

波浪場における遊泳者の水面挙動の把握

犬飼直之（長岡技術科学大学 技学研究院 環境社会基盤工学系）

1. はじめに

水難学会事故調査委員会では様々な水域で事故調査を実施しその後に数値解析を実施している。その中には波浪場での水面付近での溺水事故での調査も多く実施している。このケースでの著者らの既往解析時には数値解析により事故発生場所での波浪挙動や流況を再現しているが、この場合には波浪の挙動と着床した人体部位の高さを比較することで大まかな溺水状況を考察していた。しかし実際には人体は波浪挙動の影響で上下方向などに挙動しており、更には波浪挙動の波位相と人体の上下挙動の位相は必ずしも一致していない。極端な例では、短周期の波浪場では逆位相の挙動となる可能性もあり、この場合には頭部は波高以上の水深に沈降する可能性もある。また、河川や海岸の砂場での水深が急激に増大する場所では1歩の前進でも頭長以上の水深差を一瞬で沈降する可能性もある。これらの状況下では、呼吸停止時間の延長や呼吸タイミングを計りづらい呼吸困難な状況となり、溺水に至る危険な状況であると考えられる。よって本研究では、水面近くで浮漂する人体が自沈や波浪などの水面挙動の影響で上下運動する挙動を把握する数値モデルの構築を試みた。

水面付近での物体の挙動の力学は、例えば船舶分野では前後挙動や左右挙動を考慮して船体全体の挙動を把握する数値モデルなどが考案されている。しかし、人体には胴体の他、頭部や手足などの部位があり、それぞれが異なる浮力や挙動の影響を考慮しつつ全身の挙動を考慮する必要がある。また、溺水前は立ち泳ぎ状態が多いと考えられる。本研究では、これらの状況下での胴体や手足、頭部などの各部位の体積や浮力を考慮した人体の上下挙動を把握する数値モデルを作成すると共に、実験をおこないモデルの確からしさを検証した。

2. 水面付近での人体の挙動モデルの作成

今回は著者の体形を参考に身長や各部位の長さや体積、重量を推算して全身の浮力を推算するとともに、個体差に対応できるように身長の変更に連動させ各部位の諸元を自動的に変更できるようにした。人体の水面付近での上下運動は重量と浮力のバランスであり、それにより運動方向や加速度が求められる。浮力は水中の物体が排除している流体の重量と同じ大きさであることから、本モデルでは水中と水面上の部位に分け、水中では各部位の水深に対応した浮力および重量を、水面上では部位の露出量に従った重量を計算している。

3. プールにおける静水時の人体の浮上状態の把握実験

ここでは、水深の急激な増大により頭頂部が一瞬で水没する状況を想定し、2022年10月に長岡市内のプールで実施した。被験者は日常ではあまり運動しない23歳の成人男性2名とした。今回は頭頂部が水面高約0.2mの顎下水深の位置から沈水し、頭頂部の水面高の時間変動状況を把握した。その結果、初回の沈水時には頭頂部はほぼ水面高まで低下したのち、周期約3.5秒の上下振動を繰り返し水面高約0.08mへ漸近した。その後溺水後を想定して、全身を脱力しうつ伏せ体勢で浮漂した状態での浮上部位の場所や大きさなどを把握した。

4. 造波水路による疑似人体の鉛直挙動把握実験

波浪場内の水面付近での人体の鉛直挙動を想定して、2022年11月に長岡技術科学大学の12m造波水路実験装置で実験を実施した。水深は約0.4m程度であり、発生波浪は規則波であるが、伝播とともに実海岸付近と同様に波谷は平坦で波峰は尖った状態である波高約0.2mのストークス波へ変形している。この実験では適用可能な大きさおよび密度の人形が準備できなかったために、その代替品として体積や密度を把握した数本のペットボトルを用いて波浪場内の鉛直挙動を把握した。

5. 実験結果と人体挙動モデルとの比較、まとめ

実験終了後に数値モデルと結果を比較した。プール実験条件での数値モデルでは、被験者の身長から諸元を変更している他、造波実験ではペットボトルにあわせて諸元を変更して計算をおこなった。その結果、計算結果と実験結果はよく一致することを確認した。今後はこのモデルを波動数値モデルに組み込み、水面挙動と同時に人体の鉛直挙動を把握可能な数値モデルを構築するとともに、将来的には吹送流モデルへ発展させる。