

## かんがい用貯水池の堆砂に関する研究

### Ⅲ 神内上池における堆砂の層理について

吉 良 八 郎

Studies on the sedimentation in irrigational reservoirs.

Ⅲ. On the stratification of sediments in reservoir Jinnaikami.

Hachiro KIYA (Laboratory of Agricultural Engineering)

(Received July 20, 1956)

### Ⅰ 緒 言

貯水池における堆砂埋没問題解決にあたり現存貯水池の堆砂分布状態を把握しておくことは、その堆砂による埋没機構究明のため必要なことである。この点から筆者は、香川県下に数多く(18,606個)分布している主としてかんがい用貯水池を対象に、本学前川教授の研究テーマとされているかんがい用貯水池相に関する研究の<sup>(1-3)</sup>水文の因子の1部として、貯水池相別堆砂分布調査を進めている。そのうち香川県春日川支流天満川を締切つた神内上池を研究材料として、折から嵩上ならびに隧管工事施工中の空の期間を利用して、昭和29年末主として堆砂の垂直分布について調査を行い、既設人工湖としての二、三の性格を究明しえたので、いわゆる山池 mountain-reservoir の著例として報告する。

### Ⅱ 貯水池埋没支配因子からみた神内上池の概要

神内上池は香川県中部安原村外2カ村にわたる850haの流域をもち、木田郡西部を北流している春日川支流天満川の最下流部を締切り、下流側神内池(寛永12年築造、満水面積35ha)の補助池として大正3年築造されたかんがい用貯水池である。この貯水池は春日川を水系とする通称四カ池(神内上池ならびに神内池、公淵池、松尾池および城池を四カ池と称す)と称せられるものの一つで、流域相当大にしてなお余水ある関係上、神内池の補助池としてのみでなく、他の直接流域減少のため満水しえない公淵池、松尾池などに余水を補給する目的で、昭和27年度から県営四カ池用水改良事業が発足、現在1.2mの土堰堤嵩上工および取水装置としての斜隧管工が完了し、以降余水吐工、導水路工などが計画施工されんとしている。なおこの四カ池用水改良事業の一端として、昭和28年度より東京大学農学部ならびに当香川大学農学部で神内上池流域流出率調査が委託され現在続行中であるが、筆者はまた別にこの調査に関連づけて貯水池搬入浮流土砂量および沈殿箱による沈殿堆積量などの実測<sup>(4)</sup>を実施中である。

浮流土砂量や堆砂量の実測結果は今後長期間のデータによることにして、ここでは第1報に示した貯水池埋没を支配する各因子について若干考察してみよう。

1) 流域面積 …… 第1, 2表のように直接土砂供給源となる直接流域面積は、貯水池満水面積の約110倍にあたり、相当莫大な土砂が搬入堆積することが予想される。この際第1図で分割流域A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>4</sub>なる部分(約80%)の土砂は、降雨による土壌侵蝕により天満川本流に流出し、河川による掃流ならびに浮流物質のかたちで神内上池に流送堆積し、単独分割流域である貯水池両岸のA<sub>5</sub>, A<sub>6</sub>なる部分(約20%)では、それぞれ小谷流による土砂運搬、池岸山地からの直接土壌侵蝕、あるいは貯水池波浪による池岸侵蝕のかたちで搬入堆積することが考えられる。

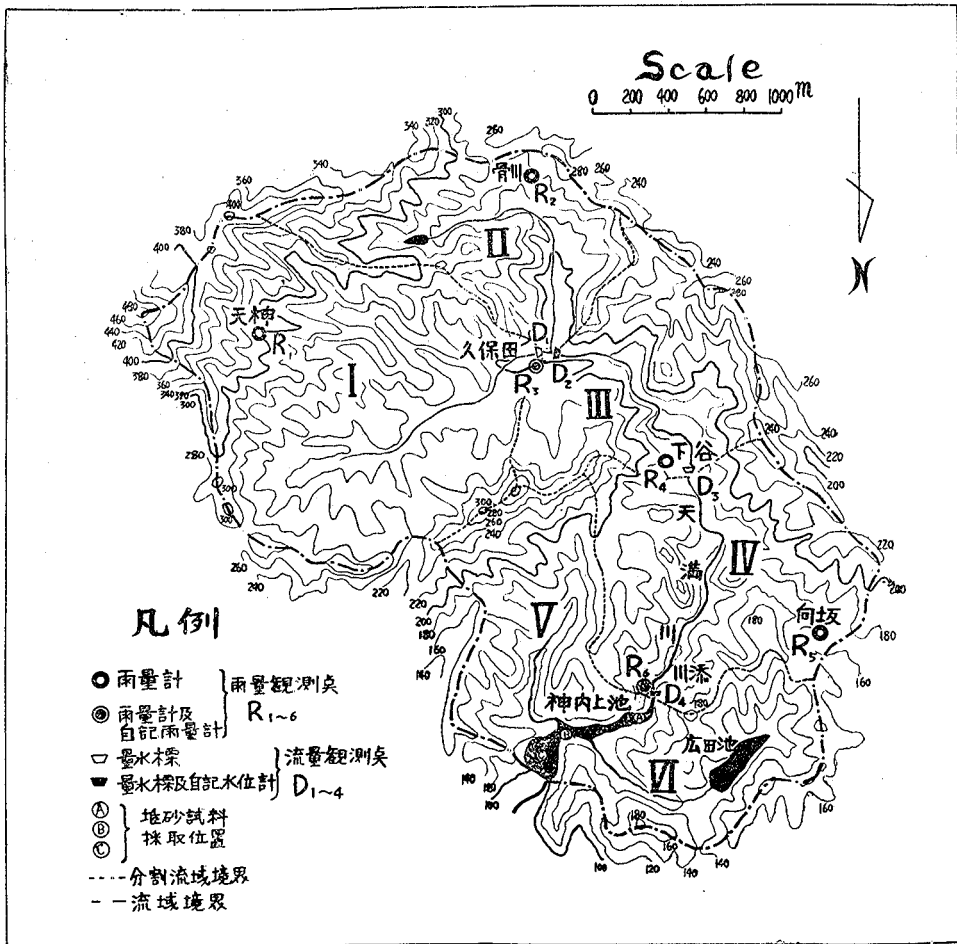
第1表 神内上池の概要<sup>(5)</sup>

	嵩 上 前	嵩 上 後
流域面積 (ha)	850.0	850.0
堤 高 (m)	26.0	27.2
堤 長 (m)	125.0	129.0
貯水容量 (m <sup>3</sup> )	636,200	759,125
満水面積 (ha)	7.655	8.738

第 2 表 神内上池流域の概要<sup>(6)</sup>

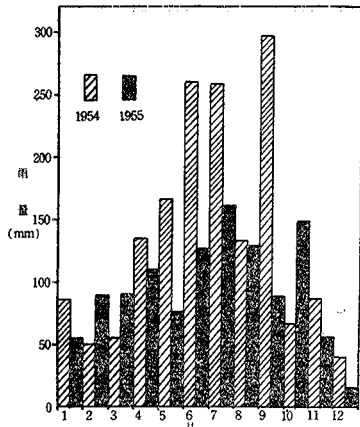
流域区分	流域面積		河川の長さ L (m)	流域の形状係 数 F	流域の平均勾 配 S	備 考
	A (ha)	比率 (%)				
I	A <sub>1</sub> =255.2	30.9	L <sub>1</sub> =2500	F <sub>1</sub> =0.409	S <sub>1</sub> =0.285	A=638.8ha F=0.251 S=0.293
II	A <sub>2</sub> =112.6	13.6	L <sub>2</sub> =2300	F <sub>2</sub> =0.213	S <sub>2</sub> =0.323	
III	A <sub>3</sub> =116.6	14.1	L <sub>3</sub> =1200	F <sub>3</sub> =0.812	S <sub>3</sub> =0.268	
IV	A <sub>4</sub> =154.4	18.7	L <sub>4</sub> =1350	F <sub>4</sub> =0.847	S <sub>4</sub> =0.302	
V	A <sub>5</sub> =97.1	11.7	L <sub>5</sub> =1500	F <sub>5</sub> =0.432	S <sub>5</sub> =0.236	単独流域 } A=180.2ha 単独流域 }
VI	A <sub>6</sub> =83.1	10.1	L <sub>6</sub> =1200	F <sub>6</sub> =0.577	S <sub>6</sub> =0.280	
VII	A <sub>7</sub> =7.4	0.9	L <sub>7</sub> =1100			
Σ	A=826.6	100	L=6150(本流長)		S=0.294	

註 Fは HORTON公式  $F = \frac{B}{L} = \frac{A}{L^2}$ , (B=流域平均巾) による。  
 Sは HORTONの等高線延長法  $S = D \frac{\sum l}{A}$ , (D=相隣る等高線高差, l=等高線長) による。  
 Lは地形図で測つた水平距離, なお本表は5万分の1地図によるもの。



第 1 図 神内上池流域の概要

- 2) 流域内の地質、土壌の特性 ----- ほとんど第4期新層の花崗岩質砂質壤土であり、これら花崗岩質土壌は他の砂岩や安山岩質土壌に比して受蝕性高いことを川村、齋藤<sup>(8)</sup>などが指摘しているように、地質、土壌の面からも顕著な土壌侵蝕による貯水池埋没促進の危険性が予想される。
- 3) 流域内の地形的諸条件 ----- 流域標高はmax.480m, min.100m 高差380mで、その平均勾配を HORTONの等高線延長法で求めたのが第2表に示され、全流域で $S=0.294$ となり相当急峻なる山地流域なることが知れ、この点からも土壌流出助長の危険性が高くなる。また第2表に示した流域の形状を示す HORTONの形状係数は天満川で大体0.2~0.8の範囲にあり、わが国大河川、たとえば北上川(0.18)、多摩川(0.07)、相模川(0.13)などに比較して相当大なる値を示す。すなわち長さの割に巾の広い地域をもつことになり、その結果流域の各部に降った雨がほとんど同時刻に河川に出てくるから洪水量したがって流送堆積土砂量が大きくなるといえるであろう。
- 4) 流域内の植物被覆の性質 ----- 流域内の地目別面積比率をみると、山林原野が約83.2%、耕地約15.4% (水田10.6%、畑4.8%)、それに池沼 (神内上池および広田池)約1.4%を占め、山林は樹令10~40年の赤松、黒松が多くそれに水害防備林として最適の竹林が山脚に点在し、その他雑木からなっている。また原野も一応砂防のため山腹張芝工が施されており、傾斜地開設耕地としての水田、畑はいずれも棚田や階段畑であり、土壌保全、堆砂埋没防止面からみた流域の地被状態は概して良好といえる。
- 5) 流域内の気象的諸条件 ----- 神内上池流出率調査のための流域内6カ所気象観測結果によると、年雨量約



第2図 神内上池流域月別雨量 (6カ所観測平均)

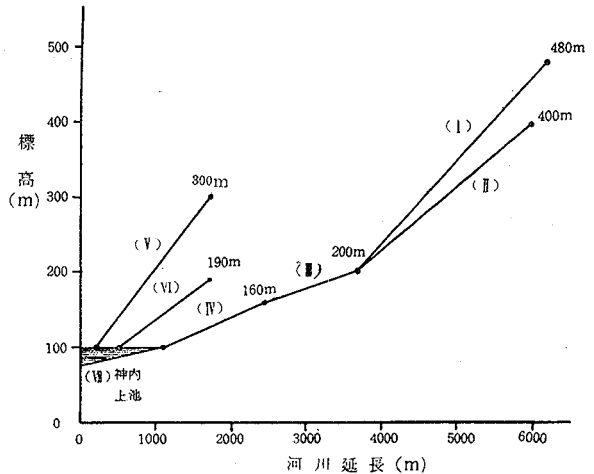
1,000~1,700mm  
 でその月別分布も年により異なるが第2図のように6, 7, 8, 9月にわたる peak があるようで、流域内2カ所の自記雨量計記録による月別最大10分間降雨強度を示すと、第3表のようであり、筆者が土壌侵蝕現地試験<sup>(10, 11)</sup>から判定した限界強度2mm/10分

第3表 月別最大10分間降雨強度 (神内上池流域)

年	月	最大降雨強度 mm/10min	備考
1955	4	2.4	R <sub>6</sub> (川添) および R <sub>8</sub> (久保田) における自記雨量計記録によるもの。 ※:欠測のため井戸村土壌侵蝕試験地資料 <sup>(10)</sup> を採用。
〃	5	1.6	
〃	6	11.0※	
〃	7	7.0	
〃	8	8.5	
〃	9	11.6	
〃	10	3.0	
〃	11	1.2	
〃	12	0.4	
1956	1	2.0	
〃	2	0.9	
〃	3	1.6	

(ただし傾斜15°裸地) 以上の危険降雨が6~9月に頻発しており、筆者の高松における過去12年間資料<sup>(12)</sup>による危険降雨の季節的分布から推定すると、雨蝕危険性は6月下旬~8月上旬および8月下旬~9月下旬に最も高く年間堆砂の大部分はこの季節の降雨により流亡搬入されることが考えられる。この点池内6カ所に設置した沈澱箱による観測により、季節的分布状態の究明が可能となる。

- 6) 水理学的特性 ----- 天満川は春日川支流の山地流域にあたるので、第3図のように縦断勾配急であり、流速も大となりしたがって浮流ならびに掃流土砂量が大きくなることが考えられ、後述のように貯水池内堰堤附近まで掃流砂が達した一原因が裏書される。



第3図 神内上池流域における天満川本支流縦断面図

7) 人為的諸作用……この点から流域内耕地の土壌侵蝕防止, 植林, 山腹の治水工事などによる流域管理が望まれるが, 神内上池の場合特に上流側に数カ所砂防堰堤を築造して, 貯水池流入土砂を上流側において阻止する方法が, 堆砂問題解決の先決問題と考えられる。

8) 貯水容量……貯水容量の大小は直接堆砂による埋没年数に密接な関係があり, 流域面積や貯水池流入水量などと関連つけた実験式により考察してみよう。まず筆者実験式で承水係数  $f_a = \frac{C}{A} = 7.4847 \times 10^{-2}$  ( $C$ :貯水容量  $m^3$ ,  $A$ :流域面積  $m^2$ ) を導入したもから概算すると平均年堆砂率  $R_s = 0.17(C/A)^{-0.48} = 0.52\%$  となり, 約192年で埋没。昭和29年現在全堆砂率は貯水池年令40年として約21%と概算される。また貯水率  $R_c = \frac{C}{Q} \times 100 = 26.0\%$  ( $Q$ :平均年貯水池流入水量) を導入したもからは  $R_s = 2.89 \left( \frac{100C}{Q} \right)^{-0.40} = 0.76\%$  となり, 約133年で埋没, 現在全堆砂率は約30%と概算される。

次に鶴見実験式<sup>(12)</sup>を用い堆砂量を概算してみると,  $q_s = 0.1(C/F)^{0.8} = 7.93 m^3/km^2$  of drainage area/year. となり, 平均年間全堆砂量は約6,742  $m^3/year$ , 埋没年数は約94年, 現在堆砂量は貯水容量の約42%と計算される。この場合平均年堆砂率は約1.06%となり筆者の式よりやや大なる値がでる。

以上各実験式はわが国大規模発電用貯水池の資料によるものであるが, 承水係数, 貯水率について発電用高堰堤の平均値 ( $f^3 = 5.2537 \times 10^{-2}$ ,  $R_c = 41.1\%$ ) と比較すると承水係数は大で貯水率は小なる値を示し, 実験式による概算値からみると, 大体小渓谷を締切つた場合であり, 大規模な発電用貯水池の場合における緩侵型埋没貯水池に相当するようである。

9) 貯水池の環境位置……前川教授の環境別に分類された山池 mountain-reservoir (河川の本流または主要な支流を山間溪谷において締切るもの) に相当するものであり, またその名が示すように同一河川水系の最上流を締切つたところの棚池中奥池あるいは上池に相当するものであるから, 堆砂埋没の危険性多く後述のようにその堆砂分布においては顕著な山池の特色を示しておる。

10) 貯水池面積, 深さ, 縦横断形状……貯水池満水面積は第1,2表のように流域面積の約1%に足らずであり, この点からも埋没速度大なることが想像される。深さは最大深約23mでありその断面形状をみると満水深約1,100m

で前川教授によると窪み度  $C = \frac{H}{R} = \sqrt{\frac{\pi}{A}} = 0.14$  ( $H$ :最大水深,  $R$ :満水面の平均半径) であり, 他の例(日本かんがい用高土堰堤平均0.11, 朝鮮かんがい用高土堰堤平均0.02, 日本発電用高堰堤平均0.06, あるいは香川県下かんがい用実測貯水池平均では山池0.12, 麓池0.08, 野池0.04など) に比較して相当大なる値を示しており, その貯水池の窪み方あるいは池岸の平均傾度がいわゆる山池的性格を示すもので, その堆砂機構も野池 field-reservoir (平野の窪地とか僅かの高低差を利用して締切るもの) とは大いにことなる面が顕著にみられる。<sup>(1-3)</sup>

11) 堆砂排除施設……この役目を果すものに余水吐, 底樋管などがあるが, 昭和29年4月15日底樋管入口欠潰

後多量の堆砂池泥が下流側河川を埋没し, 更に下流約700mに背水点をもつ神内池に搬入堆積されて顕著なデルタを急造したことからみて, 底樋管利用による排砂効果の極めて大なることがうかがえる。第4図は下池である神内池を示すもので, その上流側白い部分は, 減水時に露出した Delta deposit を明示している。この Delta は神内池築造(寛永12年, 1635年)後, その上流側に神内上池築造(大正3年, 1914年)まで約280年間にわたり, 直接天満川流域から搬入堆積して進展し, その後約40年間はほとんど進展なく, 今回(昭和29年, 1954年)の神内上池内堆砂池泥の放出, 搬入により急速に前進したものと考えられる。なおこのような Delta の進展により, 貯水容量, 満水面積などの変移減少をもたらす反面, 満水面上露出したデルタ地帯は, 再び貯水池築造



上流側神内上池より流入 Top-set beds として形成された Delta deposit (減水時露出した白い部分)

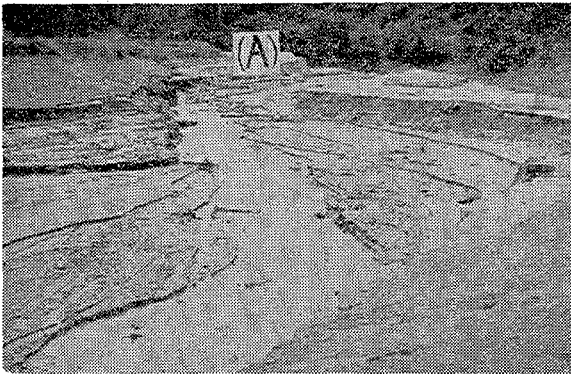
第4図 神内池におけるデルタ進展状況 (減水期における航空写真)

前の農耕地として自然干拓が行われたことになり、神内池の場合も、上流側デルタ地帯が相当美田と化している。

以上神内上池に関する埋没支配因子について若干解析してみたが、堆砂埋没の著しい発電用高堰堤に比較したら、その規模小で緩慢型埋没貯水池に相当するも、香川県下におけるかんがい用貯水池中では、堆砂による埋没危険性大なる貯水池であると考えられ、その残存堆砂状況あるいは実験式による概算などからみて、大体40年間に約10~20%程度埋没していたのではないかと推察される。

### Ⅲ 神内上池に見出された堆砂層理

昭和29年4月15日底樋管欠潰後、昭和30年末嵩上、斜樋管工事完了し貯水開始までの期間において、洪水毎堆砂池泥の大部分が底樋管を通じて放出されたが、筆者は昭和29年末空虚の期間を利用してその残存堆砂の垂直分布調査を行つた。すなわち残存堆砂は旧河心(流心)を中心に両岸侵蝕をうけて明瞭な垂直断面を露出しており、しかも流心部は旧池床を露出しているので堆砂の最下底から残存堆砂分布が容易に観察できた。(第5図a~d参照)

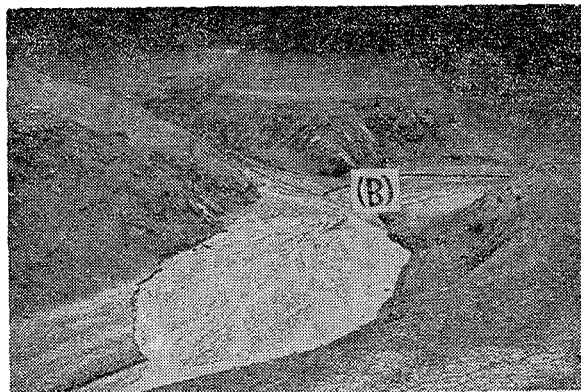


(A)点: A断面調査位置, 両岸は侵蝕をうけた堆砂垂直断面露出

第5図 a: 底樋管欠潰後の堆砂流出状況

[上流側デルタ部分 (Top-set beds),  
昭和29年4月末, 前川写]

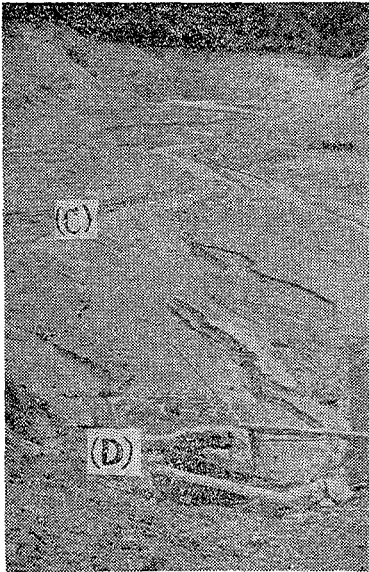
B点: B断面調査位置, 調査時は写真堆砂面より約5mの旧池底まで侵蝕さる。



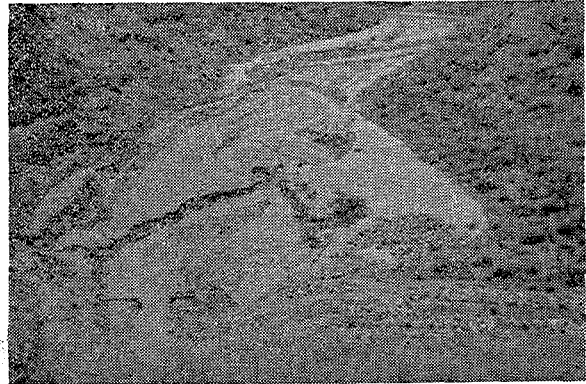
第5図 b: 底樋管欠潰後の堆砂流出状況,

[枝節分岐部分 (Bottom-set beds),

昭和29年4月末, 前川写]



C点：C断面調査位置  
D点：欠潰底樋管



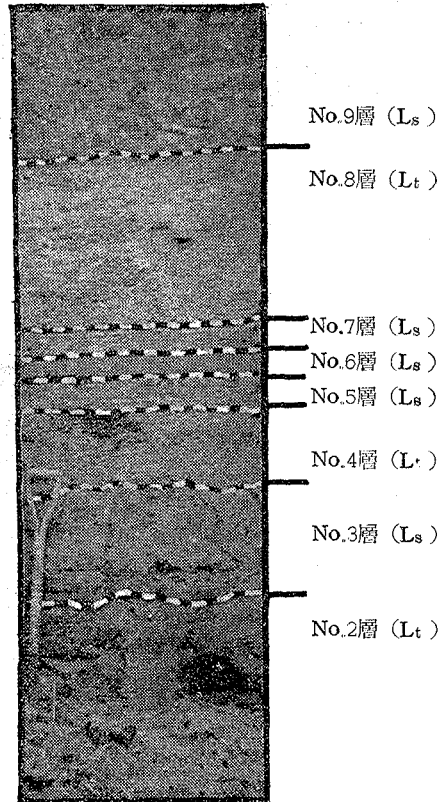
第5図 C, 底樋管欠潰後の堆砂流出状況  
〔下流側 (Bottom-set beds), 昭和29年  
4月末, 前川写〕

第5図 d 底樋管欠潰後の堆砂流出状況,  
〔下流側 (Bottom-set beds), 昭和29年10月採土時,  
吉良写〕

大観的にその流心部両側の垂直分布をみると、山池堆砂の特性を示しており、上流から堰堤附近までの各断面において、洪水時における掃流により流送堆積したと考えられる掃流物質層 *tractional-load layer* (主として黄褐色、茶褐色乃至赤褐色を呈した砂礫層) と、洪水時あるいは掃流物質を伴わない出水時に、浮流あるいは潜行密度流により運ばれた微細粒子からなる浮流物質層 *suspended-load layer* (腐植や亜酸化鉄の存在によりほとんど青色をおびた腐泥粘土層) なる堆積層が互層をなしており、いわゆる層理 *stratification* を形成して大型の縞が明瞭に認められた。またこの砂礫層と腐泥層が互層をなす各層理について浮流物質層で約2~5mm程度、掃流物質層で約10~100mm程度の多数の縞、すなわち *PERFILIEV (1929) (16)* が湖沼堆積物で命名した微層理 *Mikrozone, micro-stratification* が発見された。なお各微層理内では沈澱速度の関係で下層ほど粗粒子、上層ほど微粒子なる層序を示しており、その傾向は浮流物質におけるいわゆる沈澱微層理 *Sedimentmikrozone, sediment-micro-stratification* において顕著であつた (第6図参照)。

また各残存垂直断面をみると、そのうち浮流物質層はいわゆる池泥の特長<sup>(16)</sup>を示しており、腐植や亜酸化鉄の存在により一般に暗青色を呈しているが、旧池床より堆砂上層になるにしたがつて  $O_2$  による酸化がおこなわれて酸化鉄の存在多くなり、次第に褐色を帯びその色も暗青色から淡青色に露出表面に至ると褐色に近づく傾向がうかがえた。

堆砂分析試料は第1, 4図のようにその流心部に沿つてその *Top-set beds* とみられるA点(厚さ340cm), *Bottom-set beds* と考えられるB点(厚さ470cm) およびC点(厚さ145cm) なる



第6図 A点 (Top-set beds) における堆砂層理

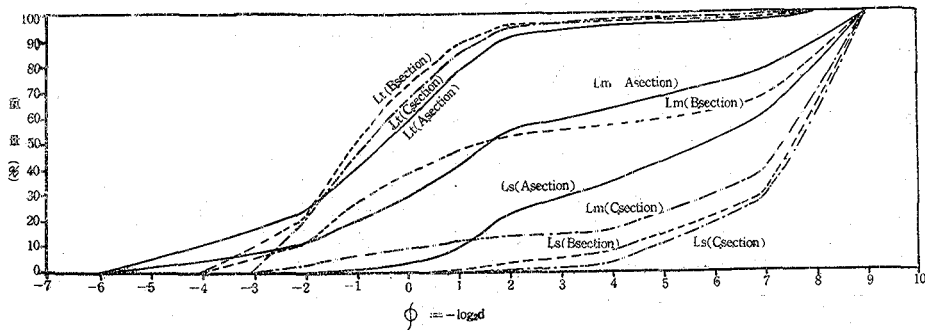
第4表 堆砂の理学的性質

断面	層	旧池床層厚さ 番号 (cm)	粒 径 分 布										最大径		原 土			細 土			色	土 性 名			
			礫		粗 砂		細 砂		微 砂		粘土		中 粘土分 (%)	徑 (mm)	仮比重 (S <sub>u</sub> )		密度	仮比重 (S <sub>a</sub> )		真比重 (S <sub>r</sub> )			孔隙率 (P) %	有機物含量 (%)	
			4 mm	2 mm	1 mm	0.5 mm	0.25 mm	0.05 mm	0.01 mm	0.01 mm	粗	密			粗	密		粗	密					C (%)	Humus (%)
A	断面	9 Ls	0.20	0.77	1.35	2.18	17.73	14.75	28.99	34.03	34.36	5.00	0.91	1.08	1.00	0.90	1.07	0.99	2.01	50.75	1.27	2.19	暗褐色	細礫土	
		8 Lt	25.90	22.85	20.12	17.17	9.74	2.10	0.87	1.25	2.45	25.01	4.44	1.56	1.50	1.32	1.40	1.36	2.58	47.30	0.07	0.12	淡褐色	礫に類する富む砂土	
		7 Ls	0	0.01	0.04	0.76	8.66	14.52	17.42	58.59	58.66	4.00	0.89	1.04	0.97	0.89	1.04	0.97	1.84	47.25	1.00	1.72	淡青色	腐植を含む細礫土	
		6 Ls	0	0.12	1.08	11.79	24.13	4.10	6.80	19.69	43.64	4.00	0.17	1.29	1.28	1.16	1.28	1.22	2.16	43.50	0.22	3.83	暗青色	腐植を含む細礫土	
		5 Ls	30	54.56	17.72	13.10	8.20	4.81	0.90	0.43	0.28	1.00	0.01	0.55	1.67	1.61	1.33	1.43	1.38	2.35	60.50	2.22	0.15	茶褐色	礫土
		4 Lt	120	0	0	0	0.02	2.18	5.80	32.90	59.10	59.10	1.00	0.71	0.91	0.81	0.71	0.91	0.81	1.84	55.90	2.29	3.95	暗青色	細礫土
B	断面	2 Lt	1.46	6.25	13.94	32.16	28.06	7.38	5.26	5.49	5.95	7.01	2.31	3.61	3.01	2.01	3.11	2.62	2.39	47.30	0.26	0.46	灰褐色	礫を含む砂土	
		1 Ls	1.25	3.17	7.55	22.02	23.05	12.29	14.15	16.52	17.28	7.01	1.14	1.25	1.20	1.11	1.23	1.17	2.46	52.40	0.66	1.14	暗青色	腐植を含む砂礫土	
		15 Ls	0	0	1.28	0.87	0.82	0.79	16.93	79.31	79.31	2.00	0.72	0.89	0.81	0.72	0.89	0.81	2.48	67.34	2.04	3.52	暗褐色	腐植を含む細礫土	
		14 Lt	16.69	26.87	21.08	19.55	12.42	1.33	0.73	1.33	2.35	15.01	3.51	1.43	1.27	1.32	1.30	2.69	51.67	0.28	0.48	茶褐色	礫に類する富む砂土		
		13 Ls	0	0	0	0.02	1.52	2.54	35.38	60.54	60.54	1.00	0.88	0.83	0.76	0.83	0.76	2.63	71.10	2.50	4.30	淡青色	腐植を含む細礫土		
		12 Lt	16.08	31.58	24.89	20.62	5.42	0.60	0.34	0.47	0.90	15.01	3.61	1.48	1.25	1.38	1.32	2.81	53.02	0.17	0.30	茶褐色	礫に類する富む砂土		
C	断面	11 Ls	0	0	0.40	0.86	3.12	4.46	22.72	68.44	68.44	2.00	0.70	0.88	0.70	0.88	0.79	2.59	69.50	2.26	3.89	淡青色	腐植を含む細礫土		
		10 Lt	22.00	26.06	20.80	15.82	11.04	1.84	0.60	1.84	3.55	17.01	3.91	1.53	1.46	1.29	1.41	1.35	2.82	50.35	0.26	0.44	茶褐色	礫に類する富む砂土	
		9 Ls	0	0	0.22	0.32	5.06	9.72	34.68	50.00	50.00	2.00	0.74	0.91	0.83	0.74	0.91	0.83	2.84	70.80	2.35	4.05	青 色	腐植を含む細礫土	
		8 Lt	8.58	31.30	28.72	19.27	7.18	1.95	0.66	2.34	3.90	8.01	3.01	4.21	3.61	2.81	3.33	2.99	55.50	0.23	0.39	褐色	礫に類する富む砂土		
		7 Ls	0	0	0.02	0.14	0.42	0.92	24.48	74.02	74.02	2.00	0.71	0.89	0.80	0.71	0.89	0.80	2.51	68.10	2.08	3.58	青 色	腐植を含む細礫土	
		6 Lt	21.70	31.30	20.54	15.53	6.16	1.65	0.63	2.49	5.30	12.01	3.61	1.40	1.38	1.30	1.42	1.36	2.73	50.10	0.33	0.57	黄褐色	礫土	
C	断面	5 Ls	0	0	0.38	0.26	0.10	0.08	7.56	91.62	91.62	2.00	0.69	0.87	0.78	0.69	0.87	0.78	2.48	68.50	2.64	4.55	青 色	腐植を含む細礫土	
		4 Lt	43.19	23.38	10.21	8.15	5.56	1.68	0.40	2.43	8.60	17.01	3.91	1.57	1.48	1.29	1.36	1.32	2.75	51.60	0.16	0.27	茶褐色	礫土	
		3 Ls	0	0	0.02	0.90	12.76	16.36	30.16	39.80	39.80	2.00	0.82	0.96	0.89	0.82	0.96	0.89	2.67	66.70	1.90	3.27	暗青色	腐植を含む細礫土	
		2 Lt	29.49	33.33	15.89	12.46	4.55	1.69	0.49	2.10	5.65	15.01	3.71	1.43	1.40	1.27	1.36	1.32	2.79	52.70	0.14	0.25	黄褐色	礫土	
		1 Ls	0	0	0.02	0.06	0.24	0.60	19.46	79.62	79.62	2.00	0.69	0.90	0.80	0.69	0.90	0.80	2.76	71.00	1.99	3.43	暗青色	腐植を含む細礫土	
		4 Lt	19.56	29.42	22.28	20.71	6.27	0.87	0.36	0.53	1.04	10.01	4.44	1.56	1.50	1.30	1.45	1.38	2.76	50.00	0.28	0.48	淡褐色	礫に類する富む砂土	
C	断面	3 Ls	0	0	0	0.1	0.32	2.44	29.08	68.06	68.06	1.00	0.79	0.89	0.84	0.79	0.89	0.84	2.69	68.77	2.46	4.24	淡青色	腐植を含む細礫土	
		2 Lt	18.88	23.67	18.21	17.18	14.60	4.21	2.86	0.39	0.67	8.01	3.81	1.50	1.44	1.28	1.40	1.34	2.78	51.79	0.34	0.58	茶褐色	礫に類する富む砂土	
		1 Ls	0	0	0	0.26	0.72	1.70	23.36	73.96	73.96	1.00	0.81	1.03	0.92	0.81	1.03	0.92	2.75	66.54	2.66	4.59	暗青色	腐植を含む細礫土	

註：粒径分析はA. S. K法、土性名は日本農学会法、有機物（炭素量、腐植量）定量はTURIN氏の酸化滴定法による。

3断面につき、旧池床上残存堆砂を各層毎採取して実験室に持帰り、堆砂の粒径分布、仮比重、真比重、孔隙率あるいは有機物（TURIN氏の酸化滴定法により炭素ならびに腐植含量）などの分析をおこなったが、その結果を示したのが第4表であり、各調査断面において互層をなしている浮流物質層（L<sub>s</sub>層）と掃流物質層（L<sub>t</sub>層）との理化学性が自ら異なっていることが確認される。すなわちその粒径分布や一般的理化学性をみると、L<sub>s</sub>層は大体粘土を多量に含む細粘土かこれに近似したところの腐植を含んだいわゆる腐泥であり、明らかに洪水時あるいは常時出水時において浮流や潜行密度流として運ばれた微細な浮流物質が、洪水後あるいは常時徐々に沈澱堆積した層であることが推察される。逆にL<sub>t</sub>層は大体礫に類する富む砂土あるいは礫土からなっており、腐植含量も極めて少く、洪水時掃流により池底に沿って運搬堆積した層であることが容易に推察できる。

次に各調査残存堆砂の垂直断面につきその全浮流物質層理、全掃流物質層理および全断面に関して、そのweightとして各層の厚さを加味した全層理毎平均値を求めたのが第7図および第5表である。ここで第7図は堆砂の粒径分



第7図 φ scaleによる累加頻度曲線

第5表 層理別理化学性

層理別断面別	理化学性	層理厚さ h(cm)	原土		細土				土性名
			仮比重 粗密平均 S <sub>a1</sub>	真比重 粗密平均 S <sub>a2</sub>	真比重 S <sub>r</sub>	孔隙率 P (%)	有機物含量 炭素量 C (%)	腐植量 Humus (%)	
L <sub>s</sub> (浮流物質層理平均)	A	180	0.99	0.98	2.07	52.11	1.37	2.37	腐植を含む堆積土
	B	220	0.81	0.81	2.67	66.43	2.13	3.66	腐植を含む細粘土
	C	125	0.90	0.90	2.73	67.16	2.60	4.49	腐植を含む細粘土
L <sub>t</sub> (掃流物質層理平均)	A	160	1.40	1.33	2.54	47.56	0.13	0.26	礫に類する富む砂土
	B	250	1.41	1.33	2.77	48.04	0.25	0.43	礫土
	C	20	1.47	1.36	2.77	50.90	0.31	0.53	礫に類する富む砂土
L <sub>m</sub> (全層理平均)	A	340	1.18	1.15	2.29	49.97	0.79	1.38	壤土
	B	470	1.13	1.09	2.73	51.76	1.13	1.94	粘壤土
	C	145	0.98	0.96	2.74	64.92	2.29	3.95	腐植を含む細粘土

布を示すのにφscale<sup>(14)</sup>を用いたものである。すなわち WENTWORTH の粒径階級区分によると粒径  $d = 2^{\phi}$  ( $\phi$ : 指数) となつてはいるが、粒径大なるものを graph の左方にとるため  $d = 2^{-\phi}$  としてこの対数を取り  $\phi = -\log_2 d$  で表現したものである。また第7図のφscaleによる累加頻度曲線から粒径の中央値 ( $M_{a\phi} = \text{median}\phi$ )、4分偏差 ( $Q_{a\phi} = \text{quartile deviation}$ )、10分偏差 ( $P_{a\phi} = \text{percentile deviation}$ ) を求め、分級度の比較をなしたのが第



第6表 分級度の比較

事 項 層 理 別 断 面 別	層理厚さ h(cm)	Max. of diameter d <sub>max</sub> (mm)	Median of diameter		Quartile deviation of diameter		Percentile deviation of diameter		
			M <sub>d</sub> φ	d <sub>m</sub> (mm)	Q <sub>d</sub> φ	d <sub>q</sub> (mm)	P <sub>a</sub> φ	d <sub>p</sub> (mm)	
L <sub>s</sub> (浮流物質 層理平均)	A	180	7.0	5.90	0.017	2.68	0.155	3.70	0.080
	B	220	2.0	7.60	0.0052	0.93	0.520	2.20	0.220
	C	125	1.0	7.65	0.005	0.83	0.560	1.93	0.260
L <sub>t</sub> (掃流物質 層理平均)	A	160	80.0	-0.45	23.000	1.40	0.380	3.05	0.120
	B	250	17.0	-1.00	2.000	1.03	0.690	2.08	0.240
	C	20	10.0	-0.80	1.800	1.15	0.450	1.98	0.250
L <sub>m</sub> (全層理平均)	A	340	80.0	1.65	0.340	3.98	0.066	5.25	0.0265
	B	470	17.0	1.50	0.350	3.80	0.074	5.25	0.0265
	C	145	10.0	7.40	0.006	1.48	0.360	4.13	0.0580

註: M<sub>d</sub>φ = M<sub>50</sub>, Q<sub>d</sub>φ =  $\frac{Q_{75} - Q_{25}}{2}$ , P<sub>a</sub>φ =  $\frac{P_{90} - P_{10}}{2}$  によるもの。  
d<sub>m</sub>, d<sub>q</sub>, d<sub>p</sub> はφscaleから粒径dを求める片対数の表より求む。

6表である。これらによるとその性格も明瞭になり、その粒径分布をみると大体L<sub>s</sub>層理では粗粒子より微粒子に向い漸増、φscaleによる累加頻度曲線はconvex typeを示し、L<sub>t</sub>層理では大体逆に微粒子より粗粒子に向つて漸増して曲線はconcave typeなる傾向を示す。また各断面において仮比重、真比重はL<sub>t</sub>層理がL<sub>s</sub>層理より大であるが、孔隙率や有機物(細土中炭素および腐植量)は逆にL<sub>s</sub>層理がL<sub>t</sub>層理より大となり、結局その平均的土性は、L<sub>s</sub>層理においてA断面で腐植を含む壤土、B、C断面で腐植を含む細壤土となり、L<sub>t</sub>層理ではA、C断面で礫に類する富む砂土、B断面で礫土となる。

また上下流断面の比較を行うと、L<sub>s</sub>およびL<sub>t</sub>層理においてA→B→Cと下流側断面ほど最大径、中央値M<sub>d</sub>φあるいは分級度を示す10分偏差P<sub>a</sub>φなどの値が小となり、天然の分級度がよく粒径分布がM<sub>d</sub>φを中心により集中していることがいえる。また各L<sub>s</sub>、L<sub>t</sub>平均層理において下流側ほど真比重、孔隙率および有機物含量などが大なる傾向を示し、その各断面における全層理平均値をみると、下流側ほど粒子が小となり、仮比重はやや小となり、真比重、孔隙率あるいは有機物含量など大なる値を示し、結局平均土性はA断面で壤土、B断面で堆積土、C断面で腐植を含む細壤土となる。

以上のように貯水池の背水附近より堰堤近くまでの間における流心部(主通路)に沿つた堆砂断面では、大体礫に類する富む砂土あるいは礫土からなる掃流物質層と、腐植を含んだ細壤土からなる浮流物質層が互層をなすところの顕著な大型層理を形成する事実は、いわゆる山池的堆砂機構の特性といえるであろう。また今後古くからかんがい用貯水池として利用されている大小数多くの貯水池堆砂層理(特に層理の厚さ、粒径)の究明により、過去における洪水の時期や規模あるいは貯水池年令などの推定が可能となろう。

最後にこの調査では、主として貯水池の流心部に沿つた僅か上、中、下流3断面につき、その旧池床からの残存堆砂垂直断面約50cm巾から採取した試料につき分析検討を行ったものであり、なお数多くの貯水池を対象にした詳細な調査をまたなくては、貯水池堆砂層理の性格がつかめないと考えるが、顕著な山池的貯水池における堆砂の垂直分布を示す事例としては充分なものといえよう。

一般に人工貯水池における土砂の堆積は、わが国でも田中<sup>(13)</sup>が千頭貯水池において認めているように、自然三角州と同様に、Top-set beds(頂部堆積層)、Fore-set beds(前面堆積層)、Bottom-set beds(底部堆積層)あるいはDensity-current beds(密度流堆積層)なる3~4の順序で行われるものと考えられるが、なお人工貯水

池における堆砂分布は、その貯水池の形態、環境立地条件あるいは貯水池内位置などにより極めて複雑な様相を呈するものといえよう。この点神内上池の場合、その堰堤附近まで上下流位置による堆砂の性格異るとはいえ、砂礫層と腐泥層の互層をなす層理が顕著にあらわれたことは、その環境立地が河川最上流山間部において締切つたところの山池あるいは上池に相当することは勿論のこと、本調査が流心部に沿つた断面のみについて行つたこと、またその形態が峡谷を締切り窪み度大なる細長な形を呈しているためなどにも起因したものと考察される。その他各断面における大型層理中にみられた  $L_s$ 、 $L_t$  層内の微層理あるいは洪水毎の浮流ならびに掃流物質層が互層を形成する状態などについては、当池に設置した特殊な沈澱箱による観測結果から後日検討してみたい。

#### IV 摘要 結 言

かんがい用人工貯水池相からみた山池の堆砂著例として、神内上池における堆砂による埋没支配因子の解析ならびにその残存堆砂の垂直分布を調査して若干知りえた諸点を示すと次の通りである。

- (1) 神内上池の堆砂埋没は、その危険性大なる発電用高堰堤に比較したら、比較的規模小でいわゆる緩慢型埋没貯水池に相当し、その残存堆砂あるいは実験式による概算などから、大正3年築造以来40年間に約10~20%程度埋没していたものと推定されるが、香川県下に分布するかんがい用貯水池中では、堆砂による埋没危険性大なる貯水池と考察される。
- (2) 人工的山池における流心部附近の堆砂断面には、背水位置から堰堤附近に至る間において、掃流物質層と浮流物質層が互層をなした大型の層理がみられ、なおその各層理中には微層理が見出された。
- (3) 掃流物質層と浮流物質層の性格には、顕著なる差が認められ、掃流物質層は洪水時の掃流により池底に沿つて流送堆積し、浮流物質層は洪水時における浮流や潜行密度流として運ばれた微細な浮流物質が徐々に沈澱堆積したものであることが推定される。
- (4) 掃流物質層は黄褐色、茶褐色乃至赤褐色を示したところの礫に頗る富む砂土か礫土であり、逆に浮流物質層は淡青色、青色乃至暗青色を呈した腐植を含む埴壤土乃至細埴土からなるいわゆる腐泥である。
- (5) 仮比重、真比重は掃流物質層が大であり、孔隙率、有機物含量（炭素量、腐植量）は逆に浮流物質層が大となる。
- (6) 貯水池内堆砂上下流断面の比較を行うと、掃流ならびに浮流物質層とも下流側断面ほど一般に粒子が小となりその最大粒径、粒径中央値あるいは分級度を示す粒径10分偏差などが小さくなり、天然の分級度がよく粒径分布が中央値を中心により集中していることがいえる。また下流側ほど真比重、孔隙率および有機物含量大なる傾向がある。

最後にこの調査研究にあたり常に御指導をうけている本学前川教授ならびに堆砂試料の採取あるいは分析に協力された脇谷助手、多田、植村諸氏に深く感謝の意を表したい。

#### 参 考 文 献

- (1) 前川忠夫：香川県の溜池について、香川農大  
学術報告，6(3)，273~282(1955)。
- (2) 前川忠夫：野池の池相について、農業土木学  
会講演要旨，64(1956)。
- (3) 前川忠夫：かんがい用貯水池相に関する研究  
(貯水池の規模及び形態について)、農業土木学  
会中四国支部研究報告(9)，47~56(1956)。
- (4) 吉良八郎：貯水池の堆砂に関する研究(1)、  
香川農大  
学術報告，7(1)，15~26(1955)。
- (5) 香川県農地部：四カ池用水改良事業計画書、  
(1952)。
- (6) 秋葉満寿次：香川県神内上池流出率調査(予報)、  
(1954)。
- (7) 川村秋男、芳野省三：土壌の理化学性と侵蝕度  
について、土壌侵蝕研究集録(1)，111~118(1951)。
- (8) 斎藤実、中山一義、日笠正次：花崗岩及び安山  
岩質土壌の理化学性について、香川農大  
学術報告，7(1)，105~110(1955)。
- (9) COOPER, A. J., SNYDER, W. M.: Evaluating  
effects land-use changes on sediment load,  
*Proc. A. S. C. E.*, 82 (HY-1), 883 (1956)。
- (10) 吉良八郎：土壌保全を対象とした危険降雨に  
関する研究(2)、農及園，31(6)，851~852(1956)。
- (11) 吉良八郎：果樹園の土壌保全に関する研究(VI)，

- 農業土木研究, 24(2), 36~40 (1956).
- (12) 吉良八郎: 果樹園の土壌保全に関する研究(VII), 農業土木研究, 24(4), 47~51 (1956).
- (13) 田中治雄, 松島三晃: 千頭貯水池に於ける底質について(概報), 電力中央研究所土木部報告, 1~53 (1953).
- (14) 市川正巳: 山地災害の調査と実験(下), 科学の実験, 7(6), 66~73 (1956).
- (15) 吉村信吉: 湖沼学, 273~279, 三省堂(1942).
- (16) 玉置鷹彦, 星川玄児: 池泥の研究(I~III), 香川農大術報告, 5(2), 181~189 (1953), 6(2), 222~226 (1954).

## R é s u m é

The author shows in this paper investigations and experiments on the vertical distribution of sediments in reservoir Jinnakami in order to study the problems of sedimentation constructing artificial reservoirs.

The results are summarized as follows:

- (1) In the mountain reservoir, constructing artificial reservoirs, the stratifications is acknowledged concerning the vertical distribution of sediments due to its tractional-load and suspended-load by flood its center line part of stream during dam from backwater.

Generally speaking the tractional-load layer (Lt) in these stratifications was the sands or gravels has a tinge of brown, but suspended-load layer (Ls) was the fine clay has a tinge of blue which contains humus.

- (2) The mean values of size of grains (the max., median and percentile deviation diameter), apparent specific gravity and real specific gravity of tractional-load layer were larger than those of suspended-load layer and porosity and organic matter contents (the percentage of carbon and humus) smaller.
- (3) In the tractional-load layer and suspended-load layer the real specific gravity, porosity, percentage of carbon and humus of downstream side sediments were larger than those of the upper stream side one and the size of grains (the max., median and percentile deviation diameter) smaller.