

プレート型ハイドロフォンとパイプ型ハイドロフォンの特性比較と ハイドロフォンの活用方法について

株式会社建設環境研究所 ○富田邦裕 叶正興 重村一馬
京都大学防災研究所 藤田正治 長谷川祐治

1. はじめに

日本の山地河川では、1990年代後半からハイドロフォンによる流砂観測が実施され、これまで多数のデータが蓄積されている。ハイドロフォンの計測精度に関しては、いくつかの課題があり、パイプ型ハイドロフォンにより計測が進められてきたが、パイプ型は約5cmの半円形の単断面で土砂粒子の衝突から音響信号の計測データを得るため、衝突しない粒子が存在すること、また、粒子が衝突しても音響信号同士が干渉して互いに打ち消すことがあることから、計測精度が左右されるという特徴がある。この現象は、流砂の運動が活発で計測が必要な出水規模が大きい時に発生することが多く、これらの課題を解消するために、音響信号を時間積分する手法や衝突面積を大きくしたプレート型ハイドロフォンなど、様々な対策が検討されている。本報では、流砂の運動方程式から軌跡を追跡し、プレート型とパイプ型ハイドロフォンの特性比較を行い、富士川砂防事務所での現地実験の結果を参考に、両タイプのハイドロフォンの活用方法を検討したものである。

2. 流砂の運動に関する数値シミュレーション

プレート型、パイプ型ハイドロフォンは流れに対して垂直に置かれるので流砂の運動を1次元で扱う。粒子の運動方程式は、揚力、バセット項を無視すると、次式で表される。

$$\rho(\sigma_s + C_M)V \frac{d\vec{u}}{dt} = \rho(\sigma_s - 1)V\vec{g} + \frac{1}{2}\rho C_D A |\vec{u}_r| \vec{u}_r$$

ここに、 ρ : 水の密度、 σ_s : 粒子の比重、 V : 粒子の体積、

\vec{g} : 重力加速度、 A : 粒子の投影面積、 \vec{u}_r : 相対速度、

C_M : 付加質量係数、 C_D : 抗力係数である。理論河床の位置は、河床を構成する粒子頂部から0.2d下方の設定し、流速分布は $z=k_s$ より上方は対数則分布で、下方は直線分布とした。図-1に模式図を示す。衝突過程は、跳躍後の砂粒子と河床材料の跳ね返りを表現するため、仮想反発面（衝突粒子の角度に対して垂直な面）を設けて、反発する角度を確率的に表す（辻本・中川, 1984）。¹⁾本計算ではこの分布を一様乱数で発生させた。水理条件を表-1に示す。プレート型ハイドロフォンは、長さ200mm、400mmとし、パイプ型ハイドロフォンは、外形50mmの半分が露出しているとした。パイプ型ハイドロフォンと粒子の衝突判定はそれぞれの中心と中心の衝突のみを考慮し、粒子径は考慮しない。プレート型では、衝突後は砂礫河床と同じ条件として計算し、同一の水理条件で約80回試行した。

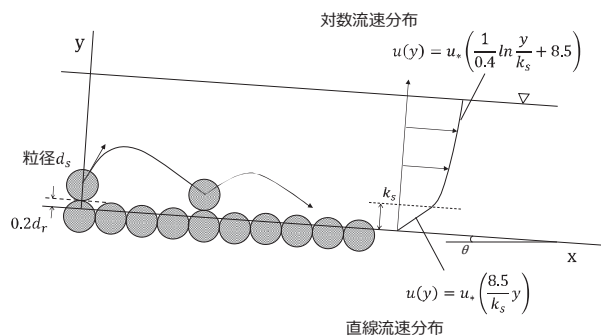


図-1 模式図

表-1 計算条件

Run	Q(m ³ /s) 流量	B(m) 幅	I 河床 勾配	u_* (m/s) 摩擦 速度	d(mm) 粒径	τ_* 無次元 掃流力
1	5	5	1/50	0.226	5	0.63
2					10	0.32
3					30	0.11

3. 計算結果

パイプ型ハイドロフォンでの粒子の衝突割合や、パイプに衝突する角度とその頻度について整理した。衝突角度は、上流側の河床との角度を取り、10度刻みで整理した。衝突率は、d=5mmでは0.13、10mmでは0.23、30mmでは0.51となった。これは、跳躍距離が影響し、同摩擦速度では粒径が小さい方が跳躍高さと同距離が大

きくなるためである。

一方、プレート型 hidroフォンでは、1つの粒子が複数衝突する可能性が指摘されており、衝突率でなく衝突回数を整理した(図-2参照)。d=5mmでは、1回が0.8、10mmでは2回が0.3、30mmでは4回が0.11と最も頻度が高くなる。また、平均衝突回数は、5mmでは2.3回、10mmでは3.1回、30mmでは7.8回となる。なお、プレート型の場合でもパイプ型と同様に衝突角度、すなわち衝突速度がばらつくため、振幅値にばらつきが生じることが予想される。このように、粒子の持つ運動量のばらつき以外にも、パイプ型 hidroフォンでは衝突率、プレート型 hidroフォンでは衝突回数が音響信号への影響要素となるので、その仕組みを明らかにして行くことが重要である。

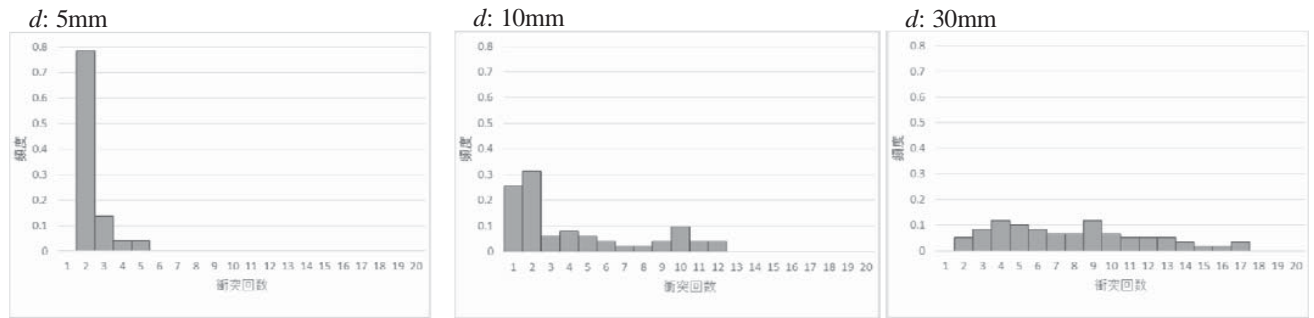


図-2 粒子がプレート型 hidroフォンに衝突する回数の頻度分布

4. 富士川砂防事務所の柘原砂防堰堤における現地実験結果との比較照合

富士川水系春木川の柘原砂防堰堤では、現地実験によりパイプ型とプレート型 hidroフォンの観測値の比較検討が実施されている。図-3にその粒径別の結果を示す。CACE 1は3mm以下、CACE 2は3mm~20mm、CACE 3は20~75mmの場合に実際の投入土砂量に対し、粒径 d が3mm以下ではプレート、パイプ型とも観測値の方が小さいが、3mmを超えると観測値が実投入量より大きくなり、20~75mmでは実投入量、パイプ型、プレート型の順に大きくなった。これは数値シミュレーションで、粒径が大きい方が衝突率と平均衝突回数が大きくなる傾向と合致した。実験結果とのさらなる照合や分析が必要と思われるが、数値シミュレーションモデルの傾向と現地実験の傾向が一致、数値シミュレーションでもある程度、プレート型、パイプ型 hidroフォンの傾向分析が出来ることを示した。

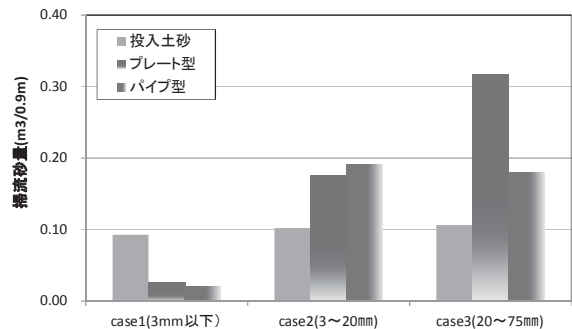


図-3 現地実験結果

5. おわりに

数値シミュレーションと現地実験結果との比較から、プレート型 hidroフォンによる流砂観測の可能性について一定の知見を得た。プレート型は、パイプ型と比較して耐久性に優れており、大玉を含む流砂、土石流等にも適用が期待されることから、流砂量観測や土石流等の感知、それと連携した予警報システム、流域監視システムへの活用が期待される。今後は、観測データの分析技術の向上が望まれるところであるが、現地と数値シミュレーション分析との両輪で検討を行っていくことが有効と思われる。

謝辞:プレート型 hidroフォンの実験資料の提供していただきました富士川砂防事務所の皆様に、お礼申し上げます。

参考文献

- 1) 辻本哲郎・中川博次(1984):掃流粒子の Saltation の確率過程論的解析, 土木学会論文集, Vol.1984, No. 345, p.83-90