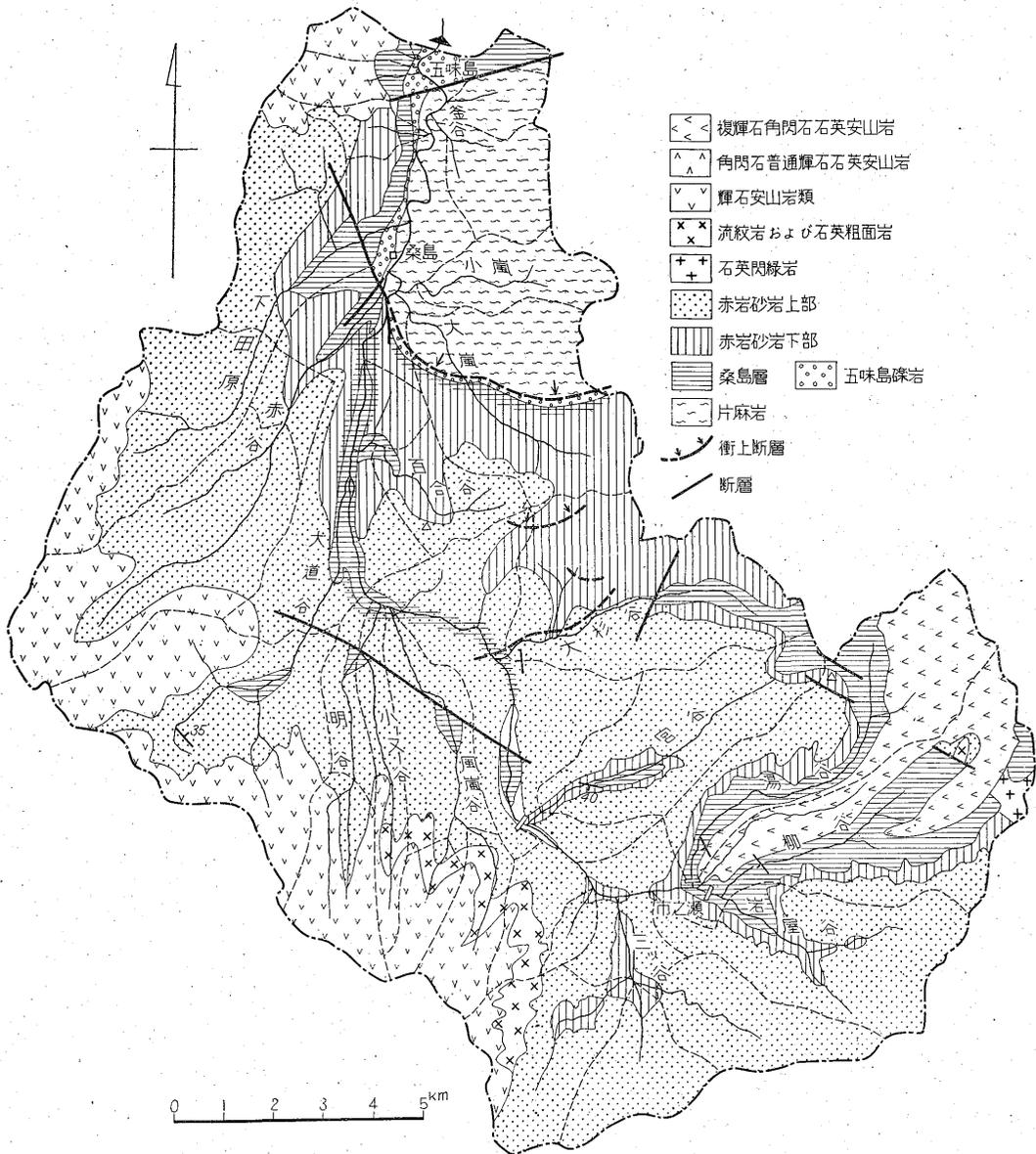
る(第1図参照)。

## 3. 地質および地形

本地域の地質については長尾捨一の牛首川の手取層群の調査、小林貞一の総合的調査や早坂一郎らによる手取中流地域の地質等、相当多くの調査結果がある。各調査者によって各層の分界分布に多少の相違はあるが、基底岩として飛驒コンプレックスがあり、その上に下部から五味島礫岩・桑島層・赤岩砂岩(上部、下部に分かれる)の3層からなる手取層群が被覆し、これらを買ぬいて手取後火山岩類が噴出している。第2図にその地質を示した。

基底岩の飛驒コンプレックスは、本地域では五味島一大嵐谷間の右岸側と小部分が左岸側にみられる。主として準片麻岩と秋吉型の石灰岩を多く含む片麻岩から構成され、河岸露頭では風化がはなはだしく、溶蝕バイランの特徴をよく示している。この岩石の発達するところの侵蝕係数は第3図にみられるように0.05(単位 km<sup>3</sup>/km<sup>2</sup>)という高い値を示すが、これは堅硬な珪質岩と石灰岩質の岩石の混在によって小起伏が多くなるためであろう。五味島付近をほぼ東西に走る断層も地形の上にその特徴を示している。五味島左岸の山頂付近も0.05の値を示すが、これは輝石安山岩類の露出地である。またダム調査の結果に従えば、かなり大きな衝上断層の発達するところに近い。この付近の河岸の五味島礫岩の発達する地域では一般に峻険な山容を呈している。手取統はこの地域では桑島層中部にはじまり、これを被覆して下部、上部赤岩砂岩層が存在する。桑島層は主として黒色頁岩と石英粒子の多い砂岩との互層である。大嵐谷の上流に砂御前山の崩壊地があり、0.046の侵蝕係数を示している。そしてこの付近には小規模な衝上構造が発達しており、また小規模の断層が多く存在している。百合谷や大杉谷に対して供給する砂礫の量も相当なものと思われる。特に大杉谷上流部にはNE-SW方向の顕著な断層がある。河床の礫は大塊が(1~3m直径)多く、乱堆積している。この上流部の断層は推定にすぎないが、この方向に延長している可能性が強く風嵐谷上流部の平坦地域の異常地形と関連があるように思われる。またこの断層と直交する方向性をもって宮谷上流部の地溝状の断層が発達している。そしてこの付近の侵蝕係数はかえって低下を示し0.04以下である。

大井川や耳川上流部の調査結果で示したように大崩壊を起こしたり、熱水変質によって地盤の崩壊地すべりを起こした地点はかえって侵蝕係数が低下を示し、周囲に比較して異常を示す。芥川真知の白山東部の調査によれば、白山火山噴出物下の桑島層は熱水変質をはなはだし



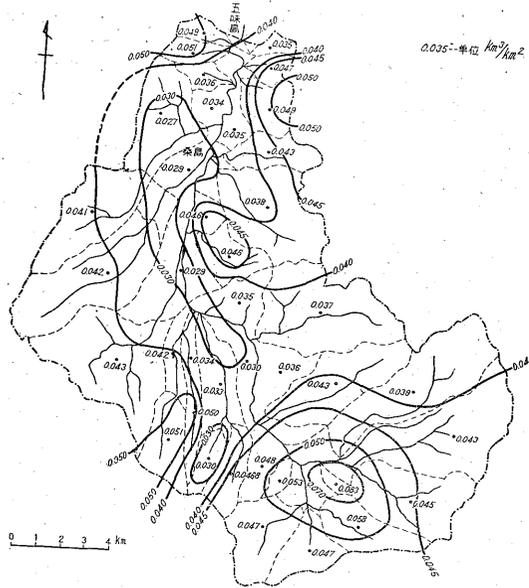
第2図 手取川上流部の地質と地質構造

く受け、しかも衝上されて地表上に露頭し、白山火山熔岩の薄さをよく示しているという。したがって火山とはいうものの、碎屑化した頁岩・砂岩が熔岩下に厚く覆われ、山地崩壊の有力な原因となっている。

侵蝕係数が低いからといって必ずしも流出土砂量が少ないとは一概にいえず、異常の風雨の場合には(15号台風のような)一度に多量の土砂泥流を押し流して、思わぬ災害を生ずることがある。その実例として本地域では湯谷の例がある。侵蝕係数は机上の計測のみでは、その意義が薄く、必ず現場において、岩質、変朽風化の度合、

変質状況、地質構造等について検討する必要がある。

白山東部地域は古来から有名な山地荒廃地帯であり、建設省直轄の砂防工事が大規模に実施されて、大きな砂防効果をあげている所である。いずれも熱水変質を受け、さらに無数の断層によって切られ、そのうえ火山噴出の際の山体の歪みを多くうけている所である。別当谷・基之助谷・柳谷合流点下に広くこのような断層が存在して崩壊や地すべりの主因となっている。崩壊の激甚な割に侵蝕係数が低いのは変質作用の結果、岩体全体に粘土化の部分が多く、おのずから丸味を帯びるに至るため



第3図 侵蝕係数分布図

もあろう。

三つ谷方面には地域中諸々にみられる輝緑岩脈がこゝでは一種の岩体を構成しており、市之瀬ダム南部はまた骨材採集場となるだけあって比較的堅硬な山肌で、しかも相当荒れていて、地域中最高の侵蝕係数(0.083)を示している。小断層はこの付近の幅 0.2~5 m の輝緑岩脈に沿っているものが多く、そこが崩壊の開始点となっているものが多い。

風嵐谷右支流および明谷の上流部は輝石安山岩によって被覆されているが、五味島左岸と同様に侵蝕係数が 0.05 付近の値を示している。

大道谷・赤谷・下田原谷はその上流部に輝石安山岩の熔岩が覆っており、この下部には石英粗面岩の分布をみる所（主として南部）がある。この石英粗面岩は石英の小斑晶を有するか、またはほとんど斑晶のない陰微晶質のものが主体であり、前白山火山火成岩類とみられるものである。一般にこの種の岩石は塊状で崩れにくいのが特色である。

大道谷・赤谷および下田原方面は赤岩砂岩層上部からなる地層が露頭して、ほとんど礫岩ないし砂岩からなっており、中庸の侵蝕係数を示し、河床もあまり荒れておらず、乱流堆積物も少ない。

これらの谷の下流部は桑島付近の平坦面を刻んで延長した丘陵を形成している。

この付近の地形と五味島方面の地形から推察されることは(侵蝕係数の分布図からも推定される。),五味島礫岩を貫通して本流河道が形成されるまで、峡谷背面の山間

盆地といった景観が桑島付近にはあったものであろう。このことは前註のとおり 0.03 という侵蝕係数の分布によっても知られる。さらに第4図の比流量図によっても、ある時期には湖盆を形成していたとも推定されるのである。現在は侵蝕の復活によって堆積物も下流に侵蝕除去されてしまつてあとをとどめず、直接古期岩層が露出している。

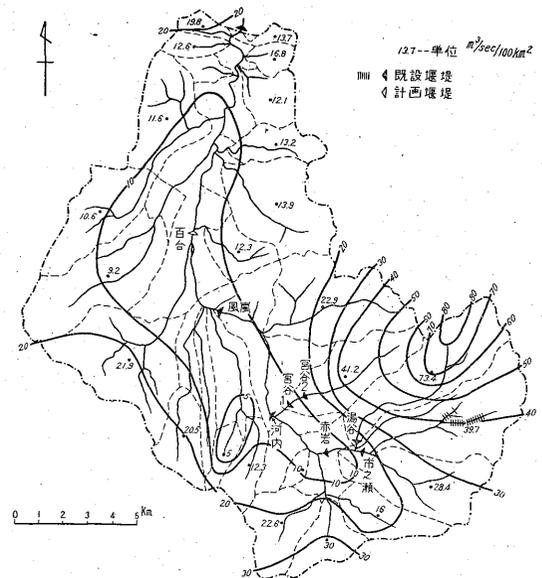
#### 4. 各種野外調査の成果

調査時期は昭和 33 年 10 月中旬から 11 月初旬にかけて実施した。現地調査に際しては、尾原信彦と行を共にし、北陸電力建設部より種々の便宜を供与され、支障なく作業を遂行することができた。その成果について順を追って述べることにする。

##### 4.1 比流量調査とその結果（第4図参照）

従来の方から従って各支流の流量測定、水比抵抗値測定、pH 測定を実施した。この手取川水系調査の際は季節的に渇水または低水期を選択したにもかかわらず、天候の変化によって高水時の調査となってしまった。これはやむをえぬことで、むしろ調査者としては、この機会を活かして用うべきであると思った。

10 月 25 日から 26 日にかけて相当の豪雨があり、流量測定の結果は 25 日から 30 日まで連続して実施されたので、大幅な変化の期間中の測定となって（各河川によって測定値が違ふ）、同一時期の測定値に補正調整することがはなはだ困難となった。そこで大杉谷と大道谷の流量を再三測定して、その時間的変化を追跡し、28 日 12 時の流量に全域の流量を補正して比流量図を作成し



第4図 高水比流量分布図(昭和33年10月28日12時)

第1表 手取川上流部各支流の比流量と侵蝕状況(昭和33年10月測定)

号	流域地名	実測流量 (m <sup>3</sup> /sec)	測定日時	10月28日 正午 補正流量 (m <sup>3</sup> /sec)	推定比 流量 (m <sup>3</sup> /sec/ 100km <sup>2</sup> )	水温 (°C)	pH	水比抵 抗値 (Ω-cm)	溶流物 質量 (kg/day/ km <sup>2</sup> )	侵蝕係数 (km <sup>3</sup> /km <sup>2</sup> )
1	大倉谷	0.17	10.29. p.m. 4.00	0.27	19.8	9.0	7.6	20,000	616	0.049
2	小倉谷	0.25	" "	0.35	12.6	9.5	7.65	23,000	440	0.051
3	釜谷左岸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.036
4	鶴が谷	—	—	—	—	—	—	—	—	0.034
5	下田原谷下	1.93	10.28. p.m. 2.00	1.10	下11.6	9.5	8.15	23,700	104	0.027
6	下田原谷上				上10.6					0.041
7	赤谷	1.52	10.28. a.m. 9.40	1.40	9.2	7.5	7.5	57,000	127	0.042
8	桑島一白峯間	—	—	—	—	—	—	—	—	0.029
9	大道谷	7.28	10.27. a.m. 11.30	3.50	21.9	—	7.8	46,000	247	0.043
10	明谷	0.29	10.25 noon	1.06	20.5	14.0	7.7	43,700	177	0.051
10'	明谷下	—	—	—	—	—	—	—	—	0.042
11	小又谷	0.09	10.25. a.m. 11.00	0.33	19.2	13.0	7.8	38,700	282	0.050
11'	小又谷下	—	—	—	—	—	—	—	—	0.034
12	風嵐谷	1.68	10.26 noon	0.50	12.3	12.5	—	49,000	114	0.030
12'	風嵐谷下									0.047
13	風嵐谷右	—	—	—	—	—	—	—	—	0.033
14	有形谷	—	—	—	—	—	—	—	—	0.047
15	白峯左岸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.030
16	小三谷	0.08	10.24. p.m. 4.00	0.12	10.0	13	7.7	22,000	228	0.048
17	西谷	0.48	10.24. a.m. 11.00	1.71	22.6	12	7.9	22,000	457	0.053
18	中谷	0.45	10.24 // 12.00	1.58	30.6	12	7.8	22,000	761	0.047
19	東谷	0.28	10.24. p.m. 2.00	1.01	16.0	11	6.8	17,300	615	0.047
20	岩屋又谷	0.76	10.24. a.m. 11.00	3.23	28.4	11	7.3	31,300	663	0.058
21	市之瀬左岸	0.04	10.24. // 11.30	—	10.0	12.5	8.2	17,000	—	0.045
22	柳谷	1.40	10.24. //	5.87	39.7	11	—	6,600	3,392	0.083
23	湯谷	1.76	10.24. //	11.56	73.4	12	7.7	9,000	4,826	0.043
24	宮谷	1.09	10.25. p.m. 3.00	4.10	41.2	13	8.1	26,000	550	0.039
25	有形谷右岸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.043
26	大杉谷	12.21 1.58	10.26. p.m. 3.20 10.29 noon	3.35	22.9	7 8	7.8	32,300 31,300	410	0.036
27	風嵐右岸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.035
28	百合谷	1.32	10.29. p.m. 2.00	0.50	12.3	8.5	7.8	26,600	245	0.046
29	桑島右岸(東島)	—	—	—	—	—	—	—	—	0.046
30	大嵐谷	3.76	10.27. p.m. 3.30	1.85	13.9	—	8.0	12,000	748	0.038
31	小嵐谷	0.82	10.27. // 4.00	0.70	13.2	8.5	7.8	12,700	639	0.038
32	深瀬右岸	—	—	—	—	—	—	—	—	0.043
33	釜谷右岸	0.50	10.28. p.m. 3.30	0.50	12.1	9.5	7.8	16,700	482	0.035
34	五味島右岸上	0.25	10.29. // 3.30	0.25	16.8	9.0	7.6	20,000	375	0.049
35	五味島右岸下	0.12	10.30. a.m. 11.00	0.18	13.7	8.5	7.6	17,000	458	0.047
					平均 25.4					平均 0.0388

た。したがって精度はやゝ低下していることは否定できない。

さてこの平均比流量（面積に重みをつけて）は  $25.4 \text{ m}^3/\text{sec}/100 \text{ km}^2$  の値を示す（年間平均比流量は 9.7）。これに比較して昭和 34 年の年間比流量は 28.5 である。まことに異常な年ということが出来る。さてこのときの調査流量を補正するために、第 7 図に示すように 24 日から 29 日までの間における各支流の流域面積と流量の関係をプロットして、各支流の流出能力の状態をみて、各支流の流出特性を把握し、さらに第 6 図のように、unit hydrograph を作成して、28 日 0 時の流量に補正する資料とした。第 7 図をみると 29 日正午ごろでは I で示すように流量と流域面積はほぼ一直線を示している。これがさらに下降して各支流の地質や地形あるいは植生等の影響を顕著に示す姿になって落着く（渇水）わけである。在来の方法では、この最後の下降した状態に重点をおいて（渇水または低水）表現し、比流量が地質その他の条件の指標としての意味を持つように取扱った。しかし今後は高水比流量を取扱って災害現象との関係を見るべく試みた。この際河川懸濁物の流況も同時に測定できれば非常に有効であったが、残念なことに測定しえなかった。しかし後述のように昭和 34 年という異常な高水年の測定ができたことは、結果からみてかえってよかったと思っている。

さて実測流量および補正流量は第 1 表に示すとおりであり、これを分布図として示すと第 4 図のとおりである。この時期は白山方面に降雨の強い所があったためか、比流量が異常に高くなって示される。この時期でなくても一般に白山方面が多雨であることは当然のことと思われる（年 3,200 mm）。このことは御母衣の大白川の流況についてもいえることである。この大白川は白山から東方へ流出している川である。

釜谷・小嵐・大嵐谷の各流況をみると、一般に比流量はさほど大でなく、平均値の半分くらいの値を示している。これは地質の項でふれたように、石灰質岩石の発達はあるも片麻岩系の岩石の亀裂や構造線の発達がこれ以上の地層に比較して悪く、降水に対する保水能が低く短時間に河道流となって流出率が高いためであろう。五味島礫岩の発達する地域ではこの現象はもっと判然としている。百合谷は砂御前山等の崩壊地があり、下部赤岩砂岩の発達地域で、珪質およびアルコーズ質の砂岩とシルト質岩の互層で、礫岩層は上部に多く存在する。一般に赤岩層は桑島層ほど亀裂が多くないが、この地域には桑島層もかなり広く存在しているので、比流量がやゝ低く示される。大杉谷は比流量からみてこの時の平均値に近いことが後から判明して、この川を全域流量補正の標準河

川として用いたことは意味があった。

宮谷は大杉谷の南にあたり、ほとんど直線の流路を有し河床勾配も急で、往時から土石流その他の河川災害が多く、2カ所砂防ダムが完成している。流量調査中も降水に対する河川流量増加が意外に早く、たちまち黄濁した水流となることを経験した。宮谷上流部の赤谷は熱水変質が激しく湯谷や基之助谷と同様の崩壊や地すべりがあると芥川は説明している。

湯谷は計画堆砂量  $150,000 \text{ m}^3$  の湯谷ダムが本流との合流点付近に昭和 31 年 8 月に完成しており、昭和 33 年まででは僅か  $17,700 \text{ m}^3$  の堆砂量であった。われわれの調査時の観察でも、堆砂と思われるものははっきり目撃できなかったほどであった。それが昭和 34 年には一挙に  $359,850 \text{ m}^3$  の堆砂量となって満杯以上になってしまった。調査当時の流量から補正推定した比流量も  $73.4 \text{ m}^3/\text{sec}/100 \text{ km}^2$  くらいになるようである。

この比流量の高い傾向はおそらく、その年のみの一時的現象ではないかと思われる。たゞその雨量程度が 34 年の場合、大きい値をとったものと思われる。その状況については第 2 表の流砂量実測表の記事の項を参照されたい。

この湯谷ではかなり上流まで桑島層が露出し、ところどころに温泉風化があり、地すべり性の崩壊が多いといわれている。そして上部の白山火山砕屑物をのせたまま地すべりを起こして平坦地形を呈するところも見られるという。これはかつて調査した姫川中流の風吹嶽や稗田山の崩壊とよくにている（地質調査所月報、第 7 巻第 7 号参照）。

柳谷および岩屋俣沢は早くから砂防工事が実施されたところで、当時の比流量としては  $40 \text{ m}^3/\text{sec}/100 \text{ km}^2$  の程度と推定される。別当谷、中流右岸の大崩壊や基之助谷の熱水変質とそれに伴う地すべりは早くから知られ、対策工事が実施された。基之助谷の各ダムは昭和 3 年に降 15 年まで毎年構築されその数 32 に達し、別当谷も昭和 12 年から 17 年までに 4 が完成している。基之助谷の下流に柳谷ダムが建設され（昭 3~12 まで 11 基）ている。この両谷の合流点下に市之瀬ダムが昭和 29 年 12 月に竣工している。このダムの堆砂量は計画が  $400,000 \text{ m}^3$  であるが、昭和 33 年までの 5 年間に  $92,120 \text{ m}^3$  であった。それが昭和 34 年には  $160,650 \text{ m}^3$  と急増しており、上流部の多くのダムによって堰止されて到達速度はにぶるとはいうものの、かなりの大量である。

三谷方面は東谷が比流量が低く 16 を示し、中谷は 30、西谷は 22.6 である。この 3 つの谷の合流点付近には下部赤岩層の頁岩が露頭しているが、吸水膨潤の傾向が強い。したがって地すべりを発生しやすい所である。東谷

第2表 手取川桑島発電所における懸濁物質質量測定結果概要

年月日	天候	水温(°C)	洪水流量(m³)	流出土砂量(m³)	記 事
33. 12. 8~9	雨	8-7	4,125,600	256	8日12時30m, 除々に増水 8日24時最大, 9日5時より減水
// 12. 27	曇	5-5	8,424,000	2,530	27日1時より増水 7時最大, 18時除々に減水
34. 1.29~30	雨	4-3-2	8,812,800	4,410	29日22時より急激増水, 30日6時強雨, 11時河川最大, 18時減水
// 2. 2~3	雨	3-7-6-5-4	7,430,400	3,715	2日15時より増水, 24時最大, 3日3時より減水
// 2.14~15	雨後曇	6-5-4-4	17,453,000	12,200	14日1時より除々に増水, 14時芥多量, 20時最大, 15日1時再最大
// 2.20~20	小雨, 雨	6-7-5	11,404,800	5,700	20日1時半より増水, 12時河川最大, 14時より減水
// 3. 8	小雨	7-9-6	19,180,800	12,500	8日7時除々に増水, 16時河川最大, 18時除々に減水
// 3. 30	//	13-12-7	22,811,600	25,100	29日夜より除々に増水, 30日14時河川最大, 18時より除々に減水
// 4. 4~5	晴曇	16-8	14,688,000	6,450	4日晴天なるも雪解増水, 20時河川最大, 24時より減水
// 4. 8~9	小雨, 晴	12-11-8	11,923,200	5,960	8日13時より増水目立つ, 18時最大, 9日1時より除々に減水
// 5. 5	小雨	19-15-13	8,985,600	4,500	5日4時より除々に増水, 16時最大, 24時除々に減水
// 7. 1~2	雨曇	19-22	15,984,000	9,590	1日20時30分大雨注意報除々に増水, 2日3時最大 18時除々に減水
// 7. 5~6	雨曇	22-21-24	7,516,800	5,260	5日24時以後急激増水, 芥多量, 6日3時最大 4時より除々に減水
// 7. 11	雨	21-22	46,570,000	57,200	11日0時より増水, 5時最大, 8時以後除々に減水
// 8.12~14	雨	20-19	62,208,000	61,500	12日22時大雨注意報, 13日5時河川最大 1時より除々に減水
// 9.26~27	雨	19-18-16	59,486,400	55,335	台風15号18時風雨注意報21時急激増水, 最大(26日6時~27日6時降水量 82 mm)
			327,005,000	272,206	
計	年間総流出量		898,876,000	(異常流出量)	
	10年平均年間総流出量		516,550,000		

昭和33年11月より昭和34年10月までの流況 (桑島発電所における観測)

年 月	最 大 (m³/sec)	最 小 (m³/sec)	平 均 (m³/sec)
33. 11	45.0	7.6	13.3
// 12	97.5	9.2	20.7
34. 1	79.4	4.6	11.6
// 2	135.0	16.1	35.1
// 3	289.0	14.9	36.3
// 4	140.0	20.0	44.8
// 5	120.0	12.2	27.8
// 6	44.0	8.0	13.6
// 7	650.0	7.9	50.6
// 8	470.0	6.2	39.8
// 9	800.0	6.0	33.4
// 10	93.0	7.0	14.9

総平均 28.5

10年間平均 15.8 (桑島測水所記録による)

は輝緑岩体や岩脈が発達し、その層に沿う小断層の発達が著しいことは一般の傾向である。

風嵐谷・小又谷・明谷方面の中風嵐西谷は本域中の最低の比流量を示し、侵蝕係数も最低の値である。土壌の発達がよいか、宮谷上流のような地すべり性のものかいずれかであろう。また大杉谷の断層線との関係も推定しておいた。

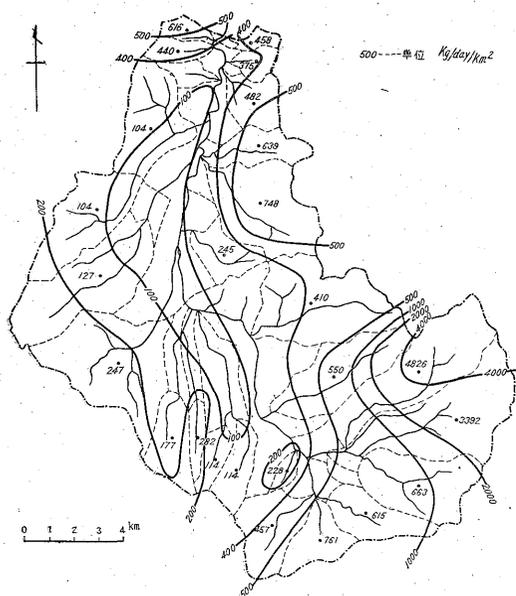
赤谷・下田原谷は比流量の面からは低くなっており、上部赤岩層の特質と、この付近は比較的風化土壌上が進んでいるためであると思われる。なお従来の方では比流量と侵蝕係数との関係を論じているが、今回は高水位比流量であるので両者の関係を求めても、あまり意味をみいだすことができなかつた。

#### 4.2 河川溶流物質について

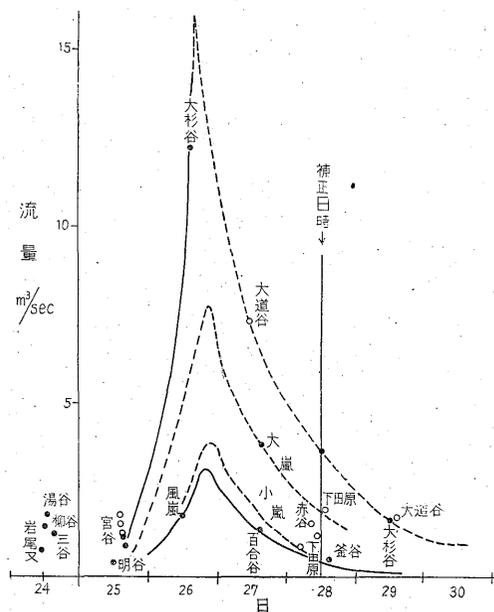
河川水の電気伝導度(標示は  $\Omega\text{-cm}$ )を測定したが、流量実測時の伝導度を主体として分布図を作成した。その理由は大杉谷や大道谷のように再三測定しても、低水、高水の流量とは比例して変化せず、高水となってもわずかに伝導度が高くなるだけであつた。そこで多少の補正を施して計算を実施した。この場合もちろん温度更正も施してある。第5図がその分布図である。測定値は  $\text{kg/day/km}^2$  の単位で示してある。

全体を通覧して気付くことは、白山火山周辺は熱水変質、温泉風化等のためか、オーダーが1つ違つた上の高い値を示している。

水質そのものとしては水比抵抗値  $20,000\ \Omega\text{-cm}$  程度の良水であり、平時の状況ではこの高度の高地の普通



第5図 溶流物質分布図



第6図 大杉谷を中心とした unit hydrograph

状態である。それが高水時であつたので極端な値が示されている。たゞし白山周辺を流下する沢水は  $7,000\sim 9,000\ \Omega\text{-cm}$  の低い質を示し、平時からすでに異常な状態であることを示している。一般に温泉水の混入による河川水の水比抵抗値の低下は、流量が多くなると弁別が困難となることが多く、この値は上流部が相当広範囲にわたって温泉変質や、風化をうけていると考えてよい。

大嵐谷や小嵐谷の値が高いのは、また別の原因で片麻岩中の石灰質が溶出しているためであると信じられる。

今回のような高水時の状況では個々の谷の性格を掴むよりは総量として、どのくらい溶蝕されるものかといった、大まかな考え方しかできないのも余儀ない次第である。

#### 4.3 侵蝕状況と堆砂状況

侵蝕係数の測定は従来どおり実施した。その分布図は第3図で一部については地質の項ですでに説明した。実地踏査の際、全域をくまなく巡検して侵蝕係数や、その他の計測値との比較検討をなうことが理想であるが、日数の関係もあり代表的なところにとどめて後は他の調査者の所見によって推定しているところも多い。

本地域の侵蝕係数測定において五味島以奥の面積  $248.6\ \text{km}^2$  であつた。面積に重みをつけて全平均侵蝕係数を求めると、 $0.0388\ \text{km}^3/\text{km}^2$  の値であつた。桑島発電所ダムで1年間懸濁物測定をしているので、その面積と侵蝕係数を求めると、 $206.1\ \text{km}^2$ ,  $0.0411\ \text{km}^3/\text{km}^2$  である。

この侵蝕係数からのみ判断すると、大井川の  $0.054$ ,



第3表 手取川上流部の砂防ダムの堆砂量と水理および侵蝕状況 (附. 他地域との比較)

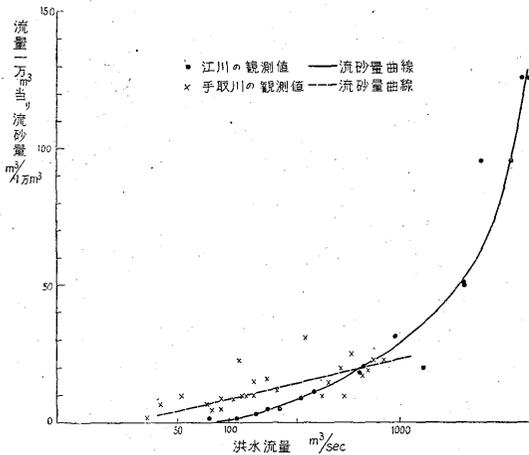
地点およびダム名	流域面積	60日洪水 比流量 ( $m^3/sec/100km^2$ )	年間堆砂量 ( $m^3/km^2$ )	侵蝕係数 ( $km^3/km^2$ )	記 事
湯谷 (牛首川)	15.60	100	22,000	0.0396	昭和34年度 堤高 15m
河内谷 (牛首川)	83.29	52	9,500	0.0449	昭和34年度 // 15
市之瀬 (牛首川)	25.45	46	3,430	0.0438	昭和34年度 // 14
瀬戸 (尾添川)	186.98	21	1,170	0.0458	昭和28年度 // 15
瀬戸 (尾添川)	186.98	15	660	0.0458	昭和27年度 // 15
利賀 (庄川水系)	92.90	17	1,070	0.0347	昭和23年度 // 23
赤岩 (牛首川)	44.38				昭和34年度 // 15
御鍋 (尾添川)	184.35			0.0449	昭和34年度 // 41

昭和34年度高水時比流量と60日洪水比流量 (推定計算基礎)

流域地名	測定時比流量 ( $m^3/sec/100km^2$ )	全域との比率 (%)	60日洪水比流量 ( $m^3/sec/100km^2$ )	
湯谷	73.7	27.8	100	
市之瀬谷	34.8	19.2	46	岩屋又・柳谷を含む
河内谷		69.1	52	
瀬戸 (昭和28)	—	—	約 21	中島, 桑島両測水所記録 より推定
瀬戸 (昭和27)	—	—	約 15	

日本各地における堆砂量と60日高水比流量

地域名	堆砂量 ( $m^3/km^2$ )	60日高水比流量 ( $m^3/sec/100km^2$ )	侵蝕係数 ( $km^3/km^2$ )
利賀 (庄川)	1,270	20	0.0347
井川 (大井川)	2,900	21	0.0540
岩屋戸 (耳川)	840	16.5	0.0510
黒部 (鬼怒川)	216	8.3	0.0455
祖山 (庄川)	960	14.7	0.0359
高暮 (江川)	270	8.3	0.0302
都賀 (江川)	330	10.4	—



第8図 江川・手取川流域と流砂量曲線との比較

況を逆算すると、平水年比流量と高水年比流量を考へに入れて (平水年  $15.8 m^3/sec/100km^2$ , 高水年  $28.4 m^3/sec/100km^2$ ) 計算すると、年間の懸濁物質量は  $8\sim 10$  万  $m^3$  の程度となる。これは大体年間有効流砂量の  $1/3$  の程度である。この量は江川の平水年の流砂量と比較してみても決して少ない量ではない。

#### 4.3.2 砂防ダム堆砂実測量と有効流砂量

前述したように白山砂防ダムの堆砂実測を参考として、各ダム上流地域の侵蝕係数による有効流砂量との関係を検討してみる。そしてこの項ではダムによる流砂の捕捉係数の問題に再検討を加えてみたいと思っている。

まず柳谷および岩屋又谷の合流点下に市之瀬ダムがある。これは昭和29年12月完成しており、昭和32年ごろまでは流送砂礫の流下速度が堰止されているためか、堆砂量が多くない。33, 34年と急激に増加している。昭

和34年には $160,650\text{ m}^3$ に達している(前述)。これは手取川本流のこれより上流の40余のダムでも堰止しきれなかったものが集まったのである。いまこの5年間の堆砂量の平均値を求めてみると $26,775\text{ m}^3$ となる。これとは別にこの流域の侵蝕係数 $0.0438$ 、面積 $25.45\text{ km}^2$ であるから年間有効流砂量は $40,440\text{ m}^3$ である。したがって捕捉係数は $0.66$ となる。 $15\text{ m}$ 程度のダムの捕捉係数はもっと低いと予想( $0.20$ 程度)したが、これは完全に見当はずれであった。

次に湯谷では昭和31年8月に完成した湯谷ダムがある。こゝは上流部に砂防ダムがないので大洪水の場合一挙に押寄せてくることになるのは当然である。32,33年までの堆砂量はわずかであって、昭和34年が異常となったことは前述してある。面積 $15.6\text{ km}^2$ 、侵蝕係数 $0.0396\text{ km}^3/\text{km}^2$ であって、市之瀬上流よりは低い値を示している。実際の堆砂量は有効流砂量の15倍も一辺に堆積してしまった。これはあくまで現実の姿である。

そこでこの昭和34年のような異常の年を考慮からはずして、33年までの堆砂量をとれば年間 $7,700\text{ m}^3$ となって、有効流砂量に対する捕捉係数は $0.36$ となる。同様に市之瀬もこの取扱いでは捕捉係数は $0.42$ となる。これらの値が平水年の値であろう。

さて以上は $30\text{ km}^2$ 以内の小面積の地域の堆砂量であり、砂礫の運搬される距離が比較的近く $4\sim 5\text{ km}$ 以内に限られる場合の実例である。そして以上いずれも有効流砂量を基準として考えているわけである。

上流において生産された砂礫の全部が新設の貯水池埋没の量となるわけではなく、その何%かが運搬されてくるので、途中の経路が長いほど(面積の大きさと比例する)、また堰止物件が多いほど緩慢な前進となるのは説明するまでもないことである。

そこで上流より下流に向かって年次的にダム堆砂の動きを把握していけば、最近の電源開発地域のように $100\text{ km}^2$ も $1,000\text{ km}^2$ もする流域面積を有する貯水池の埋没状況を解析する手がかりが得られるはずである。面積が大となればなるほど単位面積当り堆砂量が小となってくるのは、途中の運搬速度が大いに関係することを意味し、これらの解析によってその実態が少しずつ明らかになってくるものと思われる。

そして面積を拡大するごとに、それから上流の堆砂量は全部計算に入れて勘考するようにし、当該ダム付近の状況のみに捉われると全貌を見失うことになる。

さて実例をあげると、河内ダムであるが、これは宮川と本流の合流点から下流本流に構築されたものである(昭和18年10月完成)。

流域面積 $83.29\text{ km}^2$ 、侵蝕係数 $0.0449\text{ km}^3/\text{km}^2$ で

あって $S=1,673\text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ となるから、有効流砂量は $139,330\text{ m}^3$ となる。これに対して昭和32年までの上流側の堆砂量(各ダムごとの総和)は年 $885,500\text{ m}^3 \div 17 \div 52,680\text{ m}^3$ であるから捕捉係数は $0.37$ となる。異常な年である昭和34年を計算に入れば捕捉係数は $0.67$ となってくる。以上の例をみても平年と異常年のおのおのについて捕捉係数がそれぞれ $0.4$ と $0.66$ くらいのところであって、実体は明らかではないが、ある恒常性を示し、有効流砂量算定も一概に無意味とはいわれないところがある。

さらにもう一つの実例として調査地域からそれが尾添川流域について取扱ってみる。この場合は上流側にほとんど砂防ダムがない場合の実例となる。瀬戸ダムは昭和27年3月に完成して流域面積 $186.98\text{ km}^2$ であり、御鍋ダム(堤高 $41\text{ m}$ )は上流側に昭和31年3月に完成している。そこでこの両ダムの堆砂状況はこの建設の順を考慮に入れて解析する必要がある。まず瀬戸ダムを中心として考察する。これは昭和17年を基準として堆砂量計算がなされている。昭和32年までの総堆砂量は $840,900\text{ m}^3$ で年間では $140,150\text{ m}^3$ ( $750\text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ )であるから、有効流砂量 $309,860\text{ m}^3$ に対する捕捉係数は $0.45$ である。上流に砂防ダムがない場合はやゝ捕捉係数が上昇するものであろうが、このくらいの差異ではいまのところははっきりと断定しえない。もちろん、地質や地質構造による相違もあろうが侵蝕係数からみると、河内ダムの $0.0499$ に対して $0.0458$ であるのでやゝ高い値である。 $41\text{ m}$ の高さの御鍋ダムが完成して以後の堆砂状況を考察してみると、昭和30年から32年までの堆砂量は $474,600\text{ m}^3$ で年間では $158,200\text{ m}^3$ であり、捕捉係数は $0.51$ となる。もし堤高によって堆砂状況が異なるとすれば、この両者の関係から求められるはずである。あまり利用価値はないかと思うが求めてみると $H=0.26S-180$ となる。(Hは堤高 $\text{m}$ 、Sは $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ )、これは表日本で同様の操作をしたものに比較して、両者の関係が一層不分明となっているようである。

さて御鍋ダムの堆砂量を昭和34年までの資料によって計算すると、捕捉係数は $0.69$ となる。

以上の説明によって、局地的に大量堆積した特殊例を除けば、昭和32年までの各ダムの堆砂量と有効流砂量から求められる捕捉係数は $0.4$ くらいであり、昭和34年を加算すれば $0.68$ くらいとなる。これは侵蝕係数とそれに基づく有効流砂量公式のある程度の信頼性を示すものではないであろうか、すなわち実測堆砂量と有効流砂量との間には、ある程度の相関性があると認めてよいのではないかということである。

このように、有効流砂量・実測堆砂量・侵蝕係数の3

つの要素について、その関係を検討してみると、ある程度の相関はあるようであるが、これらの要素以外に重要な因子がありはせぬかということが次の問題となってくる。たとえあってもこれらのいずれにか、もりこまれているといえはそれまでであるが、こゝに1つ流量なる水理常数を加えてみることを考えてみる。

これはかえっていままでの形を崩すような方向に進むかも知れないが、一つの試みとして取扱っていくことにする。

4.3.3 堆砂量と 60 日高水比流量

手取川の昭和 34 年度の懸濁物質質量およびダム堆砂量測定の結果を中心として考察すると堆砂量の変化に大きな影響を与えるものは、高水時の流量であり、江川の場合には特に著しいことがよくわかった。そして最近の水力調査の流量要覧（昭和 30~34 年）にも 35 日流量が豊水流量のうゑに新しく附加されて表現されているのを見る。保全の立場からみると、最大流量、35 日流量、豊水流量が特に必要である。しかも手取川の場合も江川の場合も洪水日数が大体年間 60 日くらいであって、土砂流出に関係ある流量である。そこで新しい試みとして 60 日高水流量を採用し、これに強度の概念を加える意味で 60 日高水比流量という水理常数をつくってみたわけである。この 60 日という数字にはまだ問題も多いと思うが 35 日、95 日のちょうど中間をとったわけである。

この考え方に従って手取川の堆砂量と 60 日高水比流量との関係を第 9 図として示した。両対数グラフ上では大体直線関係を示している。これは侵蝕係数  $C=0.04\sim$

0.05 の間にあるものの値である。こゝでは侵蝕係数を 1 つのパラメータとして用いることにする。前述したとおりこの考え方は短時間における変動（堆砂量の）をいかにして把握するかということに主眼がおかれるわけである。そこで  $C$  の値を階差によって分類するものとして使用すると、手取以外の多くの実例が必要となってくる。 $C=0.02\sim 0.03$  は江川の実例で図に示すような傾きのゆるい直線で示され、図上の原点に近い方にある。これは、高暮ダム（神野瀬川）・王泊ダム（太田川）・都賀（江川本流）の各例によって定めた直線である。 $C=0.03\sim 0.04$  は御母衣・祖山・小原・利賀の各実例から定めた直線である。さらに  $C=0.05\sim 0.06$  は大井川・千頭ダム・井川ダム・耳川岩尾戸ダムの実例から求めたものである。 $C=0.04\sim 0.05$  は手取川の湯谷・河内・市之瀬・瀬戸の各ダムのほかに鬼怒川水系の黒部ダムの実例によって定めてある。

このような各実例の中には 60 日比流量を正確に求められたのは、最新刊行の流量要覧によるものが、主である。それ以外のものについては各月の平均、最大、最小流量と最大、豊水流量とから外挿して求めているので多少誤差はあるものと思う。また実測堆砂量は完備していても、その間のその水系の流量観測のないものがあつたがその場合は至近の水系の値で代用したのものもある。ただし比流量で求めるため、その誤差は多少小さなものとなることもわかった。

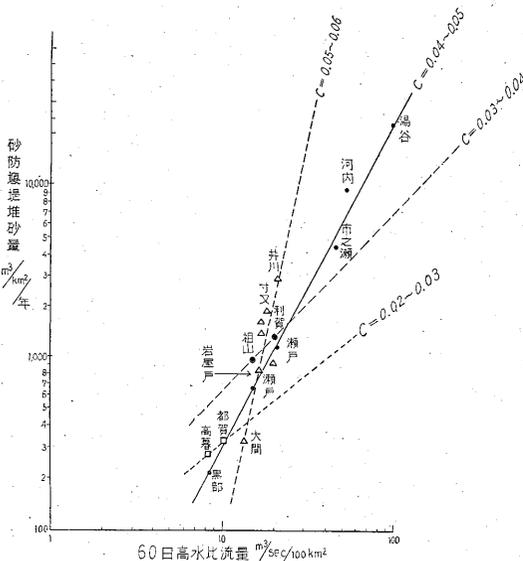
この図表は今後さらに多くの実例によって、もっと安定なものとしていく必要がある。

思考の進め方としては、あまり間違っていないと確信する。

以上のような新しい考察のしかたは、侵蝕係数を有効流砂量計算の主要な因子とする考え方から 1 歩離れたものであるが、侵蝕係数はそれ自体として何らその価値を減ずるものではなく、依然としてその重要性は失われていないものと思う。

一方有効流砂量公式をあくまで利用するという立場に立てば、もともと実験式であるから計算の合わない場合も出てくるであろう。それを合致させるためには、従来からのこの式の成立した由来から考えて常数項についての検討といった考え方もできる。この問題は最近四国地方の堆砂量（吉野川水系や那賀川水系）の異常性がようやくとりあげられるようになってきているので、その際改めて検討したいと思っている。

さて第 9 図によって  $C$  の値によって各群に分かれた直線関係（両対数グラフ上での）が示されたが実際には、 $y=10^b x^a$  なる曲線式である。 $y$ : 堆砂量  $m^3/km^2/year$ ,  $x$ : 60 日高水比流量  $m^3/sec/100km^2$ ,  $a, b$  は常数。し



第 9 図 堆砂量と 60 日高水比流量 ( $C$ =侵蝕係数)

たがってこの曲線の微係数は  $dy/dx=10^b \cdot a \cdot x^{a-1}$  となつて簡単には求められないので、 $\log y=Y$ ,  $\log x=X$  とし、 $Y=a'X+b'$  の示す微係数  $a'$  をもつて仮りにこの直線の傾きを示すものとする。

さてこれを整理すれば次のように示される。

$$C=0.05\sim 0.06 \quad dY/dX=4.06$$

$$C=0.04\sim 0.05 \quad dY/dX=1.80$$

$$C=0.03\sim 0.04 \quad dY/dX=1.08$$

$$C=0.02\sim 0.03 \quad dY/dX=0.66$$

である。 $dY/dX$  と  $C$  の関係は放物線で示されるようである。この関係が設定されると、堆砂量計算には、侵蝕係数の算定と 60 日高水比流量とがあれば、その年度の堆砂量を算定しうることになる。この計算の方法では捕捉係数はあまり考慮に入らぬことになるわけである。いずれにしても算定には、60 日高水比流量といった現実の測定値がなければならない。したがって相当長期にわたる堆砂量を算定したい場合には、過去の流量観測の資料から、平均状態における 60 日高水比流量をみいだして以下同様の操作を行なえばよいことになる。

## 5. 堆砂量の推定計算

さていよいよ以上のような堆砂量算定方法に関する吟味を経たうえで、五味島地点に 150 m のアーチダムが建設された場合、この新設の貯水池にどの程度の堆砂量があるかを算定してみることにする。

### 5.1 有効流砂量公式と捕捉係数より求めたものについて

従来の方式によって堆砂量推算を実施してみると、流域面積  $248.6 \text{ km}^2$ 、侵蝕係数  $0.0388 \text{ km}^3/\text{km}^2$ 、捕捉係数 1.0 として求めると、 $S=4.73 e^{112e} + 950$  から  $S=1,315 \text{ m}^3/\text{km}^2/\text{year}$  である。

したがって、有効流砂量は、 $326,900 \text{ m}^3$  である。この量は予想より低い量であるように見える。

捕捉係数が大いに問題であるが、150 m もの高ダムであれば、ほとんど浮流物質以外には越流しえないと考えられる。大井川の井川のある年の事例では、有効流砂量がそのまま堆砂量(深淺測量成果)であったこともあって、ほとんど 1 に近い捕捉率を示す場合もある。安全率を見積って、この有効流砂量をそのまま年堆砂量として採用した方がよいように思える。前述によれば、浮流物質は、大体年間  $90,000 \text{ m}^3$  程度であると推算しておいた。この結果を利用すれば、浮流物質と底送物質との比は、1:2.5 くらいになるように思われる。なお浮流物質のうち洪水中あるいは水量使用中の流失を考慮に入れると、その比は 1:3 くらいになるかも知れない。

以上の計算には捕捉係数をほとんど 1 として計算して

あるが、何らの理論的根拠がないわけである。そこであまり進んで用いるべき方法とは思えないが、 $H=0.26S-180$  を用いて捕捉係数を計算してみると  $S=1269$  となるから、捕捉係数は  $1269 \div 1315=0.97$  となる。今後この関係を実証する必要がある。庄川水系の御母衣の下流である祖山・小原の実例からは(それぞれ堆高 63 m および 41 m)  $H=0.19S-172$  という関係が得られている。さらに黒部川水系の小屋平、および仙人平の実例からは  $H=0.19S-13$  という関係が求められている。しかしいずれも見掛けの関係という段階である。

### 5.2 堆砂実測と 60 日高水比流量より求めた実験式より求める方法

この実験式は次のようである。

$$\log y=1.87 \log x+0.6$$

$y$ : 堆砂量  $\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year}$ ,

$x$ : 60 日高水比流量  $\text{m}^3/\text{sec}/100\text{km}^2$

この式から求める場合は、捕捉係数を考慮する必要がなく、60日高水比流量値をできるだけ正確に求めるように努力すればよい。長期にわたる60日高水比流量の値は大正8年~昭和4年までの資料と昭和17年~24年、および昭和23年~28年までの資料から、 $19.5 \text{ m}^3/\text{sec}/100\text{km}^2$  と算定されるのでこれを代入すると、 $y=1,065 (\text{m}^3/\text{km}^2/\text{year})$  となる。したがって堆砂量は、 $1,065 \text{ m}^3/\text{year} \times 248.6 \div 264,760 \text{ m}^3/\text{year}$  となる。この方法による算定の方がかなり低目に出るようである。これを前の方法と比較して、このような差の生ずる理由を考察してみると、後者の場合は新しい貯水池までの間に多くの砂防ダムが存在した場合の例となっているのである。砂防ダムによって洪水流速があちこちで弱められ、途中でその運搬物質を沈積するので貯水池まで到達するのが遅れるのも当然と思われる。しかもダム付近の堆砂量が中心となっている。前者の場合は、大体自然状態に近い場合の値であろう。それは前述したようにダムのない尾添川の場合捕捉係数が 0.45 を示すのに反し河内ダムのように多くのダムの下流にあるものはその捕捉係数も、0.37 となっていることで示されている。両者の比は 1.2:1 である。この比率によって  $264,760 \text{ m}^3$  の堆砂量を補正(砂防ダムをなくしたとして)すると、 $317,600 \text{ m}^3$  となって前者の値に接近する。しかし現実には砂防ダムが存在するのであるから、後者の  $264,760 \text{ m}^3$  が大体今後かなりの年月の間の毎年の堆砂量として考えてよいと思われる。

## 6. 結 語

手取川上流部  $248 \text{ km}^2$  の治山治水調査を実施し、この調査結果を解析した成果として次のような諸点があげられる。

1) 比流量調査は低水位、または濁水位に実施されたものは、地質・地形・植生、または地質構造の状態を示す指標として利用しうるが、高水位の場合は、直前降雨が主体となって、その特性をみいだすことが困難である。この場合はむしろ荒廃状況との直接の関連性を掘りさげるべきで、手取川では 60 日高水比流量と堆砂量との関係を把握することができた。

2) 新しく設けられる貯水池に対する堆砂量推定の条件として上流に砂防ダムがかなりの数、建設されて、すでにその効果を発揮しているものと、ほとんど自然状態のままで締切って、ダムを下流に建設した場合ではどの程度の差異を生ずるかといった問題にふれてみる事ができた。手取川の例では上流に砂防ダムのあった方が自然の状態より 20% くらい堆砂量（新設貯水池への）が少ないように思われる。

3) 新しく案出した方式によって五味島にダムを建設した場合の年間堆砂量を  $265,000 \text{ m}^3$  と算定したが、これは上流側の多くの砂防ダムの濾過をうけて最後に到達したものであるから低くでている。従来の方式では  $327,000 \text{ m}^3$  と算定されている。上流側の砂防ダムが満杯になるようなことがあると、このくらいの量は毎年堆積するものと考えられる。

4) 従来より用いている有効流砂量公式

$$S=4.73 e^{112c}+950$$

を実測堆砂量と侵蝕係数との関係から検討を実施してみたが、本地域内においては、大体満足すべき安定度を有

するようで、捕捉係数を逆算しても大体恒常性を示す。ただし捕捉係数の数値そのものについてはまだ充分な検討を必要とすることを認めた。この点から大井川調査の際提案した捕捉係数算定法は再吟味の必要がある。

（昭和33年10月～11月調査）

#### 文 献

- 1) 芥川真知：白山東部における山崩について一破碎性崩壊の例一、土木研究所報告、100 号の 3、1958
- 2) 早坂一郎外：手取川中流地域の地質、石川県、1951
- 3) 建設省河川局：流量年表、1955
- 4) 公益事業局水力課：流量要覧、1959
- 5) 逓信省電気局：流量要覧、大正 8 年～昭和 4 年、1934
- 6) 手取川工事事務所：白山砂防直轄施工既設ダム並貯砂量調査、1960
- 7) 渡辺和衛：江川治山治水調査報告、地質調査所月報、Vol. 10, No. 9, 1959
- 8) 渡辺和衛：静岡県大井川上流治山治水調査報告、地質調査所月報、Vol. 10, No. 11 1959
- 9) 渡辺和衛：宮崎県耳川上流地域の荒廃状況と上椎葉貯水池の堆砂、地質調査所月報、Vol. 10, No. 12, 1959