

II-196 拡散に関する実験的研究（特に氾濫拡散とパイプ流出拡散について）

国士館大学工学部土木工学科 正員 伊藤 秀夫

1. はじめに：水拡散の実状は静止した湖沼に汚染水が流入する場合、堤内に水があるところに氾濫水が流入する場合、堤内に水がないところに氾濫水が流入する場合、火力発電所および原子力発電所などの温排水のパイプ流出などである。この基礎的事項の解明のためにモデル実験を行なった。

2. 実験概要：実験設備は図1のように長さ11.2m×幅5.6m×深さ0.5mの氾濫台をもち、4点がジャッキによって支持されているため傾斜が自由に変えられる。そして氾濫台は横にある貯水槽を給水源としている。また、氾濫台の現象を撮影するために高さ11mの撮影設備がある。パイプ流出実験装置は図2のように噴水槽（長さ0.3m×幅0.3m×深さ0.3m）と拡散水槽（長さ2.5m×幅1.1m×深さ0.45m）とに別れていて、噴出口の口径とその位置が変えられるようになっている。

3. 解析の方法：拡散現象の時間的広がりを求めるために、現象を2次元と考えて運動方程式と連続式を用いれば式(1)、(2)、(3)のようになる。

運動方程式

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + K \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \dots (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + K \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) \dots (2)$$

連続式 $Q = \iint \bar{u} dx dy \dots (3)$ ここに、 u ； x 方向の流速、 K ；拡散係数、 v ； y 方向の流速、 $\bar{u} = \sqrt{u^2 + v^2}$ 式(1)、(2)で微小な項を無視し $\partial p / \partial x = -\partial p / \partial y$ と考えれば式(4)になる。

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = K \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) \dots (4) \quad \text{ここに、} \bar{u}^2 = u^2 + v^2$$

式(3)と(4)より、

$$\bar{u} = \frac{Q}{4\pi K t} \exp\left(-\frac{r^2}{4Kt}\right) \dots (5) \quad \text{ここに、} r^2 = x^2 + y^2, K ; \text{拡散係数}$$

時間 t_i, t_{i+1} の流量を等しいとすれば式(6)のように近似される。

$$K = \frac{r_{i+1}^2 - r_i^2}{4\pi(t_{i+1} - t_i)} = \frac{D_{i+1}^2 - D_i^2}{16\pi(t_{i+1} - t_i)} = \frac{D_{i+1}^2 - D_i^2}{\alpha(t_{i+1} - t_i)} \dots (6)$$

ここに、 D_i ；拡散の時間的広がり幅、 α ；係数、 K ；拡散係数

4. 実験と解析結果：実験によれば、同じ水門状流出拡散でも水の無いところへの拡散と、水のあるところへの拡散、パイプ流出拡散ではその拡散状況に著しい相違があり、前者の場合は流出の初めからおよそ円形状に拡散し、流線の方向は流出口から放射状に広がるが、後者の場合は噴流状拡散と先の円形状拡散の混在した拡散状況になる。さらに、拡散のメカニズム解明のために、拡散の時間的変化を計算によって求めてみた。

(1) 氾濫台上に水のない場合：水のないところへの拡散は、流出の初めからおよそ円形状に拡散し、拡散係数 K の値は大きく、氾濫台上に水のある場合の10倍位である。しかし、計算に用いた円の中心点の移動速度は小さいことが分かった。また、他の場合に比較して最高流速は流出口を瞬間的に開いてから3.0秒前後経ってから起り、その後徐々に流速は減少して行くことが分かった（図3～図5参照）。

(2) 氾濫台上に水がある場合：この場合の拡散は噴流状でその先端部は丸く、きのこ状で流れの方向は最初の流出の向きに左右される。最高流速は流出口を開いたときに起り、その後およそ1.5秒の短時間の間に流速は急速に減少し、その後一定値になる（図6～図8参照）。

(3) パイプからの流出の場合：パイプからの流出の初期速度は口径が0.2cmから0.4cmと2倍になると流速はおおよそ3倍になり、流速と時間との関係式 $u = u_c + (u_{\max} - u_c) e^{-\beta t}$ に使用した係数 β は時間とともに減少し、時間の関数になる。この β の値は平面拡散計算に微妙な影響を与えることが分かった（図9～図11参照）。

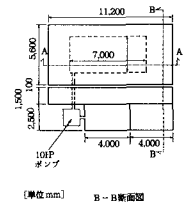


図1 氾濫拡散実験設備

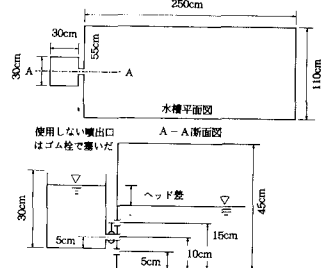
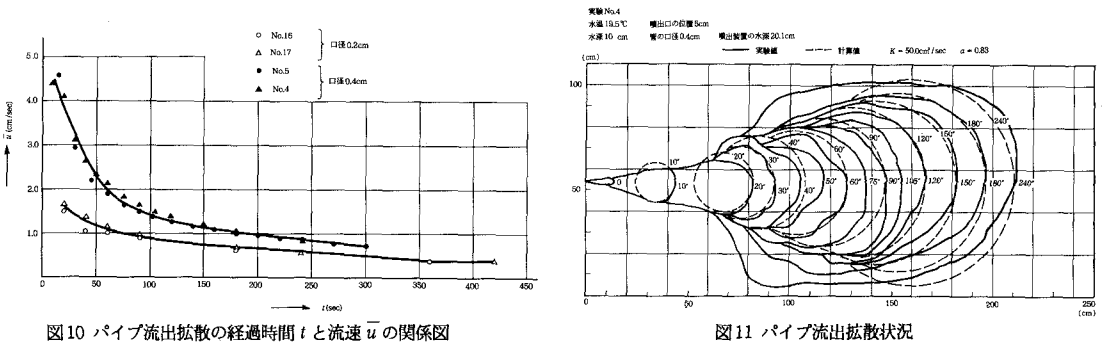
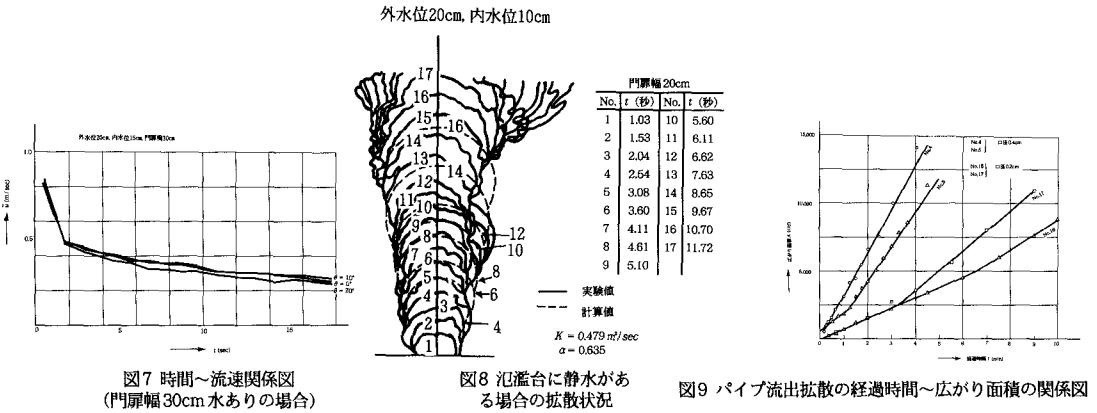
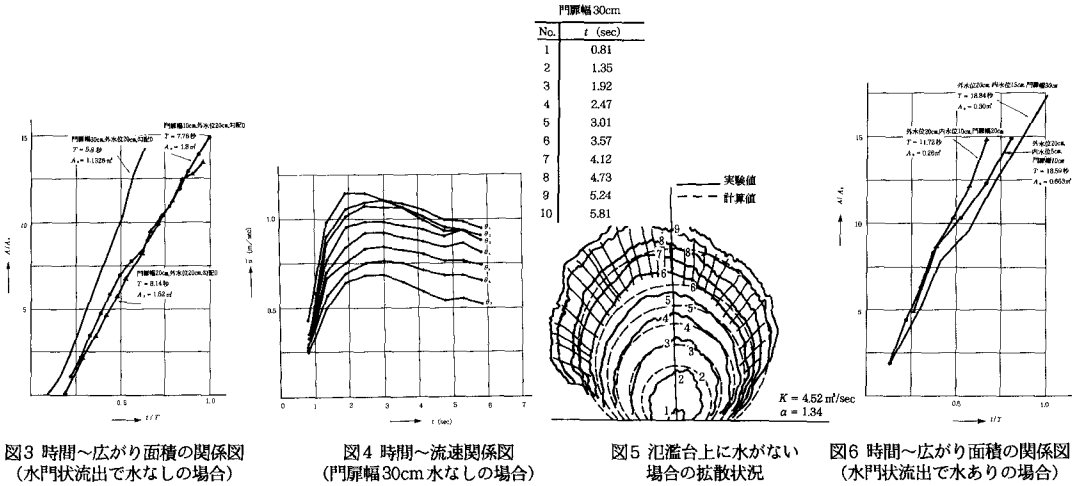


図2 パイプ流出拡散実験設備



5. 結び：水のないところへの氾濫水の拡散と水のあるところへの氾濫水の拡散および静水中への汚染水のパイプからの流出拡散について実験的に研究し、その拡散の違いや拡散のメカニズムについて解析を試みた。特に時間的拡散の状況を理論的に解明しようと考えたが、不明な係数が残ってうまく行かないので、実験値を整理した数値を使用して拡散の時間的変化の状況を求めてみた。従って完全な理論解とは言えないが、解析の結果を見ると簡単な計算で比較的良好な結果が得られているので、拡散のメカニズムの説明にはなったものと考えられる。本論文中、氾濫実験は筆者らが過去に科学技術庁国立防災科学技術センターにおいて実験したものであり、パイプからの拡散実験は国土館大学土木工学科の卒論で実験されたもので、ここに関係各位に厚く感謝致します。