

運動量の定理に基づく高段落水路流れの実験的検討

防衛大学校 学生会員 ○平野拓也
 防衛大学校 学生会員 河原由貴
 防衛大学校 正会員 多田 毅

1. はじめに

高段落水路流れに関する研究は古くから実施され、減勢工などに広く利用されている。落水部の流況やエネルギー減衰を推定する公式はすでに数多く存在し、いずれも実用上十分な精度を持つことが示されている。しかし近年は、洪水氾濫や津波の流れが防潮堤や道路盛土を越流する場合のような、公式作成時には想定されていなかった現象の解析への適用拡大が想定される。そこで、本研究では、高段落水路流れに関する既往の公式について、その多くの基本原理となっている運動量の定理に立ち返り、適用範囲の再確認および範囲外への適用性を水理実験とあわせて検討することを目的とする。

2. 既往の研究

高段落水流れにおいて、上流側の限界水深発生断面を通過する運動量（比力）を M_c 、落水後を M_1 、段落ちの垂直面に働く静水圧の反力を M_s とすると、以下の関係が成立することを Moore¹⁾は示した（図-1）。

$$M_c + M_s = M_1 \quad (1)$$

ここで、 M_c を既知の量とすると、未知数は M_s と M_1 の2個である。White²⁾は床面衝突直前の M_m を未知数に加え、 M_m を求めるエネルギー式と、衝突前後の M_m, M_s, M_1 の配分を求める運動量式を導入することで問題を閉じ、公式化した。また、段落ち背後のプール水面への着水直前の M を導入し、プールの水を連行する効果による M から M_m への減少を運動量保存より求めるなど (Gill³⁾)、モデルを複雑化・高度化する研究が続いている。一方、Rand⁴⁾は h_s, h_1 などを求める経験式を実験結果にフィッティングさせることで公式を作成した。Randの式は簡便かつ良好な結果を与えるため現在も広く利用されており、水理公式集にも掲載されている。また、Mooreの式(1)を閉じるために部分的に経験式を導入する方法 (Rajaratnam⁵⁾)

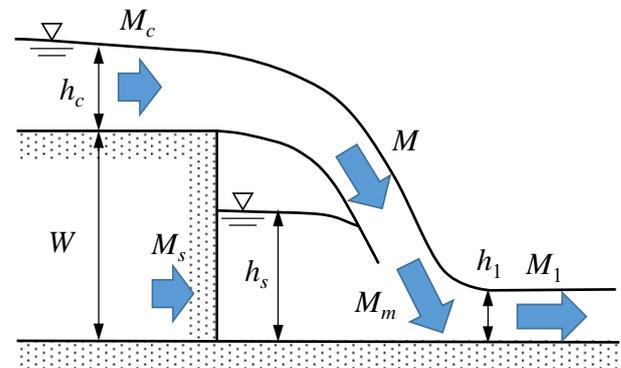


図-1 高段落水路流れの諸元

や、精緻なモデルにより計算した結果に対し Rand 型の式をフィッティングさせることで簡便な公式を作成する方法 (Chanson⁶⁾) など、多くの研究がなされている。いずれの研究も実験結果との比較によりその精度を検証しているが、実験条件の範囲やフィッティングの範囲などが総合的に検討されたことは無く、公式の提案時に想定されていない条件への適用には、注意が必要である。

3. 水理実験

本研究では、水平に設置された長さ 16m、幅 0.6m の実験水路に全幅の広頂堰を設置し水理実験を実施した（図-2）。本来であれば段落ち前に十分に長い水平区間を設けるべきであるが、本実験では、水平区間は広頂堰の天端部分のみであり（図-3）。その影響の確認は今後の課題である。ナップ裏側を大気圧に保つためのエアレーションは、ナップの一部を破ることにより実施した。落水前後の水深および流速、段落ち背後のプールの水深、回流ポンプ部での流量を計測し、各部での運動量の収支と段落ちによるエネルギー減衰を評価した。

実験は、既往の研究において実験例の少ない比較的大流量の条件をターゲットとし、流量を限界水深に換算し落差高で除した h_c/W で 0.4~0.8 の間とした。

キーワード：段落ち、水理実験、運動量の定理、エネルギー減衰

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 TEL. 046-841-3810 E-mail : tada@nda.ac.jp

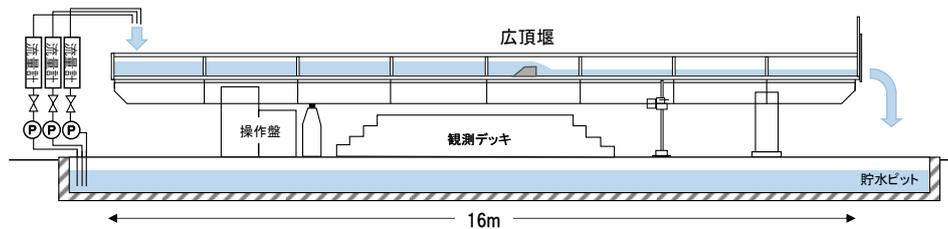


図-2 実験水路

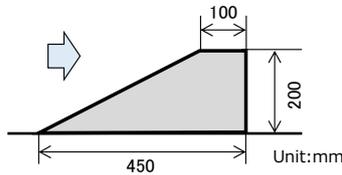


図-3 段落ち部の形状

4. 結果と考察

式(1)を変形することで次式が得られる。

$$M_c = M_1 - M_s \tag{2}$$

左辺は段落ち部に流入する運動量，右辺は流出する運動量とみなすことができ，他に水平方向に外力が働いていなければ (2) 式が成立するはずである。そこで，流量から求めた M_c と，計測により求めた $M_1 - M_s$ の関係を図-4 に示す。既往の研究も含め全域で良好な一致を示しており，式(1)の妥当性を示していると考えられる。しかし，本実験も含め，流出運動量が流入運動量を若干下回るケースが多く，底面摩擦等が影響している可能性がある。

段落ち前後での全水頭をそれぞれ E_c, E_1 とし，段落ちにより減少したエネルギー $\Delta E = E_c - (E_1 + W)$ と流量との関係をプロットしたものを図-5 に示す。また，既往の公式から代表的な3種を重ねて示す。3種の中で最も古く，完全な経験式である Rand の式が全域で最も良い推定値を与えている。運動量の定理と経験式を組み合わせた Rajaratnam の式は，小流量と大流量においてエネルギー減衰を過少評価する。Chanson の式は3種の中で最も複雑な理論で導出されているが，公式化の際のフィッティング時に大流量への適用を想定しなかった可能性がある。

5. おわりに

本研究により，既往の公式はいずれも想定した条件下では一定の精度を示すが，その適用範囲に注意が必要であることが改めて明らかになった。結果的に経験式が最良の結果を与えたが，経験式は段落ち部の形状の変更や蛇籠の設置などの条件の変更に対応することが難しい。

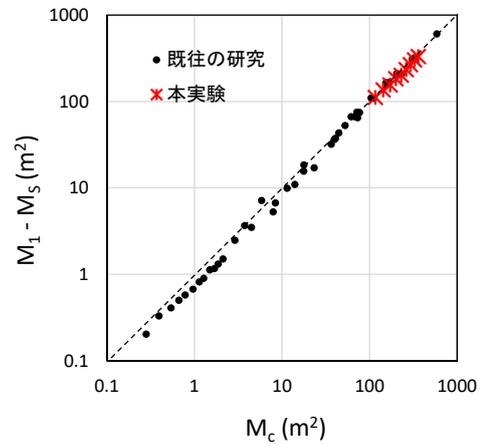


図-4 水平方向の運動量のつり合いの精度

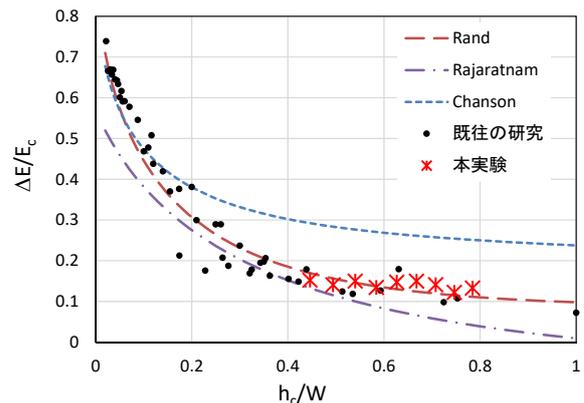


図-5 流量とエネルギー減衰率の関係

今後は，応用範囲・適用範囲の拡大に対応可能な，物理的な考察に基づきつつ簡便さを併せ持つモデルの開発を目指す。

参考文献

- 1) Moore, W. L. (1943). "Energy loss at the base of a free overfall." Transactions of the American Society of Civil Engineers, 108(2), 1343-1360.
- 2) White, M. P. (1943). "Discussion - Energy loss at the base of free overfall." Energy loss at the base of a free overfall, 108(2), 1361-1392.
- 3) Gill, M. A. (1979). "Hydraulics of rectangular vertical drop structures." Journal of Hydraulic Research, 17(4), 289-302.
- 4) Rand, W. (1955). "Flow Geometry at straight drop spillways." Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 81(9), 1-13.
- 5) Rajaratnam, N., and Chamani, M. R. (1995). "Energy loss at drops." Journal of Hydraulic Research, 33(3), 373-384.
- 6) Chanson, H. (1996). "Energy Loss at Drops - Discussion." Journal of Hydraulic Research, 34(2), 273-278.