

朝顔型余水吐について

“Morning-Glory Shaft Spillways”

Proceedings A.S.C.E., Vol. 80, April, 1954

- (1) “Prototype Behavior” by J.N. Bradley, Sep. No. 431
- (2) “Determination of Pressure-Controlled Profiles” by W.E. Wagner, Sep.No. 432
- (3) “Performance Tests on Prototype and Model” by A.J. Peterka, Sep. No. 433

朝顔型余水吐はその名のごとく朝顔型をした垂直なロート状呑口の円周から余水を越流せしめ、これに連なる堅管、彎曲部及び水平水路トンネルを経てダム下流へ放水する方式の余水吐である。これは最初1896年英国にはじめて作られ、1926年以後急速に発展して現在までに約30に及ぶこのタイプの余水吐が完成しあるいは建設中である。その設計方針や付帯的な問題については“Engineering for Dams” (by Creager, Justin & Hinds) の Vol. 1 に詳細に記載されている。

るが、それは Camp & Howe (1939) や du Pont (1937) の実験的研究の結果にもとづいている。いまここに紹介しようとする3つの論文はいずれも今回新たに Bureau of Reclamation of the Engineer の手によってまとめられたもので、朝顔型余水吐の問題を異なった角度から研究し、未解決の点が多い過去の文献をおぎなつて意義深いものである。

1. 実地調査 朝顔型余水吐は水理学的な見地からは十分妥当なものであるが構造上の点で疑問の余地が残される。例えば堅管、彎曲部、水平水路トンネル等の曲面を構成しているコンクリートその他の材料が高流速の流れに抵抗しうるかどうか、流水や碎片等の流下物がその操作に支障をきたさないか、振動や騒音が障害とならないか、などの問題は、理論や模型試験によつても解決されず、実物の経験にてらして明らかにされる性質のものである。そこで既存のダムのこの種余水吐についてその運営に関する調査資料を集めるべく、ひろく各国の関係者に上記諸点に関する質問書を送りその解答を求めた。その結果を総合して報告書にまとめたものが(1)の論文であつて、調査の対象となつた余水吐は表一1に示すとおりである(数値はすべてm単位に換算)。この調査の結果から決定的な結論を導くことは困難であるが、これら16の余水吐のうち

表一1 実地調査の対象となつた朝顔型余水吐

No.	ダムの名称	国名	完成年	最大洪水量 Q_{max} (m ³ /s)	越流水深 (m)	落差 (m)	堅管内径 (m)	遭遇せる最大洪水年 (Q/Q_{max})
1	Davis Bridge	米	1926	765	2.44	57.3	6.86	1938 0.72
2	Fechan	英	1927	85	0.85	31.4	4.88	—
3	Gibson	米	1930	1 416	6.10	54.9	10.97—8.99	1948 0.26
4	Pontian Ketchil	シンガポール	1931	76	0.82	18.3	3.96	—
5	Owhyee	米	1932	850	3.66	97.5	9.37—6.89	{1936 0.50 1952 0.67
6	Silent Valley	英	—	74	0.70	16.8	4.88	—
7	Manuherikia Falls	ニュージーランド	—	425	1.83	29.3	9.14—5.18	1948 0.33
8	Regadera	コロンビア	1935	425	2.74	32.6	11.12	1943 0.38
9	Burnhope	英	—	74	0.82	32.3	3.66	— 0.55
10	Kingsley	米	—	1 530	8.53	45.1	9.14	1951 0.08
11	Jubilee	英	—	480	2.86	74.7	7.62	—
12	Lady Bower	英	1944	—	1.98	39.0	4.57	1952 65 m ³ /s
13	Lumot	フィリッピン	1949	200	—	—	—	1952 0.10
14	Heart Butte	米	1949	160	16.46	34.4	3.35	{1950 0.68 1951 0.54
15	Shade Hill	米	1950	142	12.19	22.3	3.81	1951 0.20
16	Akongtien	南台湾	1951	92	3.50	24.7	2.99	1952 0.33

よそ半分は計画最大洪水量の1/3~1/2以上に及ぶ相当の試験を経験しているにもかかわらず、いづれも問題となるような侵食を受けていないということが言えよう。特に注目すべき Owhyee ダムの場合、鉛直落下距離 100 m に及ぶ余水吐が一度は最大洪水量の 1/2、一度は 2/3 の洪水を吐くといういわば最悪の操作状態を経験したにもかかわらず、わづかにコンクリート表面がざらざらになつた以外何の問題も起らなかつた。また二、三の余水吐の彎曲部に生じた侵食も、丸太やその他の流下物が堅管内を落下したため、あるいは貧配合の表面コンクリートが高速流により、ないしは凍結融解によつて欠け落ちたためである。さらに振動、

騒音や渦の作用もいかなる場合にも障害とならないことが明らかとなつた。以上の結果から朝顔型余水吐はきわめて良好な状態で操作されていることが判明したが、これらの実例にもとづく総括的な結論として、朝顔型の呑み口や堅管の彎曲部には打継目をさけるべきであり、またこの部分の表面をできるだけ滑らかに仕上げるのが大切であると指適している。

2. 設計法 朝顔型余水吐の設計法については“Engineering for Dams”の Vol. 1 第6章に述べられているが、その方法はこの本の著者がさきに述べた人々の実験資料をもとにして、適当な判断や敷衍を行つて設計過程を示したものであり、接近流速が無視し

うる場合についてのものである。ここに紹介する(2)の論文は、所要の水頭の下に必要な水量を流ししかも表面の圧力がキャピテーションを発生する限度以下の低圧に下らぬよう越流頂の形状と寸法とを決定することを主眼とし、鋭縁堰を越流するナップの形状にもとづいて設計する方針は従来と変わらないが、接近流速やナップ裏側の圧力低下の影響を考慮に入れるよう豊富な資料を与えている点に興味がある。

実験には半径 $R=10''$ の円形鋭縁堰を用い、堰頂以下の接近水深 $P=20''$ (接近流速が無視しうる場合) $3''$ 及び $1-1/2''$, またナップ裏側の圧力が大気圧の場合及び大気圧以下 $10\sim 50\%$ (H_s に対する割合) の低圧の場合のさまざまな条件について、流量係数の測定とナップ上下面の形状の追跡とを行っている。朝顔型余水吐の流量 Q は、 $H_s/R < 0.45$ (H_s : 鋭縁堰上の越流水深+接近流速水頭) のとき、すなわち自由越流状態のときは $H_s^{3/2}$ に比例するが、 H_s が次第に増して $H_s/R > 1$ となり堰が水面下に没するような潜流状態となると $H_s^{5/2}$ に比例するようになる。しかしその領域の限界は明らかでないので、流量係数 C をあらわす簡便法として、この論文では全領域を通じ $Q=CLH_s^{3/2}$ なる関係式を用いて C の値を算定している。実験の結果は C と H_s/R との関係を P/R 及びナップ下側の圧力低下度をパラメーターとして図表に整理してある。流量は接近水深が減少し接近流速が増加するほど、あるいはまたナップ下側の圧力が低下するほど増加するが、その割合は平均して表-2.3 のようである。

表-2

P/R	流量増加量
2.0	0
0.3	5%
0.15	7%

表-3

圧力低下度	流量増加量
大気圧	0
20%	5%
40%	10%
50%	13%

次に、ナップ形状の測定結果は、種々な条件の場合に対し鋭縁堰頂を原点とする無次元座標 $X/H_s, Y/H_s$ をもって表示し設計資料として提供してある。実際の設計に当つては余水吐頂を基準とするのが一般であるから、余水吐頂の鋭縁堰頂からの上りを E として、

図-1

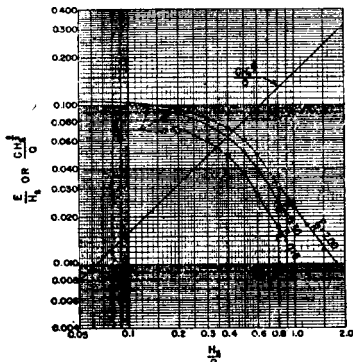
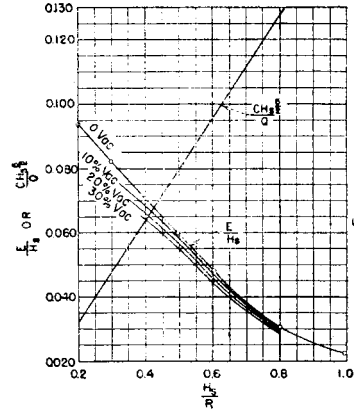


図-2



E/H_s と H_s/R との関係をここに得られた多くの実験結果から導いて図-1 及び図-2 のごとくあらわしておく必要がある。図中の直線は $Q=CLH_s^{3/2}$ の関係を設計の便宜上 $H_s/R=2 = (C \frac{H_s^{5/2}}{Q})$ の形に変換して図示したものである。余水吐のクレスト頂部から測つた H_0 と越流量 Q とを覚えて設計を行うには、まづ H_s と C とを仮定し、図-1 または 図-2 を用い、与えられた条件(接近水深または圧力低下度)に応ずる曲線から E の値を導き、 $H_s = H_0 + E$ により H_s , また H_s/R と C との関係図表から C の値を求めて、これらが仮定値と一致するまでこの過程をくり返せばよい。最後に得られた H_s/R の値から余水吐の半径 R が決定し、またナップ下面の形状を与える数値表から補間法によつてクレストの縦断形が定まる。

以上の結果を Hungry Horse Dam の朝顔型余水吐の設計に適用した結果を表-4 の第1欄に示す。第2欄は実物に採用された設計値であり、第3欄は設計値にもとづいて作られた模型を試験した結果である。この設計値は本研究とは別個に作られた鋭縁堰模型につき実験を行つて求められたものであるが、表-4 の値及びクレスト縦断形状が計算例と設計値との両者においてほとんど一致していることは、ここに述べた実験結果の普遍性を物語っている。

表-4

	(1) 計算例	(2) 設計値	(3) 模型実験
H_s	17.83'	17.9'	17.9'
H_0	16.90'	16.9'	16.90'
E	0.93'	1.00'	1.00'
R	33.6'	34.0'	34.0'
Q	53 000 cfs	53 000 cfs	49 000 cfs
C	3.38	3.28	3.06
クレストに沿う圧力 (大気圧以下)	-5.3'	-5.0'	+0.8~-8.0'

円形堰の場合には矩形堰と異なり、 H_s が増すほどナップの下端がたれるので、朝顔型余水吐を H_{smax} に対して設計するとこれ以下の H_s のときにクレスト下部に大気圧以下の圧力を生ずるおそれがある。

一の量からいつてロックフィルダムとアースダムの中間といった型である。この型式は経済比較によつて決定されたものである。

1953年9月に準備工事に着手し、1954年5月から本格的工事に入ったが、完成は1955年12月と予定されている。そのためには、年間施工可能期間6ヶ月しかない標高1300mのこの地方では1日実に22000m³というぼう大な量を施工しなければならないわけであつて、工事着手前には誰もその成算の見込みを断言する人はいなかったが、工事を請負つたAtkinson会社が目ごとな工事進行を見せたことによつて、今では何人もその成功を疑わなくなつた。

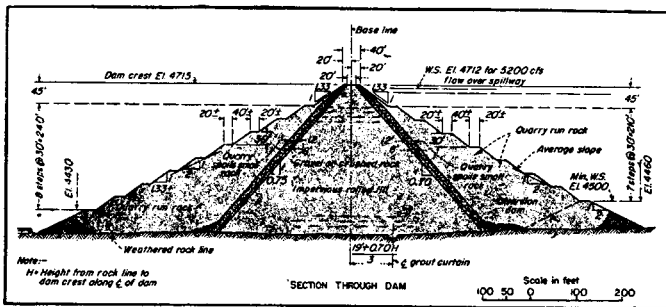
1953年冬には基礎掘削とグラウトが行われ、1954年5月から本体施工にかかつた。

不透水性コアの用土採取場では米国としては珍らしく土の含水比が高過ぎるという問題が起つたが、次の方法をとることによつて克服した。

- 1) なるべく土取り場を広範囲に切り拡げ、自然に乾燥させる。
- 2) 土を攪拌する機械類を土取り場に入れ、それを運転することによつて乾燥を高速に行う。
- 3) 深さ4.5~6mの溝を掘つて排水を計る。

以上の方法によつて許容限界以下の含水比となつた土はトレーラーとスクレーパーによつてダム地点に運搬され、50t 2台、100t 1台のニューマチックローラー及び4台のシープスフトローラーによつて転圧される。転圧したコアの試験は結果のみを対象とした

図-1 Cherry Valley Dam の横断面図



IT'S A BIG CORE-Availability of impervious material led designers to use bigger-than-normal core, forming composite section.

写真-1

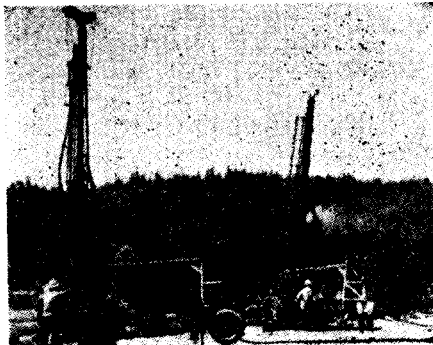


写真-2



(建設技術研究所 梅田昌郎)

ために作業はスムーズに行われた。仕様書には試験の100%が最大密度の90%以上を示し、90%が試験中最大値の91%以上、50%が94%以上を示すことを要求している。

ダム横断面は図-1に示されるとおりであるが、不透水性コアの前後には各2層のフィルターがある。すなわち、径5cm以下のもの各1層計180000m³と5~15cmのもの各1層計270000m³、合計450000m³より成つているが、これに要する砂利はダム地点上流2ヶ所より2m³のドラグラインで採取した。

もつとも外部の岩塊部はダム直下流、直上流の石切り場より約400000m³、その他はダム下流右岸でダム天端と同標高の場所に石切り場を作つて製造した。これには岩塊の大きさの制限がないので、ときには1個の岩塊でダンプトラック1台満載という珍風景も起つた。

この岩塊施工に2つの新工法が登場した。1つは写真-1に示すような径10cm、深さ18mを穿孔しうるハンマー型ドリルであり、もう1つは岩塊をジェットで締固めるための噴射器である。この噴射器はトラクターの上に乘せられて供給用ホースがトラクターによつて運搬されるようになっていて、バルブの操作によつて噴射口は上下左右に動くようになっている(写真-2)。この締固めに使用した水は岩塊の容積の3倍に達する。

本工事に使用されている施工機械のおもなものを列挙すると、23m³、14m³スクレーパー21台、20tダンプトラック20台・10t6台、4.5, 4, 3, 2, 1.2m³パワーショベル各1台、1.2m³ドラグライン2台、ブルドーザー20台、50tニューマチックローラー2台、100t 1台、グレーダー2台、リッパ3台、ワゴンドリル7台、ハンマードリル8台である。

このダムの上流に設けられる発電用取水口にはスルースゲートが貯水池底まで入つており、このゲートを引揚げ池の水を空にして、ダムの監査ができるような構造に設計されている。

岩のボルト締め

“Bolts Secure Slab to Canyon Wall”

Construction Methods and Equipment,

Aug. 1954, p. 58~61

岩盤がよくないときにこれを人工的に補強改良する工法が欧米では発達している。次に紹介するのはその一例である。

フーパー・ダムの Nevada バルジ室直上の峡谷の岩壁に、厚さ 19' 長さ 180' 高さ 120' の巨大な岩のスラブがぶら下っていた。岩壁の地山 (Parent Rock) との間に狭い隙間があり、すぐに落ちてくるようなきしめまつた危険はなかつたが、アメリカ開拓局では安全を期して、最近このスラブをボルトで地山に固定してしまつた。

垂直に近いスラブに近づくため 写真-1 のように Tube Lox 管の足場が組まれた。この足場は非常に丈夫で、グラウト用のドリルを直接これに据えつけることができた。

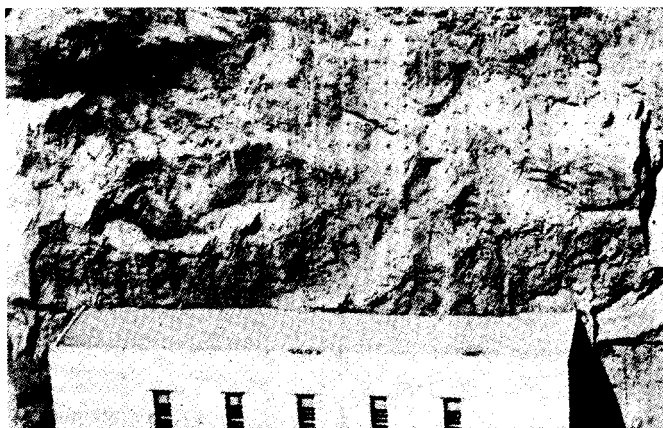
ボルト孔は、水平、上下とも 7.5' 間隔、全部で 349 本で、スラブと地山の間の隙間を越えて最少 12' 掘られた。締つけ用のボルトは径 2" 一端を 2.5' に太め、また隙間からスラブ表面までの間に当る部分は十分に紙をまいて、グラウトが着かないようにしておく。

グラウトにはセメントミルクを使い、セメント 1 袋当りスプーン 1 ばいのアルミニウム粉末を入れて伸びをよくした。まず孔の 1/3 までセメントミルクを入れアンカーボルトを押しこみ、残りをグラウトする間中ボルトの端をチッピングハンマーでたたいて震動を与えて、ボルトの定着を完全にした。その後 28 日間放置し、隣接した 10 本のボルトに水圧機で同時におのおの 28.6 t の引張りを与えてナットを締めた。

写真-1



写真-2



次に水平 7.5', 上下 15' 間隔に 1.5' 径の孔を掘り、高圧グラウトで隙間を埋め、最後に水平 15' 上下 30' 間隔に 2.5' の孔を明けて排水孔とした。これらの総工事費は 112 000 ドルであつた。

(建設技術研究所 谷田沢正治)

◀News 提供のお願い………学会誌ニュース欄を充実したものにしたいと思つたので、新鮮なニュースを地方会員の方はどしどしお送り下さい。刷上り 1 ページを限度とし、気軽に御投稿願ひます。
(編集部)

新材料と新工法

B5 判 134 ページ 会員特価 250 円 冊 30 円

目次

フ ラ イ ア ッ シ ュ
構 造 用 高 張 力 鋼
異 形 鉄 筋
プレパクト コンクリート

国分正胤
小西一郎
山田順治
三浦一郎

ウエルポイント工法
サンドドレーン工法
トンネルの全断面掘削工法
新しい建設機械

甲野繁夫
石井靖丸
立石哲郎
加納俊二
伊丹康夫

東京・千代田区・大手町 2-4 土木学会発行