

日立造船(株) 正員 与口正敏
 “ 正員 卷幡敏秋
 “ 西原 徹

1. 緒 言

ジェットフローゲート(以後はJFGと呼称する)は、1946年、アメリカ南拓局(USBR)で高水頭流量調節用ゲートとして開発されて以来、我国でも各種放流設備の流量調節ゲートとして注目されている。(1)~(6)最近、水資源やエネルギーの有効利用が一つの課題として取り挙げられているが、JFGのような利水放流設備からの発電分岐もその一つである。この研究は、山口県のダム選択取水設備に設置されるJFGを対象に、下流管の圧力分布、空気連行量および発電分岐放流に伴う管路系の水撃圧の特性を実験的に究明したものである。

2. 実験で対象としたダム選択取水設備

この実験の対象であるダム選択取水設備は、図1に示すように、貯水池の表面および任意位置の取水が可能である。取水設備としてはフロート付円筒多段ゲート(円筒径:1800~3000φ)、放流設備の主管部にはJFG(口径:1000φ)、分岐部にホロージェットバルブ(口径:500φ、以後はHJVと呼称する)、さらに主管部のJFGの直前には発電放流のための分岐部である。この取水設備の取水量は15m³/sで、その取水範囲はEL 103m~62mである。放流設備の放流量として、JFGは8.9m³/s、HJVは2.6m³/sおよび発電放流は3.5m³/sで計画されているが、JFGの放流量については15m³/s以上確保できる必要がある。

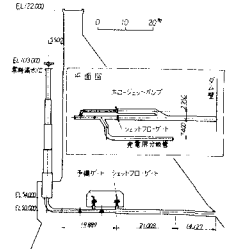


図1 ダムの選択取水設備

3. 実験模型および実験方法

実験に用いた模型は、図1に示された実機の1/15スケールのものである。JFGの形状は、USBRで開発された当時は曲線型漸拡管(Shasta dam)⁽¹⁾であったが、その後、直線型漸拡管(Trinity dam)⁽²⁾から直管型の新形式へと改良されている現状にあって、この研究で取り挙げたものも直管型の新形式を採用している。さらに、下流管もJFGの口径の35倍と長いため、従来の管径よりも大きく、口径の1.5倍になっている。

JFGの上流側の放流管内の圧力分布の測定には圧力変換器と差圧変換器を用い、放流量はピトー管による管内流速分布測定と三角堰の併用、下流管の圧力分布はマンメータ、空気連行量はピトー管とベッツマンメータを用いて計測された。また、発電分岐放流に伴う管路内の水撃圧は、弁速断時間が0.3~3sの電磁速断弁によって発生させ、受圧面ダイヤフラムの水中固有振動数が約1kHzの小型圧力変換器を用いて計測した。

4. 実験結果と考察

JFGの直前の有効水頭を H_e 、その口径と断面積を D_0 と A_0 、下流管給気部の空気圧を P_a 、給気管の断面積を A_a 、下流管の断面積と長さを A_b と L_b 、管路の長さ方向に x 、水撃圧に関連する管の長さを L とし、管路の流れ場に対するFroude数およびReynolds数はそれぞれ $Fr = U_w / \sqrt{gD_0}$ 、 $Re = U_w L_b / \nu$ で定義されている。ただし、 $U_w = \sqrt{2g(H_e - P_a)}$ 、 ν は水の動粘性係数である。また、空気連行係数は $\beta = (\text{空気連行量}) / (\text{放流量})$ であり、給気管の全抵抗係数は $f_a = -P_a / (\text{給気管内の平均流速から求まる速度圧})$ である。

(1)下流管底部の圧力分布: $Fr \approx 10$ 、JFGが全開($\phi_J = 1.0$)で給気管の抵抗値($f_a(A_0/A_a)^2$)を変化させた場合の下流管底部の圧力分布の代表例を示したのが図2である。給気管の抵抗値が大きくなればJFGの直後の圧力降下量も大きくなり、ジェット水が下流管底面に衝突する点の圧力(最大圧: P_{Dmax})もそれに影響されて低くなっている。しかし、下流管出口付近での圧力は給気管の低抵抗値にほとんど影響されない。次に $\phi_J = 1.0$ 、

$f_a(A_0/A_a)^2 \approx 5.7$ の場合の P_{Dmax} とその発生位置 (X_{pmax}) を F_r 数の変化に対して示したのが図3である。 P_{Dmax} は F_r 数の増加に従って減少し、 X_{pmax} は逆に増加する結果が得られた。 なお、いダムの常時満水位 $EL 103^m$ の場合の F_r 数は約 10 である。

(2) 空気連行係数： 下流管の流れによって連行される空気量は、前述の給気抵抗以外にも、下流管の寸法諸元（管径、管長、勾配）、 F_r 数、 Re 数、Weber 数の影響を受けることなどから、非常に複雑な現象と考えられる。ここでは、下流管の寸法諸元と給気抵抗値に注目し、今回の実験およびすでに報告されている実験研究^{(2)~(6)}をもとに、 $\phi_j = 1.0$ について整理したのが図4である。 空気連行係数は A_0/A_a をパラメータとして、ある程度関連づけられ、 A_0/A_a が大きくなるほど小さくなるようである。 なお、この実験で採用した管径のものでは、流水面の飛沫もさほど著しいものではなく、流れは自由表面を有する半管流であった。

(3) 管路系の水撃圧： 発電分岐放流に伴う管路系の水撃圧を知るため、図5に示す点に圧力変換器を設置し、実験を行なった。 JFG の開度 ϕ_j をパラメータとして管路系に発生する水撃圧モードを示すと図6、HJV の開度 ϕ_H をパラメータとする場合を図7に示す。 図6の○印は $\phi_j = \phi_H = 0$ で、放流は発電分岐のみの結果であり、実線で示す Allievi の理論モードと良く一致する。 管路系の水撃圧は ϕ_j の増加と共に点線のように大きく低下するが、JFG および HJV 直前の水撃圧は単純に分岐点の値でなく、 $\phi_j > 0.5$ では大きくなっている。 また、図7に示す ϕ_H の変化による水撃圧は、図6と同じ傾向を持っているが、 ϕ_H に対する変化量は前者に比べて小さい。

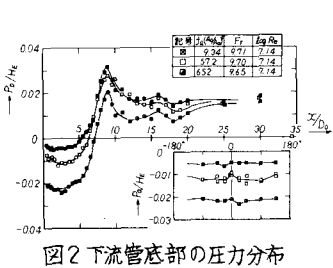


図2 下流管底部の圧力分布

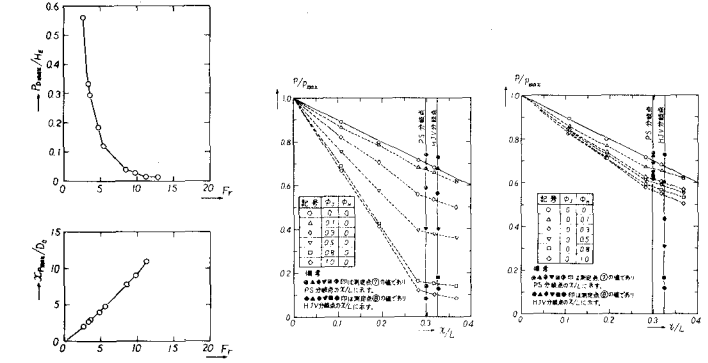


図3 下流管の最大圧と発生位置 図6 ϕ_j の変化と水撃圧モードの関係 図7 ϕ_H の変化と水撃圧モードの関係

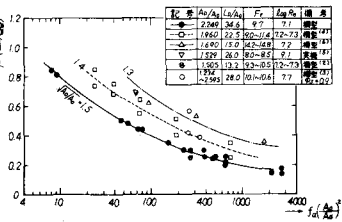


図4 空気連行係数と給気抵抗の関係

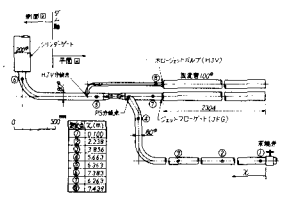


図5 水撃圧の測定位置

5. 結言

いダム選択取水の放流設備であるJFGとHJV、および発電分岐放流に伴う水理学的な問題点を取り挙げて系統的な実験研究を実施した。その代表例として下流管の圧力分布、空気連行量および管路系の水撃圧について考察を加えた結果、(1)給気管の抵抗値が下流管の圧力分布および空気連行量に大きな影響を与える。(2)放流設備から発電分岐する場合、JFG および HJV 直前の水撃圧 (ϕ_j, ϕ_H が小) は、それぞれの分岐部の値よりも大きくなる、などが明らかになった。今後の課題として、これらの現象に対する理論解析が必要と考え、計画中である。

参考文献

(1) F.C. Lowe : USBR, Report NoHyd-201, 1946 (4) 清水、和田 : 水門鉄管, No.106
 (2) W. P. Simmons : USBR, Report NoHyd-472, 1961 (5) 戸田、三浦、吉田 : 水門鉄管, No.109
 (3) 中沢、五十川 : 土木技術資料, 19-3, 1977 (6) 加藤、河本 : 水門鉄管, No.117