콘크리트댐 底面 浸透에 關한 考察

A Study on Seepage of the Concrete Dam base.

鄭　亨　植*・申　芳　雄**

Hyung Shik Chung・Bang Woong Shin

Summary

The authors analyzed the seepage by means of the following mathmatical solutions of the Laplace Equations on the given boundary conditions.

The boundaries of the flow region are of two types i) impervious boundaries (ψ=constant), and ii) reservoir boundaries (ϕ=constant).

The corresponding w plane, bounding the flow region, is the rectangle in Fig. 8—a.

As the z plane and w plane are both polygons, by means of the Schwarz-Christoffel transformation the flow region in each of these planes can be mapped con for mally onto the same half of an auxiliary t plane, there by yielding, say, the functions $z=f_1(t)$ and $w=f_2(t)$.

Then, either by eliminating the variable t or by using t as a parameter, the function $w=f(z)$ can be established.

I. 序　　論

지표에 내린 降水의 일부는 증발하고, 일부는 지표를 흘러내려 河水가 되고 나머지는 땅속으로 浸透한다. 構造物의 基礎, 築堤, 터파기 등은 일정한 含水量 이하의 상태에서 設計되어있기 때문에 이러한 함수상태를 유지하지 않으면 안될 경우가 많다. 따라서 浸透문제가 여기에 수반되는 것이다. 흙 中의 浸透水의 흐름에는 정상적인 것과 비정상적인 것이 있는데 댐과 河川의 堤防내의 浸透流는 內水面의 변동이 거의 없는것으로 보아 正常流로 생각하고 문제를 해결하고 있음이 일반적이다.

地下水浸透의 基本方程式은 간단한 Laplace 方程式이지만 土木構造物에 적용하여 문제를 해결하려면 境界條件이 복잡하여 쉽게 풀리지 않는다.

그러므로 圖解法을 사용하고 있으며, 이러한 圖解法도 몇가지 提示되어 있으나 이 方法들은 비교적 쉬운 반면에 時間이 많이 걸리고 사용자에 따라 多少 相異한 해답을 얻게되는 것을 막을 길이 없다.

그러므로 本文에서는 止水壁을 가진 콘크리트 댐의 地下水 浸透의 解析的 解法만을 다루었다.

* 陸軍士官學校

** 忠北大學

Ⅱ. 基 本 式

여기서 浸透流에 관한 Laplace 方程式을 소개하면 流水는 連續的이며 質量保存의 法則으로 부터

$$\frac{\partial V_x}{\partial_x}+\frac{\partial V_y}{\partial_y}+\frac{\partial V_z}{\partial_z}=0 \cdots\cdots\cdots\cdots(1)$$

여기서 V_x, V_y, V_z 는 各各 x, y, z 方向의 流速이다.

(1)式은 質量保存의 法則에서 얻는다.

Potential Function $\phi(x, y, z)$를

$$\phi(x,y,z)=-k\left(\frac{p}{rw}+z\right)+c=-kh+c \cdots\cdots(2)$$

여기서 : k : 透水係數, h : 水頭, c : 常數로 정의하고

式을 간단히 하기 위하여 Isotropic 한 媒質을 가정하면 Darcy 의 法則으로 부터

$$V_x=\frac{\partial\phi}{\partial x},\quad V_y=\frac{\partial\phi}{\partial y},\quad V_z=\frac{\partial\phi}{\partial z}\cdots\cdots\cdots\cdots(3)$$

(3)→(1)

$$\nabla^2\phi=\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\phi}{\partial z^2}=0 \cdots\cdots\cdots\cdots(4)$$

(4)式은 地下水의 浸透가 立体的으로 일어나지만 우리가 ?코로 하는 대부분의 경우는 平面上의 문제로 看做할 ? 있다. 그러므로 (4)式은

$$\nabla^2\phi=\frac{\partial^2\phi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi}{\partial y^2}=0 \cdots\cdots\cdots\cdots(5)$$

여기서 流線이라고 할 수 있는 새로운 函數 $\psi(x, y)$를

$$V_x=\frac{\partial\psi}{\partial y},\quad V_y=-\frac{\partial\psi}{\partial x} \cdots\cdots\cdots\cdots(6)$$

로 정의하면 (3)式과 (6)式에서

$$\frac{\partial\phi}{\partial x}=\frac{\partial\psi}{\partial y},\quad \frac{\partial\phi}{\partial y}=-\frac{\partial\psi}{\partial x}\cdots\cdots\cdots\cdots(7)$$

이 成立하며 ϕ와 ψ는 Cauchy-Rieman의 式을 만족시킨다. 따라서

$$\nabla^2\psi=\frac{\partial^2\psi}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\psi}{\partial y^2}=0 \cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

ϕ, ψ 는 다같이 Laplace 方程式의 解이며, 다른 합성함수 $w=\phi+i\psi$ 로 역시 $\nabla^2 w=0$ 로 Laplace 方程式을 만족시킨다.

이 $w(x, y)$ 函數는 後에 이용된다.

$\psi(x, y)$ 函數를 잠깐 고찰해 볼때, 流線上의 한點

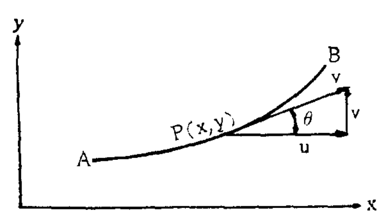


그림-1

P 에서의 x—方向의 速度를 u, y—方向의 速度를 V라고 하면, 그림—1에서

$$\tan\theta=\frac{V}{u}=\frac{dy}{dx} \qquad udy-Vdx=0$$

$$\frac{\partial\psi}{\partial y}\cdot dy-\left(-\frac{\partial\psi}{\partial x}\right)dx=0$$

∴ $\psi=c$는 流線의 方程式이 된다.

그림—2에서 1~2사이를 흐르는 流水의 量은 다음과 같이 표시한다.

$$q=\int_{\psi_2}^{\psi_1}Vxdy=\int_{\psi_2}^{\psi_1}d\psi=\psi_1-\psi_2 \cdots\cdots\cdots\cdots(9)$$

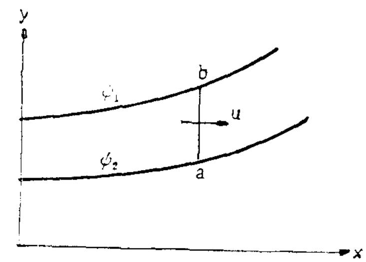


그림-2

이 (9)式은 두개의 流線사이에 흐르는 流水의 量은 一定하다는 것을 나타낸다. 따라서 $\psi(x, y)$ 函數가 定해지면 流水의 量과 方向 및 相對的인 速度를 알 수 있다. 물론 構造物에 미치는 水壓은 $\phi(x, y)$가 定해지면 (2)式의 定義에 의하여 곧 알게된다.

Ⅲ. 境界條件

1. 止水壁이 있는 경우

基本式인 Laplace 方程式의 一般的인 경우는 그림—3에서 댐의 밑면 B~C 선은 $\psi=q$, 이고 不透水性의 암반 A_∞~D_∞ 는 $\psi=0$ 가 되고 上流와 下流의 A_∞~B 와 C~D_∞ 는 各各 $\phi=-kh$ 와 $\phi=0$가 된다.

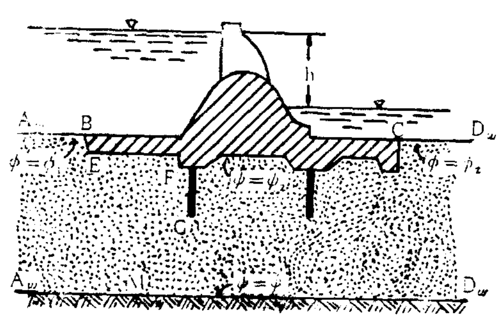


그림-3

2. 止水壁이 없는 경우

그림—4에서 댐의 밑면 B~C 선은 $\psi=0$ 이며, 不

透水性인 $A_\infty \sim D_\infty$는 $\psi=-q$가 되고, $C\sim D_\infty$는 $\phi=0$이며, $A_\infty \sim B$는 $\phi=-kh$가 된다.

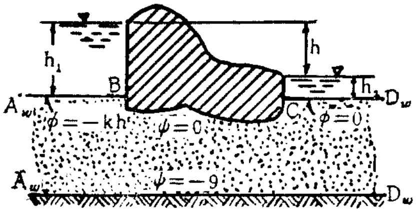


그림-4

Ⅳ. 댐 底面에 止水壁을 가진 경우

그림—3, 4와 같이 한정된 깊이의 透水性 土質위에 止水壁을 가진 콘크리트 댐에 대한 浸透문제를 解析的인 方法으로 解決하려고하면 $z(x,y)$와 $w(\phi,\psi)$를 各各의 平面에서 $z=x+iy$, $w=\phi+i\psi$로 定義하고 그림—5, 6과 같이 軸을 잡는다.

만일 z平面과 w平面을 對應시킬수 있으면 문제는 解決되는 것이다. 그러나 두 平面을 직접 對應시킬수가 없으므로 새로운 t平面을 導入하여 z平面을 平面을 t平面에, w平面 t平面에 各各 對應시키면 z平面과 w平面은 매개변수 t를 通하여 對應되어 같은 결과를 얻는다.

z平面이나 w平面上에서 우리가 생각하는 領域을 보면 둘이 다같이 多角形임을 알수 있고, 이것들은 t平面上의 한個의 線上에 對應시킬수 있다면 요구되는 관계식을 얻을수 있으며, 이러한 경우에 Schwartz-Christoffel변환을 쓰면 편리하다.

1. 無限한 깊이의 透水層上의 댐

가장 일반적인 경우로 그림—5와 같은 構造를 가진 댐을 解析的으로 解를 求하여 보자.

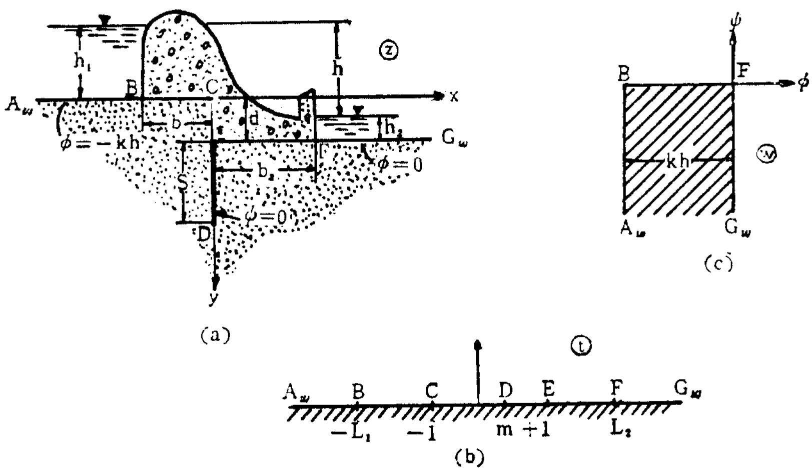


그림-5

가. z平面을 t平面에 對應

우선 z平面과 t平面을 對應시키기 위하여 z平面上의 各點들을 그림—5(b)와 같이 t平面上에 位置시키면 $-L_1$, L_2, m는 앞으로 결정해야 할 常數들이다. 그러면 Schwartz-Christoffel변환으로 부터

$$=M\int\frac{(t-m)dt}{\sqrt{t^2-1}}+N=M\sqrt{t^2-1}-Mm\cosh^{-1}t+N \cdots\cdots(10)$$

여기서 M, N, m는 결정되어야할 常數들이다.

E점에서, $z=id$, $t=+1$ 이므로, $N=id$이다.

c點에서, $z=0$, $t=-1$ 이므로

$$0=-Mm(i\pi)+id \qquad \therefore\ M=\frac{id}{mi\pi}=\frac{d}{m\pi}$$

혹은 $Mm=\dfrac{d}{\pi}$이다.

D點에서, $z=i(d+s)$, $t=m$이므로,

$$i(d+s)=\frac{d}{m\pi}\sqrt{m^2-1}-\frac{d}{\pi}\cosh^{-1}(m)+id$$

$$is=\frac{d}{m\pi}\cdot i\cdot\sqrt{1-m^2}-\frac{d}{\pi}\cdot i\cdot\cos^{-1}m$$

$$\frac{s}{d}=\frac{\sqrt{1-m^2}}{m\pi}-\frac{1}{\pi}\cos^{-1}m,\quad \frac{s\pi}{d}=\frac{\sqrt{1-m^2}}{m}-\cos^{-1}m \cdots\cdots(11)$$

(11)式에서 s와 d는 주어진 값이므로 m가 결정된다. 그러므로 M와 N의 값을 (10)式에 넣으면 다음과 같은 z와 t平面間의 對應式을 얻는다.

$$z=\frac{d}{\pi m}\sqrt{t^2-1}-\frac{d}{\pi}\cosh^{-1}t+id \cdots\cdots(12)$$

나. w平面을 t平面에 對應.

마찬가지로 Schwartz-Christoffel 변환을 사용하면

$$w=M_1\int\frac{dt}{(t+L_1)^{1/2}(t-L^2)^{1/2}}+N_1$$

$$=iM_1\sin^{-1}\frac{2t+L_1-L_2}{L_1+L_2}+N_1$$

$$=M_2\sin^{-1}\frac{t+\lambda_1}{\lambda}+N_1 \cdots\cdots(13)$$

여기서 $\lambda_1=\frac{(L_1-L_2)}{2}$, $\lambda=\frac{(L_1+L_2)}{2}$이다.

F點에서, $w=0$, $t=L_2$ 이므로

$$0=M_2\sin^{-1}\frac{L_2-\lambda_1}{\lambda}+N_1,\quad N_1=-M_2\frac{\pi}{2}$$

B點에서, $w=-kh$, $t=-L_1$ 이므로

$$-kh=M_2\sin^{-1}\left(\frac{\frac{-2L_1+L_1-L_2}{2}}{\frac{L_1+L_2}{2}}\right)-\frac{M_2\pi}{2}$$

$$-kh=-\pi M_2,\quad M_2=\frac{kh}{\pi}$$

그러므로 $t=\lambda\cos\left(\frac{w\pi}{kh}\right)-\lambda_1 \cdots\cdots(14)$

여기서 B點은 (z, t平面에서)

$z=-b$, $t=-L_1$ 이므로

$\left.\begin{matrix}L_1=\cosh\beta_1\\ L_2=\cosh\beta_2\end{matrix}\right)$로 L_1과 L_2를 대치하면

(12)式에서

$$-b_1=\frac{d}{\pi m}\sqrt{-L_1^2-1}-\frac{d}{\pi}\cosh^{-1}-L_1+id$$

$$=\frac{d}{\pi m}\sqrt{\cos\beta_1^2-1}-\frac{d}{\pi}\cosh^{-1}-\cosh\beta_1+id$$

$$\frac{-b_1\pi m}{d}=\sinh\beta_1+m\beta_1 \cdots\cdots(15)$$

마찬가지 방법으로서 $\frac{b_2\pi m}{d}=\sinh\beta_2-\sinh\beta_2$

$\cdots\cdots(16)$

여기서 (14)式을 (12)式에 代入하면 z平面과 w平面間의 對應式은

$$z=\frac{d}{\pi m}\left[(\lambda\cos\frac{w\pi}{kh}-\lambda_1)^2-1\right]^{\frac{1}{2}}-\frac{d}{\pi}\cosh^{-1}(\lambda\cos\frac{w\pi}{kh}-\lambda_1)+id \cdots\cdots(17)$$

된다. 이式으로 부터 $\psi=0$되는 댐의 底面에 따른 Potential를 구하면 (18)式으로 表示할수 있다.

$$z=\frac{d}{\pi m}\left[(\lambda\cos\frac{\phi\pi}{kh}-\lambda_1)^2-1\right]^{*}-\frac{d}{\pi}\cosh^{-1}(\lambda\cos\frac{\phi\pi}{kh}-\lambda_1)+id \cdots\cdots(18)$$

構造物의 여러가지 斷面과 流出動水傾斜 크기에 따른 壓力分布를 알아야 하므로, 壓力을 구하기 위하여 그림 −5(a)에서와 같이 Y軸을 취하면

$$\phi=-k\left(\frac{p}{r_w}-y\right)+c$$

여기서 $Y=0$, $\phi=-kh$, $\frac{p}{r_w}=h_1$ 이므로

$c=-k(h-h_1)$, (14)式으로 부터 不透水層境界에서는 $\psi=0$ 이므로

$$\phi=-\frac{kh}{\pi}\cos^{-1}\frac{t+\lambda_1}{\lambda}\quad 0\leq\cos^{-1}\frac{t+\lambda_1}{\lambda}\leq\pi$$

이 댐底面에서의 壓力分布는 다음式으로 表示할수있다.

$$p=r_w\left(\frac{h}{\pi}\cos^{-1}\frac{t+\lambda_1}{\lambda}+y-h+h_1\right)\cdots\cdots(19)$$

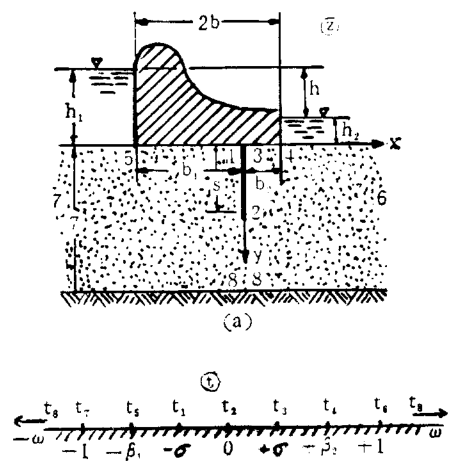
(19)式에서 C, D, E點의 p_C, p_D, p_E는

$$p_C=r_w\left(\frac{h}{\pi}\cos^{-1}\frac{\lambda_1-1}{\lambda}-h+h_1\right)$$

$$p_D=r_w\left(\frac{h}{\pi}\cos^{-1}\frac{\lambda_1+m}{\lambda}+s+h_2\right)$$

$p_E=r_w\left(\frac{h}{\pi}\cos^{-1}\frac{\lambda_1+1}{\lambda}+h_2\right)$로서 구할수있다.

2. 限定된 깊이의 透水層上의 댐



(a)

(b)

그림-6

댐 底面이 水平이며 止水壁을 가진 경우를 생각하여 보자.

가. z平面을 t平面에 對應

우선 앞에서 한 방법으로서 z平面上의 各點들을 그림—6(b)와 같이 t平面上에 位置시키면 β_1, β_2, δ는 앞으로 決定해야할 常數들이다. 여기서도 Schwartz-Christoffel 변환으로 부터

$$z=M\int_0^t \frac{t}{(1-t^2)\sqrt{\delta^2-t^2}}dt+N \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(20)$$

여기서 M과 N은 결정되어야할 複素數常數들이다. (20)式에서 $\delta^2-t^2=\tau^2$으로 놓으면

$$tdt=-\tau d\tau,\quad 1-t^2=\tau^2-\delta'^2$$

여기서 $\delta'^2=1-\delta^2$ 이다.

(20)式은

$$z=-M\int_0^{\sqrt{\delta^2-t^2}}\frac{dz}{\tau^2+\delta'^2}+N$$

$$=-\frac{M}{\delta'}\left(\tan^{-1}\frac{\sqrt{\delta^2-t^2}}{\delta'}-\tan^{-1}\frac{\delta}{\delta'}\right)+N\cdots(21)$$

點 2에서는, $z=is$, $t=0$ 이므로 (20)式에 代入하면, $N=is$

點 3에서, $z=0$, $t=\delta$ 이므로 (21)式에 代入하면

$$\frac{M}{\delta'}\tan^{-1}\frac{\delta}{\delta'}+is=0\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(22)$$

(21)式을 아래와 같이 고쳐쓸수 있다.

$$z=-\frac{M}{\delta'}\tan^{-1}\frac{\sqrt{\delta^2-t^2}}{\delta'}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(23)$$

點 8에서, $z=iT$, $t=\infty$ 이므로 (23)式에서 $M=\dfrac{-2iT\delta'}{\pi}$를 얻는다. 그러므로 (23)式은

$$z=\frac{2Ti}{\pi}\tan^{-1}\frac{\sqrt{\delta^2-t^2}}{\delta'}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(24.\ a)$$

$$\delta^2-t^2=\delta'^2\tan^2\left(\frac{\pi z}{2T}\ i\right)=-\delta'^2\tan^2\left(\frac{\pi z}{2T}\right)\text{에서}$$

$$t=\pm\sqrt{\delta^2+\delta'^2\tanh^2\frac{\pi z}{2T}}\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(24.\ b)$$

M의 값을 (22)式에 넣으면

$$\frac{\delta}{\delta'}=\tan\frac{\pi s}{2T}\ \text{고로}\ \delta=\sin\frac{\pi s}{2T},\quad \delta'=\cos\frac{\pi s}{2T}$$

$$\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

(25)式을 (24)式에 代入하여 다음과 같은 t平面과 z平面間의 對應式을 얻는다.

$$t=\pm\cos\frac{\pi s}{2T}\sqrt{\tan^2\frac{\pi s}{2T}+\tanh^2\frac{\pi s}{2T}}\cdots\cdots(26)$$

(26)式에다 構造物의 양측의 값인 $z=-b$, $t=-\beta_1$과 $z=b_2$, $t=\beta_2$를 代入하면 t平面에서의 常數인 β_1과 β_2를 결정할수 있는 式을 얻는다

$$\beta_1=\cos\frac{\pi s}{2T}\sqrt{\tan^2\frac{\pi s}{2T}+\tanh^2\left(\frac{\pi b_1}{2T}\right)}$$

$$\beta_2=\cos\frac{\pi s}{2T}\sqrt{\tan^2\frac{\pi s}{2T}+\tanh^2\left(\frac{\pi b_2}{2T}\right)}\cdots\ (27)$$

(27)式을 圖表로 나타내면 그림—7과 같다.

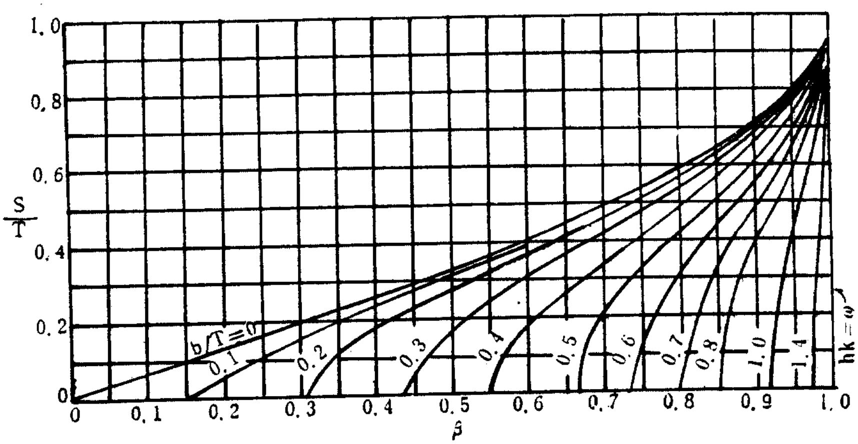


그림-7

나. w平面을 t平面에 對應

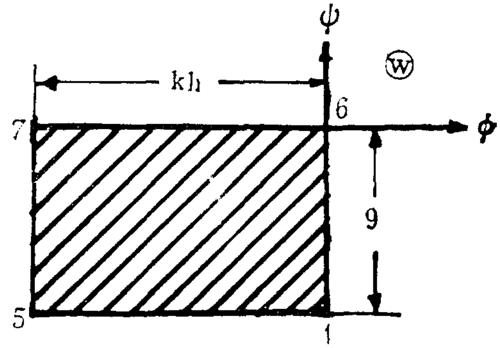
여기서도 마찬가지로 Schwartz-Christoffel 변환을 사용하면

$$w=M_1\int_0^t\frac{dt}{\sqrt{(t^2-1)(t+\beta_1)(t-\beta_2)}}+N_1\cdots(28)$$

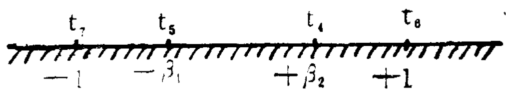
(28)式을 다시쓰면

$$w=M_1\int_0^1\frac{dt}{\sqrt{(t^2-1)(t+\beta_1)(t-\beta_2)}}$$

$$+M_1\int_1^t\frac{dt}{\sqrt{(t^2-1)(t+\beta_1)(t-\beta_2)}}+N_1\cdots(29)$$



(a)



(b)

그림-8

그런데 點 6에서 $w=0$, $t=1$ 이므로

$$0=M_1\int_0^1 \frac{dt}{\sqrt{(t^2-1)(t+\beta_1)(t-\beta_2)}}+N_1 \text{ 이되고}$$

(29)式은

$$w=M_1\int_1^t \frac{dt}{\sqrt{(t_2-1)(t+\beta_1)(t-\beta_2)}} \cdots\cdots\cdots\cdots(30)$$

(30)式을 적분하면

$$w=M_1\frac{2}{\sqrt{(1+\beta_1)(1+\beta_2)}}Sn^{-1}\left(\sqrt{\frac{(t-1)(1+\beta_2)}{2(t-\beta_2)}}\cdot\sqrt{\frac{2(\beta_1+\beta_2)}{(1+\beta_1)(1+\beta_2)}}\right) \cdots\cdots\cdots\cdots(31)$$

윗式에서 Jacobian 係數는

$$m=\sqrt{\frac{2(\beta_1+\beta_2)}{(1+\beta_1)(1+\beta_2)}} \cdots\cdots\cdots\cdots(32)\text{이고}$$

$$\mu=\sqrt{\frac{(1+\beta_1)(1+\beta_2)}{2}}$$ 로 놓으면 (31)式은 다음과 같이 고쳐 쓸수 있다.

$$sn\left(\frac{\mu w}{M_1}\right)=\sqrt{\frac{(t-1)(1+\beta_2)}{2(t-\beta_2)}} \cdots\cdots\cdots\cdots(33.\ a)$$

혹은

$$t=\frac{2\beta_2 sn^2\left(\frac{\mu w}{M_1}\right)-(1+\beta_2)}{2sn^2\left(\frac{\mu w}{M_1}\right)-(1+\beta_2)} \cdots\cdots\cdots(33.\ b)$$

點 5에서, $w=-iq-kh$, $t=-\beta$이다. 이것을 (33. a)式에 代入

$$sn\left(\frac{\mu w}{M_1}\right)=\sqrt{\frac{(1+\beta_1)(1+\beta_2)}{2(\beta_1+\beta_2)}}=\frac{1}{m}$$

또는 $w=-iq-kh=\frac{M_1}{\mu}(k+ik')$

고로 $M_1=-\frac{\mu kh}{K}$, $q=\frac{khK'}{K} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(34)$

여기서, K : 第1次 完全楕圓積分

K' : $m'(=\sqrt{1-m^2})$를 係數로 갖는 第1次完全楕圓積分

K와 K'의 係數는 물론 (32)式으로 주어진 것이다. M_1의 값을 (33. b)式에 代入하여 요구되는 관계식을 얻는다.

$$t=\frac{1+\beta_2-2\beta_2 sn^2\left(\frac{Kw}{kh}\right)}{1+\beta_2-2sn^2\left(\frac{Kw}{kh}\right)} \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(35)$$

(26)式과 (35)式으로 우리는 z平面의 어떤 點도 w平面에 對應시킬 수 있다. 즉z平面上의 어떤 點에서도 ϕ와 ψ를 알수 있으므로 그 點에서의 流量, 流速, 水壓을 알수 있다. 그림-9에는 止水壁의 位置와 깊이가 流水의 量에 미치는 영향이 나타나 있고 그림-10에는 止水壁이 中央에 있는 경우이 流水의 量 $\left(\frac{q}{kh}\right)$가 $\left(\frac{S}{T}\right)$와 $\left(\frac{b}{T}\right)$의 관계로 표시되어 있다.

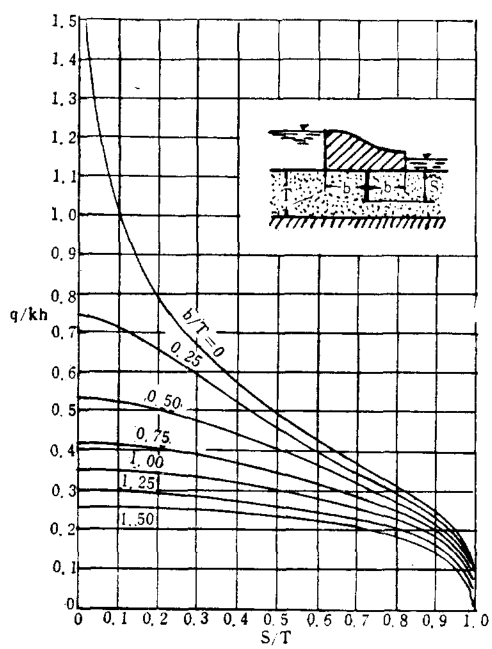


그림-9

다. 植出動水傾斜

浸透문제에 있어서 중요한 것의 하나가 Piping을 방지하기 위하여 流出動水傾斜를 결정하는 일이다.

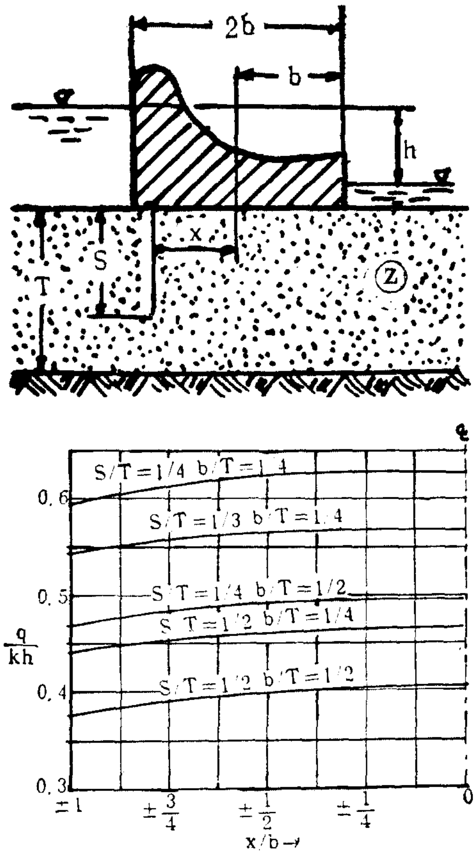


그림-10

透水媒質의 임의의 點에서 動水傾斜는 다음과 같이 표시된다.

$$I=-\frac{dh}{ds}=\frac{1}{k}\frac{d\phi}{ds}=\frac{1}{k}\frac{d\phi}{dt}\frac{dt}{dz}\frac{dz}{ds}\cdots(36)$$

여기서 S는 물 粉子가 진행한 거리이다. 그런데 θ를 流線이 x軸과 이루는 角이라면

$$\frac{dz}{ds}=\cos\theta+i\sin\theta$$

또한 流出點에서 流線은 $\psi=c$로 표시되므로 $\frac{d\varphi}{dt}=\frac{dw}{dt}$이고 $\theta=90°$ 이므로 $\frac{dz}{ds}=i$가 되어 (36)式에서 流出動水傾斜는 다음과 같이 표시될수 있다.

$$I_E=\frac{i}{k}\left(\frac{dw}{dt}\cdot\frac{dt}{dz}\right)\cdots\cdots(37)$$

그림-6의 댐에서 널말뚝이 下流趾에 있을 경우 流出動水傾斜를 求하려면 (28)式으로 부터

$$\frac{dw}{}=-\frac{\mu kh}{K}\frac{1}{\sqrt{(t^2-1)(t+\beta_1)(t-\beta_2)}}\cdots(38)$$

또한 (20)式으로 부터

$$\frac{dt}{dz}=-\frac{\pi}{2iT\delta'}\frac{(1-t^2)\sqrt{\delta^2-t^2}}{t}\cdots\cdots(39)$$

를 各各 얻는다. (38)式과 (39)式을 (37)式에 代入하고, 그림-6에서 點3과 點4가 일치하므로, $t=\delta=\beta_2$를 참작하여 정리하면

$$I_E=\frac{\pi'h}{4KT\delta}\sqrt{\frac{2\delta(1+\beta_1)(1+\delta)}{\delta+\beta_1}}\cdots\cdots(40)$$

여기서 K의 係數는 $m=\sqrt{\frac{2(\beta_1+\delta)}{(1+\beta_1)(1+\delta)}}$ 이다.

(39)式으로 부터 流出動水傾斜를 計算하여 Piping의 위험도를 결정할수 있다.

단순 널말뚝을 사용한 構造物에 대해서는 지금 고찰해본 댐에서 또 다시 點5를 點1에 일치시키면 같은 방법으로 解答을 求할수 있다. 참고로 이 경우의 z平面과 t平面의 관계식을 적어보면

$$t=\pm\cos\frac{\pi s}{2T}\sqrt{\tan^2\left(\frac{\pi s}{2T}\right)+\tanh^2\left(\frac{\pi z}{2T}\right)}\quad(41.a)$$

$$t=\frac{1+\delta-2\delta sn^2\left(\frac{Kw}{kh}\right)}{1+\delta-2sn^2\left(\frac{Kw}{kh}\right)}\cdots\cdots(41.b)$$

여기서 K의 係數는 $m=\frac{2\sqrt{\delta}}{1+\delta}$이고

$\delta=\sin\frac{\pi s}{2T}$이다. 또한 流出動水傾斜는

$$I_E=\frac{h\pi}{4KTm}\cdots\cdots(42)$$

가 된다.

V. 結 論

1. 댐의 止水壁이 댐의 中央에 있는 경우 浸透水量은 止水壁의 깊이에 큰영향을 받으나 댐의 폭이 透水層의 두께와 비슷하거나 큰 경우에는 止水壁의 깊이가 浸透水量에 미치는 영향이 크게 감소된다. 즉 만일에 댐 상류에 점토로 止水막을 약간만이라도 설치한다면 구태여 止水壁을 깊게할 필요가 없게 된다.

2. 止水壁의 位置가 浸透水量에 미치는 영향은 그림-10에서 볼수 있는것과 같이 크지 않으나, 댐의 중앙에 있을 때에 최대 水量을 나타낸다.

3. 그림-10으로부터는 댐의 폭과 土層의 깊이의 比가 $\frac{b}{T}\geq 1$이면 止水壁이 암반까지 내려가지 않는 以上 止水壁의 깊이의 증가가 流出量의 감소에는 별로 도움이 안된다.

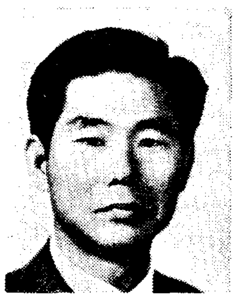
4. Flow Net는 매경우마다. 그림을 그려야 하는 불편이 있으나, 解析的인 方法은 일반적인 경우에

解를 求하면 치수가 달러지더라도 즉시 문제를 해결할수 있다.

5. 댐의 構造, 止水壁의 위치, 길이등을 設計할 때 이들이 浸透水量및 流出動水傾斜에 미치는 영향을 알려면 圖解法으로는 힘들다. 그러나 解析的인 解法을 求하면, 構造의 치수가 이들에 미치는 영향을 쉽게 알수 있어 設計에 큰 도움이된다.

參 考 文 獻

1. A. Verruijt "Theory of Groundwater Flow" Macmillan, 1969. 5, p. 6~24, p. 58~142.
2. D.W. Taylor "Soil Mechanics" John Wiley & Sons, Inc, 1967, p. 156~207.
3. George B. Sowers, "Soil Mechanics and Foundation" Collier-Macmillan International Editions, 1970, p. 161~200.
4. I.S. Sokolnikofe, R.M. Redheffer "Mathematics of Physics and Modern Engineering" McGraw-Hill, 1966, p. 323~337, p. 528~589.
5. J.V. Parcher and R.E. Means "Soil Mechanics and Foundations" prentice Hall of India, 1974, p. 101~178
6. Karl Terzaghi and Ralph B. Peck "Soil Mechanics" John Wiley & Sons, Inc, 1965, p. 218~254.
7. M.E. Harr "Groundwater and seepage" McGraw-Hill, 1962, p. 1~38, p. 81~140.
8. R. Sakthivadivel and S. Thiruvengadachari. "Seepage Charateristics of Foundations with a Downstream Crack" Journal of hydrauli Research, 1975. 8. p. 57~77



金 永 琪

(祝)

理 學 博 士

當學會 正會員인 金永琪會員은 오랜 硏究生活 끝에 博士學位를 받은데 對하여 全會員과 더부러 祝賀 드리는 바입니다.

勤 務 處 : 慶北大學校 文理科大學 地質學科

生 年 月 日 : 1930年 11月 15日 生

最 終 學 校 : 서울大學校 文理大

學 位 授 與 : 慶北大學校

學 位 論 文 : 半夜月層의 지하수위 운동에 관한연구