

# 空気が閉じ込められている地下放水路の流れにおける 圧力波の伝播速度

鮎川 登<sup>1</sup>・谷澤克矢<sup>2</sup>・新井和敏<sup>3</sup>

<sup>1</sup>フェロー 工博 早稲田大学教授 理工学部土木工学科 (〒169 東京都新宿区大久保3-4-1)

<sup>2</sup>正会員 工修 東京ガス株式会社 東部事業本部

<sup>3</sup>株式会社荏原製作所 技術統括部 (〒144 東京都大田区羽田旭町11-1)

地下放水路の流れでは、トンネル内に被圧された空気が閉じ込められることが考えられる。本研究では、そのような流れをスロットモデルで解析するさいに必要となる被圧された空気が閉じ込められている管路の流れにおける圧力波の伝播速度を算定するための式を導いた。その結果によると、空気がトンネル内に閉じ込められると、空気の圧縮性により圧力波の水中伝播速度が著しく小さくなることが示された。

**Key Words** : pressure wave propagation speed, two-phase flow, pipe flow, underground diversion channel

## 1. 序論

都市河川の治水対策の一環として考えられている地下放水路は、図-1に示すように、立坑とトンネルで構成されている。地下放水路の流れは、流入立坑の流入条件と排水立坑の排水条件に応じて、開水路状態の流れ、管水路状態の流れおよび開水路状態の流れと管水路状態の流れが共存する流れの3通りになる。開水路状態の流れおよび管水路状態の流れは、それぞれ、開水路および管水路の非常常流の支配方程式に基づいて解析され<sup>1),2)</sup>、開水路状態の流れと管水路状態の流れが共存する流れはスロットモデルを用いて解析される<sup>1),3)</sup>。

スロットモデルは、管路において生ずる開水路状態と管水路状態を遷移する流れを解析するために、Preissmanによって提案されたモデルである<sup>4)</sup>。スロットモデルでは、図-2に示すように、管路の頂部に幅 $B_s$ のスロットを取り付けた仮想断面を考え、管水路の流れを開水路の流れとして扱う。スロットの幅 $B_s$ は次式で与えられる。

$$B_s = \frac{gA}{c^2} \quad (1)$$

ここで、 $A$ は管の断面積、 $c$ は管水路の流れの水中を伝わる圧力波の伝播速度、 $g$ は重力の加速度である。

実験によると、開水路状態の流れと管水路状態の流れが共存する流れで、流れが開水路状態から管水

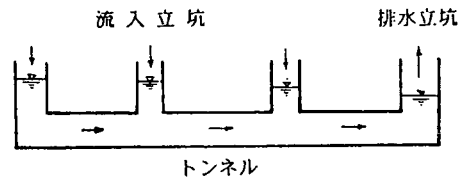


図-1 地下放水路

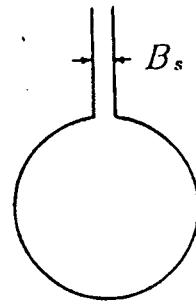


図-2 スロットモデル

路状態に変わるときに、図-3に示すように、トンネル内に空気が閉じ込められる現象が観察された。このように、被圧された空気がトンネル内に閉じ込められている場合の流れをスロットモデルで解析するときには、被圧された空気がトンネル内に閉じ込め

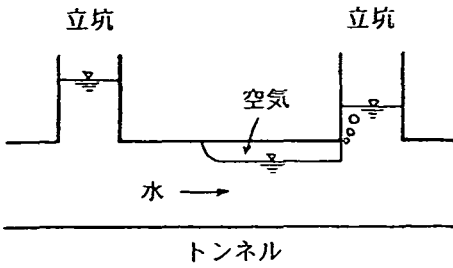


図-3 空気の閉じ込め

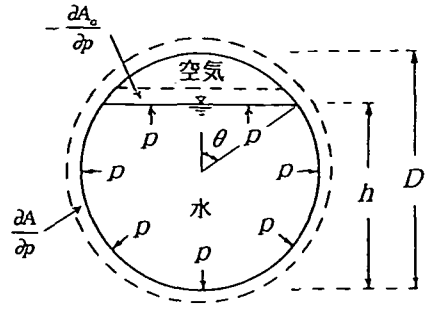


図-4 空気が閉じ込められている断面

られている場合の圧力波の水中伝播速度を求めることが必要になる。ここでは、そのような流れにおける圧力波の水中伝播速度の算定式を導くことを試みた結果について述べる。

## 2. 被圧された空気がトンネル内に閉じ込められている場合の水流の支配方程式

### (1) 連続方程式

図-4に示すように、被圧された空気がトンネル内に閉じ込められている場合の圧力波の水中伝播速度の算定式を導くためには、水と空気の圧縮性およびトンネル壁の伸縮性を考慮することが必要である。

水と空気の圧縮性およびトンネル壁の伸縮性を考慮する場合の水の流れの連続方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial(\rho_w A_w)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho_w v A_w)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

ここで、 $\rho_w$ は水の密度、 $A_w$ はトンネル断面内の水の部分の面積（流水断面積）、 $v$ は水の流速である。

水の密度 $\rho_w$ および水の部分の断面積 $A_w$ は圧力 $p$ の関数になるので、式(2)は次のように書き換えられる。

$$\left( A_w \frac{\partial \rho_w}{\partial p} + \rho_w \frac{\partial A_w}{\partial p} \right) \left( \frac{\partial p}{\partial t} + v \frac{\partial p}{\partial x} \right) + \rho_w A_w \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

式(3)の $\partial \rho_w / \partial p$ および $\partial A_w / \partial p$ は、それぞれ、次のように書かれる。

圧力の変化に伴う水の密度の変化率 $\partial \rho_w / \partial p$ は、水の体積弾性係数を $K_w$ とすると、次のように表示される。

$$\frac{1}{\rho_w} \frac{\partial \rho_w}{\partial p} = \frac{1}{K_w} ; \quad \frac{\partial \rho_w}{\partial p} = \frac{\rho_w}{K_w} \quad (4)$$

圧力の変化に伴う水の部分の断面積の変化率 $\partial A_w / \partial p$ は $A = A_w + A_a$ を $p$ で微分することにより次のように表示される。

$$\frac{\partial A_a}{\partial p} = -\frac{\partial A_a}{\partial p} + \frac{\partial A}{\partial p} \quad (5)$$

ここで、 $A_a$ はトンネル断面内の空気の部分の面積、 $A$ はトンネルの断面積、 $\theta$ は図-4に示す角（ラジアン）である。

圧力の変化による空気の部分の断面積の変化率 $\partial A_a / \partial p$ はトンネル内の空気の圧縮による変化率 $(\partial A_a / \partial p)_1$ とトンネル内に閉じ込められた空気の一部が立坑から排出されることによる変化率 $(\partial A_a / \partial p)_2$ の和として表示される。

圧力の変化に伴うトンネル内の空気の圧縮によって生ずる空気の部分の断面積の変化率 $(\partial A_a / \partial p)_1$ は空気の体積弾性係数 $K_a$ を用いて次のように表示されるものとする。

$$\frac{1}{K_a} = -\frac{1}{V_a} \frac{\partial V_a}{\partial p} \doteq -\frac{1}{A_a} \left( \frac{\partial A_a}{\partial p} \right)_1 \quad (6)$$

すなわち、

$$\left( \frac{\partial A_a}{\partial p} \right)_1 = -\frac{A_a}{K_a} \quad (7)$$

ここで、 $V_a$ はトンネル内に閉じ込められた空気の体積である。

圧力の変化に伴いトンネル内に閉じ込められた空気の一部が立坑から排出されることによってもたらされる空気の部分の断面積の変化率 $(\partial A_a / \partial p)_2$ は次式によって表示されるものと仮定する。

$$\left( \frac{\partial A_a}{\partial p} \right)_2 = -\beta A_a \quad (8)$$

ここで、 $\beta$ は係数である。

式(7)および式(8)によると、圧力の変化による空気の部分の断面積の変化率 $\partial A_a / \partial p$ は次のように表示される。

$$\frac{\partial A_o}{\partial p} = \left(\frac{\partial A_o}{\partial p}\right)_1 + \left(\frac{\partial A_o}{\partial p}\right)_2 = -\left(\frac{1}{K_o} + \beta\right)A_o \quad (9)$$

圧力の変化に伴うトンネル壁の円周方向の伸縮によるトンネルの断面積の変化率 $\partial A/\partial p$ は、管路の水撃現象の支配方程式の誘導を参照すると、次のように表示される<sup>5)</sup>。

$$\frac{\partial A}{\partial p} = \frac{DA}{E\delta} \quad (10)$$

ここで、 $D$ はトンネルの内径、 $\delta$ はトンネルの壁厚、 $E$ はトンネル壁の材料の弾性係数である。

式(9)および式(10)を式(5)に代入すると、圧力の変化に伴う水の部分の断面積の変化率 $\partial A_w/\partial p$ に対する表示式として次式が得られる。

$$\frac{\partial A_w}{\partial p} = \left(\frac{1}{K_o} + \beta\right)A_o + \frac{DA}{E\delta} \quad (11)$$

式(4)および式(11)を式(3)に代入すると、水と空気の状態性およびトンネル壁の伸縮性を考慮する場合の水の流れの連続方程式として次式が得られる。

$$\left\{\frac{\rho_w}{K_w}A_w + \rho_w\left(\frac{1}{K_o} + \beta\right)A_o + \frac{\rho_w D}{E\delta}A\right\}\left(\frac{\partial p}{\partial t} + v\frac{\partial p}{\partial x}\right) + \rho_w A_w \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (12)$$

圧力波の水中伝播速度を $c$ とすると、

$$\begin{aligned} \frac{\partial p}{\partial t} + v\frac{\partial p}{\partial x} &= \frac{\partial p}{\partial t} + v\frac{\partial p}{\partial x} \frac{\partial t}{\partial x} \\ &= \left(1 + \frac{v}{c}\right)\frac{\partial p}{\partial t} \end{aligned} \quad (13)$$

となり<sup>5)</sup>、式(12)は次のように書き換えられる。

$$\left\{\frac{\rho_w}{K_w}A_w + \rho_w\left(\frac{1}{K_o} + \beta\right)A_o + \frac{\rho_w D}{E\delta}A\right\}\left(1 + \frac{v}{c}\right)\frac{\partial p}{\partial t} + \rho_w A_w \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (14)$$

圧力 $p$ の代わりにピエゾ水頭 $H = p/\rho_w g + z$ ( $z$ はトンネル断面の中心の基準面からの高さ)を用いると、式(14)は次のようになる。

$$\left\{\frac{\rho_w}{K_w}A_w + \rho_w\left(\frac{1}{K_o} + \beta\right)A_o + \frac{\rho_w D}{E\delta}A\right\}\left(1 + \frac{v}{c}\right)g\frac{\partial H}{\partial t} + A_w \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (15)$$

圧力波の水中伝播速度 $c$ が水の流速 $v$ に比し非常に大きい場合には、式(15)は次のように簡略化される。

$$\left\{\frac{\rho_w}{K_w}A_w + \rho_w\left(\frac{1}{K_o} + \beta\right)A_o + \frac{\rho_w D}{E\delta}A\right\}g\frac{\partial v}{\partial t} + A_w \frac{\partial v}{\partial x} = 0 \quad (16)$$

## (2) 運動方程式

管水路の水撃現象における水撃波(圧力波)の伝播速度を求める場合には、一般に摩擦損失は無視されるので、ここでも摩擦損失は無視して考える。そうすると、管水路の非定常流の運動方程式は次のようになる。

$$\frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} + g\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (17)$$

ここで、

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} &= \frac{\partial v}{\partial t} + v\frac{\partial v}{\partial x} \frac{\partial t}{\partial x} \\ &= \left(1 + \frac{v}{c}\right)\frac{\partial v}{\partial t} \end{aligned} \quad (18)$$

の関係を用いると<sup>5)</sup>、式(17)は次のように書き換えられる。

$$\left(1 + \frac{v}{c}\right)\frac{\partial v}{\partial t} + g\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (19)$$

圧力波の伝播速度 $c$ が水の流速 $v$ に比し非常に大きい場合には、式(19)は次のように簡略化される。

$$\frac{\partial v}{\partial t} + g\frac{\partial H}{\partial x} = 0 \quad (20)$$

## 3. 被圧された空気がトンネル内に閉じ込められている場合の圧力波の水中伝播速度

圧力波の水中伝播速度 $c$ が水の流速 $v$ に比し非常に大きい場合には、式(16)および式(20)から流速 $v$ を消去すると、次式が得られる。

$$\frac{\partial^2 H}{\partial t^2} = c^2 \frac{\partial^2 H}{\partial x^2} \quad (21)$$

ここで、

$$c = \sqrt{\frac{K_w/\rho_w}{1 + (1 + \beta K_o)\frac{K_w}{K_o}\frac{A_o}{A_w} + \frac{K_w D}{E\delta}\frac{A}{A_w}}} \quad (22)$$

である。

式(21)は波動方程式であり、式(22)で表示される $c$ がトンネル内に空気が閉じ込められている場合のピエゾ水頭 $H$ の変化、すなわち、圧力波の水中伝播速度を表わすことになる。なお、 $A_o = 0$ とすると、式(22)はトンネル内に空気が閉じ込められていない場

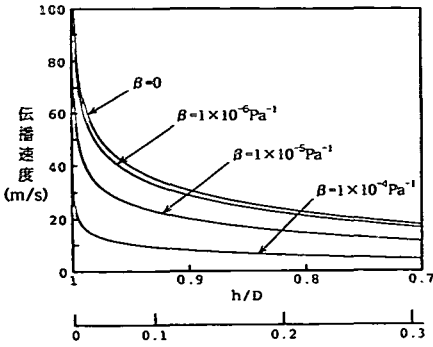


図-5 空気が閉じ込められている地下放水路の流れにおける圧力波の伝播速度

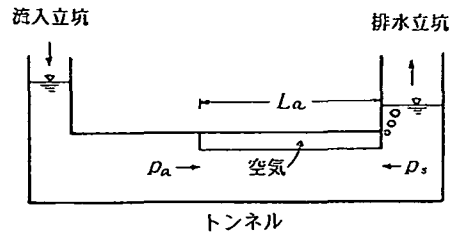


図-6 実験水路の概要

合の圧力波の水中伝播速度を与える式になる。

内径  $D$  が 10m, 壁厚  $\delta$  が 0.65m の鉄筋コンクリートの地下放水路の場合について, 水の密度  $\rho_w$  を  $1,000\text{kg/m}^3$ , 水の体積弾性係数  $K_w$  を  $2.2 \times 10^9 \text{Pa}$ , 空気の体積弾性係数  $K_a$  を  $1.4 \times 10^5 \text{Pa}$ , 鉄筋コンクリートの弾性係数  $E$  を  $3.5 \times 10^{10} \text{Pa}$  とし, トンネル内に閉じ込められた空気の排出の影響を表わす係数  $\beta$  をパラメータとして, 式 (22) により圧力波の水中伝播速度  $c$  を計算し, 水深とトンネルの内径の比  $h/D$  および空気の部分の断面積とトンネルの断面積の比  $A_a/A$  の関数として示すと, 図-5 のようになる。図-5 で,  $\beta=0$  の場合はトンネル内に閉じ込められた空気が排出されない場合を表わす。なお, 空気が閉じ込められていない場合の圧力波の伝播速度は  $1,060\text{m/s}$  である。

図-5 によると, 地下放水路の流れにおける圧力波の水中伝播速度はトンネル内に空気が閉じ込められる場合には非常に小さくなること, また空気が排出される場合にはさらに小さくなるのがわかる。

トンネルの内径, 壁厚および材質を変えて行った計算の結果によると, トンネル内に空気が僅かでも閉じ込められると, 圧力波の水中伝播速度は空気の圧縮性に支配され, トンネルの内径, 壁厚および材質の影響は殆ど受けなくなり, 圧力波の水中伝播速度  $c$  と  $h/D$  および  $A_a/A$  の関係は図-5 と殆ど同じになることが示された。

なお, 図-5 によると  $c$  は  $10\text{m/s}$  程度まで小さくなる可能性がある。式 (22) は  $v/c \ll 1$  として導かれた式であるが, トンネル内の水の流速  $v$  は  $2.0 \sim 2.5\text{m/s}$  程度になると考えられ,  $c$  が  $10\text{m/s}$  程度になる場合には,  $v/c$  を無視することはできなくなるものと思われる。そのような場合には, 式 (15) および式 (19) を用いることになるが, これらの式の  $(1+v/c)$  の  $v$  を代表的な流速を用いるなどして,  $\alpha = 1+v/c = \text{const.}$  として扱う

と, 圧力波の水中伝播速度は式 (22) で計算される値の  $1/\alpha$  倍になる。  $v = 2.5\text{m/s}$ ,  $c = 10\text{m/s}$  の場合には,  $\alpha = 1.25$  となり, 圧力波の水中伝播速度は式 (22) で計算される値の  $0.8$  倍程度になるものと推定される。

#### 4. 考察

被圧された空気がトンネル内に閉じ込められている場合の圧力波の水中伝播速度の算定式 [式 (22)] の妥当性を直接検証するためのデータがないので, ここでは, 図-6 に示すような塩化ビニル製の管路を用いて行った実験のうち, 管路内に空気が閉じ込められた場合について式 (22) により圧力波の水中伝播速度を計算し, スロットモデルを用いて立坑内の水位および管路内の圧力の変化を計算し, 計算値と実験値を比較することにより式 (22) の妥当性を検討することを試みる。

実験水路の諸元は, 管の内径  $20\text{cm}$ , 壁厚  $0.8\text{cm}$ , 長さ  $126\text{m}$ , 平均勾配  $1/5,000$ , 流入立坑の内径  $36\text{cm}$ , 排水立坑の内径  $60\text{cm}$  であり, 塩化ビニル管の弾性係数は  $2.7 \times 10^9 \text{Pa}$ , 水の密度は  $1,000\text{kg/m}^3$ , 水の体積弾性係数は  $2.2 \times 10^9 \text{Pa}$ , 空気の体積弾性係数は  $1.4 \times 10^5 \text{Pa}$  とする。

計算は管路内に閉じ込められた空気の存在を無視する場合と考慮する場合について行った。管路内に閉じ込められた空気の存在を考慮する場合については, 立坑からの空気の排出を考慮しない場合 ( $\beta=0$ ) と考慮する場合について行った。空気の排出を考慮する場合については, 係数  $\beta$  の値は立坑の水位および管路内の圧力の計算値が実験値と一致するように定めた。ただし, 空気が流入立坑の側に閉じ込められる場合で, 流れが排水立坑に向かうときおよび空気が排水立坑の側に閉じ込められる場合で, 流れが流入立坑に向かうときは  $\beta=0$  とした。なお, 管路内に閉じ込められた空気の存在を考慮する場合については, 現在のところ空気の閉じ込めが発生する時点

によって知ることができないので、ここでは実験の測定データを用いて空気の閉じ込めが発生する時点を決め、管路内に閉じ込められた空気の部分の断面積を圧力（水深）の測定データにより測定して、計算を行った。

計算結果の一例を立坑の水位について計算値と実験値を比較して示すと、図-7のようになる。計算では、圧力波の水中伝播速度  $c$  は式 (22) により算定した値を用いた。図-7に示す実験の場合では  $h/D=0.95$  であり、 $\beta=0$  のときは  $c=39\text{m/s}$ 、 $\beta=1.0 \times 10^{-4} \text{Pa}^{-1}$  のときは  $c=10\text{m/s}$  となった。空気が閉じ込められていない場合は  $c=320\text{m/s}$  である。なお、 $\beta=1.0 \times 10^{-4} \text{Pa}^{-1}$  とするときの  $v/c$  は 0.012 以下であった。

図-7によると、管路内に空気が閉じ込められている場合には、空気の存在を無視したり、立坑からの空気の排出を考慮しないと ( $\beta=0$  とすると)、計算値と実験値は一致しないが、空気の存在を考慮し、立坑からの空気の排出を考慮して係数  $\beta$  の値を適当に定めると（この場合は  $\beta=1.0 \times 10^{-4} \text{Pa}^{-1}$  とすると）、立坑の水位の計算値を実験値とはほぼ一致させることができることがわかる。

なお、管路内の圧力について計算値と実験値を比較した結果も図-7と同じようになった。

係数  $\beta$  の値を推定するために次のような検討を試みた。

トンネル内に閉じ込められた空気について連続方程式をたてると、次のようになる。

$$-\frac{\partial(\rho_a V_a)}{\partial t} = \rho_a Q_a \quad (23)$$

ここで、 $\rho_a$  は空気の密度、 $V_a$  はトンネル内に閉じ込められた空気の体積、 $Q_a$  はトンネル内に閉じ込められた空気の立坑からの排出量である。

式 (23) は次のように書き換えられる。

$$-\left(\rho_a \frac{\partial v_a}{\partial p_a} + V_a \frac{\partial \rho_a}{\partial p_a}\right) \frac{\partial p_a}{\partial t} = \rho_a Q_a \quad (24)$$

ここで、 $p_a$  はトンネル内に閉じ込められた空気の端部の断面の中心の圧力である（図-6 参照）。

トンネル内に閉じ込められた空気の部分の長さを  $L_a$  とし、空気の体積弾性係数  $K_a$  を用いると、

$$\frac{\partial V_a}{\partial p_a} = -\frac{V_a}{K_a} - \beta A_a L_a = -\left(\frac{1}{K_a} + \beta\right) V_a \quad (25)$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial p_a} = \frac{\rho_a}{K_a} \quad (26)$$

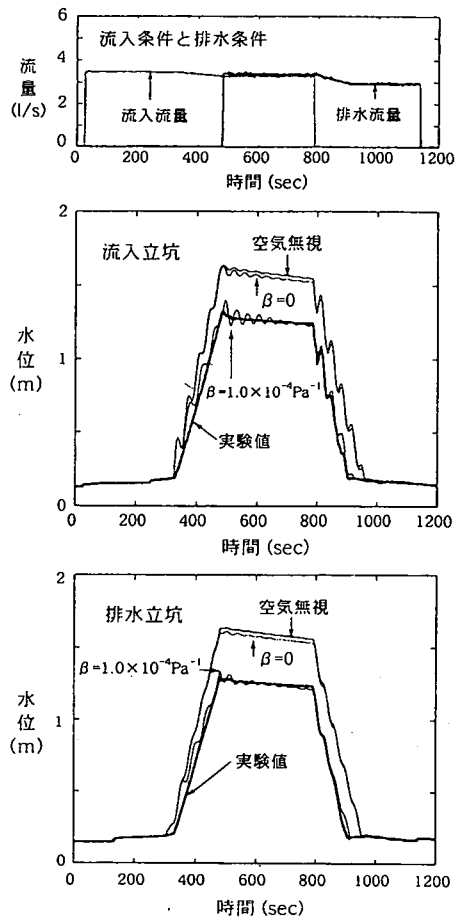


図-7 立坑水位の計算値と実験値の比較

と書けるので、これらの関係を式 (24) に代入すると、次式が得られる。

$$\beta = \frac{Q_a}{V_a (\partial \rho_a / \partial t)} \quad (27)$$

ここでは、 $Q$  および  $\beta$  は正であることを想定しているので、 $\partial p_a / \partial t > 0$  のときだけに式 (27) を適用することとし、 $\partial p_a / \partial t \leq 0$  のときは  $\beta=0$  とする。

トンネル内に閉じ込められた空気の立坑からの排出流量  $Q_a$  は次のようにして求める。トンネル内に閉じ込められた空気と管壁および水面の間に作用する剪断力を無視して、トンネル内に閉じ込められた空気について運動量方程式をたてると次のようになる。ただし、 $p_a > p_s$  とする。

$$(p_a - p_s) A_a = \rho_a Q_a (v_{sa} - v_a) \quad (28)$$

ここで、 $p_s$  は立坑部におけるトンネル断面の中心の圧力である。 $v_{sa}$  は立坑から排出される空気の速度、 $v_a$  は

トンネル内に閉じ込められている空気の数値である。

立坑から排出される空気の断面積を  $kA_0$  とすると、空気についての連続方程式は次のようになる。

$$Q_0 = kA_0 v_{s0} = A_0 v_0 \quad (29)$$

式 (29) から  $v_{s0} = Q_0 / kA_0$ ,  $v_0 = Q_0 / A_0$  となる。これらを式 (28) に代入すると、次のようになる。

$$Q_0 = A_0 \sqrt{\frac{k}{1-k} \frac{p_0 - p_s}{\rho_0}} \quad (30)$$

ただし、 $p_0 \leq p_s$  および  $\partial p_0 / \partial t \leq 0$  のときは  $Q_0 = 0$  とする。

式 (30) を式 (27) に代入すると、次式が得られる。

$$\beta = \frac{A_0}{V_0 (\partial p_0 / \partial t)} \sqrt{\frac{k}{1-k} \frac{p_0 - p_s}{\rho_0}} \quad (31)$$

ただし、 $p_0 \leq p_s$  および  $\partial p_0 / \partial t \leq 0$  のときは  $\beta = 0$  とする。

図-7に示す実験の場合について、実験データを用い、空気の密度  $\rho_0$  を  $1.2 \text{ kg/m}^3$  とし、 $k$  を  $0.001$  とし、式 (31) により  $\beta$  の値を推定すると、 $\beta$  は  $1 \times 10^{-4} P_0^{-1}$  程度の値になる。

## 5. 結論

地下放水路で発生すると考えられるトンネル内に被圧された空気が閉じ込められるときの流れをスロットモデルを用いて解析するさいに必要な圧力波の水中伝播速度を算定するための式を水と閉じ込められた空気の圧縮性とトンネル壁の伸縮性および立坑から排出される空気の影響を考慮して導いた。

本研究で導かれた圧力波の水中伝播速度の算定式 [式 (22)] によると、トンネル内に空気が閉じ込められると、空気の圧縮性により圧力波の水中伝播速度は非常に小さくなること、およびトンネル内に閉じ込められた空気の一部が立坑から排出される場合には圧力波の水中伝播速度はさらに小さくなることが示された。

式(22)を導くさいに、トンネル内に閉じ込められた空気が立坑から排出されることの影響を考慮するために導入した係数  $\beta$  は未定のままにされているが、 $\beta$  の値を決める方法を提示し、圧力波の水中伝播速度を測定し、式 (22) の妥当性を検討することが今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 栗崎夏代子: 地下放水路の流れの数値計算法に関する研究, 早稲田大学大学院理工学研究科修士論文, 1995.
- 2) 鮎川 登, 栗崎夏代子, 富田 強, 大淵真志: 地下放水路の管水路状態の流れの非定常流の数値計算, 土木学会論文集, No.545 / II-36, pp.55-67, 1996.
- 3) 野中樹夫, 栗崎夏代子, 鮎川 登, 富田 強, 大淵真志: スロットモデルによる地下放水路の流れの数値計算, 第50回土木学会年次学術講演会講演概要集 (第II部門), pp.316-317, 1995.
- 4) 例えば, Chaudhry, M.H.: *Applied Hydraulic Transients* (Second Edition), Van Nostrand Reinhold, pp.422-423, 1987.
- 5) 椿 東一郎: 水理学II, 森北出版, pp.4-7, 1974.

(1997.1.27 受付)

## PRESSURE WAVE PROPAGATION SPEED IN UNDERGROUND DIVERSION CHANNEL FLOW WITH ENCLOSED PRESSURIZED AIR

Noboru SUKEGAWA, Katsuya TANIZAWA and Kazutoshi ARAI

The continuity equation for water flow with enclosed pressurized air in underground diversion channel is derived by considering the compressibility of water and enclosed air, and the elasticity of the tunnel wall material. The pressure wave propagation speed in such a water flow is obtained from the continuity and dynamic equations. It is shown that the enclosed pressurized air causes a remarkable reduction in the wave speed.