

中小河川における護岸ブロックの表面 テクスチャーの感覚的評価と物理的評価

SENSORY AND PHYSICAL EVALUATION FOR SURFACE TEXTURE OF
REVTMENT BLOCK IN SMALL AND MEDIUM-SIZED RIVERS

尾崎正樹¹・大石哲也²・森 照貴³・萱場祐一²

Masaki OZAKI, Tetsuya OHISHI, Terutaka MORI and Yuichi KAYABA

¹非会員 元 (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター
(〒501-6021 岐阜県各務原市川島笠田町官有地無番地)

²正会員 博(工) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター(同上)

³非会員 博(環境科学) (独) 土木研究所 水環境研究グループ 自然共生研究センター(同上)

To propose evaluation methods for textures of revetment blocks, we examined relationships between sensory impression and physical structure for those. We used eight types of model blocks, which are often used currently and have different textures, and conducted questionnaire survey to acquire impression scores based on degree of roughness, unevenness, and coarseness for the texture of each block. Furthermore, we quantified the physical structure of the texture using surface profiles, the maximum difference in height, and power spectrum density (PSD). The impression scores were roughly related to the physical structures of the surface. Roughness and unevenness tended to correspond to surface profiles and the maximum difference in height, respectively, and coarseness do to both PSD and combination with surface profiles and the maximum difference in height. These results suggest that physical measurements could be used as an index for scenery evaluation since human impression for the texture of revetment blocks was explained by surface profiles and the maximum difference in height, and PSD. Thus, we could evaluate relative merits of textures of revetment blocks by comparison with criterial models (i.e., benchmark) for surface profiles and the maximum difference in height.

Key Words : Texture, Revetment block, Impression, Physical structure, Scenery evaluation,
Physical evaluation, Semantic differential method, Power spectral density

1. はじめに

都道府県等が管理する比較的川幅の狭い中小河川では、河岸は人目に触れる面積が大きく、水域と陸域の遷移領域であり、河川風景、生物の生息場所にとって重要な場所と考えられている¹⁾。しかし、河川改修や災害復旧などにおいては、河岸が本来有する環境上の機能が理解されないまま河岸前面に護岸が設置されることが多く、河岸の環境上の機能が劣化する例が散見される。平成22年8月に改定された「中小河川に関する河道計画の技術基準」²⁾およびその解説書となる「多自然川づくりポイントブック」³⁾では、河岸・護岸・水際部の計画・設計に関する考え方が盛り込まれた。すなわち、護岸が河岸の前面に露出する場合(以下、露出護岸と呼ぶ)には、護岸などのコンクリート構造物は、明度が高く、表面が

つるつるしていて護岸全体が無機質で、のっぺりとした1枚の板のような印象を与えるため、露出護岸に対する景観上の条件として低明度、低彩度であること、適度に粗く、凹凸(陰影)のあるテクスチャーを付加することを求められている。しかし、具体的な目標が設定されている明度・彩度に対して、テクスチャーは概念的な内容の記載にとどまっており、露出を前提とした護岸ブロックの評価や新しい護岸ブロックの開発に支障をきたしている。本研究では、以上に鑑み、テクスチャーの異なる既存の護岸ブロックに使用されている代表的な8種のテクスチャーの印象の把握と詳細な表面形状の測定を行い、両者の関連性を評価することにより、粗い、凹凸等の有無といったテクスチャーの特性を分析し、さらに、テクスチャーを具体的に評価するための方法を提案する。

2. 方法

(1) テクスチャーの印象調査及び解析

印象調査では、まず、既存の護岸ブロックに主に用いられているテクスチャー8種（滑面、擬石小、擬石大、砂面、小ハツリ、洗出し、半割、ポーラス）について、供試体（縦10cm×横10cm×高さ5cm）を各種3個作成した（写真-1）。次に、人が感覚的にテクスチャーをどう捉えているのかを調べるために、被験者を対象に“触った感じ”と“見た感じ”についてSD法（Semantic differential法）^{4),5)}による5段階尺度の印象調査を行った。なお、被験者は、河川環境楽園内にある自然発見館に立ち寄られた10～60代の男女計65名とした。SD法に用いる評価尺度は、既往研究^{6),7)}及び「多自然川づくりポイントブック」³⁾に掲載されているテクスチャーの表現を参考に設定した。ここで、予備調査を実施して表現が分かりにくい評価尺度を除外し、「ざらつき」、「凹凸」、「粗さ」の3つに設定した。得られた回答について、5段階尺度を1～5点に点数付けし、SDプロフィール⁵⁾を作成した。また、3つの評価尺度の間にどのような傾向があるか、テクスチャーの間で回答の傾向に違いがあるかを明らかにするために主成分分析（Principle component analysis）を行った。なお、主成分分析には統計解析ソフトRを用いた。

(2) 表面形状の測定及び解析

印象調査で用いた供試体の表面形状を、表面形状測定装置（Model No.NKA-305A、ニッケン（株））にて1mmピッチで測定した。測定幅は、供試体1個につき約8cm×3測線（計251測点/個）とした。凹凸評価の解析には、路面やほ場において凹凸の程度及び周波数成分を知る方法としてパワースペクトル密度（Power spectral density、以下PSDと呼ぶ）を求める方法がしばしば適用されており^{8),9)}、本研究においてもテクスチャーの評価方法としてPSDによる定量的な評価を試みた。測定したデータより、最大エントロピー法（Maximum entropy method）によってPSDを求め、テクスチャーの凹凸波形及び凹凸量の最大高さ（最大値と最小値の差）とPSDとの関係を調べた。なお、PSDの算出にはスペクトル解析ソフトSPCANA ver.4.9を用いた。

3. 結果

(1) SD法によるテクスチャーの印象調査

各テクスチャーに対するSDプロフィールを示す（図-1）。各テクスチャーのSDプロフィールの形を見ると、相対的に点数の低いグループ（「滑面・擬石小」）、「凹凸」の点数は高いがその他は相対的に点数の低いグ

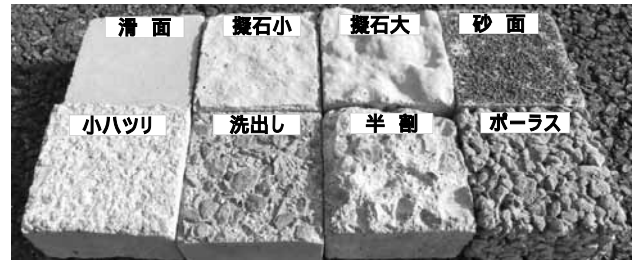


写真-1 調査に用いる供試体

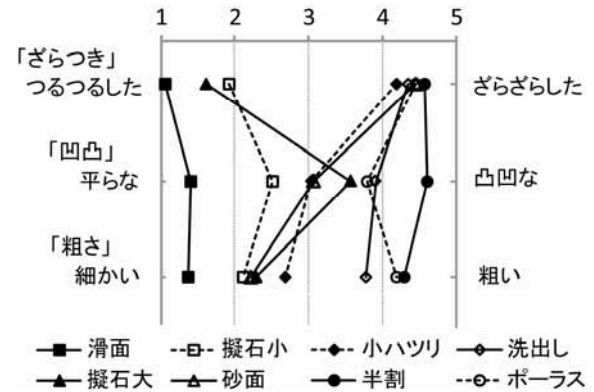


図-1 各テクスチャーに対するSDプロフィール

表-1 主成分負荷量と寄与率

評価尺度	主成分 1	主成分 2
ざらつき	0.5534	-0.8040
凹凸	0.5789	0.5588
粗さ	0.5987	0.2029
累積寄与率	0.6612	0.8528

ループ（「擬石大」）、「ざらつき」の点数は高いが他の評価尺度の点数は2～3程度のグループ（「砂面・小ハツリ」）、相対的に点数の高いグループ（「洗出し・半割・ポーラス」）の4つのグループに分類される傾向にあった（図-1）。次に、評価尺度別に見ると「ざらつき」に対する評価は、点数が4.2～4.6と高いグループ（「小ハツリ・砂面・洗出し・ポーラス・半割」）と、点数が1.1～1.9と低いグループ（「滑面・擬石大・擬石小」）とに明確に分かれた。「凹凸」に対する評価は、点数が4.6と一番高いグループ（「半割」）と、点数が3.5～3.9と高いグループ（「擬石大・洗出し・ポーラス」）と、点数が2.5～3.0と低いグループ（「擬石小・小ハツリ・砂面」）と、点数が1.4と一番低いグループ（「滑面」）とに分かれた。「粗さ」に対する評価は、点数が3.7～4.3と高いグループ（「洗出し・ポーラス・半割」）と、点数が2.1～2.6と低いグループ（「擬石小・小ハツリ・擬石大・砂面」）と、点数が1.3と一番低いグループ（「滑面」）とに明確に分かれた。

主成分分析の結果、第1主成分及び第2主成分による累積寄与率は85%であった（表-1）。第1主成分に対しては、「ざらつき」・「凹凸」・「粗さ」ともに負荷量

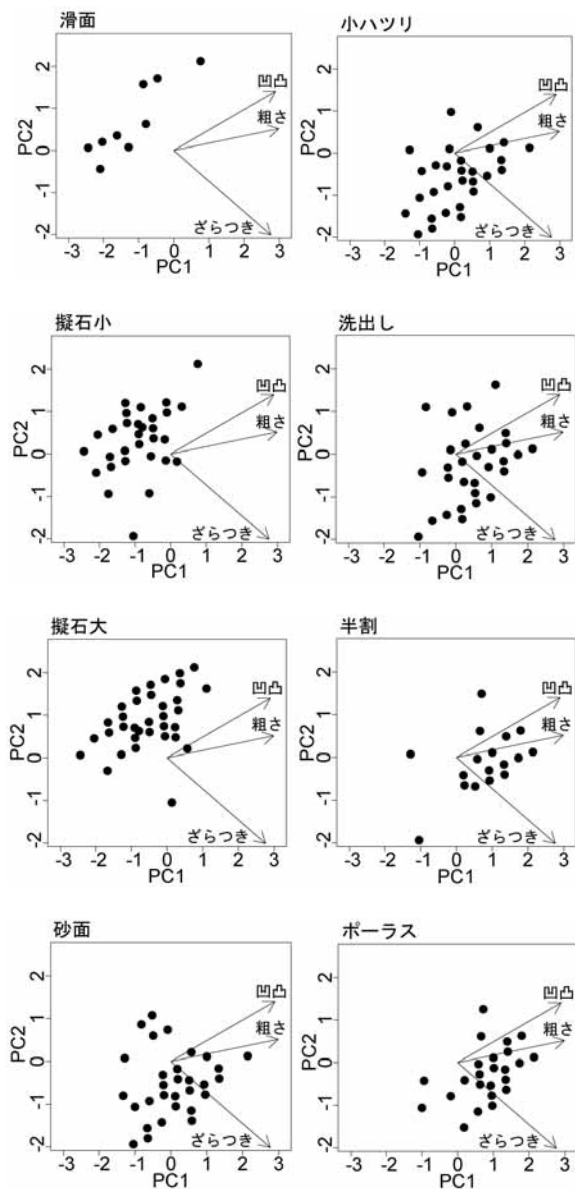


図-2各テクスチャーの主成分分析結果

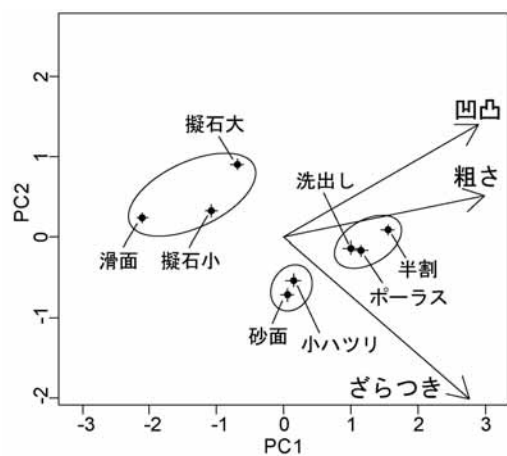


図-3主成分分析結果の平均値及び標準誤差

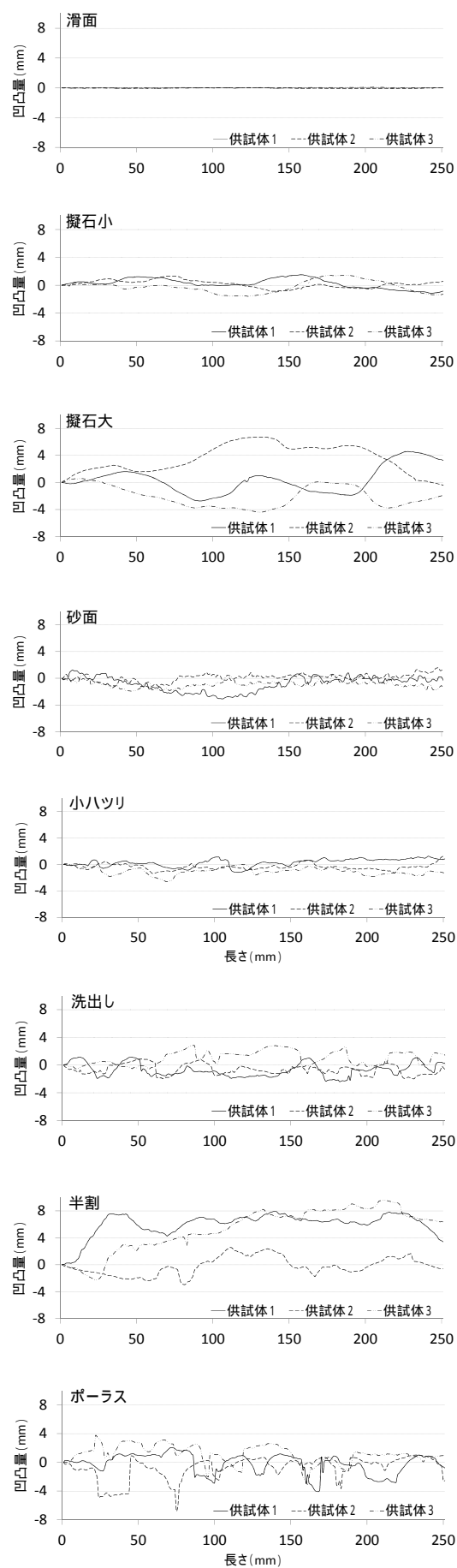


図-4各テクスチャーの凹凸波形

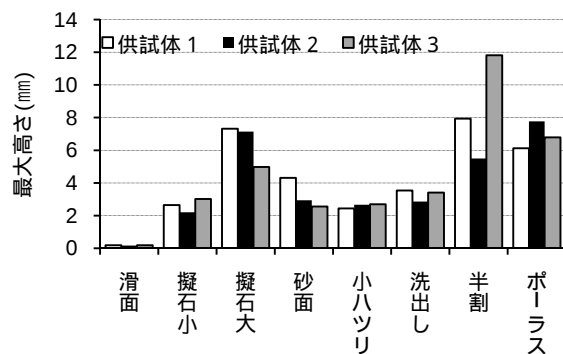


図-5各テクスチャーの凹凸量の最大高さ

が大きかったが(0.55~0.59)、「ざらつき」は第2主成分での負荷量がマイナスとなり、他の2つの要因とは異なる傾向を示した。主成分分析結果は、テクスチャーの種類によって第1・2主成分の得点大きい「洗出し・ポーラス・半割」、第1主成分の得点大きく、第2主成分の得点が小さい「砂面・小ハツリ」、第1主成分の得点が小さい「滑面・擬石小・擬石大」の3つのグループに分かれた(図-2、図-3)。

(2) テクスチャーの凹凸波形及び凹凸量の最大高さとパワースペクトル密度

テクスチャーの凹凸波形を示す(図-4)。凹凸波形は、「滑面」がほぼ平ら、「擬石小」・「擬石大」が滑らかな曲線であったのに対して、他の5種類はギザギザとした鋭角的な波形であった。テクスチャーの凹凸量の最大高さは、「ポーラス」・「擬石大」・「半割」において5.0~11.8mmと大きく、「擬石小」・「小ハツリ」・「洗出し」・「砂面」が2.2~4.3mmと小さく、「滑面」についてはほぼ0であった(図-5)。

次に各テクスチャーのPSDを供試体ごとに示す(図-6、図-7、図-8、図-9)。なお、図内の斜線は図を比較しやすくするために便宜的に引いた線であり、グラフはPSDの値が左下ほど平らで滑らかな表面であり、右上ほど凹凸が大きく粗い表面となる。全周波数において「滑面」のPSDの値が他に比べて極めて小さかった。次いで「擬石小」のPSDの値が他に比べて相対的に小さかった。また、「擬石大」のPSDについては、周波数が1以下の範囲において値が大きく、周波数が1以上の範囲において供試体3の値が小さかった。「砂面」・「小ハツリ」・「洗出し」のPSDは、周波数が1以下の範囲において値が小さく、周波数が1以上の範囲において値が大きかった。「半割」・「ポーラス」のPSDは、全周波数において値が大きく、周波数が1以上の範囲において「ポーラス」の値が他に比べて若干大きい傾向を示した。

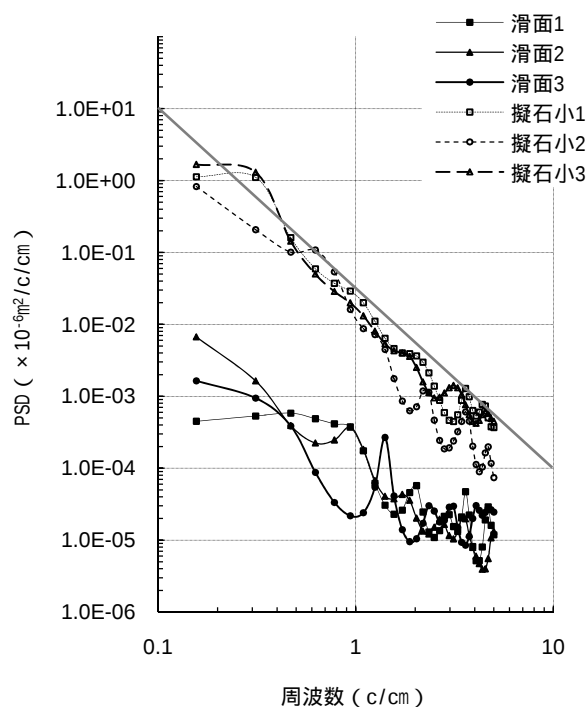


図-6「滑面」と「擬石小」のPSDと周波数成分

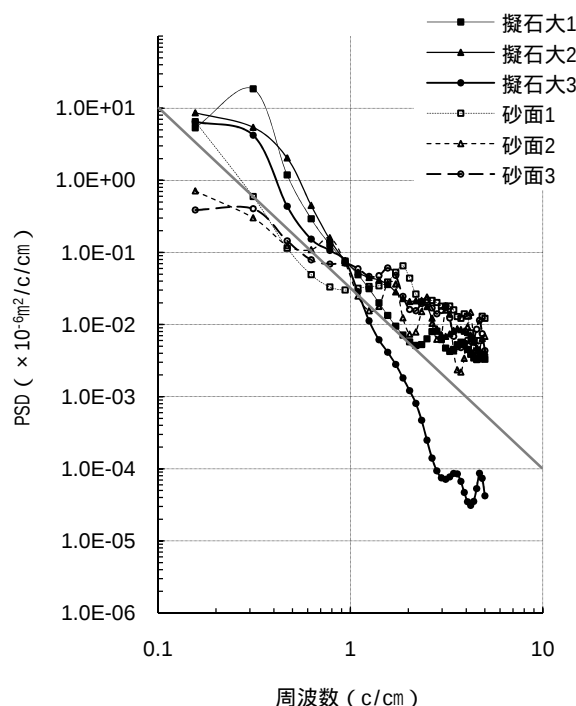


図-7「擬石大」と「砂面」のPSDと周波数成分

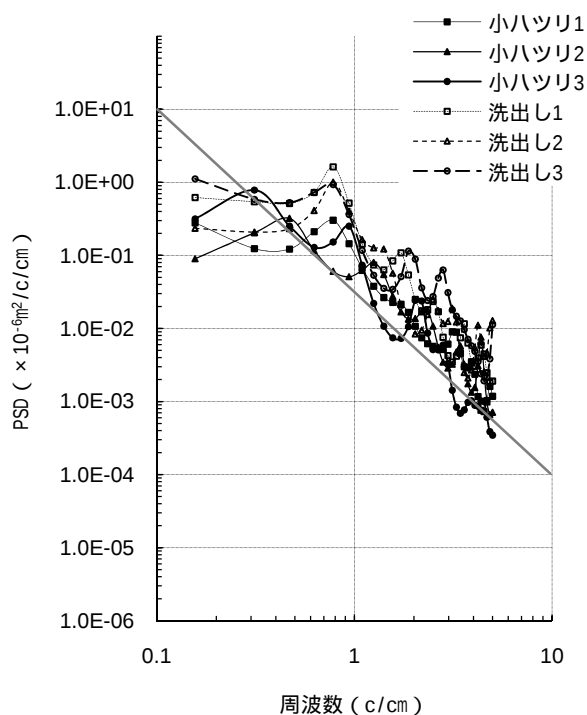


図-8「小ハツリ」と「洗出し」のPSDと周波数成分

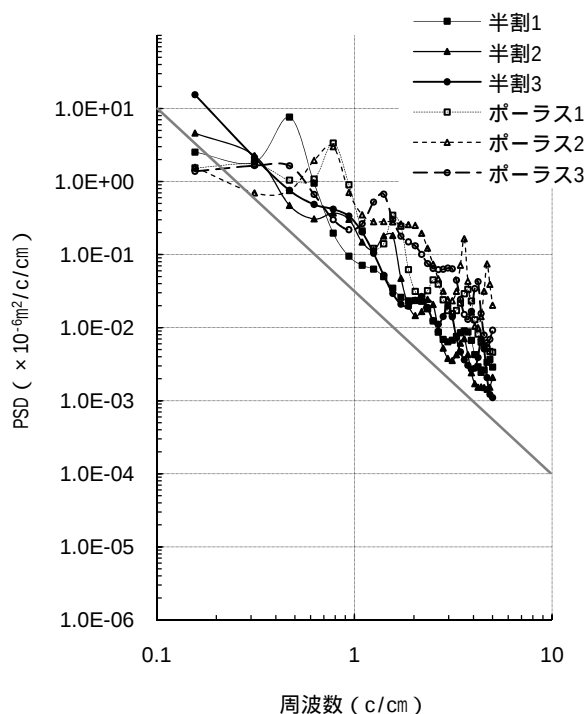


図-9「半割」と「ポーラス」のPSDと周波数成分

4. 考察

(1) テクスチャーの印象と物理特性

主成分分析の結果（表-1、図-3），第1主成分への負

荷量が高く、テクスチャーの種類が第1主成分による違いに基づいて分類される傾向が見られた。ただし、「凹凸」・「粗さ」は第2主成分の負荷量がプラスだったのに対して、「ざらつき」はマイナスを示し、テクスチャーを評価する際の評価軸として異なる特性を示した。第2主成分において「擬石小」や「擬石大」がプラスに、「砂面」・「小ハツリ」がマイナスになっていること、前者の2つの凹凸波形が滑らかな曲線で、後者2つが、ギザギザした鋭角的な波形だったことより（図-4）、「凹凸」・「粗さ」と「ざらつき」は、異なるテクスチャーの物理特性と関連していると考えられる。

PSDの結果より（図-6、図-7、図-8、図-9）、「滑面」と「擬石小」は他に比べ明らかにPSDの値が小さく、他の種類のテクスチャーと分類できることが示唆された。「擬石大」については、凹凸量の最大高さが小さかった供試体3以外は（図-5）、高いPSDの値を示した（図-7）。「砂面」・「小ハツリ」・「洗出し」のように凹凸量の最大高さが小さい種類でも、鋭角的な波形であれば（図-4）、PSDが高い値を示し（図-7、図-8）、「半割」・「ポーラス」のように鋭角的な波形で、凹凸量の最大高さも大きければ（図-4、図-5）、PSDがさらに高い値を示した（図-9）。これらの結果より、テクスチャーの持つ鋭角的な波形と凹凸量の最大高さがPSDの値に寄与していることが示唆された。

テクスチャーの印象と物理特性の関係を見てみると、まず、「ざらつき」については、「滑面」・「擬石小」・「擬石大」で評価が低く、「砂面」・「小ハツリ」・「洗出し」・「半割」・「ポーラス」で評価が高かった（図-1）。これは、鋭角的な波形をした5種類のテクスチャーと関係している（図-4）。「ざらつき」という感覚的な評価尺度は、鋭角的な波形によって説明できると考えられる。

次に、「凹凸」の評価については、「凹凸」の最大高さと概ね一致していた（図-1、図-5）。しかし、「洗出し」については、凹凸量の最大高さが比較的小さいにもかかわらず、印象調査の結果が高かった。これは、「洗出し」の凹凸波形が「砂面」や「小ハツリ」のように緩やかに最大値から最小値まで変化する凹凸波形ではなく、最大値から最小値まで一気に変化する凹凸波形であり、触覚的に感じ取りやすかったと考えられる。また、凹凸による陰影が、物に立体感を与えることより¹⁰⁾、視覚的な誤差も影響している可能性がある。

最後に、SDプロフィールにおける「粗さ」の結果は、鋭角的な波形で凹凸量の最大高さが大きく、PSDの値が大きいテクスチャーと対応している傾向が見られた。

ただし、「洗出し」の評価については、前述したように「凹凸」の評価と同様のズレがあるものと考えられる。

ところで、景観の保全に必要なテクスチャーの条件として、1) 光を乱反射させることにより明度を低下させる¹⁰⁾、2) のり面に陰影を形成し、立体的な印象をつく

り、更に、見かけの明度を低下させる、ことが挙げられる。上記の3つの評価尺度とこの考え方との対応を見ると、「ざらつき」は光の乱反射に効果があり、「粗さ」は光の乱反射、陰影の形成に効果があると考えられる。一方、「凹凸」については、陰影の形成に効果があると考えられ、印象調査では、「ざらつき」、「粗さ」で評価が低かった「擬石大」の評価が高い結果となった。

以上から、テクスチャーの評価に用いられている3つの尺度は、それぞれ異なるテクスチャーの物理特性と関連していることが分かった。「ざらつき」については、周波数が大きく（波長が短い）、鋭角的な凹凸の有無が評価対象となり、「粗さ」は、周波数に関係なく高いPSDを有すること、すなわち、鋭角的な凹凸の有無と凹凸量の最大高さが大きいことが評価対象となり、「凹凸」は、周波数が小さく（波長が長い）、凹凸量の最大高さが大きいことが評価対象となることが示唆された。

(2) 現場への適用

現場への適用にあたり、テクスチャーを具体的かつ簡易的に評価するため、以下の方法を提案する。まず、「ざらつき」については、凹凸波形が滑らかな模型（「滑面」・「擬石大」など）とギザギザして鋭角的な模型（「砂面」・「半割」など）を作製し、現場で護岸ブロックに対し、見た目や触り心地を比較して、凹凸波形がどの模型に近いかを評価する。次に、「凹凸」については、護岸ブロックの凹凸量の最大高さを計測して、「ポーラス」・「擬石大」・「半割」で得た最大高さの最低値である5mmを目安として、それより大きいかどうかで、凹凸量が大きい小さいかを評価する。最後に、「粗さ」については、PSDが凹凸波形と最大高さと相関があるため、計測が不要である。以上をもとに、鋭角的でかつ凹凸量が大きいと評価されるほど、景観保全への適用が高いと考えられる。

以上、本論文では、テクスチャーを河川景観機能の1つとして捉えてきたが、護岸の周辺環境が良好な場合は、生物への配慮も欠かせない¹¹⁾。この場合にテクスチャーは、生物が陸域と水域を移動する経路を確保するための護岸のり面の粗度として重要な要因となる。既往研究より¹⁰⁾、生物の登坂の可否には、小礫～中礫程度のテクスチャーが効果的であるが、生物の登攀方法や外部形態の特異性にも寄与しているため、対象生物の特性に合わせた配慮が必要となる。

5. 結論

本研究よりテクスチャーの評価尺度について以下のことが示唆された。

「ざらつき」は、周波数が大きく（波長が短い）、

鋭角的な凹凸の有無が評価対象となる。

「粗さ」は、周波数に関係なく高いPSDを有すること、すなわち、鋭角的な凹凸の有無と凹凸量の最大高さが大きいことが評価対象となる。

「凹凸」は、周波数が小さく（波長が長い）、凹凸量の最大高さが大きいことが評価対象となる。

以上を踏まえ、対象となる護岸ブロックの凹凸波形と凹凸量の最大高さを評価することでテクスチャーを評価することができると思われる。

謝辞：本研究を行うに当たり、アンケートの実施場所を提供くださった自然発見館の皆様へ感謝申し上げます。また、実験に用いた供試体の作製を手伝って頂いた共和コンクリート工業の皆様、ならびに供試体の表面形状測定を手伝って頂いた(独)土木研究所の舗装チームの寺田剛様に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) (独)土木研究所水環境研究グループ：多自然川づくりにおける河岸・水際部の捉え方，土木研究所資料，Vol.4159，100pp.，2010.
- 2) 中小河川に関する河道計画の技術基準について，国土交通省河川局 河川環境課・治水課・防災課，10pp.，2010.
- 3) 財団法人リバーフロント整備センター編：多自然川づくりポイントブック，公益社団法人日本河川協会，260pp.，2011.
- 4) 長沢伸也，神田太樹共編：数理的感性工学の基礎，海文堂，2010.
- 5) 市原茂：セマンティック・ディファレンシャル法（SD法）の可能性と今後の課題，人間工学 Vol.45，No.5，pp.263-269，2009.
- 6) 村田茂樹，岡本享久，鳥居南康一，仕入豊和：コンクリート系製品を用いた河川護岸構造物の景観設計に関する基礎的研究，コンクリート工学論文集，Vol.7，No.1，1996.
- 7) 長町三生，竹林征三，伝田正利，松原行宏：感性工学の河川景観評価への応用，土木計画学研究・講演集，No.19（1），1996.
- 8) 井原務，井上武美：路面テクスチャとタイヤ/路面騒音に関する検討，土木学会舗装工学論文集，Vol.6，pp.225-230，2001.
- 9) 近江谷和彦：牧草地の凹凸に関する研究，北海道大学農学部邦文紀要，vol.17（2），pp.151-209.1990.
- 10) 近藤恒夫：色彩学，理工図書，154pp.，1995.
- 11) 上野公彦，萱場裕一，佐川志朗：材料粒径と勾配を要因とした異なる斜面におけるヌマガエル，クサガメおよびサワガニの登坂実験，応用生態工学会，研究発表会講演集，Vol.14，pp.57-58，2010.

（2012.4.5受付）