

4 MHz程度まで感度を有する広帯域超音波トランスデューサの較正

Calibration of broadband ultrasonic transducers with sensitivity up to about 4 MHz

*川方 裕則¹、大内 智博²

*Hironori KAWAKATA¹, Tomohiro Ohuchi²

1. 立命館大学理工学部、2. 愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター

1. College of Science and Engineering, Ritsumeikan University, 2. Geodynamics Research Center, Ehime University

岩石試料の破壊にともなう微小破壊（アコースティック・エミッション、以下AE）に関し、多くの地震学的手法を用いた研究が実施されてきた。最大振幅値を利用した振幅別頻度分布の指標 m 値およびその時間変化に関する研究に端を発し、震源決定が可能になった後は、振幅を利用した簡易的な相対マグニチュードを利用した規模別頻度分布の指標 b 値、震源の時空間分布に関する研究へと発展した。近年は広周波数帯域に感度を持つトランスデューサが活用可能になり、三軸圧縮試験下では地震モーメントとコーナー周波数に関するスケーリング則がAEと自然地震で共通することが明らかにされた（例えばYoshimitsu *et al.*, 2014; GRL）。また、一軸圧縮下の水圧破碎実験においてはモーメント・テンソル推定が実施され、剪断型、開口型を中心とする様々なメカニズム解を示すAEの存在が明らかにされた（例えばTanaka *et al.*, 2021; GJI）。これらの解析は10 cmオーダーの試料を用いた試験で得られた波形に対するものであるが、より高圧下での試験の場合、試料サイズは1 cmにも満たないようなものとなる。この場合波長を考えると、これまでの広帯域トランスデューサの活用範囲上限である1-2 MHzでは十分ではなく、少なくとも4 MHz程度に上昇させる必要がある。

マルチアンビル型高圧発生装置を用いた高圧力環境においては、従来型の圧電素子を用いた計測による震源位置決定がde Ronde *et al.* (2007; GJI)によって実現されたことに端を発し、D-DIA型変形装置を用いた変形試験時のAE計測が多数おこなわれるようになった（例えばSchubnel *et al.*, 2013; Science）。これらの研究では、6個のアンビル背面に従来型の圧電素子を貼り付け、AEの初動時刻、極性、振幅を用いて、モーメント・テンソル解を得る試みがなされているが、Tanaka *et al.* (2021; GJI) などでも指摘されている通り、計器特性の補正をおこなうことは必須となる。

そこで本研究では、沈み込むスラブ内浅部の温度圧力条件下（1-2 GPa, 400-900°C）において発生するAEの高品質かつ補正可能な波形を取得し、モーメント・テンソル解の時空間分布、地震モーメントとコーナー周波数に関するスケーリング則などの解明を目指し、小型の広帯域超音波トランスデューサをD-DIA型変形装置への導入に向けて、4 MHz程度の高周波数帯域までの較正を実施した。

広帯域トランスデューサとしては、Yoshimitsu *et al.* (2014; GRL) において使用された特注仕様のもの(富士セラミックス社製5145SMAT-1152)をベースとし、信号線取り出し部分を改変したものを使用する。愛媛大学地球深部ダイナミクス研究センター所有のD-DIA型超高圧変形装置 Madonna IIに使用するアンビルの台座にトランスデューサを貼り付け、アンビルの試料（圧媒体）に接する側の面に貼り付けたOlympus V106探触子から疑似矩形波を送信し、その信号を計測する。また、同じ送信に対する信号をレーザー・ドップラー速度計（LDV）でも受信し、両信号を比較する。上記以外の較正に使用する信号の取得方法については、Yoshimitsu *et al.* (2011; BSSA)に準じる。

トランスデューサとLDVで取得された信号、および0-0.2 ms分の両波形（テーパー処理後）の振幅スペクトルを図1に示す。振幅スペクトルを比較したところ、4 MHz程度まではS/Nが1より高く、100kHz-4MHzの範囲においてトランスデューサによる電圧記録（単位V）の振幅スペクトルに周波数の0.84乗をかけ、 $10^{5.5}$ で割

るとLDVの速度記録（単位m/s）の振幅スペクトルと良い一致を示した。そこで、簡易的にこれをトランスデューサの特性として波形の補正を実施した。20kHz-1MHzの範囲に絞って波形比較をおこなうと（図2）、位相も含めて非常に良い一致が見られた。これより高い周波数帯においても、少しの時間ずれは見られたものの比較的似た波形が得られ、位相に関する較正も期待できる結果が示された。以上の通り、3-4 MHz付近ではLDVの感度が必ずしも高くないものの、トランスデューサでは4 MHz以下では100倍程度のS/Nが得られ、このトランスデューサを使用することで、D-DIA型超高压変形装置を用いたGPaレベルの圧力条件下での良質のAE波形を取得できる可能性が示された。

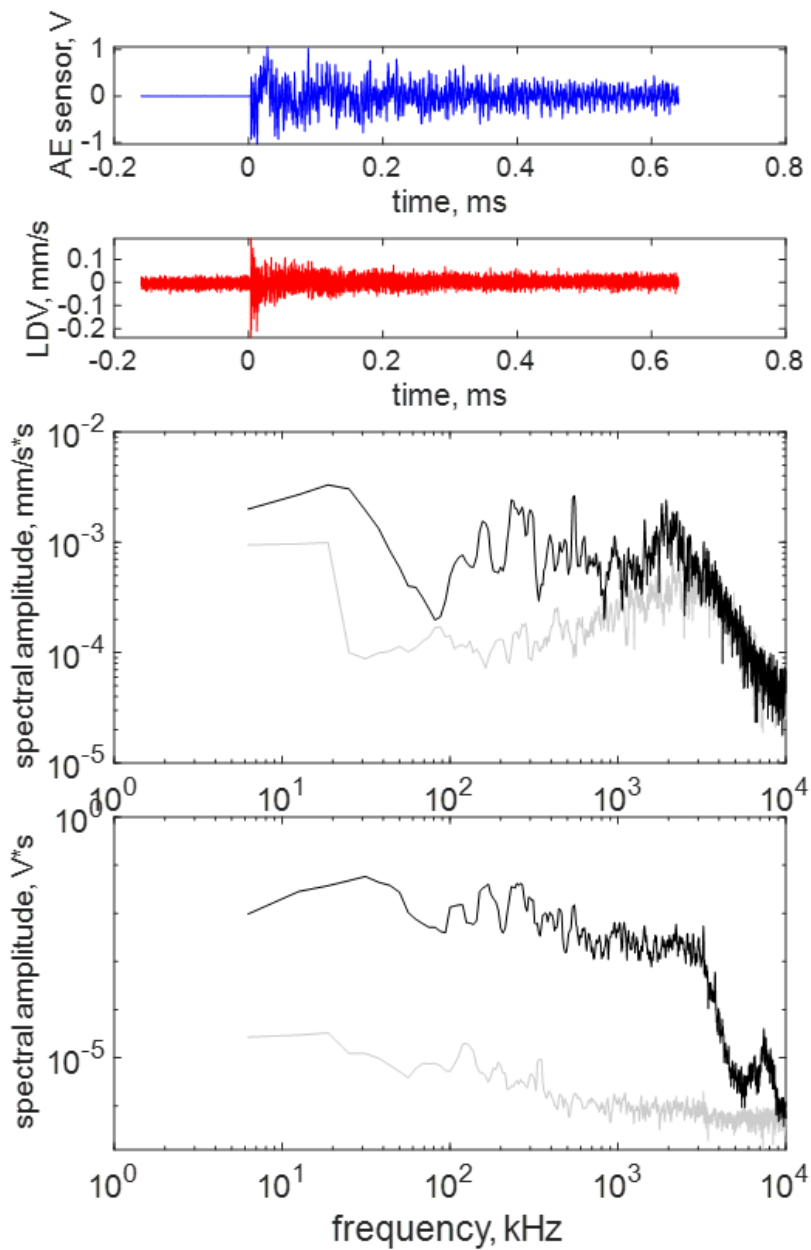


図1. トランスデューサ（青）、LDV（赤）による波形記録（LDVは4 MHzのLPF処理後）と両者の振幅スペクトル（黒上：トランスデューサ、黒下：LDV）。灰色はノイズスペクトル。

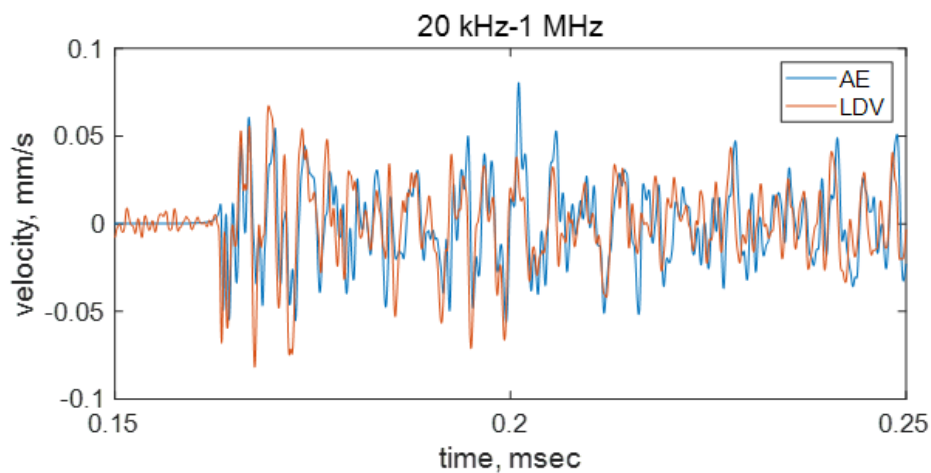


図2. 補正後のトランスデューサ（青）、LDV（赤）による速度波形。