

掘削時の応力や水圧破砕により発生するき裂の音波検層に与える影響 の研究

三ヶ田 均*・武川順一*¹¹・亀井志織*²²

1. 研究の目的

坑井の保護のためのケーシングとセメント注入は石油資源の安定した開発・生産に不可欠なプロセスである。ケーシングセメンチングに欠陥が存在すると坑井の生産性を損なう。特に、セメント層中に発生した流体チャネルは、ケーシングパイプの腐食など坑井の運用に重大な問題を引き起こす可能性がある。ケーシング背後のセメント層の結合状態が悪く、セメント層中に流体チャネル環が存在する場合、ケーシングを伝わる波動の振幅が大きくなることが知られている。本研究では、様々なモードの分散特性に対してケースドボアホールのセメント層中に発生した流体チャネルが与える影響を調査した。

2. 研究の方法

数値計算モデルとして、図 1 のようなモデルを使用する。モデルサイズはおおよそ 2.4m*2.4m*4.9m とし、これに吸収境界を加えた領域を 760*760*1320 (4kHz モノポールでは 1380) の不等間隔な要素に離散化する。そのモデルに対し表 1 にあるようなパラメータを与え、ハミルトニアン粒子法を適用した。

モデルは、ボアホール流体、鋼製ケーシング層、セメント層、および地層 (ファストフォーメーションとスローフォーメーション) で構成されている。流体チャネルではケーシング層背面のセメント層が流体に置き換えられる。ここで流体チャネルの中心角を θ とする。後半の検証では流体チャネルの厚さと半径方向の位置を変えたモデルも作成する。

モノポール振源として中心の 1 点、

ダイポール振源として対なる 2 点に極性を有した卓越周波数 4kHz (ファストフォーメーションのモノポールでは 6kHz も使用) の Ricker 波の音響圧力を与える。ダイポールの振源とレシーバーの半径は 2.5 cm としている。レシーバーは振源より 2 m 上部より 10 cm 間隔で 20 個設置している。また、数値計算の妥当性は、アニュラスが全て流体の場合の、分散曲線および時間波形について理論

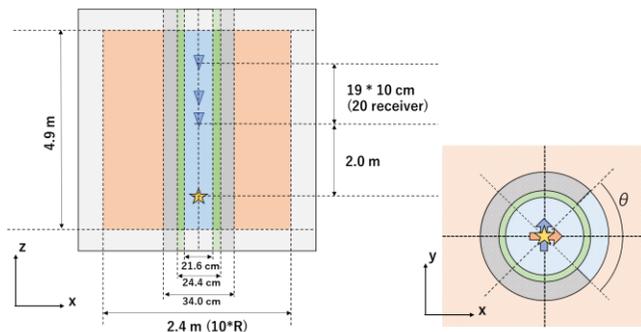


図 1 モデルの概念図と物性値の設定。★は振源を、▼はレシーバーを表す。

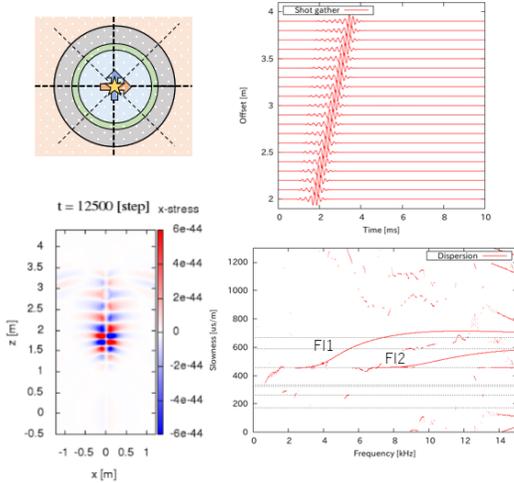
表 1 各領域の物性値一覧

| | ρ [kg/m ³] | V_p [m/s] | V_s [m/s] | Outer Radius [cm] |
|-------------------|-----------------------------|-------------|-------------|-------------------|
| 1. Fluid | 1000 | 1500 | 0 | 10.8 |
| 2. Casing | 7900 | 5800 | 3100 | 12.2 |
| 3. Cement | 1800 | 3000 | 1700 | 17.0 |
| 4. Fast formation | 2300 | 3800 | 2200 | ∞ |
| 4. Slow formation | 2100 | 2700 | 1200 | ∞ |

*京都大学・教授, *¹同・助教, *¹¹同・助教, *²²同・教務補佐

解と数値解を比較することで行った。

(a) Well cemented



(b) No cemented

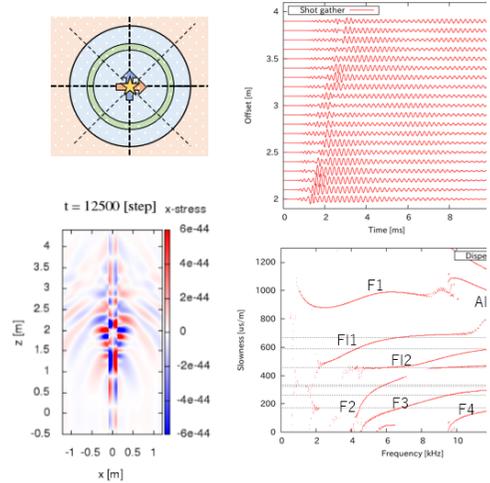


図 2 セメントの有無によるファストフォーメーションにおけるダイポール応答の違い

3. 得られた成果

図 2 に、アニュラスがセメントで固められた場合とセメントがないままである場合の波形および分散曲線を示す。パラメータを変え結果を比較した結果、撓みモード分散 (F11) による地層の S 波速度測定は、概してファストフォーメーションでは安定して行えるが、スローフォーメーションではセメント結合が不足した場合のみ可能であることが予想される。ファストフォーメーションのストーンレー (St1) と疑似レイリー (p-R) とスローフォーメーションの低周波ストーンレー (St1) は、大きな流体チャネルの検出に役立てることができる。モノポール応答の対称ダイポールモード (F1, F11) は、モノポールソースを使用することにより、チャネルの方向に関係なく使用できる。さらに、対称ダイポールモード (F1, F11, F12) のスローネスは、流体チャネルの小さな角度に敏感であるが、大きな角度の場合には敏感ではないことが分かった。

4. 謝辞

本研究は、株式会社地球科学総合研究所の委託研究として遂行された。関係各位に篤く御礼申し上げます。

発表論文

Kayama, K., Mikada, H., Takekawa, J., 2021. Dispersion of flexural waves in a borehole with a tensile fracture in an anisotropic stress environment *Geophysical Prospecting*, 2021, 69, 598-607.

Kayama, K., Mikada, H., Takekawa, J., Xu, S., 2021. Influence of eccentric/tilted sonic logging tool on dispersive wave, *SEG Technical Program Expanded Abstracts*, 2021, 2021-September, 367-371.