

審査の結果の要旨

氏名 鈴木 博之

本論文は、弾性波探査の一種である音波検層波形データを用いた弾性波減衰解析手法を高度化する方法を提案し、既存手法に対する優位性を定量的に示すとともに、メタンハイドレート賦存層における弾性波減衰特性評価への適用性を実証した。

現在、孔隙充填型のメタンハイドレートの資源量評価においては、弾性波速度とメタンハイドレート飽和率との相関性を用いることにより、メタンハイドレート飽和率を推定している。しかし、ハイドレート結晶の増加に伴う弾性波速度上昇の程度はハイドレート結晶の存在形態に依存するために、評価に不確実性が伴う問題がある。このような不確実性を減少させる目的で、弾性波減衰情報を併用することが提案されてきており、国内外のメタンハイドレート賦存層において多くの弾性波減衰解析が実施されてきたが、その一部において相反する減衰現象が観測なされてきた。弾性波減衰解析結果に影響を与える因子としては、地質環境、探査データ取得状況、減衰解析の巧拙などが考えられるが、とりわけ弾性波減衰解析の高度化が求められている。さらには、従来の減衰解析手法においては、解析結果に対する不確実性の評価がなされてこなかったために解析の信頼性を評価できていなかった。そこで、本論文では、既存の弾性波減衰算出手法におけるノイズに対する安定性の向上、ならびに減衰算出結果に内在する不確実性の定量化を実現する新たな手法の提案を目的とした。

一般的に弾性波減衰解析においては、Spectral Ratio 法や Centroid Frequency Shift 法が広く適用されてきたが、音波検層波形データに対する減衰解析法としては、Median Frequency Shift 法が提案されていた。Spectral Ratio 法や Centroid Frequency Shift 法と比較した場合の Median Frequency Shift 法の利点は、Mean-median 法に基づいて S/N 比を向上できる点である。音波検層波形データに含まれるノイズは、複雑な坑井内環境や検層機器を複雑に伝播する波動場が混入していることが多いため、完全なノイズ抑制は現実的には不可能であるため、Median Frequency Shift 法の適用が必須となる。しかし、その一方で Median Frequency Shift 法の欠点として、基準となる参照減衰値を任意の

参照深度で設定する必要がある、波形データの S/N 比が低い状況では解析結果が基準値の選定に依存してしまう任意性が存在していた。本論文では、まずこの点を解決する手法を考案した。具体的には、参照深度を設定する深度を対象の区間全てと定めることで、深度方向に N 個の深度データを持っている場合、最終的には N 本の減衰プロファイルが作成され、これらの平均を取りそのプロファイルを最終結果とするものであり、この平均化作用が解析結果の安定性を促すとしている。さらには、従来の減衰解析手法においては、不確実性の評価がなされてこなかったが、本論文では減衰解析結果に対して定量的に不確実性を評価する手法を提案した。具体的には、従来法では各受振器で振幅スペクトルの深度方向の平均をとり、そこから最小二乗法で参照減衰値を求めているが、提案手法は各深度の振幅スペクトルに最小二乗法を適用し、得られた値をその深度の参照減衰値とする方法を提案している。全深度で参照減衰値を求めることができ、深度方向に N 個の深度データを持っている場合、N 本の減衰ログが作成され、それらの平均を取ることで最終的な減衰結果とする。この平均化作用により解析結果を安定化できるとともに、従来法では算定できなかった標準偏差を求めることができるため、これを解析の不確実性として解析の信頼性を評価することを提案した。数値シミュレーションデータに対して提案手法を適用して、提案手法の有効性を確認し、さらに平成 11 年度基礎試錐「南海トラフ」検層データのうち 2 本の坑井で取得された音波検層波形データに提案手法を適用し従来法による結果と比較することにより提案手法の優位性を実証した。また、受振器の組み合わせを最適化することにより、安定性を精密に制御できる可能性も示した。さらに、減衰結果に対する散乱減衰、近接場効果、発振器と地層とのカップリング等の影響も慎重に議論され、それぞれの解決法も提示している。

以上の研究結果は、音波検層波形データを用いた弾性波減衰解析手法の安定化とその制御、ならびに解析結果に対する不確実性の定量化を実現することに成功しており、当該手法の高度化に貢献したと判断される。このような貢献はメタンハイドレート賦存層における弾性波減衰特性の解明に寄与するばかりでなく、様々な地質・地盤評価における弾性波減衰特性の利用拡大にも広く波及することが期待される。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。