

帯工袖部の侵食対策としての袋詰玉石工の構造・配置検討

中央大学研究開発機構 正会員 ○福田 朝生

国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所 正会員 澁谷 慎一

中央大学研究開発機構 フェロー 福岡 捷二

1. 序論

多摩川 44.7k 付近では、帯工袖部の土丹が露出する河岸に、侵食対策として袋詰玉石工を設置しているが、洪水流により流出してしまう事例が生じている。本研究では、洪水流中の袋詰玉石工の安定性を評価できる新しい数値解析法を構築し、現地の袋詰玉石工の流出状況調査と数値解析による検討を行い、新しい構造と配置の袋詰玉石工を提案し、新たに施工する改良型袋詰玉石工の適用範囲の拡張を図る。

2. 帯工袖部の袋詰玉石工の流出状況

図-1 には多摩川 44.7k の帯工袖部に侵食対策として設置された袋詰玉石工(上段)と、平成 29 年 10 月洪水によって流出した後の袋詰玉石工の状況(下段)を示している。平成 29 年 10 月洪水で、特に帯工下流部の袋詰玉石工の多くは 20 m 近く移動してしまっている。図-2 には、移動した袋詰玉石工の近景を示す。袋詰玉石工は設置時には平面的に丸い形状をしているが、流出後には、内部の石が動き、その結果流れの抵抗をより受けやすい形に大きく変形している。一般に、袋詰玉石工内部の石礫は密に詰めることが難しく、また、施工上釣り上げて所定の場所に置くことにより、洪水に袋内で石が大きく動き、大変形することとなる。このような袋詰玉石工の構造上の課題に対して、本研究では図-3 ように、小袋で一度小分けすることで、内部の石礫の大きな移動を抑制し、袋詰玉石工の大変形を抑制する新しい構造を提案した。そしてこの袋詰玉石工を施工した際の安定性について、新しく構築した数値解析法を用いて検討した。

3. 袋詰玉石工の洪水流中の安定性解析

(1) 数値解析法

本研究では小球を連結して紐状とし、これらを網の様に連結し屈撓性のある網袋の運動を説明できるようにしている(図-3 参照)。連結した小球間では法線方向のバネ、ダッシュポットは引張時も含めて考慮するが接平面上の方向の力は生じないようにしている。このような網に、9 つの小球を隙間が無いように重ねた石礫モデルを入れることで、屈撓性のある袋詰玉石工の運動を解析できるようにしている。液相、固相の運動解析(図-4 参照)は、既往の研究と同様であり、詳細は文献を参照されたい。

(2) 袋詰玉石工の洪水流に対する安定性検討

三次元の固液混相流の解析領域は縦断方向に 130 m

キーワード 袋詰玉石工, 土丹, 構造, 配置, 固液混相流解析

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 TEL: 03-3817-1617

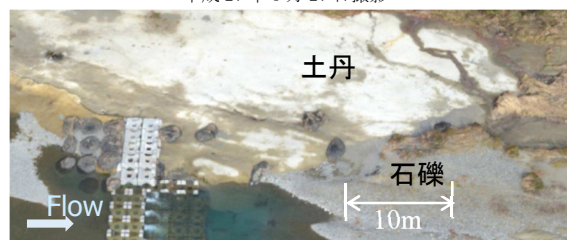
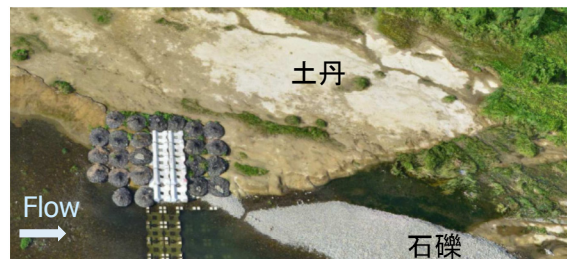
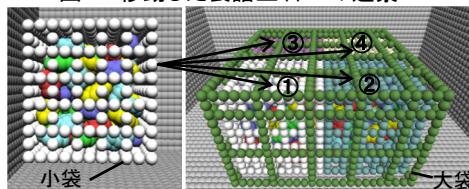


図-1 袋詰玉石工の流出前後の状況
(上段:流出前, 下段:流出後)



図-2 移動した袋詰玉石工の近景



流出時の変形を抑制するため、小さな袋で小分けし、この袋数個分を大きな袋で包む構造とした袋詰玉石工のモデル

図-3 小袋で小分けした袋詰玉石工のモデル

液相の運動解析の基礎式

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = g_i - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \{2(\nu + \nu_t) S_{ij}\} \quad (2)$$

$$\nu_t = (C_s \Delta)^2 \sqrt{2 S_{ij} S_{ij}} \quad (3)$$

下付き指標 $i \sim j$ とは、空間に固定された座標成分を示す。 S_{ij} はひずみ速度テンソル。 C_s は Smagorinsky 定数、 Δ は格子サイズ。

固相(石礫、紐の小球)の運動解析の基礎式

$$M \ddot{r}_i = M g_i + F_i^f + F_i^c \quad (4)$$

$$\dot{\omega}_{i'} = I_{i'j'}^{-1} \{ R_{j'i} (T_i^f + T_i^c) - \varepsilon_{j'k'l'} \omega_{k'} I_{l'm'} \omega_{m'} \} \quad (5)$$

下付き指標 $i' \sim m'$ は剛体に固定された座標成分を示す。 r は重心座標、 ω は角速度、 F 、 T は粒子表面に作用する外力とトルク、 $I_{i'j'}$ は慣性テンソル。 $R_{j'i}$ は座標変換行列。上付きの f 、 c は流体力接触力成分を示す。

図-4 液相と固相の運動解析の基礎式

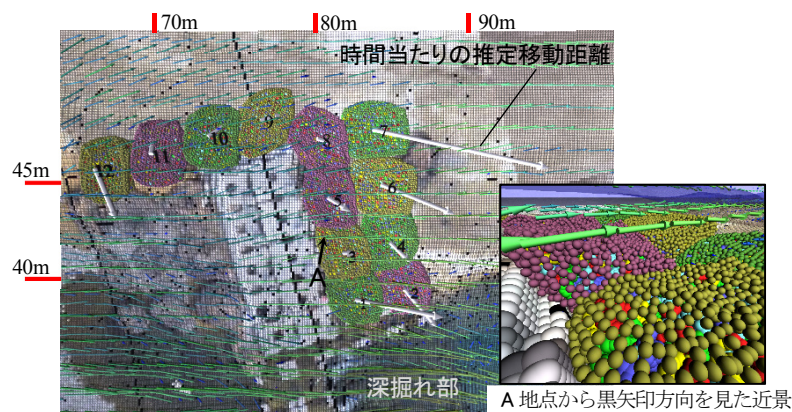


図-5 時間当たりの推定移動距離(再現計算)

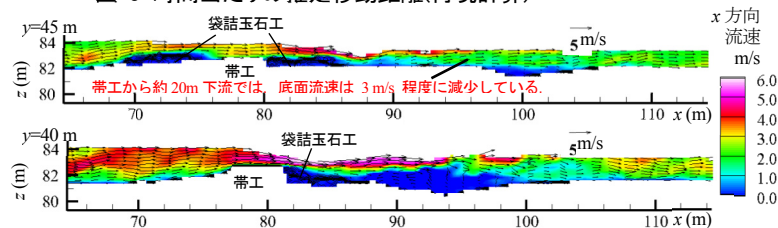


図-6 鉛直平面内のx方向流速コンター図(再現計算)

横断方向には 60 m とした。上下流端の境界条件には水位を与えた。上流端水位には、平成 29 年洪水時に近傍で観測されたピーク水位 A.P.84.6m を与えた。下流端には、まず、平成 29 年洪水のピーク流量相当の $2,000\text{m}^3/\text{s}$ を外力として固液混相流解析区間を含む広域を準三次元解析で解析し、その結果である A.P.83.4 m を与えた。

まず、袋詰玉石工の流出に対する再現性を確認するため、流出した当時の配置で、かつ、大きな袋で石礫を包む流出時の構造で再現計算を実施した。図-5 は、袋詰玉石工の移動速度を算出し、一時間当たりの移動距離としてベクトル表示(白)したものである。なお袋詰玉石工モデルの設置時の様子を示すため近景も示した。白で示す移動ベクトルより、帯工の下流部では1時間当たり 10m 近くも移動することが推定されており、解析結果は、平成 29 年洪水で袋詰玉石工が移動した状況を概ね再現できていると考えられる。図-6 は、 $y=40\text{m}$ と $y=45\text{m}$ の鉛直平面内の x 方向流速コンター図を示す。帯工を越流する付近では、6 m/s 近い高速流が発生している。一方で、帯工から大よそ 20 m 程度下流の河岸では、帯工を越流する局所流の影響は小さくなり、河床付近で流速が 3 m/s 程度まで落ち込んでいる。

この解析結果を踏まえ、新規案では、帯工を越流する高速流が減少する、帯工から下流 15m 程度まで袋詰玉石工を連続して配置することとした。また、図-3 に示すように新規案では小袋 4 つを 1 つの大きな袋で包む構造の袋詰玉石工を用いた。図-7 には、新規案の解析結果の袋詰玉石工の時間当たりの移動距離を示している。この図より、再現計算(図-5 参照)の帯工直下($x=85\text{m}$ 付近)で見られた、袋詰玉石工の 10m ほどの大きな移動は、ほぼ抑制できていることがわかる。一方、新規案では、深掘れ付近の河岸斜面部を守るため、斜面にも袋詰玉石を配

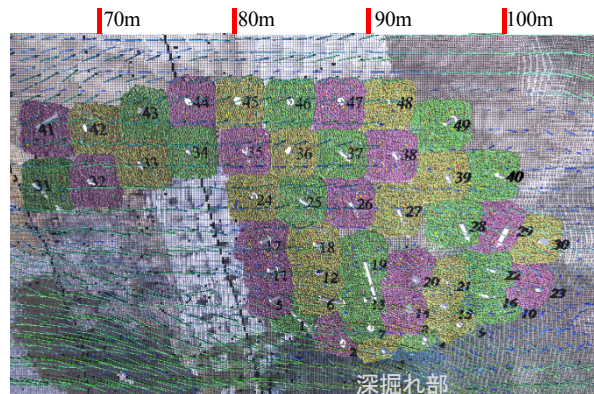


図-7 時間当たりの推定移動距離(新規案)



図-8 新たに設置した帯工袖部の袋詰玉石工の全景と近景

置したが、これらの袋詰玉石は平らな面を斜面に平行に近い状態で配置してしまったため、鉛直方向に力を伝えづらくっており、河道中央方向に移動している。

4. 改良した袋詰玉石工の施工

本研究で得られた知見を基に設置した改良した袋詰玉石工の全景を図-8 に示す。改良した袋詰玉石工は、4 つの小袋を 1 つの大きな袋で包む構造とし図-3 で示すように欠点となっていた石礫の移動を小袋で制限し、洪水外力による袋全体の変形を抑制する構造とした。また、帯工から下流 15m 程度まで連続して配置し、流速の低くなる下流の袋詰玉石工が上流の袋詰玉石工を支える配置とした。斜面部では袋詰玉石工の平らな面を水平にし、落ち込み流に対して抵抗し易いように積み上げている。さらに、それぞれの袋詰玉石工を紐で連結し流れに一体的に抵抗するようにした。

5. 結論

本研究では袋詰玉石工について、洪水流に対してより安定する構造と配置を提案し、その効果を新しく構築した数値解析技術を用いて確認した。またこの検討を踏まえて改良した袋詰玉石工を多摩川で施工しており、今後モニタリングを通して、より合理的な構造と設計法の検討を進めていく予定である。開発した屈撓性の高い河岸保護工は、治水面だけでなく環境面でも優れた工法となるものであり、今後治水と環境の調和した河川管理において重要な役割を担っていくものと考えられる。

参考文献

- 1) Tomoo Fukuda, Shoji Fukuoka, *Advances in Water Resources*, <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2017.10.037>