

Conchas 貯水池の滞砂問題の研究

D.C. Bondurant: Sedimentation Studies at Conchas Reservoir in New Mexico. Proc., ASCE, 76, 29. (Aug. 1950).

貯水池の滞砂問題は、容量の損失だけでなく、多目的貯水池の諸機能及び貯水池上流の上昇や、下流の低下など種々の問題を含んでいる。滞砂の理論的予想やその量の分析は完全ではなく、現存貯水池に関して利用し得るデータも至つて少い。

Conchas 貯水池の流域面積は 7 350 mile² (19 000 km²)、そのうち 3 420 mile² (8 720 km²) は山地、2 840 mile² (7 240 km²) は高原、1 090 mile² (2 820 km²) が平地である。峡谷断面のこの貯水池は長く狭く V 形に South Canadian 河と Conchas 河とが二股になつてできている。全容量は 800 000 acre-ft (987 000 000 m³)、ダムの高さは 235 ft (71.6 m) でコンクリートの緊急余水吐きは 3 000 ft (914 m) の長さがある。貯水池の長さは Canadian 河では 23 mile (37 km)、Conchas 河では 13 mile (21 km)。ダムは陸軍工兵団によつて 1939 年に完成し、1941 年に満水した。この貯水池はこう水調節とカンガイの二つの目的を持つものであり、こう水の通過する間以外はこう水調節用の容量をいつも準備してあつて、水位がほとんど一定している。この点が滞砂の問題を研究するのに都合がよかつた。

1944 年 10 月には滞砂量は 24 000 acre-ft (29 600 000 m³) に達し、80% はデルタを形成し、20% は貯水池の底に一様に分布した。1942 年 9 月のこう水の時の測定によつて重量比で 5% の土砂含有量があるとすれば、余水吐き管路から 6 000~15 000 acre-ft (7 400 000~18 500 000 m³) の土砂が通過したと推定される。また、ダムの下流の洗掘は 40 mile (64 km) 以上にわたつて認められ、河床物質が 7 000 acre-ft (8 650 000 m³) 下流に流された。滞砂量の 15% は Conchas に、85% は Canadian に積つた。Conchas の方が流域面積及び流量当りの滞砂量は遙かに多いのだが、平水流量もこう水流量も Canadian よりもずつと少いので、このようになる。

ダムの下流の河床こう配は 5.1 ft/mile (1/1 035) で、Canadian 河の上流では、貯水池の先端で 10 ft/mile (1/528)、23 mile (37 km) 上流では 11 ft/mile (1/480)

である。Conchas 河は、合流点のすぐ上で 13.1 ft/mile (1/403) で前者よりも急である。貯水池の上池の端まで同じこう配だが、その上流 18 mile (29 km) の地点では 17.8 ft/mile (1/297) になる。

Canadian 河の滞砂の厚さは最大で 42 ft (13 m) に達し、Conchas では 32 ft (9.7 m) である。底に落着く (bottom-set) 滞砂は全滞砂量の 20% 以下であり、1.6 lb (726 g) の錘を自由に水中で落下させたとき約 6 inch (15 cm) 軟い土を貫く位の緊り方である。表面の軟い層は余水吐きを開いたとき、ダムの前面から約 2 000 yd (1 800 m) までの面積から流れ出ると見られるが、この表層が流れ去つた後には流れは濁らなくなり、錘で調べても、2 000 yd 以上離れた部分は余水吐きの影響を受けなかつたことがわかつた。

貯水池の滞砂状況を図-1 に示す。これは三つの部分 (top-set, fore-set, bottom-set) に分けられる。¹⁾ この区別は Conchas よりも Canadian の方にはつき

図-1

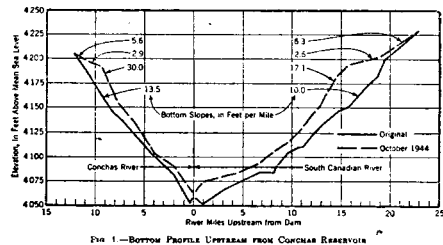


FIG. 1.—BORROW CHANNEL UPTAKE FROM CONCHAS RESERVOIR

り現われた。貯水池の水底物質を種々な方法で取つて粒度分析を行つたが、予想の通り、デルタの表層の粒子は上流ほど大きく、個々の試料の粒度分布の幅はせまいものであつた。恐らくこれらの試料には風や平水時の流れによつて運び込まれたものも含んでいるであろう。デルタの下流の端の深さ 1 ft (0.30 m) のとこ

図-2

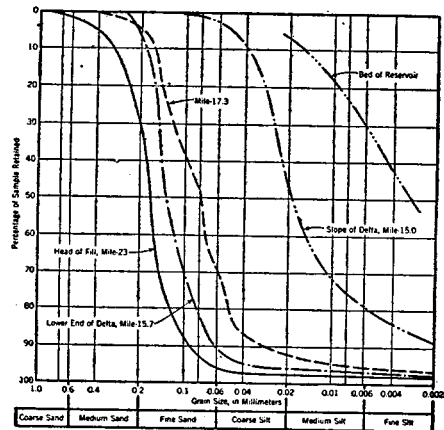


FIG. 2.—SAMPLES FROM CONCHAS RESERVOIR AT THE HEAD OF THE SOUTH CANADIAN ARM

ろの試料は粒子の大きいものが多かった(図-2) Bottom-set の滯砂は表面では粒度が大體一定していた。(図-3) デルタには 30μ よりも小さいものはなく、また、 30μ よりも大きいものはデルタを越えて下流には行かないものと見られる。

図-3

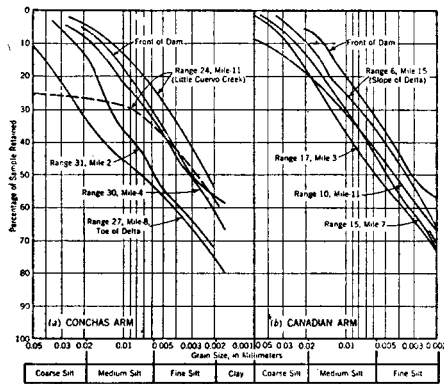


FIG. 3.—SEDIMENT FROM THE CONCHAS RESERVOIR, OCTOBER, 1946

Bottom-set の滯砂の試料の密度は測れなかつたが、デルタの試料では乾燥密度が表面の $62 \text{ lb/ft}^3 (0.994 \text{ g/cm}^3)$ から $3 \text{ ft} (0.91 \text{ m})$ の深さの $86 \text{ lb/ft}^3 (1.38 \text{ g/cm}^3)$ にまで変化していた。これらの値は筆者及び C.S.Howard が Colorado の Arkansas 河の John Martin 貯水池や New Mexico の Pecos 河の Alamo-gordo 貯水池について調べた値とよく一致する。

デルタの滯積土砂については、長さ、量、こう配などの問題があるが、今日の研究によれば、これらの滯積物が氷流による運搬と滯積に関する一定の法則に従って、割合簡単に解析されるものと見られる。Bottom-set の土砂については、貯水池の設計に重要と思われる種々の要素を含んでいて、しかもそれらのうちにはよく解らない要素のあることが、Mead 湖の場合との比較によつてもうかがわれる。Hoover ダムの前面の滯積は、その表面から $50 \text{ ft} (15 \text{ m})$ の深さで $27 \text{ lb/ft}^3 (0.432 \text{ g/cm}^3)$ の密度しかなく非常に軟い。Conchas 貯水池との差が余り大きいので、両者に対して並行して同様の試験を行い、又その河水についても調査を行つたが、滯積に相異の起こるのを説明するよるな相異は試料そのものからは見出せなかつた。

(井口昌平, 高橋 裕)

- 1) 細井正延 流送砂泥の問題, 講座 洪水特論, VI, 土木学会誌 36, 1, 参照。

1935 年以後の Colorado 河の変状

J.W.Stanley: Retrogression on the Lower Colorado River after 1935. Proc., ASCE, 76, 28. (Aug. 1950).

1935 年に Hoover ダムが完成し、Colorado 河の歴史に一転期が来た。この河にはダムの下流 70mile (113km) に Davis ダム, 130mile (210km) に Havasu 湖があり, 150 mile (240 km) 下流の Parker ダムは 1938 年に完成した。このダムの下流 60mile (97km) に Palo Verde のカンガイ地区がある。Hoover ダムの 305mile (491km) 下流には 1938 年

完成の Imperial ダムがある。さらに 5mile (8km) 下流には 1909 年にできた Laguna ダムがあり、河はそれから Yuma を経てメキシコとの国境へと向う。

Hoover ダムができた時から Bureau of Reclamation はダムの下流の河の土砂流送について調査を行い、1941 年までに次第に調査区間を延長して、Hoover ダムから 120mile (193km) の所まで達した。これによると 1935 年から 46 年までに Hoover ダムと Havasu 湖との間の河床から約 $125\,000\,000 \text{ yd}^3 (95\,600\,000 \text{ m}^3)$ の土砂が洗掘され、又 1938 年から 46 年までには Parker ダムから下流へ $135\,000\,000 \text{ yd}^3 (103\,000\,000 \text{ m}^3)$ が移動し、これらの大部分が 45 年までに Imperial 貯水池の中に滯積している。また 1940 年から始めた調査によれば、Imperial ダムと国境との間の河床から約 $65\,000\,000 \text{ yd}^3 (49\,700\,000 \text{ m}^3)$ の土砂が 46 年までに移動している。Yuma で Colorado 河によつて運ばれる浮游土砂は、Hoover ダムのできる前には流量が $10\,000 \text{ ft}^3/\text{s} (283 \text{ m}^3/\text{s})$ のとき 1日に約 $100\,000 \text{ ton}$ であつたが、ダムの完成後には同じ流量でこれが約 $10\,000 \text{ ton}$ に減つた。

Hoover ダムと Davis ダムとの間ではダムの完成後最初の 6 ヶ月の間にダムから下流約 1mile (1.6km) にわたつて平均 $4 \text{ ft} (1.2 \text{ m})$ 、ダムから下流 13mile (21km) にわたつては $2 \sim 6 \text{ ft} (0.6 \sim 1.8 \text{ m})$ の深さまで洗掘された。この時の流量は $5\,000 \sim 15\,000 \text{ ft}^3/\text{s} (141 \sim 425 \text{ m}^3/\text{s})$ で、その水は土砂を含んでない。1941 年 5 月に始めてこう水の放流が行われ、この時は 10 ヶ月間 Mead 湖 (Hoover ダムの貯水池) からの流量は $26\,500 \text{ ft}^3/\text{s} (750 \text{ m}^3/\text{s})$ になつた。それまでは平均月流量が $11\,000 \text{ ft}^3/\text{s} (311 \text{ m}^3/\text{s})$ を超えたことはなかつた。このように平均流量が増したから、河床の洗掘がひどくなることが予想されたが、下流 1mile (1.6km) の地点での $5 \text{ ft} (1.5 \text{ m})$ 、13mile (21km) の地点での約 $9 \text{ ft} (2.7 \text{ m})$ の低下はそれ以前に起こつたもので、この流量の増加によつてもはやそれ以上は進まなかつた。しかし、さらに下流の 13 mile (21km) の地点では河床低下が $4 \text{ ft} (1.2 \text{ m})$ だつたのが $9 \text{ ft} (2.7 \text{ m})$ に進み、46 年の末までには $11 \text{ ft} (3.4 \text{ m})$ に達して安定したようである。また、それよりも下流でも河床の移動が著しく起こつた。このようにダムの直ぐ下流よりも 13mile (21km) 下流の方が低下が甚だしかつたので、この区間の平均河床こう配が $1.7 \text{ ft/mile} (1/3\,110)$ から $2.0 \text{ ft/mile} (1/2\,640)$ と急になつた。同様の現象が次の 13mile (21km) ではさらに著しくて、 $1.6 \text{ ft/mile} (1/3\,300)$ が 50 年には $2.0 \text{ ft/mile} (1/2\,640)$ となつた。次の 39mile (63 km)、Davis ダムまでの区間では平均こう配は、 $1.7 \text{ ft/mile} (1/3\,110)$ で調査の始めとほとんど変らなかつた。

このようにして河床物質の移動量がわかつたが、それと理論とを比較することは興味深い。流水の土砂を運搬する能力が流量の何乗かにほぼ比例することが古くから知られているが、この Colorado 河ではその指数が 2 に近いことがわかつた。それで次の方法で理論と実際とを比較した。

$$q_{15} = \frac{15\,000^2}{Q^2} - q_0$$

ここで Q は実際の流量, q_{15} は流量が 15 000ft³/s, つまり Hoover ダムの最大放流流量のときの洗掘の割合, q_0 は実際の流量の場合の洗掘の割合。図-1 にプロットした点はこの方程式で実測値を換算した値を示すが, それらの余りバラついていないことが注目されよう。

図-1

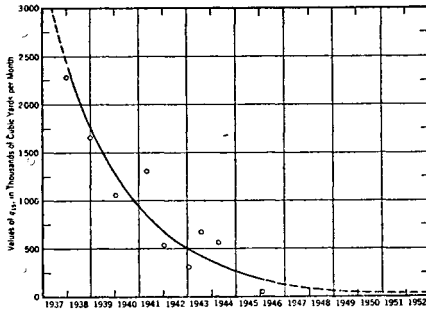


FIG. 1.—RATE OF SCOUR IN THE COLORADO RIVER FROM HOOPER DAM TO DAVIS DAM

1938 年の始めに Davis ダムの下流 19mile(31km) の調査を始めたが, この区間の下流の端から洗掘が起こり始めたので, 39 年にはさらに 15mile(24km)下流の Calif. 州 Needles まで調査した。このように Colorado 河の河床の調査は, 一つの区間を調査しているとその下流でも河床が低下を始めているので, さらに調査区間を延長するというようにして次第に延長されて行つた。この場合問題になるのは Hoover ダムから放流される土砂を含まない水であつて, 流れが河床から舞上がらせ, 下流に運ぶ土砂がどうなるかは余り重要でない。

しかし, Needles と Ariz 州 Topock との間の水位は 1940 年から土砂の滞積のために上がり始めていた。それ以前の水位の変化を見ると, この区間の水位は段階的の次第に上がつており, 1902 年からでは年平均 1/3ft(0.10m) 上がつている。調査はかくして 1941 年にさらに 21mile(34km) 下流の Havasu 湖まで進められた。Needles と Havasu 湖との間の滞積量は約 78 000 000yd³(59 600 000m³) で, Havasu 湖に運び込まれた土砂は約 40 000 000yd³(30 600 000m³) であり, この量は湖の始めの容積の 4% にすぎない。

Parker ダム完成後最初の 6 ヶ月間にダムの下流 15mile(24km) にわたつて河床が平均約 4ft(1.2m) 低下したが, その後 40 年の暮までは著しい低下はなかつた。Headgate Rock から 25mile(40km) にわ

たつて洗掘は一定の割合で起こり, 45 年の暮までに 8~10ft(2.4~3.0m) の深さにまで達した。次の 40 mile(64km) の間には Calif. 州の Palo Verde カンガイ地区への取入口があるが, この区間で洗掘は 4~6ft(1.2~1.8m) に達し, さらに下流 15mile(24 km) の区間で洗掘は次第に見られなくなつている。洗掘の起こらなくなつた地点は Imperial ダムの上流約 55mile(88km) に当る。Palo Verde への用水取入口のあたりの河の水位は Hoover ダムと Parker ダムの建設の前には常に変化して, 充分に水が取れないこともあつた。これは下流の蛇行のためで, 蛇行がひどくなると, 河床が上がり, そこでショートカットすると再び河床が下がつたからである。

Parker ダムから下流 100mile(160km) の間は洗掘され続けたが, それから Imperial ダムまでの 55 mile(88km) の間は相当滞積され, この貯水池はほとんど全部埋まつている。滞積の深さはダムの前面では 16ft(4.9m) に達している。

Hoover ダムや Parker ダムと同じく, Imperial ダムの場合も 1938 年に完成してから最初の数年間下流の河床は相当洗掘された。40 年まではその調査が行われなかつたが, それから 6 年の間に約 65 000 000 yd³(50 000 000m³) の土砂が洗掘されて国境の方へ送られた。そしてこのダムと Laguna ダムとの間 5mile(8km) の間の河床は幾分か下がり, Laguna ダムと Yuma との間は平均約 4ft(1.2m), Yuma と国境との間は 6~10ft(1.8~3.0m) 下がつた。なお, Yuma は Hoover ダムから 600mile(965km) 下流にある。Imperial ダムから国境までの河床洗掘は, 40 年以後の調査から類推して, ダムの完成以来約 85 000 000yd³(65 000 000m³) と見られる。国境から下流ではメキシコ政府の調査によれば, なお洗掘が続きカリフォルニア湾に土砂を吐出していることが知られている。

Yuma における浮游土砂量の測定の結果, Hoover ダムのできるまでは 10 000ft³/s(280m³/s) の流量によつて大体 1日に 100 000ton が運ばれており, ダムができてからも数年の間はこの状態が変らなかつたから, Hoover ダムと Yuma との間の河床洗掘による浮游量が自然状態の量と余り変らなかつたと考えられる。ところが, 1938 年に Parker ダムと Imperial ダムができてからは, 浮游量が減り始め, 42 年には同じ流量によつて 1/10 の 10 000 ton しか運ばれなくなつた。(井口昌平, 高橋 裕)