

V-218

コンクリートクラック内における溶質分散特性に関する一考察

熊谷組原子力開発室 正員 伊藤 洋 正員 清水 昭男
熊谷組原子力開発室 正員 坂口 雄彦 正員 ○西山 勝榮

1. はじめに

近年、放射性廃棄物処分の人工バリアとしてコンクリート製の固化体やピット等が検討されているが、その核種の閉じ込め・止水性を評価するに当たってはクラックの存在とその透水・溶質分散特性を知ることが重要と思われる。本論は、従来あまり研究がなされていない強制対流下におけるコンクリートクラック内の溶質分散現象に着目し、人工的にクラックを発生させた円柱供試体を用いての溶質分散実験を行って、その基本的性質について一考察を加えたものである。

2. 実験装置と方法

表-1 実験供試体

供試体	直径 ϕ (cm)	高さ H (cm)	平均表面 クラック 幅 w (mm)	平均表面 クラック 長さ L (cm)	上面圧力 P_0 (kgf/cm^2)	透水流量 Q (mL/min)
I	10.0	16.9	0.13	9.8	0.65	3.42
II	10.0	15.1	0.15	6.7	0.65	1.25
III	10.0	17.4	0.07	9.1	0.63	1.45
IV	10.0	17.4	0.15	9.0	0.63	5.80

本実験に用いられた実験装置は、図-1に示すようなシステムからなる。⑧円柱供試体は割裂によりクラックを発生させ、周辺をエポキシ樹脂により充てんしたものを用いる。供試体は水中に数週間浸漬することにより飽和させた後、⑤取付装置にセットする。①溶質タンク内には NH_4Cl 溶液(Cl^- 濃度 $C_0=2860\sim3960$ ppm)を2~2.5 m^3 湛水させる。ここまですべて準備が整うと②ポンプを作動させて⑥圧力調節弁により所定の圧力 P_0 (0.6~0.65 kgf/cm^2)に設定し、ついで③バルブを開けクラック内に強制対流を発生させる。浸透流量 Q は⑦メスシリンダーにより、溶液濃度 C は塩素イオンメーター(UC-4)を用いて各々経時的に測定する。実験に用いた供試体は表-1に示した4本であり、クラック幅 w は上下面各々5ヶ所に対しクラックルーペにより測定したものを単純平均したもので代表させる。

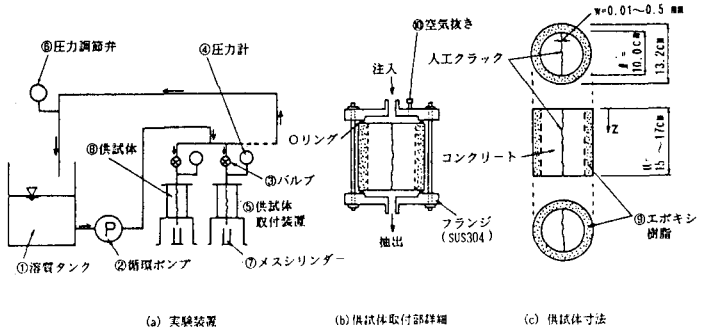


図-1 実験装置の概略

3. 実験結果とその考察

実験で得られた結果を整理しコンクリートクラック内の溶質分散特性について検討を加えることとする。

まず、比濃度 C/C_0 の経時変化を示した図-2に注目する。ここに、 C : Cl^- 濃度、 C_0 :溶質タンク内濃度である。いずれもこの種の $C/C_0 \sim t$ 関係に見られるような破過曲線を描いているが、 $C/C_0=1.0$ に漸近するのにかなり時間を要することが伺える。また、濃度の立上がりの速度は、最も流量の多い供試体IVにおいて速くなっている。

つぎに、実験結果を理論的に吟味してみるため、まず手始めとして多孔媒体中の溶質分散で用いられているある方向に均一な流れをもつときの拡散方程式

$$\partial C / \partial t + \text{div}(\bar{u}C) = \text{div}(D \text{grad} C) \quad C: \text{濃度}, \bar{u}: \text{平均流速} (=Q/wL), D: \text{分散係数} \quad (1)$$

の解を用いて実験結果と比較してみる。¹⁾その結果は同図中破線で示したようであるが、完全に流速に依存し分散係数 D によってほとんど変化せず、実験結果とは大きく異なったものとなっている。そこで、この原因を考えてみると、①浸透流速の空間的バラツキ、②溶質とコンクリートとの化学反応、③壁面吸着・浸透などが挙げられるが、ここでは実験期間が短いことから②、③等の影響は小さいと思われ、①によ

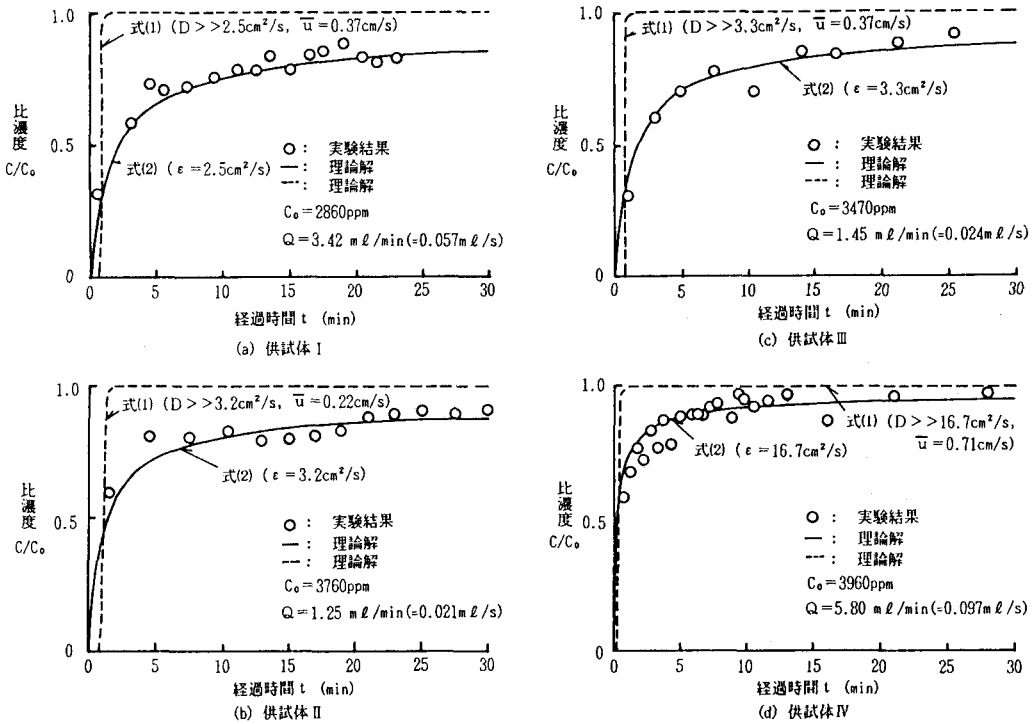


図-2 比濃度 C/C_0 の経時変化

るものが主であると推察される。つまり、流路となるクラックは均一な幅をもつものではなく、空間的にかなりバラついたものとなっており、さらに流量はクラック幅の3乗によることから一層それを増長させるものと考え得る。この様子のある任意時刻 t における溶質分散状況として想定してみると図-3のようであると思われる。このような仮定に立脚し、乱流理論を参考にするに流速および濃度は次のように平均量と変動成分とに分割して $u = \bar{u} + u'$, $C = \bar{C} + C'$ (バーは平均量, プライムは変動量) と表せることになるが、ここで流速が上述の仮定より変動成分支配と考え、 $u'C' = -\epsilon \text{ grad } \bar{C}$ を導入すると結果的に次式を得ることができる。

$$\frac{\partial \bar{C}}{\partial t} = \text{div}(\epsilon \text{ grad } \bar{C}), \quad \epsilon : \text{見かけの移流分散係数} \quad (2)$$

ここで、 ϵ はクラック幅、流速の空間分布によって決まってくる係数であり、上述の分散係数 D のそれとは意味が異なる。同式を用いて再度実験結果と比較検討するため、 ϵ を変えて実験結果とbest fittingさせたものが図-2中の実線である。この場合は両者をうまく整合させることが可能となるが、 ϵ は $2 \sim 20 \text{ cm}^2/\text{s}$ と粒状多孔媒体中の移流分散係数 D ($10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ cm}^2/\text{s}$)よりかなり大きい値となる。参考までに、 ϵ/ν と Re の関係を整理したものが図-4である。一応、これらの無次元量の間に何らかの相関が存在することが示唆されるが、今後、さらにデータを集積して吟味する必要がある。

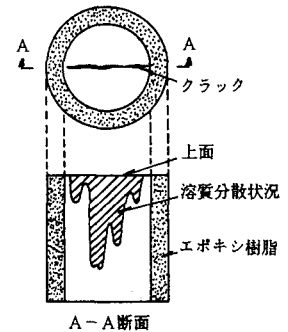


図-3 クラック内の
想定溶質分散状況

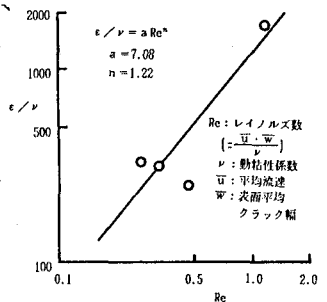


図-4 $\epsilon/\nu \sim Re$ の関係

参考文献 1) 本間仁・林泰造：続水理学，丸善，1980。