

## 審査の結果の要旨

氏名 カヨンド ムザファル

コンクリート中のひび割れを通る流量は、平行平板間の理論的な流量に流路平面粗度や材料特性を考慮する補正係数を掛けて算定されるが、ひび割れ幅が狭い場合には、時間の経過と共に通水量が大幅に減少し、実験的に定常状態の流量を得ることが容易でないことが知られている。近年では、コンクリートのひび割れの自己治癒現象に注目が集まり、自己治癒効果を確認する指標として、コンクリート中のひび割れを通る流水の減少量を用いることも多い。しかし、最近の研究により、特別な自己治癒性能を付与していない通常のコンクリートにおいても、蛇口から採取したばかりの水道水のように、溶存空気を飽和状態ないし過飽和状態で含有する水を使用して通水実験を実施した場合には、ひび割れ中を流れる流水から気泡が出現して流路を閉塞する現象が生じることが、観察する側の壁面に透明なガラス板を用いた通水実験から明らかにされている。その一方で、不飽和状態の水を用いて、目視で確認できるような寸法の気泡が流路中に生成されない状況においても流量は有意に減少する場面があることも明らかになってきた。このような背景の下、本論文では、模擬ひび割れ中を流れる流水から気泡が生成する機構を詳細に把握した上で、目視可能な寸法の気泡が流路中に形成されなくても通水量が減少する原因を明らかにすると共に、そのような現象が生じる微視的な機構を明らかにすることを目的としている。

本論文では、狭小空間中を流れる水の挙動を観察するために、観察する側の壁面に透明なガラス平板を用いて対象とする壁面材料平板との間に 0.2mm 程度の模擬ひび割れを設けて、その間を流れる通水量を経時測定すると共に、ガラス板を通して模擬ひび割れ中の流水の状況をビデオ録画を用いて詳細に観察している。壁面材料として、コンクリート、軽石、木、ガラス、発泡スチロール、表面に多数の微小孔を設けたアルミ板を用いて実験を行い、模擬ひび割れ中での巨視的な気泡の形成には、水が飽和状態ないし過飽和状態で溶存空気を含有していること、壁面上に気泡が生成して流水中でも係留されるような窪みを有していること、連続した水流が確保されていることが気泡の生成に必要な条件であり、これらのうちの何れかが欠けても気泡の成長は阻害されることを明らかにした。このように、模擬ひび割れ中に出現した目視可能な巨視的な気

泡は、流水を遮蔽（ブロック）する効果を有している

続いて、模擬ひび割れ中に流路を塞ぐような mm レベルの巨視的な気泡が形成されなくても、通水量が有意に減少する現象について詳細に検討している。そして、飽和を僅かに下回る量の溶存空気を含むした水を流した場合には、壁面上に数十 nm～数  $\mu$  m 程度のナノバブルやマイクロバブルと呼ばれるファインバブルが形成されて流水中で拘束されていることをマイクロスコープ（拡大鏡）を用いた詳細観察で明らかにしている。模擬ひび割れの寸法は 0.2mm 前後であるので、このようなファインバブルの形成は流路の閉塞にとってはほとんど無意味であると考えられるが、流水量は 15% 程度も減少することから、壁面に拘束されたファインバブルの気液界面が流水に対して制動（ブレーキ）効果をもたらすものと推察している。バルク中を流れる気泡は、船の推進力増加のために用いられるように、固体表面の摩擦を低減させることが知られているが、微小空隙中で拘束されている微小気泡は逆に水の流れを制動する効果を有するとしている。

さらに、壁面に拘束された微小気泡が模擬ひび割れ中を流れる水の流速を制動する機構について詳細に検討し、壁面に拘束された気体との間に形成される気液界面では、回転が拘束された水分子が表層に配列されるという仮説を提示している。一般に、気液界面の特性は、表面（界面）張力と表面自由エネルギーによって理解されているが、本論文では、より微視的な観点、すなわち、水分子の運動の拘束という観点から気液界面の特性の理解が必要としている。そして、気液界面で拘束された水分子層では、バルク側に離れるほどに徐々に拘束が弱まり、水分子の回転が徐々に許容され、ある程度気液界面から離れた位置の水は通常の平行平板内の流水と同様に流動するものと推察している。そして、この仮説を補強する目的で、流路中に設けた数 mm ほどの孔内に配置した軽量な球が気液界面と接していなければ流水によって自由に高速回転するのに対して、気液界面に接していると流水中でも回転が拘束されることを示している。また、気液界面に拘束された蛍光塗料が真水による流水を 1 時間続けても剥離しない現象や、1 m の水柱内を気泡が上昇する際に気液界面に吸着した蛍光塗料が剥離しない現象を UV ライトを用いて観察している。これらの観察結果は、いずれも気液界面に存在する水分子がバルクの水と共に移動せずに、気相と共に気液界面に強く拘束されていることを示唆する結果であると論じている。

以上のように、基礎研究の観点から微小空間中を流れる水の気液界面による制動機構を明らかにした本研究の意義は極めて高い。また、気液界面の存在がこのような制動効果を生じる機構についての仮説を提示しており、本研究は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。