

審査の結果の要旨

氏名 謝文昂

津波、高潮や洪水の氾濫時に陸上を伝わる水流の先端部（サージ）は各種構造物に衝撃的な力を生じることがある。そのため、構造物の設計・計画においては、サージによる衝撃圧の発生を考慮することが求められる。サージの衝突は不連続な水理現象であり、理論的な取り扱いが難しく、現存する評価式の多くは水理実験に基づき経験的に求められたものである。これまでに、さまざまな経験式が提案されているものの、それらの間には変数の取り方を含めて大きなばらつきがある。この大きな原因は、衝撃圧の発生がランダム性の強い現象であり、実験値のばらつきが非常に大きいことである。このような背景の下、本論文はサージにより直立壁に作用する衝撃圧を対象とし、水理実験を通してその確率分布を明らかにするとともに、理想状態のサージの衝突過程について新たな理論を提示したものである。

衝撃圧の確率分布を求める実験は、実験条件を制御しやすい小規模な装置を用いて注意深く行われ、繰り返し同条件での計測を実施することで多数の衝撃圧値を取得したものである。異なるサージ条件で得られた実験結果から衝撃圧とサージ伝播速度との関係を衝撃係数として整理し、この衝撃係数が重い裾を有する **Fréchet** 分布に従うことを示している。既往実験によって報告された衝撃係数もまた同分布に従うことを示し、サージ伝播速度を用いた確率モデルの有効性を確認している。また、実験によって明らかとなった確率分布の重い裾については、サージ先端部において形成される横断方向の水位および速度変動が関与した可能性を指摘している。これまで波浪によって直立壁に作用する衝撃圧の確率特性については多くの研究が行われているが、陸上を伝わるサージによる衝撃圧の確率分布を扱った研究はほとんど見られない。実験において検討された条件は限られているものの、本研究が提示した確率モデルは今後の研究展開に先鞭をつけるものとして評価できる。また、既往の経験式間において衝撃係数の値は大きくばらついており、その確率分布を示した工学的意義は大きいと言える。

サージによる衝撃圧に関する理論的研究では、独自の仮定によって新たな理

論を提案している。従来、衝撃圧の理論では流体運動の支配方程式を単純化するために渦なし流れ（非回転流れ）の仮定が用いられてきた。本論文ではサージ衝突時の流体现象に関する考察をもとに渦なし流れの仮定の問題点を指摘し、この仮定に拠らずに衝突現象の解析解を導出する方法を見出している。支配方程式を単純化するため代わりに用いられた仮定は、水平流速の鉛直方向一様性と衝突時の流速分布の自己相似性である。これらの仮定は強いものであり、理論の適用範囲を底面付近かつ衝突初期の短時間に限定することになるが、その範囲において有効な解析解を導出することに成功している。この解析解から求まる衝撃係数は定数となり、上述の実験による確率分布の中央値に概ね一致することを示している。さらに、本論文では数値流体力学モデルによって、この理論の妥当性に関する検討が行われている。理論から求まる衝突時の流速・圧力分布は数値流体力学モデルによる結果とよく一致しており、理論導出に用いられた各仮定の妥当性についても検証がなされている。とくに、数値流体力学モデルは衝突時に流体が渦を形成することを明確に示しており、この面において既往理論に対する本理論の優位性が示されている。提案された理論は強い仮定によって適用範囲が限られるものの、サージが直立壁に衝突する瞬間の底面付近の流体運動の特徴をよく表しており、実験から求められたサージ伝播速度による衝撃圧モデルに理論的根拠を与えた意義は大きい。また、従来理論に用いられてきた渦なし流れの仮定の問題点を指摘し、強い仮定を用いながらもそれを代替する理論展開を示したことは、現象理解につながる成果として評価することができる。

以上のように本研究は、サージの壁面衝突問題という水理学において長らく困難とされてきた問題に対し、実験によって衝撃圧の確率モデルを提示するとともに、新たな理論によってその根拠付けを行ったものと評価することができる。本研究の成果は直ちに実務につながるものではないが、水塊衝突現象の理解を深める基礎研究としての側面が高く評価できるとともに、より信頼性の高い衝撃圧評価式につながるものと期待される。

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。