

落差工の設計における粒子法の適用可能性の検証

The study of application availability of particle method for designing falling works

田中良和, 向井章恵, 樽屋啓之

TANAKA Yoshikazu, MUKAI Akie and Hiroyuki TARUYA

1. はじめに

落差工では水面が大変形する水理現象が生じる。格子を用いた数値解析では水面が数値拡散によって曖昧になり十分な結果を得ることが困難であり、従来、落差工の設計における水理的な効果の検証は水理模型実験に依存している。他方、粒子法は移流による数値拡散や格子の破綻が生じないため、水面が大変形する水理現象に適した解法である。本稿では、主要な 2 種類の粒子法によって落差工の水理解析を行い、水理模型実験との比較から水理設計における適用可能性を検討した。

2. 数値解析方法

MPS法 : ナビエ・ストークス方程式中の各項を、移動する計算点と近傍の計算点間の相互作用式に置き換えて計算する非圧縮性粘性流体解析手法である²⁾。

SPH法 : 移動する計算点周辺の状態量を内挿関数によって重み付けしてナビエ・ストークス方程式中の各項を離散化して解く圧縮性粘性流体解析手法である¹⁾。非圧縮性は密度と圧力の状態方程式から擬似的に導いた。

Fig.1 に図示した 4 種類の落差工についてポリゴンを用いて作図し、著者が開発したプリプロセッサ⁵⁾によって計算条件を準備した。粒子直径 0.1m, 時間刻み幅 5.0×10^{-4} , 総時間 30 秒, 流入速度を 1.66m/s とした。

3. 実験方法

縮尺 1/46 の水理模型を製作した。流入量はフルード相似則に従い $1.3\text{m}^3/\text{s}$ とした。高速度カメラ (PhantomV4.2) によって撮影し、水面形や流況の観察と PIV (粒子画像流速測定法) による流速の測定を行った。

4. 結果と考察

数値解析と水理模型実験の水面形の比較を Fig.2 に示す。実験結果によれば、CASE1 では、下向水脈が斜路部の阻柱に衝突して水面が分裂し、水クッション中へ貫入した。CASE2 では、落下水脈が階段を落下する度に流速上昇し遠方へ落下するとともに、水脈の幅が増大し水面が分裂した。CASE3 では、下向水脈が斜路部から水クッション中へ貫入し、跳水が生じた。CASE4 では、上流側と下流側の 2 カ所の水クッション部において落下水脈が貫入し、回転流が生じた。

MPS 法と SPH 法による解析結果は、水理模型実験の水面形状と流況は非常に似ていた。Fig.4 では、CASE4 における上流水路からの落下水脈の形状について、数値解析結果、実験結果および下記の実験式とを比較した。設計基準 (水路工) の技術書⁴⁾ (Fig.3)

$$x = 1.477H \left\{ (y/H) + 0.242 \right\}^{0.567}$$

松下による式³⁾

$$x = 1.509y \left(V_1 / \sqrt{gy} \right)^{0.612}$$

落下水脈は実験結果や実験式と良好な一致を示した。ただし MPS 法は SPH 法よりも落下水脈の流速が速く、水クッション中へ貫入しにくい傾向があった。今後検討が必要である。

引用文献

- 1) Gingold and Monaghan (1977), *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, 181, 375-389.
- 2) Koshizuka and Oka (1996), *Nuclear Science and Engineering*, 123, 421-434.
- 3) 松下 (1985), *農土誌*, 53, 2, 145-149.
- 4) 農林水産省農村振興局 (2001): 設計基準・設計「水路工」基準書, 502-503.
- 5) 田中 (2006), *農土論*, 246, 95-101

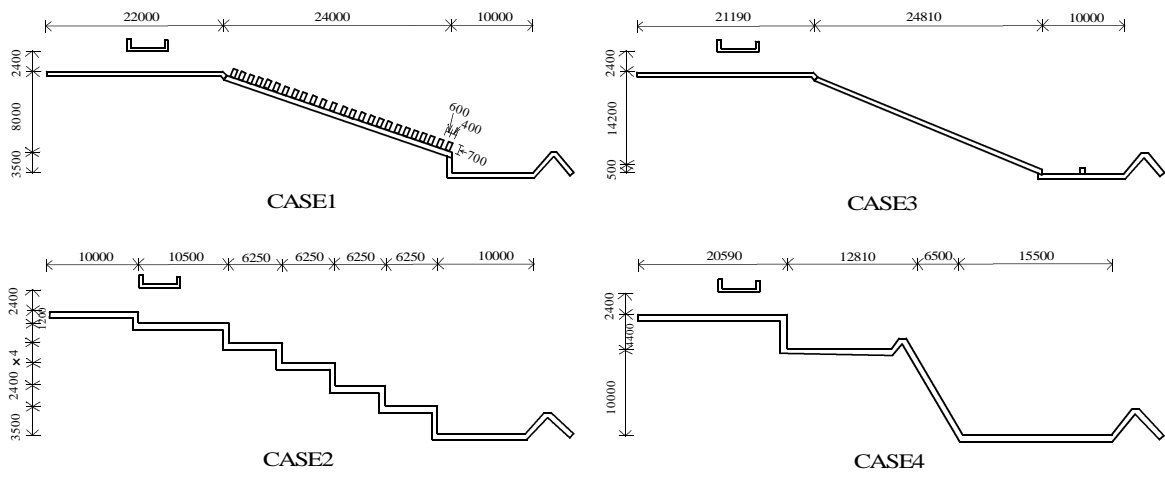


Fig.1 4種類の落差工の寸法

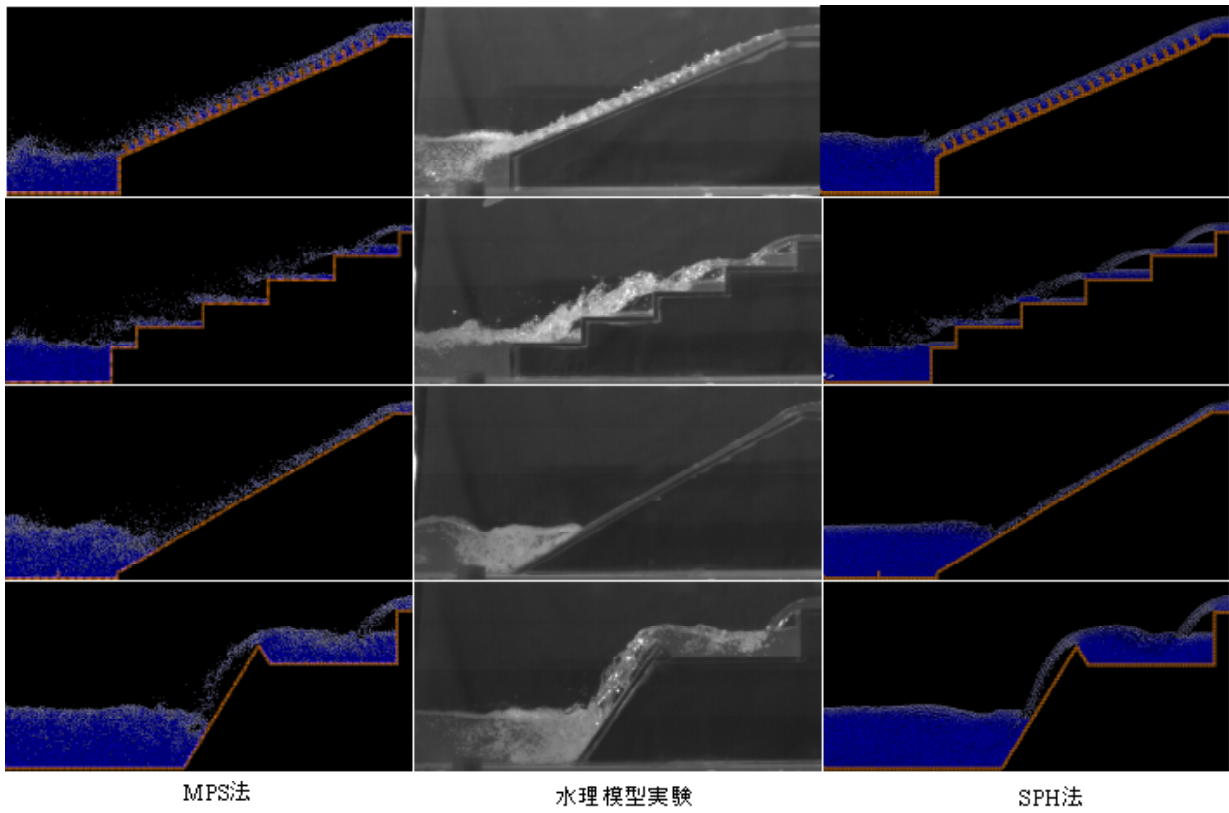


Fig.2 数値解析と水理模型実験の水面形の比較

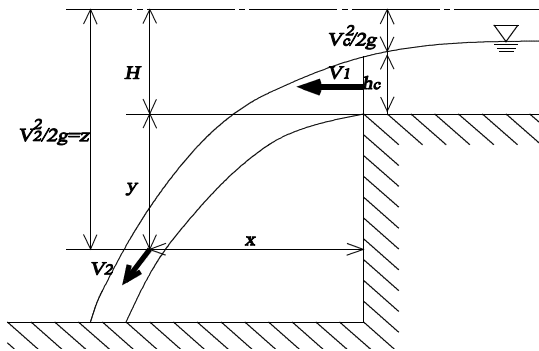


Fig.3 落水水脈の説明図

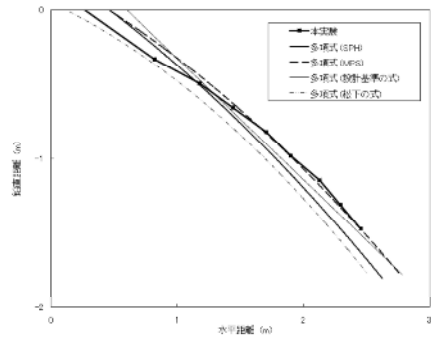


Fig.4 落水水脈の軌跡の比較