

埼玉大学工学部 正 中村廣昭 前田建設 畑中一史

はじめに、水資源に於ける地下水の役割は大きく、最近では表流水の枯渇もあって、地下水源の人工涵養、地下貯留による積極的強化、利用が検討される向きがある。中でも地下ダム構想が注目され、今日この地下ダムに関する調査、研究が進められている現状にある。そこで本研究ではこの地下ダムによる水理的「貯留機能」という点に着目し、Hele-Shaw モデルを用い、ダム効果に対する、地下水流量、自由地下水面形、貯留量等に関する基礎的な実験を行ない、さらに同様の事柄について有限要素法(F.E.M.)による計算も試み、実験と計算について二・三の知見を得たので今後の発展性もふまえて発表する。

1. 実験装置と実験方法及び条件

地下ダムには種々のタイプが考えられるが、本研究に於ては、不圧地下止水壁型として最も基本的と考えられる図-1に示す、(a)打込みダム、(b)直立ダムの二つのタイプについて実験を行なった。実験装置は図-1、写真-1に示すように透水層の長さ60cm、高さ30cm、幅0.2cmの前面アクリル張りのHele-Shaw モデルであり、ダム模型は、幅0.5cm、厚さ0.2cmのゴム製のものをを用いた。

さらに定常流れの状態を知るため、トレーサーを流して流線の観測も出来るようにした。(写真-1参照) なお実験は恒温室内で行なった。

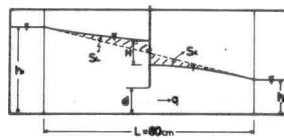
図-1に実験条件と記号を示してあるが、記号の説明は以下の通り統一して用いる。 d :ダムの打込み深度、 D :直立ダム高さ、 H :打込みダムにおけるダム地点での上下流の水位差、 S_L :ダム上流側の貯留量、 S_R :ダム下流側の減少量、 q :単位幅流量、 h_1 :上流側水位、 h_2 :下流側水位、 L :透水体系長さ(60cm)である。

実験ケースは、(a)打込みダム、(b)直立ダムの二つの条件について、打込み深さ: d 、ダム高さ: D を6通り与え、 $0.1 \leq d/D \leq 0.6$ を6通りに変化させ、さらにダムの無い場合についても実験を行なった。実験に用いた油は市販のエンジンオイル(S.A.E-30, DIKYO)を用い、透水係数はDupuit-Forchheimerの式を用い実験によって、このモデルの透水係数を求めた。その結果、本実験に於ける場合油温15°Cの時のそれは、 $K_{fs} = 0.797 \text{ cm}^2/\text{sec}$ であり実験結果の整理はこの値を用い、各実験ごとに温度補正を行なった。実験結果の表現は出来るだけ工学的配慮を加えた形で整理するため無次元表示として、地下ダムの機能の基礎的仕様が把握できるようにした。

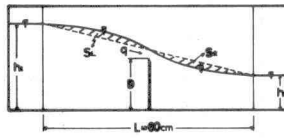
有限要素法には汎用数を用いた(要素分割については発表時に示す)

2 実験結果とその検討

(a) 地下ダムの深さと地下水流下流量 打込みダムの深さによって地下水流量がどのように変化するかについて、単位幅流量 q に関する無次元量 $q/(h_1 - h_2)$ と $2d/(h_1 + h_2)$ (地下ダム設置点の透水層の深さに対する打込みダムの打込み深度 d の比にはほぼ相当し、ダム化率 $\alpha \approx 1 - 2d/(h_1 + h_2)$ となる)について、上・下流端動水勾配 $\frac{h_1 - h_2}{L}$ をパラメータとして示したのが図-2(a)であり、実線が実験値、点線はF.E.M.による計算値である。図-2(b)は直立ダムの場合で打込みダムの場合の d を D に置き換えたものであり、ここで $\frac{2D}{h_1 + h_2}$ は、地下ダム設置点

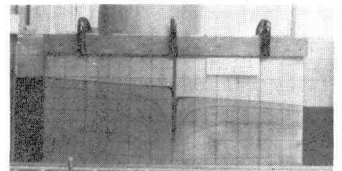


(a) 打込みダム

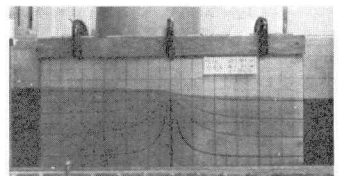


(b) 直立ダム

図-1 実験条件と記号



(a) 打込みダム



(b) 直立ダム

写真-1 実験状況

の透水層の深さに対する直立ダムの高さ D の比に相当し、ダム化率 η とはほぼ等しい。よって $\frac{2d}{(h_1+h_2)} + \frac{2D}{(h_1+h_2)} = 1$ のとき両者のダム化率は等しいことになる。この両図によれば、すべての動水勾配の場合について、ダムの無い場合に比べ、約9割のダム化を行っても、地下水流量の止水効果は約4割の減少しかないことが読みとれる。実験値とF.E.M.の計算値との比較では、ダム化率の高い方では差が見られるが、現実的なダム化率を考慮した場合、実用範囲ではF.E.M.による計算は実験値とかなり良い一致を示すと考えられる。

(b) 地下ダムにおける自由地下水面形

図-3(a)(b)は、 $\Delta h=60\text{cm}$ の場合にパラメータ $d(D)$ として、地下ダムの深さ(高さ)と自由地下水面形の、実験結果と計算結果を示してある。この両図からは、ダム化率の増大による、ダム地点上流の水位上昇、ダム地点下流の水位低下といった地下水位規制効果が増大する状態を定量的に理解することが出来る。

(c) 地下ダムに於ける貯留量と減少量

地下ダムを設けることによって起る地下ダム上流側の水位上昇が貯留量となり、下流の水位低下が減少量となる。図-4(I,II)、図-5(I,II)はそれぞれ図中にも示してあるが、貯留量 S_L 、減少量 S_R を $S_L = \frac{(h_1+h_2)}{2}$ によって無次元化して、縦軸とし、 $\frac{2d}{(h_1+h_2)}$ 、 $\frac{2D}{(h_1+h_2)}$ を横軸ににとって、動水勾配 $\frac{h_1-h_2}{L}$ をパラメータとして示した図である。この図からはダム化率が大きいほど、また動水勾配が大きいほど S_L 、 S_R ともに増大する様子がよくわかる。この図の場合実験値と計算値にかなりの差が見られるが、その原因は面積の測定精度が問題となるところであり、一応の傾向は十分示されていると思われる。又貯留形態の異なる二つのタイプの貯留量を比較することの意味は別として、ダム化率が同一の場合、打込みダムの方が8割~10割程度多くなり、減少量の方も同様の傾向を示していることは注目される。

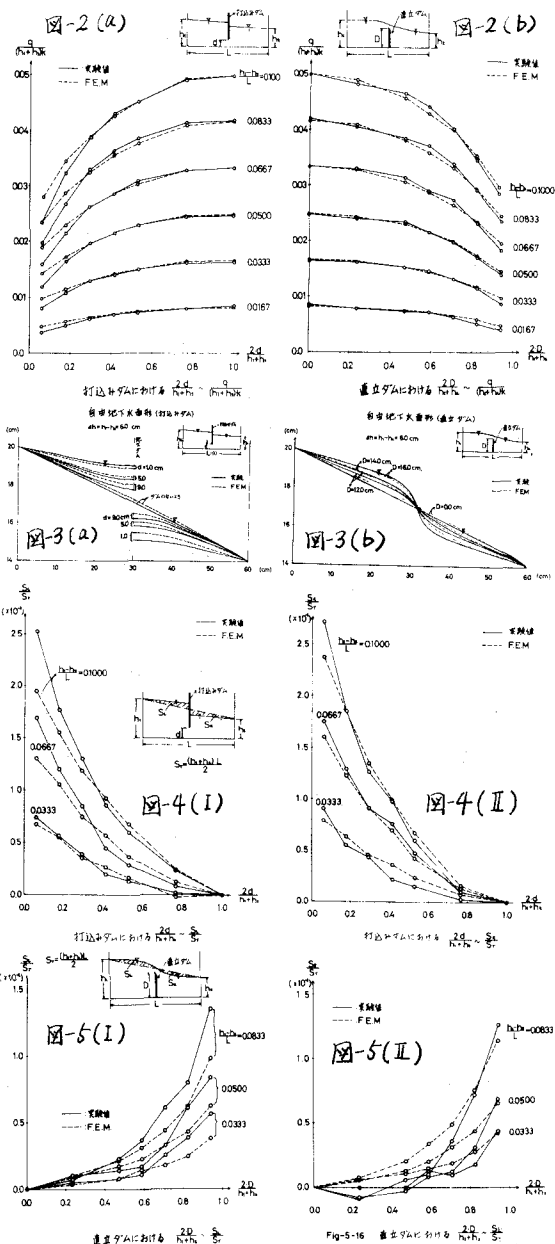


Fig-5-16 地下ダムにおける $\frac{2d}{h_1+h_2}$ 、 $\frac{2D}{h_1+h_2}$

最後に、本研究に於いて用いたダムのタイプは、地下止水壁型の基本的な二つの型を示していると考えられ、地下ダムの貯留効果及び止水効果についてある程度定量的に理解することが出来たと思われる。さらにダム化率の現実性をふまえた場合、F.E.M.による解析も単純な地層構造と仮定した場合にはその有効性が認められた。以上一連の結果を見て地下ダムの地下止水止水効果の増大、貯留効果の増大という点に着目する場合、問題となる点は、ダム化率をかなり大きくする必要が有る、という点である。

なお、本研究は、文部省特定研究費(代表、埼玉大学、佐藤邦明助教授)より援助を受けた。佐藤先生には研究の遂行上色々御指示を受けた。ここに記して厚く御礼申し上げる。