

空石積み護岸の内部構造の把握

倉田 瞭一¹・真田 純子²

¹学生非会員 東京工業大学大学院 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 都市・環境学コース
(〒152-8550 東京都目黒区大岡山二丁目 12-1, E-mail:kurata.r.ab@m.titech.ac.jp)

²正会員 東京工業大学准教授 環境・社会理工学院 土木・環境工学系 (〒152-8550 東京都目黒区大岡山二丁目 12-1, E-mail:sanada.j.aa@m.titech.ac.jp)

河川における空石積み護岸は、その隙間が生物多様性に寄与するなど、環境的に相応しい構造物である。しかし工学的な計算が困難な空石積みは使われなくなってしまい、その研究も進んでいない。そこで本研究では、古くから残る空石積み護岸の内部構造を明らかにするため、河川護岸を空石積みで施工していた職人へのヒアリング調査と、実際の空石積み護岸の現地調査を行ない、空石積み護岸の構造的な特性を分析した。その結果、河川における空石積み護岸では控え長の大きな積み石を使用することが望ましいが、実際にはヒアリングで得られた情報ほど控え長の大きな積み石を使用していなくても、河川護岸として経験的に十分機能することが明らかとなった。

キーワード: 生物多様性, 多自然型工法, 経験知, 構造, 河川護岸

1. 序論

(1)研究の背景

日本では明治以降の河川整備において近代治水工法が採られ、川をいわゆる「排水路」とみなす整備が行われてきた。河川の三面張りなどがその典型で、結果的に生物多様性を低下させてきた。1997年の河川法改正以降、河川環境に配慮する動きも見られるようになり、近年ではグリーンインフラの考え方も盛んになってきている。しかし、現代のインフラ整備においては工学的に強度を把握し保証することが確固たる仕組みとして出来上がっており、工学的な計算が困難な空石積みは使われなくなっていった¹⁾。

しかしながら、空石積みはまだ使われていた何十年も前に作られたであろう護岸が現存している場所も多くあり、経験的には「強度」が保証されているとも言える。また、三山・真田²⁾が九州・四国の被災事例(災害査定資料の写真を)を分析した研究では、空石積みは構造物として「壊れる/壊れない」の強度とは異なる多様な強さがある可能性を指摘した。空石積みは、こうした数値では測れない強度を持っていると言える。

一方、環境的側面からの研究として、ニホンウナギの生息に石積み護岸の隙間が適していることも指摘されている³⁾ことから、空石積みは生物多様性に寄与していると言える。

(2)研究の目的

空石積みは伝統的な技術・構造物というだけでなく、環境的・工学的にもこれからの時代に相応しいと言える。ただ、コンクリートが技術開発の最先端

だった時代に、職人の「経験知」である空石積みは研究の対象にもならず、その研究は進んでいない。しかし工学的に空石積み自体が否定されて使われなくなったわけではない。ある職人は「ハイウォーターレベルまでは通常の3倍の控えのある石を使っていた」ようである。このように空石積みには未だ明らかになっていない「経験知」があると思われる。

そこで本研究では、空石積みの「経験知」を集めるため、空石積み護岸における内部構造を明らかにすることを目的とする。何十年前にも作られ、現存する空石積み護岸の内部構造を明らかにすることは、歴史的な「強度」を明確に評価することであり、今後の環境的配慮で空石積み護岸を使用する際の工学的な保証として重要な知見となる。

(3)研究の位置付け

空石積み護岸に関する研究の多くは、大石ら⁴⁾が水理実験により吸い出し現象を観察した研究など、空石積み護岸の力学的な強度を分析したものである。また、三山・真田⁵⁾による道路擁壁及び河川護岸の空石積みの破壊形態に関する研究では、災害に対するレジリエンスなど、空石積みには数値では測れない強度があることを示唆している。

これに対し本研究は、空石積み護岸を施工した職人の経験を得たうえで、現存する空石積み護岸の内部構造から、空石積みの経験的な「強度」明らかにする点で独自性がある。

(4)研究の構成

本研究では、第2章で空石積み護岸を施工した職人の「経験知」をヒアリングによって収集し、ここ

で得られた知見をもとに第 3 章で現存する空石積み護岸を現地調査し構造的な特性を分析する。以上をもとに第 4 章で空石積み護岸の「経験知」について結論を述べる。

2. 空石積み護岸の構造に関する職人の経験知

(1) 目的と手法

本章では、空石積み護岸を施工していた職人の「経験知」を得ることを目的とする。

そこで、河川護岸を空石積みで施工していた職人に、ヒアリングを行う。ただし、河川護岸を空石積みで施工していた職人が非常に少なく、本研究では 1 人の職人にしかヒアリングを行うことができなかった。行ったヒアリングの概要は以下の通りである。

- ・ 調査日：2021 年 12 月 9 日
- ・ 場所：香川県坂出市
- ・ 施工した主な河川：金倉川
- ・ 内容：河川護岸における石の控え、グリ石の厚み、その他護岸特有の配慮点

(2) ヒアリング結果

ヒアリングにより、以下の情報が得られた。

a) 使う石・控え長

70×70×30 ほどの 1 つ 2t 程度の石で、石質は片岩である。控え長は 70cm あれば良い。設計基準で最低 70cm 以上と行政の人に指導された。野面石を使用するが、面が綺麗ではなくても控え長があれば良い。

b) 積み方

下から 1m(3 段)までは布積みでも良いが、1m(4 段)以上は谷津みでなければならない。谷積みはどれだけ谷を綺麗に作るかがコツ。

本石積みは石の鋭角が上にくるように置く。逆石積みは石の鋭角が下になるように置く。1 割勾配までは本石積み、1 割勾配はどちらでもよい、1 割勾配からは逆石積みにする。

c) グリ石

大きさは不明。護岸の勾配が大きく(緩やかに)なればその分グリ石を入れる幅が長くなる(積み石の控えの 2, 3 倍以上)。断面が台形になるよう、下の方はグリ石が多く必要である。

積み石を固定するグリ石(肌飼い)は少ない方が良い。グリ石は滑らない石で薄い石が良い。ピッタリ納めるようにする。石のツラに近い方に小さいグリ石を、石のお尻に近い方に大きいグリ石を使うと安定しやすい。

d) 吸い出し防止の裏ゴメ

吸い出し防止には、積み石の背後はゴムのシートを貼っていた。

e) 河川条件による石積みの違い

土質により、根石の下にハシゴ胴木やトンボ胴木などを仕込み、胴木の上に石炭のガラを入れた。

出カブと内カブでは他と勾配や積み方を変えた。勾配については水が当たる所は 1 割 5 分、当たらない所は 1 割以下。積み方は凸のカーブ(外側)ではゴボウ積み(面小さく控え長く)で対応した。

f) 根石

根石が崩れないように、石のケツを下げるのが大事。大きい石から積む。また、2 段目以降には積みにくい形の「クズ石」を根石に使うと良い。控え 1m のとき、高さ 70cm の石は 30cm 以上地中に埋める。

3. 実地調査による空石積み護岸の構造の把握

(1) 目的

第 2 章では、構造的な特性として「控え長」「高さ」「カーブの内外」などの関連が示唆された。これらを踏まえ本章では、「積み石の面の大きさ」「控え長」「高さ」「カーブの内外」「控え長と面の大きさの比」に着目して、実際の河川における空石積み護岸の構造的な特性を明らかにすることを目的とする。

(2) 手法

google ストリートビューの情報をもとに、空石積み護岸が現存する河川を 9 箇所、調査地として選定する(表-1)。選定した河川はいずれも幅が 5m 程度、水深が 0.5m 程度の小規模河川である。各調査地において、調査対象とする積み石を様々な高さの箇所から選定する。選定した積み石について、

- ・ 面の大きさ l [cm] : 積み石の、擁壁を構成する面を長方形に見立てたときの短辺の長さ
- ・ 控え長 d [cm] : 工業用内視鏡(ファイバースコープ)に積み石の最奥部(図-2)が映るまでに、積み石の間隙に工業用内視鏡を挿入した距離
- ・ 積み石の高さ H [m] : 河床から積み石の下端までの距離

をそれぞれ測定する(図-1)。ただし、一部河川では測定ができなかった項目もあるため、調査地ごとの測定項目を表-1 に示す。

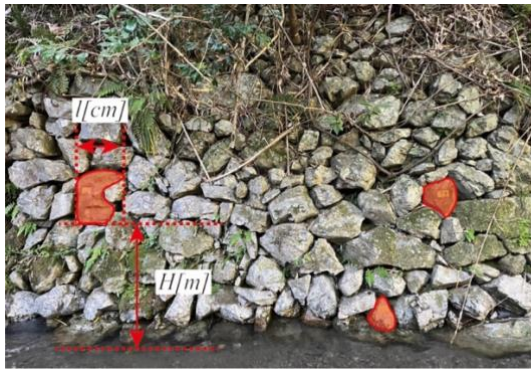


図-1 積み石の選定の様子と測定箇所



図-2 積み石の最奥部の様子

表-1 調査地と調査項目

番号	調査日	調査地	面の大きさ	控え長	積み石の高さ	調査した積み石の数
1	2021. 10. 28	愛知県岡崎市 河原川	○	※	○	12
2	2021. 12. 11	長崎県川棚町 石木川支流	○	※	○	6
3	2021. 12. 12	佐賀県武雄市 菅傘田川	○	※	×	3
4	2021. 12. 18	徳島県那賀町 海川谷川	×	×	×	0
5	2021. 12. 19	徳島県佐那河内村 嵯峨川	○	※	○	3
6	2022. 4. 30	和歌山県印南町 西神ノ川	○	○	○	12
7	2022. 5. 1	徳島県吉野川市 川田川	○	○	○	10
8	2022. 5. 1	徳島県吉野川市 川田川支流	○	○	○	10
9	2022. 5. 2	徳島県那賀町 拝宮谷川	○	○	○	10

○：測定を行うことができた。 ×：測定を行うことができなかった。

※：積み石表面からグリ石部分までの距離を測ったもので、厳密に積み石の控え長とは言えない。

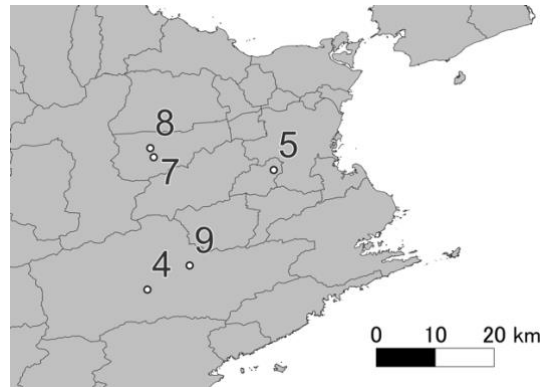
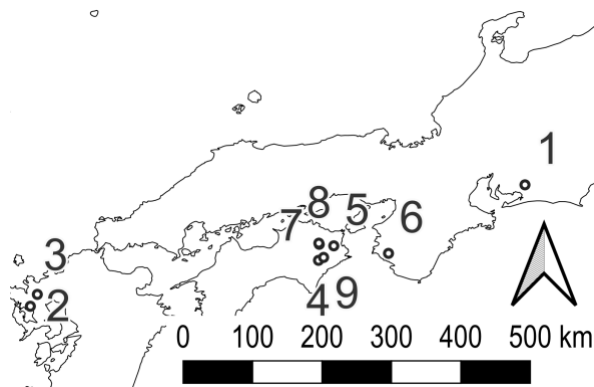


図-3 現地調査を行なった地点

(3)現存する空石積み護岸の構造的特性

a)積み石の位置と面の様子の関係

空石積み護岸で使用されている積み石の面の大きさや積み方について、川底からの高さによる違いを分析した。

積み方について、川田川(7,8)では図-4 のように下部では布積み、上部は谷積みとしていたものの、他の河川では必ずしもこのような積み方がされていなかった。



図-4 高さによる積み方の違い(7.川田川)

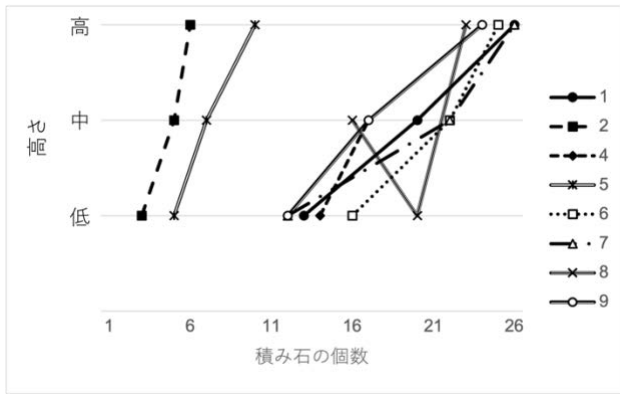


図-5 高さによる積み方の違い(7.川田川)

また、調査を行なった河川の空石積み護岸について、高さごとに同じ幅に並ぶ積み石の個数を数えた結果が図-5である。図-5から、護岸の下部の方が上部に比べて積み石の個数が少なく、平均的に積み石の大きさが大きくなっている。

b)積み石の長さ と河床からの高さの関係

空石積み護岸で使用されている積み石の面の大きさ l [cm]と控え長 d [cm]の関係について、表-1の9箇所のうち積み石の大きさ等を測定可能であった8箇所の調査結果を図-6に、控え長をより正確に測定した4箇所(6~9の河川)の調査結果を図-7に示す。

図-6および図-7から、積み石の面の大きさが大きいほど控え長も長く取られている。また、いずれの河川においても30cm~50cm程度の控え長の積み石が多くを占めることが確認できた。

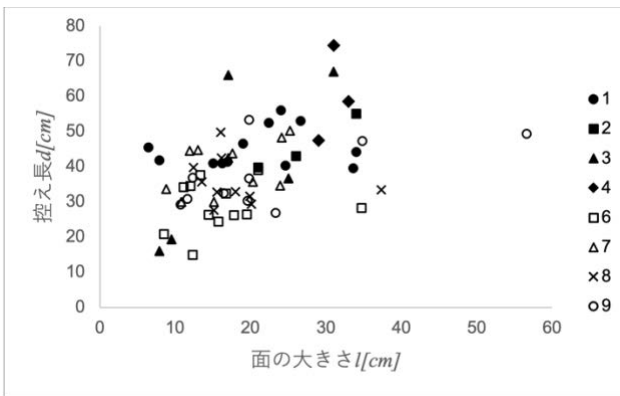


図-6 積み石の面の大きさと控え長の関係(全体)

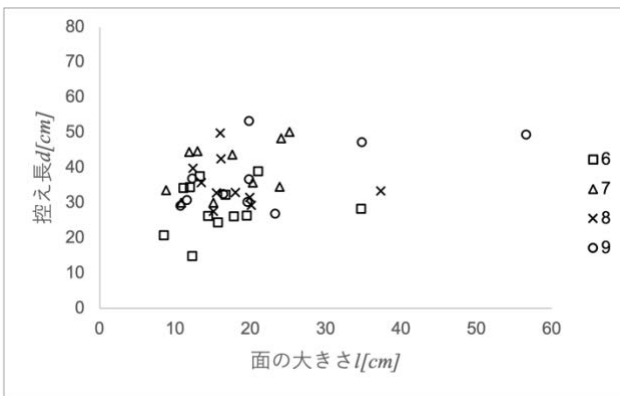


図-7 積み石の面の大きさと控え長の関係(6~9の河川)

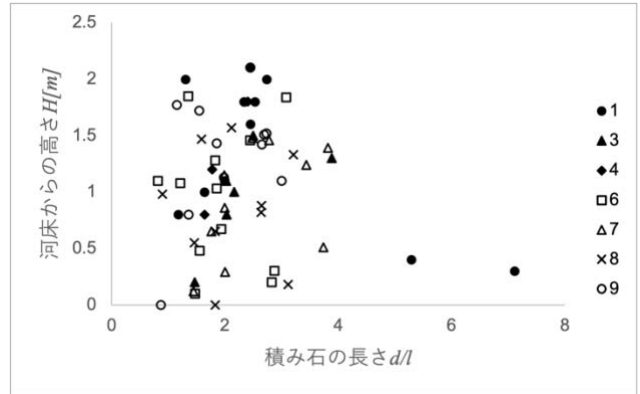


図-8 積み石の長さ と河床からの高さの関係(全体)

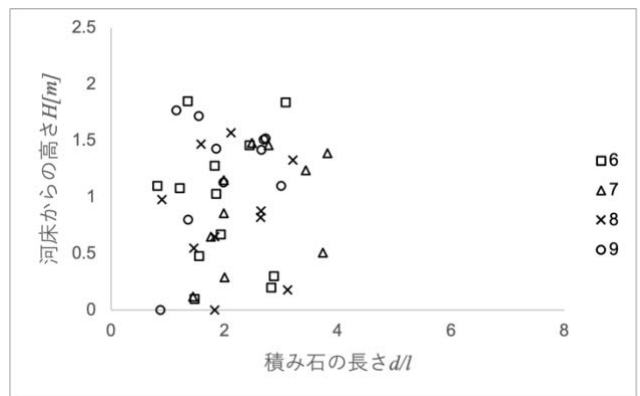


図-9 積み石の長さ と河床からの高さの関係(6~9の河川)

積み石の形状を把握する上では、積み石の控え長だけでなく控え長と面の大きさの比が重要であると考えられる。そこで、控え長と面の大きさの比 d/l の値を積み石の「長さ」とする。表-1に示した項目を全て測定できた7河川において調査対象とした積み石の長さを調査した。積み石の長さ と河床からの高さとの関係について、全体の結果を図-8に、測定がより正確な6~9の河川での調査結果を図-9に示す。

図-8と図-9より、ほとんどの積み石について控え長が面の大きさよりも大きく、控え長が面の大きさの2~3倍程度のもので多く見られた。河川別に見ると、7河川中4河川では上部ほど長い石が使用されていた。三山らが述べる⁶⁾ように、空石積み護岸の多くが上部からの破壊で、積み石が前方に転がって壊れている。このようなリスクを低減するために、積み石を長くして対応している可能性が考えられる。

c)冠水頻度と構造的特性の関係

序論で挙げた職人の経験知の例のなかにハイウォーターレベルの言及があった。ただ、今回調査した中小河川ではハイウォーターレベルが設定されていない箇所も多く、各河川のハイウォーターレベルと構造的特性の分析ができない。しかし、少なくとも冠水頻度が構造的特性に関係している可能性はある。

そこで、冠水頻度の指標として河床からの高さを用いる。控え長と河床からの高さを測定可能であった7河川における、河床からの高さ と積み石の控え

長の関係について、全体の結果を図-10 に、測定がより正確な 6~9 の河川での調査結果を図-11 に示す。

図-11 からは河床からの高さや積み石の控え長の大きさに大きな関連性は見られないが、測定がより正確と考えられる 6~9 の河川ではいずれも、河床からの高さが低い箇所では控え長が大きい傾向がわずかに見られた(図-11)。摩擦力を利用して流水による作用に耐えるため、冠水頻度が高い箇所では控え長を大きくして対応していると考えられる。

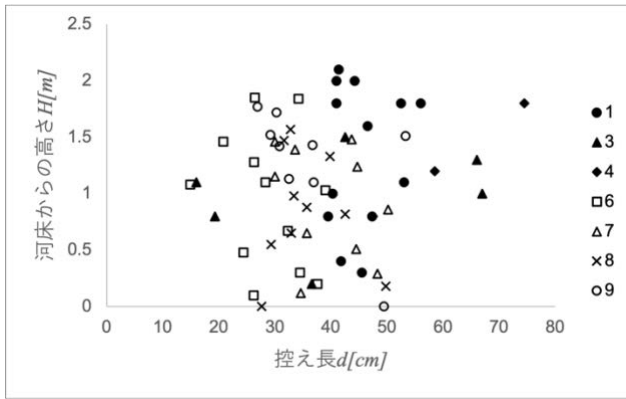


図-10 控え長と河床からの高さの関係(全体)

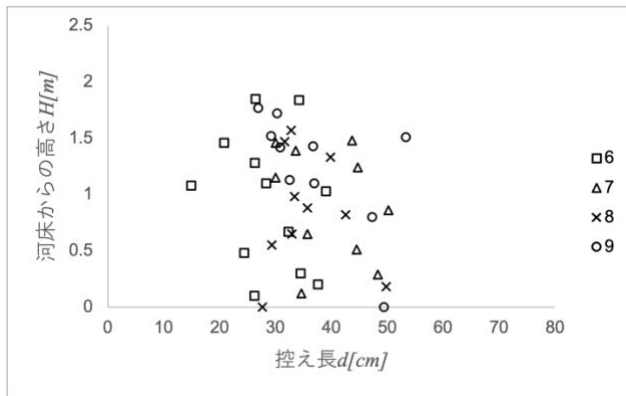


図-11 控え長と河床からの高さの関係(6~9の河川)

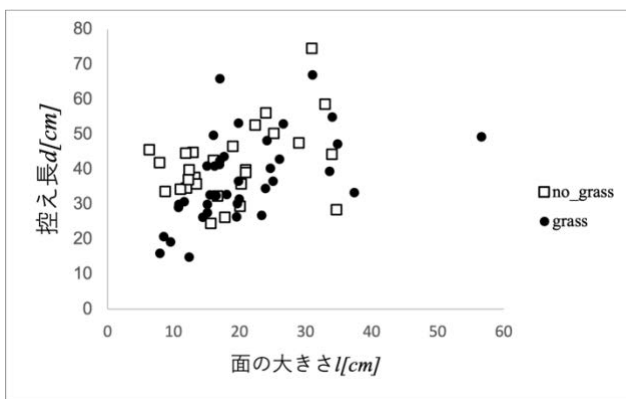


図-12 植物の有無と控え長の関係

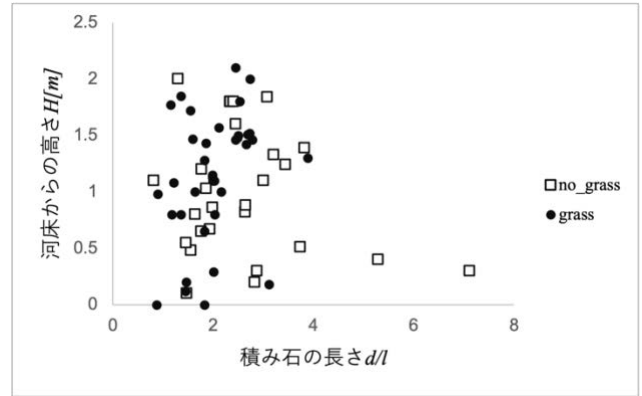


図-13 植物の有無と積み石の長さの関係

さらに、冠水頻度による構造的特性の違いを別の観点で明らかにするため、積み石の間に生えている植物の有無に着目した。冠水頻度が高い箇所では植物が生育しにくいので、積み石の周辺に植物が生えていない箇所は冠水頻度が高いと推定することが可能である。積み石の間に生えている植物の有無による、面の大きさと控え長の違いを図-12 に、積み石の長さや河床からの高さの違いを図-13 に示す。

図-12 のように、植物が繁茂していない箇所では積み石の控え長が大きく、また、図-13 のように積み石の長さ dl も大きくなっている。このことから、冠水頻度の高い積み石の控え長を大きくしていることが分かる。

d) カーブの内側と外側における構造的特性の違い

和歌山県印南町の西神之川においては、河川の曲線部分において、内側の護岸と外側の護岸で 6 つずつ積み石を選定し、内側と外側における積み方の違いを分析した。

その結果、図-14 のように、外側の積み石の方が内側の積み石に比べて控え長が大きくなっていることが確認できる。カーブの外側ほど流水による作用を大きく受けるため、より控え長を大きくして摩擦力を確保することで対応していると考えられる。

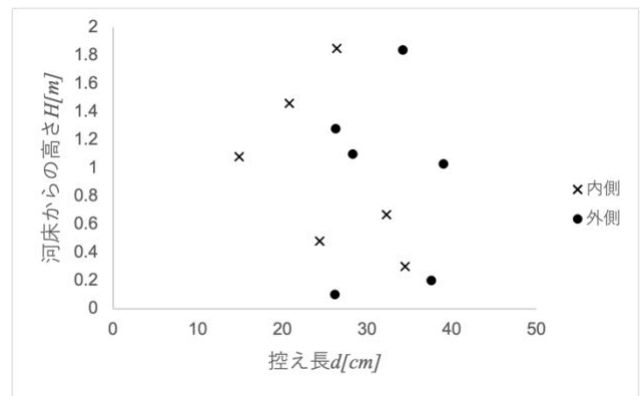


図-14 カーブの内側と外側における控え長の違い(6. 西神ノ川)

4. 結論と考察

本研究の結論を以下に示す。

- ・ ヒアリングからは、河川護岸を石積みで施工する際には控え長を大きくすることが重要とされてきたことが明らかになった。実際の空石積み護岸でも、低い位置やカーブの外側など、流水の作用を大きく受ける積み石については、控え長が比較的大きく取られていた。
- ・ 積み石の長さを分析した結果、冠水頻度の低い護岸上部で長い積み石が使用されている河川があった一方で、全体的には、冠水頻度が高く植物が繁茂していない箇所でも長い積み石が使用されていた。したがって、冠水頻度の高い箇所でもより長い積み石が使用されている可能性がある。
- ・ しかし、かつて基準とされてきた 70cm 以上の控え長の積み石や、面の大きさの3倍を超える控え長を持つような長い積み石は少数である。

以上のことから、空石積み護岸では通常よりも控え長の大きな積み石を用いることが望ましいが、ヒアリングで得られた情報ほど控え長が大きく、長い積み石を使用しなくても、実際には中小河川の護岸として経験的に十分機能すると言える。このことは、将来的に河川護岸を施工する際に、空石積みを採用されやすくなるだろう。

謝辞：本研究は「公益信託 エスペック地球環境研究・技術基金」の助成を受けたものです。

参考文献

- 1) 寺嶋茂樹, 真田純子, 山中英生: 日本の土木公共事業における石積み技術の扱い方に関する研究, 景観・デザイン研究講演集, No. 11, December 2015
- 2) 三山幹木, 真田純子: 道路擁壁及び河川護岸における石積みの破壊形態について, 土木史研究講演集, Vol. 40, pp. 25-32, 2020
- 3) 海部健三, 竹野遼馬, 三田村啓理, 高木淳一, 市川光太郎, 脇谷量子郎, 板倉光, 石井潤, 荒井修亮: 超音波テレメトリーを用いた, 汽水湖におけるニホンウナギの生息場所利用の把握, 応用生体工学, Vol. 22, No. 1, pp. 73-82, 2019
- 4) 大石銀司, 竹内えり子, 林博徳, 池松伸也, 島谷幸宏: 水理実験による空石積み護岸の吸い出し現象と防止策に関する基礎的研究, 土木学会論文集B1(水工学), Vol. 74, No. 5, pp. I_847-I_852, 2018
- 5) 前掲2)
- 6) 前掲2), p. 29