

# 礫で築造された堰の水理特性

## Hydraulic Properties of Gravel Weir

森井俊広\*・北條拓哉\*\*・赤羽悟\*\*\*

Toshihiro Morii, Takuya Houjo and Satoru Akahane

### 1. はじめに

礫構造物が多自然型の川づくりやビオトープづくりに適用されるケースが多くなっている。たとえば、礫で築造される河川堰（以下ではこれを礫堰と呼ぶ）では、流れ方向の水理環境と生物環境の連続性を保ち、また曝気により水質の改善をもたらすなど、優れた特徴が指摘されている。礫を利用した構造物は、今後、さまざまな水利施設やビオトープ施設に利用されていくと考えられるが、通水性能や越流特性などの水理特性はあまり明確にされていない。安全性を確保しながら礫堰の普及をはかるには、少なくとも、水位流量曲線を実務的な精度で推定できる設計法が必要となる。

本研究では、水路実験により、礫堰の水位流量曲線の推定法を検討した。礫堰では、堰の高さに比べ水深が浅いと、流れは礫構造物を通る通過流（through-flow）となるが、水深が大きくなると、やがて越流（over-flow）が支配的になる。このような通過流と越流、そして両者の間に生じる遷移的な領域の流れの発生が、流量の推定を難しいものになっている。

### 2. 実験方法と材料

水平に設置した幅 50.5cm の室内実験水路を利用して、高さ 20cm、長さ 60cm の直方体状の礫堰を作製し、水位と流量を測定した。堤体材料には、フルイ分けによって粒径 20 から 25mm および 50 から 75mm に区分した河川礫を用いた。あらかじめ金網で枠をつくり、これを水路に設置したのち、礫を投入した。堰構造の間隙比は 0.58 程度であった。このあと上流側水位  $h_u$  を徐々に上げていき、定常状態になったのを確認して、三角堰で水路の流下流量を測定した。これを水路幅で割って単位水路幅あたりの流量  $q$  を算出した。合わせて、水路側面のガラス窓から水面形を観察した。 $h_u$  は、堰の高さ以下の低い位置から、越流が支配的となる高さまで、段階的に上げていった。実験では、比較のため、これらの礫堰と同じ断面サイズの非通水性の堰（広頂堰）をベニヤ板で作製し、上と同様の測定を行った。

図 1 に礫堰の実験状況を示す。礫の粒径は 50 から 75mm で、流れは完全な越流である。

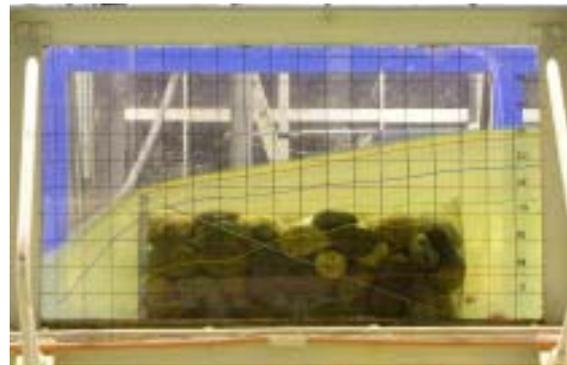


図 1 礫でできた堰を越える流れ

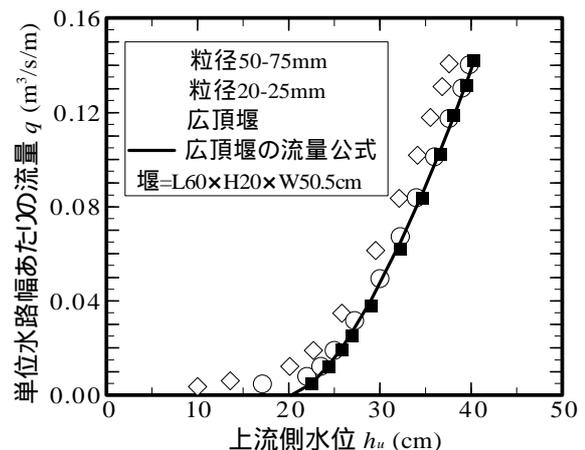


図 2 水位流量曲線の測定例

\*新潟大学農学部(Faculty of Agriculture, Niigata University), \*\*新潟大学自然科学研究科(Graduate School of Science and Technology, Niigata University), \*\*\*株式会社ヤマウラ(Yamaura Corporation)

キーワード：礫堰，水位流量曲線，広頂堰

### 3. 実験結果

#### 3.1 礫堰と広頂堰の推移流量曲線

図2に、水路実験で測定した水位流量曲線  $h_u$ - $q$  の一例を示す。粒径 20-25mm, 50-75mm のいずれも、 $h_u$  が堰の高さ 20cm より低い領域では通過流のみが生じている。 $h_u$  が堰の高さを超えると、堰の堤頂面に沿って部分的な越流が生じるようになり、流量は指数的に増大し始める。 $h_u$  が、粒径 20-25mm の堰で 27cm 程度以上、粒径 50-75mm の堰で 32cm 以上になると、越流が支配的となっている。図3に、通過流から部分的な越流を通して、完全な越流になるまでの水面形の観察例を示す。

図2には、非通水性の広頂堰で測定した流下流量と流量公式による推定線を合わせて示した。この  $h_u$ - $q$  曲線は、礫堰の  $h_u$ - $q$  から通過流による流量を除いたものとほぼ同じになっている。つまり、いったん完全な越流状態になると、越流する部分の流量は通常流量公式で推定することが可能となる。

#### 3.2 水位流量曲線の推定

$h_u$  が堰の高さより低く通過流の状態だと、流れの水頭損失は緩やかな非線形式で表すことができ、これを浸透流解析法に組み込めば、通過流量を容易に推定することができる<sup>1)</sup>。図4には、図2から再掲した  $h_u$ - $q$  の測定値に対し、 $h_u$  が 20cm 以下の領域で、通過流量の推定値を実線で示した。先述したように、完全な越流状態になると、礫堰の越流量は広頂堰のそれとほぼ同じになる。図4で、 $h_u$  が 30cm あたりから右側に示した実線は、完全越流状態を始点にして、広頂堰の流量公式で算出した流量を重ねたものである。測定値と推定値は良好に対応しており、通過流と完全越流での  $h_u$ - $q$  関係が、それぞれ、非線形水頭損失式と広頂堰の流量公式で精度よく推定できることが分かる。

残る問題は、 $h_u$  が次第に大きくなり、流れが通過流から越流へ遷移する領域での  $h_u$ - $q$  の推定である。完全越流が生じる際の  $h_u$  がア priori に分かれば、図4に示した2本の実線をフリーハンドで結ぶことによって、 $h_u$ - $q$  曲線を完成できる。しかし、実際は、礫の間隙構造によって遷移領域に幅が出るため、遷移領域の  $h_u$ - $q$ 、したがって礫堰の  $h_u$ - $q$  を一意的に決めることはできない。全体の流れに占める通過流と遷移領域の流れは、礫の間隙構造によってはかなり大きな割合を占めるようになるため、遷移領域の流量を適切に予測する手法の確立が必要となる。

### 4. おわりに

礫は、生物の移動や生息を可能にする通水性あるいは通気性に富む。重量があることから力学的安定性を確保しやすく、また自然材料であるため汚染や化学反応などに関わる問題を持たない。このような利点から、環境にやさしい材料として、さまざまな構造物に使われていくと考えられる。代表的な水利構造物として礫で築造される河川堰を取り上げ、その水位流量曲線の推定法を検討した。通過流および完全越流状態に対してはおおむね推定が可能となった。今後、遷移領域の流れに対する数理モデルを詰めていく必要がある。

参考文献: 1) 森井俊広: ロックフィルを通る流れの水頭損失式, 農業土木学会論文集, 230, pp. 91-98, 2004.

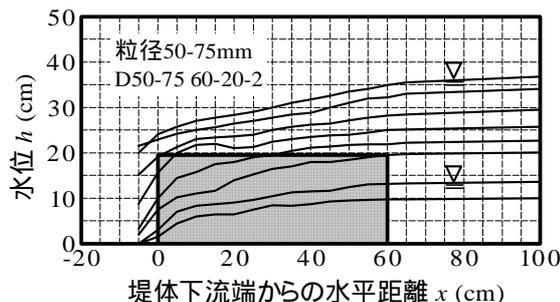


図3 礫堰の通過流と越流の水面形

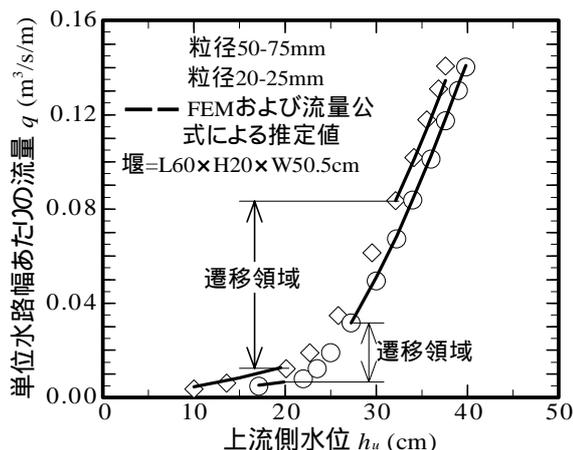


図4 礫堰の水位流量曲線の推定