

## 審査の結果の要旨

氏名 ガダム プルタヴィ ラジ

コンクリート中の幅数百マイクロン程度のひび割れ中を流れる水に溶存している空気が過飽和状態であれば、大きな気泡が発生してひび割れの部分的な閉塞をもたらし、溶存空気が飽和状態を僅かに下回る程度であっても、ひび割れ中の流路面に数マイクロン程度のファインバブルが発生し、その気液界面の影響によって流速に対する制動効果が生じることが指摘されていた。また、コンクリート中への液状水の浸透は、短期的には理論式に従って浸透していくものの、長期においてはコンクリートの表層数 cm 程度で停滞し、微小空隙中での液状水の浸透挙動は水のニュートン流動性を仮定した理論式に従わないことが指摘されていた。このような背景の下、本論文では、ひび割れを模擬した幅数百マイクロンの平行平板内で空気泡が滞留できる窪みの数と流路壁面の濡れ性が流速に及ぼす影響を実験的に検討すると共に、MRI を用いて測定された非ニュートン流体の同軸円筒間のジェット流の流動速度分布の既発表データを使用して、その規則性を詳細に分析することにより、これら2つのせん断流動場における流体の流れの減衰メカニズムを論じたものである。

まず、ひび割れを模擬した幅数百マイクロンの平行平板のマイクロ流路を作製し、鉛直に設置されたマイクロ流路中での液状水の流下速度を測定した。その結果、既往の研究で明らかにされていた親水性流路中の窪みに形成された気泡による流水制動効果を再確認すると共に、マイクロ流路中の窪み位置に多数の空気泡が形成されていても、疎水性流路では流速の制動効果は認められないことを明らかにした。その理由として、既往の研究でも用いられていた親水性流路では、流路内で滞留している微小気泡周りの気液界面を形成する水分子の層が親水性の窪みに吸着されて錨効果を発現するのに対して、疎水性流路では、流路内で滞留している微小気泡に接して気液界面を形成する水分子は、疎水界面上の水分子と一体的な層を形成して、流下に伴って常に入れ替わるので錨効果が発現することはないという考察を提示した。すなわち、制動効果の有無を支配している要因は、流路内に滞留しているせん断剛性を有していない気泡そのものではなく、気泡周りで気液界面を構成して表面張力を発揮している水分子の層が、流路内で壁面との吸着力により滞留しているか流水と共に流下しているかの違いによるとする考察を提示している。

次に、広い空間中ではニュートン流体の代表格として振る舞う液状水の挙動とは大きく異なると考えられる狭小空間における液状水の非ニュートン流動的な挙動についての示唆を得る目的で、過去に MRI を用いて測定された 12 種類の非ニュートン流体の同軸円筒間のクエット流の流動速度分布の既発表論文から収集したデータを詳細に分析して、その流動規則性について検討した。そして、同軸円筒間のカラシ種の移動速度と回転速度に関する既往の研究を参考に、非ニュートン流体の非線形な流動速度分布は粒子間の擦れと粒子の回転によって構成され、非ニュートン流動における流動速度の減衰は粒子の回転に起因しているという着想に基づいて、12 種類の非ニュートン流体の異なるせん断速度下における約 50 ケースの流動速度分布の全てが 3 次関数もしくは 2 次関数でほぼ完全に近似できることを明らかにした。これまで、非ニュートン流動の流動速度分布は冪乗則でなければ近似できないと認識されてきたが、せん断速度の変化率を表す流動速度分布の 2 階微分が線形もしくは定数であることが明らかとなったことから、せん断速度の減衰機構は、せん断速度にかかわらず一定もしくはせん断速度に比例する粒の回転に伴う層内摩擦の発生による規則的なものであるという仮説を提示している。

また、回転粘度計の回転速度が増加した場合の流動速度分布の変化の傾向から、非ニュートン流動の特性を流動速度分布の非線形性が高まるグループ・非線形性が一定のグループ・非線形性が弱まるグループの 3 つにグループ化し、この傾向が粒の回転の難易度に依存しているとの考察を提示し、それぞれ、せん断速度－せん断応力関係の流動曲線として知られている偽塑性流動・ビンガム流動・ダイラタント流動に対応するとの推論を提示した。さらに、非ニュートン流体の同軸円筒間のクエット流における静止領域の存在・静止状態からのせん断トルク入力直後に観察される遠方まで伝わる固体のようなせん断伝達機構の存在・流動の開始に最低限必要なせん断速度 (Critical shear rate) の存在に加えて、非ニュートン流体の流動速度分布が高せん断速度下でニュートン流動の理論解に近づくことから、低せん断速度下では、ナビエ・ストークス方程式では考慮していない粒の間に働くくっつき力 (Cohesive force) が粒の回転を介して流動挙動に影響を及ぼすという仮説を提示した。

以上のように、ひび割れ中の流水速度の減衰機構について論じると共に、非ニュートン流動の流動速度分布の規則性を明らかにして、非ニュートン流動におけるせん断速度の減衰機構を粒の回転とくっつき力 (Cohesive force) による規則的なものとする新たな仮説を提示した本研究の意義は極めて高く、新規性に富む独創的な研究成果と評価できる。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。