

1.はじめに

コンクリートに生じるひび割れは、その耐久性能を著しく低下させることが一般に知られている。しかし、亀裂中の流体移動に未だ不明な点が多いために、耐久設計指針において示されている許容されるひび割れ幅に理論的な裏付けが十分になされていない現状がある。コンクリートの劣化因子は主として水が関与していることから、本研究では凹凸や屈曲の有する空間における流体挙動メカニズムの解明に眼目を置き、解析的手法に基づいた検討を行った。

2.バーチャル狭小空間

ひび割れ中の液状水流れは、平行平板間の流動のように単純ではなく、流路に凹凸や屈曲を有する複雑なものとなっている。本研究では以下のような手順によってひび割れの内部構造を再現した。1m×1mの平面に、0.1m間隔の格子点を121点配置する。格子点上において高さに関する座標の各々に、標準偏差0.03mの正規分布に従うランダム値を与える。以上の作業によって決定された点座標を計算空間上に再現し、擬似的なひび割れの内部平面構造を再現した(図-1)。その内部平面構造を2枚、任意の間隔に設置し、平面に挟まれた空間をバーチャル狭小空間と呼ぶこととする。この空間に圧力勾配を与え、仮想空間内に液状水を流すことで、ひび割れのような凹凸や屈曲を有する流れを再現する。

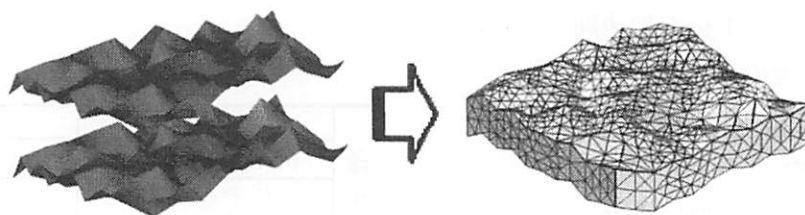


図-1 バーチャル狭小空間

2.解析モデル

支配方程式には Navier-Stokes 式を採用した。また、空間離散には有限要素スキームを用い、流れが定常状態に至るまで計算を行った。

$$\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} = -\frac{1}{\rho} \nabla p + \nu \nabla^2 \mathbf{u} + \mathbf{f}$$

ここに、 $\mathbf{u}$: 速度ベクトル、 ρ : 密度、 p : 圧力、 ν : 動粘性係数、 $\mathbf{f}$: 単位体積あたりの流量に作用する外力ベクトルである。なお、流体は非圧縮性を仮定し、境界層を直接解く層流モデルによって近似解を求めている。

3.計算結果

流入側、流出側の圧力をそれぞれ 0.08MPa、0MPa とした。図-2 に渦度分布と速度分布の解析結果を示す。なお、各値の分布は、流下方向に垂直な平面で切ったときの断面のみを示している。渦度の分布において、5つの断面の中央に位置する断面の、中央下部の屈曲部において渦度の値が大きくなっており、回転の速度が大きい渦がこの部位に存在すると考えられる。また、速度の分布において、中央の断面に着目すると、流れは流路に沿ってはならず、流れは流下方向に向かって直線的な挙動を示している。この事実により、ひび割れ部における流れは、常にひび割れの屈曲に沿うものであるとは限らず、ひび割れ内部構造によっては図-11 で示している実質の流路幅と称すべき領域が形成される場合も存在するということが明らかとなった。これは、流量の算出において、ひび割れ幅を常に用いるのは必ずしも適切ではなく、流れ場のスケールと亀裂面の凹凸の

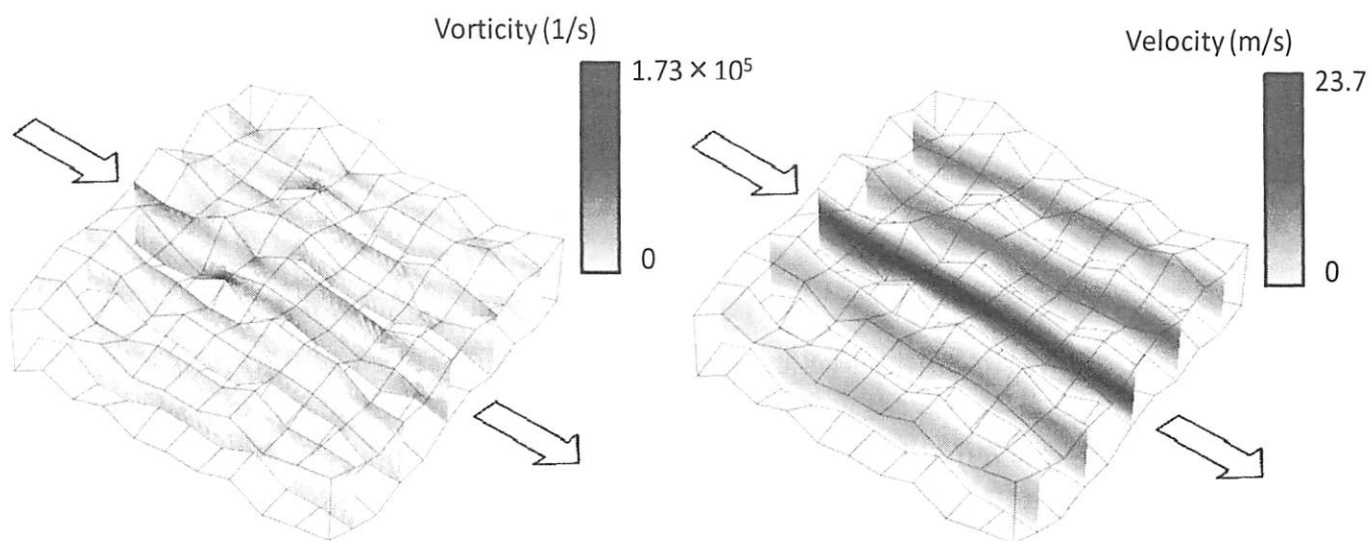


図-2 渦度分布と速度分布（解析値）

スケールによっては実質の流路幅を用いるのがよいということを示唆している。

4. 既往の知見との比較

一般に、ひび割れ部の透水には Navier-Stokes 式の平行平板間の流れにおける層流解である Hagen-poiseuille 流れが用いられる。式は以下に示す。

$$Q_w = -\frac{1}{12} \frac{bH^3}{\eta} \frac{dp}{dz} \quad (2)$$

ここに、 Q_w ：流量、 b ：ひび割れ長さ、 H ：ひび割れ幅、 η ：粘性係数、 dp/dz ：圧力勾配である。この式では、流量がひび割れ幅の3乗に比例しているのが特徴である。ただし、この式は平行平板における流れを表現しているため、凹凸や屈曲を有するようなひび割れにおける流れとは異なり、実験値からの乖離は既に多くの研究者によって指摘されている。そこで伊藤は、凹凸や屈曲の影響を補正する係数の導入を提案している。また、伊藤らは、ひび割れが存在していても、加圧による透水が起こらない場合があることから、その最大のひび割れ幅を限界ひび割れ幅と定義し、以下の式を提案した。

$$Q_w = -\frac{c}{12} \frac{b(H-H_0)^3}{\eta} \frac{dp}{dz} \quad (2)$$

ここに、 c ：補正係数、 H_0 ：限界ひび割れ幅である。これは、第1章で述べたように、流量の算出に用いる亀裂幅には、実際のひび割れ幅よりも小さい $(H-H_0)$ を用いている伊藤らのモデルの妥当性を裏付けるものである。

5. まとめ

パーチャル狭小空間において透水解析を実施した結果、ひび割れ幅とは異なる、実質の流路幅と称すべき流れが存在することが判明した。この結果は既往の知見を裏付けるものであり、ひび割れ中の透水モデルの構築に際しては、この事実を反映させる必要がある。今後、実験値との比較および乱流モデルの導入が、流れに与える影響を詳細に検討したい。

参考文献

- 1) 伊藤忠彦ほか：ひび割れを有するコンクリートの高水圧下における漏水量について、土木学会第44回年次学術講演会講演集、第5部、pp.412-413、1989.10