

47 床固め、砂防ダムの流れの音に関する研究

(財)建設技術研究所 ○小田 晃・阿部彦七
京 都 大 学 農 学 部 水山高久

1. はじめに

環境と調和した砂防設備の研究がかなり盛んになってきた。砂防の床固めについても、下流法を緩くして植石により粗度を付けるといった工夫がなされたものを見かけるようになった。これは、魚を上りやすくするとか、景観が良くなるといった目的が与えられている。このような床固めでは流れの音に変化すると考えられるが、砂防の分野では音に着目した研究はわずかで¹⁾、まだ系統的な研究はなされていない。そこで、緩傾斜の前法を持つ床固めを中心に水理模型実験を行い、音圧レベル、卓越周波数、パワースペクトルを調べ、従来型の床固めと比較した。さらに、自然の流れの音を収録したCDや現地で録音した実際の床固め、砂防ダムを越流、落下する流れについても音の分析を行い、周波数特性を実験結果と比較するとともに、相似則についても検討した。

2. 実験の概要

実験水路は長さ6.0m、幅75cm、河床勾配1/50の矩形断面水路である。水路底面は平均粒径0.5cmのほぼ一様な砂を張り付けた固定床である。模型は図-1に示すように従来型(Dlop type)と斜路型(Slope type, 勾配1:2と1:4)があり、斜路型の斜面にはイボ型粗度(20×20×11mmと34×34×18mm)を千鳥に取り付けた。また、流量は3~29.8 l/secの範囲で5種類である。

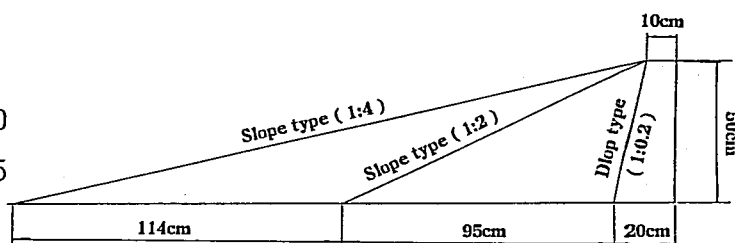


図-1 模型略図

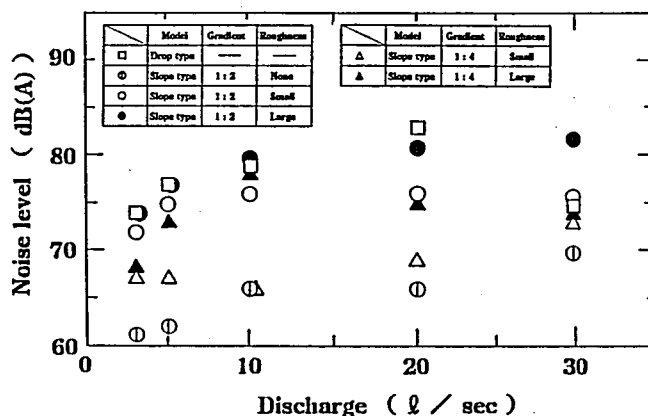


図-2 流量と騒音レベルの関係

3. 騒音レベル

流下音の測定結果を図-2に示す。縦軸は騒音レベル、横軸は流量である。この図より、同じ粗度高さで比較した場合、勾配1:4の斜路(△, ▲)は勾配1:2の斜路(○, ●)よりも騒音レベルは低くなっている。また、従来型(□)と比較して斜路型は全般的に騒音レベルの低いことが示されており、これは、水の流下形態の違いによる音の発生原因の違いが大きく影響していると考えられる。

4. 卓越周波数

1/3オクターブバンド分析を行い卓越周波数について検討する。図-3に流量と卓越周波数の関係を示す。縦軸は卓越周波数、横軸は流量

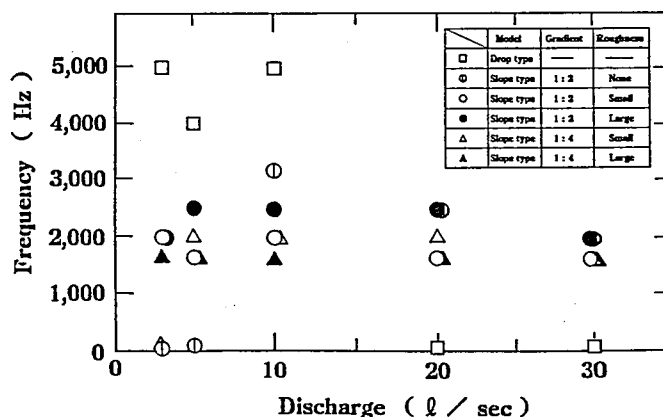


図-3 流量と卓越周波数の関係

である。その結果、従来型（□）では卓越周波数は流量に依存し、斜路型（△，○など）では卓越周波数は流量と粗度の大小には依存しないことが示された。この結果から、卓越周波数は、従来型では床固工下流部の水深による影響が大きいと考えられ、斜路型では下流部水深の影響は少なく、斜路流下時の流水表面での空気混入による音の発生が支配的であることが考えられる。

5. 騒音レベルとフルード数の関係

4. の結果から、斜路型の音は空気の混入により発生した音が主であると考えた。ここで、空気混入と水理量に関する式として、

$$1 + m = KFr \quad : \quad \text{DeLapp 公式}$$

が提案されている²⁾。ここに、 Fr はフルード数、 K は水路粗度による比例定数、 m は混入された空気量と水量との比である。この式より、空気混入量はフルード数に比例し、粗度にも関係することが表されている。

上式の関係をもとに、騒音レベルとフルード数の関係について検討した。

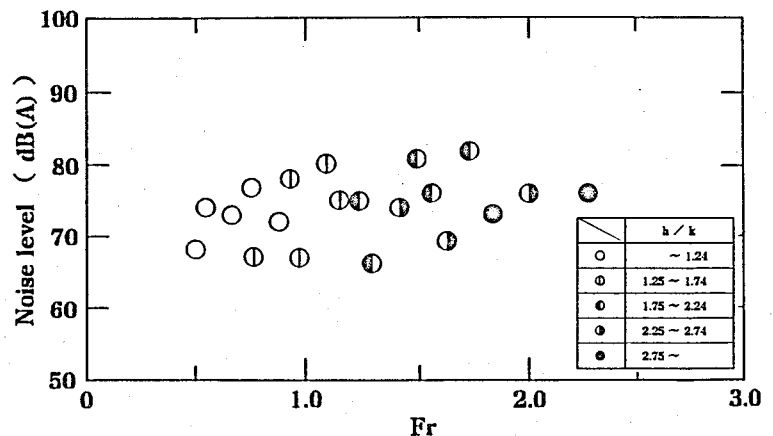


図-4 フルード数と騒音レベルの関係

図-4に騒音レベルとフルード数との関係を示す。縦軸は騒音レベル、横軸はフルード数であり、パラメータは水深 h とイボ粗度高さ k の比で h/k である。この図より、 h/k の等しい範囲で比較すると騒音レベルはフルード数に比例する傾向が示されている。この結果から、上式よりフルード数は空気混入量に比例することから、騒音レベルは空気混入量に比例することになる。したがって、斜路上を流れる水の流下音の発生原因は空気混入量が支配的であることが確認された。

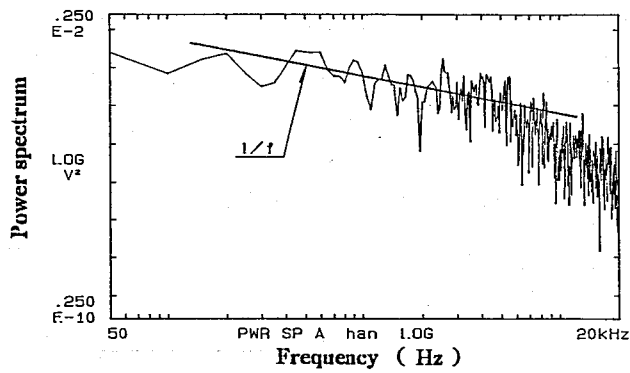
6. スペクトル解析

自然の滝と河川の音を録音したCD^(注)、現地流路工（松本砂防工事事務所管内：長野県松川流路工）の録音結果ならびに実験による音のデータを用いてスペクトル解析を実施した。解析にはFFTアナライザーを使用し、サンプリングタイムは20msec、データ数は1024個である。図-5,6に解析結果を示す。縦軸はパワースペクトル、横軸は周波数である。図は上からCD、現地流路工、実験による解析例である。なお、現地流路工の録音地点は、従来型は床固め下流、斜路型は水通し天端中央部であり録音当時の流量は $2.5\text{m}^3/\text{sec}$ であった。

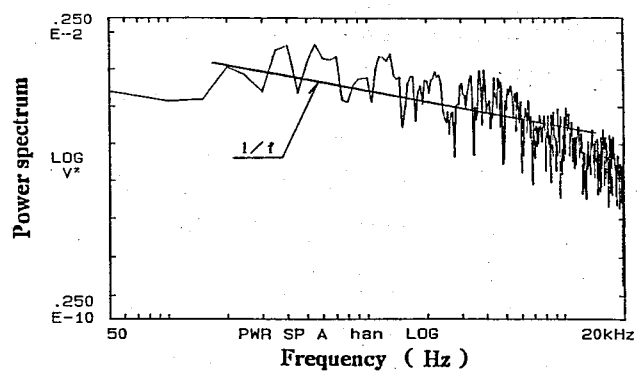
図-5に従来型のスペクトル形状を示す。CDによる流れの水理的諸元は不明であるが、自然の滝では $1/f$ 型のパワースペクトルを持ち、いわゆる「 $1/f$ ゆらぎ」と呼ばれているスペクトル形状であることが示された³⁾。現地流路工では、自然の滝と比べるとパワースペクトルの高周波数領域での落ち込みが見られる。また、実験では、高周波数領域での落ち込みがさらに著しくなっていることが示されている。

図-6に斜路型のスペクトル形状を示す。CDによる自然河川のスペクトル形状は、滝の場合と同様に $1/f$ 型のパワースペクトルを持つことが示された。また、現地流路工では、従来型と同じく自然河川と比べるとパワースペクトルの高周波数領域での落ち込みが見られ、さらに、実験では、高周波数領域での落ち込みがさらに著しくなっていることが示されている。

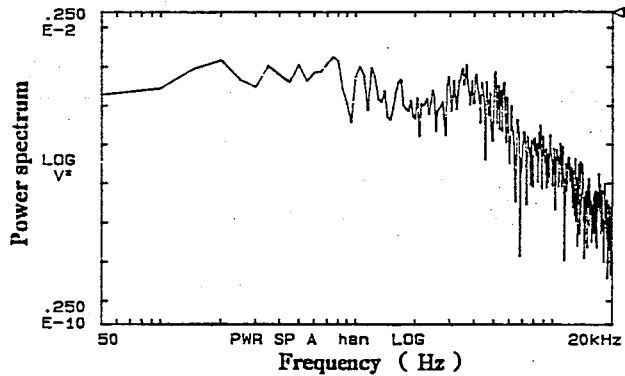
これらの結果から、人工的な落差工や斜路から発生する音には、高周波成分の音が自然の場合ほど含まれていないことが考えられる。また、現地の落差工や斜路のスペクトル形状と比べて実験結果では、さらに高周波数領域のパワースペクトルが落ち込んでおり、実験スケールの影響が表れていると考えられる。



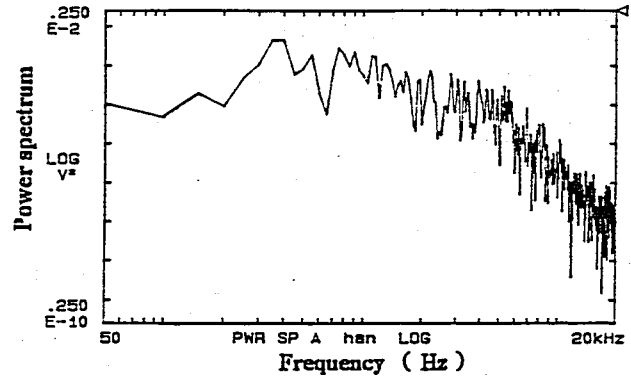
(A) C D



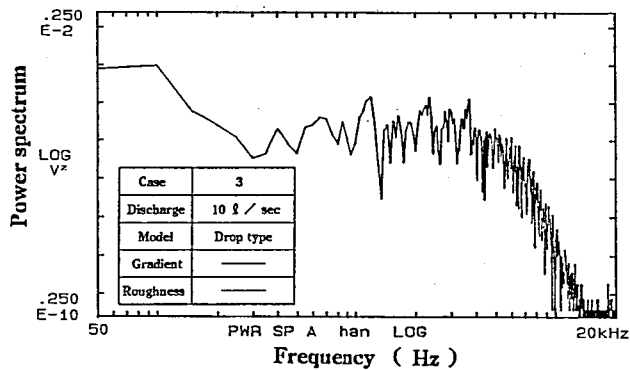
(A) C D



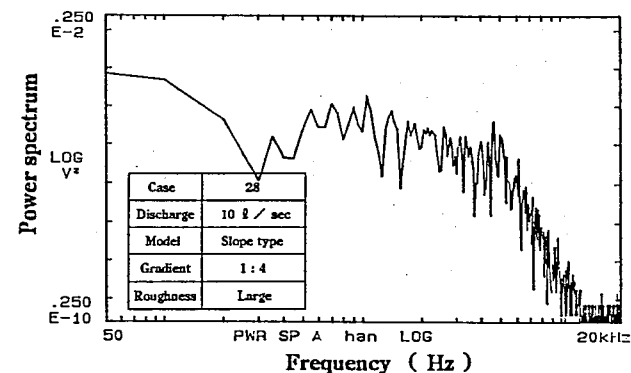
(B) 現地流路工



(B) 現地流路工



(C) 実験



(C) 実験

図-5 従来型のスペクトル解析例

図-6 斜路型のスペクトル解析例

7. 相似則の検討

実験における騒音レベルと現地での騒音レベルとの比較を行うために、騒音レベルの相似則について検討した。実験の縮尺は、録音が行われた現地流路工の落差が3mであることから $S=1/6$ とした。音に関しては周波数のみ縮尺が関係し、音圧レベルは縮尺には無関係であることを利用して実験値の騒音レベルの換算を行った^{4)・5)}。また、流れに関してはフルードの相似則を使用した。現地のデータは、群馬県片品川流域の根利川床固工と鎌田流路工、群馬県神流川流域の柏木ダムの3ヶ所の砂防ダムを対象とした現地調査騒音結果⁶⁾を使用した。なお、測定位置はいずれも落差工近傍であり、流量については越流水深を用いて台形堰の式から計算した。

図-7に実験値を現地の値に換算した騒音レベル(●：従来型)と、現地の騒音測定結果との比較を示す。縦軸は騒音レベル、横軸は単位幅当たりの流量である。この図より、騒音レベルは現地での測定値な

らびに実験値とも、流量の増加にしたがって増加しており、実験値と現地の値はほぼ同傾向であることが示された。また、騒音レベルに関して、現地測定結果に多少の幅があるものの、定量的に一致しており騒音に関する相似則の成立の可能性が示唆された。

8. まとめ

落差工や斜路における流れの音について実験的に検討を行った結果、従来型と斜路型とでは水の流下形態の違いにより流量と騒音レベルの関係や卓越周波数の傾向が異なること

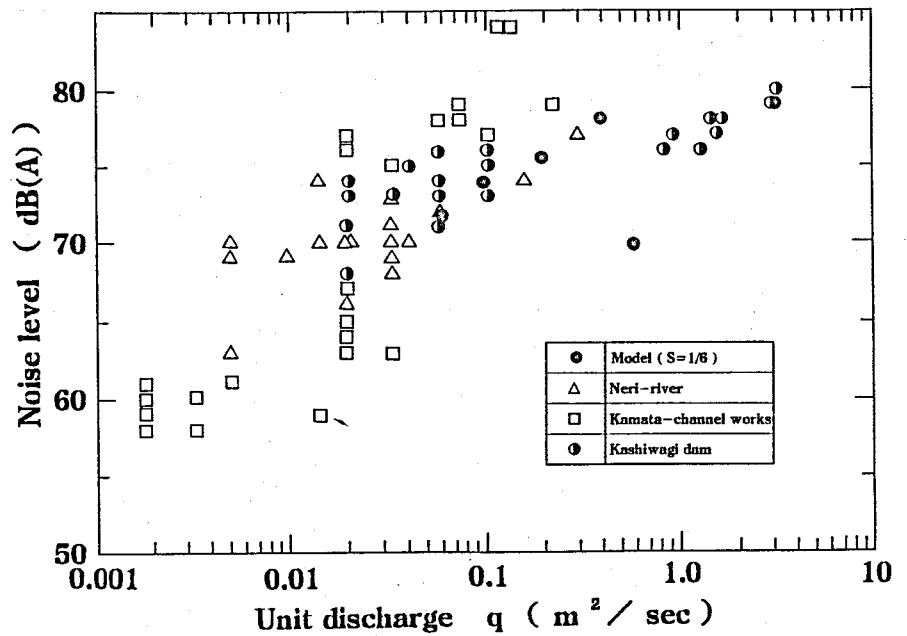


図-7 実験値と現地の騒音レベルの比較

が示された。また、斜路流下時の騒音レベルの支配因子の一つとして空気混入量が考えられ、実験からフルード数と騒音レベルの関係が示されたことから、フルード数を媒介とすることによって騒音レベルと空気混入量が関係づけられた。スペクトル形状は、自然の滝や河川と現地床固工ならびに実験とでは、高周波数領域において傾向が異なり、実験による音の質は自然の音や現地床固工と比べて高周波数領域での落ち込みが特徴的であった。さらに、従来型の騒音に関する相似則については、現地騒音測定結果との比較から成立の可能性が示唆された。

今後の課題としては、スペクトル形状の高周波数領域で示された実験スケールの影響について検討を進めるつもりであり、さらに、流れの音が人に与える影響（感じ方）を調べ、音の面から望ましい床固め、砂防ダムの条件を示すのが最終的な目標である。

最後に、本研究に当たり松川流路工の床固工を流れる流水音の資料をご提供頂きました建設省北陸地方建設局松本砂防工事事務所に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 久保田哲也：溪流及び落差工周辺の水flow音環境について，平成6年度砂防学会研究発表会概要集，pp. 289～292，1994。
- 2) 土木学会編：水理公式集，昭和38年度増補改訂版，p.215，1963。
- 3) 武者利光：1/f ゆらぎ，応用物理，第46巻，第12号，pp.1144～1155，1977。
- 4) 橘 秀樹・石井聖光：音響実験における相似則と実験手法，日本音響学会誌，32巻，10号，pp.621～630，1976。
- 5) 子安 勝編：騒音・振動（上），日本音響学会編，音響工学講座4，コロナ社，p.72，1978。
- 6) 建設省関東地方建設局：昭和61年度砂防ダム騒音調査報告書，1986。注）日本サウンド・エフェクト研究会監修：効果音大全集〔自然編〕②，キングレコード