

関西電力K・K・黒四建設事務所 正員 大長昭雄

水理構造物の安全性は、しばしば浸透水の作用に対する適切な対策のいかんによつて左右される。従つて、構造物ならびに基礎の中の浸透流の分布を明らかにして、圧力分布、水頭勾配および浸透量などを把握し、適切な工法によつて構造物の安全性を全うすることは、云うまでもなく設計上の必須事項である。ところが、現実に関連する浸透流の問題は、一般に自由水面が存在する3次元の流れであるため、その3次元的な流れの分布を知ることによつて、初めて問題の解決が可能な場合が可成りあるものと考えられ、この方面の開拓が囑望されていた。本文では、黒部川第四ダムの基盤内の浸透流に対して行われた電気的相似法(electrical analogy)に基づく実験結果を例示して、首記の標題について概説する。

浸透流の問題に対する電気的相似法の応用は、Darcy's lawに従う浸透流と、Ohm's lawに従う電流との間の基本的な数式の類似性を利用しているのであつて、重力が作用する系における Darcy's law は

$$v = \frac{k}{\mu} \text{grad} (p + \int \cdot g \cdot z) = \bar{k} \text{grad} (h + z) \quad (1)$$

ここに  $v$  : 浸透流速  $\mu$  : 浸透水の粘性係数  $g$  : 重力の加速度  
 $k$  : 透水係数  $p$  : 任意点の圧力  $z$  : 任意点の基準面からの水頭  
 $\bar{k} = \frac{k \cdot \int \cdot g}{\mu}$  : 透水係数  $\int$  : 浸透水の密度  $h$  : 任意点の水頭

いま、 $h + z = \phi$  と置けば、

$$v = \frac{k \cdot \int \cdot g}{\mu} \text{grad} \phi = \bar{k} \text{grad} \phi \quad (2)$$

従つて、非圧縮性流体の定常非回転流に対して、速度ポテンシャル  $\phi$  に関する Laplace's equation が成り立ち

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (3)$$

他方、3次元定常電流に対して

$$i = \sigma \text{grad} V \quad (4)$$

ここに、 $i$  : 電流密度のベクトル  $V$  : 電位  
 $\sigma$  : 電媒質の比伝導度

従つて、定常電流のときもポテンシャル  $V$  に関する Laplace's equation が成立ち

$$\nabla^2 V = 0 \quad (5)$$

よつて、(3)式および(5)式より両者の相似性が表示され、 $v$  は  $i$  に、 $\bar{k}$  は  $\sigma$  に、 $\phi$  は  $V$  に対して相似である。

ところが電流は、重力のような物体力に従わないので、電媒質全体にわたつて流れ、電気模型の物理的な境界面が常に bounding streamline となる。そのため、浸透流の自由水面に対する境界条件  $\frac{\partial \phi}{\partial n} = 0$ ,  $\phi = z$  (ここに、 $n$  は境界面に対して垂直方向にとる) に対応して、電気模型の自由水面は、電媒質の物理的な境界面の形を人為的に変化することによつて上述の境界条件を満足させる必要があり、それが trial & error によらねばならず、さらに浸出面に対して  $\phi = z$  を満足させるために、基準面からの高さに比例したポテンシャル  $V$  を人為的に与えねばならない。この点が、自由水面が存在する3次元浸透流に対する電気的相似法の応用の隘路であり、電媒質に食塩水を用いた場合にはその形成が殆んど不可能とされ、今日までその

例を見ない。後掲の実験例では、電媒質に高いジェリー濃度の寒天ゲルを用いて、この問題の解決を試みた。

Fig-1に、基本的な実験装置を示す。potential sourceとしてinput oscillatorとamplifierを用いて、電極の分極作用を極力少くするように配慮した。模型上の凡ての極をそれぞれ必要なpotentialに調整したり、模型の中のequipotential lineを追跡したりするためにwheatstone bridgeを用いる。そして実験の最後の段階で模型の中を流れる電流を計る時には、実験上の都合で60サイクルの電流に切換えるようにし、電流は thermo junctionの温度上昇から間接的に求めるように設備した。

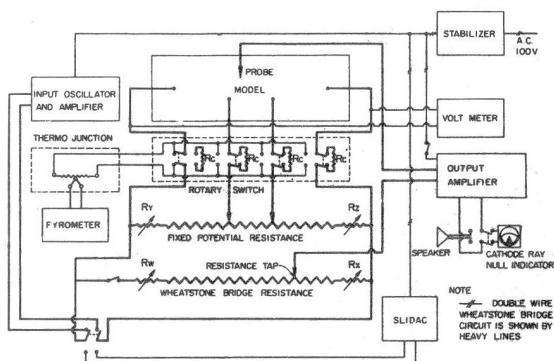


Fig - 1 Essential equipment

Fig-2に、自由水面が存在する3次元模型の1例を示す。模型は、実験技術上の都合から、左右岸別個に作成した。左側に貯水池に当る100% potentialを与えるための極板を配置し、地山の地形をできるだけ忠実に再現するように配慮した。中央の凹みは、ダムの着岩部の掘り込みを現わしている。右側に層状に配列されている極板は、浸出面の境界条件を満足させる目的で、基準面からの高さに比例したpotentialを人為的に与えるための極板である。そして、白く見える寒天ゲルの表面が、trial & errorによって削り出された自由水面の形を表わしている。

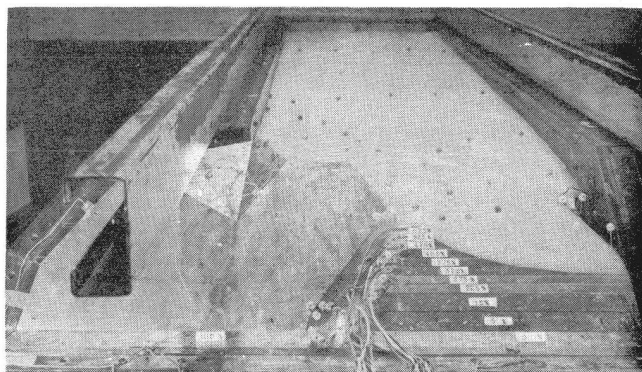


Fig-2 Tri - dimensional electrical analogy model

この実験は、満水位と中間水位について、それぞれダムのみの場合、grouting curtainのみを伴う場合、grouting curtainおよびdrainage systemを伴う場合の3通りに分けて実施された。そして、その結果の一部を原型と対比することによって、唯一の例ではあるが岩盤内の浸透流に対するかような取扱いの可能性を立証するとともに、基盤内のgrouting curtainおよびdrainage systemの機能ならびに設計に関する新しい考え方も提唱し得た。また、この実験結果によると、堤高と堤頂長の比が1:2の場合の3次元模型によって得られる下流河床に浸出する浸透水の流速は、2次元模型のその約2倍となることより、fill type damやfloating damにおける2次元断面に対する浸透流に関する検討は、堤高に比べて堤頂長が非常に長くて事実上2次元問題として取扱っても支障のない場合にのみ適用し得るのであつて、現実にもその前提を満足している対象は極めて数少ないものと考えられる。

このように、電気的相似法は、合理的で論理的な設計に不可欠な資料を得るのに非常に有効な手段であり、今後自由水面が存在する3次元浸透流に対しても、その応用の普及が望まれる。

以 上