

(6) 低落差発電所上下流部における流砂問題に関する模型実験

京都大学防災研究所 正員 〇岩垣 雄一
同 上 正員 土屋 義人
大阪府土木部 正員 金盛 弥

1. 緒言

最近水力資源を有効に利用するために、すでに欧州において有用な方法の一つとしてとりあげられてきた低落差発電方式がわが国においても注目され、試験的に一、二の実施がなされるに至った。この方式には一般に分水路方式とダム式とがあり、またその建設方法に越流型建設方法と橋脚式建設方法とが考えられている。実際の建設計画に当っては十分現地の状況に適した方式を選定すべきことはいままでもないが、いずれの場合も洪水流量に対する検討とともに、流砂に関連する問題の究明や検討が要求されるようである。とくに洪水時における発電所上下流部における洗掘や堆積の問題は、こゝしな発電方式にしばしばチューブラータービンが用いられることから、その運転操作上極めて重要なものであつて、十分慎重な検討を加えないと発電に困難をきたすことが想像される。

この研究は前述した方式のうち、とくに橋脚式建設方法によるダム式発電の場合ととりあげ、発電所上下流部における河床の洗掘堆積の問題を究明するため模型実験を実施した結果であつて、こゝしな方法による発電計画の樹立のための基礎資料と得るのが目的である。

2. 模型実験の装置および方法

(1) 模型実験の装置 実験水路は $0.6 \times 2 \times 20$ m のコンクリート造りであつて、流量は 10 HP および 15 HP の 2 基のポンプによつて最大 80 l/sec を出しうる。上流より 12 m の位置につぎに述べる模型を設置し、また下流端には流量測定用のせきおよび水位調節用の装置を設けた。模型は関西電力株式会社が計画している設計図に基づいて、縮尺 $1/100$ および $1/50$ の 2 種類とした。図-1 は縮尺 $1/100$ の模型の概略図である。

一般にこの研究で対象とした方式の場合には、洪水時に発電所のタービンへの流入部のゲートをしめ、越流部のゲートと全開して洪水を疏通させるので、上記の模型の製作にはこゝしな状態を対象としたわけである。図-1 に示した模型を発電所部と越流部との関係から図-2 に示すような合計四つの配置を対象として実験を行なつた。また実験に使用した砂は図-3 に示すように、その粒度

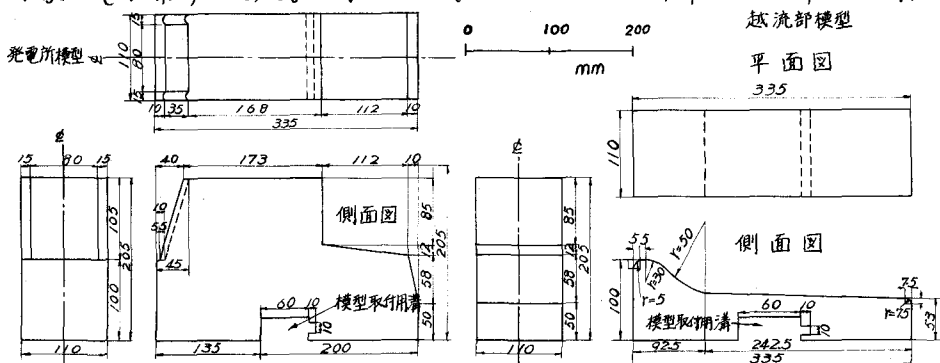


図-1 発電所および越流部模型

分布が比較的一様な中央粒径 0.090 cm 、標準偏差が $\sqrt{d_{80}/d_{10}} = 1.37$ のものである。

(2) 実験方法 まず図-2に示した配置に基づいて模型を設置し、実験中砂粒が移動することと必要とすることから最大流量と水深との関係において河床勾配を $1/800$ の一定値にしなしたのち、所定の流量を流して模型の上下流部における洗掘堆積の時間的变化を測定した。とくに実験中洗掘深さが深くなったり、また流水がにぎった場合には、その測定が困難となることから、いかなる場合にも十分な精度で測定しうる簡単なポイントゲージを試作して測定を行なった。さらに水深、水面勾配および水温などの時間的变化も詳細に測定するとともに、洗掘あるいは堆積が十分進んでほとんど終局的状態に近づいたと考えられるときに水路床の縦断形状を測定し、そのときの洗掘および堆積の状態と写真撮影することにした。

3. 実験結果とその一般的考察

以上のような方法によって、縮尺 $1/100$ の模型を用い、図-2に示したそれぞれの配置に対し、流量を3～4段階に変え、合計12の場合について実施した結果について述べれば、つぎのようである。

図-4は発電所前面における洗掘深さの時間的变化の数例を示したものである。復述するように、一般にこの付近の洗掘は模型前面部においていちじるしく、最大洗掘深さを示すようである。この結果によると、洗掘深さの時間的变化は時間の経過とともにかなり急速であるが、終局的状態には極めて長時間を必要とするようであつて、実験の都合上あまり長時間継続させると、上流部に砂堆が形成発達して模型前部に達するので、そのような終局的状態を明確に見出すことはかなり困難である。

つぎに、図-5はほとんど終局に近づいたと思われる状態における河床の縦断形状を測定したものの一例である。実験したすべての場合について、このような実験結果をえたのであるが、この図から明らかなように一般に模型の上下流部とも洗掘されるようであつて、越流部に支配断面が現われる場合と現われな場合とでは、とくに模型前面部の洗掘深さはかなり相違することを知った。模型前面部における洗掘状況を観察すると、水流の衝突によつ

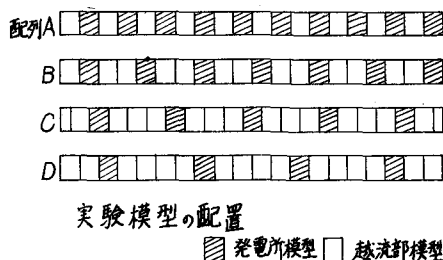


図-2 模型配置図

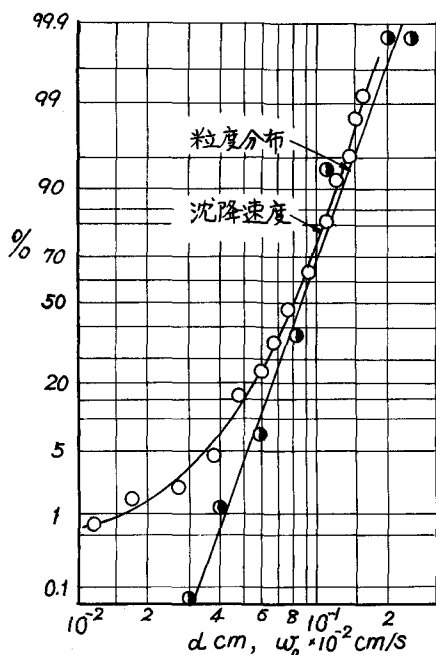


図-3 実験に使用した砂の粒度分布

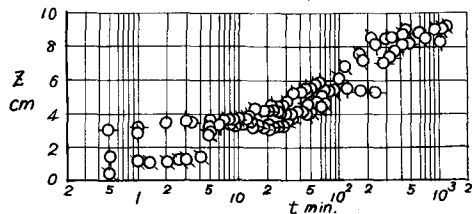


図-4 洗掘深さの時間的变化

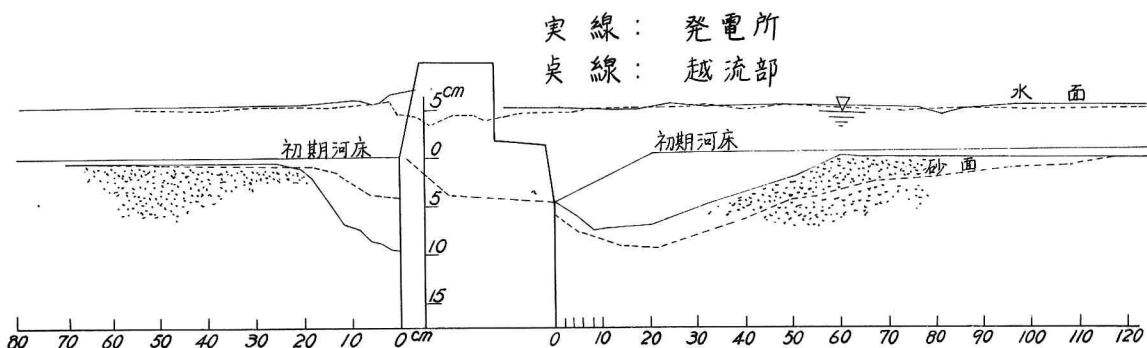


図-5 模型上下流部における洗掘堆積状況の一例

て下向きの流れが生ずるが、この流れによって発生発達すると考えられる水平軸をもつ局所的な渦の作用に大きく関係するようである。こうしたことから、洗掘に最も支配的な要素の一つとして、模型前面付近の流速をあげることができよう。図-6は模型前面部における洗掘形状を最大洗掘深さを規準の長さとしてあらわしたものであつて、これは図-5に示したような他のすべての資料に基づいている。この結果によれば、実験値はかなり散乱しているが、流速および水深や模型の配置が相違し、また実験の継続時間が一定していないにもかかわらず、ほぼ $\bar{z}/\bar{z}_0$ と代表的な長さとしてあらわすことができるようである。

一方、図-5に示したように模型の後部においては、実験開始前の河床の形状を図のようにした場合には局所的に洗掘されるが、それはもっぱら越流部と流下する流速や下流水深に関係するようであるが明らかでない。なお、写真-1および2はそれぞれ模型前面部および後部の洗掘状況を示したものの一例である。

4. 洗掘機構に対する考察

以上述べた一般적考察をもとにして、ここでは模型前面部とくに発電所前面の洗掘について若干考察した結果について述べる。前述したように模型前面部における洗掘は、この付近に発生発達する局所的な渦の作用に基づくようであるので、この点に着目して考察することにした。

図-6 模型前面部における洗掘形状

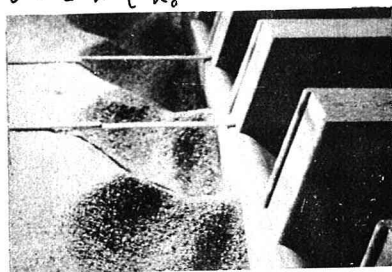
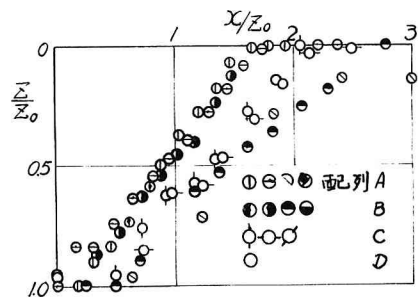


写真-1 模型前面部の洗掘状況 (配列B)

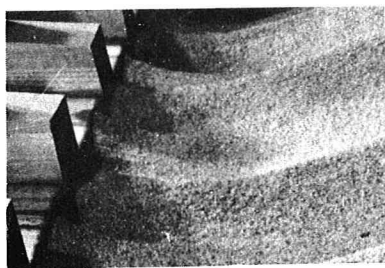


写真-2 模型後部の洗掘状況 (配列B)

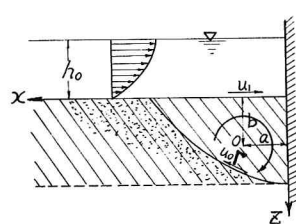


図-7

まず図-7に示すように模型前面に洗掘孔が形成された場合と考へ、0点に強度 Γ をもつ

渦が存在するものとし、この渦の強度が最大洗掘深さ z_0 と渦を発生させると考えられる代表流速 u_1 との積に比例すると仮定した。 $(\frac{z_0}{d_{50}})$ と u_1 との積に比例すると仮定した。そして簡単のために、この場合の流砂量公式として Kalinske 型のものを用い、洗掘に対する連続方程式をもとにして理論的に考察した結果、とくに洗掘形状が図-6 に示したように最大洗掘深さ z_0 について相似的にあらわされる場合を対象とすれば、 z_0 の時間的変化はつぎのような関係によって規定されることがわかった。

$$\frac{z_0}{d} = f \left\{ \left(\frac{u_1}{V_s} \right)^{2m} \left(\frac{u_1 t}{d} \right), \frac{u_c^*}{u_1} \right\}$$

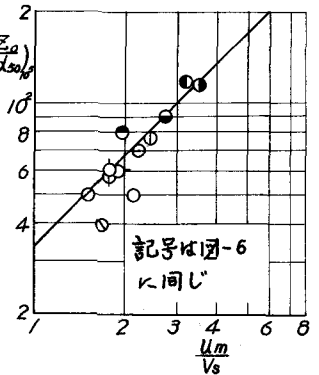


図-8 z_0/d_{50} と u_m/V_s の関係

ここに、 d : 砂粒の大きさ、 t : 時間、 u_c^* : 限界摩擦速度、 m : 流砂量公式における実験定数であり、また ρ および ρ_s をそれぞれ砂および水の密度、 g を重力の加速度として $V_s^2 = (\rho/\rho_s - 1)gd$ である。すでに述べた実験結果によって上記の関係を確かめるために、 u_1 と u_m (平均流速) と、また d と中央粒径 d_{50} を用いて整理することにした。図-8 は $u_m t/d_{50} = 10^5$ における z_0/d_{50} の値と u_m/V_s との関係を示したものであって、代表流速 u_1 のとり方に多くの問題があるにもかかわらず、かなり明確な関係の存在することがわかる。この関係を図中に示した直線によってあらわし、すべての実験結果を z_0/d_{50} と $(u_m/V_s)^5 (u_m t/d_{50})$ との関係によって整理した結果が図-9

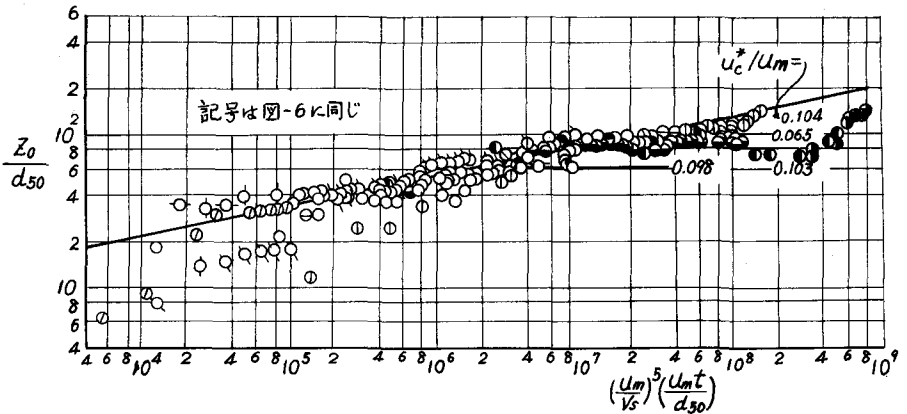


図-9 最大洗掘深さの時間的変化の無次元表示

以上は縮尺が 1/100 の模型で 1 種類の実験用砂を用いた場合であるが、今後縮尺 1/50 の模型と他の実験用砂を用いて、scale effect や砂粒の大きさの効果などを適確に検討するよう、実験を進めていくつもりである。

なお、この研究は関西電力株式会社の委託によるものであることを記し、謝意を表す次第である。