

(B-6) フリップ・バケット型水叩き下流洗掘の実態調査

電力中央研究所 中 村 宏

1. まえがき

フリップ・バケット型水叩はダム下流面を流下した高速流を空中へ放散させて、放散された水脈の落下によって生ずる下流河床の洗掘によって自然に水礫池を形成せしめ、この水礫池で落下水脈のエネルギーを減勢するものであって、近年わが国でも各所で採用されている。フリップ・バケット型水叩については多くの水理模型実験が行なわれているが、放射水脈の落下によって河床がどの程度洗掘され、洗掘されたズリが下流にどのように堆積するかを模型実験によってのみ推定することは現在のところ困難であって、模型実験による現象の究明とともに既設構造物について洗掘の実態を調査することが必要である。

筆者は中部電力株式会社および四国電力株式会社の御協力を得て、奥泉、大森川および畑碓第二の三つのダムについて下流河床の洗掘の経過を調査してきた。この中、奥泉ダム下流河床の昭和34年までの洗掘調査結果については既に発表した通りであるが、ここでは奥泉ダム下流河床のその後の変化、および大森川ダム、畑碓第二ダム下流河床の洗掘調査結果について述べる。

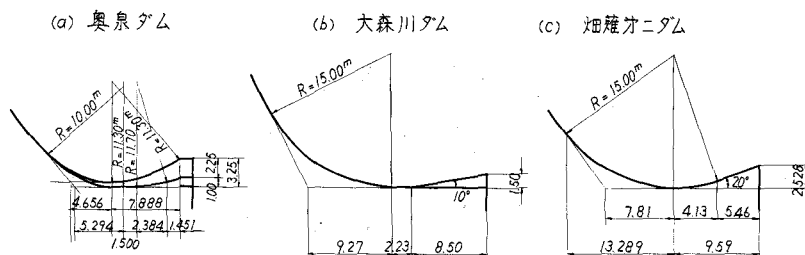
2. ダムの概要と調査方法

奥泉、大森川および畑碓第二の各ダムの概要は表-1の通りである。

表-1 ダムの概要

ダム名	所在地	水系	竣工年月	高さ	射出端巾	計画洪水量	ダム附近の岩質
奥 泉	静岡県	大井川	昭30.10	42m	28,381m	2070 m ³ /s	粘板岩、砂岩
大 森 川	高知県	吉野川	昭34. 8	72m	8,000m	450 m ³ /s	石英緑色片岩 石英石墨絹雲母片岩
畑 碓 第二	静岡県	大井川	昭35. 7	69m	24,000m	1800 m ³ /s	粘板岩、チャート

図-1 射出端形状



ダム下流河床および山腹の洗掘経過は毎年一回測量を行なって調査した。水面上の部分は地上写真測量、水面下の部分は深淺測量によった。またダムの放流量は各電力会社において観測した放流記録を資料とした。

3. 放流記録

奥泉ダムの放流記録の中、日平均放流量が $200 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の場合について放流年月日、当日の平均放流量、放流時間、および当日の最大放流量を示すと表-2の通りである。また大森川ダム、畑薙第二ダムの放流記録は表-3、表-4の通りである。

表-2 奥泉ダム放流記録

年月日	日平均 放流量 m^3/s	放流 時間 hour	日最大 放流量 m^3/s
31. 9. 27.	303.0	24	560.0
32. 6. 28.	344.4	24	406.5
32. 9. 11.	256.0	24	431.0
33. 7. 26.	309.0	2	576.6
33. 8. 26.	490.5	8	1354.2
33. 9. 26.	235.5	15	446.8
33. 9. 27.	223.7	1	310.0
34. 8. 13.	613.0	24	876.0
34. 8. 14.	1083.0	24	1808.0
34. 8. 15.	296.0	24	415.0
34. 9. 27.	534.6	24	1572.0
35. 8. 13.	353.0	23	565.0
35. 8. 14.	339.0	23	466.0
36. 6. 27.	594.3	15	957.0
36. 6. 28.	909.5	24	1274.0
36. 6. 29.	729.3	24	924.0
36. 6. 30.	410.8	24	607.0
37. 6. 14.	269.1	24	423.0
37. 6. 15.	213.8	24	322.0

表-3 大森川ダム放流記録

年月日	日平均 放流量 m^3/s	放流 時間 hour	日最大 放流量 m^3/s
34. 8. 22.	37.3	23 ^m	75.9
34. 11. 2.	12.5	12 ^h 10 ^m	26.6
34. 11. 3.	7.3	37 ^h 30 ^m	12.2
36. 8. 23.	31.7	28 ^h 00 ^m	106.0
36. 9. 16.	98.4	10 ^h 10 ^m	149.0
36. 10. 26.	47.1	14 ^h 05 ^m	110.0

表-4 畑薙第二ダム放流記録

年月日	日平均 放流量 m^3/s	放流 時間 hour	日最大 放流量 m^3/s
36. 9. 15.	44.2	3	75.0
36. 9. 16.	339.8	24	777.0
36. 9. 17.	208.1	24	321.5
36. 9. 18.	120.8	24	160.5
36. 9. 19.	85.6	8	88.0
36. 10. 10.	111.0	14	171.0
36. 10. 27.	69.7	7	111.0
36. 10. 28.	108.8	24	159.0
36. 10. 29.	29.2	24	60.0
36. 10. 30.	5.4	24	15.0
36. 10. 31.	33.0	8	30.9
37. 7. 28.	40.6	8	105.0

4. 測量結果

ダム下流河床の放流による変化は図-2、図-3、図-4、図-5に示す通りである。これらは何れも洪水吐中心線での縦断面図である。

奥泉ダム下流河床はダム竣工後四年間に最大洗掘部で約 12 m の洗掘を生じたが、その後は洗掘は進まず、むしろ洗掘孔中にズリが堆積して水褥池は年々浅くなっている。表-2に示されているように昭和36年には最大 $1274 \text{ m}^3/\text{s}$ が放流されているにもかかわらず、洗掘孔には堆積を生じ、前年より更に浅くなっている。この放流で右岸側に若干の崩壊を生じており、これが洗掘孔中に堆積したものであろう。これらの洗掘孔中に堆積したズリが下流へ掃流されていない点よりみて、 $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度の放流では落水脈のエネルギーは水褥池内で完全に減勢されていると考えることができる。

大森川ダムは奥泉ダムと異なり、比較的川巾の広いところに狭い洪水吐を設けているため、ダム下流の兩岸山腹には変化はない。第二室戸台風の際には最大 $149 \text{ m}^3/\text{s}$ が放流されたが、この放流によってダム下流河床は川巾一ぱいに洗掘を受けた。最大洗掘部は射出端より 70 m 附近のところで、ダム竣工時の河床よりの最大洗掘深さは約 6 m である。工用仮締切はダム竣工後もそのまゝ残されているが、仮締切より上流の河床は僅かしか洗掘されていない。

畑産第二ダムの第一回目の調査は工事中に行なったが、右岸側にある放水管を仮排水路として使用していたため深淺測量を行うことができなかった。また調査を始めてから日が浅く、資料が十分整理されていないので、昭和37年11月に行った第二回目の調査結果と、石膏河床として $1800 \text{ m}^3/\text{s}$ に相当する流量を流して得られた洗掘実験結果を示した。

5. 放射水脈の落下位置と洗掘の位置

奥泉ダムおよび大森川ダムについて、代表的な流量での放射水脈の軌跡を求め、これを図-2および図-4に示した。放射水脈が水面に達した後、軌跡は水面への到達点での接線の方をとり、ものと考えた。

奥泉ダムでは昭和31年に $560 \text{ m}^3/\text{s}$ が放流されているが、この時の放射水脈の軌跡は図-2の $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ の時の軌跡に近いものである。昭和31年12月の河床は $Q = 500 \text{ m}^3/\text{s}$ の時の放射水脈が河床へ衝突する附近に最大洗掘を生じている。昭和33年には最大 $1354.2 \text{ m}^3/\text{s}$ が放流されているが、放流時間が短いため、最大放流量放流時の放射水脈の

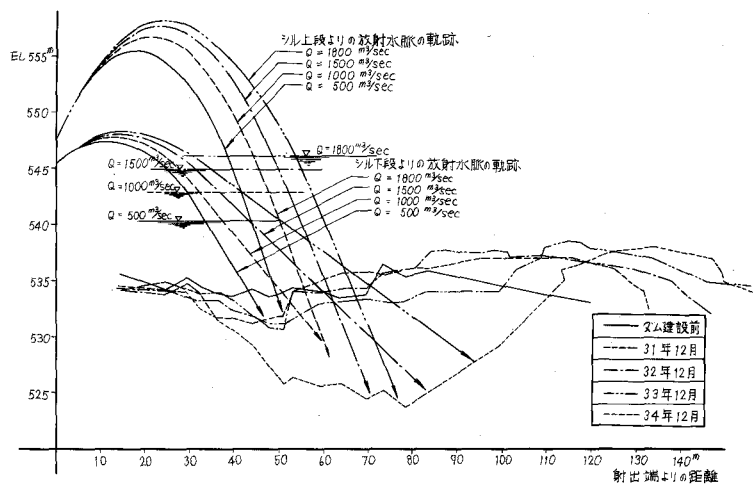


図-2 射出端よりの放射水脈の軌跡と下流河川縦断面図 (奥泉ダム)

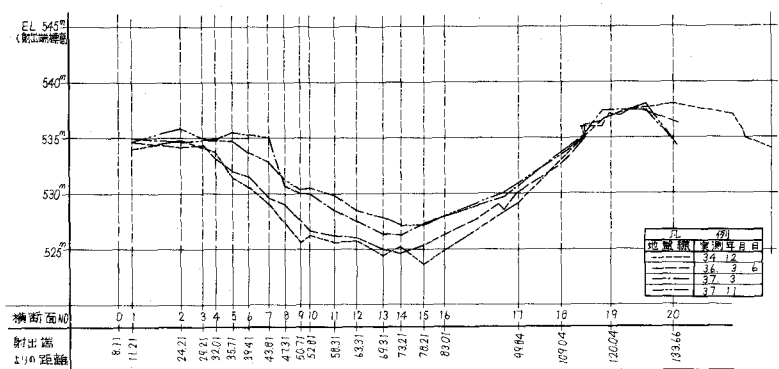


図-3 奥泉ダム下流河川縦断面図

河床への衝突点の附近が最大洗掘を生ずるまでに至らなかったであろう。昭和34年の最大放流量は $1808.0\text{ m}^3/\text{s}$ で、シル上段よりの水脈と下段よりの水脈の衝突点をほぼ中心として上下流が洗掘されているが、下流側の洗掘の方が大きい。

大森川ダムでは昭和35年7月までには最大 $75.9\text{ m}^3/\text{s}$ が放流されているが、これによる最大洗掘の位置は図-4の $Q = 75\text{ m}^3/\text{s}$ の場合の放射水脈の河床衝突点に近い。また昭和35年8月から36年11月までの最大放流量は $149\text{ m}^3/\text{s}$ であるが、この放流によって河床は図-4の $Q = 150\text{ m}^3/\text{s}$ の場合の放射水脈の河床衝突点より下流が主として洗掘されている。

奥泉ダムおよび大森川ダムの例よりみて最も洗掘される箇所は計算より求めた放射水脈の軌跡が河床と交る点の附近とみてさしつかえない。

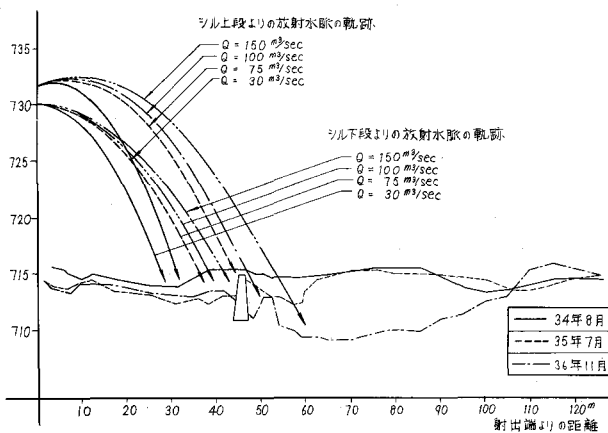


図-4 射出端よりの放射水脈の軌跡と下流河川縦断面図 (大森川ダム)

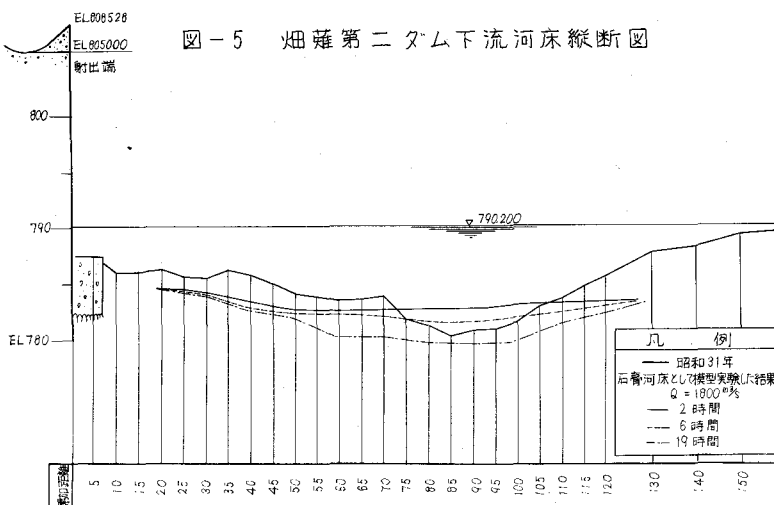


図-5 畑薙第二ダム下流河床縦断面図

6. 洪水時の水褥池クッション水深について
放射水脈の落下によって河床が洗掘されてゆけば、水褥池のクッション水深が増加し、放射水脈の運動のエネルギーはこゝで減勢されて河床の洗掘の進行は緩慢となり、やがて平衡状態に達する。従って放射水脈の運動のエネルギーと放射水脈の落下によって形成された水褥池のクッション水深との間には何等かの関係がある筈である。

水褥池のクッション水深は洪水時のダム下流水面から洪水吐中心線での河床縦断面に示された最大洗掘部までの深さとし、また測量によって得られた洗掘孔の縦断面はその調査を行うまでの最大放流量が放流された時に形成されたと考える。

奥泉ダム、大森川ダムおよび畑薙第二ダムの毎年の最大放流量放流時の放射水脈単位巾の有する運動のエネルギー $\frac{1}{2} \rho q V^2$ (ρ は水の密度、 q は放射水脈単位巾の流量、 V は放射水脈の水極地への流入平均流速) を求め、これとその時の水礫池クッション水深 t_{max} との関係を示したのが図-6である。図-6にプロットした点の説明は表-5の通りである。

表 - 5

番号	ダム名	放流年月日	日平均放流量 m^3/s	放流時間	日最大放流量 m^3/s	日平均放流量	
						日最大放流量	
1	奥 泉	31. 9. 27	303.0	24 ^h	560.0	0.54	
2	"	33. 8. 26	490.5	24 ^h	1354.2	0.36	
3	"	34. 8. 14	1083.0	24 ^h	1808.0	0.60	
4	"	36. 6. 28	909.5	24 ^h	1274.0	0.71	
5	大 森 川	34. 8. 22	37.3	23 ^m	75.9	0.49	
6	"	36. 9. 16	98.4	10 ^h 10 ^m	149.0	0.66	
7	畑 薙 第 二	36. 9. 16	339.8	24 ^h	777.0	0.44	

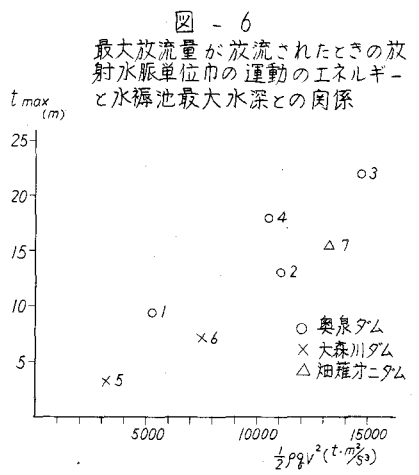


図-6では日平均放流量が小さい場合および放流時間が短い場合は水礫池のクッション水深は小さくなっている。これはこのような場合には、河床の洗掘が少ないことを示すもので、河床の洗掘の深さは放流状況が異なれば異なっている。こゝにとりあげた三つのダムで得られた結果だけで一般的結論を導くことはできないが、今後フリップ・バケット型水叩を有するダムの下流河床の洗掘深さを推定する場合に、図-6よりある程度の推定はできると考えられる。

7. ダム下流の洗掘量と堆積量

奥泉ダムおよび大森川ダムの竣工時河床よりの総洗掘量は表-6および表-7の通りである。

表-6 奥泉ダム下流の洗掘量

期 間	30.11~31.11.	30.11~32.11.	30.11~33.11.	30.11~34.11.
洗 掘 量	4700 m^3	6057 m^3	9715 m^3	32270 m^3

表-7 大森川ダム下流の洗掘量

期 間	34.7~35.7.	34.7~36.11.
洗 掘 量	2380 m^3	12580 m^3

年々ダムよりの放流量が増しているため、河床の洗掘深さが深くなり、河床の洗掘量が増加している。しかし洗掘孔直下流に生じた堆積部の堆積高の上昇は極めて緩慢である。この堆積部のダム竣工直後河床よりの堆積量と、洗掘部のダム竣工直後河床よりの洗掘量との比の変化は図-7に示す通りで、奥泉ダムにおいても大森川ダムにおいても堆積量/洗掘量は年々減少している。

8. 模型実験結果との比較

奥泉、大森川および畑薙第二の各ダムは、その建設に当って何れも洪水吐の水理模型実験を行って

おり、河床の洗掘に関しては石膏河床上に放射水脈を落下させて洗掘位置を推定する方法をとっている。これらの実験で得られた洗掘位置とこの調査で得られた洗掘位置とを比較してみると、

イ. 奥泉ダム——模型実験では $2070\text{ m}^3/\text{s}$ の場合の最大洗掘位置は T.D. 70 m 附近（射出端よりの距離）である。一方実測結果は、 $1808\text{ m}^3/\text{s}$ の放流された昭和 34 年の最大洗掘位置は T.D. 80 m 附近である。

ロ. 大森川ダム——模型実験では $430\text{ m}^3/\text{s}$ の場合の最大洗掘位置は T.D. 59 m 附近である。一方実測結果は、 $149\text{ m}^3/\text{s}$ の放流された昭和 36 年の最大洗掘位置は T.D. $60\sim 70\text{ m}$ 附近である。

ハ. 畑籾第二ダム——模型実験では $1800\text{ m}^3/\text{s}$ の場合の最大洗掘位置は T.D. $80\sim 100\text{ m}$ 附近である。一方実測結果は、 $777\text{ m}^3/\text{s}$ の放流された後の最大洗掘位置は T.D. 85 m 附近である。

上に述べたように実測で得られた最大洗掘位置は模型実験で得られた最大洗掘位置にほぼ一致しているか、あるいは下流側に生じている。しかもこれらの洗掘を生ぜしめた時のダムの放流量は模型実験の場合の方が大きい。従って模型実験と同一流量が放流された場合の原型における最大洗掘位置は模型におけるよりも下流側に生ずると考えられる。

9. 結 論

調査結果を要約すると次のようになる。

- (1) 堤体附近の河床は洗掘を受けない。
- (2) ダムよりの放流量の増加とともに洗掘孔は大きくなるが、大きな流量が放流された後、それ以上の流量が放流されなければ河床の洗掘は起らない。
- (3) ダム下流の最大洗掘位置は、放射水脈の河床への衝突点の計算値とほぼ一致する。
- (4) 模型実験で石膏河床を用いて洗掘実験を行う場合の最大洗掘位置は、原型で生ずる最大洗掘位置よりも若干上流に生ずる。
- (5) 放流によって河床がどの程度洗掘されるかについては、資料が少いため十分の検討がなされていないが、この調査結果から河床の洗掘深さについてある程度の推定は可能である。
- (6) 河床、山腹の洗掘が著しくても、洗掘孔直下流の堆積部の堆積高の上昇は極めて緩慢である。

