

周波数特性に着目した音による砂防施設変状検知に関する試み

(株) 建設技術研究所 ○日名純也, 西尾潤太, 中西宏彰, 家田泰弘, 笹山隆, 井内拓馬, 福岡渉, 伊藤巧
国土交通省 関東地方整備局 河川部河川計画課 赤澤史顕, 丑山善雄

1. はじめに

近年の土砂災害が多発している状況や厳しい財政状況を踏まえると、既存の砂防施設の機能低下を防止し、所定の機能及び性能を長期にわたり維持・管理し続けることは喫緊の課題といえる。砂防施設の的確な維持・管理のために、施設点検による変状検知の効率化が求められており、UAV 等の新技術を活用して点検作業の時間短縮や安全性の向上に向けた取組みが進められているところである。

しかし、堤体の安定性に影響しやすい基礎部の洗掘については、水面下は通常のカメラによる画像取得が困難なこと、平常時の流量が多い場合は洗掘形状を直接計測するときに危険が伴うなど、検出精度と安全性の観点から改善の余地がある。

さて、カメラ画像等の視覚的な情報ではなく、例えば落水音のような聴覚的な情報と砂防施設の形状の関係については、久保田(2001)¹⁾では砂防施設の前堤部に積んだブロックの形状によって落水音の周波数特性が変化すること示されている。

そこで本研究では、周波数特性に着目して音の計測による砂防堰堤の洗掘変状検知を将来的な目標とし、その可能性を確認することを目的として、現地調査と簡易的な模型実験による試行検討を行った。

2. 研究方法

現地調査は、関東地方整備局管内で実際に洗掘が生じている砂防堰堤を対象に実施した。洗掘深の異なる複数の洗掘箇所の水深を直接計測し、洗掘箇所の周辺で落水音を録音した。

簡易的な模型実験は、(株) 建設技術研究所が保有する実験水路(幅 30cm, 勾配 2 度)を用いて実施した。水路下流端から落差 63cm に位置する沈砂池に水を貯め、水面付近までブロックを積み上げて基礎部の洗掘箇所を表現した。ブロックの配置を変えることで洗掘範囲や深さの異なる条件で実験を行い、洗掘箇所の近傍で落水音を録音した。なお、本研究では模型縮尺は考慮せずに模型上の諸量で整理を行っており、実現象との相似則が担保されているか今後検証する必要がある。

現地調査及び模型実験で把握した洗掘形状と落水音の周波数と音圧の関係を整理して、洗掘形状の違いによる周波数特性の変化について考察を行った。落水音は市販のスマートフォンを用いて 30 秒間計測し、周波数毎(10Hz~22,000Hz)の音圧の平均値を整理した。

3. 現地調査による洗掘調査の試行検討

対象砂防堰堤の 7 箇所の洗掘箇所を調査した結果、洗掘深は 10cm, 30cm, 40cm, 50cm, 60cm, 80cm, 180cm であった。調査箇所の落水音の周波数と音圧の関係を図 1 に示す。図中の色分けは洗掘深が大きいほど暖色系、小さいほど寒色系としている。

調査結果から、洗掘深が大きいほど周波数が小さい領域(10Hz~1,000Hz 程度)の音圧が大きくなり、周波数が大きい領域(2,000Hz~20,000Hz 程度)の音圧が小さくなる傾向が確認された。周波数が小さいほど音は低く、周波数が大きいほど音は高くなることから、洗掘深が大きい箇所ほど低い音の成分が増加し、高い音

の成分が減少していることが分かる。

現地調査では流量や落差の条件が一定ではないため、一概に洗掘深の違いのみによって周波数特性が決定付けられるとは断定できないが、洗掘深の違いによって周波数特性が異なることが示唆された。

4. 模型実験による洗掘調査の試行検討

4.1 実験条件

現地で堰堤の水通し幅 3m とした場合に模型水路幅 30cm は縮尺 1/10 となる。実際の点検作業は平常時に実施されることから現地の水深 8cm であると仮定して、模型実験の流量条件は水路下端の水深が 0.8cm となるように一定の流量を与えた。水路からの落水箇所が中心になるようにブロックを平面的に 5 個×5 個配置し、水深方向に 3 段積上げた。また、実験中は沈砂池に水を貯めた上で、最上段のブロック上部が水面となるように排水して水深を一定に保った(図 2)。

模型実験上の洗掘形状の違いは、積上げたブロックを取り除くことで表現した。ブロックは 7cm×7cm×3cm の立方体で、平面方向に 1 個(7cm×7cm), 3 個(7cm×21cm), 9 個(21cm×21cm) の 3 パターン、水深方向に 1 個(3cm), 2 個(6cm), 3 個(9cm) の 3 パターンの組合せで 9 パターン形状を変化させた(図 3)。

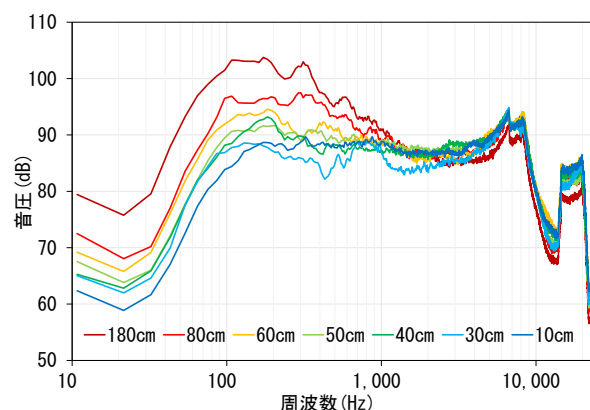


図 1 現地計測した洗掘深と周波数特性の関係

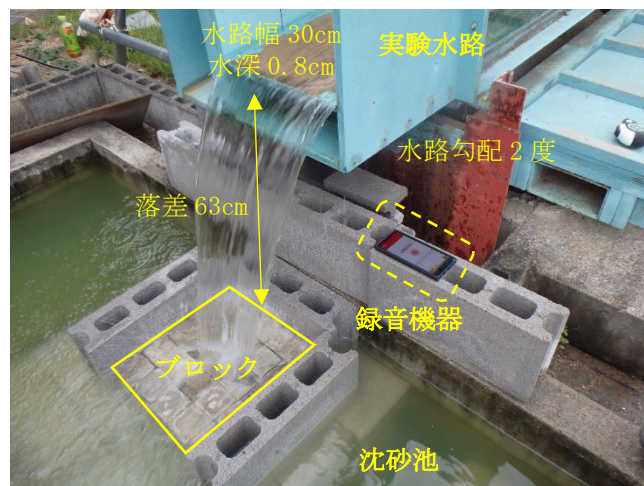


図 2 模型実験の概要

4.2 洗掘深の違いによる周波数特性の変化

洗掘範囲がブロック 1 個分 (7cm×7cm) の場合における洗掘深の違いによる周波数特性の変化を図 4 に示す。周波数 100Hz 以下の領域の音圧は、洗掘なしのケースが 75dB～78dB であるのに対し、洗掘があるケースは 70dB～74dB であり、洗掘がある場合の方が音圧は小さいことが確認された。周波数 10,000Hz 周辺では、洗掘なしのケースが 80dB 程度であるのに対し、洗掘があるケースは 72dB～74dB と音圧は小さいことが確認された。

次に、洗掘範囲がブロック 3 個分 (7cm×21cm) の場合における周波数特性の変化を図 5 に示す。周波数 60Hz 以下の領域の音圧は、洗掘なしのケースに対して、洗掘ありのケースの方が音圧は小さいことが確認された。周波数 1,000Hz 以上の領域の音圧は、洗掘なしのケースが 107dB～64dB であるのに対し、洗掘があるケースは 100dB～52dB であり、洗掘がある場合の方が音圧は小さいことが確認された。

また、洗掘範囲がブロック 9 個分 (21cm×21cm) の場合における周波数特性の変化を図 6 に示す。周波数 80Hz 以下の領域の音圧は、洗掘なしのケースに対して、洗掘ありのケースの方が音圧は小さいことが確認された。周波数 4,000Hz 以上の領域の音圧は、洗掘がある場合の方が小さいことが確認された。

4.3 洗掘形状の違いによる周波数特性の変化

実験結果から、洗掘の範囲や深さによって音圧の差異が生じていた周波数は 10,000Hz 周辺であった。そこで、洗掘形状の違いと周波数 10,000Hz の音圧の違いについて整理した (図 7)。ここで、図中の個数は洗掘箇所として取り除いた一段あたりのブロックの個数である。

ブロックを 1 個分 (7cm×7cm) あるいは 3 個分 (7cm×21cm) 取り除いたケースをみると、洗掘なしのケースに対して洗掘体積が大きくなるほど音圧が小さくなっていることが分かる。9 個分 (21cm×21cm) 取り除いたケースをみると、洗掘深 (洗掘体積) が大きくなるほど音圧が小さくなる傾向がみられるが、洗掘範囲が比較的狭い 1 個分や 3 個分のケースと比較するとその低減量は緩やかである。今回の実験条件において落水が生じる範囲はブロック 3 個程度であったことから、9 個取り除いた場合には落水範囲に対して洗掘範囲が大きいために、洗掘の程度に対して音圧の低減が緩やかであったものと推測される。

5. おわりに

現地調査では、実際の洗掘深の違いによって周波数特性が異なることが分かった。また模型実験の結果から、洗掘の程度 (洗掘体積) が大きいほど、比較的周波数が小さい領域 (60Hz～100Hz 以下) や周波数が大きい領域 (10,000Hz 程度) の音圧は小さくなること、洗掘の深さだけではなく平面図な形状によっても周波数特性の変化が生じることが確認されたことから、音の計測による砂防堰堤の洗掘変状検知の可能性は十分にあると考えられる。

ただし、本研究での現地調査は 1 施設のみを対象に調査を行った結果であり、模型実験は相似則の妥当性が十分に検証されていない条件下で実施している結果であることから、実用化に向けて十分な情報が得られているとは言い難い。今後は現地調査、模型実験について更なる検証を行うことが課題である。

謝辞：本研究を進めるにあたり、九州大学の久保田名

誉教授には、調査方法や結果の解釈に関する貴重なご意見を頂いた。ここに記して謝意を表す。

参考文献 1) 久保田哲也：捨て石による砂防施設の落水音の変化, 砂防学会誌, Vol. 53, No. 5, p. 48-51, 2001

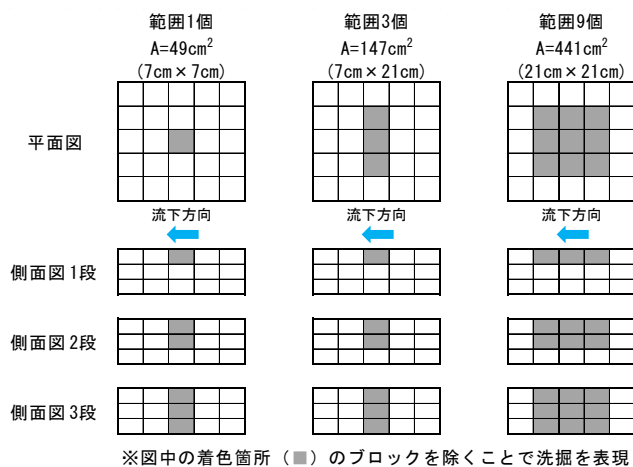


図 3 模型実験上の洗掘形状の違いのイメージ

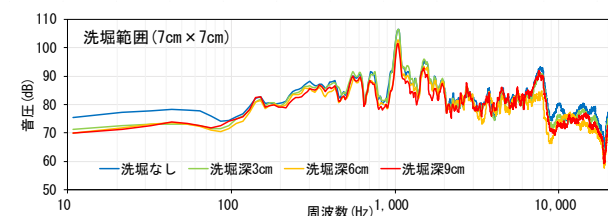


図 4 洗掘深による周波数特性の変化 (範囲小)

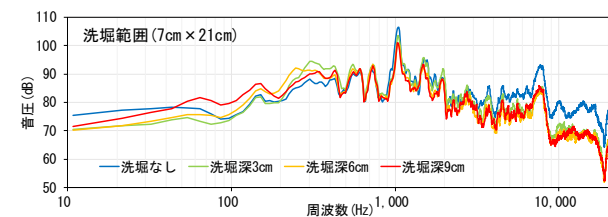


図 5 洗掘深による周波数特性の変化 (範囲中)

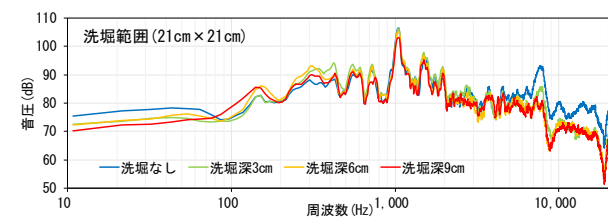


図 6 洗掘深による周波数特性の変化 (範囲大)

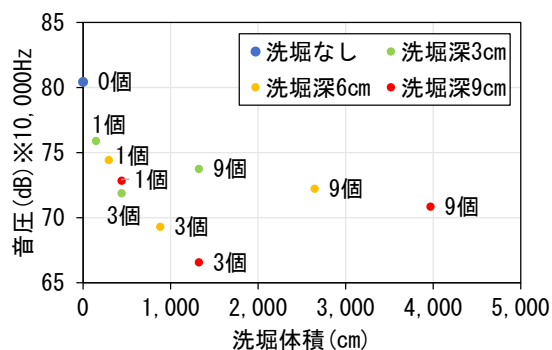


図 7 洗掘体積と音圧 (周波数 10,000Hz) の関係