

2019年台風19号洪水に対する 「改良型袋詰玉石工」の洗掘防止効果

EFFECTS OF IMPROVED GRAVEL BAGS ON SCOUR REDUCTION AROUND RIVER STRUCTURES BY THE 2019 FLOOD

佐久間清和¹・澁谷慎一²・福岡捷二³

Kiyokazu SAKUMA, Shinichi SHIBUYA and Shoji FUKUOKA

- ¹正会員 国土交通省 関東地方整備局 元京浜河川事務所 調査課 専門官 (〒230-0051 横浜市鶴見区中央2-18-1)
(荒川調節池工事事務所 事業計画課 専門官 (〒338-0837 埼玉県さいたま市桜区田島8-17-1))
²正会員 国土交通省 関東地方整備局 京浜河川事務所長 (〒230-0051 横浜市鶴見区中央2-18-1)
³フェロー 工博 Ph.D. 中央大学研究開発機構 教授 (〒112-8551 東京都文京区春日1-13-27)


In the middle reach of the Tamagawa River, riverbed degradations are progressing. To recover the height of the riverbed in the reach between 43.7km~44.8km, gravels were refilled, and some ground sills were installed to keep the height of the riverbed. In order to prevent the scouring around the ends of the ground sills, improved gravel bags were developed and installed. Based on the results of the onsite investigation after the 2019 flood, which greatly exceeded the design discharge, we examined the function of the improved gravel bags as a countermeasure of the scouring and proposed the on-site construction method of improved gravel bags.

Key Words : Improved gravel bag, prevention of scouring and erosion, river structure, 2019 Flood

1. はじめに


多摩川の中流部は、河床勾配が約1/220~1/720と急なため、洪水時に発生する高速流による石礫の移動が生じて、河床低下が進行している。河床低下の進行は、橋梁護床工や護岸基礎周辺等の根入れ不足など施設の安定性を低下させることになり、河川横断工作物及び河川堤防といった構造物に対する被害の危険性が危惧される。



河床低下対策として河床低下区間で本来存在した石礫等を埋め戻し、さらに、縦断方向に帯工を複数設置し河床材料の流出防止を図ることで河床高維持を図って来た。

調査の対象である多摩川44.7k付近は、河岸に土丹が露出している区間である。露出している土丹層は高速流に対して、破壊されやすく、帯工袖部が特に侵食を受けやすい弱点部となる。そのため、土丹層の現地形状を保持したまま、-1に示す帯工A1袖部の侵食を防護するために改良型袋詰玉石工を設置している。

2. 帯工袖部の侵食対策

(1) 平成29年10月(台風第21号)洪水後の帯工A1袖部の状況

-1は、本研究の検討対象河道区間の全体を示す帯工袖部の侵食対策として、袋詰玉石(4t)を設置していた。

平成29年10月洪水では、多摩川39.9k付近の日野橋地点でピーク流量は約1900m³/s(計画高水流量4700m³/s)あったが、-2に示すように帯工A1袖部に設置した袋詰玉石工が大量に流出していた。流出した袋詰玉石工は、内部の中詰め材(石)の詰まり方が密でなかったために洪水流によって石が袋内で動き、-3のように流れの抵抗をより受けやすい形状に変形し流出した。

(2) 改良型袋詰玉石工の検討

従来の袋詰玉石工(4t)は、移動限界流速が、単体で3.5m/sと言われていた。平成27年10月洪水では帯工を越流する付近では6.0m/s近い高速流が発生し、想定流速以上の流速となっていた。福田ら¹⁾によると従来用いられてきた袋詰玉石工は、大きな袋内部に中詰め材(石)を放り込んで詰めるため、袋内部の石が密に詰まっていなかった。そのような大きな袋詰玉石工を現場で吊り上げて設

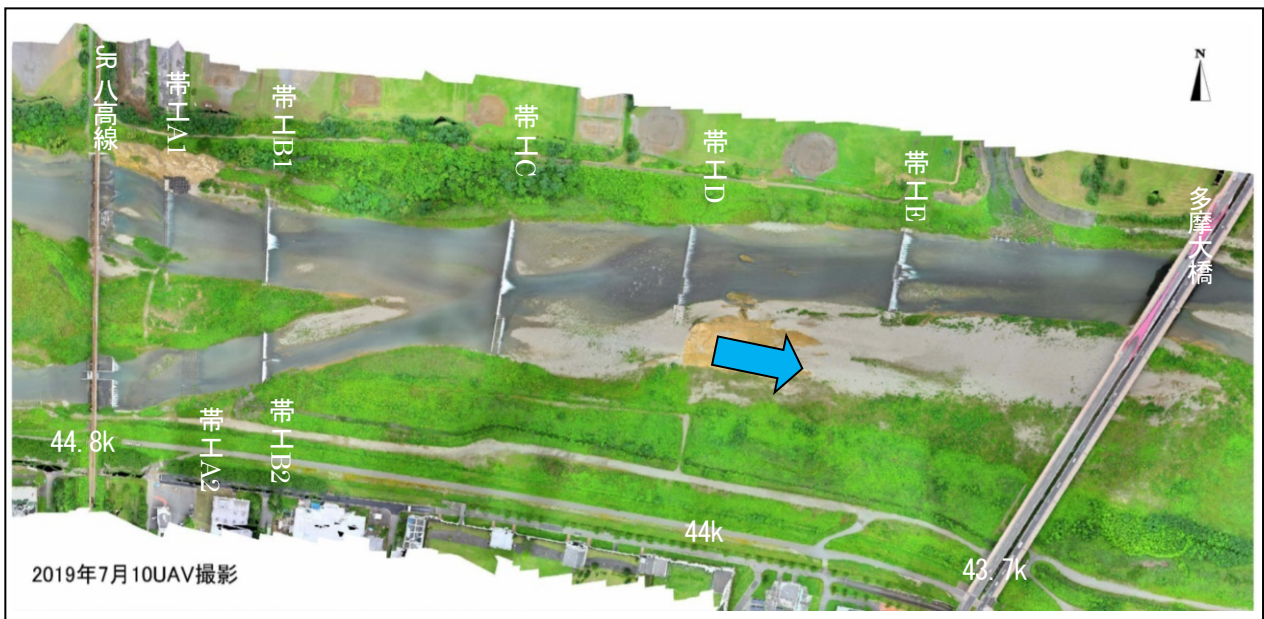


図-1 帯工の設置状況



平成27年8月27日撮影 (洪水前)



平成29年11月22日撮影 (洪水後)

図-2 袋詰玉石工の流出状況



図-3 流出した袋詰玉石工の状況

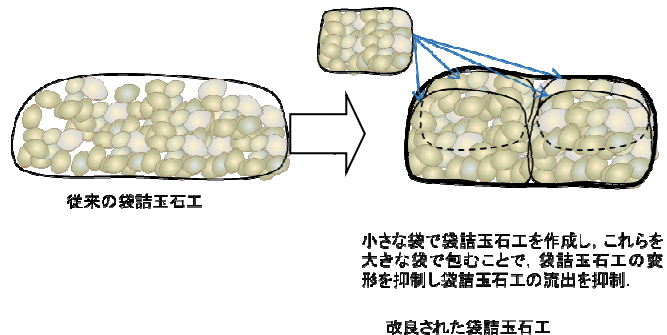


図-4 袋詰玉石工の構造上の改善

置するために、石の重さで袋の上面に大きな空洞が形成されたまま設置された。その結果、洪水時に大きな流体力を受けた内部の石が動き、丸い形に変形し流出しやすい欠点を有する。洪水による袋詰玉石工の流出を防止するために、地形の変化に対応出来る従来の袋詰玉石工の利点を生かし、欠点を改良した新しい改良型袋詰玉石工を開発した¹⁾。

改良型袋詰玉石工は、袋内の中詰め材(石)の袋内での移動を抑制し、袋全体の形状変異を最小限に抑えることを狙いとしている。袋詰玉石工の構造の改良点として図-4に示すように従来の1つの大きな袋で、中詰め材(4)を包む構造から、4つの小袋に小分けし大きな袋で包み平坦な構造を有するものとした。

従来の袋詰玉石工と比較し小分けして密に詰めることで各袋内の空隙を小さくし、かつ、平坦な形状に製作された4つの小袋間の隙間を小さくし、互いに力を及ぼし合い一体化することによって、洪水時の形状変形を抑制するとともに、大きな袋形状を平らな箱型に保ち、安定した設置を可能にした。

また、当初、袋詰玉石工は斜面に沿って設置したため重力や落ち込み流によって、最深部へずり落ち易くなっていた。この対策として図-5に示すように袋詰玉石工の平坦な面を水平に多段型で設置することで、斜面部の安定性を高めている。現地施工時の工夫として、各改良型袋詰玉石工を互いに連結し、流体力に群として対抗するように設置している。改良型袋詰玉石工は、平成29年10



図-5 袋詰玉石工の構造上の改良

月洪水を設計外力（日野橋地点流量約1900m³/s）として、袋詰玉石工が流出した帯工A1に、平成31年に3月に設置した(図-1)。

(3) 改良型袋詰玉石工の設置状況

改良型袋詰玉石工(4t)の設置にあたり、小分けした袋詰玉石工(1t)を大きな袋の中に設置する作業については、陸上施工が可能であったため、施工箇所にて実施した。

帯工A1袖部(図-1)の侵食対策として、改良型袋詰玉石工の施工を行った。改良型袋詰玉石工の設置手順を図-6に示す。

- ① 小分けする袋詰玉石工(1t)の製作・運搬
- ② 袋詰玉石工(4t)の袋を設置
- ③ 小分けした袋詰玉石工(1t)を大きな袋の中に設置
- ④ 袋詰玉石工(4t)の袋の上蓋を閉じる

施工作业に従事した監督職員および施工者に対し、施工性等について無記名にて調査を実施したので、主要意見を紹介する。

- ①従来の袋詰玉石工(4t)の場合には、大型重機が必要となるが、小分けした1t袋の吊り上げ作業のみであった。そのため、バックホウ(クレーン機能付)での据付が可能で施工性が良い。
- ②狭隘な作業ヤードにおいても、施工が可能となる。
- ③設置地盤にある程度の不陸があっても、繊維製品であるため、設置が容易にできる。

3. 改良型袋詰玉石工の侵食対策効

「改良型袋詰玉石工」は、平成29年10月洪水を設計外力(ピーク流量約1900m³/s(日野橋))とし、現地に露出している土丹を壊さずに施工することを第一に、現地の地形になじむ構造で平成31年3月に設置した。

設置後2つの洪水を経験した。第一は、令和元年9月洪水(台風第15号)では、設計外力より小さかったため、改良型袋詰玉石工に形状の変形は全く見られなかった。

第二は、多摩川既往最大規模の洪水で、設計外力をはるかに超える令和元年東日本台風(令和元年10月洪水(台風第19号))である。この2つの洪水について、洪水後に実施した改良型袋詰玉石工の現地調査結果を示しその効果について考察する。

(1) 令和元年東日本台風の概要

令和元年10月11日から13日にかけて多摩川流域を襲った台風第19号は檜原雨量観測所で1時間に最大56mm、総雨量最大654mmの大雨を記録した。流域全体では241mmから654mmの降雨となった。水位は、多摩川本川下流部



手順



袋詰玉石工(4t)の袋を設置



小分けした袋詰玉石工(1t)の設置



袋詰玉石工(4t)の袋の上蓋を閉じる



帯工A1左岸袖部の改良型袋詰玉石工設置完了
(左岸高水敷側から望む)

図-6 改良型袋詰玉石工の設置状況

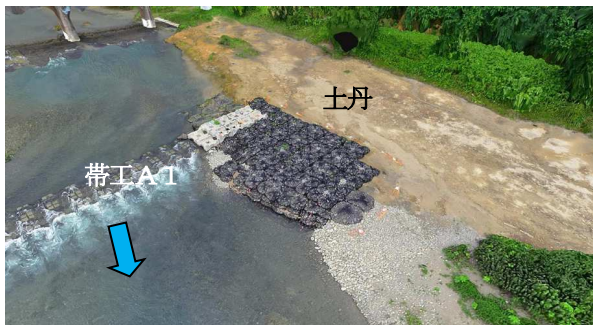
の田園調布(上)と中流部の石原及び支川浅川の浅川橋水位観測所において計画高水位を超えた²⁾。



図-7 帯工A1上流の従来の袋詰玉石工流出状況（洪水後）



図-9 改良型袋詰玉石工のめくれ状況（洪水後）



令和元年7月10日撮影（洪水前）



令和元年11月21日撮影（洪水後）



図-8 改良型袋詰玉石工による法面洗掘対策の効果(洪水後)

(2) 令和元年東日本台風後の現地調査結果

a) 帯工A1袖部直上流(従来の袋詰玉石工)

帯工A1袖部上流側に設置された従来型の袋詰玉石工は平成29年10月洪水では、十分機能し損傷はなかった。

そのため、従来の袋詰玉石工は、そのまま存置したところ、設計外力とした平成29年10月洪水の2倍以上となる流量を記録した令和元年東日本台風（多摩川 39.9k付

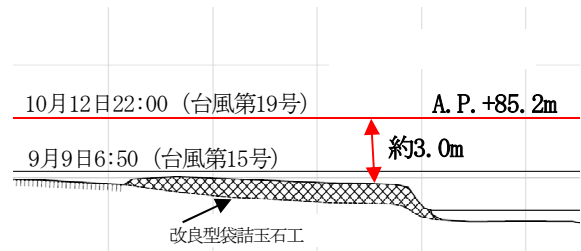


図-10 改良型袋詰玉石工と最高水位差

近の日野橋地点で4700m³/s計画高水流量に対して、ピーク流量約4600m³/s) によって、図-7に示すように、従来型の袋詰玉石工はすべて流出した。

b) 帯工A1袖部下流(改良型袋詰玉石工)

帯工下流の低水路河岸洗掘対策として図-8に示すように多段積で施工した斜面部の改良型袋詰玉石工は、大きな外力にもかかわらず、安定し変形は見られなかった。

一方、図-9に示すように、帯工袖部の左岸の露出した土丹高水敷上に単層で設置された改良型袋詰玉石工は、一部その位置でめくれ上がった。

単層積みで置かれ、めくれ上がった改良型袋詰玉石工上の直下流の袋詰玉石工の上に20cm大の石礫が多数載っている。これらは洪水によって運ばれてきたもので袋詰玉石工周辺の流れは、極めて激しかったことが推察される。

(3) 令和元年東日本台風の水位状況

帯工A1に設置している水位計は、図-10に示すように最高水位時には改良型袋詰玉石工上約3mの浸水深を示した。図-11には帯工A1箇所の水位ハイドログラフと洪水前後の横断面形と共に示す。図-12に示すインタバルカメラ画像から、袋詰玉石工付近では、高速流により水面に大きな波打が見られ、異状が発生しつつあることを想像させる。

(4) 令和元年東日本台風の解析結果

図-13に、非定常準三次元洪水流解析より、求めた令和元年東日本台風における最大水位時の表面流速コンター図を示す。

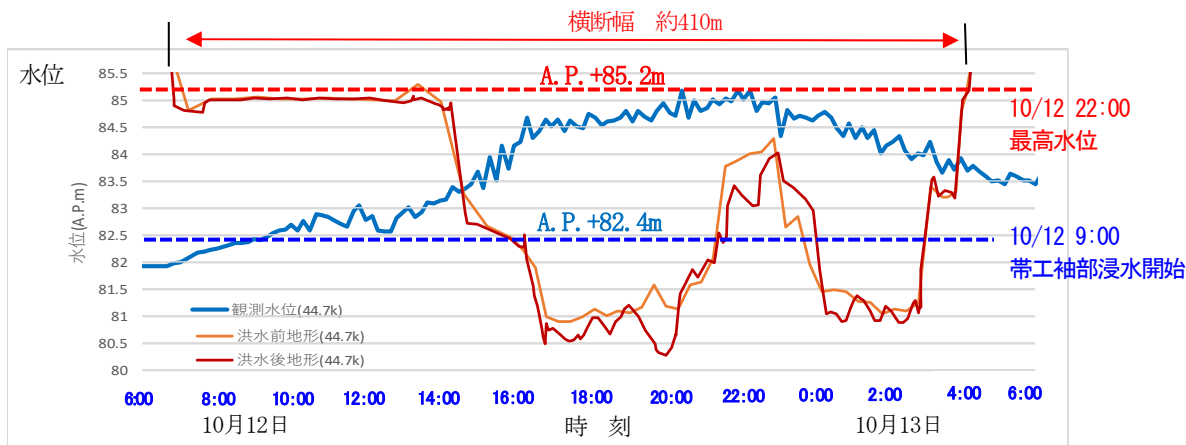


図-11 帯工A1箇所の水位ハイドログラフと洪水前後の横断面形

帯工A1の河岸際では、7.0m/s以上の高速流が発生している³⁾。図中に改良型袋詰玉石工の設置位置を示している。

(5) 帯工Cの周辺状況(従来の袋詰玉石工)

図-14は、帯工C付近の洪水前の状況を示す。草で覆われているが帯工袖部はブロック群と従来の袋詰玉石工で保護されている。図-15には、帯工袖部を保護するために設置されていた従来の袋詰玉石工(4t)は流出し、帯工袖部が洗掘破壊され、広範囲の高水敷が侵食され土丹が露出している。

(6) 改良型袋詰玉石工の効果

洪水後の現地調査結果を踏まえ、改良型袋詰玉石工の侵食防止効果について検討した。図-15に示す帯工C袖部の被災形態を見ると、高速流の集中で、帯工の下流側周辺で深掘れが生じ、帯工ブロックが流出している。帯工袖部の破壊を防止するためには、まず帯工下流側の侵食抑制が重要と考える。同様に、図-7に示すように帯工A1上流に設置した従来の袋詰玉石工はすべて流出した。

これに対し、小分けした袋詰玉石工から、構成される改良型袋詰玉石工は、河岸侵食対策工として著しい効果を発揮した。

高水敷上に露出した土丹上に、土丹を痛めないように単層で静置した改良型袋詰玉石工は、異常に大きな洪水のため、めくれ上がりは生じたが、その場にとどまっていた(図-9)。最もその役割が期待された多段積みの改良型袋詰玉石工による帯工下流の低水路保護機能については、損傷を受けることなく十分にその機能を発揮した。

また、帯工の損傷は設計外力を超える巨大な洪水に対しても見られなかった。これらのことから改良型袋詰玉石工は、適切に河岸の土丹侵食防止及び帯工袖部保護による破壊防止に有効であった。

4. まとめ

帯工下流の河岸侵食保護工、帯工の袖部保護工として用いた「改良型袋詰玉石工」は、従来の「袋詰玉石工」



図-12 帯工A1周辺の洪水流下状況

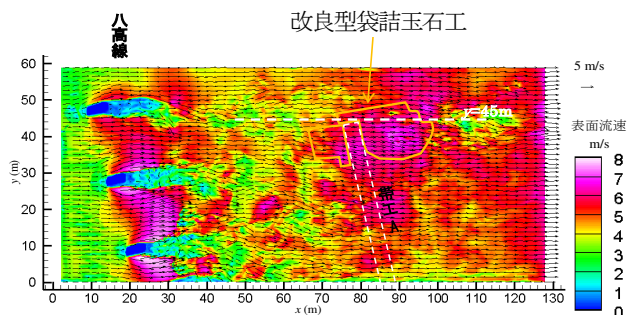


図-13 帯工A1周辺の表面流速コンター図

と比較し、十分にその機能を果たした。設計外力より小



図-14 令和元年7月10日撮影（洪水前）

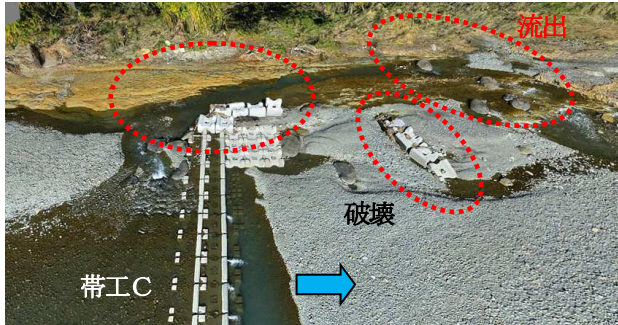


図-15 令和元年11月21日撮影（洪水後）

さかった令和元年9月出水（台風第15号）では、これらは変形が見られなかった。

一方、設計外力を大きく超える既往最大規模の洪水となった令和元年東日本台風では、帯工A1周辺に露出した土丹上の地形に合わせ、一段積みとせざるを得なかった部分は、土丹との間の摩擦力が十分でなく改良型袋詰玉石工にめくれ上がりが発生した。しかし、多段積で施工した箇所は設計通り、袋内の中詰め材（石）の移動が抑制され、変形せず河岸保護効果を発揮し、全体として構造物を保護する役割を十分果たした。

これらの結果より、帯工袖部の洗掘対策としては、最小限の土丹掘削を行い、多段型の「改良型袋詰玉石工」とすれば巨大な外力に対しても安定に機能する構造となることが明らかになった。

改良型袋詰玉石工のネット損傷が一部見られたが、これは、めくれ上がった袋詰玉石工により水流が著しく乱され流下して来た大きな石礫が高い位置から落下し、改良型袋詰玉石工内の石礫とぶつかる等によるネットが損傷したものと思われる。

今後、めくれ上がり等を防止し洪水流を水平に誘導すると共にネットの強度向上を検討し、設計、施工方法の改善を図る必要がある。

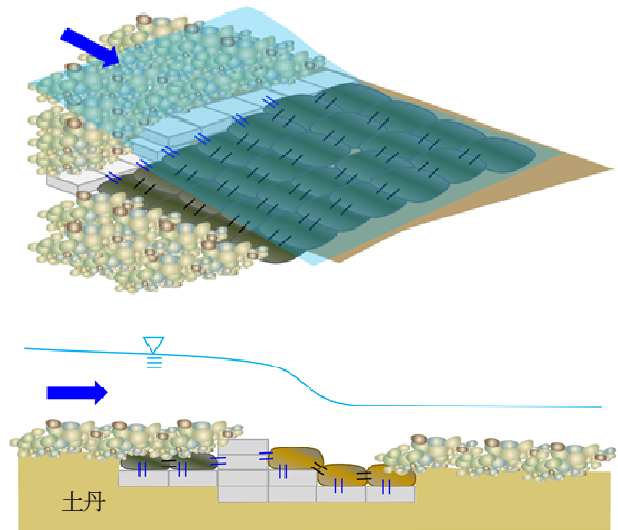


図-16 設置高を考慮した対策イメージ

土丹は工事による整形を行わないことを原則として来たが、土丹露出箇所での構造物周辺の洗掘対策のためには、改良型袋詰玉石工は非常に有効な対策工であることが明らかになり対策工としての機能を発揮するためには土丹の掘削や整形を行うことも必要である（図-16）。

令和元年東日本台風によって、多摩川中流部では、土丹の露出が広い範囲にわたって発生した。このことは治水面、環境面から河川管理上、新しい問題をもたらすものと考えられる。前述のように、土丹に損傷を与えないという消極的な管理に拘らず、必要に応じて土丹の強度を生かしながら改良型袋詰玉石工等を適切に生かし、治水と環境の調和した多摩川づくりを進めていくことが重要な課題である。

今後、土丹層の厚さの確認及び強度について十分な調査を実施する予定である。

参考文献

- 1) 福田朝生，澁谷慎一，福岡捷二：改良された袋詰玉石工の洪水時の安定性評価技術の開発とこれを活用した袋詰玉石工の構造・配置の技術的検討，河川技術論文集，第25巻，pp.463-468，2019.6.
- 2) 国土交通省関東地方整備局京浜河川事務所：出水概要（第4報），台風第19号，令和元年10月11日～13日，2019.
- 3) 中央大学研究開発機構福岡ユニット：令和元年10洪水で流出した袋詰玉石工の再現計算の解析結果，2020.3月

(2020. 4. 2受付)