ハイドロフォンの破損が流砂観測に及ぼす影響

国土技術政策総合研究所　　内田太郎、鈴木拓郎
株式会社 コルバック　　○吉村暢也
株式会社 ハイドロテック　　野中理伸
株式会社 池田計器製作所　　澤田和男

1. はじめに

近年、流砂を時系列的に計測することを目的として、ハイドロフォン観測手法が採用されるケースが増えてきた。しかし、この観測手法は河床部にセンサー管を設置して衝突する流砂の音響を計測する手法であることから、大きな出水が生じるとセンサー管が変形することがあり、その結果、音響特性が変わり観測値が不安定となってしまう可能性がある。本研究は、センサー管変形時の音響特性の変化を調べ、観測値に及ぼす影響を分析し整理したものである。また、研究成果は、センサー管が変形した時の交換の判断などメンテナンスに利用することを考えている。

2. 検討方法

センサー管の音響特性を模型実験と音響解析および現地観測記録から検討した。各条件を整理すると以下のとおりである。

2.1 模型実験

長さ１ｍのハイドロフォンのセンサー管を用いて、打撃装置で鉄球を垂直に衝突させ、衝突時の音圧波形を記録した。センサー管の拘束は、管の下半分をパテで拘束するケース（予備実験）とコンクリートで拘束するケース（本実験）の２種類実施した。

・予備実験：センサー管：φ48.6mm×t2mm×L1m、試験球：5,10mm、
　　拘束：管の下半分をパテで拘束

・本実験：センサー管：φ48.6mm×t3mm×L1m、試験球：5,10mm、
　　拘束：管の下半分をコンクリートで拘束

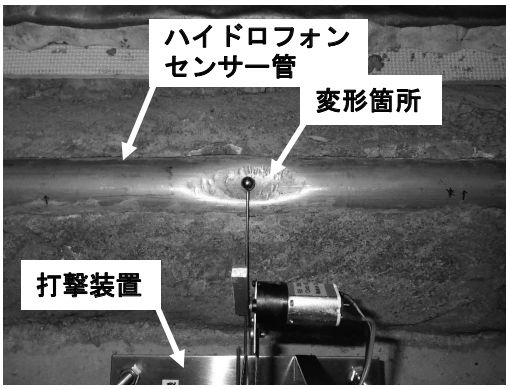

写真-1　模型実験の実施状況

2.2 音響解析

動的応答問題を陽的に解析できる三次元有限要素法を用いて、ステンレス（センサー管）、コンクリート、空気（センサー管内部の空気）をモデル化して解析を行い、センサー管端部の空気の圧力変化を音圧波形として整理した。解析モデルの条件は以下のとおり。**図-1** にモデル図を示す。

センサー管：φ48.6mm×t3mm×L2m　、試験球：5,10,15mm、
　　拘束：管に下半分をコンクリートで拘束

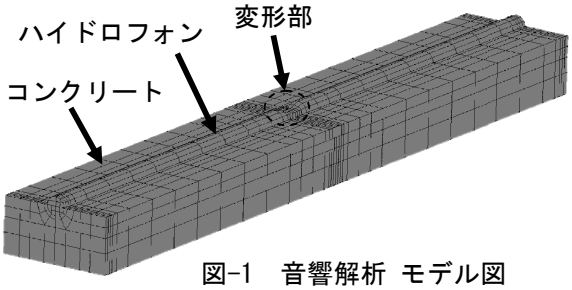

図-1　音響解析 モデル図

2.3 現地観測記録

現地に設置したハイドロフォンの観測記録を使用した。使用した記録は、富士川水系春木川の春木川第二砂防堰堤で、現地の概要は以下に示すとおり。

流域面積 A=7.8km^2、計画河床勾配 i=1/17、計画流量 Q=147.3m^3/s、水通し幅 B=30m、河床材 d_{50}=15cm

3. 礫衝突時の音響特性

変形していないセンサー管の音響特性を上記の模型実験、音響解析、現地観測記録から検討した。その結果、4～5kHz と 8～12kHz の２箇所に卓越する周波数が存在することが分かった(**図-2, -3** に模型実験での周波数特性図を示す。また音響解析および現地観測においても同様の傾向を示した)。この卓越する周波数は、4～5kHz の周波数が流砂と応答が良いとされる円周方向の周波数（約 4.4kHz）と符号しており、また 8～12kHz は径方向の周波数（約 9kHz）と符号しているようである。ともに既往の研究結果[1)]と良く一致する結果となった。

次にセンサー管変形時の音響特性を検討した、その結果、卓越する周波数は変形前と大きな違いはないが、8～12kHz の周波数がより卓越する傾向となった。この原因を分析するために音響解析結果を元にセンサー管内部の音の伝播状況を整理した。その結果、衝突点からセンサー管内部の空気を伝播する音圧がおよそ 4～5kHz となっており、またセンサー管表面を伝って振動している周波数がおよそ 8～12kHz であった。センサー管が変形するとより振動しやすくなるようで、その結果 8～12kHz の周波数の音圧がより大きくなるようである。また、４～５ｋHz の周波数については振動の影響が少ないようである。なお、現地観測について現在センサー管が土砂で埋没しており、

変形の有無を確認できていないが、出水途中で 10kHz の周波数がより卓越する記録となるようになっているのでセンサー管が変形しているものと推測している。

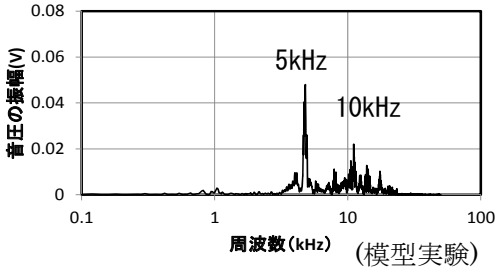

図-2 変形していない場合の周波数特性

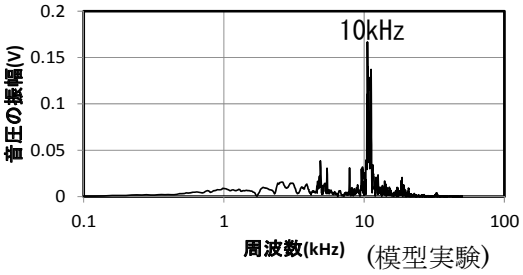

図-3 変形した場合の周波数特性

4. センサー管変形時の特性

4.1 変形による音圧の増加

センサー管の変形箇所に礫が衝突した時の音圧の変化を検討した。検討は、模型実験と音響解析を用いて音圧の変化を調べた。音圧は、平均音圧として 0.05 秒間の音圧の絶対値の平均値とした。結果の評価は、変形していない場合の平均音圧からの倍率で示し、全周波数帯域と 4.4kHz のバンドパスフィルターでフィルタリングした２種類を整理した。

・全周波数帯域（卓越する２つの周波数を含む）

変形部の深さ 5mm 変形で平均音圧が約５倍、10mm 変形で約８倍となった。深さ 5mm 変形は軽微な変形であるが変形箇所に礫が衝突すると約５倍の音が発生するようである。また、深さ 10mm はほとんど潰れた状態でこの場合、約８倍の大きな音響が発生する（図-4 の上）。

・4.4kHz のバンドパスフィルターでフィルタリング

深さ 5mm 変形で約 2.5 倍、10mm 変形で約５倍となる。全周波数帯域での結果と比べて約半分となる。全周波数帯域と比べて影響は少なくなるが、それでも数倍増加する結果となる（図-4 の下）。

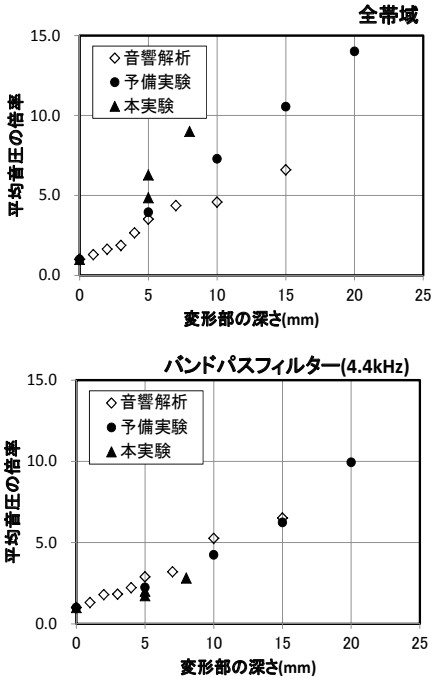

図-4 変形量と平均音圧

4.2 変形箇所以外の箇所に衝突した場合の影響

センサー管の変形箇所以外に礫を衝突させた場合の音圧の変化を音響解析から検討した。その結果を図-5 に示す。この図の変形箇所からの位置 0mm が変形箇所で、それ以外の箇所の結果が変形していない箇所に衝突した時の結果である。結果によると、全帯域の結果で約 1.4 倍となり若干増加する傾向となっているが､4.4ｋHz のバンドパスフィルターでフィルタリングすると約 1.1 倍となり変形による影響が少ない結果となる。

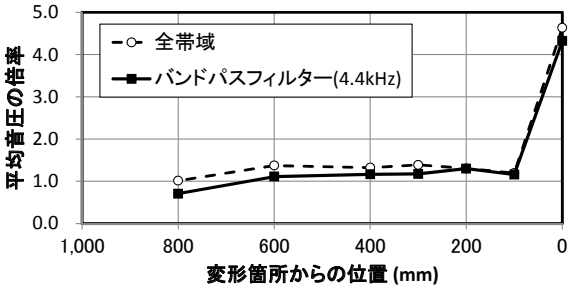

図-5 変形箇所以外に衝突した場合の音圧の変化

5. まとめ

・ハイドロフォンで観測した音圧を、円周方向の周波数（4.4kHz）を中心としたバンドパスフィルターでフィルタリングすると変形に対する影響が低減されることが分かった。(以降はフィルタリングした結果で考察)

・センサー管の変形箇所に礫が衝突すると深さ 5mm 程度の軽微な変形でも音圧が約 2.5 倍となる。

・変形していない箇所に衝突した場合、音圧の増加は 10%程度の軽微な増加となる。

今後は、上記の傾向について現地試験で確認して、変形による観測値への影響の推定方法を提案したい。

参考文献

1)栗原淳一、宮本邦明：音響を利用した流砂量計測装置について，砂防学会誌，Vol.44，No.5，p.26-31，1992

2)鈴木ら：音圧データを用いたハイドロフォンによる掃流砂計測手法に関する基礎的研究，砂防学会誌，Vol.62，No.5，p.18-26，2010