

報 文

貯水池の土砂堆積に就て

正會員 山 田 順 治*

論 旨

最近各地に洪水調節池が築造せらるゝ現状であるが、此の貯水池が土砂を以て埋没されざる様土砂吐門等の設備は有るが、其效果僅少にて土砂堆積の儘に放任されてゐる状態である。洪水調節池に在つては一旦土砂にて埋没するゝに於ては洪水調節機能を失ひ、洪水調節池築造前の河状に戻り下流改修の必要に迫られ多額の工費を以て築造された貯水池も無きと同然となるのである。

此處に於て若干の貯水池の埋没實例の資料より案外短時日に埋没するものである事を調べ、河川の土砂流、土砂含有量等を調査して、併せて猪名川洪水調節池に就き略述し土砂埋没を防止するには結局貯水池上流の砂防工事を完備すべき事を述べたものである。

目 次

- | | |
|--------------------|----------------|
| 1. 緒 言 | 5. 貯水池土砂堆積量の推定 |
| 2. 貯水池の在來土砂対策 | 6. 猪名川洪水調節池に就て |
| 3. 既存貯水池の土砂堆積状況 | 7. 結 語 |
| 4. 河川の土砂流及土砂含有量に就て | |

1. 緒 言

歐米諸國に於ては早くより貯水式治水法採用され多數の洪水調節用貯水池が築造されて居る。洪水調節池の初めて採用されたのは今より約 85 年前佛蘭西の Loire 河である。又今より 22 年前に Ohio 州 Mississippi 河の Miami 河に 5 箇所、獨逸の Harz 地方 Weser 河支流の Söse 河に大洪水調節用貯水池が築造され、夫々洪水の災害軽減に大に貢獻してゐる。又彼の有名な北米 Tennessee 河の約 10 箇所及び調節貯水池の夫の如きである。

本邦に於ても最近時局の要請に依りこゝ 2, 3 年間に於て猪名川、名取川、北上川、鬼怒川、由良川等と國直轄事業として貯水式治水法が利水をも併せて着手された。其他府縣事業としては相當多數の調節用貯水池が築造されつゝある現状である。

此の俄に着手された、今日迄本邦に於て顧みられなかつた貯水式治水法の我が國に於ける缺點とも言ふべきものは何であらうか。此の缺點がおそらくは今日迄貯水式治水法を我が國に採用せしめなかつた原因であると思はれる。此の缺點としては、物部博士が貯水用重力堰堤の特性並に其の合理的設計法と題する論文に

於て河水調節問題より見たる我が國と歐米諸國との比較なる一節を特に設けられ、9 項目に互り詳細に卓見を述べて居られる。その 9 項目の中の一つに貯水池の壽命に關する比較と言ふ項目があるが筆者の憂ふる所は實に此點であつて、各種の貯水池の内、特に洪水調節用貯水池に於ては貯水池上流より流入する土砂の堆積の處分をするに非れば、總て貯水池の壽命も盡きて洪水の調節も行はれず豫想外の災害を齎らすや必然である。

此處に於てか堆積土砂の本質に戻り資料を若干年ら調べて其の對策を考究せんとするものである。

2. 貯水池の在來土砂対策

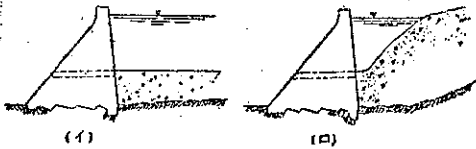
貯水池の土砂堆積問題もその貯水池の利用用途の種類に依つて大に重要性を左右されるやうに思はれるのである。發電用の取水堰堤にあつては取水が、殊に連續的に一定水量の引用が目的であるから従つてその土砂堆積もさ程問題でないが、最發電用の貯水池、水道の水源貯水池、灌漑用水の貯水池とか洪水調節用の貯水池とかは土砂埋没によつて發電不能、水道の給水不能灌漑用水の不足とか洪水の下流傳播とかの惱しき重大問題が惹起されるのである。では在來是等の問題に就て如何なる對策が取られてゐたかと言へば、貯水池上

* 工學士 内務技師 内務省土木試驗所勤務

流の砂防工事に依る土砂流下抑止とか、或は貯水池堰堤に全くの気休めの土砂流下設備即ち土砂吐水門或は土砂吐管を設けるとか、或は又堰堤の嵩上げを行ふとかしてゐる様である。

殊に我が國の如く歐米諸國に比べて水源流域の林相が一般に悪く、従つて土砂の流下多く河道は概ね砂礫層から成る河川に貯水池を築造するに於ては、土砂流下設備たる土砂吐門も用をなさず数年乃至数十年にて土砂を以て埋没され貯水池の效用も果さず壽命は盡きるのである。實際問題として土砂の堆積状態は圖-1の(ロ)の如くなり、後述の貯水池の實際の堆積狀況

圖-1.



圖の如くなつて決して(イ)の如く成らぬ。之が亦土砂吐門を設けても、假令その土砂吐門が效力を發揮したとしても土砂流下に餘り効果の無い原因であらう。

貯水池に於て土砂吐門即ち排砂門又は排泥門を設けても上述の如く多量の沈泥を排除する事は出来るが土砂の堆積を免れる事は出来ない。唯一の対策は結局上流の砂防工事に依る土砂流下抑止と言ふ事になる。之に依つても尚且多少の細泥は流下沈澱するを以て、此の量の推定に誤なき様心がくる事が又難しい。今假りに此の抑止不能の沈泥量の推定が適當であつたとしても、永年の間には埋没するわけで唯貯水池の壽命を延

した事に過ぎない。筆者は此點に疑問を持ち過日或る先輩技師に之が対策方法は無いものか御教示を受けた事があるが、その先輩の言はれるのに土砂で貯水池が埋没したら掘鑿するさと簡単に答へられたが、此の掘鑿たるや容易には出来ないのである。

貯水池の埋没は普通設計時に考へてゐる様に平行的には進行せず、年が経つにつれ沈積の影響は更に上流にも及び簡單なものではない。

3. 既存貯水池の土砂堆積狀況

貯水池は利用水深を増す事によつて有効貯水量を増加する事が出来るから、勢、利用水深を大きく採りたいのが人情であるが、大きく採れば貯水池への推定土砂堆積量が減少して雖ては設計時の推定以上の土砂を以て埋没すると言ふ矛盾に逢着するのである。

推定土砂量を適當量に決定して貯水池を假令築造したとしても、後述の様な不測の水害による土砂流が生じては單に一回の洪水によつて、洪水と云ふよりは土砂流によつて打撃的の埋没を受くるのである。今内外の貯水池の有名なものに就て二三の例をとつて何の程度迄貯水池に土砂が堆積してゐるかを調べて見よう。

圖-2 は神戸市水道水源池たる布引貯水池及び鳥原貯水池の埋没状態を示すものである。布引貯水池に於ては貯水池堰堤より貯水池上流端たる量水堰堤迄の水面距離が772m あつたものが、現在では貯水池の満水面に於て貯水池堰堤より、土砂の現はる水面距離が370m となり實に全延長の5割2分に相當する402m と云ふものがその水面延長に於て土砂によつて

圖-2(a). 神戸市水道布引貯水池縦断面圖

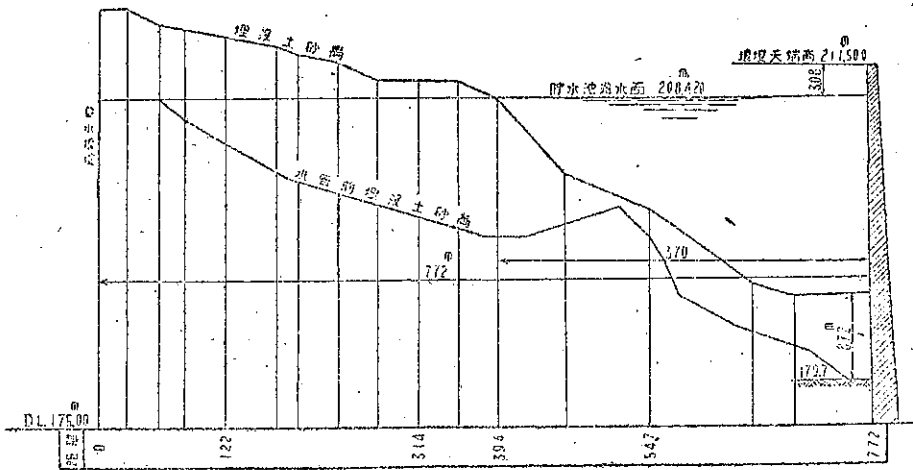
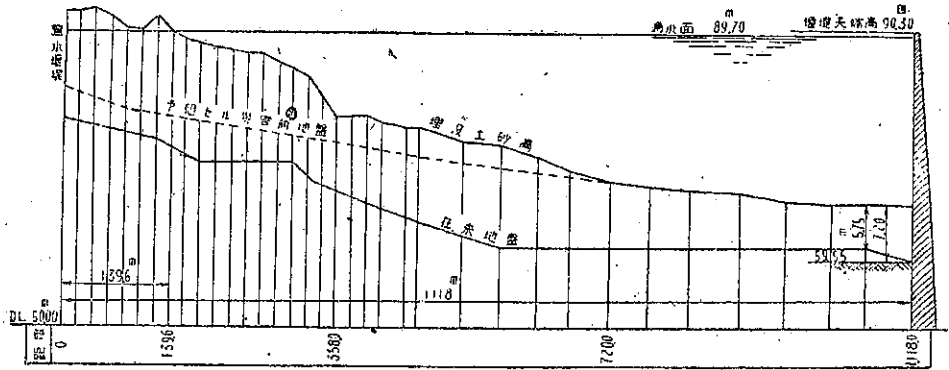


圖-2(b). 神戸市鳥原貯水池縦断面圖



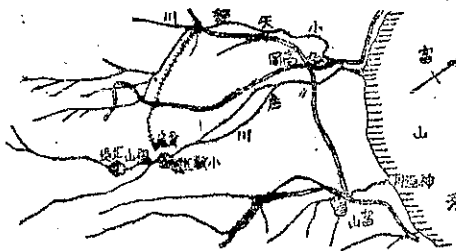
埋没されてゐる状態である。而して堰堤上流面趾に於ては土砂埋没高は實に 8.27 m に達してゐる。鳥原貯水池の埋没状態は稍前者に比較して良好なりとは言へ之亦驚く可きものがある。

神戸市水道當局の發表によれば布引貯水池堰堤は明治33年の竣工にかゝる我が國最古の石造堰堤であつて、之に昭和13年の大水害に流入せる土砂量は實に360,000 m³ に達し池水容量の約40%を埋没し、鳥原堰堤も布引に相次いで築造されたものであるが、之亦昭和13年の夏に上流より流入せる土砂量實に300,000 m³ に達し池水容量の約20%を埋没したる状態である。

以上の例は彼の神戸市昭和13年夏の浸透さに於て有名な水害に依れる例であるが、水害は無くとも漸次砂は堆積しつゝあるのであつて、従つて貯水池の壽命は刻一刻磨り減らされつゝある現状である。

次に富山縣庄川に於ける有名な小牧及祖山堰堤の貯砂状況を調べて見よう。兩堰堤の位置は圖-3に示す

圖-3. 小牧祖山堰堤位置圖



通りであつて小牧の方が祖山より下流にあつて従つてその流域面積も亦 1,098 km² と 929.4 km² とで 168.6 km² の差がある。然るに土砂の堆積進行状態を見る

に圖-4、圖-5に示す如く祖山堰堤に於て大半の土砂を僅抑止する爲ならんか、小牧堰堤では昭和17年に於て

圖-4. 小牧發電所小牧堰堤土砂堆積量

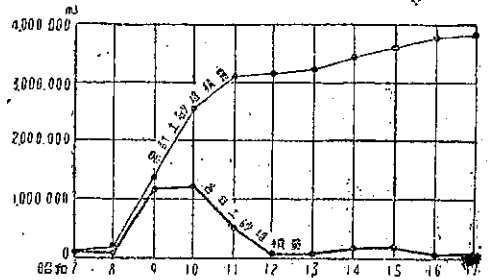
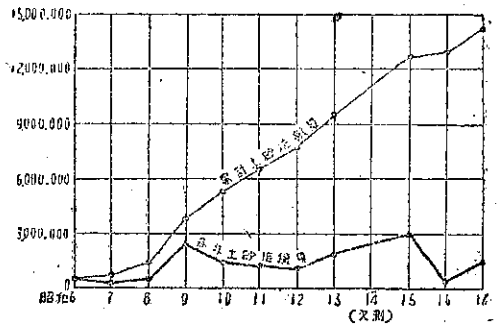


圖-5. 祖山發電所小牧堰堤土砂堆積量



累計土砂堆積量が 3,768,830 m³ なるに對し祖山堰堤に於ては實に 14,289,810 m³ に達し約3倍である。又圖-4、圖-5に於て昭和9年に多量の土砂の堆積を見たるは同年7月北陸地方に襲來せる豪雨による爲である。

祖山堰堤は總貯水量 32,991,259 m³、有效貯水量 8,345,671 m³ にしてその差 24,645,588 m³ なる容量は

遊んでゐるわけであるが堆積土砂量が昭和 17 年に於て 14 280 819 m³ に達してゐるから結局推定土砂量の約 58% 即ち 5 割 8 分は昭和 5 年 10 月に湛水を開始してより埋没した率になる。

小牧堰堤に於ては祖山堰堤がその上流にあるために祖山堰堤程に甚しくないが、総貯水量 37 139 000 m³、有効貯水量 18 200 000 m³ その差 18 939 000 m³ に對し昭和 5 年 9 月湛水を開始してよりの土砂堆積量 3 768 330 m³ に達し約 20% の埋没程度を示して居り祖山堰堤の 5 割 8 分に對して 2 割であつて、如何に上流の土砂停止が重要であるかが此處にも分るのである。唯經濟的關係が問題である。

兩堰堤の貯水池内土砂堆積狀況は圖-6、圖-7 が餘りにもよく示して呉れる。此處にも圖-1 に示した如く土砂が堆積して居るのである。兩貯水池に流入せる毎年の土砂量を數字的に示せば表-1 の如くである。

次に黒部川の小原平堰堤に就て述べんに、本堰堤は昭和 11 年 10 月より湛水を開始したるものにて堰堤最大高 49.40 m にして有効水深 5 m、有効貯水量 505 000 m³、全貯水量 2 122 000 m³ なるに昭和 17 年現在にて 1 606 640 m³ の土砂の堆積を既に見てゐる。その堆積狀況は圖-8 に示す通りであり、又圖-9 は黒部川仙入谷堰堤の土砂堆積狀況圖である。

次に砂防堰堤ではあるが知らんと欲する土砂の堆積

圖-6. 小牧堰堤湛水區域縦断面圖

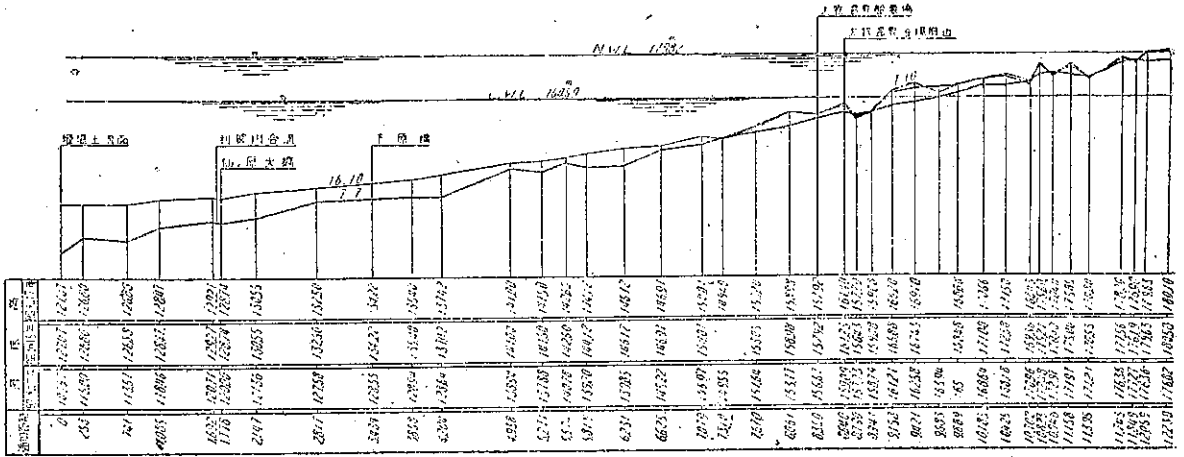


圖-7. 祖山發電所湛水區域縦断面圖

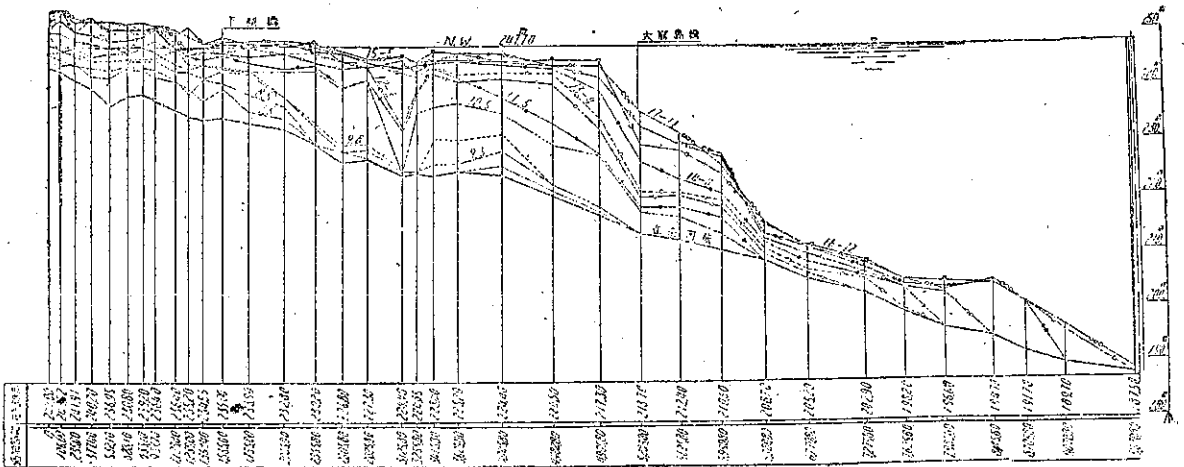


表-1. 小牧及祖山堰堤堆積土砂量 (單位 m³)

堰堤名	小牧堰堤		祖山堰堤	
	各年土砂堆積量	累計土砂堆積量	各年土砂堆積量	累計土砂堆積量
昭和6年			493 517.00	
7	89 823.00		228 188.00	721 705.00
8	99 231.00	189 054.00	619 150.00	1 340 855.00
9	1 201 533.00	1 390 587.00	2 491 267.00	3 832 122.00
10	1 218 005.00	2 608 592.00	1 450 278.00	5 282 400.00
11	517 809.00	3 126 401.40	1 295 122.00	6 577 522.00
12	90 795.98	3 217 287.38	1 037 640.00	7 615 162.00
13	78 654.90	3 295 942.28	1 914 993.00	9 530 155.00
14	192 513.65	3 488 455.93	—	—
15	199 762.10	3 688 218.03	3 086 966.00	12 617 121.00
16	17 742.60	3 705 960.63	347 272.00	12 964 393.00
17	62 369.50	3 768 330.13	1 325 426.00	14 289 819.00

圖-8. 小屋平貯水地土砂堆積狀況圖

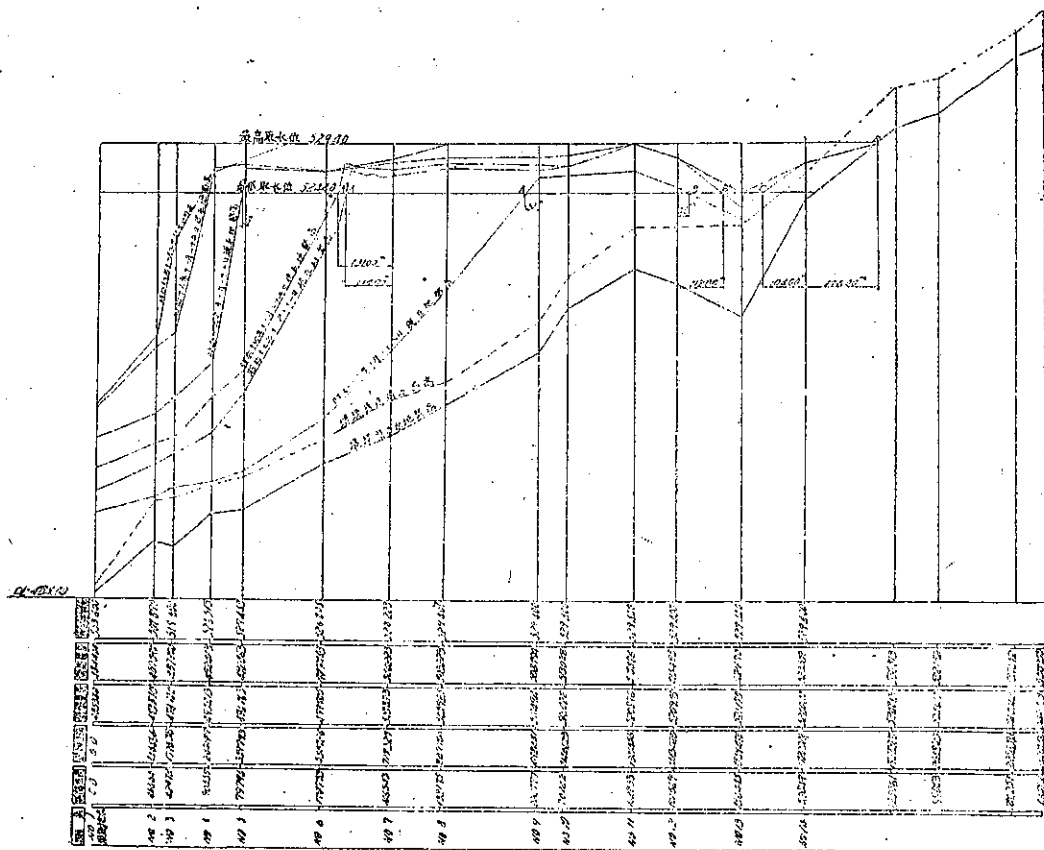
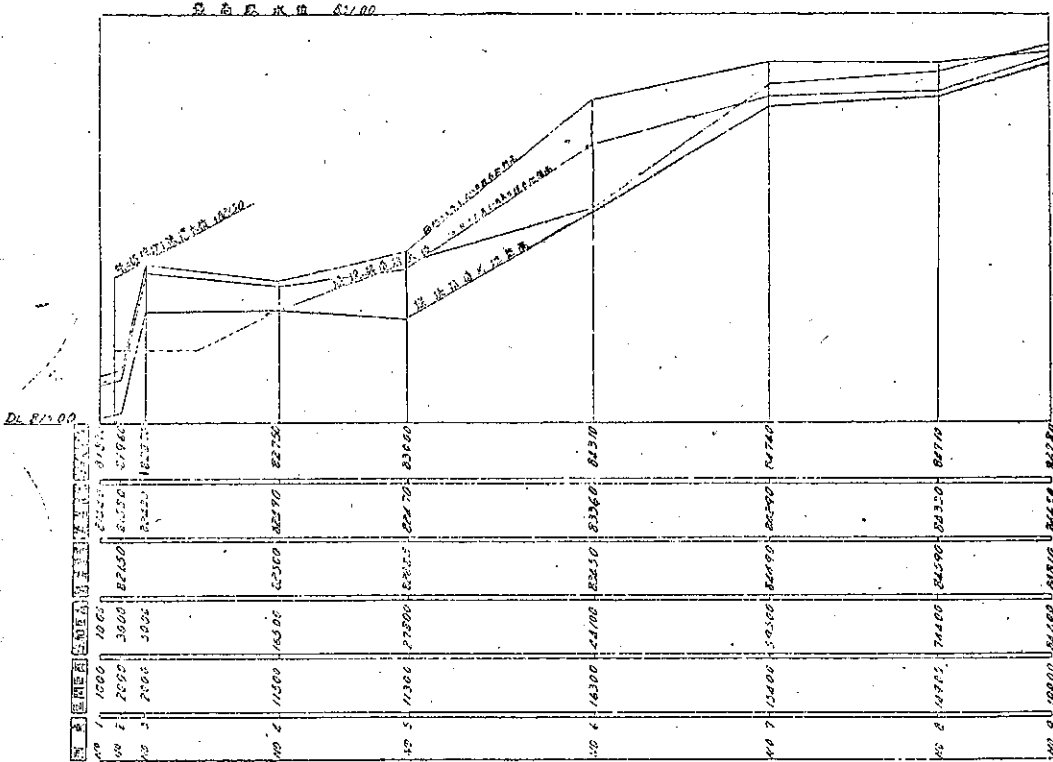


圖-9. 黒部川仙人谷堰堤土砂堆積狀況圖



狀況を毎年調査せられた資料があり誠に興味深いものがある。富山縣常願寺川本宮堰堤が是である。

本宮堰堤は直高 22 m 昭和 12 年 3 月に竣功せるものである。貯砂を開始せるは昭和 11 年 6 月 29 日の洪水よりして昭和 14 年末には堰堤水通しの天端迄貯砂を完了したのである。

圖-10、圖-11 は夫々本宮堰堤の平均河床及最深河床の毎年の土砂堆積狀況を示すものである。是を見ると能く堆積状態が分るが特に注目すべきは、僅か 2、3

年にしてその大半を埋没して居る事である。唯その堆積狀況に於て砂防堰堤と貯水堰堤とは異なるものがある様である。

貯砂進行狀況を表示すれば表-2 の如くである。即ち表-2 より昨年の夏迄、竣功より 6 年間に豫定貯砂量の 7 割 4 分の貯砂を見たわけで、その貯砂狀況圖は圖-10、圖-11 の如くである。

圖-12 は上記若干の堰堤の土砂堆積狀況圖を同一の縮尺を以て畫き土砂の堆積の傾向を知らんとしたも

表-2. 本宮堰堤貯砂進行狀況

	期 間	實測貯砂量 (m³)	累計貯砂量 (m³)	豫定貯砂量 (m³)	累計貯砂量 豫定貯砂量
第 1 年	昭和 11. 6~12. 8	1 000 000	1 000 000	4 000 000	0.24
” 2 ”	” 12. 8~13. 8	861 000	1 861 000	”	0.46
” 3 ”	” 13. 8~14. 8	374 000	2 235 000	”	0.56
” 4 ”	” 14. 8~15. 8	474 000	2 709 000	”	0.68
” 5 ”	” 15. 8~16. 8	153 000	2 862 000	”	0.72
” 6 ”	” 16. 8~17. 8	128 000	2 990 000	”	0.74

圖-10. 本宮堰堤上流縦断面圖(平均河床)

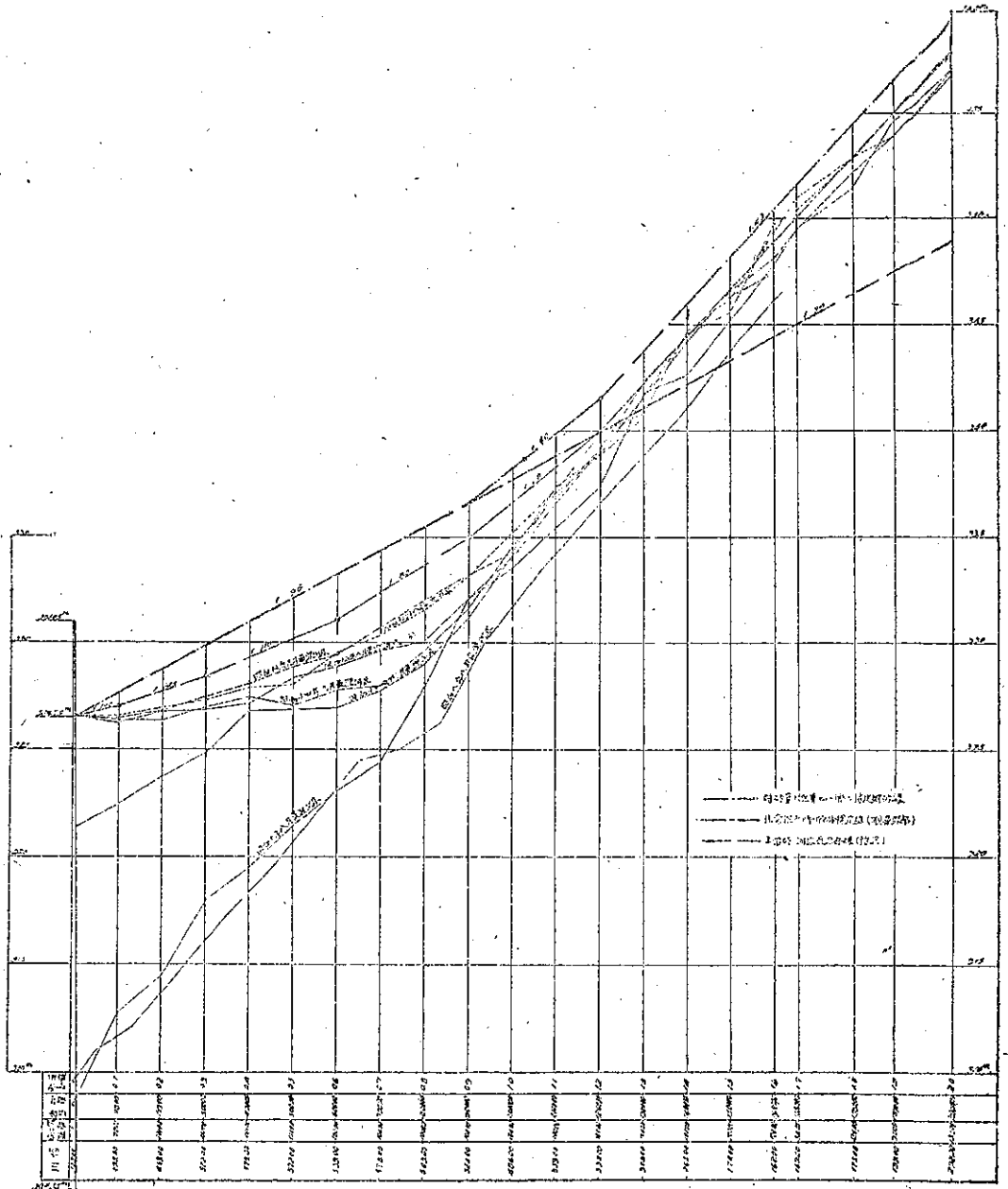


圖-11. 本宮堰堤上流縦断面圖(最深河床)

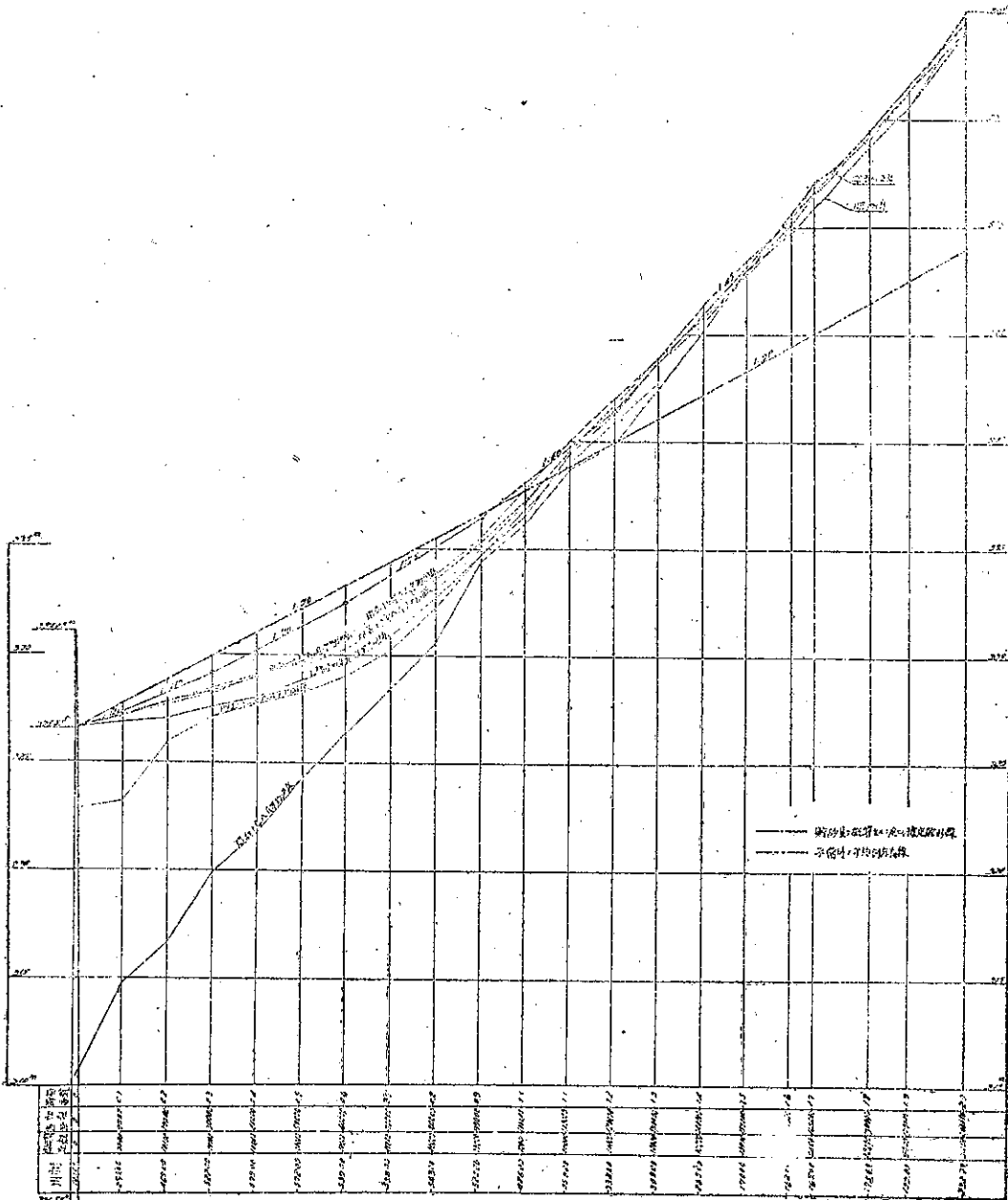


圖-12 各貯水池土砂堆積狀況圖

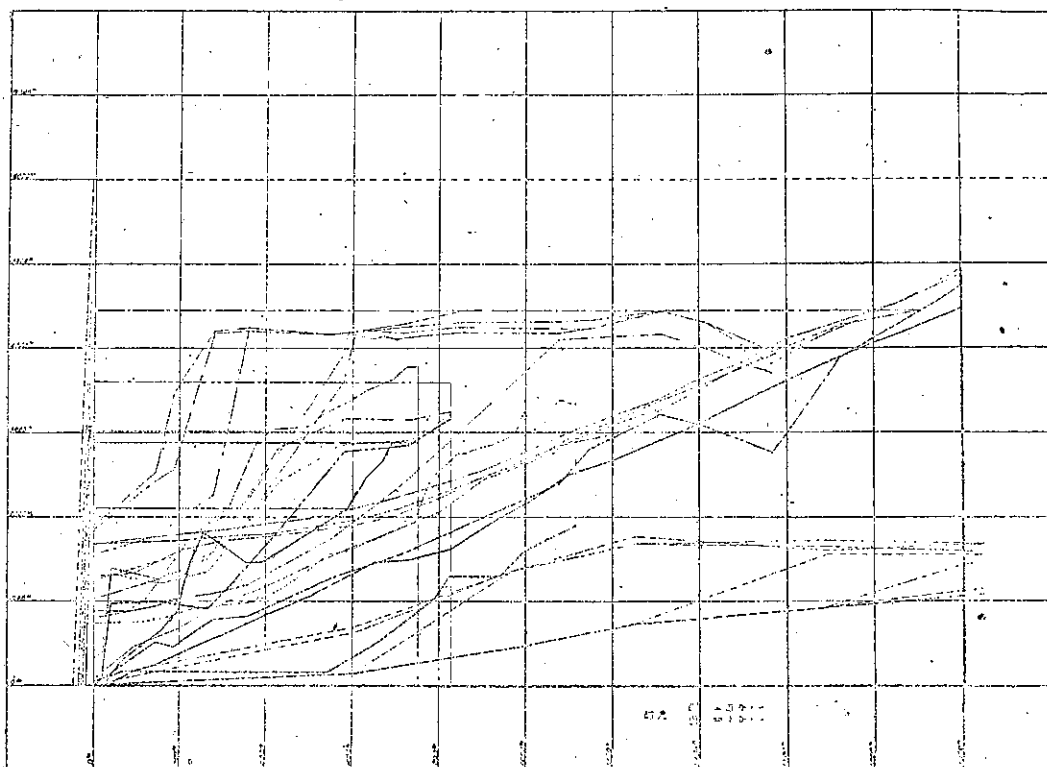


表-3. 歐米貯水池土砂堆積表

河川名	國名	堆積場所	流域面積(km ²)	年平均流砂量(m ³)	同/流域 1 km ²
Luscharibach	奥 太 利	貯 水 池	4.4	30 000	6 820
Lamone	伊 太 利	〃	537.0	1 864 000	3 470
Vogelbach	奥 太 利	〃	10.0	15 500	1 550
Colorado	米 國	〃	88 600.0	46 500 000	523

のであるが資料不足の感あるは寔に遺憾である。

上記は本邦に於ける例であるが歐米に於ける例を物部博士著水理学より貯水池のみの例を探れば表-3の如くである。次に君島博士著河工にある表中單位をすべてm單位に換算して表示すれば表-4の如くである。

上記の如く現存する貯水池はその如何なる種類たるかを問はず總べて程度の差こそあれ土砂の堆積を見つゝあり、畢竟貯水池の埋没は免れ得ない處である。以上は僅かの限られた區域の例であるが本邦各地の貯水池の資料を蒐集整理したならば案外興味ある結果が得られるものと思はれる。

4. 河川の土砂流及土砂含有量に就て

貯水池の土砂量を推定するに際し貯水池上流の流域の状態を見定めて林相も良く崩壊状態も左程心配も無い場合に適當の土砂量を推定して置いても、豫想だにシなかつた土石流が生じては一朝にして貯水池の大半は土砂を以て埋没されるわけである。

猪名川流域に於ても後述の如く昭和 13 年夏東郷村に山津浪を生じ相當の死者と流失破壊家屋を見てゐるのである。最近の土石流の例としては未だ記憶に新な神戸地方の災害がある。之らに於て何程の土砂量が流出したかを調べる事は貯水池の土砂埋没の性質上 重要

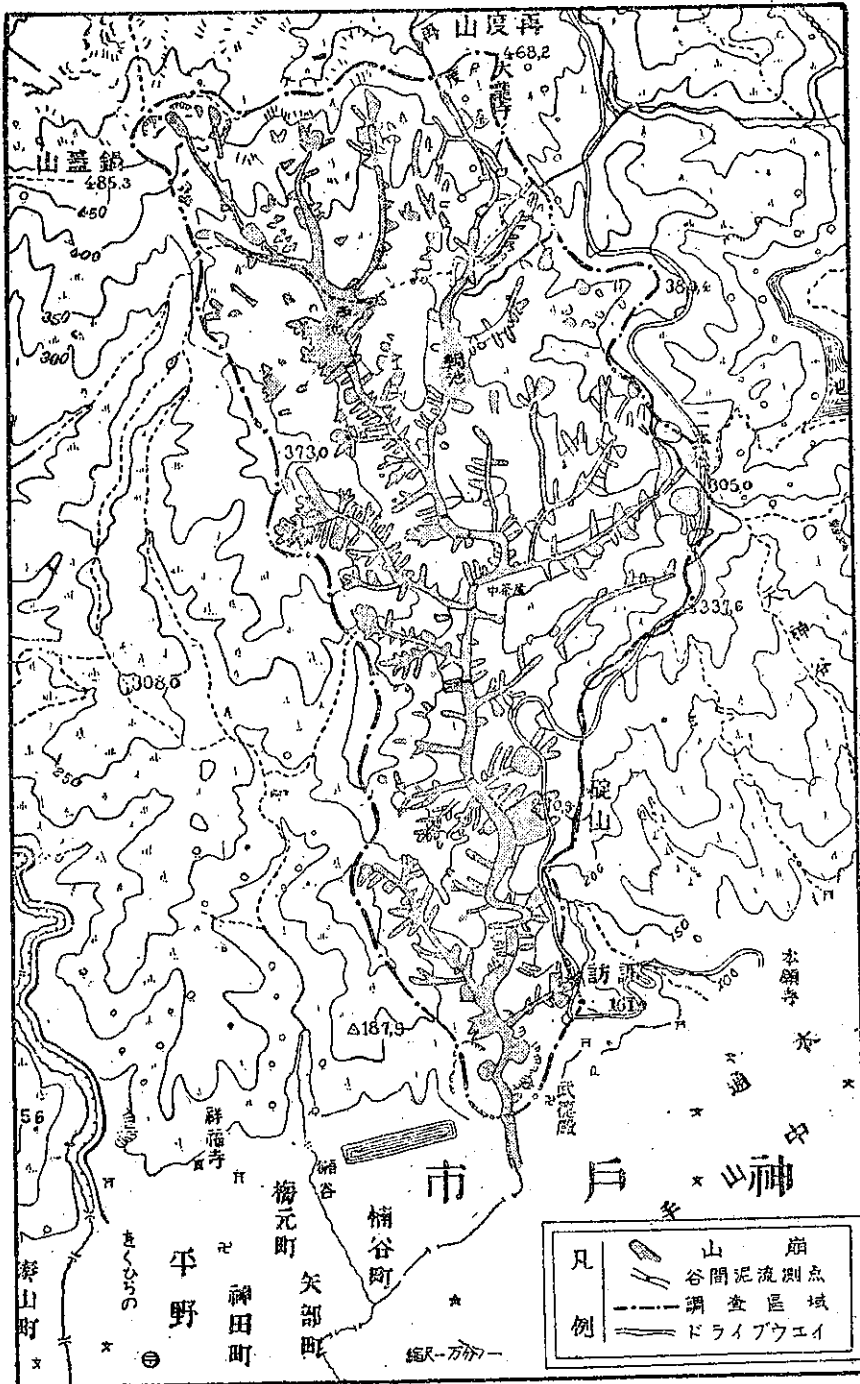
表-4. 欧米各貯水池土砂堆積表

容積流込の比の大きな貯水池						
貯水池名	河名	位置	時間	流域 1km ² に對する1 年の堆積量 (m ³)	平均1 年間の 容積減 少(%)	流域 1km ² に對する原 貯水量(m ³)
White Rock	White Rock Creek	Dallas, Tex	1923~ 28 1910~ 35	566.2 762.3	0.60 0.86	87 245.45
Elephante Butte	Rio Grande	Hot Springs, N. Mex.	1915~ 25 1925~ 35	419.4 241.8	0.88 0.51	47 773.45
Roosvelt	Salt River	Roosvelt, Ariz.	1911~ 25	595.8	0.44	135 401.29
Lake Michie	Flat River	Durham, N. C.	1926~ 30 1926~ 35	83.9 129.5	0.24 0.36	36 055.20
Gibraltar	Santa Ynez River	Santa Barabara, Calif.	1920~ 31 1931~ 34 1934~ 36	340.4 1 549.3 661.2	1.06 4.82 2.06	32 046.33
Lake Worth	West Fork Trinity River	Fort Worth, Tex.	1915~ 28	271.4	2.26	12 051.29
Lake McMillan	Recos River	Carlsbad N. Mex.	1894~1915 1915~ 25 1925~ 32	41.9 7.4 4.9	2.14 0.38 0.31	1 961.26
Zuni	Zuni River	BlackRock, N. Mex.	1906~ 17 1917~ 27	456.4 576.0	3.03 3.83	15 061.03
Sweetwater	Sweetwater River	Sannyside, Calif.	1888~ 95 1895~1916 1916~ 27	426.8 352.8 456.4	0.90 0.65 0.56	57 690.79
Lake Chabot	San Liandro Creek	Oakland, Calif.	1875~1923	828.9	0.43	192 783.71
Cheoah	Little Tennessee River	Fairfax, N. C.	1918~ 30	108.5	0.88	12 236.32
Ocoee No. 1	Ocoee River	Parksville, Tenn.	1912~ 30	880.7	1.14	77 007.40
O'Shaughnessy	Scioto River	Columbus, Ohio.	1925~ 34	54.3	0.68	8 054.75
Pine Lake	Pine Creek	Hardin County, Iowa.	1924~ 32	721.6	3.15	22 906.09
MuskingumCollege	Smallstream	New Concord, Ohio.	1915~ 35	178.8	1.28	14 000.23

容積流込の比の小さな貯水池

Coon Rapids Pond	Mississippi River	Anoka, Minn.	1899~1931	1.90	1.08	190.50
New Lake Austin	Colorado River	Austin, Tex.	1913~ 26	29.05	7.35	381.00
Old Lake Austin	Do.	Do.	1893~1900	43.82	7.10	619.13
Lake Penik]	Clear Fork Brazos River	Lueders, Tex.	1920~ 27	29.05	4.47	666.76
La Grange	Tuolumne River	La Grange, Calif.	1895~1931	17.15	2.31	762.01
Sterling Pool	Rock River	Sterling, Ill.	1912~ 30	6.19	0.82	762.01
Holt Wood	Susquehana R.	McCalls Ferry, Pa.	—	12.86	1.32	1 000.13
Boysen	Bighorn River	Fremont Country, Wyo.	1911~ 24	61.44	6.25	1 000.13
Schoolfield	Dan River	Donville, Va.	1904~ 15	73.34	7.32	1 000.13
Keokuk	Mississippi R.	Keokuk, Iowa.	1891~1923	30.00	2.02	1 476.39
Furnish	Umatilla R.	Pendleton, Oreg.	1909~ 31	81.44	3.73	2 190.77
Loch Raven	Gun Powder R.	Baltimore, Md.	1880~1900	102.87	4.24	2 428.90
Lower Salt Creek	Salt Creek	Natrona County Wyo.	1924~ 33	267.65	10.79	2 476.52
Hales Bar	Tennessee R.	Guild, Tenn.	1913~ 30	58.58	1.72	3 429.03
Buckhorn	Buckhorn R.	Loveland, Colo.	1907~ 25	115.25	2.64	4 381.54

圖-13. 宇治川上流再度谷山崩圖



な事と思はれ以下若干之を調べる事とする。幸に海洋氣象臺の棚橋嘉市氏が災害後 1 箇月を出でざる 7 月下旬神戸市藪山の略中央に位置する宇治川流域即ち再度谷の崩壊状態を調査された報告が有る。非常に貴重なるものであるがその要點を簡単に説明しよう。

再度谷の位置、地形は圖-13 に示す通りで花崗岩山地で水源は再度山 (468.2 m) 及び鍋蓋山 (485.3 m) に發し、途中水車場の水量調節用としての溜池即ち西池及び鍋池を持ち池の下流にて合流して南流する事約 3 km にして山麓平地に出て宇治川となり大倉山下より神戸港西部に注いでゐる。再度谷の集水面積は 1 830 000 m² で山腹の傾斜は 30°~35° 位が多い。

崩壊の調査の結果は圖-13 の通りであつて、山崩及び谷洗出の數、面積及び體積の計算は表-5 の如くである。又山崩の大きさに就て傾度を求むるときは表-6 の如くである。表-6 より尙次の事項等が分る。

- (1) 幅は 10 m 内外が最も多く全數の 5 割以上を占め幅の最大は 160 m にも達したものがあつた。
- (2) 長さは 20 m 内外が最も多いが全數の 2 割位で幅の様には一定せず、10~30 m の範圍で全數の約 6 割を占め最も長いものは峰から谷へ 160 m に及ぶ

ものもあつた。

(3) 面積は 100~200 m² のが多かつたが矢張り一定せず最大は 10 000 m² にも達するものもあつた。

(4) 體積は 100 m³ 位に最多が現れて 100~200 m³ が半數を占めて割合土量の少くない山崩が多かつたが大きいものになると 1 箇所で 16 000 m³ にも達するものがあり、概して大きい山崩は谷奥又は分水嶺の近くに多かつた。

圖-14.

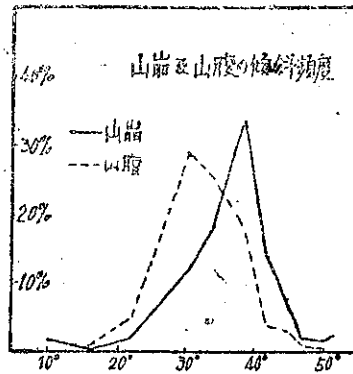


表-5. 再度谷の山崩・谷洗出土量

	數	面積(m ²)	平面に換算せる面積(m ²)	全地域に對する割合(%)	體積(m ³)	山麓に押し出した土量(m ³)
山崩	413	234 000	179 000	9.8	162 000	山崩・谷洗出總土量 338 000 鍋池に残つた土量 -20 000
谷流出	35	128 000	99 000	5.4	176 000	
計	448	362 000	278 000	15.2	338 000	谷間に残つた土量 -6 000

總土量 312 000
西池の決潰土量 +20 000
計 332 000

表-6. 再度谷の山崩の頻度

米	<5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	150<	
幅(%)	4.8	52.2	25.2	10.4	3.6	1.9	1.0	—	0.2	—	—	—	—	—	—	—	0.5	
長(%)	0.5	17.7	22.3	17.2	11.1	10.2	6.1	5.1	4.1	3.6	1.2	—	0.2	0.5	—	—	0.2	
m ² 又は m ³	<50	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1500~2000	2000<
面積(%)	7.8	18.2	16.2	9.7	8.2	8.5	5.3	2.4	3.6	3.6	3.2	1.9	1.0	1.0	1.7	0.7	3.1	3.9
體積(%)	19.6	27.1	14.8	10.9	7.3	4.6	2.9	1.5	2.2	1.5	0.5	1.5	0.5	0.7	0.7	0.2	1.0	2.6

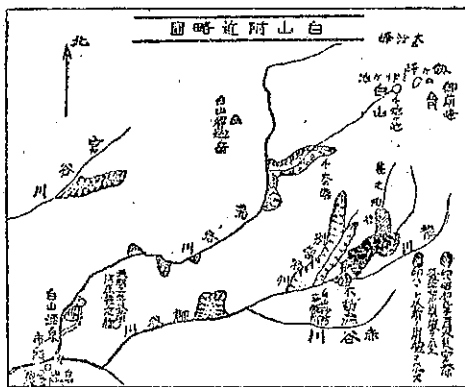
又山崩と谷の傾斜との關係は 40° 前後の傾斜の山崩が全數の 64% を占めてゐる。是れは自然の山腹の傾斜が 40° 位の所が多い結果かも知れないので、山腹の自然傾斜の頻度を調べて見ると圖-14 の如く 30° 前後が多い結果となり是から見て山崩の最も多いのは 40° 前後の山腹であると云ふ結果は山腹の自然傾斜の爲に現はれるものではなく、今回の山崩に現れた一つの特徴と見る事が出来る。

結局再度谷、宇治川流域の山崩は總數 418 で谷の全面に分布せられ、其の面積は平面に換算して 180 000 m² となり總集水面積の約 10% に當りそれにつれて洗出された谷間の面積を合せると 15% 位となり之等山崩土量の合計は 338 000 m³ 位となる。又正午頃に押し出した大泥流は西池の決潰に依るものと思はれるが此の時の土量を略算してみると 100 000 m³ 位となつて全流出土量の約 1/3 が一時に押し出して來た事になる。

次に北陸地方の手取川に昭和 9 年 7 月生じた大災害の土砂流を調べて見よ。

手取川の上流は圖-15 の如く白山に發し北々西に貫流する石川縣唯一の大河である。昭和 9 年 7 月 11

圖-15.



日に前日よりの稀有の雨量により 4 時半頃に押し出した別當谷の山津浪は 30 m の高さに達し内務省砂防事務所を一呑みにし湯谷川のは白山温泉を襲つて之を全滅せしめ矢繼早に市ノ瀬全部落を眞正面から粉碎して 44 人の殞死者を生じ、更に赤岩全部落 10 戸分教場 1、河内谷部落 7 戸を全滅せしめ家屋の流失又は埋没を起す等空前の大悲惨事であつた。全流失家屋 172 戸、死者 10 名、被害土地 2 953 町歩、被害總額 25 000 000 圓に及んだのである。

此の山津浪によつて下流に流送せられた土石量は蓋し數千萬立方米に達する事と思はれる。山間の溪床に堆積せる結果招來せる溪床昇高量は柳谷、別當谷合流點附近に於て 10 m、湯の谷温泉附近に於て 15 m、市ノ瀬附近に於て 12 m であつた。

他にも此の種の土砂流は相當の例があると思はれるが貯水池築造に際しては此の種の土砂流を考慮に入れて置かねば貯水池の機能を發揮せざる前に埋没の憂が多分にある。

貯水池が土砂を以て埋没さるゝと云ふ事實は言ひ換へれば貯水池の上流から、遠くは水源より河水が土砂を含有して流送し貯水池に沈澱すると云ふ事である。従つて貯水池の土砂埋没を考へるには先づその河水の土砂含有量を調査せねばならぬ。以下各河川の發表されてある資料を調べよう。

荒川 (埼玉縣):—物部博士が大正 3 年 8 月の大洪水減水期に於て秩父盆地の出口、寄居町に於て求めたる浮遊物重量は試料水重量の約 0.8%、即ち容積の約 0.5% であつた。

常願寺川 (富山縣):—現在常願寺川改修工事を擔當せらるゝ鷺尾技師の御意見に従へば常願寺川に於ては平均 1 ケ年間に 1 000 000 m³ 前後の流出土砂流があり約 5 000 m³/km² になる由である。前述の米國貯水池土砂堆積表なる表-4 より見ても表中の最大と雖年平均 1 549.3 m³/km² なるを知れば之が如何に莫大なる土砂量かが窺はれるのである。又物部博士は荒川と同様に測定されて重量比 1.6%、即ち容積比 1% に達し博士自身本邦稀有の例であると思はれる。

遠河支流柳河:—本流に送られる沈澱物の量は 1 ケ年平均 3 000 000 m³ と推定せられ昭和元年には 6 512 000 m³ に及び土砂含有量は洪水時最高重量比 3%、容積百分率では 1.25 に及ぶ状態である。

黄河:—黄河の或る支流に於ては重量で約 50% 容積百分率で 31.25 に達してゐると言はれてゐる。従つて富永技師も黄河の治水と利水と題してその中に堰堤の適當なる位置に暗渠を設け洪水調節池たらしむるも果して幾何の壽命を有するかは大いに研究を要すべき問題である。と述べて居られる。

以上の他に調査すれば平常等閑に附し居る河川が洪水時に案外多量の土砂を運送沈澱して居る事に氣附くであらう。更に歐米各國に於ける河川の調査例は表-7 の如くである。

表-7. 各河川土砂含有量

河川名	位置	平均浮遊物重量百分率	平均浮遊物容積百分率	摘要
Colorado	Yuma, Ariz, U. S.	0.760	0.475	1921 年を終とする 10 年の平均 北米合衆國開拓局
Rio Grande	San Marcial N. Mex.	1.660	1.037	1897 年~1912 年の平均 W. W. Follet
Zuni	Tuni Resv. N. Mex.	1.880	1.175	貯水池の泥土沈澱物より計算
Mississippi	Cairo to Gulf, U. S.	0.800	0.500	H. F. Robinson 1 年の平均 B. F. Thomas & D. A. Watt
Nile	Africa	0.313	0.196	"
Danube	Austria	0.283	0.176	"
Po	Italy	0.380	0.862	"
Rhône	France	0.870	0.543	"
Ganges	India	1.493	0.931	"
Loire	Tours, France	0.060~ 0.467	0.037~ 0.292	Prof. A. Hess
黄河	支那	0.400	0.250	低水位に於ける平均沈澱物 J.R. Freeman
"	"	4.500	2.812	1919 年 7 月 31 日~9 月 2 日 6ヶ所にて採取したる 18 試料水の平均 J. R. Freeman
白河	天津	0.142	0.887	1892 年~1922 年の平均 T. Pincione
"	"	0.192	0.120	底の平均
黄河	上海	0.005~ 0.100	0.003~ 0.062	H. von Heidenstam の報告
石狩河	對馬	0.018	0.011	岡崎文吉

大洪水の濁す土砂量は 1 箇年間の全量の 5 割を超えるものと思はれる。事實黄河の如きは 1 箇年間の總土砂量の内殆んど 90% は 7, 8, 9 の 3 ヶ月間に運ばれ、又全量の約 60% は 8 月の 1 ヶ月間に運ばれると言はれてゐる。

結局假令洪水になつても或程度の土砂は致し方ないが大部分は抑止する方策を樹つべきである。

貯水池内に土砂を含有する河水が流入して細粒の土砂程速く運ばれ比較的大きな土砂は貯水池の上流に堆積する現象は理論的にも證明し得る。半径 r の球體に作用する浮揚力は $\zeta w_0 \pi r^2 v^2 / 2g$, (ζ は常數) の形で表はされるから之が水中に於ける重量と釣合ふ爲には

$$\zeta w_0 \pi r^2 \frac{v^2}{2g} = (w - w_0) \frac{4\pi}{3} r^3$$

$$\therefore r = \frac{w_0}{w - w_0} \frac{3}{8g} \zeta v^2 \dots \dots \dots (1)$$

v が (1) 式にて與へられるものより小さくなれば砂粒は沈澱するがその時は抵抗が作用する。この抵抗が水と砂粒の相對速度の 2 乗に比例するとすれば抵抗は

$$R = \zeta_1 w_0 \pi r^2 \frac{v^2}{2g}$$

で表す事が出来る。故に砂粒の運動を表す方程式は

$$\frac{4\pi r^3}{3g} (w - w_0) \frac{dv}{dt} = \frac{4\pi r^3}{3} (w - w_0) - \zeta_1 w_0 \pi r^2 \frac{v^2}{2g}$$

$$\therefore \frac{dv}{dt} = g - \frac{3\zeta_1}{8} \frac{w_0}{w - w_0} \frac{v^2}{r} \dots \dots \dots (2)$$

$\frac{3\zeta_1}{8} \frac{w_0}{w - w_0} = c$ と置くときは (2) 式は

$$\frac{dv}{dt} = g - c \frac{v^2}{r}$$

$$\frac{dv}{\frac{r}{c} g - v^2} = \frac{dt}{r}$$

兩邊を積分すれば

$$\int \frac{dv}{\frac{r}{c} g - v^2} = \frac{c}{r} t$$

然るに積分公式 $\int \frac{dx}{a^2 - x^2} = \frac{1}{2a} \log \frac{a+x}{a-x}$ に依り

$$\log \frac{\sqrt{\frac{rg}{c}} + v}{\sqrt{\frac{rg}{c}} - v} = 2\sqrt{\frac{rg}{c}} \frac{c}{r} t = 2\sqrt{\frac{gc}{r}} t + C \dots (3)$$

境界條件として $t=0$ にて $v=0$ とすれば $C=0$ である。

$$\log \frac{\sqrt{\frac{qr}{c}} + v}{\sqrt{\frac{qr}{c}} - v} = 2\sqrt{\frac{qr}{r}}$$

より

$$e^{2\sqrt{\frac{qr}{r}}t} = \frac{\sqrt{\frac{qr}{c}} + v}{\sqrt{\frac{qr}{c}} - v}$$

$$\begin{aligned} (\sqrt{\frac{qr}{c}} - v)e^{2\sqrt{\frac{qr}{r}}t} &= \sqrt{\frac{qr}{c}} + v \\ -v(e^{2\sqrt{\frac{qr}{r}}t} + 1) &= -\sqrt{\frac{qr}{c}}(e^{2\sqrt{\frac{qr}{r}}t} - 1) \end{aligned}$$

$$\therefore v = \frac{e^{2\sqrt{\frac{qr}{r}}t} - 1}{e^{2\sqrt{\frac{qr}{r}}t} + 1} \sqrt{\frac{qr}{c}} \dots \dots \dots (4)$$

(4) 式より知らるゝ事は $v < \sqrt{\frac{qr}{c}}$ であつて $t \rightarrow \infty$ にて $v \rightarrow \sqrt{\frac{qr}{c}}$ なる事である。水深が如何に大きくなつても沈降速度は $\sqrt{\frac{qr}{c}}$ に達する事はないと云ふ事である。砂粒が V なる流速の流れの中に浮遊する時は砂

粒の運動の速度は V と v との合速度と見做す事が出来る。故に大きい砂粒程先に沈澱し小さいもの程遠くまで運ばれるのである。

今 $\zeta_1 = 0.789$ なる Eytelwein の流水中に於ける實驗値を用ひ $\sqrt{\frac{qr}{c}}$ の値を圖示すれば圖-16 の如くである。

5. 貯水池土砂堆積量の推定

貯水池築造に際して幾何の土砂量を見込むべきやは實に難問題であつて、貯水池上流の林相及び土質に依つて大に異り結局貯水池の上流域の状態を見究めて決定と云ふよりは推定せねばならぬ。然し之とても前述の不測の土砂流に見舞ふに於ては一朝にして推定土砂量を凌駕するであらう。即ちそこに經濟的限界がある。

福田秀夫技師著洪水調節 111 頁の洪水調節池の計算法に採用された 17 ケ所の貯水池例より推定土砂堆積量を總貯水池のどの程度にしてゐるかを次に見よう。之を表示すると表-8 の如くである。此の表から分る

圖-16. 土砂沈降速度圖

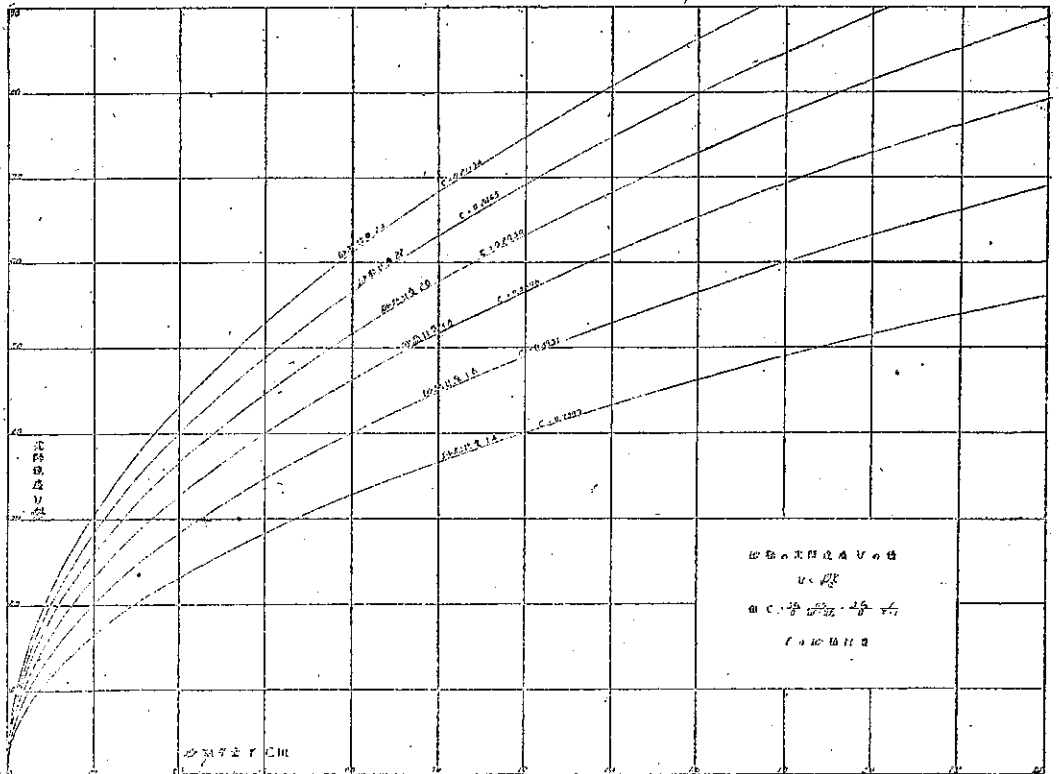


表-8. 推定土砂量例表

河川名	取水面積 (km ²)	堰堤高 (m)	溢水面積 (km ²)	總貯水量 (m ³)	有效貯水量 (m ³)	堆積土砂量 (m ³)	堆積土砂量 總貯水量 ×100(%)
1	224.0	45	2.40	23 000 000	22 500 000	500 000	2.17
2	267.6	55	2.84	50 300 000	40 000 000	10 300 000	20.47
3	196.1	45	3.88	46 100 000	38 000 000	8 100 000	17.57
4	740.0	72.8	4.98	117 650 000	88 150 000	29 500 000	25.07
5	1 149.0	37	4.63	37 700 000	35 400 000	2 300 000	6.10
6	635.0	30.3	4.09	34 400 000	31 800 000	2 600 000	7.55
7	368.0	42.5	4.40	38 000 000	34 300 000	3 700 000	9.73
8	154.0	51	1.09	18 430 000	15 630 000	2 800 000	15.19
9	—	41	1.52	—	20 900 000	—	—
10	105.0	55	1.76	29 800 000	26 800 000	3 000 000	10.06
11	1 988.0	42.6	9.80	93 500 000	89 300 000	4 200 000	4.49
12	206.0	20	3.89	19 980 000	17 800 000	2 180 000	10.91
13	350.0	68	3.35	44 000 000	38 600 000	5 400 000	12.27
14	31.3	21	0.57	2 430 000	2 385 000	45 000	1.92
15	79.3	38.6	1.24	16 850 000	12 330 000	4 520 000	26.90
16	43.0	20	0.75	2 690 000	2 234 000	456 000	16.95
17	110.0	20	3.53	16 024 000	14 400 000	1 624 000	10.13

表-9. 水道用貯水池推定土砂量例表

堰堤名	道府縣水系河川	貯水池全容積 (m ³)	貯水池有効容積 (m ³)	推定土砂量 (m ³)	土砂量 全容積 ×100(%)
千 苜	兵庫縣武庫川千苜川	11 717 805.0	11 612 527.0	105 278.0	0.898
布 引	兵庫縣生田川生田溪流	770 528.0	759 689.0	10 839.0	1.407
烏 原	兵庫縣淡川烏原溪流	1 457 129.0	1 439 022.0	18 107.0	1.243
猪 鼻	兵庫縣洲本川千草川	305 555.0	250 000.0	55 555.0	18.182
美 敷	鳥取縣千代川美敷溪流	642 986.0	527 993.0	114 993.0	17.884
小 ケ 倉	長崎縣鹿ノ尾川鹿ノ尾川	2 081 894.0	1 904 624.0	127 270.0	6.264
西 山	長崎縣中島川西山川	1 470 400.0	1 469 505.0	895.0	0.061
山 口	埼玉縣多摩川	18 791 000.0	17 700 000.0	1 091 000.0	5.806
村 山 下	東京府多摩川	8 868 600.0	8 197 560.0	671 040.0	7.566
津市水道貯水池	三重縣田雲川長野川	1 478 575.4	1 293 544.8	185 030.6	12.514

事は推定土砂量の最小は 1.92%、最大は 26.90% であつて推定土砂量の割合の平均を出して見ると 12.34% になつてゐる。

次に水道用貯水池の例を探つて如何程の餘裕を持つてゐるかを調べたものが表-9 である。資料は日本大

堰堤壑帳に依つた。

推定土砂量を大きくとれば土砂の堆積に對しては餘裕があり埋没するとしても長年月を要し誠に良い事ではあるが、必然堰堤の高さは増加し従つて貯水池築造の工費は一躍増加するのである。凡そ堰堤高の増加は

下流側及び上流側勾配は殆んど同一の勾配を採るから従つて僅かの高さの増加にも相當の堤體積の増加を見られるのである。故に此處に經濟的問題が生ずる。結局砂防施設を出來得る限り完備して尙且相當の%を見込む可きである。

6. 猪名川洪水調節池に就て

猪名川改修工事は昭和 15 年度着工されたものでその洪水調節池は猪名川の上流兵庫縣川邊郡多田村、東谷村、中谷村に設ける計畫であつて、猪名川の高水流量を貯溜して調節を圖ると共に神崎川改修計畫の流量を現在の計畫洪水量に止めんとするものである。

洪水調節池堰堤は高さ 45 m、長さ 180 m の重力式コンクリート堰堤で貯水面積 2 400 000 m² である。總貯水量 20 838 280 m³、有效貯水量 20 530 410 m³、推定土砂量 307 870 m³ であつてその總貯水量に對する割合は 1.48% であるが之で妥當であるかを調べて見ねばならぬ。

猪名川水源をなす諸川の流域は峻峻なる山嶽を以て圍し概ね花崗岩類である。西方は石英斑岩、花崗斑岩、閃綠岩、北東方面は花崗岩、角閃花崗岩を以てし古生層より成る。其に接續する丘陵は中生層或は古生層の硬砂岩、粘板岩を以てし、其の接續個所に銀山、肺木、茅生、千軒明月の諸銀銅鑛山があつて輝石、角閃石、方解石、石英等の露出があり、川邊郡多田村西多田鼓ヶ瀧右岸、豊能郡和根莊村山田川右岸諸丘よりは石灰岩の露頭を見、同村山田には満掩鑛山があり各沿川の段丘は第四紀に屬する泥板岩粘土、花崗岩礫、砂岩を以て被覆するを見、低地は往古一面の湖水であつた様である。

本川流域面積は約 400 km² であつて山地 100 に對

して平地 35 である。猪名川の幹川は源を御津丹波の國境大野山 (753.5m) に發し六瀬村を南東に下つて溪流を集め概ね 1/100~1/150 の勾配を以て中谷村に入り、城山、檢見山に源を發する野尻川を合流する附近より石英質の河床露出しその間 1/50 の勾配を保ち一大支流たる能勢川を容れ左岸天狗岩の一大石英岩の狹岸を過ぎるのである。此處に洪水調節池堰堤を設けるのである。

今此の流域に於ける崩壊状態を調べて見よう。昭和 13 年 7 月豊能郡東郷村に最大日雨量 200mm、同妙見山に 163 mm の雨量を見、猪名川水系山地の各溪流に山津浪を發生せしめ當地方として明治 29 年以來の大災害を惹起せしむるに至つた圖-17 は當時の池田市に於ける雨量記録である。當時の被害額を各河川別に (大阪府管内) 表示すれば表-10 の如くである。

兵庫縣管内にありても同地域の黒川に猛烈な山津浪を生じ國民學校の教員の殉死を見る始末であつた。その後兩府縣に於て砂防計畫を樹て蓄々進捗中で、その計畫は既に竣功せるものもある。

然し猪名川流域全體を眺めるときは割合流域は荒れてゐない方であると思へる。故に相當の砂防施設を行つて尙不測の災害さへ無ければ土砂堆積は非常に微々たるものであらうと思はれる。

堰堤築造地天狗岩に於て着工前より水位観測を行ひ其間時々流量観測を行ひ尙観測を續行中であるが今日迄に次の如き結果を得た。

年 度	濁水量	低水量	平水量
昭和 15 年度	0.09	0.51	0.42
〃 16 〃	1.11	2.51	3.99
〃 17 〃	0.70	0.80	2.90 (單位 m ³ /sce)

圖-17. 昭和 13 年 7 月 5 日 池田市雨量記録

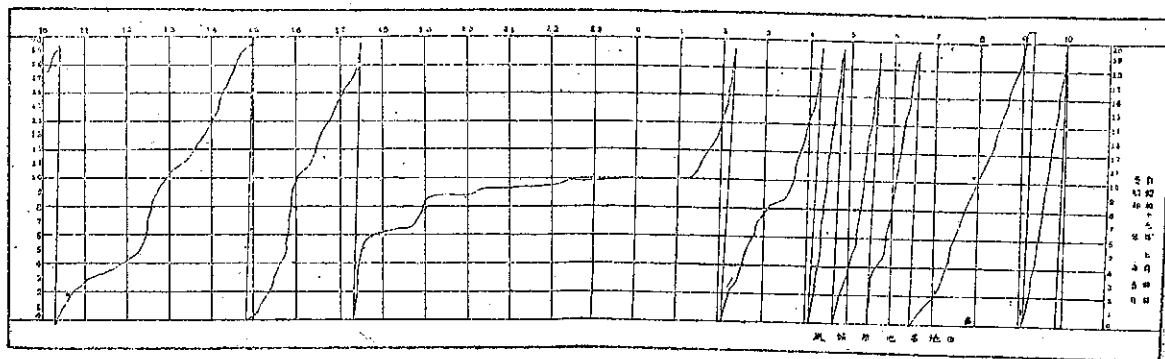


表-10. 昭和13年大阪府管内猪名川水系被害表

被害種別	内 譯	余野川筋		野間川筋		田尻川筋		合 計	
		員 數	金 額	員 數	金 額	員 數	金 額	員 數	金 額
死 傷	死 亡	9 人	一 圓	8 人	一 圓	—	— 圓	17 人	一 圓
	負 傷	2 名	—	—	—	1 人	—	9 名	—
家 屋	流 失	10 戸	14 000	70 戸	95 310	5 戸	3 500	85 戸	112 810
	倒 壊	37 名	10 000	56 名	24 110	17 名	4 000	110 名	38 110
	埋覆及浸水	67 名	4 000	138 名	1 500	56 名	2 500	261 名	8 000
耕 地	埋覆及流亡	50 町歩	178 350	100町歩	485 200	18町歩	30 700	168町歩	694 250
	破壊及流失	349 件	355 400	424 件	422 000	326 件	157 000	1 099 件	934 400
其 他		—	48 150	—	137 100	—	16 600	—	201 850
合 計			609 900		1 165 220		214 000		1 989 420

今猪名川の土砂含有量を容積百分率にて一年を通じて少し大き目にとつて 0.1 をして計算すれば次の如くである。

年 度	天狗岩に於ける全流量 (m ³)	流下全土砂量 (m ³)	下流に於ける年雨量 (mm)	年流出率
昭和15年度	44 903 808	44 903.80	1 009.2	0.198
16 年	125 828 640	125 828.64	1 496.4	0.375
17 年	91 454 400	91 454.40	1 289.4	0.317

若し昭和15年度に堰堤が完成して居るとすれば既に 260 000 m³ 程度の土砂の堆積を見てゐる事になる。若しも猪名川の貯水池が土砂を以て埋没されれば洪水調節の役目を果たさず、結局莫大なる費用をかけて下流の改修をせねばならず、何年間か下流改修工事を延期した事になり上流の洪水調節池築造費は利水に僅か役立つ以外に棄てたと同様の結果に終るのみである。

7. 結 語

以上貯水池の土砂埋没に就てその土砂の本質に戻り河川の土砂含有量、不測の土砂流等を調べ、現今に於ける貯水池の埋没状況を實際に知る時は、早晚生起すべき貯水池の土砂埋没を今迄等閑に附し來つたのに驚かざるを得ない。

では此の堆積すべき土砂を如何にして貯水池外へ流

送すべきか。或は堆積すべき土砂を如何にして貯水池内へ流入させぬ様にすべきか。筆者の考では此の問題は一旦流入せる土砂を貯水池外へ流送するよりは貯水池内へ土砂が流入せぬ様に施設をなすべきであると考えへる。

それには殖林、山腹工事、床闕及堰堤等の砂防工事を充分に施すべきである。

従つて貯水池の壽命の延長を計るには廣範圍に亙り徹底的に治山の方法を講じなければならない。斯くの如き砂防は長年月に亙り莫大なる工費を要するから今日迄我が國に於ては工費の關係上、利害最も重大にして改修の急を要する平地部を先にし未だ治山の手は及んでゐない状態である。

猪名川洪水調節池に於ても上流各支川の砂防工事を充分施工して土砂の堆積を阻止するにあらざれば雖て下流再改修の日の來るのは必然である。

本文に使用したる資料の大部分を御提供下さつた内務技師鷲尾氏の御援助に深甚なる感謝の意を表すと共に資料を引用させて頂いた著者の方々に感謝の意を表す。

(昭. 18. 10. 14. 受付)(第5回日本工學會論文)