

長期・短期注水による誘発地震に関する研究

産業技術総合研究所 雷 興林

背景

流体の地下深部圧入は地熱開発・シエルガス生産・CO₂ 地下貯留・工業廃水の地下処分などの分野で利用されている。近年、これらの産業アプリケーションの急発展に伴い注水と関連した誘発地震活動が顕著な増加傾向を示した。マグニチュード5クラスの被害性誘発地震の例も数件報告された。熱応力、間隙圧拡散、岩盤や既存の亀裂・断層の破壊強度の低下等が注水誘発地震を支配する主要な要素とされているが、断層の再活動に関連するリスク評価・被害性地震予測と回避技術開発が不十分であることが現状である。実例研究を通して誘発地震の特徴と被害性誘発地震の発生条件を解明することは、重要かつ緊急な課題となっている。

経緯

中国内陸の中心部に位置する四川盆地には、1千億トン以上の大規模ガス田を含め、多数の天然ガス田が発見された。四川盆地の西境界は有名な地震帯であるが、盆地の内部は天然地震活動が低く、安定的な地域である。1970年代から、ガス生産に伴う汚染水を断続的に枯渇ガス田に圧入した。また、2014年からシエルガスの開発が急展開してきた。これらの注水活動に伴い、地震活動が多発し始めた。これまで、M5クラスの地震は4回、M4クラスは50回以上も観測され、世界でも稀なケースとなった。産総研は、2006年ごろから四川盆地の注水誘発地震活動に注目はじめ、中国地震局及び中国科学院関連研究機関の協力のもとで注水誘発地震について包括研究を展開してきた。今まで、四川盆地ガス田に発生した地震活動と廃水処分のための注水活動との関係を明らかにし、地震活動の統計的な特徴を解明した。最近では、四川盆地のシエルガス開発現場の水圧破碎による誘発地震に着目し、誘発地震の特徴と被害性誘発地震の発生条件の解明を目指した。

研究内容と主な結果

まず、統計的な ETAS モデルを用いて解析を行った。通常自然地震に比べ、地震は自分の余震をトリガーする能力は非常に低いことが分かった。地震の発生頻度は注水履歴に強く依存し、注水が停止或いは終了すると、地震頻度が急減することが数多く確認できた。

そして、相対震源決定手法を用いて地震の震源を再決定した。地震の多くは、注水ターゲット層、その上部及び下部の脆性的な堆積層に発達している既存断層に集中することが分かった。マグニチュード3.5以上の地震に対し、広帯域地震計の波形データを使用して地震の震源モメントテンソルを求めた。殆どの地震は断層のせん断破壊によるもの、得られた震源メカニズム解は既存断層系と調和的であることが判明された。

また、注入圧と注入量の他、既存断層の密度、規模、成熟度、そして、応力場のレベルは誘発地震の規模を支配することが分かった。一連の研究を通して、テクトニックな地震発生機構の理解を深める知見が蓄積されていると思う。今後は、今までの成果を基に、石油工学などの専門家と連携し、断層の再活動に関して、地球物理学と断層力学の両方の観点から、被害性誘発地震が起きやすい条件やタイミングについて定量的な評価方法を確立する。