

「地殻岩石の弾性波速度異方性の成因と地震波への影響」

Velocity anisotropy of crustal rocks: its origin and effect on seismic wave propagation.

西澤 修 (地調)・吉野 隆(東洋大学・工)・高梨 将(千葉大学, 現・石油公団)・
金川久一(千葉大・理)

Osamu NISHIZAWA (Geological Survey of Japan), Takashi YOSHINO (Toyo University),
Mamoru TAKANASHI (Japan National Oil Corp.), and Kyuichi KANAGAWA (Chiba
University).

1. はじめに

地殻構成岩石が地震波速度異方性を持つことはよく知られている。地震波を用いた地殻構造探査では、岩石の速度異方性が地震波伝播に及ぼす影響を考慮する必要がある。反射法の NMO (Normal MoveOut), DMO (Dipping layer MoveOut), AVO (Amplitude Variation with Offset) などは異方性の影響を考慮しなければならない。地殻岩石の異方性は、異方性鉱物の選択配向やマイクロクラックの選択配向が原因と考えられている。異方性に寄与する造岩鉱物の主なものは、雲母、角閃石、カンラン石などである。雲母や角閃石は地殻岩石の中に普遍的に存在し含有量も多いので、その影響がとくに大きい。ここでは雲母を多量に含んだ岩石をインクルージョン理論に基づいてモデル化し、異方性の大きさを見積もり、実際の岩石の測定結果と比較する。マイクロクラックの選択配向による異方性では、クラックの形状 (アスペクト比) が異方性の大きさを支配するが、同様の影響が雲母の形状アスペクト比にも見られないか調べる。

2. モデル計算

地殻岩石の雲母鉱物で主要なものは、黒雲母 (biotite) と白雲母 (muscovite) である。これらは本来単斜晶系に属し、独立な弾性定数は 9 個であるが、六方晶系として近似することが可能であり、独立な弾性定数は 5 個となる。雲母鉱物以外のマトリックス部分は等方性とし、ラメの定数 $\lambda = \mu = 35 \text{ Gpa}$ とする。雲母鉱物の形状は扁平な回転楕円体で近似し、回転楕円体のアスペクト比 α を 1 から 0.01 まで変化させ、Eshelby の介在物理論に基づき弾性定数を計算する。計算法は DEM (Differential Effective Medium method) で、介在物の割合を少しずつ段階的に増加させながら計算する。このとき、前回の計算で得られた弾性定数をマトリックスの新たな弾性定数として、微少量の介在物を挿入してゆく。雲母鉱物は c 軸が定向配列しており、複合物質の実効弾性定数は六方晶系で表される。

計算結果の一例を図-1 (a, b) に示す。図-1 は黒雲母を 30% 含んだ場合の弾性定数から期待される地震波速度異方性で、等位相速度面を対称軸 (黒雲母の c 軸の方向と一致) を含む面上に示したものである。(a) は P-波速度異方性を示すが、等位相速度面が楕円とはならず、また (b) のように、S-波では SH-波と SV-波の速度の違いが大きい。さらに SH-波と SV-波は交差し、Singularity が現れる。これらは、黒雲母の異方性が極めて大きいことによるものである。

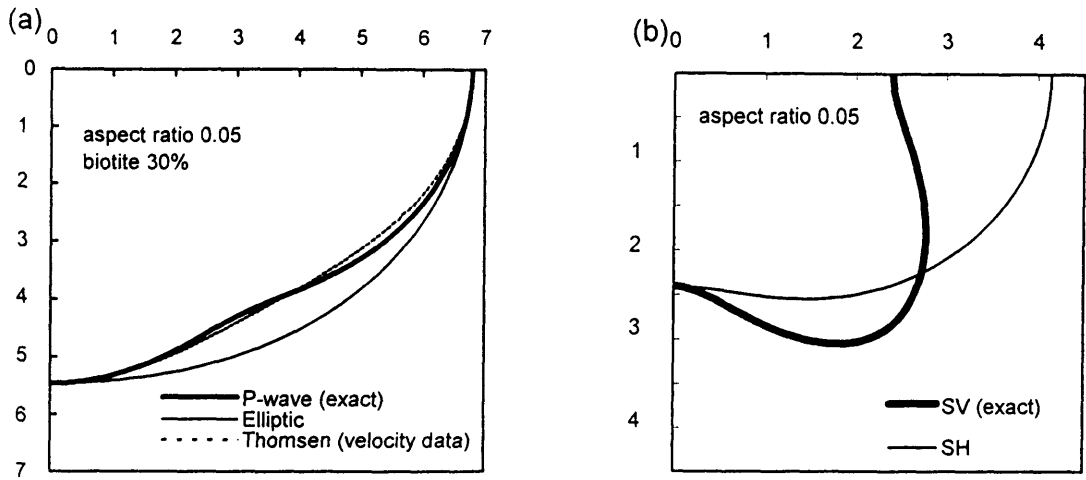


図-1 鉱物形状アスペクト比 0.05, 黒雲母体積比 30% の場合の P-波, S-波速度

3. 黒雲母片岩に見られる弾性波速度異方性

北海道日高変成岩類の弾性波速度異方性を計測したところ、黒雲母モード値が 36%の黒雲母片岩に図-2 (a), (b) で示したような地震波速度異方性が見られた。この計測結果はモデル計算の結果と似ており、岩石の異方性が黒雲母によって支配されていることを示唆している。

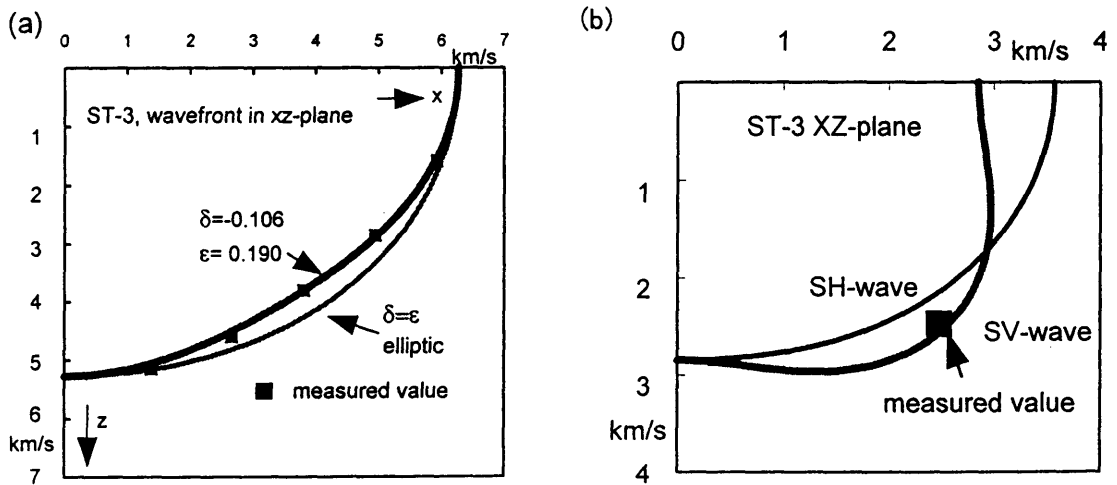


図-2 日高変成岩黒雲母片岩に見られた P-波, S-波速度異方性. P-波等位相速度面の楕円からのずれ, SH-波, SV-波の異方性と Singularity の存在はモデル計算の結果とよく一致している。

4. 地震波への影響

黒雲母は地殻上部に普遍的に存在し、定向配列も多くの岩石で見られる。変成岩は一般に面構造を持ち、黒雲母の c-軸は構造面 (foliation) に垂直に配列することが多い。このような岩石の異方性は上で示したモデルで近似することが可能である。実際には、線構造 (lineation) 方向の鉱物の引き伸ばしや微褶曲構造のため、対称性が乱されるので異方性はより複雑になる。しかし、上のモデルを基本とすれば雲母の選択配向による岩石の異方性を理解することができる。