

氏 名	まつ とも ひで お 松 富 英 夫
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	昭 和 63 年 10 月 12 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 54 年 3 月 中央大学大学院理工学研究科土木工学専攻修士課程修了
学 位 論 文 題 目	ダム破壊等に伴う急速な氾濫に関する水理学的研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 首藤 伸夫 東北大学教授 佐武 正雄 東北大学教授 高山 和喜 東北大学教授 澤本 正樹

論 文 内 容 要 旨

急速な氾濫として、ダム破壊と津波によるものを取り上げている。ダム破壊流れについては、流れ先端部の挙動、水面形やその衝突時の衝撃波力評価等に関する理論、氾濫域や浸水位等の推定・予測のための数値解析法等を論じている。津波については、ダム破壊流れの解析で得られた水理学的知見を用い、碎波後の波の変形や碎波部の挙動等を理論的に論じている。

本論文は 8 章から構成されている。第 1 章と 8 章は各々序論と結論である。以下、第 2 章から 7 章までの各章の内容と主な結果を簡単に説明する。

第 2 章では、先ず Whitham 理論に基づいて、ダム破壊流れのサージング・フロントの諸水理特性を考察している。ここで、サージング・フロントとは、ドライ・ベッド上を進行する流れ先端部を意味する。次に、その考察から得られた知見を用いて、部分重複津波のサージング・フロントの諸水理特性を理論的に検討している。その結果、サージング・フロントでは、第 1 近似的に抵抗項と圧力項が釣合っていること、そこでの抵抗によるエネルギー損失は、全エネルギー損失の $2/3$ 以上と支配的であることが明らかとなった。

波の非線形性が比較的弱くて、抵抗の影響を受ける、一様勾配斜面上の部分重複津波のサージング・フロントでのエネルギー損失(率)、サージング・フロント高とその力積の場所(時間)的变化に関する理論解も誘導している。これ等に関する理論は今までに 1 つも存在していない。線形の場合と非線形効果を考慮した場合の両方を示している。これ等は、サージング・フロント下流側に仮想の微小静水深を考え、それに理想段波理論を適用して、エネルギー収支を考えることで誘導されている。この仮想微小静水深は理論的に評価されるものである。これ等の結果と密接に関連する、

部分重複津波の遡上高に関する理論式も誘導している。線形の場合と非線形効果を考慮した場合の両方を誘導している。これ等は、斜面の粗度係数が評価されるならば、任意粗度の斜面に対して適用できるものである。遡上高とサージング・フロント高については、実験値と比較・検討を行い、実際の適用性の高いことを確認している。

第3章は、水平床で、下流側水深・流速を有し、移動跳水を形成する場合のダム破壊流れ先端部の挙動、水面形やその衝突時の衝撃波力等を、抵抗の効果を考慮して、理論的に論じたものである。流れ先端部の挙動だけに限っても、抵抗の効果を考慮した理論は今までにないものである。その結果、流れ先端移動速度は、第1近似の精度で、時間 t に比例して減少することが明らかとなった。これはドライ・ベッドの場合の $t^{1/3}$ に比例と異なる。この近似解は、ダム破壊流れに関するStoker理論から算出される水理量を、従来の定常等流抵抗則に用いて評価される抵抗係数と組み合わせ、実際のダム破壊流れに供することができる。

ダム破壊流れの碎波段波形成条件である、移動跳水発生条件も理論的に誘導している。初期ダム下流側流速が零の場合の移動跳水発生条件は、底面勾配に依存せず、 $h_0/h_1 \leq 0.42$ である。ここで、 h_0 と h_1 は各々ダム地点での初期ダム下・上流側水深である。この結果の誘導の際、孤立波の碎波限界用いている。よって、この結果は、採用する孤立波の碎波限界次第で、多少変化するものである。実験値との比較・検討により、その妥当性を確認している。

本章では、構造物等への碎波段波衝突時の衝撃波力評価の基本となる、碎波段波の水面形推定法も論じている。この推定法は、質量と運動量の保存則に基づくもので、先端部の流れの場として壁面噴流のそれを仮定し、水深方向に積分した段階で、流れの支配方程式を満たす、というものである。流れの非定常性は、準定常的に取り扱うことで考慮している。この理論は、流れ先端移動速度や先端軌跡の評価理論と統一的なものである。上述した抵抗係数と組み合わせ、実際のダム破壊流れに供することができることも確認している。

この水面形（正確には水面勾配と水深）推定法とCumberbatch理論を組み合わせた、経時的な衝撃波力の一評価方法も示している。経時的な衝撃波力の評価に関する理論は今までにないものである。この方法は、碎波段波衝突による最大衝撃波圧や全衝撃波力を、十分な精度で推定できるものである。ただし、ダム破壊直後の鉛直方向加速度と非定常性の強い流れ、抵抗がコア領域（段波先端部の乱れていない領域）の諸水理量に大きな影響を及ぼす流れや段波下流水深が段波段高に比べて小さくない流れ等には適用できない。

第4章は、津波によって形成される碎波段波の一樣勾配斜面上での挙動を、抵抗の効果を考慮して、理論的に論じたものである。ただし、津波入射波には任意性があり、対象段波背後の流れの状態は特定できないので、ダム破壊流れによって形成されるものの挙動を論じている。つまり、第3章モデルの一樣勾配斜面上への拡張を論じている。その結果、段波先端移動速度は、抵抗係数と斜面勾配に比例して時間的に減少すること、ダム上・下流側水深比 h_1/h_0 の値次第で時間的に増大することもあること等が明らかとなった。ただし、本理論結果は、非常に緩やかな斜面上で、しかも段波形成後の短い間にしか適用できない。

本章理論の展開過程において、ドライ・ベッドで、一樣勾配斜面上のダム破壊流れの近似非粘性

解を誘導している。よって、抵抗の効果を考慮した、ドライ・ベッドで、一様勾配斜面上のダム破壊流れの近似解も誘導している。この近似解は、適用度において、水平床での Whitham 理論に対応するものである。実験値等との比較・検討により、その有用性も確認している。

第5章は、津波が遠浅海岸等の緩勾配斜面上を長く伝播する時等に形成される、ソリトン波の碎波変形を理論的に論じたものである。ただし、対象ソリトン波を孤立波理論の適用できる波と見なし、その水平床上での崩れ波型碎波時の変形を論じている。具体的には、波高減衰、碎波面の伝播速度、碎波部の高さとその水面形の巨視的推定法を論じている。水面形は、第3章と同じく、碎波段波衝突時の衝撃波力評価の基本となるものである。水面形はもとより、前三者を同時に推定するモデルは、今までにないものである。

本章は第3章モデルの応用編である。解析手法は、質量と抵抗力を考慮した運動量の保存則に基づく、段波モデル法である。ただし、圧力の非静水圧性と流速分布の非一様性を考慮し、圧力と運動量フラックス項の補正を行うことで、理論の適用性を高めている。

本理論結果には、碎波形成直後の短い間、段波背後の水位が段波先端での水位より小さい（段波波高がマイナス）という、不合理がある。適用範囲が狭い等という、改良すべき点も多々ある。しかし、その結果は、およそ $\gamma=0.8$ 、 $\mu=0.48$ とすることで、碎波段波の発達の最も著しい段階に供せることを、実験値との比較・検討を通して確認している。ここで、 γ は圧力と運動量フラックス（圧力に換算）の合成補正係数、 μ は円弧を直線で近似した時の直線勾配である。 γ の大体の値は理論的に説明つくことを示している。

本理論結果は、抵抗の効果が大きくなれば、無次元碎波段波波高（碎波水深で無次元化）の発達は弱くなることを示す。精度良い実験により、その結果の妥当性を確認している。また、抵抗の効果が大きくなれば、水平床上での孤立波の崩れ波型碎波の無次元碎波波高は大きくなること、碎波点は沖側へ移動することも実験的に明らかにしている。

第6章では、新たなドライ・ベッド上の流れ先端条件を用いた、ダム破壊流れの数値解析法を論じている。流れの基本式として、抵抗項を有する非線形浅水理論を用いた、有限差分法によるものである。

本章では、一次元解析例のみを示し、流れ先端軌跡に関しては、実験値との比較・検討も行っている。数値解析から得られる、サージング・フロントでの運動方程式各項の重要性も論じている。さらに、理論解が得られる地形下の多数の数値実験を行い、提案した数値解析法の計算精度も論じている。その結果、第2章と同じく、サージング・フロントでは第1近似的に抵抗項と圧力項が釣合うこと、流れ先端軌跡に関して、 α の値を 10^{-3} 以下とすれば、計算値は理論値に対して80%以上の精度を有すること等が明らかとなった。ここで、 α は流れ先端での計算打ち切り水深（水深があっても、あまりに小さいと切り捨て、零とする基準水深）と空間差分格子間隔との比である。この先端での打ち切り水深の導入は、計算を安定的に行うために必要なものである。

第7章は、第6章で提案した数値解析法を平面二次元場へ拡張し、事例研究を行ったものである。対象とした事例研究は、1847年の犀川塞止め決壊洪水である。これは、記録に残っている天然ダムの決壊事故例としては、日本最大規模のものである。しかも、かなり詳しい記録が残っているもの

である。有史以来、近年までの主な天然ダムの決壊例も調べている。

本章は、大きくは二つの内容から成立している。一つは固定床としての事例計算結果を、もう一つは移動床としての事例計算結果を論じている。移動床としての事例計算は、今までに類例を見ないものである。これ等を通し、実際の複雑な地形場で、しかも移動床下のダム上・下流域同時二次元計算は、本章の計算法で安定的に行うことができ、氾濫域と浸水位に関しては、ほぼ妥当な結果を与えることを確認している。

実際のダム破壊流れでは、流れ先端が峡谷の湾曲部外岸側の斜面を高く駆け上がり、一時的に浸水する地域が存在することも明らかにしている。このような地域を推定・予測するためにも、平地ばかりでなく、峡谷内においても、二次元解析が必要であることを強調している。さらに、移動床下のダム破壊流れでは、地形変化のため峡谷部での通水能が高まること、地形や通水能の変化は、特に峡谷部出口での地形変化は、平地部での洪水の流況に影響を及ぼすこと等も明らかにしている。

審 査 結 果 の 要 旨

急速氾濫水の先端部は、水深、流速等がきわめて急激に変化するとともに、時には碎波による激しい混合が発生する、非線形性の強い現象である。巨大津波の陸上遡上時、ダム崩壊による氾濫時にこうした現象が出現し、特にそれに伴う衝撃力の推定は防災上重要であるにもかかわらず未解明のまま残されていた。本論文は、この問題の解決の為に理論的解析を行い、水理実験を通じその有用性を確かめるとともに、実用上不可欠な数値計算手法を開発したもので、全編8章からなる。

第1章は、序論である。

第2章は、下流水深のない水平床及び一様傾斜面上に入射し進行する、底面摩擦を無視できない段波に対する、基本的な理論の展開である。

第3章は、水平床で、下流側に水深を有する場合のダム破壊問題である。先端部が波状となるか碎波となるかの発生限界が決定され、実験値と良い一致を示している。つぎに、碎波段波水面形決定法、衝撃波力推定法を導き、水理実験値とも十分な精度で一致する事を示している。最大衝撃波圧、全波力など現実問題として重要な量を、初めて推定可能としたもので、重要な成果である。

第4章は、底面が傾斜している場合への、前章理論の拡張である。

第5章は、津波が遠浅海岸を伝播するときに生ずる充分発達したソリトン波の、崩れ波碎波による変形を扱っている。個々のソリトンは孤立波的に振舞うとし、運動量と圧力に補正を施した段波モデルを適用して実用性を高めている。

第6章は、数値計算法の開発である。水流先端部での計算安定性を保証するために、計算打ち切り水深を空間格子間隔との関連で決定している。これは、有用な結果である。

第7章は、前章で開発した数値計算法の適用例である。1847年の犀川堰止め欠壊による洪水の再現を試みるため、固定床および移動床とした2種類の計算の比較を行っている。峡谷内及び平地部の浸水位を良く再現し、さらに峡谷湾曲部での外岸への駆け上がり現象、峡谷出口での段波による地形変化がその後の平野部での浸水域に影響を及ぼす事など、防災対策上重要な現象を見いだしている。

第8章は、結論である。

以上要するに本論文は、急速氾濫に伴う水理諸現象を適格に推定する理論を開発し、その現実問題への適用を可能として、自然災害の防止に大きく貢献したもので、水理学並びに土木工学の発展に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。