

ダムゲート設備のAE計測試験について

(国研) 土木研究所 寒地土木研究所 寒地機械技術チーム ○小林 勇一
函館開発建設部 今金河川事務所 美利河ダム管理支所 神 直人
札幌開発建設部 空知川河川事務所 滝里ダム管理支所 泉 昌宏

河川管理施設は高度経済成長期以降に集中的に設置されたことから、老朽化の進行が顕著となっている。河川管理において重要な施設であるダムのゲート設備についても、老朽化による故障や異常の発生が懸念されるが、老朽化の進行度合いを定量的に診断する手法は確立していない。そこで、AEセンサーを用いた油圧開閉装置の計測試験を実施し、老朽化診断手法についての適用性を確認したので報告する。

キーワード：維持・管理、健全度、状態監視

1. はじめに

水門、ダム、排水機場などの河川管理施設は、高度経済成長期以降の1970年から1990年頃にかけて集中的に設置されたことから、老朽化の進行が顕著となっている。

河川管理において重要な施設であるダムのゲート設備についても、老朽化による故障や異常の発生が懸念されている。そのため、経年による劣化の状態を把握し、計画的な整備や更新を行う必要がある。

ゲート設備の点検では、目視点検によるほか、電動機の電流値や回転数、軸受部の振動速度など定量的な計測が可能なものについては、経年的な変化を管理し、劣化状態を把握する傾向管理が実施されている¹⁾。しかし、経年により少しずつ進行する疲労破壊や応力腐食割れなどの時間依存型破壊は、従来の点検手法では確認することが難しく、定量的に診断する手法は確立していない。

平地ら²⁾は、排水機場における状態監視診断手法を検討するため、AE (Acoustic Emission) の計測試験を実施した。このAEは、材料が劣化する早い段階で発生することから、モニタリングすることで時間依存型破壊を監視できる可能性がある。

そこで、ダムのゲート設備について、AEセンサーを用いた油圧開閉装置の計測試験を実施し、老朽化診断手法についての適用性を確認したので報告する。

2. AE計測の概要

AEとは、材料に変形や破壊などが生じた際に、材料内部の歪みエネルギーを弾性波として放出する現象であり、この弾性波（以下「AE波」という）を計測するの

がAE計測である⁴⁾⁵⁾。

AE波は、材料が破壊する初期段階で検出されることから、破壊の非常に早い段階から進行を監視することが可能である。そのため、石油タンクや橋梁床板、岩盤崩落などのモニタリングなどに利用されている⁷⁾⁸⁾。

AE計測では、専用のAEセンサーによりAE波を計測し、AE波の振幅や信号数、エネルギーなどをモニタリングすることで、異常の兆候を把握する。AEセンサーを写真-1、計測したAE波を図-1に示す。



写真-1 AEセンサーの例 (MISTRAS社製 R3I-AST)

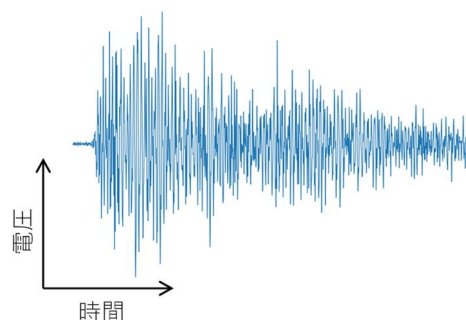


図-1 AE波の一例

3. 試験概要

計測試験は、油圧開閉装置の老朽化がAE波に与える影響を確認するため、老朽化した設備と比較的新しい設備の双方で実施し、解析結果の比較を行った。

(1) 試験対象設備

計測試験は、北海道開発局の直轄ダムである美利河ダム及び滝里ダムの2箇所で行った(写真-2)。

計測したゲート設備の主要諸元を表-1に示す。計測は、美利河ダムの2号主ゲート及び滝里ダムのオリフィス6号主ゲートで実施した。

ゲート設備の設置年は美利河ダムの方が約10年古く、また分解整備も実施されていないことから、美利河ダムの方が老朽化が進行しているとみられる。



写真-2 調査ダム外観

(上段：美利河ダム、下段：滝里ダム)

表-1 ダム及び計測したゲート設備の主要諸元

ダム名称	美利河ダム	滝里ダム
形式	重力式コンクリート・フィル複合	重力式コンクリートダム
所在地	瀬棚郡今金町字美利河	芦別市滝里町
堤高・堤頂長	40m/1,480m	50m/445m
着工/完成年	1975/1991	1979/1999
調査ゲート	2号主ゲート	オリフィス6号主ゲート
ゲート形式	ローゲート	ローゲート
ゲート寸法	W4.0m×H3.5m	W5.8m×H4.1m
開閉装置	油圧シリンダ式	油圧シリンダ式
シリンダ外径	φ355mm	φ505mm
シリンダ長	7,132mm	6,779mm
ストローク	5,000mm	4,320mm
開閉速度	0.3m/min(最大0.5m/min)	0.3m/min
設置年	1988年	1999年
最終分解整備	(設置後未実施)	2021年

(2) 計測方法及び計測条件

計測は、油圧シリンダ外周面にAEセンサーを設置して実施し、計測条件はゲート静止時、開動作時及び閉動作時の3条件とした(写真-3)。

使用したAEセンサーは、MISTRAS社製 R3I-ASTであり、計測可能な周波数範囲は10～40kHzである。石油タンクのモニタリングに使用されているAEセンサーの共振周波数が30kHzであることから、同じ性能のものを使用した。



写真-3 AEセンサー設置状況

(上段：美利河ダム、下段：滝里ダム)

(3) 解析項目

AEセンサーにより受信した信号は、振幅、ヒット数、カウント数及びエネルギーの4項目について解析した。

解析項目の概要を図-2に示す。

項目	説明	概要図
振幅	受信した信号の振幅(片振幅)	
ヒット数	受信した信号数	
カウント数	受信した信号がしきい値を超えた回数	
エネルギー	受信した信号の大きさ(信号の積分値)	

図-2 解析項目の概要

4. 解析結果

(1) 振幅

振幅の解析結果を図-3に示す。上段はゲート静止時、中段は開動作時、下段は閉動作時の解析結果である。各グラフの横軸は計測時間、縦軸は振幅であり、振幅は基準値を $1\mu\text{V}$ としたデシベル値である。点はAEセンサーにより受信した信号を表しており、赤は美利河ダム、青は滝里ダムとした。

まず、静止時は、美利河ダムでは約25dB～65dB、滝里ダムでは約20dBの信号がみられ、滝里ダムに比べ美利河ダムの方が大きい傾向となった。これらの信号は、主にセンサーの内部雑音や計測環境などの影響で発生するノイズ（以下「バックグラウンドノイズ」という）とみられる。美利河ダムでは、計測時の天候が風雨であったことから、天候の影響によりバックグラウンドノイズ

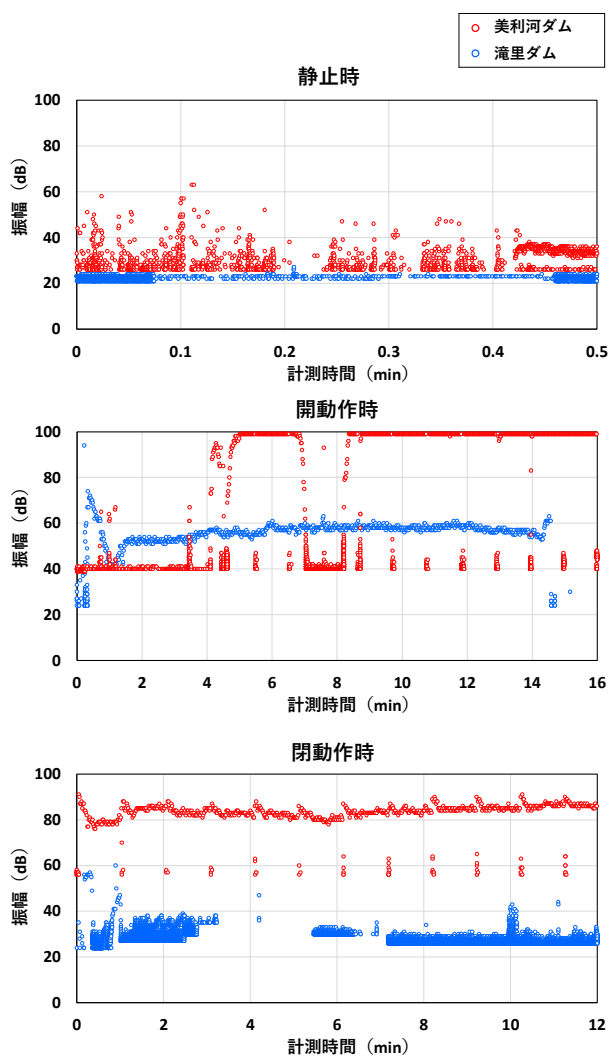


図-3 振幅の解析結果

(上段：静止時、中段：開動作時、下段：閉動作時)

が大きくなったと考えられる。しかし、開閉装置の老朽化により発生したAE波が含まれていることも考えられるため、バックグラウンドノイズを解析のうえ除去することで、AE波を検出できる可能性がある。

次に、開動作時は、美利河ダムでは計測時間が約4分～7分及び約8分～16分で、振幅が約100dBとなる大きな信号を受信した。使用したAEセンサーは、振幅の計測上限が100dBであることから、これらの信号は計測上限を超過した信号とみられる。この計測時間帯では、開閉装置にやや大きな振動が発生していたことから、これらの信号は振動の影響を受けたものと考えられる。また、滝里ダムでは計測上限を超過した信号はみられず、振幅が約50dB～60dBの信号を多く受信した。開動作時に目立った振動などは発生しなかったことから、これらの信号はAE波とみられる。

最後に、閉動作時は、美利河ダムでは振幅が約80dB～90dBの信号を多く受信した。閉動作時に目立った振動などは発生しなかったことから、これらの信号はAE波とみられる。また、滝里ダムでは振幅が約20dB～30dBの信号が多くみられたが、振幅が小さく受信数が多いことから、主にバックグラウンドノイズであるとみられる。

(2) ヒット数

ヒット数の解析結果を図-4、1秒あたりのヒット数の平均を図-5に示す。図-4の横軸は計測時間、縦軸はヒット数であり、点は1秒あたりのヒット数、線グラフはヒット数の累計である。ヒット数をわかりやすく表示するため、縦軸は対数軸としている。

まず、静止時は、美利河ダムでは1秒あたりの平均が約61、滝里ダムでは約90となった。いずれも主にバックグラウンドノイズとみられ、センサーの内部雑音によりヒット数が大きくなったと考えられる。

次に、開動作時は、美利河ダムでは1秒あたりの平均が約5、滝里ダムでは約1となった。滝里ダムの信号はAE波とみられるが、その一方で、美利河ダムの信号は振動の影響を受けたとみられ、正常な値ではないと考えられる。

最後に、閉動作時は、美利河ダムでは1秒あたりの平均が約1、滝里ダムでは約95となった。美利河ダムの信号はAE波とみられるが、その一方で、滝里ダムの信号は主にバックグラウンドノイズとみられ、静止時と同様、センサーの内部雑音によりヒット数が大きくなったと考えられる。

以上より、1秒あたりのヒット数の平均は、AE波の場合は約1と小さく、バックグラウンドノイズの場合は約60～95と大きくなった。

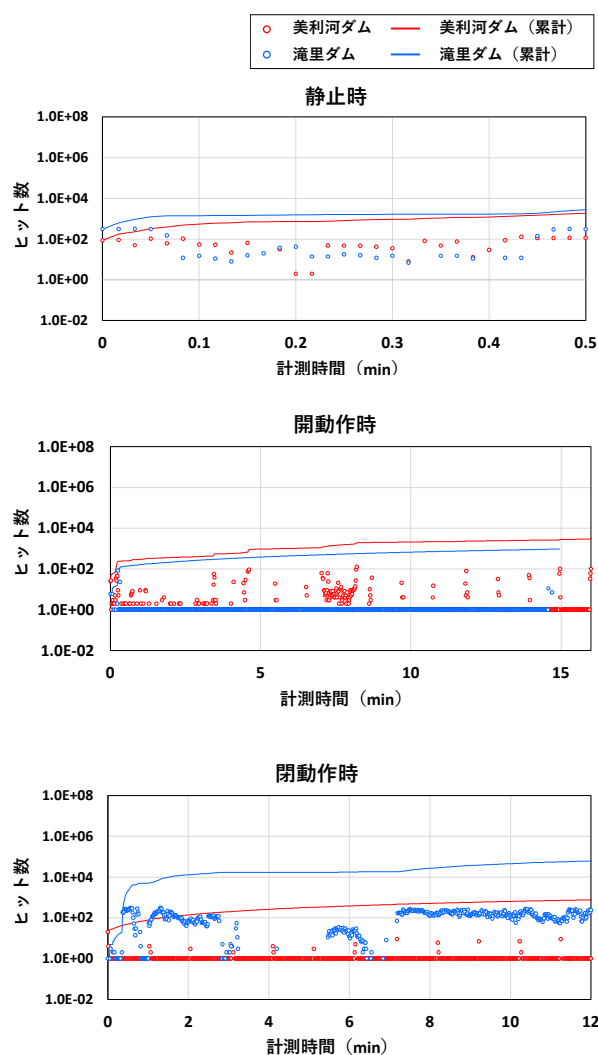


図-4 ヒット数の解析結果

(上段：静止時、中段：開動作時、下段：閉動作時)

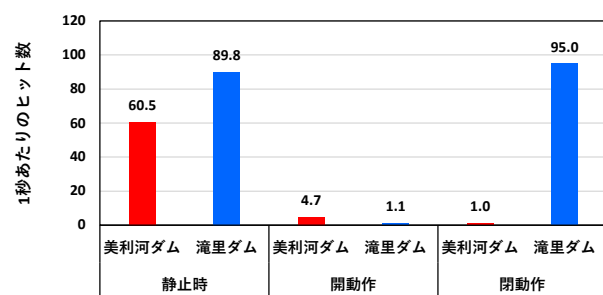


図-5 1秒あたりのヒット数 (平均)

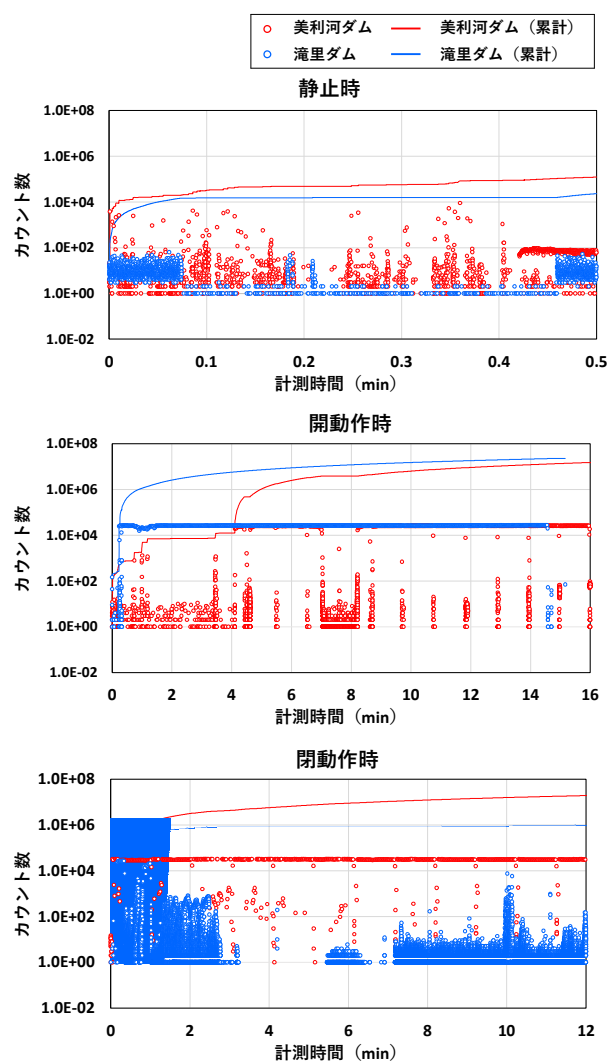


図-6 カウント数の解析結果

(上段：静止時、中段：開動作時、下段：閉動作時)

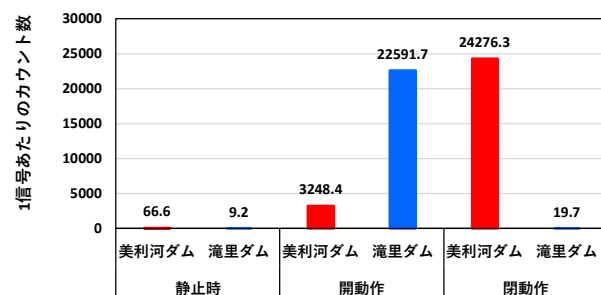


図-7 1信号あたりのカウント数 (平均)

(3) カウント数

カウント数の解析結果を図-6、1信号あたりのカウント数の平均を図-7に示す。図-6の横軸は計測時間、縦軸はカウント数であり、点は1信号あたりのカウント数、線グラフはカウント数の累計を表している。

まず、静止時は、美利河ダムでは1信号あたりの平均が約67、滝里ダムでは約9となった。これらはいずれもバックグラウンドノイズとみられる。

次に、開動作時は、美利河ダムでは1信号あたりの平均が約3,200、滝里ダムでは約23,000となり、滝里ダムの方が大きくなった。滝里ダムの信号はAE波とみられるが、その一方で、美利河ダムの信号は振動の影響を受けたとみられ、正常な値ではないと考えられる。

最後に、閉動作時は、美利河ダムでは1信号あたりの平均が約24,000、滝里ダムでは約20となった。美利河ダムの信号はAE波とみられるが、その一方で、滝里ダム

の信号は主にバックグラウンドノイズとみられる。

以上より、1信号あたりのカウント数の平均は、AE波の場合は約23,000～24,000と大きく、バックグラウンドノイズの場合は約9～68と小さくなった。

(4) エネルギー

エネルギーの解析結果を図-8に示す。横軸は計測時間、縦軸は1信号あたりのエネルギーであり、縦軸は対数軸としている。1信号あたりのエネルギーを点グラフ、エネルギーの累計を線グラフで表している。また、1信号あたりのエネルギーの平均を図-9に示す。

まず、静止時は、美利河ダムでは1信号あたりの平均が約6、滝里ダムでは約0.02となった。これらはいずれもバックグラウンドノイズとみられる。

次に、開動作時は、美利河ダムでは1信号あたりの平均が約8,500、滝里ダムでは約14,000となり、滝里ダムのほうが大きかった。しかし、美利河ダムの信号は振動の影響を受けたとみられ、正常な値ではないと考えられる。

最後に、閉動作時は、美利河ダムでは1信号あたりの平均が約57,000、滝里ダムでは約5となった。美利河ダムでは、エネルギーの計測可能な上限値である65,535となる信号が多くみられ、平均値も非常に高くなった。また、滝里ダムの信号は主にバックグラウンドノイズとみられる。

以上より、1信号あたりのエネルギーの平均は、AE波の場合は約14,000及び約57,000と大きく、バックグラウンドノイズの場合は約0.02～6.4と小さくなった。また、美利河ダムと滝里ダムでは、AE波のエネルギーに大きな差が生じた。

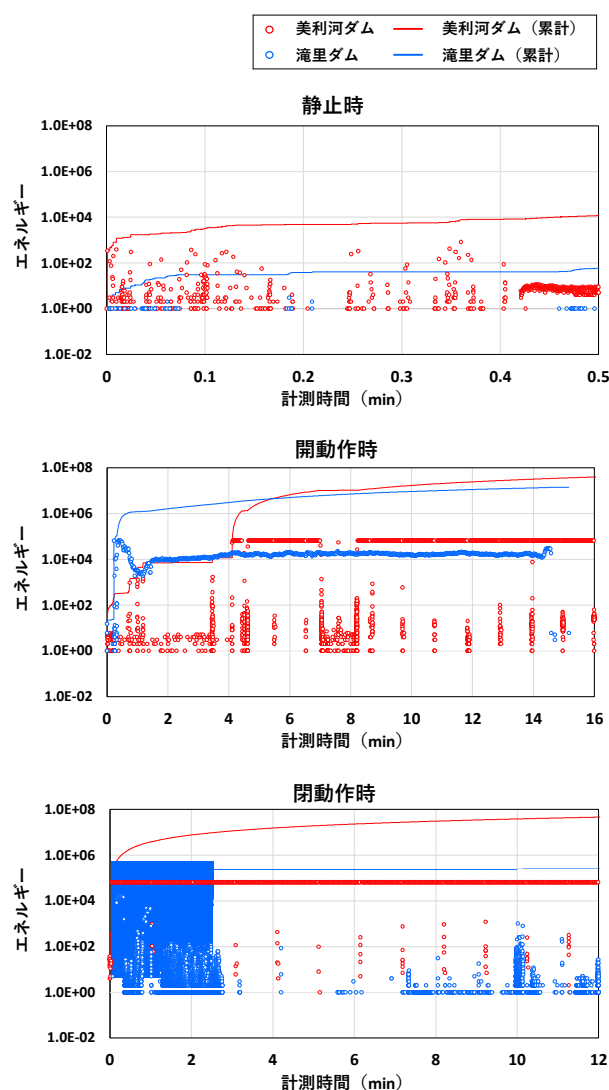


図-8 エネルギーの解析結果

(上段：静止時、中段：開動作時、下段：閉動作時)

5. 解析結果についての考察

まず、振幅の解析結果より、ゲート静止時の信号からAE波を検出するためには、バックグラウンドノイズを解析のうえ除去する必要があることがわかった。バックグラウンドノイズは天候の影響を受けることから、長期的な計測を実施したうえで、信号の振幅と気象データを照合するなどし、解析を行う必要がある。

次に、美利河ダムの開動作時に発生した振動が、各解析結果に影響を与えていることがわかった。AEセンサーは振動の影響を受けやすいことから、振動が信号に影響を及ぼしたと考えられる。ゲート開動作時は油圧装置に高負荷がかかるため、油圧制御弁などに振動が発生しやすい状態になる。そのため、AE計測を行う際には、開動作時の計測は避けた方がよい。

最後に、エネルギーの解析結果より、美利河ダムと滝里ダムでは、AE波のエネルギーに大きな差があること

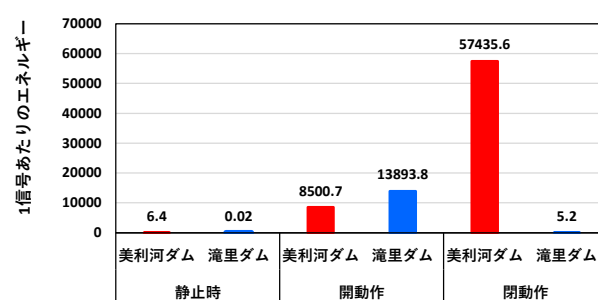


図-9 1信号あたりのエネルギー (平均)

がわかった。この要因として、開閉装置の質量や設置角度など、設置状況の違いが影響している可能性があるほか、設備の老朽化が影響している可能性がある。しかし、今回の試験からは要因の特定が難しいため、より多くの設備のデータを収集し、検証する必要がある。

6. まとめ

ダムゲートの設備について、老朽化の進行度合いを定量的に診断する手法を検討するため、AEセンサーを用いた油圧開閉装置の計測試験を実施した。得られた知見を以下に示す。

- 1) ゲート静止時の信号からAE波を検出するためには、バックグラウンドノイズを解析し除去する必要があることがわかった。そのためには、長期的な計測を実施し、バックグラウンドノイズを解析する必要がある。
- 2) 開動作時に振動が発生した場合、信号が振動の影響を受け、各解析結果に影響することがわかった。ゲート開動作時は振動が発生しやすい状態となるため、AE計測を行う際には、開動作時の計測は避けた方がよい。
- 3) 美利河ダムと滝里ダムでは、AE波のエネルギーに大きな差があることがわかった。開閉装置の老朽化が影響している可能性があるが、今回の試験からは要因の特定が難しいため、より多くの設備のデータを収集し、検証する必要がある。

なお、今回の試験では、信号の波形計測、及び複数のAEセンサーを用いた位置標定試験は実施していない。そのため、今後はこれらを実施することで、より詳細な

解析が可能と考えられる。

参考文献

- 1) 国土交通省：ダム用ゲート設備等点検・整備・更新検討マニュアル(案)、2018.
- 2) 国土交通省：ダム用及び河川用水門設備状態監視ガイドライン(案)、2018.
- 3) 平地一典、澤口重夫、小林勇一：排水機場における状態監視診断手法の検討、第61回北海道開発技術研究発表会、2017..
- 4) 一般社団法人日本機械学会：機械システムの状態監視と診断技術、p187、2021.
- 5) 一般社団法人日本非破壊検査協会：アコースティック・エミッションによる機械診断、p1、2014.
- 6) 一般社団法人日本非破壊検査協会：アコースティックエミッション試験Ⅱ、p4、2008.
- 7) 一般財団法人石油エネルギー技術センター：屋外石油タンクの底部腐食損傷の AE グローバル診断法に関するガイドライン、2012.
- 8) 塩谷智基、麻植久史、西田孝弘、宮田弘和：AE 法および AE トモグラフィにより推定された実橋梁 RC 床版の損傷検証、コンクリート工学年次論文集、Vol. 38, No. 1、pp. 2085-2090、2016.
- 9) 田仲正弘、金川忠、森孝之、福田真、杉村亮二、丹野剛男：岩盤斜面安全監視のための AE 自動化システムと岩盤破壊判定法、地すべり、Vol. 39, No. 1、pp. 70-76、2002.