

石礫河川における既往の河床変動解析法の問題点とその改善法

中央大学研究開発機構

正会員 ○長田 健吾

中央大学研究開発機構

フェロー会員

福岡 捷二

1. はじめに

福岡・長田ら¹⁾は、石礫河川（巨石（粒径 30cm 以上）を含む広い粒度分布で構成された河道）と砂礫河川の土砂移動機構の違いを明らかにし、石礫河川における新しい河床変動解析法の必要性を示した。その上で、長田・福岡²⁾は、石礫河川における河床変動機構を考慮した、新しい河床変動解析法を構築した。具体的には、巨石等の大きな河床材料による遮蔽効果を考慮した離脱量の評価式と、河床との衝突を考慮した堆積量の評価式により、流砂量、河床変動量および河床表層の粒度分布を求める手法である。また、河床表層の凹凸（空隙率の変化）を捉えることが石礫河川の解析では重要であると考え、各粒径の高さを個々に計算する方法を構築した。この構築した解析法を、2004 年に常願寺川で行われた現地実験に適用し、石礫河川における水面形、河床変動量および粒度分布を精度良く再現出来ることを明らかにした。このような石礫河川の河床変動解析に粒径別流砂量式を用いた既往の河床変動解析法を適用すると、河床変動量や粒度分布を精度良く再現できない。しかし、既往の河床変動解析法は一般に汎用されており、その方法を改善することは重要である。本研究では、既往の河床変動解析法の問題点を述べるとともに、石礫河川の河床変動機構を考慮した改善法を提案し、石礫河川への適用性を検証する。

2. 既往の河床変動解析法における問題点

一般に河川の河床変動解析法は、流れの運動方程式、連続式と、粒径別流砂量式、河床および粒度の連続式³⁾により構成される。粒径別流砂量式としては、芦田・道上式⁴⁾や Parker の式⁵⁾などが用いられる。芦田・道上式を用いた既往の河床変動解析法を、2004 年に行われた常願寺川現地実験に適用すると、図-1、図-2 に示すような水面形・河床高（計算開始から 5 時間後）および各粒度の縦断分布を得る。実験では、通水開始から 24 分程度で、静的平衡状態となった¹⁾。しかし、既往の解析法を用いた解析結果では 5 時間後でも土砂が移動し、河床の低下が止まらない。また、粒度分布は、全体的に実験値を下回っている。この要因について考察する。図-3 に、図-1 の急勾配部分における静的平衡状態時の掃流力と芦田・道上式で用いられる修正 Egiazaroff 式⁴⁾による粒径別限界掃流力の比較を示した。この結果、実際には流砂の無い状態において、Egiazaroff の理論では 8cm 以下の礫が移動することが分かる。Egiazaroff の理論は、平均粒径より大きな粒径は動きやすく、小さな粒径は動きづらいという形になっている。しかし、石礫河川における巨石の遮蔽効果は、Egiazaroff が想定した以上に大きいことが分かる。また、図-3 には、Parker の理論による基準掃流力（この掃流力以下では流砂量は非常に少ないとされる）を併せて表示した。Parker の理論では、2.5cm 以下の粒径が移動するとなっており、現象をある程度捉えられている。しかし、2004 年現地実験に Parker の理論を適用した結果、芦田・道上式のものと同様な傾向となった。現象を再現できないもう 1 つの要因として、空隙率の問題が挙げられる。平野³⁾が提案した流砂の連続式（式(6)）には、空隙率の時間変化を考慮した項が含まれている。石礫河川においては、巨石が大きく露出することにより、河床表面に大きな凹凸ができ、空隙率が変化する。石礫河川の解析では、この河床の凹凸、すなわち空隙率の変化を捉えられることが重要である。しかし、空隙率の時間変化を計算することが困難であるため、一般的には空隙率を一定として解析を行う。空隙率を一定とすると、実際には低下しない巨石が、周囲の砂礫の離脱とともに低下し、結果として、大きな河床変動となって計算される。以上のような問題があり、既往の河床変動解析法では、巨石が存在する石礫河川の水面形、河床変動および粒度分布を再現できない。以下に、石礫河川の河床変動機構を考慮した、既往の河床変動解析の改善法について述べる。

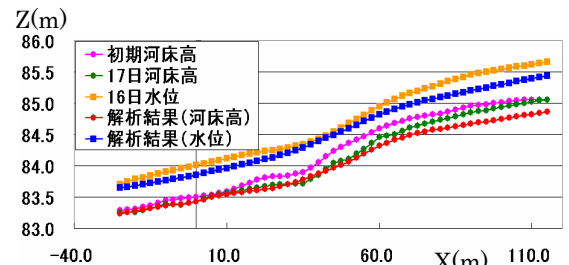


図-1 解析水位・河床高と実験値との比較

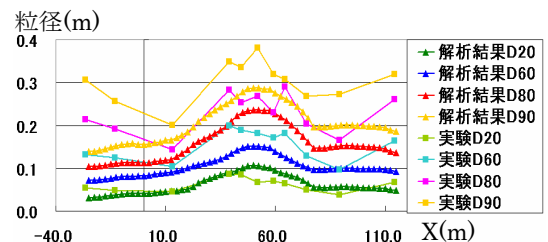


図-2 解析粒度と実験値との比較

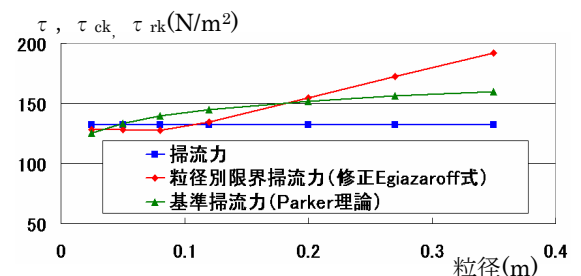


図-3 掃流力と粒径別限界掃流力の比較

キーワード 石礫河川, 巨石, 河床変動解析, 限界掃流力, 流砂量

連絡先 〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27 中央大学研究開発機構 TEL03-3817-1611 E-mail: osada@tamacc.chuo-u.ac.jp

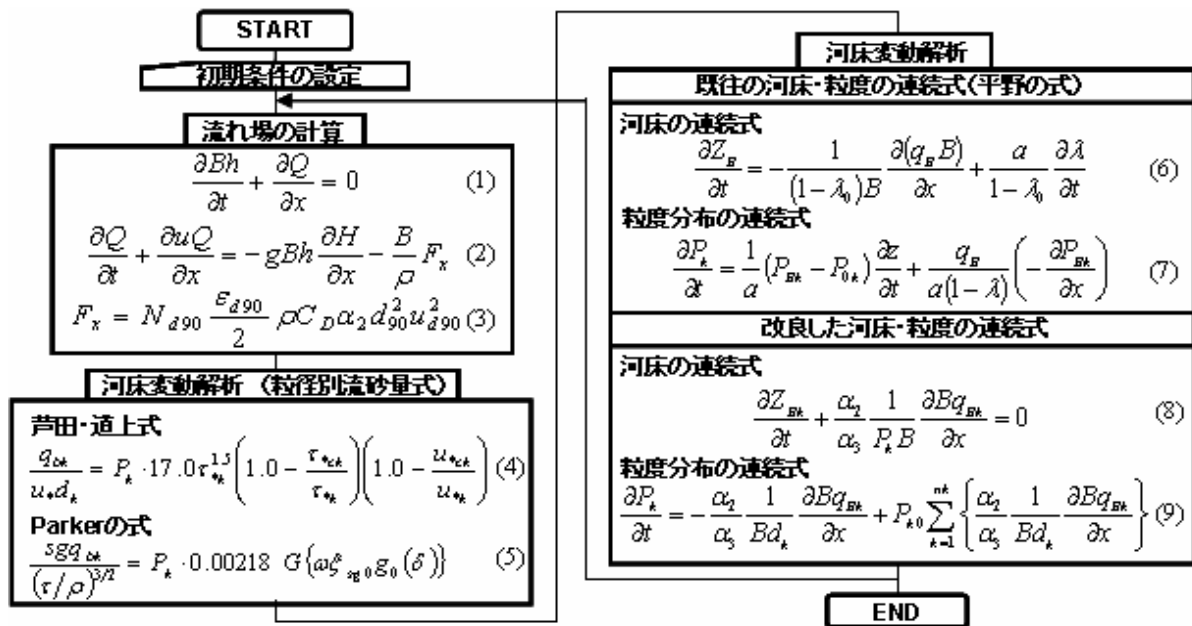


図-4 改良した方法による河床変動の解析過程

3. 既往の河床変動解析法の改善法とその検証

既往の河床変動解析法を石礫河川の河床変動解析に適用するためには、空隙率の変化（河床面の凹凸）を捉えられるように解析方法を改善することが必要である。そのために、既往の解析法のように解析格子内で河床高を一定とするのではなく、長田・福岡²⁾が提案した、粒子個々の高さを計算する方法を、既往の河床変動解析法に組み込み、河床表層の空隙率の変化を評価できるようにする。図-4に、その方法を組み込んだ河床変動の解析過程を示す。式(8)、式(9)が、各粒径の高さを考慮した河床の連続式と河床表層粒度の連続式である。長田・福岡²⁾が提案した式では、離脱量式と堆積量式を用いて各粒径の高さおよび粒度分布を算出している。式(8)、式(9)は、その離脱量と堆積量から評価していた項を、芦田・道上式などにより算出される粒径別流砂量を用いて評価できるように改良したものである。また、運動方程式の河床抵抗項は、一般的に用いられる底面摩擦の考えではなく、巨石による形状抵抗が支配的であると考える、長田・福岡²⁾が提案した、河床に存在するD80以上の粒径による形状抵抗の評価式（式(3)）を解析法に組み込んだ。

図-4の解析方法により、2004年現地実験の再現計算を行った。図-5は、芦田・道上式による解析水位・河床高と実験値の比較を示したものである。提案した方法では、図-1に示した既往の解析法による結果と異なり、河床が大きく低下することなく、60分後には、静的平衡状態となった。実際には24分で静的平衡状態となったこと、河床変動量が小さく見積もられていることなどが問題ではあるが、現象を概ね捉えられている。図-6、図-7は、Parkerの式を適用した結果である。Parkerの式では、4時間後に静的平衡状態となり流砂量に関して問題が残るものの、水面形、河床変動量、河床粒度分布は概ね再現できている。このように提案した改善法は、河床の空隙率の変化を捉えることにより、既往の粒径別流砂量式を用いて石礫河川の河床変動機構を概ね再現できることを示した。

- 参考文献**
- 1) 福岡捷二, 長田健吾, 安部友則: 石礫河川の河床安定に果たす石の役割, 水工学論文集, 第52巻, 2008 (印刷中)。
 - 2) 長田健吾, 福岡捷二: 石礫河川の土砂移動機構に着目した1次元河床変動解析法の開発, 水工学論文集, 第52巻, 2008 (印刷中)。
 - 3) 平野宗夫: Armoringを伴う河床低下について, 土木学会論文報告集, 第195号, pp55-65, 1971。
 - 4) 芦田和男, 道上正規: 移動床流れの抵抗と掃流砂量に関する基礎的研究, 土木学会論文報告集, 第206号, pp59-69, 1972。
 - 5) Parker G.: Surface-based Bedload Transport Relation for Gravel Rivers, Journal of Hydraulic Research, Vol.28, No.4, pp.417-436, 1990。
 - 6) Egiazaroff, I.V.: Calculation of Nonuniform Sediment Concentration, Proc. ASCE, Vol.91, HY4, pp.225-247, 1965。

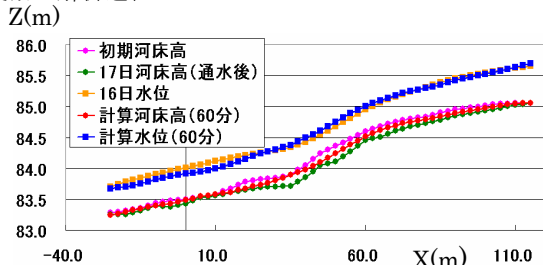


図-5 芦田・道上式による解析結果

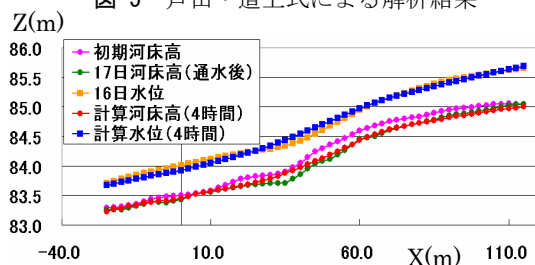


図-6 Parkerの式による解析結果

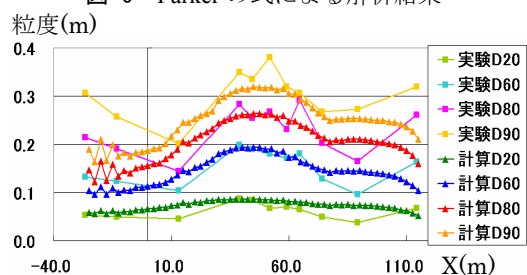


図-7 Parkerの式による解析粒度分布